

شکل ۳۳۲-۱ هنگام استفاده از فیوز، شرطی که لازم است برای قطع به موقع مدار برقرار شود.

### ۳۳۲-۱ - قطع سریع مدار با استفاده از کلیدهای جریان تفاضلی (RCD)

کلیدهای جریان تفاضلی کلیدهایی هستند که اگر جمع 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 کلیدهای تفاضلی با حساسیت زیاد (چند میلی آمپر) امکانپذیر است و برای همین در کاربرد آنها می‌توان برخلاف شرایطی که در استفاده از فیوز وجود دارد از اتصال به زمینهای با مقاومت زیاد، استفاده کرد. (۳۳۲-۱ را ببینید) شکل ۳۳۲-۲ حداکثر مقاومتی را نشان می‌دهد که برای کلیدهای جریان تفاضلی با جریانهای عامل مختلف قابل استفاده می‌باشند

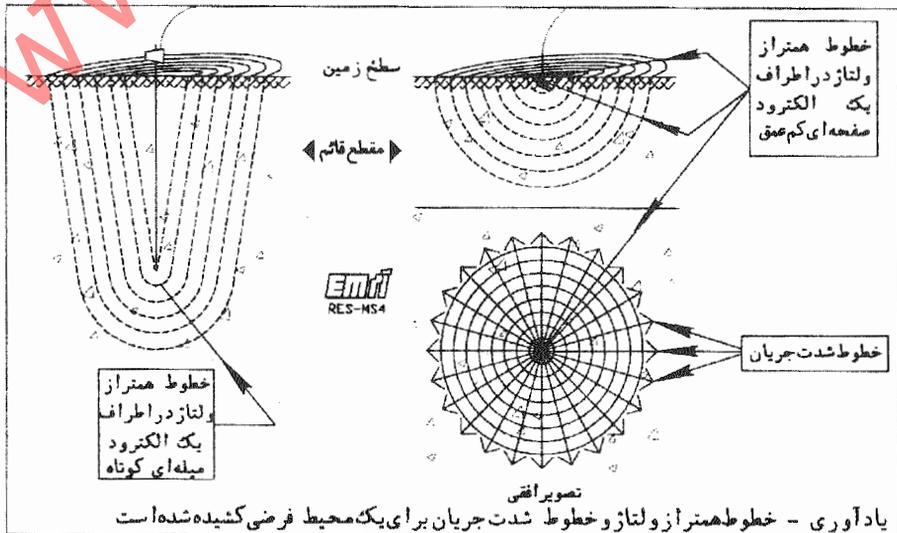
ناگفته نماند که کلیدهای جریان تفاضلی در اوایل توسعه برق وجود نداشتند و برای همین در ابتدا فقط از مسیر با ابعاد کم (۳۳۲-۲) برای این سیستم استفاده می‌شد.



۲- با دورتر شدن از الکترود و بزرگتر شدن سطح مقطع "هادی" اطراف الکترود (بزرگتر شدن شعاع استوانه ها و کره های هم مرکز)، مقاومت خاک نسبت به فاصله ای مشابه در نزدیکی الکترود کمتر می شود و به همین سبب از شیب منحنی کاسته شده و حالت کوژی شکل بخود می گیرد.

۳- با دورتر شدن باز هم بیشتر از الکترود، سطح مقطع "هادی" (لایه های اطراف الکترود) آنگاه بزرگ می شود که مقاومت آن نسبت به طول خیلی خیلی کم می شود و در اینجا است که منحنی به سمت خطی که بموازات محور طولها است میل کرده و با آن مجانب می شود که همان مقاومت کل الکترود است. در واقع از آن پس سطح مقطع بقدری بزرگ است که از فاصله در مقاومت تقریباً بی تأثیر است.

۴- فاصله ای را که از نقطه استقرار الکترود ثابت تا محلی که در آن منحنی تغییرات مقاومت با خط افقی مقاومت مجانب می شود "حوزه ولتاژ" الکترود می نامند. در مورد زمین همگن فرضی، این حوزه در روی سطح زمین یک دایره کامل و در عمق بشکل یک استوانه با قاعده دایره ای که در ته آن به یک نیم کره ختم میگردد، فرض می شود ولی در مورد زمینهای واقعی، شکل سطح زمینی و عمقی آن کاملاً بستگی به مقاومتهای ویژه زمین در جهات مختلف خواهد داشت که مشخص کردن دقیق آن غیر ممکن است، ولی در هر حال بشکل دایره فرض می شود.



شکل ۴-۱-۲ لایه های استوانه ای / مخروطی و کروی تشکیل دهنده مقاومت خاک در اطراف الکترود

## ۴۳۰-۲- الکترودهای موجود

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

الکترودهای موجود شناخته شده به قرار زیر می باشند:

- غلافهای هادی کابلها؛
- اجزای فیزی سازه ها؛
- سپرهای فیزی و میلگرد های شمعهای بتنی؛
- لوله کشی آب؛
- لوله کشی های فیزی دیگر؛
- هرگونه تاسیسات زیرزمینی فیزی که در تماس با زمین بوده و مانعی برای استفاده از آن به عنوان الکتروده زمین وجود نداشته باشد.

راجع به الکترودهای موجود در بخش ۴۵ بحث شده است.

## ۴۳۱- الکترودهای صفحه ای

### ۴۳۱-۱- کلیات

با توجه به کلیه جوانب، الکترودهای صفحه ای در رده آخر ارجحیت انواع الکترودها قرار دارند. در اوایل رشد صنعت الکتروتکنیک، اعتقاد بر این بود که هر چه مساحت یک الکتروده بیشتر باشد، مقاومت آن نسبت به جرم کلی زمین کمتر خواهد بود. پس از سالها تحقیق و تجربه معلوم گردید که این باوری نادرست بود و در برخی از نقاط دنیا از جمله کشور ما، استفاده از این نوع الکتروده، جزء سنت درآمده و برای تغییر آن با وجود دلایل فراوان، توان و زمان زیاد لازم خواهد بود.

مقاومت تقریبی یک الکتروده صفحه ای از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\left(\frac{\pi}{2A}\right)} \quad (۴-۲)$$

که در آن:

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک به اهم متر؛

$A$  = سطح یک طرف الکتروده دفن شده به متر مربع؛

$R$  = مقاومت الکتروده صفحه ای به اهم متر

توجه شود که برای ابعاد معمولی، مقاومت یک الکتروده صفحه ای تقریباً با عکس ریشه دوم مساحت آن متناسب است نه با عکس مساحت آن. برای مثال مقاومت یک صفحه  $۰.۹ \times ۰.۹$  متر،  $\frac{۳۳}{۱۰۰}$  بیش از مقاومت صفحه  $۱.۲ \times ۱.۲$  متر است بنابراین برای کم کردن مقاومت بهتر است به جای یک الکتروده با سطح بزرگ، از دو یا چند الکتروده موازی با سطحی کوچکتر استفاده شود.

در اغلب موارد برای تخمین مقاومت یک الکترود صفحه ای ، استفاده از رابطه خلاصه زیر کافی است :

$$R \cong \frac{\rho}{4.D} \quad (۲-۳)$$

که در آن :

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک اهم متر ؛

$D$  = در مورد دایره برابر قطر و در مورد مستطیل برابر طول آن به متر است .

بهرتر است که صفحه الکترود به صورت قائم دفن شود تا خطوط جریان خارج شده از صفحه تا جایی که ممکن است یکنواخت پخش شده و کوتاه باشند و فشار خاک بر دو سمت الکترود یکنواخت باشد . الکترودهای صفحه ای از نظر نحوه استقرار آنها در زمین ، خود به دو گروه تقسیم می شوند :

- الکترودهای صفحه ای کم عمق ؛

- الکترودهای صفحه ای عمیق .

### ۴۳۱ - ۲ - الکترودهای صفحه ای کم عمق

در مناطقی از دنیا که بطور کلی جوی نمناک دارند ، استفاده از الکترودهای صفحه ای عمیق مرسوم نیست زیرا علت اصلی دفن صفحه الکترود در عمق بیشتر دستیابی به نم بیشتر و مقاومت ویژه کمتر زمین است . در این گونه مناطق ، الکترودها معمولاً در عمق کم و با حداقل پوشش خاک از لبه بالایی صفحه برابر ۰،۶ متر نصب می شوند . جنس الکترودها معمولاً از مس با ضخامت حداقل ۲ میلیمتر یا آهن گالوانیزه گرم با ضخامت حداقل ۳ میلیمتر است . در انگلستان جنس صفحه مورد استفاده برای این الکترودها معمولاً چدن موجودار یا دنده دار است به ضخامت حداقل ۱۲ میلیمتر و به ابعاد ۱،۲×۱،۲ متر .

اتصال هادی زمین به صفحه زمین باید دست کم در دو نقطه مجزا انجام و برای هادی زمین و صفحه الکترود از دو جنس مختلف ، محل اتصالها با ماده ای قیرمانند اندود شود تا این نقاط از عوارض الکترولیتی در امان بماند . در مواردی که امکان خوردگی سریع هادی زمین وجود داشته یا هادی زمین با مقطع کم انتخاب شده باشد ، توصیه می شود هادی زمین از نوع عایقدار باشد تا از خوردگی سریع آن در اثر عوارض الکترولیتی پیشگیری شود . البته در این صورت سهم هادی لخت در کم کردن مقاومت زمین از دست خواهد رفت .

اگر یک الکترود صفحه ای مقاومت لازم را ارائه نداد ، می توان از چند صفحه به صورت موازی استفاده کرد . برای رسیدن به حداقل مقاومت با صفحات موازی ، قاعدتاً لازم است حداقل فاصله الکترودها نسبت به هم ۱۰ متر باشد ، ولی با توجه به عمق کم دفن ، حداقل فاصله مؤثر آنها را می توان حتی تا ۲ متر تقلیل داد . در این صورت مقاومت مجموعه دو صفحه نسبت به مقدار بدست آمده از محاسبه ( با استفاده از رابطه بالا ) ، بیش از حدود ۲۰٪ تفاوت نخواهد داشت . توصیه بعضی مقامات دیگر برای حفظ مقاومت الکترودها در حد معقول این است که هنگام نصب چند الکترود صفحه- ای به صورت موازی ، فاصله ای به مقدار سه برابر بزرگترین بعد صفحه . بین آنها برقرار شود .

در مورد بعضی از لایه های خاک با مقاومت ویژه زیاد، آماده سازی محل دفن الکترود بجا خواهد بود

### ۴۳۱-۳ - الکترودهای صفحه ای عمیق

در بالا گفته شد که علت دفن الکترود در عمق زیاد (بیش از حدود ۳ متر)، رسیدن به لایه های نمناک زمین با مقاومت ویژه کمتر است.

بدیهی است که دفن صفحه در عمق زیاد علاوه بر تحمیل مخارج اضافی اولیه، این اشکال را در بر دارد که برای کم کردن مقاومت از راه دفن بیش از یک صفحه، لازم خواهد بود فاصله این صفحات نسبت به هم خیلی بیشتر از ۲ متر و یا سه برابر بزرگترین بعد صفحه - که در بالا برای صفحات کم عمق گفته شده است - باشد. از طرف دیگر قسمت قائم الکترود باید به حساب آورده شود که در کم کردن مقاومت آن نقش عمده دارد و در واقع عکس مقاومت کل تقریباً برابر مجموع عکس دو مقاومت صفحه ای و قائم (سیم اتصال) خواهد بود.

با بالارفتن دستنمناها در سالهای اخیر، مخارج نصب الکترودهای عمیق صفحه ای زیاد شده است و شاید موقع آن فرار رسیده باشد که تجدیدنظر عمده ای در انتخاب نوع الکترود متداول به عمل آید. بدیهی است که در این امر پیش قدمی عوامل وزارت نیرو و مطلوب خواهد بود.

### ۴۳۲ - الکترودهای قائم

#### ۴۳۲-۱ - کلیات

الکترودهای قائم از متداول ترین نوع الکترود می باشند مخصوصاً در مواردی که فضای افقی کافی در دسترس نباشد یا برای کم کردن مقاومت زمین، الکترودهای قائم و افقی با هم بکار روند. مقاومت تقریبی یک الکترود قائم، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \text{Log}_e \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \quad (۴-۱)$$

در این رابطه:

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر؛

$d$  = قطر الکترود بر حسب متر؛

$L$  = طول الکترود کوبیده شده بر حسب متر.

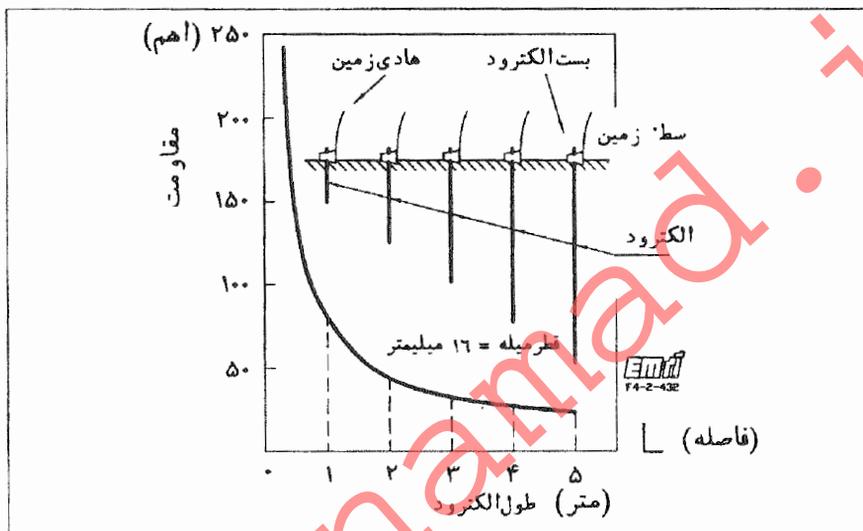
از این رابطه معلوم می شود که تأثیر قطر الکترود بر مقاومت آن نسبتاً جزئی است ولی در صورت ثابت بودن  $\rho$  و  $d$ ، تأثیر جزء لگاریتمی رابطه بالا در تغییرات مقاومت بر حسب عمق به نحوی است که هر چه الکترود طولانی تر شود، از

اثر طول بر کم شدن مقاومت کاسته خواهد شد. برای مثال در جدول ۴-۲ مقاومت الکترودهایی به قطر ۱۶ میلیمتر و طولهای مختلف نشان داده شده است:

جدول ۴-۲ تغییرات مقاومت یک الکترود نسبت به عمق آن

طول الکترود (متر)	مقاومت نسبی (اهم)	طول الکترود (متر)	مقاومت نسبی (اهم)
۱	$0.830 \rho$	۷	$0.162 \rho$
۲	$0.740 \rho$	۸	$0.145 \rho$
۳	$0.634 \rho$	۹	$0.130 \rho$
۴	$0.560 \rho$	۱۰	$0.119 \rho$
۵	$0.516 \rho$	۱۱	$0.110 \rho$
۶	$0.486 \rho$	۱۲	$0.102 \rho$

نتیجه گیری عملی از محاسبات بالا این است که در یک زمین یکدست ( $\rho$  ثابت)، یک تا سه متر اول طول الکترود بیشترین اثر را بر مقدار مقاومت آن دارد و از آن پس اثر زیاد طول بر مقاومت کمتر و کمتر می شود. لذا در این شرایط، اضافه کردن به طول الکترود برای کم کردن مقاومت آن به صرفه نخواهد بود و در این موارد برای کم کردن مقاومت، استفاده از چند الکترود به صورت موازی، به جای یک الکترود عمیق، بهتر و باصرفه تر است. شکل ۴۳۳ - ۱ تغییرات مقاومت تقریبی یک الکترود به قطر ۱۶ میلیمتر با طولهای مختلف در زمینی یکدست با مقاومت ویژه  $\rho$  ( $\Omega m$ ) را نشان می دهد.

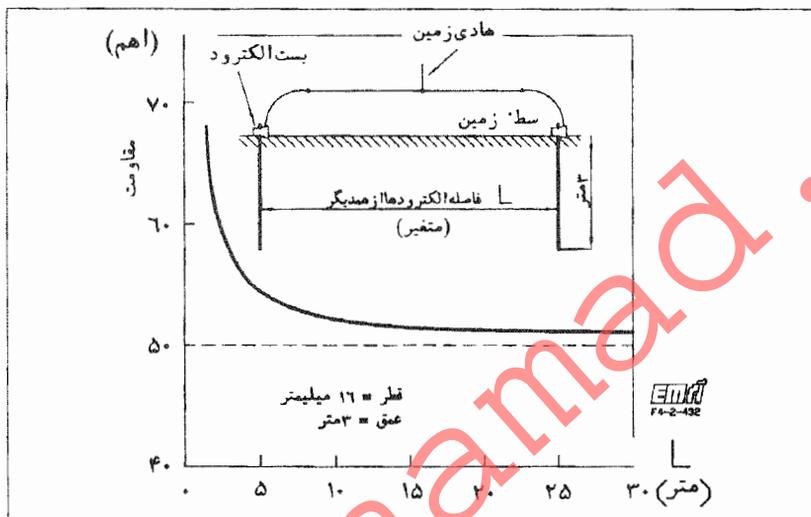


شکل ۴۳۲ - ۱ تغییرات مقاومت یک الکترود قائم نسبت به عمق آن

از الکترودهای قائم با عمق زیاد در مواقعی استفاده می شود که مقاومت ویژه ( $\rho$ ) لایه های پایینی خاک کمتر از مقاومت ویژه لایه ها در عمق کم باشد.

قطر الکترود با توجه به تاثیر کم آن بر مقاومت الکتریکی با در نظر گرفتن نکاتی دیگر و مخصوصاً مقاومت مکانیکی آن در هنگام کوبیدن در زمین یا احتمال صدمه دیدن و ترک برداشتن آن اگر از نوع لوله ای باشد، انتخاب می شود.

گفته شد که مقاومت چند الکترود وصل شده به صورت موازی بهتر (کمتر) از مقاومت یک الکترود با طولی معادل جمع الکترودها است. اما لازم است توجه شود که فاصله الکترودهای موازی نسبت به هم در مقدار مقاومت آنها نقشی تعیین کننده دارد. به طور خلاصه برای اینکه مجموعه دو الکترود موازی کمترین مقاومت را داشته باشد، فاصله آنها از همدیگر باید به قدری باشد که "خارج از حوزه ولتاژ یکدیگر قرار گیرند" یا فاصله دو الکترود نسبت به هم باید بی نهایت باشد ولی در عمل فاصله الکترودها را از یکدیگر، حداقل به اندازه عمق آنها انتخاب می کنند و در این صورت مجموعه مقاومت دو الکترود به جای ۵۰٪ به اندازه حدود ۵۵٪ مقاومت یک الکترود تکی خواهد بود.



شکل ۴۳۲-۲ مقاومت کل دو الکترود میله ای موازی با توجه به فاصله جدایی آنها

مقاومت تقریبی چند الکترود میله ای وصل شده به صورت موازی را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$R_n = R \left( \frac{1 + \lambda a}{n} \right) \quad (۴-۵)$$

در این رابطه:

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

$R_n$  = مقاومت  $n$  میله موازی به اهم:

$R$  = مقاومت یک میله مجزا به اهم:

$S$  = فاصله الکترودهای مجاور به متر:

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک به اهم متر:

$n$  = تعداد الکترودها:

$\lambda$  = ضریبی است که در شکل ۴-۳۳ یا ۴-۴ داده شده است.

با استفاده از این رابطه ، نتیجه محاسبه هنگامی قابل قبول خواهد بود که فاصله الکترودها از همدیگر از طول قسمتی که در تماس با زمین است کمتر نباشد .

ضریب  $\lambda$  برای الکترودهایی که در امتداد یک خط راست بوده و فاصله آنها از یکدیگر حداقل برابر طول قسمتی از الکتروده که در تماس با زمین است، به قرار جدول ۴-۳ زیر خواهد بود :

جدول ۴-۳ ضریب  $\lambda$  برای چند الکتروده موازی مستقر در امتداد یک خط

تعداد الکترودها	ضریب $\lambda$	تعداد الکترودها	ضریب $\lambda$
۲	۱٫۰۰	۷	۳٫۱۵
۳	۱٫۶۶	۸	۳٫۳۹
۴	۲٫۱۵	۹	۳٫۶۱
۵	۲٫۵۴	۱۰	۳٫۸۱
۶	۲٫۸۷		

ضریب  $\lambda$  برای الکترودهایی که بشکل مربع بوده و فاصله آنها از یکدیگر حداقل برابر طول قسمتی از الکتروده که در تماس با زمین است ، به قرار جدول ۴-۴ زیر خواهد بود :

جدول ۴-۴ ضریب  $\lambda$  برای چند الکتروده موازی مستقر بشکل مستطیل

تعداد الکترودها در امتداد هر ضلع $n$	ضریب $\lambda$	تعداد الکترودها در امتداد هر ضلع $n$	ضریب $\lambda$
۲	۲٫۷۱	۹	۷٫۶۵
۳	۴٫۵۱	۱۰	۷٫۹۰
۴	۵٫۴۸	۱۲	۸٫۳۳
۵	۶٫۱۴	۱۴	۸٫۶۷
۶	۶٫۶۳	۱۶	۸٫۹۶
۷	۷٫۰۳	۱۸	۹٫۲۲
۸	۷٫۳۶	۲۰	۹٫۴۰

## ۴۳۲-۲ - ساختمان و جنس الکترودهای قائم

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

### ۴۳۲-۲-۱ - ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش کوبیدن نصب می شوند:

- الکترودهای میله ای از مس سخت ؛
- الکترودهای میله ای با هسته فولاد و روکش مس عجین شده با هسته فولادی (مشابه Copperwekd)؛
- الکترودهای میله ای از فولاد ضد زنگ؛
- الکترودهای میله ای از فولاد گالوانیزه گرم؛
- الکترودهای لوله ای از فولاد گالوانیزه گرم (لوله آب)؛
- الکترودهای لوله ای از چدن .

قطر الکترود های کوبیده شده حدود ۹، ۱۲، ۵، ۱۵ یا ۱۶ میلیمتر است . "کاپرولد" مأنوس که متداولترین الکترود از این نوع است، دارای مشاء اینچی می باشد و لذا اندازه های آن به میلیمتر ، قدری مأنوس به نظر می آید . طول الکترودهای استاندارد ممکن است ۱.۲ تا ۱.۵ متر باشد . اغلب الکترودها از نوع قابل امتداد میباشند ، به این معنا که با استفاده از وسیله ای شبیه بوشن، قطعات استاندارد را می توان طولانی تر کرده و در زمین کوبید . با توجه به قابلیت امتداد آنها ، الکترودها را می توان تا عمق دلخواه کوبید . البته به شرطی که نوع زمین مناسب بوده و وسیله کوبیدن لازم برای اجرای کار در دست باشد . در بعضی موارد الکترودها تا عمق ۶۰ متر هم کوبیده شده اند . کوبیدن الکترودها در زمین را می توان به دو نوع انجام داد:

- ۱ - وارد آوردن ضربه های شدید به تعداد کم که در عمل به صورت زیر انجام می شود :
  - کوبیدن با پتک معمولی ؛
  - کوبیدن با پتک لوله ای .
- ۲ - وارد آوردن ضربه های خفیف به تعداد زیاد که در عمل به صورت زیر انجام می شود :
  - کوبیدن با پتک برقی یا بتزینی .

پتک معمولی احتیاج به معرفی ندارد . کوبیدن با پتک معمولی خسته کننده تر و ناراحت کننده تر از همه انواع دیگر است . پتک لوله ای در واقع لوله ای است که طول آن متناسب با طول قسمتی از الکترود که خارج از زمین است تنظیم می گردد. در انتهای بالایی یا در وسط لوله وزنه ای نصب می شود که همراه با وزن لوله ، وزنه پتک را تشکیل می دهد . کارگری لوله را که به طور کاملاً آزاد روی الکترود می لغزد ، بلند کرده و سپس آن را رها می کند جرم لوله و وزنه در هنگام سقوط آنها ، روی میله الکترود ضربه وارد کرده و آن را در زمین فرو می برد . پتک برقی یا بتزینی وسیله ای است که در آن یک وزنه کوچک خارج از مرکز ، با سرعت دوران می یابد . توان چرخش بوسیله موتور برقی یا بتزینی تامین می شود. نیروی جنبشی جرم دورانی خارج از مرکز ، ضربه های کوچکی را به تعداد زیاد به میله وارد می کند که آن را در زمین فرو می برد.

## ۴۳۲-۲-۲ - ساختمان و جنس الکترودهایی که با روش دفن نصب می شوند:

- الکترودهای لوله ای از فولاد گالوانیزه گرم (لوله آب)؛
- الکترودهای لوله ای از مس سخت (لوله مسی)؛
- الکترودهای لوله ای از چدن.

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

حفر چاه برای دفن الکترود یا با روش سستی (مقنی) و یا با روش استفاده از مته حفر زمین در عمقهای کم که بر روی وانت یا کامیون نصب است انجام می شود. در این روش نصب، با توجه به حجمی که خواه ناخواه در اطراف الکترود خالی می ماند، بهتر آن است که نوعی آماده سازی به عمل آید مگر آنکه نوع خاک به قدری خوب باشد که احتیاج به این کار نباشد. برای انتخاب نوع آماده سازی با توجه به شرایط موجود، بخشهای ۴۱۴، ۴۱۵ و ۴۳۳ را بسنجید.

## ۴۳۳ - نحوه آماده سازی خاک اطراف الکترودها

### ۴۳۳-۱ - آماده سازی الکترودها با روش سستی

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

نمک - ذغال - خاک رس

۱ - ۰,۵ - ۱۰

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

لازم است توجه شود که یک الکترود زمین، مخصوصاً اگر نصب آن با آماده سازی همراه باشد، دایمی نبوده و بایستی در دوره های معین که بستگی به شرایط محلی دارد، ترمیم شود.

در نزاجی با هوای خشک، آماده سازی با طریقی که گفته شد احتیاج به آبیاری خواهد داشت که از عمر مفید الکترود خواهد کاست .

### ۴۳۳-۲- آماده سازی الکترودها با بتونیت

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

### ۴۳۳-۳- آماده سازی الکترودها با استفاده از بتن

در صورت وجود شرایط ، بهترین و ساده ترین روش برای آماده سازی خاک اطراف الکترود پس از حفر چاه و قرار دادن الکترود در وسط آن . ریختن و پر کردن بتن در اطراف آن است . بدیهی است که حجم و قیمت بتن بکار رفته در این روش مهمترین عامل می باشد . بخش ۴۱۵ را ببینید.

### ۴۳۴- الکترودهای افقی

#### ۴۳۴-۱- کلیات

یکی از موارد استفاده از الکترودهای افقی ، ایجاد سطوح هم پتانسیل است که مخصوصاً در نیروگاهها و پست های فشار قوی جزو ملزومات است که در بحث ما مطرح نمی شود .  
در شبکه های توزیع و تاسیسات از این الکترودها ، هنگامی استفاده می شود که فضای آزاد کافی وجود داشته باشد و با در زیر لایه نازکی از خاک با مقاومت ویژه کم در سطح زمین ، لایه های با مقاومت ویژه زیاد قرار داشته باشند.  
مقاومت تقریبی یک الکترود افقی از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$R = \frac{\rho}{P\pi L} \left[ \text{Log}_e \left( \frac{2L^2}{wh} \right) + Q \right] \quad (۴-۶)$$

در این رابطه :

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر؛

$h$  = عمق دفن الکترود بر حسب متر؛

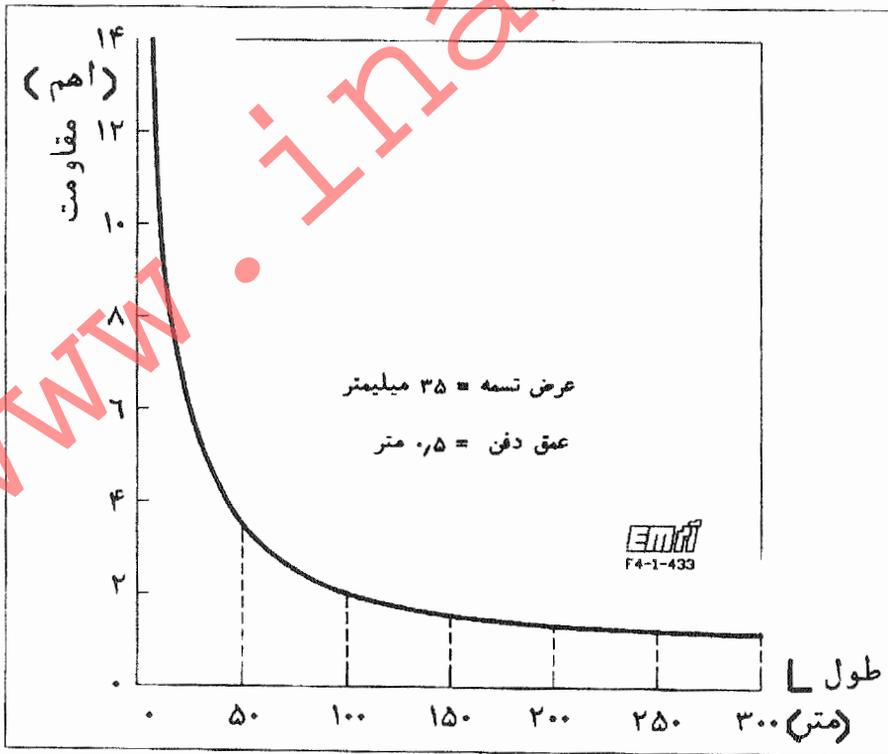
$w$  = عرض تسمه یا قطر الکترود بر حسب متر؛

$L$  = طول تسمه یا هادی بر حسب متر؛

$P$  و  $Q$  = ضرایبی هستند که با توجه به چگونگی استقرار الکترودها از جدول شماره ۴-۵ بدست می آیند.

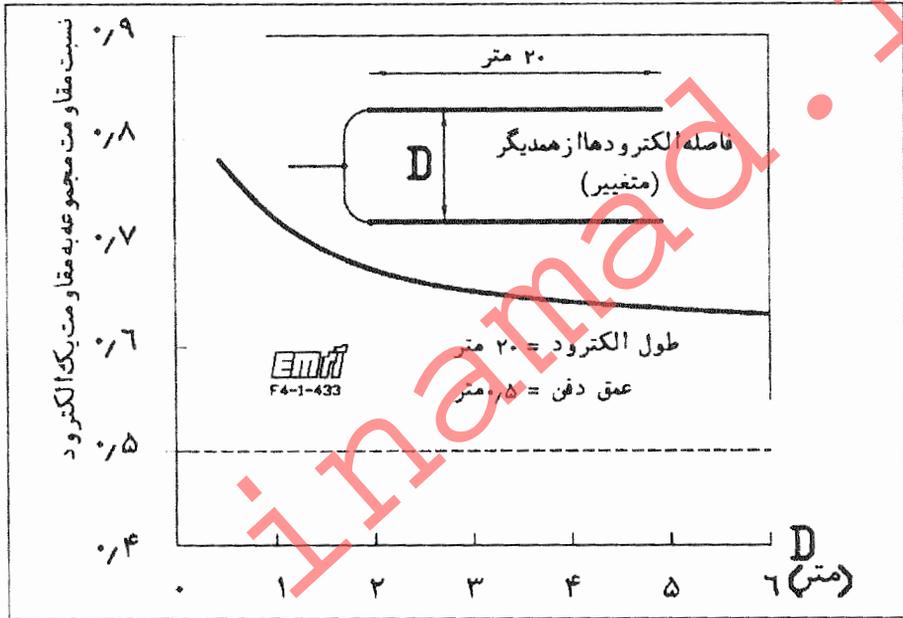
در عمل ابعاد تسمه الکترود به نحوی است که ضخامت آن نسبت به پهنا بسیار کم است و بنابراین اثر آن هم روی مقاومت ناچیز می باشد و با توجه به عمق دفن الکترود و قطر سیم یا عرض تسمه که در ساختمان الکترودها معمول می باشد، تاثیر این مقادیر نیز کم بوده و لذا عامل اصلی در تعیین مقاومت الکترود، طول آن است. در شکل ۱-۴۳۳ تغییرات نسبی مقاومت یک الکترود افقی نسبت به طول آن، نشان داده شده است.

برای کم کردن مقاومت کل یک سیستم اتصال زمین، می توان از الکترودهای موازی استفاده کرد، ولی باید توجه نمود که فاصله بین الکترودهای موازی باید به قدر کافی زیاد باشد و تامین این شرط همیشه امکانپذیر نیست.



شکل ۱-۴۳۳ تغییرات مقاومت یک الکترود افقی نسبت به طول

در شکل ۲-۴۳۳ تاثیر فاصله دو الکترود به طول ۲۰ متر از همدیگر نسبت به مقاومت کل آنها نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳-۲ تاثیر فاصله روی مقاومت کل دو الکترود تسمه ای افقی

اگر  $n$  الکترود موازی مستقیم هر یک به طول  $L$  و به فاصله  $S$  نسبت به هم نصب شده باشند، مقاومت کل این سیستم از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R_n = F \cdot R_1 \quad (۴-۷)$$

که در آن:

$R_n$  = مقاومت  $n$  هادی موازی مستقیم به اهم:

$R_1$  = مقاومت یک الکترود منفرد است (به اهم) که با استفاده از رابطه (۴-۷) و ضرایب  $P$  و  $Q$  برای یک الکترود از جدول ۴-۵ قابل استخراج است.

$F$  = ضریبی است که به طریق زیر حساب می شود:

$$F = 0.5 + 0.078 (S/L)^{-0.37} \quad \text{برای دو هادی موازی:}$$

$$F = 0.33 + 0.071 (S/L)^{-0.48} \quad \text{برای سه هادی موازی:}$$

$$F = 0.25 + 0.067 (S/L)^{-0.51} \quad \text{برای چهار هادی موازی:}$$

مشروط به اینکه  $0.2 \leq (S/L) \leq 0.3$  باشد.

بجای الکترودهای موازی می توان از الکترودهای افقی که به شکل ستاره از یک نقطه پخش می شود نیز استفاده کرد. در این صورت مقادیر Q و P برای اشکال مختلف ستاره، از جدول ۵-۴ قابل استخراج می باشد.

جدول ۵-۴ ضرایب P و Q برای الکترودهای افقی با هادیهای تسمه ای و گرد

ضریب		P	نحوه استقرار الکترود
Q	تسمه		
گرد	تسمه	۲	
۱٫۳-	۱-		
۰٫۹	۰٫۵	۴	
۲٫۲	۱٫۱	۶	
۴٫۱-	۳٫۶	۸	

#### ۴۳۴-۲- ساختمان و جنس الکترودهای افقی و عمق دفن آنها (الکترودهای دفن شده در کانال)

##### ۴۳۴-۲-۱- ساختمان و جنس الکترود

- الکترودهای تسمه ای از مس؛
- الکترودهای تسمه ای از آهن گالوانیزه گرم؛
- الکترودهای سیم مسی.

حداقل سطح مقطع تسمه مسی نباید از ۵۰ میلیمتر مربع و ضخامت آن هم از ۲ میلیمتر کمتر باشد. بنابراین حداقل تسمه ای که می تواند مورد استفاده قرار گیرد ۲۰۲۵ میلیمتر است.

حداقل سطح مقطع تسمه فولادی گالوانیزه گرم نباید از ۱۰۰ میلیمتر مربع و ضخامت آن هم از ۳ میلیمتر کمتر باشد. بنابراین حداقل ابعاد تسمه استاندارد که برای این منظور مورد استفاده قرار می گیرد ۳۰×۳۰۵ میلیمتر است که سطح مقطعی برابر ۱۰۵ میلیمتر مربع را تامین می کند.

سیم مورد استفاده برای الکرودهای افقی سیم مسی استاندارد چندمفتولی است. حداقل سطح مقطع مجاز سیم ۱۶ میلیمتر مربع می باشد ولی توصیه شده است حداقل از سیم ۲۵ میلیمتر مربع استفاده شود. در عین حال قطر هیچ یک از مفتولهای تشکیل دهنده سیم نباید از ۱،۷ میلیمتر کوچکتر باشد و بعبارت دیگر استفاده از هادیهای افشان بکلی ممنوع می باشد.

#### ۴۳۴-۲-۲- عمق دفن الکروود و آماده سازی آن

عمق دفن الکروود بر مقاومت آن بی تاثیر نیست ولی این تاثیر، بسیار بارز نمی باشد. بنابراین در تعیین عمق دفن الکروود، مسایل مربوط به خاکبرداری در درجه اول قرار دارند. در عمل کمتر اتفاق می افتد که عمق دفن الکروود افقی از ۲ متر بیشتر باشد و اغلب این مقدار بین ۰،۵ تا ۰،۸ متر انتخاب می شود.

هنگامی که لازم باشد سطحی هم پتانسیل در اطراف الکروود برقرار شود، عمق دفن الکروود باید کم باشد ولی نه به حدی که در اثر فعالیتهای عادی بر روی زمین، به آن آسیب وارد شود. در این موارد عمق دفن معمولاً ۰،۵ متر انتخاب می شود.

از دیدگاه نظری، آماده سازی الکرودهای افقی فرقی با نوع قائم آنها ندارد، اما حفظ آماده سازی این الکرودها مخصوصاً هنگامی که در مسیر رفت و آمد عموم باشند مشکل است و در صورت لزوم در این مورد باید تنها به استفاده از خاک رس به جای خاک حفاری شده اکتفا نمود.

#### ۴۴- واکنش فلز الکروود و هادی اتصال به زمین با انواع خاک (خوردگی شیمیایی)

##### ۴۴۰- کلیات

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

پس، بطور خلاصه، الکروود یا الکرودهای در تماس با زمین را باید از دو جنبه مورد مطالعه قرار داد که هر دوی این جنبه ها، جز در مورد طرحهای مخصوص، نادیده گرفته می شوند:

۱- از نظر اثر مواد شیمیایی و دیگر عوامل موجود در خاک بر روی فلز الکروود و هادی اتصال زمین؛

۲- از نظر خوردگی در اثر جریانهای گالوانیک که در نتیجه همبندی الکروود زمین با فلزات دیگر که با سیستم الکتریکی مربوط نبوده ولی در نزدیکی محل استقرار الکروود مستقر می باشند، بوجود می آیند. این در واقع همان مسئله ای است که مربوط به "حفاظت کاتدی" می شود.

مطالبی که در زیر می آید اشاره ای است اجمالی به مسائلی پیچیده که برای مطالعه عمیق آنها لازم است به مراجع اختصاصی رجوع شود.

#### ۴۴۱- تأثیر نوع خاک در خوردگی الکتروود

عوامل زیر در خوردگی الکتروود بوسیله خاک دخالت دارند:

۱- خواص شیمیایی خاک، مخصوصاً از نظر اسیدی بودن و محتوای نمکهای آن؛

۲- وجود باکتریهای غیرهوازی در خاک؛

۳- هوا خورش نسبی خاک (differential aeration)

درجه بندی کلی انواع خاکها، از نظر شدت اثر آنها بر روی فلزات، بترتیب زیر می باشد:

- خاکهای شنی؛
- خاکهای ماسه ای؛
- خاکهای رسوبی؛
- خاکهای رسی؛
- خاکهای برگ و خاکهای دارای مواد آلی؛
- خاکهای دستی مخلوط، محتوی خاکه ذغال و خاکستر.

معمولاً شدت اثر شیمیایی خاکهایی که دارای مقاومت مخصوص الکتریکی بالاترند

بر روی فلزات الکتروود کمتر است و برعکس.

محل استقرار الکتروودها باید به نحوی انتخاب شود که بدور از مسیر احتمالی آبرفت های آلوده به کودهای زمینهای

کشاورزی باشد و خاکهای لایه رویی زمین را نباید در پس ریزی (backfill) اطراف الکتروودها مورد استفاده قرار داد

با اندازه گیری مقاومت مخصوص الکتریکی خاک در شرایط هوا خورده و اندازه گیری پتانسیل اکسایشی - کاهش

(rdox ptential) آن، می توان اطلاعات دقیقتری را بدست آورد. اولی نشانگر خوردگی در اثر هواخوردگی و دومی

نشانگر خوردگی در اثر وجود باکتریهای غیرهوازی است. برای شرح آزمون ها و نحوه انجام آنها لازم است به

استانداردهای اختصاصی، مانند BS 1377، مراجعه شود. راهنمای مفیدی برای تشخیص شدت خوردگی بعضی از

فلزات الکتروود نسبت به خواص خاکها در زمینهایی که در بالا ذکر شده اند در جدول ۴-۶ داده شده است.

در عمل، مس بهترین ماده ای است که در ساخت الکتروود و هادی زمین در تماس با خاک از آن استفاده می شود. در

مواردی که جریان اتصال کوتاه مورد انتظار، خیلی بالا نباشد، بجای مس خالص می توان از فولاد پوشیده شده با غلاف

مس، مانند میله های کاپرولد، که مقاومت مکانیکی آنها نیز بیشتر است، در مقاطع کوچکتر استفاده کرد. در هر حال، اثر

مغنی نمکهای حل شده در زمین، وجود اسیدهای آلی در خاک و خاکهایی با ساختار اسیدی، باید در تخمین عمر الکتروذ منظور شوند.

از فولاد یا میلگردهای بتن مسلح که در برابر خوردگی خاک بوسیله بتن حفاظت می شوند، به شرطی که مداومت الکتریکی آنها برقرار باشد، می توان بعنوان نوعی الکتروذ زمین استفاده کرد. تابحال این روش ایجاد اتصال به زمین کمتر مورد توجه بوده است.

مزیت استفاده از فولاد داخل بتن بعنوان الکتروذ زمین، علاوه بر مسایل بارزی مانند مخارج اضافی ناچیز برای آماده نمودن اتصالات میلگردها به سیستم الکتریکی، این است که بتانسیل الکتریکی سیستم فولاد / بتن و مس برابر بوده و لذا امکان وصل مستقیم سیستم الکتروذهای فولاد / بتن و مس یا جنس دیگری که دارای پوشش مس باشد (مانند فولاد پوشیده شده با مس) وجود دارد. در صورتی که انجام این کار، یعنی همبندی فولاد گالوانیزه با فولاد / بتن یا مس به علت الکترونگاتیو بودن شدید فولاد گالوانیزه، امکان ندارد.

جدول ۴-۶ دوام بعضی مواد الکتروذها در برابر خوردگی با توجه به پارامترهای خاک

جنس الکتروذ				پارامترهای خاک
مس	فولاد اوستیک	فولاد گالوانیزه	فولاد نرم	
g	g	n	nn	مقاومت مخصوص (اهم متر) $7 >$
g	gg	n	n	$40 \text{ تا } 70$
gg	gg	gg	gg	$40 <$
gg	gg	gg	gg	$400 <$
g	gg	g	g	پتانسیل اکسایش-کاهش (میلی ولت) $200 \text{ تا } 400$
n	n	nn	nn	$200 >$
g	g	g	g	$80 <$
g	g	n	n	رطوبت موجود (%) $10 \text{ تا } 80$
gg	gg	gg	gg	$10 >$
n	g	n	n	نمکهای محلول
n	n	n	n	کلرید محلول
n	g	nn	n	اسیدی $6 >$
gg	gg	gg	gg	PH خنثی $6 \text{ تا } 8$
nn	g	n	n	بازی $8 <$
nn	g	n	n	اسیدهای آلی

شرح نشانه های اختصاری

gg = بطور کلی بر مقاومت در برابر خوردگی اثری ندارد؛  
 g = فقط کمی بر مقاومت در برابر خوردگی اثر دارد؛  
 n = بر مقاومت در برابر خوردگی اثر دارد؛  
 nn = بر مقاومت در برابر خوردگی به نحو محسوسی اثر دارد.

## ۴۴۲ - خوردگی الکترودها در اثر همبندی با فلزات دیگر (خوردگی الکتروشیمیایی با کاتدی)

همبندی اجزای فلزی مختلف مدفون در خاک یا برای دستیابی به مقاومتی کوچکتر برای یک سیستم الکتروود زمین انجام می شود یا اینکه هدف از آن حصول ایمنی از راه همولتاژ کردن اجزای ساختمانی مختلف است. اگر این اجزای فلزی از موادی متفاوت ساخته شده باشند، مانند آن است که دو سر یک پیل بهم وصل شوند. دو یا چند فلز مختلف دفن شده در زمین (دو به دو) الکترودهای پیل و خاک هم همراه با مواد داخل آن، الکتروولیت پیل خواهد بود.

شمار فلزات دفن شده در زمین که باهمدیگر همبندی می شوند ممکن است بسیار زیاد باشد. در زیر بعضی از آنها نام برده می شوند:

- زره کابلها؛
- فولاد / بتن پی ها؛
- لوله های سرویس مانند آب، گاز، فاضلاب و نظایر آن؛
- تسمه، ورق و سیمهای مسی؛
- تسمه ها و میله های فولادی؛
- تسمه ها و میله های فولادی ضد زنگ؛
- تسمه ها و میله های فولادی با پوشش مسی؛
- تسمه ها و میله های فولاد گالوانیزه؛
- تسمه ها و سیمهای مسی قلع اندود؛
- هرگونه اجسام فلزی دیگر.

سرعت تحلیل الکترودها در درجه اول به جنس الکترودها و تا حدودی به سطح نسبی آنها بستگی دارد. نظر به اینکه فلزات ییگانه (نامربوط به سیستم الکتریکی) که در محدوده الکتروود زمین و فلزات همبندی شده با آن موجوداند، در خوردگی خود آنها و فلزات الکترودها بی تاثیر نمی باشند. انتخاب جنس الکترودها باید با مطالعه انجام شود تا سازگاری آنها نسبت به هم مراعات شود یا روشهای دیگری برای رفع خوردگی بکار گرفته شوند. جدول شماره ۴-۷ متداولترین فلزات را با توجه به نوع مصرف آنها از نظر سازگاری و ماندگاری در همبندی، ارائه می دهد.

جدول ۴-۷ مقاومت الکترودها در برابر خوردگی در صورت همبندی

جنس الکترود یا جسم با سطح کوچکتر				ماده ای که دارای سطح بزرگتر است (معمولاً غیر از الکترود)
مس قلع اندود	مس	فولاد گالوانیزه	فولاد	
+	+	+	+	فولاد گالوانیزه
+	+	-	-	فولاد در داخل بتن
+	+	<sup>۱</sup> +	+	فولاد گالوانیزه در داخل بتن
+	+	<sup>۱</sup> +	+	سرب
شرح نشانه های اختصاری				
+ = مناسب برای همبندی				
- = نامناسب برای همبندی				
(۱) گالوانیزاسیون سطح کوچکتر ممکن است صدمه ببیند.				

#### ۴۵- الکترودهای موجود

#### ۴۵۰- کلیات

همانگونه که در بند ۴۳۰-۲ نیز آمده است، الکترودهای موجود آنهایی هستند که با هدفی دیگر در زمین نصب شده اند ولی در صورت وجود شرایط لازم، ممکن است برای ایجاد اتصال به زمین از آنها بعنوان الکترود استفاده شود. الکترودهای موجود شناخته شده به قرار زیر می باشند:

- غلافهای هادی کابلها؛
- اجزای فلزی سازه ها؛
- سپرهای فلزی و میلگردهای شمعهای بتنی؛
- لوله کشی آب؛
- لوله کشی های فلزی مجاز دیگر؛
- هرگونه تاسیسات زیرزمینی فلزی که در تماس با زمین بوده و مانعی برای استفاده از آن بعنوان الکترود زمین وجود نداشته باشد.

ملاحظه می شود که در لیست فوق از لوله کشی های مجاز و آن نوع تاسیسات زیرزمینی که مانعی برای استفاده از آنها بعنوان الکترود زمین وجود ندارد صحبت شده است.

و در مقابل استفاده از تاسیسات زیرزمینی ذکر شده در زیر بعنوان الکترود زمین یا هادی حفاظتی تحت هیچ شرایطی مجاز نیست:

- نفت (و فرآورده های نفتی):
- گاز:
- هوای تحت فشار:
- فاضلاب از هر نوع.

لیست بالا کامل نبوده و ممکن است تاسیسات ممنوعه دیگری علاوه بر اینها وجود داشته باشند. تاسیسات ممنوعه معمولاً:

- با دارای عایق‌بندی می باشند که تماس آنها را با زمین نامطمئن می سازد یا در مورد فاضلاب علاوه بر دارا بودن پوششی عایق، دارای اتصالات قابل اطمینان از نظر تداوم الکتریکی نیستند.
- هیچ اطمینانی به دایمی بودن این تاسیسات وجود ندارد.
- و مهمتر از همه اینها، گرفتن اجازه برای استفاده از هرگونه تاسیساتی بعنوان الکترود زمین که جزو تاسیسات برق یا اجزای ساختمان نیستند و مؤسسات دیگر با مقررات مخصوص به خود بر آنها نظارت می کنند (شرکت نفت، شرکت گاز) الزامی است. معمولاً این شرکتها از اعطای چنین اجازه ای سرباز می زنند و برای حفاظت لوله های خود در برابر استفاده های نامشروع و کم کردن خوردگی آنها در اثر "جریانهای کاتدی"، از کولپینگ هایی استفاده می کنند که سیستم لوله کشی زیرزمینی آنها را از شبکه داخلی یا تاسیسات مشترک عایق سازد (کولپینگ عایق روی علمک های مشترکین گاز دیده شود) و برای حفاظت شبکه های لوله کشی خود نیز از حفاظت کاتدی استفاده می کنند.

پس بطور خلاصه:

- ۱- استفاده از قسمتهای در تماس با زمین بعنوان الکترود زمین ممنوع است
- ۲- همبندی کلیه اجزای در تماس با زمین، چه الکترودهای اتصال زمین مجاز و چه آنهایی که استفاده از آنها بعنوان الکترود زمین مجاز نیست، برای حفظ ایمنی در برابر برقگرفتگی الزامی است.

برای بعضی ها این تناقض، ممکن است غیر قابل هضم باشد. این مسئله را می توان به این ترتیب بیان کرد:

در هیچ تاسیساتی نمی توان از یک یا چند لوله کشی از لوله کشیهای ممنوع بعنوان وسیله زمین کردن استفاده کرد بلکه باید یک سیستم زمین مجاز با تمام شرایط آن، مستقل از تاسیسات ممنوع وجود داشته باشد تا هادیهای حفاظتی به آن وصل شوند و فقط در این صورت است که برای رعایت شرط همبندی برای همولتاژ کردن، لوله ها و تاسیسات در تماس با زمین ولی غیرمجاز، به آن وصل شوند تا شرط هم پتانسیل شدن هم برقرار گردد. علاوه بر آن، نمی توان از این لوله کشی ها بعنوان بخشی از هادی حفاظتی استفاده کرد. برای مثال بدنه یک وسیله مانند موتور را نمی توان به یکی از

لوله های ممنوع وصل کرد با این استدلال که چون این لوله از نظر هم ولتاژ شدن به یک هادی حفاظتی مجاز و الکترود زمین مجاز وصل است، پس وصل شدن به آن معادل وصل شدن به هادی حفاظتی می باشد. چنین نتیجه گیری از مسئله غلط خواهد بود.

#### ۴۵۱- غلافهای هادی کابلها

معمولاً غلاف و زره فلزی کابلها بعنوان بخشی از الکترود زمین یک سیستم الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند خاصه اینکه اینها مناسب ترین مسیرهای برگشتی جریانهای اتصالی نیز هستند. البته استفاده از غلاف/زره فلزی کابلها به عنوان الکترود زمین هنگامی موثر است که غلافی از عایق پلاستیکی یا مشابه آن، مانع تماس غلاف/زره با زمین نشود و یا اینکه غلاف پلاستیکی از نوع نیم هادی باشد که در سالهای اخیر جای خود را در صنعت کابل سازی باز کرده است. یکی از استانداردهای معتبر (IEEE/ANSI) استفاده از غلاف با زره فلزی مجهز با غلاف نیم هادی را به شرطی مجاز می داند که "مقاومت ویژه شعاعی" آن از ۱۰۰ اهم متر، بیشتر نباشد. مقاومت ویژه شعاعی با رابطه زیر بیان می شود:

مقاومت واحد طول غلاف (اهم) × مساحت جانبی واحد طول غلاف

= مقاومت ویژه شعاعی

ضخامت میانگین غلاف روی نیم هادی

#### ۴۵۲- اجزای فولادی سازه ها

##### ۴۵۲-۱- کلیات

مقصود از اجزای فولادی سازه ها، هر نوع قطعات فولادی مربوط به سازه ها است که یا مستقیماً و یا از طریق بتی که دور آنها ریخته شده است (فونداسیون)، با زمین در تماس باشند. بدیهی است دفن اجزای فولادی سازه ها بدون هیچگونه حفاظ، جز در مواردی نادر و با استفاده از فولادهای مخصوص ضد زنگ، انجام نمی شود. بنابراین در اینجا، اجزای فولادی سازه های داخل بتن و از آن میان میلگردهای بتن مورد نظر خواهند بود.

معمولاً استفاده از مجموعه بتن و فولاد داخل آن بعنوان الکترود در بیشتر موارد امکانپذیر است. مقاومت الکترود بتن/فولاد در اغلب موارد بعلت سطح زیاد آن، بقدری پایین است (کمتر از ۱ اهم) که کمتر الکترود دیگری، حتی با صرف مبالغی زیاد، می تواند با آن رقابت کند. بدیهی است که مقاومت اتصال به زمین بتن/فولاد به جنس و رطوبت زمینی که در آن قرار دارد بستگی خواهد داشت و جز در موارد نادر که زمین محل استقرار بسیار خشک باشد، مقاومت مخصوص در دمای عادی بین ۳۰ الی ۹۰ اهم متر است که از بسیاری از انواع خاکها کمتر است.

با تمام این مزایا لازم است به خورده شدن فولاد در داخل بتن، توجه شود، زیرا محصول خورده شدن بتن حجمی بیش از فولاد دارد و در نتیجه ممکن است سبب ترک خوردن بتن شود. در این مورد باید جریان‌هایی که بطور دائم از الکترود به زمین نشت می‌کنند بررسی شوند. یکی از علل وجود این جریانها، نبودن سازگاری بین مجموعه بتن / فولاد و اجزای دیگر در تماس با زمین و همبندی شده با آن است. بخش ۴۴۲ دیده شود.

لازم است توجه شود که جریان متناوب سبب ایجاد خوردگی در میلگردهای بتن نمی‌شود یا خرابی ایجاد شده بوسیله آن. در محدوده توانایی عبور جریان، ناچیز و قابل اغماض است، ولی یکی از خواص "زمین الکترولیت" این است که بصورت یک نیم هادی هم عمل می‌کند که نتیجه آن ایجاد جریان یکسو شده بطور دائمی است، هر چند شدت این جریان زیاد نباشد. در مواردی که انتظار می‌رود جریان نشت به زمین در تاسیسات قابل ملاحظه باشد، یا این مسئله در حین کار ثابت شود بهترین راه جلوگیری از خرابی، استقرار الکترود یا الکترودهای اضافی از انواعی است که قبلاً درباره آنها صحبت شده است تا مسیری اضافی برای عبور این جریانها بوجود آید.

اگر مقاومت الکترود بتن / فولاد بقدر کافی کم باشد، در اثر عبور جریان به زمین در بتن ترک خوردگی ایجاد نخواهد شد.

#### ۴۵۲-۲- پیش بینی مقاومت کل یک سیستم اتصال زمین بتن / فولاد

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

با فرض اینکه مقاومت متوسط یک پی در دست باشد، و پی‌ها بشکل تقریباً مستطیل ترتیب یافته باشند، مقاومت کل سیستم از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$R_{tot} = R_1 \cdot \frac{(1 + \lambda a)}{n} \quad (۴-۸)$$

$$a = \frac{\rho}{2\pi \cdot R_1 \cdot s}$$

در این رابطه :

و

$R_{tot}$  = مقاومت کل الکترود مشابه به اهم ؛

$R_1$  = مقاومت یک الکترود منفرد به اهم ؛

$\lambda$  = ضریبی است که مقدار آن از جدول ۴-۴ به دست می آید ؛

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک به اهم متر ؛

$n$  = تعداد الکترودهایی که پی ها را تشکیل می دهند ؛

$s$  = فاصله میانگین بین دو الکترود مجاور (فرض بر این است که این فاصله بقدری است که  $a$  از حدود ۰.۲ کمتر است)

حفظ مداومت الکتریکی بین کلیه اجزای فلزی الکترود بتن فولاد، از ضروریات است تا یک تاسیسات الکترود گسترده، یکپارچه بحساب آید، ولی مقررات مختلف، در این خصوص اتفاق نظر ندارند. بدین ترتیب که یکی از آنها بهترین روش انجام اتصالات در داخل بتن را جوشکاری می داند (بدون آنکه کافی بودن اتصالات مجاز از نظر بتن ریزی را برای حفظ مداومت الکتریکی نفی کند) و دیگری اتصالات مجاز از نظر بتنکاری را برای حفظ مداومت الکتریکی کافی می داند (بدون آنکه جوشکاری را بهترین روش انجام اتصالات در داخل بتن معرفی نماید). در خارج از بتن، حفظ مداومت الکتریکی با روشهای معمول انجام می شود.

مقاومت ( $R$ ) یک ستون بتنی (قائم) بدون در نظر گرفتن تاثیر میلگردهای دیگر (افقی) در تماس با زمین و بتربندی قابل محاسبه است :

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot L} \left[ (\rho_c - \rho) \cdot \text{Loge} \cdot \left( 1 + \frac{\delta}{Z} \right) + \rho \cdot \text{Loge} \cdot \left( \frac{2L}{Z} \right) \right] \quad (۴-۹)$$

در این رابطه :

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر ؛

$\rho_c$  = مقاومت ویژه بتن بر حسب اهم متر ؛

$L$  = طول میلگرد زیر سطح زمین بر حسب متر ؛

$d$  = ضخامت بتن بین میلگردها و خاک بر حسب متر ؛

$Z$  = فاصله میانگین هندسی در مجموعه میلگردها بر حسب متر (طبق جدول ۴-۸).

### ۴۵۳- میلگردهای شمعهای بتنی و سیرهای ورق فولادی

از شمع های بتنی و سیرهای فولادی می توان بمنظور ایجاد الکترودهای زمین مناسب استفاده نمود . در این موارد، لازم است برای ایجاد محل اتصال به میلگردها یا صفحات فولادی سیرها و برقراری تداوم الکتریکی ، قبلاً و بموقع و با مشورت با مهندسین سازه ، اقدام نمود .

### ۴۵۴- لوله کشی آب

به دو دلیل توصیه نمی شود از لوله کشی های آب شهری ، به عنوان الکترود زمین استفاده شود :

- ۱- مؤسسات مسئول شبکه های آب شهری حتی اگر در شرایط دیگر امکان استفاده از لوله کشی ها را ممکن بدانند مایل به اعطای اجازه برای این کار نیستند . مهمترین دلایل ، لوث شدن مسئولیت در صورت بروز هرگونه حادثه احتمالی از یک طرف و امکان بروز خوردگی است (جدول ۴-۷ دیده شود)
  - ۲- در اغلب قریب به اتفاق موارد استفاده از لوله های فلزی در شبکه های آب منسوخ شده است و یا دست کم در آنها از اتصالات نامطمئن از نظر مداومت الکتریکی استفاده می شود .
- با این همه بشرط وجود یک سیستم اتصال زمین مطمئن دیگر ، می توان از سیستم لوله کشی بصورت کمکی استفاده نمود .
- در مورد لوله کشی های خصوصی ، در صورت قبول مسئولیت بهره برداری برای حفظ ایمنی ، استفاده از لوله -کشها بعنوان الکترود زمین مانعی نخواهد داشت .

جدول ۴-۱۳ حداقل مجاز سطح مقطع هادی زمین	
نوع هادی و شرایط نصب آن	سطح مقطع هادی
هادی فقط در برابر خوردگی حفاظت شده باشد	۴ میلیمتر مربع برای مواردی که:
هادی علاوه بر حفاظت در برابر خوردگی، حفاظت مکانیکی نیز داشته باشد	۲٫۵ میلیمتر مربع برای مواردی که:
هادی در زمین بوده و فقط در برابر خوردگی حفاظت شده ولی حفاظت مکانیکی نداشته و از جنس مس یا فولاد گالوانیزه گرم باشد	۱۶ میلیمتر مربع برای مواردی که:
هادی در زمین بوده و هیچ یک از حفاظتهای خوردگی و مکانیکی را نداشته و جنس آن مس باشد	۲۵ میلیمتر مربع برای مواردی که:
هادی در زمین بوده و هیچ یک از حفاظتهای خوردگی و مکانیکی را نداشته و جنس آن فولاد گالوانیزه گرم باشد	۵۰ میلیمتر مربع برای مواردی که:
توصیه شده است که: ضخامت هادی شفتهای حفاظت نشده اتصال زمین، حداقل ۳ میلیمتر باشد	

JAD-9-4

### ۴۶۳ - اتصالات و بستها

بستهای بکار رفته برای اتصال الکترود به هادی زمین باید با هر دوی آنها سازگار باشد تا از خوردگی گالوانیک تا جایی که ممکن است، جلوگیری شود. بستها باید از نظر مکانیکی محکم باشند و جنس آنها از نوع مقاوم در برابر خوردگی باشد. در مورد بستهای پیچی، پیچها باید در برابر گشتاوری حداقل به مقدار ۲۰ نیوتن متر، استقامت کنند. اتصال هادی زمین به الکترود یا هر سازه زمین شده دیگر که از آن برای زمین کردن استفاده می شود بهتر است به کمک لچیم کاری یا با استفاده از بستهای بزرگ غیر آهنی انجام شود. در مواردی که از غلاف فلزی و زره فلزی کابل استفاده شود، غلاف و زره باید با لچیم کاری به یکدیگر همبندی شده و اتصال اصلی هادی حفاظتی به کابل با لچیم کاری به زره انجام شود.

ب - جریان های طولانی مدت مانند جریان های زمین، که در اثر نامتعادل بودن عادی بار فازها بوجود می آیند، سبب از بین رفتن کارایی الکترودها نمی شود. بشرط اینکه چگالی جریان از ۴۰ آمپر بر مترمربع از سطح الکترود بیشتر نشود. در عمل با توجه به لزوم تأمین مقاومت کم، این شرط خودبخود برآورده می شود.

ج - جریانهای کوتاه مدت، مانند جریانهای که در اثر اتصال کوتاه به زمین پیش می آیند، با استفاده از رابطه زیر قابل بررسی می باشند:

$$J = 10^3 \sqrt{\frac{57.7}{\rho \cdot t}} \quad (۱۳-۴)$$

که در آن:

$J$  = چگالی جریان بر حسب آمپر بر مترمربع از سطح الکترود:

$\rho$  = مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر:

$t$  = مدت برقراری اتصال کوتاه به زمین بر حسب ثانیه.

این رابطه برای الکترودهای قائم، افقی و صفحه ای قابل استفاده می باشد.

## ۴۸ - گرادیان ولتاژ در اطراف الکترود زمین

### ۴۸۰ - کلیات

گرادیان ولتاژ در اطراف همه الکترودهای قائم و افقی و صفحه ای، ایجاد می شود، اما در اطراف الکترود قائم بارزتر از همه است. لذا بیشتر مطالب توضیحی برای این نوع الکترود است.

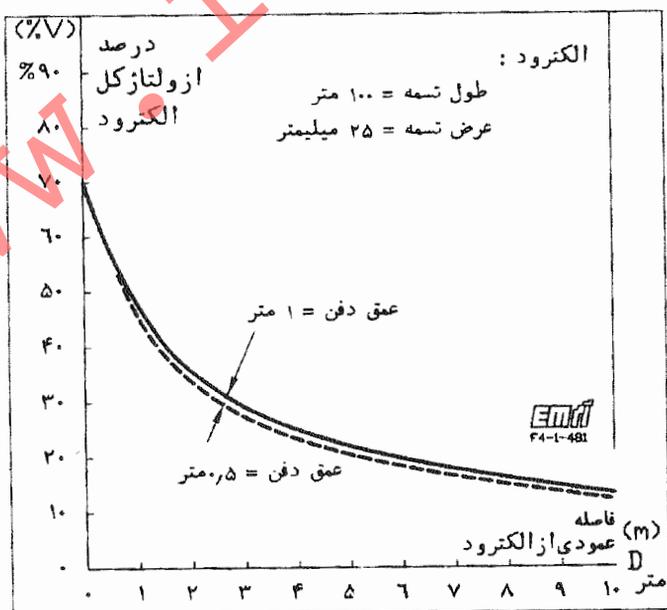
### ۴۸۱ - گرادیان ولتاژ در اطراف یک الکترود زمین قائم

در قسمت ۴۰۱ درباره حوزه ولتاژ یک الکترود بحث شده است. در اثر عبور جریان از الکترود زمین، افت ولتاژی در مقاومت الکترود نسبت به "جرم کلی زمین" ایجاد می شود که ولتاژ الکترود نسبت به "جرم کلی زمین" را بالای برد و هادیهای که به الکترود وصل بوده، ناگهان دارای ولتاژ می شوند. به نحوی که گفته خواهد شد، این ولتاژ برای انسان و حیوان و لوازم الکتریکی خطرناک می باشد.

نکته ای که باید به آن توجه شود این است که مقاومت الکترود نسبت به "جرم کلی زمین" از نظر فیزیکی یک مقاومت مشخص با ابعادی معین نمی باشد بلکه مشکل از توده ای خاک است که الکترود را احاطه می کند. این ساختار مقاومت در اطراف الکترود سبب می شود که افت ولتاژ در توده خاک در حجمی بزرگ و بتدریج صورت گیرد. حال اگر نقاط

## ۴۸۲- گرادیان ولتاژ در اطراف یک الکترود زمین افقی

گرادیان ولتاژ (تغییرات ولتاژ) در اطراف یک الکترود افقی به شدت الکترود قائم نیست، یعنی ولتاژ با شیب کمتری در طول خطی عمود بر مرکز هادی نقصان پیدا می کند و بعلت وجود لایه خاک در بالای الکترود، ولتاژ در بالای سر الکترود حدود ۷۰٪ ولتاژ الکترود است. شکل ۴۸۲-۱ گرادیان ولتاژ را برای یک الکترود افقی نشان می دهد. بدیهی است برخلاف الکترود قائم، که خطوط گرادیان ولتاژ در آن دوائر متحدالمرکز می باشند، در این مورد خطوط گرادیان در نزدیکی الکترود بموازات هادی الکترود میباشند که در هر یک از دو سر آن به یک نیم دایره تبدیل می شود و در فواصل دو سر به تدریج تبدیل به دایره می شود. گرادیان ولتاژ در فاصله بین دو الکترود افقی موازی، باز هم ملایمتر از گرادیان در اطراف یک الکترود تکی است. در نیروگاهها و پستها که، علاوه بر احتمال بروز اتصال به زمین، احتمال اصابت صاعقه نیز در حد بسیار بالا می باشد، با نصب الکترودهای افقی در عمق کمی از سطح زمین (۰.۵ تا ۱ متر) و در فواصلی حدود ۵ تا ۲۰ متر از یکدیگر، از برقگرفتگی پرسنل در صورت بروز اتصالی یا اصابت صاعقه جلوگیری می کنند.



شکل ۴۸۲-۱ پتانسیل روی سطح زمین در اطراف یک الکترود افقی تسه ای

نتیجه محاسبات این است که درصد اشتباه بستگی به نسبت دو مقاومت  $R_{12}$  و  $R_V$  دارد و هر چه مقدار مقاومت  $R_{12}$  کوچکتر و مقدار مقاومت  $R_V$  بزرگتر باشد درصد تفاوت کوچکتر و نتیجه اندازه گیری یعنی مقدار  $U_V$  به  $U_T$  نزدیکتر خواهد شد.

در عمل دستیابی به مقداری کوچک برای مقاومت  $R_{12}$  ممکن نیست ولی می توان ولت‌مترهایی را با مقاومت داخلی زیاد بدست آورد (بند ۴۹۱-۲ هم دیده شود). اگر فرض کنیم حداکثر مقاومت  $R_{12}$  برابر ۳۰۰۰ اهم باشد و مقاومت ولت‌متر نیز ۴۴ کیلو اهم باشد، درصد خطا برابر خواهد بود با:

$$\Delta U(\%) = \frac{3000}{44000} 100 = 6.8\%$$

و اگر فرض کنیم حداکثر مقاومت  $R_{12}$  برابر ۱۰۰۰ اهم و مقاومت  $R_V$  هم برابر ۲۰ کیلو اهم باشد، دقت اندازه گیری برابر ۵٪ خواهد بود.

#### ۴۹۱-۴- رعایت نکات عملی برای انجام یک آزمون دقیق

در دقت اندازه گیری مقاومت یک الکتروود، سه مسئله نقش عمده دارند:

- حوزه ولتاژ الکتروودها؛
- شدت جریانهای سرگردان؛
- مقاومت الکتروودهای کمکی.

#### ۴۹۱-۴-۱- حوزه ولتاژ الکتروودها

طبق شرحی که گذشت، با توجه به ساده بودن اساس آزمون، ممکن است این تصور پیش آید که انجام عملی آن هم ساده است که اینطور نیست. مسئله عمده ای که انجام آزمون را با اشکال و دشواری مواجه می سازد، قرار گرفتن الکتروودها در "حوزه ولتاژ" یکدیگر است (بند ۴۸۰-۱ را ببینید). بر اساس تجربه، در شرایط عادی برای اینکه دو الکتروود در خارج از حوزه ولتاژ یکدیگر قرار گیرند فاصله آنها از هم باید ۱۵ تا ۲۵ متر یا بیشتر باشد (این فاصله در اصل بستگی به مقاومت ویژه خاک دارد) اما مسائل مختلفی ممکن است شرایط استثنائی بوجود آورند که استقرار الکتروودها در خارج از حوزه ولتاژ یکدیگر را با اشکال مواجه کند. به هر حال اگر اثر شرایط استثنائی را بتوان به حساب آورد لاقلاً شناخت آنها ممکن است به تصمیم گیری صحیح در مراحل بعدی کمک کند. این اشکالات را می توان به ترتیب زیر فهرست نمود:

### ۴۹۱-۴-۴ - مقاومت‌های الکترودهای کمکی

از شکل ۱-۴۹۱، نتیجه گیری می شود که مقاومت الکترودهای  $T$  و  $T_1$ ، تعیین کننده توان ترانسفورماتور یا ژنراتور یا هر نوع منبع دیگری است که جریان مورد نیاز را تأمین می کند. از دو مقاومت سری  $T$  و  $T_1$ ، مقاومت  $T_1$  تعیین کننده است زیرا معمولاً خیلی بزرگتر از مقاومت  $T$  می باشد. مقاومت  $T_1$  بستگی به مقاومت ویژه خاک اطراف و ابعاد آن دارد. مقاومت ویژه خاک را نمی توان تغییر داد و ابعاد الکتروده نیز به دلایل عملی نمی تواند زیاد بزرگ باشد. سازندگان وسایل اندازه گیری تجارتي برای مقاومت زمین، معمولاً حداکثر مقاومت قابل قبول برای الکترودهای کمکی را اعلام می کنند که توان دستگاه نیز از روی آن مشخص می شود. درباره نقش مقاومت الکتروده کمکی  $T_2$ ، لازم است به بند ۲-۳-۴۹۱ مراجعه شود.

### ۴۹۲ - اندازه گیری مقاومت ویژه خاک

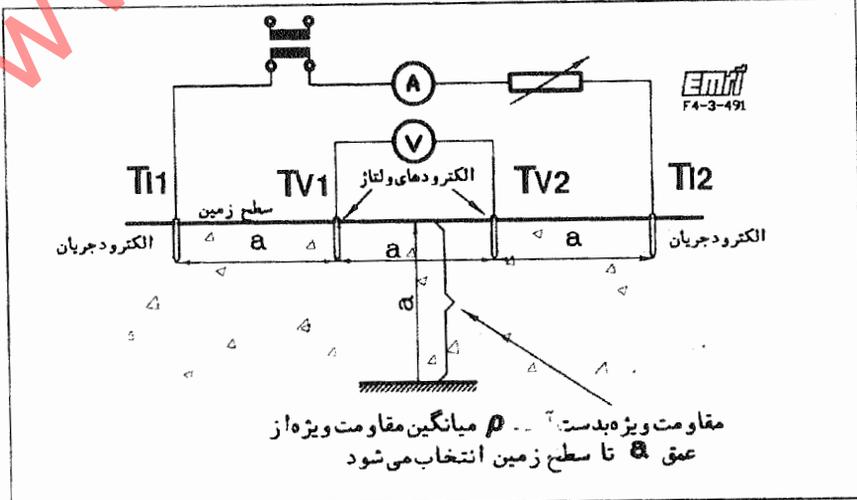
#### ۱-۴۹۲ - کلیات

اندازه گیری مقاومت ویژه خاک، قبل از استقرار یک الکتروده زمین انجام می شود و هدف از آن، پی بردن به مراتب زیر است:

- انتخاب بهترین محل برای برپائی الکتروده (در صورت وجود انتخاب)؛
- تعیین مناسبترین نوع الکتروده و یا مشخصه های آن (مثلاً عمق نصب الکتروده قائم).

#### ۲-۴۹۲ - اساس کلر

برای اندازه گیری مقاومت ویژه خاک، از دستگاههای مشابه دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتروده استفاده می شود.



شکل ۱-۴۹۲ نحوه استقرار الکترودها و وسایل اندازه گیری برای مقاومت ویژه

$$\rho = \frac{5}{24} \pi \cdot L * \frac{U}{I}$$

(۴-۱۷)

### ۴۹۲-۶- نکاتی که باید در هنگام اندازه گیریهای زمین رعایت شوند (مقاومت الکترود یا مقاومت ویژه خاک)

در هنگام اندازه گیریهای مربوط به زمین ، چند نکته را باید در نظر داشت :

- ۱ - هادیهای مربوط به جریان و ولتاژ را باید به منظور احتراز از القای متقابل ، تا جایی که ممکن است از یکدیگر دور نگه داشت .
- ۲ - چون خودالقایی باید در حداقل نگه داشته شود ، هادیها را باید بطور کامل از روی قرقره ها باز کرد .
- ۳ - وجود اجسام فلزی گسترده در زیر زمین ، مانند لوله کشیهای فلزی از هر نوع و زره کابلها ، در اندازه گیری اختلالات بزرگ بوجود می آورند .
- ۴ - در دستگاههای اندازه گیری که از ولتمتر یا اهم متر استفاده می کنند ، مقاومت ولتمتر یا سیم پیچ ولتاژ اهم متر باید بزرگ باشد تا اثر مقاومت الکترود یا الکترودهای ولتاژ را کم کند . این مسئله سبب کم شدن حساسیت ولتمتر می شود .

### ۴۹۲-۷- تفسیر نتیجه گیریهای حاصل از اندازه گیریهای زمین

تفسیر نتایج حاصل از اندازه گیریهای زمین ، مخصوصاً در مورد مقاومت ویژه ، احتیاج به تجربه و تمرین دارد ، لذا به افرادی که مایلند وارد این کار شوند ، توصیه می شود مطالعه عمیقتری در این رشته به عمل آورند .

شکل 4P1-21 نمونه یک الکترود برای نصب در داخل بتن و نحوه نصب آن در مقطع پی را نشان می دهد که قبل از بتن ریزی و به کمک تکیه گاههای فاصله بخش مخصوص انجام می شود. در این شکل طریقه وصل کردن هادی اتصال زمین به هادی الکترود پی نیز نشان داده شده است. در شکل 4P1-22، پلان نحوه نصب الکترود پی ساختمان و شرایط نصب آن نشان داده شده است.

یادآوری - از بتن غیر مسلح پی به شرط داشتن الکترود اتصال زمین در حجم بتن، به شرحی که گذشت، می توان به صورت مشترک با سیستم برقی تاسیسات، به عنوان الکترود سیستم صاعقه گیر هم استفاده کرد. هادیهای پاینروی سیستم باید با توجه به امکانات طرح شوند و شبیه محللهای وصل به هادی اتصال زمین در شکلهای 4P1-21 و 4P1-22، به هادی اتصال زمین وصل شوند.

### 4P1-3 - بکارگیری بتن مسلح پی به عنوان الکترود زمین و اسکلت بتنی یا فولادی سازه به صورت هادی پاینروی صاعقه و هادی همبندی برای کل سیستم ها

درباره استفاده از پی های بتن مسلح به عنوان الکترود زمین در متن اصلی صحبت شده است. در اینجا برای روشن تر شدن بعضی مسایل، مطالبی اضافی ارائه می شود.

#### 4P1-3-4 - کلیات

سالها آزمایش، اندازه گیری و جمع آوری اطلاعات و مطالعه نتایج آزمایشها و تجارب انجام شده، نشان داده است که از بتن مسلح که بدون توجه به ملاحظات برقی و فقط به منظور اصلی آن که ایجاد نشیمنگاه برای سازه ساختمان ریخته می شود، با اندکی تغییر که عمدتاً منحصراً به ایجاد اتصالاتی بین میلگردهای بتن و سیستم الکتریکی می شود، می توان به عنوان یک الکترود زمین بسیار خوب (و بلکه بهترین اتصال زمین ممکن) نه تنها در این مورد بلکه برای سیستم حفاظت در برابر صاعقه نیز استفاده کرد. نظر به اینکه سیستم حفاظت ساختمانها در برابر صاعقه باید در این بحث مطرح شود، اشاره ای مختصر به سیستم صاعقه، مفید خواهد بود.

#### 4P1-3-1 - صاعقه و اتصال به زمین

یادآوری - سیستم حفاظت ساختمانها در برابر صاعقه، برخلاف عقیده بسیاری، یک مسأله برقی از نوعی که عرفاً در تاسیسات مطرح می باشد، نیست گرچه با آن ارتباط بسیار دارد. این مسأله در اصل یک مسأله صرفاً ساختمانی است و همانگونه که "قیروگونی" برای جلوگیری از نفوذ برف و باران به ساختمان از آن استفاده می شود، سیستم حفاظت ساختمانها در برابر صاعقه را برای پیشگیری از خرابکاری صاعقه در ساختمان به کار می برند. حفاظت در برابر صاعقه برای بعضی ساختمانها و در برخی شرایط الزامی است. یک سیستم حفاظت در برابر صاعقه از سه قسمت تشکیل می شود:

۱ - سیستم صاعقه گیر ("آنتن") یا گیرنده بارهای الکتریکی آسمانی؛

۲- سیستم انتقال بارهای الکتریکی از صاعقه گیر به زمین (سیم پایین رو)؛

۳- سیستم الکروود زمین برای پخش این بارها در زمین.

صاعقه گیر، سیستمی است اختصاصی که باید برای ساختمان موردنظر پیش بینی شود (در بعضی موارد برای این منظور می توان از اجزای موجود ساختمان مانند شیروانی استفاده کرد). اما برای دو سیستم دیگر یعنی سیستم انتقال بارهای الکتریکی از صاعقه گیر به پایین و سپس سیستم الکروود زمین آیا می توان از امکانات موجود استفاده کرد؟ در این حالت هم می توان از همان سیستم موجود اسکلت بتن مسلح یا اسکلت فولادی، همراه با پی بتی آن بخوبی بعنوان قسمتی از یک سیستم حفاظت در برابر صاعقه استفاده کرد. در اوایل پیدایش این فکر محافظه کاران اعتقاد بر جدا نگه داشتن سیستم حفاظت در برابر صاعقه از سیستم برق داشتند. اما بعد معلوم شد که دخالت ندادن سیستم صاعقه در همبندی با سیستم الکتریکی، ممکن است منشاء خطرات بسیار شود مانند از بین رفتن ایمنی در برابر برق‌گرفتگی و آتش سوزی از یک سو و - مهمتر از همه برای حرفه ساختمان - بروز ترکیدگی در بتن. جریان صاعقه در جستجوی راهی برای رساندن بار الکتریکی خود به زمین گاهی مسیرهایی را انتخاب می کند که قابل پیش بینی نیستند زیرا تمام اطلاعات موجود در دسترس ما نمیباشد. در مواردی که اتصال کم مقاومتی بین مسیر انتخاب شده برای صاعقه و میلگردهای بتن وجود نداشته باشد، بار الکتریکی ممکن است به موقع در میلگردهای حجم بتن پخش نشود ولی به دلایلی از یک نقطه متمرکز به میلگردهای داخل بتن پی نفوذ کند و از آنجا به خاک منتقل شود. در چنین حالتی تمرکز جریانهای عظیم صاعقه به قدری زیاد می شود که احتمال بالا رفتن دما را بسیار زیاد می کند و به ترکیدگی در بتن ختم می شود. چیزی که مسلم است این است که جریان همیشه و بدون استثنا مسیری را انتخاب می کند که دارای کمترین مقاومت باشد. وقتی که گفته می شود جریان "به دلایلی" این یا آن مسیر را انتخاب کرده است، بدون شک آن مسیر دارای کمترین مقاومت است. اما چرا این مسیر؟

در بسیاری از موارد این سؤال بی جواب باقی می ماند. در هر حال نادیده گرفتن اسکلت ساختمان در همبندی خلاف مقررات است و استفاده نکردن از آن برای سیستم صاعقه، به معنی از دست دادن امکانات موجود در این زمینه است. اسکلت یک سازه - بخش بالاتر از پی تا پشت بام - هم در مورد بتن مسلح و هم در مورد فولاد، بخوبی می تواند هم به عنوان قسمتی که باید برای همولتاژ شدن همبندی شود و هم به عنوان سیستمی که بارهای صاعقه را به زمین منتقل می کند، مورد استفاده قرار گیرد.

تا جایی که به صاعقه مربوط می شود، باید گفت که ابعاد سیستم و نحوه پخش جریان از سیستم "صاعقه گیر" به سیستم هدایت بارهای الکتریکی به پایین و از آنجا به الکروود اتصال زمین و سپس خود زمین و انجام همبندیهای لازم با سیستمهای دیگر، خیلی مهمتر از مسابلی مانند مقدار مقاومت سیستم نسبت به زمین است. با وجود این، برای مقاومت الکروود زمین، همیشه کمترین مقدار ممکن مطلوب می باشد.

## 4P2-1-1 - اشکالهای ناشی از وجود دو اتصال زمین ایمنی - عملیاتی جریان ضعیف

وجود دو سیستم مجزا برای اتصال زمین، دارای اشکالهای زیر می باشند:

(۱) برای امکان ایجاد دو سیستم اتصال زمین به نحوی که کاملاً نسبت به هم مستقل باشند هیچ تضمینی وجود ندارد:

- دو اتصال زمین ممکن است به علت سهل انگاری یا نادانم کاری به هم اتصال داده شوند. یا

- در "حوزه ولتاژ" همدیگر قرار گیرند (قسمت ۴۸۰ دیده شود). یا

- عبور جریانهای گالوانیک آنها را به هم مربوط کند (بخشهای 4P1-1 و 4P1-3 دیده شوند).

(۲) اگر با وجود گفته های بند (۱) بالا، در برقراری دو اتصال به زمین مجزا موفقیت حاصل شود، چون دو اتصال به زمین مستقل می باشند (همبندی نشده اند) هر آن ممکن است به علت بروز خرابی یا ضربه صاعقه و غیره بین آنها اختلاف پتانسیل بوجود آید که نتیجه آن برنگرفتنی یا آتش سوزی خواهد بود.

(۳) وجود دو الکترود زمین و اتصالات پیش بینی نشده بین آنها، ممکن است منجر به پیدایش جریانهای گالوانیک و در نتیجه بروز خوردگی شود. (بخشهای 4P1-1 و 4P1-3 دیده شوند).

پس چاره چیست و چگونه ممکن است این مشکل را برطرف نمود؟

در حال حاضر عقیده متخصصین بر این است که راه چاره برقراری همبندی کم نوفه است.

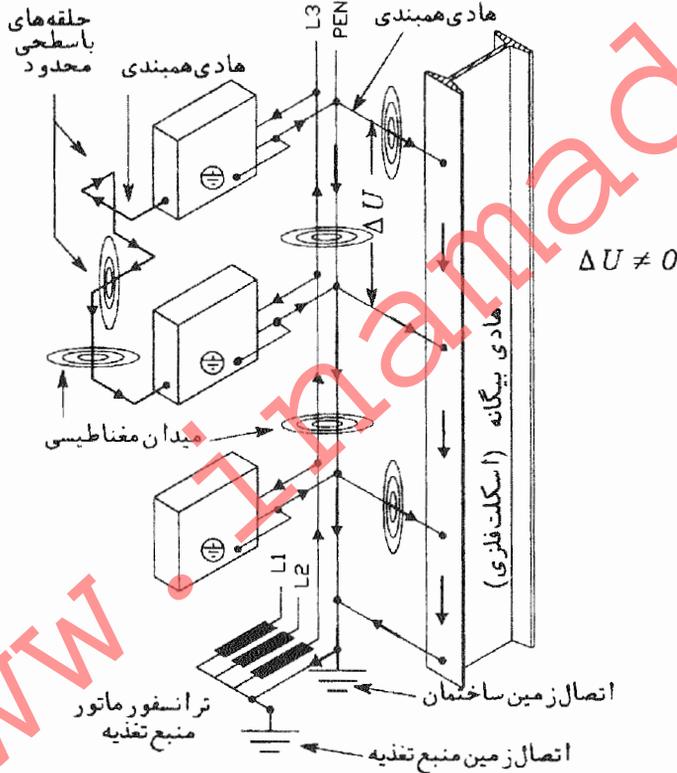
## 4P2-1-2 - همبندی کم نوفه برای همولتر کردن (low noise equipotential bonding)

در بند ۲-۶۲۱-۱ اشاره شده است که همبندی، علاوه بر تأمین ایمنی، سیستمهای الکترونیکی را در برابر آثار امواج الکترومغناطیسی حفاظت می نماید. برای همین در آستانه قرن ۲۱ که یکی از مشخصه های آن ورود الکترونیک و ارتباطات به همه انواع ساختمانها است، عمل همبندی بسیار مهمتر به شمار خواهد آمد و در ساختمانهای بزرگ ایجاد همبندی علاوه بر نقطه ورود سرویسها به ساختمان، در نقاط اضافی مانند تابلوهای برق تغذیه کننده لوازم فنی، لازم خواهد بود.

به طور کلی برای جلوگیری از EMI-(electro-magnetic interference) یا تداخل امواج الکترومغناطیسی، که ممکن است به طور عمد در اثر جریانهای برگشتی هادی ختا از چند مسیر به وجود آیند، لازم است از سیستمهایی که دارای سازگاری و همخوانی بسیار خوبی از نظر اثر امواج الکترومغناطیسی هستند (electro-magnetic compatibility)، استفاده شود.

در شکل 4P2-1-1 نحوه حرکت جریان برگشتی از هادی مشترک حفاظتی / ختا (PEN) در سیستم TN-C و در

شکل 4P2-2 نحوه حرکت جریانهای برگشتی از هادی ختا (N) در سیستم TN-S نشان داده شده است.



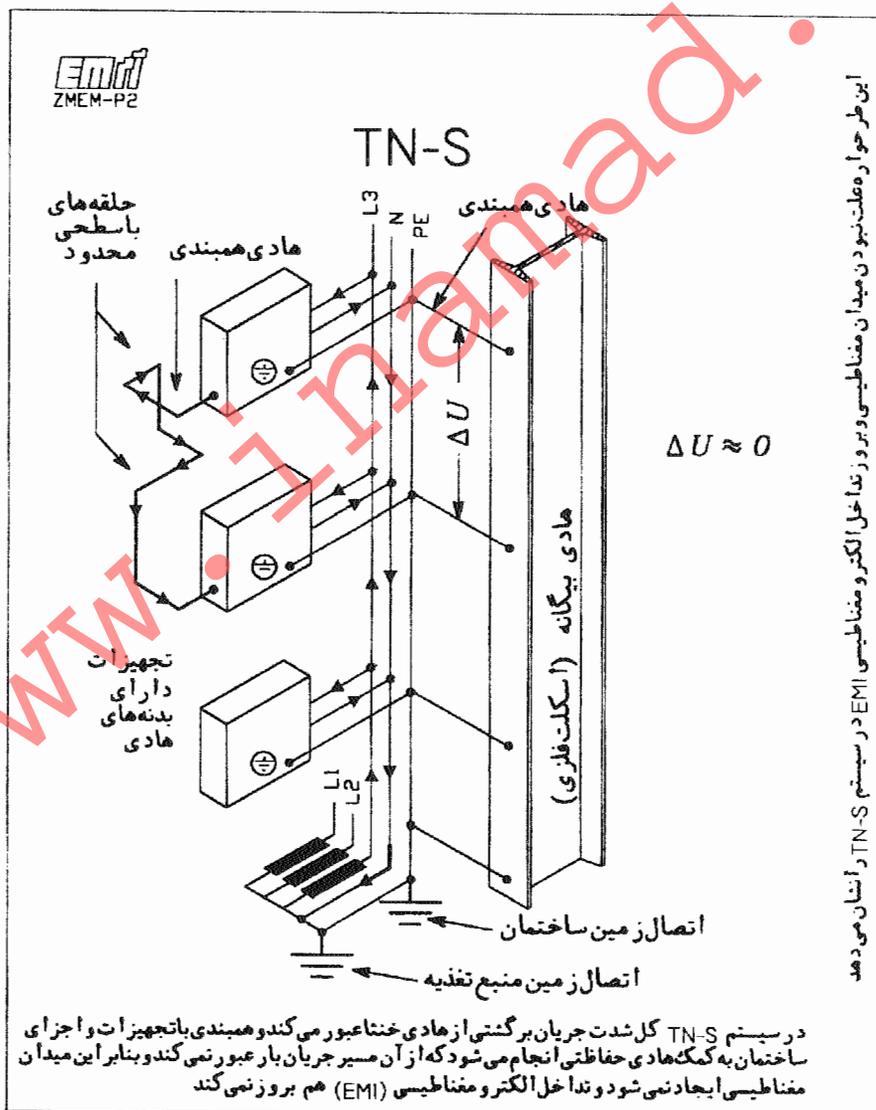
این طرحواره نحوه ایجاد میدان مغناطیسی و بروز تداخل الکتر و مغناطیسی (EMI) در اثر عبور جریان از هادی PEN و سازه فلزی ساختمان در سیستم TN-C را نشان می دهد

در سیستم TN-C مقداری از شدت جریان بار برگشتی از هادی خنثا بدلیل وجود همبندی با تجهیزات و اجزای ساختمان از این مسیرها عبور می کند و با تولید میدان مغناطیسی ایجاد تداخل الکتر و مغناطیسی (EMI) می کند

شکل 4P2-1 نحوه حرکت جریانهای برگشتی از هادی PEN و مسیرهای اضافی دیگر

شکلهای 4P2-1 و 4P2-2، فرق بین دو سیستم TN-C و TN-S را از نظر پخش امواج الکتر و مغناطیسی در حالت عادی (غیر از حالت بروز اتصالی فاز با بدنه) نشان می دهد. دیده می شود که به علت مشترک بودن هادیهای حفاظتی و خنثا (PEN) در سیستم TN-C جریان خنثا تماماً از هادی خنثا عبور نمی کند بلکه بخشی از آن به علت وجود همبندی، از راه اجزای ساختمانی به مبداء برمی گردد و همین بخش است که ایجاد امواج الکتر و مغناطیسی و تداخل (EMI) می کند. در سیستم TN-S به دلیل مجزا بودن هادیهای حفاظتی (PE) و خنثا (N)، هادی خنثا در همبندی

شرکت ندارد و بنابراین هیچ جریانی که مربوط به آن باشد از اجزای ساختمانی عبور نخواهد کرد و (EMI) بروز نخواهد کرد.



این طرحواره علت نبودن میدان مغناطیسی و بروز تداخل الکترومغناطیسی در سیستم TN-S را نشان می‌دهد

در سیستم TN-S کل شدت جریان برگشتی از هادی خنثا عبور می‌کند و همبندی با تجهیزات و اجزای ساختمان به کمک هادی حفاظتی انجام می‌شود که از آن مسیر جریان بار عبور نمی‌کند و بنابراین میدان مغناطیسی ایجاد نمی‌شود و تداخل الکترومغناطیسی (EMI) هم بروز نمی‌کند

شکل 4P2-2 نحوه حرکت جریانهای برگشتی از هادی N بدون استفاده از مسیرهای اضافی

۲- داشتن یک اتصال به زمین مشترک در پست ترانسفورماتور دارای مزیت و اشکال زیر است:

مزیت: برپایی یک الکتروود زمین بسیار ساده تر و ارزانتر از دو الکتروود است.  
یادآوری - به طوری که بعداً دیده خواهد شد، در بعضی شرایط برپایی دو الکتروود اتصال به زمین اصلاً مقصور نیست.  
اشکال: اگر شرایط مناسب نباشد (مقاومت  $R$  به قدر کافی کوچک نباشد یا  $Im$  بیش از حد بزرگ باشد) مقدار  $U_f = R \cdot Im$  بزرگ و خطر آفرین خواهد بود. یعنی ممکن است در تاسیسات برق رکنر فککی و آنتن سوزی ایجاد کند.

#### 4P2- ۲-۴- مسایلی که در احداث الکتروود یا الکترودهای زمین پست باید به آنها توجه شود.

در عمل، ایجاد ۱ یا ۲ اتصال به زمین در یک پست مستلزم رعایت نکاتی است. نادیده گرفتن آنها ممکن است ایمنی یا حفاظت را به خطر اندازد. این نکات عبارتند از:

(۱) اولین عاملی که باید در تصمیم گیری نسبت به داشتن ۱ یا ۲ اتصال به زمین در یک پست مورد توجه قرار گیرد، نوع خط یا خطوط فشار قوی ورودی به پست است. اگر حتی ورودی فشار قوی به پست هوایی یک خط باشد، احتمال نفوذ اضافه ولتاژهای صاعقه به داخل پست زیاد شده و خطرات برق رکنر فککی در طرف فشار ضعیف محتملتر می گردد. بنابراین وجود خط هوایی ورودی فشار قوی به پست، احداث ۲ الکتروود زمین را ایجاب می کند. از نظر بحث ما فرق مهمی که بین یک خط هوایی و کابلی فشار قوی وجود دارد در این است که کابل دارای غلاف فلزی است که به کم کردن مقاومت اتصال به زمین کمک فراوان می کند در حالی که خط هوایی این خاصیت را ندارد و از این بابت ارجحیت با خط کابلی است.

(۲) در صورتی که ایجاد ۲ اتصال به زمین لازم به نظر آید، این دو باید مستقل باشند و خارج از حوزه ولتاژ یکدیگر قرار گیرند (بند ۲-۴۰۱ دیده شود). اما در بعضی موارد رعایت این شرط عملی نیست، مانند حالتی که حفظ فاصله لازم برای "مستقل" شدن الکتروودها نسبت به هم به دلیل وجود اجسام فلزی دفن شده در آن منطقه، امکان نداشته باشد.

(۳) یکی دیگر از اشکالات مربوط به اتصال زمین در پستهای ترانسفورماتور، تصمیم گیری درباره نحوه زمین کردن بدنه های هادی تابلوهای فشار ضعیف است. این مسأله موقعی پیش می آید که پست دارای ۲ اتصال به زمین مجزا باشد. سؤال این است که بدنه های فشار ضعیف را به کدام یک از دو الکتروود زمین وصل باید کرد: به آن الکتروودی که تابلوهای فشار قوی را زمین می کند ("الکتروود فشار قوی") یا آن که خطای فشار ضعیف (PEN) را زمین می کند ("الکتروود فشار ضعیف"). به ظاهر جواب این سؤال روشن است و تابلوهای فشار ضعیف را باید به زمین "فشار ضعیف" وصل کرد. اما به دلایلی که گفته خواهد شد در بسیاری از موارد انجام این کار اشتباه خواهد بود و مزایای ایجاد دو اتصال به زمین مستقل با این عمل از بین خواهد رفت. زیرا بین تابلوهای فشار قوی و ضعیف، به ترتیب زیر همبندی "طبیعی" وجود دارد:

در پستهایی که سازه آنها بتن مسلح یا اسکلت فلزی است یا به طور کلی دارای نوعی ساختمان می باشد، مجزا کردن بدنه های تابلوهای فشار قوی و ضعیف از یکدیگر از نظر الکتریکی امکانپذیر نیست. در پستهای نوع "کیوسک" که تمام

فلزی بوده و دارای تابلوی فشار قوی و ضعیف به شکل عادی آن نیستند این مطلب به صورتی بارزتر خود را نشان می دهد.

میلگردهای به هم پیوسته یک سازه بتنی یا اجزای فلزی یک سازه اسکلت فولادی، بدنه تابلوهای مختلف را به طور "طبیعی" و ناخواسته به هم وصل می کند. مخصوصاً اگر برای تثبیت موقعیت تابلوه لازم باشد آنها را به اجزای فلزی سازه جوشکاری یا به نحوی دیگر محکم کرد. از این راه تابلوهای فشار ضعیف و فشار قوی به اجبار به هم وصل می باشند و نمی توان آنها را تفکیک و از نظر برقی از همدیگر مجزا نمود. خلاصه اینکه وصل بدنه تابلوی فشار ضعیف به هادی PEN برابر است با همبندی دو الکترود فشار ضعیف و فشار قوی به همدیگر که تقض غرض می باشد. به عبارت دیگر تنها وقتی امکان زمین کردن تابلوهای فشار ضعیف از طریق هادی PEN وجود دارد که نسبت به مجزا بودن بدنه های تابلوهای فشار قوی و ضعیف نسبت به هم اطمینان حاصل شده باشد که در عمل چنین حالتی به ندرت وجود خواهد داشت.

با توجه به مطالب بالا، اگر با نصب تابلوهای فشار ضعیف روی کتوشهای عایق (مثلاً لاستیک) شرایطی بوجود آید که وصل بدنه های هادی از طریق هادی PEN ممکن گردد، لازم خواهد بود عایقبدنی هادیهای فاز و خنثا نسبت به بدنه های هادی با درجه بالاتری از عایقبدنی انتخاب شود زیرا:  $U_1 = U_0 + R \cdot I_m$  بند 4P2-2 و شکل 4P2-6 دیده شوند.

(۴) اشکال دیگری که به اتصال زمین در پستهای ترانسفورماتور مربوط می شود، وضعیتی است که کابلهای زره دار بدون غلاف عایق بوجود می آورند. فرق کابلهای با غلاف عایق و کابلهای بدون غلاف عایق از نظر بحث ما در این است که کابلهای اخیر در تماس با زمین می باشند و چون در همبندی با اجزای زمین شونده شرکت دارند، علاوه بر اینکه به عنوان الکترود عمل می کنند، حوزه ولتاژ سیستم الکترودی را که به آن وصلند تا جایی که امتداد می یابند، گسترده می کنند. این کار ممکن است. دو الکترود زمین را در حوزه ولتاژ همدیگر قرار دهد و یا ایجاد دو الکترود مستقل پستها را با شکل روپرو کند. نباید فراموش شود که تاثیر کابلهای فشار ضعیف زره دار در بسط حوزه اثر الکترود زمین، ممکن است خیلی بیشتر از کابلهای فشار قوی باشد.

یادآوری - کابلهای مجهز زره یا با غلاف فلزی دیگر، هنگامی در تماس با زمین به حساب می آیند که پوشش یا غلاف عایق، مانند غلاف پلاستیکی، نداشته باشند. پوشش نهایی از کنتف قیراندود، عایق به حساب نمی آید، در حالی که غلاف پلاستیکی یا لاستیکی یا پلی اتیلنی، عایق اند و بنابراین زره اینگونه کابلها در تماس با زمین نخواهد بود. در سالهای اخیر نوعی غلاف نیم هادی پلاستیکی به بازار آمده که مزایای غلاف پلاستیکی و تماس با زمین را یکجا دارد. بخش ۴۵۱ را ببیند.

به طور خلاصه در ایجاد الکترودهای پستهای توزیع باید به موارد زیر توجه شود:

- شرایط پست (۱)، برقراری یک یا دو اتصال به زمین را ایجاب می کند؟
- اگر ایجاد دو الکترود لازم باشد، شرایط محلی (۲) امکان این کار را می دهند؟
- اگر ایجاد دو الکترود لازم باشد، بدنه های هادی تابلوهای فشار ضعیف پست (۳) باید از راه اتصال زمین فشار قوی زمین شود یا می توان با وصل به اتصال زمین خنثای فشار ضعیف آنها را زمین نمود؟

- آیا کابلهای فشار ضعیف خروجی از پست (۴) دارای زره یا غلاف فلزی می باشند که مجهز به غلاف رویی پلاستیکی نیستند؟  
 یادآوری - امتداد حوزه ولتاژ یک الکتروود نه تنها از طریق زره کابل بلکه هر نوع جسم فلزی دیگر مانند لوله و نطایر آن امکانپذیر می باشد. بنابراین لازم است نسبت این مسئله دقت کافی به عمل آید.

با توجه به تمامی صحبت های بالا در عمل ترکیبهای متعددی از شرایط وجود دارند که شماری از آنها در زیر تشریح شده اند.

#### 4P2-۲-۵- جمع بندی کلی مطالب مربوط به اتصال زمین

(۱) احداث دو الکروود زمین برای هر پست مطمئن تر از یک الکروود است مگر آنکه انجام این کار بی حاصل باشد (بند 4P2-۲-۴-۲) دیده شود، یا شرایط مساعد فقط برای احداث یک الکروود موجود باشد.

(۲) اگر یک الکروود احداث شود، برای پایین بودن ولتاژ اتصال کوتاه  $U_f$ ، لازم خواهد بود  $R$  یا  $Im$  و یا هر دوی آنها کوچک باشند. نظر به اینکه  $Im$  بستگی به عواملی خارج از کنترل تأسیسات دارد، مخصوصاً باید در پایین نگه داشتن  $R$  دقت شود.

به طور خلاصه، طبق IEC اگر یکی از دو شرط زیر برقرار باشد، احداث تنها یک الکروود زمین برای پست ترانسفورماتور کافی خواهد بود:

- اگر همه یا قسمتی از کابلهای متصل به پست اعم از فشار قوی و ضعیف دارای زره فلزی بوده و وصل به زمین باشند و طول کل اینگونه کابلها یک کیلومتر یا بیشتر باشد؛

- اگر مقاومت بنده های هادی پست نسبت به جرم کلی زمین از یک اهم تجاوز نکند.

چنانچه هیچ یک از دو شرط بالا وجود نداشته باشند، لازم خواهد بود قطع مدار فشار قوی در زمانی مشخص انجام شود که شرایط آن در IEC 364-4-442 ذکر شده است.

(۳) اگر دو الکروود احداث شوند و تابلوهای فشار ضعیف از طریق الکروود زمین فشار قوی زمین شود، تابلوهای فشار ضعیف پست باید بدرجه عایق بندی بالاتری انتخاب شوند. طبق IEC توانایی مقاومت عایق بندی و زمان قطع برق فشار قوی برای تابلوهای فشار ضعیف نباید از مقادیر جدول 4P2-۱ بیشتر باشد.

#### جدول 4P2-۱

رابطه مقاومت عایق بندی در تابلوهای فشار ضعیف و زمان قطع فشار قوی

مدت زمان مجاز (ثانیه)	تنش مجاز ولتاژ در تأسیسات فشار ضعیف (LV) (ولت)
$> 1.5$	$1.5 U_n$
$\leq 1.5$	$1.5 U_n + 750$

$U_n$  = ولتاژ اسمی بین فاز و خنثا (فشار ضعیف)

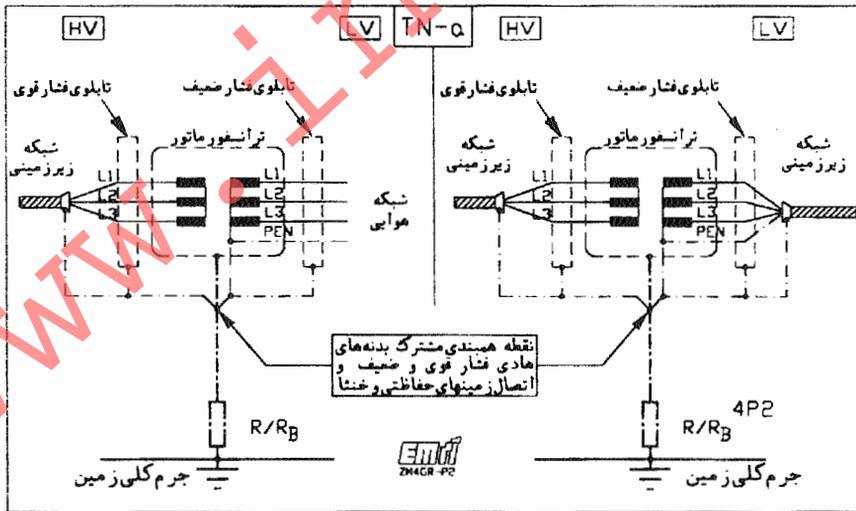
## 4P2-2-6- راهنمای احداث الکتروود برای یک پست توزیع در سیستم TN

در بخش 4P2-2-3 مسایلی که باید در احداث الکتروود یا الکتروودهای زمین پست مورد توجه قرار داده شوند بازگو شده است. در زیر نمونه های عملی به صورت طرحواره ارائه می شوند.

(۱) شکل 4P2-7 طرحواره ساده ترین حالتی را نشان می دهد که برای احداث الکتروود زمین در سیستم TN

وجود دارد. فرض بر این است که سیستم فشار قوی به طور کامل زیرزمینی است و زره کابلها نیز در تماس با زمین است. در این حالت:

- نوع خط فشار ضعیف (هوایی یا کابلی) در انتخاب یک یا دو الکتروود تأثیر ندارد.
- همه بدنه های هادی - اعم از فشار قوی و ضعیف - همبندی شده و به یک الکتروود وصل می شوند.
- نقطه ختای فشار ضعیف و هادی PEN به نقطه همبندی وصل می شود.

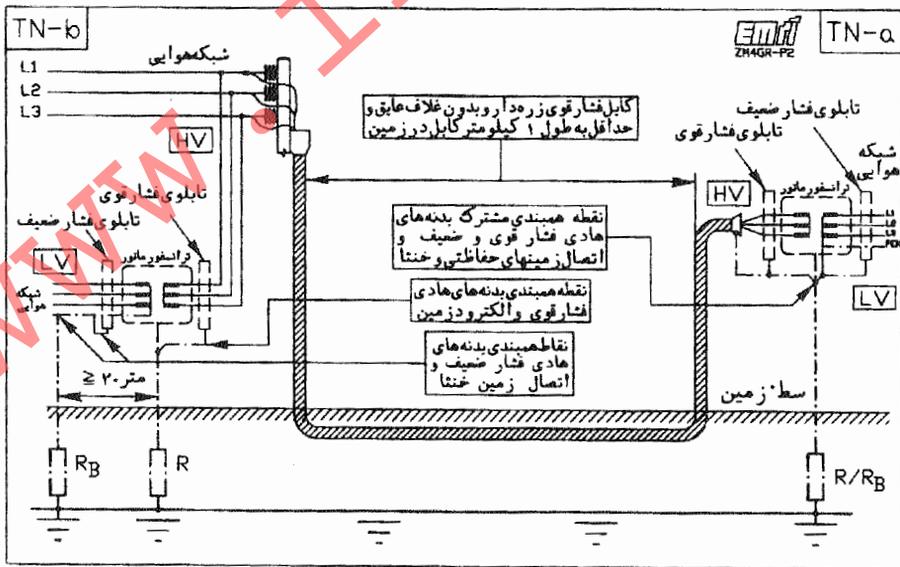


شکل 4P2-7 ساده ترین حالت برای احداث اتصال زمین مشترک در سیستم TN

(۲) شکل 4P2-8 طرحواره حالتی را نشان می دهد که یک خط فشار قوی هوایی از نقطه ای به بعد تبدیل به خط کابلی می شود و زره کابل در تماس با زمین است و به صورت بخشی از الکتروود عمل می کند. طول کابل یک کیلومتر یا بیشتر است. در انتهای قسمت هوایی یک پست و در انتهای قسمت کابلی نیز یک پست ترانسفورماتور از خط تغذیه می کند.

الف) - در طرف چپ شکل که پست از خط هوایی تغذیه می کند، شرایط به قرار زیراند:

- چون پست از خط هوایی تغذیه می کند باید دارای دو الکترود مستقل باشد
- همه بدنه های هادی فشار قوی و ترانسفورماتور همبندی شده و به یک الکترود وصل می شوند؛
- نقطه ختای فشار ضعیف و هادی PEN نیز به کمک الکترود مستقلی زمین می شوند. فاصله این الکترود از الکترود فشار قوی باید حداقل ۲۰ متر باشد.
- بنا به فرض چون سازه ساختمان تابلوها را بطور طبیعی به همدیگر وصل نمی کند، تابلوهای فشار ضعیف باید از طریق الکترود فشار ضعیف زمین شوند.
- ب ( در طرف راست شکل که پست از خط کابلی تغذیه می کند شرایط به قرار زیراند :
- شروع فشار قوی یک خط هوایی است اما پس از تبدیل آن به خط کابلی که به طول یک کیلومتر در تماس با زمین امتداد دارد ، مشابه حالتی که در آن خطوط فشار قوی سراسر کابلی می باشند . می توان فقط به یک الکترود زمین مشترک بسنده نمود . بند 4P2-2-2-2(۲) را ببینید.
- نقطه ختای فشار ضعیف و هادی PEN به نقطه همبندی وصل می شود.



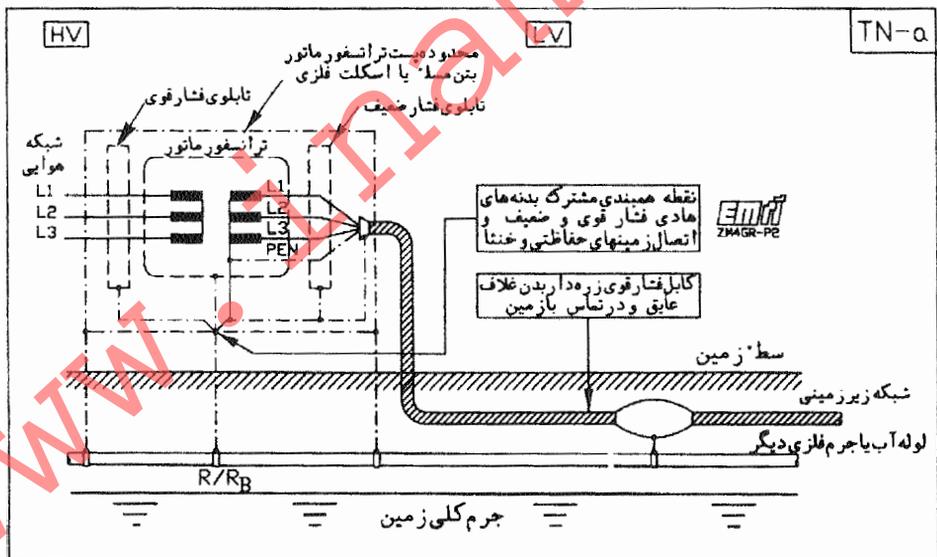
شکل 4P2-۸ دو حالت مختلف برای احداث اتصال زمین - یکی مشترک و دیگری مجزا در سیستم TN

(۳) شکل 4P2-۹- طرحواره حالتی را نشان می دهد که یک پست ترانسفورماتور بوسیله خط فشار قوی هوایی تغذیه می شود که قاعدتاً باید برای آن دو الکترود زمین مستقل احداث شود، اما چون بنا به فرض امکان احداث دو الکترود

زمین مستقل به علت وجود اجسام دفن شده فلزی در منطقه پست وجود ندارد، چاره ای نیست جز اینکه به یک الکترود بسته شود.

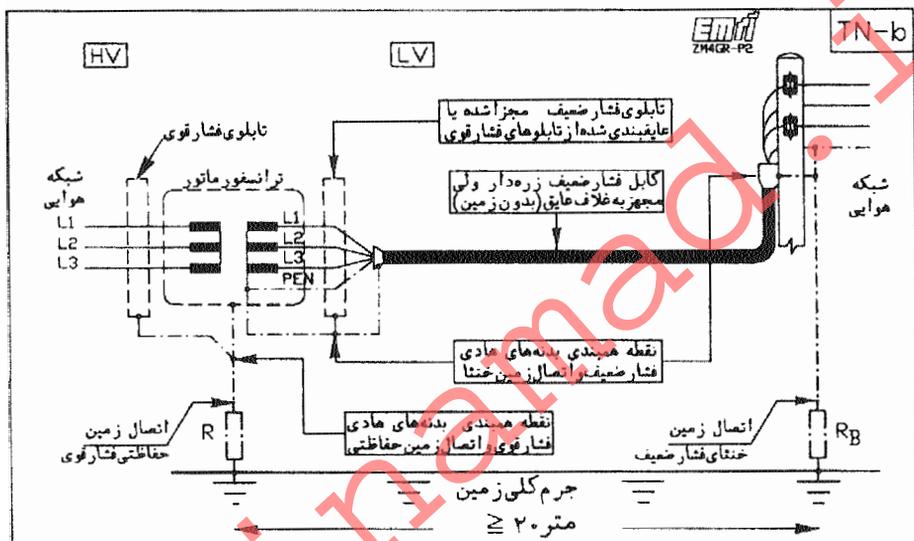
- به دلیل وجود اجسام فلزی در تماس با زمین از آنها هم به عنوان الکترود و هم به عنوان هادی همبندی استفاده می شود. در این حالت همه بدنه های هادی اعم از فشار قوی و ضعیف و اسکلت سازه و همین طور نقطه ختا و هادی PEN با همدیگر همبندی و به الکترود زمین (اجسام فلزی مورد بحث که در طرحواره به شکل یک لوله نشان داده شده است) وصل می شوند.

یادآوری - فرض بر این است که اجسام دفن شده فلزی در منطقه پست فراوانند که این خود سبب کم شدن مقاومت اتصال به زمین می گردد و نتیجه اینکه در اغلب موارد شرط ۱ اهم ذکر شده در بند 4P2-۲-۴، برقرار است.



شکل 4P2-۹ حالتی برای احداث اتصال زمین مشترک اگر احداث زمینهای مجزا ممکن نباشد. در سیستم TN

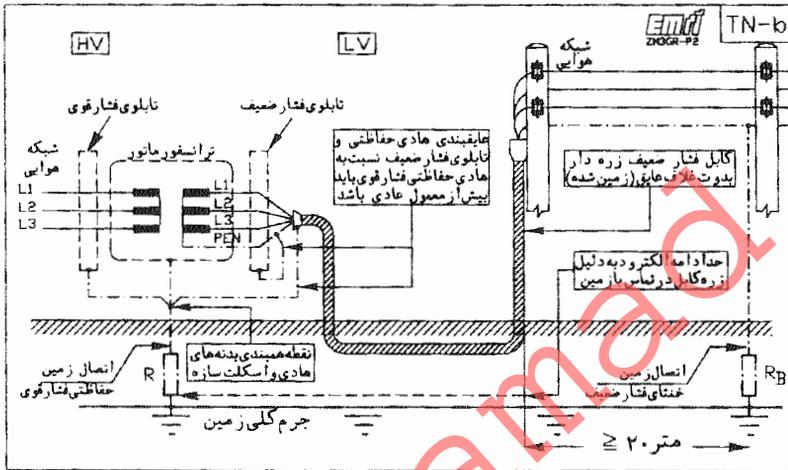




شکل 4P2-11 حالتی با دو اتصال زمین مجزا - کابل با غلاف عایق و زمین تابلو از طریق PEN در سیستم TN

(۶) شکل 4P2-12 طرحواره حالتی را نشان می دهد که یک پست ترانسفورماتور بوسیله خط فشار قوی هوایی تغذیه می شود و یک یا چند خط فشار ضعیف خروجی از پست کابلی و بازره در تماس با زمین است:

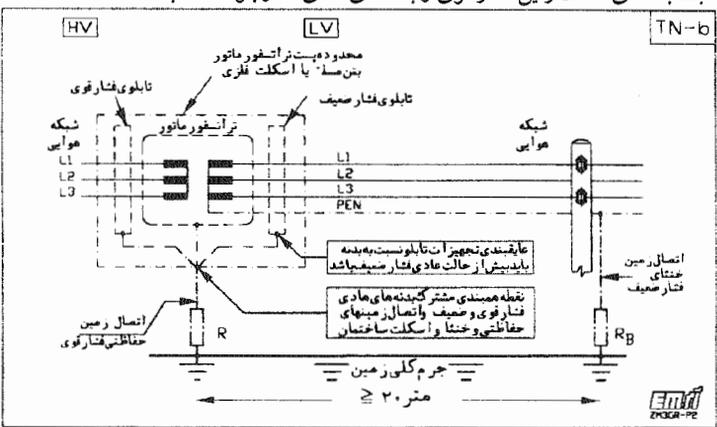
- چون پست از خط هوایی تغذیه می کند باید دارای دو الکترود مستقل باشد.
- زره خطوط فشار ضعیف کابلی در تماس با زمین است و به الکترود زمین فشار قوی وصل می باشند ولی طول آنها کمتر از یک کیلومتر است بنابراین فقط حوزه ولتاژ الکترود فشار قوی را تا جایی که ادامه دارد، گسترده می کند. با حالت (۵) و شکل 4P2-11 مقایسه کنید.
- نظر به اینکه زره کابل، حوزه ولتاژ الکترود فشار قوی را تا اولین تیر شبکه فشار ضعیف امتداد داده است، برای اینکه الکترود فشار ضعیف در حوزه ولتاژ الکترود فشار قوی قرار نگیرد، فاصله آن از انتهای کابل فشار ضعیف باید حداقل ۲۰ متر باشد که در شکل این اتصال زمین روی تیر بعدی از محل ختم کابل احداث شده است.
- چون بنا بر فرض، سازه ساختمان تابلوها را بطور طبیعی به همدیگر وصل نمی کند، تابلوهای فشار ضعیف باید از طریق الکترود فشار ضعیف (هادی PEN) زمین شود.
- بین تابلوی فشار ضعیف و هادی اتصال زمین آن در پست باید درجه عایق بندی بالاتری نسبت به هادی اتصال زمین فشار قوی و بدنه های هادی آن وجود داشته باشد.



شکل 4P2-12 حالتی با دو اتصال زمین مجزا - کابل با زره زمین شده و زمین تابلو از طریق PEN در سیستم TN

شکل 4P2-13 طرحواره حالتی را نشان می دهد که یک پست ترانسفورماتور بوسیله خط فشار قوی هوایی تغذیه می شود و خط فشار ضعیف خروجی از پست نیز هوایی است:

- چون پست از خط هوایی تغذیه می کند باید دارای دو الکترو د مستقل باشد.
- برای اینکه الکترو دها در حوزه ولتاژ یکدیگر قرار نگیرند، فاصله آنها باید حداقل 20 متر باشد
- چون بنا بر فرض، سازه ساختمان تابلوها را بطور طبیعی به همدیگر وصل می کند، تابلوهای فشار ضعیف باید از طریق الکترو د فشار ضعیف فشار قوی زمین شود.
- بین هادیهای بردار در تابلوهای فشار ضعیف و بدنه هادی و اتصال زمین آن در پست باید درجه عایق بندی بالاتری نسبت به هادی اتصال زمین فشار قوی و بدنه های هادی آن وجود داشته باشد.

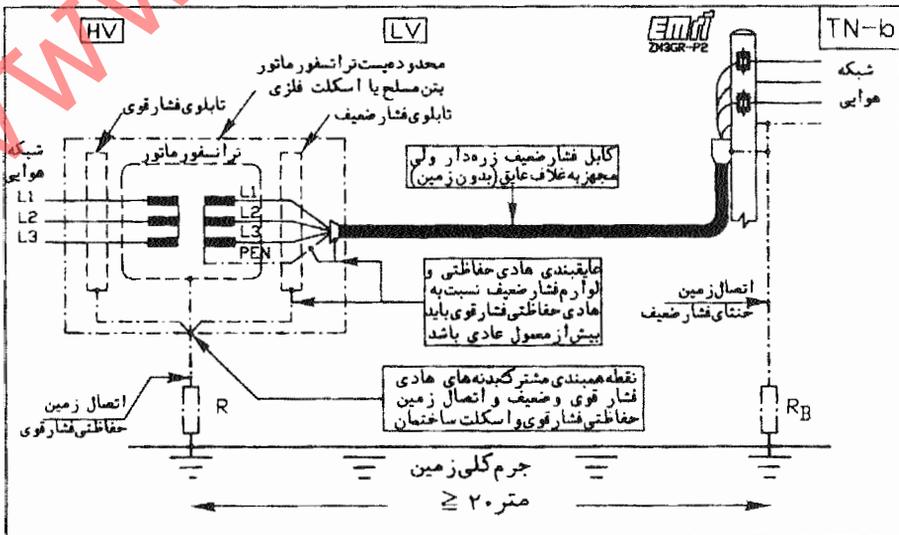


شکل 4P2-13 اتصال زمینهای مجزا- در صورت استفاده از شبکه هوایی فشار ضعیف در سیستم TN

(۸) شکل 4P2-۱۴ طرحواره حالتی را نشان می دهد که یک پست ترانسفورماتور بوسیله خط فشار قوی هوایی تغذیه

می شود و یک یا چند خط فشار ضعیف خروجی از پست کابلی و با غلاف عایق است:

- چون پست از خط هوایی تغذیه می کند باید دارای ۲ الکترود مستقل باشد.
- برای اینکه الکترودها در حوزه ولتاژ یکدیگر قرار نگیرند، فاصله آنها باید حداقل ۲۰ متر باشد.
- چون بنا بر فرض سازه ساختمان تابلوها را بطور طبیعی به همدیگر وصل می کند تابلوهای فشار ضعیف باید از طریق الکترود فشار قوی زمین شود.
- نظر به اینکه زره کابل با غلافی عایق پوشیده شده است زره در تماس با زمین تلقی نمی شود ولی به موازات هادی PEN عمل می کند و چون در محل پست کاملاً از زمین فشار قوی مجزا است، حوزه ولتاژ الکترود فشار قوی را تا جایی که ادامه می یابد، گسترده نمی کند. با حالت (۶) و شکل 4P2-۱۲ مقایسه کنید.
- بین هادیهای برقدار در تابلوی فشار ضعیف و بدنه هادی و اتصال زمین آن در پست باید درجه عایق بندی بالاتری نسبت به هادی اتصال زمین فشار قوی و بدنه های هادی آن وجود داشته باشد.



شکل 4P2-۱۴ حالتی با دو اتصال زمین مجزا - کابل با غلاف عایق و زمین از طریق HV در سیستم TN

## 4P2-۲-۷- نتیجه گیری کلی با در نظر گرفتن شرایط رایج در کشور برای سیستم TN

**(۱) خطوط فشار قوی** - هم خطوط کابلی و هم خطوط هوایی در کشور ما متداولند. در صورتی می توان از زره کابلها به عنوان الکترود زمین استفاده کرد که زره در تماس با زمین باشد، اما استفاده از کابلهای با غلاف پلاستیکی آنها را از رده "در تماس با زمین" خارج می کند. با در نظر گرفتن این موضوع لازم است هنگام تصمیم گیری درباره یک یا دو اتصال به زمین، به این موضوع توجه شود.

**(۲) نوع ساختمان** - جز در مورد بعضی از انواع پستهای هوایی، نوع ساختمان پست هر چه باشد (آجری، بتنی، فولادی)، تضمین مجزا بودن تابلوهای فشار ضعیف از تابلوهای فشار قوی ممکن نیست. لذا به نظر می رسد در همه موارد کار درست این باشد که تابلوهای فشار ضعیف با بدنه های فشار قوی همبندی شوند و در صورتی که پست دارای اتصال زمینی مجزا باشد، تابلوهای فشار ضعیف پست، با کلاس عایق بندی بالاتری انتخاب شوند.

**(۳) کابلهای فشار ضعیف** - در ایران استفاده از کابلهای فشار ضعیف با زره یا غلاف فلزی فقط در بعضی صنایع پیشرفته متداول است و در بقیه موارد از کابلهای غلاف پلاستیکی استفاده می شود. لذا استفاده از غلاف فلزی کابلهای فشار ضعیف فقط در مواردی نادر ممکن می باشد.

در شکل ۵۲۵-۳، یک کاردیوگرام طبیعی با شروع عبور برق در "دوره آسیب پذیر" نشان داده شده است. به نحوی که دیده می شود، از لحظه برقراری جریان به بعد، کاردیوگرام کاملاً از حالت طبیعی خارج شده است که نتیجه آن افت فشار خون و مرگ می باشد.

### ۵۲۶- استفاده از ولتاژهایی که از ۵۰ ولت تجاوز نمی کنند

تجربه بسیاری از کشورهای که در تهیه گزارش مربوط به برفکرتگی IEC شرکت داشته اند نشان می دهد که در شرایط عادی (برای مثال، تأسیسات استخراج و معدن "عادی" به شمار نمی روند) ولتاژ ۵۰ ولت صدمه ای به انسان نمی زند.

برفکرتگی با ۵۰ ولت متناوب یا کمتر هیچ صدمه ای به انسان وارد نمی کند.

### ۵۲۷- ضریب جریان قلب

ضریب جریان قلب (F) عددی است که با استفاده از آن و با در دست داشتن شدت جریان "دست چپ به هر دو پا" (I<sub>ref</sub>)، که به عنوان مسیر اساسی یا پایه انتخاب می شود، می توان جریان مربوط به اجزای دیگر بدن (I<sub>n</sub>) را که دارای خطری مشابه از نظر فیبرلاسیون بطنی می باشند، محاسبه نمود.

ضریب جریان قلب (F) برای مسیرهای مختلف عبور جریان، در جدول ۵-۳ نشان داده شده است.

$$I_n = \frac{I_{ref}}{F}$$

جدول ۵ - ۳ ضریب جریان قلب برای مسیرهای مختلف

ضریب جریان قلب	مسیر جریان
۱٫۰	دست چپ به ← پای چپ یا پای راست یا هر دو پا
۱٫۰	هر دو دست به ← هر دو پا
۰٫۴	دست چپ به ← دست راست
۰٫۸	دست راست به ← پای چپ یا پای راست یا هر دو پا
۰٫۳	پشت به ← دست راست
۰٫۷	پشت به ← دست چپ
۱٫۳	سینه به ← دست راست
۱٫۵	سینه به ← دست چپ
۰٫۷	نشینگاه به ← دست چپ یا دست راست یا هر دو دست

F5-1-525

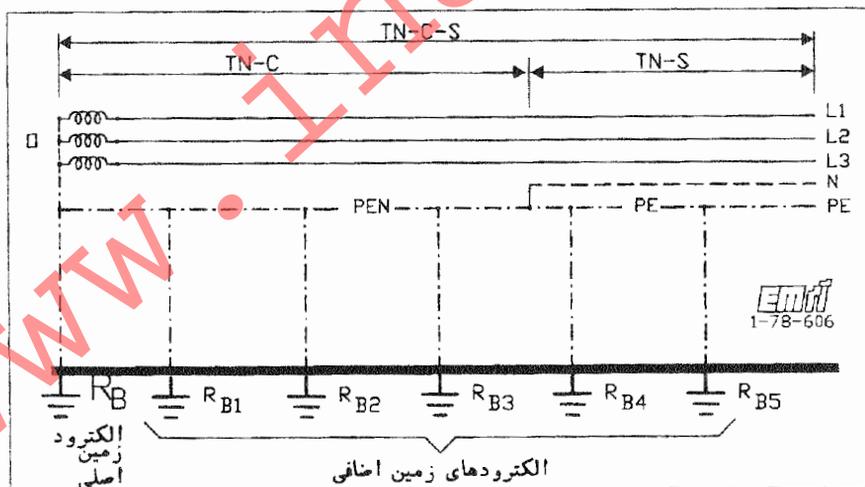
برای مثال، جریانی با شدت ۲۰۰ میلی آمپر بین دو دست، دارای همان اثری است که جریانی با شدت ۸۰ میلی آمپر بین دست چپ و هر دو پا دارد.

- ۳- در ساختمانهای بلند که به علت محدودیت در فضا در آنها امکان احداث اتصال زمینهای متعدد وجود ندارد، همبندی بین بدنه های هادی تجهیزات و بدنه های یگانه همونتاژ کردن اجزای مختلف را بعهده خواهد داشت.
- ۴- به دلایل بالا توصیه می شود در نقطه ورود سرویس به هر ساختمان، یک اتصال به زمین اختصاصی برای هادی حفاظتی (PEN, PE) احداث شود.

یادآوری ۴ مطلبی است که در مقررات سیمکشی ساختمانها (مبحث ۱۳ از مقررات ملی ساختمانی ایران) پیش بینی شده است.

### ۶۲۱-۳-۲- استفاده از یک هادی برای دو منظور حفاظتی (PE) و ختا (N)

در تأسیسات نصب ثابت می توان از یک هادی برای هر دو منظور حفاظتی (PE) و ختا (N) به صورت اشتراکی استفاده نمود به شرطی که سطح مقطع هادی مشترک حفاظتی/ختتا از ۱۰ میلیمتر مربع کمتر نباشد. کابلهای قابل انعطاف مانند بندهای مربوط به لوازم خانگی از جمله اتو، جاروبرقی، مته و نظایر آن تأسیسات ثابت نیستند.



شکل ۶-۶۲۱ اتصال زمین حفاظتی مکرر

بحث مفصلی درباره نحوه محاسبه امپدانس حلقه اتصال کوتاه و شدت جریان اتصالی و نحوه انتخاب شدت جریان اسمی لوازم حفاظتی برای مطابقت با مدت زمان مجاز، در پیوست 6P4 داده شده است.

برای مدارهای توزیع حداکثر زمان برقراری اتصال کوتاه ۵ ثانیه مجاز می باشد.

برای مدارهای نهایی که فقط تجهیزات نصب ثابت را تغذیه می کنند، زمان قطع می تواند از مقدار تعیین شده در جدول ۶-۲ بیشتر باشد، ولی نباید هیچگاه از ۵ ثانیه تجاوز کند. علاوه بر آن اگر مدارهایی که لوازم دستی را تغذیه می کنند (و باید در زمانهای تعیین شده در جدول ۶-۲ قطع شوند) به تابلوی مربوط به مدارهای تجهیزات ثابت وصل باشند یا از همان مدار تغذیه کنند، باید یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

(۱) امپدانس هادی حفاظتی بین تابلوی تقسیم و نقطه ای که هادی حفاظتی به نقطه همبندی اصلی وصل می شود (MEB) از مقدار زیر بیشتر نباشد:

$$\frac{50}{U_0} Z_S (\Omega) \quad (2-6)$$

(شکل ۲۲۱-۵ دیده شود).

(۲) در محل تابلوی تقسیم یک همبندی کمکی نصب شود که شامل همه بدنه های هادی یگانه که در همبندی اصلی شرکت دارند، باشد و با خواسته های بند ۲-۲۲۱ مطابقت نماید.

پیوست 6P5 علت ممنوعیت تغذیه مدارهای نهایی ۰،۴ ثانیه و ۵ ثانیه از یک تابلو را نشان می دهد.

جدول ۶-۲ حداکثر زمان قطع برای سیستمهای TN

حد زمان قطع (ثانیه) (S)	U0 (V)
۰،۸	۱۲۰
۰،۴	۳۳۰
۰،۴	۲۲۷
۰،۲	۴۰۰
۰،۱	۴۰۰

ولتاژها بر اساس استاندارد IEC 38 (1983) می باشند.

در مورد ولتاژهایی که در حد رواداری تعیین شده در استاندارد IEC 38

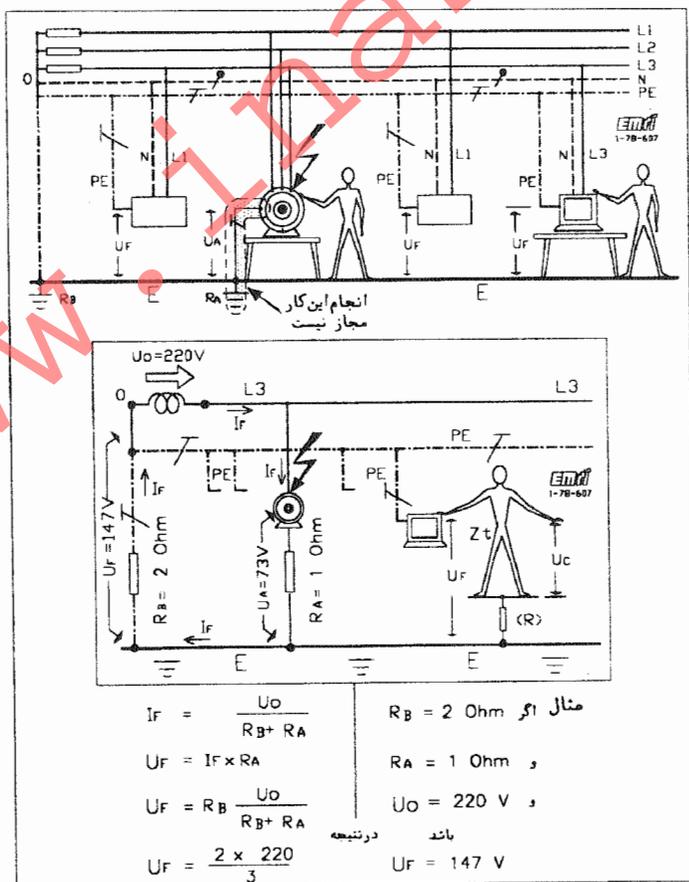
می باشند مقادیر برابر مقدار اسمی باند انتخاب می شوند. برای ولتاژهای

بین دو باند، مقدار بزرگتر انتخاب می شود.

### ۶۲۱-۳-۸- منع استفاده از الکترود زمین مستقل در سیستمهای TN

گاهی دیده شده است که در سیستمهای TN بعضی از تجهیزات سیستم را به یک الکترود زمین انفرادی وصل می کنند بدون آنکه آن الکترود به هادی حفاظتی یا هادی مشترک حفاظتی / خنثا هم وصل شده باشد. در بعضی موارد نادر ممکن است مقاومت الکترود انفرادی ( $R_A$ ) از مقاومت کل زمین سیستم ( $R_B$ ) کوچکتر باشد و در این حالت اگر یک اتصالی بین هادی فاز و بدنه هادی اتفاق افتد، ولتاژ همه بدنه های هادی سیستم ممکن است به مقداری خیلی بیشتر از مقدار مجاز رسد.

طرحواره های شکل ۶۲۱-۹ و مثال گفته شده در آن گویا می باشد. بنابراین استفاده از الکترودهای زمین انفرادی در سیستمهای TN ممنوع است.



شکل ۶۲۱-۹ چرا در سیستمهای TN نباید از الکترودهای زمین انفرادی استفاده کرد

### ۶۲۱-۳-۹- یک نتیجه گیری مهم برای سیستم TN

تا چندی پیش عقیده بر این بود که مقدار کل مقاومت زمین هادیهای حفاظتی PE یا حفاظتی/خستا PEN در یک سیستم TN با ولتاژ ۳۸۰/۲۲۰ ولت، نباید از ۲ اهم بیشتر باشد. دلیل آن هم با توجه به مطالب بند ۶۲۱-۳-۵ این بود که در شرایط عادی اگر اتصال بین یک فاز و یک هادی بیگانه بروز کند، مقدار آماری این مقاومت اتفاقی حداقل ۷ اهم خواهد بود و بنابراین انتخاب مقدار ۲ اهم قابل توجه است.

سپس عقاید بر این قرار گرفت که مقدار ۷ اهم انتخابی بسیار محافظه کارانه است و می توان مقدار مقاومت اتفاقی را تا ۱۰ اهم نیز انتخاب نمود، بدون آنکه در احتمال بروز برگرفتگی تغییر زیادی پیش آید و در این صورت مقدار مقاومت کل هادی خستا نسبت به زمین می تواند ۲۹ اهم باشد.

جدیدترین عقیده در این زمینه این است که در سیستمهایی که انحصاراً از کابلهای زیرزمینی استفاده می کنند، اصلاً توجهی به مقدار مقاومت هادیهای خستا نسبت به زمین نشود، زیرا مقدار آن هر چه باشد، به شرط اینکه سایر مسایل (مانند قطع مدار در ۰.۴ ثانیه یا ۵ ثانیه) رعایت شده باشد، خالی در ایمنی وارد نخواهد شد زیرا اتصال اتفاقی بین یک فاز و یک بدنه هادی بیگانه در سیستم کابلی بسیار بسیار نامحتمل است.

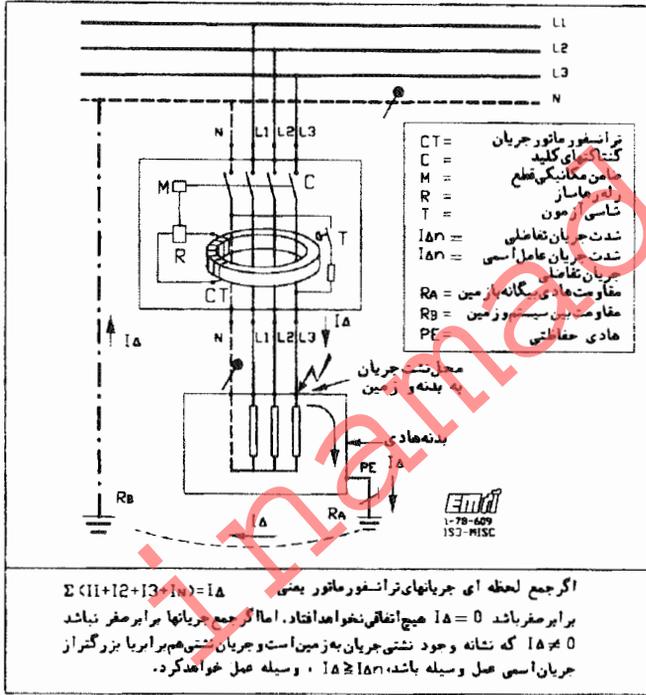
ممکن است این سؤال پیش آید که چرا از اول این فکر نشده بود. جواب این سؤال را می توان در دو قسمت داد:

(۱) در ابتدای هر کاری به دلیل نبودن آمار کافی گرایش به این سمت است که مقادیر آماری با محافظه کاری بیشتری انتخاب شوند (۷ اهم). پس از سالها آزمایش دیده شد این مقدار بسیار کوچک انتخاب شده بود و بنابراین مقدار آن را به ۱۰ اهم افزایش دادند که در نتیجه انتخاب مقاومت کل سیستم ۲۹ اهم به جای ۲ اهم مجاز گردید.

(۲) در سابق به دلایل بسیاری که وارد آنها نخواهیم شد، بیشتر شبکه ها هوایی بود و اینک با گذشت زمان از حجم شبکه های هوایی کاسته شده و به حجم شبکه های زیرزمینی افزوده شده است. همانطور که گفته شد، بروز اتصال بین یک هادی فاز و یک بدنه هادی بیگانه در شبکه کابلی بسیار نامحتمل است و مطالب گفته شده در بند ۶۲۱-۳-۵ را باید فقط در مورد شبکه های هوایی به کار بست.

به طور خلاصه:

روز بروز اهمیت مقدار مقاومت  $R_B$  در سیستم TN کاسته می شود به طوری که هم اکنون در سیستمهای تمام کابلی TN، دیگر احتیاجی به کنترل مقدار مقاومت  $R_B$  طبق بند ۶۲۱-۳-۵ نیست. با وجود این، لزوم برقراری اتصال زمین برای هر انشعاب (طبق بند ۶۲۱-۳-۱)، به قوت خود باقی است.

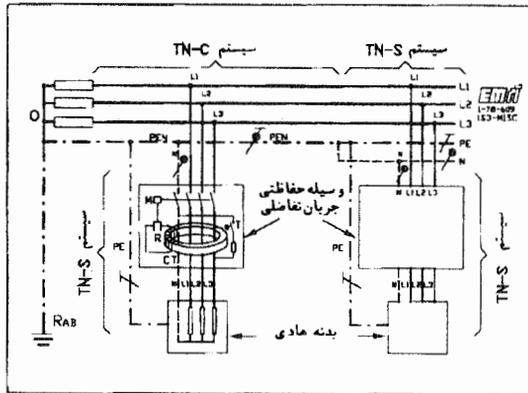


شکل ۲۶۱-۱۰ طرحواره یک وسیله (کلید) حفاظتی جریان تفاضلی

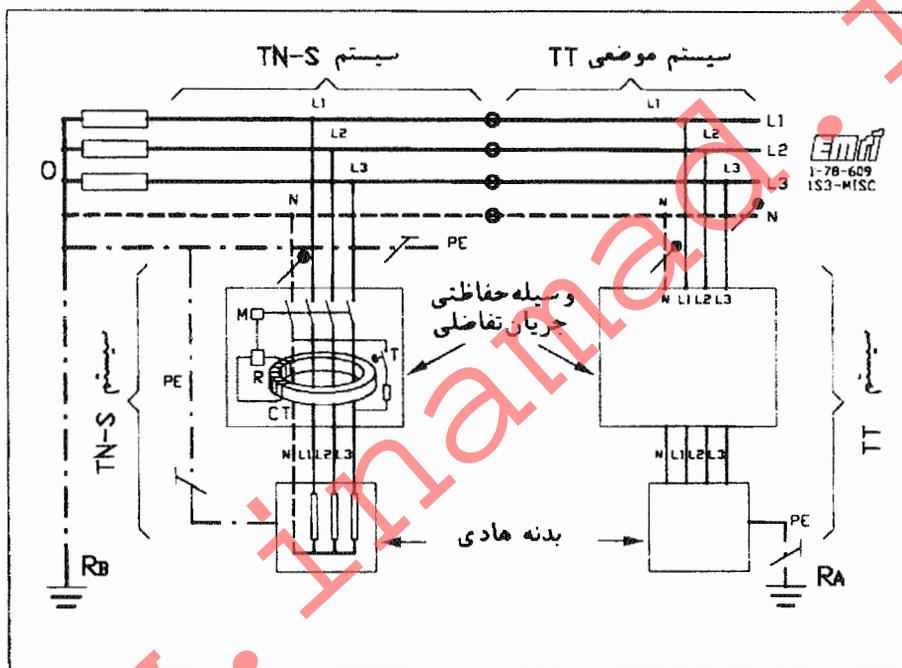
### ۶۲۱-۴-۵- روشهای استفاده از وسایل حفاظتی جریان تفاضلی در سیستم TN

در سیستمهای TN به شرط رعایت نکاتی که در شکلهای زیر نشان داده شده است می توان از وسایل حفاظتی

جریان تفاضلی استفاده کرد.



شکل ۲۶۱-۱۱ استفاده از وسایل حفاظتی جریان تفاضلی در سیستم TN-C-S



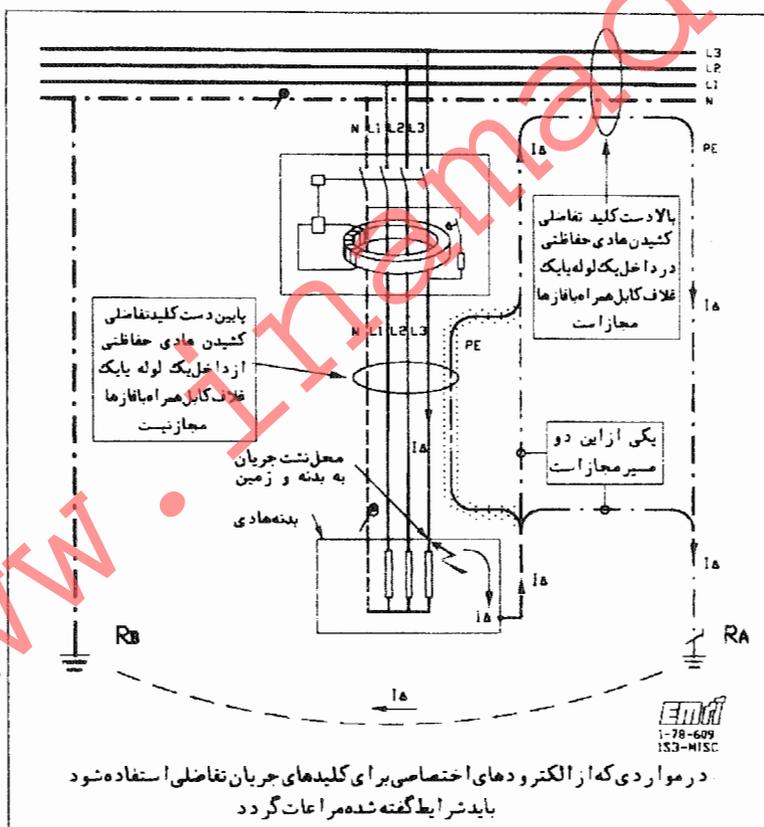
۱۲-۶۲۱ وسیله حفاظتی جریان تفاضلی در سیستم TN-S و سیستم موضعی TT

#### ۶-۴-۶۲۱- الکترود و هادی اتصال زمین در سیستم TT

در سیستم TT می توان از هر نوع الکترود زمین استفاده کرد جز اینکه از سیستم زمین پیش بینی شده برای فشار قوی نباید برای وسایل جریان تفاضلی استفاده نمود. اگر چند وسیله جریان تفاضلی با جریانهای عامل مختلف دارای الکترودی مشترک باشند (برای مثال آمپر  $I_{\Delta n} = 0.03$  و آمپر  $I_{\Delta n} = 0.5$ )، مقاومت آن باید مناسب برای وسیله حفاظتی با جریان عامل بزرگتر باشد (در مورد مثال باید  $R_A \leq 100 \Omega$  باشد که مناسب وسیله آمپر  $I_{\Delta n} = 0.5$  است در حالی که برای وسیله آمپر  $I_{\Delta n} = 0.03$  می توان از مقاومت بزرگتر یعنی  $R_A \leq 1667 \Omega$  استفاده کرد)

اگر در سیستم TT از الکترود اختصاصی استفاده شود، در فاصله بین وسیله مصرف کننده و وسیله جریان تفاضلی، هادی حفاظتی نباید در یک لوله یا یک غلاف کابل همراه با هادیهای فاز کشیده شود، زیرا در صورت بروز اتصالی بین فاز و هادی حفاظتی در اثر خرابی در عایق بندی، کلید عمل خواهد کرد. کشیدن هادی حفاظتی همراه با هادیهای فاز در بالادست کلید مانعی ندارد. شکل ۱۳-۶۲۱ این مطلب را به صورت طر حواره نشان می دهد.

از نظر سطح مقطع، هادی حفاظتی مدار بالا دست کلید در صورتی که از داخل یک لوله یا یک غلاف کابل همراه با فازها کشیده شده باشد، می تواند برابر با سطح مقطع هادی فاز یا خت باشد. اما در صورتی که هادی حفاظتی مستقل از هادیهای برقدار مدار کشیده شود، سطح مقطع آن در صورت داشتن حفاظت مکانیکی می تواند ۲.۵ میلیمتر مربع و اگر بدون حفاظت مکانیکی باشد، ۲ میلیمتر مربع باشد.



شکل ۶۲۱-۱۳ نحوه استفاده از یک کلید حفاظتی جریان تفاضلی در صورت وصل به الکترود اختصاصی

علت این است که جریانهای تفاضلی  $I_{\Delta}$  بسیار کوچک می باشند و احتیاجی به سطح مقطع بزرگ ندارند. به همین دلیل در اغلب موارد حتی در صورتی که کشیدن هادیهای حفاظتی همراه با هادیهای فاز مجاز است، استفاده از هادیهای حفاظتی مستقل با سطح مقطعهای کوچک ذکر شده، از هر نظر باصرفه خواهد بود. با توجه به اغلب استانداردهای ساخت کلیدهای جریان تفاضلی، زمان قطع این وسایل باید برابر یا کوچکتر از ۲ ثانیه باشد. با توجه به جدول زمانهای مجاز (جدولهای ۶-۲ و ۶-۳) این مقادیر کاملاً منطقی می باشند، اما برای

ایجاد تمایز بین وسایل جریان تفاضلی، آنها را با زمانهای قطع یا حساسیتهای مختلف دیگر نیز می سازند. برای مثال: ۰.۲ ثانیه، ۰.۴ ثانیه، ۰.۲ ثانیه و ۰.۵ ثانیه.

## سیستم IT

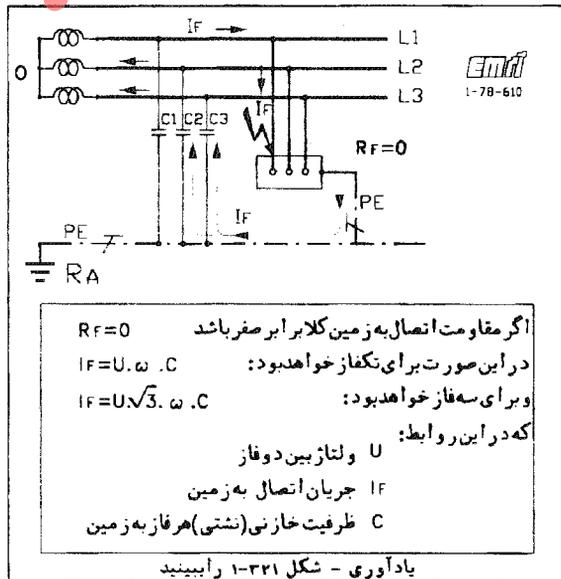
### ۶۲۱-۵- شرایط اختصاصی سیستم IT

#### ۶۲۱-۵-۱- لزوم عایق بودن سیستم IT نسبت به زمین یا داشتن امپدانس بزرگ نسبت به آن

در سیستمهای IT، سیستم باید نسبت به زمین عایق باشد یا از طریق یک امپدانس که به قدر کافی بزرگ است به زمین وصل شود. نقطه اتصال زمین از طریق امپدانس ممکن است نقطه ختای واقعی یا مصنوعی باشد. اگر مولفه صفر امپدانس به قدر کافی بزرگ باشد، نقطه ختای مصنوعی ممکن است به طور مستقیم زمین شود. در مواردی که نقطه ختا وجود نداشته باشد، یکی از هادیهای فاز را می توان از طریق یک امپدانس زمین کرد.

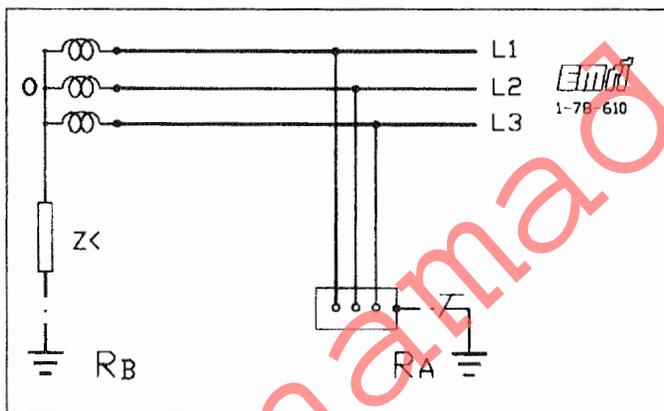
با توجه به گفته های بالا، از نظر نحوه برقراری ارتباط سیستم با زمین چهار حالت وجود خواهد داشت:

(۱) حالتی که هیچ رابطه ای که دست ساز بشر باشد بین سیستم و زمین برقرار نشده باشد. اما فراموش نکنیم که همیشه رابطه ای طبیعی بین سیستم و زمین وجود دارد که آن هم از طریق خازنهای طبیعی است که نمی توان آنها را از بین برد. این حالت در شکل ۶۲۱-۱۴-۱ نشان داده شده است.



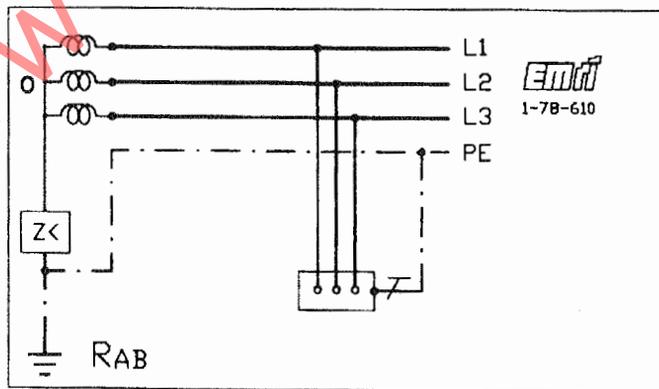
شکل ۶۲۱-۱۴-۱) سیستم IT نوع کاملاً عایق نسبت به زمین

(۲) حالتی که نقطه ختای سیستم با استفاده از یک مقاومت (بزرگ) محدودکننده جریان اتصالی به زمین وصل می شود. این حالت در شکل ۶۲۱-۱۴-۲) نشان داده شده است.



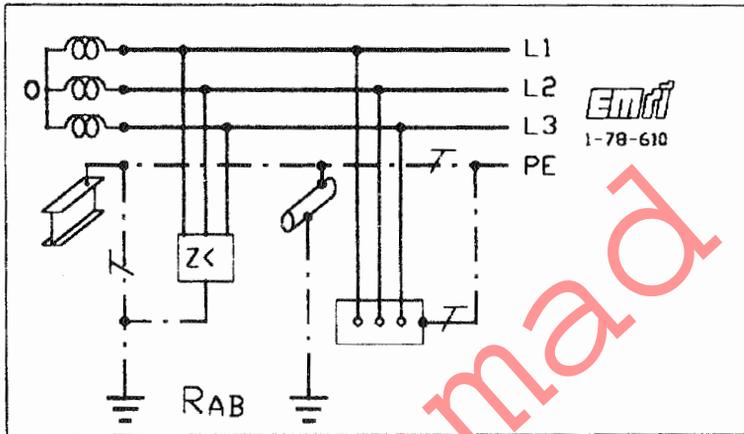
شکل ۶۲۱-۱۴-۲) سیستم IT نوع وصل به زمین از طریق امپدانس ساده

(۳) حالتی که نقطه ختای سیستم با استفاده از یک وسیله بازرسی عایقبندی و محدود کردن جریان به زمین وصل می شود. این حالت در شکل ۶۲۱-۱۴-۳) نشان داده شده است.



شکل ۶۲۱-۱۴-۳) سیستم IT مجهز به وسیله کشف اولین اتصالی (نصب شده در ختا)

(۴) حالتی که نقطه ختای سیستم داخلی بوده و دسترسی به آن ممکن نباشد یا به هر دلیل لازم باشد از ختای مصنوعی استفاده شود و ختای مصنوعی با استفاده از یک وسیله بازرسی عایقبندی و محدود کردن جریان، به زمین وصل می شود. این حالت در شکل ۶۲۱-۱۴-۴) نشان داده شده است.



۶۲۱-۱۴-۴) سیستم IT مجهز به وسیله کشف اولین اتصالی در ختای مصنوعی

در صورت وجود شرایط بالا، اتصال کوتاه یکی از هادیها از طریق بدنه های هادی یا در اثر وصل مستقیم به زمین از طریق قسمتهای هادی بیگانه، بسیار کوچک خواهد بود و بنابراین قطع خودکار مدار، به شرط رعایت مفاد بند ۶۲۱-۵-۳، الزامی نخواهد بود. در هر حال لازم است برای جلوگیری از تماس همزمان افراد با دو بدنه که در یک آن با دو فاز مختلف اتصالی داشته باشند، اقدام به عمل آید.

### ۶۲۱-۵-۲) در سیستم IT هیچ یک از هادیهای برقرار نباید مستقیم به زمین وصل باشند.

برای تقلیل اضافه ولتاژها یا تخفیف نوسانها، ممکن است لازم باشد اتصال زمین از طریق امپدانس با زمین مصنوعی برقرار شود و مشخصه های آن به نحوی انتخاب شوند که با خواسته های تأسیسات هماهنگ باشد.

### ۶۲۱-۵-۳) نحوه زمین کردن بدنه های هادی در سیستم IT

بدنه های هادی سیستم باید به صورت انفرادی، گروهی یا دسته جمعی زمین شوند. در بعضی موارد مانند ساختمانهای بلندمرتبه، وصل بدنه های هادی به زمین عملی نمی باشد. در این موارد، از همبندی هادیهای حفاظتی با بدنه های هادی بیگانه به جای اتصال به زمین استفاده می شود. در سیستمهای IT شرط زیر باید برقرار باشد:

$$R_A \cdot I_d \leq 50V \quad (5-6)$$

که در آن:

$R_A$  = مقاومت الکترود زمین بدنه های هادی:

$I_d$  = شدت جریان اولین اتصال کوتاه بین یک هادی فاز و بدنه هادی است.  $I_d$ ، جریانهای ناشی و کل امپدانس اتصال به زمین تأسیسات الکتریکی را به حساب می آورد.

$50V$  = حداکثر ولتاژ مجاز تماس  $U_L$  می باشد.

#### ۶۲۱-۵-۴- استفاده از دستگاه کنترل عایق‌بندی در سیستم IT

اگر از یک دستگاه کنترل عایق‌بندی برای کشف اولین اتصالی بین یک هادی برقرار و بدنه هادی یا زمین استفاده شده باشد، این دستگاه باید یک سیگنال سمعی و / یا بصری را راه اندازی کند.

یادآوری ۱- توصیه می‌شود اولین اتصالی در اسرع وقت رفع شود.

یادآوری ۲- ممکن است استفاده از یک دستگاه کنترل عایق‌بندی برای هدفهای دیگری جز حفاظت در برابر تماس غیرمستقیم لازم باشد.

#### ۶۲۱-۵-۵- بروز دومین اتصالی در سیستم IT

حال پس از بروز اولین اتصالی و در هنگامی که هنوز فرصت رفع عیب و ترمیم سیستم پیدا نشده است، اگر دومین اتصالی اتفاق افتد چه وضعی پیش خواهد آمد؟ یکی از دو حالت زیر ممکن است بوجود آید:

(۱) اگر همه بدنه های هادی تأسیسات همبندی شده و دارای الکترود زمین مشترک باشند، دومین اتصالی مانند بروز (اولین) اتصالی با بدنه هادی در سیستم TN خواهد بود، به شرط اینکه مطالب بند ۶۲۱-۵-۶ برقرار باشد.

(۲) اگر بدنه های هادی تأسیسات به صورت چند گروه (هر گروه یک الکترود مجزا) یا به صورت انفرادی (هر بدنه هادی یک الکترود مجزا) زمین شده باشند، باید شرایط حفاظتی بند ۶۲۱-۴ برقرار شوند.

#### ۶۲۱-۵-۶- شرایطی که باید در سیستم IT رعایت شوند.

در سیستمهای IT شرایط زیر باید برقرار باشد:

(۱) در سیستمی که ختای آن توزیع نشده باشد

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2 I_{df}} \quad (6-6)$$

(۲) در سیستمی که ختای آن توزیع شده باشد

$$Z's \leq \frac{U_0}{2I_{df}} \quad (7-6)$$

که در آن :

$U_0$  = ولتاژ مؤثر متناوب بین فاز و ختا :

$U$  = ولتاژ مؤثر متناوب بین دو فاز (جدول ۳-۶ دیده شود) :

$Z_s$  = امپدانس حلقه اتصال کوتاه شامل هادی فاز و هادی حفاظتی (PE) مدار :

$Z's$  = امپدانس حلقه اتصال کوتاه شامل هادیهای فاز، ختا (N) و هادی حفاظتی (PE) مدار ؛

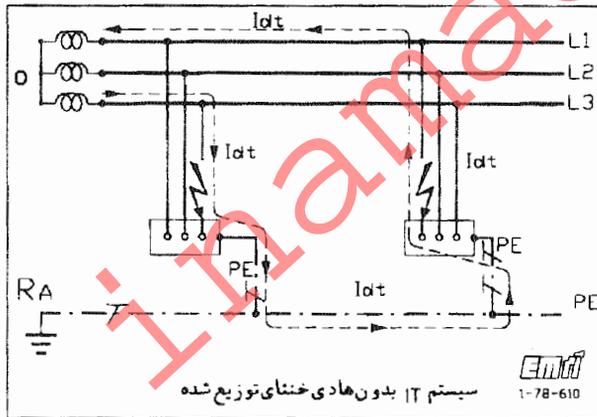
$I_a$  = شدت جریان عمل وسیله حفاظتی در مدت زمان  $t$  که در جدول ۳-۶ ذکر شده است، و برای مدارهای دیگری

که در مورد آنها مجاز است،  $t = 0$  ثانیه می باشد. (Double Fault Current =  $I_{df}$ )

## یادآوری

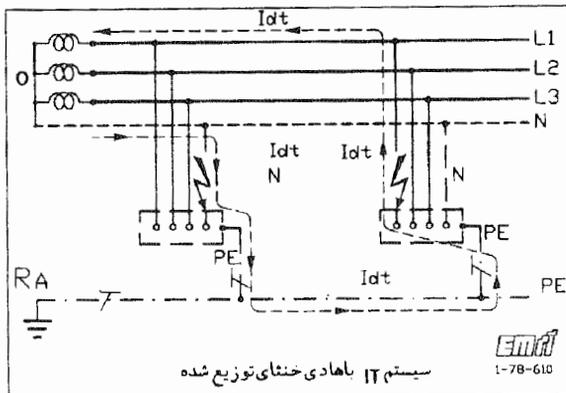
در روابط بالا عدد ۲ عددی است که برای اطمینان از اینکه سیستم حتماً عمل خواهد کرد انتخاب شده است و نکاتی مانند مقاومت کنتاکتها، طولانی تر شدن مدار به علت وارد شدن کابل (بند قابل انعطاف) دستگاه از پریز تا خود دستگاه، کامل نبودن اتصالات هادیها با بدنه و نظیر اینها را در بر می گیرد.

شکل ۱۵-۶۲۱ حالتی را نشان می دهد که در یک سیستم سه فاز II که هادی خنثا در آن توزیع نشده است، دو فاز مختلف در دو دستگاه متفاوت، به بدنه مربوط به هر یک، اتصالی کرده باشد. در این حالت باید رابطه (6-6) برقرار باشد.



شکل ۱۵-۶۲۱ سیستم II با دو اتصال همزمان فازهای مختلف با بدنه

شکل ۱۶-۶۲۱ حالتی را نشان می دهد که در یک سیستم سه فاز II که هادی خنثا در آن توزیع شده است، یک فاز در یک دستگاه و هادی خنثا در یک دستگاه دیگر با بدنه مربوط به خود، اتصالی کرده باشد. در این حالت باید رابطه (7-6) برقرار باشد.



شکل ۱۶-۶۲۱ سیستم II با دو اتصال همزمان یک فاز و یک خنثا با بدنه

### جدول ۶-۳ حداکثر زمان قطع برای سیستمهای IT

حداکثر زمان قطع - ثانیه (۵)		$U_0/U$ (۷)
هادی خنثا توریع شده	هادی خنثا توریع نشده	
۵	۰٫۸	۱۲۰٫۲۴۰
۰٫۸	۰٫۴	۲۳۰٫۴۰۰
۰٫۴	۰٫۲	۴۰۰٫۶۹۰
۰٫۲	۰٫۱	۵۸۰٫۱۰۰۰

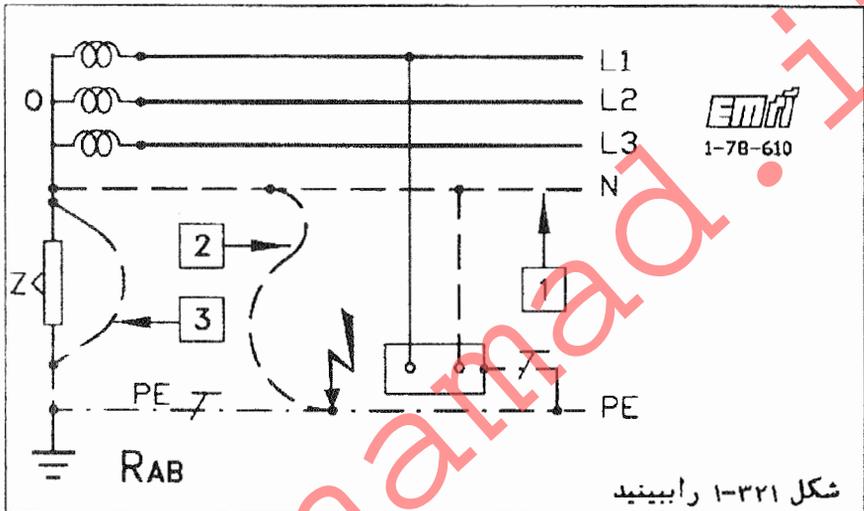
1-78-610

ولتاژها بر اساس استاندارد IEC 38 (1983) می باشند  
در مورد ولتاژهایی که در حد رواداری تعیین شده در استاندارد  
IEC 38 می باشند مقدار برابر مقدار اسمی باند انتخاب می شوند  
برای ولتاژهای بین دو باند ، مقدار بزرگتر انتخاب می شود

#### ۶۲۱-۵-۷- توزیع هادی خنثا در سیستم IT توصیه نشده است

در سیستم IT قویاً توصیه می شود که از توزیع هادی خنثا صرف نظر شود. بعضی از علل این کار واضح و بعضی  
دیگر ممکن است خیلی روشن نباشند.

مهمترین علت اینکه توصیه می شود هادی خنثا توزیع نشود این است که هرچه طول هادی خنثا و تعداد لوازمی که به  
آن وصل می شوند بیشتر شود ، احتمال بروز اتصالی بین آن و بدنه های هادی زمین شده بیشتر می شود که در صورت  
بروز این حالت ظاهراً اتفاق مهمی نخواهد افتاد. اما کل سیستم حفاظتی مختل خواهد شد و در اصل سیستم IT تبدیل به  
TT یا TN (بسته به نوع اتصال به زمین) خواهد شد.



در سیستم IT اگر خنثا توزیع شود [1] احتمال زمین شدن آن هم بیشتر می شود [2] و مثل این است که دو سر مقاومت Z اتصال کوتاه می شود [3] و کلیه محسنات سیستم IT از بین می رود

### شکل ۱۷-۶۲۱ چرا در سیستم IT توصیه می شود هادی خنثا توزیع نشود

این است که نه تنها بهتر است هادی خنثا توزیع نشود بلکه باید هادیها، مقاومت یا مقاومت‌های وسیله کشف اتصال به زمین که بین نقطه خنثا و الکترود زمین قرار دارند، در برابر اتصال کوتاه شدن اتفاقی، به خوبی حفظ شود تا سیستم حفاظت مختل نشود. (شکل ۱۷-۶۲۱ مسایل مورد بحث را نشان می دهد).

اما وضعیت دیگری که در صورت توزیع هادی خنثا در سیستم IT باید مورد توجه قرار گیرد و علت آن ممکن است در نگاه اول خیلی واضح نباشد این است که همه مدارهای سیستم باید مجهز به وسایل کشف اضافه جریان در هادی خنثا باشند که همه هادیهای مدار (فاز یا فازها و خنثا) را قطع کند.

کلیدهای چهار قطبی یا کلیدهای دو قطبی که همه قطبهای آن مجهز به رله های اضافه جریان می باشند، برای همین منظور مورد استفاده قرار می گیرند.

برای پی بردن به اهمیت موضوع مورد بحث شکل ۱۶-۶۲۱ را مورد توجه قرار دهید. اگر مداری که هادی خنثای آن با بدنه برخورد کرده است مداری با مقطع کوچک باشد و مدار دیگر که فاز آن با بدنه در تماس است مداری با مقطع بزرگ باشد، ممکن است حالتی پیش آید که جریان اتصال نشان داده شده در شکل، برای قطع رله جریان در فاز مدار بزرگ کافی نباشد در حالی که همین جریان از دید مدار کوچک آنقدر بزرگ باشد که هادی خنثای آن را بسوزاند.

در دو حالت زیر می توان از شرط بالا صرفنظر نمود:

- در صورتی که برای حفاظت هادی ختای هر یک از مدارها یا چند مدار با هم از وسایل حفاظتی در برابر اتصال کوتاه در طرف تغذیه استفاده شده باشد.
- در صورتی برای حفاظت از مدار موردنظر از وسیله حفاظتی جریان تفاضلی استفاده شود، به شرط اینکه جریان نامی تفاضلی عمل آن از ۰.۱۵ برابر جریان نامی هادی ختا بیشتر نباشد. بدیهی است که این وسیله باید همه هادیهای مدار از جمله هادی ختا را قطع کند.

#### ۶۲۱-۵-۸- شرایط قطع و وصل هادی ختا (در سیستم IT)

تاکنون در این کتاب راجع به قطع و وصل هادی ختا صحبت نشده است. برعکس مخصوصاً در سیستم TN تاکید می شود که به هیچ وجه نباید در هادی ختا از وسایل حفاظتی استفاده شود یا این هادی به نحوی دیگر و بدون قطع هادیهای فاز، مجزا گردد. اما اینک دیده می شود که در سیستم IT انجام این کار لازم است. البته این فقط در حالی از سیستم IT لازم می شود که در آن هادی خط توزیع شده باشد. در هر صورت قطع و وصل هادی ختا صرفنظر از نوع سیستم مراسمی دارد که باید در همه احوال مراعات شود.

یکی اینکه هادی ختنا نباید قبل از هادیهای فاز از مدار مجزا و قطع شود. دیگر اینکه هادی ختنا باید قبل از هادیهای فاز یا همزمان با آنها وصل شود جز در شرایطی که برای سیستم IT گفته شد و شرایط استثنایی دیگر. هادی ختنا نباید حاوی وسایل حفاظتی خودکار که فقط هادی ختنا را قطع کند، باشد.

#### ۶۲۱-۵-۹- وسایل حفاظتی مجاز در سیستم IT

در سیستمهای IT استفاده از وسایل حفاظتی زیر مجاز است:

- (۱) وسایل بازرسی دائمی عایقبندی؛
- (۲) وسایل حفاظتی اضافه جریان؛
- (۳) وسایل حفاظتی جریان تفاضلی.

#### ۶۲۱-۵-۱۰- درجه عایقبندی برای تجهیزات تکفاز در سیستم IT با ختای توزیع شده

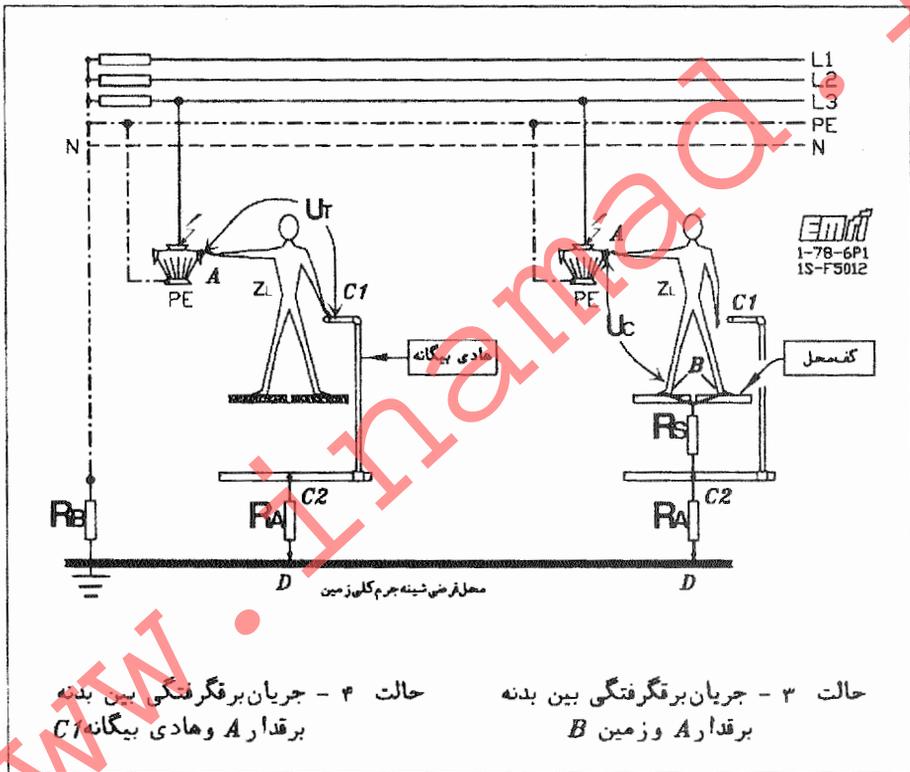
در سیستمهای IT با هادی ختای توزیع شده تجهیزاتی که بین فاز و ختا (U0) نصب می شوند باید از نظر عایقبندی مناسب برای ولتاژ فاز (U) باشند. برای درک علل این کار توصیه می شود پیوست 4P2-۲ در فصل چهارم دیده شود.

## ۶۲۱-۵-۱۱- خصوصیات - مزایا - کاربردهای سیستم IT

از بین سیستم‌های سه گانه TT, TN و IT، دو سیستم اول یعنی TN و TT، سیستم‌هایی برای استفاده در کاربردهای عادی و سیستم سوم یعنی IT، یک سیستم مخصوص برای کاربردهای مخصوص می باشد. نظر به اینکه اولین اتصال به بدنه در سیستم IT سبب قطع برق تجهیزاتی که اتصالی در آن واقع شده است نمی شود و در همان حال تماس با بدنه تجهیزات سبب برق‌گرفتگی نمی گردد، سیستم IT در بسیاری از کاربردهای حساس بی همتا است. بعضی از مواردی که استفاده از سیستم IT در آنها غیر قابل جایگزینی است عبارتند از:

- اتاقهای عمل و نظایر آن در بیمارستانها ؛
- چراغهای روشنایی ایمنی در تالارهای همایش و نظایر آن ؛
- معادن روباز و زیرزمینی ؛
- سیستمهای تولیدی که قطع برق در آنها ممکن است تولید خسارات زیاد کند مانند :
  - شیشه سازی
  - کوره ها
  - ذوب فلزات
  - نیروگاهها
  - صنایع شیمیایی
  - صنایع مهمات سازی
  - تجهیزات آزمایشگاهها و انجام آزمایش
  - تغذیه کامپیوترها
  - مدارهای کنترل
  - عملیات صنعتی زنجیره ای

یادآوری ۱ - برای بررسی بهتر مطالب توصیه می شود شکل‌های ۱-۳۴۱ و ۲-۳۴۱ مطالعه شوند.



شکل ۳-6P1 برق گرفتگی در حالت‌های "تماس غیر مستقیم"

حالت ۴-6P1 - مدار برق گرفتگی شامل بدنه هادی برقدار شده - انسان - هادی بیگانه است.

شکل ۳-6P1 - مسیر (A-C1-C2-D)

- یک دست فرد با یک قسمت برقدار در تماس است. (نقطه A، فاز L3 از طریق بدنه).

- دست دوم فرد با یک هادی بیگانه (لوله فلزی) در تماس است. (نقطه C1)

در این حالت مانند حالت ۲، دو امپدانس وجود دارند:

$$Z_L + R_A$$

یادآوری ذیل بخش ۳-6P1 در این مورد نیز صادقند.

## فصل ششم حفاظت در برابر برق‌رسانی

### پیوست ۲ - نحوه تقسیم ولتاژ در طول هادی حفاظتی نسبت به زمین در صورت بروز اتصال کوتاه بین هادیهای فاز و حفاظتی در سیستم TN

#### 6P2-۰-۰- کلیات

در بند ۲۱-۳ خواسته شده است که در سیستم TN، در حد امکان هادی حفاظتی (PE) یا هادی مشترک حفاظتی / خنثا (PEN)، در مسیر عبور خطوط توزیع نیرو به الکترودهای زمین اتصال داده شوند (IEC 413-1-3). این کار باعث خواهد شد در صورت بروز اتصالی بین یک هادی فاز و هادی حفاظتی، ولتاژ هادی حفاظتی و بدنه های هادی متصل به آن به زمین نزدیکتر شود و در نتیجه ولتاژ تماس یا ولتاژ برق‌رسانی نیز کمتر شود. در این پیوست دلایل این مسئله تشریح می شود.

#### 6P2-۱-۱- تقسیم ولتاژ در طول هادی حفاظتی در سیستم TN با یک اتصال به زمین در مبدأ

شکل 6P2-۱-۱ (۱)، طرحواره وضعیتی را نشان می دهد که در حالت برخورد اتفاقی یک فاز با هادی حفاظتی، اتفاق می افتد. طبق شکل اتصالی در نقطه A بروز می کند و هادی حفاظتی فقط در شروع خط به زمین وصل است. از لحظه وقوع اتصالی تا عمل وسایل حفاظتی مدار و قطع برق، نحوه توزیع ولتاژ در طول هادیهای حفاظتی و فاز نشان داده شده اند. فرض بر این است که سطح مقطع هادی حفاظتی و هادی فاز برابرند. اگر سطح مقطع هادی حفاظتی (مانند بیشتر کابلها که هادی حفاظتی / خنثا در آنها نصف هادی فاز است) کوچکتر از هادی فاز باشد، ولتاژ هادی حفاظتی / خنثا بیشتر از حالت نشان داده شده خواهد بود یعنی از نظر برق‌رسانی وضع وخیمتر است.

ولتاژ بدنه های هادی نسبت به زمین به طرف راست از نقطه اتصالی ( $A_R$ ) ثابت و برابر با نصف ولتاژ بین فاز و خنثا خواهد بود در حالی که به طرف چپ از این نقطه A ( $B_1, C_1$ )، ولتاژ به تدریج در طول خط از نصف  $U_0$  تا صفر افت خواهد کرد. بدیهی است که در صورت قطع جریان در زمان مجاز، اتفاق ناگواری پیش نخواهد آمد.

#### 6P2-۲-۲- ولتاژ در طول هادی حفاظتی در سیستم TN با چند اتصال به زمین (اتصال زمین مکرر)

اما اگر علاوه بر منبع تغذیه ( $R_B$ )، هادی حفاظتی همانگونه که در شکل 6P2-۱-۲ نشان داده شده است در نقاط دیگری هم به زمین وصل شده باشد ( $R_{B1}, R_{B2}, R_{B3}$ ) و اتصال کوتاه هم در همان نقطه A بروز کرده باشد، وضعیت تقسیم ولتاژ بسیار متفاوت و تا جایی که به ایمنی مربوط می شود بهتر خواهد بود. در شکل، منحنی تغییرات ولتاژ در حالت دوم، (با اتصال زمینهای اضافی) و تغییرات آن در حالت اول (فقط یک اتصال به زمین در شروع خط) برای مقایسه نشان داده شده است.

## لحظه وقوع

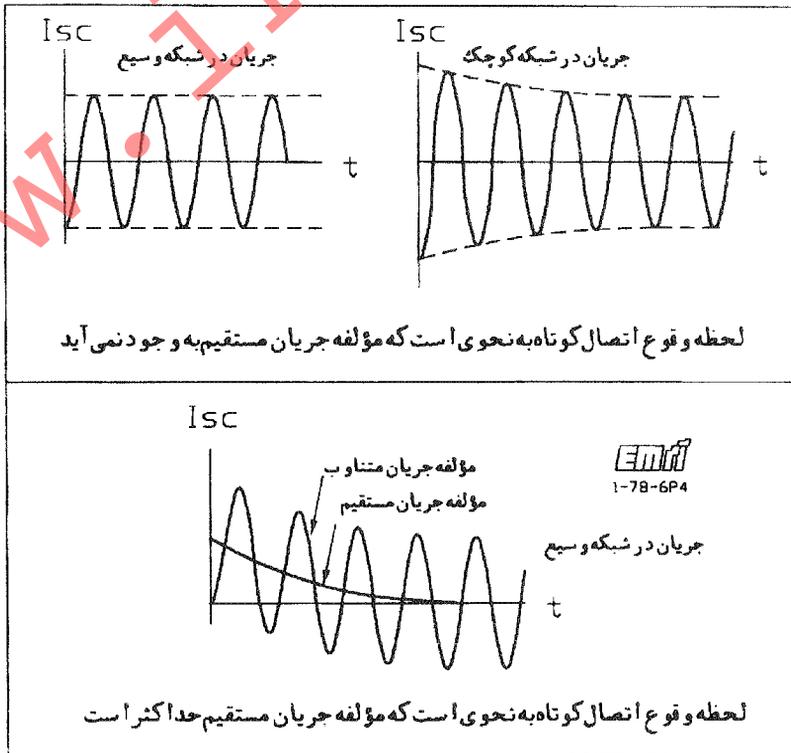
لحظه وقوع اتصال کوتاه یکی از مهمترین عوامل در بروز پدیده اتصال کوتاه است که درباره آن کمتر صحبت می شود لذا به نظر می رسد به جا باشد در این مورد بحث کوتاهی انجام شود.

در لحظه وقوع اتصال کوتاه دو اتفاق بسیار مهم در شبکه اتفاق می افتد:

(۱) امپدانس شبکه ناگهان از امپدانس بار تبدیل به امپدانس خطوط تقذیه در مسیر وقوع اتصال کوتاه می شود که بسیار کمتر از امپدانس بار است و به این علت شدت جریان در شبکه ناگهان زیاد می شود.

اما اضافه بر این اتفاق مهم دیگری هم می افتد که به آن توجه لازم نمی شود:

(۲) ضریب توان شبکه که قبل از وقوع اتصال کوتاه قاعدتاً باید بین ۰.۸ تا ۰.۹ باشد، ناگهان تغییر می کند و با توجه به مشخصه های خطوط، حدود ۰.۲ تا ۰.۳ تغییر می کند و در این میان، لحظه وقوع اتصال کوتاه بسیار مهم است که با کدام یک از لحظات موج ولتاژ مطابقت می کند. با توجه به اینکه ضریب توان شبکه به مقداری



شکل ۷-6P4- اوسیلوگرامهای حالتیهای مختلف جریان بسته به لحظه وقوع اتصال کوتاه و نوع شبکه

قابل ملاحظه تغییر می کند، موج جریان نمی تواند دفعتاً با وضعیت جدید خود تطبیق کند لذا تا حدی رشد می کند که زاویه آن با وضعیت جدید تطبیق کند. مؤلفه "جریان مستقیم" که در پدیده اتصال کوتاه بسیار مورد توجه است از اینجا ناشی می شود. گفته شد که لحظه وقوع اتصال کوتاه مهم است و لحظه ای است که ممکن است به نحوی باشد که یا اصلاً مؤلفه جریان مستقیم تولید نشود یا مقدار این مؤلفه در حداکثر ممکن باشد. بنابراین:

#### – در محاسبه حداکثر جریان اتصال کوتاه

فرض می کنند لحظه وقوع اتصال کوتاه با حداکثر مؤلفه جریان مستقیم مطابقت دارد.

#### – در محاسبه حداقل جریان اتصال کوتاه

فرض می کنند لحظه وقوع اتصال کوتاه با حداقل مؤلفه جریان مستقیم مطابقت دارد.

یعنی اصلاً مؤلفه جریان مستقیم وجود ندارد.

در شکل 6P4-7 موج جریان اتصال کوتاه برای موقعیتهای مختلف نشان داده شده است.

اینک نحوه انتخاب و محاسبه امپدانس اجزای تشکیل دهنده شبکه را مرور خواهیم کرد.

#### 6P4-2-2-2- منابع تغذیه

برای فشار ضعیف دو نوع منبع عمومیت دارند: ترانسفورماتورها و ژنراتورها. محاسبه امپدانس برای ترانسفورماتورها حاوی مسایلی است که در مورد ژنراتورها وجود ندارد. لذا بحث را با ترانسفورماتورها دنبال خواهیم کرد.

**(1) مشخصه های اصلی ترانسفورماتور** – از این مشخصه های اصلی ترانسفورماتور چهار مشخصه از نظر بحث ما مهم هستند:

– ولتاژهای فشار قوی و فشار ضعیف  $U_{(11)} / U_{(22)}$  مانند (۰،۴۰۰/۰،۳۳۰) کیلوولت

– توان نامی ترانسفورماتور  $P_{(kVA)}$  مانند ۶۳۰ کیلوولت آمپر؛

– ولتاژ امپدانس  $uk\%$  یا  $zk\%$  مانند ۶٪؛

– ولتاژ مقاومت  $Ur\%$  یا  $Zr\%$  مانند ۱،۴۸٪.

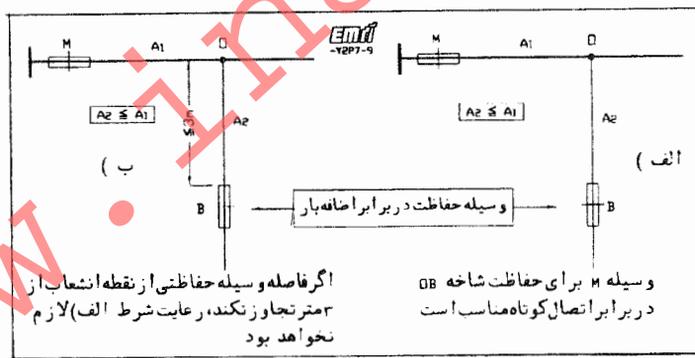
اینها فقط مشخصه هایی هستند که در بحث ما وارد خواهند شد. فرض بر این است که خواننده با خواص و مشخصه های ترانسفورماتورها آشنایی کلی دارد بنابراین در این باره بحث نخواهد شد.

ولتاژ امپدانس  $uk\%$  یا  $zk\%$ ، مشخص کننده امپدانس داخلی ترانسفورماتور است. درباره ولتاژ امپدانس در زیر بیشتر توضیح داده خواهد شد ولی قبل از آن یادآور می شود که ولتاژ امپدانس ( $uk\%$ ) همراه با ولتاژ مقاومت ( $Ur\%$ ) از مهمترین مشخصه های ترانسفورماتور و جزو مقادیر استاندارد هر ترانسفورماتور است. برای ترانسفورماتورهای توزیع

۳- محل تغییر ظرفیت کابل (جریان مجاز) به هر علت (کم شدن مقطع، جنس هادی، ساختار کابل). در این میان چند استثنا وجود دارد: وسیله ایجاد حفاظت در برابر اضافه بار می تواند در هر نقطه ای از طول مدار قرار گیرد به شرط آن که از محل تغییر مشخصه های مدار تا محل نصب وسیله حفاظتی، هیچ انشعاب یا پریز یا نقطه برداشت دیگری وجود نداشته باشد و یکی از دو شرط زیر نیز برقرار باشد:

الف) مدار طبق خواسته های پیرست ۴ از فصل ۶، در برابر اتصال کوتاه حفاظت شده باشد. (شکل ۱-۷۱۶ الف دیده شود).

ب) طول مدار از محل تغییر مشخصه های مدار تا محل نصب وسیله حفاظتی، از ۳ متر تجاوز نکند و مدار به نحوی نصب شده باشد که احتمال بروز اتصال کوتاه در این قسمت از مدار حداقل باشد و محل نصب وسیله حفاظتی در نزدیکی مواد محترقه نباشد. (شکل ۱-۷۱۶ ب دیده شود).



شکل ۱-۷۱۶ شرایط نصب وسیله حفاظتی در برابر اضافه بار در نقطه ای غیر از نقطه انشعاب

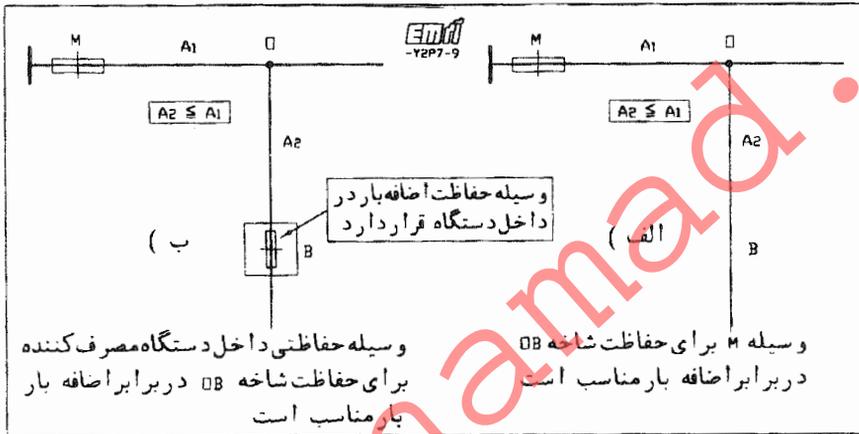
### ۷۱۶-۲- موارد حذف وسیله حفاظتی در برابر اضافه بار (برای سیستم IT، ۷۱۶-۳ دیده شود)

در موارد ذکر شده در زیر پیش بینی حفاظت در برابر اضافه بار لازم نخواهد بود. البته این به شرطی است که مقررات دیگری به دلایل مختلف مانند وجود خطر حریق، نصب این وسایل را الزامی نکند.

الف) وسیله حفاظتی نصب شده در طرف تغذیه به نحوی باشد که هادی انشعابی را در برابر اضافه بار حفاظت کند (شکل ۲-۷۱۶ الف) وسیله M برای حفاظت انشعاب O-B مناسب باشد)

ب) مدارهایی که احتمال بروز اضافه بار در آنها وجود ندارد ولی در برابر اتصال کوتاه حفاظت شده و دارای انشعاب یا پریز نباشند. (برای مثال بخاری برقی نصب ثابت جز در صورت بروز خرابی اضافه بار ندارد. مثال دیگر وجود وسیله حفاظتی در خود دستگاه است شکل ۲-۷۱۶ ب)).

ج) برای بعضی مدارها طبق مقررات خاص آنها مانند مدارهای مخابرات، کنترل، ارسال علامت و مانند آنها.



شکل ۲-۷۱۶ - حالتی برای عدم استفاده از حفاظت در برابر اضافه بار در مدار انشعابی

- مدارهای تغذیه کننده پریز یا موتور را باید با حفاظت اضافه بار در نظر گرفت اما در مورد آنها هم می توان استناد قائل شد:
- د) اگر مشخصه های تغذیه جریان را محدود کند (مانند تغذیه از طریق ترانسفورماتور با ابعاد نسبی زیاد)
- ه) اگر ساختار وسیله تغذیه شونده از مدار بروز اضافه بار را ناممکن سازد.
- در هر حال چنانچه مدار پریز از نوع بند د) در بالا نباشد باید حتماً در برابر اضافه بار حفاظت شود.

### ۲-۷۱۶-۳ - موارد حذف یا تغییر محل وسیله حفاظتی در برابر اضافه بار در سیستمهای IT

پیش بینیهای بندهای ۱-۷۱۶ و ۲-۷۱۶ برای تغییر محل یا حذف وسیله حفاظت در برابر اضافه بار در مورد سیستمهای IT مجاز نیست مگر مدارهایی که در برابر اضافه بار حفاظت نشده است، با وسیله جریان تفاضلی حفاظت شده باشد یا همه دستگاههای مورد استفاده مدار و ساختار خود مدار از نوع کلاس II باشد. (بند ۲-۶۲۲ - فصل ششم دیده شود.)

### ۲-۷۱۶-۴ - حذف وسیله حفاظتی در برابر اضافه بار با نیت جلوگیری از بی برق شدن مدار

در مواردی که قطع ناگهانی مدار ممکن است باعث بروز خطر شود، توصیه می شود از نصب حفاظت در برابر اضافه بار صرف نظر شود. از این مواردند:

- ۱- مدار تحریک ماشینهای گردان (سنکرون):

### ۷۱۷-۲- اثر دینامیکی جریان اتصال کوتاه

برای قضاوت درباره آثار مکانیکی احتمالی جریانهای اتصال کوتاه و کنترل حد ایستادگی تجهیزات برقی در برابر این جریانها، طبق شکل ۷۱۷-۲ لازم است حداکثر شدت جریان آبی یا (ip) بدست آید. محاسبه ip، در صورت معلوم بودن مشخصه های کامل مدار، باید طبق خواسته های استانداردهای ذکر شده در یادآوری ۲ از بند ۷۱۷-۱ کلیات اقدام نمود اما با توجه به رابطه کلی و با انتخاب ضریب  $X = 1.8$ ، حداکثر ممکن شدت جریان پیک ip را بدست آورد.

$$i_p = X \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (۷-۲)$$

شدت جریان ip که به این ترتیب به دست می آید حداکثر مقدار ممکن و لذا محافظه کارانه است. در بسیاری از موارد واقعی، اگر اطلاعات دقیقتری وجود داشته باشد، ضریب X کمتر از ۱.۸ خواهد بود.

### ۷۱۷-۳- اثر حرارتی جریان اتصال کوتاه

چنانکه بارها اشاره شده است دمای بیش از حد سبب انهدام عایقهای می شود. در این بین دو گونه حداکثر دمای مجاز برای عایقبندهای مختلف شناخته می شود: الف) حداکثر دمای مجاز طولانی مدت: این دمایی است که در زمان بهره برداری عادی، دمای کابل نباید از آن تجاوز کند. ب) حداکثر دمای مجاز کوتاه مدت: این دمایی است که در صورت بروز اتصال کوتاه، از لحظه شروع تا عمل وسیله حفاظتی، دمای کابل نباید از آن تجاوز کند. در جدول ۷-۱۰ حداکثر دمای مجاز طولانی مدت و حداکثر دمای مجاز کوتاه مدت نشان داده شده اند.

Emfi  
-Y2P7-11

جدول شماره ۷ - ۱۰ حداکثر دمای مجاز طولانی مدت و کوتاه مدت (\* عایقها)

ضریب k	حدمجاز دما		نوع عایقبندهی (هادی = مس)
	طولانی مدت °C	کوتاه مدت* °C	
۱۱۵	۱۶۰	۷۰	پلی وینیل کلراید (PVC)
۱۴۳	۲۵۰	۹۰	پلی اتیلن مستحکم (XLPE) و لاستیک (مخلوط) اتیلن - پروپیلن (EPR)

\* "کوتاه مدت" یعنی زمان اتصال کوتاه از ۵ ثانیه طولانی تر نشود. این دما، دمای حد است و نباید از آن تجاوز شود.

بیوست 7P2 و جدول شماره 7P2-1 را ببینید.

#### ۷۱۷-۴- مشخصه های اصلی وسایل حفاظت در برابر جریان اتصال کوتاه

وسایل حفاظت در برابر اتصال کوتاه از دو نظر مهم می باشد :

(۱) توانایی قطع : توانایی قطع وسیله حفاظتی در هر نقطه از سیستم ، باید برابر یا بیشتر از حداکثر جریان احتمالی اتصال کوتاه در آن نقطه باشد مگر آنکه در طرف تغذیه از وسیله حفاظتی اول (به سمت ترانسفورماتور یا ژنراتور از آن) وسیله حفاظتی دومی وجود داشته باشد که اتصال کوتاه را قبل از عمل وسیله حفاظتی اول ، قطع کند . به وسیله حفاظتی دوم، وسیله حفاظتی پشتیبان گویند . دو وسیله حفاظتی باید به نحوی هماهنگ شده باشند که در هنگام اتصالی ، انرژی عبوری از وسیله پشتیبان و قبل از قطع آن از مقدار انرژی عبوری که سبب انهدام وسیله اول خواهد شد ، بیشتر نباشد . هیچ یک از هادیهای مدار نیز نباید صدمه ببیند .

(۲) زمان قطع مجاز : اتصال کوتاه باید در زمانی قطع شود که دمای هادیهای مدار اتصالی از مقدار مجاز کوتاه مدت عایقبندی آن تجاوز نکند.

#### ۷۱۷-۵- نحوه محاسبه حداکثر زمان قطع مجاز وسایل حفاظت در برابر جریان اتصال کوتاه

در مورد زمانهای کوتاه مدت برقراری اتصال کوتاه (تا ۵ ثانیه)، IEC 364 زمانی را که شدت جریان مؤثر اتصال کوتاه دمای هادی را از حداکثر دمای مجاز طولانی مدت تا حداکثر دمای مجاز کوتاه مدت می رساند ، به ترتیب زیر محاسبه می نماید :

$$I^2.t = k^2 . S^2 \quad (۷-۴)$$

ملاحظه می شود که این رابطه اساساً همان رابطه بند ۷۱۷-۳ است و ضریب  $k$  باید از جدول ۷-۱۲ انتخاب شود.

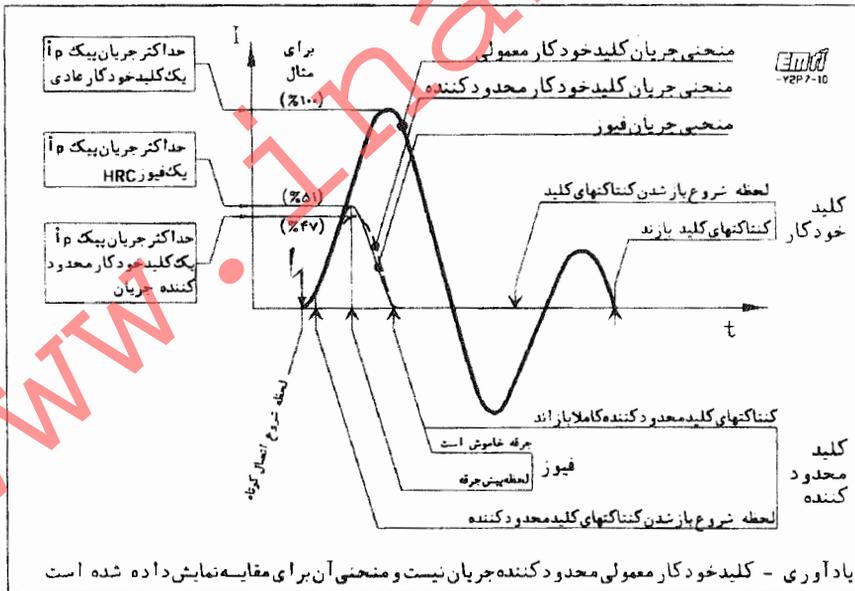


جدول شماره ۷ - ۱۲ ضریب  $k$  برای کابل چند رشته ای (هادی حفاظتی)

نوع عایقبندی			دماهای قبل از شروع و بعد از پایان اتصالی
BUTYL RUBBER لاستیک بوتیل	XLPE EPR	PVC	
۸۵°C	۹۰°C	۷۰°C	حداکثر دمای قبل از اتصالی
۲۲۰°C	۲۵۰°C	۱۶۰°C	حداکثر دمای مجاز نهایی
ضریب $k$			حس هادی
۱۳۴	۱۴۳	۱۱۵	م

## ۷۱۷-۶- وسایل محدودکننده توان اتصال کوتاه

اگر واکنش وسیله حفاظتی در برابر عبور جریانهای بسیار شدید به قدری سریع باشد که در ظرف مدتی کوتاهتر از یک ربع یک پیروید - قبل از آنکه شدت جریان احتمالی به حداکثر خود برسد- جریان را قطع و جرقه آن را خاموش کند. این نوع وسیله حفاظتی محدودکننده جریان نامیده می شود. بدیهی است که خواص محدودکنندگی یک وسیله محدودکننده جریان اتصال کوتاه، بستگی به شدت جریان احتمالی اتصال کوتاه دارد و اگر شدت جریان از حدی کوچکتر باشد این خاصیت اصلاً ظاهر نمی شود. شکل ۳-۷۱۷ اسیلوگرامهای فرضی یک اتصال کوتاه برای وسایل حفاظتی مختلف را نشان می دهد. وسایل حفاظتی موجود برای محدود کردن جریان در بازار عبارتند از: کلیدهای خودکار محدودکننده جریان (current limiting C Bs) و فیوزها.



شکل ۳-۷۱۷ اسیلوگرامهای قطع جریان یک اتصال کوتاه با کلید خودکار معمولی - کلید محدودکننده جریان - فیوز

## ۷۱۷-۷- اتصال کوتاه با زمان قطع بسیار کوتاه (> ۰,۰۱ ثانیه در ۵۰ هرتز) و حفاظت پشتیبان

اگر زمان قطع اتصال کوتاه کمتر از ۰,۰۱ ثانیه باشد، با توجه به رابطه ۷-۴ باید رابطه زیر برقرار باشد:

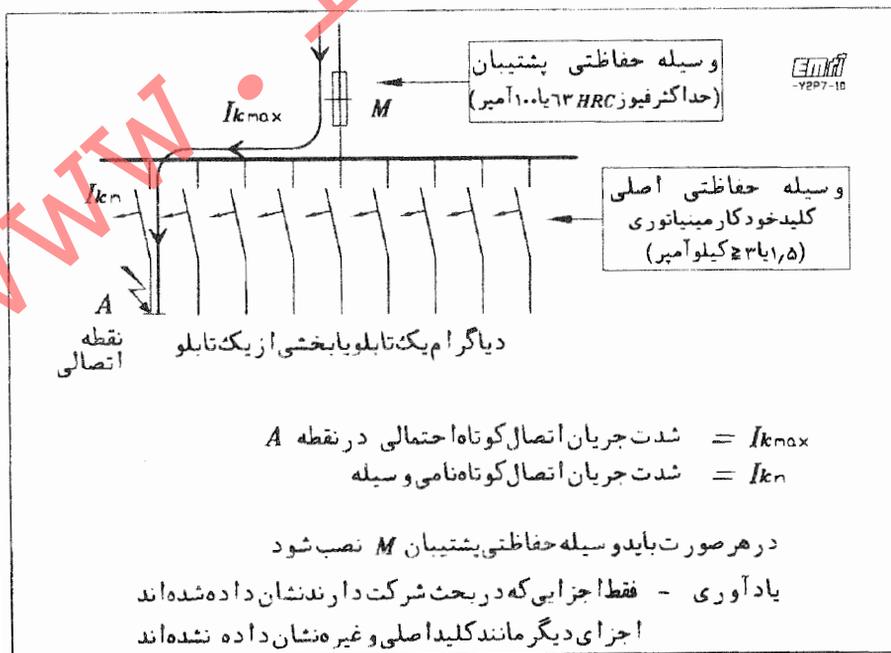
$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2 \quad (7-5)$$

در این رابطه  $I^2 \cdot t$  عددی است که سازنده وسیله حفاظتی محدودکننده جریان تعیین و اعلان می کند.

در بسیاری موارد برای حفاظت تجهیزات یک تأسیسات، مخصوصاً وسایل حفاظتی با واکنش نه چندان سریع کلیدهای خودکار عادی و مینیاتوری لازم است از وسایل محدودکننده جریان استفاده شود. این حفاظت در تأسیسات باید مخصوصاً در مورد کلیدهای خودکار مینیاتوری رعایت شود. کلیدهای خودکار مینیاتوری علاوه بر اینکه دارای واکنش سریع نیستند، توان قطع اتصال کوتاه آنها نیز کوچک است لذا در نقاطی از تأسیسات که توان یا جریان اتصال کوتاه احتمالی آنها بیشتر از توان قطع کلید است، باید برای آنها فیوز پشتیبان نصب شود. معمولاً برای آسودگی خاطر صرفنظر از محل نصب کلیدهای مینیاتوری، باید در طرف تغذیه از آنها فیوز پشتیبان وجود داشته باشد به نحوی که فیوز پشتیبان از مقادیر داده شده در زیر بزرگتر نباشد:

برای کلیدهای مینیاتوری با توان قطع  $1/5$  کیلوآمپر فیوز پشتیبان نباید از  $63$  آمپر HRC بزرگتر باشد و برای کلیدهای مینیاتوری با توان قطع  $3$  کیلوآمپر یا بیشتر فیوز پشتیبان نباید از  $100$  آمپر HRC بزرگتر باشد.

یادآوری - فیوزهای پشتیبان نباید الزاماً نزدیک به کلیدهای مورد حفاظت نصب شوند بلکه می توانند در هر نقطه ای از مدار مستقر باشند و علاوه بر وظیفه پشتیبانی، حفاظت اصلی مدار اصلی را به عهده داشته باشند.



شکل ۷۱۷-۴ مثالی برای نمایش نحوه استفاده از حفاظت پشتیبان

## ۷۱۷-۸- موارد حذف حفاظت در برابر اتصال کوتاه

برای موارد زیر به شرط رعایت نکاتی که متعاقباً گفته خواهد شد، حفاظت در برابر اتصال کوتاه لازم نمی باشد.

الف) مواردی که احتیاج به حفاظت ندارند:

۱- هادیهای که ژنراتورها، ترانسفورماتورها، یکسوکننده ها و باتریهای ذخیره را به تابلوهای مربوط به آنها وصل می کند. وسایل حفاظتی برای مدارهای خروجی، در این تابلوها نصب می شوند.

۲- مدارهایی که قطع آنها مشابه حفاظت در برابر اضافه بار، ممکن است برای تأسیسات، تولید خطر کند. (بند ۷۱۶-۴ را ببینید).

۳- برخی مدارهای وسایل اندازه گیری مانند ترانسفورماتورهای جریان.

ب) شرایطی که باید رعایت شوند:

۱- مدار به نوعی اجرا شود که احتمال بروز اتصال کوتاه را به حداقل برساند مانند استفاده از عایق بندی قویتر در برابر آثار محیط

۲- مدار از کنار مواد قابل احتراق عبور داده نشود.

## ۷۱۸- حفاظت هادیهای فاز در برابر اضافه جریان

هر یک از فازها باید مجهز به وسیله کشف و قطع اضافه جریان باشد اما جز در مواردی که در زیر گفته شده

است، لزومی به قطع فازهای سالم نخواهد بود:

۱- اگر قطع تنها یک فاز موجب بروز خطر کند مانند موتورهای سه فاز

۲- در سیستمهای TT

برای مدارهایی که از دو فاز تغذیه می کنند و هادی خنثا در آنها توزیع نشده است، نصب وسیله کشف و قطع اضافه جریان در هر دو فاز، الزامی نخواهد بود به شرطی که هر دو مورد زیر برقرار باشد:

الف) در همان مدار یا در طرف تغذیه از آن مدار، یک وسیله جریان تقاضلی وجود داشته باشد که تمام فازها را قطع کند.

ب) اگر در طرف مصرف از وسیله جریان تقاضلی گفته شده در بالا خنثای مصنوعی تشکیل شده باشد، هادی خنثا توزیع نشود.

## ۷۱۹- حفاظت هادی ختا

۷۱۹-۰- پیشفشار

یادآوری می کند که در سیستمهای TN بدترین اتفاق قطع هادی ختا می باشد. از محل قطع هادی ختا به طرف مصرف، ولتاژ هادی ختا مواج خواهد بود و لذا ولتاژهای بین هر یک از فازها و هادی ختایی که از منبع قطع شده است، در حال تغییر بوده و بستگی به مصرف آنی هر فاز خواهد داشت. این اتفاق علاوه بر اشکالاتی که از نظر ایمنی بوجود می آورد، سوختن لوازم برقی را در پی خواهد داشت. بنابراین علاوه بر مطالبی که در اینجا گفته می شود نباید فراموش کرد که هادی ختا را نباید تحت هیچ شرایطی قبل از هادیهای فاز قطع کرد و قبل از وصل مجدد هادیهای فاز، اول باید هادی ختا وصل شود.

در مورد قطع هادی ختا و اتفاقات مربوط به آن، به پیوست هفتم (6P7) از فصل ششم مراجعه کنید.

## ۷۱۹-۱- حفاظت هادی ختا در سیستمهای TN و TT

### ۷۱۹-۱-۱- حفاظت هادی ختا اگر سطح مقطع آن برابر یا معادل سطح مقطع فاز باشد

اگر سطح مقطع ختا برابر یا معادل سطح مقطع فاز باشد لزومی به پیش بینی وسیله کشف اضافه جریان یا وسیله قطع آن نخواهد بود.

### ۷۱۹-۱-۲- حفاظت هادی ختا اگر سطح مقطع آن کوچکتر از سطح مقطع فاز باشد

اگر سطح مقطع ختا کوچکتر از سطح مقطع فاز باشد، لازم است وسیله کشف اضافه جریان در هادی ختا پیش بینی شود. این وسیله باید سبب قطع فازها شود ولی لزومی برای قطع هادی ختا نخواهد بود. علاوه بر این در موارد زیر پیش بینی وسیله کشف اضافه جریان در هادی ختا لازم نخواهد بود:

الف) اگر حفاظت در برابر اتصال کوتاه که برای هادیهای فاز پیش بینی شده است، برای حفاظت هادی ختا نیز کافی باشد، و

ب) اگر حداکثر جریانی که ممکن است در کار عادی از هادی ختا عبور کند، به طور مشخص از ظرفیت مجاز آن کمتر باشد.

شرط اخیر هنگامی انجام شده به حساب می آید که بار فازهای سیستم تا جایی که ممکن است با هم برابر باشند و به عبارت دیگر مصرف هر یک از فازها خیلی کمتر از مصرف سه فاز با هم باشد (در نهایت، یک سوم بار کل).

برای حداقل سطح مقطع هادیها پیوست 7P4 را ببینید.

## ۷۱۹-۲- حفاظت هادی ختنا در سیستم IT

در سیستمهای IT قویاً توصیه می شود هادی ختنا توزیع نشود. بند ۶۲۱-۵-۷ از فصل ششم دیده شود. اما اگر به هر دلیل هادی ختنا توزیع شده باشد، عموماً لازم خواهد بود برای هادی ختای هر یک از مدارها وسیله کشف اضافه جریان پیش بینی شود که سبب قطع همه هادیهای فاز و هادی ختای گردد در صورتی که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد. لزومی به انجام کارهای بالا نخواهد بود:

الف) هادی ختای مدار مورد بحث در برابر اتصال کوتاه که در طرف تغذیه نصب می شود طبق مقررات این فصل حفاظت شده باشد،

ب) مدار مورد نظر به کمک یک وسیله جریان نفاذی که جریان اسمی عمل آن از ۰.۱۵ برابر جریان مجاز هادی ختنا بیشتر نباشد. حفاظت شده باشد. وسیله مورد بحث باید همه هادیهای فاز و هادی ختای مدار را قطع کند.

## ۷۱۹-۳- قطع و وصل هادی ختنا

در مواردی که قطع هادی ختنا لازم باشد، این عمل باید به نحوی انجام شود که هادی ختنا قبل از هادیهای فاز قطع نشود و هنگام وصل شدن قبل از هادیهای فاز یا همزمان با آنها وصل شود.

## ۷۲۰- هماهنگی حفاظتهای اضافه بار و اتصال کوتاه

### ۷۲۰-۱- حفاظت در برابر اضافه بار و اتصال کوتاه با استفاده از یک وسیله

در مواردی که یک وسیله حفاظتی اضافه بار با خواسته های مدار مطابقت نموده و حفاظت لازم در برابر اضافه بار ایجاد نماید و در عین حال جریان اتصال کوتاه احتمالی در محل نصب وسیله از توانایی قطع آن بیشتر نباشد، از همان وسیله می توان برای حفاظت اتصال کوتاه نیز استفاده کرد.

در بعضی موارد ممکن است هماهنگی مورد لزوم برای تمامی طیف اتصال کوتاه صادق نباشد. برای اطمینان خاطر مفاد بندهای ۷۱۷-۴ و ۷۱۷-۵ را ملاحظه کنید.

### ۷۲۰-۲- حفاظت در برابر اضافه بار و اتصال کوتاه با استفاده وسایل مجزا

خواستههای ذکر شده در بندهای ۷۱۷-۴ و ۷۱۷-۵ برای اضافه بار و اتصال کوتاه بایستی رعایت شوند. وسایل حفاظتی باید به نحوی انتخاب شوند که انرژی خروجی از وسیله حفاظت در برابر اتصال کوتاه از توان ایستادگی وسیله حفاظت در برابر اضافه بار بیشتر نباشد.

## ۷۲۱- محدود شدن جریانهای اضافه بار و اتصال کوتاه به علت مشخصه های مدار

در مواردی که منبع تغذیه به نوعی است که قادر به تولید جریانی بیش از جریان مجاز مدار نباشد، مدار در برابر اضافه بار و اتصال کوتاه حفاظت شده به حساب می آید. مانند برخی ترانسفورماتورهای زنگ اخبار، جوشکاری و نظایر اینها .

www.inamad.ir



خواسته فوق هنگامی برآورده شده به حساب می آید که شرایط ذکر شده در متون و جدولهای بعدی رعایت شده و مطابق راهنماییها و دستورات آنها عمل شود.



### جدول شماره 7P2-1 حداکثر دمای مجاز در از مدت عایقها

حدمجاز دما °C	نوع عایقبندی (هادی - مس)
۷۰ برای هادی	پلی وینیل کلراید (PVC)
۹۰ برای هادی	پلی اتیلن مستحکم (XLPE) و لاستیک (مخلوط) اتیلن - پروپیلن (EPR)
۷۰ برای غلاف مسی	معدنی (با غلاف PVC یا لغت و در معرض تماس دست)
۱۰۵* برای غلاف مسی	معدنی (با غلاف PVC) یا لغت و در معرض تماس دست)

\* برای کابل‌های با عایقبندی معدنی دماهای مداوم عملیاتی بالاتری مجاز می‌باشند که بستگی به نوع کابل از نظر دمای مجاز، سرکابل‌ها، شرایط محلی و دیگر آثار خارجی دارند.

هر رشته از کابل‌های چندرشته ای با مقطعی بیش از ۲۵ میلیمتر مربع، به دو شکل یکی گرد و دیگری فرم دار (قطاعی) ساخته می‌شوند. اما مقادیر ذکر شده در جدولها از روی کابل‌های قطاعی بدست آمده اند.

### 7P2-1-2- دمای محیط

دمای محیط، دمای است که قبل از عبور جریان از هادیها یا کابلها در محیط نصب آنها وجود دارد.

جدولهای جریان مجاز هادیها و کابلها، برای محیطهای با دمای زیر تهیه شده اند:

- اگر مدار در هوا قرار گرفته باشد، بدون توجه به نحوه نصب آن: ۳۰ درجه سلسیوس؛

- اگر مدار در خاک دفن شده باشد:

برای هر دو مورد یعنی دفن مستقیم یا عبور از مجرای (لوله) دفن شده: ۲۰ درجه سلسیوس

جدول ۸-۱ حداکثر مجاز افت ولتاژ در مدارهای توزیع ترانسفورماتورهای اختصاصی و مدارهای تاسیسات

افت ولتاژ مجاز به درصد	نوع مدار	نوع مصرف یا تجهیزات وصل شده
۵	توزیع (مدارهای اصلی) (D)	تابلوی توزیع (DB)
۳	تاسیسات (مدارهای نهایی) (F)	روشنایی (E)
۵		تجهیزات (E)

ENTEL  
-۲۲P88-3

### ۸-۲- تغییر مشخصه های مدار در افت ولتاژ

در محاسبه افت ولتاژ باید عوامل مختلفی در نظر گرفته شوند تا نتیجه دقیقتری بدست آید، مانند:

۱- نوع مدار (ساختار کابل یا هادی عایقدار یا هادی هوایی یا هر وسیله انتقال دیگر):

۲- شدت جریان (I<sub>B</sub>) یا توان بار انتقالی:

۳- طول مدار:

۴- مقاومت هادی (جنس هادی، دما و ساختار کابل). (برای توضیحات بیشتر بخش ۸-۴ را ببینید):

۵- رآکتانس هادی (ساختار هادی):

۶- ضریب توان بار.

بدیهی است برای مدارهای جریان مستقیم، بعضی از مطالب گفته شده مصداق ندارد.

از بین موارد ذکر شده به دو مورد باید توجه مخصوص شود: مقاومت هادی و رآکتانس هادی.

مقاومت هادی - جنس هادی و دما در مقاومت آن تأثیری زیاد دارد بنابراین در محاسبات، این عوامل باید در نظر گرفته

شوند. نباید فراموش شود که مقاومت هادی با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد.

رآکتانس هادی - بستگی به ساختار هادی (کابل) دارد و نسبت به دما حساس نیست ولی نسبت به سطح مقطع تغییراتی

جزئی دارد.

خلاصه اینکه در محاسبات افت ولتاژ دمای مدار باید در گرمترین وضعیت آن به حساب آورده شود. با توجه به مطالب

بالا، مقاومت در مدارهای با مقطع کوچک مهم است (مقاومت بالا است) اما رآکتانس (در مقایسه با مقاومت) فاقد اهمیت

می باشد در حالی که هر چه سطح مقطع بزرگتر شود اهمیت مقاومت کم شده و بر اهمیت امپدانس افزوده می گردد. در

جدول ۳-۸ روابط مربوط به محاسبه افت ولتاژ در مدارهای جریان متناوب سه فاز (متادل) و تکفاز را با مقطع هادی کوچک (۱۶ میلیمتر مربع یا کوچکتر) و بدون احتساب راکتانس، نشان می دهد.

جدول ۳-۸ رابطه های محاسبه افت ولتاژ در جریان متناوب فشار ضعیف بدون احتساب راکتانس (فقط برای مقاطع ۱۶ میلیمتر مربع یا کوچکتر مجاز است)

نحوه محاسبه و نتیجه حاصل		نوع مدار	
$\Delta U = \sqrt{3} I.L.R_1.Cos \varphi . 10^{-3}$	V ولت	بر اساس شدت جریان	3 $\phi$
$\Delta u = \frac{\sqrt{3} I.L.R_1.Cos \varphi . 10^{-1}}{U}$	% درصد	I (آمپر)	
$\Delta U = \frac{P.L.R_1}{U}$	V ولت	بر اساس توان	
$\Delta u = \frac{P.L.R_1.100}{U^2} = \frac{P.L.10^{-6}}{A.U^2}$	% درصد	P (کیلووات)	
$\Delta U = 2.I.L.R_1.Cos \varphi . 10^{-3}$	V ولت	بر اساس شدت جریان	1 $\phi$ (DC)
$\Delta u = \frac{2.I.L.R_1.Cos \varphi . 10^{-1}}{U_0}$	% درصد	I (آمپر)	
$\Delta U = \frac{2.P.L.R_1}{U_0}$	V ولت	بر اساس توان	
$\Delta u = \frac{2.P.L.R_1.100}{U_0^2} = \frac{2.P.L.10^{-6}}{A.U_0^2}$	% درصد	P (کیلووات)	

یادآوری - برای مقاطع کوچک اگر ضریب توان ( $cos \varphi$ ) مشخص نباشد، می توان آن را برابر واحد انتخاب کرد (البته نتیجه محاسبه خیلی تقریبی خواهد بود) از رابطه های یکفاز با انتخاب  $cos \varphi = 1$  برای جریان مستقیم استفاده می کنند.

#### ۸-۴ - مطالبی درباره مقاومت

در کابلی که حامل جریان متناوب است، تنها نوع هادی و دما نیستند که مقاومت آنرا تعیین می کنند. عبور جریان متناوب از هادی، سبب متراکم شدن جریان در نزدیکی سطح هادی شده و میدان مغناطیسی متناوبی که در اطراف آن بوجود می آید، پدیده هایی را به همراه دارد که در اثر آنها مقداری از انرژی الکتریکی، هر چند اندک، تلف می شود که در مدار، به صورت مقاومت ظاهر می شود. بطور خلاصه و برای یادآوری این پدیده ها عبارتند از:

الف - پدیده های اثر پوست و مجاورت:

ب - شدت جریانهای القایی و سرگردان در غلاف فلزی و جریانهای سرگردان در زره .

به طور کلی یک کابل با ساختار مشخص در شرایط مساوی مقاومت بیشتری را در برابر جریان متناوب نسبت به جریان مستقیم ایجاد می کند . نتیجه اینکه برای مقاومت کابلها دو مؤلفه منظور می گردد :

۱) مقاومت در برابر عبور جریان مستقیم :

۲) اضافه مقاومت نسبت به جریان مستقیم در برابر عبور جریان متناوب .

بدیهی است که در محاسبات مربوط به مدارهای جریان مستقیم تنها از مقاومت در برابر جریان مستقیم استفاده می شود و برای جریان متناوب ، مجموعه دو مؤلفه به کار برده می شود .

در جدول ۸-۴ ، برای انواع کابلهای پلاستیکی متداول و مقاطع مختلف ، مقاومت در برابر جریان مستقیم در ۷۰ درجه سلسیوس ، مقاومت کل برای جریان متناوب و راکتانس ارائه شده اند . جدول برای کابلها ساخته شده طبق استانداردهای آلمان که در ایران هم آشنا می باشند، تهیه شده است .

جدول ۸-۴ مقاومت در برابر جریان مستقیم - جریان متناوب و راکتانس کابلهای پلاستیکی NYY-NYCY-NYCWY و هادی عایق دار تا ۳۵ میلیمتر مربع (هادی-مس)

راکتانس Y2PB-4	مقاومت مؤثر (DC+ اضافه مقاومت متناوب) در دمای ۷۰°C	مقاومت جریان مستقیم (DC) در دمای ۷۰°C	تعداد رشته x سطح مقطع نامی هادی
$\Omega / km$	$\Omega / km$	$\Omega / km$	$mm^2$
۰٫۱۱۵	۱۴٫۴۷	۱۴٫۴۷	۴x۱٫۵ re
۰٫۱۱۰	۸٫۷۱	۸٫۷۱	۴x۲٫۵ re
۰٫۱۰۷	۵٫۴۵	۵٫۴۵	۴x۴ re
۰٫۱۰۰	۳٫۶۲	۳٫۶۲	۴x۶ re
۰٫۰۹۴	۲٫۱۶	۲٫۱۶	۴x۱۰ re
۰٫۰۹۰	۱٫۳۶	۱٫۳۶	۴x۱۶ re
۰٫۰۸۶	۰٫۸۶۳	۰٫۸۶۳	۴x۲۵ re
۰٫۰۸۳	۰٫۶۲۷	۰٫۶۲۷	۴x۳۵ sm
۰٫۰۸۳	۰٫۴۶۳	۰٫۴۶۳	۴x۵۰ sm
۰٫۰۸۲	۰٫۳۲۱	۰٫۳۲۱	۴x۷۰ sm
۰٫۰۸۲	۰٫۲۳۲	۰٫۲۳۱	۴x۹۵ sm
۰٫۰۸۰	۰٫۱۸۴	۰٫۱۸۳	۴x۱۲۰ sm
۰٫۰۸۰	۰٫۱۵۰	۰٫۱۴۹	۴x۱۵۰ sm
۰٫۰۸۰	۰٫۱۲۰۲	۰٫۱۱۸	۴x۱۸۵ sm
۰٫۰۷۹	۰٫۰۹۲۲	۰٫۰۹۰۱	۴x۲۴۰ sm
۰٫۰۷۹	۰٫۰۷۴۵	۰٫۰۷۱۸	۴x۳۰۰ sm

مقادیر جدول را می توان با دقت کافی برای کابلهای ۲ و ۳ رشته ای از همان نوع به کار برد  
 re = تک مفتولی      sm = قطاعی چندمفتولی

# مجموعه کتاب های تالیفی مهندس مرتضی رضایی

جلد دوم

**آزمون کارشناسان رسمی مهندسی برق  
تاسیسات ساختمان  
(مجموعه سوالات)**

قابل استفاده جهت رتبه بندی و تکلیف

مهندس مرتضی رضایی  
نسخه مهر آور

مهندس مرتضی رضایی

**خلاصه روش های حل سریع مسائل  
در آزمون نظام مهندسی  
برق**

قابل استفاده مهندسان و دار طلبان آزمون نظام مهندسی برق  
نظام کاردان فنی و آزمون کارشناسی رسمی مهندسی برق

- ✓ پر استخالات ترین کتاب آمادگی آزمون نظام مهندسی برق
- ✓ تطبیق با سنگ جدید سوالات چند دوره اخیر آزمون نظام مهندسی برق
- ✓ بر اساس آخرین ویرایش مباحث و سرفصل های شورای انجمن مقررات ملی ساختمان
- ✓ خلاصه نکات کلیدی منابع آزمون های نظام مهندسی تاسیسات برقی
- ✓ تکنیک های شناخت مساله و ارائه روش حل ابتکاری و خنثی سریع
- ✓ رایج ترین سوالات تست های پر تکرار مسائلی اخیر

مهندس مرتضی رضایی

www.inamad.ir

**حل طلایی مجموعه سوالات آزمون  
نظام مهندسی برق**

**حل متفاوت، سریع و خنثی مجموعه سوالات آزمون دوره**

- ✓ حل سوالات طبق کتاب خلاصه روش های حل سریع مسائل آزمون نظام مهندسی برق
- ✓ بر اساس آخرین ویرایش مباحث و سرفصل های شورای انجمن مقررات ملی ساختمان
- ✓ تکنیک های شناخت مساله و ارائه روش حل ابتکاری و خنثی سریع
- ✓ همراه با حل تشریحی سوالات آزمون آزمایشی حضوری ای نماد

مهندس مرتضی رضایی

**کلیدزبان طلایی آزمون نظام مهندسی  
برق**

**شامل همه نکات کلیدی و آزمون نظام مهندسی تاسیسات برق**

- ✓ کاملترین کلیدزبان آزمون نظام مهندسی تاسیسات برق
- ✓ بر اساس آخرین ویرایش مباحث مقررات ملی ساختمان
- ✓ شامل کلیدزبان تشریحی « ۱ » جلد یک و دو
- ✓ شامل کلیدزبان راهنمای مباحث ۱۳ طرح واحد ای تاسیسات برقی ساختمان
- ✓ شامل کلیدزبان تمام مباحث و سرفصل های آزمون نظام مهندسی برق
- ✓ روشی صحیح تست زنی و آموزش استفاده از کلیدزبان

مهندس مرتضی رضایی

سفارش اینترنتی وارسال رایگان به سراسر ایران

www.inamad.ir



این کتاب صرف امور خیر خواهد شد، هرگونه کپی برداری و عرضه غیر مجاز یا سوء استفاده از مطالب این کتاب شرعا حرام و اخلاقا مصداق دزدی آشکار و تضییع حقوق مولف می باشد.

