فهرست

عنوان **صفحه**

مقدمه ---------- ٤
فصل اول: زمین حفاظتی و الکتریکی ---------- ۵
۱-۱)زمین کردن حفاظتی ---------- ۷
۱-۲) زمین کردن الکتریکی ---------- ۹
۲-۱-۱) زمین کردن مستقیم ---------- ۹
۲-۲-۱) زمین کردن غیرمستقیم ---------- ۹
۲-۱-۳) زمین کردن بار ---------- ۹
۱-۳)تعیین مشخصات تأسیسات زمین حفاظتی ---------- ۱۰
۱-۳-۱)اختلاف سطح میل از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند ---------- ۱۰
۱-۲-۳)اختلاف سطح تماسی در خارج از محدودهٔ پست فشارقوی از ۶۵ ولت تجاوز نکند---- ۱۱
۱-٤)جلوگیری از اختلاف سطح تماس و قدم در داخل محوطه تأسیسات فشارقوی ---------١٤
۱-۵)جلوگیری از اختلاف سطح تماس و قدم در خارج محوطه تأسیسات فشارقوی -------- ۱۶
۱-۶)طرح زمین الکتریکی ---------- ۱۶
۱-۷)ارتباط زمین های مختلف ---------- ۱۷
فصل دوم: انواع میل های زمین ---------- **۲۹**
۲-۱)اصطلاحاتی که در زمین کردن بکار می رود ---------- ۳۱
۲-۱-۱)زمین ---------- ۳۱
۲-۱-۲)میل زمین (زمین کننده) ---------- ۳۱
۲-۱-۳)زمین همسطح ----------۳۱
۲-۱-٤)میل فرمان---------- ۳۱
۲-۱-۵)سیم زمین ---------- ۳۱
۲-۱-۶)شین زمین ----------۳۱
۲-۱-۷)تاسیسات زمین ---------- ۳۱
۲-۱-۸)زمین کردن ---------- ۳۲
۲-۲)انواع مقاومتهای زمین ---------- ۳۲

۲-۲-۱)مقاومت مخصوص زمین ---------- ۳۲
۲-۲-۲)مقاومت گسترده میل زمین ---------- ۳۳
۲-۲-۳)مقاومت زمین ---------- ۳۳
۲-۳)ولتاژهای مختلف در ضمن عبور جریان از میل زمین ---------- ۳۳
۲-۳-۱)اختلاف سطح میل ---------- ۳۳
۲-۳-۲)اختلاف سطح زمین ---------- ۳٤
۲-۳-۳)اختلاف سطح تماسی ---------- ۳٤
۲-۳-٤)اختلاف سطح قدم ---------- ۳٤
۲-٤)انواع میل ها ---------- ۳۵
۲-٤-۱)میل سطحی ---------- ۳۵
۲-٤-۲) میل عمقی ---------- ٤۰
۲-۲-٤-۱) میل میله ای ---------- ٤۰
۲-۲-٤-۲) میل صفحه ای ---------- ٤۲
فصل سوم: روشهای اندازه گیری پارامترهای زمین ---------- ٤۶
۳-۱)سنجش مقاومت گسترده زمین ---------- ٤۸
۳-۲)سنجش مقاومت مخصوص زمین ---------- ۵۰
۳-۳)محاسبه مقاومت الکترودها ---------- ۵۳
۳-۳-۱)محاسبه مقاومت الکترود نیم کره ---------- ۵۳
۳-۲-۳)محاسبه مقاومت الکترود میله ای ---------- ۵٤
۳-۳-۳)محاسبه مقاومت مجموعه الکترودهای میله ای ---------- ۵۵
۳-٤)اندازه گیری مقاومت الکترود زمین ---------- ۵۶
فصل چهارم: اتصال زمین استاتیک ---------- ۵۹
٤-۱)صفر کردن ---------- ۶۱
٤-۲)شرایط صفر کردن ---------- ۶۱
٤-۲-۱) شرط اول صفر کردن ---------- ۶۱
٤-۲-٤) شرط دوم صفر کردن ---------- ۶۷
٤-۲-۳)شرط سوم صفر کردن ---------- ۷۰
٤-۳) قطع سیم صفر بین دوزمین ---------- ۷۰
٤-٤)قطع سیم صفر بعد از آخرین زمین ---------- ۷۱
٤-۵)قطع سیم صفر و تماس با سیم فاز ---------- ۷۱

فصل پنجم: حفاظت تأسیسات در مقابل صاعقه ---------- ۷۵
۵-۱)صاعقه گیر ساده ---------- ۷۷
۵-۲)شعاع حفاظت میله ساده برقگیر (Simple Rod) ---------- ۷۷
۵-۳)صاعقه گیر الکترونیکی چگونه عمل می کند---------- ۷۸
۵-٤)اصول عملکرد صاعقه گیر الکترونیکی ---------- ۸۰
۵-٤-۱) آزادسازی کنترل شده یونها ---------- ۸۰
۵-٤-۲) اثر کروناو واحد جرقه زن ---------- ۸۰
۵-٤-۳ تسریع در بروز علمدار حمله زمینی ---------- ۸۰
۵-۵)انواع صاعقه گیر الکترونیکی ---------- ۸۱
۵-۵-۱)مدلهای مسی ---------- ۸۱
۵-۵-۲)مدلهای فولاد ضد زنگ ---------- ۸۱
۵-۶)مزیتهای انتخاب صاعقه گیر الکترونیکی (PREVECTRON) ---------- ۸۱
۵-۷)محدوده حفاظت صاعقه گیر الکترونیکی ---------- ۸۱
مراجع ---------- ۸۵

فصل اول :
زمین حفاظتی و الکتریکی

اهداف آموزشی :

۱) شناخت زمین حفاظتی
۲) شناخت زمین الکتریکی
۳) طرح زمین حفاظتی
٤) طرح زمین الکتریکی
۵) شناخت ارتباط بین زمین الکتریکی و حفاظتی

۱-۱)زمین کردن حفاظتی :

زمین کردن حفاظتی عبارت است از زمین کردن کلیه قطعات فلزی تأسیسات الکتریکی که در ارتباط مستقیم (فلز به فلز) با مدار الکتریکی قرار ندارند . این زمین کردن به خصوص برای حفاظت اشخاص در مقابل اختلاف سطح تماسی زیاد به کار برده می شود . بدین منظور در پستهای فشار قوی باید تمام قسمتهای فلزی که در نزدیکی و همسایگی با فشار قوی قرارگرفته اند و امکان تماس عمدی با آنها موجود است ، به تأسیسات زمینی که برای این منظور احداث شده است (زمین حفاظتی) متصل و مرتبط گردند . این قسمتها عبارتند از ستونها و پایه های فلزی ، درب ها و نرده های فلزی ، قسمتهای فلزی دسترس تمام دستگاههای اندازه گیری ، ایزولاتورها ، مقره های عبور ، به خصوص قسمتهای فلزی که برای کارکردن با دستگاه باید آنها را لمس کرد و در دست گرفت ، مثل چرخهای فرمان انواع و اقسام تنظیم کننده ها و رگولاتورها ، دسته کلیدها و غیره ، زیرا در این قسمتها در اثر عبور جریان خیلی کم نیز عضلات دست به طوری منقبض می شود که بازکردن و رهایی پیدا کردن از آن غیر ممکن و محال به نظر می رسد و عاقبتی وخیم و اسفناک برای تماس گیرنده به پیش خواهد داشت .

بدین منظور و برای جلوگیری از هرگونه حادثه ای باید زمین حفاظتی به نحوی تأسیس گردد که قسمتی از مسیر جریان که توسط تماس اعضای بدن انسان اتصالی میشود (دست و پا و یا دو دست یا دوپا) دارای تفاوت پتانسیل یا افت ولتاژ زیاد نباشد افت ولتاژ بستگی به شدت جریان و مقاومت مسیر جریان دارد . شدت جریان اتصال زمین بیشتر بستگی به قدرت و نوع ارتباط شبکه با زمین دارد و در هر حال مقداریست معلوم و ثابت و قابل محاسبه و در ضمن غیر قابل پیشگیری ، لذا برای کوچک نگهداشتن افت ولتاژ باید مقاومت مسیر جریان حتی المقدور کوچک نگهداشته شود . به طور مثال اگر یک مقره عبور که در دیوار مرطوبی نصب شده است بشکند و سیم فشارقوی با دیوار تماس پیدا کند و جریان اتصال زمین در این حالت ۲۵ آمپر و مقاومت هر متر دیوار Ω ۱۰ باشد . ما بین دو نقطه از دیوار که انسان با آن تماس دارد (فاصله دست و یا تقریباً ۲ متر) اختلاف سطحی برابر با :

$$U = I * R = 25*2*10 = 500\ Volt$$

بوجود می آید که مسلماً برای انسان خطرناک است . ولی اگر پایه فلزی مقره که به دیوار محکم شده بوسیله یک سیم نسبتاً ضخیم به زمین وصل شود ، در موقع اتصال بدنه یا اتصال زمین ، قسمت عمده جریان اتصالی از این سیم عبور خواهد کرد و کلیه قسمتهای دیوار هم پتانسیل سیم

در آن نقطه خواهد شد . لذا افت ولتاژ در امتداد دیوار ناچیز شده و برای انسان خطری ایجاد نخواهد کرد .

عامل مؤثر خطر برای انسان یا هر موجود زنده دیگر جریان می باشد که البته وجود اختلاف سطح است که باعث عبور این جریان می گردد . در فشار ضعیف جریانهای ۱ تا ۰,۱ آمپر که از قلب می گذرد خطر جانی دارد .

آزمایشها و بررسیهای مختلف نشان داده شده است که :

جریانهای تا ۰,۰۲ آمپر برای انسان قابل تحمل است .

جریانهای تا حدود ۰,۰۵ آمپر خطرناک و جریانهای از ۰,۱ آمپر بالا خطر جانی دارد .

عبور جریان از قلب باعث می شود که عمل منظم طپش قلب نامنظم شده و در رسیدن خون به مغز وقفه ای حاصل گردد ، در نتیجه انسان پس از چند ثانیه بیهوش میشود و پس از چند دقیقه به هلاکت می رسد .

برای نجات برق زده باید بلا درنگ از تنفس مصنوعی از تنفس مصنوعی کمک گرفته شود که بهترین نوع آن تنفس از راه دهان به دهان می باشد .

شدت جریان مهلک و مقاومت بدن انسانها متفاوت است ، مقاومت بین اعضای مختلف بدن انسانها بطور متوسط برابر است با :

دست و دست : تقریباً ٤٠٠٠ Ω

دست و پا : تقریباً ٤٥٠٠ Ω

پا و پا : تقریباً ٦٥٠٠ Ω

هر دو دست و پاها : تقریباً ١٨٠٠ Ω

در ضمن بدن مرطوب و دستهای عرق کرده باعث کم شدن مقاومت و عبور جریان زیادتر می شود لذا می توان گفت که حتی اختلاف سطح ۲۰ ولت نیز محسوس و اختلاف سطح ۶۰ ولت ممکن است خطر جانی داشته باشد .

البته اثر مرگبار جریان بستگی به فرکانس هم دارد و متاسفانه فرکانس صنعتی ۵۰ هرتس خطرناکترین آنها می باشد . در فرکانسهای زیاد ، شدت جریانهای زیاد نمی تواند موجبات منقبض شدن اعضای بدن انسان را فراهم سازد ، بطوریکه عبور جریان به شدت چندین امپر با فرکانس خیلی زیاد نیز ممکن است برای انسان بی خطر باشد و بهمین جهت است که در پزشکی از جریانهای با فرکانس زیاد برای درمان استفاده می شود .

در برق گرفتگی فشارقوی جریانهایی از یک تا ۱۰۰ آمپر و بیشتر ممکن است از بدن انسان عبور کند بدون اینکه مستقیماً باعث از کار افتادن قلب شود . ولی در عوض این جریانهای شدید باعث خراب کردن و سوزاندن بافتهای بدن بخصوص تجزیه آب بدن می شود و به کلیه ها آسیب

فراوان می رساند . در ضمن عبور جریان زیاد از بدن باعث سوزاندن محل ورود و زخم برداشتن عمیق در محل خروج جریان میشود که ممکن است متعاقباً منجر به مرگ گردد .
در خاتمه بد نیست متذکر شویم که بعضی از حیوانات به خصوص اسب ها در مقابل جریانهای زمین حساس تر و مستعدتر از انسانها می باشند که شاید این مستعد بودن بعلت بزرگتر بودن فاصله قدم آنها و اختلاف سطح قدمی که آنها از زمین برداشت می کنند باشد .

۱-۲) زمین کردن الکتریکی :

زمین کردن الکتریکی یعنی زمین کردن نقطه ای از دستگاههای الکتریکی و ادوات برقی که جزئی از مدار الکتریکی می باشند . مثل زمین کردن مرکز ستاره سیم پیچی ترانسفورماتور و یا ژنراتور و یا زمین کردن سیم وسط یا سیم مشترک دو ژنراتور جریان دائم سری شده (MP) .
زمین کردن الکتریکی دستگاهها بخاطر کار صحیح دستگاهها و جلوگیری از ازدیاد فشار الکتریکی فازهای سالم نسبت به زمین در موقع تماس یکی از فازها با زمین می باشد . زمین کردن الکتریکی سه نوع است :

۱-۲-۱) زمین کردن مستقیم :

مثل وصل کردن مستقیم نقطه صفر ترانسفورماتور یا نقطه ای از سیم رابط بین دو ژنراتور جریان دایم به زمین .

۱-۲-۲) زمین کردن غیرمستقیم :

مانند اتصال نقطه صفر ژنراتور توسط یک مقاومت بزرگ به زمین یا اتصال نقطه صفر ستاره ترانسفورماتور توسط سلف بزرگ به زمین (سلف پترزن یا پیچک محدود کننده جریان زمین)

۱-۲-۳) زمین کردن بار:

در این نوع زمین کردن نقطه صف یا اصولاً هر نقطه از شبکه الکتریکی که دارای پتانسیل نسبت به زمین است توسط یک فیوز فشارقوی (الکترود جرقه گیر) به زمین وصل می شود . تا موقعی که مدار فیوز باز است یعنی در حالت کار عادی شبکه ، ارتباط شبکه با زمین باز است ولی در موقعی که ولتاژ زیادی شبکه را تهدید می کند ، مدار فیوز بکمک جرقه بسته می شود و شبکه مستقیماً با زمین ارتباط برقرار می کند. برقگیرهای فشارقوی انواع این فیوزها می باشند و بدین جهت زمین کردن بار در حقیقت نوعی از زمین کردن الکتریکی در حالت کار عادی شبکه محسوب نمی شود .
از زمین الکتریکی اغلب در موقعی که دستگاهها و شبکه برق رسانی بدون عیب نیز می باشد

جریان عبور می کند . در صورتیکه از زمین حفاظتی فقط در موقع ارتباط فازها با زمین جریان عبور می کند .

۱-۳)تعیین مشخصات تأسیسات زمین حفاظتی :

در تعیین مشخصات و ابعاد و طرح تأسیسات زمین حفاظتی دو شرط اصلی زیر باید رعایت شود .

۱-۳-۱)اختلاف سطح میل از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند .

اختلاف سطح میل همانطور که می دانیم بستگی به جریان اتصال زمین I_E دارد .

$125 = R * I_E$

در موقع محاسبه جریان اتصال زمین اگر پست فشارقوی دارای اختلاف سطح های مختلف 220V و 60KV و20KV و غیره است ولی در تمام پست از یک تأسیسات زمین حفاظتی مشترک استفاده می شود ، باید مقاومت زمین را برای بزرگترین جریان اتصال زمین محاسبه و طرح ریزی کرد .

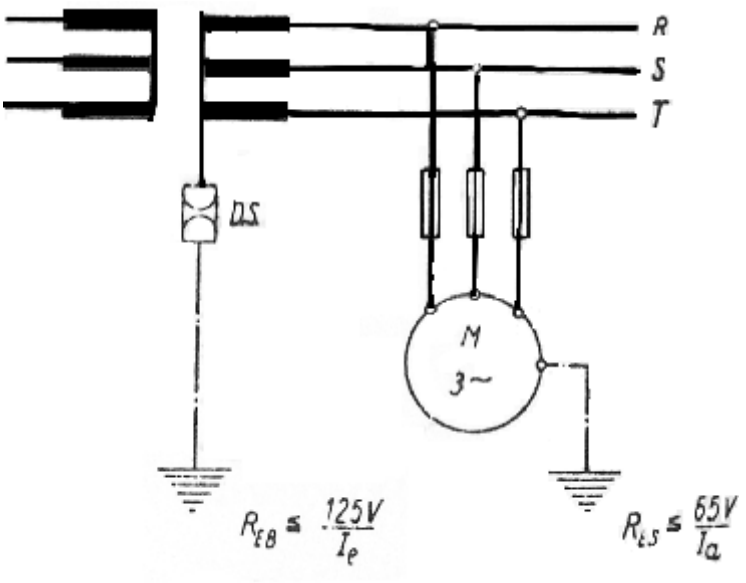
در ضمن باید مدت عبور جریان زمین محدود و کوتاه باشد تا از خشک شدن زمین اطراف میل زمین که باعث بالارفتن مقاومت گسترده میل زمین میشود جلوگیری گردد . جدول زیر مدت عبور جریان اتصال زمین را در اختلاف سطح ۱۲۵ ولت برای مقاومت مخصوصهای مختلف زمین نشان میدهد .

مقاومت مخصوص زمین Ωm	مدت عبور جریان در دقیقه	
	میل عمقی لوله دومتری به قطر ۲″ min	میل سطحی به هر طولی به مقطع ۲100mm (min)
50	100	30
100	200	60
200	400	120
300	600	180

در صورتیکه اختلاف سطح میل(E) عملاً غیر از ۱۲۵ ولت باشد ، می توان مدت مجاز عبور جریان اتصال زمین را متناسب با ضریب $(125/^{۲}E)$ تغییر داد .

۱-۳-۲)اختلاف سطح تماسی در خارج از محدودهٔ پست فشارقوی از ۶۵ ولت تجاوز نکند .

شکل ۱-۱ این دو شرط را به طور شماتیک نشان می دهد .



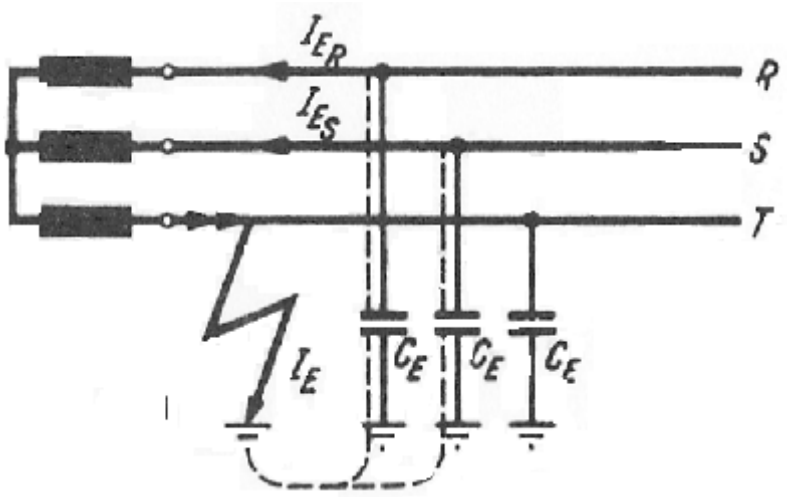
شکل ۱-۱

شرط دوم را می توان با قرار دادن صحیح میلها و نصب نرده ها در محل مناسب یا توسط هدایت کردن صحیح و تنظیم خطوط پتانسیل در زمین توسط میل فرمان بدست آورد که متداولترین و ساده ترین آن ، قرار دادن یک میل فرمان فولادی به طور کمربندی دور تا دور تأسیسات و به فاصله یک متر از آن و در عمق نیم متر زمین می باشد . این میل فرمان را میتوان با تأسیسات زمین حفاظتی و حتی با نرده فلزی پیرامون تأسیسات متصل و مربوط نمود .

جریانی که در موقع اتصال زمین شبکه از تأسیسات زمین می گذرد . در حالتهای مختلف و شرایط مختلف متفاوت است .

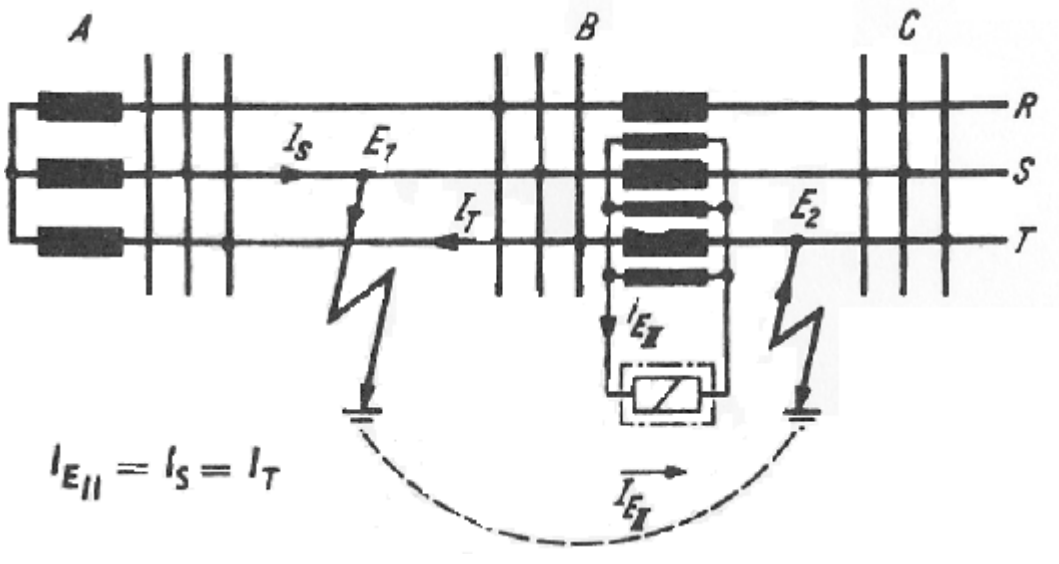
در موقع اتصال یک فاز شبکه(شکل ۲-۱) که فقط یکی از فازها مثلا در اثر جرقه یکی از مقره ها با زمین تماس پیدا می کند ، جریان اتصال زمین برابر است با جریان کاپاسیتیو دو فاز سالم دیگر . لذا این جریان بستگی به ولتاژ U_{ph} و کاپاسیتیه هر کیلومتر سیم C_b و طول سیم l بر حسب کیلومتر دارد و برابر است با :

$$I_E = I_C = 3U_{ph} .w.c_b.l \ (A)$$



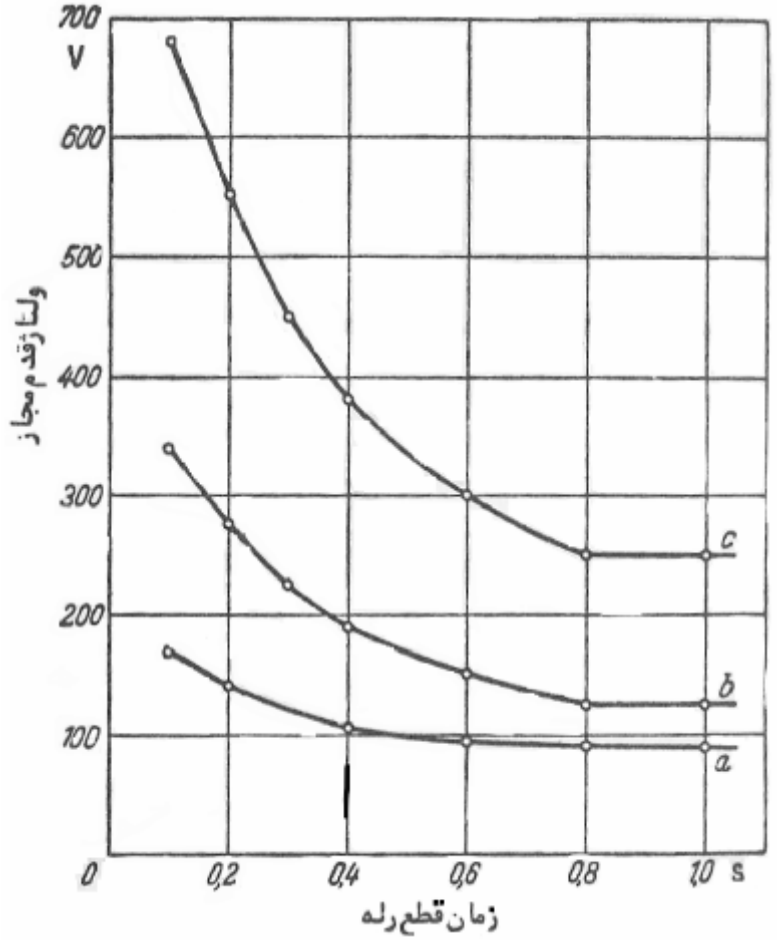
شکل ۲-۱

در صورتیکه در اتصال دوبل زمین (تماس دو فاز مختلف شبکه با زمین)مانند شکل ۳-۱ و یا در اتصال یکفاز شبکه با زمین در شبکه ای که نقطه ستاره ترانسفورماتور آن مستقیماً زمین شده است ، عملاً یک اتصال کوتاه در شبکه بوجود می آید . با این تفاوت که مقاومت زمین نیز در مسیر اتصال کوتاه قرار دارد .



شکل ۳-۱

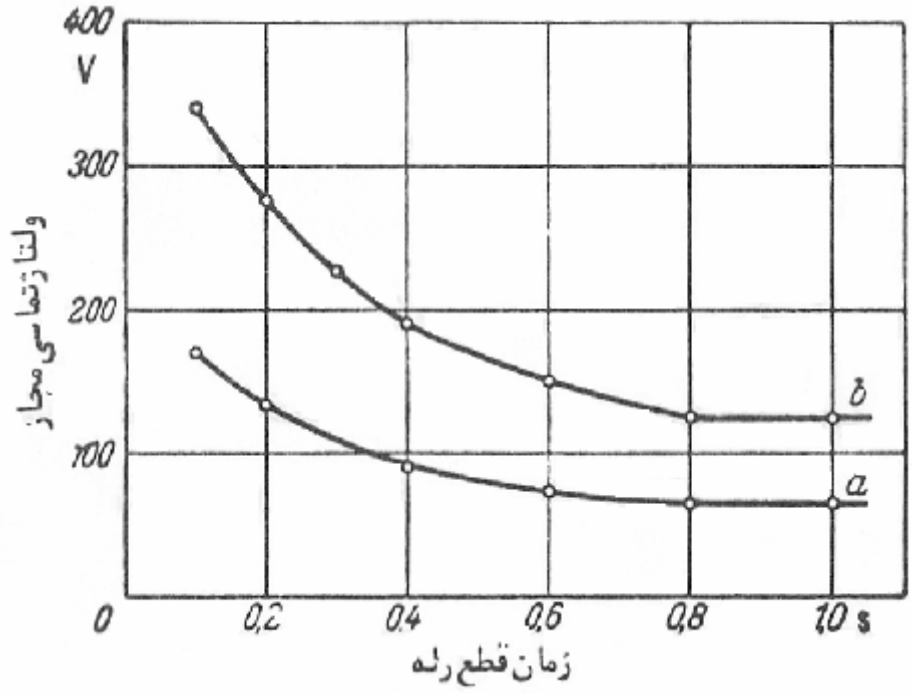
جریان اتصال زمین در این دو حالت خیلی زیاد است ، به خصوص اگر قدرت شبکه نیز زیاد باشد . ولی چون شبکه هایی مسلماً دارای وسائل حفاظتی (رله جریان زیاد و غیره) در مقابل اتصال کوتاه میباشند، لازم نیست که حتماً تأسیسات زمین برمبنای چنین جریان شدیدی محاسبه واجرا گردد. در چنین تأسیساتی ، در تأسیساتی که مرکز ستاره آن مستقیماً و یا توسط مقاومت محدود کننده جریان زمین شده است، اختلاف سطح قدم می تواند متناسب با زمان قطع رله حفاظتی از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند. شکل ٤-١ اختلاف سطح قدم مجاز را متناسب با زمان قطع رله نشان میدهد .



شکل ۴-۱

در این شکل : منحنی a مربوط به فشار قدم در محوطه خارج از پست که به خیابانهای اصلی و پر رفت و آمد شهر منتهی می شود می باشد . b مربوط به فشار قدم در محوطه خارج از تأسیسات پست خارجی (پشت نرده ها) اما در داخل محوطهٔ متعلق به تأسیسات محوطه سازی و باغ و چمن و خیابانهای داخل محوطه نیروگاه و غیره می باشد و منحنی c مربوط به محوطه داخلی پست خارجی است در صورتیکه برای داخل شدن به آن از کفش پلاستیکی مخصوص استفاده شود .

شکل ۵-۱ اختلاف سطح تماس مجاز در چنین تأسیساتی را متناسب با زمان قطع رله نشان میدهد در این شکل منحنی a مربوط به خارج تأسیسات و منحنی b مربوط به داخل تأسیسات است .



شکل ۵-۱

در شبکه هایی که جریان اتصال زمین از چند صد آمپر تجاوز می کند ، با در نظرگرفتن رابطه $R = 125V/I_E$ مقاومت زمین باید مقادیری در حدود ۳ تا ۰/۳ اهم پیدا کند ، لذا به خصوص در چنین مواقعی و یا در حالتی که به علت نامساعد بودن جنس زمین و یا زیاد بودن مقاومت مخصوص زمین و یا به هر دلیل تکنیکی دیگر نمی توان به آسانی و با صرف هزینه مناسب و متعارفی مقاومت گسترده لازم و مطلوب را برای عملی ساختن دو شرط فوق بدست آورد ، برای جلوگیری از اختلاف سطح تماس و قدم زیاد از روشهای زیر استفاده می شود .

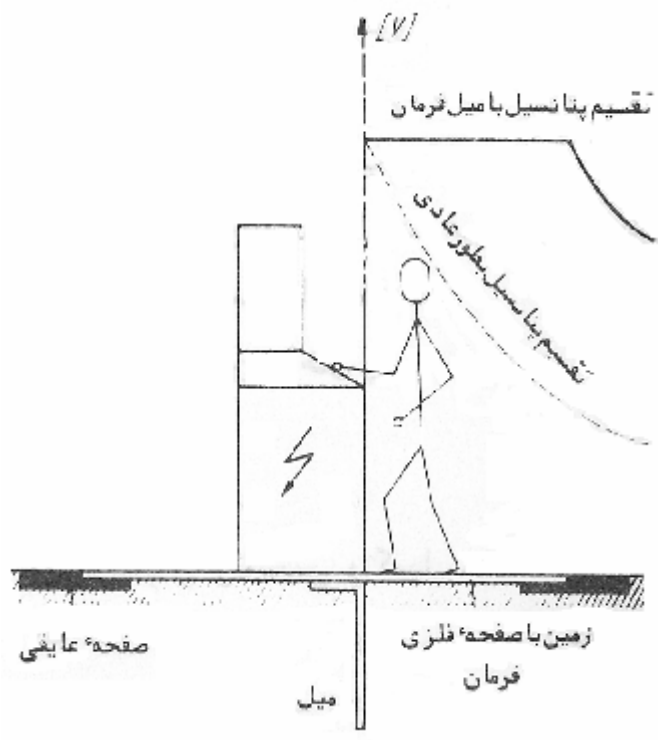
۱-۴)جلوگیری از اختلاف سطح تماس و قدم در داخل محوطه تأسیسات فشارقوی :

۱) جایگاه متصدیان ، جهت تنظیم و فرمان و مراقبت که منجر به تماس برقرار کردن و لمس کردن تابلوهای فلزی می شود (زمین جلو ی تابلو) باید برا ی دو برابر اختلاف سطح میل زمین عایق شود و در ضمن تمام تابلوها و قطعات فلزی که زمین شده اند به یکدیگر متصل شوند تا دو قطعه فلزی مجاور نسبت به هم اختلاف پتانسیل پیدا نکنند .

۲) کلیه قسمتهای تابلو که در موقع تنظیم و فرمان بوسیله انسان لمس می شود یا در دست گرفته میشود ، مثل چرخ و دسته تنظیم کننده های ولتاژ عده دور یا رئوستاها و دسته کلیدها

و امثال آن باید نسبت به زمین عایق شوند و در روی تابلویی از مرمر ، چوب ، فیبر و غیره نصب شوند . البته این موضوع می تواند فقط در تأسیسات کوچک با فشار کم قابل اجرا باشد .

۳) جایگاه متصدیان جلوی تابلو با کف پوش فلزی مفروش شود ، بطوریکه با تابلوها و قطعات فلزی مجاور آن در چند نقطه مرتبط باشد . در نتیجه اختلاف سطح تماس از بین می رود و برای برطرف کردن خطر ولتاژ قدم ، دور تا دور آن حداقل به عرض ۱/۲۵ متر با کف پوش عایقی (فرش لاستیکی) مفروش شود (شکل ۶-۱) . در تأسیسات خارجی زمین را با موادی با قابلیت هدایت خیلی کم مثل سنگهای آتش فشانی و یا مصالح ساختمانی دیگر که دارای مقاومت بسیار می باشد و رطوبت را در خود جذب نمی کنند مفروش می کنند .



شکل ۶-۱

٤) کف سالن پست فشارقوی با مفتول های فلزی پوشانده شود (بتون آرمه) و مفتولهای فلزی داخل بتون با تأسیسات زمین وصل گردد . این مفتولهای فلزی باعث میشوند که ولتاژ تماس و یا ولتاژ قدم به طور قابل ملاحظه ای کوچک شود . در صورتیکه کف ساختمان پست قبلاً آماده شده باشد و فاقد بتون آرمه باشد ، میتوان از تسمه فولادی که دور تا دور ساختمان به دیوار و تقریباً در سطح زمین کشیده و به تأسیسات زمین وصل میشود استفاده کرد . این تسمه فولادی سبب میشود که با میله هایی از فولاد که جهت نگهداشتن آن در فواصل یک

متری به دیوار کوبیده میشود ، پتانسیل تأسیسات زمین را حداقل در داخل ساختمان به طور یکنواخت تقسیم کند و از افت پتانسیل زیاد جلوگیری گردد .

۵) در پستهای فشارقوی خارجی می توان با قرار دادن مفتولهای فولادی و یا توری فلزی در کف زمین اطراف نزدیک ترانسفورماتورها و تابلوها و قطعات فلزی دیگر از بوجود آمدن اختلاف سطح تماس و قدم بیشتر از ۱۲۵ ولت جلوگیری کرد .

۱-۵)جلوگیری از اختلاف سطح تماس و قدم در خارج محوطه تأسیسات فشارقوی :

در صورتیکه در خارج از محوطه تأسیسات فشارقوی و یا در پشت نرده هایی که به منظور محصورکردن پست کشیده شده ، اختلاف سطح تماس از ۶۵ ولت و اختلاف سطح قدم از ۹۰ ولت تجاوز کند ، باید برای جلوگیری از خطرات احتمالی آن یکی از روشهای زیر بکار گرفته شود.

۱) نرده ها را دور از تأسیسات کشیده تا محوطه با فشار قدم غیرمجاز در داخل تأسیسات قرار گیرد .

۲) در تأسیسات زمین از میل فرمان پتانسیل استفاده کرد .

۳) زمین اطراف پست فشارقوی را از زمین داخل پست جدا کرد .

۱-۶)طرح زمین الکتریکی :

زمین الکتریکی مربوط به قسمتی از تأسیسات است که متعلق به مدار الکتریکی است مثل زمین کردن نقطه صفر ستاره ترانسفورماتور ، زمین کردن سلف زمین ، زمین کردن نقطه صفر ژنراتور بکمک مقاومت و یا بدون مقاومت و زمین کردن یکطرف سیم پیچی زکوندر ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و غیره .

در موقع محاسبه تأسیسات زمین الکتریکی باید شرایط زیر در نظر گرفته شود :

۱)ماکسیموم جریانی که در موقع اتصال زمین شبکه از آن می گذرد مبنا قرار داده شود . این جریان در شبکه ای که نقطه صفر ستاره آن مستقیماً زمین شده است برابر است با جریان اتصال زمین شبکه و در صورتیکه نقطه صفر ستاره آن توسط مقاومت محدود کننده جریان ، زمین شده باشد ، جریان زمین برابر است با جریانی که از سلف زمین می گذرد . جریان سلف زمین در یک پیچکی که خوب و متناسب با جریان کاپاسیتیو زمین شبکه سنجیده و محاسبه شده باشد برابر است با جریان کاپاسیتیو اتصال زمین شبکه .

۲) در شبکه و تأسیساتی که دارای ولتاژهای مختلف می باشند ولی از یک زمین مشترک الکتریکی استفاده میشود ، این زمین برای شبکه ای که جریان نقطه ستاره آن ماکسیموم و از بقیه بزرگتر است محاسبه می شود .

0) در صورتیکه تأسیسات زمین الکتریکی در موقع اتصال زمین شدن شبکه ، ولتاژ زمین بزرگتر از ۱۲۵ ولت شود ، باید سیم های رابط به زمین الکتریکی را عایق و در مقابل تماس سهوی و عمدی محافظت کرد .

در هر صورت باید تأسیسات زمین طوری محاسبه و طرح شوند که به هیچ وجه باعث به مخاطره انداختن اشخاص نشود . بدین جهت یا باید قسمتهایی که ولتاژ زیاد می گیرند محدود و محصور کرد و یا اینکه از بوجود آمدن ولتاژ قدم بیش از ۶۰ ولت با استفاده از میل فرمان و وسایل دیگر جلوگیری شود .

همانطور که گفته شد تأسیسات زمین الکتریکی را باید طوری ساخت که اختلاف سطح میل یا زمین کننده از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند ، این اصل البته در صورتی امکان پذیر است که جریانی که از نقطه صفر ستاره برروی تأسیسات میل زمین عبور میکند از حدود ۱۰۰ آمپر بیشتر نشود . این موضوع فقط در موقع زمین کردن نقطه ستاره ژنراتور مراعات میشود ، آنهم به خاطر اینکه جریان زیاد اتصال بدنه ، باعث سوزاندن آهن دندانه های استاتور میگردد ولی جریانهای اتصال زمین در شبکه کمپانزه شده ممکن است گاهی از ۱۰۰آمپر نیز تجاوز کند و جریان اتصال زمین در شبکه هایی که نقطه صفر ستاره آن مستقیماً زمین شده همیشه از ۱۰۰ آمپر بیشتر است زیرا در حقیقت چنین اتصالی تشکیل یک اتصال کوتاه یک قطبه را می دهد و متناسب با شدت جریان و مقاومت زمین ، اختلاف سطح میل زمین ممکن است از چندین صد ولت و حتی چند هزار ولت هم تجاوز نکند . این اختلاف سطح زیاد البته مدت زیادی پابرجا نمی ماند زیرا حتماً رله جریان زیاد شبکه ، جریان اتصال یک قطبه را در زمانی کوتاهتر از یک ثانیه قطع خواهد بود .

۱-۷)ارتباط زمین های مختلف :

در موقع طرح پروژه تأسیسات فشارقوی اغلب این سئوال پیش می آید که چرا باید دو زمین مجزا درست کرد ؟ در چه حالت می توان تأسیسات زمین های مختلف را بهم وصل کرد و در چه موقع باید تأسیسات زمین الکتریکی از زمین حفاظتی کاملاً جدا باشد ؟

در یک پست فشارقوی که دارای شبکه فشار ضعیف نیز هست چند نوع زمین لازم است ؟

زمین حفاظتی فشار قوی - زمین حفاظتی فشار ضعیف - زمین الکتریکی فشار قوی -زمین الکتریکی فشار ضعیف

آیا حقیقتاً چهار نوع زمین مجزا لازم است ؟

یا می توان فقط یک زمین درست کرد و تمام قسمتهایی که باید زمین شوند به آن وصل کرد ؟

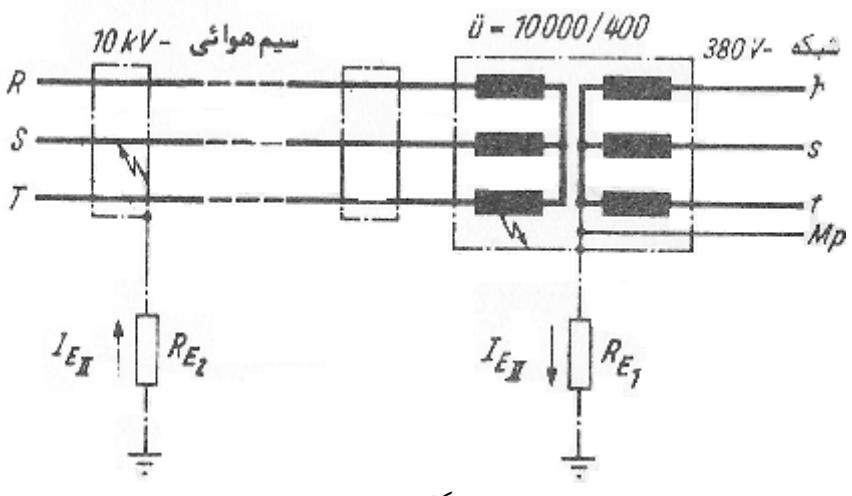
به این سئوالها می توان این طور پاسخ داد :

اگر وصل کردن زمینهای مختلف موجب پیش آمدن خطراتی می شود که احتمالاً در موقع جداکردن آنها وجود ندارد ، بهتر است زمینها از هم جدا باشند . در غیر اینصورت دلیلی برای جداکردن آنهاوجود ندارد . زیرا در هر حال زمین کردن بخاطر حفاظت اشخاص و درست کار کردن دستگاههای الکتریکی است .

VDE ماکسیموم اختلاف سطح تماسی درازمدت را در تأسیسات با اختلاف سطح زیاد ۱۲۵ ولت و در تأسیسات با فشارکم ۶۵ ولت تعیین کرده است .

شاید علت انتخاب دوولتاژ مختلف به خاطر این باشد که اشخاصی که در تأسیسات فشارقوی کار می کنند به خطرات برق آشنایی کامل دارند و یا باید داشته باشند ، در صورتیکه مردمی که با اختلاف سطح کم کار می کنند ممکن است فاقد تخصص الکتریکی کافی باشند . در ضمن اینکه شرایط کار نیز برای آنها متفاوت است . به همین جهت است که VDE در شبکه فشارضعیف مشروط بر اینکه شبکه از نیروگاه خارج نشود و به مصرف عمومی نرسد ولتاژ تماسی ۱۲۵ ولت را نیز مجاز دانسته است .

بطور مثال فرض میکنیم که در یک پست ترانسفورماتور 10KV/400V زمین حفاظتی تأسیسات فشارقوی با زمین الکتریکی طرف فشار ضعیف مشترک باشد (شکل ۷-۱)



شکل ۷-۱

در ضمن فرض می کنیم که این پست توسط سیمهای هوایی تغذیه شود و مقاومت گسترده زمین هر یک از دکلها $3\text{؍}R_E\ \Omega$ = و مقاومت میل زمین در استاتیون Ω = $2R_{E1}$ باشد . حال اگر با این مشخصات در طرف فشارقوی این شبکه یک اتصال زمین دوبل پیش آید ، به طوری که یکی از اتصالی ها در فاز T و در داخل پست و دیگری در شبکه سیم هوایی در اثر جرقه سیم S از راه

مقره به دکل باشد ، جریان اتصال زمین در صورتیکه مقاومت سیم بین این دو اتصالی فقط ۰/۵ اهم باشد برابر است با :

$I_{EII} = U/(R_{E1}+ R_{E۲} + R_L) = 10000/ (۲+3+0.5) = 1820$ A

در این محاسبه از مقاومت سلفی خط صرفنظر شده است .

در نتیجه اختلاف سطح میل ها برابر می شود با :

$U_{E1} = R_{E1} * I_{EII} = ۲ *1820 = 3640$ V

$U_{E۲} = R_{E۲} * I_{EII} = 3 *1820 = 5460$ V

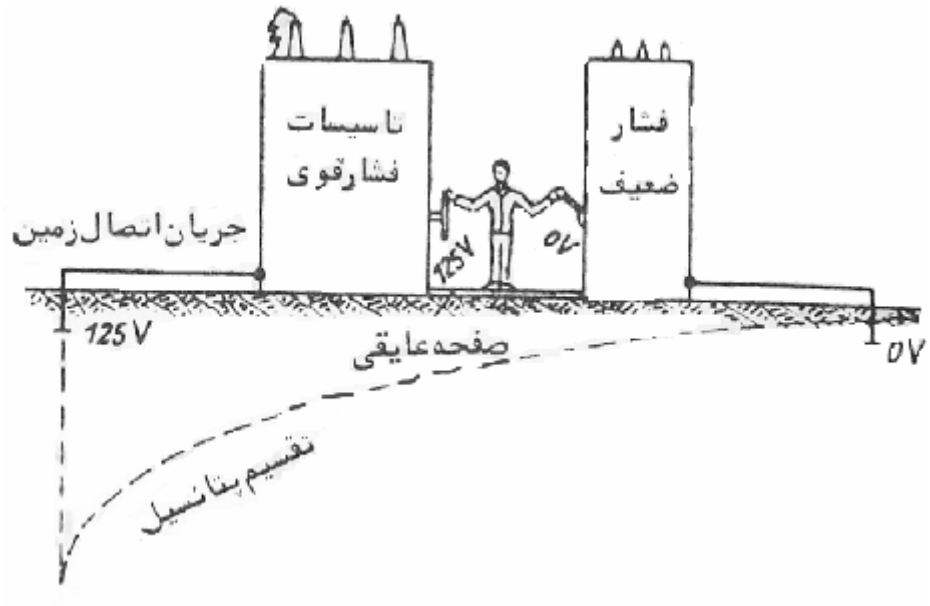
این مثال نشان می دهد که در موقع اتصال دوبل زین در طرف فشارقوی چه اختلاف سطح بزرگی (۳۶٤۰ ولت) البته کوتاه مدت به سیم صفر طرف فشارضعیف شبکه تحمیل میشود . این ولتاژ بخاطر عبور جریان زیاد و قطع رله بطور خودکار و سریع ، قطع میشود ولی چون مقاومت عایقی شبکه فشارضعیف نمی تواند این فشار را تحمل کند ازدیاد فشار سیم صفر ممکن است باعث اتصالی و آتش سوزی و خطرات دیگر در طرف فشار ضعیف شود . لذا برای ارتباط زمین های مختلف شرایطی در نظر گرفته شده است که ما ذیلاً به شرح آنها می پردازیم .

مقدمتاً باید توضیح داده شود که ذیلاً نیروگاه و تبدیلگاه و پست ترانسفورماتور فشارقوی را مراکز نیرو و تأسیسات 1KV به بالا را فشارزیاد و تأسیسات 1KV به پایین را فشارکم نامیده ایم .

الف) زمین کردن در مراکز نیرو که انرژی را فقط با فشار زیاد انتقال میدهند و شبکه فشار کم آن فقط برای مصرف داخلی خود نیروگاه است :

۱) زمین حفاظتی تأسیسات فشار زیاد و فشار کم بهتر است به هم وصل شوند .

در تبدیلگاهها و پستهای ترانسفورماتور داخلی و کلید خانه ها و اطاق فرمان و غیره اغلب تابلوهای فشار زیاد و فشارکم در کنار هم قرار می گیرند و تماس با آنها در آن واحد توسط اشخاص و متصدیان مربوطه اجتناب ناپذیر است .(شکل ۸-۱) اگر چنین تأسیساتی دارای دو زمین کاملاً مجزا از یکدیگر باشند و این تماس دو جانبه در لحظه ای باشد که یکی از دو تأسیسات اتصال بدنه پیدا کرده است ، جریان خطرناکی از بدن انسان عبور می کند ، بخصوص اگر دست تماس گیرنده مرطوب و تمامی اختلاف سطح ۱۲۵ ولت در عبور جریان موثر باشد. در صورتی که ارتباط دو زمین حفاظتی از این خطر مسلم بطور کاملاً مطمئن جلوگیری می کند .



شکل ۸-۱

البته در صورتیکه در مثال فوق تابلوهای مربوط به فشار زیاد و فشارکم طوری قرار گیرند که امکان تماس در آن واحد با هر دوی آنها وجود نداشته باشد . جدا بودن زمین حفاظتی نیز باعث بروز خطری نخواهد شد .

بطور مثال اگر تابلوی تأسیسات ۳۸۰/۲۲۰ ولت درمحلی قرار گیرد که در دسترس تابلوی 20KV نباشد می توان حتی از روش صفر کردن نیز برای حفاظت اشخاص استفاده کرد . البته باید سعی شود که هیچ ارتباط ناخواسته و ندانسته ای بین آنها توسط خرپاها و ستونهای فلزی ساختمان و یا فونداسیون و اسکلت فلزی ساختمان و یا وسایل دیگر موجود در ساختمان بوجود نیاید و بطور کلی یک جدایی مطلق بین سیم صفر و زمین حفاظتی تأسیسات 20KV برقرار باشد

۲) زمین حفاظتی تأسیسات فشار زیاد می تواند با زمین الکتریکی تأسیسات فشار کم متصل شود و یک واحد را تشکیل دهد بشرطی که تأسیسات فشارکم فقط مصرف داخلی را تامین کند .

این موضوع شامل شبکه ۳۸۰/۲۲۰ ولت مصرف روشنایی محوطه و مصارف الکتریکی ساختمانها و دفاتر و کلیه تأسیسات داخل محوطه نیروگاه و تبدیلگاه نیز میشود .

اصولاً در تمام تأسیسات فشارقوی اعم از نیروگاه و تبدیلگاه که فقط به منظور تأمین مصرف داخلی و روشنایی خود از شبکه فشارکم استفاده می کنند ، جداکردن زمین الکتریکی (زمین سیم صفر) از زمین حفاظتی طرف فشارقوی آنچنان مفهوم و معنایی که در پستهای فشار زیاد تغذیه شهری دارد نخواهد داشت . زیرا وجود پایه های فلزی ، لوله های آب رسانی و اسکلت فلزی و اصولاً این همه آهن که در ساختمان و دکلها و غیره درمحوطه نیروگاه یا تبدیلگاه بکار برده شده همه حکم میل فرمان پتانسیل را برای یک زمین مشترک دارند و باعث میشوند که تقسیم پتانسیل

در محوطه بطور یکنواخت انجام گیرد . لذا بهتر است برای همه تأسیساتی که در داخل محدوده نیروگاه یا تبدیلگاه هستند و ارتباط آنها در ولتاژ زیر یک کیلو ولت با شبکه شهری قطع است فقط از یک زمین که همان زمین اصلی استاسیون است استفاده شود . زیرا وقتی شبکه فشار قوی ، اتصال زمین پیدا کند د رهر حال اختلاف سطح میل زمین بالا می رود . با این تفاوت که در زمین مشترک و به هم پیوسته تفاوت پتانسیل خطرناک بوجود نمی آید و به هیچ وجه باعث ایجاد فشار قدم و یا فشار تماس غیرمجاز در داخل محوطه نمیشود . بهمین جهت در خیلی از نیروگاههای قدیمی حتی سلف زمین ، به زمین حفاظتی نیروگاه متصل است ، بدون اینکه تا به حال باعث ایجاد خطر یا تصادف ناگواری شده باشد .

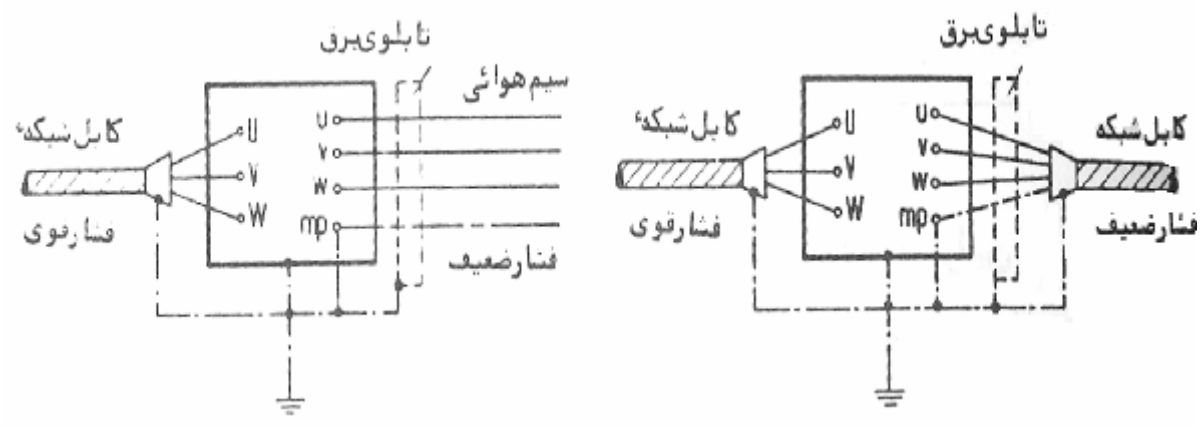
۳) زمین الکتریکی پیچک زمین (سلف پترزن) و یا هر مقاومت دیگری را که به مرکز ستاره وصل است می توان به زمین حفاظتی تأسیسات وصل کرد ، مشروط بر اینکه ولتاژ میل زمین در موقع اتصال زمین شبکه و عبور جریان از پیچک از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند .
شرط ۱۲۵ ولت برای ولتاژمیل زمین در این حالت استثنایی لازم است زیرا وقتی نقطه صفر شبکه با مقاومت یا با پیچک محدودکننده جریان به زمین وصل است هراتصال زمینی مدتها ادامه پیدا می کند و زمان عبور جریان از زمین طولانی میشود . اما چون همانطور که گفته شد در تأسیسات و نیروگاههای بزرگ که دارا ی پست فشارقوی می باشند تقسیم پتانسیل در سطح محوطه و حتی در اطراف نزدیک خارج از محوطه کوچک است اگر اختلاف سطح میل از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند نمی تواند اختلاف سطح قدمی و تماسی غیرمجازی در هیچ یک از نقاط داخل محدوده نیروگاه یا پست فشارقوی و تبدیلگاه بوجود آید .
٤) زمین الکتریکی تأسیسات فشار زیاد را نمیتوان با زمین الکتریکی تأسیسات فشارکم بهم وصل کرد ، مگر اینکه شرایط ۲ و۳ منظور شده باشد .
در مراکز نیرو که شبکه فشارکم آن فقط بمنظور داخلی بکار برده میشود همانطورکه فوقاً به آن اشاره شد میتوان زمین الکتریکی یعنی زمین مربوط به سیم صفر را بدون هیچ قید و شرطی به زمین حفاظتی وصل کرد زیرا در هر حال زمین الکتریکی یعنی زمین الکتریکی هم برای ولتاژ ۱۲۵ ولت محاسبه و طرح میشود . لذا واضح است که اگر اتصال زمین الکتریکی فشارکم با زمین الکتریکی فشارزیاد نیز باعث نشود که اختلاف سطح میل از ۱۲۵ولت تجاوز نکند ، ارتباط این دو نیز بلامانع و بدون خطر است . در نتیجه میتوان گفت که اصولاً در تمام نیروگاهها و تبدیلگاهها و تأسیسات فشارقوی و مراکز نیرو که سیم شبکه فشار کم آن (از 1KV به پایین) از محوطه و محدوده خود خارج نمیشود فقط یک زمین مشترک وجود دارد .

ب) زمین کردن نیروگاه و یا تبدیلگاه کوچک با تأسیسات مصرف داخلی و مصارف شهری کمتر از یک کیلو ولت

همانطور که گفته شد دو نوع زمین (زمین حفاظتی و زمین الکتریکی) در تأسیسات الکتریکی وجود دارد .

در تأسیسات و پستهای ترانسفورماتورهای توزیع برق با ولتاژ کمتر از یک کیلو ولت که در اینجا ولتاژ کم نامیده میشود و بر حسب نوع خطوط خروجی طرف فشار ضعیف (کابل و یا سیم هوایی) از یک زمین مشترک و یا دو زمین مجزا استفاده کرد .

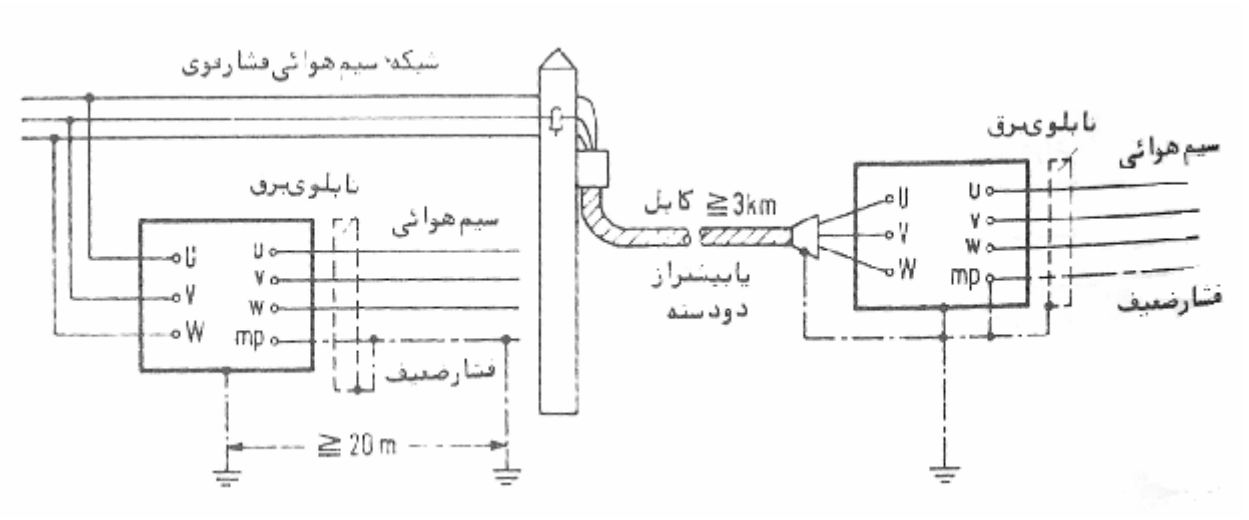
۱)اگر طرف فشارقوی ترانسفورماتور به یک شبکه کابلی نسبتاً گسترده ای متصل باشد و غلاف فلزی کابل فشارقوی دارای ضریب هدایت الکتریکی نسبتاً زیاد باشد (غلاف سربی یا آلومینیومی) و این غلاف مستقیماً با زمین در تماس باشد . بعبارت دیگر در صورتیکه کابل فاقد پوشش خارجی از عایق PVC ، قیروگونی و یا هر نوع دیگری باشد ، میتوان در این پست از یک زمین مشترک استفاده کرد و قسمتهای مختلف تأسیسات را که باید زمین شود ، اعم از سر کابلها و بدنه ترانسفورماتور و تابلوها و سیم صفر به همین یک زمین وصل کرد (شکل ۹-۱)



شکل ۹-۱

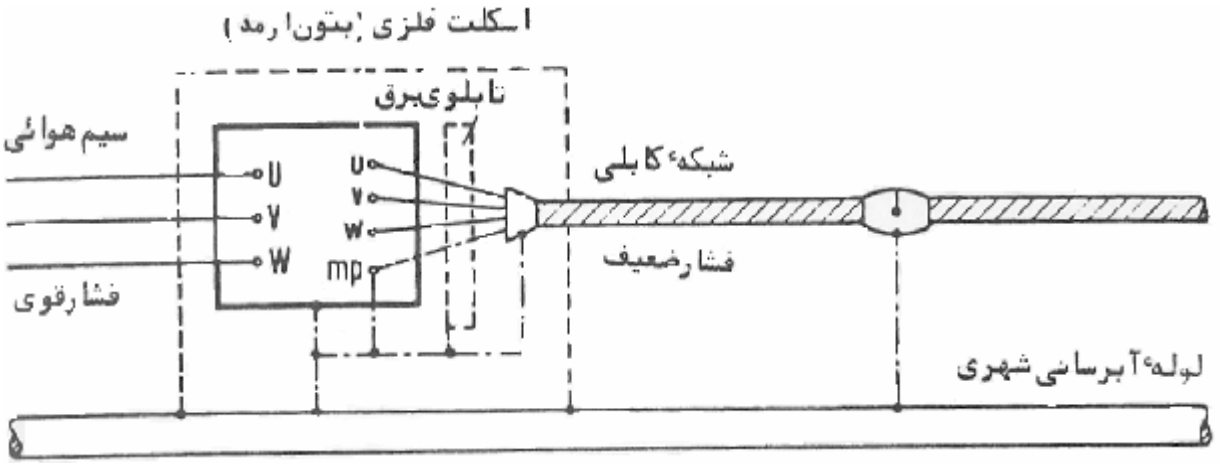
۲)اگر شبکه فشارقوی از کابل و سیم هوایی تشکیل شده باشد ، بطوری که تمام کابلهای طرف فشارقوی مربوط به پست ترانسفورماتور فاقد روکش خارجی از عایق باشد و غلاف فلزی آن که پوسته خارجی کابل را تشکیل می دهد نیز دارای هدایت الکتریکی خوب باشد . میتوان از

یک زمین مشترک جهت حفاظت تأسیسات استفاده کرد . بشرط آنکه حداقل دو رشته کابل از سیم هوایی منشعب شده باشد و طول کل کابلها از ۳ کیلومتر کمتر نباشد . (شکل ۱۰-۱)



شکل ۱۰-۱

۳) اگر طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور به یک شبکه کابلی گسترده بزرگی متصل باشد و تمام کابلها نیز دارای غلاف فلزی (آلومینیومی و سربی) بدون روپوش عایق باشد و یا اینکه اصولاً در چنین پستی مجزا کردن زمین حفاظتی و الکتریکی عملاً ممکن و مقدور نباشد . مثل کیوسکهای ترانسفورماتور محلی ، پستهای ترانسفورماتور که در داخل ساختمانهایی از بتون آرمه قرار داشته باشند و یا در صورتیکه ساختمان پست از اسکلت فلزی تشکیل شده باشد و یا لوله های آبرسانی شهری و غیره از نزدیک پست عبور کرده باشد (شکل ۱۱-۱)

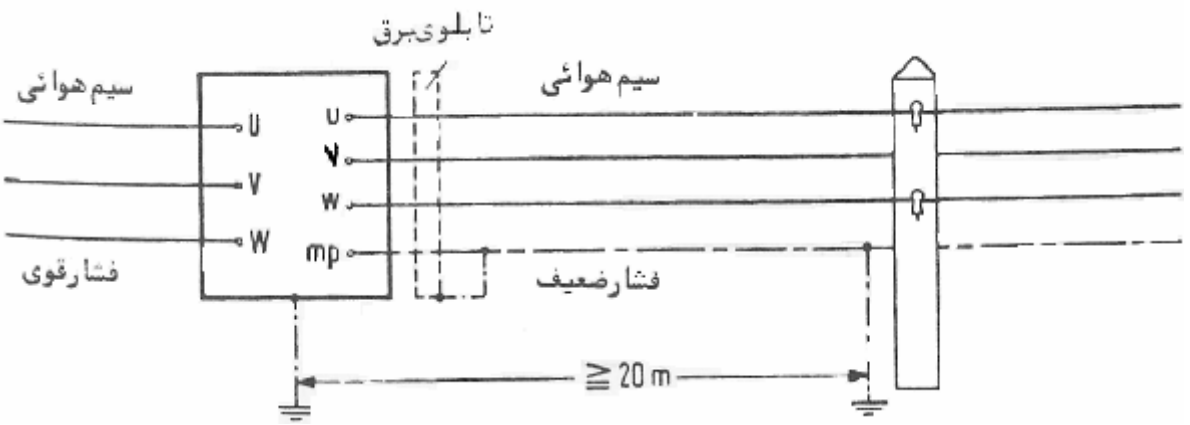


شکل ۱۱-۱

در چنین پستی بهتر است از یک زمین مشترک استفاده شود . البته باید در این حالت زمین حفاظتی طوری محاسبه شود که اختلاف سطح میل زمین که در اثر عبور جریان اتصال زمین بوجود می آید از ۶۵ ولت تجاوز نکند .

در چنین وضعیتی بهتر است برای کوچک کردن پتانسیل میل زمین قطعات فلزی داخل و حوالی ساختمان (لوله های آب و قطعات فلزی ساختمان و اسکلت فلزی و غیره) به میل زمین متصل و مرتبط گردد (شکل ۱۱-۱)

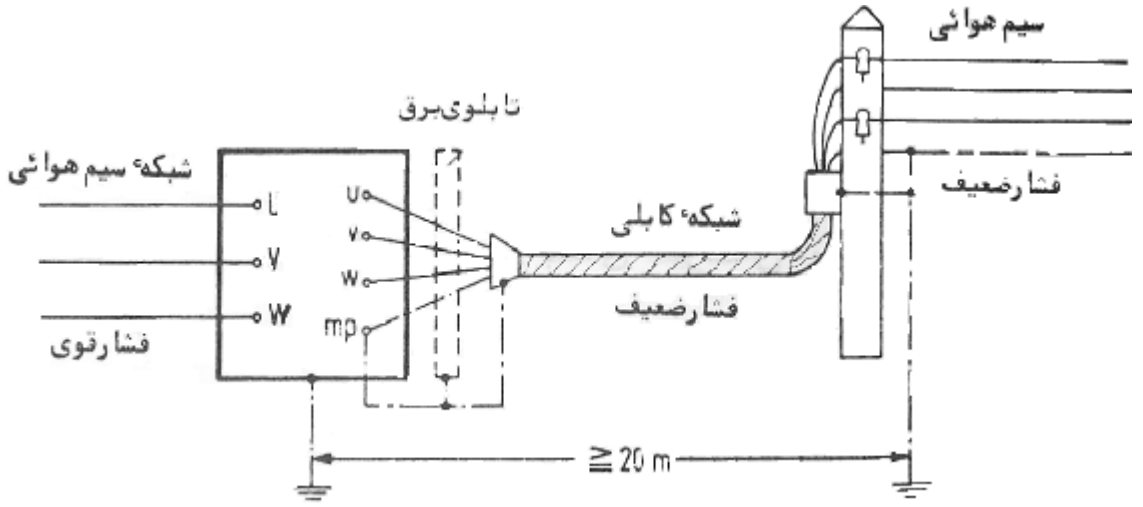
در تمام حالات دیگر پست ، باید زمین الکتریکی طرف فشارضعیف و زمین حفاظتی طرف فشارقوی به طور مجزا تاسیس گردد و فاصله بین دو زمین ا ز ۲۰ متر کمتر نباشد (شکل ۱۲-۱)



شکل ۱۲-۱

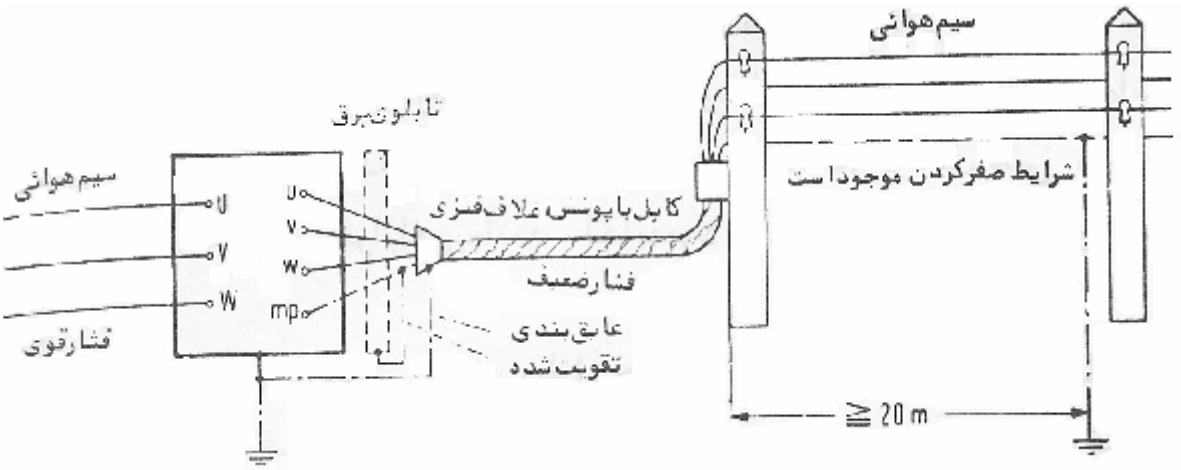
در موقع تاسیس دو زمین مجزا باید به هر ترتیب از اثر متقابل زمینها بر یکدیگر جلوگیری کرد مثلاً اگر سیم هوایی توزیع برق در طرف فشارضعیف توسط کابل به پست ترانسفورماتور متصل است (پستهای محلی متداول در ایران) باید سعی کرد که در اثر کابل کشی ، این دو زمین با هم مخلوط نشوند و بطور مجزا باقی بمانند . لذا معمولاً در این گونه مواقع از دو روش ساده زیر استفاده میشود :

۱)استفاده از کابل با روپوش عایقی بطول ۲۰ متر از محل ترانسفورماتور و یا در صورتیکه کابل دارای غلاف فلزی خارجی است ، کابل بطول حداقل ۲۰ متر از داخل لوله عایقی (لوله سفالی لعابدار) گذرانده میشود . در این حالت نقطه صفر ترانسفورماتور و بدنه تابلوهای برق به سرکابل داخل پست ترانسفورماتور وصل میشوند و سرکابل انتهای کابل در اولین دکل سیم هوایی که به فاصله حداقل ۲۰ متر از پست قرار دارد به زمین الکتریکی متصل می گردد
(شکل ۱۳-۱)



شکل ۱۳-۱

٤) در صورتیکه روکش کابل طرف فشارضعیف ، فلزی باشد باید سرکابل و غلاف فلزی کابل را جزیی از زمین حفاظتی دانست و به زمین حفاظتی طرف فشارقوی وصل کرد و زمین الکتریکی طرف فشارضعیف را حداقل ۲۰ متر دورتر از انتهای کابل تاسیس کرد (شکل ١٤-١)

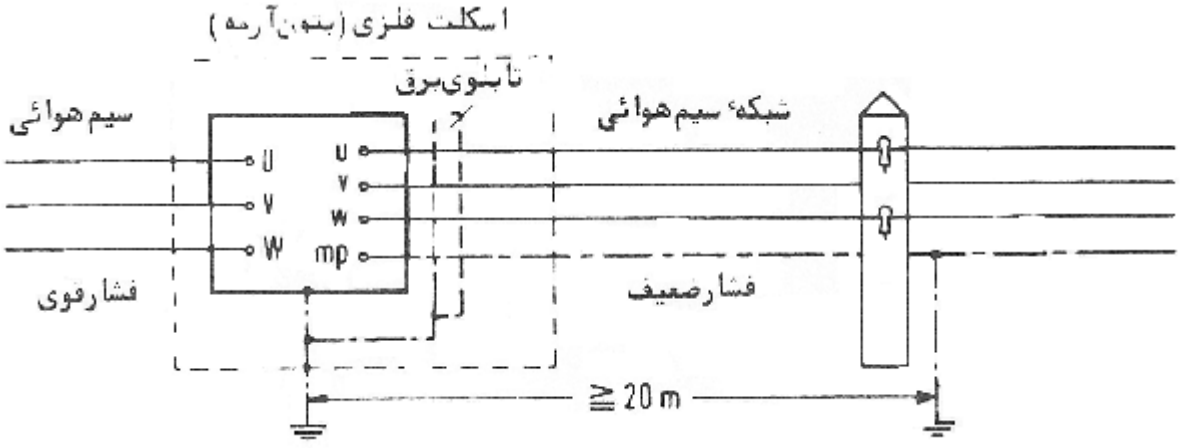


شکل ۱۴-۱

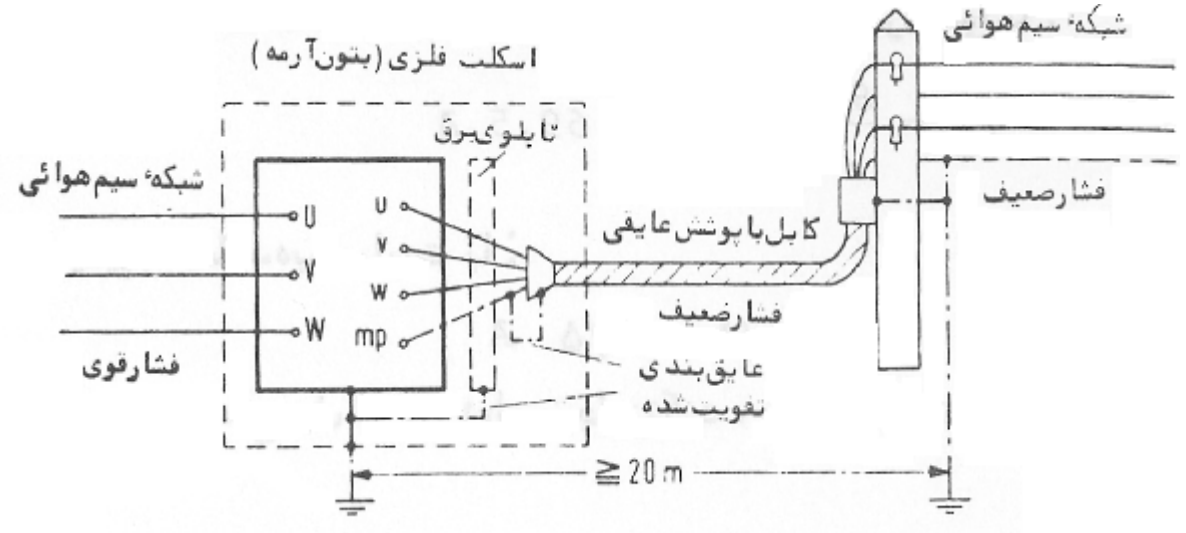
در اینحالت باید سیم زمین تابلوها و سیم زمین سرکابلها نسبت به هم عایق شوند تا ارتباط آنها در موقع عبور جریان اتصال زمین قطع باشد . البته در این حالت نمی توان از غلاف سربی یا آلومینیومی کابل بعنوان سیم میانه و یا سیم صفر استفاده کرد . تمام قسمتهای تأسیسات فشارضعیف که باید زمین شوند می توان به زمین الکتریکی طرف فشارضعیف وصل کرد ، بشرط آنکه زمین حفاظتی طرف فشارقوی و زمین الکتریکی طرف فشارضعیف کاملاً از هم مجزا باشند و

شرایط صفرکردن نیز در شبکه فشارضعیف منظور شده باشد . در ضمن تمام قسمتهای تأسیسات فشارضعیف را که باید زمین شود نیز میتوان به زمین حفاظتی طرف فشارقوی وصل کرد ، بشرط اینکه وسایل این تأسیسات را نتوان به سادگی از تأسیسات زمین حفاظتی طرف فشارقوی مجزا کرد .

مثلاً در پستهای با ساختمان فلزی و بتون آرمه و یا در تأسیسات فشارقوی که دارا ی فرمان موتوری و یا قطع کننده های کمکی برای قطع و وصل کلیدهای فشارقوی و امثال آن می باشند ، تفکیک وسائل فشارضعیف و فشارقوی از نظر زمین بندی غیرممکن است .(شکلهای ۱۵-۱و۱۶-۱)



شکل ۱۵-۱



شکل۱۶-۱

در صورتیکه قطعات فلزی زمین شده و یا بتون آرمه شده ساختمان پست ترانسفورماتور دکلهای آن یا تیرو یا آهن ها و تابلوها از یک محلی خارج از پست ترانسفورماتور قابل لمس کردن و تماس گرفتن باشد باید دور تا دور پست تقریباً به فاصله یک متر از ساختمان و به عمق نیم متر میل فرمان کارگذارده شود تا از ولتاژ تماس زیاد در موقع بروز خطر جلوگیری شود . این میل نیز به تأسیسات زمین حفاظتی فشارقوی متصل می گردد .

حتی بهتر است که اطراف پست ترانسفورماتور که مشرف به پیاده رو است با آرماتور مشبک آهنی به عرض۱/۲۵ متر مفروش گردد تا پس از قدم گذاردن بر آن امکان تماس با تابلو و قطعات فلزی مربوط به پست ترانسفورماتور ممکن گردد .

سؤالات فصل اول :

۱) زمین کردن حفاظتی را تشریح نمایید .

۲) زمین کردن الکتریکی را تشریح نمایید .

۳) انواع روشهای زمین کردن الکتریکی را نام برده و به طور مختصر توضیح دهید .

٤) شرایط لا زم در تعیین مشخصات تأسیسات زمین حفاظتی را عنوان نمایید .

۵) شرایط لا زم در تعیین مشخصات زمین الکتریکی را عنوان نمایید .

فصل دوم :
انواع میل های زمین

اهداف آموزشی :

۱) معرفی اصلاحات بکار برده شده در زمین کردن
۲) شناخت انواع میل های زمین

۲-۱)اصطلاحاتی که در زمین کردن بکار می رود:

۲-۱-۱)زمین

زمین در این مبحث به معنی نوع و جنس زمین است ، مثل خاک رس، ماسه ، شن ، سنگ لاخ ، باتلاق ، مرداب و غیره

۲-۱-۲)میل زمین (زمین کننده)

میل زمین عبارت است از هادی یا فلزی به هر شکل (صفحه ای،لوله ای ،طنابی ، پروفیل) که در زمین چال میشود وبا زمین ارتباط برقرار می کند وما به آن در این مبحث به اختصار میل میگوییم.

۲-۱-۳)زمین همسطح

عبارت است از قسمتی از سطح زمین که بین نقاط مختلف آن در اثر عبور جریان از زمین اختلاف پتانسیل محسوسی ایجاد نمی شود، زمین همسطح تقریبا ۲۰ متر از میل زمین فاصله دارد.

۲-۱-۴)میل فرمان

عبارت است از سیم یا مفتول یا صفحه فلزی که مربوط به زمین کننده است وبرای تنظیم افت پتانسیل و کوچک کردن ولتاژ تماسی خطرناک بکار میرود .

۲-۱-۵)سیم زمین

عبارت است از سیم رابط میان زمین کننده(میل) و زمین شونده .

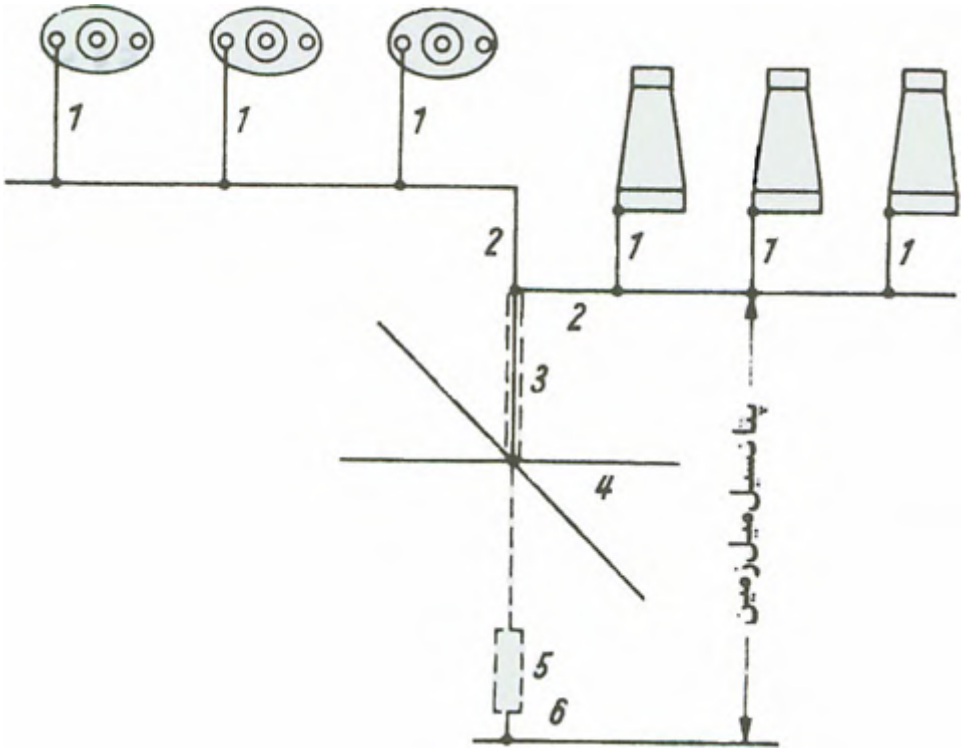
آن قسمت از این سیم که در زمین قرار گرفته است جزئی از میل محسوب می شود و آن قسمت که در خارج از زمین و عایق نسبت به زمین کشیده شده است متعلق به سیم زمین میباشد .

۲-۱-۶)شین زمین

عبارت است از شینی که تعداد زیادی سیم زمین از آن منشعب می شود.

۲-۱-۷)تاسیسات زمین

عبارت است از مجتمع زمین کننده ها و سیم های زمین و بطور کلی تمام قسمتهائی که به زمین کردن مربوط میشوند . شکل ۱-۲ تأسیسات زمین را بطور کاملا شماتیک نشان می دهد.



شکل ۱-۲

در این شکل: ۱-سیم زمین ۲-شین زمین ۳- شین زمین عایق شده ٤-میل ٥-مقاومت گسترده زمین ۶-سطح هموار

۲-۱-۸)زمین کردن

زمین کردن عبارت است از رابطه بر قرار کردن بین یک هادی و میل زمین . این هادی ممکن است جزئی از مدار الکتریکی باشد(زمین کردن الکتریکی) ویا ممکن است در حالت عادی هیچگونه ارتباطی با مدار الکتریکی نداشته باشد(زمین حفاظتی)

۲-۲)انواع مقاومتهای زمین

۲-۲-۱)مقاومت مخصوص زمین

مقاومت مخصوص زمین عبارت است از مقاومت یک متر مکعب از زمین به ابعاد $1m \times 1m \times 1\ m$ که بین دو الکترودصفحه ای سنجیده شده باشد . واحد آن $\Omega m^2/m=\Omega m$ می باشد.

مقاومت مخصوص زمین بستگی به نوع مواد تشکیل دهنده زمین دارد و لذا در هر قسمت از زمین متفاوت است و بطور متوسط برابر است با:

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
۱	نوع زمین	مرداب و زمین باتلاقی	خاک رس زمین مزروعی	ماسه نرم مرطوب	شن مرطوب	ماسه یا شن خشک	زمین سنگلاخ
۲	مقاومت مخصوص Ωm	۳۰	۱۰۰	۲۰۰	٥۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰

۲-۲-۲)مقاومت گسترده میل زمین

عبارت است از مقاومت زمین بین میل زمین ونقطه ای از زمین هموار (همسطح) بر حسب اهم.
لذا مقاومت گسترده زمین بستگی به نوع زمین (مقاومت مخصوص زمین) و نوع میل (لوله ای یا صفحه ای) و طرز قرار گرفتن آن در زمین (عمقی یا سطحی) دارد.
جدول زیر حد متوسط مقاومت گسترده میل زمین را برای میل های نرمال ذکر شده در قبل ومقاوت مخصوص $\rho=100\Omega m$ نشان می دهد.

۱	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	نوع میل	پنجه ای طول		رشته ای		لوله ای طول		میله ای		صفحه عمودی در عمق یک متر به طول	
		10m	25m	50m	100m	1m	2m	3m	5m	0.5 m * 1 m	1m* 1m
۲	مقاومت گسترده میل زمینΩ	۲۰	۱۰	٥	۳	۷۰	٤۰	۳۰	۲۰	۳٥	۲٥

تبصره ۱ : تغییرات جزئی در ابعاد میل در مقاومت گسترده میل زمین بی تا ثیر است.
تبصره ۲ : در صورتیکه مقاومت مخصوص زمین ρ باشد می توان مقاومت گسترده میل زمین را با ضرب کردن اعداد داده شده در جدول فوق در نسبت مقاومت مخصوص ها بدست آورد.

۲-۲-۳)مقاومت زمین

عبارت است از مقاومت گسترده زمین به اضافه مقاومت سیم زمین

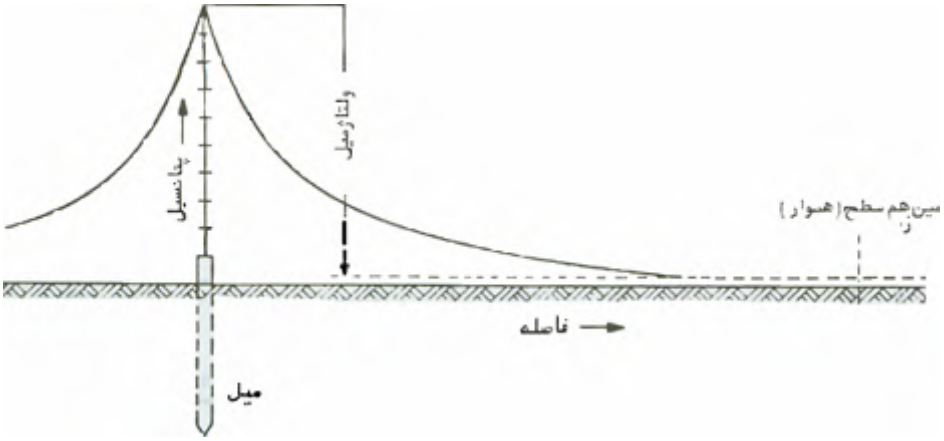
۲-۳)ولتاژهای مختلف در ضمن عبور جریان از میل زمین:

۲-۳-۱)اختلاف سطح میل

عبارت است از ولتاژی که در ضمن عبور جریان از زمین کننده بین میل و زمین هموار (همسطح) بوجود می آید.(شکل ۲-۲)

۲-۳-۲)اختلاف سطح زمین

عبارت است از اختلاف پتانسیل هر نقطه از زمین بین زمین همسطح و میل زمین .(شکل ۲-۲)



شکل ۲-۲

۲-۳-۳)اختلاف سطح تماسی

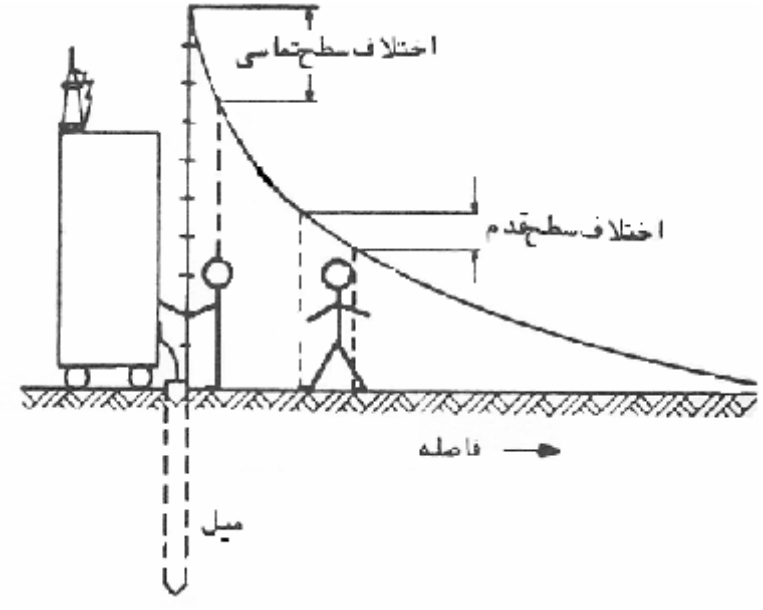
عبارتست از قسمتی از ولتاژ میل که توسط انسان برداشت میشود (شکل ۳-۲)

بطوریکه قسمتی از جریان زمین در اثر این ولتاژ از دست و پا (بطور افقی در حدود یک متر) و یا بین دو دست عبور میکند .

۲-۳-۴)اختلاف سطح قدم

عبارتست از قسمتی از ولتاژ میل که توسط فاصله دوپا (تقریباً یک متر) برداشت میشود ، بطوریکه قسمتی از جریان زمین در اثر این ولتاژ از بدن انسان یا حیوان بین دو پا بسته میشود .

(شکل ۳-۲)



شکل ۳-۲

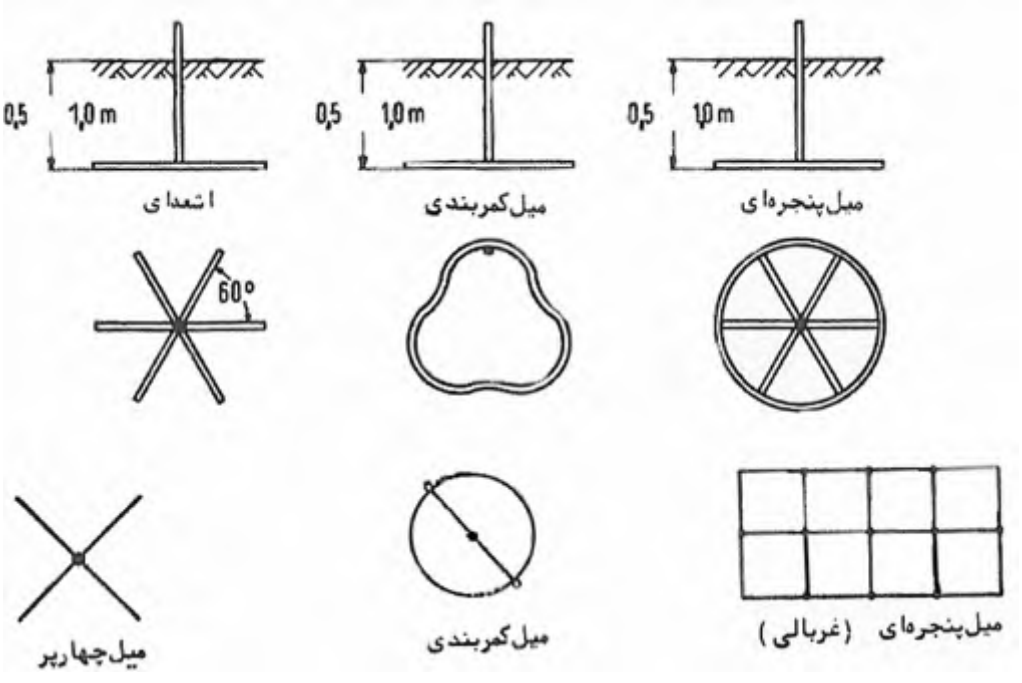
۲-۴)انواع میل ها

میل ها را می توان کلاً به دو دسته تقسیم کرد . میل سطحی و میل عمقی

۲-۴-۱)میل سطحی

میل سطحی تشکیل شده از یک یا چند مفتول یا تسمه یا طناب فولادی روی اندود (آهن سفید) که در عمق کم (در حدود ۰/۵ تا ۱ متر) در زمین چال میشود و ممکن است بصورت ساده (خطی) ، اشعه ای (پنجه ای)، کمربندی ، غربالی و یا ترکیبی از آنها باشد .

شکل ٤-۲ چند نوع آنرا بطور شماتیک نشان می دهد .



شکل ۴-۲

طول یا ابعاد میل سطحی بستگی به مقدار مقاومت گسترده مورد نیاز دارد . مقاومت گسترده میل سطحی (خطی)را میتوان در شرایطی که زمین تا سطح میل یخ زده باشد از رابطه زیر بدست آورد .

$$R = \rho / (\pi * L) * L_n (2L/d)$$

در این رابطه R مقاومت گسترده میل گرد ساده برحسب اهم و L طول میل برحسب مترو d قطر میل برحسب متر می باشد . اگر از میل تسمه ای به پهنای b استفاده شود ، در رابطه فوق $d = b/2$ قرار می گیرد .

بطور مثال یک میل سطحی از تسمه تخت فلزی بطول L =100m و پهنای b = 4cm که در عمق یک متری زمین چال شده است در صورتیکه مقاومت مخصوص زمین $\rho = 100\Omega m$

$$R = 100 /(\pi\ 100)* L_n 200/(0.02) = 2.9\Omega$$

در صورتیکه سطح مقطع میل سطحی از ۱۰۰ میلیمتر مربع بزرگتر باشد ، می توان برای تعیین مقاومت گسترده میل از رابطه زیر نیز استفاده کرد .

$$R = 2(\rho/L)$$

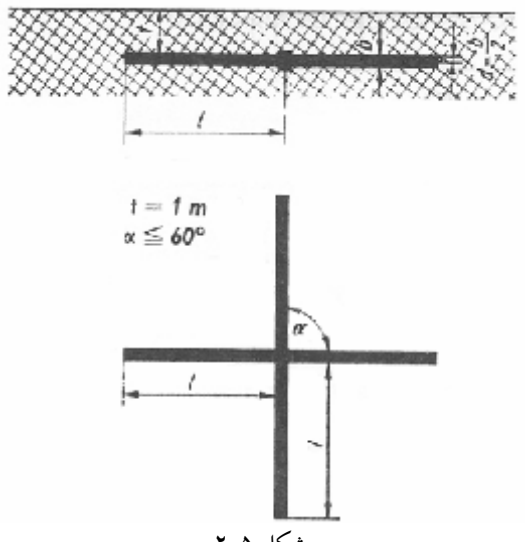
با استفاده از این رابطه مقاومت گسترده میل مثال فوق برابر میشود با :

$$R = 2(100/100) = 2\Omega$$

در صورتیکه درجه حرارت زمین د رمحل میل بزرگتر از صفر باشد ، مقاومت گسترده میل متناسب با طول میل در حدود ٤٠ تا ۲۰ درصد کم میشود (عدد بزرگتر مربوط به طول کمتر است) .

میل سطحی بهتر است کاملاً صاف و افقی در زمین قرار گیرد و در صورتیکه میل دارای انشعابهایی می باشد (مثل پنجه ای) باید بخاطر جلوگیری از اثر متقابل اشعه ها بر یکدیگر زاویه بین اشعه ها از ۶۰ درجه کمتر نشود . بعبارت دیگر تعداد اشعه ها نباید از ۶ عدد تجاوز کند .

معمولاً در پستهای فشارقوی آزاد از ٤ اشعه با زاویه ۹۰ درجه طبق شکل ۵-۲ استفاده میشود .

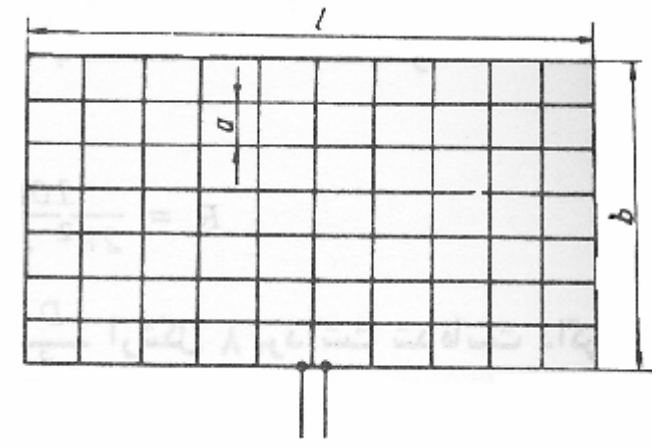


شکل ۵-۲

در اینصورت مقاومت گسترده میل برابر است با :

$$R = \rho/ (4*\pi*L) (L_n (4L/d) +1.75)$$

اگر از میل غربالی یا توری مانند شکل ۶-۲ استفاده میشود ، بهتر است که عرض توری حداقل برابر نصف طول آن باشد ($b > L/2$)



شکل ۶-۲

در این حالت میتوان مقاومت گسترده میل را از رابطه زیر بدست آورد .

$$R = (\rho/2d) * K$$

در این رابطه $D = \sqrt{4A/\pi}\{m\}$ و $A = b * L\{m^2\}$ و L و b طول و عرض میل غربالی است . فاکتور k متناسب با خانه های غربال برابر است با :

$a \leq L/10 \rightarrow \quad k = 1.3$

$a \leq L/20 \rightarrow \quad k = 1.2$

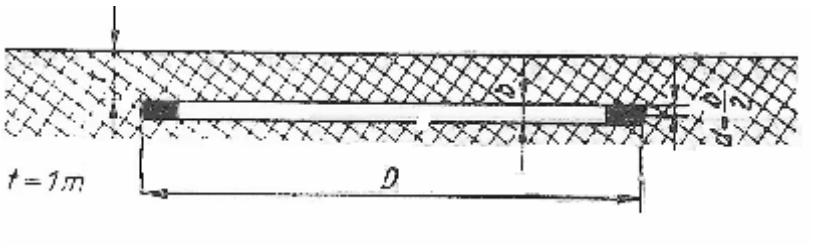
هر چه فواصل سیمهای توری (a) بهم نزدیکتر باشد (چهارخانه ها کوچکتر باشد) ، زمین کننده بیشتر به یک میل صفحه ای مدور که در ابعاد مساوی دارای مقاومت گسترده کمتریست نزدیک می گردد . مقاومت گسترده میل صفحه ای که به طور افقی در زمین قرار گیرد برابر است با :

$$R = \rho/20$$

بطوریکه D قطر صفحه بر حسب متر می باشد . برای میل خطی و پنچه ای بهتر است از سیم طنابی با رشته های نه چندان باریک و به مقطع کل ۹۵ میلیمتر مربع استفاده شود . میل سطحی بیشتر در پستهای فشارقوی خارجی و در محلهایی که شرایط زمین خیلی مناسب نیست بکار برده میشود .

مقاومت گسترده میل کمربندی (شکل ۷-۲) را میتوان از رابطه زیر حساب کرد :

$$R = (\rho/(2\pi^2 * D)) * K_2$$

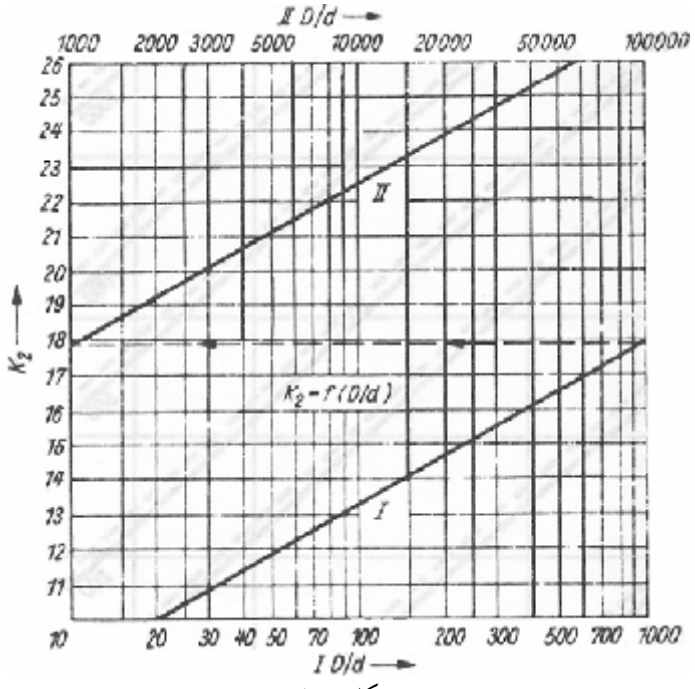


شکل۷-۲

در این رابطه فاکتور K2 متناسب با نسبت D/d از روی دیگرام شکل ۸-۲ بدست می آید . بطور مثال مقاومت گسترده میل کمربندی از تسمه تخت با مشخصات D =10m و ρ=100Ωm و d=b/2 برابر است با :

$R = (100 /(2\pi^{2} * 10)) * 16.5 = 8.4\ \Omega$

$K_2 = 16.5$ برای D/d =10/0.02 از شکل زیر برداشت شده است . اگر این میل کمربندی را بازکنیم و بصورت خط مستقیم (میل خطی) در زمین قرار دهیم مقاومت گسترده میل ۸/۱۵Ω میشود . یعنی مقاومت آن نسبت به میل کمربندی در حدود ۳٪ کمتر است . این تفاوت با ازدیاد قطر کمربند کم میشود و در D =100m به ۲٪ میرسد .

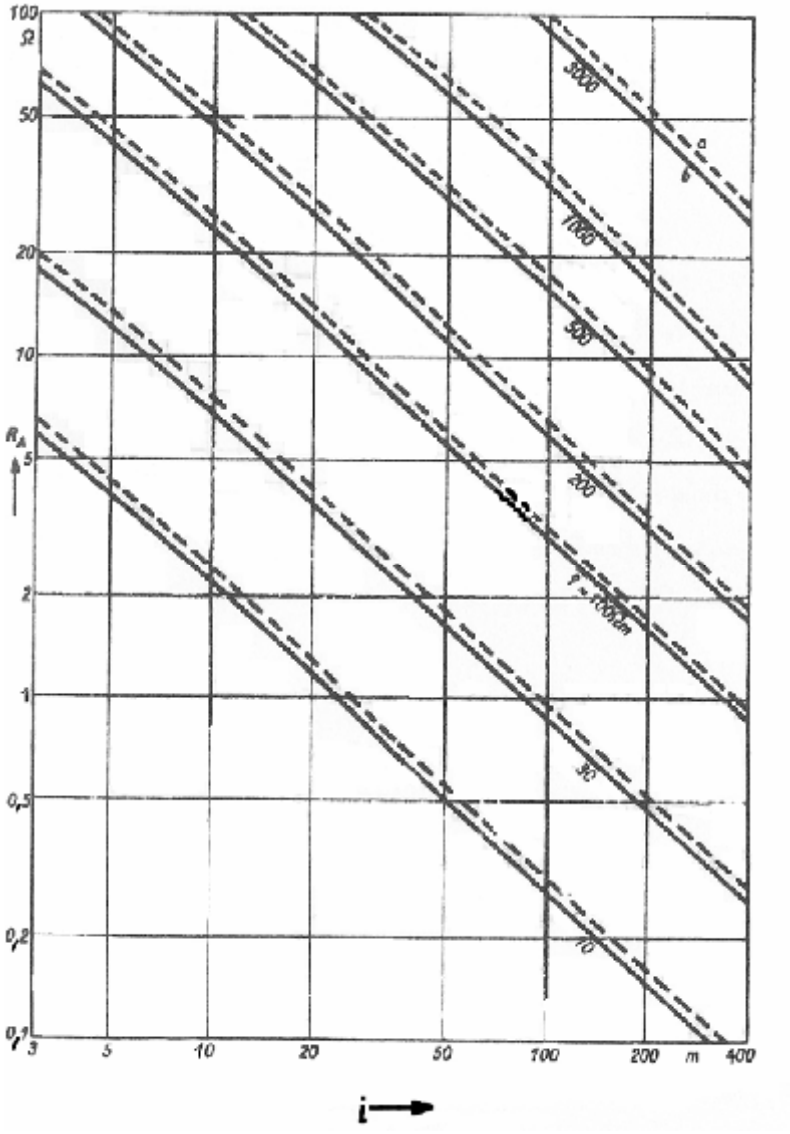


شکل ۸-۲

مثال فوق نشان میدهد که مقاومت گسترده میل کمربندی چندان تفاوتی با میل خطی با ثابت بودن مصالح بکار برده شده ندارد و بدین جهت بخصوص در استاسیونها و پستهای فشارقوی با مساحت نسبتاً کم در صورتیکه میل کمربندی دور تا دور پست را احاطه کند مناسبتر از میل خطی

می باشد . در صورتیکه زمین در عمقی که میل کارگذارده میشود ، بقدر کافی مرطوب نباشد بهتر است روی آن چمن کاری شود . بکمک شکل ۹-۲ میتوان مقاومت گسترده انواع میلهای سطحی (R_A) را متناسب با طول آن L بطور مستقیم بدست آورد .

در این شکل a مربوط به میل سطحی پنجه ای چهارپرو b مربوط به میل خطی و کمربندی میباشد .



شکل ۹-۲

۲-۴-۲) میل عمقی

میل عمقی که در اعماق زمین چال میشود دو نوع است :

میل میله ای و میل صفحه ای

۲-۲-۴-۱) میل میله ای

میل میله ای تشکیل شده از یک میله ، لوله یا هر پروفیل دیگر از آهن سفید که بطور عمودی در زمین کوبیده میشود و طول و تعداد آن بستگی به مقاومت گسترده لازم دارد .

مقاومت گسترده یک میل میله ای برحسب اهم برابر است با :

$$R = (\rho/2\pi \ \mathbf{h}) * Ln(4 h /d)$$

در این رابطه h طول میل بر حسب مترو d قطر لوله یا مفتول برحسب متر می باشد . بطور مثال مقاومت گسترده یک میل لوله ای بطول ۳ متر و قطر ۵ سانتیمتر در صورتیکه مقاومت مخصوص زمین $\rho=100\Omega m$ باشد برابر است با :

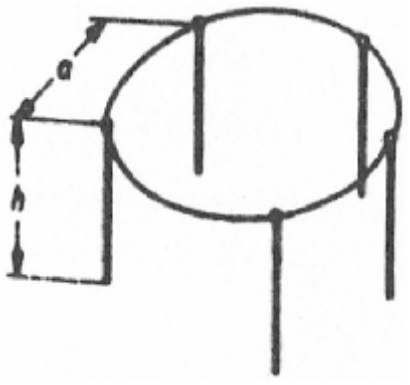
$$R = (100 /2\pi*3)* L_n (4.3/0.05) = 29\ \Omega$$

در بیشتر مواقع رابطه ساده $R = \rho/L$ برای محاسبه مقاومت گسترده میل در صورتیکه قطر آن از ۵ سانتیمتر کمتر نباشد کافی است .

با استفاده از رابطه فوق مقاومت گسترده میل با مشخصات ذکر شده در بالا برابر میشود با :

$$R = \rho/L = 100 /3 = 33.3\ \Omega$$

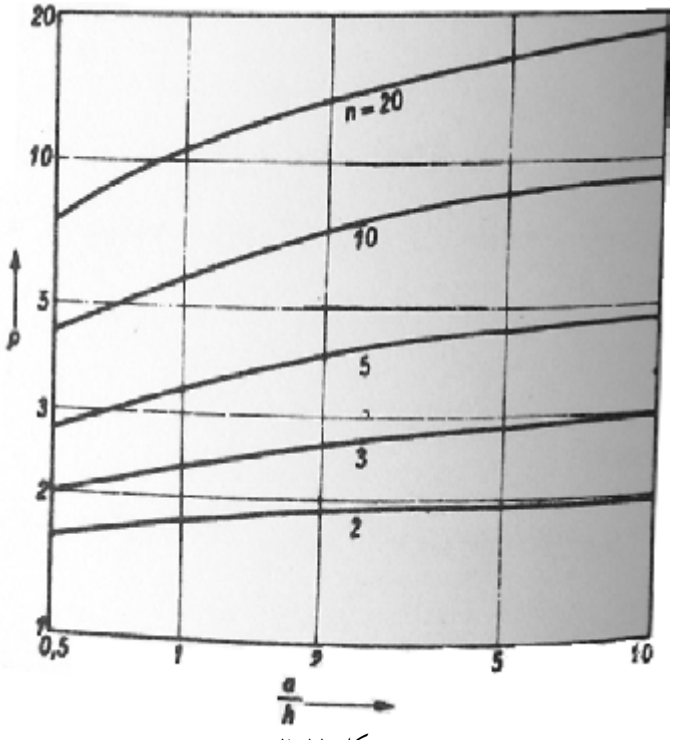
برای کوچک کردن مقاومت گسترده میل میتوان از ترکیب چند میل استفاده کرد . (شکل ۲-۱۰)



شکل ۲-۱۰

فاصله میلها بخاطر جلوگیری از اثر متقابل آنها بهتر است از دو برابر طول میل کوچکتر نشود . فقط در صورتیکه تمام طول میل های موازی بعلت یخبندان و یا نامناسب بودن قسمتی از زمین ، مؤثر واقع نشود ، میتوان فواصل میل را به اندازه دو برابر طول موثر میل انتخاب کرد .
مقاومت گسترده میلهای موازی را میتوان بکمک شکل ۱۱-۲ از رابطه زیر بدست آورد .

$$R_{ges} = R_A/\rho$$



شکل ۱۱-۲

بطور مثال اگر تعداد ۵ عدد از میلهای مثال فوق بطور موازی در یک پست فشارقوی بکار برده شوند . در صورتیکه فاصله میلها $a = 6m$ باشد مقاومت گسترده کل میلها برابر است با :

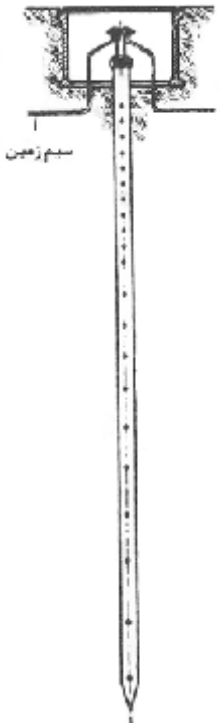
$$R = 29/4.1 = 7\ \Omega$$

و چنانچه دیده میشود ، قانون موازی بستن مقاومتها

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

در اینجا بخاطر اثر متقابل میلها بر یکدیگر بطور دقیق صدق نمی کند و همانطور که شکل ۱۱-۲ نشان میدهد هر چه فاصله میلها بزرگتر باشد ، اثر متقابل میلها کمتر میشود .

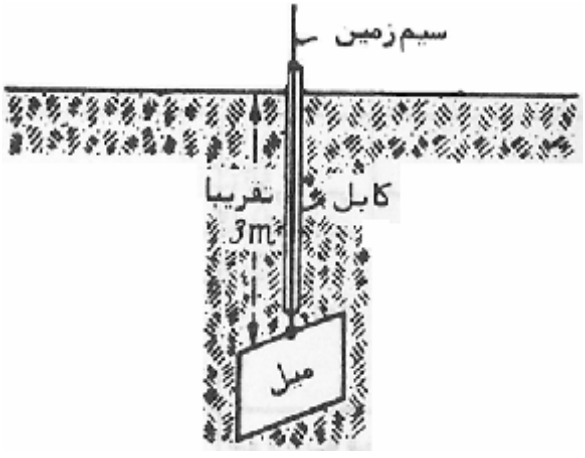
در صورتیکه خاک زمین اطراف میل از نظر رطوبت و هدایت مساعد و مناسب نباشد بهتر است از لوله های سوراخ دار شکل ۱۲-۲ استفاده شود و سالی یک یا چند بار با محلول رقیق سودا (جوش شیرین) پر شود .



شکل ۱۲-۲

۲-۴-۲-۲) میل صفحه ای

میل صفحه ای از ورق آهن روی اندود (آهن سفید) به ضخامت ۳میلیمتر تشکیل شده و بطور عمودی در زمین چال میشود (شکل ۱۳-۲) ، ابعاد آن متناسب با مقاومت گسترده لازم $1m \times 1m$ و یا $1m \times 0.5$ می باشد . در موقع قراردادن صفحه در زمین باید دقت کرد که لبه بالای صفحه حداقل یک متر زیر سطح قرار گیرد . (این فاصله در شکل زیرسه متر می باشد)



شکل ۱۳-۲

در اینصورت مقاومت گسترده میل صفحه ای برابر است با :

$$R = 0.25 (\rho/a)$$

که در آن a عرض صفحه است . بطور مثال اگر از صفحه ای به ابعاد $1m \times 1m$ استفاده شود ، در صورتیکه مقاومت مخصوص زمین $\rho = 100\Omega m$ باشد ، مقاومت گسترده میل زمین برابر میشود با :

$$R = 0.25 (100/1) = 25\Omega$$

در صورتیکه بخاطر کوچک کردن مقاومت گسترده زمین از چند صفحه استفاده میشود بهتر است که فواصل صفحه ها از ۳ متر کمتر نباشد .
صفحات ممکن است یک تکه و یا مشبک (سوراخ سوراخ) باشند .
یکی از مزایای میل صفحه ای این است که میتوان آنرا در اعماق زمین و نزدیک به سطح آب زیرزمینی که دارای مقاومت مخصوص کمتریست چال کرد . در اینحالت بهتر است صفحه را بصورت لوله خم کرد و در انتهای چاه که بدین منظور حفر شده است قرار داد و سپس چاه را با خاک سرند شده و نرم مخلوط با آب زیاد پرکرد . از میل صفحه ای امروزه به ندرت استفاده میشود ، زیرا کندن چاه و تهیه خود صفحه مستلزم تحمل هزینه زیادی می باشد . لازم به یادآوریست که در تمام انواع و اقسام میلها که فوقاً به آن اشاره شد می توان علاوه بر آهن سفید ، از مس و یا آهن مس اندود نیز استفاده کرد . جدول زیر حداقل ابعاد میلهای مختلف را طبق پیشنهاد VDE نشان میدهد .

نوع میل	جنس میل	آهن مس اندود	آهن مس اندود	مس
سطحی		تسمه با مقطع $100mm^2$ و ضخامت حداقل 3mm سیم طنابی $95mm^2$	$50mm^2$	تسمه با مقطع $50mm^2$ و با حداقل ضخامت 2mm سیم طنابی $35mm^2$
عمقی		لوله فولادی $1''$ پروفیل L.65.65. پروفیل U6½ پروفیل T6 و پروفیلهای مشابه	فولاد به قطر 15mm پوشش مس 2.5mm	تسمه با مقطع $50mm^2$ و با حداقل ضخامت 2mm سیم طنابی $35mm^2$ لوله مسی 30×3
صفحه ای		به ضخامت 3mm	----------	به ضخامت 2mm

تبصره ۱ ـ در صورتیکه میلها با کروزیون و خورندگی شدید در زمین مواجه باشند و یا از فولاد معمولی (بدون روکش ضدزنگ) استفاده شده باشد باید مقطع میل ها از آنچه که در جدول فوق داده شده است بزرگتر انتخاب گردد .

تبصره ۲ ـ از فلزات سبک بهتر است در تأسیسات زمین استفاده نشود .

سؤالات فصل دوم :

۱) میل زمین چیست ؟

۲) زمین همسطح را توضیح دهید .

۳) تأسیسات زمین را نام برده و به طور شماتیک شکل آن ها را ترسیم نمایید .

٤) مقاومت مخصوص زمین را شرح دهید .

۵) مقاومت گسترده میل زمین را شرح دهید .

۶) مقاومت زمین را توضیح دهید .

۷) ولتاژهای مختلف در ضمن عبور جریان از میل زمین را بیان نمایید .

۸) انواع میلهای زمین را نام برده و به اختصار توضیح دهید .

فصل سوم :
روشهای اندازه گیری
پارامترهای زمین

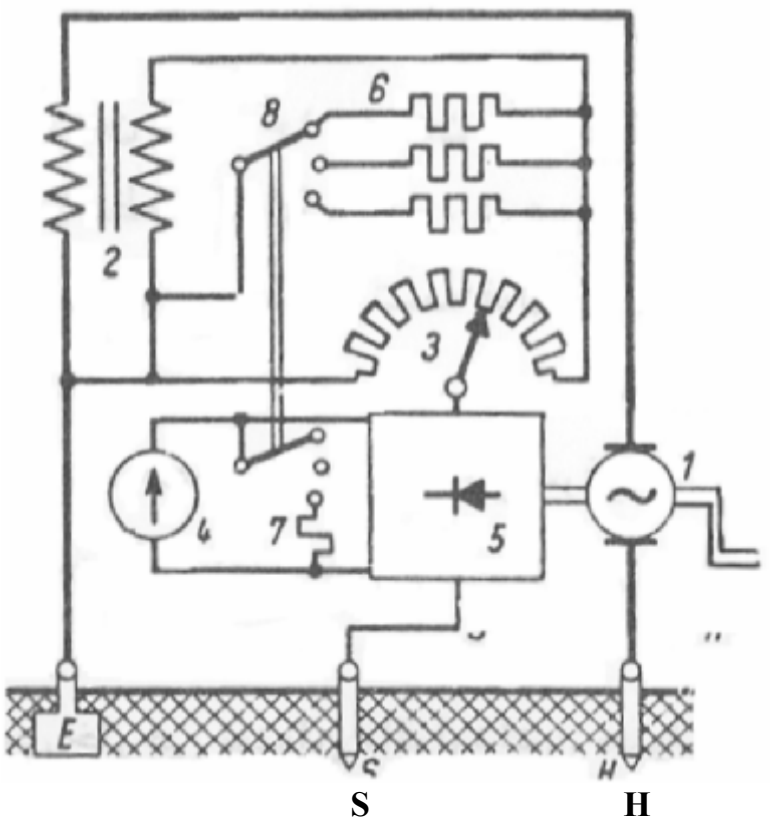
اهداف آموزشی :

۱) سنجش مقاومت گسترده زمین
۲) سنجش مقاومت مخصوص زمین
۳) محاسبه مقاومت الکترودها
٤) محاسبه مقاومت الکترود میله ای
۵) محاسبه مقاومت مجموعه الکترودهای میله ای
۶) اندازه گیری مقاومت الکترود زمین

۳-۱)سنجش مقاومت گسترده زمین

مقاومت گسترده زمین باید پس از تاسیس و تکمیل شبکه زمین بطور دقیق سنجیده شده و مورد آزمایش قرار گیرد . مسلماً مقاومت گسترده زمین با آنچه که توسط محاسبه بدست آمده است بعلت مشخص نبودن دقیق مقاومت مخصوص زمین کم و بیش متفاوت خواهد بود . حتی پیشنهاد میشودکه هرپنج سال یکبار این سنجش تکرار شود . تا متصدیان مربوطه از وضعیت و کیفیت زمین آگاهی کامل داشته باشند . بدین مناسبت دستگاهها ی سنجش بسیار دقیق ساخته شده که میتوان با آن بطور مستقیم و خیلی ساده مقاومت گسترده میل را تعیین کرد.

شکل ۱-۳ مدار داخلی یکی از دستگاههای سنجش مقاومت زمین را که با روش کمپنزاسیون یا برابری کار میکند نشان میدهد .



شکل ۱-۳

در این دستگاه با چرخاندن دسته اندکتور ۱((مولد جریان متناوب)) جریان متناوبی ایجاد میشود که مدار آن از طریق سیم پیچی پریمر ترانسفورماتور ۲ و میل زمین E و زمین و میل کمکی H بسته میشود . سیم پیچی زکوندر ترانسفورماتور روی مقاومت ۳ بسته شده است و همیشه جریانی برابر جریان سیم پیچی پریمر از آن عبور می کند (نسبت تبدیل 1:1) یک طرف سیم پیچی زکوندر با یکطرف سیم پیچی پریمر که به میل زمین وصل میشود مرتبط است .مابین

کنتاکت متغیر رئوستای ۳ و سوند S یکسوکننده کنتاکی ۵ قرار دارد که همزمان با گرداندن دسته اندوکتور میگردد و جریان یکسو شده آن گالوانومتر ٤ را تغذیه می کند .

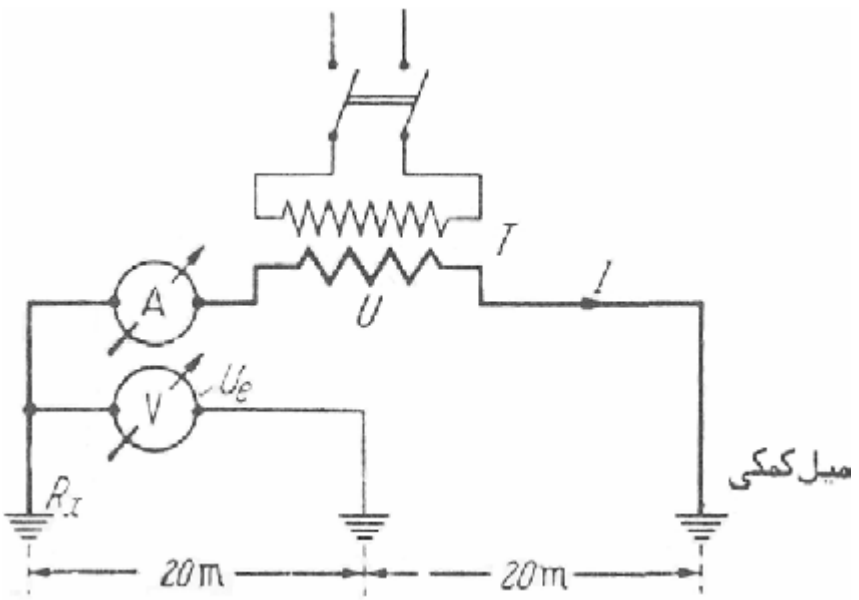
اگر قسمتی از مقاومت رئوستای ۳ به طریقی در مدار قرار گیرد که عقربه گالوانومتر درضمن گرداندن اندوکتور روی صفر ثابت باشد ، اختلاف سطح U1 مابین میل و سونر با اختلاف سطح U2 که روی مقاومت ۳ قرار دارد برابر خواهد شد و مقاومتی که رئوستا دراین حالت نشان میدهد برابر مقاومت گسترده میل تا سوند است .

حال اگر میل کمکی را به فاصله دوری از میل زمین ، در زمین هموار بکوبیم و سوند را تقریباً در وسط ان دو (بین میل زمین و میل کمکی) در زمین فرو بریم ، مقاومت سنجیده شده برابر مقاومت گسترده میل زمین می باشد .

در میل عمقی و صفحه ای این فاصله معمولاً ٤٠ متر است و سوند در فاصله ۲۰ متری میل زمین قرار می گیرد . در تأسیسات زمین گسترده و سطحی باید این فواصل ۲/۵ و ۵ برابر بزرگترین طول یکی از اشعه های زمین کننده های سطحی باشد .

در صورتیکه دستگاه مخصوص سنجش مقاومت زمین در دسترس نباشد ، میتوان بکمک یک آمپرمتر و یک ولت متر بشرطی که مقاومت ولتمتر خیلی زیاد باشد (حداقل ۱۰ برابر مقاومت گسترده سوند زمین) مقاومت گسترده میل زمین را سنجید. برای این منظور بهترین وسیله ، ولتمتر الکترونی است .

شکل ۲-۳ طریقه سنجش مقاومت گسترده میل را به طریق فوق نشان میدهد .



شکل ۲-۳

در این مدار مقاومت گسترده میل زمین برابر است با :

$R_A = U/I$

برای سنجش اختلاف سطح قدم و اختلاف سطح تماس از یک ولتمتر که مقاومت داخلی آن در حدود $3K\Omega$ باشد و الکترود کمکی که سطح تماس آن با زمین در حدود $200CM^2$ است و با فشار حداقل 25kp در روی زمین فشرده شود استفاده میشود .

برای تعیین ولتاژ قدم الکترودها به فاصله یک متر از هم قرار می گیرند و اختلاف سطح بین آنها سنجیده میشود .

برای تعیین ولتاژ تماس قسمت دلخواهی از تأسیسات دو الکترود درکنار هم به فاصله ۱ متر از محلی که میخواهیم اختلاف سطح تماس آنرا بسنجیم قرار داده میشود . در این حالت ولتمتر بین بدنه تأسیسات و دو الکترود که موازی وصل شده اند قرار میگیرد .

۲-۳)سنجش مقاومت مخصوص زمین

مقاومت مخصوص زمین حتی در نقاط مختلف محوطه محدودی که تأسیسات فشارقوی یا نیروگاه را در بر خواهد گرفت نیز متفاوت است ، بطوریکه اغلب این اختلافها در نقاط مختلف به دو تا سه برابر یکدیگر میرسد .

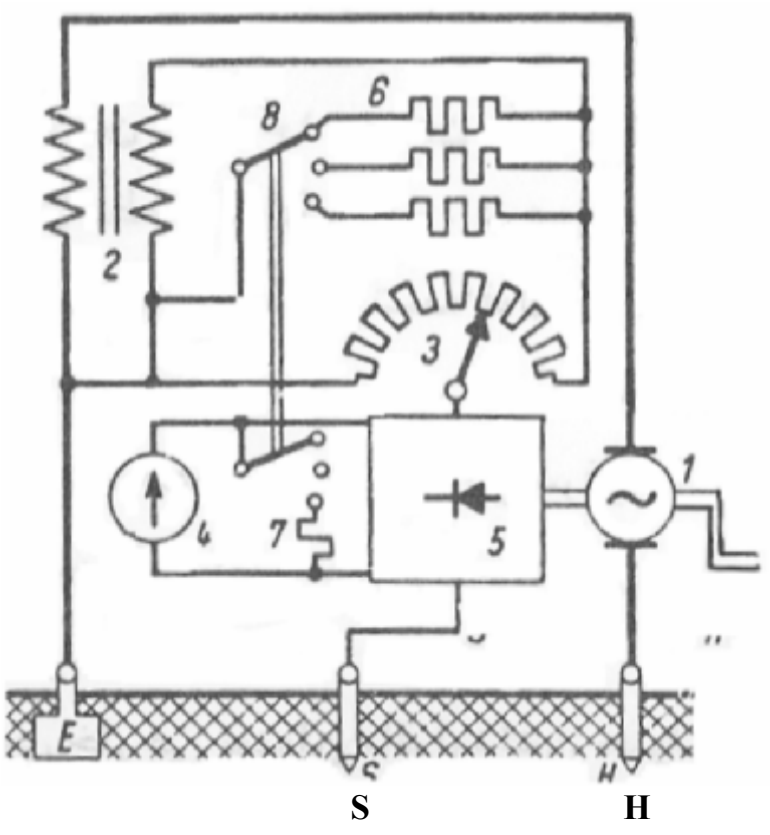
این تفاوتهای زیاد همانطور که میدانیم بستگی به ترکیبات زمین و رطوبت نقاط مختلف زمین دارد . لذا به جای تعیین مقاومت مخصوص زمین باید اولاً چندین سنجش در نقاط مختلف زمین انجام گیرد و از نتایج حاصل میانگین گرفته شود . در ثانی باید سنجش در زمانی انجام گیرد که زمین بعلت بارندگی یا دلایل دیگر خیس و یا مرطوب نشده باشد ، لذا حتماً باید در اواخر تابستان که مدت مدیدیست بارندگی نشده و زمین تقریباً خشک شده است این آزمایشات انجام شود .

برای سنجش مقاومت مخصوص زمین در صورتیکه بعداً از میل سطحی استفاده میشود ، معمولاً از میل های لوله به طول ۱ تا ۲ متر و به قطر ۳ سانتیمتر استفاده میشود . این میله ها توسط پتکهای هیدرولیکی یا مکانیکی بدون ایجاد لرزش و ارتعاش در زمین به طریقی کوبیده میشود تا حتی الامکان ارتباط میل با زمین در تمام سطح لوله محکم باشد . در موقع کوبیدن میل در زمین باید از پاشیدن آب به هر عنوان جلوگیری شود .

برای تعیین مقاومت مخصوص اعماق زمین بهمین نسبت از لوله های طویل تر تا ۱۵ متر استفاده میشود که البته اغلب اشکال کوبیدن آن کمتر از اشکالاتی است که بعداً در موقع درآوردن آن از زمین بوجود می آید . این میله ها نیز اغلب یک متری هستند و در روی یکدیگر سوار میشوند .

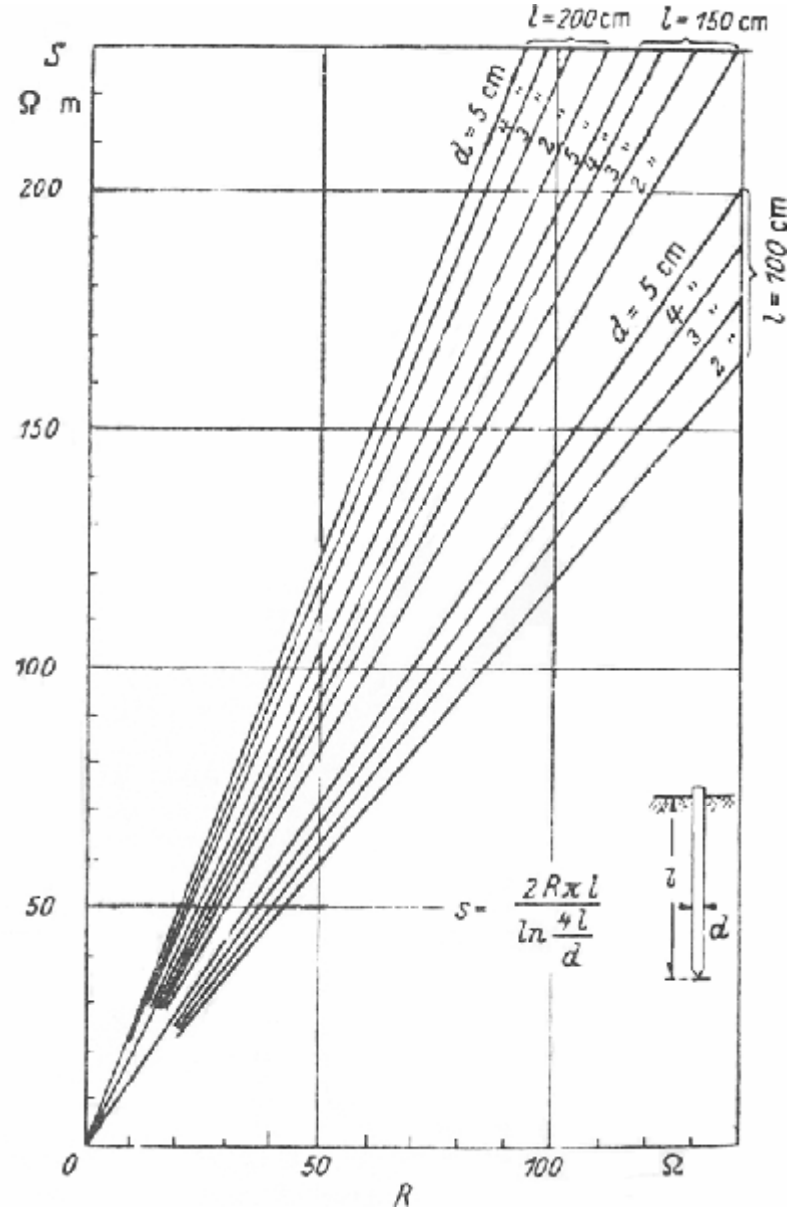
پس از کوبیدن میل مثلاً در عمق ۱ تا ۲ متر مقاومت گسترده آن را توسط پل مخصوص (شکل ۳-۳) می سنجیم و بکمک رابطهٔ :

$$\rho = (R\ 2\pi\ *L) / (L_n\ (4L/d)$$



شکل ۳-۳

و با دیاگرام شکل ٤-٣ مقاومت مخصوص زمین تعیین میشود .



شکل ۴-۳

بطور مثال اگر قطر میل آزمایشی d =3 سانتیمتر و طول آن L =150cm باشد و مقاومت گسترده این میل در نقاط مختلف زمین به ترتیب 80Ω و 60 Ω و 65 Ω سنجیده شود . از روی شکل ٤-٣ مقاومت مخصوص زمین در این نقاط به ترتیب ۱٤۳ و ۱۰۷ و ۱۱۶ اهم متر میباشد و مقاومت مخصوص متوسط زمین برابر است با :

$\rho_m = (116 + 107 + 143)/3 = 122\ \Omega m$

۳-۳)محاسبه مقاومت الکترودها

برای محاسبه مقاومت بین الکترود و زمین می توان به منظور سهولت زمین را بی نهایت بزرگ فرض کرد . بسته به شکل الکترودها محاسبه مقاومت برخی از آنها آسان و بعضی دیگر مشکل است .

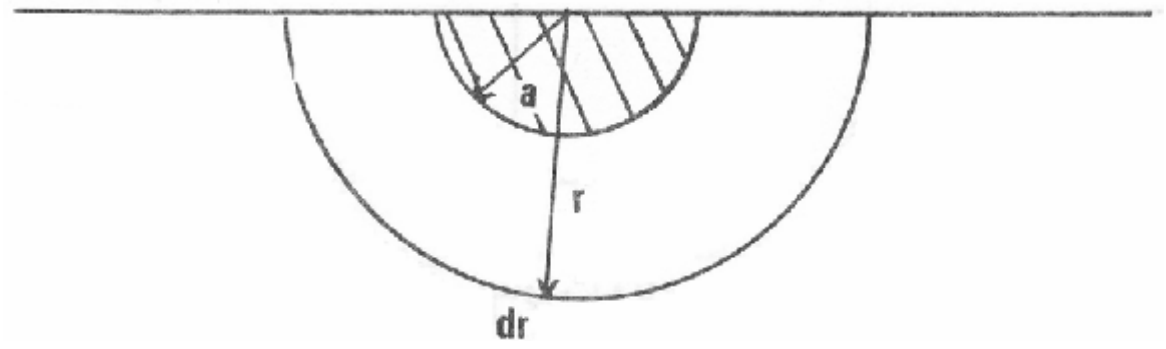
۳-۳-۱)محاسبه مقاومت الکترود نیم کره

یک الکترود که حل ریاضی آن آسان است الکترود نیم کره است که مطابق شکل زیر در زمین قرار گیرد . شعاع نیم کره a متر است و مقاومت یک المان نشان داده شده زمین چنین است

$$dR = \rho dr / 2\pi\rho^2$$

برای محاسبه مقاومت کل رابطه بالا را بین a و ∞ انتگرال می گیریم که نتیجه به صورت زیر خواهد بود .

$$R = \rho/(2\pi a)$$



شکل ۵-۳

دقت کنید که بیشترمقاومت در نزدیک الکترود که چگالی جریان زیاد می باشد متمرکز است به طوری که اگر به عوض فاصله بی نهایت ، مقاومت را تا فاصله 10a محاسبه کنید ۹۰درصد مقاومت کل حاصل میشود .

مثال :

الکترود نیم کره ای به شعاع ۲۰ سانتیمتر در زمین گلی با مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم متر کار گذاشته شده است . مقاومت الکترود چقدر است ؟ مقاومت بین الکترود و نقطه ای از زمین به فاصله ٤ متر از الکترود چقدر است ؟

$R = 100 /(2\pi \times 0.2) = 80\ \Omega$

مقاومت بین الکترود و نقطه ای از زمین در فصله ٤ متری برابر است با

$R = 100 /2\pi [1/0.20 - 1/4] = 76\ \Omega$

۳-۳-۲)محاسبه مقاومت الکترود میله ای

محاسبه مقاومت الکترود میله ای مانند الکترود نیم کره به آسانی میر نیست برای محاسبه از فرمول تقریبی که با تجربه نیز وفق می دهد استفاده می کنیم . مقاومت میله ای به شعاع r متر که l متر در زمین با مقاومت ویژه ρ فرو رفته شده برابر است با :

$R = 2.05\ (Log(21/r) *(\rho/ 2\pi 1)$

مثال :

مقاومت یک میله ۱۶ میلیمتری که به طول ۱/۵ متر در زمین باغچه فرو برده شده است را حساب کنید .

$1/r = 1500/16 = 93.7$

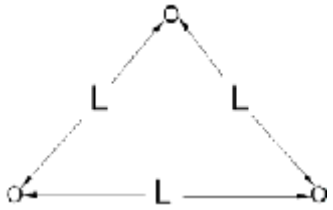
با فرض مقاومت ویژه ۲۰ اهم متر ، مقاومت برابر میشود با :

$R = 2.05[Log(2 \times 93.7)] *(20/ 2\pi \times 1.5)$

$R = 8.5\ \Omega$

۳-۳-۳)محاسبه مقاومت مجموعه الکترودهای میله ای

برای کاهش دادن مقاومت الکترودها میتوان از مجموعه هایی از میله های به طول ۱ متر در زمین استفاده نمود . سه مجموعه معمول دو و سه الکترودی به شکل ۶-۳ هستند . مقاومت هر یک از این مجموعه ها ضریبی از مقاومت یک میله است . این ضرایب نیز در شکل نشان داده شده است .



$0 \leftarrow L \rightarrow 0$ $\quad$ $0 \leftarrow L \rightarrow 0 \leftarrow L \rightarrow 0$

$(l+m)/2$ $\quad$ $(l-2m^2+n)(3-4m+n)$ $\quad$ $(l+2m)/3$

شکل۶-۳

شکل ۶-۳ مجموعه الکترودهای دو و سه تایی را نشان می دهد.

m و n در ضرایب بالا به شرح زیر هستند

$m = Lnx / Ln(l/r)$ $\quad$ $x = (l+L)/L$

$n = Lny / Ln(l/r)$ $\quad$ $y = (l+2L)/2L$

ملاحظه می کنید در حالتی که فاصله بین میله های مجموعه خیلی بیشتر از طول آنها باشد ضریب کاهش مقاومت برابر عکس تعداد مجموعه میشود که حداکثر کاهش ممکنه است . در فاصله های کمتر به علت استفاده اشتراکی میله ها از یک حوزه زمین ضریب کاهش مقاومت مجموعه کوچکتر است .

مثال:

سه میله ۱۶ میلیمتر ۱/۵ متری ($r=16mm$ و $l=1.5m$) را در فاصله یک متر ($L=1m$) از یکدیگربه صورت مثلثی در زمین با مقاومت ویژه ۲۰ اهم متر می کوبیم . مقاومت آن چقدر است ؟

$x = (1.5 + l)/1 = 2.5$ $\quad$ و $\quad$ $l/r = 1500/16 = 93.7$

$m = (Ln\ 2.5)/(Ln\ 93.7) = 0.202$

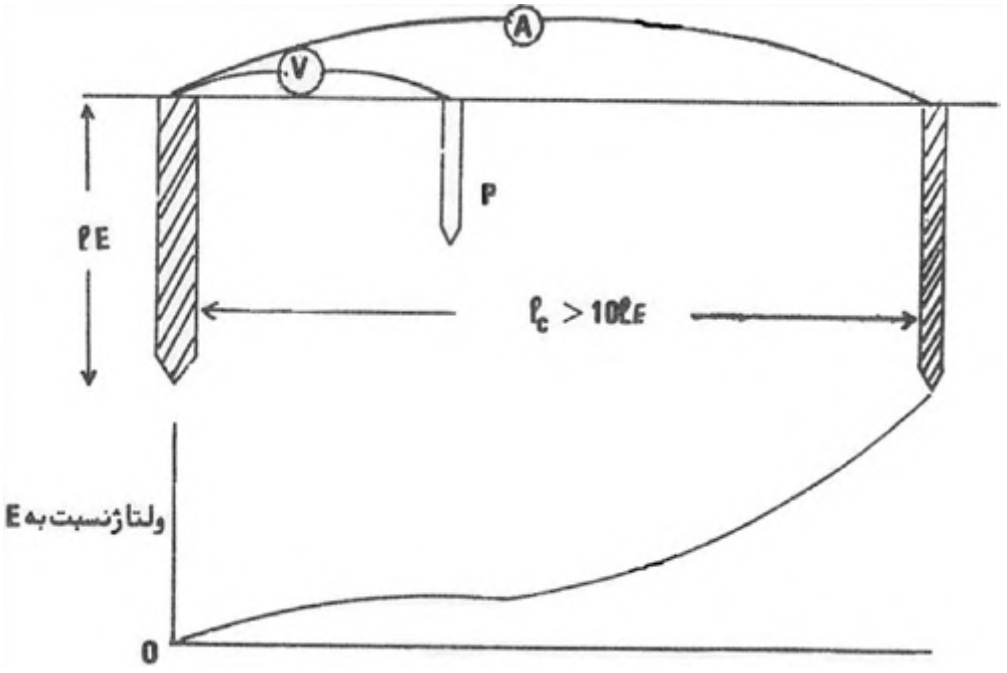
$(1 + 2m)/3 = (1 + 2 \times 0.202)/3 = 0.47$

با استفاده از نتیجه مثال فوق

$R = 8.5 \times 0.47 = 4\Omega$

۳-۴)اندازه گیری مقاومت الکترود زمین

مقاومت یک الکترود و یا یک مجموعه الکترود زمین را پس از نصب می توان به سهولت اندازه گیری کرد . برای این کار مطابق شکل ۷-۳ عمل می کنیم .



شکل ۷-۳

در این شکل E الکترودی است که مقاومتش اندازه گیری میشود . در فاصله ای بیشتر از ده برابر طول الکترود E الکترود کمکی C را در زمین می کوبیم . با اتصال یک منبع تغذیه متناوب به این دو جریانی در زمین برقرار می کنیم که با آمپرمتر A اندازه گیری میشود . حالا با جابجا کردن الکترود P میتوان ولتاژ بین نقطه P و الکترود E را اندازه گیری کرد . تجربه نشان میدهد که این ولتاژ با فاصله تغییراتی نظیر منحنی نشان داده شده در شکل ۷-۳ دارد که در وسط دو الکترود تغییرات زیادی ندارد . به این دلیل معمولاً الکترود P را در وسط دو الکترود دیگر قرار می دهند و ولتاژ را اندازه گیری میکنند . حال مقاومت الکترود E به زمین از تقسیم ولتاژ بر جریان به دست می آید . برای مجموعه الکترودها فاصله l_c را بزرگتر از 20L انتخاب می کنیم تا مسیر جریان در زمین برای هرالکترود مستقل باشد .

در ادامه چند نمونه از دستگاه های ارت تستر آمده است.

MEGGER®
DET2/2

- **High resolution – 1 mΩ – ideal for large earthing systems**
- **High accuracy for earth electrode and soil resistivity testing**
- **Test voltage 50 V max. for safety**
- **Rechargeable battery power with long battery life and rapid re-charge**
- **A robust, versatile instrument with IP54 protection**
- **Filter and high current features to enable valid earth testing in difficult situations**

Auto Earth Tester

BIDDLE™
Three-Terminal Ground Resistance Tester

- **Simple to operate**
- **For quick, routine single-electrode tests**
- **Direct readout in ohms**

Ground Resistance Tester

MEGGER®
DET5/4D and DET5/4R

- **Simple, fully automatic operation**
- **Choice of three or four terminal measurement**
- **Autoranging from 10 mΩ to 20 kΩ**
- **Tests to BS7671, BS7430, BS6651 and VDE 0413**
- **High tolerance to spike resistance helps testing in urban areas**
- **Noise rejection to 40 V**

Digital Earth Tester

سؤالات فصل سوم :

۱) چگونگی سنجش مقاومت گسترده زمین را توضیح دهید .
۲) چگونگی سنجش مقاومت مخصوص زمین را توضیح دهید .
۳) انواع مجموعه الکترودهای میله ای را نام برده و روشهای محاسبه مقاومت آنها را بیان نمایید .
٤) روش اندازه گیری مقاومت الکترود زمین را توضیح دهید . (با رسم شکل)

فصل چهارم :
اتصال زمین استاتیک

اهداف آموزشی :

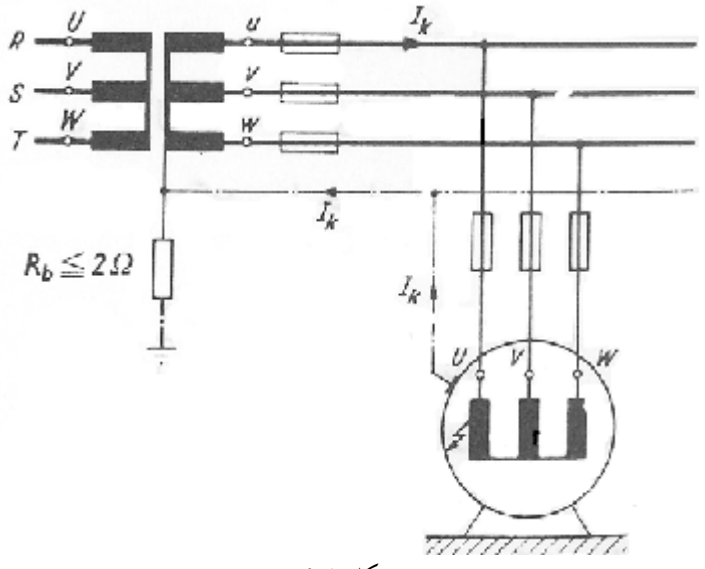
۱) آشنایی با روش حفاظتی صفر کردن

۲) شناخت شرایط صفر کردن

۳) روش عملی صفر کردن

۴-۱)صفر کردن :

یکی از روشهای حفاظتی صفر کردن است که فقط در شبکه های با سیم صفر ممکن است . در این نوع حفاظت بدنه فلزی اسباب و ادوات و ماشین آلات برقی از راه سیم صفر به شبکه برق رسانی وصل میشود . در نتیجه با اتصال بدنه پیدا کردن یکی از دستگاه های و بسته شدن مدار الکتریکی آن به کمک سیم صفر ، جریان شدیدی از محل اتصالی شده عبور می کند و باعث قطع کلید خودکار و یا فیوز مدار مربوطه میشود (شکل ۱-٤) جهت قطع سریع و مطمئن فیوز باید جریان اتصال کوتاه حداقل ۲/۵ برابر جریان نامی فیوز باشد .



شکل ۱-۴

۴-۲)شرایط صفر کردن

صفر کردن بطور کلی بخاطر جلوگیری از پتانسیل گرفتن بدنه فلزی ماشین آلات برقی در اثر اتصال بدنه است . لذا قطع جریان تنها کافی نیست ، بلکه باید ولتاژ قطع گردد ، از این جهت باید سیم صفر فاقد فیوز باشد . برای قطع فیوز و برداشتن ولتاژ و در نتیجه حفاظت صحیح شرایطی لازم است که ذیلاً بطور خلاصه به آن اشاره خواهد شد .

٤-۲-۱) شرط اول صفر کردن

مقطع سیم ها باید طوری محاسبه و تعیین شوند که در موقع اتصال کوتاه بین یک فاز و سیم صفر حداقل جریانی معادل ۲/۵ برابر جریان نامی نزدیکترین فیوز به محل اتصالی از مدار عبور کند .
در شبکه های سه فاز با اختلاف سطح نامی تا ۲۲۰/۱۲۷ ولت ، در صورتیکه مقطع سیم فاز از ۱/۶ برابر سیم صفرتجاوز نکند ، قطع فیوز لازم نیست .

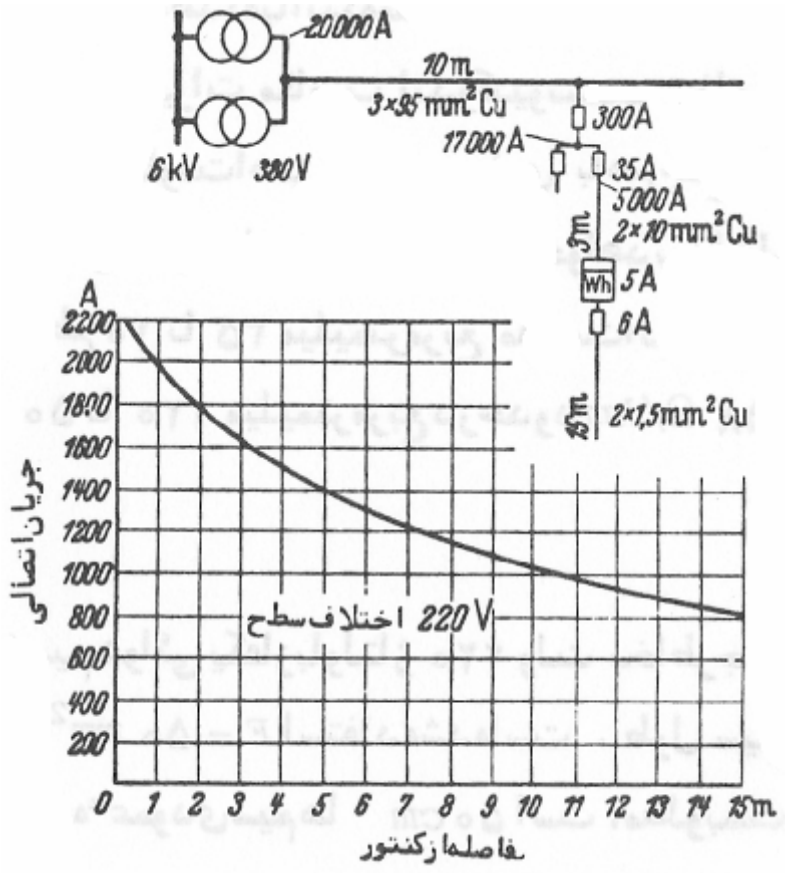
با مراعات این شرط اگر در یک دستگاه صفر شده ، اتصال بدنه حاد پیش آید ا زمحل اتصال کوتاه جریان اتصالی I_k عبور می کند که حتماً حداقل ۲/۵ برابر جریان نامی فیوز مربوطه است بعبارت دیگر باید جریان نامی فیوز

$I_n \leq (Ik/2.5)$

باشد بزرگی و شدت جریان اتصال کوتاه همانطور که میدانیم علاوه بر ولتاژی که باعث عبور این جریان میشود بستگی به مقاومتی دارد که در مدار جریان اتصال کوتاه قرار دارد . بطوری که میتوان نوشت :

I_k = **مقاومت مدار جریان اتصال کوتاه/ ولتاژ جریان رسان**

شکل ۲-٤ جریان اتصال کوتاه را در یک شبکه شهری با اختلاف سطح ۳۸۰/۲۲۰ ولت نشان میدهد چنانچه مشاهده میشود جریان اتصال کوتاه در تمام نقاط شبکه خیلی بزرگتر از ۲/۵ برابر جریان نامی فیوز مربوطه است . لذا در چنین شبکه ای شرط اول صفرکردن با اطمینان خاطر مستتر است . ولی شبکه هایی نیز وجود دارد که فاقد این شرط هستند . مثلاً در شبکه های با سیم هوایی طویل ، سیمهای هوایی همانطور که میدانیم در جریان متناوب علاوه بر مقاومت اهمی دارای مقاومت سلفی نیز هستند .



شکل ۲-۴

مقاوت اهمی سیم بستگی به مقطع و جنس و طول سیم و مقاومت سلفی سیم بستگی به فاصله سیم ها و قطر آنها دارد . بطوری که میتوان نوشت :

$$L = L\,(0.92*\mathrm{Log}(D/(D/2)) + 0.1) * 10^{-3}\ H$$

در این رابطه l طول سیم برحسب کیلومتر ازمحل تغذیه تا محل اتصالی شده و D فاصله سیم ها از یکدیگر بر حسب سانتیمتر و d قطر سیم بر حسب سانتیمتر می باشد . مقاومت اندوکتیو برای فرکانس ۵۰ هرتس برابر است با :

$$X = WL = 2\pi f * L = 314L$$

نظر به اینکه معمولاً فاصله سیمهای هوایی برای اختلاف سطح تا $1\ kv$ در سیم مسی ٤٠ سانتیمتر و در سیم آلومینیومی ۵۰ سانتیمتر است ، مقاومت اندوکتیو یک کیلومتر سیمهای هوایی مختلف طبق جدول زیر است .

سطح مقطع سیم mm^2	قطرسیم mm	در فواصل مختلف سیم wL			حد متوسط .wL	
		35cm	40cm	50cm		
10	4.1	0.675	0.694	0.72	0.696	0.67
16	5.1	0.648	0.664	0.695	0.69	
25	6.3	0.62	0.637	0.665	0.664	
35	7.5	0.6	0.619	0.645	0.622	
50	9.0	0.578	0.592	0.621	0.63	0.58
70	10.5	0.559	0.575	0.601	0.579	
95	12.5	0.536	0.552	0.58	0.556	
120	14.0	0.521	0.538	0.565	0.541	

این جدول نشان میدهد که با اینکه مقاومت اندوکتیو سیم با ازدیاد فاصله سیم ها و کم شدن قطر سیم بالا می رود ولی تغییرات مقاومت اندوکتیو نسبت به فاصله و قطر سیم چندان زیاد نیست و چون مقاومت سلفی و مقاومت اهمی بطوربرداری با هم جمع میشوند ، این تغییرات جزیی مقاومت اندوکتیو آنقدرها در محاسبات محسوس نخواهد بود لذا میتوان در محاسبات بعدی برای سیمهای با مقاطع ۱۰ تا ۳۵ میلیمتر مربع مقاومت اندوکتیو سیم را ۰٫۶۷ Ω /km در سیمهای با مقاطع ۵۰ تا ۱۲۰ میلیمتر مربع در حدود ۰٫۵۸ Ω/ km انتخاب کرد .

مثال:

در یک شبکه سیم هوایی یکفاز با ولتاژ ۲۲۰ ولت بخاطر جلوگیری از افت غیرمجاز ولتاژ از سیم مسی با مقطع $F = 50mm^2$ استفاده شده است . طول سیم ازمحل تغذیه تا مصرف کننده $L = 1500m$ و فاصله عمودی سیم ها $50cm$ است . مطلوبست جریان نامی فیوز با در نظر گرفتن شرط اول صفر کردن .

حل :

مقاومت اهمی خط :

$$r = 2L/(X*F) = (1500\times2)/(57\times 50) = 1.03\Omega$$

حد متوسط مقاومت اندوکتیو یک کیلومتر خط ، طبق جدول فوق برابر است با ۰,۵۸ و برای ۱/۵ km : $x = w.f = 1.5 \cdot 0.58 = 0.87\Omega$ لذا مقاومت کل برابر است با :

$$Z = \sqrt{(r^2+x^2)} = \sqrt{(1.03^2+0.87^2)} = 1.36\Omega$$

و جریان اتصال کوتاه

$$I_k = U/Z = 220/1.36 = 162\ A$$

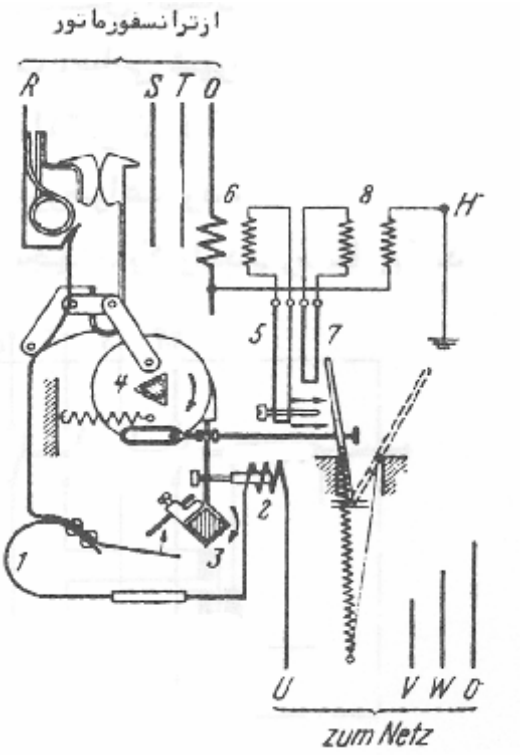
در نتیجه جریان نامی فیوز باید حداکثر :

$$I_n = I_k/2.5 = 162/2.5 = 65\ A$$

آمپر باشد . بعبارت دیگر باید فیوز بزرگتر از ۶۰ آمپر انتخاب نگردد .

همانطور که این مثال نشان میدهد از اغلب سیمهای نقل انرژی بخاطر حفاظت و قطع فیوز در موقع اتصالی و با توجه به شرط اول صفرکردن نمیتوان مناسب با مقاطعشان بارنامی و مجاز کشید و در حقیقت سیمهای نقل انرژی نیز مشمول کم کاری میشوند .

در صورتیکه مقطع سیم نسبت به جریان نامی آن خیلی بزرگتر باشد میتوان برای رفع این کم باری از فیوزهای بین راه استفاده کرد و یا اینکه میتوان به جای فیوز از کلید خودکار مخصوصی که در اثر عبور جریان از سیم صفر مدار را قطع می کند (شکل ۳-٤) استفاده کرد .



شکل ۳-۴

ذیلاً فرض می کنیم که کلید یا فیوز ، جریان اتصال بدنه را قطع نکند . در این حالت اگر شبکه ۳۸۰/۲۲۰ ولت باشد و مشخصات سیم های فاز و نول برابر فرض شده و از مقاومت اندوکتیو سیمها نیز صرفنظر گردد ، درموقع اتصال کوتاه بین سیم فاز و نول (سیم صفر) ولتاژ ۲۲۰ ولت درست بطور تساوی روی سیم صفر و سیم فاز تقسیم میشود و در نتیجه سیم صفر ولتاژ تماسی U_B را خواهد گرفت که در محل اتصالی برابر نصف اختلاف سطح فاز و نول یعنی ۱۱۰ ولت است . این ولتاژ ازمحل اتصالی بطور یکنواخت کم میشود و در محل صفر ستاره ترانسفورماتور به صفر میرسد ولی در پشت اتصال کوتاه اختلاف سطح تماسی ۱۱۰ولت باقی می ماند . لذا تمام دستگاههای دیگر صفر شده که در پشت محل اتصالی قرار گرفته اند اختلاف سطح تماسی ۱۱۰ ولت نسبت به زمین را که کم و بیش اختلاف سطح خطرناکی است خواهند پذیرفت .

عملاً وضعیت از این نیز بدتر و خطرناکتر است . زیرا سیم صفر در شبکه سه فاز اغلب نازکتر از سیم های فاز انتخاب میشود و ولتاژ ۲۲۰ ولت متناسب با مقاومت اهمی خطوط تقسیم میشود .

بطور مثال اگر نسبت مقاطع سیم ها ۱/۶ باشد (مقطع سیم صفر ۱۰ میلیمتر مربع و مقطع سیم فاز $16mm^2$) سیم صفر اختلاف سطح

$u_0 = (220/(1+1.6)) * 1.6 = 135\ V$

را خواهد گرفت .

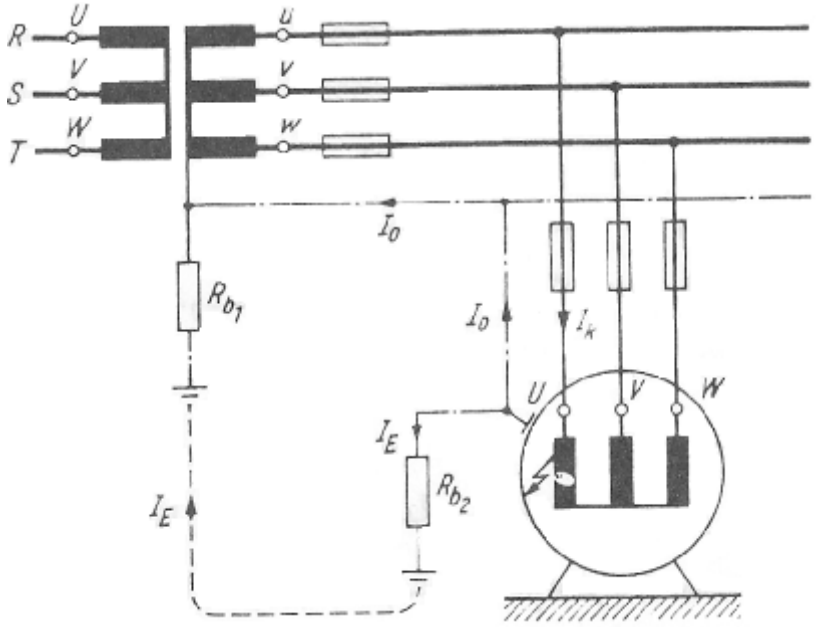
لذا برای جلوگیری از ازدیاد بیش از حد ولتاژ تماسی ، سیم صفر در انتهای خط نیز مجدداً زمین میشود . در این صورت جریان I_k در محل اتصال بدنه برابر است با :

$$I_k = U/\left((\sqrt{3})\,(R_L + [(R_0\,(R_{b1}+R_{b2}))\,/\,(R_0+R_{b1}+R_{b2})]\right)$$

و جریان I_k در محل اتصالی طبق شکل ٤-٤ به دو جزء I_0 و I_E تقسیم میشود .

$$I_E = I_K * R_0 / (R_0 + R_{b1} + R_{b2})$$

$$I_0 = I_K * (R_{b1} + R_{b2})/(R_0 + R_{b1} + R_{b2})$$



شکل۴-۴

و در نتیجه چنانچه دیده میشود اختلاف سطح تماسی که در اثر عبور جریان I_E از مقاومت زمین الکتریکی R_{b1} ($U_B = I_E . R_{b2}$) بدست می آید در اثر ارتباط انتهای سیم صفر به زمین بشدت کم میشود .

ولی چون در هر حال در شبکه ۳۸۰/۲۲۰ ولت هر اتصال کوتاه یک قطبه ای ممکن است اختلاف سطح سیم صفر را از اختلاف سطح تماسی مجاز ۶۵ ولت بالاتر ببرد ، باید همیشه چنین شبکه ای درموقع اتصال یکفاز توسط فیوز قطع شود .

٤-۲-۲) شرط دوم صفر کردن

سیم صفر باید حتماً زمین شود و محل زمین شدن سیم صفر نیز باید در نزدیکی پست ترانسفورماتور باشد .

در شبکه سیم هوایی باید سیم صفر حداقل در محل انشعاب نیز مجدداً زمین شود . در صورتیکه در مسیر شبکه برق شهری زمین خوب مانند شبکه لوله کشی آب موجود است ، توصیه میشود که سیم صفر به لوله کشی آب رسانی شهر نیز متصل گردد . در صورتیکه در یک شبکه سه فاز چهارسیمه (شبکه با سیم صفر) یکی از فازها با زمین اتصالی و تماس پیدا کند :

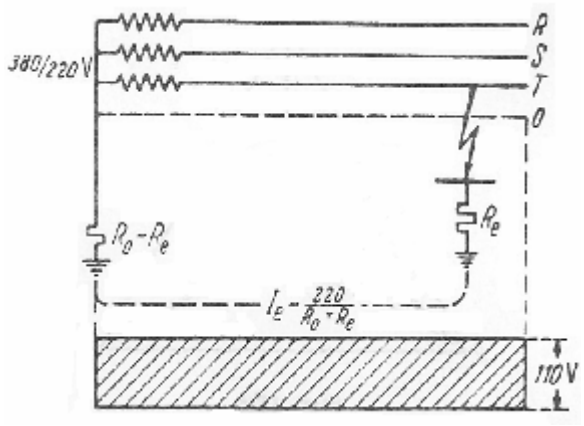
اولاً سیم صفر نسبت به زمین اختلاف سطح پیدا می کند .

ثانیاً اختلاف سطح فازهای سالم نیز نسبت به زمین بالا می رود .

همانطور که در شکل ٤-۵ نشان داده شده است اگر سیم فاز T با اختلاف سطح U_{ph}=220v به زمین وصل شود ، مدار جریان زمین I_e توسط مقاومت اتصالی R_e و مقاومت میل زمین نقطه صفر ترانسفورماتور R_0 بسته میشود و باعث عبور جریان $I_e = 220/R_e+R_0$ از زمین می گردد در نتیجه بین دو سر مقاومت R_0 که از یکطرف مربوط به سیم صفر است اختلاف سطح تماسی برابر با :

$$\mathbf{U_B} = (U_{ph} /(R_e + R)) * R_0$$

بوجود می آید .



شکل ۵-۴

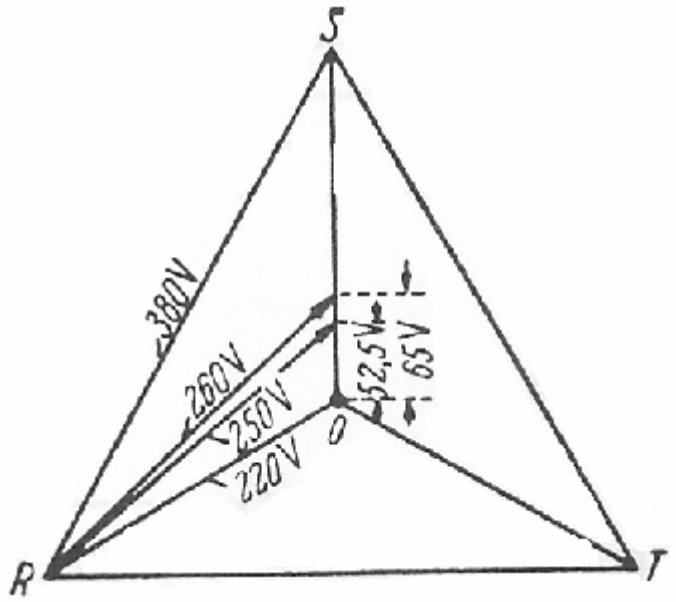
اگر $R_e = R_0$ باشدو از افت اختلاف سطح روی سیم فاز نیز صرفنظر شود این اختلاف سطح بطور تساوی روی مقاومتهای زمین تقسیم میشود. بطوری که اختلاف سطح تماسی بین سیم صفر

وزمین ۱۱۰ ولت خواهد شد و هر چه R_0 بزرگتر و R_e کوچکتر باشد بهمین نسبت اختلاف سطح تماسی سیم صفر زیادتر می شود.

این اتصال زمین سیم فاز T در ضمن باعث میشود که اختلاف سطح فازهای سالم (R,S) نیز نسبت به زمین بالا رود لذا با توجه به اینکه در اثر یک اتصال زمین یک فاز :

اولا سیم صفر اختلاف سطح تماس غیر مجاز پیدا نکند.

ثانیا در شبکه سه فاز ۳۸۰ ولت ولتاژ سیم های فاز سالم نسبت به زمین از ۲۵۰ ولت تجاوز نکند اجازه ندارد که نقطه صفر شبکه بطور دلخواه جابجا شود ، بلکه همانطور که شکل زیر نشان میدهد ازدیاد ولتاژ نقطه صفر با توجه اختلاف سطح فازهای سالم می تواند فقط به اندازه ۵۲/۵ ولت و با توجه به اختلاف سطح تماسی مجاز فقط تا ۶۵ ولت جابجا شود که البته در اینصورت اختلاف سطح فازهای سالم از ۲۵۰ ولت به ۲۶۰ ولت میرسد . لذا اگر شرط را بر این استوار کنیم که اختلاف سطح فازهای سالم در هیچ حالتی از ۲۵۰ ولت تجاوز نکند اختلاف سطح تماسی نیز هیچگاه به ۶۵ ولت نخواهد رسید . (شکل ۶-٤)



شکل ۶-۴

اختلاف سطح جابجایی مجاز (۵۲/۵ ولت) بستگی به نسبت مقاومت زمین الکتریکی و مقاومت محل اتصال زمین دارد و در ضمن مقاومت زمین الکتریکی برابر است با :

R_0 = جریان اتصال زمین/اختلاف سطح مجاز جابجایی نقطه صفر

اما چون جریان اتصال زمین بستگی به مجموع دو مقاومت R_0 و R_e دارد مجبور می شویم جریان اتصال زمین را با شرایط زیر محدود کنیم .

۱) برای جلوگیری از خطرات اتصال زمین باید از زمین کردن حفاظتی که در ارتباط با سیم صفر نیست خودداری شود .

۲) برای اینکه اصولاً اتصال زمینی روی مقاومت کوچک زمین بوجود نیاید ، باید زمین های خوب مثل لوله کشی آب شهری با سیم صفر متصل گردد .

به فرض اینکه فقط شرایط مناسب فوق موجود باشد و مقاومت اتصال زمین در محل اتصالی از ۵ اهم کوچکتر نگردد ، مقاومت میل زمین الکتریکی در پست ترانسفورماتور و در شبکه ۳۸۰/۲۲۰ ولت در صورتیکه ولتاژ جابجایی نقطه صفر از ۵۲/۵ ولت تجاوز نکند برابر میشود با :

$$R_0 = (52.5 / (220-52.5)) \times 5 = 1.56\ \Omega$$

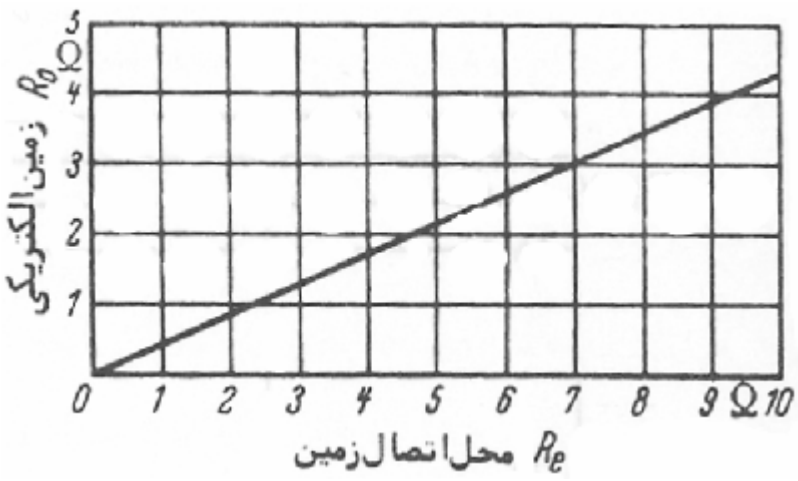
ودر حد نهایی می توان آنرا برابر ۲ اهم انتخاب کرد .

$$R_0 < 2\ \Omega$$

شکل ۷-٤ مقاومت زمین الکتریکی را متناسب با مقاومت زمین محل اتصال زمین نشان میدهد از آنچه گفته شد میتوان نتیجه گرفت که شرط دوم صفرکردن این است که در موقع اتصال زمین شدن یکی از فازها اختلاف سطح تماسی سیم صفر بطور مطمئن ا ز۶۵ ولت تجاوز نکند و این در حالتی است که مقاومت الکتریکی تقریباً برابر باشد با :

$$R_0 = (65/(U_{ph} - 65)) * R_e = R_e /2.5$$

بعبارت دیگر مقاومت زمین الکتریکی نقطه صفر ترانسفورماتوری که شبکه فشارضعیف ۳۸۰/۲۲۰ ولت را تغذیه می کند نباید از R_e ۰/٤ تجاوز کند .



شکل ۷-۴

٤-٢-٣)شرط سوم صفر کردن

در کشیدن سیم صفر باید مانند سیم فاز دقت کافی بعمل آید . زیرا در صورت قطع شدن سیم صفر همیشه ولتاژ تماسی در سیم صفر ایجاد میشود که بسته به محل قطع شدن ممکن است این ولتاژ خطرناک باشد .

محلهای مختلف قطع شدگی عبارتند از :

۱) قطع سیم صفر بین دوزمین

۲) قطع سیم صفر بعد از آخرین زمین

۳) قطع سیم صفر و تماس با سیم فاز

در حالت ۱ و ۲ اختلاف سطح تماسی بعلت متعادل نبودن بارهای شبکه سه فاز بوجود می آید . در بار کاملاً متعادل اختلاف سطح تماسی صفر است . اما از آنجا که در یک شبکه سه فاز چهارسیمه تقریباً همیشه بارها نامتعادل میشوند و از سیم صفر جریان عبور می کند در حالتهای ۱ و ۲ نیز می توان با اختلاف سطح تماسی نسبتاً زیادی مواجه شد .

۴-۳) قطع سیم صفر بین دوزمین

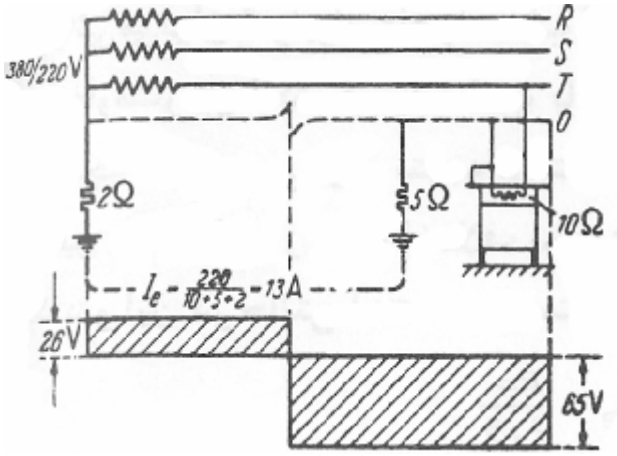
در این حالت قطع شدگی ، اختلاف سطح تماسی :

اولاً بستگی دارد به مقاومت دستگاهی که در موقع وصل کلید بین سیم صفر و سیم فاز قرار دارد

ثانیاً بستگی دارد به مقاومت زمین الکتریکی در پست ترانسفورماتور

ثالثاً بستگی دارد به مقاومت زمین الکتریکی در نقطه دیگر از سیم صفر که زمین شده است . ولی به هر حال مقاومت دستگاه که بین سیم فاز و سیم صفر بسته شده است تعیین کننده اصلی شدت اختلاف سطح تماسی می باشد .

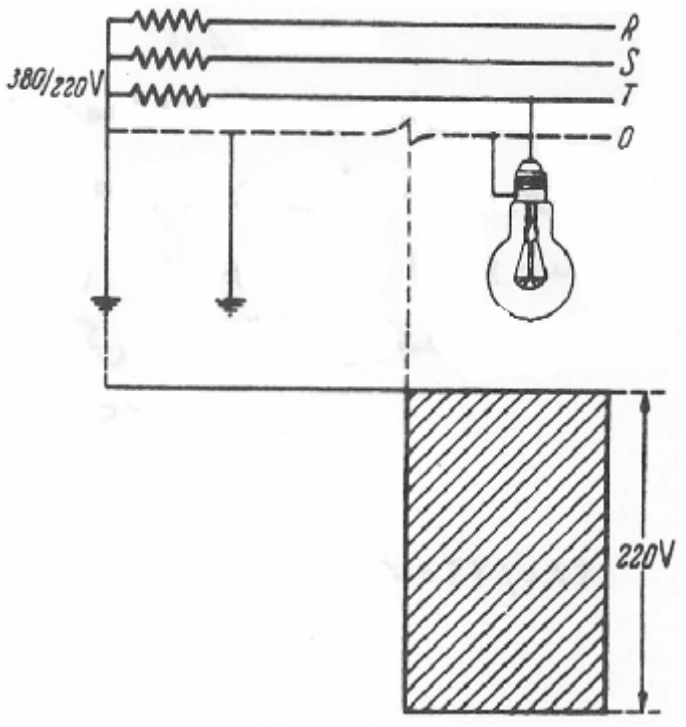
شکل ۸-٤ ولتاژ تماسی سیم صفر را برای مقاومت مصرف کننده 10Ω نشان میدهد .



شکل ۸-۴

۴-۴)قطع سیم صفر بعد از آخرین زمین

این حالت نظر به ایجاد اختلاف سطح تماسی زیاد خیلی نامساعد است . زیرا اختلاف سطح سیم فاز از طریق مصرف کننده یکفاز مثل لامپ ، بوبین ولتاژ کنتور و غیره تماماً به سیم صفر منتقل میشود .(شکل ۹-٤)



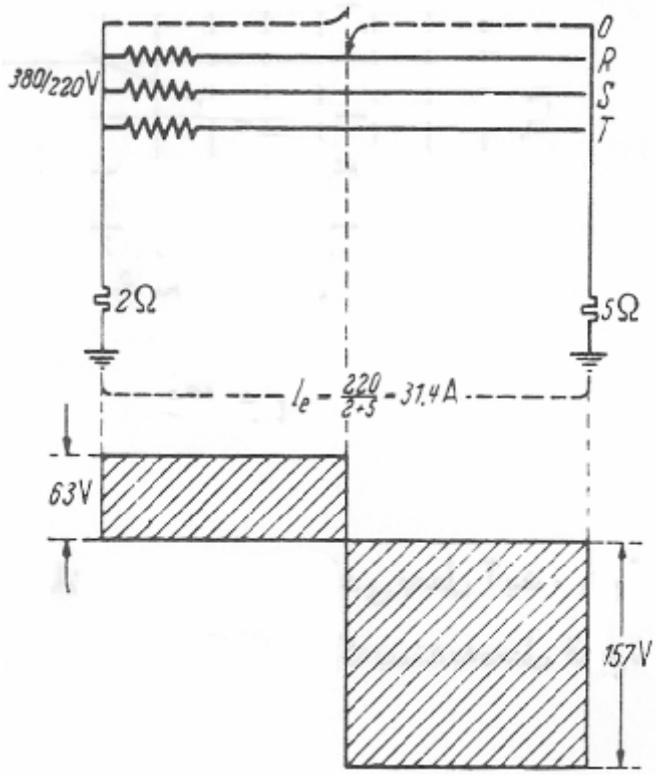
شکل ۹-۴

در ضمن اینکه در حالت قبل مقاومت مصرف کننده باید کوچک باشد تا اختلاف سطح تماسی زیاد بوجود آید ، در این حالت حتی مقاومتهای بزرگ مانند یک لامپ و یا پیچک ولتاژ کنتور نیز باعث ایجاد اختلاف سطح تماسی بزرگ و خطرناکی در سیم صفر ولی فقط در پشت قطع شدگی میشود . در صورتیکه در حالت قبل تمام طول سیم صفر اختلاف سطح تماسی پیدا می کند .

۴-۵)قطع سیم صفر و تماس با سیم فاز

این حالت بدترین و خطرناکترین حالتهای ممکن است .

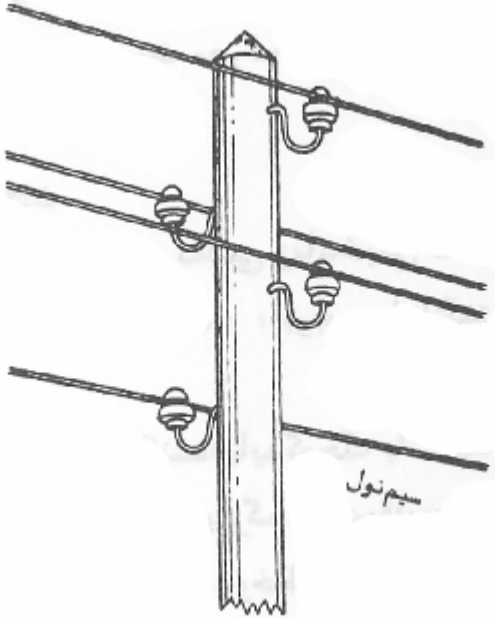
زیرا اگر انتهای سیم صفر قطع شده به سیم فاز برخورد کند ، همانطور که شکل ۱۰-٤ نشان میدهد ، اختلاف سطح تماسی بسیار خطرناکی در سیم صفر بوجود می آید .



شکل ۱۰-۴

برای جلوگیری از این پیش آمد خطرناک باید در سیم کشی هوایی همیشه سیم صفر زیر سیمهای فاز قرار گیرد(شکل ۱۱-٤)

به خصوص با توجه به اینکه در شبکه سه فاز چهارسیمه سیم صفرنازکتر ازسیمهای فاز انتخاب میشود ، امکان پاره شدن سیم صفر نیز به مراتب بیشتر از سیمهای فاز است .



شکل ۱۱-۴

در ثانی اگر سیم فاز قطع شود ، با برخورد به سیم صفر که در زیر آن قرار دارد ، اگر شرط اول صفرکردن رعایت شده باشد ، قطع شود ، با برخورد به سیم صفر که در زیر آن قرار دارد ، اگر شرط اول صفرکردن رعایت شده باشد ، فیوز مربوطه میسوزد و برق قطع میگردد و سیم فاز با داشتن پتانسیل با زمین تماس پیدا نمی کند .

با آنچه که گفته شد نتیجه گرفته میشود که برای جلوگیری از خطرات قطع شدگی سیم صفر باید نکات زیر مورد توجه کامل قرار گیرد .

۱) سیم صفر تحت نیروی کشش زیاد قرار نگیرد و ارتباط سیم توسط بستهای مطمئن و محکم صورت گیرد تا اصولاً امکان قطع شدن و پاره شدن آن خیلی کم شود .

۲) در موقع قطع سیم صفر باید بلافاصله سیم های فاز نیز توسط کلید یا فیوز و غیره قطع گردند .

۳) سیم صفر علاوه بر پست ترانسفورماتور در چند نقطه دیگر نیز زمین شود . مقاومت زمین الکتریکی در این انشعابها میتواند طبق پیشنهاد VDE در حدود ۵ اهم باشد که توسط زمین سطحی در حدود ۵۰ متر میسر است .

٤) سیم صفر در سیم کشی هوایی همیشه در زیر سیم های فاز قرار گیرد .

۵) تا حد امکان ، تقسیم بار بطور متعادل انجام شود .

سؤالات فصل چهارم :

۱) علت صفرکردن در سیستم های حفاظتی را بیان نمایید .
۲) سه شرط مهم که در زمان صفر کردن می بایست رعایت شود را بیان نمایید .
۳) محلهای مختلف قطع شدگی سیم صفر را فقط نام ببرید .
٤) مضرات ناشی از قطع شدن سیم صفر مابین دو زمین را بیان نمایید .
۵) مضرات ناشی از قطع شدن سیم صفر بعد از آخرین زمین را بیان نمایید .
۶) مضرات ناشی از قطع شدن سیم صفر و تماس با سیم فاز را بیان نمایید .

فصل پنجم :
حفاظت تاسیسات در مقابل
صاعقه

اهداف آموزشی :

۱) آشنایی با انواع روشهای حفاظت تأسیسات صنعتی و دستگاههای ثابت و ساختمانها در مقابل صاعقه

۵-۱)صاعقه گیر ساده :

صاعقه نتیجه تخلیه بار الکتریکی حاصل از یونهای باردار در ابر می باشد . این تخلیه الکتریکی در صورتی که با زمین صورت گیرد می تواند بسیار خطرناک باشد .

هدف اصلی استفاده از برقگیر هدایت جریان الکتریکی صاعقه به مسیر دلخواه می باشد . در اینصورت با قراردادن برقگیر در نقاط استراتژیک یک مجموعه می توان جریان الکتریکی صاعقه را از طریق هادی مناسبی به زمین منتقل کرد .

عمل جذب صاعقه بواسطه افزایش چگالی یونها و پرتاب آنها تا شعاع ۱۰ تا ۱۵ متری بالای برقگیر می باشد . از طرف دیگر یونهای منفی موجود در ابرها نیز کوتاهترین مسیر را برای عبور انتخاب می کنند بنابراین پس از تماس یونهای منفی ابر با یونهای مثبت هدایت شده برقگیر ، مسیری مناسب برای عبور یونهای دیگر فراهم می آید و به این ترتیب عبور جریان الکتریکی آن منطقه از ابر تا تخلیه یونها به حدی که جریان متوقف گردد ادامه می یابد واضح است که زمان این تخلیه بسیار کوتاه می باشد .

این میله ها از مس با روش نیکل کروم و یا آلومینیوم ساخته میشود . میله برقگیر بدون نوک چند شاخه نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد .

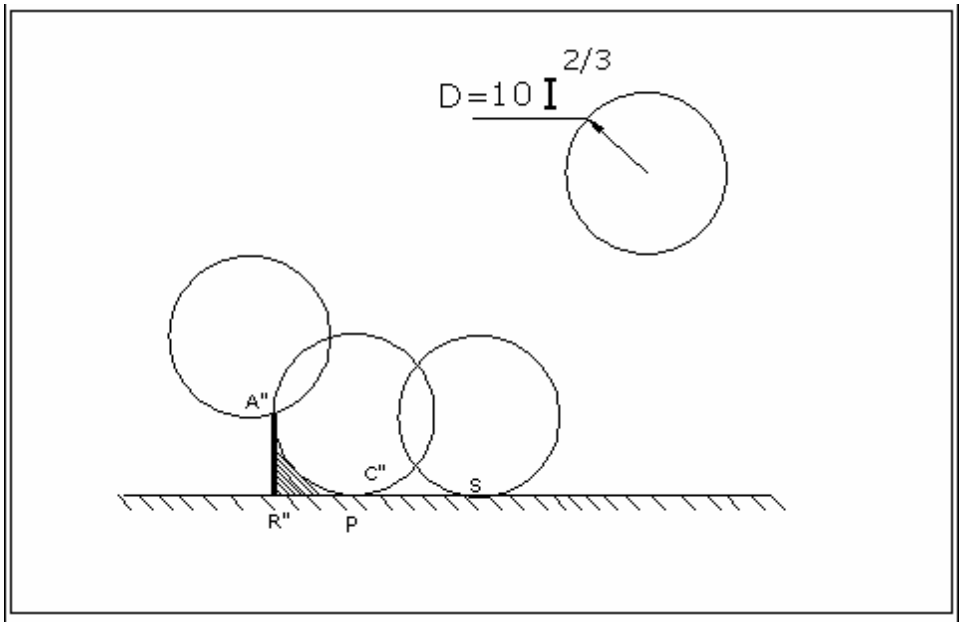
طول برقگیر در اندازه های ۶۰۰ ، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلیمتری و با قطرهای ۱۶ ، ۱۸ و ۲۰ قابل عرضه می باشند .

۵-۲)شعاع حفاظت میله ساده برقگیر (Simple Rod)

هنگام محاسبه شعاع حفاظتی یک میله ساده برقگیر براساس مدل الکتروژنومتریک نقاط محتمل اصابت صاعقه نزدیکترین نقاط ساختمان در فاصله D از نزدیکترین علمدار حمله ارسالی ابر به سوی زمین می باشد .

با توجه به شکل ۱-۵ تصویر فیزیکی نقاط محتمل محل اصابت صاعقه محیط خارجی یک کره غلطان به شعاع D است که مرکز آن توسط علمدار حمله به سرعت به سوی ساختمان و زمین نزدیک میشود .

با دقت بیشتر به تصویر زیر و فرض نصب یک میله ساده برقگیر به ارتفاع h روی زمین سه حالت محتمل تخلیه صاعقه به شرح زیر مورد بررسی قرار می گیرد :



شکل ۱-۵

الف) اگر کره غلطان فقط در نقطه A´ میله ساده را لمس کند A´ نقطه اصابت صاعقه خواهد بود.
ب)اگر کره غلطان در نقطه S زمین را لمس کند و هیچ نقطه تماسی با میله برقگیر نداشته باشد ، نقطه اصابت صاعقه همان نقطه S روی ساختمان خواهد بود .
ج) اگر کره غلطان در دو نقطه A´ و C´ میله برقگیر و زمین را لمس نماید نقاط A´ و C´ هر دو به عنوان نقاط محتمل اصابت صاعقه محسوب خواهند شد اما منطقه هاشور خورده مابین میله ساده و نقاط A´ و C´ منطقه ای است که هرگز مورد اصابت صاعقه قرار نخواهد گرفت و منطقه حفاظت شده نامیده میشود ، در این حالت شعاع حفاظتی برابر R´P همان شعاع کره یا D می باشد که با فرمول و طبق شکل زیر محاسبه میشود .

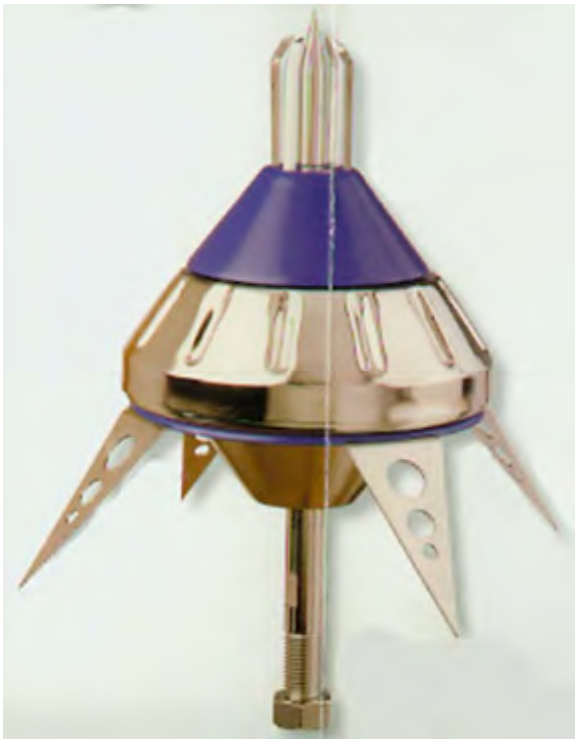
$$D(m) = 10 \cdot I$$

I - حداکثر شدت جریان صاعقه هنگام تخلیه برحسب کیلوآمپر

۵-۳)صاعقه گیر الکترونیکی چگونه عمل می کند :

درست قبل از حدوث صاعقه بطور طبیعی محتوی الکتریکی اتمسفر بطور ناگهانی افزایش می یابد . این تغییر وضعیت توسط واحد جرقه زن حس و کنترل میشود صاعقه گیرهای الکترونیکی PREVECTRON انرژی موجود در هوای متلاطم پیش از طوفان را (که درحدود چندین هزار

ولت بر هر متر است) جذب و در واحد جرقه زن ذخیره می نماید . و در نهایت واحد جرقه زن با تخلیه بار الکتریکی خازنها بین الکترودهای فوقانی و الکترود مرکزی اش هوای اطراف را یونیزه می نماید .



۵-۴)اصول عملکرد صاعقه گیر الکترونیکی

عملیات یونیزاسیون در نوک صاعقه گیر به شرح زیر تفسیر میشود :

۵-۴-۱) آزادسازی کنترل شده یونها

واحد جرقه زن (TRIGGERING) صاعقه گیرهای PREVECTRON شرایطی را ایجاد می کند تا چشمه جوشانی از یون (کرونا) در اطراف میله نوک نیز فراهم شود . دقت عمل این واحد باید به گونه ای کنترل شده باشد که آزادسازی یونها را درست چند میکرو ثانیه قبل از حدوث و تخلیه صاعقه صورت دهد .

۵-۴-۲) اثر کروناو واحد جرقه زن

حضور حجم وسیع بارهای الکتریکی در اطراف میله نوک تیز صاعقه گیر پس از یونیزاسیون توسط واحد جرقه زن سبب میشود تا پدیده طبیعی تجمع بارهای الکتریکی اطراف میله (Corona effect) تقویت و تشدید شود .

۵-۴-۳ تسریع در بروز علمدار حمله زمینی

صاعقه گیرهای PREVECTRON طوری طراحی شده اند که ارسال علمدار حمله زمینی را خیلی زودتر از نقاط هم ارتفاع مشابه همان محدوده به انجام برسانند و این به معنی تشکیل نقطه ترجیهی دریافت صاعقه در منطقه تحت حفاظت با PREVECTRON نسبت به سایر نقاط میباشد.

یک میله ساده صاعقه گیر را با یک صاعقه گیر الکترونیکی (PREVECTRON) در شرایط مساوی (نصب) در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می دهیم بدین صورت که از یک منبع صاعقه مصنوعی (خازنهای باردارشده) متساوی الفاصله هر دو را مورد حمله قرار می دهیم . مشاهده میشود که صاعقه گیر الکترونیکی چندین میکرو ثانیه زودتر ا زمیله ساده به واقعه عکس العمل نشان میدهد این اختلاف زمان را (ΔT بنام زمان جرقه زنی TRIGGERING TIME) نامگذاری کرده اند .

در نهایت (ΔT) به عنوان ابزار اندازه گیری کیفیت عملکرد صاعقه گیر الکترونیکی و میله های ساده انتخاب شد و طبق استاندارد NF C 17-102 مبنای مقایسه انواع صاعقه گیرها و اساس محاسبه شعاع حفاظت آنها قرار گرفته است .

۵-۵)انواع صاعقه گیر الکترونیکی :

صاعقه گیرهای PREVECTRON 2 با دو نوع جنس و در پنج مدل قابل ارائه هستند .

۵-۵-۱)مدلهای مسی : در این دسته میله مغزی صاعقه گیر و الکترودهای پیرامونی از جنس مس و پوشش واحد الکترونیکی آن از فولاد ضد زنگ ساخته شده است .

۵-۵-۲)مدلهای فولاد ضد زنگ : در این دسته میله مغزی ، الکترودهای پیرامونی و پوشش همه از فولاد ضد زنگ ساخته شده اند . این دسته برای نصب در محیطهای خورنده و اسیدی توصیه میشود .

۵-۶)مزیتهای انتخاب صاعقه گیر الکترونیکی (PREVECTRON) :

- امکان انتخاب شعاع حفاظتی گسترده
- دستیابی به کیفیت و تکنولوژی برتر روز
- بهره گیری از سیستم عملکرد کاملاً مستقل و خودکفا (از نظر تامین انرژی)
- فقط به هنگام وجود انرژی الکتریکی د راتمسفر فعال می شود .(عمر طولانی)
- یکپارچگی محور اصلی صاعقه گیر از نوک آن تا نقطه اتصال به هادی میانی
- کیفیت عملکرد و پایداری صاعقه گیر توسط مرکز تحقیقات علمی ملی فرانسه

(French National Scientific Research Center) بارها آزمایش شده و صحت عملکرد آنها با گواهی شماره UMR 9929 تأئید و ثبت شده است .

ضمناً انواع صاعقه گیر PREVECTRON در شرایط واقعی (تخلیه صاعقه) توسط کمیته انرژی اتمی فرانسه Commissariat a I energie atomique (C.E.A) Grenoble –France با همکاری مرکز تحقیقات الکتریکی فلوریدای آمریکا مورد آزمایش عملی قرار گرفته و از نظر کیفیت عملکرد و پایداری مورد تائید قرار گرفته است .

۵-۷)محدوده حفاظت صاعقه گیر الکترونیکی :

هدف از نصب صاعقه گیر روی بام ساختمان ایجاد یک حوزه حفاظتی برا یساختمان است و حداکثر فاصله ازمحل نصب صاعقه گیر که تحت حفاظت قرار می گیرد (در ارتفاع محل نصب پایه صاعقه گیر) شعاع حفاظتی نامیده می شود .

شعاع حفاظتی صاعقه گیر الکترونیکی با استفاده از جدیدترین استاندارد NF C 17-102(جولای ۱۹۹۵) و فرمولهای این استاندارد به شرح زیر محاسبه شده اند .

محاسبات ارائه شده در جداول زیر برا ساس چند پارامتر زیر بدست آمده است :

۱ـ تفاوت زمان تخلیه صاعقه توسط صاعقه گیرهای الکترونیکی و صاعقه گیرهای ساده (ΔT) که توسط C.N.R.S تائید شده و نوع صاعقه گیر مورد نظر بدست می آید سپس با استفاده از فرمول

$$\Delta L(m) = 10^6 \times \Delta T(\mu s)$$

ΔL فاصله ای که نقطه دریافت صاعقه از نوک صاعقه گیر دور می شود محاسبه خواهد شد .

۲ـ براساس مشخصه های ساختمان یا پروژه ضمیمه B استاندارد NF C 17-102 و نرم افزار INDELC (که طبق استاندارد فوق تدوین شده) کلاس حفاظتی مورد نظر را انتخاب می نمائیم . سپس با عنایت به کلاس حفاظت قطر کره فرضی را D از جدول استخراج می نمائیم .

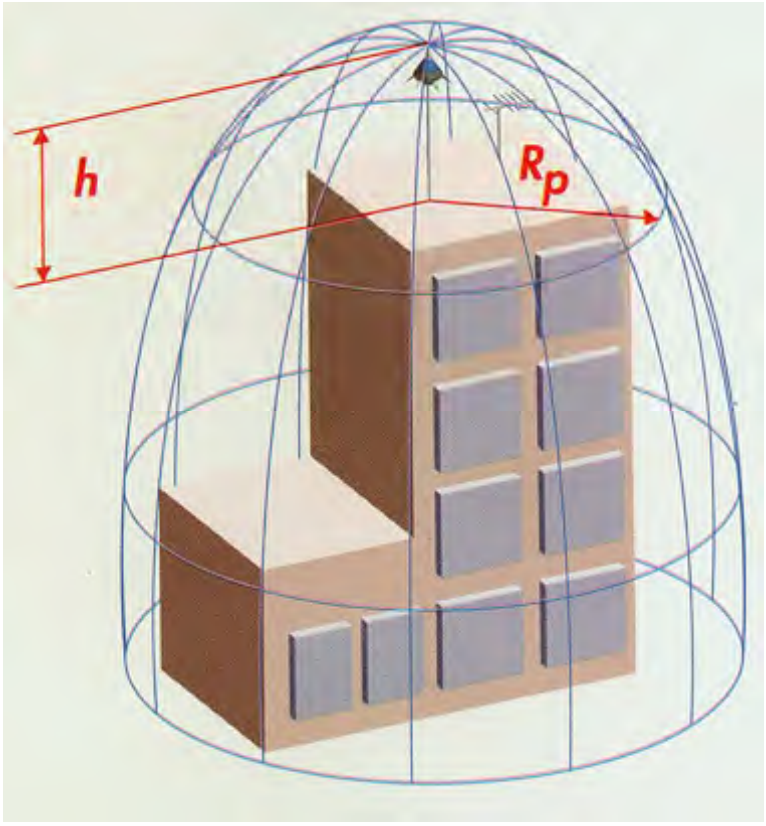
۳- ارتفاع واقعی نصب صاعقه گیرازروی سطح مورد نظر را برای تعیین شعاع حفاظتی بدست می آوریم .(h).

وقتی h بزرگتر از ۵ متر باشد $Rp = \sqrt{h}\,(2D-h) + \Delta L\,(2D + \Delta L)$

وقتی h کوچکتر از ۵ متر باشد . شعاع حفاظتی از جداول همین زیر استخراج میشود .

h = ارتفاع واقعی نصب صاعقه گیر نسبت به سطح مورد نظر.

جهت محاسبه شعاع حفاظت $\Delta L=106\times \Delta t$ فاصله ای که صاعقه گیر نقطه دریافت صاعقه را طبق تئوری گوی غلطان از ساختمان دور می کند .



Level I :D=20m –High Protection

H(m)	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20m
S.6.60	31	47	63	79	79	79	79	79	80	80
S4.50	27	41	55	68	69	69	69	69	70	70
S3.40	23	35	46	58	58	59	59	59	60	60
TS3.40	23	35	46	58	58	59	59	59	60	60
TS2.25	17	25	34	42	43	43	43	44	45	45

Level II : D = 45m –Medium Protection

H(m)	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20m
S.6.60	39	58	78	97	97	98	99	101	102	105
S4.50	34	52	69	86	87	87	88	90	92	95
S3.40	30	45	60	75	76	77	77	80	81	85
TS3.40	30	45	60	75	76	77	77	80	81	85
TS2.25	23	34	46	57	58	59	61	63	65	70

Level III : D = 60m –Standard Protection

H(m)	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20m
S.6.60	43	64	85	107	107	108	109	113	119	120
S4.50	38	57	76	95	96	97	98	102	109	110
S3.40	33	50	67	84	84	85	87	92	99	100
TS3.40	33	50	67	84	84	85	87	92	99	100
TS2.25	26	39	52	65	66	67	69	75	84	85

	ΔT (us)	Copper ref	Stainless Steel ref	Weight (kg)
S 6.60	60	1241	1242	4.2
S4.50	50	1231	1232	4.0
S 3.40	40	1221	1222	3.8
TS3.40	40	1211	1212	2.5
TS 2.25	25	1201	1202	2.3

سؤالات فصل پنجم :

۱) انواع صاعقه گیرها را نام ببرید .

۲) روش تعیین شعاع حفاظت میله ساده برقگیر را توضیح دهید .

۳) چگونگی عملکرد صاعقه گیر الکترونیکی را تشریح نمایید .

٤) مزیت های انتخاب صاعقه گیر الکترونیکی را توضیح دهید .

۵) روش تعیین محدوده حفاظت صاعقه گیرهای الکترونیکی را توضیح دهید .

مراجع :

۱) کتاب تجهیزات نیروگاه از انتشارات دانشگاه تهران

۲) کتاب تأسیسات الکتریکی به تألیف آقای دکتر کلهر

۳) کاتالوگ های مربوط به انواع صاعقه گیرها

٤) کاتالوگ های مربوط به دستگاههای ارت تستر شرکت AVO