

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
سیستم زمین خطوط انتقال
نشریه شماره ۴۰۹

وزارت نیرو – شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
سیستم زمین خطوط انتقال
نشریه شماره ۴۰۹

وزارت نیرو – شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرائی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر (دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی) در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم زمین خطوط انتقال» در بر گیرنده مباحث مربوط به سیستم زمین خطوط شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی، و دستورالعملهای نصب و نگهداری این سیستم ها می باشد که همراه با یک پیوست به زبان فارسی و انگلیسی ارائه شده است.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم زمین خطوط انتقال - نشریه شماره ۴۰۹

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين شهرام کاظمی، حامد نفیسی، سیاوش پاکدلیان و دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح
آقای مهندس حسین آخوندی	معاونت هماهنگی و نظارت بر بهره برداری توانیر
آقای مهندس رحمت الله اکرم	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس سیاوش پاکدلیان	مهندسين مشاور نیرو
آقای دکتر عارف درودی	مهندسين مشاور نیرو
خانم مهندس زیبا فاخری داریان	شرکت مشانیر
آقای دکتر محمد کبیری	شرکت ایران ترانسفو
آقای مهندس علی اصغر کسائیان	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی طرح

مسؤولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين محمدرضا طلاکوب و پرویز سیداحمدی بوده است.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول - اهداف، تعاریف و کلیات

۳	۱-۱- تعاریف
۳	۱-۱-۱- زمین
۳	۲-۱-۱- زمین شده
۳	۳-۱-۱- الکتروود زمین
۳	۴-۱-۱- هادی زمین
۳	۵-۱-۱- اتصال زمین
۴	۶-۱-۱- سیستم زمین
۴	۷-۱-۱- مقاومت زمین
۴	۸-۱-۱- حلقه هادی زمین
۴	۲-۱- مقاومت برج تا زمین
۴	۱-۲-۱- مقاومت پایه برج
۴	۲-۲-۱- مقاومت تا زمین
۵	۳-۱- عوامل مؤثر بر مقاومت پایه برج
۵	۱-۳-۱- نوع خاک
۶	۲-۳-۱- ساختار پایه برج
۶	۴-۱- لزوم کاهش مقاومت زمین برج
۷	۱-۴-۱- پدیده قوس برگشتی
۷	۲-۴-۱- معایب بروز قوس برگشتی
۸	۳-۴-۱- شرط بروز قوس برگشتی
۸	۵-۱- زمین کردن برجها
۹	۶-۱- انواع زمین کردن

فصل دوم - طراحی سیستم زمین خطوط انتقال انرژی

۱۱	۱-۲- تأثیر مقاومت پایه برج بر تعداد قطعی خط
۱۱	۱-۱-۲- تعیین حداکثر مقدار مجاز مقاومت پایه برج بر مبنای حداکثر تعداد قطعی
۱۱	۲-۱-۲- تأثیر توزیع آماری مقادیر مقاومت پایه بر نرخ قطعی
۱۲	۲-۲- طراحی سیستم زمین با استفاده از میله‌های زمین
۱۲	۱-۲-۲- مقاومت میله زمین
۱۲	۲-۲-۲- موازی بستن میله‌های زمین
۱۳	۳-۲-۲- پارامترهای مؤثر در انتخاب میله‌های زمین
۱۳	۱-۳-۲-۲- قطر میله
۱۴	۲-۳-۲-۲- طول میله
۱۴	۳-۳-۲-۲- جنس میله

۳-۲- طراحی سیستم زمین با استفاده از کانترپویز.....	۱۵
۱-۳-۲- مقاومت نشستی یک سیم کانترپویز.....	۱۵
۲-۳-۲- امپدانس موجی کانترپویز.....	۱۶
۳-۳-۲- آرایش‌های مختلف کانترپویز.....	۱۷
۴-۳-۲- ملاحظات عملی.....	۱۹
۴-۲- روش ترکیبی در طراحی سیستم زمین.....	۲۳
۵-۲- رابطه مقاومت اهمی و مقاومت موجی.....	۲۳
۶-۲- مثال طراحی.....	۲۳

فصل سوم - الزامات و آزمون‌ها

۱-۳- لزوم اندازه‌گیری مقاومت زمین.....	۳۴
۲-۳- اصول اندازه‌گیری مقاومت اتصال زمین.....	۳۴
۱-۲-۳- روش کاهش پتانسیل.....	۳۴
۲-۲-۳- نتایج تحلیل تئوری روش کاهش پتانسیل.....	۳۶
۳-۲-۳- انتخاب فرکانس جریان آزمون.....	۳۷
۳-۳- روش عملی اندازه‌گیری مقاومت زمین.....	۳۷
۴-۳- ملاحظات عملی برای اندازه‌گیری مقاومت پایه برج.....	۳۸
۱-۴-۳- انتخاب الکترودهای کمکی.....	۳۹
۲-۴-۳- انتخاب تیغه‌های اندازه‌گیری.....	۳۹
۳-۴-۳- انتخاب تجهیزات جانی.....	۳۹
۵-۳- آزمون‌های دوره‌ای.....	۴۰

فصل چهارم - دستورالعمل‌های نصب و نگهداری سیستم زمین خطوط انتقال

۱-۴- اتصال هادی زمین به برج.....	۴۳
۲-۴- نصب کانترپویز پیوسته.....	۴۴
۳-۴- نصب میله‌های زمین.....	۴۵
۱-۳-۴- نحوه اتصال میله‌های زمین به یکدیگر.....	۴۵
۲-۳-۴- کوبیدن میله‌ها در زمین.....	۴۶
۱-۲-۳-۴- نصب دستی میله‌ها.....	۴۶
۲-۲-۳-۴- استفاده از تجهیزات موتوری.....	۴۶
۴-۴- نصب حلقه هادی زمین.....	۴۷
۵-۴- نگهداری.....	۴۷
۱-۵-۴- بازرسی.....	۴۷
۲-۵-۴- آزمون دوره‌ای.....	۴۸
منابع و مراجع.....	۴۹

فصل ١

اهداف، کلیات، تعاریف



مقدمه

در این فصل پس از ارائه تعاریف لازم، مقاومت پایه برجهای خطوط انتقال نیرو و عوامل مؤثر بر مقدار آن معرفی شده و در ادامه لزوم و روشهای کاهش آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقدار مقاومت پایه برج یکی از عوامل تعیین‌کننده تعداد قطعی‌های یک خط است و به عواملی چون ویژگی‌های خاک محل احداث و ساختار فونداسیون برج بستگی دارد. علاوه بر این، کاهش مقاومت زمین برج جهت عملکرد صحیح رله‌های حفاظتی الزامی است.

1-1- تعاریف

1-1-1- زمین¹

یک اتصال هادی² (عمدی یا تصادفی) که توسط آن یک مدار الکتریکی یا یک تجهیز³ به ارت⁴ یا به بدنه⁵ هادی با اندازه نسبتاً بزرگ که به مثابه زمین عمل می‌کند، وصل شده است.

1-1-2- زمین‌شده⁶

یک سیستم، مدار یا وسیله‌ای که به زمین متصل است.

1-1-3- الکتروود زمین⁷

یک یا تعدادی هادی که تماس نزدیک⁸ با زمین داشته و برای فراهم ساختن زمین به کار می‌رود.

1-1-4- هادی زمین⁹

یک هادی که یک وسیله یا تجهیز و یا یک هادی دیگر (پایه برج) را به الکتروودهای زمین متصل می‌کند.

1-1-5- اتصال زمین¹⁰

اتصال که برای فراهم کردن یک زمین به کار می‌رود و شامل هادی زمین، الکتروود زمین و ارت محصورکننده الکتروود یا بدنه هادی که به جای ارت عمل می‌کند، می‌باشد.

-
1. Ground
 2. Conducting Connection
 3. Equipment
 4. Earth
 5. Body
 6. Grounded
 7. Grounding Electrode
 8. Intimate Contact
 9. Grounding Conductor
 10. Grounding Connection

1-1-6- سیستم زمین¹

سیستم زمین شامل تمام اتصالات زمین است که در یک ناحیه معین به هم وصل شده‌اند.

1-1-7- مقاومت زمین²

مقاومت زمین، مقاومت اهمی بین الکتروود زمین و یک الکتروود زمین دیگر است که در فاصله دور³ قرار دارد و مقاومت آن صفر فرض می‌شود.

1-1-8- حلقه هادی زمین⁴

یک حلقه هادی که در اطراف برج و در عمق کمی از سطح زمین، به منظور یکنواخت نمودن توزیع پتانسیل زمین اطراف برج در حین وقوع خطا نصب می‌شود. این حلقه به سیستم زمین برج متصل می‌گردد.

1-2- مقاومت برج تا زمین

1-2-1- مقاومت پایه برج

مقاومت برج در محل اتصال آن به زمین یا مقاومت زمین برج، اصطلاحاً به مقاومت پایه برج⁵ (TFR) معروف است و در خطوط انتقال و فوق توزیع اهمیت ویژه‌ای دارد. نحوه کار خطوط و عملکرد مناسب آنها به طوری که در هنگام برخورد صاعقه به خط حداقل تعداد قطعی رخ دهد، تنها با انتخاب مقدار مناسب برای مقاومت زمین برج‌ها امکان پذیر می‌گردد. مقاومت پایه برج بر دو نوع است:

- مقاومت فرکانس قدرت که مقاومت اهمی پایه برج در فرکانس 50 هرتز است.
- مقاومت موجی⁶ که ناشی از بروز خصوصیات سلفی و خازنی در پایه برج بر اثر برقراری جریان موجی⁷ است.

1-2-2- مقاومت تا زمین⁸

به طور کلی مقاومت زمین⁹ یک الکتروود تشکیل شده است از:

- مقاومت الکتروود

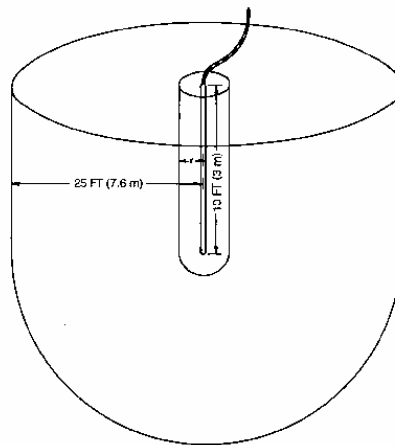
1. Grounding System
 2. Grounding Resistance
 3. Remote
 4. Earth Conductor Ring
 5. Tower Footing Resistance
 6. Surge Resistance
 7. Surge Current
 8. Resistance To Earth
 9. Grounding Resistance

- مقاومت اتصال¹ بین الکتروود و خاک

- مقاومت خاک از سطح خارجی الکتروود تا زمین دور²

دو مورد اول در مقایسه با مورد سوم ناچیز بوده و در مقاصد عملی قابل چشم‌پوشی می‌باشند، اما مورد سوم باید با دقت مناسبی مورد توجه قرار گیرد.

مطابق شکل زیر، مقاومت خاک اطراف یک الکتروود زمین، مجموع مقاومت‌های سری لایه‌های مجازی³ زمین است که اطراف میله قرار گرفته‌اند. نزدیک‌ترین لایه به میله، کمترین سطح محیطی یا سطح مقطع و لذا بیشترین مقاومت را دارد. لایه‌های بعدی به تدریج سطح مقطع بزرگتر و در نتیجه مقاومت کمتری خواهند داشت.



شکل 1-1: توزیع جریان الکتروود در زمین

اگر یک میله زمین را درون خاک در نظر بگیریم، مسیر جریان زمین به سمت خارج سطح میله (شامل لایه‌های متوالی استوانه‌ای به اندازه طول میله زمین و انتهای میله تقریباً بصورت نیم‌کره) است.

1-3-3- عوامل مؤثر بر مقاومت پایه برج

عوامل مؤثر بر مقاومت پایه برج در فرکانس قدرت عبارتند از:

1-3-3-1- نوع خاک

طبق روابط موجود، مقاومت زمین با مقاومت مخصوص خاک نسبت مستقیم دارد. مقاومت مخصوص خاک نیز به ترکیبات

خاک، درجه حرارت و رطوبت آن وابسته است.

• اثر ترکیبات شیمیایی خاک:

1. Contact Resistance
2. Infinite Earth
3. Virtual Shell

مقاومت مخصوص زمین برای خاک‌های مختلف بسیار متفاوت بوده، در حدود 1 تا چند هزار اهم متر می‌باشد. هر چه مقدار مواد اسیدی، بازی و یا املاح محلول در آب موجود در خاک بیشتر باشد هدایت الکتریکی آن بیشتر است.

- اثر درجه حرارت:

با انجماد آب در خاک، مقاومت مخصوص آن افزایش می‌یابد. در مناطق سرد چنانچه الکترودهای زمین تا پایین‌تر از منطقه منجمد خاک امتداد نیابند تغییرات مقاومت زمین در فصول مختلف سال بسیار زیاد خواهد بود. حتی اگر الکترودها تا پایین‌تر از منطقه منجمد خاک فرو روند بازهم تغییرات مقاومت زمین محسوس است. به طور کلی سطوح فوقانی خاک که منجمد شده است طول مؤثر میله اتصال زمین را کمتر می‌کند.

- اثر رطوبت:

رطوبت خاک عامل مهمی در تعیین مقدار مقاومت مخصوص آن است (بوئزه وقتی رطوبت خاک کمتر از 20% باشد). با کاهش رطوبت، مقاومت مخصوص خاک به شدت افزایش می‌یابد. افزایش رطوبت به بیش از 20% تأثیر چندانی بر مقاومت خاک ندارد.

1-3-2- ساختار پایه برج

اکثر برج‌ها در خطوط انتقال و فوق توزیع از نوع اسکلت فلزی با فونداسیون‌های مستقل بر روی زمین می‌باشند. مقاومت مسیر جریان در داخل فونداسیون بتنی به تعداد آرماتور موجود در آن بستگی دارد. جریان از بدنه اسکلت فلزی برج و از طریق آرماتورها به داخل بتن راه می‌یابد. با افزایش تعداد آرماتورها مقاومت اهمی کاهش می‌یابد. به همین علت در هنگام محدود بودن تعداد آرماتورها و یا عدم تأمین ارتباط الکتریکی کافی برج و بتن، تسمه‌های مسی در بتن پیش‌بینی می‌گردند. تسمه‌ها در یک انتها در سطح فوقانی فونداسیون به بدنه برج متصل شده و در انتهای دیگر در داخل بتن قرار می‌گیرند. بدین‌منظور تسمه‌ها در مرحله آماده گشتن قالب، داخل بتن قرار داده شده و سپس قالب بتن‌ریزی می‌گردد.

قسمت دیگری از مسیر جریان زمین برج را، محل تماس فونداسیون بتنی با خاک تشکیل می‌دهد. به این ترتیب می‌توان با افزایش حجم فونداسیون، مقاومت زمین برج را تا حدی کاهش داد.

در زمین‌های سخت، برج‌های خطوط بدون فونداسیون بتنی طراحی می‌گردند. به علت ارتباط مستقیم نبشی‌ها و صفحه فلزی با خاک و کوبیده شدن کامل خاک، مقاومت زمین این‌گونه فونداسیون‌ها کمتر از مقاومت زمین فونداسیون‌های بتنی است.

عوامل مؤثر بر مقاومت مویی برج علاوه بر عوامل فوق، گرا دیان ولتاژ شکست خاک¹، دامنه و شکل جریان موج ضربه است.

1-4- لزوم کاهش مقاومت زمین برج

عملکرد صحیح رله‌های خطای زمین منوط به کم بودن مقاومت پایه برج است. علاوه بر این، بروز قوس‌های برگشتی² به شدت وابسته به مقاومت پایه برج می‌باشد. در این بخش قوس‌های برگشتی، معایب و شرط بروز آنها بررسی می‌شود.

1. Critical Breakdown Gradient

2. Back Flashover

1-4-1- پدیده قوس برگشتی

خطوط انرژی متشکل از برجهای فولادی و هادی‌های معلق در ارتفاع ایمنی کافی، مناسب‌ترین وسیله جهت انتقال بارهای الکتریکی تخلیه جوی به زمین هستند. بدین ترتیب تخلیه جوی به خطوط اجتناب‌ناپذیر بوده و درصد قابل توجهی را نسبت به سایر موانع طبیعی مجاور خط دارا می‌باشد. برای کاهش تعداد برخوردهای صاعقه به خطوط از سیم‌های گارد استفاده می‌شود. این سیم‌ها با قدرت کشش مناسب در ارتفاع کافی نسبت به هادی‌های فاز به بدنه فلزی برج‌ها متصل می‌شوند. با برخورد صاعقه به سیم‌های زمین، بارهای الکتریکی در طول این سیم‌ها منتشر شده، با رسیدن به محل برج‌ها از طریق بدنه فولادی آنان و سیستم زمین برج‌ها به زمین منتقل می‌گردند.

سرعت انتقال بارها و دامنه ولتاژهای موجی¹ به مقدار مقاومت مسیر مذکور بستگی دارد. به منظور جلوگیری از ظهور ولتاژ موجی و تراکم بارها، لازم است انتقال بارها در فاصله زمانی پیشانی موج و هم زمان با افزایش آن صورت پذیرد. در صورتی که مسیر برقراری جریان موجی، توانایی کافی برای تخلیه سریع بارهای الکتریکی به زمین را نداشته باشد ولتاژ موجی بر روی برج ظاهر شده و ممکن است منجر به بروز قوس بین برج و سیم فاز گردد. با بروز قوس در طول زنجیر مقره، قسمت اعظم بارهای الکتریکی انباشته شده در برج از طریق قوس به سمت سیم‌های فاز جریان یافته و ولتاژ موجی را در سیم‌های فاز ظاهر می‌سازد. این ولتاژ سپس در طول سیم‌های فاز منتشر گشته و به تدریج مستهلک می‌گردد.

بروز قوس در طول زنجیر مقره و برقراری جریان موجی از سمت برج به سیم‌های فاز اصطلاحاً قوس برگشتی نام دارد.

1-4-2- معایب بروز قوس برگشتی

بروز قوس برگشتی از دو جهت شرایط بهره‌برداری خط و کار شبکه را مختل می‌سازد.

- بروز قوس در طول زنجیر مقره بلافاصله به اتصال کوتاه فاز به زمین تبدیل شده و جریان اتصال کوتاه را از هادی‌های فاز به بدنه برج‌ها برقرار می‌سازد. بروز اتصال کوتاه سبب قطع کلید و توقف بهره‌برداری از خط می‌گردد. علاوه بر این مدت برقراری جریان خطا در بدنه برج تا حدود 1 ثانیه به طول می‌انجامد و در صورت بالا بودن مقاومت اهمی پایه برج، ولتاژ تماس² (ولتاژ فرکانس قدرت ظاهر شده بر بدنه برج در طول مدت برقراری جریان خطا) تا حد خطرناکی افزایش می‌یابد. به طوری که تماس اتفاقی با برج یا نزدیک شدن به آن در مدت برقراری جریان خطا ممکن است باعث برق‌گرفتگی شود. بنابراین مقاومت اهمی پایه برج باید تاحد قابل قبول کاهش یابد.

- با بروز قوس برگشتی قسمتی از جریان صاعقه به هادی‌های فاز منتقل گشته و در طول خط منتشر می‌شود. جریان موجی حاصل از قوس برگشتی مشابه جریان حاصل از برخورد مستقیم صاعقه بر هادی فاز است. این جریان با توجه به امپدانس موجی هادی‌های فاز، ولتاژی موجی شکل پدید می‌آورد که از محل بروز قوس در دو جهت در طول هادی‌های فاز منتشر می‌گردد. این موج ولتاژ می‌تواند باعث بروز قوس در برج‌های بعدی واقع در مسیر انتشار خود گردد.

1. Surge Voltage
2. Touch Voltage

1-4-3- شرط بروز قوس برگشتی

قوس برگشتی در طول زنجیر مقرره وقتی رخ می‌دهد که ولتاژ ظاهر شده بر بدنه برج از $\frac{V_{BIL}}{1-C_f}$ تجاوز نماید. ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه زنجیره مقرره بوده و C_f ضریب تزویج بین سیم‌های فاز و سیم‌های زمین است (در واقع اگر V_1 ولتاژ بدنه برج و V_2 ولتاژ القا شده در سیم فاز بر اثر V_1 باشد $C_f = \frac{V_2}{V_1}$ خواهد بود). ولتاژ بدنه برج با توجه به مقاومت بدنه آن R_b و مقاومت پایه برج R_e به ازای جریان تخلیه i از رابطه زیر بدست می‌آید [3]:

$$V_1 = (R_b + R_e) i \quad (1-1)$$

هنگامی که جریان تخلیه از حد i_{oc} تجاوز کند قوس برگشتی در طول زنجیر مقرره رخ می‌دهد. مقدار این جریان از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$i_{oc} = \frac{V_{BIL}}{(R_b + R_e)(1 - C_f)} \quad (2-1)$$

کاهش بروز قوس‌های برگشتی با افزایش جریان i_{oc} امکان پذیر می‌گردد. بنابراین باید مقاومت پایه برج حتی‌الامکان کاهش یابد تا احتمال بروز قوس برگشتی کم شود.

1-5- زمین کردن برج‌ها

برای کاهش مقاومت زمین برج‌ها لازم است سطح تماس بدنه فلزی برج با خاک افزایش یابد و مسیر جریان از برج به داخل زمین گسترش یابد. ایجاد ترتیب مناسب برای تأمین ارتباط الکتریکی کافی بین برج و زمین به زمین کردن¹ برج‌ها موسوم است. جهت کاهش مقاومت زمین، می‌بایستی از الکترودهای زمین² استفاده نمود. الکترودهای زمین را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول شامل تأسیسات فلزی نصب شده در زمین برای مقاصد غیر از زمین کردن است و دسته دیگر الکترودهایی هستند که منحصرأً به این منظور ساخته شده‌اند و میله‌های زمین و کانتروپوزها را شامل می‌گردند.

3 - میله‌های زمین

اغلب میله‌های زمین با قطرهای 16، 20 و 25 میلی‌متر و طول‌های 1/5، 2 و 3 متر ساخته می‌شوند و می‌توان با اتصال آنها به یکدیگر، به طول بیشتر نیز دست یافت. فولاد با پوشش مس⁴ رایج‌ترین جنس میله است که می‌توان آن را تا عمق قابل توجهی در زمین فرو کرد بی‌آنکه تغییر ساختار بدهد. علاوه بر فولاد پوشیده با مس، گاهی اوقات از فولاد گالوانیزه و فولاد ضد زنگ⁵ نیز استفاده می‌شود.

1. Earthing
2. Ground Electrode
3. Ground Rod
4. Copper Clad Steel
5. Stainless Steel

- کانترپویز

کانترپویز سیمی است که در زیرزمین و در امتداد سطح زمین، موازی با خط یا با زاویه‌ای نسبت به امتداد آن قرار داده می‌شود و به بدنه برج متصل می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقاومت یک مفتول هادی (مقطع دایره) با قطری برابر نصف عرض یک نوار هادی، برابر با مقاومت همان نوار است. در نتیجه از این دیدگاه، استفاده از مفتول هادی مقرون به صرفه‌تر است. قطر سیم نباید کمتر از $0/5$ سانتی‌متر باشد چون مقاومت اتصال زمین نوار هادی با عرض کمتر از 1 سانتی‌متر به سرعت افزایش می‌یابد. کانترپویز ممکن است از جنس فولاد، مس یا فولاد با پوشش مس باشد. از نقطه‌نظر هزینه، کانترپویز فولادی مناسب‌تر است.

1-6- انواع زمین کردن

انواع زمین کردن برج‌های خطوط نیرو را می‌توان باتوجه به وظیفه سیستم زمین به دو دسته تقسیم کرد:

- زمین کردن کاربردی¹

وظیفه سیستم زمین برج‌هایی که در مناطق با رفت و آمد عمومی قرار ندارند، کاهش مقاومت پایه برج به منظور بهبود عملکرد خط در مقابل صاعقه و نیز صحت عملکرد رله‌های حفاظتی است.

- زمین کردن حفاظتی²

برج‌هایی که در مناطق شهری واقع شده‌اند و در معرض رفت و آمد مردم قرار دارند نیازمند سیستم زمین حفاظتی می‌باشند. این نوع سیستم زمین در اصل مانند سیستم زمین کاربردی است با این تفاوت که در آن برای یکنواخت کردن پتانسیل زمین در حین خطا، یک حلقه هادی در اطراف برج و در زیر سطح زمین در نظر گرفته شده است. این حلقه هادی به سیستم زمین برج متصل می‌شود.

طراحی سیستم زمین خطوط انتقال انرژی

مقدمه

در این فصل ابتدا نحوه تعیین حداکثر مقدار مجاز مقاومت پایه برج بررسی شده و سپس چگونگی طراحی سیستم زمین بر مبنای استفاده از میله‌های زمین، کانترپوز یا ترکیبی از این دو ارائه می‌گردد.

2-1- تأثیر مقاومت پایه برج بر تعداد قطعی خط

2-1-1- تعیین حداکثر مقدار مجاز مقاومت پایه برج بر مبنای حداکثر تعداد قطعی

صاعقه پارامتری موثر در طراحی خطوط نیرو است. مقدار مجاز حداکثر تعداد قطعی یک خط به درجه اهمیت آن خط بستگی دارد. معمولاً برای خطوط مهم، یک قطعی در سال در 100 کیلومتر از طول خط در نظر گرفته می‌شود. آن دسته از خطوط را که با این معیار طراحی شوند، مقاوم در مقابل صاعقه¹ می‌نامند.

در یک سطح ولتاژ معین با کاهش مقاومت زمین در مقابل طول ثابت مقره، سطح حفاظت خط بالا می‌رود و احتمال قطعی آن کاهش می‌یابد. لذا باید مصالحه‌ای اقتصادی بین هزینه کاهش مقاومت زمین و قیمت مقره صورت گیرد. تجربه نشان می‌دهد که کاهش مقاومت زمین تا 10 اهم (اندازه‌گیری شده بدون حضور سیم‌های گارد) اقتصادی‌تر از افزایش طول مقره‌ها است. نقطه بهینه بین افزایش سطح عایقی یا کاهش مقاومت پایه برج را بررسی‌های اقتصادی مشخص می‌سازد.

در صورت انتخاب درصد یکسان و برابر قطعی‌ها، مقاومت زمین متفاوت برای خطوط با سطوح ولتاژ مختلف نتیجه می‌گردد. با بالا رفتن ولتاژ نامی خطوط حداکثر مقدار قابل قبول مقاومت زمین برج‌ها افزایش می‌یابد.

اتصال سیستم‌های زمین خطوط مختلف تنها پس از انجام مطالعات دقیق در هر حالت پیشنهاد می‌شود. اتصال سیستم‌های زمین دو خط اگرچه نرخ قطع کلی آن دو خط بر اثر صاعقه را کاهش می‌دهد، اما باعث قطع همزمان دو خط خواهد شد. طراح خط با توجه به مسائل فنی و اقتصادی، حداکثر مقدار مجاز مقاومت پایه برج را تعیین می‌کند.

2-1-2- تأثیر توزیع آماری مقادیر مقاومت پایه بر نرخ قطعی

در عمل یک خط نیرو مقاومت پایه ثابتی ندارد و کمیت مذکور بسته به موقعیت برج، در گستره‌ای تغییر می‌کند. در حالی که منحنی‌های مورد استفاده در طراحی، نرخ قطعی² خط را برای یک مقدار ثابت مقاومت پایه می‌دهند. برای حل این مشکل دو حالت زیر در نظر گرفته می‌شود:

- اگر تغییرات مقاومت پایه حول مقدار متوسط آن زیاد نباشد (یعنی ضریب تغییرات توزیع، S از نصف مقدار متوسط کمتر باشد)، مقدار متوسط مقاومت پایه در محاسبات به کار می‌رود. در این حالت خطای محاسبات کمتر از 20 درصد خواهد بود.

1.Lightning Proof

2.Trip Out Rate

- اگر مقاومت پایه برج‌های یک خط در چند گستره متفاوت قرارگیرد باید محاسبات به چند بخش تقسیم شود. اگر بخش i ام خط با طول L_i دارای نرخ قطعی T_i برای هر 100 کیلومتر در یک سال باشد، کل تعداد قطعی برای هر 100 کیلومتر از خط در یک سال، T از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = \frac{T_1 L_1 + \dots + T_i L_i + T_N L_N}{L_t} \quad (1-2)$$

که L_t طول کل خط می‌باشد.

2-2- طراحی سیستم زمین با استفاده از میله‌های زمین

2-2-1- مقاومت میله زمین

مقاومت زمین یک میله زمین برابر است با :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(L \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad L \gg a \quad (2-2)$$

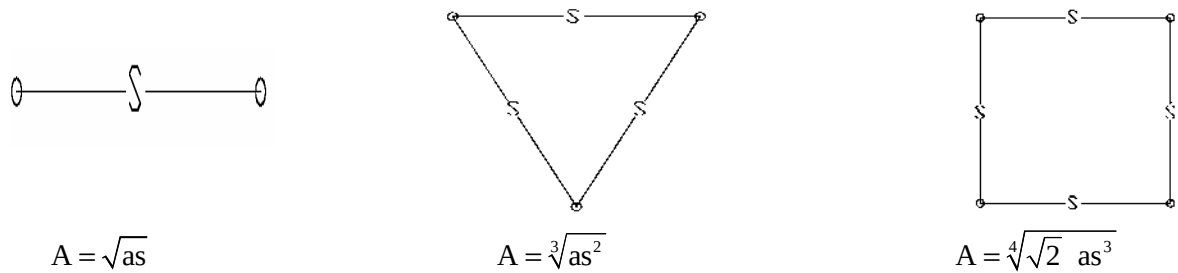
در این رابطه L طول میله برحسب متر، a شعاع آن بر حسب متر و r مقاومت مخصوص خاک بر حسب اهم متر است. قطر میله اثر کمی بر مقاومت آن دارد چون به عنوان بخشی از آرگومان لگاریتم ظاهر می‌شود. اما اثر طول میله بر مقاومت آن قابل توجه است. با افزایش طول میله، مقاومت میله متناسب با طول میله کاهش نمی‌یابد و از حدی به بعد افزایش طول میله باعث کاهش اندکی در مقاومت آن می‌شود.

2-2-2- موازی بستن میله‌های زمین

مقاومت زمین را می‌توان با اتصال موازی میله‌های زمین کاهش داد. اگر فاصله بین میله‌ها در مقایسه با طول آنها بزرگ باشد مقاومت معادل آنها، متناسب با تعداد میله‌ها کاهش می‌یابد. اما اگر میله‌ها به هم نزدیک باشند، تحت تأثیر میدان‌های الکتریکی یکدیگر قرار می‌گیرند به گونه‌ای که یک مقاومت متقابل مشترک¹ بین آنها ظاهر می‌شود و جریان هر یک ولتاژ دیگری را افزایش می‌دهد. لذا مقاومت معادل میله‌ها متناسب با عکس تعداد آنها کاهش نمی‌یابد. در صورتی که چیدمان میله‌های موازی به یکی از صور شکل (1-2) بوده و فاصله بین میله‌ها کم باشد مقاومت معادل تقریبی آنها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} L \ln \frac{2L}{A} \quad (2-3)$$

در این رابطه، A شعاع میله معادل می‌باشد.



شکل 2-1: موازی بستن میله‌های زمین

یک قاعده مفید این است که اگر تعداد 2 تا 24 الکتروود را با فاصله طول یک الکتروود از یکدیگر قرار دهیم به گونه‌ای که اشکالی نظیر مثلث، دایره یا مربع‌های توخالی تشکیل دهند، مقاومت مجموعه، $\frac{1}{n}$ برابر مقاومت یک الکتروود ضربدر ضریب F است، که n برابر تعداد کل الکتروودها می‌باشد. این ضریب از جدول زیر بدست می‌آید.

جدول 2-1: ضرایب محاسبه مقاومت معادل الکتروودهای موازی

تعداد میله‌ها	F
2	1/16
3	1/29
4	1/36
8	1/68
12	1/80
16	1/92
20	2/00
24	2/16

قراردادن میله‌های اضافی درون مربع، دایره یا سایر اشکال منجر به کاهش قابل توجهی در مقاومت معادل نمی‌شود. در پیوست 2-1، روابط دقیق‌تری برای محاسبه مقاومت میله‌های زمین در حالت کلی داده شده است.

2-2-3- پارامترهای مؤثر در انتخاب میله‌های زمین

در انتخاب میله‌های زمین برای طراحی سیستم زمین خطوط انتقال نیرو، علاوه بر کاهش مقاومت پایه تا مقدار مورد نظر، باید موارد زیر را نیز مد نظر قرار داد.

2-2-3-1- قطر میله

قطر میله اثر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت زمین آن ندارد. قطر لازم برای میله عمدتاً بر مبنای مقدار مورد نیاز استقامت مکانیکی میله در حین کوبیدن آن در خاک و نیز میزان خوردگی خاک تعیین می‌شود.

2-3-2-2- طول میله

طول میله علاوه بر اینکه به شدت بر مقاومت زمین میله اثر می‌گذارد، از سه جنبه زیر نیز قابل توجه است.

- ظرفیت بارگیری جریانی¹

دما و رطوبت الکتروستاتیک بر مقاومت زمین آن اثر می‌گذارند. جریان‌هایی که از الکتروستات به درون زمین می‌روند بر این دو پارامتر مؤثرند. جریان‌های کوچک حتی برای مدت طولانی منجر به تولید گرمای زیادی نمی‌شود و انتقال حرارت و تراوش رطوبت مقاومت زمین الکتروستات را در همان مقدار اولیه نگه می‌دارد. اما وقتی جریان‌های تخلیه بزرگ باشند، گرمای حاصل زیاد بوده، انتقال آن از طریق رسانایی در طی یک مدت کوتاه امکان‌پذیر نیست.

از آنجا که تقریباً 25% مقاومت زمین هر الکتروستات میله‌ای در شعاع 3 سانتی‌متر سطح اطراف میله دیده می‌شود، ممکن است در خطاهای شدید، رطوبت اطراف میله بخار شود. به بیرون جوشیدن رطوبت اطراف میله منجر به دودکردن² سطح زمین در نزدیکی الکتروستات می‌شود. با خشک شدن خاک، اثر میله به طرز قابل توجهی کاسته شده و ممکن است زیر زمین قوس رخ دهد. برای جلوگیری از دودکردن الکتروستات، ماکزیمم جریان بر هر متر طول میله در کل سیستم نباید از مقداری که اندازه آن از رابطه (2-4) بدست می‌آید، بیشتر باشد.

$$I = \frac{105000 D.L}{\sqrt{\rho.t}} \quad (2-4)$$

در این رابطه D قطر میله بر حسب متر، L طول آن بر حسب متر، r مقاومت مخصوص خاک بر حسب اهم متر و t مدت زمان عبور جریان از میله بر حسب ثانیه است. شایان ذکر است که رابطه فوق برای زمان‌های کوتاه قابل قبول است.

- تغییرات فصلی مقاومت میله زمین

مقاومت مخصوص زمین به ندرت در عمق‌های مختلف آن یکسان است. معمولاً چند متر اول زیر سطح زمین دارای مقاومت مخصوص نسبتاً زیادی است و در فصول مختلف سال بسته به میزان بارندگی تغییر می‌کند. درحالی که خاک اعماق زمین مقاومت مخصوص کمتر و نسبتاً ثابتی دارد. بنابراین هرچه طول میله بیشتر باشد، مقاومت آن کوچکتر بوده، تغییرات آن نیز در فصول مختلف سال کمتر است.

- مسأله نصب

با افزایش طول میله‌ها، کوبیدن آنها بویژه در زمین‌های سخت دشوارتر می‌شود. در هر طرح برای انتخاب طول میله‌های مورد استفاده باید شرایط خاک و تجهیزات موجود برای نصب را نیز در نظر گرفت.

2-3-2-2- جنس میله

یکی از جنبه‌های مهم سیستم زمین، طول عمر آن است. یعنی باید حداقل طول عمر میله برابر با طول عمر دیگر وسایل شبکه باشد. بنابراین میله باید استحکام کافی داشته و در برابر خوردگی تدریجی مقاوم باشد. میزان خوردگی در زمین‌های مختلف بسیار

1.Current Loading Capacity

2.Smoking

متفاوت است و سرعت خوردگی با مقدار و کیفیت آب رسیده به سطح فلز رابطه دارد. هر چه مقدار مواد اسیدی، بازی یا املاح محلول در آب یک نوع خاک بیشتر باشد، ضمن اینکه مقاومت الکتریکی آن کمتر است، خوردگی آن هم بیشتر است. به طور کلی می توان زمین ها را از لحاظ خوردگی با توجه به مقاومت مخصوص آنها به دسته های زیر تقسیم نمود:

جدول 2-2: انواع خاک از نظر میزان خوردگی

میزان خوردگی	مقاومت مخصوص خاک ($\Omega \cdot m$)
خیلی خورنده	0-15
خورنده	15-35
کم خورنده	35-100
خوردگی ناچیز	100-

از آنجا که مس در مقابل هوا، آب دریا، آب های سبک، اسید سولفوریک، اسید استیک و سایر اسیدهای غیر اکسیدان گرم یا سرد رقیق و عاری از هوا مقاوم است، می توان آن را در زمین های با خوردگی زیاد که اغلب از نظر مکانیکی نرم هستند به کار برد. میله های فولادی با روکش مسی نیز در این نوع زمین ها قابل استفاده است. در زمین هایی که مقاومت مخصوص خاک زیاد و خوردگی آن کم بوده و لازم است که استحکام مکانیکی میله زیاد باشد می توان از میله های فولادی گالوانیزه استفاده کرد.

2-3- طراحی سیستم زمین با استفاده از کانتروپویز

2-3-1- مقاومت نشستی 1 یک سیم کانتروپویز

مقاومت زمین یک سیم افقی به طول L و شعاع a که در عمق d از سطح زمین موازی با خط انتقال قرار می گیرد و با فرض این که شعاع هادی و عمق دفن کانتروپویز در مقابل طول کانتروپویز قابل صرف نظر باشد ($L \gg a$ و d)، برابر است با [4]:

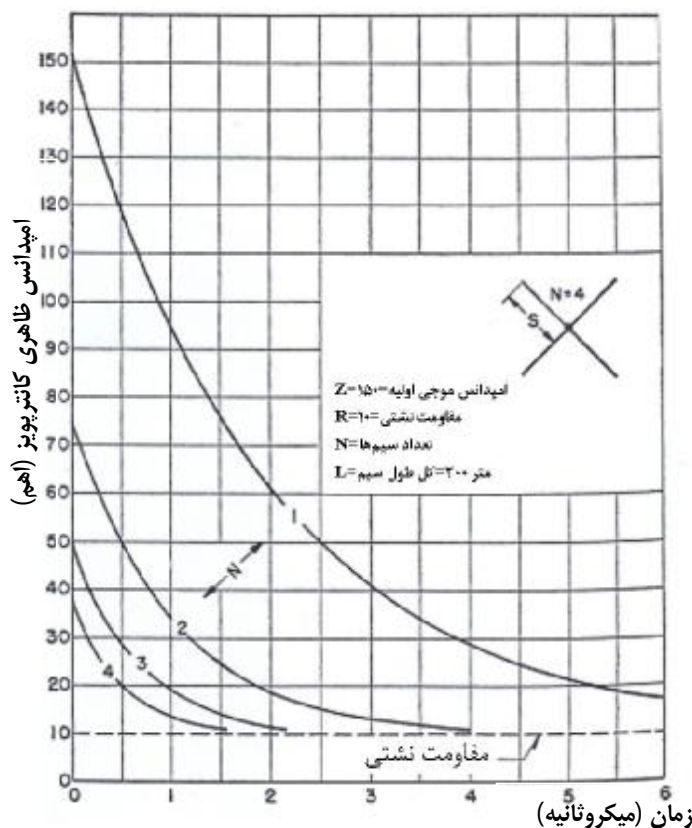
$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2ad}} - 1 \right) = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{L}{d} - 2 + \frac{4d^2}{L} - \frac{d^2}{L^2} \dots \right) \quad (5-2)$$

در رابطه اخیر ابعاد بر حسب متر و r بر حسب اهم متر می باشد. ملاحظه می شود که قطر کانتروپویز اثر چندانی بر مقاومت آن ندارد ولی تغییر طول سیم به شدت مقاومت آن را تغییر می دهد. همچنین عمق دفن تأثیر قابل ملاحظه ای بر مقاومت سیم نمی گذارد و لذا کافی است سیم ها در عمقی دفن شوند که دور از دسترس باشند. مقدار پیشنهادی عمق دفن برای زمین های معمولی حداقل 60 سانتی متر و برای زمین های کشاورزی حداقل 70 سانتی متر می باشد.

2-3-2- امپدانس موجی کانترپویز

هر کانترپویز دارای یک امپدانس موجی اولیه¹ است. اگر کانترپویزهای بلند یا پیوسته به کار روند مقاومت موجی اولیه معمولاً از مقاومت ناشی بزرگتر است. مقدار امپدانس موجی اولیه تا حدودی به شرایط خاک بستگی دارد اما اغلب در گستره 150 تا 200 اهم قرار می‌گیرد.

وقتی موج در طول کانترپویز حرکت می‌کند مقاومت موجی اولیه به تدریج کاهش می‌یابد تا مقاومت سیم به مقدار ناشی آن برسد. مدت زمان این کاهش به طول سیم و سرعت انتشار موج بستگی داشته، تقریباً دو برابر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا موج طول کانترپویز را طی کند. سرعت انتشار موج در کانترپویز تقریباً $\frac{1}{3}$ سرعت نور است. به عنوان مثال مقاومت یک کانترپویز 300 متری که امپدانس موجی اولیه آن 150 اهم است طی 6 میکروثانیه به مقدار ناشی آن می‌رسد. در صورتی که فقط $\frac{1}{5}$ میکروثانیه طول می‌کشد تا مقاومت یک سیم 75 متری با مقاومت موجی اولیه 150 اهم به مقدار ناشی آن برسد. این در حالی است که امپدانس موجی اولیه چهار کانترپویز 75 متری در حدود $\frac{37}{5}$ اهم می‌باشد. بنابراین استفاده از تعدادی کانترپویز کوتاه به جای یک کانترپویز بلند مطلوب‌تر است (این مشکل در مورد میله‌های زمین وجود ندارد چون طول آنها کم است). شکل (2-2) تأثیر استفاده از چند کانترپویز کوتاه را نشان می‌دهد.

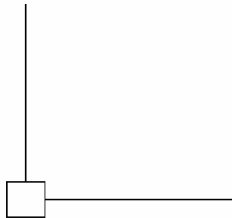


شکل 2-2: تأثیر استفاده از کانترپویزهای کوتاه به جای کانترپویز بلند

توجه به این نکته مهم است که مقاومت نشتی کانترپویز (که از رابطه 2-5 بدست می آید) حتماً باید کمتر از امپدانس موجی اولیه آن باشد. در غیراین صورت موج سیار در پای برج بزرگتر می شود.

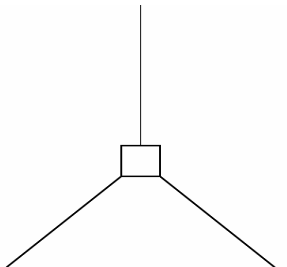
2-3-3- آرایش های مختلف کانترپویز [9]

سیم های کانترپویز را می توان به چندین صورت آرایش داد. در زیر چند نمونه آرایش و مقاومت نشتی معادل هر یک آمده است. در همه موارد شعاع سیم a می باشد. در صورتی که به جای سیم¹ (هادی با مقطع گرد) از نوار² (هادی با مقطع مستطیلی) استفاده شده باشد، برای محاسبه مقاومت نوار باید شعاع سیم معادل آن (سیمی که محیط سطح مقطع آن با محیط سطح مقطع رشته برابر است) در روابط به کار رود.



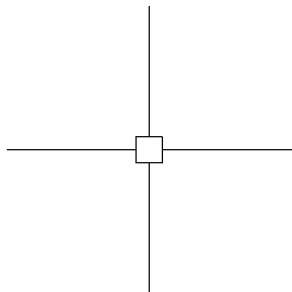
$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{h} - 0.2373 + 0.2146 \frac{h}{L} \dots \right)$$

دو سیم عمود برهم، طول سیم L و عمق دفن $h/2$



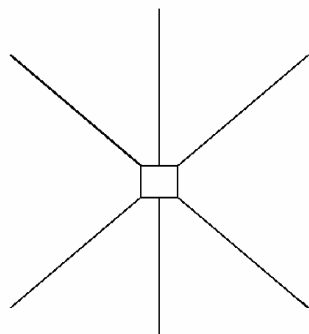
سه سیم با طول L و عمق دفن $h/2$

$$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{h} + 1.071 - 0.209 \frac{h}{L} \dots \right)$$



چهار سیم با طول L و عمق دفن $h/2$

$$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{h} + 2.912 - 1.071 \frac{h}{L} \dots \right)$$



شش سیم با طول L و عمق دفن $h/2$

$$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(L \ln \frac{2L}{a} + L \ln \frac{2L}{h} + 6.851 - 3.128 \frac{h}{L} \dots \right)$$

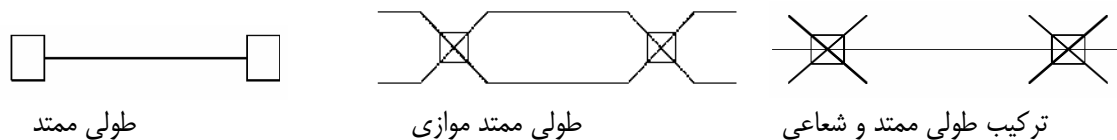
شکل 2-3: آرایش‌های مختلف کانترپویز و مقاومت نشستی آنها

رابطه زیر نیز برای محاسبه مقاومت معادل n سیم که طول و شعاع هریک به ترتیب L و a بوده، به طور شعاعی و متقارن آرایش یافته‌اند، (یعنی زاویه بین همه زوج سیم‌های مجاور یکسان است) پیشنهاد شده است:

$$R = \frac{\rho}{n\pi L} \left[L \ln \frac{2L}{\sqrt{2ah}} - 1 + \sum_{i=1}^{n-1} L \ln \frac{1 + \sin(i\pi/n)}{\sin(i\pi/n)} \right] \quad (6-2)$$

که h عمق دفن سیم می‌باشد.

همچنین می‌توان از آرایش‌های پیوسته بین برج‌ها مطابق شکل زیر استفاده کرد.



شکل 2-4: آرایش‌های پیوسته کانترپویز

برای محاسبه مقاومت معادل n کانترپویز مشابه موازی، می‌توان رابطه زیر را به کار گرفت [4].

$$R_n = \frac{1}{n} R_0 + \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij} \quad (7-2)$$

در این رابطه R_0 مقاومت کانترپویز منفرد و R_{ij} مقاومت متقابل کانترپویزهای i ام و j ام می‌باشد. R_{ij} برابر است با [4]:

$$R_{ij} = \frac{\rho}{2\pi L} [f(S_{ij}) + f(S'_{ij})] \quad (8-2)$$

S_{ij} فاصله افقی دو کانترپویز i ام و j ام است و S'_{ij} به صورت زیر تعریف می‌شود [4].

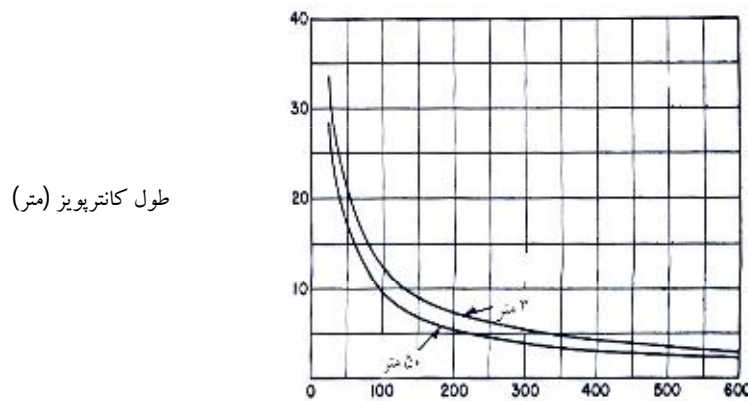
$$S'_{ij} = \sqrt{S_{ij}^2 + (2h)^2} \quad (9-2)$$

که در این رابطه h عمق دفن کانترپویز می‌باشند.

تابع f برابر است با [4]:

$$f(x) = \ln\left(\frac{L + \sqrt{x^2 + L^2}}{x}\right) + \frac{x - \sqrt{x^2 + L^2}}{L} \quad (10-2)$$

هنگام استفاده از روش ممتد موازی باید فاصله افقی بین سیم‌های موازی را در حد امکان افزایش داد. شکل (2-5) اثر فاصله دو سیم موازی را بر مقاومت معادل آنها نشان می‌دهد.



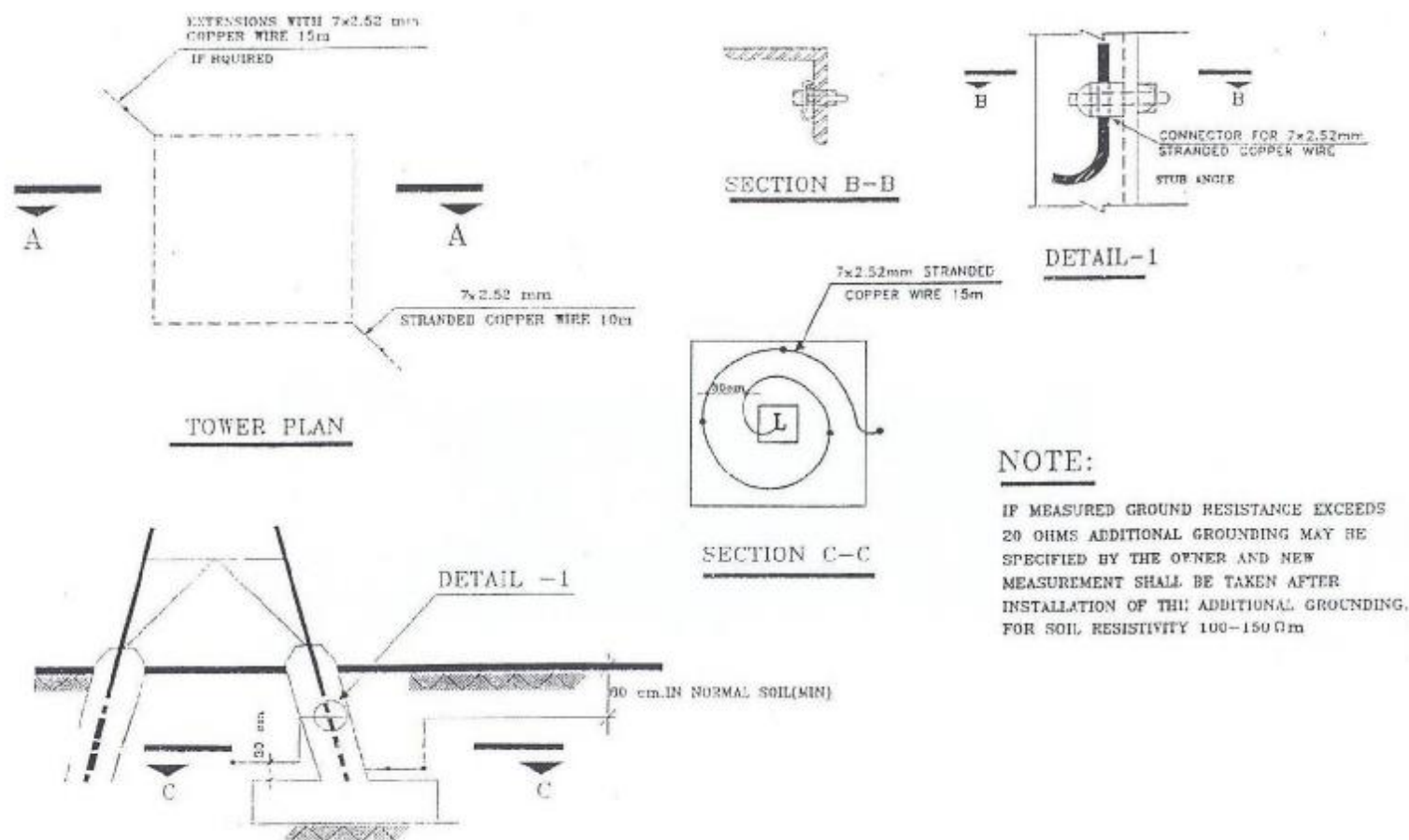
شکل 2-5: اثر فاصله دو سیم موازی بر مقاومت معادل آنها

از نظر عملی، می‌توان فاصله دو سیم موازی را برابر عرض حریم خط انتخاب نمود. بنابراین جز در مورد خطوط فشار ضعیف یا خطوط مناطق کوهستانی، ایجاد فاصله 20 متر بین دو هادی دشوار نیست. به دلیل گرانی این روش، از آن کمتر استفاده می‌شود.

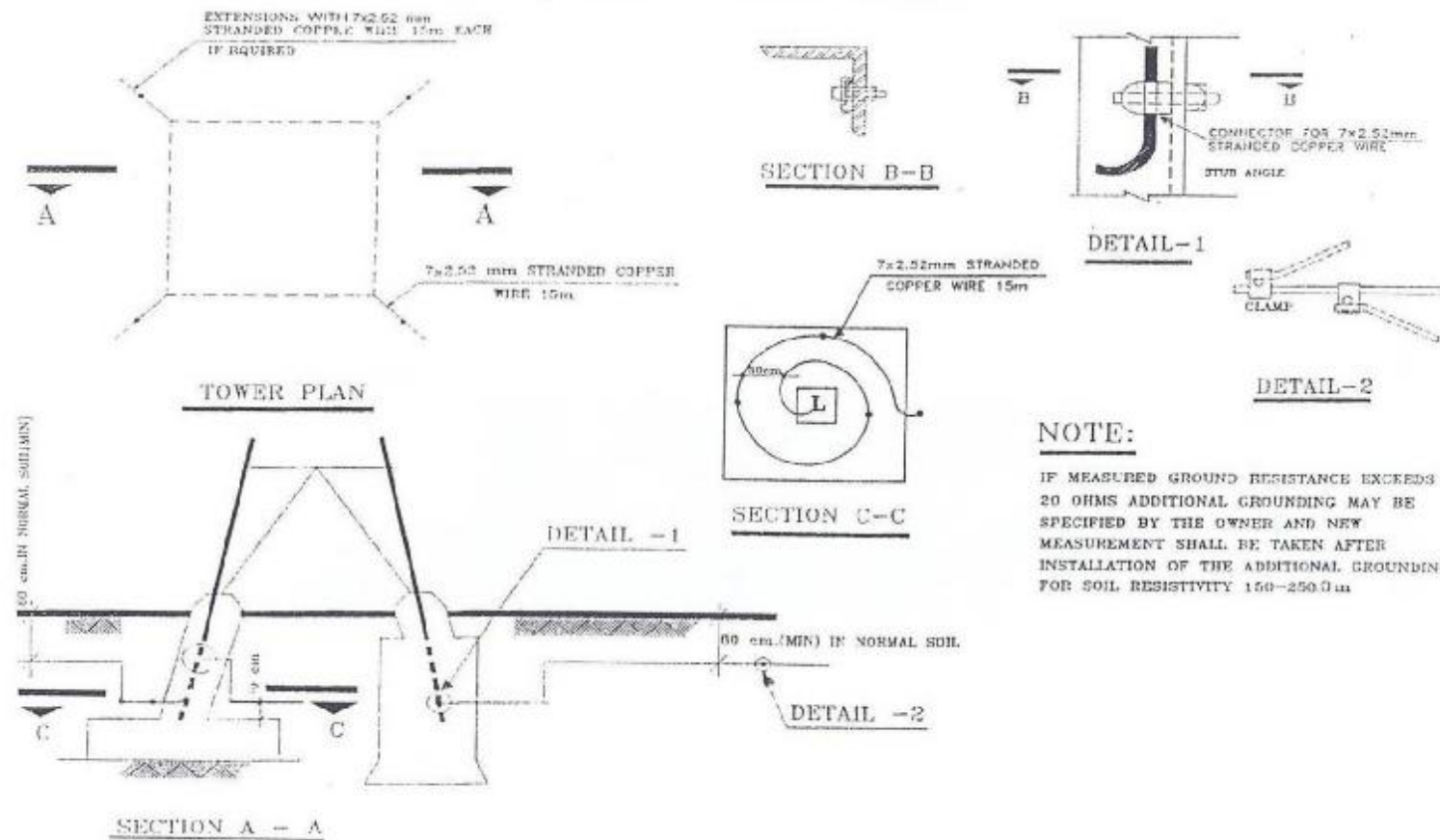
2-3-4- ملاحظات عملی

در مناطقی که احتمال سرقت کانترپویز وجود داشته باشد، معمولاً از حفر کانال و خوابانیدن هادی در آن اجتناب می‌شود. در عوض هادی را درون فونداسیون بتنی جاسازی کرده و قسمت کوچکی از آن را از بتن خارج می‌کنند تا در صورت عدم دستیابی به مقاومت موردنظر امکان گسترش سیستم زمین برج وجود داشته باشد.

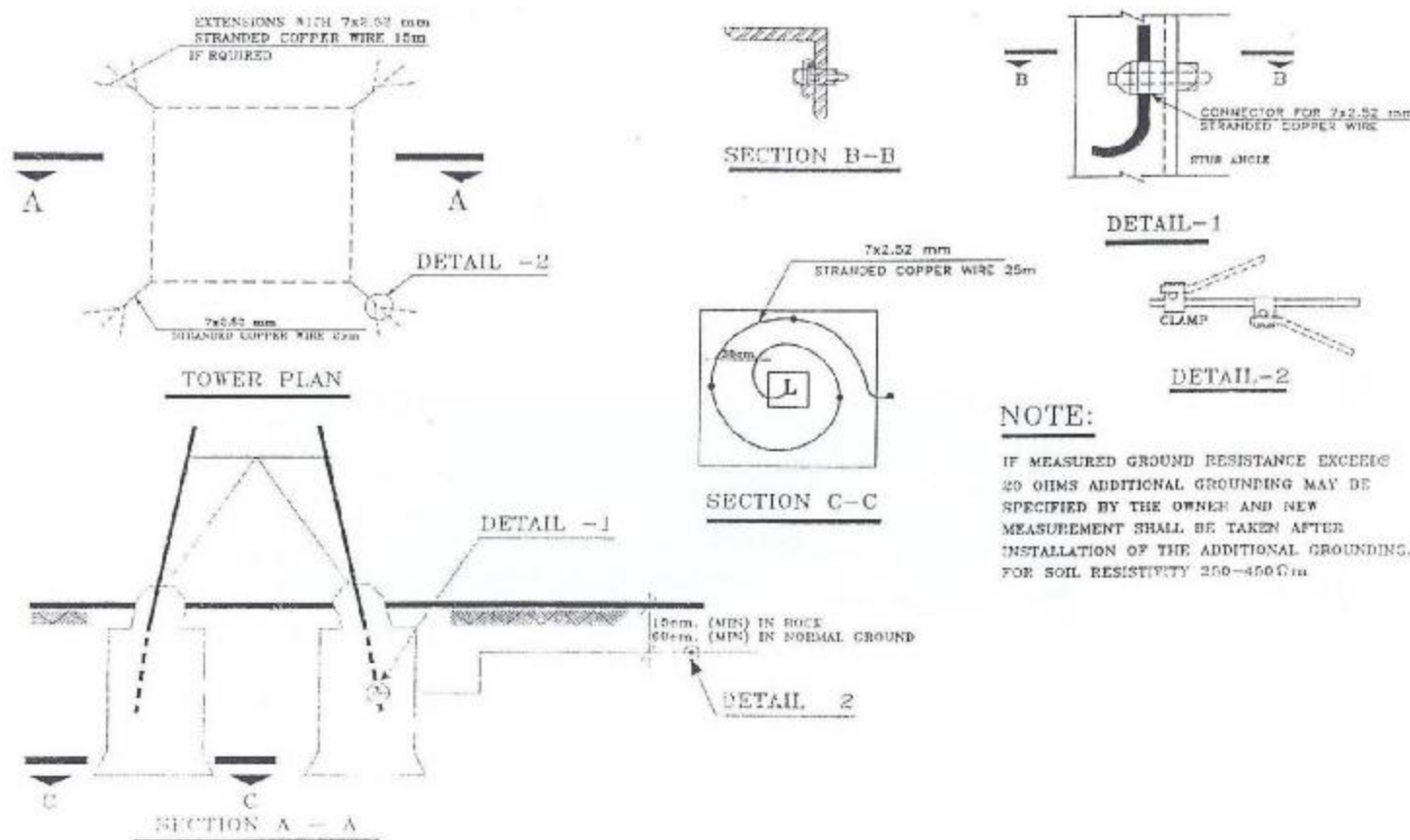
در شکل‌های زیر چند نمونه عملی پیاده‌سازی سیستم زمین با استفاده از کانترپویز ارائه شده است. لازم به ذکر است که این نقشه‌ها در مورد هر چهار سطح ولتاژ رایج در ایران به کار می‌رود.



شکل 2-6: نمونه عملی پیاده‌سازی سیستم زمین با استفاده از کانترپویز. مقاومت مخصوص خاک بین 100 تا 150 اهم‌متر



شکل 7-2: نمونه عملی پیاده سازی سیستم زمین با استفاده از کانترپویز. مقاومت مخصوص خاک بین 150 تا 250 اهم متر



شکل 2-8: نمونه عملی پیاده سازی سیستم زمین با استفاده از کانترپویز. مقاومت مخصوص خاک بین 250 تا 450 اهم متر

2-4- روش ترکیبی در طراحی سیستم زمین

در صورت بالابودن مقاومت مخصوص خاک می‌توان دو روش کوبیدن میله و استفاده از کانترپویز را همزمان به کار برد. اگر مقاومت نهایی حاصل از کوبیدن میله‌ها به تنهایی R_{eq1} و مقاومت نهایی حاصل از خواباندن سیم به تنهایی R_{eq2} باشد، مقاومت پایه برج از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{tot} = R_{eq1} \parallel R_{eq2} \quad (2-11)$$

2-5- رابطه مقاومت اهمی و مقاومت موجی

مقاومت پایه برج معمولاً با اندازه‌گیری در فرکانس 50 هرتز بیان می‌شود. در حالی که عملکرد خط در مقابل صاعقه به مقدار مقاومت موجی پایه برج بستگی دارد. عامل اندوکتانس الکتروود و پدیده یونیزاسیون خاک باعث می‌شود که این دو مقدار با یکدیگر تفاوت داشته باشند.

با افزایش جریان عبوری از خاک مقاومت آن دست‌کم تا وقتی که هنوز جریان، خاک را خشک نکرده است، کاهش می‌یابد. کاهش مذکور که بر اثر شکست خاک رخ می‌دهد در زمین‌های با مقاومت زیاد، بیشتر از زمین‌های کم‌مقاومت است. در مورد میله‌های زمین عامل یونیزاسیون خاک بسیار موثر است در صورتی که به دلیل کمی طول میله‌های مذکور، اندوکتانس آنها قابل توجه نمی‌باشد. لذا مقاومت موجی یک میله زمین همواره کمتر از مقاومت آن در مقابل جریان فرکانس قدرت است. این در حالی است که به دلیل زیاد بودن طول کانترپویز اندوکتانس آن قابل ملاحظه بوده و در نتیجه امپدانس موجی کانترپویز همواره بیش از مقاومت فرکانس قدرت آن است. برای اطلاع بیشتر به پیوست 2-2 مراجعه فرمایید.

2-6- مثال طراحی

در طراحی یک خط نیرو، حداکثر مقدار مجاز مقاومت پایه برج‌های خط 20 اهم برآورد شده است. در زیر، طراحی سیستم زمین برای دو خاک مختلف با مقاومت‌های مخصوص $\rho = 100 \, \Omega \cdot m$ ، $\rho = 600 \, \Omega \cdot m$ انجام می‌شود. در هر حالت، طراحی هم با استفاده از میله‌های زمین و هم با استفاده از کانترپویز صورت گرفته است. خاک به گونه‌ای است که میله با قطر 20 میلی‌متر برای نصب مناسب تشخیص داده می‌شود.

$$\text{الف) مقاومت مخصوص خاک } \rho = 100 \, \Omega \cdot m$$

مقاومت زمین یک میله 2 متری با قطر 20 میلی‌متر در خاکی با مقاومت مخصوص 100 اهم متر با استفاده از رابطه (2-2) برابر است با:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) = \frac{100}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{4 \times 2}{0.01} - 1 \right) = 45.2 \, \Omega$$

در صورت استفاده از تعداد بیشتری میله، مقاومت حاصل را می توان با استفاده از شکل (1-2) و رابطه (3-2) یا ضرایب جدول (1-2) یا روابط مطرح شده در پیوست 1-2 به دست آورد. در زیر، محاسبات برای آرایش های دومیله ای و سه میله ای با استفاده از روش های مختلف انجام شده است. فرض بر این است که فاصله هر دو میله مجاور برابر طول میله یعنی 2 متر می باشد.

آرایش دومیله ای

1- استفاده از جدول (1-2):

$$F=1.16 \Rightarrow R_2 = \frac{1}{2} \times 45.2 \times 1.16 = 26.2 \, \Omega$$

2- استفاده از شکل (1-2) و رابطه (3-2):

$$A = \sqrt{as} = \sqrt{0.01 \times 2} = 0.141 \text{ m} \Rightarrow R_2 = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln \frac{2 \times 2}{0.141} = 26.6 \, \Omega$$

3- استفاده از رابطه (12-2):

$$R_2 = \frac{1}{2} \times 45.2 + \frac{2}{4} R_{12} = 22.6 + \frac{1}{2} \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{4 + \sqrt{(2)^2 + (2 \times 2)^2}}{2} + \frac{2 - \sqrt{4 + 16}}{4} \right) = 25.9 \, \Omega$$

آرایش سه میله ای

1- استفاده از جدول (1-2):

$$F=1.29 \Rightarrow R_3 = \frac{1}{3} \times 45.2 \times 1.29 = 19.4 \, \Omega$$

2- استفاده از شکل (1-2) و رابطه (3-2):

$$A = \sqrt[3]{as^2} = \sqrt[3]{0.01 \times (2)^2} = 0.342 \text{ m} \Rightarrow R_3 = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln \frac{2 \times 2}{0.342} = 19.6 \, \Omega$$

3- استفاده از رابطه (12-2):

$$R_3 = \frac{1}{3} \times 45.2 + \frac{2}{9} (R_{12} + R_{23} + R_{31})$$

با فرض اینکه سه میله سه رأس یک مثلث متساوی الاضلاع قرار دارند، مقاومت های متقابل در رابطه فوق با یکدیگر برابرند. لذا

$$R_3 = \frac{1}{3} \times 45.2 + \frac{2}{9} \times 3 \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{4 + \sqrt{4 + 16}}{2} + \frac{2 - \sqrt{4 + 16}}{4} \right) = 19.4 \, \Omega$$

در جدول زیر نتایج مقایسه شده است، باید توجه داشت که عدم حذف ارقام بعد از ممیز در محاسبات صرفاً به منظور مقایسه نتایج روش های مختلف صورت گرفته و هیچ گونه ارزش عملی ندارد.

جدول 2-3- مقاومت معادل میله‌های زمین با فاصله 2 متر بین هر دو میله مجاور

رابطه (12-2)	رابطه (3-2)	جدول (1-2)	روش محاسبه آرایش
25/9	26/6	26/2	دو میله‌ای
19/4	19/6	19/4	سه میله‌ای

با افزایش فاصله بین میله‌ها مقاومت متقابل بین آنها کاهش می‌یابد. در زیر با فرض فاصله 5 متری بین میله‌ها، محاسبات مجدداً تکرار شده است. در این حالت نمی‌توان از ضرایب جدول (1-2) استفاده نمود.

آرایش دومیله‌ای

1- استفاده از رابطه (3-2):

$$A = \sqrt{as} = \sqrt{0.01 \times 5} = 0.224 \text{m} \Rightarrow R_2 = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln \frac{2 \times 2}{0.224} = 23.0 \Omega$$

2- استفاده از رابطه (12-2):

$$R_2 = \frac{1}{2} \times 45.2 + \frac{2}{4} \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{2 \times 2 + \sqrt{5^2 + (4)^2}}{5} + \frac{5 - \sqrt{25 + 16}}{4} \right) = 24.1 \Omega$$

3- استفاده از رابطه (16-2):

$$R_2 = \frac{1}{2} \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left[\ln \frac{4 \times 2}{0.01} - 1 + \frac{2}{5} \times \frac{1}{\sin \pi/2} \right] = 24.2 \Omega$$

برای استفاده از رابطه (16-2) باید دو میله را بر روی محیط یک دایره فرض کرد. قطر چنین دایره‌ای برابر فاصله دو میله خواهد بود.

آرایش سه میله‌ای

1- استفاده از رابطه (3-2):

$$A = \sqrt[3]{as^2} = \sqrt[3]{0.01 \times 5^2} = 0.63 \text{m} \Rightarrow R_3 = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln \frac{2 \times 2}{0.63} = 14.7 \Omega$$

2- استفاده از رابطه (12-2):

$$R_3 = \frac{1}{3} \times 45.2 + \frac{2}{9} (R_{12} + R_{23} + R_{31}) = \frac{1}{3} \times 45.2 + \frac{2}{9} \times 3 \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left(\ln \frac{4 + \sqrt{25 + 16}}{5} + \frac{5 - \sqrt{41}}{4} \right) = 17.1 \Omega$$

3- استفاده از رابطه (2-16):

قطر دایره محیط بر مثلث متساوی الاضلاع به ضلع S برابر با $D = \frac{2}{\sqrt{3}} S$ می باشد. لذا:

$$D = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 5 = 5.77 \text{ m}$$

$$R_3 = \frac{1}{3} \times \frac{100}{2\pi \times 2} \left[\ln \frac{4 \times 2}{0.01} - 1 + \frac{2}{5.77} \left(\frac{1}{\sin \pi/3} + \frac{1}{\sin 2\pi/3} \right) \right] = 17.2 \ \Omega$$

نتایج محاسبات فوق در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول 2-4- مقاومت معادل میله های زمین با فاصله 5 متر بین هر دو میله مجاور

رابطه (2-16)	رابطه (2-12)	رابطه (2-3)	روش محاسبه آرایش
24/2	24/1	23/0	دو میله ای
17/2	17/1	14/7	سه میله ای

در صورت استفاده از کانترپویز با سطح مقطع 35 mm^2 ($7 \times 2/52 \text{ mm}$) و عمق دفن 80 سانتی متر، حداقل طول مورد نیاز برای کاهش مقاومت پای برج تا 20 اهم با استفاده از رابطه (2-5) به دست می آید. شعاع معادل کانترپویز تقریباً

$$r = \sqrt{\frac{A}{p}} = \sqrt{\frac{35}{p}} \approx 3/4 \text{ mm}$$

$$20 = \frac{100}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2 \times 0.0034 \times 0.8}} - 1 \right) \Rightarrow L \approx 7 \text{ m}$$

باتوجه به خطا در اندازه گیری مقاومت خاک و تغییرات آن در فصول مختلف و نیز عدم دقت کافی در روابط، باید طول کانترپویز را افزایش داد تا در عمل هم مقاومت مطلوب حاصل شود.

$$r = 600 \ \Omega.m \text{ (ب) مقاومت مخصوص خاک}$$

مقاومت میله زمین 3 متری با قطر 20 میلی متر در خاکی با مقاومت مخصوص 600 اهم متر برابر است با:

$$R = \frac{600}{2\pi \times 3} \left(\ln \frac{4 \times 3}{0.01} - 1 \right) = 194.0 \ \Omega$$

با فرض اینکه فاصله هر دو میله مجاور 3 متر باشد، جدول (2-1) نشان می دهد که برای کاهش مقاومت پایه برج تا 20 اهم، حدود 20 عدد میله لازم است.

$$n = 20 \Rightarrow F = 2/0 \Rightarrow R = \frac{1}{20} \times 194 \times 2.0 = 19.4 \ \Omega$$

اگرچه با افزایش فاصله بین میله‌ها و کاهش مقاومت متقابل بین آنها تعداد میله مورد نیاز کم می‌شود اما به هر حال تعداد میله‌های لازم زیاد بوده نصب آنها زمان‌بر است.

طول مورد نیاز برای کانترپوز با سطح مقطع 35 میلی‌متر مربع و عمق دفن 80 سانتی‌متر از رابطه (2-5) به دست می‌آید.

$$20 = \frac{600}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{2 \times 0.0034 \times 0.8}} - 1 \right) \Rightarrow L \approx 60 \text{m}$$

در اجرای سیستم زمین عملاً از مدار L-R برای تعیین مقاومت لازم برای کاهش مقاومت پای برج استفاده می‌شود. محاسبات مربوط به امپدانس موجی برج در نشریه "طراحی عمومی خطوط نیرو" از سری همین نشریات ارائه شده است.

پیوست (2-1): روابط کلی محاسبه مقاومت میله‌های زمین [4]

در حالت کلی می‌توان مقاومت معادل n میله زمین مشابه و موازی را از رابطه زیر به دست آورد.

$$R_n = \frac{1}{n} R_0 + \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij} \quad (12-2)$$

در رابطه اخیر R_0 مقاومت یک میله زمین منفرد و R_{ij} مقاومت متقابل میله‌های i ام و j ام بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R_{ij} = \frac{\rho}{2\pi L} f(S_{ij}) \quad (13-2)$$

که در آن S_{ij} فاصله افقی دو میله i ام و j ام می‌باشد. در حالتی که میله‌ها روی محیط دایره‌ای به قطر D قرار گرفته باشند، فاصله دو میله به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_{ij} = D \sin \left[(j-i) \frac{\pi}{n} \right] \quad (14-2)$$

تابع f نیز به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$f(x) = \ln \frac{2L + \sqrt{x^2 + (2L)^2}}{x} + \frac{x - \sqrt{x^2 + (2L)^2}}{2L} \quad (15-2)$$

در حالتی که میله‌ها روی محیط دایره قرار دارند اگر فاصله هر دو میله مجاور بیش از طول میله باشد، می‌توان به جای رابطه (12-2)، رابطه زیر را با تقریب به کار گرفت.

$$R_n = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{D} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\sin(i\pi/n)} \right] \quad (16-2)$$

پیوست (2-2): رابطه مقاومت موجی و مقاومت اهمی میله‌های زمین [4]

- مقدمه:

این واقعیت که مقاومت یک الکتروود زمین در مقابل جریان‌های بزرگ هم‌چون صاعقه، کوچکتر از مقاومت آن در برابر جریان‌های کوچک است باعث می‌شود تا در طراحی سیستم زمین برج، از مقادیر محاسبه یا اندازه‌گیری شده در جریان‌های کم استفاده کرد تا به این ترتیب حاشیه امنیتی فراهم گردد. در زیر روابطی برای محاسبه مقاومت موجی میله‌های زمین ارائه شده است.

• میله زمین

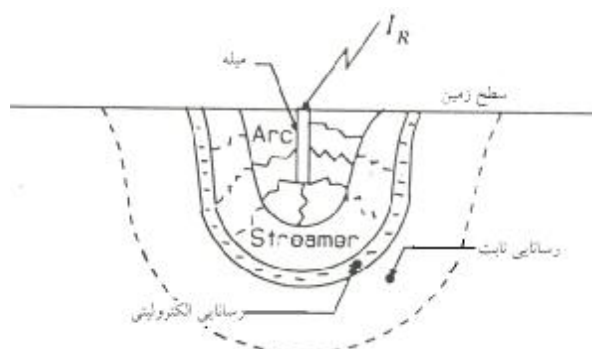
مقاومت اهمی (درمقابل جریان‌های کوچک) یک میله زمین به طول L و شعاع r_0 در خاکی با مقاومت مخصوص ρ ، مطابق رابطه (2-2) برابر است با:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_0} - 1 \right) \quad (17-2)$$

به ازای جریان I_R ، چگالی جریان و گرادیان ولتاژ در فاصله r از میله به ترتیب برابرند با:

$$J = \frac{I_R}{2\pi r L}, \quad E = \rho J = \frac{\rho I_R}{2\pi r L} \quad (18-2)$$

اگر جریان I_R آن قدر بزرگ باشد که گرادیان ولتاژ از مقدار بحرانی E_0 بیشتر شود، خاک دچار شکست¹ می‌شود. روند کار در شکل (2-7) نشان داده شده است.

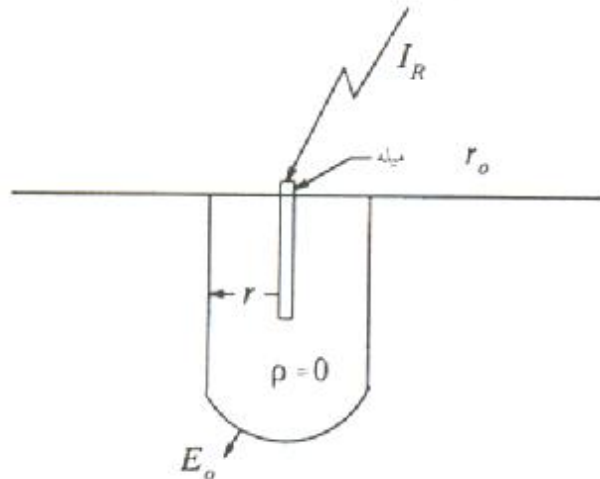


شکل 2-7: شکست خاک اطراف یک الکتروود میله‌ای بر اثر جریان ضربه

با افزایش جریان و تولید شارش² های ناشی از میدان الکتریکی، رطوبت خاک تبخیر شده و قوس ایجاد می‌شود. در نواحی قوس³ و شارش جریان، مقاومت از مقدار ابتدایی اش کمتر شده و درمورد هادی ایده‌آل به صفر می‌رسد. شکست خاک را می‌توان با افزودن بر طول و قطر میله مورد بررسی مدل کرد. در اغلب تحقیقات این فرایند با مدل ساده شکل (2-8) نمایش داده شده است. در این

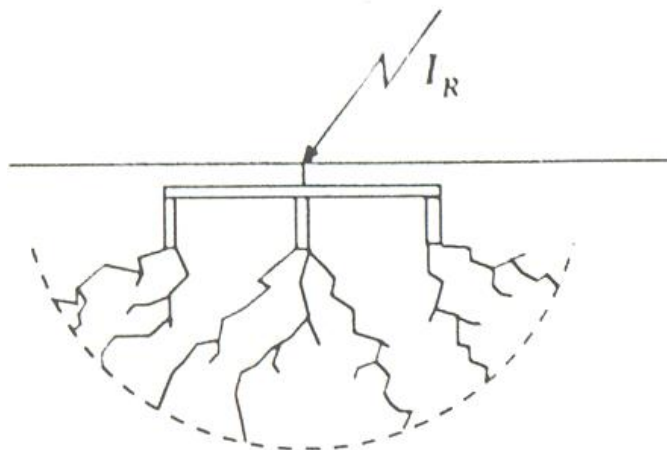
1. Breakdown
2. Streamer
3. Arc Zones

مدل نواحی قوس و شارش به صورت ناحیه یونیزه شده¹ با مقاومت صفر مدل شده‌اند. (ناحیه الکترولیتی² کوچک فرض شده و از آن چشم‌پوشی می‌شود.) ناحیه یونیزه شده با مقدار بحرانی شدت میدان، E_0 که در شعاع r رخ می‌دهد، مشخص می‌شود.



شکل 2-8: مدل ساده ناحیه یونیزه شده

با افزایش میزان یونیزاسیون، شکل ناحیه یونیزه شده مشابهت بیشتری با کره پیدا می‌کند. این مطلب در شکل (2-9) برای حالت چند الکترودی نشان داده شده است. بنابراین می‌توان به ازای جریان‌های زیاد میله زمین را به صورت یک الکترود³ مدل کرد. در ادامه الکترود کروی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



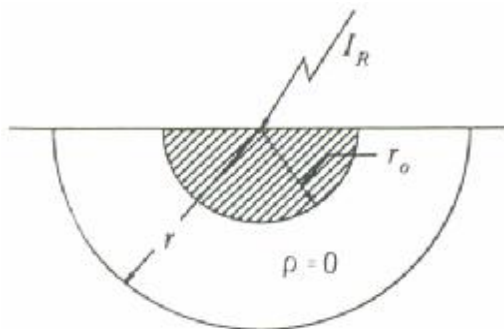
شکل 2-9: مشابهت عملکرد چند الکترود با کره

1. Ionization Zone
2. Electrolytic Zone
3. Hemisphere Electrode

• الکتروود کروی

برای الکتروود کروی به شعاع r_0 مطابق شکل زیر، روابط زیر برقرارند.

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi r_0} \quad , \quad J = \frac{I_R}{2\pi r^2} \quad , \quad E = \frac{\rho I_R}{2\pi r^2} \quad (19-2)$$



شکل 2-10: الکتروود کروی

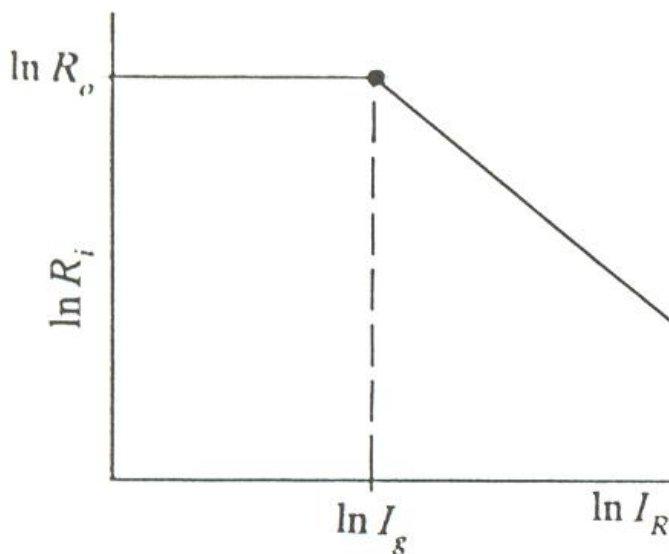
فرض صفر بودن مقاومت خاک در ناحیه یونیزه شده به این معناست که شعاع کره هادی (با مقاومت صفر) تا مقدار r افزایش یافته است. r از معادله (19-2) با قراردادن $E=E_0$ به دست می آید. اگر r بجای r_0 در رابطه (19-2) به کار رود، مقاومت محاسبه شده برابر مقدار ضربه آن خواهد بود.

$$R_i = \sqrt{\frac{E_0 \rho}{2\pi I_R}} \quad (20-2)$$

لگاریتم گیری از دو طرف منجر به رابطه زیر می شود.

$$\ln R_i = \frac{1}{2} \left[\ln \frac{E_0 \rho}{2\pi} - \ln I_R \right] \quad (21-2)$$

بنابراین مقاومت ضربه با جذر جریان نسبت عکس دارد. در مقیاس تمام لگاریتمی، مقاومت ضربه برحسب جریان مطابق شکل زیر یک خط راست است.



شکل 2-11: مقاومت ضربه الکتروود کروی

با این حال دو رابطه اخیر تنها در صورتی صحیح هستند که بزرگی جریان صاعقه برای ایجاد گرادیان بحرانی E_0 در سطح کره کافی باشد. برای محاسبه این حداقل جریان (I_g) باید در رابطه (2-19)، $E=E_0$ ، $r=r_0$ و $I_R=I_g$ قرارداد.

$$I_g = \frac{2\pi r^2 E_0}{\rho} = \frac{1}{2\pi} \frac{\rho E_0}{R_0^2} \quad (2-22)$$

با جاگذاری (2-22) در (2-20) نتیجه می‌شود:

$$R_i = R_0 \sqrt{\frac{I_g}{I_R}} \quad (2-23)$$

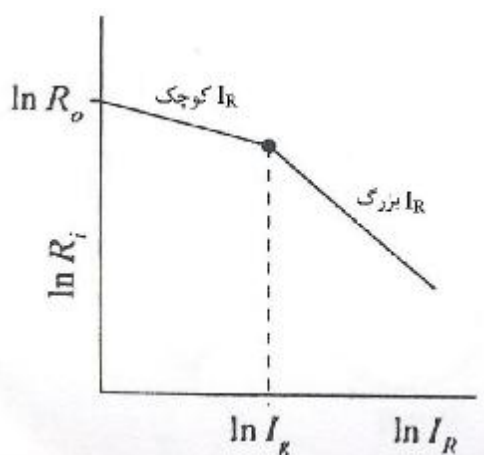
به عنوان مثال به ازای $r_0 = 1\text{m}$ ، $E_0 = 400\text{ kV/m}$ و $r = 200\ \Omega\cdot\text{m}$ ، I_g برابر با 12/5 کیلوآمپر خواهد بود و رابطه (2-23) را تنها در صورتی می‌توان به کار برد که جریان صاعقه از این مقدار بیشتر شود.

• الکتروود میله‌ای

هم‌چون حالت الکتروود کروی، r_0 با r نظیر $E=E_0$ جایگزین می‌شود.

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{8\pi L^2 E_0}{\rho} - 1 - \ln I_R \right] \quad (2-24)$$

بنابراین مقاومت ضربه تابعی از لگاریتم جریان ضربه است. وقتی جریان از حدی بگذرد ناحیه یونیزه‌شده تقریباً کروی شکل می‌شود و مطابق شکل (2-12) کاهش R_i مشابه کاهش R_i یک الکتروود کروی خواهد بود.



شکل 2-12: رابطه مقاومت ضربه و الکتروود میله‌ای جریان ضربه

هم‌چنین رابطه ساده زیر برای تخمین مقاومت ضربه یک میله زمین پیشنهاد شده است.

$$R_i = \frac{R_0}{\sqrt{1 + (I_R/I_g)}} \quad (2-25)$$

که I_g از رابطه (2-22) قابل محاسبه می‌باشد.

فصل ۲

الزامات و آزمونها

مقدمه

در این فصل لزوم اندازه‌گیری مقاومت زمین و نحوه آن بررسی می‌شود و در ادامه توصیه‌های عملی لازم ارائه می‌گردد.

3-1- لزوم اندازه‌گیری مقاومت زمین

جهت اطمینان از صحت محاسبات، اندازه‌گیری مقاومت زمین پس از تکمیل سیستم، ضروری است. همچنین بهتر است درحین نصب، مقاومت هر الکتروود زمین اندازه‌گیری شود. نتایج محاسبه و مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت پایه برج ممکن است اختلاف قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر داشته باشند. از جمله عوامل این اختلاف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

الف) تفاوت شرایط خاک در زمان اندازه‌گیری با مقادیر مفروض آن در زمان محاسبات

به عنوان مثال مشخصه‌های یک اتصال زمین با ترکیب و حالت فیزیکی خاک تغییر می‌کند. در هر مکان، زمین از ترکیبات مختلف هم‌چون زمین خشک، زمین باتلاقی، ماسه، سنگ، شن و سایر مواد طبیعی تشکیل یافته که مقاومت‌های آنها متفاوت است. به‌علاوه مقاومت یک اتصال زمین در فصول مختلف تغییر می‌کند. زیرا رطوبت، دما و فشردگی خاک در فصول مختلف، متفاوت است.

ب) عدم دقت کافی در اندازه‌گیری مقاومت زمین

تعدد و پراکندگی آزمون‌ها، فاصله نامناسب الکتروودها و مناسب نبودن وسایل اندازه‌گیری به‌کار رفته منجر به کاهش دقت اندازه‌گیری می‌شوند.

پ) وجود سازه‌های فلزی در زیر خاک

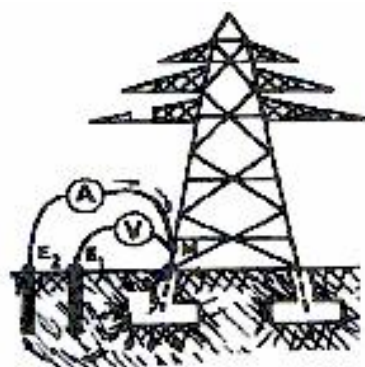
در صورتی که در نزدیکی محل اندازه‌گیری، سازه‌های فلزی در زیر خاک وجود داشته باشد ممکن است بخش قابل توجهی از جریان آزمون توسط سازه‌های مذکور هدایت شود و لذا دقت اندازه‌گیری کاهش یابد. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از کانتروپوز پیوسته نیازی به اندازه‌گیری مقاومت زمین برج نیست.

3-2- اصول اندازه‌گیری مقاومت اتصال زمین

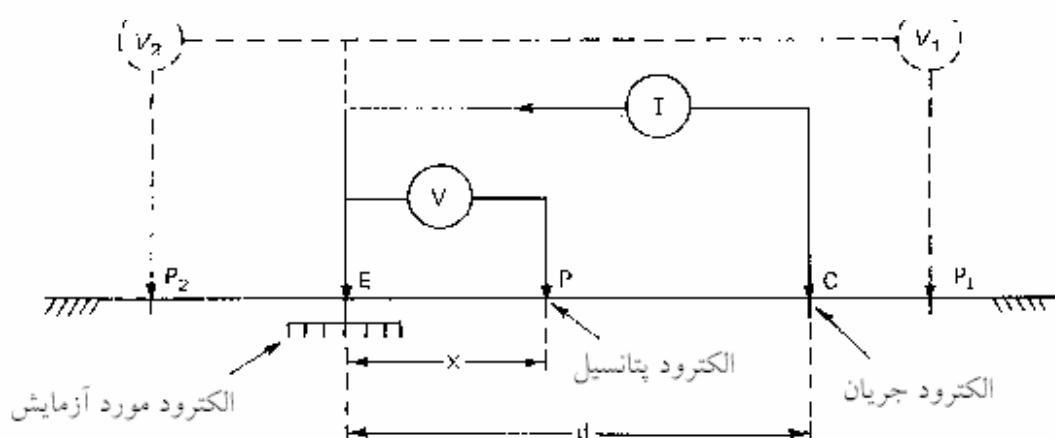
3-2-1- روش کاهش پتانسیل [8]

برای اندازه‌گیری مقاومت زمین برج‌های خطوط انتقال از روش کاهش پتانسیل¹ استفاده می‌شود. در این روش مطابق شکل‌های زیر، یک الکتروود آزمایشی جریان² برای برقراری جریان در الکتروود مورد آزمایش (پایه برج) به‌کار می‌رود.

1. Fall of Potential Method
2. Test Current Electrode

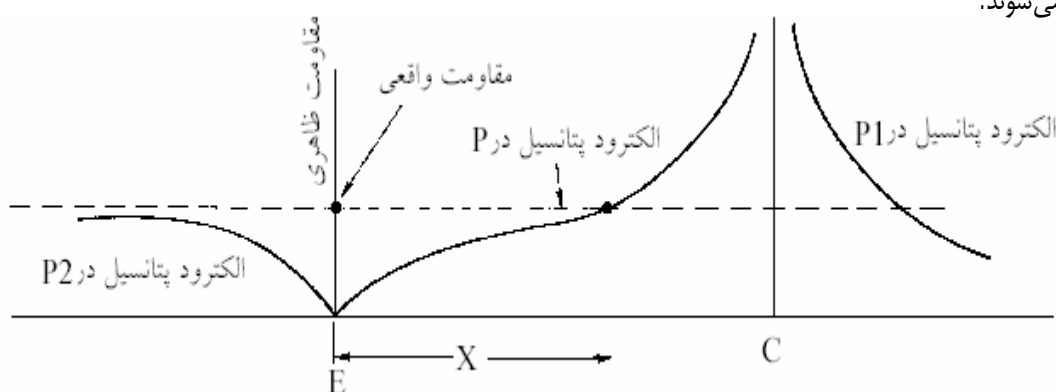


شکل 3-1: اندازه‌گیری مقاومت زمین برج



شکل 3-2: روش کاهش پتانسیل برای اندازه‌گیری مقاومت اتصال زمین

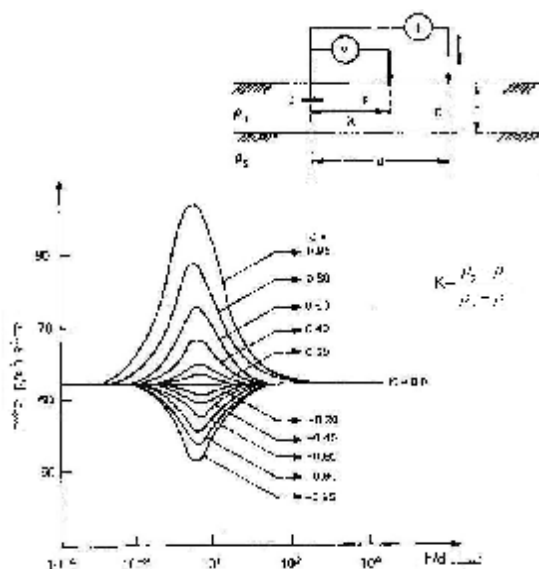
عبور جریان از الکترود تحت آزمون E و الکترود جریان C منجر به تغییر پتانسیل سطح زمین می‌شود. پروفیل ولتاژ در فاصله مابین E و P، C و P، و P، C و P، C مطابق شکل زیر خواهد بود. ولتاژها نسبت به زمین مورد آزمایش که پتانسیل آن برای سادگی صفر فرض می‌شود، سنجیده می‌شوند.



شکل 3-3: مقاومت ظاهری برای x های مختلف

3-2-2- نتایج تحلیل تئوری روش کاهش یتانسیل

ب) تنها یک فاصله الکتروود وجود دارد که مقاومت واقعی پایه برج را به دست می دهد. فاصله مذکور علاوه بر چگونگی سیستم زمین به ترکیب بندی خاک هم بستگی دارد. شکل زیر این مطلب را نشان می دهد.



شکل 3-4: فاصله لازم برای الکترو دیتانسیل در زمین دو لایه

1. Flat
2. Influence

باتوجه به منحنی‌ها مشخص است که فاصله مناسب برای الکتروود ولتاژ، x (وقتی که بین C و E قرار گیرد) در صورت یکنواختی خاک برابر $0/618d$ است که d فاصله بین الکتروود زمین و الکتروود جریان می‌باشد.

3-2-3- انتخاب فرکانس جریان آزمون

هدایت الکتریکی در خاک ماهیتی الکترولیتی دارد و لذا ممکن است در حین اندازه‌گیری، ولتاژهای برگشتی¹ در الکترودهای کمکی ایجاد شود. برای حذف آثار الکترولیتی می‌توان از جریان‌های متناوب استفاده کرد. اگر جریان به کاررفته با فرکانس قدرت باشد الکترولیز کاملاً حذف نمی‌شود و جریان‌های پراکنده متناوب ممکن است بر نتایج اندازه‌گیری تأثیر بگذارند. در فرکانس‌های بالاتر الکترولیز قابل چشم‌پوشی است ولی امپدانس خودی و متقابل تیغه‌ها افزایش می‌یابد و منجر به بروز خطا می‌گردد. پیشنهاد می‌شود که فرکانس جریان آزمون در حدود 80 هرتز باشد. با انتخاب این فرکانس در صورت وجود جریان گردشی فرکانس پنجاه هرتز، تأثیر این جریان‌ها در آزمایش ایجاد خطا نمی‌کند.

3-3- روش عملی اندازه‌گیری مقاومت زمین

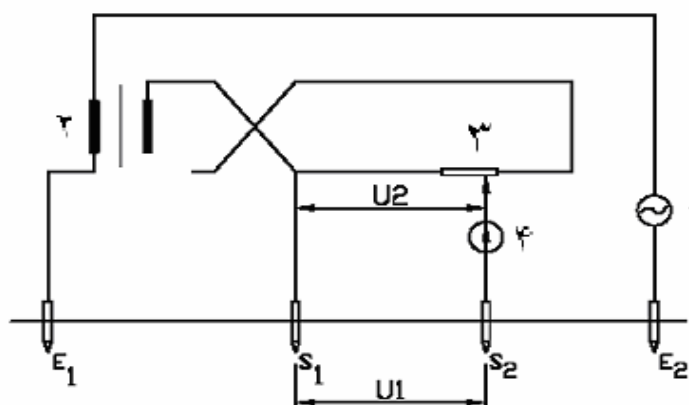
روش رایج برای اندازه‌گیری مقاومت زمین برج‌های خطوط انتقال نیرو، استفاده از دستگاهی به نام مگر² می‌باشد. نمای ظاهری این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 3-5: نمای ظاهری مگر

مبنای کار دستگاه مگر روش مقایسه ولتاژ است. به این ترتیب که افت ولتاژ ناشی از عبور جریان برق از زمین با افت ولتاژ دو سر یک مقاومت متغیر مقایسه می‌شود. برای اندازه‌گیری از جریان متناوب با فرکانس 85 هرتز استفاده می‌شود. در نتیجه خطای ایجاد میدان مغناطیسی دائم ناشی از عبور جریان مستقیم حذف می‌شود. شکل زیر مدار اصلی دستگاه را نشان می‌دهد.

1. Back Voltage
2. Megger



شکل 3-6: مدار داخلی مگر

جریان متناوبی که به وسیله ژنراتور AC (شماره 1) تولید می‌شود از سیم‌پیچ اولیه ترانس جریان (شماره 2) عبور کرده، از طریق میله E_1 وارد زمین می‌شود. سپس از طریق میله E_2 مسیر خود را می‌بندد. افت ولتاژ U_1 که بر اثر مقاومت زمین بین دو میله S_1 و S_2 ایجاد شده، با افت ولتاژ U_2 که ناشی از عبور جریان ثانویه ترانس جریان از مقاومت متغیر (شماره 3) می‌باشد مخالف است. اگر هر دو مقاومت دارای مقدار یکسانی باشند جریانی از گالوانومتر (شماره 4) عبور نمی‌کند.

برای اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک از هر چهار الکتروود استفاده می‌شود. اما برای اندازه‌گیری مقاومت اتصال زمین، دو سر سیم سمت چپ دستگاه (S_1 و E_1) با یک رابط به هم متصل شده، سپس با پایه برج مرتبط می‌گردند. در صورتی که مقاومت پایه برج کم باشد بهتر است برای افزایش دقت اندازه‌گیری، پین‌های E_1 و S_1 به وسیله سیم‌های رابط جداگانه‌ای به پایه برج متصل شوند تا مقاومت سیم‌های رابط و مقاومت گیره‌های اتصال تأثیری روی مقادیر اندازه‌گیری شده نداشته باشند.

مقاومت دو میله S_1 و S_2 تأثیری روی اندازه‌گیری نمی‌گذارد. زیرا در حالت تعادل جریانی از آنها نمی‌گذرد. زیاد بودن مقاومت این دو میله تنها باعث کاهش حساسیت دستگاه می‌شود.

3-4- ملاحظات عملی برای اندازه‌گیری مقاومت پایه برج

پس از نصب سیستم زمین برج، نشست زمین منجر به کاهش قابل توجه مقاومت طی یک تا دو سال اول می‌شود. بنابراین برای اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین کامل شده بهتر است ابتدا مدتی بگذرد تا زمین اطراف الکتروودها محکم شود.

لازم به ذکر است که اندازه‌گیری مقاومت زمین باید قبل از نصب سیم‌های محافظ انجام شود. برای اندازه‌گیری مقاومت پایه برج پس از نصب سیم‌های زمین، باید به نحوی سیم‌های مذکور را از برج عایق کرد.

برای به‌دست‌آوردن نتایج قابل اعتماد باید از وسایل اندازه‌گیری با کیفیت مناسب استفاده شود. همچنین در بسیاری از مواقع ممکن است برای کوبیدن الکتروودهای کمکی و اندازه‌گیری فواصل نیازمند وسایل کمکی باشیم. در زیر توصیه‌های لازم ارائه شده است.

3-4-1- انتخاب الکترودهای کمکی¹

معمولاً از میله‌های زمین به عنوان الکترودهای کمکی استفاده می‌شود. میله‌های زمین فولادی بر میله‌های سبک وزن آلومینیومی ترجیح دارند چون میله‌های آلومینیومی ممکن است در صورت کوبیده شدن در خاک سخت آسیب ببینند. همچنین میله‌های رزوه‌ای² برای این کار مناسب نیستند چون با ایجاد فواصل هوایی منجر به افزایش مقاومت اتصال می‌گردند. درحالی که میله کوبیده شده در خاک، آن را فشرده کرده مقاومت اتصال را به حداقل ممکن کاهش می‌دهد.

مقاومت الکترود کمکی جریان با منبع سری می‌شود و بنابراین یکی از عوامل تعیین کننده جریان می‌باشد. اگر جریان حاصل کم باشد ممکن است مجبور شویم مقاومت الکترود جریان را با کوبیدن میله‌های اضافی کاهش دهیم. در خاک‌های سنگی بهتر است میله‌ها با زاویه‌ای نسبت به امتداد قائم کوبیده شوند. در این صورت میله‌ها روی سطح سنگ‌ها لغزیده و راحت‌تر فرو می‌روند.

3-4-2- انتخاب تیغه‌های اندازه‌گیری³

از آنجا که طی اندازه‌گیری، تیغه‌ها باید چند دور پیچیده شوند، استفاده از تیغه‌های انعطاف‌پذیر⁴ الزامی است. همچنین برای انتخاب تیغه مناسب باید به دمای محل کار توجه شود. عایق تیغه نباید بر اثر دمای کم منجمد شده یا ترک بخورد. امپدانس تیغه آزمون بویژه در حین آزمایش سیستم‌های زمین کم مقاومت باید کوچک باشد.

3-4-3- انتخاب تجهیزات جانبی

- برای تسهیل و تسریع اندازه‌گیری‌ها باید به نکات زیر توجه کرد:
- در خاک‌های معمولی، می‌توان از چکش‌های دستی با جرم 2 تا 4 کیلوگرم برای کوبیدن میله‌ها در عمق 2 تا 3 متری زمین استفاده کرد. نیروی کوبش باید در امتداد محور میله باشد تا از اعمال فشار بی‌مورد بر آن جلوگیری به عمل آید. در خاک‌های سفت یا یخ‌زده که کوبیدن با دست به طور معمول امکان‌پذیر نیست می‌توان از چکش‌های موتوری⁵ استفاده کرد. این چکش‌ها ممکن است الکتریکی، پینوماتیکی یا گازویلی باشند.
- انتقال تجهیزات اندازه‌گیری از یک مکان به مکان دیگر و پیچیدن تیغه‌ها در صورت دسترسی به یک چرخ دستی مناسب آسان می‌شود. چرخ دستی باید سبک باشد تا حمل و نقل آن ساده گردد.
- برای فواصل کوچک می‌توان از متر اندازه‌گیری یا یک رشته علامت‌گذاری شده استفاده کرد. وقتی فواصل بزرگتر باشند استفاده از دیستومات عملی‌تر بوده، کمتر وقت می‌برد. فواصل بزرگ را می‌توان با استفاده از نقشه‌های منطقه و مقیاس آنها اندازه گرفت.

1. Auxiliary Electrodes

2. Screw Type Rod

3. Test Lead

4. Flexible

5. Mechanically Operated Hammer

3-5- آزمون‌های دوره‌ای

پس از نصب سیستم زمین باید با انجام آزمون‌های متناوب از ثابت‌بودن یا افزایش تدریجی مقاومت زمین اطلاع حاصل کرد. در صورتی که مقاومت به مقدار نامطلوب برسد باید آن را کاهش داد. بدین‌منظور اقدامات زیر می‌تواند مؤثر واقع شود.

- انجام مجدد اتصالات زنگ‌زده
- اضافه‌کردن الکترودهای زمین
- افزایش رطوبت خاک
- افزودن مواد شیمیایی به خاک

دستورالعمل نصب و نگهداری سیستم زمین خطوط انتقال

مقدمه

در این بخش نحوه نصب قسمت‌های مختلف سیستم زمین برج‌های خطوط نیرو و چگونگی اتصال آنها به برج مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1-4- اتصال هادی زمین¹ به برج

هادی زمین از طریق یک رایزر² به پای برج وصل می‌شود. که این اتصال مطابق شکل‌های (1-4) و (2-4) انجام می‌گیرد. هادی فولادی مستقیماً به برج متصل می‌شود. مطابق با شکل (1-4) از هادی فولادی تنها برای اتصال حلقه حفاظتی به پای برج درحالتی که سیستم زمین کاربردی از طریق کلمپ اتصال از نوع فاصله جرقه³ به برج وصل شده است استفاده می‌شود. اما اگر رایزر مسی باشد نحوه اتصال آن به برج بستگی به نوع فونداسیون برج دارد.

اگر برج روی فونداسیون‌های بتنی نصب شده است اتصال رایزر به برج و سیستم زمین به طور مستقیم با استفاده از کلمپ انجام می‌گیرد (شکل 1-4).

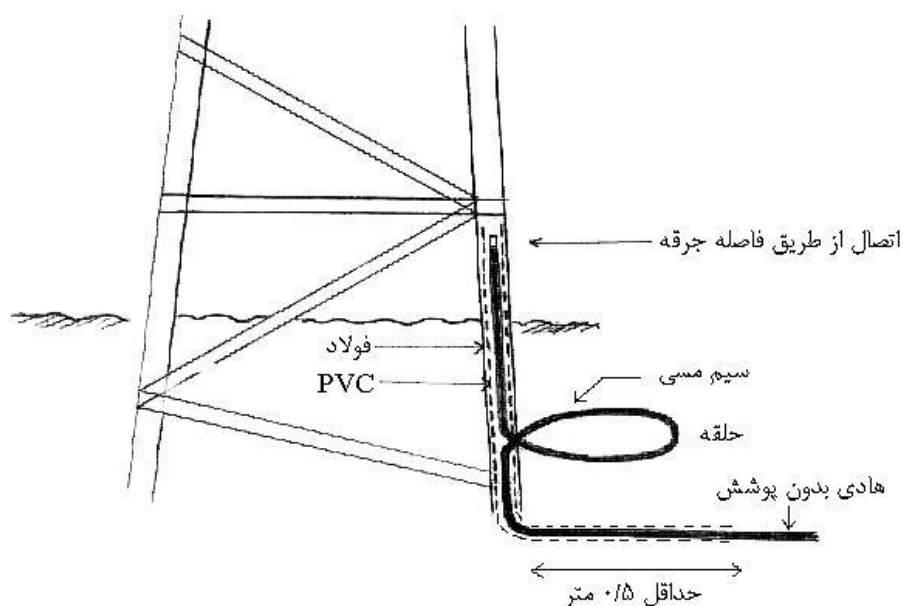
اگر فونداسیون برج فولادی است یا برج شامل قطعات فولادی بدون پوشش در زیر زمین است اتصال رایزر به برج از طریق کلمپ اتصال از نوع SPARK GAP صورت می‌گیرد. هدف از این کار حفاظت قطعات فولادی در برابر خوردگی ناشی از جریان‌های گالوانیک می‌باشد. این نوع اتصال در شکل (2-4) دیده می‌شود. در این حالت نیز اتصال رایزر به سیستم زمین از طریق کلمپ انجام می‌شود.

وقتی اغلب برج‌های یک خط، فونداسیون بتنی دارند و تعداد کمی از آنها بر روی فونداسیون‌های فولادی نصب شده‌اند، ارتباط برج‌های مستقر بر فونداسیون فولادی با دیگر برج‌ها از طریق کلمپ اتصال از نوع SPARK GAP که بین آنها (برج‌های با فونداسیون فولادی) و سیم محافظ ایجاد می‌شود، قطع می‌گردد. پایه برج‌های مذکور نیز از طریق کلمپ اتصال از نوع SPARK GAP به سیستم زمین متصل می‌شود.

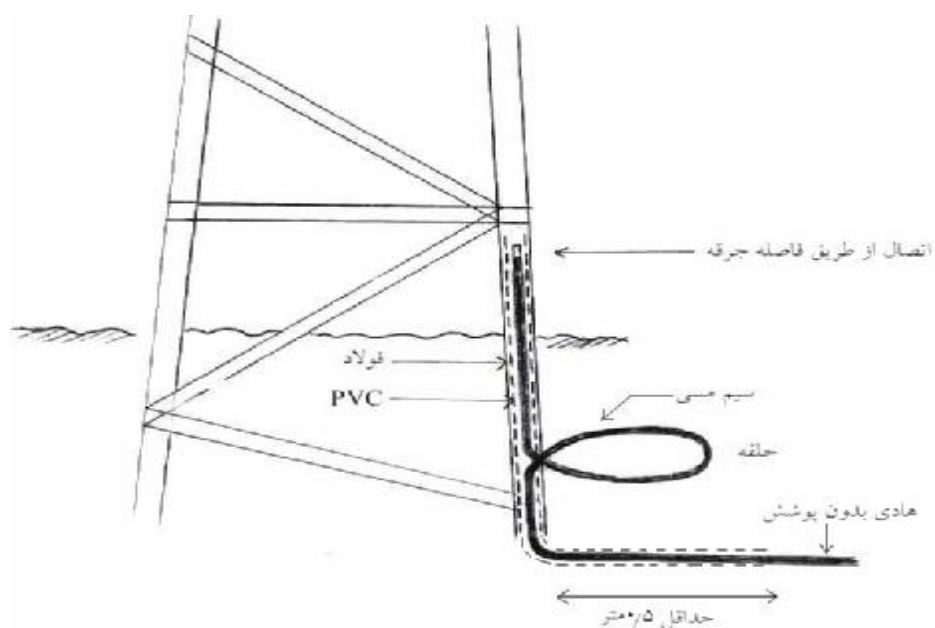
اگر در یک خط انتقال اغلب برج‌ها فونداسیون فولادی داشته باشند، بدنه معدود برج‌هایی هم که فونداسیون بتنی دارند از طریق کلمپ اتصال از نوع SPARK GAP به سیستم زمین متصل می‌شود.

وقتی یک هادی مسی از طریق کلمپ اتصال از نوع SPARK GAP به یک برج متصل می‌شود، هادی باید از طریق یک لوله پلاستیکی عایق شود. این عایق‌کاری باید در محدوده اتصال هادی زمین به فاصله جرقه تا فاصله تقریباً نیم‌متری پایه برج انجام گردد (شکل 2-4).

1. Eart Conductor
2. Riser
3. Spark Gap



شکل 4-1: اتصال هادی زمین به برجی با فونداسیون بتنی

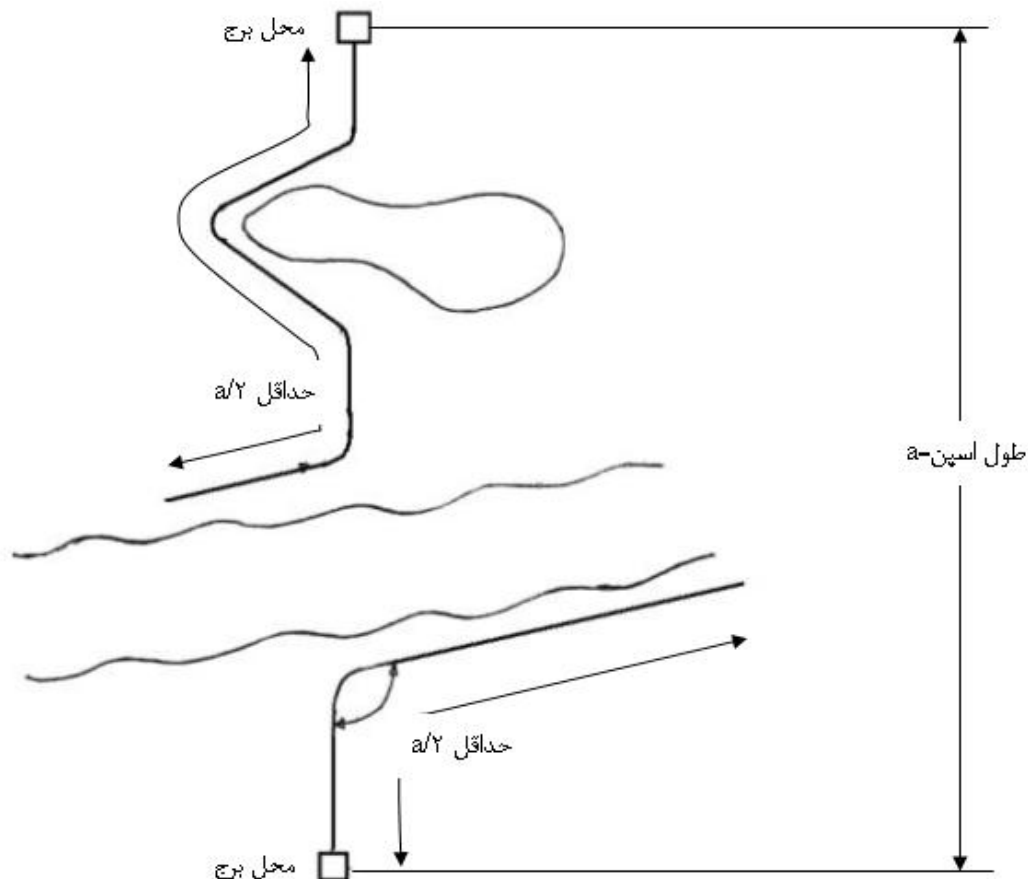


شکل 4-2: اتصال هادی زمین مسی یا سیم پوشیده با مس به برج با پایه فولادی

4-2- نصب کانترپویز پیوسته

کانترپویز پیوسته در صورت امکان در محدوده دو فاز کناری خط نصب می شود. اگر به دلیل وجود موانع جغرافیایی (سنگ، دریاچه، جاده، ...) امکان نصب پیوسته کانترپویز در کل طول مسیرش مهیا نگردد باید مطابق دستورالعمل های زیر عمل شود. الف) اگر طول مانع (در امتداد عمود بر مسیر خط) کم باشد می توان کانترپویز را از کنار آن گذراند.

ب) اگر دور زدن مانع به دلیل طول زیاد آن امکان‌پذیر نیست، کانترپویز از برج مبداء تا مانع کشیده می‌شود و سپس آن قدر در امتداد مانع امتداد می‌یابد تا طول آن از برج مبداء تا انتها حداقل به اندازه نصف طول اسپن باشد. برگرداندن جهت کانترپویز به سوی برج مبداء مجاز نیست. در سوی دیگر مانع نیز کانترپویز در امتداد مانع خوابانده شده و سپس تا برج مقصد امتداد می‌یابد تا طول آن حداقل به اندازه نصف طول اسپن باشد. شکل (3-4) این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل 3-4: چگونگی نصب کانترپویز پیوسته در صورت وجود موانع جغرافیایی

3-4- نصب میله‌های زمین

فواصل میله‌های مجاور حتی‌الامکان نباید از عمق دفن آنها کمتر باشد. در زیر نحوه اتصال میله‌های زمین به یکدیگر و کوبیدن آنها در زمین بررسی می‌شود.

3-4-1- نحوه اتصال میله‌های زمین به یکدیگر

برای اتصال میله‌ها به هم چند روش وجود دارد. رایج‌ترین روش استفاده از فیتینگ‌های مکانیکی است به گونه‌ای که دو میله به وسیله پیچ به یکدیگر متصل شوند. روش دوم اتصال حرارتی یا جوشکاری است که طی آن یک اتصال دائمی و بدون مقاومت الکتریکی و تقریباً مقاوم در برابر خوردگی ایجاد می‌شود. این روش برای ایجاد تعداد زیاد اتصال از نظر زمانی و اقتصادی مناسب‌تر

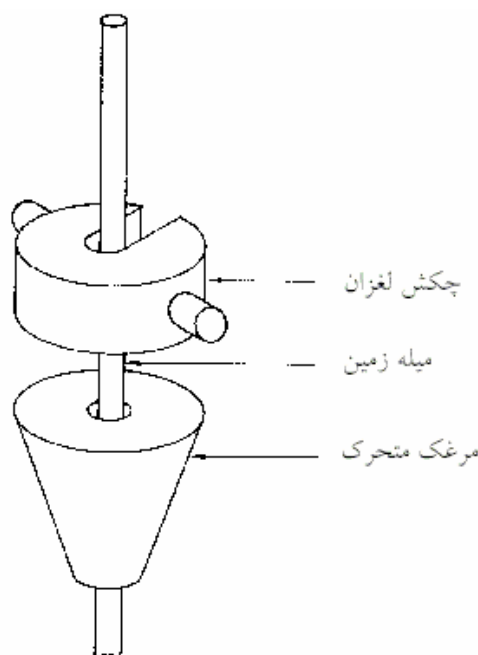
است اما اجرای آن در شرایط آب و هوایی نامطلوب دشوار می‌باشد. سومین روش استفاده از اتصالات فشاری (پرس) است که ساده بوده، مقاومت الکتریکی اتصال نیز کم است. استفاده از روش‌های دیگر اتصال مانند لحیم‌کاری در صورتی که به خوبی انجام گیرند مجاز می‌باشد.

4-3-2- کوبیدن میله‌ها در زمین

کوبیدن میله‌ها در زمین به دو روش دستی و موتوری امکان‌پذیر است. برای نصب تعداد کمی میله زمین کوتاه در خاک معمولی از روش پیچاندن میله و وارد کردن ضربه استفاده می‌شود. اما اگر تعداد یا طول میله‌ها یا سختی خاک زیاد باشد استفاده از چکش موتوری برای تسریع نصب پیشنهاد می‌شود.

4-3-2-1- نصب دستی میله‌ها

ساده‌ترین وسیله برای کوبیدن میله‌ها پتک است. اما در صورت استفاده از پتک برای کوبیدن هر متر میله در زمین زمان زیادی صرف می‌شود. روش دیگر استفاده از چکش لغزان و مرغک است که نیاز به نردبان و دیگر وسایل جانبی را از بین می‌برد. به علاوه می‌توان تا وقتی که میله کاملاً در زمین فرو برود بر آن ضربه وارد کرد که در شکل (4-4) نشان داده شده است.



شکل 4-4: چکش لغزان و مرغک

4-3-2-2- استفاده از تجهیزات موتوری

برای کوبیدن میله‌ها در مقیاس وسیع بهتر است از ابزارهای الکتریکی، پینوماتیکی یا گازویلی استفاده شود. در صورت استفاده از چکش‌های بادی می‌توان از کمپرسورهای قابل حمل استفاده نموده آنها را روی ماشین تجهیزاتی نصب کرد یا اینکه کمپرسور

چرخدار به کار برد. چکش‌های گازوئیلی به دلیل عدم نیاز به دستگاه اضافی یا محرک اولیه خارجی، مناسب‌تر از چکش‌های بادی و برقی هستند. وزن چکش‌های به کار رفته 40 تا 50 کیلوگرم است و برای نگهداشتن آنها می‌توان از طناب و چرخ قرقره استفاده کرد.

4-4- نصب حلقه هادی زمین

حلقه هادی زمین برج‌هایی که بر روی فونداسیون‌های فولادی قرار دارند، حتی در صورت خورنده‌بودن¹ زمین باید از جنس فولاد باشد. علت این امر آن است که اتصال حلقه حفاظتی به برج از طریق فاصله جرقه مجاز نیست. در این حالت بررسی حلقه فولادی طی بازرسی‌های جاری نگهداری² الزامی است.

برای برج‌هایی که روی فونداسیون‌های بتنی نصب شده‌اند، حلقه حفاظتی را می‌توان از جنس مس یا فولاد با پوشش مس انتخاب کرده، آن را مستقیماً به برج وصل نمود. در این حالت نیازی به بازرسی‌های دوره‌ای نیست.

حلقه حفاظتی از طریق کلمپ به برج متصل می‌شود:

الف) اگر کانترپوز از طریق کلمپ به برج وصل شده باشد، اتصال حلقه حفاظتی به برج با ماده‌ای از جنس سیستم زمین انجام می‌شود.

ب) اگر سیستم زمین کاربردی از طریق فاصله جرقه به برج وصل شده باشد، اتصال حلقه حفاظتی به برج از طریق سیم فولادی با مقطع 50 میلی‌متر مربع انجام می‌شود.

4-5- نگهداری

سیستم زمین باید به عنوان بخشی از خطوط نیرو مورد بازرسی و آزمون‌های دوره‌ای قرار گیرد.

4-5-1- بازرسی

بازرسی سیستم زمین خطوط 400، 230 و 132 کیلوولت باید یک سال یکبار انجام شود. درمورد خطوط 63 کیلوولت این دوره به دو سال می‌رسد. موارد بازرسی شامل لقی پیچ‌های اتصال به دکل، پارگی و زنگ‌زدگی است. آچار معمولی برای این کار کفایت می‌کند. نتایج بازرسی باید در بخشی از جدول نتایج بازرسی خطوط درج شود.

جدول 4-1: نتیجه بازرسی سیستم زمین خط

نتایج بازرسی			تجهیز مورد بازرسی
پارگی	خوردگی	کلمپ	سیستم اتصال زمین

1. Corrosive
2. Routine Maintenance Inspections

در صورت نیاز به تعمیر، چگونگی انجام تعمیرات در بخشی از فرم کنترل تعمیرات دکل و فونداسیون ثبت می شود.

جدول 2-4: گزارش تعمیرات سیستم زمین خط

نام شرکت:						
نام خط: ولتاژ: شماره دیسپاچینگ: شماره دکل:						
شرح کار	تعمیر کامل	تعمیر ناقص	کیفیت کار	کارهای انجام شده	مدت و نفرساعت	روش انجام کار تعمیر یا تعویض
سیستم اتصال زمین						

4-5-2- آزمون دوره‌ای

مقاومت زمین دکل‌های نصب شده در خاک‌های معمولی باید هر 5 سال یکبار اندازه‌گیری شود. در مورد برج‌های نصب شده در خاک‌های سولفاته و نمک‌دار، اندازه‌گیری باید هر 3 سال یکبار انجام شود. ابزار مورد نیاز برای اندازه‌گیری مقاومت زمین دکل‌ها دستگاه سنجش مقاومت زمین (مگر) می‌باشد. در صورتی که دکل‌ها فولادی باشند، اندازه‌گیری با عایق‌نمودن سیم محافظ از زمین انجام می‌گیرد. برای عایق‌نمودن سیم محافظ از برج به این دلیل که جدا کردن سیم گارد از برج و عایق‌نمودن آن‌ها از یکدیگر به سادگی قابل انجام نمی‌باشد، به همین منظور قبل از اندازه‌گیری مقاومت زمین در دکل‌های فولادی هرگونه اتصال موجود بین برج و سیستم زمین را جدا نموده و مقاومت سیستم زمین را بدون اتصال آن به برج اندازه‌گیری می‌نمایند.

نتیجه اندازه‌گیری در بخشی از فرم ثبت نتایج آزمایش‌های اجزاء تشکیل‌دهنده خطوط انتقال نیرو درج می‌شود [12].

جدول 3-4: نتیجه اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین خط

نتایج بازرسی		تجهیز مورد بازرسی
کارایی اتصالات	اندازه‌گیری مقاومت	سیستم اتصال زمین

منابع و مراجع

1. Electrical Transmission and Distribution Reference Book , by Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation , 1964.
1. استاندارد طراحی خطوط 400 کیلوولت ایران، مدیریت مهندسی و بررسی‌های فنی دفتر انتقال سازمان توانیر.
2. شاهرخ‌شاهی، طهماسب‌قلی، رعدوبرق و خطوط انتقال انرژی، چاپ اول 1366.
4. Hillman , Andrew R., Insulation Coordination for Power Systems , Marcel Dekker , Inc. 1999 , ISBN: 0-8247-9957-7.
5. Surge Protection of Power Systems, by Westinghouse Electric Corporation Power Systems, 1975.
6. Transmission Line Reference Book 345KV and Above, by General Electric Co.1975.
- 7- محاسبات عایقی در اثر رعدوبرق، مدیریت مهندسی و بررسی‌های فنی توانیر.
8. IEEE 81, Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Ground System, 1983.
9. IEEE 142, Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems IEEE Green Book, 1991.
- 10- روش عملی اتصال زمین، ستاد سازندگی و آموزش وزارت نیرو.
11. Gupta, B.R., Power System Analysis and Design, S. Chand & Company LTD, 2004.
- 12- استاندارد برنامه‌های بازدید، بازرسی، آزمایش و تعمیرات پیش‌گیرانه خطوط انتقال نیرو.

پوست



مشخصات فنی عمومی و اجرایی

سیستم زمین



فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- کلیات	۳
۲- ابعاد	۳
۳- اتصال هادی زمین به برج‌ها	۳
۴- عمق دفن هادی زمین	۴
۵- اتصال هادی زمین به سایر فلزات زیر زمین	۴
۵-۱- لوله آب و دیگر مجراهای خروجی	۴
۵-۲- کابل‌های الکتریکی و الکتروندهای زمین	۴
۶- حلقه هادی زمین	۴

۱- کلیات

این مشخصات فنی دربرگیرنده زمین کردن کاربردی و حفاظتی خطوط انتقال نیرو می‌باشد.

۲- ابعاد

برای زمین کردن کاربردی اگر احتمال خوردگی زیاد باشد، هادی‌های زمین باید شامل سیم‌ها و میله‌هایی از جنس مس یا از پوشش مس باشند.

هادی‌هایی که برای اتصال برج‌ها به میله‌ها، هادی‌های زمین شعاعی یا کانترپوز استفاده می‌شوند چه از جنس مس باشند و یا فقط پوشش مس داشته باشند، باید دارای حداقل سطح مقطع ۵۰ میلی‌مترمربع باشند. هادی‌های شعاعی و کانترپوزهای پیوسته از جنس مس و با پوشش مس باید به ترتیب دارای حداقل سطح مقطع ۲۵ و ۳۵ میلی‌مترمربع باشند. هسته میله‌های زمین باید از فولاد با استقامت مکانیکی بالا و لایه خارجی آن باید از مس با هدایت ۴۰ درصد ساخته شده باشد که به صورت تفکیک‌ناپذیری به هسته متصل شده است.

پوشش مس باید دارای حداقل ضخامت ۰/۳ میلی‌متر باشد.

میله‌ها باید دارای حداقل قطر ۱۶ میلی‌متر و حداقل طول ۲ متر باشد.

اتصالات زیرزمینی می‌توانند به صورت جوش، فشاری و یا پیچ و مهره باشند. کلیه اتصالات کلمپ‌ها و فاصله جرقه باید طوری طراحی شوند که از نظر حرارتی و مکانیکی تحمل جریان با دامنه ۱۵ کیلوآمپر برای ۰/۵ ثانیه را داشته باشند.

۳- اتصال هادی زمین به برج‌ها

هادی زمین باید از طریق یک رایزر به پای برج متصل شود. برای جلوگیری از ایجاد کشش در رایزر بر اثر نشست زمین، رایزر بایستی زیر سطح زمین و به صورت حلقه‌ای کاملاً منحنی بدون هیچ گوشه تیزی، خوابانیده شود.

وقتی هادی مسی از طریق فاصله جرقه به یک برج متصل می‌شود، هادی باید از طریق یک لوله پلاستیکی $13/5 / 12 \text{ mm}$ عایق شود. فاصله جرقه نباید از 2_{-1}^{+0} mm بزرگتر باشد. این لوله پلاستیکی باید به صورت پیوسته هادی زمین را تا فاصله ۰/۵ متری از پایه برج عایق کند.

رایزرهای مسی نباید در تماس با قسمت‌های فولادی برج قرار گیرند. فاصله هادی زمین مسی عایق نشده در زیرزمین تا قطعات فولادی برج یا فونداسیون‌های فولادی در هیچ نقطه‌ای نباید کمتر از ۰/۵ متر شود. اگر هادی‌های مسی یا با پوشش مسی، هادی‌های فولادی دفن شده را قطع کند، عایق کردن هادی باید حداقل تا ۰/۵ متری نقطه تقاطع ادامه یابد.

۴- عمق دفن هادی زمین

برای زمین کردن کاربردی باید حداقل عمق دفن هادی‌ها در زمین‌های معمولی ۶۰ سانتی‌متر و در زمین‌های کشاورزی حداقل ۷۰ سانتی‌متر باشد. حلقه‌های هادی زمین که برای یکنواخت کردن پتانسیل زمین استفاده می‌شود، باید در عمق ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متری زمین قرار گیرند. در زمین‌های سخت، هادی باید در حداکثر عمقی که از نظر عملی امکان‌پذیر است قرار گیرد.

۵- اتصال هادی‌های زمین به سایر فلزات زیرزمین

۵-۱- لوله آب و دیگر مجراهای خروجی

هادی‌های زمین می‌توانند لوله‌های بزرگ آب یا فاضلاب که بخشی از یک شبکه لوله‌کشی بزرگ هستند، را قطع کنند. کانترپویز نباید لوله‌های کوچک آب یا فاضلاب را قطع کند. اگر مسیر کانترپویز به گونه‌ای است که اجرای این مورد امکان‌پذیر نیست، باید بخشی از لوله با لوله پلاستیکی جایگزین شود.

۵-۲- کابل‌های الکتریکی و الکتروادهای زمین

هادی‌های زمین را می‌توان از اطراف کابل‌های قدرت با ولتاژ ۱۰ کیلوولت و بالاتر گذراند. هادی زمین را نباید از مجاورت کابل‌های مخابراتی یا کابل‌های الکتریکی با ولتاژ کمتر از ۱۰ کیلوولت بدون تأیید مسئولین مربوطه گذراند.

هادی‌های زمین باید ۰/۵ متر پایین‌تر از کابل و در فاصله تقریباً ۰/۵ متری از هر طرف محل تقاطع با کابل قرار گیرند. فاصله بین هادی‌های زمین و الکتروادهای زمین شبکه‌های ولتاژ پایین نباید کمتر از ۱۰۰ متر باشد. همچنین فاصله هادی‌های زمین تا کابل‌های مخابراتی نباید کمتر از ۵۰ متر باشد.

عدم رعایت این فواصل در شرایط خاص، در صورت تصویب مسئولین مربوط مجاز است. حداقل فاصله بین سیستم‌های زمین دو خط موازی ولتاژ بالا باید ۵۰ متر باشد. عدم رعایت این فاصله منوط به مطالعات دقیق در هر مورد می‌باشد.

۶- حلقه هادی زمین

در زمین کردن حفاظتی، حلقه هادی زمین در عمق ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متری سطح زمین و در فاصله تقریباً ۱ متری از نزدیکترین بخش فولادی برج قرار می‌گیرد.

در زمین‌های سنگی، حلقه مذکور باید در شکافی قرار گیرد و با خاک و سنگ پوشیده شود.

حلقه حفاظتی باید مستقیماً به وسیله کلمپ به برج متصل گردد.

Technical Specification for Grounding System of Transmission Lines

CONNTENTS

<u>Description</u>	<u>PAGE</u>
1- General	3
2- Dimensions	3
3- Connection of earth conductor to towers	3
4- Depth of buried earth conductor	4
5- Crossing between earth conductors and other buried metal	4
5-1- water and outlet pipes	4
5-2- Electric cables and earth electrodes	4
6- Earth conducting rings	4

1- General

This Specifications include functional and protective earthing of overhead lines.

2- Dimensions

As the risk of corrosion is high, the earth conductors for functional earthing should be consist of Cu or Cu – clad wires and rods.

Wires for connecting towers to earthing rods, radiating earth conductors or continuous counterpoise shall have a minimum cross section of 50 mm^2 for both Cu and Cu- clad conductors. Radiating conductors and continuous counterpoise shall have a minimum cross section 25 mm^2 for Cu and for Cu – clad minimum cross section is 35 mm^2 .

Earthing rods shall be made of high strength steel core with an outer layer of copper. The minimum conductivity of the copper shall be 40% and must be attached to the core.

The copper coating shall have a minimum thickness of 0.3 mm.

The rods shall have a diameter of 16 mm and a minimum length of 2 m.

Underground connections can be bolted. Pressed clamps and welded connections are also allowed. All connections, clamps and spark gaps, shall be so designed to withstand both thermally and mechanically, up to 15 kA short circuit current for 0.5 s.

3- Connection of earth conductor to towers

The earth conductor should be connected to the tower leg through a riser. To compensate possible stretching of the riser settled in the backfill, the riser shall be laid in a loop directly under the ground surface, and in gentle shape without any sharp corners.

When a copper conductor is connected to a tower through sparkgap the conductor shall be insulated with 13.5/12 mm plastic tubing (P.V.C). The sparkgap shall not be greater than 2_{-1}^{+0} mm. The plastic tube shall continuously insulate the earth conductor from the tower leg at the point of connection to a point approximately 0.5 m outside the tower leg.

Risers of copper shall not be laid in contact with steel parts of the tower. Uninsulated earth conductors of copper underground shall not come within 0.5 m of tower steel parts or steel foundations at any point. If copper or copper clad conductors cross buried steel conductors, the insulation shall be extended to reach at least 0.5 m beyond the point of crossing.

4 - Depth of buried earth conductor

Earth conductors for foundational earthing shall be buried at a depth of at least 60 cm, and in agricultural land at least 70 cm. Earth conductor rings for ground potential smoothing shall be buried at a depth of 20-50 cm. In a difficult terrain the conductor shall be buried as deeply as possible.

5- Crossing between earth conductors and other buried metal

5-1- Water and outlet pipes

Earth conductors may cross larger metal water or sewage mains belonging to greatly branched pipe networks.

Counterpoise shall not cross smaller metal water or sewage pipes. In order to make proper crossing a section of the pipe shall be replaced by plastic pipes.

5-2- Electric cables and earth electrodes

Earth conductor may cross for 10 kV and higher voltage power cables.

Earth conductors shall not be permitted to cross telecommunication cables or electrical cables for lower voltages than 10 kV without special investigation and approval of the relevant authorities.

Earth conductors shall be laid 0.5 m under crossing cables for a stretch of approximately 0.5 m on either side of the crossing.

The distance from earth conductors to earth electrodes for low voltage networks shall not be less than 100 m, and to telecommunication cables this distance shall not be less than 50 m.

If shorter distances in special cases are required, special investigations must be carried out and approved by the relevant authorities.

The distance between tower earthing systems of two high voltage lines must be at least 50 m. If a smaller distance is desirable, a detailed study must be made in each individual case.

6- Earth Conducting Rings

In protective earthing the earth conductor ring is laid at a depth of 20-50 cm at a distance of approx. 1 m from the nearest steel part of tower.

On the rock surface, the conductor shall be laid in cracks and covered with the earth and stones.

The protective ring shall be directly connected to the tower by means of a clamp.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

این نشریه

با عنوان «مشفصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال –
سیستم زمین در خطوط انتقال» در برگزیده
مباحث مربوط به سیستم زمین خطوط شامل
کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی و
دستورالعملهای نصب و نگهداری این سیستم ها
می باشد که همراه با یک پیوست به دو زبان
فارسی و انگلیسی ارائه شده است.