

اصول و مبانی بازیابی شبکه برق

(مطالعه موردی: فرایند بازیابی شبکه برق هرمزگان)

حمیدرضا فیروزی

سیدحمید مرتضوی

نوریه ظهیرالدین

مهتاب خلیلی فر

سیدمحمد شهرتاش

اللَّهُمَّ إِنِّي أَسْأَلُكَ مِنْ عِلْمِكَ بِأَنْفَعِهِ

خدایا از تو نافذترین (و موثرترین) دانش تو را
(برای خودم) درخواست می کنم

وَكُلِّ عِلْمِكَ نَافِعٌ

و البته تمام دانش تو نافذ و موثر است

اللَّهُمَّ إِنِّي أَسْأَلُكَ بِعِلْمِكَ كُلِّهِ

(پس) خدایا من از تو تمام دانش تو را می خواهم.

- فرازی از دعای سحر

سرشناسه	کلینیک برق ایران
عنوان و نام پدیدآور	اصول و مبانی بازیابی شبکه برق / حمیدرضا فیروزی، سید حمید مرتضوی یزدی، نوریه ظهیرالدین، مهتاب خلیلی فر و سید محمد شهرتاش
مشخصات نشر	تهران، شهرتاش، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری	۴۱۰ ص: مصور، جدول.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۸۲۸۲-۶۶-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
موضوع	بازیابی شبکه برق، راهبری شبکه برق، صنعت برق
شناسه افزوده	قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری از سامانه‌های قدرت
شناسه افزوده	شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان
شناسه افزوده	شرکت مدیریت شبکه برق ایران
رده بندی کنگره	TK ۳۰۰۱
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۹
شماره کتابشناسی ملی	۸۹۰۷۲۰۸

ناشر:

عنوان کتاب:

نویسندگان:

نوبت چاپ:

طرح جلد:

چاپ و صحافی:

شابک:

قیمت:

شمارگان:

نشر شهرتاش، ۱۴۰۱

اصول و مبانی بازیابی شبکه برق

حمیدرضا فیروزی، سید حمید مرتضوی یزدی، نوریه ظهیرالدین،

مهتاب خلیلی فر و سید محمد شهرتاش

اول ۱۴۰۱

استودیو شهرتاش

چاپ کهن

۹۷۸-۹۶۴-۸۲۸۲-۶۶-۵

۱۲۰۰۰۰ ریال

۳۰۰ جلد



کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به کلینیک برق ایران است. هرگونه نسخه‌برداری (به جز اقتباس در گیومه به‌همراه ارجاع) بدون مجوز کتبی از صاحب اثر ممنوع و از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری است.

پیشگفتار

اگر چه در سالیان اخیر شبکه‌های برق در سطوح مختلف آن گسترش وسیعی یافته‌اند اما با توجه به افزایش تقاضای ناشی از عواملی نظیر تغییر اقلیم و مبحث گرمایش جهانی، تغییر نوع و الگوی مصرف و عوامل متعدد دیگری از سوی مصرف‌کنندگان، افق‌های متفاوتی را در زمینه همگام و متوازن بودن تولید و مصرف ترسیم نموده است. این موضوع باعث گردیده است در برخی از زمان‌ها نقطه کار شبکه برق در نقطه نزدیکتری به حد پایداری شبکه قرار داشته باشد. این امر بر ضرورت اتخاذ یک برنامه بازیابی مناسب در کوتاهترین زمان ممکن با در نظر گرفتن تمامی ملاحظات بهره‌برداری تاکید می‌نماید.

کتاب حاضر برگرفته از یک پژوهش مهم و اثرگذار با عنوان "ارائه الگوریتم و دستورالعمل جهت بازیابی شبکه برق هرمزگان در حالت خاموشی سراسری برای دو وضعیت شبکه‌ای و متصل به شبکه سراسری" توسط استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید محمد شهرتاش اندیشمند مطرح در حوزه بازیابی و هوشمندسازی شبکه‌های برق در عصر کنونی می‌باشد، که در قالب یک کتاب تحت عنوان "اصول و مبانی بازیابی شبکه برق (مطالعه موردی: فرایند بازیابی شبکه برق هرمزگان)" به همراه همکاران گرانقدرشان تألیف که توسط کمیته تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان به عنوان منبع و مرجعی برای آشنایی هرچه بیشتر مهندسين شرکت‌های برق منطقه‌ای و شرکت‌های توزیع نیروی برق کشور، دانشجویان، تصمیم‌گیران و علاقه‌مندان به بازیابی شبکه برق کشور مورد تأیید قرار گرفته و تحت نظر دفتر تحقیقات و کنترل کیفیت شرکت ویرایش و با مساعدت و پشتیبانی دانشگاه علم و صنعت ایران به مرحله انتشار رسیده است.

فرشاد آدینه‌پور

رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل

و رئیس کمیته تحقیقات

شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان

مقدمه

بازیابی شبکه برق فرایندی پیچیده، زمان‌بر و نیازمند مدیریت، دقت و سرعت کافی در اجرا و مستلزم بکارگیری دانش‌های مختلف در حوزه‌های تولید و انتقال و در رژیم‌های ماندگار، گذرا و هارمونیکی است. خاموشی جزئی و یا سراسری شبکه‌های برق امری اجتناب‌ناپذیر بوده، هست و خواهد بود و بر این اساس موضوع بازیابی شبکه‌های برق امری مهم و آشنایی با آن برای علاقمندان به مطالب درباره سیستم‌های قدرت و کسب مهارت در آن برای دست اندرکاران صنعت برق امری ضروری است.

کتاب حاضر ثمره همکاری مشترک شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان، شرکت مدیریت شبکه برق ایران و کلینیک برق ایران است، که در پی قرارداد تحقیقاتی "ارائه الگوریتم و دستورالعمل جهت بازیابی شبکه هرمزگان در حالت خاموشی سراسری برای دو وضعیت شبکه ای و متصل به شبکه سراسری" تالیف و تدوین شده است. نویسندگان کتاب تلاش نموده‌اند مطالب تخصصی و کاربردی در ارتباط با بازیابی شبکه‌های برق را بصورت محوربندی شده و مبتنی بر پایه‌های علمی و تجارب عملی ارائه نمایند.

کلینیک برق ایران امیدوار است با انتشار این کتاب گامی دیگر در راستای ارتقاء دانش تخصصی خوانندگان اعم از مدیران و متخصصین صنعت برق و همچنین دانشجویان و محققین دانشگاه‌های کشور برداشته باشد؛ و در این راستا، بر خود وظیفه می‌داند از حمایت همه‌جانبه مدیریت محترم عامل شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان جناب آقای مهندس فرشاد آدینه‌پور و همکاری موثر مدیر دفتر تحقیقات جناب آقای مهندس ناصر قندهاری در انتشار این کتاب، قدردانی نماید. همچنین شایسته است در پیشبرد این کتاب از همکاری کارشناسان شرکت برق منطقه‌ای هرمزگان سرکار خانم مهندس شیلا تورنگ و جناب آقای مهندس صالح ملکپور و اعضای آزمایشگاه تحقیقاتی رله و حفاظت در دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران خانم مهندس پروا سوری و آقایان دکتر علیرضا احمدی‌منش، دکتر صابر ارمغانی، مهندس شوان مرادی، مهندس منصور مهرآبادی، مهندس سیدعلی بنی‌عقیل، مهندس بهنام خلت‌آبادی فراهانی، مهندس وحید راغپور و مهندس محمد سویدی، تشکر گردد.

اما مهمتر و بالاتر از همه شکر خدای مهربان است که توفیق این خدمتگزاری به جامعه علمی و صنعتی را به همه ما (اعم از حامیان و پدیدآورندگان) اعطا نمود و از او درخواست می‌کنیم ما را در کلینک برق ایران در انجام فعالیت‌های علمی و تخصصی یاری نماید و با لطف و رحمت واسعه خودش به انجام این فعالیت‌ها، از جمله انتشار این کتاب، برکت عنایت کند تا نقش سازنده‌ای را برای صنعت برق و جامعه علمی کشور ایفا نماییم.

کلینک برق ایران

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱- مفاهیم مهم در بازیابی
۸	۲-۱- بازیابی شبکه برق
۹	۳-۱- اهداف بازیابی
۱۳	فصل دوم: خاموشی گسترده در شبکه برق
۱۴	۱-۲- فرایند وقوع یک خاموشی در شبکه برق
۱۷	۲-۲- عوامل مؤثر در وقوع خاموشی در شبکه برق
۲۳	۳-۲- جلوگیری از وقوع خاموشی در شبکه برق
۲۴	۴-۲- نمونه‌هایی از وقوع خاموشی در شبکه‌های برق مختلف
۲۴	۱-۴-۲- خاموشی سال ۱۳۸۰ ایران
۲۵	۲-۴-۲- خاموشی سال ۱۳۸۲ ایران
۲۶	۳-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۰۳ آمریکا
۲۹	۴-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۰۳ ایتالیا
۳۱	۵-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۲ هند
۳۶	۶-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۳ فیلیپین
۳۶	۷-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۵ پاکستان
۳۷	۸-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۵ ترکیه
۳۹	۹-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۷ پورتوریکو
۳۹	۱۰-۴-۲- خاموشی سال ۲۰۱۹ ونزوئلا
۴۱	فصل سوم: فرایند بازیابی شبکه برق

- ۳-۱- نگاه کلان به بازیابی شبکه برق ۴۳
- ۳-۲- انتخاب راهبرد بازیابی ۴۶
- ۳-۲-۱- دسته‌بندی راهبردها از منظر رویکرد در نحوه راهبری ۴۹
- ۳-۲-۲- دسته‌بندی راهبردها از منظر رویکرد در تأمین توان ۵۲
- ۳-۳- اقدامات اولیه بازیابی ۵۷
- ۳-۳-۱- ارزیابی دقیق وضعیت شبکه ۵۸
- ۳-۳-۲- آماده‌سازی شبکه برای بازیابی ۶۰
- ۳-۴- روش بازیابی ۶۲
- ۳-۴-۱- نحوه انتخاب روش بازیابی شبکه اصلی برق ۶۳
- ۳-۴-۲- انواع الگوهای روش بازیابی ۶۳
- ۳-۴-۲-۱- روش جزیره مرکزی ۶۴
- ۳-۴-۲-۲- روش ستون فقراتی ۶۵
- ۳-۴-۲-۳- روش کمک از بیرون ۶۶
- ۳-۴-۲-۴- روش ترکیبی ۶۶
- ۳-۵- برنامه اجرایی بازیابی ۶۷
- ۳-۶- اطلاعات موردنیاز در بازیابی ۷۵
- ۳-۷- ابعاد فنی و مدیریتی در فرایند بازیابی ۷۷
- فصل چهارم: ابزارهای پشتیبانی در بازیابی شبکه برق ۷۹
- ۴-۱- دستورالعمل‌های بازیابی ۸۲
- ۴-۲- آموزش و تمرین‌های دورمیزی ۸۶
- ۴-۲-۱- گام اول، انتخاب مدیر و دستیار تمرین ۸۸
- ۴-۲-۲- گام دوم، تعیین هدف برای تمرین ۸۸
- ۴-۲-۳- گام سوم، تعیین کارگروه برنامه‌ریزی ۸۹
- ۴-۲-۴- گام چهارم، تأمین پشتیبانی تمرین ۹۰
- ۴-۲-۵- گام پنجم، تعیین ابعاد تمرین ۹۱

- ۹۳ ۴-۲-۶- گام ششم، انتخاب شرکت‌کنندگان
- ۹۳ ۴-۲-۷- گام هفتم، تدوین سناریوی تمرین
- ۹۵ ۴-۲-۸- گام هشتم، طراحی تمرین
- ۹۶ ۴-۲-۹- گام نهم، پیش‌تمرین و آمادگی نهایی
- ۹۷ ۴-۲-۱۰- گام دهم، پیاده‌سازی تمرین
- ۹۸ ۴-۲-۱۱- گام یازدهم، اقدامات و ارزیابی بعد از تمرین
- ۹۹ ۴-۳-۱- ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری
- ۱۰۱ ۴-۳-۱- سیستم‌های پشتیبان در تصمیم‌سازی برای بازیابی
- ۱۰۲ ۴-۳-۲- ویژگی‌های سیستم مطلوب پشتیبان در تصمیم‌سازی برای بازیابی
- ۱۰۴ ۴-۳-۳- ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم پشتیبان در تصمیم‌سازی در شرایط بازیابی
- ۱۰۸ ۴-۴- مستندسازی فرایند اجرای بازیابی
- ۱۱۱ فصل پنجم: نیروگاه‌های خودراه‌انداز و نقش آن‌ها در فرایند بازیابی
- ۱۱۳ ۵-۱-۱- انواع نیروگاه‌ها در شبکه و محدودیت‌های آن‌ها در بازیابی شبکه
- ۱۱۹ ۵-۱-۱- محدودیت‌های نیروگاه‌ها در بازیابی شبکه
- ۱۲۲ ۵-۲- الزامات نیروگاه‌های خودراه‌انداز
- ۱۲۵ ۵-۳- انتخاب نیروگاه‌های خودراه‌انداز در شبکه
- ۱۲۵ ۵-۳-۱- مشخصات و شرایط نیروگاه‌های خودراه‌انداز
- ۱۲۹ ۵-۳-۲- طراحی یک سیستم تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی نیروگاه‌های خودراه‌انداز
- ۱۳۴ ۵-۴- آزمون خودراه‌اندازی
- ۱۳۷ ۵-۵- پدیده خودتحریکی
- ۱۴۰ ۵-۵-۱- شرایط بروز پدیده خودتحریکی ژنراتورها
- ۱۴۲ ۵-۵-۲- تحلیل خودتحریکی ژنراتورها
- ۱۴۵ ۵-۵-۳- انواع خودتحریکی
- ۱۴۹ ۵-۵-۴- ابزارهای پیش‌بینی وقوع خودتحریکی در فرایند بازیابی
- ۱۵۳ ۵-۵-۵- عوامل پیشگیرانه از وقوع خود تحریکی ژنراتورها

- ۱۵۵ شبیه‌سازی پدیده خودتحریکی ۶-۵-۵
- ۱۶۱ فصل ششم: کنترل ولتاژ در فرایند بازیابی ۶-۵-۶
- ۱۶۲ ۱-۶ کنترل ولتاژ در شبکه ۶-۵-۱
- ۱۶۴ ۱-۱-۶ اضافه‌ولتاژ ۶-۵-۱-۱
- ۱۶۶ ۲-۱-۶ کاهش ولتاژ ۶-۵-۱-۲
- ۱۶۷ ۲-۶ مُدهای کنترل ولتاژ ۶-۵-۲
- ۱۶۸ ۳-۶ ذخیره دینامیک توان راکتیو در شبکه ۶-۵-۳
- ۱۶۹ ۴-۶ محاسبات و مطالعات کنترل ولتاژ و توان راکتیو در شرایط بازیابی ۶-۵-۴
- ۱۷۱ ۵-۶ ملاحظات در برقدار کردن خطوط در فرایند بازیابی ۶-۵-۵
- ۱۷۴ ۶-۶ اضافه‌ولتاژهای ماندگار در فرایند برقدار کردن خط ۶-۵-۶
- ۱۷۷ ۱-۶-۶ عوامل مؤثر بر اضافه‌ولتاژهای ماندگار در فرایند برقدار کردن خط ۶-۵-۱-۶
- ۱۷۸ ۲-۶-۶ روش‌های کاهش اضافه‌ولتاژهای ماندگار در فرایند برقدار کردن خط ۶-۵-۲-۶
- ۱۷۹ ۳-۶-۶ روش محاسبه و ارزیابی اضافه‌ولتاژهای با فرکانس شبکه ۶-۵-۳-۶
- ۱۹۱ ۷-۶ اضافه‌ولتاژهای گذرا در فرایند برقدار کردن خط ۶-۵-۷
- ۱۹۲ ۱-۷-۶ عوامل مؤثر بر اضافه‌ولتاژهای گذرا ناشی از کلیدزنی در فرایند برقدار کردن خط .. ۶-۵-۱-۷
- ۲۰۳ ۲-۷-۶ روش‌های کنترل اضافه‌ولتاژهای گذرا ناشی از کلیدزنی در فرایند برقدار کردن خط ۶-۵-۲-۷
- ۲۰۴ ۳-۷-۶ روش محاسبه و ارزیابی اضافه‌ولتاژهای گذرا ۶-۵-۳-۷
- ۲۱۱ ۸-۶ ملاحظات در برقدار کردن ترانسفورماتورها در فرایند بازیابی ۶-۵-۸
- ۲۱۴ ۱-۸-۶ جریان هجومی هنگام برقدار کردن ترانسفورماتور ۶-۵-۱-۸
- ۲۱۵ ۲-۸-۶ راهکارهای کاهش جریان هجومی هنگام برقدار کردن ترانسفورماتور ۶-۵-۲-۸
- ۲۲۴ ۳-۸-۶ اضافه شارشیدن ترانسفورماتورها در فرایند بازیابی ۶-۵-۳-۸
- ۲۲۵ ۹-۶ اضافه‌ولتاژهای موقت در فرایند بازیابی ۶-۵-۹
- ۲۲۷ ۱-۹-۶ عوامل مؤثر بر اضافه‌ولتاژهای موقت در فرایند بازیابی ۶-۵-۱-۹
- ۲۳۱ ۲-۹-۶ روش‌های کنترل اضافه‌ولتاژهای موقت در فرایند بازیابی ۶-۵-۲-۹
- ۲۳۹ ۳-۹-۶ روش محاسبه و ارزیابی اضافه‌ولتاژهای هارمونیکی ۶-۵-۳-۹

۲۴۹	فصل هفتم: کنترل فرکانس در فرایند بازیابی و بازیابی بار
۲۵۱	۱-۷- کنترل فرکانس در شبکه برق
۲۵۹	۱-۱-۷- پاسخ یا رفتار فرکانسی
۲۶۵	۲-۱-۷- مشکلات انحراف در فرکانس
۲۶۸	۲-۷- حفظ ذخیره توان اکتیو به هنگام بازیابی
۲۷۰	۳-۷- ملاحظات ذخیره توان اکتیو به هنگام بازیابی
۲۷۴	۴-۷- تخمین و مدل بار سرد بعد از وقوع خاموشی
۲۷۶	۱-۴-۷- عوامل مؤثر بر وصل بارهای سرد
۲۸۳	۲-۴-۷- تخمین و مدل بار سرد
۲۹۰	۵-۷- ملاحظات عمومی تعادل بار-تولید شبکه در بازیابی
۲۹۳	۶-۷- محاسبات کنترل فرکانس در بازیابی
۲۹۴	۱-۶-۷- مثال عددی
۲۹۸	۱-۱-۶-۷- تأثیر بارگیری بر رفتار فرکانسی
۳۰۰	۲-۱-۶-۷- تأثیر نقطه کار اولیه شبکه بر رفتار فرکانسی
۳۰۲	۳-۱-۶-۷- تأثیر پله بارگیری بار بر رفتار فرکانسی
۳۰۳	۴-۱-۶-۷- تأثیر تعداد واحدهای در مدار شبکه بر رفتار فرکانسی
۳۰۵	۵-۱-۶-۷- تفاوت دروپ واحدهای شبکه در رفتار فرکانسی شبکه
۳۰۸	۶-۱-۶-۷- تفاوت ظرفیت واحدهای شبکه در رفتار فرکانسی شبکه
۳۰۹	۲-۶-۷- محاسبه انحراف فرکانس شبکه پس از عملکرد گاورنر واحدها
۳۱۰	۱-۲-۶-۷- محاسبه میزان مشارکت واحدها
۳۱۱	۳-۶-۷- محاسبه ذخیره توان اکتیو در برنامه بازیابی
۳۱۹	فصل هشتم: ملاحظات حفاظتی در فرایند بازیابی
۳۲۱	۱-۸- بررسی طرح‌های حفاظتی حین بازیابی
۳۲۳	۲-۸- حفاظت ولتاژی
۳۲۵	۳-۸- ملاحظات حفاظت‌های ژنراتور

- ۳۲۶ ۱-۳-۸- حفاظت‌های فرکانسی
- ۳۳۱ ۲-۳-۸- حفاظت اضافه شار
- ۳۳۲ ۳-۳-۸- حفاظت در برابر عدم تعادل بار
- ۳۳۴ ۴-۳-۸- حفاظت امیدانسی
- ۳۳۵ ۵-۳-۸- حفاظت در شرایط زیرتحریک
- ۳۳۵ ۶-۳-۸- حفاظت تحریک
- ۳۳۶ ۷-۳-۸- حفاظت برگشت توان یا جلوگیری از موتوری شدن ژنراتور
- ۳۳۷ ۴-۸- ملاحظات حفاظت‌های خط
- ۳۳۷ ۱-۴-۸- حفاظت امیدانسی
- ۳۳۸ ۲-۴-۸- رله سنکرون چک
- ۳۳۹ ۵-۸- ملاحظات حفاظت‌های ترانسفورماتور
- ۳۳۹ ۱-۵-۸- حفاظت دیفرانسیل
- ۳۴۰ ۲-۵-۸- حفاظت اضافه شار
- ۳۴۱ ۳-۵-۸- حفاظت‌های جریانی
- ۳۴۲ ۶-۸- دستورالعمل‌ها و اسناد بالادستی پیرامون طرح‌های حفاظتی
- فصل نهم: نمونه طراحی و اجرای یک برنامه بازیابی شبکه برق (مطالعه موردی شبکه برق
هرمزگان) ۳۴۷
- ۳۴۸ ۱-۹- فرایند بازیابی شبکه
- ۳۴۹ ۱-۱-۹- اقدامات اولیه
- ۳۵۱ ۲-۱-۹- مسائل فنی بازیابی شبکه برق
- ۳۵۶ ۳-۱-۹- مسیرهای مجاز بازیابی
- ۳۶۱ ۴-۱-۹- بازنگری در برنامه بازیابی
- ۳۶۱ ۲-۹- برنامه بازیابی شبکه برق هرمزگان
- ۳۶۱ ۱-۲-۹- مشخصات شبکه برق هرمزگان برای بازیابی
- ۳۶۳ ۲-۲-۹- ملاحظات در انتخاب ایستگاه‌های درگاهی برای بازیابی شبکه برق هرمزگان

۳-۲-۹- ملاحظات در انتخاب مسیرهای برق‌دار کردن شبکه برق هرمزگان ۳۶۶

۴-۲-۹- نمونه برنامه اجرایی بازیابی شبکه برق هرمزگان ۳۶۷