

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سیستم‌های زمین و رفتار شبکه‌های برق

تألیف: همایون حایری

سرشناسه:	حایری، همایون، ۱۳۳۶-
عنوان و نام پدیدآور:	سیستم‌های زمین و رفتار شبکه‌های برق/تألیف همایون حایری.
مشخصات نشر:	تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری:	ل، ۲۳۰ص: مصور.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۱۷۱-۰۵-۰ ریال: ۱۲۰,۰۰۰
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا	
موضوع:	برق -- شبکه‌ها
موضوع:	برق -- خطوط
شناسه افزوده:	پژوهشگاه نیرو
رده‌بندی کنگره:	TK۴۵۴/۲/ح۲س۹ ۱۳۹۰
رده‌بندی دیویی:	۶۲۱/۳۱۹۲
شماره کتابشناسی ملی:	۲۴۰۷۴۰۸

نام کتاب:	سیستم‌های زمین و رفتار شبکه‌های برق
مؤلف:	مهندس همایون حایری
ناشر:	وزارت نیرو-پژوهشگاه نیرو
چاپخانه:	چاپ میران
شمارگان:	۲۰۰ جلد
نوبت چاپ:	دوم/تابستان ۱۳۹۱
قیمت:	۱۲۰,۰۰۰ ریال
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۱۷۱-۰۵-۰

پیشگفتار

در شبکه‌های قدرت، اصلی‌ترین عوامل تعیین‌کننده رفتار شبکه در شرایط اتصالی‌های زمین، وقوع اضافه ولتاژها، انواع پایداری، پدیده‌های کیفیت توان و ...، سیستم زمین و نوع زمین کردن می‌باشد. از آنجایی که تاکنون در مطالعات انجام شده و کتب مختلف، سیستم زمین به عنوان یک موضوع مجزا مطرح نگردیده و صرفاً به صورت بخشی از مطالعات سیستم‌های قدرت آورده شده است؛ لذا در کتاب پیش رو این موضوع به صورت یک مقوله کاملاً جداگانه و متمرکز مطرح و سعی گردیده است با مطالعه و بررسی رفتار شبکه در شرایط مختلف و مقایسه نقاط ضعف و قوت هر یک از شرایط و همچنین تحلیل یک سری پدیده‌های واقعی در شبکه موجود، دیدگاه مناسبی در انتخاب روش بهینه‌ی زمین کردن شبکه‌های مختلف ارائه شود.

در فصل اول، ضمن تشریح اهداف زمین کردن در شبکه‌های قدرت و نقش و جایگاه آن و تبیین چگونگی انواع زمین کردن، به محاسبات مورد نیاز نیز پرداخته شده است.

در فصل دوم، اصول اجرایی سیستم زمین در شبکه‌های برق شامل نیروگاه‌ها، پست‌های فشار قوی، خطوط هوایی و ...، بیان شده است.

در فصل سوم، تحلیل کاملی از رفتار پایدار و گذرای شبکه برق با توجه به نوع زمین کردن به عمل آمده است، به طوری که با ارائه مباحث تحلیلی و محاسباتی و بررسی پدیده‌های مختلف در شبکه‌های موجود در ارتباط با انواع زمین کردن و همچنین تعیین مدار معادل دقیق، بتواند رفتارهای گذرای شارژ و

تخلیه در شبکه موردنظر را نشان دهد و در نهایت با ارایه چندین مثال عملی، سعی شده است که قابلیت مناسبی در اختیار خوانندگان محترم به منظور طراحی و انتخاب روش بهینه زمین کردن، قرار گیرد.

در فصل چهارم، نتایج حاصل از مطالعات به عمل آمده در مورد تأثیرات مقاومت زمین بر روی اضافه ولتاژها در پست یکی از شرکت‌های برق منطقه‌ای، ارایه شده است.

در فصل پنجم نیز به بیان دو پدیده جالب و یا به عبارتی دو نمونه عملی از مباحث مطروحه در این کتاب که یکی در شبکه فشار متوسط کشور و دیگری در یکی از نیروگاه‌های کشور به وقوع پیوسته، می‌پردازیم.

در پایان از زحمات همکاران محترم پژوهشگاه نیرو، به خصوص جناب آقای مهندس داود جلالی رئیس محترم پژوهشکده برق پژوهشگاه که بی‌شک تألیف این کتاب بدون کمک و همراهی ایشان میسر نمی‌گشت، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

همایون حایری

خرداد ماه سال ۱۳۹۰

فصل اول: زمین کردن و نقش و جایگاه آن در سیستم‌های قدرت	۱
۱. مقدمه.....	۱
۱.۱. حدود تحمل جریانی بدن.....	۴
۱.۱.۱. فرکانس.....	۴
۱.۱.۲. مقدار.....	۵
۱.۱.۳. مدت زمان عبور جریان از بدن.....	۶
۱.۲. لزوم ایجاد سیستم زمین.....	۷
۲.۱. زمین کردن حفاظتی و انواع آن.....	۹
۳.۱. زمین کردن الکتریکی و انواع آن.....	۱۳
۱.۳.۱. جریان اتصالی فاز به زمین.....	۱۳
۲.۳.۱. انواع روش‌های زمین کردن الکتریکی.....	۱۵
۱.۲.۳.۱. زمین کردن مستقیم یا مؤثر.....	۱۵
۲.۲.۳.۱. زمین کردن از طریق راکتانس.....	۱۵
۳.۲.۳.۱. زمین کردن از طریق مقاومت کم.....	۱۶
۴.۲.۳.۱. زمین کردن از طریق مقاومت زیاد.....	۱۶
۵.۲.۳.۱. زمین کردن از طریق سلف پترسون.....	۱۷
۶.۲.۳.۱. سیستم ایزوله (بازبودن نقطه‌ی صفر).....	۱۹
۳.۳.۱. مقایسه‌ی انواع روش‌های زمین کردن در تعدادی از کشورها.....	۲۱
۴.۳.۱. انتخاب روش مناسب برای زمین کردن شبکه.....	۲۵
۴.۱. عوامل مؤثر در زمین کردن.....	۲۸
۱.۴.۱. مقاومت ویژه‌ی خاک.....	۲۸
۱.۴.۱. توصیه‌هایی برای انتخاب محل زمین کردن یا آماده‌سازی خاک.....	۳۱
۲.۴.۱. محاسبه‌ی مقاومت زمین برای الکتروود مستقر در خاک آماده‌سازی شده.....	۳۳
۲.۴.۱. تأثیر شکل الکتروود بر مقاومت زمین.....	۳۴
۱.۴.۱. الکتروودهای صفحه‌ای.....	۳۵
۲.۴.۱. الکتروودهای میله‌ای یا لوله‌ای.....	۳۷
۳.۴.۱. الکتروودهای افقی تسمه‌ای یا دارای هادی گرد.....	۴۶

۴۹.....	۱. ۴. ۲. ۴. محاسبات نمونه برای انواع مختلف الکترودهای زمین
۵۱.....	۱. ۴. ۳. جنس الکتروود زمین یا هادی زمین مدفون
۵۲.....	۱. ۴. ۳. ۱. خوردگی و نوع خاک
۵۵.....	۱. ۴. ۳. ۲. خوردگی ناشی از اتصال الکتروود به قسمت‌های فلزی دیگر
۵۶.....	۱. ۴. ۴. سازه‌ها یا تجهیزات مورد استفاده برای زمین کردن
۵۶.....	۱. ۴. ۴. ۱. غلاف‌های کابل
۵۶.....	۱. ۴. ۴. ۲. سازه فولادی
۶۱.....	۱. ۴. ۴. ۳. لوله‌های آب
۶۲.....	۱. ۴. ۴. ۴. سایر لوله‌های سرویس
۶۳.....	۱. ۵. زمین کردن سازه‌های دارای حفاظت کاتدیک
۶۶.....	۱. ۶. هادی زمین و اتصال آن به الکتروود
۷۴.....	۱. ۷. چگالی جریان و گرادیان پتانسیل الکتروود زمین
۷۴.....	۱. ۷. ۱. چگالی جریان در سطح الکتروود زمین
۷۶.....	۱. ۷. ۲. گرادیان پتانسیل در اطراف الکتروودهای زمین
۸۰.....	۱. ۷. ۱. ۱. محاسبه پتانسیل‌های سطح زمین برای الکتروودهای عمودی
۸۲.....	۱. ۷. ۲. ۲. محاسبه پتانسیل‌های سطح زمین برای الکتروودهای افقی
۸۳.....	۱. ۸. ۱. بازرسی دوره‌ای و اندازه‌گیری سیستم زمین
۸۴.....	۱. ۸. ۱. اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین
۸۴.....	۱. ۸. ۱. ۱. روش اندازه‌گیری
۸۹.....	۱. ۸. ۲. اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک
۹۰.....	۱. ۸. ۳. اندازه‌گیری مقاومت هادی زمین
۹۳.....	فصل دوم: اصول اجرایی سیستم زمین در شبکه‌های برق
۹۳.....	۱. ۲. ۱. سیستم زمین در نیروگاه‌ها و پست‌های فشارقوی
۹۳.....	۲. ۱. ۱. کلیات
۹۶.....	۲. ۱. ۲. آرایش کلی اتصال زمین در پست‌ها
۹۸.....	۲. ۱. ۳. حصارها
۹۹.....	۲. ۱. ۴. سیستم زمین پست‌های فشارقوی
۱۰۰.....	۲. ۱. ۵. روش‌های کلی زمین کردن در نیروگاه‌ها

۱۰۰	۲. ۱. ۵. ۱. زمین کردن نقطه نول ژنراتورها.....
۱۰۲	۲. ۱. ۵. ۲. زمین کردن سیستم‌های کمکی نیروگاه.....
۱۰۳	۲. ۱. ۶. ۱. الکترودهای زمین نیروگاه‌ها و پست‌ها.....
۱۰۳	۲. ۱. ۶. ۱. کلیات.....
۱۰۴	۲. ۱. ۶. ۲. انتخاب طرح زمین.....
۱۰۴	۲. ۱. ۶. ۳. نحوه‌ی استقرار هادی‌های زمین.....
۱۰۵	۲. ۱. ۶. ۴. اندازه هادی‌های زمین.....
۱۰۶	۲. ۱. ۶. ۵. قرار گرفتن هادی‌ها در زمین.....
۱۰۶	۲. ۱. ۶. ۶. نصب هادی‌ها.....
۱۰۷	۲. ۱. ۷. زمین کردن زره و/یا غلاف کابل‌ها.....
۱۰۹	۲. ۱. ۸. اتصال سیستم‌های زمین پست‌های مجاور.....
۱۱۱	۲. ۲. سیستم زمین در خطوط هوایی.....
۱۱۱	۲. ۲. ۱. نوع دکل.....
۱۱۱	۲. ۲. ۲. خرابی عایق.....
۱۱۱	۲. ۲. ۳. سازه‌های فولادی مشبک مورد استفاده در دکل‌ها.....
۱۱۲	۲. ۲. ۴. پایه‌های از جنس عایق.....
۱۱۲	۲. ۲. ۵. مهارها.....
۱۱۳	۲. ۲. ۶. بازوهای فلزی متصل به ساختمان‌ها.....
۱۱۳	۲. ۲. ۷. نقش سیم زمین در حفاظت خطوط مقابل صاعقه.....
۱۱۴	۲. ۲. ۷. ۱. برخورد مستقیم صاعقه به هادی فاز.....
۱۱۵	۲. ۲. ۷. ۲. برخورد غیر مستقیم صاعقه.....
۱۱۸	۲. ۲. ۷. ۳. برخورد صاعقه به سیم زمین هوایی.....
۱۱۹	۲. ۲. ۷. ۴. صاعقه در شبکه‌های توزیع.....
۱۲۳	فصل سوم: تحلیل رفتار پایدار و گذرای شبکه‌های برق با توجه به نوع زمین کردن.....
۱۲۳	۳. ۱. سیستم زمین و اضافه ولتاژهای پایدار.....
۱۲۴	۳. ۱. ۱. مقایسه‌ی روش‌های زمین کردن.....
۱۲۶	۳. ۲. میرایی در سیستم‌های زمین و محدود کردن اضافه‌ولتاژهای گذرا.....
۱۲۸	۳. ۳. زمین کردن شبکه از طریق ترانسفورماتور زمین.....

۱۲۹	۱. ۳. ۳. جریان نشتی در فیدرهای فشارمتوسط.....
۱۳۰	۲. ۳. ۳. ظرفیت خازنی بزرگ در فیدرهای فشارمتوسط.....
۱۳۲	۳. ۳. ۳. مشکل استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین.....
۱۳۲	۴. ۳. ۳. روش استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین‌کننده.....
۱۳۴	۴. ۳. تأثیر نوع زمین‌کردن بر برخی پارامترهای کیفیت توان.....
۱۳۶	۵. ۳. رفتار شبکه‌های زمین‌نشده هنگام وقوع اتصال زمین.....
۱۳۶	۱. ۵. ۳. حالت پایدار.....
۱۳۸	۲. ۵. ۳. حالت گذرا.....
۱۳۹	۱. ۲. ۵. ۳. گذراهای شارژ خازنی.....
۱۴۴	۲. ۲. ۵. ۳. گذراهای تخلیه‌ی خازنی.....
۱۴۶	۳. ۲. ۵. ۳. جریان‌ها و ولتاژهای گذرا اتصال زمین در شبکه‌ی ایزوله.....
۱۴۷	۴. ۲. ۵. ۳. ولتاژهای گذرا قوس مجدد در شبکه‌ی ایزوله.....
۱۴۸	۵. ۲. ۵. ۳. تحلیل فیزیکی ولتاژهای گذرا بر اثر بروز مکرر قوس مجدد.....
۱۵۲	۶. ۳. رفتار شبکه‌های زمین‌شده با مقاومت بالا هنگام وقوع اتصال زمین.....
۱۵۲	۱. ۶. ۳. رفتار شبکه‌های زمین‌شده با مقاومت بالا در حالت پایدار.....
۱۵۴	۲. ۶. ۳. رفتار شبکه‌های زمین‌شده با مقاومت بالا در حالت گذرا.....
۱۵۶	۳. ۶. ۳. نتایج مطالعه در مورد شبکه‌ی فشارمتوسط زمین‌شده از طریق مقاومت.....
۱۶۱	۷. ۳. هارمونیک‌ها در شبکه‌های فشار متوسط زمین‌شده و ایزوله.....
۱۶۳	۱. ۷. ۳. مؤلفه‌های هارمونیک در جریان اتصال زمین.....
۱۶۴	۲. ۷. ۳. مؤلفه‌های هارمونیک مرتبه بالا در آنالیز جریان اتصال کوتاه.....
۱۶۶	۳. ۷. ۳. اندازه‌گیری هارمونیکها در وقوع اتصال زمین ماندگار شبکه فشار متوسط.....
۱۶۸	۸. ۳. نقش سیستم زمین در پدیده فرورزناس در شبکه.....
۱۷۰	۱. ۸. ۳. پدیده فرورزناس در ترانس‌های ایزوله.....
۱۷۱	۲. ۸. ۳. برقدار نمودن ترانس‌های توزیع.....
۱۷۲	۹. ۳. اتصال زمین و برقراری قوس الکتریکی در ژنراتور.....
۱۷۹	۱۰. ۳. تعیین مقاومت زمین‌کننده در گذراهای ولتاژ.....
۱۸۱	۱۱. ۳. تحلیلی بر نحوه‌ی زمین‌شدن شبکه‌های ۲۰ کیلوولت کشور.....
۱۸۳	۱. ۱۱. ۳. بررسی اضافه‌ولتاژهای گذرا در فازهای سالم.....

۱۸۶	۳. ۱۱. ۲. بررسی اضافه‌ولتاژهای پایدار در فازهای سالم.....
۱۸۸	۳. ۱۱. ۳. تعیین مقدار بهینه‌ی امپدانس زمین.....
۱۹۱	فصل چهارم: تأثیر مقاومت زمین پست در عملکرد تجهیزات.....
۱۹۱	۴. ۱. مقاومت زمین در پست.....
۱۹۲	۴. ۱. ۱. اضافه ولتاژهای گذرای صاعقه در سیستم قدرت.....
۱۹۳	۴. ۱. ۲. اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه در پست مورد مطالعه.....
۲۱۱	۴. ۱. ۳. نتایج بررسی.....
۲۱۵	فصل پنجم: نمونه‌های عملی از تأثیر روش زمین کردن بر رفتار شبکه.....
۲۱۶	۵. ۱. زمین شبکه‌های ۲۰ کیلوولت کشور و برخی مشکلات آن.....
۲۱۹	۵. ۲. پدیده استثنایی با وقوع اتصال زمین در ژنراتور ایزوله شده.....
۲۲۵	مراجع.....