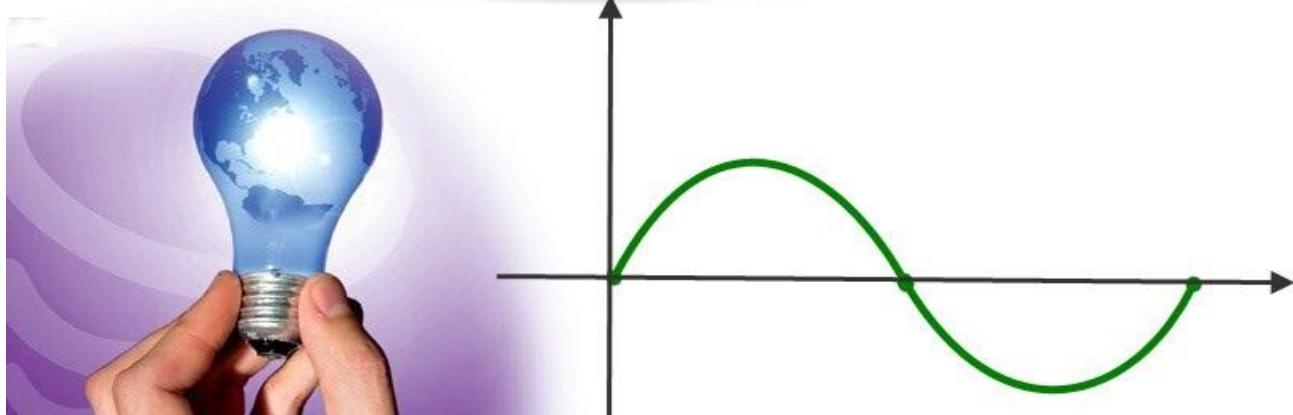


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ



موضوع پروژه:

# زمین کردن و تجهیزات مربوطه

Earth System and Equipments

فرستنده : مسعود مرادی

برای خرید فایل **word** این پروژه اینجا کلیک کنید.

WWW.WikiPower.ir  
( شماره پروژه = ۱۱۲ )

شماره جهت ارسال پیام : ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

۰۹۳۵۴۶۳۴۶۵۰

## ۶ ..... مقدمه

۱۰	فصل ۱ - زمین کردن تاسیسات الکتریکی
۱۰	- ۱-۱ - زمین کردن
۱۱	- ۲-۱ - انواع زمین کردن
۱۱	- ۱-۲-۱ - سیستم زمین حفاظتی:
۱۳	- ۲-۲-۱ - سیستم زمین الکتریکی
۱۳	- ۳-۱ - دلایل زمین کردن سیستم های برقی:
۱۳	- ۱-۳-۱ - بررسی اتصال کوتاه در یک شبکه ایزوله:
۱۵	- ۲-۳-۱ - بررسی اتصال کوتاه در یک شبکه که نوترال آن مستقیماً زمین شده است:
۱۷	- ۳-۳-۱ - مزایای سیستم زمین شده در مقابله سیستم ایزوله:
۱۸	- ۴-۳-۱ - بررسی معایب سیستم زمین شده در مقابل ایزوله:
۱۹	- ۴-۱ - انواع روش‌های اتصال به زمین:
۲۰	- ۱-۴-۱ - اتصال به زمین مستقیم:
۲۱	- ۲-۴-۱ - اتصال به زمین با استفاده از مقاومت:
۲۲	- ۳-۴-۱ - اتصال به زمین با استفاده از راکتانس:
۲۳	- ۴-۴-۱ - اتصال به زمین با استفاده از سیم پیچ پترسون با حالت تشدید:
۲۴	- ۵-۴-۱ - اتصال زمین با استفاده از ترانسفورماتور زمین:
۲۷	- ۵-۱ - مشترک کردن زمینهای مختلف:
۲۷	- ۱-۵-۱ - زمین کردن در نیروگاهها و تیرهای فشارقوی:
۲۹	- ۲-۵-۱ - زمین کردن در پست ترانسفورماتورهای محلی و توزیع برق شهری
۳۱	فصل ۲ - انواع سیستم های مورد استفاده
۳۱	- ۱-۲ - مقدمه
۳۱	- ۲-۲ - سیستم TN :
۳۲	- ۱-۲-۲ - سیستم TN-S :
۳۲	- ۲-۲-۲ - سیستم TN-C :
۳۳	- ۳-۲-۲ - سیستم TN-C-S :
۳۳	- ۳-۲ - سیستم T-T :
۳۴	- ۴-۲ - سیستم IT :

۳۴	- ۵-۲ - انتخاب میل زمین مناسب :
۳۵	- ۱-۵-۲ - انواع مقاومت های زمین :
۳۶	- ۲-۵-۲ - ولتاژهای مختلف در ضمن عبور از میل زمین :
۳۷	- ۳-۵-۲ - انواع میل های زمین :
۴۰	- ۲-۶ - ترانسفورماتورهای فوق توزیع و روشهای زمین کردن آنها :
۴۳	- ۲-۷-۲ - روش زمین کردن نوترال ترانسفورماتور فوق توزیع در یک شبکه نمونه توسط نرم افزار :
۴۴	- ۱-۷-۲ - مشخصات عمومی شبکه :
۴۶	- ۲-۷-۲ - مشخصات ژنراتور شبکه :
۴۷	- ۳-۷-۲ - مشخصات خطوط شبکه :
۴۷	- ۴-۷-۲ - مشخصات ترانسفورماتور:
۴۸	- ۸-۲ - تحلیل روشهای زمین کردن نوترال
۴۹	- ۱-۸-۲ - زمین کردن نوترال ترانسفورماتور ستاره - مثلث ( YD )
۵۱	<b>فصل ۳ - انواع ترانس زمین در شبکه های انتقال و توزیع.</b>
۵۱	- ۱-۳ - چکیده
۵۱	- ۲-۳ - گذشته، حال، آینده ترانس های زمین:
۵۳	- ۳-۳ - انواع بهره برداری از ترانسفورماتور زمین .
۵۶	- ۴-۳ - موقعیت ترانس زمین و نحوه مشارکت آن در امر حفاظت .....
۵۹	- ۵-۳ - قدرت نامی ترانس زمین .....
۵۹	- ۶-۳ - مطالعه طرح حفاظتی شبکه توزیع .....
۶۲	- ۷-۳ - تصحیح سیستم حفاظتی و تحلیل آن .....
۶۴	- ۸-۳ - نتیجه گیری .....
۶۵	<b>فصل ۴ - نکات مهم در زمین کردن.....</b>
۶۵	- ۱-۴ - مقاومت ویژه خاک و عوامل وابسته به زمین .....
۶۵	- ۲-۴ - تاثیر آماده سازی محل احداث الکترود زمین .....
۶۶	- ۳-۴ - اثر شکل الکترود بر مقاومت اتصال زمین .....
۶۷	- ۱-۳-۴ - الکترودهای مصنوعی .....
۶۷	- ۲-۳-۴ - الکترودهای موجود .....
۶۷	- ۳-۳-۴ - الکترودهای صفحه ای کم عمق .....

۶۸ .....	الکترودهای صفحه ای عمیق.....	4-3-4-
۶۹ .....	الکترودهای قائم.....	4-3-5-
۶۹ .....	- ۴- ساختمان و جنس الکترودهای قائم .....	4-4-1-
۶۹ .....	ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش کوبیدن نصب می شوند:.....	4-4-2-
۷۱ .....	- ۲-۴- ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش دفن نصب می شوند:.....	4-4-3-
۷۱ .....	- ۵- نحوه آماده سازی خاک اطراف الکترودها.....	4-5-1-
۷۱ .....	آماده سازی الکترودها با روش سنتی.....	4-5-2-
۷۳ .....	آماده سازی الکترودها با بتونیت.....	4-5-3-
۷۳ .....	- ۶- ساختمان و جنس الکترودهای افقی و عمق دفن آنها (الکترودهای دفن شده در کanal) .....	4-6-1-
۷۳ .....	ساختمان و جنس الکترود.....	4-6-2-
۷۴ .....	عمق دفن الکترود و آماده سازی آن.....	4-6-3-
۷۴ .....	- ۷- واکنش فلز الکترود و هادی اتصال به زمین با انواع خاک(خوردگی شیمیایی) .....	4-7-1-
۷۸ .....	- ۸- پیش بینی مقاومت کل یک سیستم اتصال زمین بتون / فولاد .....	4-8-2-
۷۸ .....	انتخاب و نصب هادی زمین.....	4-8-3-
۷۹ .....	دماه بالا در اثر جریانهای نشتی.....	4-8-4-
۷۹ .....	استحکام هادی اتصال زمین.....	4-8-5-
۸۰ .....	اتصالات و بستهها.....	4-8-6-
۸۰ .....	پیش بینی نقطه ای برای جداسازی با هدف اندازه گیری مقاومت الکترود زمین.....	4-9-1-
۸۱ .....	اندازه گیری مقاومت الکترود زمین و مقاومت مخصوص خاک.....	4-9-2-
۸۲ .....	- ۹- آماده سازی .....	4-9-3-
۸۳ .....	- ۱۰- یادآوری .....	4-9-4-
۸۵ .....	منابع و مأخذ .....	

## مقدمه

در مهندسی برق، واژه زمین یا ارت با توجه به کاربردهای آن دارای معانی متفاوتی است. زمینی در یک مدار می‌تواند نقش یک نقطه مبدا را داشته باشد که بر طبق آن بقیه ولتاژ‌های الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کنند. واژه زمین همچنین به مسیری محلی برای بازگشت جریان به منبع نیز اطلاق می‌شود. این واژه در مورد یک اتصال مستقیم به زمین نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یک مدار الکتریکی ممکن است به دلایل مختلفی به زمین متصل شده باشد. در مدارهای قدرت این اتصال‌ها معمولاً برای بالا بردن ایمنی و محافظت افراد یا دستگاه‌ها از تاثیرات معیوب بودن عایق کاری‌هادی‌ها ایجاد می‌شود. اتصال به زمین در مدارهای قدرت از آسیب دیدن عایق‌های مدار در اثر افزایش ولتاژ بین زمین و مدار جلوگیری کرده و این ولتاژ را در یک حد معین محدود می‌کند. از اتصال زمین برای جلوگیری از افزایش الکتریسیته ساکن در هنگام حمل مواد قابل اشتعال یا تعمیر تجهیزات الکترونیکی نیز استفاده می‌کنند. در برخی از انواع تلگرافها و شبکه‌های انتقال زمین به تنها یی نقش یکی از هادی‌ها را ایفا می‌کند و عنوان مسیر بازگشت جریان به منبع مورد استفاده قرار می‌گیرد با این کار در هزینه ایجاد یک خط جداگانه برای بازگشت جریان صرفه جویی می‌شود.

معنی واژه زمین یا ارت در برق و الکترونیک بسیار گسترده است و حتی ممکن است در وسائل نقلیه – ای مانند کشتی و هواپیما یا فضا پیما که عمل اتصال مشترکی با زمین ندارند نیز از این واژه به عنوان پتانسیل صفر استفاده شود.

در تمام تاسیسات الکتریکی به خصوص تاسیسات فسار قوی، زمین کردن یکی از مهمترین و اساسی‌ترین اقداماتی است که برای رفاه و سلامتی و اصولاً ادامه زندگی اشخاصی که به نحوی با این پست‌ها در تماس هستند و حتی در خارج از پست‌ها در رفت و آمد می‌باشند باید با دقت هر چه تمام‌تر و با توجه به قواعد و قوانینی که بدین منظور تحریر شده است انجام گیرد.

با وصل بدنه تجهیزات الکتریکی بروز خطا در هر یک از تجهیزات موجب جاری شدن جریان در سیم زمین شده و از برق دار شدن بدنه جلوگیری می کند. یک اتصال مناسب به زمین باید مقاومت پایینی داشته باشد تا در صورت بروز خطا، جریان جاری در زمین موجب عمل کردن سیستم حفاظت در شبکه شود. با وصل تمامی اجسام هادی در خطر برقدار شدن می توان از بروز شوک الکتریکی در اثر تماس با این اجسام جلوگیری کرد.

سیم زمین سیمی است که ( مستقیما یا غیر مستقیم ) به یک یا چند الکترود زمین اتصال دارد. این الکترود ها ممکن است در نزدیکی محل استفاده از سیم زمین یا در محلی دورتر قرار داشته باشند. این سیم زمین معمولا ( نه همیشه ) به سیم نول وصل می شود. همچنین ممکن است این سیم به شبکه لوله کشی شده ساختمان نیز متصل شده باشدتا مقاومت کمتری ایجاد کند. استفاده از لوله های آب برای اتصال به سیستم زمین با گسترش استفاده از لوله های غیر فلزی مانند لوله های PVC در برخی کشور ها ممنوع شد.

تجهیزات الکتریکی ثابت معمولا از اتصال زمین دائمی برخوردارند. تجهیزات قابل حمل که دارای بدنه فلزی هستنداز یک پین مخصوص برای وصل سیستم زمین استفاده می کنند. اندازه هادی زمین معمولا با استفاده از استانداردها و مقررات مربوط به حفاظت الکتریکی تعیین می شود.

برخی از سیستم های انتقال HVDE از زمین به عنوان مسیر برگشت استفاده می کنند. این کار بویژه در مورد خطوط کابلی زیر آب مورد استفاده قرار می گیرد چرا که آب دریا یک هادی مناسب است. در این حالت برای ایجاد اتصال یا زمین از الکترود های دفن شده در زمین استفاده می شود. محل قرار گرفتن این الکترود ها باید با دقت انتخاب شود تا از خوردگی شیمیایی الکترود ها و تاسیسات زیر زمین تا جای ممکن کاسته شود.

در سیستم های توزیع تک سیم با برگشت زمین ( Single Wire Earth Return / Swer ) با استفاده از یک سیم قدرت در شبکه های قدرت در هزینه ها صرفه جویی می شود. این روش معمولاً در مناطق روستایی مورد استفاده قرار می گیرد تا خطرات ناشی از برگشت جریان زیاد در زمین موجب خسارت نشود.

یکی از نگرانی های خاص در طراحی پست های الکتریکی افزایش پتانسیل زمین است. زمانیکه جریان بسیار بزرگ ناشی از خطا در شبکه به زمین تزریق می شود ممکن است پتانسیل الکتریکی در مناطق مجاور محل تزریق جریان نسبت به مناطق دیگر بالا رود. این اتفاق به دلیل محدود بودن ضریب هدايت در لایه های خاک رخ می دهد. این تغییر پتانسیل در زمین می تواند آنقدر زیاد باشد که دو نقطه نزدیک به هم بر روی زمین دارای ولتاژی با اختلاف بالا باشند. این اختلاف ولتاژ می تواند خطراتی را برای افرادی که در آن منطقه بر روی زمین ایستاده اند ایجاد کند ( به دلیل افزایش ولتاژ گام ) هم چنین لوله ها، نرده ها یا سیم های ارتباطی داخل پست نیز دچار اختلاف ولتاژ می شوند که می تواند ولتاژ تماس با این اشیا را تا حد خطرناکی بالا ببرد.

اساس زمین کردن بر این است که جرم بزرگ زمین به عنوان نقاط صفر در نظر گرفته شود و تمام قسمتهایی که به زمین وصل شده اند هم پتانسیل زمین شوند یا به عبارتی پتانسیل صفر زمین را بگیرند.

زمین کردن به دو علت انجام می گیرد، یکی کار کردن و رفتار صحیح سیستم های الکتریکی و به بیان دیگر حفاظت از وسایل برقی ( زمین الکتریکی ) و دیگری حفاظت اشخاصی که به نوعی با دستگاههای برقی ارتباط دارند ( زمین حفاظتی ). زمین کردن الکتریکی در تاسیسات فشار قوی معمولاً از وظایف توزیع کننده برق ( وزارت نیرو ) است اما در تاسیسات فشار ضعیف تا ۱۰۰۰ ولت خصوصیات و عملکرد سیستم زمین الکتریکی و حفاظتی باید هر دو با هم در نظر گرفته شود، نوع زمین در تاسیسات الکتریکی و نگه داشتن حداقل مقاومت زمین بستگی به نوع شبکه انتخاب شده و سیستم های حفاظتی دارد.

در اینجا ما در فصل اول انواع زمین کردن الکتریکی و حفاظتی را بررسی می کنیم و روش‌های اتصال به زمین و استفاده از تجهیزات مختلف برای این کار را بررسی می کنیم.

سپس در فصل دوم اتصال زمین در سیستم های فشار ضعیف و متوسط را که هم از نظر کارکنان صنعت برق هم از دید عموم مردم که استفاده کنندگان نهایی انرژی الکتریکی می باشند مهم است. در حالی که ولتاژ های فشار قوی و مسایل مطرح شده بیشتر متوجه کارکنان صنعت برق است. نظر به اینکه سیستم های توزیع فشار ضعیف گسترده‌تر از سیستم های دیگر بوده و بیش از این همه مردم عادی را در معرض خطر قرار می دهند، توجه مخصوص به آنها لازم است. لذا در این فصل ما سه نوع سیستم نیرو معمول را بررسی می کنیم.

در غصل سوم نیز انواع ترانس زمین در شبکه های انتقال و توزیع شرح داده خواهد شد.

در فصل چهارم بullet اهمیت خاک در سیستم زمین به بررسی مقاومت ویژه خاک و عوامل وابسته به زمین، انواع الکترود ها از لحاظ نوع، جنس، شکل و طرز قرار گرفتن درون زمین و ساختمان آنها، آماده سازی خاک اطراف آنها و غیره می پردازیم. امید داریم توانسته باشیم در حد استطاعت خود گامی در راه شناخت مسائل مرتبط برق و زمین کردن ارائه کرده باشیم و این موضوع باعث شود که هر چند اندک بر اطلاعات آنانی که این مطالب را می خوانند بیافزاید.

در این تحقیق سعی شده است که به طور مختصر و در حد توان به این موضوع پرداخته شود واز منابع مربوطه استفاده گردد. در فصل آخر یک نمونه از نتایج آورده شده است و بقیه نتایج را با مراجعه به مرجع مذکور می توان مورد استفاده قرار داد.

## فصل ۱ - زمین کردن تاسیسات الکتریکی

### ۱-۱- زمین کردن

یکی از عوامل کلیدی در حفاظت از تمامی تاسیسات الکتریکی، بخصوص تاسیسات فشار قوی، چگونگی زمین کردن است. برای بدست آوردن قابلیت اطمینان مطلوب شبکه و تامین سلامت و امنیت لازم برای افرادی که به نحوی با پست ها در تماس هستند و یا حتی در خارج از پست رفت و آمد می کنند، زمین کردن باید با دقت هرچه تمام و با توجه به قواعدی که بدین منظور تحریر شده است انجام گیرد. اصول زمین کردن را می توان در گزارش های برخی از سازمان های ملی استاندارد یافت.

امروزه یک سیستم زمین موثر بایستی شرایط زیر را بر آورده نماید:

۱- فراهم نمودن یک مسیر با امپدانس کم به زمین به منظور از پرسنل و تجهیزات و هدایت موثر جریان.

۲- مقاومت در برابر خطاهای مکرر و پراکنده جریانهای هجومی

۳- مقاوت در برابر خوردگی توسط عوامل شیمیایی خاک های مختلف، به منظور ادامه ایفای نقش

موثر در طول مدت زمان استفاده برای حفاظت تجهیزات

۴- دارا بودن قدرت مکانیکی لازم به همراه سهولت نصب یا کمترین نیرو و خسارت.

## ۱-۲-۱ انواع زمین کردن

زمین کردن بطور کلی به معنی اتصال الکتریکی دستگاه ها با مواد داخل زمین می باشد. کاربرد زمین کردن در تاسیسات برقی بسیار گسترده است و هر نقطه ای از سیستم تولید تا مصرف را شامل می شود. اصولا در مورد موضوع زمین کردن دو مساله کلی به شرح زیر مورد مطالعه قرار می گیرد:

۱- موضوع اتصال قسمتهای فلزی تجهیزاتی از شبکه که حامل جریان نیستند به زمین که آن را اتصال زمین حفاظتی می نامیم.

۲- موضوع اتصال نقطه نوترال ( صفر ) شبکه در جا های مناسب و با روش مناسب به زمین که آن را اتصال زمین الکتریکی می نامیم.

## ۱-۲-۲ سیستم زمین حفاظتی:

زمین کردن حفاظتی عبارتست از زمین کردن کلیه قطعات فلزی تاسیسات الکتریکی که در ارتباط مستقیم با مدار الکتریکی قرار ندارند. این امر به منظور افزایش ایمنی و جلوگیری از افزایش پتانسیل قسمتهایی که معمولا شخص می تواند با آنها در تماس باشد به کار می رود. بدین منظور در پستهای فشار قوی باید تمام قسمتهای فلزی که در نزدیکی ولتاژ فسار قوی قرار گرفته اند و امکان تماس عمدی و یا سهوی با آنها وجود دارد به تاسیسات زمینی که برای این منظور احداث شده است ( زمین حفاظتی ) متصل گردند. از جمله این قسمتها می توان ستونها و پایه های فلزی، دربهای، و نرده های فلزی و قسمتهای فلزی در دسترس تمام دستگاههای اندازه گیری، ایزولاتورها، قسمتهای فلزی که برای کار کردن با دستگاه ها باید آنها را لمس نمود مانند چرخ های فرمان انواع تنظیم کننده ها و دسته کلید ها، بوشینگها، سر کابلهای سربی، پوشش های فلزی کابل ها، لوله های آب و ... را نام برد.

اتصال تمامی نقاطی که بایستی زمین گردند، در همه شرایط؛ مخصوصاً در حالت بروز خطا، باید به شکل محکم و موثری باشد. در غیر این صورت نقیه اتصال ذوب شده و دستگاه زمین شده، ایزوله می‌گردد. این امر باعث افزایش ولتاژ و بروز تخلیه الکتریکی و آسیب دیدگی افراد و دستگاه می‌گردد.

لازم به ذکر ایت که در زمین کردن حفاظتی؛ همواره قسمتهای مورد نظر مستقیماً و بدون هیچ گونه مقاومتی به شبکه زمین متصل می‌گردد. زمین حفاظتی باید بگونه‌ای احداث گردد که قسمتی از مسیر جریان که توسط اعضای بدن انسان برقرار می‌شود (دست و پا، دو دست، دو پا) دارای تفاوت پتانسیل زیادی نباشد. میزان ایت افت پتانسیل بستگی به شدت جریان و مقاومت مسیر جریان دارد. شدت جریان اتصال زمین نیز بیشتر بستگی به قدرت و نوع ارتباط شبکه با زمین دارد و در هر حال مقداریست معلوم و قابل محاسبه و در ضمن غیر قابل پیشگیری. لذا برای کوچک نگهداشتن افت ولتاژ، باید مقاومت مسیر جریان حتی المقدور کوچک نگهداشته شود. به عنوان مثال اگر یک مقره عبوری که روی دیوار مرطوبی نصب شده است بشکند و سیم فشار قوی با دیوار تماس پیدا کند در صورتی که جریان اتصال زمین در این حالت  $25\text{ آمپر}$  و مقاومت هر متر دیوار  $10\text{ اهم}$  باشد، ما بین دو نقطه از دیوار که انسان با آن تماس دارد (فاصله دست و پا تقریباً  $2\text{ متر}$ ) اختلاف سطحی برابر با  $V = I \times R = 25 \times 2 \times 10 = 500\text{ v}$  بوجود می‌آید که مسلمان برای انسان خطرناک است، ولی اگر پایه فلزی مقره که به دیوار محکم شده، بوسیله یک سیم نسبتاً ضخیم به زمین متصل گردد؛ در موقع اتصال، قسمت عمده جریان از این سیم عبور خواهد کرد و کلیه قسمت‌های دیوار، هم پتانسیل سیم در آن نقطه خواهد شد. لذا افت ولتاژ در امتداد دیوار ناچیز شده و برای انسان خطری نخواهد داشت.

علاوه بر اتصال به زمین تجهیزات به کار برده شده در پستها و نیروگاه‌ها، بایستی در موارد لازم برقی که امروزه در تمام قسمتهای زندگی، در خانه و کارخانه و ... وجود دارد امکان بروز خطر برق گرفتگی بسیار زیاد می‌باشد چاره‌اندیشی نمود.

### ۱-۲-۲- سیستم زمین الکتریکی

زمین کردن الکتریکی یعنی زمین کردن نقطه‌ای از دستگاه‌های الکتریکی و تجهیزات برقی که جزئی از مدار الکتریکی است مانند زمین کردن نقطه ستاره سیم پیچی ترانسفورماتور و یا ژنراتور. زمین کردن الکتریکی به خاطر صحیح دستگاه‌های حفاظتی و جلوگیری از ازدیاد فشار الکتریکی فاز‌های سالم نسبت به زمین، در موقع تماس یکی از فاز‌ها به زمین می‌باشد. بدین منظور بایستی به نحوه زمین کردن دستگاه‌ها توجه نمود؛ زیرا مثلاً در هنگام اتصال کوتاه نا متقارن به خصوص در هنگام اتصال کوتاه فاز به زمین (LG)، نحوه زمین شدن مرکز ستاره سیم پیچ ترانسفورماتور‌ها و ژنراتور‌ها، نقش مهمی در نحوه حفاظت و تشخیص اتصالی و تحمل شبکه در مقابل ولتاژ‌ها و جریانهای ناشی از اتصال کوتاه دارد.

### ۱-۳- دلایل زمین کردن سیستم‌های برقی:

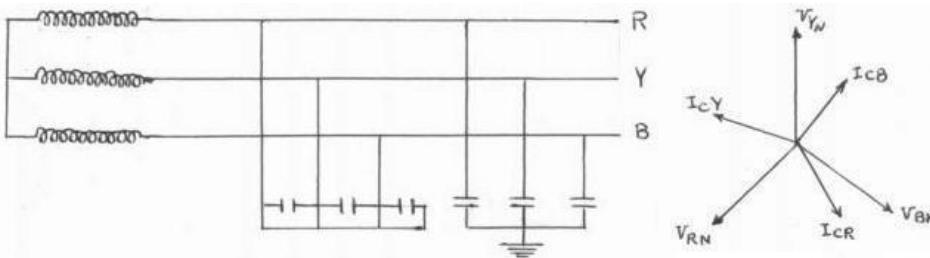
در حال حاضر نقطه صفر اغلب شبکه‌های توزیع و یا انتقال برق به طور مستقیم یا از طریق یک وسیله محدود کننده جریان، زمین می‌گردد. دلیل این امر این است که در سیستم‌هایی که نقطه صفر آنها زمین نشده است، در شرایطی که یک اتصال کوتاه نا متقارن مثل اتصالی فاز به زمین در آن رخ دهد، ولتاژ فاز‌های سالم می‌تواند به شکل ناگهانی آنقدر افزایش یابد که سبب ایجاد قوس برق بین قسمتهای برق دار تاسیسات و زمین گردد و در نتیجه باعث آسیب دیدگی تجهیزات سیستم و عایق بندی آن بشود.

### ۱-۳-۱- بررسی اتصال کوتاه در یک شبکه ایزوله:

جهت درک علت افزایش ولتاژهای فاز سالم، یک شبکه زمین نشده را به صورت شکل ۱-۲ مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این سیستم خازنهای بین فاز‌ها که به صورت اتصال مثلث می‌باشند، اثر ناچیزی در وضعیت اتصال زمین دارند و بنابر این از آنها صرف نظر می‌شود و تنها اثرات خازنی فاز‌های مختلف نسبت به زمین که در یک شبکه متعادل یکسان است، در نظر گرفته می‌شود. وجود این خازنهای باعث عبور جریانی جهت شارژ آنها در جهت پلاریته مثبت و منفی می‌گردد. این جریان که از منبع

کشیده می شود، به جریان شارژ کننده معروف است و در سیستم های با ولتاژ بالا مقدار آن قابل توجه است، به گونه ای که توان راکتیو آن ممکن است تا چند صد کیلو ولت آمپر برسد.

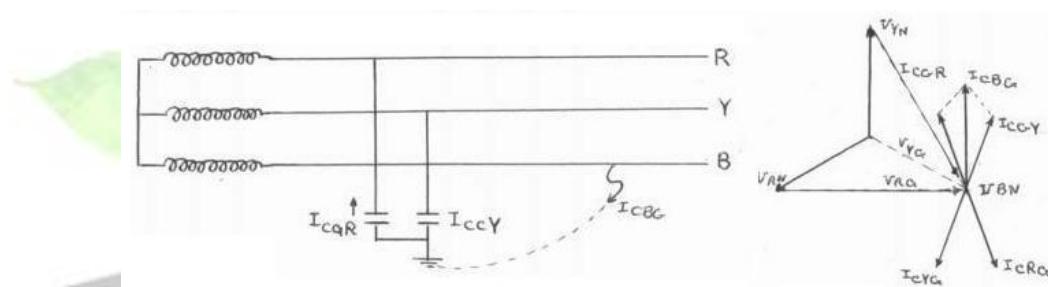
با توجه به شکل ۱-۱ در صورتیکه ولتاژ فاز های مختلف مساوی فرض شود ( که در شرایط عادی بهره برداری این فرض درست است ) جریانهای خازنی یکسانی با اختلاف فاز  $120^\circ$  درجه نسبت به یکدیگر خواهیم داشت و همانگونه که دیاگرام برداری نشان می دهد هیچ اختلاف پتانسیلی بین نوترال منبع تولید و نوترال خازن های معادل سیستم وجود ندارد.



اگر فرض کنیم در سیستم یاد شده یک اتصال کوتاه فاز به زمین مثلا در فاز B روی دهد، بدلیل صفر شدن اختلاف پتانسیل این فاز نسبت به زمین، جریانی از خازن B و زمین نخواهد گذشت. در این حالت ولتاژ دو سر خازن های دیگر افزایش خواهد یافت.

همانگونه که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است، ولتاژ فاز به زمین هر فاز سالم در این حالت دیگر اختلاف فاز  $120^\circ$  را نسبت به هم ندارد، بلکه این زاویه به  $60^\circ$  تناظل می یابد ( زاویه  $V_{\gamma G}$  و  $V_{RG}$  ) و در نتیجه مجموع جریانهای دو خازن دیگر به سه برابر جریان متناظر خود در قبل از اتصالی افزایش می یابد و جریان فاز B معکوس برآیند جریانهای دو خازن دیگر می شود. از طرفی جریان  $I_{CBG}$  به اندازه  $90^\circ$  از ولتاژ فاز B به نوترال نسبت به قبل از وقوع اتصالی جلوتر می افتد. به این دلیل قوس های الکتریکی متناوبی در نقطه اتصالی بوجود می آید که به علت وجود عناصر سلفی و خازنی سیستم، باعث افزایش ولتاژ های غیر عادی و در نتیجه ایجاد ضربه ولتاژی بر سیستم عایقی تجهیزات الکتریکی می شود. این

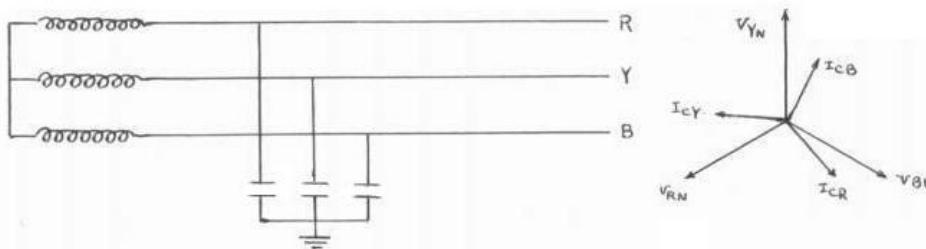
ضربه های ولتاژی به نوبه خود می تواند سبب سرایت اتصالی به فاز های دیگر گردند. افزایش ولتاژ پدید آمده در چنین حالتی عمدتاً در بعضی موارد ۳ تا ۴ برابر ولتاژ عادی سیستم گزارش شده است. حتی اگر اتصالی فاز به زمین بدون ایجاد قوس الکتریکی و مستقیماً به زمین انجام شود افزایش ولتاژ های دیگر مطابق شکل ۲-۱ تا میزان  $\sqrt{3}$  برابر ولتاژ شرایط عادی سیستم اجتناب ناپذیر خواهد بود. این افزایش ولتاژ ماندگار، همراه با سایر افزایش ولتاژ های گذرا در سیستم های زمین نشده ممکن است فوراً سبب آسیب سیستم عایقی نگردد اما قطعاً عمر آن را کاهش می دهند و به همین دلیل اغلب شکستهای عایقی در سیستم های ایزوله روی می دهند.



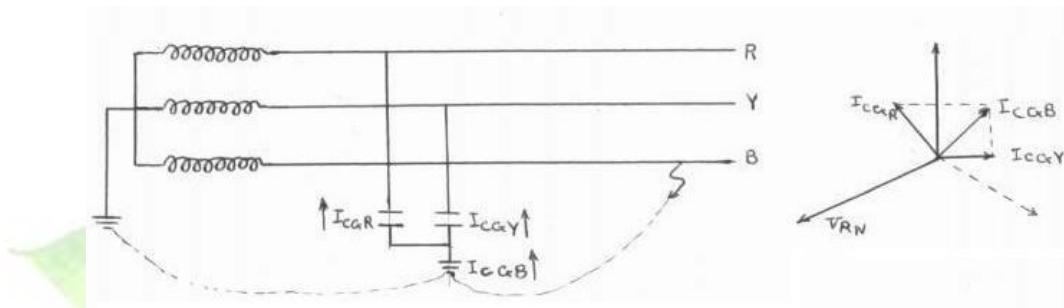
### -۲-۳-۱ بررسی اتصال کوتاه در یک شبکه که نوترال آن مستقیماً زمین شده است:

در سیستمی که نوترال آن مطابق شکل ۳-۱ مستقیماً زمین شده باشد، در شرایط عادی که ولتاژ ها متعادل می باشند، جریانهای خازنی هر فاز به زمین مساوی هم بوده و به اندازه ۱۲۰ با هم اختلاف فاز دارند. در این حالت نیز هیچ جریانی از نوترال خازنها به نوترال سیستم هدایت نخواهد شد.

حال اگر مجدداً فرض کنیم که یک اتصال بین فاز B و زمین روی هد روابط برداری بین جریانها و ولتاژها به صورت شکل ۱-۴ در می آید و در این حالت ولتاژ فاز B به زمین برابر صفر بوده ، ولی ولتاژ فازهای سالم در همان مقادیر عادی خود باقی می ماند. جریان فازی ICBG از فاز B به زمین جاری شده و سپس به دو قسمت ICGY و ICGR تقسیم می شود .



شکل ۱-۳ دیاگرام بک سیم بازبین شده



شکل ۱-۴ دیاگرام یک سیم بازبین مستقیم در حالت اتصالی تکفاز به زمین

علاوه بر آن منبع تولید برق یک جریان  $I_{FBG}$  از نقطه اتصالی عبور داده که از نقطه نوترال ان برگشت

داده می شود مقدار این جریان از رابطه ذیل حاصل می شود

$$I_{FBG} = \frac{3V_{BN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$Z_1$  و  $Z_2$  و  $Z_0$  امیدانس های توالی مثبت و منفی و صفر شبکه می باشند و مقادیر اعمی

امیدانس های متوالی شبکه معمولاً ناچیز بوده و رابطه  $Z_1$  و  $Z_2$  و  $Z_0$  در عمل ملغی می باشد و در نتیجه

جریان به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ قبلی فاز B عقب می افتد . عبور جریان زیاد فاز از طریق فاز B به زمین

اثرات جریانهای فازی را کاملاً خنثی می نماید و در نتیجه هیچ قوس الکتریکی و یا افزایش ولتاژی در

سیستم بوجود نخواهد آمد.

### -۳-۳-۱ مزایای سیستم زمین شده در مقابله سیستم ایزوله :

۱- بارمای استاتیک التایی بدون هیچگونه مزاحمتی به زمین هدایت می گردد و در این مورد لازم است توضیح داده شود که در سیستم ایزوله ، ولتاژ هر هادی خط انتقال نست به زمین حتی اگر ولتاژ بین فازها در حد نرمال باقی بماند بر اثر بار دمای الکترواستاتیکی به آسانی می تواند تا میزان شکست عایقی افزایش یابد . زیرا خطوط لوله بویژه در معرض بارهای الکترواستاتیکی القایی ناشی از ابرهای باردار ، گرد و خاک ، مه ، باران و تغییرات ارتفاع مسیر خط قرار دارند و چنانچه تمدید لازم جهت تخلیه این این نوع بار پیش بینی نشود و تجمع تدریجی با دمای الکترواستاتیکی سبب ایجاد یک پتانسیل شناور با مقدار یاد نسبت به زمین می گردد که تنها با شکست عایقی خط و یا ایجاد قوس در برقگیرها و یا ایجاد قوس در برقگیرها برطرف می شود .

۲- افزایش ولتاژ ناشی از ایجاد قوس ، تشدید و یا جریان اتصال زمین نزدیک به حالت تشدید که سیستمهای ایزوله معمول است ، در سیستم زبین شده به موقع نمی پیوندد . لازم است ذکر گردد که پدیده تشدید کرونا معمولاً زمانی بوجود می آید که مسیر جریان اتصالی زمین شامل عنصری منفی تقریباً برابر با اکتانس خازنی سیستم باشد .

۳- در سیستم زبین شده از اضافه ولتاژهای ناشی از اعمال کلید زنی ، تماس با یک سیستم فشار قوی ، شرایط ایجاد شده تشدید و اتصالیهای زمین قطع و وصل شوند ، جلوگیری بعمل می آید . بطور مثال در یک سیستم ایزوله افزایشی ولتاژ ناشی از عملیات کلید زنی می تواند تا  $\frac{3}{9}$  برابر ولتاژ پیک سیم باشد ، در حالیکه در سیستم زبین شده این میزان  $\frac{1}{5}$  برابر محدود خواهد شد .

۴- برق گیرهای مورد استفاده در بشکه هایی که بطور مستقیم زمین شده اند می تواند با ولتاژ نامی حدود ۸۰ درصد ولتاژ فاز به فاز مورد انتخاب قرار گیرند در صورتیکه با نوترال ایزوله تهیه است ولتاژ نامی برقگیر ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی سیستم باشد.

-۴-۳-۱ بروزی معایب سیستم زمین شده در مقابل ایزوله :

۱- افزایش جریان اتصال زمین در سیستم زمین شده می تواند در خطوط مخابرات اطراف اثرات القاء ولتاژ بوجود آورد .

۲- افزایش جریان اتصال کوتاه فاز و زمین باعث کم شدن ولتاژهای توالی ثبت و در نتیجه باعث کم شدن حد پایداری سیستم در حالت اتصالی فاز به زمین می شوند .

۳- جریان های هارمونیک سوم ممکن است بین نقاط نوتروال سیستم تا مقادیر بسیار زیادی افزایش یابد . این حالت زمانی روی می دهد که نقاط نوتروال مربوط به ژنراتورها و ترانسفورماتورهای سیستم برق با اتصال ستاره و بدون هیچ گونه اتصال مثلثی زمین شده باشند .

۴- علاوه بر موارد فوق مزیت عمدۀ دیگری که برای سیستم های ایزوله قائلند این است که در این نوع سیستم ها با وقوع اتصالی روی یک فاز می توان بهره برداری از سیستم را همچنان ادامه داد تا در فرصت مناسب نسبت به برطرف کردن آن اقدام نمود . البته این امر در مورد خطوط انتقال نیرو صادق است که در آنها احتمال گسترش اتصالی یک فاز به سایر فازها وجود ندارد . اما در سیستم های کابلی اتصال یک فاز به زمین منجر به ایجاد گرما و سوختن کابل می شود و در نتیجه احتمال توسعه یافتن اتصالی فاز به زمین بصورت اتصالی فاز به فاز وجود دارد . جهت جلوگیری از این اتفاق ، سیستم حفاظت اتصال زمین باید سریع العمل باشد .

مزیت تداوم بهره برداری در سیستم ایزوله با وجود یک اتصالی ، ممکن است در عمل با نادیده گرفتن بهره برداران از امکان وقوع اتصالی دوم به زمین بشدت آسیب پذیر باشد . به همین دلیل در سیستم های ایزوله وجود یک تیم تعمیر کار با سازماندهی قوی بسیار مهم است .

#### ۴-۱- انواع روش‌های اتصال به زمین :

روش زیین کردن سیستم شاید یکی از مشکل ترین جنبه های طراحی آن باشد زیرا علاوه بر تاثیر عوامل متعدد اهمیت هر عامل را نمی توان به صورت انفرادی سنجید ، بلکه باید بهترین طرح را با توجه تاثیر متقابل عوامل بر سیستم انتخاب نمود . از نظر الکتریکی روش زیین کردن سیستم در شرایط بهره برداری عادی تاثیری ندارد اما در مواردی که یک اتصالی زیین به وقوع می پیوندد دارای اهمیت می شود . از آنجایی که اکثر اتصالیهادر سیستم برق از نوع اتصالی زمین هستند ( در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد کل اتصالیها) در بررسی سیستم باید دقیق صورت گیرد . اساساً سیستم قدرت باید قادر به تحمل اضافه ولتاژهای حالت عادی و حالت های گذرا و جریان های اتصالی که در شرایط اتصال به زمین ایجاد می شوند ، باشد و تیم حفاظت باید توانایی آشکار سازی این اتصالی ها را داشته باشد . هر یک از موارد از روش زمین کردن سیستم تاثیر می پذیرد .

روشهایی که برای زمین کردن نوکرال سیستم های الکتریکی معمول است عبارتند از :

۱- اتصال به زمین مسقیم

۲- اتصال به زمین با استفاده از مقاومت

۳- اتصال به زمین با استفاده از راکتانس

۴- اتصال به زمین با استفاده از سیم پیچ پترسون با حالت تشدید

۵- اتصال به زمین با استفاده از ترانسفورماتور زمین

اکنون هر یک از روشها مورد بررسی قرار می گیرد :

## ۱-۴-۱ اتصال به زمین مستقیم :

عموماً سیستم اتصال به مستقیم زمین در سطح ولتاژ کمتر از ۶۰۰ ولت و بیشتر از ۳۳KV یا به ۶۳KV کار می رود زیرا در ولتاژهای بالا قیمت تجهیزات زمین کننده گران بود و از طرفی مقادیر زیاد جریان اتصالی زمین معمولاً تاثیر عمده ای بر تجهیزات برقی دارد ، بلکه حتی سبب عملکرد بهینه رله های حفاظتی مستقیم می گردد . در ولتاژهای پایین نیز امکان ایجاد ولتاژ تماس خطرناک در مسیر بازگشت جریان اتصالی بسیار کاهش می یابد. در هر حال مزایای یک شبکه برق را که به طور مستقیم زمین شده است می توان بصورت زیر بیان نمود :

۱- ولتاژ نقطه نوترال سیستم همواره به اندازه ولتاژ زمین خواهد ماند و ولتاژ فازهای دیگر معمولاً از میزان نرمال خود تجاوز نخواهد کرد بنابراین اینمی سیستم بیشتر خواهد شد.

۲- طراحی سیستم حفاظت تاسیسات برق ساده می شود و با توجه به اینکه در نزدیک منبع تولید ، مشروط به کوچک بودن مقدار  $\frac{X_0}{X_1}$  راکتانس توالی صفر سیستم، جریان فاز به زمین ممکن است از جریان اتصالی سه فاز بیشتر باشد ، لزومی به استفاده از رله های بسیار حساس نمی باشد از طرفی در سیستم های با اتصال زمین مستقیم جرقه های ناشی از اتصالی می تواند به راحتی آشکار شود . در نتیجه بدیل تشخیص خط از کسترشن آسیب ناشی از سوختگی تجهیزات جلوگیری می گردد زیرا اینگونه جرفه ها یک مسیر عبور جریان به زمین بوجود می آورند که در سیستم های زمین شده توسط رله های حفاظتی آشکار می شوند اما در سیستم های زمین نشده به آشکار سازی آنها با توجه به تکنولوژی موجود در رله های حفاظتی به سادگی ممکن نیست و سطح جریان ناشی از آن می تواند آنقدر پایین باشد که رله های جریان زیاد معمولی فاز را هرگز به کار نیاندازد.

۳- هزینه های نصب تجهیزات محدود کننده جریان نوترال مانند تفاوت ها و راکتورها حذف می شود این موضوع در شبکه هایی که در آنها اتصالی زمین مکرر به وقوع می پیوندد حائز اهمیت است.

### اتصال به زمین با استفاده از مقاومت :

اتصال به زمین با استفاده از امپدانس ( مقاومت و راکتانس ) عموماً در شبکه های فشار متوسط تا ۳۳ کیلو وات به کار می رود و این ولتاژ ، اجزای عابقی تاسیسات برقی خیلی گران نیست و حتی می توان سیستم را به ایزوله طراحی نمود و اجازه داد که تا حدی اضافه ولتاژ ناشی از وقوع اتصالی در سیستم ایجاد شود .

در زمین کردن شبکه با استفاده از مقاومت دو روش مطرح می باشد یکی روشها زمین کردن با استفاده از مقاومت بزرگ است . ایجاد روش از طرفی نریت های یک سیستم ایزوله برخوردار است و از طرف دیگر از معایب سیستم ایزوله که عمدۀ ترین آنها ایجاد اضافه ولتاژهای خطرناک است ، جلوگیری یه عمل می آورد و در این حالت جریان اتصال زمین حداقل باید با جریان شارژ خازن کل سیستم برابر باشداما به هر حال در سیستم زمین با مقاومت زیاد نباید جریان فاز به زمین از ۱۰ آمپر در یک فضای محدود تجاوز کند ، زیرا در این صورت ولتاژ ایجاد شده بر اثر جریانهای قوسی بیش از ۱۰ آمپر می تواند محروم باشد .

در روش دیگر نقطه صفر شبکه با مقاومت کم زمین می شود در این حالت میزان جریان اتصالی حداقل ۱۰۰ آمپر و معمولاً بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ آمپر است .

به هر حال زمین کردن نقطه صفر سیستم برق با استفاده ار مقاومت و با هر یک از روشهای فوق جهت محدود کردن اضافه ولتاژهای سیستم به میزان مطمئن که معمولاً  $\frac{2}{5}$  تا  $\frac{1}{10}$  برابر ولتاژ عادی سیستم باشد طراحی می گردد .

زمین کردن با مقاومت دارای مزایای زیر است :

- ۱- کاهش ذوب و سوختگی تجهیزات اعم از ترانسفورماتورها به ژنراتورها و غیره بر اثر جریان اتصالی .

- ۲- حصول اطمینان از کنترل افزایش ولتاژکاری ایجاد شده در شبکه و بهره برداری از بدون قطع برق در سیستم زمین با مقومت زیاد.
- ۳- کاهش تنش های مکانیکی ناشی از عبور جریان اتصالی.
- ۴- کاهش اثرات التایی روی شبکه های مخابراتی با محدودتر شدن جریانهای اتصال کوتاه.
- ۵- کاهش خطر ناشی از انفجار حاصل از قوس های الکتریکی برای افرادیکه نزدیک محل وقوع اتصالی هستند.
- ۶- اثر مسیرا کننده مقاومت در زرو نسانسها یی که در شبکه ایجاد می شود.

### ۳-۴-۱ اتصال به زمین با استفاده از راکتانس

اتصال به زمین با استفاده از راکتانس عموماً تنها در شبکه های چهار سیم و در ترانسفورماتور در زمین پست مورد استفاده قرار می گیرد. در این موارد برای اینکه از ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا جلوگیری به عمل آید لازم است که راکتانس توالی صفر سیستم نسبت به توالی نسبت خیلی کوچک باشد و این خواسته معمولاً در تاسیسات صنعتی و شبکه که های قدرت بخاری به خودی خود تامین می شود زیرا امیدانس توالی صفر اغلب ژنراتورهای مورد استفاده در این سیستم ها بسیار پایین تر از امیدانس توالی مثبت آنهاست. از طرفی در ترانسفورماتورهای ستاره - مثلث نیز امیدانس توالی صفر از توالی مثبت آن بیشتر نیست. با این حال در مواردی که امیدانس صفر یک شبکه می تواند بسیار بزرگ گردد، از جمله در سیستم هایی که دارای ژنراتور و یا ترانسفورماتورهای موازی با هم باشد که در آنها تنها یکی از این منابع زمین می شود. مورد دیگر تولید اپیدانس بزرگ صفر مربوط به شبکه توزیع برق تاسیسات برودتی است که از طریق یم خط هوایی بدون مسیر بازگشت تغذیه می شود. برای اتصال زمین با استفاده از راکتانس می توان مزایای زیر را بیان نمود :

۱- برای عبور یک اتصال کوتاه معین راکتور حجم کوچکتری نسبت به مقاومت دارد.

۲- انرژی تلف شده در راکتور کمتر از مقاومت باشد.

۳- از لحاظ پایداری سیستم نسبت به زمین شدگی مستقیم بهتر است و هزینه کلی آن در حد

متوسط می باشد.

۴- رله بندی سیستم در حد قابل قبولی است.

۴-۴-۱ اتصال به زمین با استفاده از سیم پیچ پتروسون با حالت تشدید:

سیم پتروسون راکتوری با هسته آهنی است که نقطه نول سیستم را به زمین اتصال می دهد و مانند ترانسفورماتورها در محفظه ای پر از روغن کارگذاشته می شود. این سیم پیچ دارای یک هسته آهنی با فاصله هوایی است تنظیم این سیم پیچ با وضعیت مختلف شبکه با تغییر نقطه نوتروال اتصال به صورت پله ای و با تغییر مدام فاصله هوایی از طریق فرو بردن یا درآوردن هسته آهنی انجام می گیرد. راکتانس سیم پیچ به نحوی است که در موقع اتصالی فاز به زمین با کایاپیتاسن دو فاز سالم خط تشدید می شود با این روش قوس خود به خود ناپدار شده و خاموش می گردد. اگر اتصال فاز به زمین در یکی از فازها ایجاد شود جریان راکیتوس فاز بنت به فاز اتصالی سیم خودش را از طریق سیم پیچ پتروسون و نقطه اتصالی می بندد و به زمین جاری می شود در عین حال جریان های فازنی هم از خط به زمین می رود. جریان پس از فاز راکتیو و جریان بیش از فاز از خازن به خط اندازه  $90^\circ$  درجه نسبت به فاز اتصالی به ترتیب تاخر و تقدم دارند و این دو جریان نسبت به هم  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند بنابراین جریان واقعی زمین در نقطه اتصالی جمع آن دو می باشد که با تنظیم صحیح راکتور از طریق پله یا تب مناسب به دو جریان را می شود به طور مساوی کرد تا قوس کاملاً مستهلك شود این تیم تقریباً ویژگی های سیستم زمین نشده را دارد بنابراین ولتاژ فاز به زمین فازهای سالم در مدت اتصالی  $\sqrt{3}$  برابر حالت عادی می باشد.

زمین کردن با سلف پترسون دارای مزایای زیر است :

۱- اندوکانس که راکتانس آن  $\frac{1}{3}$  راکتانس فازلی کل تیم باشد در نقطه صفر باعث جلوگیری از بوجود

آمدن پدیده قوسهای الکتریکی متناوب در موقع اتصالی بدون قطع مدار می شود .

۲- جریان اتصال به زمین ناچیز است ، مگر اینکه سیم پیچ پترسون مناسب برای رله بندی طراحی شود که در این صورت با تیم های زمین شده موثر قابل مقایسه می باشد .

در ضمن معاایب زیر را می توان برای زمین کردن با سلف پترسون بیان کرد :

۱- ولتاژهای فاز سالم در زمان اتصال زمین افزایش یافته و مورد افزایش سطح عایقی سیستم می شود.

۲- با هر تغییری در شبکه و در نتیجه تغییر در ظرفیت فازنی شبکه راکتور نیز بایستی تنظیم شود که این امر هم بطور دقیق امکان پذیر نمی باشد .

۳- به علت پایین آمدن جریان اتصال کوتاه رله بندی سیستم مطلوب نیست لذا تشخیص اتصالی در مدار در صورت تداوم آن مشکل است .

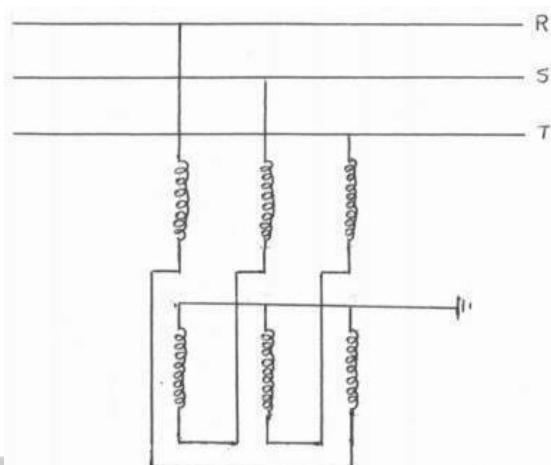
۴- هزینه کلی سیستم بالاست .

۵-۴-۱ اتصال زمین با استفاده از ترانسفورماتور زمین :

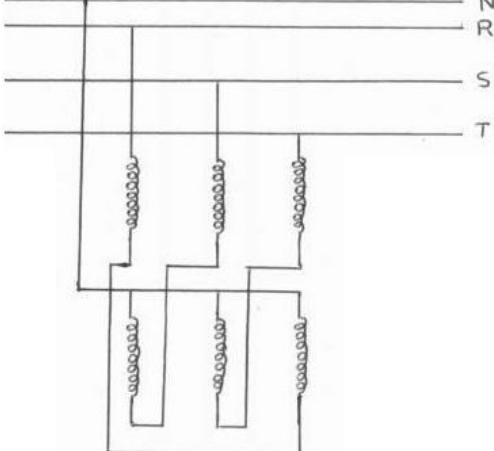
در صورتی که نقطه صفر یک شبکه برق در دسترس نباشد و یا اتصال ترانسفورماتورها و ژنراتورهای آن به صورت مثلث باشد زمین کردن سیستم با ایجاد نقطه صفر مصنوعی توسط ترانسفورماتور زمین صورت می پذیرد این ترانسفورماتور از نظر اتصالات سیم پیچ به صورت شکل ۱-۶ است .

مورد استفاده دیگر ترانسفورماتور زمین زمانی است که بخواهیم یک مصرف کننده در فاصله ای دور را بطور ۴ مسیر تغذیه نماییم بار موتوری قطعاً متعادل می باشد اما بار روشنایی و مصارف مربوطه به لوازم و

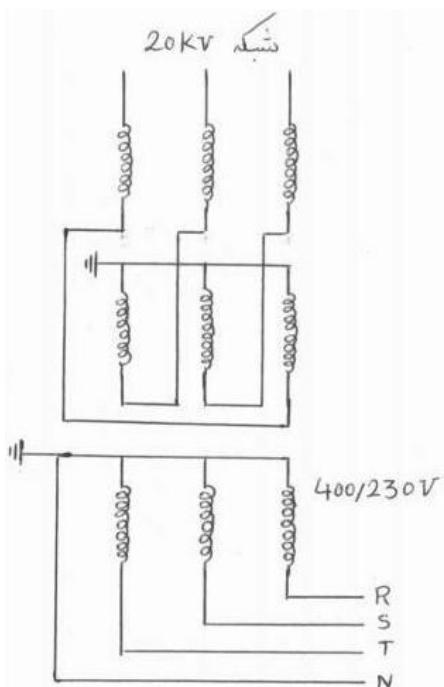
تجهیزات خانگی عموماً متعادل با اتصال رنگین آگ در نزدیک مصرف کننده میسر می‌گردد شکل ۷-۱  
 موارد دیگر استفاده از ترانسفورماتور زمین زمانی است که مثلاً در یک تیپ با ولتاژ  $20KV$  سه سیم لازم است که هم جریان اتصال زمین محدود شود و هم تیم توزیع با شبکه چهار سیمه تعذیه گردد. در این روش از استفاده از ترانسفورماتور زمین همانند شکل ۱-۸ خواهد بود.



شکل ۱-۶ اتصالات سیم پیچ یک ترانسفورماتور زمین

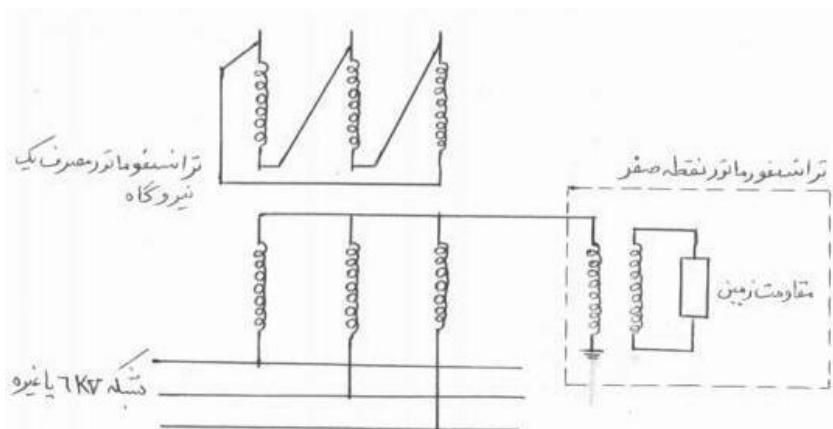


شکل ۱-۷ سیم پیچ ترانسفورماتور ۳ فاز متعادل کننده



شکل ۱-۸ تراسفورماتور زمین در پست 20KV.

ممکن است در موارد دیگری که نقطه صفر سیستم توزیع نیز در دسترس می باشد از تراسفورماتور جهت زمین کردن نقطه صفر استفاده شود . در این صورت هدف از کاربرد تراسفورماتور فقط محدود نمودن جریان اتصالی زمین است این مورد یعنی استفاده از تراسفورماتور در نقطه صفر عمدتاً در نیروگاهها جهت زمین کردن نقطه نوترال ژنراتور کاربرد دارد و جزء موضوع تراسفورماتور زمین محسوب نمی شود شکل ۹-۱ این مورد استفاده از ترانس در نقطه صفر را نشان می دهد .



شکل ۱-۹ سیم پیچ تراسفورماتور جهت محدود کردن جریان اتصال زمین

### ۱-۵- مشترک کردن زمینهای مختلف :

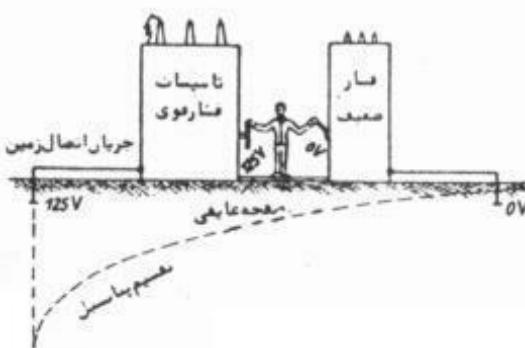
یک پست فشار قوی که دارای شبکه فشار ضعیف نیز می باشد چهار نوع زمین احتیاج دارد این زمینها عبارتند از : زمین حفاظتی فشار قوی ، زمین حفاظتی فشار ضعیف زمین الکتریکی فشار ضعیف اکنون این سوال مطرح است که آیا واقعاً چهار نوع زمین مجزا لازم است ؟ یا اینکه باید یک زمین مشترک برای موارد فوق ایجاد نمود ؟

می توان گفت بجز ساختن زمینها موانع بروز یکسری خطرات احتمالی می گردد بهتر است زمینها جدا در نظر گرفته شود در غیر اینصورت دلیلی برای جدا کردن زمینها وجود نخواهد داشت . استاندارد VDE ماگزیمم اختلاف پتانسیل دراز مدت را در تاسیسات فشار قوی ۱۲۵ ولت و در تاسیسات فشار ضعیف ۶۵ ولت تعیین می کند .

با توجه به مطالب بالا برای ارتباط زمینهای مختلف شرایطی در نظر گرفته شده است که در ذیل به آتشها اشاره می گردد .

### ۱-۵-۱- زمین کردن در نیروگاهها و تیرهای فشارقوی که شبکه فشار ضعیف آنها جهت تغذیه داخلی است .

الف ) زمین حفاظتی تاسیسات فشارقوی و فشار ضعیف بهتر است به هم وصل گرددن در پستهای فشار قوی تراسفورماتور داخلی و کلید خانه ها و اتاق فرمان تابلوهای فشار ضعیف و فشار قوی در کنار یکدیگر قراردارند و امکان همزنان با دو تابلو وجود دارد . اگر این تاسیسات دارای سیستم زمین کاملاً مستقل باشند و در لحظه ای که یکی از تابلو ها اتصال بدنه پیدا کرده است شخصی هر دو تابلو را همزنان لمس کند جریان خطرناکی از بدنش عبور خواهد کرد اما در صورت ارتباط و زمین حفاظتی از این خطر به شکل مطمئنی جلوگیری می شود .



تابلوهای فشار ضعیف و فشار قوی در کنار یکدیگر

ب) زمین حفاظتی تاسیسات فشار قوی می تواند با زمین الکتریکی تاسیسات فشار ضعیف مشترک باشد. وجود پایه های فلزی ، لوله های اب رسانی ، اسکلت فلزی ، دکلهای و سازه های آهنی به کار رفته در ساختمنها در محوطه نیروگاه و پست باعث یکنواختی تقسیم پتانسیل در محوطه می گردد بنابراین بهتر است فقط از یک زمین برای تمامی تاسیسات که ارتباط فشار ضعیف آنها با شبکه شهری قطع است استفاده شود . زیرا استفاده شود زیرا در موقع اتصال زمین شبکه فشار قوی در هر حال اختلاف سطح هایی زمین بالا می رود با این تفوت که در زمین مشترک اختلاف پتانسیل خطرناکی بوجود نمی آید .

ج) زمین الکتریکی سلف پترسون و یا هر مقاومت دیگری را به مرکز ستاره وصل است می توان به زمین حفاظتی تاسیسات وصل کرد اتصال به این شرط می تواند انجام شود که ولتاژ هادی زمین به هنگام اتصال زمین شبکه از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند . شرط ۱۲۵ ولت به این دلیل لازم است که در حین حالتی زمان عبور جریان از زمین طولانی است اما همانگونه که ذکر شد بدلیل تقسیم پتانسیل در سطح محوطه اگر اختلاف سطح هادی از ۱۲۵ ولت تجاوز نکند اختلاف سطح قدم و تماس پایین تر از حد مجاز خواهد بود .

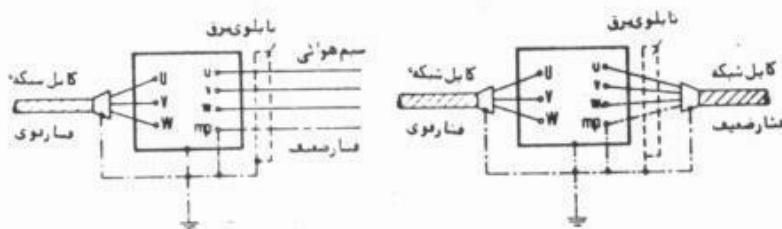
د) زمین الکتریکی فشار قوی را در صورت نظر گرفتن شرایط بندهای ب و ج به زمین الکتریکی فشار ضعیف وصل نمود زیرا در هر حال زمین الکتریکی هم برای ولتاژ ۱۲۵V (در استاندارد VDE) طرح می

گردد پس اگر اتصال زمین الکتریکی فشار ضعیف و زمین الکتریکی فشار قوی نیز باعث شود که اختلاف سطح هادی زمین از ۱۲۵ ولت تجاوز نماید از ارتباط این دو بدون خطر خواهد بود.

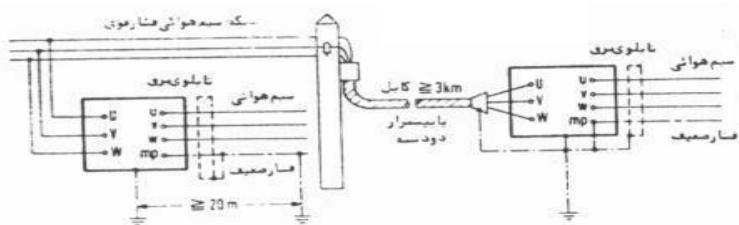
### -۲-۵-۱ زمین کردن در پست تراسفورماتورهای محلی و توزیع برق شهری :

در تاسیسات و پست های فشار قوی می توان مناسب با نوع تغذیه تراسفورماتور و بر حسب نوع خطوط طرف فشار ضعیف (کابل و یا سیم هوایی) از یک زمین مشترک و یا از زمینهای مجزا استفاده نمود.

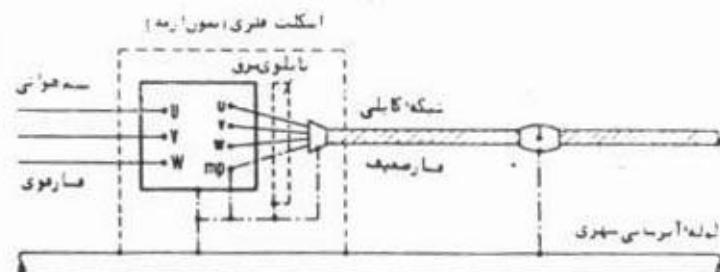
الف ) در حالتی که شبکه ضعیف و شبکه فشار متوسط کابلی (زیرزمینی) باشد می توان از یک زمین مشترک استفاده نمود و قسمتهای مختلف تاسیسات اعم از سر کابلها ، بدنه ترانس و تابلو و همچنین سیم صفر را به همین زمین مستقل نمود به شرط آنکه قلaf فلزی کابل قادر پوشش خارجی از عایق PVC ، قیر گونی و یا هر نوع دیگری باشد .



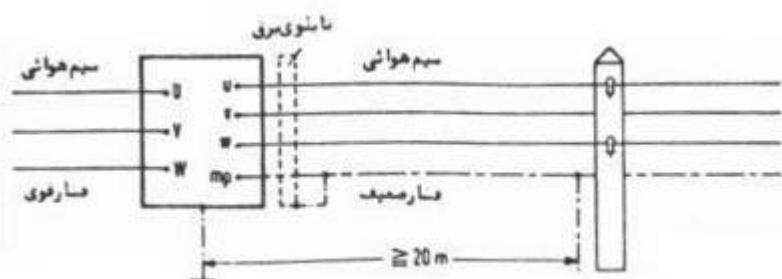
ب) در حالتی که شبکه فشار متوسط از کابل و سیم هوایی متتشکل شده باشد و غلاف فلزی تمام کابلها طرف فشار قوی قادر روکش خارجی غلاف باشد می توان از یک زمین مشترک جهت حفاظت تاسیسات استفاده نمود شرط به اینکه حداقل دو دسته کابل از سیم هوایی منشعب شده باشد و یا طول کابل ها از ۳ کیلومتر کمتر نباشد .



ج) در برخی حالات بدلیل گستردگی سازه های زیر زمینی مانند لوله های ابرسانی شهری امکان مجزا نمودن زمین حفاظتی و الکتریکی عملأ وجود ندارد در چنین پستی بهتر است از یک زمین مشترک استفاده نمود و سازه های زیرزمینی را نیز به هادی متصل نمود.



د) در تمامی حالات دیگر پست زمین الکتریکی طرف فشار ضعیف و زمین حفاظتی طرف فشار قوی بایستی مجزا و حداقل به فاصله ۲۰ متر از یکدیگر باشند.



شکل ۱۴-۱ زمین تاسیسات در حالات دیگر

## فصل ۲ - انواع سیستم های مورد استفاده

### ۱-۲ - مقدمه

به طور کلی در فشار ضعیف سه نوع سیستم نیرو معمول است . این سیستمها عبارتند از :

سیستم TN

سیستم TT

سیستم IT

در سیستم های فوق حرف اول از سمت چپ مشخص کننده رابطه بازبینی است .

T ← یک نقطه از سیستم مستقیماً به زمین وصل است ( معمولاً نقطه خنثی )

I ← قسمت های برق دار سیم نسبت به زمین عایقند یا یک نقطه سیستم از طریق یک امیدانس به زمین وصل است . حرف دوم از سمت چپ مشخص کننده رابطه بدنه های هادی تاسیسات بازبین است .

N ← بدنه های هادی از نظر الکتریکی مستقیماً به نقطه زمین شده سیستم نیرو وصل می شوند .

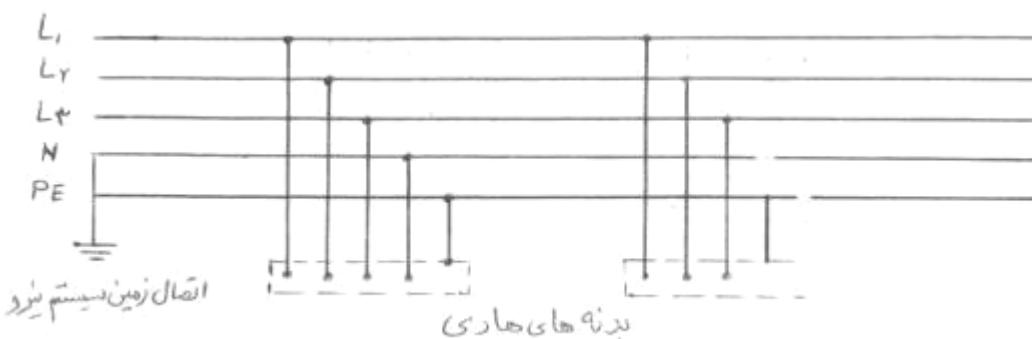
T ← بدنه های هادی از نظر الکتریکی مستقیماً و مستقل از اتصال زمین سیستم نیرو به زمین وصل می شوند .

### ۲-۲ - سیستم TN :

سیستم TN به نوبه خود می تواند به سه گونه مختلف وجود داشته باشد:

- ۱-۲-۲ : سیستم TN-S

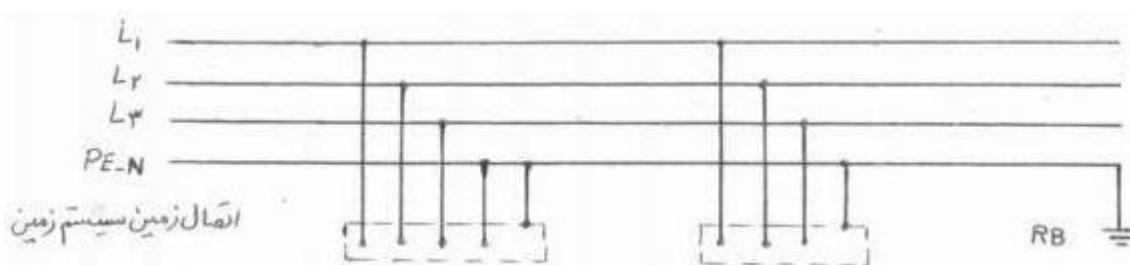
در سیستم TN-S نقطه خنثی مستقیماً به زمین متصل می شود و سراسر سیستم بدنه های هادی از طریق هادی مجزا (PE) به نقطه خنثی N در مبداء سیستم وصل می باشند . شکل ۱-۲



شکل ۱-۲ سیستم TN-S

- ۲-۲-۲ : سیستم TN-C

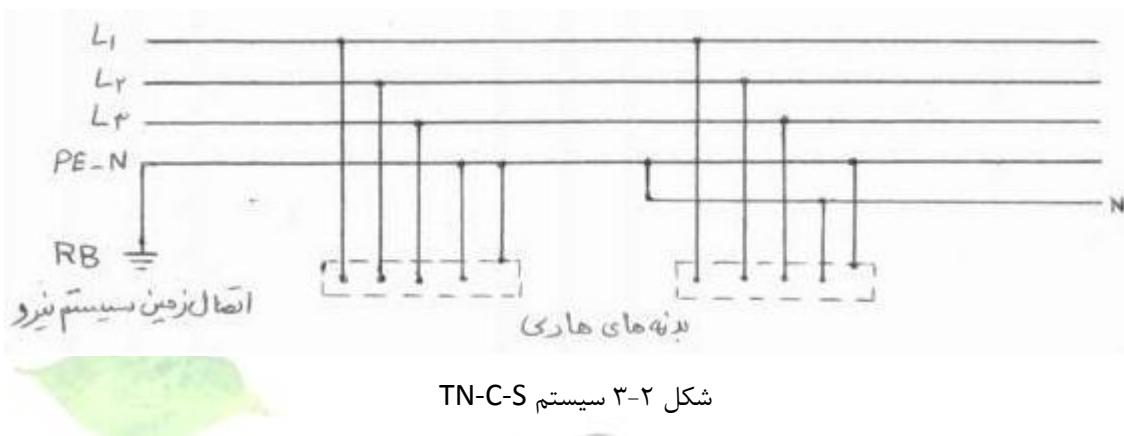
نقطه خنثی مستقیماً به زمین متصل است و در سراسر سیستم ها بدنه های هادی به هادی مشترک حفاظتی و خنثی PEN وصل می باشند . شکل ۲-۲



شکل ۲-۲ سیستم TN-C

سیستم TN-C-S -۳-۲-۲

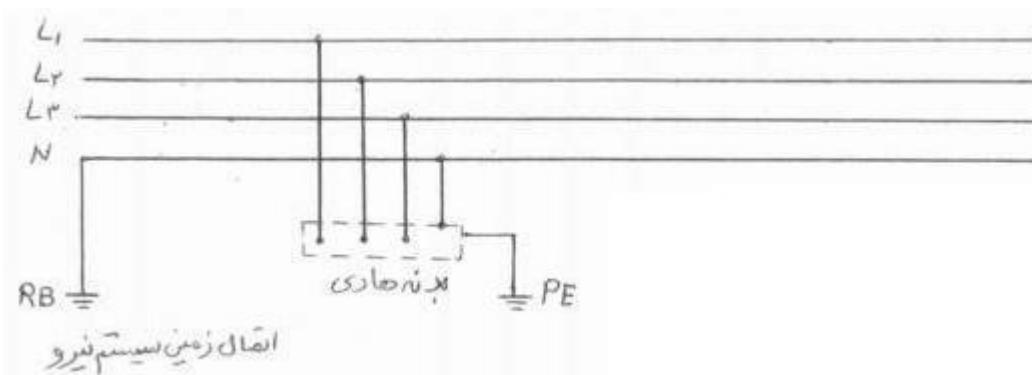
در اینجا نیز نقطه خنثی مستقیماً به نوع اتصال دارد اما بخشی از سیستم از مبداء تا نقطه تفکیک دارای هادی تداوم حفاظتی و خنثی PEN بوده و از آن نقطه به بعد، دو هادی حفاظتی PE و خنثی N از هم جدا می شوند. شکل ۳-۲



شکل ۳-۲ سیستم TN-C-S

سیستم T-T -۳-۲ : سیستم

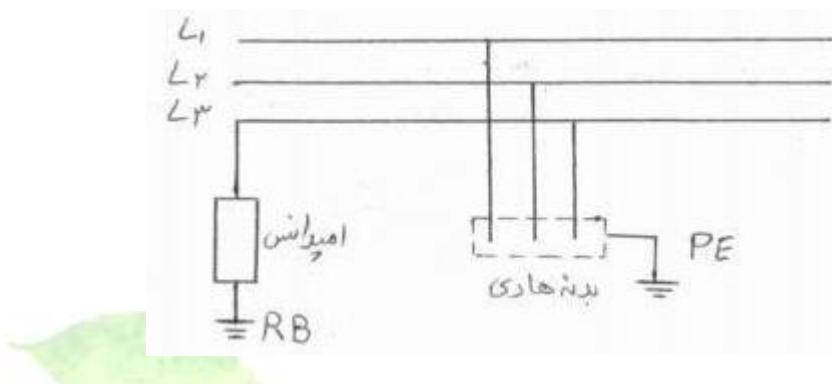
سیستم TT همانند TN نقطه خنثی مستقیماً به زمین وصل است و بدن های هادی نیز از نظر الکتریکی مستقیماً به زمین متصل می باشند. با این تفاوت که اتصال زمین بدن های هادی مستقل از اتصال زمین سیستم نیرو است. شکل ۴-۲



شکل ۴-۲ سیستم TT

## ۴-۲- سیستم IT :

در این سیستم قسمتهای برقدار نسب به زمین عایق اند یا یک نقطه از سیستم از طریق یک امیدانس به زمین وصل است بدنه های هادی نیز همانند سیستم TT از نظر الکتریکی مستقیماً و مستقیم از اتصال زمین سیستم نیرو به زمین اتصال دارند . شکل ۵-۲



شکل ۵-۲ سیستم IT

## ۵-۲- انتخاب میل زمین مناسب :

در قسمت قبل طرق زمین کردن استاندارد در شبکه های فشار ضعیف اشاره شد و در ضمن بیان شد که به دلیل گستردگی شبکه های توزیع علاوه بر کارکنان شرکت های برق عموم مردم نیز می تواند در معرض خطر قرار گیرند . لذا یک سیستم مطلوب که برای این شبکه ها به کار می رود باید خطرات احتمالی را کاهش داد . استفاده از سیستم های استاندارد مجاز تا حد زیادی امنیت لازم را تأمین نمایند . اما نکته مهمی که در این مورد باید مورد توجه قرار گیرد تا سیستم مطلوب حاصل گردد تناسب میل زمین با جنس خاک می باشد . لذا در این بخش به بیان تعارفی در این زمینه و همچنین معرفی انواع میل زمین خواهیم پرداخت .

## -۱-۵-۲ انواع مقاومت های زمین :

## الف) مقاومت مخصوص زمین :

مقاومت مخصوص زمین عبارتست از مقاومت یک متر مکعب از زمین به ابعاد  $1m \times 1m \times 1m$  که بین دو الکترود صفحه ای سنجیده شده است واحد آن اهم متر است . مقاومت مخصوص زمین بستگی به نوع مواد تشکیل دهنده زمین دارد و لذا در هر قسمت از زمین متفاوت است . جدول زیر مقدار متوسط مقاومت مخصوص را برای زمین های مختلف نشان می دهد :

جدول ۱-۲ - مقدار متوسط مقاومت مخصوص برای زمین های مختلف

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	نوع زمین	مرداب و زمین باطلاق	خاک رس	ماسه نرم و مرطوب	شن مرطوب	ماسه یا شن خشک	زمین سنگلاخ
۲	مقاومت مخصوص ( $\Omega \cdot m$ )	۳۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰

## ب) مقاومت گسترده میل زمین :

مقاومت گسترده میل زمین عبارتست از مقاومت زمین بین میل زمین و نقطه ای از زمین همسطح که بر حسب اهم بیان می شود . لذا مقاومت گسترده زمین ( مقاومت مخصوص زمین ) و نوع میله ای ( لوله ای یا صفحه ای ) و طرز قرار گرفتن آن در زمین ( عمقی یا سطحی ) دارد .

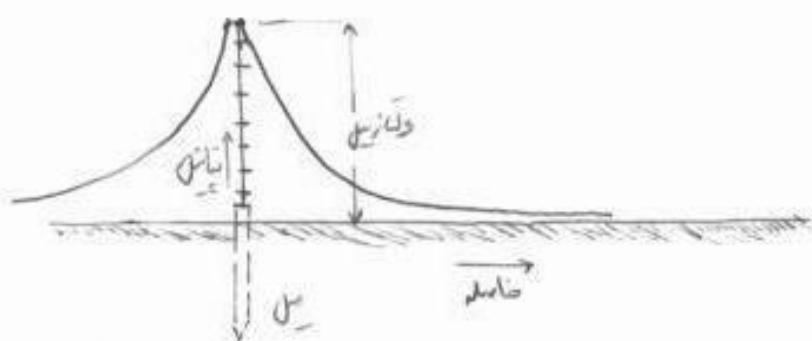
## ج) مقاومت زمین :

مقاومت زمین عبارتست از مقاومت گسترده زمین به علاوه مقاومت سیم زمین .

## -۲-۵-۲ ولتاژهای مختلف در ضمن عبور از میل زمین :

الف) اختلاف سطح میل : عبارت است از ولتاژی که در ضمن عبور جریان از زمین کننده بین میل و

زمین همسطح بوجود می آید . شکل ۵-۲



شکل ۵-۲ اختلاف سطح میل و اختلاف سطح زمین

## ب) اختلاف سطح زمین :

عبارتی از اختلاف پتانسیل هر نقطه از زمین بین زمین همسطح و میل زمین . شکل ۵-۲

## ج) اختلاف سطح تماسی :

عبارتی از قسمتی از ولتاژ میل که توسط انسان برداشت می شود به طوری که قسمتی از جریان

زمین در اثر این ولتاژ از دست یا ( به طور افقی در حدود یک متر ) و یا بین دو دست عبور می کند .

د) اختلاف پتانسیل گامی : عبارتی از قسمتی از ولتاژ میل که توسط فاصله دو پا برداشت می شود

به طوری که قسمتی از جریان زمین در اثر این ولتاژ از بدن انسان یا حیوان بین دو پا سته می شود .

## انواع میل های زمین : -۳-۵-۲

میل های زمین را می توان در دو گروه جداگانه مورد بررسی قرار داد . این دو گروه عبارتند از :

۱- میل های موجود .

۲- میل های مصنوعی

## میل های موجود : -۱-۳-۵-۲

منظور از میل های موجود اجسام هادی است که با هدف دیگری غیر از اتصال زمین برای سیستم های الکتریکی نصب شده اند در ذیل برخی از این میل ها معرفی می گردد :

الف ) سیستم های آبرسانی یا لوله های فلزی :

از لوله کشی های زیر زمینی موجود که مربوط به سیستم های آب سرد می باشند می توان بعنوان میل زمینی استفاده کرد . معمولاً این گونه سیستم ها دارای مقاومتی کمتر از زمین هستند و اگر در دسترس باشند برای استفاده به عنوان میل زمین ارجحیت دارند . در ضمن سیستم های لوله کشی که غیر فلزی است یا مواردی که اتصالات لوله های فلزی از نوع غیر فلزی است برای استفاده از آنها نمی توان به عنوان میل زمینی مناسب استفاده کرد .

ب) سیستم های محدود :

از لوله کشیهای آب سرد دفن شده که به چاههای آب وصل می باشند و کم بودن مقاومت آنها نسبت به جرم کلی زمین با اندازه گیری ثابت شده است می توان به عنوان میل زمینی استفاده کرد اندازه گیری مقاومت باید بدون لوله قائم چاه که ممکن است در فواصل زمانی غیر مشخص پیاده شود انجام گیرد . در ضمن قطعاتی که ممکن است از همدیگر جدا شوند باید دارای همبندی اضافی باشد .

ج) میل گرد های فولادی بتن سطح در پی ها و پالوده هایی که نسبت بر زمین عایق‌بندی نشده و حداقل عمق دفن آنها از سطح زمین یک متر باشد یک الکترود زمین موثر به شمار می آید در مواردی که

سازه های فولادی سوار بر این پی ها (برجها و اسکلتها ، ....) به عنوان هادی اتصال زمین استفاده شود با به کمک وصل میلگردهای فولادی پی به بولتهای نگهدارنده سازه و یا وصل میلگردها به کمک کابل به سازه بالای همبندی به عمل آید .

#### -۲-۳-۵-۲ میل های مصنوعی :

در مواردی که از میل های مصنوعی استفاده می شود این میل ها تا جایی که مقدور است از سفره نم دائمی خاک عبور کند و از عمق یخ زدگی نیز پایین تر بروند میل های مصنوعی باید از فلز یا ترکیبات فلزی که در شرایط موجود و در طول عمر مفید آنها دچار خوردگی نشوند ساخته شوند کلیه سطوح خارجی میل ها باید دارای هادی جریان برق باشد و به عبارت دیگر این سطوح نباید پوشیده از رنگ ، لعب یا هرگونه عایق دیگر باشد . در زیر برخی از این میل ها معرفی می شوند :

#### الف ) میله های کوبیده شده :

میله های کوبیده شده ممکن است متشکل از تعدادی قطعه باشند ولی طول کل آنها نباید از ۲/۴۵ متر مکعب باشد . قطر میله های آهنی یا فولادی نباید از ۱۶ میلیمتر کمتر باشد و قطر میله های با روکش مس یا روکش فولاد زنگزن نباید از ۱۲ میلیمتر کمتر باشد . انتهای میله باید هم سطح زمین و یا پایین تر از آن باشد مگر در مواردی که حفاظ مناسبی برای آن در نظر گرفته شود . برای کاهش مقاومت اتصال زمین می توان از میله های بلندتر و یا تعدادی میله موازی استفاده می شود فاصله بین آنها نباید از طول هر میله کمتر باشد .

اگر هنگام کوبیدن میله ها با مانع همانند سنگ یا محدوده اتاقک یا چاهک آدمرو و موارد مشابه برخورد شود . عمق می تواند تا ۲/۳ متر کاهش داده شود و یا اینکه از نوع دیگری میله زمین استفاده کرد .

ب) سیم یا تسمه یا ورق دفن شده :

در مناطقی که مقاومت ویژه خاک بالاست یا لایه های کم عمق سنگ در آنها وجود دارد و یا اینکه بدست آوردن مقاومتی پایین تر نسبت به میله های به کار رفته لازم می باشد استفاده از یک یا چند نوع میل که در ذیل معرفی می گردند مناسب خواهد بود .

#### ۱- میل زمین سیمی :

قابلیت جنس سیمی که بدین منظور استفاده می گردد قبل از آزمایش شده باشد. یک سیم لخت که قطر آن ۴ میلیمتر یا بیشتر و در عمق حداقل ۰/۴۵ متر از سطح زمین در راستایی اساساً مستقیم به طول ۳۰ متر دفن شده باشد اتصال زمین قابل قبولی را تشکیل می دهد این ممکن است از یک قطعه یا چند قطعه تشکل شده باشد که سر به سر یا در فواصلی از سرما به هم اتصال داده می شوند ممکن است این سیم به شکل شاخه در آمده و یا اینکه به شکل یک شبکه دو بعدی مت Shankل از چند سیم هادی درآید که به آن شبکه زمینی گفته می شود . در مورد میل زمینی سیمی استفاده از هادی مسی چند مفتولی استاندارد ۱۶ میلیمتر مربع ( $1.7 \times 7 \text{ mm}$ ) مجاز است ولی هادی های مسی با سطح مقطع ۲۵ میلیمتر مربع به دلیل عمر طولانی تر آن ترجیح دارد . در این مورد نیز در صورت برخورد با مانعی مانند لایه سنگی ، ممکن است عمق دفن سیم ها کمتر از  $0.45m$  نیز باشد.

#### ۲- میل زمین تسمه ای :

نوارهای فلزی با طول کل حداقل سه متر و با سطح کل حداقل  $۰/۵$  متر مربع که دست کم در عمق  $۰/۴۵$  متری سطح زمین دفن شده باشد . تشکیل یک اتصال زمین قابل قبول می دهند . ضخامت نوارهای آهنی یا فولادی نباید از ۶ میلیمتر . نوارهای گالوانیزه داغ از سه میلیمتر باشد . معمول ترین جنس برای میل تسمه ای تسمه های فولادی گانوانیزه داغ است که با مقطع  $3.5 \times 30$  میلیمتر و طول

۱۰ متر کاربرد دارد از میل های تسمه ای به ویژه در مناطق صخره ای که امکان خطر کanal فقط فقط به شکل غیر منظم وجود دارد استفاده می شود .

### ۳- میل زمین از ورق یا صفحه فلزی :

یک ورق یا صفحه فلزی که مساحت آن  $1/5$  متر مربع کمتر نبوده و هر طرف آن با زمین در تماس باشد تشکیل یک اتصال زمین خواهد داد . صفحه باید در جهت قائم قرار گرفته و عمق لبه بالایی آن از سطح زمین نباید کمتر از  $1/5$  متر باشد . ضخامت صفحه اگر آهنی یا فولادی باشد نباید از ۶ میلیمتر و اگر گالوانیزه داغ باشد از ۳ میلیمتر و اگر از مس باشد از ۲ میلیمتر کمتر باشد. با قراردادن صفحه در داخل لایه هایی از خاک ذغال و نمک به کارایی میله اضافه خواهد شد.

### ۶-۲- ترانسفورماتورهای فوق توزیع و روش‌های زمین کردن آنها :

همانطور که میدانیم در ایران عموماً دو سطح ولتاژ برای شبکه های توزیع وجود دارد ، این دو سطح عبارتند از  $63KV$  و  $132KV$ . در شبکه های توزیع کشور نیز ولتاژهای  $11$  و  $20$  و  $33KV$  دیده می شود. پست های فوق توزیع به عنوان ارتباط دهنده شبکه های توزیع و فوق توزیع جایگاه ویژه ای را در شبکه برق به عهده دارند . در این میان نقش ترانسفورماتورهای فوق توزیع در ارتباط شبکه ها از اهمیت بیشتری برخوردار است . در نتیجه انتخاب مناسب سیستم زمین پست و بویژه روش زمین کردن نوترال ترانسفورماتور جهت پایداری و قابلیت اطمینان شبکه بسیار مهم است .

در این بخش به نوترال و زمین کردن آن می پردازیم و عموماً ترانسهای  $63/20KV$  مد نظر قرار گرفته است . برای تعیین پست های فوق توزیع از جدول صفحه بعد استفاده می شود . سیم پیچی ترانسفورماتورهای  $63/20KV$  از نوع ستاره - مثلث می باشند . یعنی سیم پیچ  $63$  کیلو واتی دارای اتصال ستاره و سیم پیچ  $20$  کیلو ولت دارای اتصال مثلث است . بنابراین برای زمین گردن نوترال هر سیم پیچی روش ویژه ای برخوردار است .

الف) ۶۳ کیلو وات : چون سیم پیچی ۶۳ کیلو وات این ترانسفورماتورها از نوع ستاره است بنابراین نقطه نوتروال برای هر نوع زمین کردن در دسترس می باشد یعنی می توان از سیستم ایزووله استفاده نمود یا اینکه نقطه نوتروال را به صورت مستقیم یا توسط امیدانس به زمین متصل کرد در هر حال تصمیم گیری نهایی در مورد بسته یا باز گذاشتن نوتروال به شبکه بستگی دارد و باید مورد مطالعه قرار گیرد .

ب) ۲۰ کیلو وات : اتصال طرف ۲۰ کیلو ولت ترانسهای  $63/20KV$  عموماً بصورت مثلث می باشد در نتیجه نقطه نوتروال برای زمین کردن در دسترس



ردیف	ظرفیت نامی «مگاولت آمپر»	ظرفیت قطعی «مگاولت آمپر»	قابل تبدیل به ظرفیت نامی «مگاولت آمپر»	مورد استفاده	نوضیحات
۱	۲×۳۰	۴۲ (۷۸)	۳×۳۰	مناطق شهری با تراکم بار بسیار زیاد	در حالت توسعه و تبدیل ظرفیت نامی به ۳×۳۰ مگاولت آمپر، به منظور کاهش سطح جریان اتصال کوتاه فقط دو دستگاه از ترانسفورماتورها می‌توانند به صورت موازی کار کنند.
۲	۲×۳۰	۴۲	—	مناطق شهری با تراکم بار زیاد	بدون پیش‌بینی توسعه
۳	۲×۱۵	۲۱ (۱۰)	۲×۳۰	مناطق شهری با روزنایی با تراکم بار متوسط	در صورت وجود قابلیت ارتباط فیدرهای خط ۲۰ کیلو ولت پست فوق توزیع با شبکه توزیع منطقه، ظرفیت قطعی ۳۱ مگاولت آمپر و در صورتیکه چنین امکانی وجود ندارد؛ ظرفیت قطعی ۱۵ مگاولت آمپر خواهد بود.
۴	۲×۷/۵	۷/۵	۲×۱۵	مناطق روستایی با تراکم بار کم	با توجه به اینکه در مناطق روستایی با تراکم بار کم، پستهای فوق توزیع به صورت شعاعی تغذیه می‌گردند و فیدرهای ۲۰ کیلو ولت اینگونه پستهای نیز شعاعی توزیع گردیده، ظرفیت قطعی ۷/۵ مگاولت آمپر می‌باشد.

نخواهد بود و در این مورد عموماً با استفاده از ترانسفورماتورهای زمین ، نفطه نوترال مصنوعی برای سیم پیچی ایجاد می کنند و برای محاسبه ظرفیت این ترانسها می توان به استاندارد مراجعه کرد . وقتی نقطه نوترال سیم پیچی ۲۰ کیلو ولت به این ترتیب با استفاده از ترانس زمینی در دسترس قرار گرفت چگونگی زمین کردن آن (مستقیم یا استفاده از مقاومت ) بایستی مورد مطالعه قرار گیرد البته استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین شبکه های برق معمول نیست و کاربرد مقاومت عموماً در ترانسفورماتور نقطه نوترال ژنراتور می باشد .

## ۷-۲- بررسی روش زمین کردن نوترال ترانسفورماتور فوق توزیع در یک شبکه نمونه با استفاده از نرم افزار FC :

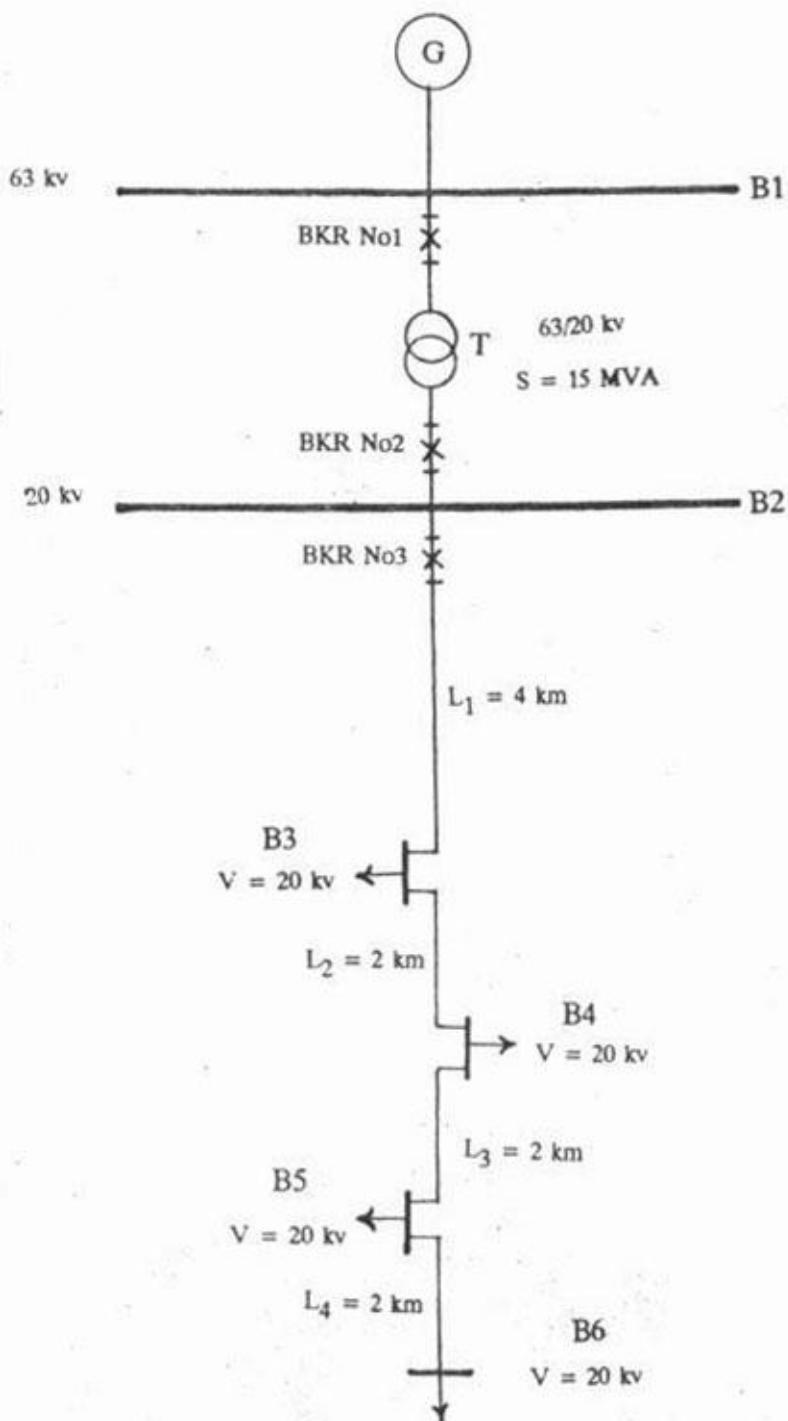
نرم افزار FC جهت تجزیه و تحلیل اتصال کوتاه در سیستم های قدرت کاربرد دارد این نرم افزار با دریافت اطلاعات و مشخصات شبکه قدرت ولتاژها و جریانها را در نقاط مختلف شبکه در انواع حالت های اتصال کوتاه ( سه فاز به زمین ، تکفاز ، دو فاز به هم ، دو فاز با هم به زمین ) محاسبه می نماید. همچنین ترکیب عملکرد رله های حفاظتی را همراه با زمان عملکرد مشخص می کند . با استفاده از این نرم افزار ، با تغییر اتصال زمین سیم پیچی ترانسفورماتور فوق توزیع یک شبکه نمونه می خواهیم حالت بھینه سیستم زمین این ترانسورماتور را از نظر ولتاژ شیفه های شبکه و جریانهای نقاط مختلف در شرایط اتصال کوتاه تعیین کنیم .

## -۱-۷-۲ مشخصات عمومی شبکه :

شبکه مورد نظر دارای شش عدد شین است شین<sub>۱</sub> که دارای ولتاژ ۶۳ کیلو ولت می باشد . شین مربع محصوب می شود در واقع شبکه پست این شین حکم ژنراتور برای شبکه مورد نظر خواهد داشت و مشخصات ژنراتور شبکه که بعد از این بیان می گردد در واقع شبیه سازی شبکه متصل شین<sub>۱</sub> به صورت ژنراتور است ترانسفورماتور 20KV/63 بین شینهای B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub> نصب شده است و شین های

تا  $B_6$  دارای ولتاژ ۲۰ کیلو ولت هستند. حفاظت این شبکه نیز توسط سه دستگاه کلید قدرت و رله های مربوطه صورت می گیرد. قدرت مینا  $15MVA$  در نظر گرفته شده است. اتصال کوتاهی ایجاد شده در شبکه در بدترین حالت یعنی با امیدانس صفر در نظر گرفته می شود و محل ایجاد خطا در هر حالت باید مشخص باشد.





SYSTEM DATA

NUMBER OF BUSSES =	6
NUMBER OF GENERATORS =	1
NUMBER OF LINES =	4
NUMBER OF TRANSFORMERS =	1
NUMBER OF BREAKERS =	3
3 PHASE MVA BASE =	15.0

BUS	VOLTAGE (KV)
B1	63.000
B2	20.000
B3	20.000
B4	20.000
B5	20.000
B6	20.000

-۲-۷-۲ مشخصات ژنراتور شبکه :

ژنراتور که بهینه سازی شده شبکه پست شین  $B_1$  است ، دارای امیدانس‌های توالی مثبت و منفی و صفر به ترتیب برابر  $0/12$  ،  $0/12$  ،  $0/04$  ،  $0/04$  در واحد در مبنای قدرت  $15MVA$  ولتاژ  $63KV$  است . نقطه نوتروال این ژنراتور دارای اتصال زمین کامل است .

## GENERATORS

BUS	Z0	Z1	Z2	ZN
B1	.00	.04	.00	.12
			.00	.00

## مشخصات خطوط شبکه : -۳-۷-۲

شینهای ۲۰ کیلو ولت شبکه توسط چهار خط به یکدیگر متصل شده اند یک خط به طول ۴ کیلومتر با امپدانس های مثبت و صفر  $0.02 + j0.06$  در واحد شین های  $B_2$  و  $B_3$  را ارتباط می دهد سه خط دیگر که هر کدام ۲ کیلومتر طول دارند با امپدانس های توالی مثبت و منفی خطوط یک شبکه مساوی در نظر گرفته می شود .

BUS	BJS	Z0	Z1
82	83	.00	.06
83	84	.00	.03
84	85	.00	.03
85	86	.00	.03

## مشخصات ترانسفورماتور : -۴-۷-۲

مشخصات ترانسفورماتور قدرت در حالات مختلفی که مورد بررسی قرار می گیرد متفاوت است بنابراین در هر حالت مشخصات ترانسفورماتور به صورت جداگانه خواهد آمد .

مشخصات رله های حفاظتی و کلیدهای قدرت :

در شبکه سه کلید قدرت در نظر گرفته شده است این سه کلید دارای مشخصه زیر است که از رله های با مشخصه معکوس standard inverse electromagnetic فرمان می گیرند . مشخصات کلیدها و نسبت تبدیل CT و تنظیم رله در زیر آمده است .

#### RELAY/BREAKER INFORMATION

BKR NO	TYPE	CTR	LINE KV	BUS TO	BUS	PLUG SET	TWS
1	Standard e.m.	60.	63.00	B1	B2	200.00	1.000
2	Standard e.m.	100.	20.00	B2	B1	100.00	1.000
3	Standard e.m.	100.	20.00	B2	B3	100.00	.050

### -۸-۲ تحلیل روش‌های زمین کردن نوترال در حالت‌های مختلف سیم پیچی

#### ترانسفورماتور شبکه نمونه :

در شیوه ای که برای انتخاب سیستم زمین بهینه ترانسفورماتور فوق توزیع توسط نرم افزار FC مورد استفاده قرار می گیرد هر یک از حالت‌های سیم پیچی ترانس ممکن است وجود داشته باشد به صورت جداگانه بررسی می شود در هر یک از حالات اتصال زمین نوترال سیم پیچی ستاره ار اتصال سیستم به زمین تا حالت ایزوله تغییر می یابد و با ایجاد اتصال کوتاه روی شینهای 20KV و 63KV وضعیت ولتاژها و جریانهای شبکه مورد ارزیابی قرار می گیرد آنگاه در هر مورد مناسب ترین روش زمین کردن نوترال معرفی می شود .

بررسی های انجام شده توسط نوم افزار FC نشان می دهد که از چهار حالت اتصال کوتاه ممکن فقط دو حالت تک فاز به زمین و دو فاز به زمین وضعیت ولتاژهای شبکه و جریانهای آنها متأثر از روش زمین کردن نوترال ترانسفورماتور در ولتاژها و جریانهای شبکه ندارد . در نتیجه نتایج بر اساس دو اتصال کوتاه فوق الذکر خواهد بود .

## ۱-۸-۲ زمین کردن نوتروال ترانسفورماتور ستاره - مثلث ( YD )

در حالتی که ترانسفورماتور دارای سیم پیچی ستاره - مثلث می باشد یعنی طرف ۶۳ کیلو ولت دارای اتصال مثلث است فقط نوتروال سیم پیچی  $63KV$  برای زمین کردن در دسترس خواهد بود .

الف) اثر زمین کردن نوتروال در اتصال کوتاه در طرف ۲۰ کیلوولت ( شین  $B_2$  ) :

در شرایطی که روی شین  $B_2$  اتصال کوتاه ( تک فاز به زمین و دو فاز به زمین ) رخ می دهد اتصال زمین نقطه نوتروال ستاره از حالت سیستم ( $RN = XN = 0$ ) تا حالت ایزوله تغییر داده شد و در هر مورد ولتاژها و جریان های شبکه مورد بررسی قرار می گیرد . در جداول صفحات بعد نتایج حاصله آمده است . با نتایج مشخص می گردد که در ترانسفورماتور با سیم پیچی ستاره - مثلث جکونگی زمین کردن نقطه نوتروال ستاره  $63KV$  در شرایط بروز اتصال کوتاه در طرف مثلث  $20KV$  هیچ گونه تاثیری روی ولتاژها و جریانهای شبکه ندارد .

## TRANSFORMERS

				EARTH IMPEDANCES							
HV BUS	LV BUS		Z0	Z1		HV		LV			
B1	STAR	B2	DELTA	.00	.10	.00	.10	.00	.00	.00	.00

مشخصات ترانس (*YD*) با نقطه توترال مستقیماً زمین شده

## SINGLE LINE TO GROUND FAULT

BUS	PHASE A VOLTAGE		PHASE B VOLTAGE		PHASE C VOLTAGE	
	B1	1.000	30.00	1.000	-90.00	1.000
B2	.000	.00	1.732	-150.00	1.732	150.00
B3	.000	.00	1.732	-150.00	1.732	150.00
B4	.000	.00	1.732	-150.00	1.732	150.00
B5	.000	.00	1.732	-150.00	1.732	150.00
B6	.000	.00	1.732	-150.00	1.732	150.00

BUS TO BUS	PHASE A CURRENT		PHASE B CURRENT		PHASE C CURRENT		
	B1	GND	.0000	.00	.0000	.00	
B1	B2	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B2	B3	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B2	B1	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B3	B2	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B3	B4	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B4	B5	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B4	B3	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B5	B4	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B5	B6	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00
B6	B5	.0000	.00	.0000	.00	.0000	.00

ولتاژها و جریانهای شبکه نمونه با ترانس به مشخصات جدول در حالت اتصال کوتاه تک فاز

روی شین *B2*

## فصل ۳ - انواع ترانس زمین در شبکه های انتقال و توزیع

### ۱-۳ - چکیده

در شبکه های انتقال و توزیع استفاده از ترانس زمین متداول است. توسط این وسیله تشخیص خطاهای فاز به زمین در این شبکه ها امکان پذیر می گردد. حفاظت مناسب و سریع توسط رله های حفاظتی و قطع قسمت های معیوب با حداقل خاموشی از اهداف عمدۀ طرح حفاظتی این شبکه ها می باشد. از آنجایی که غالبا مهندسین برق در ارتباط روزمره با ترانس زمین قرار ندارند برخی موارد نحوه استفاده از آن برای تشخیص خطاهای فاز به زمین بصورت مطلوب انجام نمی پذیرد. مقاله حاضر ابتدا به توصیف انواع مختلف ترانسهاي زمین و ارتباط آنها با حفاظت خطاهای فاز نسبت به زمین در سیستمهای فوق به عنوان مثال های عملی و مطالعاتی می پردازد. در نهایت روش‌های مفیدی جهت تصحیح نقایص حفاظت شبکه توزیع در مقابل خطاهای فاز به زمین ارائه می دهد.

استفاده از ترانس زمین در شبکه های انتقال و توزیع عموما شناخته شده است. به کمک این وسیله، تشخیص خطاهای فاز به زمین و قطع حفاظتی آنها به صورت سریع و سلکتیو امکان پذیر است. از آنجایی که کلیه مسایل مربوط به ترانس های زمین در یک مرجع به طور کامل بیان نشده است، نخست در این مقاله آرایشهای مختلف آن بررسی و سپس دو نموده عملی کاربرد این ترانس و طرح های مختلف اتصال زمین در شبکه های توزیع مورد نقد و بررسی قرار می گیرد. علاوه بر این در زمینه برطرف کردن نقصهای مربوط به حفاظت اتصال به زمین و کاربرد ترانس های زمین راه حل مناسب ارایه شده است.

### ۲-۳ - گذشته، حال، آینده ترانس های زمین:

دلایل استفاده از ترانس های برای سیستمهای سه فاز زمین نشده را می توان به موارد زیر خلاصه کرد:

۱. مسیر جریان خط را برای اتصال به زمین تکفاز مهیا می کند.

۲. دامنه اضافه ولتاژ ناشی از خطای تکفاز و قوس برگشتی را محدود می کند.

۳. نقطه پایداری برای زمین سیستم بوجود می آورد و ضمناً امکان تغذیه بارها به صورت تکفاز فراهم

می سازد (در شبکه های توزیع)

در سیستم زمین نشده، تشخیص و جدا کردن نقاط اتصالی فاز به زمین وجود ندارد و چون در صد  
بالایی از خطاهای اتصالی فاز به زمین تشکیل می دهد، لذه در تداوم برق رسانی حتی در موقع اتصالی  
تک فاز به زمین هیچ گونه خللی وارد نمی شود ولی در نهایت باید محل اتصال معلوم و مورد مرمت قرار  
بگیرد بدیهی است که مشخص کردن محل اتصالی تکفاز به زمین با از مدار خارج کردن تک تک فیدر ها  
همراه می باشد که امری نامطلوب و توأم با صرف وقت و هزینه زیاد است.

نتیجتاً ترانس های زمین بعنوان منابع هشدار دهنده اتصال زمین و یا در صورت لزوم جهت قطع  
اتوماتیک خط معیوب مورد استفاده قرار می گیرد فلسفه حفاظتی سیستمی که از این وسیله به عنوان  
عضوی از شبکه توزیع استفاده می کند عبارتند از:

۱. سیستم باید در مقابل اتصال های ترانس زمین حافظت شود بطوری که خارج شدن اتوماتیک هر  
ترانس زمین، موجب جدا شدن سیستم از زمین نشود.

۲. حفاظت پشتیبان برای اتصالی فاز به زمین فراهم گردد تا در صورتی که حفاظت اصلی به هر عنوان  
 قادر به قطع قسمت معیوب نباشد وارد عمل گردد.

۳. حفاظت باید سلکتیو باشد تا از قطع بی مورد قسمتهای سالم سیستم جلوگیری شود.

### ۳-۳- انواع بهره برداری از ترانسفورماتور زمین

انواع ترانسفورماتور های زمین که در شبکه های انتقال و توزیع مورد بهره برداری قرار می گیرند

عبارتند از:

۱. ترانس زمین با آرایش زیگزاگ

۲. ترانس زمین با آرایش ستاره زمین شده و مثلث

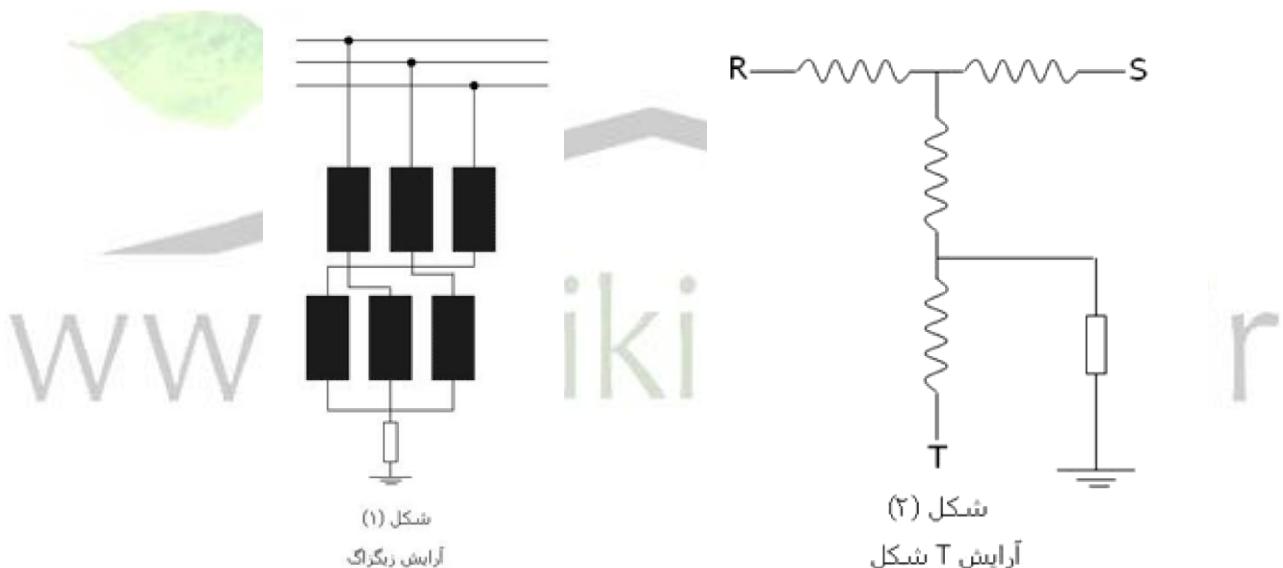
۳. ترانس زمین با آرایش T شکل

ترانس زمین با آرایش زیگزاگ بسیار متداول تر از انواع دیگر می باشد، زیرا از نظر قیمت و ابعاد ارزان تر و کوچکترند. تمامی ترانسهای زمین یک مسیر برگشتی با امپدانس کم برای جریان توالی صفر در زمان خطای فاز به زمین و بارهای نا متقارن تکفاز مهیا می کنند. علاوه بر این امپدانس انواع ترانس های زمین در هنگام بهره برداری عادی و متقارن از شبکه خیلی بالا می باشد و تحت این شرایط فقط جریان مغناطیسی کننده از آن عبور خواهد کرد. به عنوان مثال امپدانس یک ترانس زمین از نوع ستاره زمین شده و مثلث در شرایط کار عادی شبکه، همانند امپدانس یک ترانس قدرت با اتصال ستاره مثلث است که در حالت بی باری تحت تانسیون قرار دارد.

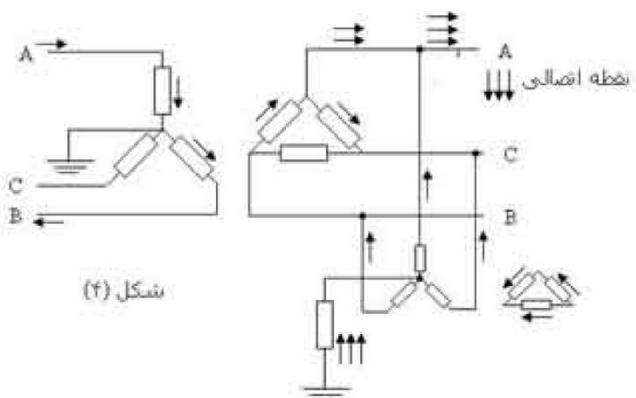
آرایش و سیم بندی ترانس های زمین به گونه ای است که بلاجبار جریان عبوری از نوتراال ترانس (3) ناشی اتصالی فاز به زمین به صورت مساوی بین فاز ها تقسیم می شود و مطابق شکل (۱) جریان عبوری از فازها (I<sub>CO</sub> , I<sub>BO</sub> , I<sub>AO</sub>) از نظر دامنه و فاز با یکدیگر برابر می باشند.

توجه داریم که دو سر سیم پیچ موجود بر روی ستون هر هسته مغناطیسی دارای تعداد دور برابر و در خلاف جهت یکدیگر پیچیده شده اند که در این حالت آمپر دور های به وجود آمده از سیم پیچ، همدیگر را متعادل ساخته و نتیجتا در مقابل عبور جریان ۱۰ امپدانس سری نسبتا کوچکی از خود بروز می دهند.

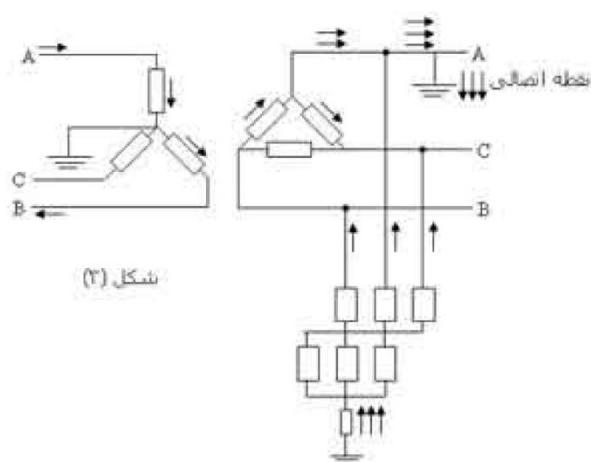
شکل شماره (۲) عملکرد یک ترانس زمین با آرایش T شکل و مقاومت متصل به نقطه نول آن را در نقطه اتصالی فاز به زمین نشان می دهد. دو اتو ترانس ساختمان داخلی اینگونه ترانس ها را تشکیل می دهد. اتو ترانس ۱ دارای نسبت تبدیل یک به یک است، بدین معنی که تعداد دور مساوی از سیم پیچ در طرفین سر مشترک آن قرار دارد. ولی در ترانسفور ماتور ۲ یک سیم پیچ با دو برابر تعداد دور در طرف دیگر سر مشترک موجود است. در نتیجه با توجه به تئوری اتوترانس جریان ۳۱۰ ، بلاجبار بطور مساوی بین فازها تقسیم می شود و این مشابه همان اثری است که در ترانس های زمین زیگزاگ و یا ستاره زمین شده با ثانویه مثلث مشاهده می شود.



شکل های (۳) و (۴) آنالیز ساده ای از اتصالی فاز به زمین و جریان های عبوری از طریق شبکه، ترانس قدرت و ترانس زمین با سیم بندی زیگزاگ و ستاره مثلث با نول زمین شده را به ترتیب نشان می دهد. همه جریان اتصالی ناشی از برخورد فاز A با زمین از نقطه نول ترانس زمین به طرف سیستم جاری می شود. کل جریان خطا از تک تک ستون های ترانس زمین عبور خواهد کرد و همان طوری که مشاهده می شود زمانی که از یک ترانس قدرت با نسبت تبدیل یک به یک استفاده شود در طرف اولیه از دو فاز جریان اتصالی و از فاز سوم جریان عبور نمی کند.



بررسی ساده مسیر عبور جریان با فرض یک خطای فاز به زمین در نابویه ترانس قدرت و ترانس زمین با آراسن سفاره هلت



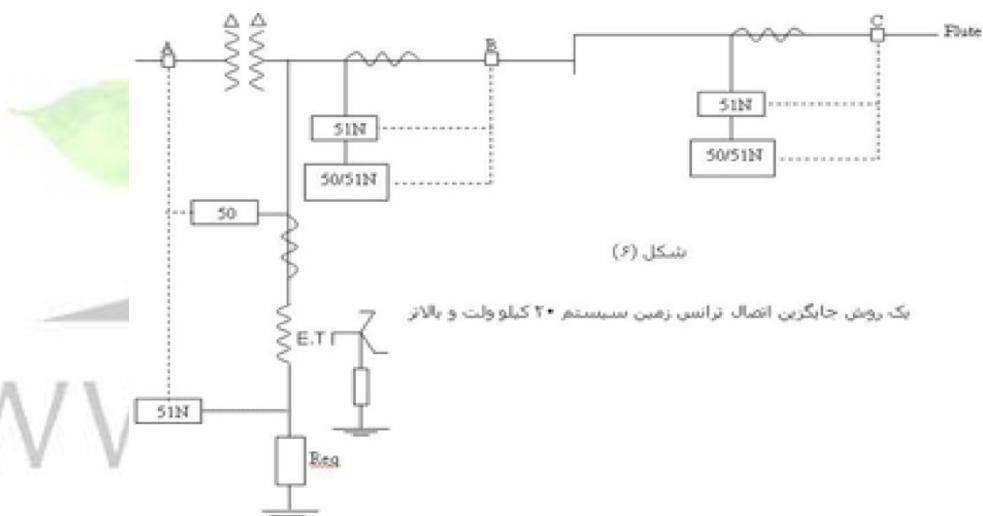
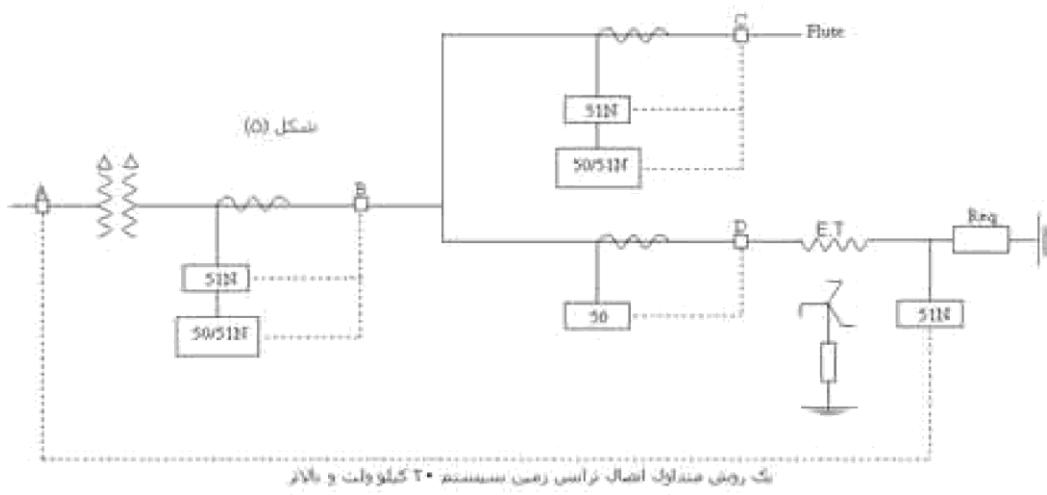
بررسی ساده مسیر عبور جریان با فرض یک خطای فاز به زمین در نابویه ترانس قدرت و ترانس زمین با آراسن زیگزاگ

با توجه به تجزیه تحلیلی که انجام شد ملاحظه می شود که وسایل حفاظتی موجود در طرف اولیه ترانس های قدرت برای مثال رله های جریان زیاد، به طور مطلق هیچ حفاظتی را برای خطاهای تکفار با زمین در طرف ثانویه بنا بر سه دلیل زیر به وجود نمی آورد:

۱. دامنه جریان اتصالی به دلیل امپدانس سیم پیچ ترانس زمین و مقاومت نقطه نول کوچک می باشد.
  ۲. دامنه جریان اتصالی در فاز های اولیه با ضریب نسبت به کل جریان اتصالی در طرف ثانویه کاهش داده می شود.
  ۳. جریان های طرف اولیه متناسب با نسبت تبدیل ترانس قدرت کاهش می یابد. در شکل (۴)
- مشاهده می شود که سیم پیچ مثلث طرف ترانس زمین مسیر بسته ای برای عبور جریان توالی صفر را فراهم می آورد.

#### -۴- موقعیت ترانس زمین و نحوه مشارکت آن در امر حفاظت

شکل های (۵) و (۶) دو روش اتصال ترانس های زمین به سیستم زمین نشده را نشان می دهد. در شکل (۵) ترانس زمین از طریق کلید اختصاصی به شینه متصل شده است و در صورت بروز اتصالی فاز به زمین در فیدر خروجی پست رله اتصال زمین مربوطه به فیدر فوق می باشد خطا را تشخیص و فرمان قطع کلید مربوطه ( کلید C ) صادر کند. خطای فاز به زمین ما بین ثانویه ترانس قدرت و کلید B توسط رله اتصال زمین N ۵۰/۵۱ کلید فوق تشخیص و فرمان قطع کلید B را صادر می نماید و به دلیل اینکه این رله فقط برای خطاهای فاز به زمین در این محدوده تحریک می شود نیازی به هماهنگی با رله دیگر سیستم ندارد و می توان آنرا به صورت مستقل در حداقل تنظیم جریانی (Minimum Tab)، زمانی (Time Dial) و لحظه ای قرار داد.



وقوع اتصال فاز به زمین بر روی باس بار طرف فشار ضعیف توسط رله اضافه جریان نقطه نوتروال ترانس زمین (N ۵۱) تشخیص و فرمان قطع کلید A را صادر می نماید. این موضوع برای خطاهای فاز به زمین در فیدر های خروجی که نتواند توسط کلید مربوطه برطرف گردد نیز رخ می دهد. اتصالی های داخلی ترانس زمین توسط رله اضافه جریان حفاظتی مربوط به آن (۵۰) تشخیص داده شده و فرمان قطع برای کلید D را صادر کند که سیستم از این لحظه به بعد بصورت زمین نشده به فعالیت خود ادامه خواهد داد و تحت اینگونه شرایط ترانس زمین در حداقل زمان ممکن باقیستی تحت تعمیر قرار گرفته و یا تعویض گردد.

شکل شماره (۶) حالت متدالول اتصال ترانس زمین در شبکه توزیع را در طرف ثانویه ترانس های قدرت نشان می دهد. این ترکیب زون حفاظتی مشترک را برای ترانس ها بوجود می آورد بدین معنی که بروز هر گونه خطا در ترانس زمین موجب قطع کلید A می شود و در نتیجه هر دو ترانس را از مدار خارج می نماید. این نوع آرایش تضمین می نماید که ثانویه سیستم در حالت بهره برداری بصورت زمین شده باقی بماند اما این اشکال را دارد که با اتصالی های ترانس زمین کل سیستم بی برق خواهد شد. شمای حفاظتی اضافه جریان ترانس زمین در هر دو آرایش فوق یکسان است. رله اضافه جریان تک زمانه (Single Time) واقع در نقطه نول ترانس هر دو نقش رله اصلی و پشتیبان را بسته به موقعیت وقوع اتصالی های داخلی ترانس زمین توسط رله اضافی جریان آنی که بسیار حساس است تشخیص داده می شود. در ضمن هیچ احتیاجی با هماهنگی با سایر رله ها نداشته و عبور هیچ جریانی ناشی از خطاهای خارج از زون حفاظتی ترانس زمین را احساس نمی کند. بدین صورت که برای اتصالی های خارج از زون حفاظتی، جریان ۱۰ در ثانویه ترانس های جریان که بصورت مثلث بسته شده اند، گردش کرده و به رله فوق وارد نمی شود. تعیین نسبت تبدیل ترانس های جریان به فاکتور های متعددی از قبیل مقدار جریان ۱۰ ، تنظیم های مختلف جریانی رله های حفاظتی، دامنه جریان های اتصالی داخل ترانس های زمین و امکان ارتباط با دیگر ترانس های جریان موجود در سیستم بستگی دارد.

### ۳-۵- قدرت نامی ترانس زمین

همانگونه که قبلا ذکر شد شبکه های زمین نشده معمولاً توسط ترانس های مخصوص با زمین مرتبط می شوند. این ترانس ها برای مدت زمان کوتاه جریان قابل ملاحظه ای (ناشی از اتصال فاز به زمین) از خود عبور خواهند داد. بنابر این ابعاد و قیمت آنها در مقایسه با یک ترانسفورماتور قدرت با کیلو ولت آمپر یکسان کمتر می باشد. در مواردی که سیستم حفاظتی اتصال زمین مورد استفاده قرار می گیرد ترانس های زمین نصب شده باید بتوانند جریان اتصالی تک فاز را برای مدت زمان بین ۱۰ تا ۶۰ ثانیه تحمل کنند. قدرت نامی که ترانس های زمین برای مدت کوتاهی (Shot Time Rating) آنرا تحمل می کنند، بر حسب کیلو ولت آمپر برابر است با حاصلضرب ولتاژ فاز با زمین در جریان نامی نقطه نوتروال آنها.

برخی از ترانس های زمین برای تغذیه بارهای تکفاز موجود مورد استفاده قرار می گیرند که این گونه ترانس ها با توجه به کاربرد خاص خود باید توانایی تحمل قدرت نامی را برای مدت زمان طولانی داشته باشند.

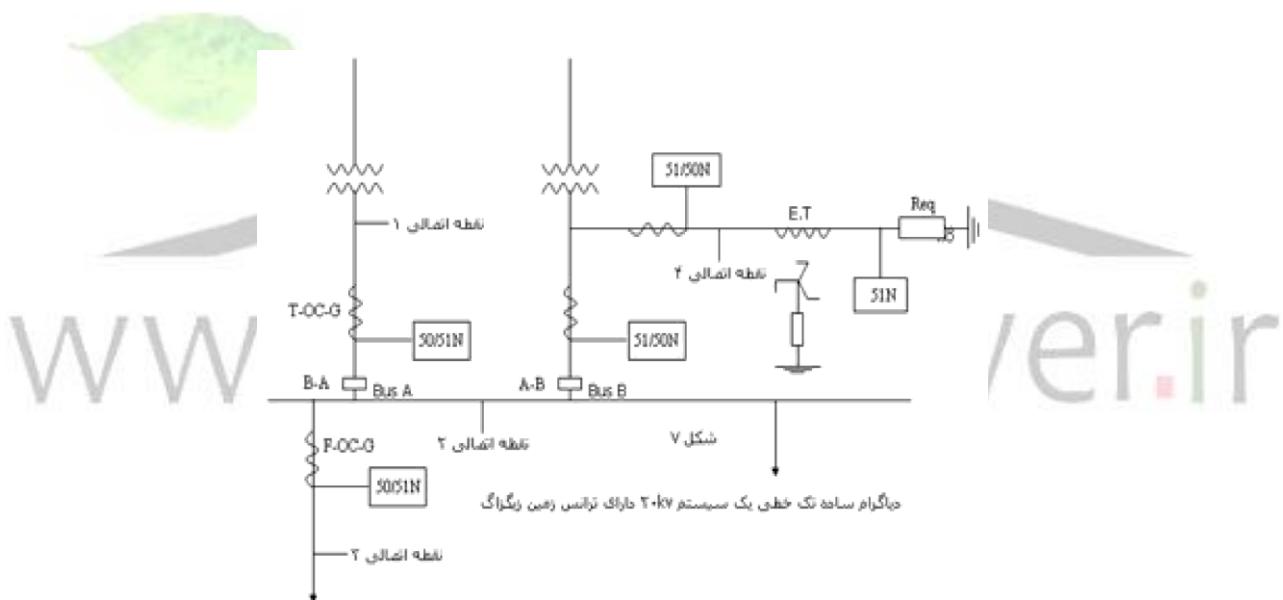
در صورت استفاده از مقاومت اهمی در نقطه نوتروال ترانس های زمین، ولتاژ نامی کار برای آنها معادل ولتاژ شبکه است. مقدار اهمی این مقاومت ها در محدوده ای است که جریان عبوری از آن علاوه بر تحریک سیستم حفاظتی امکان ایجاد صدمات حرارتی را به وجود نیاورد. این مقاومت ها زمانی که با سیستم حفاظتی اتصال زمین بکار رود برای پریود زمانی معین، تحمل جریان اتصال کوتاه را داشته باشند(حدود ۱۰ الی ۶۰ ثانیه).

### ۳-۶- مطالعه طرح حفاظتی شبکه توزیع

این بخش به مطالعه یک سیستم عملی حفاظت در مقابل خطای فاز به زمین و نواقص احتمالی آن برای یک شبکه توزیع ۲۰kV می پردازیم. نمایش ساده و تک خطی شبکه مورد نظر در شکل شماره (۷) آمده است. تمامی کلید های قدرت ۲۰kV در حالت بهره برداری عادی شبکه بسته می باشند و

ترانسفورماتور قدرت T1 و T2 با یکدیگر موازی هستند کل فیدر های خروجی سیستم ۶ عدد می باشند که هر کدام بین ۳ الی ۱۰ مگاوات توان مصرفی دارند. در این طرح یک ترانس زمین مسیر خط جریان ۳۱۰ را تامین می کند. این وسیله دارای اتصال زیگزاگ و یک مقاومت ۱۳/۵ اهمی در نوتروال خود می باشد. کلیه حفاظت های اتصال زمین برای یکی از ورودی ها (Incoming) و مصرف کننده ها، و ترانس زمین در شکل نشان داده شده است.

برای پی بردن به نحوه عملکرد رله های حفاظتی شبکه فوق، چندین اتصال کوتاه فرضی در نقاط سیستم در نظر گرفته شده است.



۱. اتصال زمین در نقطه ۱ : برای اتصال های ما بین ترانس قدرت و کلید مربوط به آن، رله حفاظتی جریان زیاد زمین ترانس (Trans.Over Current Ground Relay) یک، تحریک می شود و کلید (M-A) را قطع خواهد کرد و ثانویه ترانس یک از زمین جدا خواهد شد که برای رفع عیب لازم است کلید طرف ۱۳۲ کیلو ولت بطور دستی قطع شود.

۲. اتصال زمین در نقطه ۲: با توجه به سیستم حفاظتی نشان داده شده، هیچ رله ای، اتصال کوتاه های تک فاز روی شینه های A و B را پوشش نخواهد داد. در این حالت رله جریان زیاد نقطه نوترال ترانس زمین (GND.Trans.Over Current Ground) جریان خطای ۳۱۰ را تشخیص داده و بعد از مدت زمان تنظیم شده با قطع کلید(M-B) ترانس زمین و ترانس قدرت شماره ۲ را همزمان از مدار خارج خواهد کرد. بدلیل اینکه در این لحظه ترانس زمین از شینه جدا شده است تمام جریان های ممکن اتصالی قطع می شود. بعلاوه در مدت زمانی که اتصالی پایدار است ولتاژ دو فاز سالم نسبت به زمین به مقدار ۲۰ کیلو ولت افزایش می یابد. بنا براین یک عایق بندی اضافی با ضربیب ۳ برای تجهیزات مورد نیاز است. در غیر این صورت احتمال صدمه دیدن تجهیزات ناشی از ضعف عایقی وجود خواهد داشت و احتمال تبدیل شدن اتصالی به دو فاز وجود دارد. در این صورت کل شینه و فیدر های خروجی بی برق خواهند شد لذا برای مقابله با خرابی احتمالی تجهیزات ناشی از این مساله می توان فرمان قطع رله جریان زیاد نقطه نوترال ترانس زمین را به کلیه کلید های ورودی شینه ۲۰ کیلو ولت وصل کرد(M-B) و (M-A) در این صورت با بی برق شدن کلیه فیدر های خروجی، این طرح نیز عاری از اشکال نمی باشد.

۳. اتصال زمین در نقطه ۳: در سیستم موجود اگر اتصالی روی فیدر های خروجی اتفاق افتاد توسط رله جریان زیاد فیدر(Feeder Over Current Ground) کلید اصلی آن قطع و اتصالی برطرف می شود. در لحظه اتصالی، جریان ۳۱۰ توسط رله اتصال زمین ترانس زمین نیز احساس می شود. با این رله اتصال زمین فیدر سریعتر عمل می کند و بنا براین با رله اتصال زمین ترانس زمین هماهنگ است. در مواقعی که رله مربوط به فیدر به کلید قدرت مربوطه بر اثر اشکال الکتریکی یا مکانیکی قادر به قطع مدار

نشود رله اتصال به زمین ترانس زمین بعد از سپری شدن زمان معین، کلید مربوط به خود را قطع می کند و این موضوع مشکل عنوان شده در نقطه ۲ را تداعی می کند.

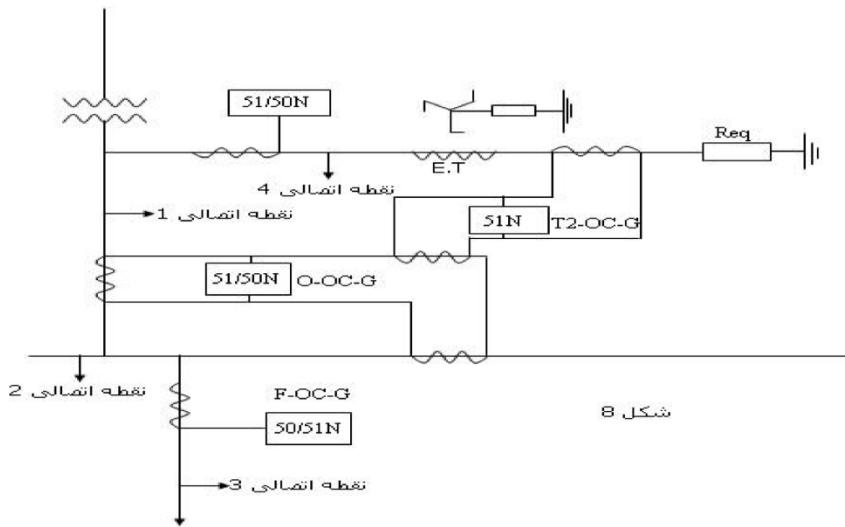
۴. اتصال زمین در نقطه ۴: خطای تکفاز روی شینه ترانس زمین توسط رله جریان زیا ترانس زمین تشخیص داده شده و هر ترانس را از مدار خارج می سازد. در نتیجه سیستم ۲۰ کیلوولت از زمین ایزوله می گردد و برای اضافه ولتاژ های گذرا در مدتی که عیب رفع نشده باشد مستعد می باشد. مشکلات عنوان شده برای بروز خطا در نقطه ۲ در اینجا نیز دیده می شود.

### ۷-۳- تصحیح سیستم حفاظتی و تحلیل آن

شکل (۸) بتفصیل جزیيات تصحیح شده حفاظت اتصال زمین برای شبکه ۲۰ کیلوولت شکل (۷) را نشان می دهد. جهت جلوگیری از پیچیدگی نقشه فقط حفاظت اتصال زمین برای یکی از دو باس اصلی به تصویر درآمده است. شاخص ترین تصحیحی که در سیستم فوق داده شده است استفاده از دو عدد ترانس زمین می باشد که هر کدام به خروجی یکی از ترانس های قدرت متصل است. آرایش حفاظتی و تجهیزات باس بار دیگر، همانند باس B می باشد. بررسی شکل (۸) نشان می دهد که آرایش حفاظتی اضافه جریان زمین پیچیده تر شده اند. ترانس های جریان اضافه شده در طرفین باس سکشن (BT-1) در ارتباط با ترانس های جریان فیدر ورودر قرار دارند و در مسیر آنها یک ترانس جریان کمکی (AUX.Current Trans) نیز وجود دارد.

حفاظت های اتصال فاز به زمین در آرایش جدید دارای چندین مزیت نسبت به آرایش قبلی است.

برای درک این مطلب در شکل (۸) محل ۴ خطای تحلیل شده قبلی را بررسی می کنیم.



۱. اتصالی در نقطه ۱ و ۴: در آرایش جدید، عملکرد سیستم در مقابل اتصالی های نقاط ۱ و ۴ یکسان می باشد و رله جریان زیاد ترانس زمین توانایی تشخیص خطا را خواهد داشت و فرمان قطع برای ترانس قدرت و ترانس زمین توسط این رله با قطع کلید های (M-B) و طرف اولیه ترانس قدرت، توسط این رله صادر می شود. بنا براین ترانس قدرت و زمین مربوطه از مدار جدا شده ولی شبکه توزیع به صورت زمین شده بکار خود ادامه خواهد داد و این رله نیازی به هماهنگی با دیگر رله ها ندارد و میتوان آن را بسیار حساس و با حداقل زمان تنظیم کرد.

۲. اتصالی در نقطه ۲: در ترکیب جدید، خطاهای بس بار توسط رله جریان زیاد بس B (Bus-B-) تشخیص داده می شود و وقتی زمان لازم برای رله فوق سپری شود این رله فرمان قطع برای کلید های (M-B) و (BT-1) صادر می کند. بنا براین خطا ایزوله می شود و نیمی از مصرف کننده ها از مدار خارج می شوند و بقیه مصرف کننده ها با یک سیستم زمین شده تغذیه می شوند.

۳. اتصالی در نقطه ۳: تشخیص و جدا کردن اتصالی در فیدر های خروجی توسط رله اضافه جریان زمین مربوطه به هر فیدر صورت می پذیرد. در این ترکیب حفاظتی، اگر رله های فوق معیوب باشند و یا

به هر دلیلی کلید مربوط فیدر را قطع نکند خطای موجود توسط رله پشتیبان جریان زیاد باس بار تشخیص داده شده و باس مربوطه بی برق خواهد شد. به هر جهت وجود دو ترانس زمین این اطمینان را افزایش خواهد داد که از دست دادن یکی از آن سیستم را بدون زمین نخواهد کرد.

### -۸-۳- نتیجه گیری

این مقاله ضمن خلاصه کردن انواع ترکیب ترانس‌های زمین در سیستم‌های قدرت سعی بر این دارد تا روش‌های مختلف بهره برداری از آن را مورد بررسی قرار دهد.

انواع ترانس زمین، بررسی شبکه عملی دو باسه و استفاده از یک ترانس زمین با ترکیب زیگزاگ روی شینه، حفاظت اتصال به زمین و ترکیب رله‌ها برای خطاهای نقاط مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

چنانچه قرار دادن حفاظت ترانس زمین و ترانس قدرت در یک زون حفاظتی مشترک اپتیمم سیستم حفاظتی برای پست‌های فوق توزیع به همراه خواهد داشت، ترجیحاً اتصال زمین مستقیماً به خروجی ترانس قدرت مزایای بیشتری نسبت به استفاده از آن بر روی باس بار و قرار دادن یک حفاظت مستقل برای آن خواهد داشت.

## فصل ۴ - نکات مهم در زمین کردن

### ۱-۴ مقاومت ویژه خاک و عوامل وابسته به زمین

در صورت رو برو شدن با خاک دستی، لازم است تا رسیدن به عمق خاک بکر و بیشتر پیش رفت. زیرا خاک دستی قابل اطمینان نبوده و در احداث الکترود زمین نباید به حساب آورده شود.

### ۲-۴ تاثیر آماده سازی محل احداث الکترود زمین

در بعضی موارد، برای کم کردن مقاومت اتصال به زمین ممکن است لازم باشد اقدام به آماده سازی و یا حتی تعویض خاک شود. آماده سازی خاک با استفاده از مواد شیمیایی انجام می شود. در این صورت لازم است ترتیبی اتخاذ شود که در نتیجه کم شدن و شسته شدن املاح در طول زمان، آماده سازی پیوسته در حال تجدید و یا تکمیل باشد. تا از کارآیی اتصال زمین کاسته نشود. از طرف دیگر در انتخاب روش آماده سازی برای هر موقعیت، لازم است محیط زیست و اثری را که مواد شیمیایی در آن باقی خواهند گذارد، به حساب آورد.

برای ایجاد یک اتصال زمین با عمری طولانی، شاید لازم باشد زمینی را که بلا فاصله در اطراف الکترود قرار دارد با خاک یا ماده ای که مقاومت ویژه آن کم است، تعویض نمود. بهترین نمونه های این نوع آماده سازی عبارتند از:

- بتونیت

- بتن

- بتن خاص با سیمان هادی که در آن از گرانولهای کربن یا خاکه ذغال به جای ماسه استفاده می شود. این نوع آماده سازی مخصوصاً در زمینهای سنگی و زمینهایی که لایه سنگی در نزدیکی سطح آن قرار دارد بسیار موثر می باشد.

- روش سنتی، با استفاده از مخلوطی از نمک و ذغال استفاده از خاکستر کک به علت خاصیت خوردگی شدید آن برای آماده سازی توصیه نمی شود.

### ۳-۴- اثر شکل الکترود بر مقاومت اتصال زمین

نظر به اینکه بیشترین افت ولتاژ در یک سیستم الکترود زمین، در حجم خاکی اتفاق می افتد که در فاصله حدود یک متری از سطح الکترود قرار دارد (تراکم جریان در این ناحیه بیشترین مقدار را دارد)، لذا برای بدست آوردن حداقل مقاومت نسبت به زمین، لازم خواهد بود تراکم جریان در حجم ناحیه ای که در مجاورت الکترود قرار دارد، تا حدی که ممکن است کم باشد و سیستم به نحوی طرح شود که تراکم جریان با دور شدن از الکترود، به سرعت کم شود. برای رسیدن به این هدف لازم خواهد بود یکی از ابعاد حجم الکترود نسبت به دو بعد دیگر آن بزرگترین مقدار را داشته باشد. مثلاً استفاده از یک میله یا سیم یا تسمه نسبت به یک صفحه با همان سطوح جانبی، ارجحیت دارد.

توجه شود که مقاومت یک الکترود با عکس مساحت جانبی آن نسبت مستقیم ندارد. بررسی خصوصیات الکترودهای متداول و مقاومت آنها الکترودهای اتصال به زمین را می توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

- الکترودهای مصنوعی

- الکترودهای موجود یا طبیعی

### الکترودهای مصنوعی - ۴-۳-۱

الکترودهای مصنوعی آنهایی هستند که فقط با هدف ایجاد اتصال به زمین برای تاسیسات الکتریکی نصب می شوند. الکترودهای مصنوعی را، از نظر نحوه استقرار آنها در زمین، می توان به سه گروه تقسیم نمود:

- الکترودهای صفحه ای- الکترودهای قائم

- الکترودهای افقی

### الکترودهای موجود - ۴-۳-۲

الکترودهای موجود آنهایی هستند که با هدف دیگر در زمین نصب شده اند و ممکن است در صورت وجود شرایط لازم برای ایجاد اتصال به زمین از آنها به عنوان الکترود استفاده کرد.

الکترودهای موجود شناخته شده به قرار زیر می باشند:

- غلافهای هادی کابلها

- اجزای فلزی سازه ها- سپرهای فلزی و میلگردهای شمعهای بتی

- لوله کشی آب- لوله کشی های فلزی دیگر

- هر گونه تاسیسات زیرزمینی فلزی که در تماس با زمین بوده و مانع برای استفاده از آن به عنوان

الکترود زمین وجود نداشته باشد.

### الکترودهای صفحه ای کم عمق - ۴-۳-۳

در مناطقی از دنیا که بطور کلی جوی نمناک دارند، استفاده از الکترودهای صفحه ای عمیق مرسوم نیست زیرا علت اصلی دفن صفحه الکترود در عمق بیشتر دستیابی به نم بیشتر و مقاومت ویژه کمتر زمین است. در این گونه مناطق، الکترودها معمولاً از مس با ضخامت حداقل ۲ میلیمتر یا آهن گالوانیزه

گری با ضخامت حداقل ۳ میلیمتر است. در انگلستان جنس صفحه مورد استفاده برای این الکترودها معمولاً چدن موجدار یا دنده دار است به ضخامت حداقل ۱۲ میلیمتر و به ابعاد  $۲,۱ \times ۲,۱$  متر. اتصال هادی زمین به صفحه زمین باید دست کم در دو نقطه مجزا انجام و برای هادی زمین و صفحه الکترود از دو جنس مختلف، محل اتصالها با ماده ای قیر مانند اندود شود تا این نقاط از عوارض الکترولیتی در امان بماند. در مواردی که امکان خوردگی سریع هادی زمین وجود داشته یا هادی زمین با مقطع کم انتخاب شده باشد، توصیه می شود هادی زمین از نوع عایقدرا باشد تا از خوردگی سریع آن در اثر عوارض الکترولیتی پیشگیری شود. البته در این صورت سهم هادی لخت در کم کردن مقاومت زمین از دست خواهد رفت. اگر یک الکترود صفحه ای مقاومت لازم را ارائه نداد، میتوان از چند صفحه به صورت موازی استفاده کرد. برای رسیدن به حداقل مقاومت با صفحات موازی ، قاعدهاً لازم است حداقل فاصله الکترودها نسبت به هم ۱۰ متر ، ولی با توجه به عمق کم دفن، حداقل فاصله موثر آنها را می توان حتی تا ۲ متر تقلیل داد. در این صورت مقاومت مجموعه دو صفحه نسبت به مقدار بدست آمده از محاسبه(با استفاده از رابطه بالا)، بیش از حدود ۲۰٪ تفاوت نخواهد داشت. توصیه بعضی مقامات دیگر برای حفظ مقاومت الکترودها در حد معقول این است که هنگام نصب چند الکترود صفحه ای به صورت موازی ، فاصله ای به مقدار سه برابر بزرگترین بعد صفحه ، بین آنها برقرار شود. در مورد بعضی از لایه های خاک با مقاومت ویژه زیاد ، آماده سازی محل دفن الکترود بجا خواهد بود.

#### ۴-۳-۴- الکترودهای صفحه ای عمیق

در بالا گفته شد که علت دفن الکترود در عمق زیاد(بیش از حدود ۳ متر)، رسیدن به لایه های نمناک زمین با مقاومت ویژه کمتر است. بدیهی است که دفن صفحه در عمق زیاد علاوه بر تحمیل مخارج اضافی اولیه، این اشکال را در بر دارد که برای کم کردن مقاومت از راه دفن بیش از یک صفحه، لازم خواهد بود فاصله این صفحات نسبت به هم خیلی بیشتر از ۲ متر و یا سه برابر بزرگترین بعد صفحه - که در بالا برای صفحات کم عمق گفته شده است- باشد. از طرف دیگر قسمت قائم الکترود باید به

حساب آورده شود که در کم کردن مقاومت آن نقش عمده دارد و در واقع عکس مقاومت کل تقریباً برابر مجموع عکس دو مقاومت صفحه ای و قائم (سیم اتصال) خواهد بود. با بالا رفتن دستمزدها در سالهای اخیر، مخارج نصب الکترودهای عمیق صفحه ای زیاد شده است و شاید موقع آن فرا رسیده باشد که تجدید نظر عمده ای در انتخاب نوع الکترود متداول به عمل آید. بدیهی است که در این امر پیش قدیمی عوامل وزارت نیرو مطلوب خواهد بود.

#### الکترودهای قائم -۴-۳-۵

الکترودهای قائم از متداول ترین نوع الکترود می باشند مخصوصاً در مواردی که فضای افقی کافی در دسترسی نباشد یا برای کم کردن مقاومت زمین، الکترودهای قائم و افقی با هم بکار روند.

#### -۴-۴- ساختمان و جنس الکترودهای قائم

جنس الکترودهای قائم با توجه به نحوه نصب آنها و امکانات دیگر به قرار زیر است:

##### -۱-۴- ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش کوبیدن نصب می شوند:

- الکترودهای میله ای از مس سخت

- الکترودهای میله ای با هسته فولاد و روکش مس عجین شده با هسته فولادی (مشابه

(Copperweld

- الکترودهای میله ای از فولاد ضد زنگ

- الکترودهای میله ای از فولاد گالوانیزه گر(لوله آب)

- الکترودهای لوله ای از چدن

قطر الکترودهای کوبیده شده حدود ۱۵، ۱۲، ۹، ۵ میلیمتر اس. کاپرولد مانوس که متداولترین الکترود از این نوع است، دارای منشاء اینچی می باشد و لذا اندازه های آن به میلیمتر ، قدری مانوس به

نظر می آید. طول الکترودهای استاندارد ممکن است ۲،۱ تا ۵،۱ متر باشد. اغلب الکترودها از نوع قابل امتداد میباشند. به این معنا که با استفاده از وسیله ای شبیه بوشن ، قطعات استاندارد را می توان طولانی تر کرده و در زمین کوبید. با توجه به قابلیت امتداد آنها، الکترودها را می توان تا عمق دلخواه کوبید. البته به شرطی که نوع زمین مناسب بوده و وسیله کوبیدن لازم برای اجرای کار در دست باشد. در بعضی موارد الکترودها تا عمق ۶۰ مترهم کوبیده شده اند. کوبیدن الکترودها در زمین را می توان به دو نوع انجام داد:

- ۱- وارد آوردن ضربه های شدید به تعداد کم که در عمل به صورت زیر انجام می شود:
- ۲- کوبیدن با پتک معمولی

- کوبیدن با پتک لوله ای

- ۳- وارد آوردن ضربه های خفیف به تعداد زیاد که در عمل به صورت زیر انجام می شود:

- کوبیدن با پتک برقی یا بنزینی

پتک معمولی احتیاج به معرفی ندارد. کوبیدن با پتک معمولی خسته کننده تر و ناراحت کننده تر از همه انواع دیگر است. پتک لوله ای در واقع لوله ای است که طول آن متناسب با طول قسمتی از الکترود که خارج از زمین است تنظیم می گردد. در انتهای بالایی یا در وسط لوله وزنه ای نصب می شود که همراه با وزن لوله، وزنه پتک را تشکیل می دهد. کارگری لوله را که به طور کاملاً آزاد روی الکترود می لغزد، بلند کرده و سپس آن را رها میکند جرم لوله و وزنه در هنگام سقوط آنها، روی میله الکترود ضربه وارد کرده و آن را در زمین فرو می برد.

پتک برقی یا بنزینی وسیله ای است که در آن یک وزنه کوچک خارج از مرکز ، با سرعت دوران می یابد. توان چرخش بوسیله موتور برقی یا بنزینی تامین می شود نیروی جنبشی جرم دورانی خارج از مرکز ، ضربه های کوچکی را به تعداد زیاد به میله وارد می کند که آن را در زمین فرو می برد.

-۴-۴- ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش دفن نصب می شوند:

- الکترودهای لوله ای از فولاد گالوانیزه گرم(لوله آب)

- الکترودهای لوله ای از مس سخت (لوله مسی)

- الکترودهای لوله ای از چدن

در مواردی که وسایل مناسب برای کوبیدن الکترود در دست نباشد یا جنس الکترود با توجه به سختی زمین انجام این کار را غیرممکن یا مشکل سازد و یا لازم باشد برای کم کردن مقاومت الکترود در اطراف آن اقدام به آماده سازی زمین شود، از الکترودهای دفن شده به صورت قائم استفاده می شود. جز در موارد الکترودهای صفحه ای سنتی، در سایر موارد عمق دفن این الکترودها معمولاً از ۳ متر بیشتر نیست.

حفر چاه برای دفن الکترود یا با روش سنتی \_مقنی) و یا با روش استفاده از متنه حفر زمین در عمقهای کم که بر روی وانت یا کامیون نصب است انجام می شود. در این روش نصب، با توجه به حجمی که خواه ناخواه در اطراف الکترود خالی می ماند بهتر است که نوعی آماده سازی به عمل آید مگر آنکه نوع خاک به قدری خوب باشد که احتیاج به این کار نباشد.

-۴-۵- نحوه آماده سازی خاک اطراف الکترودها

-۴-۵-۱- آماده سازی الکترودها با روش سنتی

روشی که در ایران برای عمل آوردن خاک بکار می رود، استفاده از مخلوط نمک، ذغال چوب یا کک و خاک رس است. نمک سنگ شکسته با دانه بندی حدود ۱۲ میلیمتر با نسبت وزنی زیر بکار می رود:

نمک - ذغال - خاک رس

مخلوطی که به این ترتیب تهیه می شود دور الکترود ریخته شده و متراکم می گردد. در مورد الکترودهای صفحه ای، سطح بالایی مخلوط تا حدود ۲، متر بالاتر از لبه صفحه و به همین مقدار پایینتر از لبه زیرین صفحه ادامه می یابد. روش دیگری که از آن استفاده می شود ریختن و متراکم کردن لایه های نمک و ذغال به تناوب و به ضخامت هر لایه حدود ۰، متر است. در بعضی موارد برای الکترودهای صفحه ای پس از ریختن مخلوط نمک، ذغال، خاک رس، تا ارتفاعی که بوسیله مهندس مجری در محل انتخاب می شود، لایه های نمک و ذغال به ترتیبی که گفته شد پر و متراکم می شود. نباید فراموش کرد که در اثر مرور زمان و حل شدن نمک، از حجم مواپراکنده کم شده و در صورتی که این حجم از دست رفته با خاک جایگزین نشود و به صورت خلل و فرج خالی باقی بمانند، مقاومت الکترود بیش از حد زیاد خواهد شد. لذا استفاده از نمک به مقداری بیش از حد معقول، حتی اگر به محدودیتهای زیست محیطی توجه هم نشود، صحیح نخواهد بود.

لازم است توجه شود که یک الکترود زمین، مخصوصاً اگر نصب آن با آماده سازی همراه باشد، دایمی نبوده و بایستی در دوره های معین که بستگی به شرایط محلی دارد، ترمیم شود. در نواحی با هوای خشک، آماده سازی با طریقی که گفته شد احتیاج به آبیاری خواهد داشت که از عمر مفید الکترود خواهد کاست.

#### آماده سازی الکترودها با بتونیت -۴-۵-۶

به گواهی بسیاری، بتونیت بهترین ماده برای آماده سازی خاک است. با توجه به وجود منابع غنی بتونیت داخلی، آماده سازی خاک اطراف الکترود با این ماده در آینده ممکن است باز هم بیشتر شود. نظر به اینکه ماده میکروسکوپیک (جادب رطوبت) می باشد، رطوبت اطراف را به خود جذب خواهد کرد. ولی در نواحی بسیار خشک احتیاج به آبیاری متناوب خواهد داشت.

#### آماده سازی الکترودها با استفاده از بتن -۳-۵-۴

در صورت وجود شرایط، بهترین و ساده ترین روش برای آماده سازی خاک اطراف الکترود پس از حفر چاه و قرار دادن الکترود در وسط آن، ریختن و پر کردن بتن در اطراف آن است. بدیهی است که حجم و قیمت بتن بکار رفته در این روش مهمترین عامل می باشد.

#### ساختمان و جنس الکترودهای افقی و عمق دفن آنها (الکترودهای دفن -۶-۴)

شده در کanal)

#### ساختمان و جنس الکترود -۱-۶-۴

- الکترودهای تسمه ای از مس

- الکترودهای تسمه ای از آهن گالوانیزه گرم

- الکترودهای سیم مسی

حداقل سطح مقطع تسمه مسی نباید از ۵۰ میلیمتر مربع و ضخامت آن هم از ۲ میلیمتر کمتر باشد.

بنابراین حداقل تسمه ای که می تواند مورد استفاده قرار گیرد  $25 \times 2$  میلیمتر است.

حداقل سطح مقطع تسمه فولادی گالوانیزه گرم نباید از ۱۰۰ میلیمتر مربع و ضخامت آن هم از ۳

میلیمتر کمتر باشد. بنابراین حداقل ابعاد تسمه استانداردی که برای این منظور مورد استفاده قرار می

گیرد  $30 \times 3.5$  میلیمتر است که سطح مقطعی برابر ۱۰۵ میلیمتر مربع را تامین می کند.

#### ۴-۶-۲- عمق دفن الکترود و آماده سازی آن

عمق دفن الکترود بر مقاومت آن بی تاثیر نیست ولی این تاثیر بسیار بارز نمی باشد. بنابراین در تعیین عمق دفن الکترود، مسایل مربوط به خاکبرداری در درجه اول قرار دارند. در عمل کمتر اتفاق می افتد که عمق دفن الکترود افقی از ۲ متر بیشتر باشد و اغلب این مقدار بین ۰،۸ تا ۰،۵ متر انتخاب می شود. هنگامی که لازم باشد سطحی هم پتانسیل در اطراف الکترود برقرار شود، عمق دفن الکترود باید کم باشد ولی نه به حدی که در اثر فعالیتهای عادی بر روی زمین، به آن سبب وارد شود. در این موارد عمق دفن معمولاً ۰،۵ متر انتخاب می شود. از دیدگاه نظری، آماده سازی الکترودهای افقی فرقی با نوع قائم آنها ندارد، اما حفظ آماده سازی این الکترودها مخصوصاً هنگامی که در مسیر رفت و آمد عموم باشند مشکل است و در صورت لزوم در این مورد باید تنها به استفاده از خاک رس به جای خاک حفاری شده اکتفا نمود.

#### ۴-۷- واکنش فلز الکترود و هادی اتصال به زمین با انواع خاک(خوردگی

##### (شیمیابی)

جنس الکترود و هادی اتصال به زمین آن باید از نوعی انتخاب شود که تا حد امکان نوع خاک کمتر سبب خوردگی الکترودها شود. بررسی این موضوع از نظر طول عمر الکترودها اهمیت دارد. می دانیم که جنس الکترود بر مقدار مقاومت آن نسبت به زمین بی تاثیر است. از طرفی مقررات ایمنی حکم می کند که برای از بین بردن اختلاف پتانسیل بین اجزای فلزی مختلف، کلیه تاسیسات فلزی با یکدیگر و با الکترود زمین همبندی شوند. حال اگر خاک، املاح و نم موجود در آن را در نظر بگیریم، درواقع با نوعی الکترولیت سر و کار داریم که فلزات مختلفی در آن فرو رفته اند که با همدیگر همبندی شده اند و این چیزی نیست جز یک پیل عظیم که الکترودهای آن به همدیگر اتصال کوتاه (همبندی) شده اند.

پس، بطور خلاصه، الکترود یا الکترودهای در تماس با زمین را باید از دو جنبه مورد مطالعه قرار داد که هر دوی این جنبه ها، جز در مورد طرحهای مخصوص، نادیده گرفته می شوند: ۱- از نظر اثر مواد شیمیابی و

دیگر عوامل موجود در خاک بر روی فلز الکترود و هادی اتصال زمین از نظر خوردگی دراثر جریانهای گالوانیک که در نتیجه همبندی الکترود زمین با فلزات دیگر که با سیستم الکتریکی مربوط نبوده ولی در نزدیکی محل استقرار الکترود مستقر می باشند بوجود می آیند این در واقع همان مسئله‌ای است که مربوط به حفاظت کاتدی می شود.

تأثیر نوع خاک در خوردگی الکترود عوامل زیر در خوردگی الکترود بوسیله خاک دخالت دارند:

خواص شیمیایی خاک، مخصوصاً از نظر اسیدی بودن و محتوای نمکهای آن وجود باکتریهای غیر هوایی در خاکها خوش نسبی خاک (differential aeration) درجه بندی کلی انواع خاکها، از نظر شدت اثر آنها بر روی فلزات، بترتیب زیر می باشد:

- خاکهای شنی

- خاکهای ماسه‌ای

- خاکهای رسوی

- خاکهای رسی

- خاکهای برگ و خاکهای دارای مواد آلی

- خاکهای دستی مخلوط، محتوی خاکه ذغال و خاکستر

معمولأً شدت اثر شیمیایی خاکهایی که دارای مقاومت مخصوص الکتریکی بالاترند بر روی فلزات الکترود کمتر است و بر عکس

محل استقرار الکترودها باید به نحوی انتخاب شود که بدور از مسیر احتمالی آبرفت‌های آلوده به کودهای زمینهای کشاورزی باشد و خاکهای لایه رویی زمین را نباید در پس ریزی (bckfill) اطراف الکترودها مورد استفاده قرار داد. با اندازه گیری مقاومت مخصوص الکتریک خاک در شرایط هوا خورده و

اندازه گیری پتانسیل اکسایشی - کاهشی (rrodox potential) آن، می توان اطلاعات دقیقتری را بدست آورد. اولی نشانگر خوردگی در اثر هوای خودگی در اثر وجود باکتریهای غیرهوایی است. برای شرح آزمون ها و نحوه انجام آنها لازم است به استانداردهای اختصاصی، مانند BS1377، مراجعه شود.

در عمل، مس بهترین ماده ای است که در ساخت الکترود و هادی زمین در تماس با خاک از آن استفاده می شود. در مواردی که جریان اتصال کوتاه مورد انتظار، خیلی بالا نباشد، بجای مس خالص می توان از فولاد پوشیده شده با غلاف مس، مانند میله های کاپرولد، که مقاومت مکانیکی آنها نیز بیشتر است، در مقاطع کوچکتر استفاده کرد. در هر حال، اثر منفی نمکهای حل شده در زمین، وجود اسیدهای آلی در خاک و خاکهایی با ساختار اسیدی، باید در تخمین عمر الکترود منظور شوند. از فولاد یا میلگردهای بتن مسلح که در برابر خوردگی خاک بوسیله بتن حفاظت می شوند، به شرطی که مداومت الکتریکی آنها برقرار باشد، می توان بعنوان نوعی الکترود زمین استفاده کرد. تا حال این روش ایجاد اتصال به زمین کمتر مورد توجه بوده است.

مزیت استفاده از فولاد داخل بتن بعنوان الکترود زمین، علاوه بر مسایل بارزی مانند مخارج اضافی ناچیز برای آماده نمودن اتصالات میلگردها به سیستم الکتریکی، این است که پتانسیل الکتریکی سیستم فولاد/بتن و مس برابر بوده و لذا امکان وصل مستقیم سیستم الکترودهای فولاد/بتن و مس یا جنس دیگری که دارای پوشش مس باشد (مانند فولاد پوشیده شده با مس) وجود دارد. در صورتی که انجام این کار، همبندی فولاد گالوانیزه با فولاد/بتن یا مس به علت الکترود نگاتیو بودن شدید فولاد گالوانیزه، امکان ندارد. خوردگی الکترودها در اثر همبندی با فلزات دیگر (خوردگی الکتروشیمیایی با کاتدی)

همبندی اجزای فلزی مختلف مدفون در خاک یا برای دستیابی به مقاومتی کوچکتر برای یک سیستم الکترود زمین انجام می شود یا اینکه هدف از آن حصول ایمنی از راه همولتاژ کردن اجزای ساختمانی مختلف است. اگر این اجزای فلزی از موادی متفاوت ساخته شده باشند، مانند آن است که دو سر یک پیل

بهم وصل شوند. دو یا چند فلز مختلف دفن شده در زمین (دو به دو) الکترودهای پیل و خاک هم همراه با مواد داخل آن، الکتروولیت پیل خواهد بود.

شماره فلزات دفن شده در زمین که با هم دیگر همبندی می‌شوند ممکن است بسیار زیاد باشد، در زیر بعضی از آنها نام برده می‌شوند:

- زره کابلها

- فولا / بتن پی ها

- لوله‌های سرویس مانند آب، گاز، فاضلاب و نظایر آن

- تسممه، ورق و سیمه‌های مسی - تسممه‌ها و میله‌های فولادی

- تسممه‌ها و میله‌های فولادی ضد رنگ - تسممه‌ها و میله‌های فولادی با پوشش مسی

- تسممه‌ها و میله‌های فولاد گالوانیزه - تسممه‌ها و سیمه‌های مسی قلع اندود

- هرگونه اجسام فلزی دیگر

سرعت تحلیل الکترودها در درجه اول به جنس الکترودها و تا حدودی به سطح نسبی آنها بستگی دارد. نظر به اینکه فلزات یگانه (نامربوط به سیستم الکتریکی) که در محدوده الکتروود زمین و فلزات همبندی شده با آن موجودند، در خوردگی خود آنها و فلزات الکترودها بی تاثیر نمی‌باشند. انتخاب جنس الکترودها باید با مطالعه انجام شود تا سازگاری آنها نسبت به هم مراعات شود یا روش‌های دیگری برای رفع خوردگی بکار گرفته شوند.

#### ۴-۸- پیش بینی مقاومت کل یک سیستم اتصال زمین بتن / فولاد

معیار اصلی کارآیی یک سیستم اتصال زمین، پس از آماده شدن آن برای بهره برداری، به کمک اندازه گیری، بدست می آید ولی قبل از آن و در مراحل مختلف پیشرفت کار، برای پیش بینی مقاومت یک سیستم کامل، لازم است اندازه گیریهای متعدد انجام شود. در شروع کار و در طول عمر تاسیسات نیز به تناب با اندازه گیری های دوره ای، بهره برداران باید نسبت به کارآیی سیستم مطمئن شوند. یادآوری می نماید که قسمت عمدۀ مقاومت زمین، بعلت وجود بتنی است که بلا فاصله در اطراف فلزات (میلگرد) پی قرار دارد و بستگی شدیدی به رطوبتی دارد که در بتن موجود می باشد (بتن جاذب رطوبت است). در طول زمان، رطوبت بتن به حالت تعادل در می آید و با توجه به فصل به مقدار آن افزوده می شود که تمام این عوامل باید در محاسبات و پیش بینی های مربوط به حساب آورده شوند. در مورد پی هایی که مشابه هم هستند اندازه گیری یک یا چند پی انفرادی قبل از اینکه به هم دیگر وصل شوند نشانگر ارزنده ای برای پیش بینی تغییرات مقاومت در هر یک از آنها و در نتیجه برآورد کل مقاومت خواهد بود.

#### ۴-۸-۱- انتخاب و نصب هادی زمین

هادی زمین آن قسمت از سیستم زمین است که الکترود زمین را به ترمینال اصلی زمین وصل می کند. محل اتصال هادی زمین به الکترود ، معمولاً درزیز زمین و محل ترمینال اصلی، بیشتر در داخل ساختمان و در دسترس قرار دارد .

از آلومینیوم لخت یا آلومینیوم دارای پوشش مس نباید در تماس با زمین چه بعنوان الکترود و چه بعنوان هادی زمین استفاده کرد . در محیط های مرطوب نیز نباید از این مواد بعنوان هادی زمین استفاده نمود.

در انتخاب نوع و سطح مقطع هادی زمین، توجه به توانایی عبور حداکثر شدت‌های جریان اتصال کوتاه به زمین در طول زمانهایی که پیش بینی می شوند. در درجه اول اهمیت قرار دارد و همراه با آن باید

تکیه گاههایی با استقامت مناسب برای مقاومت در برابر بزرگترین جریانها احتمالی اتصالی به زمین و نشتی، انتخاب شوند. بطور خلاصه سیستم هادی زمین باید از هر دو نظر مکانیکی و خوردگی، دارای استقامت لازم باشد.

#### -۲-۸-۴ دمای بالا در اثر جریانهای نشتی

برای مواردی که جریان نشتی به طور دائمی وجود دارد، لازم است اطمینان حاصل شود که از نظر دمای مجاز عایق‌بندی و یا تکیه گاهها، شرایط قابل قبول وجود دارند و برای هادیهای لخت که در دسترس می‌باشند، دما از ۷۰ درجه سلسیوس تجاوز نخواهد کرد.

لازم است توجه شود که هنگام انتخاب هادی برای عبور جریان اتصال کوتاه، دمای اولیه هادی که ممکن است در اثر جریانهای نشتی بیش از مقادیر معمولی باشد، بحساب آورده شود.

#### -۳-۸-۴ استحکام هادی اتصال زمین

علاوه بر نیروهای مکانیکی که ممکن است پارگی هادی اتصال زمین شوند، خوردگی شیمیایی (اثر مواد شیمیایی خاک بر روی فلز هادی اتصال زمین) و خوردگی الکتروشیمیایی (تشکیل پیل بوسیله فلزات ناهمگون در زمین)، خطراتی است که هادی اتصال زمین با آنها روبرو می‌باشد. در مورد خوردگی الکتروشیمیایی، دو فلزی که بیش از همه بهم اتصال داده می‌شوند، مس و فولاد است. مس ساده (بدون هر گونه روپوش دیگر مانند قلع و غیره) نسبت به فولاد ساده (بدون هر گونه پوشش مانند گالوانیزاسیون) تشکیل قطب مثبت می‌دهد که سبب خوردگی سریع خواهد شد.

اتصالات و بستهها - ۴-۸-۴

بستهای بکار رفته برای اتصال الکترود به هادی زمین باید با هر دوی آنها سازگار باشد تا از خوردگی گالوانیک، تا جایی که ممکن است، جلوگیری شود. بستهای باید از نظر مکانیکی محکم باشند و جنس آنها از نوع مقاوم در برابر خوردگی باشد. در مورد بستهای پیچی، پیچها باید در برابر گشتاوری حداقل به مقدار ۲۰ نیوتن متر، استقامت کنند.

اتصال هادی زمین به الکترود یا هر سازه زمین شده دیگر که از آن برای زمین کردن استفاده می شود بهتر است به کمک لحیم کاری یا با استفاده از بستهای بزرگ غیرآهنی انجام شود. در مواردی که از غلاف فلزی و زره فلزی کابل استفاده شود، غلاف و زره باید با لحیم کاری به یکدیگر همبندی شده و اتصال اصلی هادی حفاظتی به کابل با لحیم کاری به زره انجام شود.

پیش بینی نقطه ای برای جداسازی با هدف اندازه گیری مقاومت الکترود زمین - ۵-۸-۴

قبل از ورود هادی اتصال زمین به ساختمان یا هر سازه دیگر، باید نقطه ای پیش بینی شود تا در آن بتوان بصورت موقت هادی زمین را از سایر تاسیسات جدا کرده و اقدام به اندازه گیری مقاومت الکترود زمین نمود. انجام این کار بصورت دوره ای برای اطمینان از کارآیی الکترود لازم است. راه عمل این کار، پیش بینی چاهکی قابل دسترس است.

با برداشتن دریچه چاهک، جداسازی با باز کردن یک بست ساده و محکم با ابزاری مخصوص، عملی می شود. دریچه باید به نحوی مطمئن قفل شود تا از دسترس افراد غیر مسئول در امان باشد. در صورت عملی نبودن، محل جداسازی باید در داخل و نزدیکی محیط ساختمان باشد تا با ایجاد مزاحمت و بخصوص طول زیاد سیمهای اخلاقی در اندازه گیری پیش نیاورد.

#### ۴-۸-۶- اندازه گیری مقاومت الکترود زمین و مقاومت مخصوص خاک

روشهایی که برای اندازه گیری مقاومت الکترود زمین و مقاومت ویژه خاک ارائه شده اند، در سراسر دنیا اساس این گونه اندازه گیریها است. انواع دستگاههای مخصوص این کار نیز ساخته شده اند که اساس کار آنها کمایش همان است که در اینجا گفته خواهد شد، گرچه انواع لوازم اندازه گیری تفاوت‌هایی با هم دارند اما هدف ما بحث در باره اصول است.

لازم است توجه شود که نقش جرم کلی زمین در این مورد نیز منحصر به فرد است. از دو نوع اندازه گیری گفته شده در اینجا، اندازه گیری مقاومت ویژه خاک قبل از شروع احداث الکترود با هدف تصمیم گیری در باره مشخصات آن انجام می‌شود و اندازه گیری مقاومت الکترود که پس از پایان احداث الکترود انجام می‌شود بسیا مهم بوده و اگر بدون ایراد و اشتباه انجام شود، همان چیزی است که اینمی افراد، سلامت دستگاهها و صحت کار آنها بستگی به مقدار آن خواهد داشت. در واقع اندازه گیری مقاومت زمین، امتحانی است که بعد از مدت‌ها فکر و اندازه گیری‌های اولیه و تصمیم گیری‌های مبتنی بر داده‌های محلی و تجربه شخصی و تجربه دیگران، پس داده می‌شود.

## آماده سازی - ۹-۴

T الکترودی است که اندازه گیری مقاومت آن مورد نظر است. برای انجام کار به این لوازم احتیاج

خواهد بود:

۱- دو عدد الکترود کمکی ، مناسب برای کوبیدن در انواع زمین، از لوله فولادی یا میله فولادی:

- هر یک به طول ۳۰، ۰ تا ۱ متر

- یک عدد الکترود بنام الکترود کمکی جریان

## T1- الکترود

- یک عدد الکترود کمکی بنام الکترود کمکی ولتاژ

## T1- الکترود

۲- یک عدد آمپر متر با مقیاس اندازه گیری مناسب

۳- یک عدد مقاومت متغیر (رئوستا) با اوتو ترانسفورماتور با توان مناسب برای تنظیم شدت جریان در

حد مطلوب

۴- یک عدد ولتمتر دقیق برای ۲۲۰ ولت متناوب ، با مقاومت داخلی ۱۰۰ اهم بر ولت یا حداقل ۲۰

کیلو اهم برای ۲۲۰ ولت ( برای دقت ۵ درصد اگر مقاومت الکترود ولتاژ ۱۰۰۰ اهم باشد)

۵- یک عدد منبع ولتاژ متناوب با توان مناسب که می تواند یکی زا موارد زیرباشد:

- ژنراتور دستی ولتاژ متناوب (مشابه Megger)

- ترانسفورماتور جداکننده ( در صورت استفاده از شبکه بعنوان منبع تغذیه معمولاً با نسبت ۱/۱ )

- ژنراتور استاتیک ولتاژ متناوب ( معمولاً موج مربع) با استفاده از باتری به عنوان منبع اولیه انرژی

۶- مقداری سیم مسی با مقطع کافی (۲,۵ یا ۴ میلیمتر مربع) از نوع قابل انعطاف با عایق‌بندی خوب و مجهز به ترمینال‌های پیچی با کتاکته‌ای قابل اطمینان.

#### ۴- یادآوری

دیده می شود که از دو نوع منبع ولتاژ که آشناترند یعنی ولتاژ شبکه فشار ضعیف (بدون استفاده از ترانسفور ماتور جداگانده) و ولتاژ جریان مستقیم (باتری معمولی) جزو منابع مطلوب اسمی برده نشده است. زیرا هر یک دارای اشکالاتی هستند که بهتر است از آنها استفاده نشود:- ولتاژ شبکه : نظر به اینکه یک نقطه از شبکه (خنثا) در منبع (پست-زنراتور) به زمین وصل است تامین اینمی در اطراف الکترودی که هنگام اندازه گیری به فاز وصل خواهد شد(برای مثال الکترود T1 مخصوصاً اگر از نظرها دور باشد. بعلت وجود گرادیان ولتاژ ، مشکل خواهد بود). بنابراین بدون ترانسفورماتور جداگانده استفاده از ولتاژ شبکه توصیه نمی شود. اگر در بعضی موارد به ناچار از این روش یعنی مستقیماً از ولتاژ شبکه به عنوان منبع استفاده شود. اندازه گیریها باید با گماردن ناظران متعدد در محلهای محفوظ در اطراف الکترود فاز (برای جلوگیری از ورود افراد ناوارد به محوطه گرادیان ولتاژ ) و در کوتاه ترین زمان ممکن انجام شوند. آمپر متر هم باید در هادی متصل به الکترود خنثا وصل شود.

ولتاژ جریان مستقیم: یادآوری می نماید که یکی از خواص زمین این است که با جذب رطوبت و با وجود انواع املاح در خاک تبدیل به الکترولیت می شود و در حالتی که از آن جریان مستقیم عبور کند مواد شیمیایی موجود در این الکترولیت یونیزه شده و یونهای مثبت بسمت قطب منفی و یونهای منفی بسمت قطب مثبت به حرکت در می آیند. یکی از محصولات مواد اسیدی و بازی تجزیه شونده، هیدروژن است که حبابهای بسیار ریز آن در اطراف الکترود جمع می شوند و لایه ای عایق ایجاد می کنند که مانع انجام صحیح اندازه گیری می شود. اگر در بعضی موارد به ناچار از این روش استفاده شود. اندازه گیریها باید در کوتاه ترین زمان ممکن و دروبار بترتیب زیر انجام شوند: پس از آماده کردن مقدمات، جریان برای

لحظه ای کوتاه برقرار و قرائت انجام شود. سپس قطبهای منبع تغذیه با یکدیگر تعویض و جریان دوباره برای مدتی کوتاه برقرار و یک قرائت دیگر در این حالت انجام شود. میانگین دو قرائت، بشرطی که خیلی نزدیک به هم باشند قابل قبول خواهد بود و در غیر این صورت یعنی وجود تفاوت زیاد، نتیجه آزمون قابل قبول نخواهد بود. اگر سطح الکتروودی که به آن دو وصل می شود خیلی بزرگتر از کاتد باشد، مسئله پلاریزاسیون تا حد بسیار زیادی حل شده و آزمون با دقت بیشتر انجام خواهد شد.



## منابع و مأخذ:

- ۱- کتاب تجهیزات نیروگاه نوشته مسعود سلطانی استاد دانشگاه تهران جلد ۲ چاپ موسسه نشر و چاپ تکنوبوک سال ۱۳۶۲
- ۲- کتاب هند بوک تاسیسات برق نوشته Gunter G.Seip ترجمه مهندس مسعود سعیدی جلد ۱ چاپ موسسه نشر طراح شال ۱۳۸۳
- ۳- وبلاگ تخصصی مهندسی برق
- ۴- سایت [www.pezeshkian.ir](http://www.pezeshkian.ir)
- ۵- سایت [www.wikipower.ir](http://www.wikipower.ir)



برای خرید فایل **word** این پروژه اینجا کلیک کنید.

( ۱۱۲ ) = شماره پروژه

شماره جهت ارسال پیام : ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

۰۹۳۵۴۶۳۴۶۵۰