

سیستم‌های زمین و رفتار شبکه‌های برق

www.ketab.ir

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

www.ketab.ir

نام کتاب: سیستم‌های زمین و رفتار شبکه‌های برق

مؤلف: مهندس همایون حایری

ناشر: وزارت نیرو-پژوهشگاه نیرو

چاپخانه: چاپ میران

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول/تابستان ۱۳۹۰

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
۱.۲. مدت زمان عبور جریان از بدن	۶
۱.۲.۱. لزوم ایجاد سیستم زمین	۷
۲. زمین کردن حفاظتی و انواع آن	۹
۳. زمین کردن الکتریکی و انواع آن	۱۳
۳.۱. جریان اتصالی فاز به زمین	۱۳
۳.۲. انواع روش‌های زمین کردن الکتریکی	۱۵
۳.۲.۱. زمین کردن مستقیم یا مؤثر	۱۵
۳.۲.۲. زمین کردن از طریق راکتانس	۱۵
۳.۲.۳. زمین کردن از طریق مقاومت کم	۱۶
۳.۲.۴. زمین کردن از طریق مقاومت زیاد	۱۶
۳.۲.۵. زمین کردن از طریق سلف پترسون	۱۷
۳.۲.۶. سیستم ایزوله (بازبودن نقطه‌ی صفر)	۱۹
۳.۳. مقایسه‌ی انواع روش‌های زمین کردن در تعدادی از کشورها	۲۱
۴. انتخاب روش مناسب برای زمین کردن شبکه	۲۵
۴.۱. عوامل مؤثر در زمین کردن	۲۸
۴.۱.۱. مقاومت ویژه‌ی خاک	۲۸
۴.۱.۲. توصیه‌هایی برای انتخاب محل زمین کردن یا آماده‌سازی خاک	۳۱
۴.۱.۳. محاسبه‌ی مقاومت زمین برای الکتروود مستقر در خاک آماده‌سازی شده	۳۳
۴.۲. تأثیر شکل الکتروود بر مقاومت زمین	۳۴
۴.۲.۱. الکتروودهای صفحه‌ای	۳۵
۴.۲.۲. الکتروودهای میله‌ای یا لوله‌ای	۳۷
۴.۲.۳. الکتروودهای افقی تسمه‌ای یا دارای هادی گرد	۴۶

۴۹	۴.۲.۴.۱ محاسبات نمونه برای انواع مختلف الکترودهای زمین
۵۱	۳.۴.۱ جنس الکتروود زمین یا هادی زمین مدفون
۵۲	۱.۳.۴.۱ خوردگی و نوع خاک
۵۵	۱.۳.۴.۲ خوردگی ناشی از اتصال الکتروود به قسمت‌های فلزی دیگر
۵۶	۴.۴.۱ 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	۵.۱ زمین کردن سازه‌های دارای حفاظت کاتدیک
۶۶	۶.۱ هادی زمین و اتصال آن به الکتروود
۷۴	۱.۷.۱ 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 الکترودهای زمین
۸۰	۱.۷.۲.۱ محاسبه پتانسیل‌های سطح زمین برای الکترودهای عمودی
۸۲	۱.۷.۲.۲ محاسبه پتانسیل‌های سطح زمین برای الکترودهای افقی
۸۳	۸.۱ بازرسی دوره‌ای و اندازه‌گیری سیستم زمین
۸۴	۱.۸.۱ اندازه‌گیری مقاومت الکتروود زمین
۸۴	۱.۸.۱ 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	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. زمین کردن نقطه نول ژنراتورها
۱۰۲	۲. ۱. ۵. زمین کردن سیستم‌های کمکی نیروگاه
۱۰۳	۲. ۱. ۶. الکترودهای زمین نیروگاه‌ها و پست‌ها
۱۰۳	۲. ۱. ۶. کلیات
۱۰۴	۲. ۱. ۲. انتخاب طرح زمین
۱۰۴	۲. ۱. ۳. نحوه‌ی استقرار هادی‌های زمین
۱۰۵	۲. ۱. ۴. اندازه هادی‌های زمین
۱۰۶	۲. ۱. ۵. قرار گرفتن هادی‌ها در زمین
۱۰۶	۲. ۱. ۶. نصب هادی‌ها
۱۰۷	۲. ۱. ۷. زمین کردن زره وایا غلاف کابل‌ها
۱۰۹	۲. ۱. ۸. اتصال سیستم‌های زمین پست‌های مجاور
۱۱۱	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. ۱. برخورد مستقیم صاعقه به هادی فاز
۱۱۵	۲. ۲. ۲. برخورد غیر مستقیم صاعقه
۱۱۸	۲. ۲. ۳. برخورد صاعقه به سیم زمین هوایی
۱۱۹	۲. ۲. 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	۳. ۱. جریان نشتی در فیدرهای فشارمتوسط
۱۳۰	۳. ۲. ظرفیت خازنی بزرگ در فیدرهای فشارمتوسط
۱۳۲	۳. ۳. مشکل استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین
۱۳۲	۳. ۴. روش استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین کننده
۱۳۴	۳. ۴. تأثیر نوع زمین کردن بر برخی پارامترهای کیفیت توان
۱۳۶	۳. ۵. رفتار شبکه‌های زمین شده هنگام وقوع اتصال زمین
۱۳۶	۳. ۵. ۱. حالت پایدار
۱۳۸	۳. ۵. ۲. حالت گذرا
۱۳۹	۳. ۵. ۱. گذراهای شارژ خازنی
۱۴۴	۳. ۵. ۲. گذراهای تخلیه‌ی خازنی
۱۴۶	۳. ۵. ۳. جریان‌ها و ولتاژهای گذرا اتصال زمین در شبکه‌ی ایزوله
۱۴۷	۳. ۵. ۴. ولتاژهای گذرا قوس مجدد در شبکه‌ی ایزوله
۱۴۸	۳. ۵. ۵. تحلیل فیزیکی ولتاژهای گذرا بر اثر بروز مکرر قوس مجدد
۱۵۲	۳. ۶. رفتار شبکه‌های زمین شده با مقاومت بالا هنگام وقوع اتصال زمین
۱۵۲	۳. ۶. ۱. رفتار شبکه‌های زمین شده با مقاومت بالا در حالت پایدار
۱۵۴	۳. ۶. ۲. رفتار شبکه‌های زمین شده با مقاومت بالا در حالت گذرا
۱۵۶	۳. ۶. ۳. نتایج مطالعه در مورد شبکه‌ی فشارمتوسط زمین شده از طریق مقاومت
۱۶۱	۳. ۷. هارمونیک‌ها در شبکه‌های فشار متوسط زمین شده و ایزوله
۱۶۳	۳. ۷. ۱. مؤلفه‌های هارمونیک در جریان اتصال زمین
۱۶۴	۳. ۷. ۲. مؤلفه‌های هارمونیک مرتبه بالا در آنالیز جریان اتصال کوتاه
۱۶۶	۳. ۷. ۳. اندازه‌گیری هارمونیک‌ها در وقوع اتصال زمین ماندگار شبکه فشار متوسط
۱۶۸	۳. ۸. نقش سیستم زمین در پدیده فروزنائس در شبکه
۱۷۰	۳. ۸. ۱. پدیده فروزنائس در ترانس‌های ایزوله
۱۷۱	۳. ۸. ۲. برقدار نمودن ترانس‌های توزیع
۱۷۲	۳. ۹. اتصال زمین و برقراری قوس الکتریکی در ژنراتور
۱۷۹	۳. ۱۰. تعیین مقاومت زمین کننده در گذراهای ولتاژ
۱۸۱	۳. ۱۱. تحلیلی بر نحوه‌ی زمین شدن شبکه‌های ۲۰ کیلوولت کشور
۱۸۳	۳. ۱۱. ۱. بررسی اضافه‌ولتاژهای گذرا در فازهای سالم

۱۸۶	۳. ۱۱. ۲. بررسی اضافه ولتاژهای پایدار در فازهای سالم
۱۸۸	۳. ۱۱. ۳. تعیین مقدار بهینه‌ی امیدانس 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

- شکل (۱.۱). سیستم‌های TN..... ۱۰
- شکل (۲.۱). سیستم‌های TT و IT..... ۱۲
- شکل (۳.۱). مدار رزونانس موازی سلف پترسون و خازن شبکه..... ۱۸
- شکل (۴.۱). مدار رزونانس سری با ولتاژ مؤلفه‌ی صفر ناشی از عدم توازن خازن‌ها نسبت به زمین..... ۱۹
- شکل (۵.۱). سیستم زمین توزیع‌نشده‌ی سه‌سیمه..... ۲۴
- شکل (۶.۱). سیستم زمین توزیع‌نشده‌ی چهارسیمه..... ۲۴
- شکل (۷.۱). سیستم زمین توزیع‌شده‌ی چهارسیمه..... ۲۵
- شکل (۸.۱). تأثیر طول مدفون الکتروده‌ی میله‌ای یا لوله‌ای بر مقاومت محاسبه‌شده برای خاکی با مقاومت ویژه‌ی ۱۰۰ اهم‌متر (با فرض همگن بودن خاک)..... ۳۸
- شکل (۹.۱). تأثیر فاصله‌ی بین دو الکتروده بر مقاومت زمین کل (ترکیبی)..... ۳۹
- شکل (۱۰.۱). منحنی‌های محاسباتی و آزمایشی مقاومت زمین میله‌های کوبیده‌شده با قطر ۱۲/۵ میلی‌متر..... ۴۵
- شکل (۱۱.۱). مقاومت الکتروده‌های تسمه‌ای افقی..... ۴۸
- شکل (۱۲.۱). تأثیر فاصله بر مقاومت حاصل از دو الکتروده تسمه‌ای افقی..... ۴۹
- شکل (۱۳.۱). پتانسیل سطح زمین در اطراف یک الکتروده تکی و سه الکتروده قرار گرفته در یک خط..... ۷۷
- شکل (۱۴.۱). گرادیان پتانسیل در مجاورت یک الکتروده تسمه‌ای افقی..... ۷۹
- شکل (۱۵.۱). توزیع پتانسیل بین الکتروده‌های میله‌ای..... ۸۰
- شکل (۱۶.۱). اندازه‌گیری مقاومت الکتروده زمین..... ۸۵
- شکل (۱۷.۱). منحنی‌های مقاومت زمین..... ۸۷
- شکل (۱۸.۱). اندازه‌گیری مقاومت زمین..... ۹۰
- شکل (۱.۲). زمین کردن ژنراتور از طریق مقاومت..... ۱۰۱
- شکل (۲.۲). زمین کردن ژنراتور از طریق ترانسفورماتور توزیع..... ۱۰۲
- شکل (۳.۲). شکل ساده‌ای از سیستم‌های هم‌بندی غلاف کابل تکرشته‌ای..... ۱۰۹
- شکل (۴.۲). برخورد مستقیم صاعقه به هادی فاز..... ۱۱۵
- شکل (۵.۲). برخورد غیر مستقیم صاعقه به خط..... ۱۱۷

- شکل (۳. ۱). پیشینه ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه فاز به زمین برحسب پریونیت..... ۱۲۵
- شکل (۳. ۲). زمین کردن شبکه از طریق ترانسفورماتور زیگزاگ..... ۱۲۸
- شکل (۳. ۳). خازن‌های جبران‌کننده در شبکه‌ی زمین‌شده با ترانسفورماتور زیگزاگ..... ۱۳۱
- شکل (۳. ۴). پیش‌بود ولتاژ در فازهای سالم هنگام اتصال زمین تک‌فاز..... ۱۳۵
- شکل (۳. ۵). وقوع اتصال زمین در یک شبکه‌ی زمین‌نشده..... ۱۳۶
- شکل (۳. ۶). مدار معادل ساده شده شکل (۳. ۵)..... ۱۳۶
- شکل (۳. ۷). نمودار فیزوری افزایش ولتاژ در فازهای سالم..... ۱۳۸
- شکل (۳. ۸). شارژ خازنی فازهای سالم در وقوع یک اتصال زمین..... ۱۴۰
- شکل (۳. ۹). مدار معادل ساده شده شکل (۳. ۴)..... ۱۴۰
- شکل (۳. ۱۰). شارژ خازنی فازهای سالم در وقوع اتصالی در فاصله‌ی b از ترانسفورماتور فوق‌توزیع..... ۱۴۱
- شکل (۳. ۱۱). مدار معادل ساده شده شکل (۳. ۱۰)..... ۱۴۲
- شکل (۳. ۱۲). مدار معادل تخلیه خازنی..... ۱۴۵
- شکل (۳. ۱۳). مدار معادل کامل گذراهای شارژ و تخلیه در شبکه‌ی ایزوله..... ۱۴۶
- شکل (۳. ۱۴). مدار معادل شبکه‌ی مؤلفه‌ی صفر..... ۱۴۸
- شکل (۳. ۱۵). اضافه ولتاژهای گذرا ناشی از بروز مکرر قوسی مجدد..... ۱۴۹
- شکل (۳. ۱۶). مدار معادل اتصال زمین در شبکه‌ی زمین‌شده با مقاومت..... ۱۵۲
- شکل (۳. ۱۷). مدار معادل ساده‌شده شکل (۳. ۱۶)..... ۱۵۳
- شکل (۳. ۱۸). مدار معادل ساده‌تر اتصال زمین در شبکه زمین‌شده با مقاومت..... ۱۵۴
- شکل (۳. ۱۹). مدار معادل گذراهای شارژ و تخلیه در شبکه زمین‌شده از طریق مقاومت..... ۱۵۵
- شکل (۳. ۲۰). شبکه‌ی فشار متوسط مورد مطالعه..... ۱۵۷
- شکل (۳. ۲۱). شکل ساده‌شده‌ی شبکه..... ۱۵۸
- شکل (۳. ۲۲). ولتاژهای فاز به زمین با مقاومت اهمی محدودکننده به ۰/۵ آمپر و اندوکتانس اتصالی ۱/۷ هانری..... ۱۵۹
- شکل (۳. ۲۳). ولتاژهای فاز به زمین با مقاومت محدودکننده به ۰/۵ آمپر و اندوکتانس اتصالی ۲/۵ هانری..... ۱۵۹
- شکل (۳. ۲۴). ولتاژهای فاز به زمین با مقاومت محدودکننده به ۳/۷۵ آمپر و اندوکتانس اتصالی ۱/۷ هانری..... ۱۶۰

صفحه	عنوان
شکل (۳. ۲۵)	مدار معادل فرورزناس سری ۱۶۹
شکل (۳. ۲۶)	قطع یک فاز در مدار ترانسفورماتور با سیم‌پیچ اولیه مثلث ۱۷۰
شکل (۳. ۲۷)	قطع یک فاز در مدار ترانسفورماتور با سیم‌پیچ اولیه ستاره ۱۷۰
شکل (۳. ۲۸)	نحوه تغذیه متداول پستهای توزیع زمینی ۱۷۱
شکل (۳. ۲۹)	مدار معادل دقیق گذراهای جریان شارژ و تخلیه ژنراتور و ترانسفورماتور متصل به شبکه ۱۷۴
شکل (۳. ۳۰)	تأثیر مقاومت نقطه‌ی نول بر محدودکردن گذراهای ولتاژی ناشی از اتصال زمین قوسی ۱۸۰
شکل (۳. ۳۱)	آرایش زمین‌کردن شبکه‌های ۲۰ کیلوولت ۱۸۱
شکل (۳. ۳۲)	وقوع اتصال زمین در فیدر شماره ۱ شبکه‌ی ۲۰ کیلوولت ۱۸۲
شکل (۳. ۳۳)	مدار معادل ساده شده شکل (۳. ۳۲) ۱۸۳
شکل (۳. ۳۴)	فیدر اتصال زمین شده‌ی مورد بررسی ۱۸۶
شکل (۴. ۱)	شمای کلی پست مورد مطالعه به همراه شبکه بالادست، پست‌های مجاور و خطوط ورودی ۱۹۴
شکل (۴. ۲)	نمایش شبیه‌سازی کلی پست مورد مطالعه ۱۹۶
شکل (۴. ۳)	ولتاژهای فاز به زمین ترانس زمین GT1 در حالت پایه (الف) ۱۹۸
شکل (۴. ۴)	ولتاژهای فاز به زمین ترانس زمین GT2 در حالت پایه (الف) ۱۹۹
شکل (۴. ۵)	ولتاژهای فاز به زمین سمت اولیه ترانس قدرت T1 در حالت پایه (الف) ۲۰۰
شکل (۴. ۶)	ولتاژهای فاز به زمین سمت اولیه ترانس قدرت T2 در حالت پایه (الف) ۲۰۱
شکل (۴. ۷)	ولتاژهای فاز به زمین ترانس زمین GT1 و GT2 در حالت (الف) با مقاومت زمین ۵ اهم ۲۰۳
شکل (۴. ۸)	ولتاژهای فاز به زمین اولیه ترانس قدرت T1 در حالت (الف) با مقاومت زمین ۵ اهم ۲۰۴
شکل (۴. ۹)	ولتاژهای فاز به زمین اولیه ترانس قدرت T2 در حالت (الف) با مقاومت زمین ۵ اهم ۲۰۵
شکل (۴. ۱۰)	حداکثر ولتاژ فاز به زمین ترانس‌های زمین GT1 و GT2 در حالت پایه (ب) ۲۰۶
شکل (۴. ۱۱)	حداکثر ولتاژ فاز به زمین ترانس قدرت T1 در حالت پایه (ب) ۲۰۷
شکل (۴. ۱۲)	حداکثر ولتاژ فاز به زمین ترانس قدرت T2 در حالت پایه (ب) ۲۰۸

- شکل (۴. ۱۳). تغییرات ولتاژ ترانس‌های زمین و قدرت بر حسب مقاومت زمین پست در حالت (ب). ۲۰۹
- شکل (۴. ۱۴). حداکثر ولتاژ فاز به زمین ترانس‌های زمین GT1 و GT2 در حالت پایه (پ). ۲۱۰
- شکل (۴. ۱۵). تغییرات ولتاژ ترانس‌های زمین بر حسب مقاومت زمین پست در حالت پایه (پ). ۲۱۱
- شکل (۵. ۱). بدنه‌ی ترانسفورماتور سوراخ‌شده بر اثر جریان‌های اتصال زمین (نمای بیرونی). ۲۱۶
- شکل (۵. ۲). بدنه‌ی ترانسفورماتور سوراخ‌شده بر اثر جریان‌های اتصال زمین (نمای داخلی ترانس). ۲۱۸
- شکل (۵. ۳). سیستم زمین کردن نقطه‌ی صفر ژنراتور با استفاده از سکسیونر. ۲۱۹
- شکل (۵. ۴). حفره‌های به وجود آمده در باس بارها و باس داکت‌های T و S. ۲۲۲
- شکل (۵. ۵). حفره به وجود آمده در باس داکت R. ۲۲۲
- شکل (۵. ۶). حفره به وجود آمده در باس داکت T. ۲۲۳

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول (۱.۱). مقایسه‌ی انواع روش‌های زمین‌کردن.....	۲۲
جدول (۲.۱). مثال‌هایی از مقاومت ویژه‌ی خاک (اهم‌متر).....	۳۰
جدول (۳.۱). مقادیر λ برای الکترودهای قرار گرفته در یک خط مستقیم.....	۴۰
جدول (۴.۱). مقادیر λ برای الکترودهای قرار گرفته در اطراف یک مربع.....	۴۱
جدول (۵.۱). اندازه‌های کمینه برای اجزای الکترودهای زمین.....	۴۲
جدول (۶.۱). ضرایب مورد استفاده در الکترودهای تسمه‌ای یا دارای هادی گرد.....	۴۷
جدول (۷.۱). مواد توصیه‌شده برای استفاده در ساخت اجزای سیستم زمین‌کننده.....	۵۲
جدول (۸.۱). مقاومت در برابر خوردگی برخی مواد تشکیل‌دهنده‌ی الکترودها مرتبط با پارامترهای خاک.....	۵۴
جدول (۹.۱). مواد مناسب برای اتصال به یکدیگر.....	۵۶
جدول (۱۰.۱). فاصله‌ی متوسط هادی‌های Z برای میله‌های تقویت‌کننده‌ی سیستم زمین با فاصله‌ی کم نسبت به یکدیگر.....	۶۱
جدول (۱۱.۱). چگالی جریان اتصال کوتاه مؤثر زمین برای مدت ۱ ثانیه، برای هادی‌های زمین با دمای اولیه‌ی ۳۰ درجه سانتیگراد.....	۶۸
جدول (۱۲.۱). جریان اتصال کوتاه مؤثر زمین (kA) به مدت ۱ ثانیه و برای هادی‌های می تسمه‌ای زمین.....	۷۱
جدول (۱۳.۱). جریان اتصال کوتاه مؤثر زمین (kA) به مدت ۲ ثانیه و برای هادی‌های می تسمه‌ای زمین.....	۷۲
جدول (۱۴.۱). جریان اتصال کوتاه مؤثر زمین (kA) به مدت ۱ ثانیه و برای هادی‌های آلومینیومی تسمه‌ای زمین.....	۷۳
جدول (۱۵.۱). جریان اتصال کوتاه مؤثر زمین (kA) به مدت ۳ ثانیه و برای هادی‌های آلومینیومی تسمه‌ای زمین.....	۷۲
جدول (۱۶.۱). مقادیر K و β	۷۳
جدول (۱.۲). مقادیر چگالی جریان برای هادی‌های زمین.....	۱۰۶
جدول (۱.۳). مقایسه‌ی روش‌های زمین‌کردن.....	۱۲۴
جدول (۲.۳). کاهش اضافه ولتاژهای گذرا برای روش‌های مختلف زمین‌کردن.....	۱۲۷
جدول (۳.۳). مقادیر جریان اتصالی در شبکه فشار متوسط با نقطه نول ایزوله.....	۱۶۶

- جدول (۳. ۴). مقادیر جریان اتصالی در شبکه فشار متوسط با نقطه نول زمین شده از طریق مقاومت بسیار کم (۲۰ اهم)..... ۱۶۷
- جدول (۳. ۵). مقاومت و راکتانس زمین با توجه به P زمین..... ۱۸۵
- جدول (۴. ۱). حداکثر ولتاژهای ترانس‌های زمین و سمت اولیه ترانس‌های قدرت (کیلوولت) برای مقادیر مختلف مقاومت زمین پست در حالت (الف)..... ۲۰۲

www.ketab.ir