www.IrPDF.com

کنترل کننده اتوماتیک ولتاژ در سد کرخه

مجتبی مسعودی نژاد
دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
masoudinejad@gmail.com
تهران، میدان نوبنیاد، شهرک چمران 13-11-1

چکیده: بدلیل نیاز فراوان کشور به تولید انرژی و نقش آن در کشور، نیروگاه ها به اجزای اصلی توسعه ی صنعتی تبدیل شده اند. مطمئنا قلب هر نیروگاه، ژنراتور آن بوده که وظیفه تولید انرژی الکتریکی را بر عهده دارد، اما در کنار این ژنراتور ادواتی وجود دارند تا راه اندازی، عملکرد صحیح، پایداری و استاندارد بودن خروجی ژنراتور را کنترل کنند؛ یکی از این ادوات که از اساسی ترین حلقه های نیروگاه (شامل حلقه کنترل ولتاژ و کنترل فرکانس (گاورنر)) می باشد کنترل کننده اتوماتیک ولتاژ (AVR) ژنراتور است که در این مقاله پس از معرفی کلی و اجمالی سیستم های AVR به بررسی یک نمونه از این ادوات که در سد کرخه در حال کار می باشد پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: *نیروگاه، کرخه، کنترل ولتاژ، ژنراتور سنکرون*

1) مقدمه

در عصر کنونی که به اعتقاد بسیاری عصر انرژی است، انرژی الکتریکی، تولید بهینه و مصرف صحیح آن از مهم ترین مباحث به شمار می رود. در کشورمان ایران، در دوره سازندگی با رویکرد تولید داخل، نقش انرژی به عنوان یکی از ابزارهای اساسی توسعه بسیار مشهود می باشد. با عنایت به نیاز مبرم کشور به انرژی و علی الخصوص انرژی الکتریکی در دهه ی 70 تعداد بسیار زیادی از نیروگاه ها راه اندازی گردید که انرژی برق آبی بدلیل هزینه تمام شده نهایی پایین تر از بقیه انواع نیروگاه ها مورد توجه خاص سیاست گذاران قرار گرفت و این مهم از تعداد سدهای افتتاح شده در دهه ی 70 و 80 که بالغ بر 70 سد می باشد مشهود است.

در این سالها متخصصان داخلی با تلاش بسیار سعی بر ساخت کامل تجهیزات نیروگاهی در داخل کشور داشته اند و در بسیاری موارد نیز به نتایج بسیار با ارزشی دست یافته اند. به تبع این حرکت ملی، دانشجویان مهندسی برق از نقش بسیار مهمی در این انقلاب فنی برخوردار هستند.

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

پس از یک سری پیگیری های کلی به این نتیجه رسیدیم که در طراحی و ساخت ادوات کنترل نیروگاه دچار ضعف زیادی هستیم و با وجود پتانسیل بالا در زمینه طراحی و ساخت ژنراتور، در طراحی ادوات کنترل نیروگاه که شامل دو حلقه ی اصلی گاورنر و تنظیم ولتاژ اتوماتیک (AVR) می باشد کار خاصی انجام نشده، به همین دلیل تصمیم گرفتیم تا با حرکتی هر چند کوچک کمکی به این انقلاب صنعتی در کشور کرده باشیم.

به عنوان شروع کار بنا شد به بررسی و تحلیل سیستم تنظیم ولتاژ اتوماتیک (AVR) یکی از نیروگاه ها بپردازیم که پس از انتخاب سد کرخه، بازدید جامعی انجام شد و اطلاعاتی که در ادامه خواهد آمد گرد آوری گردید.

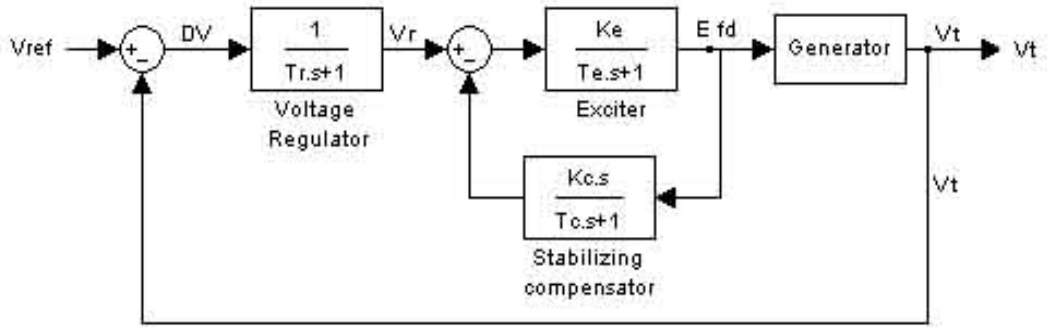
در این مقاله ابتدا به یک سری تعاریف کلی از سیستم تنظیم ولتاژ اتوماتیک (AVR) خواهیم پرداخت و پس از آشنایی کلی با این سیستم و بخش های مختلف آن به بررسی این سیستم در سد کرخه می پردازیم.

2) آشنایی کلی با تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR)

یک ژنراتور باید بتواند خروجی خود را با مشخصات استاندارد به شبکه تحویل دهد که یکی از مهمترین این فاکتورها ولتاژ خروجی ژنراتور است که برای هماهنگ کردن آن از یک حلقه بازخورد[1] به نام تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک[2] استفاده می شود.

در یک ژنراتور سنکرون عمل تنظیم ولتاژ از طریق کنترل بر روی ولتاژ DC اعمالی به سیم پیچ میدان که بر روی روتور قرار گرفته انجام می گیرد(به این مجموعه در اصطلاح تحریک کننده[3] گفته می شود.) در گذشته متداول بود توان DC مورد نیاز از طریق یک ژنراتور DC گرفته می شد که رتور آن به رتور ژنراتور اصلی وصل بود. اما در حال حاضراین کار بیشتر از طریق سیستم های استاتیکی (تنظیم زاویه آتش تریستورها) انجام می گیرد.

در کل می توان ساختاری مشابه آنچه در شکل 2-1 دیده می شود برای قرار گیری این سیستم در مجموعه نیروگاه فرض کرد.[1](این ساختاری است که از طرف IEEE ارائه می گردد.)



شمای پیشنهادی IEEE برای قرار گیری سیستم (شکل 2-1

T_r: The Regulator time constant

E_{fd}: The field voltage value

IEEE در مقاله ای سیستم های تحریک را به این شکل تقسیم بندی می کند[2]:

1- ژنراتور DC کنترل شونده با میدان – کموتاتور

2- الف) مولد AC کنترل شونده با میدان با

- یکسوساز کنترل ناپذیر (دیود)
- حلقه های لغزنده و جاروبک (یکسوساز ساکن)

[1] feedback
[2] Automatic Voltage Regulator(AVR)
[3] Exciter

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

- بدون حلقه های لغزنده و جاروبک (یکسوساز گردان)

ب) مولد AC با یکسوساز کنترل شونده

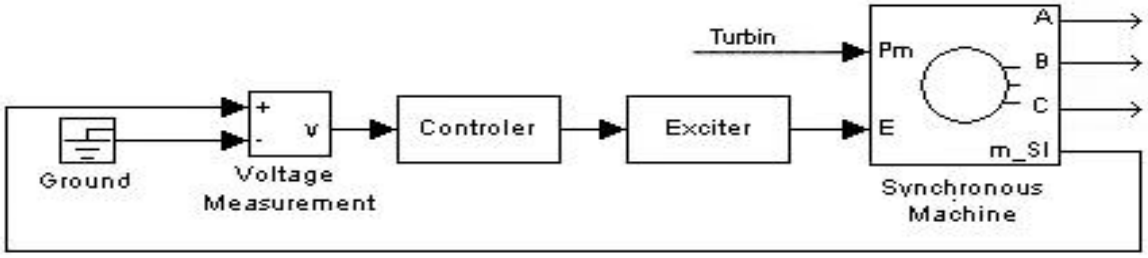
3- تحریک کننده استاتیک با

الف) یکسوساز منبع ولتاژ کنترل شونده که توان تحریک آن از ترانس متصل به ترمینال ژنراتور گرفته شود.

ب) منابع ترکیبی (ترانسفورماتورهای ولتاژ، جریان در ترمینال های ژنراتور) با

- یکسوساز کنترل ناپذیر (استفاده از المان های مغناطیسی همچون سلف های اشباع شونده)
- یکسوساز کنترل شونده (برای کنترل ولتاژ)

ساختار داخلی یک AVR را در شکل 2-2 مشاهده می کنید که در ادامه تک تک بلوک های آن معرفی می شود.



ساختار شماتیک داخلی یک AVR (شکل 2-2

2-1) اندازه گیری ولتاژ

به طور متداول برای هر حلقه فیدبک ابتدا به سنسورها یا سیستمهای اندازه گیری نیاز داریم و AVR ها نیز از این قائده مستثنا نیستند. عمل اندازه گیری ولتاژ خروجی ژنراتور بدلیل اینکه ولتاژ خروجی این ماشین ها بالا است، از طریق ترانسفورماتورهای اندازه گیری ولتاژ که به صورت موازی به باس بارهای خروجی (درست پس از خروج از ژنراتور) وصل می گردند انجام می شود. البته در اکثر موارد برای جلوگیری از صدمه رسیدن به بخش مرکزی و کنترل کننده، خروجی این ترانس ها از طریق یک مدار واسطه به این ادوات متصل می شود.

2-2) کنترل کننده مرکزی

این قسمت عملا مغز سیستم است و تصمیم های لازم را (بر اساس اطلاعات بخش اندازه گیری) به سیستم اعمال می کند و اکثرا یک کنترلر PID است که در حال حاضر بسیار متداول است از سیستم های مولتی پروسسوری و PLC[1] ها برای این کار استفاده می گردد.

2-3) تحریک کننده (Exciter)

این بخش تکمیل کننده ساختار کنترلی است و به عنوان محرک[2] عمل می کند که متداول ترین آن ها استفاده از یک ژنراتور DC و یا ادوات الکترونیک قدرت (تریستور ها) است. در حال حاضر بدلیل کارآیی، ارزانی و در عین حال قابل اعتماد بودن پل های تریستوری، در سیستم های مدرن از این روش استفاده می گردد.[3](که در سد کرخه نیز از همین سیستم استفاده شده است.)

[1] Programmable Logic Controller
[2] Actuator
[3] برای اطلاعات بیشتر می توانید به این کتاب مراجعه کنید: Power System Dynamic (By Padiar)

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

3) بررسی AVR سد کرخه

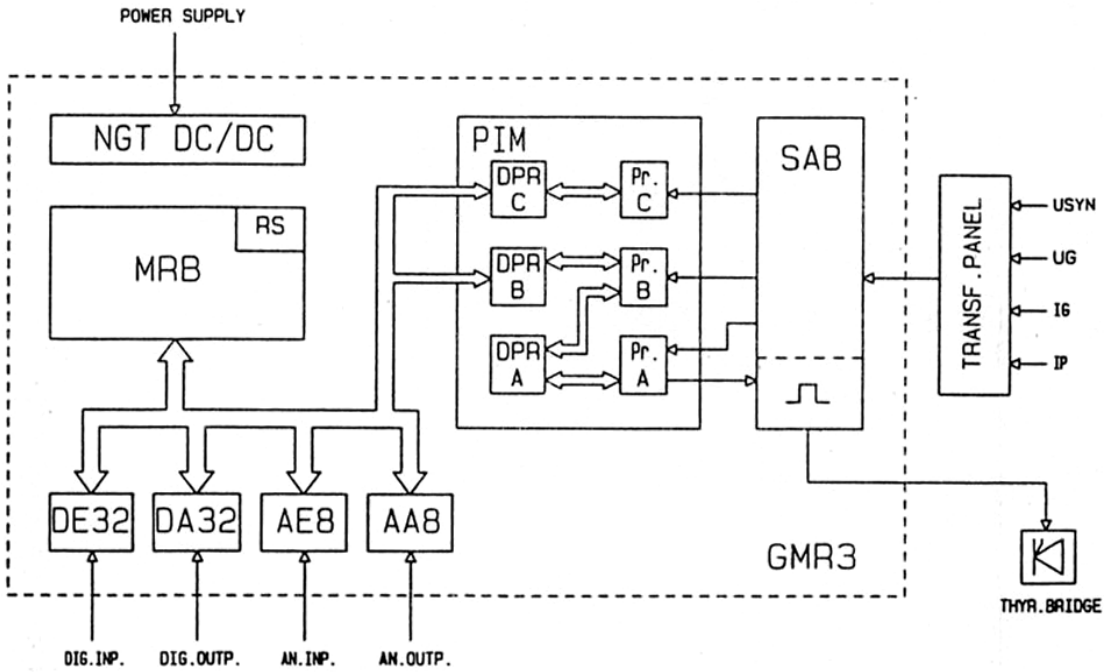
سد کرخه دارای سه واحد 133MW (140MVA) با Cosϕ=0.95 می باشد. برای سیستم AVR این نیروگاه[1] از سه ترانس سه فازه Y با نسبت ولتاژ 13800/350، با وزن 5100Kg برای اندازه گیری استفاده می شود. خروجی این ترانسفورماتور از طریق یک مدار واسطه به سیستم مولتی پروسسوری بر پایه PLC متصل می گردد.

خروجی پروسسورها که عملا زاویه آتش تریستور هاست از طریق یک مدار واسطه به مجموعه پل های تریستوری اعمال می گردد. خروجی تریستور ها نیز از طریق کابل هایی به رتور ژنراتور متصل می گردد. (تحریک ژنراتور)

در ادامه به بررسی ساختار داخلی و عملکرد داخلی بخش کنترل کننده می پردازیم.

در این نیروگاه از سیستم مولتی پروسسوری شرکت الین با نام تجاری GMR3 استفاده شده که توانایی رگولاسیون ماشین های سنکرون تک فازه و سه فاز با رنج فرکانسی متنوع را داراست.

این سیستم دارای ساختاری است که در شکل3-1 نمایش داده شده است.



ساختار داخلی GMR3 (شکل 3-1)

اجزای این سیستم به شرح زیر است:

- NGT) برد تغذیه ولتاژ.
- MRB) پروسسور اصلی. (به همراه حافظه برنامه، پارامتر های Setting و آداپتور سرویس سریال در کنار برد)
- Pr. A, B,C) سه زیر پروسسور A, B, C .(هر کدام دارای حافظه برنامه بوده و تعداد نیز قابل افزایش است.)
- ورودی ها و خروجی های دیجیتال و آنالوگ با عدد متغیر.
- SAB) برد اندازه گیری برای مقادیر ماشین و گیت پالس ها. (امکان افزایش وجود دارد.)
- DE32) برد ورودی دیجیتال. (با امکان افزایش؛ هر کدام دارای 32 اپتوکوپلر و 32 LED است.)
- DA32) برد خروجی دیجیتال. (با امکان افزایش)

[1] کنترل کننده ولتاژ این نیروگاه توسط شرکت اتریشی Elin طراحی و اجرا گردیده است.(www.avtechelin.com)

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

- مشخص کننده مقدار واقعی (IWK) (شامل ایزولاسیون و هماهنگ سازی با PT و CT ها)
- AA8,AE8) بردهای ورودی و خروجی آنالوگ. (به صورت اختیاری، در صورت نیاز)

تمامی بردها توانایی کار بر روی 8 سیگنال به صورت همزمان را دارند و تمامی ادوات از طریق ترانسفورماتورها از مبدا ایزوله شده اند و به مقادیر پایین تقلیل یافته اند و از طریق یک فیدر به برد SAB متصل شده اند .[3]

3-1) شرح اجزای سیستم

SAB مقادیر را اندازه گیری کرده و آن ها را به مقادیر قابل تحلیل برای زیرپروسسورها که بر روی برد PIM قرار دارند در می آورد.

زیر پروسسور C پارامترهای مورد نیاز کنترل ماشین را محاسبه کرده و از طریق یک DPR[1] به MRB(برد پروسسور اصلی) می فرستد.

زیرپروسسورB شامل حلقه کنترل جریان Exciter برای حالت Manual بوده که بر اساس جریان فیلد که از SAB بدست می آید و اطلاعات MRB بنا شده است. این حلقه محاسبه زاویه آتش تریستورها را بر عهده دارد، این زوایا از طریق DPRA به زیرپروسسور A منتقل می گردند .

زیرپروسسور A محاسبه تعداد و زمان پالس های آتش را بر عهده دارد.(ولتاژ لازم برای تریستورها از ترانس هایی در SAB (هر تریستور یک ترانس) تامین می شود.) ضمنا از طریق سویچ دستی کنار SAB تست دستی زاویه آتش ممکن است.

MRB شامل اجزای زیر است:

- برنامه اصلی AVR برای حالت کار اتوماتیک .
- محدود کننده ها (Limiters)
- کنترل کننده های اضافی .
- منطق کنترلی لازم برای عملکرد صحیح سیستم .[3]

3-2) برنامه AVR

برنامه شامل سیستم عامل و برنامه رگولاتور به همراه پارامترهای تنظیم برد MRB و زیرپروسسورها (بر روی PIM) است. تمامی این برنامه ها بر روی EPROM و پارامترهای اضافی بر روی EEPROM ها ثبت شده اند.

سیستم عامل تعامل بین ورودی، خروجی ها را متناسب با بازه برنامه رگولاتور، انتقال دیتا با زیرپروسسورها و امکانات مخابراتی با رگولاتور از طریق واسطه سریال فراهم می کند. همچنین توابع مختلف امکان خطایابی را فراهم نموده اند. علاوه بر این ها سیستم عامل شامل ویرایشگری است که امکان کار بر روی برنامه رگولاتور را فراهم می آورد. امکان اتصال یک سیستم عملیاتی همچون کامپیوتر هماهنگ با سیستم[2] از طریق واسطهRS232-C نیز وجود دارد.

در این سیستم اساس کار برنامه بر یک حلقه کنترل ولتاژ و یک حلقه کنترل جریان Exciter است که برنامه امکانات زیر را میسر می سازد:

- تنظیم ولتاژ روی مقدار تنظیم شده از خارج و با استفاده از زیرپروسسورB به عنوان حلقه جریان ثانویه (عملکرد اتوماتیک)

---

[1] Dual Port RAM ، یک حافظه است که امکان دسترسی اطلاعاتی همزمان به دو پروسسور به صورت مستقل را فراهم می کند .

[2] سیستم عامل های WIN95 , NT4.0 و همچنین سیستمDOS در بعضی موارد.

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

- جبران بار اکتیو و راکتیو.
- رگولاسیون جریان Exciter با مقدار تنظیم شده به صورت دستی.[1](عملکرد دستی)
- رگولاسیون جریان Exciter بر روی مقدار ثابت مشخص شده. (ترمز دینامیکی)
- رگولاسیون جریان Exciter (بدون تاخیر[2]) برای محدود کردن ماکزیمم سقف جریان اتصال کوتاه.
- محدود کننده ماکزیمم جریان Exciter با تاخیر وابسته به جریان اضافی. (مشخصه معکوس زمان) برای محدود کردن قابلب پذیرش پیوسته.
- محدود کننده حداقل جریان Exciter (بدون تاخیر)، برای جلوگیری از عملکرد با جریان کمتر از حداقل قابل قبول.

و امکانات زیر نیز در صورت درخواست قابل نصب هستند:

- محدود کننده جریان استاتور، با تاخیر وابسته به جریان اضافه (OverCurrent) برای عملکرد در هر دو حالت Over, Under Excitation
- محدود کننده بدون تاخیر زاویه بار. (محدود کننده Under Excitation)
- محدود کننده ولتاژ، با تاخیر برای ماکزیمم و مینیمم مقادیر.
- محدود کننده شار (Volts/Hz) با تاخیر.
- پایدار ساز سیستم قدرت.
- رگولاسیون بار راکتیو و ضریب توان بر روی مقادیر تعیین شده.
- عملکردهای مشخص برای هر سایت. (Site Specification)

ضمنا عملکردها کنترلی لازم برای رفتار مناسب سیستم (مانند تحریک ابتدایی، مانیتورینگ توابع، ...) در بخش مجزایی از برنامه رگولاتور موجود می باشد.[3]

3-3)تغذیه AVR

این سیستم به 24 ولت DC جهت تغذیه نیاز دارد که این ولتاژ به طور همزمان می تواند از ولتاژ خروجی تریستورهایی متصل به شبکه از طریق ترانس، یا باطری های سیستم تامین شود. این سیستم در ولتاژهای 15 تا 36 ولت توانایی عملکرد صحیح است. ولتاژ مورد نیاز ادوات الکترونیکی از طریق مبدل DC/DC (NGT) توسط رگولاتورهای الکترونیکی فراهم می شود، این ولتاژ به این شرح است:

- $5v$) برای عملکرد تمامی گروه های پردازش سیگنال دیجیتال.
- $\pm 15v$) برای علکرد تمامی گروههای پردازش سیگنال آنالوگ.

ضمنا برای آمپل فایر پالس برای تریستورها نیز یک ولتاژ 24 ولت نیاز داریم، این ولتاژ از طریقی فیدری از برد SAB فراهم می شود.

زمین این 24 ولت به زمین رگولاتور و اتصال بدنه وصل است.

این سیستم در ولتاژ 24 ولت جریانی کمتر از 3 آمپر مصرف می کند، برد SAB جهت تامین پالسها در ولتاژ 24 ولت 0.4 آمپر جریان لازم دارد.[3]

[1] در صورت تنظیم صحیح سیستم به صورت بالانس شده امکان تغییر مد کاری بین حالت دستی و اتوماتیک در هر لحظه بدون مشکل امکان پذیر است .

[2] Undelay

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

4-3) توضیحات تکمیلی

تمامی پروسسورهای GMR3 از سیگنال پروسسورهای ساخت شرکت INTEL هستند و برنامه ها تماما بر روی EPROM ها و مقادیر مشخصه مربوط به سایت در EEPROM ها ثبت گردیده اند. ضمنا حافظه سیستم (RAM)به 3 قسمت تقسیم شده است که بخش 0 و 1 مربوط به برنامه بوده و بخش 2 برای پارامترهای setting دستگاه در نظر گرفته شده است.

در هر بار ریست شدن(خطا در ولتاژ)، سیستم برنامه را از EPROM و مقادیر مبنا را از EEPROM گرفته و به حافظه کاری خود می آورد و تصمیم گیری لازم را انجام می دهد.

این سیستم امکان کار در دو حالت دستی و اتوماتیک را داراست و از دو حلقه فیدبک به صورت master–slave تشکیل شده است.

بخش master (برای کنترل ولتاژ) از یک کنترلر PI(D) با فیدبک انتگراتور و بخش slave (برای رگولاسیون جریان Exciter) از یک کنترلر P(I) تشکیل شده است. این ساختار امکان کنترل با سرعت و پایداری بالا را فراهم می کند.

جدول زیر زمان انجام فعالیت های سیستم و زمان لازم برای هر کدام را نشان می دهد:

Task No.	Cycle Time	Program Component
1	2ms	voltage regulator
2	4ms	undelayed field current limiter
3	20ms	load angle limiter
4	50ms	other limiting regulators analog value monitoring
5	50ms	site-specific analog processing
6	50ms	logic control set value generation reactive load regulation regulator operation messages
7	100ms	error message
8	300ms	parameter exchange time base conversion

نتیجه گیری:

در انتها می توان گفت سیستم ارائه شده در این نیروگاه از پایداری مناسب و امکانات مطلوبی برخوردار می باشد و در سطح تکنولوژی روز جهانی است.

در ادامه این راه تلاش خواهیم کرد تا با ساخت نمونه های ساده این سیستم به تکنولوژی طراحی و ساخت این ادوات در داخل نزدیک شویم.

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com

www.IrPDF.com

با تشکر از:

دکتر محمد تقی بطحایی-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی-گروه قدرت

مهندس هومن سجادیان- دانشکاه صنعتی خواجه نصیر طوسی-گروه کنترل

شرکت مهندسی فرآب-پیمانکار عمومی نیروگاه های برق آبی

مهندس محمد تقی مسعودی نژاد- شرکت فرآب(پیمانکار عمومی نیروگاه های برق آبی)- تهران

مهندس سامانی- شرکت فرآب(پیمانکار عمومی نیروگاه های برق آبی)- نیروگاه کرخه

منابع:

[1]بررسی و طراحی سیستم های قدرت/ مولفین جی. دی. گلاور ، م. ساورما ؛ مترجمین محمودرضا حقی فام. کیومرث روزبهی./ مشهد، دانشگاه امام رضا (ع) ، 1380

[2] Power system dynamics-stability& control \ K. R. Padiyar\ John Wiley&sons (Asia)\1996

[3] GMR3 Voltage Regulator Technical Description\Elin Co.\AK-SE/RW GMR33-E.DOC, edition 07.10.98\ Drwg.No. 3-523996

[4]Farab Co. Technical Archive (Control Unit Archive)\ KARKHEH EXEC..Deputy\2005

Mojtaba MasoudiNejad

Digitally signed by Mojtaba MasoudiNejad
DN: CN = Mojtaba MasoudiNejad, C = IR
Reason: I am the author of this document
Date: 2005.05.30 21:30:55 +04'30'

www.IrPDF.com www.IrPDF.com www.IrPDF.com