جمهوری اسلامی ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

شمارهٔ استاندارد ایران

4123

آئین کار اتصال به زمین

چاپ اول

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تنها سازمانی است در ایران که بر طبق قانون میتواند استاندارد رسمی فرآورده‌ها را تعیین و تدوین و اجرای آنها را با کسب موافقت شورایعالی استاندارد اجباری اعلام نماید. وظایف و هدفهای موسسه عبارتست از:

(تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی – انجام تحقیقات بمنظور تدوین استاندارد بالا بردن کیفیت کالاهای داخلی، کمک به بهبود روشهای تولید و افزایش کارائی صنایع در جهت خودکفائی کشور - ترویج استانداردهای ملی – نظارت بر اجرای استانداردهای اجباری – کنترل کیفی کالاهای صادراتی مشمول استانداردهای اجباری و جلوگیری از صدور کالاهای نامرغوب بمنظور فراهم نمودن امکانات رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین المللی کنترل کیفی کالاهای وارداتی مشمول استاندارد اجباری بمنظور حمایت از مصرف کنندگان و تولیدکنندگان داخلی و جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب خارجی راهنمائی علمی و فنی تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و مصرف کنندگان – مطالعه و تحقیق درباره روشهای تولید، نگهداری، بسته بندی و ترابری کالاهای مختلف – ترویج سیستم متریک و کالیبراسیون وسایل سنجش – آزمایش و تطبیق نمونه کالاها با استانداردهای مربوط، اعلام مشخصات و اظهارنظر مقایسه ای و صدور گواهینامه های لازم).

موسسه استاندارد از اعضاء سازمان بین المللی استاندارد میباشد و لذا در اجرای وظایف خود هم از آخرین پیشرفتهای علمی و فنی و صنعتی جهان استفاده مینماید و هم شرایط کلی و نیازمندیهای خاص کشور را مورد توجه قرار میدهد.

اجرای استانداردهای ملی ایران بنفع تمام مردم و اقتصاد کشور است و باعث افزایش صادرات و فروش داخلی و تأمین ایمنی و بهداشت مصرف کنندگان و صرفه جوئی در وقت و هزینه‌ها و در نتیجه موجب افزایش درآمد ملی و رفاه عمومی و کاهش قیمتها میشود.

کمیسیون استاندارد

آئین کار اتصال به زمین

رئیس

موسسیان – آلدیک	کارشناس مهندسی برق	مشاور موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

اعضاء

تمدن – حسین	کارشناس ارشد بیوشیمی	دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی مشاور موسسه استاندارد
جراحی – فرشته	کارشناس فیزیک	وزارت صنایع
کتابچی حقیقت – موسی	کارشناس فیزیک	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
محسن پور – سعدالله	کارشناس مهندسی مکانیک	وزارت صنایع

دبیر

قدس – زهره	کارشناس فیزیک	شرکت کنترل کیفیت بهینه

فهرست مطالب

آئین کار اتصال به زمین

هدف و دامنه کاربرد

تعاریف و اصطلاحات

زمین کردن سیستم تغذیه

زمین کردن تجهیزات الکتریکی

حفاظت تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی

عواملی که در ایجاد اصتال زمین موثر دخالت دارند

مقاومت ویژه خاک

تاثیر شکل الکترود بر روی مقاومت آن

مقاومت انواع معمول الکترودهای زمین

انتخاب جنس یک الکترود زمین یا هادی زمین دفن شده بدون عایق

انواع الکترودهای متفرقه

زمین کردن سازه هایی که دارای حفاظت کاتدیک می‌باشند

انتخاب هادی زمین و اتصال آن به الکترود

چگالی جریان در سطح یک الکترود زمین

گرادیان پتانسیل در اطراف الکترودهای زمین

بازرسی دوره‌ای و آزمون سیستم زمین و اندازه‌گیری مقاومت الکترودهای

تجهیزات تولید برق

نیروگاه‌ها و ایستگاههای فرعی

اتصال زمین مربوط به خطوط هوای

تاسیسات الکتریکی مصرف کنندگان

داربست‌های موقت و سازه‌های فلزی مشابه

تجهیزات و مدارهای مخابرایت

حفاظت در برابر صاعقه و اتصال به زمین

معادن زیر زمینی و معادن روباز

روشنایی خیابان و سایر تجهیزات الکتریکی در خیابان

محمیطهای خطرناک (محیطهای که جو آنها بالقوه انفجاری است)

زمین کردن هادی‌ها برای کار ایمن

بسمه تعالی

پیشگفتار

استاندارد " آئین کار اتصال به زمین " که به وسیله کمیسیون فنی مربوطه تهیه و تدوین شده و در هشتاد و سومین کمیته ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ 75/12/4 مورد تایید قرار گرفته ، اینک به استناد بند 1 ماده 3 قانون اصلاحی قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماده 1371 بعنوان استاندارد رسمی ایران منتشر می‌گردد .

برای حفظ همگامی و هماهنگی با پیشرفتهای ملی و جهانی در زمینه صنایع علوم ، استانداردهای ایران در موقع لزوم مورد تجدید نظر قرار خواهد گرفت و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها برسد ، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوطه ، مورد توجه واقع خواهد شد .

بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین چاپ و تجدید نظر آنها استفاده نمود .

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه حتی المقدور بین این استاندارد و استاندارد کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود .

لذا با بررسی امکانات و مهارتهای موجود و اجرای آزمایشهای لازم این استاندارد با استفاده از منبع زیر تهیه گردیده است :

BS 7430: 1991

آئین کار اتصال به زمین

بخش 1- کلیات

1- هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد روش هایی را که ممکن است در اتصال به زمین یک سیستم الکتریکی مورد استفاده قرا گیرند ، تعیین می‌کند . هدف از اتصال به زمین ، محدود کردن پتانسیل هادی‌های برقدار سیستم از یک طرف و بدنه‌های هادی و دیگر اجزای فلزی مربوط به تجهیزات ، دستگاههای الکتریکی و لوازم وصل به سیستم از طرف دیگر نسبت به جرم کلی زمین است . جنبه اول یعنی محدود کردن ولتاژ هادیهای برقدار نسبت به زمین ، برای کار صحیح سیستم الکتریکی لازم می‌باشد و عموماً به نام " اتصال زمین سیستم " خوانده می‌شود . جنبه دوم یعنی محدود کردن ولتاژ بدنه‌های هادی و دیگر اجزای فلزی مربوط به تجهیزات و دستگاههای الکتریکی وصل به سیستم برای حفاظت افراد در برابر برق گرفتگی لازم می‌باشد و عموماً به نام " اتصال زمین ایمنی " یا " اتصال زمین تجهیزات " خوانده می‌شود .

از واژه " زمین کردن " یا " اتصال به زمین " در همه احوال استفاده خواهد شد . صرفنظر از اینکه از زمین به عنوان مسیری با امپدانس کم برای عبور جریانهای برگشتی استفاده شده یا نشده باشد .

مقررات این استاندارد تنها برای تاسیساتی که روی زمین نصب شده‌اند معتبر می‌باشد و تاسیسات مربوط به کشتی ، هواپیما یا تاسیسات دریایی (سکوها) را در بر نمی‌گیرد . این استاندارد همچنین مقررات مربوط به زمین کردن تجهیزات پزشکی یا مسائل خاص مربوط به قطعات الکترونیکی حالت جامد و دستگاههای حساس به الکتریسیته ساکن را تعیین نمی‌کند .

2- تعاریف و اصطلاحات

در این استاندارد واژه‌ها و اصطلاحات با تعاریف زیر به کار برده می‌شود :

2-1- اتصال زمین سیستم [1]

اتصال به زمین بمنظور کار صحیح دستگاه الکتریکی

2-2- الکترود زمین [2]

هادی یا دسته‌ای از هادی‌ها که در تماس با زمین قرار دارند و یک اتصال الکتریکی را با آن برقرار می‌سازند .

2-3- الکترودهای زمین مستقل از نظر الکتریکی [3]

الکترودهای زمین که فاصله آنها از یکدیگر طوری است که حداکثر جریان عبوری احتمالی از یکی از آنها نمی‌تواند تاثیر محسوسی بر پتانسیل الکترود (های) دیگر بگذارد .

2-4- امپدانس حلقه اتصالی زمین [4]

امپدانس حلقه جریان اتصالی زمین (حلقه فاز به زمین) که در نقطه اتصالی زمین شروع و پایان می‌یابد . این امپدانس با z نمایش داده می‌شود . حلقه اتصالی زمین شامل قسمت‌های زیر بوده و شروع آن از نقطه اتصال می‌باشد :

- هادی حفاظتی مدار ،
- ترمینال زمین مصرف کننده و هادی زمین .
- مسیر برگشت فلزی در سیستم‌های TN و مسیر برگشت زمین در سیستم‌های IT و TT و مسیری از طریق نقطه و خنثای زمین شده ترانسفورماتور به نقطه اتصال

2-5- پتانسیل زمین [5]

پتانسیل الکتریکی نسبت به جرم کلی زمین که در داخل زمین یا روی سطح زمین اطراف الکترود زمین ، هنگامی که جریان الکتریکی از الکترود به زمین برقرار است ، ایجاد می‌شود .

2-6- تجهیزات طبقه I [6]

دستگاهی که در آن برای حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی تنها به عایق بندی اصلی اکتفا نشده است ، بلکه اقدامات حفاظت دیگری نیزبه صورت تعبیه اتصالات برای وصل بدنه‌های هادی آنها به هادی . حفاظتی در سیم کشی‌های ثابت ، پیش بینی شده است .

2-2- تجهیزات طبقه II [7]

دستگاهی که در آن برای حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی تنها به عایق بندی اصلی اکتفا نشده است ، بلکه اقدامات ایمنی دیگری مانند عایق بندی مضاعف یا تقویت شده نیز منظور شده است . در این تجهیزات ، اتصالاتی برای وصل بدنه‌های هادی به هادی حفاظتی در تجهیزات ، اتصالاتی برای وصل بدنه‌های هادی به هادی حفاظتی در سیم کشی ثابت در نظر گرفته نمی‌شود و بر روی پیش بین هایی که در سیم کشی‌های ثابت انجام می‌شود نیز تکیه نمی‌شود .

2-8- تجهیزات قطع و وصل و حفاظت [8]

مجموعه‌ای از وسایل قطع و وصل کننده اصلی و کمکی (کلیدها) برای راه اندازی ، تنظیم ، حفاظت یا سایر کنترلهای مربوط به تاسیسات الکتریکی .

2-9- ترمینال اصلی زمین [9]

ترمینال یا شینه‌ای که از طریق آن هادی‌های حفاظتی شامل هادی‌های همبندی هم پتانسیل کننده و هادی‌های اتصال زمین سیستم ، در صورت وجود ، به وسایل زمین کننده متصل می‌شوند .

3-10- توقفگاه کاراوان [10]

منطقه‌ای که می‌توان دو یا چند کاراوان را در آن پارک کرد .

2-11- جریان اتصالی زمین [11]

جریان اتصالی که به زمین می‌رود .

2-12- جریان عمل پسماند [12]

جریان پسماندی که در آن جریان ، وسیله جریان پسماند تحت شرایط مشخص شده عمل می‌کند .

2-13- جریان نشتی زمین [13]

جریانی که در یک مدار سالم از نظر الکتریکی ، به زمین یا قسمت‌های هادی بیگانه می‌رود . این جریان ممکن است دارای مولفه خازنی شامل خازن هایی که عمدا در سیستم نصب می‌شوند نیز باشد .

2-14- حالت اتصالی [14]

حالتی از مدار که در آن ، جریان از یک مسیر غیر عادی یا پیش بینی نشده عبور می‌کند . این حالت ممکن است در اثر وجود نقص در عایق بندی یا پل شدن عایق پیش آید . بطور قرار دادی ، امپدانس بین هادی‌های برقدار یا بین هادی‌های برقدار و قسمت‌های هادی در دسترس یا قسمتهای هادی بیگانه ، در حالت اشکال ، ناچیز و قابل صرفنظر کردن است .

3-15- دستگاه تغذیه الکتریکی محل استقرار کاراوان [15]

دستگاه که امکان قطع و وصل کابل‌های منبع را از وسیله نقلیه مجهز به اتاقک استراحت به یک منبع تغذیه ثابت خارجی فراهم می‌کند .

2-16- دستگاه قابل حمل [16]

دستگاه الکتریکی که در حین کار می‌توان آن را جابجا کرد یا آن را از محلی به محل دیگر ، ضمن اینکه به منبع تغذیه متصل است ، براحتی اتصال داد .

2-17- زمین [17]

جرم هادی کره زمین که پتانسیل الکتریکی آن در هر نقطه بطور قراردادی ، برابر یا صفر در نظر گرفته می‌شود .

2-18- سیستم زمین [18]

یک یا چند الکترود زمین همراه با هادی‌های زمین آنها که می‌توانند به ترمینال اصلی زمین وصل شوند .

2-19- سیم کشی زمین شده هم مرکز [19]

یک سیستم سیم کشی که در آن یک یا چند هادی عایق دار در سرتاسر طولشان کمک یک هادی ، مانند یک غلاف فلزی ، که بصورت هادی PEN عمل می‌کند ، کاملا محصور شده باشند .

2-20- شبکه زمین [20]

الکترود زمینی است مشتمل بر دو دسته متلاقی الکترود که به صورت افقی و موازی در سطحی به شکل مستطیل دفن شده است . این الکترودها معمولا بر یکدیگر عمود بوده و در نقاط تلاقی به یکدیگر متصل می‌باشند .

2-21- عایق بندی تکمیلی [21]

عایق بندی مستقلی که علاوه بر عایق بندی اصلی برای تامین حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی در صورت خرابی عایق بندی اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد .

2-22- عایق بندی تقویت شده [22]

یک سیستم عایق بندی که برای قسمتهای برقدار به کار می‌رود و قدرت حفاظتی آن در برابر خطر برق گرفتگی تحت شرایط مشخص شده در استاندارد مربوط ، معادل قدرت حفاظتی عایق بندی مضاعف است .

2-23- عایق بندی مضاعف [23]

عایق بندی که شامل عایق بندی اصلی و عایق بندی تکمیلی است .

2-24- قسمتهایی که بطور همزمان در دسترس قرار می‌گیرند [24]

هادیها یا قسمتهای هادی جریان که ممکن است انسان و در مکانهای مخصوص حیوانات اهلی ، بطور همزمان با آنها تماس برقرار کنند .

یادآوری : قسمتهایی که بطور همزمان در دسترس به حساب می‌آیند می‌توانند شامل قسمتهای زیر باشند :

- قسمت‌های برقدار
- قسمت‌های هادی در دسترس (بدنه‌های هادی)
- قسمت‌های هادی بیگانه
- هادی‌های حفاظتی
- الکترودهای زمین

2-25- قسمت برقدار [25]

یک هادی یا یک قسمت هادی جریان (شامل هادی خنثا) که در استفاده عادی برقدار است . یک هادی PEN، بطور قرار دادی ، قسمت برقدار محسوب نمی‌شود .

2-26- قسمت هادی در دسترس [26]

بدنه هادی یا قسمت هادی دستگاه که قابل لمس بوده و قسمت برقدار نمی‌باشد ، ولی در شرایط بروز اتصالی ممکن است برقدار شود .

2-27- قسمت هادی بیگانه [27]

قسمت هادی که جزء تاسیسات الکتریکی نمی‌باشد ولی توانایی داشتن پتانسیلی را که عموماً پتانسیل زمین است دارد .

2-28- کاراوان [28]

اتاقکی برای استراحت که به وسیله نقلیه وصل و در مسافرت از آن استفاده می‌شود . کاراوان باید مقررات مربوط به " وسایل نقلیه جاده‌ای " را رعایت کند .

2-29- کاراوان موتوری [29]

اتاقک استراحت خودرو که برای مسافرت استفاده می‌شود و باید با مقررات مربوط به " وسایل نقلیه جاده‌ای " سازگار باشد . اتاقک استراحت می‌تواند به صورت ثابت نصب شده یا قابل پیاده کردن باشد .

2-30- گرادیان پتانسیل (در یک نقطه)[30]

گرادیان پتانسیل در واحد طول که در یک نقطه و در جهتی که مقدار آن حداکثر است اندازه‌گیری می‌شود .

2-31- محل استقرار کاراوان [31]

قطعه زمینی که وسیله نقلیه مجهز به اتاقک استراحت ، یا اتاقک استراحت را می‌توان در آن جا داد .

2-32- مدار نهایی [32]

مداری که مستقیماً به دستگاه مصرف کننده جریان یا به پریز (های) خروجی یا سایر نقاط خروجی که برای اتصال دستگاه منظور شده است وصل می‌شود .

2-33- مقاومت الکترود زمین [33]

مقاومت بین الکترود زمین و زمین (جرم کلی زمین)

2-34- منطقه مقاومت (تنها برای الکترود زمین)[34]

2-35- وسیله جریان پسماند (RCD) [35]

یک وسیله قطع و وصل کننده مکانیکی یا مجموعه‌ای از وسایل که هنگامی که جریان پسماند ، تحت شرایط مشخص شده به مقدار معینی رسید باعث باز شدن کنتاکتها می‌شود .

2-36- وسیله نقلیه مجهز به اتاقک استراحت [36]

وسیله‌ای است برای زندگی که بطور موقت یا فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید با مقررات مربوط به " وسایل نقلیه جاده‌ای " سازگار باشد .

2-37- ولتاژ نامی [37]

ولتاژی که تاسیسات (یا بخشی از آن) بر اساس آن مشخص می‌شود .

یادآوری :

1- گستره‌های ولتاژ نامی (مقادیر r.m.s برای جریان a.c) بصورت زیر تعریف می‌شوند :

(الف) بسیار ضعیف معمولا از 50 V a.c یا 120 V d.c (بدون موج) بین هادی‌ها یا نسبت به زمین بیشتر نمی‌شود .

(ب) ضعیف

معمولا از ولتاژ بسیار پایین بیشتر است ولی از 1000 V a.c یا 1500 V d.c بین هادی‌ها ، یا 600 V a.c یا 900 V d.c بین هادی‌ها و زمین تجاوز نمی‌کند .

(ج) قوی از 1000 V a.c یا 1500 V d.c بین هادی‌ها ، یا 600 V a.c یا 900 V d.c بین هادی‌ها و زمین بیشتر است .

2- ولتاژ واقعی تاسیسات می‌تواند به اندازه رواداریهای معمول نسبت به ولتاژ نامی متفاوت باشد .

2-38- هادی همبندی [38]

هادی حفاظتی است که برای همبندی هم پتانسیل کننده بکار می‌رود .

2-39- هادی حفاظتی [39]

هادیی که برای حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی در بعضی از روشهای حفاظتی بکار می‌رود و برای اتصال هر یک از قسمتهای زیر در نظر گرفته می‌شود :

- قسمت‌های هادی در دسترس
- قسمت‌های هادی بیگانه
- ترمینال اصلی زمین
- الکترود (های) زمین
- نقطه زمین شده منبع یا یک نقطه خنثای مصنوعی

2-40- هادی خنثا[40]

هادیی که به نقطه خنثای سیستم وصل شده و توانایی انتقال انرژی الکتریکی را دارد .

2-41- هادی زمین [41]

هادی حفاظتی که ترمینال اصلی زمین تاسیات را به الکترود زمین یا سایر وسایل زمین کننده متصل می‌کند .

2-42- هادی مشترک حفاظتی - خنثا (PEN) [42]

هادیی که تواماً نقش هادی حفاظتی (PE) و هادی خنثا (N) را دارد .

2-43- هم بندی هم پتانسیل کننده [43]

اتصال الکتریکی که پتانسیل قسمت‌های هادی مختلف در دسترس و قسمتهای هادی بیگانه را یکسان می‌سازد .

بخش 2- اتصال به زمین و پیش بینی مسیری برای جریانهای اتصالی زمین

3- زمین کردن سیستم تغذیه

3-1- مقررات مربوطه

مقررات مربوطه به زمین کردن منبع نیرو [44]، در مورد سیستم های تغذیه زیرزمینی و هوایی قابل اجرا است . طبق این مقررات حداقل یک نقطه از هر سیستم باید به زمین وصل شود .

وجود این مقررات اساساً برای حفظ ایمنی سیستم ضروری بوده و اطمینان می‌دهد که پتانسیل هر یک از هادی‌ها به مقداری محدود می‌شود که با درجه عایق بندی اعمال شده بر آنها سازگار است .

این مقررات شامل مقررات مربوط به اتصال زمین مکرر سیستم‌های فشار ضعیف و نیز اتصال زمین مکرر حفاظتی (PME) [45] می‌باشد . شمای اینگونه سیستم‌ها در شکل (1) نشان داده شده است . در این موارد ، مقرراتی برای تعیین اندازه‌های نسبی هادی‌های فاز و خنثا و همچنین زمین کردن سیستم وجود دارد . در مورد اتصال زمین مکرر حفاظتی ، سطح مقطع هادی‌های همبندی بکار رفته در تاسیسات مصرف کننده مشخص شده است .

3-2- کلیات

یک سیستم در صورتی به نحوی مطلوب زمین شده به حساب می‌آید که وسیله حفاظتی ، هنگام وقوع اتصالی با هر یک از قسمت‌های فلزی که در اتصال دائم الکتریکی با خنثای سیستم می‌باشد عمل کرده و خطر را بر طرف سازد .

غلاف فلزی زمین شده یک کابل زیر زمینی ، خنثای یک سیستم PME و سیم زمین یا سپر یک خط انتقال می‌تواند مسیری با مقاومت پایین از نقطه اتصالی به خنثای سیستم برقرار سازد . در مورد بعضی از خطوط هوائی به علت بالا بودن مقاومت ویژه خاک ممکن است از نظر اقتصادی برقراری مسیری با امپدانس کم برای عبور جریان اتصالی میسر نباشد و لذا وسایل حفاظتی ممکن است با کندی عمل کرده و یا اصلا عمل نکنند . از نظر این استاندارد یک سیستم متشکل است از یک منبع انرژی و تاسیسات مصرف کننده ، منبع انرژی هادی‌های تغذیه کننده از منبع تا تاسیسات را هم شامل می‌شود .

در اکثر موارد ، منبع انرژی در اختیار شرکتهای تولید و توزیع نیرو وابسته به وزارت نیرو بوده و تاسیسات ، متعلق به مصرف کننده می‌باشد . حتی در تاسیسات صنعتی که در آنها منبع انرژی تحت کنترل مصرف کننده است ، مناسب‌تر است که منبع انرژی را مستقل از مدارها و دستگاههای مصرف کننده جریان که جزء تاسیسات می‌باشند ، در نظر گرفت .

3-3- طبقه بندی سیستم‌های ولتاژ ضعیف

سیستم‌های ولتاژ ضعیف بر حسب انواع زیر طبقه بندی می‌شوند :

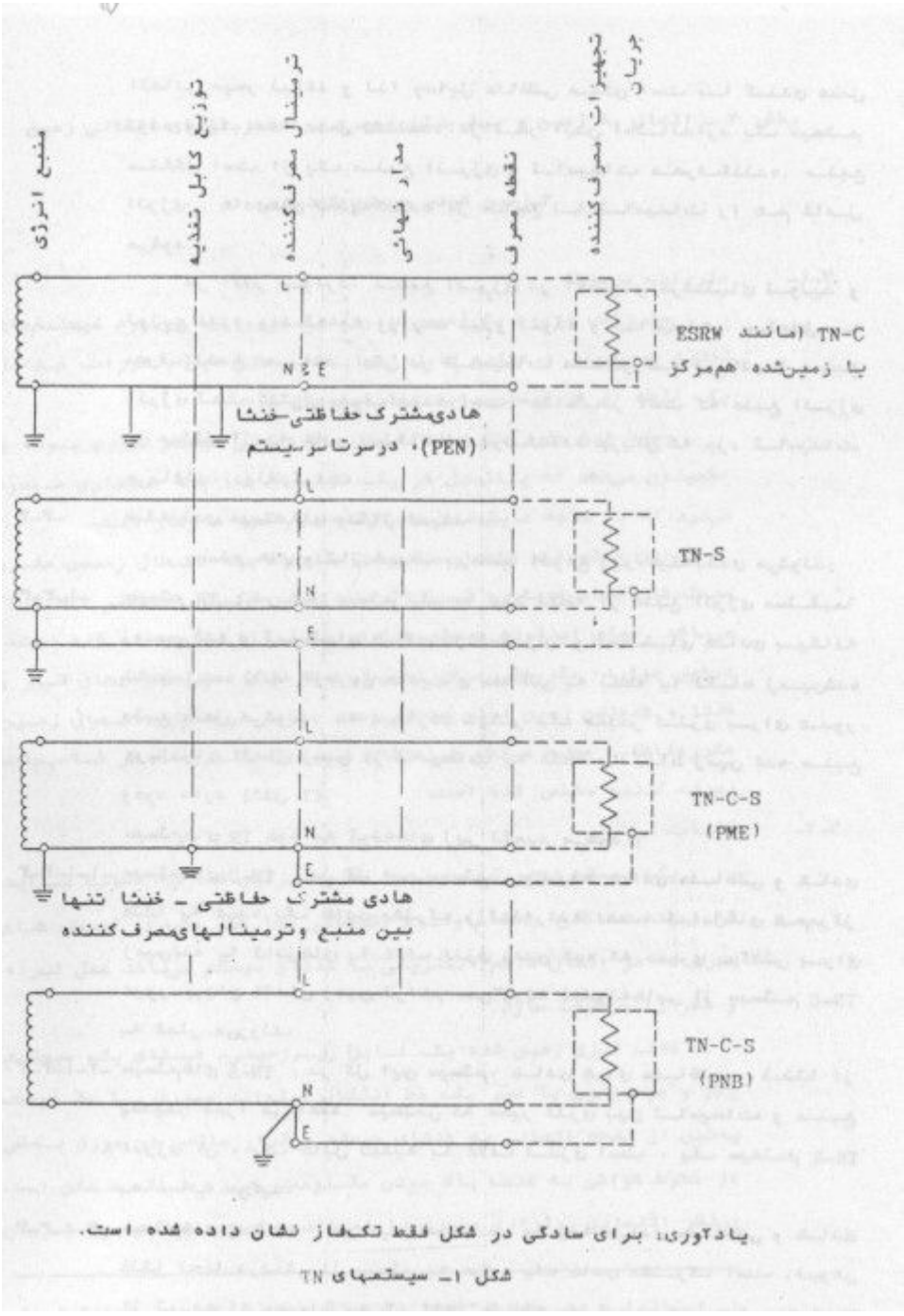
3-3-1- سیستم TN: در این سیستم یک یا چند نقطه از منبع انرژی مستقیماً زمین شده و قسمتهای هادی در دسترس و قسمتهای هادی بیگانه تاسیسات ، تنها از طریق هادیهای حفاظتی به نقطه یا نقاط زمین شده منبع متصل می‌شوند . به عبارت دیگر یک مسیر فلزی برای عبور جریانهای اتصال زمین از تاسیسات به نقطه یا نقاط زمین شده منبع وجود دارد (شکل 1.)

سیستم‌های TN خود به گونه‌های زیر تقسیم می‌شود :

3-3-1-1- سیستم‌های TN-C: در کل این سیستم ، وظیفه‌های حفاظتی و هادی خنثا به عهده یک هادی مشترک واگذار شده است . کابل‌های هم مرکز زمین شده یا کابل‌های با غلاف فلزی زمین شده که مسیری برگشتی برای عبور جریان اتصال زمین فراهم می‌آورند نمونه هایی از سیستم TN-C به شمار می‌روند .

3-3-1-2- سیستم‌های TN-S: در کل این سیستم ، هادی‌های حفاظتی و خنثا از یکدیگر مجزا می‌باشند . سیستمی که مسیر فلزی بین تاسیسات و منبع انرژی آن ، یک کابل تغذیه با غلاف فلزی است ، یک سیستم TN-S به حساب می‌آید .

3-3-1-3- سیستم‌های TN-C-S: در این سیستم ، وظیفه‌هادی حفاظتی و هادی خنثا تنها در بخشی از سیستم به عهده یک هادی مشترک است . نوعی از توزیع که معمولا به آن "PME" گفته می‌شود ، یک سیستم TN-C-S به حساب می‌آید . در این سیستم‌ها خود سیستم یک سیستم C-TN بوده و نحوه اجرای تاسیسات به روش TN-S است .



یادآوری: برای سادگی در شکل فقط تک‌فاز نشان داده شده است.

شکل ۱ـ سیستمهای TN

3-3-2- سیستم TT: در این سیستم یک یا چند نقطه از منبع انرژی مستقیماً زمین شده و قسمتهای هادی در دسترس و قسمتهای هادی بیگانه تاسیسات به الکترود زمین محلی یا الکترودهایی که از نظر الکتریکی مستقل از زمین (های) منبع است متصل می‌شوند .

3-3-3- سیستم IT: در این سیستم ، منبع انرژی یا به کلی زمین نشده است یا از طریق یک امپدانس بزرگ زمین می‌شود و قسمت‌های هادی در دسترس تاسیسات نیز به الکترود زمینی که از نظر الکتریکی مستقل است متصل می‌شوند (شکل 2.) استفاده ازاین سیستم برای شبکه‌های عمومی توزیع برق ممنوع می‌باشد .

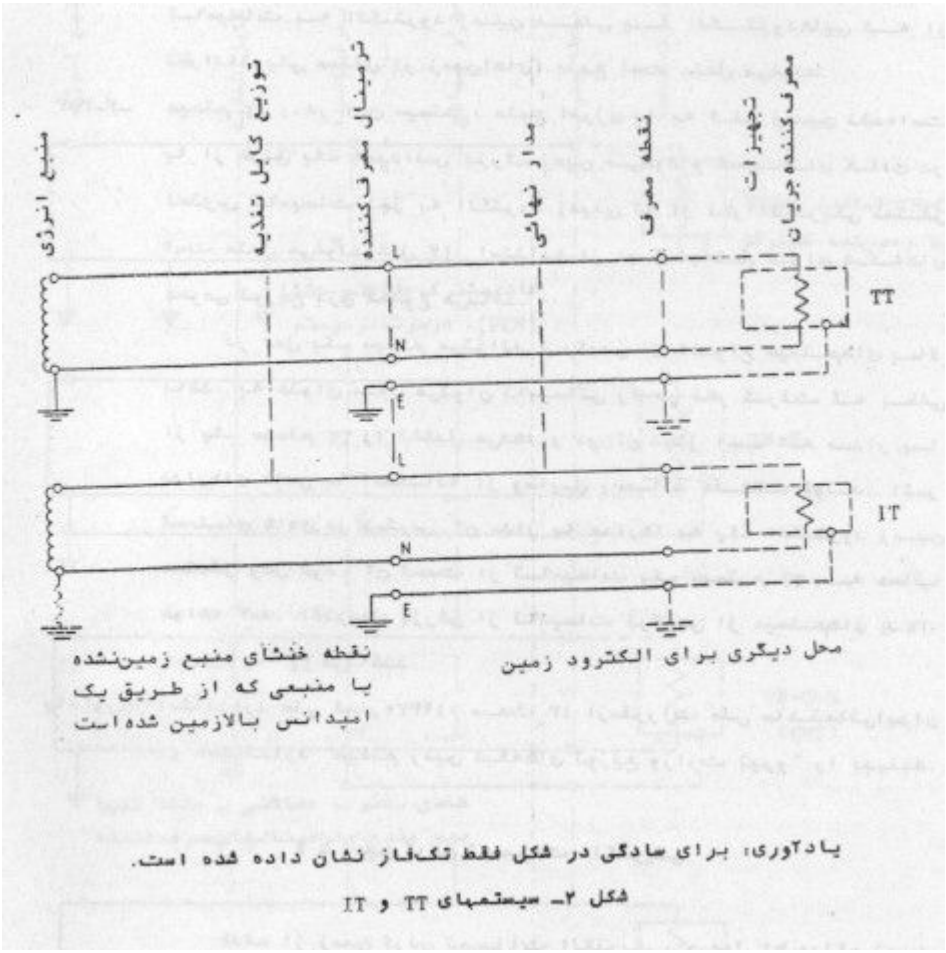
در عمل یک سیستم می‌تواند ترکیبی از انواع سیستم‌های بالا باشد . به عنوان مثال می‌توان تاسیساتی را در نظر گرفت که بخشی از یک سیستم TN را تشکیل می‌دهد و در آن نیاز است که مدار یا مدارهای خاصی با استفاده از وسایل پسماند حفاظت شوند . اگر قسمتهای هادی در دسترس آن مدار یا مدارها به یک الکترود زمین مستقل وصل شود ، آن قسمت از تاسیات یک سیستم TT به حساب خواهد آمد . اکثریت بزرگی از تاسیسات ترکیبی از سیستم‌های TN-S، S-TN-C یا TT می‌باشند .

یادآوری : استانداردملی شماره 1937، مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران و استاندارد " سیستم زمین شبکه‌های توزیع وزارت نیرو " را ببنید .

4- زمین کردن تجهیزات الکتریکی

هدف از زمین کردن تجهیزات الکتریکی ، حصول اطمینان نسبت به کار صحیح و به موقع وسایل حفاظتی ، در صورت بروز جریانهای اتصال زمین می‌باشد که در غیر اینصورت باعث زیان‌های مالی خواهد شد و نیز حفاظت انسان در برابر خطرات برق گرفتگی ناشی از بروز ولتاژهای خطرناک روی قسمتهای فلزی تاسیسات است .

روش اتصال قسمتهای فلزی به زمین ، باید با نوع تاسیسات و سیستم نیروی آن سازگار باشد . مقررات کلی مربوط به اتصال قسمتهای فلزی تجهیزات الکتریکی به جز قسمتهایی که بطور عادی برقدار بوده یا حامل جریان می‌باشند به ترمینال زمین در زیربند 3-1- مشخص شده است .



5- حفاظت تجهیزات و سیستم‌های الکتریکی

5-1- کلیات

هدف اصلی زمین کردن این است که بتوان یک سیستم یا تجهیزات را به منظور جلوگیری از اثر اضافه جریانهای حاصل از وقوع اتصال کوتاه به زمین ، از منبع انرژی جدا کرد .

وسایلی که این وظیفه را به عهده دارند ، وسایل حفاظتی خوانده می‌شوند .

5-2- حفاظت الکتریکی سیستم‌ها

این موضوع بویژه برای سیستم‌های فشار قوی (HV) بسیار تخصصی است و افرادی که مایل به کسب اطلاعات بیشتر می‌باشند باید به استانداردهای مربوطه مراجعه کنند .

5-3- انتخاب وسایل حفاظتی برای قطع خودکار تغذیه تجهیزات

انتخاب وسایل حفاظتی مناسب ، به مشخصات و ویژگیهای سیستم تغذیه (بندهای 3 و 4) مدارهای توزیع و تجهیزات مورد حفاظت (بند 20) بستگی دارد .

انتخاب وسایل حفاظتی برای قطع خودکار تغذیه در حالت وقوع اشکال و مشخصات مربوط به آنها خارج از هدف این استاندارد می‌باشد .

در هر صورت جهت کسب اطلاعات در این زمینه استانداردهای ملی و در صورت فقدان آنها استانداردهای IEC را ببینید .

بخش 3- روش‌های زمین کردن

6- عواملی که در ایجاد اتصال زمین موثر دخالت دارند

زمین کردن یک دستگاه یا سیستم مستلزم برقراری اتصال به جرم کلی زمین است . این اتصال باید بتواند حداکثر جریان اتصالی پیش بینی شده را از خود عبور داده و مقاومت آن از مقدار مقاومت طراحی بیشتر نشود .

بنابراین عوامل مختلفی که می‌تواند بر مقاومت و ظرفیت عبور جریان اتصال الکترود زمین تاثیر گذارد باید در نظر گرفته شود . این عوامل دربرگیرنده اندازه و شکل هادی زمین ، خاکی که الکترود در آن قرار گرفته و اتصال سیستم به آن می‌باشد . هم چنین چگالی جریان در سطح الکترود زمین و پتانسیل زمین مجاور الکترود باید مورد توجه قرار گیرد .

7- مقاومت ویژه خاک

7-1- مقاومت یک الکترود نسبت به زمین به مقاومت ویژه الکتریکی خاکی که الکترود در آن نصب شده است بستگی دارد . بنابراین ممکن است این عامل برای تصمیم‌گیری نسبت به انتخاب یکی از سیستمهای حفاظتی مهم باشد .

مواد تشکیل دهنده خاک تا حد زیادی تعیین کننده مقاومت ویژه آن است . در جدول (1) نمونه هایی از انواع خاک و مقاومت ویژه آنها داده شده است . مقاومت ویژه زمین در طبیعت اساساً الکترولیتی است و بنابراین میزان رطوبت خاک و ترکیبات شیمیایی و غلظت نمکهای محلول در آب موجود در خاک روی آن تاثیر می‌گذارد . اندازه و توزیع دانه‌ها و نزدیکی آنها به یکدیگر نیز از عوامل موثر در مقدار مقاومت ویژه خاک می‌باشد چون این عوامل رطوبت موجود در خاک را تنظیم می‌کند .

برخی از این عوامل بطور محلی و برخی دیگر بطور فصلی تغییر می‌کنند . بنابراین جدول (1) صرفاً به صورت یک راهنمای کلی داده شده است . مقاومت ویژه خاک باید در محل اندازه‌گیری شود (بند 16) و این امر بویژه هنگامی که خاک دارای طبقات مختلف است دارای اهمیت می‌باشد ، زیرا مقاومت ویژه تنها وابسته به سطوح روئی خاک نیست و به شکل طبقات زیرین زمین نیز بستگی دارد .

جدول ۱ – مثال‌هایی از مقاومت ویژه خاک

نوع خاک	شرایط جوی			
	ریزش باران عادی و زیاد (بیش از ۵۰۰mm در سال)		شرایط صحرایی و ریزش باران کم (کمتر از ۲۵۰mm در سال)	آبهای زیرزمینی (چشمه آب شور)
	مقدار احتمالی Ω·m	گستره مقادیر واقعی Ω·m	گستره مقادیر واقعی Ω·m	گستره مقادیر واقعی Ω·m
خاکهای رس آبرفت	۵	*	*	۱ تا ۵
خاکهای رس	۱۰	۵ تا ۲۰	۱۰ تا ۱۰۰	۱ تا ۵
خاکهای آهک‌دار (مانند خاک آهک‌دار keuper)	۲۰	۱۰ تا ۳۰	۵۰ تا ۳۰۰	
سنگ آهک خلل‌وفرج‌دار (مانند گچ)	۵۰	۳۰ تا ۱۰۰		
سنگ سیاه خلل‌وفرج‌دار (مانند سنگ سیاه keuper و سنگ‌های رستی)	۱۰۰	۳۰ تا ۳۰۰		
کوارتز، سنگ آهک متراکم و بلوری (مانند مرمر و غیره)	۳۰۰	۱۰۰ تا ۱۰۰۰		
تخته سنگ‌های رس و سنگ‌های رستی	۱۰۰۰	۳۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۰۰۰ به بالا	۳۰ تا ۱۰۰
گرانیت	۱۰۰۰			
شیست و سنگ آذرین	۲۰۰۰	۱۰۰۰ به‌بالا		

* : به سطح آب محل بستگی دارد.

هنگام انتخاب نوع الکترود و تعیین عمق و آن ، طبقه بندی لایه‌های خاک نیز باید در نظر گرفته شود .

همچنین باید به این نکته توجه شود که دمای خاک بر مقاومت آن تاثیر گذارده و از آنجائیکه این دما نباید نزدیک به نقطه انجماد یا پایین‌تر از آن باشد ، نصب الکترودهای زمین باید در عمقی صورت گیرد که سرما در آن نفوذ نکند . بنابراین توصیه می‌شود هر یک از قسمت‌های سیستم الکترود زمین که در یک متری سطح خاک قرار دارند ، در شرایط یخ زدگی یک قسمت موثر محسوب نشوند .

چون ماهیت و خواص بنیادی خاک در یک منطقه خاص تغییرپذیر نیست ، می‌توان از شرایط کاملا محلی برای انتخاب یک محل مناسب برای نصب الکترود استفاده کرده و به منظور دستیابی به مقاومت ویژه بهینه ، خاک محل انتخاب شده را آماده سازی کرد .

این اقدامات بطور خلاصه در زیر بند 7-2 تا 7-5 آمده است .

7-2- محل نصب الکترود باید بترتیب برحسب یکی از انواع خاکهایی که در زیر آمده است انتخاب شود :

الف – زمین باتلاقی مرطوب

ب – خاک رس ، خاک گلدانی ، زمین قابل کشت ، خاک رستی ، خاک رستی یا خاک گلدانی مخلوط شده با مقدار کمی شن

ج – خاک رس و خاک گلدانی ، مخلوط شده با درصدهای مختلفی از شن ، سنگ و سنگ ریزه

د – شن خیس و مرطوب ، زغال سنگ ،

در صورت امکان نباید از شن خشک ، سنگ ریزه ، گچ ، سنگ آهگ ، سنگ مرمر سیاه ، گرانیت و زمین خیلی سنگی یا محل هایی که در آن صخره‌ها خیلی نزدیک به سطح زمین است استفاده کرد .

7-3- محل نصب الکترود باید طوری انتخاب شود که زهکشی آن کم باشد ، ولی نیازی به محل پرآب نیز نمی‌باشد مگر آنکه خاک از نوع ماسه‌ای یا شنی باشد ، چون بطور کلی افزایش رطوبت بیش از حدود 15% تا 20% مزیتی ندارد .

از محل‌هایی که رطوبت آن ناشی از عبور جریان آب است (مثلا بستر رودخانه) باید اجتناب شود ، زیرا در چنین شرایطی نمک‌های سودمند ممکن است کاملا شسته شوند .

7-4- پس از اتمام کارهای ساختمانی یا پس از آنکه عملیات کندن و خاک ریزی انجام شد ، عملیات انجام شده ممکن است شرایط محل را تغییر دهند . در این موارد الکترود را باید در عمق بیشتری دفن کرد تا بتوان به لایه هایی با مقاومت ویژه قابل قبول و همچنین زمین بکر رسید ، بطوری که مقاومت الکترود زمین در صورت خشک شدن لایه‌های بالاتر ثابت باقی بماند .

7-5- در محل‌های خاص یا مشکل ، می‌توان از تعویض یا آماده سازی خاک برای بهبود مقاومت تماس الکترود زمین استفاده کرد .

جابجایی و از دست رفتن مواد شیمیایی که برای آماده سازی خاک بکار رفته است با گذشت زمان کارآیی و خواص خاک آماده سازی شده را کاهش می‌دهد .

بنابراین خاک باید بطور دائم بررسی شده و در صورت لزوم مواد افزودنی آن جانشین شود .

توصیه می‌شود قبل از آماده سازی خاک ، شرایط زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته و هرگونه تاثیر زیان آور بر مواد بکار رفته در ساختار الکترود در نظر گرفته می‌شود .

در مورد تاسیسات الکتریکی موقت که در مناطقی با مقاومت ویژه بالای خاک قرار دارند ، این روش می‌تواند اقتصادی‌ترین راه برای دستیابی به یک اتصال زمین مطلوب در یک دوره کوتاه مدت باشد . برای تاسیساتی با طول عمر بیشتر شاید بهتر باشد که خاک اطراف الکترود با یکی از مواد زیر که مقاومت ویژه پایین‌تری دارند تعویض شود :

الف – خاکی که بیشتر رسی بوده و از تجزیه خاکستر آتشفشانی مانند بنتونیت تشکیل شده باشد .

ب – بتون (زیر بند 11–2– و 15–1 را ببینید).
ج – بتون هایی که در آن بجای شن معمولی از دانه‌های زغال استفاده شده است .
از این نوع آماده سازی خاک در مناطق صخره‌ای نیز می‌توان استفاده کرد . در مواردی که حفره هایی برای نصب الکترودهای زمین قایم در خاک حفر می‌شود یا در مواردی که الکترودهای زمین تسمه‌ای در مناطقی که عمق لایه روئی آن کم ولی دارای مقاومت ویژه پایین می‌باشد قرار می‌گیرد ، آماده سازی مناسب خاک ، مقاومت تماس را نسبت به جرم کلی زمین کاهش خواهد داد .

استفاده از ریزه زغال کک به عنوان پر کننده یا پشت بند توصیه نمی‌شود . زیرا این ماده نه تنها باعث خوردگی سریع الکترود می‌شود بلکه غلاف‌های کابل را نیز از بین می‌برد .
مقاومت یک الکترود قایم که اطراف آن را یک ماده پشت بند مانند بنتونیت یا بتون پوشانده است ، بطور تقریب از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$R = \frac{1}{2\pi L}\left[(\rho - \rho_c)\{\log_e[\frac{4L}{D}] - 1\} + \rho_c\{\log_e[\frac{4L}{d}] - 1\}\right]$$

که در آن:
ρ مقاومت ویژه خاک ، بر حسب Ω m.
ρ_o مقاومت ویژه ماده پشت بند ، بر حسب Ω m.
d قطر الکترود ، بر حسب m
D قطر حفره و ماده پشت بند ، بر حسب m
L طول آن قسمت از الکترود که در خاک قرار دارد ، بر حسب m
مقاومت ویژه بنتونیت از حدود 3Ω .m به بالا ، بسته به میزان رطوبت آن تغییر می‌کند . این ماده آب گیر است و رطوبت را از خاک اطراف خود جذب خواهد کرد . در صورتیکه این ماده در اثر نبود کامل رطوبت در خاک اطراف خود خشک شود ، مقاومت ویژه آن بطور محسوسی افزایش یافته ، منقبض و جمع شده و از الکترود فاصله می‌گیرد .
مقاومت ویژه بتون در گستره30Ωm تا 90Ωm است .

8– تاثیر شکل الکترود بر روی مقاومت آن

در مورد یک الکترود تکی ، بیشتر افت پتانسیل در خاکی بوجود می‌آید که تا حدود یک متری سطح الکترود قرار دارد . این امر بدلیل آن است که در این فاصله چگالی جریان بالاترین مقدار خود را دارد . برای دستیابی به یک مقاومت پایین ، چگالی جریان باید در محیط اطراف الکترود تا حد امکان پایین باشد ، بنابراین الکترود باید به نحوی طراحی شود که چگالی جریان نسبت به فاصله آن از الکترود به سرعت کاهش یابد . این شرط در حالتی حاصل می‌شود که ابعاد الکترود در یک جهت در مقایسه با ابعاد آن در دو جهت دیگر ، بزرگ باشد . بنابراین الکترودهای لوله‌ای ،

میله‌ای یا تسمه‌ای مقاومت پایین‌تری نسبت به الکترودهای صفحه‌ای با سطح مقطع یکسان دارند . در هر حال مقاومت با مساحت سطح الکترود نسبت عکس ندارد .

9- مقاومت انواع معمول الکترودهای زمین

9-1- الکترودهای صفحه‌ای

9-1-1- الکترودهای صفحه‌ای از نوع کم عمق [46]

مقاومت تقریبی صفحه نسبت به زمین (R) بر حسب اهم از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$R = \frac{\rho}{\varepsilon}\sqrt{\left[\frac{\pi}{2A}\right]}$$

که در آن:

ρ : مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر (با فرض همگن بودن خاک)

A: سطح یک طرف صفحه بر حسب m^2

در مواردی که مقاومت صفحه بیشتر از حد مورد نیاز باشد می‌توان از دو یا چند صفحه بصورت موازی استفاده کرد که در این صورت مقاومت کل با تعداد صفحات بکار رفته نسبت عکس خواهد داشت ، به شرط اینکه هر صفحه خارج از محدوده مقاومتی صفحات دیگر نصب شده باشد . معمولا لازم است فاصله بین هر دو الکترود حدود 10m باشد ، اما برای اندازه صفحاتی که بطور معمول از آنها استفاده می‌شود فاصله 2m برای جداسازی کافی است تا اطمینان حاصل شود که مقاومت کل از مقدار بدست آمده از رابطه بالا از 20% تجاوز نمی‌کند .

در حالت اخیر بطور کلی استفاده از دو صفحه موازی به اندازه‌های مساوی اقتصادی‌تر از بکارگیری دو صفحه است که اندازه یکی دو برابر دیگری باشد . اندازه الکترودهای صفحه‌ای بکار رفته معمولا از 1/2m×1/2m بیشتر نمی‌باشد . صفحات معمولا از جنس چدن با ضخامت حداقل 12mm و ترجیحاً آجدار می‌باشند .

اتصال زمین به الکترود صفحه‌ای باید حداقل در دو نقطه مجزا انجام شود . اتصال به الکترودهای صفحه مسی باید از طریق هادی مسی و یا با استفاده از جوش یا پرچ یا بنحوی دیگر انجام شود . در حالت اخیر در انجام اتصال نباید از موادی استفاده شود که ایجاد خوردگی کنند . محل اتصالات باید با پوشش ضخیمی از قیر یا مواد مناسب دیگر حفاظت شود . توصیه می‌شود به منظور کاهش واکنش الکترولیتی ، اتصال بین صفحه زمین و محل جداکردن هادی زمین از سیستم در موارد لازم که بالاتر از سطح زمین قرار دارد عایق شود .

الکترودهای صفحه‌ای باید بطور قائم نصب و در عمقی قرار گیرند که خاک اطراف آن همیشه مرطوب باشد . حداقل فاصله لبه بالای الکترود از سطح زمین نباید از 600mm کمتر باشد ، مگر آنکه لایه زیرین و نزدیک به سطح خاک ، سخت باشد (مانند گچ یا ماسه سنگ .) در نزدیک سطح زمین ، لبه بالایی صفحه بهتر است در حد لبه بالایی لایه بکر زمین باشد . توصیه می‌شود مقداری

از لایه بکر برداشته شده و خاک نرم یا پشت بند مناسب دیگری جایگزین آن شود تا مقاومت پایینی در حد قابل قبول ، بدست آید .

مقاومت یک الکترود صفحه‌ای به ابعاد 1/2m × 1/2m نسبت به زمین بر حسب اهم بطور تقریب از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$R=\rho/4$$

که در آن ρ مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم ، متر است (با فرض همگن بودن خاک .)

مقاومت صفحه (با اندازه‌های قراردادی) تقریباً نسبت عکس با ابعاد خطی آن داشته و به سطح صفحه بستگی ندارد . یعنی مقاومت صفحه‌ای به ابعاد 0/9m×0/9m تقریباً 25% بیشتر از مقاومت صفحه‌ای به ابعاد 1/2m×1/2m است .

9-1-2- الکترودهای صفحه‌ای از نوع عمیق

در کشور ما به علت پایین بودن سطح رطوبت زمین از الکترودهای صفحه‌ای در عمیق بیشتر از 3 متر (حدود 15 تا 25 متر) استفاده می‌شود . الکترودهای مورد استفاده معمولا از جنس صفحه مسی بوده و حداقل اندازه آن 0/5m×0/5m است . ضخامت مس باید حداقل 3mm باشد . در مورد دو الکترود موازی ، فاصله افقی آنها از همدیگر نباید از عمق الکترودها کمتر باشد . بقیه مسایل ذکر شده در مورد الکترودهای کم عمیق صفحه‌ای در این مورد نیز صادق می‌باشد .

9-2- الکترودهای میله‌ای یا لوله‌ای

مقاومت الکترود میله‌ای یا لوله‌ای نسبت به زمین بر حسب اهم ، از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$R= \rho /2nL[1og (8L/d) - 1]$$

که در آن :

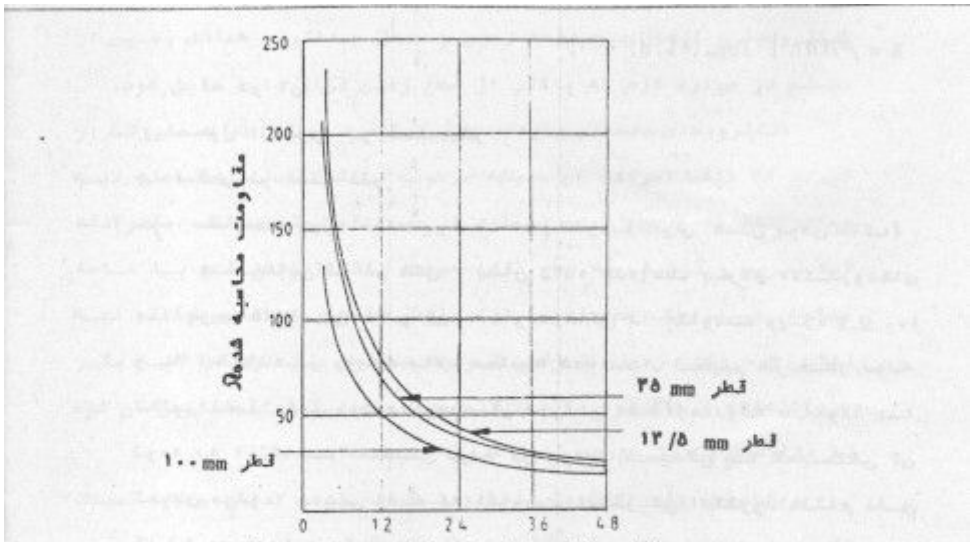
L: طول الکترود بر حسب متر

d: قطر بر حسب متر

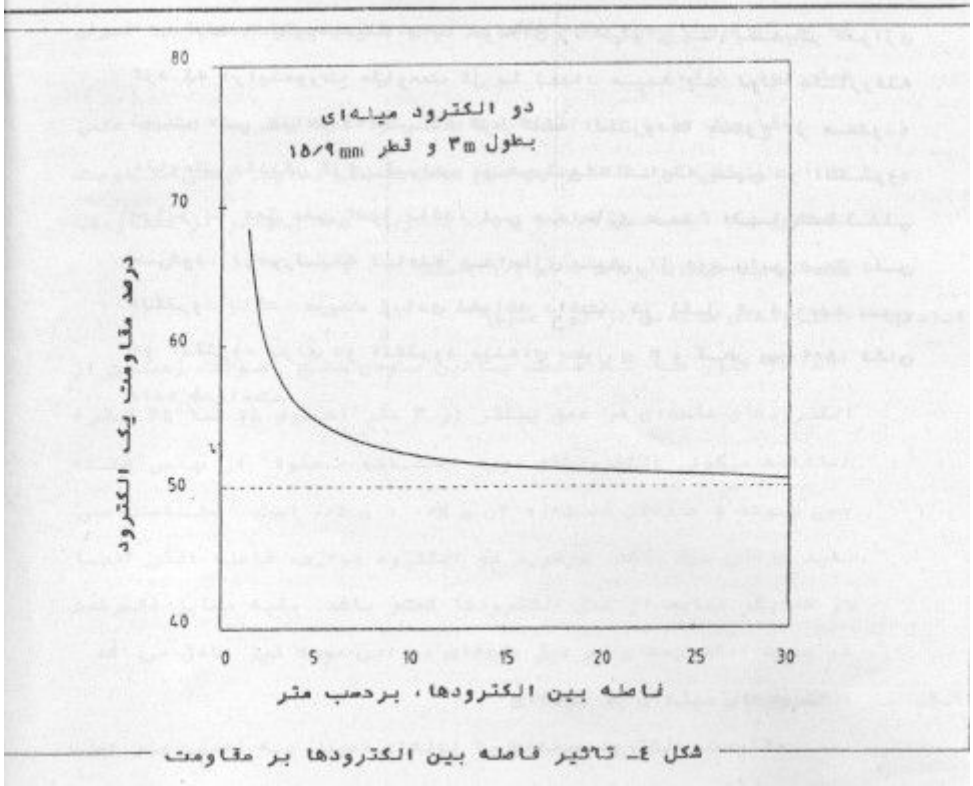
ρ مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم . متر (با فرض همگن بودن خاک) منحنی هایی که در شکل 3 نشان داده شده است برای الکترودهای با قطر 12/5mm، 25mm و 100mm و در خاکی با مقاومت ویژه .100Ωm و با استفاده از رابطه بالا ، محاسبه شده است . تغییر در قطر لوله تاثیر نسبتاً کمی روی مقاومت آن دارد و اندازه لوله معمولا با توجه به استقامت مکانیکی لوله در برابر خمیدگی یا گسیختگی آن تعیین می‌شود . بدیهی است که مقاومت الکتریکی الکترود هنگام دفن آن تا حدود یک متری از سطح زمین بکر ، سریعاً کاهش می‌یابد ولی این آهنگ در عمق‌های بیش از 2m تا 3m در خاکی با مقاومت ویژه ثابت ، کم است .

چند الکترود میله‌ای یا لوله‌ای را می‌توان با یکدیگر موازی کرد که در اینصورت مقاومت کل با تعداد میله یا لوله بکار رفته نسبت عکس خواهد داشت ، به شرط آنکه الکترودها خارج از محدوده مقاومتی یکدیگر قرار گیرند . در صورتیکه فاصله بین دو الکترود برابر با عمق دفن آنها باشد ،

این جداسازی عملا انجام شده تلقی می‌شود . در صورتیکه فاصله جداسازی بیش از دو برابر عمق دفن الکترود باشد ، مزیت زیادی نخواهد داشت . در شکل 4، فاصله بین دو الکترود برای دو الکترود میله‌ای بطول 3m و قطر 15/9mm نشان داده شده است .



شکل ۳ـ تاثیر طول الکترود میله‌ای لوله‌ای مدفون بر مقاومت محاسبه‌شده، برای خاکی با مقاومت ویژه ۱۰۰Ωm (با فرض یکنواختی)



شکل ٤ـ تاثیر فاصله بین الکترودها بر مقاومت

مقاومت کل n الکترود میله‌ای بصورت موازی از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$R_n = R\left[\frac{1+\lambda a}{n}\right]; \qquad a = \frac{\rho}{2\pi R s}$$

که در آن :

R_n : مقاومت میله موازی بر حسب اهم

R : مقاومت یک میله بر حسب اهم

S : فاصله بین دو میله کنار هم بر حسب متر

ρ : مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر

λ : ضریب داده شده در جدول ۲ یا ۳

در معادلات بالا ، فرض بر این است که الکترودهای میله‌ای را می‌توان بطور تقریب با الکترودهایی به شکل نیمکره که مقاومت زمین یکسان دارند و در سطح خاک قرار گرفته‌اند نمایش داد . بر اساس این فرض ، فاصله بین میله‌ها نباید کمتر از طولشان باشد .

اگر میله‌ها در فواصل یکسان و در یک خط مستقیم قرار داشته باشند ، مقدار λ را می‌توان از جدول 2 بدست آورد .

جدول ۲- ضرایب مربوط به الکترودهای موازی نصب شده روی یک خط

تعداد الکترودها (n)	ضریب λ
۲	۱/۰۰
۳	۱/۶۶
٤	۲/۱۵
۵	۲/۵٤
۶	۲/۸۷
۷	۳/۱۵
۸	۳/۳۹
۹	۳/۶۱
۱۰	۳/۸۱

برای الکترودهایی که در فواصل یکسان و در اطراف یک مربع مثلا پیرامون یک ساختمان قرار گرفته‌اند ، مقدار در روابط بالا با مقادیر داده شده در جدول 3 مورد استفاده قرار می‌گیرد .

در صورتیکه سه میله در سه راس یک مثلث متساوی الاضلاع قرار گرفته یا طوری نصب شوند که شکل L را تشکیل دهند مقدار را می‌توان برابر 1/66 فرض کرد .

میزان کاهش مقاومت کل زمین از طریق نصب الکترودهای اضافی در داخل مربع ، کم است اما این الکترودهای اضافی گرادیان پتانسیل را در سطح خاک داخل مربع کاهش خواهند داد . یک مثال عملی در این مورد ، استفاده از الکترودهای تسمه‌ای است که یک شبکه زمین را در داخل مربع تشکیل می‌دهند .

جدول 3 برای الکترودهایی که شکل یک مستطیل را تشکیل می‌دهند نیز بکار می‌رود که در اینصورت n برابر خواهد بود با :

n = (تعداد کل الکترودها / 4+1)

در صورتی که نسبت طول به عرض مستطیل از 2 بیشتر شود ، فضا از 6%- کمتر خواهد شد .

لوله می‌تواند از جنس چدن با قطر حداقل 100mm، طول 2/5m تا 3m و ضخامت 13mm باشند . چون کار گذاشتن این لوله‌ها لوله‌ها مشکل است در نتیجه هزینه نصب آنها نیز نسبت به الکترودهای صفحه‌ای از نوع کم عمق بیشتر خواهدشد . از لوله‌های فولادی با قطر حداکثر 50mm که ابعاد آن برای نصب در زمین مناسب است نیز می‌توان استفاده کرد . این لوله‌ها نسبت به میله‌های مس دوام کمتری دارند .

جدول ۳ـ ضرایب مربوط به الکترودهای نصب‌شده در یک زمین مربع شکل

تعداد الکترودها (n) روی هرضلع مربع	ضریب λ
۲	۲/۷۱
۳	٤/٥١
٤	٥/٤٨
٥	٦/١٤
٦	٦/٦٣
۷	۷/۰۳
۸	۷/۳٦
۹	۷/٦٥
۱۰	۷/۹۰
۱۲	۸/۳۲
۱٤	۸/٦۷
۱٦	۸/۹٦
۱۸	۹/۲۲
۲۰	۹/٤۰

توجه : تعداد کل الکترودهای اطراف مربع (۱-n)٤ است

میله‌های کوبیده شده زمین معمولا از جنس مس ، فولاد با روکش مسی که با یکدیگر پیوند مولکولی دارند . فولاد زنگ نزن یا فولاد گالوانیزه است (بند 1 را ببنید .)

قطرهای نامی ترجیحی برای میله‌های زمین از جنس مس و فولاد با پوشش مس 12mm و 16mm و برای میله‌های از جنس فولاد زنگ نزن و فولاد گالوانیزه 16mm است . انحراف از این قطرهای ترجیحی باید محدود به قطرهایی شود که بطور معمول روزه خور بوده یا شیب لازم را برای اتصالات مخروطی دارا باشد . طول‌های ترجیحی برای میله‌های زمین قابل بسط به قطر 16mm، برابر 1/25m یا 1/5m می‌باشد .

جدول ٤ ـ حداقل اندازه الکترودهای زمین

نوع الکترود	سطح مقطع	قطر یا ضخامت
	(mm^2)	(mm)
تسمه مسی	۲۵	۲
سیم‌های خشک یا میله‌های مسی آبدیده برای کوبیدن یا دفن در زمین	۲۵	٤
میله‌های فولادی با پوشش مس یا گالوانیزه برای زمینهای سخت	۱۱۳	۱۲
هادی مسی چندمفتولی	۱۶ ترجیحا" ۵۰	هررشته ۱/۷ هررشته ۲/۱

یادآوری :

۱ـ در مورد میله‌های فولادی با پوشش مس، هسته باید از جنس فولاد با درصد کربن پائین بوده و استقامت کششی آن در حدود ۶۰۰ N/mm² و کیفیت آن بالاتر از درجه ٤۳۸ طبق استاندارد BS ٤۳۶۰ باشد. درجه خلوص مس الکترولیتی بکار رفته در پوشش باید ۹۹٪ باشد و به هسته فولادی اتصال مکانیکی داشته باشد. ضخامت مس نباید کمتر از ۰/۲۵ mm باشد.

۲ـ اتصالات میله‌های فولادی با پوشش مس باید از جنس آلیاژ سیلیکون برنز، درجه CS1.۰۱ ، طبق استاندارد BS ۸۲۷٤ یا آلیاژ آلومینیوم برنز، درجه CA ۱.۰۲ ، طبق استاندارد BS ۲۸۷۱ باشد.

۳ـ در مورد میله‌های فولادی گالوانیزه باید از فولاد ۳٤ طبق استاندارد BS ٤۳۶۰ استفاده شود. رزوه‌ها باید قبل از گالوانیزه کردن طبق استاندارد BS ۷۲۹ بریده شود.

مقاطعی به شکل صلیب یا ستاره ، هنگام کوبیدن شق‌تر می‌باشند .

ولی سطح ظاهری اضافی آنها مزیت قابل ملاحظه‌ای را بر ظرفیت جریان یا تقلیل مقاومت به وجود نمی‌آورد . در بعضی موارد اضافه کردن الکترودهای افقی مزیت بیشتری خواهد داشت .

میله‌ها را می‌توان برای طویل کردن الکترود به یکدیگر وصل کرد . به جز در مواردخاص ، استفاده از چند میله موازی به جای یک میله ارجحیت دارد . در هر حال الکترودهایی که تا عمق زیاد کوبیده می‌شوند در مواردی موثر می‌باشند که مقاومت ویژه ، با عمق کم شود یا در مواردی که لایه‌ای با مقاومت ویژه کم در عمقی قرار داشته باشد که بیش از عمق معمولی بوده و کوبیدن الکترودها ، اقتصادی است .

در این گونه موارد کم شدن مقاومت نسبت به عمق کوبیدن ممکن است به نحوی که در شکل 5 برای چند منطقه نشان داده شده است . بسیار قابل ملاحظه باشد .

در مورد منحنی‌های A_1 و A_2 از اطلاعاتی که بوسیله حفاریهای قبلی بدست آمده بود معلوم گردیده بود که خاک ، در عمق 6 تا 9 متری مرکب از سنگ شکسته ، ماسه و شن می‌باشد و پایین‌تر از آن لایه خاک رس قرار دارد . هنگامیکه الکترودها به لایه خاک رس نفوذ کردند تقلیل در مقاومت الکترود بسیار بارز بود . مقاومت میانگین تا عمق 8 متری در یک مورد 150 اهم متر و در 11 متری ، مقدار میانگین برای کل عمق به 20 اهم متر رسید که علت آن کم بودن مقاومت ویژه لایه خاک رس بود . در مورد منحنی C نیز مشابه حالت بالا ، انتقال از خاک شنی به خاک

رس در عمق حدود 1/5 متری بسیار موثر بود . معهذا در مورد منحنی B چنین اثر بارزی مشاهده نشد ، هر چند که تقلیل تدریجی در میانگین مقاومت ویژه با ازدیاد عمق وجود داشت که می‌توان با مقایسه با منحنی نقطه چین مشاهده نمود . منحنی‌های نقطه چین به فرض مقاومت ویژه یکنواخت محاسبه و ترسیم شده‌اند .

عوامل موثر دیگر در تصمیم‌گیری اینکه الکترودها تا عمق زیاد کوبیده شوند یا اینکه از چند میله یا لوله موازی استفاده شود ، عبارتند از :

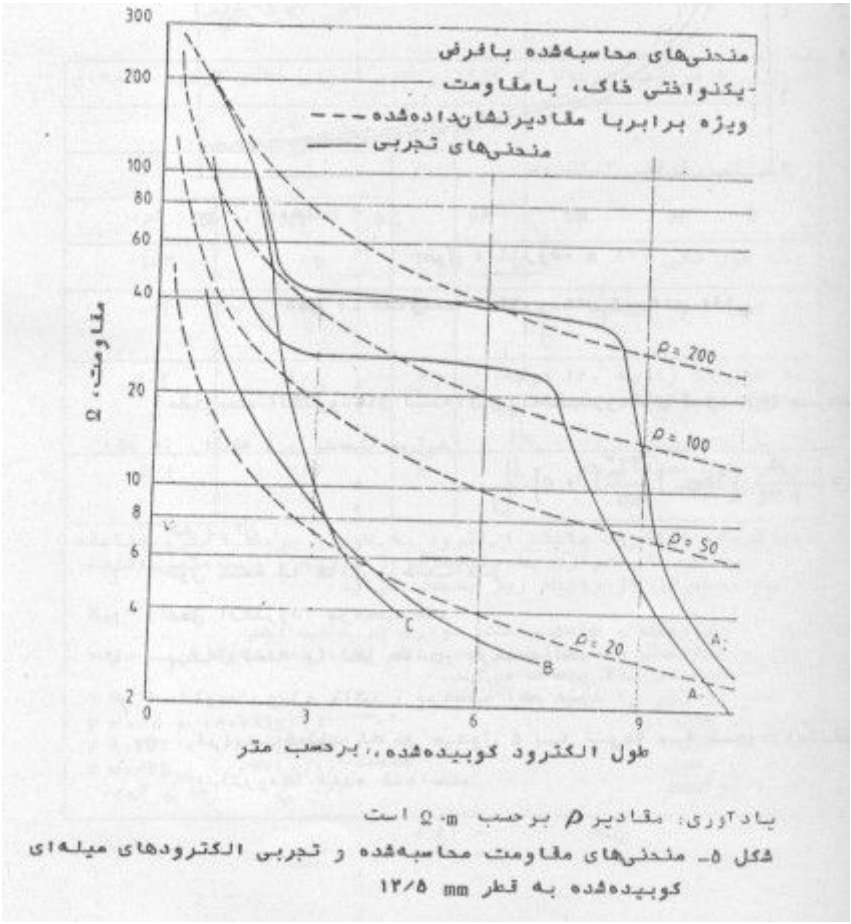
- رشد شدید در انرژی لازم برای کوبیدن آنها با ازیاد عمق
- هزینه‌های مربوط به اتصالات

مورد اول را می‌توان با کاهش قطر میله‌ها جبران کرد . چون میله‌ای به قطر 12/5mm را می‌توان تا عمق زیاد بدون آنکه تغییر شکل یافته یا خمیده شوند کوبید ، به شرطی که از تعداد زیادی ضربه‌های سبک به جای تعداد کمی ضربه‌های سنگین (مانند پتک) استفاده کرد . چکش‌های مکانیکی که برای این منظور ساخته شده‌اند وجود دارد .

در مواردی که لایه زمین در عمق‌های نسبتاً کم غیر قابل نفوذ شده یا مقاومت ویژه آن زیاد شود . می‌توان میله‌ها را با زاویه حدود 30 درجه نسبت به افق در خاک کوبید که در اینصورت طول الکترود بیشتر خواهد شد .

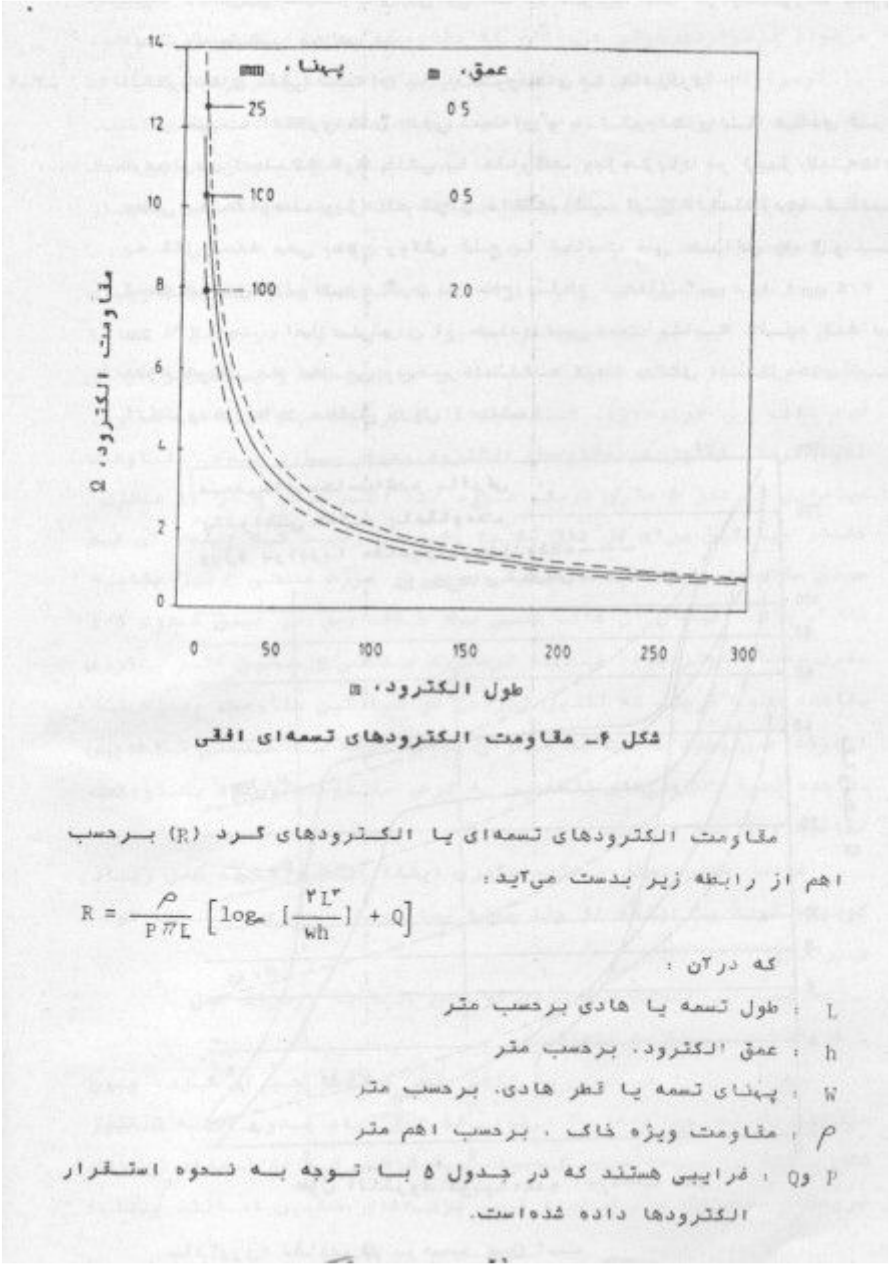
9-3- الکترودهای افقی تسمه‌ای یا الکترودهای با هادی گرد

مزیت الکترودهای افقی تسمه‌ای و الکترودهای با هادی گرد در مواردی است که لایه خاکی با مقاومت ویژه زیاد در زیر لایه‌های سطحی با مقاومت ویژه کم قرار داشته باشد . این الکترودها غالباً به شکل تسمه مسی بدون روکش قلع با ضخامت مس حداقل 2mm و یا تسمه فولادی گالوانیزه گرم با سطح مقطع حداقل $100mm^2$ (30mm×3/5mm) است . اما می‌توان از هادی مسی لخت مشابه آنچه که در خطوط هوایی به کار می‌رود نیز استفاده کرد . حداقل اندازه‌های این الکترودها باید مطابق جدول 4 باشد .



یادآوری: مقادیر ρ برحسب $\Omega \cdot m$ است

شکل ۵ـ منحنی‌های مقاومت محاسبه‌شده و تجربی الکترودهای میله‌ای کوبیده‌شده به قطر ۱۲/۵ mm



شکل ۶ـ مقاومت الکترودهای تسمه‌ای افقی

مقاومت الکترودهای تسمه‌ای یا الکترودهای گرد (R) برحسب اهم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R = \frac{\rho}{P\pi L}\left[\log_e\left[\frac{2L^2}{wh}\right] + Q\right]$$

که در آن:

L : طول تسمه یا هادی برحسب متر

h : عمق الکترود، برحسب متر

W : پهنای تسمه یا قطر هادی، برحسب متر

ρ : مقاومت ویژه خاک، برحسب اهم متر

P و Q : فرایبی هستند که در جدول ۵ با توجه به نحوه استقرار الکترودها داده شده‌است.

ضخامت الکترود تسمه‌ای معمولا بیش از حدود یک هشتم پهنای آن نیست . در این محدوده ضخامت تاثیر ناچیزی بر مقاومت الکترود نسبت به زمین دارد . طول الکترود است که اساساً بر مقاومت زمین تاثیر می‌گذارد . در مورد الکترودهایی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند ، عمق دفن الکترود و قطر یا پهنای آن تاثیر نسبتاً کمی بر روی مقاومت دارند . در شکل 6، تاثیر این عوامل برای الکترودهای تسمه‌ای با یکدیگر مقایسه شده‌اند . اگر برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز ، اتصال چند الکترد به صورت موازی ضروری باشد ، این الکترودها را می‌توان یا به صورت خطوط موازی یا به صورت چند شعاع که از یک نقطه سرچشمه می‌گیرند نصب کرد . شکل 7 اثر فاصله بین دو الکترود موازی را که طول هر یک 20m است نشان می‌دهد . برای فواصلی که از 15% طول الکترودها بیشتر باشد ، بهبود در مقدار مقاومت نسبتاً کم است .

در هنگام استقرار این گونه الکترودها لازم است ، مخصوصاً برای اجتناب از خرابیهای ناشی از عملیات کشاورزی دقت لازم بعمل آید .

جدول ـ ۵ ضرایب مربوط به الکترودهای دارای هادی گردیا تسمه‌ای

طرز قرارگرفتن الکترود	P	ضریب Q	
		تسمه‌ای	گرد
یک طول تکی (۱)	۲	-۱	-۱/۳
دو طول عمود برهم	٤	۰/۵	۰/۹
سه طول با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر	۶	۱/۸	۲/۲
چهار طول عمود برهم	۸	۳/۶	-٤/۱

اگر یک الکترود یا چند الکترود به طول l برحسب متر و به‌فاصله s برحسب متر موازی با یکدیگر قرار گرفته و بهم متصل‌باشند، مقاومت کل از رابطه زیر بدست می‌آید:

$R_n = FR_1$

R_n : مقاومت n هادی راست موازی بر حسب اهم

R_1 : مقاومت یک هادی برحسب اهم که ازمعادله‌وضرایب داده شده در بالا بدست می‌آید.

F مقادیر زیر را دارد :

برای دو طول ، $F = ۰/۵ + ۰/۰۷۸(s/l)^{-۰/۳۰۷}$

برای سه طول ، $F = ۰/۳۳ + ۰/۰۷۱(s/l)^{-۰/۴۰۸}$

برای چهارطول ، $F = ۰/۲۵ + ۰/۰۶۷(s/l)^{-۰/۴۵۸}$

مشروط بر آنکه $۰/۰۲ \leq (s/l) \leq ۰/۳$

10- انتخاب جنس یک الکترود زمین یا هادی زمین دفن شده بدون عایق

10-1- کلیات

گر چه جنس الکترود بر روی مقاومت الکتریکی آن نسبت به زمین تاثیر نمی‌گذارد لازم است دقت شود تا جنسی انتخاب شود که در برابر خوردگی در خاکی که الکترود در آن کار گذاشته شده است مقاوم باشد . موادی که برای ساخت اجزاء اتصال به زمین توصیه شده‌اند در جدول 6 آمده است .

دو عامل باید در ارتباط با مقاومت در برابر خوردگی الکترود زمین یا هادی زمین در نظر گرفته شود :

- سازگاری الکترود با خود خاک
- احتمال اثر گالوانیکی ، هنگامی که الکترود به قسمتهای فلزی مجاور از نظر الکتریکی وصل شود .

احتمال پیش آمدن مورد دوم هنگامی پیش می‌آید که سیستم زمین به قسمتهای فلزی سازه‌های در دسترس همبندی شود .

10-2- خوردگی و نوع خاک

عوامل موثر در خوردگی فلزاتی که در تماس با خاک قرار دارند عبارتند از :

- ماهیت شیمیایی خاک بویژه اسیدیته و نمک موجود در آن
- هوادهی نسبی
- وجود باکتریهای غیر هوازی

میزان خورندگی انواع خاکهایی که در زیر آمده است ، به ترتیب از بالا به پایین بیشتر می‌شود :

خاکها شنی

خاکهای گلدانی

خاکهای رس

خاک برگ یا سایر خاکهای ارگانیک

خاکهای مخلوط یا محتوی خاکستر

کربنات کلسیم موجود در خاک سرعت خورندگی را کاهش می‌دهد .

خاکهای غیر چسبناک که مخلوطی از سه نوع اول خاکهای بالا است معمولا کمترین میزان خورندگی را ایجاد می‌کنند . به شرط اینکه دارای زهکشی خوب بوده و محتوی نمکهای حل شده نبوده یا مقدار آنها کم باشد .

محل نصب الکترودها باید بنحوی انتخاب شود که کود و سایر مواد دیگر به آن منطقه تراوش نکند .

در خاک ریزی اطراف الکترود نباید خاک لایه رویی مخلوط شود . خاک هایی که میزان خورندگی آنها کمتر است ، مقاومت ویژه بیشتری دارند . جزئیات بیشتری را می‌توان با اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی خاک بدست آورد که اطلاعاتی را درباره درجه خورندگی در شرایط هوادهی و همچنین استعداد کم شدن اکسیداسیون را که نشاندهنده درجه احتمال خورندگی به سبب وجود باکتریهای غیر هوازی است ، ارائه می‌دهد .

در جدول 7 درجه خورندگی برخی مواد بکار رفته در ساختار الکترود نسبت به پارامترهای خاک که در بالا شرح داده شد ، ارائه شده است . مس یکی از بهترین و معمولیترین موادی است که در ساختن الکترودهای زمین و هادی‌های زیرزمینی بکار می‌رود . استفاده از مس شمش در مواردی که انتظار می‌رود جریانهای اتصالی بالا وجود داشته باشد ، مناسب می‌باشد . برای تاسیسات دیگر ، فولاد دارای روکش مس (مثلا برای میله‌های زمین) موثر بوده و استحکام مکانیکی بهتری را برای مقاطع کوچک بوجود می‌آورد ، بهر حال اثرهای نامطلوب نمکهای محلول ، اسیدهای آلی و خاکهای اسیدی باید مورد توجه قرار داده شوند .

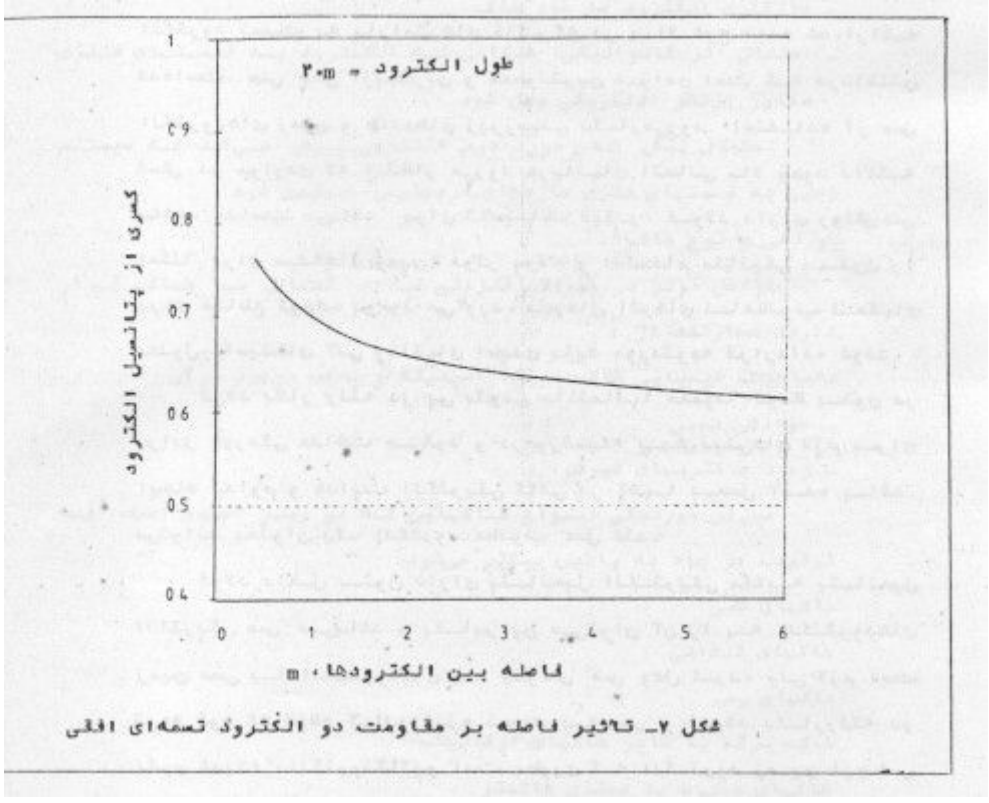
فولاد بکار رفته در پی بتونی ساختمانها معمولا توسط بتون در برابر خوردگی حفاظت می‌شود و در صورتیکه پیش بینی‌های لازم برای ایجاد تداوم و هدایت الکتریکی کافی در آنها بعمل آمده باشد ، می‌تواند بعنوان یک الکترود مطلوب عمل کند .

فولاد داخل بتون دارای پتانسیل الکتریکی مشابه پتانسیل الکتریکی مس می‌باشد . و بنابراین می‌توان آن را به الکترودهای زمین مسی یا الکترودهای با پوشش مس وصل کرد ولی لازم است توجه شود که فولاد گالوانیزه نسبت به مس و فولاد بکار رفته در بتون شدیدا الکترونگاتیو است بطوری که الکترود زمین از جنس فولاد گالوانیزه لخت را نباید به هیچیک از آنها وصل کرد .

10-3- خوردگی ناشی از اتصال الکترود به قسمتهای فلزی دیگر

احتمال آسیب دیدن کابل ، تاسیسات زیرزمینی و قسمتهای فلزی به علت کنش الکترولیتی بین فلزات غیر همجنس که در مجاورت الکترودهای زمین قرار دارند و سیستم زمین باید به آنها وصل شود را نباید نادیده گرفت . میزان خوردگی بستگی به جنس فلزات موجود و تاحدی که به سطوح آنها دارد . در بعضی موارد ، وصل قسمتهای فلزی زیرزمینی که در نزدیکی الکترود قرار دارند نیز می‌تواند سرعت خوردگی مواد بکار رفته در الکترود زمین را افزایش دهد . بنابراین باید موادی را که سازگار با اجسام مجاور می‌باشند انتخاب کرد و یا اقدامات احتیاطی دیگری بعمل آورد .

جدول 8 جمع بندی وضعیت را برای بعضی از مواد ساختمانی و اتصال زمین نشان می‌دهد .



شکل ۷- تاثیر فاصله بر مقاومت دو الکترود تسمه‌ای افقی

جدول ۶ ـ مواد پیشنهادی برای ساخت اجزای اتصال زمین

مواد و فرآیندها	شماره استاندارد	درجه یا نوع
شمش فرآیندهای ریختگی		
فلز توپ ـ مفرغ	BS 1400	LG-1، LG-2
آلومینیوم برنز	BS 1400	AB-1، AB2
آلومینیوم سیلیکون برنز	BS 1400	AB3
آلیاژ آلومینیوم	BS 1490	LM6M
چدن	BS 1452	14 یا 17
آهن چکش خوار	BS 6681	
آهنگری و پرس‌کاری		
(به روش گرم یا سرد)		
مس	BS 2872	C101، C102، C106
آلومینیوم	BS 1474	6082TF
فولاد	BS 970	------
پرس‌کاریها و موادساخته‌شده		
(از نوار، فویل و ورق)		
مس نرم	BS 2870	C101 ،C102 ،C104 ،C106
آلومینیوم	BS 1474	6082TF
آلومینیوم	BS 1470	6082TF
فولاد زنگ‌نزن	BS 1449:prt2	316S12 ،325S21
فولاد(برای گالوانیزه‌کردن)	BS 4360	43A
	BS 1449:prt1	--
شمش‌ها، میله‌ها و لوله‌ها		
برای قطعات و اتصالات ماشین‌شده		
مس سخت یا نرم	BS 2874	C101، C102، C106
سیلیکون مس	BS 2874	CS101
فسفر برنز	BS 2874	PB102M
آلومینیوم برنز	BS 2874	CA102
آلومینیوم	BS 1474	6082TF
فولاد (استفاده عمومی)	BS 970	تمام درجه‌ها
فولاد (برای گالوانیزه‌کردن)	BS 4360	43A
فولادزنگ‌نزن (استفاده‌عمومی)	BS 970	325S21
فولادزنگ‌نزن (استنیتیک)	BS 970	316S12

مواد و فرآیندها	شماره استاندارد	درجه یا نوع
پیچ‌ها، مهره‌ها، واشرها، یراق‌آلات پرچی، میله‌ها		
برای استفاده روی مس:		
فسفر برنز	BS 2874	PB102M
سیلیکون مس	BS 2874	CS101
پیچ‌ها، مهره‌ها، واشرها و یراق‌آلات پرچی،		
برای استفاده روی آلومینیوم		
آلیاژ آلومینیوم	BS 1473	6082
فولاد زنگ‌نزن	BS 970	325S21
فولاد گالوانیزه(یادآوری ۱)	BS 970	220M07
هادی‌های چندمفتولی، تخت وگرد		
مس		
مس نرم	BS 1432	C101 C102
	BS 1433	C101 C102
مس چندمفتولی سخت	BS 6360	--------
مس (قابل انعطاف)	BS 6360	
مس سخت و مس کادمیوم	BS 125 یا	
(بافته‌های از سیم‌های نازک توصیه نمی‌شود)	BS 2755	
آلومینیوم		
تسمه یا میله آلومینیوم	BS 2898	1350 6101A
آلومینیوم	BS 3988	-------
آلومینیوم تقویت شده با فولاد	BS 215:part2	-
آلیاژ آلومینیوم	BS 3242	-
آلومینیوم	BS 215:part1	-
فولاد		
فولاد گالوانیزه (یادآوری ۱)	BS 302	-
تسمه گالوانیزه (یادآوری ۲)	BS 1449:part1	

یادآوری ۱: پرداخت توصیه‌شده، گالوانیزه‌کردن طبق استاندارد BS 729 می‌باشد که باید بعد از ساخت انجام گیرد.
یادآوری ۲: فولاد زنگ‌نزن که درتماس با آلومینیوم یا آلیاژهای آن قراردارد ممکن‌است باعث خوردگی‌اضافی‌آلومینیوم‌شود. دراین‌صورت‌باید اقدامات حفاظتی نظیر استفاده از بازدارنده‌ها به عمل آید.

جدول ۷ـ مقاومت دربرابرخوردگی برای چندنمونه‌ازموادبکاررفته‌درالکترودها که مربوط به پارامترهای خاک می‌باشد.

پارامترخاک	مواد بکار رفته در الکترود			
	فولاد	فولاد گالوانیزه	فولاد استنیتیک	مس
مقاومت ویژه برحسب m > ۲	nn	n	g	g
۷ تا ۴۰	n	n	gg	g
۴۰ <	gg	gg	gg	gg
پتانسیل ردوکس برحسب mV < ۴۰۰	gg	gg	gg	gg
۳۰۰ تا ۴۰۰	g	g	gg	g
۳۰۰ >	nn	nn	n+	n
میزان رطوبت برحسب % ۸۰ >	g	g	g	g
۱۰ تا ۸۰	n	n	g	g
۱۰ >	gg	gg	gg	gg
نمک‌های محلول	n	n	g	n
کلراید	n	n	n	n
اسیدیته ۶ >	n	nn	g	n
خنثی ۶ تا ۸	gg	gg	gg	gg
بازی ۸ <	g	n	gg	g
اسیدهای آلی	n	n	g	nn

gg = بر مقاومت خوردگی بی‌اثر است.
g = مقاومت خوردگی قدری کم می‌شود.
n = مقاومت خوردگی کم می‌شود.
nn = بر مقاومت خوردگی تاثیر بارزی دارد.

جدول ۸ ـ سازگاری مواد از نظر وصل به یکدیگر

موادی که سطح‌مقطع بزرگتری‌دارند	موادی که سطح مقطع کوچکتری دارند		
	فولاد	فولاد گالوانیزه	مس	مس باروکش قلع
فولاد گالوانیزه	..	..	..	..
فولاد داخل بتون	×	×	..	..
فولاد گالوانیزه داخل بتون	..	..(۱)	..	..
سرب	..	..(۱)	..	..

× = برای اتصال مناسب نیست
.. = برای اتصال مناسب است
(۱)= گالوانیزه روی سطح کوچکتر ممکن است آسیب ببیند.

11- انواع الکترودهای متفرقه

11-1- غلاف‌های کابل

غلاف‌های فلزی و زره کابل‌ها معمولا به منظور ایجاد مسیری برای هدایت جریان اتصالی به نقطه خنثای منبع در محل ترانسفورماتور ، مورد استفاده قرار می‌گیرد .

یادآوری : در صورت وجود یک سیستم گسترده از کابلهای زیر زمینی با غلاف و زره فلزی در دسترس ، از آن بعنوان یک الکترود زمین استفاده می‌شود . در صورت استفاده از پوشش‌های پلیمری روی کابل‌ها که فعلا مورد استفاده می‌باشند ، تماس کافی و مناسب با زمین غیر ممکن می‌شود .

11-2- سازه فولادی

سازه‌های قسمتهای فلزیی که در پی‌های بتونی ساختمان قرار گرفته است می‌تواند یک الکترود زمین موثر و آماده به حساب آید . سطح کل الکترودی که بوسیله اجزای فلزی زیرزمینی

ساختمانهای بزرگ ایجاد می‌شود می‌توان مقاومتی را نسبت به زمین بوجود آورد که کمتر از مقاومتی باشد که با روشهای دیگر بدست آید .

مقاومتهای کل که مقدار آنها بسیار کمتر از یک اهم است قابل حصول می‌باشد .

توجه به امکان بروز خوردگی در سازه‌های فلزی قرار گرفته در حجم بتون اهمیت فراوان دارد . مواد حاصل از عمل ترک خوردگی حجم بیشتری از فلز اصلی را اشغال کرده و ممکن است باعث ترک خوردگی شود . بویژه توجه خاصی لازم است نسبت به جریانهای دائمی زمین بعمل آید . منبع احتمالی این گونه جریان می‌تواند ناسازگاری با سازه‌های فلزی دفن شده دیگر از جمله الکترودهایی از نوع دیگر باشد که فلزات داخل بتون پی‌ها با آنها همبندی شده (زیر بند 1-3 را ببینید .)

انتظار نمی‌رود جریان متناوب باعث بروز خوردگی شود . ولی احتمال دارد عمل یکسوسازی انجام شود و مقدار خیلی کمی جریان مستقیم برقرار شود .

در مواردی که انتظار می‌رود جریان دائمی قابل ملاحظه نشتی به زمین وجود داشته باشد ، توصیه می‌شود یک الکترود اصلی از انواعی که در بند 9 شرح داده شده است به عنوان الکترود کمکی به الکتردهای پی وصل شود ، به این ترتیب به عبور جریانهای اتصالی بسیار شدید کمک خواهد شد .

خوردگی قسمتهای فلزی مستقر در بتون در اثر عبور جریانهای متناوب اتصالی که در حد توانایی آنها باشد ، ناچیز بوده است . آسیب هایی که به صورت ترک در بتون ظاهر شده و به سبب ایجاد جرقه یا تبخیر سریع رطوبت ایجاد می‌شوند ، ممکن است در اثر عبور جریانهای اتصالی که از ظرفیت الکترود بیشتر بوده و در زمانی کوتاه یا طولانی برقرار می‌شوند ، حاصل آیند .

امکان بروز این حالات در صورتی که مقاومت الکترود بقدر کافی کوچک بوده و از تشکیل ولتاژهای خطرناک نسبت به زمین اجتناب شود ، بعید خواهد بود .

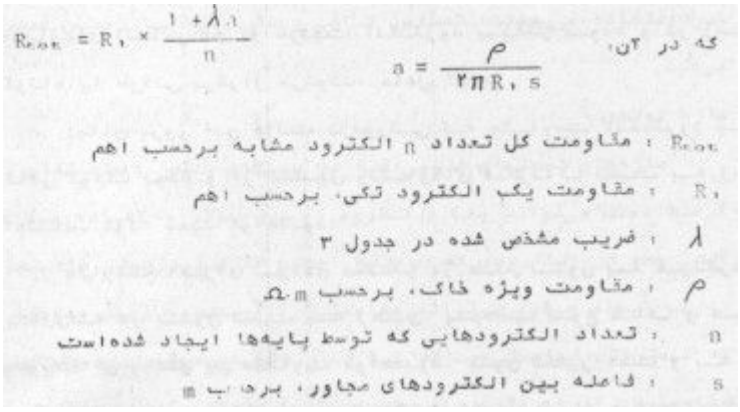
مقاومت اجزای فولادی مستقر در حجم بتون یا میلگردهای بکار رفته در بتون نسبت به زمین ، بر حسب نوع خاک و میزان رطوبت آن و شکل پی متفاوت خواهد بود . بتون نمگیر است و به جز در مناطق خشک ، انتظار می‌رود هنگامی که در دمای عادی در خاک مدفون باشد ، دارای مقاومت ویژه‌ای در حدود 30m تا 90m باشد که کمتر از بعضی از انواع خاک است .

بسیار مهم است که مقاومت قسمتهای فلزیی که قرار است به عنوان الکترود مورد استفاده قرار گیرد نسبت به زمین اندازه‌گیری و مقدار آن در فواصل زمانی منظم برای اطمینان نسبت به یک اتصال زمین مناسب و کافی ، کنترل شود (زیر بند 16-1 را ببینید .)

بهتر است مقدار کل مقاومت الکترودها از طریق اندازه‌گیری مشخص شود ، در هر حال مقاومت اتصال زمین ساختمانی که سطح وسیعی را می‌پوشاند ممکن است نسبتاً پایین بوده و اندازه‌گیری دقیق مقاومت آن پس از تکمیل ساختمان مشکل یا غیر ممکن باشد . در مواردی که ساختمان بر روی چند پایه مشابه به هم مستقر باشد ، اندازه‌گیری مقاومت یک پایه قبل از اینکه به سایر پایه‌ها اتصال داده شده و یا به پایه‌های نزدیک که از نظر الکتریکی موازی می‌باشند وصل شود . عملی‌تر و رضایتبخش‌تر است .

در صورت امکان بهتر است مقاومت چند پایه از این نوع را اندازه‌گیری کرد تا نسبت به تغییرات احتمالی مقاومت راهنمائی و نشانه کافی بدست آید .

به فرض اینکه تعیین مقداری به عنوان نمونه برای مقاومت پایه‌ها امکان‌پذیر باشد ، نتیجه کلی همه پایه‌های مشابه (R_{tot}) که بر فرض تقریباً به شکل مستطیل قرار گرفته باشند ، از رابطه زیر قابل تعیین خواهد بود :



یادآوری : این رابطه با فرض اینکه فاصله بین الکترودهای مجاور همدیگر به اندازه‌ای است که مقدار a کوچکتر از 0/2 می‌باشد معتبر است .

بخش عمده‌ای از مقاومت کل نسبت به زمین مربوط به بتونی است که بلافاصله قسمتهای فلزی را در بر می‌گیرد و مقدار آن بستگی به میزان رطوبت بتون دارد . پس از خاتمه و با گذشت زمان ، این رطوبت با رطوبت خاک به تعادل رسیده و معمولا خشک‌تر از حالت اولیه خود می‌شود . افزایش در مقاومت الکترودها پس ازنصب نسبت به اندازه گیریهای انجام شده در خلال ساخت و نصب سازه که ناشی از این گونه تغییرات در رطوبت است باید به حساب آورده شود .

مهم است اطمینان حاصل شود که بین کلیه اجزای فلزی که جزء الکترود زمین به حساب می‌آیند تداوم الکتریکی برقرار باشد .

در مورد اتصالات بین اجزای فلزی بکار رفته در حجم بتون یا در زیر سطح زمین مانند میلگردهای بتون ، بهترین نتیجه از جوشکاری در بالای سطح زمین بدست می‌آید و در مورد محل پیچ‌های مهار (انکربولت) اینکار معمولا از طریق دور زدن هر محل اتصال سازه‌ای به کمک یک هادی همبندی ، انجام می‌شود .

این امر بویژه در مورد سطوحی که ممکن است قبل از نصب ، رنگ بخورند صورت می‌گیرد .
مقاومت یک پی یا شالوده بتون مسلح (R) نسبت به زمین را برحسب اهم ، با فرض اینکه تنها میلگردهای تقویت کننده قائم به سازه ساختمان یا به سیستم زمین همبندی می‌شوند ، می‌توان تخمین زد . از تاثیر سایر تقویت کننده‌ها که ممکن است تنها با بندهای سیمی وصل شده باشند صرفنظر می‌شود . فرض می‌شود که میله‌ها به صورت قرینه با فواصل مساوی نسبت به یکدیگر قرار دارند . در اینصورت رابطه زیر معتبر است :

$$R = \frac{1}{2\pi L}\left[(\rho_c - \rho)\log_e\left[1+\frac{\delta}{z}\right] + \rho\log_e\left[\frac{2L}{z}\right]\right]$$

که در آن :

ρ : مقاومت ویژه خاک، برحسب Ωm

ρ_c : مقاومت ویژه بتون، برحسب Ωm

L : طول میلگردها در زیر سطح زمین، برحسب m

δ : ضخامت بتون بین میلگردها و خاک، برحسب m

z : فاصله میانگین هندسی میله‌ها، برحسب m (جدول ۹ را ببینید).

11-3- سپر فلزی و میلگردهای تقویتی در شمعهای بتونی

به شرط مشورت به موقع با مهندسی که مسئول اجرای کارها می‌باشد . در اغلب موارد می‌توان الکترود زمین موثری را با پیش بینی اتصالات مناسب به میلگردهای بتون یا سپرهای فلزی ، بدست آورد .

11-4- لوله‌های آب

برای تاسیسات جدید نمی‌توان از لوله‌های شبکه آبرسانی عمومی به عنوان تنها وسیله زمین کردن استفاده کرد . در گذشته ، استفاده از لوله‌های شبکه آبرسانی عمومی به عنوان الکترود زمین تاسیسات در مناطقی که لوله کشی آب در آنها وجود داشت معمول بوده است .
گرچه استفاده از لوله‌های آب هنگامیکه این لوله‌ها تماماً از جنس فلز بوده و اتصالات آن نیز فلز به فلز است بسیار موثر می‌باشد ، ولی از چند سال پیش استفاده از این لوله‌ها به عنوان الکترود زمین به علت بکارگیری لوله‌های غیر فلزی در تاسیسات جدید و هنگام انجام تعویض در تاسیسات قدیمی از طرف موسسات آبرسانی دیگر قابل قبول نمی‌باشد . روشهای جدید اتصال ، پیوستگی الکتریکی لوله‌های فلزی را تضمین نمی‌کند .
استفاده از سیستم‌های لوله کشی آب زیر زمینی غیر عمومی با ساختار فلزی مناسب ، قابل قبول خواهد بود به شرط اینکه مسئول تاسیسات الکتریکی بتواند تضمین دهد که یکپارچگی سیستم زمین برقرار خواهد ماند .
در مورد تاسیسات موجود که در آنها از لوله‌های شبکه آبرسانی به عنوان تنها الکترود زمین استفاده شده است ، لازم است سیستم اتصال زمین دیگری برای وصل به زمین تهیه و وصل

شود . در بعضی موارد موسسه برق مربوط می‌تواند یک سیستم اتصال زمین را که از شبکه توزیع برق عمومی گرفته شده است ارائه دهد ، به شرط اینکه شبکه توزیع برق عمومی گرفته شده است ارائه دهد ، به شرط اینکه همبندی هم پتانسیل کننده طبق مقررات وزارت نیرو [47] در مورد سیستمهای با اتصال زمین مکرر انجام شده و در مورد سیستم‌های بدون مقررات سیم کشی ، مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران یا مقررات IEC 34 انجام شده باشد (زیر بند 20-4 را ببینید .)

11-5- لوله‌های سرویس

بطور کلی ، لوله‌های فلزی مانند لوله‌های گاز ، نفت ، هوای فشرده و فاضلاب باید با هادی‌های حفاظتی همبندی شود ، اما از این لوله‌ها نمی‌توان به عنوان تنها وسیله زمین کردن استفاده کرد .

در مواردی که در تاسیسات موجود از یک لوله سرویس به عنوان تنها الکترود زمین استفاده شده باشد باید سیستم اتصال زمین دیگری علاوه بر آن آماده و بطور موازی به آن اتصال داده شود .

جدول ۹- فاصله میانگین هندسی (z) برای میلگردهای بتون

تعداد میله‌ها	طرز قرارگرفتن میله‌ها	z (m)
۲	0 s 0	$\sqrt[۳]{(as)}$
۳	0 / s / 0 0	$\sqrt[۳]{(as^۳)}$
٤	0 0 / s / 0 0	$\sqrt[۴]{(۲as^۳)}$
۶	0 0 0 s 0 / 0 0	$\sqrt[۶]{(۶as^۵)}$
۸	0 0 s 0 / 0 0 / 0 0 / 0	$\sqrt[۸]{(۵۲as^۷)}$
۸	0 0 0 / 0 0 s / 0 0 0	$\sqrt[۸]{(۲۳as^۷)}$

a = شعاع میلگرد بتون ، برحسب m
s = فاصله بین دو میله مجاور ، برحسب m

12- زمین کردن سازه هایی که دارای حفاظت کاتدیک می‌باشند

معمولا حفاظت کاتدیک در مورد سازه‌های فولادی که تمام یا بخشی از قسمتهای آن مدفون شده است برای خنثی کردن خوردگی الکترولیتی ، اجرا می‌شود . در این نوع حفاظت سیستم حفاظتی

بر این مبنا استوار است که پتانسیل قسمتهای فلزی نسبت به خاک اطراف کمی منفی‌تر از این پتانسیل در حالت بدون حفاظت باشد .

نحوه استفاده از حفاظت کاتدیک بستگی به وضعیت موجود دارد که ممکن است بین فلز لخت که در تماس مستقیم با زمین است تا فلزی که دارای نوعی پوشش رنگ یا مشابه آن است و یا پیچیده شده با نوعی لفاف در برابر خوردگی است ، متغیر باشد . در موارد اخیر ، از حفاظت کاتدیک برای تکمیل حفاظت ذکر شده استفاده می‌شود که از خوردگی موضعی در اثر خرابی در پوشش جلوگیری کند .

شدت جریان لازم از منبع جریان حفاظتی متناسب با سطح فلز لخت در تماس با خاک می‌باشد ، بطوریکه در مورد قسمت هایی که پوشش خوبی دارند ، این جریان می‌تواند بقدر کافی کم باشد .

وصل الکترود زمین به این نوع سازه فلزی می‌تواند باعث افزایش جریان حفاظتی شود که ممکن است قابل قبول نباشد .

با وجود این ، ممکن است وصل الکترود زمین بنا به یک یا چند دلیل زیر ضروری باشد :

الف – برای تغییر مسیر جریانهای اتصال به زمین از تجهیزات الکتریکی که در تماس الکتریکی با اجزای فوق قرار دارند .

ب – برای جلوگیری از بروز ولتاژهای غیر قابل قبول روی سازه نسبت به زمین ناشی از القا از تجهیزات دیگر نظیر خطوط انتقال نیرو که به موازات سازه قرار دارند .

ج – برای جلوگیری از بروز ولتاژهای زیاد در سازه که ممکن است در صورتی که سازه مذکور در منطقه‌ای خطرناک قرار داشته باشد خطر آفرین شود .

د – برای جلوگیری از رسیدن آسیب به مدارهای اندازه‌گیری و کنترل ولتاژ ضعیف مربوط به سازه و وسایلی که جریان حفاظت کاتدیک را تامین می‌کنند ، از این ولتاژها

ه – ایجاد اتصال زمین عملیاتی برای وسایلی که بر روی سازه مواد نظر قرار دارند .

پیش بینی یک اتصال زمین با امپدانس کم که از عبور جریان اتصال به زمین بیش از حد قابل قبول از سیستم حفاظت کاتدیک جلوگیری کند ، مستلزم توجه خاص به نوع الکترود زمین یا نحوه اتصال آن می‌باشد . از عبور جریان حفاظت کاتدیک بیش از اندازه به زمین می‌توان جلوگیری کرد ، به شرطی که الکترود زمین از ماده‌ای مانند روی ساخته شود که معمولا از آن برای آندهای فداشونده استفاده می‌کنند . اگر مواد بکا رفته و ولتاژی که در آن ولتاژ ، حفاظت کاتدیک عمل می‌کند مناسب انتخاب شود ، تحلیل آند فداشونده بسیار کم خواهد بود . حتی می‌توان تا حدودی حفاظت کاتدیک خود الکترود را تامین نمود . اطراف الکترود باید با مواد پشت بند مانند بنتونیت محصور شود تا خوردگی ناشی از تشکیل پیل‌های محلی به حداقل برسد . تحت این شرایط ، عمر

مناسبی برای الکترود بدست خواهد آمد ، در هر حال در راستای رعایت مقررات مربوط به سیستم حفاظت کاتدیک ، انجام آزمون در فواصل زمانی حدود 12 ماه توصیه می‌شود .

در مورد سازه‌های آهنی ، پتانسیل گالوانیک الکترودهای میله‌ای از جنس فولاد زنگ نزن استنیتیک می‌تواند پتانسیلی نزدیک به سازه داشته باشد و در عین حال اگر احتیاج به مقاومتی که مقدار آن معمولی است باشد ، ازدیاد بیش از حدی را در جریان زمین در بر نخواهد داشت .

الکترودهای مسی لخت نباید مستقیماً به سازه‌های حفاظت شده وصل شوند زیرا مس شدیدا نسبت به سازه‌های آهنی حالت کاتدیک دارد و ممکن است جریان زمین نامعقولی را برای حفاظت سازه لازم نماید . در صورت بروز اشکال در منبع جریان حفاظتی ، الکترود مسی آهنگ خوردگی سازه را سرعت می‌بخشد . در هر حال اگر به دلایل دیرگی ، الکترود مسی استفاده شود ، اتصال آن به سازه باید از طریق سلول پلاریزاسیون انجام شود . این عمل جریان کمی را از منبع حفاظت کاتدیک مصرف خواهد کرد ، اما جریان متناوب را با افت ولتاژ کمی از خود عبور خواهد داد .

برای جزئیات زمین کردن سازه‌های دارای حفاظت کاتدیک به استانداردهای معتبر دیگر مانند BS 7361-1 مراجعه نمایید .

13- انتخاب هادی زمین و اتصال آن به الکترود

در انتخاب جنس هادی زمین باید سازگاری با جنس الکترود زمین و در مورد هادی در تماس با زمین ، خوردندگی خاک به حساب آورده شوند . اطلاعات مربوط به الکترودها که در بند 10 آمد است ، برای هادی‌های زمین لخت نیز معتبر است .

الکترودهای از جنس آلومینیوم یا آلومینیوم با پوشش مس نباید در تماس با خاک یا در محل‌های مرطوب مورد استفاده قرار گیرند و در هر حال در هیچ شرایطی نباید از آن برای اتصال نهایی به الکترود زمین استفاده کرد .

سطح مقطع هادی زمین و نوع نگهدار آن باید طوری انتخاب شود که بتواند بالاترین جریانهای اتصال زمین و جریانهای نشتی احتمالی را با توجه به تنش‌های حرارتی و الکترومکانیکی بدون ایجاد خطر ، از خود عبور دهد . هادی زمین باید استحکام کافی در برابر آسیب‌های مکانیکی و خوردگی را داشته باشد .

در جدول 10 حداکثر دماهای مجاز مربوط به جریان‌های اشکال برای هادی‌های لخت زمین ، با توجه به شرایط محیطی ونوع اتصالات بکار رفته داده شده است . برای هادیی که به منظور جلوگیری از خوردگی یا ایجاد حفاظت مکانیکی ، دارای پوشش بوده یا عایق‌دار باشد ، حداکثر دما ممکن است با توجه به نوع پوشش یا عایق محدود شود .

در جدول 10 چگالی جریان (K) بر حسب آمپر موثر بر میلی متر مربع برای مدت یک ثانیه برای هادی‌های مس ، آلومینیوم و فولاد و با فرض اینکه دمای اولیه $30^{\circ}C$ می‌باشد ، داده شده است .

سطح مقطع هادی مربوط (s) بر حسب میلی متر مربع از رابطه زیر به دست می آید .

$$S = \frac{I(\sqrt{t})}{k}$$

که در آن :

I جریان اتصالی میانگین ، بر حسب آمپر موثر

t مدت زمان برقراری جریان اتصالی ، بر حسب ثانیه

ظرفیت‌های عبور جریان اتصالی برای زمانهای 1 ثانیه و 3 ثانیه برای تعدادی از تسمه‌های استاندارد مسی و آلومینیومی در جدول 11 و 12 داده شده است .

ظرفیت عبور جریان اتصالی (I) بر حسب آمپر موثر برای زمانهای دیگر را می‌توان از یکی از روابط زیر بدست آورد :

$I = I_1/(\sqrt{t})$ یا $I = kS/(\sqrt{t})$

که در آن :

I_1 جریان اتصالی برای مدت یک ثانیه، برحسب آمپرموثر (طبق جداول 11 و 12)

S سطح مقطع هادی، برحسب mm^2

K چگالی مقدار موثر جریان، برحسب A/mm^2 (طبق جدول ۱۰)

چگالی جریان K را برای دماهای اولیه و نهایی دیگر و برای مدت یک ثانیه می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$k = K\sqrt{\log_e\left[\frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta}\right]}$$

که در آن :

T_1 دمای اولیه، برحسب °C

T_2 دمای نهایی، برحسب °C

K و β طبق جدول ۱۳

در مواردی که جریانهای نشتی زمین بطور دائم وجود دارند ، لازم است اطمینان حاصل شود که هادی دارای ظرفیتی مناسب برای عبور این جریانها می‌باشد بدون آنکه دما از حد مجاز عایق بندی یا نگهدارهای هادی تجاوز کند یا اگر هادی لخت و در معرض تماس باشد ، دما از 70°c تجاوز نکند .

این گونه جریانهای نشتی دائم ممکن است باعث افزایش مقدار دمای اولیه‌ای شوند که هنگام انتخاب اندازه هادی برای عبور جریانهای اتصالی زمین باید مورد توجه قرار داده شوند .

علاوه بر رعایت تنش‌های حرارتی بالا ، سطح مقطع هادی زمین در صورتیکه فقط در برابر خوردگی حفاظت شده باشدنباید از $4mm^2$ کمتر باشد و در صورتیکه علاوه بر آن دارای حفاظت مکانیکی باشد سطح مقطع نباید از $2/5mm^2$ کمتر باشد .

توصیه می‌شود اندازه هادی زمین مدفون در زمین اگر در برابر خوردگی حفاظت شده ولی دارای حفاظت مکانیکی نباشد ، برای مس و فولاد گالوانیزه گرم ، کمتر از $16mm^2$ نباشد . در

صورتیکه هادی در برابر خوردگی حفاظت نشده باشد ، اندازه آن برای هادی مسی نباید کمتر از $25mm^2$ و برای هادی فولادی کمتر از $50mm^2$ باشد .

توصیه می‌شود ضخامت هادی‌های تسمه‌ای حفاظت نشده از 3mm برای فولاد گالوانیزه و 2mm برای مس کمتر نباشد .

مواد بکار رفته در ساخت اتصال دهنده‌ها باید با مواد بکار رفته در الکترود زمین و هادی زمین سازگار باشد تا میزان خوردگی گالوانیک به حداقل برد . در مواردی که از اتصال دهنده هایی که در آنها آلیاژ مس بکار رفته است استفاده شود ، مقدار روی بکار رفته نباید از 15% بیشتر باشد .

جدول ۱۰- چگالی‌های جریان اتصالی زمین برای زمان برقراری ثانیه، برای هادی‌های زمین با دمای اولیه ۳۰ °C

نوع اتصال(۱)				حداکثر دما (۳)	شرایط محیطی، طبق استاندارد IEC ۳۶۴	چگالی جریان (K) مقدار مؤثر		
جوشکاری	لحیم‌کاری سخت	پیچی	لحیم‌کاری نرم			مس	آلومینیوم	فولاد
				°C		A/mm²	A/mm²	A/mm²
*				۷۰۰		۲۵۴	–	۹۱
*				۶۰۰		۲۵۲	–	۸۷
*				۵۰۰	(۳)	۲۲۸	–	۸۲
*	*			۴۵۰		۲۲۰	–	۷۹
*	*			۴۰۰		۲۱۱	–	۷۶
*	*			۳۵۰		۲۰۱	–	۷۳
*	*			۳۰۰		۱۹۰	۱۲۵(۴)	۶۹
*	*	*		۲۵۰		۱۷۶	۱۱۶	۶۴
*	*	*		۲۰۰	(۵)	۱۵۹	۱۰۵	۵۸
*	*	*	*	۱۵۰	(۶)	۱۳۸	۹۱	۵۰
*	*	*	*	۱۰۰		–	–	–

(۱) * نشان می‌دهد که نوع اتصال برای استفاده در دماهایی تا حد مشخص‌شده در جدول مناسب است .

(۲) لازم است اطمینان حاصل شود موادی که احتمالا" در محل هادی قراردارند در دماهای انتخاب شده خراب نشده یا خطر آتش‌سوزی ایجاد نخواهند کرد.

(۳) دردماهای بیش از ۲۰۰°C، هادی باید درتمام طول آن دیده‌شود ودارای تکیه‌گاههای فلزی یا سرامیک یامشابه آنهاباشد واحتمال بودن موادآلی درتماس باهادی یا درنزدیکی آن وجود نداشته‌باشد. دمای بیش از ۵۰۰°C توصیه نمی‌شود.

(۴) دردماهای بالا استقامت مکانیکی‌آلومینیوم باهدایت الکتریکی خوب شدیدا" کاهش می‌یابد.

(۵) درشرایط عادی، درمواردیکه هادی درتمام طول آن قابل رؤیت نباشد.

(۶) بعضی از مصالح ساختمانی که احتمال دارد درنزدیکی هادی قرارگرفته باشند ممکن است در دماهای بیش از ۱۵۰°C ایجاد خطر آتش‌سوزی کنند.

جدول۱۱- جریانهای اتصالی به زمین برای هادیهای زمین تسمه ای مسی

(الف) مدت زمان ۱ ثانیه

اندازه هادی	حداکثر دمای هادی برحسب °C				
	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۴۵۰	۵۰۰
mm × mm	KA	KA	KA	KA	KA
۲۰ × ۳	۸/۳	۹/۵	۱۰/۶	۱۳/۲	۱۳/۷
۲۵ × ۳	۱۰/۴	۱۱/۹	۱۳/۲	۱۶/۵	۱۷/۷
۲۵ × ۴	۱۳/۸	۱۵/۹	۱۷/۶	۲۲	۲۲/۸
۲۵ × ۶	۲۰/۷	۲۳/۹	۲۶/۴	۳۳	۳۴/۲
۳۱ × ۳	۱۲/۸	۱۴/۸	۱۶/۴	۲۰/۵	۲۱/۲
۳۱ × ۶	۲۵/۷	۲۹/۶	۳۲/۷	۴۰/۹	۴۲/۴
۳۸ × ۳	۱۵/۷	۱۸/۱	۲۰/۱	۲۵/۱	۲۶
۳۸ × ۵	۲۶/۲	۳۰/۲	۳۳/۴	۴۱/۸	۴۳/۳
۳۸ × ۶	۳۱/۵	۳۶/۳	۴۰/۱	۵۰/۲	۵۲
۵۰ × ۳	۲۰/۷	۲۳/۹	۲۶/۴	۳۳	۳۴/۲
۵۰ × ۴	۲۷/۶	۳۱/۸	۳۵/۲	۴۴	۴۵/۶
۵۰ × ۶	۴۱/۴	۴۷/۷	۵۲/۸	۶۶	۶۸/۴

(ب) مدت زمان ۳ ثانیه

اندازه هادی	حداکثر دمای هادی برحسب °C				
	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۴۵۰	۵۰۰
mm × mm	KA	KA	KA	KA	KA
۲۰ × ۳	۴/۸	۵/۵	۶/۱	۷/۶	۷/۹
۲۵ × ۳	۶	۶/۹	۷/۶	۹/۵	۹/۹
۲۵ × ۴	۸	۹/۲	۱۰/۲	۱۲/۷	۱۳/۲
۲۵ × ۶	۱۲	۱۳/۸	۱۵/۳	۱۹/۱	۱۹/۷
۳۱ × ۳	۷/۴	۸/۵	۹/۵	۱۱/۸	۱۲/۲
۳۱ × ۶	۱۴/۸	۱۷/۱	۱۸/۹	۲۳/۶	۲۴/۵
۳۸ × ۳	۹/۱	۱۰/۵	۱۱/۶	۱۴/۵	۱۵
۳۸ × ۵	۱۵/۱	۱۷/۴	۱۹/۳	۲۴/۱	۲۵
۳۸ × ۶	۱۸/۲	۲۰/۹	۲۳/۲	۲۹	۳۰
۵۰ × ۳	۱۲	۱۳/۸	۱۵/۲	۱۹/۱	۱۹/۷
۵۰ × ۴	۱۵/۹	۱۸/۴	۲۰/۳	۲۵/۴	۲۶/۳
۵۰ × ۶	۲۳/۹	۲۷/۵	۳۰/۵	۳۸/۱	۳۹/۵

جدول ۱۲ ـ جریانهای اتصالی به‌زمین برای هادی‌های زمین تسمه‌ای آلومینیومی

(الف) مدت زمان ۱ ثانیه

اندازه هادی	حداکثر دمای هادی برحسب °C			
	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
mm × mm	KA	KA	KA	KA
۲۰ × ۳	۵/۵	۶/۳	۷	۷/۵
۲۵ × ۳	۶/۸	۷/۹	۸/۷	۹/۴
۲۵ × ۶	۱۳/۷	۱۵/۸	۱۷/۴	۱۸/۸
۵۰ × ۶	۲۷/۳	۳۱/۵	۳۴/۸	۳۷/۵
۶۰ × ۶	۳۲/۸	۳۷/۸	۴۱/۸	۴۵
۸۰ × ۶	۴۳/۷	۵۰/۴	۵۵/۷	۶۰

(ب) مدت زمان ۳ ثانیه

اندازه هادی	حداکثر دمای هادی برحسب °C			
	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
mm × mm	KA	KA	KA	KA
۲۰ × ۳	۳/۲	۳/۶	۴	۴/۳
۲۵ × ۳	۳/۹	۴/۵	۵	۵/۴
۲۵ × ۶	۷/۹	۹/۱	۱۰	۱۰/۸
۵۰ × ۶	۱۵/۸	۱۸/۲	۲۰/۱	۲۱/۷
۶۰ × ۶	۱۸/۹	۲۱/۸	۲۴/۱	۲۶
۸۰ × ۶	۲۵/۲	۲۹/۱	۳۲/۱	۳۴/۶

جدول ۱۳ ـ مقادیر K و β

نوع فلز	K	β
	شدت جریان موثر A/mm^2	°C
مس	۲۲۶	۲۵۴
آلومینیوم	۱۴۸	۲۲۸
فولاد	۷۸	۲۰۲

موادی که در ساخت اتصال دهنده‌ها بکار می‌روند باید از نظر مکانیکی مقاوم بوده و به نحوی محکم ، نصب شده باشند . تمام بست‌های زمین باید ذاتاً در برابر خوردگی مقاوم باشند . در مواردی که از اتصالات پیچی استفاده شود ، پیچ‌ها باید گشتاوری به مقدار حداقل .20Nm را تحمل کنند .

برای تاسیسات بزرگ زمین مانند تاسیسات مربوط به پستها و ایستگاههای مهم ، معمولا امکاناتی برای آزمودن الکترودهای زمین فراهم می‌کنند . بدین منظور یک دسته الکترود میله‌ای کوبیده شده را به شبکه زمین اصلی متصل می‌کنند . این اتصال از طریق یک اتصال پیچی که در یک چاهک بتونی زیرزمینی در نزدیکی الکترودها قرار دارد انجام می‌شود . برای تاسیسات زمین کوچکتر می‌توان از روش‌های قطع ساده‌تری استفاده کرد .

جزئیات بیشتر برای تاسیسات بزرگ در زیر بند 18-7 و برای تاسیسات شامل سیم کشی ساختمانها در زیربند 20-6-2 آمده است .

14- چگالی جریان در سطح یک الکترود زمین

یک الکترود زمین باید طوری طراحی شود که دارای ظرفیت بارگذاری کافی برای سیستمی که جزئی از آن را تشکیل می‌دهد ، باشد .

به عبارت دیگر ، الکترود زمین باید قادر به پخش انرژی الکتریکی در مسیر زمین و در نقطه‌ای که در آن نصب شده است ، تحت هر یک از شرایط کار سیستم باشد .

بروز خرابی در یک الکترود اساساً در اثر افزایش دما در سطح الکترود رخ می‌دهد و بنابراین تابعی است از چگالی جریان و زمان برقراری آن و به خواص حرارتی و الکتریکی خاک نیز مربوط می‌شود .

عموماً خاک دارای ضریب مقاومت - دمای منفی است بطوری که برای یک ولتاژ اعمال شده مشخص ، جریان برقرار شده باعث کاهش اولیه در مقاومت الکترود شده و به دنبال آن سبب افزایش جریان اتصالی به زمین می‌شود . اما چون رطوبت خاک از سطح تماس الکترود و خاک رانده می‌شود ، مقاومت افزایش می‌یابد و در صورتی که افزایش دما بقدر کافی زیاد باشد مقاومت سرانجام بی نهایت خواهد شد .

برای زمان بارگذاری کوتاه مدت ، این امر در دمای حدود$100^{o}c$ صورت می‌گیرد و باعث از کار افتادن کامل الکترود می‌شود .

سه حالت عملیاتی زیر باید مورد توجه قرار گیرد :

بار ??? مانند شرایط عادی کار سیستم

- اضافه بار کوتاه مدت ، مانند حالت اشکال در سیستم هایی که مستقیماً زمین شده‌اند .
- اضافه بار دراز مدت ، مانند حالت اشکال در سیستم هایی که از طریق سیم پیچ‌های محدود کننده قوس الکتریکی حفاظت شده‌اند .

کارهای تجربی اندکی که در این مورد انجام شده است محدود به آزمونهای مدل سازی شده با الکترودهای کروی شکل در خاک رس یا خاک گلدانی با مقاومت ویژه کم بورده و منجر به نتایج زیر شده است:

الف – بارگذاری دراز مدت که در اثر نامتعادل بودن عادی سیستم رخ می‌دهد ، باعث واماندگی الکترودهای زمین نمی‌شود ، به شرط آنکه چگالی جریان در سطح الکترود از$40\ A/m^2$ بیشتر نشود . محدود شدن به مقادیر کمتر معمولا در اثر لزوم تامین مقاومت زمین کمتر حاصل می‌شود .

ب – زمان لازم برای وامانده شدن الکترود در اثر اضافه بار کوتاه مدت نسبت به عکس با بارگذاری مشخص دارد که از رابطه $j^2\rho$ تعیین می‌شود ، که j چگالی جریان در سطح الکترود و ρ مقاومت ویژه خاک است . در مورد خاکهایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند ، حداکثر چگالی جریان مجاز (j) بر حسب آمپر بر متر مربع ، از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$j = 10^3\sqrt{\left[\frac{57/7}{\rho t}\right]}$$

که در آن :

t مدت زمان برقراری اتصالی به زمین بر حسب پانیه

ρ مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر

تجربه نشان می‌دهد که این رابطه برای الکترودهای صفحه‌ای نیز معتبر است .

15- گرادیان پتانسیل در اطراف الکترودهای زمین

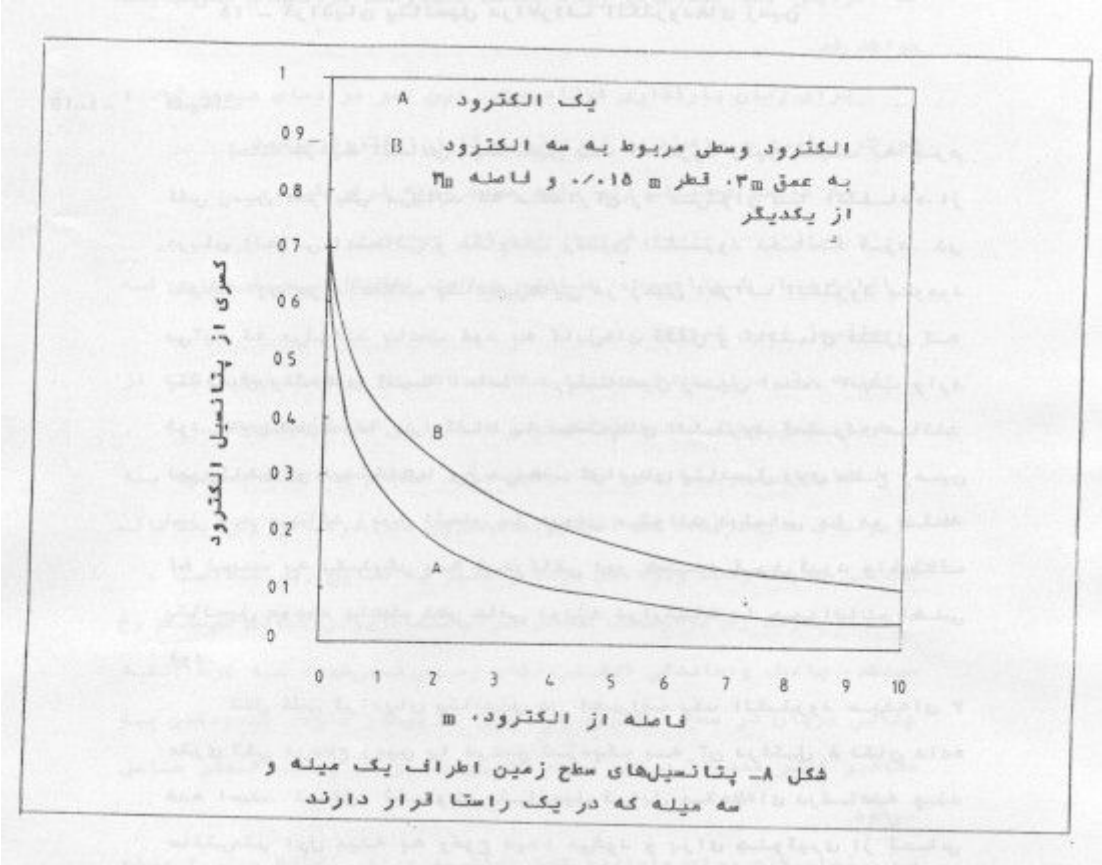
15-1- کلیات

تحت شرایط اتصالی ، پتانسیل یک الکترود زمین نسبت به جرم کلی زمین افزایش می‌یابد که مقدار آن را می‌توان با استفاده از جریان اتصالی احتمالی و مقاومت زمین الکترود محاسبه کرد . در نتیجه این امر ، اختلاف پتانسیل هایی در زمین اطراف الکترود بوجود می‌آید که می‌تواند باعث شود به کابل‌های تلفن و کابلهای کنترل که پتانسیل رشته‌های آنها اساساً در پتانسیل زمین است ، آسیب وارد شود . این خطر عموماً در ارتباط با سیستم‌های الکترود گسترده مانند نیروگاهها و ایستگاهها رخ می‌دهد . گرادیان پتانسیل روی سطح زمین نیز مهم می‌باشد زیرا انسان یا حیوان می‌تواند در تماس با دو نقطه که نسبت به یکدیگر به قدر کافی دور هستند قرار گیرد و اختلاف پتانسیل موجود باعث خطر جانی بویژه در ارتباط با حیوانات اهلی شود .

شکل کلی گرادیان پتانسیل در اطراف یک الکترود میله‌ای 3 متری تکی در سطح زمین یا در عمیق نزدیک به آن در شکل 8 نشان داده شده است . در شکل ، تفاوت پتانسیل قابل ملاحظه‌ای در فاصله چند سانتی متر اول میله به وضوع دیده می‌شود و برای جلوگیری از تماس انسان یا حیوان می‌توان در شعاع 1 متری یا 2 متری میله ، بسته به ولتاژ الکترود ، یک حصار قرار داد . اطلاعات اضافی در مورد کاهش این گرادیان به کمک استقرار سر الکترود در زیر سطح زمین ، متعاقباً در این بخش ذکر خواهدشد .

در شکل 8 همچنین گرادیان پتانسیل در جهت عمود بر امتداد سه الکترود میله‌ای نشان داده شده است . این منحنی نشان می‌دهد که برای ولتاژی مشخص برای الکترود ، گرچه در فاصله حدود 2 متری میله‌ها ، گرادیان اولیه قدری کاهش می‌یابد ولی تاثیر کلی در فواصل بیشتر ، افزایش پتانسیل زمین و گرادیان ولتاژ ، هر دو می‌باشد . به هر حال ، برای یک جریان اتصالی مشخص ،

استفاده از چند الکترود ، مقاومت کمتری را ایجاد می‌کند که خود باعث می‌شود پتانسیل و گرادیان زمین بسیار کمتر از پتانسیل زمین و گرادیان مربوط به یک الکترود تکی باشد .



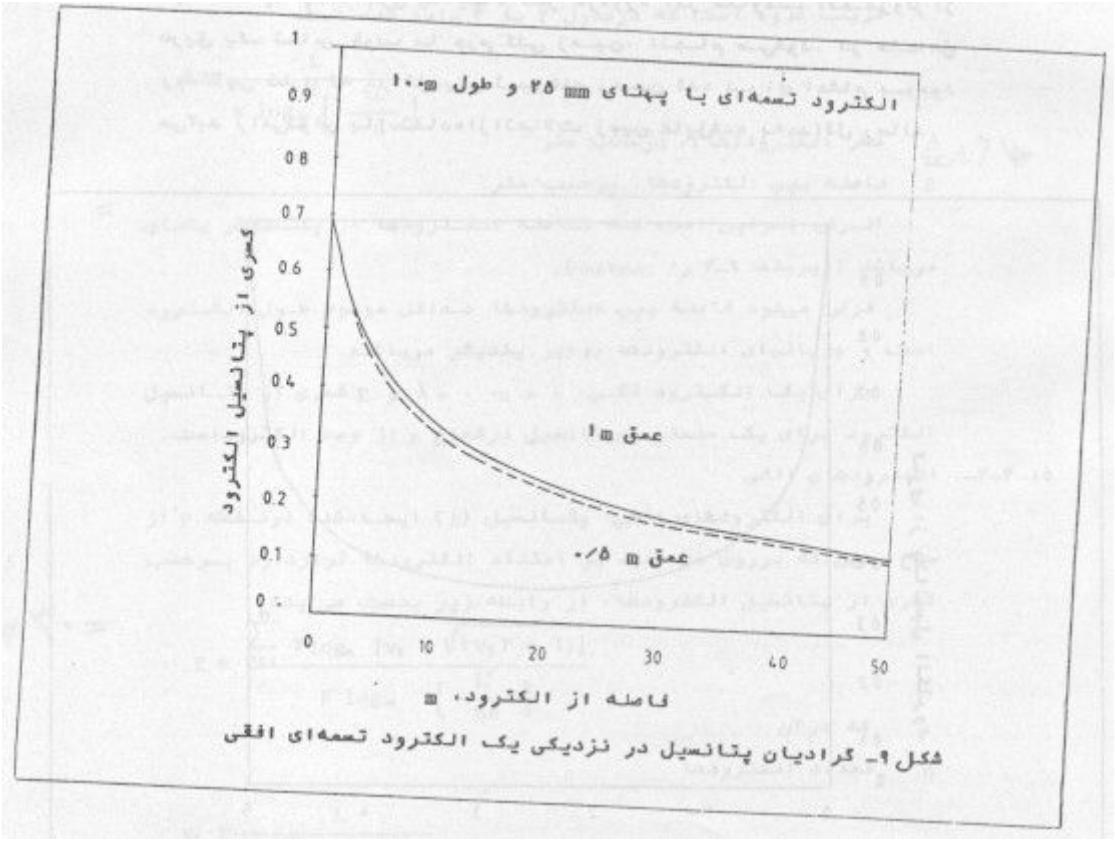
شکل ۸ـ پتانسیل‌های سطح زمین اطراف یک میله و سه میله که در یک راستا قرار دارند

توزیع پتانسیل روی سطح زمین در مجاورت یک الکترود افقی (سیمی یا تسمه‌ای) (شکل 9) نشاندهنده آن است که گرادیان این الکترود خیلی کمتر از گرادیان الکترود قائم است . بیشترین گرادیان در محلی اتفاق می‌افتد که فاصله آن از الکترود برابر عمق آن است . هم چنین گرادیان پتانسیل بین الکترودهای افقی کمتر است .

عمق قرار گرفتن الکترود در محدود عمقهایی که در عمل مورد استفاده می‌باشند ، تاثیر کمی بر پتانسیل روی سطح زمین دارد .

خطوط هم تراز پتانسیل زمین که به تاسیساتی با بیش از یک الکترود مربوط می‌گردد ، تشکیل می‌شود از مناطق مجزایی در اطراف هر الکترود که پتانسیل و گرادیان پتانسیل در آنها بالا بوده و احتمالا مقدار آن خطرناک است . بین این مناطق مسیرهایی با حداقل پتانسیل بوجود می‌آیند که هر آینه ممکن است به مقداری برسد که برای یک فرد یا حیوان در تماس با قسمتهای هادی وصل شده به الکترود یا جرم زمین در نقطه‌ای دورتر ، مانند یک حصار فلزی ، خطرناک باشد . شکل 10 نیمرخ پتانسیل سطح زمین بین چهار الکترود قائم به قطر 15mm و به طول 3m که در فواصل 5 متری نسبت به هم قرار دارند را نشان می‌دهد .

اینگونه تغییرات پتانسیل زمین در داخل تاسیسات یا در نزدیکی آن ممکن است قابل قبول نبوده و لازم باشد اقداماتی برای کاهش آن صورت گیرد . بطور معمول برای این منظور می‌توان از الکترودهای اضافی که به صورت تسمه یا سیم افقی در عمق 0/25m تا 0/6m زمین دفن شده است ، استفاده کرد . برای اطلاعات بیشتر در مورد نصب این الکترودها زیر بند 18-7-3-2 را ببینید .

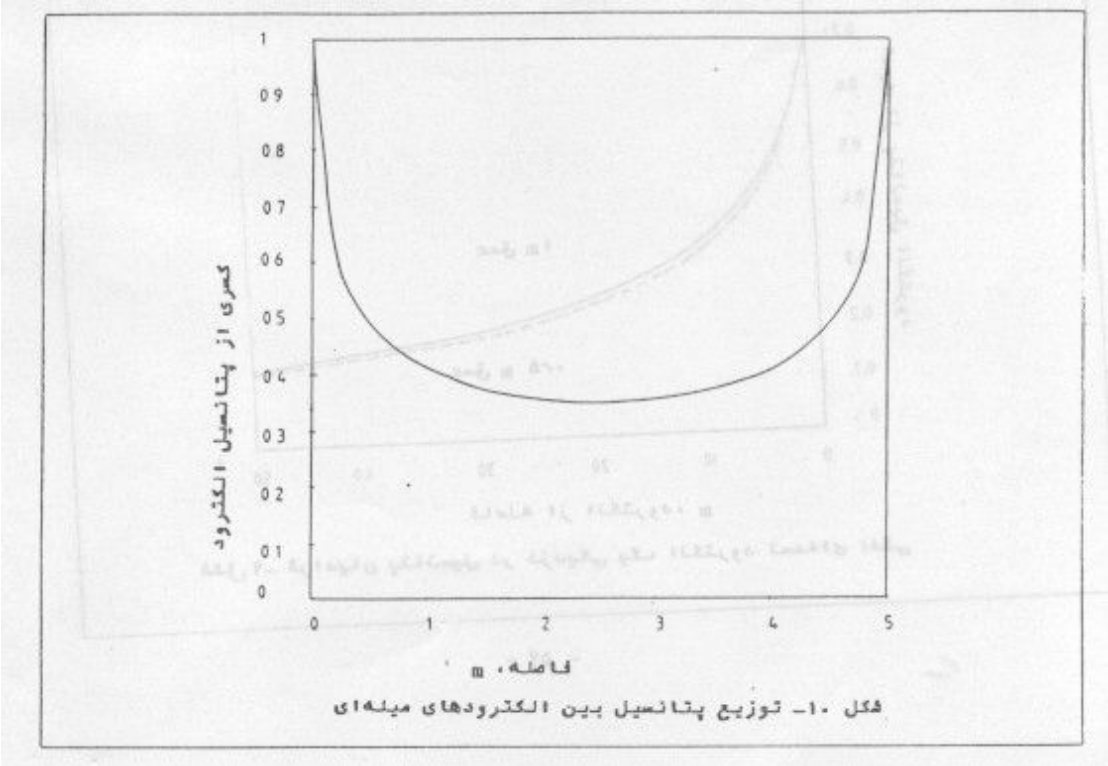


شکل ۹- گرادیان پتانسیل در نزدیکی یک الکترود تسمه‌ای افقی

بخش بزرگی از پتانسیل الکترود که در چند سانتی متری خاک در نزدیکی الکترود ایجاد می‌شود ، نشاندهنده اهمیت مقاومت ویژه مواد در این ناحیه است . در خاکهای با مقاومت ویژه بالا و در مواردی که استفاده ازمیله‌های اضافی عملی نبوده و کاهش مقاومت الکترود از طریق اصلاح خاک یا تعویض آن با بتون مورد نظر باشد ، بررسی خاک فقط در این ناحیه لازم خواهد بود . نظر به اینکه چگالی خاک بر هدایت آن تاثیر می‌گذارد (به استثنای خاکهای خیلی مرطوب) تراکم دادن زیاد خاکی که در تماس با الکترود قرار دارد یا بکر بودن خاک اطراف آن از اهمیت خاصی برخوردار است . (زیر بند 7-5 را نیز ببینید .)

الکترودهای زمین نباید نزدیک به یک حصار فلزی نصب شوند ، مگر آنکه از آنها برای زمین کردن آن حصار استفاده شود . این امر برای جلوگیری از برقدار شدن حصار و در نتیجه ایجاد خطر در نقاطی خارج از ایستگاه یا پست برق یا ایجاد خطر در حوزه اثر مقاومت الکترود از طریق یک تماس خوب با جرم کلی زمین ، انجام می‌شود . در مناطق روستایی خطری که در نزدیکی

تیرهای زمین شده برای احشام بوجود می‌آید را می‌توان با استفاده از اتصالات زمین عایق شده به حداقل رساند .



شکل ۱۰- توزیع پتانسیل بین الکترودهای میله‌ای

15-2- محاسبه پتانسیل‌ها در سطح زمین

15-2-1- الکترودهای قائم

برای الکترودهای قائم ، پتانسیل ایجاد شده در نقطه P از سطح زمین که به صورت کسری از پتانسیل الکترودها ظاهر می‌شود بطور تقریب از رابطه زیر برآورد می‌شود :

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log_e \left[v_i + \sqrt{(v_i^2 + 1)} \right]}{(1 + \lambda B) \log_e \left[\frac{4L}{d} \right]}$$

که در آن:

$$v_i = \frac{L}{r_i}$$

n تعداد الکترودها

L طولی از الکترود که درخاک قرار دار، برحسب متر

r_i فاصله نقطه P روی سطح زمین تا الکترود iام، برحسب متر (r_i بزرگتر ازشعاع الکترود است)

λ ضریب گروه است که درجدول ۲ یا ۳ داده شده است

$$B = \frac{L}{s \log_e \left[\frac{4L}{d} \right]}$$

d قطر الکترود(ها)، برحسب متر

S فاصله بین الکترودها، برحسب متر.

فرض بر ای است که فاصله الکترودها از یکدیگر یکسان می‌باشد (زیر بند 9-2 را ببینید .)

فرض می‌شود فاصله بین الکترودها حداقل دوسوم طول الکترود است و جریانهای الکترودها برابر یکدیگر می‌باشند .

برای یک الکترود تکی ، $n = 1$، $\lambda = 0$ و E کسری از پتانسیل الکترود برای یک منحنی هم پتانسیل در شعاع r از وسط الکترود است .

15-3-2- الکترودهای افقی

برای الکترودهای افقی ، پتانسیل (E) ایجاد شده در نقطه P از سطح زمین که بر روی خط عمود بر امتداد الکترودها قرار دارد بر حسب کسری از پتانسیل الکترودها ، از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} 2 \log_e \left[v_i + \sqrt{(v_i^2 + 1)} \right]}{F \log_e \left[\frac{L^2}{hd} \right]}$$

که در آن :

n تعداد الکترودها

$$v_i = \frac{L}{2\sqrt{(h^2 + r_i^2)}}$$

h عمق الکترودها از سطح زمین، برحسب متر

r_1 فاصله نقطه P در امتداد سطح زمین تا نقطه‌ای که قائم بر الکترود i ام قرار دارد . بر حسب متر

L طول هر یک از الکترودها ، بر حسب متر

F ضریب گروه است که در جدول 5 داده سده است

d قطر هر یک ا زالکترودها ، بر حسب متر

برای یک الکترود تسمه‌ای $d = 2w$ π

که در آن :

w پهنای الکترود تسمه‌ای ، بر حسب مر

در موردیکه تنها یک الکترود وجود دارد یعنی $n = 1$، ضریب گروه برابر یک است ($F = 1$.)

در این رابطه‌ها فرض بر این است که عمق الکترود در مقایسه با طول آن کم است و شدت جریانهای الکترود با یکدیگر برابر می‌باشد .

16- بازرسی دوره‌ای و آزمون سیستم زمین و اندازه‌گیری مقاومت الکترودهای نصب شده و هادی‌های زمین

16-1- بازرسی دوره‌ای و آزمون

انتظار می‌رود مقدار مقاومت الکترود که از محاسبه به دست می‌آید دارای دقتی محدود باشد زیرا نسبت به مقدار واقعی مقاومت ویژه خاک و همگنی آن تردید وجود دارد . مقاومت ویژه خاک بستگی به رطوبت ، دما و نیز اجزاء متشکله خاک دارد ، بنابراین مقدار آن می‌توان بطور فصلی و روزافزون بدلیل تغییرات هیدرولوژیک مانند تغییر در سفره آب یا زهکشی مداوم تغییر کند . بنابراین مقاومت الکترد باید چه در خاتمه نصب و چه پس از آن در فواصل منظم مورد اندازه‌گیری قرار گیرد . اندازه‌گیری مقاومت الکترود ، در مورد تاسیسات جدید ، دلیل گویا بر کارآیی سیستم زمین می‌باشد . نظر به آنکه رطوبت تاثیر تعیین کننده‌ای بر مقاومت دارد ، توصیه

می‌شود آزمون مقاومت در طول یک فصل خاص ، ترجیحاً بعد از پایان خشک‌ترین دوره سال انجام شود . بدین ترتیب مقایسه بین گزارشات ثبت شده ، نمایانگر جهت تغییرات خواهد بود که ممکن است در آینده لازم نماید به آن توجه شود .

این امر هم چنین بدترین حالت برای مقدار مقاومت را که از روی آن می‌توان عمل صحیح مدار مربوط به وسیله قطع را مورد بررسی قرار داد ، تعیین می‌کند .

بازرسی باید نه تنها یکپارچگی هادیهای زمین و کلیه اتصالات مربوط را که می‌تواند در دسترس یا در معرض آسیب باشد شامل شود ، بلکه باید هر عاملی را که در معرض دید بوده و ممکن است منجر به خرابی الکترود یا افزایش مقاومت ویژه خاک در اطراف آن شود را نیز در بر گیرد .

16-2- اندازه‌گیری مقاومت الکترود

16-2-1- کلیات

در بعضی مواقع هنگام آزمون الکترودهای زمین ، ولتاژهای موجود ممکن است ایجاد خطر برق گرفتگی کند . بنابراین احتیاطهای لازم باید مورد توجه قرار داده شوند .

پس از پایان عملیات نصب ، به احتمال قریب به یقین الکترودها یا بطور عمدی و یا بصورت تصادفی به احزایئ که در تماس با جرم کلی زمین می‌باشند ، متصل می‌شود . در مورد تاسیسات جدید ، انجام اندازه‌گیری مقاومت الکترود را می‌توان قبل از وصل شدن و هنگامیکه هنوز از نظر الکتریکی مجزا می‌باشد ترتیت داد . در مورد تاسیسات موجود ، مجزا کردن الکترودهای زمین برای اندازه‌گیری مقاومت آن مجاز نمی‌باشد ، مگر آنکه تاسیسات نیز از تمامی منابع تغذیه مجزا شود . در بعضی موارد این مشکل را می‌توان با نصب الکترودهای متعدد بر طرف ساخت به طوری که با مجزا کردن یکی از آنها برای آزمون ، سایر الکترودها مقاومت پایین کافی فراهم سازند .

دقت اندازه‌گیری به چندین عامل بستگی دارد که باید هنگام ارزیابی اثر مقدار مقاومت بدست آمده ، مورد توجه قرار گیرد . جدای از تغییرات فصلی و جهتی که تغییرات مقاومت ویژه به خود می‌گیرد ، یک الکترود تحت تاثیر قطعات هادی دیگر موجود در خاک مانند کابل‌ها ، لوله‌ها و پی‌ها و هم چنین سایر الکترودهایی که به یکدیگر وصل شده‌اند قرار می‌گیرند . مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده الکترود در تاسیسات موجود ، گرچه از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد ، با این وجود می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد پایداری سیستم زمین ارائه دهد .

در مورد تاسیسات جدید ، مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده باید دقت بالاتری را نسبت به مقدار محاسبه شده آن که بر اساس مقاومت ویژه خاک بدست آمده است ارائه دهد ، زیرا در این مورد هرگونه ناهمگنی شناخته نشده در خاک به حساب آورده می‌شود .

16-2-2- اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین

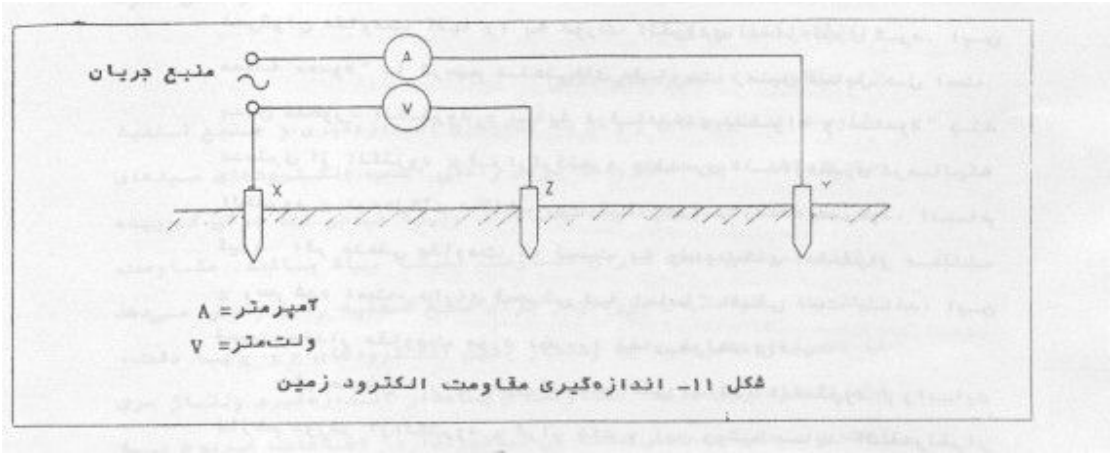
اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین نسبت به زمین لزوماً موضوع ساده‌ای نمی‌باشد . هر چند در این خصوص می‌توان دستور العمل‌های مشخص و ساده ای را ارائه داد ولی غالبا شرایطی پیش میاید که لازم می نماید در این دستورالعملها اصلاحاتی انجام گیرد .

مقاومت یک الکترود زمین از این نظر منحصر به فرد می‌باشد که تنها ترمینال وصل به الکترود ، مشخص و در دسترس می‌باشد و ترمینال دیگر مقاومت الکترود ، از دیدگاه نظری ، در بینهایت قرار دارد .

در عمل ، اندازه‌گیری باید طوری انجام شود که بخش بیشتری از کل مقاومت مثلا 98% آن را شامل شود .

سعی برای رسیدن به دقتی بیشتر در این گونه اندازه‌گیری معنی ندارد زیرا در داخل حجم یک چنین مقاومتی ممکن است غیر همگونی قابل ملاحظه‌ای در خاک وجود داشته و عوامل منحرف کننده دیگری نیز باشند . دقت 2% تا حد زیادی کفایت می‌کند و دقتهایی در حد 5% معمولا در موارد بسیاری کافی می‌باشد .

بهترین روش اندازه‌گیری در شکل 11 نشانداده شده است . یک جریان مشخص بین الکترود مورد آزمون x و الکترود کمکی جریان y عبور داده می‌شود . افت ولتاژ بین الکترود x و الکترود دیگر کمکی ، z، اندازه‌گیری شده و در نتیجه مقاومت الکترود x، ولتاژ بین z و x تقسیم بر جریان بین x و y خواهد بود . منبع جریان و وسایل اندازه‌گیری جریان و ولتاژ بطور جداگانه یا نسبت آنها ، معمولا ولی نه الزاماً ، یک دستگاه واحد را تشکیل می‌دهد .



شکل ۱۱ـ اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین

دقت اندازه‌گیری تحت تاثیر عوامل زیر قرار دارد :

الف – فاصله بین الکترودها

فاصله بین الکترودهای x و y باید بقدری باشد که محدوده مقاومت هر یک از آنها ، یعنی محدوده‌ای که در آن حدود 98% مقاومت الکترود قرار دارد ، مستقل از دیگری باشد . اگر الکترود x یک الکترود میله‌ای یا صفحه‌ای ساده باشد ، الکترود y باید در فاصله 30 متری تا 50 متری از الکترود x قرار گیرد و الکترود z در وسط این دو استقرار یابد . اندازه‌گیری اولیه در این

حالت به عمل می‌آید و متعاقب آن دو اندازه‌گیری دیگر انجام می‌شود که در آنها z یکبار در حدود 7 متر نزدیکتر به الکترود X و یکباردیگر 7 متر نزدیکتر به الکترود Y انتقال داده می‌شود .
چنانچه مقادیر اندازه‌گیریهای سه گانه در حد دقت مورد احتیاج باشد ، میانگین سه مقدار را می‌توان مقاومت الکترود X توانست . اگر نتایج با یکدیگر مطابقت ننمایند ، الکترود y باید به نقطه‌ای دورتر انتقال داده شده و آزمون دوباره تکرار شود . کل این روش باید آنقدر تکرار شود تا سه قرائت با هم مطابقت نمایند .

روش بالا در صورتیکه مقاومت الکترود X کم باشد (مثلا 1 یا کمتر) رضایت بخش نخواهد بود . این حالت معمولا هنگامی پیش می‌آید که الکترود x یک الکترود گسترده [48] باشد یا متشکل از یک سیستم الکترودها باشد که معمولا سطح وسیعی را اشغال می‌کنند و نمی‌توان مقاومت آنها را به صورت انفرادی اندازه‌گیری کرد . این مسئله معمولا باترسیم منحنی‌های مقاومت زمین قابل حل است .

بدین منظور ، الکترود y باید در فاصله‌ای دلخواه و معمولا چند صدمتری از الکترود x قرار گرفته و چند سری اندازه‌گیری در حالیکه الکترود z در محل‌های مختلف روی خط x–y قرار داده می‌شود ، انجام گیرد . اگر منحنی مقاومت که نسبت به وضعیت‌های استقرار مختلف z رسم شده است ، دارای قسمتی که اساساً افقی است باشد ، این قسمت مقدار مقاومت مورد نظر را نشان خواهد داد .

اگر منحنی دارای چنین قسمت افقی نباشد ، الکترود y را باید باز هم دورتر از الکترود x قرار داد و این روند باید آنقدر تکارار شود تا قسمت افقی ظاهر شود (شکل 12 را ببینید .) قسمت افقی لزوماً هنگامیکه z در وسط y و x قرار دارد بدست نمی‌آید . به عنوان مثال در آزمون سیستم الکترود یک نیروگاه ، مقدار مقاومت 0/05 بدست آمد و این در حالی بود که الکترود y، 700 متر دورتر از الکترود x قرار داشت و قسمت افقی منحنی در حالتی بدست آمد که فواصل الکترودهای x و z از یکدیگر 70 متر تا 100 متر بود .

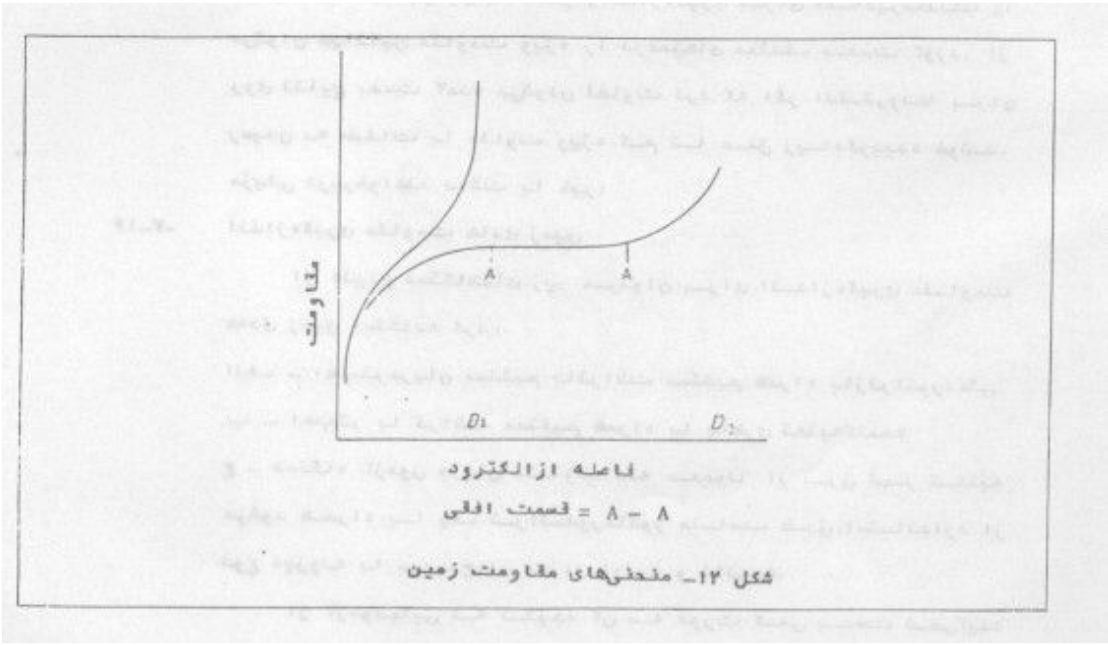
ب – ایجاد مزاحمت بوسیله جریانهای زمین سرگردان

هدایت الکتریکی خاک یک پدیده الکترولیتی است و بنابراین پتانسیل‌های جریان مستقیم کوچکی بین الکترودها ایجادشده و اگر یک سیستم جریه الکتریکی در آن حوالی وجود داشته باشد پتانسیل‌های جریان مستقیم یا جریان متناوب سرگردان توسط الکترودها دریافت خواهد شد . هر دو شکل تداخل بالا را می‌توان از طریق آزمون با جریان متناوب در فرکانس متفاوت بافرکانس جریانهای مزاحم و هارمونیک‌های آنها حذف کرد . این هدف معمولا با استفاده از فرکانسهای حدود 60HZ تا 90HZ بدست می‌آید .

اگر برای اندازه‌گیری از یک ژنراتور دستی به عنوان منبع تغذیه استفاده شود ، فرکانس جریان اندازه‌گیری را می‌توان برای کسب بهترین نتیجه تغییر داد . یک دستگاه جریان متناوب معمولا در مدارهای اندازه‌گیری خود دارای یکسو کننده سنکرون یا معادل آن می‌باشد . بطوریکه دستگاه تنها به ولتاژهای مربوط به فرکانس خود واکنش نشان می‌دهد .

ج – مقاومت الکترودهای کمکی

مقاومت الکترودهای y و z با مدارهای اندازه‌گیری و منبع تغذیه سری می‌باشد . این الکترودها برای راحتی اغلب الکترودهای میله‌ای تکی می‌باشند که بسته به مقاومت ویژه خاکی که در آن کوبیده می‌شوند ، ممکن است دارای مقاومت نسبتاً بالا باشند . مقاومت الکترود y خواستهای موردنیاز برای منبع تغذیه را افزایش می‌دهد تا اطمینان حاصل شود که ولتاژ بین الکترودهای z و x با دقت ، قابل اندازه‌گیری باشد . مقاومت z بامدار اندازه‌گیری ولتاژ سری است و ممکن است بر دقت آن تاثیر گذارد . اطلاعات مربوط به بالاترین حد قابل قبول برای مقاومت الکترود کمکی معمولا همراه دستگاههایی که برای اندازه‌گیری مقاومت زمین طراحی شده است داده می‌شود .



شکل ۱۲ـ منحنی‌های مقاومت زمین

16-2-3- اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

مقاومت ویژه خاک معمولا با همان روشی اندازه‌گیری می‌شود که برای مقاومت الکترود بکار می‌رود . چهار میله آزمون با فواصل یکسان نسبت به یکدیگر در عمق حداکثر یک متری زمین کوبیده می‌شود . عمق کوبیدن نباید از 5% فاصله بین دو میله (a) بیشتر شود (شکل 13 را ببینید) (باید اطمینان حاصل شود که سطوح مقاومت میله‌ها با یکدیگر تلاقی نمی‌کند .) جریان از بین دو الکترودی که در دو انتها قرار دارند عبور داده می‌شود و مقاومت (R) ازتقسیم ولتاژ بین الکترودهای وسطی بر شدت جریان بدست می‌آید . در مورد خاک همگن ، میانگین مقاومت ویژه (ρ) برحسب اهم متر به کمک رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$\pi \rho = 2\ aR$$

که در آن :

a فاصله بین الکترودها ، بر حسب متر

R مقاومت اندازه‌گیری شده بین الکترودهای وسطی ، بر حسب اهم

ρ مقاومت ویژه بدست آمده مربوط به خاکی است که در عمق a قرار دارد ، بنابراین با تکرار اندازه‌گیری برای مقادیر مخلف a، می‌توان میاگین مقاومت ویژه را در عمق‌های مختلف بدست آورد . از روی نتایج بدست آمده می‌توان قضاوت کرد که اگر الکترودها برای رسیدن به طبقات با مقاومت ویژه کم تا عمق زیاد کوبیده شوند ، مزیتی در بر خواهند داشت یا خیر .

16-3- اندازه‌گیری مقاومت هادی زمین

از انواع دستگاههای زیر می‌توان برای اندازه‌گیری مقاومت هادی زمین استفاده کرد :

الف - اهم متر جریان مستقیم با قرائت مستقیم همراه با ژنراتور دستی

ب- اهم متر با قرائت مستقیم همراه با باطری تغذیه کننده

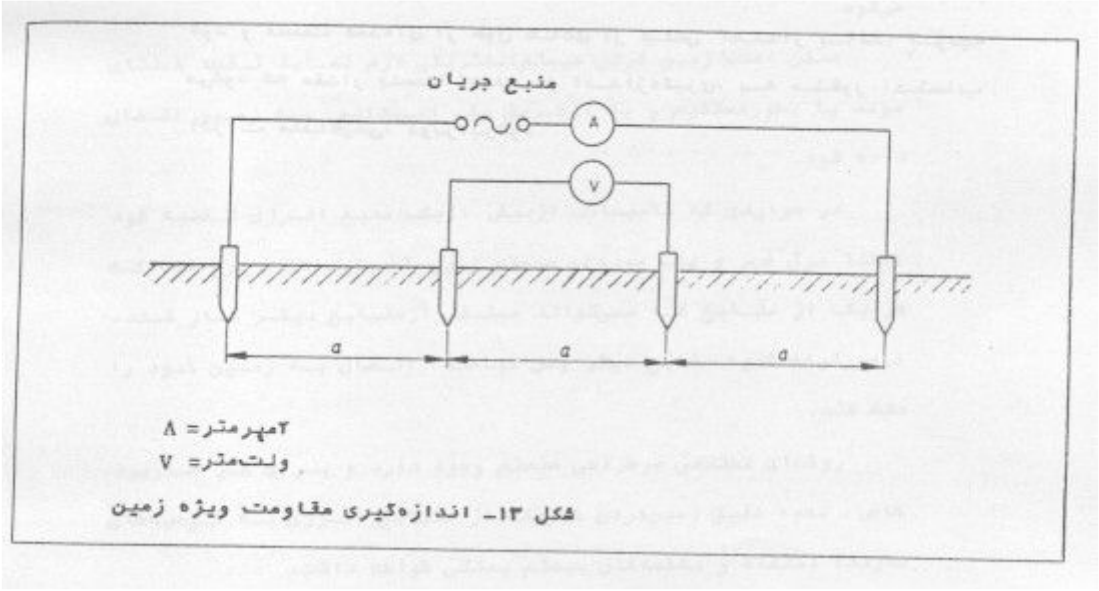
ج - دستگاه آزمون جریان متناوب که معمولا از برق شیر تغذیه می‌شود همراه با یک ترانسفورماتور مناسب طبق استاندارد از نوع ایزوله با سیم پیچ‌های مجزای اولیه و ثانویه .

از آزمونهایی که نتیجه آن به صورت کمی بدست نمی‌آید (مانند آزمونهای دارای لامپ یا زنگ) هیچگاه نباید برای اثابت مناسب بودن هادی‌های زمین استفاده کرد .

از بین دستگاهای بالا ، تنها فرق دستگاه " الف " و " ب " در مقدار شدت جریان آزمون است و اینها فقط مقاومت هادی را اندازه می‌گیرند . وسایل آزمون که از برق جریان متناوب شبکه استفاده می‌کنند قادرند جریانهای آزمون بالا را تولید نمایند ، اما معمولا به علت وزن ترانسفورماتور محدود به جریانی در حدود 25A می‌باشد .

داشتن دقتی در حد 5% برای مقدار اندازه‌گیری شده مطلوب می‌باشد .

در مورد هادی‌های با مقاومت کم انتخاب یک روش اندازه‌گیری صحیح برای دستیابی به چنین دقتی مهم می‌باشد و دستور العمل‌های سازندگان اینگونه وسایل باید برای ایجاد شرایطی که در آن دقت مورد نظر به دست می‌آید ، رعایت شوند .



شکل ۱۳- اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین

امپدانس یا مقاومت اندازه‌گیری شده به استثنای اندازه‌گیری چهار پایانه‌ای ، معمولا برای یک حلقه متشکل از هادی مورد آزمون ، هادی بر گشت و احتمالا سیم‌های آزمون می‌باشد .

مقاومت‌های مورد آزمون معمولا با کسر مقاومت سیم‌ها و هادی برگشت که بطور مجزا اندازه‌گیری می‌شود ، از مقاومت حلقه بدست می‌آید . برای اینکه این روش خطای بیش از حدی را وارد آزمون نکند ، مقاومت هادی برگشتی و سیم‌های دستگاه آزمون باید تا حدی که عملی است کم باشد . برای منظور مشابهی ، کلیه اتصالات باید به نحوی انجام شوند که دارای مقاومتی کم باشند .

امپدانس یک هادی از جنس فرومغناطیسی با شدت جریان و با اندازه هادی تغییر می‌یابد و بیشترین مقدار امپدانس معمولا در جریانهای 25A تا 50A ظاهر می‌شود .

اندازه‌گیری در محدوده جریان بالا ، بدترین مقدار را می‌دهد ، زیرا اثر مغناطیسی در صورتیکه جریان تا حد جریان اتصالی افزایش یابد ، کاهش پیدا می‌کند . اگر اندازه‌گیری با جریان مستقیم انجام شود و قسمت عمده‌ای از طول هادی از جنس آهندار باشد ، توصیه می‌شود که مقدار بدست آمده ازاندازه‌گیری ، به منظور احتساب اثرات مغناطیسی ، دو برابر شود .

بخش چهارم - کاربردهای اتصال به زمین

17- تجهیزات تولید برق

7-1- کلیات

اتصال به زمین تجهیزات تولید برق برای محدود کردن پتانسیل هادی‌های حامل جریان نسبت به جرم کلی زمین انجام می‌شود و معمولا به عنوان قسمتی که تکمیل کننده حفاظت در برابر خطر برق گرفتگی در اثر تماس غیر مستقیم است ضروری می‌باشد .

اتصال زمین حفاظتی مولد ، از طریق اتصال بدنه‌های هادی مولد و قسمتهای هادی بیگانه به ترمینال زمین اصلی انجام می‌شود .

ترمینال یا شینه زمین به یک الکترود زمین مستقل و در موارد مقتضی ، به سایر امکانات زمین کننده مربوط به تاسیسات ، وصل می‌شود .

ممکن است زمین کردن سیستم الکتریکی لازم نماید نقطه خنثای مول یا بطور مستقیم و یا از طریق یک امپدانس به زمین اتصال داده شود .

در مواردی که تاسیسات از بیش از یک منبع انرژی تغذیه شود (مثلا برق شهر و یک مولد ،) سیستم زمین آن باید طوری طرح شود که هر یک از منابع که می‌تواند مستقل از منابع دیگر کار کند ، در صورتیکه کلیه منابع دیگر وصل نباشند ، اتصال به زمین خود را حفظ کند .

روشهای مختلفی در طراحی سیستم وجود دارد و برای هر کاربرد خاص ، نحوه دقیق زمین کردن هر یک از منابع انرژی به توصیه‌های سازنده دستگاه و مشخصه‌های سیستم بستگی خواهد داشت .

شبکه‌های توزیع فشار ضعیف عمومی طبق مقررات وزارت نیرو مستقیماً به زمین وصل می‌شوند . نظر به اینکه انتظار می‌رود تاسیسات متصل به شبکه توزیع برق عمومی نیز بر همان اساس طراحی شود ، معمولا برای هر مولدی که چنین تاسیساتی را تغذیه کند اتصال به زمین مستقیم انتخاب می‌شود . هر گاه در نظر باشد از یک مولد خصوصی برای تغذیه قسمتی از سیستم مصرف کننده که در حالت عادی از طریق شبکه برق شهری تغذیه می‌کند استفاده شود ، ابتدا باید با شرکت یا سازمان برق مربوطه مشورت شود . همینطور طبق مقررات ، در صورتی که مولدی موازی باشبکه برق عمومی کار کند ، ابتدا باید موافقت شرکت یا سازمان برق مربوطه گرفته شود .

17-2- مولدهای ولتاژ ضعیف

17-2-1- الکترود زمین

زمین کردن مولد مستلزم استقرار یک الکترود زمین مستقل است . لازم است امپدانس حلقه زمین در هر یک از نقاط تاسیسات به قدر کافی کوچک باشد تا نسبت به کارآیی سیستم حفاظت در برابر اتصال به زمین اطمینان حاصل شود و این مسئله باید هنگامی که الکترود زمین جزئی از حلقه اتصال زمین را تشکیل می‌دهد ، به حساب آورده شود .

17-2-2- مولدهایی که نمی‌توانند مستقل از منبع شبکه برق کار کنند (ماشین سنکرون یا آسنکرون که با برق شبکه تحریک می‌شود .)

کار موازی ماشین سنکرون یا آسنکرون که با برق شبکه تحریک می‌شود معمولا با یک منبع برق شبکه مجاز می‌باشد . از این نوع ماشین عموماً هنگامی استفاده می‌شود که محرک اولیه باد ، آب یا گاز بیوشیمی بوده و یا می‌تواند هر محرک اولیه مناسب دیگری باشد . اگر در سیم پیچ‌های ماشین نقطه خنثا وجود دارد ، این نقطه نباید زمین شود . بدنه ماشین ، بدنه‌ای هادی و

قسمت‌های هادی بیگانه باید به ترمینال زمین اصلی تاسیسات شامل ترمینال زمین شبکه در صورت وجود ، وصل شود .

17-2-3- مولدهایی که می‌تواند مستقل از منبع برق شبکه کار کنند .

17-2-3-1- مولدی که برای کار مستقل از منابع خارجی در نظر گرفته شده است .

در این روش بهره برداری ، دستگاه مولد برق تنها منبع تغذیه برای تاسیسات به حساب می‌آید . اگر تنها یک مولد وجود داشته باشد ، زمین حفاظتی و زمین سیستم هر دو از طریق وصل خنثای مولد ، بدنه مولد و قسمت‌های هادی بیگانه به یک ترمینال زمین اصلی و استفاده از یک الکترود زمین مستقل احراز می‌شود .

در موردی که بیش از یک مولد بطور موازی کار کند ، جزئیات مربوط به جریان‌های دوار خنثا به زمین ، در روش‌های زیر بند 17-2-3-2 گفته شده است .

17-2-3-2- مولدی که به عنوان یک منبع ذخیره یامنبع اضطراری پیش بینی می‌شود .

در این روش بهره برداری ، مولد برق می‌تواند به عنوان یک منبع ذخیره یا اضطراری ، کل یابخشی از نیروی تاسیسات راتامین کند . توجه مخصوص به سیستم کلید دو طرفه لازم خواهدبود . تا کار موازی با برق شبکه امکانپذیر نباشد و بطور کلی مجزا بودن فازها و خنثای مولد از برق شبکه لازم می‌باشد .

معهذا در مورد شبکه با اتصال زمین مکرر (PME) در موردی که ترمینال زمین از یک سیستم تغذیه با اتصال زمین مکرر در دست باشد ، تنها جداسازی هادی‌های فاز کافی خواهد بود .

در موردی که تنها یک مولد فشار ضعیف وجود دارد ، نقطه خنثای سیم پیچ‌های آن ، بدنه مولد ، کلیه قسمت‌های هادی در دسترس و قسمت‌های هادی بیگانه باید به ترمینال اصلی زمین وصل شوند . این ترمینال زمین باید به یک الکترود زمین مستقل و در صورتی که مورد داشته باشد به ترمینال زمین که توسط شبکه تغذیه پیش بینی می‌شود ، وصل شود .

در مواردی که نیرو بوسیله چند مولد که ممکن است بطور موازی کار کنند تولید شود ، زمین حفاظتی بدنه‌های مولد و قسمتهای فلزی مربوط به آن مشابه روش زمین کردن مربوط به یک مولد خواهد بود .

در هر حال روش زمین کردن سیستم برای سیم پیچ‌ها ، تحت تاثیر شدت جریانهای دوار بوده (معمولا هارمونیک سوم) که ممکن است در هادی‌های زمین خنثا جریان پیدا کنند . این مساله را می‌توان با انتخاب مولدهایی که هارمونیک کمتری تولید می‌کنند (مانند ماشینهای با سیم پیچهای زیگزاک) بر طرف کرد .

به جای روش فوق ، می‌توان یکی از روشهای زیر را بکار برد :

الف – وصل یک ترانسفورماتور اتصال به زمین خنثا بین فازها و زمین این کار وصل دائمی نقطه خنثای تاسیسات را به زمین بطور دائم میسر می‌سازد ، در حالیکه مولدهابه صورت ماشینهای سه سیمه به شینه‌ها متصل می‌شوند .

ب – وصل نقطه ستاره به نحوی که هنگام کار موازی چند مولد ، نقطه خنثای فقط یک مولد به زمین متصل باشد . بسیار مهم است که قفل و بستهای مکانیکی و الکتریکی بر روی کلیدهای نقطه ستاره پیش بینی شود تا صحت کار اتصال زمین خنثا را در همه موارد و تحت کلیه شرایط کاری ممکن ، تضمین کند .

ج – استفاده از یک رآکتور مناسب در محل وصل خنثای هر مولد که باعث تضعیف جریانهای فرکانس بالا شود ، بدون آنکه امپدانس قابل توجهی را در فرکانس اصلی از خود نشان دهد .

روش اتصال زمین برای مولدی که با کلید تبدیل کار می‌کند در شکل 14 نشان داده شده است .

در مورد تاسیسات دارای چند مولد که در آن انتظار نمی‌رود جریانهای دوار تولید اشکال کنند یا در مواردی که مولدهای با تولید هارمونیک کم انتخاب شده‌اند ، اتصالات نوعی خنثا به زمین در شکل 5 نشان داده شده‌اند . اتصالات نوعی در مواردی که روشهای (الف) یا (ب) انتخاب شده باشند در شکلهای 16 و 17 نشان داده شده‌اند .

17–2–3–3– مولدی که قابلیت کار موازی با یک منبع تغذیه خارجی را دارد کار موازی مولدهای سنکرون و مولدهای آسنکرون خود تحریک یا منبع شبکه ممکن خواهد بود به شرطی که در صورت قطع برق ورودی یا بروز اشکال جزئی در آن ، حفاظت لازم برای قطع تغذیه شبکه پیش بینی شده باشد .

مشکلات مربوط به جریانهای دوار خنثا به زمین مشابه آنچه برای مولدهای موازی در زیر بند 17–2–3–2 شرح داده شد ، هنگامی پیش می‌آید که مولد فشار ضعیف موازی با شبکه ورودی کارکند .

در مواردی که شدت جریانهای عبوری ، بیش از حد پیش بینی شود ، می‌توان روشهای انتخابی در زیر بند 17–2–3–1 را بکار برد . اگر لازم باشد مولد با کلید تبدیل نیز کار کند ، توصیه‌های زیر بند 17–2–3–2 باید به کار گرفته شود .

17–2–4– مولدهای سیار سه فاز فشار ضعیف

17–2–4–1– اتصالات به سیم پیچهای مولد

این مدارها می‌توانند روی تریلر ، شاسی یا یک وسیله تغذیه نصب شوند و توان خروجی آنها از حدود 15KVA به بالا باشد . سیم پیچهای مولدی را که تازه از کارخانه تحویل شده است ، نمی‌توان به بدنه ماشین وصل کرد .

ترمینالهای سه فاز و اتصالات نقطه خنثا باید جداگانه به جعبه ترمینال مولد یا در مورد مولدهای کوچکتر به پریز خروجی که طبق یکی از استانداردهای معتبر باشد ، آورده شوند .

به منظور محدود ساختن پتانسیل هادی‌ها نسبت به بدنه فلزی و تضمین کار صحیح وسایل حفاظتی ، نقطه ستاره سیم پیچهای مولد باید به یک نقطه مرجع مشترک وصل شود . برای تشکیل این نقطه مرجع ، بدنه مولد ، کلیه قسمتهای فلزی در دسترس ، زیر بدنه یا شاسی وسیله نقلیه و کلیه هادی‌های حفاظتی باید به یکدیگر وصل شده و در مواردی که معقول و عملی باشد به زمین وصل شوند .

توصیه می‌شود که جعبه ترمینال یا پریز خروجی دارای 5 اتصال باشد ، یعنی یک اتصال مجزا برای هادی حفاظتی و 4 اتصال عادی برای سه فاز و خنثا .

در صورتی که فقط چهار اتصال وجود داشته باشد ، از مولد باید صرفاً برای تامین بارهای سه فاز متعادل استفاده شده و اتصال چهارم برای هادی حفاظتی در نظر گرفته شود . اتصال چهارم و هادی آن نباید به عنوان هادی مشترک حفاظتی – خنثا مورد استفاده قرار گیرد ، زیرا در صورت قطع این هادی احتمال بروز خطر وجود خواهد داشت .

استفاده از هادی‌های حفاظتی و خنثای مجزا ، بویژه هنگامی اهمیت پیدا می‌کند که داشتن حفاظت تکمیلی در برابر خطر برق گرفتگی با استفاده از وسایل حفاظتی جریان پسماند سه فاز مورد نظر باشد ، زیرا فقط جریان خنثا غیر از هر نوع جریان نشتی باید در وسیله حفاظتی جریان پسماند جمع شود .

ضروری است که بین نقطه مرجع مشترک و زمین واقعی در محل مولد ، اتصال برقرار شده و بین نقطه خنثا و زمین در طرف مصرف از وسیله حفاظتی جریان پسماند ، اتصال وجود نداشته باشد .

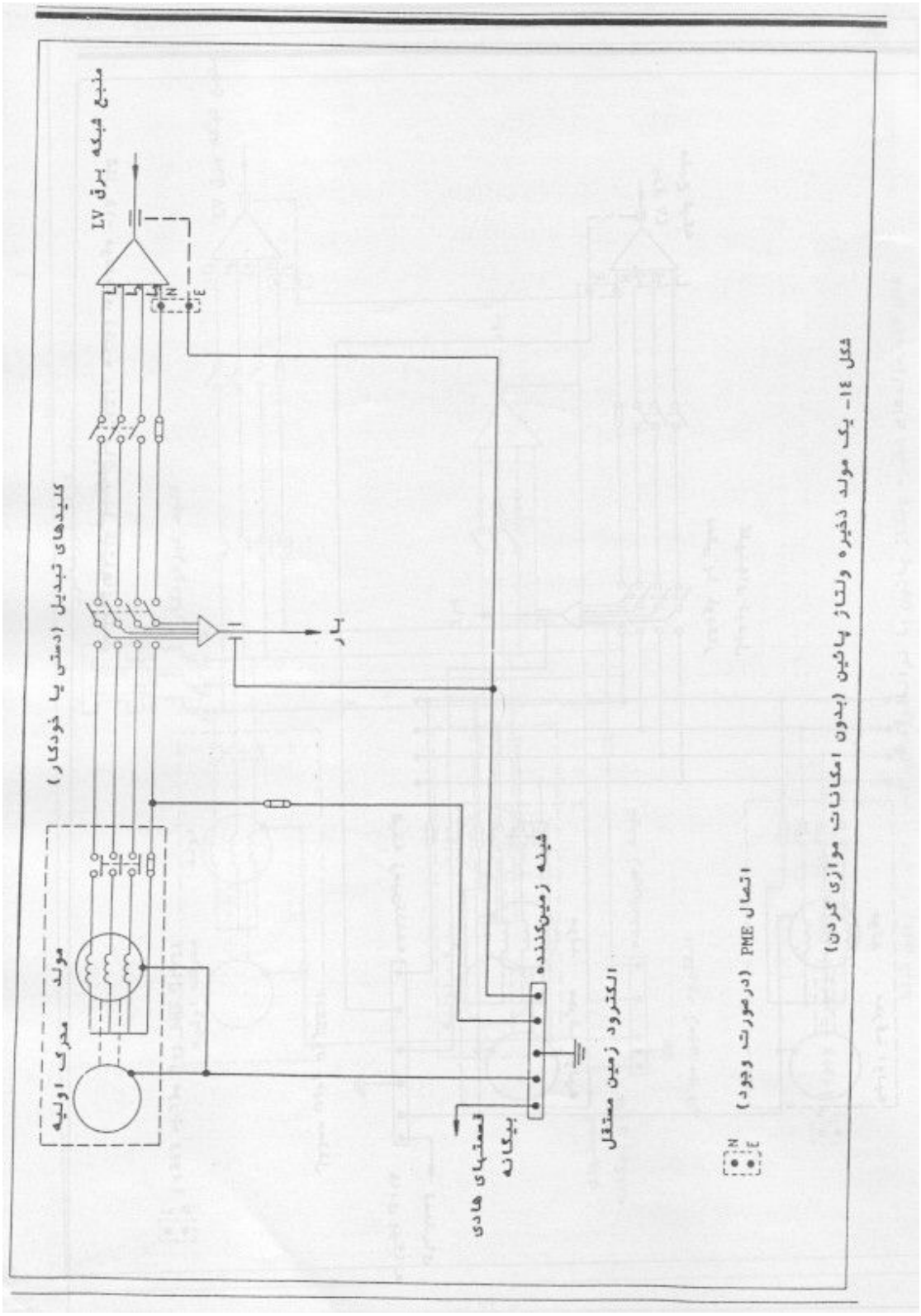
در توصیه‌های ارائه شده برای مولدهای سیار و قابل حمل که در این استاندارد آمده است ، فرض بر این است که بقیه سیستم (مولد ، کابلها و دستگاههای مصرف کننده) طبق مقررات مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران نصب شده‌اند .

17-2-4-2- انتخاب کابل‌ها

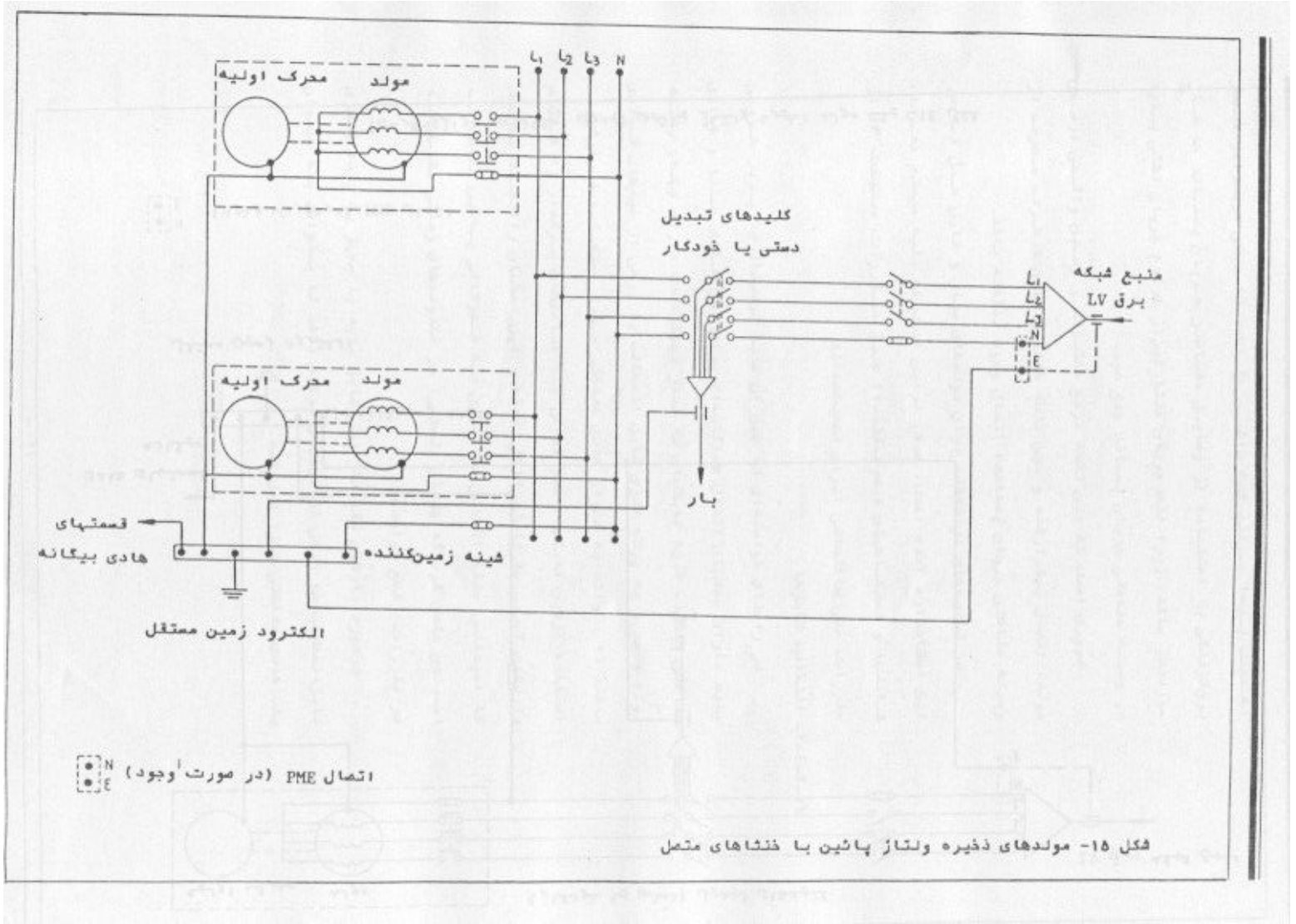
در راستای خواسته‌ای که طبق آن جعبه ترمینال یا پریز خروجی باید دارای محلهای اتصال جداگانه‌ای برای وصل هادی خنثا و هادی حفاظتی باشند ، کلیه کابلهای سه فاز بهتر است دارای چهار رشته بوده و مجهز به پرده فلزی قابل انعطاف یا زرهی از سیم‌های فولادی باشند تا بتواند به عنوان هادی حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد . استفاده از این کابلها ، خطر تماس با هادی‌های برقدار را هنگام وارد شدن آسیب به کابل ، کاهش داده و این امکان را ایجاد می‌کند که امپدانس

حلقه اتصالی به زمین به قدر کافی پایین باشد تا اطمینان حاصل شود که جریان اتصالی ، در محدودههای زمانی مشخص شده در مقررات ، قطع خواهد شد .

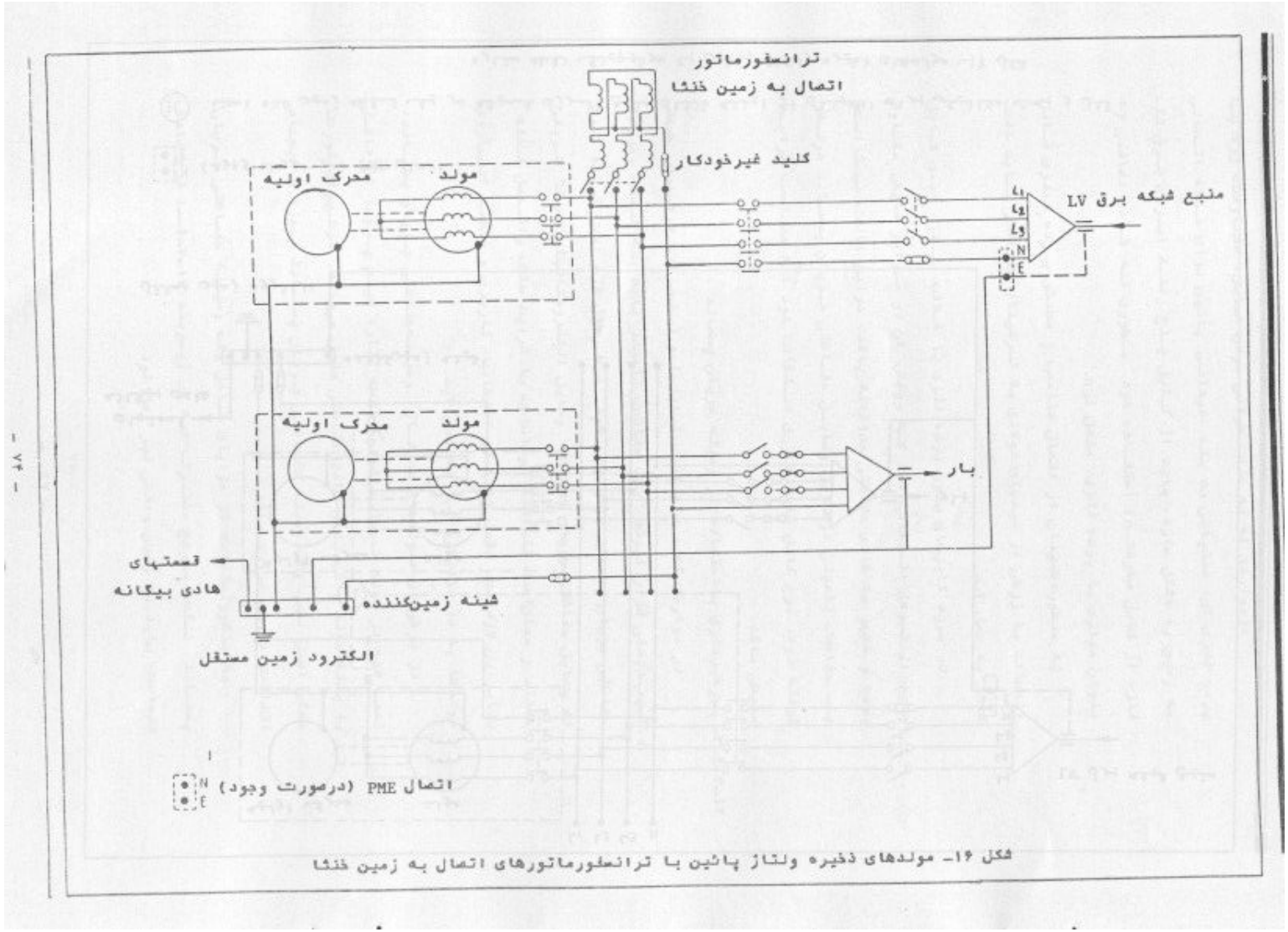
در مورد بارهای تک فاز نیز کابل باید یا مجهز به پرده فلزی قابل انعطاف یا زرهی از سیمهای فولادی باشد تا بتواند به عنوان یک هادی حفاظتی مجزا عمل کند .



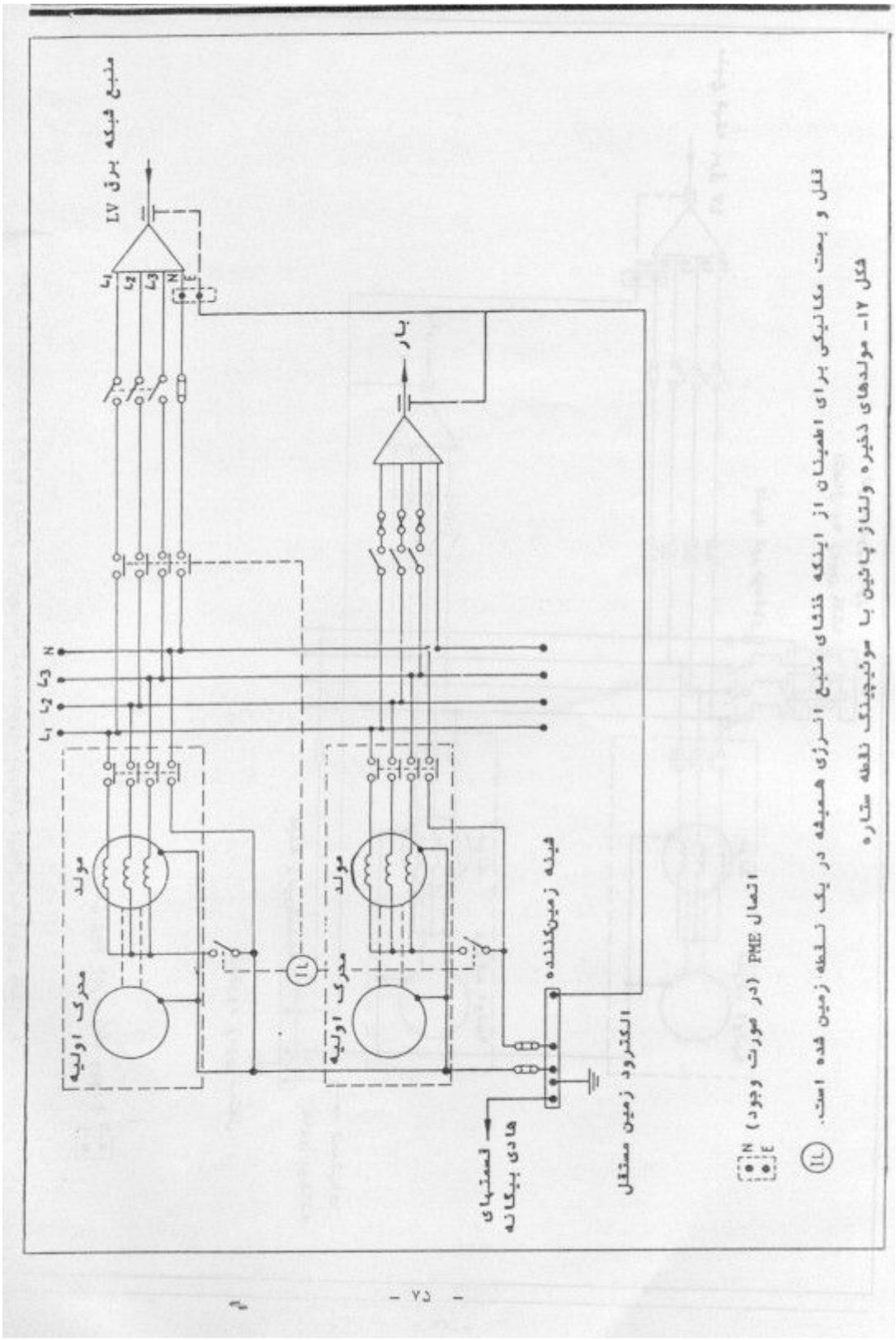
شکل ۱۴- یک مولد ذخیره ولتاژ پائین (بدون امکانات موازی کردن)



شکل ۱۵- مولدهای ذخیره ولتاژ پائین با خنثاهای متصل



شکل ۱۶- مولدهای ذخیره ولتاژ پائین با ترانسفورماتورهای اتصال به زمین خنثا



نقل و بعت مکانیکی برای اطمینان از اینکه خنثای منبع انرژی همیشه در یک نقطه زمین شده است. (11)

شکل ۱۲- مولدهای ذخیره ولتاژ پائین با سوئیچینگ نقطه ستاره

در مواردی که به علت طولانی بودن کابل ، مقاومت زره یا پرده فلزی آن ، دستیابی به یک امپدانس پایین برای حلقه اتصالی به زمین را مشکل سازد ، باید از کابل پنج رشته (برای برق تک فاز ، از کابل سه رشته) استفاده شود ، بطوری که هادی اضافی را بتوان موازی با پرده فلزی متصل کرد .

به منظور اطمینان از اتصال مناسب و مطمئن بودن پرده فلزی قابل انعطاف یا زرهی از سیمهای فولادی به ترمینال حفاظتی باید دقت کافی به عمل آید .

در مورد کابل‌های بدون پرده فلزی یا غلاف سیمی ، این کابل باید از نوعی انتخاب شود که روکش آن در برابر سایش مقاوم بوده و مجهز به هادی حفاظتی جداگانه باشد . در این حالت بهتر است یک حفاظت تکمیلی از طریق وسایل حفاظتی جریان پسماند در نظر گرفته شود . نوع کابل باید طوری انتخاب شود که مناسب شرایط محیطی باشد .

17-2-4-3- بهره برداری با استفاده از وسیله جریان پسماند

در مواردی که ممکن است کابلها و تجهزیات در معرض خطر آسیب دیدگی قرار گیرند ، یک حفاظت تکمیلی باید به کمک وسیله حفاظتی جریان پسماند پیش بینی شود . در هر حال لازم است توجه کرد که وسایل حفاظتی جریان پسماند ، وسایل الکترومکانیکی نسبتاً ظریفی هستند و ممکن است نتوانند نوسانات یا شرایط سخت را تحمل کنند . بنابراین لازم است دقت کافی در انتخاب ، کاربری و نصب آنها روی مولدها یا در نزدیکی آنها به عمل آید .

در برخی از مولدهای سه فاز ، وسیله حفاظتی جریان پسماند ، نصب شده در مولد تحویل می‌شود و نقطه ستاره سیم پیچها از داخل به بدنه مولد و ترمینال هادی حفاظتی متصل می‌باشد . در غیر اینصورت ممکن است نصب یک وسیله حفاظتی جریان پسماند مجزا و ایجاد اتصالات خارجی ضروری باشد .

به منظور استفاده از مزایای کامل یک وسیله حفاظتی جریان پسماند ، نقطه مرجع مشترک که در زیر بند 17-2-4-1 شرح داده شده است باید به زمین واقعی نیز وصل شود .

وسیله حفاظتی جریان پسماند باید با استانداردهای معتبر مطابقت داشته و از نوعی انتخاب شود که جریان عمل آن [49] از 30mA بیشتر نبوده و زمان قطع آن در جریان پسماند 150mA از 40mS تجاوز نکند .

وسیله حفاظتی جریان پسماند نه تنها باید هنگام وقوع اتصالی بین هادی فاز و زمین یا بدنه فلزی عمل کند بلکه باید خطر برق گرفتگی ناشی از تماس افراد با هادی برقدار کابلهای آسیب دیده فاقد زره یا تجهیزاتی که کاملا توسط محفظه فلزی پوشیده نشده‌اند را کاهش دهد .

گرچه در صورت نبودن یک اتصال عمدی بین هادی حفاظتی و زمین ، تماس اتفاقی بین پوشش‌های فلزی تجهیزات و زمین ممکن است طوری باشد که هر گونه جریان اتصال به زمین که باعث بروز خطر برق گرفتگی شود ، برای عمل وسیله حفاظتی جریان پسماند کافی باشد ، ولی بهتر است برای اطمینان از عمل وسیله حفاظتی جریان پسماند ، یک اتصال زمین در صورتی که کوچکترین امکان عملی احداث آن وجود داشته باشد ، برقرار شود .

به منظور اطمینان از اینکه هنگام بروز اتصالی به زمین ، وسیله حفاظتی جریان پسماند عمل کرده و از خطر برق گرفتگی از قسمتهای فلزی در دسترس جلوگیری خواهد کرد ، مقاومت اتصال زمین باید کمتر از $50/I_{\Delta n}$ باشد که در آن $I_{\Delta n}$ جریان عمل اسمی وسیله حفاظتی جریان پسماند است .

مقاومت اتصال زمین اگر $I_{\Delta n}$ برابر با 30mA باشد باید کمتر از 1600 اهم باشد . این اتصال زمین را می‌توان با استفاده از روشهای اتصال زمین مشخص شده در زیر بند 17-2-4-4 ایجاد کرد .

قویاً توصیه می‌شود که استفاده کنندگان از تجهیزات قابل حمل و قابل حمل و نقل که وسیله حفاظتی جریان پسماند روی آنها نصب شده است . یک فرد صلاحیت دار را برای انجام آزمون قطع و آزمون زمان قطع روی وسیله حفاظتی جریان پسماند بکار گیرند . این آزمونها باید با استفاده از وسایل اختصاصی که برای این منظور طراحی شده انجام شود . این آزمونها باید در فواصل کوتاه زمانی (مثلا هر سه ماه یکبار) صورت گرفته و مستقل از سایر آزمونهای قطع که با استفاده از دکمه قطع [50] روی وسیله حفاظتی جریان پسماند که به عمل می‌آید انجام شود .

17-2-4-4- اتصالات به زمین

مثالهای زیر ، روشهای عملی برای انجام اتصال به جرم کلی زمین می‌باشند که در زیر بندهای 17-2-4-1 و 17-2-4-3 توصیه شده است :

الف - میله زمین که تا عمق حداقل 1 متری کوبیده شود .

ب - سازه‌های فولادی ثابت در پی‌ها

ج - میلگردهای در دسترس که در پی‌های بتونی بکار رفته است .

د - اجزای فلزی شناخته شده که تا عمق حداقل 1 متری زمین ادامه دارند . از لوله‌های گاز یا سوخت مایع به علت وجود خطر اشتعال در هنگام عبور جریان نشتی ، نباید استفاده شود .

ه - ترمینال زمین تاسیسات الکتریکی ثابتی که در آن حوالی قرار دارد ، به شرط اینکه احتمال قطع اتصال زمین تاسیسات وجود نداشته باشد .

17-2-4-5- بهره برداری بدون وسیله جریان پسماند

نقطه ستاره سیم پیچ باید به بدنه مولد ، کلیه قسمتهای فلزی در دسترس و هادی حفاظتی ، وصل شود .

کابل‌ها بهتر است دارای پرده فلزی یا زره سیمی فولادی باشند تا بتوان آن را به هادی حفاظتی وصل و یا از آن به عنوان هادی حفاظتی استفاده کرد .

تجهیزات مصرف یا باید دارای پوشش فلزی باشد که در اینصورت قسمتهای فلزی در دسترس باید به هادی حفاظتی وصل شود و یا دارای عایق بندی تکمیلی یا عایق بندی مضاعف باشد .
مولد باید مناسب شرایط محیطی که در آن قرار می‌گیرد باشد .
حفاظت در برابر برق گرفتگی وابسته به عوامل زیر است :
– محفظه یا روپوش کلیه قسمت‌های برق دار باید از مواد هادی مناسب ساخته شده و با استفاده از هادی حفاظتی همبندی شوند و یااز تجهیزات با عایق بندی تکمیلی مناسب استفاده شود .
امپدانس‌های حلقه و اتصال باید به اندازه‌ای باشد که در هر دو حالت اتصال کوتاه و اتصال به بدنه‌های فلزی در دسترس ، قطع مدار را طبق مقررات سیم کشی تضمین نماید . در این شرایط می‌توان این واحدها را بدون اینکه به زمین مستقلی وصل شوند ، استفاده کرد .
17–2–5– مولدهای قابل حمل و قابل حمل و نقل تک فاز با ولتاژ پایین
گستره اندازه‌ای مولدها از حدود 0/3KV.A تا 10KV.A است . سیم پیچ مولد معمولا از بدنه جدا است و به پریزهای سه پل که با استاندارد ملی شماره .... مطابقت دارند ، وصل می‌شوند . هادی حفاظتی از داخل به بدنه مولد وصل می‌باشد . اغلب برای دستیابی به خروجی‌های 220V و 110V، یک کلید انتخاب کننده ولتاژ روی مولد نصب می‌شود . استفاده از مولدهای تک فاز کوچک به نحوی رضایتبخش به صورت سیستم‌های شناور یعنی بدون آنکه سیم پیچ آن به بدنه یا زمین وصل شود ، شناخته شده است .
بدنه و محفظه مولد بایدبه کلیه بدنه‌های هادی تجهیزات مصرف از طریق هادی حفاظتی که جزئی از کابل ارتباطی بوده و مجهز به ترمینالهای مناسب است ، وصل شود . نوع کابل ، پریزها ، دو شاخه‌ها و اتصال دهنده‌های کابل باید مناسب شرایط محیطی خود باشند . توصیه می‌شود کابل از نوع قابل انعطاف انتخاب شود و مجهز به پرده هادی یا زره سیمی که بتوان از آن به عنوان هادی حفاظتی استفاده کرد ، باشد . انجام صحیح اتصال پرده سیمی در چند شاخه‌های خانگی ممکن است مشکل باشد ، به این دلیل بهتر است از دو شاخه و پریزهای مناسب انتخاب شود .
اگر از کابلی بدون پرده فلزی استفاده شود ، این کابل باید قابل انعطاف بوده و دارای غلاف رویی اکسترود شده که مقاومت آن در برابر سائیدگی زیاد است ، باشد . همچنین این کابل باید دارای یک هادی حفاظتی مجزا باشد .
کابل ، چند شاخه‌ها و پریزها باید در دوره‌های کوتاه مدت بازرسی شده و در صورت وجود خرابی در آنها تعویض شوند نه تعمیر .
تجهیزات و کابلهایی که در وضع خوبی باشند برای کار یک سیستم زمین نشده حیاتی بوده و اولین خط جبهه در حفاظت در برابر برق گرفتگی را تشکیل می‌دهد .

کلیه کابل‌ها باید تا حدامکان کوتاه بوده و بارهایی را که نزدیک به هم و جمع و جور می‌باشند تغذیه کنند ، زیرا تجربه نشان داده است که تاسیسات جمع و جور نسبت به تاسیسات وسیع ، کمتر در معرض آسیب دیدگی عایق بندی قرار می‌گیرد که نتیجه آن برقراری اتصالی به زمین است .

تجهیزات الکتریکی دستی که با برق 110V (مصارف صنعتی) یا 220V (مصارف خانگی) کار می‌کنند و از یک مولد تک فاز مستقل تغذیه می‌شوند بهتر است از نوع طبقه II باشند .

پس از وقوع یک اتصالی (که ممکن است ناشناخته باقی بماند ،) تماس با یک هادی برقدار که در اثر استفاده نادرست یا خرابی در تجهیزات در دسترس قرار می‌گیرد ، باعث خطر برق گرفتگی خواهد شد و نصب وسیله حفاظتی جریان پسماند ممکن است این خطر را کاهش دهد . برای این گونه حفاظت تکمیلی ، جریان کار وسیله حفاظتی جریان پسماند باید 30mA و زمان قطع آن در جریان کاری 150 mA برابر 40mS باشد (توصیه‌های مربوط به عمل وسایل حفاظتی جریان پسماند را در زیر بند 17-2-4-3 ببنید .)

معمولا برای مولدهای تک فاز کوچک ، وسیله حفاظتی جریان پسماند پیش بینی نمی‌شود . لذا هنگامیکهاین نوع حفاظت تکمیلی خواسته شود ، باید یک سیستم وسیله حفاظتی جریان پسماند مجزا تهیه شده و توسط شخص صلاحیت داری نصب شود .

اتصالات باید در طرف مولدنسبت به وسیله حفاظتی جریان پسماند ، بین قطب مجزا نشدنی و سیم پیچ مولد و هادی حفاظتی و زمین انجام شود . بدین ترتیب قطب متصل شده تبدیل به نقطه خنثا می‌شود .

این اتصالات مسیرهایی را برای برگشت جریان اتصالی به سیم پیچ‌های مولدفراهم کرده و باعث بکار افتادن وسیله حفاظتی جریان پسماند هنگام وقوع اتصالی به قسمت‌های فلزی پوششها یا زمین یا تماس با قسمتهای برقدار در دسترس می‌شود .

یک پوشش مناسب باید برای وسیله حفاظتی جریان پسماند چه از جنس کاملا عایق و چه فلزی ، فراهم شود .

در عمل ، اغلب بهتر است از یک سیستم زمین نشده یا شناور استفاده شود . به شرط آنکه مواظبت‌های لازم به عمل آید . کابل‌ها و ملحقات باید با در نظر گرفتن شرایط محیطی انتخاب و استفاده شوند . سیستم باید بطور منظم در دوره‌های کوتاه مدت بازرسی شده و دقت کافی در انتخاب مسیرهای کابل صورت گیرد تا احتمال آسیب به حداقل برسد .

17-3- مولدهای ولتاژ بالا

17-3-1- الکترودهای زمین و مقاومت‌های اتصال به زمین

شبکه‌های توزیع ولتاژ بالا ممکن است مستقیماً یا از طریق مقاومت یا سلف یا ترانسفورماتورهای زمین کننده ، زمین شوند .

انتخاب هر یک از روش‌های بالا بستگی به حساسیت تجهیزات حفاظت در برابر اتصالی در سیستم زمین دارد و به منظور محدود کردن ازدیاد پتانسیل تحت شرایط اتصالی به زمین طراحی می‌شود .

مهم است که سیستم اتصال زمین تاسیساتی که مولدهای ولتاژ بالا دارند ، با سیستم زمین سایر تاسیسات یا سیستم‌های توزیعی که مولد به آنها وصل خواهدشد ، سازگار باشد .

17-3-2- سیستم‌های مولد ولتاژ بالا (مولدهای سنکرون جریان متناوب با اتصال ستاره)

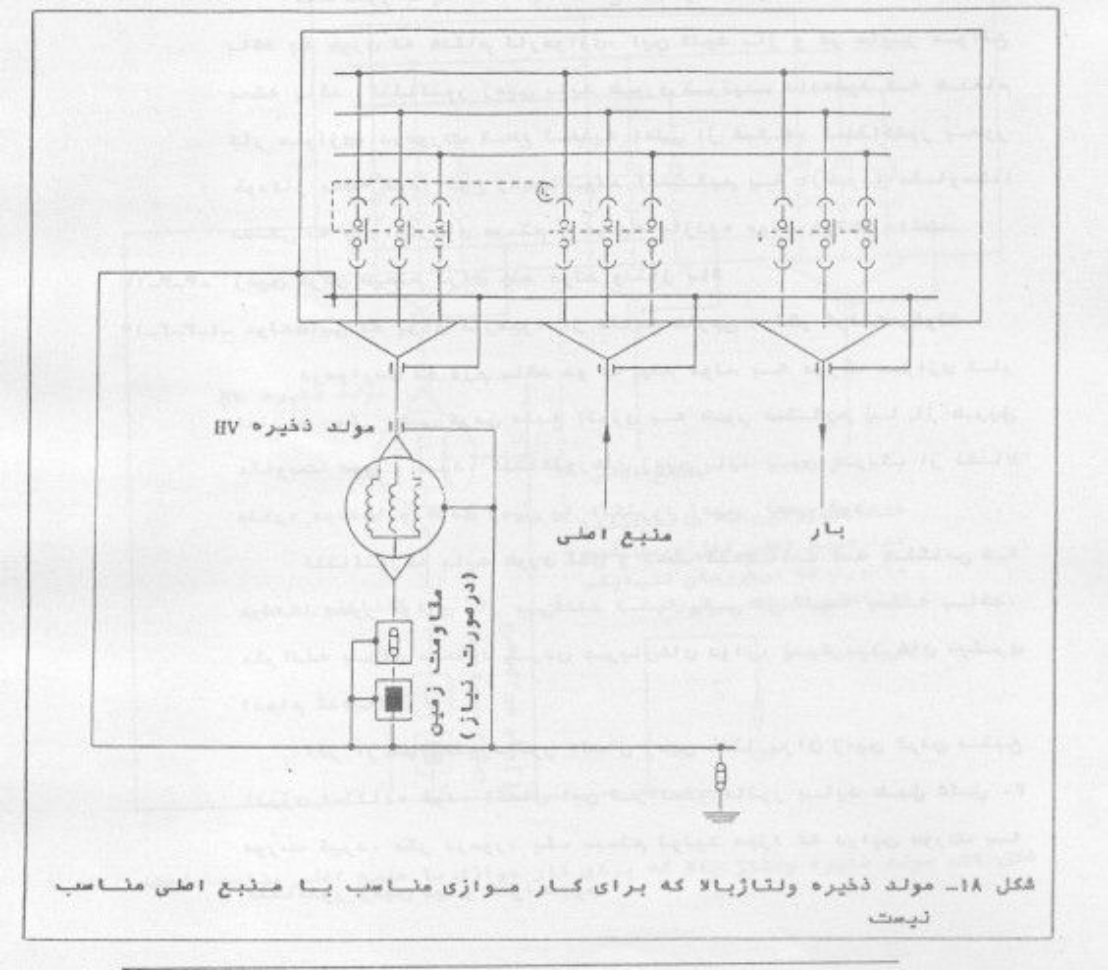
17-3-2-1- مولدی که برای کار مستقل از منابع خارجی در نظر گرفته شده است .

نقطه ستاره مولد (در صورت لزوم ، از طریق مقاومت یا سلف) باید از طریق یک ترمینال قابل قطع پیچی برای آزمون ، به یک هادی زمین و الکترود زمین مستقل وصل شود .

در مواردی که برای زمین کردن نقطه ستاره مولد ولتاژ بالا از سلف یا مقاومت استفاده شود ، سیستم زمین معمولا طوری طرحی می‌شود که جریان اتصال به زمین تقریباً برابر جریان بار کامل ماشین شود . ولی بطور کلی ، نیازی به زمین کردن مولدهایی که توان اسمی آنها 1MW یا کمتر است ، از طریق مقاومت یا سلف نیست .

17-3-2-2- مولدی که به عنوان منبع ذخیره یا منبع اضطراری پیش بینی می‌شود .

در این نوع بهره برداری ، مولد می‌تواند یک منبع ذخیره برای تولید تمام یابخشی از تاسیسات باشد . علاوه بر توصیه‌های مربوط به زمین کردن مولدی که مستقل از سایر مناع کار می‌کند ، وجود یک منبع تغذیه اصلی خارجی ضروری می‌سازد که منبع ذخیره [51] و کلیدهای قطع مدار منبع خارجی به یکدیگر قفل و بست شوند تا از اتصال موازی اشتباهی آنها جلوگیری به عمل آید (شکل 8 را ببنید .)



شکل ۱۸- مولد ذخیره ولتاژبالا که برای کار موازی مناسب با منبع اصلی مناسب نیست

17-3-2-3- مولدی که توانایی کار موازی با یک منبع خارج را دارد .

کار موازی یک مولد با یک سیستم ولتاژ بالای خارجی منوط به تایید سازمان برق مربوطه می‌باشد . در اکثر حالات هنگامی که کار موازی مولد با یک منبع خارج مورد نیاز باشد ، احتیاج به یک کنتاکتور زمین بین نقطه ستاره مولد و ترمینال آزمون قابل قطع پیچی خواهد بود (شکل 19 را ببینید .)

کنتاکتور باید با کلید قطع مدار تغذیه شبکه قفل و بست باشد به طوری که هنگام کارموازی ، این کلید باز و در سایر مواقع بسته باشد . کنتاکتور زمین باید طوری ترتیب داده شود که هنگام کار موازی ، در صورت قطع تغذیه اصلی از شبکه ، کنتاکتور بطور خودکار بسته شود . نوع زمین مولد (مستقیم یا از طریق مقاومت) بستگی به پارامترهای سیستم و توصیه سازنده مولد خواهد داشت .

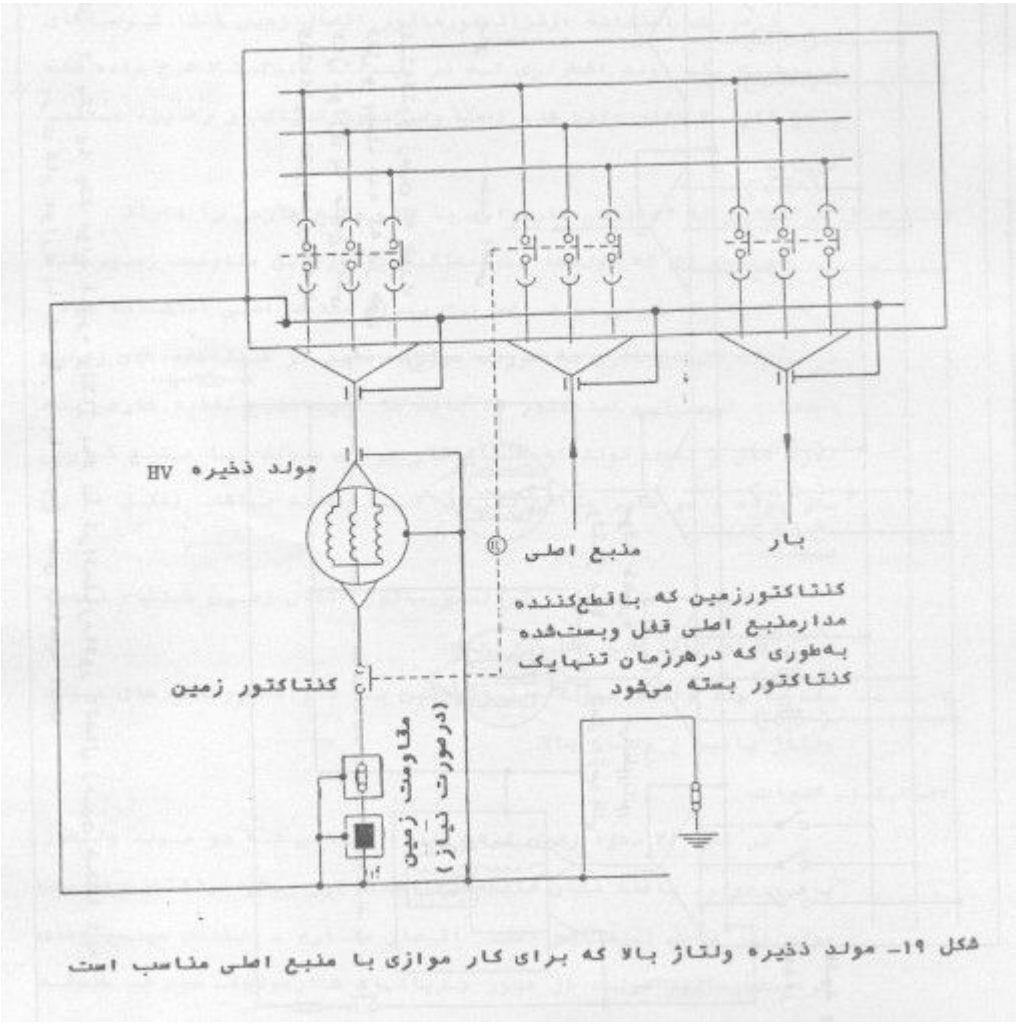
17-3-3- زمین کردن سیستم برای چند مولد ولتاژ بالا

17-3-3-1- مولدهایی که برای کار مجزا از منابع خارجی در نظرگرفته می‌شوند .

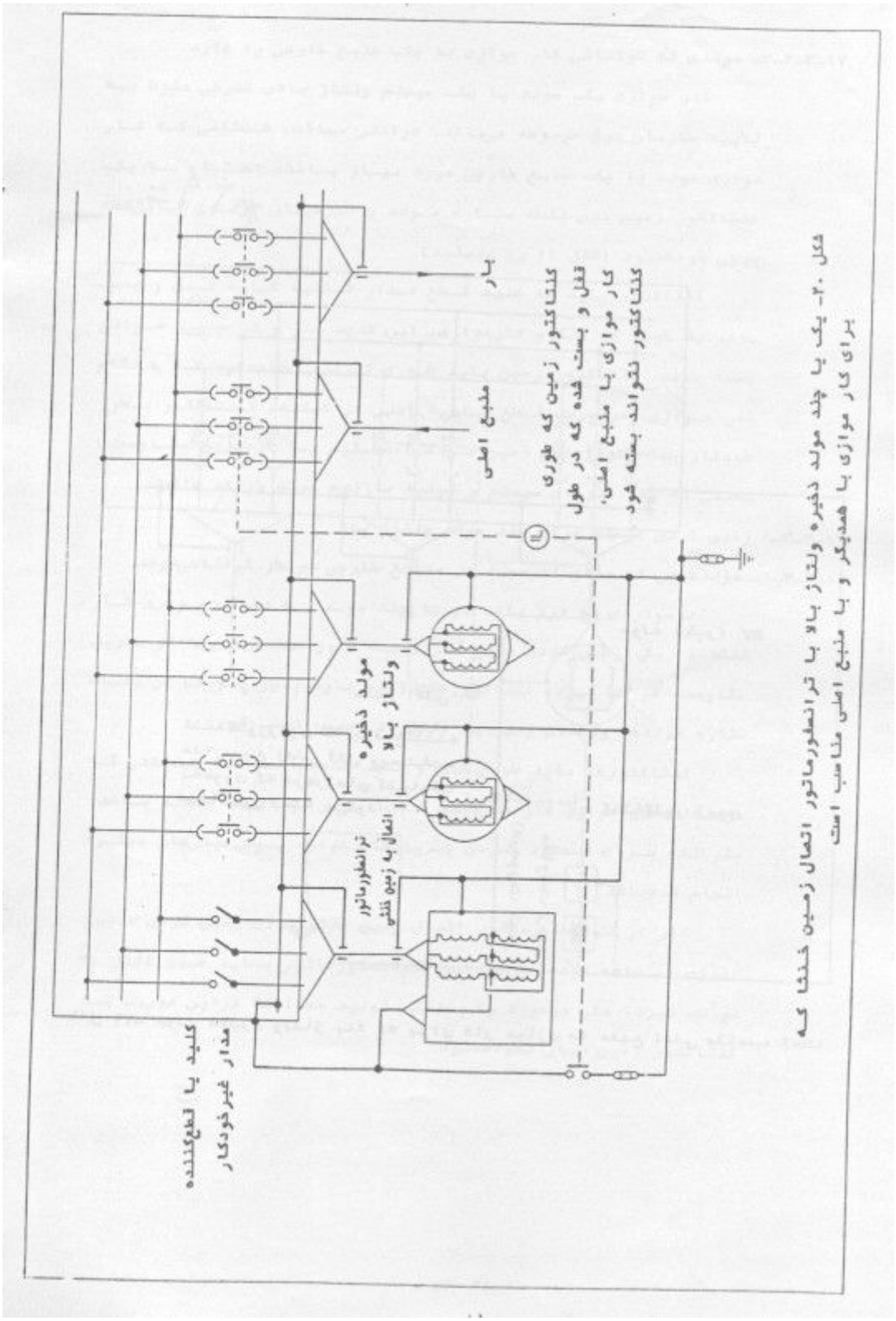
در مواردی که لازم باشد دو یا چند مولد به صورت موازی کار کنند و روش زمین کردن منبع انرژی به طور مستقیم یا از طریق مقاومت صورت گیرد ، کنتاکتورهای زمین باید بین هر یک از نقاط ستاره مولدها و هادی زمین یا الکترود زمین ، نصب شود .

کنتاکتورها باید طوری قفل و بست شده باشند که هنگامی که مولدها بطور موازی کار می‌کنند تنها یکی از آنها بسته باشد ، مگر آنکه برای محدود کردن جریان‌های دوار ، پیش بینی‌های دیگری انجام شده باشد .

اگر از ترانسفورماتور اتصال زمین خنثا برای زمین کردن منبع انرژی استفاده شود ، اتصال این ترانسفورماتور باید طبق شکل 20 صورت گیرد ، مگر در مورد یک سیستم تولید مجزا که در این صورت به کنتاکتور زمین نیاز نخواهد بود .



شکل ۱۹- مولد ذخیره ولتاژ بالا که برای کار موازی با منبع اصلی مناسب است



شکل ۲۰- یک یا چند مولد ذخیره ولتاژ بالا با ترانسفورماتور اتصال زمین خنثا که برای کار موازی با همدیگر و با منبع اصلی مناسب است

17-3-3-2- مولدهایی که به عنوان منبعی اضافی یا اضطراری پیش بینی می‌شوند .

در مواردی که مولدها برای کار موازی با منبع برق اصلی پیش بینی نشده و بطور مستقیم و از طریق مقاومت زمین شده‌اند ، کلید خودکار مولد اضطراری و کلید خودکار منبع اصلی برق باید به یکدیگر قفل و بست شوند .

در صورت استفاده از ترانسفورماتور اتصال زمین خنثا توصیه‌های مربوط به یک مولد اضطراری که در زیر بند 17-3-2-2 شرح داده شده و در شکل 20 نشان داده شده است ولی بدون کنتاکتور زمین ، معتبر می‌باشد .

17-3-3-3- مولدهایی که توانایی کارموازی با یک منبع خارجی را دارند .

در مواردی که مولدها بطور مستقیم یا از طریق مقاومت زمین شده و از آنها به عنوان مولداضطراری برای منبع اصلی استفاده شود ، در صورت بهره برداری به صورت موازی ، باید از کنتاکتورهای زمین استفاده شود . این کنتاکتورها باید با کلید منبع تغذیه خارجی به نحوی قفل و بست شوند که هنگام کار موازی مولدبا منبع خارجی باز بوده و در سایر مواقع یکی از آنها بسته باشد . (شکل 21 را ببینید .)

در صورت استفاده ازترانسفورماتور اتصال زمین خنثا ، نحوه زمین کردن باید طبق شکل 20 باشد .

17-3-4- یک یا چند واحد مولد ولتاژ پایین با ترانسفورماتورهای مولد ولتاژ پایین / ولتاژ بالا

17-3-4-1- کلیات

در شکل 22 نحوه زمین کردن خنثا ، هنگامی که دو مولد ولتاژ پایین موجود باشند نشان داده شده است . این روش عیناً برای یک مولد نیز قابل استفاده است . اتصال ستاره – مثلث سیم پیچ‌های ترانسفورماتور مولد ، از عبور جریانهای هارمونیک سوم در سیستم ولتاژ پایین جلوگیری می‌کند .

17-3-4-2- مولدهایی که مستقل از منابع خارجی کار می‌کنند

دراین حالت ، نقاط ستاره سیم پیچ‌های ولتاژ بالای مربوط به ترانسفورماتورهای مولد باید به یکدیگر وصل شده و از طریق ترمینال قابل قطع پیچی به هادی زمین متصل شود . مولدهای ولتاژ پایین معمولا به صورت ستاره بسته شده و در این حالت ، نقطه ستاره آنها باید بطور مستقل و ازطریق ترمینال قابل قطع پیچی به هادی زمین وصل شود .

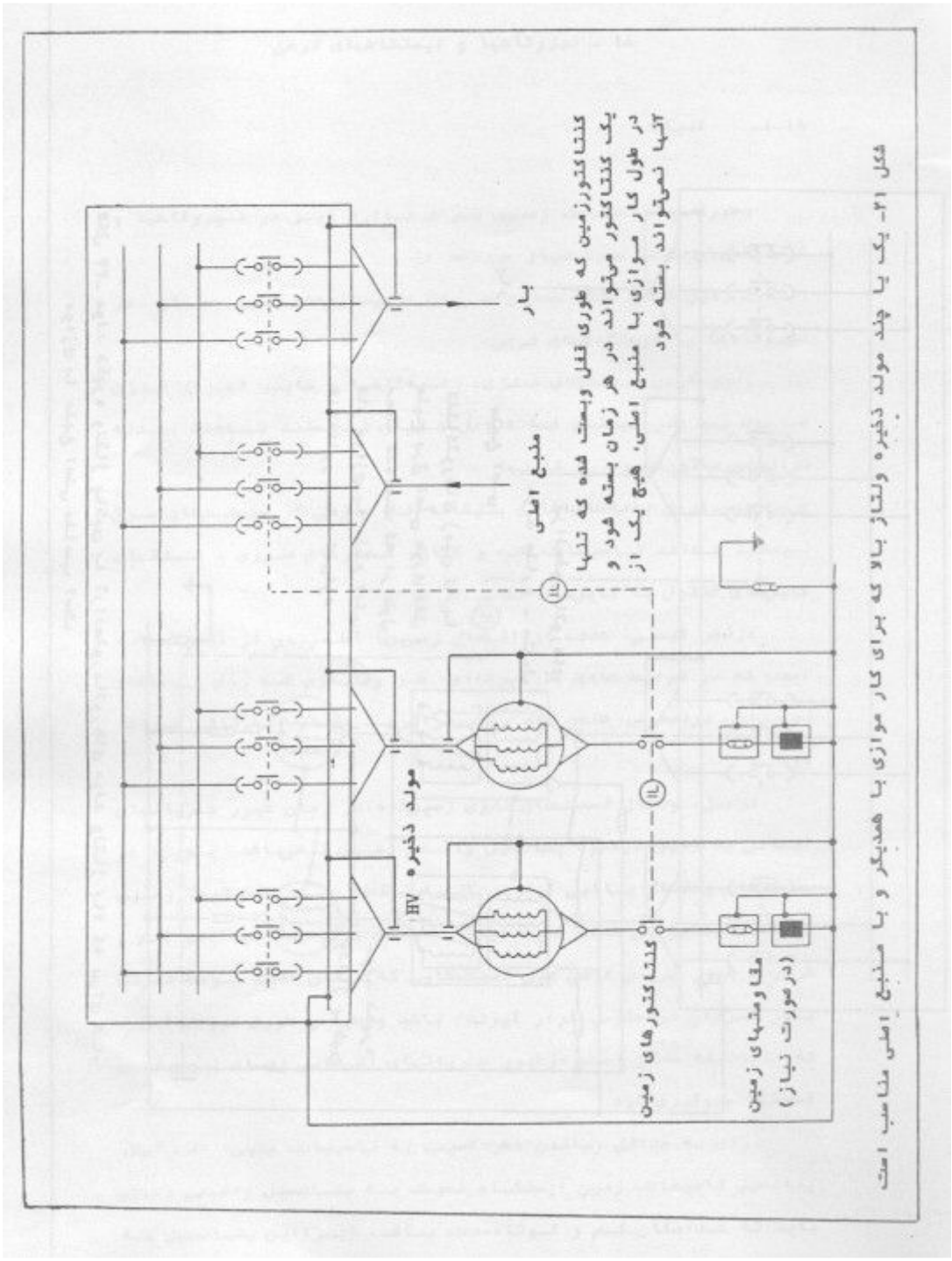
17-3-4-3 مولدهایی که به عنوان منبع ذخیره یا اضطراری پیش بینی می‌شوند .

کلید خودکار مدار ورودی و کلید خودکار مولد اضطراری باید به منظور جلوگیری از کار موازی غیر عمدی با یکدیگر قفل و بست شوند . در سایر موارد ، توصیه‌های مربوط به مولدهایی که مستقل از منبع برق اصلی کار می‌کنند ، صادق خواهد بود (زیر بند 17-3-4-2 را ببنید .)

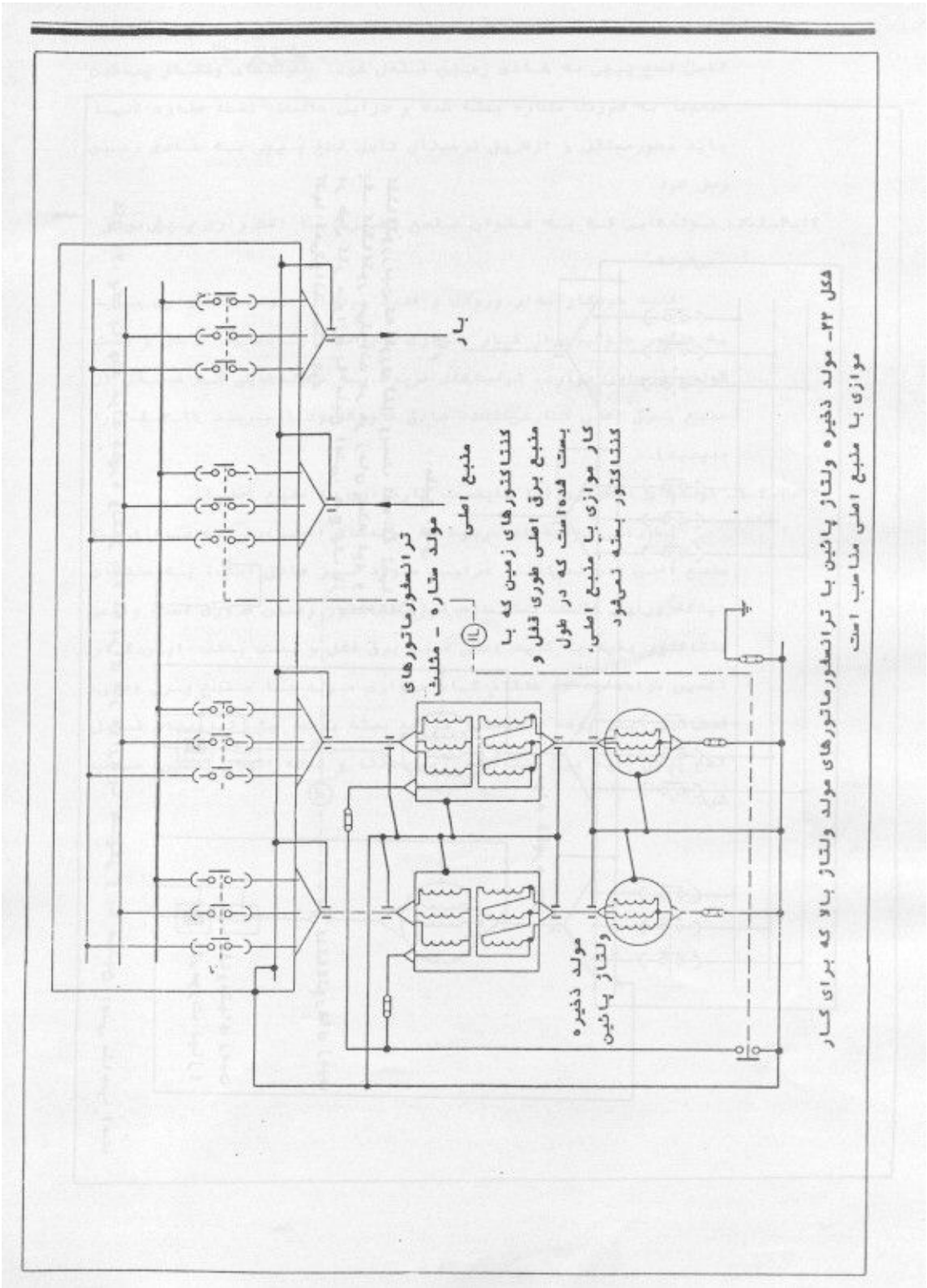
17-43-4-4- مولدهای اضطراری (باقابلیت کار موازی با منبع اصلی)

بطور کلی توصیه‌های مربوط به مولدهای اضطراری که موازی با منبع اصلی کار نمی‌کنند ، در این موردنیز صادق است ، به استثنای اینکه در این حالت استفاده از کنتاکتور زمین ضروری است و این کنتاکور باید با کلید اصلی منبع برق قفل و بست باشد . این کار تضمین خواهد کرد که

هنگام کار موازی مولد با منبع برق اصلی ، کنتاکتور باز بوده و در سایر مواقع بسته باشد . یک ترمینال قابل قطع پیچی باید بین کنتاکتور زمین خنثا و شینه اتصال زمین ، نصب شود .



شکل ۲۱- یک یا چند مولد ذخیره ولتاژ بالا که برای کار موازی با همدیگر و با منبع اصلی مناسب است



شکل ۲۳- مولد ذخیره ولتاژ پائین با ترانسفورماتورهای مولد ولتاژ بالا که برای کار موازی با منبع اصلی مناسب است

18- نیروگاه‌ها و ایستگاههای فرعی

18-1- کلیات

بطور کلی تاسیسات زمین برای موارد زیر در نیروگاهها و ایستاگاههای فرعی مورد نیاز می‌باشد :

الف – زمین کردن نقطه خنثای هر یک از سیستم‌های برق مستقل در نیروگاهها یا ایستاگاههای فرعی

ب – زمین کردن بدنه‌های فلزی ، تکیه گاهها و سایر اجزای فلزی مربوط به هر سیستم که حامل جریان نیستند مانند بدنه ترانسفورماتورها وزره کابلها

ج – زمین کردن بدنه‌های هادی بیگانه که جزئی از سیستم‌های برق نیستند مانند تاسیسات آب و گاز ، حصارهای مرزی ، غلافهای کابل‌های کنترل یا کابل‌های مخابراتی .

از نظر ایمنی ، هدف از اتصال زمین ، اطمینان از این مساله است که در شرایط عادی یا غیر عادی ، هر ولتاژی که روی بدنه‌های تجهیزات در دسترس ظاهر شود پایین‌تر از حد مجاز خطرناک خواهد بود .

درعمل ، ولتاژ قسمت‌های فلزی زمین شده ، در زمان عبور جریانهای اتصالی به زمین در حدود پتانسیل واقعی زمین نمی‌باشد ، بویژه در سیتم‌های ولتاژ بالایی که در آنها نقطه خنثا مستقیماً زمین شده‌اند . بنابراین هدف باید ایجاد همبندی موثر با امپدانس کم و ظرفیت عبور جریان کافی بین قسمت هایی که ممکن است توسط فردی بطور همزمان در دسترس قرار گیرند ، باشد و طراحی طوری صورت گیرد که تا جائیکه ممکن است از عبور جریانهای اتصالی زیاد بین این قسمتها جلوگیری شود .

برای به حداقل رساندن خطر آسیب به تاسیسات جنبی ، افزایش پتانسیل تاسیات زمین ایستگاه نسبت به پتانسیل واقعی زمین باید تا حدامکان کم و کوتاه مدت باشد ، زیرا این پتانسیل به عایق بندی حفاظتی هر یک از تجهیزاتی که در ارتباط بازمین خارج از ایستگاه فرعی می‌باشد ، (مثلا تجهیزاتی که در ارتباط با کابل‌های کنترل یا تلفن یا زره آنها است) اعمال خواهدشد . بنا به دلایل مشابه ، اختلاف پتانسیل بین نقاط زمین شده در ایستگاه‌ها نیز باید در حداقل باشد . در مواردی که از برقگیرها استفاده شود ، اتصال این وسایل حفاظتی به زمین باید تا حدامکان مستقیم باشد . برای تخلیه جریانهای زیاد که دارای مولفه‌های فرکانس بالا می‌باشند ، لازم می‌نماید اتصال به زمین دارای مقاومت و امپدانس کم باشد ، یعنی اتصالاتی کوتاه که تا حدامکان دارای تغییر مسیرهای کم باشند .

در مواردی که نقاط خنثای دو سیستم برق که از نظر الکتریکی مجزاهستند به یک الکترود زمین مشترک در محل وصل باشند ، این دو سیستم به یکدیگر وصل بوده و سبب افزایش پتانسیل زمین درهر دو سیستم ، در اثر عبور جریان اتصال از الکترود زمین خواهدبود . همینطور اگر اجزای فلزیی که حاصل جریان نیستند به همان الکترود زمین وصل باشند ، این اجزا نیز مانند نقطه خنثای منبع ، همان افزایش پتانسیل زمین را خواهند داشت . اگر جداسازی کامل سیستم‌های الکتریکی لازم باشد ، ضروری خواهد بود که نقاط خنثای هر سیستم و اجزای فلزی آن بطور

مجزا زمین شوند . در صورت انتخاب چنین روشی ، هر یک از سیستم‌های زمین باید از سایر سیستم‌ها عایق شودتا بتواند حداکثر افزایش پتانسیل زمین را که در اثر تخلیه صاعقه یا جریانهای اتصالی در هر یک از سیستم‌های برق در سیستم ایجاد می‌شود تحمل کند . ایجاد عایق بندی بین سیستم‌های زمین در این حد بندرت عملی است . انتخاب اینکه از زمین مشترک یا زمین‌های مجزا برای سیستم‌های با ولتاژهای متفاوت در نقطه تبدیل ولتاژ یا ترانسفورماتور استفاده شود ، به عوامل زیر بستگی دارد :

الف – احتمال وقوع شکست الکتریکی در ترانسفورماتور ، بین طرفهای ولتاژ فشار قوی و فشار ضعیف در اثر صاعقه یا سایر عوامل افزایش ناگهانی ولتاژ [52]

ب – ایمنی مصرف کنندگان و اموال آنها که از سیستم فشار ضعیف یک پست تغذیه می‌کنند در برابر افزایش ولتاژ در هادی خنثا در اثر اتصالی به زمین در سیستم فشار قوی آن پست .

در مورد " الف " خطر را می‌توان با استفاده از سیستم اتصال زمین مشترک کاهش داد و در مورد " ب " خطر زمانی بوجود می‌آید که مقاومت سیستم الکترود زمین به قدر کافی پایین نباشد تا بتواند افزایش پتانسیل را در حدی ایمن محدود سازد . استفاده از اتصال زمین مشترک ، هنگامیکه الکترود زمین (شامل مقاومت موازی هر یک از قسمت‌های فلزی متصل به آن و غیره) نسبت به زمین 1Ω یا کمتر باشد ، یک مزیت به حساب می‌آید . این حالت در نیروگاهها ، ایستگاههای فرعی بزرگ در فضای باز یا ایستگاههای فرعی تغذیه کننده شبکه‌های کابلی که غلاف آنها دارای امپدانس کمی نسبت به زمین است ، وجود دارد .

در صورتیکه مقاومت کل سیستم الکترود زمین در مقایسه با امپدانس کل مدار اتصال زمین کوچک باشد ، افزایش پتانسیل سیستم زمین ایستگاه یا پست زیاد نخواهد بود . نتیجه موردنظر در سیستم‌های فشار قوی تا 66KV، معمولا با وارد کردن یک مقاومت یا راکتور بین خنثای سیستم و الکترود زمین به دست می‌آید ، در حالیکه اتصال بین نقطه خنثا و مقاومت یا راکتور دارای عایقی مناسب باشد . در سیستم‌های با فشار قوی‌تر (100KV به بالا) معمولا خنثا مستقیماً به زمین وصل می‌شود ، زیرا در غیر این صورت اضافه هزینه عایق بندی که برای سیم پیچ‌های ترانسفورماتور مورد نیاز است ، قابل ملاحظه می‌باشد .

یک سیستم خاص زمین کردن خنثای سیستم از طریق راکتور عبارت است از سیستم سیم پیچ خفه کن جرقه که در آن اندوکتانس راکتور طوری انتخاب می‌شود که در صورت بروز اتصال زمین با یک فاز سیستم ، حاصل ضرب امپدانس در جریان خازنی نامتعادل سیستم ، تا حد امکان نزدیک به ولتاژ فاز سیستم باشد . در حالتی که تنظیم کامل باشد ، جریان اتصال زمین در نقطه اتصالی صفر خواهد بود و تغذیه سیستم ، در حالیکه پتانسیل فاز دچار اتصال ، در پتانسیل زمین بوده وپتانسیل فازهای سالم به ولتاژ فاز به فاز ارتقأ می‌یابند ، برقرار می‌شود .

لازم است به ظرفیت جریان اتصالی دراز مدت الکترودهای زمین که در سیستم هایی که از طریق سیم پیچ‌های خفه کن جرقه حفاظت می‌شوند بکار می‌رود ، توجه خاص شود . در بعضی از مواقع امکاناتی برای اتصال کوتاه کردن خودکار سیم پیچ‌های خفه کن جرقه پس از یک تاخیر زمانی مناسب در نظر گرفته می‌شود .

در شرایط روستایی که در آن از خطوط هوایی استفاده می‌شود در شرایطی خاص ، استفاده از زمین اشتراکی توصیه نمی‌شود .

بنابراین برای انواع ایستگاههای فرعی زیر بهتر است سیستم‌های زمین را به صورت جداگانه مورد توجه قرار داد :

الف – در مواردی که ولتاژ پایین برای تغذیه تجهیزات کمکی موجود در ایستگاهها منحصر می‌شود .

ب – ایستگاههایی که تغذیه ولتاژ پایین برای شبکه‌های خارج از ایستگاه را تامین می‌کند .

ج – نیروگاهها

از وسایل قطع و وصل اتصال به زمین نقطه خنثا ، در شبکه‌های عمومی تا حد امکان نباید استفاده کرد ، زیرا اتصال زمین مستقیم ، ساده‌تر ، مطمئن‌تر و ارزانتر از زمین کردن از طریق کلید است .

شرایطی که در آن استفاده از وسایل قطع و وصل زمین خنثا ممکن است ضرورت پیدا کند بقدری وسیع است که نمی‌توان توصیه‌های کلی در مورد نوع و کاربرد آن ارائه کرد .

18–2– ترتیبات کلی اتصال زمین در ایستگاهها و پست‌ها

سیستم‌های تغذیه فشار ضعیف ترانسفورماتورهای توزیع و اتصال زمین خنثای مربوط به آنها ممکمن است نیاز به ترتیبات خاصی برای نصب داشته باشد تا آنها را از انتقال خطرناک احتمالی پتانسیل هایی که در اثر اتصال زمین روی سیستم‌های فشار قوی‌تر مجاور ایجاد می‌شود ، محفوظ دارد .

این مساله بویژه هنگامی مطرح است که ترانسفورماتور توزیع در داخل ایستگاهی با فشار قوی‌تر یا در نزدیکی آن قرار داشته باشد .

ممکن است لازم باشد شش مورد زیر مورد توجه قرار داده شوند :

الف – ترانسفورماتور توزیع (زمینی یا هوایی) که باولتاژهای فشار قوی (به نحوی که در بالا آمده است) مربوط نیست .

الف –1– اگر مقاومت کل الکترود زمین که با غلاف کابل‌ها موازی است برابر یک اهم یا کمتر است وافزایش پتانسیل زمین از 400V بیشتر نمی‌باشد ، خنثای فشار ضعیف و بدنه

ترانسفورماتور فشار قوی / فشار ضعیف و سایر قسمتهای فلزی فشار قوی را می‌توان با یکدیگر همبندی و سپس به همان الکترود زمین متصل کرد .

الف –2– اگر افزایش پتانسیل زمین از 400V بیشتر باشد ، اتصال زمین خنثای فشار ضعیف باید عایق شود و الکترود آن از الکترود مربوط به بدنه ترانسفورماتور فشار قوی / فشار ضعیف و سایر قسمت‌های فلزی مربوط به فشار قوی حداقل 3m فاصله داشته باشد .

ب – ترانسفورماتور توزیع (زمینی یا هوایی) که تنها یک شبکه خارجی را تغذیه می‌کند ولی در محدوده الکترود زمین یک سیستم فشار قوی قرار دارد .

این حالت شبیه حالت الف – 1 و الف – 2 است با این تفاوت که در مورد الف – 2 فاصله جداسازی الکترود زمین خنثای فشار ضعیف از محدوده الکترود سیستم فشار قوی باید طوری باشد که افزایش ولتاژ را به 400V یا کمتر محدود سازد .

ج – ترانسفورماتور توزیع (زمینی یا هوایی) که در یک ایستگاه بزرگ قرار گرفته و از آن تنها بعنوان تغذیه تجهیزات کمکی استفاده می‌شود .

در این حالت ، خنثای فشار ضعیف باید به شبکه اصلی زمین ایستگاه بزرگ صرفنظر از هر گونه افزیش پتانسیل ، وصل شود .

د – ترانسفورماتور توزیع (زمینی یا هوایی) که در یک ایستگاه بزرگ قرار گرفته و از آن هم برای تغذیه تجهیزات کمکی و هم برای یک شبکه فشار ضعیف خارجی استفاده می‌شود .

در این حالت ، خنثای فشار ضعیف باید به شبکه اصلی زمین ایستگاه بزرگ وصل شده و تنها در صورتیکه افزایش ولتاژ کمتر از 400V باشد ، ترانسفورماتور می‌تواند یک شبکه فشار ضعیف خارجی را نیز تغذیه کند . اگر افزایش ولتاژ احتمالی به بیش از 400V برسد ، ایستگاه بزرگ نباید شامل منبع تغذیه‌ای باشد که شبکه فشار ضعیف خارجی را تغذیه می‌کند .

ه – ترانسفورماتور هوایی که خارج از محدوده مقاومت الکترود زمین یک ایستگاه بزرگ قرار گرفته و تنها برای تغذیه تجهیزات کمکی ایستگاه از آن استفاده می‌شود .

در این حالت ، خنثای فشار ضعیف باید به شبکه اصلی زمین ایستگاه بزرگ وصل شود .

و – ترانسفورماتور توزیع مستقل که تغذیه فشار ضعیف خارجی عادی را تامین و همزمان تغذیه تجهیزات کمکی یک ایستگاه فرعی فشار قوی را که در مجاورت آن قرار دارد نیز تامین می‌کند .

این حالت در صورتی مجاز است که افزایش پتانسیل ایستگاه فشار قوی ، کمتر از 400V باشد .

یک سیم پیچ زیگزاگ از یک ترانسفورماتور قدرت باید به بدنه ترانسفورماتور وصل شده و سطح مقطع این اتصال به اندازه‌ای باشد که بتواند جریان اتصال کوتاه اصلی را از خود عبور دهد .

در مورد پست‌های هوائی ، ممکن است در مناطقی که مقاومت ویژه خاک آن بالا است مشکلاتی پیش آید . اگر تیر مجهز به کلید مجزا کننده‌ای که دسته کار آن در ارتفاع پایین قرار دارد باشد ، ممکن است تعداد الکترودهای مجزای موردنیاز به سه عدد برسد . در مورد خنثای سیستم فشار ضعیف الکترود معمولا یک دهنه بعد از ترانسفورماتور روی خط فشار ضعیف یا دورتر نصب می‌شود . در مورد سازه‌های فلزی فشار قوی (بدنه ترانسفورماتور ، بدنه کلید ، اجزای فلزی تکیه گاه‌ها) الکترود در نزدیکی تیر ترانسفورماتور نصب می‌شود .

در بعضی موارد مقاومت‌های زمین 5 تا 50 اهم کمترین مقداری است که از نظر اقتصادی امکانپذیر می‌باشد . به علاوه ، یک سیستم زمین یکنواخت کننده ولتاژ [53] باید نزیدک سطح زمین در محلی که اپراتور در هنگام کار با دسته کلید روی آن قرار می‌گیرد ، نصب شود .

این سیستم باید به دسته کلید وصل شده و از نظر الکتریکی از الکترود اصلی جدا باشد . این منظور هنگامی انجام شده تلقی می‌گردد که فاصله نزدیک‌ترین قسمت الکترواصلی از محیط زمین یکنواخت کننده حداقل 1m بوده و دو هادی زمین در دو طرف مقابل تیر قرار گرفته باشند . سرهای الکترودهای اصلی باید حداقل 225mm و ترجیحاً 250mm پایین‌تر از سطح زمین باشد و هادی‌های زمین از الکترودهای اصلی تا فاصله حداقل 2 متری بالای سطح زمین بطور مناسبی عایق شده و حفاظت شده باشند .

حداکثر گرادیان ولتاژ در فاصله 2 متری یک الکترود لوله‌ای به قطر 25mm، از 85% پتانسیل کل الکترود هنگامی که سرالکترودها هم تراز با سطح زمین است به 20% و 5% هنگامی که الکترودها به ترتیب در عمق‌های 0/3m و 1m دفن شوند کاهش می‌یابد . گرادیان پتانسیل اطراف الکترودهای زمین در بند 15 شرح داده شده است .

18-3- حصارها

زمین کردن حصارها ممکن است با هر یک از دو روش زیر انجام شود :

الف - اتصال زمین مستقل

مزیت این روش در این است که شخصی در طرف خارج از حصار ، ممکن است با پتانسیل پایین‌تری نسبت به پتانسیل مربوط به روش " ب " تماس پیدا کند .

در مواردی که حصار فلزی و مهارهای آن حداقل 2m از سیستم زمین ایستگاه و تجهیزات آن فاصله داشته باشد حصار ، مهارهای آن و تجهیزات ضد عبور از حصار می‌توانند بطور جداگانه از طریق الکترود ، در فواصل 50 متری از یکدیگر قرار گرفته و در گوشه‌های حصار و در دروازه باید توسط یک هادی که در زیر زمین قرار دارد با یکدیگر همبندی شوند . دروازه فلزی باید بااستفاده از اتصالات قابل انعطاف به اجزای حصارهای مجاور آن وصل شوند .

کابلی با غلاف فلزی که در تماس موثر با زمین است یا هادیی لخت که مربوط به تجهیزات پست بوده و از زیر حصار می‌گذرد ، باید تا فاصله حداقل 2 متری در هر دو جهت ازحصار ، با عایق مناسبی پوشیده شود .

مهارهای تیر که در خارج حصار ولی در فاصله دو متری از آن قرار دارند باید با حصار همبندی شوند ، اما این مهارها باید مجهز به مقره مهار شوند .

ب – اتصال به سیستم زمین ایستگاه

در صورتی که حصار در محدوده سیستم زمین ایستگاه قرار داشته یا نتوان آن را حداقل در فاصله 2 متری از سیستم زمین احداث کرد ، حصار ، مهارهای آن و تجهیزات ضد عبور از حصار باید با سیستم زمین همبندی شود . این اتصالات باید در فواصل حداکثر 50 متر و در گوشه‌های حصار و هر جا که هادی هوایی از روی حصار عبور می‌کند ، برقرار شوند . ستونهای دروازه باید توسط یک هادی که در زیر زمین قرار دارد با یکدیگر همبندی شوند . دروازه فلزی باید با استفاده از اتصالات قابل انعطاف به اجزای حصارهای مجاور آن وصل شوند .

در صورت تمایل ، پتانسیلی را که شخصی واقع در خارج از حصار ممکن است با آن تماس پیدا کند ، را می‌توان با استفاده از هادی لخت که در عمق 0/5 متری زمین دفن شده و در 1 متری خارج از حصار قرار دارد کاهش داد . این هادی در فواصل حداکثر 50 متری و هرجا که یک خط هوایی از روی حصار می‌گذرد ، به حصار وصل می‌شود . این هادی ممکن است مورد دستکاری قرار گرفته یا دزدیده شود و لذا احتیاج به حفاظت اضافی و رسیدگی مناسب در بهره برداری دارد . به دلایل بالا آن را نباید بعنوان کمکی به سیستم زمین ایستگاه به حساب آورد .

اگر این حصار در نزدیکی یک حصار زمین شده مستقل دیگر قرار داشته باشد ، این دو باید با استفاده از یک حصار غیر فلزی ، دیوار غیر فلزی یا جداکننده‌های عایقی از نظر الکتریکی از یکدیگر جدا شوند . در صورت استفاده از جداکننده‌ها باید یک فاصله 5 سانتی متری در هر انتهای یک بخش دو متری ایجاد شود .

سیمهای مهار تیرهای انتهایی که خارج از حصار ولی در فاصله 2 متری از آن قرار دارند باید به حصار همبندی شوند ولازم است توجه شود که اگر پتانسیل بین حصار و زمین از مقادیر مجاز مربوطه تجاوز کند ، ممکن است لازم باشد الکترودهای زمین اضافی نیز اتصال داده شوند .

حلقه‌های زنجیر با روکش پلاستیکی که در حصارها به کار می‌رود باید مانند حلقه‌های زنجیر لخت به حساب آورده شوند ولذا ستونهای حایل ، مهارها و اجزای ضد عبور ازحصار باید طبق یکی از روشهای گفته شده در بالا همبندی شوند .

18–4– سیستم‌های با اتصال زمین مکرر (PME)

مقررات وزارت نیرو در مورد زمین کردن در همه موارد از جمله سیستمهای با اتصال زمین مکرر (PME) در مورد فشار ضعیف ، باید رعایت شود .

18-5- روشهای کلی زمین کردن در نیروگاههای منابع و شبکه‌های عمومی

18-5-1- زمین کردن خنثای مدارهای مولدها

در نیروگاههای بزرگ ، مدارهای مولدها معمولا تشکیل می‌شود از یک مدار استاتور با اتصال ستاره وبا ولتاژ کار تا حدود 23/5KV که مستقیماً یا از طریق کلید خودکار به یک ترانسفورماتور ستاره و مثلث افزاینده وصل می‌باشد . سیم پیچ فشار قوی نیز معمولا در ولتاژهای 132KV، 230KV یا 400KV کار می‌کند ونقطه خنثای سیستم انتثال مستقیماً به زمین وصل می‌باشد .

دو روش زیر برای زمین کردن خنثای سیم پیچ‌های مولدمورد استفاده قرار می‌گیرد :

الف – زمین کردن از طریق سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور تطبیق دهنده ، در حالیکه یک مقاومت به سیم پیچ ثانویه وصل می‌شود .

ب – زمین کردن از طریق مقاومت

استفاده از روش " الف " معمول‌تر است . در این روش ، طراحی طوری انجام می‌شود که حداکثر جریان اتصال زمین در مدار مولد به 10A تا 15A محدود می‌شود و در نتیجه امکان خرابی در نقطه اتصالی را محدود می‌کند . معهذا اتصالات خنثا و زمین باید دارای ظرفیت کافی برای تحمل عبور جریان اتصالی به زمین به مدت سه ثانیه باشند .

این جریان ممکن است در اثر جرقه بین پایانه‌های ترانسفورماتور تطبیق دهنده هنگام بروز اتصالی در سیستم زمین ، جریان پیدا کند . مقاومت بکار رفته از نوع شبکه فلزی و بدون خودالقایی می‌باشد .

در روش " ب " نیز با استفاده از یک مقاومت فشار قوی مناسب ، می‌توان جریان اتصالی را مانند روش " الف " و به همان اندازه محدود کرد ، ولی این روش به دلیل هزینه بالا و دوام کمتر ساختار آن نسبت به دستگاههای بکار رفته در روش " الف ،" ارجحیتی ندارد .

18-5-2- زمین کردن سیستم‌های کمکی نیروگاه

دو روش زیر برای زمین کردن نقطه خنثا در سیستم‌های کمکی نیروگاه بکار می‌رود :

الف – اتصال زمین مستقیم

ب – اتصال زمین از طریق مقاومت

هر دو روش بالا بر اساس قطع خودکار مدار اتصالی کار می‌کند .

روش " الف " معمولا در نیروگاههایی بکار می‌رود که در آن از مولدهای کوچکتر استفاده می‌شود و روش " ب " در نیروگاههای بزرگتر بکار می‌رود .

برای زمین کردن خنثای مولدها و تجهیزات کمکی نیروگاه و نیز برای کلیه سازه‌های تجهیزات ، پوشش‌ها ، زره‌های کابلهای نیرو و بدنه‌های هادی بیگانه که جزء سیستم‌های نیرو نمی‌باشد ، به جز حصار اطراف (زیر بند 18-6-1،) از یک زمین مشترک استفاده می‌شود .

اندازه اتصالات زمین معمولا بر اساس جریان اتصالی نامحدود ، تعیین می‌شود .

18-6- الکترودهای زمین نیروگاهها و ایستگاههای فرعی

18-6-1- کلیات

مشخصه‌های سیستم‌های الکترود زمین باید دارای خواص زیر باشد :

الف – مقاومتی در حد پایین و مناسب برای عبور جریانهای اتصالی پیش بنی شده در همه شراط جوی داشته باشند .

ب – قابلیت عبور جریان برای کلیه شدتها و زمانهایی که ممکن است در شرایط کار عادی یا هنگام وقوع اتصالی یا شرایط تخلیه ناگهانی پیش آید ، داشته باشند بدون آنکه افزایش بی جهت در مقاومت به وجود آید .

ج – محلی مناسب در نزدیکی هر یک از وسایل مربوط به تخلیه جریانهای فرکانس بالا (برقگیر) پیش بینی شود ، بطوری که فاصله هادی‌های اتصال زمین ازاین وسایل تا حدامکان تازه و مستقیم باشد تا امپدانس ضربه موج به حداقل برسد .

د – تاسیسات الکترود زمین باید با دوام بوده و از موادی ساخته شود که در برابر خوردگی مقاوم باشند .

برای یک سیستم فشار قوی ، مقدار مقاومت سیستم الکترود زمین باید طوری باشد که افزایش پتانسیل سیستم الکترود نسبت به پتانسیل زمین دور دست (جرم کلی زمین) در حدی معقول و اقتصادی کم باشد . اگر تحت شرایط اتصال زمین کوتاه مدت ، افزایش پتانسیل زمین از V .m.s 400r یا تحت شرایط اتصال زمین بسیار کوتاه مدت (کمتر از 0/2 ثانیه) از V 650r.m.s بیشتر نشود . هیچ اقدامی برای کاهش مقاومت الکترود لازم نخواهدبود . سیستم‌های مخابراتی که به نحوی مناسب طراحی شده اند قادر به تحمل این ولتاژها می‌باشند . در صورتیکه افزایش پتانسیل زمین از مقادیر بالا تجاوز کند ، باید از روشهای خاص نظیر بکارگیری محافظ خط [54] پس از مشاوره با مقامات بهره بردار از سیستم ارتباطی ، استفاده شود .

در مواردی که خاک محل دارای مقاومت ویژه بالا بوده یا به علت بازی یا اسیدی بودن آن ذخیره باشد ، ممکن است لازم باشد از مواد اصلاح کننده خاک استفاده شود . سیستم‌های الکترود زمین همچنین ممکن است خطراتی را از طریق واکنش الکترولیتی بین فلزات غیر مشابه برای سرویس‌های زیرزمینی مجاور یا سازه‌های فولادی مجاور ، ایجاد کنند (بند 12 رابببنید .)

در مواردی که از طریق انتخاب فلزات سازگار نتوان از احتمال خطر جلوگیری کرد ، ممکن است لازم باشد از حفاظت کاتدی یا روش‌های دیگر اصلاحی استفاده شود .

در نیروگاهها ، اجزای فلزی دفن شده مانند شمع کوبیها ، میلگردهای بتون یا شبکه‌های مدفون در پی ریزیهای بتونی ، می‌توانند یک سیستم الکترود مناسب ایجاد کنند (بند 11 را ببینید).

سازه‌های فولادی در دسترس باید به نحوی موثر به سیستم زمین وصل شود .

18-6-2- انتخاب طرح

معمولا استفاده از میله‌های فولادی با غلاف مس که در زمین کوبیده می‌شوند ، مناسب می‌باشد . این الکترودها اغلب به صورت گروهی و ترجیحاً در فواصلی برابر حداکثر طولشان در زمین کوبیده می‌شوند (هر چند این شرط همیشه عملی نمی‌باشد .) اگر فاصله کمتر باشد ، از کارآیی الکترودها کاسته می‌شود . استفاده از الکترودهای میله‌ای هنگامیکه مقاومت ویژه طبقات پایین‌تر زمین نسبت به طبقات بالاتر کم است ، مناسب می‌باشد ولی استفاده از این الکترودها سنگی یا صخره‌ای شاید مناسب نباشد .

در محوطه‌های ایستگاههای بزرگ معمولا از یک شبکه متشکل از تسمه‌ها که در زیر زمین قرار می‌گیرد ، استفاده می‌شود که به آن ، ترمینال‌های خنثای سیستم و هادی‌های همبندی مربوط به سازه‌های بالای سطح زمین وصل می‌شوند . شبکه متشکل از تسمه‌ها علاوه بر ایجاد یک سطح تقریباً هم پتانسیل در کل فضای ایستگاه ، اغلب به عنوان الکترودی با مقاومت و ظرفیت عبور جریان مناسب ، کافی می‌باشد .

18-7- هادی‌های زمین برای نیروگاهها ، ایستگاهها و تاسیسات صنعتی که ولتاژهای کار آنها مشابه است .

18-7-1- نحوه استقرار

18-7-1-1-کلیات

لازم است بین کلیه تجهیزات و الکترودهای زمین ، اتصالهای فراوان و دائمی برقرار شود تا مسیری با مقاومت کم برای عبور جریانهای اتصالی ، هم به زمین و هم بین اجزای مختلف تجهیزات ایجاد شود . موثرترین نحوه استقرار هادی‌های زمین بستگی به نحوه استقرار تجهیزات دارد اما می‌توان از نکات زیر به عنوان راهنما استفاده کرد .

در مواردی که ظرفیت عبور جریان اجزای اصلی فولادی یا آلومینیومی یا قسمتهای جوشکاری شده که یک سازه را تشکیل می‌دهند ، حداقل برابر با ظرفیت عبور جریان موردنیاز برای هادی زمین باشد ، این سازه می‌تواند جزئی از اتصال را تشکیل دهد و نیازی به نصب یک هادی زمین در طول این قسمت نمی‌باشد .

در مواردی که در سازه‌های دارای قسمتهای پیچی ، پیوستگی ، الکتریکی اتصالات ، مورد اطمینان نبوده و اتصالات زمین دائمی و قابل اعتمادی را تشکیل ندهند باید از حلقه‌های همبندی کننده (جامپر) برای وصل دو طرف این اتصالات استفاده کرد .

18-7-1-2- تجهیزات در داخل ساختمان [55]

هادی‌های اصلی زمین ، که ممکن است حلقه‌ای شکل باشند ، باید به قسمت‌های فلزی هر جزء از تجهیزات و به الکترودهای زمین وصل شوند .

الکترودهای زمین باید ، به استثنای تاسیسات خیلی کوچک ، به انتهای هر یک از هادی‌های زمین یا اگر هادی‌ها حلقه‌ای شکل هستند به چند نقطه از آن وصل شود . این اتصالات می‌تواند (بر حسب نوع طرح) کابل‌های دفن شده باشد ، به شرطی که مقادیر اسمی به اندازه‌ای باشد که جریان اتصال کوتاه بتواند از آن عبور کند . در مواردی که سازه ، یک تابلو گسترده بوده یا بیش از یک طبقه را اشغال کرده باشد ،ممکن است به یک هادی اصلی موازی دیگر احتیاج باشد که باید در یک یا چند نقطه در هر بخشی از تابلو به هادی اصلی زمین وصل شود .

هادی‌های اتصال اصلی زمین باید به نحوی استقرار یابند که زره کابلها را بتوان به صورتی قابل اطمینان و به سهولت با استفاده از همبندیهایی به سر کابل یا گلند آن متصل کرد .

هادیهای زمین باید برای وصل به هر نوع دستگاهی که قابل پیاده کردن بوده و همراه با تجهیزات الکتریکی مورد استفاده قرار داده می‌شود ، در دسترس باشد .

انشعاب هایی از هادی اصلی زمین باید برای تجهیزات کمکی مانند تابلوهای کنترل و رله ، اجزای فولادی سازه و تاسیسات اقفای حریق ، پیش بینی شوند .

در مواردی که حفاظت اتصالی شینه فاز به زمین در تابلوها از طریق وسایل نشتی بدنه تامین می‌شود ، احتیاج به دوهادی زمین خواهد بود . شینه بدنه که بدنه‌های واحدهای کلیدها را همبندی می‌کند از طریق یک ترانسفورماتور جریان یا وسیله حفاظتی دیگر و اتصالی پیچی که به منظور انجام آزمونها در مسیر قرار داده می‌شود ، به شینه اصلی زمین وصل می‌شود . هادی اصلی زمین باید سوای شینه اتصال بدنه و در موقعیتی مناسب برای وصل زره کابلها و وسایل اتصال زمین ، هدایت شود . در مواردی که هادی اصلی زمین بر روی بدنه کلید نصب شود هادی زمین باید نسبت به بدنه کلید به کمک کابل عایقداری که قادر به ایستادگی در برابر ولتاژ آزمون 4 کیلوولت موثر با فرکانس 50 هرتز به مدت یک دقیقه باشد ، عایقبندی شود . لازم است دقت شود که از تشکیل مسیرهای موازی برای جریان زمین جلوگیری شود زیرا ممکن است در کار سیستم حافظت خلل وارد شود . توصیه می‌شود که گلندهای کابلهای عایقبندی شده از نوعی باشد که بتوان آن را بدون قطع اتصالهای اصلی زمین ، مورد آزمون قرار داد .

این گونه گلندها شامل دو قسمت عایق است که توسط یک لایه فلزی از هم جدا شده‌اند . این لایه فلزی از طریق یک رابط [56] به قسمت فلزی تجهیزات قطع و وصل متصل است . بدین ترتیب عایقبندی بین لایه فلزی و غلاف کابل و بین لایه فلزی و قسمت‌های فلزی تجهیزات قطع و وصل را می‌توان باباز کردن رابط ، مورد آزمون قرار داد .

18-7-1-3- تجهیزات هوای آزاد [57] (به استثنای ترانسفورماتور هوایی)

یک شینه زمین اصلی باید به نحوی پیش بینی شود که بتوان اتصالات فرعی به کلیه دستگاههای اصلی مانند ترانسفورماتورها یا کلیدهای قطع مدار را به کوتاهترین وجه برقرار کرد . در صورت امکان ، این شینه باید یک حلقه را در اطراف ایستگاه تشکیل دهد .

شینه اصلی زمین (یا حلقه) باید در نقاطی که لازم است به الکترودهای زمین وصل شود . برای پست‌های بزرگتر ، این حلقه باید توسط یک یا چند اتصال متقاطع تقویت شود .

اتصالات انشعابی باید از شینه اصلی زمین برای هر یک از دستگاههای تجهیزات برده شود و در صورتیکه چند دستگاه در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند ، بهتر است به جای اینکه از شینه اصلی ، انشعابات طولانی برای هر یک از دستگاهها گرفته شود از یک حلقه کمکی با انشعابات کوتاه استفاده شود . در صورت توجیه اقتصادی ، هدف باید ایجاد یک شبکه زمین باشد . سیستم مکانیکی قطع و وصل کلید در هوای آزاد و کلیدهای اتصال زمین و کیوسکهای کلیدهای خودکار و غیره که با کلید یکپارچه نیستند باید از طریق یک انشعاب کاملا مستقل از اتصال زمین کلید به شبکه زمین اصلی وصل شود . این انشعاب باید کاملا جدا از انشعابی باشد که برای زمین کردن کلید اصلی یا کلید زمین یا کیوسک کلید بکار رفته است .

در مواردی که سیم زمین یک خط ورودی در تیرهای انتهایی ، خاتمه یافته و به نقطه‌ای واقع بر سازه ایستگاه وصل نمی‌شود ، یک اتصال زمین فرعی باید بین سیستم زمین ایستگاه و پایه تیر برقرار شود . اگر پایه تیر خارج از حصار ایستگاه باشد اتصال زمین باید در محلی که از زیر حصار می‌گذرد ، در زیر سطح زمین مدفون بوده و کاملا مجزا از حصار قرار گیرد .

سطح مقطع اتصالات زمین به برق گیرها باید به قدر کافی بوده و تا حد امکان راست و مستقیم باشد . این اتصالات نباید از لوله‌های آهنی یاسایر اجزای آهنی یا فولادی که باعث افزایش امپدانس ضربه می‌شوند بگذرد . اتصال زمین‌های برقگیرها باید به سیستم زمین اصلی وصل شود زیرا برای حفاظت موثر تجهیزات ایستگاه فرعی ضروری است که بین هر یک از تجهیزات و برقگیرها ، یک اتصال با امپدانس کم وجود داشته باشد .

18-7-2- اندازه هادیها

18-7-2-1- هادی‌های نصب شده در بالای زمین

هادی‌های زمین مربوط به نیروگاهها و پست‌ها ، معمولا از آلومینیوم یامس بدون عایقبندی انتخاب می‌شوند و اندازه اسمی آن به گونه‌ای است که می‌تواند جریان اتصال زمین یا جریان اتصالی سه فاز را در زمان طراحی شده حداکثر ، بدون آنکه دمای آن ازحد مجاز بیشتر شود از خود عبور دهد . رعایت این شرط ، سبب خواهدشد که وجود یک اتصال خوب بدون ایجاد اختلاف ولتاژ بیش از حد در طول هر یک از هادی‌ها ، تضمین شود . در بعضی موارد ممکن خواهد بود از فولاد گالوانیزه سازه‌ها به عنوان هادی زمین استفاده شود .

حداقل سطح مقطع هادی زمین بر اساس جنس هادی و حداکثر زمان عبور جریان اتصالی تعیین می‌شود . بطور کلی مدت زمان قبول شده برای سیستم‌های 275KV و 400KV، یک ثانیه و برای سیستم‌های با ولتاژ پایین‌تر 3 ثانیه است . حداقل سطح مقطع هادی زمین از روی چگالی جریان که در جدول 14 آمده است ، تعیین می‌شود . از نظر افزایش دمای کوتاه مدت ، شکل فیزیکی سطح مقطع هادی زمین مهم نیست و می‌تواند به دلخواه به صورت تسمه ، هادی چند مفتولی و غیره باشد .

جدول ١٤ ـ مقادیر چگالی جریان برای هادی‌های زمین

مواد	زمان اسمی	چگالی جریان
	s	A r.m.s. mm2
مس	١	٢٠٠
مس	٣	١١٥
آلومینیوم	١	١٣٠
آلومینیوم	٣	٧٥
فولاد گالوانیزه	١	٨٠
فولاد گالوانیزه	٣	٤٥

18-7-2-2- هادی‌های دفن شده به عنوان الکترود

هادی هایی که با هدف تشکیل الکترودهای زمین دفن می‌شوند ، باید جریان مجاز بیشتری را داشته باشند تا افزایش دما را در شرایط اشکال ، محدود ساخته و این اطمینان حاصل شود که هادی بصورت یک الکترود موثر باقی خواهد ماند . افزایش دما دراین حالت تابع اثر گرمایی جریان عبوری از هادی و اثر گرمایی بخش جریان از سطح هادی به جرم کلی زمین می‌باشد . (بند 14 را ببینید).

18-7-3- ساختار

18-7-3-1- کلیات

به منظور ایمنی انسان و تجهیزات ضروری است سیستم زمین در طول عمر تجهیزات ، موثر باقی بماند .

در بسیاری موارد ، بررسی و کنترل پیوستگی الکتریکی پس از نصب مشکل است . بنابراین سیستم باید محکم و در برابر آسیب‌های مکانیکی و در مواردی که لازم است در برابر خوردگی

حفاظت شده باشد . مقاومت همه اتصالات باید پس از چندین بار عبور جریان اتصالی از آن ، پایین باقی بماند .

18-7-3-2- قرار دادن (خواباندن) هادی‌ها [58]

یک هادی دفن شده فولادی یا مسی لخت که جزئی از سیستم زمین را تشکیل می‌دهد باید در عمق حدود 600 میلیمتری باشد تا علاوه بر اینکه حفاظت هادی و اتصالات را تامین کند ، اطمینان دهد که پایین‌تر از سطح یخ زدگی قرار خواهد گرفت . بطور کلی از هادی آلومینیومی باید تنها در بالای زمین استفاده شود و بست‌های آن به الکترودهای زمین باید در بالای زمین و با استفاده از بست‌های بی متال انجام شود . از آلومینیوم تنها در صورتی می‌توان در زیر سطح زمین استفاده کرد که در برابر تماس با خاک و رطوبت حفاظت شده یا دارای غلاف مناسب باشد .

در مواردی که تاسیسات اتصال زمین به قدر لازم وجود داشته باشد ، می‌توان از هادی‌های کمکی که شبکه زمین اصلی را تجهیزات وصل می‌کنند در عمقی در زیر زمین و در مسیرهائی که مناسب وضعیت محل است ، استفاده کرد . به منظور راحتی ، این اتصال هادی‌ها به تجهیزات را می‌توان در عمیق حدود 250 mm قرار داد . چون این هادی‌ها بیشتر در معرض تغییرات فصلی و تغییرات تدریجی مقاومت ویژه خاک قرار دارند باید فرض شود که سهم آن‌ها در کاهش مقاومت زمین ایستگاه ناچیز می‌باشد . از طرف دیگر ، وجود این هادی‌ها باعث کاهش گرادیان ولتاژ در سطح زمین در محوطه ایستگاه می‌شود .

بر عکس اگر این هادی‌ها به منظور کاهش مقدار مقاومت زمین ایستگاه در نظر گرفته شده باشند باید حداقل در عمق 600 میلیمتری زمین قرار گیرند . توصیه‌های بالا اساساً درمورد ایستگاههایی است که در زمین‌های معمولی مستقر می‌باشند . اگر شراط زمین باعث محدود شدن عمق نصب تاسیسات زمین شود یا مقاومت ویژه خاک بالا باشد ، ممکن است انجام اقدامات اضافی دیگری برای دستیابی به گرادیان پتانسیل سطح زمین در یک حد قابل قبول ، لازم باشد .

در مواردی که یک هادی لخت زیر حصار فلزی دفن شده و حصار دارای سیستم اتصال زمین مستقل باشد ، هادی را باید از داخل یک لوله عایق که حداقل 2 متر از هر طرف حصار امتداد دارد عبور داد یا اینکه از یک هادی عایقدار استفاده کرد .

در هنگام دفن هادی‌های چند مفتولی لازم است دقت شود که مفتولها ازهمدیگر جدا نشده و شکل اصلی هادی حفظ شود .

18-7-3-3- نصب هادیها [59]

برای نصب هادیهای مسی یا آلومینیومی به سازه‌ها نباید از سوراخکاری استفاده کرد . برای نصب باید از بست استفاده شود و بست باید ازنوعی باشد که ازتماس بین هادی و سازه

جلوگیری کند . بست باید از موادی ساخته شود که واکنش الکترولیتی بین بست و هادی ایجاد نشود . فاصله بستها از همدیگر نباید بیش از 1m باشد .

هادی‌های زمین در داخل کانالهایی که شامل کابل‌های نیرو یا کابل‌های چند رشته ای می‌باشند ، باید به دیواره‌های کانال و نزدیک به سطح بالایی آن (مثلا 100 میلی متری از بالای کانال) نصب شوند .

تسمه زمین مسی ای که در تماس با فولاد گالوانیزه بوده یا به آن تکیه داشته باشد ، باید به منظور جلوگیری از واکنش الکترولیتی قلع اندود شود .

در صورتی که ایجاد خم‌های تند در تسمه آلومینیومی لازم باشد ، این خم‌ها باید به منظور جلوگیری از ایجاد تنش‌های محلی با استفاده از ماشین خم کن انجام شود .

آلومینیوم وقتی در تماس با سیمان پرتلند و مخلوطهای ملاط قرار گیرد مستعد خوردگی است ، بنابراین باید از تماس هادی‌های آلومینیومی با این مواد با استفاده از بستهای فاصله دار جلوگیری کرد .

هادی زمین آلومینیومی نباید تا 250 میلی متری از سطح نصب شود ، مگر آنکه حفاظت شده باشد .

18-7-3-4- اتصال هادیها

18-7-3-4-1- کلیات

کلیات تقاطع‌های هادیها در شبکه زمین اصلی باید به یکدیگر اتصال داده شوند . از اتصالات نوع فشاری می‌توان برای هادیهای افشان استفاده کرد و هنگامیکه بست روی هادی مربوط ، محکم شده است ، این اتصال باید با استانداردهای معتبر سازگار باشد .

هیچ تسمه‌ای را نباید برای پیچی که قطر آن از یک سوم پهنای تسمه بیشتر است ، سوراخ کرد . اگر این قطر بیشتر باشد ، یک قسمت تخت باید به تسمه اتصال داده شود .

18-7-3-4-2- اتصال آلومینیوم به آلومینیوم

در صورت امکان ، اتصالات روی هادیهای تسمه‌ای باید با استفاده از روشهای جوش قوسی تنگستن - گاز خنثا (TIG) یا جوش قوسی فلز - گاز خنثا (MIG) طبق استانداردهای معتبر جوشکاری شوند . ازجوشکاری با گاز اکسی - استیلن یالحیم سخت ^{60} یا لحیم سرد پرسی نیز می‌توان استفاده کرد .

گستره‌ای از اتصالات پرسی و ابزار برای هادیهای گرد وجود دارند و نیزهادیهای گرد را می‌توان برای تشکیل ترمینال بااستفاده ازابزار مناسب ، تخت و سوراخ کرد .

هادیها گرد و مستطیل شکل را می‌توان با گیره‌های پیچی به هم وصل کرد . هادیهای مستطیل شکل را می‌توان با استفاده از سوراخکاری و پیچ کردن به یکدیگر یا ترمینال وصل کرد . در

صورتیکه اتصال از نوع پیچی باشد ، سطح آلومینیوم بایدکاملا با برس سیمی تمیز و ماده اتصال دهنده مورد قبولی بلافاصله روی دو سطح جفت شونده مالیده شود . سپس پیچ‌ها باید محکم شده و ماده اتصال دهنده یا گریس اضافی باید تمیزشده و دور ریخته شود . برای اطمینان از فشار تماس کافی و جلوگیری ازفشار اضافی لازم است از آچار گشتاور استفاده شود . دستور العمل‌های سازنده هادی باید برای رعایت جزئیات مربوط به روشهای اتصال بررسی شوند .

برای اتصال هادیهای مستطیل شکل می‌توان از جوشکاری پرسی سرد یا جوش انفجاری استفاده کرد . برای کسب جزئیات این روشها باید با سازنده مربوط مشورت شود .

18-7-3-4-3- اتصال آلومینیوم به مس

اتصالات بین آلومینیوم و مس باید از نوع پیچی ، جوش پرسی سرد یا جوش مالشی باشد . این اتصالات باید طوری نصب شود که سطوح جفت شونده آن در یک صفحه قائم در فاصله حداقل 250 میلی متری بالای سطح زمین قرار گیرند . برای اتصالات پیچی ، سطح جفت شونده آلومینیومی باید کاملا تمیز شود (مثلا بوسیله برس سیمی) و سپس با گریس یا یک ماده اتصال دهنده مناسب اندود شود . سطح مسی باید به روش داغ قلع اندود شود . پس از اعمال گشتاور صحیح به پیچ یا پیچ‌ها ، گریس یا ماده اضافی باید تمیز شود . در موارد مناسب ، این اتصال باید با استفاده از ماستیک یا غلاف پلی اتیلنی پرتو دیده با آستر ماستیک که تمام اتصال را می‌پوشاند ، در برابر نفوذ رطوبت حفاظت شود . این اتصال هم چنین می‌تواند با رنگ ماستیک قیری [61] یا لفاف حفاظتی مناسب دیگری حفاظت شود .

اتصالات هادی آلومینیومی به تجهیزات ، در صورت امکان ، باید طوری باشد که سطوح تماس در یک صفحه قائم قرار گیرند . آماده سازی سطح آلومینیوم و اجزای اتصالی و حفاظت در برابر رطوبت باید طبق آنچه در بالا شرح داده شده ، باشد .

18-7-3-4-4- اتصال مس به مس

روش‌های زیر برای اتصال مس به مس مناسب تشخیص داده شده‌اند :

الف - لحیم کاری سخت ، با استفاده از مواد لحیم کننده فاقد روی با نقطه ذوب حداقل $600^{o}c$

ب - پیچ کردن

ج - لحیم کاری فشاری

د - جوشکاری حرارتی

ه - جوشکاری پرسی سرد

اتصالات هادی زمین به تجهیزات باید طوری باشد که سطوح جفت شونده آن قائم باشند . در مورد فلز رنگ شده ، رنگ آن باید دقیقاً برداشته شود . هادیهای زمین را باید هنگام وصل آنها به قسمت‌های فلزی گالوانیزه قلع اندود کرد .

هیچ یک از نقاط اتصال دهنده نباید کمتر از 250mm از سطح زمین قرار گیرند . در هر تاسیساتی که اتصال کامل آن در معرض خوردگی قرار دارد ، باید بوسیله رنگ ماستیک قیری یا لفاف حفاظتی مناسب دیگری حفاظت شود .

18-7-3-4-5- بستهای مربوط به انشعاب‌های هادی زمین سیار

در محل هایی که ممکن است سیم زمین سیار بکار رود باید بستهای آلومینیومی یا مسی بر روی هادی زمین پیش بینی شود .

طول انشعابها باید متناسب با تجهیزات زمین کننده بوده ، در ارتفاع مناسب قرار گرفته و بطور مجزا و بدون استفاده از خم کردن تسمه زمین ، شکل داده شود . انشعابها باید به کمک یکی از روشهای زیر بند 18-7-3-4-4 به هادی زمین وصل شوند .

18-8- زمین کردن زره یا غلاف کابل‌های فشار قوی

18-8-1- کابل‌های سه رشته‌ای

کابل‌های برق فشار قوی جدید معمولا به دو نوع زیر ساخته می‌شوند :

1- کابلهای با غلاف روئی نیم هادی

2- کابلهای با غلاف روئی عایق

کابلهای با غلاف نیم هادی باید دارای مشخصات ذکر شده استاندارد " سیستم زمین شبکه‌های توزیع " وزارت نیرو بند 332-5 باشند .

کابلهای با غلاف روئی عایق معمولا دارای روکش یا غلاف عایق از نوع پلیمر می‌باشند .

زره یا غلاف کابل از نوع خشک معمولا در محل ترمینالهای آن مستقیماً به زمین وصل شده و غلافهای کابل از طریق همبندی در محل مفصل‌ها نیز به یکدیگر وصل می‌شوند . اتصالات زمین کابلهای تحت فشار معمولا از طریق یک اتصال جداشدنی که داخل یک جعبه قفل شو قرار دارد انجام می‌گیرد . بدین ترتیب امکان آزمون دوره‌ای عایقبندی غلاف روئی فراهم می‌شود . این مفصل‌ها باید نسبت به زمین عایق شده و غلافها از طریق آنها با یکدیگر همبندی شوند . نیاز به انجام این آزمون ، استفاده از گلندهای عایقدار را در جعبه‌های اتصال کابل‌های ترانسفورماتورها ، تابلوهای برق و غیره و نیز در مفصل‌ها و سر کابل‌ها ، ضروری می‌سازد .

18-8-2- کابل تک رشته‌ای انتهائی (فرعی)

غلاف کابل‌های تک رشته‌ای دارای ولتاژ القایی طولی می‌باشند که مقدار آن نسبت مستقیم با شدت جریانی که ازهسته می‌گذرد ، دارد . اگر دو انتهای کابل تک رشته‌ای به زمین وصل شود ، جریانی از غلاف عبور خواهد کرد و اثر گرمایی این جریان ، ظرفیت عبور جریان رشته کابل را کاهش می‌دهد . در مواردی که این کاهش شدت جریان غیر قابل قبول ولی مقدار ولتاژ القایی ، قابل قبول باشد ، می‌توان تنهایک سر غلاف کابلهای تک رشته‌ای را به زمین وصل کرد .

از محلهای اتصالات عایق کننده میانی، معمول می‌باشد. این محافظها مقاومت‌های غیر خطی می‌باشند که امپدانس کمی را در برابر عبور جریانهای موجی ایجاد می‌کنند. استفاده از روش همبندی صلیبی اجازه می‌دهد که جریان مجاز کابل در حد کامل آن حفظ شود ولی تهیه مفصلهای عایقدار، جعبه‌های اتصال، محافظها و غیره مستلزم صرف هزینه زیاد خواهد بود.

18-9- مسائل متفرقه در مورد نیروگاهها و ایستگاهها

در مواردی که دو یا چند ایستگاه در نزدیکی یکدیگر قرار داشته و یک واحد به حساب آیند، سیستم‌های زمین آنها باید با یکدیگر همبندی شوند، بطوریکه کل منطقه تحت یک سیستم زمین قرار گیرد. اگر ایستگاهها دارای فصلی مشترک با یکدیگر باشند، دو جبهه مماس سیستم‌های زمین آنها باید به یکدیگر وصل شود تا کل منطقه با یک سیستم زمین پوشانده شود. در صورتیکه فاصله بین دو ایستگاه آنقدر زیاد باشد که نتوان آنها را دو ایستگاه مجاور هم به حساب آورد، یک هادی زمین رابط با سطح مقطع کافی باید پیش بینی شود تا اطمینان حاصل شود که جریانهای اتصالی از طریق زره غلاف کابل‌ها برقرار نخواهد شد. این مساله بویژه هنگامی دارای اهمیت است که عبور جریان اتصالی در یک ایستگاه، از ایستگاه متصل به آن سرچشمه می‌گیرد، برای مثال اگر یک پست کلید خانه به یک ایستگاه یا نیروگاه متصل باشد و اتصال واقع شده در سیستم زمین تابلوی برق باعث عبور جریان بین دو ایستگاه شود تا به نقطه خنثای سیستم در ژنراتورها یا ترانسفورماتورها برسد. این گونه همبندی‌های بین دو سیستم می‌تواند شامل اتصالات قابل برداشتن مناسب باشد تا برای انجام آزمونها مورد استفاده قرار گیرد.

به جز مواردی که در آنها عایق بندی خاصی مورد نیاز باشد، (قسمت ب از زیر بندهای 18-2 و 18-8 را ببینید)، زره یا غلاف کلیه کابل‌های اصلی باید به سیستم زمین ایستگاه وصل شود. در مورد کابل‌های چند رشته‌ای، اتصال معمولا در محل ترمینال انجام می‌شود. در صورتی که انتظار رود جریانهای اتصالی به زمین شدید برقرار شوند و در نتیجه پتانسیل سیستم ایستگاه نسبت به جرم کلی زمین به نحوی محسوس افزایش یابد، لازم است نسبت به اتصالات دیگر، غیر از کابل‌های اصلی برق که وارد ایستگاه می‌شود، مانند لوله‌های آب یا کابلهای تلفن یا کنترل دقت لازم به عمل آید .

لوله‌های آب باید یک قسمت عایق داشته باشند . استفاده از لوله‌های پلیمری اغلب مناسب می‌باشد . در شرایط سخت ، ممکن است استفاده از ترانسفورماتورهای مجزا کننده برای اتصالات تلفن موردنیاز باشد .

در این مورد لازم است با شرکت تلفن مربوطه برای همکاری تماس برقرار شود .

19- اتصال زمین مربوط به خطوط هوائی

19-1- نوع تکیه گاه (تیر یا برج)

هر گونه تصمیم‌گیری درباره اینکه قسمتهای فلزی مربوط به خطوط هوائی باید زمین شده یا همبندی شوند ، باید با توجه به نوع تکیه گاه انجام شود . بعضی خطوط هوائی توسط دکل‌های مشبک فلزی نگهداشته می‌شوند . برخی دیگر توسط تیرهایی از جنس فولاد ، چوب ، بتون یا ساختارهای آماده شده مانند پلاستیک‌های تقویت شده باپشم شیشه نگهداشته می‌شوند . از براکت‌های متصل به ساختمانها نیز می‌توان برای نگهداشتن هادی‌ها استفاده کرد .

19-2- بروز نقص در عایق بندی

متعاقب بروز خرابی در عایق بندی ، ممکن است بین هر یک از قسمت های فلزی نگهدارنده و زمین ، ولتاژی ظاهر شود . معمولا مردم هنگامی در برابر خطر برق گرفتگی حفاظت شده می‌باشند که هیچیک از قسمت‌های فلزی که در ارتفاع تا سه متری از سطح زمین قرار دارند در اثر وجود نقص در عایق بندی برقدار نشوند . اگر تکیه گاه در نزدیکی ساختمان و غیره قرار دارد باید حریم مربوط به هر مورد در نظر گرفته شود .

19-3- سازه‌های فولادی مشبک

اغلب در مورد سازه‌های فولادی مشبک ، تیرهای فلزی و تیرهای بتونی ، از طریق تماس آنها با زمین ، اتصال زمین رضایتبخشی به دست خواهد آمد . در مناطقی که مقاومت ویژه خاک آن بالا است ممکن است روشهای خاصی برای زمین کردن مورد نیاز باشد . یک اتصال حفاظتی هوایی که به تکیه گاه‌ها وصل بوده و در انتهای تغذیه به خثنا وصل است ، شاید بهترین روش از نظر اقتصادی باشد . این هادی در صورتیکه بالای هادی‌های بقدار قرار گرفته باشد ، تا حدودی حفاظت در برابر رعد وبرق رانیز تامین خواهدکرد . دکل‌های فولادی ابتدای خطوط انتقال نیرو ، به سیستم زمین اصلی ایستگاه وصل می‌شوند .

19-4- تیرهای از جنس عایق

در مواردی که تیر از مواد عایق مانند چوب یا پلاستیک‌های تقویت شده با پشم شیشه ساخته شده باشد ، در برابر عبور جریان نشتی مقاومت کرده و مانع ایجاد خطر در نزدیکی سطح زمین که ناشی از اتصالی یا نشت از هر یک از مقره‌های تکیه گاه است خواهدشد ، جز در مواردی که تجهیزات یاسازه‌های فلزی در سر راه وجود داشته باشند که ممکن است برقدار شوند . بنابه دلایل آمده در زیر بندهای 19-4-2 تا 19-4-5، مزایایی در زمین نکردن قسمتهای فلزی بالایی این نوع تیرها و انجام ندادن همبندی وجود دارد ، هر چند در بعضی طراحی‌ها که از بازوی [62] فلزی برای تکیه گاه مقره‌های خط دوبل بدون اتصال به زمین استفاده می‌شود ، این بازها باید با یکدیگر همبندی شوند .

19-4-2- حذف همبندی

در مواردی که مقره‌ها به تیری از جنس غیر هادی یا بازوهای افقی غیر هادی ، که به تیر وصلند ، متصل باشند ، حذف همبندی قسمتهای فلزی بالای تیر باعث تحمل ولتاژ ضربه‌ای [63] بیشتری خواهد شد و بنابراین احتمال خرابی ناشی از جرقه فاز به فاز را کاهش خواهد داد .

19-4-3- حذف اتصال به زمین

اگر قسمتهای فلزی بالای تیر زمین نشده باشند ، اتصالی‌های گذاری مربوط به پرندگان و شاخه‌های درخت و غیره که بین هادی‌های فاز و قسمت فلزی ایجاد اتصالی می‌کنند ، بطور محسوسی کاهش خواهد یافت .

19-4-4- نتیجه تجارب در کشور

بطور کلی نگهدارهای فولادی مقره‌ها در سیستم‌های توزیع تک فاز و سه فاز فشار ضعیف ، نه زمین شده‌اند و نه همبندی . چندین هزار کیلومتر خطوط توزیع نیروی 20 و 11 کیلوولت با تیرهای بتونی یا چوبی با بازوهای افقی فولادی زمین نشده و به نحو مطلوب کار می‌کنند . از خطوط 63KV و 33KV نیز باهمین روش استفاده می‌شود .

19-4-5 ترانسفورماتورها ، مجموعه کلیدهای با قطع و وصل مکانیکی و سرکبالها

در مواردی که تجهیزاتی مانند تراسنفورماتورها ، کلیدهای با قطع و وصل مکانیکی یا سرکابلها روی یک تیر پلاستیکی تقویت شده یا چوبی نصب شده باشد ، به ایستادگی اضافی در برابر ولتاژ ضربه‌ای که از طریق تیر تامین می‌شود لطمه خواهد خورد و لذا کلیه قسمت‌های فلزی روی تیر باید با همدیگر همبندی شده و زمین شوند . زمین‌های HV و LV مربوط به ترانسفورماتورهایی که روی تیر نصب شده‌اند باید بسته به موقعیت طبق مقررات وزارت نیرو انجام شود .

19-5- مهارها

مقره‌های مهار باید روی مهار تیر نصب شوند . هیچ بخشی از مقره نباید در رتفاع کمتر ازسه متری بالای زمین قرار گرفته و باید تا حد امکان بالاتر قرار گیرد ، اما مقره باید طوری استقرار یابد که قسمت زیرین آن هیچ تماسی با سیم مهار در بالا و هادی فاز و تجهیزات برقدار نداشته باشد ، حتی اگر یکی از آنها پاره یا شکسته شده یا شل شود .

19-6- براکت‌های فلزی متصل به ساختمانها

یک براکت فلزی متصل یا در جوار هر یک از سازه‌های فلزی ساختمان یا قسمتهای متصل به ساختمان که نگهدار هادی فاز می‌باشد باید زمین شود ، مگر آنکه هم هادی عایق دار بوده و هم توسط یک مقره نگهداشته شود .

19-2- سیم‌های زمین و اتصالات زمین

مقاومت هر یک از اتصالات بین سازه‌های فلزی و زمین باید به دو علت بقدر کافی پایین باشد : در صورت عبور جریان اتصالی ، وسیله حفاظتی سریع عمل کرده و دیگر اینکه تداخل القایی با مدارهای ارتباطی کاهش یابد . اگر مقاومت مسیر برگشت زمین در مقایسه با مقاومت ظاهری آن کم باشد ، تداخل الکترومغناطیسی کاهش می‌یابد . در فرکانس 50 Hz یا 60 Hz، تداخل القایی می‌تواند به دلیل استفاده از سیم با مقاومت بالا (مثلا سیم فولادی) بوجود آید ، حتی اگر سیم به خوبی زمین شده باشد . باید از سیم زمین تکی با مقاومت ویژه پایین که ازمس یا آلومینیوم و غیره ساخته شده است ، استفاده کرده و این سیم نباید از نزدیک هادی‌ها یا کابلهایی که مربوط به مدارهای دیگر است عبور کند . این سیم باید در برابر خطرات مکانیکی تا فاصله سه متری از سطح زمین حفاظت شود .

19-8- حفاظت در برابر صاعقه

یک سیم زمین هوایی که در بالای خطوط نیروی هوایی نصب می‌شود . علاوه بر اینکه مسیری برای برگشت زمین ایجاد می‌کند ، تا حدی حفاظت در برابر صاعقه نیز می‌کند . هر چه امپدانس بین سیم زمین هوایی و زمین پایین باشد ، حفاظت بهتری به دست می‌آید زیرا امکان بروز جرقه ثانوی از قسمت‌های فلزی زمین شده به هادی‌های فاز را در اثر وارد شدن ضربه مستقیم به سیم زمین کاهش می‌دهد . برای دستیابی به اطلاعات لازم جهت طراحی حفاظت در برابر صاعقه به استانداردهای معتبر مراجعه شود .

20- تاسیسات الکتریکی مصرف کنندگان

20-1- مقدمه

بروز اتصالی به زمین در تاسیسات ، ممکن است باعث ایجاد دو خطر شود : اول آنکه بین قسمت‌های هادی ، ولتاژهایی را ایجاد کند که اگر بطور همزمان در دسترس قرار گیرند ، موجب خطر برق گرفتگی شوند . این حالت را اصطلاحاً " تماس غیر مستقیم " گویند . شدت برق گرفتگی به عوامل مختلفی مانند نوع جریان (d.c یا a.c)، شدت جریان و مدت زمان قرار گرفتن در معرض این ولتاژ بستگی دارد .

خطر دوم این است که مقدار و مدت زمان عبور جریان اتصال زمین ممکن است به حدی باشد که باعث افزایش دما در هادیهایی که جریان اتصالی از آنهاعبور می‌کند شود و در نتیجه خطر آتش سوزی بوجود آید .

مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران تحت عنوان " طرح اجرای تاسیسات برقی ساختمانها " اقدامات حفاظتی در برابر " تماس غیر مستقیم " را در بر می‌گیرد که عبارتست از همبندی هم پتانسیل کننده زمین شده و قطع خودکار منبع تغذیه ، که در این استاندارد نیز مورد توجه می‌باشد . سایر اقدامات حفاظتی ، در ارتباط با زمین کردن نمی‌باشد و در واقع ، به جز ولتاژ

بسیار پایین عملیاتی ، در این اقدامات حفاظتی ، درجه بالایی از جداسازی نسبت به زمین مورد نیاز می‌باشد و بعضی از این اقدامات ، کاربردی بسیار محدود دارند .

مقررات اصلی مربوط به " اتصال هم پتانسیل زمین شده و قطع خودکار منبع تغذیه " به شرح زیر است :

مشخصه‌های وسایل حفاظتی برای قطع خودکار ، روش‌های زمین کردن تاسیسات و امپدانس‌های مدارهای مربوط به آن باید با یکدیگر هماهنگ باشند ، به طوری که در هنگام وقوع اتصالی به زمین ، ولتاژهای بین بدنه‌های هادی و قسمت‌های هادی بیگانه که بطور همزمان در دسترس قرار می‌گیرند به حدی باشد که ایجاد خطر نکند .

در اینجا علاوه بر خلاصه مطالبی که در مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران گفته شده است ، مواردی اضافی ارائه می‌شوند .

طراحی سیستم حفاظتی باید به گونه‌ای انجام شود که بازرسی دوره‌ای ، آزمون و تعمیر و نگهداری به راحتی و بطور ایمن صورت گیرد .

20-2- زمین کردن تاسیسات الکتریکی

اکثر تاسیسات الکتریکی بخشی از سیستم‌های TN یا TT می‌باشند (طبق مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران " طرح واجرای تاسیسات برقی ساختمانها ،" جز در موارد استثنایی همه تاسیسات برقی کشور باید از نوع TN باشند) و در هر دو سیستم ، بدنه‌های هادی در دسترس تجهیزات الکتریکی تاسیسات ، از طریق هادی‌های حفاظتی مدار به ترمینال زمین اصلی وصل می‌شوند . تجهیزات طبقه II، چه آنهایی که دارای بدنه‌های فلزی بوده و چه آنهایی که دارای بدنه‌های عایق می‌باشند در ساختار خود علاوه بر عایق بندی اصلی دارای عایق بندی مضاعف یا تقویت شده می‌باشند و لذا چنین فرض می‌شود که بدنه‌های فلزی این گونه تجهیزات در اثر وقوع اتصالی داخلی ، برقدار نخواهند شد و در نتیجه این بدنه‌ها بدنه هادی به حساب نمی‌آید و نیز در تاسیساتی که جزئی از سیستم IT می‌باشند ، بدنه‌های هادی در دسترس به ترمینال زمین اصلی وصل می‌شود ، ولی استفاده از این سیستم‌ها در شبکه‌های عمومی توزیع مجاز نمی‌باشد .

همانطور که در شکل 23 نشان داده شده است ، تاسیسات از طریق وصل ترمینال اصلی زمین آن به کمک هادی زمین به وسیله زمین کننده (الکترود ،) زمین می‌شود . مقصود از وسیله زمین کننده در سیستم TN-S معمولا غلاف یا زره فلزی کابل (در صورت وجود) بین تاسیسات و منبع تغذیه (ترانسفورماتور - مولد) می‌باشد . در کشور ما جز در تاسیسات اختصاصی از کابلهای فشار ضعیف با این مشخصات استفاده نمی‌شود و لذا باید به جای آن از کابلی که دارای یک رشته عایق بندی شده اختصاصی برای وصل به زمین است (PE که علاوه بر رشته مربوط به خنثا N کشیده می‌شود) استفاده کرد .

وسیله زمین کننده در سیستمهای TN-C و TN-C-S عبارتست از هادی مشترک حفاظتی / خنثا (PEN) کابل ، بین تاسیسات و منبع تغذیه .

طبق مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران ، تاسیسات باید علاوه بر وسیله زمین کننده ذکر شده در بالا دارای یک الکترود زمین در محل تاسیسات باشد .

در مورد سیستمهای TT و IT، وسیله زمین کننده عبارت از یک الکترود زمین در محل تاسیسات است (طبق مبحث 13 ازمقررات ملی ساختمانی ایران ، استفاده از سیستمهای TT و IT جز در موارد استثنائی ممنوع می‌باشد .)

تاکید می‌شود که یک تاسیسات ، همراه با منبع انرژی آن لزوماً نباید به عنوان سیستمی خاص طبقه بندی شود ، به عنوان مثال در تاسیساتی که دراصل جزئی از سیستم TN است ، یک مدار خاص ممکن است نیاز به حفاظت توسط وسیله جریان پسماند داشته باشد و لذا بدنه‌های هادی در دسترس آن مدار لزوماً نباید به هادی‌های حفاظتی سیستم TN وصل شود بلکه وصل به یک الکترود زمین مستقل می‌تواند جای آن را بگیرد . بنابراین ، چنین مداری باید جزئی از یک سیستم TT به حساب آمده و بر طبق آن طراحی شود .

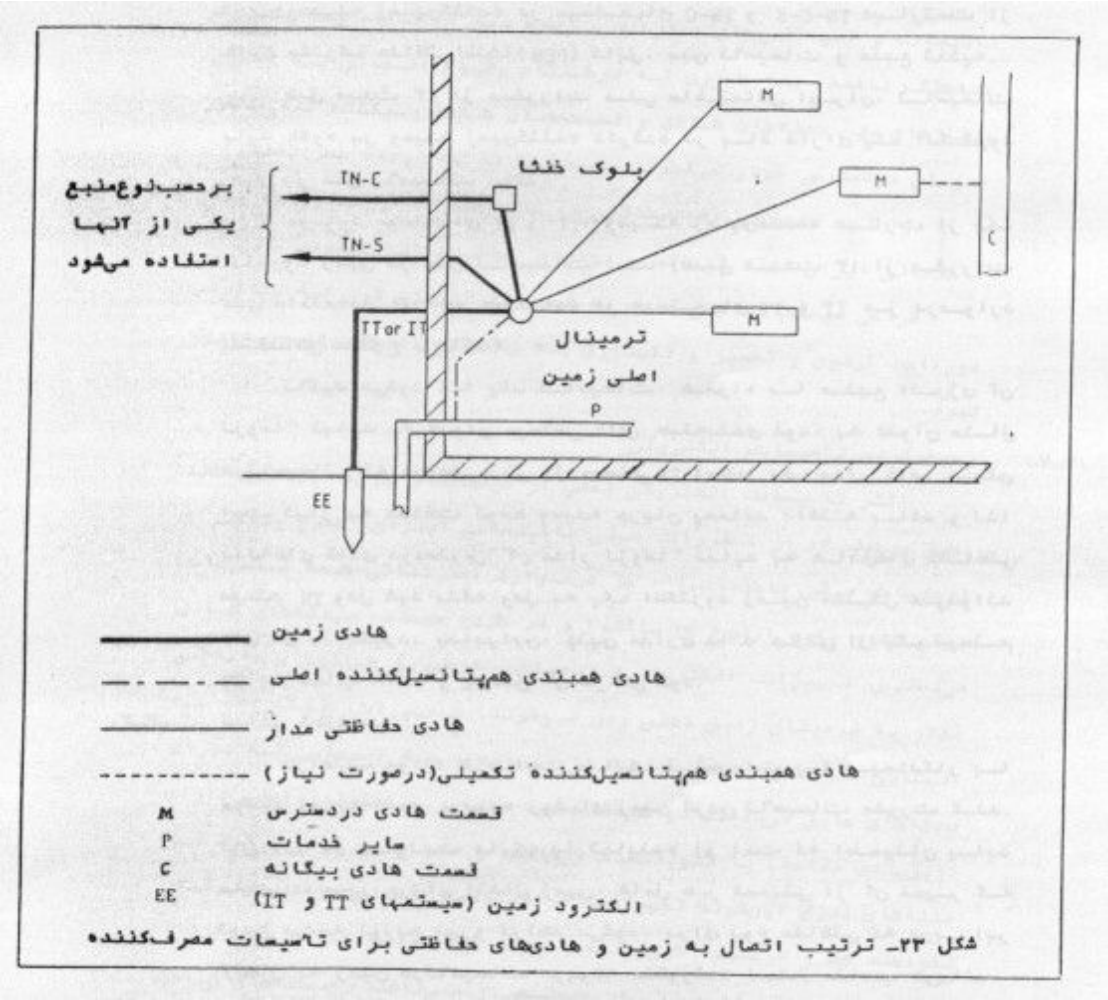
20-3- تبادل اطلاعات

در اغلب موارد لازم است مالک تاسیسات یا پیمانکار با موسسه توزیع نیرو درباره روشهای زمین کردن تاسیسات مشورت کند .

این امر در مسئولیت مالک یا نماینده او است که اطمینان یابد مشخصات مسیر جریان اتصال زمین ، شامل هر قسمتی از آن مسیر که توسط موسسه توزیع نیرو فراهم می‌شود ، برای نوع حفاظتی که در برابر اتصال به زمین در تاسیسات مربوطه منظور شده است ، مناسب می‌باشد .

همچنین اگر مالک در نظر داشته باشد به منظور ایمنی از منابع انرژی و منابع تغذیه ذخیره استفاده کرده و این منابع بطور موازی با منبع اصلی که توسط موسسه توزیع نیرو تهیه شده است کار کند . باید با این موسسه درباره روشهای زمین کردن و قطع و وصل مناسب مشورت کند (زیر بند 11-1 را نیز ببینید .)

همبندی اصلی با سایر خدمات که در بخش زیر شرح داده شده است ممکن است به اجازه موسسات مسئول آن خدمات نیاز داشته باشد . اتصال به مدارهای تلفن و تلگراف مجاز نمی‌باشد ، مگر با اجازه سازمانهای مربوطه .



شکل ۲۳- ترتیب اتصال به زمین و هادی‌های حفاظتی برای تاسیسات مصرف‌کننده

20-4- همبندی اصلی برای هم پتانسیل کردن

جنبه اساسی دیگری که مربوط به اقدام حفاظتی همبندی اصلی زمین شده و قطع خودکار مبنع تغذیه است و صرفنظر از نوع سیستمی که تاسیسات جزئی از آن است معتبر می‌باشد ، اتصال قسمت‌های هادی بیگانه به ترمینال زمین اصلی تاسیسات است . این اتصال از طریق هادی‌های همبندی هم پتانسیل کننده اصلی صورت می‌گیرد . قسمت‌های هادی بیگانه شامل موارد زیر می‌باشند :

الف - لوله‌های اصلی آب

ب - لوله‌های اصلی گاز

ج - لوله‌ها و مجراهای سایر سرویس‌ها

د - بالاروهای (رایزرهای) سیستم‌های حرارت مرکزی و تهویه هوا

ه - قسمت‌های فلزی در دسترس ساختمان

و - هادی‌های صاعقه گیر

در مواردی که لوله‌های اصلی گاز و لوله‌های اصلی آب وارد یک مکان شوند ، از یک هادی همبندی مشترک می‌توان استفاده کرد .

در چنین مواردی این هادی باید یکپارچه بوده و یا دارای اتصالات دائمی مانند لحیم کاری یا بست‌های پرسی برای حفظ تداوم باشد . چنین هادی همبندی را می‌تواند در ارتباط با سایر قسمتهای هادی بیگانه نیز بکار برد .

هادی‌های همبندی به لوله‌های آب و گاز باید تا حد امکان نزدیک به نقطه ورود آنها به ساختمان باشد . اگر در نقطه ورودی لوله یک قسمت عایق وجود دارد ، هادی همبندی کننده باید به لوله‌های فلزی در طرف مصرف کننده وصل شود .

اتصال هادی همبندی اصلی به لوله‌های اصلی آب معمولا در طرف مصرف کننده کنتور آب است ولی می‌توان اتصال را در طرف شبکه نیز انجام داد به شرطی که هدایت الکتریکی کافی بین شبکه و طرف مصرف کننده وجود داشته باشد .

در مورد لوله‌های گاز ، همبندی باید در طرف مصرف کننده از کنتور و قبل از انشعاب لوله‌ها انجام شود . در مورد کنتورهای نصب شده در خارج ساختمان ، اتصال باید در داخل ساختمان و تا حد امکان نزدیک به نقطه ورودی انجام شود و در مورد کنتورهای نصب شده در داخل ، اتصال باید در فاصله 600 میلی متری از کنتور به عمل آید .

این بدان معنی است که هادی هم پتانسیل کننده به لوله گاز در قسمت عایق مربوط به شرکت گاز همبندی نشود ولی اینکار بطور کلی مجاز می‌باشد . در صورتیکه لوله گاز به داخل ساختمان امتداد پیدا کرده و طوری قرار گرفته باشد که بتوان آن را بطور همزمان با سایر قسمت‌های فلزی متصل به ترمینال اصلی زمین لمس کرد ، لوله باید مجهز به عایق بندی شده و نتوان عایق بندی را به راحتی برداشت .

در بعضی موارد ، گرچه لوله گاز در دسترس است ولی از آن استفاده نمی‌شود و روی آن در پوش گذاشته شده است . در این مورد لوله گاز نباید همبندی شود ولی در صورتیکه به داخل ساختمان ادامه دارد باید مشابه بالا عایق بندی شود .

20-5- همبندی اضافی برای هم پتانسیل کردن

همبندی قسمت‌های هادی در دسترس و قسمت‌های هادی بیگانه به ترمینال اصلی زمین ، باعث ایجاد یک " منطقه هم پتانسیل " می‌شود که در این منطقه ، ولتاژهایی که در اثر وجود اتصالی به زمین بین این قسمت‌ها بوجود می‌آید ، کاهش یافته ولی از بین نمی‌روند . هر تاسیسات ، ممکن است شامل تعدادی از این نواحی باشد ، به عنوان مثال وقتی تاسیسات ، برق چند ساختمان را تامین کند ، همبندی هم پتانسیل کننده اصلی در هر یک از ساختمانها لازم خواهد بود بطوریکه هر یک از آنها دارای یک " ناحیه هم پتانسیل " باشند که یک نقطه مرجع دارند که قسمت‌های هادی فوق به این نقطه وصل می‌باشند .

برای کاهش ولتاژ در اثر وجود اتصالی به زمین ، گاهی اوقات استفاده از همبندی هم پتانسیل محلی ضرورت دارد . مثلا همبندی بین قسمت‌های هادی بیگانه که بطور همزمان در دسترس می‌باشند در حمام‌های دارای وان یا دوش نصب ثابت ضروری است ، حتی اگر هیچ وسیله الکتریکی در آن وجود نداشته باشد .

20-6- هادی‌های حفاظتی

20-6-1- کلیات

اصطلاح عمومی " هادی حفاظتی " انواع خاصی را شامل می‌شود که در شکل 23 نشان داده شده‌اند و در هر یک از حالات خاص باید کاربرد مورد نظر آن بدرستی مشخص شود تا معلوم شود از بین مقررات مختلفی که در مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران مشخص شده‌اند ، در هر مورد کدامیک کاربرد دارند .

مقررات مبحث 13 لازم می‌نماید کلیه هادیهای حفاظتی در برابر اثرات مخرب شیمیایی و مکانیکی و نیز آثار الکترودینامیکی حفاظت شوند .

دو روش برای تعیین سطح مقطع هادی حفاظتی وجود دارد . در روش اول سطح مقطع هادی حفاظتی باتوجه به سطح مقطع هادی فاز و به صورت آمپریک مشخص می‌شود و در روش دوم ، سطح مقطع با استفاده از معادله‌ای که معروف به معادله آدیاباتیک است محاسبه می‌شود :

$$K^2 \ S^2 \geq I^2 \ t$$

که در آن :

S سطح مقطع هادی ، بر حسب میلی متر مربع

I جریان اتصالی ، بر حسب آمپر (برای جریان متناوب ، بر حسب جریان موثر)

t زمان قطع وسیله حفاظتی مربوط ، در جریان I، بر حسب ثانیه

K چگالی جریان ، بر حسب آمپر بر میلی متر مربع است که به نوع هادی و عایق آن ، دمای اولیه و دمای نهایی مجاز بستگی دارد (بند 13 را ببنید .)

مزیت روش دوم نسبت به روش اول این است که در این روش غالباً استفاده از هادی‌های با سطح کوچکتر مجاز می‌گردد ولی این روش در مورد هادی‌های همبندی تکمیلی یا اضافی قابل استفاده نمی‌باشد .

یادآوری : طبق مبحث 13 ازمقررات ملی ساختمانی ایران در حال حاضر فقط روش اول قابل اجرا می‌باشد .

20-6-2 هادی‌های زمین

در این مورد اهمیت اصلی در تعیین اندازه یک هادی زمین است و در مواردی که این هادی مدفون بوده و حفاظت لازم را در برابر خطرات مکانیکی و یاخوردگی نداشته باشد ، باید توجه اضافی نسبت به آنها به عمل آید (بند 13 را ببنید .)

لازم است توجه شود که یک هادی دفن شده مسی (بدون هر گونه اندود) نسبت به یک هادی دفن شده فولادی (بدون هر گونه اندود) دارای بار الکتریکی مثبت است و وقتی این دو از طریق یک هادی حامل جریان به یکدیگر متصل شوند ، تشکیل یک باطری الکتروشیمیایی را می‌دهند که خواهد توانست باعث خوردگی سریع‌تر فولاد شود .

بطور تقریب می‌توان گفت در صورتیکه شدت جریان مستقیم 1A از الکترود فولادی دفن شده عبور کند ، حدود 9Kg فلز را در مدت یکسال از روی فولاد تحلیل خواهد داد . از هادی آلومینیوم با آلومینیوم با پوشش مس ، نباید برای اتصال نهایی به الکترودهای زمین استفاده شود در مواردی که یک هادی مسی به یک هادی آلومینیومی متصل شود ، باید روش زیر بند 18-7-3-4-3 مورد استفاده قرار گیرد .

اتصال هادی زمین به الکترود زمین یا سایر وسایل زمین کننده بایدبه نحوی مطمئن وبا استفاده از اتصالات لحیم شده یابست‌های غیر آهنی با ابعاد بزرگ صورت گیرد . در مواردی که هادی زمین باید به غلاف فلزی و زره کابل متصل شود ، زره و غلاف باید به یکدیگر همبندی و اتصال اصلی بین کابل و هادی زمین باید از طریق غلاف فلزی انجام شده و به آن لحطیم شود .

از طرف دیگر اگر برای انجام اتصال از بست استفاده شود ، طراحی و نصب بست باید به گونه‌ای باشد که بتوان نسبت به اتصال مطمئن بوده و آسیبی به کابل وارد نیاید . مشخصات بست‌های مربوط به اتصال و زمین باید با استانداردهای معتبر مطابقت کنند .

اگر اتصالات مورد بحث در زیرزمین و در یک محفظه اتصال قرار گرفته باشد که نتوان به سادگی به آن دسترسی پیداکرد ، باید امکاناتی را در یک محل قابل دسترسی برای قطع ترمینال زمین اصلی تاسیسات از وسایل زمین کننده (الکترود) پیش بینی نمود تا اندازه‌گیری‌های مربوط به زمین براحتی انجام شود .

20-6-3- هادی‌های حفاظتی مدارها

در مواردی که از غلاف فلزی کابل به عنوان هادی حفاظتی مدار استفاده شود ، همه اتصالات و مفصل‌های غلاف باید طوری انجام شود که ظرفیت عبور جریان آن از ظرفیت عبور جریان غلاف کمتر نباشد . در صورتیکه از جعبه‌ها یا مفصل‌های غیر فلزی استفاده شود ، باید به منظور حفظ تداوم ، از وسایلی مانند تسمه فلزی که ظرفیت عبور جریان آن برابر با ظرفیت عبور جریان بزرگترین کابل ورودی به جعبه باشد ، استفاده شود .

در موارد استفاده از زره یا غلاف فلزی باید به قابلیت گلندها و اتصالات کابل برای عبور جریانهای اتصال به زمین نیز توجه داشت و نظر سازندگان را در این مورد جویا شد . ممکن است اعمال احتیاطهای خاص در مورد قسمت‌های فلزی تجهیزات به ویژه صفحات بوشن‌ها هنگامیکه از مواد مقاوم در برابر سائیدگی مانند پوشش‌های پودری استفاده می‌شود ، لازم باشد .

از پوشش‌های فلزی مانند لوله‌ها ، کانال‌های کابل و ترانکینگ‌ها که برای هادی‌ها و کابل‌ها استفاده می‌شود ، می‌توان به عنوان هادی حفاظتی مدار استفاده کرد ، ولی در صورتیکه از کانال قابل انعطاف یا خم شو استفاده شود ، برای حفظ تداوم مسیر اتصال زمین ، هادی‌های حفاظتی جداگانه باید در داخل لوله‌ها یا کانال‌ها استفاده شود . در موارد استفاده از کانال کابل و لوله ، ارائه کاری با استاندارد بالا در تاسیسات ضروری است . اتصالات باید به نحوی انجام شود که ظرفیت عبور جریان آنها از ظرفیت عبور جریان لوله یاکانال کمتر نشود .

اتصالات همچنین باید ازنظر عایقبندی ، حفاظت و استقامت مکانیکی دارای خواصی مشابه خواص سیستم سیم کشی یا لوله کشی به این اتصالات بخشی از آن را تشکیل می‌دهند ، باشند .

شل بودن اتصالات ممکن است منجر به زوال در تداوم الکتریکی و حتی قطع کامل آن شود .

از اتصال نوع فشاری فنری نباید استفاده شود . در مورد لوله بدون دنده ، توصیه می‌شود از اتصالات حلقه فشاری و کابلشو استفاده شود ، ولی برای تاسیسات فضای باز و آنهایی که در معرض خوردگی جوی قرار دارند ، همیشه باید از لوله دنده‌ای که به نحوی مطلوب در برابر خوردی حفاظت شده است ، استفاده شود .

در تاسیساتی که در آنها از لوله‌های دنده‌ای استفاده شود ، بکارگیری فراوان از مهره‌های قفل کننده [64] توصیه می‌شود . کلیه اتصالات در سیستم‌های لوله کشی دنده‌ای باید بعد از پایان نصب ، رنگ‌آمیزی شوند .

پیش بینی‌های ذکر شده کافی به نظر می‌رسد ، معهذا لازم است آزمون‌های دورهای برای اطمینان از اینکه تداوم الکتریکی کافی برقرار می‌باشد ، انجام شود .

احتمال بروز خوردگی الکترولیتی در اثر تماس بین فلزات غیر مشابه در شرایط مرطوب وجود دارد . بویژه مس و آلیاژهایی که درصد مس آنها بالا است تحت این شرایط و هنگامیکه در تماس با آلیاژهای آلومینیوم هستند موجب بروز خوردگی می‌شوند .

در مواردی که فلزات غیر مشابه بخشی از یک مدار الکتریکی را تشکیل دهند ، اتصالات آن باید تمیز و هنگام نصب ، عاری از رطوبت باشند و بلافاصله پس از آن باید با ماده‌ای مناسب که در برابر نفوذ رطوبت مقاوم است ، پوشانده شوند . در صورت وجود رطوبت ، اتصالات ، پیچ‌های نصب و بست‌های محکم کننده در مورد هادیهایی که اساس آلیاژ آنها آلومینیوم است باید از آلیاژ آلومینیوم یا فولاد که به نحوی مناسب حفاظت شده است (با لایه‌ای از روی) ساخته شود و سطوحی که در تماس با هادی می‌باشند باید قبل از نصب ، رنگ‌آمیزی شوند .

20-7- تاسیسات صنعتی و تجاری

20-7-1- کلیات

اکثر تاسیسات صنعتی ، برق خود را از شبکه‌های عمومی در ولتاژی که ممکن است بیش از 1000V.c.a. باشد دریافت می‌کنند . توان اتصال کوتاه نیز ممکن است نسبت به توان اتصال کوتاه منازل ، بیشتر باشد و بنابراین باید دقت بیشتری در طراحی هادیهای حفاظتی و اتصالات آنها صورت گیرد .

توجه به تاثیری که اتصال زمین می‌تواند بر روی فرآیند انجام شده در بعضی کارخانه هاباقی بگذارد نیز به همان اندازه است .

در مواردی که به مایعات و گازهای قابل اشتعال مربوط شود ، یا اگر اطلاعات بیشتری در مورد زمین کردن حفاظتی ، که مستقیماً مربوط به ایمنی الکتریکی نیست نیاز باشد ، باید به استانداردهای مربوطه معتبر مراجعه شود . در مواردی که به مدارهای اطلاعاتی و ارسال نشانه‌ها مربوط شود ، لازم است توجه خاصی در هنگام انجام همبندی سیستم‌های زمین به عمل آید . جریانهای گذرا یا گردان در سیستم زمین می‌تواند از طریق القأ مغناطیسی باعث ایجاد ولتاژهای ناخواسته در مدارهای الکترونیکی شود .

ممکن است مواردی پیش آید که زمین کردن مستقیم بدنه‌های هادی یا فلزی در دسترس ، با سایر سیستم‌ها که در آنها از جرم کلی زمین به عنوان مسیر عبور جریان استفاده شده است تداخل نماید . مثالهای نوعی در این مورد مدارهای تلفن و حفاظت کاتدی می‌باشند .

20-7-2- سیستم‌های توزیع صنعتی

20-7-2-1- سیستم‌های ولتاژ بالا

در مرحله تبادل اطلاعات (20-3) و قبل از طراحی تاسیساتی که از ولتاژ بالا تغذیه کرده یا در این ولتاژ بهره برداری خواهند شد (معمولا 20KV،) موسسه تامین کننده نیرو باید توان اتصال کوتاه طراحی [65] را در تجهیزات نهایی خود مشخص کند . همچنین سازگاری سیستم زمین مصرف کننده و سیستم زمین موسسه تامین کننده نیرو بویژه هنگامیکه مصرف کننده مایل باشد دستگاه مولد برق خصوصی در تاسیسات خود نصب کند ، باید مورد مذاکره و تبادل نظر قرار گیرد .

سیستم‌های توزیع صنعتی فشار بالا ، معمولا در نقطه اتصال ستاره ژنراتور یا ثانویه ترانسفورماتور به زمین وصل می‌شوند تا نقطه مرجعی را برای طراحی اقتصادی عایق بندی تجهیزات بر اساس ولتاژ فاز به نول سیستم تشکیل دهند . در سیستم‌های بدون اتصال به زمین یا زمین نشده ، طراحی عایق بندی بر اساس ولتاژ فاز به فاز انجام می‌شود .

در هر سیستم نیرو ، شکست عایق بندی بین هادی فاز و زمین ، بالقوه خطرناک است زیرا ممکن است منجر به مشکلات زیر شود :

الف – اضافه شدن ولتاژ قسمت‌های هادی در دسترس تجهیزاتی که دچار اتصالی شده‌اند که نتیجه آن بروز خطر برق گرفتگی برای پرسنل می‌باشد .

ب – عبور جریانهای اتصال به زمین نسبتاً بالا که ممکن است تنشهای حرارتی و الکترومغناطیسی ناشی از این جریانها باعث رساندن آسیب به تجهیزات و کابل‌های آن شده و احتمالا منجر به خرابی دائمی و بروز خطر آتش سوزی شود .

برای رساندن خطرات مربوط به موارد " الف " و " ب " به حداقل ، لازم است بدنه‌های هادی سیستم از طریق هادی‌های حفاظتی به زمین متصل شود .

این اتصال ، افزایش پتانسیل قسمت‌های هادی در دسترس را محدود ساخته و مسیر حلقه زمین را با امپدانس کم برای عبور جریان اتصالی ایجاد می‌کند و بدین ترتیب وسیله حفاظتی مانند فیوز ، کلید خودکار یا وسیله قطع با جریان پسماند سریعاً عمل می‌کند ، بدون اینکه به هرگونه حفاظتی در برابر اضافه جریان مدار اعتماد شود .

برای رفع سریع اتصال‌های زمین در مدارهای فشار قوی باید از رله اتصال زمین استفاده شود و به نحوی که رله بتواند برای کشف جریانهایی برابر 10% تا 15% جریان بار کامل تنظیم شود . دستیابی به حلقه زمین با امپدانس پایین برای عمل سریع این وسیله حفاظتی چندان مشکل نیست .

به علاوه ، قسمت‌های هادی بیگانه سیستم باید به کلیه بدنه‌های هادی که بطور همزمان در تماس می‌باشند ، اتصال فلزی مستقیم داشته باشند . اگر این اتصال از طریق تجهیزاتی که به قسمت‌های فولادی مشترک وصل است امکانپذیر نباشد ، باید بین بدنه‌های هادی و قسمت‌های هادی بیگانه ازهادی‌های همبندی استفاده شود .

معمول این است که نقطه خنثای یک سیستم توزیع فشار قوی تنها در یک نقطه به زمین اتصال داده شود . این عمل برای حصول مراتب زیر صورت می‌گیرد :

1- جلوگیری از عبور جریانهای دوار بین نقاط اتصال ستاره ترانسفور ماتور و یا مولدهایی که بطور موازی کار می‌کنند .

2- ایجاد مسیر برگشت و واحد برای جریانهای اتصال به زمین

مراعات مسائل بالا ، ایجاد تمایز بین جریانهای اتصال زمین سیستم را ممکن می‌سازد .

مناسب‌ترین نقطه برای زمین کردن ، نقطه ستاره مولدیا سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور تغذیه می‌باشد . این نوع اتصال زمین ممکن است مستقیم یا از طریق یک شبکه فلزی یا مقاومت مایع یا راکتور انجام شود . در شبکه‌های فشار قوی انفرادی با ظرفیت زیاد و امپدانس‌های کوچک ، زمین کردن سیستم معمولا از طریق امپدانس صورت می‌گیرد . مقاومت اهمی امپدانس باید طوری باشد که جریان اتصالی را به اندازه‌ای که تنش‌های حرارتی و مکانیکی بر روی تجهیزات در یک حداقل

قابل قبول باشد . محدود سازد و اطمینان حاصل شود که اتصالات زمین تقلیل محسوسی را در ولتاژ سیستم ایجاد نمی‌کند .

شدت جریان اتصال به زمین باید به قدر کافی زیاد باشد تا بتواند عمل درست وسیله حفاظتی را تضمین کند . این جریان معمولا نباید از 1 تا 1/5 برابر جریان بار کامل بزرگترین دستگاه موجود در سیستم ، بیشتر شود . در هر حال زمین کردن مستقیم ، در صورتیکه جریان اتصال به زمین برای عمل وسایل حفاظتی کافی باشد و باعث ایجاد تنشهای الکترومغناطیسی نامعقول در تجهیزات سیستم نشود ، مجاز می‌باشد .

اگر منبع تغذیه سیستم دارای اتصال مثلث به جای ستاره باشد ، یک ترانسفورماتور زمین باید بین هادی‌های فاز و زمین اتصال داده شود تا نقطه خنثا برای زمین کردن فراهم شود .

اگر بیش از یک منبع تغذیه وجود داشته باشد مانند یک نیروگاه 11KV با چندین مولد ، ممکن است نیاز به پیش بینی وسایل قطع و وصل در محل اتصال به زمین باشد تا باکلیه شرایط بهره برداری مطابقت به عمل آید .

20-7-2-2- سیستم‌های فشار ضعیف

همانند منابع ولتاژ قوی ، در سیستم‌های صنعتی فشار ضعیف نیز استفاده ازمسیرهای بامقاومت پایین برای برگشت جریان اتصال زمین ضروری می‌باشد . امپدانس کل حلقه باید تا حد امکان پایین باشد تا وسیله حفاظتی منتخب مانند فیوز یا کلید خودکار بتواند در زمان مشخص شده در مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران ، عمل کند .

علاوه بر مسیری که برای جریان اتصال زمین را از طریق کابل یا غلاف یا زره ایجاد می‌شود ، امپدانس حلقه زمین قابل قبولی از طریق اتصال تجهیزات به ساختار فولادی مشترک ونصب هادی‌های همبندی بین قسمتهای بدنه‌های هادی و قسمت‌های هادی بیگانه ، بدست می‌آید . در این شرایط ، ضروری است که بین ساختار فولادی و سیستم زمین همبندی به وجود آید . در مواردی که مداری بارهایی را که توان آن 75 کیلووات یا بیشتر است تغذیه کند ، نصب رله اتصال زمین باید مورد توجه قرار داده شود .

زمین کردن نقطه اتصال ستاره هر یک از ترانسفورماتورهای کاهنده در طرف فشار ضعیف از طریق سیستم الکترود زمین ، معمول است . مقاومت الکترود نسبت به زمین باید تا حدامکان پائین باشد و در محدوده‌ای با شعاع 100 متری در اطراف هر پست ، مقاومت اتصال به زمین خنثا نسبت به جرم کلی زمین نباید از 5 اهم بیشتر باشد . چند ترانسفورماتور می‌توانند در یک سیستم الکترود شریک باشند ، ولی در این صورت اگر آزمون دورهای مقاومت زمین بدون قطع کامل هر دو منابع فشار قوی و فشار ضعیف موردنظر باشد ، باید حداقل یک سیستم الکترود یدکی با مقاومت حداکثر 5 اهم وجود داشته باشد تا در طول آزمون جایگزین الکترود اول شود .

یادآوری : برای حداکثر مقاومت مجاز نقطه خنثا نسبت به جرم کلی زمین ، مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران را ببینید .

تحت هیچ شرایطی ، اتصال خنثا یا نقطه اتصال ستاره به زمین نباید از ترانسفورماتور برقدار شده جدا یا قطع شود و قویاً توصیه می‌شود که هادی‌های زمین با اتصالات هم پتانسیل کننده تجهیزات منفرد ، در داخل حلقه یاحلقه هایی اتصال داده شوند . لازم است به اتصال زمین بدست آمده از طریق غلاف هادی کابل یا زره یا در مواردی که تجهیزات به سازه فولادی مشترک متصل می‌باشد ، توجه خاصی مبذول شود .

در مواردی که از کابل‌های تک رشته‌ای در تاسیسات فشار ضعیف استفاده شده باشد ، ترجیح دارد کلیه غلاف‌های فلزی یا زره در هر دو سر طول آنها همبندی و زمین شوند . ولتاژهای القأ شده در زره‌ها و غلاف‌ها به مقادیری کوچک کاهش یافته و دراین صورت از رزه های و غلاف ها می توان به عنوان هادی حفاظتی و در صورت لزوم موازی با یک هادی اضافی ، استفاده کرد . جریانهایی که از غلاف یا زره عبور می‌کنند . ظرفیت عبور جریانهای اصلی در کابلها را کاهش خواهند داد . در صورتیکه این کاهش مورد قبول نباشد ، پوششها و غلاف را می‌توان تنها در یک سر هر طول کابل همبندی نمود (همبندی در یک نقطه) که در اینصورت استفاده از یک هادی حفاظتی جداگانه مورد نیاز خواهد بود مقادیر ولتاژ ثابت که در انتهای باز مدار زره یا غلاف ظاهر می‌شود در زیر بند 18-8-2 مورد توجه قرار داده شده است .

20-8- اتصال زمین منبع تغذیه به تجهیزات قابل قبول یا قابل حمل و نقل بزرگ از طریق امپدانس

در مواردی که تغذیه فشار قوی به تجهیزات قابل حمل یا قابل حمل و نقل توسط یک کابل طویل انجام شود که معمولا ترکیبی از کابل‌های نصب ثابت و قابل انعطاف متحرک [66] است ، بهتر است ، منبع تغذیه از طریق یک امپدانس به نحوی زمین شود که در هنگام رفع اتصالی به بدنه به کمک فیوز یا کلید خودکار ، ولتاژهای بین بدنه دستگاه و زمین به حدی ایمن محدود شود .

مقدار این امپدانس که معمولا متشکل از یک مقاومت زمین مایع است طوری انتخاب می شود که حاصلضرب جریان اتصالی مولفه صفر و مقاومت مسیر اتصال زمین فلزی متشکل از غلاف و زره کابل ، معادل حد ایمن ولتاژ دستگاه باشد .

در صورت امکان ، این مقدار بهتر است از 50V بیشتر نشود . معمولا اتکأ به مسیرهای اتفاقی اتصال زمین موازی که از اتصال دستگاه به زمین رخ می‌دهد ، برای محدود کردن ولتاژ به حدی ایمن توصیه نمی‌شود .

از زمین کردن از طریق امپدانس هم چنین می‌توان برای محدود کردن آسیب دیدگی تجهیزات در طول زمان عمل قطع کلید مدار ، پس از بروز اتصال زمین ، استفاده کرد . استفاده از اتصال زمین

از طریق امپدانس ، در مورد کابل‌های قابل انعطاف متحرک تجهیزات قابل انتقال یا قابل حمل و نقل فشار قوی که در آنها ظرفیت عبور جریان اتصالی از حفاظهای کابل قابل انعطاف محدود می‌باشد ، مناسب است .

کابل کشی‌ها ، تابلوها و وسایل قطع و وصل آنها در سیستم هایی که از طریق امپدانس زمین شده‌اند باید مناسب این کار بوده و در مواردی که لازم باشد سازندگان باید برای اخذ توصیه‌های اضافی مورد مشورت قرار گیرند .

20-9- کارگاههای ساختمانی

تبادل نظرهای اولیه مشترک با موسسه تامین کننده نیرو بسیار مهم می‌باشد تا توافق لازم در مورد نوع تغذیه شامل امکانات زمین کردن بدست آید . نظربه اینکه ایجاد منطقه‌ای هم پتانسیل در یک کارگاه ساختمانی مشکل می‌باشد ، انتظار نمی‌رود که صاحب کارگاه نتواند از امکانات PME به طور کامل استفاده کند ولی موسسه تامین کننده نیرو ممکن است یک ترمینال PME به تشکیلات کارگاه تحویل دهد ، اگر نسبت به شرط عدم استفاده از آن به عنوان زمین کلی بتوان اطمینان حاصل نمود . در مواردی که ولتاژ تغذیه فشار قوی باشد ، صاحب کارگاه باید یک اتصال زمین برای هادی خنثا تهیه کند .

در مواردی که محل کارگاه در مناطق مرطوب و مشکل قرار گرفته باشد ، کلیه تجهیزات باید با دوام بوده و بطور مرتب بازرسی شوند و نست به زمین کردن آنها و مدارهای حفاظتی توجه خاص به عمل آید .

20-10- کاراوانهای توریستی و محل توقف آنها (توقفگاه)

حفاظت الکتریکی افراد یا حیوانات اهلی که از کاراوان استفاده کرده یا در تماس با آن هستند باید قابل اطمینان باشد ، زیرا نتیجه بروز اتصال به زمین در تجهیزات داخل کاراوان ، می‌تواند باعث افزایش ولتاژ بدنه آن به حدی که نسبت به زمین اطراف خطرناک گردد ، شود . بنابراین هر شخصی که در تماس با قسمت‌های فلزی کاراوان قرار می‌گیرد ، در حالیکه روی زمین در خارج ان ایستاده است ، در معرض خطر برق گرفتگی قرار خواهد گرفت .

به دلیل خطرات خاصی که در بهره‌گیری از کاراوان وجود دارد مقررات ، استفاده از سیستمهای PME را در منابع تغذیه آن ممنوع کرده است .

با ساختمان‌های ثابتی که در محل توقفگاه کاراوان‌ها وجود دارندمانندبناهای عادی برخورد شده و تغذیه اینگونه ساختمانها و حفاظت آنها طبق روش‌های معمول انجام می‌شود . در این موارد می‌توان از ترمینال اصلی تاسیسات که جزئی از سیستم TN-C-S است استفاده کرد و نیازی به موافقت رسمی موسسه برق نمی‌باشد .

یادآوری : کاراوانهای نصب ثابت که بطور عاری برای جایجا شدن پیش بینی نمی‌شوند ، ساختمان ثابت به حساب می‌آیند .

در مواردی که توقفگاه کاراوان جزئی از سیستم TN-S باشد ، هادیهای حفاظتی مدار یعنی هادی هایی که ترمینال زمین پریزهای خروجی کاراوان را به ترمینال اصلی زمین وصل می‌کنند باید دارای استحکام و یکپارچگی الکتریکی بالایی باشند مانند هادی حفاظتی یک کابل زیر زمینی یا هادی حفاظتی دوبل در یک خط هوایی .

شکل 24 روش تغذیه برق تجهیزات الکتریکی را در یک توقفگاه کاراوان نشان می‌دهد .

20-11- بندرگاه کشتی‌های کوچک و قایق‌ها

تاسیسات الکتریکی دریایی باید خطرات ناشی از رطوبت را مورد توجه قرار دهند . به علاوه ، در بندرگاههایی که دستخوش جزر و مد می‌باشند کلیه هادی‌ها باید طوری قرار گرفته و از موادی ساخته شده باشند که جزر و مد تاثیر زیان آوری بر روی آنها نگذارد .

به دلیل خطرات خاصی که به همراه کشتی‌ها و قایق‌ها وجود دارد مقررات ، استفاده از سیستم‌های PME را در منابع تغذیه آنها مجاز نمی‌داند .

در این مناطق سه نوع تاسیسات الکتریکی که با ولتاژ برق اصلی تغذیه می‌شوند ، وجود دارد که به شرح زیر می‌باشد :

الف – تاسیساتی که با هدف انجام کار ، پیش بینی شده‌اند مانند آنهائی که در پیاده روها قرار دارند و از آنها می‌توان با ابزار دستی کار کرد .

ب – تغذیه به قایق‌ها برای مصارف اتفاقی مانند رطوبت گیرها .

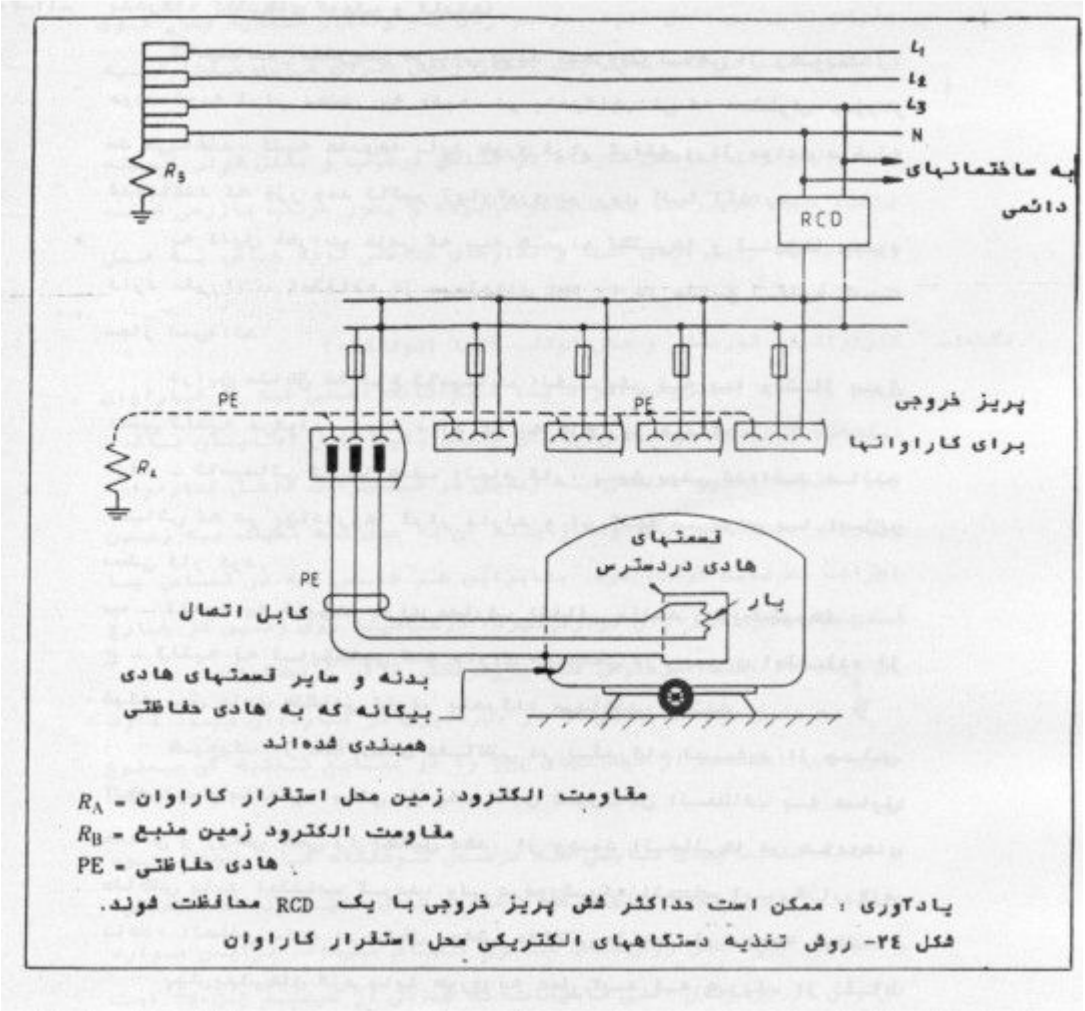
ج – تغذیه به قایق هایی که دارای سیم کشی لازم برای استفاده از شبکه برق عادی هنگامی که در بندرگاه می‌باشند ، هستند .

هیچیک از هادی‌های حفاظتی در بندرگاه نباید از جنس آلومینیوم باشد یا بخشی از یک کابل غیر قابل انعطاف با عایق آلومینیوم باشد یا بخشی از یک کابل غیر قابل انعطاف باعایق معدنی و روکش مسی را تشکیل دهد . از وجود اتصالی‌ها در هادی‌های حفاظتی باید اجتناب گردد ، ولی در صورتیکه انجام این کار لازم باشد ، اتصالی باید در داخل پوشش حفاظتی مناسب قرار داده شود .

پیش بینی‌های لازم باید طوری به عمل آید که هر یک از نقاط سوختگیری روی قایق بتواند به هادی حفاظتی سیستم توزیع الکتریکی ، قبل از شروع عمل سوختگیری ، اتصال داده شود . این اتصال تا پایان عمل سوختگیری و برداشتن لوله تخلیه سوخت نباید مجزا شود .

قسمتهای فلزی محل سوختگیری باید به مخزن سوخت قایق و هادی حفاظتی مدار هر نوع سیم کشی در داخل قایق ، اتصال دائمی داشته باشد .

هر گونه قسمت فلزی در روی سطوح شناور [67] در داخل بندرگاه که شامل تجهیزات الکتریکی بوده یا ممکن است با تجهیزات الکتریکی تماس گیرد با هادی حفاظتی سیستم همبندی شود .



21- داربست‌های موقت و سازه‌های فلزی مشابه

21-1- سازه‌های فلزی که به کمک اتصالات پیچی یا بست‌های پیچی سوار می‌شوند .

در مواردی که سازه با استفاده از اتصالات پیچی یا بست‌های پیچی نصب شده است ، تعداد این اتصالات احتمالا چندین مسیر با مقاومت نسبتاً کم ایجاد می‌کند . گرچه این سازه‌ها با هدف داشتن تداوم الکتریکی طراحی نشده‌اند ، منطقی است فرض شود که دارای مقاومت الکتریکی پایینی باشند .

صرفنظر از نوع بست‌ها یا پایه هایی که در تماس با زمین می‌باشند و صرفنظر از نحوه وصل سازه موقت به سازه دائمی ، نباید سازه موقت فلزی را به نحوی موثر زمین شده دانست .

در مواردی که سازه‌های موقت حامل مدارهای روشنایی و یا مصارف کوچک باشند ، توصیه می‌شود که سازه با هادی یا هادیهای حفاظتی مدارهایی که آنها را حمل می‌کند همبندی شود .

در صورتی که ولتاژ کار مدار کمتراز .50V.c.a باشد ، نیازی به این همبندی نمی‌باشد .

برای مدارهای با توان بالاتر سازه فلزی باید یک قسمت هادی بیگانه به حساب آمده و مجهز به همبندی اضافی مناسب ، طبق مبحث 13 از مقررات ملی ساختمانی ایران شود . در سایر موارد ، مقررات سیم کشی مبحث 13 در مورد این مدارها نیزاعمال می‌شود .

21-2- سازه هایی که بخشی از اقدامات احتیاطی برای احتراز از خطرات خطوط هوائی برقدار را تشکیل میدهد .

در این مورد لازم است کلیه مقررات وزارت نیرو مانند احداث یک سازه به صورت توری در زیر خط هوائی ، رعایت شوند .

21-3- حفاظت سازه‌های موقتی بلند در برابر صاعقه

اگر یک سازه فلزی موقت در نزدیکی ساختمانی که در برابر صاعقه حفاظت شده است نصب شود ، این سازه باید هم در بالاترین نقطه نزدیک به ساختمان و هم در سطح زمین و یا در نزدیکی آن به یک یا چند هادی پایین رو سیستم حفاظتی وصل شود .

سایر ساختمانهای فلزی موقتی ممکن است برای حفاظت کافی در برابر صاعقه به الکترودهای زمین جداگانه نیاز داشته باشند . این امر به ساختار پی‌ها و پایه‌های موقت بستگی دارد . در صورت لزوم می‌توان از استانداردها و مقررات معتبر به عنوان راهنما استفاده کرد .

21-4- سایر ساختمانهای موقتی

ساختمانهایی که نیاز به حفاظت در برابر صاعقه ندارند و در نزدیکی خطوط هوائی نبوده و مدارهای الکتریکی با ولتاژ بیش از .25Vc.a را حمل نمی‌کنند . نیازی به اتصال زمین یا همبندی خاص ندارند .

22- **تجهیزات و مدارهای مخابراتی**

طبق مقررات ، بدنه‌های هادی کلیه تجهیزات مخابراتی که از منبعی با ولتاژ بیش از .50Vc.d تغذیه می‌شوند باید به زمین حفاظتی (بند 20) وصل شوند . به علاوه ، تجهیزات مخابراتی ممکن است برای اهداف عملیاتی نیاز به یک اتصال زمین جداگانه داشته باشند . در موارد خاص ، این اتصال ممکن است از طریق یک هادی مشترک انجام شود که در اینصورت مقررات مربوط به جنبه حفاظتی ، نافذ خواهد بود .

در مواردی که تجهیزات مخابرات با تجهیزات تولید ، انتقال یا توزیع همراه می‌باشد ، به منظور جلوگیری از نفوذ ولتاژ سیستم زمین فشار قوی به مدارهای مخابرات در هنگام بالا رفتن این ولتاژ ، لازم است پیش بینی‌های مخصوص به عمل آید .

کابل‌های مربوط به سیستم مخابراتی باید از سایر کابل‌های هم به منظور ایمنی و هم برای کاهش تداخل الکتریکی مجزا شوند .

توصیه‌های مربوط به کابل گذاری و زمین کردن تجهیزات مخابراتی (شامل تجهیزات مربوط به ایستگاههای فشار قوی) در استانداردهای مربوطه ذکر شده است .

23- حفاظت در برابر صاعقه و اتصال به زمین

نصب الکترودهای زمین و هادی‌های زمین برای سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه باید با توجه به اصول آمده در بخش 3 صورت گیرد .

حفاظت تجهیزات الکتریکی در ساختمان در برابر ولتاژهای القائی و احتمال بروز جرقه‌های ثانوی را می‌توان با اتصال هادی زمین سیستم حفاظت در برابر صاعقه به ترمینال زمین اصلی تاسیسات الکتریکی تامین کرد . جزئیات مربوط به طراحی و زمین کردن سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه در استانداردهای مربوطه ذکر شده است .

24- معادن زیر زمینی و معادن روباز

24-1- مقدمه

نحوه زمین کردن در معادن زیر زمینی و معادن روباز بر این اصل کلی استوار است که بدنه‌های هادی در دسترس دستگاه باید به نحوی موثر به زمین وصل شوند ، در غیر اینصورت باید بوسیله لوازمی که تاثیری مشابه دارند برای جلوگیری ازخطرات ناشی ازافزایش پتانسیل این قسمتها نسبت به زمین ، حفاظت شوند . زیر بند 20-8 که در ارتباط با زمین کردن تجهیزات بزرگ قابل حمل و نقل یا قابل حمل می‌باشد را نیز ببینید .

در بعضی معادن زیر زمینی و برخی معادن روباز (شامل معادن روباز زغال سنگ ،) علاوه بر خطر برق گرفتگی ، خطرات ناشی از گازهای قابل اشتعال و مواد انفجاری نیز وجود دارد . در این موارد ، به منظور اجتناب از جرقه های آتشزا که در اثر تخلیه الکتریکی ساکن ایجاد می‌شود ، ممکن است به یک زمین محلی جداگانه مخصوص نیز نیاز باشد .

24-2- قوانین و مقررات مربوطه

علاوه بر قوانین و مقررات عمومی حفاظت کار ، در مورد معادن زیر زمینی و معادن روباز ، لازم است قوانین ومقررات اختصاصی و مقررات الکتریکی مخصوص این مکانها نیز رعایت شوند .

24-3- اتصال زمین سیستم نیرو

در بعضی از معادن زیر زمینی و معادن روباز برق ورودی ممکن است توسط شرکت دیگری تامین شود که تابلوهای برق و دستگاههای اندازه‌گیری را نیز نصب می‌کند . درهمه احوال مهم است که نقطه پایان مسئولیت شرکت توزیع کننده برق و نقطه شروع مسئولیت مصرف کننده به وضوح مشخص شود.

اگر برق از طریق ترانسفورماتوری (یا مولدی) تامین شود که در مالکیت توزیع کننده نیرو بوده و در محل معدن نصب شده است، لازم است به درخواست مصرف کننده، توزیع کننده تسهیلات لازم برای اتصالات سیستم زمین مصرف کننده به نقطه خنثا یا نقطه میانی ولتاژ ترانسفورماتور را، فراهم کند. در همه موارد، تامین کننده نیرو باید همبندی الکترود زمین خود را با الکترود مصرف کننده انجام دهد.

اگر تغذیه از طریق ترانسفورماتوری تامین شود که در مالکیت شرکت توزیع برق نیست یا اگر مصرف کننده شخصا برق خود را تولید کند، یک الکترود زمین باید توسط مصرف کننده فراهم شده و خنثا یا نقطه میانی ترانسفورماتور به آن وصل شود.

اگر ترانسفورماتور یا مولد تغذیه، دور از محل مربوط به مصرف کننده قرار داشته باشد، یک پایانه زمین باید در محل مشترک در نظر گرفته شود. در مواردی که امکان داشته باشد هادی اتصال زمین باید به صورت یک هادی اضافی در داخل کابل یا خط هوائی در دسترس قرار گیرد. در مواردی که برپایی این ترمینال زمین عملی نباشد، ضروری است که الکترود زمین منبع تغذیه و الکترود محل مشترک به نحوی احداث و بهره برداری شوند که مقاومت آنها نسبت به جرم کلی زمین تا حد امکان پائین بوده و حفاظت مناسب در برابر اتصال زمین نیز تامین شده باشد.

یادآوری: غلاف کابل تغذیه و زره آن می‌توانند به عنوان هادی اتصال زمین یادشده مورد استفاده قرار گیرند، به شرطی که این هادی به زمین منبع تغذیه، نقطه خنثا یا نقطه میانی همبندی شده باشد و با مقررات مخصوص معادن نیز مطابقت نماید.

در کلیه حالات، مقاومت الکترود با احتساب مقاومت ویژه الکتریکی خاک در محل باید تا حد امکان پائین باشد. در هرحال به جز مواردی که در بالا گفته شد، اهمیت مقاومت پائین نسبت به زمین به اندازه اهمیت همبندی کلیه بدنه‌های هادی و فلزی با نقطه خنثای منبع تغذیه یا نقطه میانی ولتاژ، نمی‌باشد.

نقطه ولتاژ میانی یا نقطه خنثای سیستم تغذیه اصلی باید تنها در یک نقطه زمین شود و در مورد یک معدن، این کار باید در سطح زمین انجام شود. برای محدود کردن جریان اتصال زمین احتمالی، زمین کردن می‌تواند هم مستقیم و هم از طریق یک امپدانس انجام شود. در مواردی که سیستم از طریق یک امپدانس زمین شده باشد، باید یک وسیله حفاظت مناسب در برابر اتصال زمین که قادر به تشخیص جریان محدود اتصال به زمین باشد در سیستم زمین در نظر گرفته شود.

هیچ نوع کلید خودکار یا فیوز نباید در هیچیک از هادیهای زمین قرار داده شود. هر آینه از یک کلید تبدیل قفل و بست شده می‌توان در مواردی که دو یا چند الکترود زمین وجود داشته باشد،

استفاده کرد. چنین وسیله‌ای برای اندازه‌گیری دوره‌ای مقاومت زمین الکترودها نسبت به جرم کلی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

24-4- اتصال به زمین تجهیزات

هریک از پوششهای فلزی شامل زره یا پرده کابل‌ها باید زمین شود. زره و غلاف کابل را می‌توان به عنوان اجزای تشکیل دهنده هادی زمین در کابل در نظر گرفت و در محاسبات هدایت ویژه زمین با هدف پی بردن به قابل قبول بودن کابل منظور نمود. برای کابل‌ها و دستگاههای نصب ثابت، قابلیت هدایت هادیهای زمین نباید از نصف قابلیت هدایت هادیی که بالاترین ظرفیت عبور جریان را داشته و مربوط به این هادی است، کمتر باشد. در مورد کابل‌های قابل انعطاف، قابلیت هدایت هادی زمین باید برابر قابلیت هدایت هادی داخل که بالاترین ظرفیت عبور جریان را دارد باشد، مگر آنکه ایمنی معادل آن را بتوان تضمین نمود و عواملی نظیر توانائی عبور جریان اتصالی و افزایش ولتاژ در محل تجهیزات در طول حالت اتصالی به حساب آورده شوند.

کابلهایی که مجهز به زره تسمه فولادی می‌باشند (مگر آنکه این تسمه مکمل زره از نوع سیم‌های فولادی باشد) یا دارای زره آلومینیومی بوده و یا مجهز به غلاف مسی باشند (کابلهای با عایقبندی معدنی) جهت استفاده در زیر زمین (معدن) مناسب نیستند. معمولا برای این کار از کابلهای مسلح با سیم‌های فولادی تکی یا مضاعف استفاده می‌شود. برای استفاده در زیر زمین، استفاده از کابل‌های با عایقبندی کاغذ و غلاف سربی نیز به دلیل استقامت مکانیکی ضعیف عایق آنها مناسب دانسته نمی‌شود .

در مورد یک مدار الکتریکی که برای وسایل کنترل ، قفل وبست [68] یانشانگری بکار می‌رود ، می‌توان یک قطب از سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور کمکی را که تغذیه کننده این مدار است ، به جای نقطه میانی به زمین وصل کرد .

در صورت استفاده از دستگاههای قابل حمل و نقل که شامل منبع تغذیه خود (مثلا مولد قابل حمل و نقل یا جرثقیل الکتریکی) می‌باشد ، همبندی کلیه قسمتهای فلزی در دسترس به یکدیگر ضروری می‌باشد (اتصال هم پتانسیل کنند .) بدین ترتیب از تماس همزمان اپراتور با قسمتهای فلزی در دسترس که پتانسیل‌های متفاوتی دارند ، جلوگیری می‌شود .

در معادن زیر زمینی که در آن از دستگاههای قابل حمل و نقل با نیروی سرخود و متحرک مانند لوکوموتیو باطری دار استفاده می‌شود ، این تجهیزات باید به صورت یک سیستم کاملا عایق شده کار کند تا از ایجادجرقه بین قسمتهای فلزی وسیله جلوگیری شود . باید از یک سیستم هشدار دهنده برای نشان دادن جریان نشت به بدنه استفاده شود .

در معادن زیر زمینی در هر نقطه‌ای که ممکن است به گاز قابل اشتعال به میزان خطرناکی ایجاد شود (معمولا جائی فرض می‌شود که 25% گاز قابل اشتعال می‌تواند در حجم کلی هوا وجود

داشته باشد) لازم است حدی برای حداکثر جریان اتصال زمین احتمالی روی هر یک از سیستم‌های برق که در ولتاژ بین 250V و 1200V کار می‌کنند ، تعیین شود (معمولا با زمین کردن از طریق امپدانس .) در این حالت ، حداکثر جریان اتصال زمین احتمالی باید در ولتاژهای بین 250V و 650V به 16A و در ولتاژهای 650V و 1200V به 2A محدود شود . در هر یک از دو حالت وسایل کنترل کننده مدار باید قادر به احساس و قطع منبع تغذیه با عبور حداقل یک سوم از حداکثر جریان اتصال زمین باشد .

24-5- آزمون

مقررات برای معادن زیر زمینی و معادن روباز از نظر دوره تناوب آزمون الکترود زمین و قابلیت هدایت مدار کمی با یکدیگر فرق می‌کند .

در معادن روباز اجرای آزمونها را در صورتی که دستگاه در مالیکت مصرف کننده باشد در فواصل زمانی 30 هفته ضروری می‌دانند (اگر الکترود زمین در مالیکت شرکت توزیع نیرو باشد ، آزمون در مسئولیت شرکت خواهد بود .) در مورد معادن ، طبق مقررات ، آزمونها باید طبق برنامه ریزی مدیریت معدن و در فواصل زمانی تعیین شده توسط وی ، انجام شود .

25- روشنایی خیابان و سایر تجهیزات الکتریکی در خیابان

25-1- کلیات

وسایل خیابانی عبارتند از تیرهای ثابت چراغ برق ، تابلوهای راهنمایی مجهز به روشنایی ، کیوسکها و سایر وسایل مجهز به برق که بطور دائم در خیابان نصب می‌باشند . در کلیه حالات ، سازمان برق محل ، قبل از آنکه کار طراحی روی وسایل یک خیابان جدید شروع شود باید مورد مشورت قرار گیرد تا نوع سیستمی که تاسیسات جدید را تغذیه می‌کند ، مشخص شود .

25-2- سیستم‌های TN-S

وسایل خیابان می‌تواند از طریق سیستم TN-S، تغذیه و حفاظت شود و در چنین حالتی از کابل تغذیه با هادیهای فاز ، خنثا (N) و حفاظتی (PE) مجزا از یکدیگر استفاده می‌شود . سیم کشی در طرف مصرف از وسیله حفاظتی در هر واحد باید شامل هادی فاز هادی خنثا و هادی حفاظتی مدار باشد . قسمتهای هادی در دسترس وسیله خیابانی باید به ترمینال زمین در داخل دستگاه اتصال داده شود و ترمینال زمین خود به هادی حفاظتی مدار تغذیه متصل شود .

25-3- سیستمهای TN-C-S

روش دیگری برای تغذیه و حفاظت وسایل خیابان ، استفاده از سیستم TN-C-S می‌باشد . در این روش معمولا از کابلی با هادی مشترک حفاظتی و خنثا (PEN) استفاده می‌شود .

سیم کشی در طرف بار از وسیله حفاظتی در داخل واحدها باید شامل هادیهای فاز ، خنثا و هادی حفاظتی مجزا باشد . برای تاسیسات جدید ، بدنه‌های هادی در دسترس باید از طریق یک

هادی به ترمینال خنثا وصل شود . سطح مقطع این هادی باید برابر $10mm^2$ مس یا برابر سطح مقطع هادی خنثای مدار تغذیه ، اگر کمتر از $10mm^2$ است ، باشد .

اجزای فلزی کوچک مجزا شده که احتمال تماس آنها با قسمتهای هادی در دسترس یا قسمتهای هادی بیگانه یا با زمین کم است (مانند درهای فلزی کوچک و چارچوبهای در ، در وسایل پلاستیکی یا بتونی) نباید به ترتیب فوق وصل شوند .

در صورتیکه مداری بیش از یک وسیله خیابانی را تغذیه کند (مثلا از طریق ورود ، خروج مدار به داخل وسیله) یک الکترود زمین باید در واحد آخر یا ماقبل آخر نصب شود و این الکترود طوری باشد که مقاومت خنثا نسبت به زمین در هر نقطه قبل از وصل هر هادی همبندی یا هادی حفاظتی مدار به ترمینال خنثا ، کمتر از 20 اهم باشد .

اگر یک الکترود تکی مقاومتی بیش از 20 اهم ایجاد کند ، باید الکترودهای زمین دیگری در طول مدار با فواصل مساوی از یکدیگر نصب شوند یا اینکه در صورت وجود امکان اتصال‌های خنثا در آخرین دستگاه به خنثای یک سیستم تغذیه یا توزیع متفاوت ، الکترود زمین را می‌توان حذف کرد .

علاوه بر اینها دو حالت ممکن است پیش آید :

الف – در مواردی که سیستم تغذیه TN-C است ولی شرکت ناظر بر روشنایی عمومی مایل به استفاده از کابلهایی با هادیهای خنثا و حفاظتی مجزا می‌باشد و نمی‌خواهد از هادی مشترک حفاظتی / خنثا در کابل‌ها به عنوان مسیر جریان اتصالی استفاده کند .

ب – در مواردی که شرکت برق ، ترمینال زمین تهیه و در اختیار نمی‌گذارد .

در هر دو حالت بالا ، شرکت ناظر بر روشنایی باید الکترود زمین حفاظتی خود را نصب کند و در این حالت ، سیستم باید سیستم TT باشد .

لازم است دقت شود که هم امپدانس شروع اتصالی و هم امپدانس دائمی مسیر اتصالی به زمین برای اطمینان از اینکه وسیله حفاظتی در صورت وقوع اتصالی در دستگاه عمل خواهد کرد ، پایین می‌باشد .

الکترود زمین خنثای ترانسفورماتور تغذیه یک جزء مهم از حلقه اتصالی می‌باشد ، ولی مقاومت آن نسبت به زمین تحت کنترل شرکت روشنایی خیابان نیست . در چنین شرایطی برای اطمینان از قطع تجهیزاتی که دچار اتصال شده است باید از وسایل حفاظتی جریان پسماند استفاده شود .

استفاده از تیرهای چراغ برق فلزی یا اسکلت فلزی واحدهای کنترل و غیره به عنوان الکترودهای زمین حفاظتی توصیه نمی‌شود .

26- محیط های خطرناک (محیط هایی که جو آنها بالقوه انفجاری است)

در محل هایی که مواد قابل اشتعال ، انبار شده ، مصرف شده یا با آن کار می‌شود ، ممکن است سیستم‌های زمین به منظور کاهش خطر ناشی از بروز پتانسیل در اثر جریان نشتی مورد نیاز باشد . این جریان‌ها نشتی ممکن است در اثر شدت جریان کار ، القأ شده یا در اثر الکتریسیته ساکن ناشی از عملیات انجام کار یا به صورت طبیعی تولید شوند .

در این موارد لازم است برای انتخاب و نصب و بهره برداری از سیستم‌ها و تجهیزات الکتریکی از استانداردهای معتبر استفاده شود .

در مور پمپ بنزین‌ها و نظایر آن بایدمقررات شرکت ملی نفت ایران رعایت شود . استفاده از سیستمهای با اتصال زمین مکرر برای این موارد ممنوع می‌باشد .

27- زمین کردن هادی‌ها برای کار ایمن

27-1- کلیات

این بند تنها اصول کلی زمین کردن هادی‌ها را برای اهداف ایمنی در بر می‌گیرد . این بند زمین کردن حفاظتی تجهیزات جریان ضعیف و قوی را در بر می‌گیرد و عموماً برای تجهیزات فشار قوی کاربرد دارد ولی در برخی شرایط و در صورت لزوم ، می‌تواند به عنوان یک وسیله ایمنی اضافی برای تجهیزات فشار ضعیف نیز بکار رود . در مواردی که کاربرد دارد ، استفاده از زمین‌های حفاظتی باید جزئی از یک سیستم کلی کار ایمن در آید . برای اطمینان از اینکه یک سیستم کار ایمن به وضوع شناخته خواهد شد ، وضع یک سری مقررات و آئین نامه‌های تفصیلی مورد نیاز خواهد بود .

از مواردی که باید به آن توجه شود ، رعایت مقرراتی است که به وسیله وزارت کار و امور اجتماعی در زمینه کار روی تجهیزات برقی وضع شده است .

27-2- زمین کردن حفاظتی

در مواردی که عملیات مربوط به بهره برداری و تعمیرات روی تجهیزات و یا هادی‌های فشار قوی و یا در نزدیکی آنها انجام شود ، زمین کردن حفاظتی همانطور که در زیر شرح داده خواهد شد ، باید مورد توجه قرار گیرد .

کلیه فازها و هادی‌های دستگاه یا منبع تغذیه که روی آن کار انجام خواهد شد باید جدا شده و به زمین وصل شود وتا زمانی که کار پایان نیافته است همچنان وصل به زمین باقی بماند . در طول پیشرفت کار ممکن است به منظور اطمینان از تداوم اقدامات ایمنی ، نیاز به تجدید نظر روی نحوه زمین کردن باشد .

وسایل زمین حفاظتی زیر می‌تواند به عنوان وسایل ثابت ، در دسترس باشد :

الف – کلیدهای زمین کننده در تجهیزات نصب ثابت

ب – پیش بینی اتصال زمین یکپارچه با کلید خودکار قطع مدار

ج – وسایل اتصال زمین قابل حمل مانند هادیهای اتصال زمین قابل حمل

کلیه این نوع وسایل باید قبل از استفاده بازرسی شده و بطور منظم مورد رسیدگی قرار گیرند .

در مواردی که امکان دارد ، زمین کردن اصلی اولیه باید از طریق یک کلید خودکار یا یک وسیله مناسب دیگر که جریان قطع آن قابل تنظیم است ، انجام شود .

در همه احوال هادیهای اتصال زمین باید دارای سطح مقطع کافی برای عبور جریان در هنگام عمل وسیله حفاظتی به نحوی ایمن باشد .

در صورت امکان این هادیها باید از نوع بافته شده قابل انعطاف و یا هادیهای چند مفتولی لخت مسی یا آلومینیومی باشند که در برابر خوردگی به نحوی مناسب حفاظت شده باشند . در هیچ حالتی حتی برای اتصال زمین وسایل جریان ضعیف (برای مثال وسایل آزمونی فشار قوی) سطح مقطع هادی اتصال زمین نباید از 6 میلیمتر مربع کمتر باشد .

نتیجه بدست آمده در بعضی موارد این است که حداکثر سطح مقطع هادی معادل که می‌توان از آن به راحتی استفاده کرد ، 70 میلیمتر مربع است . در مواردی که احتیاج به سطح مقطع بزرگتری برای حمل جریان حداکثر اتصال کوتاه به نحوی ایمن است ، ممکن است لازم باشد از چند هادی 70 میلیمتر مربعی با سطح مقطعی دیگر به صورت موازی استفاده شود .

قبل از وصل هادیهای اتصال زمین لازم است اطمینان حاصل شود که مدار مربوط مجزا شده و در مواردی که قابل اجرا باشد ، لازم است آزمونی با استفاده از نوعی نشانگر مناسب ولتاژ (نشانگر خود باید بلافاصله قبل و بعد از اندازه‌گیری آزمایش شود) قبل ازاجرای اتصالات زمین ، انجام شود .

هادیهای زمین باید اول به نحوی موثر به سیستم زمین دائمی یا به الکترودی قابل ملاحظه با مقاومتی کم ، پیچ شده یا با بست وصل شوند . اگر الکترود زمین دائمی مناسب در دسترس نباشد می‌توان از میله اتصال زمین مناسب که تاعمقی کافی در زمین کوبیده می‌شود به عنوان الکترود مناسب فوری موقت استفاده کرد .

در حالی که بطور کلی چنین میله کوبیده شده‌ای ، کافی برای اتصال زمین حفاظتی نمی‌باشد ، در برابر برقدار شدن دراثر القأ ، درجه‌ای از ایمنی را ارائه خواهد داد .

سپس لازم خواهد بود که هادیهای زمین به نحوی مطمئن به تجهیزات یا هادیهایی که بر روی آنها کار خواهد شد ، پیچ شده یا بست شوند و در همه موارد این اتصالات باید قبل از باز کردن هادیها از سیستم زمین یا الکترود زمین ، باز شوند .

از یک عصا یا وسیله اتصال زمین که به نحوی مطلوب عایق بندی شده است ، باید برای وصل هادیها به تجهیزات یا هادیهایی که کار بر روی آنها انجام خواهد شد ، استفاده شود .

هادیهای زمین باید تا جایی که ممکن است کوتاه باشند و به نحوی استقرار یابند که نتوان آنها را در طول عملیات به اشتباه باز کرده یا جابجا نمود .

هادیهای زمین باید به نحوی ساخته و نصب شوند که هر هادی فاز از طریق یک مسیر فلزی قابل اطمینان به سایر فازهای مدار وصل شود ، نه اینکه برای مثال این اتصال از طریق مسیر زمین بین الکترودهای مجاور هم انجام شود .

27-3- احتیاط کاریهای مربوط به تجهیزات و کابلها

در مورد تابلوها و تجهیزات آنها کلیه فازهای آن بخش که کار بر روی آن انجام خواهد شد ، باید اتصال کوتاه شده و به سیستم زمین مربوط به تابلو وصل شود . دستگاههای خود شامل [69] یا دستگاههای قابل حمل برای این منظور در دسترس می‌باشند . در مواردی که این امکان وجود دارد ، سیستمهای قطع خودکار کلیدهای خودکار باید بی اثر شوند که از طریق باز کردن مدارهای آنها از تغذیه وسیله قطع کلید ، قبل از اینکه کلید خودکار وصل شود ، انجام می‌شود و مکانیزم قطع و وصل کلید نیز باید در حالت وصل ، قفل شود .

در مورد ترانسفورماتورها ، اگر کوچکترین امکانی برای برقدار شدن هر یک از سیم پیچها ، به صورت غیر عمدی وجود داشته باشد ، ترمینالهای همه سیم پیچها باید زمین شوند تا خطری دراثر برق گرفتگی نتواند بوجود آید .

در مواردی که لازم باشد بر روی رزیستورهای مایع کار شود مخصوصاً وقتی آنها را برای انجام کاری در داخل رزیستور از مایع تخلیه می‌کنند ، الکترود مرکزی باید به تانک همبندی شود و نه اینکه در فاصله ای دورتر زمین شود . این موضوع مخصوصاً در مواردی مهم است که دو رزیستور در مجاورت هم قرار داشته و یکی از آنها در حال کار باقی بماند . در حالی که بر روی دیگری کارهای تعمیراتی انجام شود .

در مواردی که کار باید بر روی تجهیزاتی انجام شود که قادر است انرژی الکتریکی را به صورت خازنی در خود ذخیره کند ، برای مثال کابلها و خازنها ، این قبیل تجهیزات باید قبل از انجام کار بر روی آنها به زمین تخلیه شوند . در بعضی موارد بار الکتریکی ممکن است دوباره ظاهر شود ، بدون اینکه آنها را به منبع نیرو وصل کرده باشند . لذا مهم است که اتصال به زمین تجهیزات تا پایان کار ، وصل باقی بماند .

قطع (اره) کردن یک کابل در جریان کار ممکن است سبب قطع هادیها از زمین حفاظتی شود ، لذا لازم است برای پیشگیری از این اتفاق چارجویی شود .

27-4- احتیاط کاریهای مربوط به خطوط هوائی

پس از اینکه خط مجزا شده ، بار آن تخلیه و در تمامی نقاط تغذیه زمین شود ، یک اتصال زمین عملیاتی باید در نزدیکی محلی که کار انجام خواهد شد به هر یک از فازهای خط وصل شود .

پیش بینی یک اتصال زمین عملیاتی به صورت یک اتصال به هادی زمین یا یک الکترود زمین ، موقتی خواهد بود که لزومی ندارد مقاومت آن کوچک باشد . اتصال زمین به هر یک از هادیهای فاز باید به نحوی ترتیب داده شود که در عین حال اتصال کوتاه بین فازها بوجود آورد .

اتصال هادی زمین به هر یک از هادیهای خط هوایی باید با استفاده از یک بست مکانیکی که به کمک یک عصای عایق اتصال زمین روی هادی قرار داده می‌شود ، انجام شود . از این عصای عایق می‌توان برای محکم کردن بست به دور هادی استفاده نمود . هنگامی که لازم باشد اتصال زمین عملیاتی را از خط جدا نمود ، پیچ بست مکانیکی را می‌توان با استفاده از عصا باز کرده و از هادی خط آزاد ساخت . حتی در مواردی که خط هوایی در هر یک از نقاط تغذیه به آن زمین شده باشد ، لازم است یک اتصال زمین عملیاتی در هر یک از نقاطی که در آن کار انجام می‌شود ، نصب شود زیرا خطرهای احتمالی به علت بروز ولتاژ در اثر القأ از خطوط نیروی دیگر و باردار شدن خط در اثر تخلیه‌های جوی (صاعقه) ممکن است وجود داشته باشد .

در مواردی که لازمه عملیات روی خط قطع یک هادی باشد ، برای مثال جامپر در نقطه انشعاب یا ادامه خط ، لازم است یک اتصال زمین عملیاتی در هر دو طرف نقطه انجام کار پیش بینی شود .

27-5- اتصال زمین ایمنی بر روی هادیهای فشار ضعیف

در برخی شرایط ممکن است لازم باشد اتصال زمین ایمنی در مورد هادیهای فشار ضعیف نیز اعمال شود تا از بروز خطر جلوگیری شود .

از این گونه شرایط برای مثال می‌توان کار روی خازنها یا کار روی خطوط لخت جرثقیل‌های بالاسری با برداشت نیروی قرقره‌ای را نام برد . در مواردی که زمین کردن خطوط فشار ضعیف عملی می‌شود ، لازم است اصول ذکر شده در بندهای 27-2، 27-3 و 27-4 رعایت شده و لازم است به توان اتصال کوتاه (که ممکن است برابر و حتی بیشتر از سیستمهای فشار ضعیف باشد) در هنگام انتخاب سطح مقطع هادی اتصال زمین توجه مخصوصی شود . برای اطلاعات بیشتر به استانداردای معتبر مراجعه شود .

---

functional earthing-1

earth electrode-2

electrically independent darth electrods–3

earth fault loop impedance–4

ground potential–5

class I equipment–6

class II eqiupment–7

switchgear–8

main earthing terminal–9

caravan park–10

earth fault current–11

residual operating current–12

earth leakage current–13

fault–14

caravan pitch electical supply equipment–15

portable equipment–16

earth–17

earthing system–18

earthed concentric wiring–19

carth grid–20

supplementary insulaton–21

reinforced insulation–22

double insulation–23

simultaneously accessible parts–24

live part–25

exposed conductive part–26

extraneous conductive part–27

caravan–28

motor caravan–29

Potential gradient (at a point)–30

caravan pitch–31

final circuit–32

earth electrode resistence–33

resistence area (for an earth electrode only)–34

residual current device (RCD) –35

leisure accommodation vehicle–36

nominal voltage–37

bonding conductoe–38

protective conductor–39

neutral condutor–40

earthing condutor–41

PEN condutor–42

equipotential bonding–43

44– استاندارد ملی شماره 1937 (آئین نامه ایمنی تاسیسات الکتریکی ساختمانها) مقررات ملی ساختمانی ایران – مبحث 13 و استاندارد سیستم زمین شبکه‌های توزیع وزارت نیرو را ببینید .

protective Multiple Earthing–45

46– این روش تاکنون در ایران متداول نبوده است

47– استاندارد سیستم زمین شبکه‌های توزیع

extended electrode–48

tripping current–49

trip button–50

stand by supply–51

surge–52

earth mat–53

line guards–54

indoor dquipment–55

link connection–56

outdoor eauipment–57

laying conductors–58

fixing conductors–59

brazing–60

bitumastic paint–61

cross arm–62

impiles withstand voltage–63

locknut–64

desing fault level–65

trailing cable–66

pontooons–67

interlocking–68

self - contained–69

ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN

Institute of Standards and Industrial Research of Iran

ISIRI NUMBER

4123

Code of practice for earthing

1st Edition