

تحلیل نقص سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس هنگام قطع تغذیه مصرف داخلی با نرم‌افزار DIgSILENT و ارائه راه‌کار برای رفع آن

مهدی نجار، اسماعیل نیازی

شرکت مدیریت تولید برق طوس

نیروگاه طوس

مشهد، ایران

Najjar@tousspowerstation.ir

علی ابراهیمی اله آبادی

شرکت افق تأمین انرژی طوس

نیروگاه طوس

مشهد، ایران

a.ebrahimi@otet.co

خروج‌های بدون برنامه ناشی از قطع تغذیه مصرف داخلی، در نیروگاه طوس نصب گردید. با نصب این سیستم، طی فرایند راه‌اندازی واحد، جهت تغییر مصرف داخلی و یا در صورت بروز نقص و تریپ ژنراتور که منجر به قطع فیلد بریکر گردد، سیستم چنج‌آور بدون آنکه هیچ خسارتی به تجهیزات واحد وارد شود، با وصل منبع تغذیه کمکی از طریق پست بلافصل، مانع از قطع ولتاژ تغذیه باس‌های مصرف داخلی می‌گردد [۱]، [۲] و [۳].

اتصال تغذیه الکتروموتورهای 6^kV و ترانسفورماتورهای مصرف داخلی کمکی ($6.0, 4 kV$) به باس 6^kV در نیروگاه طوس، از طریق بریکرهای نیمه روغنی فراهم می‌شود. مکانیزم شارژ فنر این بریکرها به‌گونه‌ای است که با هر بار شارژ کامل، یک عملیات وصل و قطع قابل اجرا خواهد بود و پس از آن، فنر بریکر باید برای عملیات بعدی مجدداً شارژ گردد. این عمل حدوداً ۱۵ ثانیه زمان می‌برد؛ زمان بر بودن شارژ فنر بریکرهای مرتبط با سیستم چنج‌آور باعث می‌شود در شرایطی خاص، پس از صدور فرمان تعویض تغذیه مصرف داخلی از سیستم چنج‌آور، با تریپ واحد مواجه شویم. در ادامه به تشریح شرایط ذکر شده و بررسی سوابق تکرار آن در نیروگاه طوس پرداخته شده است. همچنین با شبیه‌سازی ژنراتورها (به‌همراه گاورنر و AVR)، ترانسفورماتورها (و تپ چنجر)، الکتروموتورهای 6^kV (با تعریف منحنی گشتاور بار واقعی پمپ‌ها و فن‌ها)، باس‌ها، رله‌های حفاظتی مربوط به تجهیزات فوق و مدل‌سازی کامل مصرف داخلی در نرم‌افزار دیگسایلنت، راه‌کار عملی جهت جلوگیری از تریپ واحد در این شرایط ارائه شده است. در این مقاله به‌منظور دقیق‌تر شدن نتایج و نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی از مدل دینامیکی بار برای الکتروموتورهای 6^kV استفاده شده است.

چکیده — سیستم چنج‌آور که با نام سیستم انتقال سریع هم شناخته می‌شود، اغلب در نیروگاه‌ها و تجهیزات صنعتی با اهمیت بالا برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش خروج‌های بدون برنامه استفاده می‌شود. در این مقاله پس از مروری بر شبکه مصرف داخلی شش کیلوولت نیروگاه طوس و شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار دیگسایلنت، به بررسی محدودیت ایجاد شده در تولید انرژی الکتریکی ناشی از وقوع یک حالت خاص در سیستم چنج‌آور پرداخته شده و راه‌کار عملی برای رفع آن ارائه گردیده است.

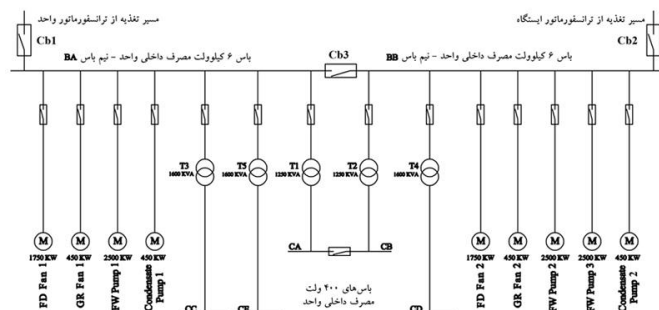
واژه‌های کلیدی: مصرف داخلی نیروگاه، محدودیت در تولید، *Change Over*، دیگسایلنت، رتروفیت، مدل دینامیکی بار

۱. مقدمه

عدم تعادل و پایداری ولتاژ تغذیه مصرف‌کننده‌های مهم در محیط‌های صنعتی حساس، نیاز به وجود سیستم‌های الکترونیکی جهت وصل خودکار تغذیه پشتیبان در شرایط قطع منبع اصلی را بیش از پیش نمایان می‌سازد. سیستم الکترونیکی تعویض خودکار تغذیه (چنج‌آور) اغلب در نیروگاه‌ها و تجهیزات با اهمیت بالا استفاده می‌شود. اهمیت این سیستم در نیروگاه‌ها هنگامی است که، تغذیه یک گروه از الکتروموتورهای ولتاژ متوسط از منبع اصلی قطع و به منبع کمکی متصل شود. هدف از این کار این است که در پروسه تولید انرژی وقفه‌ای ایجاد نشود. سیستم چنج‌آور در حدود سال ۱۳۷۰، توسط شرکت ABB و با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش

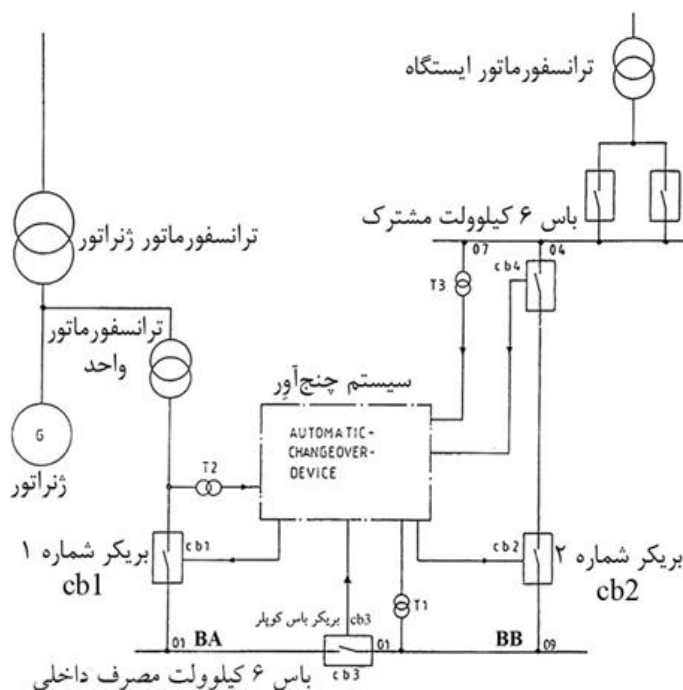
۲. سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس

در نیروگاه طوس تأمین مصرف داخلی هر واحد از طریق ترانسفورماتور مصرف داخلی واحد (Unit) یا ایستگاه (Station) امکان پذیر است. نقشه تک‌خطی مصرف داخلی یک واحد نیروگاه در «شکل ۱» را نشان داده شده که شامل باس‌ها و الکتروموتورهای $6kV$ ، مسیرهای تغذیه باس‌ها، بریکرها و ترانسفورماتورهای مصرف داخلی کمکی می‌باشد [۴].



شکل ۱: دیاگرام تک‌خطی مصرف داخلی ۶ کیلوولت نیروگاه طوس [۴]

سیستم چنج‌آور که نقشه تک‌خطی آن مطابق «شکل ۲» است، تعویض تغذیه باس‌های $6kV$ بین مسیرهای مشخص شده را ممکن می‌سازد [۳].



شکل ۲: نقشه تک‌خطی سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس [۳]

تعویض تغذیه مصرف داخلی در نیروگاه طوس بوسیله سیستم چنج‌آور در دو حالت (Direction) کلی انجام می‌شود که عبارت‌اند از [۳]:

۲.۱. تعویض از ترانسفورماتور واحد به ایستگاه

در شرایط عادی، تغذیه باس $6kV$ واحد، از طریق ترانسفورماتور مصرف داخلی (Unit) همان واحد تأمین می‌گردد. اگر به هر دلایل ژنراتور از مدار خارج شود و یا در خروجی ترانسفورماتور مصرف داخلی (Unit) اشکالی به وجود آید، تغذیه باس $6kV$ آن واحد از طریق ترانسفورماتور ایستگاه (Station) تأمین می‌گردد؛ در این شرایط برای راه‌اندازی مجدد واحد حدوداً ۲ ساعت زمان لازم است؛ در حالی که در صورت از مدار خارج شدن بویلر در همین شرایط، راه‌اندازی مجدد واحد حداقل ۸ ساعت زمان‌بر خواهد بود؛ بنابراین محدودیت در تولید و انرژی تولید نشده، کاهش می‌یابد.

۲.۲. تعویض از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد

هنگام راه‌اندازی هر واحد، تغذیه باس $6kV$ آن از طریق باس $6kV$ مشترک و ترانسفورماتور ایستگاه (پست بلافصل نیروگاه) تأمین می‌گردد؛ در این شرایط بعد از رسیدن واحد به حالت پایدار، حدوداً در بار ۵۰ مگاوات، مصرف داخلی واحد از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد انتقال می‌یابد.

ضمناً، به‌منظور تعویض تغذیه مصرف داخلی از ترانسفورماتور واحد به ایستگاه و بالعکس، بایستی اختلاف زاویه ولتاژهای تغذیه کمتر از ۲۰ درجه و اختلاف فرکانس آنها کمتر از ۱ هرتز باشد. همچنین اختلاف اندازه ولتاژها نباید بیشتر از ۱۴۰ درصد ولتاژ نامی باس شود. اگر شرایط فوق وجود داشته باشد و در مدارهای منطقی سیستم چنج‌آور و بریکرهای مرتبط با آن (بریکرهای Cb1 و Cb2 در شکل ۱) مشکلی وجود نداشته باشد، چنانچه به‌صورت خودکار یا دستی (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 [۳].

۲.۳. بررسی حالات خاص سیستم چنج‌آور

هنگام تعویض تغذیه مصرف داخلی، امکان رخداد دو حالت خاص و غیرعادی وجود دارد که در ادامه به بررسی آنها پرداخته خواهد شد [۳].

نسبت تبدیل ترانسفورماتور ایستگاه، $132:6,3 Kv$ ، و گروه برداری آن YNyn0d11 است. نسبت تبدیل ترانسفورماتور واحد $11,5:6,3 Kv$ و گروه برداری آن Dyn11 است؛ بنابراین این دو ترانسفورماتور نمی‌توانند به‌صورت موازی کار کنند. برای جلوگیری از این اتفاق، یک حفاظت در سیستم چنج‌آور در نظر گرفته شده است. اگر بعد از صدور فرمان تعویض،

افت ولتاژ زیاد بوده و به حد تنظیم شده رله برسد، باعث قطع بریکر تغذیه باس‌ها و تریپ واحد خواهد شد [۴].

برای رفع این مشکل، اولین اقدامی که به ذهن می‌رسد این است که، با ایجاد تغییراتی در مدار منطقی سیستم چنچ‌آور در هنگام قطع هر دو بریکر، قبل از عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، فرمان وصل مجدد برای بریکر اول صادر شود (مشابه آنچه در هنگام وصل هر دو بریکر اتفاق می‌افتد). لکن با توجه زمان‌بر بودن شارژ فنر بریکرها که قبلاً توضیح داده شد، با عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ خواهد کرد.

بریکر اول قطع نشده و همزمان بریکر دوم وصل شود، سیستم پس از ۱۰۰ میلی‌ثانیه، فرمان قطع بریکر دوم را صادر، و سیستم مسدود خواهد شد.

حالت خاص دیگر این است که، پس از صدور فرمان تعویض تغذیه مصرف داخلی، هر دو بریکر قطع شوند. این حالت پتانسیل ایجاد محدودیت در تولید را دارد. با بررسی گزارش حوادث (تریپ و محدودیت در تولید) نیروگاه طوس با منشأ الکتریکی، سیستم چنچ‌آور یکی از مواردی است که سهم قابل توجهی دارد. «شکل ۳» مقایسه آماری حوادث مذکور را از ابتدای سال ۱۳۸۶ تا پایان سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. [۵].

۳. شبیه‌سازی مصرف داخلی نیروگاه

۳.۱. شبیه‌سازی ژنراتور و سیستم‌های کنترلی

نیروگاه طوس دارای ۴ دستگاه ژنراتور ۱۵۰ مگاواتی است. برخی از مشخصات این ژنراتورها در «جدول ۱» قابل مشاهده است [۴].

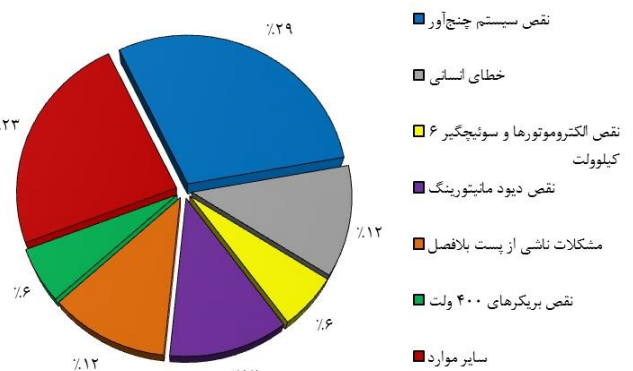
جدول ۱: برخی از مشخصات ژنراتورهای نیروگاه طوس

توان	ولتاژ	جریان	فرکانس	بازده	ضریب قدرت
۱۵۰ MW	۱۱.۵ kv	۹۴۱۳ A	۵۰ Hz	۹۸.۵٪	۰.۸

شبیه‌سازی دقیق دینامیکی بدون در نظر گرفتن کنترل‌کننده‌ها (سیستم تحریک، گاورنر و...) امکان‌پذیر نیست؛ لذا جهت نزدیک شدن شبیه‌سازی‌ها به شرایط واقعی، با توجه به [۷]، ژنراتورها به گاورنر (IEEE G1) و AVR (IEEX2A) مجهز شده‌اند. تغییرات اعمال شده بر پارامترهای گاورنر برای حالت مازوت سوز و ۱۰۰٪ بار نامی در «شکل ۴» آورده شده است.

Parameter	Value
K Controller Gain [p.u.]	5.
T1 Governor Time Constant [s]	0.2
T2 Governor Derivative Time Constant [s]	1.
T3 Servo Time Constant [s]	0.6
K1 High Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.3
K2 High Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.
T5 Intermediate Pressure Turbine Time Constant [s]	0.0995
K3 Intermediate Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.3371
K4 Intermediate Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.
T6 Medium Pressure Turbine Time Constant [s]	4.488
K5 Medium Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.4393
K6 Medium Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.
T4 High Pressure Turbine Time Constant [s]	0.6
T7 Low Pressure Turbine Time Constant [s]	0.117
K7 Low Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.2236
K8 Low Pressure Turbine Factor [p.u.]	0.
PNhp HP Turbine Rated Power(=0->PNhp=PgnHp) [...]	0.

شکل ۴: تغییرات اعمال شده بر پارامترهای گاورنر مدل IEEE G1



شکل ۳: حوادث منجر به تریپ و محدودیت با منشأ الکتریکی از سال ۸۶ تا ۹۵

عدم تعویض تغذیه از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد و بالعکس، با قطع کامل مصرف داخلی همراه است و باعث ایجاد صدماتی به تجهیزات واحد می‌گردد. در این شرایط، الکتروموتورهای $6kV$ به صورت ژنراتور (با فرکانس کمتر از $50Hz$) عمل کرده و به باس ولتاژ تزریق می‌کنند [۶]. با ادامه این شرایط طبق نقشه مدارهای منطقی با عملکرد رله‌های آندر ولتاژ، واحد تریپ خواهد کرد. در این شرایط سیستم چنچ‌آور پس از ۱.۷ ثانیه، نیمی از مصرف‌کننده‌های باس $6kV$ (نیم باس BA در شکل ۱) را از مدار خارج کرده تا از کاهش سریع ولتاژ جلوگیری کند و به‌طور همزمان فرمان وصل مجدد به بریکر دوم صادر می‌شود. این وضعیت با نام Slow Transfer شناخته می‌شود. با توجه به وصل نشدن بریکر دوم در مرحله اول، با عملکرد رله‌های ولتاژی واحد تریپ خواهد کرد. متعاقباً امکان مواجه شدن با کد FS (Fail to Start) در بازار برق و از دست رفتن ۱۰۰٪ درآمد وجود دارد [۳].

در مورد رله‌های آندر ولتاژ این توضیح لازم است که، سیگنال تریپ رله آندر ولتاژ باس $6kV$ مصرف داخلی واحد، بعد از ۴ ثانیه ساخته خواهد شد. در مورد رله آندر ولتاژ تغذیه ورودی به باس‌های ۴۰۰ ولت مصرف داخلی (F20 Incoming در شکل ۱۱) که روی یک ثانیه تنظیم شده است، اگر

در بررسی پایداری حالت گذرای الکترومغناطیسی به دلیل وجود تجهیزات پسیو (الکتروموتورهای 6^{kV}) در شبکه، زمان انجام محاسبات بیشتر می‌شود. این مشکل بوسیله الگوریتم تطبیق بازه‌های زمانی شبیه‌سازی (Automatic Step Size Adaption) در نرم‌افزار تقریباً مرتفع شده است.

۳.۳. شبیه‌سازی رله‌های حفاظتی

حفاظت‌های جریانی، ولتاژی، فرکانسی و توانی (جهت‌دار) مربوط به ژنراتور، باس‌های ۶ کیلوولت و ۴۰۰ ولت و ترانسفورماتورهای اصلی با استفاده از رله‌های کتابخانه نرم‌افزار و انجام تغییرات و تطبیقات لازم طبق [۸] و تنظیمات ارائه شده در [۹] برای چهار واحد شبیه‌سازی شده است. به‌عنوان نمونه، «شکل ۶» و «شکل ۷» بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری و رله‌های تعریف شده برای تجهیزات مذکور در واحد یک را نشان می‌دهد.

Name	Type	حفاظت‌های شبیه‌سازی شده برای ژنراتور
OC G1	Over Current G1	<input type="checkbox"/> رله اضافه جریان ژنراتور
Reverse Power G1	RP PPX 105B K311	<input type="checkbox"/> رله برگشت بار (جهتی)
UF 1G step1	UF FCX103 step1 G1	<input type="checkbox"/> رله آندر فرکانس (استپ یک)
UF 1G step2	UF FCX103 step2 G1	<input type="checkbox"/> رله آندر فرکانس (استپ دو)
CT G1	CT Gne1	<input type="checkbox"/> ترانسفورماتور جریان
Switch		
PT G1	PT Gen1	<input type="checkbox"/> ترانسفورماتور ولتاژ

Name	Type	حفاظت‌های شبیه‌سازی شده برای ترانس یونیت
OC 1BT	OC 1BT01	<input type="checkbox"/> رله اضافه جریان ترانسفورماتور یونیت (سمت LV)
UV 1BA	UV 1BA XT 374	<input type="checkbox"/> رله آندر ولتاژ باس ۶ کیلوولت
CT 1BT	CT 1BT01	<input type="checkbox"/> ترانسفورماتور جریان
Switch		
PT 1BA	PT 1BA	<input type="checkbox"/> ترانسفورماتور ولتاژ

شکل ۶: حفاظت‌های ژنراتور، ترانسفورماتور یونیت و باس ۶ کیلوولت

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> UF FCX103 step1 G1 | <input type="checkbox"/> UF FCX103 step2 G1 |
| <input type="checkbox"/> UF FCX103 step1 G2 | <input type="checkbox"/> UF FCX103 step2 G2 |
| <input type="checkbox"/> UF FCX103 step1 G3 | <input type="checkbox"/> UF FCX103 step2 G3 |
| <input type="checkbox"/> UF FCX103 step1 G4 | <input type="checkbox"/> UF FCX103 step2 G4 |
| <input type="checkbox"/> UV 1BA XT 374 | <input type="checkbox"/> UV 3BA XT 374 |
| <input type="checkbox"/> UV 2BA XT 374 | <input type="checkbox"/> UV 4BA XT 374 |
| <input type="checkbox"/> F20 1CA Bus | <input type="checkbox"/> F20 3CA Bus |
| <input type="checkbox"/> F20 1CB Bus | <input type="checkbox"/> F20 3CB Bus |
| <input type="checkbox"/> F20 2CA Bus | <input type="checkbox"/> F20 4CA Bus |
| <input type="checkbox"/> F20 2CB Bus | <input type="checkbox"/> F20 4CB Bus |

شکل ۷: حفاظت‌های ولتاژی باس‌ها و حفاظت فرکانسی ژنراتور

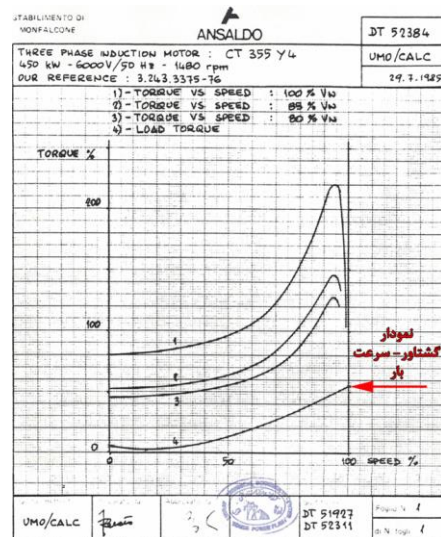
۳.۴. سایر موارد

ترانسفورماتورهای ژنراتور (176^{MVA})، واحد (15^{MVA})، ایستگاه (29^{MVA}) و مصرف داخلی کمکی (1600^{kVA}) به همراه شبیه‌سازی تپ چنجر، مطابق اطلاعات سازنده شبیه‌سازی و وابستگی بار به ولتاژ در نظر گرفته شده است. همچنین ۱۲۰ دستگاه الکتروموتور کندانسورهای در (دسته‌های ۱۰ تا بی و) حداکثر بار ممکن (معادل 91^{kW} در دور تند)، مطابق

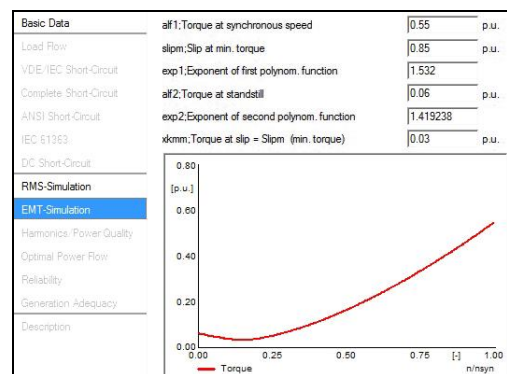
با کنترل توان اکتیو و راکتیو ژنراتورها (Station Control) ولتاژ ترمینال آنها در مقدار نامی تثبیت گردیده و با توجه به اطلاعات سازنده، حداقل و حداکثر توان اکتیو و راکتیو برای آنها در نظر گرفته شده است. با اجرای پخش بار، ژنراتورها متناسب با توان اکتیو درخواستی در جبران توان مشارکت می‌نمایند. با توجه به $[V]$ بهره‌کنترلی اولیه (Prime Frequency Bias) برای ژنراتورها به مقدار $0.05^{MW/Hz}$ تعریف شده است.

۳.۲. شبیه‌سازی الکتروموتورهای ۶ کیلوولت

الکتروموتورهای 6^{kV} نیروگاه و توان نامی آنها در «شکل ۱» قابل مشاهده است. با توجه به تأثیر الکتروموتورهای 6^{kV} در نتایج شبیه‌سازی (دینامیکی)، برای آنها مدل دینامیکی بار مطابق با نمودارهای گشتاور بار (فن‌ها و پمپ‌ها)، ارائه شده در [۴] تعریف شده است. پارامترهای اساسی در این بخش، گشتاور در سرعت سنکرون، لغزش در گشتاور کمینه، گشتاور در حالت توقف و گشتاور کمینه می‌باشد. به‌عنوان نمونه «شکل ۵» نمودارهای گشتاور بار مربوط به الکتروموتور پمپ کندانس را نشان می‌دهد.



شکل ۵-الف: نمودار گشتاور بار الکتروموتور پمپ کندانس [۴]



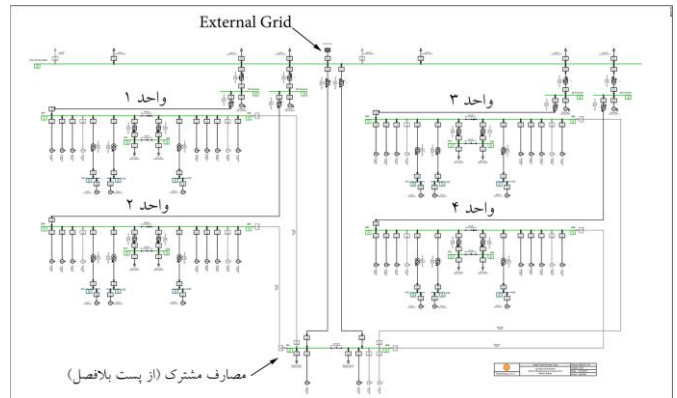
شکل ۵-ب: گشتاور بار شبیه‌سازی شده الکتروموتور پمپ کندانس

۴.۱. تغییرات مورد نیاز در مدارهای منطقی سیستم

در این بخش، تغییرات مورد نیاز جهت جلوگیری از تریپ واحد هنگام قطع تغذیه مصرف داخلی در دایرکشن دو به یک (از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد) با فرض بهینه‌سازی بریکرهای مربوطه (Retrofit Solution) ارائه می‌شود. «شکل ۹» نقشه فرمان‌ها و سیگنال‌های سیستم چنج‌آور و «شکل ۱۰» مدارهای منطقی پیشنهادی برای جلوگیری از تریپ واحد در شرایط گفته شده را نشان می‌دهد. ضمناً در دایرکشن یک به دو به دلیل مسائل حفاظتی، وصل مجدد بریکر ترانسفورماتور واحد در صورت قطع تغذیه مصرف داخلی غیرقابل اجرا است [۳].

با اطلاعات سازنده شبیه‌سازی شده و در مورد سایر مصارف ۴۰۰ ولت، با توجه به تنوع بارها و مشکل بودن شناسایی رفتار دقیق دینامیکی آنها، از مدل عمومی بار و اطلاعات باس‌های ۴۰۰ ولت استفاده شده است [۴].

«شکل ۸» وضعیت پخش بار در شبکه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

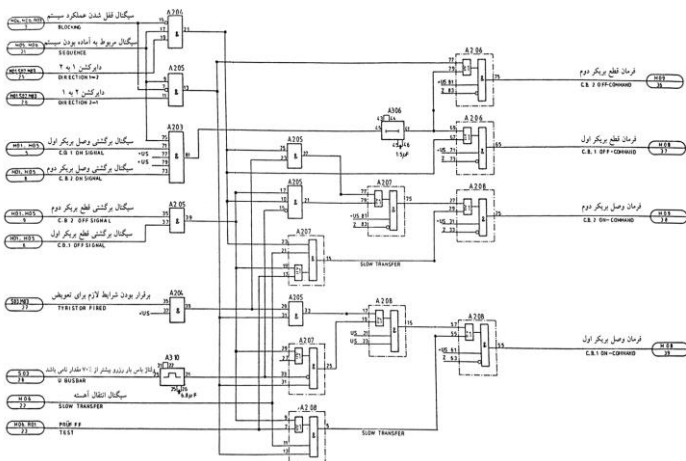


شکل ۸: نتایج پخش بار شبکه مصرف داخلی نیروگاه (پیوست ۱)

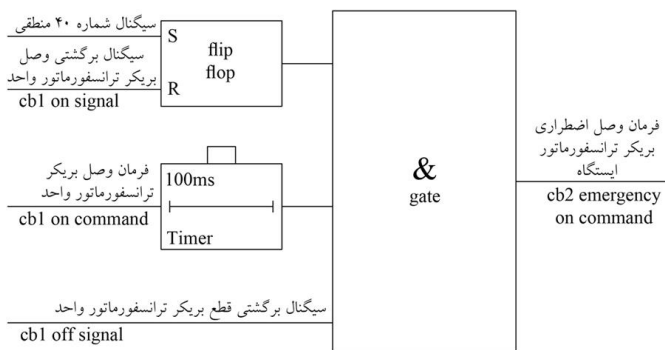
۴. راهکار عملی برای جلوگیری از تریپ واحد

عمر مفید سوئیچ‌گیرهای ولتاژ متوسط (MV) قدیمی حدود ۳۰ تا ۴۰ سال است و بعد از این دوره زمانی، به علت افزایش میزان و هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات و نبود قطعه یدکی برای آنها (خصوصاً بریکرها)، جایگزینی و بهینه‌سازی این تجهیزات اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد [۱۰].

امروزه بریکرهای خلاً به‌عنوان مدرن‌ترین و پیشرفته‌ترین جایگزین بریکرهای روغنی و گازی در محدوده ولتاژ متوسط مطرح هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های بریکرهای خلاً در مقایسه با سایر بریکرها، می‌توان به قابلیت اطمینان بالا، عدم نیاز به تعمیر و نگهداری و تجهیزات یدکی، پایین بودن انرژی جرقه، عمر طولانی، مناسب بودن برای عملکردهای مکرر بدون محدودیت زمانی، مکانیزم عملکرد ساده، غیر قابل انفجار و اشتعال بودن، سازگاری با محیط‌زیست و انعطاف در طراحی اشاره کرد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که رتروفیت بریکرهای قدیمی (تبدیل بریکرهای روغنی یا گازی به بریکر خلاً، با تغییر مکانیزم آن و بدون تغییر در ساختار فیزیکی، پارامترهای الکتریکی و مسائل بهره‌برداری) مناسب‌ترین روش برای بهینه‌سازی انواع بریکرهای قدیمی باشد. از مهم‌ترین مزایای اجرای پروسه رتروفیت، می‌توان به عدم تغییر در مقادیر نامی دستگاه‌ها، سیستم‌های اندازه‌گیری، ترانسفورماتورهای جریان و رله‌های حفاظتی و همچنین عدم نیاز به تعویض متعلقات قبلی سوئیچ‌گیر مانند باس‌ها، کابل‌های ارتباطی و یا حتی سیستم کنترل قبلی باصرفه اقتصادی زیاد اشاره کرد [۱۰] و [۱۱].



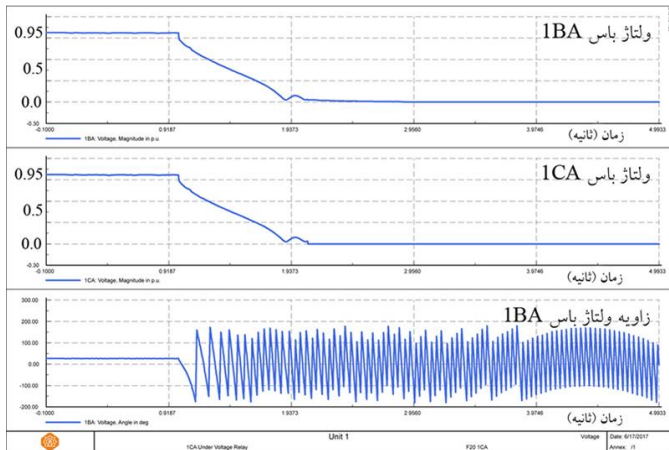
شکل ۹: نقشه تک‌خطی فرمان‌های سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس [۳]



شکل ۱۰: مدارهای منطقی پیشنهادی برای جلوگیری از تریپ در $cb2 \rightarrow cb1$

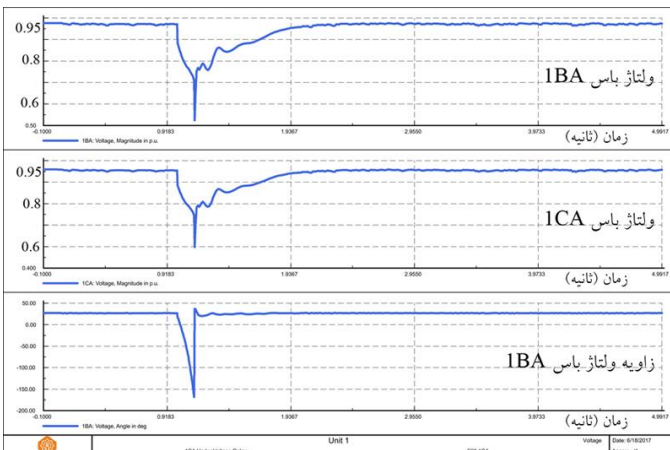
در «شکل ۸» در صورت عدم عملکرد رله اضافه جریان ترانسفورماتور واحد، عدم عملکرد رله اضافه جریان بریکر باس $6kV$ مصرف داخلی، صدور فرمان چنج دستی توسط اپراتور، برقراری شرایط مجاز بین ولتاژهای تغذیه از لحاظ دامنه، فرکانس و زاویه ولتاژ؛ سیگنال شماره ۴۰ منطقی ساخته خواهد شد؛ در این شرایط اگر فرمان وصل و سیگنال برگشتی قطع بریکر ترانسفورماتور واحد وجود داشته باشد، فرمان وصل اضطراری بریکر ترانسفورماتور ایستگاه پس از ۱۰۰ میلی‌ثانیه ساخته خواهد شد. هدف از

«شکل ۱۳» نیز کاهش ولتاژ باس‌های واحد ۱ در شرایط چنج ناموفق و قطع مصرف داخلی (بدون اعمال تغییرات پیشنهادی) را نشان می‌دهد. نام و محل باس‌ها در «شکل ۱» قابل مشاهده است.



شکل ۱۳: کاهش ولتاژ باس‌های واحد ۱ در شرایط چنج ناموفق و قطع مصرف داخلی (بدون اعمال تغییرات پیشنهادی) در $cb2 \rightarrow cb1$

همان‌طور که اشاره شد، در صورت اجرای طرح پیشنهادی در این مقاله (ایجاد تغییرات لازم در مدارهای منطقی سیستم چنج‌آور و بهینه‌سازی بریکرهای مربوطه)، هنگام چنج ناموفق در دایرکشن دو به یک، با صدور فرمان وصل اضطراری بریکر $cb2$ از تریپ واحد و بویلر (ناشی از اختلال در سیستم سوخت و هوا) جلوگیری خواهد شد. «شکل ۱۴» ولتاژ باس‌های واحد ۱ را در شرایطی که پس از چنج ناموفق در دایرکشن دو به یک، وصل مجدد بریکر $cb2$ را پس از ۱۴۰ میلی‌ثانیه داشته باشیم، نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: برگشت ولتاژ به محدوده مجاز پس از وصل مجدد بریکر $cb2$ در صورت اعمال تغییرات پیشنهادی، در $cb2 \rightarrow cb1$

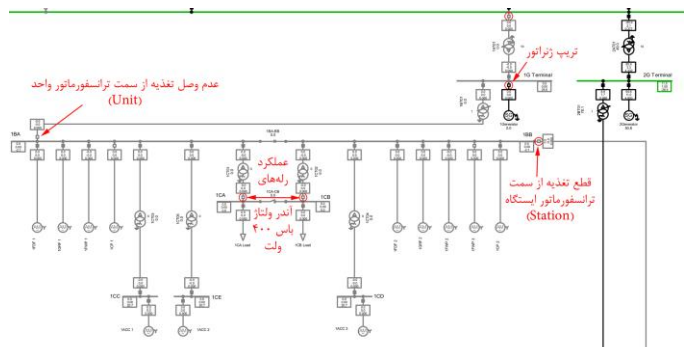
«شکل ۱۵» زاویه روتور ژنراتورها را در شرایط مشابه گفته شده برای «شکل ۱۴» نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، در «شکل ۱۵» مصرف داخلی

ایجاد این تأخیر زمانی، اطمینان از ارسال فرمان وصل و عدم تغییر وضعیت بریکر ترانسفورماتور واحد می‌باشد. در صورت وجود سیگنال برگشتی وصل بریکر ترانسفورماتور واحد نیز، با صفر شدن خروجی فلیپ‌فلاپ، از وصل هر دو بریکر جلوگیری خواهد شد.

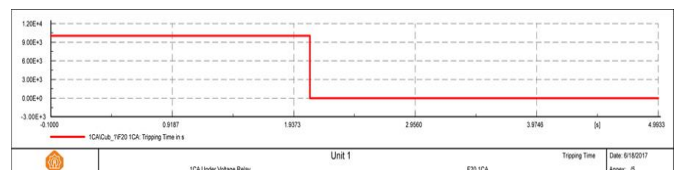
۵. نتایج شبیه‌سازی

در شبکه مورد مطالعه، شبیه‌سازی در حوزه زمان بوسیله پخش‌بار مقداردهی اولیه شده و نرم‌افزار با مقادیر اولیه، حل معادلات و محاسبات تکراری را انجام می‌دهد. در ادامه با تعریف حادثه (قطع تغذیه مصرف داخلی در دایرکشن دو به یک) و تعیین متغیرهای مورد نظر برای انجام مطالعات پایداری و ...، شبیه‌سازی انجام و نتایج در دسترس خواهد بود.

در ادامه، نتایج شبیه‌سازی چنج ناموفق و قطع مصرف داخلی در شرایط موجود و بدون اعمال تغییرات پیشنهادی (که ۱۵ ثانیه برای وصل مجدد بریکر $cb2$ در نظر گرفته شده) با شرایط مشابه با اعمال تغییرات پیشنهادی (بهینه‌سازی و وصل مجدد بریکر $cb2$ پس از ۱۴۰ میلی‌ثانیه شامل تأخیر ۱۰۰ میلی‌ثانیه و حداکثر زمان وصل بریکر خلاً) مقایسه شده است. «شکل ۱۱» 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) را خواهیم داشت. «شکل ۱۲» نیز (زمان عملکرد رله آندر ولتاژ باس ۴۰۰ ولت باس ۱CA (F20 Incoming) را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: تریپ ژنراتور واحد ۱، پس از چنج ناموفق در شرایط موجود در $cb2 \rightarrow cb1$



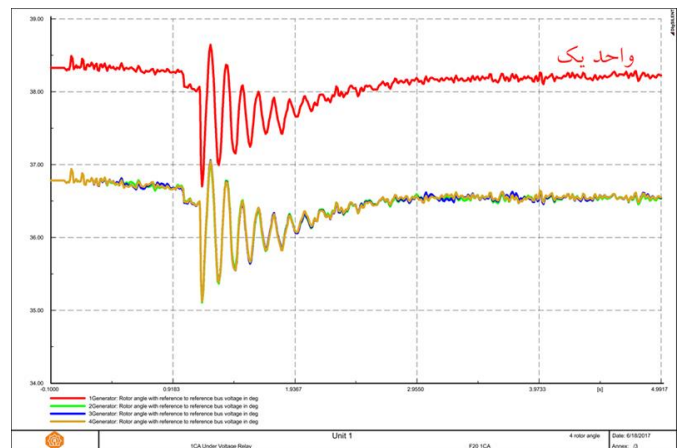
شکل ۱۲: عملکرد رله آندر ولتاژ باس ۴۰۰ ولت ۱CA پس از یک ثانیه از خطا

گزارش‌های حوادث نیروگاه طوس، یکی از مواردی که باعث تریپ واحد از ناحیه سیستم چنج‌آور و سوئیچ‌گیر مصرف داخلی می‌شود، عدم تعویض تغذیه مصرف داخلی از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد در هنگام راه‌اندازی می‌باشد. در این مقاله پس از شبیه‌سازی ژنراتورها (و سیستم کنترلی)، ترانسفورماتورها، الکتروموتورهای ۶kV (با تعریف مدل دینامیکی بار)، باس‌ها، حفاظت‌های جریانی، ولتاژی، فرکانسی و توانی مربوط به تجهیزات فوق و مدل‌سازی کامل مصرف داخلی نیروگاه در نرم‌افزار دیگسایلنت، پیشنهاد گردیده برای جلوگیری از تریپ واحد، تغییراتی در مدارهای منطقی سیستم چنج‌آور انجام و همزمان بهینه‌سازی بریکرهای مرتبط با سیستم چنج‌آور نیز انجام شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که اجرایی شدن این راهکار باعث جلوگیری از تریپ واحد پس از چنج ناموفق در دایرکشن دو به یک (از ترانسفورماتور ایستگاه به واحد) شده و همچنین کمک شایانی به کاهش زمان محدودیت در تولید و هزینه‌های سنگین ناشی از تأخیر در راه‌اندازی واحد در اثر نقص‌های مشابه می‌نماید.

منابع

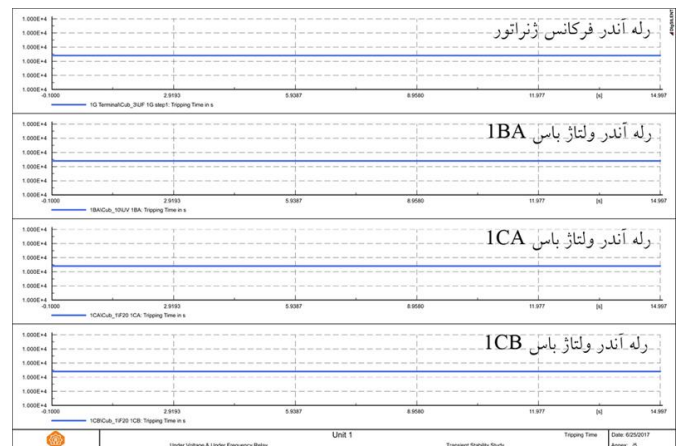
- [1] IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, IEEE Std. 446-1995, December 1995.
- [2] Atser A. Roy, Gesa, F. Newton, Aondoakaa, I. Solomon, "Design and Implementation of a 3-Phase Automatic Power Change-over Switch", American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-3, Issue-9, pp-07-14, 2014.
- [3] اسناد فنی مربوط به نصب سیستم Change Over, مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس.
- [4] نقشه‌ها و اسناد فنی مربوط به سوئیچگیرها، بریکرها، ۶ کیلوولت و ۴۰۰ ولت، الکتروموتورهای ۶ کیلوولت، ترانسفورماتورها و ژنراتورهای نیروگاه طوس (شرکت BBC آلمان)، مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس، ۱۹۸۴.
- [5] گزارش حوادث نیروگاه طوس از سال ۱۳۸۴، دفتر فنی نیروگاه طوس، ۱۳۹۴.
- [6] 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.
- [7] گزارش‌های مستخرج از پروژه "تعیین پارامترهای دینامیکی یک واحد نیروگاه طوس"، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی بهره‌برداری شبکه، کد پروژه: PONBH01, ۱۳۸۳.
- [8] ABB Network Control & Protection, Selection Guides, 1MDB01002-EN, March 1992.
- [9] نقشه‌ها و اسناد فنی مربوط به حفاظت ژنراتور، ترانسفورماتورها و باس‌ها، مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس، ۱۹۸۴.
- [10] هدایت فرشید، عاشرو ذوالفقار، "جایگزینی بریکرهای فشار متوسط گازی و روغنی با بریکرهای خلأ - رتروفیت در یک شبکه برق صنعتی"، کنفرانس منطقه‌ای سیرد، ایران، تهران، دی‌ماه ۱۳۹۱.
- [11] D. Samann, "Retrofitting for medium-voltage switchgear," published in ew vol. 108 (2009).

واحدهای ۲، ۳ و ۴ از طریق ترانسفورماتور واحد مربوطه و مصرف داخلی واحد ۱ از طریق ترانسفورماتور ایستگاه تأمین می‌شود.



شکل ۱۵: زاویه روتور ژنراتورها پس از وصل مجدد بریکر cb2 در صورت اعمال تغییرات پیشنهادی، در cb1→cb2

در «شکل ۱۶» نیز عدم عملکرد رله‌های آندر ولتاژ باس‌های مصرف داخلی ۶kV (1BA) و ۴۰۰ ولت (F20 Incoming) و همچنین عدم عملکرد رله آندر فرکانس ژنراتور (و در نتیجه عدم تریپ) واحد یک نشان داده شده است. نام و محل باس‌ها در «شکل ۱» قابل مشاهده است.



شکل ۱۶: عدم عملکرد رله‌های ولتاژی و فرکانسی بعد از وصل مجدد cb2

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، با ایجاد تغییرات پیشنهادی علاوه بر جلوگیری از تریپ واحد، توانایی سیستم در نگه‌داشتن شرایط بهره‌برداری پایدار در شرایط خطای قطع تغذیه مصرف داخلی افزایش می‌یابد.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل یکی از عیوب موجود در سیستم چنج‌آور نیروگاه طوس و ارائه راه‌حل برای برطرف کردن آن پرداخته شده است. با بررسی