

رله‌های حفاظتی دیجیتال
و
تجهیزات فشارقوی در نیروگاه‌ها

تألیف و ترجمه:

طهماسبقلی شاهرخشاهی



کاوش پرداز

تهران ۱۳۹۰

سرشناسه:	شاهرخشاهی، طهماسبقلی، ۱۳۲۴ -
عنوان و نام پدیدآور:	رله‌های حفاظتی دیجیتال و تجهیزات فشارقوی در نیروگاه‌ها / تألیف طهماسبقلی شاهرخشاهی.
مشخصات نشر:	تهران: کاوش پرداز، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری:	ض، ۶۴۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۱۰۲-۱۲-۲
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	رله‌های محافظ
موضوع:	برق -- سیستم‌ها -- حفاظت
موضوع:	نیروگاه‌های برق -- حفاظت
رده بندی کنگره:	۱۳۹۰ ۸۳ ر ۲ ش / TK ۲۸۶۱
رده بندی دیویی:	۶۲۱/۳۱۷
شماره کتابشناسی ملی:	۲۴۹۹۹۳۲



کاوش پرداز

• رله‌های حفاظتی و تجهیزات فشارقوی در نیروگاه‌ها

- تألیف: طهماسبقلی شاهرخشاهی
- ویراستار: ساناز شاهرخشاهی
- حروفنگاری و صفحه‌آرایی: زهرا فواهایی
- چاپ: ارمغان
- صحافی: آزاده
- شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه
- چاپ اول، تهران، پاییز ۱۳۹۰
- ناشر: کاوش پرداز
- قیمت: ۱۳۰/۰۰۰ ریال
- کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ است
- شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۰۲-۱۲-۲

مراکز پخش کتاب: (۱) شرکت فرانپرو: تلفن ۸۵۵۲۶ - ۸۵۵۲۷۰۰۰

(۲) پخش کتاب ویستا

تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، بن‌بست نیک پور، پلاک ۷ واحد ۲

تلفن: ۶۶۴۸۴۹۵۷ - ۶۶۴۹۹۵۹۱



پخش کتاب ویستا

مقدمه فرانیرو

به دنبال تألیف چهار کتاب در زمینه سیستم‌های حفاظت و کنترل بخش‌های مختلف شبکه سراسری که کلیه آنها در زمینه انتقال و توزیع انرژی الکتریکی بوده است، شرکت مهندسی فرانیرو خوشوقت است که به یاری پروردگار و با استفاده از تلاش و جدیت آقای مهندس طهماسب‌قلی شاهرخشاهی، پنجمین کتاب از سلسله انتشارات فرانیرو در زمینه حفاظت را، به «رله‌های حفاظتی و تجهیزات فشارقوی در نیروگاه‌ها» اختصاص دهد که از نقش ویژه‌ای در تولید مستمر انرژی الکتریکی و حفظ نیروگاه‌ها در مدار و یکپارچگی شبکه سراسری برق برخوردار می‌باشد.

اهمیت فراوان انتشار این کتاب زمانی بیشتر مشخص می‌گردد که بدانیم برخلاف شبکه‌های انتقال و توزیع، عمده منابع موجود در زمینه حفاظت و کنترل نیروگاه‌ها، شامل انتشارات و بروشورهای قدیمی می‌باشد.

امید است چونان گذشته، شرکت مهندسی فرانیرو را در زمینه رشد و تکامل امور تحقیقی و پژوهشی صنعت برق، با انتقادات، ارشادات و پیشنهادات خود یاری رسانید.

شرکت مهندسی فرانیرو

مقدمه مؤلف

کار سنکرن و پارالل ژنراتورها در شبکه‌های سراسری از اهمیت و حساسیت فوق‌العاده برخوردار می‌باشد، تنها در صورت برقراری ارتباط سنکرن ژنراتورها قادر می‌باشند انرژی تولید شده را به شبکه تحویل دهند. در حالیکه ارتباط سنکرن حساس و آسیب‌پذیر بوده، در هر لحظه امکان تبدیل کار سنکرن به آسنکرن موجود می‌باشد. بروز حوادث مختلف به صورت استاتیک و دینامیک، بهره‌براری نادرست بدون تجربه کافی، ارتباط سنکرن را به آسنکرن تبدیل می‌نماید. به همین علت ارتباط سنکرن در عین برخورداری از اهمیت بالا در حفظ پایداری شبکه، به عنوان ارتباط بی‌ثبات و شکننده محسوب می‌شود. بدین ترتیب حفظ ارتباط سنکرن، و اقدام لازم در صورت تبدیل به کار آسنکرن دشوار و پیچیده بوده، مستلزم دقت و تسلط کامل در بهره‌برداری خواهد بود.

بر طبق نتایج تجربی و گزارشات خاموشی‌ها در شبکه‌های مختلف، اولین عارضه در هر گونه اختلال و حادثه را قطع ارتباط سنکرن ژنراتورها و در ساده‌ترین حالت تغییر دور موقت ژنراتور و واقع شدن در شرایط کار آسنکرن تشکیل می‌دهد. گذشته از حوادث روی داده در شبکه، عوامل دیگر نیز کار سنکرن ژنراتورها را تحت تاثیر قرار می‌دهند از جمله قطع تحریک، کاهش جریان تحریک، قدرت راکتیو خطوط خروجی نیروگاه، کار در شرایط زیر تحریک و فوق تحریک، افت ولتاژ و پدیده Voltage Collapse (VC)، بروز عیب در خطوط خروجی، کار نامرتب رگولاتورهای ولتاژ و فرکانس، عدم آشنایی و تسلط کامل به امور بهره‌برداری و کنترل دستی ژنراتورها، عدم وجود دستورالعمل بهره‌برداری و یا وجود دستورالعمل‌های نادرست. مهمترین و عمده‌ترین دشواریها در کار سنکرن ژنراتور در طی بهره‌برداری در شرایط کار زیر تحریک و فوق تحریک مشاهده می‌شود.

همچنانکه اشاره شد ژنراتورها در صورت تبدیل ارتباط سنکرن به آسنکرن قادر به تولید و تحویل انرژی نخواهند بود، حفظ ارتباط سنکرن در شرایط کار فوق تحریک و زیر تحریک در بخشی از دو کتاب منتشر شده: «حفظ، کنترل و تثبیت ولتاژ در شبکه‌های انتقال انرژی» آورده

شده است. با این همه مطالعات صورت گرفته در دو کتاب مورد اشاره کامل نبوده، با توجه به اهمیت موضوع مستلزم مطالعه دقیق‌تر بوده است، لذا در فصول ۶، ۷ و ۸ در کتاب حاضر به آن پرداخته شده است.

با توجه به تاثیر عوامل مورد اشاره در بروز اختلال در کار سنکرن ژنراتورها و احتمال کار اسنکرن ژنراتورها در طی بهره‌برداری و اهمیت فوق‌العاده برقراری ارتباط سنکرن، رله‌ها و المان‌های حفاظتی متعدد به منظور تشخیص شرایط اختلال در کار سنکرن و امکان پیشگیری آن بطور مناسب در نظر گرفته شده‌اند. نظیر المان‌های محدود کننده جریان تحریک، المان‌های کنترل کار دستگاه تنظیم ولتاژ (AVR)، رگولاتورهای فرکانس و ولتاژ با سرعت بالا و غیره. روش نصب و کار این المان‌ها در حفظ ارتباط سنکرن و تامین هماهنگی‌های لازم در کار آنان نیز از اهمیت فوق‌العاده برخوردار می‌باشد. طبق گزارشات ارائه شده، درصد عمده حوادث روی داده با توجه به عدم هماهنگی در کار المان‌های مورد اشاره در دستگاه AVR نتیجه شده‌اند. به همین علت شورای اطمینان برق در ناحیه شمال شرق آمریکا موسوم به Northeast Reliability Council (NERC) دستورالعمل مفصل و دقیق به منظور تنظیم المان‌ها در دستگاه AVR در کلیه نیروگاهها ارائه نموده، کلیه نیروگاهها به منظور جلوگیری از بروز خاموشی و کار نابجای این المان‌ها موظف به اجرای آن بوده، با انجام بازدیدهای مرتب از طرف شورای NERC رعایت دستورالعمل صادر شده و تنظیم هماهنگ المان‌ها کنترل می‌شود، (دستورالعمل NERC و روش تنظیم هماهنگ المان‌ها در فصول ۹ و ۱۰) در بسیاری موارد اختلال در ارتباط سنکرن بدون بروز هرگونه حادثه به صورت استاتیک و در طی کنترل دستی، در هنگام اصلاح ولتاژ در ساعات پیک و یا ساعات نیمه شب در شرایط کار زیر تحریک و فوق تحریک روی داده‌اند. طبق تجربیات شخصی یک علت عمده آن عدم وجود دستورالعمل کامل و یا دستورالعمل نادرست و عدم آگاهی کارکنان به منظور انجام اقدامات لازم و کنترل دستی در ناحیه کار زیر تحریک و فوق تحریک در شرایط ناشی از بروز حادثه و اختلال در شبکه به عنوان شرایط دینامیک بوده است. به عنوان مثال در صورت بروز قطع تحریک و یا بروز نوسانات: Power Swing (PS) در ولتاژ و قدرت تولیدی ژنراتور، اقدام و کنترل دستی مناسب چه می‌تواند باشد؟ آیا قطع دستی ژنراتور به عنوان شرایط اضطراری مناسب است؟ در صورت عدم قطع ژنراتور نوسانات و اختلالات روی داده تا چه فاصله زمانی از نظر کار ژنراتور قابل قبول بوده، با

صدمه به ژنراتور و خاموشی شبکه همراه نخواهد بود. اقدام مناسب با توجه به نوع و مشخصات ژنراتور، نوع حادثه، مشخصات پایداری شبکه و تحمل حرارتی ژنراتور چگونه می تواند باشد. پاسخ این گونه ابهامات قطعی و روشن نبوده، در دستورالعمل ها نیز به آنان اشاره نمی شود، بطوری که انجام اقدام صحیح را از طرف کارکنان غیرممکن می نماید. در هر شبکه برحسب نوع، قدرت و امیدانس معادل شبکه، طول خطوط خروجی نیروگاه و غیره لازم است مطالعات کافی بطور دقیق صورت گرفته، دستورالعمل مناسب بر طبق نتایج مطالعات آماده و ارائه شوند. همچنین به منظور اجرای دستورالعمل آموزش کافی به کارکنان داده شود.

شخصا در دوره های متعددی آموزش در نیروگاه های مختلف در طی ۱۵-۱۰ سال اخیر همواره با سوالات مورد اشاره از طرف کارکنان نیروگاه ها روبرو بوده ام. همچنین در هنگام کار به عنوان مسئول بهره برداری در اطاق کنترل در نیروگاه های تبریز (قراملک) و نیروگاه آلستوم (تهران) ابهامات مشابه همواره مطرح بوده اند. نتایج مطالعات خود را در کتب: «رله های حفاظتی در ژنراتورها»، «رله های حفاظتی در ماشین های سنکرون»، «رله های حفاظتی و کنترل هوشمند و دیجیتال در نیروگاه ها» و کتاب حاضر آورده ام.

چنانکه اشاره شد ضرورت کار واحدهای تولیدی شبکه (ژنراتورها) در ناحیه زیر تحریک و فوق تحریک در کتاب دو جلدی: «حفظ، کنترل و تثبیت ولتاژ» بطور مشروح مورد مطالعه قرار گرفته است. چنانکه در کتب مورد اشاره نشان داده شده است. در شبکه ها فاقد منابع قدرت راکتیو، ژنراتور در نقش تثبیت کننده مطلق ولتاژ ظاهر شده، تنها منابع تامین قدرت راکتیو خطوط را ژنراتورها و کار آنان در شرایط زیر تحریک و فوق تحریک تشکیل می دهد. در این گونه شبکه ها ژنراتورها به صورت دائم در وضعیت زیر تحریک و یا فوق تحریک خارج از محدوده اسمی در حال بهره برداری بوده، بیش از بیش در معرض کار اسنکرون و جدا شدن از شبکه واقع می باشند. این گونه شبکه ها بیش از شبکه ها، شامل منابع قدرت راکتیو در معرض خاموشی ها، ناپایداری ها و کار اسنکرون ژنراتورها واقع می باشند. در این گونه شبکه ها درصد عمده ژنراتورها در دست تعمیر واقع بوده خارج از سرویس می باشند. آنچنانکه احداث نیروگاه های جدید را ضروری می نماید، حال آنکه نیروگاه های احداث شده نیز بطور دائم به منظور تامین قدرت راکتیو مورد نیاز خطوط جدید بکار برده شده، بطور عمده قدرت راکتیو تولید نموده، توانایی تولید قدرت اکتیو آنان کاهش یافته، پاسخگوی رشد بار مصرفی نبوده، به فاصله کوتاه با توجه به کار دائم در

شرایط زیر تحریک و فوق تحریک در ردیف واحدهای خارج از سرویس و در دست تعمیرات قرار می‌گیرند. به علاوه در این شبکه‌ها ژنراتورها بطور مداوم در معرض نوسانات Power Swing (PS) و کار Out-of-step واقع بوده، حفظ کار سنکرن و پایدار شبکه به سختی و با دشواری صورت می‌گیرد.

گذشته از راندمان کار محدود واحدها و کاهش ساعت بهره‌برداری، افت قابل ملاحظه انرژی و خطر بروز پدیده "VC" (واژگونی ولتاژ) در هر لحظه بطور عمده در ساعات پیک موجود می‌باشد.

بخش دیگر حوادث روری داده در نیروگاهها با توجه به مشخصات استثنایی و دشوار جریان‌های عیب در نیروگاهها نتیجه می‌شوند.

مشخصات جریان‌های عیب در نیروگاهها کاملاً متفاوت و متمایز از جریان‌های عیب در نقاط دیگر شبکه بوده، لازم است به عنوان مشخصات استثنایی در نظر گرفته شوند. مشخصات استثنایی جریان‌های عیب در نیروگاهها در فصول اول و دوم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. عمده‌ترین مشخصه جریان‌های عیب را وجود مولفه DC با ثابت زمانی بالا تا حدود $40 \div 30$ سیکل و عوارض ناشی از آن شامل اشباع ترانسفورماتورهای جریان و دشواری قطع جریان‌های عیب در کلیدها تشکیل می‌دهند. دو عامل فوق نیز عوارض ناشی از عیوب روی داده در نیروگاهها را تشدید می‌نمایند.

مولفه DC با ثابت زمانی بالا در عیوب روی داده در محدوده نیروگاهها ظاهر شده، مشکلات بیشتر در تشخیص و رفع عیب را به صورت عدم کار رله‌های حفاظتی و کاهش قدرت قطع کلیدها موجب می‌شود. عدم کار رله‌های حفاظتی با توجه به اشباع ترانسفورماتورهای جریان تحت تاثیر مولفه DC به عنوان: DC Saturation و کاهش قدرت قطع کلیدها با توجه به وجود مولفه DC با درصد بالا تا $60-50\%$ نتیجه می‌شود. مشکلات مورد اشاره در نیروگاهها در رفع عیب به شرح فوق بسیار حاد و جدی بوده، تا آنجا که دستورالعمل‌های خاص به منظور جلوگیری از اشباع ترانسفورماتورهای جریان و افزایش توانایی قطع کلیدها در نیروگاهها تدوین و ارائه شده‌اند. به همین علت نیز در بسیاری موارد از نصب کلید تحت ولتاژ خروجی ژنراتور با توجه به عدم امکان قطع مولفه DC جریان عیب صرفنظر شده، واحد ژنراتور - ترانسفورماتور به صورت یک پارچه یا بلوکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. (کتاب: رله‌های حفاظتی در

ماشین‌های سنکرن).

مشکلات قطع جریان‌های عیب در نیروگاهها محدود به کلید در خروجی ژنراتور نبوده، در کلیدهای توزیع و فشار ضعیف موجود در شبکه مصرف داخلی نیروگاه نیز صدق می‌نماید. همچنانکه اشباع DC ترانسفورماتورهای جریان تحت تاثیر مولفه DC جریان عیب، در پی عیب در هر نقطه در شبکه مصرف داخلی در محدوده نیروگاه روی داده، مشاهده می‌شود. مشکلات فوق در کار تجهیزات فشار قوی بطور عمده در ترانسفورماتورهای GSU و در کلیدها بطور مختصر در طی فصول چهارم و پنجم مورد مطالعه قرار گرفته است.

علاوه بر مشکلات اشباع و دشواری قطع جریان در کلیدها، مولفه DC بالا و ثابت زمانی طولانی آن، فشار مکانیکی و حرارتی قابل ملاحظه را بر تجهیزات واقع در مسیر جریان عیب شامل شینه‌ها، تابلوها، ترانسفورماتورهای جریان، ترانسفورماتورهای قدرت، کلیدها، سکسیونرها و غیره تا چند مرتبه شدیدتر نسبت به جریان‌های معمول عیب با مولفه DC با ثابت زمانی استاندارد $T=45^{ms}$ اعمال می‌نماید. با افزایش قدرت اسمی ژنراتورها شدت عوارض فوق در مقایسه با ژنراتورها با قدرت محدود پیش از پیش افزایش می‌یابد. در فصل سوم عوارض حرارتی و دینامیکی جریان‌های عیب در مقایسه با جریان‌های عیب معمول و جریان عیب استاندارد نشان داده شده است.

با توجه به مراتب فوق در سال‌های اخیر همزمان با افزایش قدرت اسمی ژنراتورها، مقررات، استانداردها و دستورالعمل انجام آزمایشات برای تجهیزات مورد نصب در نیروگاهها شامل کلیدها، ترانسفورماتورها، شینه‌ها متفاوت از تجهیزات در سایر نقاط شبکه تهیه و ارائه شده‌اند. به منظور آشنایی با نمونه مقررات و دستورالعمل‌ها و تاثیر آنان در ساختمان تجهیزات فشار قوی در نیروگاهها در دو فصل از کتاب ساختمان ترانسفورماتورهای واحد یا Generator Step-Up Transformer (GSU) و کلیدهای مورد نصب در خروجی ژنراتورها طبق آخرین مقالات انجمن CIGRE نشان داده شده‌اند. همچنانکه اشاره شد هدف عمده آشنایی با استثنائات طراحی تجهیزات در نیروگاهها طبق استانداردهای جدید بوده است. لذا از پرداختن به جزئیات کار تجهیزات خودداری شده است.

با توجه به پیشرفتهای مداوم در ساخت تجهیزات و ابداع تکنولوژی‌های جدید مسلماً ساخت بهره‌برداری ژنراتورها و تجهیزات فشار قوی در نیروگاهها با تحول عمیق و گسترده رویرو شده،

انتشار کتاب جداگانه، مخصوص تجهیزات مورد نصب در نیروگاهها را ضروری می‌نماید. در کتب دیگر به آن پرداخته خواهد شد.

لازم می‌دانم تشکر مجدد خود را از دوستان عزیزم جناب آقای مهندس حق شناس (مدیرعامل) و جناب آقای مهندس عباس مترجمی و کلیه همکاران ابراز نمایم. کتاب حاضر در ردیف کتب تحقیقاتی و پژوهشی شرکت فرانیرو به چاپ رسیده مباحث مطرح شده برای اولین بار به زبان فارسی در آن آورده شده‌اند. اهمیت کتب چاپ شده از بخش علمی - پژوهشی شرکت فرانیرو، مطالب و مباحث پژوهشی - تحقیقاتی، خارج از مباحث کلاسیک و درسی معمول در کتب دانشگاهی بوده، عناوین اول کتب موبد موضوعات مطرح شده برای اولین بار به زبان فارسی می‌باشد. استقبال بی‌سابقه همکاران و کارشناسان در زمینه برق و انرژی و اینکه همواره جویای کتب خارج شده از چاپ و عنوان آن بوده‌اند، دال بر این ادعا می‌باشد. همچنانکه اشاره شد علت عمده آن را مباحث و موضوعات غیرکلاسیک و درسی منطبق با پیشرفت‌های جدید و تکنولوژی روز تشکیل می‌دهد.

در خاتمه برای شرکت فرانیرو، مسئولین شرکت و همکارانم موفقیت هر چه بیشتر را آرزو مندم.

ط.شاهرخشاهی

تابستان ۱۳۹۰

فهرست مطالب

فصل اول: جریان‌های عیب در نیروگاهها و انتخاب مناسب ترانسفورماتورهای جریان ۱۰۰	۱
مقدمه	۱
دستورالعمل انتخاب ترانسفورماتورهای جریان	۲
II- مقایسه دو روش تجزیه و تحلیل اشباع CT	۷
III- عوامل موثر در اشباع CT	۷
۱-۳- دقت CT	۷
۲-۳- Off-set شدن یا مقدار اولیه مولفه DC و تاثیر آن در اشباع	۸
۴-۳- افزایش یا کاهش جریان در طول مدت برقراری آن	۱۰
۵-۳- نسبت $\frac{x}{r}$ در مدار ثانویه CT و تاثیر آن در شکل منحنی سینوسی جریان ثانویه در پی اشباع CT (سه منحنی متفاوت بریده، مستهلک شونده و مسطح. flat-tapped, decaying, chopped)	۱۱
۶-۳- نسبت $\frac{x}{r}$ در مدار ثانویه CT و تاثیر آن در فاصله زمانی بازیابی اشباع	۱۳
۷-۳- فوران باقیمانده ترانسفورماتور جریان و تاثیر آن در فاصله زمانی بازیابی اشباع CT	۱۵
۸-۳- فاصله زمانی بازیابی اشباع	۱۶
۹-۳- تجزیه و تحلیل شکل منحنی‌های موج در پی اشباع ترانسفورماتور جریان	۱۹
IV- بررسی ضریب off-set شدن DC: "k"	۲۰
۱-۴- ضریب افزایش سطح ولت - زمان یا $(\frac{x}{R} + 1)$ (Volt-time area multiplier)	۲۰
۲-۴- مولفه DC در عیوب	۲۲
۳-۴- ضریب off-set شدن تحت تاثیر مولفه DC یا "k" و اصلاح روش سطح ولت -	

زمان:	۲۶
۴-۴- یادآوری به منظور روش استفاده سطح ولت - زمان اصلاح شده:	۲۷
۷- سایر عوامل موثر در بروز خطاهای کیفی:	۲۹
۱-۵- فیلتر نمودن و اشباع تبدیل کننده A/D:	۲۹
۲-۵- اشباع CT در قبال جریان هجومی ترانسفورماتورها:	۳۱
۶-۱- موارد استثنایی در اشباع ترانسفورماتورهای جریان:	۳۲
۷-۱- نتایج مطالعات:	۳۳
منابع و مراجع فصل اول:	۳۴
فصل دوم: عوارض حرارتی و دینامیک جریان‌های عیب در نیروگاهها	۳۵
مقدمه	۳۵
مشخصات مولفه DC جریان‌های عیب در نیروگاهها	۳۷
قطع مولفه DC جریان‌های عیب در استاندارد IEC:	۳۹
مثال ۱-۲	۴۲
مولفه DC جریان عیب در نیروگاهها	۴۳
برقراری قوس در فاصله کتاکتها در سه پل کلید و مقاومت اهمی آن به عنوان کمیت موثر	
در	۴۵
توانایی کلید در قطع DC جریان عیب تعیین شده است. به عبارت دیگر بروز قوس در فاصله	
کتاکتها	۴۵
منابع و مراجع فصل دوم	۵۷
فصل سوم: دیاگرام GCC در ژنراتورها و خصوصیات آن	۵۹
مقدمه	۵۹
مقررات شوراهای برق در رسم منحنی GCC و تنظیم رله‌های حفاظتی:	۶۰
اطلاعات اولیه مورد نیاز با توجه به اصول کار ژنراتورها	۶۸

۸۱	IV- روش رسم منحنی GCC
۸۳	V- نیازمندیها با توجه به تغییرات ولتاژ طبق آخرین مقررات NERC
۸۵	VI- کار رله‌های حفاظتی ژنراتورها با توجه به ماهیت دینامیک مشخصه‌های ژنراتور
۹۰	VII- نتایج فصل حاضر
۹۲	ضمیمه فصل سوم
۹۵	منابع و مراجع فصل سوم

فصل چهارم: مشخصات ترانسفورماتورهای بالابر واحد Generator-Step-Up Transfomer (GSU)

۹۷	در نیروگاهها
۹۷	مقدمه
۹۸	مشخصات ترانسفورماتورهای GSU در نیروگاهها
۱۰۰	مشخصات ترانسفورماتورهای GSU نوع تک فاز
۱۰۸	۲- طراحی و ساخت ترانسفورماتورها
۱۱۰	۳- تجارب بهره‌برداری
۱۱۴	نتایج بهره‌برداری
۱۱۵	آزمایشات اتصال کوتاه در ترانسفورماتورهای GSU
۱۳۰	کاهش جریان هجومی
۱۳۲	نتایج مطالعات
۱۳۲	منابع و مراجع فصل چهارم

فصل پنجم: نصب و عدم نصب کلید در خروجی ژنراتورها

۱۳۳	مقدمه
۱۳۴	بررسی نصب و عدم نصب کلید در خروجی ژنراتورها
۱۳۷	۳- اضافه ولتاژهای موقت
۱۴۵	ساختمان کلیدها مورد نصب در خروجی ژنراتورها
۱۵۰	مشخصات اولیه مناسب به منظور قطع جریان طبق استانداردهای موجود

۱۵۵	 ساختمان کلید
۱۶۱	 آزمایشات فشار قوی و قطع جریان
۱۶۷	 نتایج آزمایشات
۱۶۷	 منابع و مراجع فصل پنجم
۱۶۹	 فصل ششم: قطع تحریک در ژنراتورها
۱۶۹	 مقدمه
۱۷۰	 تاثیر متقابل قطع تحریک و شبکه
۱۷۳	 تعاریف
۱۷۹	 تشخیص مطمئن قطع تحریک
۱۸۸	 مشخصه کار رله LOF تحت تاثیر تغییرات فرکانس همزمان با بروز اختلالات
۱۹۴	 بررسی کار رله LOF در پی اختلال در شبکه Northeast در نهم نوامبر سال ۱۹۶۵
۱۹۷	 نتایج مطالعات
۱۹۸	 منابع و مراجع فصل ششم
۱۹۹	 فصل هفتم: کار out-of-step یا ناهماهنگ ژنراتورها و تشخیص آن
۱۹۹	 مقدمه
۲۰۰	 کار out-of-step ژنراتورها
۲۰۲	 پیش‌بینی‌ها در قبال شرایط کار (OOS) out-of-step در ژنراتورها
۲۰۶	 مشخصه‌های حذف کار سنکرون ژنراتور
۲۱۱	 تاثیر شرایط out-of-step در کار ژنراتور
۲۱۱	 IV- رله‌های پیش‌بینی شده به منظور قطع ژنراتور در شرایط کار OOS
۲۲۱	 V- حفاظت عملی و واقعی OOS در ژنراتورها
۲۲۴	 یادآوری
۲۲۴	 موارد خاص و قابل توصیه
۲۲۵	 نتایج مطالعات

مثال ۱-۶: رله اندازه گیر امیدانس به منظور تشخیص لغزش رتور در نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای	۲۲۷
Dinorwing در انگلستان	۲۳۵
روش تشخیص لغزش پل	۲۳۷
تنظیمات رله	۲۴۰
نتایج	۲۴۱
منابع و مراجع فصل هفتم	۲۴۳
فصل هشتم: اندازه‌گیری ادمیتانس در رله قطع تحریک	۲۴۳
مقدمه	۲۴۴
رله قطع تحریک با اندازه‌گیری ادمیتانس	۲۵۹
اصول اندازه‌گیری ادمیتانس	۲۶۹
۶- آزمایشات کار رله	۲۷۰
کار حفاظت LOF در شرایط گذرا	۲۷۱
* - شبیه سازی دیجیتال در زمان (RTDS)	۲۷۱
* - برنامه محاسبات شبکه در شرایط گذرا	۲۷۱
مثال	۲۷۳
خلاصه نتایج	۲۷۵
منابع و مراجع فصل هشتم	۲۷۷
فصل نهم: المان‌های محدود کننده زیر تحریک و فوق تحریک	۲۷۷
مقدمه	۲۷۹
کار ژنراتورها در وضعیت زیر تحریک و فوق تحریک	۲۸۰
محدودیت حرارتی و محدودیت پایداری استاتیک ژنراتور	۲۹۰
تحریک در ژنراتور سنکرن	محدود کننده‌های حفاظتی (محدود کننده‌ها به صورت رله‌های حفاظتی) موجود در دستگاه
AVR	۲۹۳

تأثیر قدرت راکتیو در حد پایداری استاتیک ژنراتور.....	۲۹۹
نقش تحریک ژنراتور و محدود کننده‌های آن (OEL, UEL) در کار رله‌های حفاظتی:.....	۳۱۴
نتایج مطالعات.....	۳۲۰
ضمیمه A: اصول محاسبه ثابت‌های K.....	۳۲۲
منابع و مراجع فصل نهم.....	۳۲۸

فصل دهم: تنظیم المان‌های محدود کننده زیر تحریک و فوق تحریک طبق دستورالعمل

NERC.....	۳۲۹
مقدمه.....	۳۲۹
I- اهمیت تنظیم مناسب و هماهنگی‌ها در محدود کننده‌های زیر تحریک و فوق تحریک.....	۳۲۹
II- نقش کنترل تحریک در ظرفیت ژنراتورها.....	۳۳۱
III- اصول ماشین و اطلاعات شبکه به منظور انجام محاسبات.....	۳۳۳
IV- هماهنگی با دستگاه AVR در شرایط کار زیر تحریک.....	۳۳۳
V- هماهنگی رله LOF در ژنراتور.....	۳۴۱
VI- هماهنگی رله دیستانس Back-Up ژنراتور ۲۱.....	۳۴۹
B- تنظیم المان Zone-2 حفاظت Back-Up در مثال عددی: بند اول: تنظیم امپدانس ظاهری.....	۳۵۲
VII- هماهنگی کار دستگاه AVR و المان اضافه تحریک ژنراتور.....	۳۵۳
VIII- نتایج کلی.....	۳۶۴
اصطلاحات.....	۳۶۵
منابع و مراجع فصل دهم.....	۳۶۷

فصل یازدهم: تثبیت کننده شبکه یا (Power System Stabilizer (PSS

مقدمه.....	۳۶۹
کار پایدار و ناپایدار ژنراتورها و اصول پایداری استاتیک در شبکه‌های سراسری.....	۳۶۹
تأثیر سیستم تحریک در تامین پایداری در شرایط اضطراری (دینامیک).....	۳۷۶

۳۷۷	پایداری سیگنال ناچیز
۳۸۱	دستگاه PSS
۳۸۳	استهلاک نوسانات الکترومکانیکی
۳۸۵	تثبیت کننده‌ها بر مبنای سرعت
۳۸۶	دستگاههای PSS با ورودی دوگانه
۳۸۸	سیگنال سرعت
۳۹۲	محدود کننده ولتاژ ترمینال
۳۹۳	مطالعات تجربی
۳۹۶	نتایج مطالعات
۳۹۷	مثال: کار ژنراتورها مجهز به PSS در شبکه سراسری کشور المان
۴۰۵	منابع و مراجع فصل یازدهم
۴۰۷	فصل دوازدهم: کار ژنراتورها در شرایط تحریک سرخود یا Self-excitation
۴۰۷	مقدمه
۴۰۸	کار ژنراتورها در شرایط Self-Excitation
۴۲۴	تعیین حد کمپانسه کردن خازنی پارامترهای خط انتقال از نظر شرایط کار SE ژنراتورها
۴۲۶	منابع و مراجع فصل دوازدهم
۴۲۷	فصل سیزدهم: اندازه گیری Synchrophasor در خطوط خروجی نیروگاهها
۴۲۷	مقدمه
۴۲۷	روش اندازه گیری Synchrophasor و تاثیر آن در کار رله‌های حفاظتی در خطوط خروجی نیروگاهها
۴۲۹	نمونه برداری و پردازش سیگنال‌ها
۴۳۲	اندازه گیری Synchronized Phasor
۴۳۳	روش کار المان اندازه گیر Synchrophasor در طول مدت برقراری عیب
۴۴۴	نتایج مطالعات

منابع و مراجع فصل سیزدهم	۴۴۷
فصل چهاردهم: منابع تغذیه نیروگاهها به منظور راه‌اندازی (Generator Black Start) .	۴۴۹
مقدمه	۴۴۹
۱- سوابق آزمایشی	۴۵۱
II- منظور اولیه پیش‌بینی رله‌های حفاظتی یا سیستم حفاظتی در شبکه SPR	۴۵۳
III- دستگاه Synchrophasor	۴۵۶
IV- نتایج کار رله Synchrophasor در طی آزمایش:	۴۵۷
V- نتایج و توصیه‌ها:	۴۶۲
VI- کار Synchrophasor در شبکه SRP در آینده	۴۶۳
منبع و مراجع فصل چهاردهم	۴۶۵
فصل پانزدهم: حوادث روی داده در پی کار رله‌های حفاظتی ژنراتورها	۴۶۷
مقدمه	۴۶۷
کار نابجای رله‌های حفاظتی	۴۶۷
حفاظت دیفرانسیل در ژنراتورها	۴۷۰
گزارشات حوادث کار رله دیفرانسیل در نیروگاهها	۴۸۴
حفاظت زمین سیم‌پیچی‌های استاتور	۴۸۹
حفاظت مولفه معکوس در ژنراتورها	۴۹۶
حفاظت در قبال تغییرات فرکانس	۵۰۰
برق دار شدن اتفاقی و اشتباهی ژنراتور	۵۰۹
اضافه تحریک و اضافه ولتاژ در ژنراتورها	۵۱۵
منابع و مراجع فصل پانزدهم	۵۲۷
ضمائم	۵۲۹

ضمیمه ۱ / مربوط به فصل سوم: روش رسم منحنی GCC ژنراتورها در هیدروژنراتورها در حال بهره‌برداری ضرورت رسم منحنی واقعی GCC بطریق تجربی در هیدروژنراتورها. ۵۳۱	۵۳۱
اصول و روش رسم دیاگرام واقعی GCC در هیدروژنراتورها. ۵۳۲	۵۳۲
تعیین و روش رسم دیاگرام واقعی GCC. ۵۳۶	۵۳۶
۴- محدودیت‌ها در باند دوم دیاگرام واقعی GCC. ۵۳۹	۵۳۹
۵- ترکیب نتایج تجربی. ۵۴۲	۵۴۲
منبع: ۵۴۴	۵۴۴

ضمیمه ۲ / مربوط به فصل ششم: حفاظت قطع تحریک در ژنراتورهای سنکرون جدید ۵۴۵	۵۴۵
مقدمه. ۵۴۵	۵۴۵
بررسی مشخصه کار رله دیستانس mho و روش تنظیم آن به منظور تشخیص قطع تحریک. ۵۴۶	۵۴۶
کار ژنراتور در طول مدت برقراری نوسانات Swing و گذرا. ۵۵۷	۵۵۷
نوسانات ناپایدار (Unstable Swings). ۵۶۰	۵۶۰
کار رله در طول مدت اختلالات با فرکانس پایین. ۵۶۲	۵۶۲
حفاظت‌های در نظر گرفته شده برای ژنراتور. ۵۶۶	۵۶۶
منبع ضمیمه شماره ۲. ۵۶۹	۵۶۹

ضمیمه ۳ / مربوط به فصل هشتم: نمایش حد پایداری استاتیک در صفحه مختصات $\frac{p}{n^2}$ ، $\frac{q}{n^2}$. ۵۷۱	۵۷۱
ضرائب تنظیم در رگولاتور ولتاژ با سه مدار بسته. ۵۷۱	۵۷۱
مثال عددی. ۵۷۶	۵۷۶
منبع ضمیمه شماره ۳. ۵۸۰	۵۸۰

ضمیمه ۴ / مربوط به فصول ۶، ۷، ۸ و ۹: تئوری اندازه‌گیری امپدانس ورودی ژنراتور در محل ترمینال‌ها در صفحه مختصات $\frac{1}{x}$ و $\frac{1}{y}$. ۵۸۱	۵۸۱
---	-----

نتایج مطالعات ۵۹۸

منبع: ۵۹۹

ضمیمه ۵ / مربوط به فصل ۸: رله اندازه گیر هدایت راکتیو سیم پیچی‌ها به منظور تشخیص

قطع تحریک در ژنراتورها ۶۰۱

نتایج بدست آمده ۶۰۶

منبع ۶۰۶