

اجرا و بررسی چگونگی اتصال نیروگاه هسته ای به شبکه سراسری و نیز عملکرد نیروگاه در شرایط حادثه با استفاده از شبیه ساز سیستم قدرت

رضا زارعی^{۱*}، نوید دلکش رودسری^۲، سهیل عبدالهی^۳.

۱- کارشناس گروه برق، شرکت طراحی و ساخت شبیه سازهای صنعتی ایران (ادیس)

۲- سرپرست گروه برق، شرکت طراحی و ساخت شبیه سازهای صنعتی ایران (ادیس)

۳- کارشناس گروه برق، شرکت طراحی و ساخت شبیه سازهای صنعتی ایران (ادیس)

خلاصه

یکی از مسایل بسیار مهم و اساسی در نیروگاه ها، فراهم آوردن شرایط سنکرون شدن با شبکه سراسری برق و اتصال به آن می باشد. در این میان نیروگاه های هسته ای بدلیل مسایل ایمنی و نیز مسایل مرتبط با برنامه ریزی سیستم های قدرت، از اهمیت ویژه ای برخوردارند. همچنین در نیروگاه های هسته ای بدلیل وجود میله های کنترل سوخت هسته ای در قلب راکتور، لزوم برخورداری از شبکه برق داخلی با قابلیت اطمینان بسیار بالا و سیستم برق رسانی ایمن و نیز سیستم های کنترلی و حفاظتی در بخش مصرف الکتریکی نیروگاه، به منظور برخورد مناسب با حوادث مختلف، اهمیت دو چندان دارد. بدین منظور استفاده از شبیه سازها در آموزش اپراتورهای بخش الکتریکی نیروگاه هسته ای بسیار حیاتی و مهم می باشد. علاوه براین، در بخش دانشگاهی و آموزش دانشجویان نیز مسایل مرتبط با ژنراتورهای سنکرون و فرآیندهای کنترلی و حفاظتی آن، چگونگی اتصال یک نیروگاه هسته ای به شبکه سراسری برق و نیز بررسی حوادث مربوط به قطع شدن بریکرهای مختلف در نیروگاه و حوادث احتمالی ناشی از قطع برق داخلی نیروگاه هسته ای، می تواند ابعاد آموزشی وسیعی داشته باشد. در این مقاله سعی شده با معرفی سیستم های الکتریکی داخل نیروگاه هسته ای، به بررسی چگونگی عملکرد سیستم های کنترلی و حفاظتی در حوادث مختلف و نیز چگونگی اتصال نیروگاه به شبکه سراسری با استفاده از شبیه ساز سیستم قدرت پرداخته شود.

کلمات کلیدی: سنکرون شدن، شبکه برق داخلی نیروگاه هسته ای، سیستم های کنترلی و حفاظتی نیروگاه هسته ای، ژنراتور سنکرون، شبیه ساز سیستم قدرت.

۱. مقدمه

عموماً در نیروگاه های برق، سیستم تولید انرژی بصورت خودکار انجام می شود و برای این منظور به تجهیزات کمکی نیاز است. با طراحی مناسب این تجهیزات، نه تنها راه اندازی قسمت های اصلی نیروگاه مهیا می شود، بلکه موجبات مکانیزه شدن سیکل نیروگاه نیز فراهم می گردد و این تجهیزات بسته به نوع نیروگاه ها متنوع است.

همان‌گونه که نوع و سیستم‌های تجهیزات کمکی در نیروگاه‌های مختلف، متفاوت است، از نظر میزان انرژی مصرفی داخلی هم اختلافاتی البته ناچیز بین نیروگاه‌های مختلف وجود دارد. در بین نیروگاه‌های مختلف برق، مصارف داخلی نیروگاه‌های برق‌آبی، کمترین و نیروگاه‌های بخاری بیشترین مقدار مصرف داخلی را دارند. نیروگاه‌های اتمی نیز مصرف داخلی بین ۳ تا ۵٪ را دارند که در آن واحدهای جدیدتر که از سیستم‌های مدرن‌تری بهره می‌گیرند میزان مصرف داخلی کمتری نسبت به واحدهای قدیمی دارند.

به منظور تغذیه مصرف داخلی نیروگاه‌ها، روش‌های متعددی توسط سازندگان ارائه شده است که از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به تغذیه از باس اصلی نیروگاه، تغذیه از پایانه ژنراتور و تغذیه گروهی اشاره نمود.

سیستم الکتریکی نیروگاه برای ایجاد منابع مختلف الکتریکی متناسب با نیاز تجهیزات مختلف نیروگاه طراحی و تعبیه شده است. این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که با خرابی هرکدام از این منابع، خللی در کار تجهیزات مستقل از آنها ایجاد نشده و تنها اجزای تغذیه شونده توسط این منبع دچار مشکل می‌شوند. سیستم‌های الکتریکی نیروگاه شامل سیستم اصلی توان و سیستم جانبی توان هستند. سیستم اصلی توان از ژنراتور اصلی و سیستم‌های کنترل‌کننده انتقال توان الکتریکی از شبکه اصلی تشکیل شده است. سیستم جانبی توان نیز شامل منابع توان دریافتی از شبکه اصلی از طریق باس‌های مجزا (Reserve Off-Site Power)، و سیستم تامین توان اضطراری شامل دیزل ژنراتورها و باتری‌ها است. تغذیه مصرف داخلی نیروگاه SNPP با توجه به تک واحدی بودن آن در حالت کارکرد عادی از روش اتصال به ترمینال ژنراتور و در حالت قطع ژنراتور از طریق اتصال به شبکه (در حالت نرمال یا رزرو) می‌باشد.

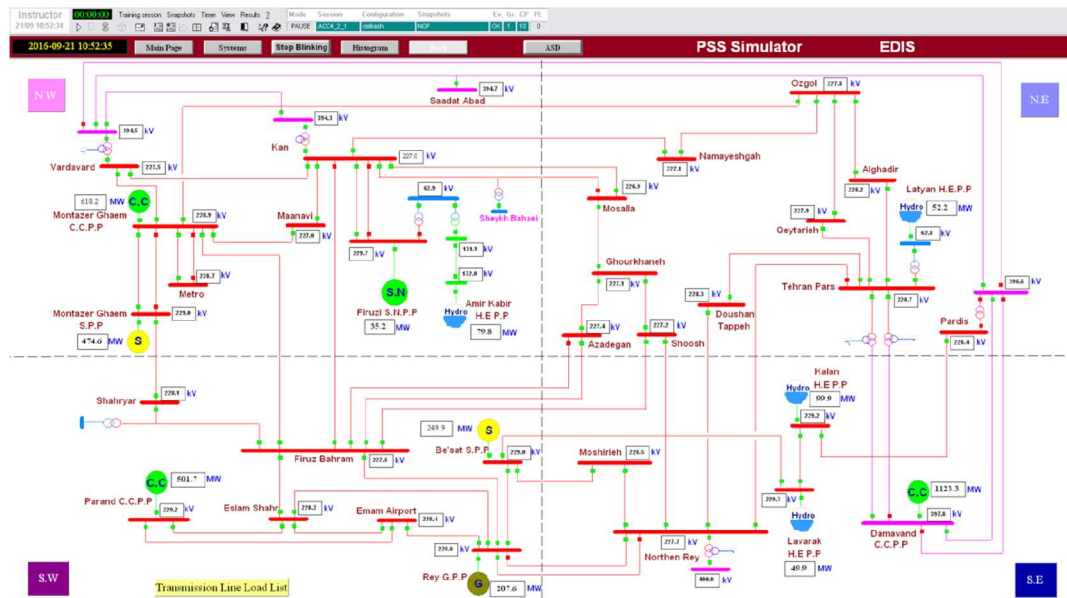
در این مقاله ابتدا یک نیروگاه هسته‌ای نمونه معرفی شده و سپس با استفاده از شبیه‌سازی این نیروگاه در شبیه‌ساز سیستم‌های قدرت، به اجرای اتصال آن به شبکه برق سراسری، بررسی چگونگی عملکرد سیستم‌های مختلف در این نیروگاه، بررسی و بیان شرایط لازم جهت عملکرد مناسب نیروگاه و اتصال صحیح به شبکه و نیز بررسی حوادث مهم و رایج در ارتباط با اتصال نیروگاه و شبکه و یا حوادث الکتریکی داخل نیروگاه پرداخته می‌شود.

در این شبیه‌ساز نیروگاه SNPP در شبکه برق پیشنهادی تهران بزرگ قرار گرفته و تأثیرات عملکرد آن پس از اتصال به شبکه، در این سیستم پیشنهادی قابل مشاهده می‌باشد. این شبکه، در قسمت تولید و انتقال شامل ۱۱ نیروگاه مختلف می‌باشد که با مجموع ظرفیت تولیدی 7050 MW در مدار می‌باشند. این واحدهای تولیدی شامل نیروگاه‌های سیکل ترکیبی دماوند با 2880 MW ، سیکل ترکیبی منتظر قائم با 1000 MW ، سیکل ترکیبی پرند با 1000 MW ، بخار منتظر قائم با 600 MW ، بخار بعثت با 250 MW ، گازی ری با 1000 MW ، برق آبی امیرکبیر با 80 MW ، برق آبی لتیان با 50 MW ، برق آبی کلان با 100 MW ، برق آبی لوارک با 50 MW و همچنین نیروگاه کوچک هسته‌ای با ظرفیت 40 MW می‌باشند. آرایش مربوط به شبکه پیشنهادی و همچنین چگونگی وضعیت بریکرها در باس‌های مختلف در این آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است، [۱].

۲. معرفی نیروگاه پیشنهادی

در این مقاله به بررسی جزء به جزء شبکه داخلی نیروگاه هسته‌ای 40 MW پرداخته می‌شود. علت انتخاب نیروگاه هسته‌ای استانداردهای ایمنی بالاتری نسبت به سایر نیروگاه‌ها و وجود منطق‌های پیچیده با توجه به حساسیت‌های موجود می‌باشد. نیروگاه نمونه کوچک هسته‌ای^۱ (SNPP) پیشنهادی در این مقاله، یک نیروگاه هسته‌ای از نوع PWR بوده که توان خروجی 40 MW را با استفاده از یک واحد ژنراتوری برای شبکه تأمین می‌کند. شکل ۲ شبکه برق داخلی این نیروگاه را که توسط شبیه‌ساز سیستم قدرت شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

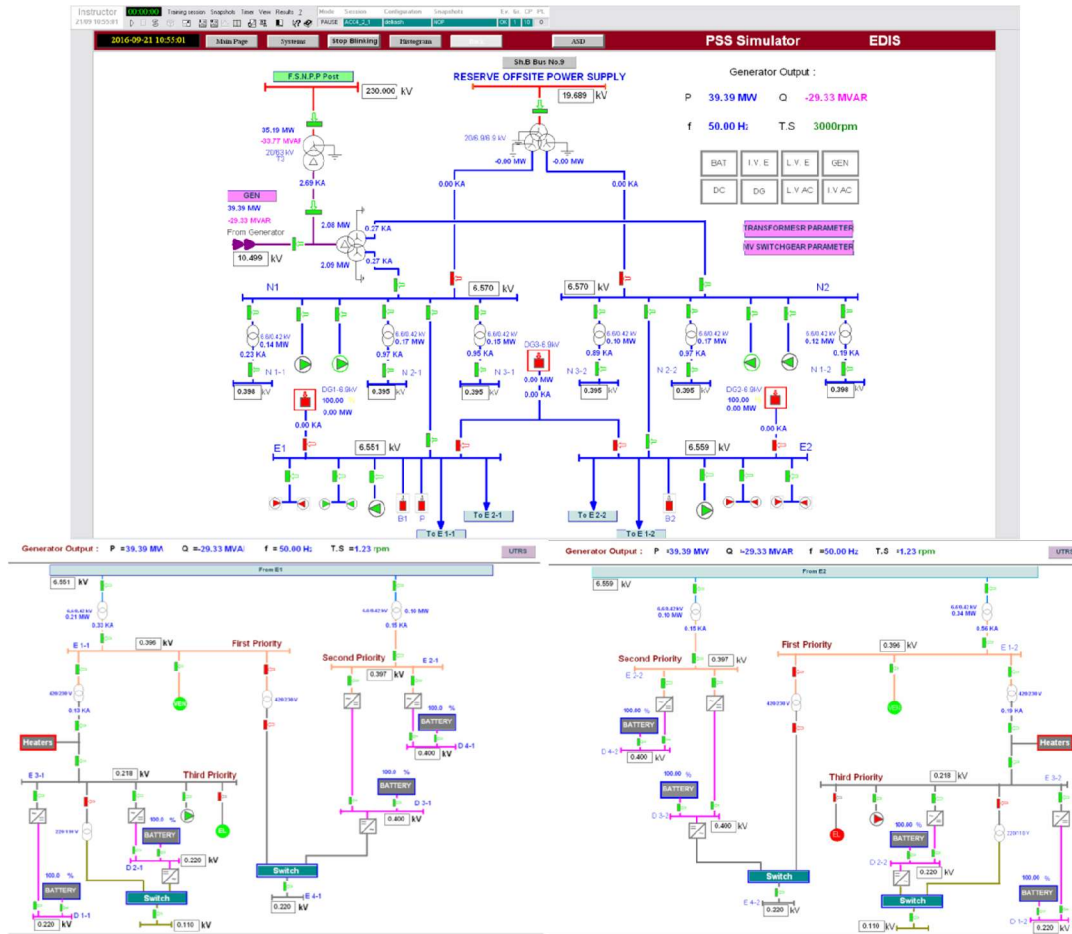
^۱ Small Nuclear Power Plant (SNPP)



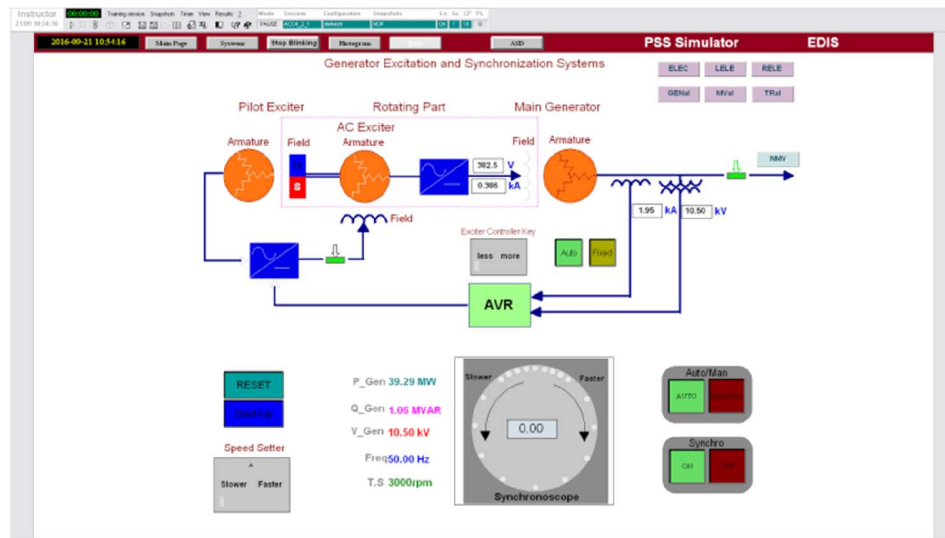
شکل ۱: شبکه پیشنهادی برق تهران بزرگ

شبکه برق داخلی نیروگاه شامل دو بخش کلی On-Site و Off-Site می‌باشد. بخش Off-Site شامل خطوط اصلی شبکه سراسری که از طریق پست اصلی اتصال به نیروگاه متصل شده است، ترانسفورماتور اصلی اتصال نیروگاه به شبکه سراسری و نیز خطوط شبکه رزرو (شبکه سراسری) به همراه ترانسفورماتور جانبی مرتبط با آن، می‌باشد. بخش On-Site نیز شامل ژنراتور سنکرون اصلی موجود در نیروگاه به همراه ترانسفورماتور اتصال ژنراتور به شبکه داخلی، خطوط ولتاژ متوسط و ولتاژ ضعیف بکار رفته در نیروگاه و همچنین تمامی ترانسفورماتورها و ادوات الکتریکی موجود در نیروگاه از قبیل موتورها، باتری‌ها، دیزل ژنراتورها و ... می‌باشد. در حالت عادی و در صورت اتصال به شبکه سراسری از طریق خطوط اصلی، برق داخلی نیروگاه از طریق ژنراتور اصلی و شبکه سراسری تأمین می‌گردد. در واقع ژنراتور اصلی نیروگاه بعنوان بخشی از شبکه سراسری وظیفه تأمین توان الکتریکی داخلی نیروگاه را به عهده دارد. در صورت قطع شبکه اصلی، نیروگاه به حالت House-Load رفته و ژنراتور اصلی وظیفه برق‌رسانی را بعهده می‌گیرد. در صورت قطع بریکر اتصال ژنراتور اصلی، شبکه رزرو از طریق خطوط و ترانسفورماتور رزرو برق داخلی را تأمین می‌نماید. با قطع شبکه برق رزرو، دیزل ژنراتورها وارد عمل شده و در صورت بروز مشکل برای این دیزل ژنراتورها، باتری‌ها و UPS^۱ها وظیفه تأمین بارهای حیاتی را خواهند داشت. شکل ۳ شماتیک مربوط به ژنراتور اصلی نیروگاه SNPP را به همراه سیستم‌های کنترلی و حفاظتی آن نشان می‌دهد. علاوه بر سیستم کنترل ولتاژ اتوماتیک و سیستم تحریک نشان داده شده در این شکل، سیستم سنکروسکوپ یا همان سیستم اتصال نیروگاه به شبکه اصلی نیز آورده شده است. ژنراتور این نیروگاه، یک ژنراتور سنکرون با روتور دو قطب از نوع قطب صاف می‌باشد که در سرعت نامی ۳۰۰۰ rpm کار می‌کند. ولتاژ خروجی نامی این ژنراتور ۱۰/۵ kV بوده که با سیستم تحریک از نوع سیستم تحریک جریان متناوب با یکسوساز چرخان (بدون زغال) تنظیم و تولید می‌گردد، [۲].

^۱ Uninterruptable Power Supply



شکل ۲: شبکه برق داخلی نیروگاه SNPP



شکل ۳: شماتیک مربوط به ژنراتور اصلی نیروگاه SNPP

۳. راه‌اندازی و اتصال به شبکه سراسری

نقطه به تنهایی کار نمی‌کنند بلکه تعدادی از آنها به طور موازی، شبکه مشترکی را تغذیه می‌کنند. بنابراین قبل از وصل کردن ژنراتور به شبکه باید ژنراتور مورد نظر را با شبکه همراه سنکرون یا پارالل کرد. شرایط سنکرون کردن یک ژنراتور با شبکه یا ژنراتور دیگر ۴ مورد است:

۱- برابری ولتاژها

۲- برابری فرکانس‌ها

۳- برابری اختلاف زاویه فازها

۴- ترتیب صحیح فازها

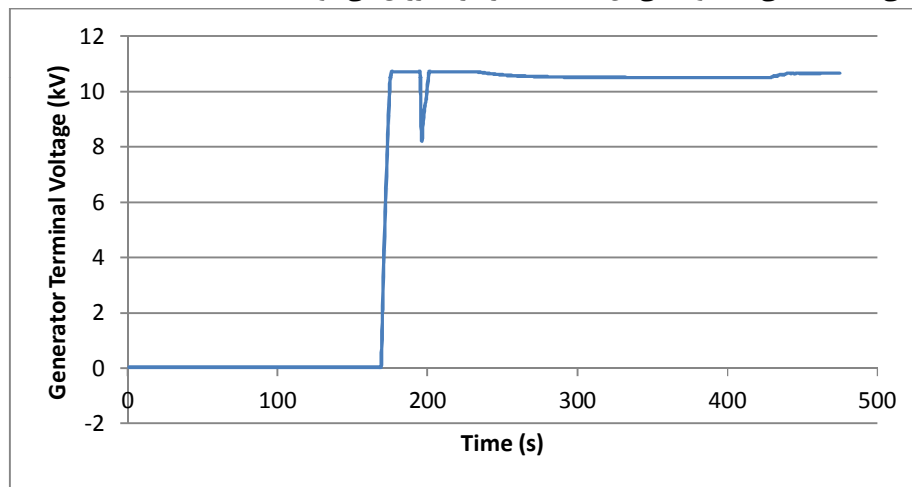
برابر کردن ولتاژ ژنراتور با شبکه با تغییر دادن مقدار جریان تحریک ژنراتور عملی است و برابر کردن فرکانس‌ها با تنظیم دور توربین انجام می‌پذیرد، که برای کنترل آن از دو ولت‌متر و فرکانس‌متر نشان دهنده استفاده می‌شود، که اغلب به صورت ولت‌متر و فرکانس‌متر دوپل در نیروگاه به کار می‌رود. جهت رفع اختلاف فاز در نیروگاه‌های کوچک از لامپ‌های خاموش یا روشن و در نیروگاه‌های مدرن از سنکروسکوپ استفاده می‌شود.

در نیروگاه‌ها عمل سنکرون کردن اغلب به صورت اتوماتیک و با نمونه‌برداری از ولتاژ ژنراتور و ولتاژ شبکه صورت گرفته و با فراهم شرایط سنکرونیزاسیون، فرمان وصل برای بریکر خروجی ژنراتور صادر شده و با بسته شدن آن، ژنراتور با شبکه سنکرون می‌شود. علاوه بر سیستم اتوماتیک سنکرون، در اغلب موارد تمهیداتی برای سنکرون‌سازی دستی ژنراتور نیز در نظر گرفته می‌شود که در مواقع اضطراری می‌توان از آن استفاده کرد، [۳].

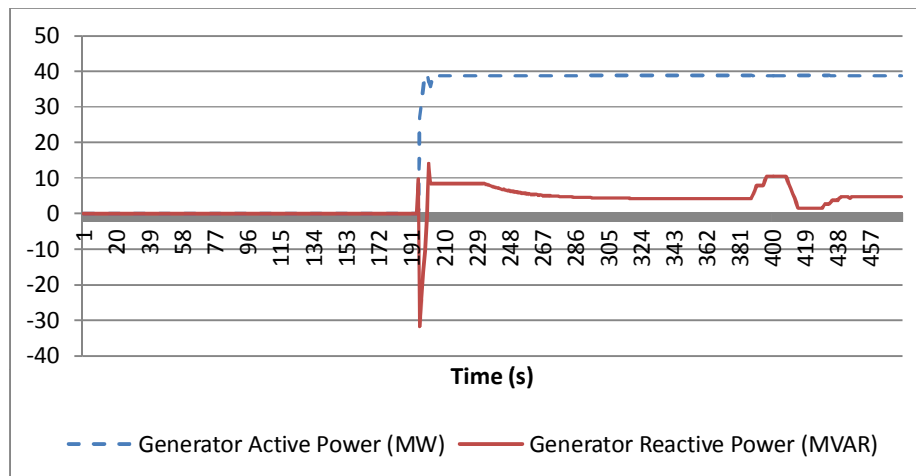
برای اتصال یک واحد نیروگاهی به شبکه سراسری، ابتدا باید مدار اول یعنی بخش مربوط به قلب راکتور و میله‌های کنترل فعال گردند. همچنین ادوات مرتبط با آن از قبیل مولدهای بخار، پمپ‌های تغذیه آب، فشارنده و ... باید برقرار شده و در حالت عملکرد مناسب قرار گیرند. همچنین قسمت مربوط به مدار دوم یعنی بخش تولید انرژی مکانیکی شامل توربین، کندانسور، گرم‌کننده‌ها و ... نیز باید فعال شده و آماده تولید انرژی الکتریکی گردند. به همین منظور ابتدا باید برق داخلی نیروگاه را با بستن بریکرهای مربوط به پست اصلی اتصال نیروگاه به شبکه سراسری، تأمین کرده و باس‌های داخلی را که بر روی آنها ادوات مختلف مورد نیاز در نیروگاه نصب شده‌اند را برقرار کرد. ضمن آنکه در این حالت بریکر مربوط به ژنراتور باز بوده و ژنراتور در مدار قرار نگرفته است. بدین ترتیب شرایط لازم برای ادامه کار و تولید انرژی الکتریکی از طریق ژنراتور مهیا می‌گردد. در شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت این اقدامات با فشردن کلید Start-up بصورت خودکار انجام می‌شود.

با افزایش توان توربین به محدوده مورد نظر و تأمین سرعت چرخش نامی برای شفت توربین که در واقع همان سرعت چرخش روتور ژنراتور می‌باشد و همزمان با آن راه‌اندازی سیستم تحریک ژنراتور و تولید ولتاژ بر روی سیم‌پیچ‌های استاتور با استفاده از سیستم تحریک نصب شده بر روی روتور، در محدوده از قبل تعیین شده برای ولتاژ و فرکانس، می‌توان سیستم سنکروسکوپ را روشن کرده و شرایط اتصال نیروگاه را بررسی کرد. پس از روشن کردن سیستم سنکروسکوپ، می‌توان دو حالت عملکردی خودکار و یا دستی را برای سنکروسکوپ انتخاب کرد. در حالت خودکار ژنراتور پس از رسیدن به فرکانس نزدیک به فرکانس شبکه و پس از برآورد شدن سایر شرایط، بریکر اتصال ژنراتور به شبکه بسته می‌شود. ولی در حالت دستی ابتدا لازم است اپراتور، ولتاژ تحریک را تنظیم کرده و با تنظیم درست محدوده فرکانس و فاز، بوسیله سنکروسکوپ اقدام به وصل بریکر اتصال ژنراتور به شبکه نماید که اگر شرایط بدرستی برآورده شود توانایی انجام این کار را خواهد داشت و در غیر این صورت بریکر اتصال ژنراتور بسته نمی‌شود. تنظیم محدوده مناسب برای فرکانس و زاویه فاز در سنکروسکوپ از طریق افزایش یا کاهش توان مکانیکی توربین و در نتیجه افزایش یا کاهش سرعت شفت توربین و روتور امکانپذیر می‌باشد.

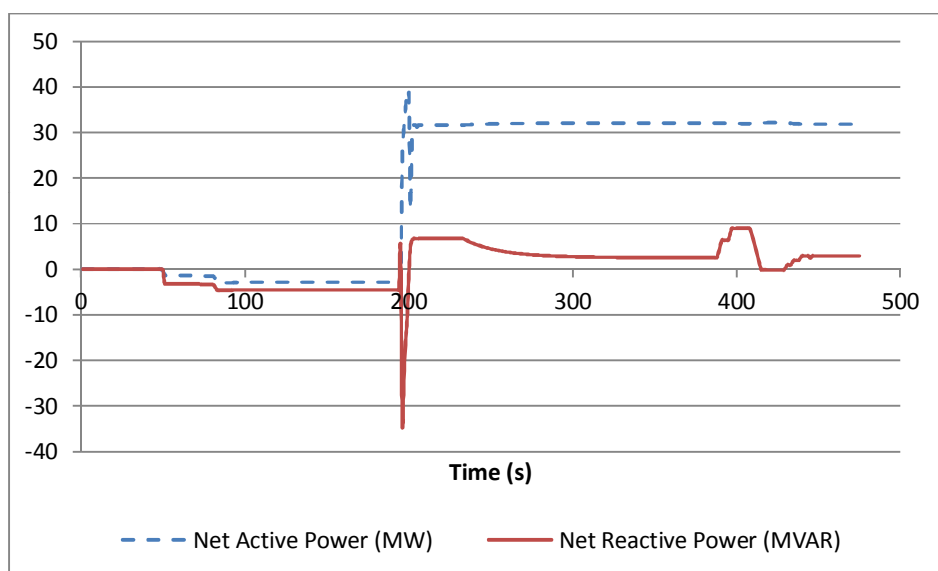
پس از اتصال ژنراتور به شبکه، اپراتور امکان کاهش یا افزایش توان راکتیو بر اساس نیاز شبکه، با تغییر در ولتاژ تحریک یا تغییر در تپ ترانسفورماتور را دارا می‌باشد. بدین ترتیب در صورت بروز مشکل در تأمین توان راکتیو، می‌توان با رعایت محدودیت‌های مرتبط، اقدام به تنظیم دستی توان راکتیو تولیدی ژنراتور کرد. شکل ۴ نمودار تغییرات ولتاژ خروجی ژنراتور را در روند راه‌اندازی نیروگاه و اتصال آن به شبکه را نشان می‌دهد. لحظه جهش ولتاژ به مقدار نامی همان لحظه اتصال بریکر ژنراتور می‌باشد. ضمن آنکه پس از اتصال نیروگاه و بارگیری از آن، پمپ‌ها و بارهای اصلی داخلی نیروگاه وارد مدار شده که این موضوع موجب افت ولتاژ می‌گردد. پس از آن نیز سیستم تحریک و کنترل اتوماتیک ولتاژ عمل کرده و ولتاژ را به حالت نامی خود باز می‌گردانند. شکل ۵ چگونگی تغییرات توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط ژنراتور اصلی نیروگاه SNPP و شکل ۶ تغییرات توان اکتیو و راکتیو عبوری از پست اصلی اتصال نیروگاه به شبکه سراسری را نشان می‌دهد. ابتدا و در ثانیه ۵۰ پس از اجرای شبیه‌ساز، بریکر پست اصلی اتصال نیروگاه به شبکه سراسری بسته شده که این عامل موجب تأمین برق داخلی نیروگاه توسط شبکه می‌گردد. لذا توان عبوری از پست اتصال نیروگاه به شبکه منفی بوده و توان تولیدی ژنراتور نیز صفر می‌باشد، پس از آن در لحظه بسته شدن بریکر ژنراتور، توان تولیدی توسط ژنراتور صرف تغذیه الکتریکی شبکه داخلی شده و مابقی آن به شبکه سراسری تزریق می‌شود، [۴].



شکل ۴: ولتاژ باس ژنراتور و تغییرات آن



شکل ۵: توان اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتور



شکل ۶: توان اکتیو و راکتیو خالص تولیدی نیروگاه

۵. اجرا و بررسی حوادث^۱ LOOP و^۲ SBO

دو حادثه مهم مخصوصاً در یک نیروگاه هسته‌ای عبارتست از: از دست رفتن تغذیه خارجی نیروگاه و از دست رفتن برق کلی نیروگاه. این دو حالت می‌تواند بدلائیل مختلفی از جمله از دست رفتن خطوط ارتباطی نیروگاه با شبکه، از دست رفتن دیزل ژنراتورها و یا تمام شدن سوخت آن‌ها و ... اتفاق بیافتد و لازم است اپراتور توانایی هدایت نیروگاه به یک نقطه ایمن را داشته باشد.

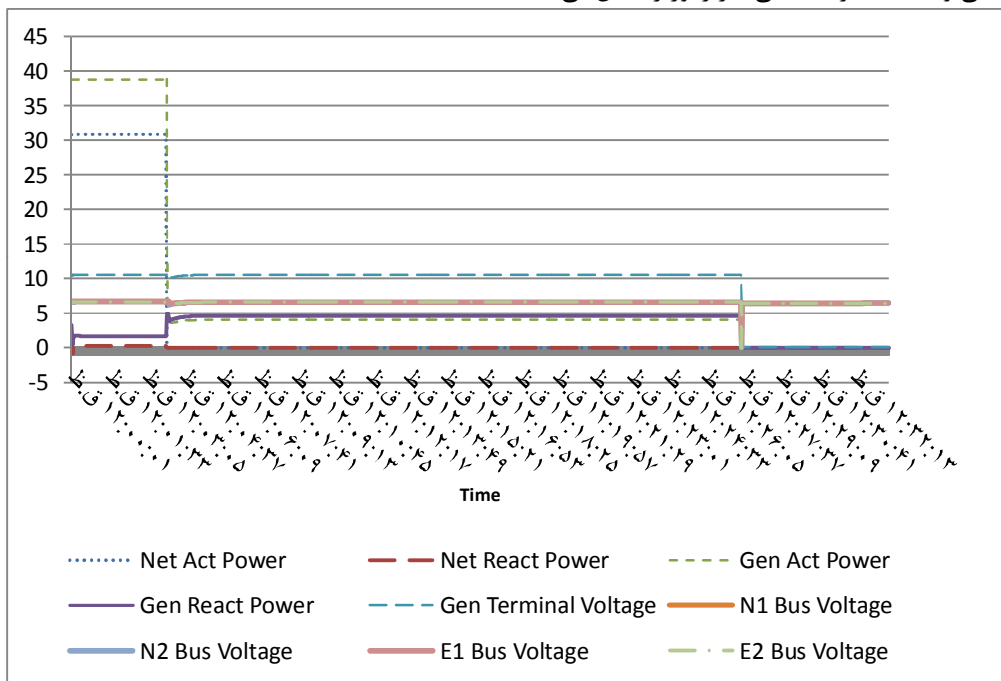
طبق تعریف، تمامی خطوط ارتباطی نیروگاه با شبکه سراسری به همراه ترانسفورماتورها و بریکرهای آنها جزء شبکه Off-Site شمرده شده و ژنراتور اصلی، دیزل ژنراتورها و ترانس‌های اتصال به آنها جزء شبکه On-Site بحساب می‌آیند (لازم به ذکر است که این تعاریف ممکن است در منابع مختلف، متفاوت باشد). در این صورت از دست رفتن تغذیه شبکه خارجی نیروگاه بمعنی از دست دادن شبکه سراسری (اصلی و رزرو) می‌باشد. در مجموع امکان خاموشی ایمن در تمامی شرایط باید برای اپراتور فراهم شود. در شرایط عادی نیروگاه علاوه بر اتصال به شبکه سراسری (ارتباط از طریق پست اصلی و پست رزرو) تولید توان نیز از طریق ژنراتور اصلی صورت می‌پذیرد. در این شرایط اگر اپراتور قصد خاموش کردن ایمن نیروگاه را داشته باشد ابتدا باید توان نیروگاه را به کمترین حالت خود رسانده و سپس بریکر اصلی اتصال ژنراتور (GCB^۳) را قطع کرده و در نتیجه توربین بلافاصله تریپ داده و سیستم‌های حفاظتی توربین با باز کردن شیرهای Bypass بخار تولید شده اضافی را جهت جلوگیری از افزایش دور توربین به بیرون منتقل کرده و با افتادن میله‌های کنترلی درون قلب راکتور، توان نوترونی تولیدی شروع به کاهش کرده و در نتیجه آن بخار تولیدی کاهش می‌یابد. البته فرآیند خاموش شدن نیروگاه هسته‌ای با توجه به حساسیت‌های موجود مراحل دیگری نیز داشته که در این مقاله فرض بر انجام یک به یک آن‌ها بصورت خودکار می‌باشد، [۴].

^۱ Loss Of Off-site Power

^۲ Station Black Out

^۳ Generator Circuit Breaker

پس از قطع بریکر GCB جهت انتقال توان از نیروگاه به شبکه، عکس شده و شبکه سراسری تغذیه داخلی نیروگاه را بعهدده می‌گیرد. اگر پیش از خاموش کردن ایمن نیروگاه بریکر اصلی اتصال نیروگاه به شبکه قطع شود، نیروگاه بلافاصله بصورت House Load در آمده و تقریباً بمدت ۲۴ دقیقه در این حالت باقی مانده و سپس بدلیل ایجاد اختلال در قسمت‌های داخلی توربین، توربین تریپ داده و با توجه به سیستم‌های حفاظتی، ژنراتور نیز به تبع آن تریپ داده و بریکر اتصال ژنراتور قطع می‌گردد. چنانچه شرایط تغذیه از طریق باس رزرو برای نیروگاه مهیا باشد، بارهای متصل به باس‌های اضطراری از طریق تغذیه رزرو، برق‌دار شده و بر اساس اولویت عملکردی روشن می‌شود تا نیروگاه به سمت خاموشی ایمن هدایت گردد. شکل ۷ چگونگی تغییرات توان اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتور در حادثه LOOP یا در واقع از دست رفتن شبکه اصلی و تغذیه مصرف داخلی با ژنراتور را نشان می‌دهد.

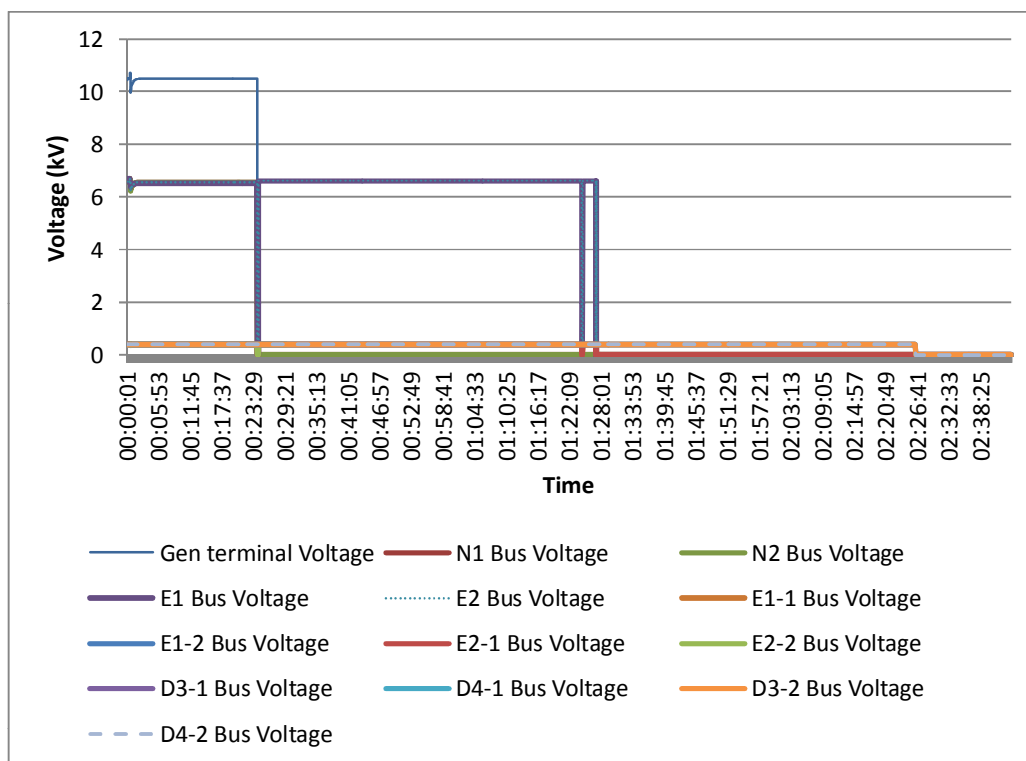


شکل ۷: چگونگی تغییرات پارامترهای مختلف برق نیروگاه در حادثه LOOP

اگر بنا به شرایطی (بعنوان مثال تریپ دادن ژنراتور اصلی، قطع همزمان شبکه اصلی و رزرو یا عمل نکردن بریکر اتصال شبکه رزرو و یا ...) تغذیه از طریق شبکه رزرو نیروگاه نیز غیر ممکن شود (که با توجه به این شرایط تمامی منابع تغذیه Off-Site و ژنراتور از دست رفته است) نیروگاه از طریق دیزل ژنراتورهای تعبیه شده بر روی باسهای E1 و E2 نشان داده شده در شکل ۲، بارهای اضطراری را تغذیه می‌کند. ازین رو اپراتور موظف است قبل از اتمام سوخت دیزل ژنراتورها اقدام به خاموشی ایمن و سریع نماید. تفاوت عملکردی این حالت با حالت قبل تأخیر ۱۵ ثانیه‌ای اتصال دیزل ژنراتورها به باس‌های اضطراری می‌باشد. در این نیروگاه با توجه به در نظر گرفتن شرایط ایمنی بالا، یک دیزل ژنراتور یدک بمنظور جبران از دست دادن هر یک از دیزل ژنراتورهای باس‌های اضطراری تعبیه شده است که به هر دو باس E1 و E2 متصل است.

در صورتی که دیزل ژنراتورها نیز به هر دلیلی از مدار خارج شوند و در واقع تمامی منابع AC از دست بروند، باتری‌ها و UPS وارد مدار می‌شوند. در شرایط حادثه SBO با توجه به از دست رفتن تمامی منابع AC نیروگاه (بجز باس‌های تغذیه شونده از UPS ها) شرایط برای باس‌های اصلی و اضطراری یکسان می‌باشد و برای برقرار نگه داشتن برخی از پمپ‌های مربوط به سیستم خنک‌کنندگی، ولوهای خاص و بریکرها باید از منابع تغذیه DC استفاده کرد. عملکرد سیستم UPS با

توجه به شکل ۲ بدین صورت است که در حالت عادی باطری از طریق باس بالا دست بوسیله یک مبدل AC-DC شارژ شده و این باس از طریق یک مبدل DC-AC مجدداً باس پایین دست را تغذیه می‌کند. بمنظور تعویض باطری یا تعمیر مبدل‌های AC-DC و DC-AC یک ترانسفورماتور Bypass نیز در نظر گرفته شده است. پس از حادثه SBO یا هر حادثه دیگری که منجر به از دست دادن باس تغذیه UPS شود بلافاصله باطری وارد مدار شده و توسط مبدل DC-AC باس پایین دست را برقرار می‌کند. مدت زمان دشارژ باطری نیز ۱ ساعت طراحی گردیده است. شکل ۸ چگونگی تغییرات ولتاژی را پس از وقوع حادثه SBO نشان می‌دهد، [۴].



شکل ۸: چگونگی تغییرات پاراکترهای مختلف برق نیروگاه در حادثه SBO

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد با معرفی سیستم الکتریکال یک نیروگاه هسته‌ای، نحوه توزیع توان الکتریکی داخلی نیروگاه و عملکرد ژنراتور، سیستم‌های کنترلی و حفاظتی آن و نیز سیستم سنکروسکوپ و چگونگی اتصال نیروگاه هسته‌ای به شبکه سراسری نشان داده شود. علاوه بر این، با شبیه‌سازی بخش الکتریکال یک نیروگاه هسته‌ای در محیط شبیه‌ساز سیستم‌های قدرت، این نیروگاه در شبکه برق پیشنهادی تهران بزرگ مورد استفاده قرار گرفت و رفتار نیروگاه در راه اندازی، بارگیری و نیز در هنگام حوادث مهمی مانند LOOP و SBO مورد بررسی قرار گرفت. مفهوم شبیه‌ساز در سیستم‌های قدرت از اهمیت زیادی برخوردار است که در عین حال در صنعت و آموزش امروزه کشور مورد بی توجهی قرار گرفته است. این مقاله کوشیده است تا نقش شبیه‌ساز را در بررسی حوادث مختلف و عملکردهای متفاوت ادوات الکتریکی و سیستم قدرت مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. شبیه‌ساز سیستم‌های قدرت با شبیه‌سازی سیستم قدرت تهران بزرگ بعنوان یک شبکه نمونه پیشنهادی و نیز مدلسازی کامل الکتریکی یک نیروگاه هسته‌ای تحت عنوان نیروگاه کوچک هسته‌ای نمونه (SNPP)

قابلیت اجرای اکثر عملیات ها و فرآیندهای موجود در سیستم قدرت و نیز نیروگاه هسته‌ای را دارا بوده و با نمایش هشدارها و ذخیره کردن نتایج مختلف، می‌تواند کمک بسزایی در آموزش اپراتورها، دانشجویان و نیز محققین صنعت ایفا نماید.

۷. مراجع

۱. <http://www.tavanir.org.ir>
۲. Kundur, P. "Power System Stability and Control" McGraw-Hill, Inc.
۳. Thompson, M.J , (۲۰۱۲), "Fundamental and Advancement in Generator Synchronizing Systems", Schweitzer Eng. Labratories , ۳rd Annual Protection, Automation and Control World Conference, Budapest, Hungary.
۴. "Westinghouse Technology Manual, Electrical Distribution System."