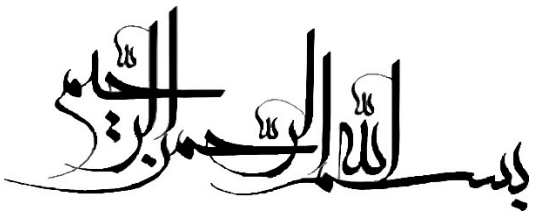
Ahwaz_Hackerz

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها

تألیف:
پروفسور گئورگ قره‌پتیان
استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
پروفسور محمد شاهیده‌پور
عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی ایلینویز(IIT)
مهندس بهروز ذاکر
دانشجوی دکترای مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

Ahwaz_Hackerz



شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها

تألیف:

پروفسور گئورک قره‌پتیان

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

پروفسور محمد شاهیده‌پور

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی ایلینویز(IIT)

مهندس بهروز ذاکر

دانشجوی دکترای مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

تابستان ۱۳۹۷

Ahwaz_Hackerz

سرشناسه	: قره‌پتیان، گئورک، ۱۳۴۱
عنوان و نام پدیدآور	: شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها/ تألیف گئورگ قره‌پتیان، محمد شاهیده‌پور، بهروز ذاکر
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	: ۶۱۰ص
شابک	: 978-964-463-723-0
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: ریزشبکه‌ها (شبکه‌های هوشمند توزیع برق)
موضوع	: Microgrids (Smart power grids)
موضوع	: برق - - شبکه‌ها
موضوع	: Electric networks
شناسه افزوده	: شاهیده‌پور، محمد، ۱۳۳۴
شناسه افزوده	: ذاکر، بهروز، ۱۳۶۸
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ۲ش ۴ق/۳۱۰۵ TK
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱۷۹۱۵۸

انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ۱۳۹۶/۸/۱۴ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	: شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها
تألیف	: پروفسورگئورگ قره‌پتیان-پروفسور محمد شاهیده‌پور- مهندس بهروز ذاکر
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
چاپ اول	: تابستان ۱۳۹۷
تیراژ	: ۲۰۰ نسخه
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۷۲۳-۰ ISBN: 978-964-463-723-0

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸
وب‌سایت: http://publication.aut.ac.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

Ahwaz_Hackerz

چکیده و پیش‌گفتار

امروزه در صنعت برق در سطح دنیا با مسائلی همچون افزایش تقاضای انرژی، افزایش رقابت در بازار برق و کمبود منابع مالی مواجه هستیم. با توجه به این شرایط، شبکه قدرت با مشکلات جدیدی مواجه می‌شود و نیاز به یک شبکه برق کارآمدتر در شرایط کنونی حس می‌شود. این رویکرد در مفهومی به‌عنوان " شبکه هوشمند" گنجانده می‌شود.

مفهوم شبکه هوشمند گستره‌ای از سمت تولید و انتقال تا سمت توزیع و مصرف را در برمی‌گیرد. نویسندگان بر این عقیده‌اند که دروازه ورود به شبکه‌های هوشمند ریزشبکه‌ها هستند. هوشمندسازی شبکه‌های توزیع ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط تحت عنوان "ریزشبکه‌ها" با داشتن مزایا و توانایی‌های موجود می‌تواند مجموعه‌ای از مزایای کلان و عمده را برای شبکه‌های توزیع با بهبود بازده انرژی، کیفیت توان و قابلیت اطمینان برای رضایت مشتریان فراهم کند.

با عنایت به وابستگی مذکور بین شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها، احساس نیاز به یک مرجع درسی کامل برای آشنایی دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری، استادان گرامی و همچنین پژوهشگران و متخصصین حوزه صنعت برق با مفاهیم مختلف شبکه هوشمند و ریزشبکه‌ها مؤلفین را بر آن داشت تا کتابی در این زمینه تألیف نمایند.

این کتاب به حوزه‌های مختلف شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها از جمله سیستم‌های اندازه گیری هوشمند، خانه‌های هوشمند، خودروهای برقی، پاسخگویی تقاضا، منابع تولید پراکنده انعطاف‌پذیر، کنترل و حفاظت ریزشبکه‌ها و همچنین سیستم‌های مخابراتی می‌پردازد. همان‌گونه که ذکر شد به عقیده نویسندگان، تحقق شبکه‌های هوشمند از شبکه‌های توزیع آغاز می‌شود. به همین دلیل در فصول ابتدایی با مفاهیم هوشمندسازی شبکه توزیع از جمله شهر هوشمند، سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند قابل استفاده در سطح توزیع و همچنین خانه هوشمند روبه‌رو می‌شویم. در ادامه نیز از خودروهای برقی هیبریدی صحبت خواهد شد که حوزه اثر آن‌ها در شبکه‌های توزیع هوشمند و ریزشبکه‌ها است. در ادامه به موارد هوشمندسازی شبکه انتقال نیز پرداخته‌ایم.

Ahwaz_Hackerz

پس از ارائه این مفاهیم اولیه، در نیمه دوم کتاب مباحث تخصصی‌تری از ریزشبکه‌ها از جمله منابع تولید پراکنده انعطاف‌پذیر، روش‌های مختلف کنترل و حفاظت ریزشبکه و همچنین سیستم‌های مخابراتی کاربردی در ریزشبکه‌ها و شبکه‌های هوشمند بررسی می‌شوند. ترتیب فصول و ارائه مطالب حاصل تجربه چند ساله نویسندگان در تدریس واحد شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها در دوره تحصیلات تکمیلی است.

در اینجا لازم است از همه‌ی دوستانی که ما را در مراحل مختلف تهیه و چاپ این کتاب یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی نماییم. در انتها امیدواریم کتاب حاضر مورد توجه و استفاده خوانندگان محترم قرار گیرد. بدون شک چنین کتاب حجیم و از لحاظ حوزه اثر گسترده، خالی از اشکال نیست؛ بنابراین از کلیه دانشجویان، اساتید، پژوهشگران و صاحب‌نظران دانشگاه و صنعت خواهشمندیم با ارائه نظرات و پیشنهادهای خود ما را در پیراسته‌تر شدن این اثر و اصلاح چاپ‌های بعدی یاری نمایند.

صاحب‌نظران محترم می‌توانند پیشنهادهای خود را به آدرس‌های زیر ارسال نمایند:

grptian@aut.ac.ir, ms@iit.edu, zaker.behrooz@aut.ac.ir

دکتر گئورگ قره‌پتیان

دکتر محمد شاهیده‌پور

مهندس بهروز ذاکر

تهران - بهار ۱۳۹۷

Ahwaz_Hackerz

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه‌ای بر شبکه‌های هوشمند ---------- ۱
۱-۱- مقدمه ---------- ۱
۱-۱-۱- جهت‌گیری ---------- ۱
۱-۱-۲- تعریف شبکه هوشمند ---------- ۴
۱-۱-۲-۱- موضوعات راهبردی شبکه برق در آینده ---------- ۸
۱-۱-۳- شهر هوشمند و شهر هوشمند انرژی ---------- ۸
۱-۱-۳-۱- ویژگی‌های شهر هوشمند ---------- ۸
۱-۱-۳-۲- شاخص‌ها، اهداف و قلمرو کاری محورهای شهر هوشمند ------- ۱۱
۱-۱-۳-۳- سرمایه‌گذاری در شهر هوشمند ---------- ۲۰
۱-۱-۳-۴- ویژگی‌های شهر هوشمند انرژی ---------- ۲۱
۱-۱-۳-۵- طرح هوشمندسازی جزیره هرمز ---------- ۲۴
۱-۲- چارچوب شبکه‌های هوشمند ---------- ۲۸
۱-۲-۱- چارچوب کلی ---------- ۲۸
۱-۳- مشخصه‌های اصلی شبکه هوشمند ---------- ۲۹
۱-۳-۱- خودترمیمی ---------- ۲۹
۱-۳-۱-۱- عوامل اصلی موفقیت خودترمیمی ---------- ۳۰
۱-۳-۱-۲- موانع و مشکلات پیش رو جهت نیل به هدف شبکه خودترمیم -- ۳۰
۱-۳-۱-۳- ساختار کلی سامانه‌ی خودترمیم و حالت‌های کنترلی آن ------- ۳۰
۱-۳-۲- مشارکت مصرف کنندگان ---------- ۳۲
۱-۳-۳- مقاوم بودن ---------- ۳۳
۱-۳-۴-کیفیت توان بالا ---------- ۳۳
۱-۳-۵- یکپارچه‌سازی گزینه‌های تولید و ذخیره‌سازی (DER) ---------- ۳۴
۱-۳-۶- مؤثرتر شدن بازار برق ---------- ۳۴
۱-۳-۶-۱- ساختار فعلی شبکه‌های برق ---------- ۳۴
۱-۳-۶-۲- بخش‌های مختلف در ساختار جدید شبکه‌های برق ---------- ۳۵
۱-۳-۷- بهینه‌سازی دارایی‌ها و بهره‌برداری مؤثر از تجهیزات ---------- ۳۷
۱-۳-۸- امنیت سایبری داده‌ها ---------- ۳۸
۱-۳-۹- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ---------- ۳۸

Ahwaz_Hackerz

۱-۴- مقایسه شبکه هوشمند با شبکه عادی قدرت ---------- ۳۸
۱-۵- بررسی مزایا و معایب شبکه هوشمند ---------- ۴۰
۱-۵-۱- مزایا ---------- ۴۲
۱-۵-۲- معایب (چالش‌ها) ---------- ۴۴
۱-۶- کاربردهای شبکه هوشمند ---------- ۴۴
۱-۷- حوزه اثر فناوری‌های مطرح در شبکه هوشمند ---------- ۴۵
۱-۸- نحوه تحقق شبکه هوشمند ---------- ۴۶
۱-۸-۱- مراحل پیشنهادی ---------- ۴۶
۱-۸-۲- زیرساخت‌های موردنیاز برای پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند ---------- ۴۶
۱-۸-۳- ذینفعان ---------- ۴۸
۱-۹- جمع‌بندی ---------- ۴۸
منابع و مراجع ---------- ۴۹

فصل دوم: سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند ---------- ۵۳
۲-۱- مقدمه ---------- ۵۳
۲-۱-۱- روش‌های هوشمندسازی سمت مصرف ---------- ۵۳
۲-۲- روند تحولات در اندازه‌گیری سمت مشترکین ---------- ۵۵
۲-۲-۱- سیستم‌های اندازه‌گیری الکترومکانیکی ---------- ۵۵
۲-۲-۲- سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی ---------- ۵۵
۲-۲-۲-۱- خصوصیات AMR ---------- ۵۶
۲-۳- سیستم AMI ---------- ۵۶
۲-۳-۱- نیازهای عملیاتی ---------- ۵۷
۲-۳-۲- تعریف AMI ---------- ۵۸
۲-۳-۳- اجزای AMI ---------- ۵۹
۲-۳-۴- تفاوت AMR و AMI ---------- ۵۹
۲-۳-۵- ساختار کلی ---------- ۶۱
۲-۳-۶- قابلیت‌های کنتور هوشمند ---------- ۶۳
۲-۳-۷- قابلیت‌های HAN ---------- ۶۴
۲-۳-۸- قابلیت‌های سیستم مدیریت داده‌ی کنتور (MDMS) ---------- ۶۵

Ahwaz_Hackerz

۲-۴- مزایای AMI و معایب آن ---------- ۶۷
۲-۴-۱- مزایا برای مصرف کنندگان ---------- ۶۷
۲-۴-۲- مزایا برای شرکت‌های ارائه دهنده‌ی خدمات ---------- ۶۷
۲-۴-۳- مزایای برای شرکت‌های برق ---------- ۶۷
۲-۴-۴- مزایا برای اجتماع ---------- ۶۸
۲-۴-۵- معایب/ چالش‌ها ---------- ۶۹
۲-۵- امنیت سایبری ---------- ۶۹
۲-۶- منابع کسب و کار از پیاده‌سازی AMI ---------- ۷۱
۲-۷- طرح فرا سامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی ---------- ۷۱
۲-۷-۱- پروژه‌های پایلوت ---------- ۷۳
۲-۷-۱-۱- شرایط مناطق پایلوت ---------- ۷۴
۲-۷-۲- نواحی پنج‌گانه ---------- ۷۶
۲-۷-۲-۱- معیارهای نواحی پنج‌گانه ---------- ۷۷
۲-۷-۲-۲- ابعاد و الزامات مورد نیاز پیاده‌سازی طرح فهام ---------- ۷۷
۲-۷-۳-مزایای اجرای سیستم اندازه‌گیری هوشمند (AMI) در طرح فهام ---------- ۷۷
۲-۸- تفاوت AMI با سیستم اتوماسیون ---------- ۷۹
۲-۹- پروژه Open Meter ---------- ۸۱
۲-۹-۱- معماری ارائه شده توسط Open meter ---------- ۸۱
۲-۹-۲- اجزای پروژه Open Meter ---------- ۸۲
۲-۹-۲-۱ کنتور برق/ آب مخابراتی ---------- ۸۲
۲-۹-۲-۲- کنتورهای هوشمند برق، آب و گاز ---------- ۸۳
۲-۹-۲-۳- تجهیز O&M برای کنتورهای آب و گاز ---------- ۸۴
۲-۹-۲-۴- تجهیز انتهایی سمت مشترکین ---------- ۸۴
۲-۹-۲-۵- جمع کننده‌ی داده ---------- ۸۴
۲-۹-۲-۶- تجهیز O&M محلی برای DC ---------- ۸۵
۲-۹-۲-۷- تجهیزات خارجی موجود در پست توزیع ---------- ۸۵
۲-۹-۲-۸- سامانه‌ی مرکزی ---------- ۸۵
۲-۹-۲-۹- سامانه‌ی کاربردی ---------- ۸۵
۲-۱۰- تجارب استفاده از AMI ---------- ۸۶
۲-۱۱- جمع‌بندی ---------- ۸۷

Ahwaz_Hackerz

منابع و مراجع ---------- **۸۸**

فصل سوم: خانه‌های هوشمند ---------- **۹۱**

۳-۱- مقدمه ---------- **۹۱**

۳-۲- خانه هوشمند ---------- **۹۲**

۳-۲-۱- تعریف خانه هوشمند ---------- ۹۲

۳-۲-۲- اهداف ---------- ۹۴

۳-۲-۳- تکنولوژی‌های موجود برای دامنه‌ی ارتباطی ---------- ۹۶

۳-۲-۳-۱- پروتکل‌های هوشمندسازی ساختمان ---------- ۹۷

۳-۲-۴- سطوح هوشمندسازی ساختمان ---------- ۱۰۰

۳-۲-۴-۱- مدیریت ---------- ۱۰۱

۳-۲-۴-۲- اتوماسیون ---------- ۱۰۲

۳-۲-۴-۳- کنترل ---------- ۱۰۲

۳-۲-۵- توجیه اقتصادی استفاده از سیستم هوشمند ساختمان ---------- ۱۰۲

۳-۲-۶- گروه‌بندی بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ---------- ۱۰۴

۳-۲-۶-۱- شهرسازی و طراحی شهری ---------- ۱۰۴

۳-۲-۶-۲- طراحی معماری ---------- ۱۰۴

۳-۲-۶-۳- عناصر و اجزای ساختمان ---------- ۱۰۴

۳-۲-۶-۴- سیستم‌های تأسیساتی (مکانیکی و الکتریکی) ---------- ۱۰۵

۳-۲-۶-۵- اجرا ---------- ۱۰۵

۳-۳- اجزای خانه‌های هوشمند ---------- **۱۰۶**

۳-۳-۱- شبکه داخلی ---------- ۱۰۶

۳-۳-۲- سیستم کنترل و درگاه هوشمند ---------- ۱۰۶

۳-۳-۳- وسایل هوشمند ---------- ۱۰۷

۳-۴- سیستم‌های کامپیوتری مورد استفاده در خانه‌های هوشمند ---------- **۱۰۸**

۳-۴-۱- سیستم مدیریت جامع ساختمان (BMS) ---------- ۱۰۸

۳-۴-۱-۱- اجزای BMS ---------- ۱۰۹

۳-۴-۱-۱-۱- حسگرها ---------- ۱۰۹

۳-۴-۱-۱-۲- کنترلرها ---------- ۱۱۰

۳-۴-۱-۱-۳- عملگرها ---------- ۱۱۱

Ahwaz_Hackerz

۳-۴-۱-۲- نقش سیستم BMS در بهینه‌سازی مصرف انرژی ---------- ۱۱۱
۳-۴-۱-۳- مزایای استفاده از BMS ---------- ۱۱۱
۳-۴-۱-۴- BMS در کشورهای پیشرفته ---------- ۱۱۴
۳-۴-۱-۵- BMS در ایران ---------- ۱۱۶
۳-۴-۲- سیستم خودکارسازی خانه ---------- ۱۱۷
۳-۴-۲-۱- مزایای خانه‌های خودکار ---------- ۱۱۷
۳-۴-۲-۲- بخش‌های قابل کنترل در خانه به‌صورت خودکار ---------- ۱۱۷
۳-۴-۳- سیستم مدیریت انرژی خانه ---------- ۱۱۸
۳-۴-۴- سیستم پایش مصرف ---------- ۱۲۰
۳-۴-۴-۱ سیستم پایش محسوس ---------- ۱۲۰
۳-۴-۴-۲- سیستم پایش نامحسوس ---------- ۱۲۰
۳-۴-۴-۲-۱- مزایای سیستم پایش نامحسوس ---------- ۱۲۲
۳-۴-۴-۲-۲- چالش‌های مربوط به سیستم پایش نامحسوس ---------- ۱۲۲
۳-۵- مزایا و چالش‌های پیش روی خانه‌های هوشمند ---------- ۱۲۳
۳-۵-۱- مزایای خانه‌های هوشمند ---------- ۱۲۳
۳-۵-۲- چالش‌های پیش روی خانه‌های هوشمند ---------- ۱۲۴
۳-۶- جمع‌بندی ---------- ۱۲۴
منابع و مراجع ---------- ۱۲۵

فصل چهارم: خودروهای برقی ---------- ۱۲۹
۴-۱- مقدمه ---------- ۱۲۹
۴-۲- روند تحولات خودروهای برقی ---------- ۱۳۰
۴-۳- انواع خودروهای برقی هیبرید (HEV) ---------- ۱۳۳
۴-۳-۱- خودروی برقی هیبرید سری (Series HEV) ---------- ۱۳۹
۴-۳-۲- خودروی برقی هیبرید موازی (Parallel HEV) ---------- ۱۴۰
۴-۳-۳- خودروی برقی هیبرید سری- موازی (Dual Mode HEV) ---------- ۱۴۲
۴-۴- خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه (PHEV) ---------- ۱۴۴
۴-۴-۱- حالات عملکردی PHEV ---------- ۱۴۶
۴-۴-۲- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری ---------- ۱۴۷
۴-۴-۳- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه موازی ---------- ۱۴۸

Ahwaz_Hackerz

۴-۴-۴- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری- موازی ---------- ۱۵۰
۴-۵- خودروهای هیدروژنی (پیل سوختی FCV) ---------- ۱۵۱
۴-۶- V2G & G2V ---------- ۱۵۳
۴-۶-۱- سرویس‌های V2G ---------- ۱۵۶
۴-۶-۲- خودروهای برقی و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها در سیستم قدرت ---------- ۱۵۷
۴-۶-۳- زیرساخت‌های موردنیاز برای پیاده‌سازی V2G ---------- ۱۵۸
۴-۶-۳-۱- شبکه ---------- ۱۵۹
۴-۶-۳-۲- سیم‌کشی ---------- ۱۵۹
۴-۶-۳-۳- واسط خودرو و شبکه ---------- ۱۶۰
۴-۶-۳-۴- شبکه مخابراتی- کنترلی ---------- ۱۶۰
۴-۶-۳-۵- تجهیزات دیگر خودرو ---------- ۱۶۴
۴-۶-۴- نقش خودروی برقی بر محیط شبکه هوشمند ---------- ۱۶۵
۴-۶-۵- پارامتر SOC ---------- ۱۶۷
۴-۶-۶- اضافه کردن ابرخازن (Super Capacitor) به باتری ---------- ۱۷۰
۴-۶-۷- راه‌حل‌های موجود برای استفاده از V2G ---------- ۱۷۰
۴-۷- نحوه‌ی اتصال خودروهای برقی به شبکه ---------- ۱۷۱
۴-۷-۱- اتصال فیزیکی به شبکه (اتصال به‌صورت جامد- جامد) ---------- ۱۷۱
۴-۷-۲- اتصال بدون سیم به شبکه ---------- ۱۷۲
۴-۸- کاربردهای خودروی برقی در بهره‌برداری از سیستم قدرت ---------- ۱۷۲
۴-۸-۱- تنظیم فرکانس ---------- ۱۷۳
۴-۸-۲- تنظیم ولتاژ ---------- ۱۷۴
۴-۸-۳- پیک‌سایی ---------- ۱۷۵
۴-۸-۴- هموارسازی پروفیل بار ---------- ۱۷۶
۴-۸-۵- پشتیبان منبع (Supply Support) ---------- ۱۷۶
۴-۸-۶- رزرو چرخان شبکه ---------- ۱۷۷
۴-۸-۷- تولید ایزوله برق ---------- ۱۷۸
۴-۹- نهاد گردآورنده (Aggregator) ---------- ۱۷۸
۴-۱۰- جمع‌بندی ---------- ۱۷۹
منابع و مراجع ---------- ۱۸۱

Ahwaz_Hackerz

فصل پنجم: پاسخگویی تقاضا ---------- ۱۸۵
۵-۱- مقدمه ---------- ۱۸۵
۵-۲- مفاهیم و اهداف پاسخگویی تقاضا ---------- ۱۸۵
۵-۲-۱- تعریف پاسخگویی تقاضا ---------- ۱۸۶
۵-۲-۲- دسته‌بندی مشترکین ---------- ۱۸۷
۵-۲-۳- انگیزه‌های اجرای برنامه‌ی پاسخگویی تقاضا ---------- ۱۸۹
۵-۲-۴- تفاوت پاسخگویی تقاضا و مدیریت سمت تقاضا ---------- ۱۹۱
۵-۲-۵- مزایای پاسخگویی تقاضا ---------- ۱۹۳
۵-۲-۵-۱- مزایای مصرف کنندگان ---------- ۱۹۴
۵-۲-۵-۱-۱- مزایای اقتصادی ---------- ۱۹۴
۵-۲-۵-۱-۲- مزایای قابلیت اطمینان ---------- ۱۹۵
۵-۲-۵-۲- مزایای پاسخگویی تقاضا از دید شبکه ---------- ۱۹۵
۵-۲-۵-۲-۱- عملکرد سیستم ---------- ۱۹۵
۵-۲-۵-۲-۲- بازده بازار ---------- ۱۹۷
۵-۲-۵-۲-۳- تأثیرات کوتاه مدت بر بازار ---------- ۱۹۷
۵-۲-۵-۲-۴- تأثیرات بلند مدت بر بازار ---------- ۱۹۸
۵-۲-۵-۲-۵- مزایای قابلیت اطمینان ---------- ۲۰۰
۵-۲-۵-۲-۶- صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای ---------- ۲۰۱
۵-۲-۵-۳- مزایای اضافی به دست آمده توسط پاسخگویی تقاضا ---------- ۲۰۱
۵-۳- انواع روش‌های پاسخگویی تقاضا ---------- ۲۰۳
۵-۳-۱- پاسخگویی تقاضا بر مبنای تشویق ---------- ۲۰۵
۵-۳-۱-۱- کنترل مستقیم بار ---------- ۲۰۷
۵-۳-۱-۲- نرخ‌های قابل قطع/ قابل محدود کردن ---------- ۲۰۹
۵-۳-۱-۳- برنامه‌های پاسخگویی تقاضا اضطراری ---------- ۲۱۰
۵-۳-۱-۴- برنامه‌های بازار- ظرفیت ---------- ۲۱۲
۵-۳-۱-۵- برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا/ خرید قبلی ---------- ۲۱۳
۵-۳-۱-۶- برنامه‌های بازار خدمات جانبی ---------- ۲۱۴
۵-۳-۲- پاسخگویی تقاضا بر مبنای قیمت (نرخ‌های زمان- مبنا) ---------- ۲۱۶
۵-۳-۲-۱- قیمت‌گذاری زمان مصرف ---------- ۲۱۸

Ahwaz_Hackerz

۵-۳-۲-۲- قیمت‌گذاری اوج بحرانی ---------- ۲۲۰
۵-۳-۲-۳- قیمت‌گذاری لحظه‌ای ---------- ۲۲۲
۵-۳-۲-۳-۱- قیمت‌گذاری لحظه‌ای یک روز قبل (DA-RTP) ---------- ۲۲۴
۵-۳-۲-۳-۲- قیمت‌گذاری لحظه‌ای دو بخشی ---------- ۲۲۴
۵-۳-۲-۳-۳- قیمت‌گذاری لحظه‌ای اجباری ---------- ۲۲۵
۵-۴- نقش پاسخگویی تقاضا در بازارهای عمده‌فروشی و خرده‌فروشی ------ ۲۲۷
۵-۵- هزینه‌های پاسخگویی تقاضا ---------- ۲۲۸
۵-۶- اندازه‌گیری پاسخگویی تقاضا ---------- ۲۳۰
۵-۷- معماری پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۳۲
۵-۷-۱- نیازهای هوشمندسازی شبکه ---------- ۲۳۲
۵-۷-۲- پیاده‌سازی برنامه پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۳۳
۵-۷-۲-۱- زیرساخت پاسخ‌گویی تقاضا برای خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه ---------- ۲۳۴
۵-۷-۳- توانمندسازی تکنولوژی‌های هوشمند به‌منظور برنامه پاسخ‌گویی تقاضا ---- ۲۳۵
۵-۷-۳-۱- زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته ---------- ۲۳۶
۵-۷-۳-۲- بستر مخابراتی ---------- ۲۳۶
۵-۷-۴- سیستم مخابراتی ---------- ۲۳۷
۵-۷-۴-۱- سیستم مخابراتی بدون سیم ---------- ۲۳۷
۵-۷-۴-۲- سیستم مخابرات باسیم ---------- ۲۳۷
۵-۷-۴-۳ پایگاه‌های داده و سیستم‌های مدیریت اطلاعات ---------- ۲۳۹
۵-۷-۴-۴- سازوکار لازم برای مشارکت سمت مصرف در بازار برق -------- ۲۳۹
۵-۷-۴-۵- موتور پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۳۹
۵-۷-۵- ادوات کنترلی برای برنامه پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۴۰
۵-۷-۶- نیازهای هوشمندسازی مشترکان ---------- ۲۴۱
۵-۷-۷- مشترکان یا منابع پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۴۲
۵-۷-۸- ارائه کنندگان خدمات پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۴۳
۵-۷-۹- نقش سیستم پاسخ‌گویی خودکار تقاضا در پیاده‌سازی شبکه هوشمند ---- ۲۴۴
۵-۸- چالش‌های پیش روی اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا ---------- ۲۴۶
۵-۸-۱- چالش‌های اقتصادی ---------- ۲۴۶
۵-۸-۲- چالش‌های سازمانی ---------- ۲۴۷

Ahwaz_Hackerz

۵-۸-۳- چالش‌های فنی ---------- ۲۴۷
۵-۸-۴- پشت سر گذاشتن چالش‌ها ---------- ۲۴۸
۵-۹- بررسی برنامه‌های پاسخگویی تقاضا در چند سیستم قدرت جهان ----- ۲۴۸
۵-۹-۱- برنامه‌های پاسخگویی تقاضا در NYISO ---------- ۲۴۹
۵-۹-۱-۱- برنامه‌هایی مبتنی بر قابلیت اطمینان ---------- ۲۴۹
۵-۹-۱-۲- برنامه‌های اقتصادی ---------- ۲۵۰
۵-۹-۲- بررسی پاسخگویی تقاضا در بازار New England ---------- ۲۵۰
۵-۹-۲-۱- برنامه‌ی پاسخگویی تقاضای زمان حقیقی ---------- ۲۵۱
۵-۹-۲-۲- برنامه‌ی پاسخگویی قیمت حقیقی ---------- ۲۵۱
۵-۹-۲-۳- قطع بار ---------- ۲۵۱
۵-۱۰- مدل‌های قابل اجرای برنامه‌های پاسخگویی تقاضا در شبکه‌ی هوشمند ایـران ----------
۲۵۲
۵-۱۰-۱- برنامه‌های پاسخگویی زمان استفاده (TOU) ---------- ۲۵۲
۵-۱۰-۲- برنامه‌های قیمت‌گذاری لحظه‌ای (RTP) ---------- ۲۵۳
۵-۱۰-۳- برنامه‌های قیمت‌گذاری زمان اوج بحرانی (CPP) ---------- ۲۵۳
۵-۱۰-۴- قطع بار ---------- ۲۵۳
۵-۱۱- جمع‌بندی ---------- ۲۵۴
منابع و مراجع ---------- ۲۵۴

فصل ششم: واحد اندازه‌گیری فازور (PMU) ---------- ۲۶۱
۶-۱- مقدمه ---------- ۲۶۱
۶-۲- WAMPAC ---------- ۲۶۳
۶-۲-۱- حالات بهره‌برداری سیستم قدرت ---------- ۲۶۳
۶-۲-۲- روش‌های کنترل ---------- ۲۶۴
۶-۲-۳- تعریف WAMPAC ---------- ۲۶۷
۶-۲-۴- اجزاء WAMPAC ---------- ۲۶۷
۶-۲-۵- کاربردهای WAMPAC ---------- ۲۶۸
۶-۲-۵-۱- پایش شبکه ---------- ۲۶۸
۶-۲-۵-۲- کنترل شبکه ---------- ۲۶۹
۶-۲-۵-۳- حفاظت شبکه ---------- ۲۶۹

Ahwaz_Hackerz

۶-۲-۵-۴- تحلیل اغتشاشات توسط WAMPAC ---------- ۲۷۰
۶-۲-۵-۵- بازیابی شبکه ---------- ۲۷۰
۶-۲-۵-۶- میراسازی نوسانات بین منطقه‌ای ---------- ۲۷۰
۶-۲-۶- الزامات امنیتی در WAMPAC ---------- ۲۷۰
۶-۳- واحد اندازه‌گیری فازور (PMU) ---------- ۲۷۲
۶-۳-۱- مقایسه با سیستم‌های اندازه‌گیری سنتی ---------- ۲۷۲
۶-۳-۲- مبانی ---------- ۲۷۴
۶-۳-۳- ساختار PMU ---------- ۲۷۵
۶-۳-۴- شبکه‌ی Synchrophasor ---------- ۲۷۶
۶-۳-۴-۱- PDC ---------- ۲۷۶
۶-۳-۴-۲- پروتکل ---------- ۲۷۷
۶-۳-۴-۳- ساختار شبکه ---------- ۲۷۷
۶-۳-۵- داده‌ی PMU ---------- ۲۷۸
۶-۳-۵-۱- ساختار داده‌ی PMU ---------- ۲۷۸
۶-۳-۵-۲- جهت انتقال داده ---------- ۲۷۸
۶-۳-۵-۳- ذخیره‌سازی ---------- ۲۷۹
۶-۴- جمع‌بندی ---------- ۲۷۹
منابع و مراجع ---------- ۲۸۰

فصل هفتم: تولید پراکنده انعطاف‌پذیر (FDG) ---------- ۲۸۳
۷-۱- مقدمه ---------- ۲۸۳
۷-۲- مشکلات سیستم‌های توزیع ---------- ۲۸۵
۷-۲-۱- از دید شبکه ---------- ۲۸۶
۷-۲-۲- از دید مصرف کننده ---------- ۲۸۷
۷-۲-۳- راه‌حل‌ها ---------- ۲۹۲
۷-۳- انواع CUPS ---------- ۲۹۳
۷-۳-۱- جبرانساز ایستا توزیع شده (D-STATCOM) ---------- ۲۹۴
۷-۳-۲- بازیاب ولتاژ پویا (DVR) ---------- ۲۹۵
۷-۳-۳- بهساز یکپارچه کیفیت توان (UPQC) ---------- ۲۹۷
۷-۳-۴-کلید ترانسفورمری حالت جامد (SSTS) ---------- ۲۹۸

Ahwaz_Hackerz

۷-۴- ترکیب تولید پراکنده با مبدل‌ها ---------- ۳۰۰
۷-۵- انواع توپولوژی‌های FDG ---------- ۳۰۵
۷-۵-۱- اتصال سری ---------- ۳۰۵
۷-۵-۲- اتصال موازی ---------- ۳۰۶
۷-۵-۳- اتصال سری- موازی ---------- ۳۰۷
۷-۶- نحوه عملکرد FDG سری و موازی ---------- ۳۰۸
۷-۶-۱- شمای کلی کنترلی یک FDG موازی ---------- ۳۰۸
۷-۶-۱-۱- نحوه اجرا در قاب مرجع سنکرون ---------- ۳۱۰
۷-۶-۲- شمای کلی کنترلی یک FDG سری ---------- ۳۱۵
۷-۶-۲-۱- روش کنترلی ---------- ۳۱۶
۷-۷- جمع‌بندی ---------- ۳۱۸
منابع و مراجع ---------- ۳۱۸

فصل هشتم: مقدمه‌ای بر ریز شبکه ---------- ۳۲۳
۸-۱- مقدمه ---------- ۳۲۳
۸-۱-۱- تاریخچه تشکیل ریزشبکه ---------- ۳۲۵
۸-۲- تعریف ریزشبکه ---------- ۳۲۷
۸-۲-۱- ساختار ریزشبکه ---------- ۳۲۹
۸-۲-۲- عناصر موجود در یک ریزشبکه ---------- ۳۲۹
۸-۲-۲-۱- منابع توان ---------- ۳۲۹
۸-۲-۲-۲- منابع ذخیره‌ساز انرژی (ESS) ---------- ۳۳۱
۸-۲-۲-۲-۱- انواع رویکرد کاربرد ESS در ریزشبکه ---------- ۳۳۶
۸-۲-۲-۲-۲- ذخیره‌ساز ترکیبی (CESS) ---------- ۳۳۶
۸-۲-۲-۳- بارهای ریزشبکه ---------- ۳۳۶
۸-۲-۳- سیستم‌های کنترلی موجود در ریزشبکه‌ها ---------- ۳۳۹
۸-۲-۳-۱ حالت‌های عملکرد ریزشبکه ---------- ۳۳۹
۸-۲-۴- تفاوت‌های موجود بین ریزشبکه و شبکه‌های قدیمی ---------- ۳۴۱
۸-۲-۵- انواع ریز شبکه ---------- ۳۴۲
۸-۲-۶- مزایای ریز شبکه‌ها و مشکلات پیش روی اجرای آن‌ها ---------- ۳۴۴
۸-۲-۶-۱- مزایای فنی ریزشبکه ---------- ۳۴۴

Ahwaz_Hackerz

۸-۲-۶-۲- مزایای اقتصادی ریزشبکه ---------- ۳۴۶
۸-۳- ریزشبکه‌ی نمونه ---------- ۳۴۸
۸-۳-۱- کنترل کننده‌ی ریز منبع (MC) ---------- ۳۴۹
۸-۳-۲- کنترل کننده‌ی مرکزی (CC) ---------- ۳۵۰
۸-۳-۲-۱- وظایف CC در حالت متصل به شبکه ---------- ۳۵۰
۸-۳-۲-۲- وظائف کنترل کننده‌ی مرکزی در حالت مستقل از شبکه ----- ۳۵۲
۸-۳-۲-۳- ماژول‌های کنترل کننده‌های مرکزی ---------- ۳۵۳
۸-۳-۳- کارکرد MCها ---------- ۳۵۴
۸-۳-۴- روش‌های کنترلی برای تولید پراکنده در ریزشبکه ---------- ۳۵۵
۸-۳-۵- استراتژی‌های کنترلی یک ریزشبکه ---------- ۳۵۶
۸-۳-۵-۱- روش‌های کنترلی مبدل الکترونیک قدرت ---------- ۳۵۶
۸-۳-۵-۱-۱-کنترلر توان اکتیو و راکتیو (PQ controller): ---------- ۳۵۶
۸-۳-۵-۱-۲- کنترلر ولتاژ و فرکانس (VSI controller): ---------- ۳۵۹
۸-۳-۵-۲- استراتژی‌های کنترلی مدیریت توان بین منابع تولید ---------- ۳۵۸
۸-۳-۵-۲-۱- کنترل متمرکز تحت نظارت مرکز کنترل ریز شبکه -------- ۳۵۹
۸-۳-۵-۲-۲- کنترل غیرمتمرکز ---------- ۳۶۱
۸-۳-۶- کنترل بار در ریزشبکه‌ها ---------- ۳۶۳
۸-۴- مشکلات و محدودیت‌های ریزشبکه ---------- ۳۶۳
۸-۵- Micro- CHP ---------- ۳۶۵
۸-۵-۱- کاربردهای Micro-CHP ---------- ۳۶۷
۸-۵-۲- فناوری‌های Micro-CHP ---------- ۳۶۷
۸-۶- انواع ریزشبکه‌ها ---------- ۳۶۸
۸-۷- گرایش‌های خاص و جدید ---------- ۳۷۱
۸-۷-۱- ترکیب مبدل منابع ---------- ۳۷۱
۸-۷-۲- مبدل‌های چند ورودی MIC ---------- ۳۷۲
۸-۷-۳- ریزشبکه‌های ترکیبی و به هم پیوسته ---------- ۳۷۳
۸-۸- نمونه‌های اجرا شده ---------- ۳۷۴
۸-۸-۱- ریزشبکه UCSD ---------- ۳۷۵
۸-۸-۲- ریزشبکه Hachinohe ---------- ۳۷۵
۸-۸-۳- ریزشبکه Santa Rita Jail ---------- ۳۷۶

Ahwaz_Hackerz

۸-۹- جمع‌بندی ---------- ۳۷۶
منابع و مراجع ---------- ۳۷۷

فصل نهم: کنترل ریزشبکه‌ها ---------- ۳۸۱
۹-۱- مقدمه ---------- ۳۸۱
۹-۱-۱- کنترل متمرکز ---------- ۳۸۱
۹-۱-۲- کنترل نامتمرکز ---------- ۳۸۴
۹-۱-۳- کنترل توزیع شده ---------- ۳۸۵
۹-۱-۳-۱- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر زیرسیستم‌ها ------- ۳۸۶
۹-۱-۳-۲- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر کنترل‌کننده‌ها ------ ۳۸۶
۹-۱-۳-۳- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر شاخص عملکرد ----- ۳۸۷
۹-۱-۴- کنترل سلسله مراتبی ---------- ۳۸۷
۹-۲- کنترل در ریزشبکه‌ها ---------- ۳۹۰
۹-۲-۱- استراتژی کنترلی در ریزشبکه ---------- ۳۹۰
۹-۲-۲- استراتژی‌های کنترلی مدیریت توان منبع ---------- ۳۹۰
۹-۲-۲-۱- کنترل متمرکز تحت نظارت کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه ---- ۳۹۱
۹-۲-۲-۱-۱- لینک مخابراتی ---------- ۳۹۱
۹-۲-۲-۱-۲- دسته‌بندی کنترل‌کننده مرکزی ---------- ۳۹۲
۹-۲-۲-۱-۳- مزایا و چالش‌های روش کنترل مرکزی ---------- ۳۹۳
۹-۲-۲-۲- کنترل غیرمتمرکز ریزشبکه ---------- ۳۹۴
۹-۲-۲-۲-۱- مزایا و چالش‌های روش کنترل غیرمتمرکز ---------- ۳۹۶
۹-۲-۲-۳- کنترل سلسله مراتبی ریزشبکه ---------- ۳۹۷
۹-۲-۳-۲-۱- کنترل اولیه ---------- ۳۹۸
۹-۲-۳-۲-۲- کنترل ثانویه ---------- ۳۹۸
۹-۲-۳-۲-۳- کنترل اثالثیه ---------- ۴۰۰
۹-۳- جمع‌بندی ---------- ۴۰۲
منابع و مراجع فصل ---------- ۴۰۲

فصل دهم: حفاظت در ریزشبکه‌ها ---------- ۴۰۵
۱۰-۱- مقدمه ---------- ۴۰۵

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۱-۱- رله‌های پرکاربرد ---------- ۴۰۶
۱۰-۱-۲ شاخص‌های یک سیستم حفاظت ---------- ۴۰۷
۱۰-۲- ویژگی‌های حفاظت در شبکه‌های سنتی و ریزشبکه‌ها ---------- ۴۰۸
۱۰-۳- مشکلات حفاظتی ریزشبکه‌ها ---------- ۴۰۸
۱۰-۳-۱- کاهش جریان خطا ---------- ۴۰۹
۱۰-۳-۲- حضور DGهای متصل شده به شبکه از طریق اینورتر ---------- ۴۱۲
۱۰-۳-۳- تغییر جریان خطا با تغییر مد عملکرد ریزشبکه ---------- ۴۱۲
۱۰-۳-۴- کاهش مدت زمان مجاز رفع خطا ---------- ۴۱۲
۱۰-۳-۵- قطع شدن اشتباه رله ---------- ۴۱۳
۱۰-۳-۶- تغییر توپولوژی ریز شبکه‌ها ---------- ۴۱۴
۱۰-۳-۷- کاهش برد رله‌های دیستانس ---------- ۴۱۴
۱۰-۳-۸- تأثیر توان دو جهته بر پروفیل ولتاژ خطا ---------- ۴۱۵
۱۰-۳-۹- جزیره‌ای شدن ریزشبکه‌ها و منابع تولید پراکنده ---------- ۴۱۷
۱۰-۳-۹-۱- جزیره‌ای شدن منابع تولید پراکنده ---------- ۴۱۷
۱۰-۴- الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب واحد تولید پراکنده در ریزشبکه از نظر حفاظتی ---------- ۴۲۳
۱۰-۵- طرح‌های حفاظتی در ریزشبکه‌ها ---------- ۴۲۳
۱۰-۵-۱- طرح حفاظتی بر مبنای رله‌های جریانی ---------- ۴۲۵
۱۰-۵-۲- طرح حفاظتی بر مبنای رله‌های ولتاژی ---------- ۴۲۸
۱۰-۵-۳- طرح حفاظتی بر مبنای مؤلفه‌های متقارن جریان ---------- ۴۲۸
۱۰-۵-۴- طرح حفاظتی بر مبنای سنجش مؤلفه‌های هارمونیکی ---------- ۴۲۸
۱۰-۵-۵- طرح حفاظتی با استفاده از رله‌های دیستانس ---------- ۴۲۹
۱۰-۶- حفاظت تطبیقی ---------- ۴۲۹
۱۰-۶-۱- لزوم استفاده از سیستم‌های تطبیقی ---------- ۴۳۰
۱۰-۶-۲- روند کلی حفاظت تطبیقی ---------- ۴۳۰
۱۰-۶-۲-۱- ناحیه‌بندی شبکه ---------- ۴۳۲
۱۰-۶-۲-۲- آنالیز اتصال کوتاه ---------- ۴۳۳
۱۰-۶-۲-۳- تشخیص خطا و نوع خطا ---------- ۴۳۴
۱۰-۶-۲-۴- تشخیص محل خطا ---------- ۴۳۶
۱۰-۶-۳- عملکرد Off-Line و On-Line در حفاظت تطبیقی ---------- ۴۳۷

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۶-۳-۱- عملکرد On-Line ---------- ۴۳۸
۱۰-۶-۳-۲- عملکرد Off-Line ---------- ۴۳۹
۱۰-۶-۳-۳- عملیات قفل جهتی ---------- ۴۴۲
۱۰-۶-۴- انواع طرح‌های حفاظتی تطبیقی ---------- ۴۴۴
۱۰-۶-۴-۱- سیستم حفاظتی بر مبنای اطلاعات محلی ---------- ۴۴۵
۱۰-۶-۴-۲- سیستم حفاظتی غیر محلی بر مبنای شبکه‌های الکتریکی هوشمند ---------- ۴۴۵
۱۰-۶-۴-۳- بر مبنای ترکیبی از حفاظت‌های محلی و نیز غیرمحلی ------ ۴۴۶
۱۰-۶-۵- نمونه‌ای از ساختار حفاظت تطبیقی بر مبنای حفاظت دیفرانسیل ------ ۴۴۷
۱۰-۷- حفاظت خودتطبیق ---------- ۴۵۰
۱۰-۸- حفاظت ضد جزیره‌ای شدن تولید پراکنده ---------- ۴۵۰
۱۰-۸-۱- حفاظت موضعی ضد جزیره‌ای برای تولید پراکنده ---------- ۴۵۱
۱۰-۸-۱-۱- رله فرکانسی ---------- ۴۵۲
۱۰-۸-۱-۲ نرخ تغییرات فرکانس ---------- ۴۵۳
۱۰-۸-۱-۳- رله جابجایی فاز ---------- ۴۵۴
۱۰-۹- روش‌های حفاظتی برای حل مشکل افزایش جریان خطا در حضور DG -- ۴۵۶
۱۰-۱۰- جمع‌بندی ---------- ۴۵۸
منابع و مراجع ---------- ۴۵۸

فصل یازدهم: شبکه‌های مخابراتی ---------- ۴۶۳
۱۱-۱- مقدمه ---------- ۴۶۳
۱۱-۲- شبکه ارتباطی دیجیتال ---------- ۴۶۴
۱۱-۲-۱- رادیو و تلویزیون ---------- ۴۶۴
۱۱-۲-۲- شبکه‌های کامپیوتری و اینترنت ---------- ۴۶۵
۱۱-۲-۲-۱- شبکه‌های کامپیوتری ساده و شبکه‌های متکی به سرور ------ ۴۶۶
۱۱-۲-۲-۲- انواع شبکه از دیدگاه کانال ارتباطی ---------- ۴۶۷
۱۱-۲-۲-۳- انواع شبکه‌های کامپیوتری برحسب اندازه‌ی شبکه ---------- ۴۶۷
۱۱-۲-۲-۴- انواع شبکه‌ی ارتباطی از دیدگاه فناوری انتقال ---------- ۴۶۹
۱۱-۲-۲-۵- تکنیک‌های سوئیچینگ ---------- ۴۷۰
۱۱-۲-۳- انواع فناوری‌های نوین مخابراتی ---------- ۴۷۱

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۲-۳-۱- فیبر نوری ---------- ۴۷۱
۱۱-۲-۳-۲- LTE ---------- ۴۷۲
۱۱-۲-۳-۳- رادیوی شناختگر ---------- ۴۷۲
۱۱-۲-۳-۴- سرویس‌ها و محاسبات ابری ---------- ۴۷۲
۱۱-۲-۳-۵- نسخه ششم پروتکل اینترنت (IPv6) ---------- ۴۷۳
۱۱-۲-۳-۶- فمتوسل ---------- ۴۷۳
۱۱-۳- شبکه مخابراتی برای شبکه هوشمند ---------- ۴۷۳
۱۱-۳-۱- خصوصیات ایده‌آل برای شبکه مخابراتی مناسب شبکه‌های هوشمند ---- ۴۷۳
۱۱-۳-۲- چالش‌های سیستم‌های مخابراتی ---------- ۴۷۴
۱۱-۳-۳- معیار انتخاب روش ارتباطی ---------- ۴۷۵
۱۱-۳-۴- انواع شبکه‌ها ---------- ۴۷۵
۱۱-۳-۴-۱- شبکه‌های دسترسی ---------- ۴۷۵
۱۱-۳-۴-۲- شبکه‌های توزیع ---------- ۴۷۶
۱۱-۳-۴-۳- شبکه‌های گسترده (WAN) ---------- ۴۷۶
۱۱-۳-۵- تکنولوژی ارتباطی موجود برای شبکه‌های هوشمند ---------- ۴۷۷
۱۱-۳-۵-۱- ZigBee ---------- ۴۸۰
۱۱-۳-۵-۱-۱- مزایا ---------- ۴۸۰
۱۱-۳-۵-۱-۲- مشکلات ---------- ۴۸۱
۱۱-۳-۵-۲- Ethernet ---------- ۴۸۱
۱۱-۳-۵-۲-۱ مزایا و معایب ---------- ۴۸۲
۱۱-۳-۵-۳- LAN بی‌سیم ---------- ۴۸۲
۱۱-۳-۵-۴- Bluetooth ---------- ۴۸۳
۱۱-۳-۵-۵- WiMax ---------- ۴۸۳
۱۱-۳-۵-۶- ارتباطات سیار ---------- ۴۸۴
۱۱-۳-۵-۷- MPLS ---------- ۴۸۵
۱۱-۳-۵-۸- Wireless Mesh ---------- ۴۸۶
۱۱-۳-۵-۹- ارتباطات شبکه‌ی سلولی ---------- ۴۸۶
۱۱-۳-۵-۹-۱- مزایا ---------- ۴۸۸
۱۱-۳-۵-۹-۲- معایب ---------- ۴۸۹
۱۱-۳-۵-۱۰- PLC ---------- ۴۸۹
۱۱-۳-۵-۱۰-۱- مزایا ---------- ۴۹۰

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۳-۵-۱۰-۲- معایب ---------- ۴۹۰
۱۱-۳-۵-۱۱- DSL ---------- ۴۹۱
۱۱-۳-۵-۱۱-۱- مزایا ---------- ۴۹۱
۱۱-۳-۵-۱۱-۲- معایب ---------- ۴۹۱
۱۱-۳-۶- مقایسه تکنولوژی‌های مخابراتی ---------- ۴۹۲
۱۱-۴- فناوری‌های مخابراتی WAN ---------- ۴۹۳
۱۱-۴-۱- کاربردها ---------- ۴۹۳
۱۱-۴-۲- ادوات WAN ---------- ۴۹۴
۱۱-۴-۳- استانداردهای WAN ---------- ۴۹۴
۱۱-۵- فناوری‌های HAN ---------- ۴۹۴
۱۱-۵-۱- مزایای HAN ---------- ۴۹۵
۱۱-۵-۲- چالش‌ها ---------- ۴۹۶
۱۱-۶- جمع‌بندی ---------- ۴۹۶
منابع و مراجع ---------- ۴۹۷

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ---------- ۵۰۱
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ---------- ۵۴۳
نمایه ---------- ۵۸۳

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۱ مقدمه‌ای بر شبکه‌های هوشمند

۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱- جهت‌گیری

امروزه در صنعت برق در سطح دنیا با مسائلی همچون افزایش تقاضای انرژی، افزایش رقابت در بازار برق و کمبود منابع مالی مواجه هستیم. با توجه به این شرایط شبکه قدرت با مشکلات جدیدی مواجه می‌شود. به چند نمونه از این مشکلات در ادامه اشاره شده است:

- ❖ بهره‌برداری از سیستم قدرت در حد مرز حرارتی دینامیکی-گذرا صورت می‌گیرد.
- ❖ کیفیت سرویس‌دهی پایین آمده است و حتی در کشورهای توسعه یافته با خاموشی‌های سراسری مواجه هستیم.
- ❖ امنیت شبکه پایین آمده در صورتی که سیستم باید بتواند شرایط عادی و شرایط اغتشاشی را تحمل کند.

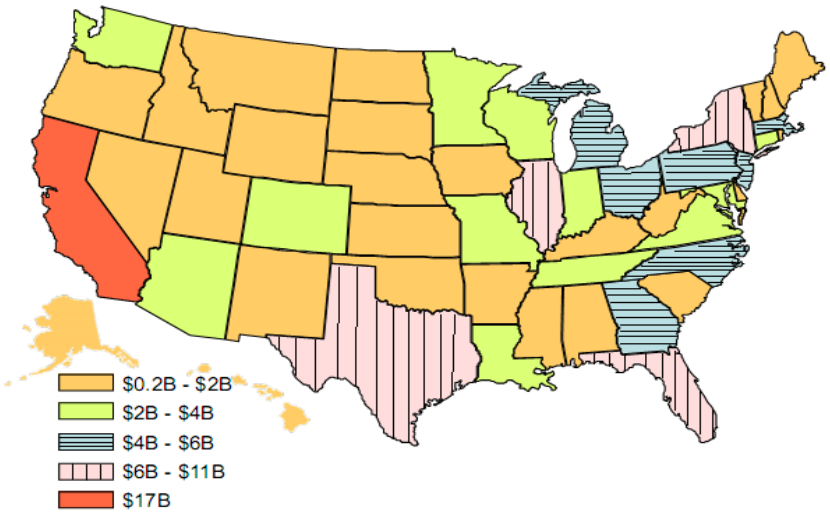
بر طبق مطالعات انجام شده (شکل ۱-۱)، در کل جهان سالانه تا ۱۳۵ میلیارد دلار به دلیل قطعی‌های برق ضرر به شبکه‌های برق تحمیل می‌شود [۱].

با توجه به مشکلات بیان شده، نیاز به یک شبکه برق کارآمدتر در شرایط کنونی حس می‌شود. این نکته در مفهومی به عنوان " شبکه هوشمند[1]" گنجانده می‌شود. شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین فنّاوری‌های روز دنیا و حاصل سعی و تلاش متخصصین، جهت مدرن کردن شبکه‌های توزیع است. اصلی‌ترین هدف این شبکه‌ها، تأمین برق مطمئن، بالا رفتن ضریب اطمینان، پایداری شبکه و پاسخ‌گویی به نیازهای رو به رشد مشتریان با

1- Smart Grid

Ahwaz_Hackerz

کمترین خسارت به محیط‌زیست، سود و بازدهی بالا است.



شکل ۱-۱: سالانه تا ۱۳۵ بیلیون دلار ضرر به شبکه‌های برق به دلیل قطعی‌های برق [۱].

در شبکه هوشمند نه تنها داده‌ها به صورت دو سویه از شبکه به مشترک و بالعکس منتقل می‌گردد، بلکه جریان انرژی نیز دو سویه است و شبکه می‌تواند بالقوه متشکل از هزاران تولیدکننده و فروشنده خرد برق[۱] باشد. این فروشندگان از طریق منابع تجدید پذیر انرژی (RES[۲]) مانند سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی، زمین گرمایی و یا از طریق ذخیره انرژی در ساعات و ایام کم‌بار (و البته ارزان) و فروش آن در ساعات پربار (و صد البته گران) وارد بازار خرده‌فروشی برق شوند. لذا در شبکه هوشمند با دو شبکه جدید آشنا می‌شویم:

- ریزشبکه توزیع برق[۳]
- شرکت توزیع برق مجازی[۴] (و یا بازار مجازی برق[۱])

1- Electricity Retailer
2- Reusable Energy Sources
3- Microgrids
4-Virtual Utility

Ahwaz_Hackerz

مفهوم ریزشبکه به طور مفصل در فصل‌های آینده کتاب بررسی خواهد شد. بازار مجازی برق در واقع مفهومی مشابه مدل اینترنتی است که در آن انرژی از هر منبعی صرف‌نظر از شیوه تولید، ژنراتورهای سنتی و یا منابع تجدید پذیر انرژی، عرضه و در هر نقطه دلخواهی در شبکه به مصرف می‌رسد. بدیهی است تحقق چنین آرمانی بدون بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته اطلاعات و ارتباطات (ICT[۲]) میسر نمی‌گردد.

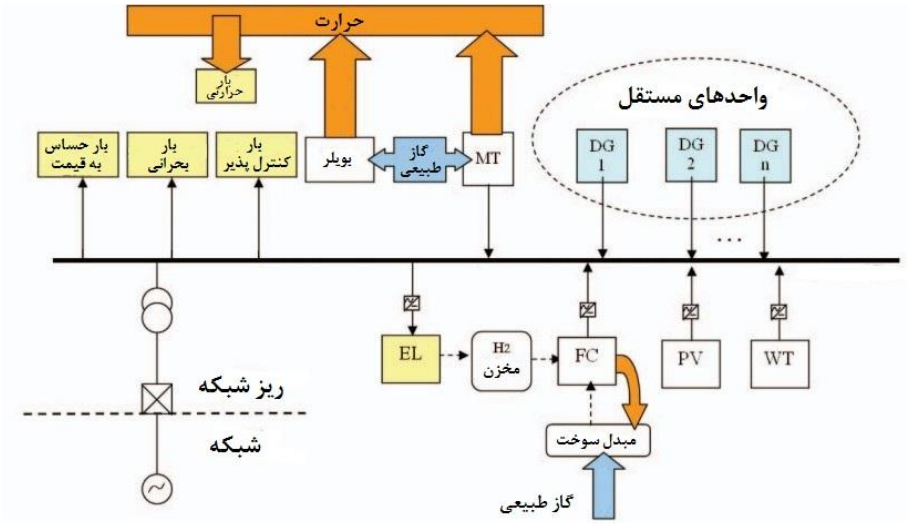
برای اثبات عملی بودن این فنّاوری، اولین شبکه هوشمند جهان در مارس ۲۰۰۸ معرفی گردید و شهر *بالدر* ایالت کلرادو آمریکا موفق به دریافت عنوان اولین شهر با شبکه توزیع برق هوشمند گردید. هدف طراحان با به‌کارگیری فنّاوری هوشمند، سه محور مشترکین، تجهیزات و ارتباطات است. فنّاوری هوشمند توانایی ایجاد تغییرات اساسی در تولید، انتقال، توزیع و استفاده از انرژی الکتریکی به همراه منافع اقتصادی و محیطی را دارد که درنهایت به برآورده نمودن نیازهای مشترکین و در دسترس بودن برق مطمئن و پایدار ختم می‌شود. از طرف دیگر سیستم می‌تواند با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مواقع بحرانی، تصمیم‌گیری نماید و از خاموشی‌های ناخواسته جلوگیری به عمل آورد. نمای نمونه‌ای از یک شبکه هوشمند در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.

در حال حاضر فناوری‌هایی وجود دارند که می‌توانند در تحقق شبکه‌های هوشمند به کار گرفته شوند. از جمله این فناوری‌ها عبارت‌اند از:

- توسعه شبکه‌های مخابراتی (با راه‌حل‌های اقتصادی‌تر)
- پیشرفت در IT[۳].
- امکان یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده (DER (Distributed Energy Resourses، شامل تولیدات پراکنده DG[۴] و ذخیره‌سازها.

1-Virtual Electricity Market
2- Information and Communication Technology
3- Information Technology
4- Distributed Generation

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱-۲: نمایی از یک شبکه هوشمند در آینده [۲].

با توجه به فناوری‌های موجود، به دنبال یک شبکه کارآمد هستیم که بتوانیم به رفتاری هوشمند از شبکه همانند یک انسان دست پیدا کنیم. برای نیل به هدف ذکرشده، در ابتدا باید خصوصیات انسان هوشمند بررسی شود، تا در مقایسه با آن خصوصیات یک شبکه هوشمند برق به دست آید. نتیجه این مقایسه در جدول ۱-۱ آورده شده است.

۱-۱-۲- تعریف شبکه هوشمند

تعاریف مختلفی برای شبکه هوشمند تا به حال ارائه شده است ولی در مجموع همگی بیانگر یک مفهوم هستند. در ادامه به برخی از این تعاریف اشاره می‌شود:

❖ Network of networks (شبکه‌ای از شبکه‌ها)

این مورد به این مطلب اشاره دارد که شبکه هوشمند دارای زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های کوچک‌تر مثل شبکه مخابراتی، شبکه IT و شبکه کنترلی است.

Ahwaz_Hackerz

جدول ۱-۱: مقایسه خصوصیات شبکه هوشمند با انسان.

خصوصیات انسان هوشمند	مشابه آن در شبکه هوشمند	هدف	توسط
حس‌های پنج‌گانه	تجهیزات اندازه‌گیری و سنسورها	اندازه‌گیری پارامترها	CT[۱]ها و VT[۲]ها و PMU[۳]ها و ... وسایل اندازه‌گیری هوشمند دما و فشار و ...
شبکه عصبی	شبکه مخابراتی	انتقال داده‌ها	شبکه فیبر نوری، PLC[۴]، سیستم AMI[۵]، شبکه خانگی HAN:home area network)، ...
مغز	سیستم کنترل	تجزیه و تحلیل اطلاعات و ارسال فرمان	توسط سیستم مدیریت ریزشبکه، توسط برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا و حل مسئله با در نظرگیری قیود OPF[۶]، بهینه‌سازی ولتاژ و توان راکتیو، بازیابی سیستم AGC[۷] و میراسازی نوسانات و ...
ماهیچه	تجهیزات اتوماسیون و عملگرها "Actuator"	اجرای فرمان‌ها برای تأثیرگذاری بر سیستم	توسط DGها، خطوط HVDC[۸]، ادوات FACTS[۹]، سیستم‌های ذخیره کننده انرژی ESS[۱۰]، کلیدهای بازبست مجدد، کلیدهای خودکار و ...

1- Current Transformer
2- Voltage Transformet
3- Phasor Measurement Unit
4- Power Line Communication
5- Advanced Metering Infrustructure
6- Optimal Power Flow
7- Automatic Generation Control
8- High Voltage Direct Current
9- Flexible Alternating Current Transmission System
10- Energy Storage System

Ahwaz_Hackerz

❖ Using megabytes of data to move megawatts of power

استفاده از مگابایت داده‌ها برای جابه‌جایی مگاوات قدرت

- ❖ IEEE شبکه هوشمند را به صورت سیستم‌های تولید توان در آینده توصیف می‌کند که بیانگر افزایش استفاده از فنّاوری ارتباطات و اطلاعات در تولید، عرضه و مصرف انرژی الکتریکی است [۱۵].
- ❖ شبکه هوشمند را می‌توان به صورت اجتماع شبکه‌های ارتباطی با سیستم قدرت به منظور ایجاد مسیر مناسب انرژی الکتریکی و اطلاعات بیان کرد.
- ❖ شبکه هوشمند از یک سیستم یکپارچه برای ارائه سرویس‌های مخابراتی تشکیل شده و قادر است انواع مختلفی از سرویس‌های جدید را در حداقل زمان به مشتریان ارائه کند. این مسئله امروزه یکی از اهداف شبکه‌های مخابراتی است.
- ❖ شبکه هوشمند از چند عنصر فیزیکی مثل مرکز کنترل سرویس، مرکز سوئیچینگ سرویس، نقطه ایجاد سرویس و مرکز مدیریت سرویس تشکیل یافته که تجهیزات هرکدام در داخل سایت‌های شبکه نصب می‌شوند.
- ❖ (کامل‌ترین تعریف) شبکه‌ای است که جریان دوسویه انرژی الکتریکی و اطلاعات را با ایجاد بستر مخابراتی با قابلیت‌های زیر دارد:
  - ➢ پایش
  - ➢ جمع‌آوری اطلاعات
  - ➢ پردازش اطلاعات
  - ➢ کنترل

و هدف آن افزایش بازده، کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان همراه با افزایش مقاوم بودن[1] و امنیت (امنیت اطلاعات و داده‌های شبکه IT، نه امنیت سیستم قدرت) است.

هدف از ایجاد شبکه‌های هوشمند در موارد مختلف متفاوت است، برای مثال در ایالات متحده

1- Robustness

Ahwaz_Hackerz

امریکا هدف از پیاده‌سازی شبکه هوشمند، بالا بردن قابلیت اطمینـان، در اروپـا هـدف، مسـائل زیست محیطی و انرژی‌های تجدید پذیر، و در چین هدف، بهبود پایداری شبکه کـه منجـر بـه امنیت می‌شود (امنیت سیستم قدرت نه امنیت IT) است.

به طورکلی با پیاده‌سازی شبکه هوشمند، تغییرات بنیادی در ساختار شبکه فعلی ایجاد می‌شود که شامل موارد زیر است:

- ✓ شبکه‌ای با ضریب اطمینان بالا و داشتن امنیت ذاتی در کلیه سطوح
- ✓ کنترل غیرمتمرکز و فراگیر با استفاده گسترده از حسگرها و لوازم اندازه‌گیری
- ✓ ایجاد شبکه توزیع خودترمیم[1]
- ✓ شبکه توزیع نیروی برق کم‌هزینه[2]
- ✓ استفاده بهینه از دارایی‌های با ارزش با به کار گیری مفهوم پاسخ‌گویی تقاضا[3]
- ✓ توزیع غیر سلسله مراتبی تولید نیروی برق و بهره‌گیری از تولید پراکنـده نوعـاً توسـط مصرف‌کنندگان
- ✓ اتوماسیون گسترده و کاهش دخالت عامل انسانی
- ✓ شبکه توزیع نیروی برق دوستدار محیط زیست
- ✓ تجمیع و متنوع نمودن منابع انرژی
- ✓ مدیریت آلاینده‌ها و دی‌اکسید کربن

از دیگر ویژگی‌های شبکه‌های هوشمند می‌توان به مورد زیر اشاره کرد:

- ✓ زیرساخت اندازی گیری هوشمند[4] (AMI): نصب و راه‌اندازی سنسـورهای هوشـمند بر روی تمام عناصر کلیدی شبکه توزیع و برقراری شبکه ارتبـاط دو سـویه، ادغـام و هماهنگ‌سازی سامانه AMI با سایر نرم‌افزارهـای کـاربردی مرکـز خـدمات رسـانی مشترکین و سامانه‌ها و خدمات صوتی به مشترکین، نصب سیستم‌هـای نـرم‌افـزاری

1- Self Healing Grids
2- Economical Grids
3- Demand Response
4- Advanced Metering Infrastructure

Ahwaz_Hackerz

تشخیص خرابی بلادرنگ، تنظیم بار، قطع وصل جریان برق به صورت انبوه و درعین‌حال انتخابی، همسویی و ادغام با شبکه‌های کنترل بلادرنگ توزیع و فوق توزیع مانند SCADA[1] و تبادل اطلاعات در راستای تعامل کامل در شبکه از جمله فعالیت‌های اصلی جهت برپایی کامل شبکه توزیع هوشمند نیروی برق است. به کار گیری و خرید انرژی از تولیدکنندگان خرد نوعاً مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر و منابع ذخیره فراگیر (مانند انرژی ذخیره شده در خودروهای الکتریکی در ساعات اوج مصرف) و نیروگاه‌های ترکیبی و برقراری ارتباط دوسویه داده و انرژی با این تولیدکنندگان از مصادیق دیگر شبکه هوشمند خواهد بود.

۱-۱-۲-۱- موضوعات راهبردی شبکه برق در آینده

از جمله موضوعات راهبردی در شبکه برق در آینده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایجاد شبکه‌های هوشمند
- ایجاد شبکه‌های حمل و نقل برقی
- ایجاد ریزشبکه‌ها
- تولید دی‌اکسید کربن کمتر

۱-۱-۳- شهر هوشمند و شهر هوشمند انرژی

با توجه به این موضوع که شهر هوشمند متفاوت از شهر هوشمند انرژی است تعریف و ویژگی‌های هر کدام را بررسی می‌کنیم.

۱-۱-۳-۱- ویژگی‌های شهر هوشمند

تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت به ویژه در مناطق شهری و به دنبال آن کاهش منابع در

1- Supervisory Control and Data Acquisition

Ahwaz_Hackerz

دسترس شهرنشینان سبب شده در چند سال اخیر مفهومی جدید با نام شهر هوشمند در میان کشورهای مختلف مطرح شود. کاهش میزان انتشار دی‌اکسید کربن با هدف نجات زمین و جلوگیری از وقوع پیامدهای فزاینده زیست محیطی در کنار حفظ کیفیت زندگی افراد، به نظر کاری سخت و چالش برانگیز است که با راهکارهای فعلی نمی‌توان انتظار داشت موفقیت چندانی در این امر حاصل شود. بر اساس تعریف، شهر هوشمند شهری است که مطابق شکل ۱-۳ ویژگی‌های زیر را دارا باشد:

۱- حمل و نقل هوشمند: شامل هوشمندسازی تمامی مجموعه‌های حمل و نقل از جمله خودروهای برقی و چراغ‌های راهنمایی هوشمند و غیره.

۲- محیط زیست هوشمند: استفاده از محیط زیست به نحوه هوشمندانه با رعایت مسائل توسعه پایدار.

۳- اقتصاد هوشمند.

۴- زیرساخت هوشمند.

۵- تولید انرژی هوشمند (مثلاً تولید پراکنده).

۶- شهروندان هوشمند.

۷- روش زندگی هوشمند.

شکل ۱-۳ شهر هوشمند [۱۱].

Ahwaz_Hackerz

۸- مدیریت اداری هوشمند.

این هشت ویژگی برای پیاده‌سازی نیازمند تحقق پیش‌زمینه‌هایی است که شبکه برق هوشمند یکی از آن‌هاست. با هوشمندسازی شبکه برق فرصت‌هایی فراهم می‌شود که به نوعی زمینه‌ساز حرکت در راستای تمامی ابعاد بالا خواهد بود .جدول ۱-۲ آخرین آمار کشورهای پیشرو در زمینه شهر هوشمند را تا سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. شهر *یوکوهاما* با ۳/۷ میلیون نفر جمعیت، پروژه چندین شرکت بزرگ ژاپنی برای ارائه مدل کاملی از یک شهر هوشمند در دنیا است. این شرکت‌ها انتظار دارند پس از تکمیل این پروژه، مدل اجراشده، طرحی مناسب برای صادرات به سایر کشورهای علاقه‌مند به پروژه‌های شهر هوشمند باشد.

جدول ۱-۲: شهرهای هوشمند دنیا.

کشور	شهر	نام پروژه
هلند	آمستردام	Amsterdam Smart City
آمریکا	آستین-تگزاس	Pecan Street Project
آمریکا	بولدر-کلرادو	Smart Grid City
چین	چنگدو گونژو	The Smart City in China,Chengdu knowledge City, Guangzhou
آمریکا	دوبوک-آیوا	Smarter Sustainable Dubuque
امارت متحده	مسدر	Masdar City
پرتغال	پاردس	PlaniT Valley
برزیل	ریودوژانیرو	Rio Operations Center
اسپانیا	سانتاندر	Smart Santander
سنگاپور	سنگاپور	Traffic Management
کره جنوبی	سئول	Songdo lBD
ژاپن	یوکوهاما	Eco-Model Cities, Yokohama
ژاپن	فوجیساوا	Fujisawa Sustainable Smart Town(Fujisawa SST)

Ahwaz_Hackerz

۱-۱-۳-۲- شاخص‌ها، اهداف و قلمرو کاری محورهای شهر هوشمند

الف) اقتصاد هوشمند (Smart economy)

اقتصاد هوشمند به شهرهایی با صنایع هوشمند اشاره دارد که در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات فعالیت داشته و همچنین سایر صنایعی که فناوری اطلاعات و ارتباطات در فرآیندهای تولید ارتباطات آن‌ها جای دارد. معیارهای هوشمند بودن اقتصاد در جدول ۱-۳ آورده شده است.

اهداف:

- توسعه رقابت منطقه‌ای/جهانی
- دسترسی شهروندان به فرصت‌های کسب و کار
- کمک به حفظ جمعیت روستایی
- استفاده از ابزارهای الکترونیکی

قلمرو کاری:

- کاربرد کامپیوتر و اینترنت در مؤسسات
- میزان نفوذ اینترنت در تجارت الکترونیک
- ارتقاء مالی
- آژانس‌های توسعه محلی
- استراتژی‌های توسعه اقتصاد شهری
- جذب و حفظ استعداد و تقویت خلاقیت
- کارآفرینی و حمایت از کارآفرینی
- توسعه فضای کسب و کار
- پارک‌های فناوری و علمی
- مراکز تجارت
- بین‌المللی سازی شهر

Ahwaz_Hackerz

- استراتژی ارتقاء شهر در سطح بین‌المللی
- توسعه پروژه‌های راهبردی در راستای موقعیت بین‌المللی شهر
- شرکت در شبکه‌های بین‌المللی
- نفوذ استفاده ICT در تجارت

جدول ۱-۳: اقتصاد هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
اقتصاد هوشمند	روحیه نوآوری	میزان درصد اختصاص یافته از تولید ناخالص ملی به تحقیق و توسعه نرخ اشتغال در بخش علوم تخصصی و حرفه‌ای، درصد اختراعات ثبت شده نسبت به تعداد شهروندان
	کارآفرینی	نرخ خوداشتغالی درصد مشاغل جدید به وجود آمده
	وجهه اقتصادی شهر	تشکیل ستاد مرکزی اقتصاد طبق مقررات WTO[1]
	فعال و بارور بودن اقتصاد	میزان تولید ناخالص داخلی به ازای هر نفر شاغل
	انعطاف پذیری بازار کار	نرخ بیکاری، میزان اشتغال پاره وقت
	جایگاه بین‌المللی	تعداد شرکت‌های دارای برند بین‌المللی درصد حمل و نقل هوایی مسافر درصد حمل و نقل هوایی مسافر

ب) پویایی هوشمند (smart mobility)

- پویایی هوشمند یعنی فراهم آوردن زمینه جهت دسترسی عمومی به فن‌آوری‌های

1- World Trade Organization

Ahwaz_Hackerz

جدید و استفاده از آن‌ها در زندگی روزمره شهری. معیارهای پویایی هوشمند در جدول ۱-۴ آورده شده است.

جدول ۱-۴: پویایی هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
پویایی هوشمند	دسترسی به امکانات در سطح محلی	نسبت شبکه حمل و نقل عمومی به تعداد شهروندان رضایت نسبت به دسترسی به حمل و نقل عمومی رضایت از کیفیت حمل و نقل
	دسترسی به امکانات در سطح بین‌المللی	دسترسی‌های بین‌المللی از قبیل کشورهای مختلف، شرکت‌های متنوع و ...
	دسترسی به زیرساخت‌های فناوری ارتباطات و اطلاعات	تعداد کامپیوترهای شخصی در منازل دسترسی به اینترنت در خانواده با پهنای باند زیاد
	سیستم‌های حمل و نقل نوین، پایدار و امن	سهم تحرک سبز (ترافیک فردی غیر موتوری) ترافیک امن استفاده از ماشین‌های مقرون به صرفه

اهداف:

- سیستم‌های حمل و نقل هوشمند
- کاهش گره‌های ترافیکی به وسیله آسان‌سازی گراف‌های شهری
- ایجاد فرهنگ‌هایی مانند استفاده از وسایل نقلیه جدید

Ahwaz_Hackerz

قلمرو کاری:

- اتصال و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات
- نفوذ استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در خانه
- استفاده از اینترنت
- پوشش پهن باند
- استفاده از پهن باند
- نفوذ استفاده از اینترنت همراه
- استفاده از تلفن همراه
- دسترسی به اینترنت همگانی
- نقاط دسترسی به Wi-Fi در شهرها
- مراکز دسترسی به اینترنت عمومی
- توسعه قراردادها با شرکت‌هایISP

پ) محیط زیست هوشمند (smart environment)

اهداف:

- پایداری محیط‌زیست
- کاهش استفاده از انرژی به کمک نوآوری‌های فناوری و تشویق به کاهش مصرف و بازیافت

محیط زیست هوشمند اشاره به استفاده از فناوری‌های جدید برای حفظ و حراست از محیط زیست دارد. معیارهای شهر هوشمندی که محیط زیست هوشمند دارد در جدول ۱-۵ آورده شده است.

قلمرو کاری:

- امنیت و اعتماد

Ahwaz_Hackerz

- استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات به منظور بهبود امنیت عمومی

جدول ۱-۵: محیط زیست هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
محیط هوشمند	شرایط و طبیعی و محیطی	میزان ساعت‌های آفتابی روز میزان فضای سبز
	آلودگی‌های محیطی	ازون درصد ذرات معلق نرخ بیماری تنفسی
	حفاظت از محیط‌زیست	میزان تلاش‌های فردی در حفاظت از طبیعت نوع تفکرات در خصوص حفاظت از طبیعت
	مدیریت منابع پایدار	استفاده بهینه از آب استفاده بهینه از برق

ت) حاکمیت هوشمند (smart governance)

حاکمیت هوشمند شامل مشارکت سیاسی و فعال، خدمات شهروندی و استفاده هوشمند از دولت الکترونیک است. علاوه بر این حاکمیت هوشمند به استفاده از کانال‌های ارتباطی جدید، از قبیل دموکراسی الکترونیک اشاره دارد (جدول ۱-۶).

اهداف:

- توسعه فرآیندهای جامع
- ایجاد پل ارتباطی قوی میان نهادهای دولت
- بهبود دسترسی به خدمات

Ahwaz_Hackerz

جدول ۱-۶: حاکمیت هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
حکومت هوشمند	مشارکت در تصمیم‌گیری	تعداد نمایندگان شهر نسبت به جمعیت میزان فعالیت‌های سیاسی ساکنین شهر میزان اهمیت مسائل سیاسی برای شهروندان سهم نمایندگان شهر در مجلس شورا
	خدمات عمومی و اجتماعی	میزان مخارج اقامت در شهر سهم کودکان در استفاده از مهدکودک میزان رضایت از کیفیت مدارس
	شفاف بودن نحوه حکمرانی	میزان رضایت از شفافیت بوروکراسی میزان رضایت از مبارزه با فساد

ث) زندگی کردن هوشمند (smart living)

صحبت کردن در مورد زندگی کردن هوشمند یعنی گردآوری جنبه‌های مختلف که به بهبود کیفیت زندگی شهروندان بسیار کمک می‌کند؛ از جمله فرهنگ، بهداشت، ایمنی، مسکن و گردشگری. معیارها و شاخص‌های زندگی کردن هوشمند در جدول ۱-۷ آورده شده است.

اهداف:

- دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی الکترونیک
- مدیریت اطلاعات بیماران
- اتوماسیون و هوشمندسازی خانه

Ahwaz_Hackerz

جدول ۱-۷: زندگی کردن هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
زندگی کردن هوشمند	امکانات فرهنگی	درصد حضور در سینما درصد بازدید از موزه‌ها درصد حضور در تئاترها
	شرایط بهداشتی	نرخ امید به زندگی نسبت تخت‌های بیمارستان به تعداد شهروندان نسبت پزشکان به ساکنین شهر میزان رضایت از کیفیت نظام سلامت
	امنیت فردی	نرخ جرم و جنایت نرخ مرگ بر اثر حمله
	کیفیت مسکن	درصد میزان رعایت حداقل استانداردهای ساخت و ساز مسکن میانگین تعداد افراد ساکن در هر منطقه میزان رضایت از وضعیت مسکن
	امکانات آموزش و پرورش	نسبت تعداد دانش آموزان به تعداد ساکنین هر منطقه میزان رضایت از سیستم آموزشی میزان رضایت از کیفیت نظام آموزشی
	جذابیت‌های گردشگری و توریستی	تعداد مکان‌های توریستی جذاب تعداد شب‌های اسکان زائر و توریست
	انسجام وحدت اجتماعی	میزان آمادگی در برابر فقر و نرخ فقر

Ahwaz_Hackerz

قلمرو کاری:

- سلامت الکترونیکی
- کارت سلامت الکترونیکی
- خدمات آنلاین پزشکی
- کنترل خانه از راه دور یا سیستم‌های هشدار برای بیماران
- دسترسی و شمول الکترونیکی
- توسعه برنامه‌های دیجیتالی برای گروه‌های در معرض خطر عدم شمول

ج) مردم هوشمند (Smart people)

عنصر متمایز کننده شهر دیجیتالی از شهر هوشمند وجود مردم هوشمند است. مردم هوشمند بر اساس مهارت‌ها و سطح آموزشی‌شان تعریف می‌شوند. کیفیت تعاملات اجتماعی همچون یکپارچگی، زندگی جمعی و توانایی برقراری ارتباط با جهان، نیز از مصادیق مردم هوشمند به شمار می‌آید. معیارهای هوشمند بودن مردم یک شهر در جدول ۱-۸ ذکر شده است.

اهداف:

- ارائه بهتر خدمات آموزشی در مناطق شهری و روستایی
- آموزش مجازی و از راه دور برای آگاه‌سازی هر چه بیشتر شهروندان

قلمرو کاری:

- آموزش و پرورش
- ساکنین دارای مدرک دانشگاهی
- وجود و حضور یک دانشگاه در شهر
- وجود مکان‌هایی برای اجرای طرح‌های آموزشی
- فراهم بودن فضا برای تزریق طرح‌های آزمایشگاهی به بازار تقاضا
- طرح‌هایی برای ایجاد و توسعه کلاس‌های دیجیتال

Ahwaz_Hackerz

- اجرای برنامه‌های آموزش مجازی
- آموزش مادام‌العمر
- سرمایه انسانی
- همکاری بین شرکت‌ها و مراکز دانش‌بنیان، تحقیق و توسعه و نوآوری

جدول ۱-۸: مردم هوشمند.

مشخصات شهر هوشمند	معیارهای شهر هوشمند	شاخص‌های شهر هوشمند
مردم هوشمند	سطح مدرک تحصیلی شهروندان	تعداد مراکز دانشگاهی، تعداد دانشجویان ... تعداد افراد دارای تحصیلات عالی میزان مهارت در زبان‌های خارجی
	میزان تمایل به یادگیری در طول عمر	میزان ساعات مطالعه در صد شرکت در دوره‌های آموزشی در صد شرکت در دوره‌های یادگیری زبان
	تکثر اجتماعی و قومی	نرخ اجتماع‌ها و قومیت‌های خارجی تعداد افراد متولد شده در خارج از کشور
	انعطاف پذیری شهروندان	میزان انعطاف پذیری در پذیرش شغل
	علاقه‌مندی به شهر خود/روشنفکری	تعداد رأی‌دهندگان در انتخابات شورای شهر درصد مهاجر پذیر بودن محیط میزان دانش در مورد قوانین شهری
	مشارکت در زندگی اجتماعی	تعداد رأی‌دهندگان در انتخابات شورای شهر میزان مشارکت در امور داوطلبانه

Ahwaz_Hackerz

شهر هوشمند واقعیتی است که با توجه به گسترش روزافزون فنّاوری اطلاعات در شهر و در راستای پاسخ‌گویی به نیازهای جدید شهروندان به اطلاعات و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در زندگی شهری آنان، پا به عرصه حضور گذاشته است. شهر هوشمند به معنای گشایش مفاهیمی نو در شهرسازی است. در شهر هوشمند، مدیریت نقش به سزایی ایفا کرده و یکی از مهم‌ترین شاخه‌های آن، مدیریت انرژی شامل تولید و مصرف انرژی است. این شهر را می‌توان شهری دانست که با استفاده از پیشرفت فنّاوری و استفاده از شبکه‌های الکترونیکی، در راستای رفاه شهروندان گام برمی‌دارد. از دیگر موارد اساسی این شهر، می‌توان کاهش آلاینده‌ها و کاهش هزینه زندگی به علت استفاده از انرژی‌های پاک و تجدید پذیر نام برد. کشورهای ژاپن، آمریکا، کره جنوبی، چین و چند کشور پیشرفته دیگر تحقیقات و پروژه‌های زیادی را بر روی این کار انجام داده‌اند.

۱-۱-۳-۳- سرمایه‌گذاری در شهر هوشمند

انواع سهامداران در شهر هوشمند:

۱- متولی: متولیان پروژه هستند که چند بخش از شهر هوشمند را از طریق بسترهای نرم‌افزاری از پیش فراهم‌شده، گرد هم می‌آورند (به یکدیگر متصل و باهم هماهنگ می‌سازند) که منجر به ایجاد یک اتحاد و تفکر کل‌نگر در این بخش‌ها می‌گردند.

۲- ارائه‌دهندگان خدمات شبکه: شبکه‌های اشتراکی، تحلیل داده و راه‌های سرمایه‌گذاری را پیشنهاد می‌دهند که افراد، دارایی‌ها، سامانه‌ها و محصولات را از طریق اهرم شبکه و قابلیت M2M[1]، مرتبط می‌سازد.

۳- فروشندگان محصولات خالص: سرمایه‌های سخت‌افزاری مثل کنتورهای هوشمند و دستگاه‌های توزیع کننده هوشمند (سویچ‌های خودکار، کنترل کننده ذخیره‌سازهای خازنی و تنظیم کننده‌های ولتاژ) که به عنوان گره‌های اصلی ارتباطات فعالیت می‌کنند را فراهم

1- Machine-to-Machine

Ahwaz_Hackerz

می‌نمایند.

۴- ارائه‌دهندگان خدمات مدیریت شده: کنترل ۲۴ ساعته، مدیریت کامل و مشاوره در محل را پیشنهاد می‌دهند. این خدمات در خانه، یا با مدیریت اشتراکی و یا با برون‌سپاری (از طریق شخصیت ثالث) ارائه می‌شوند.

۱-۱-۳-۴- ویژگی‌های شهر هوشمند انرژی

در شهر هوشمند انرژی فقط به مسائل مرتبط با انرژی پرداخته می‌شود به طوری که مسائلی همچون اقتصاد هوشمند و یا شهروندان هوشمند و غیره مد نظر قرار نمی‌گیرند. در واقع می‌توان گفت شهر هوشمند انرژی مدل ناقص شهر هوشمند است که فقط در زمینه انرژی هوشمندسازی شده است.

همانند هر پروژه کلانی که برای نخستین بار اجرا می‌شود، هوشمندسازی شبکه نیز نیازمند اجرای طرح پایلوت در یک محدوده جغرافیایی کوچک است تا ابعاد موضوع و چالش‌های احتمالی آن تا حد بسیار خوبی شناسایی شده و از تکرار آن‌ها در پروژه‌های وسیع‌تر جلوگیری به عمل آید. در برخی از کشورها مانند کره جنوبی، یک جزیره به عنوان طرح پایلوت هوشمندسازی انتخاب شده است. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان اهداف اجرای یک طرح پایلوت را به صورت زیر برشمرد:

۱- بررسی نحوه عملکرد در مقیاس کوچک و قابلیت تعمیم به ابعاد بزرگ‌تر.

۲- برطرف کردن نواقص طرح.

۳- بررسی بازخوردهای اجرای طرح از نظر فنی و غیر فنی (غیر فنی از جمله پذیرش شهروندان و چالش‌هایی مثل جلب انگیزه برای پذیرش عموم).

در کشور ایران نیز جزیره هرمز به عنوان یک طرح پایلوت انتخاب شده است. دلایل انتخاب این جزیره در ادامه بیان شده است:

۱- رقابت با شهرهای هوشمند انرژی امارات و قطر.

Ahwaz_Hackerz

۲- کوچک بودن شبکه برق جزیره.

۳- کم‌مصرف‌ترین ناحیه در استان هرمزگان.

۴- داشتن شبکه‌ای مجزا و امکان تولید برق از منابع تجدید پذیر انرژی.

۵- بار شبکه ۷۷٪ مسکونی است. در نتیجه می‌توان در این جزیره روی ایجاد خانه‌های هوشمند و تولید پراکنده در سطح پایین کار کرد.

جزیره هرمز جزیره‌ای بیضی شکل در تنگه هرمز و با مساحتی حدود ۴۲ کیلومترمربع است. این جزیره از شهر بندرعباس ۸ کیلومتر فاصله دارد و به دلیل موقعیت خاص جغرافیای آن و قرارگیری در تنگه هرمز همواره در طول تاریخ منطقه‌ای کلیدی از نظر راهبردی و بازرگانی تلقی می‌شده است. این جزیره با جمعیتی حدود ۳۰۰۰ نفر، کمترین مصرف برق را در مناطق مختلف استان هرمزگان دارد.

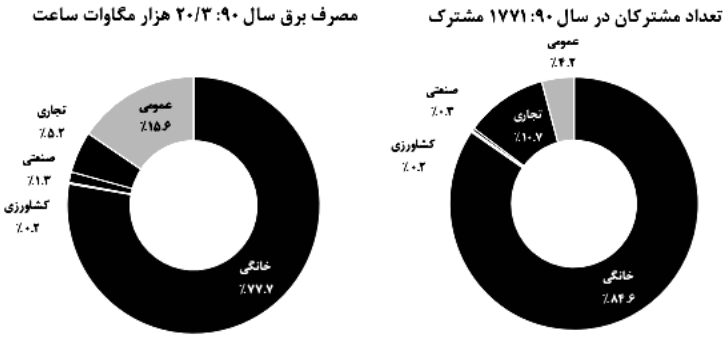
انتخاب جزیره هرمز مزیت مهم دیگری نیز دارد. ساختار جزیره‌ای بودن شبکه به تنهایی امکان جذب گردشگران زیادی را فراهم می‌کند. در این میان اگر اهداف جزیره هوشمند نیز در آن تحقق یابد، می‌توان انتظار داشت هرمز جذاب‌ترین جزیره خلیج فارس از نظر گردشگران منطقه شود. این موضوع فرصت خوبی را فراهم می‌کند تا گردشگران با مفهوم هوشمندسازی آشنا شوند و شاید همین امر سرآغاز شروع پروژه‌های هوشمندسازی در سطح ملی شود.

همان‌طور که اشاره شد، جزیره هرمز کم‌مصرف‌ترین ناحیه در استان هرمزگان است. تعداد مشترکان جزیره و میزان مصرف برق آن‌ها به تفکیک تعرفه در شکل ۱-۴ آورده شده است. همان‌طور که در نمودار شکل ۱-۴ مشاهده می‌شود حدود ۸۵ درصد مشترکان جزیره از نوع خانگی هستند و تنها ۰/۲ درصد مشترک کشاورزی و ۰/۳ درصد مشترک صنعتی در جزیره فعالیت دارند. این موضوع از چند جهت می‌تواند حائز اهمیت باشد. می‌توان بخش مهمی از فعالیت‌های هوشمندسازی را به فعالیت‌های مرتبط با خانه‌های هوشمند اختصاص داد و درس آموخته‌های بسیاری از این منظر به دست آورد.

مشترکان صنعتی و کشاورزی عموماً بار بالایی دارند و پیاده‌سازی فناوری‌های جدید در آن‌ها با

Ahwaz_Hackerz

مشکل‌های کلان‌تری همراه خواهد بود. تعداد کم این مشترکان در جزیره با فرض این‌که می‌خواهیم ۱۰۰٪ شبکه را هوشمند کنیم، در صورت بروز خطا تبعات کمتری را نسبت به یک شبکه وسیع با تعداد بالای مشترکان صنعتی و کشاورزی خواهد داشت. در مجموع وجود مشترکان با تعرفه‌های مختلف در جزیره هرمز فرصت خوبی است تا بتوان همه جوانب پیاده‌سازی شبکه هوشمند را ارزیابی کرد. شکل ۱-۵ دورنمایی از هوشمندسازی این جزیره را نمایش می‌دهد.



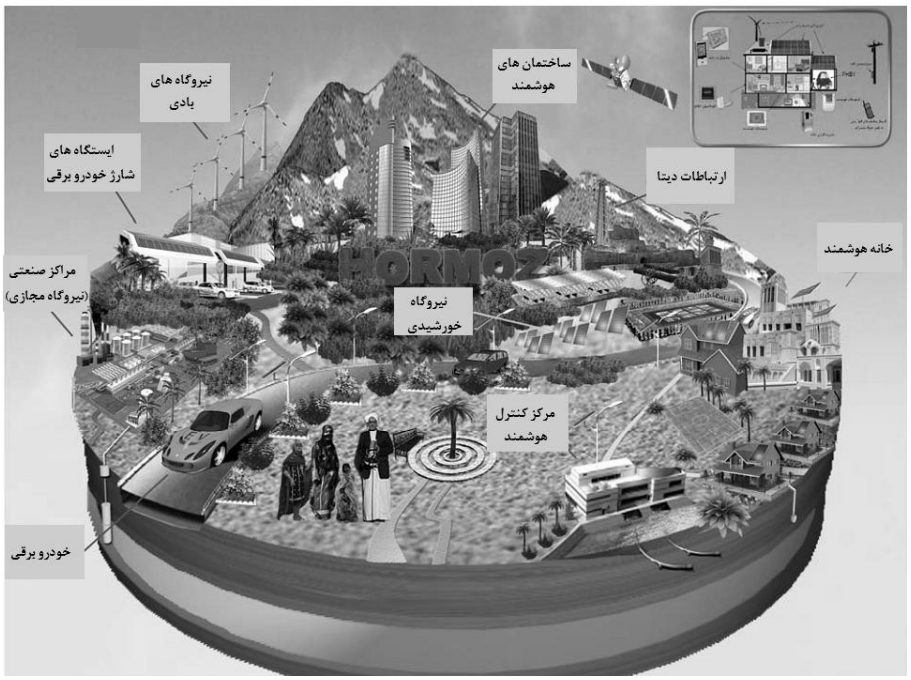
شکل ۱-۴: تعداد مشترکان و مصرف برق جزیره هرمز در سال ۹۰ [۱۲].

علاوه بر این همان‌طور که در جدول ۱-۹ مشاهده می‌شود، شبکه برق جزیره هرمز در مجموع ۴۵ کیلومتر خط و ۴۴ پست دارد و اتوماسیون و هوشمندسازی همه این تجهیزات را می‌توان با صرف هزینه و زمان نسبتاً کمی به پایان رساند.

جدول ۱-۹: مشخصه‌های شبکه برق هرمز.

طول شبکه فشار متوسط (متر)		طول شبکه فشار ضعیف (متر)		تعداد ترانس‌ها	
هوایی	زمینی	هوایی	زمینی	هوایی	زمینی
۲۱۹۶۴	۵۶۵	۲۳۸۶۴	۱۱۲۵	۴۰	۴

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱-۵: نمایی از تجهیزات و ابعاد شبکه هوشمند در جزیره هرمز [۱۲].

۱-۱-۳-۵- طرح هوشمندسازی جزیره هرمز

بدیهی است که حرکت در مسیر تحولات شبکه برق جهان، مستلزم در اختیار داشتن مسیری شفاف و اهدافی معین است. طرح هوشمندسازی شبکه هرمز نیز با این رویکرد و با هدف تدوین نقشه راه هوشمندسازی شبکه جزیره تدوین شده است. انجام این مهم، مطابق شکل ۱-۶ در سه مرحله انجام می‌گیرد.

مرحله ۱: بررسی ساختار شهرهای هوشمند در جهان

همان‌طور که گفته شد، با ظهور فناوری‌های جدید در عرصه‌های مختلف و به خصوص در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات، تکامل شهرهای فعلی و تبدیل آن‌ها به شهرهای هوشمندی که در آن‌ها ارتباطات حرف اول را می‌زند، چندان دور از ذهن نیست. افزایش کیفیت زندگی افراد و بهبود کارایی و کیفیت خدمات ارائه شده، به عنوان اهداف پیاده‌سازی شهرهای هوشمند

Ahwaz_Hackerz

برشمرده می‌شود. با پیاده‌سازی شهرهای هوشمند می‌توان انتظار داشت فعالیت‌هایی مانند مدیریت ترافیک، انجام امور مختلف بدون دخالت مستقیم افراد، سلامت الکترونیک و غیره که در حال حاضر یا انجام نمی‌شوند و یا با آن تصویر آرمانی ما فاصله دارند، قابل دسترس شوند.

در این بخش با بررسی اهداف و عملکرد کشورهای پیشرو در زمینه هوشمندسازی شهرها سعی می‌شود تصویری روشن از الزامات شهر هوشمند تبیین شود. در این راه با بررسی برنامه‌های عملیاتی شهرهایی مانند ونکوور در کانادا و برخی شهرهای اروپایی مانند *تورکو* در فنلاند، مهم‌ترین اقدامات جهانی برای هوشمندسازی شهرها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این مرحله از پروژه با این هدف طرح ریزی شده است که تصویری از یک شهر هوشمند به دست آید و با گوشه چشمی به آن، نقشه راه و اهداف هوشمندسازی شبکه برق آن تدوین شود.

شکل ۱-۶: مسیر پیشبرد تدوین نقشه راه هوشمندسازی شبکه برق جزیره هرمز [۱۲].

می‌توان گفت توسعه شبکه برق هوشمند یکی از زیرمجموعه‌های شهر هوشمند است و بسیاری از ابعاد شبکه هوشمند مانند توسعه انرژی‌های تجدید پذیر، خودروهای الکتریکی و غیره به

Ahwaz_Hackerz

صورت کلان‌تر در برنامه‌ریزی‌های شهر هوشمند مورد توجه قرار می‌گیرند؛ بنابراین آگاهی از نوع فعالیت‌ها و اهداف شهر هوشمند می‌تواند به روشن شدن مسیر هوشمندسازی شبکه برق جزیره کمک کند. به علاوه با در نظر گرفتن پروژه وسیع شهر هوشمند می‌توان سایر نهادهای فعال در جزیره را هم به نوعی صاحب مسئله کرد و تحقق اهداف هوشمندسازی را به دغدغه همه فعالان اقتصادی جزیره و حتی استان و کشور تبدیل نمود.

مرحله ۲: بررسی هوشمندسازی شبکه برق در جهان

یکی از چالش‌های پیاده‌سازی شبکه هوشمند، عدم توجه به ابعاد این پروژه وسیع است. برای آن‌که در این پروژه بتوان تمامی جنبه‌های شبکه‌های هوشمند را در نقشه راه جزیره هرمز لحاظ کرد، ابتدا لازم است که نسبت به آن‌ها آگاهی کامل حاص شود؛ بنابراین در بخش نخست این مرحله از پروژه با مطالعه نمونه‌های موردی در کشورهای پیشرو در این زمینه به ابعاد مختلف هوشمندسازی پرداخته می‌شود. مهم‌ترین مواردی که در این گام مورد بررسی قرار خواهند گرفت، در ادامه فهرست شده‌اند.

- بررسی ابعاد خانه‌های هوشمند به عنوان مهم‌ترین بعد هوشمندسازی شبکه توزیع.
- مدیریت سمت تقاضا و سیاست‌های قیمت‌گذاری از طریق شبکه هوشمند.
- خودروهای الکتریکی و شبکه برق هوشمند.
- انرژی‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده و اتصال آن‌ها به شبکه هوشمند.
- نیروگاه‌های مجازی و تجهیزات ذخیره انرژی الکتریکی در شبکه هوشمند.
- زیرساخت‌های ارتباطی و پروتکل‌های مورد نیاز شبکه هوشمند.
- اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه توزیع و انتقال.

در پایان این مرحله، نقشه راه‌های هوشمندسازی در سایر کشورها و شرکت‌های برق جهان با اهداف بررسی چشم‌انداز، زمان‌بندی انجام کار و بررسی زیرساخت‌های مورد نیاز مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مطالعات موردی در این زمینه نقشه راه هوشمندسازی سن دیگو، کالیفرنیا، و ویرجینیای غربی در ایالات متحده و برخی دیگر از کشورها مانند انگلستان و استرالیا را

Ahwaz_Hackerz

دربرمی‌گیرد.

مواردی که در بالا عنوان شدند، همگی با این هدف انجام می‌گیرند که ابعاد توسعه شبکه هوشمند و مشکلات آن، بررسی و تحلیل شوند. این بررسی‌ها کمک می‌کنند تا مشخص شود در برنامه‌ریزی حوزه‌های استراتژیک هوشمندسازی شبکه جزیره هرمز دقیقاً باید به چه مواردی توجه کرد.

مرحله ۳: اجرای هوشمندسازی شبکه برق در جزیره هرمز

تحلیل‌های انجام گرفته در مراحل قبل، راهگشای ما در ترسیم نقشه راه هوشمندسازی جزیره هرمز خواهد بود. در این مرحله ابتدا اهداف عملکردی شرکت توزیع از پیاده‌سازی شبکه هوشمند در جزیره تعیین خواهد شد. به عنوان مثال با توسعه شبکه هوشمند میزان تلفات یا خاموشی‌های هرمز چقدر کاهش خواهد یافت. سپس چشم انداز هوشمندسازی در جزیره تعیین خواهد شد. از آن جایی که هوشمندسازی شبکه ابعاد گسترده‌ای دارد، باید حوزه‌های استراتژیکی که کانون توجه قرار خواهند گرفت، به‌دقت تعیین شوند. منظور از حوزه‌های استراتژیک مواردی مانند توسعه انرژی‌های تجدید پذیر، خودروهای الکتریکی، سیستم‌های سمت مشترکان و غیره است که می‌توانند به طور موازی در طول یک پروژه انجام شوند. تعیین حوزه‌های استراتژیک کمک می‌کند تا به تمامی ابعاد هوشمندسازی توجه شود و همه موارد باهم و هماهنگ به پیش برده شود. در پایان نیز اهداف مرحله‌ای برای پیاده‌سازی هر یک از حوزه‌های استراتژیک تدوین خواهند شد.

- ✓ بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، نصب و راه‌اندا
- ✓ زی زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته مانند کنتور هوشمند و شبکه ارتباط خانگی، تجهیزات هوشمند مانند وسایل برقی، حسگرها و ترموستات هوشمند، نصب سیستم‌های تولید برق با گرما از انرژی‌های تجدید پذیر و سیستم‌های ذخیره انرژی و استفاده از خودروهای الکتریکی و نصب زیرساخت‌های شارژ از جمله مباحثی است که در زمینه هوشمندسازی جزیره هرمز مطرح شد.

Ahwaz_Hackerz

- ✓ بهبود سه شاخص رشد اقتصادی، امنیت انرژی و حفاظت از محیط زیست از اهداف اصلی پیاده‌سازی شبکه هوشمند در جزیره هرمز، برشمرده شده است. در این طرح ارائه شده ابعاد هوشمندسازی جزیره هرمز در شش محور مدیریت هوشمند، حمل و نقل هوشمند، محیط زیست هوشمند، اقتصاد هوشمند، شهروندان هوشمند و زندگی هوشمند تدوین شده است.

همان‌طور که اشاره شد، موضوع هوشمندسازی شبکه برق موضوعی جدید در صنعت برق ایران و حتی جهان محسوب می‌شود؛ بنابراین لازم است در این زمینه نوعی «جریان سازی» صورت بگیرد. این جریان می‌تواند اقدامات لازم برای فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی به شهروندان تا ارائه اطلاعات تخصصی‌تر به فعالان صنعت برق را شامل شود. هدف از این کار استفاده حداکثری از پتانسیل‌های موجود برای پیشبرد طرح هوشمندسازی جزیره است، به گونه‌ای که افراد و نهادهای اجتماعی و سیاسی در جهت کمک به پیشبرد پروژه گام بردارند. پیاده‌سازی کامل شبکه هوشمند ابعاد وسیعی دارد که بدون همیاری و مساعدت جمعی، توفیقی در آن حاصل نخواهد شد.

۱-۲- چارچوب شبکه‌های هوشمند

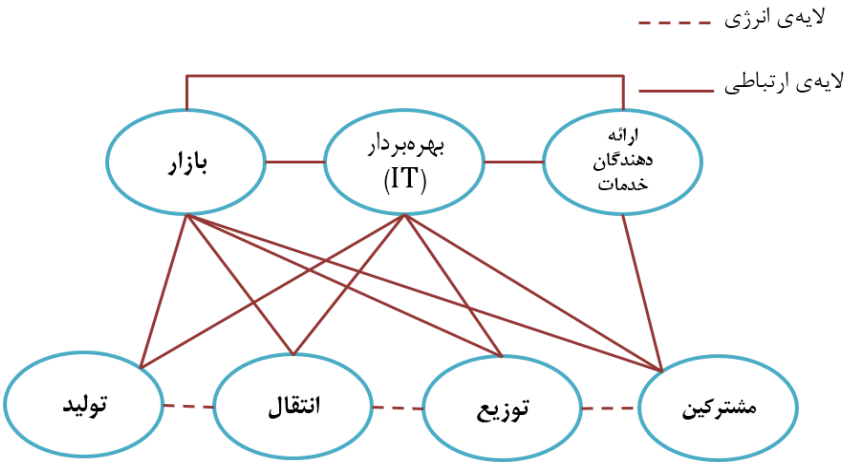
۱-۲-۱- چارچوب کلی

قالب محتوای کلی شبکه هوشمند و چهارچوب پیشنهادی برای آن توسط موسسه ملی استاندارد و فناوری (آمریکا) (NIST[1]) ارائه شده است (شکل ۱-۷). هدف از این قالب ارائه یک مدل تشریحی برای شبکه هوشمند است. لایه ارتباطی، تبادل اطلاعات را بین اجزا برقرار می‌کند و لایه انرژی، مسیر انتقال انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد. فرق چارچوب شبکه هوشمند با چارچوب شبکه‌های فعلی برق در این است که بخش مشترکین به عنوان یک بلوک مستقل وارد مسیر انتقال انرژی می‌شود درحالی‌که در شبکه فعلی فقط سه بلوک تولید و انتقال

1- National Institute of Standard & Technology

Ahwaz_Hackerz

و توزیع در مسیر انتقال انرژی قرار می‌گیرند.



شکل ۱-۷: یک مدل توصیفی از شبکه هوشمند.

۱-۳- مشخصه‌های اصلی شبکه هوشمند

در طرحی که DOE[1] (دپارتمان انرژی ایالت متحده آمریکا) در سال ۲۰۰۸ پیشنهاد داده، نه مشخصه برای شبکه هوشمند ارائه شده است:

۱-۳-۱- خودترمیمی[2]

خودترمیمی به معنی تشخیص خودکار خطا و رفع آن است. بدین منظور سیستم باید مشاهده‌پذیر باشد، هم‌چنین باید دارای مراکز کنترل از راه دور باشد تا بتواند با تحلیل داده‌ها فرمان لازم را صادر نماید و ابزار عملکرد مانند کلیدهای خودکار داشته باشد. با وجود این

1- Department of Energy
2- Self-healing

Ahwaz_Hackerz

مشخصه، شبکه قادر خواهد بود به صورت پیوسته با تحت پایش داشتن شرایط خود، به شناسایی و بررسی اغتشاشات ایجاد شده در سیستم بپردازد و در صورت نیاز اقدامات لازم را انجام دهد و حتی اقدام به بازیابی سیستم کند. این شبکه قادر خواهد بود مسائلی که برای کاربر انسانی بسیار سریع و پیچیده هستند را مدیریت کند. این سیستم به عنوان سیستم ایمنی شبکه قدرت می‌تواند جلوی بسیاری از خطاها را در سیستم برق بگیرد. شبکه هوشمند، قطعی برق را با به کار گیری فنّاوری‌های پیشرفته برای جمع‌آوری اطلاعات، اجرای الگوریتم‌های تصمیم‌گیری و کنترل دینامیک پخش بار شبکه به حداقل می‌رساند.

۱-۳-۱-۱- عوامل اصلی موفقیت خودترمیمی

یکی از اصلی‌ترین خصوصیات خودترمیمی دستیابی به اکثریت فاکتورهای مناسب در شبکه‌های پیشرفته است. در واقع خودترمیمی جزء جدایی‌ناپذیر سامانه‌های پیشرفته است. توانایی شناسایی، آنالیز و پاسخ‌گویی به شرایط ناخوشایند و حوادث، ازجمله این عوامل کلیدی موفقیت است که شامل موارد زیر می‌شود:

قابلیت اطمینان، حفاظ، اقتصادی، بازدهی، دوستدار محیط‌زیست بودن و امنیت.

۱-۳-۱-۲- موانع و مشکلات پیش رو جهت نیل به هدف شبکه خودترمیم

تغییرات اساسی (اصلاحات) معمولاً با موانع زیادی مواجه می‌شوند و بسط شبکه‌های پیشرفته نیز از این قاعده مستثنا نیست. موانع و مشکلات پیش رو جهت نیل به هدف شبکه خودترمیم را می‌توان در موارد زیر بیان کرد. منابع مالی، کمک‌های دولتی، تجهیزات سازگار مورد نیاز، سرعت رشد فناوری، سیاست و قوانین، تعاون بین شرکت‌های تولیدی.

۱-۳-۱-۳- ساختار کلی سامانه خودترمیم و حالت‌های کنترلی آن

ساختار کلی سامانه خودترمیم در شکل ۱-۸ نمایش داده شده است.

Ahwaz_Hackerz

نکته کلیدی و مهم در کنترل شبکه خودترمیم تأمین بدون وقفه توان است. بر اساس منابع بی‌وقفه برق، چهار نتیجه برای کنترل و حفاظت شبکه خواهیم داشت:

۱. جلوگیری از بروز خطا

۲. بروز خطا همراه با عدم قطعی بار

۳. از دست دادن برخی از بارها پس از رخ دادن خطا

۴. ازکارافتادن کل شبکه به دلیل بروز خطا

طرح‌های کنترلی در شبکه خودترمیم شامل دو دسته اساسی، کنترل مستقیم و کنترل وضعی است. کنترل مستقیم بر پایه اندازه‌گیری در سامانه کنترلی حلقه بسته‌ای است که مرتبه بزرگی واکنش (عکس‌العمل) آن در حد یک دقیقه است. کنترل وضعی بر مبنای کنترل منطقی و اندازه‌گیری شده و مقایسه آن‌ها در همان لحظه است که مرتبه بزرگی واکنش (عکس‌العمل) آن در حد یک میلی‌ثانیه است. در نهایت می‌توان گفت که کنترل مستقیم یک حالت اصلی از کنترل پیشگیرانه، کنترل بازیابی و کنترل بهینه است در حالی که کنترل وضعی کنترل در حالت اضطراری است. سامانه‌های قدرت دارای ۵ حالت عملکرد هستند:

۱. حالت بهینه

۲. حالت متعارف یا نرمال

۳. حالت آسیب‌پذیر

۴. حالت خطا

۵. حالت پس از صدمه دیدن

مطابق با این ۵ حالت، کنترل شبکه خودترمیم دارای چهار حالت کنترلی است که شامل:

الف. کنترل و پیشگیری: وظیفه برگرداندن سامانه از حالت آسیب پذیری به حالت نرمال یا عادی را دارد.

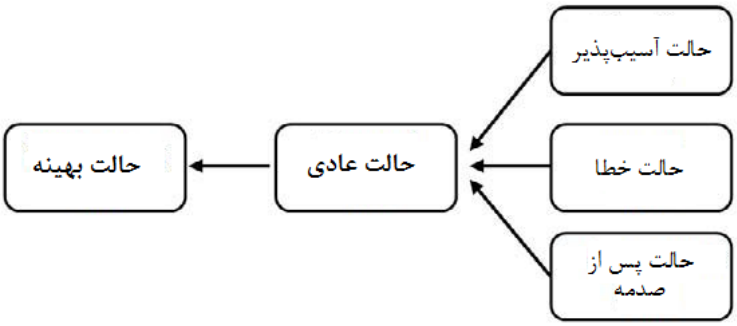
ب. کنترل اضطراری: در این حالت کنترلی سامانه از حالت رخ داد خطا به حالت نرمال بازمی‌گردد که این فرآیند باید سریع و به موقع انجام شود.

Ahwaz_Hackerz

پ. کنترل ترمیم‌گر: در این حالت کنترلی سامانه باید از حالت پس از وقوع خطا به حالت نرمال بازگردد.

ت. کنترل بهینه: در این حالت کنترلی حاشیه امنیت سامانه نسبت به حالت نرمال بهبود می‌یابد.

همچنین در شکل ۱-۹ دو لایه اصلی خودترمیمی نمایش داده است. لایه اول که لایه عناصر است شامل تجهیزات شبکه از جمله کلیدهای قدرت و ترانسفرمرها است. لایه دوم لایه سیستم است که شامل مواردی از جمله بازیابی، حذف بار و مدیریت بار است.



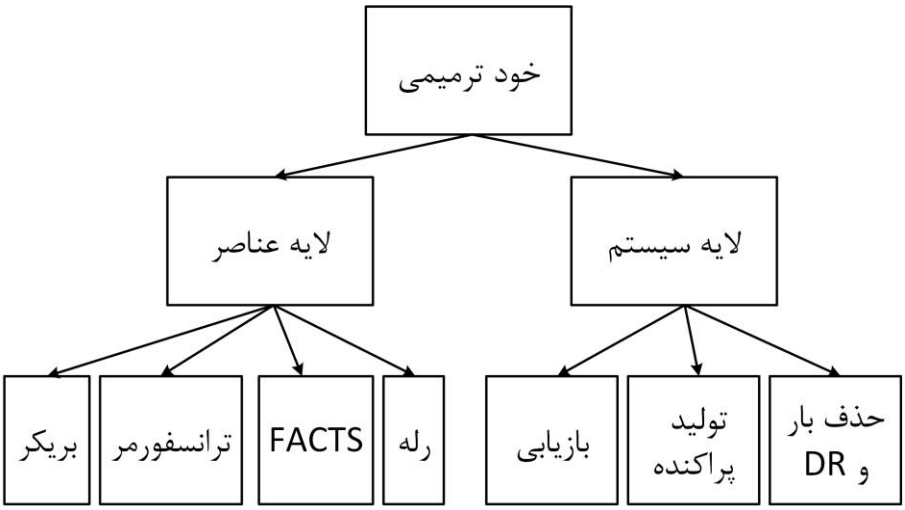
شکل ۱-۸: عملکرد سامانه قدرت خودترمیم.

۱-۳-۲- مشارکت مصرف‌کنندگان

هدف از ایجاد این مشخصه این است که عنصری که تا به حال رفتار غیرفعال داشته وارد شبکه شود و مشارکت آگاهانه انجام دهد. برای تحقق این هدف وجود تجهیزات و ابزارهای اندازه‌گیری پیشرفته در سمت مشترکین ضروری است، چرا که باعث آگاهی مشترک از شرایط سیستم می‌شود (برای مثال آگاهی از نرخ لحظه‌ای برق). مشارکت فعال مصرف‌کنندگان در بازار برق، فواید بسیاری برای شبکه و محیط زیست دارد و به علاوه باعث ارزان‌تر شدن برق رسیده به دست مشترکین خواهد شد. در شبکه هوشمند، مشترکین با دارا بودن اطلاعات کافی و در اختیار داشتن ادوات کنترلی مناسب، توانایی پاسخ‌گویی به تغییرات قیمت برق در طول

Ahwaz_Hackerz

روز را دارا هستند. در این شرایط برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در حد نهایی خود قابل اجرا هستند که به نفع مشترکین، شرکت‌های برق و نهایتاً محیط‌زیست است.



شکل ۱-۹: چهارچوب مفهومی برای خودترمیمی.

۱-۳-۳- مقاوم بودن[1]

به دنبال این هستیم از طریق سیستم پایش، کنترل و تحلیل داده‌ها، سیستم را در برابر اغتشاشات حفظ کنیم و ایمنی تجهیزات را بالا ببریم.

۱-۳-۴- کیفیت توان بالا

استانداردهای جدید کیفیت توان باعث می‌شوند تا کیفیت توان مورد نیاز بارهای حساس با قیمتی قابل قبول تأمین شود. شبکه هوشمند انرژی برق را با کیفیت‌های توان متفاوت و با قیمت‌های متفاوتی در اختیار مشترکین قرار می‌دهد. با به حداقل رسیدن اغتشاشات حادث شده در شبکه، کیفیت برق رسیده به دست مشترکین به بالاترین حد خود خواهد رسید.

1- Robustness

Ahwaz_Hackerz

۱-۳-۵- یکپارچه‌سازی گزینه‌های تولید و ذخیره‌سازی (DER)

انتظار می‌رود با ورود DER ها به شبکه بازده سیستم افزایش پیدا کند و توان پاک تولید شود و به دنبال آن آلودگی زیست محیطی کاهش یابد. شبکه هوشمند قابلیت استفاده از فنّاوری‌های مختلف تولید و ذخیره انرژی را به سادگی فراهم می‌کند. به این ترتیب که انواع تولید کننده‌ها با ظرفیت‌های متفاوت، در تمامی سطوح ولتاژ در صورتی در شبکه نصب می‌شوند که امکان استفاده از انواع منابع تولید پراکنده از جمله انرژی خورشیدی، انرژی بادی و ژنراتورهای محلی را محیا کنند. همچنین حضور باتری‌ها و خودروهای هیبرید قابل اتصال به شبکه، می‌توانند به صورت ذخایر گسترده در شبکه عمل کنند. همچنین برای مصرف‌کنندگان به صرفه خواهد بود تا واحد تولید پراکنده خود را در محل نصب کنند. نیروگاه‌های بزرگ نیز به کار خود ادامه خواهند داد تا باهمراهی تولیدات گسترده، نیاز کشور به برق به بهترین و کاراترین نحو مرتفع شود.

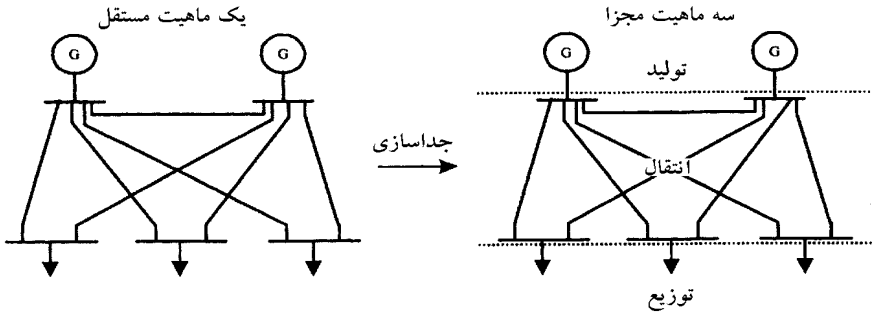
۱-۳-۶- مؤثرتر شدن بازار برق

شبکه هوشمند باعث خواهد شد تا بازار برق بیش از هر زمان دیگری در طول تاریخ سیستم قدرت، توانایی داشته باشد. در این شرایط نهاد بازار قادر خواهد بود تا سیستم را به سمت کارایی هرچه بیشتر سوق دهد. همچنین با اضافه شدن به مسیرهای انتقال، برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا گسترده و منابع تولید انرژی متعدد، کارکرد و نقش بازار بیش از پیش مؤثر می‌گردد. به طوری که با وجود این مشخصه، تراکم انتقال و محدودیت‌های موجود حداقل می‌شود، همچنین می‌توانیم قیمت‌دهی لحظه‌ای برای خرید و فروش برق داشته باشیم. بدین ترتیب بازار خرده فروشی ترقی یافته را خواهیم داشت که در آن تمامی مصرف‌کنندگان خانگی می‌توانند مشابه تولیدکنندگان وارد بازار شوند.

۱-۳-۶-۱- ساختار فعلی شبکه‌های برق

Ahwaz_Hackerz

در حال حاضر یک سری شرکت‌های یکپارچه (Vertically integrated utilities) صاحب بخش تولید، انتقال و توزیع هستند (شکل ۱-۱۰). در محیط سنتی و موجود برق، چنین شرکت‌هایی به صورت انحصاری هستند و در یک منطقه جغرافیایی مشخص عمل می‌نمایند. با توجه به انجام آزادسازی بازار برق، تولید در آن‌ها و فعالیت‌های شبکه‌ای آن‌ها به احتمال زیاد جدا می‌شوند (شکل ۱-۱۰).



شکل ۱-۱۰ ساختار فعلی (monopoly) شرکت‌های برق.

۱-۳-۶-۲- بخش‌های مختلف در ساختار جدید شبکه‌های برق

■ شرکت‌های تولیدکننده انرژی الکتریکی (GenCOs[1])

این شرکت‌ها می‌توانند فقط شامل یک مرکز تولید بوده و یا ترکیبی از چند مرکز تولید انـرژی (حتی به صورت مختلف) باشند. این شرکت‌ها وظایف زیر را بر عهده دارند:

* تولید و فروش برق.
* تنظیم و کنترل ولتاژ و تأمین رزرو.
* کیفیت و امنیت در شبکه.

■ شرکت‌های توزیع‌کننده انرژی الکتریکی (DisCOs[2])

1- Generation Companies
2- Distribution Companies

Ahwaz_Hackerz

این شرکت‌ها صاحب و بهره‌بردار شبکه‌های توزیع هستند و در محیط مرسوم شبکه‌های قدرت به صورت انحصاری عمل نموده و وظیفه تأمین توان و فروش را به مشترکین بر عهده دارند. در محیط‌های تجدید ساختار یافته، فروش انرژی از بخش بهره‌برداری، تعمیر و گسترش شبکه توزیع جدا می‌شود. در چنین حالتی خرده فروش انرژی الکتریکی وارد عمل خواهد شد. این خرده‌فروشان می‌توانند وابسته به شرکت‌های توزیع نیز باشند.

■ شرکت‌های خرده‌فروش

مسئولیت خرید برق از بازار اصلی را بر عهده دارند تا این انرژی را به مشترکین بفروشند. مشترکین خرده فروشان، گروهی هستند که امکان خرید از شرکت‌های تولید انرژی را ندارند.

■ بهره‌بردار بازار (MO[1])

وظیفه این شرکت‌ها انجام مناقصات و اعلام خرید برق بین فروشندگان و خریداران انرژی الکتریکی است. همچنین به سرانجام رساندن قراردادهای خرید و فروش برق نیز بر عهده این شرکت‌ها است.

■ متصدی مستقل شبکه (ISO[2])

وظیفه اصلی این شرکت حفظ امنیت شبکه است لذا این شرکت باید مستقل باشد تا به نفع فروشنده و یا خریدار عمل نکند.

■ صاحبان خطوط انتقال[3]

صاحب خطوط انتقال، کابل، ترانسفورماتور و تجهیزات تزریق توان راکتیو هستند که از این تجهیزات طبق نظر ISO استفاده می‌کنند.

این شرکت‌ها گاهی اوقات زیرمجموعه Genco (شرکت فرعی) هستند.

■ تنظیم‌کننده بازار[4]

1- Market Operator
2- Independent System Operator
3- Transmission companies
4- Regulator

Ahwaz_Hackerz

یک ساختار دولتی می‌تواند داشته باشد که وظیفه آن ایجـاد عملکـرد عادلانـه و مناسـب را بـر عهده دارد.

■ مصرف‌کننده کوچک[1]

انرژی الکتریکی را از خرده‌فروش خریداری می‌کند.

■ مصرف‌کننده بزرگ[2]

دارای نقش فعالی در بازار برق است و این کار را با خرید مستقیم برق از بازار انجام خواهند داد. این گونه مشترکین امکان کنترل مصرف در مجموعه خود دارا هستند.

۱-۳-۷- بهینه‌سازی دارایی‌ها و بهره‌برداری مؤثر از تجهیزات

در شبکه هوشمند مسئله جمع‌آوری اطلاعات و مدیریت سرمایه[3] اضافه شده و تجزیه و تحلیل روی اطلاعات انجام می‌شود. همچنین جهت برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری، عمر باقیمانده تجهیزات تعیین می‌شود. مدیریت ادوات شبکه قدرت در محیط شبکه هوشمند، با در اختیار بودن وضعیت تمامی ادوات شبکه در هر لحظه، باعث می‌شود تا از ادوات شبکه قدرت در بهترین و کم هزینه‌ترین شرایط استفاده شود. این امر به این معنی نخواهد بود که تمامی ادوات همواره تا نهایت حد خود مورد استفاده قرار بگیرند، بلکه در این شرایط، تمامی ادوات به صورت بهینه مدیریت خواهند شد تا در زمان مورد نیاز، کارایی مورد نیاز را داشته باشند. ارتقای ضریب بار و کم شدن تلفات، اساسی‌ترین نکات در زمینه مدیریت ادوات هستند. به علاوه فناوری اطاعات و در اختیار بودن اطاعات کافی از ادوات سیستم قدرت، این امکان را فراهم می‌کند تا نگهداری و سرویس‌های دوره‌ای ادوات سیستم بهتر انجام بگیرد و همیشه تمامی ادوات در بهترین شرایط خود به کار بپردازند.

1- Small consumer
2- Large consumer
3- Asset Management

Ahwaz_Hackerz

۱-۳-۸- امنیت سایبری داده‌ها

اگر امنیت شبکه هوشمند تأمین نشود خود این شبکه بسیار مشکل‌ساز خواهد شد، بنابراین باید مسائل مربوط به امنیت آن حتماً مدنظر قرار بگیرد.

۱-۳-۹- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی

تولید توان پاک باید به عنوان یک ویژگی و مزیت شبکه هوشمند نسبت به شبکه برق فعلی در نظر گرفته شود.

۱-۴- مقایسه شبکه هوشمند با شبکه عادی قدرت

شبکه برق موجود، محصول گسترش شهرنشینی و توسعه سریع زیرساخت‌های گوناگون در بخش‌های مختلف جهان در قرن‌های گذشته است. اگرچه شرکت‌های برق در مناطق متفاوتی قرار دارند، اما به طور معمول از فناوری‌های مشابهی استفاده می‌کنند. با این حال، رشد سیستم برق، تحت تأثیر مسائل اقتصادی، سیاسی و جغرافیایی که برای هر شرکت منحصر به فرد هستند، قرار گرفته است.

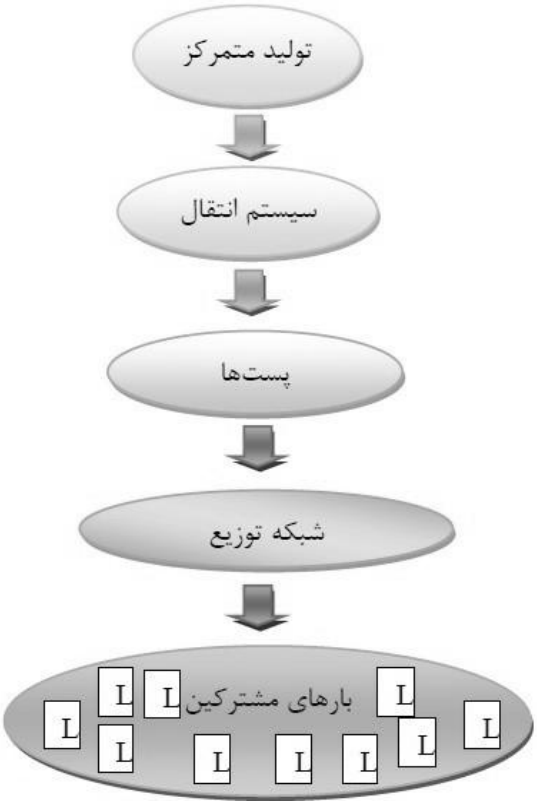
با وجود چنین تفاوت‌هایی، کلیت ساختار سیستم قدرت موجود یکسان است. صنعت برق از آغاز، با وجود مرز مشخص بین قسمت تولید، انتقال و توزیع خود فعالیت می‌کرده و در نتیجه هر بخش اتوماسیون، تحول و دگرگونی متفاوتی را شکل داده است.

در نتیجه شبکه برق موجود مطابق شکل ۱-۱۱ یک سیستم کاملاً سلسله مراتبی است که در آن نیروگاه‌ها در بالای زنجیره، تحویل قدرت به بارهای مشتریان در پایین زنجیره را تضمین می‌کنند. این سیستم اساساً یک خط یک طرفه است بنابراین شبکه‌های برق به منظور حفظ قابلیت اطمینان، به گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شوند تا بتوانند حداکثر تقاضای پیش‌بینی شده را تحمل کنند. در نتیجه از آن جایی که این اوج تقاضا، تنها در کسری از ساعات روز رخ می‌دهد، سیستم مذکور ذاتاً غیر بهینه است. برای تسهیل عیب‌یابی و حفاظت از تجهیزات

Ahwaz_Hackerz

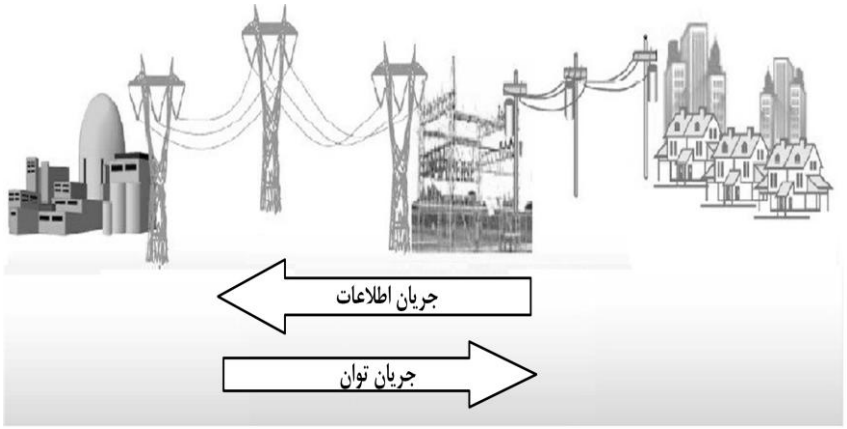
گران‌قیمت، شرکت‌های برق سطوح مختلفی از توابع فرمان و کنترل را معرفی کرده‌اند. یک سیستم متداول از این دست، سیستم کنترل نظارتی (SCADA) است. اگرچه چنین سیستم‌هایی امکان کنترل محدود بر عملکرد سیستم و جمع‌آوری داده را برای شرکت‌ها فراهم می‌کنند، اما شبکه توزیع در خارج از محدوده کنترل به هنگام آنان قرار می‌گیرد. همچنین جهت انتقال اطلاعات در این سیستم مطابق شکی ۱-۱۲ از پایین به بالا است حال آن که در شبکه‌های هوشمند این انتقال اطلاعات مطابق شکل ۱-۱۳ دو طرفه خواهد بود.

به عنوان مثال در آمریکای شمالی، که مؤسس یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های برق جهان است، کمتر از یک چهارم از شبکه توزیع به سیستم‌های اطلاعات و مخابرات مجهز بوده و نفوذ اتوماسیون در سیستم توزیع، در سطح فیدر سیستم، تنها ۱۵٪ تا ۲۰٪ تخمین زده می‌شود.

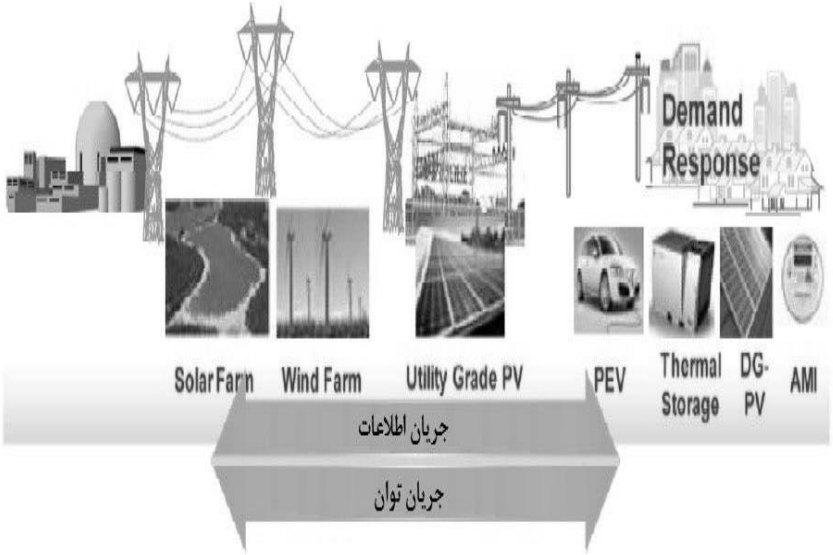


شکل ۱-۱۱: ساختار سیستم قدرت فعلی [۱۶].

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱-۱۲: مسیر انتقال توان و اطلاعات در محیط بهره‌برداری سنتی [۱۳].



شکل ۱-۱۳: مسیر انتقال توان و اطلاعات در شبکه‌های هوشمند [۱۳].

تفاوت‌های شبکه هوشمند با شبکه‌های فعلی را می‌توان در جدول ۱-۱۰ خلاصه کرد.

۱-۵- بررسی مزایا و معایب شبکه هوشمند

در این بخش مزایا و معایب شبکه هوشمند عنوان می‌شوند.

Ahwaz_Hackerz

۱-۵-۱- مزایا

در ادامه برخی از مزایای پیاده‌سازی شبکه هوشمند بیان شده است:

- ❖ تعمیر و نگه‌داری مبتنی بر وضعیت (به این معنا که یک تجهیز تا وقتی قابلیت کارکرد دارد در مدار بماند) که باعث افزایش عمر مفید تجهیزات می‌شود.
- ❖ قابلیت کنترل‌پذیری (شبکه هوشمند این قابلیت را ایجاد می‌کند که در سمت مشترکین نیز کنترل داشته باشیم).
- ❖ تسهیل عملکرد[1] سیستم قدرت (در شبکه هوشمند می‌توان به راحتی مانورهای لازم را انجام داد).
- ❖ امنیت[2] بیشتر (با فرض اینکه امنیت سایبری شبکه هوشمند رعایت شده است).
- ❖ کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، نگه‌داری و برنامه‌ریزی (مسئله اصلی شبکه پیک بزرگ منحنی بار است که در نتیجه‌ی برنامه‌ریزی مناسب، شکل منحنی مصرف صاف‌تر و پیک کوچک‌تر می‌شود)
- ❖ ایجاد حس رضایت در مشترکین و حق انتخاب برای آن‌ها (رضایت در مشترکین به دلیل بالا رفتن بهره‌وری و افزایش کیفیت توان افزایش می‌یابد).
- ❖ امکان استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر
- ❖ افزایش قابلیت اطمینان شبکه و بهبود کیفیت توان (با توجه به ویژگی‌های گفته شده، طول زمان خاموشی در شبکه کاهش می‌یابد و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم بهبود پیدا می‌کند).
- ❖ افزایش سودهای زیست محیطی
- ❖ پیک سایی
- ❖ فعال کردن خدمات و بازار جدید

1- Performance
2- Safety and Security

Ahwaz_Hackerz

❖ *جدول ۱-۱۰: مقایسه شبکه هوشمند با شبکه فعلی.*

پارامتر	شبکه عادی امروزی	شبکه هوشمند
تولید	متمرکز	متمرکز و غیرمتمرکز/ پراکنده مبتنی بر انرژی‌های پاک (جریان دو سویه انرژی)
ساختار سیستم	شعاعی (سلسله مراتبی)	شبکه‌ای
مشارکت مصرف‌کنندگان	محدود	گسترده
ارتباطات	یک طرفه و offline	دو طرفه و online
تعداد سنسورها	اندک و محدود	فراوان و فراگیر
بازسازی و ترمیم	دستی	خودترمیمی/ بازیابی خودکار
عملکرد	الکترومکانیکی	دیجیتالی
قابلیت اطمینان	قطع گسترده در زمان بروز مشکل/ در معرض خطا خروج‌های متوالی رخ می‌دهد (قابلیت اطمینان پایین)	محدود نمودن و قطع جزیره‌ای/ به هدف جلوگیری از خاموشی سیستم مرتباً پایش می‌شود، وضعیت شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد و چون برنامه‌ریزی نگه‌داری و تعمیرات دارد احتمال بروز خاموشی کاهش می‌یابد.
تست و نظارت شبکه	دستی	از راه دور

۱-۵-۲- معایب (چالش‌ها)

به دلیل ماهیت جدید شبکه هوشمند در صنعت برق و قرار داشتن این تکنولوژی در مراحل

Ahwaz_Hackerz

طراحی و توسعه، چالش‌هایی در پیش روی این پروژه وجود دارد که برای رسیدن به نتیجه بهتر در مورد آن، رویارویی با این چالش‌ها اجتناب ناپذیر است. برخی از این چالش‌ها عبارت‌اند از:

- رفتار مشترکین در برابر ایجاد شبکه هوشمند و میزان مشارکت آن‌ها در طرح‌ها مشخص نیست. به بیان دیگر مدل‌سازی جامعه کار دشواری است.
- برآورد صحیح نیازهای آینده دشوار است.
- به دلیل حیطه وسیع تأثیر شبکه هوشمند، این فناوری بر بخش‌هایی فراتر از شبکه قدرت تأثیر می‌گذارد که دربرگیرنده بخش‌های تجاری و قانون‌گذاری صنعت برق است. به همین دلیل برای اجرای شبکه هوشمند، توافق تمامی این بخش‌ها برای طراحی این شبکه ضروری است.
- ممکن است فنّاوری‌های انتخابی به مرور زمان خارج از رده یا جایگزین گردند، چرا که بسیاری از فنّاوری‌هایی که در شبکه هوشمند بکار می‌روند، خود به سرعت در حال تغییر هستند.
- برای فنّاوری‌های مختلف شبکه هوشمند، استاندارد و قرارداد مشخصی بین کشورها و محققین مختلف وجود ندارد. نبود استاندارد می‌تواند باعث تفاوت در فنّاوری‌های به کار رفته در مناطق مختلف و ایجاد سردرگمی و بروز مشکلاتی در راه پیشرفت این فناوری شود.
- احداث و تحقق شبکه هوشمند در شرایطی انجام خواهد گرفت که شبکه برق فعلی به حیات خود ادامه می‌دهد و مشترکین به نیروی برق به صورت کامل و بدون نقص دسترسی دارند. پیاده‌سازی این شبکه، بدون ایجاد مشکل در شبکه فعلی، کار بسیار دشواری است.
- مبلغ مورد نیاز جهت سرمایه‌گذاری بسیار بالاست، چرا که فنّاوری‌های مورد نیاز در حال حاضر بسیار گران هستند؛ بنابراین بخش‌های دولتی باید سرمایه‌گذاری اصلی را

Ahwaz_Hackerz

به عهده بگیرند و بخش‌های خصوصی هم در واحدهای کوچک‌تر فعال شوند. در نتیجه در دستیابی به اهداف شبکه هوشمند تصمیمات درست و سرمایه‌گذاری دولت اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

۱-۶- کاربردهای شبکه هوشمند

برای شبکه هوشمند می‌توان کاربردهای زیادی را متصور شد. در ادامه به برخی از کاربردهای شبکه هوشمند اشاره می‌شود.

- برنامه‌ریزی و کنترل ریزشبکه‌ها (شامل برنامه‌ریزی تولید DERهای ریزشبکه برای تأمین بار محلی و فروش مازاد آن به شبکه).
- تشخیص تجاوز به حریم خصوصی و مقابله با آن (امنیت سایبری).
- نظارت بر عملکرد تجهیزات (این نکته در شبکه‌های معمولی بسیار محدود است).
- امکان پایش، حفاظت و کنترل در نواحی گسترده[1].
- تشخیص وقوع حوادث به صورت برخط و اعلام خطر (در شبکه‌های توزیع امروزی، تشخیص حوادث به وسیله تلفن مشترکین صورت می‌گیرد).
- مشاهده نوسانات توان و میراسازی آن‌ها (نکته مهم کنترل نوسانات در همان ابتدای شروع نوسان است. اگر در ابتدا نوسانات کنترل نشود ممکن است به ناپایداری (دینامیکی) شبکه منجر شود. میراسازی به وسیله عملگرهای شبکه صورت می‌پذیرد).
- بهینه‌سازی ولتاژ و توان راکتیو.
- تشخیص وقوع فروپاشی ولتاژ[2] (به دلیل کمبود توان راکتیو در توان‌های بالا اتفاق می‌افتد).

1- Wide Areas
2- Voltage Collapse

Ahwaz_Hackerz

- ❖ تشخیص خودکار خاموشی و بازیابی سیستم (خودترمیمی).
- ❖ سیستم مدیریت انرژی–تقاضا (مشارکت مصرف‌کنندگان).

۱-۷- حوزه اثر فناوری‌های مطرح در شبکه هوشمند

در این بخش به دنبال این مسئله هستیم که چه فناوری‌هایی در ساختار شبکه هوشمند داریم و هرکدام در کدام بخش از شبکه کارایی دارند. جدول ۱-۱۱ حوزه اثر فناوری‌هایی مختلف در یک شبکه هوشمند را ارائه می‌دهد.

جدول ۱-۱۱: حوزه اثر فناوری‌های مطرح در شبکه هوشمند.

فناوری‌های شبکه هوشمند	تولید	انتقال	پست توزیع	خطوط توزیع بخش صنعت	بخش خدمات	مسکونی
کنترل و نظارت گسترده WAMPAC[1]	✓	✓	✓			
یکپارچه‌سازی ICT و فناوری اطلاعات	✓	✓	✓	✓	✓	✓
یکپارچه‌سازی DG	✓	✓	✓	✓	✓	✓
فناوری HVDC و FACTs	✓	✓	✓			
مدیریت شبکه توزیع		✓	✓	✓		
زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته AMI			✓	✓	✓	✓
زیرساخت‌های شارژ خودروی برقی (شامل شارژ و ایستگاه شارژ)			✓	✓	✓	✓
سامانه‌های سمت مشترکین (به هدف مشارکت مصرف‌کنندگان)				✓	✓	✓

1- Wide Area Monitoring Protection and Control

Ahwaz_Hackerz

۱-۸- نحوه تحقق شبکه هوشمند

برای تبدیل شبکه‌های موجود به شبکه‌های هوشمند می‌بایست مراحلی طی شود. در ادامه به این مراحل به طور اختصار اشاره شده است.

۱-۸-۱- مراحل پیشنهادی

مراحل پیشنهادی برای تبدیل شبکه‌های موجود به شبکه‌های هوشمند عبارت‌اند از:

۱- تحقیقات (برنامه‌ریزی تحقیقات): به طور مثال ایجاد پژوهشکده‌ها در دانشگاه‌ها.

۲- اقدامات مدیریتی: شامل برنامه‌هایی که مدیران باید تدارک ببینند.

۳- اقدامات قانون‌گذاری: برنامه‌هایی که ضرورت اجرایی دارند باید به صورت مصوبات دولتی ابلاغ شوند.

۴- انجام طرح‌های آزمایشی: مثلاً طرح پایلوت جزیره هرمز.

۵- ایجاد زیرساخت (اندازه‌گیری و مخابراتی): به طور مثال ایجاد زیرساخت اندازه‌گیری به صورت نصب کنتورهای هوشمند در حال پیاده‌سازی است.

۶- توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی.

۷- یکپارچه‌سازی DER (شامل تولیدات پراکنده و ذخیره‌سازها).

۸- سازگاری تجهیزات خانگی: به طوری که تمامی لوازم برقی خانگی بتوانند به صورت هوشمند با شبکه ارتباط برقرار کنند.

۹- سازگاری خودروهای هیبرید برقی.

۱۰- ایجاد امنیت سایبری.

۱۱- فعال‌سازی حوزه مشتریان.

۱-۸-۲- زیرساخت‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند

بخش‌های مختلفی که باید به شبکه موجود اضافه شوند تا مفهوم شبکه هوشمند عملی شود

Ahwaz_Hackerz

عبارت‌اند از:

۱- فناوری اطلاعات: در شبکه هوشمند برای پردازش و استخراج اطلاعات مورد نظر از داده‌های دریافتی از شبکه، نیاز بسیاری به فناوری اطلاعات و مدیریت داده‌های دریافتی از سطح شبکه است.

۲- حسگرها: با نصب حسگرها در هر نقطه از شبکه، امکان پایش لحظه به لحظه وضعیت شبکه با سرعت بالایی وجود خواهد داشت. به عنوان مثال با استفاده از سامانه اندازه‌گیری فازور، می‌توان از وضعیت پخش بار و جهت شارش بار در شبکه در هر لحظه اطلاع حاصل نمود. در سیستم فعلی SCADA این اطلاعات در پیشرفته‌ترین سیستم‌ها، هر دو الی چهار ثانیه یک بار تغییرات شبکه را منعکس می‌کند که دیدی از وضعیت حالت ماندگار شبکه را به بهره‌بردار شبکه می‌دهد. درحالی‌که با داشتن سامانه اندازه‌گیری فازور، این اطلاعات در هر ثانیه سی بار از شبکه گرفته می‌شود، که می‌تواند اطلاعات وضعیت گذرای شبکه را نیز در اختیار بهره‌بردار شبکه قرار دهد.

۳- لینک‌های پرسرعت مخابراتی هم زمان دو طرفه: در شبکه هوشمند تمامی بخش‌های شبکه می‌بایست اطلاعات مورد نیاز خود را در حد کافی از شبکه داشته باشد، به این صورت که سیگنال قیمت در بازار در هر لحظه باید در اختیار مصرف کننده نهایی باشد و قیمت برق در هر لحظه با نرخ برق در همان لحظه برای مصرف‌کننده محاسبه شود. همچنین بهره‌بردار شبکه هم می‌تواند از وضعیت مصرف برق در شبکه اطلاع داشته باشد. در نهایت، شبکه هوشمند کارکردی مشابه اینترنت خواهد داشت که به جای اطلاعات انرژی برق در آن جریان دارد، به این صورت که برای هر وسیله برقی در خانه یا در مراکز صنعتی، یک IP Address قرار داده می‌شود که به عنوان آدرس شناسایی این وسیله برقی در کل شبکه، مقداری یکتا دارد. این آدرس به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که در کوچک‌ترین حد ممکن از اینکه کدام مصرف کننده در این ساعت از چه وسیله‌ای استفاده می‌کند، مطلع باشد.

۴- تولید پراکنده: شبکه هوشمند از منابع تولید پراکنده در تمامی سطوح ولتاژ مخصوصاً سطح

Ahwaz_Hackerz

ولتاژ توزیع بهره می‌گیرد.

۵- ذخیره انرژی: ذخیره کننده‌های انرژی که به صورت پراکنده در شبکه نصب شده‌اند، به سیستم امکان کارکرد با بازدهی بهتر را می‌دهند. این ذخایر انرژی می‌توانند با حجم‌های ذخیره کم مانند خودروهای الکتریکی یا هیبرید، یا با حجم‌های ذخیره بالاتر مانند ذخیره کننده‌های تلمبه ذخیره‌ای باشند.

۶- کنترل‌کننده‌های خودکار مصرف انرژی خانگی: برای هر مصرف‌کننده در شبکه هوشمند، یک کنترل‌کننده مرکزی در محل نصب می‌گردد. این کنترل‌کننده با داشتن قیمت لحظه‌ای برق این توانایی را دارد که به صورت خودکار با افزایش قیمت برق، اقدام به کاهش مصرف کرده و با کاهش قیمت برق، ادواتی را که خاموش بوده‌اند، روشن کند و مصرف انرژی مشترک را بهینه کند.

۱-۸-۳- ذینفعان

اجرای شبکه هوشمند در جامعه برای برخی از گروه‌ها و صنایع سود و منفعت به همراه خواهد داشت. به برخی از این صنایع و گروه‌ها در ادامه اشاره شده است.

۱- صنعت ICT

۲- سازندگان تجهیزات برقی

۳- صنعت ساختمان شامل سیستم مدیریت انرژی ساختمان (BMS[1]) و سیستم تهویه ساختمان‌ها

۴- صنایع کالاهای مصرفی

۵- ارائه‌دهندگان خدمات در شبکه برق هوشمند

۱-۹- جمع‌بندی

1 -Building Management System

Ahwaz_Hackerz

با توجه به مشکلات فعلی شبکه‌های برق، نیاز به یک شبکه کارآمدتر در شرایط کنونی حس می‌شود. این نکته در مفهومی به عنوان شبکه هوشمند گنجانده می‌شود. شبکه هوشمند را می‌توان به صورت اجتماع شبکه‌های ارتباطی با سیستم قدرت به منظور ایجاد مسیر مناسب انرژی الکتریکی و اطلاعات بیان کرد. این شبکه از یک سیستم یکپارچه برای ارائه سرویس‌های مخابراتی تشکیل شده و قادر است انواع مختلفی از سرویس‌های جدید را در حداقل زمان به مشتریان ارائه کند. هدف از ایجاد شبکه‌های هوشمند در موارد مختلفی از جمله بالا بردن قابلیت اطمینان، مسائل زیست‌محیطی و انرژی‌های تجدید پذیر، و همچنین بهبود پایداری شبکه که منجر به امنیت می‌شود است. شبکه هوشمند از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که در فصل‌های آینده به این اجزاء و همچنین اهداف مختلف شبکه هوشمند پرداخته خواهد شد.

منابع و مراجع

[1] J. Miller, Modern Grid Strategy Team Lead; *Smart Grid Basics*, National Energy Technology Laboratory March 16, 2009.

[2] A. Bagherian and SM. Moghaddas Tafreshi, "A developed energy management system for a microgrid in the completive electricity market," 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference, Bucharest, Romania, 2009, pp. 1-6.

[3] M. Amin, “Challenges in Reliability, Security, Efficiency, and Resilience of Energy Infrastructure: Toward Smart Self-healing Electric Power Grid,” 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, pp. 1-5, 2008.

[4] “Self-Heals” Conducted by the National Energy Technology Laboratory for the U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability March 2007.

[5] N. Moaddabi, S. H. Hosseinian and G. B. Gharehpetian, “Practical Framework for Self-healing of Smart Grids in Stable/Unstable Power

Ahwaz_Hackerz

Swing Conditions," Electric Power Components and Systems, Vol. 40, Issue 6, pp. 575-596, June 2012.

[6] N. Moaddabi and G. B. Gharehpetian, "Wide Area Method for Self-Healing of Smart Grids in Unstable Oscillations," Electric Power Components and Systems, Vol. 41, Issue 4, pp. 365-382, Jan. 2013.

[7] R. Jalilzadeh Hamidi, H. Livani, S. H. Hosseinian and G. B. Gharehpetian, "Distributed Cooperative Control System for Smart Microgrids," Journal of Electric Power Systems Research, Vol. 130, No. 1, pp. 241–250, Jan. 2016.

[8] M. Hamzeh, H. Hashemi-Dezaki, H. Askarian Abyaneh, G. B. Gharehpetian and B. Vahidi, "Risk Management of Smart Grids based on Plug-in Hybrid Electric Vehicles Charging Considering Transformers Hottest Spot Temperature-Dependent Aging Failures," Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol.8, Issue 3, pp. 1-18, May 2016.

[9] S. Tan, D. De, W. Z. Song, J. Yang and S. K. Das, "Survey of Security Advances in Smart Grid: A Data Driven Approach," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, No. 1, pp. 397-422, 2017.

[10] R. Belkacemi and A. Feliachi, "An immune system approach for power system automation and self-healing," 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, pp. 1-7, 2009.

[11] http://purecities.org/do-smart-cities-equal-smarter-empowered-citizens

[۱۲] "منشور طرح جزیره هوشمند خلیج فارس (هرمز)"، شرکت توانیر، زمستان ۱۳۹۱.

[13] F. Rahimi and A. Ipakchi, "Demand Response as a Market Resource Under the Smart Grid Paradigm," IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 1, No. 1, pp. 82-88, June 2010.

[14] Charles Kim, "Lecture Note on Analysis and Practice for Renewable Energy Micro Grid Configuration," 2013.

Ahwaz_Hackerz

www.mwftr.com.

[15] IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads," in IEEE Std. 2030-2011, vol., no., pp.1-126, Sept. 10 2011.

[۱۶] شهرام جدید، علیرضا ذکریا زاده؛ *شبکه‌های توزیع هوشمند*، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۹۳.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۲ سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند

۲-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر اهمیت کاهش مصرف انرژی و گازهای گلخانه‌ای و از سوی دیگر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به عنوان یک الزام بین‌المللی تحت عنوان شبکه‌های هوشمند مطرح گردیده است. در بیشتر کشورهای توسعه‌یافته، شرکت‌های برق اولویت خود را به پیاده‌سازی شبکه هوشمند اختصاص داده‌اند که پیاده‌سازی سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند (AMI[1]) و مدیریت انرژی اولین و اساسی‌ترین قدم در جهت تحقق این موضوع است.

هدف این فصل بررسی جوانب مختلف سیستم AMI است. به همین منظور پس از مرور روند تحولات سیستم‌های اندازه‌گیری مختلف، تعریف AMI، تفاوت آن با سایر سیستم‌های موجود، اجزاء آن، قابلیت‌های آن، مزایا و چالش‌هایش ارائه خواهند شد.

۲-۱-۱- روش‌های هوشمندسازی سمت مصرف

برای هوشمندسازی سمت تقاضا روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که عبارت‌اند از:

۱) استفاده از AMI

۲) فناوری خانه‌ی هوشمند[2]

۳) استفاده از خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه (PHEV[3])

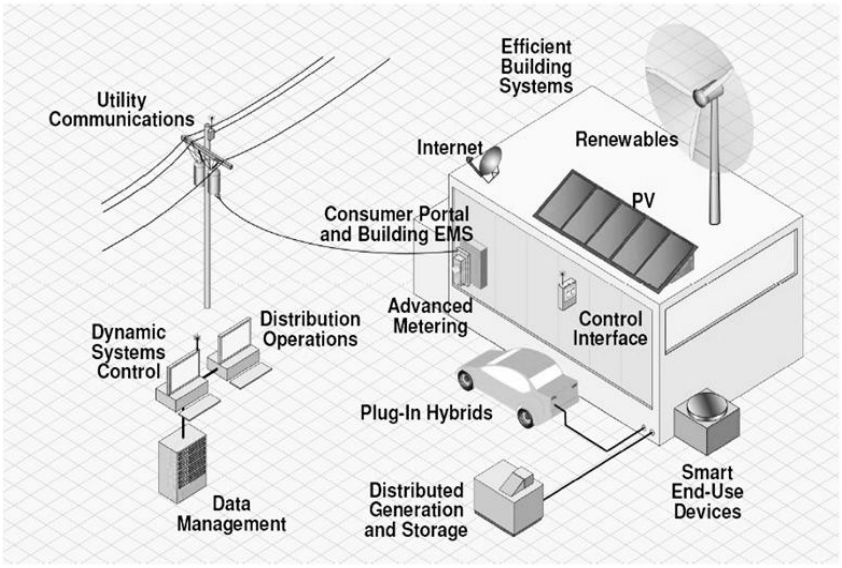
1-Advanced Metering Infrastructure

2- Smart Home

3- Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Ahwaz_Hackerz

شکل ۲-۱: هوشمندسازی سمت مصرف (۱) [۸].



شکل ۲-۲: هوشمندسازی سمت مصرف (۲) [۹].

نمونه‌های از هوشمندسازی سمت مصرف با استفاده از فناوری AMI و خانه هوشمند در شکل-

Ahwaz_Hackerz

های ۲-۱ و ۲-۲ نمایش داده شده است.

۲-۲- روند تحولات در اندازه‌گیری سمت مشترکین

در سمت مشترکین از گذشته تاکنون روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مصرف مشترکین انجام گرفته است. در ادامه مهم‌ترین سیستم‌های اندازه‌گیری سمت مشترکین آورده شده است.

۲-۲-۱- سیستم‌های اندازه‌گیری الکترومکانیکی

این سیستم‌ها به طورکلی بر اساس میدان مغناطیسی حاصل از آهن‌ربای طبیعی یا الکتریکی کار می‌کنند. در تمامی این سیستم‌ها قرائت دستگاه‌های اندازه‌گیری به صورت دستی[1] انجام می‌گیرد.

۲-۲-۲- سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی

این سیستم‌ها در دهه‌ی ۹۰ قرن بیستم استفاده شدند. در سال ۱۹۷۰ اولین نمونه این سیستم توسط شرکت AT&T ایجاد شد و در سال ۱۹۸۵ سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی وارد بازار شدند. این کنتورها امکان قرائت خودکار کنتور (AMR[2]) را دارند. نمونه تولیدشده چهار برابر سیستم اندازه‌گیری الکترومکانیکی سنتی هزینه داشت. نمونه‌هایی از هر دو مورد فوق در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.

1- Manual meter reading
2- Automatic Meter Reading

Ahwaz_Hackerz

شکل ۲-۳: سیستم‌های اندازه‌گیری الکترومکانیکی و الکترونیکی [۱۰].

۲-۲-۲-۱- خصوصیات AMR

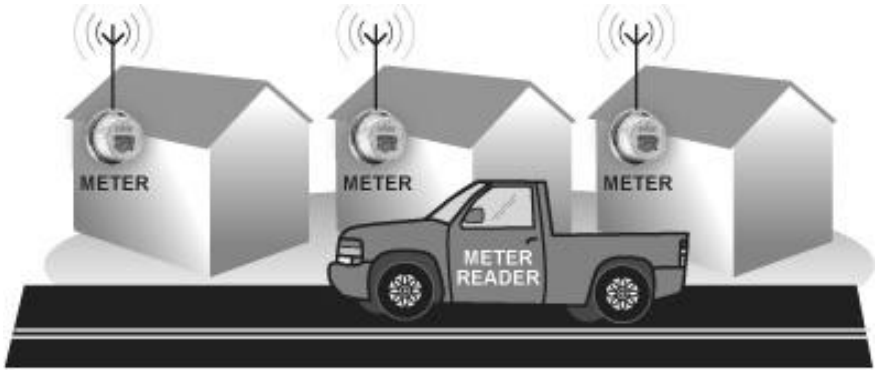
این سیستم در سال ۱۹۶۲ معرفی شد. در این زمان از خطوط تلفن و بدون سیم برای ارسال اطلاعات استفاده می‌شد. سیستم‌های AMR جهت جمع‌آوری اطلاعات به کمک کانال بدون سیم، خطوط تلفن و یا ارتباط موقت رادیویی از داخل یک خودرو در خیابان طراحی شدند. به دلیل اینکه حضور یک شخص برای برنامه‌ریزی و تنظیم مجدد در این نوع سیستم ضروری است، نتایج اندازه‌گیری در این نوع سیستم‌ها و شبکه‌ها به اندازه کافی دقیق نیست. در سیستم AMR، ارتباط یک طرفه و ثبت و ارسال اطلاعات به صورت ماهیانه است که در این حالت تنها آخرین اطلاعات دریافتی می‌تواند ثبت و ردیابی شود. هدف این سیستم تهیه‌ی صورت حساب برای مصرف‌کنندگان است. شکل ۲-۴ نمونه‌ای از جمع‌آوری اطلاعات کنتورها با استفاده از ارتباط موقت رادیویی با خودروی گیرنده در خیابان در سیستم AMR را نشان می‌دهد.

۲-۳- سیستم AMI

امروزه با پیشرفت در فنّاوری ارتباطات، امکان اندازه‌گیری از راه دور و نیز ارتباط‌های دو سویه فراهم آمده است. از طرف دیگر، هم برای مصرف کننده و هم بهره‌بردار شبکه نیاز به زیرساخت اندازه‌گیری خودکار AMI به وجود آمده است. سیستم AMI می‌بایست اهداف خاصی را

Ahwaz_Hackerz

برآورده کند. شکل ۲-۵ به صورت مختصر جایگاه AMI و AMR را در شبکه‌های هوشمند نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴ نمونه‌ای از جمع‌آوری اطلاعات کنتورها با استفاده از ارتباط موقت رادیویی در سیستم AMR [۱۰].

شکل ۲-۵ جایگاه AMI و AMR در شبکه‌های هوشمند.

۲-۳-۱- نیازهای عملیاتی

سیستم AMI می‌بایست اهداف خاصی را برآورده کند. این اهداف عبارت‌اند از:

Ahwaz_Hackerz

۱- دو طرفه بودن

۲- سرعت تبادل اطلاعات مناسب

۳- حجم اطلاعات مناسب

۴- قابلیت اطمینان بالا

۵- قابلیت توسعه‌ی سیستم

۶- هزینه‌ی راه‌اندازی کم

۷- سابقه‌ی مثبت

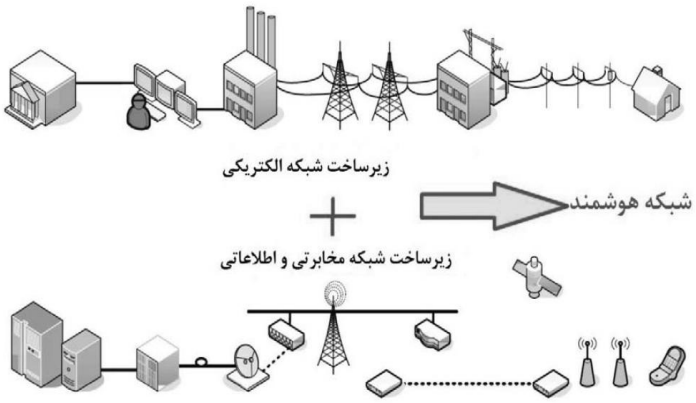
۸- آبونمان

۹- قابلیت پیاده‌سازی در ایران

۲-۳-۲- تعریف AMI

ترکیبی است از سخت‌افزار، نرم‌افزار و بستر مخابراتی با قابلیت اندازه‌گیری اطلاعات سمت مصرف به صورت بلادرنگ یا شبه بلادرنگ. این زیرساخت در واقع مهم‌ترین قسمت در یک شبکه‌ی هوشمند است که اهداف دیگر شبکه‌ی هوشمند را محقق می‌سازد، چرا که در واقع این کار بخش اعظم ایجاد شبکه‌ی هوشمند را تشکیل می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲-۶ نیز مشاهده می‌شود، AMI پیاده‌سازی یک فنّاوری منفرد نیست، بلکه یک زیرساخت به طور کامل پیکربندی شده است که باید با فرایندها و کاربردهای شبکه‌ها موجود و جدید ادغام شود. این زیرساخت‌ها در بردارنده سیستم شبکه خانگی شامل ترموستات‌های ارتباطی و کنترل‌کننده‌های خانگی دیگر، اندازه‌گیرهای هوشمند، شبکه‌های ارتباطی بین دستگاه‌های اندازه‌گیری و مراکز جمع‌آوری داده، سیستم‌های مدیریت داده‌های جمع‌آوری‌شده و در نهایت ادغام داده‌ها با پایگاه‌های نرم‌افزاری موجود و جدید است. علاوه بر این، AMI یک گام هوشمند به‌سوی هوشمندسازی کل شبکه قدرت را فراهم می‌کند.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۲-۶: اهمیت زیرساخت مخابراتی و اندازه‌گیری پیشرفته اجزاء AMI [۴].

۲-۳-۳- اجزای AMI

سیستم AMI از اجزای زیر تشکیل شده است:

۱- کنتور هوشمند[1] و ماژول‌های ارتباطی

۲- جمع کننده‌ی داده و لینک مخابراتی (AMRC[2])

۳- سیستم مدیریت شبکه (NMS[3])

۴- سیستم مدیریت داده‌ی کنتورها (MDMS[4])

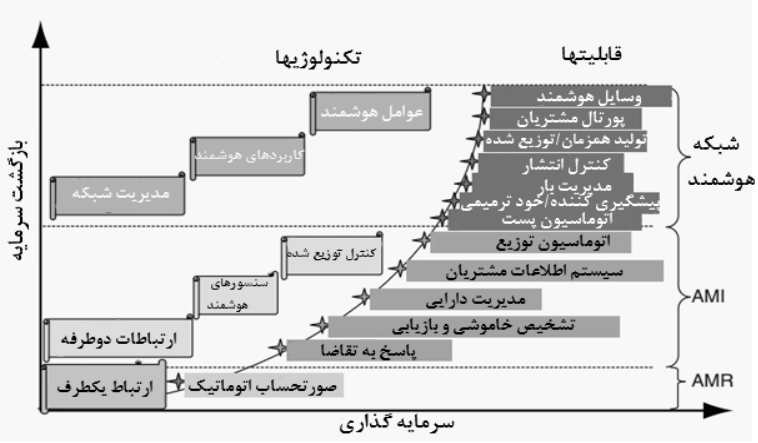
۲-۳-۴-تفاوت AMR و AMI

اگرچه فنّاوری AMR در ابتدا جذاب بود، اما شرکت‌های برق متوجه شدند که AMR برای بیشتر مشکلات آن‌ها از قبیل مدیریت سمت مصرف بلااستفاده است. به دلیل اینکه ارتباطات این سیستم یک طرفه است، قابلیت‌های AMR تنها به قرائت داده‌های اندازه‌گیری شده محدود می‌شود. این سیستم به شرکت‌های برق اجازه نمی‌دهد تا با توجه به اطلاعات دریافتی

1- Smart meter
2- Advanced Meter Regional Collector
3- Network Management System
4- Meter Data Management System

Ahwaz_Hackerz

از کنتورها، عملکرد صحیحی داشته باشند؛ به عبارت دیگر سیستم‌های AMR اجازه نمی‌دهند تا گذار به شبکه هوشمند داشته باشیم، جایی که کنترل فراگیر در همه سطوح، یک فرض اساسی است. در نتیجه فنّاوری AMR طول عمر کوتاهی داشته است و به جای سرمایه‌گذاری در زمینه AMR، شرکت‌های برق در سراسر جهان به سمت زیرساخت‌های پیشرفته اندازه‌گیری حرکت کرده‌اند. AMI ارتباط دو طرفه برای شرکت‌های برق و همچنین قابلیت تنظیم پارامترهای سطح سرویس[1] مشتریان را به ارمغان می‌آورد. شرکت‌های برق توسط AMI می‌توانند به اهداف مدیریت و با عملکرد حفاظتی خود دست یابند. آن‌ها نه تنها می‌توانند اطلاعات لحظه‌ای را درباره بارهای متراکم و لحظه‌ای به دست آورند بلکه می‌توانند محدودیت‌هایی را بر مصرف‌کننده تحمیل کرده و همچنین مدل‌های عملکردی مختلفی جهت کنترل هزینه‌های آن‌ها اعمال کنند. ظهور سیستم‌های AMI منادی یک حرکت هماهنگ توسط ذینفعان رشد و بهبود ساختارهای شبکه هوشمند است.



شکل ۲-۷ نمودار مقایسه بازگشت سرمایه نسبت به میزان سرمایه‌گذاری در AMR، AMI و شبکه هوشمند [۴].

در واقع، یکی از فاکتورهای بسیار مهم شرکت‌های برق برای انتخاب از میان ساختارهای مختلف AMI، تطبیق‌پذیر بودن آن‌ها با ساختارها و فنّاوری‌های شبکه‌های هوشمند در آینده

1- Service-Level Parameters

Ahwaz_Hackerz

است. تفاوت دو سیستم AMI و AMR در جدول ۲-۱ آورده شده است. همچنین این دو طرح از نظر سرمایه‌گذاری و بازگشت سرمایه در شکل ۲-۷ مقایسه شده‌اند.

جدول ۲-۱: تفاوت شاخص AMR و AMI

	AMR	AMI
وظیفه	اندازه‌گیری	جمع‌آوری داده‌ها
ارتباط	یک طرفه	دو طرفه
پهنای باند	کم	زیاد
دوره خواندن	ماهانه	در هر لحظه
مدیریت قطع برق	امکان پذیر نیست	در صورت نیاز
خدمات مشتریان	انفعالی	بلادرنگ
تشخیص نشت	ماهانه، پس از بار خوانده شده	هنگام وقوع
برنامه‌های کاربردی	اندازه‌گیری	اندازه‌گیری، TOU[1]، مدیریت قطع برق، برنامه‌ریزی
استاندارد	اختصاصی	استانداردهای مختلف مورداستفاده و در حال توسعه

۲-۳-۵- ساختار کلی

سامانه‌ی هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی شامل مجموعه‌ای از کنتورهای هوشمند، ماژول‌های مخابراتی، شبکه‌ی LAN[2]، جمع کننده‌های داده، شبکه‌ی WAN[3]، سامانه‌ی مدیریت شبکه‌ی مخابراتی NMS، سامانه‌ی مدیریت و پایش اطلاعات نقاط اندازه‌گیری MDMS و نیز سامانه‌ی مدیریت داده است.

1- Time-of-Use
2- Loca Area Network
3- Wide Area Network

Ahwaz_Hackerz

شکل ۲-۸ اجزای گفته شده و ارتباط آن‌ها را نشان می‌دهد. در شکل ۲-۸ سایر کنتورها و نمایشگرهای خانگی موسوم به IHD[1] به شبکه‌ی خانگی موسوم به HAN[2] متصل می‌شوند. این شبکه در واقع دربرگیرنده شبکه یک یا چند ساختمان نزدیک هم است که برد آن می‌تواند تا ده‌ها متر باشد. شبکه خانگی با سایر تجهیزات اندازه‌گیری دارای ارتباط دو طرفه و با کنتور هوشمند در ارتباط یک طرفه است و اطلاعات را به کنتور هوشمند می‌فرستد. این کار برای تمامی دسته ساختمان‌های دیگر انجام گرفته و هرکدام از HANهای دیگر به کنتور هوشمند دیگری متصل است. کلیه‌ی کنتورهای هوشمند اطلاعات را به شبکه‌ی بالاتری موسوم به شبکه‌ی محلی LAN می‌فرستند. شبکه‌ی محلی نقاط خیلی نزدیک مثلاً ادارات یا ساختمان‌ها را به هم متصل می‌کند. این شبکه، با بهره گرفتن از انواع کانال‌های ارتباطی مخابراتی، در اختیار ارائه‌کنندگان خدمات قرار دارد. به علت نزدیک بودن گره‌ها در شبکه‌های محلی، هر شرکتی می‌تواند کانال‌های ارتباطی ویژه خود را راه‌اندازی کند (مانند زوج کابل مسی به هم تافته کابل هم‌محور، کابل فیبر نوری یا فرستنده‌های بی‌سیم)؛ بنابراین شبکه‌های محلی به حامل‌های عمومی نیاز دارند.

اطلاعات در شبکه‌ی محلی به جمع کننده‌های داده (AMRC) وارد شده و مجموع اطلاعات این جمع کننده‌ها به شبکه گسترده WAN فرستاده می‌شود. این شبکه دارای بردی در حد ده‌ها کیلومتر بوده و به علت حجم بالای اطلاعات باید دارای سرعت انتقال بالا در حدود مگابیت بر ثانیه و حتی گیگا بیت بر ثانیه باشد. شبکه‌ی گسترده، گره‌های واقع در نواحی بسیار پراکنده جغرافیایی ازجمله شهرها، استان‌ها و حتی کشورها را به هم متصل می‌کند؛ به عبارت دیگر، شبکه گسترده به منظور برقراری ارتباط بین نقاط بافاصله‌ی زیاد کاربرد دارد و از طریق شبکه اطلاعات سیار (Mobile Data Network) می‌تواند به پوشش سطح وسیعی از یک ناحیه دست یابد. این شبکه داده‌های لازم برای سیستم مدیریت شبکه را به منظور نظارت بر

1- In Home Display
2- Home Area Network

Ahwaz_Hackerz

سیستم اندازه‌گیری و قرائت کنتور تأمین می‌نماید و اطلاعات مورد نیاز سیستم مدیریت داده‌ی کنتور (NDMS) در مرکز امور مشترکین شرکت توزیع را به منظور برنامه‌ریزی و اجرای فرمان‌ها فراهم می‌سازد. کلیات این فرایند در شکل ۲-۹ نمایش داده شده است.

۲-۳-۶- قابلیت‌های کنتور هوشمند

کنتور هوشمند می‌بایست دارای قابلیت‌های زیر باشد:

۱- قرائت آب، برق و گاز

۲- جمع‌آوری داده‌ها در فواصل زمانی منظم

۳- قابلیت قطع و وصل از راه دور

۴- اطلاع از نحوه‌ی مصرف

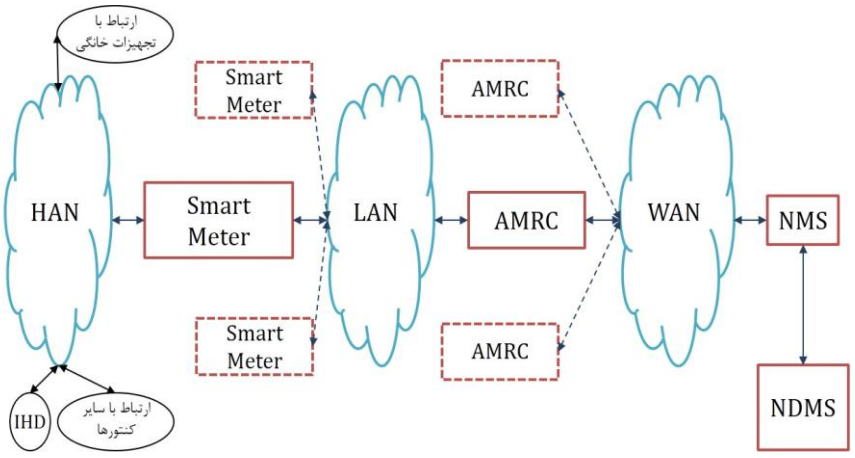
۵- ارتباط دو سویه بین کنتور و شرکت توزیع

۶- شناسایی قطعی‌ها و اطلاع‌رسانی به شرکت توزیع

۷- پشتیبانی از گزینه‌های نرخ قابل انعطاف مانند نرخ‌های زمان مصرف در هر لحظه (TOU)

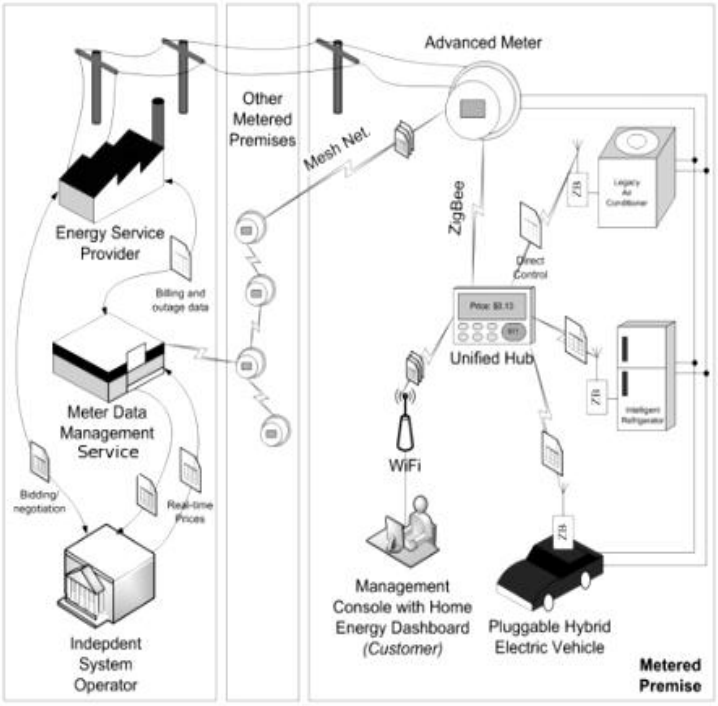
۸- برنامه‌ریزی و به‌روزرسانی از راه دور (تعرفه بندی از راه دور)

۹- تعامل با یک شبکه‌ی خانگی (HAN)



شکل ۲-۸: ساختار کلی اجزای AMI و ارتباط بین آن‌ها.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۲-۹: ساختار AMI از مصرف تا اپراتور شبکه [۱۱].

۲-۳-۷- قابلیت‌های HAN

شبکه‌ی خانگی می‌بایست دارای قابلیت‌هایی باشد. برخی از این قابلیت‌ها در ادامه آورده شده است:

۱- سیگنال‌دهی قیمت

۲- سیگنال‌دهی مصرف کننده‌های خاص

۳- سیگنال‌دهی کنترل

۴- پشتیبانی از تولید پراکنده

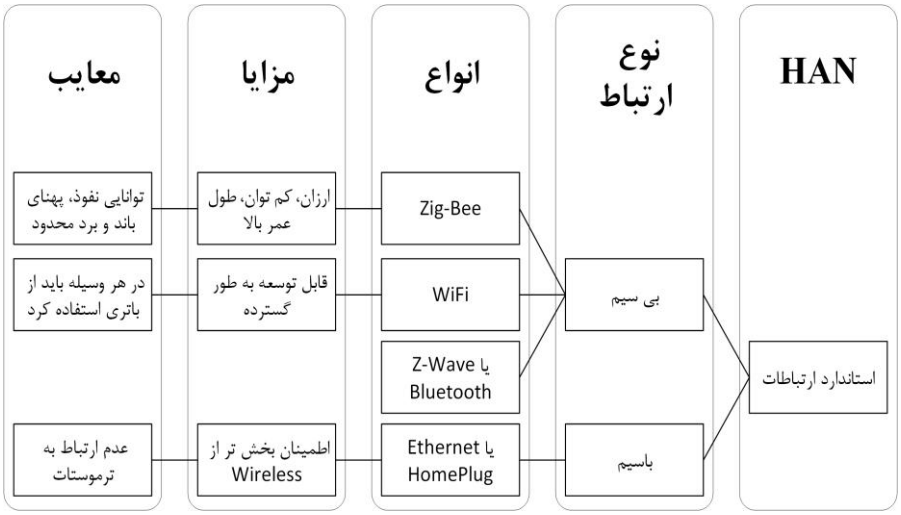
۵- پشتیبانی از اندازه‌گیری‌های فرعی

۶- دارای طول ده‌ها متر

۷- سرعت بسیار کم (پهنای باند کم) مورد نیاز است

Ahwaz_Hackerz

شکل ۲-۱۰ اطلاعات کاملی در مورد HAN ارائه می‌دهد. همچنین جدول ۲-۲ مقایسه‌ای بین انواع ارتباطات موجود در HAN را ارائه کرده است.



شکل ۲-۱۰: اطلاعات مختلف در مورد HAN.

۲-۳-۸- قابلیت‌های سیستم مدیریت داده‌ی کنتور (MDMS)

سیستم مدیریت داده‌ی کنتور می‌بایست دارای قابلیت‌هایی باشد. برخی از این قابلیت‌ها در ادامه آورده شده است:

۱- دریافت قرائت‌ها از NMS و صدور صورتحساب

۲- ذخیره‌سازی داده‌ها (قرائت لحظه‌ای و ثبت وقایع)

۳- مدیریت داده‌ها

۴- مدیریت تنظیم بار پست

۵- محاسبه‌ی تلفات

۶- مدیریت بار مشترکین

۷- اعمال فرمان قطع و وصل

Ahwaz_Hackerz

۸- تنظیم کنتور

۹- ایجاد واسط‌های ارتباطی (از طریق WAN) به شرکت‌های مجاز در قالب پروتکل‌های خاص

جدول ۲-۲: مقایسه ارتباطات AMI.

تکنولوژی AMI	WiMAX / WiFi	Digital Cellular	RF Tower	RF Mesh	PLC
ارائه دهندگان	Sky Teq	Smart Sync	Sensus Aclara	Cooper Elster Itron Landis Gyr SilverSpring Tantalus Trilliant	Aclara Cooper LG
سناریوهای استفاده بهینه	آزمایشی (۲ الی ۳ سال)	هدفمند	سریع و گسترده	سریع و گسترده	سریع و گسترده
وضعیت ارتباطات	عمومی	عمومی	با مجوز	بدون مجوز	خطوط انتقال
بلوغ سیستم	خیلی پایین	خیلی پایین	معمولی	معمولی	بالا
هزینه اولیه/ سالیانه	بالا/متوسط	پایین/بالا	متوسط/ پایین	متوسط/ پایین	متوسط/ پایین
توان عملیاتی	خیلی زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط تا زیاد	کم تا متوسط
توانایی ارائه خدمات مشتری محور در شبکه هوشمند	بالا	متوسط به بالا	متوسط به بالا	متوسط به بالا	کم تا متوسط
توانایی ارائه خدمات در شبکه هوشمند	بالا	پایین	بالا	بالا	متوسط

Ahwaz_Hackerz

۲-۴- مزایای AMI و معایب آن

در این بخش مزایای استفاده از سیستم AMI، به تفکیک برای کاربران مختلف عنوان شده است. در انتها نیز چالش‌های پیش روی این سیستم نیز آورده شده است.

۲-۴-۱- مزایا برای مصرف‌کنندگان

مزایای استفاده از سیستم AMI برای مصرف‌کنندگان به شرح زیر است:

۱- اطلاع از قیمت لحظه‌ای که منجر به مدیریت مصرف و هزینه توسط مشترکین می‌شود.

۲- قابلیت اطمینان بیشتر.

۳- بهبود کیفیت توان.

۴- جلب مشارکت مصرف‌کنندگان (به خصوص در تولید پراکنده).

۲-۴-۲- مزایا برای شرکت‌های ارائه دهنده‌ی خدمات

مزایای استفاده از سیستم AMI برای شرکت‌های ارائه دهنده‌ی خدمات به شرح زیر است:

۱- کاهش وسایل قرائت دستی.

۲- کاهش کارکنان مورد نیاز برای قرائت دستی و کاهش هزینه‌های مربوطه.

۳- کاهش خطای ناشی از قرائت دستی.

۴- کاهش شکایات مرتبط با صورت حساب‌ها.

۵- کاهش مراجعه به امور مشترکین برای بررسی شکایات.

۶- کاهش استفاده از وسایل نقلیه و صرفه‌جویی در سوخت و هزینه‌های نگه‌داری.

۷- کاهش برق دزدی.

۲-۴-۳- مزایا برای شرکت‌های برق

Ahwaz_Hackerz

مزایای استفاده از سیستم AMI برای شرکت‌های برق به شرح زیر است:

۱- اطلاع سریع از زمان و مکان خاموشی و اقدام جهت رفع آن.

۲- آگاهی از الگوی مصرف و تعیین دقیق اندازه‌ی تجهیزات و تنظیمات دستگاه‌های حفاظتی.

۳- برنامه‌ریزی دقیق و به موقع تعمیرات.

۴- کاهش پیک مصرف بار.

۵- کلیه مزایای شرکت‌های ارائه‌دهنده‌ی خدمات نیز اگر جزء شرکت برق باشند، می‌تواند در این لیست قرار بگیرد.

۶- کاهش هزینه تهیه، تعمیر و نگهداری تجهیزات.

۷- کاخش هزینهٔ خدمات.

۸- بازیابی سریع‌تر، خاموشی کوتاه‌تر و مدیریت لیست تجهیزات.

۲-۴-۴- مزایا برای اجتماع

مزایای استفاده از سیستم AMI برای اجتماع به شرح زیر است:

۱- بهبود بازده تحویل انرژی.

۲- تسهیل یکپارچه‌سازی تولیدات پراکنده.

۳- امکان فروش برق مشترکین در بازار خرده‌فروشی‌ها.

۴- تسهیل پاسخ‌گویی تقاضا (DR[1]).

۵- تشخیص سریع‌تر خطای اندازه‌گیری.

۶- خدمات بازیابی سریع‌تر.

۷- انعطاف‌پذیری هزینهٔ دوره‌ها.

۸- تغییر پروفیل انرژی مصرف‌کننده باهدف برنامه‌های افزایش بازدهی انرژی یا پاسخ به تقاضا.

1- Demand Response

Ahwaz_Hackerz

۲-۴-۵- معایب/چالش‌ها

چالش‌های پیش روی سیستم در ادامه آورده شده است.

۱- نیاز به افراد متخصص بیشتر

۲- هزینه‌های بالای توسعه

کل هزینه‌های به‌کارگیری AMI شامل هزینه‌های سخت‌افزار و نرم‌افزار (ماژول‌های اندازه‌گیری، زیرساخت‌های شبکه و نرم‌افزار مدیریت شبکه برای سیستم AMI) می‌شود، به‌علاوهٔ هزینه‌های نصب، مدیریت اطلاعات اندازه‌گیری، مدیریت پروژه و هزینه‌های تجمیع فنّاوری اطلاعات.

البته هزینهٔ سخت‌افزار AMI در طول دههٔ گذشته بیش از پنجاه درصد کاهش داشته است. در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶، میانگین هزینهٔ سخت‌افزار در هر متر حدود ۷۶ دلار تخمین زده شده است. حدود ۱۲۵ تا ۱۵۰ دلار در هر متر، هزینهٔ مربوط به زیرساخت‌های ارتباطی بوده است.

از اطلاعات به دست آمده از ده شرکت توسعه‌دهنده‌ی AMI در آمریکا میزان سرمایه‌گذاری در بخشه‌ای مختلف به شرح زیر است [۴] (شکل ۲-۱۱):

-٪۴۵ مربوط به سخت‌افزار سمت مصرف‌کننده

-٪۲۰ مربوط به سخت‌افزار سمت تولید شبکه

-٪۱۵ مربوط به نصب تجهیزات

-٪۱۱ مدیریت پروژه

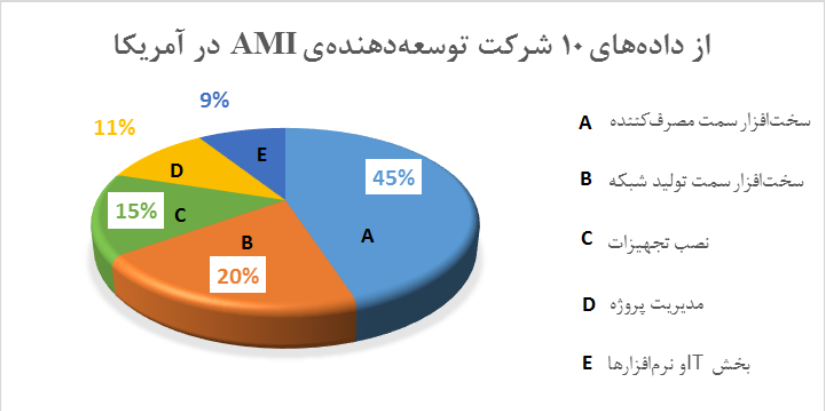
-٪۹ بخش IT و نرم‌افزارها

۲-۵- امنیت سایبری

به دلیل مشخصه منحصر به فرد AMI مانند ساختار پیچیده شبکه، تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند و داده‌های خصوصی حساس، ایمن کردن آن بسیار چالش برانگیز خواهد بود. برق دزدی یکی از پراهمیت‌ترین دغدغه‌های پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند است. تخمین زده می‌شود که شرکت‌های برق در سراسر جهان سالانه حدود ۲۵ میلیارد دلار متحمل خسارات

Ahwaz_Hackerz

ناشی از برق دزدی می‌شوند.



شکل ۲-۱۱: داده‌های ۱۰ شرکت توسعه‌دهنده AMI در آمریکا [۴].

فنّاوری AMI به سرعت در حال جایگزینی دستگاه‌های اندازه‌گیری سنتی بوده و میلیون‌ها خانه در سراسر جهان به آن مجهز شده‌اند. به طور مثال، هم اکنون در ایالت *اونتاریو* در کانادا، بیش از ۴/۷ میلیون دستگاه اندازه‌گیری هوشمند، برای صدور صورت‌حساب یا سایر مقاصد نصب شده است. بر اساس گزارش موسسه بازدهی الکتریکی آمریکا (IEE)[1] تا ماه می ۲۰۱۲، حدود ۳۶ میلیون دستگاه اندازه‌گیری هوشمند در آمریکا نصب شده و ۳۰ میلیون دیگر نیز تا سه سال آینده نصب خواهد شد.

در هر صورت تبادل عظیم اطلاعات حساس، زمینه را برای حمله به دستگاه‌های اندازه‌گیری و کل شبکه توزیع گسترده‌تر کرده و نقاط ضعف بسیار زیادی را برای حملهٔ سایبری مهیا می‌سازد.

گزارش شده که آمریکا به‌تنهایی سالانه ۶ میلیون دلار خسارت ناشی از برق دزدی را متحمل می‌شود. در سال ۲۰۰۹، FBI از یک تلاش سازمان یافته برای برق دزدی خبر داده که هزینه

1- Institute for Electric Efficiency

Ahwaz_Hackerz

سالانه بیش از ۴۰۰ میلیون دلاری را در بر خواهد داشت. هزینه‌های برق دزدی در این کشورها نظیر کانادا، هند و برزیل به ترتیب ۱۰۰، ۴/۵ و ۵ میلیون دلار در سال گزارش شده است. در نتیجه برق دزدی یکی از مهم‌ترین مسائلی شده که مانع از گسترش AMI شده است.

به دلیل طبیعت غیر فنی تلفات در سیستم‌های انتقال انرژی الکتریکی، تشخیص و مبارزه با افرادی که سبب برق دزدی می‌شوند برای شرکت‌های برق بسیار مشکل خواهد بود. حل چالش منحصربه‌فرد برق دزدی در AMI نیازمند توسعه تکنیک‌های تشخیص مؤثر است. تاکنون مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده است.

۲-۶- منافع کسب و کار از پیاده‌سازی AMI

سیستم AMI پتانسیل قابل توجهی برای منافع کسب و کار خواهد شد که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کنترل سیستم: ۴-۱۱٪
- صدور صورت حساب و خدمات مشتریان: ۲-۷٪
- مدیریت دارایی: ۴-۱۹٪
- مجموعه: ۱۵-۲۵٪
- پیش‌بینی بار: ۹-۱۴٪
- مدیریت تقاضا: ۲-۲۲٪
- تعرفه و قوانین نظارتی: ۱-۴٪

۲-۷- طرح فرا سامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی

بر اساس مصوبه شماره ۹۴۰۲۵/ت ۴۲۴۰۰ در تاریخ ۸۸/۰۵/۷ هیئت محترم دولت، وظیفه پیاده‌سازی فراسامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی (*فهام*) و کنترل سیستم‌های اندازه‌گیری به وزارت نیرو محول شده است. با عنایت به این مصوبه و با توجه به اینکه سرانه‌ی

Ahwaz_Hackerz

مصرف انرژی الکتریکی در ایران نسبت به کشورهای صنعتی بالاتر بوده، شرکت مادر تخصصی توانیر با حمایت وزارت نیرو بر آن شدند تا طرح پیاده‌سازی فهام را در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی به انجام رسانند که تحقق این خواسته مهم بر عهده سازمان بهره‌وری انرژی ایران (*سابا*) است. سیستم اندازه‌گیری هوشمند قرار است در قالب طرح "فرا سامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی (فهام)" توسط سازمان بهره‌وری انرژی ایران طی یک برنامه زمانی ۷ ساله در سطح کشور اجرایی شود. گام اول این طرح شامل نصب کنتورهای هوشمند برای یک میلیون مشترک از فیدر ۲۰ کیلو ولت تا محل مشترک است.

هم اکنون در مرحله اول طرح فهام قرار است در پنج منطقه کشور با شرایط اقلیمی مختلف، تعداد یک میلیون سیستم اندازه‌گیری هوشمند AMI نصب و راه‌اندازی گردد و پیمانکاران منتخب مشغول طراحی سیستم پیشنهادی خود می‌باشند. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود اجرای چنین طرح گسترده‌ای در سطح کشور بدون در نظر گرفتن الزامات امنیتی و مخابراتی ویژه آن بی‌شک می‌تواند عملکرد کل سیستم را تحت تأثیر قرار دهد و حتی سرمنشأ آسیب‌های گسترده و غیرقابل جبرانی شود. در ادامه سعی شده است راه‌های مختلف تبادل اطلاعات به همراه مخاطرات امنیتی این سامانه به طور کامل بررسی و تحلیل شوند.

سیستم هوشمند در حقیقت زیرساخت پیشرفته‌ای شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، شبکه و بستر مخابراتی است که با اندازه‌گیری انرژی مصرفی مشترکین برق اعم از مشترکین خانگی، صنعتی و تجاری اطلاعاتی نظیر مصرف، ولتاژ، جریان و اطلاعات دیگر را به صورت بلادرنگ یا شبه بلادرنگ از سمت مصرف‌کننده دریافت می‌کند و بر اساس این اطلاعات امکان تحلیل، رسم منحنی‌های بار، گزارش دهی، کاهش تلفات شبکه و غیره را در اختیار قرار می‌دهد. شکل ۲-۱۲ این ارتباط را نشان می‌دهد.

محیط ارتباطی سیستم هوشمند امکان قرائت از راه دور و همچنین کنترل از راه دور، قطع و یا وصل برق مشترک را فراهم می‌کند. با تحقق این امر در سیستم هوشمند هزینه‌های نیروی انسانی که قبل از این برای وارد نمودن اطلاعات مصرف انرژی مشترکین به شرکت‌های برق

Ahwaz_Hackerz

تحمیل می‌شد، از لیست هزینه‌ها حذف می‌گردد. خطای نیروی انسانی در قرائت میزان انرژی، عدم دسترسی قرائت‌گر به اطلاعات به دلیل حضور نداشتن مشترک در محل، تشخیص موارد استفاده غیرمجاز و دیگر مشکلات قرائت توسط نیروی انسانی ازجمله مواردی هستند که سیستم هوشمند بر آن‌ها فائق آمده و این مشکلات را از پیش روی شبکه برداشته است و بدین ترتیب باعث کاهش تلفات غیرفنی می‌گردد.

شکل ۲-۱۲: طرح فهام [۳].

طرح توجیهی پیاده‌سازی این فرا سامانه روی مشترکین شهرک صنعتی شماره دو اردبیل و مجتمع تجاری پاسارگاد تهیه شده و در مراحل تصمیم‌گیری است.

۲-۷-۱- پروژه‌های پایلوت

پیاده‌سازی و اجرای شبکه اندازه‌گیری هوشمند در سطح ملی مستلزم پیاده‌سازی چند منطقه پایلوت به منظور برطرف نمودن ابهامات و پاسخ‌گویی به سؤالات مربوط به سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند است. لذا به منظور نیل به این هدف باید مناطق پایلوت به گونه‌ای انتخاب شوند که نماینده‌ای از طرح ملی باشند. به این منظور باید معیارهایی در جهت

Ahwaz_Hackerz

انتخاب طرح پایلوت تدوین شود که شرکت‌های محترم توزیع با رعایت این معیارها مناطق پایلوتی را انتخاب نمایند که در آن به بیشتر سؤالات و ابهامات طرح نهایی پاسخ داده شود.

پیاده‌سازی شبکه اندازه‌گیری هوشمند دستاوردهای زیادی دارد که بعضی از آن‌ها شامل کاهش تلفات، اصلاح انشعاب و... است، ولی مهم‌ترین هدف انتخاب و پیاده‌سازی طرح‌های پایلوت پاسخ‌گویی به ابهامات و سؤالات مطرح شده در شبکه اندازه‌گیری هوشمند نظیر سؤالاتی که در مورد نحوه انتخاب بسترهای مخابراتی و ... است، لذا انتخاب مناطق پایلوت توسط شرکت‌های محترم توزیع نباید به گونه‌ای باشد که هدف اصلی پیاده‌سازی طرح‌های پایلوت تحت‌الشعاع مسائل جانبی قرار گیرد. از این رو به منظور پیشبرد هر چه سریع‌تر پروژه و رسیدن به اهداف اصلی پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری هوشمند مناطق پایلوت انتخاب شده توسط شرکت‌های توزیع باید حداقل مشکلات اجرایی را داشته باشد.

در انتخاب طرح پایلوت توسط شرکت‌های توزیع لزومی ندارد یک منطقه انتخاب شده تمام معیارهای آورده شده در گزارش را به صورت کامل داشته باشد، بلکه این طرح پایلوت می‌تواند شامل چندین منطقه (که لزوماً مجاور هم نیستند) باشد که این چند منطقه معیارهای قید شده در این بخش را برآورده می‌کنند.

در منطقه پایلوت انتخاب شده، سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند روی یک یا چند فیدر با تمام کنتورهای زیرمجموعه آن باید پیاده‌سازی شود که بتوان اهداف اصلی و نهایی شبکه اندازه‌گیری سیستم اندازه‌گیری هوشمند را برآورد نمود.

در ادامه معیارهایی که در انتخاب منطقه پایلوت باید مدنظر شرکت‌های توزیع قرار گیرد آورده شده است.

۲-۷-۱-۱- شرایط مناطق پایلوت

منطقه یا مناطق پایلوت حتی‌الامکان باید واجد شرایط زیر باشند:

۱- شرایط آب و هوایی: ازآنجایی‌که تنوع آب و هوایی زیادی در کشور وجود دارد و

Ahwaz_Hackerz

شـرایط جوی (دما و رطوبت) روی عملکرد تجهیزات (شامل کنتورها، مودم‌ها، جمع کننده داده و...) و بعضی از راه‌حل‌های مخـابراتی (نظیـر RF[1]) تأثیر می‌گذارد لـذا پیاده‌سازی سیـستم اندازه‌گیری هوشمند در مناطقی با شرایط جوی متفاوت می‌تواند راه گشا باشد.

۲- تراکم: منظور از تراکم تعداد انشعاب‌هایی (کنتورها) که در یک منطقه با ابعاد مشخص وجـود دارد که شامل تقسیم‌بندی‌های زیر است:

- مشترکین تجاری و مسکونی متراکم و پراکنده
- مشترکین صنعتی و کشاورزی متمرکز و پراکنده

پیاده‌سازی شبکه اندازه‌گیری هوشمند در مناطقی که تراکم جمعیت وجـود دارد معیـار خـوبی برای برآورد قدرت پردازشی نرم‌افزار مرکز و همچنین کارا بودن شبکه مخابراتی باشد.

پیاده‌سازی شبکه اندازه‌گیری هوشمند در مناطقی با مشترکین پراکنده مـستلزم پیاده‌سازی بسترهای مخابراتی خاصی است.

۳- نوع تغذیه مشترک: معمولاً نوع تغذیه مشترکین به صورت هوایی یا زمینی است کـه در حالات مختلف ممکن است بسترهای مخابراتی متفاوتی کارایی داشته باشند.

۴- شرایط جغرافیایی: شامل مناطق کوهستانی یا ساختمان‌های بلند مرتبه کـه دیـد مـستقیم وجود ندارد یا مناطق هموار همچون دشت که دید مستقیم وجود دارد.

۵- وضعیت شبکه توزیع که می‌تواند به صورت زیر باشد:

- مناطق با شبکه فرسوده که به علت مشکلات اجرایی در سطح کم توصیه می‌گردد.

پیاده‌سازی شبکه اندازه‌گیری هوشمند در این مناطق به دلیل نیازمندی به نوسازی ساختار انشعاب بسیار زمان‌بر است و ممکن است که امکان اجرایی شدن آن در زمان محدود وجود نداشته باشد.

- مناطق با شبکه استاندارد که تمام انشعاب‌ها و کابل‌کشی‌ها به صورت منظم انجام شده است.

۶- نویزهای محیطی و نویزهای شبکه:

1- Radio Frequency

Ahwaz_Hackerz

- مناطق دارای کیفت برق نامناسب از نظر وجود نویزها و هارمونیک‌ها مناطقی هستند که شبکه برق به دلیل وجود هارمونیک‌ها و عوامل دیگر، نویزی هستند و می‌توان کارایی بسترهای مخابراتی مختلف را مورد آزمایش قرار داد.

- مناطق دارای نویزهای رادیویی مناطقی هستند (معمولاً در مرکز شهرهای شلوغ) که به دلیل استفاده از بسترهای مخابراتی مختلف رادیویی بسیار نویزی هستند و پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری هوشمند در این مناطق می‌تواند بسیاری از ابهامات در مورد بسترهای رادیویی را برطرف نماید.

۲-۷-۲- نواحی پنج‌گانه

برای فراهم آوردن زیرساخت‌ها لازم نرم‌افزاری و سخت‌افزاری جهت نصب کنتور، یک شرکت توزیع در پنج ناحیه از کشور انتخاب‌شده است. این امر برای پایش کردن کل شبکه توزیع این نواحی انجام می‌شود که با توجه به اینکه حدود ۵۰٪ از مشترکین برق مصرفی بالای ۳۰ کیلووات دارند، ۵۰٪ بار منطقه نیز کنترل می‌شود. پس از اتصال ۱۰۰٪ از مشترکان به شبکه هوشمند، این طرح در سایر بخش‌ها نیز اجرا خواهد شد.

این نواحی پنج‌گانه عبارت‌اند از:

۱- **مرکز:** حدود ۱۲۰۰۰۰ مشترک با مصرف بالای ۳۰ کیلووات و کنتور پست‌های توزیع و روشنایی شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ و غرب استان تهران.

۲- **شمال شرق:** حدود ۱۷۵۰۰۰ مشترک شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد.

۳- **شمال غرب:** حدود ۲۰۰۰۰۰ مشترک شرکت توزیع نیروی برق استان زنجان.

۴- **جنوب غرب:** حدود ۲۰۰۰۰۰ مشترک شهری شرکت توزیع نیروی برق اهواز.

۵- **جنوب شرق:** حدود ۲۰۰۰۰۰ مشترک از شرکت توزیع نیروی برق استان بوشهر.

Ahwaz_Hackerz

۲-۷-۲-۱- معیارهای نواحی پنج‌گانه

- انتخاب یک یا دو شرکت توزیع با تنوع انواع مشترکین.
  - نظارت یکپارچه بر طراحی، نصب و راه‌اندازی یکپارچه سیستم.
  - بهره‌برداری یکپارچه از سیستم.
  - توسعه آینده.
  - دستیابی به اهداف سیستم در مقیاس یک شرکت توزیع نیروی برق.
- انتخاب مشترکین پراکنده با مصرف بالای ۳۰ کیلووات، کنتورهای زیر ترانس و روشنایی معابر در سطح یک منطقه.
  - سهم بالای بخش‌های صنعت و کشاورزی و لزوم مدیریت مصرف انرژی و کنترل بار در آن‌ها.
  - اهمیت پایش سیلان توان در کاهش تلفات شبکه توزیع.
  - آماده بودن بسترهای لازم به منظور پیاده‌سازی سیستم، مشارکت در طرح‌های پایلوت و شرایط خاص.

۲-۷-۲-۲- ابعاد و الزامات مورد نیاز پیاده‌سازی طرح فهام

- فنی: معماری طرح و الزامات امنیتی طرح فهام.
- فرهنگی، اجتماعی: فرهنگ‌سازی و آگاه‌سازی طرح فهام.
- اقتصادی: اقتصاد طرح فهام.
- حقوقی، قضایی: بازنگری لوایح و قوانین و قانون‌گذاری طرح فهام.

۲-۷-۳- مزایای اجرای سیستم اندازه‌گیری هوشمند (AMI) در طرح فهام

اجرای طرح فهام تأثیر مفید و قابل ملاحظه‌ای را به شرح زیر از منظر اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست خواهد داشت:

Ahwaz_Hackerz

- قرائت خودکار و قطع و وصل از راه دور کنتورها.
- کاهش تلفات غیرفنی در شبکه از طریق:

  ۱- قابلیت تشخیص موارد استفاده غیرمجاز.

  ۲- کاهش دخالت عامل انسانی در قرائت.

  ۳- افزایش دقت در اندازه‌گیری‌ها.

  ۴- قابلیت تشخیص سریع خطاهای دستگاه اندازه‌گیری.
- مدیریت تقاضا با موافقت مشترک (مدیریت تعرفه) بر اساس اعمال تعرفه‌های متفاوت و افزایش مشارکت در بازار برق و تشویق آن‌ها به کاهش مصرف و در نتیجه بهبود ضریب بار و بهره‌برداری اقتصادی از تأسیسات تولید، انتقال و توزیع.
- مدیریت تقاضا از طریق کاهش مصرف و یا قطع برق مشترکین معین در شرایط بحرانی شبکه.
- اصلاح الگوی مصرف از طریق اطلاع‌رسانی به مشترک در ارتباط با میزان مصرف و قیمت برق در زمان‌های مختلف.
- بهبود سیستم وصول مطالبات و کاهش مطالبات معوقه، به دلیل امکان قطع و وصل از راه دور مشترک.
- کاهش هزینه‌های قرائت، سرویس و نگهداری و قطع و وصل مشترکین.
- مدیریت تقاضا از طریق کاهش مصرف مشترکین در ساعات خاص با موافقت مشترک و پس از عقد قرارداد.
- افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع با تشخیص سریع خطای شبکه توزیع.
- امکان پیش‌بینی دقیق بار.
- امکان پیش فروش برق و افزایش گزینه‌های فروش برق با قیمت‌های متفاوت.
- ایجاد بستر مناسب برای راه‌اندازی بازار خرده فروشی برق.
- یکنواخت شدن کنتورها در سطح کشور، تسهیل در نصب، تعمیر، نگهداری و

Ahwaz_Hackerz

جایگزینی.

- سهولت توسعه و ارتقای سیستم در آینده.
- افزایش دقت و سرعت در صدور صورت حساب با حذف عامل انسانی و خطای ناشی از آن و امکان اطلاع‌رسانی دقیق به مشترکین از طریق شبکه اینترنت.
- کاهش عملیات انجام شده در مراکز پاسخ‌گویی به مشترکین.
- ایجاد بستر مناسب برای پیاده‌سازی شبکه هوشمند گاز و آب.
- ایجاد بستر و زیرساخت لازم برای ایجاد شبکه هوشمند.
- ایجاد بستر مناسب برای انجام خدمات جانبی در راستای پیاده‌سازی دولت الکترونیک.
- قابلیت تشخیص و کنترل تلفات فنی.
- برآورد کیفیت توان تحویلی به مشترک.
- کاهش هزینه‌ها.
- افزایش رضایت‌مندی مشتریان.
- بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری.
- بهبود ساختار بهره‌برداری.
- ارتقای پایداری و امنیت شبکه.
- ایجاد منابع درآمدی جدید.
- ایجاد زیرساخت لازم برای اجرای طرح تولید پراکنده و استفاده از منابع جدید انرژی.

برنامه زمان‌بندی اجرای بخش‌های مختلف طرح فهام در شکل ۲-۱۳ آورده شده است.

۲-۸- تفاوت AMI با سیستم اتوماسیون

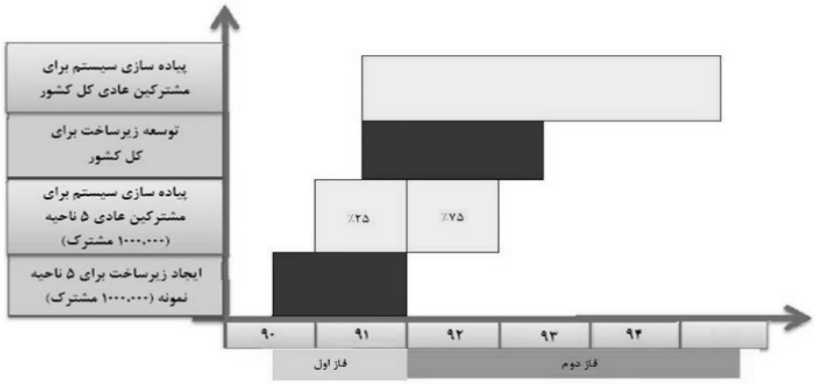
هدف از سیستم اتوماسیون به قرار زیر است:

۱- نظارت برخط بر شبکه.

۲- تشخیص سریع خطاها و امکان جداسازی بخش معیوب.

Ahwaz_Hackerz

۳- امکان فرمان برای قطع و وصل تجهیزات شبکه.



شکل ۲-۱۳ نمودار زمان‌بندی مراحل مختلف طرح فهام [۳].

سیستم اتوماسیون دارای دو بخش اساسی است. قسمت اول مربوط به اتوماسیون داخلی پست[۱] و قسمت دوم مربوط به نظارت و کنترل از راه دور[۲] است.

اتوماسیون داخلی دارای سه سطح است:

۱- جمع‌آوری داده‌های مربوط به هر بی[۳] در پست (وضعیت سکسیونر، کلید و ...).

۲- جمع‌آوری داده‌های تمام بی‌ها در یک مرکز و در سطح پایش پست که نیازمند یک واسط گرافیکی است.

۳- ارسال داده‌ها برای مرکز کنترل از راه دور.

بنابراین اتوماسیون و استانداردهای آن پایه AMI است؛ اما از لحاظ قابلیت بسیار باهم متفاوت می‌باشند. این تفاوت به عنوان مثال در حد تفاوت عکس MRI و رادیولوژی است.

1- Local
2- Remote
3 -Bay

Ahwaz_Hackerz

۲-۹- پروژه Open Meter

در سال‌های اخیر پروژه‌های AMI در مقیاس‌های متفاوت در کشورهای مختلف نظیر کانادا، ایتالیا و کشورهای اسکاندیناوی تعریف و به بهره‌برداری رسیده است. در عین حال، مطرح شدن مفاهیم و فناوری نوین در سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند این امر را با چالش‌هایی از قبیل عدم وجود استانداردهای عمومی و جهانی که خلأ موجود در حوزه‌های مخابرات، امنیت و قابلیت همکاری بین تجهیزات[1] را تعریف و تبیین کند، مواجه نموده است. اهمیت موضوع به حدی است که کمسیون اتحادیه اروپا بخشی تحقیقاتی برای تدوین استانداردهای باز و عمومی[2] مربوط به کنتورهای برق، گاز و آب تحت عنوان Open meter شکل داده است.

هدف اصلی پروژه‌ی Open meter مشخص کردن مجموعه‌ای از استانداردها برای AMI، جهت حمایت از کنتورهای برق، آب و گاز، بر اساس توافق تمام ذینفعان است. شرح کار پروژه مشخص کردن شکاف‌های اطلاعاتی در استانداردهای مربوط به کنتورهای هوشمند است و همچنین تمام جوانب کار سامانه‌ی اندازه‌گیری هوشمند مانند، مقررات لازم، توابع اندازه‌گیری هوشمند، بستر مخابراتی، پروتکل‌ها و فرمت‌های اطلاعاتی نیز در این پروژه بررسی می‌گردند.

نتایج پروژه مجموعه‌ای از استانداردهای اولیه و تا آنجا که ممکن است بر اساس استانداردهای موجود و پذیرفته شده است. استانداردهای اولیه‌ی مورد اشاره به مؤسسات استاندارد بین‌المللی و اروپایی ارائه می‌شود تا مراحل نهایی سازی آن انجام گیرد.

۲-۹-۱- معماری ارائه شده توسط Open meter

معماری ارائه شده در پروژه‌ی Open meter در واقع بر پایه‌ی معماری ارائه شده توسط سازمان استانداردسازی اروپا، دستور M/441 شکل گرفته است. در این معماری همان‌طور که در شکل ۲-۱۴ مشاهده می‌شود سامانه‌ی مرکزی با یک دروازه‌ی مخابراتی ارتباط برقرار می‌کند و این

1- Interoperability
2- Open and public Standards

Ahwaz_Hackerz

دروازه‌ی مخابراتی است که به کنتورهای هوشمند آب و گاز و برق متصل شده و اطلاعات واصله از سامانه‌ی مرکزی را به آن‌ها منتقل می‌کند. این دروازه، اطلاعات لازم جهت ارائه به مشترک را نیز به IHD مشترک ارسال می‌نماید.

در معماری ارائه شده توسط پروژه‌ی Open meter (آن‌گونه که در شکل ۲-۱۴ و ۲-۱۵ دیده می‌شود) به چند دلیل تمام وظایف دروازه‌ی مخابراتی با کنتور برق یکپارچه شده است. این دلایل عبارت‌اند از:

- کنتور برق تنها کنتوری است که به طور مستقیم تغذیه الکتریکی دارد، در عوض کنتورهای دیگر باید از طریق باتری تغذیه شوند که این خود محدودیت‌های فراوانی را به وجود می‌آورد.
- این توقع می‌رود که نفوذ کنتور برق هوشمند بسیار بیشتر از نفوذ دیگر کنتورهای هوشمند باشد، از طرفی با توجه به مصوبه‌ی ۷۲/۲۰۰۹ اتحادیه‌ی اروپا تا سال ۲۰۲۰ میلادی حداقل ۸۰٪ مشترکان برق اروپایی باید کنتور هوشمند برق داشته باشند.
- کنتور برق تنها کنتوری است که به طور مستقیم به شبکه‌ی کابلی برق متصل است و می‌توان از این شبکه به عنوان شبکه‌ی مخابراتی انتقال اطلاعات استفاده کرد.

۲-۹-۲- اجزای پروژه Open Meter

در این معماری اجزای مختلفی حضور دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

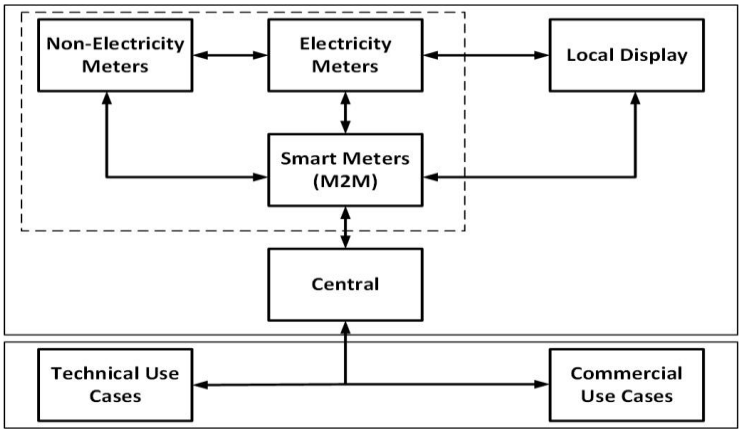
۲-۹-۲-۱- کنتور برق/آب مخابراتی

یک وسیله‌ی اندازه‌گیری هوشمند به منظور اندازه‌گیری برق است و برای مقاصد نگه‌داری و بهره‌برداری از طریق واسط ارتباطی محلی MI3 به تجهیز HHU[1] متصل می‌شود. این تجهیز علاوه بر اندازه‌گیری برق، به عنوان یک هاب مخابراتی عمل می‌کند و مانند یک رابط اطلاعاتی

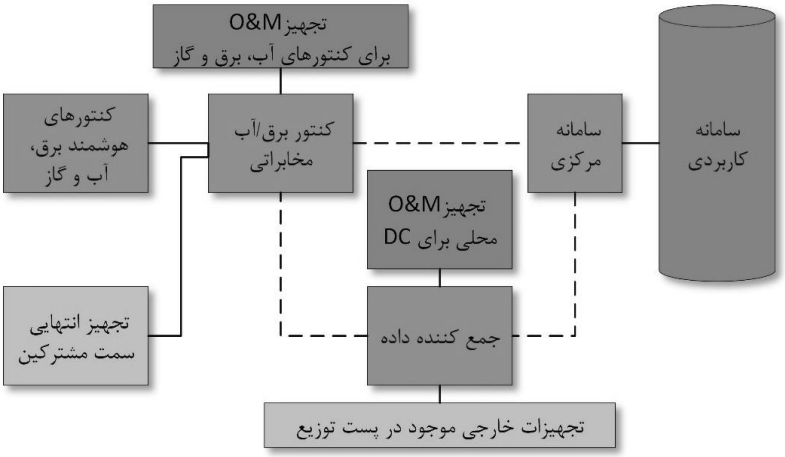
1- Handheld Unit

Ahwaz_Hackerz

به منظور پردازش، ذخیره‌سازی و انتقال داده کنتورهای آب و گاز از طریق واسط ارتباطی MI4 به کار می‌رود.



شکل ۲-۱۴: معماری M/441 [۱۲].



شکل ۲-۱۵: معماری Open meter.

۲-۹-۲-۲- کنتورهای هوشمند برق، آب و گاز

تجهیزات هوشمند اندازه‌گیری هستند که به منظور اندازه‌گیری برق، آب و گاز مورد استفاده

Ahwaz_Hackerz

قرار می‌گیرند. این تجهیزات توسط واسط ارتباطی MUMI2[1] به تجهیز نگهداری و عملیات کنتورهای آب و گاز و از طریق واسط ارتباطی MUMI1 به کنتور برق/هاب مخابراتی متصل می‌شود.

۲-۹-۲-۳- تجهیز O&M برای کنتورهای آب و گاز

تجهیزات دستی یا قابل‌حملی هستند که به منظور ارتباط و تبادل اطلاعات با کنتورهای انرژی در زمان نصب کنتور و یا در فرآیند نگه‌داری این کنتورها به کار می‌رود. این تجهیز از طریق واسط ارتباطی MUMI2 به صورت محلی به کنتورهای دیگر متصل می‌شود. همچنین این تجهیزات در زمانی که مشکل ارتباطی با کنتور برق/هاب مخابراتی به وجود آید از طریق واسط ارتباطی MUMI1 با این کنتورها ارتباط برقرار می‌کنند.

۲-۹-۲-۴- تجهیز انتهایی سمت مشترکین

تجهیزات کمکی هستند که می‌توانند به تجهیزات مشترک متصل شوند و با آن‌ها تبادل اطلاعات کرده و یا مقادیر مصرف یا سایر اطلاعات را به مشترک نشان دهند.

۲-۹-۲-۵- جمع کننده‌ی داده

المان واسطی است که بین کنتور برق/هاب مخابراتی و سامانه‌ی مرکزی قرار می‌گیرد. هدف اصلی از به کارگیری آن جمع‌آوری و مدیریت اطلاعات دریافتی از کنتورهای برق/هاب مخابراتی به صورت مستقیم و کنتورهای آب و گاز و تجهیز انتهایی سمت مشترک (در صورت وجود) به صورت غیرمستقیم است.

1- Mi User Interface

Ahwaz_Hackerz

۲-۹-۲-۶- تجهیز O&M محلی برای DC[1]

تجهیزات قابل‌حملی هستند که به منظور ارتباط و تبادل اطلاعات با DC در زمان فرآیند نصب یا در نگهداری به کار می‌روند که می‌توانند عمل قرائت و پیکربندی DC را انجام دهند.

۲-۹-۲-۷- تجهیزات خارجی موجود در پست توزیع

تجهیزات شبکه‌ی هوشمند هستند که برای عملکرد آینده‌ی شبکه‌ی هوشمند نیاز به کنترل، پایش یا ارتباط با حسگری که در محل ترانسفورمر توزیع نصب شده است به کار گرفته شوند.

۲-۹-۲-۸- سامانه‌ی مرکزی

از طریق واسط ارتباطی SI3 با سامانه‌های کاربردی موجود و یا در حال تدوین در شرکت‌های توزیع نیروی برق ارتباط برقرار می‌کند و مسئولیت مدیریت تمام اطلاعات و داده‌های مرتبط با سامانه‌ی هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی مانند پیکربندی، کنترل و بهره‌برداری از تمام اجزای سامانه را دارد. عملیات روی رویدادها و آلارم‌ها و مدیریت بهره‌برداری ارتباطات سامانه نیز بر عهده‌ی آن است. در بسیاری از موارد، سامانه‌ی مرکزی دستوراتی را از سامانه‌های کاربردی موجود دریافت می‌کند که باید عملکرد صحیح و به موقع آن‌ها تضمین شود. این دستورات شامل قرائت پارامترهای مختلف، پیکربندی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی میدانی، قطع از راه دور و غیره هستند.

۲-۹-۲-۹- سامانه‌ی کاربردی

شامل سامانه‌های فنی و بازرگانی موجود که فرآیندهای مدیریتی و مالی بهره‌برداران از شبکه را انجام می‌دهند.

1- Digital Counter

Ahwaz_Hackerz

۲-۱۰- تجارب استفاده از AMI

بعضی از شبکه‌ها برای چندین سال است که در مسیر AMI و در نتیجه در مسیر پیاده‌سازی شبکه هوشمند حرکت کرده‌اند. در این بخش در مورد تجارب به دست آمده در برخی از شبکه‌ها صحبت می‌شود. با افزایش تجارب، بینش نسبت به مزایای تحول از AMR به AMI و در نهایت به شبکه هوشمند فراتر می‌رود. موارد ذکر شده در زیر نحوه تحول را بیان کرده و راه‌های توسعه AMI را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است تعدادی از برنامه‌ها که در ابتدا در نظر گرفته نشده بودند از اهمیت بالایی برخوردارند. این بخش به صورت جدی بیان می‌کند که سیستم‌های AMI دارای انعطاف پذیری بالا برای تطبیق سریع با برنامه‌های جدید، بهترین سرمایه‌گذاری دراز مدت را خواهند داشت. هماهنگی و همکاری بین قانون گذاران و شبکه‌ها کلید اصلی برای توسعه موفق و هموار AMI است.

مورد اول

شبکه‌های جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا که اولین تکنولوژی AMI را برای صورتحساب به کار بردند و MDMSهای یکپارچه را نیز به منظور پیاده‌سازی کامل اضافه نموده و در نتیجه:

- هزینه صورتحساب‌ها ۲۵ درصد کاهش یافته است.
- ۹۵ درصد دستورات برای قرائت‌های خاص حذف شده‌اند.
- ۳۰ درصد بهبود در کشف سرقت برق و بازیابی محقق شده است.
- هزینه رسیدگی به تماس‌های مزاحم ۲۵ درصد کاهش یافته است.
- به‌علاوه رضایت مصرف‌کننده و قابلیت اطمینان خدمات بهبود یافته است.

مورد دوم

در سطح بین‌المللی، تعدادی شبکه‌ها AMI وجود دارند که در زیر لیست شده‌اند:

- *انل*[1] ایتالیا بالای ۲۷ میلیون کنتور دیجیتال نیمه‌هادی ارتباطی را نصب کرده است (کامل شده در سال ۲۰۰۳)

1- Enel

Ahwaz_Hackerz

- شرکت *واتنفال*[1] سوئد به طور متوسط ۶۰۰۰۰۰ اندازه‌گیر پیشرفته و شرکت *آی.آن* سوئد در سطح ابتدایی ۳۷۰۰۰۰ اندازه‌گیر پیشرفته را توسعه داده‌اند.

- دولت هلند اعلام کرده که همه ۷/۵ میلیون کنتور الکتریکی در کشور تا آخر ۲۰۱۲ تعویض شده‌اند.

- در استرالیا شرکت *لینز استروم*[2] اخیراً طرحی برای استقرار اندازه‌گیرهای هوشمند برای ۷۵ میلیون مشتری خود دارد.

- در کانادا شرکت *هیدرو وان*[3] نصب اندازه‌گیرهای هوشمند را در شمال *آنتاریو* از سال ۲۰۰۳ شروع کرده است و تا ۲۰۱۰ نصب ۱/۳ میلیون مشترک را تکمیل نموده است.

- نروژ اخیراً اعلام کرده که توسعه اندازه‌گیر هوشمند را برای ۲/۶ میلیون مشتری تا ۲۰۱۴ انجام خواهد داد.

۲-۱۱- جمع‌بندی

در سال‌های اخیر پیاده‌سازی شبکه هوشمند اولویت اول شرکت‌های برق در کشورهای توسعه یافته است که پیاده‌سازی سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند و مدیریت انرژی اولین و اساسی‌ترین قدم در جهت تحقق این موضوع است. این سیستم ترکیبی است از سخت‌افزار، نرم‌افزار و بستر مخابراتی با قابلیت اندازه‌گیری اطلاعات سمت مصرف به صورت بلادرنگ یا شبه بلادرنگ. این زیرساخت در واقع مهم‌ترین قسمت در یک شبکه‌ی هوشمند است که اهداف دیگر شبکه‌ی هوشمند را محقق می‌سازد. این سیستم با ایجاد بستر مخابراتی دو طرفه وظیفه قرائت، پیکربندی، نظارت و کنترل از راه دور کنتورها را بر عهده داشته و پس از جمع‌آوری اطلاعات، مدیریت، پردازش و تحلیل آن‌ها را انجام داده و نمودارها و گزارش‌های لازم را تولید می‌کند.

1- Vattenfall
3- LINZ STROM
4- Hydro One

Ahwaz_Hackerz

منابع و مراجع

[1] C. Bennett and D. Highfill, “Networking AMI Smart Meters,” 2008 IEEE Energy 2030 Conference, Atlanta, GA, pp. 1-8, 2008.

[2] H. Yang and S. Y. R. Hui, “Nonintrusive Power Measurement Method With Phase Detection for Low-Cost Smart Meters,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 64, No. 5, pp. 3962-3969, May 2017.

[۳] " گزارش نهم آشنایی با طرح فهام سازمان بهره‌وری انرژی ایران سابا"، سلسله گزارش‌های تخصصی شبکه هوشمند انرژی ایران.

[۴] مهدی آرین، "معماری سامانه یا اندازه‌گیری هوشمند AMI"، فناوری اطلاعات صنعت هوشمند، سال ۱۵، شماره ۹ و ۱۰، پیاپی ۱۳۹ ۱۴۰، دی و بهمن ۹۱.

[5] S. Massoud Amin, “Smart Grid: Overview, Issues and Opportunities. Advances and Challenges in Sensing, Modeling, Simulation, Optimization and Control,” European Journal of Control, Vol. 17, pp. 547-567, 2011.

[6] “Advanced Metering Infrastructure”, NETL Modern Grid Strategy Powering our 21st-Century Economy, U.S. Department of Energy, 2010.

[7] Robert Johnson “A review of Smart Metering and Survey options for Energy,” As part of the Nuffield Bursary Scheme, September 2010.

[8] http://www.nec.com/en/global/solutions/energy/ami.html

[9] http://www.carbonlighthouse.com/2010/08/smart-grid/

[10] A. Harney “Smart Metering Technology Promotes Energy Efficiency for a Greener World,” Analog Dialogue, 43-01, pp. 1-3, Jan. 2009.

[11] J. St. John, “Securing the Edges of the Smart Meter Network from Hacking,” EPRI’s Report, Feb. 2013.

Ahwaz_Hackerz

[12] “M/441 Standardization Mandate to CEN, CENELEC and ETSI in the Field of Measuring Instruments for the Development of an Open Architecture for Utility Meters Involving Communication Protocols Enabling Interoperability,” European Commission, 2009.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۳ خانه‌های هوشمند

۳-۱- مقدمه

مصرف روزافزون انرژی، پایان‌پذیر بودن منابع آن و اثرات نامطلوب و بعضاً جبران‌ناپذیر، مصرف بی‌رویه انرژی بر محیط زیست از یکسو و افزایش قیمت آن در سال‌های اخیر از سوی دیگر، باعث گردیده است تا متولیان امر و مصرف‌کنندگان انرژی به دنبال راه‌هایی برای صرفه‌جویی و استفاده صحیح از انرژی باشند.

از کاربردهای پیشرفت تکنولوژی و فناوری‌های نوین در حوزه‌ی ساختمان، می‌توان به هوشمندسازی و مدیریت مصرف انرژی و یکپارچه‌سازی اجزا در ساختمان اشاره نمود. امروزه تصور خانه‌ای که با تکنولوژی‌های نوین ارتباطی تجهیز شده است و به نیازهای ساکنین پاسخ می‌دهد، دور از ذهن نیست. خانه‌ای که موجبات آسایش هرچه بیشتر افراد را پدید می‌آورد و امنیت و رفاه را به همراه دارد و علاوه بر این‌ها به جهان بیرون نیز ارتباط دارد. در سال‌های اخیر با افزایش شدید جمعیت شهرها و در نتیجه ایجاد برج‌های اداری و مسکونی، استفاده از سیستم مدیریت ساختمان به منظور ارتقاء سطح خدمات ساختمانی متناسب با پیشرفت‌ها و فناوری روز و دست‌یابی به مصرف بهینه انرژی بیش از پیش متداول گشته است. چنانچه این مجموعه‌های ساختمانی از حساسیت‌های ویژه امنیتی، سیاسی و یا اقتصادی مانند وزارتخانه‌ها برخوردار باشند، ضرورت به‌کارگیری سیستم مدیریت ساختمان اجتناب ناپذیر خواهد شد.

اگرچه روزی تصور چنین خانه‌ای، که بسیاری از فعالیت‌ها در آن به صورت هوشمندانه صورت می‌گیرد، دست نیافتنی به ذهن می‌رسید، امروزه بسیاری از شرکت‌های تولید کننده وسایل خانگی و فناوری‌های ارتباطات درصدد تطبیق محصولات خود برای به کارگیری در خانه‌های هوشمند می‌باشند. کلیه فعالیت‌ها در این نوع خانه‌ها می‌تواند به صورت خودکار و هوشمندانه انجام گیرد. برنامه‌ریزی وسایل گوناگون، آماده‌سازی شرایط در بخش‌های مختلف خانه، کنترل

Ahwaz_Hackerz

هوشمند تمام امور از راه دور و غیره همگی در خانه‌های هوشمند امکان‌پذیر است. روش‌های قدیمی کنترل و مدیریت ساختمان محدود به مباحث بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدیریت سیستم‌های تهویه مطبوع و کنترل جداگانه و محلی اجزاء ساختمان بوده است. با پیشرفت فناوری ارتباطات، مخابرات، رایانه و همچنین با کاهش هزینه‌های به کارگیری این سیستم‌ها، محدوده وظایف سیستم مدیریت و اتوماسیون ساختمان گسترش یافته و هم اکنون شامل سیستم‌های متعددی است که به طور هم‌زمان و موازی کار مدیریت و کنترل ساختمان را انجام می‌دهند؛ به عبارت دیگر یک ساختمان هوشمند خواهیم داشت. در این فصل پس از معرفی اهداف مختلف خانه هوشمند به تعریف آن می‌پردازیم. تکنولوژی‌های مورد استفاده بررسی و سطوح مختلف هوشمندسازی ارائه خواهد شد. در ادامه اجزاء یک خانه هوشمند مورد بحث قرار می‌گیرند و در نهایت سیستم مدیریت جامع ساختمان به عنوان یک راه حل ارائه می‌شود.

۳-۲- خانه هوشمند

۳-۲-۱- تعریف خانه هوشمند

عبارت تکنولوژی خانه هوشمند یک اصطلاح ترکیبی است برای نشان دادن وجود فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات در خانه‌ای که در آن تمامی وسایل از طریق شبکه ارتباط محلی باهم در ارتباط هستند. این فناوری‌ها می‌توانند با توجه به برنامه‌ای از پیش تعیین‌شده برای پایش، اعلام هشدار و یا انجام کار بکار گرفته شوند. شبکه ارتباط محلی از طریق اینترنت و یا خط تلفن با شبکه گسترده در ارتباط است و پیام‌ها و هشدارهایی را ارسال می‌کند.

زیرساخت‌های ارتباطی در خانه‌های هوشمند بسیار قوی است. از این قابلیت ارتباط گسترده، می‌توان برای برنامه‌ریزی خانه‌های هوشمند به منظور دستیابی به اهداف گوناگون بهره برد. در یک خانه هوشمند ممکن است جوانب مختلفی باهم ادغام شوند:

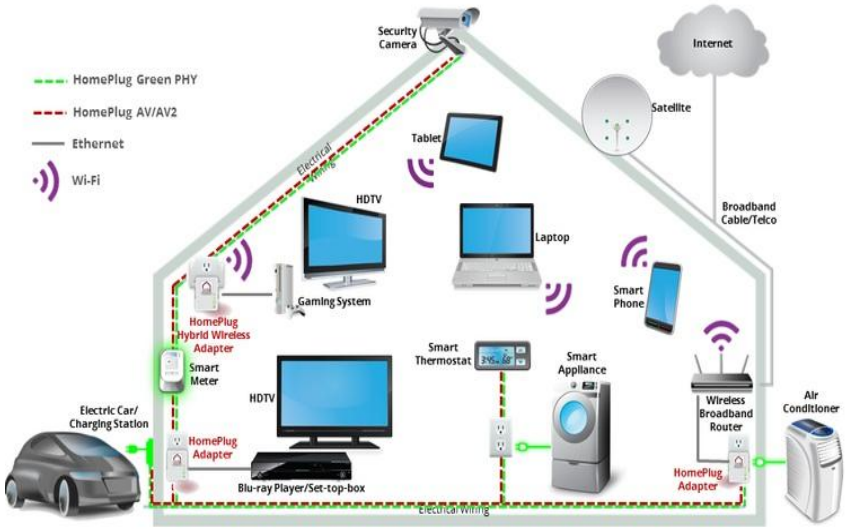
- امنیت (مانند سیستم هشدار)
- سیستم‌های کنترل محیط (مانند کنترل خودکار درب، پنجره، چراغ‌های روشنایی و

Ahwaz_Hackerz

غیره)

- ارتباطات (اتصال به تلفن و یا اینترنت)
- سیستم‌های کنترل انرژی (مانند تنظیم دمای خانه در هر ساعت)
- سیستم مدیریت انرژی خانه (برنامه‌ریزی بهینه استفاده از وسایل هوشمند در خانه با اهدافی مانند کاهش هزینه برق)
- تفریح و سرگرمی (مانند تلویزیون، فیلم و موسیقی)

و یک دروازه مسکونی که این زیرسیستم‌ها را مدیریت می‌کند که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: زیرسیستم‌های شبکه خانه هوشمند [۱۸].

وسایلی که در خانه‌های هوشمند بکار برده می‌شوند، ابداعات نوینی نیستند، بلکه به کمک مفاهیم "هوشمندسازی" و نیز برقراری ارتباط بین آن‌ها قابلیت ایجاد فعالیت‌های خودکار در آن‌ها به وجود آمده است.

Ahwaz_Hackerz

با در نظر گرفتن تمام جوانب در تعریف‌های ارائه شده، یک خانه هوشمند را می‌توان این گونه تشریح کرد که در واقع خانه‌ای است که با تجهیزات هوشمند مجهز شده است و شبکه‌ی خانه امکان انتقال اطلاعات بین تجهیزات را فراهم می‌کند و یک دروازه محلی را برای ارتباط خانه با دنیای اینترنت بیرون را ایجاد می‌نماید. تجهیزات هوشمند باعث ارتباط منزل با ساکنان و یا پایش آن‌ها می‌شود. این تجهیز هوشمند می‌تواند فقط یک لامپ باشد که ما می‌توانیم آن را کنترل کنیم و یا از آن درباره‌ی وضعیتش بپرسیم، و یا یک یخچال که از وضعیت خود خبردارد و توسط خودش در خط تغذیه می‌شود، تلفن‌ها، سیستم امنیتی و غیره. همه این تجهیزات در شبکه‌ی خانه خواهند بود تا وضعیتشان را اطلاع دهند و یا دستورات را بگیرند. شبکه خانه باعث ارتباطات دو طرفه می‌شود و در نتیجه کنترل‌های خارجی نیز به خوبیِ کنترل‌های داخلی امکان‌پذیر است. دروازه محلی موجب دسترسی خارجی از طریق اینترانت و یا شبکه اینترنت می‌شود. این دروازه امکان دسترسی و دانلود سرویس‌های جدید را به خانه می‌دهد. ارائه‌دهنده‌ی سرویس[1] وظیفه‌ی ایجاد دسترسی برای ساکنان را به سرویس‌های جدید بر عهده دارد. در شکل ۳-۱ می‌توانیم ببینیم یک خانه هوشمند چیست. در محیط داخلی، یک خانه هوشمند تشکیل‌شده از لوازم خانگی سفید مثل ماشین لباسشویی، یخچال، بعضی از قطعات کنترلی مثل سنسورها، موتورها، و رابط کاربر مثل دروازه‌ی محلی که امکان ارتباط با دنیای اینترنت بیرون را فراهم می‌سازد.

در محیط خارجی، می‌توان ارائه‌دهنده‌ی سرویس که وظیفه‌ی ایجاد دسترسی برای ساکنان به سرویس‌های جدید را بر عهده دارد، را پیدا کنیم. شبکه‌ای که وظیفه‌ی ایجاد ارتباط بین خانه هوشمند و ارائه‌دهنده را بر عهده دارد را در شکل ۳-۲ می‌بینیم.

۳-۲-۲- اهداف

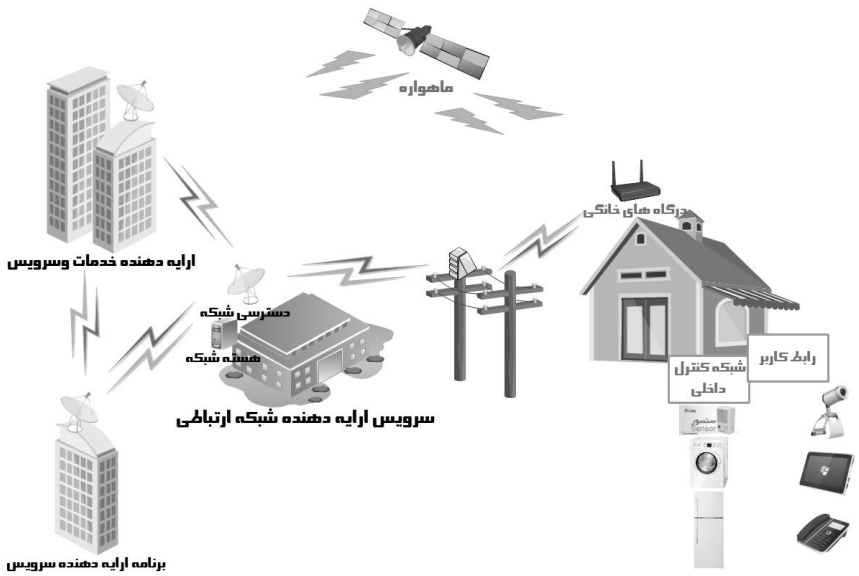
مهم‌ترین اهداف هوشمندسازی ساختمان‌ها عبارت‌اند از:

1- Service Provider

Ahwaz_Hackerz

۱. افزایش سطح رفاه برای ساکنین شامل:

- بالا بردن کیفیت زندگی و بازده کاری با فراهم نمودن نور، دما و رطوبت دلخواه ساکنین.
- کنترل تجهیزات با گوشی موبایل، تبلت، ریموت کنترل و اینترنت.
- کنترل تجهیزات با استفاده از سناریوهای دلخواه.
- امکان مشاهده و نظارت بر وضعیت تجهیزات از طریق نرم‌افزار.
- فعال و غیرفعال سازی تجهیزات مطابق برنامه زمان‌بندی.



شکل ۳-۲: اجزای خانه‌ی هوشمند و ارتباط با شبکه [۶].

۲. بهبود بازده و کاهش مصرف انرژی (به نفع مصرف‌کنندگان و شرکت‌های برق) شامل:

- کنترل هوشمند روشنایی‌ها و سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع با توجه به حضور افراد.
- فراهم کردن نور، دما و رطوبت مطلوب با مدیریت بهینه تجهیزات.

Ahwaz_Hackerz

- شناسایی تجهیزات معیوب و یا پرمصرف.
- پایش مصرف انرژی تجهیزات.
- پیک سایی.
- مدیریت هوشمند تجهیزات بر اساس عرضه و تقاضای انرژی (شبکه هوشمند).

۳. افزایش امنیت شامل:

- افزایش ایمنی ساختمان با سیستم‌های اعلام و اطفای حریق.
- افزایش امنیت ساختمان با سیستم‌های امنیتی و کنترل تردد پیشرفته RFID[1] و Biometric.
- استفاده از دوربین‌های مداربسته و سیستم‌های دزدگیر جهت پایش دقیق فضاهای مهم ساختمان.
- قطع خودکار گاز، آب و برق ساختمان در هنگام وقوع زلزله برای کاهش خسارات ثانوی.

به منظور رسیدن به سه هدف بالا نیاز به تبادل اطلاعات بین تجهیزات خانه، ساکنین و شرکت برق است.

۳-۲-۳- تکنولوژی‌های موجود برای دامنه‌ی ارتباطی

در دامنه‌ی ارتباطات برای خانه‌های هوشمند، دو نیاز موجود است. اولین آن چگونگی ایجاد ارتباط تجهیزات درون خانه است. دومین آن ارتباط خانه هوشمند به دنیای بیرون است. در شکل ۳-۳ می‌توانیم ۵ ناحیه شبکه‌های متفاوت را ببینیم.

اولین آن WANs[2] است، که به طور معمول شامل ماهواره‌ها یا آنتن‌های به‌کاررفته بر روی برج‌ها و یا ساختمان‌ها است که به ناحیه‌های بزرگ جغرافیایی سرویس می‌دهند. این شبکه‌ها

1- Radio Frequency Identification Device
2- Wide Area Networks

Ahwaz_Hackerz

می‌توانند توسط ماهواره یا تکنولوژی‌های سلولی زمینی و یا سیستم‌های بدون سیم پشتیبانی شوند.

دومین لایه MANs[1] است که به یک ناحیه سرویس می‌دهد، برای مثال مشترکین یک بلوک.

سومین لایه LANs[2] است که به نیازهای فردی که مسئول مدیریت شبکه خود است، پاسخ می‌دهد.

چهارمین لایه PANs[3] است که به نیازهای یک مصرف‌کننده با تجهیزات نزدیک به خود مثل موبایل پاسخ می‌دهد.

پنجمین لایه آن BANs[4] است که برای پیوستگی یک شبکه شخصی به کار گرفته می‌شود، اما بر روی یک سلول کوچک‌تر. این نوع شبکه مشخصاً بر اساس ترتیب قرار گرفتن تجهیزات هوشمند بر روی بدنه سیستم خانه و حتی بدنه مصرف‌کننده طراحی می‌شود.

تعدادی سنسور در خانه هوشمند وجود دارد. سنسورها این امکان را فراهم می‌کنند که خانه هوشمند بتواند خود را پایش کند و بهترین سرویس‌ها را برای ساکنین تشخیص دهد. به این قابلیت سیستم آگاهی مکتوب[5] گفته می‌شود.

۳-۲-۳-۱- پروتکل‌های هوشمندسازی ساختمان

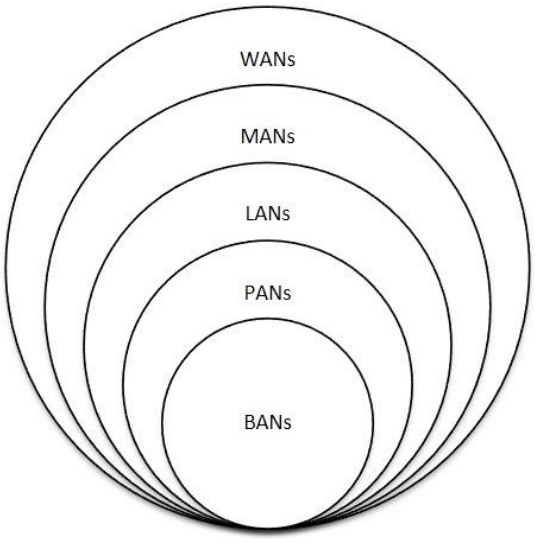
پروتکل به مجموعه قوانینی اطلاق می‌گردد که نحوه‌ی ارتباطات تجهیزات هوشمند را قانونمند می‌نماید. نقش پروتکل در شبکه‌های هوشمند نظیر نقش زبان برای انسان است. برای مطالعه یک کتاب نوشته شده به فارسی می‌بایست خواننده شناخت مناسبی از زبان فارسی را داشته باشد. به منظور ارتباط موفقیت آمیز دو دستگاه در شبکه نیز باید هر دو دستگاه از یک پروتکل مشابه استفاده کنند. پروتکل‌های بسیار متعددی برای هوشمندسازی ساختمان وجود دارد.

1- Metropolitan Area Networks
2- Local Area Networks
3- Personal Area Networks
4- Body Arean Networks
5- Context awareness system

Ahwaz_Hackerz

غالب این پروتکل‌ها در ابتدا منحصر به یک یا چند شرکت بوده و به تدریج به صورت باز و استاندارد درآمده‌اند. اکثر پروتکل‌هایی که در انحصار یک شرکت مانده‌اند کم‌کم میرا شده و از اعتبار و محبوبیت چندانی برخوردار نمی‌باشند. به طور کلی انتقال داده بین تجهیزات هوشمند می‌تواند از سه رسانه مختلف صورت گیرد.

۱. سیم با ولتاژ پایین و معمولاً DC و زوج تابیده[1]: در برخی موارد داده و تغذیه دستگاه به صورت مشترک از یک مجموعه سیم انتقال داده می‌شوند (مانند پروتکل (KNX)) که باعث ساده‌تر شدن سیم‌بندی و کاهش هزینه سیم‌کشی می‌گردد.



شکل ۳-۳: انواع متفاوت نواحی شبکه‌ها.

۲. PLC[2]: که در آن داده‌ها بر روی مدارهای قدرت انتقال داده می‌شود.

۳. بی‌سیم: معمولاً از طریق امواج الکترومغناطیسی

KNX: بهترین راهکار برای هوشمند کردن خانه در حال ساخت استفاده از محصولات با

1- Twisted Pair
2- Power Line Communication

Ahwaz_Hackerz

پروتکل KNX است. KNX یک پروتکل ارتباطی کنترل ساختمان (و صنعتی) است که از تکنولوژی اطلاعات جهت اتصال دستگاه‌هایی چون سنسورها، فعال‌سازها (Actuators) کنترلرها، ترمینال‌های اپراتوری و پایش بهره می‌گیرد. KNX یکی از معدود پروتکل‌های دارای استاندارد بین‌المللی ISO/IEC (14543-3) در زمینه هوشمندسازی ساختمان و خانه هوشمند است.

ZigBee: برای خانه ساخته شده می‌توان از محصولاتی با پروتکل بی‌سیم ZigBee استفاده نمود. ZigBee مشخصه دسته‌ای از پروتکل‌های ارتباط سطح بالا است که از فرستنده و گیرنده‌های دیجیتال کم‌مصرف مبتنی بر استاندارد IEEE802 برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم با نرخ ارسال داده پایین استفاده می‌کنند. ZigBee به منظور تعریف یک تکنولوژی ساده‌تر و ارزان‌تر از بلوتوث برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم به وجود آمده است. به کمک ZigBee می‌توان بیش از ۶۴۰۰۰ وسیله را به طور بی‌سیم از طریق شبکه به هم وصل نمود.

X10: ویژگی اصلی پروتکل X10 ارسال فرمان‌های کنترلی به وسایل از طریق شبکه تغذیه برق شهر است. به این ترتیب نیاز به سیم‌کشی دوباره و اضافی و یا دست‌کاری در وضعیت برق خانه مرتفع می‌گردد. برای طراحی خانه هوشمند با این پروتکل، کافی است وسیله برقی خود را از طریق واسطه‌ای به پریز موجود در منزل متصل کنید. به این ترتیب قادر خواهید بود با فرستنده‌ای سازگار با این پروتکل، وسیله مورد نظر را با توجه به کد تنظیم شده‌اش خاموش یا روشن کنید. این فرستنده می‌تواند یک ریموت کنترل رادیویی بدون نیاز به قرارگیری روبرو با وسیله هدف، یک مینی کنترلر سیم‌دار و یا تلفن یا گوشی همراه شما باشد که امکان کنترل حداکثر تا ۲۵۶ وسیله و روشنایی را در یک خانه میسر می‌سازد. همچنین امکان کنترل از طریق شبکه‌های ارتباطی دیگر و یا شبکه اینترنت نیز با استفاده از واسطه مبدل به‌راحتی وجود دارد.

Ahwaz_Hackerz

BACnet[۱]: پروتکل‌های باز رایج در بخش مکانیکی BACnet است که یک پروتکل استاندارد انتقال داده برای استفاده در اتوماسیون و مدیریت ساختمان است که امکان انتقال اطلاعات بین سیستم‌ها و دستگاه‌ها را فراهم می‌کند. این پروتکل توسط انجمن آمریکایی مهندسین حرارت برودت و تهویه مطبوع (ASHRAE) طراحی‌شده است. BACnetدر سیستم‌های اتوماسیون ساختمان متعددی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته و در سال ۲۰۰۳ استاندارد بین‌المللی ISO 16484-5 را به خود اختصاص داده است. BACnet یک پروتکل باز است که مستقل از تولیدکننده و با لیسانس آزاد، تمامی سیستم‌های ساختمان را در یک شبکه کارا با افزایش راحتی، صرفه‌جویی انرژی، افزایش امنیت و کاهش هزینه‌ها به یکدیگر مرتبط می‌سازد. تنها پروتکل استاندارد مدیریت ساختمان BACnet(ISO 16484-5) است که برای مدیریت چندین ساختمان در یک پنل امکانات زیادی را فراهم می‌کند. در جدول ۳-۱ برخی از پروتکل‌های معتبر هوشمندسازی ساختمان به طور خلاصه مقایسه شده‌اند.

۳-۲-۴- سطوح هوشمندسازی ساختمان

شکل ۳-۴ سه لایه هوشمندسازی ساختمان را نمایش می‌دهد.

شکل ۳-۴: لایه‌های هوشمندسازی ساختمان.

۱- Building Automation and Control Network

Ahwaz_Hackerz

جدول ۳-۱: مقایسه پروتکل‌های معتبر هوشمندسازی ساختمان.

پروتکل	استاندارد	کاربرد	راحتی نصب	رسانه انتقال داده	قیمت
KNX	ISO 14543-3	کنترل	متوسط	سیمی | PLC | بی‌سیم (غیرمتداول)	متوسط به بالا
ZigBee	تحت پوشش BACnet	کنترل	ساده	بی‌سیم	پایین
Modbus	IEC 61158	اتوماسیون	متوسط	سیمی	پایین
EnOcean	ISO - 1014543-3	کنترل	ساده	بی‌سیم	بالا
LonWorks	ISO 14908	کنترل	متوسط	سیمی PLC بی‌سیم (غیرمتداول)	متوسط به بالا
BACnet	ISO 16484-5	مدیریت و اتوماسیون	متوسط	سیمی PLC بی‌سیم ZigBee	متوسط به بالا
DALI	IEC 60929-E	کنترل روشنایی	متوسط	سیمی	متوسط به بالا

۳-۲-۴-۱- مدیریت

لایه مدیریت که بالاترین سطح یک سیستم هوشمند را تشکیل می‌دهد، توسط نرم‌افزارهای

Ahwaz_Hackerz

SCADA[1] و HMI[2] به طور نظارتی انجام می‌شود. منظور از نظارتی این است که فرآیندهای اتوماسیون و کنترل توسط تجهیزات هوشمند صورت گرفته و تنها تنظیمات و پارامتر دهی توسط نرم‌افزارهای مدیریتی صورت می‌گیرد. کنترل مرکزی، پایش، بهینه‌سازی و گزارش‌گیری چهار نقش کلیدی سیستم مدیریتی را تشکیل می‌دهند.

۳-۲-۴-۲- اتوماسیون

امروزه فرآیندهای اتوماسیون بیشتر در موتورخانه و اتاق‌های هواساز جهت اتوماسیون بویلر، چیلر، هواساز، پمپ‌های آتش‌نشانی و ژنراتور صورت می‌گیرد. معمولاً برای هر یک از این تجهیزات یک کنترلر مستقل (DDC[3]) استفاده شده و به هر کنترلر، تعدادی سنسور و تعدادی فعال‌ساز متصل می‌شود. به عنوان مثال، یک کنترلر موتورخانه ساده، اطلاعات را از سنسورهای دمای نصب‌شده در مسیر رفت و برگشت آبگرم سیستم گرمایشی، آبگرم مصرفی و سنسور دمای بیرون ساختمان جمع‌آوری کرده و مشعل بویلر و پمپ‌ها را کنترل می‌کند.

۳-۲-۴-۳- کنترل

فرآیندهای کنترلی معمولاً برای کنترل روشنایی‌ها، سیستم HVAC[4] اتاق‌ها و کنترل پرده‌ها و سایه‌بان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، سنسورهای حضور، با حضور افراد روشنایی‌ها را روشن کرده و با خروج آن‌ها خاموش می‌کنند. یا با زدن یک کلید سناریو وضعیت مجموعه‌ای از تجهیزات در وضعیت از پیش تعریف شده قرار می‌گیرند.

۳-۲-۵- توجیه اقتصادی استفاده از سیستم هوشمند ساختمان

1- Supervisory Control And Data Acquisition
2- Human–Machine Interface
3- Digital Data Control
4- Heating Ventilation and Air Conditioning

Ahwaz_Hackerz

از آنجا که هزینه‌های مرتبط با نگه‌داری و تعمیرات در طول عمر مفید ساختمان سهم قابل توجهی از هزینه‌های ساختمان را شامل می‌شود، سیستم هوشمند مدیریت ساختمان با توجه به نقش مهمی که در کاهش این هزینه‌ها دارد سبب می‌شود تا برگشت سرمایه در زمان معقولی انجام پذیرد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر در بازگشت سرمایه اولیه‌هایی که صرف راه‌اندازی و نصب سیستم هوشمند ساختمان شده، کاهش مصرف انرژی و متعاقب آن کاهش هزینه است. از پارامترهایی که در این کاهش مصرف تأثیرگذار است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- برنامه‌ریزی برای شروع و پایان کار تأسیسات. به عنوان مثال سیستم سرمایش و گرمایش و سیستم روشنایی ساختمان‌های اداری در ساعات غیر از زمان حضور کارکنان یا روزهای تعطیل می‌تواند خاموش یا در حالت حداقل میزان مصرف انرژی تنظیم شود.
- استفاده از منابع جایگزین در زمان مناسب. به عنوان مثال زمانی که دمای بیرون ساختمان مطلوب است، سیستم گرمایش و سرمایش خاموش شود. همچنین تا حد امکان می‌توان روشنایی را از فضای بیرون ساختمان تأمین نمود.
- کاهش هزینه‌های عملکردی، نگه‌داری و تعمیرات ساختمان. زمان بازگشت سرمایه معمولاً بین ۲ تا ۴ سال است. البته این زمان با توجه به نوع استفاده از سیستم هوشمند در ساختمان متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال، در صورت استفاده از سیستم هوشمند موتورخانه، زمان بازگشت سرمایه اولیه در این بخش به حدود 12 ماه می‌رسد. در صورت استفاده از سیستم هوشمند ساختمان، مصرف انرژی بیش از ۱۵٪ کاهش می‌یابد. این مقدار در بخش‌های مختلف سیستم متفاوت است. به عنوان مثال، با استفاده از سیستم هوشمند موتورخانه، در این بخش تا ۴۰٪ صرفه‌جویی در مصرف انجام می‌گیرد.

Ahwaz_Hackerz

۳-۲-۶- گروه‌بندی بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را می‌توان در پنج گروه تعریف کرد:

۳-۲-۶-۱- شهرسازی و طراحی شهری

با طراحی مناسب بافت شهری، تعیین نحوه استقرار مناسب ابنیه در زمین و نیز تهیه ضوابط ارتفاعی و حجمی مناسب، می‌توان انطباق حجمی بناها را با شرایط اقلیمی تأمین نمود.

۳-۲-۶-۲- طراحی معماری

طراحی معماری به لحاظ نورگیری، ابعاد بازشوها، جهت ساختمان، استقرار فضاها با توجه به جهت تابش خورشید و سایر شرایط اقلیمی بخشی از اهداف بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را تأمین می‌کند. این طراحی می‌تواند در ساخت‌وساز سنتی یا صنعتی یکسان انجام گیرد.

۳-۲-۶-۳- عناصر و اجزای ساختمان

از آن جایی که کنترل تأثیر شرایط محیطی بر فضاهای داخلی از طریق عناصر جداکننده این دو، صورت می‌گیرد، لذا نقش عناصر و اجرای ساختمانی جدا کننده شامل دیوارها، پنجره، در سقف، کف و نحوه ترکیب و تلفیق آن‌ها با یکدیگر تعیین‌کننده میزان مطلوب عبور حرارت و صدا است. عناصر و اجزای ساختمانی مزبور باید دارای مشخصات فنی استاندارد بوده و اجرا و نصب آن‌ها نیز تابع ضوابط اعلام شده از سوی تولیدکنندگان باشد.

شاید نقش صنعتی‌سازی تولید ساختمان در این بخش بیشتر از سایر بخش‌ها دیده شود زیرا با قانونمند کردن رعایت ضوابط و استانداردهای معمول در تولید و اجرای عناصر مزبور و ملزم نمودن طراحان و سازندگان در استفاده از مصالح دارای تأییدیه‌های لازم از مراجع ذیربط

Ahwaz_Hackerz

می‌توان به بخشی از اهداف صنعتی سازی ساختمان مبنی بر ارتقای کیفیت ساخت و بهینه‌سازی مصرف انرژی دست یافت. بدیهی است در صورت رعایت اصول و استانداردهای لازم در تولید این محصولات، امکان استفاده از آن‌ها در روش‌های طراحی و تولید صنعتی ساختمان افزایش می‌یابد.

۳-۲-۶-۴- سیستم‌های تأسیساتی (مکانیکی و الکتریکی)

امروزه با پیشرفت فناوری در همه عرصه‌ها، طراحی و ساخت سیستم‌های تأسیساتی، مکانیکی و الکتریکی مورداستفاده در ساختمان‌سازی نیز با پیشرفت‌های قابل توجهی همراه بوده است.

افزایش بازده ماشین‌ها و سیستم‌های تأسیساتی، کاهش مصرف انرژی را در مقایسه با سیستم‌های قدیمی‌تر به همراه داشته است. کاهش ابعاد، سهولت تعمیر و نگهداری از دیگر مشخصات استفاده از سیستم‌های پیشرفته امروزی است.

با هوشمندسازی ساختمان‌ها، امکان کنترل بر مجموعه سیستم‌های تأسیساتی و بهره‌برداری تهیه از آن‌ها با بودجه به تغییر شرایط جوی طی روز و سال، امکان‌پذیر گشته است. از تمامی امکانات مزبور در حال حاضر در ساختمان‌های با اجرای سنتی و صنعتی می‌توان استفاده کرد.

بدیهی است در یک سیستم ساخت صنعتی، توقع و انتظار این است که از سیستم‌های پیشرفته و نوین تأسیساتی نیز استفاده گردد درحالی‌که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه زیاد این سیستم‌ها می‌تواند منجر به افزایش قیمت تمام‌شده ساختمان‌ها شود.

۳-۲-۶-۵- اجرا

بدیهی است انجام نظارت و کنترل بر نحوه اجرای ساختمان، ضامن تأمین اهداف کمی و کیفی طراحان است. در سیستم اجرایی صنعتی ساختمان، کنترل اجرای ساختمان به نحو بسیار مطلوب‌تری انجام می‌گیرد و از این رو در صورت رعایت چهار بند اولیه ذکر شده، در سیستم صنعتی سازی ساختمان، می‌توان تحقق اجرای مناسب را نیز انتظار داشت.

Ahwaz_Hackerz

۳-۳- اجزای خانه‌های هوشمند

در سال ۲۰۰۳ آموزش و گسترش مسکن‌سازی آمریکا[1]، تعریف جدیدی را از خانه‌های هوشمند ارائه کرد که مبنای بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی قرار گرفت. در این تعریف، خانه هوشمند، خانه‌ای است که از شبکه‌های ارتباطی برای اتصال وسایل و سرویس‌های الکتریکی استفاده می‌کند و قابلیت کنترل از راه دور را برای آن‌ها فراهم می‌کند.

بر اساس این تعریف، خانه‌ای که هوشمند است، باید دارای سه مؤلفه اساسی شبکه داخلی، کنترل هوشمند و وسایل هوشمند باشد.

۳-۳-۱- شبکه داخلی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، پایه و اساس ایجاد خانه هوشمند دسترسی به شبکه داخلی است. این شبکه می‌تواند به صورت باسیم، بدون سیم و یا کابل باشد. سیستم‌های ارتباطی مورداستفاده در خانه‌های هوشمند به چهار دسته سیستم‌های حامل جریان برق[2]، Busline، فرکانس‌های رادیویی و INSTEON (ترکیب حامل جریان برق و فرکانس‌های رادیویی) تقسیم می‌شوند.

۳-۳-۲- سیستم کنترل و درگاه هوشمند

وظیفه اصلی درگاه‌های ارتباطی، ایجاد پل ارتباطی بین تکنولوژی‌های مختلف در خانه و ایجاد دسترسی به سرویس‌های بیرون از خانه و همچنین بالعکس است. درگاه‌های ارتباطی گوناگونی همچون HAVi/Powerline Gateway، HAVi/UPnP Gateway و UPnP/Powerline در پروژه‌های تحقیقاتی مختلفی به وجود آمده‌اند.

1-Housing learning and improvement network

2- Power line carrier system

Ahwaz_Hackerz

۳-۳-۳- وسایل هوشمند

وجود وسایل خانگی هوشمند که قابلیت برنامه‌ریزی داشته باشند، لازمه ایجاد یک خانه هوشمند هستند. این وسایل هوشمند توانایی فراهم کردن آسایش بیشتر را در حین جذابیت بالای خود دارند. نمونه‌هایی از وسایل هوشمند عبارت‌اند از:

- **قلم هوشمند:** برای پیدا کردن معانی لغات در حین مطالعه.
- **درب یادآور**[1]: برای یادآوری اموری که پیش از خروج از منزل باید به آن رسیدگی شود.
- **کمد لباس هوشمند:** با پیش‌بینی وضع هوا، لباس مناسب را به شما پیشنهاد می‌دهد.
- **تخت هوشمند:** با قابلیت برنامه‌ریزی در مورد آهنگ موردعلاقه در زمان بیدار شدن، تنظیم نور و دمای اتاق، ساعت بیدار شدن.
- **بالش هوشمند:** قرائت کتاب صوتی موردعلاقه پیش از خواب، پخش موزیک، چک کردن شرایط مطلوب در زمان خواب.
- **گلخانه هوشمند:** تأمین هوای تازه خانه و شرایط مطلوب برای رشد گیاهان.
- **کاناپه هوشمند:** تأمین شرایط آسایش بدن در هنگام استراحت و تماشای فیلم با دریافت سیگنال‌هایی از بدن فرد.
- **روشنایی هوشمند:** تنظیم شدت نور و رنگ آن در سناریوهای مختلف از قبیل مهمانی، شام، خواب و غیره.
- **سنسور حرکتی:** جمع‌آوری تمام اطلاعات تحرکات در اطراف منزل و قابلیت تمایز حیوانات از دزدها.
- **درب‌های هوشمند:** قفل خودکار درب‌ها با برنامه از پیش تعیین شده و باز کردن آن‌ها با فرمان‌ها از راه دور.

1- Reminder Gate

Ahwaz_Hackerz

۳-۴- سیستم‌های کامپیوتری مورداستفاده در خانه‌های هوشمند

با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، سیستم‌های کامپیوتری در خانه‌های هوشمند بسیار پرکاربرد هستند. این سیستم‌ها با نام‌های مختلفی شناخته می‌شوند و هر یک برای حوزه‌ای خاص طراحی شده‌اند.

۳-۴-۱- سیستم مدیریت جامع ساختمان[1](BMS)

وظیفه این سیستم استفاده از تکنولوژی‌های روز برای تأمین شرایط ایده‌آل هم‌زمان با مصرف بهینه انرژی در ساختمان است.

با توجه به نام این سیستم، BMS نه تنها یک خانه بلکه مدیریت کلیه فعالیت‌ها در ساختمان را در برمی‌گیرد. برای مثال سیستم تهویه مطبوع کل ساختمان، موتورخانه، سیستم اطفاء حریق، وضعیت امنیتی کل ساختمان، روشنایی‌ها، پله‌برقی و آسانسور و غیره همگی در حیطه فعالیتی BMS قرار می‌گیرند.

یکی از ویژگی‌های بارز BMS، ارتباط جامع کلیه وسایل برنامه‌ریزی شده است به نحوی که در شرایط اضطراری نهایت همکاری را برای به حداقل رساندن خسارات احتمالی باهم داشته باشند. مثال خوبی از این هماهنگی، نحوه عملکرد در زمان نشت گاز است. در ابتدا نشت گاز توسط سنسورهایی تشخیص داده می‌شود و سپس برای جلوگیری از آن شیرهای گاز به صورت خودکار بسته می‌شوند. اگر ارتباطی بین این سیستم و سیستم کنترل روشنایی وجود نداشته باشد و صاحب خانه در منزل نباشد، در صورت ورود او چراغ‌ها به صورت خودکار روشن می‌شوند و در صورت وجود گاز زیاد در خانه، انفجار رخ می‌دهد؛ اما اگر ارتباط جامعی بین همه سیستم‌ها وجود داشته باشد، در هنگام بروز چنین حادثه‌ای تا زمانی که خطر رفع شود، سیستم روشنایی نیز به حالت تعلیق درمی‌آید. سیستم مدیریت ساختمان در موارد متعددی از جمله موارد زیر استفاده می‌شود:

1- Building Management System

Ahwaz_Hackerz

- کنترل و پایش خانه و تجهیزات داخلی آن هنگام خروج از منزل
- کنترل و پایش ویلاهای خارج شهری
- کنترل و پایش دفتر کار در شرکت
- سیستم‌های امنیتی (دوربین‌های مداربسته، قفل‌های الکترونیکی)

۳-۴-۱-۱- اجزای BMS

۳-۴-۱-۱-۱- حسگرها

حسگرها سنجش پارامترهای محیطی و ارسال این اطلاعات را بر عهده دارند. این اطلاعات می‌تواند برای کنترل محیط بیرون و درون، دمای سیال گرم‌کننده یا خنک‌کننده، میزان روشنایی محیط، میزان رطوبت، مقدار گازها در هوا، حضور یا عدم حضور افراد در محل و دیگر اطلاعاتی که برای راهبری بهینه سیستم‌ها حیاتی است، مفید باشد. در کنار حسگرهای دما که از مرسوم‌ترین‌ها هستند حسگرهای دیگری نیز در خانه هوشمند و BMS مورد استفاده دارند که عبارت‌اند از:

- حسگرهای حرکتی: این نوع حسگر در خانه‌های هوشمند امروزی به عنوان سیستم ضد سرقت به کار می‌رود و یکی از متداول‌ترین نوع حسگرها است. این حسگرها با میدان دید وسیعی که در اختیار قرار می‌دهند نقشی اساسی در سیستم‌های ضد سرقت ایفا می‌کنند. اساس عملکرد این حسگرها معمولاً بر مبنای اشعه مادون قرمز است که می‌تواند حضور افراد را تشخیص دهد.
- حسگرهای دود: این حسگرها کاربرد زیادی در سیستم‌های اعلام و اطفا حریق دارند. نوع ساده این حسگرها که در منازل به کار می‌رود پس از تشخیص حریق یک زنگ خطر شنیداری یا نشانه‌های نوری دیداری ایجاد می‌کنند؛ اما بعضی از این حسگرها که در اماکن صنعتی، تجاری و مسکونی پر رفت و آمد نصب می‌شوند پس از تشخیص حریق سیگنال اخطار را به مراکز آتش‌نشانی ارسال می‌کنند.

Ahwaz_Hackerz

- حسگرهای تشخیص شدت نور: هدف این حسگرها استفاده حداکثری از روشنایی خورشید است. به این منظور شدت نور محیط داخل با محیط خارج به صورت مداوم مقایسه می‌شود و نهایتاً برای ایجاد شدت روشنایی استاندارد و مناسب برای محیط داخل فرمان‌های لازم به منابع روشنایی صادر می‌شود.
- حسگرهای فشار: این حسگرها با هدف متعادل‌سازی جریان هوا در سیستم‌های تهویه مطبوع به کار گرفته می‌شوند.
- حسگرهای رطوبت: این حسگرها با هدف شناسایی نشتی احتمالی، چگالش آب و جلوگیری از تولید هوای خیلی خشک یا خیلی مرطوب در خانه هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- حسگرهای دی اکسید کربن: این نوع از حسگرها هم در تأمین شرایط مطلوب آب و هوایی تأثیر دارند و هم در مسائل امنیتی به مانند حسگرهای تشخیص دود می‌توانند مفید باشند.

به عنوان یک نمونه، به استفاده از حسگرها در کنترل بهینه تهویه خانه می‌توان اشاره کرد. در این فرایند از حسگرهایی در محل‌های مختلف خانه استفاده می‌شود که همگی مجهز به کنترل‌کننده‌ی انتگرالی-تناسبی (PI) هستند. این حسگرها آب و هوای خانه را با شاخص‌هایی مثل میزان دی اکسید کربن، درجه حرارت، رطوبت نسبی و مطلق و آنتالپی مورد بررسی قرار می‌دهند. همچنین با استفاده از حسگرهایی که در بیرون از فضای خانه نصب شده‌اند شرایط بیرون نیز سنجیده می‌شود. با استفاده از این اطلاعات محاسبات لازم برای تعیین بار حرارتی یا برودتی مورد نیاز انجام می‌شود. در نهایت به منظور حصول بهترین و بهینه‌ترین شرایط تهویه-ای، خروجی کنترل‌کننده‌ها به فعال‌سازهای حرارتی (برودتی) ارسال می‌گردد.

۳-۴-۱-۱-۲- کنترلرها

اجزایی از سیستم هستند که اطلاعات دریافتی در حسگرها را دریافت و بر اساس نرم‌افزار

Ahwaz_Hackerz

درونی خود یا نرم‌افزار شبکه پردازش و برحسب نیاز فرمان‌هایی را به عملگرها ارسال می‌کند.

۳-۴-۱-۱-۳- عملگرها

اجزایی از سیستم هستند که فرمان‌ها ارسالی از کنترلرها را دریافت و بر اساس آن واکنش نشان می‌دهند. این عملگرها می‌توانند شیرهای برقی سیالات، دریچه‌های قابل تنظیم عبور هوا، رله‌های قطع و وصل جریان الکتریکی و غیره باشند.

این سه بخش توسط یک مکانیزم ارتباطی باهم مرتبط می‌شوند که از دو قسمت مهم تشکیل شده است که عبارت‌اند از: رسانه (مدیا) ارتباطی از جمله سیم، فیبر نوری، امواج رادیویی و پروتکل ارتباطی یا زبان محاوره اجزا مانند Lpn works, Bac Net.

حسگرها، عملگرها و کنترل‌ها از طریق مدیای ارتباطی بر اساس زبان محاوره‌ای یا پروتکل ارتباطی باهم ارتباط برقرار می‌کنند. اجزاء مختلف BMS در شکل ۳-۵ نمایش داده شده‌اند.

۳-۴-۱-۲- نقش سیستم BMS در بهینه‌سازی مصرف انرژی

با نصب این سیستم‌ها دیگر نیازی به کارکرد تأسیسات ساختمان در تمام روزهای سال نیست. همچنین می‌توان در مواقع خالی بودن ساختمان کلیه امکانات را به حالت خاموش درآورد و چندی قبل از رسیدن افراد به خانه، آن‌ها را روشن کرد. ازآنجاکه سیستم مدیریت ساختمان از کنترل ریز پردازنده استفاده می‌کند و ریز پردازنده‌ها نیز به خودی خود هوشمند هستند و می‌توانند کارکرد خوب و مناسب یک سیستم را بیاموزند.

۳-۴-۱-۳- مزایای استفاده از BMS

برخی از مزایای استفاده از BMS در زیر آمده است.

- حذف مصارف ناخواسته: زیرا تنها هنگام بهره‌برداری از فضا، اجازه استفاده از منابع انرژی از قبل سرمایش و گرمایش و روشنایی داده می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

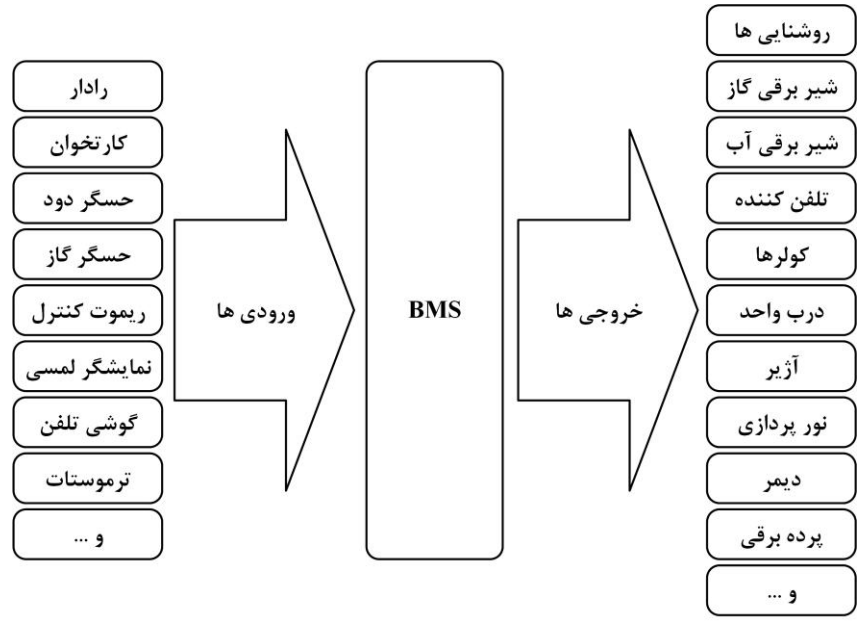
- کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری: مدیریت بهینه استفاده از تأسیسات باعث کاهش ساعت کارکرد شده و به میزان قابل توجهی هزینه تعویض قطعات مصنوعی و خرابی‌های ناشی از کارکرد طولانی را کاهش دهد.
- سرکشی دائمی کلیه اجزای ساختمان: کلیه اجزای مهم ساختمان از قبیل سرمایش و گرمایش و آب‌رسانی و غیره از طریق یک کامپیوتر در محل ساختمان و یا از راه دور و در تمام ساعات قابل سرکشی است.
- حذف خطاهای اپراتوری: وضعیت کارکردی هر یک از المان‌های تأسیسات روی رایانه اصلی، نمایش داده می‌شود و کنترل سلامت اجزا به‌راحتی امکان‌پذیر است.
- اعلام وضعیت اجزا برای جلوگیری از خرابی و وقفه کار اجزای ساختمان

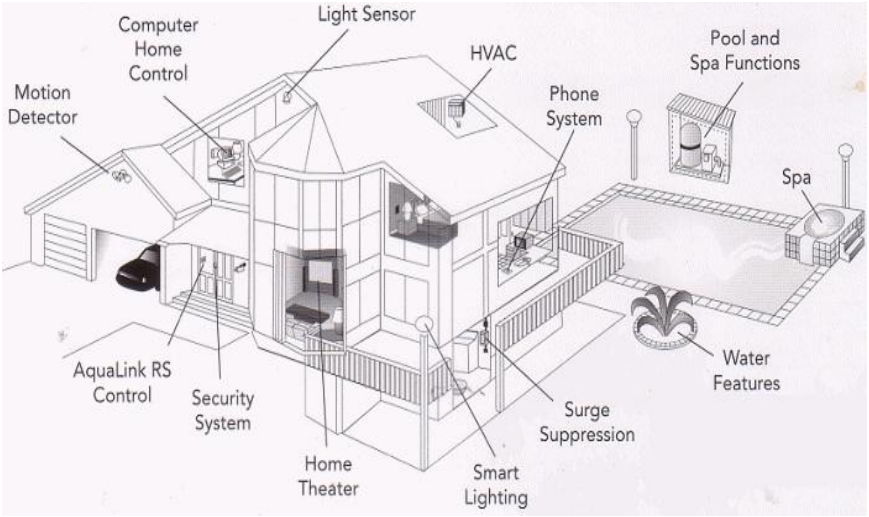
از دید دیگر می‌توان مزایای استفاده از BMS را بر اساس مصرف کنندگان متفاوت آن برشمرد. در ادامه این مزایا آورده شده است:

مزایا برای ساکنین:

- کنترل مناسب تجهیزات برای افزایش آسایش و رفاه
- امکان کنترل هر فضا به طور جداگانه و مستقل
- افزایش بهره‌وری کارکنان
- امکان پایش میزان مصرف انرژی ساختمان
- افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان موتورخانه
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری

Ahwaz_Hackerz





شکل ۳-۵: اجزای BMS [۲۱].

مزایا برای مالکین ساختمان‌ها:

- افزایش ارزش ساختمان

Ahwaz_Hackerz

- ساده‌سازی تغییر کاربری ساختمان
- قابلیت کنترل جداگانه میزان مصرف انرژی بخش‌های مختلف مجزا از هم
- قابلیت پایش مرکزی کل سیستم
- افزایش رفاه و صرفه‌جویی در زمان
- قابلیت کنترل از راه دور موتورخانه (مثلاً AHU[1]، پمپ آتش‌نشانی، پمپ‌های آب‌رسانی، منبع تغذیه و غیره)
- کنترل و پایش مرکزی و از راه دور ساختمان

مزایا برای مدیران تأسیسات ساختمان یا شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات نگهداری ساختمان:

- دسترسی به اطلاعات کنترلی مورد نیاز
- تشخیص زود هنگام مشکلات
- رضایت بیشتر عمومی

۳-۴-۱-۴- BMS در کشورهای پیشرفته

تنها پایش و مشاهده میزان مصرف کافی نیست و باید به دنبال راهی برای اتوماسیون میزان مصرف بود تا اگر جایی مصرف زیاد شد، سیستم به طور خودکار میزان مصرف را پایین بیاورد؛ یعنی اگر نور کم بود، به طور خودکار پرده‌ها را کنار بزند یا در صورت لزوم، نور چراغ‌ها را کم و زیاد کند. البته طرح‌های آزمایشی از این دست اکنون نیز در حال انجامند. جالب اینجاست که در آمریکا مدیریت انرژی برای بعضی جذابیت ندارد، بلکه این امکان خاموش کردن چراغ‌هاست که جالب‌تر است. شعار این گروه این است: "آن را ساده نگاه دارید و به نیازهای امروز پاسخ دهید. لازم نیست سعی کنید تا آینده را امروز اختراع کنید" اما برخی کارشناسان به مشکل

1- Air Handling Unit

Ahwaz_Hackerz

مهم خانه‌های هوشمند اشاره می‌کنند. اگر صاحب خانه بتواند منزلش را از راه دور کنترل کند، چه تضمینی وجود دارد که یک هکر یا دزد نتواند کار مشابهی انجام دهد؟ دزدی کامل و غارت منزل کاملاً با سرقت رمز و پسورد ایمیل متفاوت است. ولی آسیایی‌ها، پیشرو در خانه‌های هوشمند شده‌اند، هرچند که مرکز تدوین این فناوری در ایالات متحده است، اما گویی آمریکایی‌ها چندان هم در این زمینه پیشرو نیستند.

در خانه‌های جدیدی که در کشور ژاپن احداث می‌شود، کنترل کننده‌های هوشمندی روی گرم کننده و منابع آب خانگی نصب می‌شود. این سیستم هوشمند که EcoCute نامیده می‌شود، آب را بین ساعت ۱ تا ۶ صبح گرم می‌کند، زیرا بهای برق به یک هفتم کاهش می‌یابد. این سیستم همچنین گزارش دو هفته قبل مصرف آبگرم منزل را در خود نگه می‌دارد و مقدار آبگرم لازم برای مصرف در روز بعد را حدس می‌زند. البته به همین سادگی هم نیست که بتوان همه تجهیزات منزل را با یک کامپیوتر مرکزی کنترل کرد. یکی از مهم‌ترین مسائل زیرساختی این فناوری، این است که تمام سازندگان تجهیزات از استاندارد مشخصی استفاده کنند تا اجازه ارتباط تجهیزات متفاوت را باهم بدهد. استاندارد سازی راهی برای همه‌گیر کردن این فناوری است، ولی تنها به شرطی که بازار هم آن را بپذیرد. این استانداردسازی فرآیندی طولانی است که نیازمند مراحل زیر است:

۱. همکاری تولیدکنندگان

۲. پذیرش از سوی بازار

۳. تولیدکنندگان باید بتوانند از این طریق به سود دست یابند.

۴. نباید پیچیده شود و هیچ تولیدکننده‌ای نباید به‌تنهایی آن را ارتقا دهد.

در زیر نام برخی پروژه‌ها در رابطه با ساختمان‌های هوشمند آورده شده است:

1. Adaptive House, University of Colorado:
http://www.cs.colorado.edu/~mozer/nnh/
2. Carnegie Mellon’s Intelligent Workspace
http://www.arc.cmu.edu/cbpd/iw/index.html
3. Duke University Smart House: http://www.smarthouse.duke.edu

Ahwaz_Hackerz

4. Georgia Tech Aware Home: http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri/
5. Humboldt State CCAT: http://www.humboldt.edu/~ccat/
6. MavHome at University of Texas Arlington: http://mavhome.uta.edu/
7. Medical Automation Research Center @ UVA: http://marc.med.virginia.edu/
8. MIT House_n: http://architecture.mit.edu/house_n/
9. MIT Media Laboratory: http://www.media.mit.edu/
10. NC State Solar Center: http://www.ncsc.ncsu.edu/
11. Oberlin College:http://www.oberlin.edu/ajlc/ajlcHome.html
12.SmartMedical Home: http://www.futurehealth.rochester.edu/smart_home/
13. UNC Office of the Future: http://www.cs.unc.edu/~raskar/Office/

۳-۴-۱-۵- BMS در ایران

متأسفانه در کشور ما تاکنون به دلیل عدم فرهنگ‌سازی صحیح و حضور کم‌رنگ شرکت‌های تخصصی فعال در این زمینه، تخصیص یارانه‌های انرژی باعث شده تا حتی با فرض هدر رفتن انرژی تاکنون توجه جدی به استفاده از BMS نشده است. سازندگان ساختمان از قبول هزینه اولیه این مجموعه در هنگام ساخت سرباز زده و کماکان نسبت به بهره‌برداری سنتی از تأسیسات پافشاری می‌کنند. عدم تقبل هزینه سرشکن‌شده سیستم مدیریت هوشمند ساختمان توسط خریداران واحدهای ساختمان نیز دلیل دیگری برای مقاومت سازندگان ساختمان در مقابل اجرای پروژه‌های هوشمندسازی بنا به‌حساب می‌آید. اگرچه در حال حاضر نیز اجرای پروژه‌های فوق در ساختمان‌ها با دید بلندمدت کاهش هزینه‌های مصرفی انرژی و نیز کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری توجیه اقتصادی دارد ولی حذف یارانه‌های انرژی در آینده نزدیک کمک به کاهش زمان استهلاک هزینه پروژه‌های BMS خواهد داشت.

Ahwaz_Hackerz

۳-۴-۲- سیستم خودکار سازی خانه[1]

فرآیند اتوماسیون به زبان ساده، یعنی خودکار کردن عکس‌العمل‌ها نسبت به برخی رویدادها. در این سیستم ابتدا با سنسورهایی وضعیت خانه موردبررسی قرار گرفته و سپس برای اقدامات لازم مانند اعلان سرقت، کنترل بخش‌های مختلف و غیره فرایندهای خودکار طراحی می‌شود. علاوه بر این‌ها یکی از اهداف اساسی ایجاد خانه‌های خودکار، قابلیت کنترل از راه دور آن‌ها است.

۳-۴-۲-۱- مزایای خانه‌های خودکار

- ایجاد شرایط مطلوب قبل از حضور در منزل توسط موبایل، خط تلفن یا اینترنت مانند روشن کردن قهوه‌جوش، سیستم تهویه، دمای سونا و جکوزی
- کنترل خودکار چراغ‌های پارکینگ و حیاط و نیز نقاط مختلف خانه
- استفاده از قفل اثر انگشتی
- پایش رنگی و لمسی بر روی دیوار جهت کنترل تمام سیستم‌های خانه
- حمام خودکار
- تعریف سناریوهای مختلف مثل تماشای فیلم سینمایی و یا صرف شام، خواب
- انجام تمام امور تنها با یک ریموت کنترل که وضعیت تمام فعالیت‌های کنترل شونده روی آن قابل‌مشاهده است
- کنترل و نظارت بر روی خانه از راه دور از طریق تلفن همراه

۳-۴-۲-۲- بخش‌های قابل‌کنترل در خانه به صورت خودکار

برخی از سیستم‌های قابل‌کنترل در خانه‌های خودکار در ادامه آمده است. این سیستم‌ها از دو طریق پانل دیواری یا از راه دور قابل‌کنترل هستند.

1- Automation Home System

Ahwaz_Hackerz

- روشن و خاموش کردن کلیه کلیدها و تنظیم پیوسته میزان روشنایی لامپ‌ها (دیمر)
- روشن و خاموش کردن تجهیزات متصل به پریز برق مثل چایی ساز، TV
- کنترل اسپیلیت‌ها و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی
- باز و بسته کردن پرده‌ها
- چمن‌زنی خودکار و آبیاری خودکار فضای سبز
- کنترل تجهیزات صوتی (تلویزیون، ماهواره، ویدئو)
- کنترل سونا و جکوزی

۳-۴-۳- سیستم مدیریت انرژی خانه[1]

همان‌طور که در ابتدا اشاره شده است، یکی از اهداف خانه‌های هوشمند مدیریت مصرف انرژی در آن است. ذخیره‌سازی انرژی و مصرف بهینه امکانات و نیز پاسخ‌گویی به تغییر قیمت حامل‌های انرژی در طول شبانه‌روز بر عهده سیستم است.

در این برنامه‌ریزی وسایل خانگی به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند و بعدازآن برای ساعت مصرف آن‌ها با اهداف گوناگونی مانند کاهش هزینه مصرف انرژی، جلب رفاه ساکنین، به‌کارگیری تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی و نیز مشارکت منابع تولید پراکنده تجدید پذیر یا سوخت فسیلی در ساختمان برنامه‌ریزی می‌شود.

برخی از دسته‌بندی‌های رایج وسایل خانگی به شرح زیر است.

- بارهای قابل برنامه‌ریزی با قابلیت قطع (SA-IL[2])

این دسته از بارها می‌توانند در هر ساعتی از بازه تعیین شده توسط کاربر شروع به کار کنند و در حین کار متوقف شوند. نکته مهم در برنامه‌ریزی زمان کارکرد این وسایل توجه به مدت کارکرد آن‌هاست که باید به میزان مدت کارکرد لازم برای اتمام کار باشد. به عنوان مثالی از

1- Home Energy Management System
2- Schedule- based appliances with interruptible Load

Ahwaz_Hackerz

این وسایل، می‌توان پمپ استخر را نام برد.

- بارهای قابل برنامه‌ریزی بدون قابلیت قطع (SA-UL[1])

این دسته از بارها در هر ساعت از بازه تعیین شده می‌توانند شروع به کار نمایند با این تفاوت که در صورت روشن شدن تا اتمام کار نباید خاموش شوند و نیز زمان آغاز کار آن‌ها باید حداقل به‌اندازه طول مدت مورد نیاز برای اتمام کار قبل از انتهای بازه از پیش تعیین‌شده باشد. ماشین خشک‌شویی مثال خوبی از این دسته است.

- بارهایی که باتری کمکی دارند (BAs[2])

این دسته از بارها مانند لپ‌تاپ به یک باتری داخلی تجهیز شده‌اند. این امر مزیت‌هایی همچون در دسترس بودن یک منبع جانبی در ساعات پیک، پایداری بیشتر و نیز امکان بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر را فراهم می‌آورد.

- بارهایی که مصرف آن‌ها با کمیت‌های فیزیکی بیان می‌شود (MAs[3])

مصرف این دسته از بارها همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست با کمیت‌های فیزیکی همچون دما قابل اندازه‌گیری است و می‌توان مصرف آن‌ها را با تعین دماهای حداقل، حداکثر و مطلوب کنترل کرد. دستگاه‌های تهویه مطبوع مثال خوبی از این دسته هستند.

- بارهای ضروری[4]

این دسته از بارها، که روشنایی مثال بارزی از آن است، در طول شبانه‌روز برای مدت خاصی باید روشن باشند و در هنگام برنامه‌ریزی تنها بین مقادیر حداقل و حداکثر خود اجازه مصرف دارند و خاموشی آن‌ها جایز نیست. فرض می‌شود لامپ‌های روشنایی دارای دیمر هستند.

- بارهایی که مربوط به سرگرمی هستند[5]

بارهایی چون تلویزیون و ویدئو برای سرگرمی مورداستفاده قرار می‌گیرند. این دسته از بارها نیز

1- Schedule- based appliances with un-interruptible Load
2- Battery assisted Appliances
3- Model-based Appliances
4- Necessary Loads
5- Entertainments

Ahwaz_Hackerz

به جهت رفاه حال مصرف‌کنندگان نباید در برنامه‌ریزی‌ها قطع شوند. تفاوت این بارها با بارهای ضروری در این است که مصرف‌کننده نسبت به کل مصرف آن در هر بازه برنامه‌ریـزی حسـاس است و مصرف کلیه وسایل ازاین‌دست نباید از حد تعریف‌شده بگذرد.

۳-۴-۴- سیستم پایش مصرف

سیستم پایش مصارف خانگی نیز زیرمجموعه‌ای از سیستم اتوماسیون منازل محسوب می‌گردد. این سیستم برای پایش مصارف تجهیزات الکتریکی منزل به کار می‌رود به طوری که میزان مصرف برق این تجهیزات را به صورت مستقیم و بلادرنگ برای مشترکین نمایش می‌دهد. پایش مصارف خانگی به دو صورت محسوس و نامحسوس انجام می‌گیرد.

۳-۴-۴-۱- سیستم پایش محسوس[1]

در پایش محسوس لوازم خانگی (IALM)، تجهیزات الکتریکی منزل (اعم از تجهیزات مصرفی، روشنایی، یخچال، لباسشویی، ظرفشویی و غیره)، تجهیزات تولیدی (سلول فتوولتائیک) و یا تجهیزات ذخیره (همانند PHEV[2]) از طریق یک شبکه ارتباطی با نمایشگر IHD[3] در ارتباط می‌باشند و میزان و نحوه مصرف، تولید یا ذخیره برق آن‌ها از طریق نمایشگر قابل پایش است. بستر ارتباطی می‌تواند سیمی یا بی‌سیم باشد. این فرایند در شکل ۳-۶ نمایش داده شده است.

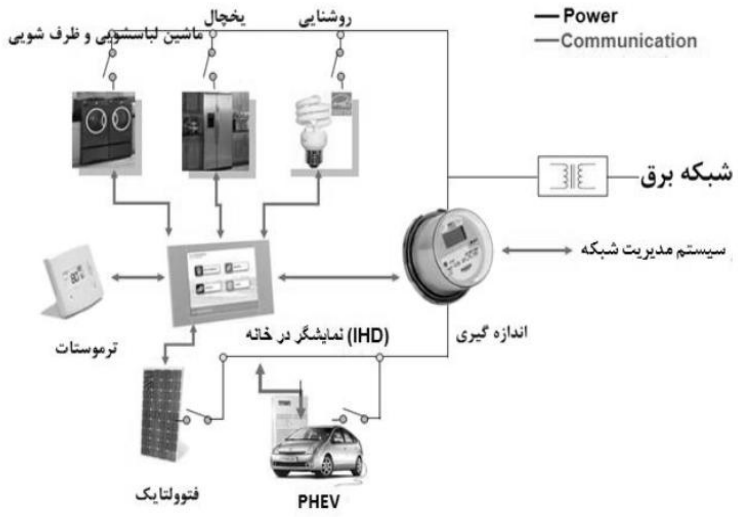
۳-۴-۴-۲- سیستم پایش نامحسوس[4]

در این حالت ابتدا الگوی مربوط به هر وسیله یا تجهیز وقتی کار می‌کند، استخراج می‌شود. در واقع هر وسیله یک الگوی خاص (signature) دارد. پایش نامحسوس مصرف لوازم خانگی

1- IALM: Intrusive Appliance Load Monitoring
2- Plug-in Hybrid Electric Vehicle
3- In Home Display
4- NIALM: Non- Intrusive Appliance Load Monitoring

Ahwaz_Hackerz

روشی است که در آن برخلاف روش پایش محسوس نیاز به تعبیه یک اندازه‌گیر بر روی هرکدام از لوازم خانگی برای پایش وضعیت مصرف آن نیست. بلکه این روش با پردازش سیگنال ولتاژ و جریان در محل منبع تغذیه (کنتور هوشمند منازل) و تحلیل آن‌ها با توجه به این که هر دسته از لوازم برقی معمولاً دارای یک الگوی خاص مصرف توان الکتریکی می‌باشند، که در اصطلاح به آن امضای آن تجهیز گفته می‌شود، قادر است نوع وسایل برقی متصل به منبع، زمان روشن و خاموش شدن و نحوه مصرف آن‌ها را تعیین کند. این کار به کمک فناوری پردازش سیگنال دیجیتال (DSP[1]) انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای پیاده‌سازی این نوع سیستم وجود دارد که در همه‌ی این روش‌ها سه مرحله ثابت است. در اولین مرحله همان‌طور که اشاره شد الگوی مشخص هر تجهیز خارج می‌شود و به صورت یک مدل ریاضی در نظر گرفته می‌شود، سپس نوبت به پیاده‌سازی سخت‌افزاری است (حسگرها و سیستم اکتساب داده‌ها) که در واقع کار شناسایی مشخصه‌های تقاضا شده را بر عهده دارد و در نهایت یک الگوریتم ریاضی که مشخصه مربوطه را از بین تمامی سیگنال‌ها شناسایی می‌کند.



شکل ۳-۶: پایش محسوس لوازم خانگی [۶].

1- Digital Signal Processing

Ahwaz_Hackerz

۳-۴-۴-۲-۱- مزایای سیستم پایش نامحسوس

خصوصیات مربوط به NIALM منجر به فواید زیر می‌شود:

۱. کم‌هزینه بودن: نسبت به سایر روش‌های پایش نیاز به تجهیزات کمتری برای راه‌اندازی دارد.

۲. مقاوم بودن: قابلیت پشتیبانی هر تجهیز جدیدی که اضافه شود را دارا است.

۳. محاسبه دقیق مصرف توان و انرژی بر اساس زمان، مکان و یا نوع تجهیزات.

۴. روشن نگه داشتن پیوسته تجهیزات خاص.

۵. سرویس‌دهی به تجهیزات با توان‌های متغیر.

۶. ایجاد الگوهای مصرف.

۷. بهینه‌سازی توان بر اساس الگوهای مصرف.

۸. متعادل‌سازی بار.

۳-۴-۴-۲-۲- چالش‌های مربوط به سیستم پایش نامحسوس

برخی از چالش‌های پیشروی سیستم پایش نامحسوس عبارت‌اند از:

- مهم‌ترین مورد این است که خود سیستم نباید توان بیشتری مصرف کند بلکه باید طوری طراحی شود که ساختار موجود را تغذیه کند.
- سیستم باید قادر به پاسخ‌گویی به نوسانات موجود در منبع تغذیه معین باشد و نباید این تغییرات را مانند مصرف تجهیزات مدل کند. این خصوصیت در کشورهای در حال توسعه‌ای مانند هند که بیشترین نوسانات را در منابع تغذیه دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- سیستم تا آنجا که ممکن است باید از دخالت کاربر برای کارکرد مناسب، بی‌بهره باشد.
- ویژگی مهم دیگر که باید رعایت شود قابلیت اضافه کردن تجهیزات مختلف در زمان بعد از راه اندازی است به‌گونه‌ای که سیستم بدون نیاز به دخالت کاربر به‌راحتی آن را تحت پوشش قرار دهد.

Ahwaz_Hackerz

- راه اندازی سیستم تا آنجا که ممکن است باید راحت و با کمترین دخالت کاربر و کمترین تغییرات در ساختار موجود باشد.

۳-۵- مزایا و چالش‌های پیش روی خانه‌های هوشمند

هوشمندسازی خانه، آسایش و راحتی در زندگی را فراهم می‌کند. کنترل وسایل خانگی، امنیت بالای خانه، کنترل وضعیت از راه دور، عدم نیاز به سرکشی‌های مداوم به امور منزل، همگی از مزایای خانه‌های هوشمند می‌باشند. از طرف دیگر، یکی از موانع پیشروی گسترش خانه‌های هوشمند، پیچیدگی بالای آن‌ها است. در این بخش به این دو موضوع پرداخته می‌شود.

۳-۵-۱- مزایای خانه‌های هوشمند

علاوه بر مزایایی که در بالا در هریک از انواع خانه‌های هوشمند به آن‌ها اشاره شد، می‌توان مزایای زیر را نیز نام برد.

- امنیت بالا و قابلیت کنترل بخش دلخواه مانند اتاق کودک از هر جا.
- تنظیم نور.
- تنظیم دمای بخش‌های مختلف در خانه.
- قفل خودکار درب‌ها.
- برنامه‌ریزی تلویزیون برای کودکان.
- گرم کردن تخت خواب پیش از ورود به آن.
- روشن کردن چای‌ساز قبل از خروج از تختخواب.
- بهره‌برداری بهینه از منابع با استفاده از برنامه‌ریزی وسایل هوشمند.
- بی‌نیازی از تغییر در سیم‌کشی و سیستم‌های گرمایشی- سرمایشی.
- قیمت مناسب و مستقل از مساحت.
- پیک‌زدایی مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف.

Ahwaz_Hackerz

- برگشت‌پذیری هزینه با توجه به صرفه‌جویی در مصارف انرژی.
- قابلیت کنترل از راه دور از طریق تلفن، موبایل و غیره.

۳-۵-۲- چالش‌های پیش روی خانه‌های هوشمند

استفاده از این سیستم پیشرفته برای کسانی که حتی با کامپیوتر میانه‌ی چندان خوبی ندارند بسیار دشوار خواهد بود. یکی از موانع پیش روی گسترش خانه‌های هوشمند، پیچیدگی بالای آن‌ها است که اگر فرد قابلیت سازگاری با آن را نداشته باشد بی‌شک زندگی را برای خود دشوار کرده است.

برای کاهش پیچیدگی، در زمان طراحی یک خانه هوشمند باید به نکات زیادی توجه داشت، ازجمله:

- اجزای اساسی سیستم کدام است؟
- آیا جزء مورد نظر مانند روشنایی اساسی است و یا صرفاً یک دوربین یا هشدار دهنده است؟
- وسیله مدنظر ضروری است و یا صرفاً تفننی؟
- چند درصد افراد به‌راحتی قادر به استفاده آن خواهند بود؟
- برنامه‌ریزی و ایجاد تغییر در تنظیمات اولیه برای چند درصد افراد ممکن است؟

۳-۶- جمع‌بندی

از آنجائی که ساختمان هوشمند یک مفهوم جدید است، توسعه استفاده از این گونه سیستم‌ها باعث ذخیره هر چه بیشتر انرژی می‌شود، فرهنگ سازی در زمینه مصرف صحیح انرژی، باعث بهره‌مندی عادلانه از نعمات خدادادی و راهگشای اجرای پروژه‌های انرژی بر در کشور و در نهایت افزایش درآمد ملی خواهد بود. ساختمان هوشمند مزایای زیر را در بردارد: ارتباطات به یک راه حل عادی بدل می‌شوند، مصرف انرژی بهینه خواهد شد به طوری که تجهیزات تنها

Ahwaz_Hackerz

می‌بایست انتخاب شوند، سپس به سادگی قابلیت مجتمع شدن را پیدا خواهند کرد.

منابع و مراجع

[1] L. Jiang, D. Y. Liu and B. Yang, “Smart Home Research,” IEEE Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, 26-29 August 2004.

[2] http://home.howstuffworks.com/smart-home1.htm

[3] C. Zhang, M. Zhang and W. Wang, “Smart Home Design Based on ZigBee Wireless Sensor Network,” 7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), 2012.

[4] K. M. Tsui and S. C. Chan, “Demand Response Optimization for Smart Home Scheduling Under Real-Time Pricing,” IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 3, No. 4, pp. 1812-1821, Dec. 2012.

[5] N. Li, L. Chen and S. H. Low, “Optimal Demand Response Based on Utility Maximization in Power Networks,” in Proc. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet., Jul. 2011.

[۶] زهرا هاشمی پرپنجی، بابک درویش روحانی، "مصرف هوشمند انرژی در خانه‌های هوشمند،" دومین کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی، اهواز، ۱۳۸۹.

[۷] مهدی امینیان، شهرام جدید، "بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با در نظر گرفتن تعامل میان آن‌ها،" بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۱۳۹۲.

[۸] نکیسا توکلی، " خانه هوشمند و نقش آن در بهینه‌سازی مصرف انرژی،" اولین همایش سراسری متخصصین برق و کامپیوتر، شهرکرد، ۱۳۸۹.

[9] J. Yamini and Y. R. Babu, “Design and Implementation of Smart Home Energy Management System,” 2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, pp. 1-4, 2016.

Ahwaz_Hackerz

[10] H. Karami, M. J. Sanjari, S. Hadavi, S. H. Hosseinian and G. B. Gharehpetian, "Stochastic Load Effect on Home Energy System Scheduling Optimization," International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 25, Issue 10, pp. 2412–2426, Oct. 2015.

[11] H. Karami, M. J. Sanjari, A. Tavakoli and G. B. Gharehpetian, "Optimal Scheduling of Residential Energy System Including CHP System and Storage Device," Electric Power Components and Systems, Vol. 41, Issue 8, pp. 765-780, April 2013.

[12] M. R. Alam, M. B. Ibne Reaz and M. A. Mohd Ali, "A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), Vol. 42, No. 6, pp. 1190-1203, Nov. 2012.

[13] J. K. W. Wong, H. Lia and S. W. Wang, "Intelligent building research: a review," Automation in Construction, Vol. 14, No. 1, pp. 143–159, 2005.

[14] H. Karami, M. J. Sanjari, S. H. Hosseinian and G. B. Gharehpetian, "An Optimal Dispatch Algorithm for Managing Residential Distributed Energy Resources," IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 5, Issue 5, pp. 2360-2367, Sep. 2014.

[15] S. M. Sadat Kiaee, G. B. Gharehpetian, S. H. Hosseinian and M. Abedi, "Home Load and Solar Power Management under Real-Time Prices," 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Krakow, Poland, 10-12 May, 2014.

[16] M. Mostafayi, G. B. Gharehpetian, M. Abedi and G. H. Riahy, "Power Consumption Optimal Scheduling for Demand Response in Home Energy Management Systems," IEA Second International Conference on Technology and Energy, Tehran, 15-16 Dec, 2015.

[17] D. Pishva and K. Takeda, "Product-based Security Model for Smart Home Appliances," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 23, pp. 32–41, Oct. 2008.

Ahwaz_Hackerz

[18] “Home Plug Alliance” http://www.homeplug.org/explore-homeplug/smart-home/

[19] S. R. M. Canovas and C. E. Cugnasca, “Implementation of a Control Loop Experiment in a Network-Based Control System With LonWorks Technology and IP Networks,” in IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 11, pp. 3857-3867, Nov. 2010.

[20] M. Critcher, “Networking Primer” March (2016) https://prezi.com/adkkb3bfpp3t/networking-primer/

[21] Aqua Link HOME AUTOMATION https://www.aquapoolstore.com/controls/Jandy-AquaLink-home-automation.htm

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۴ خودروهای برقی

۴-۱- مقدمه

حیات تمامی جوامع صنعتی در گرو دسترسی آن‌ها به منابع انرژی است. سوخت‌های فسیلی مانند نفت و فرآورده‌های آن، گاز طبیعی و زغال‌سنگ ازجمله مهم‌ترین منابع انرژی در حال حاضر هستند. سیستم حمل و نقل حدوداً ۳۰ درصد از انرژی مصرفی کل جهان و حدود دو سوم مصرف جهانی نفت را شامل می‌شود. با در نظر گرفتن گرمای کره‌ی زمین به علت CO_2 تولید شده از این سوخت‌ها و از همه مهم‌تر افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی در آینده لزوم پیدایش تکنولوژی جدید در عرصه‌ی حمل و نقل مشخص می‌شود.

تکنولوژی‌های جدید در سیستم حمل‌ونقل، با استفاده از سوخت‌های جایگزین و یا ارتقای بهره‌وری اتومبیل‌ها به دنبال کاهش وابستگی سیستم حمل و نقل به سوخت‌های فسیلی می‌باشند. با توجه به بحران نفت و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی در چند سال اخیر به ویژه در کشورهای صنعتی، موضوع جایگزینی اتومبیل‌های کنونی (احتراق داخلی یا ICE[1]) با خودروهای برقی "EV[2]" مورد توجه جدی قرارگرفته است. عدم توانایی در طی مسافت طولانی و نیاز به شارژ مجدد مهم‌ترین عیب خودروهای برقی است و در مقابل، قیمت پایین انرژی الکتریکی و مسائل زیست محیطی نیز مهم‌ترین مزیت آن‌ها است.

خودروهای برقی پتانسیل افزودن مشخصه‌های مفیدی به شبکه برق را دارند. استفاده از این خودروها موجب ایجاد تعامل بین آن‌ها و شبکه از طریق تزریق توان به شبکه قدرت و همچنین شارژ شدن است. امروزه، تنها منابع ذخیره کننده انرژی الکتریکی قابل توجه در بیشتر

1- Internal Combustion Engine
2- Electric Vehicles

Ahwaz_Hackerz

شبکه‌های قدرت، سیستم‌های ذخیره پمپی هستند که فقط حدود ۲/۲٪ کل توان تولید شده را ذخیره می‌کنند. توسعه سریع سیستم‌های V2G[1] که در ادامه در مورد آن صحبت خواهد شد می‌تواند به طور قابل توجهی ظرفیت منابع ذخیره توزیع شده را افزایش دهد. در این سیستم انواع خودروهای برقی برای تأمین رزرو چرخان، سرویس‌های تنظیم برق و یا کیفیت توان با شبکه قدرت در تعامل است. همچنین در آینده با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر برای شارژ خودروی برقی می‌توان از این منابع به عنوان منابع پشتیبان و رزرو نیز بهره گرفت. منابع ذخیره الکتریکی می‌تواند هم به مشتریان و هم به شبکه کمک کنند. از دید مشتریان، منابع ذخیره پراکنده به آن‌ها کمک می‌کند که برای کاهش هزینه انرژی، در ساعات غیر پیک، برق ذخیره کرده و در ساعات پیک مصرف استفاده نمایند. از دید شبکه، منابع ذخیره پراکنده می‌توانند سرویس‌های کمکی متنوعی را ارائه کنند. به طور خاص، سیستم‌های V2G می‌توانند در رگولاسیون فرکانس برای تنظیم فرکانس و ولتاژ شبکه به وسیله هماهنگ کردن تولید و تقاضای بار، شرکت نمایند. امروزه، رگولاسیون فرکانس بیشتر با خاموش و روشن کردن مولدهای بزرگ انجام می‌گیرد که بسیار هزینه‌بر است.

با توجه به مقدمه ذکر شده در بالا، در این فصل ابتدا روند تحولات خودروهای برقی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس انواع خودروهای برقی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه بررسی می‌شوند و مزایا و معایب هر کدام ذکر می‌شود. درنهایت نحوه اتصال این خودروها به شبکه و کاربردهای مختلفشان در سیستم قدرت ذکر خواهد شد.

۴-۲- روند تحولات خودروهای برقی

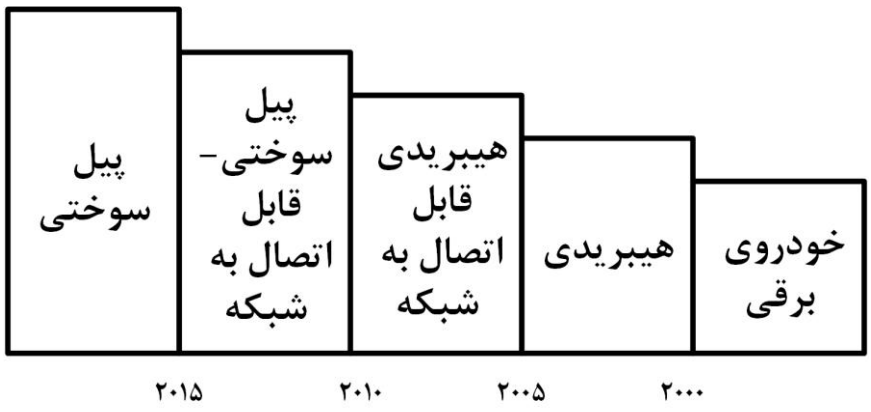
اولین بار طرح خودروهای برقی در سال ۱۹۰۰ و قبل از طرح خودروهای شرکت‌هایی مثل بنز و فورد، مطرح شد. در ادامه‌ی روند تحولات به دلیل پیشرفت قابل ملاحظه‌ی موتور احتراق داخلی، طرح مربوط به خودروی برقی مسکوت ماند. ازجمله عوامل مؤثر در پیشرفت خودروهای

1- Vehicle to Grid

Ahwaz_Hackerz

احتراق داخلی اقتصادی‌تر بودن آن‌ها بود، زیرا بنزین قدرت و انرژی زیادی تولید می‌کند که نتیجه‌ی آن، این بود که خودروها، با موتور احتراق داخلی، با حجم کم سوخت، مسافت‌های طولانی را می‌توانستند بپیمایند.

سیر تکاملی ماشین‌های برقی به این صورت است که ابتدا EV هایی به وجود آمدند که فقط از باتری استفاده می‌کردند. سپس ماشین‌های هیبریدی تولید شدند، که باتری و سیستم احتراق داخلی به موازات هم انرژی اتومبیل را تأمین کردند و باتری فقط به کمک موتور احتراق داخلی شارژ می‌شد. بعد از آن خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه به عرصه آمدند که در آن‌ها علاوه بر امکان شارژ به کمک موتور، امکان شارژ توسط برق شهر نیز وجود دارد. درنتیجه وابستگی خودرو به سوخت فسیلی کاهش می‌یابد. اتومبیل‌هایی که امروزه به عنوان ماشین‌های هیبریدی به بازار عرضه می‌شوند از همین نوع هستند و درنهایت اتومبیل‌های پیل سوختی به وجود آمدند که به جای موتور احتراق داخلی از یک پیل سوختی در کنار باتری استفاده می‌کنند. البته تکنولوژی لازم برای تولید اقتصادی این نوع خودروها هنوز تکمیل نشده است. سیر تحول و تکامل این خودروها در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است.

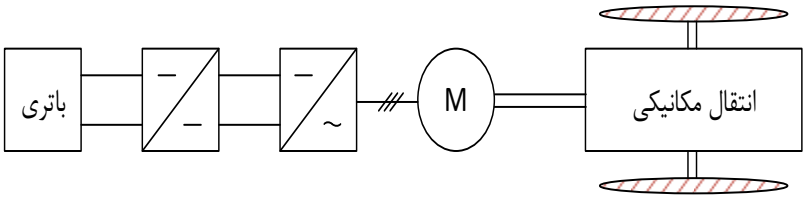


شکل ۴-۱: مسیر تکامل خودروهای برقی.

در سال ۱۹۹۰ طرح خودروی برقی EV با ساختار شکل ۴-۲ مطرح شد؛ که این ساختار

Ahwaz_Hackerz

متشکل است از: باتری، مبدل DC/DC، مبدل DC/AC، موتور و سیستم انتقال مکانیکی (شامل چرخ دنده و چرخ و غیره).



شکل ۴-۲: خودروی برقی EV

از مهم‌ترین مزایای این خودروها، که گاهی از آن‌ها با نام BEV[1] نیز یاد می‌شود، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ آلایندگی کمتر در مقایسه با خودروهای معمولی
- ✓ بازده تبدیل انرژی بالا (جدول ۴-۱)
- ✓ طراحی ساده و تعداد کم اجزاء

با این حال معایب و نقص‌هایی نیز در این خودروها وجود داشت که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- قیمت تمام‌شده‌ی بالا (به علت نیاز به نصب یک باتری بزرگ)
- برد کوتاه (شارژ آن‌ها باید از شبکه و در حال توقف و یا در حین ترمز صورت گیرد)
- مدت‌زمان شارژ طولانی
- ارزان بودن سوخت بنزین در مقایسه با این سیستم (ازجمله موانع پیشرفت طرح‌های مربوط به خودروهای الکتریکی هزینه سوخت بالای آن‌ها نسبت به بنزین بود)
- قدرت محدود باتری

در ادامه روند تحولات دیده شد که خودروهای برقی به تنهایی نیازها را برطرف نمی‌کنند. به

1- Battery Electrical Vehicle

Ahwaz_Hackerz

همین دلیل بحث خودروهای هیبریدی مطرح شد.

جدول ۴-۱ مقایسه بازده اجزاء خودروهای موتور احتراقی و خودروهای برقی.

موتور احتراق داخلی	بیشینه (٪)	کمینه (٪)	خودروی برقی	بیشینه (٪)	کمینه (٪)
پالایش نفت خام (نفت)	۹۰	۸۵	پالایش نفت خام (نفت کوره)	۹۷	۹۵
توزیع تانک سوخت	۹۹	۹۵			
موتور	۲۲	۲۰	تولید الکتریسیته	۴۰	۳۳
انتقال به محور و چرخ‌ها	۹۸	۹۵	انتقالی به پریز برق	۹۲	۹۰
			باتری شارژر	۹۰	۸۵
			باتری (سرب – اسید)	۷۵	۷۵
			موتور / کنترل‌کننده	۸۵	۸۰
			انتقال به محور و چرخ‌ها	۹۸	۹۵
بازده کلی (نفت خام به چرخ‌ها)	۱۹	۱۵	بازده کلی (نفت خام به چرخ‌ها)	۲۰	۱۴

۴-۳- انواع خودروهای برقی هیبرید (HEV[1])

ایده خودروهای برقی هیبرید توسط پورشه[2] در سال ۱۸۹۸ مطرح شد. این ایده توانایی استفاده هم‌زمان از موتورهای الکتریکی و موتورهای احتراقی را بیان می‌کند. پس از وی در ۲۳ نوامبر سال ۱۹۰۵ یک مهندس آمریکائی به نام H. Piper یک ماشین هیبریدی ساخت که قادر بود

1- Hybrid Electric Vehicle
2- F. Porsche

Ahwaz_Hackerz

در طی ۱۰ ثانیه تا ۲۵ مایل شتاب بگیرد. Piper در سه سال و نیم بعد، اختراع خود را ثبت کرد. موتور این خودرو ترکیبی از موتور بنزینی و موتور الکتریکی بود که امروزه به عنوان موتور هیبریدی شناخته می‌شود. اولین مزیت این طرح، کاهش حجم باتری‌های مورد نیاز بود. مزیت دیگر آن این است که می‌توان به دو صورت این باتری‌ها را شارژ کرد:

روش اول: استفاده از ترمز خودرو است، که در خودروهای نسل قبل هم وجود داشت.

روش دوم: شارژ باتری توسط موتورهای احتراقی صورت می‌گیرد.

دستورالعمل کلی کارکرد خودروهای هیبریدی بدین صورت است که موتور احتراق داخلی همواره در سرعت و گشتاور مؤثر خود کار می‌کند لذا بدین‌ترتیب همواره نقطه کار سیستم در بیشینه بازده ممکن است؛ و اما:

- کمبود انرژی موتور احتراق داخلی (در صورت وجود)، توسط موتور الکتریکی با اخذ انرژی از باتری تأمین می‌شود (شکل ۴-۳).
- مازاد انرژی موتور احتراق داخلی نیز (در صورت وجود)، برای شارژ باتری استفاده می‌شود (شکل ۴-۴).

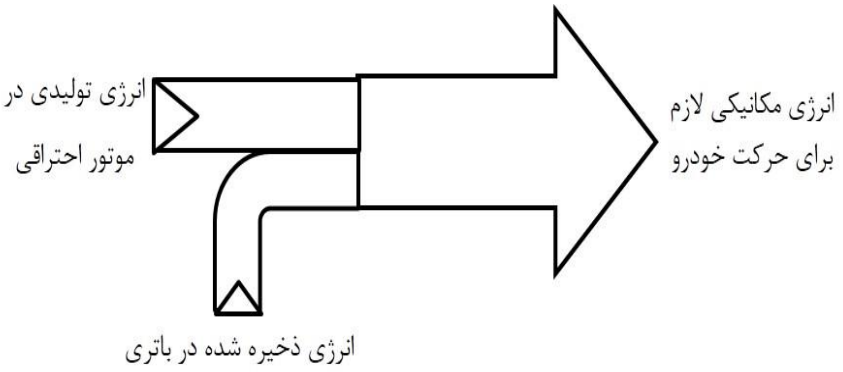
لازم به ذکر است که رونق خودروهای هیبریدی آن‌چنان زیاد بوده است که از دسامبر سال ۱۹۹۷ تا ابتدای سال ۲۰۰۰ تنها شرکت تویوتا بیش از چهل هزار عدد از خودروهای هیبریدی خود را به فروش رسانده است.

پیاده‌سازی این ایده بعدها در خودروهای هیبریدی به سه ساختار متفاوت انجام می‌گیرد. تعداد این الگوها می‌تواند بیشتر باشد اما طرح‌هایی بیان می‌شوند که به صورت یک ساختار نمونه قابل بیان باشند.

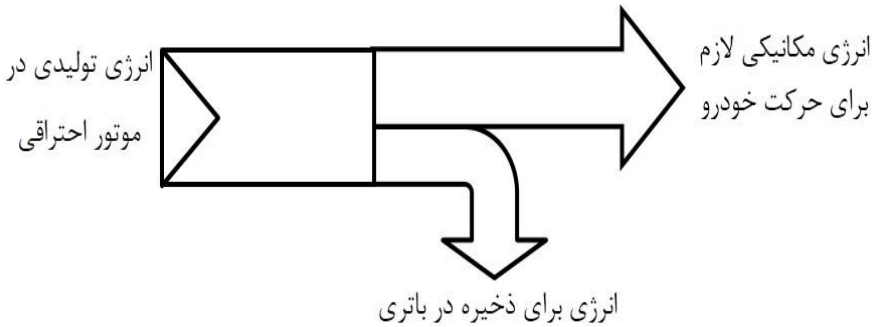
خودروهای هیبرید برقی به طورکلی به سه نوع سری، موازی و سری– موازی تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۴-۵ بلوک دیاگرام کلی این سه نوع خودرو هیبرید نشان داده شده است. همانطورکه در شکل ۴-۵ مشاهده می‌کنیم ارتباط هیدرولیکی یک طرفه، ارتباط مکانیکی شامل کلاچ و دنده‌ها دو طرفه و ارتباط الکتریکی نیز دو طرفه است. در نوع سری، موتور

Ahwaz_Hackerz

احتراق داخلی با یک ژنراتور کوپل شده تا بتواند نیروی محرکه رانشی الکتریکی را تولید نماید. در نوع موازی، هر دو نیروی محرکه یعنی موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی باهم کوپل شده‌اند تا بتوانند نیروی محرکه رانشی چرخ‌ها را تولید کنند. نوع سری – موازی ترکیب حالت سری و حالت موازی است.



شکل ۴-۳ نوار ترکیب انرژی موتور احتراقی و باتری در خودروی هیبرید.



شکل ۴-۴ نوار تقسیم انرژی موتور احتراقی در خودروی هیبرید.

استراتژی‌های مختلفی برای ساختارهای مختلف خودروی هیبرید برقی به کار گرفته می‌شود ولی در همه آن‌ها چهار هدف کلیدی زیر دنبال می‌گردد:

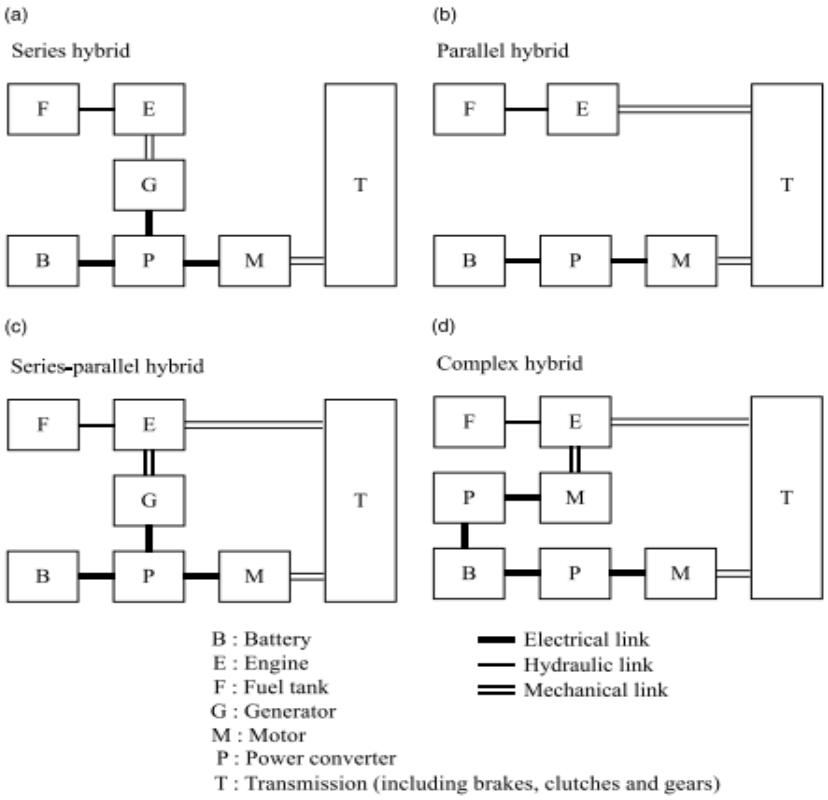
۱. حداکثر صرفه‌جویی سوخت

Ahwaz_Hackerz

۲. حداقل ایجاد آلودگی

۳. حداقل هزینه سیستم

۴. ایجاد شرایط مناسب در سیستم رانشی خودرو هنگام رانندگی با آن



شکل ۴-۵: ساختار انواع خودرو هیبرید الف) نوع سری ب) نوع موازی ج) نوع سری-موازی [۵].

در ضمن هنگام طراحی استراتژی کنترل توان برای خودروهای هیبرید برقی باید چند نکته کلیدی نیز لحاظ گردد:

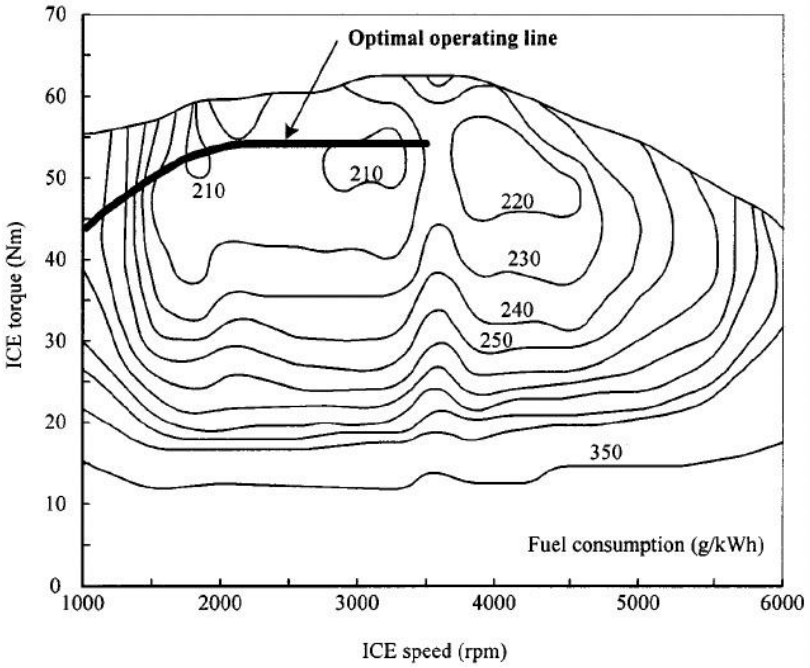
۱. نقطه عملکرد بهینه موتور احتراق داخلی

Ahwaz_Hackerz

نقطه عملکرد بهینه موتور احتراق داخلی، نقطه‌ای درون نقشه بازده موتور احتراق است که در این نقطه موتور احتراق داخلی به ازای سرعت مورد نظر دارای بیشترین صرفه‌جویی سوختی و پایین‌ترین میزان تولید آلودگی هست و در حقیقت در این نقطه موتور احتراق داخلی بیشترین بازده را داراست.

۲. خط عملکرد بهینه موتور احتراق داخلی

همانطوریکه در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود به ازای سرعت‌های درخواستی مختلف از موتور احتراق داخلی و از مجموع نقاط بهینه، خط بهینه حاصل می‌گردد. در خط بهینه سیستم دارای میزان بهینه مصرف سوخت و حداقل آلودگی است.



شکل ۴-۶: خط عملکرد بهینه موتور احتراق داخلی بر روی نقشه مصرف سوخت موتور احتراق داخلی [۵].

۳. ناحیه عملکرد بهینه موتور احتراق داخلی

Ahwaz_Hackerz

ناحیه‌ای که به ازای سرعت و گشتاورهای درخواستی مختلف موتور احتراق داخلی مصرف سوخت بهینه و دارای حداقل آلودگی است. در تمام انواع خودرو هیبرید برقی هدف بر این است که موتور احتراق داخلی بر روی ناحیه عملکرد خود فعالیت کند.

۴. حداقل دینامیک موتور احتراق داخلی

عملکرد سرعت موتور احتراق داخلی باید منظم باشد که بدین وسیله موتور احتراق داخلی دارای حداقل دینامیک است؛ یعنی در هنگام درخواست توان از موتور احتراق داخلی دینامیک آن را مدنظر قرار دهیم.

۵. حداقل سرعت موتور احتراق داخلی

در سرعت‌های پائین موتور احتراق داخلی دارای بازده پایینی است، بنابراین مصرف سوخت بالا خواهد بود. پس باید موتور احتراق داخلی در زمانی که سرعت آن به سرعت خاصی تقلیل می‌یابد خاموش شود.

۶. حداقل زمان روشن شدن موتور احتراق داخلی

در خودرو هیبرید برقی موتور احتراق داخلی نباید به صورت متناوب خاموش و روشن شود؛ زیرا این امر خود موجب افزایش آلودگی و مصرف سوخت بیشتر می‌شود، پس باید به حداقل زمان روشن بودن دقت کرد.

۷. دسترسی مناسب به باطری

وضعیت شارژ باطری باید در یک محدوده خاص حفظ شود تا باطری بتواند در مواقع نیاز دشارژ و یا در هنگام بازیابی انرژی شارژ شود. همچنین هنگامی‌که باطری شارژ کامل است موتور احتراق داخلی می‌بایست یا خاموش و یا به صورت سبک‌تر فعالیت کند. در مواقعی که باطری

Ahwaz_Hackerz

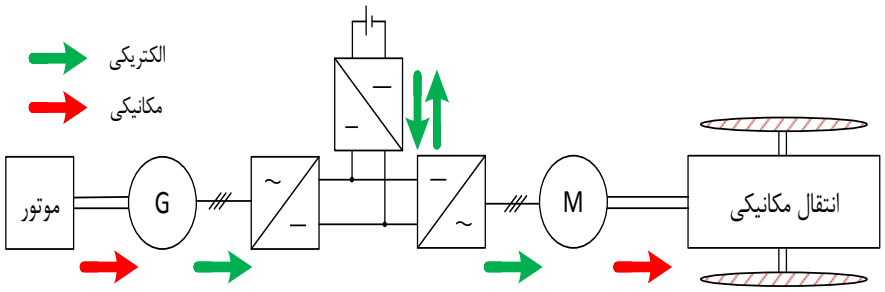
بیشتر از حد معمول دشارژ شده موتور احتراق داخلی باید خروجی بیشتری را علاوه بر توان درخواستی برای شارژ باطری‌ها تأمین کند.

۸. مراقبت از ولتاژ باطری

ولتاژ دو سر باطری‌ها نباید بیش از حد بیشینه و یا کمتر از حد کمینه مشخص شده باطری باشد که در این صورت عمر باطری‌ها بسیار کمتر می‌گردد. ازاین‌رو مدیریت انرژی باطری‌ها امر بسیار مهمی است که باید به‌دقت انجام پذیرد.

۴-۳-۱- خودروی برقی هیبرید سری (Series HEV)

شکل ۴-۷ ساختار و نحوه کارکرد یک خودروی برقی هیبرید سری را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: ساختار و نحوه کارکرد یک خودروی برقی هیبرید سری.

پیکان‌های سبزرنگ و قرمزرنگ به ترتیب مسیر انتقال انرژی الکتریکی و مکانیکی را نشان می‌دهند. نیروی محرک مورد نیاز برای حرکت خودرو همواره از طریق یک موتور جریان متناوب تأمین می‌شود که از طریق یک اینورتر از باطری تغذیه می‌شود. از طرفی موتور احتراقی[1] یک ژنراتور را می‌چرخاند و انرژی الکتریکی تولید شده در ژنراتور از طریق یک

1- Combustion Engine

Ahwaz_Hackerz

یک‌سوساز برای شارژ کردن به باطری منتقل می‌شود. در واقع باطری از موتور احتراقی انرژی می‌گیرد و به موتور الکتریکی انرژی می‌دهد. با این آرایش موتور بنزینی می‌تواند مستقل از سرعت خودرو، در دور ثابت و بهینه خود با بهترین بازده احتراق کار کند که این مهم‌ترین مزیت خودروهای برقی هیبرید سری است. یکی از مزایای ساختار هیبرید سری این است که سیستم کنترل به دلیل عدم ارتباط مکانیکی بین موتور احتراق و چرخ‌ها نسبتاً ساده است. موتور احتراق در یک سرعت و گشتاور ثابت (در نقطه اوج بازده خود) کار می‌کند، حتی زمانی که سرعت ماشین تغییر می‌کند. در حین رانندگی شهری (توقف – حرکت)، هیبریدهای سری نسبتاً پربازده‌ترین هستند. مزیت دیگر این است که عملکرد هیبرید سری بسیار مشابه با خودروی الکتریکی است.

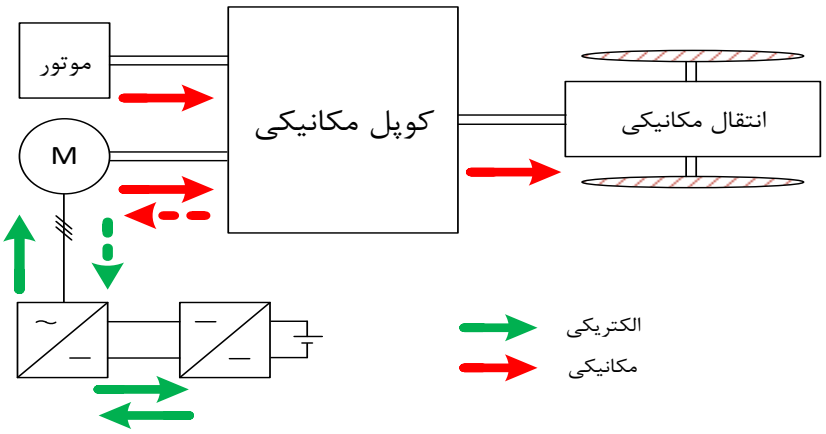
این سیستم به این دلیل سری خوانده می‌شود که قدرت به صورت سری به چرخ‌ها منتقل می‌شود و از آن برای رانش موتورهای با قدرت کم و بازده کارکرد بهینه استفاده می‌شود؛ اما این طرح معایبی نیز به شرح زیر دارد:

- به یک باتری بزرگ برای ذخیره انرژی نیاز است.
- از دو ماشین الکتریکی استفاده شده است.
- تبدیل انرژی در دو مرحله انجام می‌شود (مکانیکی → الکتریکی → مکانیکی) که این باعث کاهش بازده کلی خواهد شد.

۴-۳-۲- خودروی برقی هیبرید موازی (Parallel HEV)

خودروی برقی هیبرید سری علی‌رغم مزیت ذکر شده همچنان به یک باطری بزرگ نیاز دارد، زیرا انرژی مورد نیاز برای حرکت خودرو همواره از طریق باطری تأمین می‌شود. از طرفی در صورت اختلال در سیستم تغذیه الکتریکی، خودرو به طور کامل از کار می‌افتد و این باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. برای برطرف کردن این مشکلات طرح خودروی برقی هیبرید موازی مطرح شد. شکل ۴-۸ ساختار کلی این طرح را نشان می‌دهد.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۴-۸ ساختار کلی طرح خودروی برقی هیبرید موازی.

در این طرح از یک کوپلینگ مکانیکی برای اتصال محور خودرو، موتور احتراقی و موتور الکتریکی به یک دیگر استفاده می‌شود که مثل کلاچ اتومبیل عمل کرده و این امکان را به خودرو می‌دهد تا یکی از دو مسیر را برای جذب انرژی انتخاب نماید. در این حالت انتقال انرژی از دو مسیر موازی صورت می‌گیرد. در ساختار موازی هم موتور احتراق و هم موتور الکتریکی قدرت را به چرخها منتقل می‌کنند. این بدان معناست که جهت حرکت خودرو قدرت ترکیبی در یک نقطه‌ی مکانیکی با یکدیگر جمع می‌شود. در این سیستم، موتور الکتریکی به وسیله‌ی باتری تغذیه می‌شود تا چرخها را حرکت دهد و همچنین به عنوان ژنراتور استفاده می‌شود تا باتری شارژ شود. (نوع موازی موتور الکتریکی می‌تواند در حالت ژنراتوری نیز عمل نماید و در حین بازیابی انرژی ترمزی و یا هنگامی‌که توان خروجی کمتر از توان تولیدی است، شروع به شارژ نمودن باطری نماید.) درنتیجه موتور الکتریکی نمی‌تواند برای تولید انرژی الکتریکی زمانی که خودرو در حال حرکت است، استفاده شود. بدین‌ترتیب حجم باطری کمتری مورد نیاز است و سیستم از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار است؛ اما امکان کار موتور احتراقی در دور ثابت و بهینه وجود ندارد.

خودروهای هیبریدی موازی معمولاً جعبه دنده‌ای مشابه وسایل نقلیه‌ی همتای مرسوم خود

Ahwaz_Hackerz

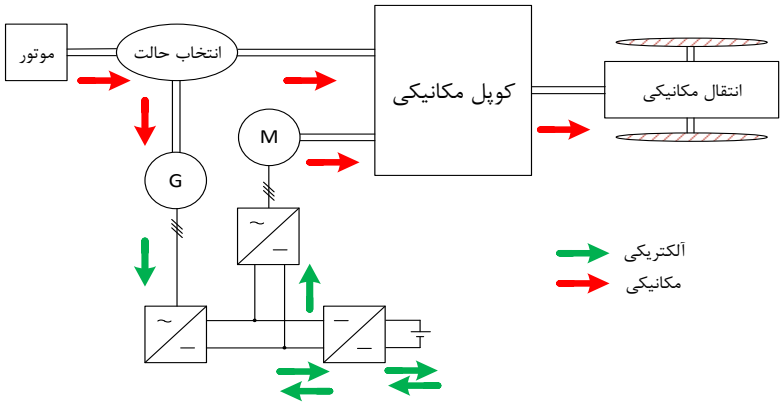
دارند. کنترل سیستم هیبرید موازی پیچیده‌تر از یک سیستم هیبرید سری است، چرا که اتصال مکانیکی بین موتور و چرخ‌ها وجود دارد. درکل مزایا و معایب این طرح را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- ✓ باتری کوچک‌تری مورد نیاز است.
- ✓ یک ماشین الکتریکی استفاده شده است.
- ✓ امکان انتقال مستقیم توان مکانیکی به خودرو و درنتیجه بازده بالاتر (بدون مرحله انتقال انرژی) فراهم شده است.
- ✗ در حالت انتقال مستقیم توان مکانیکی، موتور احتراقی دیگر در دور ثابت و بهینه کار نمی‌کند.

۴-۳-۳- خودروی برقی هیبرید سری- موازی (Dual Mode HEV)

به منظور بهره‌گیری از مزایای هر دو آرایش سری و موازی و کاهش معایب و نقایص کارکرد خودروهای برقی هیبرید، خودروهای برقی هیبرید سری- موازی در ادامه سیر تکاملی خودروهای برقی معرفی گردیدند. این طرح به گونه‌ای است که می‌توان از آن در شرایط مختلف به صورت هیبرید سری یا موازی استفاده نمود. در این سیستم با بهره‌گیری از فناوری پیشرفته امکان استفاده از سیستم احتراقی و سیستم الکتریکی به طور جداگانه و همزمان وجود دارد. به این ترتیب در مواقع استفاده شهری کاملاً الکتریکی و بدون آلودگی، و در سرعت‌های بالا و محدوده برون شهری می‌تواند به طور مستقل احتراقی یا ترکیبی از دو سیستم باشد. در مواقعی مانند شتاب‌گیری سریع، هر دو سیستم باهم عمل می‌کنند. ساختار کلی این نوع خودروها در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۴-۹: ساختار کلی طرح خودروی برقی هیبرید سری- موازی.

این طرح بستگی به وجود دو موتور الکتریکی (ژنراتور) و نحوه‌ی ارتباط بین آن‌ها دارد. ارتباط بین موتور احتراق و ماشین‌های الکتریکی عموماً توسط جعبه دنده‌ای به نام تجهیزات تقسیم قدرت انجام می‌گیرد. باتری توسط ترمز احیا کننده یا قدرت مازاد تولید شده توسط موتور احتراق شارژ می‌شود. زمانی که ماشین در محدوده‌ی سرعت پایین حرکت کند از موتورهای الکتریکی و در محدوده‌ی سرعت‌های بالا از موتور احتراقی استفاده می‌کند.

همچنین در این طرح واحدی به نام انتخاب حالت به سیستم افزوده شده که امکان قرار دادن خودروی برقی در حالت کاری سری یا موازی را فراهم می‌کند. نحوه کارکرد خودروی برقی در هر یک از این دو مود کاری (سری یا موازی) دقیقاً مطابق توضیحات ارائه شده در دو بخش قبلی است. مهم‌ترین مزایای استفاده از این طرح در خودروهای برقی هیبرید عبارت‌اند از:

- امکان کار هم زمان موتور احتراقی و موتور الکتریکی نیز وجود دارد و لذا در بارهای سنگین موتور الکتریکی می‌تواند به کمک موتور احتراقی آمده و توان مکانیکی تولیدی خودرو را افزایش دهد.
- با توجه به تنوع حالت‌های کاری خودرو، امکان بهره‌برداری از ماشین در بهترین بازده ممکن بسته به شرایط کاری مختلف وجود دارد. لذا بازده مصرف سوخت در این نوع خودروها بالاتر از دو نوع قبلی است.

Ahwaz_Hackerz

البته توان مورد نیاز بیشتر برای باتری نیز می‌تواند به عنوان یک عیب برای این طرح برشمرده شود.

در جدول ۴-۲ به صورت مختصر مقایسه‌ای بین سه طرح سری، موازی و سری- موازی خودروهای هیبریدی صورت گرفته است.

جدول ۴-۲ مقایسه بین طرح‌های خودروهای هیبریدی.

	بهبود اقتصاد سوخت				عملکرد در حین رانندگی	
	تأخیر در توقف	بازیابی انرژی	کنترل عملکرد بازده بالا	بازده کلی	شتاب	خروجی بالای مداوم
سری	✓	✓✓	✓	✓	❋	❋
موازی	✓	✓	❋	✓	✓	❋
سری-موازی	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓

❋= تا حدودی نامطلوب، ✓= خوب، ✓✓= عالی

۴-۴- خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه (PHEV[1])

اصطلاح Plug-in در اینجا به مفهوم اتصال با دوشاخه و پریز به شبکه برق است و ایده اصلی در طرح این نوع خودروها ایجاد امکان شارژ نمودن خودرو در هر مکانی است که شبکه برق وجود داشته باشد. در تعریف دیگر، PHEV یک وسیله نقلیه دوگانه سوز با باطری‌های قابل شارژ است که می‌تواند با اتصال به یک منبع بیرونی قدرت الکتریکی، به شارژ کامل برسد. در واقع خودروی هیبریدی قابل شارژ، به خودرویی گفته می‌شود که حداقل شامل موارد ذیل باشد:

1- Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Ahwaz_Hackerz

- سیستم ذخیره انرژی برق با توان ۴ کیلووات ساعت یا بیشتر که توانایی تأمین توان رانشی خودرو را داشته باشد.
- توانایی شارژ باتری‌ها با استفاده از منبع خارجی.
- توانایی پیمایش حداقل ۱۰ مایل (۱۶km) در حالت الکتریکی کامل بدون مصرف سوخت فسیلی.

بدین ترتیب صاحبان خودروها برای شارژ نمودن باطری مجبور به مراجعه به ایستگاه‌های شارژ نبوده و می‌توانند در پارکینگ منزل، پارکینگ محل کار و یا در پارکینگ‌های عمومی سطح شهر نیز خودروی خود را شارژ نمایند. ساختمان و اجزاء این نوع خودروها تقریباً مشابه مدل‌های قبلی بوده و تنها تفاوت اساسی در طراحی باطری است که علاوه بر حالت‌های شارژ قبلی باید قابلیت اتصال به شبکه برق و شارژ از طریق آن را نیز داشته باشد. لذا خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه را می‌توان به صورت هیبرید سری، هیبرید موازی و هیبرید سری-موازی طراحی نمود. پیش‌بینی‌های صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که این خودروها ۲۰-۲۵ درصد بازار آمریکا را تا سال ۲۰۳۰ الی ۲۰۴۰ بتوانند در اختیار خود قرار دهند. همچنین پیش‌بینی که برای اجرای شبکه‌های هوشمند شده مدت زمانی حدود بیست سال آینده را برای رسیدن به آن در نظر گرفته‌اند.

شکل ۴-۱۰: خودروی برقی هیبرید نیسان و شارژر سریع آن [۱۸].

Ahwaz_Hackerz

اما نکته منفی که در مورد این خودروها وجود دارد این است که دولت آمریکا از سوخت خودروهای بنزینی مالیات می‌گیرد ولی از سوخت خودروهای برقی نمی‌تواند مالیات بگیرد که نتیجه آن کاهش انگیزه دولت برای سرمایه‌گذاری در این زمینه است.

همان‌طور که از شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ و ۴-۱۳ پیداست، این خودروها ازنظر عملکرد، مشابه خودروهای هیبرید هستند، با این تفاوت که قابلیت اتصال مستقیم به شبکه و شارژ شدن به آن‌ها اضافه شده است. ویژگی‌هایی که در تعریف PHEV ذکر شد این خودرو را از خودروهای هیبریدی معمولی مجزا می‌کند که برخی از این ویژگی‌ها به صورت زیر است:

۱. دارای ظرفیت باطری بزرگ‌تری هستند.

۲. مسافت بیشتری در مقایسه با HEVها طی می‌کنند.

۳. اتلاف انرژی در آن‌ها کمتر است.

۴. بازدهی آن‌ها بالاتر است.

۵. هزینه شارژ آن‌ها در مقایسه با هزینه سوخت کمتر است.

۶. وابستگی به سوخت، آلودگی و تولید گازهای گلخانه‌ای آن‌ها کمتر است.

۷. شارژر بر روی خودرو قرار می‌گیرد.

۸. ذخیره‌ساز و برگردان انرژی است.

۹. قابلیت V2G و انتقال انرژی از باطری به شبکه را دارد.

لازم به ذکر است که باطری عامل مهم و کلیدی در اجزای PHEV است. در حقیقت پیشرفت در ساخت باطری‌ها سبب می‌شود که آینده خودروهای برقی تا حد زیادی وابسته به آن‌ها باشد. باطری‌ها باید کم‌هزینه، سبک، توان بالا و دارای چگالی انرژی بالا باشند.

۴-۴-۱- حالات عملکردی PHEV

PHEV دارای سه حالت عملکردی است:

۱. حالت تخلیه شارژ

Ahwaz_Hackerz

۲. حالت حفظ شارژ

۳. حالت شارژ

در حالت شارژ، انرژی باتری تا رسیدن به نقطه‌ی کمینه وضعیت شارژ کاهش می‌یابد. زمانی که شارژ به کمینه مقدار خود رسید، خودرو در حالت حفظ شارژ قرار می‌گیرد. در این حالت خودرو به کمک موتور احتراقی حرکت می‌کند و از تخلیه‌ی بیشتر باتری جلوگیری می‌شود. در حالت شارژ، باتری به کمک اتصال به پریز مجدداً تا بیشینه SOC[1] شارژ می‌شود. در PHEV باتری نقش مهمی را در ذخیره‌سازی انرژی از شبکه و موتور احتراقی با قابلیت امکان تزریق قدرت به شبکه، ایفا می‌کند.

۴-۴-۲- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری

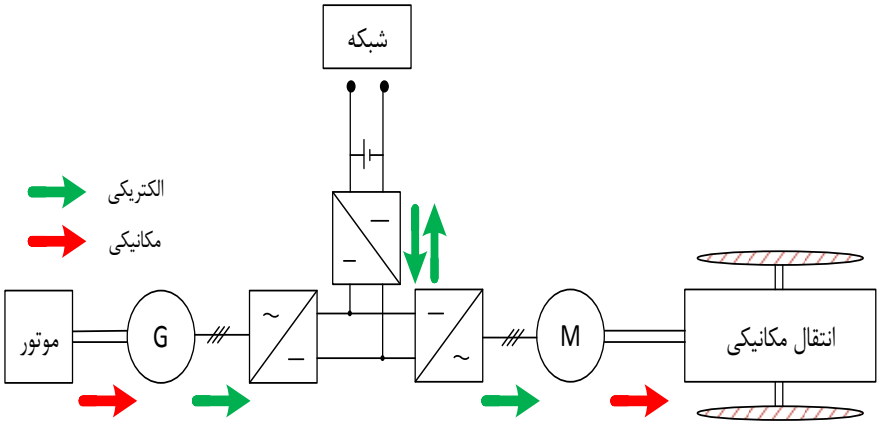
در هیبریدهای سری، موتور الکتریکی به تنهایی مسئول تولید نیروی کشش خودرو است. موتور الکتریکی منبع الکتریسیته خود را از باتری‌ها که به وسیله موتور احتراق داخلی شارژ می‌شود به دست می‌آورد و هم به طور مستقیم از ژنراتور که خود به وسیله موتور احتراق داخلی رانده می‌شود. در حقیقت سیستم کنترلی مشخص می‌کند که چه میزان توان باید از سوی باتری گرفته شود یا موتور/ژنراتور. موتور/ژنراتور و ترمزهای بازیاب وظیفه شارژ باتری را به عهده دارند. در هیبرید سری معمولاً از موتور احتراق داخلی کوچک استفاده می‌کنند (چون در واقع بار اصلی جاده بر روی موتور الکتریکی است) ولی در عوض از باتری‌هایی با ظرفیت بالاتر نسبت به هیبرید موازی بهره می‌برند. موتور الکتریکی و باتری بزرگ به همراه استفاده از ژنراتور به قیمت هیبریدهای سری نسبت به هیبریدهای موازی افزوده است.

از طرفی موتورهای احتراق داخلی معمول به خاطر افزایش یا کاهش سرعت و بارهای متفاوتی که از سوی جاده بر روی موتورها اعمال می‌شود اغلب دارای بازده مناسبی نیستند. در هیبریدهای سری موتور احتراق داخلی در بهترین شرایط کارایی کار می‌کند چون چرخ‌ها به

1- State Of Charge

Ahwaz_Hackerz

موتور احتراق داخلی به طور مستقیم متصل نیستند. این بدان معناست که موتور احتراق داخلی در هیبرید سری در بازه تغییراتی زیاد توان کار نمی‌کند و در بارگذاری‌های مختلف که روی خودرو اعمال می‌شود موتور احتراق داخلی توان ثابت و پایداری تولید می‌کند و در این شرایط موتور در بهینه‌ترین حالت خود کار می‌کند. در هیبرید سری نیاز به سیستم انتقال قدرت چند سرعته و کلاچ نیست.



شکل ۴-۱۱: خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه سری.

سیستم انتقال قدرت هیبرید سری بهترین عملکرد در خودروهای شهری دارد. این سیستم می‌تواند برای اتوبوس‌ها و خودروهای شهری مصرف بیشتری داشته باشد. در حالت کلی برای مصارفی که خودرو نیاز به ایستادن و حرکت در سیکل‌های بسیار زیاد است سیستم هیبرید سری مناسب است. شکل ۴-۱۱ ساختار و نحوه کارکرد یک خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری را نشان می‌دهد.

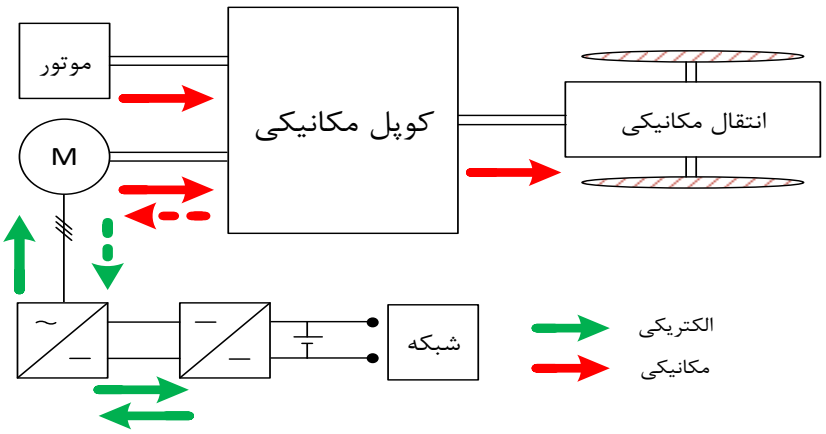
۴-۴-۳- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه موازی

در سیستم انتقال قدرت موازی هم موتور الکتریکی و هم موتور احتراق داخلی در به حرکت

Ahwaz_Hackerz

آوردن خودرو نقش دارند. در حقیقت سیستم کنترلی دقیق موجود در این نوع سیستم‌های هیبرید، تصمیم‌گیری لازم را برای کار کردن این دو منبع توان انجام می‌دهد. شرکت هوندا سیستم یکپارچه موتور الکتریکی دستیار را IMA نامیده است. در سیستم‌های هیبرید موازی می‌توان از پک‌های باتری کوچک‌تری استفاده کرد. در زمانی که انتظار زیادی از شتاب نداشته باشیم هیبرید موازی موتور الکتریکی را به عنوان ژنراتور استفاده می‌کند تا باتری‌ها شارژ شود. به خاطر اینکه موتور به طور مستقیم به چرخ‌ها متصل است، اتلاف انرژی در اثر تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بالعکس بسیار ناچیز است که موجب می‌شود هیبرید موازی در عملکرد اتوبانی موفق‌تر باشد. به علت اتصال مستقیم موتور احتراق داخلی به چرخ‌ها می‌توان بیان کرد که سرعت نهایی خودرو افزایش چشم‌گیری خواهد یافت و این نوع هیبریدها برای مصارف شهری نسبت به هیبرید سری بسیار ناکارآمد پیش‌بینی می‌شوند.

شکل ۴-۱۲ ساختار و نحوه کارکرد یک خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه موازی را نشـان می‌دهد.

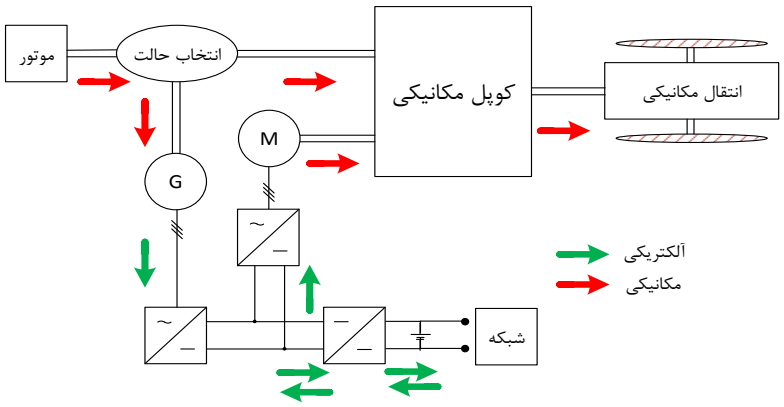


شکل ۴-۱۲: خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه موازی.

Ahwaz_Hackerz

۴-۴-۴- خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری-موازی

این نوع سیستم انتقال قدرت تلفیقی از مزایای هیبرید موازی و هیبرید سری را دارا است. با ترکیب دو طراحی، چرخ‌ها به طور مستقیم به موتور احتراق داخلی متصل شوند همچنین موتور احتراق داخلی می‌تواند به طور غیرمستقیم به چرخ‌ها متصل شود تا موتور الکتریکی به تنهایی بتواند خودرو را حرکت دهد. تویوتا پریوس و فورد اسکیپ از این سیستم انتقال قدرت بهره می‌برند. نتیجه‌ای که از این سیستم انتقال قدرت دوگانه می‌توان گرفت که موتور احتراق داخلی در این سیستم در بازه نزدیک به بهینه کار می‌کند که برای ما بسیار ارزشمند است. در سرعت‌های پایین این سیستم در حالت سری کار می‌کند درحالی‌که با افزایش سرعت (چون سیستم سری کم بازده‌تر است) موتور احتراق داخلی بر اوضاع مسلط می‌شود و اتلاف انرژی حداقل می‌شود (در حقیقت سیستم به حالت موازی می‌رود). این سیستم نسبت به سیستم موازی دارای هزینه بیشتری است چون از باتری بزرگ‌تر، ژنراتور و سیستم‌های کنترلی بیشتر ساخته می‌شود. در حالت کلی می‌توان این نتیجه را گرفت که سیستم انتقال قدرت سری/ موازی دارای عملکرد بهتری نسبت به دو سیستم یادشده دیگر است. شکل ۴-۱۳ ساختار و نحوه کارکرد یک خودروی برقی هیبرید متصل به شبکه سری-موازی را نشان می‌دهد.



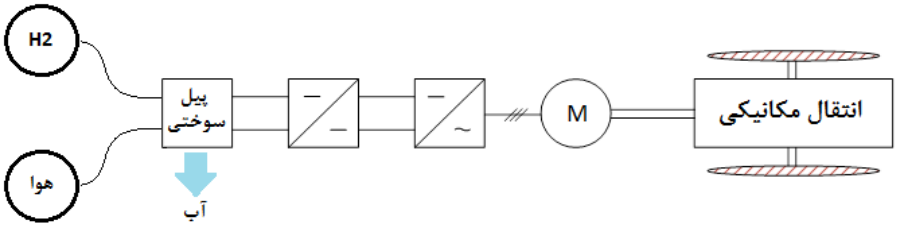
شکل ۴-۱۳: خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه سری- موازی.

Ahwaz_Hackerz

۴-۵- خودروهای هیدروژنی (پیل سوختی FCV[1])

ازجمله روند تحولاتی که در آینده پیش روی ما است حرکت به سمت خودروهای هیدروژنی یا همان خودروهای پیل سوختی است. اگر اقتصاد کشوری مانند اقتصاد ایران بر اساس نفت و مسائل جانبی آن (که در واقع پایه‌ی همه‌ی آن‌ها هیدروکربن‌ها و کربن و هیدروژن است) باشد، به این اقتصاد، اقتصاد هیدروکربنی می‌گویند. با توجه به پیش‌بینی‌ها، از آنجا که در آینده، کشورهای خاورمیانه به عنوان تولیدکننده هیدروژن مطرح هستند، اقتصاد کشور ما نیز، اقتصاد هیدروژنی خواهد بود. ازجمله کاربردهای هیدروژن می‌توان به عنوان سوخت برای تأمین انرژی مورد نیاز خودروها اشاره کرد که به آن خودروها، خودروهای هیدروژنی می‌گویند.

شکل ۴-۱۴ ساختار سادهٔ طرح این نوع خودروها را نشان می‌دهد. در این نوع خودرو، واکنش بین سوخت، مثل هیدروژن و یک عامل اکسنده، مانند اکسیژن یا هوا، انرژی شیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. پیل سوختی مشابه یک باطری نیست و انرژی را ذخیره نمی‌کند بلکه دارای دو الکترود است که توسط الکترولیت از هم جدا شده‌اند. اگر یکی از الکترودهای پیل سوختی به سوخت (هیدروژن) و الکترود دیگر به اکسنده (اکسیژن یا هوا) متصل گردد، ولتاژی بین دو الکترود ایجاد می‌گردد. با توجه به این که ولتاژ سلول‌های پیل سوختی کمتر از یک ولت است، این سلول‌ها به صورت مجموعه‌های متصل به هم استفاده می‌شوند تا انرژی الکتریکی مورد نیاز خودرو را فراهم کنند.

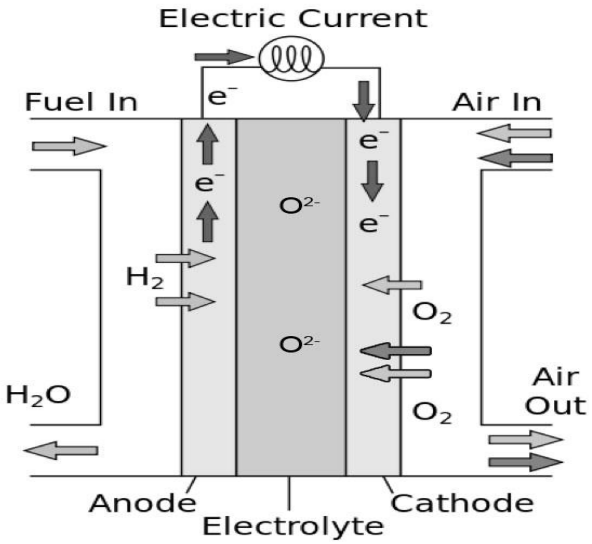


شکل ۴-۱۴: ساختار کلی طرح خودروی پیل سوختی.

1- Fuel Cell Vehicle

Ahwaz_Hackerz

در این نوع خودروها، پیل سوختی جایگزین باطری خودروی برقی شده و برق ولتاژ مستقیم تولیدشده توسط آن از طریق دو مبدل به یک موتور جریان متناوب منتقل می‌شود. پیل سوختی در واقع از یک واکنش کنترل‌شده بین اکسیژن و هیدروژن برق تولید می‌کند. هیدروژن به آند (الکترود منفی) و هوای آزاد حاوی اکسیژن به کاتد (الکترود مثبت) پیل سوختی تزریق می‌شود و خروجی آن نیز آب و برق خواهد بود (شکل ۴-۱۵ را ببینید). ایراد اصلی در این خودروها این است که امکان تبادل توان دو طرفه برای پیل سوختی وجود ندارد و لذا بر خلاف خودروهای برقی دارای باطری نمی‌توان انرژی بازگشتی در حالت ترمزی را بازیافت نمود. بااین‌حال بازده قابل توجه پیل سوختی و سازگاری زیست محیطی بالای آن باعث توجه بسیار به این فناوری شده است.



شکل ۴-۱۵ مدل پیل سوختی [۱۹].

ازآنجاکه خودروهای هیدروژنی هیبرید نیستند پس باید آن‌ها را با BEV مقایسه نمود که از این مقایسه می‌توان به مزایا و معایب زیر رسید:

Ahwaz_Hackerz

- ✓ سوخت‌گیری سریع‌تر نسبت به BEV
- ✓ برد بیشتر
- ✗ عدم امکان انتقال توان دو طرفه منبع انرژی FC

امروزه مسئله اصلی انرژی هیدروژنی، حجم و ایمنی مخزن هیدروژن است. قدم بعدی در توسعه خودروهای هیدروژنی ترکیب آن‌ها با موتورهای احتراق داخلی در یک خودرو برقی هیبرید هیدروژنی است، که در حال حاضر تحقیقات بر روی تکمیل این خودروها ادامه دارد و بالاخره دورنمای روند تکامل خودروهای برقی افزودن باطری‌های قابل اتصال به شبکه به خودروی برقی هیبرید هیدروژنی است که نسل آینده خودروهای برقی را تحت عنوان کلی (خودروی برقی هیبرید هیدروژنی قابل اتصال به شبکه) شکل خواهند داد. یکی از چالش‌های پیش روی خودروهای هیدروژنی هزینه‌ی بالای تولید هیدروژن در مقایسه با الکتریسیته است. همچنین باید به آلودگی ناشی از تولید هیدروژن نیز اشاره کرد. همچنین خودروهای هیدروژنی از نمونه‌های الکتریکی گران‌تر بوده و هزینه‌ی نگهداری بالاتری دارند. البته باید به این نکته اشاره کرد که در آینده شاهد کاهش قیمت‌ها در این زمینه خواهیم بود.

V2G & G2V[1] -۶-۴

در خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه، امکان تبادل توان دو طرفه وجود دارد، یعنی خودروها هم می‌توانند به شبکه توان بدهند و هم از شبکه توان بگیرند؛ اما با توجه به کوچک بودن حجم انرژی ذخیره شده در یک خودروی برقی تنها، نیاز به مجموعه‌ای از آن‌ها است. از طرفی با توجه به پراکندگی این خودروها در شبکه و همچنین زیاد بودن آن‌ها، باید به صورت تجمعی به آن‌ها نگاه کرد؛ بنابراین تک‌تک این خودروها باهم جمع شده و مجموعه‌های بزرگی را تشکیل خواهند داد تا بتوانند نیازهای ما را برطرف کنند. پس خودروهای برقی دارای ویژگی‌های زیر

1- Grid to Vehicle

Ahwaz_Hackerz

هستند.

- ذخیره کننده‌های کوچک انرژی
- پراکندگی در شبکه
- تعداد زیاد

یکی از مشکلات سیستم‌های قدرت، ذخیره‌سازی توان مورد نیاز است. می‌توان این مشکل را به وسیله‌ی خودروهای برقی حل کرد؛ زیرا ذخیره کننده‌های زیادی وجود دارد که می‌توانند این توان را ذخیره کنند.

مجموعه‌ی خودروهای برقی دو قابلیت مهم دارند:

- تزریق توان سریع به شبکه (دشارژ) V2G: Vehicle-to Grid
- جذب توان از شبکه (شارژ)G2V: Grid- to- Vehicle

بهترین شانس برای به‌کارگیری خودروهای برقی تکنولوژی V2G است. این تکنولوژی به مجموعه‌ی خودروهای برقی اجازه می‌دهد تا مستقیماً انرژی را به شبکه برگرداند. تبادل توان بین خودرو و شبکه به طور مؤثر، نیاز به تبادل اطلاعات زیادی بین خودرو، ایستگاه‌های شارژ و شبکه دارد. این اطلاعات نه تنها شامل اطلاعات فنی مثل وضعیت شارژ باتری بلکه شامل اطلاعات اقتصادی مثل قیمت انرژی و اطلاعات آماری درباره‌ی امکان دسترسی به آن‌هاست.

ثابت شده است که V2G، هزینه‌های صاحب خودرو برقی را کاهش می‌دهد، شبکه قدرت را پشتیبانی می‌کند و برای صاحب خودرو برقی درآمد ایجاد می‌کند. با اعمال صحیح V2G، خودروهای برقی می‌توانند از سیستم قدرت پشتیبانی کنند و اثر منابع انرژی تجدید پذیر غیرقابل کنترل را کاهش دهند. آن‌ها همچنین می‌توانند انرژی و سرویس‌های فرعی برای حمایت از شبکه قدرت فراهم کنند، که هم به شبکه و هم به صاحب خودرو برقی سود برساند.

ایده‌ی V2G ایده‌ی جدیدی نیست و در سال ۱۹۹۷ توسط فردی به نام N. M. Kempten مطرح شد. ایده‌ی مطرح شده توسط او بیان می‌کند که در طول شبانه‌روز در مسافرت‌های درون شهری خودروها به طور متوسط ۲ ساعت در حال حرکت هستند و به مدت ۲۲ ساعت بلا

Ahwaz_Hackerz

استفاده هستند. این نکته به این معناست که منابع بزرگ ذخیره‌ی برق برای مدت زمان زیادی در اختیار شبکه است. تمامی انواع خودروهای برقی قابلیت تولید برق پاک در سطوح توان از ۱۰ تا ۲۰۰ کیلووات را دارند. اگر امکان تزریق این توان به شبکه قدرت فراهم گردد به آن V2G اطلاق می‌گردد. برای پیاده‌سازی V2G لازم است سه مورد زیر برقرار گردد:

۱. اتصال الکتریکی برای برقراری توان از خودرو به شبکه.

۲. کنترل اتصال خودرو به شبکه برای بهره‌بردار شبکه جهت تشخیص توان در دسترس، درخواست خدمات جانبی و یا توان از خودروی برقی و ارسال داده‌های تزریق توان خودرو به کنتور.

۳. اندازه‌گیری دقیق میزان توان تولیدی یا مصرفی خودروی هیبرید برای تعیین میزان انرژی تجدید پذیر تولیدی.

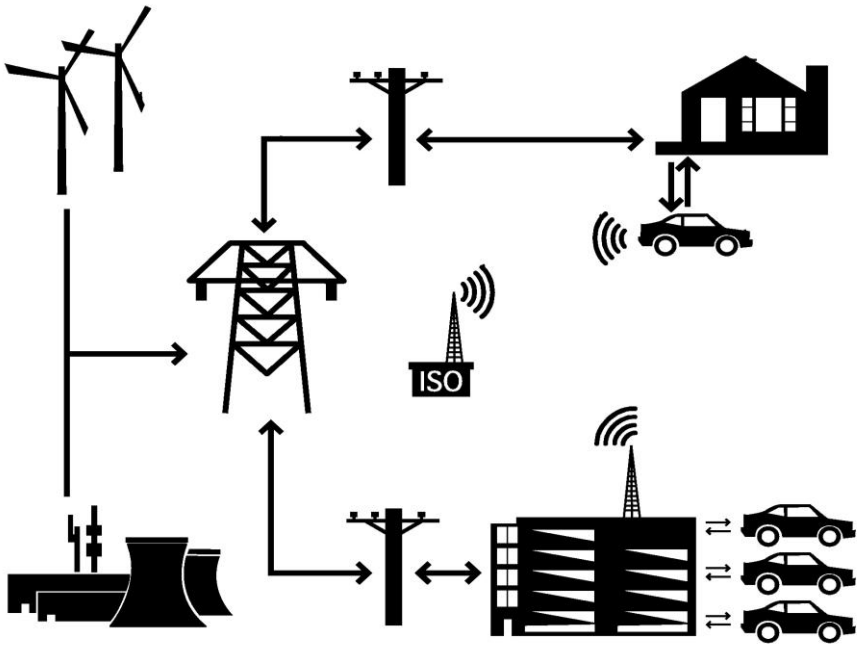
این نکته به این معناست که منابع بزرگ ذخیره برق برای مدت زمان زیادی در اختیار شبکه است. در نتیجه می‌توان در زمان‌هایی که شبکه به توان اضافی نیاز دارد، از این انرژی ذخیره شده، استفاده کرد و در زمان‌هایی که بار کم است، در این منابع توان ذخیره کرد. ایده اصلی این است که خودرو به شبکه متصل بوده و قابلیت تبادل اطلاعات با TSO[1] را دارد؛ بنابراین خودرو می‌تواند هر زمان که TSO درخواست کرد، انرژی به شبکه تزریق کند. در شکل ۴-۱۶ نقش و محل قرارگیری خودروهای برقی در کل سیستم قدرت و همچنین جهت عبور توان مشخص شده است.

همان‌طور که در بالا نیز ذکر شد خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه به تنهایی توانایی تزریق یا جذب توان اندکی دارند که از دیدگاه شبکه قابل توجه نیستند لذا نیاز است در شبکه‌های هوشمند آینده نهادی تحت عنوان نهاد گردآورنده[2] پدید بیاید تا توان اندک دریافتی از تولیدهای پراکنده، پارکینگ خودروهای الکتریکی و خانه‌ها را (به هر طریق) گردآوری و متمرکز نماید و در اختیار شبکه قرار دهد تا شبکه بتواند آن را به عنوان یک پشتیبان قابل

1- Transmission System Operator
2- Aggregator

Ahwaz_Hackerz

توجه در برنامه‌ریزی‌های خود اعمال نماید. در مورد نهاد گرد آورنده در بخش ۹ همین فصل توضیحات لازم داده خواهد شد.



شکل ۴-۱۶: نقش خودروهای برقی در شبکه [۱۱].

۴-۶-۱- سرویس‌های V2G:

خدمات جانبی:

رزرو چرخان و تنظیم فرکانس بهترین بازار کنونی برای V2G هستند. در این بازارها اگرچه درآمد ناشی از تأمین توان پایین است، اما این درآمد به خودروها به علت در دسترس بودن در شبکه داده می‌شود. با توجه به این‌که در عمل خودروها فقط ۴٪ از زمان روز را در حال استفاده هستند، درآمد ناشی از ۹۶٪ بقیه‌ی روز سود قابل توجهی برای صاحبان خودرو دارد. همچنین شارژ و دشارژ سریع، امکان استفاده از V2G را برای تنظیم فرکانس در شبکه فراهم می‌کند.

Ahwaz_Hackerz

انرژی تجدید پذیر:

V2G از طریق برنامه‌ریزی فرآیند شارژ و دشارژ هم زمان با باد و خورشید، یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدید پذیر را ساده‌تر می‌کند. با استفاده از ذخیره‌سازی و منابع پشتیبان، می‌توان متناوب بودن انرژی منابع انرژی‌های تجدید پذیر را مدیریت کرد. در واقع خودروهایی که از پیل سوختی یا موتور ژنراتورهای ترکیبی استفاده می‌کنند، به عنوان منابع پشتیبان به کار گرفته می‌شوند و خودروهای برقی به عنوان ذخیره‌سازها هستند. خودروهای plug-in دارای یک سیکل روزانه‌ی قابل پیش‌بینی مناسب هستند، که این سیکل شامل ساعاتی با حداکثر انرژی خورشیدی در ظهر و حداکثر بار در بعدازظهر است؛ بنابراین یک روش ساده برای استفاده‌ی مؤثر از انرژی خورشیدی، جابجایی زمان بار پیک شبکه به چند ساعت عقب‌تر توسط V2G است. به‌علاوه، تخمین زده شده است که برای تأمین ۱۶۲ گیگاوات توسط PV (که یک پنجم کل دیماند الکتریکی آمریکا است)، ۲۳ میلیون خودرو (۱۳٪ از کل خودروها) باید در دسترس باشد. این تخمین برای باد پیچیده‌تر است، زیرا تغییرات باد به‌مراتب بیشتر است.

۴-۶-۲- خودروهای برقی و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها در سیستم قدرت

با توجه به نقش خودروهای برقی به عنوان یک بار مدیریت پذیر و همچنین به عنوان یک ژنراتور سریع راه‌انداز و تنظیم کننده‌ی فرکانس، مطالعه بر روی خودروهای برقی اهمیت دارد. از آنجا که خودروهای هیبریدی علاوه بر حمل و نقل ساعات زیادی در پارکینگ‌ها حضور دارند، با در نظر گرفتن مصرف انرژی باتری‌ها در هنگام حمل و نقل و همچنین با توجه به نتایج آماری مربوط به مسافت طی شده‌ی خودروها در طول روز، حداقل ۶۰ درصد انرژی در باتری‌ها باقی می‌ماند؛ بنابراین با اتصال خودروهای برقی به شبکه، کمک قابل ملاحظه‌ای به شبکه می‌شود. در جدول ۴-۳ میزان مصرف خودروها در ۴ گروه کارمندان، تجاری، خانگی و غیره آورده شده است.

خودروهای برقی موجود معمولاً در یک نقطه ساکن نیستند و ممکن است در نقاط مختلف یک

Ahwaz_Hackerz

منطقه پراکنده باشند و از نقاط مختلفی به شبکه وصل باشند. همچنین ممکن است در مسافرت‌های کوتاه یا طولانی مورد استفاده قرار بگیرند.

رنج انرژی قابل ذخیره در خودروهای برقی از ۱ تا ۳۰ kWh است. باتری‌ها دارای پاسخ بسیار سریعی هستند؛ یعنی می‌توانند در حدود ثانیه به بیشینه خروجی خود برسند. این سرعت راه‌اندازی در هیچ یک از نیروگاه‌ها با سرعت راه‌انداز بالا، وجود ندارد؛ بنابراین استفاده از آن‌ها گزینه‌ی خوبی برای تنظیم فرکانس است. این باتری‌ها می‌توانند در بازه‌ای ۵ ساعته دوباره شارژ شوند و بازه‌ی خروجی این باتری‌ها از ۰/۲ تا ۶ kW است.

۴-۶-۳- زیرساخت‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی V2G

عمده‌ترین نگرانی‌ها در مورد آینده V2G مربوط به زیرساخت‌ها و نصب آن‌ها است و این که شبکه آینده چه مقدار نسبت به وضعیت فعلی بایستی دچار تغییر در ساختار شود. واضح است که تغییرات کوچک نوید اجرای سریع‌تر را می‌دهند. در این بخش تکنولوژی‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی V2G معرفی می‌شوند. این تکنولوژی‌ها را در سطوح شبکه، مخابرات و تجهیزات دیگر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

جدول ۴-۳: میزان برق مصرفی خودروی مصرف‌کنندگان.

پارامترها	کارمندان	تجاری	خانگی	غیره
مسافت طی شده (km/day)	۳۶/۷۵	۵۳/۴۵	۳۶/۷۵	۳۶/۷۵
مصرف روزانه انرژی (kwh)	۶/۲۵	۹/۰۹	۶/۲۵	۶/۲۵
زمان لازم برای شارژ روزانه (hour)	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۵۲
تعداد مراجعه به مرکز شارژ در هفته	۵	۵	۳/۳۷	۲/۵۸
تعداد شارژ خانگی در هفته	۲	۵	۳/۶۳	۴/۴۲
زمان لازم برای شارژ خانگی در هر روز (hour)	۴/۱۷	۳/۰۳	۴/۱۷	۴/۱۷

Ahwaz_Hackerz

۴-۶-۳-۱- شبکه

شبکه به عنوان مهم‌ترین زیرساخت، برای انتقال توان از سمت ولتاژ بالا به سمت ولتاژ پایین طراحی شده است. اگرچه نمی‌توان گفت که انتقال توان در جهت عکس امکان‌پذیر نیست، اما مشکلاتی را در مقابل خود می‌بینند. این مشکلات همان نگرانی‌هایی است که تولیدات پراکنده هم با آن‌ها درگیر می‌باشند. نکته مهمی که باید در نظر داشت این است که با افزایش مزارع بادی و سلول‌های خورشیدی نیاز است تا این مسائل نیز حل شوند. این مشکلات را می‌توان در دو سطح مورد بررسی قرار داد، عملکرد رله‌های شبکه و سیستم کنترل ولتاژ در شبکه توزیع.

رله‌های شبکه به منظور محافظت شبکه در مقابل پیشامدهای احتمالی به کار می‌روند که در مواقع مورد نیاز قسمتی از شبکه را با عملکرد خود جدا می‌کند. این ادوات حفاظت، شارش جریان را از سمت مصرف‌کننده به شبکه قطع می‌کنند. البته در این حالت در حضور V2G مورد بررسی قرار گرفته است. شارش توان از سمت شبکه به مصرف‌کننده‌ها در مقایسه با شارش توان از سمت مصرف‌کننده‌ها به شبکه بیشتر بوده و درنتیجه احتمال اتفاق افتادن این مورد کم است.

مورد دیگری که نگرانی در مورد آن وجود دارد سیستم کنترل ولتاژ است. همان‌طور که می‌دانیم ترانسفورماتورها به صورت گسسته ولتاژ را کنترل می‌کنند؛ بنابراین، خودروهایی که توان به شبکه تزریق می‌کنند با افزایش ولتاژ قبل از افزایش آن توسط تغییردهنده *تپ* باعث کاهش ولتاژ در شبکه می‌شوند. البته در این مورد هم در مرجع صحبت شده است که به دلیل تغییرات کم ولتاژ به واسطه تزریق توان توسط خودروها به شبکه مشکل عمده‌ای به وجود نمی‌آید.

۴-۶-۳-۲- سیم‌کشی

ماکزیمم توانی که توسط خط انتقال داده می‌شود توسط ماکزیمم ولتاژ و جریان خط محدود می‌شود که توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

Ahwaz_Hackerz

$$P = IV \quad (۱-۴)$$

کابل‌هایی که برای انتقال توان در داخل خودرو هیبریدی به کار می‌روند، توان انتقال ۱۰۰kW را دارند؛ بنابراین انتقال توان توسط پریز محدود می‌شود. حداکثر توان اتصال به شبکه از kW ۲/۳ برای مشترکین تک فاز تا kW ۲۴ برای مشترکین سه فاز متفاوت است.

هرچه قدر توان اتصال به شبکه افزایش یابد، درآمدی را که خودرو می‌تواند از سرویس‌های مختلف به دست آورد بیشتر می‌شود. البته باید توجه داشت که درآمد بیشتر منوط به تقویت سطح اتصال به شبکه است که این موضوع به هزینه و زمان احتیاج دارد.

توان انتقالی به شبکه ممکن است توسط ظرفیت باطری محدود شود؛ یعنی باطری نتواند انرژی لازم را با توجه به سطح اتصال به شبکه تأمین کند. فرض کنیم که باطری ظرفیت ۸kW با ظرفیت اتصال ۱۰۰kW داشته باشد، در این حالت خودرو نمی‌تواند توان ۱۰kW را در یک ساعت توسط باطری تأمین کند بلکه حداکثر می‌تواند ۸ kW را به شبکه تحویل دهد.

۴-۶-۳-۳- واسط خودرو و شبکه

پریز به عنوان مهم‌ترین قسمت برای خودروی هیبریدی - حتی اگر نخواهیم از وجود تکنولوژی V2G استفاده کنیم - مطرح است. کسانی که خودروی خود را در پارکینگ‌ها و یا خیابان‌ها پارک می‌کنند، برای شارژ کردن باطری و یا تزریق انرژی به شبکه نیاز به پریزهای استاندارد دارند تا با باطری خودرو سازگار باشد. در حال حاضر در اکثر خانه‌ها و پارکینگ‌ها امکان شارژ شدن نیست. به عنوان مثال در کالیفرنیا تنها ۱۵ تا ۳۰ درصد از مردم قابلیت این را دارند که در منازلشان خودرو خود را شارژ کرده و به شبکه متصل کنند. برای کاربردهای V2G، بیشینه درآمد زمانی به دست می‌آید که خودرو در طول روز به شبکه وصل باشد. درنتیجه نیاز به ایجاد بسترهایی برای اتصال خودرو به شبکه احساس می‌شود.

۴-۶-۳-۴- شبکه مخابراتی – کنترلی

لایه اطلاعاتی در پیاده‌سازی V2G از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این میان شبکه‌ای که

Ahwaz_Hackerz

وظیفه ارسال اطلاعات و کنترل آن‌ها را بین تجمیع کننده، شبکه و خودرو بر عهده دارد نقش بسیار حیاتی را دارا است. این شبکه بایستی دو طرفه و دقیق باشد. تجمیع کننده بایستی وضعیت هر خودرو را پایش کرده، اطلاعات لازم برای تأمین سرویس را به خودرو و مالک تحویل دهد. بعلاوه وظیفه ضبط سرویس‌هایی را که به وسیله هر خودرو برای شبکه تأمین می‌شود و اجرای تعهداتی را که در مقابل مالک خودرو متعهد شده است را نیز دارا است.

برای عملکرد بهتر این شبکه نیاز است که آن از چندین زیر شبکه که با یکدیگر کار می‌کنند، تشکیل شود تا بتواند وظایفی را که در بالا اشاره شد به نحو شایسته‌ای انجام دهد. به عنوان مثال به شبکه‌ای نیاز است که اطلاعات را به هر مکانی که خودرو در آن پارک شده است ارسال کند. همچنین هر خودرو باید سیگنال‌هایی را که مدیر شبکه ارسال می‌کند به سرعت دریافت کند تا بتواند سرویس مورد نظر شبکه را تأمین کند. به دلیل کاربردهای مختلفی که این شبکه مخابراتی–کنترلی دارد در زیر به مهم‌ترین ویژگی‌هایی که باید دارا باشد اشاره می‌کنیم:

۱. کم‌هزینه: هزینه مرتبط با نصب و نگهداری شبکه مخابراتی باید در مقایسه باقیمت خودرو ناچیز باشد.

۲. پاسخ سریع: شبکه مورد نظر باید دارای سرعت سریع در ارسال اطلاعات به خودروها باشد.

۳. برد وسیع: شبکه باید توانایی ارتباط با هر خودرویی که در پارکینگ است را داشته باشد.

۴. انعطاف و توسعه: شبکه باید توانایی سرویس‌دهی به خودروهای بیشتر را بدون تغییر عمده‌ای دارا باشد.

۵. قابلیت اطمینان بالا: قابلیت اطمینان بالای شبکه مخابراتی برای اجرای بهتر وظایف تجمیع کننده ضروری است.

۶. امنیت: شبکه مورد نظر نیاز به امنیت بالا دارد تا بتواند جلوی حملات سایبری را بگیرد.

علاوه بر مواردی که در بالا گفته شد، شبکه مخابراتی–کنترلی باید دارای قابلیت ارسال اطلاعات در فرکانس متناسب با سرویس مورد نظر باشد. جدول ۴-۴ خلاصه‌ای از نوع و ماهیت اطلاعاتی که در طول شبکه جریان دارد را نشان می‌دهد. همان مشخصاتی را که برای شبکه

Ahwaz_Hackerz

مخابراتی ذکر شد می‌تواند با قیود شدیدتری برای شبکه کنترلی نیز بیان کرد.

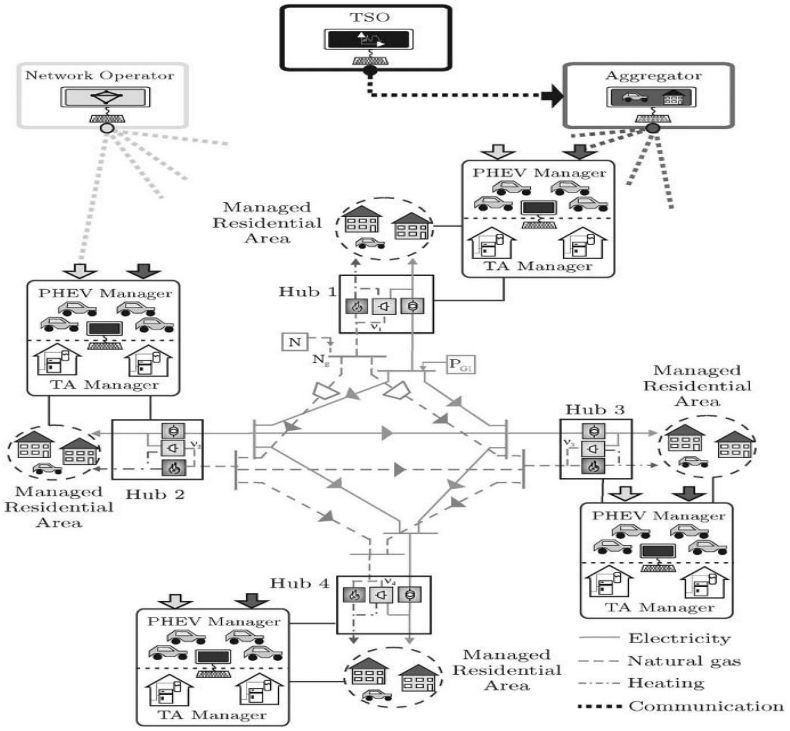
جدول ۴-۴: انواع و ماهیت اطلاعات جاری در شبکه.

اطلاعات	ماهیت	توضیحات
ID	یک کد رقمی – حرفی منحصر به فرد برای هر خودرو	علامت مشخصه برای تشخیص اطلاعات مرتبط با هر خودرو
وضعیت اتصال خودرو	دودویی	وضعیت متصل / قطع از شبکه
قیود / تمایلات مالک هر خودرو	مینیمم مقدار شارژ مورد نیاز و زمان قطع از شبکه	به منظور برنامه‌ریزی بهتر
SOC برای هر خودرو	برحسب درصد	عامل کلیدی در بهره‌برداری از خودرو
جریان توان از باطری به شبکه	مقدار توان	به منظور پرداخت تسویه حساب

در شکل ۴-۱۷ شمای ارتباط بین اجزای شبکه مخابراتی- کنترلی نشان داده شده است. اجزا با شبکه و زیرشبکه‌ها برای ارتباط بین بازیگران و مکان‌های مختلف در ارتباط می‌باشند. به ترتیب لینک ارتباطی بین مدیر شبکه – تجمیع کننده، تجمیع کننده – پارکینگ و تجمیع کننده - واحد مسکونی دارای اهمیت هستند. به علاوه، زیرشبکه‌های محلی نیز برای اتصال خودروها در پارکینگ و یا محل سکونت وجود دارد. لینک دو طرفه بین مدیر شبکه و تجمیع کننده به منظور ارسال اطلاعات اختصاصی سرویس به کار می‌رود. این لینک برای ارسال اطلاعات تسویه حساب نیز کاربرد دارد. لینک‌های بین تجمیع کننده–پارکینگ و تجمیع کننده–واحد مسکونی به منظور انتقال سیگنال‌های دریافت شده از مدیر شبکه به محل پارک خودروهایی که به شبکه متصل هستند بکار می‌رود. هر شبکه محلی که در پارکینگ یا محل سکونت وجود دارد، ارسال اطلاعات و سیگنال‌های دستوری را از تجمیع کننده به هر خودرو، به

Ahwaz_Hackerz

منظور شارژ یا دشارژ بر عهده دارد. هر شبکه محلی وظیفه جمع‌کردن اطلاعات برای تجمیع کننده را نیز بر عهده دارد.



شکل ۴-۱۷: شماتیک شبکه مخابراتی-کنترلی [۱۷].

مشخص کردن چندین واسط بین لینک‌ها و زیر شبکه‌ها، اختصاص سیگنال‌های آنالوگ برای اندازه‌گیری و پایش متغیرهای موردنظر، استفاده از شبکه بی‌سیم در زیر شبکه محلی و ارتباط بین مؤلفه‌های مختلف برای ساخت شبکه مخابراتی- کنترلی مورد نیاز است. عامل مهم برای پیاده‌سازی مؤثر این طرح، وثوق از قابلیت اطمینان زیرساخت‌های شبکه است. بدیهی است که این قابلیت اطمینان نمی‌تواند از ضعیف‌ترین لینک بیشتر باشد.

همه اجزای این شبکه به غیر از زیر شبکه‌های محلی با توجه به تکنولوژی استاندارد امروزه قابل

Ahwaz_Hackerz

پیاده‌سازی می‌باشند. زیر شبکه‌های محلی که واسط بین خودروها و پارکینگ یا محل سکونت می‌باشند، به قابلیت‌های شبکه هوشمند نیاز دارند؛ بنابراین زیر شبکه‌های محلی نیاز است تا به ویژگی‌های شبکه هوشمند مجهز شوند تا امکان ارسال یکپارچه اطلاعات فراهم شود. برای شناسایی خودرو می‌توان از یک سیم‌کارت استفاده کرد. می‌توان از سیم‌کارت به دلیل قابلیت اطمینان بالا و در دسترس بودن آن استفاده کرد.

یکی از راهکارهای عملی برای ایجاد شبکه مخابراتی-کنترلی استفاده از شبکه بی‌سیم با تکنولوژی ZigBee است. بی‌سیم به این دلیل انتخاب می‌شود که تکنولوژی در حال پیشرفتی است و هزینه پایین‌تری دارد. قابلیت مهم تکنولوژی بی‌سیم، برآوردن احتیاجات شبکه مخابراتی-کنترلی است. هزینه کم فرستنده/گیرنده ZigBee (کم‌تر از ۱٪ هزینه باطری) عامل مطلوبی در استفاده از آن است. لازم به ذکر است که هزینه‌ها با افزایش تولید کاهش می‌یابند. سرعت انتقال اطلاعات به وسیله ZigBee در حدود ۲۰-۲۵kbs است که به اندازه کافی برای ارسال اطلاعات حتی در سرویسی چون کنترل فرکانس، زیاد است. ZigBee می‌تواند محدوده‌ای در حدود ۴۰۰ متر را پوشش دهد که برای پارکینگ‌ها و منازل کافی است. تکنولوژی بی‌سیم قابلیت توسعه را بدون تغییر در ساختار کلی خود داراست. تکنولوژی ZigBee قابلیت اتصال به ۶۵۰۰۰ وسیله را بر روی یک شبکه داراست. تجربیات نشان داده که این تکنولوژی برای استفاده در وسایل خانگی قابل اعتماد بوده و عملکرد قابل قبولی را داراست. امنیت سایبری ZigBee در شبکه‌های توزیع مورد تأیید قرار گرفته و استفاده آن‌ها در خودروی برقی تفاوت چندانی با چنین شبکه‌هایی ندارد.

۴-۶-۳-۵- تجهیزات دیگر خودرو

برای شارژ کردن باطری هر خودرو نیاز به یک شارژ دارد. اگر بخواهیم از خودرو در سرویس‌های مرتبط با V2G استفاده کنیم، شارژر باید قابلیت انتقال توان در دو جهت را داشته باشد. شارژرها به دو نوع کلی تقسیم می‌شوند: دسته اول تماسی می‌باشند یعنی با اتصال

Ahwaz_Hackerz

مستقیم شارژر به شبکه خودرو شارژ می‌شود، دسته دیگر القایی می‌باشند بدین معنی که از طریق یک میدان مغناطیسی باطری شارژ می‌شود. در رابطه با دسته اول تنها امکان جابجایی انرژی در دو جهت وجود دارد. اغلب شرکت‌های خودروسازی ساخت شارژرهای تماسی را به القایی ترجیح می‌دهند اگرچه تلاش‌هایی برای بهبود شارژرهای القایی در حال انجام است. به عنوان مثال شرکت هوندا تلاش‌هایی را برای طرح "شارژ کردن در حین رانندگی" در دست اقدام دارد. در این طرح ایستگاه‌های شارژ در جاده‌ها قرار دارند و خودرو در حین حرکت می‌تواند باطری خود را شارژ کند. برخی از متخصصین معتقدند که هر دو نوع شارژرهای تماسی و القایی قابلیت انتقال توان را در دو جهت دارند به شرط اینکه احتیاج به این طرح حس شود. همچنین خودرو نیاز به یک دستگاه اندازه‌گیری انرژی دو طرفه دارد. این دستگاه باید مطمئن، دقیق و امن باشد و قابلیت ارتباط با تجمیع کننده را داشته باشد این دستگاه‌ها را می‌توان در پارکینگ‌ها قرار داد اما نیاز به زیرساخت و هزینه اضافی دارد.

نیاز به یک فرستنده GPS[1] برای مشخص شدن اینکه آیا خودرو به شبکه متصل است و در کدام ناحیه واقع شده است احساس می‌شود. پیش از این، تکنولوژی GPS در خودروها قرار گرفته بنابراین مشکلی برای شرکت‌ها ایجاد نمی‌کند. پیشنهاد دیگری که مطرح است مجهز کردن هر خودرو با یک سیم‌کارت است که می‌تواند به عنوان ابزار مخابراتی و شناسایی مکان خودرو به کار رود. با توجه به اینکه خودرو در چه سرویسی می‌خواهد شرکت کند ممکن است نیاز به تجهیزات اضافی باشد.

۴-۶-۴- نقش خودروی برقی بر محیط شبکه هوشمند

چارچوب جدید شبکه هوشمند بیشتر بر استفاده از منابع تولید پراکنده در سطح توزیع تأکید می‌کند. از طرفی واحدهای مجازی تولید توان نقش اساسی در مدیریت منابع تولید پراکنده ایفا می‌کنند؛ بنابراین خودروهای برقی به عنوان منابع تولید پراکنده‌ای محسوب می‌شوند که

1- Global Positioning System

Ahwaz_Hackerz

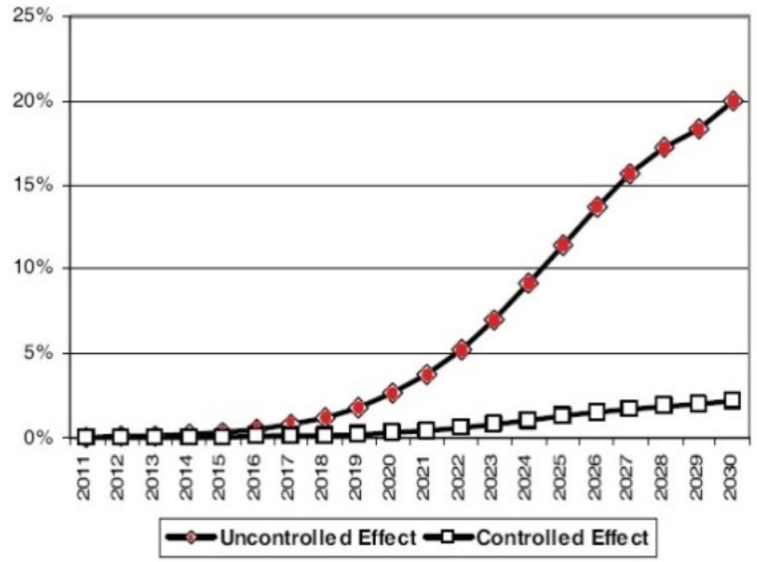
می‌توانند در واحدهای مجازی تولید مورد استفاده قرار گیرند و منابع موجود را در مسیری بهینه‌تر استفاده کنند. همان‌طور که در بخش قبل اشاره گردید اگر خودروهای برقی از شارژ کنترل نشده استفاده کنند موجب افزایش پیک شبکه می‌گردند و اگر از شارژ کنترل‌شده در ساعات کم باری و تزریق توان در ساعات پرباری پیروی کنند موجب بهبود منحنی بار می‌گردد. شارژ کنترل نشده موجب افزایش پیک بار یا ایجاد پیک جدید، افزایش تلفات توان و تغییرات ولتاژ شبکه می‌گردد. به منظور بهبود امنیت سیستم و اجتناب از این مشکلات از *اسکادا*[1] به منظور تطبیق زمان شارژ خودروها بر زمان کم باری و زمان دشارژ خودروها (تزریق توان به شبکه) بر زمان اوج مصرف استفاده می‌گردد. در این حالت امکان برنامه‌ریزی برای استفاده از برق تزریقی توسط خودروی برقی را داراست. تحقق این امر نیازمند یک بستر مخابراتی برای کنترل شارژ یا دشارژ خودروها به صورت بلادرنگ است. با بهره‌گیری از اسکادا، نیروگاه‌های مجازی از بازه‌های زمانی که مصرف‌کنندگان خواستار شارژ خودروی برقی خود هستند، آگاه شده و بر اساس آن برای تأمین ظرفیت خود برنامه‌ریزی می‌کنند.

وظیفه جمع کننده‌ها مدیریت شارژ و دشارژ مجموعه‌ای از خودروهای برقی با در نظر گرفتن امکان شرکت در سرویس‌های رزرو چرخان، تنظیم، بار پایه و بار پیک است. در حقیقت خودروی برقی متصل به شبکه با دریافت سیگنال‌هایی از بهره‌بردار شبکه مبنی بر شارژ باتری یا تزریق توان به شبکه به انتخاب حالت کاری خود اقدام می‌کند و این امر در بستر شبکه هوشمند انجام می‌گیرد. در شبکه هوشمند هم امکان تعامل مستقیم هر خودرو با شبکه و هم امکان تعامل غیرمستقیم و از طریق جمع کننده‌ها با شبکه وجود دارد. در صورت استفاده مالکان خودروی برقی از شارژ کنترل‌شده، تأثیر شارژ بر پیک مصرف در زمان‌های مختلف کم خواهد بود ولی در صورت استفاده از شارژ کنترل نشده موجب افزایش پیک مصرف با افزایش تعداد خودروی برقی مورد استفاده می‌گردد. مطابق شکل ۴-۱۸ در صورت افزایش تدریجی تعداد خودروهای برقی، تأثیر استفاده از شارژ کنترل‌شده و کنترل نشده بر مقدار پیک منحنی بار

1- SCADA (supervisory control and data acquisition)

Ahwaz_Hackerz

نمایش داده شده است. بر اساس این منحنی مشاهده می‌گردد در صورت استفاده از شارژ کنترل نشده با گذشت زمان و افزایش تعداد خودروهای برقی مورداستفاده، پیک بار پیوسته در حال افزایش قابل‌توجه است. ولی در صورت استفاده از شارژ کنترل‌شده این افزایش پیک تا حد زیادی کاهش می‌یابد. در حالت دوم به علت سطح پیک بار کمتر، تفاوت نقطه کمینه و بیشینه منحنی بار کمتر بوده و بازده شبکه افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱۸: پیش‌بینی درصد افزایش پیک منحنی بار به ازای شارژ کنترل‌شده و کنترل نشده [۲۰].

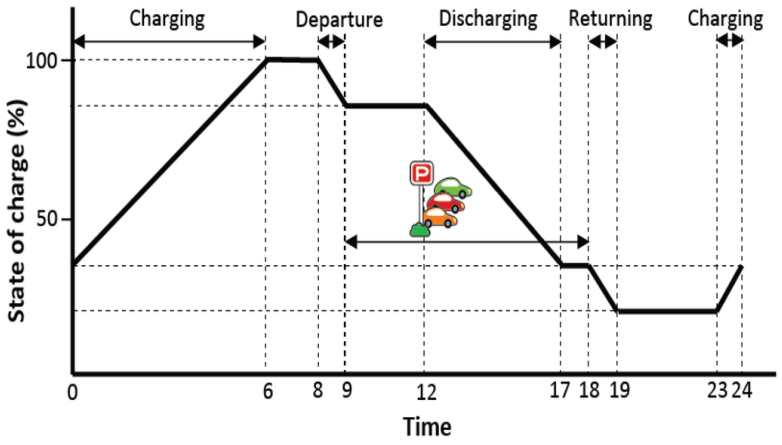
۴-۶-۵- پارامتر SOC

پارامتر SOC[1] در باتری‌ها به عنوان نسبت انرژی ذخیره شده در یک باتری به کل ظرفیت باتری تعریف شده است، که بین صفر (کاملاً دشارژ) و یک (کاملاً شارژ) متغیر است. خودروهای برقی در طول روز روندی به صورت نمودار شکل ۴-۱۹ پشت سر می‌گذارند. کلید زنی مداوم یک باتری باعث کاهش قابلیت ذخیره‌سازی انرژی در آن می‌گردد. اگر وضعیت شارژ یک باتری

1- State of Charge

Ahwaz_Hackerz

به عنوان یک معیار سنجش برای بهینه‌سازی عملکرد و جلوگیری از کاهش قابلیت ذخیره‌سازی انرژی مورد استفاده قرار گیرد، هنگامی‌که وضعیت شارژ باتری به ۸۵ یا ۹۰ درصد رسید، بهتر است شارژر باتری دیگر از شبکه جریان نکشد. اگر این قاعده به خوبی مورد استفاده قرار گیرد عمر باتری به میزان زیادی افزایش می‌یابد. در حال حاضر کارخانه‌ها سازنده باتری، باتری‌هایی با عمر مفید ۱۰ سال را تولید می‌کنند.

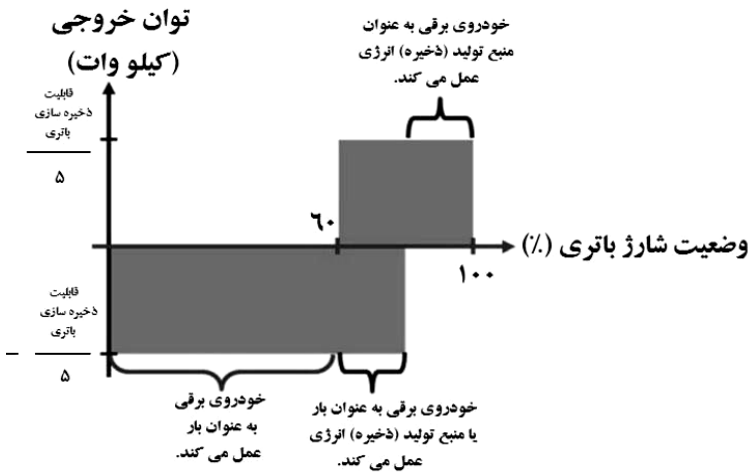


شکل ۴-۱۹: سیر تغییر SOC در یک روز [۲۱].

ازجمله نکاتی که باید به آن توجه شود، باتری PHEVهاست. به خصوص باتری لیتیوم-یون که اگر به درستی استفاده نشوند، می‌توانند بسیار خطرناک باشند. چرا که ممکن است در اثر گرمای زیاد و یا در اثر شارژ تا ولتاژ زیاد، منفجر گردند. علاوه بر این ممکن است در اثر دشارژ تا یک ولتاژ خاص نیز آسیب ببینند. به منظور کاهش ریسک آسیب‌دیدگی، باتری‌های لیتیوم-یون عموماً شامل یک مدار کوچک می‌باشند تا در صورتی که هنگام دشارژ، ظرفیت باتری از یک حد آستانه پایین‌تر شد و یا در هنگام شارژ بیشتر از یک مقدار خاص شد، مدار در اصطلاح قطع کند و اجازه‌ی این کار را ندهد. معمولاً جهت رعایت ملزومات ایمنی فرض می‌شود که SOC خودروها هرگز کمتر از ۱۰٪ و بیشتر از ۸۰٪ نشود. وضعیت شارژ و دشارژ باطری

Ahwaz_Hackerz

خودروی برقی متناسب با SOC در شکل ۴-۲۰ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲۰: وضعیت شارژ یک باتری.

معمولاً از چهار روش برای تعیین وضعیت باطری در منحنی SOC استفاده می‌شود که در این بخش تنها به ذکر این چهار روش اکتفا می‌شود:

۱. ولتاژ باطری: هر چه از کارایی باطری به دلایل مختلف ازجمله افزایش عمر باطری و یا شارژ و دشارژهای مکرر کاسته شود، ولتاژ باطری نیز کاهش می‌یابد و حتی با شارژ دوباره نیز به مقدار اولیه‌ی خود باز نمی‌گردد (اصطلاحاً باطری بیش از این شارژ نمی‌گیرد). درنتیجه درصد SOCمقدار کم‌تری را نشان خواهد داد.

۲. جریان باطری: کاهش درصد SOC نشان می‌دهد که دیگر نمی‌توان به اندازه‌ی جریان اسمی از باطری جریان کشید (اصطلاحاً از باطری بار گرفت).

۳. ترکیبات شیمیایی الکترولیت باطری: کاهش ترکیبات شیمیایی در الکترولیت باطری موجب کاهش توانایی باطری در انتقال الکترون‌ها بین قطب‌های مثبت و منفی باطری و به طورکلی کاهش کارایی باطری می‌شود. این امر در منحنیSOC، با کاهش درصد، خود را نشان می‌دهد.

۴. فشار باطری

Ahwaz_Hackerz

۴-۶-۶- اضافه کردن ابرخازن (Super Capacitor) به باتری

در مقایسه با باتری که از نوع انرژی ست، ابرخازن به نوع توان ابزار ذخیره‌ی انرژی تعلق دارد که پاسخ سریع‌تر و ظرفیت کمتری دارد. تقویت کردن باتری به وسیله‌ی ابر خازن برای تشکیل سیستم انرژی هیبرید برای EV ممکن است فواید زیادی داشته باشد. برای مثال، از زمان‌های کوتاه عملیات شارژ و دشارژ باتری در حین ازدیاد و یا کاهش شتاب ناگهانی می‌تواند جلوگیری شود.

۴-۶-۷- راه‌حل‌های موجود برای استفاده از V2G

برخی از راه‌حل‌های استفاده از V2G در ادامه آورده شده است:

۱) تعرفه‌ی برق ارزان قیمت در نیمه شب: می‌توان با مدیریت صحیح هزینه‌های انرژی، مصرف‌کننده را به الگوی بهینه‌ای برای استفاده از انرژی الکتریکی سوق داد.

۲) تأسیس مراکزی برای تعویض باتری‌های شارژ شده با باتری‌های دشارژ شده: با ایجاد مراکزی برای شارژ باتری در ساعات کم‌باری و تعویض این باتری‌ها در طول روز برای خودروهایی که باتری آن‌ها دشارژ شده‌اند، می‌توان شارژ این خودروها را مدیریت کرد.

۳) ذخیره‌ی انرژی در مراکزی برای شارژ خودرو: در این روش هدف ایجاد مراکزی است که در شب توان شبکه را گرفته و ذخیره کنند و در روز برای شارژ خودروها استفاده کنند. در صورت عدم مدیریت صحیح برای این مراکز خود آن‌ها می‌توانند باعث افزایش پیک بار شوند. ازجمله‌ی این مراکز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) استفاده از باتری خانه: مزیت این روش بازدهی بالاست ولی مشکل آن هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بالا است.

ب) استفاده از چرخ طیار (flywheel): چرخ‌هایی با اصطکاک کم و اینرسی زیاد هستند که با چرخاندن آن‌ها انرژی به صورت انرژی حرکتی در آن‌ها ذخیره می‌شود. شب به کمک یک موتور الکتریکی و دریافت توان از شبکه چرخ را به حرکت درمی‌آوریم و در روز به کمک

Ahwaz_Hackerz

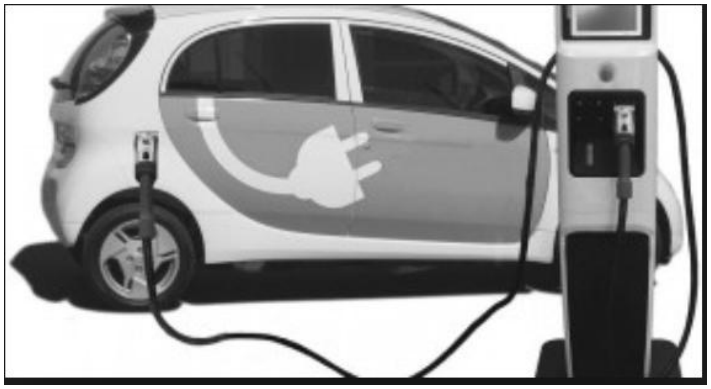
ژنراتوری که این چرخ را به حرکت درمی‌آورد، باتری‌ها را شارژ می‌کنیم.

۴-۷- نحوه‌ی اتصال خودروهای برقی به شبکه

برای بهره‌برداری مناسب از خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه به دو نوع اتصال نیازمندیم: اتصال فیزیکی و اتصال بدون سیم.

۴-۷-۱- اتصال فیزیکی به شبکه (اتصال به صورت جامد- جامد)

هدف در این نوع اتصال انتقال جریان و توان الکتریکی از خودروهای برقی به شبکه و برعکس است (شکل ۴-۲۱). یکی از موارد مهم از دید شبکه‌ی هوشمند، محل ایستگاه‌های شارژ است. ازجمله ایستگاه‌های شارژ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:



شکل ۴-۲۱: اتصال فیزیکی به شبکه [۱۲].

- پارکینگ خانه
- پارکینگ محل کار
- پارکینگ‌های عمومی
- ایستگاه‌های شارژ عمومی

Ahwaz_Hackerz

نکاتی را که باید در مورد ایستگاه‌های شارژ مورد توجه قرار داد، عبارت‌اند از:

- محل احداث پارکینگ‌ها و ایستگاه‌های عمومی با چه هدفی و با چه روشی تعیین شود؟
- سرعت شارژ در این ایستگاه‌ها باید بالا باشد.
- برق مورد نیاز برای اتصال فیزیکی برق DC است.
- در محل شارژ، جهش‌های مصرف وجود دارد.

۴-۷-۲- اتصال بدون سیم به شبکه

علاوه بر اتصال فیزیکی که برای تبادل توان الکتریکی بین خودرو و شبکه برقرار می‌شود به نوع دیگری از اتصال بی‌سیم نیز نیاز است (شکل ۴-۲۲). هدف از این اتصال ارسال سیگنال‌های کنترلی برای اعمال کنترل بر چگونگی تبادل توان بین خودروی برقی و شبکه است. روش‌های ارسال این سیگنال‌ها عبارت‌اند از:

- شبکه‌ی تلفن همراه
- پیام‌های رادیویی (سیستم‌های RF[1])
- اینترنت
- شبکه‌ی کنتورهای هوشمند (زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته AMI[2])
- PLC[3] و شبکه‌ی قدرت در صورت امکان پیاده‌سازی

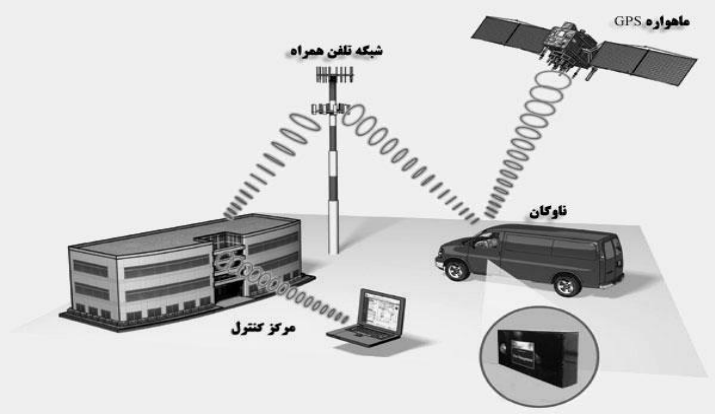
۴-۸- کاربردهای خودروی برقی در بهره‌برداری از سیستم قدرت

کارکردهای V2G می‌تواند به دو دسته‌ی سرویس‌های محلی (local) و سرویس‌های منطقه گسترده (broad area) تقسیم گردد. سرویس‌های محلی شامل تأمین توان پشتیبان برای خانه یا محل کار، تثبیت ولتاژ یا بهبود کیفیت توان است. سرویس‌های منطقه گسترده شامل ارائه‌ی

1- Radio Frequency
2- Advanced Metering Infrustructure
3- Power Line Communication

Ahwaz_Hackerz

خدمات جانبی برای شبکه است.



شکل ۴-۲۲: اتصال بی‌سیم به شبکه [۲۲].

مزایای زیادی برای کاربرد V2G وجود دارد که می‌توان به بهبود امنیت، بهبود قابلیت اطمینان، تأثیر بر تولید و مسائل زیست‌محیطی اشاره نمود. اینورتر V2G می‌تواند با سرعت بیشتری در مقایسه با گاورنر توربوژنراتورها به کاهش تأثیر اغتشاشات کمک کند.

با فراهم شدن امکان بهره‌برداری از PHEVها به عنوان ذخیره کننده‌ها و مصرف‌کننده‌های کوچک پراکنده در شبکه‌ی برق، کارکردهای متعددی را می‌توان برای آن‌ها در راستای بهبود شرایط بهره‌برداری از شبکه‌ی برق تعریف نمود. به برخی از این کاربردها در ادامه اشاره می‌شود.

۴-۸-۱- تنظیم فرکانس

وجود تعداد زیادی از خودروهای برقی به عنوان منابع و یا مصرف‌کننده‌های کوچک توان اکتیو در شبکه امکان استفاده از آن‌ها برای کنترل فرکانس شبکه را در فرایند کنترل بار- فرکانس فراهم می‌کند. وجود یک ارتباط بی‌سیم مطمئن بین خودروها و شبکه برای فراهم کردن امکان تبادل سیگنال‌های کنترلی در اینجا از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر آن، با توجه به اینکه تنظیم فرکانس در فرایند بازار برق جزء خدمات جانبی محسوب می‌شود، می‌توان برای

Ahwaz_Hackerz

هر صاحب خودرو یک حساب اعتباری در نظر گرفت که در ازای قرار دادن منبع خودرو خود در سیستم تنظیم فرکانس این حساب شارژ شده و منافعی نیز نصیب صاحبان خودروها شود.

برای رفع افت فرکانس، باید در نیروگاه‌ها تولید توان اکتیو را افزایش داد، این در حالی است که خودروها و ایستگاه‌های شارژ موجود در شبکه، می‌توانند در این زمان توان اکتیو لازم را در اختیار شبکه قرار دهند. همچنین با همین رویکرد، اگر فرکانس شبکه بالا رود، دو راهکار وجود دارد:

۱. کاهش تولید در نیروگاه‌ها

۲. ذخیره‌سازی توان اضافی در باتری خودروها

۴-۸-۲- تنظیم ولتاژ

ازجمله کاربردهای مهم دیگر خودروهای برقی، تنظیم ولتاژ شبکه است. با استفاده از ترکیب سری باطری چندین خودرو و یک اینورتر می‌توان منبع ولتاژ سه فازی با سطح ولتاژ کافی طراحی نمود که امکان تبادل توان راکتیو را نیز با شبکه داشته باشد. اشاره به این مطلب ضروری است که برعکس تنظیم فرکانس که با توان اکتیو قابل‌کنترل است، تنظیم ولتاژ از طریق توان راکتیو صورت می‌گیرد.

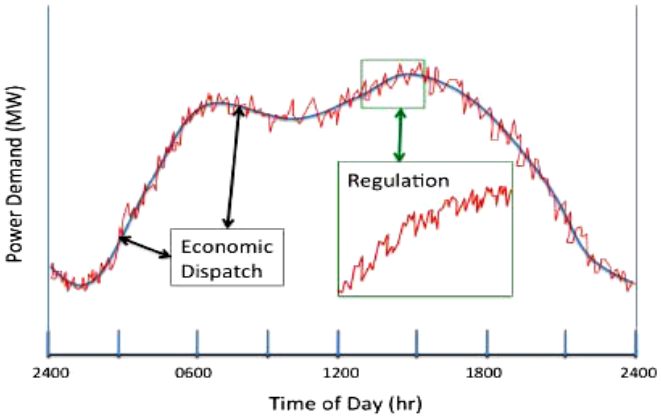
این سیستم می‌تواند توان اکتیو و راکتیو به سیستم توزیع تزریق کند درحالی‌که تنها توان اکتیو در باتری‌ها ذخیره‌شده است. خودروهای هیبریدی می‌توانند با استفاده از خازن‌های موجود در مبدل‌هایشان توان راکتیو به شبکه تحویل دهند که این امر موجب بهبود ضریب توان در شبکه می‌شود. با توجه به اینکه توان راکتیو باید به صورت محلی تأمین شود و منابع توان راکتیو نمی‌توانند جابجا شوند، نیاز به مدیریت صحیحی برای استفاده از این توان‌های راکتیو وجود دارد. با این روش همچنین می‌توان پروفیل ولتاژ شبکه‌های توزیع که بدترین پروفیل ولتاژ را دارند، اصلاح کرد. ازجمله نتایج دیگر آن می‌توان به حل مشکل عدم تعادل ولتاژ شبکه نیز اشاره کرد.

Ahwaz_Hackerz

از طرف دیگر می‌توان حساب اعتباری صاحب خودرو را در ازای مشارکت در تنظیم ولتاژ شبکه نیز به عنوان یکی دیگر از خدمات جانبی بازار برق شارژ نمود. موضوعی که در اینجا اهمیت پیدا می‌کند، بررسی تأثیر مشارکت PHEVها در کنترل فرکانس و تنظیم ولتاژ بر روی طول عمر مفید این خودروها است که باید در پژوهش‌های آتی به آن پرداخته شود.

۴-۸-۳- پیک‌سایی

بسته به این که منطقه‌ی موردنظر صنعتی است یا تجاری، می‌تواند پیک شب و یا پیک روز داشته باشد. ولی در هر دو حالت در زمان‌های پیک مصرف، این خودروها می‌تواند در اختیار شبکه قرار گیرند (شکل ۴-۲۳). اگر بتوانیم از انرژی ذخیره‌شده در باطری خودروهای برقی متصل به شبکه برای تأمین بخشی از توان اکتیو مورد نیاز شبکه در ساعات اوج مصرف استفاده نماییم، پیک منحنی بار از دید شبکه کاهش می‌یابد. پیک‌سایی منافع متعددی برای بهره‌بردار سیستم قدرت دارد که از مهم‌ترین آن‌ها به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز برای پوشش دادن رشد پیک بار شبکه است؛ زیرا مستقیماً بخشی از بار شبکه توسط PHEV ها تأمین می‌شود و نیازی به احداث نیروگاه برای تأمین بار پیک شبکه نیست.

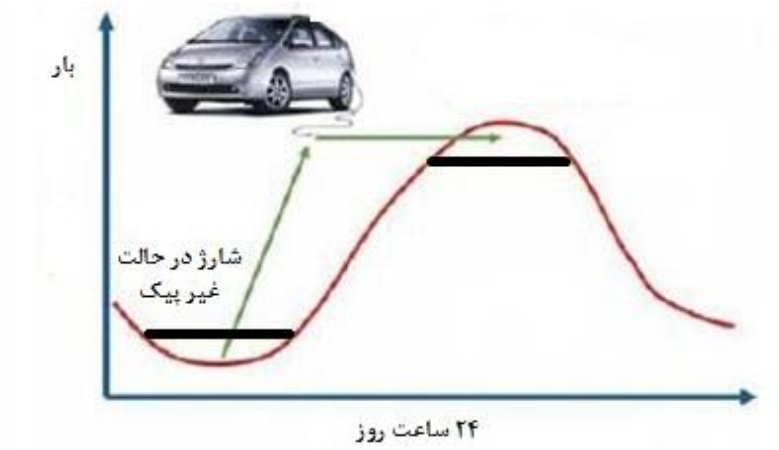


شکل ۴-۲۳: پیک‌سایی [۶].

Ahwaz_Hackerz

۴-۸-۴- هموارسازی پروفیل بار

پروفیل بار عبارت است از تغییرات بار نسبت به زمان (ساعت). مطابق شکل‌های ۴-۲۴ و ۴-۲۵ اگر به طور کنترل شده خودروهای برقی در ساعات کم باری شبکه شارژ شده و در ساعات اوج مصرف برق، ذخیره‌ی انرژی خود را برای کمک به تأمین تقاضای بار در اختیار شبکه قرار دهند، با اجرای نوعی جابه‌جایی تقاضا از ساعات اوج به ساعات کم‌مصرف باعث پر شدن چاله‌ها و سایش قله‌ها در منحنی بار شبکه شده و به بهبود ضریب بار شبکه کمک می‌کنند. هموارسازی پروفیل بار و بهبود ضریب بار از مهم‌ترین نشانه‌های بهره‌برداری مؤثرتر و اقتصادی‌تر از سیستم قدرت است.



شکل ۴-۲۴: پر کردن دره‌ها و حذف قله‌ها از طریق خودروهای برقی [۱۴].

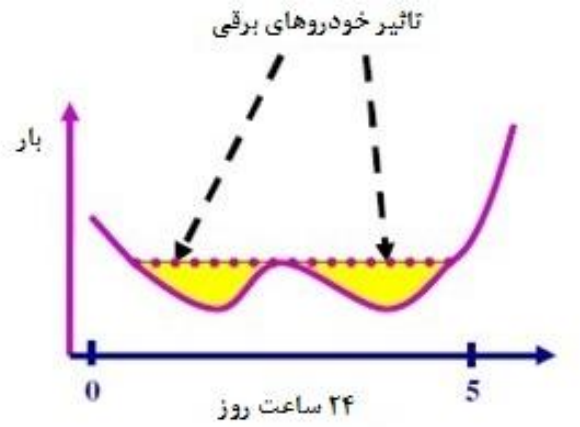
۴-۸-۵- پشتیبان منبع[1]

در این کارکرد به دنبال آن هستیم که در زمانی که منبع نمی‌تواند توان مورد نیاز بار را تأمین کند از خودروهای الکتریکی بدین منظور استفاده کرده و عملاً قابلیت اطمینان شبکه را بالا

1- Supplu support

Ahwaz_Hackerz

ببریم همچنین در زمان وقوع اغتشاش نیز استفاده از این خودروها مثل میراساز عمل کرده و به منبع کمک می‌کند پایداری خود را حفظ کند و درنتیجه ایمنی شبکه را بالا می‌برد. مجموعه‌ی خودروهای برقی متصل شده به شبکه می‌توانند به عنوان یک ذخیره‌ی غیرچرخان در شبکه‌ی قدرت عمل نمایند خودروهای برقی علاوه بر این‌که می‌توانند به عنوان رزرو استفاده شوند، می‌توانند یک مقدار از بار پایه‌ی شبکه را نیز تأمین کنند.



شکل ۴-۲۵: صاف‌تر شدن شکل منحنی بار در زمان‌های غیر پیک در اثر شارژ خودروهای برقی [۱۴].

۴-۸-۶- رزرو چرخان شبکه

رزرو چرخان توسط تولید اضافی که با سیستم سنکرون شده است، فراهم می‌شود، یعنی تجهیزاتی که به شبکه متصل و با آن سنکرون هستند اما توانی به شبکه تزریق نمی‌کنند و تنها در حالت آماده به کار هستند. رزرو چرخان باید سریع وارد عمل شود و در مواقعی که نیاز باشد باید در کمتر از ۱۰ دقیقه در دسترس باشد. تفاوت اصلی بین رزرو چرخان و غیر چرخان در این است که ژنراتورهای رزرو چرخان باید آماده به‌کار باشند و بتوانند به شبکه برای جلوگیری از واپاشی فرکانسی در زمان‌هایی که افت ناگهانی از منابع دیگر اتفاق می‌افتد کمک کنند. از طرفی چون خودروهای برقی سرعت راه اندازی بسیار بالایی دارند به‌راحتی می‌توانند در کمتر

Ahwaz_Hackerz

از ۱۰ دقیقه وارد مدار شوند و برای تنظیم بالا یا پایین مورداستفاده قرار گیرند.

۴-۸-۷- تولید ایزوله‌ی برق

تولید برق برای یک منطقه را می‌توان از طریق پارکینگ‌ها ایجاد کرد. به عنوان مثال برای یک منطقه که حدود ۲ مگاوات برق نیاز دارد، اگر در هر لحظه ۵۰ اتومبیل در پارکینگ آن پارک باشند، برق مورد نیاز را به وسیله‌ی همین خودروها می‌توان تأمین کرد و نیازی به اتصال به شبکه‌ی سراسری نیست. از این شیوه در بسیاری از مراکز عمومی مانند بیمارستان‌ها و ادارات می‌توان استفاده کرد. از مشکلات این روش می‌توان به نوسانات توان در شبکه کوچک ساخته شده که ناشی از رفت و آمد اتومبیل‌ها است، اشاره کرد.

۴-۹- نهاد گردآورنده (Aggregator)

برای شرکت در خدمات فرعی و انرژی بازارها، جمع‌کردن EV ها ضروری ست. این بدان دلیل است که قوانین بازار کنونی حداقل اندازه‌ی پیشنهادی برای مناقصه را در رنج مگاوات تعیین کرده است و یک EV به تنهایی چنین ظرفیتی ندارد. همچنین یک EV به تنهایی نمی‌تواند سطح لازم در دسترس بودن و قابلیت اطمینان را برای شرکت در بازارهای خدمات فرعی ایجاد کند بدون این که دردسرهای زیادی برای صاحب EV ایجاد کند. درنتیجه مطابق شکل‌های ۴-۲۶ و ۴-۲۷ جمع کننده‌ها مورد نیازند.

خودروهای برقی به تنهایی تأثیر زیادی در شبکه نمی‌گذارند و تأثیر آن‌ها در این حالت در حد یک نویز کوچک است. خودروهای برقی باید به صورت تجمعی به عنوان یک بار یا تولید کننده‌ی انرژی الکتریکی به شبکه وصل شوند. برای استفاده‌ی جمعی از این خودروهای برقی باید از جمع کننده‌ها استفاده کرد تا توانی قابل ملاحظه در حد مگاوات به عنوان تولید کننده یا مصرف‌کننده ایجاد شود. درنتیجه یک مجموعه باتری به عنوان تصمیم گیرنده عمل می‌کنند و هر مجموعه می‌تواند خرید و فروش شود. جمع کننده‌ها به صورت مستقیم برای خرید و

Ahwaz_Hackerz

فروش انرژی و یا ارائه‌ی سرویس‌های خاص با ISO[1] ارتباط دارند. جمع کننده‌ها باید تصمیم بگیرند که کدام خودروهای برقی باید به مجموعه متصل شوند تا آرایشی بهینه از خودروهای برقی تشکیل دهند. گردآورنده‌ها می‌توانند یکی از سه نقش زیر را ایفا کنند:

- بار کنترل‌شده (در واقع بخشی از بار را کنترل می‌کنند)
- واحد ذخیره‌ساز (دیدگاه در این نقش به این صورت است که فقط انرژی را گرفته و ذخیره می‌کنند)
- تولید

جریان توان در یک EV می‌تواند یک طرفه یا دو طرفه باشد. در V2G یک طرفه، مقررات و پشتیبانی از منابع می‌تواند تأمین شود. مطالعات زیادی بر روی V2G دو طرفه انجام شده است؛ اما چالش‌های زیادی برای اعمال کامل آن وجود دارد، هم برای مشترک و هم برای گردآورنده.

گردآورنده زیرساخت سخت‌افزاری اضافه‌تری برای مدیریت جریان توان دو طرفه نیاز خواهد داشت. نیازمندی‌های ارتباطات، کنترل و حفاظت افزایش خواهد یافت و مسائل فرسایش باتری‌ها به علت شارژ و دشارژ مدام باتری‌ها مطرح خواهد شد. این موضوع همچنین مورد انتظار است که مشتریان اجازه‌ی خالی کردن باتری‌های EV شان را برای هیچ مقصد پیش‌بینی نشده‌ای نخواهند داد.

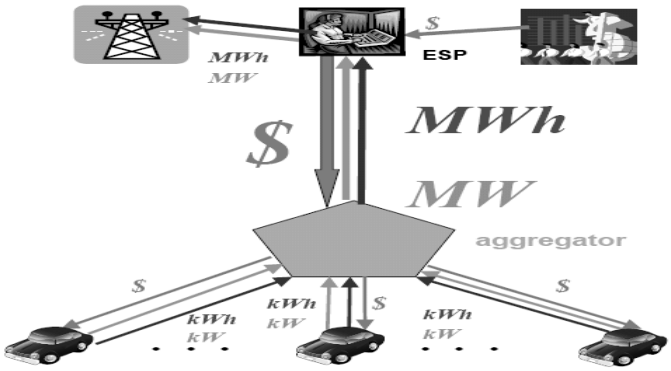
۴-۱۰- جمع‌بندی

در سال‌های گذشته تکنولوژی‌های جدید در سیستم حمل و نقل، با استفاده از سوخت‌های جایگزین و یا ارتقای بهره‌وری اتومبیل‌ها به دنبال کاهش وابستگی سیستم حمل و نقل به سوخت‌های فسیلی بوده‌اند. در این بین موضوع جایگزینی اتومبیل‌های کنونی با خودروهای برقی مورد توجه جدی قرارگرفته است. خودروهای برقی پتانسیل افزودن مشخصه‌های مفیدی

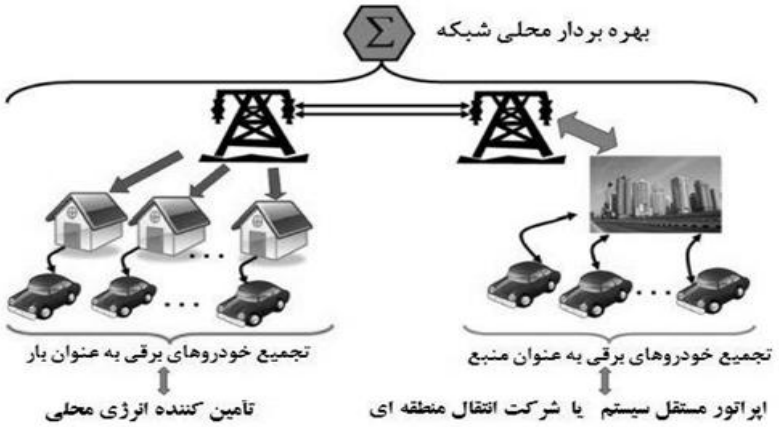
1- Independent System Operator

Ahwaz_Hackerz

به شبکه برق به خصوص ریزشبکه‌ها را دارند. استفاده از این خودروها موجب ایجاد تعامل بین آن‌ها و شبکه از طریق تزریق توان به شبکه قدرت و همچنین شارژ شدن است. استفاده بهینه (شامل زمان شارژ و دشارژ شدن تعداد زیادی از خودروهای برقی در مکان‌های مناسبی از شبکه) می‌تواند خدمات فراوانی را به شبکه برق ارائه کند.



شکل ۴-۲۶: مجموعه‌ی خودروهای برقی به عنوان یک بار مدیریت پذیر یا یک تولیدکننده [۲۳].



شکل ۴-۲۷ تجمیع خودروهای برقی به عنوان بار کنترل‌شده [۲۳].

Ahwaz_Hackerz

منابع و مراجع

[1] R. Yu, J. Ding, W. Zhong, Y. Liu and S. Xie, “PHEV Charging and Discharging Cooperation in V2G Networks: A Coalition Game Approach,” IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, No. 6, pp. 578-589, Dec. 2014.

[2] S. E. Letendre and W. Kempton, “The V2G Concept: A New Model For Power?,” Public Utilities Fortnightly, Vol. 140, No. 4, pp. 16-26, Feb. 2002.

[۳]امیرحسین رجایی، محسن پارسامقدم، "امکان‌سنجی خودروهای برقی به عنوان نیروگاه‌های تولید پراکنده،" ششمین همایش ملی انرژی، تهران، ۱۳۸۶.

[۴]مهدی پرتو، محمدصادق قاضی‌زاده، "تأثیر خودروهای دوگانه قابل اتصال به شبکه برق به عنوان بار مدیریت پذیر یا منبع تولید انرژی در سیستم‌های قدرت تجدید ساختاریافته،" بیست پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۱۳۸۹.

[5] K. T. Chau and Y. S. Wong “Overview of Power Management in Hybrid Electrical Vehicles,” Energy Conversion and Management, Vol. 3, pp. 1953-1968, 2002.

[۶]محمدرضا پورسیستانی، "توزیع اقتصادی بار بین خودروهای برقی با در نظر گرفتن مراحل شارژ و دشارژ به کمک الگوریتم‌های تکاملی در یک شبکه‌ی هوشمند، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی قدرت گرایش مدیریت انرژی، دانشکده‌ی برق، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۳.

[۷]حامد نفیسی، "مدیریت توان PHEV جهت کاهش تلفات در ریزشبکه" رساله‌ی دکتری مهندسی قدرت، دانشکده‌ی برق، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۳.

[8] M. Hamzeh, H. Hashemi-Dezaki, H. Askarian Abyaneh, G. B. Gharehpetian, and B. Vahidi, “Risk Management of Smart Grids based on Plug-in Hybrid Electric Vehicles Charging Considering Transformers Hottest Spot Temperature-Dependent Aging Failures,” Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol.8, Issue 3, pp. 1-18, May 2016.

Ahwaz_Hackerz

[9] M. R. Poursistani, M. Abedi, N. Hajilu and G. B. Gharehpetian, "Impacts of Plug-in Electric Vehicles Smart Charging on Distribution Networks," First International Congress on Technology, Communication and Knowledge, ICTCK 2014, (ICCECSG 2014), 26-27 Nov. 2014.

[10] M. R. Poursistani, M. Abedi, N. Hajilu and G. B. Gharehpetian, "Smart Charging Of Plug-In Electric Vehicle Using Gravitational Search Algorithm," Smart Grid Conference 2014 (SGC'14), Tehran, Iran, Dec. 9-10, 2014.

[11] J. Lee Hafner and A. James Schurr "Plugin hybrid electric vehicle with V2G optimization system," Patent US 7928693 B2, 2008.

[12] K. W. Hu, P. H. Yi and C. M. Liaw, "An EV SRM Drive Powered by Battery/ Supercapacitor with G2V and V2H/V2G Capabilities," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 62, No. 8, pp. 4714-4727, 2015.

[13] M. Kamran, M. Salay Naderi, M. Mallaki, and G. B. Gharehpetian, "Effect of Electric Vehicle Load and Charging Pattern on Generation Expansion Planning," Smart Grid Conference (SGC2015), Tehran, Iran, Dec. 22-23, 2015.

[14] E. Sortomme and M. A. El-Sharkawi, "Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-to-Grid," IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 2, No. 1, pp. 131-138, Mar. 2011.

[15] M. Bayati, H. Ghasempour Aghamaleki, M. Abedi and G. B. Gharehpetian, "Battery Charging Systems for Electric Vehicles Based on Reflex Technique," Smart Grid Conference (SGC2015), Tehran, Iran, Dec. 22-23, 2015.

[16] A. Hasankhani, M. Sadooghi Pour and G. B. Gharehpetian, "Effect of Electric Vehicle Charging in Smart Grid on Residential Demand," 24th Iranian Conference on Electrical Engineering, Shiraz, Iran, 10-12 May 2016.

Ahwaz_Hackerz

[17] S. Li and C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol.3, No.1, pp.4-17, March 2015.

[18] "Nissan LEAF and DC fast charger", http://insideevs.com/nissan-aims-begin-leaf-sales-india-soon/

[19] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Solid_oxide_fuel_cell.svg

[20] M. H. Amini and M. P. Moghaddam, "Probabilistic Modelling of Electric Vehicles Parking Lots Charging Demand," 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 1-4, Mashhad, 2013.

[21] M. Aziz, T. Oda, T. Mitani, Y. Watanabe and T. Kashiwagi "Utilization of Electric Vehicles and Their Used Batteries for Peak-Load Shifting," Energies, Vol.8, pp. 3720-3738, 2015.

[۲۲] شرکت نگاه پردازان ایمن، سیستم مدیریت ناوگان

http://www.negaco.net/system-navgan.html

[23] C. Guille and G. Gross, "A Conceptual Framework for the Vehicle-to-Grid (V2G) Implementation," Energy Policy, Vol. 37, pp. 4379-4390, 2009.

[24] J. Ghafouri, A. Sakhavati, R. Jovari and G. B. Gharehpetian, "PI Controller for Quarter Vehicle Active Suspension System with Optimized Gains Using PSO Algorithm," 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation, (ICCIA 2011), 27-29 Dec. 2011.

[25] S. P. Mousavi Mobarake, G. B. Gharehpetian and H. Askarian, "Prediction of Active Capacity of Electric Vehicles in Smart Grid Connected Mode Using Bayesian Neural Network," 28th International Power System Conference, Tehran, Iran, Nov. 2-4 2013.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۵ پاسخ‌گویی تقاضا

۵-۱- مقدمه

با افزایش روز افزون مصرف برق و محدودیت‌های موجود برای توسعه‌ی زنجیره‌ی تولید انرژی الکتریکی از جمله محدودیت‌های اقتصادی، فنی، زیست محیطی و جغرافیایی نیاز به روش‌های جایگزین برای تولید برق یا کاهش مصرف آن کاملاً احساس می‌شود. علاوه بر این، افزایش تراکم خطوط انتقال و محدودیت‌های فنی و اقتصادی جهت توسعه‌ی شبکه‌ی انتقال این بخش از صنعت برق را با چالش جدی مواجه کرده است. این در حالی است که هزینه‌ی نصب واحدهای نیروگاهی بسیار بالا و امری زمان‌بر است؛ بنابراین باید به دنبال راه حل دیگری برای کاهش و یا به تعویق انداختن تأسیس نیروگاه‌ها بود. پاسخ‌گویی تقاضا یکی از راه‌حل‌های ارائه شده برای این مشکل است که در بستر شبکه هوشمند می‌تواند اجرا شود. در این فصل در ابتدا مفاهیم، اهداف و مزایای پاسخ‌گویی تقاضا بررسی می‌شوند. در ادامه روش‌های مختلف پیاده-سازی آن مورد بحث قرار می‌گیرد. تأثیر این برنامه بر بازارهای خرده‌فروشی و عمده‌فروشی فعلی، هزینه پیاده‌سازی آن و زیرساخت‌های لازم برای اجرا موارد دیگری است که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود و در نهایت چالش‌ها و مدل‌های قابل اجرا در ایران بررسی خواهند شد.

۵-۲- مفاهیم و اهداف پاسخ‌گویی تقاضا

با رشد مصرف برق در جوامع و به تبع آن پربارتر شدن شبکه قدرت، متولیان صنعت برق، از ابتدا تا به امروز همواره یک رویه را برای پیشرفت شبکه در پیش گرفته‌اند و آن گسترش ابعاد شبکه بوده است. با شروع تجدید ساختار در صنعت برق و خصوصی شدن بخش‌های مختلف

Ahwaz_Hackerz

این صنعت، صاحبان بخش‌های مختلف شبکه برق برای بیشتر شدن بهره‌وری و سود خود، بار روی خطوط انتقال و تولید نیروگاه‌ها را بیشتر کرده‌اند، که در نتیجه باعث کمتر شدن رزرو و کمتر شدن حاشیه امنیت سیستم شده است. از طرفی شرکت‌های برق، سمت مصرف را همواره به عنوان عامل پیش‌برنده و غیر قابل تغییر نگریسته‌اند. این رویه باعث شده است که مصرف‌کنندگان برای مصرف برق به عنوان یک کالا بر خلاف دیگر کالاها، توجیه اقتصادی را در نظر نگیرند.

۵-۲-۱- تعریف پاسخ‌گویی تقاضا

به طور کلی پاسخ‌گویی تقاضا به عنوان مشارکت مصرف کنندگان کوچک در بازار برق، روبرو شدن آن‌ها با قیمت‌های لحظه‌ای بازار و پاسخ‌گویی به آن تعریف می‌شود. در واقع پاسخگویی تقاضا به مشارکت مصرف‌کنندگان در بازار برق و تطبیق مصرف خود با سمت تولید، بر اساس شرایط شبکه و قیمت واقعی برق در هر لحظه، گفته می‌شود.

بنا بر تعریف ارائه شده توسط DOE[1]، پاسخ‌گویی تقاضا به تغییر میزان مصرف مشترکان نهایی[2] نسبت به الگوی طبیعی مصرفشان در پاسخ به محرک‌های مالی گفته می‌شود. این محرک‌ها شامل تغییرات قیمت برق در بازار طی زمان، پرداخت‌های تشویقی از پیش طراحی شده توسط نهاد تنظیم بازار یا *رگولاتوری*[3] در جهت مصرف انرژی الکتریکی کم‌تر در زمان‌های اوج مصرف و همچنین قراردادهای مالی قطع بار جهت تأمین قابلیت اطمینان شبکه‌ی قدرت[4] هست.

اصلی‌ترین دلیل تشویق مشترکین به شرکت در برنامه‌های پاسخ به تقاضا ایجاد دگرگونی در حس مسئولیت‌پذیری و در جهت پرهیز از خاموشی‌های گسترده در کنار و یا به عوض هزینه

1-U.S. Department of Energy
2-End Users
3-Regulatory
4-Power System Reliability

Ahwaz_Hackerz

کمتر برای مشترکین است. این‌ها همه به سبب عدم قطعیت برنامه‌های پاسخ به قیمت و مشخص نبودن میزان باری که ممکن است در طول یک حادثه بتوان از شبکه حذف نمود و بقای اقتصادی شرکت در برنامه پاسخ به تقاضا و امید به حفظ آسایش در طول برنامه پاسخ به تقاضاست. با این حال شرکت‌های خدمات انرژی می‌توانند اجازه دهند تا مشترکین در یک یا چند برنامه پاسخ به تقاضا شرکت نمایند.

۵-۲-۲- دسته‌بندی مشترکین

دو دسته مستقل شامل مشترکین و فراهم‌کنندگان پاسخ به تقاضا (DRPs[1]) در تعامل با شرکت‌های ارائه کننده خدمات انرژی یا ISO[2]ها به منظور شرکت در برنامه پاسخ به تقاضا و در چهارچوب مدل مفهومی NIST[3] تعریف می‌گردند. هنگامی که مشترکین مصرف‌کنندگان مستقل انرژی هستند و مشارکت آن‌ها در برنامه پاسخ به تقاضا می‌تواند اختیاری و یا اجباری باشد، در همین حال DPRs واسطه بین شرکت‌های خدمات انرژی یا ISO ها و مشترکین بوده و محدوده‌ای از سرویس‌ها در محدوده برنامه پاسخ به تقاضا را برای مشترکین فراهم می‌نمایند. در بسیاری از موارد مشترکین نیازمند حمایت فنی و مالی شرکت‌های خدمات انرژی هستند. نصب دستگاه‌های خودکار برای پاسخ به تقاضا به منظور ایجاد توانایی پاسخ خودکار به سیگنال ارسالی از طرف شرکت خدمات انرژی از جمله پشتیبانی‌های فوق است.

مطابق میزان مصرف، مشترکین به دسته‌بندی‌های زیر تعلق می‌گیرند:

- مشترکین بزرگ تجاری و صنعتی (C&I[4])
- مشترکین کوچک تجاری و صنعتی (C&I)
- خانگی

1- Demand Response Providers
2- Independent System Operator
3- National Institute of Standards and Technology
4- Commercial and Industrial

Ahwaz_Hackerz

- خودروهای ترکیبی قابل اتصال به شبکه (PHEV[1]) به‌تنهایی
- ناوگان PHEVs

مشترکین تجاری و صنعتی بزرگ عموماً در بین تجهیزات خود از تکنولوژی‌هایی برای کنترل بارها بهره‌مند هستند و ممکن است متعاقباً در هر یک از بازارهای عمده و یا خرده فروشی برق شرکت نمایند. بارهای اصلی در تجهیزات تجاری به صورت معمولی شامل بارهای گرمایی، تهویه، هواسازها (HVAC[2])، و روشنایی است. اکثر مشترکین صنعتی و همچنین مشترکین بزرگ تجاری دارای ژنراتورهای اضطراری هستند که یا در مواقع اضطراری مورد نیازند و یا در هنگام شرکت در برنامه‌های پاسخ به تقاضا مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. در این میان برخی صنایع همانند صنایع کاغذسازی، فرآیندهای مستقل و جدای از همی دارند که در صورت نیاز می‌توانند به زمان‌های دیگر و یا روز دیگری موکول نمایند؛ اما مشترکین خانگی که عموماً دارای بارهای محدودند، انگیزه کمتری برای سرمایه گذاری در جهت مدیریت مصرف خود دارند. این دسته از مشترکین معمولاً در بازار خرده فروشی شرکت کرده و در برنامه‌های کنترل مستقیم بار (DLC[3]) شرکت می‌کنند. به‌کارگیری استانداردها و تکنولوژی‌های جدید همانند زیرساخت اندازه گیری پیشرفته (AMI[4]) کمک خواهند کرد تا خانه‌های هوشمند نیز به شبکه هوشمند متصل گردند.

و اما مشترکین تجاری و صنعتی کوچک دارای رفتارهای متفاوتی هستند که گاهاً به نظر می‌رسد که شبیه به مشترکین خانگی بوده و زمانی هم همانند مشترکین تجاری و صنعتی بزرگ هستند. یکی از بارهای جدید و مهم و پراکنده در سطح شبکه‌های توزیع PHEV ها هستند که می‌توانند سبب انتقال زمانی بارها شوند که در فصل قبل در این ارتباط به صورت مفصل بحث شده است. اگرچه شبکه‌های توزیع بایستی در مقابل برنامه‌های پاسخ به تقاضا

1- Plug-in Hybrid Electric Vehicle
2- Heating Ventilation and Air Conditioning
3- Direct Load Control
4- Advanced Metering Infrastructure

Ahwaz_Hackerz

به‌گونه‌ای تقویت گردند که مشکلات پروفیل ولتاژ و یا کاهش سطح کیفیت توان و حتی سبب آسیب احتمالی به تجهیزات شرکت‌های خدمات انرژی و یا تجهیزات دیگر مشترکین شوند.

۵-۲-۳- انگیزه‌های اجرای برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا

لیستی از محرک‌های فعلی برای استفاده‌ی بیشتر از برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در زیر آورده شده است:

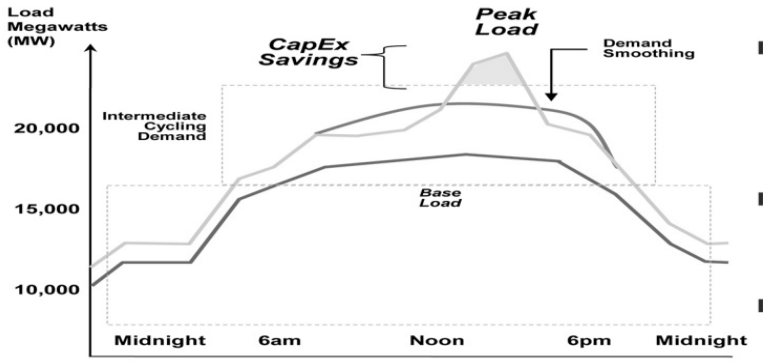
- ✓ محرک‌های محیطی: جایی که تمرکز بر روی کاهش کل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای هست.
- ✓ محرک‌های شبکه: بر اساس حل کردن مشکلات مربوط به قیود شبکه با استفاده از اضافه کردن ظرفیت تولید پراکنده یا منابع درخواست.
- ✓ محرک‌های اقتصادی: جایی که تمرکز بر روی به دست آوردن درخواست ارتجاعی[1] به منظور کاهش قیمت‌های انرژی اشتراکی[2] است.
- ✓ محرک‌های انتخاب مشتری: لزوم ارتباط مشتری با بازار و تبادل انرژی بین مشترکین و شبکه برای کاهش هزینه‌ها.
- ✓ محرک‌های سود اجتماعی: کارآمدی در استفاده و عملکرد بازار انرژی.
- ✓ محرک‌های فن‌آوری‌های در دسترس: پیشرفت فن‌آوری‌های ارتباطی در برنامه‌های مدیریت سمت درخواست بهبود بسیاری را ایجاد خواهد کرد.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، استفاده از روش‌های تبلیغاتی سنتی با انگیزه‌های غیرمالی جهت اصلاح الگوی مصرف مشترکان، صنعت برق هنوز نتوانسته است الگوی مصرف برق را به یک منحنی مسطح نزدیک نماید که در این شرایط نیاز به طراحی روش‌های جایگزین کاملاً احساس می‌شود. شکل ۵-۱ تأثیر اجرا شدن پاسخ‌گویی تقاضا را در کاهش اوج مصرف

1- Elasticity demand
2-High pool energy prices

Ahwaz_Hackerz

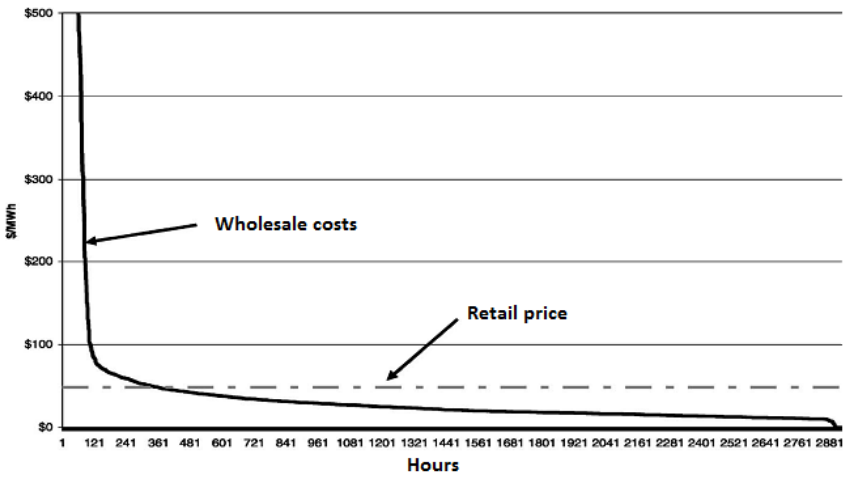
روزانه نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱: تأثیر برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا بر منحنی بار مصرفی مشتریان [۵].

از طرف دیگر قیمت برق در ساعات مختلف روز و فصل‌های مختلف سال به شدت متغیر هست. این موضوع به دلیل تغییر بار مورد نیاز سیستم در دوره‌ها و ساعات مختلف و همچنین تغییر در ظرفیت موجود تولید و خطوط انتقال (به دلیل وقوع پیشامدهای اتفاقی) است. چرا که در ساعات پرباری برای تأمین توان می‌بایست از واحدهای گران‌تر هم استفاده کرد که این امر سبب افزایش قیمت بازار خواهد شد. این در حالی است که با وجود متغیر بودن قیمت بازار، مصرف‌کنندگان در همه حال هزینه‌ی ثابتی (قیمت بازار خرده فروشی) را که در واقع متوسط هزینه‌ی تولید، انتقال و توزیع است، می‌پردازند. این مسئله در شکل ۵-۲ نشان داده شده است. عدم برقراری ارتباط بین قیمت واقعی برق و هزینه‌ی پرداختی توسط مصرف‌کنندگان، منجر به پرداخت هزینه‌ی بیشتر توسط مصرف‌کنندگان می‌شود. بارها از قیمت واقعی برق در ساعات مختلف مطلع نیستند، بنابراین انگیزه‌ی کافی را برای تطبیق خود با تولیدکننده نخواهند داشت. در این صورت در ساعات اوج مصرف که قیمت واقعی برق بیشتر از میانگین آن است، مصرف بیشتر و در ساعات کم‌باری مصرف کمتری را خواهند داشت.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۵-۲: تغییرات قیمت بازار عمده فروشی و ثابت بودن قیمت بازار خرده فروشی [۲].

این امر هر چند به عنوان یکی دیگر از بدی‌های منحنی بار غیر مسطح، به این صورت تعریف می‌شود که بالا بودن قیمت برق در ساعات اوج موجب افزایش قیمت متوسط برق و کاهش سطح رفاه جامعه می‌شود، اما همین تفاوت قیمت برق در ساعات مختلف روز می‌تواند عاملی برای ایجاد انگیزه در بین مشترکین برای شرکت در برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا باشد، به طوری که رفع تمام این کاستی‌ها با ایجاد شرایط مناسب برای مشارکت مؤثر سمت مصرف در بازار برق امکان‌پذیر خواهد بود. در صورت مشارکت مشترکین در قیمت دهی برای مصرف برق خود، نه تنها منحنی تقاضا برق از یک منحنی با کشش قیمتی[1] صفر به یک منحنی حساس به قیمت برق تبدیل خواهد شد، بلکه با افزایش رقابت بین تولیدکنندگان برق برای قیمت‌دهی مناسب‌تر در بازار، استفاده از قدرت بازار توسط تولیدکنندگان برق به نحو مناسبی کاهش خواهد یافت.

۵-۲-۴- تفاوت پاسخ‌گویی تقاضا و مدیریت سمت تقاضا

1- Price Elasticity

Ahwaz_Hackerz

یکی از اصطلاحاتی که از نظر معنایی به پاسخ‌گویی تقاضا شباهت دارد و در بسیاری موارد با آن اشتباه گرفته می‌شود، مدیریت سمت تقاضا[1] است. مدیریت سمت تقاضا به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها گفته می‌شود که با هدف افزایش بهره‌وری مشترک نهایی و جابجایی ساعات اوج مصرف انجام می‌شود که این کارها لزوماً به معنی مشارکت سمت تقاضا در فرآیندهای مالی نیست. در حقیقت وجه تمایز پاسخ‌گویی و مدیریت سمت تقاضا این است که پاسخ‌گویی تقاضا به استفاده از قیمت‌های بازار برای تأثیرگذاری بر زمان و میزان مصرف برق توسط مشترکان اشاره دارد در حالی که موضوع مدیریت سمت درخواست هدف افزایش بهره‌وری مصرف برق توسط مشترکان و جابجایی ساعات اوج مصرف را معمولاً با انگیزه‌های غیرمالی دنبال می‌کند. نکته‌ی قابل توجه این است که این دو موضوع به هیچ وجه در تضاد با یکدیگر نیستند بلکه پیاده‌سازی پاسخ‌گویی تقاضا انگیزه‌های اقتصادی برای تحقق اهداف مدیریت سمت درخواست را فراهم می‌کند. برای روشن شدن موضوع، می‌توان تعاریف ارائه شده برای مدیریت سمت تقاضا و پاسخ‌گویی تقاضا را مقایسه نمود:

بر اساس تعریف IEEE[2]، مدیریت سمت تقاضا عبارت است از مجموعه اقداماتی که به منظور بهبود "سیستم انرژی" در سمت مصرف انجام می‌شود. بر اساس این تعریف، طیف وسیعی از اقدامات شامل استفاده از مواد بهتر در ساخت تجهیزات مصرف کننده برق، به کارگیری تعرفه‌های هوشمندی که الگوهای مصرفی خاصی را تشویق می‌کنند و همچنین کنترل بلادرنگ منابع انرژی پراکنده در زمرهٔ فعالیت‌های مدیریت سمت تقاضا قرار می‌گیرند.

از طرف دیگر، پاسخ‌گویی تقاضا عبارت است از تغییر مصرف برق مصرف‌کننده نهایی نسبت به الگوی مصرفی طبیعی خود، که در پاسخ به قیمت برق در طول زمان حاصل می‌شود.

همچنین می‌توان تفاوت‌های پاسخ‌گویی تقاضا در شبکه‌های هوشمند و غیرهوشمند را طبق جدول ۵-۱ بررسی کرد.

1- Demand Side Management

2- Institute of Electrical and Electronics Engineers

Ahwaz_Hackerz

جدول ۵-۱: تفاوت برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در شبکه‌های هوشمند و غیرهوشمند.

پاسخ‌گویی تقاضا در	شبکه‌ی قدرت فعلی	شبکه‌ی قدرت هوشمند
مشارکت کننده‌ها	محدود به قطع یا کاهش بار مصرف‌کنندگان بزرگ	تمام مصرف‌کنندگان
نحوه‌ی کنترل	توسط شرکت‌ها	توسط مصرف‌کنندگان
بارهای قابل قطع	آب‌گرم‌کن، سیستم تهویه و گرمایش	تمام بارهای در دسترس
خدمات پاسخ‌گویی تقاضا	محدود به قابلیت اطمینان	ظرفیت، انرژی، بازارهای خدمات جانبی، مدیریت تراکم
گزینه‌های انتخابی مصرف‌کنندگان	محدود	نامحدود
برنامه‌های قابل اجرا	پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای پرداخت‌های تشویقی	پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای پرداخت‌های تشویقی، و بر مبنای قیمت
یکپارچگی پاسخ‌گویی تقاضا، بهره‌وری انرژی، منابع تجدید پذیر	خیر	بله

۵-۲-۵- مزایای پاسخ‌گویی تقاضا

مزایای پاسخ‌گویی تقاضا را می‌توان در دو راستای افزایش امنیت[1] شبکه و ارتقاء رفاه اقتصادی[2] جامعه تقسیم‌بندی کرد که این اهداف در سایه‌ی افزایش مشارکت سمت مصرف و مشترکان نهایی در تعیین قیمت تسویه[3] بازار محقق می‌گردد.

بر اساس هدف مورد نظر، طراحی و اجرا در کنار سایر عوامل، همچون قابلیت بهره برداری از تکنولوژی‌ها و ساختار سیستم، برنامه پاسخ به تقاضا ممکن است پهنه وسیعی از سودهای بالقوه

1- Security
2- Economical Welfare
3- Settlement Price

Ahwaz_Hackerz

ناشی از عملکرد سیستم و توسعه و بازده بازار دارد. سودهای برنامه پاسخ به تقاضا می‌توانند برحسب مشارکت مشترکین و یا تمامی گروه‌های مصرف کننده انرژی الکتریکی دسته‌بندی شوند:

- کاهش صورت حساب مشارکت کنندگان: کاهش صورت حساب و پرداخت مشوق به مشترکین در جهت توافق برای اصلاح بار در پاسخ به هزینه جاری تولید یا دیگر مشوق‌ها.
- کاهش صورت حساب برای دیگر مشترکین: قیمت پایین‌تر بازار که نتیجه استفاده کمتر انرژی هنگامی که قیمت آن بالاست، یا انتقال بار (مصرف) به زمان‌های با قیمت برق ارزان‌تر.
- مزایای ناشی از قابلیت اطمینان.
- عملکرد بازار: برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا از مانور تولیدکنندگان برق در بازار برق ممانعت به عمل می‌آورد.
- انتخاب بهبود یافته: مشترکین انتخاب‌های زیادی برای مدیریت هزینه انرژی الکتریکی پیش رو دارند.
- امنیت سیستم: اپراتورهای سیستم برای رویارویی با شرایط اضطراری انعطاف بیشتری دارند.

۵-۲-۵-۱- مزایای مصرف‌کنندگان

مزایای مصرف کنندگان به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱- مزایای اقتصادی

۲- مزایای قابلیت اطمینان

۵-۲-۵-۱-۱- مزایای اقتصادی

Ahwaz_Hackerz

شرکت در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا سبب کاهش هزینه‌ی برق در قبض برق مشتریان می‌شود. این مهم با کاهش مصرف وقتی قیمت برق بالا است و یا انتقال مصرف به ساعاتی که قیمت برق پائین است، حاصل می‌شود. همچنین مصرف‌کنندگان با شرکت در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا مبلغی تشویقی را در ازای قبول کاهش و یا کاهش مصرفشان دریافت می‌کنند.

۵-۲-۵-۱-۲- مزایای قابلیت اطمینان

این سود شامل کاهش احتمال خطر از دست دادن خدمات در خاموشی کلی است. این را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش اول حفظ امنیت خود سیستم و جلوگیری از قطع بار اجباری که هزینه‌های بیشتری را به مصرف‌کننده تحمیل می‌کند است. این بخش قابل اندازه‌گیری و محاسبه است. بخش دوم اجتماعی است، به این معنی که شرکت‌کننده از این که با پاسخ‌گویی به موقع و کاهش مصرفش از وقوع پیشامدهای اتفاقی کلی جلوگیری کرده احساس خشنودی می‌کند. با اینکه این بخش قابل محاسبه‌ی مالی نیست ولی ممکن است انگیزه‌ی خوبی برای برخی از مصرف‌کنندگان برای مشارکت در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا به حساب آید.

۵-۲-۵-۲- مزایای پاسخ‌گویی تقاضا از دید شبکه

پاسخ‌گویی تقاضا با تأثیری که بر هزینه‌های تأمین انرژی و همچنین قابلیت اطمینان سیستم دارد، باعث ایجاد مزایای شبکه می‌شود که از این مزایا بیشترِ مصرف‌کنندگان و یا همه‌ی آن‌ها سود خواهند برد. این سودها را می‌توان به سه دسته‌ی افزایش کوتاه مدت بازار، بلند مدت بازار و تأثیر بر قابلیت اطمینان شبکه تقسیم کرد.

۵-۲-۵-۲-۱- عملکرد سیستم

Ahwaz_Hackerz

برنامه پاسخ به تقاضا، در جایی که مشترک می‌تواند به سیگنال قیمت واکنش نشان دهد به صورت عادلانه منعکس کننده هزینه‌های عملیاتی واقعی تولید و شبکه است که از کاهش بار در عملکرد شبکه ناشی شده است. به این معنی که بخشی از تقاضا در هنگام تولید با هزینه بالا به زمان تولید با هزینه اندک منتقل گردد. برنامه پاسخ‌گویی تقاضا سبب می‌شود تا اپراتور شبکه و شرکت‌های توزیع بتوانند از هزینه‌های اضافی تولید، انتقال و توزیع کم کنند. در حالت خروج واحد تولیدی و یا شبکه توزیع برنامه پاسخ‌گویی تقاضا با کاهش بار در زمان‌های بحرانی قادر است تا با یک هشدار اپراتور سیستم را قادر سازد تا سیستم را به حالت قبل از شرایط اضطراری برگرداند. همچنین برنامه پاسخ‌گویی تقاضا، با متعادل ساختن بلادرنگ عرضه (تولید) و تقاضا، به عنوان گزینه اصلی کاهش مشکلات ناشی از خروجی متغیر و نامطمئن و متناوب منابع انرژی تجدید پذیر خواهند بود. همکاری برنامه پاسخ‌گویی تقاضا در متعادل‌سازی بلادرنگ و جبران‌سازی کمبود تولید در حالت خروج واحد تولیدی منجر به کاهش قابلیت اطمینان کوتاه مدت تولید گردد. همچنین برنامه پاسخ‌گویی تقاضا می‌تواند در کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع نیز نقش ایفا نماید و کمک کند تا قیود حاکم بر شبکه آزاد و از خروج واحدها در حالت اضطراری جلوگیری نماید. برنامه پاسخ‌گویی تقاضا همچنین قادر است تا سرویس‌های جانبی همانند تأمین ولتاژ، تعادل توان اکتیو و راکتیو، تنظیم فرکانس، و اصلاح ضریب توان را برای اپراتور شبکه تأمین نماید. انتهای طیف مدیریت سمت تقاضا رزرو چرخان است که توسط بارها اجرا می‌گردد. اگر توان مصرفی بارها به شکلی هوشمند و در یک شبکه هوشمند مدیریت شوند (به عنوان مثال توسط کنترل افتی) ممکن است به شکل یک رزرو چرخان مجازی عمل کنند. در ساده‌ترین شیوه اگر افت فرکانسی در شبکه داشته باشیم، تجهیزات مصرف کننده توان، توان کمتری جذب می‌نمایند. علاوه بر این، بارها که توسط یک سیستم مدرن SCADA[1] با پروتکل IEC61850 کنترل، پایش و مدیریت می‌شوند، ممکن است در صورت جابجایی بارها به صورت یک ذخیره مجازی عمل نمایند. تجمیع مقدار قابل ملاحظه بارها امکان شرکت در بازار برق و

1- Supervisory Control and Data Acquisition

Ahwaz_Hackerz

رقابت با سیستم‌های ذخیره انرژی الکتریکی سنتی را ایجاد خواهد کرد. تمام موارد فوق سبب ارتقا کیفیت توان و افزایش قابلیت اطمینان سیستم خواهند شد.

۵-۲-۵-۲-۲- بازده بازار

هرچه تعداد شرکت کنندگان فعال در بازار از سمت تقاضا بیشتر باشد سود ناشی از آن قابل توجه خواهد بود. به ویژه اگر:

- مشترکین هزینه انرژی مصرفی خود را با جابجایی بارها به ساعات کم هزینه‌تر کاهش دهند.
- در صورت جابجایی بارها پروفیل تجمعی بار تخت خواهد شد، و بنابراین هزینه کلی انرژی الکتریکی کاهش خواهد یافت.
- این کاهش در هزینه به کاهش در قیمت تعبیر شود، مشترکینی که بار خود را در پاسخ به قیمت تغییر نمی‌دهند هم منتفع خواهند شد.
- همچنین قابلیت مانور GENCO[1] در بازار برق کاهش خواهد یافت.

در نتیجه اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در بازار، افزایش قابل توجهی در بازده بازار و در فضای بازار خصوصی ایجاد خواهد گردید. این برنامه‌ها معمولاً به شکل تعرفه‌های متغیر با زمان بوده و اجازه مشارکت فعال در سمت مصرف را دارند. همچنین برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا ممکن است سبب کاهش قیمت کلی بازار برای تمام انرژی معامله شده در بازار شود.

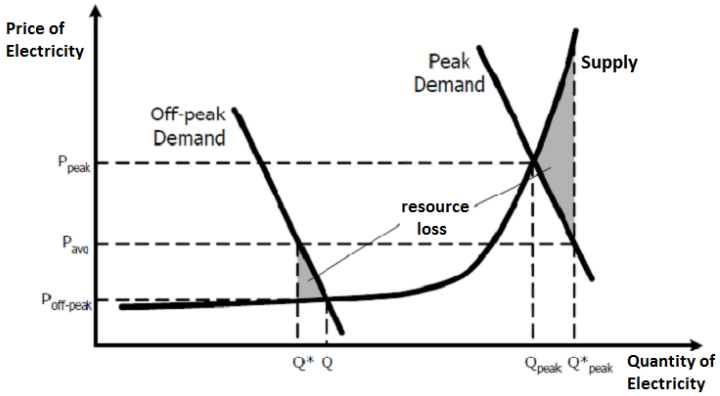
۵-۲-۵-۲-۳- تأثیرات کوتاه مدت بر بازار

نقطه‌ی تلاقی منحنی تولید و مصرف در بازار برق را نقطه‌ی تسویه‌ی بازار می‌نامند. در شکل ۵-۳ این موضوع برای ساعات پرباری و کم باری نشان داده شده است؛ اما چنانچه مصرف‌کنندگان در تمامی ساعات با قیمت متوسط روبرو باشند، مقدار مصرف به صورت Q^* و

1- Generation Company

Ahwaz_Hackerz

Q^*_{peak} خواهد بود. این نقاط از منحنی مصرف بارها با توجه به قیمت P_{avg} حاصل می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵-۳ دیده می‌شود، مقدار مصرف Q^* کمتر از مقدار Q هست (Q مقدار مصرف از دیدگاه اقتصادی است)؛ به عبارت دیگر، مصرف‌کنندگان در ساعات کم باری کمتر از مقدار پول پرداختی‌شان برق مصرف می‌کنند؛ اما در ساعات پرباری مقدار مصرف Q^*_{peak} بیشتر از Q_{peak} است. در واقع مبلغ پرداختی در این ساعات برای برق، کمتر از هزینه‌ی تمام شده‌ی برق نیروگاه‌ها است؛ که این موضوع منصفانه به نظر نمی‌رسد. این دو عدم تعادل بین هزینه‌ی برق پرداختی توسط مشتریان و هزینه‌ی تمام شده‌ی برق در شکل ۵-۳ هاشور خورده است.



شکل ۵-۳: منحنی تولید و مصرف [۳۰].

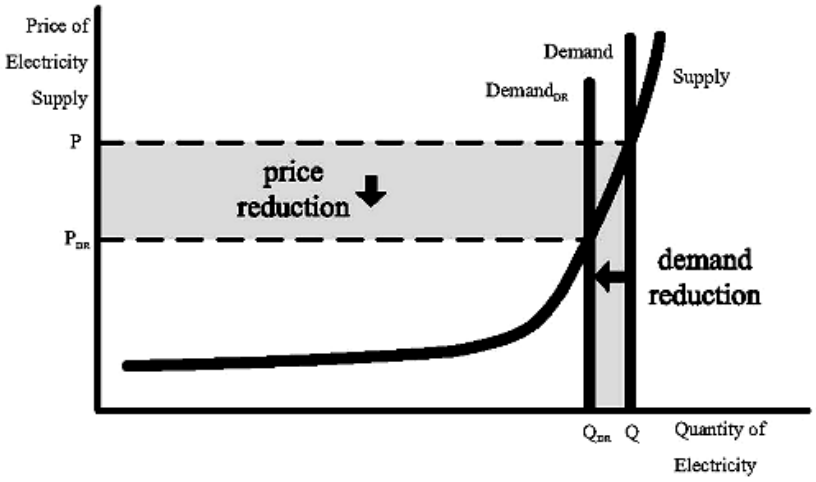
۵-۲-۵-۲-۴- تأثیرات بلند مدت بر بازار

همان‌طور که در شکل ۵-۴ نشان داده شده است؛ مصرف‌کنندگان با کاهش مصرف خود در ساعات پرباری که قیمت برق بالا است، باعث می‌شوند که قیمت بازار لحظه‌ای کاهش یابد. در نتیجه این امر سبب می‌شود قیمت برق در قراردادهای بلندمدت کاهش یابد و درصورتی‌که شرکت‌های تولیدی میزان در قراردادهای بلندمدت حاضر به فروش برق در قیمت پائین نباشند، مصرف‌کنندگان ترجیح خواهند داد که از بازار لحظه‌ای برق مورد نیاز خود را تأمین کنند؛ بنابراین اجرای پاسخ‌گویی تقاضا سبب کاهش قیمت‌ها هم برای شرکت‌کنندگان در این طرح و هم برای دیگرانی که در طرح شرکت نکرده‌اند، خواهد شد؛ اما این کاهش هزینه‌ها با اجرای

Ahwaz_Hackerz

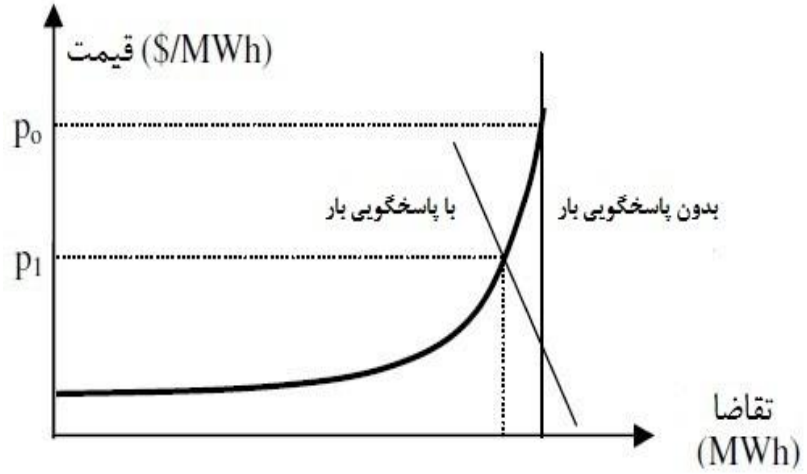
پاسخ‌گویی تقاضا به این جهت است که به خاطر کاهش اوج مصرف، نیاز به نصب ظرفیت نیروگاهی کم‌تر می‌شود. در واقع نیازی به ایجاد نیروگاه برای تأمین توان در اوج مصرف کاهش می‌یابد و می‌توان نیروگاه‌هایی را که امروزه این نقش را ایفا می‌کنند برای سال آینده به عنوان مقدار پایه شناخت. در ضمن با این طرح و مسطح شدن منحنی مصرف بار، نیروگاه‌های مختلف در نقطه‌ی بیشینه‌ی بازده خود کار خواهند کرد و دیگر مجبور نیستند که برای جبران اوج بار و یا در زمان کم‌باری از نقطه‌ی بازده بیشینه‌ی خود فاصله بگیرند.

این موضوع همچنین در شکل ۵-۵ نیز نشان داده شده است. در شکل ۵-۵، منحنی درخواست با یک خط عمودی نشان داده شده است، چرا که فرض بر این است سیستم بدون برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا کار می‌کند. برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا یک شیب منفی در منحنی درخواستی اصلی القا می‌کنند که منجر به کاهش کوچک در درخواست و کاهش چشم‌گیر قیمت می‌گردد.



شکل ۵-۴: تأثیر پاسخ‌گویی تقاضا بر بازار برق [۳۰]

Ahwaz_Hackerz



شکل ۵-۵: اثر ساده شده‌ی پاسخ‌گویی تقاضا بر قیمت‌های بازار برق.

۵-۲-۵-۲-۵- مزایای قابلیت اطمینان

در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا، بارها می‌توانند با کاهش مقداری از مصرف خود، مشکل قیود ظرفیت سیستم و یا محلی را برطرف کنند. در مواقع اضطراری و یا هنگامی‌که سطح ذخیره‌ی سیستم کم است، شرکت برق به ناچار به منظور جلوگیری از برون‌رفت‌های پی در پی و حفظ یکپارچگی سیستم باید توان مصرف‌کنندگان را جیره‌بندی کند؛ اما ارائه‌ی خدمات کاهش بار توسط مصرف‌کنندگان در برقراری تعادل تولید و مصرف در مواقع اضطراری به صرفه‌تر و مناسب‌تر از قطع اجباری آن‌ها خواهد بود. همچنین می‌توان از قیمت‌های واقعی برق مرتبط با کاهش بار، برای حل مشکل ظرفیت‌های محدود سیستم استفاده کرد؛ زیرا مصرف‌کنندگان به قیمت‌های بالای برق در ساعات اوج با کاهش مصرفشان پاسخ خواهند داد. در نتیجه اعمال تغییرات قیمت بازار عمده فروشی به بارها، سبب کاهش مصرفشان در ساعات پرباری خواهد شد که این مهم موجب کاهش قیمت بازار در ساعات پرباری و همچنین سبب آزادسازی بخشی از ظرفیت سیستم در ساعات پرباری می‌شود که سیستم قدرت با کمبود توان مواجه است.

Ahwaz_Hackerz

۵-۲-۵-۲-۶- صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای

صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای هنگامی به وقوع می‌پیوندد که اپراتورهای سیستم و شرکت‌های توزیع برق با کاهش هزینه‌های تولید و همچنین اجتناب از سرمایه گذاری در بخش انتقال و توزیع یا تعویق سرمایه گذاری در این بخش سود ببرند. از آنجا که پاسخ‌گویی تقاضا می‌تواند در یک حالت نسبتاً سریع مستقر شود، پاسخ‌گویی تقاضا می‌تواند برای حل و فصل مشکلات در جیب‌های بار[1] در یک چارچوب زمانی کوتاه‌تر از ساخت واحدهای تولید، انتقال، یا توزیع جدید، که می‌تواند سال‌ها طول بکشد، کمک کند.

۵-۲-۵-۳- مزایای اضافی به دست آمده توسط پاسخ‌گویی تقاضا

بیان مزایای پاسخ‌گویی تقاضا به صورت عدد ورقم بسیار دشوار است؛ زیرا که مقدار آن‌ها به احتمال زیاد از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر متفاوت است. اهمیت و ارزش به وجود آمده از هر یک از این مزایا منجر به یک مناظره می‌شود. مزایای اضافی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

۱) بازارهای خرده‌فروشی تنومندتر

پاسخ‌گویی تقاضا گزینه‌های اضافی را در بازارهای خرده‌فروشی ایجاد و ترویج می‌کند. به عنوان مثال، قیمت‌گذاری لحظه‌ای خدمات پیش‌فرض می‌تواند نوآوری را (برای مثال، جایگزین محصولات مبتنی بر شاخص یا محصولات محدود) توسط تأمین‌کنندگان خرده‌فروشی تحریک کند. در دسترس بودن برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضای ارائه شده توسط RTO/ISO[2] می‌تواند فرصت‌های ارزش افزوده برای بازاریابان و توانایی مشتریان را برای کسب درآمد از طریق کاهش تقاضای خود فراهم کند.

---

1 -Load pockets

2- Regional Transmission Organizations /Independent System Operators

Ahwaz_Hackerz

۲) ابزارهای اضافی برای مدیریت بار مشتری

پاسخ‌گویی تقاضا گزینه‌ها و ابزارهای گسترش یافته‌ای برای مشتریان در کشورهای با و بدون رقابت خرده‌فروشی (برای مدیریت هزینه‌های برق آن‌ها) فراهم می‌کند.

۳) مدیریت خطر

پاسخ‌گویی تقاضا به مشتریان، خرده‌فروش‌ها و شرکت‌های برق اجازه می‌دهد تا هنگامی‌که در شرایط اضطراری سیستم و نوسانات قیمت در معرض خطر قرار گرفتند، در امان بمانند. خرده فروشان می‌توانند با ایجاد قراردادهایی برای پاسخ‌گویی تقاضا با قیمت و ارائه‌ی قیمت برای مشتریانی که تمایل دارند با قیمت‌های متغیر مواجه شوند از خطرات قیمت درامان بمانند. مشتریان می‌توانند به طور صریح پاسخ‌گویی را با عملیات‌های خود و خریدهای برق بر مبنای تأسیسات فردی یا سازمانی ترکیب کنند. شرکت‌های برق می‌توانند برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا را برای پرچین کردن دارایی‌های خود استفاده کنند. این شکل از مصون‌سازی به طور ویژه هنگامی‌که شرکت‌های برق تعهدات خدمات پیش‌فرض زیر نرخ انجماد یا سقف دارند مهم هست.

۴) مزایای زیست محیطی

پاسخ‌گویی تقاضا ممکن است اثرات حفاظت از محیط زیست را فراهم کند؛ هم به طور مستقیم از طریق کاهش دادن بار (که در زمان دیگر، این درخواست وجود ندارد) و هم به طور غیر مستقیم از طریق افزایش آگاهی مشتری از هزینه‌ها و مصارف انرژی وی. اگرچه برخی ممکن است در مورد مزایای زیست محیطی مرتبط با برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا بحث کنند، اما این منافع مشهود است. مزایای زیست محیطی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا متعدد هست که شامل موارد زیر است:

✓ استفاده‌ی بهتر از زمین به عنوان یک نتیجه از جلوگیری یا به تعویق انداختن

Ahwaz_Hackerz

زیرساخت‌های جدید برق (واحدهای تولید، خطوط انتقال و توزیع).

✓ بهبود کیفیت آب و هوا به عنوان یک نتیجه از استفاده‌ی کارآمد از منابع و کاهش تخریب منابع طبیعی.

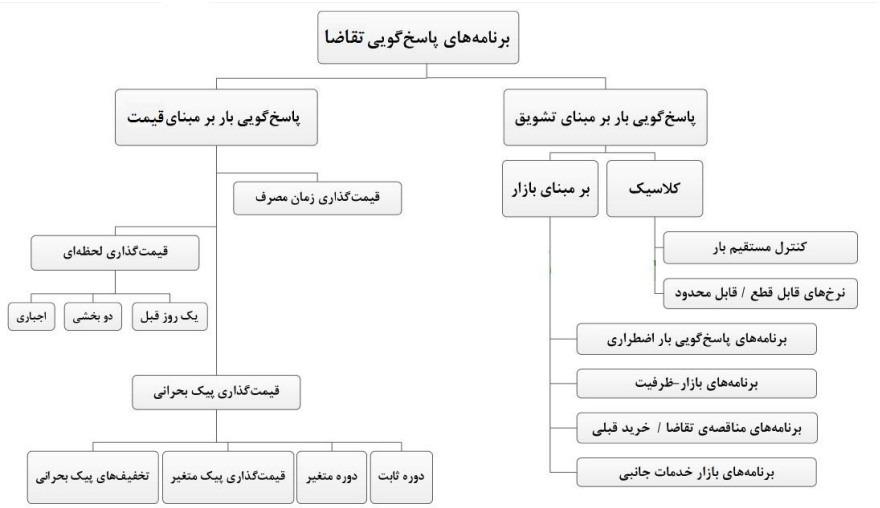
پاسخ‌گویی تقاضا ممکن است مزایای زیست محیطی را از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای تولیدی در طول دوره‌ی اوج به ارمغان بیاورد. کاهش‌ها در طول دوره‌ی اوج باید در برابر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن در طول ساعت‌های خارج اوج متعادل باشد. اگر پیاده‌سازی پاسخ‌گویی تقاضا منجر به کاهش ساخت و ساز امکانات تولید برق گردد که ممکن است سودهای زیست محیطی و زیبایی‌شناسی اضافی را به همراه آورد. این حفاظت‌ها و تأثیرات روی محیط زیست می‌تواند جنبه‌ی مثبت یا منفی داشته باشد، و به احتمال زیاد در مناطق مختلف متفاوت است.

۵-۳- انواع روش‌های پاسخ‌گویی تقاضا

سه رویکرد عمومی وجود دارد که توسط آن می‌توان پاسخ مشتری را به دست آورد. هر کدام از این رویکردها شامل هزینه و کارهای صورت گرفته توسط مشتری هست. اولین رویکرد این است که مشتری می‌تواند مصرف برق خود را در طول دوره‌ی اوج بحرانی کاهش دهد، زمانی که قیمت‌ها بدون تغییر الگوی مصرف در دوره‌های دیگر بالا هست. این گزینه شامل از دست دادن موقت آسایش است. نمونه‌ای از این پاسخ هنگامی به دست می‌آید که تنظیم ترموستات بخاری یا سیستم‌های تهویه مطبوع به طور موقت تغییر کند. در دومین رویکرد، مشتریان ممکن است به قیمت‌های بالای برق با جابجایی برخی از مصرف‌های اوج تقاضا به دوره‌های خارج از اوج پاسخ دهند. به عنوان مثال می‌توان به جابجایی برخی از فعالیت‌های خانگی (از جمله ماشین‌های ظرفشویی، پمپ‌های استخر) به دوره‌ی خارج اوج اشاره کرد. مشتری مسکونی در این مورد هیچ ضرر و هزینه‌ای را متحمل نمی‌شود. با این حال، این مورد که اگر یک مشتری صنعتی تصمیم گرفت تا دوباره برخی از فعالیت‌های خود را برنامه‌ریزی کند تا

Ahwaz_Hackerz

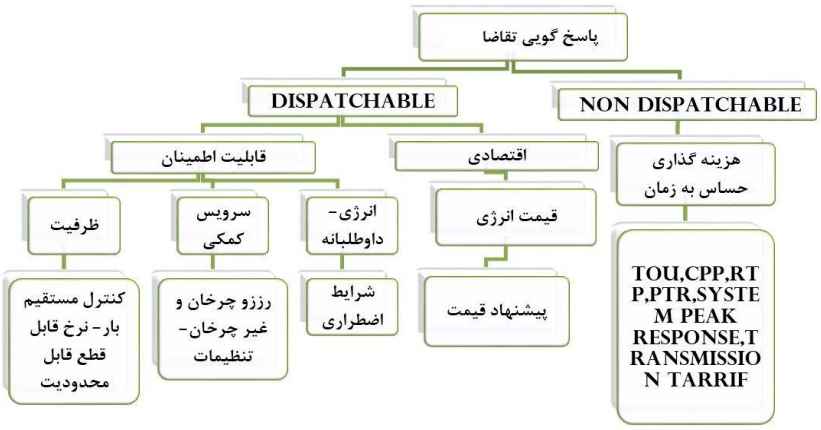
خدمات از دست رفته را جبران کند (که در آن هزینه‌ی برنامه‌ریزی دوباره به وجود می‌آید) جزء این دسته محسوب نخواهد شد. نوع سومِ پاسخ مشتری استفاده از تولید در محل (مشتری متعلق به تولید پراکنده) است. با استفاده از تولید در محل، مشتریان ممکن است هیچ تغییری احساس نکنند و یا تغییر بسیار کمی را در الگوی مصرف برق خود تجربه کنند، با این حال، از دید شبکه الگوی مصرف برق به طور قابل توجهی تغییر خواهد کرد و تقاضا، کوچک‌تر ظاهر خواهد شد. برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی سمت تقاضا در شکل ۵-۶ نشان داده شده است. این‌ها برنامه‌ها مبتنی بر تشویق[1] (IBP)، برنامه‌های مبتنی بر قیمت[2] (PBP) یا نرخ‌های زمان‌مبنا[3] می‌باشند. برنامه‌ی مبتنی بر تشویق بیشتر به برنامه‌های سنتی و برنامه‌های مبتنی بر بازار تقسیم شده است. برنامه‌ی مبتنی بر تشویق سنتی شامل برنامه‌های کنترل مستقیم بار و برنامه‌های قابل قطع/ قابل محدود کردن هست. این برنامه بر مبنای بازار شامل برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری، مناقصه‌ی درخواست، بازار ظرفیت و بازار خدمات کمکی است.



شکل ۵-۶: برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی تقاضا.

1- Incentive-Based Programs (IBP)
2 -Priced-Based Programs (PBP)
3-Time-Based Rates

Ahwaz_Hackerz



شکل ۵-۷: دسته‌بندی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا.

در IBP سنتی، مشتریان شرکت‌کننده معمولاً پرداخت‌های مشارکتی به عنوان یک لایحه‌ی اعتباری یا نرخ تخفیف برای مشارکتشان در برنامه‌ها دریافت می‌کنند. در برنامه‌های مبتنی بر بازار، شرکت‌کنندگان برای عملکرد خود بسته به میزان کاهش بار در دوره‌ی شرایط بحرانی وجه نقدی و پول به عنوان پاداش دریافت می‌کنند. از سوی دیگر می‌توان برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا را طبق شکل ۵-۷ دسته‌بندی کرد.

۵-۳-۱- پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای تشویق

برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای تشویق، پرداخت‌هایی به مشتریان پیشنهاد می‌کنند تا مصرف برق خود را در زمان‌های افزایش تقاضا یا بالا بودن تنش سیستم کاهش دهند. به وسیله‌ی تنظیم کردن یا محدود کردن فرآیند تولید، جابجایی مصرف به دوره‌های کم تقاضا، یا به کارگیری تولید پراکنده در محل (مصرف)، مشتریان می‌توانند سطح تقاضایی را که به شبکه‌های توزیع و شبکه‌ی قدرت تحمیل می‌کنند، کاهش دهند. مشتریانی که در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای تشویق شرکت می‌کنند نرخ‌های تخفیف خرده‌فروشی و یا پرداخت‌های تشویقی جداگانه دریافت خواهند کرد. شرکت‌های الکتریکی با ساختار عمودی[1] و

1 -Vertically integrated electric utilities

Ahwaz_Hackerz

LSE[1]های دیگر مانند تعاونی‌ها، تأسیسات شهری، یا خرده‌فروشان پراکنده این برنامه‌ها را بر پایه‌ی خرده‌فروشی به‌طور مستقیم به مشتریـان ارائه می‌کنند. در سطح عمده‌فروشی، انگیزه‌ها[2] از اپـراتورهای سیستم‌های مستقل (ISOs) یا سازمان‌های انتقال منطقه‌ای (RTOs) و بازاریان برق می‌آیند. این برنامه‌ها می‌توانند هم برای اهداف قابلیت اطمینان و هم به دلایل اقتصادی به کار گرفته شوند. در برنامه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا عمده‌فروشی، کاهش‌های بار مشتری توسط مشتریان خرده‌فروشی جمع می‌گردد، و سپس به ارائه‌دهندگان عمده‌فروشی، مانند ISO، در تبادل با یک مشوق ارائه می‌شود.

تمام موارد ذکر شده به عنوان زیر شاخه‌ی برنامه‌های مبتنی بر تشویق در شکل ۵-۶ بر این اصل استوار هستند که بر اساس مدیریت شرکت برق، بارهایی که از قبل برنامه‌ریزی و هماهنگ شده‌اند در زمان‌های خاصی که شرکت برق یا مرکز کنترل تعیین می‌نماید بار خود را به میزانی که قبلاً تعیین نموده‌اند، قطع نمایند و به ازای آن، مصرف‌کننده مبلغی را دریافت کند و در صورت پذیرش این همکاری و عدم پاسخ در ساعات فراخوانی مشترک مربوطه جریمه گردد.

دسته‌ی سنتی که کنترل مستقیم بار و برنامه‌های قطع بار را شامل می‌شود دقیقاً بر اساس تعیین بارهایی است که قابلیت قطع دارند و با یک پیغام به مشترک چند ساعت پیش از قطع، قطع می‌گردند. دسته‌ی دیگر برنامه‌های انگیزه محور (مبتنی بر تشویق)، برنامه‌های بر مبنای بازار هستند. در بخش پیشنهاد یا مناقصه‌ی درخواست، مصرف‌کننده میزان باری را که می‌تواند به عنوان کاهش بار در مواقع ضروری در اختیار شبکه قرار دهد، به‌علاوه‌ی قیمت آن به شبکه پیشنهاد می‌دهد و مرکز تصمیم‌گیری در صورتی که این قیمت کم‌تر از قیمت تمام شده‌ی برق باشد، این پیشنهاد را می‌پذیرد. در سوی دیگر، مصرف‌کننده در پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری هزینه‌ی انگیزشی لازم را برای قطع بار خود در مواقع نیاز دریافت می‌نماید. برنامه‌های بازار

1 -Load-Serving Entities
2-Impetus

Ahwaz_Hackerz

ظرفیت تقریباً همان پاسخ‌گویی تقاضای اضطراری هست که در اجرا کمی متفاوت است. در این حالت برنامه‌ی مربوطه تعیین می‌کند که کدام مشترک می‌تواند در کاهش مصرف در مواقع اضطراری با شبکه همراه شود.

بخش اول برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا کم و بیش در سیستم امروزی نیز پیاده شده‌اند و از ابزارهای مهم در افزایش قابلیت اطمینان شبکه و کاهش قطعی‌های ناگهانی هستند.

در ادامه هر یک از انواع برنامه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا مبتنی بر تشویق به طور مفصل توضیح داده شده‌اند.

۵-۳-۱-۱- کنترل مستقیم بار

برنامه‌های کنترل مستقیم بار (DLC) به برنامه‌هایی اشاره می‌کند که در آن اپراتور شرکت برق یا سیستم قدرت از راه دور خاموشی می‌دهد یا تجهیزات الکتریکی مشتری را در کوتاه مدت کنترل می‌کند، تا در ازای پرداخت تشویقی یا وجه اعتباری، به پیشامدهای احتمالی قابلیت اطمینان سیستم یا شبکه‌ی محلی پاسخ دهد. عملکرد DLC به طور معمول در زمان اوج تقاضا از سیستم رخ می‌دهد. با این حال، DLC زمانی اقتصادی است که از خریدهای زیاد برق در اوج مصرف جلوگیری کند. این نوع از برنامه‌ها ممکن است به طور عمده مورد علاقه‌ی مشتریان مسکونی و تا حدی هم مشتریان کوچک تجاری باشد.

DLC در عمل حداقل برای دو دهه مورد استفاده قرارگرفته است. انواع شرکت‌های برق برنامه‌های بزرگی را در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ توسعه داده و مستقر کردند، و در طول دوره‌ی ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰، این برنامه‌ها به طور قابل توجهی گسترش یافتند. در سال ۱۹۸۵، ۱۷۵ پروژه‌ی کنترل مستقیم بار برای مشترکان مسکونی و ۹۹ پروژه‌ی تجاری در شرکت‌های برق صورت گرفت. نظرسنجی FERC[1] نشان داد که ۲۳۴ شرکت برق برنامه‌ی کنترل مستقیم بار

1- Federal Energy Regulatory Commission

Ahwaz_Hackerz

را گزارش داده‌اند. شرکت قدرت و نور فلوریدا[1] بزرگ‌ترین برنامه را، با ۷۴۰۵۷۰ مشتری، اجرا کرده است.

رایج‌ترین شکل برنامه‌ی DLC این است که عملکرد وسایلی مانند دستگاه‌های تهویه‌ی مطبوع یا آب گرم‌کن‌ها کنترل شود. در این برنامه، یک سوئیچ یک طرفه از راه دور (که همچنین به عنوان یک گیرنده‌ی دیجیتال شناخته می‌شود) به واحد تغلیظ تهویه‌ی هوا یا به عنصر غوطه‌ور در آب گرم‌کن متصل می‌شود. با خاموش کردن از راه دور بارهای خانگی، مقدار اوج مصرف را می‌توان کاهش داد. اگرچه کاهش‌های واقعی با اندازه‌ی دستگاه لوازم خانگی، الگوهای مصرف مشترک و آب و هوا تغییر می‌کند، اما کاهش درخواست برای هر دستگاه تهویه مطبوع در حدود ۱ کیلووات و برای آب‌گرم‌کن‌ها حدود ۰/۶ کیلووات هست. کارکرد کلید از طریق سیگنال‌های رادیویی (برای سیستم‌های قدیمی‌تر) و یا از طریق پیجینگ دیجیتالی کنترل می‌شود. بسته به نوع چرخه‌ی کار انتخاب شده، کلید واحد تغلیظ یا عنصر غوطه‌ور را برای مدت زمان کامل یک رویداد یا برای بخش‌های مختلف در حدود یک ساعت (به عنوان مثال، یک چرخه‌ی کار متدوال ۱۵ دقیقه در مدت یک ساعت خاموش است) خاموش می‌کند. برنامه‌های DLC نیز به طور معمول تعداد دفعات یا ساعاتی را که در هر سال یا هر فصل می‌توان لوازم خانگی مشتری را خاموش کرد، محدود می‌کند.

در سال‌های اخیر، کلیدهای از راه دور از طریق فن‌آوری‌های نوین، پیشرفته‌تر شده‌اند. عملاً همه‌ی کلیدهای جدید به صورت جداگانه قابل آدرس دهی هستند، به این معنی که کلیدهای فردی را می‌توان به طور مستقل کنترل کرد. ارتقای نرم‌افزار هم‌اکنون می‌تواند به صورت بی‌سیم انجام شود و ارتباط با کلیدها را می‌توان با استفاده از شبکه‌های پیجینگ عمومی (به جای ساخت و نگه‌داری شبکه‌های ارتباطی گران قیمت) انجام داد. بیشتر کلیدها نیز شامل رله‌های متعددی هستند به طوری که سیستم‌های تهویه مطبوع هوا و آب گرم‌کن‌ها می‌توانند توسط یک کلید با راهبردهای کنترل مستقل برای هر رله کنترل شوند. در حالی که DLC

2- Florida Power & Light

Ahwaz_Hackerz

جزء برنامه‌های مهم پاسخ‌گویی تقاضا برای سال‌های زیادی بوده و درحالی‌که چندین شرکت برق به تازگی آن را پیاده‌سازی کرده‌اند و یا اندازه‌ی برنامه‌های خود را افزایش داده‌اند، چندین شرکت برق کلیدی، به خصوص در کشورهای تجدید ساختار یافته، برنامه‌های DLC خود را کنار گذاشته‌اند یا به صورت تدریجی آن‌ها را متوقف کرده‌اند.

۵-۳-۱-۲- نرخ‌های قابل قطع/ قابل محدود کردن[1]

مشتریان در نرخ‌های قابل قطع/ محدود کردن در ازای موافقت با کاهش دادن بار در پیشامدهای احتمالی سیستم، نرخ تخفیف یا وجه اعتباری دریافت می‌کنند. اگر مشتریان بار خود را محدود نکنند، ممکن است جریمه شوند. نرخ‌های قابل قطع/ محدود کردن با پاسخ گویی تقاضا اضطراری متفاوت بوده و جایگزین‌های برنامه- ظرفیت[2] هستند چون آن‌ها به طور معمول توسط یک شرکت برق و یا LSE ارائه شده است، و شرکت برق/ LSE توانایی اجرای برنامه را در صورت لزوم دارد.

نرخ‌های قابل قطع/ محدود کردن به طور کلی نرخ‌های واصل با کمیسیون نظارتی هستند و به بزرگ‌ترین مشتریان شرکت برق ارائه می‌شوند. نمونه‌ی کمینه‌ی اندازه‌ی مشتری واجد شرایط برای نرخ‌های قابل قطع/ محدود کردن از ۲۰۰ کیلووات برای برنامه‌ی قطع پایه در کالیفرنیا تا ۳ مگاوات در قلمروی خدمات اوهایو در شبکه‌ی برق قدرت آمریکا[3] (AEP) تغییر می‌کند. مشتریانی که با این نرخ موافقت می‌کنند، یک بلوک خاص از بار الکتریکی را کاهش می‌دهند و یا مصرف خود را به یک سطح از پیش مشخص شده می‌رسانند. مشتریان با این نرخ‌ها به طور معمول باید در عرض ۳۰ تا ۶۰ دقیقه پس از اطلاع‌رسانی شرکت برق بار خود را محدود کنند. تعداد دفعات یا ساعاتی که یک شرکت برق می‌تواند وقفه را فراخوانی کند دارای یک مقدار بیشینه است، (به عنوان مثال، AEP اوهایو مشتریان قابل قطع/ محدود کردن خودش را بیش

1- Interruptible/curtailable rates
2- Capacity-program alternatives
3- American Electric Power's (AEP) Ohio service territory

Ahwaz_Hackerz

از ۵۰ ساعت در طول هر فصل فرا نمی‌خواند). در ازای تعهد به محدود کردن بار، مشتریان تعرفه‌ی قابل قطع/ محدود کردن زمانی که بار خود را محدود می‌کنند، نرخ‌های تخفیف یا وجه اعتباری دریافت می‌کنند. این مشترکان می‌توانند در زمان‌های قطع برق از سیستم‌های ژنراتور پشتیبان خود استفاده کنند. مقدار وجه پرداختی در این برنامه‌ها بابت ظرفیت سالیانه در دسترس قرار داده شده و مقدار بار کاهش داده شده در زمان‌های اعلام‌شده خواهد بود. شکل ۵-۸ تأثیر اجرای این برنامه‌ها را بر روی منحنی بار نشان می‌دهد.

برنامه‌های قابل قطع نیز برای تمام مشتریان نیست. به طور خاص، مشتریانی که ۲۴ ساعت روز و هفت روز هفته کار می‌کنند و یا فرآیندهای مداوم دارند (به عنوان مثال، تولید تراشه‌های سیلیکونی) کاندیدای خوبی نیستند. به همین ترتیب، مدارس، بیمارستان‌ها، و سایر مشتریان که دارای تعهد به ارائه‌ی خدمات هستند، نیز نامزدهای خوبی نیستند.

در حالی که تعرفه‌های قابل قطع/محدود کردن برای چندین دهه پیاده‌سازی شده‌اند، نگرانی‌هایی در میان برنامه‌ریزان منابع در مورد اینکه آیا تعرفه‌های قابل قطع/محدود کردن یک منبع قابل اعتماد و پایدار ارائه می‌کنند یا خیر وجود دارد. تعداد مشتریان شرکت‌کننده در برنامه‌های تعرفه‌های قابل قطع/محدود کردن در دهه‌ی گذشته کاهش یافته است. علت این کاهش، ترکیبی از اثرات تجدید ساختار، کاهش در تخفیف‌های قیمت مرتبط با تعرفه‌های قابل قطع/محدود کردن و خروج مشتریان به دلیل خطر درک شده است.

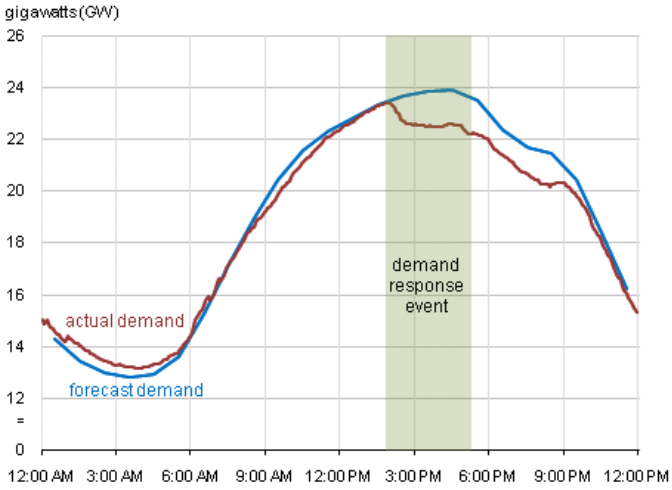
۵-۳-۱-۳- برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری[1]

برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری در دهه‌ی گذشته گسترش یافته‌اند. برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضای اضطراری پرداخت‌های تشویقی به مشتریان ارائه می‌کنند به این منظور که بارهای خود را در حین رویدادهای قابلیت اطمینان یا تهدید[2] کاهش دهند، اما کاهش بار

1- Emergency Demand Response Programs
2- Reliability-triggered

Ahwaz_Hackerz

داوطلبانه است. مشتریان می‌توانند انتخاب کنند که از دریافت پرداخت تشویقی خودداری کنند و هنگامی‌که فراخوانده می‌شوند، بار خود را محدود نکنند. اگر مشتریان مصرف خود را محدود نکنند، جریمه نمی‌شوند. سطح پرداخت تشویقی به طور معمول از قبل مشخص شده است.



شکل ۵-۸: اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا و تأثیر آن بر روی منحنی بار [۳۱].

در حالی که برنامه‌های اضطراری توسط شرکت‌های برق ارائه می‌گردد، این برنامه‌ها نزدیک‌ترین ارتباط را با مصرف آن‌ها در اپـــراتورهای سیستم مستقل/سازمان‌های انتقال منطقه‌ای (ISO/RTO) دارند. به طور خاص، برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضای اضطراری در اپراتور سیستم مستقل نیویورک (NYISO[1]) در دست‌یابی به سطح بالایی از مشارکت موفق بوده است، و بهره‌برداری از این برنامه در طول دوره‌ی کمبود ذخیره در نیویورک یک منبع کلیدی در طی چند سال گذشته ارائه کرده است.

1- New York Independent System Operator

Ahwaz_Hackerz

۵-۳-۱-۴- برنامه‌های بازار- ظرفیت[1]

در برنامه‌های بازار- ظرفیت، مشتریان متعهد به کاهش مقدار بار از پیش تعیین شده، در زمانی که پیشامدهای احتمالی سیستم به وجود می‌آید بوده، و اگر هنگامی‌که فراخوانده شدند، بار خود را محدود نکنند، جریمه خواهند شد. شرکت‌کنندگان معمولاً یک روز جلوتر اطلاعیه‌ی وقایع را دریـــافت می‌کنند و هنگامی‌که به فراخوان کاهش بارگذاری پاسخ ندهند، جریمه می‌شوند. برنامه‌های بازار- ظرفیت می‌توانند به عنوان شکلی از بیمه در نظر گرفته شوند. در ازای موظف بودن به محدود کردن بار هنگامی که فراخوانده می‌شوند، شرکت‌کنندگان پرداخت‌های تضمین شده (به عنوان مثال حق بیمه) دریافت می‌کنند. درست همانند بیمه، در بعضی از سال‌ها محدودیت‌های بار فراخوانده نخواهد شد، حتی اگر به شرکت‌کنندگان در برنامه هزینه پرداخت شود. برنامه‌های بازار- ظرفیت معمولاً توسط ارائه دهندگان بازار عمده فروشی از قبیل ISOs/RTOs که بازارهای ظرفیت نصب شده[2] (ICAP) را اداره می‌کنند و بازار سازمان یافته‌ی تعرفه‌های قطع/ محدود هستند، ارائه می‌شوند.

علاوه بر موافقت با محدود کردن بار، واجد شرایط بودن برنامه‌ی بازار- ظرفیت بر مبنای یک ارائه، که کاهش‌ها پایدار و دست یافتنی هستند، است. به عنوان مثال، الزامات مورد نیاز برای دریافت پرداخت‌های ظرفیت در برنامه‌ی منابع مورد ویژه NYISO عبارت‌اند از:

کمینه‌ی کاهش‌های بار ۱۰۰ کیلووات، کمینه‌ی کاهش چهار ساعت، دو ساعت اطلاع‌رسانی و در معرض بودن یک آزمایش و یا ممیزی در هر دوره‌ی قابلیت.

این الزامات طراحی شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که این کاهش‌ها را می‌توان پس از زمانی که آن‌ها فراخوانده می‌شوند به حساب آورد.

برنامه‌های ظرفیت ISO/RTO منابع مهمی در سال‌های اخیر بوده‌اند. NYISO برنامه‌ی منابع مورد خاص[3] را در طول حادثه‌ی کمبود رزرو ۳۰ جولای سال ۲۰۰۲ به کار گرفت، و بعد

1- Capacity-Market Programs
2- Installed Capacity (ICAP)
3- The Special Case Resources program

Ahwaz_Hackerz

از آن از منابع مورد ویژه استفاده شد، تا به بازگرداندن سیستم پس از خاموشی سراسری ۱۴ آگوست ۲۰۰۳ کمک کند. ISO انگلیس جدید (ISO-NE[1]) از دارایی‌های برنامه‌ی ظرفیت خود برای جلوگیری از خاموشی در جنوب غربی *کانکتیکات* در طول دوره‌ی موج گرمای تابستان سال ۲۰۰۵ استفاده کرد.

بسیاری از ارائه‌دهندگان خدمات محدودیت[2] (CSPs) و مشتریان این بـــرنامه‌ها را ترجیح می‌دهند، زیرا به جای این‌که چشم‌اندازی از پرداخت‌های نامشخص جلوی دیدگان مشتری قرار دهند، پرداخت‌های تضمین شده ارائه می‌کنند. اپراتورهای شبکه به برنامه‌های ظرفیت علاقه دارند چرا که آن‌ها یک منبع ثابت را در اختیار دارند که می‌توانند به سرعت پیاده‌سازی کنند. سطح پرداخت‌های ظرفیت که در NYISO و ISO-NE ارائه شده است (به عنوان مثال، ۱۴ دلار به ازای هر کیلووات-ماه در برنامه‌ی مکمل زمستان "ISO-NE 06-2005") به افزایش منافع مشتری کمک کرده است.

۵-۳-۱-۵- برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا/ خرید قبلی[3]

یکی از جدیدترین انواع برنامه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا مبتنی بر تشویق، برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا/خرید قبلی است. برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا/خرید قبلی مشتریان بزرگ را تشویق می‌کند تا کاهش‌های بار را در مقابل قیمت پیشنهادی برای کاهش بار، فراهم آورند (اگر قیمت کم‌تر از قیمت بازار باشد پیشنهاد قابل قبول است) و یا شناسایی کنند که چه مقدار از بارها مایل خواهند بود در قیمت‌های ارسال شده محدود شوند. هنگامی‌که یک پیشنهاد مورد قبول واقع شد، مشتری باید بار خود را به اندازه‌ی مقدار مشخص شده در پیشنهاد محدود کند، در غیر این صورت با جریمه مواجه می‌گردد. این برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا زمانی که قیمت‌ها شروع به افزایش می‌کنند، ابزاری برای استخراج قیمت پاسخ‌دهی ارائه می‌کنند. هم شرکت‌های

1- Independent System Operators-New England
2- Curtailment Service Providers (CSPs)
3- Demand Bidding/Buyback Programs

Ahwaz_Hackerz

برق با ساختار عمودی و هم ISOs/RTOs این برنامه‌ها را به کار می‌گیرند. این برنامه‌ها برای بسیاری از مشتریان جذاب هستند چرا که به مشتری اجازه می‌دهد تا بر روی نرخ ثابت باقی بماند، اما زمانی که قیمت‌های عمده فروشی بالا هستند، پرداخت‌های بالاتر برای کاهش بار خود دریافت کند. مشتریانی که در نرخ‌های مبتنی بر زمان نیستند، می‌توانند از برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا برای کاهش‌های خود استفاده کرده و پاداش دریافت کنند. در غیر این صورت، این مشتریان در نرخ خرده فروشی ثابت هستند.

شناخته شده‌ترین شکل برنامه‌های مناقصه‌ی تقاضا توسط ISOs به کار گرفته می‌شود. دو شکل از این برنامه‌ها وجود دارد. اولی مناقصه‌های درخواستی که به طور مستقیم به فرایند بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی مربوط می‌شود را در خود جای می‌دهد. در برنامه‌هایی مانند برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا روز بعد[1] NYISO، مشتریان به طور معمول قیمتی را که مایل خواهند بود بار خود را در سطح مگاوات بر مبنای روز بعد محدود کنند، پیشنهاد می‌دهند. اگر قیمت‌های پیشنهادی برای بهره‌برداری در مدت فرایند توزیع با قیود امنیتی انتخاب شوند، مشتریان باید روز بعد کاهش بار خود را اجرا کنند. اگر آن‌ها بار خود را کاهش ندهند، جریمه می‌شوند. در شکل دوم مناقصه‌ی درخواست، مشتری به عنوان قیمت گیرنده عمل می‌کند. یک مثال خوب از این برنامه، برنامه‌ی پاسخ‌گویی قیمت لحظه‌ای (Real-time) در ISO-NE هست. شرکت‌کنندگان در این برنامه زمانی که به مشترکان ابلاغ می‌شود، مصرف خود را کاهش می‌دهند و مطابق قیمت شفاف بازار (که هر مقداری ممکن است باشد)، مبلغی به عنوان پرداخت دریافت می‌کنند. ساختار این نوع پاسخگویی تقاضا در شکل ۵-۹ نشان داده شده است.

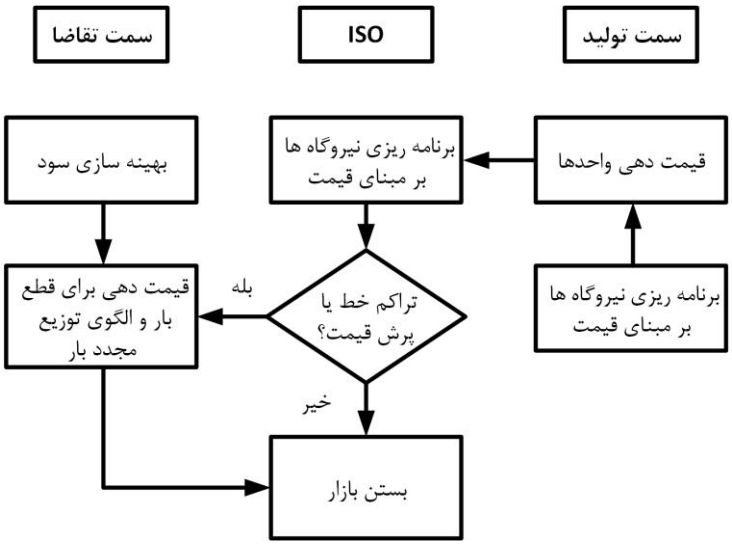
۵-۳-۱-۶- برنامه‌های بازار خدمات جانبی[2]

آخرین شکل برنامه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا مبتنی بر تشویق، برنامه‌های بازار خدمات

1- Day-Ahead Demand Response Program (DADRP)
2- Ancillary-services market programs

Ahwaz_Hackerz

جانبی هست. برنامه‌های جانبی خدمات به مشتریان اجازه می‌دهد که کاهش‌های بار خود را در بازارهای ISO/RTO به عنوان ذخایر عملیاتی پیشنهاد دهند. اگر قیمت‌های پیشنهادی مورد قبول باشند، به آن‌ها قیمت لحظه‌ای بازار برای تعهد به آماده کار بودن پرداخت می‌شود. اگر محدود کردن بار آن‌ها مورد نیاز باشد، توسط ISO/RTO فراخوانده می‌شوند، و ممکن است قیمت لحظه‌ای انرژی بازار به آن‌ها پرداخت شود.



شکل ۵-۹: ساختار عملکردی برنامه‌های DR

به منظور شرکت در بازارهای فرعی خدمات، مشتریان باید بتوانند هنگامی‌که قابلیت اطمینان در معرض خطر قرار می‌گیرد بار خود را به سرعت تنظیم کنند. این نوع بارها باید سرعت پاسخ‌گویی بالایی داشته باشند تا در هنگام وقوع پیشامد بتوانند سریع عمل کنند. مدت زمان پاسخ بستگی به ماهیت این رویداد و نوع رزرو در حال عرضه دارد، اما به طور معمول در عرض چند دقیقه، به جای چند ساعت، برق فراهم. این زمان‌بندی کوتاه مدت و برنامه‌های مورد نیاز، نوع منابعی که می‌توانند در این برنامه شرکت کنند را محدود می‌کند. این منابع می‌توانند شامل فرآیندهای صنعتی بزرگ که می‌توانند با ایمنی و به سرعت و بدون آسیب رساندن به

Ahwaz_Hackerz

تجهیزات بار خود را محدود کنند، مانند کمپرسورهای هوا یا کوره‌های قوس الکتریکی فولاد، پمپ‌های بزرگ آب‌رسانی، یا کنترل خودکار از راه دور لوازم خانگی از قبیل سیستم‌های تهویه مطبوع هست.

CAISO[1] به بارها اجازه‌ی مشارکت و ارائه‌ی قیمت در بازار ذخیره‌ی غیر چرخان تکمیلی را می‌دهد. شرکت‌کنندگان اصلی در این برنامه در CAISO پمپ‌های بزرگ آب‌رسانی هستند.

در جدول ۵-۲ مقایسه‌ای بین برخی از برنامه‌های بر مبنای تشویق آورده شده است.

۵-۳-۲- پاسخ‌گویی تقاضا بر مبنای قیمت (نرخ‌های زمان- مبنا)

نوع دوم پاسخ‌گویی سمت تقاضا از نرخ‌های مبتنی بر زمان تشکیل شده است. از لحاظ تاریخی، شرکت‌های برق به مشتریان تجاری و مسکونی کوچک، و یا با حجم کم، نرخ ثابتی بر اساس هزینه‌ی متوسط خدمات به آن‌ها بر اساس کلاس مشتری، ارائه می‌کنند. این نرخ‌های مسطح بر اساس اصول نظارتی تاریخی طراحی نرخ، که در اصل توسط متخصص معروف نرخ‌گذاری شبکه جیمز *بنبرایت*[2] بیان شد، توسعه داده شده است. به گفته‌ی بنبرایت، نرخ‌ها باید عادلانه، ساده، قابل قبول، مؤثر، منصفانه و کارآمد باشند. فرآیند نظارتی این اصول را متعادل می‌کند، که منعکس کننده‌ی منافع رقابتی مشتریان، خدمات شهری و عدالت اجتماعی هست.

برنامه‌های PBP بر مبنای نرخ‌های قیمت‌گذاری پویا هستند، که در آن تعرفه‌های برق مسطح نیست، بنابراین نرخ‌ها به دنبال هزینه‌ی لحظه‌ای برق در حال نوسان هستند. هدف نهایی از این برنامه‌ها صاف کردن منحنی تقاضا به وسیله‌ی ارائه‌ی قیمت بالا در طول دوره‌ی اوج و قیمت‌های پایین‌تر در طول دوره‌های خارج از اوج است. این نرخ‌ها شامل نرخ‌های (با قیمت‌گذاری) زمان مصرف[3]، قیمت‌گذاری اوج بحرانی[1]، قیمت‌گذاری لحظه‌ای[2] هستند.

1- California Independent System Operator
2- James Bonbright
3- Time-of-Use (TOU) Rates

Ahwaz_Hackerz

جدول ۵-۲: مقایسه کلی چهار برنامه‌ی تشویق محور.

	باز فروش درخواست (DB)	کنترل مستقیم بار (DLC)	قطع بار (Interruptible)	کاهش بار (Curtailable)
مشترکان هدف	صنایع بزرگ	<100 kW	>500 kW	>100 kW
اختیاری یا اجباری بودن اجرای برنامه	اختیاری	اجباری	اجباری	اجباری یا اختیاری
نمونه‌ای از مشوق‌ها	$0.15 – 0.50/ kWh	$0.014 – 0.40/ton of cooling	$7-45/kW $0.15 -0.53/ kWh	$7-45/kW $0.15 -0.53/ kWh
نحوه‌ی اعلام	چند ساعت یا روز قبل	چند دقیقه تا چند ساعت	چند دقیقه تا چند ساعت	بدون هشدار
فن‌آوری‌های مورد نیاز برنامه	کنتور دوره‌ای، بازار مبتنی بر وب، اطلاعات قیمت لحظه‌ای	کلیدهای بار، ارتباط دو طرفه	کنتور دوره‌ای، ژنراتور پشتیبان	کنتور دوره‌ای، کنترل خودکار، ارتباط دو طرفه
تغییر در تعرفه‌ها	خیر	خیر	خیر	خیر
نحوه‌ی پرداخت	پرداخت جداگانه	اعمال تشویق ثابت روی قبض	اعمال تشویق و جریمه روی قبض	اعمال تشویق و جریمه روی قبض

طیف وسیعی از نرخ‌های مبتنی بر زمان در حال حاضر به طور مستقیم به مشتریان خرده‌فروشی عرضه می‌شود. همه‌ی آن‌ها متغیر با زمان نیستند، اما ممکن است پاسخ‌گویی تقاضای مشتری را بر مبنای سیگنال‌های قیمت ارتقا دهند. این‌ها متفاوت از نرخ‌های تخت می‌باشند، که بدون تغییر هستند و هیچ سیگنال قیمتی را ارائه نمی‌کنند. نرخ‌های تخت معمولاً به مشتریان مسکونی اختصاص داده می‌شود، و تنها گزینه در نبود اندازه‌گیرها هستند که

1- Critical Peak Pricing (CPP)
2- Real-Time Pricing (RTP)

Ahwaz_Hackerz

می‌توانند مصرف زمان‌های متفاوت را ثبت کنند. پاسخ‌گویی تقاضای مشتری، که توسط سیگنال‌های قیمت متغیر با زمان تشویق می‌گردند، یک راه برای مشتریان برق است برای اینکه به دور از قیمت‌گذاری متوسط و یا تخت حرکت کنند و بازارهای کارآمدتر را ارتقا دهند.

ساده‌ترین برنامه‌ی قیمت محور، زمان مصرف است. این برنامه مصرف را به سطوح مختلف تقسیم و به ازای سطوح مختلف قیمت‌گذاری می‌نماید. ساده‌ترین حالت برنامه‌ی زمان مصرف در دو سطح اوج و غیر اوج است. قیمت‌گذاری اوج بحرانی بدین ترتیب است که در دو سطح بار را بررسی نموده و در چند روز یا چند ساعت محدود از سال که بحران در اوج بـــار احساس می‌شود، این قیمت بحرانی اعمال می‌گردد. قیمت‌گذاری بی‌نهایت روز همـان قیمت‌گذاری اوج بحرانی است که قیمت بار اوج در هر روز توسط برنامه‌ریزی روز بعد تعیین می‌شود. برنامه‌ریزی ترکیبی بینهایت روز و قیمت‌گذاری اوج بار، قیمت اوج بار معلوم را برای هر روز اعمال می‌کند. برنامه‌ریزی زمان حال که بسیاری از اقتصاددانان به عنوان بهترین برنامه‌ریزی پاسخ‌گویی تقاضا مطرح می‌کنند، قیمت گذاری لحظه‌ای برای مصرف‌کننده است. قیمت برق در بازار با تغییر بار تغییر می‌نماید و مشتری در این برنامه‌ریزی، از اطلاعات قیمت‌های روز بعد و یا ساعت بعد مطلع می‌شود.

در ادامه هر یک از انواع برنامه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا مبتنی بـر قیمـت بـه طـور مفصـل توضیح داده شده است.

۵-۳-۲-۱- قیمت‌گذاری زمان مصرف

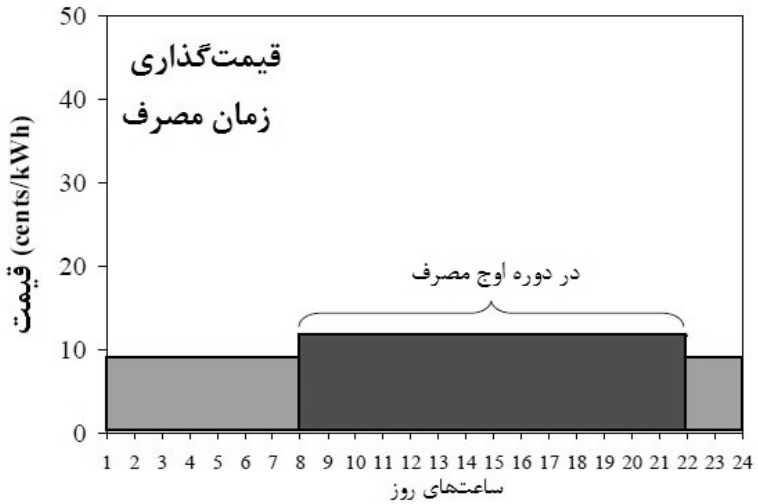
نرخ‌های زمان مصرف شایع‌ترین نرخ متغیر با زمان‌اند، به‌ویژه برای مشتریان مسکونی. بیشتر مشتریان به نوعی در معرض نرخ‌های TOU قرار گرفته‌اند حتی اگر فقط با نرخ‌هایی که در شش ماهه‌ی فصل‌ها تغییر می‌کنند سروکار داشته باشند. به عنوان مثال، یک شبکه در فصل تابستان در اوج مصرف ممکن است نرخ بالاتری برای استفاده از انرژی از همان مقدار انرژی برق مصرفی در طی خارج از اوج شش ماه ارائه کند. این یک نرخ‌گذاری فصلی (متغیر با زمان)

Ahwaz_Hackerz

است.

نرخ‌های زمان مصرف حساس‌تر، از دو دوره‌ی روزانه یا بیشتر تشکیل شده است، که ساعت‌هایی که بار سیستم بالاتر (اوج) یا پایین‌تر (خارج از اوج) است را منعکس می‌کند، و نرخ بالاتری در طول ساعات اوج تعیین می‌کند. ساعت‌های خارج از اوج را معمولاً بخشی از عصر، شب و همچنین تعطیلات آخر هفته تشکیل می‌دهند. طول دوره‌ی اوج بار متفاوت است، اما می‌تواند بین ۸ صبح و ۸ بعد از ظهر در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، دوره‌ی اوج برای نرخ‌های TOU مسکونی در شهر کانزاس از ۱ بعد از ظهر تا ۷ بعد از ظهر هست.

تعریف دوره‌های TOU به طور گسترده در میان شبکه‌های برق، بر مبنای زمان‌بندی تقاضاهای اوج سیستم در طول روز، هفته و یا سال، متفاوت است. مطابق شکل ۵-۱۰، نرخ‌های TOU گاهی اوقات تنها دارای دو قیمت برای دوره‌ی اوج و دوره‌های خارج از اوج هستند، در حالی که تعرفه‌های دیگر شامل یک دوره‌ی شانه[1] یا نرخ جزئی اوج می‌باشند. برخی از نرخ‌های TOU در طول سال اعمال می‌شود، اگر چه بسیاری از تعرفه‌ها شامل دو فصل است.



شکل ۵-۱۰: قیمت‌گذاری اوج مصرف.

1- Shoulder period

Ahwaz_Hackerz

انرژی روزانه و نرخ‌های تقاضا به وسیله‌ی دوره‌های اوج و خارج از اوج (و احتمالاً شبانه) دسته‌بندی می‌شوند. بسیاری از شبکه‌های برق در حال حاضر نیاز دارند که مشتریان بزرگ تجاری و صنعتی آن‌ها در نرخ‌های TOU قرار گیرند. نرخ‌های TOU در خارج از ایالات متحده رایج هستند. شرکت برق الکتریسیته فرانسه[1] (EDF) نرخ‌های TOU را برای چندین دهه ارائه کرده است؛ در حال حاضر نیز نرخ اوج بحرانی را ارائه می‌دهد، که بر روی نرخ TOU لایه‌بندی شده است. این فرایند سیگنال‌های علامت‌گذاری شده با رنگ را به کار می‌گیرد که توسط حامل خط قدرت بر مبنای یک روز قبل به کنتور مشتری و همچنین ترموستات هوشمند و فضای قابل برنامه‌ریزی و کنترلرهای آب گرم فرستاده می‌شود.

۵-۳-۲-۲- قیمت‌گذاری اوج بحرانی

مطابق شکل ۵-۱۱، قیمت‌گذاری اوج بحرانی (CPP) یک شکل نسبتاً جدید از نرخ‌های TOU خرده‌فروشی است که متکی بر قیمت بسیار بالا، قیمت‌های اوج بحرانی، و در مقابل قیمت‌های اوج عادی در نرخ‌های TOU هست. نرخ تعیین شده‌ی هر واحد برای استفاده در مدت زمانی است که اپراتور شبکه به عنوان دوره‌ی اوج بحرانی تعریف می‌کند. رویدادهای CPP ممکن است به وسیله‌ی پیشامدهای احتمالی سیستم و یا قیمت‌های بالای شبکه در گرداندن بازار داد و ستد برق در بازار عمده‌فروشی به وقوع بپیوندند. برخلاف بلوک‌های TOU که به طور معمول در محل به مدت ۶ تا ۱۰ ساعت در هر روز از سال یا فصل هستند، روزهایی که در آن اوج‌های بحرانی رخ می‌دهند در تعرفه طراحی نشده است، اما در صورت نیاز در اطلاعیه‌ی نسبتاً کوتاهی، برای تعداد محدودی روز در طول سال، مخابره می‌شوند. نرخ‌های CPP را می‌توان بر روی TOU و یا نرخ تغییر ناپذیر با زمان (ثابت) سوار کرد. در حالی که CPP مبتنی بر قیمت است، واقعیت این است که آن زمان، لحظه‌ای در دوره‌های تنش شدید سیستم نامیده می‌شود که باعث می‌شود تعریف آن به همان اندازه به پاسخ‌گویی تقاضای مبتنی بر قابلیت اطمینان

1- Electricité de France (EdF)

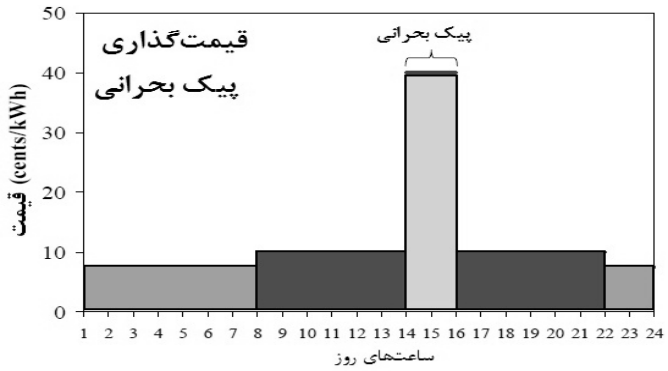
Ahwaz_Hackerz

تبدیل شود.

CPP، هم TOU و هم قیمت‌گـــذاری مسطح را پوشش می‌دهد. CPP از قیمت‌های لحظه‌ای در زمـان‌های اوج شدید سیستم استفاده می‌کند. CPP به تعداد ساعات کمی در سال محدود شده است، و قیمت در این دوره بسیار بالاتر از قیمت اوج طبیعی است، و زمان‌بندی ابلاغ آن از پیش مشخص نیست. نرخ‌های CPP انواع گوناگونی دارند، از جمله:

۱) قیمت‌گذاری اوج بحرانی با دوره‌ی ثابت[1]

در این روش زمان و طول مدت افزایش قیمت از پیش تعیین شده است، اما روزهایی که فراخوانی اتفاق می‌افتد مشخص نشده‌اند. بیشینه‌ی تعداد روزهای فراخوانی (ابلاغ) در هر سال نیز معمولاً از پیش تعیین شده است. این رویدادها معمولاً یک روز قبل ابلاغ می‌شوند.



شکل ۵-۱۱: روش قیمت‌گذاری اوج بحرانی.

۲) قیمت‌گذاری اوج بحرانی با دوره‌ی متغیر[2]

در این روش، تاریخ، ساعت و مدت افزایش قیمت از پیش تعیین شده نیست. پیش‌آمدها معمولاً در همان روز ابلاغ می‌شوند. CPP-V به طور معمول با دستگاه‌هایی از قبیل ترموستات‌های رابط که پاسخ‌های خودکار را برای قیمت‌های اوج بحرانی روانه می‌کنند، جفت

1- Fixed-period CPP (CPP-F)
2- Variable-period CPP (CPP-V)

Ahwaz_Hackerz

(ترکیب) می‌شوند.

۳) قیمت‌گذاری اوج متغیر[1]

این روش شکل تازه‌ای از CPP هست که در *نیوانگلند* پیشنهاد شده است. مشابه با CPP، قیمت‌های انرژی دوره‌ی خارج از اوج و شانه را می‌توان از پیش برای مدت زمان تعیین شده، از قبیل یک ماه یا بیشتر تنظیم کرد. در نسخه‌ی پیشنهاد شده در *کانکتیکات*[2]، قیمت اوج برای هر ساعت در زمان اوج مصرف هر روز بر مبنای متوسط قیمت‌های حاشیه‌ای محلی[3] (LMP ها) یک روز قبل ISO متناظر منطقه‌ی بار کانکتیکات[4] تعیین می‌شوند، و برای پرداختن به خسارات تحویل و به طور معمول دیگر هزینه‌های حجمی بهبود یافته تنظیم می‌شوند. برتری این روش این است که به طور مستقیم بازار عمده‌فروشی را به قیمت‌گذاری خرده‌فروشی مرتبط می‌کند.

۴) پرداخت کمیسیون (تخفیف‌های) اوج بحرانی

در برنامه‌ی تخفیف‌های اوج بحرانی، مشتریان در نرخ‌های ثابت باقی می‌مانند، اما تخفیف‌هایی برای کاهش باری که آن‌ها در دوره‌های اوج بحرانی ایجاد می‌کنند دریافت می‌کنند.

۵-۳-۲-۳- قیمت‌گذاری لحظه‌ای

مطابق شکل ۵-۱۲، نرخ‌های قیمت‌گذاری لحظه‌ای به طور پیوسته در طول روز تغییر می‌کنند، و به طور مستقیم منعکس کننده‌ی قیمت عمده فروشی برق هستند. روش قیمت‌گذاری لحظه‌ای برخلاف طرح‌های قبلی از قبیل زمان مصرف و یا CPP که تا حد زیادی بر مبنای

1- Variable peak pricing (VPP)
2- Connecticut
3- Locational Marginal Prices (LMPs)
4- Connecticut Load Zone

Ahwaz_Hackerz

قیمت‌های از پیش تعیین شده هستند، متغیر با زمان است. RTP قیمت‌های ساعت به ساعت را به تغییرات ساعتی روزانه (لحظه‌ای) و یا هزینه‌ی روز قبل برق مرتبط می‌کند. ارتباط مستقیم بین قیمت‌های عمده‌فروشی و نرخ‌های خرده‌فروشی مفهوم پاسخ‌گویی قیمت به بازار خرده‌فروشی را معرفی می‌کند، و آن را برای فراهم کردن ارتباط‌های مهم بین بازارهای عمده‌فروشی و خرده‌فروشی به کار می‌گیرد. چندین شکل RTP در سراسر ایالات متحده وجود دارد: قیمت‌گذاری همان روز در مقابل یک روز قبل، قیمت‌گذاری یک بخشی در مقابل دو بخشی و اجباری در برابر داوطلبانه. نرخ RTP دو بخشی شکل شایع‌تری از به اشتراک‌گذاری قیمت خطر[۱] است؛ با این حال، بزرگ‌ترین مشتریان در دلاور[۲]، مریلند[۳] و نیوجرسی[۴] بر مبنای RTP اجباری همان روز در طرح‌های بازار خدمات پیش فرض شروع به فعالیت می‌کنند.

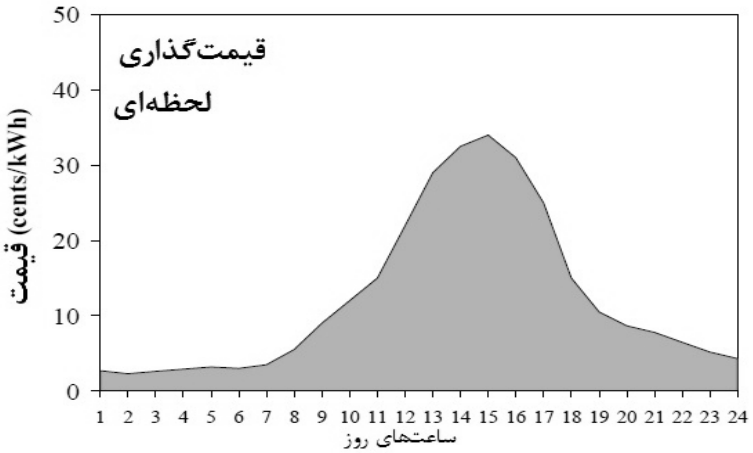
اولین برنامه‌های RTP، در میانه‌ی دهه‌ی ۱۹۸۰، در کالیفرنیا به عنوان یک راهبرد جدید برای نشست اهداف مدیریت سمت تقاضا و آزمون فرض‌های انتقادی در مورد پذیرش مشتری و پاسخ قیمت معرفی شد. شبکه‌های برق از قبیل شرکت برق *موهاک* نیاگارا[۵] (در حال حاضر بخشی از شبکه‌ی ملی) و همچنین شبکه‌ی برق جورجیان[۶] شامل اولین تعرفه‌های قیمت‌گذاری لحظه‌ای بودند. با توجه به یک گزارش درباره‌ی RTP انجام شده توسط آزمایشگاه ملی لارنس برکلی[۷]، بیش از ۷۰ شرکت برق در ایالات متحده تعرفه‌های RTP داوطلبانه را هم در حالت آزمایشی و هم به طور دائمی ارائه داده‌اند. انگیزه‌ی این شرکت‌ها برای اجرای RTP متفاوت بود: الف) برای گسترش بازار خرده‌فروشی، ب) برای کاهش نیاز به ساخت ژنراتورهای جدید در دوره‌ی اوج اضافی.

1-Price-risk sharing
2-Delaware
3-Maryland
4-New Jersey
5- Niagara Mohawk Power Co.
6- Georgia Power
7- The Lawrence Berkeley National Laboratory

Ahwaz_Hackerz

۵-۳-۲-۳-۱- قیمت‌گذاری لحظه‌ای یک روز قبل[1] (DA-RTP)

به مشتریان DA-RTP اطلاعیه‌ی یک روزه از قیمت‌ها برای هر ۲۴ ساعت روز بعد داده می‌شود. به این ترتیب، مشترکین، اگر نمی‌توانند تقاضای خود را محدود کنند، زمان کافی برای برنامه‌ریزی پاسخ‌های خود، از قبیل جابه‌جایی زمان مصرف (اغلب با جابه‌جایی بـار به ساعت‌های خارج از اوج یا با استفاده از تولید در محل) دارند و یا می‌توانند با تولید محصولات دیگر از قیمت‌های روز قبل در امان بمانند. موهاک نیاگارا جزو اولین ارائه کنندگان DA-RTP پیش فرض برای بزرگ‌ترین مشتریان خود هست. این شرکت به تازگی، تجربه‌های خود را با TOU و RTP به عنوان مبنایی برای تصمیم کمیسیون خدمات عمومی نیویورک[2] (NYPSC) در فاز RTP پیش فرض برای همه‌ی مشتریان بزرگ به کار بسته است.



شکل ۵-۱۲: روش قیمت‌گذاری لحظه‌ای RTP.

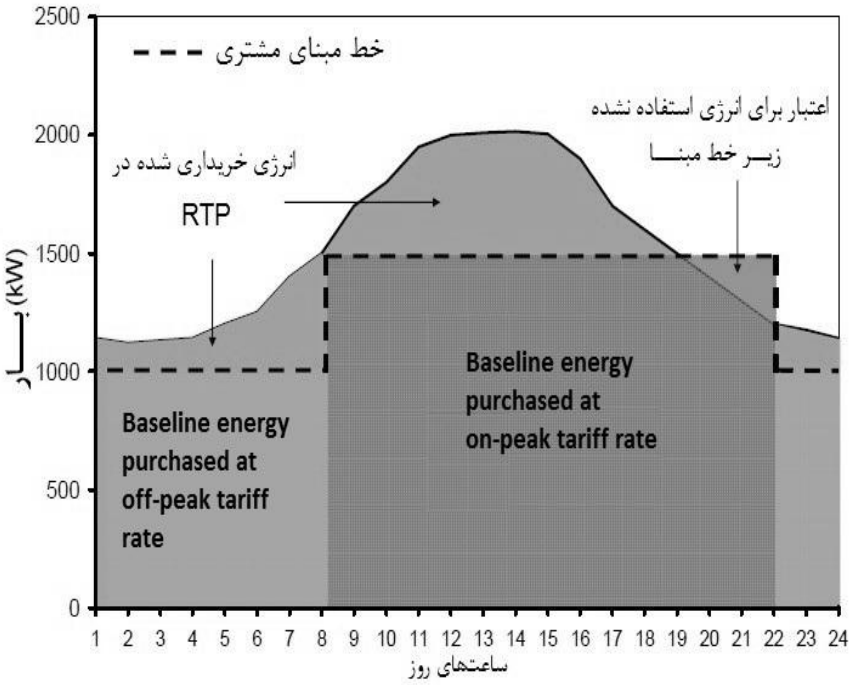
۵-۳-۲-۳-۲- قیمت‌گذاری لحظه‌ای دو بخشی[3]

یک جایگزین مهم برای DA-RTP، RTP "دو بخشی" است. طرح‌های RTP دو بخشی

1-Day-Ahead Real-Time Pricing (DA-RTP)
2-New York Public Service Commission (NYPSC)
3-Two-Part Real-Time Pricing

Ahwaz_Hackerz

شامل یک خط مبنای تاریخی برای مصرف مشتری هست، که با قیمت‌های ساعتی فقط برای مصرف حاشیه‌ای بالا یا زیر خط مبنا لایه‌بندی شده است. در نتیجه مشتریان قیمت‌های بازار را تنها در حاشیه می‌بینند. طرح خط مبنا یک پرچین (حصار)[1] برای مشتریان در برابر نوسانات قیمت‌گذاری لحظه‌ای به کار می‌گیرد، و به آن‌ها اجازه می‌دهد که با محدود کردن مصرف حاشیه‌ای خود در زمان‌هایی که قیمت‌ها بالاتر هستند و با استفاده از دوره‌ی بیشتر زمان‌های تعرفه‌ی خارج از اوج صرفه‌جویی‌هایی به دست آورند. شکل ۵-۱۳ نشان می‌دهد که تعرفه RTP دو بخشی چگونه کار می‌کند.



شکل ۵-۱۳: نحوه‌ی کارکرد تعرفه‌ی قیمت‌گذاری دوبخشی.

۵-۳-۲-۳-۳- قیمت‌گذاری لحظه‌ای اجباری[2]

1- Hedge
2- Mandatory Real-Time Pricing (Mandatory RTP)

Ahwaz_Hackerz

چندین ایالت تجدید ساختار یافته RTP را به صورت پیش فرض برای بزرگ‌ترین کلاس مشتری برگزیدند، مگر این‌که آن‌ها یک منبع جایگزین دیگر را انتخاب کنند. دلاور، نیوجرسی، پنسیلوانیا، مریلند، اوهایو، نیویورک، و ایلینوی ابتکارات هدفمندی در پیاده‌سازی RTP پیش فرض برای بزرگ‌ترین مشتریان دارند. تعرفه‌های پیش فرض در نیویورک و ایلینوی قیمت‌های ساعتی را برای قیمت‌های ISO یک روز قبل فهرست می‌کند، در حالی که دلاور، نیوجرسی، مریلند، و برخی از شرکت‌های برق پنسیلوانیا برای قیمت‌های ISO ساعتی لحظه‌ای فهرست می‌کند. در طول آوریل ۲۰۰۶، RTP پیش فرض برای مشتریان بزرگ تجاری و صنعتی توسط ۱۱ شرکت برق در چهار ایالت اجرا شده بود، و برای ۱۵ شرکت برق اضافی دیگر پیشنهاد یا برنامه‌ریزی شد. در جدول ۵-۳ مقایسه‌ای بین برخی از برنامه‌های قیمت محور آورده شده است.

جدول ۵-۳: مقایسه کلی برنامه‌های قیمت محور.

	قیمت‌گذاری زمان آنی (RTP)	**زمان اوج بحرانی (CPP)**	**قیمت‌گذاری زمان استفاده (TOU)**
مشترکان هدف	همه‌ی مشترکان	همه‌ی مشترکان	همه‌ی مشترکان
اختیاری یا اجباری بودن اجرای برنامه	اختیاری	اختیاری	اختیاری
نمونه‌ای از مشوق‌ها	قیمت (LMP)	قیمت (LMP)	تخفیف ۵ درصدی قبض‌ها
نحوه‌ی اعلام	یک ساعت یا یک روز قبل	یک ساعت یا یک روز قبل	بدون هشدار
فن‌آوری‌های مورد نیاز برنامه	کنتور دوره‌ای، ارتباط دو طرفه، اطلاعات انرژی از طریق اینترنت	کنتور دوره‌ای، ارتباط دو طرفه، اطلاعات انرژی از طریق اینترنت	اندازه‌گیر TOU، اطلاعات لحظه‌ای و روز قبل انرژی از طریق اینترنت
تغییر در تعرفه‌ها	نرخ‌های جدید RTP دارد	نرخ‌های جدید CPP دارد	نرخ‌های جدیدTOU دارد
نحوه‌ی پرداخت	اعمال روی قبض‌های ماهیانه	اعمال روی قبض‌های ماهیانه	اعمال روی قبض‌های ماهیانه

در جدول ۵-۴ دسته‌بندی روش‌های پاسخ‌گویی تقاضا از نظر هدف آورده شده است.

Ahwaz_Hackerz

جدول ۵-۴: دسته‌بندی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا از نظر هدف و روش انگیزشی.

		روش انگیزشی	
		پاسخ‌گویی به بار	پاسخ‌گویی به قیمت
هدف اصلی	قابلیت اطمینان	قطع یا کاهش بار (IC) کنترل مستقیم بار (DLC)	برنامه‌ی اوج بحرانی (CPP) باز فروش تقاضا (DB)
	کاهش هزینه	قطع یا کاهش بار (IC) کنترل مستقیم بار (DLC)	زمان استفاده (TOU) قیمت‌گذاری آنی (RTP) برنامه‌ی اوج بحرانی (CPP) باز فروش تقاضا (DB)

۵-۴- نقش پاسخ‌گویی تقاضا در بازارهای عمده‌فروشی و خرده‌فروشی

یک بازار برق با عملکرد صادقانه و بی‌طرفانه، نیروهای تقاضا و عرضه‌ی پویا (عرضه و درخواست) را باهم ترکیب می‌کند. انتقاد مکرر از طرح‌های فعلی بازار عمده‌فروشی این است که سمت تقاضای بازار غیرفعال است؛ در نتیجه برای عرضه‌کننده‌ی برق پتانسیل ایجاد می‌کند. فعال کردن پاسخ‌گویی تقاضا و همچنین پاسخ‌گویی عرضه، بهره‌وری اقتصادی در بازارهای برق را افزایش می‌دهد و قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌بخشد.

تمام مصرف‌کنندگان نباید به طور هم‌زمان برای به دست آوردن سود از طریق قیمت‌های کاهش یافته‌ی کلی به بازار پاسخ دهند. یک مطالعه نشان داد که جابه‌جایی پنج تا هشت درصد از مصرف به ساعت‌های خارج اوج و پیک‌سایی چهار تا هفت درصدی از تقاضای اوج می‌تواند برای شرکت‌های برق، شرکت‌های تجاری، و مشتریان تا حدود ۱۵ میلیارد دلار در سال صرفه‌جویی به همراه آورد. دیگران دریافتند که تنها کسری از تمام مشتریان، شاید به اندازه‌ی

Ahwaz_Hackerz

پنج درصد، مورد نیازند تا به قیمت‌های بازار برق نظم و انضباط ببخشند. پاسخ‌گویی تقاضا به طور معمول می‌تواند کاهش تقاضای ۳ تا ۵ درصدی از بار اوج سالانه را برای مدت زمان ۱۰۰ ساعت یا بیشتر در هر سال فراهم آورد. در قیمت‌گذاری آزمایشی در ایالت کالیفرنیا، ۸۰ درصد کاهش بار توسط ۳۰ درصد مشتریان به دست آمد. نقشی که هر یک از اشکال نرخ‌های مبتنی بر زمان یا پاسخ‌گویی تقاضا مبتنی بر تشویق در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های الکتریکی ایفا می‌کند، به چارچوب زمانی پاسخ بستگی دارد. برای مثال، در قیمت‌گذاری لحظه‌ای یا قیمت‌گذاری اوج بحرانی، که به طور مستقیم قیمت عمده‌فروشی را منعکس می‌کنند، برنامه‌ی زمان‌بندی عرضه در بازارهای یک روز قبل و در طول مخابره‌ی (*دیسپاچ*) لحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نرخ‌های زمان مصرف پاسخ سریع یا بزرگ را القا نمی‌کند. منبع‌های بار مبتنی بر تشویق از قبیل کنترل مستقیم بار، ظرفیت، و برنامه‌های خدمات جانبی می‌توانند به عنوان ذخایر در زمان بهره‌برداری، یا به عنوان ذخایر برنامه‌ی زمان‌بندی و دیسپاچ یک روز قبل، و یا به عنوان منابع ظرفیت در برنامه‌ریزی سیستم به کار گرفته شوند. در مقابل، صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌تواند به عنوان یک منبع در طول برنامه‌ریزی سیستم به دلیل اثرات دراز مدت آن در نظر گرفته شود.

۵-۵- هزینه‌های پاسخ‌گویی تقاضا

هر برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا نوع متفاوتی از هزینه‌ها را در برمی‌گیرد؛ جدول ۵-۵ طبقه‌بندی هزینه‌های برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا را نشان می‌دهد، که در آن هم صاحبان برنامه‌ها و هم شرکت‌کنندگان هزینه‌های اولیه و جاری را متحمل می‌شوند. شرکت‌کننده در این برنامه ممکن است نیاز به نصب برخی از فن‌آوری‌های فعال‌سازی برای شرکت در برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا داشته باشد. فعال‌سازی فن‌آوری‌ها ممکن است شامل ترموستات‌های هوشمند، کنترل اوج بار، سیستم مدیریت انرژی، و واحدهای تولید در محل باشند. این هزینه‌های اولیه معمولاً توسط شرکت‌کننده پرداخت می‌شود، با این حال، کمک‌های فنی باید توسط برنامه فراهم گردد.

Ahwaz_Hackerz

جدول ۵-۵: هزینه‌های پاسخ‌گویی سمت تقاضا.

نوع هزینه		هزینه	راه‌کار بازیابی / مسئولیت‌پذیری
هزینه‌های شرکت‌کننده	هزینه‌های اولیه	فعال کردن سرمایه‌گذاری‌های فن‌آوری	مشتری می‌پردازد، مشوق‌ها برای جبران بخشی از هزینه‌ها ممکن است از منافع عمومی یا برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضای شرکت برق در دسترس باشند.
		ایجاد طرح یا راهبرد پاسخ	مشتری می‌پردازد، کمک‌های فنی ممکن است از منافع عمومی یا برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا شرکت برق در دسترس باشند.
	هزینه‌ی رویداد خاص	هزینه‌های عدم آسایش کاهش ملایمت / کسب و کار از دست رفته هزینه‌های برنامه‌ریزی دوباره (مثال: پرداخت اضافه کاری) هزینه‌های سوخت و نگه‌داری ژنراتور در محل	مشتری "هزینه فرصت" استفاده از برق از دست رفته را متحمل می‌شود.
هزینه‌های سیستم	هزینه‌های اولیه	بهبود سیستم اندازه‌گیری و ارتباطات	سطح هزینه‌ها و مسئولیت هزینه با توجه به دامنه‌ی بهبود (به عنوان مثال، مشتریان بزرگ در مقابل بازار انبوه) و قانون/ سیاست‌های دولت متفاوت است.
		هزینه‌های نرم‌افزار یا تجهیزات شرکت برق، بهبود سیستم صدور قبض	شرکت برق به طور معمول هزینه‌ها را با ارائه‌ی نرخ‌هایی به مشتریان جبران می‌کند.
		آموزش مشتریان	نرخ دهندگان، صندوق منافع عمومی
	هزینه‌های برنامه‌ی در حال اجرا	برنامه‌ی مدیریتی / دولتی بازاریابی / جذب نیرو پرداخت‌های به مشتریان شرکت‌کننده ارزیابی برنامه اندازه‌گیری / ارتباطات	هزینه‌های متحمل شده توسط شرکت، LSE یا ISO/RTO که از نرخ دهندگان بازیابی می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

هزینه‌های جاری شرکت‌کنندگان مرتبط با حوادث هستند. بسته به نوع طرح پاسخ، این هزینه‌ها ممکن است متفاوت باشند. کاهش آسایش ممکن است به وجود آید اگر یک مشتری تصمیم به تنظیم دوباره‌ی ترموستات بگیرد که ناراحتی مشتری را به دنبال دارد و به سختی اندازه‌گیری می‌شود. هزینه‌های مربوط با رویداد دیگر مانند کسب و کار از دست داده و یا برنامه‌ریزی دوباره‌ی فرآیندها یا فعالیت‌های صنعتی راحت‌تر اندازه‌گیری می‌شوند. اگر یک مشتری شرکت‌کننده تصمیم بگیرد که از یک واحد تولید پشتیبان در محل استفاده کند، هزینه‌های سوخت و نگهداری باید در نظر گرفته شوند. صاحب برنامه باید مراقب هزینه‌های اولیه و جاری گسترده‌ی سیستم باشد. بیشتر برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا شامل هزینه‌های اندازه‌گیری و ارتباطات (مخابرات) به عنوان هزینه‌های اولیه هستند. شرکت‌های برق باید سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته را برای اندازه‌گیری، ذخیره و انتقال مصرف انرژی در فواصل زمانی مورد نیاز نصب کنند، به عنوان مثال قرائت ساعت‌های روز برای قیمت‌گذاری لحظه‌ای. هزینه‌های جاری برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا شامل هزینه‌های دولتی و مدیریتی برنامه است. علاوه بر این، پرداخت‌های تشویقی به عنوان بخشی از هزینه‌های جاری IBP در نظر گرفته شده است. به روزرسانی سیستم صدور صورت حساب که باید قبل از استقرار بیشتر برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا به ویژه PBP برای فعال‌سازی سیستم تا به هزینه‌های متغیر با زمان برق بپردازد. مؤلفه‌ی مهم دیگر قبل از استقرار هر برنامه‌ای، آموزش مشتریان واجد شرایط در مورد سودهای بالقوه‌ی برنامه است. انتخاب برنامه‌های مختلف باید برای شرکت‌کننده‌ی بالقوه توضیح داده شود و راهبردهای ممکن پاسخ‌گویی تقاضا باید تعریف گردند. موفقیت برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا به طور زیاد به آموزش مشتری بستگی دارد. بازاریابی پیاپی برای جذب شرکت‌کنندگان جدید موضوع مهمی است. علاوه بر این، بررسی و ارزیابی پیاپی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا به منظور توسعه‌ی یک رویکرد بهتر برای دست‌یابی به اهداف نهایی برنامه مهم است.

۵-۶- اندازه‌گیری پاسخ‌گویی تقاضا

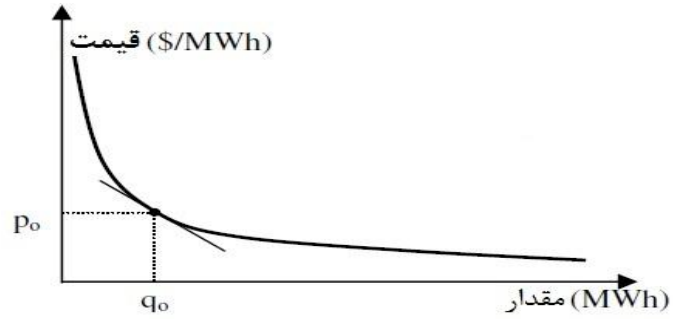
Ahwaz_Hackerz

هدف نهایی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا کاهش اوج درخواست هست. برای داوری درباره‌ی این برنامه‌ها که تا چه اندازه موفق است و برای سنجش بین برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی تقاضا دارای وضعیت مشابه، کاهش واقعی اوج درخواست به عنوان یک شاخص ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای نرمالیزه کردن این شاخص، درصد کاهش اوج درخواست مورد استفاده قرار می‌گیرد. درصد کاهش و کاهش واقعی اوج درخواست برای ارزیابی IBP استفاده می‌شود. علاوه بر کاهش اوج بار، عملکرد برنامه‌های قیمت‌گذاری پویا با استفاده از کشش قیمت درخواست که نشان‌دهنده‌ی حساسیت درخواستی مشتری به قیمت برق است، اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص را می‌توان با محاسبه‌ی نسبت درصد تغییر در درخواست به تغییر درصد در قیمت به دست آورد. معمولاً، منحنی قیمت-درخواستی هر کالایی غیرخطی هست؛ بنابراین، کشش[1] در اطراف تعادل اولیه قیمت-درخواست (p_0 و q_0) خطی سازی می‌شود، همان‌طور که در شکل ۵-۱۴ دیده می‌شود.

کشش یک جایگزین، نرخی را که در آن مشتری مصرف در دوره‌ی خارج اوج را برای مصارف اوج در پاسخ به یک تغییر در نسبت قیمت‌های اوج به قیمت‌های خارج اوج جایگزین می‌کند، اندازه می‌گیرد. این موضوع در برنامه‌های قیمت‌گذاری CPP و TOU مهم است. کشش به کشش خودی[2] و کشش متقابل[3] تجزیه می‌شود. کشش خودی کاهش درخواست را در یک بازه‌ی زمانی خاص با توجه به قیمت آن بازه اندازه‌گیری می‌کند. کشش متقابل تأثیر قیمت یک بازه‌ی زمانی خاص بر مصرف برق در طول فاصله‌ی زمانی دیگر را اندازه‌گیری می‌کند. جنبه‌ی دیگر ارزیابی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا، پذیرش مشتری و ثبت‌نام در این برنامه است. بدون مشارکت مشتری، برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا قطعاً برای رسیدن به هدف نهایی خود (کاهش اوج درخواست) شکست خواهند خورد.

1-Elasticity
2-Self elasticity
3-Cross elasticity

Ahwaz_Hackerz



شکل ۵-۱۴: کشش قیمت پیرامون نقطه‌ی (p_0 و q_0).

۵-۷- معماری پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا

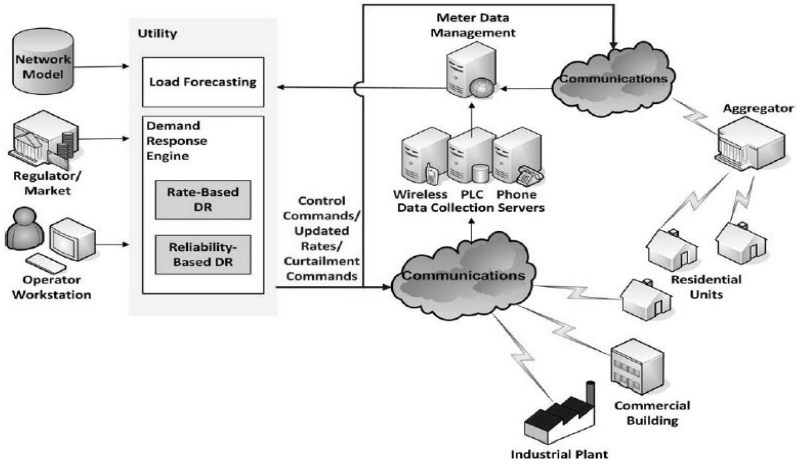
هوشمندسازی سیستم قدرت از نیازهای اساسی شکل‌گیری برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا است. این هوشمندسازی می‌تواند در سطوح مختلفی مورد بررسی قرار گیرد. هوشمندسازی لازم برای پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در دو سطح شبکه و مشترکان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۷-۱- نیازهای هوشمندسازی شبکه

همان‌طور که در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است، برای پیاده‌سازی برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی تقاضا نیاز به زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته، بسترهای مخابراتی[1] و سیستم‌های مدیریت اطلاعات[2] وجود دارد. همچنین برای مدیریت برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا نیاز به ابزاری هوشمند جهت دریافت اطلاعات، تصمیم‌گیری بهینه و ارسال دستورات وجود دارد که با عنوان موتور پاسخ‌گویی تقاضا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1- Communication Infrastructures
2- Data Management Systems (DMS)

Ahwaz_Hackerz



شکل ۵-۱۵: تجهیزات هوشمند مورد نیاز در شبکه برای اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا [۴۷].

۵-۷-۲- پیاده‌سازی برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا

یک زیرساخت کارآمد عملی برای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا پیاده‌سازی EMS[1] در زیرساخت یک شبکه هوشمند است. مؤلفه‌های اصلی شبکه هوشمند EMS و DRP، SCADA، RTUs[2]، AMI، الگوریتم تخمین حالت، پیش‌بینی بار و تولید هستند. پایش، کنترل و بهینه‌سازی شبکه هوشمند توسط EMS انجام می‌شود. ادوات AMI و RTU داده‌های اندازه گیری شده را برای ارسال به سیستم SCADA فراهم کرده و سپس به EMS منتقل می‌کنند. در آخر توسط الگوریتم تخمین حالت و پیش‌بینی بار و تولید تصمیم گیری می‌شود که به منظور مدیریت بهینه شبکه هوشمند چه مانوری انجام گردد. زیرساخت مخابراتی AMI تعامل پیوسته بین مصرف‌کننده، شرکت خدمات انرژی و بار الکتریکی قابل کنترل را برقرار می‌نماید. شبکه تجمیع داده‌های اندازه گیری شده، ممکن است یک شبکه بدون سیم، سلولار، PLC و یا شبیه به این‌ها باشد. شبکه WAN شرکت خدمات انرژی می‌تواند شبیه شبکه‌های خصوصی و یا عمومی Wi-Fi، T1، WiMax، فیبر نوری یا شبکه سلولار باشد.

1- Energy Management System
2- Remote Telemetry Units

Ahwaz_Hackerz

۵-۷-۲-۱- زیرساخت پاسخ‌گویی تقاضا برای خودروهای برقی قابل اتصال بـه شبکه

در فرایند شارژ هوشمند، رفتار خودروهای برقی می‌تواند همانند بارهای متصل به شبکه توزیع و یا یک تولید کننده برق متصل به شبکه و یا یک سیستم ذخیره انرژی الکتریکی باشد. در سایه تکنولوژی شبکه هوشمند، شرکت‌های خدمات انرژی می‌توانند زمان و نرخ شارژ خودروهای برقی، داده‌های اندازه گیری شده جزئی خودروهای برقی، و در نتیجه اجرای برنامه پاسخ‌گویی تقاضا را مدیریت نمایند. مدیریت شارژ خودروهای برقی توسط شرکت‌های خدمات انرژی و تحت DSM انجام می‌پذیرد. یکپارچه سازی تجهیزات تأمین توان توسط خودروهای برقی و اتوماسیون شبکه توزیع، قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری در مدیریت انرژی را سبب می‌شود. همچنین شرکت‌های خدمات انرژی را در کاهش پیک تقاضا پشتیبانی نموده و کیفیت توان را تضمین می‌کند. علاوه بر این در حدود ۱۰ تا ۱۵ ساعت در طول شبانه‌روز خودرو برقی امکان شارژ و دشارژ دارد که می‌توان این از این قابلیت برای سرویس‌های جانبی مانند تنظیم فرکانس هنگامی که محدودیت شارژ توسط راننده خودرو محرز شده است، کمک گرفت. یک تجمیع کننده می‌تواند شارژ هوشمند را به شکل مرکزی کنترل نموده و استراتژی شارژ دسته‌ای از خودروهای برقی و یا گروهی از آن‌ها را به شکل مجزا تعیین نماید. شارژ هوشمند باید به شکل مؤثر توسط اتصال به تجهیز تأمین شارژ خودروهای برقی[1] پشتیبانی گردد؛ بنابراین در زیرساخت AMI باید خودروی برقی در برنامه پاسخ‌گویی تقاضا به صورت یکپارچه دیده شود. شرکت‌های خدمات انرژی ترجیح می‌دهند از شبکه‌های NAN[2] و HAN[3] برای تبادل اطلاعات با EVSE به واسطه برد و خاصیت انتشار بهتر استفاده کنند. استفاده از چندین مسیر مخابراتی سبب ارتقای قابلیت اطمینان و تبادل نقطه به نقطه بین EVSE و دیگر تجهیزات شبکه هوشمند و پایش مقاوم تجهیزات و قابلیت به روز شدن از راه دور را ممکن

1- Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)
2- Neighborhood Area Network
3- Home Area Network

Ahwaz_Hackerz

می‌سازد. بیشتر خودروی‌های برقی از طریق شبکه ZigBee، یا Wi-Fi و یا شبکه سلولار به اینترنت متصل می‌شوند.

۵-۷-۳- توانمندسازی تکنولوژی‌های هوشمند به منظور برنامه پاسخ‌گویی تقاضا

در دسترس بودن و پیشرفت‌های جدید تکنولوژی ممکن است سبب ایجاد شبکه‌های قدرت بسیاری شوند که مزایای اجتماعی فراوانی نیز در پی داشته باشند و افزایش آن‌ها به دنبال دسترسی به برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا است. پیشرفت در مدارات مجتمع الکترونیکی، سیستم‌های کنترل و تکنولوژی‌های مخابرات و اطلاعات سبب جهش‌هایی در اندازه گیری‌های پیشرفته‌تر و تکنولوژی‌های برنامه پاسخ‌گویی تقاضا می‌شود. تلفیق و تعامل برخی عناصر کلیدی همانند زیرساخت‌های ساختمانی، تکنولوژی‌های توانمندساز مانند سیستم‌های الکترومکانیکی ساختمانی، وسایل خانگی و رفتار مشترکین قابلیت و چشم‌انداز بهره‌وری انرژی و برنامه پاسخ‌گویی تقاضا برای تأسیسات یک مشترک را تعیین می‌کند. تکنولوژی‌های توانمند شامل موارد زیر می‌باشند (البته محدود به آن‌ها نیز نخواهند بود):

- استراتژی کاهش تقاضای بهینه شده برای ارضای توابع هدفی که وابسته به قیمت انرژی و شرایط اضطراری هستند.
- لوازم اندازه گیری مجهز به تجهیزات مخابراتی دو طرفه که به مشترک اجازه می‌دهد تا صورت حساب‌های خود را بر اساس الگوی مصرف انرژی واقعی صادر نماید.
- وسایل مخابراتی که در جهت اطلاع‌رسانی به مشترکین از عملیات کاهش بار عمل می‌کنند.
- ابزار اطلاعات انرژی که اجازه می‌دهند تا دسترسی به اطلاعات بار در نزدیک به زمان واقعی، اجرای تخمین کاهش بار نسبت به مصرف پایه و اطلاعات اپراتورها تأسیسات بر پتانسیل بارهای قابل کاهش عملی شوند.

Ahwaz_Hackerz

- کنترلر بارها و سیستم‌های کنترل مدیریت انرژی در ساختمان‌ها به منظور بهینه‌سازی برنامه پاسخ‌گویی تقاضا، که در جهت استراتژی اتوماسیون کاهش بار به کار می‌رود.
- تجهیزات تولید در محل که به منظور پشتیبان اضطراری و یا نیاز اولیه تأسیسات وجود دارند.

برخی تکنولوژی‌های هوشمند نو، همانند لوازم اندازه گیری هوشمند (به عنوان مثال ترموستات‌های هوشمند)، که برای ثبت انرژی مصرفی به کار می‌روند، به شکل خودکار درجه حرارت اتاق را مطابق تغییرات سیگنال قیمتی و سیگنال‌های دریافتی از اپراتورهای راه دور که از ملزومات یک برنامه پاسخ‌گویی تقاضا هستند کاهش یا افزایش می‌دهند. این تکنولوژی‌ها سبب می‌شوند تا هر دو سمت مشترک و شرکت خدمات انرژی اطمینان و درک بهتری از هم داشته باشند. تکنولوژی‌های پاسخ خودکار که سبب تسهیل کنترل از راه دور مصرف انرژی در شرایط معمولی و پیک بار می‌شوند به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. ادوات کنترل

۲. سیستم‌های پایش

۳. سیستم‌های مخابراتی

۵-۷-۳-۱- زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته

برای پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی تقاضا لازم است به طور پیاپی به اندازه‌گیری‌های انجام شده دسترسی‌های لازم وجود داشته باشد. لذا اولین مورد از نیازهای اساسی شبکه راه‌اندازی یک بستر اندازه‌گیری پیشرفته در سطح شبکه‌ی هوشمند است.

۵-۷-۳-۲- بستر مخابراتی

برای آنکه بتوان اطلاعات جمع‌آوری شده از اندازه‌گیری‌ها و دستورات کنترلی صادرشده در فضای شبکه‌ی هوشمند از طرف مبدأ به مقصد صحیح برسد نیاز به یک بستر مخابراتی وجود

Ahwaz_Hackerz

دارد. وظیفه‌ی این بستر مخابراتی علاوه بر پوشش تمام تجهیزات شبکه هوشمند، انتقال دقیق اطلاعات بین عناصر شبکه‌ی هوشمند با قابلیت اطمینان و امنیت بالا است.

۵-۷-۴- سیستم مخابراتی

۵-۷-۴-۱- سیستم مخابرات بدون سیم

تنوع انواع معماری در شبکه هوشمند قابل مشاهده هست. استانداردهای IEEE 502.15.4 (ZigBee) و استاندارد IEEE 802.11 (Wi-Fi) مناسب برای کنتورهای هوشمند در شبکه‌های HAN و NAN هستند و از ده‌ها متر تا صدها متر را پوشش می‌دهند. نیاز شبکه WAN[1] به منظور ارسال و دریافت اطلاعات در حدود چند ده کیلومتر استفاده از شبکه بدون سیمی نظیر GPRS، UMTS، LTE و یا شبکه بدون سیم مطابق استاندارد IEEE802.16m یا WiMax را طلب می‌کند. تکنولوژی جدید مخابراتی برای تبادل اطلاعات در شبکه هوشمند به ویژه برای کنتورهای هوشمند، شبکه بدون سیم حسگرها[2] است. گزینه دیگر شبکه بدون سیم استفاده از مخابرات FSK است که در طیف فضای سفید (White-space spectrum) و در باند رادیویی پیاده‌سازی شده است. فضاهای سفید باز بوده و پخش کانال‌های بدون استفاده تلویزیونی UHF و VHF در این ناحیه هستند. فضاهای سفید رادیویی اساساً برد بلندتری داشته و در مقایسه با مخابرات بدون سیم Wi-Fi، ZigBee و دیگر باندهای رادیویی، لینک مطمئن‌تری را حتی در صورتی که دید مستقیم وجود نداشته باشد، در اختیار می‌گذارند.

۵-۷-۴-۲- سیستم مخابرات با سیم

بسته به سطح پوشش مورد نیاز، تکنولوژی‌های متفاوت مخابرات با سیم مورد استفاده قرار

1- Wide Area Network

2- Wireless Sensor Networks (WSN)

Ahwaz_Hackerz

می‌گیرند. PLC[1]ها برای شبکه‌های HAN و NAN به منظور پوشش محلی ریزشبکه‌های هوشمند تا چند صد متر مورد استفاده قرار می‌گیرند و به منظور شبکه WAN و در برد حدود چند ده کیلومتر و بیشتر، مخابرات در بستر فیبر نوری قابل دسترسی است. ریزشبکه‌های مخابرات غالباً از نوع با سیم هستند و PLCها مورد استفاده بیشتری دارند به طوری که هم قابلیت اطمینان آن‌ها و هم مقاومت آن‌ها بالا بوده و نیازی به زیرساخت جدید ندارند. دو خانواده بزرگ از سیستم‌های PLC عبارت‌اند از: پهن باندها و باریک باندها.

ادوات PLCهای باند باریک دارای پهنای باند محدود در فرکانس پایین و میرایی بسیار کم در حد چند dB در هر کیلومتر، سرعت محدود، مناسب جهت کنترل متمرکز، سرعت کم، مناسب برای برنامه‌های کاربردی تجمیع داده‌ها و پایش و کنترل توان مصرفی لوازم خانگی و جدول حذف بار و برنامه پاسخ‌گویی تقاضا هستند. به جهت تضمین کیفیت سرویس[2] که برای شبکه هوشمند بسیار دقیق است، سرعت تبادل اطلاعات بیشتر از 50kbps در لایه فیزیک نخواهد بود.

از سوی دیگر PLCهای پهن باند، برای تبادل اطلاعات در داخل فضای خانه (ریزشبکه‌های داخلی) مناسب بوده و در سرعت بالایی حدود 2-30 MHz کار می‌کنند و تبادل با نرخ جابجایی بالا را تضمین می‌نمایند؛ اما محدوده پوشش آن‌ها کمتر از چند صد متر خواهد بود، چرا که در این فرکانس افت زیادی دارند. با این وجود برای ریزشبکه‌های بیرونی[3] این نوع از مخابرات با سیم تا سرعت 3.8 Mbps پروتکلی قابل اطمینان و مقاوم خواهد بود. راه‌حل استفاده از PLC پهن باند با مشخصه طول کوتاه بسته‌های داده (کمتر از 20ms جریان الکتریکی) مناسب تبادل دو طرفه اطلاعات و کنترل توزیع شده بوده و الگوریتم‌های زمان واقعی را پشتیبانی می‌کنند.

1- Power Line Communications
2- Quality of service (QoS)
3- Outdoor Microgrids

Ahwaz_Hackerz

۵-۷-۴-۳- پایگاه‌های داده[1] و سیستم‌های مدیریت اطلاعات

از آنجا که در فضای شبکه‌های هوشمند حجم بالایی از اطلاعات وجود دارند که هرکدام از این داده‌ها حاوی مشخصات متنوعی از قبیل زمان و مکان اندازه‌گیری، مقصد ارسال و دستورات لازم هستند، لازم است سیستم‌های پیشرفته‌ای برای نگهداری و مدیریت این اطلاعات در نظر گرفته شود.

۵-۷-۴-۴- سازوکارهای لازم برای مشارکت سمت مصرف در بازار برق

افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در بازار برق مهم‌ترین هدف از طرح موضوع پاسخ‌گویی تقاضا محسوب می‌شود که لازم است در فرآیندهای اجرای بازار سازوکارهای لازم برای مشارکت سمت مصرف ایجاد گردد. اول از همه باید این امکان برای مصرف‌کنندگان فراهم گردد تا بتوانند همانند تولیدکنندگان پیشنهادهای قیمت خود را به بازار ارائه نمایند. پس از آن لازم است در فرآیند اجرای بازار که به تعیین آرایش تولید و تعیین قیمت تسویه‌ی بازار می‌انجامد، منحنی تقاضا و منحنی عرضه به طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرند. در نهایت نیز لازم است برای صدور و ارسال صورت‌حساب‌ها برای خریداران برق نیز بسترهای لازم ایجاد گردد.

۵-۷-۴-۵- موتور پاسخ‌گویی تقاضا

برای آنکه موتور پاسخ‌گویی تقاضا بتواند در قبال اطلاعات موجود در شبکه‌ی قدرت بهترین تصمیم‌گیری را برای مدیریت پاسخ‌گویی تقاضا انجام دهد، باید قابلیت‌های زیر را دارا باشد:

۱- دریافت اطلاعات از سیستم مدیریت اطلاعات

۲- دریافت پیش‌بینی بار ساعت‌های آینده از ماژول پیش‌بینی بار

۳- پردازش اطلاعات

1- Database

Ahwaz_Hackerz

۴- تعیین صرفه‌ی اقتصادی استفاده از برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در سنجش با خرید از بازار لحظه‌ای

۵- تصمیم‌گیری در مورد نوع فرمان‌های لازم

۶- صدور فرمان و تفکیک آن‌ها بر اساس مشترکان شرکت‌کننده در برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی تقاضا

- صدور فرمان‌های لازم در صورت کاهش قابلیت اطمینان شبکه در قالب برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا با هدف تأمین امنیت
- صدور فرمان‌های لازم بر اساس برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا مبتنی بر تعرفه‌ی قیمت برق

۷- ارسال فرمان‌های مختلف به مشترکان شرکت کننده در برنامه‌های مختلف پاسخ‌گویی تقاضا

۸- اعمال مستقیم فرمان به بارهای قابل کنترل

علاوه بر این قابلیت‌ها لازم است موتور پاسخ‌گویی تقاضا دارای بخش‌های متنوعی برای انجام صحیح وظایف خود باشد که این بخش‌ها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱- ماژول مدیریت پاسخ‌گویی تقاضا جهت دریافت اطلاعات، تصمیم‌گیری و صدور فرمان

۲- ماژول صحت‌سنجی جهت حصول اطمینان از اجرای صحیح فرمان‌های پاسخ‌گویی تقاضا

۳- ماژول پایگاه داده جهت مدیریت اطلاعات

۴- ماژول اولویت‌بندی مشترکان بر اساس میزان مشارکت مؤثر در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا

۵-۷-۵- ادوات کنترلی برای برنامه پاسخ‌گویی تقاضا

ادوات کنترلی بار هم به صورت مستقل و هم به شکل مجتمع در یک سیستم EMS برای تأسیسات بزرگ دیده می‌شوند و شامل تکنولوژی‌هایی همانند کلیدهای کنترل بار و ترموستات‌های هوشمند هستند. کلیدهای کنترل بار به منظور کنترل از راه دور و برای مصرف

Ahwaz_Hackerz

کنندگان انتهایی همانند کمپرسورها و موتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند که به وسیله شبکه مخابراتی به شرکت‌های خدمات انرژی متصل هستند. ترموستات‌های هوشمند که توسط شرکت‌های خدمات انرژی از راه دور برنامه ریزی شده‌اند با توجه به شرایط آب و هوایی عمل می‌کنند. برخی مدل‌های ترموستات‌های هوشمند در مقیاس کوچک شبیه و اهداف محدود مثلاً سیستم اتوماسیون ساختمان شبیه یک تکرار کننده بوده و قابلیت اطمینان، قیمت و سیگنال‌های حوادث را به دیگر وسایل و بارها منتقل می‌نمایند.

۵-۷-۶- نیازهای هوشمندسازی مشترکان

علاوه بر هوشمندسازی شبکه، مشترکان نیز باید به ابزار هوشمندی جهت تصمیم‌گیری بهینه در پاسخ به شرایط مختلف از نظر قیمت، دستورات بهره‌بردار و سازوکار بازار برق مجهز باشند که با نام درگاه پاسخ‌گویی تقاضا[1] از آن نام برده می‌شود. برای اینکه مشترکان بتوانند در تمامی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا شرکت مؤثر داشته باشند، درگاه پاسخ‌گویی تقاضای ایشان باید دارای قابلیت‌های زیر باشد:

در مورد برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا مبتنی بر امنیت شبکه

۱. قابلیت تصمیم‌گیری و مذاکره با موتور پاسخ‌گویی تقاضا برای نحوه‌ی مشارکت در برنامه‌های اختیاری پاسخ‌گویی تقاضا
۲. دریافت فرمان‌های پاسخ‌گویی تقاضا از موتور پاسخ‌گویی تقاضا
۳. مدیریت مصرف برق در جهت اجرای فرمان‌های پاسخ‌گویی تقاضا
۴. ارسال اطلاعات مورد نیاز موتور پاسخ‌گویی تقاضا از نحوه‌ی اجرای فرمان‌ها

در مورد برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا مبتنی بر مشارکت در بازار برق

1- Demand Response Gateway

Ahwaz_Hackerz

۱. ارسال پیشنهاد قیمت و میزان تقاضا برق به بازار

۲. دریافت اطلاعات میزان تقاضای پذیرفته شده در بازار

۳. مدیریت مصرف برق بر اساس میزان تقاضای پذیرفته شده در بازار

در مورد برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا مبتنی بر تعرفه قیمت برق

۱. دریافت تعرفه‌های قیمت برق در زمان‌های مختلف

۲. برنامه‌ریزی مصرف برق در بازه‌ی زمانی تعریف شده بر اساس اطلاعات دریافت شده

۳. مدیریت مصرف برق بر اساس برنامه‌ریزی انجام شده

۵-۷-۷- مشترکان یا منابع پاسخ‌گویی تقاضا[1]

با توجه به دسترسی هرکدام از مشترکان به این ابزار هوشمند، می‌توان مصرف‌کنندگان را به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱) مشترکان فعال[2]

این مشترکان قادرند در تمام انواع برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا که در بخش سوم این فصل به آن پرداخته شد، شرکت نمایند و درگاه پاسخ‌گویی تقاضای مربوط به آن‌ها تمام قابلیت‌های لازم را برای اجرای تمام برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا دارا هستند. در شکل ۵-۱۶، نحوه‌ی مشارکت این مشترکان در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا نشان داده شده است.

۲) مشترکان واکنشی[3]

این مشترکان تنها قادرند اطلاعات تعرفه‌ی قیمت برق و فرمان‌های صادرشده را توسط موتور

1 -Demand Response Resources
2 -Active Customers
3 -Reactice Customers

Ahwaz_Hackerz

پاسخ‌گویی تقاضا جهت کاهش یا قطع بار دریافت و بر اساس اطلاعات دریافت شده تصمیم‌گیری نمایند. همان‌طور که در شکل ۵-۱۶ مشخص شده است این مشترکان تنها دریافت کننده‌ی اطلاعات هستند و هیچ‌گونه تبادل اطلاعاتی از سوی مشترک با موتور پاسخ‌گویی تقاضا وجود ندارد.

۵-۷-۸- ارائه کنندگان خدمات پاسخ‌گویی تقاضا[1]

از آنجا که در سیستم قدرت تمام مشترکان قادر به شرکت پیاپی در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا نیستند، در فضای شبکه‌ی هوشمند این امکان برای بنگاه‌های اقتصادی فراهم است که با بستن قرارداد با مصرف‌کنندگان از یک‌سو و بازار برق از سوی دیگر به عنوان یک واسطه به جای مشترکان در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا شرکت نمایند. به این بنگاه‌ها ارائه‌کنندگان خدمات پاسخ‌گویی تقاضا یا تجمیع کنندگان پاسخ‌گویی تقاضا[2] گفته می‌شود؛ به عبارت دیگر، تجمیع کننده را می‌توان شرکت یا بنگاهی تعریف نمود که به مشترکین شرکت برق کمک می‌کند تا به طور مؤثر در فعالیت‌های پاسخ‌گویی تقاضا شرکت کنند. برای این بنگاه‌ها که مدیریت پاسخ‌گویی تقاضا را برای مشترکان بخشی از شبکه به عهده دارند، قابلیت‌های زیر ضروری هست:

۱. ارتباط دو طرفه با سیستم مدیریت اطلاعات و موتور پاسخ‌گویی تقاضا برای دریافت تعرفه‌ی قیمت برق و فرمان‌های پاسخ‌گویی تقاضا و ارسال پیشنهادهای قیمت مشترکان طرف قرارداد.

۲. ارتباط دو طرفه با مشترکان طرف قرارداد برای ارسال فرمان‌های پاسخ‌گویی تقاضا و دریافت پیشنهادهای قیمت خرید برق.

۳. پردازش اطلاعات دریافت شده و گرفتن تصمیم باهدف در جهت برآورده ساختن انتظارات موتور پاسخ‌گویی تقاضا، رعایت قراردادهای مالی و فنی با مشترکان و

1 -Demand Response Service Providers
2 -Demand Response Aggregators

Ahwaz_Hackerz

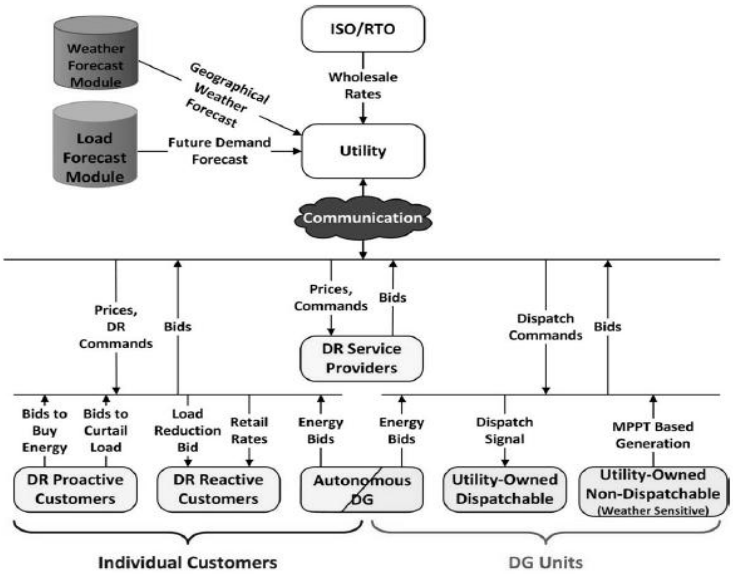
بیشینه کردن سود بنگاه.

بسته به ساختار سیستم، نهاد تجمیع کننده را می‌توان به یکی از شکل‌های زیر تعریف نمود:

۱- یک شرکت خدماتی مستقل نقش نهاد تجمیع کننده را ایفا کند.

۲- اپراتور شبکهٔ توزیع (DSO[1]) نقش نهاد تجمیع کننده را بر عهده گیرد.

۳- خرده فروشان وظایف تجمیع کننده را انجام دهند.



شکل ۵-۱۶: نحوه‌ی مشارکت انواع مشترکان و ارائه‌کنندگان خدمات پاسخ‌گویی تقاضا در برنامه‌های DR [۴۷].

۵-۷-۹- نقش سیستم پاسخ‌گویی خودکار تقاضا در پیاده‌سازی شبکهٔ هوشمند

"پاسخ‌گویی خودکار تقاضا"، مدلی برای عملیات از پیش تعریف شدهٔ مشترک در پاسخ به یک رویداد مشخص است. مدل مذکور ممکن است مبتنی بر سیستم‌های هوشمندی باشد که به

1- Distribution System Operator

Ahwaz_Hackerz

منظور اجرای خودکار پاسخ‌گویی تقاضا با یکسری نرم‌افزارها ترکیب شده‌اند.

پاسخ‌گویی خودکار تقاضا یا ADR[1]، اطلاعات و تکنولوژی مخابراتی مورد نیاز برای عملیات گستردهٔ مدیریت انرژی را فراهم می‌آورد. در ADR، به نحوی از تکنیک‌های کاملاً خودکار و یا نیمه خودکار و همچنین برنامه‌ها و روال‌های پاسخ‌گویی تقاضا استفاده می‌شود که تعادل مورد نیاز بین تولید و مصرف توان الکتریکی برقرار گردد.

یکی از عناصر لازم برای پیاده‌سازی ADR و استفادهٔ حداکثری از پتانسیل آن، سیستم اتوماسیون است. استفاده از پاسخ‌گویی تقاضا، علاوه بر کاهش هزینه‌های عملیاتی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا، دسترس‌پذیری منابع مورد نیاز برای اجرای آن این برنامه‌ها نیز افزایش می‌دهد.

سیستم اتوماسیون قادر است زمان پاسخ‌گویی و زحمات مشترکین برای دستیابی به میزان مشخصی از پاسخ‌گویی تقاضا را کاهش دهد. بعلاوه، میزان کاهش بار قابل پیش‌بینی بوده و امکان متعادل‌سازی بار و تولید به سهولت میسر می‌گردد. از آنجا که اتوماسیون تنها راه برقراری ارتباط بین اجزای مختلف بازار برق با یکدیگر است، نیازمند استانداردسازی است.

مزایای متعددی از طریق استانداردسازی سیستم ADR عاید سهامداران و ذینفعان بازار برق خواهد شد. اول از همه، اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا و ایجاد منابع پراکندهٔ انرژی آسان‌تر خواهد شد. استانداردسازی، نوآوری‌های تکنولوژیکی را هم تسهیل کرده و در خصوص قابلیت کارکرد اجزای مختلف سیستم اتوماسیون باهم اطمینان ایجاد می‌کند. بدین ترتیب، هزینه‌های توسعهٔ تکنولوژی، به دلیل حداقل شدن هزینه‌های طراحی و نوآوری در ساخت تجهیزات هوشمند، کاهش می‌یابد.

با استانداردسازی سیستم ADR، توسعهٔ سیستم سریع‌تر انجام شده و هزینه‌های یکپارچه سازی و نصب، به حداقل خواهند رسید. همچنین با توجه به امکان پیروی سازمان‌های مختلف از قواعد یکسان، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری سیستم ADR

1- Automated Demand Response

Ahwaz_Hackerz

کاهش چشمگیری خواهد یافت. برای مثال، شرکت‌های دارای نقش کنترل در بازار، نظیر DSOها، می‌توانند سیستم‌های مخابراتی و کنترلی خود را برای حداقل نمودن هزینه‌ها یکپارچه نمایند.

همچنین تولید نرم‌افزارها و پروتکل‌های مخابراتی منعطف، با توجه به امکان استفاده از منابع و واسطهای مخابراتی با دسترسی آزاد بهبود خواهد یافت. بعلاوه مشترکین قادر خواهند بود تا بدون نگرانی از امکان کارکرد و مطابقت تجهیزات مختلف مخابراتی و کنترلی، از طیف گستردهٔ تجهیزات ارائه شده در بازار انتخاب و خرید کنند. بدین ترتیب، سیستم‌های مدیریت مصرف انرژی فضای مورد نیاز برای بالندگی را که همان توسعهٔ تجهیزات متنوع کنترلی و مخابراتی است، پیدا خواهند نمود.

۵-۸- چالش‌های پیش روی اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا

همانند هر کار نوین دیگری بر سر راه اجرایی کردن برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا نیز دشواری‌هایی وجود دارد که می‌توان اهم این چالش‌ها را به سه دسته کلی چالش‌های اقتصادی، چالش‌های فنی و چالش‌های سازمانی[1] دسته‌بندی نمود که البته این چالش‌ها در بسیاری از موارد با یکدیگر هم‌پوشانی دارند.

۵-۸-۱- چالش‌های اقتصادی

از دیدگاه اقتصادی مشوق‌های مالی که از مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا عاید آن‌ها می‌شود درصد کوچکی از کل هزینه‌های صرف شده‌ی یک خانوار بوده و همین موضوع باعث کاهش انگیزه‌ی مشترکان برای حضور در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا می‌شود. از طرف دیگر حضور مشترکان در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا نیازمند استفاده از برخی

1 -Institutional

Ahwaz_Hackerz

سازوکارهای نوین همانند کنترل‌های بار خودکار است که خریداری و نصب این تجهیزات نیازمند صرف هزینه‌های اولیه‌ای هست که ممکن است زمان بازگشت این هزینه‌ها از نظر مشترک اقتصادی به نظر نیاید.

۵-۸-۲- چالش‌های سازمانی

از نظر سازمانی هنوز مشوق‌های صریح و شفافی برای نهادینه‌سازی و همگانی کردن برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا طراحی نشده است. علاوه بر این اجرای هر طرح جدیدی از برنامه‌های پاسخگویی تقاضا بسیار دشوار است چرا که در ابتدا باید سؤال‌های فراوان و مبهمی از جمله محاسبات کاهش بار، میزان امنیت اطلاعات، نحوه‌ی تأثیر طرح جدید و... پاسخ داده شود همچنین طولانی مدت بودن اجرایی شدن برنامه‌های جدید در بازار عمده‌فروشی برق و مشکلات قانونی در این زمینه را نیز باید در نظر داشت.

۵-۸-۳- چالش‌های فنی

از نظر فنی نیز چالش‌های فراوانی بر سر راه اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا قرارداد چرا که این برنامه‌ها برای اجرایی شدن نیازمند فن‌آوری‌هایی فراتر از یک سیستم اندازه‌گیری هستند. به عنوان مثال در این برنامه‌ها خانه‌های هوشمند و درگاه‌های انرژی[1] باید در تعامل کامل باشند و به صورت هم زمان قابلیت دریافت اطلاعات از دنیای خارج را نیز داشته باشند که استفاده از سیستم‌های کنترلی گوناگون که معمولاً ساخت شرکت‌های مختلفی هستند بر دشواری این امر می‌افزاید. همچنین به دلیل تغییر تقریباً سریع الگوهای پاسخ‌گویی تقاضا و قدیمی شدن برخی فن‌آوری‌ها در این زمینه سرمایه‌گذاران کم‌تری تمایل به سرمایه‌گذاری بر روی این گونه تجهیزات دارند.

1 -Energy hubs

Ahwaz_Hackerz

۵-۸-۴- پشت سر گذاشتن چالش‌ها

برای پشت سر گذاردن چالش‌های برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا راه‌های گوناگونی پیشنهاد و استفاده شده است به عنوان مثال چندین تجربه ثابت کرده است برای حل چالش‌های اقتصادی استفاده از برنامه‌های قیمت‌گذاری پویا همانند TOU یا CPP می‌تواند راه حل مناسبی باشد و تا حد زیادی مشارکت مشترکان را بالا ببرد. از طرف دیگر برخی آمارگیری‌ها نشان داده است که استفاده از تجهیزاتی همانند نمایشگر خانگی[1] و یا کنترل خودکار بار می‌تواند تأثیر چشم‌گیری در تشویق مشترکان برای حضور در برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا و کاهش بار بیشتری از طرف آن‌ها داشته باشد. از طرف دیگر کارهایی برای هماهنگ کردن هرچه بیشتر سازمان‌های متولی اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا آغاز شده است و قوانین حمایتی و تشویق قابل توجهی در این زمینه در دست اقدام و بررسی است. همچنین برای غلبه بر مشکلات فنی برخی مؤسسات همانند ANSI و IEEE در حال ایجاد و اصلاح استانداردهایی هستند که هم‌خوانی هر چه بیشتر با برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا داشته باشد.

۵-۹- بررسی برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در چند سیستم قدرت جهان

با توجه به ویژگی‌ها و سودهایی که برای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا ذکر شد، اجرای برنامه‌های آن می‌تواند سبب بهبود بهره‌برداری از سیستم قدرت از دیدگاه اقتصادی، حفظ قابلیت اطمینان و کارایی بیشتر بازار خرده فروشی و عمده فروشی می‌شود. به منظور اجرای این برنامه‌ها، بررسی این برنامه‌ها در کشورهای دیگر و استفاده از تجربیات و نتایج حاصله از اجرای این برنامه‌ها می‌تواند مفید باشد. در اینجا چند نمونه از اجرای این برنامه‌ها در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1 -In-home display

Ahwaz_Hackerz

۵-۹-۱- برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در NYISO

سازمان NYISO، سازمانی دولتی است که در دسامبر ۱۹۹۹ به منظور مدیریت بر بازار عمده‌فروشی برق و بهره‌برداری از خطوط انتقال ولتاژ بالای شبکه‌ی نیویورک تأسیس شد. حجم معاملات این بازار در سال ۲۰۰۴ بالغ بر ۲/۷ میلیارد دلار تخمین زده شده است. مهم‌ترین چالشی که ساختار این شبکه با آن روبروست، وجود شهر نیویورک در حوزه‌ی آن است. نیویورک به علت ساختار تجاری و اهمیت بارهای موجود از جمله بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین بارهای دنیا محسوب می‌شود. این سازمان از زمان شروع کار در ۱۹۹۰ پاسخ‌گویی تقاضا را در برنامه‌های خود لحاظ کرد. برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در NYISO را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد:

۵-۹-۱-۱- برنامه‌هایی مبتنی بر قابلیت اطمینان

فعال‌سازی این برنامه‌ها توسط NYISO هست. هدف از این برنامه‌ها کاهش بار به منظور تکمیل تولید (در زمانی که پیش‌بینی می‌شود ذخیره‌ی بهره‌برداری کم است) است. این برنامه‌ها به دو صورت زیر هست:

۱- برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری (EDRP[1])

۲- برنامه‌ی ظرفیت نصب شده – برنامه‌ی موارد خاص (ICAP SCR[2])

هر دوی این برنامه‌ها (EDRP و SCR) در مواقعی که سیستم با کمبود توان روبه‌رو است برای حفظ قابلیت اطمینان سیستم به کار می‌روند. هر دو برنامه با خاموش کردن مصرف‌کنندگان بزرگ اجرا می‌شوند. معمولاً مصرف‌کنندگان صنعتی و تجاری در این برنامه‌ها شرکت می‌کنند. NYISO در ازای این پاسخ‌گویی به این شرکت کنندگان مبلغی را می‌پردازد.

1 -Emergency Demand Response Program
2 -ICAP-Special Case Resource

Ahwaz_Hackerz

۵-۹-۱-۲- برنامه‌های اقتصادی

در این برنامه منابع پاسخ‌گو، زمان پاسخ‌گویی را با استفاده از ارائه‌ی پیشنهاد قیمت مشخص می‌کنند. این برنامه‌ها به دو صورت هست:

۳- پاسخ‌گویی تقاضا روز پیشرو (DADRP[1])

۴- برنامه‌های خدمات جانبی سمت بار (DSASP[2])

آمارها نشان می‌دهد در خلال سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ بیش از ۲۳۰۰ مشترک مختلف در این برنامه‌ها شرکت کرده‌اند. نقش بازار در این بین پرداخت ۱۵ میلیون دلار به عنوان مشوق شرکت در این برنامه‌ها بوده است. این در حالی است که این برنامه‌ها باعث بیش از ۷۵ میلیون دلار درآمد از منبع صرفه‌جویی تولید شده‌اند.

درآمد به دست آمده و هزینه‌ی اجرای برنامه‌های افزایش قابلیت اطمینان سیستم در سال ۲۰۰۱ به ترتیب برابر ۴/۸ و ۳/۳ میلیون دلار بودند (نسبت درآمد به هزینه برابر ۷/۵). همچنین درآمد به دست آمده و هزینه‌ی اجرای برنامه‌ی اقتصادی مدیریت مصرف در سال ۲۰۰۱، به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۲۱ میلیون دلار بودند (نسبت درآمد به هزینه تقریباً برابر ۱). این اعداد نیز تا سال ۲۰۰۳ به ترتیب برابر ۲/۲ و ۰/۲ میلیون دلار شدند (نسبت درآمد به هزینه برابر ۱۰).

۵-۹-۲- بررسی پاسخ‌گویی تقاضا در بازار New England

ISO-NE سه نوع برنامه پاسخ‌گویی تقاضا را به مصرف‌کنندگان پیشنهاد می‌دهد:

۱- برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضای زمان حقیقی

۲- برنامه‌ی پاسخ‌گویی قیمت زمان حقیقی

۳- قطع بار

---

1 -Day-Ahead Demand Response Program

2 Demand Side Ancillary Services Program

Ahwaz_Hackerz

۵-۹-۲-۱- برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضای زمان حقیقی

در این برنامه بهره‌بردار مستقل شبکه (ISO) به مصرف‌کنندگان جزئی برای کاهش بار اطلاع می‌دهد. اگر مصرف‌کنندگان برای پاسخ‌گویی موافقت کنند و مصرف خود را کاهش دهند، پرداخت‌هایی را دریافت خواهند کرد. این برنامه اصولاً مانند یک برنامه‌ی پاسخ‌گویی تقاضا اضطراری است اما فقط در روزهای غیر تعطیل هفته و بین ساعات ۷ صبح تا ۶ بعداز ظهر اجرا می‌شود. مصرف‌کنندگانی که در این برنامه شرکت می‌کنند باید توانایی کاهش حداقل ۱۰۰ کیلووات را داشته باشند. همچنین آن‌ها باید از دستگاه‌های اندازه‌گیری و سیستم‌های ارتباطی ویژه‌ای که قادرند در مدت ۵ دقیقه مقدار بار مصرفی مشارکت کنندگان را ثبت کنند، بهره‌مند باشند. علاوه بر این مشارکت کنندگان باید قادر باشند بار مصرفی خود را در ظرف ۳۰ دقیقه یا ۲ ساعت بعد از اعلام ISO کاهش دهند. در صورتی که مصرف‌کنندگان بار خود را کاهش دهند، قیمت تسویه انرژی در یک ضریب تراکم ضرب شده و مبلغ به دست آمده (که نباید از ۱۰۰ دلار تجاوز کند) به آن‌ها پرداخت خواهد شد.

۵-۹-۲-۲- برنامه‌ی پاسخ‌گویی قیمت حقیقی

ISO راهی را برای مصرف‌کنندگان باز کرده است تا آن‌ها بتوانند به صورت اختیاری و داوطلبانه در زمانی که قیمت‌های تسویه‌ی بازار بیش از ۱۰۰ دلار است، مصرف خود را کاهش دهند. این برنامه در بازار NE، فقط در روزهای غیر تعطیل هفته و از ساعت ۷ صبح تا ۱۱ شب اجرا می‌شود. مصرف‌کنندگانی که در این برنامه شرکت می‌کنند نیاز به دستگاه‌های اندازه‌گیری راه دور دارند و باید توانایی کاهش حداقل ۱۰۰ کیلووات را داشته باشند. اطلاع‌رسانی می‌تواند از طریق سیستم‌های ارتباطی یا از طریق ایمیل، فکس، پیجر و وب‌سایت صورت گیرد.

۵-۹-۲-۳- قطع بار

Ahwaz_Hackerz

مشارکت‌کنندگان در این برنامه باید به دستگاه‌های اندازه‌گیری مجهز باشند که به طور ساعتی مصرف برق آن‌ها را اندازه بگیرد. در این برنامه بارها به سه دسته بار اوج، میانه و غیر اوج بر اساس زمان اطلاع‌رسانی تقسیم می‌شوند. مدت زمان قطع بار در هر یک از دسته‌های بالا متفاوت است. مصرف‌کنندگان از زمان اطلاع‌رسانی حداکثر ۱۲ ساعت فرصت دارند که پاسخ‌گویی را انجام دهند. در این برنامه پرداخت ویژه‌ای برای قطع مصرف به مشارکت‌کنندگان تعلق نمی‌گیرد اما آن‌ها برای تمام انرژی مصرفی خود نرخ ویژه‌ای را پرداخت می‌کنند. به عبارت دیگر قیمت کم‌تری برای برق مصرفی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (تخفیف در صورت‌حساب).

۵-۱۰- مدل‌های قابل اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی تقاضا در شبکه‌ی هوشمند ایران

۵-۱۰-۱- برنامه‌های پاسخ‌گویی زمان استفاده (TOU)

این برنامه در شبکه‌ی قدرت ایران در حال اجرا هست. این برنامه برای مشتریانی که دارای کنتور سه زمانه هستند اجرا می‌شود. طرح فعلی TOU در کشور به صورت تقسیم‌بندی یک شبانه‌روز به سه دوره‌ی کم‌باری، می‌انباری و پرباری هست. این روش به نوعی نوسانات قیمت را در غالب چند تعرفه‌ی کلی به بارها اعمال می‌کند. یکی از مشکلات اساسی در کنتورهای سه زمانه‌ی فعلی، تنظیم اولیه‌ی آن‌ها هست که باید تا پایان دوره بر آن اساس کار کنند؛ یعنی امکان تغییر ساعات دوره‌ها برای تمامی کنتورها دشوار هست.

این برنامه در طرح فهام کامل‌تر در نظر گرفته شده است. به این صورت که تعرفه‌های تعریف‌شده بر اساس سه بازه‌ی زمانی کم‌باری، می‌انباری و اوج بار در نظر گرفته خواهد شد. همچنین این تعرفه‌ها بر اساس ماه‌های مختلف سال محاسبه خواهد شد و همچنین ایام تعطیل نیز در این محاسبات در نظر گرفته خواهد شد.

Ahwaz_Hackerz

۵-۱۰-۲- برنامه‌های قیمت‌گذاری لحظه‌ای (RTP)

برنامه‌ی RTP در صورتی که طرح فهام قادر به اندازه‌گیری انرژی مصرفی مشترکین در بازه‌های یک‌ساعته باشد، قابل اجرا است. این برنامه در اجرا پیچیده است و نیازمند اجرای بازار برق در کشور است بنابراین برنامه‌ی قیمت‌گذاری لحظه‌ای در حال حاضر در کشور ممکن نیست. بیشترین کاربرد این روش برای مصرف‌کنندگان بزرگ هست، چرا که مواجه شدن با این قیمت‌های واقعی بازار عمده‌فروشی در عمل برای مصرف‌کنندگان خانگی امری دشوار هست.

۵-۱۰-۳- برنامه‌های قیمت‌گذاری زمان اوج بحرانی (CPP)

برنامه CPP طرح فهام در دو مدل اجرا خواهد شد. در حالت اول که برای مصرف‌کنندگان مسکونی ایجاد شده است، تعرفه‌ی برق برای برخی ساعات دوره‌ی اوج بار بیشتر در نظرگرفته می‌شود. این افزایش قیمت و ساعات مد نظر از روز قبل به اطلاع تمام مشتریان خواهد رسید. این قیمت که چند برابر قیمت برق در روزهای عادی هست، متناسب با میزان نیاز به کاهش مصرف تعیین می‌شود. در حالت دوم، طرف قرارداد مصرف‌کنندگان متوسط و بزرگ خواهد بود. سیستم فهام می‌تواند میزان مشارکت در کاهش مصرف هر مشترک را در ساعات مورد نظر اندازه‌گیری و ثبت نماید. لذا پرداخت‌ها به صورت تخفیف و متناسب با میزان کاهش در مصرف انرژی الکتریکی در آن ساعات به آن‌ها پرداخت خواهد شد.

۵-۱۰-۴- قطع بار

در طرح فهام برنامه‌ی قطع و یا محدود کردن مصرف برق در دو مدل در نظر گرفته شده است که این عمل یا از طریق مشتری و یا توسط شرکت برق صورت خواهد گرفت. در حالت اول شرکت برق در موقع نیاز، سیگنال هشداری را از طریق سیستم AMI به مشترکانی که از قبل رضایت خود را برای شرکت در این برنامه اعلام کرده‌اند، می‌فرستد. مشترک باید بر اساس

Ahwaz_Hackerz

میزان متعهد شده در قرارداد کاهش دهد در غیر این صورت بر اساس قرارداد جریمه خواهد شد. در حالت دوم با توجه به گزینه‌ی قطع از راه دور کنتورهای هوشمند، مشترک مورد نظر مستقیماً توسط شرکت برق قطع خواهد شد. البته قبل از آن سیگنال هشداری مبتنی بر زمان و دوره‌ی قطع برق به مشتری اعلام می‌دارد. در حالت دوم قابلیت اطمینان شرکت برق افزایش می‌یابد زیرا از میزان دقیق بار کاهش یافته اطلاع خواهد داشت.

۵-۱۱- جمع‌بندی

پاسخ‌گویی تقاضا به عنوان مشارکت مصرف کنندگان کوچک در بازار برق، روبرو شدن آن‌ها با قیمت‌های لحظه‌ای بازار و پاسخ‌گویی به آن تعریف شد. در واقع پاسخ‌گویی تقاضا به مشارکت مصرف‌کنندگان در بازار برق و تطبیق مصرف خود با سمت تولید، بر اساس شرایط شبکه و قیمت واقعی برق در هر لحظه، گفته می‌شود. اصلی‌ترین دلیل تشویق مشترکین به شرکت در برنامه‌های پاسخ به تقاضا ایجاد دگرگونی در حس مسئولیت‌پذیری و در جهت پرهیز از خاموشی‌های گسترده در کنار و یا به عوض هزینه کمتر برای مشترکین است. این‌ها همه به سبب عدم قطعیت برنامه‌های پاسخ به قیمت و مشخص نبودن میزان باری که ممکن است در طول یک حادثه بتوان از شبکه حذف نمود و بقای اقتصادی شرکت در برنامه پاسخ به تقاضا و همچنین امید به حفظ آسایش در طول برنامه پاسخ به تقاضاست.

منابع و مراجع

[1] M. Shahidehpour, H. Yamin and Z. Li, *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Managementg*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

[2] D. Kirschen and G. Strabak, *Fundamentals of Power System Economics*, London: John Wiley & Sons 2004.

Ahwaz_Hackerz

[3] EnerNOC, Inc., “Annual Report on Form 10-K For The Fiscal Year Ended December: 31”, 2009.

[4] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, “Demand Response in Electricity Markets: An Overview,” 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, pp. 1-5, 2007.

[5] http://johanna-ernst.at/duck-energy/

[6] G. Barbose, Ch. Goldman and B. Neenan, “A Survey of Utility Experience with Real Time Pricing”, Environmental Energy Technologies Division, December 2004.

[7] US Department of Energy, “Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them”, Report to the United States Congress, February 2006. Available online: http://eetd.lbl.gov

[8] S. Braithwait and K. Eakin, “The Role of Demand Response in Electric Power Market Design”, Laurits R. Christensen Associates, Prepared for Edison Electric Institute, Madison, October 2002. Available online: http://www.eei.org

[9] B. Ramanathan, D. A. Hennessy and R. E. Brown, “Decision-making and Policy Implications of Performance-based Regulation,” 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, GA, 2006, pp. 394-401, 2006.

[10] M. Mostafayi, G. B. Gharehpetian, M. Abedi and G. H. Riahy, "Power Consumption Optimal Scheduling for Demand Response in Home Energy Management Systems", IEA Second International Conference on Technology and Energy, 15-16 Dec. 2015.

[11] M. S. Mahdavi, G. B. Gharehpetian and Z. Mahdavi, “Reduction of Fuel Consumption, Spinning Reserve and Losses of Smart Grid Using Optimal Utilization of Renewable Energy Resources and Demand Response”, 5th edition of Emerging Trends in Energy Conservation (ETEC 2016), Tehran, Iran, February 22 and 23, 2016.

Ahwaz_Hackerz

[12] The Regulatory Assistance Project, "Performance-Based Regulation for Distribution Utilities", December 2000.

[13] T. Solver and L. Soder, "Comparison of Incentives for Distribution System Reliability in Performance-Based Regulation," 2004 IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings, Vol. 2, pp. 485-490, 2004.

[14] A. D. Papalexopoulos and P. E. Andrianesis, "Performance-Based Pricing of Frequency Regulation in Electricity Markets," IEEE Trans. on Power System, Vol. 29, No. 1, pp. 441-449, 2012.

[15] H. R. Arasteh and M. R. Haghifam, "Concurrent Impacts of Automation and Demand Response on Utilities Reliability Costs in Performance Based Regulation Scheme," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, pp. 1-5, 2012.

[16] M. Simab and M. R. Haghifam, "Quality Performance Based Regulation Through Designing Reward and Penalty Scheme for Electric Distribution Companies," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 43, No. 1, pp. 539-545, Dec. 2012.

[17] M. H. Albadi and E.F. El-Saadany, "A Summary of Demand Response in Electricity Markets," Electric Power Systems Research, Vol. 78 pp. 1989–1996, 2008.

[18] N. Belonogova, J. Haakana, V. Tikka, J. Lassila and J. Partanen, "Feasibility Studies Of End-Customer's Local Energy Storage On Balancing Power Market," CIRED Workshop 2016, Helsinki, pp. 1-4, 2016.

[19] M. Piette, O. Sezgen, D.Watson, N.Motegi and C. Shockman, "Development and Evaluation of Fully Automated Demand Response in Large Facilities," Prepared For California Energy Commission, Public Interest Energy Research (PIER) Program, March 30, 2004.

[20] "Demand Response: An Introduction (Overview of Programs,

Ahwaz_Hackerz

Technologies, and Lessons Learned),” Rocky Mountain Institute, 30 April 2006.

[21] H. A. Alami, M. ParsaMoghaddam and G. Yousefi, “Optimum Time of Use Program Proposal for Iranian Power Systems”, 2009 International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, (EPECS), Sharjah, pp. 1-6, 2009.

[22] K. Herter, P. McAuliffe and A. Rosenfeld, “An Exploratory Analysis of California Residential Customer Response to Critical Peak Pricing of Electricity,” Energy, Vol. 32 pp. 25–34, 2007.

[23] H. A. Aalami, M. Parsa Moghaddam and G.R. Yousefi, “Demand Response Modeling Considering Interruptible/Curtailable Loads and Capacity Market Programs,” Applied Energy, Vol. 87, Issue 1, Jan. 2010.

[24] J. Saebi, J. Mohammadi, H. Taheri and S. S. Nayar, “Demand Bidding/Buyback Modeling and Its Impact on Market Clearing Price,” ENERGYCON conference, Manama, Bahrain, 2010.

[25] M. Fahliglu and F. L. Alvarado, "Designing Incentive Compatible Contracts for Effective Demand Management," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 1255-1260, Nov. 2000.

[26] CIGRE WG C6.09.Item 4 –Demand-Side Response Initiatives.

[27] V. S. K. Murthy Balijepalli, V. Pradhan, S. A. Khaparde and R. M. Shereef “Review of Demand Response under Smart Grid Paradigm,” ISGT2011-India, Kollam, Kerala, pp. 236-243, 2011.

[28] P. De Martini, “DR 2.0: A Future of Customer Response,” Newport Consulting, July 2013.

[29] P. Bodenbenner and S. Feuerriegel “Costs of Integrating Demand Response Systems in Electricity Markets,” Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS) 2014, Tel Aviv, Israel, June 9-11, 2014.

[30] R. King, J. Crawford, B. Huddleston and S. Isser “The Debate

Ahwaz_Hackerz

About Demand Response and Wholesale Electricity Markets," The South-central Partnership for Energy Efficiency as a Resource, Oct. 2015.

[31] ISO-New England, June 24, 2010.

[32] P. Mavrikas, "Evaluation of Demand Response Systems for Smart Grids," MS thesis, Department of Computer Science and Engineering, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Göteborg, Sweden 2013.

[33] Piette, M. Ann, G. Ghatikar, S. Kiliccote, E. Koch, D. Hennage, P. Palensky and Ch. McParland, "Open Automated Demand Response Communications Specification (Version 1.0)," Demand Response Research Center, Berkeley Lab, 2009.

[34] "The Modern Grid Initiative. Version2.0," Conducted by the National Energy Technology Laboratory for the US Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability; Jan. 2007.http://www.netl.doe.gov/ moderngrid/resources.html.

[35] EPRI's Intelligent Grids Initiative. http://intelligrid.epri.com.

[36] V. J. Forte "Smart grid at National Grid," IEEE/NIST Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) 2010 Conference, 2010.

[37] C. W. Potter, A. Archambault and K. Westrick, "Building a smarter smart grid through better renewable energy information," 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, pp. 1-5, 2009.

[38] D. T. Nguyen, "Demand response for domestic and small business consumers: A new challenge," IEEE PES T&D 2010, New Orleans, LA, USA, pp. 1-7, 2010.

[39] M. Marwan, F. Kamel and W. Xiang, "Mitigation of Electricity Price/Demand Using Demand Side Response Smart Grid Model," 1st International Postgraduate Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing (eddBE

Ahwaz_Hackerz

2011), Brisbane, Australia, 27-29 Apr 2011.

[40] D. York and M. Kushler, “Exploring the Relationship between Demand Response and Energy Efficiency: Are View of Experience and Discussion of Key Issues,” American Council for an Energy-Efficient Economy, Report No. U052, 2005.

[41] K. Herter, “Residential Implementation of Critical-Peak Pricing of Electricity,” Energy Policy, Vol. 35, pp. 2121–2130, 2007.

[42] C. Triki and A. Violi, “Dynamic pricing of electricity in retail markets,” Quarterly Journal of Operations Research, Vol. 7, No. 1, pp. 21-36, 2009.

[43] P. Centolella, “The Integration of Price Responsive Demand into Regional Transmission Organization (RTO) Wholesale Power Markets and System Operations,” Energy, Vol. 35, No. 4, pp. 1568–74, 2010.

[44] M. Perninge and R. Eriksson, “Frequency Control in Power Systems Based on a Regulating Market,” in IEEE Trans. on Control Systems Technology, 2017. doi: 10.1109/TCST.2017.2664723

[45] A. Chiu, A. Ipakchi, A. Chuang, B. Qiu, B. Hodges and D. Brooks, “Framework for integrated demand response (DR) and distributed energy resources (DER) models,” NAESB & UCAIug, 2009. <http://www.neopanora.com/>.

[46] N. Motegi, M. A. Piette, D. S. Watson, S. Kiliccote and P. Xu, “Introduction of Commercial Building Control Strategies and Techniques for Demand Response,” Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Report No. LBNL-59975, 2007. <http://drrc.lbl.gov/pubs/59975.pdf>

[47] S. Mohagheghi, J. Stoupis, Z. Wang, Z. Li and H. Kazemzadeh, “Demand Response Architecture: Integration into the Distribution Management System,” 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, Gaithersburg, MD, pp. 501-506, 2010.

Ahwaz_Hackerz

[48] R. Bourdette and D. A. Brodén, “Economic Simulations of The Participation of Virtual Power Plants on the Swiss Balancing Market,” 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), Ljubljana, pp. 1-6, 2016.

[49] A. H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober and A. Leon-Garcia, “Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid,” in IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 1, No. 3, pp. 320-331, Dec. 2010.

[50] National Institute of Standards and Technology (NIST) Framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 1.0 January 2010.

[51] C. Alvarez, A. Gabaldon and A. Molina, “Assessment and Simulation of the Responsive Demand Potential in End-User Facilities: Application to A University Customer,” in IEEE Trans. on Power Systems, vol. 19, no. 2, pp. 1223-1231, May 2004.

Ahwaz_Hackerz

۶ واحد اندازه‌گیری فازور (PMU)

۶-۱- مقدمه

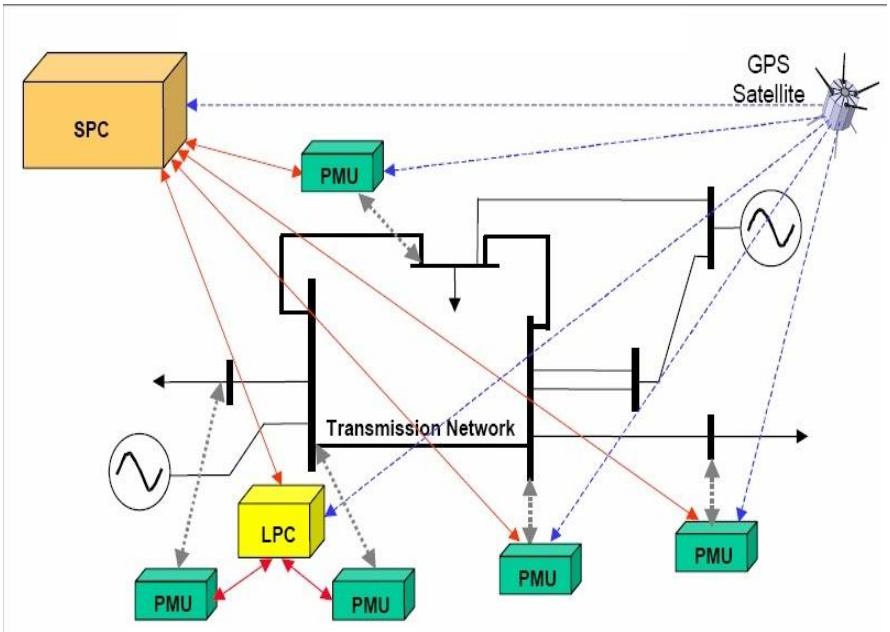
یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، حفظ امنیت آن است. بهره‌بردار شبکه باید اطمینان حاصل کند که در هر لحظه متغیرهای شبکه در محدوده‌ی مجاز خود قرار داشته و در صورت وقوع پیشامدهای مهم نیز سیستم همچنان عملکرد عادی خود را حفظ می‌کند. بدون شک اولین قدم در راه ارزیابی امنیت سیستم، نمایش شرایط بهره‌برداری فعلی آن بوده، به نحوی که پس از بررسی آن، تصمیمات احتمالی لازم جهت حفظ شرایط عملکرد مطلوب گرفته شود. برای مشخص کردن وضعیت فعلی سیستم از تخمین حالت استفاده می‌شود.

هدف نهایی از اجرای تخمین حالت، نمایش متغیرهای شبکه بوده، به نحوی که بهره‌بردار سیستم با استفاده از خروجی تخمین حالت، قادر به اجرای سایر اعمال نظارتی و کنترلی نظیر پخش بار بهینه و ارزیابی امنیت سیستم باشد. ورودی برنامه تخمین حالت اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف شبکه بوده و خروجی آن متغیرهای حالت سیستم است.

در گذشته به دلیل مشکلات فنی پیرامون هم‌زمان‌سازی اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف شبکه، این اندازه‌گیری‌ها فاقد زاویه بود و تنها شامل اندازه‌ی ولتاژ و توان تزریقی برخی باس‌ها و اندازه‌ی فلوی عبوری بعضی از خطوط می‌شدند. اندازه‌گیری‌های فوق گرچه امکان حل مسئله‌ی تخمین حالت را غالباً فراهم می‌سازند، اما بنا بر دلایلی از جمله دوره‌ی اندازه‌گیری طولانی و داشتن روابط غیرخطی با متغیرهای حالت سیستم، موجب کندی در زمان اجرای تخمین حالت شده و دقت آن را نیز بعضاً تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. گسترش تکنیک‌های

Ahwaz_Hackerz

سنکرون سازی بین نقاط مختلف، مشکلات فوق را برطرف کرده و منجر به پیدایش واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU[1]) شد. شکل ۶-۱ نمایی کلی از یک سیستم انتقال که اندازه‌گیری‌های آن توسط PMUها انجام می‌شود را نمایش می‌دهد. به منظور بهره‌برداری مناسب از اطلاعات PMUها این واحدها با مرکز حفاظت سیستم[2] در ارتباط هستند.



شکل ۶-۱: نمایی از شبکه‌ی تولید، انتقال و توزیع با حضور سیستم‌های هماهنگ‌سازی زمانی [۶].

هوشمندسازی شبکه‌ی انتقال توسط دو عامل محقق می‌شود که مورد دوم به طور مفصل در این فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

- ✓ فناوری‌های پیشرفته (FACTS[3]، HVDC[4] و ...)

1- Phasor Measurement Unit
2- System Protection System (SPC)
3- Flexible AC Transmission System
4- High Voltage Direct Current

Ahwaz_Hackerz

✓ سیستم‌های نظارت، حفاظت و کنترل گسترده (WAMPAC[1]، WAMS[2])

۶-۲- WAMPAC

همان‌طور که اشاره شد، یکی از اجزای هوشمندسازی شبکه‌ی انتقال، سیستم‌های نظارت، حفاظت و کنترل گسترده است که در این بخش به این نکته اشاره می‌شود.

۶-۲-۱- حالات بهره‌برداری سیستم قدرت

در طراحی سیستم قدرت معیارهای متفاوتی مدنظر قرار می‌گیرد. یکی از این معیارها، معیار متداول $N-1$ است. منظور از این معیار، ادامه به کار پایدار شبکه در صورت بروز پیشامد یگانه است. به بیان دیگر، در صورت وجود N عنصر در سیستم، با خروج یکی از آن‌ها سیستم بتواند همچنان به کار عادی خود ادامه دهد.

پیشامد یگانه به طور متداول در شبکه رخ می‌دهد اما وضعیت شبکه در هنگام بروز این پیشامد مهم است. اگر بروز پیشامد یگانه با مواردی که در زیر اشاره شده است، همراه باشد، شبکه وضعیت متفاوتی خواهد داشت:

- بروز شرایط نامساعد جوی
- اختلال در ارتباطات یا تبادل اطلاعات (مشکل در ارسال و دریافت سیگنال)
- خطا در سیستم کنترلی (سیستم‌های کنترلی نیز دارای نرخ خرابی هستند)
- تصمیمات غلط اپراتور (خطای انسانی)

در صورت بروز پیشامد یگانه همراه با اتفاقات فوق، پیشامد با مرتبه‌ی بالاتر $(N-K)$ رخ می‌دهد که می‌تواند موجب خروج پی‌درپی[3] و در نتیجه خاموشی سراسری[4] گردد که به صورت

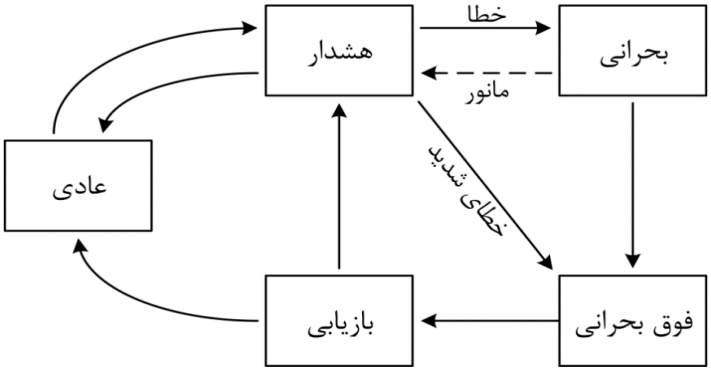
1- Wide Area Measurment, Poection and Control
2-Wide Area Measurment Systems
3- Cascaded Tripping
4- Black Out

Ahwaz_Hackerz

خلاصه می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

پیشامد با مرتبه‌ی بالاتر (N – K) ← خروج پی‌درپی← خاموشی سراسری

هدف از بهره‌برداری سیستم قدرت، کنترل خطا در مراحل آغازین و جلوگیری از انتشار آن در سطح شبکه است. حالات بهره‌برداری سیستم در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. شرح مختصری از این حالات در ادامه بیان می‌شود.



شکل ۶-۲: حالات بهره برداری سیستم قدرت.

۱- حالت کار عادی: تمام متغیرهای سیستم در مقادیر قابل قبول و در قیود هستند. مثلاً در مورد پارامتر ولتاژ، حالت بهره‌برداری عادی می‌تواند قیود ۰/۹۵ الی ۱/۰۵ پریونیت را شامل شود. یا برای توان، حالت عادی زمانی است که هیچ خطی اضافه‌بار نداشته باشد و هیچ‌گاه از مقدار مشخص شده (مثلاً ۰/۶ پریونیت) نیز کمتر نشود.

۲- حالت کار هشدار: قیود، برقرار است ولی حاشیه‌ی امنیت/پایداری سیستم کاهش پیدا کرده است. پارامتر امنیت از لحاظ ریاضی قابل محاسبه است یعنی می‌توان برای هر نقطه از شبکه و در هر نقطه‌ی کاری میزان امنیت سیستم را تعیین کرد. فاصله‌ی این مقدار تا حوزه‌ی ناامن، حاشیه‌ی پایداری را مشخص می‌کند. حالت هشدار همانند قرار گرفتن در لبه‌ی پرتگاه هست، به این صورت که اگر در حالت هشدار خطایی رخ دهد وارد حالت بحرانی می‌شویم. در

Ahwaz_Hackerz

مواردی که سیستم به حالت هشدار می‌رسد، بهره‌بردار سعی می‌کند با افزایش حاشیه‌ی امنیت، دوباره به حالت عادی بازگردد (از این جهت همان‌طور که در شکل ۶-۲ مشاهده می‌شود در این مورد فلش‌ها دو طرفه رسم شده‌اند).

۳- حالت کار بحرانی: قیود برقرار نیست. با اعمال مانورهایی می‌توان به حالت هشدار بازگشت. به عنوان مثال در اثر بارگیری سنگین، ولتاژ شبکه افت و به ۰/۹ پریونیت کاهش پیدا کرده است و سیستم وارد حالت بحرانی شده است. با این حال امکان مانوری وجود دارد که بتوان سیستم را به حالت هشدار بازگرداند. به عنوان نمونه می‌توان منابع توان راکتیو را در مدار قرار داد تا به بالا بردن سطح ولتاژ تا مقادیر مجاز کمک کند.

۴- حالت کار فوق بحرانی: مانورها برای بازگشت به حالت کار هشدار مؤثر نبوده است. راهکار مناسب در این حالت، بارزدایی[1] یا جدا کردن بخشی از شبکه است. حالت فوق بحرانی می‌تواند در اثر یک اغتشاش شدید (مثل خروج یک نیروگاه بزرگ) بلافاصله پس از حالت هشدار بوجود آید.

۵- حالت کار بازیابی[2]: خاموشی روی داده و می‌خواهیم شبکه را دوباره برق‌دار کنیم. اگر حالت فوق بحرانی رخ دهد، حتماً خاموشی خواهیم داشت و در مرحله بعدی می‌بایست شبکه را بازیابی کنیم. در مرحله بازیابی یا مستقیماً به حالت عادی بازمی‌گردیم و یا معمول آن است که ابتدا به حالت هشدار می‌رویم و سپس با انجام مانورهایی سیستم را به حالت عادی بازمی‌گردانیم.

۶-۲-۲- روش‌های کنترل

روش‌های کنترل از دیدگاه بهره‌برداری (به منظور جلوگیری از انتشار خطا و نرسیدن به حالت فوق بحرانی و بازیابی) به دو گروه دسته‌بندی می‌شوند:

1- Load Shedding
2- Restoration

Ahwaz_Hackerz

۱- کنترل پیشگیرانه[1]: کنترلی است که قبل از وقوع خطا یـا اخـتلال اعمـال مـی‌شـود. ایـن کنترل سیستم را از حالت هشدار به حالت عادی باز می‌گرداند، به نحوی که سیستم وارد حالت بحرانی نشود.

۲- کنترل اصلاحی[2]: کنترلی است که پس از وقوع خطا، جهـت جلـوگیری از گسـترش خطـا اعمال می‌شود. از جمله اصطلاحات متداول در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- طرح‌های عملی برای پیشگیری RAS[3]
- سیستم‌های حفاظت ویژه SPS[4]

روش‌های کنترل اصلاحی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

روش اول: مبتنی بر وقوع حادثه

پس از وقوع پیشـامد معین، بدون استفـاده از اندازه‌گیری و با تکیه بر تغییر حـالت عنـاصر حفاظتی که SCADA[5] اطلاعات آن را جمع‌آوری کرده است، عمل می‌شود. در این روش بهره‌بردار، رله‌هایی که در اثر خطا عمل کرده‌اند را مدنظر قرار می‌دهد و بر اساس اطلاعاتی که از قبل در خصوص عملکرد هر رله دارد، روش کنترلی مناسب را انتخاب می‌کند.

سیستم SCADA همان سیستم جمع‌آوری اطلاعات از نقاط مختلف شبکه است که محدودیت انتقال اطلاعات آن، عیب این روش کنترلی است زیرا نمی‌تواند همه‌ی اطلاعات شبکه را منتقل کند. مزیت این روش، سرعت بالای آن به دلیل استفاده از جداول از پیش مشخص شده[6] است. این ویژگی در کاربردهای آنی از اهمیت بالایی برخوردار است.

1- Preventive
2- Corrective
3- Remedial Action Schemes
4- Special Protection Systems
5- Supervisory Control And Data Acquisition
6- Look-up Table

Ahwaz_Hackerz

روش دوم: مبتنی بر پاسخ سیستم

پس از وقوع خطا بر اساس تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده عمل می‌کند. در این حالت، اندازه‌گیری در روش‌های کنترلی دخالت مستقیم دارد. عیب این روش کنترلی این است که نسبت به روش اول کندتر است زیرا که پس از انجام اندازه‌گیری، می‌بایست تحلیل بر روی داده‌ها انجام شود. ولی مزیت این روش قابلیت تطبیق‌پذیری با شرایط بهره‌برداری مختلف (همه‌ی حالات)، شدت اختلال (کوچک یا بزرگ باشد) و نوع خطا (برای تمامی انواع خطاها جواب می‌دهد) هست.

۶-۲-۳- تعریف WAMPAC

در صورتی که سیستم اندازه‌گیری زمان واقعی شبکه با امکانات ارزیابی پایداری، الگوریتم‌های پایدارساز و روش‌های کنترلی همراه شود، یک سیستم WAMPAC ایجاد شده است. کلید اصلی در محقق شدن این سیستم‌ها PMUها هستند که در بخش ۳ این فصل به طور کامل مورد بحث قرار می‌گیرند. این سیستم به دلیل دارا بودن ویژگی پایش و اندازه‌گیری، شامل روش‌های کنترل پیشگیرانه نمی‌شود.

۶-۲-۴- اجزاء WAMPAC

سیستم WAMPAC دارای اجزای زیر است:

- اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها[1]
- تبادل و تحویل داده‌ها
- تحلیل داده‌ها (ایجاد مغز متفکر برای تحلیل داده‌ها)
- اعمال کنترل‌های لازم

1- Data Acquisition

Ahwaz_Hackerz

چهار قسمت بالا دقیقاً مشابه قسمت‌های مختلف رفتار هوشمند یک انسان است و می‌تواند در نهایت، هوشمندسازی شبکه‌های انتقال قدرت را محقق کند. دقیق‌ترین و پیشرفته‌ترین فناوری برای کاربردهای WAMPAC بر اساس واحد اندازه‌گیری فازور مبتنی بر سیستم موقعیت‌یاب جهانی[1] بنا شده است.

۶-۲-۵- کاربردهای WAMPAC

برای این سیستم کاربردهایی برشمرده شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۶-۲-۵-۱- پایش شبکه

این سیستم می‌تواند از چند نظر در پایش شبکه مفید باشد:

- تخمین حالت (رؤیت‌پذیری): تعیین سیستم‌هایی که مشاهده ناپذیرند و اقدامات/مانورهایی که برای مشاهده‌پذیری آن‌ها می‌توان انجام داد. تخمین حالت بر اساس مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های انجام شده، صورت می‌پذیرد.
- پایش پایداری شبکه: برای پایش حاشیه‌ی پایداری در وضعیت هشدار، از سیستم‌های WAMPAC استفاده می‌شود.
- پایش اضافه بار حرارتی (بارگذاری): با اطلاع از وضعیت خط‌های مجاور و توان انتقالی هر خط در شبکه می‌توان کنترل توان انتقالی روی خطوط را انجام داد. لازم به ذکر است که ظرفیت خط انتقال متناسب با درجه حرارت و وزش باد متغیر است.
- تخمین پارامترهای شبکه (اعتبارسنجی مدل‌ها): این اعتبارسنجی با اندازه‌گیری توسط WAMPAC انجام می‌شود. در بسیاری از موارد توان کشیده شده در زمان بهره‌برداری با توان نامی عناصر شبکه قدرت متفاوت است و دلیل آن این است که

1- Global Positioning System (GPS)

Ahwaz_Hackerz

شرایط محیطی نصب عناصر، بر پارامترهای آن عنصر اثرگذار خواهد بود؛ بنابراین لازم است هر طرحی در شبکه از قبل مدل شود و سپس مورد اعتبارسنجی قرار گیرد. اعتبارسنجی مدل‌ها به وسیله‌ی اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط WAMPAC صورت می‌گیرد.

۶-۲-۵-۲- کنترل شبکه

این سیستم می‌تواند از چند نظر در کنترل شبکه مفید باشد:

- کنترل بلادرنگ (با حذف عدم قطعیت‌ها): عدم قطعیت‌هایی نظیر داشتن منحنی مصرف مشترکین یا داشتن منحنی وزش باد که همواره غیرقطعی هستند و با کنترل بلادرنگ می‌توانند به صورت بلادرنگ پیاده‌سازی شوند.
- پایدارساز گسترده: با وجود آنکه در سیستم‌های سنتی، تولید متمرکز بوده و کنترل آن نیز متمرکز هست، با جمع‌آوری اطلاعات شبکه با تأخیری در حدود ۵۰ میلی‌ثانیه (در حد مجاز) می‌توان در شبکه‌های توسعه یافته، پایدارسازهای گسترده را محقق کرد.

۶-۲-۵-۳- حفاظت شبکه

این سیستم می‌تواند از چند نظر در حفاظت شبکه مفید باشد که چند مورد از آن‌ها عبارت‌اند از:

- حفاظت دیفرانسیل خطوط
- حفاظت تطبیقی[1]: با توجه به تغییر مداوم نقطه کار شبکه حفاظت متناسب تنظیم می‌شود.

در مورد حفاظت شبکه توسط سیستم WAMPAC این نکته شایان ذکر است که مسئله

1- Adaptive Protection

Ahwaz_Hackerz

تأخیرات اندازه‌گیری و ارسال آن‌ها در سرعت عملکرد سیستم حفاظتی تأثیر منفی دارد.

۶-۲-۵-۴- تحلیل اغتشاشات توسط WAMPAC

جهت تعیین دلیل بروز اغتشاشات گسترده، تعیین ترتیب اغتشاشات رخ داده مهم است. به عنوان مثال زمانی که خروج‌های پی‌درپی و خاموشی سراسری رخ می‌دهد با تحلیل اغتشاشات قبل از خاموشی می‌توان متوجه منشأ این اتفاقات شد.

۶-۲-۵-۵- بازیابی شبکه

پس از یک خاموشی سراسری و در زمان بازیابی شبکه، عملیات وصل خطوط و تجهیزات، با توجه به اطلاعات به دست آمده از WAMPAC انجام می‌شود.

۶-۲-۵-۶- میراسازی نوسانات بین منطقه‌ای

یکی از مشکلات اساسی سیستم‌های قدرت بخصوص بعد از برطرف شدن یک اغتشاش بزرگ (مثل اتصال کوتاه و خارج شدن یک خط پس از آن) نوسان توان بین مناطق مختلف سیستم است. با استفاده از این سیستم می‌توان نوسانات توان بین منطقه‌ای را شناسایی کرد و با تنظیم کردن دامنه ولتاژ، نوسان را میرا ساخت. این کار به منظور بیشینه نمودن توان انتقالی و بهینه نمودن آن صورت می‌پذیرد. مشابه این کار در سیستم‌های قدرت فعلی توسط پایدارسازهای سیستم قدرت[1] در نیروگاه‌ها و به صورت محلی انجام می‌شود.

۶-۲-۶- الزامات امنیتی در WAMPAC

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های استفاده از این سیستم‌ها، تأمین امنیت اطلاعات ارسال شده و

1- Power System Stabilizer (PSS)

Ahwaz_Hackerz

دریافت شده توسط آن‌ها هست. با دست‌کاری اطلاعات در مبدأ، مقصد و یا در طول مسیر انتقال، می‌توان اثرات مخربی روی شبکه ایجاد نمود. به همین منظور در به مقصد رساندن بلادرنگ اطلاعات فازورها و حالات شبکه، باید الزامات ویژه‌ای برای انتقال امن اطلاعات فازوری در نظر گرفته شود. کاربرد مدل لایه‌ای OSI[1] در پروتکل ارسال اطلاعات با درجه امنیت غیرحساس، استانداردهای امنیتی را شامل نمی‌شود. به همین منظور از استانداردهای امنیتی باید در لایه‌های پایینی استفاده نمود. هر چند امنیت و درستی اطلاعات ارسال شده مهم هستند، اما این اهمیت نباید تأثیری روی بلادرنگ بودن اطلاعات بگذارد. به منظور جلوگیری از دریافت فرمان‌ها غیرمجاز، صحت اطلاعات توسط فرستادن کد HMAC[2] به همراه اطلاعات فازوری تأیید می‌گردد. حفظ امنیت اطلاعات ارسالی در مواردی که از بسترهای عمومی (مانند اینترنت) برای فرستادن اطلاعات استفاده می‌شود اهمیت بیشتری دارد. به همین منظور از روش‌های متعددی برای رمزگذاری اطلاعات باید استفاده شود. یکی از الگوریتم‌های سریع و کم حجم، روش AES[3] هست. روش‌های دیگری که برای سنجش صحت اطلاعات دریافتی توسط زیرساخت‌های عمومی استفاده می‌شوند، در زیر آمده است:

- روش IPSEC VPNs[4] به همراه استفاده از تلفیق TLS[5] و IPSEC (که به DTLS معروف است) هست.
- استفاده از شبکه WAMS خصوصی مانند NERCNet با استفاده از استانداردهای IEEE.
- رمزگذاری تجهیزات ارتباط سریال بین PMU و PDC
- روش PKI[6] و روش Diffie-Hellman که برای تعداد کم تجهیزات استفاده می‌گردد.

استانداردهای امنیت سایبری شبکه فازورها نیز در زیر آورده شده است:

1- Open System Interconnection
2- Hash-based Message Authentication Code
3- Advanced Encypration Standard
4- IP Security Virtual Private Network
5- Transport Layer Security
6- Public Key Infrastructure

Ahwaz_Hackerz

- IEC 62351: استاندار امنیتی از طریق رسانه‌های ارتباطی
- NERC CIP 002-009: استاندارد امنیت سایبری
- IEEE 1686-2007: امنیت داده‌های اندازه‌گیری شده
- IEEE C37.118: پروتکل‌های ارتباطی اندازه‌گیری‌های PMU

۶-۳- واحد اندازه‌گیری فازور (PMU)

واحد اندازه‌گیری فازور، دستگاهی است که امواج الکتریکی درون یک شبکه قدرت را با استفاده از یک منبع مشترک جهت هماهنگ‌سازی، اندازه‌گیری می‌کند. با استفاده از این فناوری نسبتاً جدید، تخمین و نمایش دقیق حالت سیستم قدرت در فواصل زمانی معین امکان‌پذیر بوده و به کمک آن می‌توان پدیده‌های دینامیکی سیستم را از یک ستاد مرکزی مشاهده نموده و عملیات کنترلی مناسب را اعمال نمود.

واحد اندازه‌گیری فازور یک دستگاه نمایش‌دهنده بوده که در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی ابداع شد. این واحد با استفاده از سیگنال سنکرون کننده که غالباً از طرف سیستم موقعیت‌یاب جهانی صادر می‌شود، قادر به اندازه‌گیری فازور ولتاژ و فازور جریان خطوط در یک شین است. کاربرد این دستگاه تنها در مقیاس محلی نبوده، بلکه در بُعد سراسری سیستم نیز دارای کاربردهای فراوان و رو به گسترش است.

۶-۳-۱- مقایسه با سیستم اندازه‌گیری سنتی

اندازه‌گیری‌های سنتی دارای دو مشکل بزرگ بودند:

۱- سنکرون نبودند.

۲- فاقد زاویه‌ی فاز بودند.

به همین دلیل بسیاری از مسائل سیستم قدرت برای اپراتور شبکه مبهم باقی می‌ماند و عملاً

Ahwaz_Hackerz

متوجه اتفاقاتی که در شبکه می‌افتاد نمی‌شد؛ بنابراین محققان به فکر هم‌زمان‌سازی اندازه‌گیری‌ها افتادند.

برای هم‌زمان‌سازی داده‌ها گام‌های زیر به ترتیب برداشته می‌شود:

۱- اندازه‌گیری محلی با یک برچسب زمانی[1]: اندازه‌گیری‌ها را از لحاظ زمانی نسبت به یک مبدأ مشخص، برچسب‌دار می‌کنند.

۲- با برچسب زمانی دار کردن اطلاعات، ارسال اطلاعات و مرتب کردن آن‌ها امکان‌پذیر می‌شود. در مرتب کردن اطلاعات توجه به دو نکته ضروری است:

۲-۱- تقدم و تأخیر اطلاعات مشخص شود.

۲-۲- تأخیر در ارسال اطلاعات مهم نیست. در حالی که قبلاً این تأخیر از اهمیت زیادی برخوردار بود، زیرا شکل موج ولتاژها می‌بایست مطابق با جریان‌های متناظر خود باشد تا فرایند کنترل به راحتی انجام پذیرد؛ اما وقتی اطلاعات برچسب زمانی داشته باشد، دیگر تقدم و تأخر در اندازه‌گیری‌ها اهمیت ندارد.

مرجع زمانی در اندازه‌گیری‌ها UTC[2] است. لحظه‌ی صفر این مرجع زمانی، ثانیه اول ژانویه ۱۹۷۰ است که به آن SOC[3] می‌گویند.

سنکروفازور اندازه‌گیری شده باید برچسب زمانی زمان هماهنگ جهانی یا UTC را به همراه داشته باشد. این برچسب معمولاً از سه قسمت تشکیل شده است: زمان SOC، کسری از ثانیه و وضعیت زمان. زمان SOC برابر با کل ثانیه‌های گذشته از اول ژانویه ۱۹۷۰ است که با یک عدد چهار بایتی بیان می‌شود.

کسری از ثانیه نیز یک عدد صحیح است که نشان می‌دهد زمان گذشته (از ثانیه قبلی) چند برابر زمان موسوم به TIME-BASE است. در واقع هر ثانیه به تعدادی TIME-BASE تقسیم می‌شود که این عدد باید حتماً عددی صحیح باشد. در استاندارد IEC61850-2000

1- Time Tag
2- Universal Time Coordinated
3- Second Of Century

Ahwaz_Hackerz

مقدار TIME-BASE برابر با ۲۲۴ قرار داده شده است.

هم‌زمان‌سازی با UTC نکته‌ای بسیار مهم در اندازه‌گیری سنکروفازورهاست. به عنوان مثال واقع خطای ۱ میکروثانیه در این هم‌زمان‌سازی می‌تواند منجر به خطای ۰/۰۲۲ درجه در ۶۰ هرتز یا ۰/۰۱۸ درجه در ۵۰ هرتز شود.

سیستم GPS این اطلاعات را برای ما فراهم می‌کند. اندازه‌گیری‌ها را هماهنگ با GPS انجام می‌دهند و GPS بر روی اندازه‌گیری‌ها برچسب زمانی را می‌چسباند. در سال ۱۹۸۰ نمونه‌ی آزمایشگاهی دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان در دانشگاه .Virginia Tech ساخته شد. در سال ۱۹۹۱ نمونه‌ی تجاری با نصب در پست، توسط شرکت Macrodyna ساخته شد.

۶-۳-۲- مبانی

نحوه‌ی نمایش یک سیگنال کسینوسی به صورت رابطه‌ی (۶-۱) است:

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi) \leftrightarrow X = \frac{X_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi} \qquad (۱-۶)$$

برای به دست آوردن نمایش فازوری سیگنال فوق می‌بایست مراحل زیر طی شود:

- ابتدا فرکانس باید تخمین زده شود.
- پنجره‌ی داده (یک سیکل فرکانس) تعیین شود. بعد از تخمین فرکانس، پنجره‌ی داده‌ای باید باز شود که معادل یک سیکل فرکانس است.
- ورودی باید از هارمونیک‌ها فیلتر شده باشد.

اگر x_k برای $k= 0, 1, \ldots, N-1$، برابر نمونه‌ی اندازه‌گیری سیگنال ورودی در یک دوره‌ی تناوب باشد آنگاه نمایش فازوری سیگنال به صورت رابطه (۶-۲) است:

$$X = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j\frac{k2\pi}{N}} \qquad (۲-۶)$$

نرخ نمونه‌برداری برای محاسبه‌ی نمایش فازوری به ۵۰ یا ۶۰ هرتز بودن فرکانس شبکه بستگی دارد. در حال حاضر PMUهایی با قابلیت نرخ نمونه‌برداری زیر در فرکانس‌های ۵۰ یا ۶۰ هرتز

Ahwaz_Hackerz

ساخته شده‌اند.

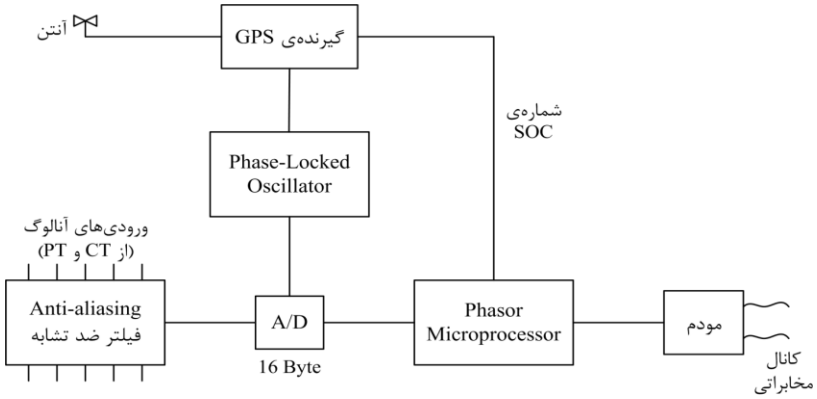
در فرکانس ۵۰ هرتز دستگاه‌هایی با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰، ۲۵ و ۵۰ کیلو هرتز ساخته شده است.

در فرکانس ۶۰ هرتز دستگاه‌هایی با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۸ ساخته شده است.

با افزایش نرخ نمونه‌برداری، می‌توان حالت دینامیکی را نیز ثبت کرد. این امر باعث می‌شود که بتوان اغتشاشات را نیز تشخیص داد.

۶-۳-۳- ساختار PMU

ساختار PMU ساخته شده در دانشگاه .Virginia Tech در شکل ۶-۳ نشان داده شده است.



شکل ۶-۳: ساختار PMU اولیه ساخته شده در دانشگاه .Virginia Tech

ساختار اصلی یک واحد اندازه‌گیری فازوری از یک پردازشگر سیگنال دیجیتال تشکیل شده است. این پردازشگر دیجیتالی از سیگنال‌های ولتاژ و جریان با نرخ ۲۸۸۰ نمونه در هر ثانیه نمونه‌برداری می‌کند. کمیت‌های آنالوگ ولتاژ و جریان قبل از نمونه‌برداری از یک فیلتر ضد تداخل عبور داده می‌شوند تا به این ترتیب فرکانس‌های گذرا از اطلاعات اصلی سیگنال‌های

Ahwaz_Hackerz

ولتاژ و جریان حذف شود. سپس توسط A/D ۱۶ بایتی اطلاعات آنالوگ به داده‌های دیجیتال تبدیل می‌شود. سایر کمیت‌های الکتریکی از قبیل توان اکتیو و راکتیو و غیره توسط پردازشگر دیجیتال محاسبه می‌شوند و از طریق مودم به پردازشگر محلی و یا منطقه‌ای ارسال می‌شوند. از سیگنال سنکرون کننده GPS برای هم‌زمان کردن اطلاعات ارسال شده توسط واحدهای PMU استفاده می‌شود.

در پردازشگر محاسبات زیر انجام می‌شود:

- فازورهای مؤلفه‌ی مثبت جریان‌ها و ولتاژها (خط ورودی و خروجی پست)
- فرکانس و نرخ تغییرات آن
- توان اکتیو و راکتیو

کانال مخابراتی‌ای که استفاده می‌شود می‌بایست از نظر ظرفیت و پهنای باند آن مناسب باشد. این کانال می‌تواند از خطوط تلفن، PLC (روی خط برق، مخابره انجام گیرد)، لینک ماکروویو، فیبر نوری و غیره استفاده کند.

۶-۳-۴- شبکه‌ی Synchrophasor

شبکه سنکروفازور از اجزایی تشکیل شده است که در ادامه در مورد آن‌ها بحث می‌شود.

۶-۳-۴-۱- PDC[1]

تعدادی PMU در شبکه‌ی انتقال نصب شده است و باید اطلاعات آن‌ها به بالادست منتقل/ارسال شود. همچنین این اطلاعات می‌بایست در بالادست ذخیره و نگهداری شود. در بالادست، متمرکز کننده‌ی داده‌های فازوری (PDC) وجود دارد. سیستم PDC دارای قابلیت ذخیره‌سازی اطلاعات و همچنین تصحیح اطلاعات غلط و یا حذف آن‌هاست.

1- Phasor Data Concentrator

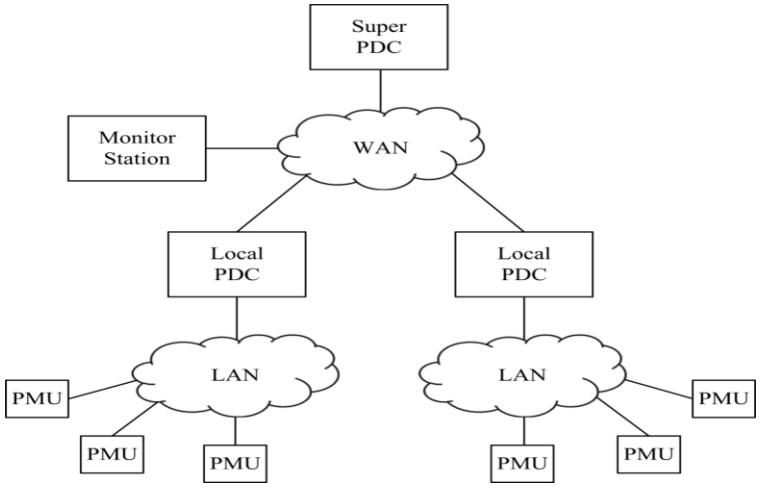
Ahwaz_Hackerz

۶-۳-۴-۲- پروتکل

ارسال اطلاعات باید بر اساس یک پروتکل اطلاعاتی صورت گیرد. در غیر این صورت، PMU و PDC نمی‌توانند زبان یکدیگر را بفهمند. پروتکل مرسوم در این زمینه IEEE C37.118 هست.

۶-۳-۴-۳- ساختار شبکه

ساختار شبکه در حضور PMU و PDC در شکل ۶-۴ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴: ساختار شبکه.

تمامی لینک‌ها در شکل ۶-۴ دو طرفه هستند، بنابراین اطلاعات به صورت دو سویه رد و بدل می‌شوند. اطلاعات به دست آمده از PMUها، که ممکن است در یک پست و در باس‌های مجاور هم و یا صدها کیلومتر دورتر از یکدیگر قرار داشته باشند، توسط PDC محلی جمع‌آوری شده و در هر منطقه ذخیره می‌شود و درنهایت به بالادست ارسال می‌گردند. در بالادست

Ahwaz_Hackerz

سیستم‌های مخابراتی گسترده‌تر WAN[1] قرار دارند که اطلاعات را به ابر PDC منتقل می‌کنند. عنصر ابر PDC در واقع PDC ای است با ظرفیت ذخیره‌سازی بالاتر تا بتواند اطلاعات شبکه را ذخیره کند.

۶-۳-۵- داده‌ی PMU

یک داده‌ی PMU یک پیغام هشت بایتی علامت‌گذاری شده (با برچسب زمانی) با استفاده از مرجع زمانی UTC است. معمولاً ۴ بایت اول برای برچسب زمانی اختصاص داده می‌شود.

۶-۳-۵-۱- ساختار داده‌ی PMU

ساختار داده‌ی PMU تشکیل‌شده از چهار قسمت زیر است:

۱- داده: اطلاعات اندازه‌گیری شده

۲- تنظیمات: توضیحات در مورد اطلاعات ارسالی و ضرایب کالیبره

۳- سرپیام[2]: بخش توضیحی در مورد کل اطلاعات ارسالی

۴- فرمان: پیامی جهت مدیریت و کنترل

تا وقتی که تنظیمات تغییری نکرده، نیازی به ارسال دوباره‌ی تنظیمات نیست و در نتیجه در حالت عادی، فقط داده ارسال می‌شود.

۶-۳-۵-۲- جهت انتقال داده

اطلاعات/داده از سمت PMU به سمت بالادست ارسال می‌شود. از سمت بالادست به سمت PMU و پایین‌دست فرمان برای پیکره‌بندی اجزای پایین‌دست ارسال می‌شود. درخواست اطلاعات در یک فرمت مشخص انجام می‌شود که با توجه به حجم زیاد اطلاعات نیز منطقی

1- Wide Area Network
2- Header

Ahwaz_Hackerz

است. مثلاً فقط اطلاعات یک شین معین در زمان مشخص، مورد نیاز هست. در این حالت از بالادست به PMU فرمان صادر شده تا فقط اطلاعات همان شین را ارسال کند.

۶-۳-۵-۳- ذخیره‌سازی

با توجه به احتمال قطع PMUها، این دستگاه‌ها توانایی ذخیره‌ی اطلاعات در حد ۲۰ دقیقه را دارند؛ یعنی تا ۲۰ دقیقه حتی اگر امکان ارسال اطلاعات به بالادست نیز وجود نداشته باشد، امکان ذخیره‌ی آن‌ها در خود PMU وجود دارد. بعد از ۲۰ دقیقه اطلاعات دوباره‌نویسی[1] می‌شوند.

سیستم PDC وظیفه‌ی اصلی ذخیره‌سازی را بر عهده دارد. با پر شدن حافظه برای ذخیره‌ی اطلاعات جدید، اطلاعات قبلی پاک خواهد شد (دوباره‌نویسی).

در صورت رخداد خطا، اطلاعات به صورت دائم ذخیره می‌شود؛ یعنی ذخیره‌سازی اطلاعات به رخداد خطا حساس هست. به طوری که اگر خطایی در شبکه رخ دهد اطلاعات مربوط به آن ذخیره و نگهداری می‌شود و دیگر دوباره‌نویسی نمی‌شود، تا وقتی که خود اپراتورها تصمیم به دوباره‌نویسی آن قسمت از حافظه بگیرند (حافظه‌ی اشغال شده توسط آن خطا آزاد می‌شود).

۶-۴- جمع‌بندی

یکی از اجزای هوشمندسازی شبکه‌ی انتقال، سیستم‌های نظارت، حفاظت و کنترل گسترده است. در صورتی که سیستم اندازه‌گیری زمان واقعی شبکه با امکانات ارزیابی پایداری، الگوریتم‌های پایدارساز و روش‌های کنترلی همراه شود، یک سیستم WAMPAC ایجاد شده است. PMUها در محقق شدن و پیاده‌سازی یک سیستم WAMPAC نقش اساسی را بازی می‌کنند.

1- Overwrite

Ahwaz_Hackerz

منابع و مراجع

[1] M. Gholami, M. J. Sanjari and G. B. Gharehpetian, "PMU-based Voltage Stability Assessment in Microgrids by ANNs Considering Single Contingencies," International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 7, No. 6, pp. 6317-6323, Dec. 2012.

[2] M. D. Hadley, J. B. McBride, T. W. Edgar, L. R. O'Neil and R. D. Johnson, "Securing Wide Area Measurement Systems," Pacific Northwest National Laboratory, Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy reliability Under Contract DE-AC05-76RL01830, June 2007.

[3] M. Sharifian, "Security Analysis of Phasor Measurement Units in Smart Grid Communication Infrastructures", MSc Thesis, University of Nebraska, Unites States, May 2014.

[4] S. F. Bush, *Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid*, Wiley-IEEE Press, 2014.

[5] H. A. Retty, "Evaluation and Standardizing of Phasor Data Concentrators," MSc Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State, Blacksburg, Virginia, 2013.

[6] M. Begovic, "Wide Area Protection and Emergency Control," Power Systems Conference and Exposition, 2004 IEEE PES, Vol.3, pp. 1776-1777, 2004.

[7] K. Gharani Khajeh, E. Bashar, A. Mahboub Rad and G. B. Gharehpetian, "Integrated Model Considering Effects of Zero Injection Buses and Conventional Measurements on Optimal PMU Placement," in IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 1006-1013, March 2017.

[8] B. Zaker, M. Karrari, M. Mirsalim, G. B. Gharehpetian, N. Moaddabi, "PMU-Based Matching Pursuit Method for Black-Box Modeling of Synchronous Generator," Journal of Iranian Association

Ahwaz_Hackerz

of Electrical and Electronics Engineers (IAEEE), Vol. 12, No. 3, Winter 2015.

[9] S. Azizi, A. Salehi Dobakhshari, S. A. Nezam Sarmadi, A. M. Ranjbar and G. B. Gharehpetian, "Optimal Multi-Stage PMU Placement in Electric Power Systems Using Boolean Algebra," International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 24, Issue 4, pp. 562–577, April 2014.

[10] B. Zaker, G. B. Gharehpetian, M. Karrari, N. Moaddabi, "Simultaneous Parameter Identification of Synchronous Generator and Excitation System Using Online Measurements", IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 7, No. 3, May 2016, pp. 1230-1238.

[11] B. Zaker, G. B. Gharehpetian, M. Mirsalim and N. Moaddabi, "PMU-Based Linear and Nonlinear Black-Box Modelling of Power Systems," 21st Iranian Conference on Electrical Engineering, Mashhad, Iran, 14-16 May 2013.

[12] M. Gholami, G. B. Gharehpetian, B. Fahimi and M. J. Sanjari, "Voltage State Estimation By ANNs with Reduction of PMUs", International Conference on Renewable Energies and Power Quality, ICREPQ'11, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, 13-15 April, 2011

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۷ تولید پراکنده انعطاف‌پذیر (FDG[1])

۷-۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین سؤال‌هایی که در حیطه‌ی شبکه هوشمند با آن درگیر خواهیم بود این است که نقطه شروع شبکه هوشمند از کدام حوزه خواهد بود؟ قسمت تولید، انتقال، توزیع و یا مصرف؟ پاسخ این سؤال ریزشبکه است! برای شروع و پیاده‌سازی شبکه هوشمند اولین انتخاب، ریزشبکه است تا در مقیاس کوچک و اقتصادی به توانایی‌های مورد نیاز شبکه هوشمند برسیم (جزیره‌های هوشمند). در واقع ریزشبکه‌ها در مقیاس کوچک، شبکه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت ولتاژ پایینی هستند که به منظور تأمین بارهای حرارتی و برق برای جوامع کوچک مانند نواحی یا مناطق حومه شهرها، نواحی صنعتی، محل‌های تجاری و یا یک منطقه شهری طراحی می‌شوند. آن‌ها در بخش توزیع و مشترکین پیاده‌سازی می‌گردند و شامل تولید، مصرف و سیستم مخابراتی هستند. در زیر یک تعریف جامع از ریزشبکه ارائه می‌گردد:

یک شبکه توزیع فشار ضعیف است که شامل بارها (بارهای حرارتی و الکتریکی)، منابع ذخیره کننده‌ی انرژی و منابع تولید پراکنده است، که تحت یک سیستم کنترلی مشترک عمل می‌کنند و هدف آن‌ها افزایش امنیت[2]، قابلیت اطمینان[3] و بهره‌وری بالاتر است.

1- Felxible Distributed Generation
2- Security
3- Reliabilty

Ahwaz_Hackerz

در واقع ریزشبکه، یک شبکه توزیع فعال است، زیرا که ترکیب سیستم‌های تولید پراکنده و بارهای مختلف همگی در سطح ولتاژ توزیع خواهند بود. ژنراتورها و منابع کوچک در یک ریزشبکه، معمولاً منابع پراکنده تجدید پذیر هستند که به صورت یکپارچه باهم برای تولید توان در ولتاژ توزیع به کار گرفته شده‌اند. از نقطه نظر عملیاتی، ریز منابع باید به رابط‌های الکترونیک قدرت تجهیز شوند و کنترل‌کننده‌ها باید انعطاف‌پذیری مورد نیاز را برای اطمینان از عملکرد به عنوان یک سیستم واحد متراکم و همچنین حفظ کیفیت توان داشته باشند. این انعطاف پذیری در کنترل، به ریزشبکه این امکان را خواهد داد که خود را ابزار اصلی سیستم قدرت به عنوان تنها واحد کنترل شده که نیازهای انرژی محلی را برای قابلیت اطمینان و امنیت سیستم برآورده می‌سازد، معرفی نماید. از طرفی ویژگی‌های فنی ریزشبکه آن را گزینه‌ای مناسب برای تأمین توان در مناطق دورافتاده کشور کرده است که در آنجا سودمندی تأمین توان از شبکه سراسری به دلیل توپولوژی یا قطعی‌های مکرر به واسطه شرایط آب و هوایی دشوار یا اختلالات انسانی، مشکل است.

از نقطه نظر شبکه‌ای، مزیت اصلی ریزشبکه این است که به عنوان یک واحد کنترل شده مستقل در سیستم قدرت عمل می‌کند و می‌تواند به عنوان بار متراکم شده واحد کار کند که این نکته کنترل‌پذیری آسان و انطباق آن با قوانین و مقررات شبکه را بدون هیچ گونه اختلالی در قابلیت اطمینان و امنیت شبکه اصلی محقق می‌سازد.

از نقطه نظر مشترکین، ریزشبکه‌ها برای نیازمندی‌های الکتریکی و حرارتی اجتماعات محلی مفید هستند. آن‌ها می‌توانند توان بدون وقفه، بهبود قابلیت اطمینان محلی، کاهش تلفات خطوط و پشتیبانی ولتاژ محلی را تأمین کنند. در واقع در ریزشبکه‌ها هدف اصلی افزایش امنیت برق رسانی و قابلیت اطمینان خواهد بود.

به هر حال برای دستیابی به یک عملکرد ایمن و پایدار، یک سری از مسائل فنی، مسائل اقتصادی و مقرراتی می‌بایستی قبل از کارکرد مناسب ریزشبکه‌ها حل شود. حال سؤال مهم در این بین، این خواهد بود که چگونه به این اهداف مهم دست یابیم؟ ریزشبکه‌ها مبتنی بر دو

Ahwaz_Hackerz

عنصر اساسی هستند: FDG و ESS[1]. درنتیجه یکی از ابزارهایی که برای نیل به این هدف می‌توان استفاده کرد، ادوات مبتنی بر تولید پراکنده انعطاف پذیر خواهد بود. برای بررسی بهتر ادوات تولید پراکنده انعطاف‌پذیر ابتدا باید مشکلات سیستم‌های توزیع و تجهیزات CUPS[2] معرفی شوند. در ادامه این فصل انواع توپولوژی‌ها، نحوه اتصال این ادوات به شبکه و همچنین نحوه کنترل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷-۲- مشکلات سیستم‌های توزیع

کیفیت توان در سال‌های اخیر به طور جدی مورد توجه مؤسسات برق و مصرف‌کنندگان در برخی از کشورها قرار گرفته است. عامل اصلی ضرورت بازنگری مسئله، گسترش به کارگیری تجهیزات جدید الکتریکی در شبکه‌ها است. کاربرهای جدید مانند میکروپروسسورها، کامپیوترها، وسایل الکترونیکی سیستم‌های تغذیه و کنترل الکتروموتورها، فرآیند تولید کوره‌های القایی و لامپ‌های کم‌مصرف حساس بوده و به توان الکتریکی با کیفیت مطلوب نیاز دارند. در ارزیابی کیفیت توان برق با توجه به ویژگی‌های تجهیزات جدید و توقعات مشترکین بخصوص در محیط رقابت اقتصادی، علاوه بر مدت زمان برق‌دار بودن، مواردی چون پدیده‌های گذرای ضربه‌ای یا نوسانی، کاهش و افزایش کوتاه‌مدت ولتاژ، انحراف شکل موج و اعوجاج آن، تغییر فرکانس، فلیکر و عدم تعادل ولتاژ باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد زیرا اثرات سوء آن‌ها روی تجهیزات موجب عملکرد نادرست، صدمه دیدن دستگاه‌ها و قطع روند تولید می‌شود؛ بنابراین می‌توان یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های سیستم‌های توزیع را مشکلات مربوط به کیفیت توان عنوان نمود. این مسئله را می‌توان از دو دیدگاه مورد بررسی قرار داد: یکی از دیدگاه شبکه و دیگری از سمت مصرف کننده.

1- Energy Storage System
2- Custom Power Systems

Ahwaz_Hackerz

۷-۲-۱- از دید شبکه

از این منظر بهره‌بردار شبکه این اتهام را بر مصرف کننده وارد می‌داند که مصرف‌کننده باعث ایجاد اغتشاش در شبکه می‌شود. از پدیده‌های ایجاد شده از سمت مصرف‌کننده به شبکه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- **فلیکر**[1]: هر پدیده‌ای که باعث تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ منبع تغذیه می‌شود به عنوان عامل ایجادکننده فلیکر شناخته می‌شود. سوئیچ کردن بارهای مختلف می‌تواند باعث به وجود آمدن پدیده فوق شود، زیرا عموماً جریان هجومی در زمان راه‌اندازی (سوئیچ کردن) از جریان حالت دائمی بیشتر است. راه‌اندازی موتورها یکی از منابع معمول و اصلی ایجاد فلیکر در شبکه‌ها است. این دسته‌بندی کلی از موتورها شامل انواع فن‌ها، پمپ‌ها، کمپرسورها، دستگاه‌های تهویه مطبوع، یخچال‌ها، آسانسورها و غیره است. همچنین بارهایی که به صورت متناوب کار می‌کنند مانند دستگاه‌های جوش قوسی یا نقطه‌ای، کوره‌های قوسی یا القایی باعث تغییرات ناگهانی در ولتاژ تغذیه شده و در نتیجه باعث ایجاد فلیکر می‌شوند. از منابع دیگر ایجاد کننده فلیکر می‌توان به سوئیچ کردن خازن‌های تصحیح ضریب قدرت در شبکه اشاره کرد.

- **هارمونیک‌ها و میان هارمونیک‌های جریان:** همان‌گونه که ذکر شد اغتشاشات شبکه، تغییر شکل موج ولتاژ و یا جریان نسبت به فرم ایده آل سینوسی آن است. هارمونیک‌ها آن دسته از اغتشاشاتی هستند که به صورت متناوب و با مضرب صحیحی از فرکانس شبکه تکرار می‌گردند؛ بنابراین باید توجه داشت که تغییر شکل‌های غیر متناوب در چهارچوب هارمونیک‌ها نمی‌گنجد. در صورتی که دوره تناوب تکرار این اغتشاشات مضرب صحیحی از فرکانس شبکه نباشد به آن‌ها میان هارمونیک گفته می‌شود. از دلایل اصلی آن می‌توان بارهای غیرخطی را نام برد.

1- Flicker

Ahwaz_Hackerz

بارهای غیرخطی باعث ایجاد جریان‌های هارمونیکی می‌شوند. از اثرات این پدیده بر سیستم می‌توان به عملکرد نادرست دستگاه‌های حساس، عملکرد ناصحیح دستگاه‌های اندازه‌گیری، ترکیدن خازن‌ها یا سوختن فیوز آن‌ها، عملکرد اشتباه سیستم‌های حفاظتی، تداخل با خطوط مخابراتی، تلفات و استهلاک تجهیزات اشاره کرد.

باید یادآور شد که اثر این اغتشاشات هم بر دیگر مصرف‌کنندگان و هم بر تجهیزات شبکه وارد می‌شود که مسلماً اثرات سوئی بر آن‌ها خواهد داشت که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش شکایات از سوی مشترک، افزایش تلفات و خطا در قرائت کنتور و ... اشاره کرد.

۷-۲-۲- از دید مصرف‌کننده

در مقابل، مصرف‌کنندگان نیز این اتهام را به شبکه وارد می‌کنند که اغتشاشات از سمت شبکه باعث صدمه رساندن به تجهیزات خانگی می‌شود. به عبارتی مصرف‌کنندگان خرابی را از سمت بالادست عنوان می‌کنند. پدیده‌هایی که از سمت شبکه به مصرف‌کننده تحمیل می‌شود را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- **عدم تعادل ولتاژ**: عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق می‌شود که مقادیر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. هر دو حالت فوق نیز می‌تواند به طور هم زمان اتفاق بیفتد. به بیان ساده‌تر عدم تعادل ولتاژ عبارت است از حداکثر انحراف از مقدار متوسط ولتاژ سه فاز تقسیم بر مقدار متوسط ولتاژ سه فاز بر حسب درصد. عدم تعادل ولتاژ همچنین می‌تواند با استفاده از مؤلفه‌های متقارن نیز تعریف شود؛ نسبت مؤلفه صفر یا منفی به مؤلفه توالی مثبت می‌تواند درصد عدم تقارن را مشخص کند. منشأ اصلی ایجاد عدم تعادل ولتاژهای کمتر از ۲ درصد، وجود بارهای تک فاز در یک شبکه سه فاز است. این

Ahwaz_Hackerz

پدیده همچنین می‌تواند نتیجه قطعی یکی از فازهای یک بانک خازنی سه فاز باشد. عدم تعادل ولتاژ مسائلی را به وجود می‌آورد که در ادامه به طور خلاصه به برخی از آن‌ها اشاره می‌نماییم. امپدانس توالی منفی ماشین‌های سه فاز برابر با امپدانس ماشین در حالت راه‌اندازی است. درنتیجه ماشینی که از یک منبع نامتعادل تغذیه می‌شود، جریان نامتعادلی را از شبکه می‌کشد، که درصد آن چندین برابر درصد عدم تعادل ولتاژ شبکه است. درنتیجه جریان‌های سه فاز به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت دارند. در چنین حالتی بالا بودن جریان در یک‌فاز یا فازها موجب افزایش دمای ماشین می‌گردد. این افزایش دما باکم شدن حرارت تولید شده ناشی از کاهش جریان در فازهای دیگر، کمی خنثی می‌شود ولی به طورکلی دمای ماشین در چنین حالتی افزایش خواهد یافت. این شرایط می‌تواند موجب صدمه زدن به ماشین شود. در مبدل‌های چند فاز که دامنه ولتاژهای ورودی در مقدار ولتاژ خروجی dc مؤثر است، ولتاژ نامتعادل روی عملکرد مبدل تأثیر گذاشته و باعث ایجاد مؤلفه نامطلوبی در طرف dc شده و از سوی دیگر نیز باعث ایجاد هارمونیک‌های غیرمشخص در طرف ac می‌شود.

- **اغتشاش هارمونیکی ولتاژ:** همان‌گونه که در مورد هارمونیک‌های جریان ذکر شد اغتشاشات شبکه، شامل تغییر شکل موج ولتاژ نسبت به فرم ایده آل سینوسی آن است. در شکل ۷-۱ نمونه از تأثیر هارمونیک‌ها بر ولتاژ را مشاهده می‌نمایید. پنج نوع کلی اعوجاج در شکل موج را می‌توان به شرح زیر نام برد:

۱. وجود مؤلفه dc در شبکه متناوب

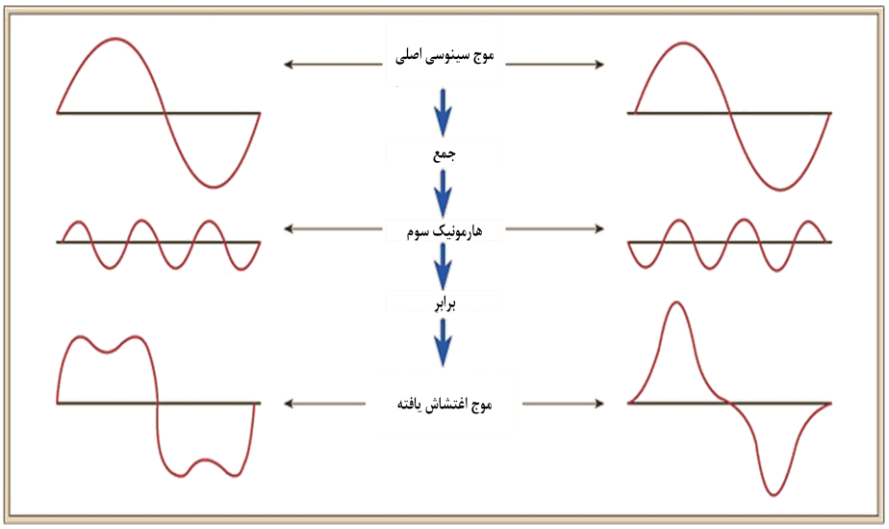
۲. هارمونیک‌ها

۳. هارمونیک‌های میانی

۴. برش

Ahwaz_Hackerz

۵. نویز



شکل ۷-۱: تأثیر هارمونیک‌ها بر ولتاژ (اغتشاش هارمونیکی ولتاژ) [۵].

- **فرورفتگی ولتاژ**[1]: فرورفتگی ولتاژ (فلش)، کاهش در ولتاژ مؤثر به‌اندازه ۰/۱ تا ۰/۹ پریونیت در فرکانس نامی بوده که برای مدت‌زمانی از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه تداوم می‌یابد (شکل ۷-۲). به طورکلی هنگامی‌که ۲۰٪ فلش ولتاژ وجود دارد، بدین معنی است که ولتاژ به ۸۰٪ پریونیت کاهش‌یافته است. در این حالت ولتاژ پایه یا نامی سیستم نیز باید مشخص گردد. فرورفتگی ولتاژ را می‌توان با دو مقدار یکی دامنه آن یعنی ΔU و دیگری مدت‌زمان آن یعنی Δt مشخص نمود. از علل ایجاد آن می‌توان خطاهای روی شبکه، راه‌اندازی موتورها، قطع بانک‌های خازنی و وصل بارهای بزرگ را نام برد.

1- Voltage sag

Ahwaz_Hackerz

• **بیش‌بود ولتاژ**[1]: بیش‌بود یا برآمدگی ولتاژ، افزایشی در ولتاژ مؤثر بـه‌انـدازه ۱/۱ تـا ۱/۸ پریونیت در فرکانس نامی بوده که برای مدت‌زمانی از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه تـداوم می‌یابد (شکل ۷-۲)؛ مانند فلش ولتاژ، عامل اصلی ایجاد این پدیده اتصال کوتـاه روی شبکه است. برآمدگی ولتاژ می‌تواند در اثر خطای تک فاز با زمین روی فازهـای سـالم به وجود آید. برق‌دار کردن یک بانک خازنی و قطع یک بار بزرگ نیز می‌توانـد عامـل ایجاد برآمدگی ولتاژ شود.

• **قطعی**[2]: کاهش شدید (کمتر از ۱۰٪ مقدار نامی) یا قطع کامل ولتاژ تغذیه از یک فـاز و یا بیشتر را در زمان بین ۱۰ میلی ثانیه تا یک دقیقه قطعی ولتاژ گویند (شـکل ۷-۲). قطعی زمانی اتفاق می‌افتد که وسیله‌ای حفاظتی، مدار تغذیه یک مشترک مشخص را قطع کند. چنین عملکردی در شبکه‌های برق هنگامی رخ می‌دهد که اتصال کوتـاهی در شبکه اتفاق افتد.

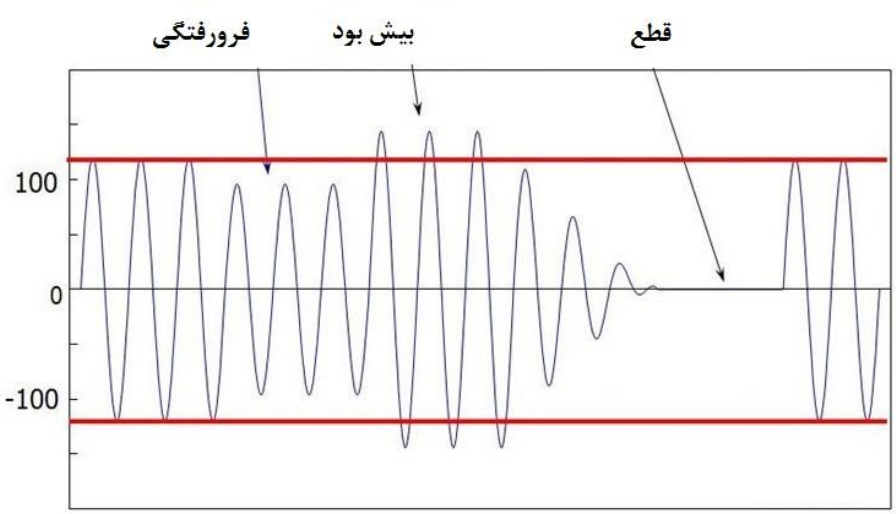
• **انحراف فرکانسی**: هرگونه تغییر در فرکانس قدرت شبکه نسبت به مقدار نامی آن (۵۰ یا ۶۰ هرتز) تغییر فرکانس نام دارد. باید توجه داشت که در شبکه‌های مدرن بـه هـم پیوسته امروزی این واقعه بندرت اتفاق می‌افتد. بـا ایـن وجـود در شـبکه‌هـای ایزولـه امکان وقوع این پدیده بیشتر است. شکل ۷-۳ نمونه‌ای از انحراف فرکانسـی در شـکل موج ولتاژ را نشان می‌دهد.

• **شکاف**[3]: شکاف‌ها در ولتاژ شبکه از عملکرد یکسوکننده‌های قدرت به وجود می‌آیند. اگرچـه شکاف‌ها شبیه هارمونیک‌ها ماهیت تناوبی دارند، با این وجود در مطالعـات کیفیـت تـوان ایـن

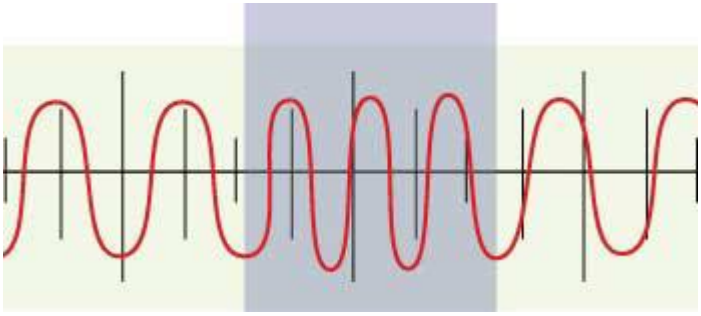
1- Voltage swell
2- Voltage Interruption
3- Notches

Ahwaz_Hackerz

اغتشاشات به صورت جداگانه دسته‌بندی می‌گردند. شکل ۷-۴ شکل موج ولتاژ دارای اثر ضربه را نشان می‌دهد. این اغتشاشات بر تجهیزات حساس مصرف‌کننده اثر خواهند گذاشت و آن‌ها را درخطر نابودی قرار می‌دهند.

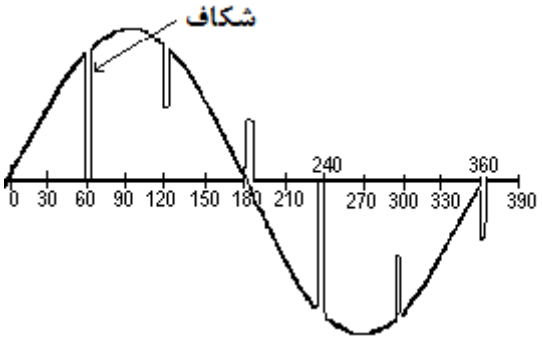


شکل ۷-۲: شکل موج ولتاژ برای سه مورد فرورفتگی ولتاژ، بیش‌بود ولتاژ و قطعی [۹].



شکل ۷-۳: انحراف فرکانسی در شکل موج ولتاژ [۱۰].

Ahwaz_Hackerz



شکل ۷-۴: شکل موج ولتاژ دارای اثر شکاف [۱۳].

۷-۲-۳- راه‌حل‌ها

برای حل این مشکل و حذف یا کاهش اغتشاشات ایجادشده راه‌حل‌های زیر در دسترس هستند که به کمک آن‌ها می‌توان اثر این اغتشاشات را کاهش داد.

۱- فیلترهای غیرفعال[1]: فیلترهای غیرفعال به عنوان اولین جبران‌سازها به منظور حذف هارمونیک‌های جریان و بهبود ضریب توان معرفی‌شده‌اند. اگرچه این دسته از فیلترها از سادگی و هزینه کمی برخوردارند، ولی به دلیل تأثیر امپدانس خط و احتمال بروز مشکلات رزونانسی، عدم توانایی در حذف چندین مؤلفه هارمونیکی و غیره از مقبولیت کمی برخوردارند. در مجموع می‌توان گفت که هر یک از فیلترهای غیرفعال برای حذف هارمونیک‌های اصلی در مرکز اصلی تولید بار غیرخطی طراحی‌شده‌اند و توان راکتیو مورد نیاز را به شبکه تزریق می‌کنند.

۲- فیلترهای فعال[2]: فیلترهای فعال قدرت یکی از این جبران‌سازها هستند که امروزه از کاربرد وسیعی در سیستم‌های توزیع برخوردارند و قابلیت حذف تمامی هارمونیک‌های

1- Passive filters
2- Active filters

Ahwaz_Hackerz

ناخواسته، بهبود ضریب توان و عدم تعادل را دارا هستند. اساس عملکرد این فیلترها بر پایه خنثی نمودن هارمونیک‌ها از طریق تزریق هارمونیک‌هایی با اندازه برابر و با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه است، که قادر است به طور هم زمان یا غیر هم زمان ولتاژ شبکه را در محل اتصال تصحیح نموده و جریان‌های هارمونیکی تولید شده توسط بار را نیز فیلتر نماید.

۳- تجهیزات Custom Power (CUPs): ایده اولیه تجهیزات CUPS در سال ۱۹۹۵ توسط آقای *هینگورانی* ارائه شد. همانند ادوات FACTS[1]، این تجهیزات نیز با به کارگیری کنترل‌کننده‌های الکترونیک قدرت، وظایف خود را انجام می‌دهند. این ادوات با هدف بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان در توان تحویل داده شده به مشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بنابراین با به کارگیری این ادوات، مشتری توانی با کیفیت بهبود یافته دریافت خواهد کرد. بهبود کیفیت توان رسیده به مشتری در حالت کلی شامل موارد زیر خواهد بود:

- ✓ کاهش قطعی
- ✓ دامنه و مدت زمان اضافه و کاهش ولتاژ با قیود مشخص شده
- ✓ کاهش اغتشاش هارمونیکی در ولتاژ منبع
- ✓ فلیکر کمتر در ولتاژ منبع
- ✓ تثبیت فرکانس ولتاژ منبع با قیود مشخص شده

در جدول ۷-۱ به طور خلاصه می‌توان مشکلات و راه حل‌ها را بیان کرد.

۷-۳- انواع تجهیزات CUPS

برای تجهیزات CUPS انواع مختلفی تعریف شده است. این ادوات می‌توانند به صورت سری، موازی یا ترکیبی از این دو به سیستم متصل شوند، تا وظایف و عملکردهای ارائه شده در بخش قبلی را عملی نمایند. در ادامه نمونه‌ای از ادوات مربوط به CUPS را بررسی می‌نماییم:

1- Flexible Alternating Current Transmission System

Ahwaz_Hackerz

جدول ۷-۱: مشکلات سیستم توزیع از دید کیفیت توان.

مشکلات سیستم توزیع از دید کیفیت توان		
دیدگاه	تعریف	مثال
از دید شبکه	مشترک باعث ایجاد اغتشاش در شبکه است.	فلیکر هارمونیک‌ها و میان هارمونیک‌های جریان
از دید مصرف کننده	شبکه به مشترک اغتشاش را تحمیل می‌کند.	عدم تعادل ولتاژ- اغتشاش هارمونیکی ولتاژ- فرورفتگی ولتاژ- برآمدگی (بیش‌بود) ولتاژ- قطعی- انحراف فرکانسی- ضربه
راه حل‌های پیشنهادی	فیلترهای غیرفعال (حذف هارمونیک و بهبود ضریب توان) فیلترهای فعال (حذف هارمونیک، بهبود ضریب توان و عدم تعادل ولتاژ) تجهیزات CUPs (با استفاده از این تجهیزات می‌توان تمامی مشکلات بیان شده را بهبود بخشید.)	

۷-۳-۱- جبران‌ساز ایستا توزیع شده (D-STATCOM[1])

جبران‌ساز ایستای توزیع شده یکی از منابع سریع کنترلی محسوب می‌شود، که باهدف بهبود کیفیت توان در ناحیه اتصالی می‌تواند منجر به کنترل ولتاژ انعطاف‌پذیر در فیدر شود. این تجهیز با در نظر گرفتن ولتاژ خط ترمینال اتصالی و با تغییر دامنه و فاز ولتاژ مبدل، توانایی تبادل توان اکتیو و راکتیو در سیستم توزیع را دارا است. برای تجهیز D-STATCOM می‌توان کاربردهای فراوانی را در حوزه سیستم توزیع ولتاژ پایین و سمت مشترک با هدف بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان در نظر گرفت، به طوری که می‌تواند از گسترش اثرات ناخوشایند

1- Distributed Static Compensator

Ahwaz_Hackerz

بارهای غیرخطی بر دیگر نقاط سیستم توزیع جلوگیری نماید. این تجهیز به طورکلی با اهداف زیر مورداستفاده قرار می‌گیرد:

- تنظیم ولتاژ[1]
- تصحیح ضریب توان[2]
- کاهش فلیکر[3]
- کاهش هارمونیک‌های جریان (چون در مدار به صورت موازی قرارگرفته است می‌تواند یک سری جریان‌های هارمونیکی را بکشد تا درنتیجه مجموع جریان کشیده شده از شبکه سینوسی کامل گردد و شبکه را از آلودگی بار نجات دهد.)

این تجهیز همچنین می‌تواند به بازیابی دوباره سیستم قدرت به هنگام بروز خاموشی در سیستم کمک کند. امروزه محققان بهترین و مناسب‌ترین مکان کارکرد این تجهیز را در حوزه شبکه‌های هوشمند، به هنگام نفوذ و تجمیع منابع تولید انرژی تجدید پذیر مانند باد و انرژی خورشیدی می‌دانند. همچنین می‌توان از یک سیستم ذخیره انرژی برای تأمین ولتاژ تغذیه خازن و تأمین توان اکتیو D-STATCOM استفاده کرد. در شکل ۷-۵ نحوه اتصال D-STATCOM به شبکه نشان داده می‌شود.

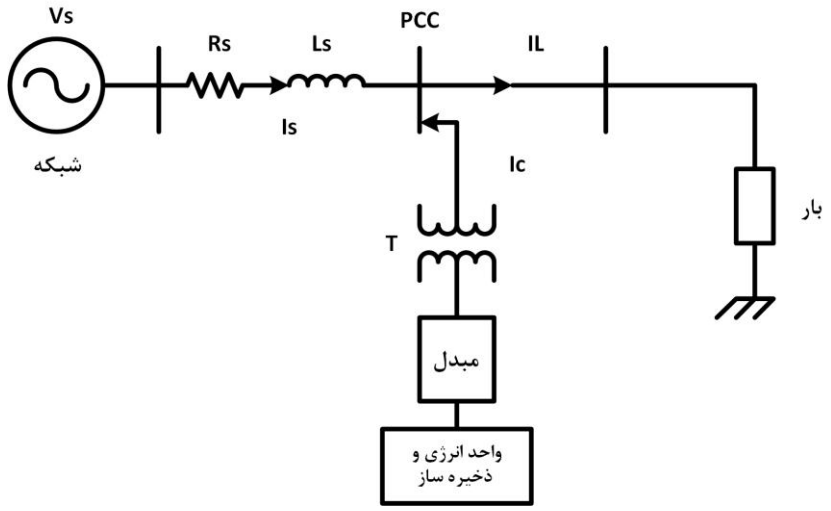
۷-۳-۲- بازیاب ولتاژ پویا (DVR[4])

بازیاب ولتاژ پویا به عنوان جبران‌ساز سری که توانایی محافظت بارهای الکتریکی حساس از مسائل مربوط به کیفیت توان همچون فرو افتادگی و بیش‌بود ولتاژ، نامتعادلی و اغتشاش حاصل از ادوات الکترونیکی را دارد، شناخته می‌شود، در واقع این تجهیز از دید مصرف‌کننده موجب بهبود کیفیت توان می‌گردد (برخلاف D-STATCOM). از زمانی که DVR برای

1- Voltage regulation
2- Cosφ correction
3- Flicker reduction
4- Dynamic Voltage Restore

Ahwaz_Hackerz

اولین بار در آمریکای شمالی در سال ۱۹۹۶ در سیستم ۱۲/۴۷ کیلوولت نصب شد، تا به حال استفاده‌های بی‌شماری از آن شده است. به طوری که امروزه این تجهیز یکی از مؤثرترین تجهیزات کیفیت توان برای حل مشکل فرو افتادگی ولتاژ محسوب می‌شود. اگرچه محدودیت‌های هزینه و نصب آن، کاربرد این تجهیز را فقط برای مواردی که به صورت ملزم نیاز به پایداری ولتاژ منبع داریم، محدود ساخته است. به طورکلی اهداف استفاده از DVR در سیستم قدرت به صورت زیر خلاصه می‌شود:



شکل ۷-۵: نحوه اتصال D-STATCOM در شبکه.

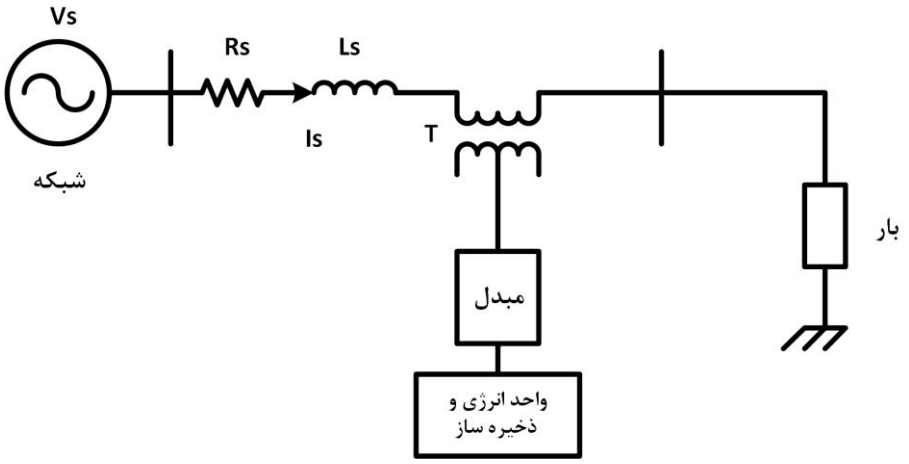
- کاهش فرو افتادگی ولتاژ
- کاهش بیش‌بود ولتاژ
- کاهش هارمونیک‌های ولتاژ
- کاهش حالات گذرا[1]

اصل پایه‌ای DVR تزریق ولتاژ با دامنه و فرکانس مورد نیاز است، بنابراین می‌تواند ولتاژ سمت

1- Transient reduction

Ahwaz_Hackerz

بار الکتریکی را حتی با وجود نامتعادلی و اغتشاش به دامنه و شکل موج مورد انتظار بازیابی نماید. معمولاً این تجهیز با استفاده از کلیدهای الکترونیک قدرت (عموماً GTO[1]) که به وسیله PWM[2] کنترل می‌شوند، ارائه می‌شود. تجهیز DVR توانایی جذب یا تولید مستقل توان اکتیو و راکتیو کنترل شده در سمت بار را دارد. در واقع DVR به وسیله مبدل AC-DC که خروجی سه فاز سری با سیستم انتقال خواهد داشت، به وظایف خود عمل خواهد نمود. همچنین می‌توان از یک سیستم ذخیره‌ساز انرژی برای تأمین ولتاژ تغذیه خازن و تأمین توان اکتیوِ DVR استفاده کرد. شکل ۷-۶ نحوه اتصال DVR را در شبکه نشان می‌دهد.



شکل ۷-۶: نحوه اتصال DVR در شبکه.

۷-۳-۳- بهساز یکپارچه کیفیت توان (UPQC[3])

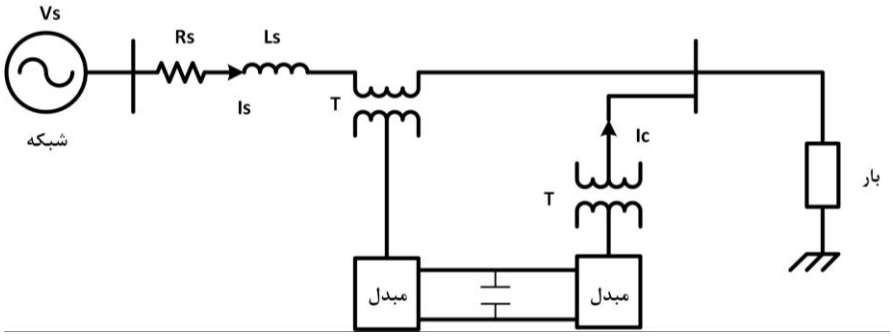
تجهیز UPQC اولین بار برای کنترل بلادرنگ و جبران پویای شبکه‌های AC با هدف بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان ارائه شد. با وجود اینکه هدف اصلی UPQC جبران‌سازی به

1- Gate Turn-Off Thyristor
2- Pulse Width Modulation
3- Unified Power Quality Conditioner

Ahwaz_Hackerz

منظور حذف هارمونیک‌های جریان و ولتاژ بوده است، این تجهیز با حذف مواردی چون فلیکر ولتاژ، فرو افتادگی و بیش‌بود ولتاژ، توانایی بهبود کیفیت توان را در نقطه‌ای که در سیستم توزیع نصب می‌شود، دارا است. با در برداشتن مفهوم کلی توزیع سنتی توان، UPQC توانایی کنترل هم زمان و یا انتخابی همه پارامترهایی را که در شارش توان تأثیر دارند (همچون ولتاژ، امپدانس و زاویه فاز) دارد و عبارت "یکپارچه" در نام آن بیانگر این ویژگی است.

متناوباً این تجهیز می‌تواند شارش توان اکتیو و نیز شارش توان راکتیو را در خطوط سیستم قدرت کنترل نماید. باید خاطرنشان کرد که UPQC فقط وظیفه ادوات D-STATCOM، DVRو تنظیم کننده زاویه فاز را انجام نمی‌دهد، بلکه با ترکیب برخی از ویژگی‌های این کنترل‌کننده‌ها، باعث افزایش انعطاف‌پذیری در کنترل مخصوصاً در بارهای غیرخطی خواهد شد. به طور کلی بهساز یکپارچه کیفیت توان با هدف حذف اغتشاشات دو سویه در شبکه استفاده می‌شود. در اینجا نیز می‌توان از یک سیستم ذخیره‌ساز انرژی برای تأمین ولتاژ تغذیه خازن و تأمین توان اکتیو UPQC استفاده کرد. در شکل ۷-۷ نحوه اتصال این تجهیز در شبکه ترسیم شده است.



شکل ۷-۷: نحوه اتصال UPQC در شبکه.

۷-۳-۴-کلید ترانسفورمری حالت جامد (SSTS[1])

1- Solid State Transformer Switch

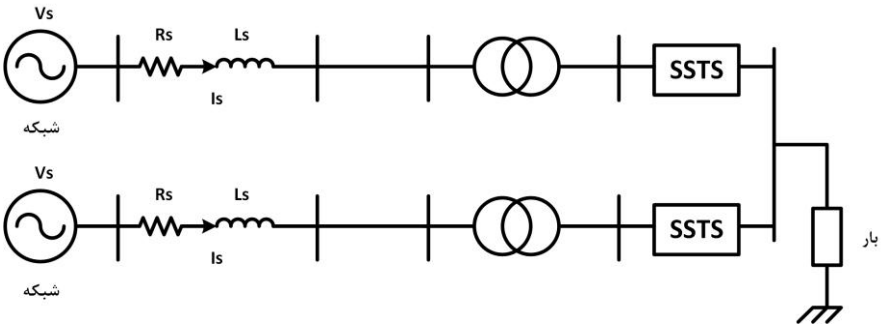
Ahwaz_Hackerz

SSTS ها ممکن است در سیستم‌های توزیع برای کاربردهای مختلفی به منظور بهبود کارکرد و بازدهی سیستم مورد استفاده قرار گیرند. این کاربردها شامل ایزوله کردن خطا[1]، منبع توان آماده به کار[2]، انتقال انرژی از یک منبع به منبع دیگر و تقسیم بار[3] باشد. استفاده از SSTS می‌تواند تلفات سیستم توزیع را کاهش دهد و همچنین قابلیت اطمینان سیستم توزیع را بهبود دهد. SSTS از طریق منطق کنترلی می‌تواند در کمتر از یک چهارم فرکانس کلید زنی نامی بار را بین دو منبع انتقال دهد. مواقعی که بار بحرانی در سیستم موجود است، نیاز داریم که به صورت آنی انرژی از یک منبع به منبع دیگر منتقل شود. به طورکلی هدف این تجهیز، تغذیه غیرقابل قطع[4] خواهد بود. در واقع SSTS با زمان کلید زنی سریع خود امکان تعویض منبع اصلی انرژی به منبع پشتیبان را در اختیار کاربر قرار می‌دهد، به طوری‌که بار این تغییر را احساس نمی‌نماید. در شکل ۷-۸ (الف) نمای کلی استفاده از این تجهیز در شبکه نشان داده شده است و شکل ۷-۸ (ب) مدار معادل مربوط به یک SSTS در هنگام تغذیه‌ی یک بار حساس را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، سوئیچ‌ها با چند تریستور مدل شده‌اند که وظیفه‌ی انتقال انرژی از یک منبع به منبع دیگر را بر عهده دارند و این کار با استفاده از آتش کردن تریستورها انجام می‌گیرد به این صورت که هنگامی‌که منبع ۱ بار را تغذیه می‌کند تریستورهای T_{1p} و T_{1s} در حالت وصل و تریستورهای T_{2p} و T_{2s} در حالت قطع قرار دارند و اما هنگامی‌که منبع ۲ بار را تغذیه می‌کند تریستورهای T_{1p} و T_{1s} در حالت قطع و تریستورهای T_{2p} و T_{2s} در حالت وصل قرار دارند.

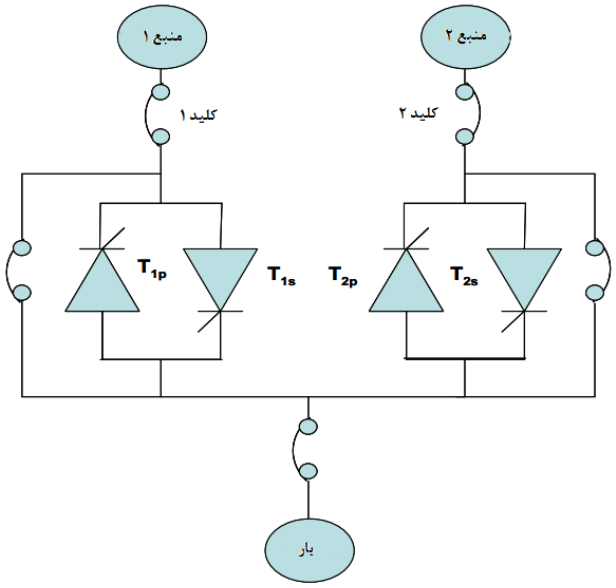
در جدول ۷-۲ به طور خلاصه انواع تجهیزات CUPs، ویژگی‌ها و اهداف آن‌ها بیان شده است.

1- Fault isolation
2- Standby power source
3- Load sharing
4- Uninterrupted Supply

Ahwaz_Hackerz



(الف)



(ب)

شکل ۷-۸: (الف) استفاده از SSTS در شبکه (ب) مدار معادل مربوط به یک SSTS در هنگام تغذیه‌ی بار حساس.

۷-۴- ترکیب تولید پراکنده با مبدل‌ها

تولید پراکنده به صورت یک منبع توان الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا مصرف‌کننده متصل می‌شود، تعریف می‌شود. این سیستم می‌تواند یک سیستم تولید ترکیبی، یک پیل سوختی و یا هرکدام از منابع انرژی تجدید پذیر را در بربگیرد. بسیاری از مطالعات انجام گرفته

Ahwaz_Hackerz

در این زمینه حاکی از آن است که تولید پراکنده در آینده‌ای بسیار نزدیک نقش اساسی در ساختار سیستم قدرت بازی خواهد کرد.

جدول ۷-۲: انواع تجهیزات CUPs.

انواع CUPs	ویژگی‌ها	هدف
D-STATCOM	۱) به صورت موازی با بار قرار می‌گیرد. ۲) شبکه را از اغتشاشات بار نجات می‌دهد.	تنظیم ولتاژ تصحیح Cosφ کاهش فلیکر کاهش هارمونیک‌های جریان
DVR	۱) به صورت سری با بار قرار می‌گیرد. ۲) بار را از اغتشاشات شبکه نجات می‌دهد.	کاهش فرو افتادگی ولتاژ کاهش بیش‌بود ولتاژ کاهش هارمونیک‌های ولتاژ کاهش حالات گذرا
UPQC	۱) به صورت سری موازی با بار قرار می‌گیرد. ۲) بار را از اغتشاشات شبکه و شبکه را از اغتشاشات بار نجات می‌دهد.	اهداف D-STATCOM و DVR را باهم انجام می‌دهد و به نوعی راه حل جامع به حساب می‌آید.
SSTS	موارد بالا فقط اغتشاش را بهبود می‌دادند ولی این نوع از CUPs در صورت قطع کامل خط تغذیه، نیاز بار را تأمین می‌کند.	تغذیه غیرقابل قطع

برآوردهای انجام‌گرفته توسط موسسه تحقیقات توان الکتریکی (EPRI[1]) نشان می‌دهد که ۲۵٪ افزایش تولید در سال ۲۰۱۰ از نوع تولید پراکنده بوده است. ورود سیستم‌های تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع مزایای زیادی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مزایای فنی، زیست محیطی و

1- Electric Power Research Institute

Ahwaz_Hackerz

اقتصادی اشاره کرد. همچنین با کاهش تلفات سیستم فرصت مناسبی را به منظور بهبود عملکرد شبکه توزیع فراهم می‌آورد. چالش‌های فنی پیش رو برای تولید پراکنده را می‌توان در سه شاخه زیر دسته‌بندی کرد:

- رابط بین سیستم و شبکه برق
- بهره‌برداری و کنترل DG
- برنامه‌ریزی و طراحی

در ادامه به بررسی دو چالش اول و دوم برای DG می‌پردازیم و انواع توپولوژی‌های اتصال DG و روش‌های کنترلی انعطاف‌پذیر را معرفی می‌کنیم.

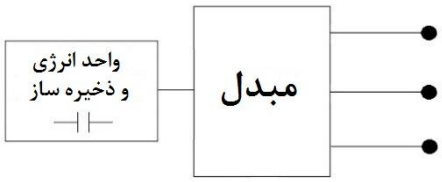
کنترل توان راکتیو یکی از مهم‌ترین مسائل در سیستم‌های توزیع به شمار می‌آید. جریان راکتیو سبب افزایش تلفات شبکه توزیع، کاهش ضریب توان سیستم، کاهش توانی تولید توان اکتیو و بروز تغییرات با دامنه بزرگ در ولتاژ سمت مصرف‌کننده می‌شود. علاوه بر این، تغییرات سریع در مصرف توان راکتیو بارهای بزرگ می‌تواند موجب نوساناتی در دامنه ولتاژ شود. (به طور مثال فلیکر ولتاژ در مورد کوره‌های الکتریکی) در نتیجه این پدیده می‌تواند منجر به تغییر در تقاضای توان اکتیو و نوسانات توان اکتیو شود.

ورود تولید پراکنده به سیستم‌های توزیع تأثیر چشمگیری بر روی توان و ولتاژ مصرف‌کننده و تجهیزات شبکه دارد. در ادامه به معرفی یک رابط چند منظوره غیرخطی برای اتصال DG به شبکه می‌پردازیم. هدف اصلی این رابط تنظیم توان اکتیو تزریقی توسط واحد تولید پراکنده به شبکه است. در کنار این کاربرد، با استفاده از این رابط می‌توان مقدار توان راکتیو مناسب را به منظور عملکرد در ضریب توان واحد و تنظیم ولتاژ نقطه اتصال مشترک[1]، به شبکه تزریق کرد. همچنین می‌توان این رابط را به گونه‌ای کنترل کرد که هارمونیک‌های تولید شده توسط بارهای غیرخطی جبران شده و دیگر مشکلات کیفیت توان مانند فرو افتادگی، بیشبودی و عدم تعادل بهبود یابد. از آنجایی که این رابط بسیاری از مشکلات شبکه‌های توزیع را با جایگزینی

1- Point of Common Coupling

Ahwaz_Hackerz

تجهیزات جبران‌ساز حل کرده و موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود، اصطلاح تولید پراکنده انعطاف پذیر یا FDG برای این رابط چند منظوره انتخاب شده است.



شکل ۷-۹: ارتباط مبدل‌ها با باس DC.

از طرفی توسط مبدل می‌توان دو سیستم AC و DC را به یکدیگر متصل نمود. باید توجه داشت که این رابطه غیرخطی است و باید وظیفه اصلی آن را کنترل توان اکتیو بدانیم. حال برای بعضی از DG ها می‌توان شکل ۷-۱۰ را ارائه کرد:

شکل ۷-۱۰: اتصال DG-ها به مبدل‌ها و شبکه.

برای اتصال DG به شبکه توزیع از اینورتر منبع ولتاژی (VSI) استفاده شده است. سیگنال دستوری VSI، شامل اطلاعاتی از توان اکتیو تولیدی از DG و توان راکتیو مورد نیاز برای جبران نوسانات ولتاژ در باس PCC و یا کل توان راکتیو جبرانی خواهد بود. برای فراهم آوردن امکان عملکرد در ضریب توان واحد، VSI به دلیل پاسخ دینامیک سریع، عملکرد دقیق، راحتی پیاده‌سازی و دارا بودن حلقه کنترلی ذاتی جریان برای این کاربرد انتخاب شده است تا نقطه کار مورد نظر را تضمین نماید.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این روش کنترلی عدم حساسیت آن به تغییرات پارامترهای خط

Ahwaz_Hackerz

است. این ویژگی برای شبکه‌های توزیع به دلیل وجود تعداد بسیار زیاد ترانسفورمر و دینامیک بار، حیاتی است و کاملاً واضح است که با وجود این دینامیک بالا نمی‌توان آن را ثابت فرض کرد. با استفاده از FDG ها دیگر نیازی به استفاده از ترانس‌های تپ چنجردار در پست‌ها (که برای رگولاسیون ولتاژ به کار می‌روند و دارای عملکرد کندی نیز هستند) نیست. همچنین این روش می‌تواند جایگزین جبران‌سازهای خط برای جبران توان راکتیو، شود. به دلیل وجود مدار قدرت و کنترل در این رابط، پیاده‌سازی یک الگوریتم کنترلی برای انعطاف‌پذیر ساختن آن بدون هزینه اضافی بسیار راحت است و می‌تواند به عنوان جایگزین DSTATCOM که برای جبران توان راکتیو و رگولاسیون ولتاژ استفاده می‌شود، مورد استفاده قرار گیرد. از آنجایی که FDG قادر به حل مشکلات کیفیت توان است، می‌تواند جایگزین فیلترهای توان اکتیو[1] نیز باشد. با در نظر گرفتن تمامی جوانب، کاملاً مشخص است که FDG سبب بهبود شبکه توزیع هم از نقطه نظر فنی و هم اقتصادی، می‌شود. همچنین به دلیل امکان جایگزینی FDG با DSTATCOM و APF، هزینه و تلفات اضافی ناشی از این تجهیزات نیز کاهش می‌یابد.

FDG برای اهداف دیگری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (به نوعی وظیفه‌ی دوم به شمار می‌رود):

- کنترل توان راکتیو
- جبران‌سازی هارمونیک
- کاهش عدم تعادل ولتاژ
- حذف نوسانات ولتاژ

برای ترکیب DG ها با مبدل‌ها وظیفه اول و دوم را باید باهم ترکیب کنیم. برخی از دلایل پرداختن به این موضوع توسط محققان در زیر آورده شده است:

- افزایش تعداد DGهای مجهز به مبدل رابط
- افزایش اهمیت مسائل کیفیت توان (چه مباحث کیفیت توان در شبکه توزیع

1- Active Power Filter (AFP)

Ahwaz_Hackerz

سیستم‌های امروزی و مباحث کیفیت توان در شبکه هوشمند)

- تجدید ساختار در سیستم قدرت (علاوه بر بازارهای خرید و فروش توان اکتیو، بازارهای خدمات جانبی هم مطرح می‌شوند که ما را تشویق می‌کنند به دنبال مسائلی مثل حذف هارمونیک، کنترل توان راکتیو و غیره باشیم).

در تعیین استراتژی کنترل مبدل رابط می‌بایست شرایط زیر را در نظر گرفت:

- کنترل توان اکتیو (که فقط وظیفه DG بود)
- کنترل توان راکتیو
- بهبود توان اکتیو و راکتیو (کیفیت توان)

اگر هر سه وظیفه فوق در کنار هم انجام شوند، شاهد تولید پراکنده انعطاف‌پذیر خواهیم بود.

محققین FDG را به عنوان جایگزینی برای سیستم‌های زیر پیشنهاد داده‌اند:

- تنظیم کننده‌های ولتاژ مرسوم مثل ترانسفورماتورهایی که زیر بار می‌توانند تپ را عوض کنند یا خازن‌های موازی.
- فیلترها: با استفاده از تولید پراکنده انعطاف‌پذیر نیازی به استفاده از فیلترهای افعال و غیرفعال نخواهد بود.
- تجهیزات CUPs

۷-۵- انواع توپولوژی‌های FDG

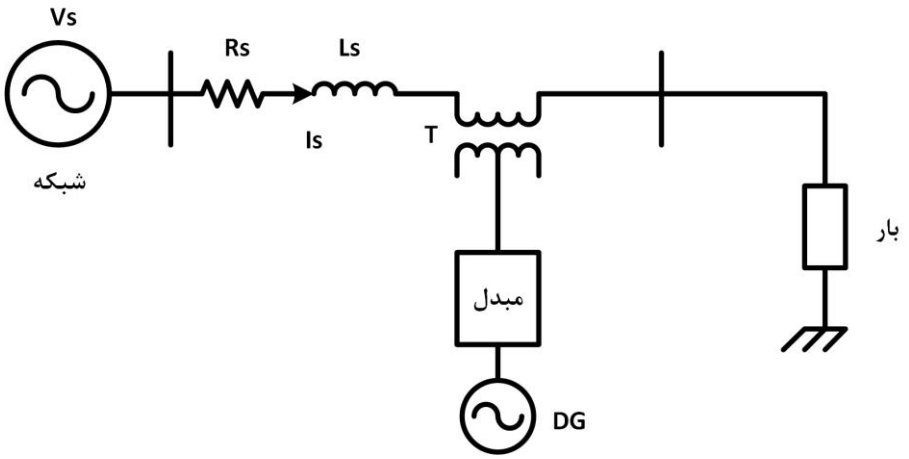
همانند تجهیزات CUPS که سه نوع اتصال سری، موازی و سری-موازی داشتند FDGها نیز به این سه دسته تقسیم می‌شوند.

۷-۵-۱- اتصال سری

این نوع اتصال در شکل ۷-۱۱ نمایش داده شده است. نحوه عملکرد FDG در این اتصال به صورت تزریق ولتاژ بین شبکه و بار است. از این رو کنترل این توپولوژی به سادگی توپولوژی

Ahwaz_Hackerz

بعدی (اتصال موازی) نیست. هدف از این نوع اتصال برآورده کردن هم زمان دو هدف افزودن DG ها به شبکه یا همان تولید توان اکتیو و نیز دنبال نمودن اهداف DVR ها مانند کاهش فرو افتادگی ولتاژ، کاهش نوسان ولتاژ و حالت گذرا است.

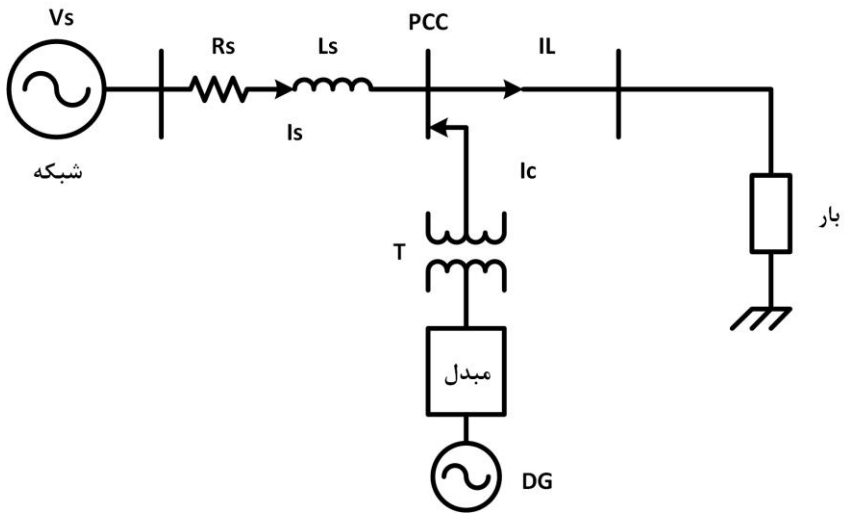


شکل ۷-۱۱: اتصال سری FDG

۷-۵-۲- اتصال موازی

شکل ۷-۱۲ این نوع اتصال را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در اتصال موازی، FDG به صورت مستقیم به بار وصل نشده، بلکه به باس PCC متصل شده است. نحوه عملکرد FDG در این اتصال به صورت تزریق جریان به باس PCC است. از آنجایی که مقادیر جبران شده، (توان راکتیو و هارمونیک‌ها) به جریان ارتباط دارند، لذا مدل اتصال موازی واقعی‌تر است. چرا که عمل کنترلی را با تزریق جریان به باس PCC انجام می‌دهد و فرآیند کنترلی را نیز راحت‌تر می‌کند. در کنار هدف اصلی DG (تولید توان اکتیو)، در این نوع اتصال اهداف D-STATCOM ها همانند جبران هارمونیک‌های جریان بار، جبران جریان راکتیو بار، کاهش فلیکر ولتاژ و بهبود ضریب توان نیز دنبال می‌شود.

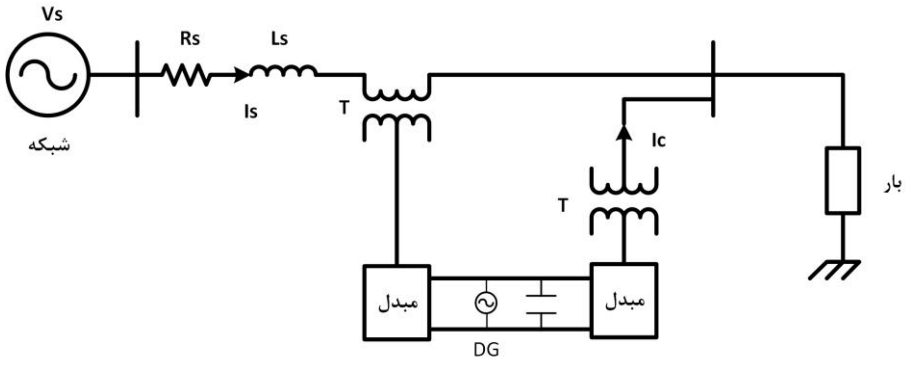
Ahwaz_Hackerz



شکل ۷-۱۲: اتصال موازی FDG.

۷-۵-۳- اتصال سری- موازی

این نوع اتصال که در حقیقت ترکیبی از اتصال‌های سری و موازی است در شکل ۷-۱۳ نمایش داده شده است. به سادگی می‌توان دریافت که نحوه عملکرد FDG در این توپولوژی به صورت تزریق هم زمان ولتاژ و جریان است. هدفی که در این نوع اتصال دنبال می‌شود ترکیبی از اهداف دو نوع اتصال قبلی یعنی تولید توان اکتیو و ترکیب اهداف DVR و D-STATCOM که در واقع همان هدف UPQC است.



شکل ۷-۱۳: اتصال سری-موازی FDG.

Ahwaz_Hackerz

در جدول ۷-۳ به طور خلاصه انواع توپولوژی‌های FDG، ویژگی‌ها و اهدافشان آورده شده است.

جدول ۷-۳: انواع توپولوژی‌های FDG

انواع توپولوژی‌های FDG	ویژگی	هدف
اتصال سری	عملکرد با تزریق ولتاژ بین بار و شبکه	اهداف DG(کنترل توان اکتیو) + اهداف DVR
اتصال موازی	عملکرد با تزریق جریان به باس PCC	اهداف DG(کنترل توان اکتیو) + اهداف D-STATCOM
اتصال سری موازی	عملکرد با تزریق ولتاژ و جریان	اهداف DG(کنترل توان اکتیو) + اهداف UPQC

۷-۶- نحوه عملکرد FDG سری و موازی

در این بخش نحوه عملکرد هر دو نوع FDG شرح داده می‌شود.

۷-۶-۱- شمای کلی کنترلی یک FDG موازی

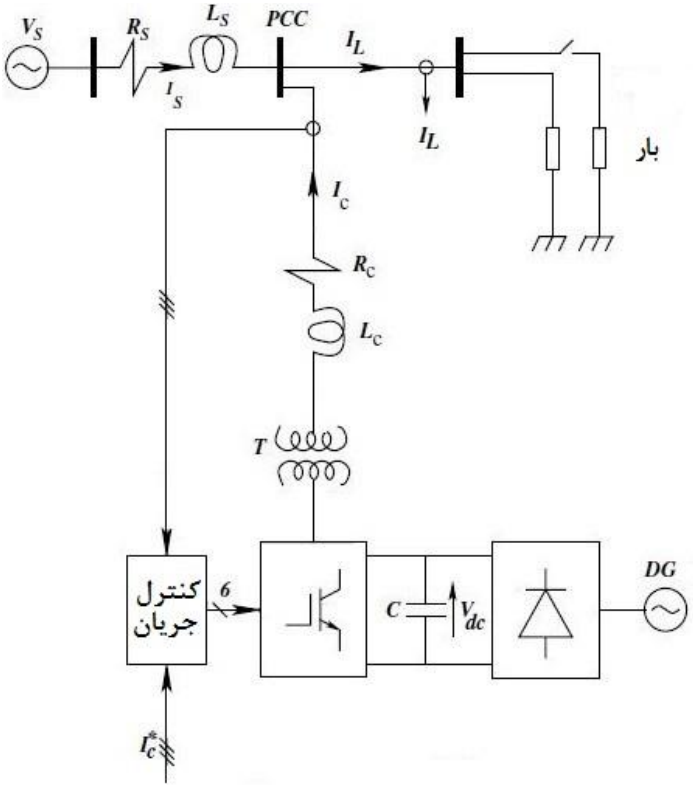
شکل ۷-۱۴ نمایش دهنده شمای کلی کنترلی یک FDG در حالت اتصال موازی است. علت انتخاب این نوع اتصال، کاربرد بیشتر آن نسبت به اتصال نوع سری است.

اجزای مورد نیاز برای پیاده‌سازی FDG در اتصال موازی عبارت‌اند از:

- DG و اجزای آن
- مبدل موازی
- ترانسفورماتور (T)
- فیلتر صاف‌کننده جریان (L_C ،R_C)
- حلقه کنترل جریان (CC[1])

1- Current Control

Ahwaz_Hackerz



شکل ۷-۱۴: شمای کلی کنترلی یک FDG در حالت اتصال موازی.

برای مثال می‌توان فرض کرد که منبع تولید انرژی در DG یک میکروتوربین است. ژنراتور میکروتوربین، که ژنراتور گازی سرعت بالاست، به جای برق ۵۰ Hz، برق با فرکانسی در حدود کیلو هرتز تولید می‌کند. لذا امکان اتصال مستقیم آن به شبکه وجود ندارد و بایستی از ادوات الکترونیک قدرت جهت تنظیم فرکانس استفاده شود.

نتیجه عمل کنترلی در FDG موازی، تعیین مقدار جریان I_C است، که جهت کنترل این جریان می‌بایست کلید زنی منبع ولتاژ VSC کنترل شود.

هدف از ایجاد حلقه کنترلی در این اتصال، کنترل هم‌زمان توان اکتیو و راکتیو از طریق کنترل I_C تزریقی به باس PCC است. در قسمت بعدی در مورد چگونگی تعیین جریان مرجع یا

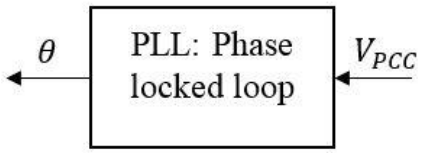
Ahwaz_Hackerz

همان I_C^* بحث شده است.

۷-۶-۱-۱- نحوه اجرا در قاب مرجع سنکرون

الف) برای V_{PCC}:

برای تعیین V_{PCC} می‌بایست دامنه و زاویه آن تعیین شود. برای تعیین زاویه ولتاژ PCC مطابق شکل ۷-۱۵ از PLL[1] استفاده می‌کنیم.



شکل ۷-۱۵: بلوک دیاگرام تعیین زاویه ولتاژ PCC.

برای تعیین دامنه‌ی جریان، از قاب مرجع سنکرون استفاده می‌کنیم. برای V_{PCC} دو مؤلفه روی محور dq عبارت است از:

- V_d: مؤلفه d ولتاژ V_{PCC} در قاب مرجع سنکرون
- V_q: مؤلفه q ولتاژ V_{PCC} در قاب مرجع سنکرون

همچنین برای راحتی و کاهش حجم محاسبات فرض می‌کنیم V_{PCC} در راستای محور d قاب سنکرون دارای مؤلفه است، در این صورت:

$$V_q = 0 \ , \ V_q = V_{pcc} \qquad (۱-۷)$$

ب) برای I_C:

برای تعیین جریان سه فاز I_C بایستی مؤلفه‌های I_d و I_q این جریان را به دست آوریم (I_d در

1- Phase Locked Loop

Ahwaz_Hackerz

قاب dq).

با توجه به فرض هم راستا بودن ولتاژ V_{PCC} با محور d قاب سنکرون که در قسمت قبل برای V_{PCC} انجام دادیم؛ جریان I_C شامل هر دو مؤلفه d و q در قاب سنکرون خواهد بود.

ج) برای توان (P):

رابطه توان اکتیو بر اساس مؤلفه‌های d و q جریان و ولتاژ تزریقی FDG به صورت زیر قابل بیان است:

$$P = \frac{3}{2}(V_d i_d + V_q i_q) \qquad (۲-۷)$$

$$V_q = 0 \Rightarrow P = \frac{3}{2} V_{pcc} i_d \qquad (۳-۷)$$

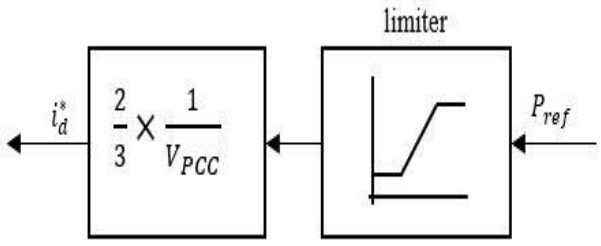
اگر توان تزریقی توسط DG را به صورت P_{ref} نشان دهیم، آنگاه داریم:

$$i_d^* = \frac{2}{3}\left(\frac{P_{ref}}{V_{pcc}}\right) \qquad (۴-۷)$$

P_{ref} مقدار توان مرجعی است که توسط یکی از عوامل زیر یا همگی انتخاب می‌شود:

- مالک DG
- شرایط بازار
- سیستم مدیریت تولید

شکل ۷-۱۶ نحوه تولید مؤلفه d جریان I_C از روی توان مرجع P_{ref} را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۶: نحوه تولید مؤلفه d جریان I_C از روی توان مرجع P_{ref}.

Ahwaz_Hackerz

در بلوک محدودساز، محدودیت‌های تولید توان DG اعمال می‌شود. حد بالایی متأثر از ظرفیت نامی DG بوده و عوامل فیزیکی منبع توان، در آن دخیل هستند. حد پایینی می‌تواند متأثر از دستگاهی مانند CHP[1] باشد که برای تولید یک حداقل گرما، می‌بایست یک حداقل توانی را نیز تولید کند.

د) برای توان راکتیو (Q):

ابتدا بایستی در نظر داشت که هدف از کنترل توان راکتیو FDG، جبران جریان (توان) راکتیو بار است؛ بنابراین در وهله اول باید مؤلفه‌های d و q جریان بار را از روی جریان سه فاز بار (I_L) به دست آوریم. با توجه به روابط زیر مقادیر مؤلفه‌های d و q جریان بار به دست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} i_{Ld} \\ i_{Lq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \qquad (۵-۷)$$

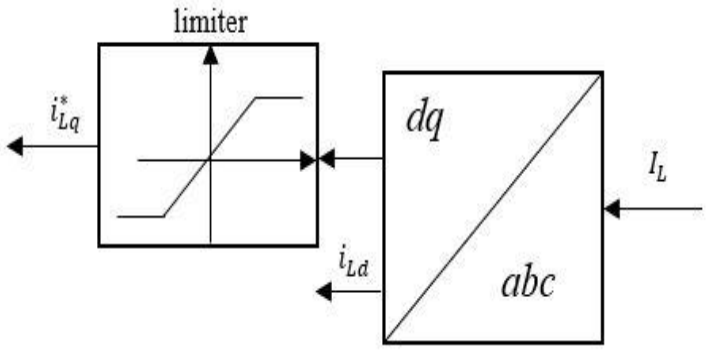
i_{Lq} مؤلفه q جریان بار یا همان جریان راکتیو بار است و هدف جبران این جریان است. شکل ۱۷-۷ نحوه تولید مؤلفه q جریان I_C از روی جریان بار (I_L) را نشان می‌دهد:

بلوک محدودساز برای اعمال محدودیت‌های تولید Q، DG و VSC است. در نهایت برای تبدیل مؤلفه‌های d و q جریان I_C به جریان‌های سه فاز از تبدیل زیر استفاده می‌کنیم.

$$\begin{bmatrix} i^*_{ac} \\ i^*_{bc} \\ i^*_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i^*_d \\ i^*_q \end{bmatrix} \qquad (۶-۷)$$

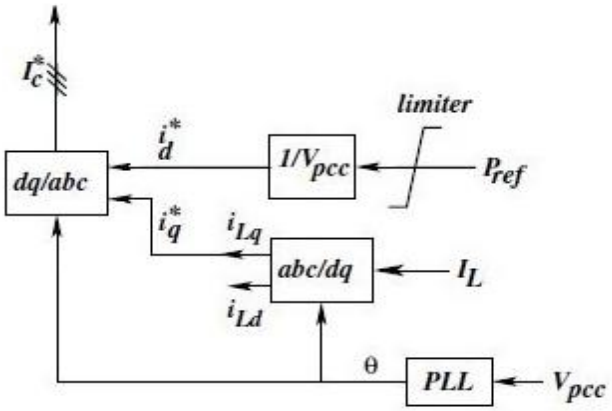
1- Combined Heat and Power

Ahwaz_Hackerz



شکل ۷-۱۷: نحوه تولید مؤلفه q جریان I_C از روی جریان بار I_L

شکل ۷-۱۸ بلوک دیاگرام کلی کنترلی برای FDG موازی را نشان می‌دهد.



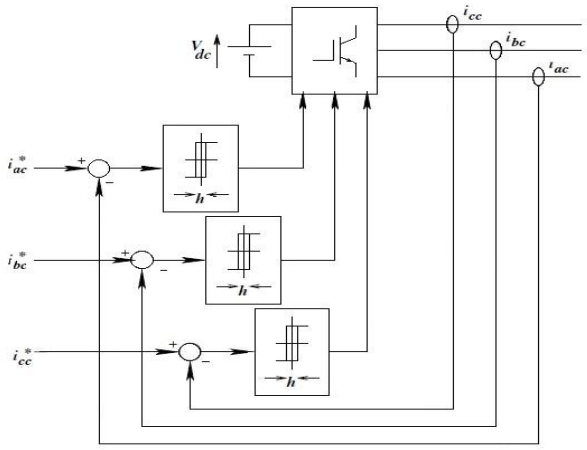
شکل ۷-۱۸: بلوک دیاگرام کلی کنترلی برای FDG موازی.

نتیجه این سیستم کنترلی، کنترل مستقل P_{DG} و Q_{DG} است که همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد از آنجایی که هم سرعت پاسخ بالا و هم قیمت پایین‌تری دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای جبرانسازهای متداول شود. شکل ۷-۱۹ الگوریتم پایه‌ای کنترل جریان VSI را نشان می دهد. تکنیک کلید زنی کنترل جریان هیسترزیس[1] (HCC) در این بلوک به کار رفته است.

1- Hysteresis Current Control

Ahwaz_Hackerz

ماهیت HCC یک کنترل حلقه بسته برای جریان VSI است. تفاوت جریان مرجع محاسبه شده و جریان جبرانی واقعی تولید شده توسط VSI منجر به تولید یک سیگنال خطا می‌شود که کلیدهای اینورتر را کنترل می‌کند. زمانی که خطا به حد بالایی مقایسه‌گر هیسترزیس می رسد، IGBT[1] ها برای افزایش جریان روشن می‌شوند و زمانی که خطا به حد پایینی می‌رسد، جریان کاهش می‌یابد. این نحوه عملکرد سبب می‌شود که HCC در بین تکنیک‌های کنترل جریان با دینامیک سریع طبقه‌بندی شود. اندازه سیگنال خطا، h، مستقیماً مقدار نوسان در جریان خروجی VSI که باند هیسترزیس نامیده می‌شود را کنترل می‌کند. جریان حتی زمانی که جریان مرجع تغییر می‌کند در این محدوده نگه داشته می‌شود. فرکانس کلید زنی به وسیله پهنای باند هیسترزیس، اندازه سلفی که جریان در آن جاری می‌شود و ولتاژ DC اعمال شده از طرف DG به VSIیعنی V_{dc} کنترل می‌شود.



شکل ۷-۱۹: الگوریتم پایه کنترل جریان VSI.

برای طراحی مقدار سلف، رابطه‌ای وجود دارد که مقدار L را به حداکثر فرکانس کلید زنی مجاز

1- Insulated Gate Bipolar Transistor

Ahwaz_Hackerz

$f_{sw(\max)}$ ، باند هیسترزیس و ولتاژ DC مربوط می‌سازد:

$$L = \frac{2V_{dc}}{9hf_{sw\ (\max)}} \qquad (۷-۷)$$

تکنیک HCC همگرایی بسیار سریعی برای جریان خطاهای مقیاس بزرگ دارد. به دلیل عدم حساسیت این تکنیک به تغییرات پارامترهای شبکه، این تکنیک برای کاربرد در FDG ها بسیار مناسب است.

۷-۶-۲- شمای کلی کنترلی یک FDG سری

سه روش کنترلی برای FDG سری به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود:

روش ۱: جبران‌سازی قبل از فرورفتگی[1]: با اعمال مداوم ولتاژ تغذیه، ولتاژ بار قبل از اینکه دچار افت شود جبران می‌گردد. این روش یک ولتاژ بار تقریباً مختل نشده ارائه می‌دهد، اما اغلب باعث خروج از نرخ FDG سری می‌شود.

روش ۲: جبران‌سازی در-فاز[2]: ولتاژ تولیدشده FDG سری در-فاز صرف نظر از جریان بار و ولتاژ قبل از فرورفتگی همیشه با منبع ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود.

روش ۳: جبران‌سازی بهینه انرژی[3]: برای استفاده کامل از ذخیره‌ساز انرژی، باید اطلاعات جریان بار برای حداقل سازی تخلیه ذخیره‌ساز انرژی استفاده شود.

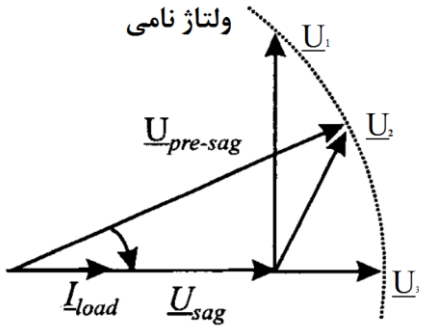
سه روش بحث شده در شکل ۷-۲۰ نشان داده شده است. با مطالعه شکل ۷-۲۰ مشخص می‌شود ذخیره‌ساز انرژی می‌تواند ولتاژ اعمالی عمود بر جریان بار FDG سری را کاهش دهد، اما جریان فاز طبق ولتاژ بار جدید اعمال شده به آن و انرژی کشیده شده از FDG سری تغییر خواهد کرد.

ولتاژ تولیدشده که عمود بر جریان بار است می‌تواند برای ایجاد جریان هم فاز با منبع ولتاژ یا

1- Pre-sag compensation
2- In-phase compensation
3- Energy optimal compensation

Ahwaz_Hackerz

ایجاد FDG سری و باری که به عنوان یک بار خازنی ظاهر می‌شود استفاده شود. یک جریان خازنی بار تمایل به افزایش ولتاژ منبع U_{supply} دارد و با افزایش ولتاژ منبع می‌توان توان بیشتری از شبکه و یا از ذخیره‌ساز انرژی ذخیره نمود. قبل از انتخاب یک روش کنترلی برای استفاده باید موضوعات بیشتری بررسی شود که با دقت روش کنترلی انتخاب شده مرتبط هستند. توانایی یک FDG سری محدود است و FDG سری به احتمال خیلی زیاد در خارج از محدوده جبران کامل با فرورفتگی ولتاژ روبرو خواهد شد.



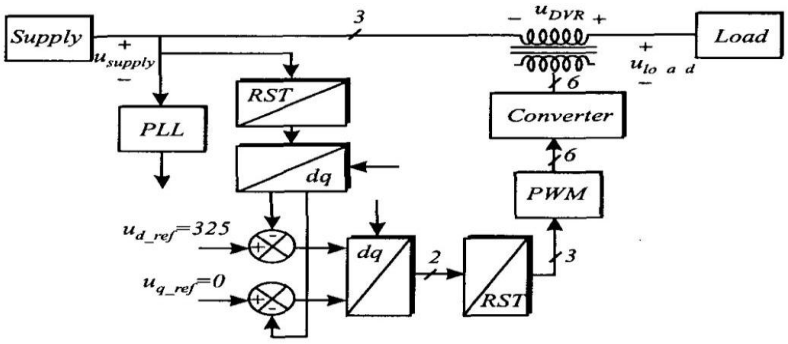
شکل ۷-۲۰: استراتژی‌های کنترل FDG سری. U1 جبران‌سازی قبل از فرورفتگی ,U2 جبران‌سازی در-فاز و U3 کنترل بهینه‌ی انرژی.

۷-۶-۲-۱- روش کنترلی

دو روش کنترل اصلی اعمال شده به DVR به صورت کنترل حلقه باز و کنترل حلقه بسته است. کنترل حلقه بسته عملکرد بهتری دارد، اما تغییرات بار منجر به یک مدل سیستم متفاوت می‌شود، پس کنترلر ولتاژ باید با دقت طراحی شود. کنترل حلقه باز اغلب برای ولتاژ بار استفاده می‌شود و با جبرانگر پیش‌خور[1] افت ولتاژ ناشی از فیلتر خط و ترانس تزریق ترکیب می‌شود. در اینجا یک کنترل حلقه باز مطابق شکل ۷-۲۱ برای کنترل نشان داده شده است.

1- Feed forward compensation

Ahwaz_Hackerz



شکل ۷-۲۱: کنترل FDG سری در قاب مرجع dq.

در این نوع از FDG، چون هدف کنترل ولتاژ بار است بایستی در وهله اول مؤلفه‌های d و q ولتاژ تغذیه را از روی مؤلفه‌های سه فاز آن به دست آوریم. با توجه به روابط زیر مقادیر مؤلفه‌های d و q ولتاژ تغذیه به دست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} u_{\sup ply,d} \\ u_{\sup ply,q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{La} \\ U_{Lb} \\ U_{Lc} \end{bmatrix} \quad (۸-۷)$$

یک فرورفتگی ولتاژ بوسیله‌ی اندازه‌گیری بین ولتاژ مؤلفه‌های d و q ولتاژ تغذیه و مقادیر مرجع، آشکار می‌شود:

$$u_{error_dq} = \sqrt{u_{ref_d} - u_{supply_d})^2 + u_{ref_q} - u_{supply_q})^2} \quad (۹-۷)$$

در رابطه‌ی فوق مؤلفه روی محور d روی ولتاژ نامی و مؤلفه روی محور q روی مقدار صفر تنظیم می‌شود. در نهایت برای تبدیل مؤلفه‌های d و q ولتاژ خطا به ولتاژهای سه فاز از تبدیل (۷-۱۰) استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که بلوک PLL موجود در شکل ۷-۲۱ مؤلفه‌ی توالی مثبت ولتاژ تغذیه و زاویه‌ی PLL مورد استفاده برای انتقال به قاب dq را دنبال می‌کند. زاویه‌ی θ از اغلب هارمونیک‌ها، نامتقارنی‌ها و اغتشاشات موجود در ولتاژ تغذیه فیلتر می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

$$\begin{bmatrix} u_{error,a} \\ u_{error,b} \\ u_{error,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{error,d} \\ u_{error,q} \end{bmatrix} \quad (۷-۱۰)$$

۷-۷- جمع‌بندی

همان‌طور که در ابتدا اشاره شد برای شروع و پیاده‌سازی شبکه هوشمند اولین انتخاب، ریزشبکه است تا در مقیاس کوچک و اقتصادی به توانایی‌های مورد نیاز شبکه هوشمند برسیم. برای دستیابی به یک عملکرد ایمن و پایدار، یک سری از مسائل فنی، مسائل اقتصادی و مقرراتی می‌بایستی قبل از کارکرد مناسب ریزشبکه‌ها حل شوند. یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های سیستم‌های توزیع و ریزشبکه‌ها مشکلات مربوط به کیفیت توان هستند که این مسئله از دو دیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد: یکی از دیدگاه شبکه و دیگری از سمت مصرف کننده. یکی از راه‌های موجود برای حل این مشکل استفاده از تجهیزات CUPS است که به سه دسته سری، موازی و سری-موازی تقسیم می‌شوند که هر کدام کاربرد، مزایا و معایب خاص خود را دارند. در مرحله بعد، با ترکیب منابع تولید پراکنده با واسطهای الکترونیک قدرت می‌توان FDGها را بوجود آورد که علاوه بر وظیفه اصلی خود که تأمین توان اکتیو است مزایا و ویژگی‌های تجهیزات CUPS را نیز دارا هستند.

منابع و مراجع

[1] S. Chowdhury and P. Crossley, *Microgrids and Active Distribution Networks*, The Institution of Engineering and Technology, 2009.

[2] M. H. Bollen, *Understanding Power Quality Problems*, Vol. 3: IEEE press New York, 2000.

[3] R. C. Dugan, M. F. Mc Granaghan and H. W. Beaty, *Electrical*

Ahwaz_Hackerz

power systems quality, New York, NY: McGraw-Hill,| c1996, vol. 1, 1996.

[4] N. G. Hingorani, *Introducing Custom Power*, Spectrum, IEEE, Vol. 32, pp. 41-48, 1995.

[5] "Advantages and disadvantages of Harmonics in Power System" July 2016, http://etrical.blogspot.de.

[6] H. Karami Porzani, B. Zaker, M. Nasiri, H. Tarimoradi and G. B. Gharehpetian, "DSTATCOMs and DGs Optimal Allocation in Order to Reduce Losses and Increase Loadability," to be appeared in Journal of Electrical Engineering of Tabriz University.

[7] M. Vatani, D. Solati Alkaran, M. J. Sanjari and G. B. Gharehpetian, "Multiple distributed generation units allocation in distribution network for loss reduction based on a combination of analytical and genetic algorithm methods," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 10, No. 1, pp. 66-72, 2016.

[8] M. Firouzi, G. B. Gharehpetian and S. B. Mozafari, "Bridge-Type Superconducting Fault Current Limiter Effect on Distance Relay Characteristic," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 68 pp. 115-122, 2015.

[9] http://www.tequipment.net/fluke/power-measurement/.

[10] "Evaluating the Economic Impact of UPS Technology" http://www.alphagrissin.bg.

[11] C. J. Gajanayake, D. M. Vilathgamuwa, P. C. Loh, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Z-Source-Inverter-Based Flexible Distributed Generation System Solution for Grid Power Quality Improvement," Energy Conversion, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 24, pp. 695-704, 2009.

[12] J. Aguinaga, "Study of static transfer switches," MSc Thesis, Department of Electrical Engineering Sähkötekniikan laitos, Finland, 2008.

Ahwaz_Hackerz

[13] “Eliminating Voltage Notching on the Distribution System”, Rockwell Automation.

[14] M. R. Vatani, M. J. Sanjari and G. B. Gharehpetian, “Islanding Detection in Multiple-DG Microgrid by Utility Side Current Measurement,” International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 25, No. 9, 2014.

[15] B. Poornazaryan, P. Karimyan, G.B. Gharehpetian and M. Abedi, “Optimal Allocation and Sizing of DG Units Considering Voltage Stability, Losses and Load Variations,” International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 79, No. 7, July 2016, pp. 42-52.

[16] J. D. Barros and J. Silva, “Multilevel Optimal Predictive Dynamic Voltage Restorer,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 57, pp. 2747-2760, 2010.

[17] E. Ebrahimi, M. J. Sanjari and G.B. Gharehpetian, “Control of Three-Phase Inverter-Based DG System During Fault Condition without Changing Protection Coordination,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 63, Dec. 2014, pp. 814–823.

[18] H. Hashemi Dezaki, H. Askarian Abyaneh, G. B. Gharehpetian and H. Nafisi, “Optimized Allocation of DGs to Improve System Reliability Based on Loading Effects,” Arabian Journal for Science and Engineering (AJSE), Vol. 39, No. 5, pp. 3907-3915, Sep. 2014.

[19] P. Karimyan, G. B. Gharehpetian, M. Abedi and A. Gavili, “Long-Term Scheduling for Optimal Allocation and Sizing of DG Unit Considering Load Variations and DG Type,” International Journal of Electrical Power and Energy Systems (IJEPES), Vol. 54, Issue 1, pp. 277–287, Jan. 2014.

[20] N. Ghasemkhani, S.H. Hosseinian, G. B. Gharehpetian and B. Zaker, “DGs and SVCs Allocation in Distribution System to Reduce Losses and Improve Voltage Profile using Harmony Search

Ahwaz_Hackerz

Algorithm," Smart Grid Conference (SGC2015), Tehran, Iran, Dec. 22-23, 2015.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۸ مقدمه‌ای بر ریزشبکه

۸-۱- مقدمه

کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از دغدغه‌های اصلی امروز کشورهای دنیا است. در زمینه تولید الکتریسیته برای کاهش انتشار این نوع گازها در سال‌های اخیر استفاده از منابع تولید پراکنده بسیار مورد توجه قرار گرفته است و در همین راستا تجدید ساختار سیستم‌های قدرت و بازار رقابتی برق ایجاد شده است. در حقیقت اتصال ریزمنابع[1] با ظرفیت چند صد کیلووات به شبکه‌های فشار ضعیف باعث افزایش قابلیت اطمینان مصرف‌کنندگان و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و توسعه شبکه‌های انتقال می‌شود. با گسترش روز افزون شبکه‌های برق در قرن بیستم مراکز تولید و مصرف انرژی الکتریکی در مسیرهای حلقوی به هم مرتبط شده‌اند. در این شبکه‌های سراسری جهت انتقال توان همواره از مراکز تولید به سمت مصرف‌کننده بود. قرن بیست و یکم و نیاز روز افزون به منابع انرژی در سطح جهانی زمینه را برای مشارکت مصرف‌کنندگان در شبکه‌ی قدرت فراهم آورد. این مشارکت می‌تواند در سه بخش تولید، ذخیره‌سازی و مدیریت انرژی الکتریکی صورت گیرد. با گسترش استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر (RES[2]) که هم هزینه‌ی حاشیه‌ای[3] بسیار پایین و در نتیجه بازده بسیار بالا دارند و هم منجر به تولید کمتر کربن و کاهش آلودگی هوا می‌شوند از یک سو و از سوی دیگر ظهور منابع تولید پراکنده که بیشتر در سطح توزیع و طرف مصرف‌کننده نصب می‌شوند و از

1- Micro sources
2- Renewable Energy Sources
3- Marginal cost

Ahwaz_Hackerz

همه مهم‌تر بحث پایداری و انطباق‌پذیری شبکه، زمینه‌ی بروز تغییرات در ساختار شبکه‌های قدرت را فراهم ساخت. علاوه بر این، ضرورت سرمایه‌گذاری در پایان عمر شبکه و همچنین سرمایه‌گذاری جهت رفع تراکم خطوط شبکه به روش‌های بازار برق در کنار پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌ی سیستم‌های مخابراتی که سرعت انتقال اطلاعات را به نحو چشم‌گیری متحول نموده و پیشرفت‌های قابل ملاحظه در زمینه‌ی فناوری اطلاعات و امکان کاربرد اقتصادی آن‌ها در سیستم‌های قدرت از عواملی هستند که لزوم ایجاد تغییر در سیستم قدرت یکپارچه‌ی سنتی را موجب می‌شوند.

عوامل تغییر در شبکه‌های قدرت به اختصار شامل موارد زیر می‌باشند:

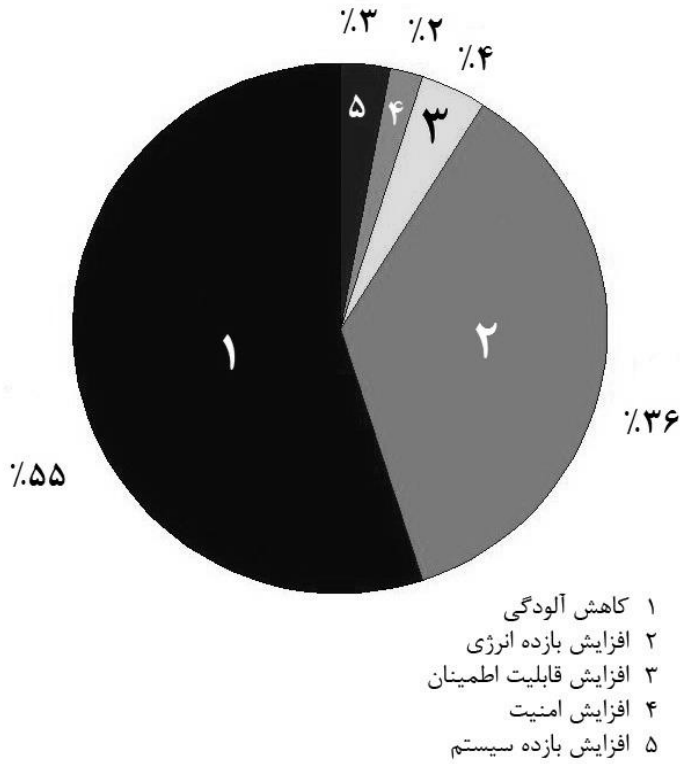
- افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در شبکه
  - در بخش تولید
  - در بخش ذخیره‌سازی
  - در بخش مدیریت و کنترل انرژی
- تولید کربن کمتر
  - کاربرد انرژی‌های تجدید پذیر و تولید انرژی با بهره‌وری بالا و آلودگی کمتر
  - واردکردن/ یکپارچه‌سازی RES و DG[1] در شبکه
  - ضرورت سرمایه‌گذاری در پایان عمر شبکه
  - ضرورت رفع تراکم[2] شبکه با استفاده از روش‌های بازار برق
  - پیشرفت IT[3] (کاربرد اقتصادی آن در سیستم‌های انرژی)
  - توسعه روز افزون سیستم‌های مخابراتی (کاربرد اقتصادی)
  - پایداری و انطباق پذیری

یکی از تغییرات بنیادیِ ممکن در شبکه‌های قدرت، ایجاد شبکه‌های قدرت کوچک در دل

1- Distributed Generation
2- Congestion
3- Information Technology

Ahwaz_Hackerz

شبکه‌ی بزرگ سراسری است که ریزشبکه نامیده می‌شوند. بنا بر پیش‌بینی وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا (DOE[1]) تا سال ۲۰۲۰ ظرفیتی معادل ۱ الی ۱۳ گیگا وات با حدود ۵۵۰ ریزشبکه هر کدام با توانی در حدود 10 MW و سودآوری یک میلیارد دلار ایجاد می‌شود. عوامل مؤثر بر این سودآوری و درصد مشارکت هر کدام در شکل ۸-۱ دسته‌بندی شده است.



شکل ۸-۱: درصد مشارکت هر کدام از عوامل مؤثر بر سودآوری ناشی از ورود ریزشبکه‌ها به شبکه‌ی قدرت [۳].

۸-۱-۱- تاریخچه تشکیل ریزشبکه

سیستم‌های قدرت دنیا همواره در جهت پیشرفت تکنولوژیکی و نیز افزایش قابلیت اطمینان

1- Department of Energy

Ahwaz_Hackerz

حرکت کرده‌اند. در سیستم‌های قدرت سنتی توان در سمت نیروگاه‌های بزرگ تولید می‌شد و توسط خطوط انتقال و بعد از آن خطوط فوق توزیع تا نزدیکی شهرها و شهرک‌ها منتقل می‌شد و وارد پست‌ها می‌شد. پست‌ها آن را به شبکه‌های توزیع موجود تزریق می‌کردند و در نهایت شبکه‌های توزیع، توان را به مصرف‌کنندگان می‌رساندند. در چنین سیستم‌هایی برنامه‌ریزی توسعه تولید، انتقال و پست‌ها، برای بالا نگه‌داشتن سطح قابلیت اطمینان و تأمین بار رو به رشد انجام می‌شد.

در زمان‌های کوتاه‌تر برنامه‌ریزی بهره‌برداری از شبکه قدرت توسط اپراتور سیستم با هدف تأمین بارها و کمینه کردن هزینه‌ها انجام می‌شد. ولی به‌هرحال به دلیل ابعاد بزرگ سیستم و وسعت عظیم جغرافیایی آن، در جای‌جای شبکه اتفاقات و رخدادهایی به وقوع می‌پیوست و باعث خاموشی می‌شد. این اتفاقات اغلب در شبکه‌های توزیع که بخش عظیمی از تجهیزات را در شبکه به خود اختصاص داده‌اند روی می‌داد. کم‌کم برخی از بارهای حساس در شبکه‌های توزیع که در اثر خاموشی هزینه‌های گزافی را متحمل می‌شدند به این فکر افتادند که با خرید ژنراتورهای کوچک در مواقع قطعی برق سیستم خود را پا برجا نگه داشته و از پرداخت هزینه‌های سنگین ناشی از خاموشی خلاص شوند. با پیشرفت صنعت، بارهای حساس در سطح توزیع افزایش یافتند و کم‌کم نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع افزایش یافت. با نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع مشکلاتی در این شبکه‌ها ایجاد شد. این مشکلات شامل مواردی از قبیل از بین رفتن هماهنگی تجهیزات حفاظتی، مسائل مربوط به سنکرون سازی تولیدات پراکنده با شبکهٔ سراسری، تخصیص بار به تولیدات پراکنده بدلیل ظرفیت محدود آن و ... است. با حل مسائل فوق راه برای نفوذ هر چه بیشتر تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع باز شد و کم‌کم تولید داخل شبکه‌های توزیع به حدی رسید که قادر بود بار خود و یا بخشی بزرگی از آن را تأمین کند. با پیشرفت بیشتر تکنولوژی و اعمال کنترل کننده‌های تولید و تنظیم کننده‌های ولتاژ و فرکانس و ...که در شبکه‌های سنتی استفاده می‌شد، شبکه‌های توزیع

Ahwaz_Hackerz

این شبکه شبیه به سیستم‌های قدرت سنتی ولی در ابعاد کوچک‌تر شدند و لذا ریزشبکه‌ها[1] شکل گرفتند. روند تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت بر شکل‌گیری ریزشبکه‌ها تأثیر خاصی ندارد و این نوع شبکه‌ها نیز قادرند در بازار شرکت کنند و شبکه‌های سراسری را مانند تولیدات خود به عنوان یک تولیدکننده در نظر بگیرند.

۸-۲- تعریف ریزشبکه

ریزشبکه یک شبکه‌ی توزیع فشار ضعیف (LV) شامل مجموعه‌ای از عناصر زیر است:

- بارهای الکتریکی/حرارتی
- منابع ذخیره کننده انرژی (باتری‌ها، خازن‌ها، سلول سوختی، چرخ طیار و غیره)
- منابع تولید پراکنده (DG، FDG و غیره)

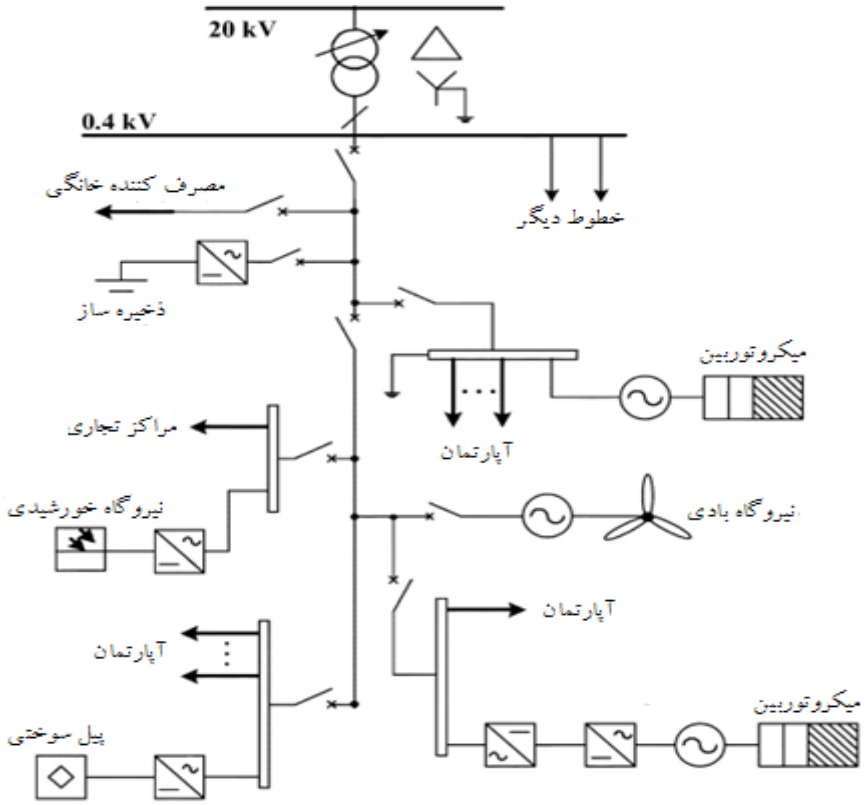
که تحت یک سیستم مشترک عمل می‌کنند و مزیت اصلی آن افزایش قابلیت اطمینان و امنیت بالاتر بارها است. ریزشبکه‌ها در حالت عادی به صورت متصل به شبکه بهره‌برداری می‌گردند اما در شرایط اضطراری دارای این قابلیت هستند که به صورت جدا از شبکه نیز به کار خود ادامه دهند. طبق توصیه IEEE ظرفیت ماکزیمم ریزشبکه باید 10MVA باشد. شکل ۸-۲ یک ریزشبکه نمونه را نشان می‌دهد.

ریزشبکه دارای مزایایی نسبت به سیستم‌های قبلی با تولید انرژی متمرکز و خطوط انتقال با ولتاژ بالا است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاربرد تکنولوژی برق و حرارت ترکیبی
- سامان دادن به کیفیت توان مصرف کنندگان انتهایی
- ایجاد فضایی مناسب جهت افزایش بازدهی انرژی
- تولید انرژی در مقیاس کوچک از منابع تجدید پذیر

1- Microgrids

Ahwaz_Hackerz



شکل ۸-۲: تصویر یک ریزشبکه نمونه.

کیفیت توان و قابلیت اطمینان از شاخص‌های مهم در ارائه سرویس به مصرف کنندگان هستند. خروج‌های ناگهانی یا برنامه ریزی شده می‌تواند این پارامترها را دستخوش تغییر کند و از سوی دیگر استفاده از ذخیره پشتیبان به لحاظ اقتصادی پرهزینه است.همچنین با وجود انواع کلید زنی و خطاها در سیستم قدرت شاهد بروز افت ولتاژ، اعوجاج هارمونیکی و نامتعادلی هستیم. این مسائل کیفیت توان با وجود اینکه تأثیر چندانی در ارائه انرژی به مصرف کنندگان ایجاد نمی‌کنند ولی در بهبود عملکرد و طول عمر تجهیزات مؤثرند. منابع تولید پراکنده به کمک تمرکز زدایی از تولید باعث ارتقای پارامترهای کیفیت توان می‌شوند. ارتقای قابلیت اطمینان نیز با جزیره‌ای شدن ریزشبکه در مواقع بروز حالات گذرا خطرناک در سیستم و یا بروز قطعی و

Ahwaz_Hackerz

اختلال در سیستم بالا دست میسر می‌شود از سوی دیگر بروز منابع تولید پراکنده چالش‌های مربوط به خود را نیز به همراه دارد با توجه به وضعیت متغیر منابع تولید پراکنده تأمین بار پایه سیستم در شرایط عادی و تعیین پشتیبان در موارد نبود تابش آفتاب و نوزیدن باد دشواری‌های خاصی دارد.

۸-۲-۱- ساختار ریزشبکه

ساختار سنتی ریزشبکه حاوی تعدادی منابع و بار است که توسط کلیدی به شبکه سراسری متصل است. با باز شدن کلید، ریزشبکه به حالت جزیره‌ای تغییر وضعیت می‌دهد واحدهای کوچک تولیدی این توانایی را دارند که تغییرات بار را به سرعت دنبال کنند و از سوی دیگر نیاز به در مدار نگه داشتن واحدهای بزرگ نیروگاهی با توجه به زمان و هزینه راه اندازی بالای آن‌ها برطرف می‌شود. وقتی تعداد زیادی از منابع کوچک وجود دارد خارج شدن همگی آن‌ها از مدار به دلیل اشکال فنی احتمال کمی دارد. ساختار یک ریزشبکه به دو قسمت زیر تقسیم می‌شود.

۱) عناصر موجود در شبکه

۲) سیستم‌های کنترلی

۸-۲-۲- عناصر موجود در یک ریزشبکه

مهم‌ترین عناصر موجود در یک ریزشبکه را می‌توان منابع تولید، منابع ذخیره‌ساز انرژی، بارهای قابل کنترل و سیستم‌های کنترلی موجود در آن عنوان کرد. در ادامه به اختصار توضیحی از هر کدام از عناصر موجود در یک ریزشبکه ارائه می‌شود.

۸-۲-۲-۱- منابع توان

منابع توان ریزشبکه‌ها به طور معمول منابع انرژی پراکنده هستند. برای تولید پراکنده تعـاریف مختلفی وجود دارد که عبارت‌اند از:

Ahwaz_Hackerz

- تعریف EPRI[1]: تولیدات پراکنده تولیداتی در محـدوده چنـد kW تـا MW ۵۰ تولیـد دارد.
- تعریف GRI[2]: تولید پراکنده به صورت نوعی بین ۲۵ kW تا ۲۵ MW تولید دارد.
- تعریف R&R: تولید پراکنده در محدوده ۵۰۰ kW تا ۱۰۰MW تولید دارد.
- تعریف Cardell: تولید پراکنده در محدودهٔ ۵۰۰kW تا ۱ MW تولید دارد.

دلیل این تعاریف مختلف روند و تعاریف مختلف تجدید ساختار در کشورهای مختلف است ولی یک تعریف کلی برای محدوده تولید توان منابع تولید پراکنده عبارت است از:

"تولید پراکنده توان در محدوده چند kW تا سقف ۳۰۰ MW است که در سطح شبکه‌های توزیع به سیستم قدرت متصل می‌شود."

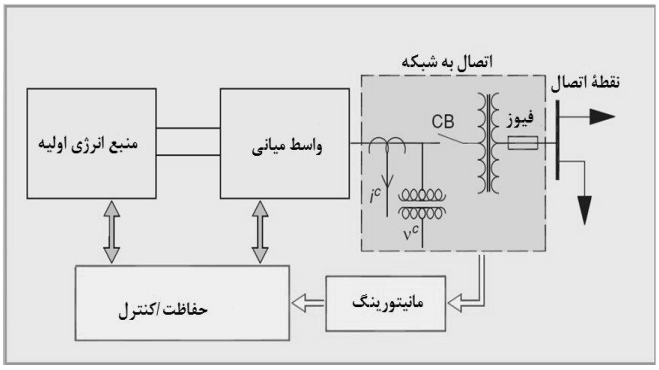
واحدهای DER بر حسب نحوه اتصال آن‌ها به ریزشبکه به دو گروه تقسیم می‌شوند:

گروه اول شامل واحدهای چرخان هستند که از طریق ژنراتورهای سنکرون به ریزشبکه متصل می‌شوند و گروه دوم شامل واحدهایی هستند که به صورت الکترونیکی و از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت به شبکه متصل می‌شوند. مفاهیم و مشخصات کنترلی مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد استفاده در واحدهای تولید و ذخیره انرژی به طور قابل توجهی با ماشین‌های چرخان مرسوم متفاوت است؛ بنابراین استراتژی‌های کنترلی و رفتار دینامیکی ریزشبکه‌ها، خصوصاً در حالت جدا از شبکه می‌تواند به طور قابل توجهی با سیستم‌های قدرت سنتی متفاوت باشد. از آنجایی که اکثر منابع تولید توان موجود در ریزشبکه‌ها توسط مبدل‌های الکترونیک قدرت به شبکه متصل می‌شوند و فاقد اینرسی هستند، مسئله کنترل و بهره‌برداری از آن‌ها در شرایط مختلف کاری یکی از مهم‌ترین مشکلات ریزشبکه‌ها تلقی می‌شود و استفاده از عناصر ذخیره ساز انرژی همراه با این منابع باعث می‌گردد تا کنترل توان خروجی آن‌ها بهتر صورت پذیرد.

1- Electric Power Research Institute
2- Gas Research Institute

Ahwaz_Hackerz

شکل ۸-۳ نمونه‌ای از نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل عناصر اصلی تشکیل دهنده شامل منبع انرژی اولیه، واسط بین منبع انرژی اولیه و شبکه قدرت که ماشین سنکرون یا ادوات الکترونیک قدرت است و سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل که برای تنظیم پارامترهای خروجی منبع استفاده می‌شوند است.



شکل ۸-۳: نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه.

جدول ۸-۱ انواع منابع تولید پراکنده و نحوه اتصال آن‌ها به شبکه را به صورت طبقه‌بندی شده نشان می‌دهد. به عنوان مثال در سطر دوم این جدول DGهای مرسوم معرفی شده است. این نوع منابع، انرژی اولیه خود را از تجهیزاتی از قبیل توربین‌های آبی و بادی و... دریافت می‌کنند و واسط بین این نوع منابع با شبکه ماشین‌های سنکرون و آسنکرون هستند. کنترل و پخش بار این نوع منابع توسط *گاورنر* (کنترل فرکانس) و AVR[1] (کنترل ولتاژ) انجام می‌شود.

۸-۲-۲-۲- منابع ذخیره‌ساز انرژی (ESS[2])

یک تفاوت عمده میان سیستم قدرت با سایر سیستم‌های عرضه و تقاضا در لزوم برابری عرضه و

1- Automatic Voltage Regulator
2- Energy Storage System

Ahwaz_Hackerz

تقاضا در هر لحظه است. چنانچه میزان تولید بیشتر از مصرف باشد، امکان ذخیره مازاد انرژی جز از طریق منابع ذخیره‌ساز انرژی میسر نیست.

جدول ۸-۱: طبقه بندی منابع تولید پراکنده.

	منبع انرژی اولیه	واسط /مبدل	کنترل پخش بار
DG مرسوم	موتورهای پیستونی واحدهای آبی کوچک توربین‌های بادی سرعت ثابت	ژنراتور سنکرون ژنراتور القایی	کنترل گاورنر و AVR، کنترل شیب توربین
DG غیرمرسوم	توربین‌های بادی سرعت متغیر میکروتوربین آرایه‌های PV[1] خورشیدی پیل‌های سوختی	مبدل الکترونیک قدرت (تبدیل ac-dc-ac)	کنترل ولتاژ لینک dc، سرعت توربین و MPPT[2]
منابع ذخیره کننده بلندمدت	باتری ذخیره کننده	مبدل الکترونیک قدرت (تبدیل dc-dc-ac)	کنترل ولتاژ / فرکانس خروجی و حالت شارژ
منابع ذخیره کننده کوتاه‌مدت	خازن بزرگ چرخ طیار	مبدل الکترونیک قدرت (تبدیل dc-dc-ac)	حالت شارژ کنترل سرعت

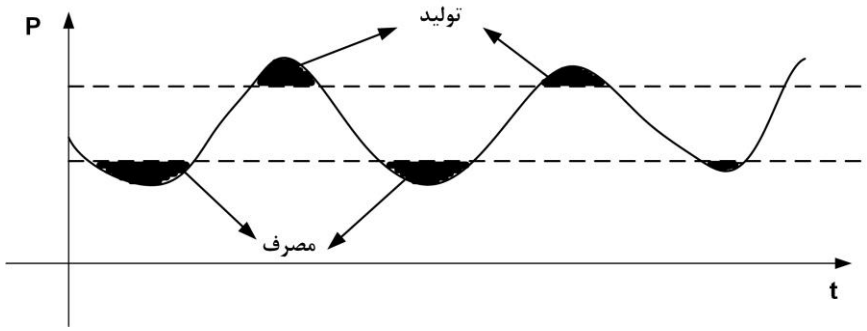
دلایل استفاده از منابع ذخیره‌ساز در سیستم‌های قدرت شامل هموارسازی منحنی بار (شکل ۸-۴ و ۸-۵)، ایجاد قابلیت حمل و نقل از طریق باتری‌ها برای خودرو برقی و در نهایت افزایش قابلیت اطمینان از طریق جایگزینی تولید در شبکه (یعنی هنگامی که ژنراتورها از شبکه خارج می‌شوند ذخیره‌سازها جایگزین می‌شوند) است. اساساً تغییرات میزان مصرف باید توسط راه‌های

1- Photovoltaic
2- Maximum point of power tracking

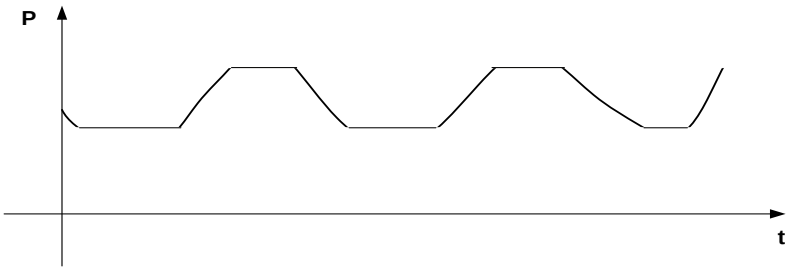
Ahwaz_Hackerz

زیر جبران شود:

- ✓ رزرو چرخان (نیروگاه‌هایی که با سرعت سنکرون می‌چرخند و به شبکه متصل هستند اما هیچ توانی نمی‌دهند)
- ✓ ورود و خروج نیروگاه‌ها
- ✓ ذخیره‌سازهای انرژی (جا به جایی)



شکل ۸-۴: هموار سازی منحنی بار توسط ذخیره ساز انرژی.



شکل ۸-۵: هموار سازی منحنی بار توسط ذخیره ساز انرژی.

در ریزشبکه‌ها علاوه بر کاربردهای فوق به دو دلیل دیگر استفاده از ذخیره‌سازها ضرورت دارد.

۱- پاسخ کند DGها به سیگنال کنترلی در حالت ایزوله از شبکه. در حقیقت با استفاده از ذخیره کننده‌ها سرعت پاسخ سیستم را به تغییرات بالا می‌بریم. مثلاً پیل سوختی برای دنبال کردن تغییرات ریزشبکه بسیار کند است بنابراین از ذخیره‌سازها برای جبران این سرعت پایین

Ahwaz_Hackerz

در پاسخ گویی استفاده می‌کنند.

۲- دینامیک سریع ریزشبکه و تغییرات سریع آن چون بی اینرسی است. برای پاسخ‌گویی به این دینامیک سریع، سیستم کنترل ذخیره‌سازها را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که یک اینرسی مجازی تولید نماید.

منابع ذخیره‌سازی که در ریزشبکه به کار می‌روند را می‌توان از نظر ماهیت تبدیل انرژی به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی نمود:

الف) الکتروشیمیایی: مثل انواع باتری‌های شیمیایی در رنج توانی ۵ الی ۵۰۰ مگاوات

ب) الکتریکی: مانند خازن، ابرخازن و SMES[1] در رنج توانی ۵ الی ۵۰ کیلو وات

ج) مکانیکی مانند:

ج-۱) ذخیره‌ساز هوای فشرده

ج-۲) چرخ طیار (مناسب برای ریزشبکه ۰/۵ الی ۲/۵ مگاوات)

ج-۳) فنر (ذخیره انرژی در حجم کم)

ج-۴) ذخیره‌ساز برق آبی (در ظرفیت‌های بالای ۱۰ مگاوات)

د) گرمایی: نمک مذاب، استخرهای خورشیدی، آب یا روغن داغ در مخازن ایزوله

خلاصه‌ای از دسته‌بندی انواع مختلف منابع ذخیره‌سازی انرژی در جدول ۸-۲ آورده شده است. این واحدها بیشتر در مواقع پیک بار، زمان جزیره‌ای شدن ریزشبکه برای جبران کمبود توان و... استفاده می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان سیستم ذخیره ساز انرژی در شبکه قدرت را برای مقاصد زیر بکار برد:

۱- سطح بندی بار

۱- پشتیبانی فرکانس (رزرو چرخان) در مدت زمان خروج واحد تولیدی

۳- بهبود پایداری گذرا و دینامیکی

۴- پشتیبانی ولتاژ (جبران VAr)

1- Super Conducting Magnetic Energy Storage

Ahwaz_Hackerz

۵- بهبود کیفیت توان

۶- راه اندازی بارهای دارای اینرسی (موتورهای الکتریکی)

جدول ۸-۲: انواع تکنولوژی‌های منابع ذخیره کننده انرژی.

ظرفیت قابل دسترس	تکنولوژی‌های منابع ذخیره کننده انرژی
۵ الی ۵۰۰ مگاوات	باتری‌ها
۵ الی ۵۰ کیلو وات	خازن‌ها
۵۰۰ کیلو وات الی ۲۵ مگاوات	چرخ‌های طیار
بزرگ‌تر از ۱۰ مگاوات	پمپ‌های آبی

ازجمله مزایا و معایب ذخیره‌سازها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مزایا:

۱) اصلاح کیفیت توان و افزایش قابلیت اطمینان ریزشبکه

۲) کاهش ظرفیت منابع تولید پراکنده

۳) صرفه‌جویی انرژی/ تقاضا از تقسیم‌بندی بار

۴) کاهش احداث تجهیزاتی همچون خطوط و منابع تولیدی جدید در شبکه انتقال و توزیع

معایب:

۱) هزینه بالای ذخیره در مدت زمان‌های طولانی

۲) تلفات توان جهت حفظ انرژی شارژ شده: این ذخیره کننده‌ها ایده‌آل نیستند و خود دارای تلفاتی هستند؛ بنابراین در صورت ذخیره برق برای مدت طولانی نیازمند این هستند که مقداری از این انرژی ذخیره شده را در خود مصرف نمایند.

۳) نرخ تعمیرات بالا: با توجه به این که عمده این ذخیره کننده‌ها از تکنولوژی‌های جدید

Ahwaz_Hackerz

استفاده می‌کنند مانند SMES، هزینه نگاهداری بالایی دارند. علاوه بر آن، در سیستم‌های ذخیره قدیمی مانند چرخ طیار به دلیل حضور عناصر گردان، هزینه نگهداری بالا است.

۸-۲-۲-۱- انواع رویکرد کاربرد ESS در ریزشبکه

ESS ها به دو صورت به کار گرفته می‌شوند، تجمیع شده و توزیع شده. در حالت تجمیع شده[1] کنترل ساده و عملکرد بهتر است. در حالت توزیع شده[2] کنترل دشوارتر است ولی علاوه بر آن نحوه ترکیب ذخیره‌سازها باهم نیز فرایندی پیچیده است.

در این زمینه تحقیقات بسیاری در حال انجام شدن است و تأثیر این دو آرایش در عواملی چون کنترل فرکانس شبکه، میراسازی نوسانات توان و غیره در حال بررسی است.

۸-۲-۲-۲- ذخیره ساز ترکیبی (CESS[3])

برای میرایی نوسانات فرکانس پایین (بالا) نیاز به ESS با چگالی انرژی (توان) بالا است. وجود همه‌ی این ویژگی‌ها در یک ESS نادر است. با توجه به مسئله بالا به ترکیبی از آن‌ها نیازمندیم؛ بنابراین CESS به وجود می‌آید. چگونگی این ترکیب نیز بسیار مهم است و بنا بر کاربرد متفاوت است. در کنار این موضوع Smart ESS نیز وجود دارد که ترکیبی از سیستم مدیریت، سیستم کنترل، واسط الکترونیک قدرت، ESS، واسط ماشین انسان (HMI[4]) و رابط مخابراتی است. این سیستم در شکل ۸-۶ نمایش داده شده است.

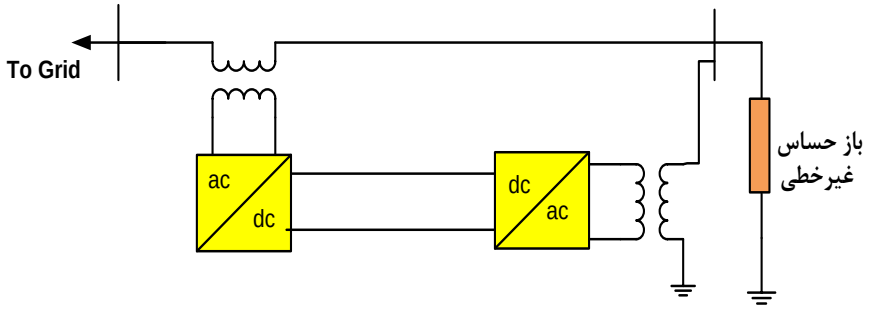
۸-۲-۲-۳- بارهای ریزشبکه

از دیدگاه کنترلی بارهای ریزشبکه به دو دسته بارهای غیرقابل قطع (بارهای حساس) و بارهای قابل قطع تقسیم‌بندی می‌شوند. بارهای حساس به دلایل حساسیت و حتی امنیتی بودن در

1- Aggregated
2- Distributed
3- Composite ESS
4- Human Machine Interface

Ahwaz_Hackerz

کنار DER قرار می‌گیرند تا در صورت جزیره‌ای شدن و حتی از دست رفتن ریزشبکه این بارها قطع نگردند. بارهای قابل قطع به کنترل‌کننده‌ی بار مجهز هستند. کنترل‌کننده‌ی بار با کنترل‌کننده‌ی مرکزی در ارتباط بوده و دستورات لازم را از آن دریافت می‌نماید. بارهای قابل قطع در شرایط اضطراری برای پایدار ماندن ریزشبکه توسط کنترل‌کننده‌ی بار، طبق اولویت قطع می‌شوند. به این عمل در شبکه‌های قدرت اصطلاحاً بارزدایی می‌گویند. از دیدگاه نوع انرژی مصرفی بارهای ریزشبکه به دو نوع بارهای الکتریکی و بارهای حرارتی تقسیم می‌شوند. بارهای الکتریکی خود به دو دسته‌ی بارهای AC و بارهای DC تقسیم می‌شوند.

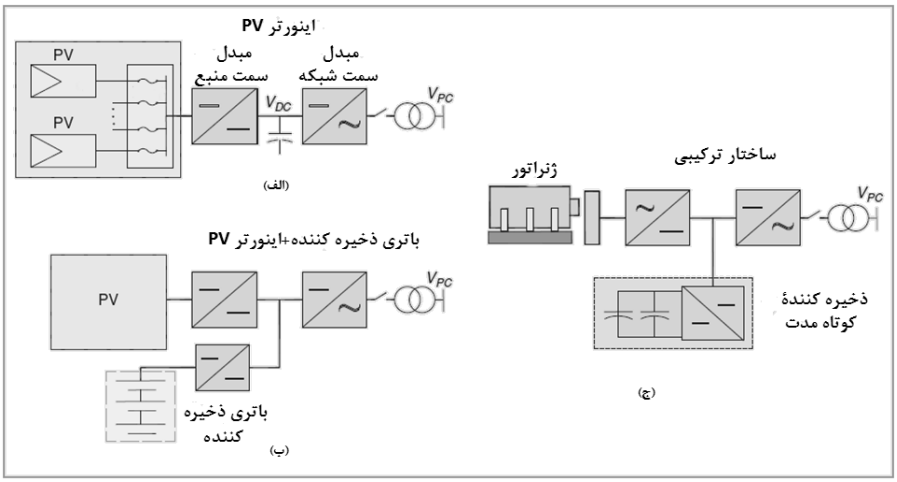


شکل ۸-۶: ذخیره ساز هوشمند.

شکل ۸-۷ نحوه اتصال انواع منابع تولید پراکنده به همراه ذخیره‌ساز انرژی به شبکه را نشان می‌دهد. در شکل ۸-۷ (الف) یک واحد فتوولتاییک غیرقابل توزیع را نشان می‌دهد که از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت به ریزشبکه متصل شده است. این مبدل یک سیستم dc-dc-ac است که ترکیبی از یک مبدل dc-dc و یک مبدل dc-ac است. شکل ۸-۷ (ب) یک واحد DERs ترکیبی که به صورت الکتریکی به شبکه متصل شده است را نشان می‌دهد. این سیستم ترکیبی از دو مبدل dc-dc موازی و یک مبدل dc-ac است. شکل ۸-۴ (ج) یک واحد DG متصل شده به صورت الکترونیکی را نشان می‌دهد که با یک واحد خازنی ذخیره کننده انرژی ترکیب شده است. این واحد DG قابل توزیع دارای عملکرد کندی بوده و از طریق یک مبدل

Ahwaz_Hackerz

ac-dc-ac به ریزشبکه متصل می‌شود. واحد خازنی از طریق یک مبدل dc-dc به لینک dc سیستم مبدل ac-dc-ac متصل شده و نیازمندی‌های پخش بار کوتاه مدت در دوره بازیابی یا به عبارتی شروع به کار واحد DG و همچنین در فواصل شتاب‌گیری و کاهش شتاب این واحد را فراهم می‌کند. این واحد خازنی می‌تواند توسط جذب و تزریق توان مورد نیاز، باعث افزایش سرعت پاسخ‌گویی کوتاه مدت این واحد شود. یک ویژگی مهم واحدهایی که به صورت الکترونیکی به شبکه متصل می‌شوند، توانایی ذاتی آن‌ها برای پاسخ‌گویی دینامیکی سریع توسط مبدل‌های واسط آن است. ویژگی دیگر این واحدها توانایی مبدل‌های واسط در محدود کردن سطح جریان اتصال کوتاه به کمتر از ۲۰۰٪ جریان نامی و به خصوص جلوگیری از مشارکت در جریان خطاست. برخلاف یک واحد DG مرسوم، یک واحد DG متصل شده به صورت الکترونیکی هیچ‌گونه اینرسی را در حالت‌های گذرای ریزشبکه از خود نشان نداده و در نتیجه تمایلی ذاتی برای حفظ فرکانس ریزشبکه از خود نشان نمی‌دهد. به هر حال می‌توان از سیستم کنترلی سریع مبدل برای تنظیم فرکانس کمک گرفت.



شکل ۸-۷: اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه.

Ahwaz_Hackerz

۸-۲-۳- سیستم‌های کنترلی موجود در ریزشبکه‌ها

در سیستم‌های قدرت سنتی منابع تولید توان، ژنراتورهای سنکرون هستند که کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه را نیز به عهده دارند. واحدهای تولیدی برحسب میزان دروپ تعریف شده برای هر یک از آن‌ها در کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه شرکت می‌کنند؛ اما در یک ریزشبکه اکثر منابع تولید توان از نوع منابع تولید پراکنده هستند. ولتاژ و فرکانس خروجی این نوع منابع با مقادیر استاندارد تعریف شده برای اتصال به شبکه سراسری سازگار نبوده و برای اتصال این نوع منابع به سیستم‌های قدرت از مبدل‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌شود. کنترل عناصر الکترونیک قدرت برای کارکرد صحیح شبکه از اهمیت بسزایی برخوردار است. دغدغه اصلی در ریزشبکه‌ها کنترل مبدل‌های منابع تولید توان است. ریزشبکه‌ها در دو حالت کاری: *الف)* متصل به شبکه سراسری بالادست؛ و *ب)* جدا از شبکه، در حالت جزیره‌ای بهره‌برداری می‌شوند. استراتژی‌های کنترلی متفاوتی برای کنترل توان، ولتاژ و فرکانس در یک ریزشبکه بیان شده است. با قرارگیری تولید کننده در نزدیکی مصرف کننده، تلفات انتقال شبکه‌های معمولی بسیار کاهش می‌یابد و از سوی دیگر امکان اضافه یا حذف نمودن یک جزء از ریزشبکه بدون تغییر مهندسی سیستم کنترلی امکان پذیر است. در ریزشبکه به دلیل کوچک بودن تولید کننده‌ها امکان خاموش کردن و از مدار خارج کردن آن‌ها در شرایط کم باری و نیز ورود سریع به مدار در شرایط اضافه بار برای جبران عدم توازن توان تولیدی و مصرفی وجود دارد. علائم نشان دهنده عدم توازن توان در سیستم کنترلی می‌تواند افت یا افزایش ولتاژ و فرکانس سیستم باشد. با مشاهده پیوسته این علائم، می‌توان خروج و ورود سریع و تغییر ناگهانی تولید توان را به عهده سریع‌ترین واحد در بین DGهای متنوع ریزشبکه نهاد تا تنش وارده به سیستم DG ها را به کمترین مقدار ممکن رساند و کیفیت توان را بهبود بخشید.

۸-۲-۳-۱- حالت‌های عملکرد ریزشبکه

یک ریزشبکه می‌تواند در دو حالت قطع و وصل به شبکه کار کند. در حالت اول که آن را حالت

Ahwaz_Hackerz

متصل به شبکه می‌نامند ریزشبکه وظایف زیر را در بردارد:

- پشتیبانی از DGهای شبکه: در اولویت اول مسئولیت تأمین بارها بر عهده DG ها است و درجه دوم اگر نتوانستند این مسئولیت بر عهده شبکه است.

- فراهم آوردن امکان فروش توان اضافی مشترکین صاحب DER به شبکه.

در این حالت دینامیک‌های سریع نسبت به حالت ایزوله از اهمیت کمتری برخوردار هستند: دلیل این موضوع وجود شبکه بالادست با اینرسی زیاد است که این اینرسی می‌تواند باعث چشم پوشی از دینامیک‌های سریع ریزشبکه شود.

در حالت دوم که حالت منفصل از شبکه نامیده می‌شود، چنانچه قطع شدن از شبکه برنامه‌ریزی شده باشد، به منظور تعمیرات شبکه خواهد بود و اگر برنامه‌ریزی نشده باشد، به دلیل بروز خطا، شبکه بالا دست از دست رفته و ریزشبکه از شبکه اصلی جدا می‌شود تا بارهای حساس ریزشبکه جداگانه توسط منابع داخل ریزشبکه تأمین شوند. به این حالت جزیره‌ای شدن می‌گویند که در آن احتمال عدم تعادل تولید و مصرف و بروز حالت گذرا وجود دارد. شدت این حالت گذرا به موارد زیر بستگی دارد:

- شرایط بهره‌برداری قبل از فرآیند جزیره‌ای شدن
- نوع و محل خطا ایجادکننده حالت جزیره‌ای
- طول زمان تشخیص حالت جزیره‌ای
- عملکرد کلید زنی بعد از وقوع خطا

بعضی از عناصر دارای عملکرد کند (مثل پیل سوختی) و بعضی دیگر دارای عملکرد تند هستند که سرعت آن‌ها در میزان شدت حالت گذرا مؤثر است. با توجه به این نکته در سیستم‌های ایزوله دینامیک‌های سریع بسیار مهم می‌شوند و حتماً باید این دینامیک‌ها را مدل‌سازی کرد. مدل‌سازی حالت مستقل از شبکه‌ی یک ریزشبکه بسیار سخت‌تر از حالت متصل به شبکه است.

Ahwaz_Hackerz

۸-۲-۴- تفاوت‌های موجود بین ریزشبکه و شبکه‌های قدیمی

علیرغم شباهت‌هایی که بین ریزشبکه‌ها و شبکه‌های قدرت سنتی وجود دارد، تفاوت‌های عمده‌ای نیز بین این دو وجود دارد و آن هم به دلیل پیشرفت سیستم‌های قدرت و حساس‌تر شدن بارهای موجود در ریزشبکه‌ها است. برخی از این تفاوت‌ها عبارت‌اند از:

- مشخصه‌های حالت دائم و حالت دینامیکی ریزشبکه‌ها با شبکه سنتی متفاوت است.
- در ریزشبکه‌ها به طور ذاتی بارهای نامتعادل وجود دارد (بدلیل بارهای تکفازی موجود در سیستم‌های توزیع). از طرفی تولیدات تکفاز ژنراتورهای تولید پراکنده تکفاز نیز بر نامتعادلی سیستم می‌افزاید. در حالی که در سیستم‌های سنتی همهٔ ژنراتورها سه فاز هستند.
- به دلایل اقتصادی بخش قابل توجهی از توان ریزشبکه‌ها از طریق منابع غیرقابل کنترل مثل باد تأمین می‌شود. در حالی که در سیستم‌های سنتی تنها بخشی از توان از چنین منابعی تأمین می‌شد و در صورت از دست رفتن این منابع تعادل توان سریعاً توسط نیروگاه‌های آبی یا بخار ایجاد می‌شود.
- واحدهای ذخیره‌ساز انرژی به صورت کوتاه‌مدت یا بلندمدت، نقش مهمی را در کنترل و عملکرد ریزشبکه‌ها بازی می‌کنند در حالی که در سیستم‌های سنتی اینطور نیست.
- برخی شرایط اقتصادی که بر ریزشبکه‌ها تحمیل می‌شود، باعث می‌شود که ریزشبکه‌ها منابع را از بار جدا کنند و یا منابع جدا شده را متصل کنند. در حالی که در سیستم‌های سنتی به دلیل در دسترس بودن انواع مختلفی از نیروگاه‌ها با شرایط فنی و اقتصادی مختلف و اعمال برنامه مشارکت واحدها بر این شبکه‌ها معمولاً چنین حالتی کمتر پیش می‌آید.
- قراردادهای داخل ریزشبکه‌ها معمولاً شامل کیفیت توان و قابلیت اطمینان نیز است. یک ریزشبکه‌ها علاوه بر برق شاید در قراردادهایی ملزم به تأمین گرما و یا برودت مورد نیاز یک منطقه هم باشد.

Ahwaz_Hackerz

۸-۲-۵- انواع ریزشبکه

ریزشبکه‌ها بر اساس میزان توان مصرفی آن‌ها به ۵ دسته طبقه‌بندی می‌شوند.

۱) ریزشبکه‌های کوچک‌تر از ۲ مگاوات به مجموعه بارهای انفرادی کوچک از قبیل بیمارستان‌ها، مدارس و... که شامل چندین بار الکتریکی است اطلاق می‌شود.

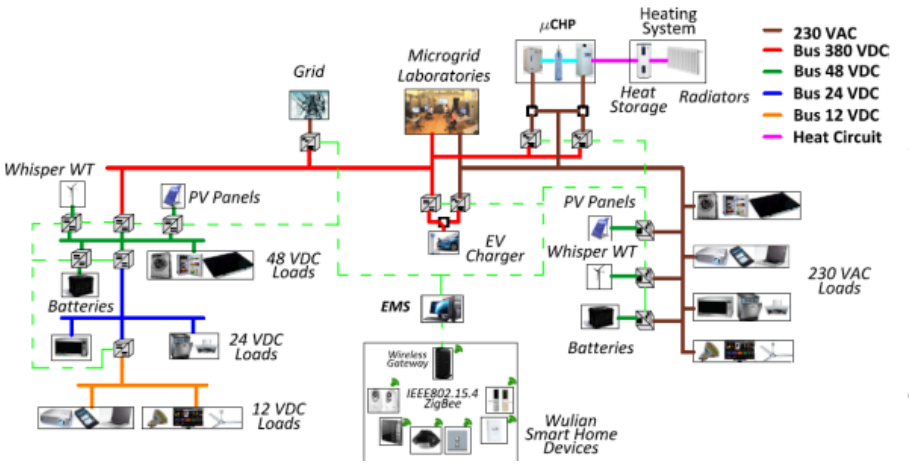
۲) ریزشبکه‌هایی با توان متوسط (۲ الی ۵ مگاوات) به مجموعه بارهای حرارتی و الکتریکی کوچک از قبیل مراکز تجاری و ... اطلاق می‌شود.

۳) ریزشبکه‌هایی با توان متوسط (۵ الی ۲۰ مگاوات) به فیدرهایی که دارای بارهای حرارتی و الکتریکی نسبتاً بزرگ هستند از قبیل صنایع، مراکز تجاری و ... اطلاق می‌شود.

۴) ریزشبکه‌هایی با توان بزرگ‌تر از ۲۰ مگاوات به پست‌های توزیع اطلاق می‌شود.

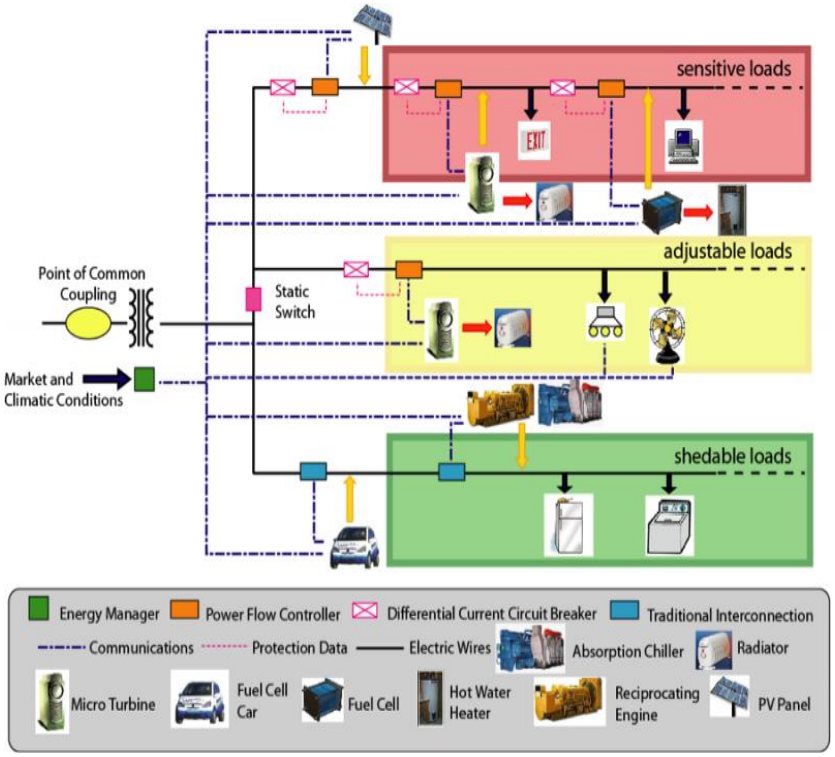
۵) شبکه برق روستایی

در شکل‌های ۸-۸ تا ۸-۱۰ نمونه‌هایی از ریزشبکه‌های اجرا شده به صورت آزمایشگاهی در بعضی از کشورهای دنیا آورده شده است که می‌توان به عنوان مثال به کشورهای انگلیس، امریکا، مصر، اسپانیا و دانمارک و ... اشاره کرد.

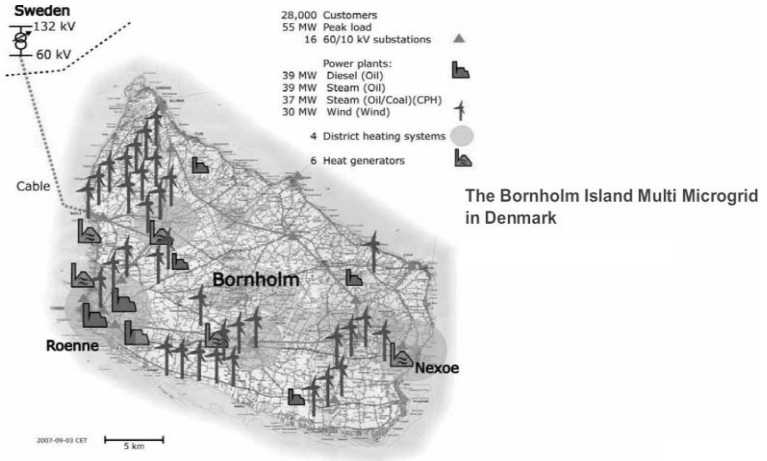


شکل ۸-۸: ریزشبکه DC اجرا شده توسط کشور دانمارک [۵].

Ahwaz_Hackerz



شکل ۸-۹: ریزشبکه اجرا شده توسط کشور امریکا گروه تحقیقاتی CERTS [۴].



شکل ۸-۱۰: ریزشبکه اجرا شده توسط کشور دانمارک [۶].

Ahwaz_Hackerz

۸-۲-۶- مزایای ریزشبکه ها و مشکلات پیش روی اجرای آن‌ها

ریزشبکه‌ها نسبت به شبکه‌های توزیع قدیمی دارای مزایای اقتصادی و فنی بسیاری می‌باشند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۸-۲-۶-۱- مزایای فنی ریزشبکه

شاید شنیده باشید که خانواده مهم‌ترین بخش جامعه است. خانواده‌ی خوب یعنی جامعه‌ی خوب و بهترین راه اصلاح هر جامعه‌ای اصلاح خانواده است. نسبت ریزشبکه با شبکه اصلی درست مثل خانواده و جامعه است. همان‌طور که اصلاح یک کودک در یک خانواده و توسط پدر و مادر راحت‌تر است تا در جامعه توسط قاضی و مأمور پلیس، اصلاح مشکلات هر جزء از اجزای سیستم قدرت نیز در ریزشبکه آسان‌تر از سیستم بزرگ سراسری است. اساس ایده‌ی شکل‌گیری ریزشبکه‌ها مشکلاتی بود که شبکه‌های قدرت بزرگ با آن روبرو بودند. هر چند مزایای ریزشبکه‌ها را به عنوان شبکه‌های کوچک محلی با سطح ولتاژ پایین می‌توان از دیدگاه‌های مختلف از جمله دیدگاه مصرف‌کننده، دیدگاه تولید کننده و حتی دیدگاه شرکت‌های خدماتی بررسی نمود، تعدادی از مهم‌ترین این مزیت‌ها به شرح زیر می‌باشند:

- تأمین تقاضای رشد بار (در صورت تأمین شبکه): به عنوان مثال در یک ناحیه بیابانی دور افتاده، هزینه برق‌رسانی با احداث خطوط جدید بسیار گران و هزینه‌بر است. علاوه بر آن ممکن است به دلایلی امکان احداث هرگونه خطی فراهم نباشد. در این صورت می‌توان یک شبکه به صورت ناحیه در آن مکان دایر نمود.
- کنترل توان اکتیو و راکتیو.
- تصحیح افت ولتاژ.
- تصحیح عدم تعادل ولتاژ: با استفاده از ادوات FACTS[1] می‌توان عدم تعادل‌ها که ناشی از عدم تعادل مصرف‌کننده‌ها است، را جبران نمود.

1- Flexible Alternating Current Transmission System

Ahwaz_Hackerz

- تصحیح نامتعادلی ولتاژ.
- بهبود کیفیت توان در PCC[1] (اگر کیفیت توان در PCC اصلاح شود تمامی بارهای پایین دست آن نیز اصلاح می‌شود).
- بهبود قابلیت اطمینان و امنیت بار (در صورت امکان کارکرد جزیره‌ای).
- در یک ریزشبکه می‌توان DG ها را با حداکثر سوددهی استفاده کرد.
- با تعریف و بررسی کارکرد و کنترل DG ها می‌توان آن‌ها را به صورت وصل و کار[2] استفاده نمود.

همچنین اهم مزایای ریزشبکه از جمله موارد زیر نیز است:

۱) قابلیت راهبری و کنترل (دیسپاچینگ): جهت کنترل توان سیستم‌های تولید پراکنده، توسعه‌ی سیستم‌های اسکادا و مدیریت انرژی، به طوری که شامل واحدهایی از تولید پراکنده نیز شوند، ضروری است.

۲) قابلیت دسترس پذیری[3]: جهت استفاده مناسب از قابلیت دیسپاچینگ سیستم‌های تولید پراکنده، هر واحد تولید پراکنده باید از قابلیت دسترس‌پذیری بالایی برخوردار باشد. به عنوان مثال، سیستم‌های خورشیدی به دلیل نیاز به وجود نور خورشید برای تولید برق، دارای قابلیت دسترسی تصادفی هستند، در حالی که یک دیزل ژنراتور دارای قابلیت دسترسی بسیار بالایی است.

۳) راه اندازی سریع: بسیاری مواقع، جهت پوشش مطمئن بار مصرفی شبکه نیاز به واحدهایی با زمان راه‌اندازی کوتاه است. این قابلیت با توجه به ملاحظات فنی در برخی سیستم‌های تولید پراکنده‌ی ریزشبکه موجود است.

۴) زمان پاسخ سریع: جهت برقراری تعادل میان تولید و مصرف در شبکه، معمولاً نیاز به تغییر سریع در توان تولیدی شبکه است. این امر در صورت وجود واحدهایی با ثابت زمان‌هایی

1- Point of Common Coupling
2- Plug and Play
3- Availability

Ahwaz_Hackerz

کوچک در سیستم امکان‌پذیر می‌گردد.

۵) عملکرد جزیره‌ای: کاربرد مستقل سیستم‌های تولید پراکنده به صورت جزیره‌ای جهت تأمین بار مصرف کنندگان از مزایای عمده ریزشبکه محسوب می‌شود. برای صنایع و واحدهایی که قطع برق خسارت فراوانی را دربر داشته باشد و یا به طور کلی امکان دسترسی به انرژی برق وجود ندارد، به کارگیری این سیستم‌ها مفید است. به دلیل داشتن سیستم راه‌انداز در مولدهای رفت و برگشتی و یا توربین‌ها، این مولدها قادرند خود راه‌انداز شده، برق واحدهای صنعتی را تأمین نمایند.

۸-۲-۶-۲- مزایای اقتصادی ریزشبکه

در شبکه‌های قدرت بزرگ رساندن توان الکتریکی از تولید به مصرف مستلزم کشیدن خطوط طولانی و سرمایه‌گذاری عظیمی است، حال آن که در تئوری ریزشبکه‌ها به راحتی و از طریق مراکز نامتمرکز تولید، می‌توان فاصله‌ی میان محل تولید و مصرف را به شدت کاهش داد تا بارها به صورت محلی تأمین شوند و نیاز به سرمایه‌گذاری وسیع خطوط انتقال نباشد. همچنین در صورت رشد سریع بار و نیاز به سرمایه‌گذاری سریع، ریزشبکه‌ها پاسخگوی خوبی به این مسئله هستند. علاوه بر این ریزشبکه با بهبود کیفیت توان و کاهش اغتشاشات و خاموشی در شبکه موجب کاهش مضرات اقتصادی آن می‌شود. ضمناً ریزشبکه‌ها در حالت مستقل از شبکه، هم برای صاحبان DER ها به دلیل سود فروش و هم برای مشترکین به دلیل عدم خاموشی سودآور است.

از طرفی ریزشبکه‌ها در مقایسه با شبکه‌های قدرت بزرگ از نظر اقتصادی دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی هستند. یکی از تفاوت‌های اقتصادی ریزشبکه‌ها با شبکه‌ی سراسری برق در بهینه‌سازی هم‌زمان منابع تولید الکتریکی و گرمایی به صورت هم‌زمان است که ناشی از حضور

Ahwaz_Hackerz

CHP[1] ها در ریزشبکه است و تفاوت دیگر در بهینه‌سازی هم‌زمان عرضه و تقاضاست که ناشی از امکان کنترل مصرف‌کننده توسط کنترل‌کننده‌ی مرکزی شبکه است. شباهت‌های شبکه‌ی بزرگ برق با ریزشبکه به شرح زیر است:

۱- قوانین پخش بار اقتصادی

۲- کم کردن هزینه‌ی تولید با ترکیب منابع

۳- خرید و فروش برق در زمان‌های متفاوت

۴- ترکیب بهینه فناوری‌های گوناگون منابع برای چرخه‌های گوناگون کار سیستم

۵- سازگاری با ظرفیت بالا و فن‌آوری‌های تولید با هزینه کم برای تغذیه بارهای پایه

۶- سازگاری با ظرفیت کم و فن‌آوری‌های تولید با هزینه بالا برای تغذیه بار پیک

از مزایای اقتصادی استفاده از ریزشبکه می‌توان به موارد زیر نیز اشاره نمود:

۱) قیمت انرژی داده شده توسط سیستم قدرت کنونی تحت تأثیر مسائلی چون تلفات، خدمات به مشتریان، تعمیر و نگهداری و احداث خطوط انتقال است. یک ریزشبکه با توجه به کوچک بودن و نزدیکی منابع تولید به مصرف کننده‌ها می‌تواند هزینه‌ی برق تولیدی را کاهش دهد. علاوه بر این سرمایه‌گذاری‌ها در تأسیسات انتقال و تولید متمرکز جهت پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای مصرف باید سریع انجام گیرد و این امر همیشه امکان‌پذیر نیست. در حالی که ریزشبکه‌ها می‌توانند همگام با افزایش تقاضای مصرف رشد نمایند.

۲) منابع تولید پراکنده در ریزشبکه باعث بهبود کیفیت توان و کاهش اغتشاشات و خاموشی برق می‌شود که با این کار می‌توانند هزینه‌های بسیار زیاد از دست رفته در بعضی کارخانه‌های صنعتی و یا مراکز تجاری کاهش داد.

۳) منابع تولید پراکنده در ریزشبکه می‌توانند به صورت ترکیبی به تأمین توان و گرما پرداخته و با بازیافت گرمای حاصل از تولید برق و استفاده جهت مصارف گرمایشی یا آب گرم مصرف کننده‌ها، هزینه‌ی سیستم‌های گرمایشی تأسیسات صنعتی را به طور محسوسی کاهش دهد.

1- Combined Heat and Power

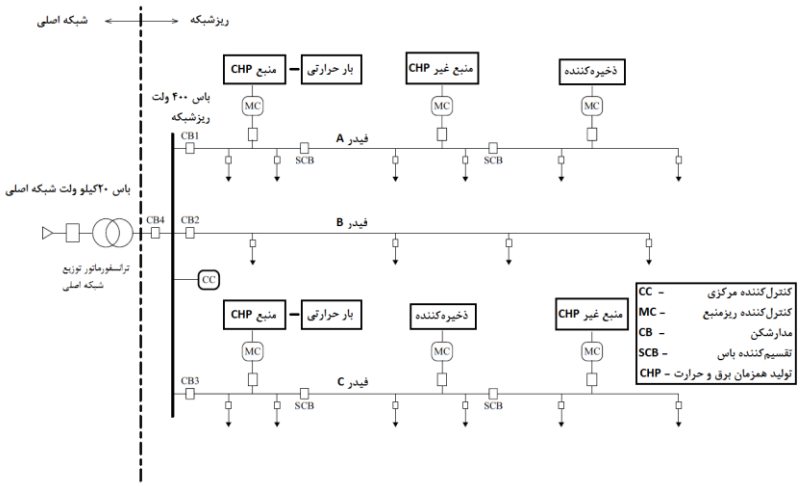
Ahwaz_Hackerz

۴) در صورتی که یک ریزشبکه به صورت جزیره‌ای (مستقل از شبکه) به کار گرفته شود، برای صاحبان منابع تولید پراکنده، شبکه‌ی برق و مشتریان سود به بار می‌آورد.

۸-۳- ریزشبکه‌ی نمونه

ریزشبکه‌های AC می‌توانند با فرکانس‌های مختلفی کار کنند و این امر به کاربرد ریزشبکه بستگی دارد. به عنوان مثال ریزشبکه هواپیما برای کاهش حجم تجهیزات در فرکانس‌های بالاتری کار می‌کند. در شکل ۸-۱۱ یک ریزشبکه فرکانس پایین[1] مشاهده می‌شود.

این ساختار شامل بارهای حرارتی، الکتریکی و ریزمنابع است که بوسیله یک شبکه توزیع با ولتاژ پایین به هم متصل شده‌اند. جهت حداقل نمودن تلفات انتقال (به ویژه برای تلفات حرارتی)، بارها و منابع در نزدیکی هم قرار گرفته‌اند. ریزمنابع دارای خاصیت وصل و اجرا[2] هستند. آن‌ها با رابط‌های الکترونیک قدرت برای کنترل، اندازه‌گیری و حفاظت در زمان بهره‌برداری در حالت‌های متصل به شبکه و مستقل از شبکه تطبیق داده شده‌اند.



شکل ۸-۱۱: شماتیک ریزشبکه‌ی نمونه دارای بارها و تولیدات پراکنده.

1- Low Frequency (LF)
2- Plug and Play

Ahwaz_Hackerz

این ریزشبکه شامل سه فیدر شعاعی A,B,C است. دو ریزمنبع تولید هم‌زمان برق و حرارت، دو ریزمنبع غیر تولید هم‌زمان برق و حرارت (Non-CHP) و ادوات ذخیره کننده از جمله منابع پراکنده این ریزشبکه هستند. ریزمنابع و ادوات ذخیره‌ساز به‌واسطه کنترل‌کننده ریز منابع[1] (MCs) به فیدرهای خود متصل هستند.

در این مثال فرض شده است که برخی از بارها در فیدرهای A و C بارهای ضروری و اولویت‌دار هستند یعنی نیاز به تأمین توان به وسیله‌ی منبع تغذیه بدون وقفه دارند در حالی که بارهای فیدر B بارهای غیر اولویت‌دار هستند. به منظور تضمین کاهش در تلفات خط، پروفیل ولتاژ مناسب و استفاده بهینه از حرارت، ریزمنابع مستقل از باس ریزشبکه در فیدرهای A و C قرار گرفته‌اند.

ریزشبکه به شبکه سراسری ولتاژ متوسط به عنوان شبکه اصلی مشخص شده در نقطه اتصال مشترک از طریق مدارشکن ۴ مطابق با مقررات ارتباط وصل شده است. در صورت نیاز و یا اجبار، ریزشبکه توسط این مدارشکن‌ها از شبکه اصلی جدا می‌گردد.

۸-۳-۱- کنترل کننده‌ی ریزمنبع (MC)

ریزمنابع در واقع منابع تولید توان داخل ریزشبکه هستند و هدف از کنترل هر ریزمنبع در حقیقت کنترل توان اکتیو تولیدی و ولتاژ آن ریزمنبع در پاسخ به اغتشاشات و تغییرات بار خود، به طور مستقل از کنترل‌کننده‌ی مرکزی[2] (CC) است.

ریزمنابع می‌توانند بدون تأثیر بر واحدهای مجاور و بر هم زدن کنترل به صورت Plug-and-play (وصل و اجرا) استفاده شوند. وظایف کنترل ریز منبع شامل برنامه‌ریزی تولید اقتصادی، دنبال کردن تغییرات بار و مدیریت تولید و بار است.

1- Microsources Controller
2- Central Controller

Ahwaz_Hackerz

۸-۳-۲- کنترل کننده‌ی مرکزی (CC)

کنترل‌کننده‌ی مرکزی مغز پردازنده و هماهنگ‌کننده‌ی تمام کنترل‌کننده‌های ریز منابع است. وظیفه‌ی اصلی کنترل‌کننده‌ی مرکزی، کنترل کارکرد و حفاظت ریزشبکه از طریق کنترل‌کننده‌های ریز منابع است. همچنین این کنترل کننده می‌تواند برای مدیریت پایداری کلی سیستم بسیار مفید باشد. مباحثی مانند تشخیص شرایط جزیره‌ای برای سیستم ضروری است زیرا این موضوع که کنترل کننده‌های ریز منابع به صورت هم‌زمان عمل کنند، بسیار مهم است. اگر این تصمیمات به وسیله‌ی کنترل کننده‌های موضعی به صورت جدا از هم گرفته شود، آنگاه عملکرد هماهنگ شده نمی‌تواند دارای تضمینی باشد. این کنترل کننده همچنین از قیمت‌های بازار برق و دستورات احتمالی مدیریت سمت بار، برای تعیین مقدار توانی که ریزشبکه باید مبادله نماید، استفاده می‌کند.

۸-۳-۲-۱- وظائف CC در حالت متصل به شبکه

در بخش‌های قبل اجزای ریزشبکه معرفی شدند و به این نکته اشاره شد که هرکدام از اجزای ریزشبکه به صورت فردی و همچنین از طریق CC کنترل می‌شوند. در این بخش اقدامات و وظائف CC معرفی می‌شوند:

الف) پایش سیستم: یکی از مهم‌ترین وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی پایش لحظه به لحظه‌ی سیستم با توجه به اطلاعات به دست آمده از بارها و ریزمنابع است. این اطلاعات از طریق سیستم‌های مخابراتی به کنترل‌کننده‌ی مرکزی ارسال می‌شود و بر اساس آن، کنترل‌کننده‌ی مرکزی فرمان‌ها لازم را برای تولید به کنترل‌کننده‌های ریز منابع ارسال می‌کند تا تعادل میان تولید و مصرف به هم نخورد. همچنین این پایش باید شامل بررسی شرایط ایجاد جزیره‌ای شدن نیز باشد.

ب) تخمین حالت سیستم: یکی دیگر از وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی تعیین وضعیت ریزشبکه نسبت به شبکه‌ی اصلی و همچنین تعیین متصل بودن یا نبودن ریزشبکه به شبکه

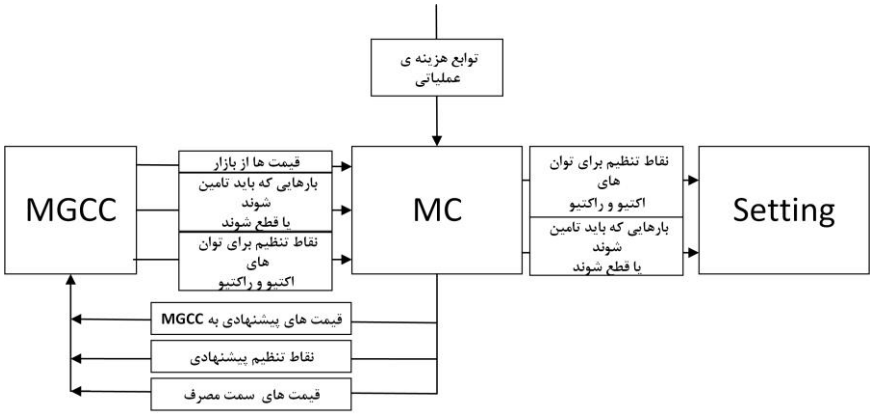
Ahwaz_Hackerz

اصلی است.

ج) ارزیابی امنیت (Security): کنترل‌کننده‌ی مرکزی وظیفه‌ی حفاظت از امنیت ریزشبکه را بر عهده دارد لذا باید ارزیابی دقیقی از امنیت شبکه داشته باشد.

د) برنامه‌ریزی اقتصادی تولید: در شبکه‌های قدرت بزرگ برنامه‌ریزی ورود و خروج واحدها با توجه به هزینه‌ی تولید هر واحد برای رسیدن به حالتی با کمترین میزان هزینه برای تولید توسط دیسپاچینگ صورت می‌پذیرد. در یک ریزشبکه نیز کنترل‌کننده‌ی مرکزی با کنترل میزان تولید ریز منابع می‌تواند هزینه‌ی تولید را کمینه کند.

ه) کنترل توان اکتیو و راکتیو ریزمنابع: جهت حفظ تعادل توان در شبکه همواره باید توان تولیدی و مصرفی در شبکه برابر باشند. کنترل‌کننده‌ی مرکزی همان‌طور که شکل ۸-۱۲ نشان می‌دهد از طریق فرمان‌های صادره به کنترل‌کننده‌های ریزمنابع میزان توان تولیدی آن‌ها را به گونه‌ای تنظیم می‌نماید که تعادل توان در شبکه به هم نخورد.



شکل ۸-۱۲: ارسال فرمان از طریق کنترل کننده‌ی مرکزی به کنترل کننده‌ی ریز منابع.

و) مدیریت مصرف: پایش میزان بار مصرفی در شبکه از دیگر وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی است و در مواقع بحرانی می‌تواند از طریق حذف بارهای غیرضروری نیز به پایداری شبکه کمک

Ahwaz_Hackerz

کند.

ز) فراهم آوردن کارکرد سنکرون با شبکه: با توجه به توان تبادلی، سنکرون بودن ریزشبکه با شبکه‌ی اصلی در حالت متصل به شبکه، شرط اصلی پایداری ریزشبکه محسوب می‌شود. لذا کنترل‌کننده‌ی مرکزی می‌بایست این سنکرونیسم را بر اساس توان تبادلی تضمین نماید.

۸-۳-۲-۲- وظائف کنترل کننده‌ی مرکزی در حالت مستقل از شبکه

وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی در حالت مستقل از شبکه تغییر می‌کند. این وظایف در ادامه برشمرده شده‌اند:

الف) کنترل توان اکتیو و راکتیو تولیدی ریز منابع: مانند حالت متصل به شبکه، میزان توان تولیدی ریزمنابع از طریق فرمان‌های کنترل‌کننده‌ی مرکزی تعیین می‌شود. در این حالت جهت فراهم آوردن ولتاژ و فرکانس پایدار در بارها باید میزان تولید و مصرف در ریزشبکه به طور دقیقی برابر شوند.

ب) تطبیق راهبرد بارزدایی: جهت حفظ تعادل در تبادل توان و ولتاژ باس‌ها گاهی لازم می‌شود که کنترل‌کننده‌ی مرکزی، بارهای غیرضروری را از مدار خارج کند. به این عمل راهبرد بارزدایی می‌گویند.

ج) ایجاد امکان یک Black Start: شروع به کار شبکه از حالت خاموش را black start گویند. گاهی برای روشن کردن شبکه‌ی اصلی از حالت خاموشی کامل، ابتدا بخش‌های مختلف آن را به صورت ریزشبکه‌های مجزا روشن می‌کنند و در نهایت این ریزشبکه‌ها باهم سنکرون شده و به هم وصل می‌شوند. مدیریت این فرایند جهت بهبود قابلیت اطمینان و تداوم سرویس در هر ریزشبکه به عهده کنترل‌کننده‌ی مرکزی خواهد بود.

د) تغییر حالت از کارکرد مستقل از شبکه به متصل به شبکه و بالعکس: برنامه‌ریزی رفتار متقابل شبکه اصلی و ریزشبکه از طریق کنترل‌کننده‌ی مرکزی کنترل می‌شود. رفتن از حالت مستقل به متصل به شبکه و بر عکس آن، بدون ایجاد اشکال در پایداری شبکه اصلی و

Ahwaz_Hackerz

ریزشبکه، وظیفه‌ی کنترل‌کننده‌ی مرکزی است.

به غیر از وظایف کنترل کننده‌ی مرکزی در حالت متصل و مستقل از شبکه این کنترل کننده باید قابلیت شروع سرد را نیز داشته باشد. این قابلیت شامل موارد زیر است:

- شروع به کار DG ها
- ایجاد ارتباط مخابراتی بین DG ها و کنترل کننده‌ی مرکزی ریزشبکه
- بررسی شرایط سنکرون سازی در نقطه‌ی اتصال به شبکه
- پیگیری میزان سنکرون بودن DG ها

۸-۳-۲-۳- ماژول‌های کنترل کننده‌های مرکزی

کنترل‌کننده‌ی مرکزی به چند قسمت تقسیم شده است که در ادامه در مورد این قسمت‌ها توضیحاتی داده شده است.

الف) ماژول مدیریت انرژی[1] (EMM): هدف این ماژول فراهم کردن فرمان P، Q، V و f برای هر کنترل‌کننده ریزمنبع است. لذا کنترل‌کننده‌ی مرکزی به ارتباط با کنترل‌کننده‌های ریزمنابع نیاز دارد. برخی از وظایف این ماژول عبارت‌اند از:

الف-۱) مقایسه و تعیین سایز منابع: این کار تحت چارچوب برنامه‌ریزی بلند مدت انجام می‌شود و دارای محاسباتی است که به صورت خارج خط صورت می‌گیرد. در مورد برنامه‌ریزی بلند مدت دقت جواب نسبت به سرعت آن از اهمیت بیشتری برخوردار است.

الف-۲) مدیریت توان منابع: مدیریت توان منابع به عنوان یک مسئله‌ی کوتاه مدت در نظر گرفته می‌شود و جهت بهره‌برداری از سیستم نیاز به محاسبات سریع دارد.

ب) ماژول هماهنگی حفاظت[2] (PCM): هدف این ماژول دادن پاسخ‌های لازم به خطاهای شبکه‌ی اصلی، ریزشبکه و همچنین از دست رفتن شبکه‌ی اصلی است. لذا نیاز به ارتباط با

1- Energy Management Module
2- Protection Coordination Module

Ahwaz_Hackerz

کنترل‌کننده‌های ریزمنابع و شبکه‌ی بالا دست دارد و چون به زیرساخت مخابراتی نیاز دارد، حوزه‌ی این ماژول از ماژول مدیریت انرژی گسترده‌تر است.

نحوه عملکرد این ماژول به این صورت است که اگر خطای دائم در بالادست رخ دهد، حالت کاری را از متصل به منفصل تغییر می‌دهد. در صورت عدم تعادل توان در ابتدای کار، بارهای با اولویت بالاتر را تغذیه می‌نماید و بارهای غیرضروری موقتاً حذف می‌شوند. اگر خطای موقت در بالادست رخ دهد، ابتدا منتظر می‌ماند تا از دائمی بودن خطا در بالادست مطمئن شود تا در صورت دائمی بودن خطا به حالت منفصل از شبکه رود؛ اما در صورتی که خطا در ریزشبکه اتفاق بیفتد، از رله‌های زیر فرکانسی[1] و زیر ولتاژ[2] جهت بارزدایی استفاده می‌شود و تنها بارهای حساس تغذیه می‌شوند.

۸-۳-۳- کارکرد MCها

نکته‌ی اصلی که باید در طراحی MC ها در نظر گرفته شود، این است که اولاً هر MC باید بتواند به طور مستقل از MCهای دیگر عمل کند و ثانیاً این که هر چند MC با کنترل‌کننده‌ی مرکزی در ارتباط است ولی باید بتواند در صورت نیاز منبع را نجات دهد و دستورات کنترل‌کننده‌ی مرکزی را نادیده بگیرد. توانایی‌های مورد نیاز MC ها به شرح زیر است:

- ریزمنبع جدید بدون تغییر در شرایط سیستم بتواند به ریزشبکه اضافه شود.
- ریزشبکه بتواند خود را از/به شبکه سریعاً قطع/ وصل کند.
- توان‌های اکتیو و راکتیو ریزمنبع بتوانند مستقل از هم کنترل شوند.
- فرو رفتگی ولتاژ و عدم تعادل را بتواند اصلاح کند (بیشترین خطرات اتصال کوتاه از شبکه توزیع می‌شود).
- خطاها باعث بروز ناپایداری نشوند (وجود خطا MC را از کار نیندازد).

1- Under Frequency
2- Under Voltage

Ahwaz_Hackerz

در طراحی MC ها باید نکات زیر را رعایت کرد:

- هر MC باید بتواند به طور مستقل از داده‌های دیگر عمل کند.
- MC با CC در ارتباط است ولی باید بتواند در صورت نیاز ریزمنبع تحت کنترل خودش را نجات دهد و دستورات CC را نادیده بگیرد.

۸-۳-۴- روش‌های کنترلی برای تولید پراکنده در ریزشبکه

در ریزشبکه در صورت خروج یک واحد یا افزایش ناگهانی بار، منابع موجود در سیستم با نمونه برداری از مشخصه‌های سیستم نظیر ولتاژ، توان و فرکانس به سرعت سیستم را به نقطه‌ی کار جدیدی سوق می‌دهند که تضمین کننده پایداری سیستم باشد. ریزشبکه‌های متصل به شبکه می‌توانند در سه حالت عمل کنند. در حالت اول هر واحد تولید پراکنده ولتاژ باس یا گره‌ی متصل شده به آن و توان تزریقی DG را تنظیم می‌کند و هر گونه تغییر در توان مورد نیاز بار از طریق شبکه سراسری تأمین می‌شود؛ بنابراین واحدهای تولیدی دارای توان خروجی ثابت هستند. این حالت برای CHP مناسب است چرا که در این حالت میزان توان بستگی به حرارت درخواستی دارد. حالت دوم کنترل جریان فیدر است که در آن وظیفه هر DG کنترل ولتاژ گره متصل شده به آن و نیز توانی است که به سمت ریزشبکه شارش می‌کند. در این حالت هرگونه تغییر در بار درخواستی درون ریزشبکه توسط DGها پاسخ داده می‌شود و ریزشبکه برای شبکه سراسری مانند بار ثابت عمل می‌کند. با این ساختار ریزشبکه مانند یک بار قابل کنترل از لحاظ پخش بار عمل می‌کند که در برنامه‌ریزی‌های سمت بار ساختار مناسبی است. حالت سوم ترکیبی از دو حالت قبلی است به این شکل که عده‌ای از منابع وظیفه‌ی تنظیم توان جاری شده از سمت شبکه به ریزشبکه را بر عهده دارند و عده‌ای نیز توان خروجی خود را کنترل و تنظیم می‌کنند در این ساختار عده‌ای از DGها با مصرف حرارت اتلافی در بازدهی بیشینه عمل می‌کنند و عده‌ای نیز توان ارسالی از شبکه به سمت ریزشبکه در تغییرات بار را ثابت نگه می‌دارند.

Ahwaz_Hackerz

۸-۳-۵- استراتژی‌های کنترلی یک ریزشبکه

استراتژی‌های کنترلی در ریزشبکه‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد که عبارت‌اند از:

۱) استراتژی‌های کنترلی مبدل الکترونیک قدرت که مؤلفه‌های الکتریکی خروجی خود مبدل را از قبیل توان اکتیو و راکتیو، ولتاژ و فرکانس و ... را کنترل می‌کند و صرف‌نظر از نوع حالت کاری ریزشبکه صرفاً برای کنترل تک‌تک منابع به کار می‌رود.

۲) استراتژی‌های کنترلی برای مدیریت توان یا به عبارتی تقسیم توان[1] بین منابع تولید در ریزشبکه که منجر به عملکرد پایدار یک ریزشبکه می‌شود.

۸-۳-۵-۱- روش‌های کنترلی مبدل الکترونیک قدرت

برای کنترل خود مبدل‌ها دو روش به صورت عمده استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

۸-۳-۵-۱-۱- کنترل‌کننده توان اکتیو و راکتیو (PQ Controller):

در این روش کنترلی توان‌های اکتیو و راکتیو خروجی مبدل روی مقادیر از پیش تعیین شده توسط کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه (MGCC[2]) نگه داشته می‌شود. سیستم کنترلی با اندازه‌گیری توان خروجی مبدل و مقایسه آن با مقدار مرجع، سیگنال‌های کنترلی کلیدهای الکترونیک قدرت را تنظیم می‌کند. این نوع کنترلر صرف‌نظر از حالت کاری ریزشبکه همواره سعی در حفظ توان خروجی خود دارد. اگر ولتاژ و فرکانس شبکه دچار تغییرات شدیدی شود توان خروجی این نوع کنترلرها دچار تغییر و نوسان می‌شود. لذا منابع کنترل شده به روش PQ در حالت کاری متصل به شبکه تغییرات توان خروجی خود را سریع‌تر دنبال کرده و پایداری نسبی بهتری نسبت به حالت جزیره‌ای دارد.

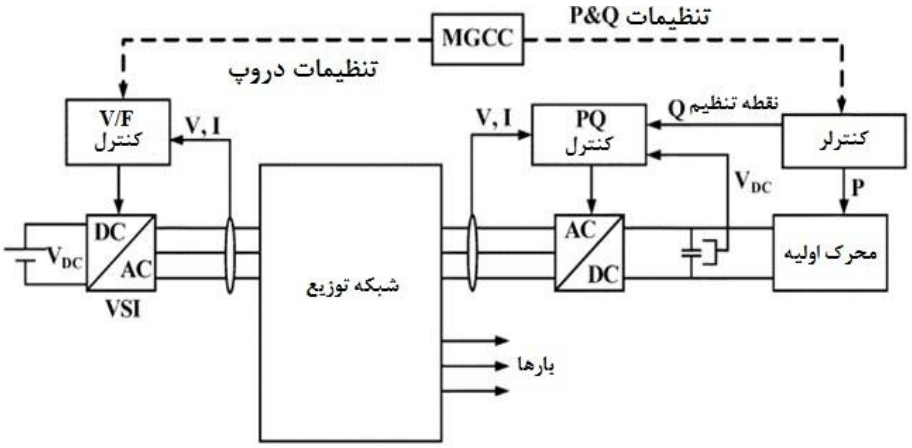
1- Power Sharing

2- Micro-Grid Central Controller

Ahwaz_Hackerz

۸-۳-۵-۱-۲- کنترلر ولتاژ و فرکانس (V/F controller):

کنترل‌کننده‌ها در این حالت مشابه کنترل‌کننده‌های ژنراتورهای سنکرون عمل می‌کنند یعنی برای کنترل فرکانس از توان اکتیو و برای کنترل ولتاژ از توان راکتیو استفاده می‌کنند. در واقع نقش شبکه سراسری را در حالت جزیره‌ای ریزشبکه ایفا می‌کنند. مقادیر مرجع برای هر دو کنترل‌کننده V/F و PQ توسط مرکز کنترل ریزشبکه تعیین شده و به آن‌ها ارسال می‌شود. در شکل ۸-۱۳ نحوه عملکرد هر دو نوع کنترلر در یک ریزشبکه نشان داده است.



شکل ۸-۱۳: کنترلرهای مبدل الکترونیک قدرت منابع موجود در یک ریزشبکه.

در مطالعات جدید آمده است که استفاده از دروپ توان اکتیو برحسب فرکانس و همچنین دروپ توان راکتیو برحسب ولتاژ در سیستم‌های قدرت در صورتی عملی است که خط ارتباطی DG با شبکه سراسری دارای R/X کوچک باشد که بتوان روابط P و Q را به ترتیب ضریبی از $\Delta\delta$ و ΔV نوشت. با دو شرط بالا می‌توان از مفهوم دروپ استفاده کرد. در این صورت اتصال و بهره‌برداری به آسانی صورت می‌پذیرد و ناپایداری در صورت جزیره شدن به حداقل خود می‌رسد چون هر واحد به میزان دروپ تنظیمی خود مقداری از بار را تأمین می‌کند. در شبکه‌های توزیع که از منابع تولید پراکنده استفاده می‌شود از R در مقابل X نمی‌توان

Ahwaz_Hackerz

صرف‌نظر کرد. در چنین شرایط Q و P نسبت به هم مستقل نیستند. لذا در ریزشبکه‌ها سیستم کنترلی دروپ دیگر کارساز نیست.

۸-۳-۵-۲ استراتژی‌های کنترلی مدیریت توان بین منابع تولید

مدیریت و کنترل یک ریزشبکه شامل مواردی از قبیل تأمین انرژی الکتریکی و گرمایی، شرکت در بازار برق، تأمین سرویس‌های خاص برای برخی از مشترکین و تدارک دیدن سایر سرویس‌های جانبی می‌شود. ساختار سیستم کنترلی و مدیریتی یک ریزشبکه به شکل یک هرم و شامل سه سطح زیر است.

سطح ۱: اپراتور شبکه توزیع (DNO[1]) و اپراتور بازار (MO[2])

سطح ۲: کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه

سطح ۳: کنترل‌کننده‌های محلی که با منابع DER و بارها در ارتباط هستند

هر سه سطح فوق در شکل ۸-۱۴ آورده شده است.

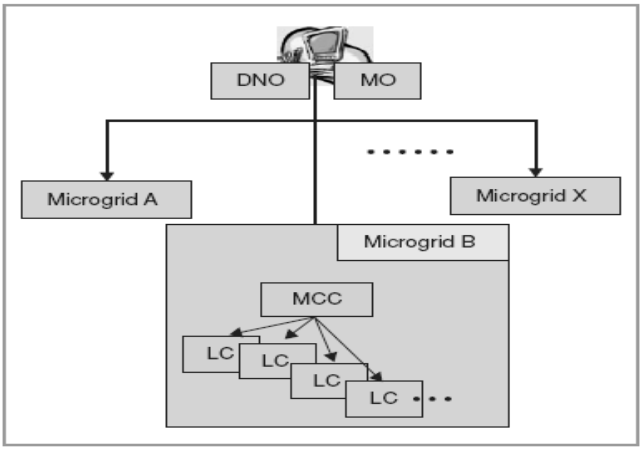
DNO به یک ناحیه که شامل چندین ریزشبکه است اطلاق می‌شود. با یک DNO تعدادی (بیشتر از یک) MO می‌توانند فعالیت کنند. DNO و MO به ریزشبکه تعلق ندارند بلکه نمایندگانی از شبکه بالادستی بوده و ریزشبکه‌ها زیر دست آن‌ها فعال هستند. واسط بین ریزشبکه و DNO/MO، کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه یا همان MGCC است. در MGCC محدوده فعالیت خیلی وسیع‌تر است چون هم به عنوان واسط عمل می‌کند و هم باید فعالیت‌های ریزشبکه پایین‌دست را با توجه به پیشنهادها شبکه بالادست کنترل کند.

کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه بالاترین سطح مدیریتی و کنترلی در یک ریزشبکه محسوب می‌شود که تمام تصمیم‌گیری‌های مدیریتی ریزشبکه را با توجه به شرایط موجود در شبکه بالادست انجام می‌دهد.

1- Distribution Network Operator

2- Market Operator

Ahwaz_Hackerz



شکل ۸-۱۴: سطوح هرمی کنترل ریزشبکه.

در یک ریزشبکه علاوه بر MGCC که واسط بین ریزشبکه و شبکه بالادست است تجهیز دیگری به نام کنترل‌کننده بار (LC[1]) وجود دارد که واسط بین MGCC و منابع و بارهای موجود در ریزشبکه است. وظیفه کنترل‌کننده بار کنترل DER ها و بارهای قابل‌کنترل یک ریزشبکه است. با توجه به اهداف کنترلی متفاوت یک کنترل‌کننده بار می‌تواند سطوح مختلفی از هوشمندی را داشته باشد.

برای کنترل هرمی مدیریت توان بین منابع موجود در یک ریزشبکه دو روش پیشنهاد شده است. روش اول به صورت متمرکز بوده و با استفاده از لینک مخابراتی و نظارت مرکز کنترل ریزشبکه انجام می‌شود. روش دوم به صورت غیرمتمرکز و مشابه روش سنتی به کار رفته در شبکه‌های قدرت که بر اساس دروپ است، انجام می‌شود.

۸-۳-۵-۲-۱- کنترل متمرکز تحت نظارت مرکز کنترل ریزشبکه

در این روش مرکز کنترل ریزشبکه سیگنال‌های مرجع الکتریکی هر یک از منابع و همچنین

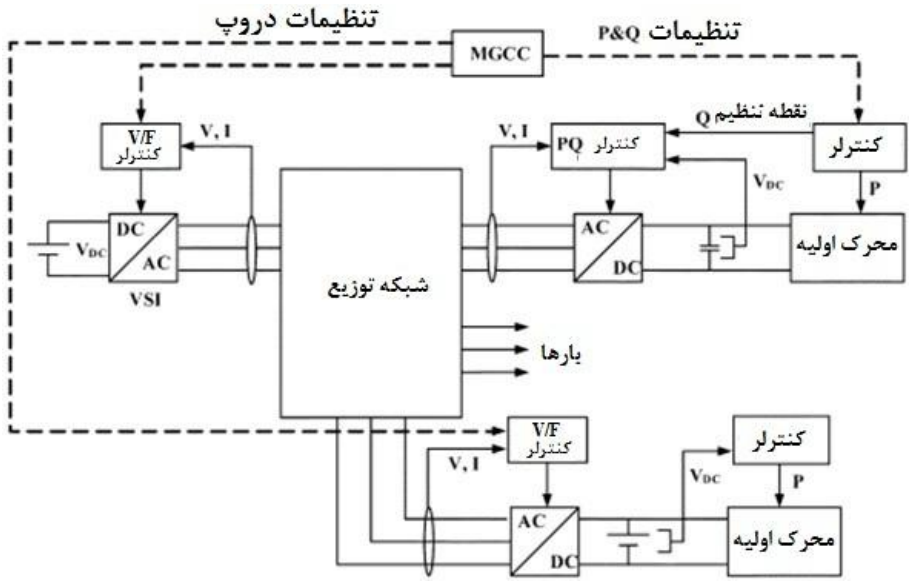
1- Local Controler

Ahwaz_Hackerz

حالت کاری هریک از منابع (PQ or V/F controller) را توسط لینک مخابراتی به هریک ارسال می‌کند. خود این استراتژی کنترلی به دو صورت پیاده می‌شود.

الف)SMO[1]: یعنی صرفاً یک منبع کار کنترل ولتاژ و فرکانس را به عهده داشته و بقیه منابع به صورت PQ کنترل شوند.

ب) MMO[2]: در این مد کاری چند منبع در امر کنترل ولتاژ و فرکانس دخیل بوده یا به عبارتی در حالت کاری V/F کار می‌کنند و بقیه منابع به صورت PQ کنترل می‌شوند. شکل ۸-۱۵ کنترل ریزشبکه به روش MMO را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۵: کنترل ریزشبکه به روش MMO

از مزایای کنترل متمرکز می‌توان به افزایش کیفیت توان، کنترل توان خروجی کلیه منابع با استفاده از مرکز کنترل ریزشبکه و بهبود عملکرد ریزشبکه در هنگام شرکت در بازار برق اشاره

1-Single Master Operator
2-Multi Master Operator

Ahwaz_Hackerz

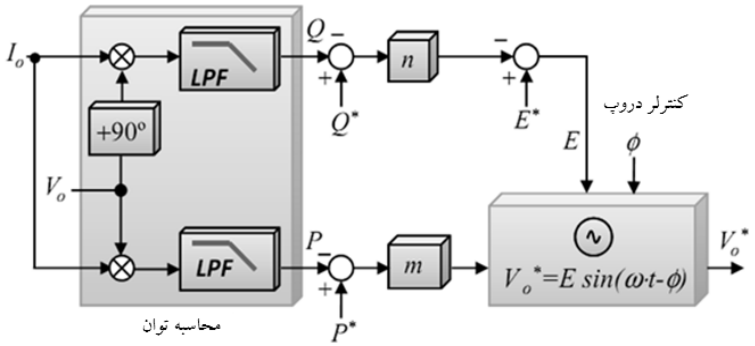
کرد؛ اما از معایب این روش کنترلی می‌توان وابستگی آن به سیستم مخابراتی، نیاز به تنظیمات اضافی جهت اتصال یک منبع به ریزشبکه، بالا بودن هزینه و قابلیت اطمینان پایین ریزشبکه در حالت بهره‌برداری به روش SMO را عنوان کرد. در بهره‌برداری به روش SMO به دلیل اینکه کلیه تغییرات توان توسط یک منبع (Master) کنترل می‌شود با بروز مشکل در این منبع و یا خروج آن از شبکه باعث ناپایداری ریزشبکه می‌شود.

۸-۳-۵-۲-۲- کنترل غیرمتمرکز

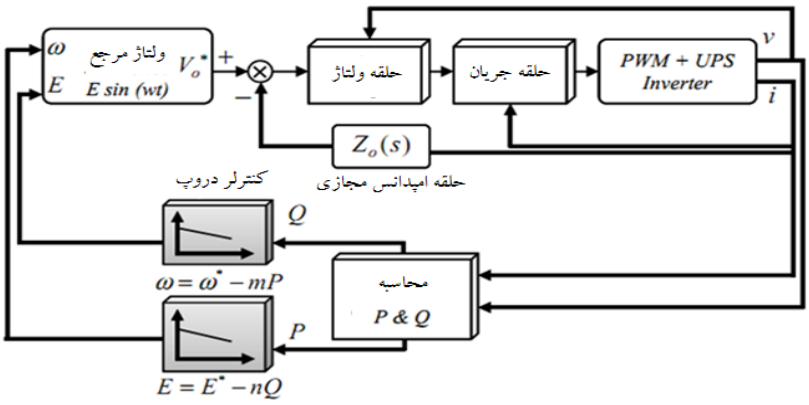
در این روش برای هر یک از منابع به نسبت ظرفیت تولیدشان و میزان شرکت آن‌ها در حلقه کنترل فرکانس دروپی تعریف می‌شود که در صورت بروز اغتشاش در شبکه یا انتقال ریزشبکه از حالت متصل به شبکه به حالت جزیره‌ای منابع به نسبت دروپ خود سهمی از تغییرات توان و عدم تعادل بین تولید و مصرف را جبران می‌کنند. دو نمونه از استراتژی‌های کنترل غیرمتمرکز در شکل‌های ۸-۱۶ و ۸-۱۷ نشان داده شده است. در شکل ۸-۱۷ یک حلقه پس‌خور امپدانس مجازی برای افزایش پایداری و بهبود عملکرد منبع توان به سیستم کنترلی آن اضافه شده است. از مزایای کنترل غیرمتمرکز می‌توان به ساده بودن روش کنترلی، عدم نیاز به هماهنگی منابع جهت اتصال به شبکه، عدم نیاز به لینک مخابراتی جهت ارتباط منابع با مرکز کنترل اشاره کرد؛ اما از معایب این روش کنترلی می‌توان عدم کنترل مناسب بارهای غیرخطی و نامتعادل، سرعت پایین کنترلر را عنوان کرد.

طبق استاندارد IEEE P1547 هنگام بروز خطا در ریزشبکه برای جلوگیری از آسیب دیدن منابع DER باید آن‌ها را سریعاً از مدار خارج کرد. این روش برای پایداری سیستم‌هایی مناسب است که ظرفیت منابع موجود در آن‌ها کوچک بوده و جداسازی آن‌ها از شبکه تأثیر زیادی بر عدم تعادل توان نمی‌گذارد؛ اما با روند رو به رشد تزریق منابع DER در سطح توزیع نمی‌توان از استراتژی بیان شده طبق استاندارد استفاده کرد. برای کنترل پایداری در ریزشبکه‌هایی که سهم تولید توان از طریق منابع تولید پراکنده در آن‌ها زیاد باشد باید راهکار دیگری ارائه کرد.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۸-۱۶: کنترلر غیرمتمرکز یا همان کنترل به روش دروپ در ریزشبکه.



شکل ۸-۱۷: کنترلر غیرمتمرکز (کنترل به روش دروپ) در ریزشبکه.

حالت ایده‌آل برای کنترل ولتاژ و فرکانس در یک ریزشبکه استفاده از استراتژی واکنش یکسان (دروپ) برای تمامی منابع موجود در ریزشبکه است؛ اما به دلیل نداشتن اینرسی لازم منابع در کنترل شرایط بحرانی و دنبال کردن تغییرات بار در ریزشبکه باید از سیستم‌های کنترلی دیگری استفاده کرد که. به عنوان نمونه، استفاده از دروپ پیشرفته $V-\delta$ به جای دروپ سنتی $V-f$ پیشنهاد شده است. پاسخ دینامیکی بهتر و پاسخ گذرای نرم‌تر در حالت گذر از حالت اتصال به شبکه به حالت جزیره‌ای در یک ریزشبکه را از مزیت‌های این سیستم کنترلی نسبت به سیستم کنترلی سنتی می‌توان عنوان کرد. همچنین کاهش تغییرات فرکانس در

Ahwaz_Hackerz

شبکه با استفاده از دروپ زاویه نسبت به دروپ فرکانس یکی دیگر از مزایای سیستم کنترلی فوق است.

پارامترهای زیادی بر عملکرد کنترل‌کننده‌های PQ و V/F تأثیرگذار هستند. از مهم‌ترین این پارامترها می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد.

۱) اندوکتانس رابط بین منبع تولید پراکنده و ریزشبکه برای اتصال منبع به شبکه

۲) فیلتر قرارگرفته در خروجی مبدل

پارامتر اول به دلیل کنترل تبادل توان بین منبع و ریزشبکه و پارامتر دوم از جهت حذف هارمونیک‌های تولیدی توسط مبدل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

۸-۳-۶- کنترل بار در ریزشبکه‌ها

بارها در ریزشبکه‌ها قابل کنترل هستند. نحوه کنترل بارها تأثیر زیادی برروی تأمین بار در حالت کاری جزیره‌ای ریزشبکه‌ها دارد. در مقالات و مراجع مختلفی استفاده از روش‌های پاسخ‌گویی بار برای کنترل بارها پیشنهاد شده است که به طور مفصل در فصل پنجم به آن پرداخته شد.

۸-۴- مشکلات و محدودیت‌های ریزشبکه

با توجه به متفاوت بودن نوع منابع تولید با یکدیگر و حتی در صورت یکی بودن آن‌ها، به دلیل تفاوت در تکنولوژی ساخت و به علت جدیدتر بودن مولد تازه نصب شده، نیازمند کنترل مناسب جهت تغذیه صحیح بارها، حفظ پایداری و بهره‌برداری بهینه هستیم. از این رو، علاوه بر مزایای متعدد ریزشبکه‌ها، باید به پاره‌ای از مسائل و محدودیت‌های به کارگیری آن‌ها نیز توجه نمود. در ادامه به برخی از این مسائل و محدودیت‌ها اشاره می‌شود:

۱) هزینه‌های زیاد منابع انرژی پراکنده

۲) مشکلات فنی

Ahwaz_Hackerz

۳) نبود استاندارد

۴) موانع حقوقی و اجرایی

۵) انحصار بازار برق

از بزرگ‌ترین مسائل و مشکلاتی که ریزشبکه‌ها با آن روبرو هستند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مسئله کنترل ولتاژ و فرکانس ریزشبکه در حالت جزیره‌ای: این قابلیت نیازمند یک کنترل پیشرفته و هوشمند با قابلیت بالا است که باید با دقت بسیار مورد بررسی قرار گیرد. در حالت متصل به شبکه فرکانس و ولتاژ توسط شبکه اصلی تنظیم می‌شوند اما در حالت منفصل فرکانس و ولتاژ با تغییرات کوچک، شناور می‌شوند.
- تشخیص حالت جزیره‌ای: این کار نیازمند اطلاعاتی از شبکه بالادست است. با توجه به این که برای کاربردهای بعدی نیاز به اطلاعات این بخش داریم، تشخیص حالت جزیره‌ای شدن بسیار مهم است چون وظایف حالت جزیره‌ای و حالت متصل به شبکه بسیار متفاوت است.
- کارکرد Plug & Play یا همان نیاز به تجهیزات حفاظتی و کنترلی خاصی دارد.
- تقسیم بار بین منابع به طور مناسب به طوری که محدودیت‌های منابع، شبکه و بار (از دیدگاه منابع تولید کننده) رعایت شود.
- تأمین توان اکتیو و راکتیو مورد نیاز مصرف‌کنندگان با رعایت محدودیت‌های ولتاژ و جریان شبکه (از دیدگاه مشترکین).
- سنکرون سازی مجدد بعد از جزیره‌ای شدن، بعد از بازیابی شبکه اصلی و در محدوده نرمال ماندن ولتاژ و فرکانس برای حدود چند دقیقه.
- به هم خوردن هماهنگی حفاظتی: به دلیل تغییرات جهت و اندازه جریان در طول روز، روش‌های قدیمی حفاظت مفید نخواهند بود؛ بنابراین به ساختارهای حفاظتی جدیدی نیازمندیم تا سیستم حفاظتی بتواند خود را با این تغییرات هماهنگ کند.

Ahwaz_Hackerz

Micro-CHP -۵-۸

در مولدهای قدرت امروزی، معمولاً از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و گرمای حاصله برای تولید قدرت محوری و سپس تبدیل آن به انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. متداول‌ترین این نوع سیستم‌ها، نیروگاه‌های عظیم برق هستند. در نیروگاه‌های حرارتی که سهم عمده‌ای در تأمین نیاز الکتریسیته جوامع مختلف دارند، به طور متوسط تنها یک سوم از انرژی سوخت ورودی، به انرژی مفید الکتریسیته تبدیل می‌شود. در این نوع نیروگاه‌ها، مقدار زیادی انرژی حرارتی از طرق مختلف نظیر کندانسور، دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ‌ها و سیستم لوله‌کشی موجود در تأسیسات، به هدر می‌رود. از این گذشته، در شبکه‌های انتقال برق نیز حدود ۱۵ درصد از انرژی الکتریسیته تولیدی، تلف می‌شود. اگر تولید برق در محل مصرف صورت بگیرد، این مقدار اتلاف عملاً وجود نخواهد داشت.

استفاده هرچه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرایند سوختن سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی اولیه می‌شود. از گرمای اتلافی بازیافتی از این سیستم‌ها می‌توان برای مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرایندهای صنعتی استفاده کرد. تولید هم‌زمان برق و گرما، می‌تواند علاوه بر افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده شود. در CHP، از انرژی گرمایی تولیدی به عنوان منبع انرژی در فرایند تولید قدرت استفاده می‌شود. مصرف‌کنندگانی که به مقدار انرژی گرمایی زیادی در طول روز نیاز دارند (صنایع تولیدی، بیمارستان‌ها، ساختمان‌ها، دفاتر بزرگ، خشک‌شویی‌ها و غیره) می‌توانند برای کاهش هزینه‌های خود به نحوی مطلوب از CHP بهره ببرند.

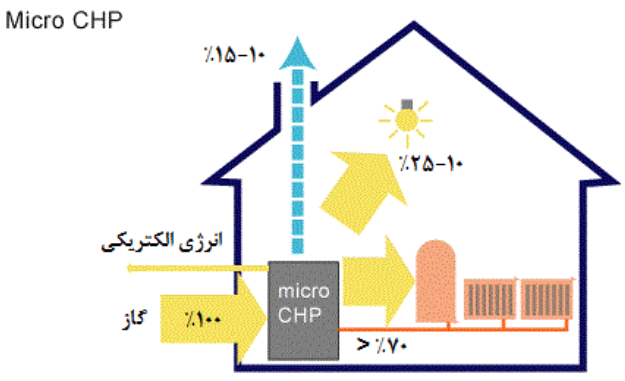
در این سیستم‌ها، بازده انرژی افزایش قابل توجهی می‌یابد. در سیستم‌های معمولی، ۲۰ درصد از انرژی ورودی به انرژی مفید تبدیل می‌شود. این میزان در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به ۴۰ درصد می‌رسد. البته نباید تلفات زیاد انرژی در خطوط انتقال نیرو و مصارف داخلی نیروگاه‌ها را نادیده گرفت. در سیستمCHP حدود ۸۰ درصد از انرژی ورودی به انرژی مفید تبدیل می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

اگر از پیل سوختی استفاده شود، بازده به ۹۰ درصد می‌رسد.

از دیگر مزایای این سیستم، کاهش هزینه‌های انرژی اولیه برای مصرف‌کنندگان است. در سیستم‌های معمولی مصرف‌کننده مجبور است برق را از شبکه‌های تولید و توزیع برق خریداری کند. برای مصارف گرمایشی نیز باید گاز طبیعی یا فسیلی خریداری شود. در سیستم CHP، مصرف‌کننده از شبکه برق مستقل شده است و چون از گاز و یا سوخت فسیلی در بالاترین حد بهره‌وری استفاده می‌کند، هزینه‌هایش به شدت پایین می‌آید.

در CHP ها، از یک مبدل برای تبدیل برق از DC به AC در خروجی سیستم استفاده می‌شود که باعث یکنواخت شدن و بدون نوسان بودن ولتاژ و فرکانس می‌شود و هیچ آسیبی به دستگاه‌ها و تجهیزات برقی وارد نمی‌آید. در صورتی که برق شبکه‌ها، دارای نوسان ولتاژ و افت فرکانس بوده و مقدار زیادی از انرژی الکتریسیته، از طریق خطوط انتقال نیرو به هدر می‌رود. در CHP از آنجا که برق در محل مصرف، تولید می‌شود، این بخش از تلفات به صفر می‌رسد. تولیدکنندگان برق از این طریق می‌توانند بخشی از برق تولیدی خود را در ساعات اوج مصرف، به شبکه برق بفروشند. تولید همزمان گرما و برق، می‌تواند علاوه بر افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده نیز گردد.



شکل ۸-۱۸: شماتیک کاربرد Micro CHP در یک خانه [۷].

Ahwaz_Hackerz

در CHP خروجی اصلی برق بوده و محصول جانبی آن حرارت است؛ اما در Micro-CHP خروجی اصلی حرارت و محصول جانبی برق است. هدف از به کارگیری Micro-CHP بهره برداری مؤثر از حرارت تلف شده در سیستم CHP یک ریزمنبع است. رنج توانی Micro-CHP، ۱۰ الی ۱۰۰ کیلو وات است.

۸-۵-۱- کاربردهای Micro-CHP

برخی از کاربردهای Micro-CHP عبارت‌اند از:

- تغذیه بارهای حرارتی
- ایجاد درآمد با فروش برق
- تولید برق در زمان نیاز به گرما
- نزدیکی بارهای حرارتی
- به صرفه بودن در محل‌های با مصرف حرارتی بالا

بنابراین مرحله طراحی این گونه شبکه‌ها بسیار مهم است. به عنوان مثال کارخانه‌های لبنیات می‌توانند از گرمای CHP برای عمل پاستوریزه کردن استفاده نمایند. صنایع بزرگ با نیروگاه سیکل ترکیبی بیش از ۵۰ مگاوات می‌توانند به عنوان IPP[1] کار کنند و برق و بخار مصرفی بارها را تولید کنند.

۸-۵-۲- فناوری‌های Micro-CHP

فناوری‌هایی که در عرصه‌ی Micro-CHP استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از:

- **موتور استرلینگ[2]**: یک موتور حرارتی است که اختلاف زیادی با موتورهای احتراق داخلی در اتومبیل دارد و در سال ۱۸۱۶ توسط رابرت استرلینگ اختراع شد. موتور

1- Independent Power Plant
2- Stirling

Ahwaz_Hackerz

استرلینگ قابلیت بازدهی بیشتری نسبت به موتورهای بنزینی و دیزلی دارد؛ اما امروزه موتورهای استرلینگ فقط در برخی کاربردهای خاص مانند زیردریایی‌ها یا ژنراتورهای کمکی در قایق‌ها که عملکرد بی‌صدا مهم است، استفاده می‌شوند. اگر چه موتورهای استرلینگ به تولید انبوه نرسیده است، اما برخی اختراعات پرقدرت با این موتور کار می‌کند. موتورهای استرلینگ از چرخه استرلینگ استفاده می‌کنند که مشابه چرخه‌های استفاده شده در موتورهای احتراق داخلی نیست. گاز استفاده شده در داخل موتورهای استرلینگ هیچ وقت موتور را ترک نمی‌کند و مانند موتورهای دیزل و بنزینی سوپاپ دود که گازهای پرفشار را تخلیه می‌کند و محفظه احتراق وجود ندارد. به همین علت موتورهای استرلینگ بسیار بی‌صدا هستند. چرخه استرلینگ از یک منبع حرارتی خارجی که می‌تواند هر چیزی از بنزین و انرژی خورشیدی تا حرارت ناشی از پوسیدگی گیاهان باشد، استفاده کند و هیچ احتراقی داخل سیلندرهای موتور رخ نمی‌دهد.

- **پیل سوختی:** یک مبدل انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی است. این تبدیل مستقیم بوده و بنابراین از بازده بالایی برخوردار است. در واقع می‌توان گفت که در این تبدیل از عمل عکس الکترولیز آب استفاده می‌گردد؛ به عبارت دیگر از واکنش بین هیدروژن و اکسیژن، آب، حرارت و الکتریسیته تولید می‌گردد. هر سلول در پیل‌های سوختی از سه جزء آند، کاتد و الکترولیت تشکیل شده است.

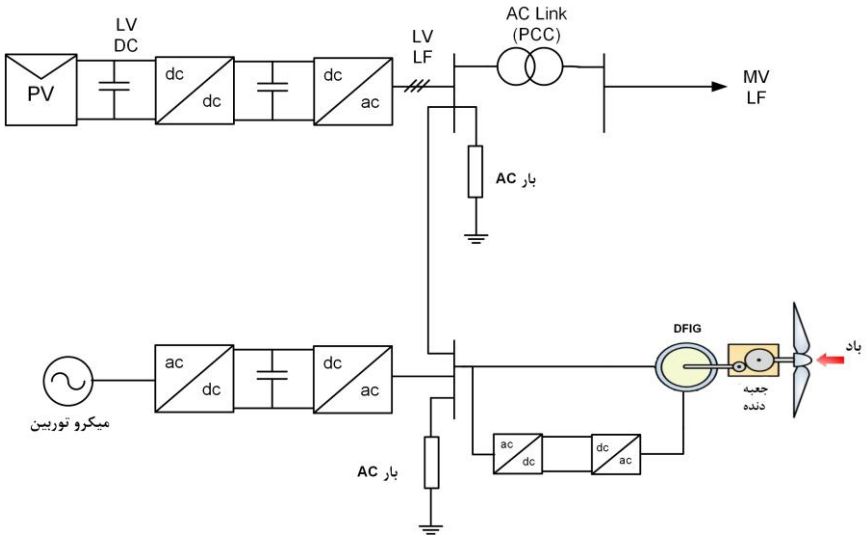
۸-۶- انواع ریزشبکه‌ها

ریزشبکه‌ها بنا به نیاز می‌توانند AC یا DC باشند که ریزشبکه‌های AC خود به دو دسته‌ی فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم‌بندی می‌شوند. شکل ۸-۱۹ یک ریزشبکه فرکانس پایین AC را نمایش می‌دهد؛ که شامل سیستم فتوولتاییک، میکروتوربین و ژنراتور القایی و بارهای AC است. با استفاده از یک مبدل DC-DC ابتدا سطح ولتاژ سیستم فتوولتاییک را افزایش

Ahwaz_Hackerz

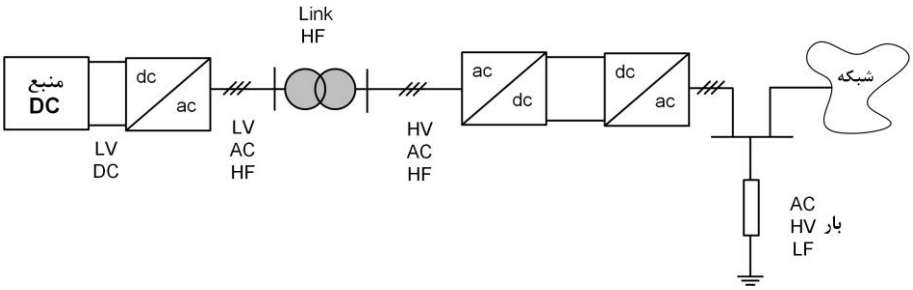
می‌دهیم، همچنین با تنظیم کلید زنی مبدل، حداکثر توان ممکن را از PV دریافت می‌نماییم، سپس با استفاده از اینورتر این ولتاژ به ولتاژ متناوب تبدیل شده و به ریزشبکه متصل می‌گردد. فرکانس برق تولیدی توسط میکروتوربین بالا است. از این رو با استفاده از یک مبدل DC به AC ابتدا ولتاژ خروجی میکروتوربین به ولتاژ مستقیم، سپس با استفاده از اینورتر به ولتاژ فرکانس پایین تبدیل می‌گردد. از جمله معایب این طرح گران بودن ترانس‌های فرکانس پایین بوده و از مزایای آن ایزوله بودن از شبکه بالادست و وجود برخی از ساختارهای آماده است.

شکل‌های ۸-۲۰ و ۸-۲۱ دو نمونه ریزشبکه با لینک فرکانس بالا را نشان می‌دهند. از جمله مزایای این طرح کاهش حجم و وزن ترانس به دلیل فرکانس کاری بالای آن، قابلیت اطمینان بالاتر و کنترل آسان‌تر اشاره کرد. این نوع ریزشبکه برای کاربردهای سبک مانند هواپیما و قطارهای تندرو مناسب است. علاوه بر آن می‌توان با یک ترانس کوچک چند منبع را به شبکه متصل نمود. برای متصل کردن این ریزشبکه به شبکه‌ی اصلی باید فرکانس آن را کاهش داد. بدین منظور ابتدا با استفاده از یک یکسوساز ولتاژ ریزشبکه را DC، سپس با یک اینورتر آن را به ولتاژ متناوب با فرکانس شبکه‌ی اصلی، تبدیل می‌کنیم.

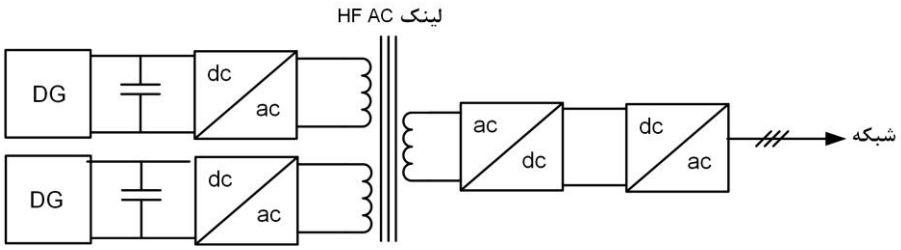


شکل ۸-۱۹: ریزشبکه فرکانس پایین AC

Ahwaz_Hackerz



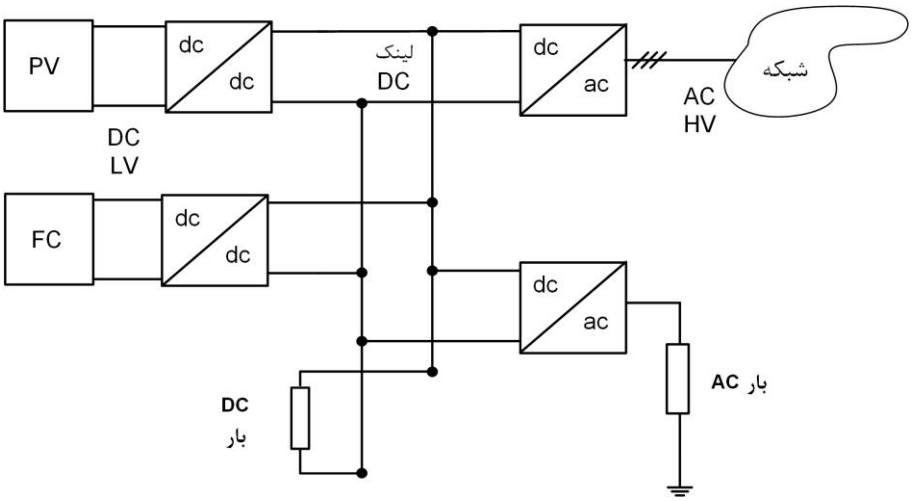
شکل ۸-۲۰: ریزشبکه با لینک فرکانس بالا.



شکل ۸-۲۱: ریزشبکه با لینک فرکانس بالا.

وقتی در ریزشبکه بار DC داشته باشیم، به جای پیاده‌سازی ریزشبکه‌ی AC و استفاده از یکسوساز برای تغذیه‌ی آن، می‌توان از ریزشبکه DC استفاده نمود. شکل ۸-۲۲ یک ساختار ریزشبکه DC را نشان می‌دهد. در این ریزشبکه در ابتدا همه‌ی ولتاژها با یک چاپر به یک ولتاژ خاص آورده می‌شود و حتی می‌توان با اعمال ترفندهایی مانند قرار دادن خازن ولتاژ آن را صاف نمود. اتصال این ریزشبکه را می‌توان به راحتی و با استفاده از مبدل کنترل کرد. این شبکه با توجه به اینکه کلاً DC است از نظر هارمونیکی نیز بسیار مناسب است. در این شبکه قابلیت تغذیه بارهای AC نیز وجود دارد. از جمله مزیت این شبکه‌ها کاهش تعداد تجهیزات است؛ زیرا اکثر منابع پراکنده‌ای که در ریزشبکه‌ها استفاده می‌شود انرژی الکتریکی را به صورت DC تولید می‌کند و در شبکه‌های DC دیگر لازم نیست تا با یک اینورتر ولتاژ AC تولید نمود.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۸-۲۲: ریزشبکه DC

۸-۷- گرایش‌های خاص و جدید

در این بخش برخی از گرایش‌های جدید در زمینه‌ی ریزشبکه معرفی می‌شود.

۸-۷-۱- ترکیب مبدل منابع

با ترکیب منابع می‌توان علاوه بر افزایش توانایی تولید و کنترل توان، ویژگی‌های کیفیت توان را نیز بهبود بخشید. به عنوان مثال می‌توان با سری کردن دو منبع ولتاژ، ولتاژی با هارمونیک کمتر تولید نمود. در ادامه با بعضی از ویژگی‌های ترکیب نمودن منابع آشنا می‌شویم. در شکل ۸-۲۳ دو نمونه از اتصال سری و موازی منابع تحت عنوان اتصال ترکیبی مشاهده می‌شود.

اتصال سری دارای خصوصیات زیر است:

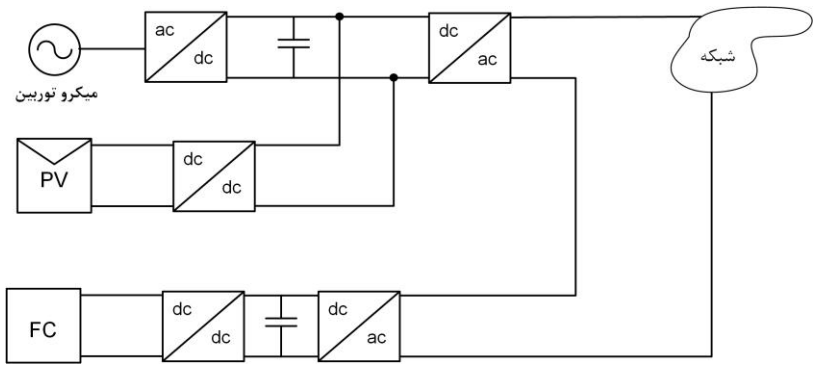
- تنظیم ولتاژ و جریان خروجی دشوار است.
- جریان سری، تلفات در کل مبدل‌ها را بالا می‌برد.

اتصال موازی دارای خصوصیات زیر است:

- تعداد عناصر و درنتیجه هزینه بالا می‌رود.

Ahwaz_Hackerz

- دشواری کنترل مبدل‌ها.
- وجود جریان‌های چرخشی.



شکل ۸-۲۳: نمونه‌ای از یک ریزشبکه‌ی ترکیبی از ریزشبکه‌ی سری و موازی.

توجه شود که این نوع از ترکیب به دلایل دشواری‌ها پیاده‌سازی نشده است و فقط به صورت تئوری مورد بحث قرار گرفته است. مزیت این روش این است که می‌توان هارمونیک‌ها را کاهش داد.

۸-۷-۲- مبدل‌های چند ورودی MIC[1]

در مبدل‌های چند ورودی بار خروجی همانطور که در شکل ۸-۲۴ نشان داده شده است از طریق چندین ریزمنبع که به ورودی آن اعمال می‌گردد، تغذیه می‌شود. این نوع مبدل‌ها دارای چند ورودی و یک خروجی هستند و مزایای زیر را دارند:

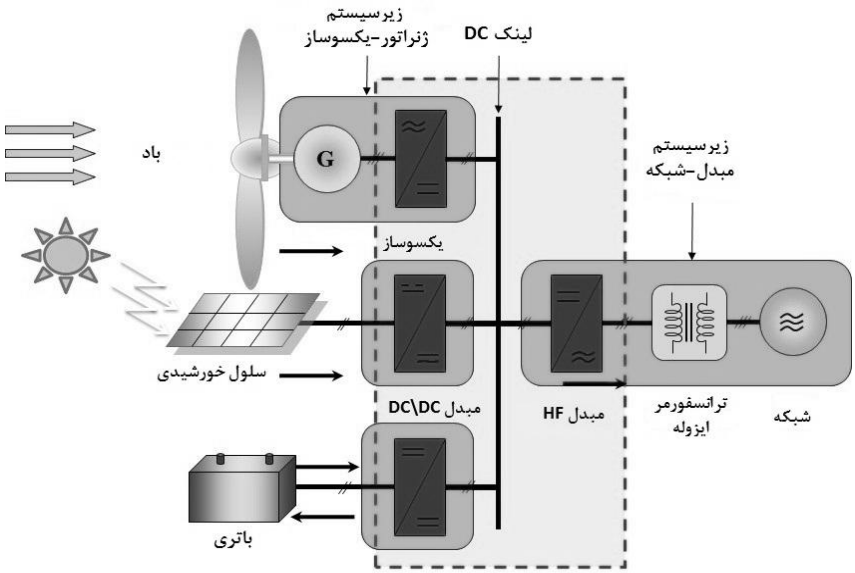
- ✓ در این مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر از قطعات کمتری استفاده شده است.
- ✓ تعداد قطعات کمتر باعث هزینه کمتر شده است.
- ✓ تلفات کمتر

1- Multi-Input Converter

Ahwaz_Hackerz

✓ قابلیت اطمینان بالا

✓ وزن کم



شکل ۸-۲۴: نمونه‌ای از ساختار MIC

اما این مدل‌ها دارای معایبی نیز هستند که عبارت است از:

- کنترل غیرمستقیم توان اکتیو و راکتیو
- نداشتن ایزولاسیون
- نوسان توان و جا به جایی نقطه کار (کنترل ولتاژ لینک DC)

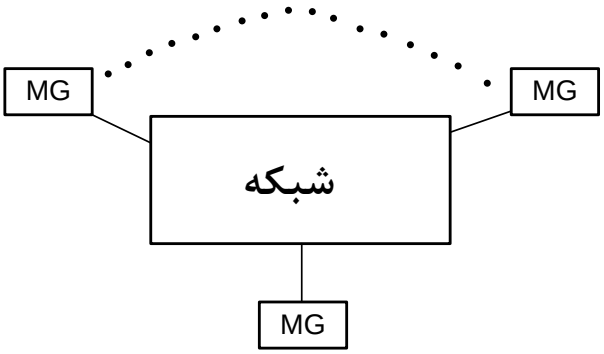
۸-۷-۳- ریزشبکه‌های ترکیبی و به هم پیوسته[1]

در شکل‌های ۸-۲۵ و ۸-۲۶ چند نوع از ساختارهای ریزشبکه‌های به هم پیوسته مشاهده می‌شود. خطوط نقطه چین بیانگر ارتباط مخابراتی و خطوط پیوسته بیانگر انتقال انرژی است. در شکل ۸-۲۵ طرح اتصال ریزشبکه‌ها به شبکه اصلی به صورت به هم پیوسته را مشاهده

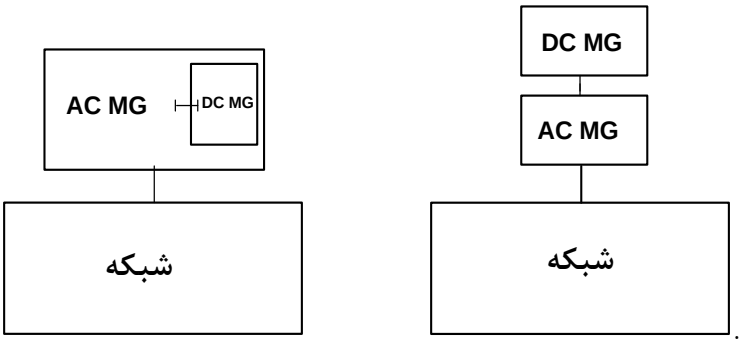
1- Hybrid and Interconnected Microgrids

Ahwaz_Hackerz

می‌کنیم. حال اگر در این طرح یکی از ریزشبکه‌ها AC و دیگری DC باشد به آن طرح ترکیبی گفته می‌شود، ضمن اینکه این دو ریزشبکه AC و DC می‌توانند با استفاده از مبدل به همدیگر متصل شوند. همچنین در شکل ۸-۲۶ نیز دو طرح ترکیبی دیگر نمایش داده شده است.



شکل ۸-۲۵: ریزشبکه‌های به هم پیوسته.



شکل ۸-۲۶: ترکیب ریزشبکه‌ها.

۸-۸- نمونه‌های اجرا شده

در پایان این فصل مثال‌هایی واقعی از ریزشبکه‌ها و کاربردهای آن‌ها را در کشورهای مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

Ahwaz_Hackerz

۸-۸-۱- ریزشبکه UCSD

پروژه ریزشبکه UCSD[1] برای تأمین حرارت و برق یک مجموعه‌ی ۴۵۰ هکتاری با جمعیت روزانه ۴۵۰۰۰ نفر طراحی و اجرا شده است. این پروژه از دو واحد تولید برق با توربین گازی ۱۳/۵ مگاواتی و یک توربین بخاری ۳ مگاواتی و ۱/۲ مگاوات تولید با صفحات خورشیدی تشکیل شده است که ۸۵٪ تولید برق، ۹۵٪ تولید حرارت و ۹۵٪ سرمایش مجموعه را بر عهده دارد. این مجموعه ۷۵٪ درصد آلودگی کمتری نسبت به تولید مشابه با روش‌های سنتی تولید می‌کند.

شکل ۸-۲۷: ریزشبکه UCSD [۸].

۸-۸-۲- ریزشبکه Hachinohe

این ریزشبکه در ژاپن و به منظور طراحی و اجرای یک سیستم کنترل بهینه برای ریزشبکه‌ها طراحی شده است و شامل دو واحد ۵۰ کیلو واتی و ۳ واحد ۱۰ کیلو واتی از صفحات خورشیدی، توربین‌های بادی کوچک، ۱۰۰ کیلو وات بانک باتری سرب اسید و سه واحد ۱۷۰

1- University of California, San Diego

Ahwaz_Hackerz

کیلو واتی توربین گازی که با گاز حاصل از زباله‌ها فعالیت می‌کنند است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مجموعه این است که تمام آن از انرژی‌های تجدید پذیر استفاده می‌کند.

۸-۸-۳- ریزشبکه Santa Rita Jail

ریزشبکه زندان سانتا ریتا یکی از بهترین نمونه‌های ریزشبکه در سراسر دنیا است. ۱/۵ مگاوات صفحه‌ی خورشیدی، ۱ مگاوات پیل سوختی و دیزل ژنراتورهای پشتیبان که می‌توانند هم حالت متصل به شبکه و هم حالت جزیره‌ای را پشتیبانی کنند. همچنین این سیستم یک باتری ۴ مگاواتی لیتیومی را به عنوان تنها عنصر برقراری تعادل استفاده می‌کند.

۸-۹- جمع‌بندی

ریزشبکه یک شبکه‌ی توزیع فشار ضعیف (LV) شامل بارهای الکتریکی/حرارتی، منابع ذخیره کننده انرژی (باتری‌ها، خازن‌ها، سلول سوختی، چرخ طیار و غیره)، منابع تولید پراکنده (DG، FDG و غیره) که تحت یک سیستم مشترک عمل می‌کنند و مزیت اصلی آن افزایش قابلیت اطمینان و امنیت بالاتر بارها است. ریزشبکه‌ها در حالت عادی به صورت متصل به شبکه بهره‌برداری می‌گردند اما در شرایط اضطراری دارای این قابلیت هستند که به صورت جدا از شبکه نیز به کار خود ادامه دهند. علی‌رغم شباهت‌هایی که بین ریزشبکه‌ها و شبکه‌های قدرت سنتی وجود دارد، تفاوت‌های عمده‌ای نیز بین این دو وجود دارد و آن هم به دلیل پیشرفت سیستم‌های قدرت و حساس‌تر شدن بارهای موجود در ریزشبکه‌ها است.

تعدادی از مهم‌ترین مزیت‌های ریزشبکه‌ها عبارت‌اند از تأمین تقاضای رشد بار، کنترل توان اکتیو و راکتیو، تصحیح افت ولتاژ، بهبود کیفیت توان و بهبود قابلیت اطمینان و امنیت بار. در راستای نیل به مزایای فوق کنترل مناسب ریزشبکه‌ها از اهمیت به سزایی دارد که این استراتژی‌های کنترلی در ریزشبکه‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد؛ استراتژی‌های کنترلی مبدل الکترونیک قدرت و استراتژی‌های کنترلی برای مدیریت توان. در فصل بعد این

Ahwaz_Hackerz

استراتژی‌های کنترلی به طور مفصل بحث خواهد شد.

منابع و مراجع

[1] M. Rasheduzzaman, S. N. Bhaskara and B. H. Chowdhury, "Implementation of A Microgrid Central Controller in A Laboratory Microgrid Network," 2012 North American Power Symposium (NAPS), Champaign, IL, pp. 1-6, 2012.

[2] www.microgrids.eu/micro2000/delivarable

[3] Department of Energy, Energy.gov

[4] "CERTS Microgrid Concept" https://certs.lbl.gov

[5] "Intelligent DC Microgrid Living Lab"
http://www.et.aau.dk/research-programmes/microgrids

[6] G. C. Tarnowski "Coordinated Frequency Control of Wind Turbines in Power Systems with High Wind Power Penetration," Industrial PhD project, Technical University of Denmark, May 2012.

[7] "Micro CHP: Heat & Electricity", http://www.greenspec.co.uk/building-design/micro-chp/

[8] "UCSD microgrid project", https://building-microgrid.lbl.gov/ucsd

[9] "Hachinohe microgrid project",
http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/1857

[10] "Santa Rita Jail", https://building-microgrid.lbl.gov/santa-rita-jail

[11] A. A. Arani, G. B. Gharehpetian and B. Zaker, "Flywheel Storage Modeling and Simulation as Voltage and Frequency Reference in Isolated Microgrids", to be appeared in Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers.

[12] H. R. Baghaee, M. Mirsalim and G. B. Gharehpetian, "Power Calculation Using RBF Neural Networks to Improve Power Sharing of Hierarchical Control Scheme in Multi-DER Microgrids," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4,

Ahwaz_Hackerz

no. 4, pp. 1217-1225, Dec. 2016.
[13] H. R. Baghaee; M. Mirsalim; G. B. Gharehpetian, "Performance Improvement of Multi-DER Microgrid for Small- and Large-Signal Disturbances and Nonlinear Loads: Novel Complementary Control Loop and Fuzzy Controller in a Hierarchical Droop-Based Control Scheme," IEEE Systems Journal, July 2016.
[14] R. Ghanizadeh, M. Ebadian and G. B. Gharehpetian, "Non-Linear Load Sharing and Voltage Harmonics Compensation in Islanded Microgrids with Converter Interfaced Units," International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 27, No. 1, July 2016.
[15] H. R. Baghaee, M. Mirsalim and G. B. Gharehpetan, "MOPSO-based Multi-Objective Optimal Power Management and Sizing of Reliable Wind/PV/Hydrogen Energy Storage System based Microgrid," to be appeared in Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.
[16] H. R. Baghaee, M. Mirsalim and G. B. Gharehpetian, "Real-time verification of new controller to improve small/large-signal stability and fault ride-through capability of multi-DER microgrids," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 10, No. 12, pp. 3068-3084, 2016.
[17] A. Ghafouri, J. Milimonfared and G. B. Gharehpetian, "Classification of Microgrids for Effective Contribution to Primary Frequency Control of Power System," in IEEE Systems Journal, Vol. PP, No.99, pp.1-10, 2015.
[18] A. Ghafouri, J. Milimonfared and G. B. Gharehpetian, "Microgrid Modelling for Contribution to the Frequency Control of Power System," to be appeared in Indian Journal Science and Technology.
[19] F. Safdarian, M. M. Ardehali, G. B. Gharehpetian, "Ramp Rate Effect on Maximizing Profit of a Microgrid Using Gravitational

Ahwaz_Hackerz

Search Algorithm," International Journal of Engineering Research & Innovation, Vol. 7, No. 1, pp., 32-42, 2015.

[20] M. R. Vatani, M. J. Sanjari and G. B. Gharehpetian, "Islanding Detection in Multiple-DG Microgrid by Utility Side Current Measurement," International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 25, No. 9, May 2014.

[21] R. Ghanizadeh, M. Ebadian, G. B. Gharehpetian, "Control of Inverter-Interfaced Distributed Generation Units for Voltage and Current Harmonics Compensation in Grid-Connected Microgrids," Journal of Operation and Automation in Power Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 66-82, Winter & Spring 2016.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۹ کنترل ریزشبکه‌ها

۹-۱- مقدمه

در این فصل مباحث مربوط به کنترل ریزشبکه‌ها مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. بدین منظور ابتدا به کنترل سیستم‌های ابعاد وسیع[1] و روش‌های گوناگون مطرح در آن خواهیم پرداخت. سیستم‌های ابعاد وسیع معمولاً متشکل از زیرسیستم‌های مرتبط به هم بوده و برای کنترل آن‌ها محدودیت ساختاری در انتقال اطلاعات وجود دارد. سپس با توجه به مباحث ذکر شده، روش‌های گوناگون کنترل ریزشبکه بررسی خواهند شد.

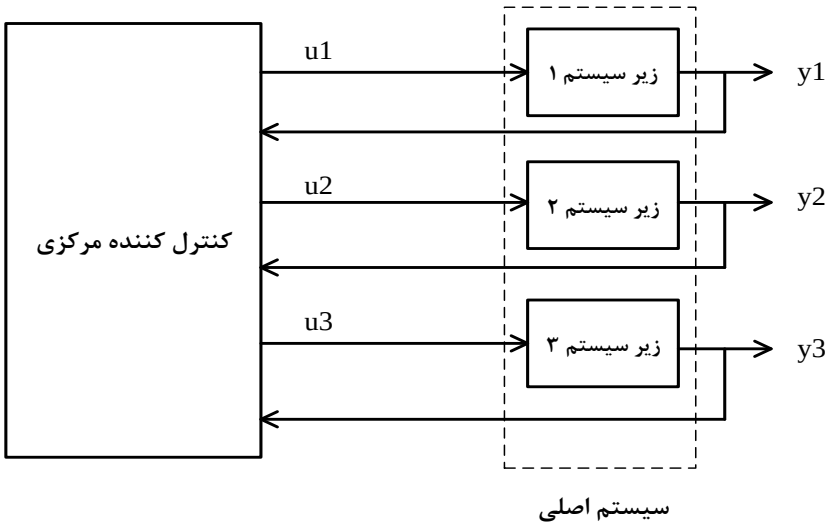
۹-۱-۱- کنترل متمرکز[2]

سیستم‌های ابعاد وسیع اغلب از زیر سیستم‌هایی که با یکدیگر تعامل دارند تشکیل شده‌اند و طراحی کنترل‌کننده متمرکز برای آن‌ها به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی ذاتی، تحقق قابلیت اطمینان و محدودیت‌های پهنای باند مخابراتی آن‌ها بسیار پیچیده خواهد بود. در این روش مجموعه سیستم‌های تحت کنترل شامل زیر سیستم‌هایی مجزا و مستقل از یکدیگر هستند که برای هر کدام از کمیت‌های آن‌ها کنترل‌کننده‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود. تمامی محاسبات مربوط به کنترل‌کننده‌ها در کنترل‌کننده مرکزی انجام می‌پذیرد و فرمان کنترلی برای عملگرها

1- Large Scale Systems (LSS)
2- Centralized Control (CC)

Ahwaz_Hackerz

ارسال می‌گردد. نمونه‌ای از این سیستم و کنترل‌کننده متمرکز آن در شکل ۹-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۹-۱: ساختار سیستم LSS و کنترل متمرکز آن.

واضح است که در این سیستم، کنترل‌کننده مرکزی تمامی اطلاعات سیستم را در اختیار دارد و از این رو می‌تواند فرمان‌های کنترلی دقیقی را محاسبه و اعمال کند؛ اما در صورتی که ابعاد سیستم بسیار گسترده باشد، حجم محاسبات مورد نیاز در کنترل‌کننده مرکزی بسیار زیاد خواهد بود. در نتیجه زمان مورد نیاز برای محاسبات نیز قابل توجه خواهد بود و به دلیل سرعت پاسخ‌گویی کند سیستم، این روش را نمی‌توان در کاربردهای برخط مورد استفاده قرار داد. همچنین ارتباط میان زیر سیستم‌ها و کنترل‌کننده مرکزی نیاز به بستر مخابراتی دارد که در سیستم‌های با ابعاد وسیع نیازمند پهنای باند زیاد و ارتباط دوسویه پرسرعت است که هزینه‌های سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد. همچنین این استراتژی کنترلی قابلیت اطمینان پایینی دارد، زیرا در صورت بروز اختلال در کنترل‌کننده مرکزی تمامی سیستم از کار باز

Ahwaz_Hackerz

خواهد ایستاد.

در روش کنترل متمرکز، یک سیستم کنترل‌کننده مرکزی که تمام اطلاعات شبکه برای آن ارسال می‌شود، وظیفه نظارت و کنترل عملکرد ریزشبکه بر مبنای تمام اطلاعات دریافتی از شبکه را بر عهده دارد. در این نگرش اگر افزایشی در بار رخ دهد، کنترل‌کننده مرکزی با توجه به اطلاعات دریافتی از منابع، این افزایش بار را میان آن‌ها تقسیم می‌نماید. علاوه بر مشکلات مذکور، اگر واحد جدیدی به ریزشبکه اضافه شود، نیاز به طراحی کنترل‌کننده جدید و یا ایجاد تغییرات اساسی در کنترل‌کننده پیشین است.

به طور خلاصه می‌توان مزایای این سیستم را بدین‌گونه برشمرد:

- سیستم شامل زیر سیستم‌های مستقل از هم است
- برای هر کمیت یک کنترل‌کننده مجزا داریم
- جهت ارسال فرمان به عمل کننده، محاسبات در CC انجام می‌شود.
- بهینه بودن
- گارانتی کردن پایداری
- توجه به قیود حالت‌ها ورودی

معایب این سیستم را نیز می‌توان بدین‌گونه برشمرد:

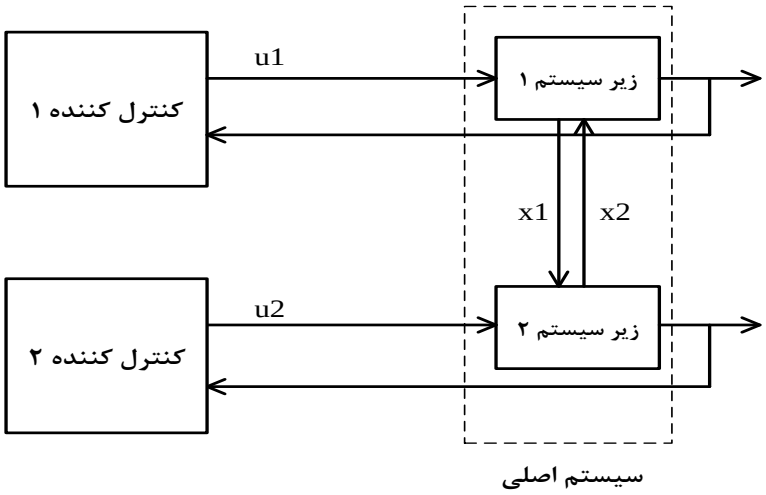
- در سیستم‌هایی با ابعاد بزرگ حجم محاسبات بالا می‌رود، در نتیجه در کاربردهای برخط مشکل دارد چون کنترل‌کننده مرکزی کند می‌شود. به عبارتی دیگر با افزایش ابعاد سیستم و یا کاهش ثابت زمانی سیستم، سیستم کنترل متمرکز با مشکلات شدیدی در خصوص توان محاسباتی لازم مواجه خواهد شد و در نتیجه قابل اجرا برای کاربردهای زمان حقیقی نیست.
- برقراری ارتباط مخابراتی بین بخش‌ها به علت دو سویه بودن مشکل و پرهزینه است.
- اشکال در کنترل‌کننده مرکزی موجب از کار افتادن کل سیستم و در نتیجه پایین آمدن قابلیت اطمینان سیستم می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

- سرعت پاسخ‌گویی سیستم به علت گرفته شدن تمام اطلاعات پایین است.

۹-۱-۲- کنترل نامتمرکز[1]

در این روش، مجموعه سیستم‌های تحت کنترل شامل زیر سیستم‌هایی هستند که برای هر کدام کنترل‌کننده‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود؛ اما بر خلاف حالت قبل، میان زیرسیستم‌ها تعامل (x1 و x2) وجود دارد، که هر چه این تعاملات ضعیف‌تر باشد به حالت زیربهینه نزدیک‌تر می‌شویم. نمونه‌ای از این سیستم و کنترل‌کننده متمرکز آن در شکل ۹-۲ نمایش داده شده است.



شکل ۹-۲: ساختار سیستم LSS و کنترل نامتمرکز آن.

در این نگرش، نقش هر یک از واحدهای تولید پراکنده همانند سایر واحدها بوده و هیچ‌کدام از آن‌ها نقش اصلی‌تری نسبت به دیگری ندارد. در کنترل غیرمتمرکز ریزشبکه، به دلیل نبود یک کنترل‌کننده‌ی مرکزی و یا لینک مخابراتی، قابلیت اطمینان بیشتری حاصل می‌شود. از طرف

1- Decentralized Control

Ahwaz_Hackerz

دیگر، کنترل غیرمتمرکز بیشترین استقلال در عملکرد را برای هر یک از منابع تولید پراکنده فراهم می‌آورد. در این روش هر یک از منابع تولید پراکنده کنترل‌کننده‌ی خود را داشته و تنها بر اساس اندازه‌گیری‌های محلی خود فعالیت می‌کنند. در نتیجه دیگر نیازی به لینک مخابراتی، کنترل‌کننده مرکزی و یا یک ذخیره کننده‌ی مرکزی که در دو روش قبل بسیار حیاتی بودند، نیست. این بدین مفهوم است که نبود هر یک از منابع یا اجزا مانع از عملکرد سیستم ریزشبکه نمی‌شود. در این حالت بدون نیاز به طراحی مجدد کنترل‌کننده، می‌توان یک منبع تولید پراکنده به سیستم اضافه و یا از آن کم کرد.

معایب کنترل نامتمرکز:

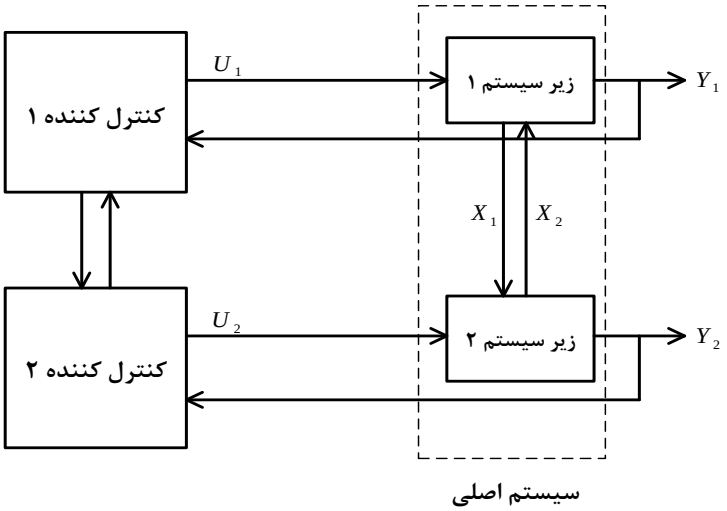
- مشکل پایداری و عملکرد در صورت وجود تعاملات قوی بین زیر سیستم‌ها
- قوانین محلی کنترل‌کننده‌ها بدون در نظر گرفتن تعاملات و عدم تضمین خصوصیات مهمی چون پایداری

۹-۱-۳- کنترل توزیع شده[1]

کنترل توزیع‌شده سیستم‌های ابعاد وسیع در واقع زیر مجموعه‌ای از استراتژی کنترل نامتمرکز است که در آن کنترل‌کننده‌های زیرسیستم‌ها باهم تبادل اطلاعات دارند. از همین رو قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به سیستم کنترل‌کننده متمرکز دارند. سه ویژگی اساسی ارتباط، همکاری و هماهنگی متمایز کننده کنترل توزیع شده از کنترل غیرمتمرکز است. ارتباط به معنی تعاملات ضعیف میان زیرکنترل‌کننده‌های گوناگون است، به عبارت دیگر کنترل کننده‌ها تنها اطلاعات زیر سیستم‌ها را تبادل می‌کنند. اگر چه هیچ اطلاعاتی در خصوص بهینه بودن کل سیستم منتشر نمی‌شود در نتیجه در کل ارتباط تنها منجر به نتیجه بهینه، پایدار و مقاوم نمی‌شود. هماهنگی بسیار شبیه همکاری است با این تفاوت که در آن زیر مسائل به وسیله ناظر به منظور دستیابی به بهینگی کلی هماهنگ می‌شوند.

1- Distributed Control

Ahwaz_Hackerz



شکل ۹-۳: ساختار سیستم LSS و کنترل توزیع شده آن.

۹-۱-۳-۱- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر زیرسیستم‌ها

الگوریتم ارتباطی میان کنترل‌کننده‌های زیرسیستم‌ها را می‌توان به دو دسته کاملاً متصل و یا با اتصالات جزئی تقسیم‌بندی کرد:

در الگوریتم کاملاً متصل، اطلاعات مربوط به کنترل‌کننده یک زیرسیستم به تمامی زیرسیستم‌ها ارسال می‌گردد. این در حالی است که در الگوریتم با اتصالات جزئی، اطلاعات از یک زیرسیستم به زیرمجموعه‌ای از زیرسیستم‌ها ارسال می‌گردد.

۹-۱-۳-۲- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر کنترل‌کننده‌ها

الگوریتم ارتباطی میان کنترل‌کننده‌های زیرسیستم‌ها را می‌توان به دو دسته غیرتکراری و تکراری تقسیم‌بندی کرد. در الگوریتم غیرتکراری، اطلاعات تنها یک بار در طول زمانِ نمونه‌برداری بین کنترل‌کننده‌های محلی مبادله می‌شوند. این در حالی است که در الگوریتم تکراری، اطلاعات چندین بار در طی زمانِ نمونه‌برداری میان کنترل‌کننده‌های محلی مبادله

Ahwaz_Hackerz

می‌گردند. این نوع کنترل فرصتی ایجاد می‌کند که هر کنترل‌کننده بتواند چندین بار با دیگر کنترل کننده‌ها تبادل اطلاعات داشته باشد.

۹-۱-۳-۳- دسته‌بندی الگوریتم‌های ارتباطی از منظر شاخص عملکرد

الگوریتم ارتباطی میان کنترل‌کننده‌های زیرسیستم‌ها را می‌توان به دو دسته مستقل و مشارکتی تقسیم‌بندی کرد. در الگوریتم مستقل، هر کنترل‌کننده محلی در یک فرایند تکراری شاخص عملکرد محلی را بهینه می‌کند. این بدین معنی است که برای کنترل‌کننده یک تابع هدف در نظر گرفته‌ایم. این در حالی است که در الگوریتم مشارکتی، هر کنترل‌کننده محلی در یک فرایند تکراری، شاخص عملکرد جهانی[1] را بهینه می‌کند؛ یعنی یک شاخص عملکرد کلی داریم که به همه‌ی کنترلرها می‌دهیم به طوری که همه آن‌ها عملکرد خود را طوری تنظیم می‌کنند که به آن شاخص مورد نظر برسند.

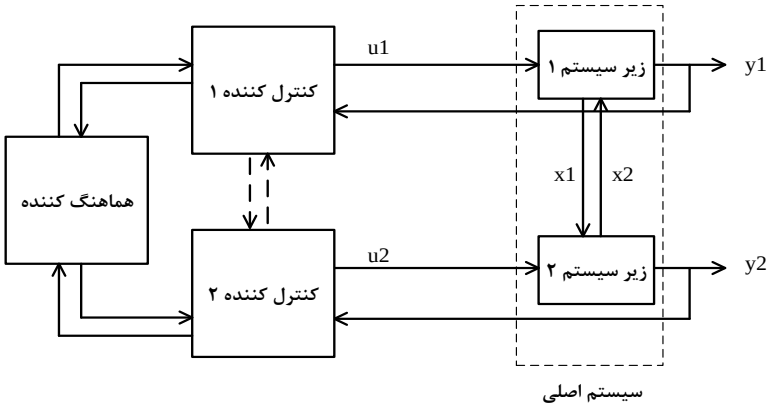
۹-۱-۴- کنترل سلسله مراتبی[2]

کنترل سلسله مراتبی سیستم‌های ابعاد وسیع در واقع مصالحه‌ای بین کنترل کاملاً متمرکز و کنترل کاملاً نامتمرکز است، که در آن لایه‌های کنترلی بالادست به لایه‌های کنترلی پایین دست فرمان می‌دهند. در کنترل سلسله مراتبی هرچه به لایه فیزیکی (پایین‌ترین لایه کنترلی) نزدیک می‌شویم سرعت عملکرد کنترل‌کننده‌ها در آن لایه بیشتر می‌شود. نمونه‌ای از این سیستم و کنترل‌کننده سلسله مراتبی آن در شکل ۹-۴ و ۹-۵ نمایش داده شده است. لایه‌های بالاتر دینامیک کندتری دارند. متغیر کنترل ورودی در لایه‌های بالاتر محاسبه می‌شود و به عنوان سیگنال مرجع به لایه‌های پایین‌تر ارسال می‌شود (شکل ۹-۶). لایه‌های پایین‌تر با دینامیک سریع‌تری کنترل می‌شوند و از آن جایی که رفتار دینامیکی لایه‌ها هم متفاوت است،

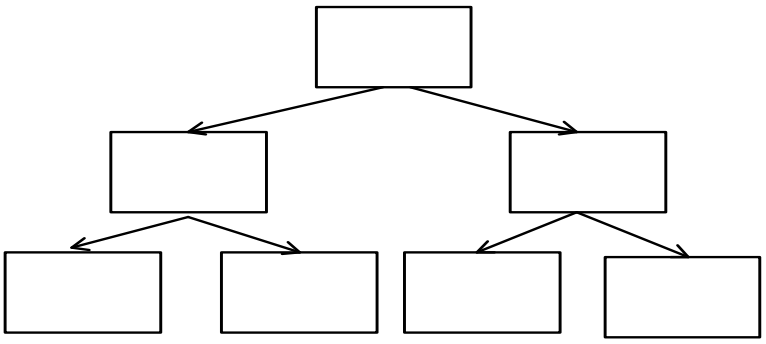
1- Global
2- Hierarchical

Ahwaz_Hackerz

بین لایه‌ها اختلاف پیش می‌آید و به یک سیستم کنترلی بسیار قوی و پایدار نیاز است. پیاده‌سازی آسان این روش در کنار قابلیت تعمیر و نگه‌داری آسان آن، از مزایای روش مورد بحث است. تبادل اطلاعات بین کنترل‌کننده‌ها راحت‌تر است. همچنین به دلیل توزیع یافته بودن محاسبات، بار محاسباتی حجیم وجود ندارد. همچنین می‌توان سیستم را به طوری برنامه‌ریزی کرد که لایه‌های کنترل‌کننده بالایی، مقادیر مرجع مناسب را برای کنترل‌کننده‌های پایین‌دستی به گونه‌ای محاسبه کنند که قیود و دینامیک‌های سیستم در نظر گرفته شوند.

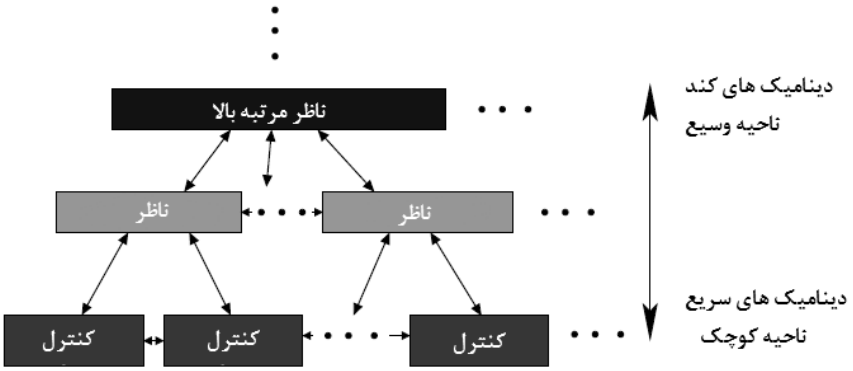


شکل ۹-۴: ساختار سیستم LSS و کنترل سلسله مراتبی آن.



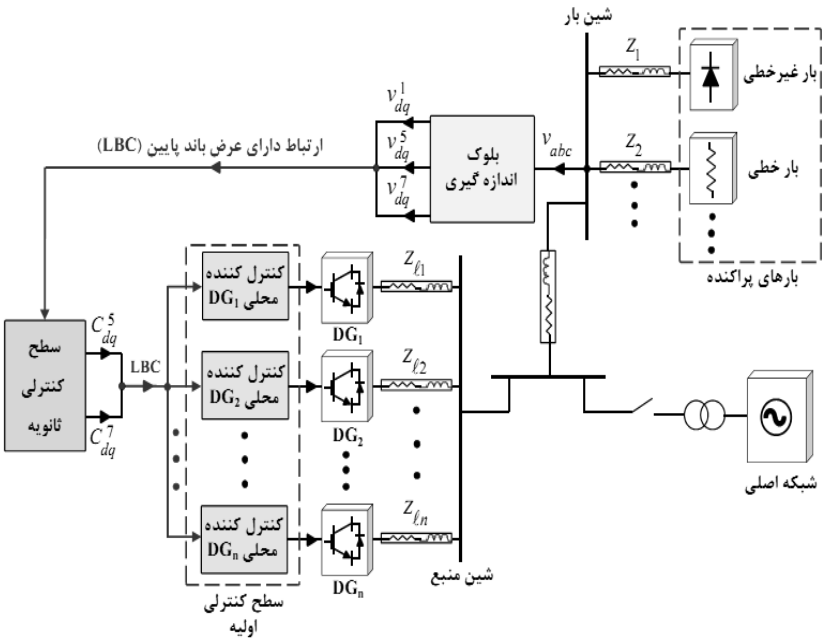
شکل ۹-۵: ساختار فرماندهی لایه‌های کنترلی در کنترل سلسله مراتبی سیستم LSS.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۹-۶: عملکرد کنترل سلسله مراتبی در لایه‌های مختلف.

در شکل ۹-۷ نمونه‌ای از کنترل سلسله مراتبی در یک ریزشبکه شامل منابع مختلف اینورتری، بارهای خطی و غیرخطی نمایش داده شده است.



شکل ۹-۷: نمونه‌ای از ساختار کلی سلسله مراتبی.

Ahwaz_Hackerz

۹-۲- کنترل در ریزشبکه‌ها

در این قسمت ابتدا استراتژی کنترلی مبدل الکترونیک قدرت و استراتژی کنترلی مدیریت توان بررسی خواهند شد و سپس روش‌های کنترل متمرکز، غیرمتمرکز و سلسله مراتبی در ریزشبکه بررسی خواهند شد.

۹-۲-۱- استراتژی کنترلی در ریزشبکه

همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد، استراتژی‌های کنترلی مورد استفاده در ریزشبکه‌ها را می‌توان به دو دسته استراتژی کنترلی مبدل الکترونیک قدرت و استراتژی کنترلی مدیریت توان تقسیم‌بندی کرد. در استراتژی کنترل مبدل الکترونیک قدرت، صرف نظر از حالت کاری ریزشبکه، هدف کنترل توان‌های حقیقی، واکنشی، ولتاژ و فرکانس است. در حالی که در استراتژی کنترلی مدیریت توان هدف تقسیم بار برای عملکرد پایدار ریزشبکه است که به نوبه خود به چندین زیر دسته تقسیم‌بندی می‌گردند، که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

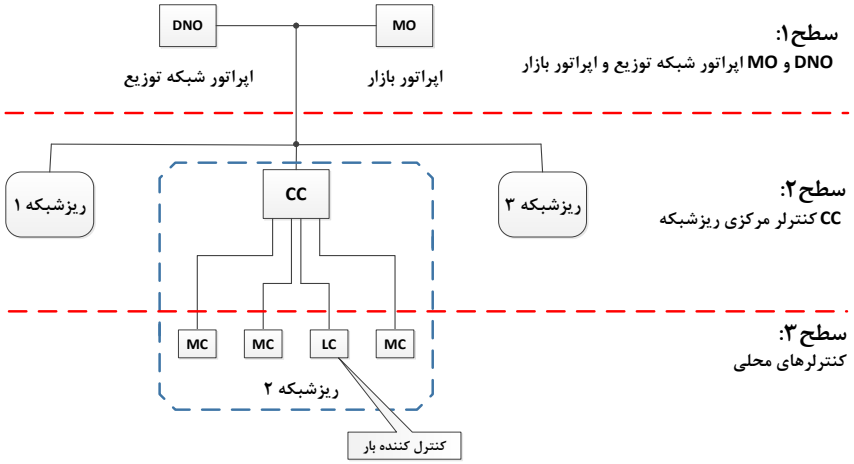
۹-۲-۲- استراتژی‌های کنترلی مدیریت توان منابع

برای کنترل و مدیریت توان منابع موجود در ریزشبکه، استراتژی‌های گوناگونی وجود دارد که در نهایت هدف همه آن‌ها از مدیریت توان: تأمین انرژی الکتریکی، تأمین انرژی حرارتی، شرکت در بازار برق، تأمین سرویس‌های جانبی برای مشترکین خاص و تدارک سرویس‌ها و خدمات جانبی است. ساختار کلی مدیریت توان منابع حاضر در ریزشبکه که شامل سه سطح است، ساختاری هرمی است که در شکل ۹-۸ نشان داده شده است. سطح اول مدیریت توان که شامل اپراتورهای شبکه توزیع (DO[1]) و بازار (MO[2]) است. این اپراتورها ملاحظات شبکه بالادستی را در فرایند مدیریت توان لحاظ می‌کنند. سطح دوم شامل کنترل‌کننده‌های مرکزی

1- Distribution Network Operator (DO)
2- Market Operator (MO)

Ahwaz_Hackerz

ریزشبکه‌ها است که با توجه به پیشنهادهای شبکه بالا دست، ریزشبکه را کنترل می‌کند. در نهایت در سطح سوم کنترل‌کننده‌های محلی حضور دارند که مستقیماً با منابع توزیع شده انرژی و بار در ارتباط هستند و فرمان‌ها صادر شده از کنترل‌کننده مرکزی را به آن‌ها اعمال می‌کنند.



شکل ۹-۸: ساختار مدیریت توان.

۹-۲-۲-۱- کنترل متمرکز تحت نظارت کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه[1]

برای پیاده‌سازی کنترل متمرکز، لینک مخابراتی و کنترل‌کننده مرکزی مورد نیاز است که در ادامه در مورد هر یک توضیحاتی داده شده است.

۹-۲-۲-۱-۱- لینک مخابراتی

لایه مخابراتی مورد استفاده در این روش، وظیفه ارسال حالت کاری و سیگنال‌های مرجع الکتریکی به منابع موجود در ریزشبکه را دارد. حالت کاری منابع به دو دسته کنترل V/F (کنترل Master) و کنترل PQ (کنترل slave) تقسیم‌بندی می‌شوند. در کنترل V/F، مبدل

1- Micro Grid Central Controller (MGCC)

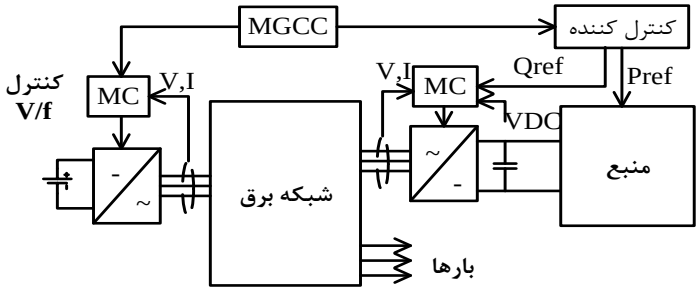
Ahwaz_Hackerz

مورد نظر وظیفه کنترل ولتاژ و فرکانس ریزشبکه را با اعمال تعادل توان حقیقی و واکنشی در ریزشبکه به عهده دارد. این در حالی است که سایر مبدل‌های پیرو تنها به میزان تعیین شده (نظیر مطالعه پخش بار بهینه) توان حقیقی و واکنشی به ریزشبکه تزریق می‌کنند.

۹-۲-۲-۱-۲- دسته‌بندی کنترل‌کننده مرکزی

با در نظر داشتن تعداد مبدل‌های ریزشبکه که از دو استراتژی کنترلی V/F و PQ استفاده می‌کنند، کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه را می‌توان به دو دسته SMO[1] و MMO[2] تقسیم‌بندی کرد.

در حالت SMO، تنها یک ریزمنبع وظیفه کنترل ولتاژ و فرکانس در ریزشبکه را به عهده دارد و مابقی ریزمنابع در حالت کنترلی PQ (پیرو) فعالیت می‌کنند. نمونه‌ای از یک ریزشبکه کنترل شده به این روش در شکل ۹-۹ نمایش داده شده است.



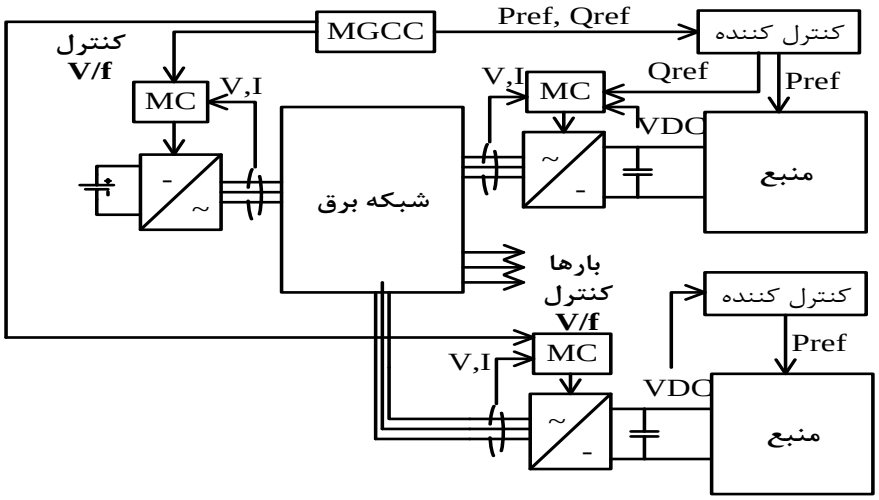
شکل ۹-۹: نمونه‌ای از یک ریزشبکه کنترل شده SMO

این در حالی است که در حالت MMO چندین ریزمنبع در حال فعالیت به شیوه کنترل V/F هستند (به عنوان Master) و بقیه ریزمنابع در حالت کنترلی PQ (به عنوان Slave) فعالیت

1- Single Master Operator (SMO)
2- Multi Master Operator (MMO)

Ahwaz_Hackerz

می‌کنند. لازم به ذکر است که در حالتی که ریزشبکه به صورت جزیره‌ای– مستقل از شبکه بالادستی- است، ضروری است که حداقل یک مبدل در حالت کنترلی V/F فعالیت کند. نمونه‌ای از یک ریزشبکه کنترل شده به این روش در شکل ۹-۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۹-۱۰: نمونه‌ای از یک ریزشبکه کنترل شده MMO

۹-۲-۲-۱-۳- مزایا و چالش‌های روش کنترل مرکزی

مزایای روش کنترل مرکزی عبارت‌اند از:

- ✓ افزایش کیفیت توان
- ✓ بهبود عملکرد ریزشبکه در هنگام شرکت در بازار برق

چالش‌های موجود در روش کنترل مرکزی عبارت‌اند از:

- وابستگی به سیستم مخابراتی و هزینه‌های مربوط به آن
- نیاز به تغییر تنظیمات اضافی جهت اتصال یک ریزمنبع جدید به ریزشبکه
- داشتن قابلیت اطمینان پایین در حالت SMO

Ahwaz_Hackerz

۹-۲-۲-۲- کنترل غیرمتمرکز ریزشبکه

هدف در کنترل غیرمتمرکز این است که در صورت بروز اغتشاش در شبکه اصلی یا ریزشبکه و یا تغییر حالت کاری ریزشبکه از حالت متصل به منفصل، ریز منابع بتوانند به نسبت دروپ[1] خود سهمی از تغییرات توان و عدم تعادل تولید و مصرف را جبران کنند.

روش کنترل افت ولتاژ و فرکانس از فلسفه‌ای مشابه با آنچه در سیستم‌های قدرت چند ژنراتوری جهت تقسیم بار به کار گرفته می‌شود بهره می‌برد. در واقع ایده اصلی این تکنیک تقلیدی از رفتار گاورنر ژنراتورهای سنکرون است. در سیستم‌های قدرت، ژنراتورهای سنکرون هر تغییری در بار را با توجه به افت فرکانس خود و متناظر با مشخصه دروپ گاورنرشان تقسیم می‌کنند. این امر این امکان را فراهم می‌سازد که ژنراتورهای سنکرون به تغییرات بار به گونه‌ای پیش‌بینی شده عکس‌العمل نشان دهند.

این تکنیک در اینورترها با کاهش فرکانس مرجع اینورتر به عنوان تابعی از توان اکتیو خروجی آن، قابل پیاده‌سازی است. به گونه‌ای مشابه تقسیم توان راکتیو بین اینورترها با کاهش دامنه ولتاژ خروجی اینورتر به عنوان تابعی از توان راکتیو خروجی آن قابل دست‌یابی است. توجه کنید که در این تکنیک امپدانس خطوط سلفی فرض می‌شود، بنابراین کنترل توان اکتیو با کنترل فرکانس و کنترل توان راکتیو با کنترل دامنه ولتاژ صورت می‌گیرد.

در تکنیک دروپ، مشخصه افت P-W و مشخصه افت Q-E اینورتر iام در سیستمی متشکل از چندین اینورتر موازی با روابط زیر توصیف می‌شود:

$$\omega_i = \omega_o - m_i P_i \qquad (۱-۹)$$

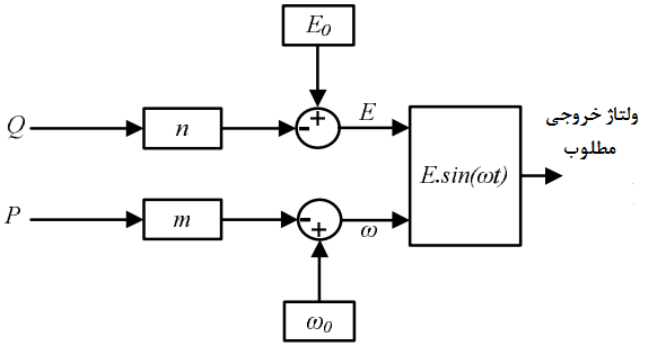
$$E_i = E_o - n_i Q_i \qquad (۲-۹)$$

که E_i و ω_i به فرکانس زاویه‌ای ولتاژ خروجی اینورتر iام اشاره دارند، E_o و ω_o نشان دهنده فرکانس زاویه‌ای و ولتاژ نامی در حالت بی‌باری هستند، m_i و n_i به ترتیب ضرایب افت

1- Droop

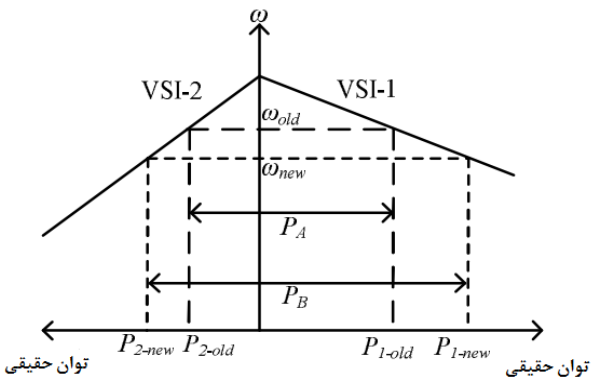
Ahwaz_Hackerz

فرکانس و ولتاژ هستند. بلوک دیاگرام کنترل دروپ در شکل ۹-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۱: بلوک دیاگرام کنترل افت کاهشی.

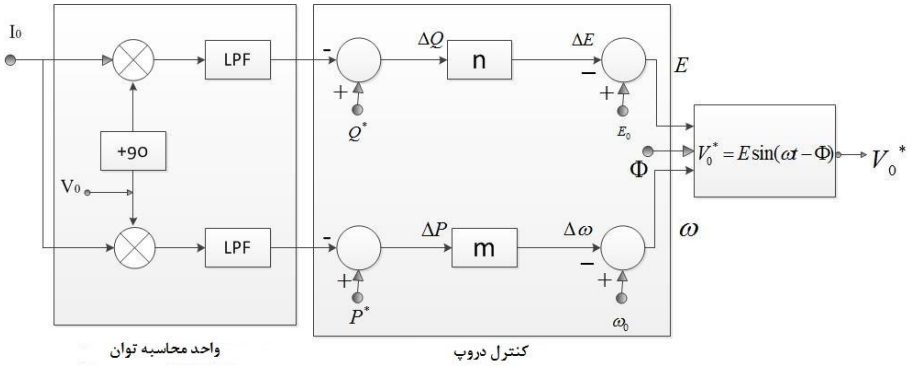
به منظور توضیح نحوه عملکرد دروپ، می‌توان شبکه‌ای شامل دو اینورتر را فرض کرد که شیب منحنی دروپ دومی بیشتر از اولی باشد، در این صورت با افزایش بار، فرکانس اینورتر دوم بیشتر افت می‌کند و ولتاژ اینورتر دوم پس فازتر از ولتاژ اینورتر اول می‌شود. پس توانی از سمت اینوتر اول به سمت اینورتر دوم حرکت کرده بنابراین توان خروجی اینورتر اول بیشتر از توان خروجی اینورتر دوم شده و افت فرکانس‌های آن‌ها باهم برابر می‌شود که این موضوع در شکل ۹-۱۲ نیز قابل مشاهده است.



شکل ۹-۱۲: مشخصه افت کاهشی توان حقیقی دو اینورتر موازی.

Ahwaz_Hackerz

نحوه عملکرد روش کنترل افتی در بلوک دیاگرام شکل ۹-۱۳ قابل مشاهده است.



شکل ۹-۱۳: بلوک دیاگرام نحوه عملکرد کنترل افت کاهشی.

۹-۲-۲-۱- مزایا و چالش‌های روش کنترل غیرمتمرکز

مزایای روش کنترل غیرمتمرکز عبارت‌اند از:

- ✓ عدم نیاز به لینک ارتباطی چون از اندازه‌گیری محلی استفاده می‌کند
- ✓ کاهش هزینه‌های راه‌اندازی یک ریزشبکه جدید
- ✓ افزایش قابلیت اطمینان
- ✓ سادگی امکان گسترش با اتصال یک ریزکنترل‌کننده به ریزشبکه بدون تغییرات در بقیه ریزکنترل‌کننده‌ها
- ✓ امکان تقسیم بار با نسبت از پیش تعیین شده بین تمام ریزمنابع

چالش‌های روش کنترل غیرمتمرکز عبارت‌اند از:

- تغییر فرکانس حالت دائم شبکه با تغییر بار اکتیو
- تغییر ولتاژ حالت دائم شبکه با تغییر بار راکتیو
- متفاوت بودن فرکانس خروجی در رفتار دینامیکی
- عدم اطلاع از وضعیت کنترل‌کننده‌های ریزمنابع از یکدیگر در یک ریزشبکه

Ahwaz_Hackerz

- بدلیل کم بودن اینرسی، ریزشبکه میرایی کمی دارد؛ بنابراین عملکرد خوبی در مقابل اغتشاشات ندارد.
- در شبکه‌های توزیع و در ریزشبکه‌ها چون R<<X نیست بنابراین فرض سلفی در نظر گرفتن خطوط که یکی از فرضیات روش کنترل افتی بود، برقرار نیست و ارتباط E-Q و W-P نیز به صورت خطی برقرار نیست.
- این روش دینامیک بار را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین به تغییرات بزرگ و سریع پاسخ مناسبی ندارد.
- این روش جریان‌های هارمونیکی را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین برای بارهای غیرخطی عملکرد مناسبی ندارد.
- در این روش چون کنترل به‌صورت محلی است، معلوم نیست که روی پایداری کل سیستم چه تأثیری می‌گذارد.
- برای بارهای غیرخطی عملکرد مناسبی ندارد.

۹-۲-۲-۳- کنترل سلسله مراتبی ریزشبکه

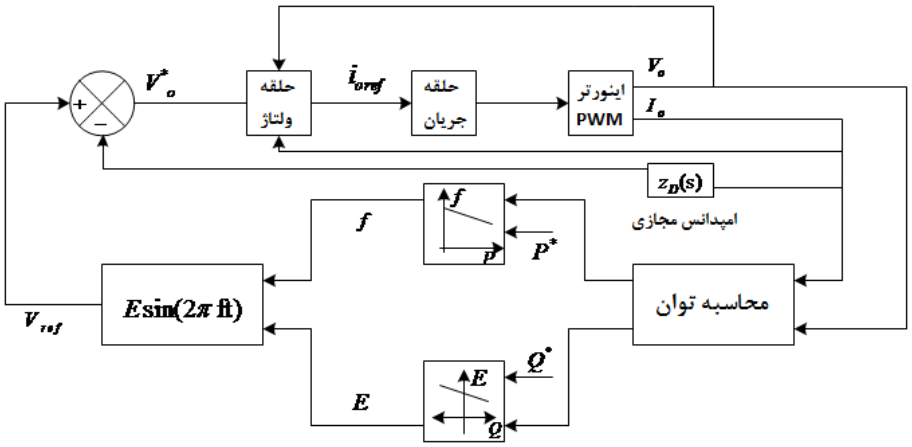
کنترل سلسله مراتبی، مصالحه‌ای بین کنترل کاملاً متمرکز و کاملاً نامتمرکز است که مانند یک سیستم قدرت سنتی سه سطح کنترل اولیه، ثانویه و ثالثیه دارد. تفاوت اصلی سطوح کنترل اولیه، ثانویه و ثالثیه در سرعت پاسخ آن‌ها و زیرساخت مورد نیاز آن‌هاست. در سیستم سلسله مراتبی با کنترل افتی، هر یک از ساختارهای اولیه، ثانویه و ثالثیه می‌توانند بر مبنای کنترل متمرکز، غیرمتمرکز یا توزیع شده پیاده‌سازی شوند.

همان‌گونه که در شکل ۹-۶ نیز نشان داده شده سرعت پاسخ سطح اولیه بیشتر از سرعت پاسخ سطح ثانویه و سرعت پاسخ سطح ثانویه بیشتر از سرعت پاسخ سطح ثالثیه است. در این قسمت، به بررسی سطوح کنترل می‌پردازیم.

Ahwaz_Hackerz

۹-۲-۲-۳-۱- کنترل اولیه

مهم‌ترین ویژگی این سطح دارا بودن بیشترین سرعت نسبت به ثانویه و ثالثیه است و روش کنترل مورد استفاده در این سطح کنترل خطی است، زیرا به سرعت عملکرد بالایی نیاز داریم. وظیفه اصلی این سطح کنترل، اطمینان پیدا کردن از دنبال کردن نقاط مرجع توسط متغیرهای محلی است. همچنین تشخیص جزیره‌ای شدن و اعمال تغییرات لازم در تنظیمات برای تعیین حالت عملکرد سیستم از کاربردهای این سطح است. نحوه عملکرد کنترل افتی در این سطح به وضوح در دیاگرام شکل ۹-۱۴ قابل مشاهده است.



شکل ۹-۱۴: نحوه عملکرد کنترل اولیه به روش کنترل افتی.

۹-۲-۲-۳-۲- کنترل ثانویه

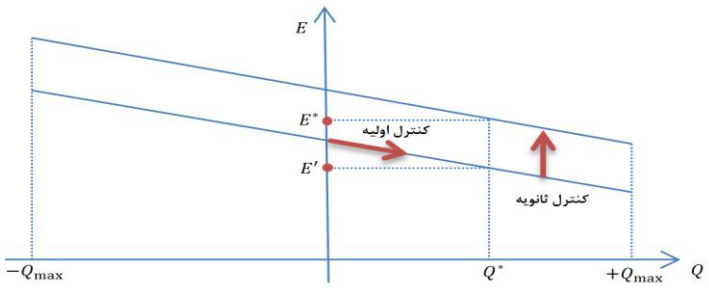
سرعت عملکرد این سطح نسبت به سطح اولیه کندتر است. برای مثال اگر سرعت پاسخ سطح اولیه را در حد ثانیه فرض کنیم، سرعت عملکرد سطح ثانویه در حد دقیقه است؛ به عبارت دیگر، کنترل ثانویه زمانی اعمال می‌شود که کنترل اولیه به حالت دائم رسیده است. در نتیجه عملاً کنترل اولیه و ثانویه از هم مجزا هستند و پهنای باند مخابراتی مورد نیاز در سطح ثانویه

Ahwaz_Hackerz

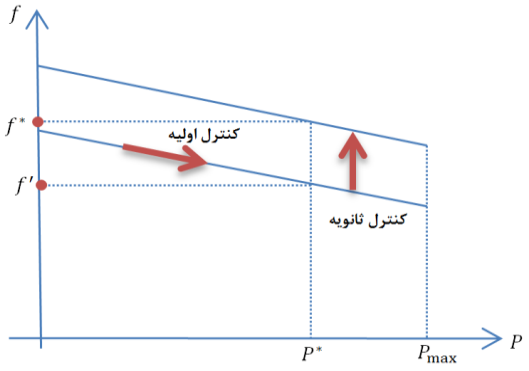
کاهش می‌یابد. وظیفه اصلی این سطح تعیین نقطه کاری مرجع برای کنترل‌کننده‌های اولیه است. در راستای این وظیفه نیاز به بستر مخابراتی بین اجزا ریزشبکه و ذخیره‌سازهای پراکنده وجود دارد. دو مورد از کاربردهای این سطح به‌صورت زیراست:

- ✓ بهبود عملکرد کیفیت توان
- ✓ جلوگیری از انحراف ولتاژ و فرکانس

نحوه عملکرد کنترل در این سطح که با جابه‌جا کردن منحنی‌های افتی قابل انجام است در شکل‌های ۹-۱۵ و ۹-۱۶ قابل مشاهده است.



شکل ۹-۱۵: نحوه عملکرد کنترل کننده ثانویه E-Q



شکل ۹-۱۶: نحوه عملکرد کنترل کننده ثانویه P-f

Ahwaz_Hackerz

۹-۲-۲-۳-۳- کنترل ثالثیه

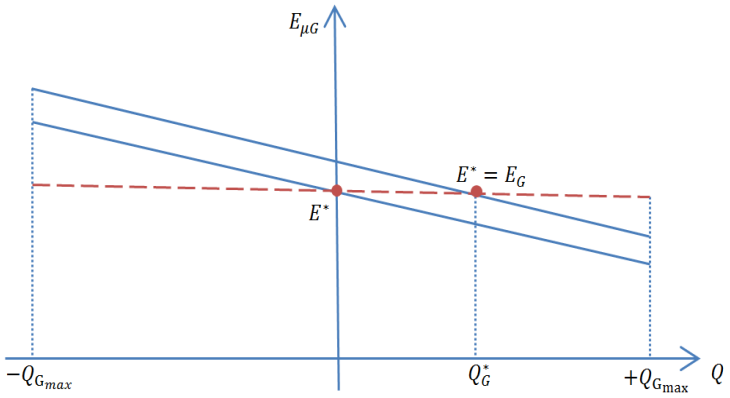
این سطح در میان بقیه سطوح از کمترین سرعت برخوردار است و بالاترین سطح کنترل را در هرم سلسله مراتبی کنترل در اختیار دارد. وظیفه این سطح تعیین نقطه کار حالت ماندگار است که این کار با توجه به در نظر گرفتن موارد زیر انجام می‌شود.

- ✓ پخش بار بهینه بر اساس اطلاعات اجزای ریزشبکه
- ✓ سیگنال‌های دریافتی از طریق بازار برق
- ✓ سایر نیازمندی‌ها

هدف اصلی این سطح رسیدن به موارد زیر است:

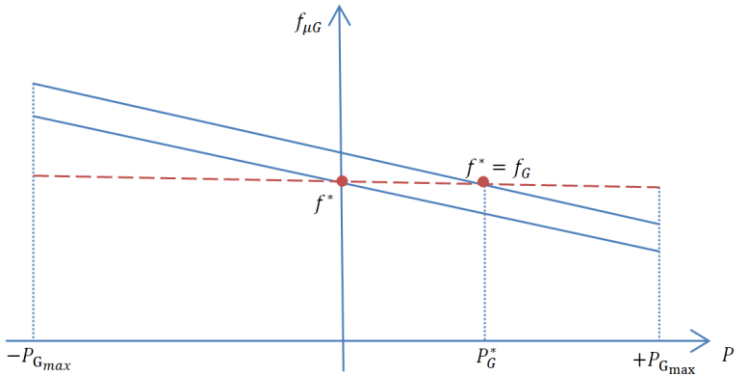
- ✓ بهینه‌سازی اقتصادی بر اساس پخش بار بهینه
- ✓ سوددهی در تبادل انرژی از دیدگاه بازار برق

اگر P_G و Q_G توان تبادل شده از ریزشبکه باشند، شکل‌های ۹-۱۷ و ۹-۱۸ نحوه عملکرد کنترل ثالثیه و تعیین نقطه کار حالت ماندگار را روی نمودار افتی مشخص می‌کند.



شکل ۹-۱۷: نحوه عملکرد کنترل کننده ثالثیه E-Q

Ahwaz_Hackerz



شکل ۹-۱۸: نحوه عملکرد کنترل کننده ثالثیه P-f

مزایای روش کنترل سلسله مراتبی عبارت‌اند از:

- ✓ عدم نیاز به لینک ارتباطی چون از اندازه‌گیری محلی استفاده می‌کند.
- ✓ کاهش هزینه‌های راه‌اندازی یک ریزشبکه جدید
- ✓ افزایش قابلیت اطمینان سیستم
- ✓ سادگی امکان گسترش با اتصال یک MC به ریزشبکه بدون تغییرات در MC و برای روش‌های وصل و کار می‌تواند برای ما مناسب باشد.
- ✓ تقسیم بار با نسبت از پیش تعیین شده بین تمام ریزمنابع

معایب روش کنترل سلسله مراتبی عبارت‌اند از:

- تغییر ولتاژ حالت دائم شبکه با تغییر بار
- متفاوت بودن فرکانس خروجی MC در رفتار دینامیکی
- عدم اطلاع از وضعیت MC ها از یکدیگر در یک ریزشبکه
- اینرسی کم و در نتیجه میرایی کم و در نتیجه در مقابل اغتشاشات عملکرد خوبی ندارد.
- در شبکه‌های توزیع و ریزشبکه‌ها R<<X نیست. در نتیجه ارتباط بین Q-E و P-W برقرار نیست.

Ahwaz_Hackerz

۹-۳- جمع‌بندی

کنترل سیستم‌های ابعاد وسیع به چهار دسته متمرکز، نامتمرکز، توزیع‌شده و سلسله مراتبی تقسیم‌بندی می‌شود که هر کدام مزایا، معایب و چالش‌های خاص خود را دارند. استراتژی کنترل و مدیریت توان در یک ریزشبکه نیز می‌تواند به یکی از روش‌های فوق انجام شود. در این بین کنترل سلسله مراتبی، مصالحه‌ای بین کنترل متمرکز و نامتمرکز است که مانند یک سیستم قدرت سنتی سه سطح کنترل اولیه، ثانویه و ثالثیه دارد. تفاوت اصلی سطوح کنترل اولیه، ثانویه و ثالثیه در سرعت پاسخ آن‌ها و زیرساخت مورد نیاز آن‌هاست. لازم به ذکر است که در کنار انتخاب مناسب استراتژی کنترلی برای ریزشبکه با توجه به شرایط بهره‌برداری و عوامل تعیین کننده دیگر، مسئله حفاظت شبکه نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است که در فصل آینده در این باره صحبت خواهد شد.

منابع و مراجع

[1] S. Chowdhury and P. Crossley, *Microgrids and Active Distribution Networks*, the Institution of Engineering and Technology, 2009.

[2] C. Yoo, I. Chung, H. Lee, S. Hong “Intelligent Control of Battery Energy Storage for Multi-Agent Based Microgrid Energy Management,” Energies, No. 6, pp. 4956-4979, 2013.

[3] H. R. Baghaee, M. Mirsalim and G. B. Gharehpetian, “Power Calculation Using RBF Neural Networks to Improve Power Sharing of Hierarchical Control Scheme in Multi-DER Microgrids,” IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, no. 4, pp. 1217-1225, Dec. 2016.

[4] H. R. Baghaee; M. Mirsalim; G. B. Gharehpetian, “Performance Improvement of Multi-DER Microgrid for Small- and Large-Signal Disturbances and Nonlinear Loads: Novel Complementary Control Loop and Fuzzy Controller in a Hierarchical Droop-Based Control

Ahwaz_Hackerz

Scheme," IEEE Systems Journal, July 2016.
[5] H. R. Baghaee, M. Mirsalim and G. B. Gharehpetian, "Real-time verification of new controller to improve small/large-signal stability and fault ride-through capability of multi-DER microgrids," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 10, No. 12, pp. 3068-3084, 2016.
[6] N. Ghardash Khani, M. Abedi, G. B. Gharehpetian and G. H. Riahy, "A New Control Method for Smoothing PMSG-based Offshore Wind Farm Output Power," Indian Journal of Science and Technology, Vol. 3, No. 4, 2014.
[7] F. Safdarian, M. M. Ardehali, G. B. Gharehpetian, "Performance of Optimal Controller of VSC-HVDC Systems in Weak Networks," to be appeared in International Journal of Modern Engineering.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

۱۰ حفاظت در ریزشبکه‌ها

۱۰-۱- مقدمه

با تکامل در صنعت برق و ظهور شبکه‌های AC، امکان انتقال توان در مسافت‌های طولانی امکان‌پذیر شده و شبکه‌های عظیم برق ایجاد شدند، که شامل خطوط انتقال، شبکه‌های توزیع و نیروگاه‌های بزرگ هستند. ایده استفاده از منابع تولید پراکنده ایده جدیدی نبوده و در ابتدای راه‌اندازی شبکه‌های برق، شبکه‌ها به‌صورت منابع تولید جهت تأمین بار محلی توسعه یافتند. در شبکه به هم پیوسته و ریزشبکه‌ها هدف ایجاد تعادل بین تولید و مصرف از طریق منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازهای انرژی به‌گونه‌ای است که نیاز به انتقال توان در مسافت‌های طولانی نباشد. امروزه عوامل دیگری نظیر پیشرفت تکنولوژی‌های تولید پراکنده، مسائل زیست محیطی و مسائل فنی نظیر قابلیت اطمینان و کیفیت توان موجب افزایش حضور تولیدات پراکنده در سیستم‌های قدرت شده است. این افزایش حضور تولیدات پراکنده و توجه به مسئله‌ی کنترل هماهنگ آن‌ها، مفهوم ریزشبکه‌ها را به‌صورت گسترده‌تری پدید آورده است. ریزشبکه‌ها به صورت معمول، سیستم‌های انرژی در سطح توزیع هستند که دارای تعدادی منبع تولید پراکنده و بار، به همراه سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی هستند. ریزشبکه‌ها می‌توانند در دو حالت متصل یا منفصل از شبکه کار کنند. همچنین یک ریزشبکه می‌تواند دارای ساختارهای مختلفی از جمله حلقوی یا شعاعی نیز باشد. تغییرات در توپولوژی شبکه می‌تواند به دلیل مسائلی همچون اجرای پروژه‌های کاهش تلفات و سایر اهداف اقتصادی و اجرایی باشد.

حفاظت یک ریزشبکه از مهم‌ترین چالش‌های عملکردی آن به شمار می‌آید و می‌بایست تمامی

Ahwaz_Hackerz

بارها، خطوط و منابع آن در حالت جزیره‌ای نیز محافظت شوند. این موضوع عمدتاً مربوط به تعداد واحدهای تولید پراکنده در ریزشبکه و جریان اتصال کوتاه کم آن در حالت عملکرد جزیره‌ای است. علاوه بر این، شرایط بهره‌برداری از ریزشبکه به علت وجود عدم قطعیت‌های موجود در عملکرد انواع مختلف منابع تولید پراکنده مانند منابع خورشیدی و بادی و همچنین تغییرات تناوبی بار، متغیر است. از این رو، در حالت متصل به شبکه هنگامی که خطایی در شبکه اصلی رخ می‌دهد، سیستم حفاظتی می‌بایست به سرعت ریزشبکه را از شبکه اصلی جدا کند ولی در حالت جزیره‌ای هنگامی که خطایی در شبکه رخ می‌دهد سیستم حفاظتی می‌بایست به سرعت کوچک‌ترین قسمت ممکن را از ریزشبکه ایزوله کند. از طرف دیگر، تقسیم‌بندی ریزشبکه یعنی جداسازی آن به چند جزیره یا ریزشبکه‌ی کوچک‌تر در هنگام خطا باید توسط ریزمنبع‌ها و کنترلرهای بارها امکان‌پذیر باشد. با توجه به موارد مطرح شده هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان متداول با تنظیمات ثابت امکان‌پذیر نیست و حفاظت اضافه جریان مرسوم نمی‌تواند برای شرایط بهره‌برداری مختلف ریزشبکه عملکرد مناسبی داشته باشد؛ بنابراین می‌بایست متناسب با شرایط بهره‌برداری از ریزشبکه، تنظیمات رله‌های اضافه جریان نیز تغییر کند. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، در این فصل ابتدا ویژگی‌های حفاظت در شبکه‌های سنتی و ریزشبکه‌ها باهم مقایسه می‌شوند. در ادامه مشکلات متعدد حفاظتی در یک ریزشبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. طرح‌های مختلف حفاظتی و همچنین حفاظت تطبیقی به عنوان یک راه حل ارائه می‌گردند. روش‌های مختلف حفاظت تطبیق و ویژگی‌ها و مزایا و معایب هر کدام نیز بررسی خواهد شد.

۱۰-۱-۱- رله‌های پرکاربرد

به منظور مطالعه‌ی مبحث حفاظت در ریزشبکه‌ها ابتدا به انواع رله‌هایی که در سیستم‌های قدرت استفاده می‌شوند اشاره می‌کنیم و سپس بعضی ویژگی‌های یک سیستم حفاظتی بیان خواهد شد.

Ahwaz_Hackerz

انواع رله‌های پرکاربرد جهت حفاظت ریزشبکه‌ها شامل موارد ذیل است که به ترتیب عبارت‌اند از:

- رله اضافه جریان
  - ✓ رله اتصال کوتاه
  - ✓ رله اتصال زمین[1]
  - ✓ رله اضافه جریان[2]
- رله اضافه یا کاهش فرکانس[3]
- رله اضافه /کاهش ولتاژ[4]
- رله حفاظت دیفرانسیل[5]: تفاضل دو کمیت را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.
- رله دیستانس[6]

برای مثال، حفاظت شبکه‌های توزیع شعاعی فشار ضعیف با بارهای پخش شده در طول فیدر که معمولاً در آن‌ها جهت توان به صورت یک طرفه است بر اساس رله‌های اضافه جریان است که با افزایش جریان مدت زمان عملکرد آن‌ها کاهش می‌یابد. در رله‌ی اضافه جریان اگر جریان از یک میزان بیشتر شود، رله متوجه شده و عمل می‌کند.

۱۰-۱-۲- شاخص‌های یک سیستم حفاظت

شاخص‌های یک سیستم حفاظتی حساسیت، سرعت و انتخاب‌گری است:

حساسیت، به معنی قدرت تشخیص و تفکیک سیستم حفاظت بین شرایط عادی و بروز خطا در شبکه است. سرعت، توانایی رله برای عمل در یک زمان خاص از پیش تعیین شده است.

1- Earth fault
2- Over current
3- Under/over frequency
4- Under/over voltage
5- Differential
6- Distance

Ahwaz_Hackerz

انتخاب‌گری، توانایی رله برای تمایز شرایطی که باید عمل کند از شرایطی که نباید عمل کند، است.

یک ریزشبکه از اجزای زیادی تشکیل شده است. به عنوان مثال از تعداد زیادی ریزشبکه کوچک‌تر که هرکدام دارای ریز منبع و کنترلر هستند تشکیل شده. با این شرایط در حفاظت ریزشبکه مشکل انتخاب‌گری (عملکرد اشتباه و تریپ غیرضروری) و حساسیت (دیده نشدن خطا یا تأخیر در تریپ) وجود دارد و احتمال عملکرد اشتباه سیستم حفاظت افزایش پیدا می‌کند.

۱۰-۲- ویژگی‌های حفاظت در شبکه‌های سنتی و ریزشبکه‌ها

تفاوتی که در حفاظت شبکه‌های سنتی و ریزشبکه‌ها وجود دارد، ناشی از تفاوت در ویژگی‌های آن‌ها است. به طور مثال شبکه سنتی، شعاعی و یک‌سویه است و در نتیجه هماهنگی تجهیزات حفاظتی ساده می‌شود. تجهیزات حفاظتی به کار گرفته شده در شبکه‌های سنتی شامل فیوز، کلید، بازبست و رله اضافه جریان می‌شوند.

جریان در ریزشبکه به صورت دوسویه است و عدم قطعیت تولید بعضی از منابع مانند توربین بادی و سلول فوتوولتائیک وجود دارد. همچنین منابع تولید پراکنده اینورتری و نیز امکان تغییر حالت کاری از متصل به منفصل و بالعکس وجود دارد. در نتیجه هماهنگی حفاظتی و طرح‌های حفاظتی پیچیده می‌شوند. در ادامه بعضی از مشکلات حفاظتی ریزشبکه‌ها بیان خواهد شد.

۱۰-۳- مشکلات حفاظتی ریزشبکه‌ها

یکی از چالش‌های عمده در ریزشبکه‌ها حفاظت این ریزشبکه ها در پاسخ به خطاها، هم در شبکه اصلی و هم در ریزشبکه است. در صورت اتفاق افتادن خطا در شبکه اصلی ریزشبکه باید بتواند خود را به سرعت از شبکه اصلی جدا کند و از بارهای موجود در ریزشبکه در مقابل خطا محافظت نماید. این عمل برای بارهای موجود در ریزشبکه بسیار ضروری است. درصورتی‌که

Ahwaz_Hackerz

خطا درون ریزشبکه اتفاق افتاده باشد باید به سرعت قسمتی که در آن خطا اتفاق افتاده از ریزشبکه جدا گردد.

با توجه به مقدمه بیان‌شده و اینکه برنامه‌ریزی حفاظتی ریزشبکه‌ها با شبکه‌های سنتی متفاوت است، در بخش حاضر مشکلاتی که در ریزشبکه‌ها باعث پیچیدگی برنامه‌ریزی حفاظتی می‌شود، بیان خواهد شد.

۱۰-۳-۱- کاهش جریان خطا

سطح اتصال کوتاه شبکه شاخصی از تأثیر خطاها بر دامنه جریان اتصال کوتاه ارائه می‌کند. میزان افزایش دامنه جریان ناشی از خطا در شبکه سراسری قابل توجه است و به عنوان معیار اساسی در کارکرد رله‌های جریان زیاد استفاده می‌شود. این امر درخصوص شبکه‌های حاوی منابع تولید پراکنده و ریزشبکه‌ها با مشکلات زیر توأم است:

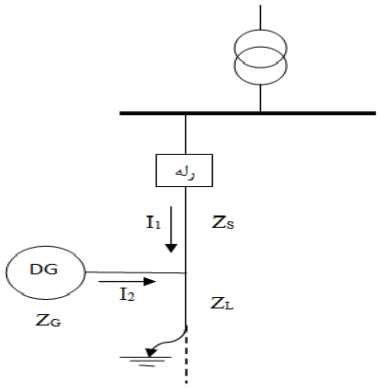
۱. تولید دامنه‌ای از جریان خطا که نسبت به جریان عادی سیستم قابل تشخیص باشد، نیازمند وجود منبع قدرتمندی است که جریان خطای بزرگی را تا لحظه کارکرد رله جریان زیاد تغذیه کند. این ویژگی در خصوص بیشتر منابع تولید پراکنده صدق نمی‌کند. این‌گونه منابع علاوه بر توان پایین‌تر دارای واسطهای الکترونیک قدرت نیز هستند که جریان خروجی آن‌ها را محدود می‌سازد. برای نمونه، در صورتی که آرایه‌های خورشیدی متعددی در بخشی از شبکه نصب شود، به دلیل وجود مبدل‌های الکترونیک قدرت، افزایش جریان محسوسی ناشی از خطا به وجود نمی‌آید. رله‌های جریان زیاد معمولی در این حالت حفاظت مؤثری نخواهند داشت.

۲. پراکنده بودن منابع در سطح ریزشبکه سبب کاهش حساسیت و سرعت عملکرد رله‌ها می‌شود.

با حضور منابع تولید پراکنده، امپدانس خطا به دلیل ایجاد مسیرهای موازی در شبکه ممکن است کاهش یابد که این امر موجب افزایش جریان خطا می‌شود. افزایش جریان خطا سبب رسیدن آسیب بیشتر به تجهیزات می‌شود.

Ahwaz_Hackerz

از طرف دیگر، همین امر می‌تواند باعث عدم تشخیص خطا به وسیله رله جریان زیاد شود. به منظور بررسی این مسئله فیدر توزیع شکل ۱۰-۱ را در نظر بگیرید که دارای یک اتصال منبع تولید پراکنده است.



شکل ۱۰-۱: عدم تشخیص رله جریان زیاد با وجود منبع تولید پراکنده و ایجاد مسیر موازی.

در حالتی که منبع تولید پراکنده در مدار شکل ۱۰-۱ نباشد، داریم:

$$E = (Z_S + Z_L)\, I_k \qquad (۱-۱۰)$$

که I_k جریان اتصالی دیده شده به وسیله رله و E ولتاژ معادل سمت منبع است، به عبارت دیگر:

$$I_K = \frac{E}{Z_S + Z_L} \qquad (۲-۱۰)$$

با فرض ورود منبع تولید پراکنده به مدار و اینکه افت ولتاژ در شبکه فشار ضعیف وجود نداشته باشد، خواهیم داشت:

$$E = \left(\frac{Z_G Z_S}{Z_G + Z_S} + Z_L\right) I \qquad (۳-۱۰)$$

که $I = I_1 + I_2$ روی شکل ۱۰-۱ مشخص شده است؛ بنابراین، جریان اتصال کوتاه دیده شده

Ahwaz_Hackerz

به وسیله رله در این حالت برابر است با I_1 که با انجام دادن محاسبات ساده‌ای به دست می‌آید:

$$I_1 = \frac{Z_G(Z_S + Z_L)}{Z_S(Z_L + Z_S) + Z_L Z_G} \times I_k \qquad (۴-۱۰)$$

در صورتی که فرض کنیم $Z_G=aZ_S$ و $Z_L=bZ_S$ آنگاه خواهیم داشت:

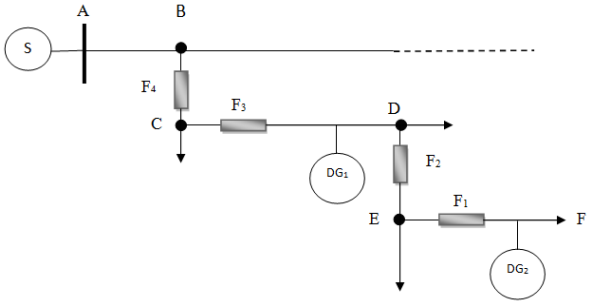
$$\frac{I_1}{I_k} = \frac{a+ab}{a+b+ab} \qquad (۵-۱۰)$$

از آنجایی که عبارت به دست آمده همواره کوچک‌تر از یک است، می‌توان ادعا کرد که وجود منبع تولید پراکنده در مدار باعث کاهش جریان اتصالی در ابتدای فیدر شده است. میزان کم شدن جریان وابسته به محل قرار گرفتن منبع تولید پراکنده و اندازه آن است و در نتیجه عدم تشخیص خطا به وسیله رله جریان زیاد در برخی موارد دور از انتظار نخواهد بود؛ به عبارت دیگر، رله جریان زیاد فقط کسری از کل جریان واقعی خطا را می‌بینند.

بر اساس مطالب مذکور، تأثیرات تولید پراکنده بر حفاظت جریان زیاد به صورت تغیر جهت و تغیر دامنه جریان خطا مشهود و قابل‌بررسی است. به منظور بررسی بیشتر این امر شکل ۱۰-۲ را در نظر بگیرید که هماهنگی بین فیوزهای F_4,F_3,F_2,F_1 را نشان می‌دهد. به منظور بررسی اثر منابع تولید پراکنده[1] DG_1 و DG_2 بر جهت جریان خطا و هماهنگی فیوزها، فرض کنید خطاهایی در قسمت CD و AB رخ دهد. با بروز خطا در CD فیوزهای F_4,F_3 جریان خطای مستقیم را می‌بینند، درحالی‌که با ایجاد خطا در AB این فیوزها جریان خطای معکوس را اندازه می‌گیرند. از طرف دیگر، با وقوع خطا در قسمت DE فیوز F_2 نسبت به فیوز F_3 دامنه جریان بیشتری را می‌بیند، درحالی‌که با بروز خطا در قسمت BC فیوز F_3 دامنه جریان بیشتری را نسبت به فیوز F_2 می‌بیند. در وضعیت اول جریان به سمت پایین و در وضعیت دوم جریان به سمت بالا است.

1- Distributed Generation

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۰-۲: اثر تولید پراکنده بر روی هماهنگی فیوزها.

۱۰-۳-۲- حضور DGهای متصل شده به شبکه از طریق اینورتر

حضور DGهای اینورتری در ریزشبکه سبب می‌شود که جریان خطا به ۱/۲ الی ۲ در مقیاس پریونیت محدود شود، زیرا اینورتر خود جریان خطا را محدود کرده و سبب می‌شود رله‌ها عمل نکنند؛ بنابراین حضور این نوع از تولیدات پراکنده سبب بروز مشکلات حفاظتی در هماهنگی رله‌های جریان زیاد می‌شود. میزان بروز این مشکلات به اندازه، نوع، محل نصب و اثر عدم قطعیت تولیدات پراکنده بستگی خواهد داشت. برای رفع این مشکلات استاندارد IEEE 1547 ملزم می‌کند که DG بعد از وقوع خطا و قبل از عملکرد ادوات حفاظتی، سریعاً از شبکه خارج گردد. این راه‌حل به دلیل نادیده گرفتن اهداف اتصال DG چندان مورد توجه قرار نگرفته و مهندسین طی سال‌های اخیر راه‌حل‌هایی را برای رفع مشکلات فوق پیشنهاد داده‌اند. برخی از این روش‌ها به‌خصوص حفاظت تطبیقی در ادامه به تفضیل توضیح داده خواهند شد.

۱۰-۳-۳- تغییر جریان خطا با تغییر حالت عملکرد ریزشبکه

هنگامی که ریزشبکه در حالت جزیره‌ای عمل می‌کند، سطح کلی توان پایین آمده و بنابراین تنظیم رله‌های تک تنظیم و هماهنگی آن‌ها دشوار می‌شود.

۱۰-۳-۴- کاهش مدت زمان مجاز رفع خطا

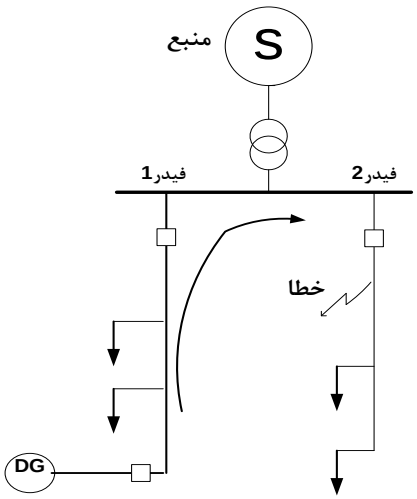
در سیستم‌های سنتی فاصله بین تولید و مصرف زیاد است، بنابراین با بروز خطا به دلیل

Ahwaz_Hackerz

دینامیک اجزاء و دور بودن آن‌ها از یکدیگر زمان مجاز رفع خطا بیشتر است. در حالی که در ریزشبکه‌ها چون ابعاد کم است، فاصله DG ها تا مصرف کم و همچنین دینامیک‌ها سریع است، در نتیجه زمان مجاز رفع خطا کاهش می‌یابد و فرصت کمتری برای رفع خطا وجود دارد.

۱۰-۳-۵- قطع شدن اشتباه رله

این مشکل در شبکه‌های دارای DG بسیار به چشم می‌خورد. عملکرد اشتباه رله همانطور که گفته شد، یعنی اینکه رله برای خطا در محدوده‌ای غیر از محدوده خود عمل کند. مطابق شکل ۱۰-۳ اگرچه خطا در فیدر ۲ رخ می‌دهد ولی رله موجود در فیدر ۱ به علت جریان خطای عبوری از آن عمل کرده درحالی‌که فیدر ۱ نباید از مدار قطع می‌شد. مسئله عملکرد اشتباه رله‌ها را می‌توان با گذاشتن رله جهت‌دار بر طرف کرد، ولی باید این مورد را نیز در نظر گرفت که رله‌های جهت‌دار دارای سرعت کمتری نسبت به رله‌های معمولی هستند و از نظر هزینه نیز گران‌تر هستند و بنابراین زیاد مورد توجه نیستند.

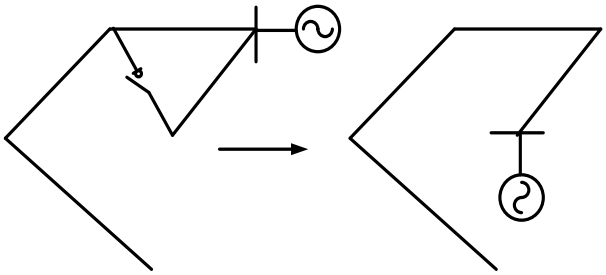


شکل ۱۰-۳: عملکرد رله برای خطایی خارج از ناحیه خود.

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۳-۶- تغییر توپولوژی ریزشبکه‌ها

در ریزشبکه‌ها شبکه شعاعی نیست و دو سویه است و دارای کلیدهایی است که جهت توان را تغییر می‌دهند، بنابراین با توجه به شرایط، یک سری از کلیدها تغییر وضعیت داده و مشابه شکل ۱۰-۴ توپولوژی سیستم تغییر می‌کند. با توجه به این شکل، حفاظت دو سیستم نشان داده شده متفاوت است.



شکل ۱۰-۴: تغییر توپولوژی ریزشبکه با تغییر یک کلید هوشمند.

۱۰-۳-۷- کاهش برد رله‌های دیستانس

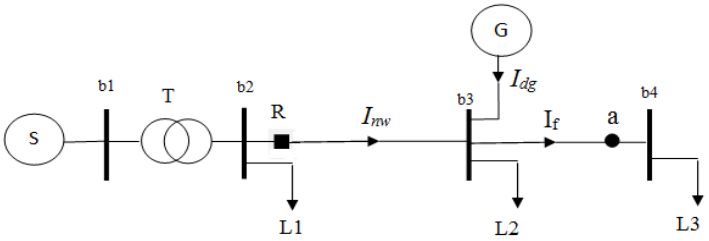
برد رله دیستانس، حداکثر فاصله‌ای است که خطا تا آن فاصله به وسیله رله تشخیص داده می‌شود. فاصله خطا نیز متناظر با امپدانس یا جریان خطا خواهد بود. بر اساس شکل ۱۰-۵ ولتاژی را که رله دیستانس R به ازای اتصال کوتاه واقع در نقطه a اندازه می‌گیرد با رف نظر کردن از جریان‌های بار در مقابل جریان خطا، می‌توان محاسبه کرد:

$$V_R = Z_{3-a}\left(I_{dg} + I_{nw}\right) + Z_{2-3} I_{nw} \qquad (۱۰-۶)$$

که $Z_{2\text{-}3}$ مقدار امپدانس بین باس b_3 و محل خطای a است. مقدار ولتاژ طبق رابطه ۱۰-۶ با وجود منبع تولید پراکنده در باس b_3 افزایش می‌یابد؛ بنابراین امپدانس دیده‌شده به وسیله رله معادل است با:

Ahwaz_Hackerz

$$Z_R = \frac{V_R}{I_{nw}} = Z_{2-3} + Z_{3a} + \frac{I_{dg}}{I_{nw}} Z_{3-a} \qquad (۷-۱۰)$$



شکل ۱۰-۵: اثر تولید پراکنده بر روی کارکرد رله دیستانس.

بنابراین امپدانس دیده‌شده با وجود منبع تولید پراکنده بیشتر از مقدار واقعی تنظیم‌شده خواهد بود. به عبارت دیگر، رله به ازای خطاهای دورتر از برد واقعی خود عمل می‌کند. تغییر برد رله دیستانس ناشی از منابع بین‌راهی را در طراحی سیستم حفاظتی دیستانس می‌توان در نظر گرفت. امپدانس ظاهری دیده شده با حضور منبع تولید پراکنده نسبت به مقدار کسر I_{dg}/I_{nw} تغییر می‌کند؛ بنابراین، استفاده از حفاظت تطبیقی، به طوری که تنظیم رله نسبت به پارامتر مذکور تغییر کند، راه‌حل دیگری به منظور تصحیح برد رله با وجود تولید پراکنده خواهد بود.

۱۰-۳-۸- تأثیر توان دو جهته بر پروفیل ولتاژ خط

شبکه توزیع معمولاً به منظور انتقال توان یک‌سویه به صورت شعاعی طراحی می‌شود. از این ویژگی در طراحی سیستم‌های حفاظتی استاندارد جریان زیاد جهت‌دار استفاده می‌شود. این وضعیت با وجود منبع تولید پراکنده روی فیدرهای توزیع تغییر پیدا می‌کند و امکان تغییر جهت شارش توان دور از انتظار نخواهد بود. تغییر جهت شارش بار در طراحی سیستم حفاظتی، به ویژه شبکه‌های حاوی تولید پراکنده و ریزشبکه‌ها، باید موردتوجه قرار گیرد. یکی دیگر از مواردی که لازم است لحاظ شود، تولید گرادیان معکوس ولتاژ ناشی از پخش بار

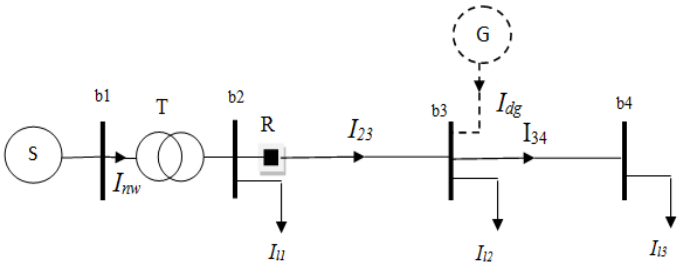
Ahwaz_Hackerz

معکوس است.

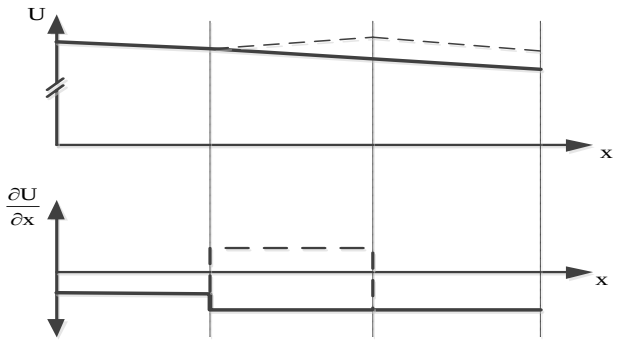
تأثیر منبع تولید پراکنده بر پروفیل ولتاژ فیدر توزیع به صورت افزایش یا کاهش ولتاژ برابر با ΔV قابل توصیف است:

$$\Delta V = \frac{P_{dg} R_{th} + Q_{dg} X_{th}}{V_n} \qquad (۸-۱۰)$$

که V_n ولتاژ نامی سیستم، $R_{th} + jX_{th}$ امپدانس معادل فیدر و $P_{dg} + jQ_{dg}$ توان خروجی تولید پراکنده است. در شکل ۱۰-۷ نمونه‌ای از تغییرات پروفیل ولتاژ با حضور و عدم حضور تولید پراکنده (شکل ۱۰-۶) نشان داده شده است. در وضعیت نشان داده شده جهت پخش بار (و جهت جریان متناظر) بین باس b_2 و b_3 تغییر کرده است که با تغییر علامت گرادیان ولتاژ در نمودار شکل ۱۰-۷ همراه است.



شکل ۱۰-۶: حضور یا عدم حضور منبع تولید پراکنده.



شکل ۱۰-۷: تغییر جهت گرادیان ولتاژ در فیدر توزیع ناشی از حضور تولید پراکنده.

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۳-۹- جزیره‌ای شدن ریزشبکه‌ها و منابع تولید پراکنده

یکی از شرایطی که می‌تواند حفاظت سیستم توزیع را پیچیده کند جزیره‌ای شدن منابع تولید پراکنده است که عموماً درنتیجه خطا یا اغتشاش در کارکرد سیستم رخ می‌دهد که امری نامطلوب است. از طرف دیگر، جزیره‌ای شدن ریزشبکه‌ها به عنوان بخشی از عملکرد حفاظت مطلوب ریزشبکه تلقی می‌شود. درخصوص ریزشبکه‌ها، ازآنجایی‌که ظرفیت تولید پراکنده به منظور تأمین بارهای محلی ریزشبکه کافی است، عملکرد جزیره‌ای می‌تواند در بازیابی وضعیت مطلوب و تأمین قابلیت اطمینان بسیار بالا مفید واقع شود.

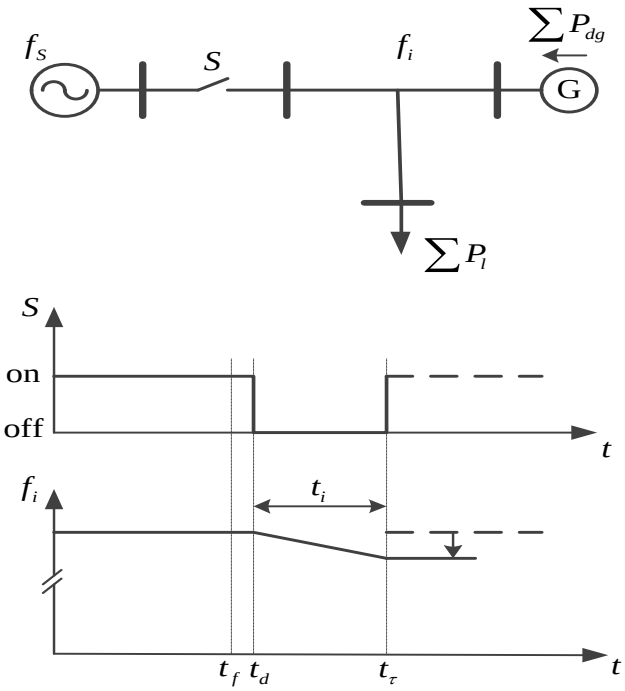
۱۰-۳-۹-۱- جزیره‌ای شدن منابع تولید پراکنده

یک جزیره، منطقه‌ای شامل یک یا چند واحد تولید پراکنده است که در اثر باز شدن کلید ارتباط‌دهنده جزیره با شبکه قدرت در نقطه اتصال مشترک به طور جدا از شبکه به تغذیه بارها ادامه می‌دهد. این وضعیت در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است. بنا بر دلایل فنی و اجرایی، کارکرد طولانی یک جزیره با تغذیه‌ی یک منبع تولید پراکنده به طورکلی غیرقابل‌قبول فرض شده است. شایان ذکر است درصورتی‌که جزیره در قالب ریزشبکه باشد، کارکرد طولانی‌مدت آن با توجه به توانایی کنترل ولتاژ و فرکانس مستقل از شبکه قابل‌قبول خواهد بود؛ بنابراین، زمانی که منبع تولید پراکنده از شبکه جدا شود و به صورت جزیره‌ای درآید، به سیستم حفاظتی نیاز است تا جزیره‌ای شدن را آشکار سازد.

عملکرد جزیره‌ای تولید پراکنده با از دست رفتن وضعیت سنکرون نسبت به شبکه سراسری شروع می‌شود. قبل از حالت جزیره‌ای، کنترل ولتاژ و فرکانس به طور کامل به وسیله شبکه سراسری صورت می‌گیرد و پس از آن تولید پراکنده از این نظر خودمختار است. ژنراتورهای کوچک که به عنوان منبع تولید پراکنده استفاده می‌شوند معمولاً دارای قابلیت کنترل ولتاژ نیستند و بنابراین، مقدار ولتاژ پس از جزیره‌ای شدن نامشخص خواهد بود. در این حالت، فرکانس نیز به دلیل عدم تعادل بین تولید و مصرف و بدون کنترل ولتاژ ناپایدار می‌شود و

Ahwaz_Hackerz

خطرهایی را متوجه تجهیزات می‌سازد.



شکل ۱۰-۸: جزیره‌ای شدن و اتصال مجدد تولید پراکنده به سیستم توزیع.

برخی از خطاها مانند خطاهای دارای قوس پس از مدت زمان کوتاهی خودبه‌خود برطرف می‌شوند. در این حالت، به نظر می‌رسد اتصال مجدد منبع تولید پراکنده به صورت آنی به وسیله سیستم حفاظتی مطلوب باشد. با وجود این، این استراتژی دارای دو اشکال عمده است:

۱. تغذیه جریان خطا از طریق تولید پراکنده باعث ادامه قوس و ناموفق بودن سیستم حفاظتی می‌شود.

۲. در بخش جزیره‌ای شدن شبکه امکان تغییر فرکانس به دلیل عدم تعادل توان اکتیو وجود دارد؛ بنابراین، وصل مجدد جزیره به شبکه در طراحی سیستم حفاظتی مطلوب حائز اهمیت است. این فاصله زمانی با t_i در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است. مقدار معمول t_i با وجود منبع

Ahwaz_Hackerz

تولید پراکنده در شبکه بزرگ‌تر از یک ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

تغییرات فرکانس در مدت زمان جزیره‌ای شدن تولید پراکنده را می‌توان متناظر با روابط زیر، خطی در نظر گرفت و بر اساس آن، حفاظت مطلوب را برای اتصال مجدد تولید پراکنده طراحی کرد:

$$\Delta P = \sum P_{dg} - \sum P_l \qquad (۹-۱۰)$$

که ΔP مقدار عدم تعادل بین توان‌های اکتیو بار و تولید پراکنده را در حالت جزیره‌ای نشان می‌دهد. با فرض ثابت بودن اینرسی ژنراتور H، توان نامی S_n و فرکانس سیستم قبل از جزیره شدن f_s خواهیم داشت:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P f_S}{2 S_n H} \qquad (۱۰-۱۰)$$

بنابراین، تغییر فرکانس برابر خواهد بود با:

$$\Delta f = \frac{\Delta P f_S}{2 S_n H} \times t_i \qquad (۱۱-۱۰)$$

در فرایند جزیره‌ای شدن و اتصال مجدد نشان داده شده در شکل ۱۰-۸ فرض می‌شود $\Delta P<0$ است و فرکانس سیستم در بخش جزیره‌ای شدن کاهش یافته است. تشخیص جزیره‌ای شدن و حفاظت‌های مورد نیاز جزو مباحث نوین و پیچیده است و چالش‌های زیادی را به دنبال داشته است.

ریزشبکه ها عموماً ظرفیت تولید کمتر از ۱۰ مگا ولت‌آمپر را دارند که در مقایسه با ظرفیت تولید شبکه سراسری بسیار ناچیز است. همچنین میزان تولید در ریزشبکه بخش عمده مصرف آن را پوشش می‌دهد. بر اساس موارد مذکور و همچنین محدودیت‌های اجرائی و فنی موجود، حفاظت ریزشبکه در ارتباط با جزیره‌ای شدن موارد زیر را مد نظر قرار می‌دهد:

۱. لازم است سرعت عملکرد حفاظتی به منظور حفظ پایداری ریزشبکه مناسب باشد. تأکید می‌شود که ریزشبکه دارای اینرسی پایینی است و پایداری آن در مدت زمان بسیار کمتری نسبت به شبکه‌های بزرگ ممکن است به خطر بیافتد.

Ahwaz_Hackerz

۲. جزیره‌ای شدن فقط در صورت لزوم رخ می‌دهد و باید از عملکرد جزیره‌ای غیرضروری پرهیز شود.

۳. جزیره‌ای شدن در شرایط دیگری به‌جز وقوع خطا ممکن نیست صورت گیرد. شرایطی مانند ولتاژ کم، قطع فاز و متعادل نبودن ولتاژ به عنوان نمونه قابل ذکر است.

۴. شرایط ویژه ریزشبکه‌هایی که در حال فروش تولید اضافی خود به شبکه سراسری هستند، باید لحاظ شود.

۵. سنکرون کردن ریزشبکه با شبکه سراسری پس از اتصال مجدد می‌تواند به طور خودکار یا دستی صورت پذیرد. در هر دو حالت، تطبیق فرکانس و ولتاژ ریزشبکه با شبکه سراسری کاملاً ضروری خواهد بود.

جزیره‌ای شدن ریزشبکه با در نظر گرفتن موارد یاد شده در قالب سناریوهای زیر طبقه‌بندی می‌شود:

۱. جزیره‌ای شدن به دلیل جداسازی سریع ریزشبکه از فیدر دارای خطا

۲. جلوگیری از جزیره‌ای شدن غیرضروری

۳. جزیره‌ای شدن به دلایلی غیر از خطا

۴. جزیره‌ای شدن ریزشبکه صادرکننده

۵. سنکرون‌سازی ریزشبکه با شبکه سراسری

سناریوهای مذکور در ادامه به اجمال بررسی می‌شوند.

الف. جزیره‌ای شدن به دلیل جداسازی سریع ریزشبکه از فیدر دارای خطا: یکی از مهم‌ترین اهداف طراحی ریزشبکه‌ها ایجاد قابلیت اطمینان بسیار بالا و جلوگیری از قطعی بارها در زمان خاموشی سراسری است؛ بنابراین، سیستم حفاظتی شبکه باید قادر باشد به محض وقوع خطا، ریزشبکه را به حالت جزیره‌ای درآورد. سرعت جزیره‌ای شدن می‌بایست به‌قدری زیاد باشد که بارهای حساس ریزشبکه افت ولتاژ زیادی را حس نکنند. ادوات حفاظتی بسیار سریع با

Ahwaz_Hackerz

فن‌آوری پیشرفته این امر را امکان‌پذیر ساخته‌اند.

ب. جلوگیری از جزیره‌ای شدن غیرضروری: حفظ اتصال بین ریزشبکه و شبکه سراسری به لحاظ فنی و اجرایی بسیار مطلوب است و تا حد امکان از جزیره‌ای شدن ریزشبکه باید جلوگیری شود. با این حال، جزیره‌ای شدن در صورت وقوع خطا اجتناب ناپذیر خواهد بود. ادوات حفاظتی که وظیفه قطع اتصال ریزشبکه را در مواقع ضروری به عهده دارند، در صورت کارکرد نادرست ممکن است باعث جزیره‌ای شدن غیرضروری شوند. کارکرد نادرست ادوات و رله‌های حفاظتی در فناوری‌های پیچیده دیجیتال و میکروپروسسوری نیز علاوه بر رله‌های الکترومکانیکی مطرح است. الگوریتم‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در نقطه اتصال مشترک عامل تعیین‌کننده برای جلوگیری از جزیره‌ای شدن غیرضروری است؛ بنابراین، ساده بودن الگوریتم‌های حفاظتی ریزشبکه و تصمیم‌گیری رله‌ها صرفاً بر اساس اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس یکی از علل جزیره‌ای شدن غیرضروری است. با این حال، پیچیده کردن سیستم حفاظتی ریزشبکه به دلایل فنی و اقتصادی مطلوب نیست و در بسیاری از موارد الگوریتم‌های ساده‌تر علی‌رغم ایجاد کارکرد غیرضروری ترجیح داده می‌شوند.

ج. جزیره‌ای شدن به دلایلی غیر از خطا: کاهش ولتاژ می‌تواند نشانه‌ای از بروز خطا باشد. با این حال، شرایط دیگری غیر از خطا نیز می‌تواند باعث کاهش ولتاژ شوند. تشخیص این امر در خصوص خطاهایی که بین نقطه اتصال مشترک و پست بالادستی رخ می‌دهند، فقط با اندازه‌گیری ولتاژ بسیار مشکل است. سیستم حفاظتی به طورکلی دو راه‌حل را در این حالت در نظر می‌گیرد:

۱- استفاده از رله‌ها و بستر مخابراتی با پاسخ سریع که انتقال آنی اطلاعات را بین شبکه و ریزشبکه ممکن می‌سازند. در این حالت، می‌توان کارکرد رله‌های ولتاژ کم را تا رسیدن به سطح معینی از ولتاژ به وسیله‌ی عنصر بازدارنده محدود ساخت.

Ahwaz_Hackerz

۲- پذیرفتن احتمال جزیره‌ای شدن غیرضروری و استفاده از حفاظت ساده و ارزان که طبق دلایل بحث شده در (ب) قابل توجیه خواهد بود.

از طرف دیگر، درصدی از عدم تعادل ولتاژ در شرایط عادی شبکه وجود دارد. این امر با توجه به میزان حساسیت ادوات حفاظتی استفاده شده باید در طراحی حفاظت ریزشبکه مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی، حساسیت ادوات حفاظتی ریزشبکه بسیار بیشتر از ادوات مربوط به شبکه سراسری است. همچنین، تشخیص اینکه عدم تعادل از داخل ریزشبکه نشئت می‌گیرد یا عامل بیرونی دارد، بسیار مشکل است.

د. جزیره‌ای شدن ریزشبکه صادرکننده: درصورتی‌که توان تولیدی از اوج بار مصرفی ریزشبکه بیشتر باشد، تولید اضافی به شبکه فروخته می‌شود. در این حالت، نسبت امپدانس ریزشبکه به نسبت امپدانس شبکه سراسری نزدیک‌تر می‌شود. این یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های بین ریزشبکه صادرکننده برق و ریزشبکه واردکننده برق است. درنتیجه، تغییرات ولتاژ ناشی از خطا در ریزشبکه صادرکننده تفاوت چشمگیری نسبت به ریزشبکه واردکننده خواهد داشت. طراحی سیستم حفاظتی و کنترلی در دو نوع ریزشبکه مذکور از الگوریتم‌های متفاوتی تبعیت می‌کند. از طرف دیگر، سیستم حفاظتی ریزشبکه صادرکننده نسبت به اصول حفاظت عادی شبکه سراسری که تا حدی در خصوص ریزشبکه‌های واردکننده اعمال می‌شود، کاملاً متفاوت است.

ه. سنکرون‌سازی ریزشبکه با شبکه سراسری: درصورتی‌که ریزشبکه فقط دارای یک ژنراتور باشد، سنکرون کردن آن با شبکه از طریق رله‌ها و الگوریتم‌های کنترلی به صورت دستی یا خودکار انجام می‌شود. فرایند سنکرون‌سازی در خصوص مبدل‌های الکترونیک قدرت مربوط به منبع تولید پراکنده نیز همانند ژنراتورهای سنکرون باید انجام پذیرد. انتخاب بین روش دستی یا خودکار اختیاری است و به امکانات موجود بستگی خواهد داشت. با این حال، در صورتی که چندین منبع تولید پراکنده در مکان‌های مختلف وجود داشته باشند، سنکرون‌سازی آن‌ها به

Ahwaz_Hackerz

صورت خودکار به وسیله کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه انجام می‌شود.

۱۰-۴- الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب واحد تولید پراکنده در ریزشبکه از نظر حفاظتی

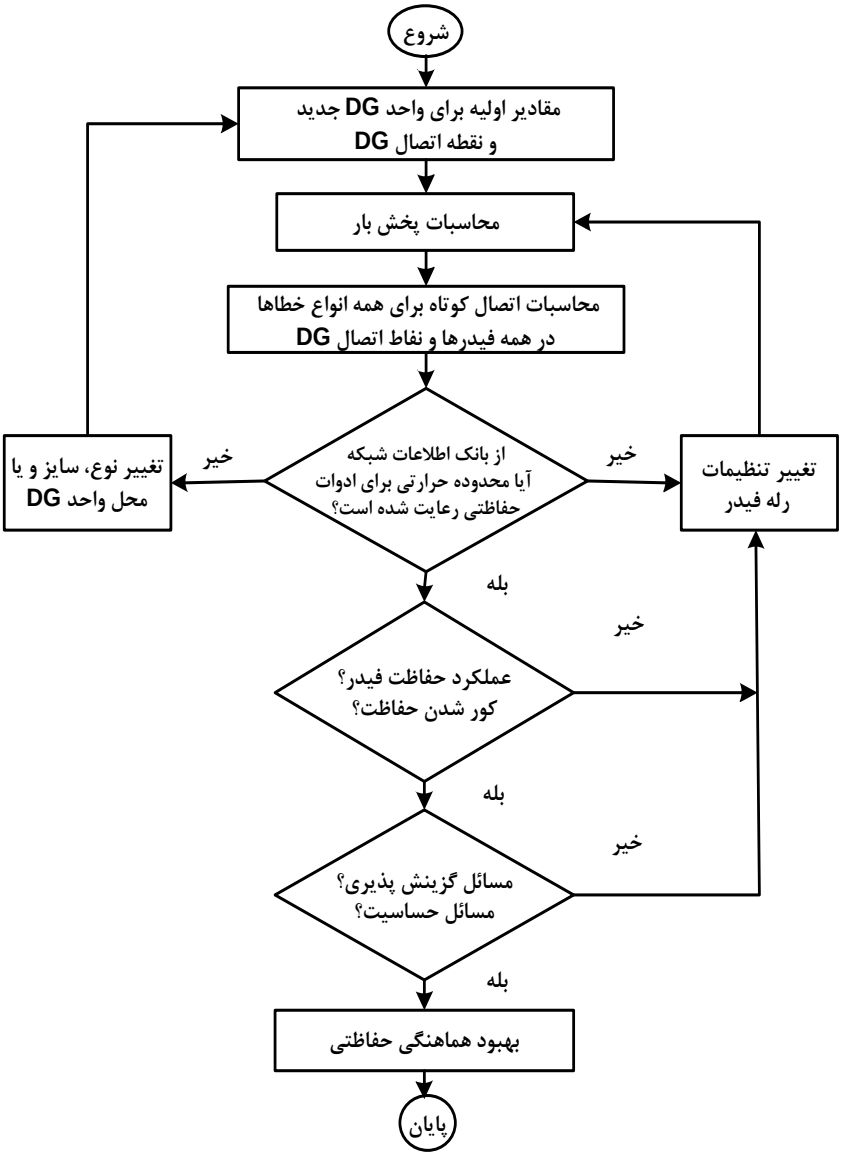
در شکل ۱۰-۹ الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب واحد تولید پراکنده در ریزشبکه از نظر حفاظتی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ابتدا مقادیر اولیه برای واحدهای DG و نقاط اتصال با توجه به وضعیت شبکه تعیین می‌شود. در فاصله‌های زمانی معین محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه برای همه انواع خطاها در فیدرهای مختلف و نقاط اتصال DG صورت می‌گیرد. اگر اطلاعات حاصله از پخش بار و اتصال کوتاه از نظر محدوده حرارتی با اطلاعات موجود در بانک مغایرت داشته باشد، تنظیمات رله‌ها یا نوع و محل DGهای موجود باید تغییر کند. اگر اطلاعات مغایرت نداشت، عملکرد حفاظت فیدر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

اگر ناحیه حفاظت رله کور شده باشد، تنظیمات رله باید تغییر کرده و محاسبات پخش بار دوباره صورت گیرد. اگر ناحیه حفاظت رله کور نشده باشد، حساسیت رله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر رله حساسیت مناسبی نداشته باشد، تنظیمات رله تغییر داده خواهد شد و محاسبات پخش بار دوباره صورت می‌گیرد. اگر حساسیت رله مناسب باشد، در این مرحله هماهنگی بهبود داده شده است.

۱۰-۵- طرح‌های حفاظتی در ریزشبکه‌ها

آسان‌ترین روش برای از بین بردن مشکلات ناشی از حفاظت ریزشبکه‌ها تغییر ادوات و تنظیمات حفاظتی است. از آنجا که با اتصال DG سطح جریان اتصال کوتاه افزایش می‌یابد، لذا نیاز خواهد بود با تغییر المان‌های حفاظتی مقادیر نامی آن‌ها افزایش داده شود. این کار باعث می‌شود که مقدار جریان اتصال کوتاه در محدوده مجاز باقی بماند.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۰-۹: الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب واحد تولید پراکنده در ریزشبکه از نظر حفاظتی.

از طرفی رله‌های موجود در شبکه که تک جهته بودند جای خود را به رله‌های جهت‌دار می‌دهند، لذا رله‌های ابتدای فیدر تنها برای یک جهت جریان پاسخ خواهند داد و از عملکرد

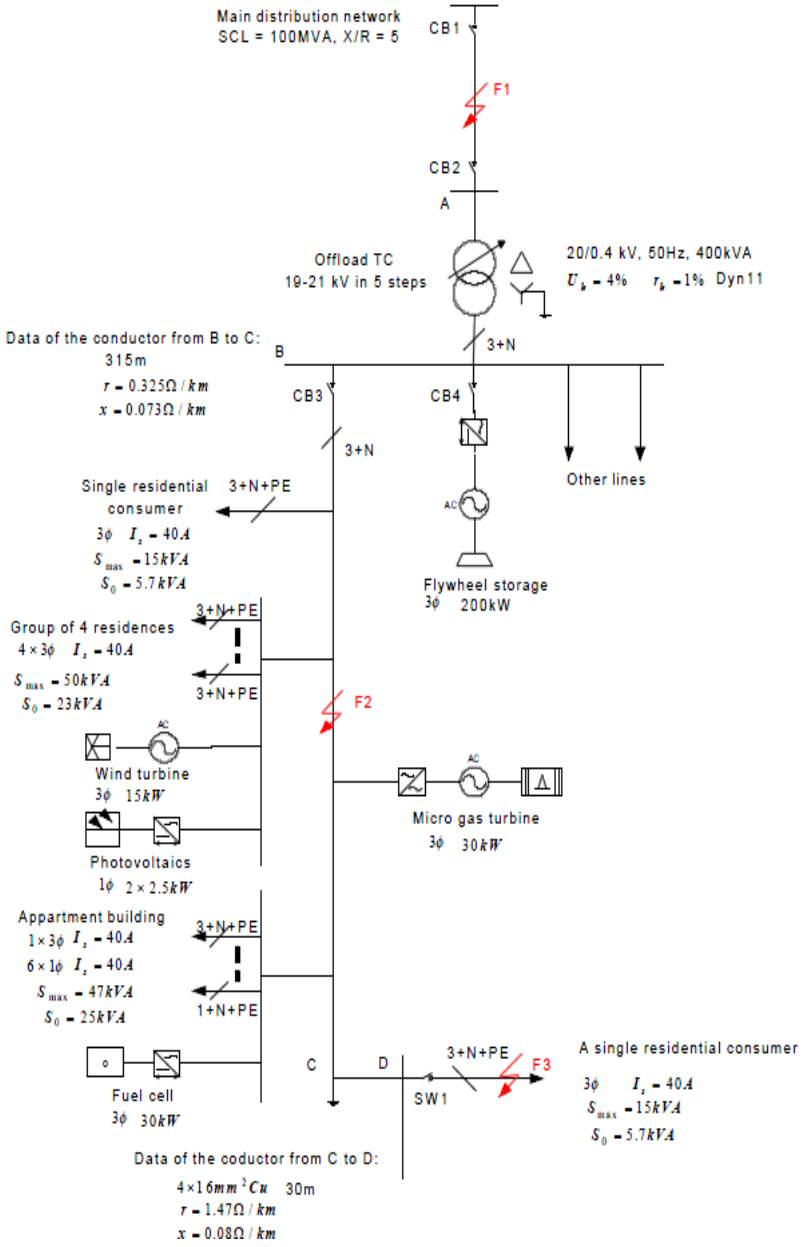
Ahwaz_Hackerz

بی‌جهت رله‌های شبکه برای خطای اتفاق افتاده در فیدر دیگر، جلوگیری خواهد شد. در این روش همچنین با تغییر دادن تنظیمات حفاظتی سعی می‌شود تا از عدم هماهنگی به وجود آمده دوری شود. این کار مستلزم آنالیز دوباره شبکه بوده و زمان زیادی را تلف خواهد کرد. به عنوان مثال، در یکی از مراجع از ایده استفاده از رله و بازبست مبتنی بر پردازنده استفاده شده است. در این ادوات، کاربر می‌تواند منحنی‌های زمان– جریان متفاوتی را بسته به عملکرد شبکه تعریف کند. زمانی که یک DG به شبکه متصل می‌شود یک منحنی از قبل تعریف شده در داخل بازبست می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این ایده از نظر تئوری درست کار می‌کند ولی تغییر ادوات حفاظتی در یک شبکه هزینه‌های زیادی را در بر خواهد داشت. از طرفی اگر DG طوری استفاده شود که در بازه‌ای از زمان کاملاً روشن باشد و در بازه‌ای دیگر کاملاً خاموش (مثل استفاده از DG برای پیک زدایی یا توان کمکی)، منحنی بازبست باید در هر بازه تغییر داده شود. با توجه به مشکلات حفاظتی ریزشبکه‌ها، به منظور برنامه‌ریزی حفاظتی آن‌ها، طرح‌های حفاظتی مختلفی را می‌توان پیاده‌سازی نمود که در ادامه تعدادی از آن‌ها نام برده خواهد شد و حفاظت تطبیقی به تفضیل بررسی می‌شود.

۱۰-۵-۱- طرح حفاظتی بر مبنای رله‌های جریانی

در طرح حفاظتی نامبرده از تجهیزاتی مانند رله اضافه ولتاژ، رله دیجیتال و رله اضافه جریان دوسویه استفاده می‌شود. تلاش‌های بسیاری برای استفاده از رله‌های اضافه جریان جهت حفاظت ریزشبکه صورت پذیرفته است که گاهی بسیار مؤثر نیز واقع شده‌اند؛ اما مسئله مهم این است که حفاظت جریانی عمدتاً برای توپولوژی خاصی از ریزشبکه قابل پیاده‌سازی است و نمی‌توان این نوع طرح حفاظتی را برای همه نوع ساختار ریزشبکه تعمیم داد. یک روش پیشنهادی در یک ریزشبکه بسیار ساده که شامل تعدادی DG کوچک از نوع اینورتری و نیز یک چرخ گردان است، در دو حالت عملکردی ریزشبکه یعنی حالت متصل به شبکه و نیز جدا از آن در نظر گرفته شده است و در شکل ۱۰-۱۰ نشان داده شده است.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۰-۱۰: شمای تک‌خطی یک ریزشبکه جهت بررسی امکان بهره‌گیری از حفاظت اضافه جریان [۷].

چرخ گردان در حالت جدا از شبکه جریانی معادل ۵-۳ pu را به نقطه خطا تزریق می‌کند. به

Ahwaz_Hackerz

ازای خطای F_1 واقع در شبکه اصلی، کلید قدرت CB_1 که مجهز به رله اضافه جریان است با توجه به جریان خطای بالای عبوری از آن، به سرعت خطا را برطرف می‌کند. به دلیل جریان خطای کم تزریقی از سمت ریزشبکه، CB_2 نمی‌تواند با تکیه بر رله اضافه جریان خطا را در مدت‌زمان مناسب برطرف کند؛ بنابراین از طریق ارتباط آن با CB_1 و طی کردن فرآیند Follow Me این رله تریپ می‌دهد. علاوه بر این به ازای خطای F_2 واقع در وسط فیدر ریزشبکه، CB_3 که مجهز به رله اضافه جریان است، در هر دو حالت کاری خطا را برطرف می‌کند. علاوه بر این، لازم است که تمامی DGهای اینورتری از طریق لینک ارتباطی با این کلید، دستور قطع را دریافت نمایند. دلیل این امر، عدم عملکرد حفاظت‌های جریانی DG ها به دلیل سطح پایین جریان خطا است. قطع همه DG ها در این حالت به هیچ وجه قابل‌قبول نیست و اصولاً فلسفه کاری ریزشبکه نیز به این صورت نیست.

استفاده از حفاظت‌های جریانی با المان جهتی از دیگر راه‌های پیشنهادی است. در این روش لازم است علاوه بر مقایسه جهت جریان، اندازه آن نیز در دو سر فیدر مورد حفاظت مقایسه شود. این روش نیز مستلزم استفاده از حفاظت پایلوت است که هزینه‌بر است. استفاده از رله‌های میکروپروسسوری قابل برنامه‌ریزی[1] به همراه المان جهتی، برای حفاظت ریزشبکه ولتاژ پایین[2] در هر دو حالت کاری، از دیگر روش‌های پیشنهادی است. این روش به زیرساخت‌های ارتباطی نیازمند نبوده و تقریباً نسبت به اندازه جریان خطا نیز وابستگی ندارد. از جمله معایب این طرح حفاظتی، لزوم استفاده همزمان از حفاظت ولتاژی است که به دلیل کنترل ولتاژ و فرکانس در حالت جزیره‌ای ممکن است دچار خطا شود.

یک طرح دیگر بر مبنای حفاظت دیفرانسیل جریانی برای ریزشبکه در انجام می‌شود. از این طرح برای حفاظت ریزشبکه مبتنی بر DGهای اینورتری در هر دو حالت متصل و جدا از شبکه استفاده شده است. این طرح مستلزم به‌کارگیری سنسورهای جریان در دو سر هر فیدر و نیز ایجاد لینک‌های ارتباط بین آن‌ها است که از لحاظ هزینه مقرون به صرفه نیست.

1- Programmable
2- Low Voltage

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۵-۲- طرح حفاظتی بر مبنای رله‌های ولتاژی

طرح حفاظتی مبتنی بر اندازه‌گیری ولتاژ خروجی DG جهت تشخیص و رفع خطا از دیگر راهکارهای ارائه شده برای حفاظت ریزشبکه است. در این روش ولتاژ خروجی پایش شده و از حوزه abc به dq منتقل می‌شود. هرگونه اغتشاشی در ولتاژ خروجی DG که ناشی از خطا باشد، در قاب dq نیز به صورت یک اغتشاش ظاهر می‌شود. ناحیه بندی حفاظتی و نیز استفاده از ارتباط مخابراتی جهت تشخیص خطای داخل ناحیه از خطای خارج ناحیه از دیگر الزامات این نوع حفاظت است. شبیه‌سازی کامپیوتری این روش نشان می‌دهد که این نوع حفاظت تنها برای حالت جزیره‌ای و آن هم برای خطاهای بدون امپدانس بالا عملکرد مناسبی دارد.

۱۰-۵-۳- طرح حفاظتی بر مبنای مؤلفه‌های متقارن جریان

در روش‌های ارائه شده بر مبنای مؤلفه‌های متقارن جریان، از ویژگی‌های استخراج شده از این مؤلفه‌ها برای تشخیص خطا و قسمت خطادار در ریزشبکه استفاده می‌شود. برای نمونه یک روش حفاظتی با استفاده از مؤلفه‌های متقارن جریان در ریزشبکه پیشنهاد شده است. در این روش ابتدا ریزشبکه به نواحی مختلف حفاظتی با رله مربوطه تقسیم می‌شود. مؤلفه‌های دیفرانسیلی جریان، جهت تشخیص خطای واقع در بالادست ناحیه حفاظتی و نیز مؤلفه‌های متقارن جریان جهت تشخیص خطاهای فاز به زمین در پایین دست ناحیه حفاظتی و نیز خطاهای فاز به فاز در تمام نواحی استفاده می‌شوند. این روش تنها در حالت جزیره‌ای کاربرد دارد.

۱۰-۵-۴- طرح حفاظتی بر مبنای سنجش مؤلفه‌های هارمونیکی

این روش غالباً برای ریزشبکه‌های مبتنی بر منابع تولید پراکنده اینورتری بکار برده می‌شود. چون اینورترها منابع تولید هارمونیک هستند، می‌توان میزان THD[1] ولتاژ خروجی آن‌ها را

1- Total Harmonic Distortion

Ahwaz_Hackerz

پایش نمود. در اکثر این روش‌ها ولتاژ هر یک از فازهای اینورتر از طریق تبدیلات ایستا یا غیر ایستا به ترتیب مانند تبدیل فوریه یا ویولت وارد حوزه فرکانس یا زمان-فرکانس می‌شوند. مقدار THD ولتاژ هر فازی که دچار خطا شده بیشتر از فازهای سالم است، بنابراین می‌توان نوع خطا از قبیل تک فاز، فاز به فاز و یا سه فاز را به‌راحتی تشخیص داد. علاوه بر این از طریق ارتباط بین دو رله واقع در ترمینال خروجی اینورترها، می‌توان بخش خطادار را تشخیص داده و آن را سریعاً از شبکه ایزوله نمود.

مشکل اصلی این روش‌ها اغتشاشات گذرای موجود در ولتاژ خروجی اینورترها است که ناشی از نوع سیستم کنترل آن‌ها و نیز گاهی ناشی از ماهیت متغیر منابعی نظیر سیستم فتوولتائیک و توربین بادی است. علاوه بر این، مدل‌سازی دقیق منابع تولید پراکنده اینورتری جهت ارزیابی کارایی این روش‌ها نیز کار بسیار دشواری است.

۱۰-۵-۵- طرح حفاظتی با استفاده از رله‌های دیستانس

در مراجع یک روش حفاظتی با استفاده از رله‌های دیستانس با مشخصه مهو[1] و دارای دو ناحیه عملکردی، برای ریزشبکه‌های شامل منابع تولید پراکنده اینورتری پیشنهاد شده است. این روش، بر مبنای سنجش امپدانس‌های خطوط و تغییر آن‌ها در زمان بروز خطا عمل می‌کند. شبیه‌سازی این طرح برای خطاهای مختلف با امپدانس‌های متفاوت و نیز در مکان‌های مختلف انجام شده است اما با توجه به تأثیر ورود و خروج DG ها در تغییر امپدانس دیده‌شده توسط رله دیستانس، کارآمدی این طرح هنوز به طور کامل تائید نشده است.

۱۰-۶- حفاظت تطبیقی

حفاظت تطبیقی را می‌توان کارآمدترین طرح حفاظتی برای ریزشبکه دانست. مشکل اصلی این

1- mho

Ahwaz_Hackerz

طرح حفاظتی هزینه بسیار بالای اجرای آن است که از لزوم ایجاد زیرساخت‌های گسترده ارتباطی و نیز جایگزینی رله‌های حفاظتی میکروپروسسوری که دارای قابلیت‌هایی نظیر تغییر تنظیمات باشند ناشی می‌شود. در این روش‌ها با استفاده از رله‌های دیجیتال و نیز تکنولوژی‌های ارتباطی نو، تنظیمات حفاظتی به طور پیوسته به‌روز می‌شوند و توسط کنترلر مرکزی میکروگرید برای همه رله‌ها ارسال می‌شود.

۱۰-۶-۱- لزوم استفاده از سیستم‌های تطبیقی

به دلیل تغییرات پویا در پارامترهای مؤثر در طراحی سیستم حفاظتی از قبیل افزایش روز افزون تعداد و نوع منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع، عدم قطعیت و تغییر مکان نصب این منابع به دلیل تجدید آرایش، تجدید آرایش شبکه برای مدیریت بار و کاهش تلفات و نیز مش‌بندی و افزایش تعداد زیرفیدرها، کاملاً بدیهی است که برای طراحی یک سیستم حفاظتی معتبر در تمامی این شرایط بایستی تنظیمات دستگاه‌های حفاظتی را بسته به پیکربندی شبکه و نیز وضعیت منابع تولید پراکنده به طور متناسب تغییر داد؛ بنابراین نیاز به سیستمی احساس می‌شود که تمامی این عوامل مؤثر را با استفاده از بستر مخابراتی موجود در شبکه‌های الکتریکی هوشمند دریافت کرده و بر اساس اصول کاملاً منطقی تنظیمات مناسب دستگاه‌های حفاظتی را برآورد کرده و برای آن‌ها ارسال کند.

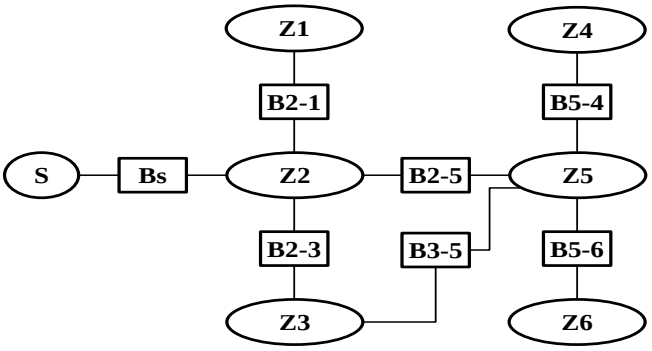
تغییرات توپولوژی ریزشبکه به‌واسطه کلیدهای هوشمند، وجود DGهای اینورتری، تغییرات جریان بار به واسطه جدا شدن ریزشبکه از شبکه اصلی و دیگر مواردی که مشکلات حفاظتی ریزشبکه را فراهم می‌کنند، سبب می‌شوند حفاظت ریزشبکه به صورت تطبیقی را ضروری کند. در ادامه روند کلی حفاظت تطبیقی بیان خواهد شد.

۱۰-۶-۲- روند کلی حفاظت تطبیقی

هدف هر طرح حفاظتی جدا کردن تنها ناحیه آسیب دیده از شبکه است. با حضور DG یک

Ahwaz_Hackerz

طرح بهتر برای حفاظت شبکه استفاده از حفاظت تطبیقی است. این روش بر اساس تقسیم کردن سیستم توزیع به نواحی مختلف است که این موضوع در شکل ۱۰-۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شبکه به طور نمونه به ۶ ناحیه تقسیم شده است. هر ناحیه شامل یک منبع تولید پراکنده و تعدادی بار است و فقط یکی از ناحیه‌های شبکه شامل شین بی‌نهایت و تعدادی بار است. نواحی به وسیله تعدادی کلید قدرت از هم جدا می‌شوند. ناحیه جدا شده باید طوری باشد که در آن تعادل بین بار و تولید DG در حد معقول برقرار باشد، به عبارتی ظرفیت تولید DG اندکی بیشتر از توان مصرفی آن ناحیه باید باشد. هنگام بروز خطا در هر ناحیه، پس از تشخیص ناحیه دچار خطا، فرمان قطع به کلید قدرت آن ناحیه صادر می‌شود.



شکل ۱۰-۱۱: ناحیه بندی شبکه توزیع توسط کلیدها.

کلیدهای قدرت باید قابلیت سنکرون‌سازی و قطع و وصل مکرر در اثر دریافت یک سیگنال (ارتباط از راه دور[1]) از رله اصلی واقع در پست را داشته باشند. رله اصلی به صورت کامپیوتری قادر به ذخیره‌سازی و آنالیز اتصال کوتاه به صورت آنلاین بوده و قادر به ارتباط با وسایل دیگر از قبیل کلید قدرت ناحیه و رله‌های تولیدات پراکنده هست.

طرح کلی حفاظت به این صورت است که رله ابتدا خطا در سیستم و خطا در منبع تولید

1- Remote

Ahwaz_Hackerz

پراکنده را تشخیص می‌دهد. اگر خطا در منبع تولید پراکنده باشد، رله تطبیقی منتظر می‌ماند تا سیستم حفاظتی خطا را تشخیص داده و منبع تولید پراکنده دچار خطا را از شبکه جدا کند. سپس کلید قدرت منبع تولید پراکنده یک سیگنال به رله تطبیقی ارسال می‌کند تا رله تطبیقی آنالیزهای لازم را برای شرایط جدید انجام دهد.

اگر خطا در شین‌های سیستم باشد رله تطبیقی آنالیز اتصال کوتاه را به صورت آنلاین انجام داده و محل خطا و ناحیه دچار خطا را به صورت آنلاین شناسایی می‌کند و فرمان قطع را به کلید قدرت ناحیه دچار خطا و کلیدهای قدرت منابع تولید پراکنده آن ناحیه ارسال می‌کند. در نتیجه تنها ناحیه دچار خطا از شبکه جدا می‌شود و سایر نواحی به فعالیت عادی خود ادامه می‌دهند.

برای خطای گذرا، ابتدا رله تطبیقی فرمان قطع به کلید قدرت ناحیه و منابع تولید پراکنده صادر می‌کند. سپس عمل بازبست را در سه مرحله روی کلید قدرت ناحیه انجام می‌دهد و در هر مرحله‌ای که خطا رفع شده باشد، ابتدا فرمان وصل به کلید قدرت ناحیه ارسال می‌شود و بعد از ۲ ثانیه رله تطبیقی فرمان وصل به کلید قدرت منابعی که مجهز به سیستم هم‌زمان‌سازی است، صادر خواهد کرد.

۱۰-۶-۲-۱- ناحیه‌بندی شبکه

یکی از مواردی که در این الگوریتم باید به آن دقت شود، ناحیه‌بندی شبکه است. لازم است بارها و توان تولیدی داخل هر ناحیه در حالت تعادل باشند و توان تولیدی کمی بیشتر از توان مصرفی بار ناحیه باشد. همچنین درصورتی‌که خطا در ناحیه شامل منبع اصلی رخ می‌دهد، حداقل یک منبع تولید پراکنده در هر ناحیه باید توانایی کنترل فرکانس بار را داشته باشد در غیر این صورت منابع تولید پراکنده باید از شبکه جدا شوند.

به عبارت دیگر شبکه توزیع به دو دسته ناحیه تقسیم می‌شود که دارای خصوصیات زیر می‌باشند:

Ahwaz_Hackerz

دسته اول نواحی‌ای هستند که در آن‌ها هیچ منبع تولید پراکنده‌ای وجود ندارد و تأمین بارهای آن نواحی کاملاً وابسته به شبکه سراسری است.

دسته دوم نواحی‌ای هستند که در آن‌ها منابع تولید پراکنده وجود دارد. بدیهی است که حداقل یکی از منابع تولیدی واقع در هرکدام از این نواحی باید مجهز به سیستم کنترل فرکانس باشد تا بتواند در مواقعی که لازم است آن ناحیه به صورت جزیره‌ای بهره‌برداری شود، فرکانس ناحیه را کنترل نماید.

نحوه انتخاب نواحی به این صورت است که از ابتدای فیدر، به ازای هر DG یک ناحیه در نظر گرفته می‌شود. هر ناحیه تا زمانی که DG واقع در آن قدرت تغذیه بار ناحیه را داشته باشد به سمت انتهای فیدر امتداد می‌یابد. به محض این که میزان بار پیک واقع در ناحیه از میزان تولید آن منبع تولید پراکنده بیشتر شود ناحیه در نظر گرفته شده به پایان می‌رسد و در نقاط ابتدا و انتهای ناحیه دو کلید قدرت قرار داده می‌شود. کلیدهای نصب‌شده برای جداسازی نواحی باید مجهز به رله چک کننده سنکرون بودن باشند. اطلاعات هر ناحیه از قبیل تعداد تولید پراکنده، شماره و تعداد شین، مقدار بار موجود در هر شین ناحیه و مشخصات کلیدهای قدرت تولیدات پراکنده و ناحیه باید به عنوان داده‌های ورودی به رله تطبیقی داده شوند.

۱۰-۶-۲-۲- آنالیز اتصال کوتاه

این روش به مطالعه آنالیز کامل اتصال کوتاه برای همه انواع خطاهای حادث شده در فازهای مختلف نیاز دارد. بعلاوه برای جریان خطا در انواع مختلف خطاهای هر شین، این آنالیزها باید سهم هر منبع تولید پراکنده و منبع اصلی را پیدا کنند. همچنین این روش مشخصات ذوب مینیمم همه فیوزهای سیستم را برای لحاظ شدن در اطلاعات رله نیاز دارد. با توجه به این مشخصات و آنالیزهای اتصال کوتاه، زمان مربوط به ذوب شدن فیوزها مشخص می‌شود. محاسبات مربوط به آنالیزهای اتصال کوتاه بعد از هر تغییر عمده‌ای در بار، منبع تولید پراکنده و یا شکل سیستم باید تغییر کرده و به‌روز شود. از آنجایی که هر تغییر در بار و یا منبع تولید

Ahwaz_Hackerz

پراکنده حتماً نیاز به اجرای دوباره آنالیزهای اتصال کوتاه دارد، هر تغییر در شکل شبکه از قبیل خروج یک ناحیه یا منبع به وضوح نیازمند به‌روز کردن ماتریس‌های امپدانس و ادمیتانس شین است. لذا با توجه به اهمیت جریان اتصال کوتاه برای این طرح حفاظت تطبیقی، بعد از هر تغییر در شکل شبکه، آنالیز اتصال کوتاه به صورت آنلاین انجام می‌گیرد و بلافاصله اطلاعات مورد نیاز به رله تطبیقی جهت تجزیه و تحلیل و صدور فرمان مورد نیاز ارسال می‌شود.

۱۰-۶-۲-۳- تشخیص خطا و نوع خطا

در سیستم توزیع موردبررسی، خطا در منبع تولید پراکنده و یا در سیستم رخ می‌دهد. در این طرح تطبیقی جریان منبع اصلی و همه منابع تولید پراکنده به طور مداوم قابل دسترسی هستند. در شرایط عملکرد عادی مجموع جریان همه منابع (منبع اصلی و همه DG ها) مطابق رابطه (۱۰-۱۲) برابر مجموع جریان بار است.

$$[I_{fabc}] = \sum_{i=1}^{n} [I_{fabc}]_i \qquad (۱۰-۱۲)$$

در رابطه (۱۰-۱۲): $[I_{fabc}]$ کل جریان خطا و $[I_{fabc}]_i$ سهم جریان خطا در منبع iام و n تعداد منابع است.

یکی از انواع خطاهایی که ممکن است در شبکه توزیع رخ دهد، خطاهایی است که در داخل خود منابع تولید پراکنده رخ می‌دهد. در این حالت لازم است که فقط منبع دچار خطا از شبکه جدا شود. در این طرح حفاظتی اگر خطا در منبع وجود داشته باشد طبق رابطه (۱۰-۱۲) جمع جریان منابع تقریباً برابر جریان بار می‌شود با این تفاوت که جریان هر منبع به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در این حالت سیستم حفاظتی منبع دچار خطا، جریان اتصال کوتاه را حس کرده و فرمان قطع به کلید قدرت منبع ارسال می‌کند. سپس کلید قدرت منبع سیگنالی به رله تطبیقی ارسال می‌کند تا آنالیزهای لازم برای شبکه جدید انجام گیرد. در نتیجه تنها آن منبعی که دچار خطا شده از شبکه جدا می‌گردد و مابقی شبکه به فعالیت خود ادامه می‌دهند.

Ahwaz_Hackerz

در حالتی که خطا بر روی هر بخشی از سیستم رخ دهد، مجموع این جریان‌ها به طور قابل توجهی از کل بار شبکه بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر هنگامی‌که خطا در هر جای سیستم رخ می‌دهد، مجموع مقادیر همه جریان‌هایی که از همه منابع شرکت دارند برابر جریان بار و جریان خطا خواهد شد.

اگر خطای سیستم گذرا باشد، در این طرح تطبیقی ابتدا فرمان قطع به کلید قدرت منبع تولید پراکنده در ناحیه دچار خطا ارسال می‌گردد و تا زمانی که خطای سیستم رفع نشود این منابع وارد سیستم نمی‌شوند. رله تطبیقی بلافاصله آنالیز اتصال کوتاه و پخش بار را بر اساس شبکه جدید (بدون منابع تولید پراکنده ناحیه مذکور) انجام می‌دهد. رله تطبیقی پس از حس کردن خطا، فرمان قطع را به کلید قدرت ناحیه ارسال کرده و پس از حدود ۰/۴ ثانیه فرمان وصل به کلید قدرت ناحیه ارسال می‌کند. اگر خطای گذرا رفع شده باشد، رله تطبیقی در همین مرحله پس از حدود ۲ ثانیه فرمان وصل به کلید قدرت تولید پراکنده صادر می‌کند تا پس از عمل هم‌زمانی به شبکه متصل شود. در نتیجه ناحیه دچار خطا و تولیدات پراکنده همان ناحیه به شبکه برمی‌گردند. پس از این عمل، رله تطبیقی آنالیز اتصال کوتاه را برای شرایط موجود انجام می‌دهد. اگر خطای گذرا در مرحله اول عمل ریکلوزر رفع نشده باشد رله سریعاً برای کلید قدرت ناحیه فرمان قطع را صادر می‌کند و این عمل تا سه مرحله انجام می‌پذیرد و در هر مرحله که خطای سیستم حذف شود رله تطبیقی فرمان وصل را به کلید قدرت ناحیه ارسال می‌کند و پس از حدود ۲ ثانیه فرمان وصل را به کلید قدرت تولیدات پراکنده که مجهز به سیستم هم‌زمان‌سازی است، ارسال می‌کند.

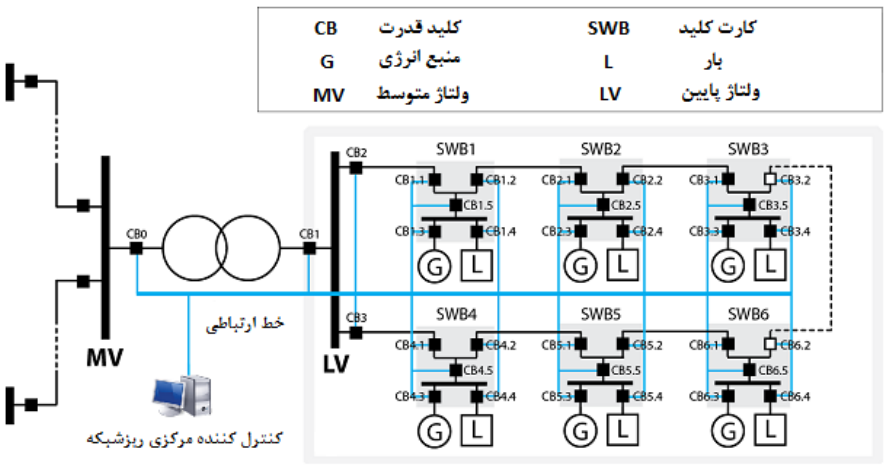
اگر خطایی که در سیستم رخ می‌دهد دائمی باشد، رله تطبیقی بلافاصله فرمان قطع را به کلید قدرت منابع تولید پراکنده و ناحیه دچار خطا ارسال می‌کند و سپس عمل ریکلوزر را سه بار انجام می‌دهد. با توجه به اینکه خطای سیستم دائمی است فرمان قطع را به کلید قدرت ناحیه ارسال می‌کند و ناحیه دچار خطا را از شبکه جدا می‌کند. درنتیجه رله تطبیقی تنها ناحیه دچار خطا را از سیستم جدا می‌سازد و نواحی دیگر به طور عادی فعال می‌باشند.

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۶-۲-۴- تشخیص محل خطا

برای تشخیص صحیح محل خطا از روش حداقل مربعات که معروف‌ترین و عملی‌ترین روش در شناسایی سیستم‌ها است استفاده می‌شود. همواره اختلافی بین نوع ساختار در نظر گرفته شده برای سیستم مدل‌سازی شده و سیستم واقعی وجود دارد. چرا که در بعضی موارد مشخصه‌های غیرخطی سیستم واقعی، در مدل‌سازی به صورت خطی در نظر گرفته می‌شوند. لذا در هر لحظه اختلاف e_t بین خروجی اندازه‌گیری شده با خروجی مدل در نظر گرفته شده وجود دارد. در روش حداقل مربعات هدف این است که مجموع مربعات خطا ($\sum e_t^2$) کمینه شود.

نمونه‌ای از سیستم حفاظت تطبیقی مرکزی به همراه اجزاء آن در شکل ۱۰-۱۲ نشان داده شده است. واحد MCC[1] کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه است و شامل یک کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر[2] و یک کامپیوتر در پست توزیع است. هر یک از کلیدها ها دارای یک رله اضافه جریان جهتی با قابلیت تبادل اطلاعات با MCC هستند.



شکل ۱۰-۱۲: شمای سیستم حفاظت تطبیقی در یک ریزشبکه به همراه اجزای آن [۱۹].

1- Microgrid Central Controller
2- Programable Logic Control

Ahwaz_Hackerz

با توجه به شکل ۱۰-۱۲ رله‌های کلیدها به یک باس مخابراتی سریال متصل هستند و از پروتکل‌های مخابراتی استاندارد صنعتی نظیر Modbus بهره می‌برند. خطوط ارتباطی به رله‌ها کمک می‌کند تا قابلیت تبادل اطلاعات با MCC را داشته باشند. MCC با کمک رله‌های نمونه‌بردار[1] اطلاعات کلیدها شامل مقادیر الکتریکی و وضعیت را می‌خواند و چنانچه نیاز به تنظیمات جدید آن‌ها باشد تنظیمات لازم را اعمال می‌کند. پس از تشخیص شرایط غیرعادی در سیستم، وضعیت تریپ چک می‌شود و چنانچه شرایط تریپ فرا رسیده باشد، کلید مربوطه باز می‌شود.

هدف اصلی از سیستم حفاظت تطبیقی برای ریزشبکه، تنظیم هر یک از رله‌ها با توجه به شرایط بهره‌برداری از ریزشبکه است. این عمل با استفاده از یک ماژول در MCC انجام می‌پذیرد که در واقع به صورت تناوبی تنظیمات را چک کرده و در صورت نیاز آن را به‌روز می‌کند. این ماژول شامل دو قسمت اصلی است که عبارت‌اند از:

- اطلاعات از قبل محاسبه شده توسط آنالیز خطا به صورت آفلاین در ریزشبکه.
- بلوک عمل‌کننده به صورت آنلاین.

بنابراین به منظور پیاده‌سازی یک طرح حفاظتی تطبیقی مراحل زیر باید طی شود:

۱) پایش شبکه: که نقطه شروع جمع‌آوری اطلاعات است.

۲) انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه بعد از انجام تغییرات و شرایط جدید ریزشبکه.

۳) محاسبه تنظیمات جدید: تنظیمات رله‌ها باید به‌روز شوند.

۴) اعمال تنظیمات.

۱۰-۶-۳- عملکرد Off-Line و On-Line در حفاظت تطبیقی

در حفاظت تطبیقی، با توجه به تغییرات توپولوژی و کلیدهای موجود در ریزشبکه و همچنین متصل یا منفصل بودن ریزشبکه از شبکه اصلی، تغییراتی در برنامه‌ریزی حفاظتی و تنظیمات

1- Polling relays

Ahwaz_Hackerz

رله‌ها باید صورت گیرد. تنظیمات بیان شده می‌تواند به صورت On-line یا Off-Line صورت گیرد که در ادامه تفاوت بین این دو نوع تنظیمات بیان خواهد شد.

۱۰-۶-۳-۱- عملکرد On-Line

عملکرد On-Line خود دارای دو روش است:

روش ۱: ارسال تنظیمات به صورت On-Line برای رله‌ها صورت می‌گیرد.

روش ۲: ارسال فرمان قطع به کلیدها از طریق کنترل مرکزی داده می‌شود.

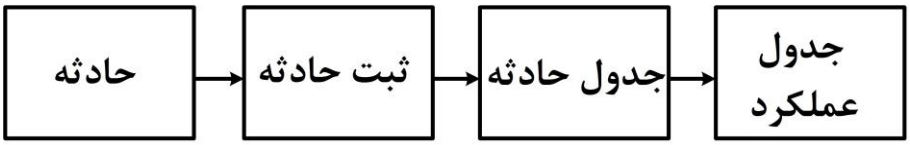
روش ۲ دارای مزایایی است از جمله اینکه رله نداریم و همچنین نمونه‌گیری و ارسال داده‌ها به کنترل مرکزی الزامی است. مشکل روش ۲ این است که از آنجا که به سیستم کنترل مرکزی وابسته است، قابلیت اطمینان پایینی دارد. برای مثال در شبکه نشان داده شده در شکل ۱۰-۱۲ در طول زمان عملیات آنلاین، واحد MCC وضعیت ریزشبکه را با کمک رله‌های نمونه‌بردار اضافه جریان جهتی پایش می‌کند. این فرآیند به صورت دائم تکرار می‌شود یا در صورت وقوع حادثه (آلارم حفاظتی یا باز شدن بریکر) فعال می‌شود. برای انجام این عملیات اطلاعات وضعیت ریزشبکه در یک جدول مشابه با جدول حادثه[1] ثبت می‌شود. ثبت وضعیت در جدول وضعیت، برای تشخیص مقدار متناظرش در جدول حادثه استفاده می‌شود. در پایان الگوریتم، تنظیمات از قبل محاسبه شده برای رله‌ها، با توجه به مقدار متناظرش در جدول عملکرد[2] برای حالات مختلف فراخوانی شده و تنظیمات جدید با کمک سیستم مخابراتی به دستگاه‌های در حال کار اعمال می‌شود. شکل ۱۰-۱۳ مراحل الگوریتم حفاظت تطبیقی تشریح شده را نشان می‌دهد.

هر رله برای محاسبه تنظیم زمانی خود به توپولوژی شبکه نیز نیاز دارد. تفاوت و برتری این روش نسبت به روش Off-Line در این است که در این حالت توپولوژی شبکه و در یک نگاه

1- Event Table
2- Action Table

Ahwaz_Hackerz

کلی‌تر تمامی شرایط شبکه قابل اعمال در محاسبه ضریب تنظیم رله‌ها است.



شکل ۱۰-۱۳: ساختار کنترلی و حفاظت ریزشبکه.

۱۰-۶-۳-۲- عملکرد Off-Line

در عملکرد Off-Line، با توجه به تغییرات توپولوژی ریزشبکه و متصل یا منفصل بودن ریزشبکه از شبکه اصلی، محاسبات حفاظتی صورت گرفته است و تنظیمات حفاظتی در دو گام انجام می‌شود:

گام ۱: برای تمام حالات ممکن (خطا در هر مکان، حذف DG و غیره) تنظیمات رله قبلاً محاسبه و در جدولی ذخیره‌شده است.

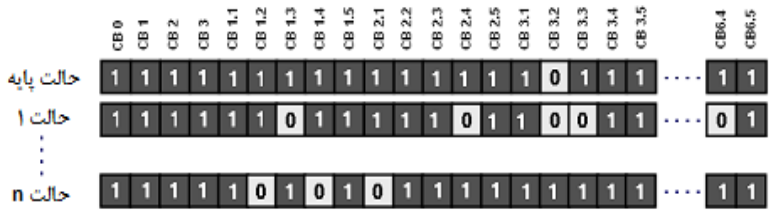
گام ۲: با توجه به حالات ریزشبکه که در جدولی ذخیره‌شده است، تنظیمات ارسال می‌شود. در ای جدول حوادثی که ممکن است پیش بیاید قرار داده شده است.

عملکرد Off-Line دارای سرعت بیشتری نسبت به عملکرد On-Line است، زیرا محاسبات از قبل صورت گرفته است، اما از طرف دیگر تشخیص اینکه ریزشبکه خود در چه حالتی است، مشکل است.

به عبارت دیگر در این نوع حفاظت برای ظرفیت‌های مختلف منابع تولید پراکنده ضرایب تنظیم رله‌ها به دست می‌آید و در طول کار شبکه فقط درصد ظرفیت منبع تولید پراکنده به محل رله ارسال می‌شود و رله بر اساس درصد ظرفیت موجود منبع تولید پراکنده از جدول‌های از پیش محاسبه شده ضریب مناسب برای وضعیت فعلی را انتخاب می‌کند؛ بنابراین، اطلاعات مربوط به ساختار سیستم و شرایط در مدار بودن و یا نبودن DG ها به منظور تحلیل آفلاین خطاها، در یک جدول به نام جدول حادثه وارد می‌شود. هرکدام از ردیف‌های جدول از تعدادی

Ahwaz_Hackerz

عنصر تشکیل شده که تعداد آن‌ها برابر با تعداد کلیدهای پایش شده در ریزشبکه است. تعدادی از این عناصر نسبت به بقیه ارجحیت دارند؛ مانند کلیدهایی که ریزشبکه را به شبکه ولتاژ متوسط متصل می‌کنند. هرکدام از این کلیدها با کدهای باینری کدگذاری شده‌اند؛ به این صورت که مقدار یک نشان دهنده بسته بودن کلید و صفر برای باز بودن آن است. نمونه‌ای از جدول حادثه در شکل ۱۰-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۱۴: ساختار جدول حادثه [۱۹].

در مرحله بعد، جریان‌های خطای عبوری از بریکرهای پایش شده، با استفاده از شبیه‌سازی انواع مختلف خطا (دو فاز، سه فاز، تک فاز به زمین و...) در محل‌های مختلف ریزشبکه محاسبه می‌شود. با توجه به محل‌های مختلف خطا و حالت‌های مختلف کاری ریزمنابع و همچنین ریزشبکه، حالت‌های مختلفی ایجاد می‌شود و اطلاعات جهت و دامنه خطای دیده‌شده توسط رله‌ها در یک ساختار داده ثبت می‌شود. بر اساس این نتایج تنظیمات مناسب برای هریک از رله‌های اضافه جریان جهتی و هر یک از حالت‌های مشخص سیستم محاسبه می‌شود. این تنظیمات به دست آمده در یک جدول به نام جدول عملکرد با ابعاد جدول حادثه گروه‌بندی می‌شود. علاوه بر انجام تنظیمات حفاظتی، سایر عملیات مانند فعال‌سازی تابع حفاظتی رله‌ها نیز انجام می‌شود. برای مثال می‌توان به عملکرد قفل جهتی[1] رله در حالت جزیره‌ای اشاره کرد. جداول حادثه و عملکرد، از اجزای سطح کنترل و حفاظت نشان داده شده در شکل ۱۰-۱۵ در سیستم حفاظتی ریزشبکه محسوب می‌شوند. در شکل ۱۰-۱۵ این اجزاء نشان داده شده‌اند و

1- Directional interlock

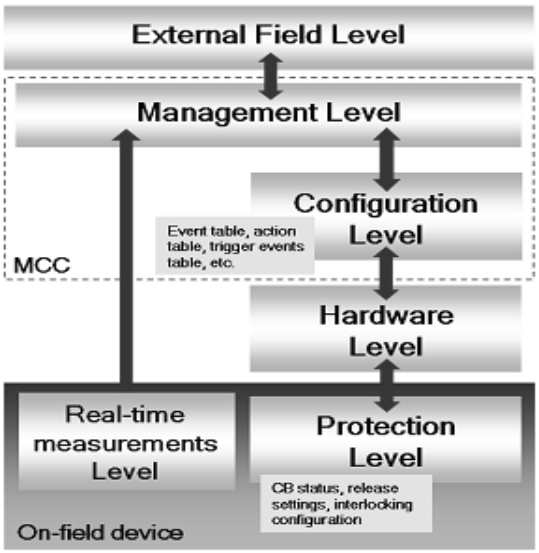
Ahwaz_Hackerz

به ترتیب زیر هستند:

۱. **سطح میدان خارجی**[1]: این قسمت شامل قسمت‌های بازار برق، پیش‌بینی آب و هوا، دستورالعمل‌های ابتکاری و دیگر اطلاعات دستگاه‌های مختلف است.

۲. **سطح مدیریت**[2]: شامل مقادیر اندازه‌گیری شده و سیستم مدیریت توزیع[3] (DMS) است.

۳. **قسمت پیکربندی**[4]: شامل یک کامپیوتر یا PLC مرکزی یا محلی است که تغییر حالت سیستم را تشخیص می‌دهد و فرمان مورد نظر را به قسمت سخت‌افزار ارسال می‌کند.



شکل ۱۰-۱۵: ساختار کنترلی و حفاظت ریزشبکه [۱۹].

۴. **قسمت سخت‌افزار:** این قسمت با استفاده از شبکه مخابراتی فرمان مورد نیاز را از قسمت پیکربندی به دستگاه‌ها می‌رساند. در شرایطی که ابعاد ریزشبکه بزرگ باشد این عمل توسط

1- External field level
2- Management level
3- Distribution Management System
4- Configuration level

Ahwaz_Hackerz

چند کنترل‌کننده محلی انجام می‌شود که تنها اطلاعات خاصی را به واحد پردازنده مرکزی مخابره می‌کنند.

۵. قسمت حفاظتی: این قسمت شامل وضعیت کلیدها، تنظیمات محاسبه شده، پیکربندی قفل‌های جهتی و غیره است. این جزء همراه با قسمت اندازه‌گیری زمان واقعی[1]، در داخل دستگاه‌های در حال کار[2] جای می‌گیرد.

۱۰-۶-۳-۳- عملیات قفل جهتی

تشخیص خطا و ایزوله کردن آن از جمله مباحث پراهمیت در حفاظت از ریزشبکه‌هایی است که دارای ژنراتورهای متصل به ادوات الکترونیک قدرت هستند. در این قسمت روشی برای حل این مشکل ارائه می‌شود که مبتنی بر قفل جهتی است.

در مورد سیستم توزیع شعاعی بدون وجود DG ها، رله‌های اضافه جریان جهتی همراه با عملکرد قفل غیرجهتی راه حل مناسبی هستند. در مورد شبکه‌های شعاعی، عمل قفل از انتهای فیدر به سمت منبع انجام می‌گیرد و پورت خروجی واحد تریپ را با کمک یک زوج کابل[3] به پورت ورودی واحد تریپ بعدی (در سمت تغذیه) مرتبط می‌کند. با وجود DGها در شبکه توزیع، عمل قفل غیرجهتی به علت اینکه جریان خطا از دو سمت تغذیه می‌شود، برای تشخیص محل خطا کارساز نیست. به همین منظور عمل قفل جهتی تطبیقی در ریزشبکه به کار گرفته می‌شود؛ یعنی جهت قفل، به وسیله تخصیص دوباره[4] پورت‌های ورودی و خروجی رله‌های متناظر تغییر می‌کند. این تغییر جهت در کمتر از ۵۰ میلی‌ثانیه، بسته به جهت جریان خطا نسبت به جهت قفل، انجام می‌پذیرد. جهت قفل هر رله اضافه جریان قبل از خطا به وسیله موقعیت ورودی/خروجی در پورت‌های ارتباطی رله، مشخص می‌شود. در شکل ۱۰-۱۶ عملکرد

1- Real time measurement level
2- On field
3- Screened twisted pair cable
4- Reassignment

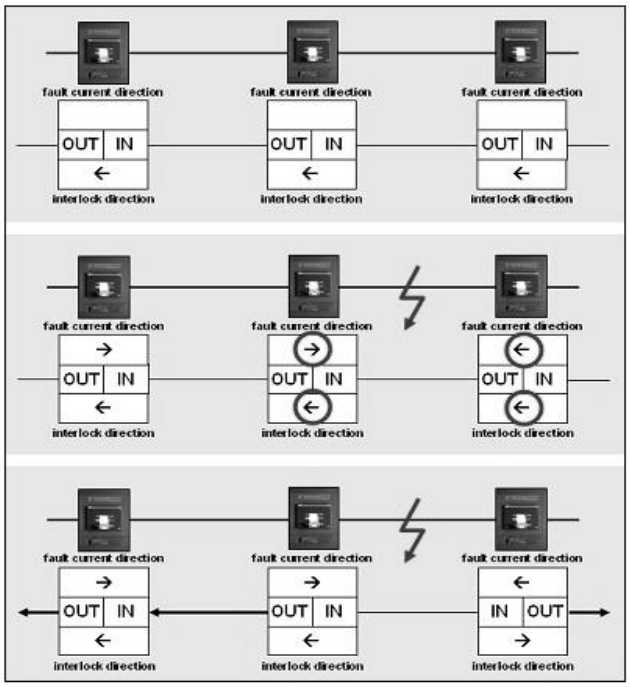
Ahwaz_Hackerz

قفل جهتی تطبیقی در ریزشبکه نشان داده شده است.

تخصیص دوباره پورت‌ها طبق قاعده زیر صورت می‌گیرد:

- اگر جهت جریان خطا مخالف جهت فعلی قفل بود، آنگاه جهت فعلی قفل حفظ می‌شود و رله سیگنال قفل را در جهت فعلی قفل ارسال می‌کند.
- اگر جهت جریان خطا مشابه جهت فعلی قفل بود، آنگاه جهت پورت‌های ورودی و خروجی قفل (جهت قفل) عوض می‌شود و رله سیگنال قفل را در جهت جدید قفل، مخالف با جهت فعلی قفل ارسال می‌کند.

بدین ترتیب الگوریتم قفل جهتی تطبیقی، سیگنال‌های قفل را در جهت‌های صحیح ارسال کرده و رله‌های دو سر عنصر معیوب شبکه فرمان تریپ را صادر کرده و جزء معیوب ایزوله می‌شود.



شکل ۱۰-۱۶: عملکرد قفل جهتی تطبیقی در ریزشبکه [۱۹].

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۶-۴- انواع طرح‌های حفاظتی تطبیقی

این نوع حفاظت بنا به نوع ماهیت اطلاعات مورد نیاز در الگوریتم بکار رفته به دو نوع محلی و غیر محلی تقسیم می‌شود. در طراحی سیستم حفاظتی، برای سیستم‌های توزیع با پیکربندی همواره متغیر، به دلیل نفوذ منابع تولید پراکنده، تا جایی که امکان دارد بایستی از حفاظت محلی استفاده کرد، اما این اصل کلی نیست؛ زیرا برای برقراری برخی از توابع حفاظت کاملاً نیاز به اطلاعات غیر محلی است. دلیل اصل بودن طراحی بر مبنای اطلاعات محلی تا حد امکان، مسئله امنیت و نیز سرعت ارسال اطلاعات در بستر مخابراتی موجود در شبکه‌های الکتریکی هوشمند است. چنانچه تکنولوژی‌ها و استراتژی‌های جدیدی بتوانند تا سر حد امکان سیستم حفاظت را محلی تعریف کنند، اطلاعاتی که به وسیله بستر مخابراتی بایستی ارسال شوند تا حد امکان کمتر می‌شوند. کاهش اطلاعات لازم برای ارسال بر روی بستر مخابراتی باعث کاهش ترافیک داده و در نتیجه ارسال سریع‌تر اطلاعات می‌شود. از طرف دیگر اطلاعات کمتری در معرض هک قرار می‌گیرند و این اصل باعث افزایش امنیت سیستم حفاظتی نیز می‌شود.

بر همین اساس انواع روش‌های ممکن در حفاظت سیستم‌های توزیع هوشمند به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- کاملاً بر مبنای اطلاعات محلی[1]

۲- بر مبنای اطلاعات غیر محلی[2]

۳- بر مبنای ترکیبی از اطلاعات محلی و غیر محلی در قالب سیاست‌های حفاظتی چندلایه[3]

در ادامه هریک از این سه نوع طرح در قالب مثال توضیح داده می‌شود و در پایان نیز بهترین روش برای طراحی یک سیستم حفاظتی که دارای اعتبار در تمامی شرایط کاری یک ریزشبکه هوشمند است، ارائه می‌گردد.

1- Local information based and not communicated controllable protection system

2- Wide Area Measurement (WAM) and communicated controllable relaying protection system

3- A multi-layer mixture of both local and wide area schemes

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۶-۴-۱- سیستم حفاظتی بر مبنای اطلاعات محلی

محلی بودن این طرح به این معنی است که تنظیمات هر دستگاه برای هر حالت کاری در حافظه همان دستگاه ذخیره است و به کنترل مرکزی احتیاج نیست. در یک طرح پیشنهادی از این روش، تمامی تنظیمات مربوط به هر دستگاه حفاظتی برای هر حالت کاری شبکه در حافظه همان دستگاه ذخیره می‌شود و دستگاه پس از تشخیص شرایط کاری جاری (جدید) تنظیمات مربوط به همان حالت را انتخاب می‌کند و بر اساس همین تنظیمات عمل می‌کند. این روند بر روی تمامی دستگاه‌های حفاظتی پیاده می‌شود. در این روش هر دستگاه برای تشخیص حالت کاری اعم از سنکرون با شبکه اصلی و یا حالت جزیره‌ای از اطلاعات محلی استفاده می‌کند و نیازی به بستر مخابراتی نیست و حفاظت نیز کاملاً محلی است. در این روش از متوسط تغییرات ولتاژ محل رله برای تشخیص وقوع حالت جزیره‌ای و نیز برای تشخیص دوباره وصل شدن به شبکه اصلی (سنکرون شدن ریزشبکه) از متوسط تغییرات فرکانس استفاده می‌شود. چنانچه ولتاژ محل رله از محدوده ۰/۹۵ الی ۱/۰۵ پریونیت تجاوز کند، ریزشبکه از شبکه بالادست ایزوله است و در حالت جزیره است. چنانچه فرکانس محل رله از محدوده ۴۹/۹ الی ۵۰/۱ هرتز تجاوز نکند، ریزشبکه به شبکه بالادست متصل شده است و در حالت سنکرون است.

۱۰-۶-۴-۲- سیستم حفاظتی غیر محلی بر مبنای شبکه‌های الکتریکی هوشمند

در یک ریزشبکه به دلیل وجود بستر مخابراتی پرسرعت و امن هرگونه اطلاعاتی در دسترس است. در این روش، طی چند سال اخیر استراتژی‌های زیادی ارائه شده است، اما آنچه تاکنون به عنوان یک طرح کاملاً موجه ارائه می‌شود، مکان‌یابی عیب با استفاده از اطلاعات غیر محلی و ارسال فرمان مناسب برای تمامی کلیدهای اطراف عیب است. ترتیب ارسال فرمان قطع به کلیدها بر مبنای میزان نزدیکی به محل عیب است. کلیدهای نزدیک‌تر به محل عیب بایستی

Ahwaz_Hackerz

زودتر قطع شوند. در صورت عدم قطع توسط کلیدهای دارای اولویت فرمان قطع با یک تأخیر از پیش تعیین شده به کلیدهای با اولویت پایین‌تر ارسال می‌شود.

۱۰-۶-۴-۳- بر مبنای ترکیبی از حفاظت‌های محلی و نیز غیر محلی

طرح مذکور را به اصطلاح چندعاملی و چندلایه[1] می‌نامند. در طرح حفاظت ترکیبی، با اطلاعات محلی بعضی از تصمیم‌گیری‌ها در لایه‌های پایینی انجام می‌شود و توسط عامل محلی تغییرات صورت می‌گیرد. همچنین تصمیمات با اطلاعات غیرمحلی در لایه‌های بالاتر انجام می‌شود و تغییرات لازم توسط عامل‌های غیرمحلی صورت می‌گیرد. کنترل ترکیبی به لحاظ اجرایی بسیار پیچیده است.

در این روش برای ترکیب دو نوع حفاظت معرفی‌شده در قسمت‌های قبل، از استراتژی‌های مدیریتی موجود استفاده می‌شود. ازجمله این استراتژی‌ها می‌توان از الگوریتم چندعاملی چندلایه استفاده کرد. در این استراتژی، از چندین عامل با قابلیت یادگیری هوشمند استفاده می‌شود. این عامل‌ها دارای سطوح تصمیم‌گیری قابل تعیین هستند. ضرورت تعریف این الگوریتم عدم وابستگی هرگونه تصمیم‌گیری به SRCU[2] است. در این روش تمامی تصمیم‌گیری‌ها توسط SRCU صورت نمی‌گیرد، بلکه بسیاری از تصمیمات توسط لایه‌های پایینی انجام می‌شود و فقط در مورد تصمیماتی که نیازمند به پارامترهای خارج از ناحیه دسترسی عامل مربوطه است، از لایه‌های بالاتر استفاده می‌شود.

برای نمونه، یک ساختار سیستم حفاظت چندعاملی چندلایه می‌تواند دارای سه لایه باشد که به ترتیب سطح اختیار در تصمیم‌گیری، از بالا به پایین شامل لایه‌های ناظر مرکزی، منطقه‌ای و محلی است. هر یک از لایه‌ها نیز دارای تعدادی عامل با قابلیت یادگیری آنلاین و یا آفلاین هستند. عامل‌های محلی مسئول حفاظت در مورد پارامترهایی هستند که نیاز به اطلاعات کاملاً

1- Multi-Layer and Multi-Agent
2- Supervisory Remote Control Unit

Ahwaz_Hackerz

محلی دارند. برای مثال در صورتی که برای حفاظت باس از حفاظت دیفرانسیل استفاده شود، تمامی جریان‌های مورد نیاز در محل باس در دسترسی هستند و نیازی به دریافت اطلاعات از سایر نقاط دور و غیرمحلی نیست. در صورتی که حفاظت یکی از تجهیزات مستلزم دسترسی به پارامترهای عاملین محلی مختلفی باشد، بایستی طرح حفاظتی توسط عاملین لایه بالاتر یعنی منطقه‌ای صورت گیرد. این لایه با تمامی عاملین لایه محلی ارتباط دو طرفه دارد. برای مثال حفاظت فیدر در این لایه قرار دارد. به همین ترتیب برای اجرای حفاظت بر اساس پارامترهای خارج از یک لایه منطقه‌ای بایستی حفاظت توسط ناظر مرکزی صورت پذیرد. مزیت استفاده از این سیستم عبارت‌اند از:

۱- عدم نیاز به برقراری ارتباط مخابراتی بین تمامی نقاط شبکه. چرا که شبکه مخابراتی به صورت یک هرم است که تمامی بسترهای آن قابلیت ارتباط دو طرفه دارند و برای برقراری ارتباط بین عاملین محلی از بالادست این لایه، یعنی عاملین منطقه‌ای استفاده می‌شود و نیازی به برقراری ارتباط بین تمامی عاملین محلی با یکدیگر نیست.

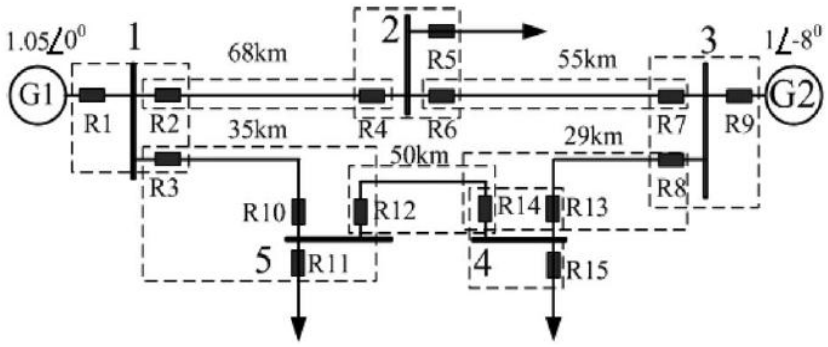
۲- برای هرگونه تصمیم‌گیری در مورد سیستم حفاظتی نیازی به ارسال اطلاعات تا SRCU نیست، بلکه فقط در صورت غیر لایه‌ای بودن اطلاعات مورد نیاز از SRCU استفاده می‌شود. این امر تأخیر موجود در روش دوم برای ارسال اطلاعات تا SRCU و نیز دریافت تنظیمات جدید توسط رله‌ها را تا حد قابل قبولی کاهش می‌دهد. از سوی دیگر تمامی اطلاعات شبکه در SRCU در دسترس نیست و این امر امنیت طرح را بالا می‌برد.

۱۰-۶-۵- نمونه‌ای از ساختار حفاظت تطبیقی بر مبنای حفاظت دیفرانسیل

در یک طرح حفاظت دیفرانسیل سنتی تمامی شبکه و تجهیزات در نواحی اصلی و پشتیبان حفاظت می‌شوند. به گونه‌ای که با رخداد هرگونه عیبی حفاظت برقرار و وارد عمل شده و با تأخیر بسیار ناچیز و در حدود نیم سیکل، تجهیز و یا خط معیوب را از شبکه خارج می‌کند. در صورتی که در این نوع حفاظت، دستگاه حفاظتی اصلی عمل نکند با تأخیر از پیش تعیین شده

Ahwaz_Hackerz

(در حدود ۰/۴ ثانیه) حفاظت پشتیبان وارد عمل می‌شود و ناحیه بزرگ‌تری را که تجهیز معیوب نیز در آن قرار دارد را از شبکه خارج می‌کند. نمونه‌ای از این نوع حفاظت و ناحیه‌های مربوطه در شکل ۱۰-۱۷ نشان داده شده است.

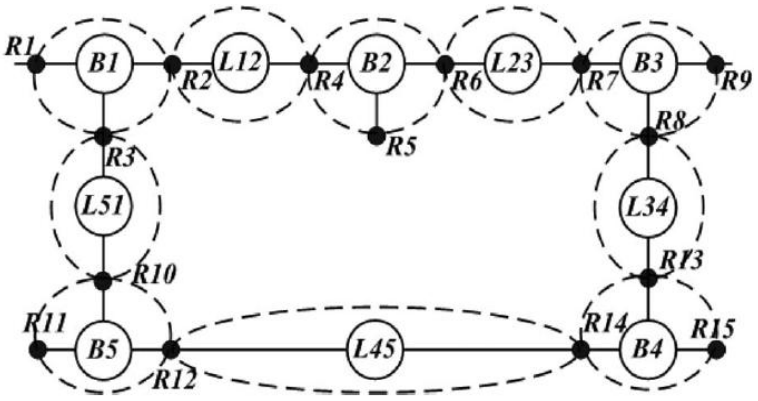


شکل ۱۰-۱۷: نمونه‌ای از ساختار حفاظت تطبیقی بر مبنای حفاظت دیفرانسیل [۴].

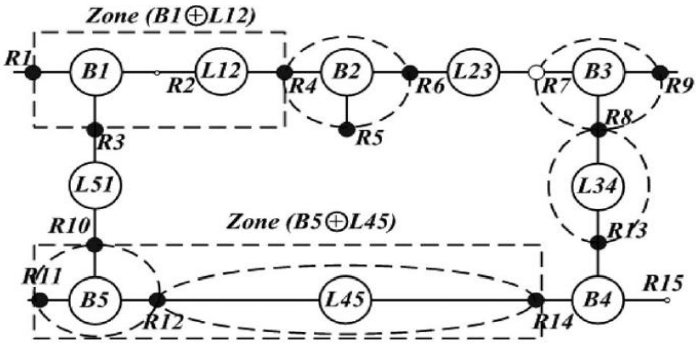
در شکل ۱۰-۱۷ در صورت عمل نکردن دستگاه‌های حفاظتی اصلی در ناحیه معیوب، به مدت ۰/۴ ثانیه، جریان عیب در شبکه باقی می‌ماند و سپس حفاظت پشتیبان عیب را برطرف می‌کند. در صورتی که بتوان با اعمال یک الگوریتم هوشمند این بازه تأخیر را از بین برد و به حداقل رساند، می‌توان عمر تجهیزات شبکه را تا حدودی افزایش داد. در صورتی که قبل از وقوع هرگونه عیب در شبکه بتوان از ناکارآمدی دستگاه‌های حفاظتی اصلی باخبر شد و نواحی حفاظت پشتیبان را به عنوان حفاظت اصلی (با تأخیر نیم سیکلی) در نظر گرفت، هدف برآورده شده است. در شکل ۱۰-۱۸ نواحی اصلی مربوط به شبکه ارائه شده است. برای مثال چنانچه رله R2 عمل نکند، نواحی اصلی مربوط به خط L12 و باس B1 از بین رفته و ناحیه جدید L12-B1که قبلاً پشتیبان بوده و دارای تأخیر ۰/۴ ثانیه بود، با تغییر تطبیقی به یک ناحیه با تأخیر نیم سیکل تبدیل می‌شود. همین قانون برای ناحیه L45-B5 و سایر نواحی نیز برقرار است. در واقع یک زیر ناحیه با کشف دستگاه‌های حفاظتی ناکارآمدش حذف شده و با گذر تطبیقی به یک ناحیه بزرگ‌تر تبدیل می‌شود. دو نمونه از تغییر نواحی در شکل ۱۰-۱۹ نشان

Ahwaz_Hackerz

داده است.



شکل ۱۰-۱۸: تقسیم‌بندی به نواحی اولیه [۴].



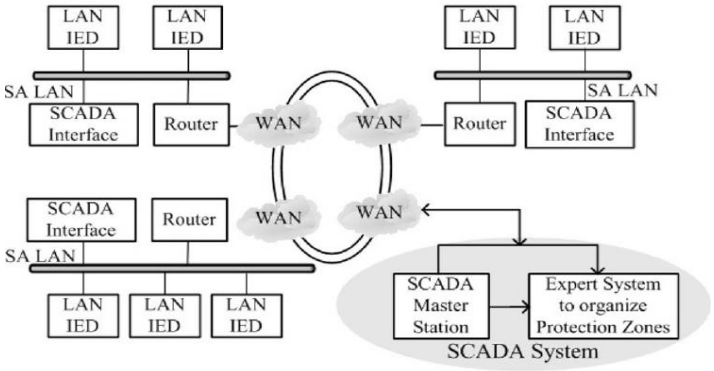
شکل ۱۰-۱۹: شکل نواحی پشتیبان و جدید [۴].

ناکارآمدی دستگاه‌های حفاظتی نیز توسط بستر مخابراتی اعلان می‌گردد که در شکل ۱۰-۲۰ نشان داده شده است.

در طرح حفاظت تطبیقی بر مبنای حفاظت دیفرانسیل، ناکارآمدی دستگاه‌های حفاظتی و نیز تغییر نواحی توسط یک واحد مرکزی صورت می‌گیرد که بایستی شرایط زیر را داشته باشد:

- باید کامپیوتری بوده و قابلیت ذخیره‌سازی و آنالیز داده‌های با حجم بالا را داشته باشد.
- باید قادر باشد بین ادوات دیگر مثل رله DG ها و بریکر نواحی ارتباط داشته باشد.

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۰-۲۰: بستر مخابراتی برای اجرای طرح حفاظت مذکور [۴].

۱۰-۷- حفاظت خودتطبیق

بر خلاف حفاظت تطبیقی تنظیمات رله‌ها تغییر داده نمی‌شوند، بلکه در ورودی رله‌ها (در طرف ثانویه‌ی CT) با اعمال یک جبران‌ساز، تغییرات شبکه در تنظیم رله اعمال می‌شود. اساس و برتری این روش نسبت به حفاظت تطبیقی در این است که در این روش نیازی به در نظر گرفتن مشخصات متنوع متناسب با ساختارها و وضعیت‌های کاری مختلف شبکه نیست؛ بنابراین می‌توان در حالت سنتی و بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده سیستم حفاظتی معتبری را برای شبکه طراحی کرده و با ورود و یا خروج منابع تولید پراکنده تنها تغییر حاصله در سیستم حفاظتی، جبران میزان افت و یا کاهش در جریان دیده شده توسط رله است. به عبارتی جریان دیده شده توسط رله به همان میزان سنتی بوده و هماهنگی رله‌ها نیز برقرار خواهد ماند.

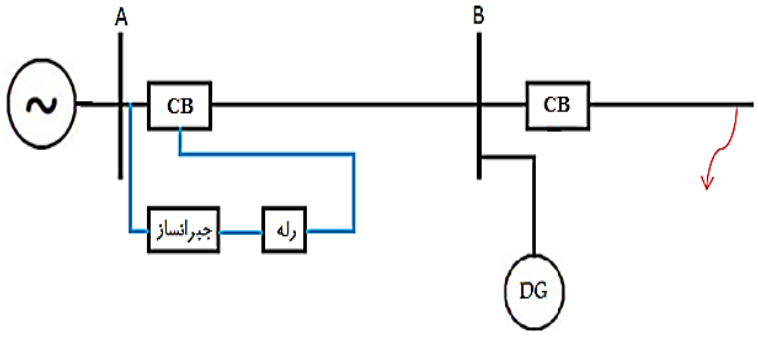
۱۰-۸- حفاظت ضد جزیره‌ای شدن تولید پراکنده

تشخیص جزیره‌ای شدن از این نظر اهمیت دارد که علاوه بر احتمال آسیب دیدن تجهیزات شبکه و مصرف‌کنندگان در اثر ایجاد این موقعیت، احتمال خطرهای جانی نیز وجود دارد. حفاظت ضد جزیره‌ای یکی از مهم‌ترین الزامات در استفاده منابع تولید پراکنده است. به

Ahwaz_Hackerz

عبارتی، یک منبع تولید پراکنده باید بتواند عملکرد خود به صورت جزیره‌ای و جدا از شبکه را تشخیص دهد و در زمان قابل‌قبول از مدار خارج شود.

یک جزیره زمانی ایجاد می‌شود که بخشی از شبکه توزیع، که شامل یک منبع تولید پراکنده است، از باقی مانده سیستم انرژی از نظر الکتریکی جدا شود، در حالی که بارهای واقع در منطقه ایزوله شده همچنان با منابع تولید پراکنده تغذیه شوند. جزیره‌ای شدن شبکه توزیع مشکلاتی را ایجاد می‌کند که سیستم توزیع برای رفع آن مشکلات طراحی نشده است. یکی از موارد مشکل‌ساز هنگام جزیره‌ای شدن احتمال وقوع پدیده رزونانس سری و همچنین پدیده فرورزونانس ژنراتور تولید پراکنده و خازن‌های تصحیح کننده ضریب قدرت نصب شده بر روی فیدرهاست.



شکل ۱۰-۲۱: اصول حفاظت تطبیقی.

۱۰-۸-۱- حفاظت موضعی ضد جزیره‌ای برای منابع تولید پراکنده

در تشخیص عملکرد جزیره‌ای از سیگنال‌های ولتاژ و جریان موجود در محل ژنراتور استفاده می‌شود و طرح‌های مبتنی بر فرکانس گسترده‌ترین روش مورد استفاده در تشخیص عملکرد جزیره‌ای برای ژنراتورهای تولید پراکنده سنکرون هستند. همان‌طور که می‌دانیم، چنانچه اختلاف زیادی بین تولید و مصرف توان در یک منطقه وجود داشته باشد، فرکانس آن تغییر خواهد کرد و با توجه به اینکه در زمان اتصال فیدر به سیستم اصلی فرکانس فیدر ثابت

Ahwaz_Hackerz

می‌ماند، لذا، می‌توان موقعیت جزیره را با کنترل مقدار فرکانس یا نرخ تغییرات آن تشخیص داد. برای تشخیص موقعیت جزیره سه نوع رله مبتنی بر فرکانس وجود دارد:

- رله فرکانسی
- رله نرخ تغییرات فرکانس یا ROSOF[1]
- رله جابجایی فاز یا VSR[2]

۱۰-۸-۱-۱- رله فرکانسی

عموماً پس از کارکرد کلید و ایجاد یک جزیره احتمال بسیار کمی وجود دارد که تولید و مصرف توان اکتیو در جزیره ایجاد شده با یکدیگر برابر باشند. به عبارت دیگر، همواره یک نامتعادلی در تولید و مصرف توان اکتیو وجود خواهد داشت و با توجه به آرایش‌های متفاوتی که برای یک جزیره می‌تواند ایجاد شود، سطح نامتعادلی توان پس از ایجاد جزیره مشخص نیست، اما می‌توان از این نبود توازن در تولید مصرف توان به خصوص در لحظه کارکرد کلید برای تشخیص جزیره استفاده کرد، زیرا نامتعادلی توان اکتیو جزیره در تغییر فرکانس سیستم اثر مستقیم دارد.

معمولاً تغییرات مجاز فرکانس حدود ۱٪ مقدار نامی آن است و خروج فرکانس از محدوده مجاز باعث قطع تولید پراکنده در حدود ۵ ثانیه خواهد شد. در یک کارکرد ایده‌آل، رله فرکانسی پس از قطع کلید باید عملکرد جزیره‌ای را تشخیص دهد و آن را قطع کند. در این فرآیند دو مشکل عمده وجود دارد:

اولاً چنانچه سطح عدم توازن تولید و مصرف توان اکتیو در جزیره به وجود آمده از مقدار بحرانی خود بیشتر نباشد، ممکن است رله فرکانسی در زمان مجاز تعیین شده کارکرد نداشته باشد و به عبارتی، در ناحیه غیرقابل تشخیص خود واقع شود.

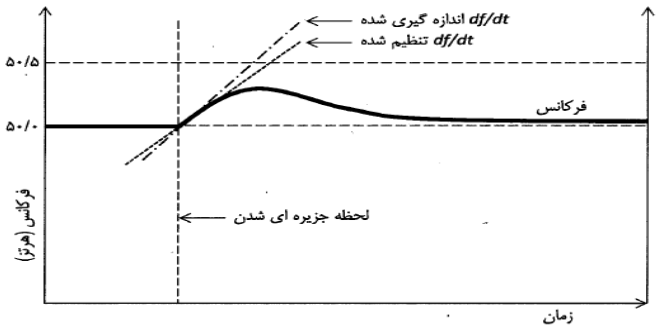
1- Rate Of Change Of Frequency
2- Vector Shift Relay

Ahwaz_Hackerz

ثانیاً چنانچه ژنراتور به ابزار کنترل فرکانس مجهز باشد، ممکن است تغییرات فرکانس قبل از عبور از حد مجاز میرا شود.

۱۰-۸-۱-۲- نرخ تغییرات فرکانس

رله نرخ تغییرات فرکانس ROCOF یک مرحله پیشرفته‌تر است. تصمیم‌گیری این رله بر اساس نرخ تغییرات فرکانس است. همان‌طور که در شکل ۱۰-۲۲ مشاهده می‌شود، تغییرات فرکانس قبل از اینکه عملکرد جزیره‌ای به وسیله رله فرکانسی تشخیص داده شود، با گاورنر ژنراتور میرا شده است. در مقابل رله ROCOF علاوه بر اینکه موقعیت جزیره را تشخیص می‌دهد، با سرعت بیشتری نیز عمل می‌کند. زمانی که نرخ تغییرات فرکانس از یک مقدار آستانه بیشتر شود، ژنراتور قطع می‌کند. مقادیر نوعی برای تنظیم این رله می‌تواند در محدوده ۰/۱ Hz/sec تا ۱۲ Hz/sec قرار بگیرد. یک عامل مهم موجود در این رله تابع سد کننده بر حسب کمترین ولتاژ ترمینال ژنراتور است.



شکل ۱۰-۲۲: رله ROCOF نسبت به رله فرکانسی حساس‌تر است.

به عبارتی، چنانچه ولتاژ ترمینال تا حدی کمتر از V_{min} معین کاهش یابد، سیگنال قطع رله ROCOF غیرفعال خواهد شد. این ویژگی برای جلوگیری از قطع رله هنگام راه‌اندازی ژنراتور یا شرایط اتصال کوتاه است. اصولاً رله‌هایی که از نرخ تغییرات کمیات قدرت از جمله فرکانس

Ahwaz_Hackerz

استفاده می‌کنند، یک مشکل عمده به نام قطع ناخواسته دارند. موارد متعددی پیش می‌آید که این رله‌ها بدون اینکه واقعاً جزیره‌ای ایجاد شده باشد، باعث قطع ژنراتور می‌شوند. این مشکل زمانی که چند واحد تولید پراکنده در فیدر توزیع وجود دارد خیلی حاد می‌شود. چنانچه یکی از واحدها به هر دلیلی قطع شود، احتمال اینکه رله‌های مبتنی بر نرخ تغییرات کمیات قدرت باعث قطع بی‌دلیل سایر ژنراتورها بشوند خیلی افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مشکل قطع نابجا برای رله‌های ROCOF بیشتر از سایر رله‌هاست، تا حدی که معمولاً بهتر است از ترکیب رله‌های فرکانسی و ROCOF برای حفاظت ضد جزیره‌ای ژنراتورهای سنکرون استفاده شود.

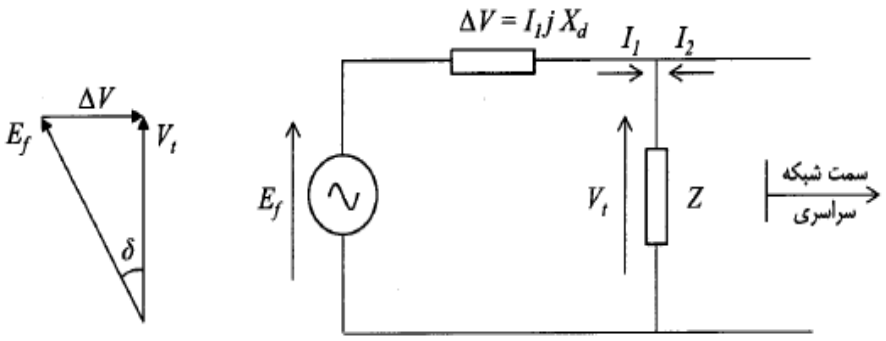
۱۰-۸-۱-۳- رله جابجایی فاز

در کارکرد عادی ژنراتور سنکرون همواره ولتاژ ترمینال ژنراتور (V_t) نسبت به ولتاژ داخلی ژنراتور (E_f) پس فاز است. این پدیده در مدل ژنراتور سنکرون با قرار دادن راکتانس سنکرون X_d توجیه می‌شود. این راکتانس باعث به وجود آمدن افت ولتاژ Δv می‌شود که طبق رابطه $\Delta v = I_\ell \times jX_d$ محاسبه می‌شود (شکل ۱۰-۲۳). در این صورت چنانچه اتصال به شبکه قطع شود، جریان عبوری از سیم‌بندی آرمیچر ژنراتور افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش زاویه ایجاد شده بین فازورهای ولتاژ V_t و E_f به‌اندازه $\Delta\delta$ خواهد بود (شکل (۱۰-۲۴)). در این صورت، اندازه و فاز ولتاژ ترمینال مقادیر جدیدی را اختیار می‌کنند. از این جابجایی فاز ولتاژ ترمینال ژنراتور در رله‌های جابجایی فاز (VSR) برای تشخیص عملکرد جزیره‌ای استفاده می‌شود.

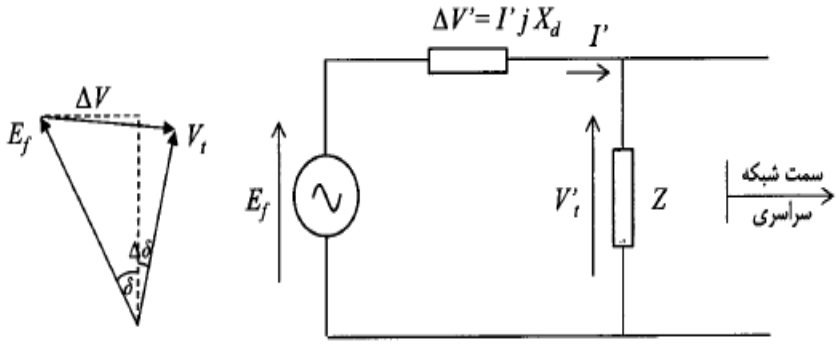
رله‌های VRS به طور مداوم مدت زمان هر سیکل از شکل موج ولتاژ خروجی را محاسبه و هر عدد به دست آمده را با مقدار قبلی مقایسه می‌کنند. در صورتی که اختلاف این دو از مقدار معینی بیشتر شد، فرمان قطع ژنراتور را صادر می‌کنند. برای این رله معمولاً تنظیم ۶ درجه پیشنهاد می‌شود؛ اما در صورت ضعیف بودن شبکه برای جلوگیری از قطع نابجای رله در اثر

Ahwaz_Hackerz

کلید زنی بارهای بزرگ باید تنظیم رله را افزایش داد (تا ۱۲ درجه).



شکل ۱۰-۲۳: مدل ژنراتور سنکرون و دیاگرام فازوری آن در حالت عادی.



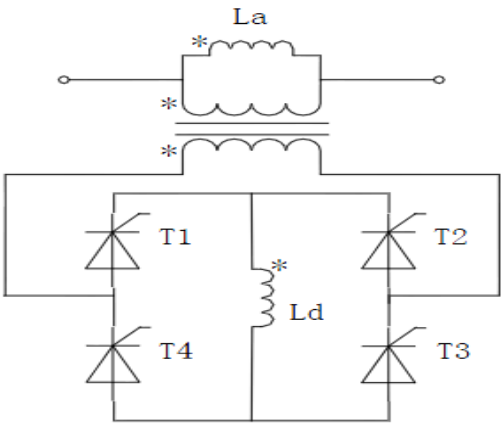
شکل ۱۰-۲۴: مدل ژنراتور سنکرون و دیاگرام فازوری آن در حالت جزیره‌ای.

از طرح‌های دیگری نیز برای تشخیص پدیده جزیره شدن استفاده می‌شود، از جمله تغییر توان اکتیو یا راکتیو خروجی، نرخ تغییرات توان راکتیو خروجی در واحد زمان $\frac{dQ}{dt}$، ضرایب $\frac{P}{Q}$ و $\frac{df}{dp}$، امپدانس دیده شده از ترمینال ژنراتور و همچنین، استفاده از مؤلفه توان منفی ولتاژ.

Ahwaz_Hackerz

۱۰-۹- روش‌های حفاظتی برای حل مشکل افزایش جریان خطا در حضور DG

یک روش جدید برای برطرف کردن تأثیر منفی منابع تولید پراکنده بر حفاظت موجود شبکه توزیع یا ریزشبکه‌ها و حل مشکل از دست رفتن تنظیمات حفاظتی در شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، استفاده از محدودکننده‌های جریان خطا (FCL[1]) است. در واقع اتصال FCL به منابع تولید پراکنده، جریان خطایی که از سمت منابع تولید پراکنده به نقطه خطادار شبکه وارد می‌شود را محدود می‌کند. در شکل ۱۰-۲۵ یک مدل ساده تکفاز FCL نشان داده شده است. با انتخاب پارامترهای مناسب برای FCL، تأثیر منفی منابع تولید پراکنده به خوبی برطرف شده و باعث شده تنظیمات حفاظتی سابق کماکان در شبکه مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۱۰-۲۶).



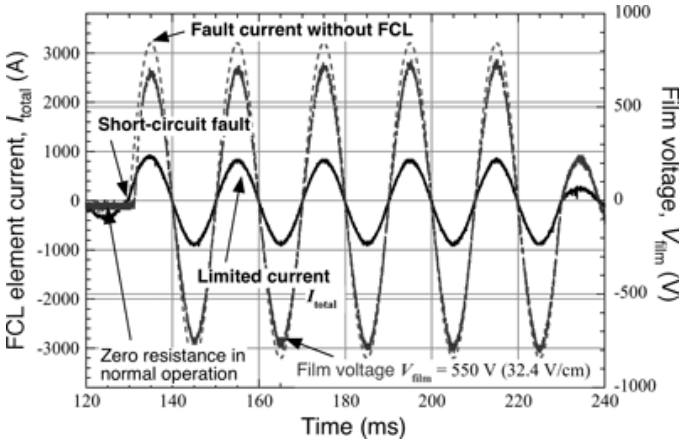
شکل ۱۰-۲۵: مدل تکفاز FCL [۲۰].

همچنین برای حل مشکل جریان خطای برگشتی منابع تولید پراکنده، در صورت نیاز از یک عنصر جهتی استفاده می‌شود. یکی از اقداماتی که برای حل مشکل افزایش جریان خطا در سیستم‌های قدرت مورد توجه قرار گرفته، استفاده از محدود کننده جریان خطای ابررسانا

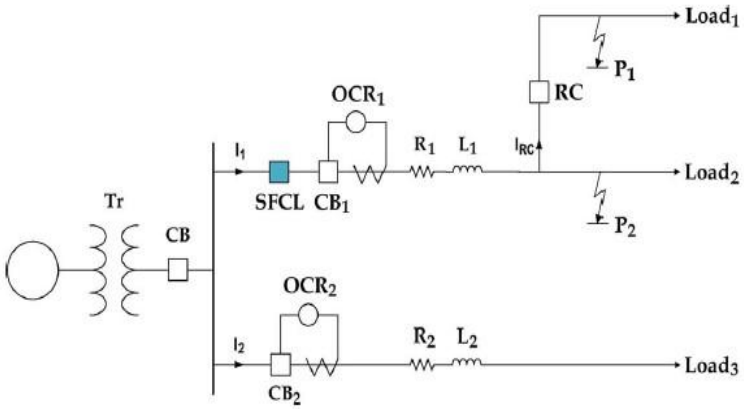
1- Fault Current Limitter

Ahwaz_Hackerz

(SFCL[1]) است. این وسیله در شرایط نرمال سیستم هیچ تلفاتی ندارد و هنگام وقوع خطا بدون استفاده از هیچ وسیله‌ای برای تشخیص خطا، به سرعت جریان خطا را محدود می‌کند.



شکل ۱۰-۲۶: نمونه‌ای از جریان محدود شده توسط محدود کننده جریان خطا [۱۸].



شکل ۱۰-۲۷ یک شبکه توزیع ساده با حضور یک SFCL در فیدر شماره ۱[۲۱].

حضور SFCL در شبکه توزیع بر هماهنگی حفاظتی تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود ادوات حفاظتی خارج از مقادیر تنظیم شده‌شان عمل کنند. برای حفظ هماهنگی ادوات حفاظتی،

1- Super Conductor Fault Current Limiters

Ahwaz_Hackerz

می‌بایست مقاومت SFCL در یک محدوده مشخص باشد. در شکل ۱۰-۲۷ ساختار ساده شده شبکه توزیع با حضور SFCL در فیدر شماره ۱ نشان داده شده است.

۱۰-۱۰- جمع‌بندی

همانطورکه گفته شد، حفاظت یک ریزشبکه از مهم‌ترین چالش‌های عملکردی آن به شمار می‌آید و می‌بایست تمامی بارها، خطوط و منابع آن در هر حالت کاری محافظت شوند. با توجه به شرایط کاری مختلف یک ریزشبکه، هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان متداول با تنظیمات ثابت امکان‌پذیر نیست و حفاظت اضافه جریان مرسوم نمی‌تواند برای شرایط بهره‌برداری مختلف ریزشبکه عملکرد مناسبی داشته باشد؛ بنابراین می‌بایست متناسب با شرایط بهره‌برداری از ریزشبکه، تنظیمات رله‌های اضافه جریان نیز تغییر کند. با توجه به تغییرات پویا در پارامترهای مؤثر در طراحی سیستم حفاظتی یک ریزشبکه از قبیل افزایش روز افزون تعداد و نوع منابع تولید پراکنده، عدم قطعیت و تغییر مکان نصب این منابع به دلیل تجدید آرایش، تجدید آرایش شبکه برای مدیریت بار و کاهش تلفات و نیز مش‌بندی و افزایش تعداد زیرفیدرها حفاظت تطبیقی بهترین راه حل برای حفاظت ریزشبکه‌ها به شمار می‌رود.

منابع و مراجع

[1] S. M. Brahma and A. A. Girgis “Microprocessor-based reclosing to coordinate fuse and recloser in a system with high penetration of distributed generation,” In Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, pp. 435-458, Jan. 2002.

[2] S. M. Brahma and A. A. Girgis “Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation,” IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 1, pp. 56-63, 2004.

[3] W. El-khattam and T. S. Sidhu, “Resolving The Impact Of

Ahwaz_Hackerz

Distributed Renewable Generation On Directional Overcurrent Relay Coordination: A Case Study," IET Renewable Power Generation, Vol. 3, No. 4, pp.415-425, 2009.

[4] P. Mahat, Zh. Chen, B. Bak-Jensen and C.L. Bak, "Adaptive Agent-Based Wide-Area Current Differential Protection System," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 46, No. 5, Sep. 2010.

[5] M. Leca, " Self Adaptive Protection Systems," 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), pp.25-28, 2012.

[6] P. Mahat, Zh. Chen, B. Bak-Jensen and C.L. Bak, "A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation," IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 2, No. 3, pp.428–437, Sep. 2011.

[7] N. Jenkins, N. Jayawarna, Y. Zhimg and J. P. Lopes, "Protection Guidelines for A Microgrid", CORDIS Technical Reports, 2005.

[٨] احسان خوب، "حفاظت میکروگرید به وسیله المان‌های جهت‌یاب به کمک ارتباط بین آن‌ها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ١٣٩١.

[9] A. Ashrafian, M. Rostami, G. B. Gharehpetian and M. Gholamghasemi, "Application of Discrete S-Transform for Differential Protection of Power Transformers," International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE), Vol. 4, No. 2, pp. 186-190, April 2012.

[10] M. A. Zamani, A. Yazdani and T. S. Sidhu, "A Protection Strategy And Microprocessor- Based Relay For Low Voltage Microgrids", IEEE Trans. on Power Delivery.Vol. 26. pp 1873-1883, 2011.

[11] A. Ashrafian, M. Rostami, G. B. Gharehpetian and S. S. Shafiee Bahnamiri, "Improving Transformer Protection by Detecting Internal

Ahwaz_Hackerz

Incipient Faults", International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE), Vol. 4, No. 2, pp. 196-201, April 2012.

[12] E. Ebrahimi, M. J. Sanjari and G.B. Gharehpetian, "Control of Three-Phase Inverter-Based DG System During Fault Condition without Changing Protection Coordination," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 63, pp. 814–823, Dec. 2014.

[13] H. Nikkhajoei, R.H.Lasseter, "MicroGrids Protection,", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007.

[14] D. Solati Alkaran, M. R. Vatani, M. J. Sanjari, G. B. Gharehpetian, and A. H. Yatim, "Overcurrent Relays Coordination in Interconnected Networks Using Accurate Analytical Method and Based on Determination of Fault Critical Point," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 30, No. 2, pp. 870-878, April 2015.

[15] S. A. Ahmadi, H. Karami, M. J. Sanjari, H. Tarimoradi and G. B. Gharehpetian, "Application of Hyper-Spherical Search Algorithm for Optimal Coordination of Overcurrent Relays Considering Different Relays Characteristics," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Systems (IJEPES), Vol. 83, Issue 12, pp. 443-449, Dec. 2016.

[16] M. Firouzi, G. B. Gharehpetian and S. B. Mozafari, "Bridge-Type Superconducting Fault Current Limiter Effect on Distance Relay Characteristic," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 68, pp. 115-122, 2015.

[17] M. Alizadeh, N. Khodabakhshi-Javinani, G. B. Gharehpetian and H. Askarian-Abyaneh, " Performance Analysis of Distance Relay in Presence of Unified Interphase Power Controller and Voltage-SourceConverters Based Iinterphase Power Controller," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 9, Issue 13, pp. 1642–1651, Oct. 2015.

[18] "New Electric Power Device Developed to Help Enable the

Ahwaz_Hackerz

Introduction of Numerous Distributed Generators," http://www.aist.go.jp.

[19] A. Oudalov "Adaptive Network protection in Microgrids," ABB Switzerland Ltd, Conference Research, 2009.

[20] H. Wang, "A New Method to Eliminate Dg's Negative Effects on the Existing Distribution Network Protection," International Conference on Electricity Distribution, Prague, 2009.

[21] Y. Kyoung, S. H. Lim, J. C. Kim and O. B. Hyun, "Study On Protection Coordination Between Protective Devices In A Power Distribution System With An SFCL". IEEE Trans.s on Applied Superconductivity, vol. 20, pp. 1168 - 1171, June, 2010.

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

شبکه‌های مخابراتی ۱۱

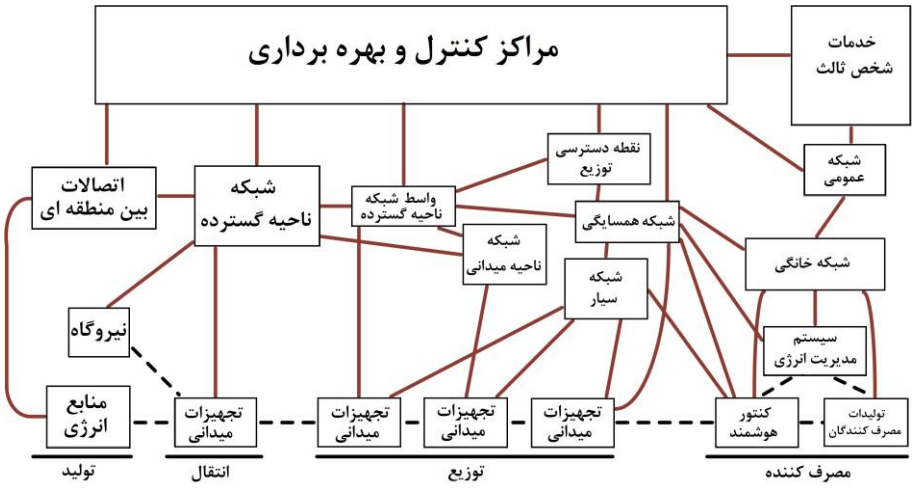
۱۱-۱- مقدمه

یکی از عوامل مهم در استقرار شبکه هوشمند، دسترسی به موقع به داده‌ها (اطلاعات) از طریق شبکه‌های ارتباطی (مخابراتی) مقیاس‌پذیر و فراگیر است. زیرساخت ارتباطی شبکه برق هوشمند یک شبکه چند لایه است که مشابه شبکه برق است و با بهره‌گیری از معماری طبقه‌ای برای تأمین انرژی از تولیدکننده به محل‌های مصرف‌کننده مشابهت دارد. همان‌طور که در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده است، این شبکه‌ها از بخش‌های مختلف دسترسی، توزیع و شبکه‌های گسترده (WANs[1]) که در تمام مناطق جغرافیایی بزرگ گسترش یافته‌اند، تشکیل شده است. شبکه‌های دسترسی، اجزای موجود در سطح مشتری را به یکدیگر متصل نموده و هدف اصلی از این شبکه‌ها دست‌یابی به انرژی تبدیل شده در سمت مصرف‌کننده است. شبکه‌های توزیع اطلاعات را از دستگاه‌های اندازه‌گیری هوشمند جمع‌آوری نموده و به نقاط تجمع انتقال می‌دهند. انتقال اطلاعات از نقاط تجمع به شبکه‌های برق از طریق شبکه‌های گسترده انجام می‌پذیرد.

با توجه به خلاصه اشاره شده در بالا، در این فصل ابتدا انواع شبکه‌های دیجیتالی بررسی می‌شوند و سپس شبکه‌های مناسب برای استفاده در یک شبکه هوشمند به همراه مزایا و معایب هر کدان معرفی می‌شوند.

1- Wide Area Network

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۱-۱: ساختار مخابراتی شبکه برق.

۱۱-۲- شبکه ارتباطی دیجیتال

۱۱-۲-۱- رادیو و تلویزیون

جیمز *لیندسی* در سال ۱۸۳۲ یک نمایش کلاسیک از تلگراف بدون سیم برای دانشجویانش برگزار کرد. در سال ۱۸۵۴ او قادر به مخابره از طریق مسیر رود تِی از شهر *داندی* در اسکاتلند به *وودهون* بود که مسافتی حدود دو مایل (۳ کیلومتر) است. او از آب به عنوان دالان مخابراتی استفاده کرد. *گوگلیلمو مارکونی* در دسامبر ۱۹۰۱ مخابرات بی‌سیمی بین سنت جانز در نیوفندلاند (کانادا) و پولدهو در کورنوال (انگلیس) ایجاد کرد که جایزه نوبل سال ۱۹۰۹ در رشته فیزیک را از آن خود کرد که او این جایزه را با کارل براون سهیم شد. البته مخابرات رادیویی در سطح محدود را نیکولا تسلا در سال ۱۸۹۳ در انجمن ملی نور الکتریکی معرفی کرده بود.

جان لوگی برد در ۲۵ مارس ۱۹۲۵ توانست انتقال تصاویر متحرک را در یک فروشگاه زنجیره‌ای در لندن نشان دهد. وسیله آقای بِرد بر دسیک نیپکو استوار بود و بنابراین به عنوان

Ahwaz_Hackerz

تلویزیون مکانیکی معروف شد.

این‌ها اساس پخش برنامه‌های آزمایشی BBC شد که در ۳۰ سپتامبر سال ۱۹۲۹ آغاز شد؛ اما در سراسر قرن بیستم تلویزیون به اشعه لامپ کاتدی که کارل براون اختراع کرده بود، وابسته بودند. اولین نوع از چنین تلویزیونی که قول داده شده بود به نمایش درآید، توسط فیلو فارنزورس ساخته شد و در ۷ سپتامبر ۱۹۲۷ به خانواده‌اش نمایش داده شد.

۱۱-۲-۲- شبکه‌های کامپیوتری و اینترنت

در ۱۱ سپتامبر ۱۹۴۰ *جرج استیبیتس* پدر کامپیوترهای دیجیتال، موفق شد با استفاده از ماشین تحریر، معادلات پیچیده‌ای را از نیویورک بفرستد و جواب آن را در کالجی در نیوهمپشایر دریافت کند. شیوه‌ی کامپیوترهای مرکزی تا دهه ۱۹۵۰ نیز محبوب بود تا این که در دهه ۶۰ تحقیقات در مورد گزینش بسته‌ای (ارسال داده‌ها به صورت بسته‌های مجزا) آغاز شد. این تکنولوژی، به داده‌ها اجازه ورود به کامپیوترهای دیگر را می‌داد، بدون اینکه از یک کامپیوتر مرکزی عبور داده شوند. در ۵ دسامبر ۱۹۶۹، چهار گره (نقاط اتصال در شبکه‌ها) به وجود آمد. این شبکه که مبنای به وجود آمدن آرپانت[1] (آژانس پژوهش‌های پیشرفته تحقیقاتی) شد، در سال ۱۹۸۱ تا ۲۱۳ گره شبکه‌ای توسعه یافت.

توسعه آرپانت بر روی RFC[2] (متنی که حاوی اطلاعاتی درباره‌ی استانداردهای مطرح شده است، و هر RFC مثل شماره‌ی سریال برنامه، یکتا بوده و قابل تغییر یا از بین بردن نیست) متمرکز بود. دلیل نام‌گذاری به این علت بود که در حین تشکیل از همگان می‌خواستند نظرات خود را در مورد سیستم ارائه بدهند. در نتیجه به درخواست مدارک برای اعلام نظر یا RFCs معروف شدند. در ۷ آوریل ۱۹۶۹، RFC1 ساخته شد. این عمل مهم بود چرا که آرپانت سرانجام در دیگر شبکه‌ها ادغام شد و اینترنت را به وجود آورد و بسیاری از قراردادها که اکنون

1- ARPANET:Advanced Research Projects Agancy Network
2- Request for Comments

Ahwaz_Hackerz

اینترنت بر آن استوار است توسط RFCها مشخص شده است.

در سپتامبر ۱۹۸۱، RFC791، پروتکل اینترنت (IPv4) و RFC793 قرارداد کنترل انتقال را معرفی کردند و بدین گونه مجموعه قراردادهای اینترنت (غالباً شامل این دو) که اینترنت امروزی بر آن اساس است به وجود آمد؛ اما تنها پیشرفت‌های مهم حول RFC نبود. دو قرارداد مهم برای شبکه‌های محلی در دهه‌ی ۷۰ به وجود آمد. *اولاف سودربرم* در ۲۹ اکتبر ۱۹۷۴ قرارداد حلقه‌ی رمزی را به ثبت رساند و *رابرت متکالف* قرارداد اترنت و *دیوید باگز* قرارداد ارتباطات انجمن ماشین آلات کامپیوتر را نوشتند.

۱۱-۲-۲-۱- شبکه‌های کامپیوتری ساده و شبکه‌های متکی به سرور

این تقسیم‌بندی برای انواع شبکه‌های کامپیوتری برحسب نوع روابط کامپیوترها با یکدیگر صورت گرفته است. شبکه‌های نظیر به نظیر شبکه‌هایی هستند که در آن‌ها تمام کامپیوترها به یکدیگر متصل هستند و نیازی به کامپیوتر سرور ندارند. این شبکه را شبکه نقطه به نقطه (Peer-to-Peer) نیز می‌نامند.

اما نوع دیگری از شبکه‌ها وجود دارند که آن‌ها را شبکه‌های سرویس‌گیرنده/ سرویس‌دهنده (Client/Server) می‌نامند. این نوع شبکه‌ها به کامپیوترهای پرقدرتی متکی‌اند که آن‌ها را کامپیوتر سرویس‌دهنده یا فقط سرویس‌دهنده می‌نامند. این کامپیوترهای پرقدرت انواع خدمات و سرویس‌ها را در اختیار کامپیوترهای سرویس‌گیرنده قرار می‌دهند (ارتباطات اینترنت از طریق این نوع شبکه صورت می‌گیرد). در یک شبکه‌ی مبتنی بر سرویس‌گیرنده/ سرویس‌دهنده ممکن است یک سرویس‌دهنده فقط فایل‌های بانک‌های اطلاعاتی را در اختیار کامپیوترهای سرویس‌گیرنده قرار دهد. سرویس‌دهنده‌ی دیگر ممکن است درخواست صفحات وب را پاسخگو باشد و سرویس‌دهنده‌ی دیگر ممکن است عملیات پیام‌های الکترونیکی (E-mail) را مدیریت نماید.

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۲-۲-۲- انواع شبکه از دیدگاه کانال ارتباطی

در تقسیم‌بندی دیگر برای انواع شبکه‌های انتقال، شبکه را به شبکه‌های پهن باند[1] و باند پایه[2] تقسیم کرده‌اند:

در شبکه‌های باند پایه (که بیشتر در شبکه‌های محلی LAN[3] به کار می‌رود) در یک لحظه مشخص تنها یک نوع سیگنال می‌تواند در کابل عبور کند؛ برای مثال نمی‌توان در این شبکه اطلاعات صدا و تصویر منتقل نمود و بیشتر به انتقال داده محدود می‌گردد. گره‌های شبکه نیز باید برای ارسال، به نوبت اقدام کنند. در این حالت هر گره منتظر می‌ماند تا نوبتش فرا رسد، تا در آن لحظه بسته‌هایی از اطلاعات را که از قبل آماده کرده، ارسال کند. با گذشتن بسته‌ها از کابل و رسیدن به مقصد، سیستم دریافت‌کننده آن‌ها را به ترتیبی که بسته، قبل از ارسال وجود داشته درمی‌آورد و به هم متصل می‌کند.

در شبکه‌های پهن باند در یک لحظه چندین سیگنال یا اطلاعات مختلف می‌توانند از کابل عبور کنند و به مقاصد خاص خود برسند. تلویزیون‌های کابلی نمونه‌ای از این شبکه‌ها هستند که از طریق کابل، هم‌زمان چندین کانال متفاوت را برای بیننده ارسال می‌کنند و سرویس‌دهندگان اینترنت هم می‌توانند هم‌زمان از طریق همین کابل و با استفاده از یک مودم کابلی خدمات اینترنت را به مشتریان خود ارائه دهند. در برخی شبکه‌های WAN به دلیل نیاز به پهنای باند بالا از تکنولوژی پهن باند استفاده می‌شود.

۱۱-۲-۲-۳- انواع شبکه‌های کامپیوتری برحسب اندازه‌ی شبکه

در این تقسیم‌بندی شبکه‌های ارتباطی بر اساس اندازه‌ی شبکه تقسیم‌بندی شده‌اند.

الف) شبکه محلی (LAN): شبکه‌های محلی مجموعه‌های نسبتاً کوچکی از کامپیوترها هستند که توسط یک رسانه‌ی مشترک با یکدیگر اتصال دارند و به تبادل اطلاعات می‌پردازند. در یک

1- Broad Band
2- Base Band
3- Local Area Network

Ahwaz_Hackerz

LAN می‌توان مجموعه‌ای از منابع اشتراکی را مانند پرینتر، هارد دیسک‌ها و غیره، بین سیستم‌ها به اشتراک گذاشت. LAN ها معمولاً در مجموعه‌های کوچک مانند اتاق‌های یک اداره یا حداکثر شبکه دو یا سه ساختمان نزدیک به هم استفاده می‌شوند.

ب) شبکه‌ی کلان‌شهری (MAN[1]): شبکه‌ی کلان‌شهری شبکه‌ای است عمومی که از شبکه‌ی محلی بزرگ‌تر است. این شبکه با ابعادی در مقیاس ده کیلومتر، توان انتقال را دارد که یک شهر را پوشش می‌دهد. شبکه‌های تلویزیون کابلی بهترین نمونه‌ی این شبکه‌ها هستند. این شبکه‌ها ابتدا در نقاط کور شهرها راه‌اندازی شدند و برای دسترسی مشترکان محروم از برنامه‌های تلویزیونی کاربرد داشت. گردانندگان این شبکه‌ها دریافتند با تغییرات کوچکی در این شبکه‌ها می‌توانند از آن‌ها در عرضه خدمات اینترنتی بهره گیرند. بدین طریق شبکه‌ی تلویزیون کابلی به شبکه‌ی کلان‌شهری MAN شد.

ج) شبکه‌ی گسترده (WAN): یک WAN در واقع شبکه‌ای است، متشکل از چندین LAN که با استفاده از مسیریاب‌ها و سوئیچ‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند. به عنوان مثال یک شرکت که دارای دو دفتر در دو شهر یا کشور متفاوت است، برای تبادل اطلاعات بین سیستم‌های خود باید یک شبکه‌ی LAN ایجاد کند. LANهای مختلف موجود بر یک WAN می‌توانند با استفاده از خطوط اجاره‌ای یا فیبر نوری و حتی ارتباط Dial-up به یکدیگر متصل شوند. اینترنت یک شبکه‌ی WAN بسیار گسترده است که در آن با استفاده از مجموعه‌ی گسترده‌ای از مسیریاب‌ها و سوئیچ‌ها، شبکه‌های کوچک‌تر به یکدیگر متصل می‌شوند.

د) شبکه‌های ناحیه‌ای میدانی (FAN[2]): این شبکه‌ها امکان ارتباطات را برای سیستم‌های توزیع فراهم می‌کنند. سنسورهای الکتریکی بر روی فیدرها و ترانسفورماتورهای توزیع، وسایل IED[3] برای انتقال دستورات کنترلی از سیستم مدیریت داده، منابع توزیع شده انرژی در سیستم توزیع، ایستگاه‌های شارژ خودروی برقی و وسایل اندازه‌گیری هوشمند در سمت مصرف

1- Metropolitan Area Network
2- Field Area Networks
3- Inteligent Electronic Device

Ahwaz_Hackerz

کننده‌ها، نصب می‌شوند که باید توسط سیستم مدیریت داده در مراکز کنترل، پایش و کنترل شوند. بهره‌بردار در سیستم توزیع برای مبادله و به اشتراک گذاشتن اطلاعات از شبکه‌ی ناحیه‌ای میدانی استفاده می‌کند. کاربردهای سیستم قدرت در این حوزه را به دو بخش می‌توان تقسیم کرد:

- حوزه میدان (مرتبط با خطوط توزیع، سنسورها، تنظیم کننده‌های ولتاژ و غیره) مثل SCADA[1].
- حوزه مصرف‌کننده (مرتبط با خانه‌ها، مراکز صنعتی و غیره) مثل AMI[2].

ه) شبکه‌ی خانگی (HAN[3]): این شبکه‌ها در حوزه‌ی مصرف‌کننده‌ها کاربرد دارند. برای اجرای پایش و کنترل وسایل هوشمند در سمت مصرف‌کننده و همچنین برای اجرای تکنولوژی‌های جدید مانند AMI، DR[4] و غیره از این تکنولوژی استفاده می‌شود.

۱۱-۲-۲-۴- انواع شبکه‌ی ارتباطی از دیدگاه فناوری انتقال

تکنولوژی‌های شبکه‌ی موجود شامل موارد زیر است:

الف) PLC[5]

در این تکنولوژی از خطوط قدرت برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود. انتقال سیگنال‌های حامل ماژوله شده از طریق سیم‌های انتقال توان صورت می‌گیرد. سیگنال‌های داده از ترانسفورمرها عبور نمی‌کنند لذا تکنولوژی PLC به قطعات خطوط بین ترانسفورمرها محدود می‌شود. نرخ انتقال داده با طول خط رابطه معکوس دارد که این نرخ از صدها بایت در ثانیه تا میلیون‌ها بایت در ثانیه تغییر می‌کند.

1- Supervisory Control And Data Acquisition
2- Advanced Metering Infrastructure
3- Home Area Network
4- Demand Response
5- Power Line Communication

Ahwaz_Hackerz

ب) DSL[1]

برای انتقال اطلاعات نیاز به نصب کابل‌های جدا از خطوط قدرت است. این تکنولوژی در مقایسه با PLC به تأسیسات بیشتری نیاز دارد، اما در عوض ظرفیت انتقال داده بیشتر و زمان تأخیر مخابره‌ی داده‌ی کمتری دارد. این تکنولوژی شامل موارد زیر است:

- فیبر نوری: انتقال سریع داده‌ها (نرخ انتقال ۱۵۵ مگابیت بر ثانیه – ۱۶۰ گیگا بیت بر ثانیه).
- اترنت (Ethernet): معمولاً در خانه‌ها و محل‌های کار استفاده می‌شود (نرخ انتقال ۱۰ مگابیت بر ثانیه – ۱۰ گیگا بیت بر ثانیه).
- کابل SL و کواکسیال: این مورد برای دسترسی به اینترنت استفاده می‌شود (نرخ تا ۱۰ مگابیت بر ثانیه) این مورد می‌تواند با کابل‌های موجود خطوط تلفن استفاده شود.

ج) تکنولوژی بی‌سیم (Wireless)

در تکنولوژی بی‌سیم خطوط و سیم‌های ارتباطی حذف می‌شوند. انتقال داده در مسیرهای کوتاه‌تر و با نرخ انتقال کمتر صورت می‌گیرد. این تکنولوژی بیشتر در شبکه‌های LAN مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای حداکثر نرخ انتقال ۲۲ مگابیت بر ثانیه و حداکثر فاصله ۲۵۰ متر می‌باشند.

۱۱-۲-۲-۵- تکنیک‌های سوئیچینگ

تکنیک‌های سوئیچینگ برای ایجاد یک لینک بین منبع و یک مقصد و برای انتقال داده از طریق یک کانال ارتباطی مشترک استفاده می‌شوند. انواع تکنیک‌های سوئیچینگ عبارت‌اند از:

الف) Circuit Switching

در این روش یک ارتباط فیزیکی برای استفاده‌ی حداکثر از منبع و مقصد در طول ارتباط ایجاد

1- Digital Subscriber Lines

Ahwaz_Hackerz

می‌شود. گره‌ها و لینک‌های اختصاص داده شده برای یک ارتباط نباید برای منابع و یا مقاصد دیگری، غیر از دو منبع و مقصد درگیر، استفاده شود.

ب) Message Switching

در این روش، داده از منبع به صورت یک پیغام به یک گره متصل می‌شود (این پیغام می‌تواند داده‌ی کنترل شده به وسیله یک سنسور یا یک دستور کنترلی باشد) سپس گره این داده را ذخیره می‌کند. زمانی که همه‌ی پیغام به گره رسید این گره به دنبال یک لینک آزاد برای انتقال داده به گره دیگری می‌گردد و سپس داده به گره بعدی فرستاده می‌شود و این فرایند همچنان ادامه می‌یابد تا داده به مقصد برسد.

ج) Packet Switching

این روش به دلیل مسائل قابلیت اطمینان و اقتصادی در شبکه‌های ارتباطی امروز غالب است. در این روش پیغام به بلوک‌های با اندازه‌ی مناسب شکسته می‌شوند که این بلوک‌ها Packet نامیده می‌شوند. پکت‌ها هنگام عبور از آداپتورها، سوئیچ‌ها و سایر گره‌های شبکه، بافر شده و در صف قرار می‌گیرند که این امر منجر به بازه‌های تأخیری متفاوتی در ارسال می‌گردد. مدت تأخیر به ترافیک شبکه بستگی دارد.

۱۱-۲-۳- انواع فناوری‌های نوین مخابراتی

۱۱-۲-۳-۱- فیبر نوری

افزایش نیاز به پهنای باند به گسترش روزافزون شبکه‌های فیبر نوری منجر شده است. ورود فناوری‌های جدید فیبر نوری و توسعه شبکه‌های دسترسی مبتنی بر فیبر نوری، علاوه بر آنکه کیفیت سرویس‌های پیشرفته عرضه شده بر بسترهای مخابراتی را افزایش می‌دهد، امکان ارائه سرویس به تعداد بیشتری از مشترکین را نیز فراهم می‌کند.

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۲-۳-۲-LTE[1]

افزایش تجهیزات همراه، کاهش درآمد سرویس‌های صوتی و گرایش روزافزون به سرویس‌های انتقال داده، بازیگران حوزه ارتباطات سیار را به سمت توسعه فناوری‌های بی‌سیم پیشرفته کشانده است. پس از عرضه شبکه‌های نسل سوم، فناوری LTE که از آن به عنوان جدی‌ترین کاندیدای نسل چهارم ارتباطات سیار یاد می‌شود، مطرح شده است. ابتدایی‌ترین ویژگی این فناوری رسیدن به سرعت تبادل اطلاعات ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه است.

۱۱-۲-۳-۳- رادیوی شناختگر[2]

عدم استفاده بهینه از طیف فرکانسی از یک‌سو و لزوم پیاده‌سازی شبکه‌های نسل بعد باند وسیع سیار از سوی دیگر، مؤسسات تحقیقاتی را به فکر استفاده بهینه از طیف فرکانسی انداخته است. رادیوی شناختگر، سیستمی است که به طور هوشمندانه در طول زمان به پایش فضای فرکانسی در گستره‌ای وسیع پرداخته و با عمل در باند فرکانسی مناسب، حداکثر بهره برداری را از ظرفیت فضای فرکانسی می‌نماید.

۱۱-۲-۳-۴- سرویس‌ها و محاسبات ابری[3]

افزایش قابلیت شبکه‌های ارتباطی ثابت و سیار، امکان انتقال اطلاعات، محاسبات و پردازش‌ها را به محیطی خارج از رایانه‌های شخصی فراهم می‌نماید. دسترسی به سیستم‌های عامل و برنامه‌های نصب شده در سرورهای خاص این امکان را به کاربران می‌دهد تا با استفاده از رایانه‌های ارزان‌تر و ساده‌تر بتوانند محاسبات پیچیده خود را بر بستر اینترنت انجام دهند. مجموعه این خدمات سرویس‌های ابری نام دارد. بزرگانی چون گوگل، مایکروسافت، آمازون و IBM با صرف هزینه‌های هنگفت تحقیقاتی برآنند تا در آینده بیشترین نقش را در این حوزه

1- Long-Term Evolution
2- Cognitive radio
3- Cloud computations and services

Ahwaz_Hackerz

ایفا نمایند.

۱۱-۲-۳-۵- نسخه ششم پروتکل اینترنت (IPv6)

رشد تقاضای آدرس IP به دلیل عرضه گسترده تجهیزات مبتنی بر پروتکل اینترنت باعث شده است تا قبل از سال ۲۰۱۲ دیگر آدرسی برای نسخه چهارم این پروتکل (IPv4) باقی نماند؛ بنابراین کشورهای جهان در حال حاضر در حال حرکت به نسخه ششم بوده و سرمایه‌گذاری‌های کلانی برای توسعه تجهیزات پشتیبانی کننده از این پروتکل نموده‌اند.

۱۱-۲-۳-۶- فمتوسل[1]

فمتوسل‌ها ایستگاه‌های پایه بسیار کوچکی هستند که درون ساختمان‌ها نصب شده و با اتصال مستقیم به یک شبکه سیمی، ارتباط مشترکین را به صورت بی‌سیم با شبکه‌های ثابت و سیار (همچون تلفن همراه) در محیط برقرار می‌کنند. افزایش کیفیت ارتباطات درون ساختمانی، هزینه پایین‌تر توسعه و نیز کاهش توان تشعشعی شبکه‌های ارتباطات سیار، افزایش ظرفیت انتقال داده برای کاربران مهم‌ترین عوامل رشد این فناوری در آینده نزدیک خواهد بود.

۱۱-۳- شبکه مخابراتی برای شبکه هوشمند

در این بخش در مورد شبکه مخابراتی مورد نظر در شبکه‌ی هوشمند بحث می‌شود.

۱۱-۳-۱- خصوصیات ایده‌آل برای شبکه مخابراتی مناسب شبکه‌های هوشمند

ساختار ارتباطی بین تولید انرژی، انتقال و توزیع و مصرف به ارتباط دو طرفه، توانایی همکاری با قسمت‌های دیگر و ارتباطات مطمئن با امنیت بالا و پهنای باند مناسب نیازمند است. امنیت سیستم باید آن‌قدر بالا باشد که در مقابل تهاجم سایبری مقاوم باشد و یک سیستم پایدار با

1- Femtocell

Ahwaz_Hackerz

کنترل خوب فراهم کند. در ادامه اصلی‌ترین نیازمندی‌های شبکه‌ی هوشمند مطرح می‌گردد:

الف) امنیت: ذخیره و انتقال امن اطلاعات برای شبکه‌های قدرت بسیار حیاتی است. مخصوصاً برای مواردی مانند اطلاعات صورت‌حساب‌ها، پایداری و کنترل شبکه قدرت این اهمیت بیشتر می‌شود. برای جلوگیری از حمله‌ی سایبری، مکانیزم امنیت مؤثر باید افزایش پیدا کند و باید امنیت شبکه‌ی قدرت در استاندارد کردن شبکه‌ی هوشمند در نظر گرفته شود.

ب) مقاوم بودن، داشتن قابلیت اطمینان بالا و در دسترس بودن: قابلیت حضور پروتکل‌های مخابراتی امن و مدرن، تکنولوژی‌های مخابراتی و اطلاعاتی به روز، ابزارهای کنترلی سریع‌تر و مقاوم‌تر و وجود ابزارهای هوشمند برای کل شبکه (از پست‌ها و فیدرها تا مصرف کننده‌ها) همگی می‌توانند مقاوم بودن و قابلیت اطمینان سیستم را بالا ببرند.

ج) قابلیت تطبیق و سازگاری با اندازه سیستم (Scalability): با توجه به اینکه تعداد زیادی از سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند، سنسورهای هوشمند، جمع‌کننده داده‌های هوشمند، منابع انرژی تجدید پذیر و غیره به شبکه مخابراتی متصل هستند، بنابراین تکنولوژی‌های ارتباطی باید با اندازه‌ی بزرگ سازگار باشند.

۱۱-۳-۲- چالش‌های سیستم‌های مخابراتی

در ادامه برخی از چالش‌های پیشروی سیستم‌های مخابراتی در شبکه‌های هوشمند بیان می‌شود.

۱) استانداردهای مخابراتی مناسب و توسعه پروتکل‌های ارتباطی عملی.

۲) دسترسی آگاهانه به باندهای فرکانسی بدون مجوز. (بدلیل کمبود و گران بودن باندهای فرکانسی رادیویی مجوزدار، تلاش‌های اخیر در راستای اجرای مخابرات شبکه هوشمند با استفاده از باندهای بدون مجوز بوده است)

۳) بهبود امنیت سایبری.

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۳-۳- معیار انتخاب روش ارتباطی

انتخاب روش مناسب برای ارتباط در شبکه‌ی هوشمند به عواملی وابسته است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شوند:

۱) رکود شبکه[1]: حداکثر زمان برای ارسال پیغام مشخص به مقصد موردنظر در یک شبکه مخابراتی را رکود شبکه می‌نامند.

۲) تحویل داده[2]: پروتکل‌های مورد استفاده برای یک سیستم قدرت مشخص باید چندین سطح مختلف از تحویل داده را برای کاربردهای مختلف فراهم کند.

۳) قابلیت اطمینان: ابزارهای مخابراتی در شبکه قدرت در حوزه‌های مشخص برای ارسال یا دریافت پیغام‌های بحرانی برای نگهداری و پایداری شبکه، به چارچوب کلی سیستم مخابراتی تکیه می‌کنند.

۴) امنیت

۵) هم‌زمان‌سازی[3]

۱۱-۳-۴- انواع شبکه‌ها

شبکه‌های ارتباطی مورد استفاده در شبکه‌های هوشمند به سه دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه به اختصار در مورد هر کدام توضیحاتی داده می‌شود.

۱۱-۳-۴-۱- شبکه‌های دسترسی

شبکه‌هایی هستند که از اتصال اجزای موجود در محل مشتری حاصل شده و به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: شبکه‌های خانگی (HANs)، شبکه‌های صنعتی (IANs) و شبکه‌های

1- Network latency
2- Data delivery criticality
3- Time synchronization

Ahwaz_Hackerz

تجاری/ اداری (BANs[1]). از ویژگی این سیستم‌ها می‌توان به مواردی همچون کوچک بودن منطقه تحت پوشش، وسعت محدود و نیاز به مصرف برق کم و سهولت پیکربندی لوازم و دستگاه‌های متعدد و تعامل برای ارائه طیف گسترده‌ای از قابلیت‌هایی مانند مدیریت کل انرژی اشاره نمود. تکنولوژی‌های ارتباطی مورد استفاده برای شبکه‌های دسترسی عبارت‌اند از: اترنت، اترنت بدون سیم، PLC، BPL و Zigbee.

۱۱-۳-۴-۲- شبکه‌های توزیع

شبکه‌های توزیع از دو نوع مختلف شبکه‌های همسایه (NANs[2]) و شبکه‌های میدانی (FANs) تشکیل شده‌اند. به طور معمول NANها شامل شبکه‌ای از نقاط دسترسی واقع در سراسر سیستم توزیع برق هستند که یک شبکه در میان کنتورهای هوشمند ایجاد کرده و آن‌ها را به نقاط دسترسی محلی متصل می‌کنند. شبکه‌های NAN دارای قابلیت ارتباط دو سویه برای خواندن کنتورها، پاسخ‌گویی تقاضا، قیمت‌گذاری پویا و قطع از راه دور هستند.

شبکه‌های میدانی اتصال بین پست‌های توزیع برق را فراهم می‌آورند، و این درحالی است که شبکه‌های FAN و NAN برای اتصال دستگاه‌های میدانی، تولید پراکنده، ذخیره‌سازهای برق و تعمیرکار سیار به کار می‌روند. شبکه‌های توزیع ارتباطی نیز شامل نقاط دسترسی توزیع شده (DAPs[3]) هستند، که وظیفه‌ی جمع‌آوری اطلاعات از شبکه‌های NAN و FAN به مراکز کنترل برق و مرکز عملیات از طریق شبکه‌های گسترده را عهده‌دار هستند. انتقال اطلاعات از نقاط تجمع به سمت شرکت‌های برق برعهده WAN است.

۱۱-۳-۴-۳- شبکه‌های گسترده (WAN)

شبکه‌های گسترده به طور کلی از دو شبکه به هم پیوسته تشکیل شده‌اند: شبکه‌های Core و

1- Building Area Network
2- Neighborhood Area Network
3- Distributed Access Points

Ahwaz_Hackerz

Backhaul. شبکه‌های Core با نرخ بالای داده، حداقل زمان تأخیر و معمولاً با استفاده از فیبر نوری دفاتر مرکزی و پست‌های برق را به یکدیگر متصل می‌کنند. شبکه‌های Backhaul عمدتاً از پهنای باند اتصال به شبکه‌های NAN و FAN برای جمع‌آوری داده از DAPها استفاده می‌کنند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند داده‌ها را از کاربرهای متعدد از جمله سیستم اتوماسیون و کنترل توزیع، دستگاه‌های حس‌گر و ناظر و سیستم‌های اسکادا که در سیستم‌های توزیع برق یا شبکه‌های انتقال برق واقع شده‌اند، جمع‌آوری کنند. شبکه‌های گسترده Backhaul باید قابلیت پشتیبانی ظرفیت بالای اتصال را داشته باشند تا به طور کامل به چشم‌انداز شبکه هوشمند که شامل ویژگی‌های اصلی همچون خود بهبودی و مشارکت مصرف‌کننده است، دست یابند. تکنولوژی‌های ارتباطی مورد استفاده برای این شبکه‌های عبارت‌اند از: MPLS، Wimax، LTE و Frame Relay.

۱۱-۳-۵- تکنولوژی ارتباطی موجود برای شبکه‌ی هوشمند

تکنولوژی ارتباطات یکی از اجزای مهم در ساختار شبکه‌ی هوشمند است. با جمع‌آوری تکنولوژی‌های پیشرفته برای به دست آوردن ساختار الکتریکی پیشرفته‌تر شبکه، حجم زیادی از اطلاعات به وسیله‌ی وسایل مختلف برای آنالیزهای بعدی و کنترل و روش‌های زمان واقعی جمع‌آوری خواهد شد. اگرچه تعیین نیازمندی‌های ارتباطات و پیدا کردن بهترین ساختار ارتباطات برای کنترل اطلاعات خروجی و به دست آوردن قابلیت اطمینان بسیار ضروری است. شرکت‌های برقی به منظور بهبود سرویس‌دهی و مؤثر بودن تمایل دارند که توجه مشتری‌ها را به سمت شرکت در سیستم شبکه‌ی هوشمند جلب کنند. تکنولوژی‌های ارتباطی مختلف بوسیله‌ی دو راه ارتباطی بی‌سیم و باسیم می‌تواند برای انتقال اطلاعات بین اندازه‌گیرهای هوشمند و شرکت‌های الکتریکی استفاده گردند. در بعضی مواقع اضطراری ارتباطات بی‌سیم دارای برتری‌هایی نسبت به ارتباطات باسیم هستند، مانند هزینه‌ی پایین‌تر و راحت‌تر بودن ارتباط با مناطق با دسترسی پایین‌تر. اگرچه طبیعت مسیرهای انتقال ممکن است باعث از بین

Ahwaz_Hackerz

رفتن سیگنال‌ها شود. از طرف دیگر روش‌های انتقال باسیم مشکلات تداخل امواج ندارند و عملکرد آن‌ها به باتری بستگی ندارد.

اساساً دو نوع ساختار انتقال اطلاعات برای جاری شدن اطلاعات در شبکه‌ی هوشمند مورد نیاز است. اولین نوع انتقال از سنسورهای دستگاه‌های الکتریکی به سمت اندازه‌گیرهای هوشمند است و دوم انتقال اطلاعات بین اندازه‌گیرهای هوشمند و مراکز اطلاعات شرکت‌های برق است. همان‌طور که در مراجع پیشنهاد شده است، اولین نوع انتقال اطلاعات می‌تواند از طریق خطوط برق قدرت (PLC) انجام پذیرد. تکنولوژی‌های ارتباطی دیگر مانند ZigBee، 6LowPAN، Z-wave و غیره نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

برای نوع دوم انتقال اطلاعات فناوری‌های سلولی و اینترنت می‌تواند استفاده شود. اگرچه تعدادی فاکتورهای محدودکننده وجود دارند که باید در محاسبات فراگیر شدن اندازه‌گیرهای هوشمند لحاظ گردند؛ مانند مدت زمان فراگیر شدن و هزینه‌های عملیاتی شدن و در دسترس بودن فناوری و محیط‌های شهری و رو ستایی داخل خانگی و بیرون خانگی و غیره. تکنولوژی‌ای که برای یک محیط به کار می‌رود ممکن است در محیط دیگر جواب‌گو نباشد. در ادامه برخی از تکنولوژی‌های انتقال اطلاعات با برتری‌ها و مشکلاتشان بحث می‌گردند. شایان ذکر است به طور عمده تکنولوژی‌های ارتباطی را به پنج دسته عمده می‌توان تقسیم‌بندی کرد.

- تکنولوژی‌های سری IEEE802 (شامل Zigbee، اترنت، Wireless LAN، Bluetooth، Wimax)
- تکنولوژی Power Line Carrier
- تکنولوژی DSL
- ارتباطات سیار (Mobile Communication)
- MPLS[1]

جدول ۱۱-۱ تکنولوژی‌های مختلف سری IEEE802 را مقایسه می‌کند.

1- Multiprotocol Label Switching

Ahwaz_Hackerz

جدول ۱۱-۱. تکنولوژی‌های سری IEEE 802 [۱۵].

پروتوکل	باند فرکانسی	پهنای باند	سرعت	محدوده
IEEE 802.4	-	-	۱، ۵ و ۱۰ مگابیت بر ثانیه	-
IEEE 802.11a	۵ گیگاهرتز	۲۰ مگاهرتز	۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۵۴ مگابیت بر ثانیه	داخلی: ۳۵ متر خارجی: ۱۲۰ متر
IEEE 802.11b	۲/۴ گیگاهرتز	۲۰ مگاهرتز	۱، ۲، ۵٫۵ و ۱۱ مگابیت بر ثانیه	داخلی: ۳۸ متر خارجی: ۱۴۰ متر
IEEE 802.11g	۲/۴ گیگاهرتز	۲۰ و ۴۰ مگاهرتز	۱، ۲، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۵۴ مگابیت بر ثانیه	داخلی: ۳۸ متر خارجی: ۱۴۰ متر
IEEE 802.11n	۲/۴ و ۵ گیگاهرتز	۲۰ و ۴۰ مگاهرتز	بین ۶/۵ تا ۳۰۰ مگابیت بر ثانیه	داخلی: ۷۰ متر خارجی: ۲۵۰ متر
IEEE 802.15.1	۲/۴ گیگاهرتز	-	بین ۱ تا ۳ مگابیت بر ثانیه	کلاس ۱: ۱ متر کلاس ۲: ۱۰ متر کلاس ۳: ۱۰۰ متر
IEEE 802.15.4	۸۶۸/۳ مگاهرتز	۶۰۰ کیلوهرتز	۲۰ کیلو بیت بر ثانیه	-
	۹۰۲-۹۲۸ مگاهرتز	۲۰۰۰ کیلوهرتز	۴۰ کیلو بیت بر ثانیه	
	۲۴۰۰-۲۴۸۳ مگاهرتز	۵۰۰۰ کیلوهرتز	۲۰ کیلو بیت بر ثانیه	
IEEE 802.16	۲-۶۶ گیگاهرتز	۱/۲۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ مگاهرتز	۷۵ (شبکه ثابت) و ۱۵ (شبکه سیار) مگابیت بر ثانیه	۵۰ کیلومتر

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۳-۵-۱- ZigBee

ZigBee و تکنولوژی مشابه آن، 6LoWPAN، یک فناوری انتقال اطلاعات بی‌سیم بر پایه استاندارد IEEE802.15.4 است که توان مصرفی کم و نرخ اطلاعات پایینی دارد و پیچیدگی و هزینه‌ی فراگیر شدن آن کمتر است. این فناوری یک فناوری هوشمند برای روشنایی هوشمند، پایش انرژی و اتوماسیون خانگی و اندازه‌گیری خودکار به شمار می‌آید. ZigBee SEP[1] در اتحادیه‌ی بین‌المللی استانداردها و تکنولوژی (NIST) آمریکا به عنوان مناسب‌ترین استاندارد ارتباطی شبکه‌ی هوشمند متناسب مناطق مسکونی شناخته شده است.

ارتباطات بین اندازه‌گیرهای هوشمند و به همان مقدار تجهیزات خانه‌ی هوشمند ضروری است. بسیاری از فروشنده‌های AMI مانند Itron، Elster و Landis Gyr ترجیح می‌دهند با اندازه‌گیرهای هوشمندی کار کنند که در آن‌ها از فناوری ZigBee استفاده شده باشد. فناوری ZigBee اطلاعات اندازه‌گیرهای هوشمندی که می‌توانند با وسایل ارتباطی ZigBee ارتباط برقرار کنند را جمع‌آوری می‌کند و آن‌ها را کنترل می‌کند. ZigBee SEP شرکت‌های تولیدکننده را برای فرستادن اطلاعات به صاحبان منازل آماده می‌کند و صاحبان منازل نیز می‌توانند از مصرف لحظه‌ای خودآگاه گردند.

۱۱-۳-۵-۱-۱- مزایا

ZigBee دارای ۱۶ کانال در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز است، که هر کدام از آن‌ها دارای ۵ مگاهرتز پهنای باند هستند. فناوری ZigBee یک گزینه‌ی مناسب برای اندازه‌گیری و مدیریت انرژی است و برای کارکردهای شبکه‌ی هوشمند با توجه به ویژگی‌هایی که دارد ایده‌آل است. این ویژگی‌ها شامل ساده بودن، بی‌سیم بودن، قوی بودن، پهنای باند مورد نیاز پایین، کم هزینه بودن، گسترش آن، کارکرد در طیف‌های فرکانسی دیگر، کارکرد راحت در شبکه و قرار گرفتن در استاندارد IEEE 802.15.4 است. ZigBee SEP همچنین مزیت‌های زیادی را مانند

1- Smart Energy Profile

Ahwaz_Hackerz

کاهش و کنترل بار، پاسخ‌گویی بار، برنامه‌های بلادرنگ و سیستم‌های پایش بلادرنگ و پشتیبانی اندازه‌گیری پیشرفته، برای شرکت‌های گاز و آب دارد.

۱۱-۳-۵-۱-۲- مشکلات

در کارکردهای عملی ZigBee چندین محدودیت از قبیل توانایی پردازش پایین، اندازه‌ی حافظه‌ی کم و تأثیر پذیر بودن از تداخلات فرکانسی ناشی از وسایل دیگر مانند فرکانس ناشی از وسایل صنعتی و پزشکی در رنج باند فرکانسی IEEE 802.11 و شبکه‌های بی‌سیم محلی، WiFi و Bluetooth و مایکرو ویو، وجود دارد. از آن‌جا که نگرانی‌های مربوط به قوی بودن ZigBee در شرایط نویز، احتمال فروپاشی کانال‌های ارتباطی را به دلیل تداخل b/g/802.11 در مجاورت ZigBee افزایش می‌دهد، طرح‌های آشکارساز تداخل و جلوگیری از تداخل به منظور مهیا کردن شبکه‌ای با قابلیت اطمینان و عملکرد مؤثر انرژی و افزایش عمر شبکه، باید به کار گرفته شوند.

۱۱-۳-۵-۲- Ethernet

اترنت به دلیل سادگی، نگهداری آسان، قابلیت ادغام با تکنولوژی‌های جدید و قابلیت اطمینان آن، تبدیل به پراستفاده‌ترین تکنولوژی شبکه برای سیستم‌های LAN باسیم شده است. همچنین اترنت هزینه نصب پایین داشته و به راحتی قابل ارتقاست. این تکنولوژی بر اساس IEEE802.3 بنا نهاده شده است و باند پایه آن در استانداردهایی نظیر 10BASE5، 10BASE2، 10BASE-T، 1BASE5، 100BASE-T و ... تعریف گردیده است. عدد اول، یعنی ۱ یا ۱۰ یا ۱۰۰ نمایانگر نرخ تبادل داده برحسب مگابیت بر ثانیه است. عدد یا حرف آخر حداکثر طول کابل و نوع کابل را بیان می‌کند. اترنت از تجهیزاتی شامل تکرارکننده (Repeater)، Hub، Bridge، سوئیچ و Router تشکیل یافته است.

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۳-۵-۲-۱- مزایا و معایب

مزایای شبکه اترنت در توصیف آن در بخش قبل مشخص شد. اترنت از یک وسیله مشترک[1] استفاده می‌کند که در آن بیش از یک تجهیز تلاش دارند از وسیله مشترک استفاده نمایند. درنتیجه مشکلی به اسم برخورد[2] به وجود می‌آید. مسئله برخورد به کمک پروتکلی به نام Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detect (CSMA/CD) حل می‌شود. مجموعه‌ای از میزبان‌ها[3] که به شبکه‌ای متصل شده و به طور هم‌زمان به انتقال داده مشغولند، یک دامنه برخورد ایجاد خواهند نمود. عملکرد شبکه تحت ترافیک شبکه از مکان این ناحیه‌ها در شبکه تأثیر می‌پذیرد. لذا این نواحی باید به طور مناسب ایزوله گردند تا بهترین عملکرد LAN حاصل شود. وجود Bridge ها و Router ها در شبکه به محدود کردن نواحی برخورد کمک خواهد کرد.

۱۱-۳-۵-۳- LAN بی‌سیم

IEEE802.11 استاندارد LAN بی‌سیم (WLAN) است. قابلیت ارتباط تجهیزات مورد اشاره در IEEE802.11 توسط شرکت Wi-Fi تأمین و تضمین گردیده است. LAN بی‌سیم از اجزای زیر تشکیل یافته است:

ایستگاه: هر گونه تجهیز یا قطعه‌ای که در LAN بی‌سیم ارتباط برقرار می‌کند برای مثال یک لپ‌تاپ یا گوشی تلفن همراه که از WiFi پشتیبانی می‌کند. در شبکه‌های Ad-hoc این تجهیزات می‌توانند با ایجاد مش با همدیگر ارتباط برقرار کنند.

نقاط دسترسی (AP): وقتی یک AP در شبکه حاضر است، به تجهیزات اجازه می‌دهد که از طریق آن با همدیگر ارتباط برقرار کنند. AP نیازمند دو برابر پهنای باندی است که اگر دو تجهیز مستقیماً با هم ارتباط برقرار می‌کردند نیاز داشتند. با این حال مزایای AP در شبکه

1- Shared medium
2- Collision
3- Hosts

Ahwaz_Hackerz

باعث استفاده از آن‌ها می‌گردد. آن‌ها باعث می‌شوند که بتوان شبکه را در یک مقیاس معقول نگه داشت و به کمک سیم به شبکه‌های دیگر متصل نمود. همچنین APها ترافیک را در شرایط کم‌توان (low-power) شبکه، بافر می‌کنند.

سیستم توزیع (DS): سیستم توزیع چندین شبکه را از طریق APهای آن‌ها به همدیگر متصل می‌کند. بدین ترتیب ارتباط بین APها ساده‌تر شده است و ترافیک با توجه به شرایط شبکه بین نواحی مختلف تقسیم می‌گردد.

Bluetooth -۴-۵-۳-۱۱

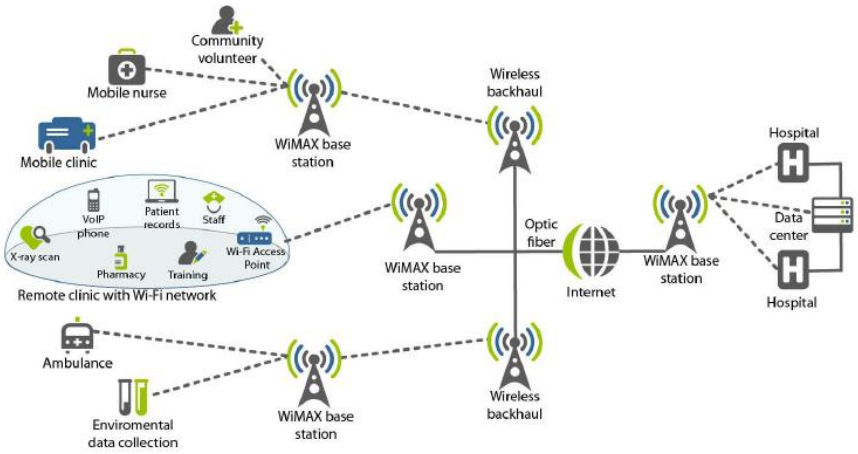
بلوتوث که توسط IEEE 802.15.1 تعریف شده است، یک تکنولوژی LAN بی‌سیم است که برای ارتباط تجهیزات ثابت و سیار از طریق انتقال رادیوی با توان کم و مسافت کوتاه طراحی شده است. در حال حاضر ورژن ۴ این تکنولوژی مورد استفاده است. بلوتوث دو ساختار شبکه به نام‌های Piconet و Scatternet تعریف نموده است. Piconet شبکه‌ای با یک تجهیز اصلی و حداکثر هفت تجهیز تابع است. البته تجهیزات بیشتری می‌توانند به عنوان تابع تجهیز اصلی وجود داشته باشند ولی توانایی ارتباط با آن را نخواهند داشت مگر اینکه یکی از هفت تابع اصلی با تجهیز اصلی قطع ارتباط نماید. Piconet ها می‌توانند از طریق یک Bridge که می‌تواند برده یک Piconet و ارباب Piconet دیگر باشد، با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. چنین مجموعه به هم‌پیوسته‌ای از Piconet ها را Scatternet می‌نامند.

WiMax -۵-۵-۳-۱۱

ارتباطات متقابل جهانی برای دسترسی مایکروویو (WiMax) یک تکنولوژی بی‌سیم مبتنی بر استاندارد IEEE802.16 است که امکان ارتباط از تجهیزات ثابت و سیار را با استفاده از تکنولوژی خاصی به نام Orthognal Frequency Division Multiple Access یا OFDMA فراهم می‌کند. یک شبکه معمولی WiMax در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است.

Ahwaz_Hackerz

پوشش WiMax به حدود ۵۰ کیلومتر رسیده و سرعت انتقال آن برای تجهیزات ثابت و سیار به ترتیب ۷۵ و ۱۵ مگابیت بر ثانیه است. انتظار می‌رود این سرعت‌ها به کمک IEEE 802.16m-2011 در حالت Uplink تا ۲۰۰ مگابیت بر ثانیه و در حالت Downlink تا ۳۰۰ مگابیت بر ثانیه افزایش یابند. WiMax برای تجهیزات سیار که با سرعت تا ۱۰ کیلومتر بر ثانیه حرکت می‌کنند بهینه‌ترین عملکرد را دارد. اگرچه این تکنولوژی می‌تواند در خودروهایی که با سرعتی تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند به کار رود ولی با افزایش سرعت، کارآیی آن افت خواهد نمود. ولی WiMax می‌تواند ارتباط خود را با ایستگاه‌هایی که با سرعت تا سقف ۳۵۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند حفظ نماید.



شکل ۱۱-۲: شبکه WiMax /۴/.

۱۱-۳-۵-۶- ارتباطات سیار

سیستم‌های ارتباط سیار در ابتدا فقط برای انتقال صوت طراحی شده بودند. استانداردی که این تکنولوژی بر آن استوار است GSM[1] است. بعدها، سرویسی به نام یا GPRS[2] نیز به عنوان

1- Global System for Mobile Communication
2- General Packet Radio Service

Ahwaz_Hackerz

مکمل به GSM اضافه گردید. همچنین در سال ۱۹۹۸ با ائتلاف بین چندین مؤسسه استاندارد بین‌المللی، نسل سوم سیستم‌های سیار (3G) بر پایه GSM، GPRS و EDGE[1] بنا نهاده شد. این پروژه اساساً بر مبنای انتقال داده (به جای انتقال صدا) استوار است.

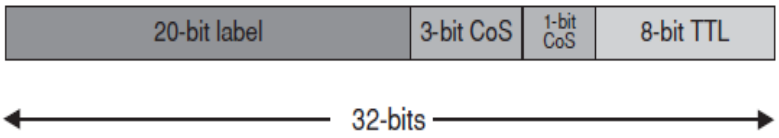
LTE یک تکنولوژی رقیب برای WiMax بوده و سرعت‌های سیار تا ۳۵۰ کیلومتر بر ساعت را با پوشش ۱۰۰ کیلومتر و پهنای باند ۱۰۰ مگاهرتز پشتیبانی می‌کند. LTE دارای این مزیت است که به طور پیوسته می‌تواند با تکنولوژی‌های موجود همچون GSM ارتباط برقرار کند.

MPLS -۷-۵-۳-۱۱

MPLS یک تکنیک انتقال پکت است که قادر به فراهم نمودن شبکه‌های خصوصی مجازی (VPN[2]) برای کاربران در شبکه‌های عمومی یا اینترنت است. VPN، خدماتی با کیفیت بالا و امن را برای برنامه‌هایی که نیازمند امنیت بالا باشند فراهم می‌آورد. برخی از کاربردهای نقطه به نقطه VPN بر پایه MPLS عبارت‌اند از واحدهای ترمینال دور (RTU[3]) و شبکه‌های اصلی مرکز کنترل سیستم[4]. VPN بر پایه MPLS، به دلیل قیمت نسبتاً پایین و قابلیت پیاده‌سازی سریع بر روی منابع شبکه‌ای فعلی، یک راه حل جذاب برای ارتباطات نواحی گسترده است. شیوه کار MPLS بر پایه الحاق برچسب به بسته‌های داده دریافت شده از لایه شبکه است. یک هدر MPLS از چهار فیلد به صورت زیر تشکیل می‌شود: فیلد برچسب با ۲۰ بیت، فیلد آزمایش یا کلاس سرویس با ۳ بیت، یک بیت Stack و فیلد زمان زندگی (time to live) با ۸ بیت (شکل ۱۱-۳). در MPLS وقتی یک بسته ارسال می‌شود، برچسب همراه با آن به گره بعدی فرستاده می‌شود. در این گره، برچسب برای تعیین جهش بعدی به کار می‌رود. برچسب قبلی با برچسب جدیدی جایگزین شده و به نود بعدی ارسال می‌گردد.

1- Enhanced Data Rates for GSM Evolution
2- Virtual Private Network
3- Remote Terminal Unit
4- System Control Center

Ahwaz_Hackerz



شکل ۱۱-۳: هدر MPLS

Wireless Mesh -۸-۵-۳-۱۱

یک شبکه‌ی مش شبکه‌ای است انعطاف‌پذیر که شامل گروهی از گره‌ها است و گره‌های جدید می‌توانند به این گروه ملحق شوند و هر گروه می‌تواند به صورت مستقل از دیگران عمل کند. در صورتی که هر گره از شبکه خارج گردد مشخصه‌ی خود بازیابی شبکه، سیگنال‌های ارتباطی را برای پیدا کردن راهی از طریق گره‌های فعال ممکن می‌کند. مخصوصاً در آمریکای جنوبی این سیستم‌ها بسیار مشهور هستند. در سیستم اندازه‌گیری هوشمند هر وسیله‌ی هوشمند به یک ماژول رادیویی مجهز می‌گردد، که هر کدام از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط وسایل اندازه‌گیری مجاور خود را دریافت می‌کند. هر اندازه‌گیر تا زمانی که اطلاعات جمع‌آوری شده به نقطه‌ی دسترسی شبکه برسد به عنوان یک تکرارکننده‌ی سیگنال عمل می‌کند. سپس داده‌های جمع‌آوری شده توسط شبکه‌ی ارتباطی به تولید کنندگان انتقال پیدا می‌کنند.

۱۱-۳-۵-۹- ارتباطات شبکه‌ی سلولی

شبکه‌های موجود سلولی ممکن است به عنوان یک گزینه‌ی خوب برای ارتباط بین وسایل اندازه‌گیری هوشمند و شرکت‌های تولیدکننده و میان گره‌ها مطرح شود. ساختار ارتباطی موجود، از صرف هزینه‌های اپراتور و زمان اضافی برای ساخت یک ساختار ارتباطی آشکار شده توسط شرکت‌های سازنده، جلوگیری می‌کند. راه‌حل‌های شبکه‌ی سلولی همچنین وسایل اندازه‌گیری هوشمند را برای فراگیر شدن فعال می‌کند. 2G، 2.5G، 3G، WIMAX و LTE

Ahwaz_Hackerz

از جمله‌ی تکنولوژی اطلاعات سلولی قابل دسترس هستند. زمانی که در انتقال اطلاعات داخلی بین وسیله‌ی اندازه‌گیری و شرکت تولیدی، یک نمونه‌ی ۱۵ دقیقه‌ای وجود داشته باشد، حجم زیادی از اطلاعات تولید خواهد شد و نرخ بالای ارتباطات برای ارسال آن به شرکت تولید کننده لازم است. به عنوان مثال GSM برای گسترش سرویس شبکه‌ی انرژی NES Echelon انتخاب شده است. یک تلفن موبایل قرار گرفته در یک ماژول رادیویی سلولی در وسایل اندازه‌گیری هوشمند Echelon، ارتباطات بین وسایل اندازه‌گیری هوشمند و شرکت تولیدکننده را برقرار می‌کند. به این دلیل که شبکه‌های موبایل نیازمندی‌های ارتباطی شبکه‌ی اندازه‌گیری هوشمند را کنترل می‌کنند، دیگر نیازی برای تحقیق یک شبکه‌ی ارتباطی جدید نیست. Telenor، Telecom ایتالیا و China Mobile و Vodafone توافق کرده‌اند که از شبکه جهانی موبایل GSM برای انتقال اطلاعات وسیله‌ی اندازه‌گیری هوشمند استفاده کنند. یک شرکت تولیدکننده‌ی انرژی استرالیایی (SP AusNet) در حال ساختن شبکه‌ی ارتباطات مخصوص برای کارکردهای شبکه‌ی هوشمند است و تکنولوژی WiMAX را برای انتقال اطلاعات انتخاب کرده است. تنظیمات تراشه‌ی WiMAX در داخل وسایل اندازه‌گیری هوشمند قرار گرفته‌اند و در این شرکت از ارتباطات بی‌سیم برای مخابره‌ی اطلاعات استفاده شده است. GE[1] در حال گسترش وسایل اندازه‌گیری هوشمند با پایه‌ی کارکرد WiMAX است و با شرکت Motorola و Intel برای راه‌حل‌های ارتباطی در حال رایزنی است.

در پروژه‌های وسایل اندازه‌گیری هوشمند GE با Point Energy Center تکنولوژی WiMAX گسترش یافته است و به این وسیله اطلاعات از وسیله‌ی اندازه‌گیری هوشمند به مرکز انتقال داده می‌شود. علاوه بر این برخی از شرکت‌های بزرگ مانند Cisco، Silver Springs Network و Verizon کاربردهای WiMAX را در شبکه‌ی هوشمند به کار می‌گیرند. Alvarion بزرگ‌ترین فروشنده‌ی جهانی WiMAX اعلام کرده است که با یک شرکت تولیدکننده‌ی آمریکایی (National Grid) برای پروژه‌های شبکه‌ی هوشمند بر پایه‌ی

1- General Electric

Ahwaz_Hackerz

WiMAX مشارکت می‌کند. کاهش هزینه‌های اپراتوری، گسترش شبکه، امنیت بالا، ارتباطات یکنواخت‌تر، سرعت انتقال اطلاعات بالا (تا ۷۵ مگا بایت بر ثانیه) و پهنای باند مناسب از جمله برتری‌های سیستم WiMAX امروزی هستند.

۱۱-۳-۵-۹-۱- مزایا

شبکه‌های سلولی هم اکنون وجود دارند؛ بنابراین شرکت‌های تولید کننده مجبور نیستند که هزینه‌های اضافی ساختار ارتباطات برای شبکه‌ی هوشمند را متحمل گردند. جهانی بودن هزینه‌های پایین، ارتباطات سلولی را به یکی از تکنولوژی‌های خوب و پیشتاز تبدیل کرده است. به دلیل جمع‌آوری اطلاعات در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر یک حجم زیادی از اطلاعات تولید خواهد شد و شبکه‌ی سلولی، پهنای باند مناسبی را برای هر کارکردی مهیا می‌کند. زمانی که بحث امنیت شبکه پیش می‌آید شبکه‌های سلولی برای تضمین انتقال اطلاعات با ضریب امنیت بالا مناسب‌اند.

برای مدیریت سالم اطلاعات بار، وسایل اندازه‌گیری هوشمند در نواحی شهری و روستایی به دلیل این‌که پوشش شبکه‌های سلولی تقریباً به ۱۰۰ درصد می‌رسند، توانایی گسترش به نواحی بزرگ‌تر در شبکه‌ی هوشمند را دارند؛ که موردی کلیدی به حساب می‌آید. علاوه بر این فناوری GSM تا ۱۴/۴ کیلو بایت بر ثانیه عمل می‌کند و این نرخ داده AMI، پاسخ‌گویی بار و نیز شبکه‌ی خانگی را پشتیبانی می‌کند.

حفاظت سیگنال و سرویس امنیت حفاظت اطلاعات کاربران از جمله نقاط قوت تکنولوژی GSM هستند. هزینه‌ی پایین، پوشش بهتر، هزینه‌های نگه‌داری پایین‌تر، نصب سریع و خصوصیات بهتر نشان دهنده‌ی این هستند که شبکه‌های سلولی بهترین داوطلب فناوری ارتباطات برای کارکردهای شبکه‌ی هوشمند هستند. این شبکه می‌تواند مواردی هم چون مدیریت پاسخ‌گویی تقاضا، ساختار اندازه‌گیری هوشمند، HAN و مدیریت در هنگام قطعی برق و غیره را پشتیبانی کند.

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۳-۵-۹-۲- معایب

ضروری است که برخی از گره‌های شبکه‌ی قدرت، همیشه در ارتباط باشند. در حالی که سرویس‌های شبکه‌ی سلولی بین تمام مشترک‌ها تقسیم می‌شوند که این موضوع باعث ایجاد ترافیک در شبکه‌ی انتقال اطلاعات در شرایط اضطراری می‌گردد. این فرضیات می‌تواند شرکت‌های تولید کننده را به سمت ساختن شبکه‌های خصوصی انتقال اطلاعات سوق دهد. در شرایط غیرطبیعی مانند طوفان و باد، شبکه‌ی سلولی نمی‌تواند ارائه‌ی سرویس را ضمانت کند. در این شرایط شبکه‌های خصوصی در مقایسه با شبکه‌های عمومی، به دلیل کارکرد تغییر تکنولوژی و طیف باندی، می‌توانند عملکرد بهتری داشته باشند.

۱۱-۳-۵-۱۰- PLC

ارتباطات از طریق خطوط قدرت یک تکنیک است که از خطوط قدرت برای انتقال اطلاعات پر سرعت (۲–۳ مگابیت بر ثانیه) از یک وسیله به وسیله‌ی دیگر استفاده می‌کند. PLC به دلیل ارتباط مستقیم با وسایل اندازه‌گیری، اولین انتخاب برای ارتباط با وسایل اندازه‌گیری الکتریکی است. PLC برای کارکرد موفق AMI در مناطق شهری که راه‌حل دیگری برای برطرف کردن نیازهای شرکت‌های تولیدی ندارد، انتخاب شده است. این سیستم‌ها بر پایه‌ی شبکه‌ی توزیع کار می‌کنند و یکی از موضوعات مورد بحث شبکه‌ی هوشمند در کشور چین هستند. در شبکه‌های مرسوم PLC، اندازه‌گیری‌های هوشمند از طریق خطوط قدرت جمع‌آوری می‌شوند و داده‌ها از طریق شبکه‌ی سلولی به یک مرکز اطلاعات منتقل می‌شوند. به عنوان مثال هر وسیله‌ی الکتریکی مانند یک وسیله‌ی اندازه‌گیری انتقال‌دهنده‌ی هوشمند، بر روی خطوط قدرت می‌تواند برای انتقال اطلاعات به یک مرکز اصلی، به خطوط شبکه‌ی قدرت متصل گردد. به عنوان مثال فرانسه طرحی را شروع کرده است که شامل به‌روز کردن ۳۵ میلیون وسیله‌ی اندازه‌گیری قدیمی می‌شود. تکنولوژی PLC برای انتقال اطلاعات بین وسایل اندازه‌گیری هوشمند و جمع کننده‌ی داده‌ها انتخاب شده است؛ زیرا که تکنولوژی GPRS برای انتقال

Ahwaz_Hackerz

اطلاعات از جمع کنندگان به تولیدکنندگان به کار می‌رود.

ENEL یک شرکت تولیدکننده‌ی وسایل برقی ایتالیایی، تکنولوژی PLC را برای انتقال اطلاعات وسیله‌ی اندازه‌گیری هوشمند به نزدیک‌ترین جمع‌کننده و تکنولوژی GSM را برای فرستادن اطلاعات از جمع‌کننده به مرکز اصلی اطلاعات انتخاب کرده است.

۱۱-۳-۵-۱۰-۱- مزایا

PLC می‌تواند به عنوان یک تکنولوژی امید بخش برای کارکردهای شبکه‌ی هوشمند در نظر گرفته می‌شود چرا که به دلیل ساختار موجود، هزینه‌های نصب ساختار ارتباطی را کاهش می‌دهد. تلاش‌های استاندارد کردن شبکه‌های PLC، کم‌هزینه بودن و زیرساخت حاضر آن به عنوان دلایلی برای محبوبیت آن مطرح می‌گردد. قابلیت اطمینان بالا و درستی و مداخله‌ی مشترکین برخی از مسائل بحرانی در ارتباطات شبکه‌ی هوشمند هستند. کاربرد HAN یکی از بزرگ‌ترین کاربردهای فناوری PLC هستند. علاوه بر آن این تکنولوژی می‌تواند برای کاربرد شبکه‌ی هوشمند در مناطق شهری مانند وسیله‌ی اندازه‌گیری هوشمند، پایش و کنترل، مناسب باشد؛ زیرا که ساختار PLC هم اکنون تمام مناطقی را که شرکت‌های تولیدکننده در برمی‌گیرند، پوشش می‌دهد.

۱۱-۳-۵-۱۰-۲- معایب

به دلیل طبیعت انتقال اطلاعات توسط خطوط قدرت، سیستم PLC همواره با چالش‌هایی مواجه است. خطوط انتقال قدرت یک محیط سرشار از نویز هستند که مشکل ساز است. مشخصه‌ی پهنای باند پایین کاربرد PLC را برای مواردی که به پهنای باند بالا نیاز است، محدود می‌کند. علاوه بر این، تکنولوژی شبکه، تعداد و انواع وسایل متصل شده به خطوط قدرت، فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده و اثر منفی وجود سیگنال بر روی خطوط قدرت از جمله مشکلات این تکنولوژی هستند. حساسیت PLC به اغتشاش و وابسته بودن آن به

Ahwaz_Hackerz

کیفیت سیگنال از جمله معایبی هستند که باعث می‌شوند که PLC برای انتقال داده‌ها مناسب نباشد؛ بنابراین برخی از راه حل‌های ترکیبی وجود دارند که PLC را با بقیه‌ی روش‌ها ترکیب می‌کند.

DSL -۱۱-۵-۳-۱۱

DSL یک تکنولوژی پر سرعت انتقال اطلاعات است که از خطوط باسیم ارتباط شبکه تلفنی استفاده می‌کند، که در آن فرکانس‌های بالاتر از ۱ مگاهرتز نیز دیده می‌شود. ساختارهای موجود DSL هزینه‌های نصب را کاهش می‌دهد؛ بنابراین بسیاری از شرکت‌ها این تکنولوژی را برای پروژه‌های شبکه‌ی هوشمند خود برمی‌گزینند.

۱۱-۳-۵-۱۱-۱- مزایا

قابلیت‌های گسترده DSL، کم‌هزینه بودن آن و انتقال اطلاعات با پهنای باند بالا باعث کاندید شدن آن برای کاربردهای شبکه‌ی هوشمند با اندازه‌گیر هوشمند و انتقال داده‌ها شده است.

۱۱-۳-۵-۱۱-۲- معایب

قابلیت اطمینان پایین DSL باعث شده است که در موارد اضطراری نتوان از آن استفاده کرد. وابستگی به فاصله و به‌روز نبودن استاندارد آن ممکن است باعث به وجود آمدن مشکلات اضافی دیگر شوند. سیستم‌های ارتباطات با سیم DSL برای نصب و نگهداری به کابل‌های مخابراتی نیاز دارند و بنابراین نمی‌توان از آن‌ها به خاطر هزینه‌ی بالای نصب و حجم اطلاعات ارسالی پایین استفاده کرد.

در نهایت، تکنولوژی‌های باسیم مانند DSL و PLC، فیبر نوری برای نواحی گسترده گران‌تر تمام می‌شوند؛ اما این توانایی را دارند که ظرفیت‌های مخابراتی، قابلیت اطمینان و امنیت خود را افزایش دهند. از طرف دیگر، تکنولوژی‌های بی‌سیم هزینه‌های نصب را کاهش می‌دهند، اما

Ahwaz_Hackerz

مسائل پهنای باند و مسائل امنیتی را تحمیل می‌کنند.

۱۱-۳-۶- مقایسه تکنولوژی‌های مخابراتی

در جدول ۱۱-۲ بین تکنولوژی‌های مختلف مخابراتی مقایسه‌ای صورت گرفته است.

جدول ۱۱-۲: مقایسه تکنولوژی‌های مخابراتی.

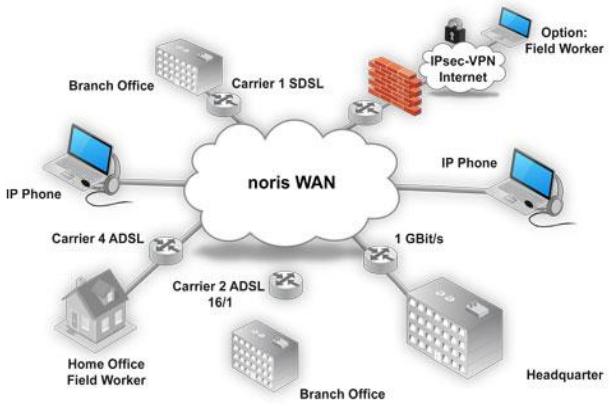
	Zig Bee	RFID	3GPP/2	Blue tooth	UWB	Wi MAX	Wi-Fi
LAN گسترده	-	-	-	-	-	-	✓
LAN خانگی	-	-	-	-	-	-	✓
توزیع صدا و تصویر در خانه	-	-	-	پخش صدا	✓	-	✓
قابلیت جابجایی وسیع	-	-	✓	-	-	✓	-
تعویض کابل/دستگاه	-	-	-	✓		-	✓
شبکه مش	-	-	-	-	خانگی	همسایگی	گسترده و خانگی
شبکه حسگر	✓	-	-	-	-	-	-
کنترل اموال	-	✓	-	-	✓	-	✓

Ahwaz_Hackerz

۱۱-۴- فناوری‌های مخابراتی WAN

WAN یک شبکه‌ی رایانه‌ای است که ناحیه‌های جغرافیایی نسبتاً وسیعی را پوشش می‌دهد (برای نمونه از یک کشور به کشوری دیگر یا از یک قاره به قاره‌ای دیگر). این شبکه‌ها معمولاً از امکانات انتقال خدمات دهندگان عمومی مانند شرکت‌های مخابرات استفاده می‌کنند. به بیان دیگر، این شبکه‌ها از مسیریاب‌ها و لینک‌های ارتباطی عمومی استفاده می‌کنند.

شبکه‌های گسترده از نظر محدوده تحت پوشش با شبکه‌های شخصی، شبکه‌های محلی، شبکه‌های دانشگاهی، شبکه‌هایی که چند ساختمان یک سازمان را پوشش می‌دهند یا شبکه‌های کلان شهری که معمولاً محدود به یک اتاق، یک ساختمان، فضای چند دانشکده یا یک شهر می‌باشند، قابل مقایسه هستند. بزرگ‌ترین و شناخته‌شده‌ترین مثال از یک شبکه گسترده شبکه اینترنت است.



شکل ۱۱-۴: شکل شماتیک یک WAN [۱۲].

۱۱-۴-۱- کاربردها

شبکه‌های گسترده برای اتصال شبکه‌های محلی یا انواع دیگر شبکه‌ها به یکدیگر استفاده می‌شوند؛ بنابراین کاربران و رایانه‌های یک مکان می‌توانند با کاربران و رایانه‌هایی در مکان‌های

Ahwaz_Hackerz

دیگر در ارتباط باشند. بسیاری از شبکه‌های گسترده برای یک سازمان ویژه پیاده‌سازی می‌شوند و خصوصی هستند. بعضی دیگر به وسیله سرویس دهندگان اینترنت[1] پیاده‌سازی می‌شوند تا شبکه‌های محلی سازمان‌ها را به اینترنت متصل کنند.

۱۱-۴-۲- ادوات WAN

هر شبکه گسترده (WAN) شامل ادوات و قسمت‌های زیر است:

- روتر (مسیریاب)
- سوئیچ
- مودم
- سرور ارتباطی

۱۱-۴-۳- استانداردهای WAN

معمولاً استانداردهای WAN، هر دو روش تحویل لایه فیزیکی و الزامات لایه پیوند داده‌ای را شرح می‌دهند که شامل آدرس فیزیکی، کنترل جریان و داده‌ها با یکدیگر می‌گردد. این استانداردها توسط بسیاری از مقامات شناخته شده، تعریف و اداره می‌شوند. جدول ۱۱-۳ به معرفی این استانداردها می‌پردازد.

۱۱-۵- فناوری‌های HAN

HAN نوعی شبکه محلی است که به منظور تسهیل ارتباطات و ایجاد قابلیت همکاری بین دستگاه‌های دیجیتال موجود در داخل و یا در مجاورت یک خانه توسعه یافته است. دستگاه‌های قادر به شرکت در این شبکه هوشمند دارای قابلیت‌های بیشتری هستند که از طریق آن

1- Internet Service Provider (ISP)

Ahwaz_Hackerz

می‌توانند به افزایش کیفیت زندگی در درون خانه از راه‌های مختلفی مانند اتوماسیون، افزایش بهره‌وری شخصی، افزایش امنیت خانه و دسترسی آسان‌تر به سرگرمی دست یافت.

جدول ۱۱-۳: معرفی استانداردهای WAN [۱۴].

Acronym	Organization
ITU-T (was CCITT)	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, formerly the Consultative Committee for International Telegraph and Telephone
ISO	International Organization for Standardization
IETF	Internet Engineering Task Force
EIA	Electronic Industries Association
TIA	Telecommunications Industries Association

۱۱-۵-۱- مزایای HAN

HAN به مصرف‌کنندگان اجازه می‌دهد تا به طور مستقیم زیرساخت شبکه‌های هوشمند را به نفع صاحبان خانه تغییر دهند، در نتیجه به شرکت برق در مدیریت اوج تقاضای برق کمک می‌کند. نمایی از ارتباط اجزا در یک شبکه خانگی در شکل ۱۱-۵ نمایش داده شده است.

HAN اجازه می‌دهد تا برنامه‌های شبکه هوشمند بتوانند ارتباطی هوشمندانه با ارائه دسترسی متمرکز به وسایل و دستگاه‌های مختلف داشته باشند و رویکردی فعال به مقوله صرفه‌جویی انرژی ایجاد نماید.

شرکت‌های برق می‌توانند به طور مؤثر بار شبکه را به طور خودکار به وسیله کنترل سیستم‌های انرژی مصرف بالا با HAN و زیرساخت‌های شبکه هوشمند مدیریت کنند. این مسئله در کاهش استرس شبکه برق و اجتناب از خاموشی بالقوه مؤثر است.

HAN می‌تواند نظارت، کنترل و اطلاعات مصرف انرژی را در مورد لوازم و دستگاه‌ها فراهم نماید و از این رو منجر به بهینه‌سازی مصرف انرژی با اجازه دادن به مصرف‌کنندگان جهت دریافت هشدار قیمت از شرکت برق می‌گردد.

Ahwaz_Hackerz

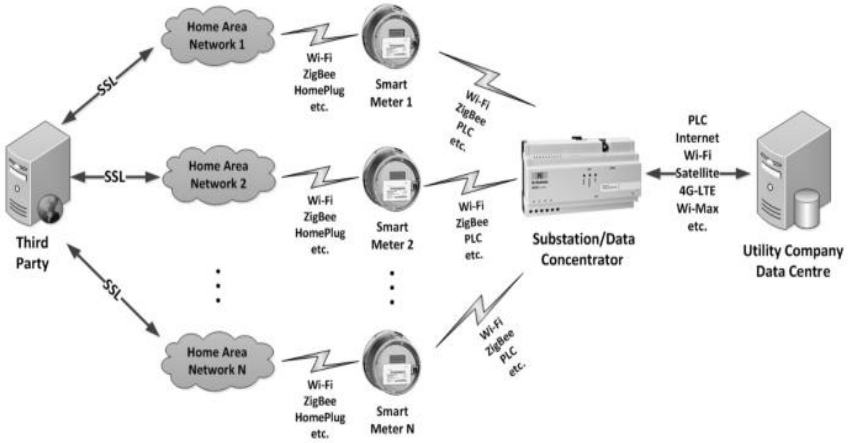
۱۱-۵-۲- چالش‌ها

چالش‌های مختلفی برای HAN وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

۱) یکی از چالش‌های بزرگ، نحوه ادغام تکنولوژی‌های مختلف فن‌آوری است، به طوری که خدمات هوشمند مانند راحتی، اتوماسیون، امنیت، مدیریت انرژی و سلامت را بتوان یکپارچه ارائه کرد.

۲) ارتباطات متقابل یکی دیگر از نگرانی‌های کلیدی در راه حل‌های فناوری است و باید این ارتباطات بازار به گونه‌ای طراحی گردد که برای بازار قابل قبول باشد.

۳) حریم خصوصی مصرف کنندگان و امنیت



شکل ۱۱-۵: ارتباط شبکه‌های HAN با تجهیزات [۱۳].

۱۱-۶- جمع‌بندی

در یک شبکه هوشمند ساختار ارتباطی بین تولید انرژی، انتقال و توزیع و مصرف به ارتباط دو طرفه، توانایی همکاری با قسمت‌های دیگر و ارتباطات مطمئن با امنیت بالا و پهنای باند مناسب نیازمند است. امنیت سیستم باید آن‌قدر بالا باشد که در مقابل تهاجم سایبری مقاوم باشد و یک سیستم پایدار با کنترل خوب فراهم کند. برای رسیدن به این اهداف، انتخاب یک

Ahwaz_Hackerz

شبکه و بستر مخابراتی مناسب ضروری است. ساختاری که انتخاب می‌شود شامل سه شبکه دسترسی، توزیع و گسترده خواهد بود که هر کدام باید ویژگی‌های خاص خود را داشته باشند تا شبکه هوشمند بهترین عملکرد ممکن را ارائه بدهد.

منابع و مراجع:

[1] V. C. Gungor, B. Lu, and G. P. Hancke, "Opportunities And Challenges of Wireless Sensor Networks In Smart Grid," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 10, pp. 3557–3564, Oct. 2010.

[2] U.S. Department of Energy, 2011. [Online]. Available: http://www.oe. energy.gov

[3] V. C. Gungor and G. Hancke, "Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 10, pp. 4258–4265, Oct. 2009.

[4] M. Paolini "Expandin the Reach of Health Care in Developing Nations with WiMax," Senza Fili Consulting, February 2009.

[5] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "Wireless Multimedia Sensor and Actor Networks for the Next Generation Power Grid," Ad Hoc Networks, Vol. 9, No. 5, pp. 542–551, Jun. 2011.

[6] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, "Plug-In Vehicles and Renew- Able Energy Sources for Cost and Emission Reductions," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 4, pp. 1229–1238, Apr. 2011.

[7] D. Lu, H. Kanchev, F. Colas, V. Lazarov and B. Francois, "Energy Management And Operational Planning Of A Microgrid With A PV-Based Active Generator For Smart Grid Applications," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4583–4592, Oct. 2011.

[8] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand Side Management: Demand

Ahwaz_Hackerz

Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads," IEEE Trans. Industrial Informatics, Vol. 7, No. 3, pp. 381–388, Aug. 2011.

[9] V. Calderaro, C. Hadjicostis, A. Piccolo and P. Siano, "Failure Identification In Smart Grids Based On Petri Net Modeling," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4613–4623, Oct. 2011.

[10] C. Cecati, C. Citro and P. Siano, "Combined Operations of Renewable Energy Systems and Responsive Demand in a Smart Grid," IEEE Trans. on Sustainable Energy, Vol. 2, No. 4, pp. 468-476, Oct. 2011.

[11] P. Siano, C. Cecati, C. Citro and P. Siano, "Smart Operation Of Wind Turbines And Diesel Generators According To Economic Criteria," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4514–4525, Oct. 2011.

[12] "NORIS Network," https://www.noris.de/en/it-services/network-security/noris-wan/wan.html.

[13] X. Fan and G. Gong "Security Challenges in Smart-Grid Metering and Control Systems," Technology Innovation Management Review, July 2013.

[14] IEEE Standard for Local Area Network/Wide Area Network (LAN/WAN) Node Communication Protocol to Complement the Utility Industry End Device Data Tables, in IEEE Std. 1703-2012, pp.1-239, June 29 2012.

[15] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture, in IEEE Std. 802-2014 (Revision to IEEE Std. 802-2001), pp.1-166, June 30 2014.

[16] D. M. Laverty, D. J. Morrow, R. Best and P. A. Crossley, "Telecommunications For Smart Grid: Backhaul Solutions For The Distribution Network," IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, 2010, pp. 1-6.

Ahwaz_Hackerz

[17] Wenpeng Luan, D. Sharp and S. Lancashire, “Smart grid Communication Network Capacity Planning for Power Utilities,” IEEE PES T&D 2010, New Orleans, LA, USA, 2010, pp. 1-4.

[18] Y. Peizhong, A. Iwayemi and C. Zhou, “Developing ZigBee Deployment Guideline Under Wi-Fi Interference for Smart Grid Applications,” IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 2, No. 1, pp. 110–120, Mar. 2011.

[19] C. Gezer and C. Buratti, “A ZigBee Smart Energy Implementation for Energy Efficient Buildings,” 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Yokohama, pp. 1-5, 2011.

[20] R. P. Lewis, P. Igic and Z. Zhongfu, “Assessment Of Communication Methods for Smart Electricity Metering in the U.K.,” 2009 IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy (SAE), Valencia, pp. 1-4, 2009.

[21] A. Yarali, “Wireless Mesh Networking Technology for Commercial and Industrial Customers,” 2008 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, ON, pp. 47-52, 2008.

[22] M. Y. Zhai, “Transmission Characteristics of Low-Voltage Distribution Networks in China under the Smart Grids Environment,” IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 26, No. 1, pp. 173–180, Jan. 2011.

[23] V. Paruchuri, A. Durresi and M. Ramesh, “Securing Powerline Communications,” 2008 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, Jeju city, Jeju Island, pp. 64-69, 2008.

[24] Q. Yang, J. A. Barria and T. C.Green, “Communication Infrastructures for Distributed Control of Power Distribution Networks,” IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol. 7, No. 2, pp.

Ahwaz_Hackerz

316–327, May 2011.

[25] T. Sauter and M. Lobashov, "End-To-End Communication Architecture for Smart Grids," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 4, pp. 1218–1228, Apr. 2011.

[26] K. Moslehi and R. Kumar, "Smart grid—A Reliability Perspective," Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1–8, Jan. 19–21, 2010.

[27] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak and S. Ergüt, "Smart Grid Communications and Networking," Türk Telekom, Tech. Rep. 11316-01, Apr. 2011.

[28] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements And Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 1, pp. 5-20, First Quarter 2013.

[29] V. C. Gungor et al., "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 7, No. 4, pp. 529-539, Nov. 2011.

[30] W. Wang, Y. Xu and M. Khanna, "A Survey on the Communication Architectures in Smart Grid," Computer Networks, Vol. 55, No. 15, pp. 3604–3629, 2011.

[31] J. Ekanayaka, *Smart grid*, 1st Edition, Jon Willey & Sons Ltd, 2012.

Ahwaz_Hackerz

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

فارسی	انگلیسی
الف	
ابرخازن‌ها	Ultra capacitors
ابرخازن‌ها	Super capacitors
اپراتور سیستم مستقل	Independent system operator (ISO)
اترنت	Ethernet
اتصال حلقه	Ring connection
اتصال ستاره	Star connection
اجباری	Mandatory
احتراق تراکمی	Compression ignition
احتراق داخلی	Internal combustion(IC)
احتمال از دست دادن بار	Loss of load probability (LOLP)
ادوات الکترونیک هوشمند	Intelligent electronic devices(IED)
ارتباط از طریق خط قدرت	Power line carrier (PLC)
ارزش خدمات جانبی	Ancillary service prices
ارزش مکانی	Locational value
ارزیابی امنیت	Security assessment
از دست رفتن	Loss

Ahwaz_Hackerz

IEC standards	استاندارد IEC
IEEE standards	استاندارد IEEE
Operation strategies of microgrid	استراتژی‌های بهره‌برداری ریزشبکه
Lead acid	اسید سرب
Master – slave	اصلی- تابع (پیشرو-پیرو)
Master	اصلی (پیشرو)
Over-current	اضافه جریان
Over-voltages	اضافه ولتاژ
Validation, estimation and editing	اعتبارسنجی، تخمین و ویرایش
Harmonic distortion	اعوجاج هارمونیکی
Continuous real power disturbances	اغتشاشات توان حقیقی پیوسته
Redundancy	افزونگی
Acquisition	اکتساب
Digital signature	امضای دیجیتال
Security of supply	امنیت تولید
Security	امینت
CO2 emission	انتشار دی اکسید کربن
Emission	انتشار گازهای آلاینده
Transmission	انتقال
Distribution line carrier	انتقال اطلاعات از خط توزیع

Ahwaz_Hackerz

Shifting of load	انتقال بار
Direct current transmission	انتقال جریان مستقیم
Transmission and distribution (T&D)	انتقال و توزیع
Association	انجمن تجمع
Advanced real-time telemetry	اندازه گیری زمان حقیقی پیشرفته
Smart metering	اندازه گیری هوشمند
Energy	انرژی
Wind power	انرژی بادی
Renewable energy	انرژی‌های تجدید پذیر
Flexible	انعطاف‌پذیر
English	انگلیسی
Internet of energy	اینترنت انرژی
Hydro	آبی
Addressing	آدرس‌دهی
Liberalized	آزاد
Microgrid field test	آزمون میدانی ریزشبکه
International energy agency	آژانس بین‌المللی انرژی
Threshold	آستانه

ب

Fossil-fueled	با سوخت فسیلی

Ahwaz_Hackerz

Wind	باد
Load	بار
Flexible load	بار انعطاف‌پذیر
Heat load	بار حرارتی
Variable load	بار متغیر
Sensitive loads	بارهای حساس
Adjustable loads	بارهای قابل تنظیم
Dispatchable loads	بارهای قابل‌کنترل
Market	بازار
Clearing market	بازار تسویه
Spot market	بازار لحظه‌ای
Day-ahead markets	بازارهای روز پیش رو
day-ahead/hour-ahead markets	بازارهای روز پیش‌رو/ساعت پیش‌رو
Optimal network reconfiguration	بازآرایی بهینه شبکه
Network reconfiguration	بازآرایی شبکه
Recloser	بازبست
Efficiency	بازده
Electrical efficiency	بازده الکتریکی
Dynamic voltage restorer (DVR)	بازیاب ولتاژ پویا
Restoration	بازیابی

Ahwaz_Hackerz

Supply restoration	بازیابی عرضه
Actors	بازیگران
Bus-centered	باس- مرکزی
Tag database	بانک اطلاعاتی برچسب
Bypass	بای‌پس
Wireless	بدون سیم
Uninterrupted power supply (UPS)	برق اضطراری(منبع توان بدون وقفه)
Electrification	برق‌رسانی
Metal oxide varistor (MOV)	برقگیر اکسید فلزی
Demand response program (DRP)	برنامه پاسخ تقاضا
Operation planning	برنامه‌ریزی بهره‌برداری
Operations scheduling	برنامه‌ریزی بهره‌برداری
Expansion planning	برنامه‌ریزی توسعه
Linear programming (LP)	برنامه‌ریزی خطی
Capacity and operations planning	برنامه‌ریزی ظرفیت و بهره‌برداری
Non-linear programming (NLP)	برنامه‌ریزی غیرخطی
Goal programming	برنامه‌ریزی هدف
Ancillary service market programs	برنامه‌های بازار خدمات جانبی
Bluetooth	بلوتوث
Blocks – Buses – Software (BBS)	بلوک-باس-نرم‌افزار

Ahwaz_Hackerz

بهبود قابلیت اطمینان	Reliability improvement
بهره‌بردار سیستم توزیع	Distribution system operator
بهره‌بردار شبکه توزیع	Distribution network operator
بهره‌بردار شبکه توزیع	Distribution network operator (DNO)
بهره‌بردار مستقل سیستم	Independent system operator (ISO)
بهره‌بردار مستقل سیستم قدرت	Independent electricity system operator
بهره‌برداران	Operators
بهره‌برداری	Operations
بهره‌برداری اقتصادی	Economic operation
بهره‌وری انرژی	Energy efficiency
بهینه‌سازی	Optimization
بهینه‌سازی چند هدفه	Multi-objective optimization
بهینه‌سازی حوزه فرکانس	Frequency-domain optimization (FDO)
بیش‌بود ولتاژ (برآمدگی ولتاژ)	Voltage swells
بینایی ماشین	Machine vision (MV)

پ

پارامترها	Parameters
پاسخ	Response
پاسخ اولیه	Primary response
پاسخ تقاضای سریع	Fast demand response

Ahwaz_Hackerz

Frequency response	پاسخ فرکانسی
Power system frequency response	پاسخ فرکانسی سیستم قدرت
Demand Response	پاسخگویی تقاضا
Incentive-based demand response	پاسخ‌گویی تقاضا تشویقی
Automated demand response	پاسخگویی تقاضا خودکار
Price-based demand response	پاسخگویی تقاضا مبتنی بر قیمت
Stability in islanded mode	پایداری در حالت جزیره
On-line transient stability	پایداری گذرای برخط
Wide-area monitoring, protection and control (WAMPAC)	پایش، حفاظت و کنترل ناحیه گسترده
Economic dispatch	پخش بار اقتصادی
Digital signal processing (DSP)	پردازش سیگنال دیجیتال
Congestion	پرشدگی
Protocol	پروتکل
Protocol (Communication protocol)	پروتکل (پروتکل‌های ارتباطی)
Internet protocol (IP)	پروتکل اینترنت
Transmission control protocol (TCP)	پروتکل کنترل انتقال
Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)	پروتکل کنترل انتقال/ پروتکل اینترنت
Substation	پست
Back-up	پشتیبان

Ahwaz_Hackerz

Coordinated voltage VAr support	پشتیبانی هماهنگ توان راکتیو–ولتاژ
Bandwidth	پهنای باند
Coherency-based, model complexity	پیچیدگی مدل مبتنی بر همبستگی
Slave	پیرو
Ageing	پیری
Contingency	پیشامد
Forecasting	پیش‌بینی
Forecasting demand	پیش‌بینی تقاضا
Forward and backward	پیش‌رو و پس‌رو
Critical peak (CP)	پیک بحرانی
Network configuration	پیکربندی شبکه
Fuel cell	پیل سوختی
Fuel cells	پیل‌های سوختی

ت

Consumer surplus function	تابع مازاد مصرف کننده
Latency	تأخیر
Propagation delay	تأخیر انتشار
Data latency	تأخیر داده
Time delay	تأخیر زمانی
Supplier	تأمین کننده

Ahwaz_Hackerz

Fourier transform	تبدیل فوریه
Fast Fourier Transform (FFT)	تبدیل فوریه سریع
Transformations	تبدیلات
On load tap changer (OLTC)	تپ چنجر زیر بار
Restructure	تجدید ساختار
Analysis	تجزیه و تحلیل
Time domain-based analysis	تجزیه و تحلیل مبتنی بر حوزه زمان
Visualization	تجسم
Short-circuit analysis	تحلیل اتصال کوتاه
Economic analysis	تحلیل اقتصادی
Contingency analysis	تحلیل پیشامدها
Topology analysis	تحلیل توپولوژی
Power system analysis	تحلیل سیستم قدرت
Frequency-domain-based analysis	تحلیل مبتنی بر حوزه فرکانس
PMU-based modal analysis	تحلیل مدال مبتنی بر PMU
Efficient allocation	تخصیص کارآمد
Electromagnetic interferences (EMI)	تداخل الکترومغناطیسی
Integrated gate bipolar transistor (IGBT)	ترانزیستور دوقطبی با گیت مجتمع
Insulated gate bipolar transistor (IGBT)	ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق
Transformer	ترانسفورماتور

Ahwaz_Hackerz

ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز	Phase shifting transformer
ترانسفورماتور جریان	Current transformer (CT)
ترانسفورماتور ولتاژ	Potential transformer (PT)
ترانسفورماتور ولتاژ	Voltage transformer
ترانسفورماتور ولتاژ خازنی	Capacitor voltage transformer
ترانسفورماتورهای ولتاژ	Voltage transformers
ترکیبی	Hybrid
تریستور	Thyristor
تریستور با قابلیت قطع گیت	Gate turn off thyristor
تشخیص خطا	Fault detection
تشدید	Resonance
تصدیق	Authentication
تصمیم‌گیرنده	Decision maker
تطبیقی	Adaptive
تطبیقی متمرکز	Centralized adaptive
تعامل پویا	Dynamic interaction
تعرفه (قیمت‌گذاری)	Tariffs (Pricing)
تعریف	Definition
تعقیب بار	Load following
تغییرات آب و هوایی	Climate change

Ahwaz_Hackerz

Demand	تقاضا
Critical demand	تقاضای حساس
Curtailable demand	تقاضای قابل قطع
Heat demand	تقاضای گرما
Single phase	تک فاز
Non-technical losses	تلفات غیر فنی
Mobile	تلفن همراه
Pump-storage	تلمبه – ذخیره‌ای
Proportional – integral (PI)	تناسبی – انتگرالی
Frequency regulation	تنظیم فرکانس
Automatic voltage regulators (AVR)	تنظیم کننده ولتاژ خودکار
Voltage regulation	تنظیم ولتاژ
Market regulator	تنظیم‌کننده بازار
Welfare functions	توابع رفاه
Positive phase sequence	توالی فاز مثبت
Negative phase sequence	توالی فاز منفی
Reactive power	توان راکتیو
Apparent power	توان ظاهری
Turbines	توربین
Gas turbine (GT)	توربین گازی

Ahwaz_Hackerz

توربین گازی سیکل ترکیبی	Combined cycle gas turbine (CCGT)
توربین‌های ضربه‌ای	Impulse turbines
توزیع	Distribution
توزیع پذیری	Dispatch ability
تولید PV و باد	Wind and PV production
تولید انرژی تجدید پذیر	Renewable energy generation
تولید پراکنده	Dispersed generation (DG)
تولید پراکنده	Distributed generation (DG)
تولید چندگانه	Polygeneration
تولید عمده	Bulk generation
تولید همزمان	Co-generation
تولید همزمان برق و حرارت	Combined heat and power (CHP)
تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق ساختمان	Building combined cooling, heating and power (BCCHP)
تولیدکننده مستقل توان	Independent power producer (IPP)
تهویه مطبوع	Air condition
تهویه هوا مطبوع	Heat ventilation and air conditioning

ث

ثبت اغتشاشات	Disturbance record
ثبت رخداد	Event recording

Ahwaz_Hackerz

ج

Load shifting	جابه‌جایی بار
Optimal capacitor placement	جایابی بهینه خازن
Active VAr compensator	جبران‌ساز توان راکتیو فعال
Reactive power compensation	جبران‌سازی توان راکتیو
Compensation	جبران‌ساز
Static compensator (STATCOM)	جبران‌ساز ایستا
Static VAr compensator (SVC)	جبران‌ساز ایستا توان راکتیو
Controlled series compensator	جبران‌ساز سری کنترل شده
Static synchronous compensator	جبران‌ساز سنکرون ایستا
Isolation	جداسازی
Decoupled	جداشده
Sectionalizer	جداکننده
Current	جریان
Negative sequence current (Current)	جریان توالی منفی (جریان)
Alternating current (AC)	جریان متناوب
Direct current (DC)	جریان مستقیم
High voltage direct current (HVDC)	جریان مستقیم ولتاژ بالا
Islanding	جزیره شدن
Intentional Islanding	جزیره‌ای شدن اجباری

Ahwaz_Hackerz

جزیره‌ای شدن ناخواسته	Unintentional islanding
جمع کننده شبکه‌های برق قدرت	Electric power grids aggregator
جمع کننده‌ها	Aggregators
جهت	Direction

چ

چالش‌های ریزشبکه‌ها	Challenges for microgrids
چرخ طیار	Flywheel
چشم‌انداز	Vision
چند ریزشبکه	Multi-microgrids
چند هدفه	Multi-objective

ح

حالت‌های گذرا	Transients
حذف بار	Load shedding
حساسیت	Sensitivity
حسگر	Sensor
حس‌گرهای اثر هال	Hall effect sensors
حفاظت	Protection
حوزه	Domain

خ

خارج خط	Off-line

Ahwaz_Hackerz

Capacitive	خازنی
Forced blackout	خاموشی اجباری
Blackout	خاموشی سراسری
Brown out	خاموشی محلی
Cascading Blackouts	خاموشی‌های متوالی
Smart home	خانه هوشمند
Primary and ancillary services	خدمات اصلی و جانبی
Web service	خدمات تحت وب
Ancillary services	خدمات جانبی
Retail	خرده فروشی
Outage	خروج (از مدار)
Digital output (DO)	خروجی دیجیتال
Fault	خطا
External faults	خطاهای خارجی
Internal faults	خطاهای داخلی
Hard failure	خطای سخت‌افزاری
Risk	خطر پذیری
Message digest	خلاصه پیام
Self-healing	خودترمیمی
Hybrid electrical vehicle	خودرو الکتریکی ترکیبی

Ahwaz_Hackerz

خودرو به شبکه	Vehicle-to-grid
خودروی الکتریکی	Electric vehicle
خودروی الکتریکی هیبرید قابل اتصال	Plug-in hybrid electric vehicle
خودکارسازی پست	Substation automation
خودکارسازی توزیع	Distribution automation
خودگردان	Autonomous

د

دارایی	Asset
دامنه	Amplitude
دپارتمان انرژی	Department of energy (DOE)
درایورهای تنظیم کننده سرعت	Adjustable speed drivers
درآمدها	Revenues
درگاه	Gateway
دروازه خدمات انرژی	Energy service portal
دروپ ها	Droops
دسترسی آزاد	Open access
دسترسی مستقیم	Direct access
دستی	Manual
دقت	Accuracy
دقت تبدیل آنالوگ به دیجیتال	Analogue to digital conversion accuracy

Ahwaz_Hackerz

Bidirectional	دو سویه
Home Plug	دو شاخه خانگی
Load cycle	دوره بار
Fixed period	دوره ثابت
Duty cycle	دوره کاری
Variable period	دوره متغیر
Differential	دیفرانسیل
Coupled swing dynamics	دینامیک نوسانات توأم
Light emitting diode	دیود ساطع کننده نور
Anti-parallel Diode	دیود موازی معکوس

ذ

Reserve	ذخیره
Thermal energy storage (TES)	ذخیره انرژی حرارتی
Spinning reserve	ذخیره چرخان
Spinning and nonspinning reserve	ذخیره چرخان و غیر چرخان
Compressed air energy storage	ذخیره ساز انرژی هوای فشرده
Data store	ذخیره کننده داده
Latent heat storage	ذخیره‌ساز گرمای نهان
Storage	ذخیره‌سازی
Hydrogen energy storage	ذخیره‌سازی انرژی هیدروژن

Ahwaz_Hackerz

ر

رابط انسان- ماشین	Man–machine interface (MMI)
رابط خدمات انرژی	Energy services interface
رابط کاربر- ماشین	Human–machine interface(HMI)
رابط گرافیکی کاربر	Graphical user interface
رابط مخابراتی امن	Secure communication interface
رابط‌ها	Interfaces
راکتیو	Reactive
راکتور کنترل شده	Controlled reactor
راه‌اندازی	Black start
راه‌اندازی مجدد	Reset
رایانه مشتری	Client computer
ردیابی مبتنی بر قیمت	Price-based tracking
ردیابی مرجع	Reference tracking
ردیابی نقطه بیشینه توان	Maximum power point tracking (MPPT)
رسانه	Media
رشد بار	Load growth
رفاه اجتماعی	Social welfare
رفاه مصرف کننده	Consumer welfare
رله	Relay

Ahwaz_Hackerz

Decryption	رمزگشایی
Encryption	رمزگشایی
Day ahead	روز پیش رو
Optimization-based method	روش مبتنی بر بهینه‌سازی
Decentralized control approach	رویکرد کنترل غیرمتمرکز
Centralized control approach	رویکرد کنترل متمرکز
Microgeneration	ریز تولید
Microgrid	ریزشبکه
Microgrids	ریزشبکه‌ها
Micro sources	ریز منابع
Micro source	ریز منبع

ز

Firing angle	زاویه آتش
Pitch angle	زاویه گام
Bus voltage angle	زاویه ولتاژ شین
Language	زبان
Time of use (TOU)	زمان استفاده
Real time	زمان واقعی (بلادرنگ)
Advanced metering infrastructure (AMI)	زیرساخت اندازه گیری پیشرفته
Under-frequency	زیر فرکانس

Ahwaz_Hackerz

زیر ولتاژ	Under-voltages
زیست توده- بیوماس	Biomass
زیست گاز	Biogas
زیست محیطی و اجتماعی	Environmental and social
زیگبی	ZigBee

ژ

ژنراتور القایی (ژنراتور)	Induction generator (Generators)
ژنراتور القایی تغذیه دوگانه	Doubly fed induction generator (DFIG)
ژنراتور پراکنده	Distributed generators
ژنراتور پشتیبان	Backup generator
ژنراتور سنکرون	Synchronous generator (SG)
ژنراتورها	Generators

س

ساختمان هوشمند	Smart building
سازگار سازی (همکار پذیری)	Interoperability
سازمان انرژی آمریکا	U.S Department of energy
سرعت	Speed
سرعت باد	Wind speed
سرعت قطع بالا	Cut-out speed
سرعت قطع پایین	Cut-in speed

Ahwaz_Hackerz

Demand response automation server	سرور خودکارسازی پاسخگویی بار
Series	سری
Customized	سفارشی
Hierarchical	سلسله مراتبی
Solar cell	سلول خورشیدی
Photovoltaic (PV)	سلول‌های خورشیدی (فتوولتاییک)
Solar photovoltaic cells	سلول‌های خورشیدی فتوولتاییک
Demand side	سمت تقاضا
Evaluation	سنجش
Synchrophasor	سنکروفازور
Synchronous	سنکرون
Synchronization	سنکرون سازی
Incremental synchronization	سنکرون سازی افزایشی
Biofuels	سوخت‌های زیستی
Message switching	سوئیچینگ پیام
Three-level	سه سطحی
Three phase	سه فاز
Three-phase	سه فاز
Market policies	سیاست‌های بازار
Geographic information system	سیستم اطلاعات جغرافیایی

Ahwaz_Hackerz

Wide-area measurement system	سیستم اندازه گیری ناحیه گسترده
Smart metering system	سیستم اندازه گیری هوشمند
Interconnected system	سیستم به هم پیوسته
Per unit system	سیستم پریونیت
Information Monitoring and Diagnostic System (IMDS)	سیستم تشخیص و پایش اطلاعات
Active distribution system	سیستم توزیع فعال
Automated dispatch system (ADS)	سیستم توزیع خودکار
Data concentrator system	سیستم جمع کننده داده‌ها
Multi agent system	سیستم چند عامله
Linear system	سیستم خطی
Building automation system	سیستم خودکارسازی ساختمان
Physical system	سیستم فیزیکی
Interconnected power systems	سیستم قدرت به هم پیوسته
Distributed control system (DCS)	سیستم کنترل گسترده
Financial system	سیستم مالی
Nonlinear time-varying system	سیستم متغیر با زمان غیرخطی
Communication system	سیستم مخابراتی
Management system	سیستم مدیریت
Database management system (DBMS)	سیستم مدیریت پایگاه داده
Distribution management system (DMS)	سیستم مدیریت توزیع

Ahwaz_Hackerz

Custom power systems	سیستم‌های قدرت مشترک
Flexible AC transmission systems (FACTS)	سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر
Combined heat and power systems (CHP)	سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت
Management systems (EMS)	سیستم‌های مدیریت
Energy management systems (EMS)	سیستم‌های مدیریت انرژی
Distributed intelligent systems	سیستم‌های هوشمند پراکنده
International council on large electric systems (CIGRE)	انجمن بین‌المللی سیستم‌های الکتریکی بزرگ (سیگره)
Signal	سیگنال
Input signal	سیگنال ورودی
Control signals	سیگنال‌های کنترل
Design control signals	سیگنال‌های کنترل طرح
Load flow (Power flow)	سیلان توان
Power flow	سیلان توان
Distribution power flow	سیلان توان توزیع

ش

Modulation index	شاخص مدولاسیون
Performance measures	شاخص‌های عملکرد
Lateral	شاخه‌ای

Ahwaz_Hackerz

شارژ هوشمند	Smart charge
شبکه	Network
شبکه بالادستی	Upstream grid
شبکه به خودرو	Grid-to-vehicle
شبکه پایین‌دستی	Downstream grid
شبکه توزیع فعال	Active distribution network
شبکه خانگی	Home area network (HAN)
شبکه محلی بخش	Bay Lan
شبکه ناحیه گسترده	Wide area network (WAN)
شبکه ولتاژ ضعیف	Low voltage network
شبکه هوشمند	Smart grid
شبکه‌های فعال	Active networks
شبکه‌های محلی	Local area network (LAN)
شبکه‌های هوشمند	Smart grids
شبیه‌ساز آموزشی توزیع‌کننده	Dispatcher training simulator
شبیه‌سازی	Simulation
شبیه‌سازی سیستم قدرت	Power system simulation
شبیه‌سازی‌های عددی	Numerical simulations
شرکت توزیع محلی	Local distribution company
شرکت خدمات انرژی	Energy service company

Ahwaz_Hackerz

Service providers	شرکت خدماتی
Transmission companies (TRANSCOs)	شرکت‌های انتقال
Distribution companies (DISCOs)	شرکت‌های توزیع
Generation companies (GENCOs)	شرکت‌های تولید
Line sag	شکم خط
Control bus	شین کنترل
Load busses and demand	شین‌های بار و تقاضا

ص

Panel	صفحه
Monitor	صفحه نمایش

ض

Anti-islanding	ضد جزیره‌ای شدن
Load factor	ضریب بار
Power factor	ضریب توان
Emission cost coefficient	ضریب هزینه‌ی آلایندگی

ط

Interested parties	طرفین ذینفع

ع

Agent	عامل
Agents	عامل‌ها

Ahwaz_Hackerz

Demand-supply imbalances	عدم تعادل در عرضه و تقاضا
Uncertainty	عدم قطعیت
Uncertainty of response	عدم قطعیت در پاسخ
Uncertainties on predictions	عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها
Whole sale	عمده فروشی
Dual function	عملکرد دوگانه
Billing function	عملگر صدور صورت حساب
Controllable elements in a microgrid	عناصر قابل‌کنترل در ریزشبکه
Centroid defuzzification	غیر فازی ساز مرکز ثقل
Passive	غیرفعال
Decentralized	غیرمتمرکز

ف

Phase	فاز
Fuzzy	فازی
Distance	فاصله
Frequency	فرکانس
Power-frequency (P-f)	فرکانس- توان
Radio frequency	فرکانس رادیویی
Natural frequency	فرکانس طبیعی
Voltage sag	فروافتادگی ولتاژ

Ahwaz_Hackerz

Billing functionally application space	فضای صدور صورت حساب
Meter data receiver application space	فضای کاری دریافت اطلاعات کنتور
Active	فعال
Actuator	فعال کننده
Flowchart	فلوچارت
Flicker	فلیکر
Dynamic voltage and frequency scaling (DVFS) techniques	فن مقیاس بندی پویای ولتاژ و فرکانس
Information technology (IT)	فناوری اطلاعات
Information and communication technology (ICT)	فناوری اطلاعات و ارتباطات
Technology	فن‌آوری
Microgeneration technologies	فن‌آوری‌های ریز تولید
Technical	فنی
Optical fibre	فیبر نوری
Distribution feeder	فیدر توزیع
Feeder	فیدر–شاخه اصلی
Band-pass filter (BPF)	فیلتر باندگذر
Active filter	فیلتر فعال

ق

Reliable	قابل اطمینان

Ahwaz_Hackerz

Reliability	قابلیت اطمینان
Dependability	قابلیت وابستگی
Functionalities	قابلیت‌ها
Demand-response capabilities	قابلیت‌های پاسخ تقاضا
Selectivity	قدرت انتخاب (انتخاب‌گری)
Market power	قدرت بازار
Bilateral contracts	قراردادهای دو جانبه
Automated meter reading	قرائت خودکار اندازه گیری
Interval metering	قرائت دوره‌ای
Automatic meter reading (AMR)	قرائت کنتور خودکار
Polarization	قطبی شدگی (قطبش)
Indirect market price	قیمت بازار غیرمستقیم
Market clearing price (MCP)	قیمت تسویه بازار
Locational marginal price (LMP)	قیمت حاشیه‌ای محلی
Spot price	قیمت لحظه‌ای
Bidding	قیمت دهی
Pricing	قیمت‌گذاری
Critical peak pricing	قیمت‌گذاری اوج بحرانی
Variable peak pricing	قیمت‌گذاری بار اوج متغیر
Real time pricing	قیمت‌گذاری زمان واقعی

Ahwaz_Hackerz

Electricity prices	قیمت‌های برق
Equilibrium prices	قیمت‌های تعادل
Negative prices	قیمت‌های منفی

ک

Cables	کابل
Coaxial cable	کابل هم محور
Nickel cadmium	کادمیوم نیکل
Efficient	کارا
Application	کاربرد
Applications	کاربردها
Personal computer (PC)	کامپیوتر شخصی
Channels	کانال‌ها
Peak load reduction	کاهش بار اوج
Reduction of losses	کاهش تلفات
Power electronic	الکترونیک قدرت
National Electric Code (NEC)	کد الکتریکی ملی (NEC)
Decarbonizes	کربن‌زدایی
Liquid crystal	کریستال مایع
Elastic	کشسان
Elasticity	کشسانی

Ahwaz_Hackerz

Cross elasticity	کشسانی متقابل
Price elasticity	کشسانی قیمت
Fast interface switch	کلید رابط سریع
Switching	کلید زنی
Circuit switching	کلید زنی مدار
Static source transfer switch (SSTS)	کلیدهای انتقال منبع ایستا
International electrotechnical committee (IEC) Technical committee	کمیته فنی IEC
Control	کنترل
Inverters control of	کنترل اینورتر
Direct load control	کنترل بار مستقیم
Active power control	کنترل توان اکتیو
Automatic generation control	کنترل تولید خودکار
Secondary control	کنترل ثانویه
Decentralized control	کنترل غیرمتمرکز
Frequency control	کنترل فرکانس
Controller	کنترل کننده
Intelligent load controller	کنترل کننده بار هوشمند
Base load controller	کنترل کننده بار پایه
PI controller	کنترل کنندهPI
Bay controller	کنترل کننده بخش

Ahwaz_Hackerz

Microgrid controller	کنترل کننده ریزشبکه
Interline power flow controller	کنترل کننده سیلان توان میان خط
Central controller (CC)	کنترل کننده مرکزی
Microgrid central controller	کنترل کننده مرکزی ریزشبکه
Fuzzy logic controller (FLC)	کنترل کننده منطق فازی
Unified power flow controller (UPFC)	کنترل کننده یکپارچه سیلان توان
Governor control	کنترل گاورنر
Local control	کنترل محلی
MGCC	کنترل مرکزی ریزشبکه
Supervisory control and data acquisition (SCADA)	کنترل نظارتی و اکتساب داده‌ها
Integrated voltage/VAr control	کنترل ولتاژ / توان راکتیو مجتمع
Flexible and intelligent control	کنترل هوشمند و انعطاف‌پذیر
Automatic voltage controller (AVC)	کنترلر ولتاژ خودکار
FACTS controllers	کنترل‌کننده‌های FACTS
Microsource controllers (MC)	کنترل‌کننده‌های ریز منبع
Programmable logic controllers (PLC)	کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه پذیر
Smart meter	کنتور هوشمند
Smart meters	کنتورهای هوشمند
International Conference and Exhibition on Electricity Distribution(CIRED)	کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی توزیع برق

Ahwaz_Hackerz

کوپلینگ القایی	Inductive coupling
کیفیت توان	Power quality
کنسرسیوم راه‌حل‌های فناوری قابلیت اطمینان	Consortium for Reliability Technology Solution (CERTS)
کنفرانس و نمایشگاه شبکه توزیع	Conference and exhibition on electricity distribution (CIRED)

گ

گاز طبیعی	Natural gas
گاز گلخانه‌ای	Greenhouse gas (GHG)
گرمای جهانی	Global warming
گشتاور	Torque
گواهینامه‌های سبز	Green certificates
گوس- سایدل	Gauss-Seidel

ل

لایه MAC	MAC layer
لایه شبکه	Network layer
لایه فیزیکی	Physical layer
لغزش قطب	Pole slipping
لوازم هوشمند	Smart appliances

م

مالک/ اپراتور DG	DG owner/operator

Ahwaz_Hackerz

Satellite	ماهواره
Converter	مبدل
Heat exchanger	مبدل حرارتی
Voltage source converter (VSC)	مبدل منبع ولتاژ
Transducers	مبدل‌ها
Grid-connected	متصل به شبکه
On-grid	متصل به شبکه
Interactive	متعامل
Collective variables	متغیرهای دسته جمعی
Centralized	متمرکز
Fast-decoupled	مجزا شده–سریع
Calculation	محاسبه
Fault current limiter	محدودکننده جریان خطا
Price range	محدوده قیمت
Demand response constraints	محدودیت پاسخ تقاضا
Incorporated constraints	محدودیت‌های گنجانده شده
Communication	مخابرات
Wired communication	مخابرات با سیم
Wireless communication	مخابرات بدون سیم
Communication (Continued) radio	مخابرات رادیویی

Ahwaz_Hackerz

Circuits	مدارات
Transmission circuits	مدارات انتقال
Circuit breaker(CB)	مدار شکن
Common Information Model (CIM)	مدل اطلاعات مشترک
DSO monopoly model	مدل انحصار DSO
Single-bus model	مدل تک شینه
Linearized model	مدل خطی شده
Nonlinear differential-algebraic model	مدل دیفرانسیلی–جبری غیرخطی
Discrete-time model	مدل زمان گسسته
Network model	مدل شبکه
Interface reference model	مدل مرجع رابط
Load modeling/load estimation	مدل‌سازی بار/تخمین بار
Models	مدل‌ها
Market models	مدل‌های بازار
Pulse width modulation (PWM)	مدولاسیون پهنای پالس
Nonlinear and linear oscillatory modes	مدهای نوسانی خطی و غیرخطی
Management	مدیریت
Home energy management	مدیریت انرژی خانه
Demand response management	مدیریت پاسخگویی بار
Demand side management (DSM)	مدیریت سمت تقاضا

Ahwaz_Hackerz

Automatic meter management (AMM)	مدیریت کنتور خودکار
Meter data management and repository	مدیریت و ذخیره اطلاعات کنتور
Dispatch center	مرکز توزیع
Control center	مرکز کنترل
National education research and Evaluation center (NEREC)	مرکز ملی آموزش، تحقیق و سنجش (NEREC)
Eigenvector centrality	مرکزیت بردار ویژه
Benefits of microgrids economic	مزایای اقتصادی ریزشبکه
Auction	مزایده
Standalone	مستقل
Router	مسیرگزین (روتر)
Dual optimization problem	مسئله بهینه‌سازی دوگان
Economic dispatch problem (EDP)	مسئله پخش بار اقتصادی
Optimization problem	مسئله‌ی بهینه‌سازی
Customers	مشتریان
Residential and commercial customers	مشتریان تجاری و مسکونی
Client	مشتری
Major problems	مشکلات عمده
Consumption	مصرف
Consumers and suppliers	مصرف کنندگان و عرضه کنندگان
Consumer	مصرف کننده

Ahwaz_Hackerz

End-load	مصرف کننده نهایی
Standard power flow equations	معادلات سیلان توان استاندارد
Dynamic equivalents	معادل‌های دینامیکی
Differential-algebraic equation (DAE)	معادله‌ی دیفرانسیلی- جبری
Microgrid control architecture	معماری کنترل ریزشبکه
Control and communication architecture	معماری کنترلی و مخابراتی
Control and management architecture	معماری کنترلی ومدیریتی
Implications of line parameters	مفاهیم پارامترهای خط
Base values (Per unit system)	مقادیر پایه (سیستم پریونیت)
Robust	مقاوم
Regulation	مقررات
Fault location	مکان خطا
Transfer trip mechanism	مکانیسم (سازوکار) قطع انتقال
Moment of inertia	ممان اینرسی
Distributed energy resources (DER)	منابع انرژی پراکنده
Demand and supply sources	منابع عرضه و تقاضا
Dispatchable source	منابع قابل‌کنترل
Economic benefits of micro-source owners	منافع اقتصادی صاحبان ریز منبع
Renewable energy source (RES)	منبع انرژی تجدید پذیر
Current source (CS)	منبع جریان

Ahwaz_Hackerz

Retail supplier	منبع خرده فروشی
Voltage source	منبع ولتاژ
Pareto optimal performance curve	منحنی عملکرد بهینه پارتو
Performance plots	منحنی‌های عملکرد
Off-grid	منفصل از شبکه
Shunt	موازی
Cellular	موبایل- تلفن همراه
Gas engine	موتور گازی
Internal combustion (IC) engines	موتورهای احتراق داخلی
Line trap	موج‌گیر
Night mode	مود شبانه
National institute of standards and technology	موسسه ملی استانداردها و فناوری
Location	موقعیت
Carbon monoxide (CO)	مونواکسید کربن
Asynchronous generator attenuation	میرایی ژنراتور آسنکرون
Data server	میزبان داده
Micro turbine	میکرو توربین
Microturbine (MT)	میکرو توربین
Microturbine-generator(MTG)	میکرو توربین-ژنراتور
Microturbines	میکرو توربین‌ها

Ahwaz_Hackerz

ن

ناپایداری غیر محلی	Nonlocal instability
ناپایداری نوسان هم‌نوا	Coherent swing instability (CSI)
نرخ افزایش تولید	Ramp up
نرخ بیت	Bit rate
نرخ پایین داده	Low data rate
نرخ داده (نرخ بیت)	Data rate (bit rate)
نرخ رشد	Aspect ratio
نرخ کاهش تولید	Ramp down
نسبت سیگنال به نویز	Signal to noise ratio
نظریه بازی	Game theory
نظیر به نظیر	Peer to peer
نقشه راه (ره نگاشت)	Roadmap
نقطه اتصال مشترک	Point of common coupling(PCC)
نقطه به طور معمول باز	Normally open point
نقطه تحویل خدمات	Service delivery point
نقطه تنظیم	Set point
نقطه وضعیت دیجیتال	Digital status point
نمایش	Display
نوری	Optical

Ahwaz_Hackerz

Voltage fluctuation	نوسان ولتاژ
Linear oscillations	نوسانات خطی
Frequency fluctuations	نوسانات فرکانس
Electrical noise	نویز الکتریکی
Smart meter entity	نهاد کنتور هوشمند
Load serving entities	نهادهای تأمین بار
Virtual power plant	نیروگاه مجازی
Commercial virtual power plant	نیروگاه مجازی تجاری

و

Meter interface unit	واحد ارتباطی کنتور
Feeder terminal unit	واحد انتهایی فیدر
Phasor measurement unit (PMU)	واحد اندازه‌گیری فازور
Remote terminal unit (RTU)	واحد پایانه دوردست
Data concentrate unit	واحد جمع‌آوری داده‌ها
Energy Management Module (EMM)	واحد مدیریت انرژی
Protection coordination module (PCM)	واحد هماهنگی حفاظتی
CHP units	واحدهای CHP
Bay monitoring units	واحدهای پایش بخش
Integrated power modules (IPM)	واحدهای توان یکپارچه‌شده
Bay protection units	واحدهای حفاظت بخش

Ahwaz_Hackerz

Electric energy systems generator modules	واحدهای ژنراتور سیستم‌های انرژی الکتریکی
Conventional units	واحدهای سنتی
Bay control units	واحدهای کنترل ایستگاه
Power electronic interfaces (PEI)	واسطه‌های الکترونیک قدرت
Data/event logging	واقعه‌نگاری داده‌ها و رویدادها
Wimax	وایمکس
Input/output (I/O)	ورودی/خروجی
Plug and play	وصل کن-کار کن
Low voltage (LV)	ولتاژ ضعیف
Medium voltage (MV)	ولتاژ متوسط

ه

Hub	هاب
Hubs, switches and routers	هاب‌ها، سویچ‌ها و روترها
Cost	هزینه
Cost of purchased power	هزینه برق خریداری شده
Startup cost	هزینه راه‌اندازی
Costs	هزینه‌ها
Nuclear	هسته‌ای
Coaxial	هم محور

Ahwaz_Hackerz

Relay protection coordination	هماهنگی رله‌های حفاظتی
Artificial intelligence(AI)	هوش مصنوعی
Intelligent	هوشمند
Intelligent	هوشمند

ی

Integration	یکپارچه‌سازی
Lithium ion	یون لیتیوم

Ahwaz_Hackerz

Ahwaz_Hackerz

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

انگلیسی	فارسی
A	
Accuracy	دقت
Acquisition	اکتساب
Active	فعال
Active distribution network	شبکه توزیع فعال
Active distribution system	سیستم توزیع فعال
Active filter	فیلتر فعال
Active networks	شبکه‌های فعال
Active power control	کنترل توان اکتیو
Active VAr compensator	جبران‌ساز توان راکتیو فعال
Actors	بازیگران
Actuator	فعال کننده
Adaptive	تطبیقی
Addressing	آدرس‌دهی
Adjustable loads	بارهای قابل تنظیم
Adjustable speed drivers	درایورهای تنظیم کننده سرعت
Advanced metering infrastructure (AMI)	زیرساخت اندازه گیری پیشرفته

Ahwaz_Hackerz

Advanced real-time telemetry	اندازه گیری زمان حقیقی پیشرفته
Ageing	پیری
Agent	عامل
Agents	عامل‌ها
Aggregators	جمع کننده‌ها
Air condition	تهویه مطبوع
Alternating current (AC)	جریان متناوب
Amplitude	دامنه
Analogue to digital conversion accuracy	دقت تبدیل آنالوگ به دیجیتال
Analysis	تجزیه و تحلیل
Ancillary service market programs	برنامه‌های بازار خدمات جانبی
Ancillary service prices	ارزش خدمات جانبی
Ancillary services	خدمات جانبی
Anti-islanding	ضد جزیره‌ای شدن
Anti-parallel Diode	دیود موازی معکوس
Apparent power	توان ظاهری
Application	کاربرد
Applications	کاربردها
Artificial intelligence(AI)	هوش مصنوعی
Aspect ratio	نرخ رشد

Ahwaz_Hackerz

Asset	دارایی
Association	انجمن تجمع
Asynchronous generator attenuation	میرایی ژنراتور آسنکرون
Auction	مزایده
Authentication	تصدیق
Automated demand response	پاسخگویی تقاضا خودکار
Automated dispatch system (ADS)	سیستم توزیع خودکار
Automated meter reading	قرائت خودکار اندازه گیری
Automatic generation control	کنترل تولید خودکار
Automatic meter management (AMM)	مدیریت کنتور خودکار
Automatic meter reading (AMR)	قرائت کنتور خودکار
Automatic voltage controller (AVC)	کنترلر ولتاژ خودکار
Automatic voltage regulators (AVR)	تنظیم کننده ولتاژ خودکار
Autonomous	خودگردان

B

Back-up	پشتیبان
Backup generator	ژنراتور پشتیبان
Band-pass filter (BPF)	فیلتر باندگذر
Bandwidth	پهنای باند
Base load controller	کنترل کننده بار پایه

Ahwaz_Hackerz

Base values (Per unit system)	مقادیر پایه (سیستم پریونیت)
Bay control units	واحدهای کنترل ایستگاه
Bay controller	کنترل کننده بخش
Bay Lan	شبکه محلی بخش
Bay monitoring units	واحدهای پایش بخش
Bay protection units	واحدهای حفاظت بخش
Benefits of microgrids economic	مزایای اقتصادی ریزشبکه
Bidding	قیمت دهی
Bidirectional	دو سویه
Bilateral contracts	قراردادهای دو جانبه
Billing function	عملگر صدور صورت حساب
Billing functionally application space	فضای صدور صورت حساب
Biofuels	سوخت‌های زیستی
Biogas	زیست گاز
Biomass	زیست توده- بیوماس
Bit rate	نرخ بیت
Black start	راه‌اندازی
Blackout	خاموشی سراسری
Blocks – Buses – Software (BBS)	بلوک-باس-نرم‌افزار
Bluetooth	بلوتوث

Ahwaz_Hackerz

Brown out	خاموشی محلی
Building automation system	سیستم خودکارسازی ساختمان
Building combined cooling, heating and power (BCCHP)	تولید هم‌زمان سرمایش، گرمایش و برق ساختمان
Bulk generation	تولید عمده
Bus voltage angle	زاویه ولتاژ شین
Bus-centered	باس- مرکزی
Bypass	بای‌پس

C

Cables	کابل
Calculation	محاسبه
Capacitive	خازنی
Capacitor voltage transformer	ترانسفورماتور ولتاژ خازنی
Capacity and operations planning	برنامه‌ریزی ظرفیت و بهره‌برداری
Carbon monoxide (CO)	مونواکسید کربن
Cascading Blackouts	خاموشی‌های متوالی
Cellular	موبایل- تلفن همراه
Central controller (CC)	کنترل کننده مرکزی
Centralized	متمرکز
Centralized adaptive	تطبیقی متمرکز
Centralized control approach	رویکرد کنترل متمرکز

Ahwaz_Hackerz

Centroid defuzzification	غیر فازی ساز مرکز ثقل
Challenges for microgrids	چالش‌های ریزشبکه‌ها
Channels	کانال‌ها
CHP units	واحدهای CHP
Circuit breaker(CB)	مدار شکن
Circuit switching	کلید زنی مدار
Circuits	مدارات
Clearing market	بازار تسویه
Client	مشتری
Client computer	رایانه مشتری
Climate change	تغییرات آب و هوایی
CO2 emission	انتشار دی اکسید کربن
Coaxial	هم محور
Coaxial cable	کابل هم محور
Co-generation	تولید همزمان
Coherency-based, model complexity	پیچیدگی مدل مبتنی بر همبستگی
Coherent swing instability (CSI)	ناپایداری نوسان هم‌نوا
Collective variables	متغیرهای دسته جمعی
Combined cycle gas turbine (CCGT)	توربین گازی سیکل ترکیبی
Combined heat and power (CHP)	تولید همزمان برق و حرارت
Combined heat and power systems	سیستم‌های تولید همزمان برق و

Ahwaz_Hackerz

(CHP)	حرارت
Commercial virtual power plant	نیروگاه مجازی تجاری
Common Information Model (CIM)	مدل اطلاعات مشترک
Communication	مخابرات
Communication (Continued) radio	مخابرات رادیویی
Communication system	سیستم مخابراتی
Compensation	جبران‌ساز
Compressed air energy storage	ذخیره ساز انرژی هوای فشرده
Compression ignition	احتراق تراکمی
Conference and exhibition on electricity distribution (CIRED)	کنفرانس و نمایشگاه شبکه توزیع
Congestion	پرشدگی
Consortium for Reliability Technology Solution (CERTS)	کنسرسیوم راه‌حل‌های فناوری قابلیت اطمینان
Consumer	مصرف کننده
Consumer surplus function	تابع مازاد مصرف کننده
Consumer welfare	رفاه مصرف کننده
Consumers and suppliers	مصرف کنندگان و عرضه کنندگان
Consumption	مصرف
Contingency	پیشامد
Contingency analysis	تحلیل پیشامدها
Continuous real power disturbances	اغتشاشات توان حقیقی پیوسته

Ahwaz_Hackerz

Control	کنترل
Control and communication architecture	معماری کنترلی و مخابراتی
Control and management architecture	معماری کنترلی ومدیریتی
Control bus	شین کنترل
Control center	مرکز کنترل
Control signals	سیگنال‌های کنترل
Controllable elements in a microgrid	عناصر قابل‌کنترل در ریزشبکه
Controlled reactor	راکتور کنترل شده
Controlled series compensator	جبران‌ساز سری کنترل شده
Controller	کنترل کننده
Conventional units	واحدهای سنتی
Converter	مبدل
Coordinated voltage VAr support	پشتیبانی هماهنگ توان راکتیو–ولتاژ
Cost	هزینه
Cost of purchased power	هزینه برق خریداری شده
Costs	هزینه‌ها
Coupled swing dynamics	دینامیک نوسانات توأم
Critical demand	تقاضای حساس
Critical peak (CP)	پیک بحرانی
Critical peak pricing	قیمت‌گذاری اوج بحرانی

Ahwaz_Hackerz

Cross elasticity	کشسانی متقابل
Current	جریان
Current source (CS)	منبع جریان
Current transformer (CT)	ترانسفورماتور جریان
Curtailable demand	تقاضای قابل قطع
Custom power systems	سیستم‌های قدرت مشترک
Customers	مشتریان
Customized	سفارشی
Cut-in speed	سرعت قطع پایین
Cut-out speed	سرعت قطع بالا

D

Data concentrate unit	واحد جمع‌آوری داده‌ها
Data concentrator system	سیستم جمع کننده داده‌ها
Data latency	تأخیر داده
Data rate (bit rate)	نرخ داده (نرخ بیت)
Data server	میزبان داده
Data store	ذخیره کننده داده
Data/event logging	واقعه‌نگاری داده‌ها و رویدادها
Database management system (DBMS)	سیستم مدیریت پایگاه داده
Day ahead	روز پیش رو

Ahwaz_Hackerz

Day-ahead markets	بازارهای روز پیش رو
day-ahead/hour-ahead markets	بازارهای روز پیش‌رو/ساعت پیش‌رو
Decarbonizes	کربن‌زدایی
Decentralized	غیرمتمرکز
Decentralized control	کنترل غیرمتمرکز
Decentralized control approach	رویکرد کنترل غیرمتمرکز
Decision maker	تصمیم‌گیرنده
Decoupled	جداشده
Decryption	رمزگشایی
Definition	تعریف
Demand	تقاضا
Demand and supply sources	منابع عرضه و تقاضا
Demand Response	پاسخگویی تقاضا
Demand response automation server	سرور خودکارسازی پاسخگویی بار
Demand response constraints	محدودیت پاسخ تقاضا
Demand response management	مدیریت پاسخگویی بار
Demand response program (DRP)	برنامه پاسخ تقاضا
Demand side	سمت تقاضا
Demand side management (DSM)	مدیریت سمت تقاضا
Demand-response capabilities	قابلیت‌های پاسخ تقاضا

Ahwaz_Hackerz

Demand-supply imbalances	عدم تعادل در عرضه و تقاضا
Department of energy (DOE)	دپارتمان انرژی
Dependability	قابلیت وابستگی
Design control signals	سیگنال‌های کنترل طرح
DG owner/operator	مالک/ اپراتور DG
Differential	دیفرانسیل
Differential-algebraic equation (DAE)	معادله‌ی دیفرانسیلی- جبری
Digital output (DO)	خروجی دیجیتال
Digital signal processing (DSP)	پردازش سیگنال دیجیتال
Digital signature	امضای دیجیتال
Digital status point	نقطه وضعیت دیجیتال
Direct access	دسترسی مستقیم
Direct current (DC)	جریان مستقیم
Direct current transmission	انتقال جریان مستقیم
Direct load control	کنترل بار مستقیم
Direction	جهت
Discrete-time model	مدل زمان گسسته
Dispatch ability	توزیع پذیری
Dispatch center	مرکز توزیع
Dispatchable loads	بارهای قابل‌کنترل

Ahwaz_Hackerz

Dispatchable source	منابع قابل‌کنترل
Dispatcher training simulator	شبیه‌ساز آموزشی توزیع‌کننده
Dispersed generation (DG)	تولید پراکنده
Display	نمایش
Distance	فاصله
Distributed control system (DCS)	سیستم کنترل گسترده
Distributed energy resources (DER)	منابع انرژی پراکنده
Distributed generation (DG)	تولید پراکنده
Distributed generators	ژنراتور پراکنده
Distributed intelligent systems	سیستم‌های هوشمند پراکنده
Distribution	توزیع
Distribution automation	خودکارسازی توزیع
Distribution companies (DISCOs)	شرکت‌های توزیع
Distribution feeder	فیدر توزیع
Distribution line carrier	انتقال اطلاعات از خط توزیع
Distribution management system (DMS)	سیستم مدیریت توزیع
Distribution network operator	بهره‌بردار شبکه توزیع
Distribution network operator (DNO)	بهره‌بردار شبکه توزیع
Distribution power flow	سیلان توان توزیع
Distribution system operator	بهره‌بردار سیستم توزیع

Ahwaz_Hackerz

Disturbance record	ثبت اغتشاشات
Domain	حوزه
Doubly fed induction generator (DFIG)	ژنراتور القایی تغذیه دوگانه
Downstream grid	شبکه پایین‌دستی
Droops	دروپ ها
DSO monopoly model	مدل انحصار DSO
Dual function	عملکرد دوگانه
Dual optimization problem	مسئله بهینه‌سازی دوگان
Duty cycle	دوره کاری
Dynamic equivalents	معادل‌های دینامیکی
Dynamic interaction	تعامل پویا
Dynamic voltage and frequency scaling (DVFS) techniques	فن مقیاس بندی پویای ولتاژ و فرکانس
Dynamic voltage restorer (DVR)	بازیاب ولتاژ پویا

E

Economic analysis	تحلیل اقتصادی
Economic benefits of micro-source owners	منافع اقتصادی صاحبان ریز منبع
Economic dispatch	پخش بار اقتصادی
Economic dispatch problem (EDP)	مسئله پخش بار اقتصادی
Economic operation	بهره‌برداری اقتصادی
Efficiency	بازده

Ahwaz_Hackerz

Efficient	کارا
Efficient allocation	تخصیص کارآمد
Eigenvector centrality	مرکزیت بردار ویژه
Elastic	کشسان
Elasticity	کشسانی
Electric energy systems generator modules	واحدهای ژنراتور سیستم‌های انرژی الکتریکی
Electric power grids aggregator	جمع کننده شبکه‌های برق قدرت
Electric vehicle	خودروی الکتریکی
Electrical efficiency	بازده الکتریکی
Electrical noise	نویز الکتریکی
Electricity prices	قیمت‌های برق
Electrification	برق‌رسانی
Electromagnetic interferences (EMI)	تداخل الکترومغناطیسی
Emission	انتشار گازهای آلاینده
Emission cost coefficient	ضریب هزینه‌ی آلایندگی
Encryption	رمزگشایی
End-load	مصرف کننده نهایی
Energy	انرژی
Energy efficiency	بهره‌وری انرژی
Energy Management Module (EMM)	واحد مدیریت انرژی

Ahwaz_Hackerz

Energy management systems (EMS)	سیستم‌های مدیریت انرژی
Energy service company	شرکت خدمات انرژی
Energy service portal	دروازه خدمات انرژی
Energy services interface	رابط خدمات انرژی
English	انگلیسی
Environmental and social	زیست محیطی و اجتماعی
Equilibrium prices	قیمت‌های تعادل
Ethernet	اترنت
Evaluation	سنجش
Event recording	ثبت رخداد
Expansion planning	برنامه‌ریزی توسعه
External faults	خطاهای خارجی
F	
FACTS controllers	کنترل‌کننده‌های FACTS
Fast demand response	پاسخ تقاضای سریع
Fast Fourier Transform (FFT)	تبدیل فوریه سریع
Fast interface switch	کلید رابط سریع
Fast-decoupled	مجزا شده–سریع
Fault	خطا
Fault current limiter	محدودکننده جریان خطا

Ahwaz_Hackerz

Fault detection	تشخیص خطا
Fault location	مکان خطا
Feeder	فیدر–شاخه اصلی
Feeder terminal unit	واحد انتهایی فیدر
Financial system	سیستم مالی
Firing angle	زاویه آتش
Fixed period	دوره ثابت
Flexible	انعطاف‌پذیر
Flexible AC transmission systems (FACTS)	سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر
Flexible and intelligent control	کنترل هوشمند و انعطاف‌پذیر
Flexible load	بار انعطاف‌پذیر
Flicker	فلیکر
Flowchart	فلوچارت
Flywheel	چرخ طیار
Forced blackout	خاموشی اجباری
Forecasting	پیش‌بینی
Forecasting demand	پیش‌بینی تقاضا
Forward and backward	پیش‌رو و پس‌رو
Fossil-fueled	با سوخت فسیلی
Fourier transform	تبدیل فوریه

Ahwaz_Hackerz

Frequency	فرکانس
Frequency control	کنترل فرکانس
Frequency fluctuations	نوسانات فرکانس
Frequency regulation	تنظیم فرکانس
Frequency response	پاسخ فرکانسی
Frequency-domain optimization (FDO)	بهینه‌سازی حوزه فرکانس
Frequency-domain-based analysis	تحلیل مبتنی بر حوزه فرکانس
Fuel cell	پیل سوختی
Fuel cells	پیل‌های سوختی
Functionalities	قابلیت‌ها
Fuzzy	فازی
Fuzzy logic controller (FLC)	کنترل کننده منطق فازی

G

Game theory	نظریه بازی
Gas engine	موتور گازی
Gas turbine (GT)	توربین گازی
Gate turn off thyristor	تریستور با قابلیت قطع گیت
Gateway	درگاه
Gauss-Seidel	گوس- سایدل
Generation companies (GENCOs)	شرکت‌های تولید

Ahwaz_Hackerz

Generators	ژنراتورها
Geographic information system	سیستم اطلاعات جغرافیایی
Global warming	گرمای جهانی
Goal programming	برنامه‌ریزی هدف
Governor control	کنترل گاورنر
Graphical user interface	رابط گرافیکی کاربر
Green certificates	گواهینامه‌های سبز
Greenhouse gas (GHG)	گاز گلخانه‌ای
Grid-connected	متصل به شبکه
Grid-to-vehicle	شبکه به خودرو

H

Hall effect sensors	حس‌گرهای اثر هال
Hard failure	خطای سخت‌افزاری
Harmonic distortion	اعوجاج هارمونیکی
Heat demand	تقاضای گرما
Heat exchanger	مبدل حرارتی
Heat load	بار حرارتی
Heat ventilation and air conditioning	تهویه هوا مطبوع
Hierarchical	سلسله مراتبی
High voltage direct current (HVDC)	جریان مستقیم ولتاژ بالا

Ahwaz_Hackerz

Home area network (HAN)	شبکه خانگی
Home energy management	مدیریت انرژی خانه
Home Plug	دو شاخه خانگی
Hub	هاب
Hubs, switches and routers	هاب‌ها، سویچ‌ها و روترها
Human–machine interface(HMI)	رابط کاربر- ماشین
Hybrid	ترکیبی
Hybrid electrical vehicle	خودرو الکتریکی ترکیبی
Hydro	آبی
Hydrogen energy storage	ذخیره‌سازی انرژی هیدروژن

I

IEC standards	استاندارد IEC
IEEE standards	استاندارد IEEE
Implications of line parameters	مفاهیم پارامترهای خط
Impulse turbines	توربین‌های ضربه‌ای
Incentive-based demand response	پاسخ‌گویی تقاضا تشویقی
Incorporated constraints	محدودیت‌های گنجانده شده
Incremental synchronization	سنکرون سازی افزایشی
Independent electricity system operator	بهره‌بردار مستقل سیستم قدرت
Independent power producer (IPP)	تولیدکننده مستقل توان

Ahwaz_Hackerz

Independent system operator (ISO)	اپراتور سیستم مستقل
Independent system operator (ISO)	بهره‌بردار مستقل سیستم
Indirect market price	قیمت بازار غیرمستقیم
Induction generator (Generators)	ژنراتور القایی (ژنراتور)
Inductive coupling	کوپلینگ القایی
Information and communication technology (ICT)	فناوری اطلاعات و ارتباطات
Information Monitoring and Diagnostic System (IMDS)	سیستم تشخیص و پایش اطلاعات
Information technology (IT)	فناوری اطلاعات
Input signal	سیگنال ورودی
Input/output (I/O)	ورودی/خروجی
Insulated gate bipolar transistor (IGBT)	ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق
Integrated gate bipolar transistor (IGBT)	ترانزیستور دوقطبی با گیت مجتمع
Integrated power modules (IPM)	واحدهای توان یکپارچه‌شده
Integrated voltage/VAr control	کنترل ولتاژ / توان راکتیو مجتمع
Integration	یکپارچه‌سازی
Intelligent	هوشمند
Intelligent	هوشمند
Intelligent electronic devices(IED)	ادوات الکترونیک هوشمند
Intelligent load controller	کنترل کننده بار هوشمند
Intentional Islanding	جزیره‌ای شدن اجباری

Ahwaz_Hackerz

Interactive	متعامل
Interconnected power systems	سیستم قدرت به هم پیوسته
Interconnected system	سیستم به هم پیوسته
Interested parties	طرفین ذینفع
Interface reference model	مدل مرجع رابط
Interfaces	رابط‌ها
Interline power flow controller	کنترل کننده سیلان توان میان خط
Internal combustion (IC) engines	موتورهای احتراق داخلی
Internal combustion(IC)	احتراق داخلی
Internal faults	خطاهای داخلی
International Conference and Exhibition on Electricity Distribution(CIRED)	کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی توزیع برق
International council on large electric system (CIGRE)	انجمن بین‌المللی سیستم‌های الکتریکی بزرگ (سیگره)
International electrotechnical committee (IEC) Technical committee	کمیته فنی IEC
International energy agency	آژانس بین‌المللی انرژی
Internet of energy	اینترنت انرژی
Internet protocol (IP)	پروتکل اینترنت
Interoperability	سازگار سازی (همکار پذیری)
Interval metering	قرائت دوره‌ای
Inverters control of	کنترل اینورتر

Ahwaz_Hackerz

Islanding	جزیره شدن
Isolation	جداسازی
L	
Language	زبان
Latency	تأخیر
Latent heat storage	ذخیره‌ساز گرمای نهان
Lateral	شاخه‌ای
Lead acid	اسید سرب
Liberalized	آزاد
Light emitting diode	دیود ساطع کننده نور
Line sag	شکم خط
Line trap	موج‌گیر
Linear oscillations	نوسانات خطی
Linear programming (LP)	برنامه‌ریزی خطی
Linear system	سیستم خطی
Linearized model	مدل خطی شده
Liquid crystal	کریستال مایع
Lithium ion	یون لیتیوم
Load	بار
Load busses and demand	شین‌های بار و تقاضا

Ahwaz_Hackerz

Load cycle	دوره بار
Load factor	ضریب بار
Load flow (Power flow)	سیلان توان
Load following	تعقیب بار
Load growth	رشد بار
Load modeling/load estimation	مدل‌سازی بار/تخمین بار
Load serving entities	نهادهای تأمین بار
Load shedding	حذف بار
Load shifting	جابه‌جایی بار
Local area network (LAN)	شبکه‌های محلی
Local control	کنترل محلی
Local distribution company	شرکت توزیع محلی
Location	موقعیت
Locational marginal price (LMP)	قیمت حاشیه‌ای محلی
Locational value	ارزش مکانی
Loss	از دست رفتن
Loss of load probability (LOLP)	احتمال از دست دادن بار
Low data rate	نرخ پایین داده
Low voltage (LV)	ولتاژ ضعیف
Low voltage network	شبکه ولتاژ ضعیف

Ahwaz_Hackerz

M

MAC layer	لایه MAC
Machine vision (MV)	بینایی ماشین
Major problems	مشکلات عمده
Management	مدیریت
Management system	سیستم مدیریت
Management systems (EMS)	سیستم‌های مدیریت
Mandatory	اجباری
Man–machine interface (MMI)	رابط انسان- ماشین
Manual	دستی
Market	بازار
Market clearing price (MCP)	قیمت تسویه بازار
Market models	مدل‌های بازار
Market policies	سیاست‌های بازار
Market power	قدرت بازار
Market regulator	تنظیم‌کننده بازار
Master	اصلی (پیشرو)
Master – slave	اصلی- تابع (پیشرو-پیرو)
Maximum power point tracking (MPPT)	ردیابی نقطه بیشینه توان
Media	رسانه

Ahwaz_Hackerz

Medium voltage (MV)	ولتاژ متوسط
Message digest	خلاصه پیام
Message switching	سوئیچینگ پیام
Metal oxide varistor (MOV)	برقگیر اکسید فلزی
Meter data management and repository	مدیریت و ذخیره اطلاعات کنتور
Meter data receiver application space	فضای کاری دریافت اطلاعات کنتور
Meter interface unit	واحد ارتباطی کنتور
MGCC	کنترل مرکزی ریزشبکه
Micro source	ریز منبع
Micro sources	ریز منابع
Micro turbine	میکرو توربین
Microgeneration	ریز تولید
Microgeneration technologies	فن‌آوری‌های ریز تولید
Microgrid	ریزشبکه
Microgrid central controller	کنترل کننده مرکزی ریزشبکه
Microgrid control architecture	معماری کنترل ریزشبکه
Microgrid controller	کنترل کننده ریزشبکه
Microgrid field test	آزمون میدانی ریزشبکه
Microgrids	ریزشبکه‌ها
Microsource controllers (MC)	کنترل‌کننده‌های ریز منبع

Ahwaz_Hackerz

Microturbine (MT)	میکرو توربین
Microturbine-generator(MTG)	میکرو توربین–ژنراتور
Microturbines	میکرو توربین‌ها
Mobile	تلفن همراه
Models	مدل‌ها
Modulation index	شاخص مدولاسیون
Moment of inertia	ممان اینرسی
Monitor	صفحه نمایش
Multi agent system	سیستم چند عامله
Multi-microgrids	چند ریزشبکه
Multi-objective	چند هدفه
Multi-objective optimization	بهینه‌سازی چند هدفه

N

National education research and Evaluation center (NEREC)	مرکز ملی آموزش، تحقیق و سنجش (NEREC)
National Electric Code (NEC)	کد الکتریکی ملی (NEC)
National institute of standards and technology	موسسه ملی استانداردها و فناوری
Natural frequency	فرکانس طبیعی
Natural gas	گاز طبیعی
Negative phase sequence	توالی فاز منفی

Ahwaz_Hackerz

Negative prices	قیمت‌های منفی
Negative sequence current (Current)	جریان توالی منفی (جریان)
Network	شبکه
Network configuration	پیکربندی شبکه
Network layer	لایه شبکه
Network model	مدل شبکه
Network reconfiguration	بازآرایی شبکه
Nickel cadmium	کادمیوم نیکل
Night mode	مود شبانه
Nonlinear and linear oscillatory modes	مدهای نوسانی خطی و غیرخطی
Nonlinear differential-algebraic model	مدل دیفرانسیلی–جبری غیرخطی
Non-linear programming (NLP)	برنامه‌ریزی غیرخطی
Nonlinear time-varying system	سیستم متغیر با زمان غیرخطی
Nonlocal instability	ناپایداری غیر محلی
Non-technical losses	تلفات غیر فنی
Normally open point	نقطه به طور معمول باز
Nuclear	هسته‌ای
Numerical simulations	شبیه‌سازی‌های عددی

O

Off-grid	منفصل از شبکه

Ahwaz_Hackerz

Off-line	خارج خط
On load tap changer (OLTC)	تپ چنجر زیر بار
On-grid	متصل به شبکه
On-line transient stability	پایداری گذرای برخط
Open access	دسترسی آزاد
Operation planning	برنامه‌ریزی بهره‌برداری
Operation strategies of microgrid	استراتژی‌های بهره‌برداری ریزشبکه
Operations	بهره‌برداری
Operations scheduling	برنامه‌ریزی بهره‌برداری
Operators	بهره‌برداران
Optical	نوری
Optical fibre	فیبر نوری
Optimal capacitor placement	جایابی بهینه خازن
Optimal network reconfiguration	بازآرایی بهینه شبکه
Optimization	بهینه‌سازی
Optimization problem	مسئله‌ی بهینه‌سازی
Optimization-based method	روش مبتنی بر بهینه‌سازی
Outage	خروج (از مدار)
Over-current	اضافه جریان
Over-voltages	اضافه ولتاژ

Ahwaz_Hackerz

P

Panel	صفحه
Parameters	پارامترها
Pareto optimal performance curve	منحنی عملکرد بهینه پارتو
Passive	غیرفعال
Peak load reduction	کاهش بار اوج
Peer to peer	نظیر به نظیر
Per unit system	سیستم پریونیت
Performance measures	شاخص‌های عملکرد
Performance plots	منحنی‌های عملکرد
Personal computer (PC)	کامپیوتر شخصی
Phase	فاز
Phase shifting transformer	ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز
Phasor measurement unit (PMU)	واحد اندازه‌گیری فازور
Photovoltaic (PV)	سلول‌های خورشیدی (فتوولتاییک)
Physical layer	لایه فیزیکی
Physical system	سیستم فیزیکی
PI controller	کنترل کنندهPI
Pitch angle	زاویه گام
Plug and play	وصل کن-کار کن
Plug-in hybrid electric vehicle	خودروی الکتریکی هیبرید قابل اتصال

Ahwaz_Hackerz

PMU-based modal analysis	تحلیل مدال مبتنی بر PMU
Point of common coupling(PCC)	نقطه اتصال مشترک
Polarization	قطبی شدگی (قطبش)
Pole slipping	لغزش قطب
Polygeneration	تولید چندگانه
Positive phase sequence	توالی فاز مثبت
Potential transformer (PT)	ترانسفورماتور ولتاژ
Power electronic	الکترونیک قدرت
Power electronic interfaces (PEI)	واسطه‌های الکترونیک قدرت
Power factor	ضریب توان
Power flow	سیلان توان
Power line carrier (PLC)	ارتباط از طریق خط قدرت
Power quality	کیفیت توان
Power system analysis	تحلیل سیستم قدرت
Power system frequency response	پاسخ فرکانسی سیستم قدرت
Power system simulation	شبیه‌سازی سیستم قدرت
Power-frequency (P-f)	فرکانس- توان
Price elasticity	کشسانی قیمت
Price range	محدوده قیمت
Price-based demand response	پاسخگویی تقاضا مبتنی بر قیمت

Ahwaz_Hackerz

Price-based tracking	ردیابی مبتنی بر قیمت
Pricing	قیمت‌گذاری
Primary and ancillary services	خدمات اصلی و جانبی
Primary response	پاسخ اولیه
Programmable logic controllers (PLC)	کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه پذیر
Propagation delay	تأخیر انتشار
Proportional – integral (PI)	تناسبی – انتگرالی
Protection	حفاظت
Protection coordination module (PCM)	واحد هماهنگی حفاظتی
Protocol	پروتکل
Protocol (Communication protocol)	پروتکل (پروتکل‌های ارتباطی)
Pulse width modulation (PWM)	مدولاسیون پهنای پالس
Pump-storage	تلمبه – ذخیره‌ای

R

Radio frequency	فرکانس رادیویی
Ramp down	نرخ کاهش تولید
Ramp up	نرخ افزایش تولید
Reactive	راکتیو
Reactive power	توان راکتیو
Reactive power compensation	جبران‌سازی توان راکتیو

Ahwaz_Hackerz

Real time	زمان واقعی (بلادرنگ)
Real time pricing	قیمت‌گذاری زمان واقعی
Recloser	بازبست
Reduction of losses	کاهش تلفات
Redundancy	افزونگی
Reference tracking	ردیابی مرجع
Regulation	مقررات
Relay	رله
Relay protection coordination	هماهنگی رله‌های حفاظتی
Reliability	قابلیت اطمینان
Reliability improvement	بهبود قابلیت اطمینان
Reliable	قابل اطمینان
Remote terminal unit (RTU)	واحد پایانه دوردست
Renewable energy	انرژی‌های تجدید پذیر
Renewable energy generation	تولید انرژی تجدید پذیر
Renewable energy source (RES)	منبع انرژی تجدید پذیر
Reserve	ذخیره
Reset	راه‌اندازی مجدد
Residential and commercial customers	مشتریان تجاری و مسکونی
Resonance	تشدید

Ahwaz_Hackerz

Response	پاسخ
Restoration	بازیابی
Restructure	تجدید ساختار
Retail	خرده فروشی
Retail supplier	منبع خرده فروشی
Revenues	درآمدها
Ring connection	اتصال حلقه
Risk	خطر پذیری
Roadmap	نقشه راه (ره نگاشت)
Robust	مقاوم
Router	مسیرگزین (روتر)

S

Satellite	ماهواره
Secondary control	کنترل ثانویه
Sectionalizer	جداکننده
Secure communication interface	رابط مخابراتی امن
Security	امینت
Security assessment	ارزیابی امنیت
Security of supply	امنیت تولید
Selectivity	قدرت انتخاب (انتخاب‌گری)

Ahwaz_Hackerz

Self-healing	خودترمیمی
Sensitive loads	بارهای حساس
Sensitivity	حساسیت
Sensor	حسگر
Series	سری
Service delivery point	نقطه تحویل خدمات
Service providers	شرکت خدماتی
Set point	نقطه تنظیم
Shifting of load	انتقال بار
Short-circuit analysis	تحلیل اتصال کوتاه
Shunt	موازی
Signal	سیگنال
Signal to noise ratio	نسبت سیگنال به نویز
Simulation	شبیه‌سازی
Single phase	تک فاز
Single-bus model	مدل تک شینه
Slave	پیرو
Smart appliances	لوازم هوشمند
Smart building	ساختمان هوشمند
Smart charge	شارژ هوشمند

Ahwaz_Hackerz

Smart grid	شبکه هوشمند
Smart grids	شبکه‌های هوشمند
Smart home	خانه هوشمند
Smart meter	کنتور هوشمند
Smart meter entity	نهاد کنتور هوشمند
Smart metering	اندازه گیری هوشمند
Smart metering system	سیستم اندازه گیری هوشمند
Smart meters	کنتورهای هوشمند
Social welfare	رفاه اجتماعی
Solar cell	سلول خورشیدی
Solar photovoltaic cells	سلول‌های خورشیدی فتوولتاییک
Speed	سرعت
Spinning and nonspinning reserve	ذخیره چرخان و غیر چرخان
Spinning reserve	ذخیره چرخان
Spot market	بازار لحظه‌ای
Spot price	قیمت لحظه‌ای
Stability in islanded mode	پایداری در حالت جزیره
Standalone	مستقل
Standard power flow equations	معادلات سیلان توان استاندارد
Star connection	اتصال ستاره

Ahwaz_Hackerz

Startup cost	هزینه راه‌اندازی
Static compensator (STATCOM)	جبران‌ساز ایستا
Static source transfer switch (SSTS)	کلیدهای انتقال منبع ایستا
Static synchronous compensator	جبران‌ساز سنکرون ایستا
Static VAr compensator (SVC)	جبران‌ساز ایستا توان راکتیو
Storage	ذخیره‌سازی
Substation	پست
Substation automation	خودکارسازی پست
Super capacitors	ابرخازن‌ها
Supervisory control and data acquisition (SCADA)	کنترل نظارتی و اکتساب داده‌ها
Supplier	تأمین کننده
Supply restoration	بازیابی عرضه
Switching	کلید زنی
Synchronization	سنکرون سازی
Synchronous	سنکرون
Synchronous generator (SG)	ژنراتور سنکرون
Synchrophasor	سنکروفازور

T

Tag database	بانک اطلاعاتی برچسب
Tariffs (Pricing)	تعرفه (قیمت‌گذاری)

Ahwaz_Hackerz

Technical	فنی
Technology	فن‌آوری
Thermal energy storage (TES)	ذخیره انرژی حرارتی
Three phase	سه فاز
Three-level	سه سطحی
Three-phase	سه فاز
Threshold	آستانه
Thyristor	تریستور
Time delay	تأخیر زمانی
Time domain-based analysis	تجزیه و تحلیل مبتنی بر حوزه زمان
Time of use (TOU)	زمان استفاده
Topology analysis	تحلیل توپولوژی
Torque	گشتاور
Transducers	مبدل‌ها
Transfer trip mechanism	مکانیسم (سازوکار) قطع انتقال
Transformations	تبدیلات
Transformer	ترانسفورماتور
Transients	حالت‌های گذرا
Transmission	انتقال
Transmission and distribution (T&D)	انتقال و توزیع

Ahwaz_Hackerz

Transmission circuits	مدارات انتقال
Transmission companies (TRANSCOs)	شرکت‌های انتقال
Transmission control protocol (TCP)	پروتکل کنترل انتقال
Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)	پروتکل کنترل انتقال/ پروتکل اینترنت
Turbines	توربین

U

U.S Department of energy	سازمان انرژی آمریکا
Ultra capacitors	ابرخازن‌ها
Uncertainties on predictions	عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها
Uncertainty	عدم قطعیت
Uncertainty of response	عدم قطعیت در پاسخ
Under-frequency	زیر فرکانس
Under-voltages	زیر ولتاژ
Unified power flow controller (UPFC)	کنترل کننده یکپارچه سیلان توان
Unintentional islanding	جزیره‌ای شدن ناخواسته
Uninterrupted power supply (UPS)	برق اضطراری(منبع توان بدون وقفه)
Upstream grid	شبکه بالادستی

V

Validation, estimation and editing	اعتبارسنجی، تخمین و ویرایش

Ahwaz_Hackerz

Variable load	بار متغیر
Variable peak pricing	قیمت‌گذاری بار اوج متغیر
Variable period	دوره متغیر
Vehicle-to-grid	خودرو به شبکه
Virtual power plant	نیروگاه مجازی
Vision	چشم‌انداز
Visualization	تجسم
Voltage fluctuation	نوسان ولتاژ
Voltage regulation	تنظیم ولتاژ
Voltage sag	فروافتادگی ولتاژ
Voltage source	منبع ولتاژ
Voltage source converter (VSC)	مبدل منبع ولتاژ
Voltage swells	بیش‌بود ولتاژ (برآمدگی ولتاژ)
Voltage transformer	ترانسفورماتور ولتاژ
Voltage transformers	ترانسفورماتورهای ولتاژ

W

Web service	خدمات تحت وب
Welfare functions	توابع رفاه
Whole sale	عمده فروشی
Wide area network (WAN)	شبکه ناحیه گسترده

Ahwaz_Hackerz

Wide-area measurement system	سیستم اندازه گیری ناحیه گسترده
Wide-area monitoring, protection and control (WAMPAC)	پایش، حفاظت و کنترل ناحیه گسترده
Wimax	وایمکس
Wind	باد
Wind and PV production	تولید PV و باد
Wind power	انرژی بادی
Wind speed	سرعت باد
Wired communication	مخابرات با سیم
Wireless	بدون سیم
Wireless communication	مخابرات بدون سیم
Z	
ZigBee	زیگبی

Ahwaz_Hackerz

نمایه

اتوماسیون ۵-۷-۱۶-۲۳-۲۶-۳۸-۳۹-۷۹-۸۰-۹۲-۱۰۰-۱۰۱-۱۰۲-۱۱۴-۱۱۷-۱۲۰-۲۳۴-۲۳۶-۲۴۱-۲۴۵-۴۷۷-۴۸۰-۴۹۵-۴۹۶

پاسخ‌گویی تقاضا ۵-۷-۳۳-۳۴-۶۸-۱۸۵-۱۸۶-۱۸۹-۱۹۱-۱۹۴-۱۹۵-۱۹۹-۲۰۱-۲۰۵-۲۰۶-۲۰۷-۲۰۸-۲۱۴-۲۱۸

جزیره‌ای شدن ۲۲-۴۲-۳۲۸-۳۲۹-۳۳۴-۳۳۷-۳۳۹-۳۴۰-۳۴۵-۳۴۶-۳۴۸-۳۵۰-۳۵۶-۳۵۷-۳۶۱-۳۶۳-۳۶۴-۳۷۶-۳۹۳-۴۰۶-۴۱۲

حفاظت تطبیقی ۲۶۹-۴۰۶-۴۱۲-۴۱۵-۴۲۵-۴۲۹-۴۳۰-۴۳۱-۴۳۴-۴۳۶-۴۳۷-۴۳۸-۴۴۷-۴۴۹-۴۵۰-۴۵۸

خانه هوشمند ۲۲-۲۶-۵۳-۹۱-۹۲-۹۴-۹۵-۹۶-۹۷-۹۹-۱۰۶-۱۰۷-۱۰۸-۱۰۹-۱۱۵-۱۲۰-۱۲۴

خودترمیمی ۲۹-۳۰-۳۲-۳۳-۴۲-۴۵

خودروهای برقی ۹-۲۵-۲۶-۲۷-۳۴-۴۵-۴۸-۵۳-۵۶-۱۲۹-۱۳۰-۱۳۱-۱۳۳-۱۳۴-۱۳۸-۱۳۹-۱۴۱-۱۴۲-۱۴۳-۱۴۴-۱۴۶-۱۴۷-۱۴۸-۱۵۰-۱۵۳-۱۵۴-۱۵۵

خودروهای برقی هیبرید ۱۳۳-۱۳۹-۱۴۰-۱۴۲-۱۴۴-۱۴۸-۱۵۰

خودروهای برقی هیبرید متصل به شبکه ۱۴۴-۱۴۸-۱۵۰

ریزشبکه ۳۲۵-۳۲۷-۳۲۹-۳۳۶-۳۴۱-۳۴۲-۳۴۶-۳۴۸-۳۵۵-۳۵۶-۳۵۹-۳۶۳-۳۶۸-۳۷۳-۳۷۵-۳۷۶-۳۹۰-۳۹۱-۳۹۴-۳۹۷-۴۰۵-۴۰۸-۴۱۲-۴۱۴

Ahwaz_Hackerz

سنکرون‌سازی ریزشبکه

سیستم پایش محسوس ۱۲۰-۱۲۱

سیستم پایش نامحسوس ۱۲۲

سیستم مدیرت انرژی خانه ۱۱۸

سیستم مدیریت جامع ساختمان ۱۰۸

شبکه هوشمند ۴-۲۹-۳۸-۴۰-۴۲-۴۴-۴۵-۶۶-۱۶۵-۴۷۳

شهر هوشمند ۸-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۱۹-۲۰-۲۱

شهر هوشمند انرژی ۸-۲۱

قابلیت اطمینان ۶-۳۰-۳۸-۴۱-۴۲-۴۹-۵۷-۶۸-۷۸-۸۶-۱۱۲-۱۴۱-۱۶۱-۱۶۴-۱۷۲-۱۷۶-۱۸۶-۱۹۲-۱۹۴-۱۹۵-۱۹۷-۲۰۰-۲۰۶-۲۰۷-۲۲۷-۲۸۳

کنترل اولیه ۲۹۷-۲۹۸-۴۰۲

کنترل ثالثیه ۴۰۰

کنترل ثانویه ۲۹۸

کنترل سلسله مراتبی ۳۸۷-۳۸۸-۳۸۹-۳۹۷-۴۰۱-۴۰۲

کنترل کننده‌ی مرکزی ۴۸-۸۱-۱۰۲-۳۳۷-۳۴۷-۳۴۹-۳۵۰-۳۵۱-۳۵۲-۳۵۳-۳۵۴-۳۵۶-۳۵۸-۳۸۲

کنترل متمرکز ۲۳۸-۳۵۹-۳۶۰-۳۸۱-۳۸۲-۳۹۰-۳۹۱-۳۹۷-۴۰۲-

کنترل نامتمرکز ۳۴۶-۳۸۴-۳۸۵-۳۸۷-۳۹۷-۴۰۲

واحد اندازه‌گیری فازوری ۴۷-۲۶۱-۲۶۸-۲۷۱-۲۷۲-۲۷۳