

روشی جدید جهت تخمین حالت شبکه های توزیع برق مبتنی بر مفاهیم اتوماسیون

علی میرزازاده^۱، عبدالرضا توکلی^۲ و حامد دانشور^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات و شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان-^۲عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات-^۳
شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان
a_mirzazadeh ^۱@yahoo.com, *tavakoli* ^۲@yahoo.com, *hameddaneshvar*@yahoo.com

چکیده

هدف اصلی سیستم قدرت، تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی با بازده خوب است. بهره برداری از سیستم، به سیستمهای کنترل و نظارت پیچیده ای که از نظر جغرافیایی پراکنده می باشند، نیازمند است. کنترل جامع کل سیستم برعهده سیستم مدیریت انرژی (EMS) است. سیستم کنترل نظارتی و کسب داده ها (SCADA)، بر سیستمهای تولید و انتقال احاطه دارد. سیستم اتوماسیون و کنترل توزیع (DAC) برسیستمهای توزیع و بارهای متصل احاطه دارد.

در اتوماسیون شبکه های هوشمند توزیع، همواره تمامی مقادیر قابل اندازه گیری شینها و خطوط (ولتاژ، جریان و توان) در دسترس نمی باشند. به دلایلی از قبیل قابل دسترس نبودن همه خطوط، خرابی بعضی از دستگاهها، در اختیار نداشتن یا گران بودن وسایل اندازه گیری برای تمام خطوط، صرفه جویی در هزینه و لذا استفاده از تکنیک تخمین حالت الزامی است. با تخمین حالت توزیع (DSE)، اپراتورها می توانند افت توان، بهینه سازی ولتاژ یا توان دستگاه، اضافه بار خطوط و غیره را محاسبه کنند.

در این مقاله، پس از بررسی انواع روش های تخمین حالت شبکه های توزیع و تحلیل نقاط ضعف و قوت هر کدام، روش نوینی جهت تخمین حالت شبکه های توزیع برق بر مبنای مفاهیم اتوماسیون ارائه شده است. برنامه نویسی این روش در نرم افزار MATLAB برای سیستم استاندارد IEEE انجام داده شده است. روش جدید پیشنهادی، سبب بهبود دقت و سرعت تخمین حالت شبکه های توزیع برق می گردد.

کلید واژه

تخمین حالت- اتوماسیون- شبکه توزیع- مدیریت انرژی

۱- مقدمه

- بهبود بازده کل سیستم در بهره گیری از سرمایه و انرژی
- کاهش الزامات ذخیره سازی در انتقال و تولید
- افزایش اطمینان بخشی در سرویس دهی به بارهای اصلی
- مدیریت مصرف کنندگان و درجه بندی دیمانداها از نظر زیان ناشی از خاموشی
پیشرفت در تکنولوژی، اتوماسیون واقعی توزیع را عملی کرد.
اخیراً مهندسان سیستم های توزیع به ابزارهای نوینی مانند مینی

تا مدت ها وسایل اتوماتیک نظارت و کنترل، بخشی از سیستم کنترل نظارتی و کسب داده ها بود. اخیراً اتوماسیون، بخشی از کل سیستم مدیریت انرژی شده است که سیستم توزیع را نیز در برمی گیرد. دلایل وجودی سیستم اتوماسیون و کنترل توزیع چنین است:



باشد. حال اگر مجموعه اندازه گیریها به تعداد کافی باشند و نحوه توزیع آنها در سیستم مناسب باشد تخمینگر حالت، قادر خواهد بود حالت سیستم را محاسبه نماید [۳-۷].

روشهای متعددی برای بدست آوردن راه حل تخمین حالت پیشنهاد شده است که در این مقاله ابتدا به این روشها اشاره و سپس روشی جدید جهت تخمین حالت سیستمهای توزیع ارائه خواهد شد.

۲- انواع روشهای تخمین حالت سیستمهای توزیع برق

تخمین حالت، عمل تخصیص مقدار به یک متغیر نامعلوم سیستم بر طبق معیاری به خصوص است که با استفاده از اندازه گیری از آن سیستم انجام می شود. معمولاً اندازه گیری، حالات ناقص و اضافی دارد و عمل تخمین حالات سیستم، براساس روشهای آماری صورت می پذیرد که با حداکثر و یا حداقل معیاری بخصوص، مقادیر واقعی متغیرهای حالت تخمین زده می شوند. معیار رایج و آشنا اینست که مجموع مربعات تفاوت بین مقادیر تخمینی و حقیقی (یعنی اندازه گیری شده) حداقل شود. در سیستمهای قدرت، متغیرهای حالت شامل مقادیر ولتاژ و زوایای نسبی فاز در گره های سیستم می باشند. اندازه گیری هایی مورد نیاز است تا بتوان عملکرد سیستم را در وضعیت بلادرنگ هم برای کنترل قابلیت اطمینان و هم برای قیود موجود در توزیع اقتصادی بار، تخمین زد. ورودی به یک تخمینگر شامل اندازه گیری های ناقص از مقادیر ولتاژ و توان، توان موهومی یا توان ظاهری است. تخمین گر بدین صورت طراحی می شود که بهترین تخمین را از مقادیر ولتاژ و زوایای فاز در اختیار قرار دهد. با توجه به اینکه خطا در مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد و این که ممکن است بعضی از اندازه گیری ها اضافی باشند. سپس، اطلاعات خروجی از تخمین گر را در مراکز کنترل سیستم در مطالعه توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم و نیز کنترل سیستم، به کار می برند.

یک تخمین گر حالت قادر است خطاهای کوچک تصادفی را صاف کند. خطاهای فاحش را تشخیص داده و آشکار نماید و سرانجام اطلاعاتی را که به علت قطع خطوط ارتباطی دریافت نشده است با مقادیر مناسب پر کند [۱-۶].

روشهای موجود جهت تخمین حالت سیستم توزیع برق عبارتند از روش معادله نرمال، روش تخمین حالت سیستمهای توزیع برق بر مبنای جریان شاخه و ولتاژگره، تخمین حالت شبکه های

کامپیوترهای ارزان و میکروپروسورهای نیرومندی مجهز شده اند که بسیاری از مفاهیم اتوماسیون توزیع را دست یافتنی کرده اند. در واقع، کنترل و نظارت دقیق و مستمر به معنی جلوگیری از اتلاف انرژی و ارتقاء بازدهی در بهره برداری از شبکه است و این جزء ارکان اساسی طراحی، توسعه و بهینه سازی شبکه قدرت می باشد. همچنین، با توجه به اینکه تصمیم گیرنده نهایی بهره برداران شبکه قدرت می باشد، لذا داشتن اطلاعات لازم و کافی و به صورت لحظه ای و همچنین داشتن ابزارهای دقیق جهت تجزیه و تحلیل وقایع می تواند منجر به تصمیم گیری صحیح و عملاً برآورد نیازهای فوق باشد [۱-۶].

در سیستم مدیریت انرژی مدرن (EMS)، برنامه تخمین حالت (SE) یک سری از مقادیر خام اندازه گیری شده را پردازش و یک حل پخش بار بلادرنگ را بدست می آورد که پایداری برای توابع پیشرفته، برای مشاهده و کنترل سیستم است. تخمین حالت بر اساس روابط ریاضی بین متغیرهای حالت سیستم و اندازه گیریها است، متغیرهای حالت می تواند، مقادیر ولتاژ و زاویه ولتاژ در تمام شینهای سیستم باشند. عمل محاسبه متغیرهای حالت مجهول بر اساس روشهای آماری با حداکثر یا حداقل کردن معیار خاصی، صورت می گیرد. معیار مرسوم اینست که تفاوت بین مقادیر محاسبه شده (تخمین زده شده) و مقادیر اندازه گیری شده (مقادیر حقیقی) حداقل شود. در یک سیستم توزیع تخمینگر حالت به این صورت طراحی می گردد که با توجه به اینکه در مقادیر اندازه گیری شده خطا وجود دارد و ممکن است برخی از اندازه گیریها اضافی باشند، بهترین تخمین را از مقادیر دامنه و زاویه ولتاژ شینها در اختیار قرار دهد [۵-۷]. سپس اطلاعات خروجی از تخمین حالت در مرکز کنترل سیستم در پخش بلادرنگ و کنترل قابلیت اطمینان سیستم های توزیع مورد استفاده قرار می گیرد. معمولاً تعداد اندازه گیریها از مقدار مورد نیاز جهت تخمین حالت بیشتر است.

بنابراین تخمینگر حالت مجموعه ای از اندازه گیریهای اضافی را به منظور تخمین حالت سیستمهای توزیع پردازش می نماید. سه نوع اندازه گیری بلادرنگ وجود دارد:

(الف) اندازه گیریهای آنالوگ که شامل مقدار ولتاژ شینها، توانهای اکتیو و راکتیو جاری و تزریقی در خطوط

(ب) اندازه گیریهای منطقی شامل حالت کلیدها و بریکرها (دژنکتورها)

(پ) اندازه گیریهای مجازی که ممکن است شامل تخمین بار مصرفی (اطلاعات قبلی) و تزریقهای صفر در شین های پسیو

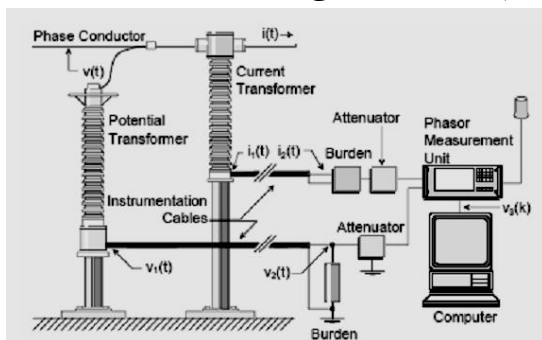
به روش های قدیمی دارای مزایایی است که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد.

۳-۱- معرفی روش اندازه گیری غیرمنظم

در سالیان اخیر، یک دستگاه جدید به مبدل سیستم قدیمی به شرح ذیل الحاق شده است و این واحد اندازه گیری فازور است. یک PMU (phasor measurement unit) قادر به محاسبه فاز ولتاژها و جریان ها بوده و این سیگنال ها در نرخ نمونه های نسبتا بالا (یعنی ۱ ثانیه) موجود هستند.

در حال حاضر، تنها چند شرکت کارخانه تولید برق PMU نصب کرده اند. هرچند گرایش آشکاری برای افزایش اساسی تعداد PMU در سیستم های برق وجود دارد. از آنجایی که زوایای فاز V و I در PMU ها موجود هستند می توان مختلط $P+zQ$ را فوراً محاسبه کرد. یک نمونه از نصب ابزار اندازه گیری قدرت (توان) در شکل ۱ نشان داده می شود. در اکثر سیستم های قدرت از PMU ها استفاده نمی شود. در این موارد، اندازه گیری های P و Q خیلی راحت به سیستم SCADA محول می شود.

حین اندازه گیری یا محاسبه توان مختلط، ولتاژ جریان بایستی از همان مکان سیستم گرفته شود. در صورت اندازه گیری توان غیرمنظم این مورد صدق نمی کند. می توان مقاومت ظاهری بین CT و PT را به صورت مدار شکل ۲ نشان داد. در صورت اندازه گیری توان غیرمنظم فرض می شود که ابزارها از هم جدا نبوده و در محدوده مدلسازی خط کوتاه عادی هستند. از آنجایی که CT و PT اغلب از هم دور نمی باشد، فرض می شود مقاومت در مدل مقاومت ظاهری ناچیز باشد. نمونه ای از استقرار ابزار غیرمنظم در شکل ۱ دیده می شود.



شکل ۱: نمونه ای از پیکربندی یک ابزار توان مختلط

۳-۲- معرفی سیستم تحت مطالعه و روند برنامه نویسی در MATLAB

برای نشان دادن تاثیر اندازه گیری های توان غیرمنظم از یک سیستم استاندارد ۱۱ باسه استفاده شده است.

توزیع به کمک روش مجزایی سریع، روش تخمین حالت با معادله نرمال با قیود یکسان (NE/C).

هر یک از این روشها دارای مزایا و معایبی به شرح ذیل می باشد: روش مجزایی سریع، به دلیل قطری شدن ماتریس ژاکوبین تخمین سیستم، نسبت به روشهای دیگر از دقت پایینی برخوردار است ولی سرعت این روش افزایش می یابد. از طرفی قادر است ماتریس فرعی بهره را به دو زیر ماتریس بهره دیگر مجزا کند و از این طریق حافظه مورد نیاز برای محاسبات را به نصف کاهش دهد.

روش تخمین حالت بر اساس معادله نرمال دارای قابلیت اطمینان پایین تر و روش تخمین حالت بر اساس ولتاژ گره و جریان شاخه ها محدودیت های نصب لوازم اندازه گیری دارند. همچنین در روش ولتاژ گره، به دلیل کوپلاژ بین فازها، ابعاد ماتریس بهره افزایش و در نتیجه حافظه بیشتری از کامپیوتر را اشغال می کند و لذا زمان محاسبه یز افزایش می یابد.

از جمله مزایای روش جریان شاخه این است که تخمین حالت برای هر فاز را می توان جداگانه به کار برد که با توجه به نامتعادل بودن بار مطلوب است. همچنین به علت شعاعی بودن سیستمهای توزیع با داشتن جریان شاخه ها تمامی پارامترهای سیستم قابل تحصیل است.

۳-۳- روش جدید برای تخمین حالت سیستمهای توزیع برق

توان مختلط تابعی از ولتاژ و جریان مختلط می باشد که در آن $S=VI^*$ می باشد. دستگاه های اندازه گیری قدرت با نمونه گیری ولتاژ $v(t)$ و جریان $i(t)$ کار می کنند که با یک مبدل A/D به یک سیگنال دیجیتال تبدیل می شود. سیگنال های جریان و ولتاژ دیجیتال پردازش می شوند تا محصولی بدست آید که از مبدل برق (قدرت) بهره می برد. در کاربردهای گسترده SE، خروجی دیجیتال مبدل های برق از طریق سیستم SCADA (سیستم کنترل نظارت و کسب داده) به یک کامپیوتر مرکزی ارسال می شود. مبدل های برق هر Δt ثانیه سیگنالی می فرستد که Δt معمولا در محدوده ۱ تا ۵ ثانیه می باشد. سیستم SCADA برای همساز کردن علاوه بر سیگنال های دریافتی طوری طراحی شده است که از سخت افزار کسب داده نیز استفاده می کند. همچنین می توان دامنه سیگنال های ولتاژ و جریان را از مبدل های A/D بدست آورد و دوباره آنها از طریق سیستم SCADA به کامپیوتر ارسال کرد. این روش نوین نسبت

تخمین حالت WLS رایج ترین شکل تخمین حالت مورد استفاده بوده و از آن در این نمونه استفاده خواهد شد.

تخمین حالت حداقل مربعات یک بردار اندازه گیری را در شبه معکوس ماتریس فرایند [H] ضرب می کند که یک بردار تخمین حالت بدست می آید. ماتریس [H] ماتریس ضرایبی می باشد که N_m (تعداد اندازه گیری ها) در N_s (تعداد حالات) می باشد. تخمین حالت حداقل مربعات با تعداد زیادی از اندازه گیری ها بهبود می یابد و در مهندسی برق (قدرت) این مورد همیشه بیش از حد تعیین شده که در آن $N_m > N_s$ می باشد. آخرین مورد غیر وزنی و بیش از حد تعیین شده در اینجا نشان داده می شود.

$$[x] = [H]^T [H]^{-1} [H]^T [z] \quad (1)$$

برای محاسبه زوایای درگاه اندازه گیری های واقعی توان، از معادله شار توان زیر استفاده می شود

$$p = \frac{|V_l| |V_r|}{X} \sin(\delta_l - \delta_r) \quad (2)$$

از آنجایی که این ولتاژها طی حالت پایدار خیلی به عدد ۱ در هر واحد نزدیک بوده و این زوایا به صفر خیلی نزدیک هستند می توان معادله شار توان عام را ساده کرد. سینوس زوایای کوچک تقریباً خود آن زاویه است. از معادلات توان زیر استفاده می شود

$$p = \frac{1}{X} \sin(\delta_l - \delta_r) \quad (3)$$

در زمینه تخمین حالت حداقل مربعات، ماتریس [z] از اندازه گیری های توان واقعی ساخته شده و ماتریس [H] از معکوسات راکتانس خطی ایجاد می شود. ماتریس حالت [x] از زوایای مرجع درگاهی تشکیل شده است که باید برآورد شود.

اکنون معادله تخمین حالت برای توان غیرفعال ساخته می شود. دوباره فرض می شود زوایای ولتاژ به مقدار واحد ۱ خیلی نزدیک شده و زوایای مرجع به صفر نزدیک شده اند. می توان معادلات را به شکل زیر ساده کرد:

$$V_l = 1 + \Delta V_l \quad (4)$$

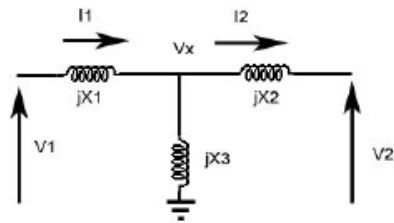
$$V_r = 1 + \Delta V_r$$

$$Q = \frac{|V_l|^r - |V_r| |V_r| \cos(\Delta\delta)}{X} \approx \frac{1}{X} [\Delta V_l - \Delta V_r]$$

حین محاسبه دامنه یا زاویه ولتاژ، ماتریس [H] می تواند از معکوس هر راکتانس خط ساخته شود. در اینجا بردار اندازه گیری [z]، اندازه گیری های توان غیرفعال می باشد و بردار حالت [x] از دامنه های ولتاژ درگاه ایجاد شده است.

$$S_{11} = V_1 I_1^*$$

$$S_{22} = V_2 I_2^*$$



شکل ۲: مدلی برای مقاومت القایی بین CT و PT در یک اندازه گیری غیرمنظم

این سیستم آزمایش بر اساس شبکه توزیع در جنوب غرب ایالات متحده آمریکا ایجاد شده است. تنظیمات راکتانس و شبکه پیش فرض هستند و جزئیات آن در شکل ۲ نشان داده می شود. پارامترهای خط انتقال از روی تنظیمات خط واقعی انتقال و طول تقریبی خط محاسبه شدند. این پارامترها در جدول ۱ به صورت پرینت نشان داده می شود. هر درگاه (باس) به یک مقدار واحد ولتاژ اختصاص دارد. دانستن ولتاژ درگاه و پارامترهای خط انتقال، اجازه محاسبه تک جریان های خطی و شار توان مختلط را می دهد.

محاسبات تخمین حالت با استفاده از داده های سیستم ۱۱ باسه و نرم افزار ریاضی Matlab انجام شد که کد این محاسبات در پیوست این تحقیق، آمده است. هدف در ذیل، امتحان خطا در تخمین حالتی می باشد که می تواند از یک اندازه گیری توان غیرمنظم ناشی شود و نفعی را نشان دهد که از تصحیح آنها حاصل می شود.

جدول ۱: راکتانس خطی برای سیستم تحت مطالعه

Line Parameter	Reactance (p.u.)
X_a	0.017
X_b	0.004
X_c	0.0335
X_d	0.0015
X_e	0.0062
X_f	0.0483
X_g	0.0064
X_h	0.0206
X_j	0.0039
X_k	0.0099
X_l	0.0156

این سیستم تست، از ۱۸ ابزار قدرت استفاده می کند که از خوانش آنها در تخمین حالت برای محاسبه زاویه ولتاژ و دامنه آن در هر درگاه استفاده می شود.

یک راکتانس شانت می باشد. ابزار قدرت غیرمنظم، توان حاصل از موقعیت های ۷۲ و ۱۱ را که مربوط به نمودارهای شکل ۳ می باشد محاسبه خواهد کرد.

جدول ۲: مقادیر راکتانس برای تست اندازه گیری های غیرمنظم

	Value in per unit
X_1	-0.01022
X_2	-0.00995
X_3	0.87719

این تست در ۵ مورد انجام خواهد شد که به موارد ۰ تا ۴ اختصاص داده می شود. برای هر مورد، از اندازه گیری های توان مختلط برای محاسبه متغیرهای حالت و $|V|$ استفاده می شود. متغیرهای حالت هیچ خطایی نخواهند داشت و هیچ یک از نتایج مورد ۰ از آنها کسر نمی شود که برای هر مورد $\delta - \delta_{no-error}$ و $|V| - |V|_{no-error}$ بدست می آید.

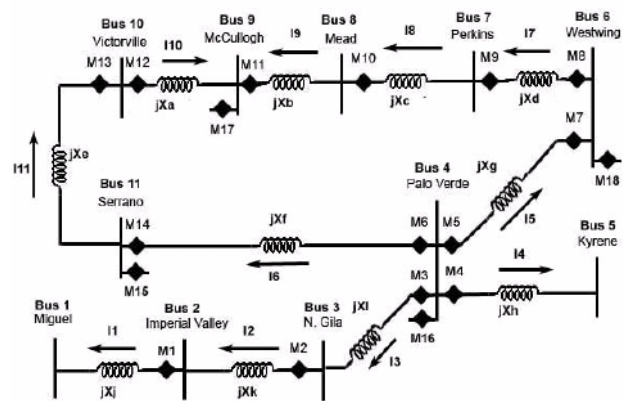
مقادیر $\delta - \delta_{no-error}$ و $|V| - |V|_{no-error}$ ۱۰۰۰ بار محاسبه شده و مقدار میانگین با مشاهده دو شاخص، میانگین و واریانس آنالیز خواهد شد. مورد ۰ هیچ خطای اندازه گیری توان و ابزار غیرمنظمی ندارد و در نتیجه انتظار می رود مقادیر $\delta - \delta_{no-error}$ و $|V| - |V|_{no-error}$ نزدیک به صفر باشند.

مورد ۱ اندازه گیری توان با خطای توزیع شده گاوسی ۱۰ درصد داشته و هیچ ابزار توان غیرمنظمی ندارد. مورد ۲ اندازه گیری های توانی با خطای توزیعی گاوسی ۳۰ درصد داشته و هیچ ابزار توان غیرمنظمی ندارد.

مورد ۳ اندازه گیری توان با یک خطای توزیع شده گاوسی ۱۰ درصد داشته و ابزار توان غیرمنظم در درگاه شماره ۲ دارد. مورد ۴ اندازه گیری توان با خطای توزیعی گاوسی ۳۰ درصد و هیچ ابزار غیرمنظمی ندارد.

خطای درصدی مورد استفاده نماد خطای تصادفی در اندازه گیری های سیستم های قدرت هستند. امید می رود با مقایسه موارد ۰ تا ۴، بتوان مقدار خطا بعلاوه نویز تصادفی (خطای درصدی در موارد ۱ تا ۴) و ابزار غیرمنظم (فقط موارد ۳ و ۴) را تشخیص داد. نتایج موارد تست ۰ تا ۴ در جداول ۳-۷ نشان داده شده اند.

جدول ۳: موارد ۰ تا ۴ تخمین حالت سیستم تحت مطالعه



شکل ۳: سیستم تحت مطالعه

باید اشاره کرد که روش تخمین حالت یک فرایند تکراری می باشد. بردار حالت x حدس زده شده و سپس با مقدار \hat{x} محاسبه شده از ماتریس H و بردار اندازه گیری z مقایسه می شود. تفاوت بین x و \hat{x} از خطای اندازه گیری ناشی می شود که با نماد δ نشان داده می شود و در آن

$$\hat{x} = H^+(z + \eta) \quad (5)$$

فرایند تکراری H و z را آپدیت می کند تا تفاوت بین \hat{x} و x حاصل از تکرار قبلی اندک باشد. در این محاسبات تخمین حالت WLS انجام شده روی سیستم تست ۱۱ باسه و در محاسبات WLS انجام شده در کل این رساله، تنها نتایج اولین تکرار در نظر گرفته می شود. از ماتریس H - که به صورت حالات فوق محاسبه می شود - مستقیماً روی بردار اندازه گیری z برای محاسبه \hat{x} استفاده خواهد شد. تکنیک های اندازه گیری -تصحیح مشتق شده در اینجا و در این تحقیق طوری طراحی شده اند که نتایج اولین تکرار بهتری ایجاد می کنند. تنها نتایج اولین تکرار برای این رساله در نظر گرفته شده و این به خاطر آن است که: یک برآورد کننده حالت تکرار یک سطح قابل توجهی متغیر به مسائل معین اضافه می کند.

فرض می شود که نتایج تخمین اولین حالت تکرار نزدیک تر به مقدار حالت واقعی نتایج بهتری ایجاد کرده و یا با تکرارهای کمتر در یک برآورد کننده حالت تکرار بهتر جواب می دهد.

سیستم آزمایش همانند عنصر اندازه گیری غیرمنظم برای این تست یک اندازه گیری غیرمنظم القایی در باس شماره ۲ برای مطالعات موردی غیرمنظم خواهد داشت. امپدانس مورد استفاده در همه وضعیت ها در جدول ۲ و مربوط به مدار امپدانس عام غیرمنظم در شکل ۳ نشان داده می شود. مقادیر امپدانس X_1 و X_2 می توانست نماد خازن های سری بزرگ باشد که در آنجا X_3



۴- تحلیل نتایج

توان مختلط در سیستم تحت مطالعه در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. در کل، خطای اندازه گیری تصادفی در سناریوهای ۱ و ۲ برای $P-P_{no-error}$ و میانه $P-P_{no-error}$ افزایش می دهد. در نتیجه برای توان واقعی و غیر واقعی، واریانس نیز به علت خطای اندازه گیری افزایش می یابد. در نتیجه خطای اندازه گیری به تنهایی خطای اندازه گیری کل و واریانس کل را افزایش می دهد. موارد ۳ و ۴ دارای خطای اندازه گیری و یک اندازه گیری غیرمنظم می باشد. در موارد ۳ و ۴، مقادیر $P-P_{no-error}$ و $Q-Q_{no-error}$ با دامنه حداقل دو برابر بزرگتر از خطای مربوط به غیرخطای مورد ۰ منجر می شود. مقدار میانگین $P-P_{no-error}$ هم برای موارد تست غیرمنظم ۳ و ۴ (مربوط به مورد ۰) افزایش می یابد. همچنین واریانس بزرگتر مربوط به موارد ۳ و ۴ مربوط به موارد ۰ تا ۲ برای تفاضلات توان واقعی و غیر واقعی و تفاضلات حالت وجود دارد. بخاطر افزایش خطای $P-P_{no-error}$ و $Q-Q_{no-error}$ در موارد ۳ و ۴ و همچنین افزایش واریانس کل در موارد ۳ و ۴، می توان گفت که یک ابزار غیرمنظم خطای اندازه گیری را در میز آزمایش و واریانس افزایش داد.

تاثیر اندازه گیری غیرمنظم بر تخمین حالات پایدارتر از تاثیرات اندازه گیری مستقیم توان می باشد. تفاضل میانگین ها در مقادیر حالت از مورد غیرخطا در جداول ۴ و ۵ نشان داده می شود. جداول ۴ و ۵ نشان می دهند که موارد ۱ و ۲ که تنها حاوی خطای اندازه گیری هستند با سناریو غیرخطایی ۰ اندکی تفاوت دارند. تنها استثنایی که از آن چشم پوشی می شود افزایش قابل توجه واریانس در محاسبات $\delta-\delta_{no-error}$ در موارد ۱ و ۲ مربوط به مورد ۰ می باشد.

سپس تنها خطای اندازه گیری به تنهایی در محاسبات زاویه فاز درگاه تغییر ایجاد می کند. وقتی یک اندازه گیری غیرمنظم طی موارد ۳ و ۴ اضافه می شود نتیجه اش یک افزایش مقدار باقیمانده کوچک دو معدلی و افزایش واریانس برای اندازه گیری های $\delta-\delta_{no-error}$ و $|V|-|V|_{no-error}$ مربوط به موارد ۰ تا ۲ می شود. تغییر واریانس برای اندازه گیری $|V|-|V|_{no-error}$ کوچک تر از تغییر واریانس اندازه گیری $\delta-\delta_{no-error}$ می باشد. مشاهدات قبلی نشان می دهند که در تخمین حالت سیستم های قدرت، یک ابزار غیرمنظم می تواند واریانس زوایای ولتاژ درگاه و دامنه محاسبه شده آنرا افزایش دهد و در نتیجه خطا در تخمین زیاد شود. در نهایت، سناریو

Case	Objective	Measurement noise	Non-collocated measurement
0	Base case	None	No
1	Low noise case	10%	No
2	High noise case	30%	No
3	Low noise, non-collocated measurement	10%	One, located at bus 2
4	High noise, non-collocated measurement	30%	One, located at bus 2

جدول ۴: میانگین δ سیستم تحت مطالعه بعد از ۱۰۰۰ بار اجرا در مقایسه با δ واقعی برای موارد ۰ تا ۴

State $\delta-\delta_{no-error}$				
Case	Noise	$\ r\ _2$ of δ (rad)	Mean (rad)	Variance (rad)
0	none	0.0945948	0.028521	1.62E-32
1	10%	0.0945958	0.028521	5.13E-09
2	30%	0.094598	0.028521	5.26E-08
3	10%, one non-collocated measurement	0.095822	0.028521	2.39E-05
4	30%, one non-collocated measurement	0.09586	0.028521	2.43E-05

جدول ۵: میانگین $|V|$ سیستم تحت مطالعه بعد از ۱۰۰۰ بار اجرا در مقایسه با $|V|$ واقعی برای موارد ۰ تا ۴

State $ V - V _{no-error}$				
Case	Noise	$\ r\ _2$ of $ V $ (p.u. volts)	Mean (p.u. volts)	Variance (p.u. volts)
0	none	0.081075	-0.022879	8.18E-05
1	10%	0.081079	-0.022879	8.20E-05
2	30%	0.081119	-0.022879	8.11E-05
3	10%, one non-collocated measurement	0.081558	-0.022879	8.88E-05
4	30%, one non-collocated measurement	0.081511	-0.022879	8.92E-05

جدول ۶: اندازه گیری P میانگین سیستم تحت مطالعه بعد از ۱۰۰۰ بار اجرا در مقایسه با P واقعی برای موارد ۰ تا ۴

P-P _{no-error}				
Case	Noise	$\ r\ _2$ of P (p.u. watts)	Mean (p.u. watts)	Variance (p.u. watts)
0	none	0.098162	-0.003115	5.57E-04
1	10%	0.107574	-0.006990	9.39E-04
2	30%	0.239030	-0.035610	0.002054
3	10%, one non-collocated measurement	4.101085	-0.2225	0.929933
4	30%, one non-collocated measurement	4.101085	-0.2225	0.934167

جدول ۷: اندازه گیری Q میانگین سیستم تحت مطالعه بعد از ۱۰۰۰ بار اجرا در مقایسه با Q واقعی برای موارد ۰ تا ۴

Q-Q _{no-error}				
Case	Noise	$\ r\ _2$ of Q (p.u. vars)	Mean (p.u. vars)	Variance (p.u. vars)
0	none	1.676460	0.008759	0.165243
1	10%	1.447761	0.086734	0.115952
2	30%	1.448581	0.084969	0.1149
3	10%, one non-collocated measurement	2.16158	-0.006283	0.274566
4	30%, one non-collocated measurement	2.155998	-0.003878	0.275201



فراتر از این، چنانچه اندازه گیری های بلادرنگ بیشتری در بعضی از مناطق کلیدی وجود داشته باشد و شبکه توزیع رویت پذیر باشد، حالت های سیستم را می توان مستقیماً از اطلاعات بلادرنگ تخمین زد و خطای واریانس مربوط به داده های سیستم تحت مطالعه را، می توان بهبود بخشید که می تواند موضوع مناسبی برای تحقیقات آتی در این زمینه باشد.

های ۳ و ۴ با وجود نمونه برداری های غیر منظم و نویز مشابه با سناریوهای ۱ و ۲ دارای خطای میانگین کمتر و خطای واریانس بیشتری در توان های فعال و غیرفعال می باشد. در مورد ولتاژ و زوایا وجود سناریوهای مختلف نتایج تقریباً یکسانی را به بار می آورد که این موضوع از مزایای روش نمونه برداری نامنظم با تعداد ورودی پایین تر محسوب می گردد.

۵- نتیجه گیری

مراجع

- [۱] P. Heegaard and K. Trivedi. Network survivability modeling. *Computer Networks*, pages ۱۲۱۵-۱۲۲۴, June ۲۰۰۹.
- [۲] A. Koziolk, L. Happe, A. Avritzer, and S. Suresh. Acommon analysis framework for smart distribution networks applied to survivability analysis of distribution automation. In *Software Engineering for the Smart Grid (SE ϵ SG)*, ۲۰۱۲ *International Workshop on*, pages ۲۳-۲۹, June ۲۰۱۲.
- [۳] Ali Abur, Antonio Gomez Exposito, "Power System State Estimation", Marcel Dekker Pub. , IEEE Trans. On Power Systems, Vol.۴, No.۱ February ۲۰۰۸, pp.۱۰-۱۷.
- [۴] Mesut E.Baran, Arthur W.Kelley "State Estimation For Real-Time Monitoring of Distribution Systems", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.۹, No.۳, August ۱۹۹۴, pp.۱۶۰۱-۱۶۰۹.
- [۵] Atish K.Ghosh, David L.Lubkeman, Matthew J.Downey, Robert H.Jones "Distribution Circuit State Estimation Using A Probabilistic Approach", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.۱۲, No.۱, February ۱۹۹۷, pp.۴۵-۵۱.
- [۶] Youman Deng, Ying He, Bomng Zhang "A Branch-Estimation-Based State Estimation for Radial Distribution Systems ", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.۱۷, No.۴, October ۲۰۰۲, pp.۱۰۵۷-۱۰۶۲.
- [۷] Bin Wang, Wilsum Xu, Zhencum Pan "Voltage Sag State Estimation for Power Distribution Systems," IEEE Trans. On Power Systems, Vol.۲۰, No.۲, May ۲۰۰۵, pp.۸۰۶-۸۱۲.

اصولاً روش های تخمین حالت برای کم کردن خطای سیستم و تشخیص داده های ناقص در سیستم - که از این ویژگی می توان برای بکارگیری از وسایل اندازه گیری کمتر استفاده نمود- به کار می رود و جز این دو مزیت هیچ فرقی با پخش بار سیستم نخواهد داشت. در تخمین حالت، اطلاعات ورودی همان اطلاعات اندازه گیری شده توسط دستگاه های نصب شده در سیستم می باشد و به عنوان مقادیر اندازه گیری شده می شناسیم.

در این مقاله، ابتدا مزایا و معایب مهمترین روش های تخمین حالت سیستم های توزیع شرح داده شد و در ادامه روش نوینی تحت عنوان روش تخمین حالت براساس روش اندازه گیری های نامنظم معرفی شده است و در انتها، این روش در یک سیستم استاندارد ۱۱ باسه توسط برنامه نویسی در MATLAB مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج این برنامه نویسی حاکی از آن بود که این روش نسبت به سایر روش های تخمین حالت در انجام محاسبات از سرعت بالاتر و تعداد تکرار تقریباً بالاتری برخوردار می باشد. از مزیت های این روش این است که به پارامترهای کمتری از خط حساس می باشد و داده های ناقص و همگرایی در محاسبات را بهبود می بخشد و از دقت خوبی برخوردار است و نیز با استفاده از این شیوه، تخمین حالت می توان کیفیت اطلاعات بار پیش بینی شده را با کمک اندازه گیری های بلادرنگ موجود در سیستم بهبود بخشید. بنابراین، حالت های سیستم که توسط این تخمین حالت فراهم می شود از آن چیزی که از مطالعه توان جاری آف لاین (off-line) در دسترس قرار می گیرد، بهتر است.