

ارزیابی تأثیر حذف بار در پایداری ولتاژ هنگام قطع تغذیه مصرف داخلی یک واحد نیروگاه طوس با شبیه‌سازی در نرم‌افزار DIGSILENT

علی ابراهیمی اله آبادی^۱

^۱ کارشناس الکترونیک شرکت افق تأمین انرژی طوس، a.ebrahimi@otet.co

چکیده - تغییرات کمی و کیفی تغذیه ولتاژ سه فاز ماشین‌های القایی روی عملکرد آنها تأثیر گذار است. از این رو تاکنون مطالعاتی درباره رفتار ماشین‌های القایی در حالت استاتیکی و دینامیکی در شرایط قطع تغذیه و یا افت شدید ولتاژ تغذیه انجام شده است. در این مقاله با استفاده از شبکه شبیه‌سازی شده مصرف داخلی نیروگاه طوس (و مشخصاً الکتروموتورهای ۶ کیلوولت یک واحد نیروگاه همراه با مدل دینامیکی بار آنها) در نرم‌افزار DIGSILENT شرایط خطای قطع تغذیه با مصرف داخلی ۶ کیلوولت (به صورت لحظه‌ای و طولانی) و ایجاد شرایط حذف بار یک نیم‌باس توسط سیستم چنج‌آور برای حفظ پایداری ولتاژ بررسی شده است. نتایج عدم کفایت شرایط حذف بار پس از قطع تغذیه و نیاز به انجام بهینه‌سازی برای حفظ پایداری در این شرایط را نشان می‌دهد. کلید واژه- الکتروموتور ولتاژ متوسط، قطع تغذیه، دیگسایلنت، مدل دینامیکی بار، حذف بار.

۱- مقدمه

حالت گذرا و نامتعادلی بین تولید و مصرف می‌شود [۵]. در چنین شرایطی در صورتی که تغذیه باس‌های مصرف داخلی در زمان مناسب وصل نشود، احتمال بروز ناپایداری ولتاژ و متعاقباً تریپ واحد وجود دارد. در این حالت یکی از راه حل‌ها برای حفظ پایداری واحد، کاهش مصرف داخلی و حذف بارهای غیرضروری (تا حد امکان) است. کلیه ترتیبات و استراتژی‌های انتخابی برای حفظ تعادل در این شرایط را لود شدینگ^۱ می‌گویند [۶] و [۷].

در این مقاله از مدل شبیه‌سازی شده شبکه مصرف داخلی نیروگاه طوس در نرم‌افزار دیگسایلنت استفاده شده است [۸]. این مدل شامل شبیه‌سازی ژنراتورها^۲ به همراه گاورنر و AVR مطابق با اطلاعات ارائه شده در [۹]، ترانسفورماتورها (و تپ چنجر)، باس‌های ۶kV و ۴۰۰V، برخی از رله‌های حفاظتی مربوط به تجهیزات فوق، الکتروموتورهای ۶kV با مدل دینامیکی بار، الکتروموتورهای کندانسور هوایی و ... می‌باشد. در ادامه به بررسی حالت گذرای قطع تغذیه در الکتروموتورهای ۶kV و کفایت شرایط حذف بار (لود شدینگ) در پایداری ولتاژ پس از قطع تغذیه (ناشی از یک حادثه واقعی) در یک واحد نیروگاه طوس پرداخته شده است. با توجه به تأثیر الکتروموتورهای ۶kV در نتایج شبیه‌سازی (دینامیکی)، توضیحات تکمیلی در مورد تعریف بار مکانیکی دینامیکی (MDM^۳) مطابق با نمودارهای گشتاور بار (فن‌ها و پمپ‌ها) مستخرج از [۹] ارائه شده است.

ولتاژ باقی‌مانده در زمان قطع تغذیه الکتروموتورهای القایی یکی از مسائلی است که باعث بروز حالت گذرا و تغییر در توان، جریان، ولتاژ و سرعت شده و در صورت وصل مجدد تغذیه می‌تواند باعث آسیب رسیدن به الکتروموتور و کویلینگ (ناشی از گشتاور و جریان هجومی) و همچنین تجهیزات اندازه‌گیری (به‌عنوان مثال ترانسفورماتورهای جریان) شود [۱۱]. هنگامی که تغذیه الکتروموتورهای القایی به‌طور ناگهانی از منبع تغذیه قطع می‌شود، میدان مغناطیسی بلافاصله از بین نمی‌رود؛ از این رو جریان روتور نیز نمی‌تواند بلافاصله صفر شود. در این شرایط، جریان القایی روی روتور به‌علت قطع شدن تغذیه به شدت تغییر خواهد کرد و متناسب با ثابت زمانی الکترومغناطیسی آن کاهش خواهد یافت [۲]. در این شرایط، با توجه به اینکه دیگر گشتاور الکترومغناطیسی تولید نمی‌شود، سرعت الکتروموتور با حضور گشتاور بار و گشتاور اینرسی الکتروموتور کاهش خواهد یافت. نهایتاً انرژی الکترومغناطیسی ذخیره شده در روتور تبدیل به انرژی گرمایی خواهد شد [۳] و [۴].

هر نیروگاه برای تولید انرژی الکتریکی نیاز به تعدادی الکتروموتور القایی ولتاژ متوسط (۶ تا ۶,۶ کیلوولت) دارد که بخش عمده‌ای از مصرف داخلی هر واحد را تشکیل می‌دهند و بی‌برق شدن آنها می‌تواند باعث اختلال در پروسه تولید گردد. قطع کامل تغذیه مصرف داخلی هر واحد نیروگاهی باعث ایجاد

^۱ Load Shedding

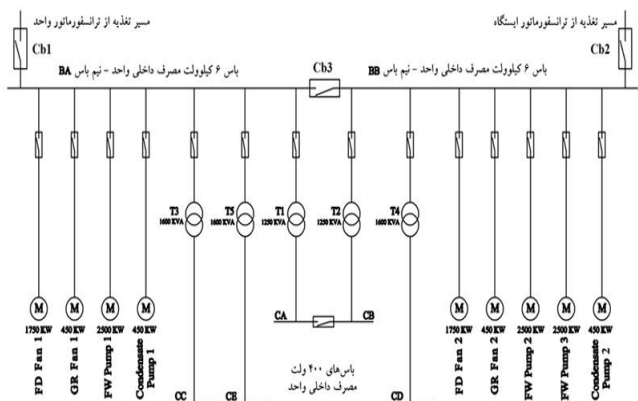
^۲ لازم به ذکر است، نیروگاه طوس PSS ندارد.

^۳ Motor Driven Machine

۲- تشریح شرایط رخدادهای قطع تغذیه باس ۶ کیلوولت

مصرف داخلی نیروگاه طوس

در نیروگاه طوس تأمین مصرف داخلی هر واحد از دو مسیر امکان پذیر است: ترانسفورماتور مصرف داخلی واحد (Unit) و ایستگاه (Station). شکل ۱ نقشه تک خطی مصرف داخلی هر واحد نیروگاه طوس را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، مصرف کننده های باس ۶kV مصرف داخلی هر واحد عبارتند از: الکتروموتورهای ۶kV و تغذیه ترانسفورماتورهای مصرف داخلی کمکی (۶ کیلوولت به ۴۰۰ ولت) که از طریق بریکرهای مربوطه به باس ۶kV متصل شده اند [۱۰].



شکل ۱: دیاگرام تک خطی مصرف داخلی ۶ کیلوولت نیروگاه طوس [۸]

بریکرهای ۶kV نیروگاه طوس از نوع نیمه روغنی هستند. مکانیزم شارژ فنر این بریکرها به گونه ای است که با هر بار شارژ کامل (دستی یا خودکار)، یک عملیات وصل و قطع قابل اجراست و پس از آن، فنر بریکر باید برای عملیات وصل و قطع بعدی مجدداً شارژ گردد. این عمل در حالت خودکار (با استفاده از الکتروموتور) حدوداً ۱۵ ثانیه زمان می برد؛ زمان بر بودن شارژ فنر بریکرها (بریکرهای Cb1 و Cb2 در بالای شکل ۱) باعث می شود که در شرایطی خاص که در ادامه به آن اشاره خواهد شد، با قطع تغذیه باس ۶kV و متعاقباً تریپ واحد مواجه شویم [۱۰].

سیستم الکترونیکی تعویض خودکار تغذیه (چنج آور) اغلب در نیروگاه ها و تجهیزات با اهمیت بالا استفاده می شود. اهمیت این سیستم در نیروگاه ها هنگامی است که، تغذیه یک گروه از مصرف کننده ها (به عنوان مثال، الکتروموتورهای ۶kV) از منبع اصلی قطع و به منبع کمکی متصل شود؛ هدف از این کار این است که در پروسه تولید انرژی وقفه ای ایجاد نشود [۱۱] و [۱۲]. در نیروگاه طوس، در شرایط گوناگون و در صورت نیاز، سیستم چنج آور تعویض تغذیه باس های ۶kV بین مسیرهای مشخص شده در شکل ۱ را ممکن می سازد. تعویض تغذیه مصرف داخلی

در نیروگاه طوس بوسیله سیستم چنج آور در دو حالت (Direction) کلی انجام می شود که عبارتند از [۱۳]:

۲-۱- تعویض تغذیه مصرف داخلی از ترانسفورماتور

واحد به ایستگاه (دایرکشن یک به دو)

در شرایط کار عادی نیروگاه، تغذیه باس ۶kV هر واحد، از طریق ترانسفورماتور مصرف داخلی همان واحد تأمین می گردد. اگر بنا به دلایلی (به عنوان مثال عملکرد رله های حفاظتی که منجر به باز شدن فیلد بریکر ژنراتور می شود) ژنراتور از مدار خارج شود و یا در خروجی ترانسفورماتور مصرف داخلی اشکالی به وجود آید، تغذیه باس ۶kV آن واحد از طریق ترانسفورماتور ایستگاه تأمین می گردد؛ در این شرایط برای راه اندازی مجدد مدار خارج شدن بویلر در همین شرایط، راه اندازی مجدد واحد حداقل ۸ ساعت زمان بر خواهد بود؛ بنابراین محدودیت در تولید، انرژی تولید نشده و آمادگی از دست رفته، کاهش خواهد یافت.

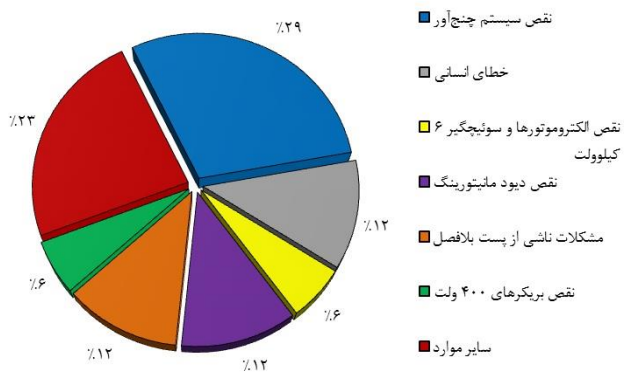
۲-۲- تعویض تغذیه مصرف داخلی از ترانسفورماتور

ایستگاه به واحد (دایرکشن دو به یک)

در هنگام راه اندازی واحد، تغذیه باس ۶kV واحد مربوطه از طریق باس ۶kV مشترک و ترانسفورماتور ایستگاه (پست بلا فصل نیروگاه) تأمین می گردد؛ در این شرایط بعد از آنکه واحد به حالت پایدار رسید، حدوداً در بار ۵۰ مگاوات، مصرف داخلی واحد از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد انتقال می یابد. به منظور تعویض مصرف داخلی از ترانسفورماتور واحد به ایستگاه و بالعکس، بایستی شرایط ذیل وجود داشته باشد [۱۳]:

- اختلاف زاویه مجاز برای ولتاژهای تغذیه حداکثر ۲۰ درجه و اختلاف فرکانس آنها حداکثر ۱ هرتز باشد.
- اندازه ولتاژها در هنگام تعویض مصرف داخلی نباید بیشتر از ۱۴۰ درصد ولتاژ نامی باس شود؛ به عبارت دیگر، ولتاژ پسماند مجاز روی باس در هنگام تعویض مصرف داخلی، حداکثر ۴۰ درصد ولتاژ نامی باس است^۴.

^۴ الکتروموتورهای ۶kV نیروگاه طوس از نظر کلاس عایقی، این قابلیت را دارند که روی صد درصد ولتاژ مخالف هم استارت شوند. یعنی می توانند تا دو برابر ولتاژ نامی را برای مدتی کوتاه و بدون آنکه آسیبی ببینند تحمل کنند؛ لکن مشکل ایجاد شده برای کوپلینگ الکتروموتورها و ترانسفورماتورهای جریان خواهد بود. لذا این کار را در صد درصد ولتاژ مخالف نمی توان انجام داد [۱۵].



شکل ۲: حوادث منجر به تریپ و محدودیت با منشأ الکتریکی از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۵ [۸]

۳- شبیه‌سازی الکتروموتورهای ۶ کیلوولت

همان‌طور که توضیح داده شد، در این مقاله از مدل شبیه‌سازی شده شبکه مصرف داخلی نیروگاه طوس در نرم‌افزار دیگسایلنت شامل شبیه‌سازی ژنراتورها به همراه گاورنر و AVR، ترانسفورماتورها (و تپ چنجر)، باس‌های ۶kV و ۴۰۰ ولت، برخی از رله‌های حفاظتی مربوط به تجهیزات فوق، الکتروموتورهای کندانسور هوایی، الکتروموتورهای ۶kV با مدل دینامیکی بار و ... استفاده شده است [۸]. با توجه به تأثیر الکتروموتورهای ۶kV در نتایج شبیه‌سازی (دینامیکی)، در این بخش توضیحات تکمیلی در مورد شبیه‌سازی بار مکانیکی دینامیکی (MDM) مطابق با نمودارهای گشتاور بار (فن‌ها و پمپ‌ها) استخراج شده از [۹] ارائه می‌شود.

الکتروموتورهای ۶kV نیروگاه و توان نامی آنها در شکل ۱ قابل مشاهده است. جدول ۱ در پیوست مقاله برخی از مشخصات فنی الکتروموتورهای مذکور را نشان می‌دهد.

فن‌ها، پمپ‌ها و کمپرسورها عمده‌ترین بارهای موتورهای الکتریکی هستند. در شبیه‌سازی دینامیکی الکتروموتورها در نرم‌افزار DiGSILENT، بارهای مکانیکی با اتصال یک مدل MDM به ورودی xmdm در مدل ماشین القایی، تعریف می‌شوند. مدل MDM می‌تواند بوسیله^۵ DSL یا مدل‌های پیش‌ساخته موجود در نرم‌افزار تعریف شود. اگر مدل MDM برای ماشین القایی تعریف نشود، نرم‌افزار از منحنی گشتاور سرعت پیش‌فرض استفاده می‌کند که دقت نتایج شبیه‌سازی دینامیکی را کاهش می‌دهد. برای نمونه، در شکل ۳ مدل

• ولتاژ تغذیه باس‌های مربوطه نباید کمتر از ۰.۷ ولتاژ نامی باشد.

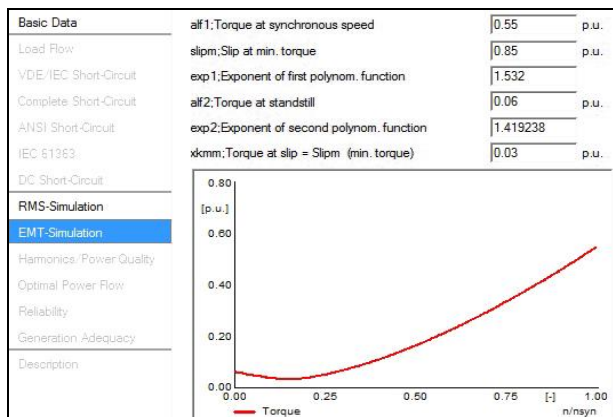
• رله اضافه جریان ترانسفورماتور واحد و رله اضافه جریان بریکر باس ۶kV مصرف داخلی عمل نکرده باشند.

اگر شرایط فوق وجود داشته باشد و در مدارهای منطقی سیستم چنچ‌آور و بریکرهای مرتبط با آن (بریکرهای Cb1 و Cb2 در بالای شکل ۱) مشکلی وجود نداشته باشد، چنانچه سیستم حفاظت ژنراتور عمل کند و یا به‌صورت دستی و از اتاق فرمان نیروگاه، فرمان تعویض صادر شود، فرمان‌های قطع بریکر اول و وصل بریکر دوم به‌طور همزمان صادر شده و عمل تعویض تغذیه مصرف داخلی انجام می‌شود. زمان قطع جریان تغذیه باس فقط بستگی به زمان قطع و وصل بریکرها خواهد داشت [۵]. یکی از شرایطی که پتانسیل ایجاد محدودیت در تولید را دارد این است که پس از صدور فرمان تعویض تغذیه مصرف داخلی، هر دو بریکر قطع شوند. این حالت با قطع کامل مصرف داخلی همراه است و باعث ایجاد صدماتی به تجهیزات واحد می‌گردد. در این شرایط، الکتروموتورهای ۶kV به‌صورت ژنراتور (با فرکانس کمتر از ۵۰Hz) عمل کرده و به باس ولتاژ تزریق می‌کنند [۲]. با ادامه این شرایط طبق نقشه مدارهای منطقی با عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ می‌کند. در این شرایط سیستم چنچ‌آور پس از ۱.۷ ثانیه، نیمی از مصرف‌کننده‌های باس ۶kV (نیم باس BA در شکل ۱) را از مدار خارج کرده تا از کاهش سریع ولتاژ جلوگیری کند. به این شرایط اصطلاحاً حذف بار یا Load Shedding می‌گویند. به‌طور همزمان فرمان وصل مجدد به بریکر دوم نیز صادر می‌شود. لکن با توجه به وصل نشدن بریکر دوم در مرحله اول، با عملکرد رله‌های ولتاژی واحد تریپ خواهد کرد.

در مورد رله‌های آندر ولتاژ این توضیح لازم است که، سیگنال تریپ رله آندر ولتاژ باس ۶kV مصرف داخلی، بعد از ۴ ثانیه ساخته خواهد شد. در مورد رله آندر ولتاژ تغذیه ورودی به باس‌های ۴۰۰ ولت (F20 Incoming) که روی یک ثانیه تنظیم شده، اگر افت ولتاژ زیاد بوده و به حد تنظیم شده رله برسد، باعث قطع بریکر تغذیه باس و تریپ واحد خواهد شد [۸].

با بررسی گزارش حوادث (تریپ و محدودیت در تولید) نیروگاه طوس با منشأ الکتریکی، قطع تغذیه باس ۶kV مصرف داخلی ناشی از سیستم چنچ‌آور هنگام راه‌اندازی واحد (تعویض تغذیه از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد) یکی از مواردی است که سهم قابل توجهی دارد. شکل ۲ مقایسه آماری حوادث مذکور را از ابتدای سال ۱۳۸۶ تا پایان سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. [۸].

⁵ DiGSilent Simulation Language

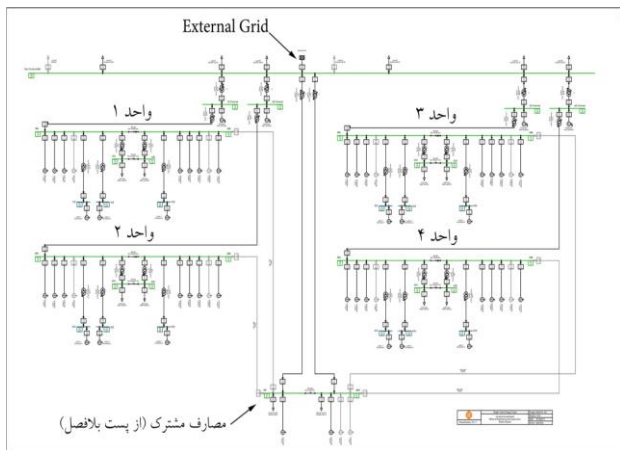


شکل ۴-ب: گشتاور بار شبیه‌سازی شده الکتروموتور پمپ کندانس

در شبیه‌سازی استاتیکی، دو حالت مختلف برای ماشین القایی در آنالیز محاسبات پخش بار وجود دارد که عبارتند از:

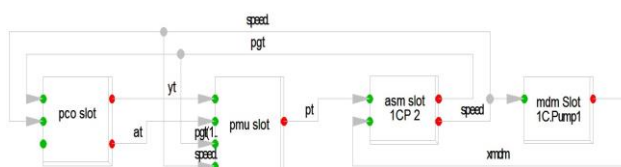
(۱) حالت AS: در این حالت در طول محاسبات، لغزش ماشین در معادلات حالت ماندگار محاسبه شده و در نتیجه توان پخش بار برای مقداردهی اولیه آنالیز حالت گذرا استفاده می‌شود کاربرد دارد. در این مقاله نیز با توجه به بررسی دینامیکی و حالت گذرا، از این حالت در تنظیمات پخش بار الکتروموتورهای ۶kV استفاده شده است. در بررسی پایداری حالت گذرای الکترومغناطیسی به دلیل وجود تجهیزات پسیو (الکتروموتورهای ۶kV) در شبکه، زمان انجام محاسبات بیشتر می‌شود. این مشکل بوسیله الگوریتم تطبیق بازه‌های زمانی شبیه‌سازی (Automatic Step Size Adaptation) در نرم‌افزار تقریباً مرتفع شده است.

(۲) حالت P-Q: در این حالت با فرض اینکه ماشین در ضریب توان مشخصی کار می‌کند که مستقل از ولتاژ باس بار است، مدل ماشین القایی به صورت یک مدل بار P-Q در محاسبات پخش بار در نظر گرفته می‌شود. این حالت برای شرایطی که هیچ حالت گذرای رخ نمی‌دهد مناسب است.



شکل ۵: نتایج پخش بار شبکه مصرف داخلی نیروگاه [۸]

شبیه‌سازی شده در DSL برای یکی از الکتروموتورهای ۶kV پمپ کندانس نشان داده شده است. توضیحات مربوط به پارامترهای شکل ۳ در جدول ۲ قابل مشاهده است.



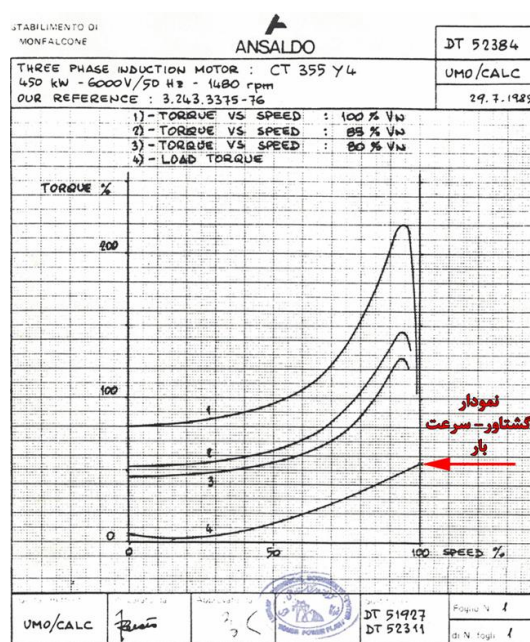
شکل ۳: مدل شبیه‌سازی شده در DSL برای الکتروموتورهای ۶kV

گرچه فریم شکل ۳ دارای چهار بلوک است، اما فقط از بلوک ماشین آسنکرون (asm slot) و درایو موتور (mdm slot) در شبیه‌سازی دینامیکی بار استفاده می‌شود.

جدول ۲: توضیح پارامترهای مدل شبیه‌سازی شده در DSL برای الکتروموتورهای ۶kV

پارامتر	توضیحات
Elm Asm	مدل ماشین القایی
Elm Mdm	مدل بار دینامیکی
xmdm	گشتاور خروجی ماشین القایی
xspeed	سرعت ماشین القایی

پارامترهای اساسی در تعیین مدل دینامیکی عبارتند از: گشتاور بار در سرعت سنکرون، لغزش در گشتاور کمینه، گشتاور در حالت توقف و گشتاور کمینه. به‌عنوان نمونه شکل ۴ نمودارهای گشتاور-سرعت بار، مربوط به الکتروموتور پمپ کندانس را بر اساس نمودارهای ارائه شده در [۱۰] و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد.



شکل ۴-الف: نمودار گشتاور بار الکتروموتور پمپ کندانس [۱۰]

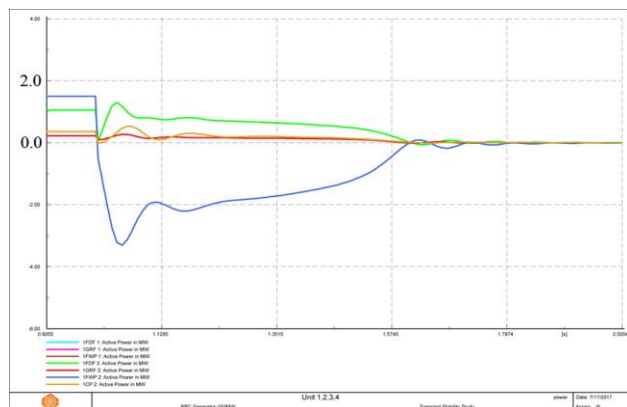
شکل ۵ پخش بار در شبکه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

۴- نتایج شبیه‌سازی قطع مصرف داخلی و ایجاد شرایط حذف بار

در این بخش، در ابتدا به بررسی حالت گذرای الکتروموتورهای ۶kV هنگام قطع تغذیه مصرف داخلی در اثر یکی از حوادث واقعی منجر به تریپ در سال‌های اخیر (یعنی نقص سیستم پنج‌آور هنگام قطع هر دو بریکر) پرداخته می‌شود. سپس کفایت شرایط حذف بار در ایجاد شرایط پایدار در حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

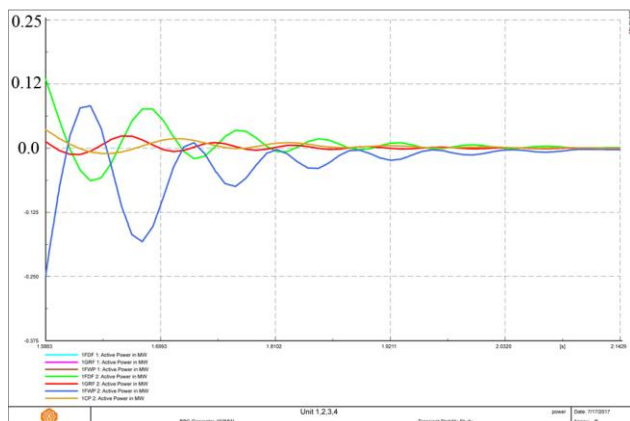
۴-۱- حالت گذرای الکتروموتورهای ۶kV هنگام قطع تغذیه باس

همان‌طور که گفته شد، بعد از قطع تغذیه الکتروموتورهای القایی، میدان مغناطیسی بلافاصله از بین نمی‌رود؛ جریان روتور نیز نمی‌تواند بلافاصله صفر شود. در این شرایط، جریان القایی روی روتور متناسب با ثابت زمانی الکترومغناطیسی آن کاهش خواهد یافت. همچنین، با توجه به اینکه دیگر گشتاور الکترومغناطیسی تولید نمی‌شود، سرعت الکتروموتور نیز با حضور گشتاور بار و گشتاور اینرسی محور و روتور الکتروموتور کاهش خواهد یافت. با قطع تغذیه باس، بنا به دلایل ذکر شده و همچنین خاصیت سلفی الکتروموتورها و ترانسفورمورها، جریان باس به‌طور ناگهانی قطع نمی‌شود. به عبارت دیگر، در این شرایط، هرکدام از الکتروموتورهای متصل به باس، به‌صورت یک ژنراتور عمل کرده و به باس ولتاژ تزریق می‌کنند. با ادامه این روند با عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ خواهد کرد. شکل ۶ وضعیت توان الکتروموتورهای ۶kV واحد یک را پس از قطع تغذیه در شرایط پنج ناموفق در دایرکشن ۲ به ۱ نشان می‌دهد.



شکل ۶: توان الکتروموتورهای ۶kV (برحسب مگاوات) بعد از قطع تغذیه باس در اثر پنج ناموفق تغذیه مصرف داخلی در دایرکشن ۲ به ۱

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ابتدا الکتروموتورهای پمپ آب تغذیه (FWP) با توجه به سرعت و ممان اینرسی بار و الکتروموتور، حالت ژنراتوری پیدا می‌کنند. در ادامه مطابق شکل ۷ در ۰.۵ ثانیه پایانی (از ثانیه ۱.۵ تا ۲) با کاهش سرعت و جریان‌های روتور الکتروموتورها، حالت موتوری و ژنراتوری الکتروموتورها تغییر کرده و در نهایت توان آنها به صفر می‌رسد.



شکل ۷: توان الکتروموتورهای ۶kV (بر حسب مگاوات) بعد از قطع تغذیه مصرف داخلی در ۰.۵ ثانیه پایانی شبیه‌سازی

۴-۲- بررسی ایجاد شرایط حذف بار برای پایداری ولتاژ

پایداری ولتاژ یکی از مهمترین مباحث در عملکرد سیستم قدرت می‌باشد. هنگامی که سیستم قدرت به حد بار خود برسد، روش‌های متنوع کنترلی برای جلوگیری از فروپاشی ولتاژ صورت می‌پذیرد. اگر این روش‌ها کارآمد نبوده و یا به اندازه کافی برای جلوگیری از فروپاشی ولتاژ سریع نباشند، به عنوان آخرین راهکار کنترلی و سریع، می‌توان با اعمال حذف بار و ایجاد تعادل بین تولید و مصرف، از فروپاشی ولتاژ و ناپایداری سیستم جلوگیری کرد [۱۴]. در شبکه مصرف داخلی واحدهای نیروگاهی، خروج یکی از واحدها و یا کاهش شدید بخار ورودی به توربین (به هر دلیل) و برهم خوردن تعادل تولید و مصرف داخلی یک واحد، می‌تواند واحدهای دیگر را از نظر پایداری فرکانس یا ولتاژ در مخاطره قرار دهد. در این حالت نیز یکی از راه‌ها، کاهش مصرف داخلی و حذف بارهای غیرضروری تا حد امکان است.

همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شد، هنگام پنج تغذیه مصرف داخلی، فرمان قطع و وصل بریکرهای مربوطه توسط سیستم پنج‌آور و به صورت همزمان ارسال می‌شود. اگر هنگام راه‌اندازی واحد، پس از صدور فرمان تعویض تغذیه مصرف داخلی هر دو بریکر قطع شوند، با قطع کامل مصرف داخلی و عمل کردن رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ خواهد کرد. در این شرایط سیستم پنج‌آور شرایط حذف بار را ایجاد کرده تا از عملکرد

(ایجاد تغییراتی در مدارهای منطقی سیستم چنج‌آور و همزمان بهینه‌سازی بریکرهای مرتبط با سیستم چنج‌آور) برای حفظ پایداری در این شرایط را نشان می‌دهد که در مرجع ۸ به آن اشاره شده است. لازم به ذکر است، طبق شبیه‌سازی‌های انجام شده، در صورت کاهش شدید بار واحد در حالی که تغذیه باس‌های مصرف داخلی وصل است، ایجاد شرایط حذف بار می‌تواند از تریپ واحد جلوگیری نماید؛ لکن در شرایط قطع تغذیه، ایجاد این شرایط تغییری در حفظ پایداری ایجاد نمی‌کند.

مراجع

- [1] Akiyama, Yuj, "Induction motor residual voltage," in 1990 IEEE Industr Applications Society Annual Meeting - IAS-25 Part, Seattle, WA, USA. Published by IEEE., Oct. 7-12 1990, pp. 24-29
- [2] B.Aruna Kumari, K.Naga Sujatha, K.Vaisakh, "Assessment of stress on induction motor under different fault condition", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2009.
- [3] J.C. Gomez, M.M. Morcos, C. Reineri, G. Campetelli, "Induction Motor Behavior Under Short Interruptions and Voltage Sags" IEEE Power Engineering Review, February 2001.
- [4] Shuping Zhang, Chen Zhao, Weipu Tan, "The Study of Residual Voltage of Induction Motor and the Influence of Various Parameters on the Residual Voltage" Asia Conference on Power and Electrical Engineering, ACPEE 2017.

- [۵] علی ابراهیمی اله آبادی "تأثیر سیستم تعویض مصرف داخلی نیروگاه طوس بر محدودیت تولید" هشتمین کنفرانس ملی مهندسی برق و الکترونیک ایران، دانشگاه آزاد گناباد، شماره ICEE08_104، ۱۳۹۵.
- [6] J.Sadeh, A.Soheili, E.Afshari, "Design of a New Under Frequency Load Shedding Algorithm Using EMD and FSD Methods" 8th Power Systems Protection & Control Conference, 2013.
- [7] E. E. Aponte, J. Keith Nelson, "Time Optimal Load Shedding for Distributed Power Systems" IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, 30 January 2006.

- [۸] علی ابراهیمی اله آبادی، مهدی نجار، اسماعیل نیازی "تحلیل نقص سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس هنگام قطع تغذیه مصرف داخلی با شبیه‌سازی در نرم‌افزار DigSILENT و ارائه راه کار برای رفع آن" ۳۲ کنفرانس بین‌المللی برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۷-F-PSS-1057، پائیز ۱۳۹۶.
- [۹] گزارش‌های مستخرج از پروژه "تعیین پارامترهای دینامیکی یک واحد نیروگاه طوس"، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی بهره‌برداری شبکه، کد پروژه: PONBH01، ۱۳۸۳.

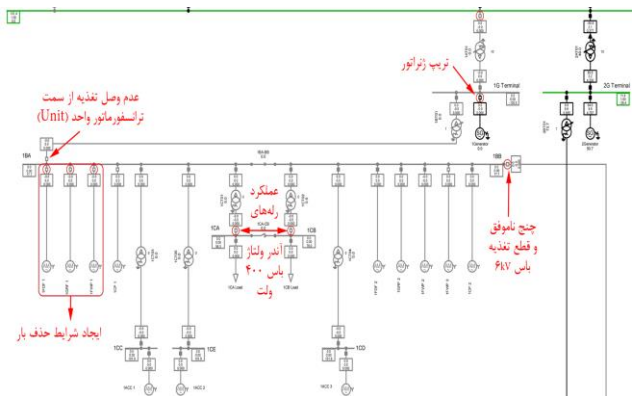
- [۱۰] نقشه‌ها و اسناد فنی سوئیچگیرها، بریکرهای ۶ کیلوولت و ۴۰۰ ولت، الکتروموتورهای ۶ کیلوولت، ترانسفورماتورها و ژنراتورهای نیروگاه طوس (شرکت BBC آلمان)، مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس، ۱۹۸۴.

- [11] IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, IEEE Std. 446-1995, December 1995.
- [12] Atser A. Roy, Gesa, F. Newton, Aondoakaa, I. Solomon, "Design and Implementation of a 3-Phase Automatic Power Change-over Switch", American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-3, Issue-9, pp-07-14, 2014.
- [۱۳] اسناد فنی مربوط به نصب سیستم Change Over، مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس، ۱۹۹۱.

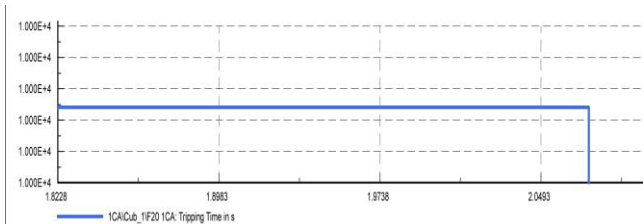
- [۱۴] مجید صنایع پسند، مهدی داورپناه "حذف بار بهینه با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ و هزینه خاموشی" بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق، پژوهشگاه نیرو، شماره 98-F-CAP-659، 2005.

رله‌های آندر ولتاژ جلوگیری کند و به‌طور همزمان فرمان وصل مجدد به بریکر دوم صادر می‌شود. لکن با توجه به وصل نشدن بریکر دوم در مرحله اول، با عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ خواهد کرد.

در ادامه، نتایج شبیه‌سازی چنج ناموفق و قطع مصرف داخلی و تعریف شرایط فعلی لود شدینگ (از مدار خارج شدن نیم باس BA پس از ۱٫۷ ثانیه) ارائه شده است. شکل ۸ قطع کامل تغذیه مصرف داخلی واحد ۱ را پس از چنج ناموفق در دایرکشن دو به یک در شرایط موجود نشان می‌دهد. در این شرایط با عملکرد رله آندر ولتاژ باس‌های ۴۰۰ ولت تریپ واحد (به علت بی‌برق شدن پمپ‌های کنترل روغن توربین و اخلاخل در سیستم سوخت و هوای بویلر) را خواهیم داشت. شکل ۹ نیز (زمان) عملکرد رله آندر ولتاژ باس ۴۰۰ ولت باس 1CA (F20 Incoming) را نشان می‌دهد.



شکل ۸: تریپ ژنراتور واحد ۱، پس از چنج ناموفق و حذف بار در cb2→cb1



شکل ۹: عملکرد رله آندر ولتاژ باس ۴۰۰ ولت 1CA پس از یک ثانیه از خطا

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به مدل شبیه‌سازی شده مصرف داخلی نیروگاه طوس، به بررسی حالت گذرای الکتروموتورهای ۶kV یک واحد نیروگاه در شرایط قطع مصرف داخلی (ناشی از یک حادثه واقعی) و ارزیابی ایجاد شرایط حذف بار برای حفظ پایداری ولتاژ و جلوگیری از تریپ واحد پرداخته شده است. نتایج عدم کفایت شرایط حذف بار پس از قطع تغذیه و نیاز به انجام بهینه‌سازی