

به نام خدا

"آشنائی با سیستم های گراندینگ و اندازه گیری پارامترهای ایمنی شبکه های زمین"



جلیل خدایاری

تیر ماه ۱۳۸۶

گردآوری و ارائه :

شرکت پتونیا

تاریخ آخرین ویرایش:

صفحه	عنوان	صفحه	عنوان
۳۰	تقسیم بندی سیستم های DC از نظر سیستم زمین	۳	مقدمه
۳۱	محاسبه مقاومت الکترودهای زمین	۳	تعریف سیستم زمین
۳۶	اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی خاک	۳	اصطلاحات و تعاریف
۳۹	اندازه گیری مقاومت شبکه زمین	۴	تاثیر جریان الکتریکی بر بدن
۴۴	انواع خطاها در یک سیستم برق	۵	فلسفه و تاریخچه ارت
۵۲	حفاظت ثانویه	۸	انواع زمین کردن
۵۹	سیستم گراند تجهیزات حساس	۱۰	انواع زمین الکتریکی
۶۹	آشنائی با انواع سیستم های صاعقه گیر	۱۱	انواع زمین حفاظتی
۷۲	روش محاسبه سطح حفاظت صاعقه گیر	۱۹	تقسیم بندی سیستم های فشار ضعیف از نظر سیستم زمین
۷۷	محاسبه شبکه توری سیمی مدفون نیروگاهها	۳۰	طرح اصولی زمین کردن سیستم توزیع هوایی
	مراجع		

مقدمه :

هدف از گرد آوری این جزوه کمک به شرکت کنندگان در دوره جهت درک عمیق تر مفاهیم مربوط به سیستم های زمین و آشنائی با روشهای روز آمد و کار آمد این بخش از مهندسی برق است که گر چه در گذشته بی توجه با آن برخورد میشده ولی در وضعیت فعلی مملکت و حجم عظیم پروژه های صنعتی و پیشرفت فن آوری، جایگاه خود را پیدا کرده و مطمئناً در آینده هم بهتر از وضعیت فعلی خواهد بود.

در این جزوه سعی بر آن است تا با زبان ساده و تصاویر شماتیک، مفهوم برای خواننده جایفتد، اما به علت دامنه وسیع موضوع و تعدد مباحث در مواردی که نیاز به توضیحات بیشتر میباشد به مراجع ضمیمه که به صورت فایل الکترونیکی در اختیار شما قرار داده شده است مراجعه فرمائید.

تعریف سیستم زمین

سیستم زمین یا گراندینگ GROUNDING یا ارتینگ EARTHING عبارت است از اتصال الکتریکی (با سیم) تجهیزات که:

- با برق کار می کنند و بدنه فلزی دارند
 - با برق کار نمی کنند ولی بدنه فلزی و هادی دارند
 - حتی در بعضی موارد و در کاربردهای خاص با برق کار نمیکنند و بدنه فلزی هم ندارند و عایق هستند
- به درون زمین جهت :

۱- تامین حفاظت جانی انسانها

۲- عملکرد مناسب دستگاهها

۳- کنترل نویز

اصطلاحات و تعاریف:

بدنه هادی تجهیزات : بدنه یا اسکلت هادی مربوط به تجهیزات الکتریکی است که در دسترس بوده و می توان آن را لمس کرد. این قسمت از تجهیز در وضعیت عادی برقرار نیست ولی ممکن است در اثر بروز نقصی در دستگاه یا ایجاد اتصالی داخلی برقرار شود.

زمین شده : وصل شده به میله زمین (الکتروود) یا وصل به سیستم هادی های گسترده که به جای زمین عمل می کند.

الکتروود زمین (Earth electrode) سازه های فلزی مدفون در خاک که می توانند مسیر جریانهای سرگردان زمین را تسهیل یا گرادیان پتانسیل زمین ناشی از این جریانها را تغییر دهند الکتروود زمین می گویند.

این الکترودها می توانند شامل موارد ذیل باشند:

۱- لوله آب فلزی مدفون

۲- شبکه های فلزی ساختمان که بطور موثر در زمین قرار گرفته است

۳- میلگردهای داخل بتن

۴- شبکه های مسی موسوم به رینگ زمین

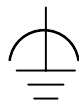
یکی از موثرترین الکترودهای زمین یک رینگ یا شبکه فلزی است که به اسکلت ساختمان در فواصل مناسب متصل گردیده است.

هم بندی (bonding): وصل الکتریکی هر ترکیبی از اجزای هادی، بدنه ها، قسمت های فلزی در دسترس، اجزای فلزی ساختمانها، انواع لوله کشی ها، پوشش هادی و غیره به یکدیگر به منظور از بین بردن اختلاف پتانسیل احتمالی بین آنها در حالت عادی یا در صورت بروز اتصالی.

نول (neutral): در سیستم تکفاز سیم برگشت جریان که پتانسیل آن نسبت به زمین صفر است و در سیستم سه فاز نقطه گره ستاره را نول می گویند، در این جزوه نول سیمی است که می تواند در بعضی حالات به زمین متصل شود.

زمین آرام (Clean earth یا Quiet ground) استاندارد **IEEE 100** زمین آرام را اینگونه تعریف می کند: شبکه زمین ویژه که از بخش های قراردادی سیستم زمین قدرت **Power system ground** ایزوله می باشد و نویز الکترومغناطیسی و ولتاژهای ناخواسته موجود در لحظات خطا یا عادی زمین روی آن اثر نمی کند و موجب اختلال در عملکرد مطلوب کامپیوتر نخواهد شد.

معیار دقیقی جهت تعیین مقاومت زمین آرام در دست نمی باشد و زمینی که ولتاژهای ناخواسته ناشی از جریانهای داخل زمین را به کامپیوتر منتقل نکند خواه یک الکتروود باشد خواه یک شبکه وسیع ایزوله، زمین آرام می باشد. زمین آرام را با این علامت نشان میدهند.



زمین نویزی (noisy ground) برخلاف زمین آرام، زمین نویزی یک شبکه زمین الکتریکی است که استعداد القاء یا تزریق ولتاژهای ناخواسته و مزاحم را به سیستم کامپیوتر دارد. علامت زمین معمولی و یا زمینی که استعداد جمع شدن نویز در آن زیاد است نیز به شکل زیر است



تداخل ناشی از میدان الکترو مغناطیسی (EMI) Electro Magnetic Interference به میدانهای

الکترومغناطیسی راه یافته در زمین بخاطر وقوع صاعقه، اتصال کوتاه در زمین های مجاور و نظائر آن که از سیگنالهای با فرکانس پایین شهری تا فرکانسهای رادیویی (RF) و سیگنالهای با سرعت بالای صاعقه را شامل می شود EMI گویند. برای اینکه سیستم ارت عملکرد رضایت بخشی داشته باشد باید مجموعه این سیستم مقاومت الکتریکی کمی نسبت به زمین داشته باشد و بتواند جریانهای زیاد را به راحتی از خود عبور دهد.

سه ویژگی مهم یک سیستم زمین عبارت است :

Low Electrical Impedance

۱- امپدانس الکتریکی بسیار پایین

High Mechanical Resistance

۲- مقاومت مکانیکی بسیار بالا

High Corrosion Resistance

۳- مقاومت بالا در برابر خوردگی

تاثیر جریان الکتریکی بر بدن

تاثیر جریان الکتریکی عبوری از بدن تابع فرکانس f ، میزان i و مدت زمان t عبور این جریان میباشد. تجربه نشان داده است که آدمیان در برابر جریان الکتریسیته بین ۵۰ و ۶۰ هرتز که فرکانس معمولی در صنعت برق است حتی با شدت ۰/۱ آمپر کاملاً نا توان بوده اند در حالیکه در برابر همان جریان با فرکانس بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز متوجه خطر عمده ای نشده اند. جریان های ۹ میلی آمپر در فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز آسیب جدی در شخص ایجاد نمیکند ولی چنانچه میزان آن از ۹ تا ۲۵ میلی آمپر افزایش یابد خطراتی مثل از کار افتادن ماهیچه های محل تماس مشهود بوده است جریان های بیشتر از ۲۵ میلی آمپر باعث از کار افتادن تنفس و یا منجر به مرگ خواهد شد.

جدول زیر میزان خطر ات و اثرات جریان برق بر بدن را برای جریانهای AC با فرکانس ۶۰ هرتز و DC نشان میدهد.



Table 4-1. Summary of the effects of shock

<u>Alternating Current (60 Hertz)</u> (milliamperes)	<u>Direct Current</u> (milliamperes)	<u>Effects</u> (milliamperes)
0.5-1	0-4	Perception حس و درک
1-3	4-15	Surprise (reactor current)
3-21	15-80	Reflex action (let-go current)
21-40	80-160	Muscular inhibition گرفتگی عضلات
40-100	160-300	Respiratory block قطع تنفس
Over 100	Over 300	Usually fatal مرگ

جریان بالای ۱۰۰ میلی آمپر با فرکانس ۶۰ هرتز که طبق جدول فوق موجب مرگ میشود در فرکانس های بالای ۳۰۰ هرتز صرفاً موجب تحریک اعصاب میشود. در جریانهای با فرکانس ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوهرتز نحوه اثر گذاری جریان روی بدن به جای شوک و خارش به صورت حرارت ظاهر میشود و اساساً حرارت و سوختگی تنها اثرات شوک ناشی از عبور جریان با فرکانس های بالای ۱۰۰ کیلو هرتز میباشد.

نکته قابل ذکر در میزان خطر آفرینی جریان الکتریسیته بر بدن، مدت زمان عبور این جریان میباشد. در این خصوص میتوان با استفاده از فرمول تجربی زیر رابطه شدت جریان انتقالی و زمان عبور آنرا محاسبه نمود. این فرمول توسط DAISLER بیان شده و در مورد ۹۹٫۵ درصد افراد با وزن ۵۰ کیلوگرم و زمان کمتر از ۳ ثانیه صادق بوده است:

$$(I_B)^2 * ts = 0.0135$$

در این رابطه ts زمان انتقال جریان از بدن و I_B شدت جریان عبوری از بدن میباشد. به عنوان مثال طبق فرمول فوق به ازای زمان ۰.۵ ثانیه شخص میتواند شدت جریان ۱۶۴ میلی آمپر را تحمل کند. با استخراج شدت جریان از فرمول بالا حداکثر جریان قابل انتقال از بدن فرد ۵۰ کیلوگرمی را میتوان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$I_B = 0.116 / \sqrt{ts}$$

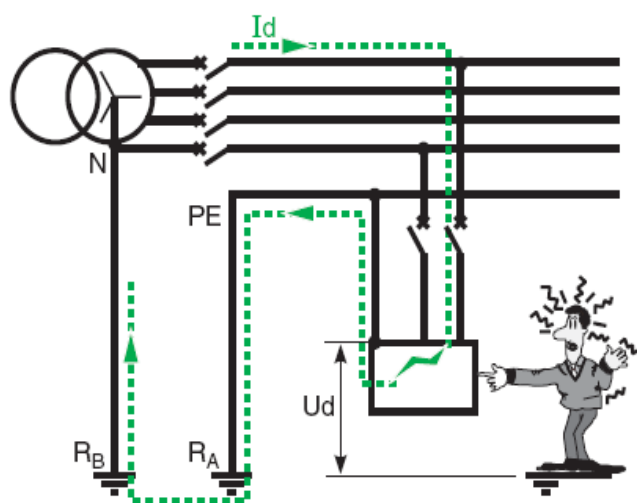
با توجه به اینکه افراد با وزنهاي مختلف در برابر جریان الکتریسیته از خود مقاومت های متفاوتی نشان داده اند در استانداردها از جمله استاندارد IEEE حداکثر جریان مجاز قابل عبور از بدن یک فرد ۷۰ کیلوگرمی اساس محاسبات واقع شده و لذا فرمول بالا بعداً به صورت زیر اصلاح و تکمیل شده است:

$$(I_B)^2 * ts = 0.0246$$

$$I_B = 0.157 / \sqrt{ts}$$

فرمول فوق اساس ارزیابی شبکه زمین و تعیین پارامترهای ایمنی که در ادامه به آن میپردازیم بوده است. از لحاظ ولتاژ نیز در استانداردهای ایران ولتاژ متناوب ۵۰ ولت به بالا را ولتاژ خطرناک میگوئیم. اثر جریان برق به وضعیت قرارگرفتن انسان و عضو ی که به موضع اتصالی برخورد می کند نیز ارتباط دارد. همچنین وضعیت برخورد انسان با موضع اتصالی ممکن است به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم باشد. شکل زیر دو وضعیت تعریف شده در بالا را نشان داده است که البته وضعیت غیر مستقیم کم خطر تر خواهد بود به علت اینکه جریان خطا دو مسیر موازی جهت عبور دارد و بالتبع سهم جریان عبوری از بدن انسان کمتر خواهد بود،

a) Indirect contact



b) Direct contact

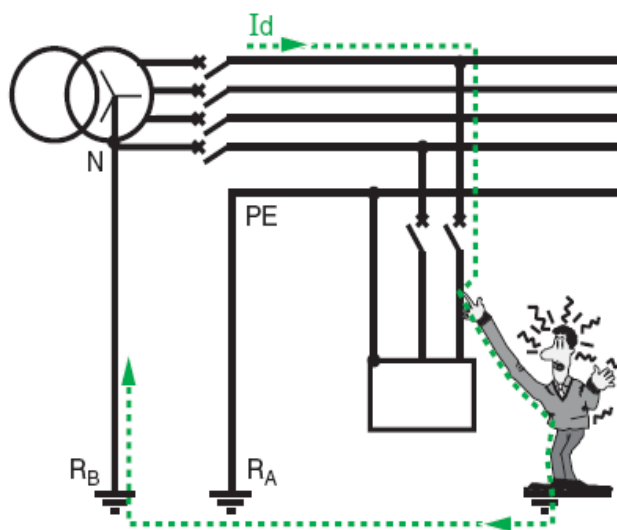


Fig. 7 : Fault current I_d = residual current.

فلسفه و تاریخچه ارت

بین سالهای ۱۸۸۰ تا ۱۸۹۲ خطوط انتقال و توزیع برق بدون اینکه نقطه نوترال یا نول زمین شده داشته باشند احداث می شدند. و هیچ نقطه ای از شبکه و تجهیزات ارت نمیشدند و اساساً مفهومی به نام ارت وجود نداشت. مشکلات برق گرفتگی و آتش سوزی در منازل و اماکن عمومی و صنعتی وجود داشت بدون اینکه فیوزهای حفاظتی نصب شده در شبکه عیوب را تشخیص بدهند.

مشکلات ادارات بیمه جهت جبران خسارت بیشتر و بیشتر میشد و به طور موازی تحقیقاتی جهت کاهش این خطرات به عمل میآمد.

در سال ۱۹۲۴ انجمن مهندسان برق (IEE) در انگلستان اتصال بدنه فلزی وسایل برقی به زمین یا همان ارت کردن را اجباری نمود هر چند اینکار ساده نبود و مشکلات فراوانی داشت.

در سال ۱۹۲۳ فرانسه نیز در استانداردهای ملی کشورش ارت کردن بدنه تجهیزات برقی را الزامی نمود.

در سال ۱۹۲۷ فرانسه بحث ارت کردن نقطه نول ترانسفورماتورها را نیز تصویب نمود.

در سال ۱۹۳۵ استانداردهای جامع حفاظت اشخاص و تجهیزات تدوین و اجرایی شد و از آن سالها به بعد ارتینگ همگانی شد.

فلسفه ارت کردن:

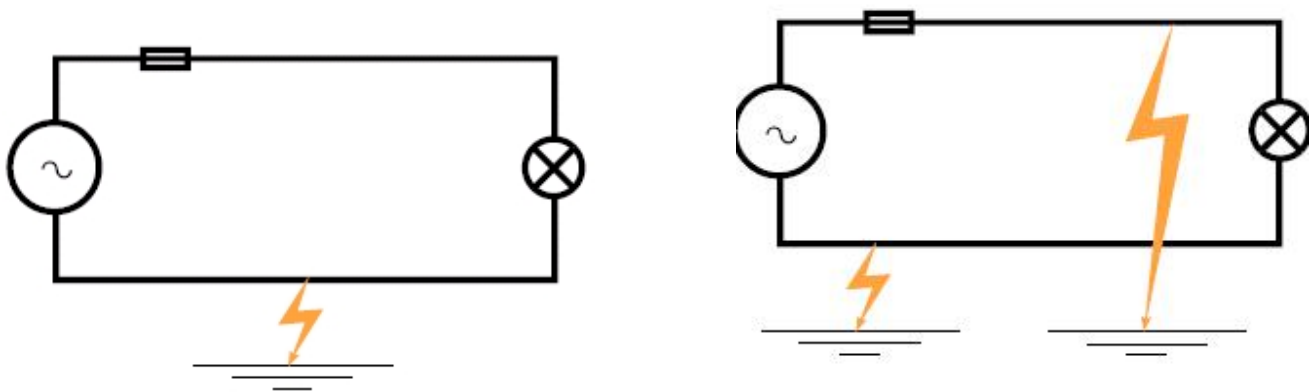
با دقت در شکل‌های ساده زیر میتوان به فلسفه ارت پی برد.

۱- در این مدار ساده تکفاز که نول عمداً به زمین متصل نشده صرفاً وقوع اتصالی مستقیم فاز به نول میتواند فیوز را بسوزاند و جلوی خطرات بعدی را بگیرد.

در صورت اتصالی فاز به زمین و نول به زمین (هر یک به تنهایی) فیوز نخواهد سوخت و عیب ممکن است روزها وجود داشته باشد که منجر به آسیب به تجهیزات به خاطر تغییر در ولتاژ تغذیه آنها و یا آسیب به شبکه برق گردد.

در این حالت اگر دست انسان به یک فاز یا نول برخورد خطری نخواهد داشت و فقط اتصال همزمان به فاز و نول باعث برق گرفتگی خواهد شد.

خلاصه: خطرات انسانی: کمتر آسیب به تجهیزات و شبکه برق: زیاد



۲- همانطور که در تاریخچه نیز اشاره شد به خاطر حفظ پایداری شبکه برق و مسائل دیگر که در ادامه خواهد آمد در سال ۱۹۲۷ به بعد اتصال نول به زمین اجباری شد که در اینحالت وضعیت به صورت زیر قابل بیان است:

اتصال فاز به زمین میتواند فیوز را بسوزاند و مدار و تجهیزات را محافظت کند.

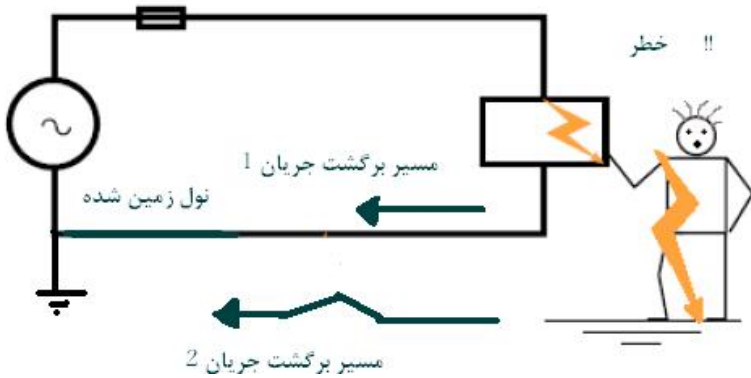
اتصال نول به زمین خطری برای شبکه و تجهیزات ندارد
 اتصال بدن انسان به یک فاز (تنها) بسیار خطرناک است
 این وضعیت دو حالت دارد :

- اگر بدنه دستگاه به زمین که همان نول است وصل شده باشد
 (یعنی همان سیستم زمین حفاظتی) که در این حالت فیوز سریعاً سوخته و از عبور طولانی جریان به بدن جلوگیری میکند

- اگر بدنه دستگاه به زمین که همان نول است وصل نشده باشد

یعنی سیستم ارت نداشته باشیم که در این حالت بعید است فیوز بسوزد لذا جریان برق تا زمانیکه شخص به خود آمده و خود را رها کند و یا کسی به کمک او بیاید از بدن عبور خواهد کرد و این فاجعه است.

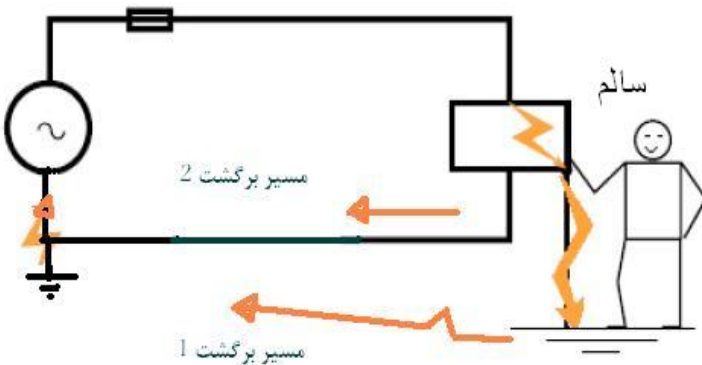
خلاصه این حالت:



در صورت عدم نصب ارت مناسب

خطرات انسانی : بسیار زیاد

آسیب به تجهیزات و شبکه برق : زیاد



در صورت نصب سیستم ارت مناسب

خطرات انسانی : کمتر

آسیب به تجهیزات و شبکه برق : کمتر

به عبارتی در حالتی که سیستم ارت نصب شده باشد
 جریان خطا سه مسیر جهت عبور جریان خطا و برگشت
 به منبع دارد و سهم کمی از جریان خطا ممکن است از
 بدن شخصی که با دست دستگاه را لمس میکند عبور کند
 خصوصاً اگر مقاومت زمین دستگاه نیز خیلی کم باشد.

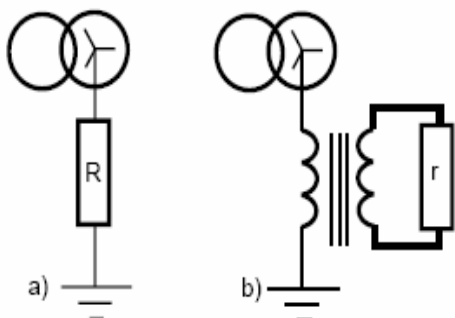
انواع زمین کردن

زمین کردن به طور کلی به دو بخش تقسیم میشود:

System Ground

۱ - زمین کردن الکتریکی یا زمین کردن نوترال یا نول کردن یا گراندینگ سیستم

به طور کلی منظور از زمین کردن نوترال رسیدن به اهداف زیر است :



الف : کاهش تنش الکتریکی ناشی از اثرات کلیدزنی و صاعقه

ب: تامین و کنترل جریان اتصالی در حد قابل قبول

ج: کاهش عدم تعادل ولتاژ

د: محدود کردن ولتاژ نقطه نول

۲- زمین حفاظتی یا ایمنی Safety Ground

از این نوع سیستم حفاظتی در ایجاد ایمنی برای افرادی که بنا به وظیفه شغلی در تماس با تجهیزات سیستم های الکتریکی و نیز برای افراد جامعه که مصرف کننده نهایی انرژی برق میباشند، استفاده میشود. هدف دیگر از این نوع سیستم زمین ، محدود کردن خطر آتش سوزی از راه قطع سریع مدار معیوب به کمک وصل بدنه های فلزی به هادی خنثی یا زمین است.

در برخی موارد تفکیک دو نوع اتصال زمین برای دو هدف بالا ممکن نیست و به همین دلیل ایجاد یک اتصال زمین برای هر دو منظور کافی است. ولی در بعضی شرایط تفکیک دو سیستم زمین لازم و ضروری است و گاهی مسائل مربوط به زمین های دیگر مثل زمین صاعقه و زمین ابزار دقیق موضوع را پیچیده تر میکند.

انواع زمین الکتریکی :

روشهای مختلف زمین کردن نوترال عبارتند از :

Solidly ground

الف- زمین کردن به شکل مستقیم

Resistance ground

ب- زمین کردن از طریق مقاومت

Reactance ground

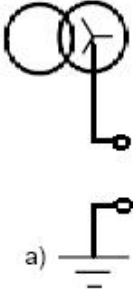

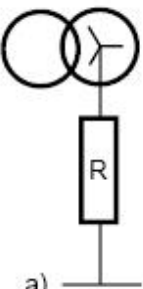
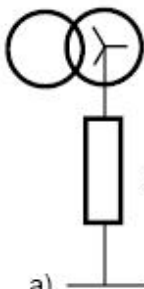
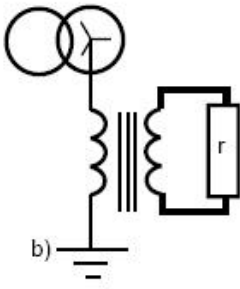
ج- زمین کردن از طریق راکتانس

Transformer ground

د- زمین کردن از طریق ترانسفورماتور

Isolated ground or ungrounded

ه- زمین کردن ایزوله یا زمین کردن از طریق ارستر

Ungrounded	solidly Ground	Resistance Grounded	Reactance Grounded	Transformer Grounded
 <p>a)</p>	 <p>a)</p>	 <p>a)</p>	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>

هر یک از این روشها ویژگی خاصی دارد که موضوع بحث این جزوه نمیشود و اطلاعات کامل را در استاندارد IEEE Std C37.101-1993 میتوان یافت.

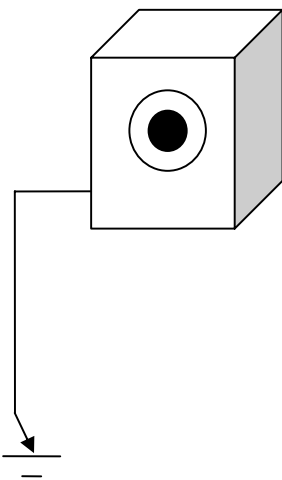
انواع زمین حفاظتی:

سیستم زمین حفاظتی در استانداردها و مدارک جدید از جهات گوناگون مورد طبقه بندی قرار گرفته که کامل ترین و جدیدترین آنرا میتوان به صورت زیر بیان نمود:

Equipment Ground	۱- گراند تجهیزات
Lightning Ground	۲- گراند صاعقه گیر
Electrostatic Ground	۳- گراند بارهای ساکن
Isolated Ground	۴- گراند ایزوله
Transformer Ground	۵- گراند منفرد یا مستقل
Ground Reference Signal	۶- گراند سیگنال مرجع

۱- گراند تجهیزات :

عبارت است از اتصال تمام قسمت‌های فلزی یک دستگاه که در حالت عادی جریانی از آنها عبور نمی‌کند به زمین مثل اتصال بدنه لوازم برقی، موتورها درل و غیره به زمین این نوع سیستم از معمول‌ترین و اصلی‌ترین نوع گراند است



به این ترتیب در حالت عادی سیم گراند نقشی ندارد و جریانی از آن عبور نمی‌کند. ولی در حالتی که بنا به دلایلی مثلاً به خاطر خراب شدن پوشش و عایق، سیم فاز به بدنه فلزی دستگاه بخورد (اتصال کند) این امر باعث قطع سریع فیوزی که این دستگاه از آن تغذیه می‌کند خواهد شد و لذا پیش از وقوع هر خطری دستگاه معیوب بی برق می‌شود و از کار می‌افتد.

نکات قابل ذکر در این سیستم :

۱- بهتر است سیم گراند روکش دار باشد و داخل لوله و یا کانالهای فلزی و هادی عبور داده شود.
۲- سیم گراند بایستی درون همان سینی، کانال و یا لوله (ترجیحاً فلزی) کشیده شود و از لوله مجزا استفاده نشود، زیرا این لوله به عنوان شیلد عمل می‌کند و از سوار شدن نویز روی سیم‌های تغذیه تجهیزات الکترونیکی حساس جلوگیری می‌کند.

۲- گراند صاعقه گیر:

ایجاد یک مسیر ایمن و غیر مخرب برای عبور جریان ناشی از صاعقه که مستقیماً روی ساختمان یا تجهیزات فلزی در محوطه تخلیه می‌شود را از بام تا زمین گراند صاعقه گیر گویند.

در صورتی که صاعقه به طور مستقیم به ساختمان یا تجهیزات فلزی روی بام یا کنار ساختمان بخورد و ساختمان سیستم گراند برق گیر نداشته باشد و یا این سیستم درست طراحی و اجرا نشده باشد جریان صاعقه به جای عبور از مسیر امن گراند از طریق دیگر تجهیزات فلزی مثل مخزن آب، آنتن، دود کش، ناودانی و غیره به زمین می‌رسد و این تخلیه جریان که در بعضی اوقات در حد کیلوآمپر است میتواند خطرات زیادی را برای افراد و تجهیزات داشته باشد.

گراند صاعقه گیر شامل ۵ بخش به شرح زیر می‌باشد:

Air terminals

۱- هادیهای برقگیر

Roof Ring

۲- هم بندی بام

Down Conductors

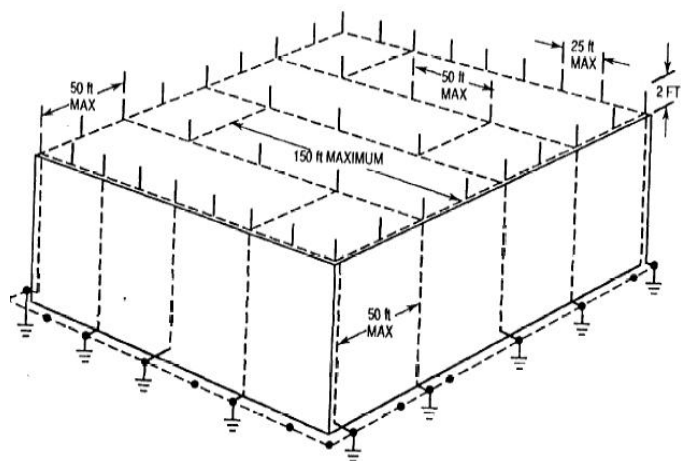
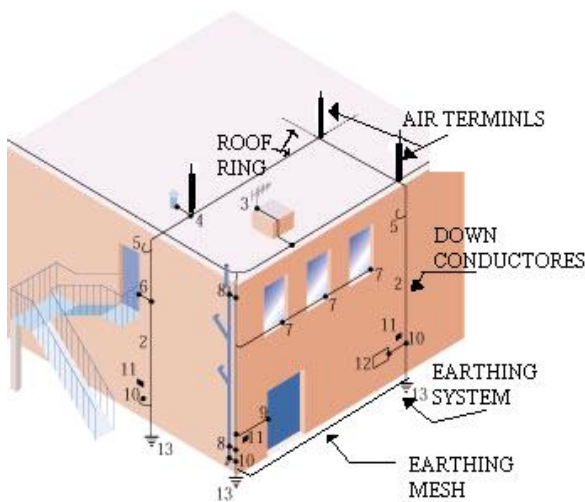
۳- هادیهای نزولی

Earthing mesh

۴- رینگ پائین

Earthing System

۵- سیستم زمین چاهی یا میله ای



این سیستم به خاطر شکل ظاهرش به برقگیر قفس فاراده نیز معروف است .

۳- گراند بارهای ساکن :

بارهای ساکن، ناشی از اضافه یا کمبود الکترون در اتم های اجسام می باشند و جسمی که بازا هر ۱۰۰,۰۰۰ اتم خود، یک الکترون کم یا زیاد داشته باشد باردار قوی محسوب می باشد.

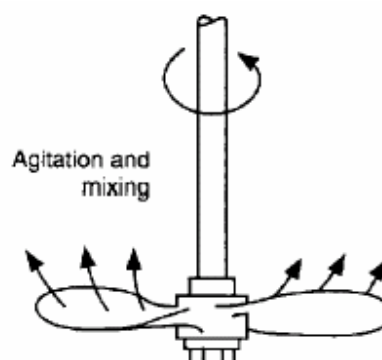
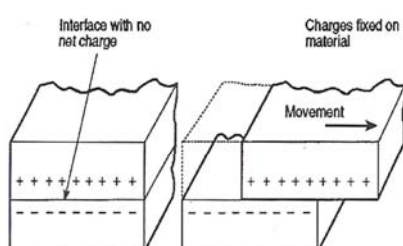
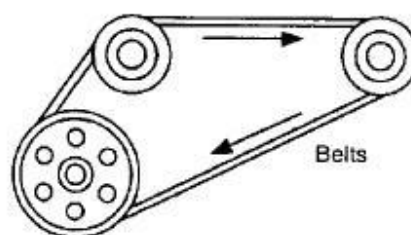
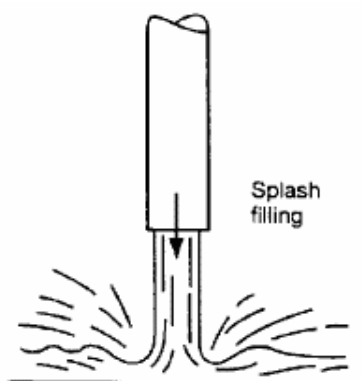
ولتاژی که بر اثر بارهای ساکن ایجاد می شود با مقدار بار ذخیره شده در آن جسم (Q) و ظرفیت جسم نسبت به محیط اطراف خود (C) بوسیله رابطه $V=Q/C$ ارتباط پیدا می کند.

اگر روند تولید بارهای ساکن در یک جسم بیشتر از نرخ نشت آن باشد ولتاژ جسم، رفته رفته افزایش می یابد به حدی که بالاخره سبب یک تخلیه ناگهانی انرژی (spark) به بخشی از محیط اطراف میشود که این تخلیه ناگهانی در پاره ای از موارد خطر آفرین خواهد بود.

افزایش ولتاژ قبل از تخلیه می تواند به چندین هزار ولت برسد اما چون بارها ساکن بوده و جاری نیستند احتمال تبدیل فرآیند تخلیه بارها (spark) به فرآیند جرقه (ignition) در یک محیط معمولی خیلی کم است.

الکتریسیته ساکن در صنایع معمولاً در موارد ذیل تولید می گردند:

- ۱- عبور مواد پودر شده از روی نقاله های بادی
- ۲- چرخش تسمه ها و کمربندهای انتقال قدرت غیر هادی
- ۳- جاری شدن هوا، گاز یا بخار مواد، از مجراها و دریچه ها
- ۴- حرکت هایی که سبب تغییر موقعیت سطوح تماس مواد غیر مشابه مایع یا جامد میگردد که حداقل یکی از اینها هادی الکتریسیته خوبی نباشد.



- ۵- بدن انسان، در محیط های خشک و کم رطوبت بر اثر تماس گردد،

همچنین تولید بار در بدن انسان می تواند بر اثر کار کردن نزدیک عوامل تولید الکتریسیته ساکن مثل موارد ۱ تا ۴ فوق و یا بر اثر نزدیک شدن به خودروهایی که دارای بار ساکن هستند بوجود آید.

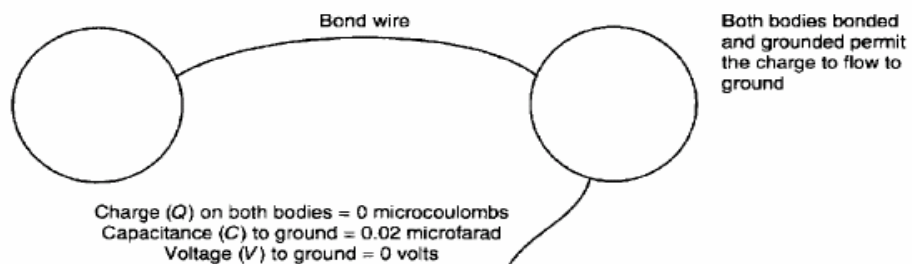
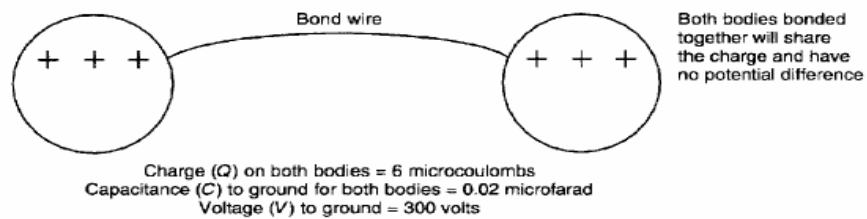
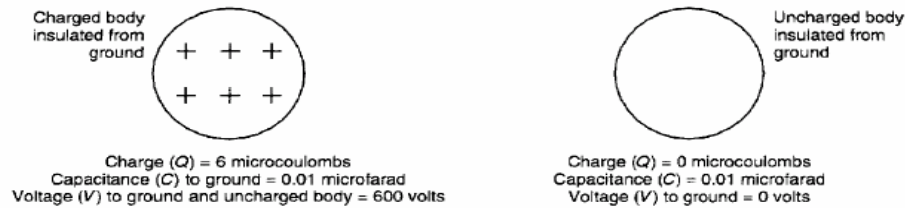


(c) Charge accumulation on a person on an insulating floor or wearing insulating footwear

هم بندی (bonding) و اتصال به زمین (grounding) دو جسم که احتمال تجمع و تخلیه بارهای ساکن بین آنها وجود دارد روش موثری جهت از بین بردن اثرات سوء بارهای ساکن است.

در این روش بخش های مختلف تجهیزات و ماشین آلات به هم متصل شده و تماماً به زمین وصل می شوند. این روش می تواند پاره ای از مشکلات بارهای ساکن را مرتفع نماید. این نوع گراند را گراند بارهای ساکن میگویند.

همانطور که در شکل زیر مشخص است در حالت A جسم غیر هادی سمت راست باردار است بنابراین این نسبت به جسم سمت چپ و زمین اختلاف پتانسیل دارد که ممکن است در بعضی مواقع تخلیه آن سبب خطراتی از جمله خطر آتش سوزی گردد.



در حالت B دو جسم توسط سیم هادی به هم وصل شده اند بنابراین این دو جسم سمت راست و چپ اختلاف پتانسیلی وجود ندارد ولی بین این دو با زمین اختلاف پتانسیل وجود دارد.

در حالت C پس از وصل دو جسم به زمین دیگر هیچگونه اختلاف پتانسیلی بین اجسام و زمین وجود ندارد و خطر به کلی رفع شده است.

۴- گراند ایزوله :

تاثیر نویزهای ایجاد شده توسط منبع تغذیه بر روی بارهای حساس را گاهی اوقات میتوان با ایجاد یک زمین ایزوله برای آن بهبود بخشید. اینکار با استفاده از پریزهای زمین ایزوله انجام میگردد.

در این نوع سیستم ، سیم گراند تجهیزات خاصی مثل تجهیزات الکترونیکی حساس به نویز را بدون اینکه در مسیر تغذیه تا دستگاه به بخش های فلزی و تابلو های فرعی و سوکت ها وصل نموده به طور ایزوله برای آن دستگاه مورد نظر می کشیم و سیم زمین ایزوله تنها در فیذر تغذیه ورود به ارت متصل میشود. به این ترتیب تاثیر نویزهای ایجاد شده توسط منبع تغذیه بر روی بارهای حساس الکترونیکی را کاهش داده ایم.

هادی مربوط به زمین ایزوله ممکن است از کلیه تابلوها عبور کرده و به زمین محلی متصل نشود تا در انتها در ورئدی سرویس زمین شود. حالتی خاص از زمین های ایزوله برای تعدادی از تجهیزات بیمارستانی بکار میرود.

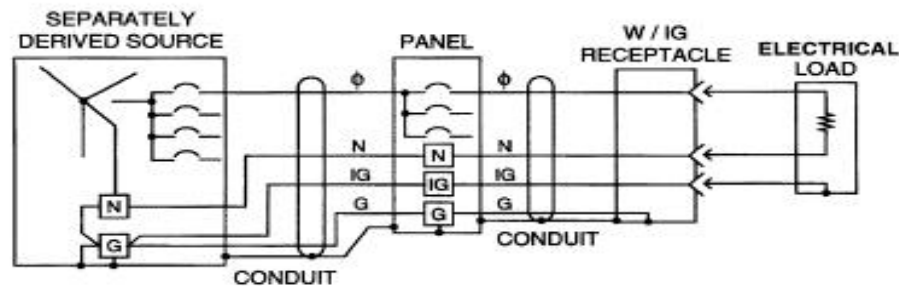


Figure 8-17—Isolated grounding conductor pass through distribution panel

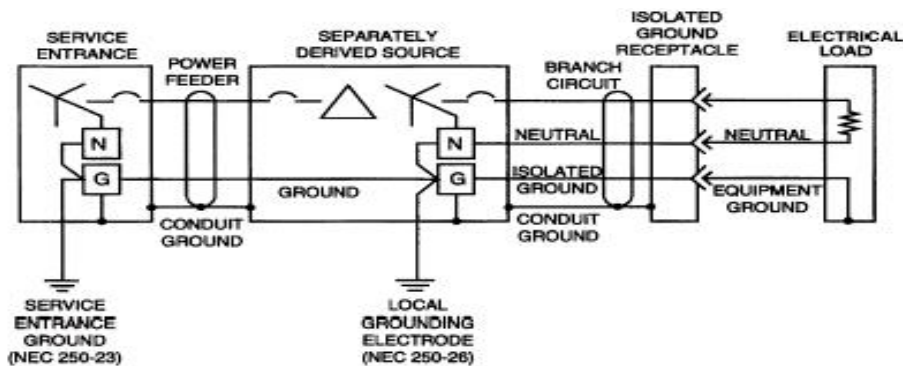
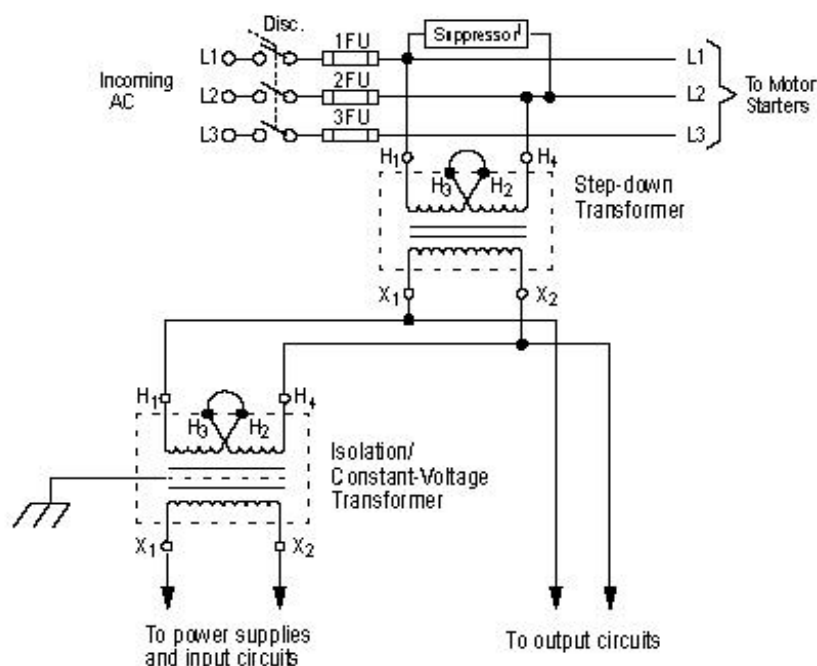


Figure 8-18—Isolated grounding conductor wiring method with separately derived source

۵- گرانند منفرد

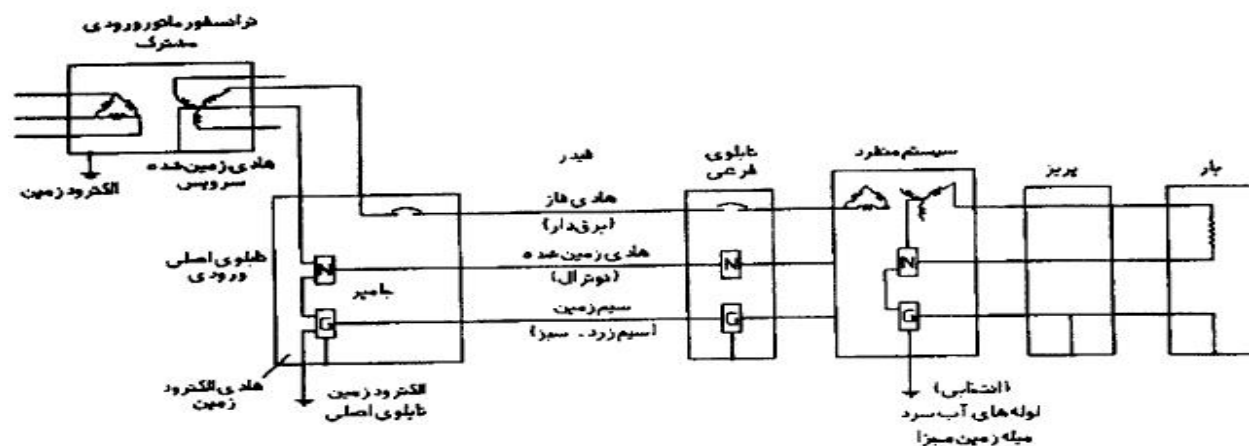
یک سیستم منفرد دارای زمین مرجعی است که مستقل از دیگر سیستم‌ها می‌باشد. مثال مرسوم در این زمینه استفاده از یک ترانسفورماتور با نسبت تبدیل یک به یک و از نوع مثلث ستاره می‌باشد. (رجوع به شکل‌های زیر).

نقطه گره ثانویه به زمین محلی جدیدی متصل می‌شود تا زمین مرجع جدیدی بسازد که از سیستم اصلی مستقل است. سیستم‌های منفرد یک مرجع زمین محلی برای بارهای حساس ایجاد می‌کنند. در این حالت مقدار نویز در دستگاه‌های متصل به این سیستم زمین به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مزیت دیگر این روش کاهش دامنه جریان نوترال در سیستم توزیع اصلی است.



Notes:

- 1 To minimize transient emi generation when power is interrupted by the interrupt switch, connect a suppressor across the primary of the transformer. Refer to Figure 11 and Table C for suppressors to use.



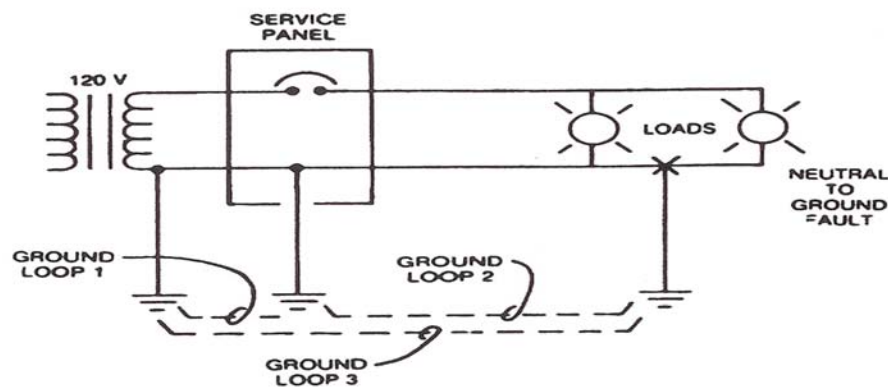
۶- گرانده شبکه ای سیگنال مرجع

از مهم ترین سیستم های گرانده در دهه های اخیر است این سیستم زمین بیشتر به خاطر کاربرد سوم سیستم زمین یعنی کاهش نویز در سیستم های کنترل و مخابرات و تله متری استفاده میشود.

با گسترش فن آوری تبادل اطلاعات بین کامپیوترها از طریق ماهواره یا سرور محلی (اینترنت، اینترانت و ...) که گاهی سرور مایل ها از کامپیوترهای فرعی دور بود بحث نویز هم جدی شد. به این ترتیب که کامپیوترهای دور از هم دارای تغذیه های جداگانه و دور از هم هستند و در اینصورت امکان هم بندی (**Bonding**) سیستم هایی که با هم در حال تبادل داده هستند عملاً غیر ممکن بود، در اینصورت بر اثر عبور جریانهای سرگردان و اضافی در زمین، بین کامپیوترهای در حال تبادل داده اختلاف ولتاژ ایجاد میشود، این اختلاف ولتاژ گذرا ممکن است دارای فرکانس شبکه برق (۶۰ هرتز، ۵۰ هرتز) یا فرکانس های بالاتر باشد. بنابراین در صورتی که کامپیوترهای اصلی و فرعی دور از هم به همراه سیستم زمین قدرت به شبکه زمین ساختمان خود وصل شده باشند اختلاف پتانسیل قابل توجهی در حد چندولت بین دو کامپیوتر تولید می شود که می تواند روی سیگنال های معمولی ارتباطی بین کامپیوترها اثر سوء داشته باشد.

در صورتیکه سیستمهای سنتی یعنی اتصال کامپیوترها از طریق پریز برق به ارت و سپس اتصال به نول استفاده شده باشد مسیر برگشت نول، جریان غیر قابل کنترلی روی سیستم زمین جاری می کند.

در هر نقطه که نول به زمین متصل شده و مسیرهای موازی وجود دارد جریان به نسبت عکس امپدانس ها طبق قانون اهم تقسیم می شود.



بر اثر این جریان غیر قابل کنترل که روی سیستم زمین اعمال می شود و روی سیستم برق شهر هم تاثیر سوء می گذارد (چون نول برق شهر به ارت متصل شده) اصطلاحاً شبکه برق با زمین نویزی (**noisy**) یا کثیف (**dirty**) خواهیم داشت. (شکل فوق) در اینصورت کامپیوترهایی که از این شبکه برق شهر با ارت نویزی برق می گیرند دچار اختلال خواهند شد.

توجه: در این مبحث به طور کلی به همه تجهیزات حساس به جریانهای ناخواسته تجهیزات الکترونیکی حساس یا کامپیوتر گفته می شود.

تمامی اجزاء. یک سیستم اتوماسیون صنعتی که شامل زیر سیستم های زیر است نیز تجهیزات الکترونیکی حساس گفته می شود:

- PLC
- Industrial computers
- Operator interface terminals
- Display devices
- Communication network

جریانهای سرگردان الکترومغناطیسی (EMI) Electro Magnetic Interference پدیده ناخواسته ای است که می تواند روی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حساس مثل کامپیوترها دستگاههای تلفن مرکزی، سیستم های کنترل میکروپروسسوری، اینورترها و تمامی تجهیزات دیجیتال تاثیر سوء داشته باشد.

در ابتدا این پدیده و راههای کنترل آن صرفاً در سیستم های نظامی و هوافضا مورد توجه قرار داشت. ولی در زندگی روزمره کنونی که اطراف محل زندگی و کار و تفریح ما چندین دستگاه حساس الکترونیکی و میکروپروسسوری وجود دارد بی اعتنائی وعدم نگاه جدی به این پدیده نوعی سهل انگاری و بی تفاوتی محسوب می گردد. در ابتدا آمریکا و سپس اروپا (EU) مرانامه و دستورالعملی به شماره ۳۳۶/۸۹/EEC صادر نموده و کشورهای عضو ملزم به اجرای مفاد این مرانامه می باشند و هدف آن مقابله با آثار سوء و مخرب EMI می باشد. آثار سوء EMI در درجه اول ایجاد نویزهای مزاحم و اختلال در کیفیت تبادل داده و اطلاعات می باشد که در عصر انفجار اطلاعات (Information Technology) یا IT بسیار پررنگ تر ظاهر گردیده است و دوم ایمنی تجهیزات و اشخاص در مقابل آثار زیانبار EMI خواهد بود. در ادامه جزوه و بعد از مبحث انواع سیستم های توزیع درباره این سیستم بیشتر توضیح داده خواهد شد.

تقسیم بندی سیستم های فشار ضعیف از نظر روش زمین کردن

در فشار ضعیف سه نوع سیستم نیرو معمول میباشد:

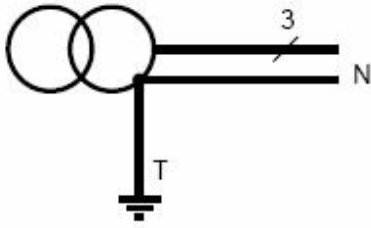
* سیستم TN که خود به سه گونه مختلف میباشد که عبارتند از:

TN-C-S
TN-C
TN-S

* سیستم TT
* سیستم IT

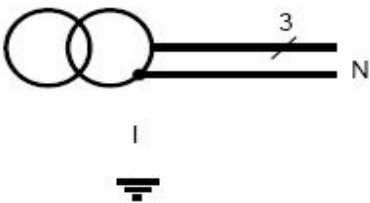


حرف اول از سمت چپ مشخص کننده رابطه نول سیستم با زمین است به این صورت که :

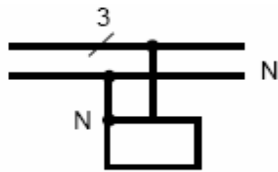


T یعنی نقطه نول مستقیماً به زمین وصل است

I یعنی نقطه نول از طریق یک امپدانس به زمین متصل است یا نسبت به زمین ایزوله است

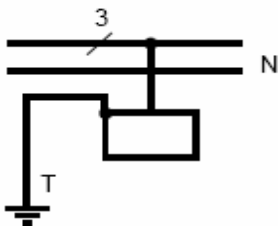


حرف دوم از سمت چپ مشخص کننده رابطه بدنه های هادی تاسیسات با زمین است به این صورت که :



N یعنی بدنه های فلزی تجهیزات از نظر الکتریکی مستقیماً به نقطه زمین شده ترانس اصلی متصل شده اند

T یعنی بدنه های فلزی مستقل از اتصال زمین سیستم نیرو به زمین وصل میشوند.



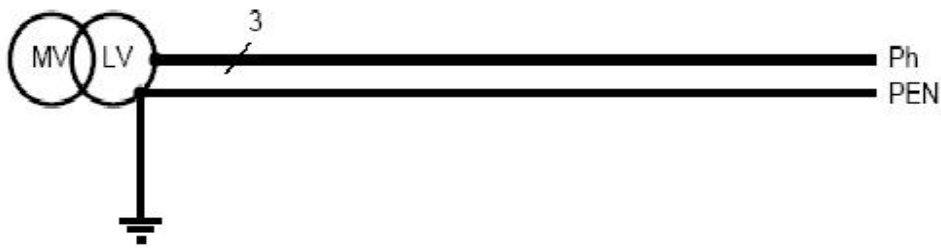
علاوه بر این در مورد سیستم **TN** از حروف اضافی دیگری برای مشخص کردن نحوه به کار گیری هادیهای حفاظتی **PE** و

خنثی **N**

استفاده میشود.

TN-C یعنی در سراسر سیستم بدنه های فلزی به سیم مشترک حفاظتی و خنثی **PEN** متصل اند.

a) TN-C earthing system



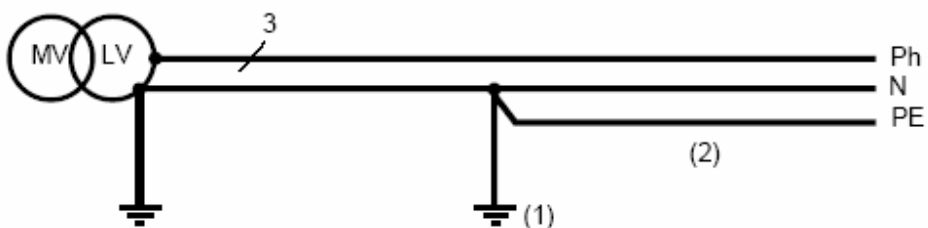
TN-S یعنی در سراسر سیستم بدنه های فلزی از طریق یک هادی مجزا **PE** به نقطه خنثی در مبدأ سیستم وصل میشوند.

c) TN-S earthing system

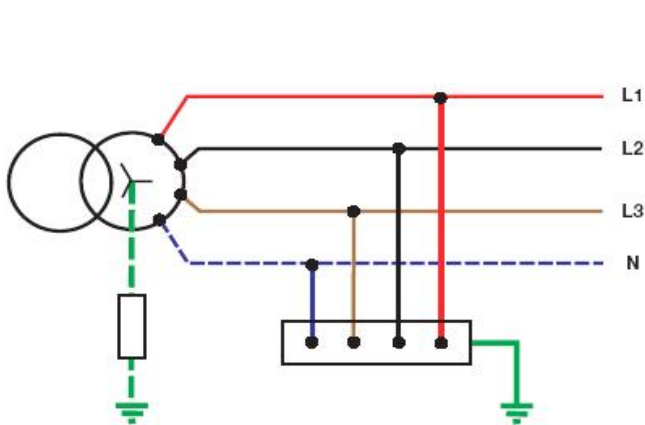


TN-C-S یعنی بخشی از سیستم از مبدأ تا نقطه تفکیک دارای هادی توأم حفاظتی و خنثی **PEN** بوده و از آن نقطه به بعد دو هادی حفاظتی (**PE**) و خنثی **N** از هم جدا میشوند

b) TN-C-S earthing system

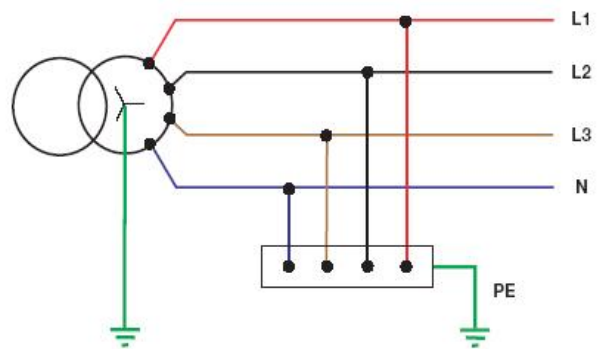


سه سیستم ارت **TN-IT** و **TT** و زیر سیستم های آنها به طور کامل در استاندارد **IEC-60364** تعریف و تبیین شده اند. شکل های زیر نیز میتواند به تشخیص و تفکیک این سیستم ها از هم کمک کند.



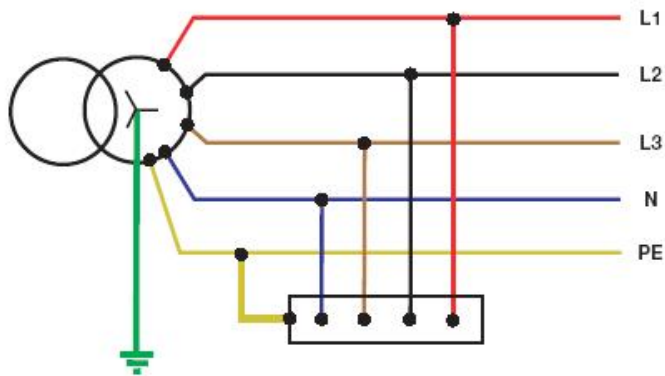
IT (neutral isolated or via impedance) wiring diagram:

The neutral point is either not connected to earth, or is so via an impedance (1000 to 2000 Ohms).



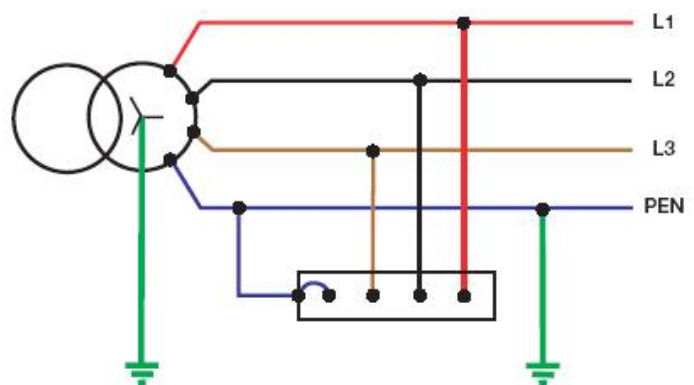
TT (neutral connected to earth) wiring diagram:

The neutral point of the supply is connected to earth. The exposed conductive parts of the installation are connected to an earth rod; either a separate earth rod or to the neutral earth rod.



TN-S wiring diagram:

The neutral conductor and the protective conductor are separate.



TN-C wiring diagram:

The neutral conductor and the protective conductor are the same conductor: PEN.

استفاده از سیستم های فوق بین کشورهای مختلف متفاوت است.

ایران به طور صریح در استاندارد شبکه های توزیع وزارت نیرو تاکید کرده که سیستم **TN** استفاده شود .

در کشورهای مجموعه بریتانیا نیز از سیستم **TN** استفاده میشود در آلمان سیستم **TN-C** استفاده میگردد .

سایر کشورها از جمله فرانسه و اغلب کشورهای آفریقائی از سیستم **TT** استفاده میکنند.

سیستم **IT** در نروژ استفاده میشود. هر سه سیستم در هر حال چون اساساً سیستم ارت هستند از نظر مسائل ایمنی تقریباً قابل قبول هستند اما در مقام مقایسه تفاوتی نیز با هم دارند.

مرور نکات مهم هر یک از این سیستم ها :

الف : سیستم **IT**

در این سیستم در حالت عادی و سالم ولتاژ نقطه خنثا (نول) نسبت به زمین برابر صفر است و در این هنگام ولتاژهای موجود هیچ تنش اضافی را بر روی عایق بندی هادی خنثی و هادیهای فازها در سرتاسر سیستم ، بوجود نخواهند آورد.

$$U_{N-E} = 0$$

$$U_{L1-E} = U_0 = 230 \text{ v}$$

$$U_{L2-E} = U_0 = 230 \text{ v}$$

$$U_{L3-E} = U_0 = 230 \text{ v}$$

اما اگر به سبب سانحه ای در سیستم ، یکی از فازها ($L3$ در شکل زیر) به زمین وصل شود ، وضعیت ولتاژهای سیستم به قرار زیر است

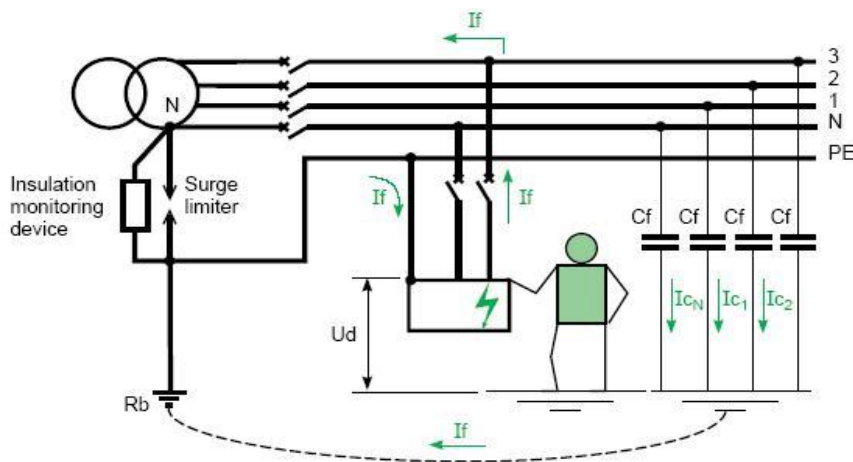
$$U_{N-E} = U_0 = 230 \text{ v}$$

$$U_{L1-E} = U = 400 \text{ v}$$

$$U_{L2-E} = U = 400 \text{ v}$$

$$U_{L3-E} = U = 0 \text{ v}$$

پس ولتاژ نول نسبت به زمین در سیستمی که یک فاز آن به زمین وصل شده است دیگر برابر صفر نبوده بلکه برابر U_0 میشود . در این هنگام ولتاژهای موجود تنشی را بر عایق بندی هادی خنثی و هادیهای فازها در سرتاسر سیستم به وجود خواهند آورد.



در سیستم IT اولین اتصال به بدنه در سیستم سبب قطع برق تجهیزاتی که اتصالی در آن واقع شده است نمیشود و در همان حال تماس با بدنه تجهیزات سبب برق گرفتگی نمیگردد، این سیستم در بسیاری از کاربردهای حساس بی همتا است. بعضی از مواردی که استفاده از سیستم IT در آنها توصیه میشود عبارتند از:

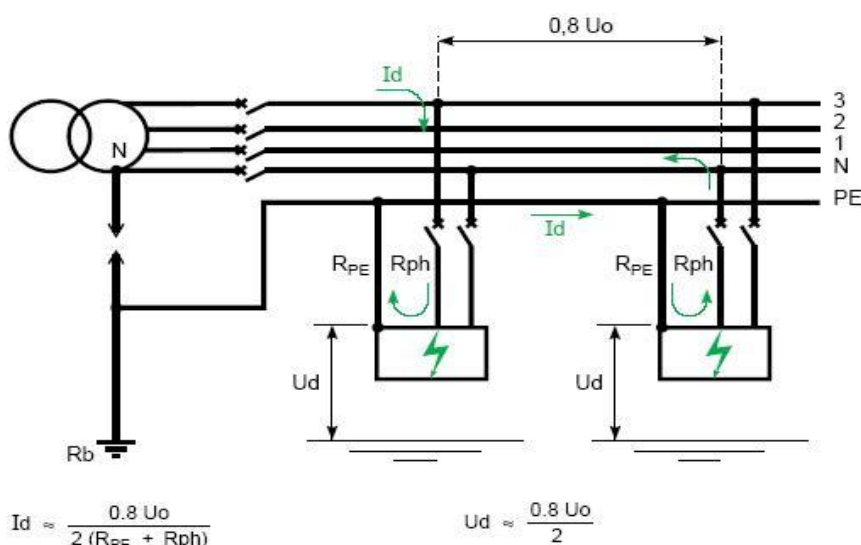
- اتاق های عمل ICU و CCU

- معادن روباز و زیر زمینی

- سیستم های تولیدی که قطع برق در آنها ممکن است سبب خساراتی شود مثل:

- شیشه سازی
- کوره های مواد مذاب
- صنایع شیمیایی و مهمات سازی
- تغذیه کامپیوترها

در سیستم IT پس از اولین اتصالی و در هنگامی که هنوز فرصت رفع عیب و ترمیم سیستم پیدا نشده است، اگر دومین اتصالی اتفاق بیفتد جریان اتصال کوتاه در این حالت بالا رفته و شبیه سیستم TN خواهد شد در این حالت ولتاژ تماس بین بدنه هادی که فازها به آن اتصال شده با زمین بالا خواهد رفت و خطرات زیادی خواهد داشت.



ب : سیستم TN

در این سیستم با توجه به اینکه اتصال هر فاز به زمین به مثابه وصل مستقیم فاز به نول است حتماً جریان اتصال کوتاه شدیدی از مدار و فاز معیوب عبور کرده و فیوز به تنهایی نیز میتواند مدار معیوب را سریعاً قطع نماید. و نیاز به رله های جریان باقیمانده یا RCD نیز ندارد ولی مشکل اصلی در این سیستم را می توان دو عامل دانست:

۱- عبور جریان اتصالی بسیار شدید و در حد ۲۰ کیلو آمپر در لحظات بسیار کوتاه قبل از قطع فیوز میتواند موجبات جرقه، آتش سوزی و یا انفجار فیوزها و کلیدهای حفاظتی را شامل شود.

۲- ملاحظات تجربی و تئوری نشان می دهد که مهم ترین اتفاق خطرناکی که در یک سیستم TN هم از نظر جانی و هم از نظر اقتصادی بشر را تهدید میکند پارگی هادی خنثی N حفاظتی PE و یا حفاظتی /خنثی PEN است. مخصوصاً در سیستم TN-C پارگی هادی PEN بزرگترین خطر در یک سیستم میباشد. پارگت هادی PEN دو نوع خطر ایجاد میکند.

۱- ولتاژ بدنه های هادی ممکن است به مدتی طولانی بیش از مقدار مجاز شود و خطر برق گرفتگی به وجود آورد.

۲- به علت موج شدن و متغیر بودن بیش از حد هادی PEN ولتاژهای بین هر فاز و هادی PEN ممکن است به شدت تغییر کند و سبب شکست عایق بندی و سوختن لوازم شود.

البته در این سیستم یک مشکل دیگر نیز وجود دارد و آن این است که بعضی از تجهیزات سیستم را به یک الکتروود زمین انفرادی وصل میکنند بدون اینکه آن الکتروود به هادی حفاظتی PE و یا حفاظتی /خنثی PEN هم وصل شده باشد. در این حالت و در بعضی مواقع نادر که مقاومت الکتروود انفرادی از مقاومت کل سیستم کوچکتر باشد اگر یک اتصالی بین هر یک از فازها و بدنه هادی اتفاق افتد، ولتاژ همه بدنه های هادی سیستم ممکن است به مقدار خیلی بیشتر از مقدار مجاز برسد.

ب : سیستم TT

در سیستم های با اتصال مستقیم و مستقل بدنه ها به زمین (TT) ، تامین مقاومت کم برای الکتروود اتصال به زمین طبق جدول زیر به منظور استفاده از فیوز یا کلید خودکار برای تامین ایمنی بسیار مشکل است و بنابر این لازم است چاره جوئی دیگری به عمل آید .

63	50	36	25	20	16	10	6	In (A)
0.22	0.28	0.39	0.57	0.71	0.89	1.43	2.38	Ra(ohm)

راه حل استفاده از کلیدهای جریان تفاضلی یا RCD است

کلیدهای جریان تفاضلی کلیدهایی هستند که اگر جمع برداری جریانهای خروجی از کلید با جمع جریانهای ورودی به آن برابر نباشد یعنی بخشی از جریان هر چند کوچک، به جای برگشتن از طریق هادیهای مدار از راه دیگری مانند زمین به منبع برگردد واکنش نشان داده و کلید را قطع میکند، ساختن RCD با حساسیت زیاد (چند میلی آمپر) امکان پذیر است و برای همین در کاربرد آنها میتوان بر خلاف شرائطی که در استفاده از فیوز وجود دارد از شبکه های زمین با مقاومت زیاد هم استفاده کرد. جدول زیر حداکثر مقاومت هائی را نشان میدهد که برای کلیدهای جریان تفاضلی با جریانهای عامل مختلف قابل استفاده میباشد.

10000	2000	1000	650	300	30	In (mA)
5	25	50	77	166	166	Ra(ohm)
					6	

کلیدهای RCD مانند فیوزها در دو نوع سه فاز و تک فاز ارائه میشوند که فرق اصولی با یکدیگر ندارند و در نوع تکفاز فاز و نول به آن میروند و فاز و نول از آن خارج میشوند. بنابراین در سیستم TT علاوه بر فیوزهای خودکار یا معمولی بایستی از کلید فیوزهای RCD نیز استفاده شود.

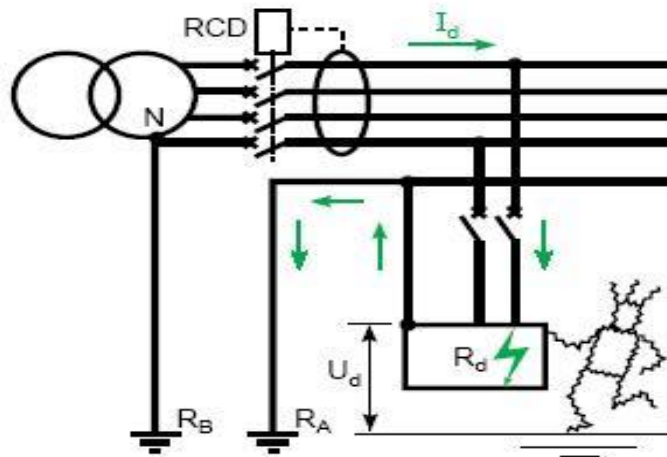
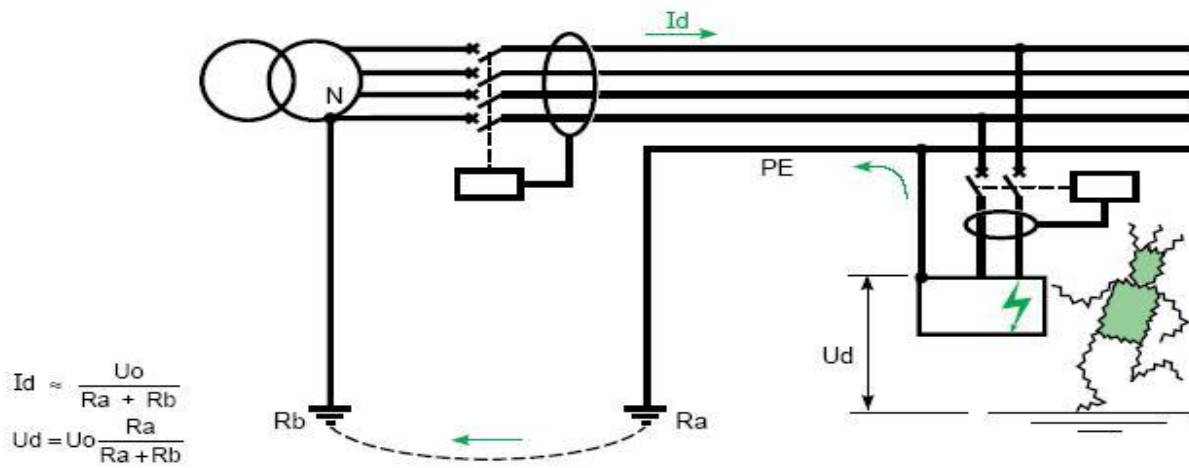


Fig. 2 : insulation fault on a network operated in TT.



$$I_d \approx \frac{U_o}{R_a + R_b}$$

$$U_d = U_o \frac{R_a}{R_a + R_b}$$

Fig. 10 : fault current and voltage in TT system.

جدول زیر به طور خلاصه ویژگیهای هر یک از این سیستم ها را جهت ۵ ویژگی مهم یعنی ایمنی (safety) قابلیت اطمینان (reliability) نویز و اغتشاش (disturbance) در دسترس بودن (availability) و نیاز به تعمیرات کمتر (main tenability) مقایسه میکند.

	TN-C	TN-S	TT	IT(1)	IT(2)	Observations
safety						
■ of persons	+	+	+	++	-	Uc # 0 on 1 st fault (IT)
■ fire	--	-	+	++	-	TN-C not recommended
■ explosions	--	-	+	++	-	TN-C strictly prohibited
availability- (further to 1 fault)	+	+	+	++	+	depends on discrimination of the SCPDs or RCDs (easier to implement)
maintenability	-	-	+	++	-	the IT authorises preventive and even predictive maintenance
reliability of the installation	-	+	++	++	+	advantage for small Ids (damage- electrodynamic forces)
disturbances						
■ radiation transmission EM	-	-	+	++	-	advantage for small Id
■ equipotentiality of PE	--	+	++	+	+	pay attention to harmonics in TN-C

(1) : 1st insulation fault.
(2) : 2nd fault.

fig. 23: comparing the earthing system.

علامت + یعنی مناسب است و توصیه میشود و - یعنی مناسب نمیشود و توصیه نمی شود. علامت ++ یعنی خیلی خوب و علامت -- یعنی خیلی بد

با مرور جدول مزبور به سادگی میتوان پی برد که سیستم **TT** از تمامی جهات سیستم کاملی است و قطعاً در آینده نیز در اکثر کشورها از این سیستم استفاده خواهد شد. هر چند اجرای این سیستم از بقیه آنها گرانتر میباشد.

از لحاظ میزان جریان اتصال کوتاه که پارامتر بسیار مهمی است نیز این سیستم ها قابل مقایسه هستند ضمن اینکه باید بدانیم هر چقدر این جریان کمتر باشد سیستم از لحاظ مسائل ایمنی و نویز و اغتشاش بهتر خواهد بود.

- IT (1st fault): $I_d < 1 \text{ A}$;
- TT: $I_d \approx 20 \text{ A}$;
- TN: $I_d \approx 20 \text{ kA}$;
- IT (2nd fault): $I_d \approx 20 \text{ kA}$.

مقایسه جریانهای فوق نیز بر مناسب بودن سیستم **TT** صحه خواهد گذاشت زیرا گر چه **IT** جریان اتصال اول یا یک فاز به زمین بسیار کمی دارد ولی جریان اتصالی دو فاز به زمین آن بسیار بالا و در حد سیستم **TN** خواهد بود.

اثر قطر سیم ارت و مقاومت زمین روی ولتاژهای تماس در سیستم های توزیع مختلف

جریان اتصال کوتاه و ولتاژ ناخواسته تماس که به انسان در لحظه وقوع خطا در سیستمهای الکتریکی رخ میدهد به طور خلاصه در جدول زیر درج شده است

		I_d	U_d
TN		$\frac{0.8 U_0 S_{ph}}{\rho (1+m) L}$	$\frac{0.8 U_0}{1+m}$
TT		$\frac{U_0}{R_a + R_b}$	$\frac{U_0 R_a}{R_a + R_b}$
IT	1st fault	$< 1 \text{ A}$	$\ll U_L$
	Double fault with neutral	$\ll \frac{1}{2} \frac{0.8 U_0 S_{ph}}{\rho (1+m) L}$	$\ll \frac{m}{2} \frac{0.8 U_0}{1+m}$
	Double fault between phases	$\ll \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0.8 U_0 S_{ph}}{\rho (1+m) L}$	$\ll \frac{m \sqrt{3}}{2} \frac{0.8 U_0}{1+m}$

Remember that:

■ $\rho = 22 \cdot 10^{-8} \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ for Cu (36 for Al);

■ $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$;

Fig. 15 : characteristic quantities of earthing systems.

با توجه به روابط فوق به طور خلاصه میتوان مقایسه ای بین سیستم ها انجام داد. در این جدول معیار خطر ولتاژی همان ۶۵ ولت در نظر گرفته شده است.



نوع سیستم	m	$U_d(v)$	وضعیت	نتیجه
TN	(۱) یعنی مقطع سیم فاز و ارت برابر است	۸۸	خطرناک	یعنی اگر سطح مقطع سیم فاز و ارت مساوی باشند خطرناک است و بهتر است مقطع سیم فاز از سیم ارت بزرگتر باشد.
	(۲) یعنی مقطع سیم ارت نصف سیم فاز است	۶۰	مناسب	
IT	اتصال یک فاز به زمین	ناچیز	بدون خطر	مقطع سیم ارت نسبت به فاز اثری ندارد
	اتصال دو فاز به زمین	m=1 m=2 m=4	بدون خطر بدون خطر مرز خطر	یعنی اگر مقطع سیم ارت یک چهارم سیم فاز و یا کمتر باشد آستانه خطر است
	اتصال بین فازها	m هر چقدر باشد	خطرناک	در این نوع اتصال مقطع سیم ارت اثری ندارد
TT	$R_a \ll R_b$	کوچکتر از ۶۵ ولت	بدون خطر	یعنی بایستی مقاومت شبکه ارت حادثی در محل کمتر از مقاومت شبکه ارت نول باشد.
	$R_b = R_a$	۱۱۰ ولت	خطرناک	
	$R_a \gg R_b$	بین ۱۱۰ و ۲۲۰ ولت	خطرناک	

R_b مقاومت سیستم ارت نول R_a مقاومت سیستم ارت حادثی در محل

طرح اصولی زمین کردن سیستم توزیع هوایی :

طرح اصولی روش زمین کردن بدنه ترانس هوایی ، برق گیر ، نقطه نول ، تابلوی اندازه گیری و پایه های فشار ضعیف بدون هیچ توضیحی به صورت زیر میباشد.

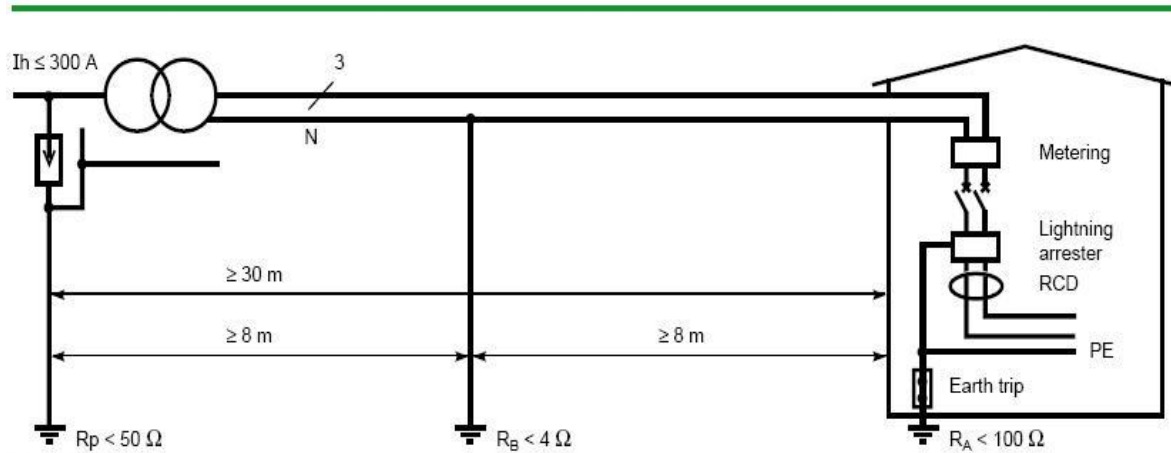


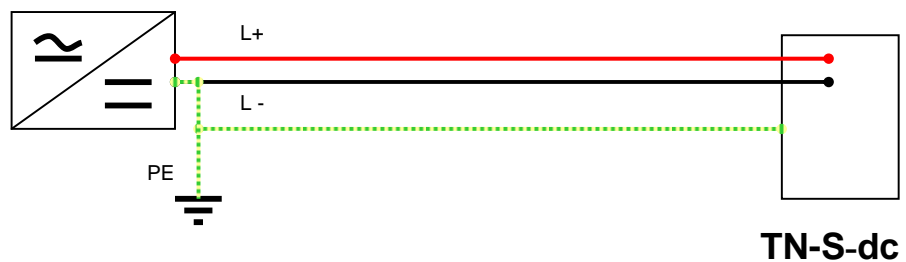
Fig. 20 : rural overhead public distribution in France.

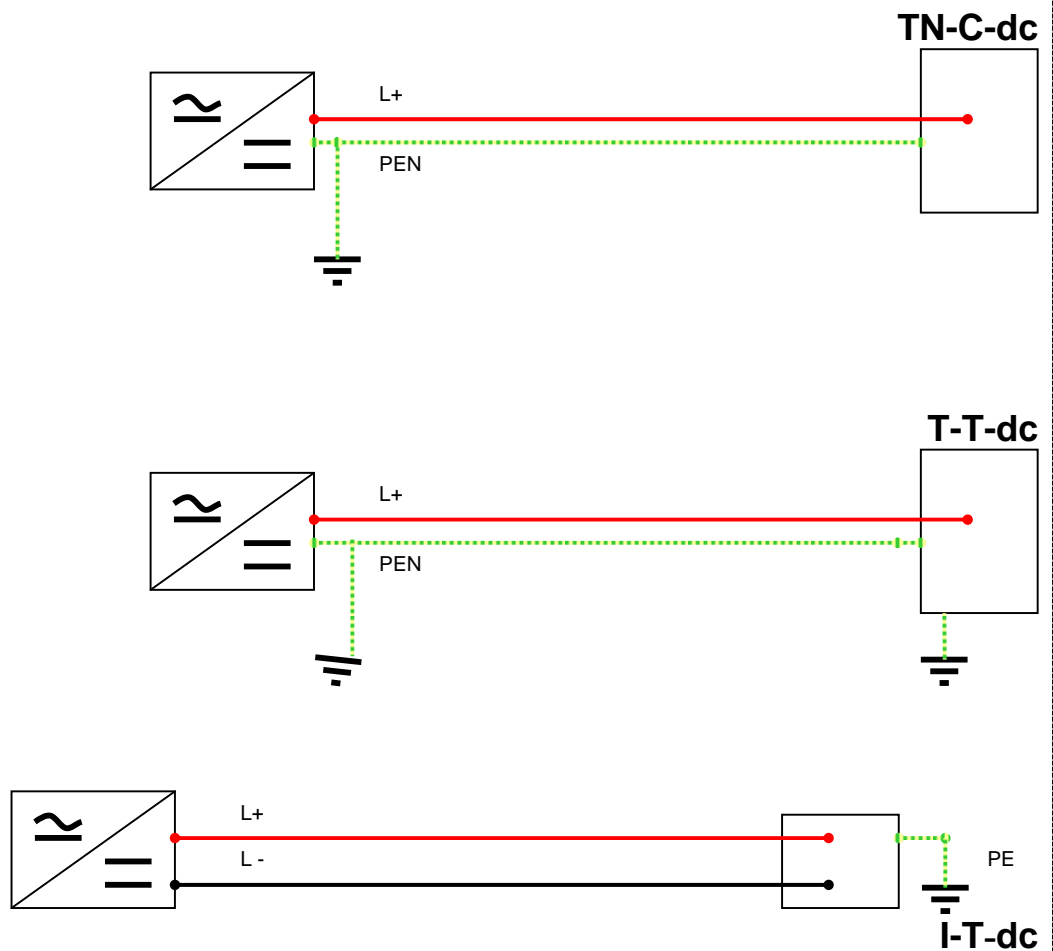
تقسیم بندی سیستم های DC از نظر روش زمین کردن (خلاصه)

در سیستم های برق جریان مستقیم نیز به هر حال احتمال وقوع خطاهای انسانی و یا معیوب شدن تجهیزات وجود دارد لذا مانند سیستم های جریان متناوب نیاز به طراحی و نصب سیستم ارت وجود دارد.

به طور مثال در خودرو که تغذیه آن به طور کامل DC است و یا در سیستم های مخابراتی و تامین برق UPS ها و غیره و اتفاقا استفاده از برق DC روز به روز با رشد سیستم های کنترل و مانیتورینگ رو به تزاید میباشد هدف از ارتینگ یا گراندینگ در DC نیز مانند AC تعبیه یک مسیر برگشت جهت جریانهای خطای احتمالی میباشد. در شکل های زیر به طور شماتیک انواع روشهای گراندینگ DC نشان داده شده است.

IEC برای تشخیص سیستم ها و هادیهای مختلف در جریان مستقیم از همان نشانه هائی استفاده میکند که برای جریان های متناوب استفاده میشود. برای جریان مستقیم IEC از دو حرف لاتین dc در انتهای علامت استفاده میکند در زیر سیستم های متداول جریان مستقیم طبق گروه بندی IEC نشان داده شده است





توضیحات کامل در استاندارد IEC-60364 آورده شده است.

محاسبه مقاومت چاههای صفحه ای و الکترودی

۱- الکترو دیل یا میله ارت یا لوله ای که در زمین کوبیده شده است

The resistance to earth of a rod or pipe electrode R , in ohms (Ω), is given by the following equation:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\log_e \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$$

where

- L is the length of the electrode, in metres (m);
- d is the diameter, in metres (m);
- ρ is the resistivity of the soil, in ohm metres ($\Omega \cdot m$) (assumed uniform).

۲- الکتروود صفحه ای چهار گوش یا گرد که به صورت عمودی درون چاه قرار میگیرد

Plates The approximate resistance to earth of a plate (R) in ohms (Ω) can be calculated from the following equation:

و رابطه زیر استفاده میکنیم:

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\left(\frac{\pi}{2A}\right)}$$

where

- ρ is the resistivity of the soil (assumed uniform), in ohm metres ($\Omega \cdot m$);
- A is the area of one face of the plate, in square metres (m^2).

$$R_n = R \left(\frac{1 + \lambda a}{n} \right)$$

in which $a = \frac{\rho}{2\pi R s}$

where

- R is the resistance of one rod in isolation, in Ω ;
- s is the distance between adjacent rods, in m;
- ρ is the resistivity of soil, $\Omega \cdot m$;
- λ is a factor given in Table 2 or 3;
- n is the number of electrodes (as given in Tables 2 and 3).

برای مواقعی که بیش از یک میله ارت یا چاه داشته باشیم از دو رابطه روبرو محاسبه میشود.

جداول مربوط به این دو فرمول

هم به صورت زیر میباشند:

این جدول ضریب توازی یا لاندا را برای وقتی که میله ها یا چاهها در امتداد هم روی یک خط مستقیم قرار گرفته اند ارائه میدهد.

Table 2 — Factors for parallel electrodes arranged in line

Number of electrodes (n)	Factor λ
2	1.00
3	1.66
4	2.15
5	2.54
6	2.87
7	3.15
8	3.39
9	3.61
10	3.81

برای حالتی که الکترودها به صورت حلقوی دور ساختمان کوبیده میشوند یا به صورت یک حلقه بسته قرار گیرند ضریب توازی از جدول ۳ محاسبه میگردد.

Table 3 — Factors for electrodes arranged in a hollow square

Number of electrodes (n) along each side of the square	Factor λ
2	2.71
3	4.51
4	5.48
5	6.14
6	6.63
7	7.03
8	7.36
9	7.65
10	7.90
12	8.32
14	8.67
16	8.96
18	9.22
20	9.40

NOTE: The total number of electrodes around the square is $4(n-1)$.

توجه داشته n در این جدول تعداد الکترودها در یک یال است و تعداد کل الکترودها از رابطه $4(n-1)$ محاسبه میشود.

مثلاً اگر دوریک ساختمان کلاً ۱۶ میله ارت کوبیده ایم با توجه به رابطه بالا n که از آن در جدول استفاده میشود ۵ است زیرا: $4(5-1)=16$

۳-الکترودهای سطحی

در این روش با کندن شیارهایی به عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر و همین عرض سیم یا تسمه و یا حتی در کشورهای پیشرفته لوله های مسی درون این شیار قرار میدهند و اطراف آنرا با مواد مخصوص کاهش دهنده مقاومت و جاذب رطوبت می پوشانند. طول این شیارها در بعضی کاربردها حتی به ۱۰۰ متر هم میرسد.

در این حالت مقاومت شبکه ارت از رابطه زیر محاسبه میشود:

P و Q بسته به شکل هندسی شیارهای سطحی و اینکه آیا سیم استفاده شده یا تسمه از جدول زیر به دست میآید.

For a strip or round conductor electrode the resistance R , in ohms (Ω) is given by the following equation:

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

where

L is the length of the strip or conductor, in metres (m);

h is the depth of electrode, in metres (m);

w is the width of strip or diameter of conductor, in metres (m);

ρ is the resistivity of soil, in ohm metres ($\Omega \cdot m$);

P and Q are coefficients given in Table 5 for different arrangements of electrode.

where

ρ is the resistivity of soil, in ohm metres ($\Omega \cdot m$);




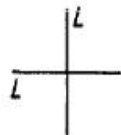
ρ_c is the resistivity of infill material, in ohm metres ($\Omega \cdot m$);

d is the diameter of electrode, in metres (m);

D is the diameter of infill, in metres (m);

L is driven length of electrode, in metres (m).

Table 5 — Coefficients for strip or round conductor electrodes

Electrode arrangement	Coefficient		
	P	Q	
		Strip	Round
Single length ^{a)} 	2	-1	-1.3
Two lengths at 90° 	4	0.5	0.9
Three lengths at 120° 	6	1.8	2.2
Four lengths at 90° 	8	3.6	4.1

^{a)} Where two or more straight lengths, each of length L in metres (m) and of separation s in metres (m), are laid parallel to each other and connected together the combined resistance can be calculated from the following equation:

$$R_n = FR_1$$

where

R_n is the resistance of n straight conductors in parallel, in Ω ;

R_1 is the resistance of one straight conductor in isolation calculated from the equation and coefficients given above, in Ω .

F has the following value:

$$\text{for two lengths, } F = 0.5 + 0.078(s/L)^{-0.307}$$

$$\text{for three lengths, } F = 0.33 + 0.071(s/L)^{-0.408}$$

$$\text{for four lengths, } F = 0.25 + 0.067(s/L)^{-0.451} \text{ provided that } 0.02 \leq (s/L) \leq 0.3.$$

برای حالتی که بیش از یک شیار با هم به صورت موازی قرار گرفته باشند
از روابط کمکی زیر جدول ۵ استفاده میکنیم
این روابط برای ۲ و ۳ و ۴ الکتروود سطحی موازی قابل استفاده است

محاسبه مقاومت الکتروود با بک فیل

در حالتی که جهت کمک به کاهش مقاومت شبکه زمین از مواد کاهش دهنده مقاومت زمین و جاذب رطوبت مثل کک ذغال سنگی با کربن بالا، بنتونیت اکتیو، و یا مواد مشابه استفاده میشود از رابطه زیر میتوان اثر این مواد را به شرط داشتن مقاومت ویژه مواد افزودنی محاسبه نمود.

$$R = \frac{1}{2\pi L} \left[(\rho - \rho_c) \left(\log_e \left[\frac{8L}{D} \right] - 1 \right) + \rho_c \left(\log_e \left[\frac{8L}{d} \right] - 1 \right) \right]$$

نکته قابل توجه در خصوص محاسبه مقاومت شبکه های زمین این است که تاثیر گذارترین پارامتر مقاومت ویژه خاکی است که الکتروودها در آن دفن میشوند به عنوان مثال یک میله ارت مسی به طول ۱/۵ متر و قطر ۲۰ میلیمتر اگر در مناطق خشک و کوهستانی مثل کردستان کوبیده شود مقاومتی حدود ۲۰ اهم دارد در حالیکه اگر دقیقاً همان الکتروود را در منطقه خوزستان بکوبیم مقاومت یک الکتروود ممکن است به ۵ اهم کاهش یابد.
مقاومت ویژه خاک به دو روش عملی قابل اندازه گیری است که در ادامه خواهد آمد، اما جهت مواردی که امکان اندازه گیری عملی وجود ندارد جدول زیر بسته به جنس خاک محدوده مقاومت ویژه را به صورت تقریبی ارائه میدهد.

نوع خاک	مقاومت خاک (اهم متر)
زمین باتلاقی	۵ تا ۴۰
گل و خاک رس	۲۰ تا ۲۰۰
ماسه	۲۰۰ تا ۲۵۰۰
سنگ ریزه	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰
خرده سنگ	کمتر از ۱۰۰۰
شن	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰
گرانیت	۵۰۰۰۰
زمین سنگلاخ	۳۰۰۰۰

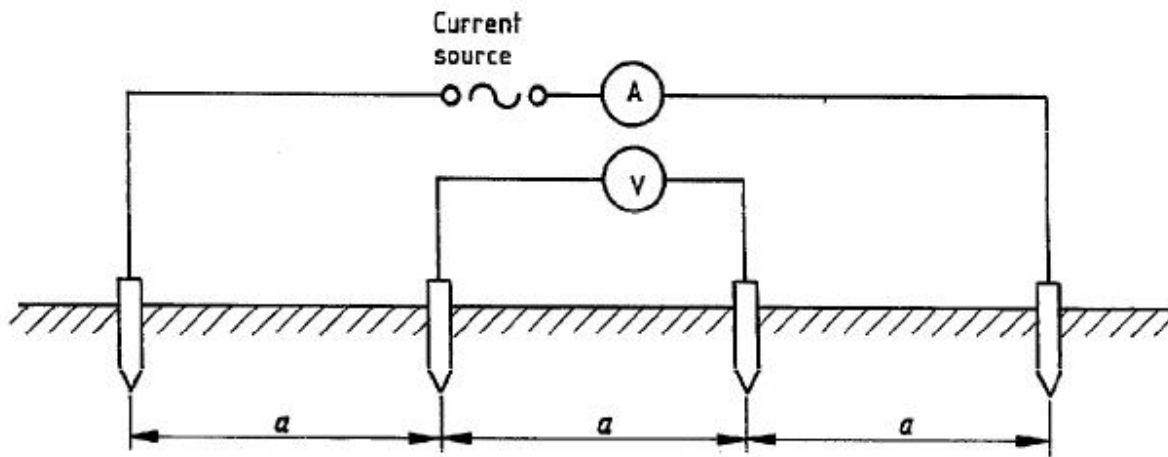
اطلاعات بیشتر در این خصوص را میتوانید از استاندارد BS-7430 که (فایل الکترونیکی آن ضمیمه میباشد) بیابید.

اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی خاک

این پارامتر با اهمیت ترین پارامتر جهت طراحی سیستم های ارت است که بایستی قبل از انجام طراحی در سایت اندازه گیری شود.

از ۳ روش: جعبه تست یا Soil Box, تک الکترودی Single Pin و چهار الکترودی یا روش ورنر 4 pin werner بهترین و عملی ترین روش همان روش ورنر است که ویژگی جالب آن این است که با جابجائی فاصله ۴ الکترود در سطح می توان با تقریب بسیار بالایی مقاومت ویژه خاک در عمق را اندازه گیری نمود.

در این روش به دستگاه اندازه گیری مقاومت ۴ پین نیاز می باشد و بادستگاههای ۳ پین که R را اندازه گیری می کنند نمی توان مقاومت ویژه الکتریکی خاک یا ρ را محاسبه نمود.



در این روش ۴ الکترود باید در فواصل مساوی و روی یک امتداد کوبیده شوند

و اگر مثلاً فاصله الکترودها یا a برابر با ۱ متر باشد مقاومت ویژه خاک در عمق ۱ متری اندازه گیری شده و اگر a را ۱۰ متری قرار دهیم مقاومت ویژه خاک در اعماق ۱۰ متری اندازه گیری خواهد شد.

در این روش دستگاه ۴ پین معمولاً حاصل تقسیم ولتاژ بر جریان یا R را می خواند و برای محاسبه ρ بایستی از رابطه

$$\rho = 2 * \pi * a * R$$

استفاده کنیم که اگر a را بر حسب متر بگذاریم ρ بر حسب اهم متر محاسبه می شود برای تبدیل اهم متر به اهم سانتی متر هم در ۱۰۰ ضرب می کنیم.

در این روش هم ریختن آب روی الکترودها و اطمینان از اتصال دقیق سیم های رابط به میخ ها خیلی مهم است.

در این روش برای بالا بردن دقت می توان مقاومت سیم های رابط را هم لحاظ نمود به این صورت که با اهم متر دقیق مقاومت مجموع سیم های رابط را اندازه می گیریم و به R اندازه گیری شده که روی صفحه است اضافه می کنیم و R جدید را در فرمول فوق میگذاریم .

این عدد معمولاً در مقابل مقاومت خاک بسیار ناچیز است. به عنوان مثال اگر در یک پروژه فاصله الکتروها و اعداد بدست آمده بشرح ذیل باشند. مقاومت ویژه خاک را حساب می کنیم.

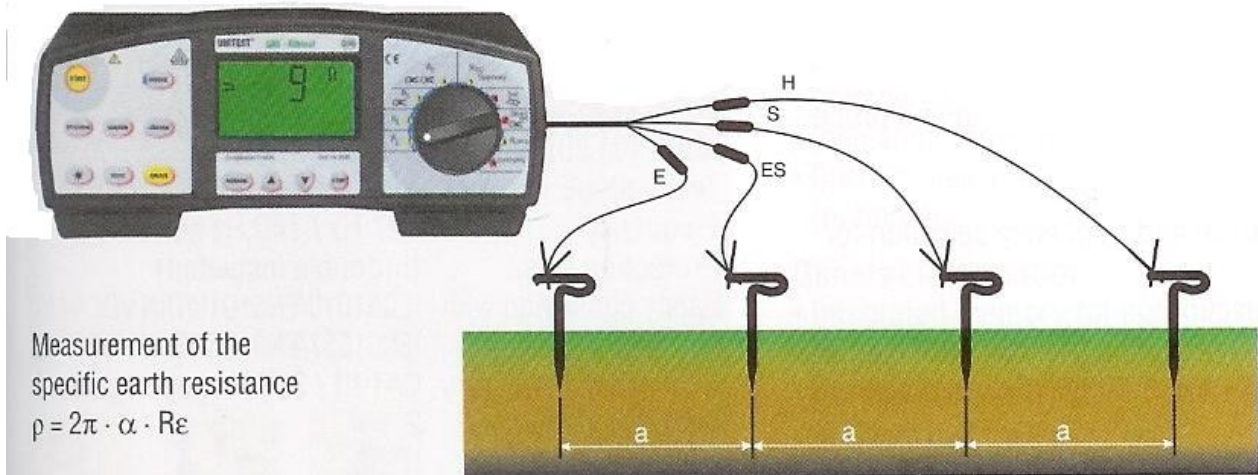
a (m)	R(ohm)
1	10
2	15
3	15

در عمق ۱ متری $\rho = 2 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot 10 = 62.8 \text{ } \Omega \cdot \text{m} = 6280 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$

در عمق ۲ متری $\rho = 2 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 15 = 188.5 \text{ } \Omega \cdot \text{m} = 18850 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$

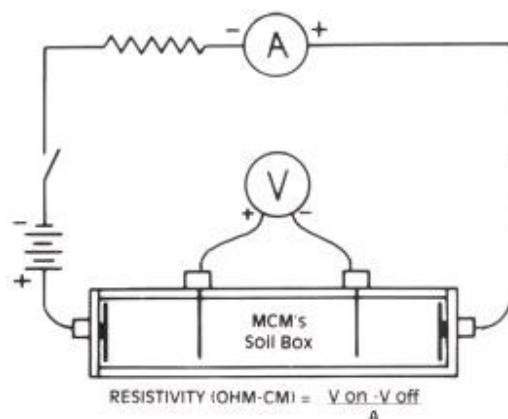
در عمق ۳ متری $\rho = 2 \cdot 3.14 \cdot 3 \cdot 15 = 282.78 \text{ } \Omega \cdot \text{m} = 28278 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$

در عمق ۳ متری



اندازه گیری مقاومت ویژه به روش Soil Box

در این روش از خاک منطقه در اعماقی که میخواهیم مقاومت آنرا اندازه گیری کنیم نمونه بر میداریم و درون جعبه اندازه گیری می ریزیم و با اصولی شبیه ۴ پین یعنی تزریق جریان از طریق دو الکتروود اطراف و اندازه گیری پتانسیل توسط دو الکتروود وسط و تقسیم این پتانسیل بر جریان تزریق شده و روابط کمکی میتوان مقاومت ویژه خاک را اندازه گیری کنیم.



این روش نسبت به روش سایتی دارای معایبی میباشد از جمله اینکه چون از خاک نمونه برداری میکنیم قطعاً نسبت به خاک منطقه و شرایط واقعی سایت نتایج متفاوت است و عدد اندازه گیری شده در سایت واقعی تر است. دومین عیب این روش نسبت به روش ۴ پین و نر این است که برای اندازه گیری مقاومت ویژه در اعماق خاک حتماً بایستی حفاری نمود در حالیکه در روش و نر با تغییر الکتروود در سطح زمین میتوان مقاومت خاک در اعماق را بدون حفاری اندازه گیری نمود.

اندازه گیری مقاومت شبکه زمین

روش های اندازه گیری مقاومت شبکه زمین در این دوره بطور مفصل بحث خواهد شد ضمن اینکه عملاً نیز در سایت اندازه گیری انجام خواهد شد اما در اینجا به اختصار و عمدتاً تجارب بدست آمده از اندازه گیری متعدد در سیستم ها و صنایع مختلف بیان خواهد شد.

اولین نکته این است که اندازه گیری مقاومت شبکه زمین اعم از یک چاه یا میله ارت تا یک شبکه ارت بزرگتر را نبایستی ساده فرض کرد و تا حدودی روشهای قدیمی و عمدتاً توأم با اشتباه را کنار گذاشت.

بهترین روش اندازه گیری همان روش افت ولتاژ یا **fall of potential** است که در شکل زیر نشان داده شده است

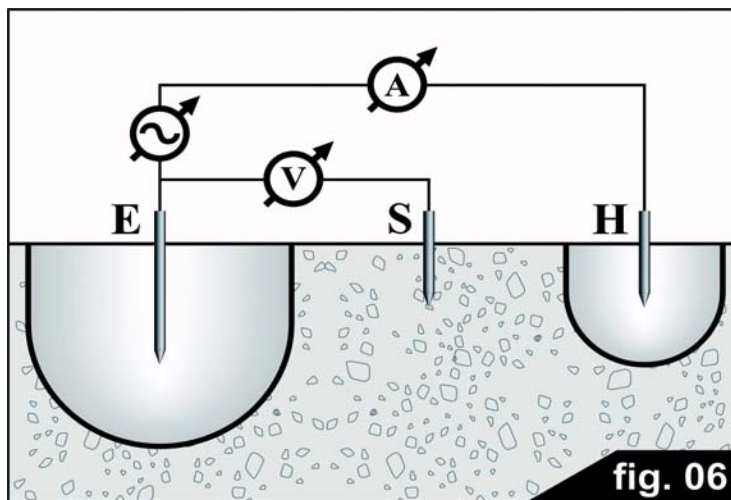
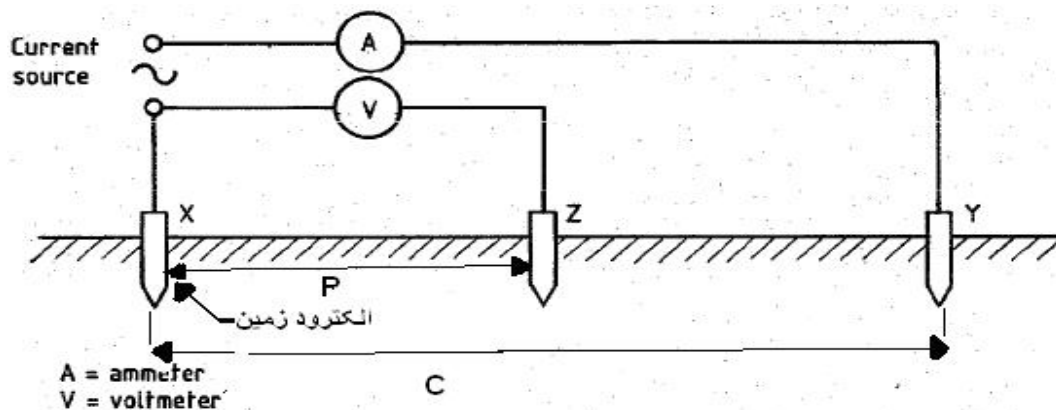


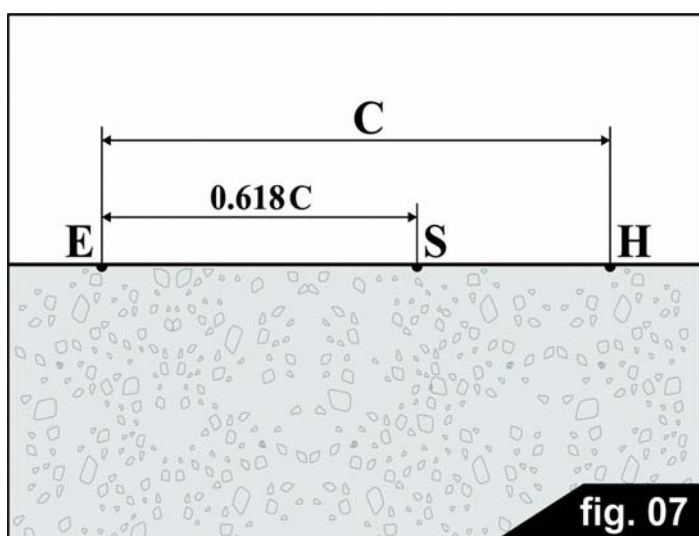
fig. 06

اصول کار این است که یک جریان با فرکانس حول و حوش ۱۰۰ هرتز به شکل مربعی از طریق دستگاه والکتروود C به زمین وارد می شود و این جریان از زمین عبور کرده و از طریق صفحه ارت به دستگاه بر می گردد، این جریان در زمین افقی ایجاد می کند که افت ولتاژ نسبت به چاه ارت است و این افت توسط الکتروود P اندازه گیری می شود. میزان این افت تقسیم بر جریان ارسالی بر حسب Ω است که دستگاه نشان می دهد و همان مقاومت چاه ارت است.



مهمترین نکته در این روش فواصل میخ های C و P از چاه یا شبکه مورد اندازه گیری است که در اندازه گیریها نقش به سزایی دارد.

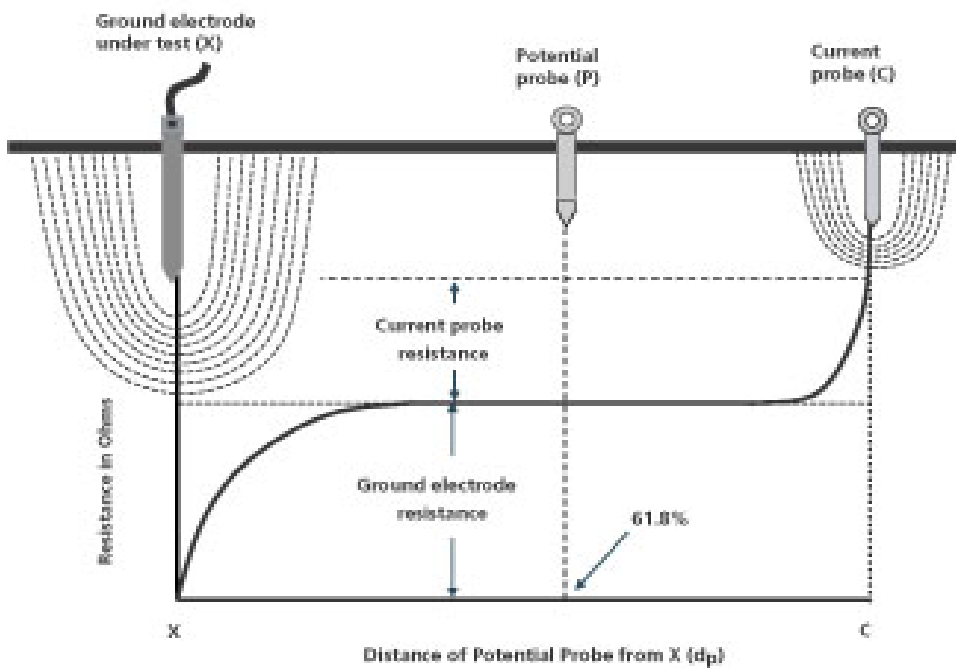
اگر سیستم مورد نظر یا همان X یک میله ارت یا صفحه ارت ساده و تک باشد الکتروود Y را ۳۰ تا ۵۰ متر دورتر از میله ارت می کوییم و Z را هم وسط یعنی $\frac{1}{2}C$ قرار داده و عدد را می خوانیم، اگر 5 متر الکتروود Z را به سمت X نزدیک کرده و عدد دوم را بخوانیم و در مرحله سوم کمتر به سمت Y رفته و عدد سوم را بخوانیم یعنی الکتروود Y روی ۳۰ تا ۵۰ هر عددی که امکان کوبیدن هست مانده و تغییری نکنند ولی الکتروود وسط در ۳ نقطه حرکت کرده و ۳ عدد بدست آید و اعداد خوانده شده نزدیک هم باشند و اختلاف آنها بیش از ۵٪ نباشد میانگین ۳ عدد خوانده شده همان R شبکه یا صفحه ارت است، اگر اعداد با هم اختلاف زیادی داشتند بایستی C را بیشتر کنیم و آزمایش را تکرار کنیم.



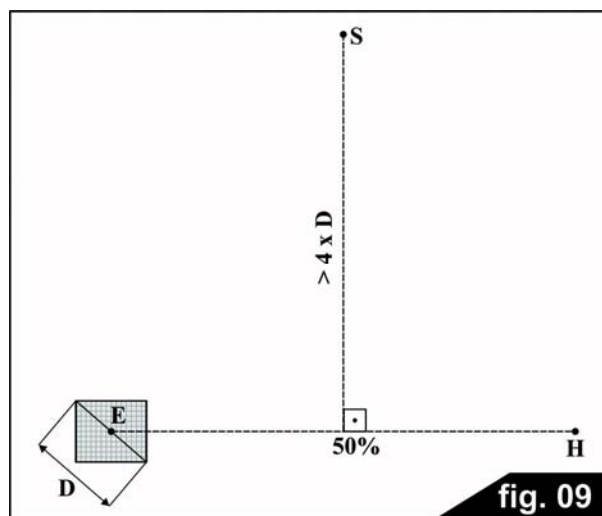
این روش برای سیستم های با تعداد چاه بیشتر با افزایش C حتی تا چند صد متر قابل انجام است که توضیحات آن هم در کلاس داده شده و هم در جزوه اشاره شده موجود است.

بطور کلی در صورتیکه بتوان منحنی R بر حسب P را ترسیم نمود و در اطراف $P=62\%C$ تغییرات R کم باشد یا به اصطلاح به قسمت تخت منحنی برسیم عدد بدست آمده درست در غیر اینصورت بایستی C را افزایش داده و دوباره منحنی را رسم کنیم

توجه شود که میزان کوبیدن الکتروودهای تست چندان به صحت و دقت آزمایش کمک نمی کند و بر عکس بایستی میله ها را بیش از ۲۰ سانت درون خاک نکوییم، ولی در عوض ریختن آب پای الکتروودها دقت آزمایش را بالا می برد و عدد واقعی تری را اندازه گیری می کنیم.



این روش برای شبکه های زمین گسترده شامل چندین میله یا چاه ارت که در فواصل مختلف نصب شده و به هم متصل شده اند و همچنین شبکه توری زمین پست ها نیز قابل انجام است به شرطی که بتوان به قسمت تخت منحنی رسید که لازمه این کار سیم کشی در طول های زیاد است. یک معیار جهت برآورد اینکه در شبکه های ارت گسترده الکتروود جریان را تا کجا بایستی امتداد داد و اساساً چقدر سیم کشی لازم داریم این است که فاصله الکتروود جریان از شبکه ارت بایستی حداقل ۵ برابر بزرگترین ابعاد شبکه مسی باشد و یا فاصله الکتروود ولتاژ حداقل ۴ برابر بزرگترین ابعاد شبکه ارت باشد. که در صورت اخیر یعنی به صورت شکل زیر میتوان امتداد مسیر الکتروود ولتاژ را در ۵۰٪ قرار داده و در ۹۰ درجه هندسی نسبت به امتداد جریان حرکت کرد و اندازه گیری را انجام داد.



اندازه گیری مقاومت شبکه زمین به روش دو الکترودی

در بعضی مواقع که کوبیدن الکتروود امکان پذیر نمی باشد و یا فضای لازم جهت سیم کشی و کوبیدن میله ها وجود ندارد در صورتی که نزدیک میله ارت مزبور یک سیستم لوله کشی گسترده آب مدفون، فونداسیون گسترده و یا سیم نول وجود داشته باشد به راحتی و بدون کوبیدن

الکتروود میتوان مقاومت شبکه ارت را با تقریب بالائی به دست آورد. روش کار به این صورت است که یک سیم از چاه ارت به دستگاه ارت تستر وصل میکنیم و یک سیم هم از سیم نول یا ارت گسترده به دستگاه می آوریم و دستگاه را در حالت دو پین قرار میدهیم و تست را انجام می دهیم .

دقت این آزمایش به اندازه روش ۳ پین نمی باشد ولی روش بسیار ساده ای است و معمولا جواب قابل قبولی خواهد داد.

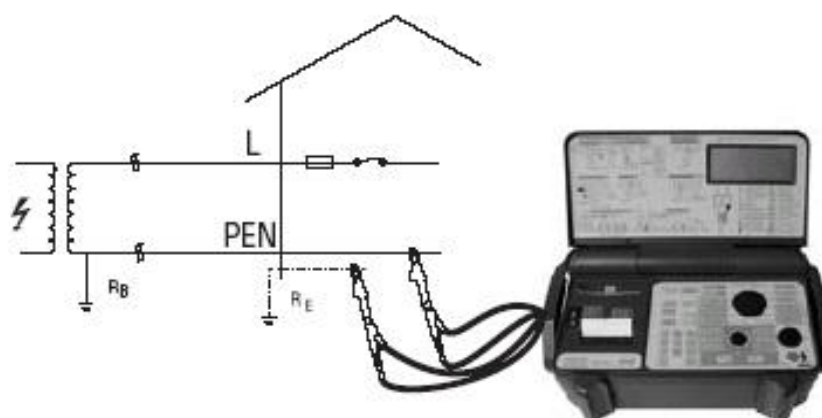
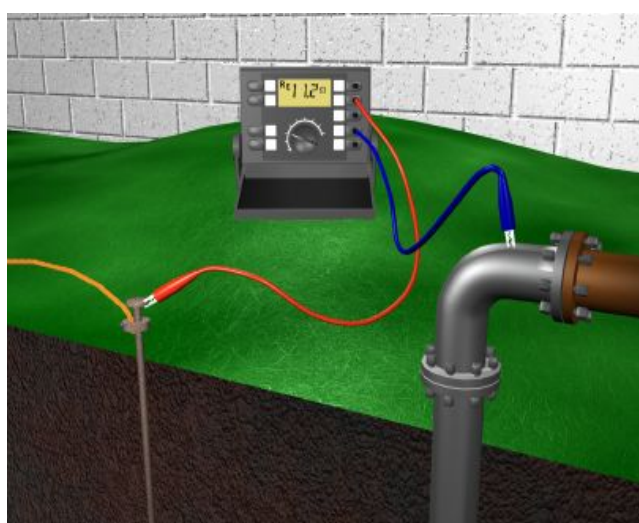


Figure 6.4.2, Earth resistance, 2- pole Measurement

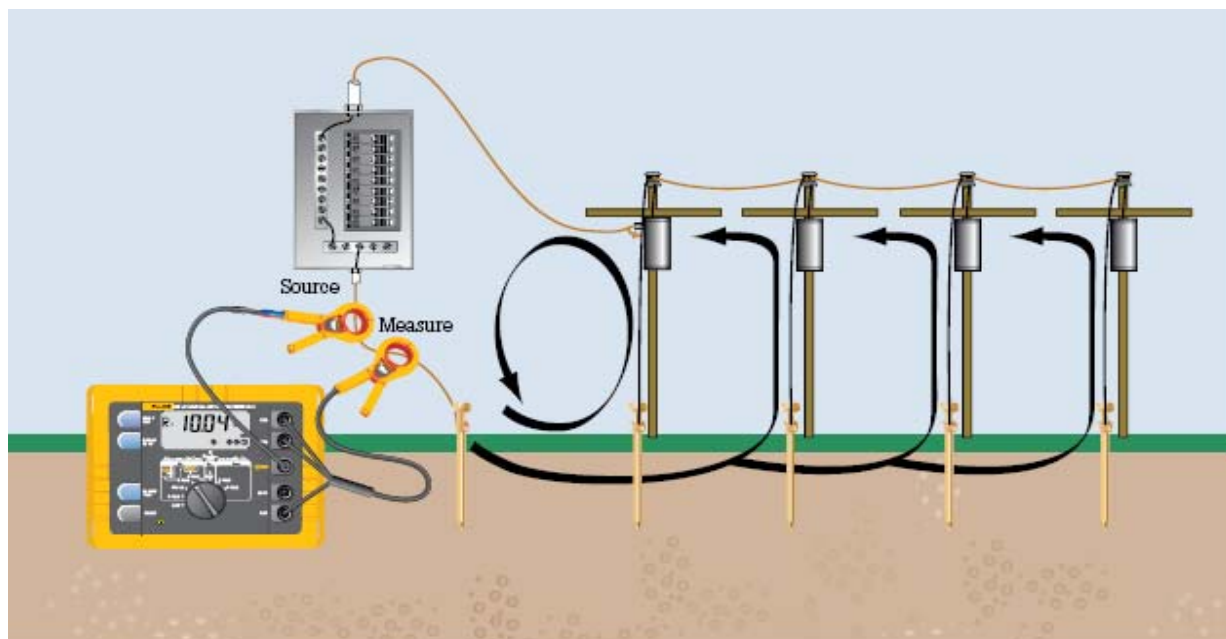
اندازه گیری بدون کوبیدن میله stake less measurement

این روش بسیار عملی و مفید است و نیازی به کوبیدن الکتروود نداشته و حتم نیازی به باز کردن سیم رایزر ارت جهت اندازه گیری مقاومت آن چاه نمیباشد. در این روش نیاز به دستگاه مخصوصی با دو انبرک یا کلمپ میباشد.

توسط یکی از انبرک ها که دور سیم زمین حلقه میزند ولتاژی به سیم زمین القا میشود و توسط حلقه دوم که این نیز در همان محل چفت میشود جریان عبوری از حلقه زمین ناشی از این ولتاژ اندازه گیری میشود و مانیتور دستگاه حاصل تقسیم این دو یعنی مقاومت شبکه زمین را نشان خواهد داد .

این روش به طور مشخص برای مواقعی که چند میله یا چاه ارت با هم موازی شده و تشکیل یک شبکه ارت گسترده و موازی را داده اند بسیار کاربردی میباشد .

شکل های زیر نحوه تست را به طور شماتیک نشان میدهد .



Test current paths in the stakeless method.



Setup for the stakeless method using the 1625.



انواع خطاها و خطرات احتمالی در یک سیستم برق

در یک سیستم قدرت اعم از تولید، انتقال و توزیع، خطاها و اختلال های زیر میتوانند سبب تولید اضلفه ولتاژها و اضافه جریان های ناخواسته گردد که این اضافه ولتاژ یا اضافه جریان ها را surge میگویند که معادل فارسی آن جهش ناگهانی و ناخواسته جریان یا ولتاژ است و در این جزوه به طور اختصار کلمه جهش را به کار میبریم پس در این جزوه جهش همان surge است. ۴ نوع جهش در یک سیستم برق قابل تفکیک است:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Lightning | ۱- جهش ناشی از وقوع صاعقه |
| Electrostatic discharge | ۲- جهش ناشی از تخلیه بارهای ساکن |
| Switching | ۳- جهش ناشی از کلید زنی |
| Power Frequency | ۴- جهش فرکانس قدرت |

ویژگیهای چهار جهش فوق در جدول زیر آمده است:

Surge	Duration	Steepness of rising edge, or frequency	Damping according to distance
Lightning	Very short (μs)	Very high (1000 kV/ μs)	Strong
Electrostatic discharge	Very short (ns)	High (≈ 10 MHz)	Very strong
Switching	Short (ms)	Average (1 to 200 kHz)	Average
At power frequency	Long (s), or very long (h)	Network frequency	Zero

Fig. 1: the four types of surge present on the electrical networks.

از جدول فوق مشخص است که دو جهش ناشی از صاعقه و بارهای ساکن بسیار سریع به مدار وارد و سریع نیز در طول مسیر نسبت به محل تخلیه از بین میروند (دمپ میشود) که شاید از جهاتی خطرناکترین نوع جهش باشد. ولی جهش فرکانس قدرت در طول مسیر دمپ نمیشود و نیاز به فرمان رله ها و قطع کلید و برگر دارد.

جهش صاعقه: صاعقه خطر طبیعی ناشی از تخلیه مستقیم بارهای الکترو استاتیک ابرهای باردار و مستعد صاعقه است. برای پی بردن به خطرات این رخداد طبیعی به آماری در این رابطه در کشور نسبتاً پیشرفته فرانسه توجه کنید:

در فرانسه سالانه حدود ۲ میلیون صاعقه رخ میدهد که در طی این یک سال ۴۰ انسان، ۲۰۰۰ رآس دام، ۱۵۰۰۰۰ مورد آتش سوزی، ۵۰۰۰۰ قطع و اخلال در شبکه های برق و مخابرات و تعداد بیشماری ترانسفورماتور و لوازم برقی خانگی دچار حادثه میشوند.

صاعقه به دو صورت مستقیم (DIRECT) و غیر مستقیم (INDIRECT) اثر گذار است

اثر مستقیم یعنی صاعقه مستقیماً به جسم بخورد که خطرات آن واضح است، جدول زیر به صورت آماری احتمال وقوع و میزان آن را مورد بررسی قرار داده است:

Overrun possibility	Current peak	Load	Slope	$\int i^2 dt$	Total duration	Number of discharges
P (%)	I (kA)	Q (C)	S (kA/ μs)	(KA ² .s)	T (s)	n
50	26	14	48	0.54	0.09	1.8
10	73	70	74	1.9	0.56	5
1	180	330	97	35	2.7	12

Fig. 5: main characteristics for lightning strokes (source: Soulé).

آمار و تحقیقات مندرج در BS احتمال وقوع صاعقه را به صورت زیر بیان کرده است:

1% of strokes 200 000A

10% of strokes 80 000A

50% of strokes 28 000A

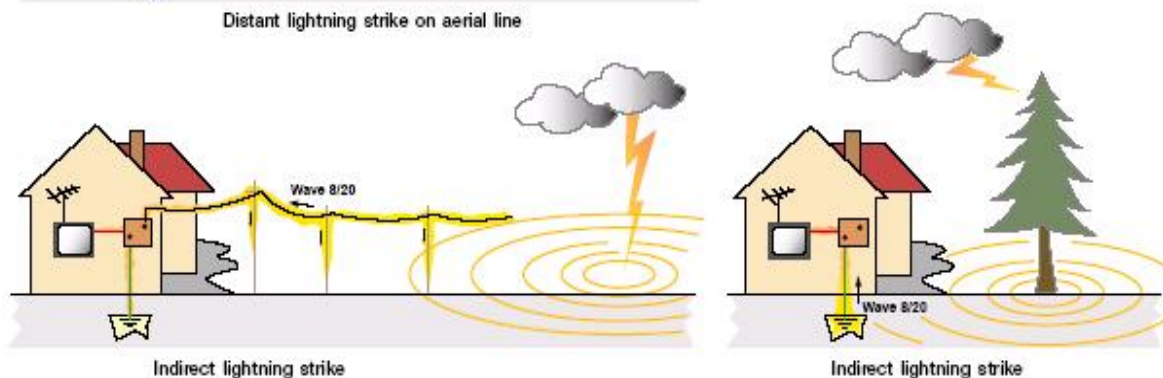
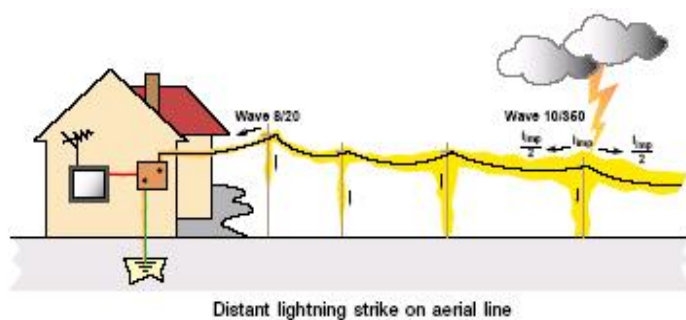
90% of strokes 8 000A

99% of strokes 3 000A

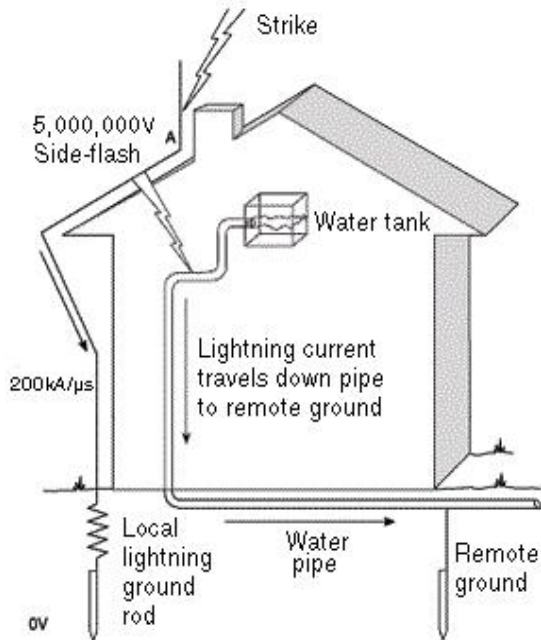
از جداول فوق پیدا است که خوشبختانه ۱ درصد امکان وقوع صاعقه مخرب و فاجعه آمیز ۲۰۰ یا ۱۸۰ کیلو آمپری خواهیم داشت هر چند این آمار نیز آنچنان قابل تکیه نخواهد بود.



اثرات غیر مستقیم صاعقه: یعنی با اینکه صاعقه در مسافت هایی دورتر از ما و تاسیسات ما تخلیه شده ولی اثرات مخرب آن توسط ما و یا تاسیسات ما قابل دریافت است.



به عنوان مثال در شماتیک روبرو با اینکه سیستم گراند برق گیر هم اجرا شده ولی به علت بالا بودن مقاومت گراند یا شل بودن کلمپ ها و یا قدرت و شدت بیش از حد جریان صاعقه، این جریان از دو مسیر یکی مسیر گراند صاعقه و دیگری از طریق مخزن و لوله آب عبور کرده است که میتواند برای اشخاصی که در آن لحظه با سیستم لوله کشی در ارتباط هستند خطرناک باشد



به سه طریق ممکن است صاعقه اثر غیر مستقیم خود را بگذارد:

CONDUCTED SURES
RISE IN EARTHING POTENTIAL
RADIATION

۱- اثر هدایتی

۲- به صورت افزایش پتانسیل زمین

۳- اثر مغناطیسی یا تابشی

اثر هدایتی این است که صاعقه روی خط هوایی فشار متوسط MV برخورد و چند کیلومتر روی سیم ها حرکت کرده و زمین نشود تا به ترانس برسد و از طریق اثر خازنی از ترانس عبور کرده و به سمت فشار ضعیف L بیاید. یک قاعده تجربی نشان داده که ۴ درصد دامنه جهش سمت فشار متوسط روی خط فشار ضعیف میافتد و بررسی های آماری نشان داده حدود ۹۱ درصد از جهش های هدایتی منتقل شده به سمت فشار ضعیف از ۴ کیلوولت تجاوز نمیکند. شکل زیر به طور شماتیک اثر هدایتی را نشان میدهد.



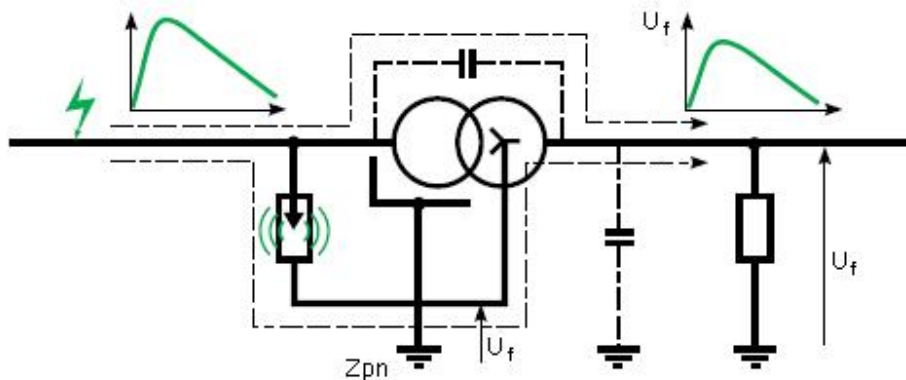


Fig. 7: transmission of a lightning surge, from MV to LV, takes place by capacitive coupling of the transformer windings.

توجه به شکل فوق این موضوع مهم را هم می‌رساند که اتصال سیستم زمین برقی فشار متوسط، بدنه ترانس و نقطه ستاره سمت فشار ضعیف (یا نول) به یکدیگر در این حالت مناسب نمی‌باشد زیرا حتی با اینکه برقی عمل کرده چون ارت ها متصل هستند ولتاژ تماسی قابل توجه U_f را در سمت LV خواهیم داشت.

اثر غیر مستقیم افزایش پتانسیل زمین هم به این صورت قابل بیان است که به فرض صاعقه مستقیماً روی یک درخت تخلیه شود و به زمین هدایت بشود در همان منطقه اطراف درخت اطفاء نمیشود و بسته به مقاومت زمین مسافتی را در جهات مختلف درون زمین می‌پیماید. این اثر باعث میشود گرادیان پتانسیل زمین که قبل از وقوع این صاعقه آرام و صفر بود افزایش یابد و این افزایش در اطراف درخت بیشتر است و با دور شدن از درخت به سمت صفر میل میکند حال اگر در این حول وحوش سیستم زمین داشته باشیم پتانسیل این سیستم افزایش می‌یابد به شکل صفحه بعد توجه شود.

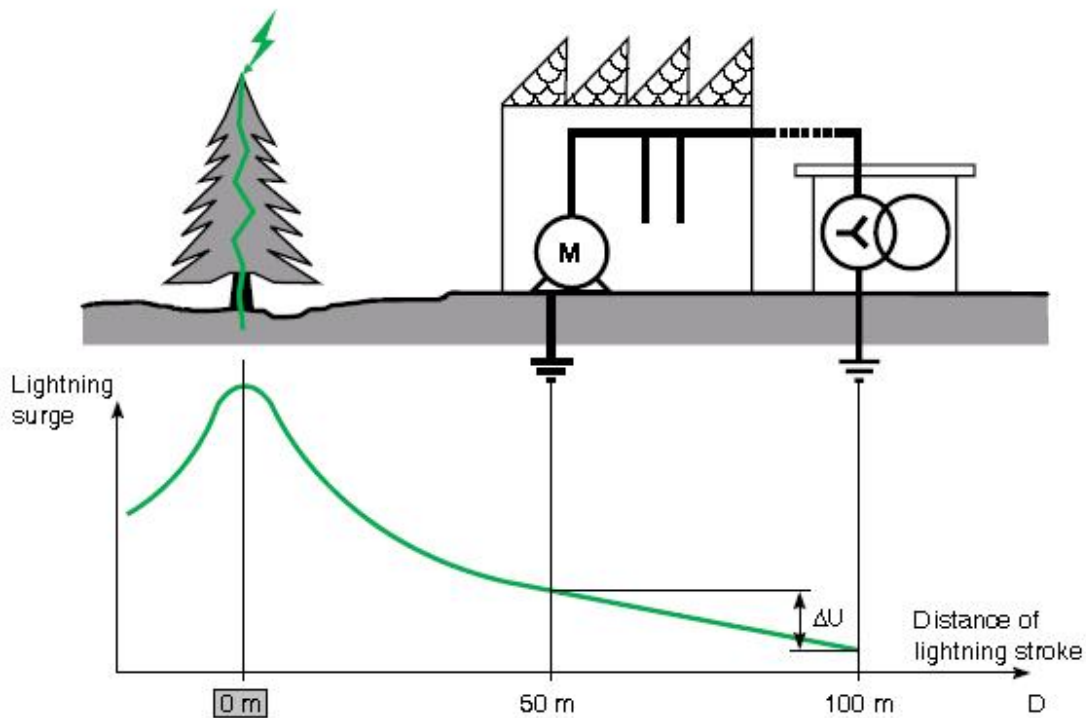


Fig. 8: diagram explaining the rises and differences in potential of the earths of an electrical installation.

یک رابطه مفید میزان این پتانسیل گیری ارت را نسبت به فاصله سیستم ارت از محل تخلیه صاعقه (درخت) و مقاومت ویژه خاک به صورت زیر بیان میکند:

$$U = (0.2I * \rho_s) / D$$

که جریان صاعقه بر حسب آمپر

ρ_s مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر

D فاصله تجهیزات ارت شده از محل وقوع صاعقه

به عنوان مثال در شکل فوق اگر شدت جریان صاعقه ۲۰ کیلو آمپر و مقاومت ویژه خاک منطقه ۱۰۰ اهم متر باشد میزان افزایش

پتانسیل دو سیستم ارت شده یعنی الکترو موتور و سیم نول ترانس به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$U_1 = (0.2 * 20 * 1000 * 100) / 100 = 4000 \text{ V}$$

اضافه ولتاژ سیم نول

$$U_2 = (0.2 * 20 * 1000 * 100) / 50 = 8000 \text{ V}$$

اضافه ولتاژ سیم ارت الکترو موتور

$$U = 8000 - 4000 = 4000 \text{ V}$$

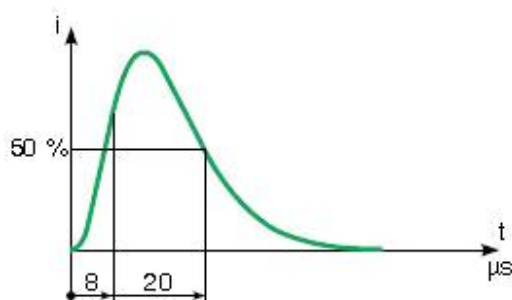
(اختلاف پتانسیل بین سیم نول و ارت)

که می بینیم مقدار قابل توجهی است یعنی صاعقه روی درختی در ۵۰ و ۱۰۰ متری از تاسیسات ما تخلیه میشود و سیم نول تاسیسات ما ۴۰۰۰ ولت ولتاژ می گیرد. البته این مثال یک مثال آکادمیک است و معمولاً جریان صاعقه در زمین در این فواصل در حد کیلو آمپر نیست.

اثر الکترو مغناطیسی

این اثر از ماهیت تخلیه و دمپ سریع جریان صاعقه که در حدود میکرو ثانیه است پدید میآید. بررسیها و مطالعات آماری در خصوص شبیه سازی شکل موج صاعقه منجر به ارائه دو شکل موج استاندارد جهت تخلیه و دمپ جریان صاعقه گردیده که این دو شکل مبنای مطالعات و طراحیها و انتخاب تجهیزات گردیده است. شکل زیر این دو شکل موج استاندارد را نشان می دهد:

a) "Current" 8/20 μ s wave



b) "Voltage" 1.2/50 μ s wave

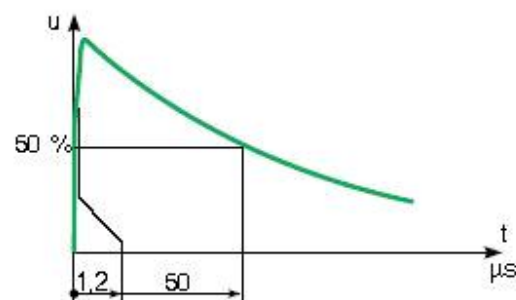


Fig. 9: standardised lightning waveforms.

بامشاهده این دو موج که به ترتیب به موج 8/20 و موج 1.2/50 معروف هستند می بینیم تغییرات جریان نسبت به زمان یعنی همان di/dt در آنها بسیار ناگهانی است، اگر جریان صاعقه رادر حد کیلوآمپر بگیریم پس:

$$di/dt = 1000000 / 0.000008 \sim 1 * 10^{11}$$

حال با توجه به رابطه $V = L di/dt$ چون di/dt بسیار زیاد است حتی در یک سیم با اندوکتانس بسیار پایین و در حد میکرو هانری هم میتواند ولتاژ قابل توجه و در حد هزاران ولت القاء شود. و اگر این سیم حلقه بسته باشد جریان قابل توجه و ناخواسته ای در آن القاء خواهد شد.

جهش ناشی از بارهای ساکن:

در این خصوص در ابتدای جزوه توضیح داده شده است.

جهش های ناشی از کلید زنی:

این نوع جهش در شبکه های برق و در مواردی که سریعاً میخواهند تغییرات و اصلاحاتی در سیستم ایجاد نمایند مثلاً بخشی از مصرف را سریعاً قطع نمایند یا بخشی را سریع وارد مدار کنند بوجود میآید.

این نوع جهش معمولاً دارای فرکانس بالا و دمپ سریع است. از عوامل ایجاد این نوع جهش میتوان به قطع و وصل سریع بارهای القایی مثل قطع و وصل الکتروموتورهای بزرگ، ترانسفورماتور و حتی کنتاکتورها اشاره نمود. ولتاژ این نوع جهش در حد چند هزار ولت است که در عرض چند میلی ثانیه به مقدار پیک میرسد. قطع ناگهانی و ناخواسته جریانهای خیلی زیاد حتی اهمی نیز یکی از عوامل تولید این نوع جهش خواهد بود.

جهش های فرکانس قدرت

مشخصه این نوع جهش پایین بودن فرکانس آن است که معمولاً ۵۰ و ۶۰ و یا ۴۰۰ هرتز است. به سه طریق این جهش در شبکه برق و عموماً شبکه توزیع به وجود خواهد آمد:

۱- مادامیکه برق گیر سمت فشار متوسط مشغول عبور صاعقه ای است که روی خط MV تخلیه شده است.

در اینحالت از زمان فعال شدن برق گیر تا زمانیکه کلیدهای پست عمل کند جریان به زمین هدایت میشود که این جریان دارای فرکانس شبکه است و در مدت کسری از ثانیه از طریق برقگیر به زمین میرود و در صورتیکه ارت برق گیر و نول فشار ضعیف یکی باشد باعث افزایش ناخواسته ولتاژ ارت و نول در سمت فشار ضعیف خواهد شد. (رجوع به شکل صفحه ۴۰)

افزایش پتانسیل سمت فشار ضعیف در حالتی که عایق ترانسفورماتور در سمت فشار متوسط تخریب شود و به بدنه ترانس اتصالی شود و بدنه ترانس و نول فشار ضعیف هم به یک ارت مشترک وصل باشند پیش خواهد آمد.

۲- در شبکه های LV هوائی که سه فاز و نول را منتقل میکنند قطع سیم نول میتواند باعث افزایش پتانسیل فازها و نامتعادل شدن پتانسیل آنها شود که این نیز یکی از انواع جهش فرکانس قدرت است.

۳- در شبکه های LV با نول ایزوله IT اگر بنا به دلایلی یکی از فازها به زمین اتصالی کند ولتاژ دو فاز سالم نسبت به زمین افزایش مییابد و به حدود ولتاژ فاز به فاز میرسد یعنی مثلاً در شبکه ایران به فرض اینکه نول ایزوله باشد و ارت نشود در صورتی که یک فاز قطع شود ولتاژ ۲ فاز دیگر نسبت به نول به حدود ۳۸۰ ولت خواهد رسید که این هم جهش فرکانسی است و اگر دفع نشود میتواند به لوازم خانگی تکفاز آسیب برساند.

حفاظت ثانویه SECONDARY PROTECTION

با وجود انواع جهش SURGE که در بالا گفته شد و با توجه به اینکه امروزه لوازم و تجهیزات برقی مخابراتی و کامپیوتری حساس به اضافه ولتاژهای ناخواسته (جهش) در منازل و بازار و صنعت به فراوان یافت میشوند و این وسایل به جهش حساس تر هستند لزوم طراحی و نصب سیستم موسوم به حفاظت ثانویه بیشتر میشود.

حفاظت اولیه همان تمهیداتی است که جهت کاهش خطرات مستقیم صاعقه در نظر گرفته میشود و حفاظت ثانویه تمهیداتی است که جهت کاهش خطرات غیر مستقیم صاعقه (که در بالا به طور اختصار به آنها اشاره شد) در نظر گرفته می شود. این نکته نیز قابل ذکر است که سرچ ارسترها یی که در شبکه های LV و مصرف کننده های صنعتی و خاتگی نصب میشوند در اینجا بحث میشود.

این تمهیدات و تجهیزات در این جزوه تحت عنوان برق گیرهای ثانویه (SECONDARY ARRESTERES) بیان میشوند که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

کاربرد اصلی برقگیرهای ثانویه

۱- برقگیر ثانویه جهت حفاظت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی

و منابع تغذیه فشار ضعیف تا ولتاژ ۱۰۰۰ ولت

Surge arresters for power supply systems and equipment up to 1000 V

۲- برقگیر ثانویه جهت سیستم ها و تجهیزات تبادل اطلاعات

Surge arresters for information technology systems and equipment

۳- برقگیر ثانویه جهت کابل های آنتن کواکسیال رادیو و تلویزیون

Coaxial protection

بعنوان مثال در یک ساختمان مسکونی علاوه بر نصب برقگیر ثانویه الکتریکی بر سر راه فاز و نول و ارت، برقگیر ثانویه مخابراتی یا داده جهت تمامی خطوط تلفن ورودی به ساختمان، مودم کامپیوتر، کابل تلویزیون در سیستم های تلویزیون کابلی و غیره نیز نصب می گردد.



ارستر جهت آنتن
تلویزیون



ارستر جهت تلفن



ارستر جهت خط تغذیه برق
سه فاز



ارستر جهت دیش (BNC کانکتور)



ارستر جهت خط تلفن



ارستر جهت تغذیه برق تک فاز

برقگیرهای ثانویه دارای سطوح حفاظتی و ویژگیهای متنوعی هستند که بسته به کاربرد و نوع دستگاههای مورد حفاظت طراحی و نصب می گردند.

ولتاژ ایمپالس این برقگیرها (Maximum impulse withstand voltage)، در سیستم های فشار ضعیف زیر ۱۰۰۰ ولت در ۴ محدوده ۱/۵ کیلوولت، ۲/۵ کیلوولت، ۴ کیلوولت و ۶ کیلوولت و در انواع تکفاز و سه فاز تقسیم می شوند و کلاس حفاظتی اینها از کلاس I تا III قابل تغییر است که این نیز توسط طراحی و از روی مشخصات فنی سازنده این تجهیزات تعیین می گردد.

علاوه بر کلاس حفاظتی و ولتاژ ایمپالس به سایر مشخصات مهم این برقگیرها از جمله جریان تخلیه ماکزیمم (Max. discharge current)، پاسخ زمانی نوعی فیوز پشتیبان و درجه حرارت عملکرد آنها اشاره نمود که در هر کاربردی می تواند طراحی و انتخاب شود.

پارامترهای مهم برقگیرهای ثانویه داده (data) نیز بعضاً مشابه برقگیرهای ثانویه تغذیه است با این تفاوت که مثلاً ولتاژ عملکرد برقگیرهای ثانویه ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۱۱۰ ولت است و جریان تخلیه ماکزیمم آنها نیز بمراتب کمتر است.

از ویژگیهای متمایز برقگیرهای ثانویه خطوط تلفن می توان به نرخ داده (data rate) برحسب M Bit/S و نیز ظرفیت پارازیتی

(Parasitic capacitance) آنها برحسب nf اشاره نمود.

کلاس حفاظتی برق گیرهای حفاظت ثانویه یا سرج ارسترها و یا SPD ها (Surge Protection Devices) استاندارد IEC664 و IEC61643 ارسترهای فشار ضعیف را به سه طبقه و یا کلاس I, II, III تقسیم میکند. در حالیکه استاندارد

DIN VDE 0675 آنها را به ۴ کلاس A, B, C, و D تقسیم میکند.

استاندارد DIN VDE 0110 سیستم های LV را به ۴ گونه (Category) به اسامی I,II,III,IV تقسیم میکند که بر مبنای آن ارسترها بایستی نصب گردند. برای یک سیستم فشار ضعیف ۴۰۰ ولت در استاندارد IEC گونه (category I) یعنی:

ارستر با ولتاژ ایمپالس ۶ کیلو ولت پس از ترانس فشار ضعیف نصب شود

گونه II یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۴ کیلو ولت قبل از کنتور و در ورودی ساختمان نصب شود

گونه III یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۲/۵ کیلو ولت پس از کنتور و قبل از تابلوی توزیع طبقات نصب شود و بالاخره:

گونه IV یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۱/۵ کیلو ولت جهت همه لوازم خانگی حساس به اضافه ولتاژ نصب شود.

در استاندارد IEC 61643-1

کلاس I ارستر یعنی با ولتاژ ایمپالس ۶ کیلو ولت پس از ترانس فشار ضعیف نصب شود

کلاس II ارستر یعنی با ولتاژ ایمپالس ۴ کیلو ولت قبل از کنتور و در ورودی ساختمان نصب شود

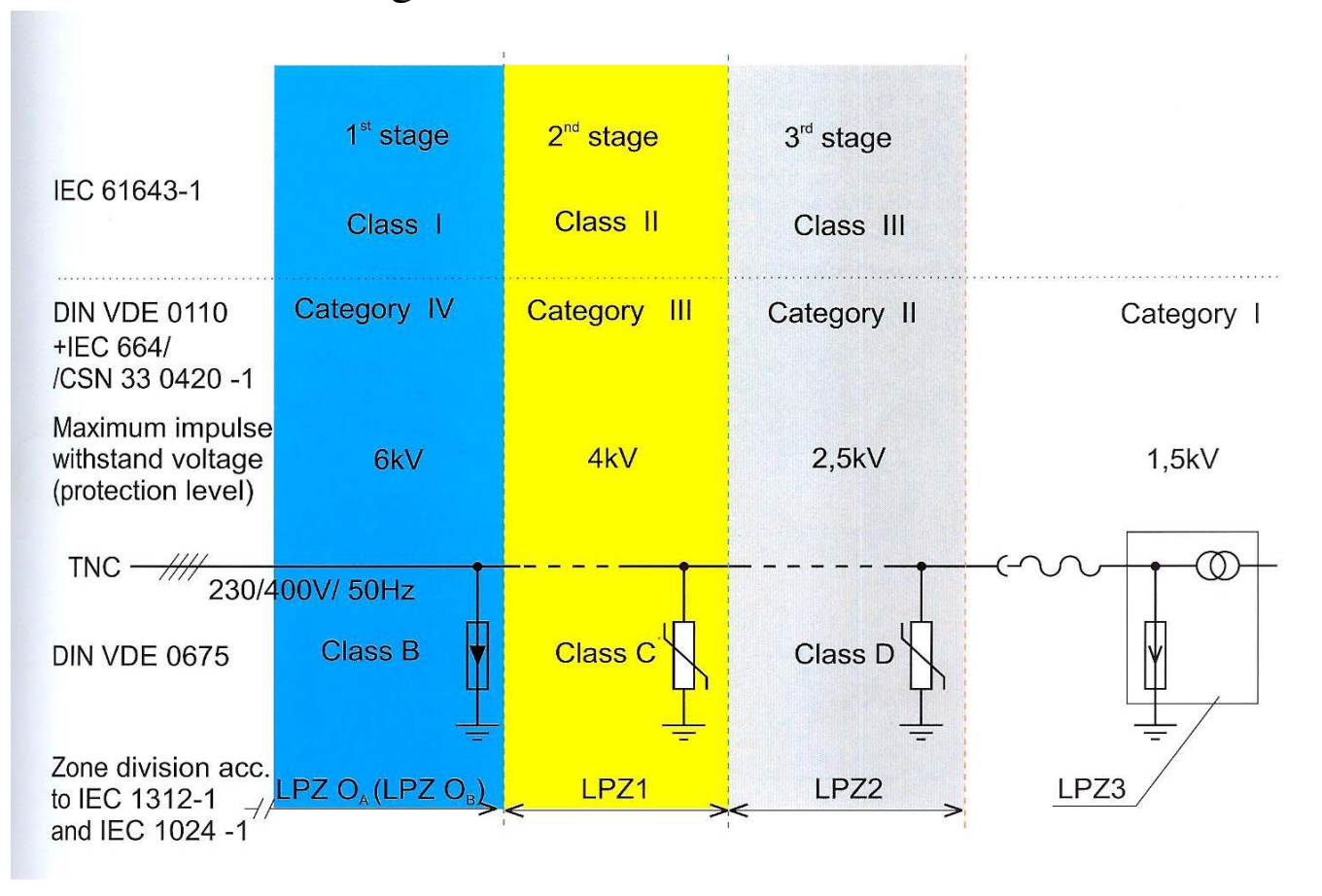
کلاس III ارستر یعنی با ولتاژ ایمپالس ۲/۵ کیلو ولت پس از کنتور و قبل از تابلوی توزیع طبقات نصب شود

و VDE 0675 به طور مشابه با فوق و فقط با این تفاوت نام گذاری که:

کلاس A یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۶ کیلو ولت پس از ترانس فشار ضعیف نصب شود

کلاس B یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۴ کیلو ولت قبل از کنتور و در ورودی ساختمان نصب شود

کلاس C یعنی ارستر با ولتاژ ایمپالس ۲/۵ کیلو ولت پس از کنتور و قبل از تابلوی توزیع طبقات نصب شود



بررسی ضرورت نصب ارستر در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور

اگر شبکه فشار متوسط به صورت هوایی اجرا شده باشد شرکت توزیع موظف است جهت محدود کردن اثرات میتیم و غیر مستقیم صاعقه درست قبل از ترانسفورماتور توزیع از برقگیرهای ZNO استفاده کند. این برقگیرها ولتاژهای اضافی را محدود میکنند و سبب میشوند جریانهای ناخواسته و مخرب صاعقه به جای این که به سمت ترانس و شبکه LV برود به سمت زمین سرازیر شود.

اما مشکل اینجاست که معمولاً برقگیرهای ZNO به طور کامل این کار را انجام نمیدهند و بخشی از امواج ناخواسته از طریق کوپل خازنی به ثانویه ترانس یعنی سمت LV میروند (رجوع به صفحه ۳۸) این امواج گاهی اوقات میتواند به مقدار بیک ۱۰ کیلو ولت هم برسد.

گر چه این موج ناخواسته یا سرج یا جهش به تدریج در طول خط فشار ضعیف حرکت کرده و میرا میشود ولی اکیدا توصیه میشود در سمت فشار ضعیف و در ابتدای خط LV یعنی در تابلوی کنتور سرج ارسترهای سه فاز کلاس A نصب شود و به سیستم ارت احداث شده برای آن متصل شود تا از حرکت سرج به سمت مشترکین جلوگیری شود. (رجوع به صفحه ۲۶) شایان ذکر است که اگر از الگوی ارائه شده در صفحه ۲۶ استفاده شود سیستم ارت این ارستر که تابلوی کنتور هم به آن وصل میشود میتواند حتی تا ۵۰ اهم هم باشد.

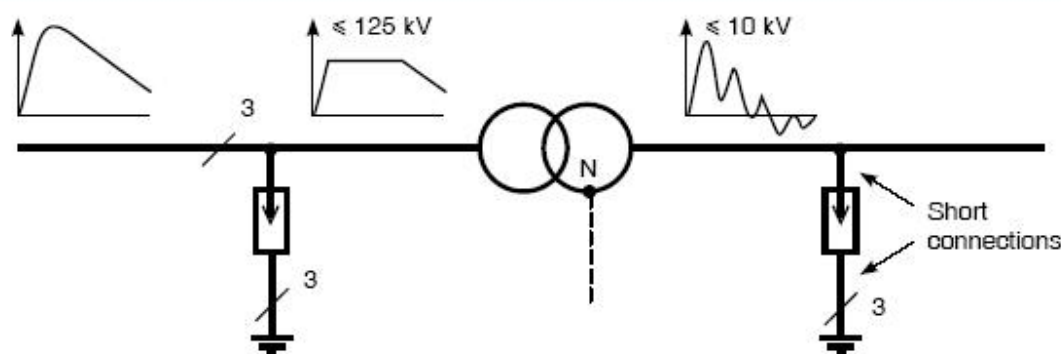


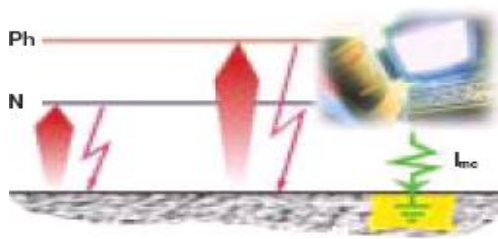
Fig. 18 : limitation and transmission of lightning overvoltages (whether or not the neutral is earthed, there are common mode overvoltages on phases).

حالت حفاظتی برقگیرهای ثانویه (Protection Mode)

بسته به اینکه جهش ولتاژی بین فازها و زمین و یا فازها نسبت به هم رخ دهد حالت حفاظتی قابل تعریف است :

۱- حالت مشترک (common mode) یا MC

اگر اضافه ولتاژ ناخواسته (جهش ولتاژی) بین فازها و زمین و یا بین نول و زمین به وجود آید آنرا جهش حالت مشترک یا MC میگویند اضافه ولتاژ حالت مشترک میتواند به تجهیزاتی که به ارت متصل شده اند آسیب وارد نماید



۲- حالت تفاضلی (differential mode) یا MD

اگر اضافه ولتاژ ناخواسته (جهش ولتاژی) بین فازها ی غیر همنام و یا بین فازها و نول به وجود آید آنرا جهش حالت تفاضلی یا MD میگویند

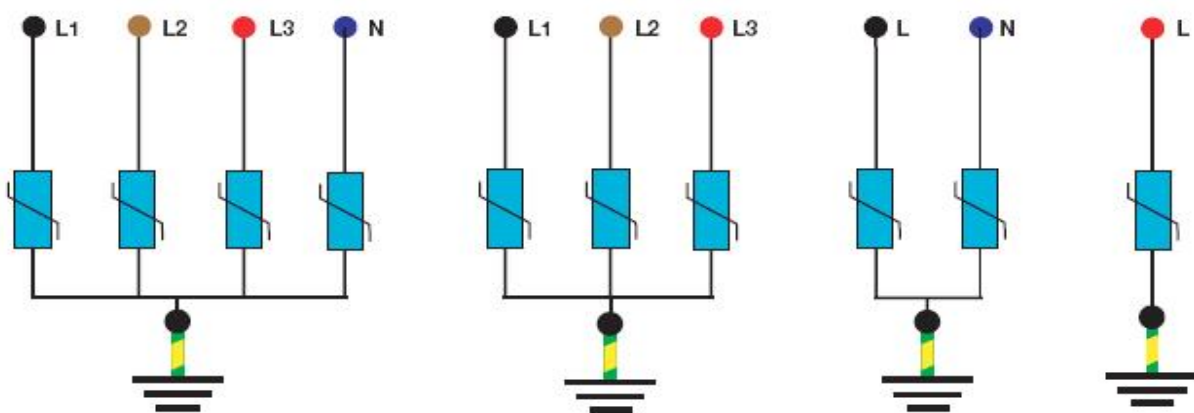
اضافه ولتاژ تفاضلی به تمام تجهیزاتی که از شبکه برق تغذیه میشوند به خصوص تجهیزات الکترونیکی و حساس چه ارت شده باشند و چه نشده باشند آسیب میرسانند



سرج ارسترها بسته به اینکه هدف حفاظت در برابر جهش های MD, MC و یا هر دو است به سه صورت در سیستم ها قابل نصب میباشد که شکل های زیر به خوبی طریقه نصب آنها را نشان میدهد.

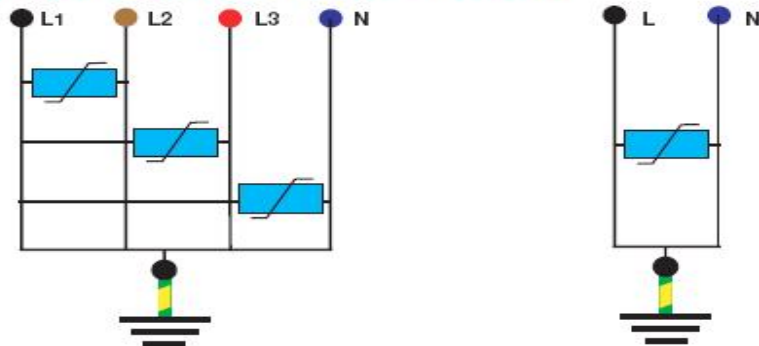
الف : طریقه نصب ارستر برای حالت MC در سیستم های سه فاز سه و چهار سیمه و سیستم تکفاز

Overvoltage protection in common mode (MC)



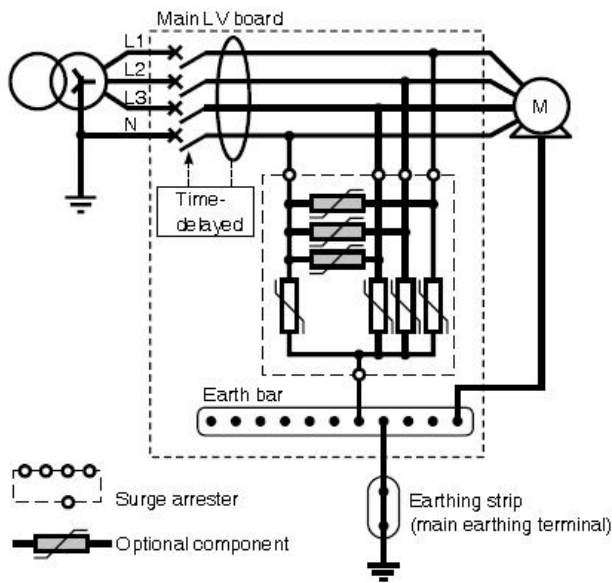
ب: طریقه نصب ارستر برای حالت MD در سیستم های سه فاز و سیستم تکفاز

Overvoltage protection in differential mode (MD)

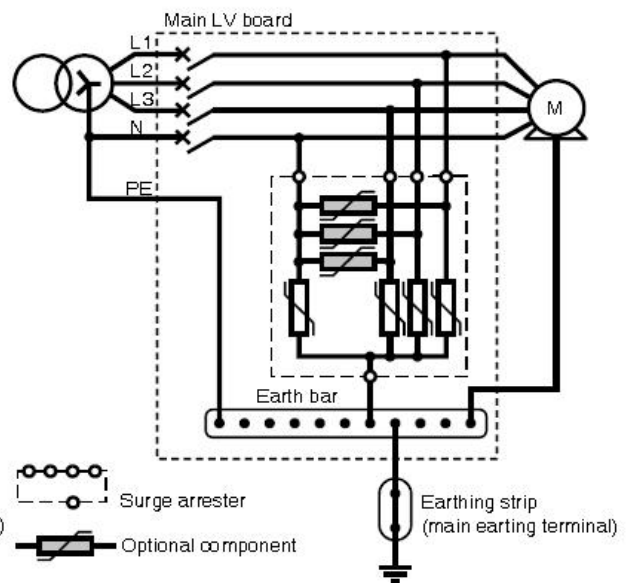


شکل زیر نیز نحوه اتصال SPD ها را بسته به نوع سیستم ارت شبکه فشار ضعیف نشان میدهد. توضیحات مفصل تر علاوه بر مطالب ارائه شده در کلاس و مطالب فوق میتوانید در کاتالوگ سازندگان و استانداردهای بالا بیابید اما در اینجا به اهمیت نصب این تجهیزات در سیستم توزیع ایران تاکید میشود زیرا متاسفانه تاکنون مانند کشورهای پیشرفته به آنها اهمیت داده نشده است.

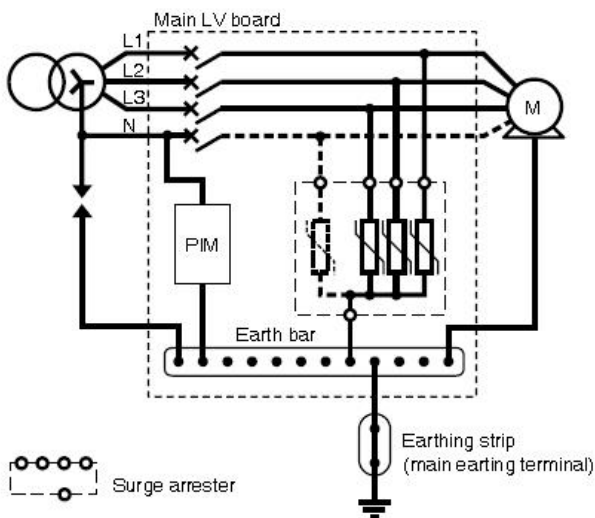
a) TT system



c) TN-S system



b) IT system



d) TN-C system

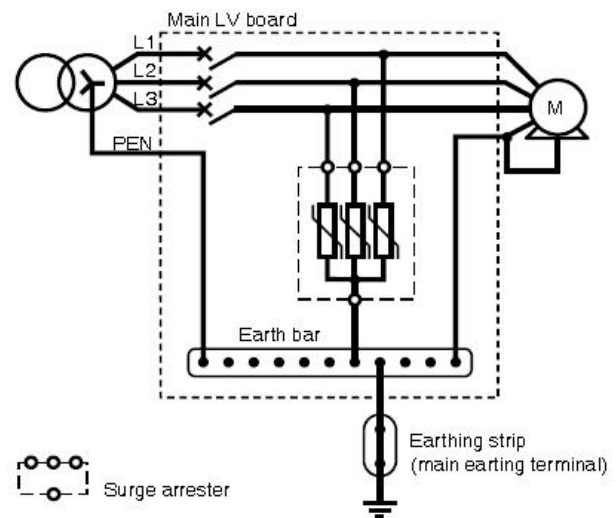


Fig. 23. choice of surge protection mode (common or differential) according to the electrical installation earthing system as per NF C 15-443.

سیستم گرانند تجهیزات حساس الکترونیکی و رایانه ای

به شکل زیر که به طور شماتیک تاسیسات و تجهیزات یک کارگاه صنعتی معمولی را نشان می‌دهد توجه فرمایید. این مجموعه شامل پست برق توزیع MV/LV، مصرف کننده های معمولی، تجهیزات آزمایشگاهی حساس به نویز، ترانس جوش و UPS میباشد.

حال با کمی دقت و بحث در کلاس می توان پی برد که :

۱- اگر نول تمامی تجهیزات یکی باشد و ترانس ایزوله نداشته باشیم و ارت ها هم به علت دوری مسافت آزمایشگاه از سالن تولید و دفاتر اداری به طور مستقل اجرا شده باشند از نقطه نظر تولید EMI چه وضعی خواهیم داشت؟

۲- اگر نول ها یکی باشند ولی ارت ها را هم با دفن سیم های بیشتر به هم وصل کنیم (باندینگ) وضعیت تولید EMI چه خواهد شد؟

۳- اگر ترانس ایزوله برای بعضی تجهیزات حساس نصب کنیم چه خواهد شد؟

۴- اگر نول را به ارت وصل نکنیم و سیستم IT باشد (رجوع به ادامه جزوه) چقدر به کاهش نویز EMI کمک کرده ایم؟

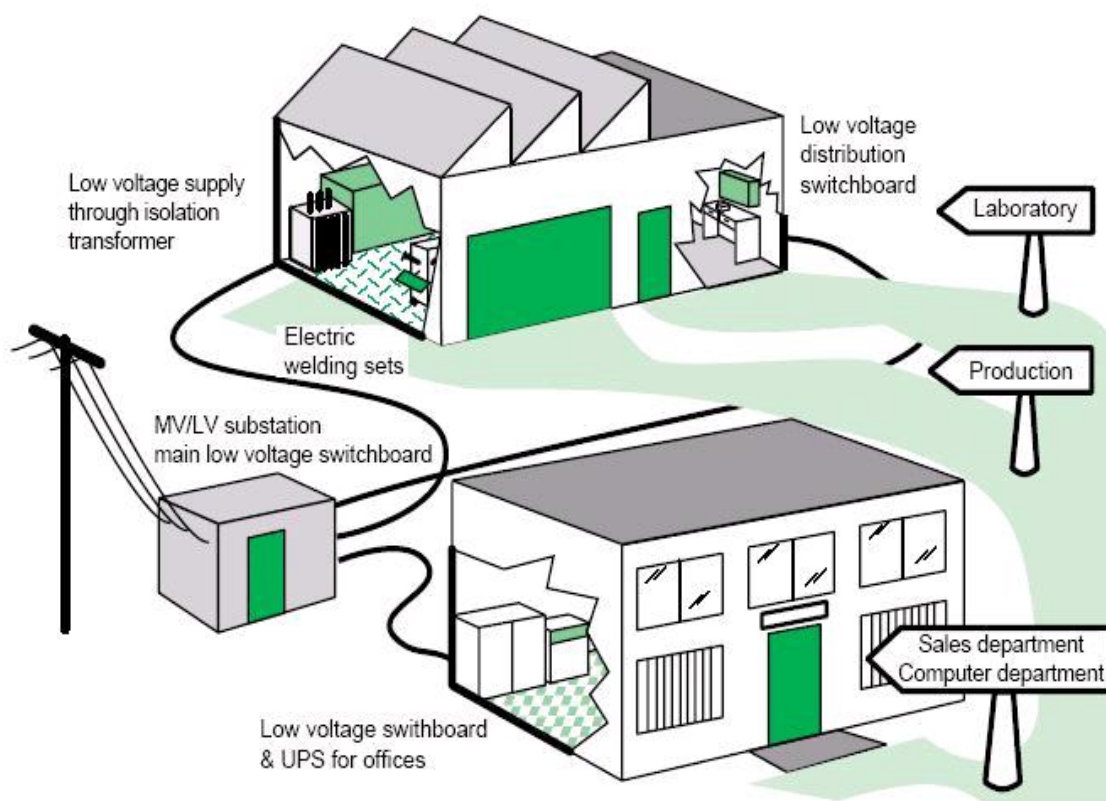


Fig. 20: example of electrical equipment layout respecting EMC.

از آنجا که گراند قدرت یا همان گراند تجهیزات معمولاً نویزی و اصطلاحاً کثیف است (dirty ground) راه حلی که به نظر میرسد این است که این گراند را به عنوان گراند تجهیزات حساس استفاده نکنیم و یک شبکه ارت میله ای یا چاهی در فاصله چندین متر دورتر از ساختمان و طبعاً دورتر از گراند ساختمان ایجاد کنیم و آنرا به عنوان گراند تمیز استفاده کنیم بدون اینکه این دو شبکه گراند را با هم متصل کنیم

هر چند این جداسازی گراند‌ها را NEC نمیپذیرد ولی در بعضی نقاط دنیا از این سیستم استفاده میشود و این ارت ایزوله و جداگانه را همان گراند آرام یا quiet ground می گویند. شکل زیر این سیستم را نشان میدهد که در آن Isolated ground electrode همان ارت آرام است و building (power) ground نیز ارت ساختمان است

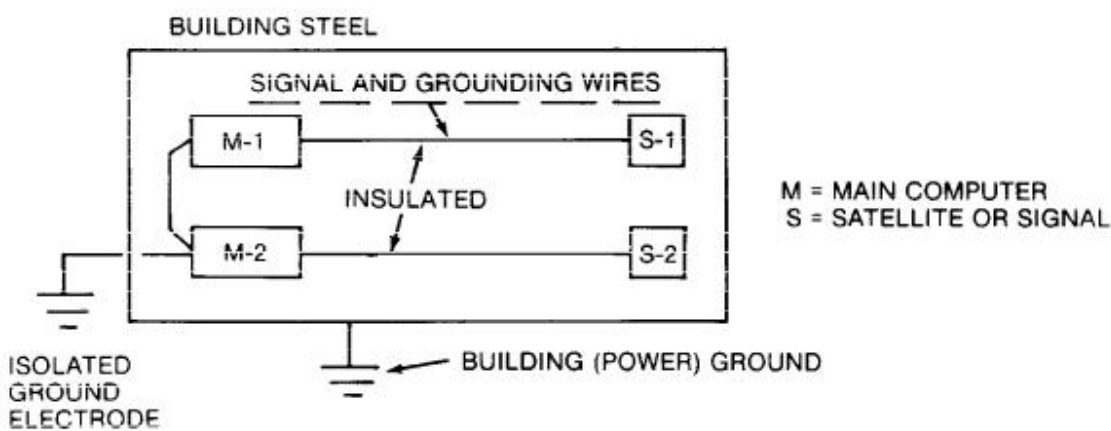
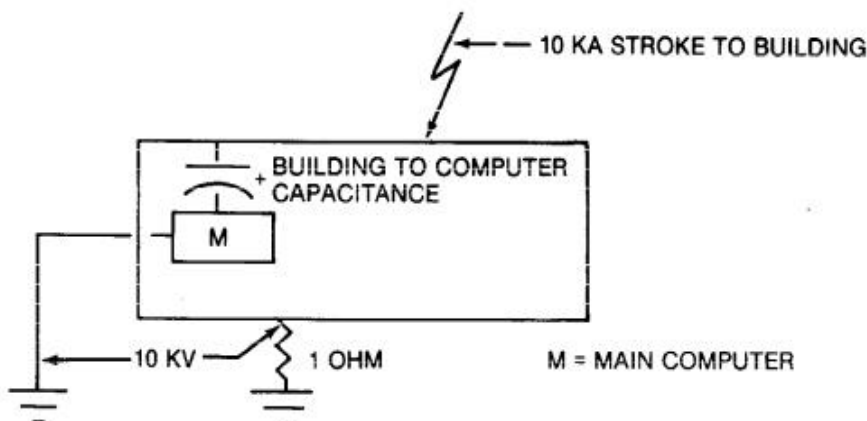


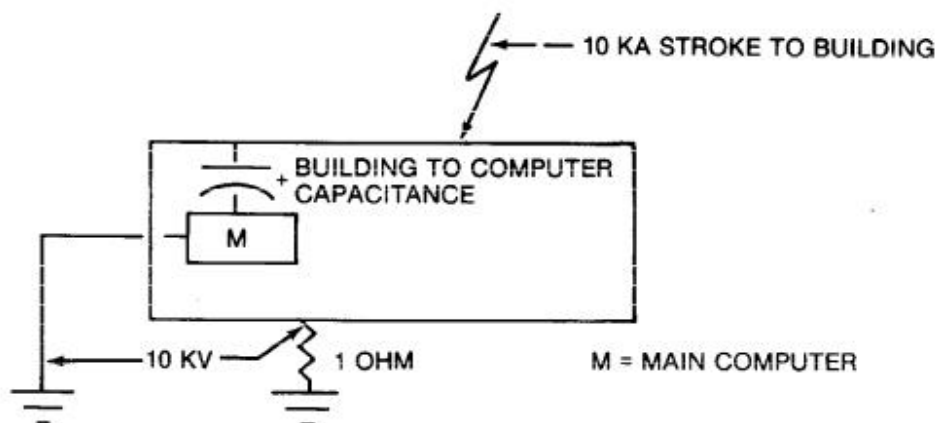
Figure 66—Isolated Grounding of Computers

در این روش هر چقدر ارت آرام دورتر از ارت ساختمان باشد بهتر است. این سیستم برای خطاها و اتصالات معمولی به شرط اینکه دو گراند به اندازه کافی از هم دور باشند جواب میدهد ولی در حالاتی که خطاهای با جریان قوی مثل صاعقه روی ساختمان محتوی تجهیزات حساس بخورد عملکرد مطلوب دستگاه زیر سوال میرود و قابل تامل است. در حالت وقوع صاعقه مثل شکل زیر یک اختلاف ولتاژ بین در سیستم ارت به وجود خواهد آمد که این ولتاژ میتواند روی تجهیزات حساس اثر سوء بگذارد و قطعا به آنها آسیب می رساند.



-Effects of Stroke to Building with Isolated Grounding Electrode (Not Recommended)

همان طور که از شکل مشخص است یک صاعقه ۱۰ کیلو آمبری، یک اختلاف ولتاژ ۱۰ کیلو ولتی بین دو گراند به وجود آورده است. که قطعاً میتواند برای عملکرد دستگاه های معمولی متصل به گراند ساختمان مضر و برای تجهیزات حساس متصل به گراند آرام فاجعه باشد. این ولتاژ چه مواقعی که تجهیزات حساس روشن باشند و چه حتی خاموش باشند سیستم را تهدید میکند. بایستی توجه داشت که بعضی قطعات نیمه هادی در ولتاژهای ۲۰ ولت یا کمتر در زمان های بسیار کوتاه ۱ میکرو ثانیه به راحتی میسوزند.



-Effects of Stroke to Building with Isolated Grounding Electrode (Not Recommended)

جالب اینکه حتی مواقعی که صاعقه به ساختمان دارای تجهیزات حساس برخورد نکند و صرفاً ابرهای مستعد و باردار بالای این ساختمان باشند نیز میتوانند خطراتی مشابه حالت قبل به وجود آورند.

ولتاژهای القائی در این حالت سبب میشود اختلاف ولتاژ بین ارت ساختمان (ارت معمولی) و ارت کامپیوتر که چندین ده متر دورتر از ساختمان است به چند صد ولت میرسد. هر چند این اختلاف ولتاژ گذرا است اما میتواند عملکرد تجهیزات حیاتی را دچار اختلال کند.

این حالت برای مواردی مثل سیستم های کنترل که کنترلر در یک ساختمان است و از طریق مودم و کابل های سیگنال به حسگر یا عملگرها در ساختمان دیگر وصل است و ارت این در نیز جداگانه است بسیار رخ خواهد داد. شکل زیر این حالت را نشان میدهد که حتی وقتی صاعقه ای، ۱۰۰۰۰ ولت مستعد است حدود ۱۰۰۰ ولت سگ اندازنده خواهد داد.

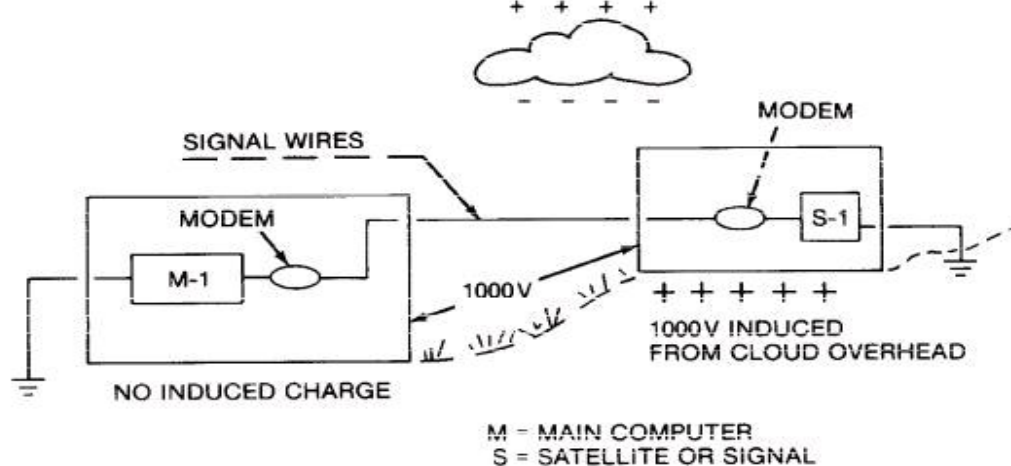


Figure 68—Remote Computer Unit Under a Cloud-Charge Center

مشکل دیگر در سیستم گراند ایزوله این است که برای اینکه در مواقع بروز خطا و اتصالی در هر یک از سیستم های حساس یا معمولی فیوزها و رله های حفاظتی عمل کند بایستی مقاومت هر دو گراند بسیار پائین باشد. زیرا مثلا اگر دو گراند ۲۰ اهمی یکی به عنوان گراند معمولی و دیگری گراند آرام بسازیم در موقع بروز اتصالی جریان اتصال کوتاه به مقدار ۱۲۰/۴۰ یا ۳ آمپر میرسد که نمی تواند حتی یک فیوز ۱۰ آمپری را قطع کند. شکل زیر این مطلب را به طور شماتیک نشان میدهد.

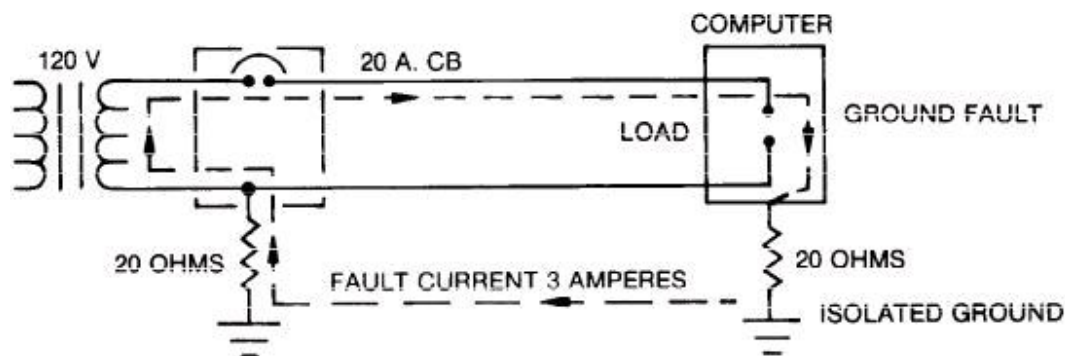


Figure 69—Unsafe Isolated Ground on Computer

شکل زیر نیز چگونگی گرفتن نویز روی لینک ارتباطی بین سنسور و پردازشگر در لحظه وقوع خطا در سیم ارت را نشان می‌دهد .

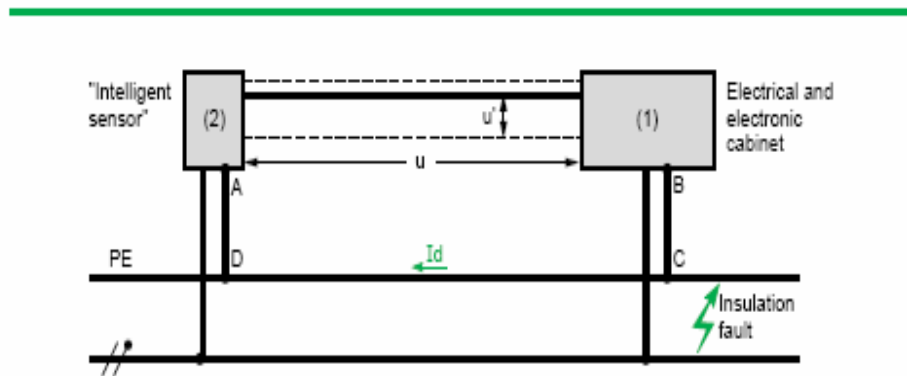


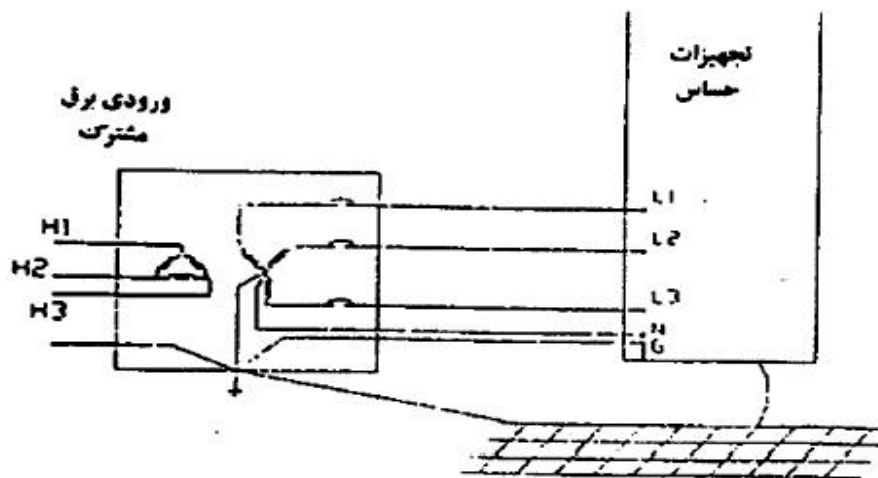
Fig. 12 : the voltage drop in the PE, due to the fault current, disturbs the link between communicating devices (it can exceed $U_0/2$ in the TN system - $S_{PE} < S_{ph}$).

گراند سیگنال مرجع یا گراند تک نقطه ای

برای از بین بردن مشکلات بیان شده در بالا سیستم گراند تک نقطه ای یا سیگنال مرجع جهت تجهیزات حساس توصیه شده است. در این روش بدنه همه تجهیزاتی که از یک منبع یا شبکه برق تغذیه میشوند بایستی به هم متصل شده و به یک نقطه گراند مرجع که معمولاً در سمت منبع تغذیه است متصل میشوند.

به این ترتیب ولتاژهای ناشی از القاء خازنی بین ارت ساختمان و ارت از بین خواهد رفت و مشکلات نویز را هم تا حدود زیادی از بین خواهد برد.

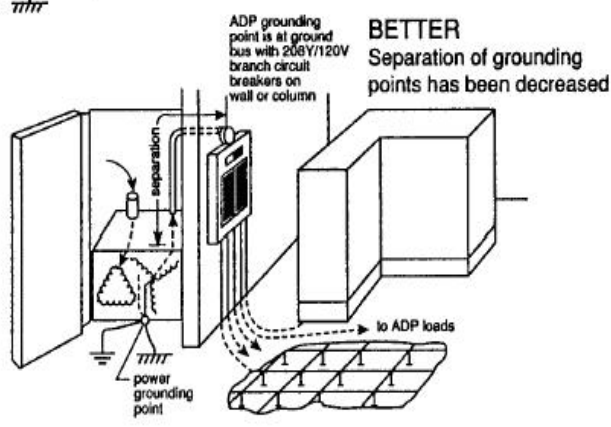
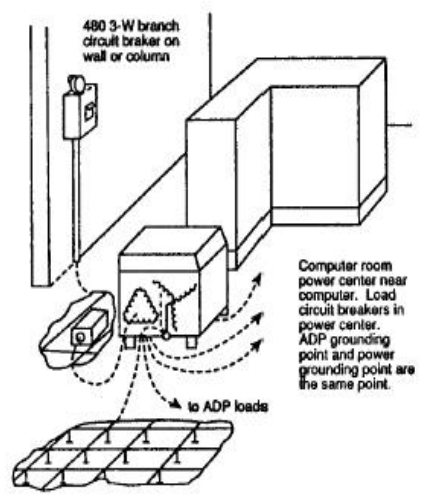
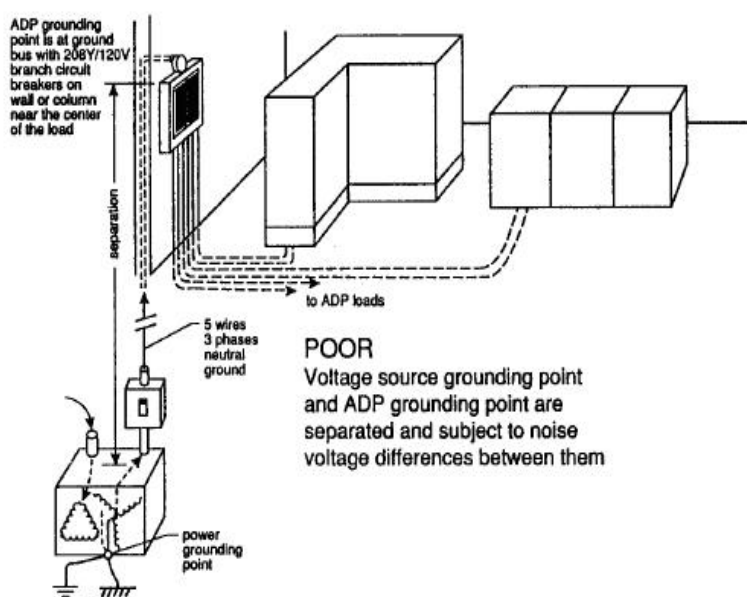
مقاومت این شبکه گراند مرجع که ارت همه تجهیزات به آن متصل می شود بایستی در حد یک اهم یا کمتر از آن باشد.



شکل زیر به طور شماتیک سه شیوه زمین کردن در سایت های دارای تجهیزات حساس را بیان میکند . همانطور که تصاویر نشان میدهد یک روش آن از نظر کاهش نویز ضعیف (**poor**)، دیگری قابل قبول (**better**) و

سومی

بهترین (**best**) است که با کمی دقت به آنها میتوان نتیجه گرفت که بهترین روش این است که گراند تجهیزات حساس (ابزار دقیق) و گراند تجهیزات و گراند نول در یک محل و توسط یک شبکه مسی گراند شده اند. (گراند سیگنال مرجع یا گراند تک نقطه ای)



BEST
Voltage source grounding point and ADP system ground are at the same point. Branch circuit at 480 volts requires fewer wires, smaller wires and less voltage drop. It may also be less expensive.

استفاده از ترانس فورماتور ایزوله که دارای مزایای زیادی در تغذیه تجهیزات حساس است و قبلاً درباره آن توضیحاتی داده شده است به همراه سیستم گراند سیگنال مرجع می تواند از بهترین روش های گراندینگ تجهیزات حساس و ابزار دقیق باشد. تصویر زیر به خوبی این روش را نشان می دهد.

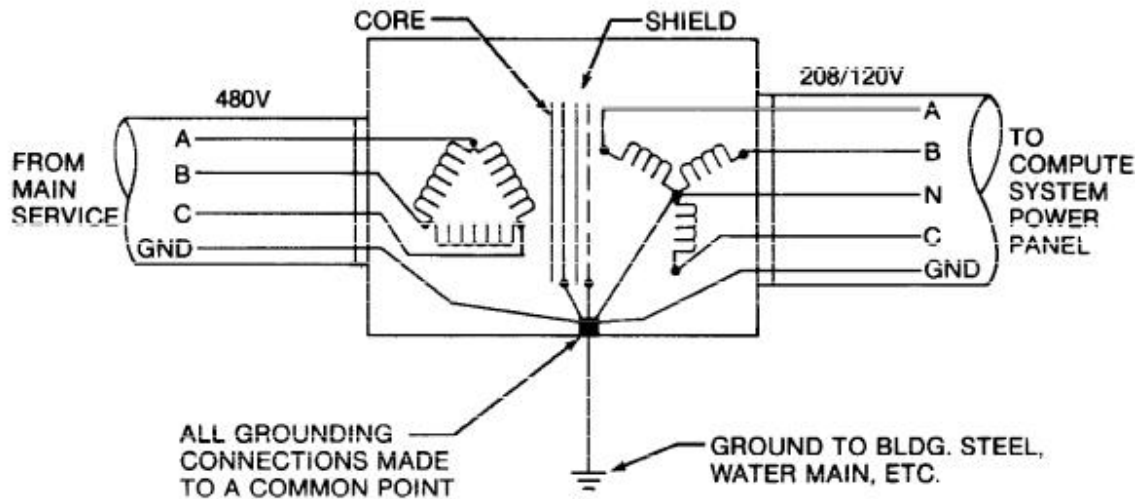


Figure 74—Computer Isolation Transformer

نکاتی راجع به سیستم گراند تجهیزات حساس

- ۱- تعبیه الکتروود ارت مجزا یا حتی رینگ ارت مجزا صرفاً جهت گراند کامپیوتر بعضی مواقع سبب افزایش نویز هم خواهد شد.
- ۲- تعویض عمودی یا سهوی سیم نول با سیم گراند در اکثر حالات موجب وقوع نویز در تجهیزات مختلف حساس که در نقاط فیزیکی مختلف نصب شده اند خواهد شد.
- ۳- طراحی گراندینگ کامپیوتر با تغذیه این تجهیزات در ارتباط است مثلاً طراحی گراندینگ برای یک سیستم کامپیوتری که از طریق شبکه سراسری برق شهر تغذیه شود با سیستمی که از طریق دیزل ژنراتور، باتری، UPS یا غیره تغذیه شود متفاوت خواهد بود هر چند مشترکات زیادی نیز دارد.
- ۴- در سیستم های کامپیوتری VHF (بالای ۱ گیگاهرتز) سیم ها و کابل های شیلددار و حتی بدون شیلد موجود در سایت می توانند بعنوان آنتن عمل کنند و بخشی از فرکانس های رادیویی را جذب نمایند و موجب تبادل و پردازش غلط دیتا در کامپیوتر شوند این سیگنالهای RF روی سیگنالهای کامپیوتر سوار می شوند و موجب تولید EMI می شوند.

۵- ریز پردازنده های کامپیوتر معمولاً با ولتاژهای بسیار پایین حدود ۵ تا ۱۲ ولت کار می کنند لذا عدم هم بندی و گراندینگ مناسب در این تجهیزات می تواند موجب اختلاف ولتاژهای ناخواسته ای شود که نسبت به ۵ تا ۱۲ ولت مقدار ناچیزی نیست و در فرکانس های بالا اثرات سوء در عملکرد پردازنده خواهد داشت.

۶- طراحی و اجرای یک گراند با امپدانس کم در فرکانس های رادیویی نیز کار ساده ای نیست زیرا راکتانس القایی گراند نسبت مستقیم با فرکانس دارد ($X=2\pi fL$) و یک گراند نصب شده مشخص و ثابت راکتانس القایی ۵۰۰,۰۰۰ برابر راکتانس خود را در فرکانس ۶۰ هرتز دارد.

۷- ابعاد پنجره مش یا شبکه حلقوی کف سایت های محل نصب تجهیزات کامپیوتری حساس و حتی رایزرهای ارت متصل به این شبکه حلقوی بایستی از یک حد بیشتر نباشد و به اصطلاح مش ریز بافت باشد این امر در تجهیزاتی که با فرکانس های بالا کار می کنند ملموس تر است و معیار آن این است که ابعاد پنجره مش یا طول رایزر نباید بزرگتر از $\frac{1}{10}$ یا $\frac{1}{20}$ طول موج سیگنالهای تجهیزات باشد. بعنوان مثال در فرکانس ۱۰ مگاهرتز که طول موج ۱۰۰ فوت دارد ابعاد پنجره بایستی از $\frac{1}{20}$ یا ۵ فوت بزرگتر نباشد و اگر طول پنجره یا هادیهای رایزر در هر قسمت از این مقدار بیشتر باشد نویزهای ناخواسته به سیستم اعمال خواهد شد.

۸- شبکه یا مش سایت های محل نصب تجهیزات حساس معمولاً روی کف های کاذب نصب می شوند که این کف ها بایستی از قطعات و اتصالات آبکاری شده با فلز روی (Zn) تشکیل شده باشند زیرا روی دارای ولتاژ گالوانیکی بالا (۱/۱ ولت) بوده و موجب تولید ولتاژها و سیگنالهای ناخواسته در سایت حساس خواهد شد

۹- تمامی هادیهای شبکه یا مش سایت های حساس بایستی از نوع تسمه مسی سخت (**Solid copper strip**) یا تسمه مسی بافته شده (**Braided copper strip**) باشد و حتی المقدور از سیم های مسی تاییده با مقطع گرد معمولی استفاده نشود زیرا این سیم ها در فرکانس های بالا دارای اندوکتانس زیاد بوده و راکتانس القایی شبکه را افزایش می دهند.

۱۰- معمولاً در سایت های ابزار دقیق و کامپیوتری از کابل های سیگنال شیلددار استفاده می شود که شیلد نقش محافظ نویز را برای هسته اصلی کابل بازی می کند که در اینحالت معمولاً شیلد زمین خواهد شد نکته مهم در اینجا این است که تنها یک طرف (ابتدا یا انتها) کابل شیلددار زمین شود زیرا اگر دو طرف کابل زمین شود حلقه جریان داخلی با زمین تشکیل شده و جریان ناخواسته از شیلد عبور می کند که باعث گرم شدن و آسیب به کابل می گردد. در ضمن شیلد کابلها را در جعبه های اتصال که هادیهای کابلها جدا می شوند بایستی از هم جدا نمود و در صورت ناچاری حتما بایستی شیلدها مجدداً به هم متصل گردند.

شکل صفحه بعد روش توصیه شده جهت تغذیه تجهیزات حساس را نشان میدهد، همانطور که از شکل مشخص است در این روش از ترانس ایزوله مثلث ستاره و گراند سیگنال مرجع استفاده شده است نکات قابل توجه در این روش را می توان به صورت زیر بیان کرد.

۱ - سیم گراند هسته ترانس، شیلد ضد الکترو استاتیک، نقطه گره ستاره ترانس و سیم های گراند ورودی و خروجی ترانس همگی در یک نقطه به هم متصل شده و به سازه فلزی ساختمان و یا لوله کشی فلزی وصل میشوند (گراند تک نقطه یا سیگنال مرجع)

۲ - سطح مقطع سیم نول حداقل ۶۰٪ بزرگتر از سیم فازها میباشد که به نوبه خود جالب است

۳ - در سرتاسر مسیر، سیم های نول و ارت به طور مجزا از هم کشیده میشوند و در هیچ جا با هم عوض نمیشوند یا به هم متصل نمی شوند، سیم ارت مانند سیم نول روکش دار است و همچنین باس بار نول و ارت اصلا به هم متصل نمیشوند و حتی به بدنه فلزی تابلو هم متصل نمی شوند.

۴ - این سیستم و سوکت های خروجی صرفا جهت کامپیوترها و وسائل جانبی آن استفاده میشوند و از اتصال تجهیزات دیگر به آن خودداری می شود. (که ظاهرا یکی از علت های آن نداشتن ارت تابلوی تغذیه می باشد).



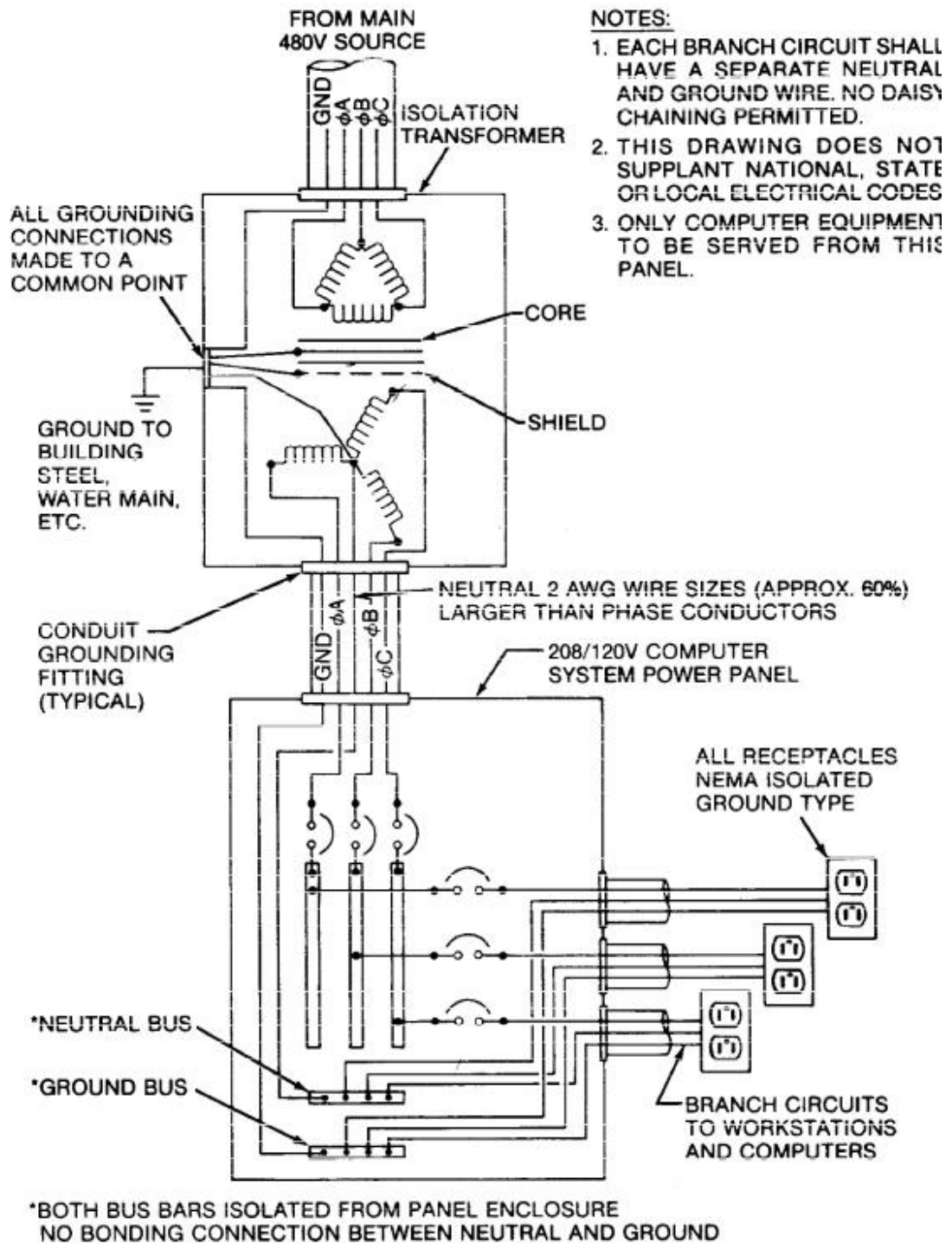


Figure 73—Recommended Power Distribution—Computer System

انواع سیستم صاعقه گیر

فرآیند گرفتن صاعقه و هدایت آن به زمین را میتوان به سه روش انجام داد :

۱- صاعقه گیر فرانکلین یا قفس فاراده

۲- صاعقه گیر پیش انتشار یا *early streamer emission* یا الکترونیکی

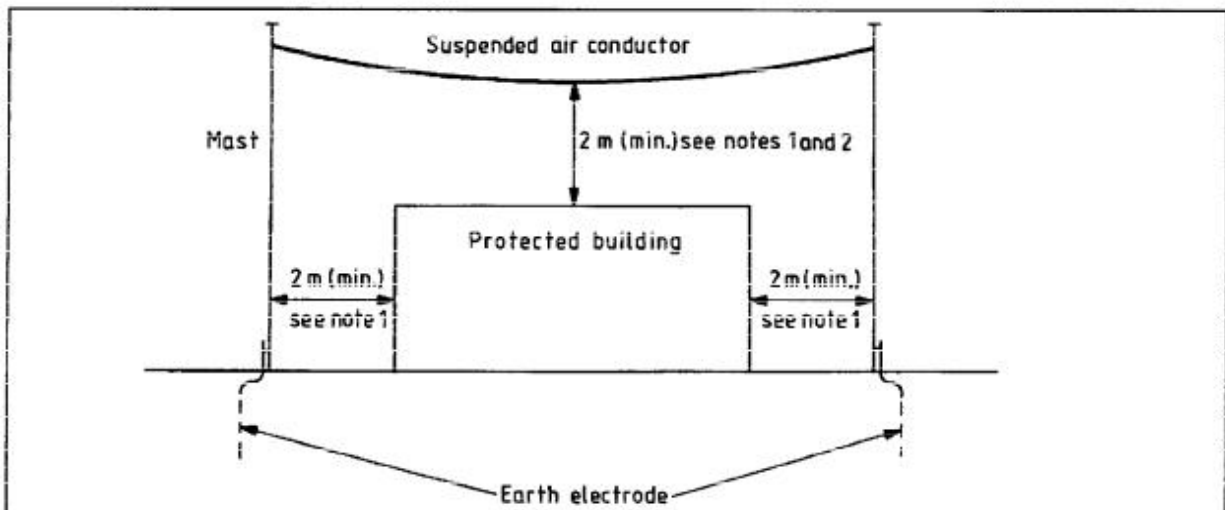
۳- برق نگیر یا *lightning prevention system*

در سال ۱۷۵۵ توسط دکتر بنیامین فرانکلین عرضه شد و مبنای بسیار ساده ای دارد به این صورت که میله ها و تسمه های مسی روی محلی که قرار است در مقابل صاعقه حفاظت شود قرار میدهند و در صورت برخورد صاعقه به میله برقگیر یا تسمه های بام از طریق هادی های نزولی به زمین هدایت میشود. عیب این سیستم این است که به خاطر پوشاندن فضاهای زیاد تعداد زیادی میله برق گیر و حجم زیادی سیم و تسمه در بام بایستی نصب نمود.

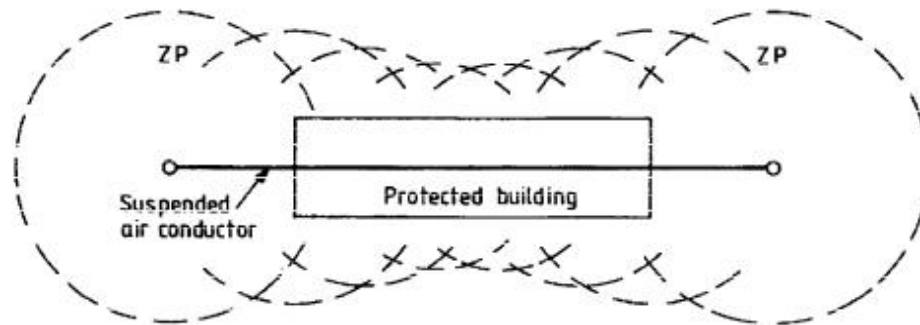
در سالهای اخیر سیستم پیش انتشار که به برق گیر الکترونیکی نیز موسوم است توسط اروپا به خصوص فرانسه به صنعت معرفی شد این سیستم در مواقعی که ابر باردار و مستعد صاعقه وجود دارد از خود توسط دو مکانیزم پیزو الکترونیک و خازنی ولتاژ بالا تولید کرده تا صاعقه در محدوده وسیع تری میل داشته باشد از برق گیر عبور کند در عوض محدوده وسیع تری را نسبت به برق گیرهای ساده یا فرانکلین خواهد پوشاند .

البته بایستی توجه داشت که جهت بعضی ساختمانها با کاربری خاص مخصوصاً مخازن حاوی مواد قابل اشتعال و انفجار ، انبارهای مواد قابل انفجار و زاغه های مهمات و مواد محترقه بایستی از سیستم معروف به سیستم معلق *suspension* یا *mast-shielding* استفاده می شود که در زیر به طور می شود که در زیر به طور نمونه نشان داده شده است .

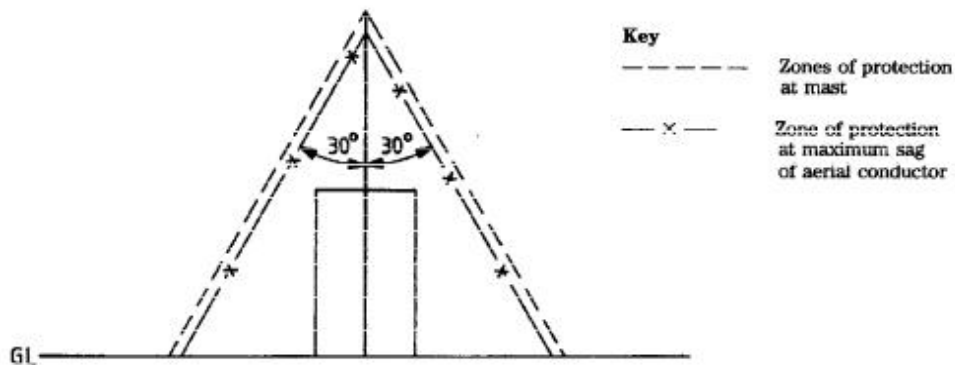




a) Elevation



b) Plan



c) Zone of protection

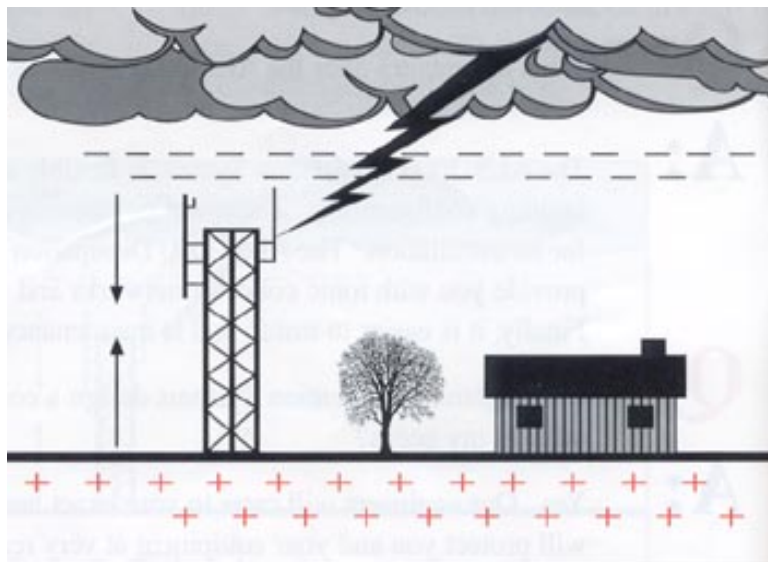
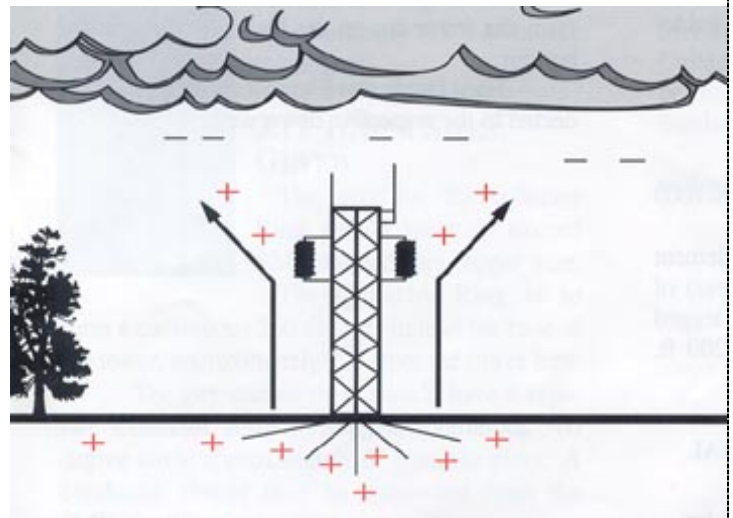
NOTE 1 To prevent flashover between mast/conductor and protected building, the minimum clearance distance has to be 2 m or as governed by 19.2, whichever is the greater.

NOTE 2 This clearance has to be as given in note 1, under maximum sag conditions, i.e. snow and ice on the aerial conductor.

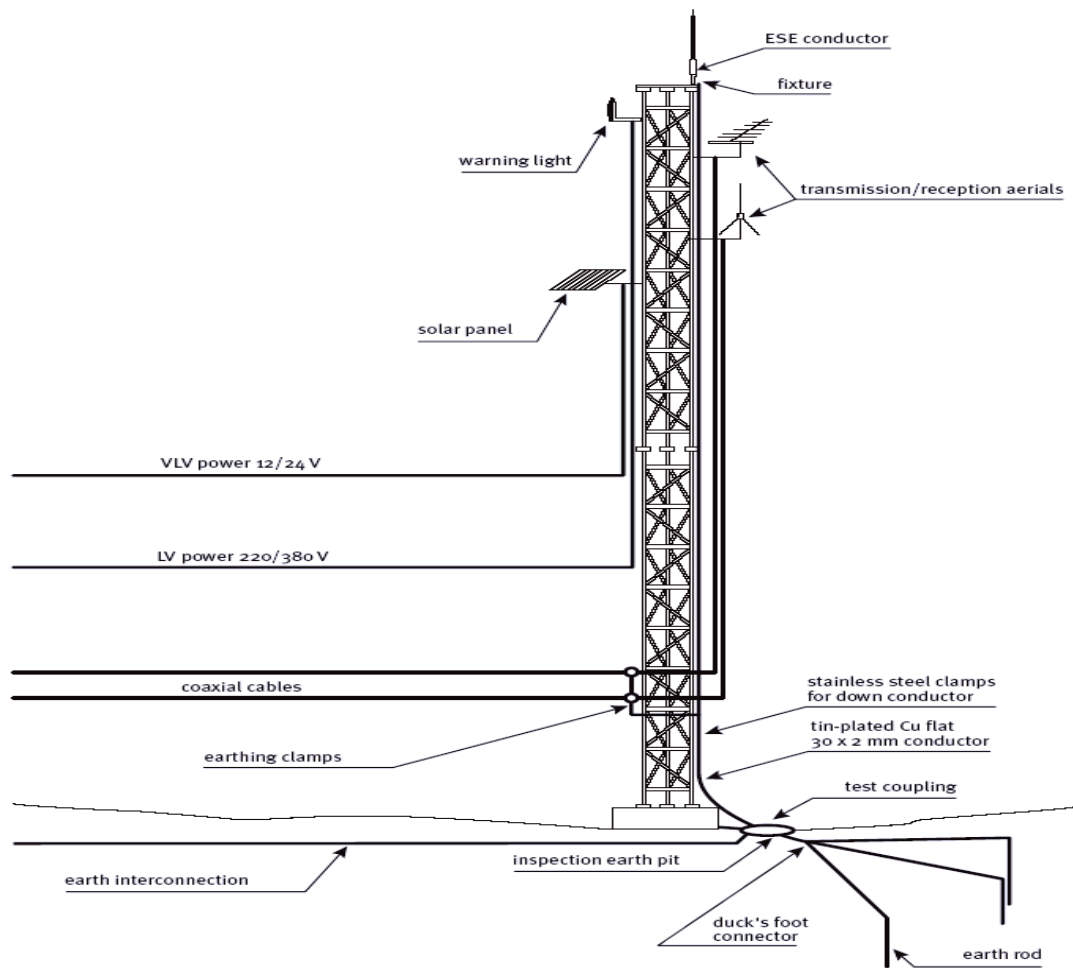
Figure 18 — Air termination and zone of protection for simple structure with explosive or highly flammable contents

سیستم برق نگیر که در سال های اخیر توسط آمریکا معرفی شده است سیستم بسیار مطمئن و جالبی است که نسبت به دو روش قدیمی فرانکلین و الکترونیکی دارای مزایای فوق العاده ای است که سازوکار آن به صورت ساده این است که به جای هدایت صاعقه به زمین از طریق برق گیر به طور معکوس عمل کرده و در هنگامی که ابر باردار بالای سایت است یونهای غیر همنام از زمین به بالا هدایت شده و تجهیزات موسوم به برق نگیر این یونها را به هوای اطراف پخش میکنند و ابر به جای اینکه یونهای خود را به زمین هدایت کند با بارهای غیر همنام موجود در هوا و بالای برق نگیر ترکیب شده و یک محیط خنثی ایجاد میکند و لذا صاعقه به زمین نمیرسد و اثرات مخرب و ثانویه آن هم به طور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت .
در شکل های زیر جهت مقایسه دو سیستم برق گیر و برق نگیر به طور شماتیک آورده شده است

سیستم برق نگیر



سیستم برق گیر



روش محاسبه سطح یا Level حفاظت صاعقه گیر

یکی از پارامترهای مهم در طراحی برقگیر ساختمان ها و تاسیسات تعیین لزوم حفاظت از صاعقه یا در صورت لزوم حفاظت مشخص کردن کلاس حفاظت سازه می باشد که بستگی به شرایط منطقه ای، کاربری سازه، مواد و تجهیزات داخل سازه و ابعاد سازه و غیره دارد.

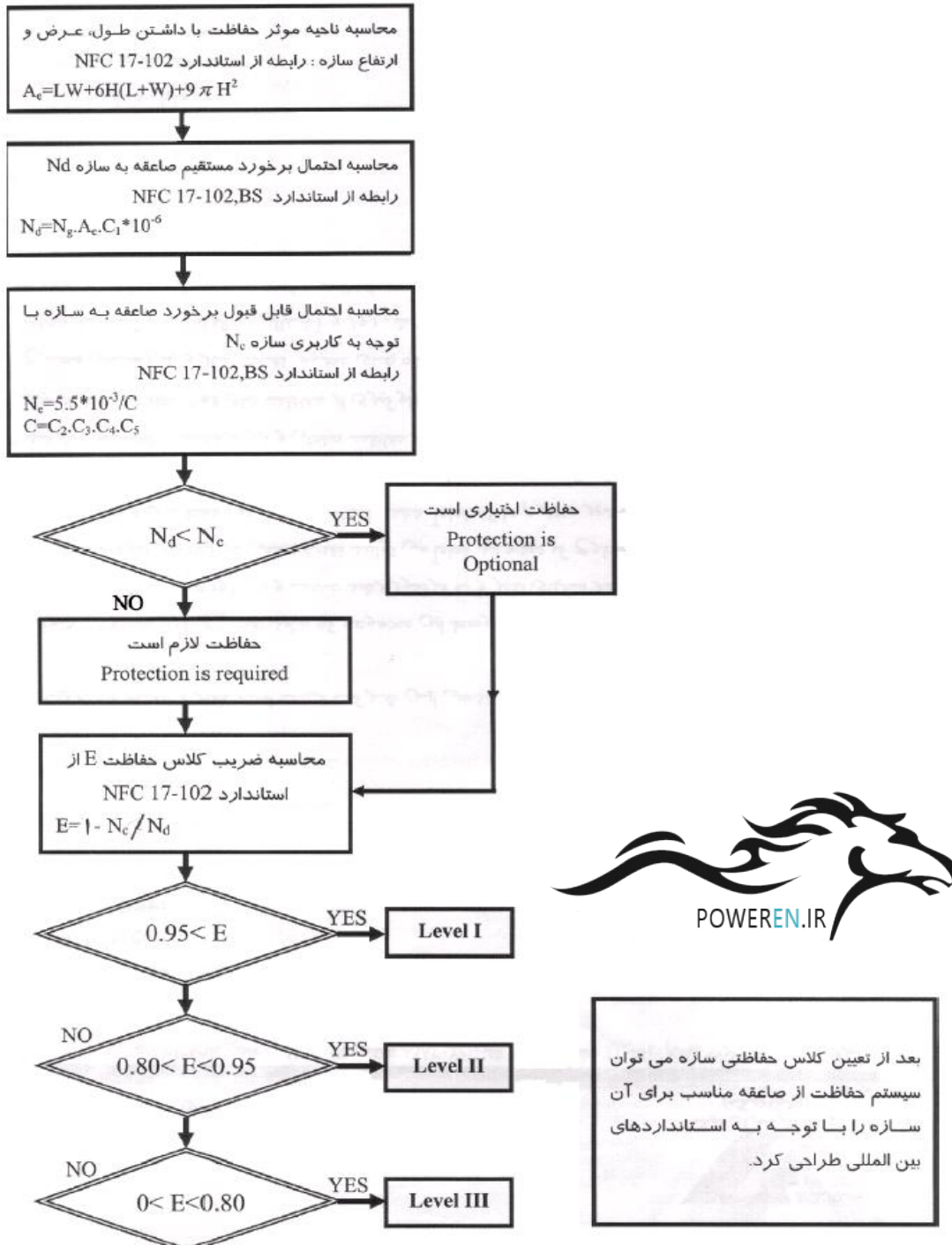
کلاس حفاظتی از I تا III تقسیم بندی می شود و کلاس حفاظتی I یعنی ساختمان و تاسیسات نیاز بیشتر به طراحی و نصب صاعقه گیر نسبت به کلاس حفاظتی III دارند

و یا اگر مثلاً ۴ میله برقگیر پروژه ای را در کلاس حفاظتی II محافظت میکند قطعاً ساختمان مشابه را در کلاس III هم حفاظت میکند اما همان تعداد برقگیر ممکن است ساختمان مشابه در کلاس I را حفاظت نکند

برای تعیین کلاس حفاظتی سازه بهترین راهنما، استاندارد **NFC-17-102** است که در زیر جهت سهولت به کمک یک فلوچارت این روش تشریح شده است.

تعیین کلاس حفاظت صاعقه گیر

نکته مهم در طراحی برقگیر تعیین لزوم حفاظت و کلاس حفاظتی سازه با توجه به شرایط منطقه ای و کاربری سازه است. برای تعیین کلاس حفاظتی سازه مراحل زیر را باید انجام داد:



در کادر اول **Ae** که ناحیه موثر حفاظت است با داشتن طول (L) عرض (W) و ارتفاع (H) ساختمان را فرمول داده شده حساب می شود.

در کادر دوم احتمال برخورد صاعقه بطور مستقیم به سازه که با N_d مشخص می شود تعیین می شود که برای محاسبه N_d به **Ae** که از بالا حساب شده و **Ng** و **C1** نیاز داریم.

Nc احتمال قابل قبول برخورد صاعقه به سازه با توجه به کاربری سازه است و اگر **C** مشخص باشد از رابطه $Nc = (5.5 * 10^{-3}) / C$ قابل محاسبه است

C ضریب ریسک است که عبارت است از: $C = C_2 C_3 C_4 C_5$ ، بستگی به جنس پشت بام دارد و از 0.5 تا 3 بسته به اینکه پشت بام فلزی باشد یا چوبی یا قابل اشتعال یا غیره از جدول **B5** صفحه 48 استاندارد **NFC** حساب می شود. **C3** ضریبی است که به محتویات و تجهیزات داخل ساختمان ارتباط دارد و از تجهیزات غیر قابل اشتعال و دیر اشتعال و تا قابل انفجار از 0.5 تا 3 در جدول **B6** صفحه 48 حساب می شود. **C4** ضریب جمعیت است که از 0.5 تا 3 از جدول **B7** تعیین می گردد. **C5** ضریب تکرار صاعقه است که بستگی به وضعیت منطقه دارد و اینکه صاعقه چند بار تکرار می شود از 1 تا 15 تغییر می کند.

پس از محاسبه **C** و **Nc** بایستی N_d را هم حساب کنیم.

که با توجه به کادر دوم فلوچارت برای محاسبه بایستی حساب شود. $N_d = Ng * Ae * C_1 * 10^{-6}$ فقط **C1** و **Ng**

C1 از جدول صفحه 45 استاندارد مزبور محاسبه می شود و بستگی به موقعیت توپوگرافی سازه دارد که بین ساختمانها قرار گرفته یا ساختمان تک واقع شده یا روی تپه است و غیره که **C1** بین 0.25 تا 2 قابل تغییر است.

Ng هم دانسیته و شدت صاعقه را شبیه سازی می کند و از جداول دانسیته صاعقه هواشناسی برای مناطق مختلف حساب می شود که چون برای کشور ایران این مطالعات بطور کامل انجام نشده در بدترین شرایط و با استفاده از سطح ایزو کرنیک منطقه ای $Ng = Nk / 10$ که **Nk** از جدول صفحه 44 قابل محاسبه است.

پس از محاسبه **Nd** و **Nc** با توجه کادر شرطی فلوچارت اگر $Nd < Nc$ باشد که اساساً نیازی به طراحی سیستم حفاظت از صاعقه نمی باشد ولی اگر $Nd > Nc$ باشد **حفاظت لازم است**.

بخش نهایی، تعیین یا محاسبه ضریب کلاس حفاظت یا E می باشد که از رابطه $E=1-(Nc/Nd)$ حساب می شود.

پس از تعیین E با توجه به فلوچارت مشخص است که اگر $E > 0.95$ باشد بدترین شرایط یعنی **Level 1** است
 اگر $0.8 < E < 0.95$ باشد **Level 2**
 اگر $0 < E < 0.8$ باشد **Level 3** حفاظت می باشد.

جداول تعیین ضرائب $C1$ تا $C5$ جهت سهولت در زیر نیز آمده اند.

H.4.3 The environmental coefficient accounts for the topography of the site of the structure and any objects located within the distance $3H$ from the structure that can affect the collective area. Environmental coefficients are given in Table H.4.3.

Table H.4.3 Determination of Environmental Coefficient C_1

Relative Structure Location	C_1
Structure located within a space containing structures or trees of the same height or taller within a distance of $3H$	0.25
Structure surrounded by smaller structures within a distance of $3H$	0.5
Isolated structure, no other structures located within a distance of $3H$	1
Isolated structure on a hilltop	2

Table H.5(a) Determination of Structural Coefficient C_2

C_2 — Structural Coefficients			
Structure	Roof		
	Metal	Nonmetallic	Flammable
Metal	0.5	1.0	2.0
Nonmetallic	1.0	1.0	2.5
Flammable	2.0	2.5	3.0

Table H.5(b) Determination of Structure Contents Coefficient C_3

Structure Contents	C_3
Low value and nonflammable	0.5
Standard value and nonflammable	1.0
High value, moderate flammability	2.0
Exceptional value, flammable, computer or electronics	3.0
Exceptional value, irreplaceable cultural items	4.0

Table H.5(c) Determination of Structure Occupancy Coefficient C_4

Structure Occupancy	C_4
Unoccupied	0.5
Normally Occupied	1.0
Difficult to evacuate or risk of panic	3.0

Table H.5(d) Determination of Lightning Consequence Coefficient C_5

Lightning Consequence	C_5
Continuity of facility services not required, no environmental impact	1.0
Continuity of facility services required, no environmental impact	5.0
Consequences to the environment	10.0

«محاسبه شبکه توری سیمی مدفون نیروگاه»

استاندارد: ANSI/IEEE665-1995

برای محاسبه شبکه سیمی (Ground Grid) و قطر هادی شبکه و تعداد میله ارت متصل شده به شبکه برای یک ناحیه A*B بایستی اطلاعات زیر را بعنوان ورودی داشت:

زمان خطا بر حسب ثانیه	$T_f (S)$
جریان خطای زمین در سیستم متقارن	$I_f = 3I_0 (KA)$
ضریب تقسیم جریان عبوری از شبکه سیمی	S_f
مقاومت ویژه خاک	$\rho (\Omega m)$
مقاومت ویژه لایه سنگی قلوه ای احیانی	$\rho_s (\Omega m)$
ضخامت لایه سنگی قلوه ای	$h_s (m)$
عمق دفن شبکه سیمی	$h (m)$
ناحیه تحت پوشش شبکه سیمی	$A * B (m^2)$

قدم اول: انتخاب و طراحی سایز (سطح مقطع) هادی شبکه

$$A(mm^2) = \frac{I_f a_f \sqrt{t_f}}{K_f}$$

در این رابطه:

I_f	در بالا تعریف شده است
T_f یا t_f	در بالا تعریف شده است
a_f	ضریبی است که اثر جریان خطای نامتقارن احتمالی را لحاظ می کند
K_f	ضریبی است که بستگی به حرارت اولیه و نهایی هادی انتخابی شبکه دارد

ضریب a_f را می توان با داشتن t_f بصورت زیر انتخاب کرد:

$$\text{For } t_f < 0.2 \text{ S} \quad a=103$$

$$\text{For } t_f \geq 0.2 \text{ S} \quad a=1.0$$

ضریب K_f را هم بسته به اینکه هادی شبکه مسی، آلومینیوم یا فولاد باشد از جدول A.1 پیوست و مطابق حرارت محیط و درجه حرارت قابل تحمل هادی انتخاب می کنیم. حرارت نهایی و قابل تحمل هادی مس و فولاد را ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد لحاظ می کنیم

t_f یا زمان طول کشیدن جریان خطا بستگی به رله های حفاظتی و زمان عملکرد برکرها دارد. برای نیروگاه های با ابعاد بزرگ که رله های دیجیتالی و برکرها سرعت بالا دارند جریان خطا معمولاً در ۱ ثانیه یا کمتر از بین می رود یعنی:

$$t_f=1 \text{ S}$$

I_f یا از محاسبات دقیق اتصال کوتاه محاسبه می شود یا می توان بسته به اتصال نوترال ژنراتور و حداکثر ولتاژ پست ژنراتور با ضریب اطمینان بالا آنرا ۳۵-۴۵ کیلوآمپر برای اتصال نول بدون مقاومت (Solid) و کمتر از این مقدار ۲۴-۳۰ کیلوآمپر برای اتصال نول مقاومتی لحاظ نمود.

قدم دوم: حداقل مقاومت مجاز و مورد انتظار از شبکه زمین

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

ρ : مقاومت ویژه خاک یک لایه محدوده نصب شبکه است.

A : مساحت پیش بینی شده برای گرید است

قدم سوم: ولتاژ تماس و قدم مجاز

Maximum Allowable Touch & Step Voltages

$$E_{step\ 50} = [1000 + 6C_s (h_s, k_f) \rho_s] \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{touch\ 50} = [1000 + 1.5C_s \rho_s] \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

که در این روابط:

E_{step50} : حداکثر ولتاژ قدم مجاز برای اپراتور ۵۰ کیلوگرمی است.

$E_{touch50}$: حداکثر ولتاژ تماس مجاز برای اپراتور ۵۰ کیلوگرمی است.

1000 مقاومت بدن انسان بر حسب Ω

1.5 مقاومت دو پا بطور موازی با زمین است

6 مقاومت دو پا بطور سری با زمین است

C_s اگر لایه قلوه سنگی سطحی نداشته باشیم $C_s = 1$ و اگر داشته باشیم به ضخامت لایه h_s و k بستگی دارد که:

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

ρ_s مقاومت ویژه لایه سطحی است که معمولاً بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم متر است

C_s پس از مشخص شدن h_s و k از گراف شکل ۳ قابل تخمین است

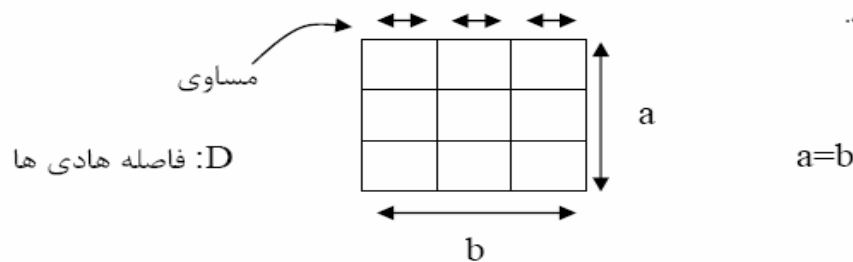
t_s همان t_f یعنی زمان طول کشیدن خطا است

0.116 ثابتی است که به وزن انسان ۵۰ کیلوگرمی مرتبط است برای انسان ۷۰ کیلوگرمی

در روابط بالا 0.116 به 0.157 تغییر می یابد

قدم چهارم: محاسبه طول کل هادی مدفون شبکه

ابتدا شبکه را مربعی متقارن در نظر گرفته که هادی ها در آن با فاصله یکسان از یکدیگر قرار گرفته اند.



سپس با در نظر گرفتن مقداری برای D (فاصله دو هادی موازی) و عمق دفن شبکه سیمی h از رابطه زیر طول L بدست خواهد آمد.

$$L=2D.n.A_1 \text{ (m)}$$

n : تعداد هادی ها در جهت یکی از اضلاع مربع

A_1 : طول یکی از اضلاع مربع (در شکل بالا با a نشان داده شده

قدم پنجم: محاسبه Rg

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 A}} * \left[1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right]$$

A: مساحت شبکه گرید (m²)

L: در صفحه قبل محاسبه شده (m)

h: عمق دفن شبکه (معمولاً ۰/۵ متر)

ρ: مقاومت ویژه خاک (Ω m)

قدم ششم: حداکثر جریان عبوری از شبکه سیمی

$$I_g = S_f . C_p I_f$$

I_g: جریان عبوری از شبکه سیمی

S_f: ضریب تقسیم جریان خطا یعنی تنها به اندازه این ضریب جریان خطا مسیر شبکه را بعنوان مسیر برگشت استفاده می کند. با محاسبه دقیق و شمارش خطوط تغذیه و انتقال دارای سیم گارد می توان آنرا محاسبه کرد ولی در بدترین شرایط آنرا 0.6 می گیرند.

C_p: افزایش جریان اتصال کوتاه بخاطر توسعه فیدهای انتقال است و معمولاً 1.25 لحاظ می گردد.

قدم هفتم: حداکثر افزایش ولتاژ زمین GPR

(Ground Potential Rise)

$$GPR = I_g . R_g \quad (V)$$

اگر این مقدار خیلی بیشتر از مقدار ولتاژ تماس مجاز (محاسبه شده در قدم سوم) باشد، می توان محاسبات را ادامه داد وگرنه باید رجوع کرد.

قدم هشتم: حداکثر ولتاژ حلقه (Mesh Voltage) و قدم

♦ ولتاژ حلقه حداکثر ولتاژ تماس ممکن داخل یک مش شبکه سیمی می باشد

$$E_m = \frac{\rho I_g K_m K_i}{L}$$

$$E_s = \frac{\rho I_g K_s K_i}{L}$$

که در این روابط:

E_m : ولتاژ مش محاسبه شده پس از انتخاب گرید مربعی فرض شده است

E_s : ولتاژ قدم محاسبه شده پس از انتخاب گرید مربعی فرض شده است

I_g و L_c : در قدم های ششم و چهارم محاسبه شده اند

K_m : ضریب اصلاح هندسی ولتاژ مش است

K_s : ضریب اصلاح هندسی ولتاژ قدم است

K_i : ضریب اصلاح هندسی افزایش جریان های احتمالی شبکه سیمی است

قدم نهم: محاسبات ضرایب K_m و K_s و K_i

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[Ln \left(\frac{D^2}{16h\alpha} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} Ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_i = 0.656 + 0.1720n$$

♦ معادلات فوق برای شبکه های سیمی دفن شده در عمق های ۰/۲۵ تا ۲/۵ متر

صحیح هستند.

Annex A

(informative)

Determination of the k factor

Table A.1— Values of factor k for calculating the area of grounding conductors

Initial temperature (°C)	Final temperature (°C)	Value for k when conductor material is		
		Copper	Aluminum	Steel
20	150	145	94	55
20	160	149	97	58
20	200	165	107	60
20	220	171	112	
20	250	180	117	70
20	300	195	126	
20	500	235	85	
40	150	131	85	
40	160	136	87	
40	200	152	99	
40	220	160	105	
40	250	170	110	
40	300	183	119	
40	500	223	145	
70	160	114	75	
75	150	105	68	
75	160	111	72	
75	200	131	85	
85	200	125	81	
85	220	133	87	
90	220	130	85	
90	250	142	93	
125	250	123	80	

From IEC 621-1: 1987. Reprinted with the permission of the International Electrotechnical Commission.

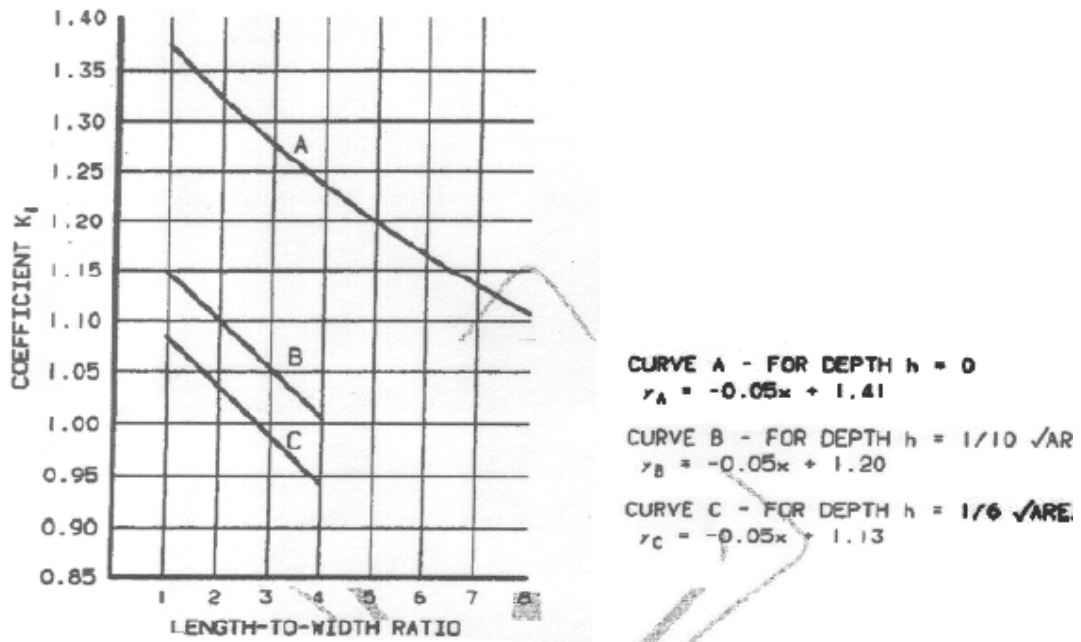


Figure 2a—Coefficient K_1 of Schwarz's formula

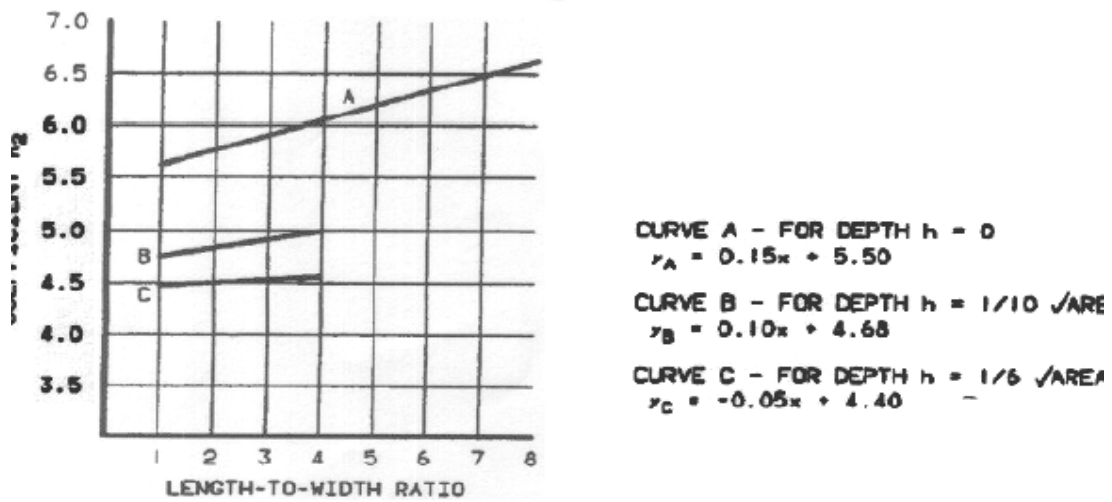


Figure 2b—Coefficient K_2 of Schwarz's formula

مراجع اصلی:

ردیف	نام استاندارد/نویسنده	عنوان
۱	IEEE-80	طراحی سیستم زمین پست ها
۲	IEEE-665	طراحی سیستم زمین نیروگاه ها
۳	IEEE-142	اصول سیستم زمین کارگاهها و کارخانجات صنعتی
۴	BS-7430	سیستم زمین
۵	IEEE-81.2 & IEEE81.2	اصول اندازه گیری امپدانس شبکه زمین و پتانسیل های تماس و قدم
۶	IEEE-1100	گراند تجهیزات الکترونیکی
۷	NFC-17-102	برق گیرهای ساختمانی
۸	NFPA 77	بارهای الکترو استاتیک
۹	IEC-60364	انواع ارت شبکه های توزیع
۱۰	آلدیک موسسیان	راهنمای طرح و اجرای تاسیسات برقی ساختمان ها

کلیه مقالاتی که به صورت CD در دوره ارائه میشود نیز جهت آشنائی و بالا بردن اطلاعات فنی مفید میباشند و میتوانند به عنوان مرجع استفاده شوند.

جهت اخذ اطلاعات موردی و همفکری در خصوص سیستم ارتینگ و صاعقه گیر و خوردگی و بارهای ساکن در خدمت شما

همکاران محترم

میباشم .

Khodayari @petuniaco.com

J_khodayari @ yahoo.com

09121017806

