

تاثيرات فيزيولوژيكي

الكتريسيته

بر بدن انسان



برق‌گرفتگی در اثر عبور جریان از بدن رخ می‌دهد هرچند در باور رایج، ولتاژ را عامل برق‌گرفتگی می‌دانند. هر مهندس برق می‌داند که صحبت درباره جریان، مستقل از ولتاژ بی‌معنا است و رابطه میان این دو با استفاده از قانون اهم $V=I.R$ تعیین می‌شود.

همانطور که می‌دانیم جریان الکتریکی از طریق یک ماده هدایت می‌شود و هرگونه مخالفت با آن جریان برق (مقاومت)، منجر به اتلاف انرژی می‌شود، که معمولاً به صورت **گرما** خود را نشان می‌دهد. این اساسی‌ترین و ساده‌ترین تاثیر الکتریسته بر روی بافت زنده می‌باشد یعنی جریان آنرا گرم می‌کند. اگر مقدار گرمای تولید شده به میزان کافی باشد باعث سوختن بافت زنده می‌شود.



اثر فیزیولوژیکی الکتریسیته مثل آسیب ناشی از شعله
آتش یا دیگر منابع گرما با درجه حرارت بالا است، به
علاوه برق نه تنها قادر به سوختن بافت زیر پوست می باشد
بلکه توانایی سوختن اندام های داخلی را نیز دارد

یکی دیگر از اثرات جریان روی بدن که به مراتب خطرناک‌تر از سوختن است، تاثیر آن روی سیستم عصبی بدن می‌باشد. منظور از "سیستم عصبی"، شبکه سلول‌های خاصی در بدن است به نام "سلول‌های عصبی" یا "نورون‌ها"، که وظیفه پردازش و فرستادن پیام‌های عصبی کنترل کننده اعضای انسان را بر عهده دارند. مغز، نخاع، اندام‌های حسی / حرکتی در بدن با هم کار می‌کنند تا انسان حس کند، حرکت نماید، پاسخ دهد، فکر کند و یادآوری نماید.

سلول‌های عصبی به وسیله "transducers" (مبدل‌ها) و ایجاد سیگنال‌های الکتریکی (ولتاژ و جریان‌های بسیار کوچک) در پاسخ به ورودی ترکیبات شیمیایی خاصی به نام انتقال دهنده‌های عصبی با هم ارتباط برقرار می‌کنند و هنگامی که از طریق سیگنال‌های الکتریکی تحریک می‌شوند، نوروترانسمیترها آزاد می‌شوند.

اگر جریان الکتریکی به اندازه کافی بزرگ باشد و از طریق یک موجود زنده (انسان یا غیره) هدایت شود، اثر آن بر خلاف سیگنال‌های الکتریکی کوچکی است که به طور معمول توسط نورون‌ها تولید می‌شود، در نتیجه کارکرد سیستم عصبی را مختل می‌کند و مانع از هرگونه ارسال سیگنال برگشتی خواسته و ناخواسته می‌شود که بتواند عضلات را فعال نماید. عضلات بوسیله شوک الکتریکی به طور غیر ارادی عمل می‌نمایند و فرد قربانی نمی‌تواند هیچ کاری را انجام دهد.

این مشکل به ویژه وقتی که فرد قربانی با **دست‌های خود هادی حامل جریان برق را لمس می‌نماید** بسیار خطرناک‌تر است. عضلاتی از ساعد که مسئول خم کردن انگشتان دست می‌باشند، قوی‌تر از عضلات مسئول باز نمودن انگشتان دست هستند و بنابراین اگر هر دو عضله در معرض جریان برقی که از بازو عبور می‌کند قرار گیرند، عضلات خم کردن که قوی‌تر می‌باشند برنده شده و انگشتان دست را، جمع نموده و به حالت مشت در می‌آورد.

اگر هادی‌ای که باعث عبور جریان برق از بدن قربانی شده به وسیله کف دست شخص گرفته شده باشد، این حالت باعث قفل شدن دست قربانی به سیم شده و وضعیت را بدتر و وخیم‌تر می‌نماید و قربانی توانایی رها کردن سیم برق را نخواهد داشت. از لحاظ پزشکی به این وضعیت انقباض غیر ارادی عضلانی "تشنج" گفته می‌شود. کسانی که با الکتریسیته سروکار دارند قربانی این نوع شوک الکتریکی را "فلج شده‌ی جریان برق" می‌نامند.

شوک منجر به تشنج را تنها به وسیله قطع جریان برق از قربانی می‌توان متوقف کرد.

جریان الکتریکی در یک شوک، نه تنها روی عضلات اسکلتی تاثیر می‌گذارد بلکه روی عضله دیاфраگم ریه‌ها هم اثر می‌گذارد و **قلب** (که خود عضله‌ای است) با جریان الکتریکی در حالت "فلج" قرار می‌گیرد. حتی جریان‌هایی که دامنه‌ی کمی دارند برای ایجاد اغتشاش در عملکرد سلول‌های عصبی کافی بوده و اغلب می‌توانند سیگنال‌های سلول عصبی را به اندازه کافی منحرف نمایند و قلب نمی‌تواند به طور صحیح ضربان نموده و به حالت "**فیبریلاسیون**" می‌رود.

در فیبریلاسیون، قلب به جای ضربان منظم و بمباز خون به ارگان‌های حیاتی بدن لرزش‌هایی بی‌فایده را تولید می‌کند. **در هر صورت، مرگ و میر ناشی از خفگی یا ایست قلبی به علت عبور جریان الکتریکی (در صورت وقوع) بسیار محتمل است.** در این حالت، کادر پزشکی از یک ابزار آهنی استفاده می‌نمایند که داخل آن جرقه قوی جریان الکتریسیته در سراسر قفسه سینه قربانی وارد نموده تا قلب دچار فیبریلاسیون مجدد "شروع به ضربان" طبیعی و نرمال نماید.

عوامل موثر در برق گرفتگی

مهم ترین عواملی که در ایجاد برق گرفتگی نقش دارند، به قرار زیر است:

۱- حداقل ولتاژ برق گرفتگی

به طور کلی مقدار اختلاف پتانسیلی که بدن یک فرد می تواند بدون هیچ عارضه ای تحمل کند بستگی به نوع جریان و زمان دارد. به طور کلی حد آستانه تحمل افراد نسبت به جریان های متناوب، کم تر از جریان برق مستقیم است.

بر اساس استاندارد کشور انگلستان **حداکثر ولتاژ مجاز تماس در فرکانس ۵۰ هرتز برای جریان برق متناوب، ۵۰ ولت و در استاندارد آلمان ۶۵ ولت است** و هر دو نوع استاندارد یاد شده برای **جریان مستقیم ولتاژ ۱۲۰ ولت** را پیشنهاد کرده اند. لازم به ذکر است برای جانوران در برق متناوب ۲۵ ولت و مستقیم ۶۰ ولت است.

۲- حداکثر شدت جریان مجاز برای بدن انسان

استانداردهای متفاوت برای جریان متناوب و مستقیم فرکانس های مختلف شدت جریان های مختلفی را به عنوان حدود مجاز تعریف کرده اند و بر اساس استاندارد کمیسیون بین المللی برق، **حد بی خطر شدت جریان برای انسان ۱۰ میلی آمپر و حدی که باعث مرگ می شود ۲۵ میلی آمپر برای جریان برق متناوب است.**

حد کشنده برای جریان مستقیم ۵۰ میلی آمپر تعریف شده است. ولی حساسیت اندام های مختلف متفاوت است شبکه چشم، زبان و پوست بیش ترین تأثیر در برابر شدت جریان را دارد.

۳- مقاومت بدن

نتیجه هایی که از مطالعات مربوط به برق گرفتگی بدست آمده . مبتنی بر آزمایشهایی است که بر روی حیوانات، اجساد و در بعضی موارد نادر، انسان زنده به عمل آمده است . این نتایج به قدری محافظه کارانه است که در مورد کودکان، بدون توجه به سن آنها، قابل استفاده است . عبور جریان برق از بدن انسان است که سبب برق گرفتگی می شود اما باز هم اشخاصی پیدا می شوند که ولتاژ را مقصر در ایجاد برق زدگی می دانند. آنهایی که با برق سر و کار دارند، می دانند که صحبت درباره جریان مستقل از ولتاژ بی معنا است و رابطه بین این دو ناگسستگی و بسیار ساده است : $U=IZ$

در هر صورت هنگام بحث درباره برق زدگی ، کار کردن با نتیجه گیری بر مبنای شدت جریان ساده تر و قابل فهم تر است اما این نتایج در کاربردهای عملی قابل استفاده نیستند . البته با توجه به رابطه بالا ظاهراً تبدیل جریان به ولتاژ و برعکس بسیار ساده است اما در این رابطه Z که نماینده امپدانس بدن انسان است از یک طرف عددی است آماری و از طرف دیگر مقدار ثابتی ندارد.

مقاومت پوست بدن را می توان به صورت **تعداد بیشماری مقاومت و خازن موازی** تصور نمود . ساختار آن متشکل از لایه ای نیم هادی و المانهای کوچک هادی است. از مشخصه های امپدانس پوست این است که با زیاد کردن جریان عبوری از بدن، از مقدار مقاومت کاسته می شود. اصولا امپدانس پوست بدن به موارد زیر بستگی دارد:

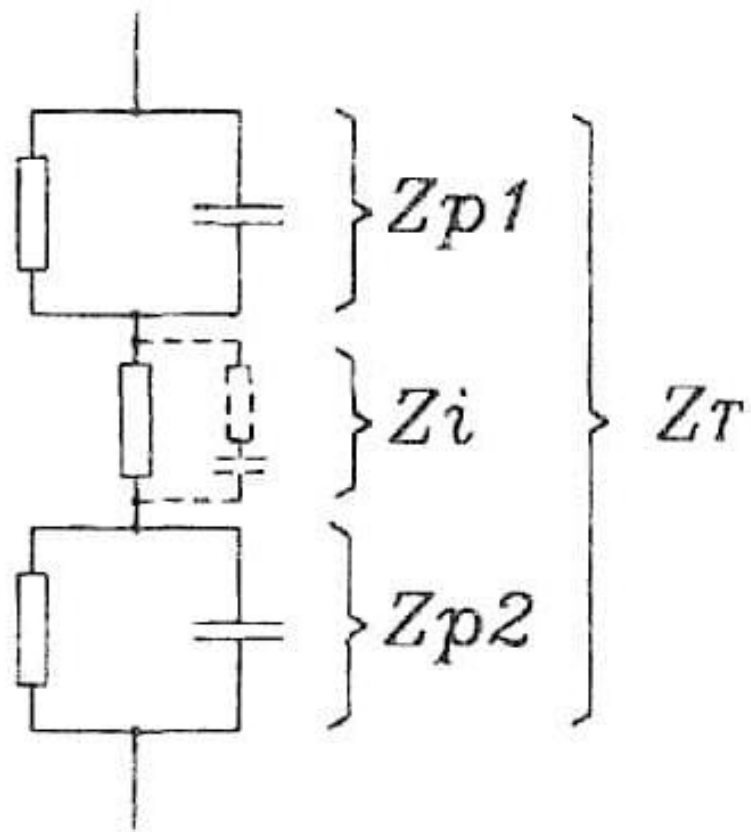
- | | | | |
|---------------|-------------------|----------------------|--------------|
| ۱-ولتاژ | ۲-فرکانس | ۳-زمان برقراری جریان | ۴-سطح کنتاکت |
| ۵-فشار کنتاکت | ۶-درجه رطوبت پوست | ۷-دما | |

برای ولتاژهای تا ۵۰ ولت، امپدانس پوست حتی در مورد یک فرد معین. بستگی زیادی به سطح کنتاکتهای تماس، دما و تنفس دارد.

برای ولتاژهای بالاتر، بین ۵۰ تا ۱۰۰ ولت، امپدانس پوست به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافته و در صورت پاره شدن آن تقریبا برابر صفر می شود.

اثر فرکانس بر امپدانس پوست به نحوی است که با زیاد شدن فرکانس، از مقدار امپدانس کاسته می شود.

مدل الکتریکی بدن انسان



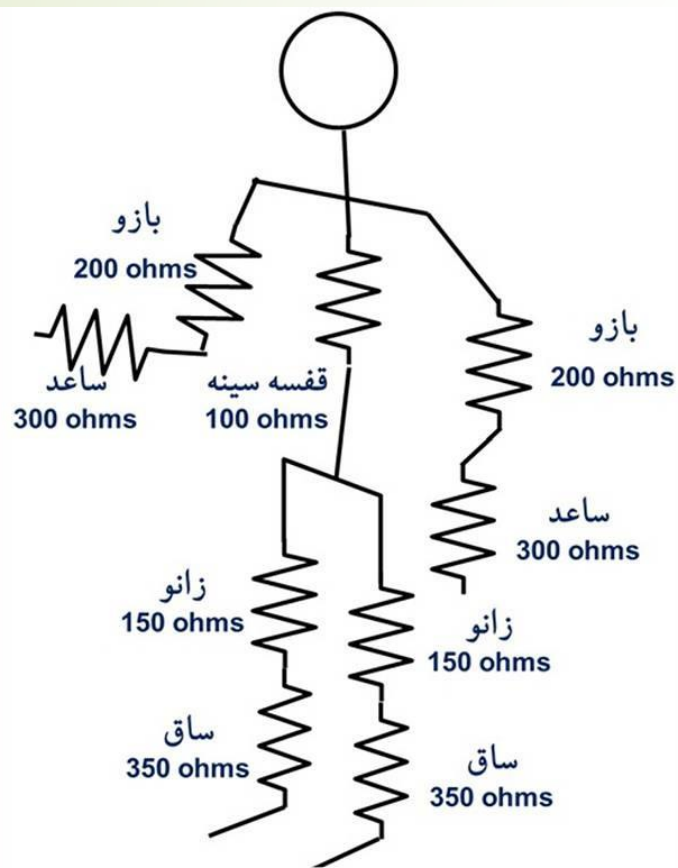
$$\begin{aligned} \text{امپدانس پوست بدن} &= Z_{p2}, Z_{p1} \\ \text{امپدانس داخلی بدن} &= Z_i \\ \text{امپدانس کل بدن} &= Z_T \end{aligned}$$

مولفه امپدانس داخلی بدن انسان بزرگتر از مولفه خازنی آن است و به همین سبب می توان آن را مقاومت دانست. با وجود این، برای کامل بودن موضوع در شکل مدار واقعی امپدانس داخلی بدن به صورت خط چین نشان داده شده.

مقدار مقاومت داخلی بدن تا حد زیادی بستگی به مسیر عبور جریان در بدن (دست به دست، دست به پا و غیره) و تا حد کمی بستگی به سطح کنتاکت های تماس دارد با این توضیح که اگر سطح تماس کنتاکت بسیار کوچک (در حد چند میلیمتر مربع) باشد مقاومت داخلی بدن مقدار بیشتری را به خود می گیرد.

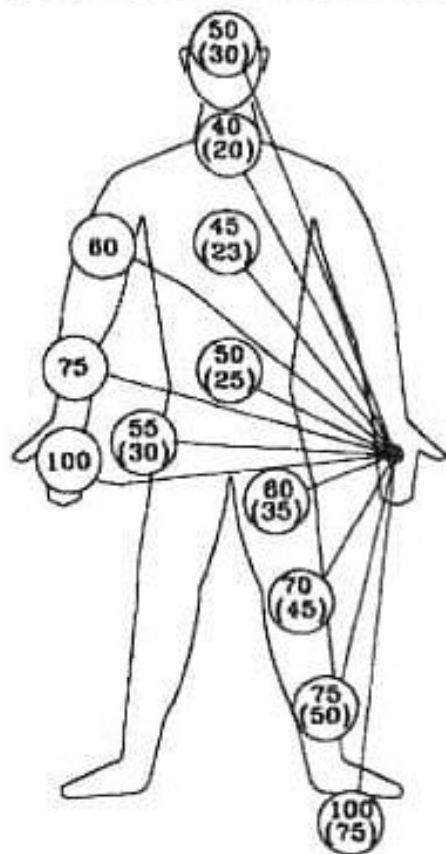
در مدل بالا، سهم عمده امپدانس کل Z_T را امپدانس پوست بدن به خود اختصاص می‌دهد. مقاومت Z_i که مربوط به مسیر جریان در درون بدن است را به صورت جزئی تر می‌توانید در شکل زیر مشاهده کنید.

جریان عبوری از بدن تابع **امپدانس** آن است. امپدانس بدن، خود تابع **ولتاژ اعمال شده**، **سطح تماس بدن با قسمت برق‌دار**، **فرکانس**، **مسیر عبور جریان در بدن** و **شرایط فیزیولوژیک هر فرد** است.



۴- مسیر عبور جریان در بدن

مسیر عبور جریان و نیز سطحی که جریان آن از بدن می گذرد می تواند نقش به سزایی در پیامدهای حادثه داشته باشد. به عنوان مثال در صورتی که مسیر جریان دست به دست باشد شدت پیامدها بسیار وخیم تر خواهد بود، در صورتی که برق گرفتگی در سر باشد علت اصلی مرگ خفگی است. شکل روبرو مقاومت بدن را برای مسیرهای مختلف عبور جریان نشان می دهد.



۱- امیدانس بین یک دست و دست دیگر ۱۰۰٪ انتخاب می شود

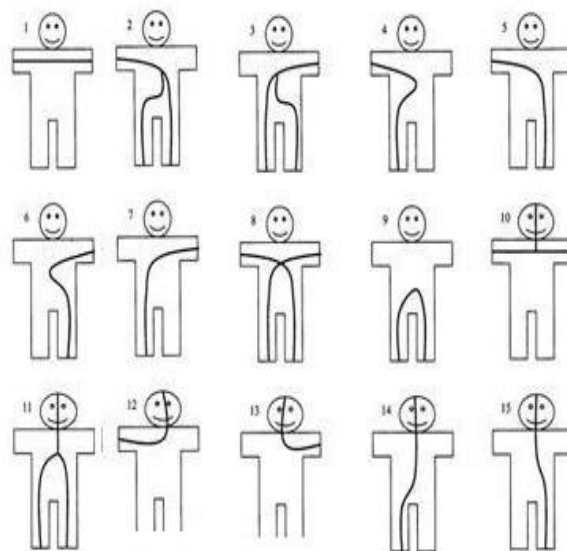
۲- امیدانس بین یک دست و اعضای نشان داده شده نسبت به امیدانس دست به دست سنجیده می شود

۳- اعداد نشان داده شده در پیرامون هر بوطه به سببی است

بین دو دست و عضو مشخص شده

۴- امیدانس بین یک دست و هر دو پا ۷۵٪ امیدانس دست به دست است

امیدانس بین هر دو دست و هر دو پا ۵۰٪ امیدانس دست به دست است



۵- فرکانس

فرکانس جریان یکی از تعیین کننده ترین عوامل در شدت جریان برق گرفتگی ها است که دلیل آن توانایی اعصاب در فرکانس های مختلف است. بطور کلی فرکانس های ۵۰ تا ۶۰ هرتز فرکانس هایی هستند که موجب بیش ترین تحریک اعصاب می گردند این شدت تحریک با کاهش و افزایش فرکانس ها به شدت تغییر پیدا می کند.

برای مثال برای احساس جریان الکتریسته در **فرکانس ۵۰ هرتز ، شدت جریانی در حدود ۳/۱ میلی آمپر** کافی خواهد بود. **در حالی که فرکانس های ۱۰۰۰ هرتز برای احساس برق گرفتگی و تأثیر آن ممکن است شدتی معادل ۸۰ میلی آمپر لازم باشد.**

فرکانس بالا یکی از عللی است که باعث می شود صاعقه منجر به مرگ نشود ، چون **هرچه فرکانس برق بالاتر رود برق از سطوح بدن بیش تر عبور می کند تا درون عمق بدن** علاوه بر عوامل یاد شده پارامترهایی نظیر سن افراد ، شرایط جوی ، رطوبت بدن ، خستگی، جنسیت و .. می تواند بر شدت برق گرفتگی تأثیر بگذارد.

بر اساس مدل شکل اول، می‌توان دید که بدن انسان در هنگام عبور **جریان DC** **امپدانس بزرگ‌تری** دارد. زیرا خازن‌ها در برابر برق DC مدار باز عمل می‌کنند و عملاً یکی از دو مسیر عبور جریان مسدود می‌شود. **در نتیجه، به‌ازای یک ولتاژ معین، جریان عبوری کمتر است.** در مقابل، با اعمال ولتاژ **AC بدن امپدانس کمتری داشته و جریان بیشتر است؛** در نتیجه خطر نیز بیشتر است.

برخی به اشتباه بر این باورند که چون جریان AC دارای نیم‌سیکل مثبت و نیم‌سیکل منفی است و جریان DC ثابت و بدون تغییر است، عبور جریان DC خطر بیشتری برای بدن دارد. این تصور، نادرست است و با رفتاری که در عمل از بدن دیده می‌شود، مغایرت دارد.

- آثار عبور جریان متناوب ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از بدن انسان

در این بخش درباره آثار جریان برق متناوب با فرکانس ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز بحث خواهد شد. یادآوری می شود که اطلاعات اصلی مورد استفاده در این بخش بر اساس یافته ها در جریان متناوب صنعتی ۵۰ تا ۶۰ هرتز قرار دارد اما اثر آنها در محدوده فرکانسهای گفته شده هم قابل استفاده فرض می شود.

- شدت جریان آستانه درک (threshold of perception)

حداقل شدت جریانی که نوعی احساس در بدن انسان ایجاد کند، به چند عامل بستگی دارد:

(۱) سطحی از بدن که با الکتروود در تماس است

(۲) وضعیت محل تماس : خشک، تر، فشار، دما

(۳) مشخصه های فیزیولوژیک فردی

فرض می شود که انتخاب ۰.۵ میلی آمپر برای این مقدار مناسب است .

- شدت جریان آستانه رهایی (treshhold of let-go)

حداکثر شدت جریانی که فردی که الکترودی را در دست دارد، قادر است آن را رها کند، به چند عامل بستگی دارد:

(۱) سطحی از بدن که با الکتروود در تماس است

(۲) شکل و اندازه الکتروود

(۳) مشخصه های فیزیولوژیکی فردی

فرض می شود که انتخاب ۱۰ میلی آمپر برای این مقدار مناسب است .

- شدت جریان آستانه فیبریلاسیون بطنی (threshold of ventricular fibrillation)

شدت جریان آستانه فیبریلاسیون بطنی به چند عامل بستگی دارد:

(۱) کالبد انسان

(۲) سلامت و وضعیت کار قلب

(۳) مدت زمان عبور جریان

(۴) مسیر عبور جریان در بدن؛

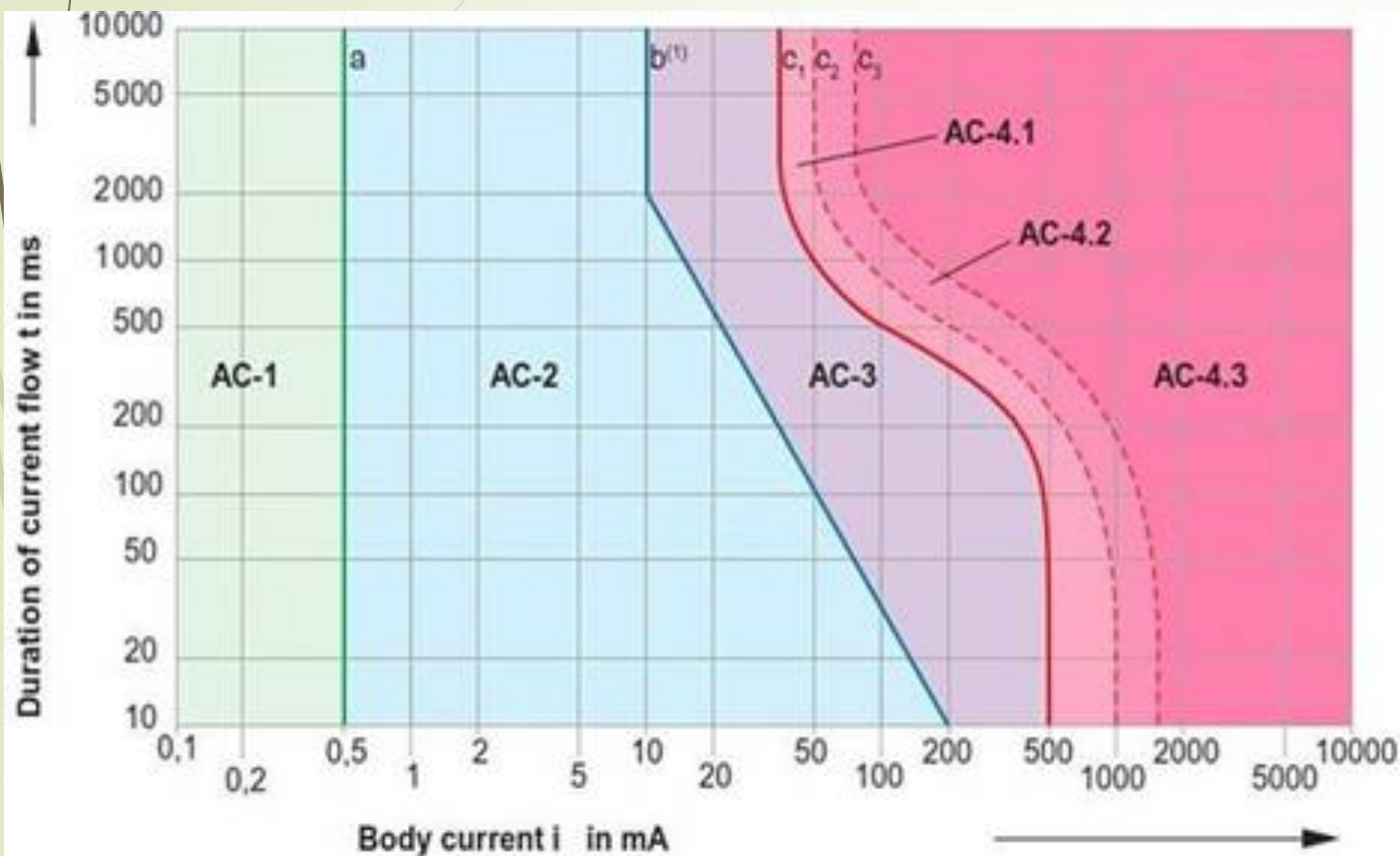
(۵) نوع جریان (متناوب و فرکانس آن - مستقیم و موج آن).

علت اصلی مرگ در اثر برق گرفتگی فیبریلاسیون بطنی به حساب می آیند.

مراحل برق گرفتگی براساس مقدار جریان الکتریکی متناوب

- الف) آستانه قابل درک به اندازه ای است که انتهای عصبها در سطح پوست تحریک می شوند ، حداقل آن 0.5mA است
- ب) جریان آزاد آستانه آن حدود 10mA است و ماهیچه ها و اعصاب به شدت تحریک می شوند ولی هنوز امکان واکنش ارادی وجود دارد .
- ج) درد و خستگی سیستم تنفسی: جریانهای بین 18mA تا 22mA که باعث انقباض غیرارادی ماهیچه های سیستم تنفس میشود
- د) فیبرالسیون بطنی : چنانچه جریانی از ماهیچه قلب بگذرد باعث فیبرالسیون آن می شود یعنی انتشار نرمال سیگنال الکتریکی قلب مختل میشود و باعث کاهش شدید برون ده قلب می گردد . جریانهای بین 75mA تا 400mA باعث فیبرالسیون بطنی می شوند
- ه) انقباض های تقویت شده ماهیچه های قلب : جریانهای بین 1A تا 6A باعث انقباض کل ماهیچه های قلب می شوند .
- و) سوختگی بافتها : در موارد معدودی که جریان بیش از 10A به مدت کوتاهی از بدن بگذرد باعث سوختگی خصوصاً در ناحیه پوست می شود

منحنی زمان-جریان و مقادیر آستانه



- AC-1: غیر قابل احساس
 AC-2: قابل احساس
 AC-3: عوارض برگشت پذیر-انقباض عضلانی
 AC-4: احتمال عوارض برگشت ناپذیر
 AC-4-1: تا ۵% احتمال فیبریلاسیون بطنی
 AC-4-2: تا ۵۰% احتمال فیبریلاسیون بطنی
 AC-4-3: بیش از ۵۰% احتمال فیبریلاسیون بطنی

- A: آستانه احساس
 B: آستانه انقباض عضلانی
 C1: ۰% احتمال فیبریلاسیون بطنی
 C2: ۵% احتمال فیبریلاسیون بطنی
 C3: ۵۰% احتمال فیبریلاسیون بطنی

آثار عبور جریان مستقیم از بدن انسان

طبق آمار جمع آوری شده اتفاقات ناگوار در هنگام استفاده از جریان مستقیم، بسیار کمتر از دفعاتی است که در مقایسه با جریان متناوب انتظار می رود، بروز کند و در این میان اتفاقات منجر به فوت فقط در شرایط بسیار نامساعد پیش می آیند. **علت اصلی این است که "رهایی" از تجهیزات جریان مستقیم آسان تر از تجهیزات جریان متناوب است و برای برق گرفتگی به مدتی طولانی تر از یک دوره کار قلب، آستانه فیبریلاسیون بطنی در جریان مستقیم بالاتر از نظیر جریان متناوب آن باقی می باشد.**

تفاوت اصلی بین جریان متناوب و جریان مستقیم در این است که عمل محرک جریان، مانند تحریک اعصاب و عضلات، القای فیبریلاسیون بطنی و دهلیزی و ایست قلبی، **بستگی به تغییرات شدت جریان دارد** (مخصوصاً هنگام قطع و وصل جریان). برای ایجاد تحریکی معادل تحریک ایجاد شده به وسیله یک جریان متناوب، شدت جریان مستقیم باید ۲ تا ۴ برابر جریان متناوب باشد.

۶- مدت زمان برق گرفتگی

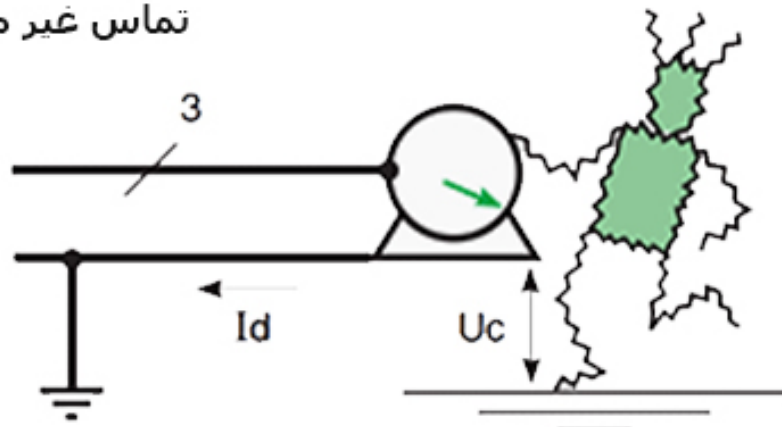
هر چه مدت زمان برق گرفتگی بیش تر باشد صدمه نیز بیش تر است.

انواع برق گرفتگی

برق گرفتگی در دو حالت ممکن است رخ دهد:

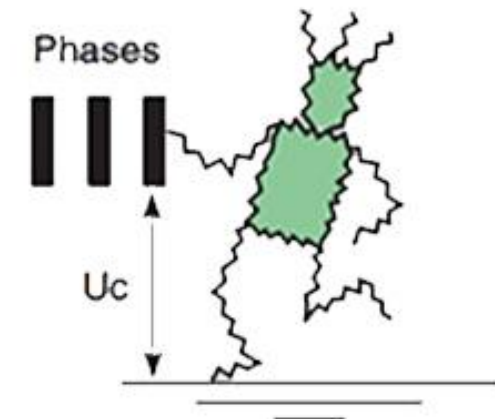
- برق گرفتگی ناشی از تماس غیر مستقیم : به برق گرفتگی در اثر تماس با بدنه های هادی یک وسیله برقی یا قسمتی از تجهیزات گفته می شود. مانند زمانی که بدنه فلزی دستگاه در اثر اتصال با فاز برق دار شده و فرد بدنه دستگاه را لمس می کند.

تماس غیر مستقیم



- برق گرفتگی ناشی از تماس مستقیم : به برق گرفتگی در اثر تماس مستقیم با قسمت های برق دار تأسیسات برقی گفته می شود. در واقع مانند زمانی که فرد مستقیماً با فاز تماس پیدا کند.

تماس مستقیم



حفاظت در برابر برق گرفتگی ناشی از تماس مستقیم

روش های پیش رو به منظور این حفاظت شامل موارد زیر است:

(۱) عایق بندی قسمت های برق دار:

قسمت های برق دار در دسترس (از جمله ترمینال ها، انتهای کابل ها، بست ها و محل اتصال کابل ها به یکدیگر) با نوارچسب عایق برق، عایق بندی می شوند تا از تماس افراد با آن ها جلوگیری شود. باید توجه شود که عایق مذکور باید مقاوم و از استاندارد لازم برخوردار باشد. همچنین این عایق باید در برابر شرایط محیطی (اثرات مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شرایط جوی) استقامت و کیفیت خود را حفظ کند.

(2) محصور کردن تجهیزات :

قسمت های برق دار وسایل الکتریکی که باید پوشیده و محصور شوند. محفظه این قسمت ها باید به گونه ای باشد که نفوذ آب، گردوغبار یا ذرات هادی نظیر براده ها به داخل آن ها امکان پذیر نباشد. در انتخاب این محفظه ها باید شرایط محیطی در نظر گرفته شود.

(۳) استقرار در خارج از دسترس :

قسمت های برق دار در محلی قرار داده می شوند که دسترسی به آن ها با دراز کردن دست در جهت های مختلف مقدور نباشد . به طور مثال حفظ حریم شبکه های برق رسانی

(۴) استفاده از کلید RCD (Residual Current Device) :

ایجاد محدودیت جریان احتمالی عبوری از بدن شخص به مقدار کمتر از جریان برق گرفتگی ۳۰ میلی آمپر با استفاده از تجهیزاتی جریان تفاضلی مانند کلید حفاظت از جریان باقیمانده (RCD) **به عنوان حفاظت اضافی** . این یعنی به منظور حفاظت در تماس مستقیم به صرف استفاده از کلید جریان باقیمانده یا RCD، نباید از دیگر حفاظت های گفته شده در این حالت چشم پوشی کرد، **زیرا ممکن است کلید محافظ جان در شرایطی مانند تماس هم زمان دو فاز یا یک هادی و نول، عمل نکنند.**

RCD یا کلید حفاظت جریان باقیمانده

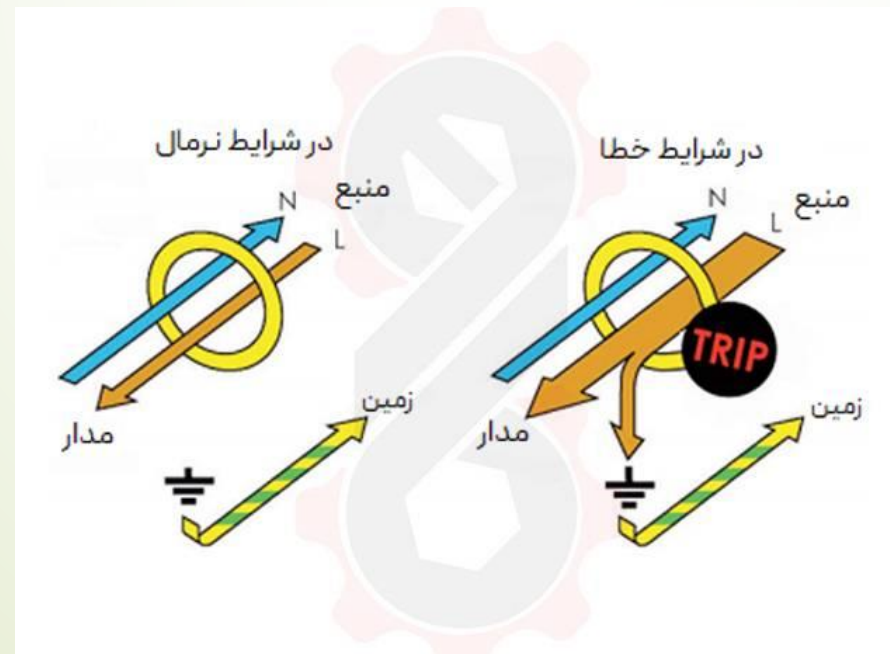
در زبان عامیانه به اشتباه، از اصطلاح **کلید محافظ جان** به جای کلید **RCD** استفاده می شود. این عبارت نادرست است، چون این کلید در برابر جریان باقیمانده حفاظت می کند و اگر کسی فاز و نول را در دست بگیرد، این کلید از او حفاظت نخواهد کرد.



با این حال، تصور عموم بر این است که وجود این کلید، حفاظت کامل افراد را تضمین می کند،
در حالی که این موضوع اصلا صحیح نیست!

جریان باقیمانده چیست؟

جریانی که از منبع به سمت مدار (مجموعه مصرف کننده ها) جاری می شود، برابر است با جریانی که از مدار (مصرف کننده ها) به سمت منبع، جریان می یابد. عوامل مختلفی مانند اتصال به زمین و اتصال بدنه ممکن است این برابری جریان های رفت و برگشتی را برهم زده و باعث ایجاد اختلاف میان این دو جریان شود. در واقع بخشی از جریان، مسیر ثانویه ای برای جاری شدن یافته است. به میزان جریانی که از یک مسیر ثانویه (اتصال به زمین یا اتصال بدنه) جاری شده و سبب اختلاف جریان رفت و برگشت مدار است، جریان باقیمانده یا **Residual Current** می گویند. شکل زیر توصیف خوبی از این جریان است.



RCD یا کلید حفاظت در برابر جریان باقیمانده از چه قسمت هایی تشکیل شده است؟

ساختار داخلی یک RCD از شش قسمت اصلی ساخته می شود:

1. سیم پیچ ترانسفورماتور جریان Current transformer

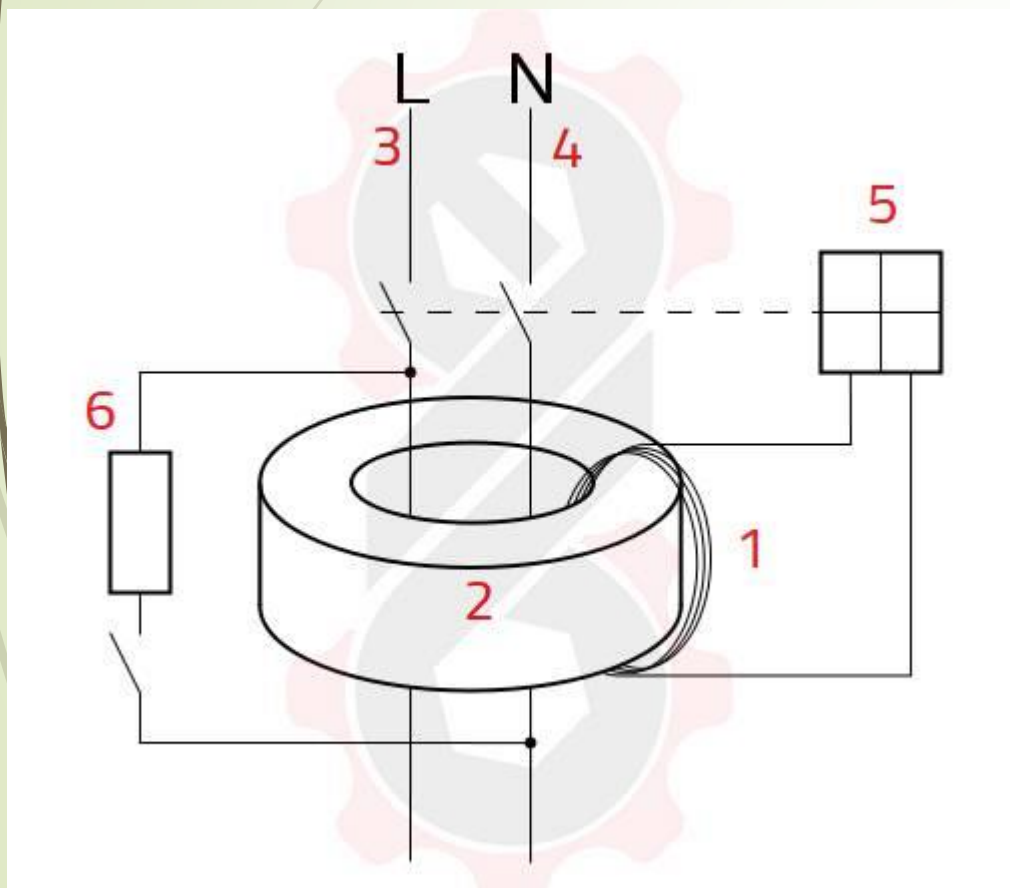
2. هسته ترانسفورماتور جریان Current transformer core

3. هادی فاز Line conductor

4. هادی نول Neutral conductor

5. بخش الکترومغناطیسی Electromagnetic part

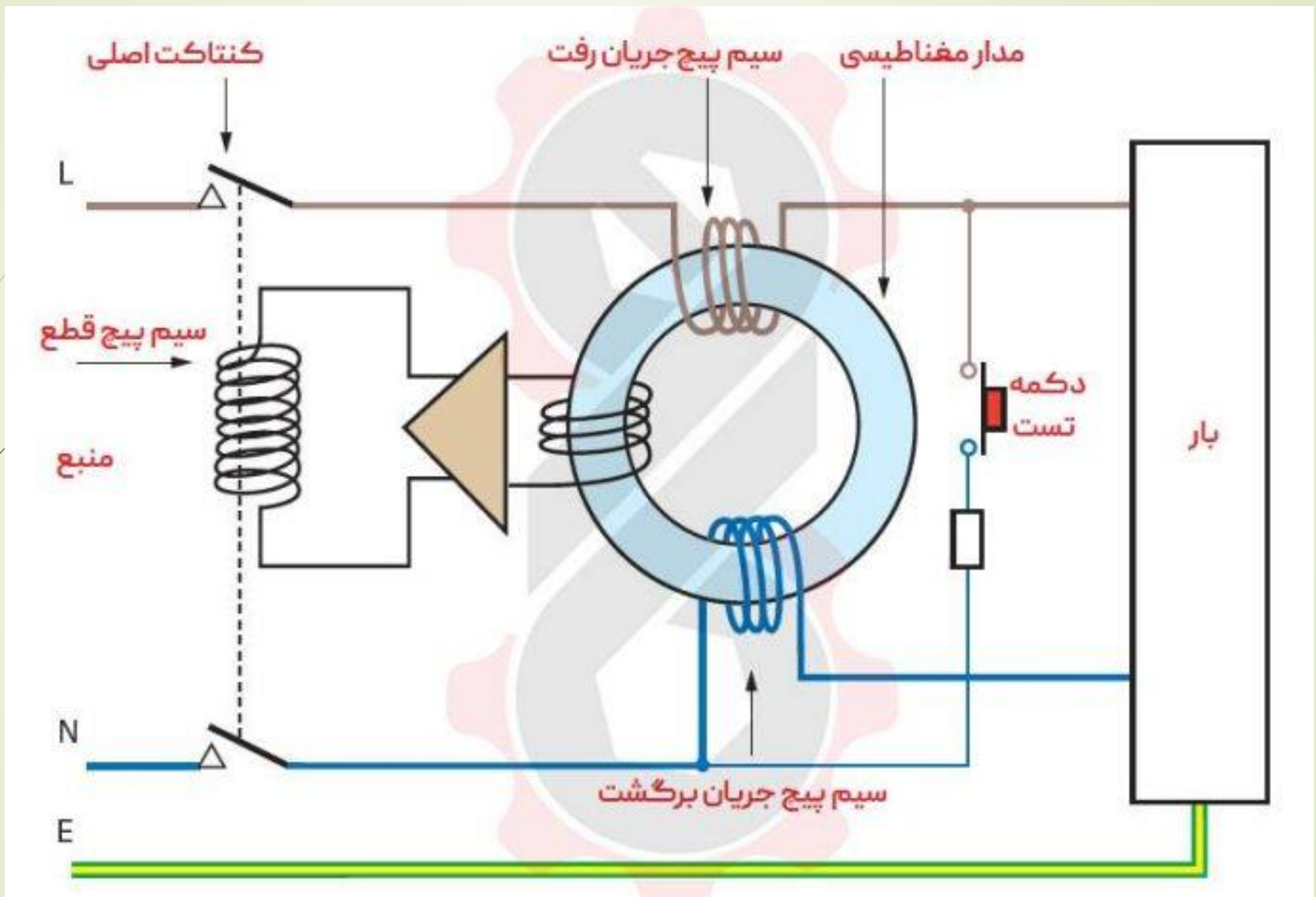
6. مکانیزم تست Test mechanism



کلید RCD بر اساس مقایسه جریان های رفت و برگشت کار می کند. یعنی ابتدا با مقایسه دو جریان رفت و برگشت، در صورت وجود اختلاف بین آن ها، مدار را قطع می کند.

مطابق آنچه در قسمت قبل بیان شد، هر RCD در ساختار خود یک هسته آهنی دارد. جریانی که از طریق کابل ها به RCD وارد می شود، از سیم پیچ پیرامون هسته آهنی عبور می کند. با عبور جریان از این سیم پیچ، میدانی مغناطیسی اطراف سیم پیچ ایجاد می شود. جریان بازگشتی (به سمت نول) از یک سیم پیچ که خلاف جهت سیم پیچ اول بسته شده، عبور می کند. این جریان هم باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی می شود.

در نتیجه عبور جریان از این دو سیم پیچ، دو میدان در خلاف جهت یکدیگر خواهیم داشت. اگر جریان وارد شده به RCD با جریان خروجی آن برابر باشد، برآیند این دو میدان مغناطیسی صفر خواهد بود و کلید باعث قطع مدار نمی شود. اما اگر عاملی باعث جاری شدن جریان باقیمانده شود، جریان های ورودی و خروجی RCD برابر نخواهند بود. میدان ایجاد شده توسط جریان ورودی RCD بدون تغییر (نسبت به حالت بدون جریان باقیمانده) باقی می ماند، اما میدان ناشی از جریان خروجی RCD متفاوت خواهد بود. این موضوع باعث برهم خوردن تعادل میان میدان های مغناطیسی و قطع مدار می شود.



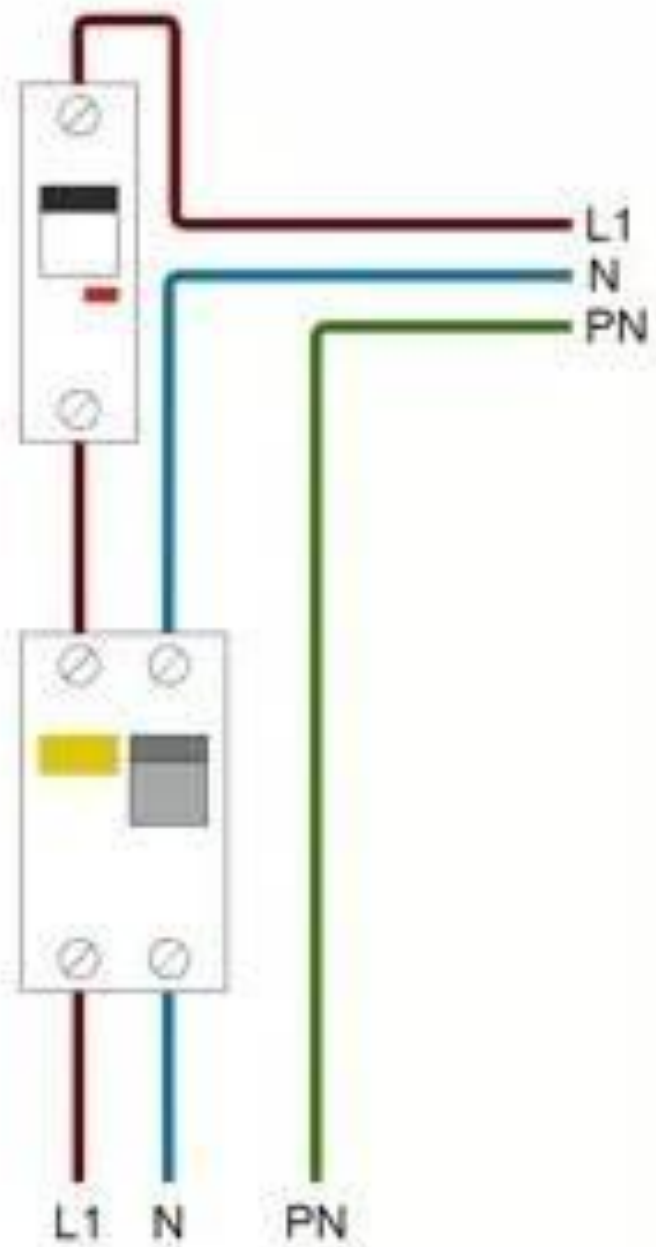
نحوه نصب و سیم کشی RCD

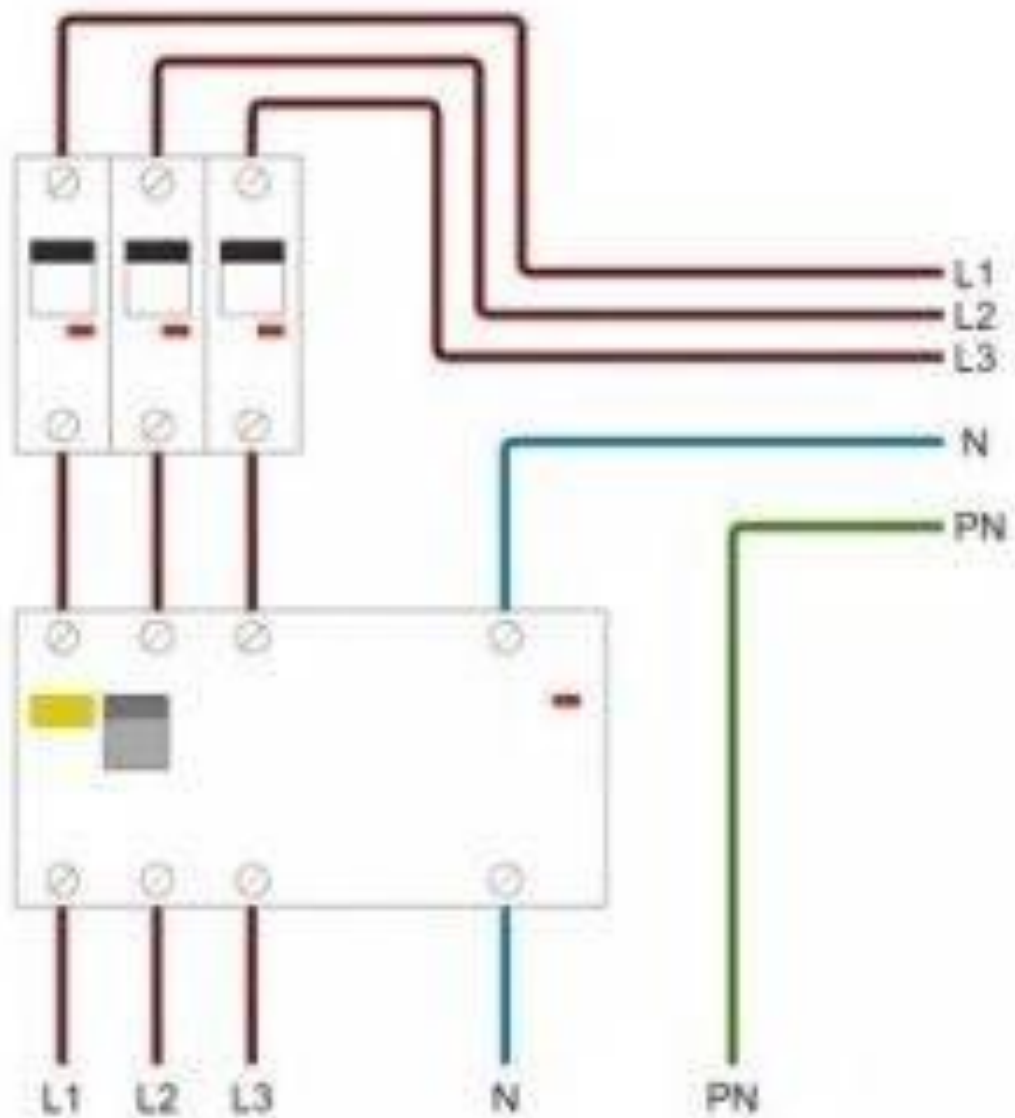
در نصب RCD باید به چند نکته توجه کرد:

RCD نباید به تنهایی بین منبع تغذیه و بار استفاده شود. چون این تجهیز توانایی حفاظت در برابر اتصال کوتاه یا گرم شدن بیش از حد سیم ها را ندارد. برای ایمنی بیشتر، استفاده از تجهیزات حفاظت از اضافه بار و اتصال کوتاه توصیه می شود.

با توجه به تصویر روبرو، سیم فاز (قهوه ای) و نول (آبی) را در یک مدار تک فاز به ورودی RCD وصل می کنیم.

سیم فاز در خروجی RCD باید به تجهیز حفاظت در برابر اضافه بار متصل شود، در حالی که سیم خنثی را می توان مستقیماً به محل نصب وصل کرد.





مطابق شکل روبرو، در سیستم های سه فاز، هر سه فاز و سیم نول را به ورودی RCD وصل می کنیم. یک کلید حفاظت اضافه بار در خروجی به هر فاز متصل می شود. از طرفی سیم خنثی در خروجی به شینه متصل است.

برای این اتصال، باید به حداکثر جریانی (جریان نامی) که می تواند از RCD عبور کند، توجه کرد.

نکات قابل توجه درباره RCD ها

- استفاده از محافظ جان، به معنی حفاظت کامل در برابر برق گرفتگی نیست. این سیستم یک سیستم حفاظت ثانویه و تکمیلی است.
- در صورت نصب چند RCD در تابلو، شینه نول هر کدام باید جدا باشد، تا گردش جریان در نول باعث خطا در عملکرد این سیستم نشود.
- اتصال ارت برای عملکرد مناسب کلید محافظ جان ضروری است ؛ چراکه نقطه مرجعی برای RCD، برای تشخیص جریان‌های خطرناک فراهم می‌کند. بدون اتصال به ارت، RCD ممکن است قادر به تشخیص دقیق عیب نبوده و نتواند به موقع منبع تغذیه را قطع کند. هنگامی که یک خطا در یک سیستم الکتریکی رخ می‌دهد، جریان الکتریکی می‌تواند از طریق جریان رسانای ارتینگ به زمین برسد و اگر RCD عدم تعادل جریان خطرناک را تشخیص دهد، قطع می‌شود و منبع تغذیه را قطع می‌کند.
- این کلیدها برای قطع مدار در برابر اضافه بار و اتصال کوتاه طراحی نشده‌اند.

تست RCD ها

برای اطمینان از سلامت RCD ها دو روش تست وجود دارد:

روی هر RCD یک دکمه تست قرار دارد. این دکمه، با استفاده از یک مقاومت، جریان باقیمانده ایجاد کرده و سلامت کلید را در معرض آزمایش قرار می دهد. (یعنی با زدن کلید تست RCD باید قطع کند .)

۵) بهره گیری از ولتاژ در حد پایین که به این منظور از منابع تغذیه با ولتاژ ایمنی خیلی پایین (SELV، FELV، PELV) استفاده می شود.

حفاظت در برابر برق گرفتگی ناشی از تماس غیر مستقیم

فلسفه اتصال زمین

هدف اصلی از اتصال زمین در یک ساختمان به شرح زیر است:

(۱) تامین ولتاژ ایمن در سرتاسر ساختمان به خصوص در شرایطی که خطای زمین در سیستم تغذیه برق فشار ضعیف یا فشارقوی در ساختمان یا بیرون آن رخ داده باشد.

(۲) به حداقل رساندن اثرات ناشی از اضافه ولتاژ صاعقه بر روی سازه و تجهیزات.

(۳) فراهم کردن مسیر امپدانس پایین برای برگشت جریان خطای زمین

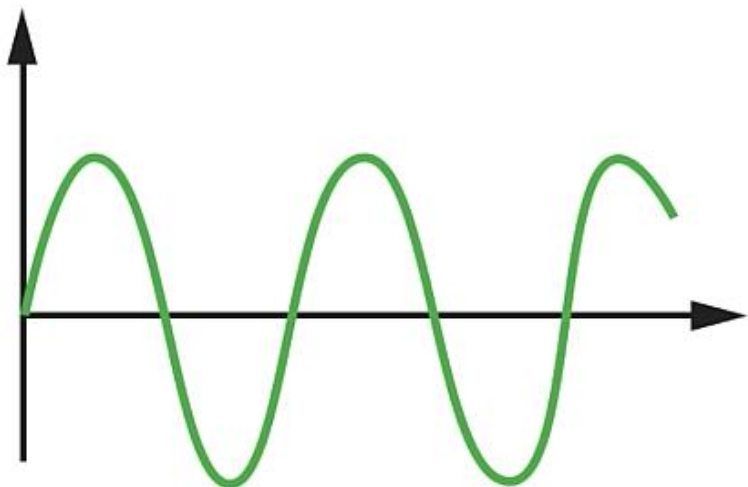
(۴) فراهم کردن مسیر نشستی امپدانس پایین برای هرگونه بارهای ساکنی که ممکن است بر روی تجهیزات جمع شده باشند.

(۵) فراهم کردن مرجع سیگنال مشترک با پهنای باند وسیع و امپدانس نسبی پایین بین دستگاهها، مدارها و سیستمهای کامل با هدف به حداقل رساندن تداخلات ناشی از نویز در سیستمهای جریان ضعیف (ابزار دقیق، کنترلی و مخابراتی)

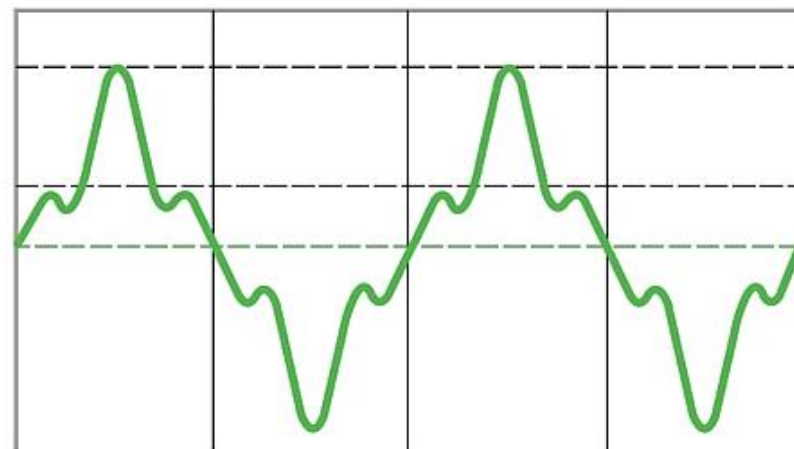
عوامل اخلاص در تغذیه (برق)

۱) هارمونیک

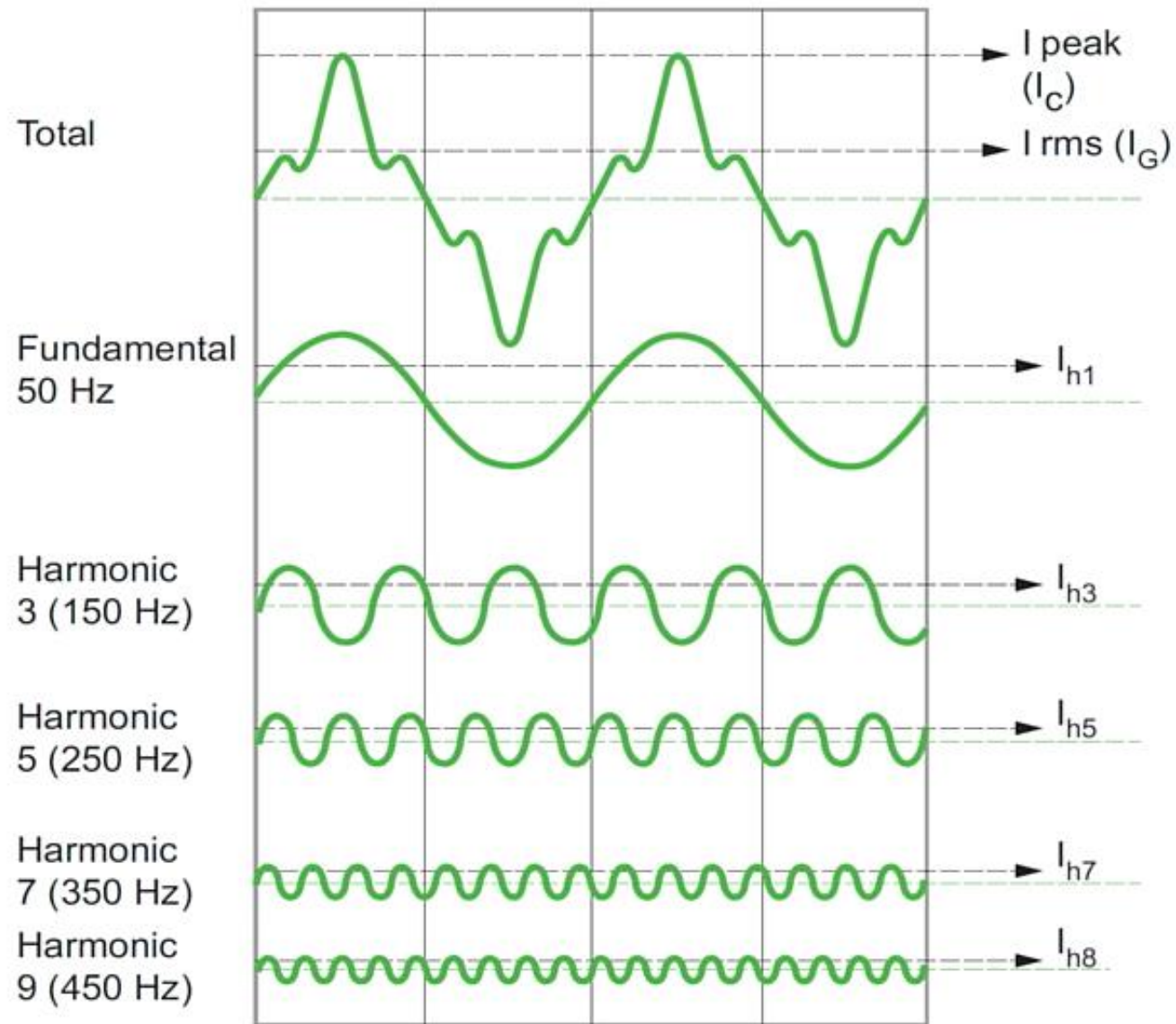
عامل ایجاد کننده : بارهای غیر خطی مانند منابع تغذیه سوییچینگ



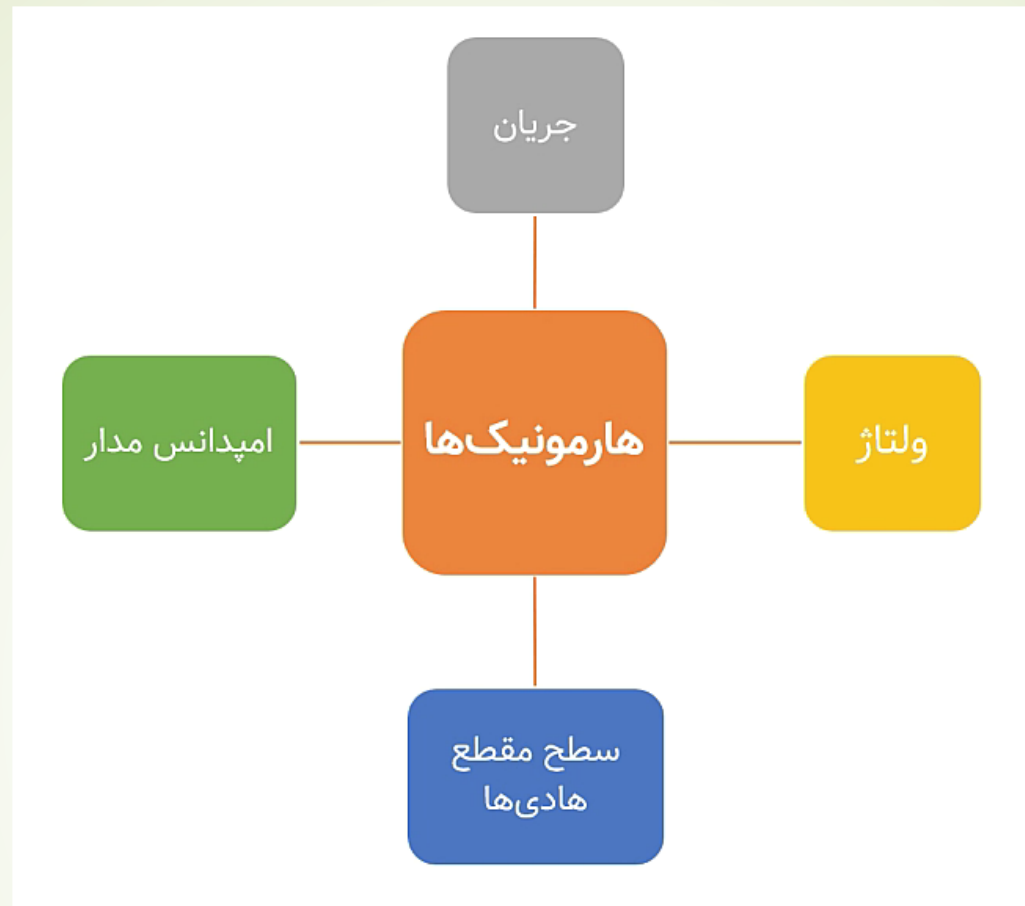
شکل موج سینوسی کامل



شکل موج سینوسی اعوجاج یافته



اگر شکل موج ولتاژ یا جریان سینوسی نباشد آنگاه علاوه بر مولفه اصلی (که فرکانس آن برابر فرکانس نامی شبکه می‌باشد) دارای مولفه‌های هارمونیکی نیز می‌باشد که فرکانس‌هایی با مضارب صحیح از فرکانس اصلی دارند.



۲) جریان هجومی

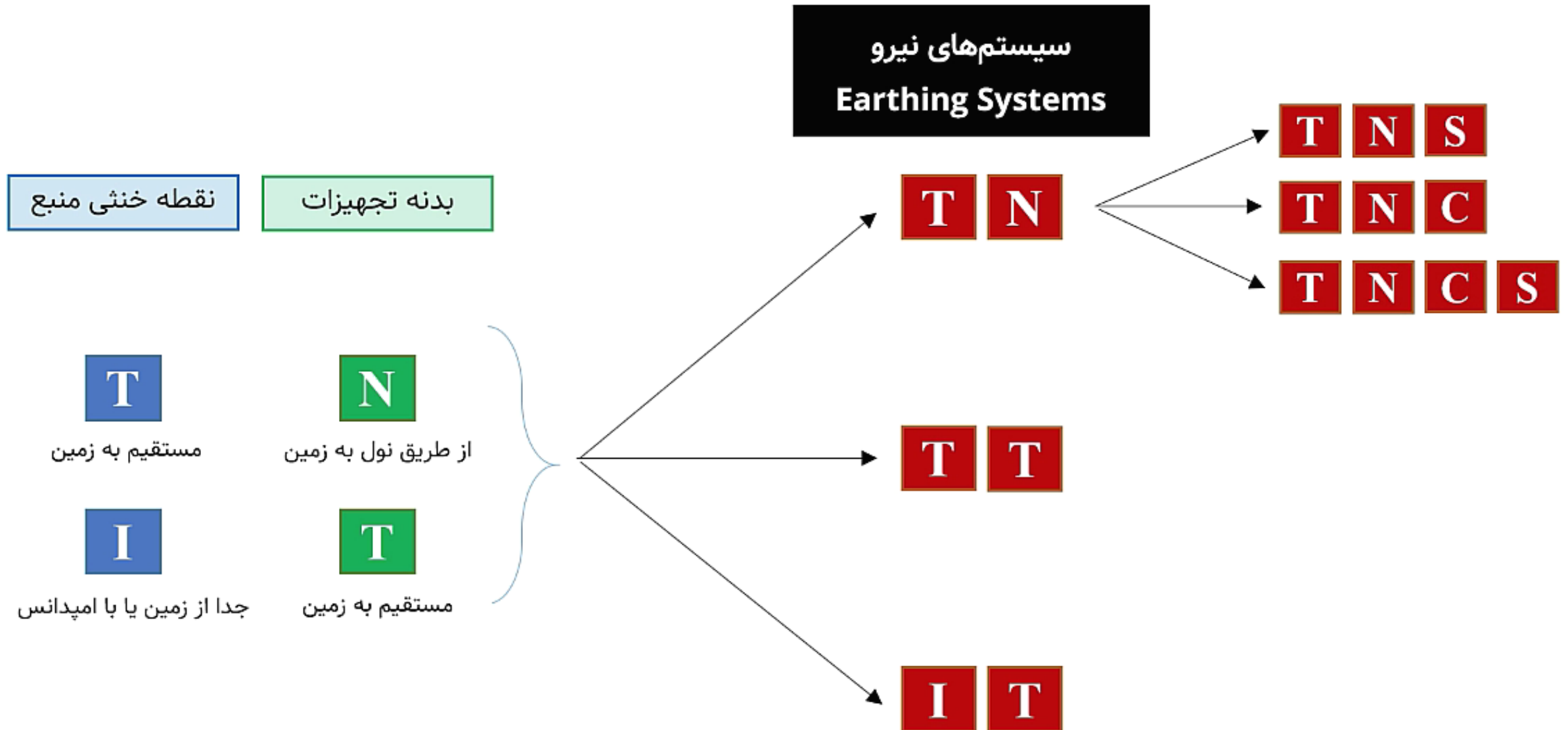
مربوط به ماشین های الکتریکی و خازن ها می باشد که در لحظه وصل جریان آنها چندین برابر جریان نامی اشان می باشد

۳) ضریب توان

باید یک باشد

۳) بار نامتعادل

انواع سیستم های نیرو



معمولاً برای نشان دادن چگونگی اتصال زمین سیستم توزیع برق یا سیستم ارتینگ و تأسیسات برق مصرف کننده از دو یا چند

حرف لاتین استفاده می شود. **حرف اول نشان دهنده چگونگی اتصال زمین سیستم توزیع نیروی برق و حرف**

دوم نشان دهنده چگونگی اتصال زمین تأسیسات برق مصرف کننده است. حروف دیگر نشان دهنده یکی بودن یا

یکی نبودن سیم حفاظتی و سیم نول در سیستم های TN است. سیستم های معمول عبارتند از: TT، TN و IT

سیستم TN دارای نقطه ای است که مستقیماً به زمین وصل است (نقطه خنثی N) و کلیه بدنه های هادی تأسیسات برقی از

طریق هادی حفاظتی (PE) به این نقطه وصل هستند. بسته به نحوه استفاده از هادی خنثی (N) و هادی حفاظتی (PE) این

سیستم به سه گونه تقسیم می شود:

□ **TN-S** : که در سرتاسر آن از یک هادی حفاظتی مجزا (Separated) استفاده می شود.

□ **TN-C** : که در سرتاسر آن هادی های حفاظتی و خنثی در یک هادی ترکیب (Common) شده اند.

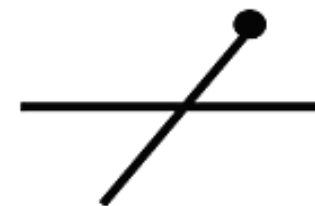
□ **TN-C-S** : که در قسمتی از آن هادی های حفاظتی و خنثی در یک هادی ترکیب شده اند.

نشانه های ترسیمی در سیستم های نیرو

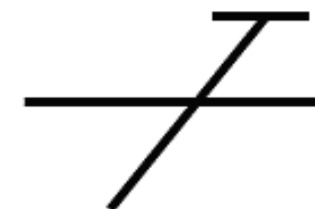
هادی فاز



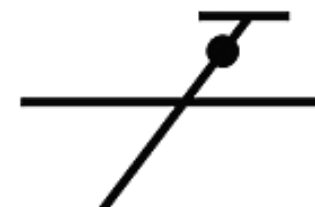
هادی خنثی (N)



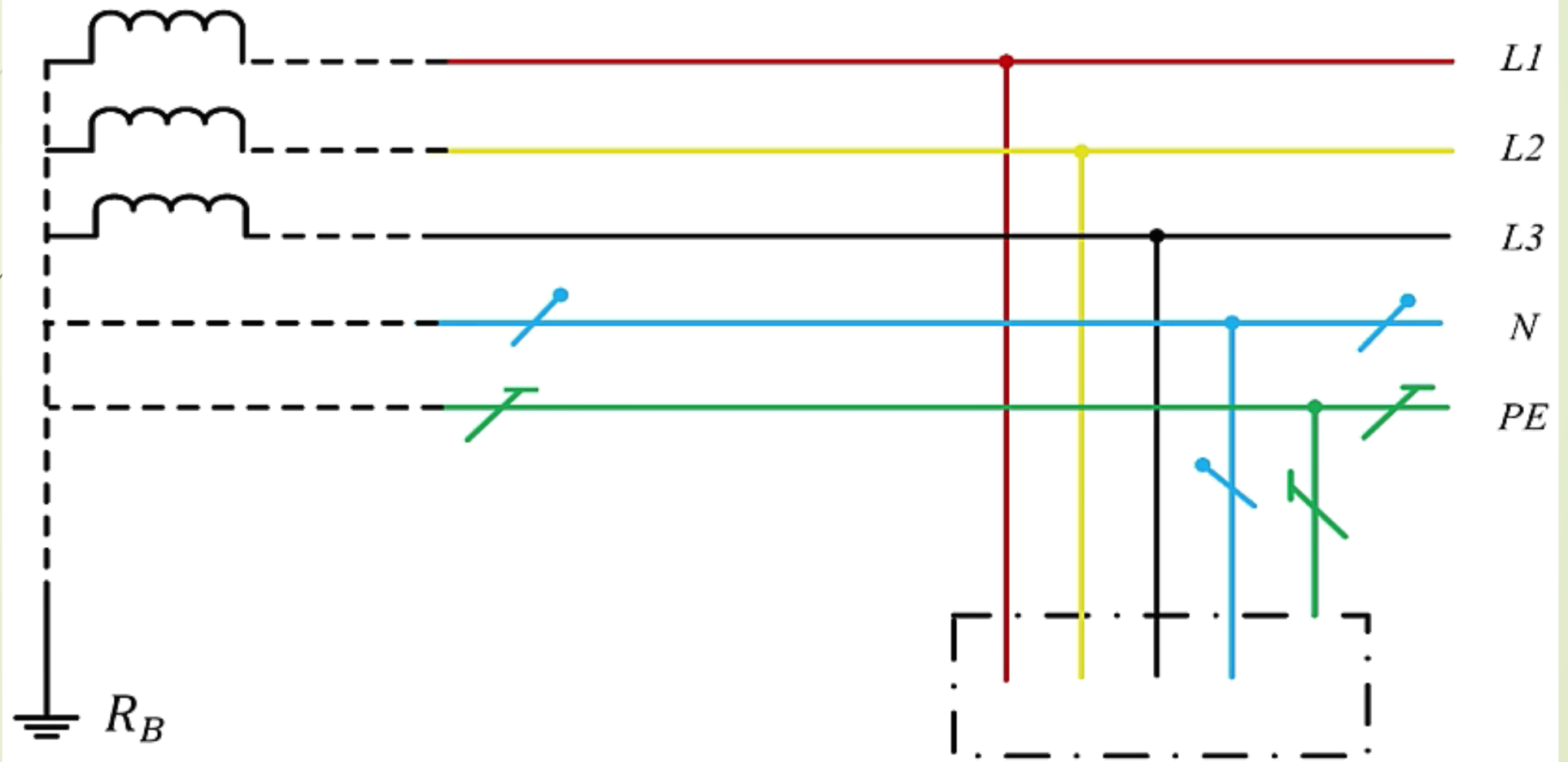
هادی حفاظتی (PE)

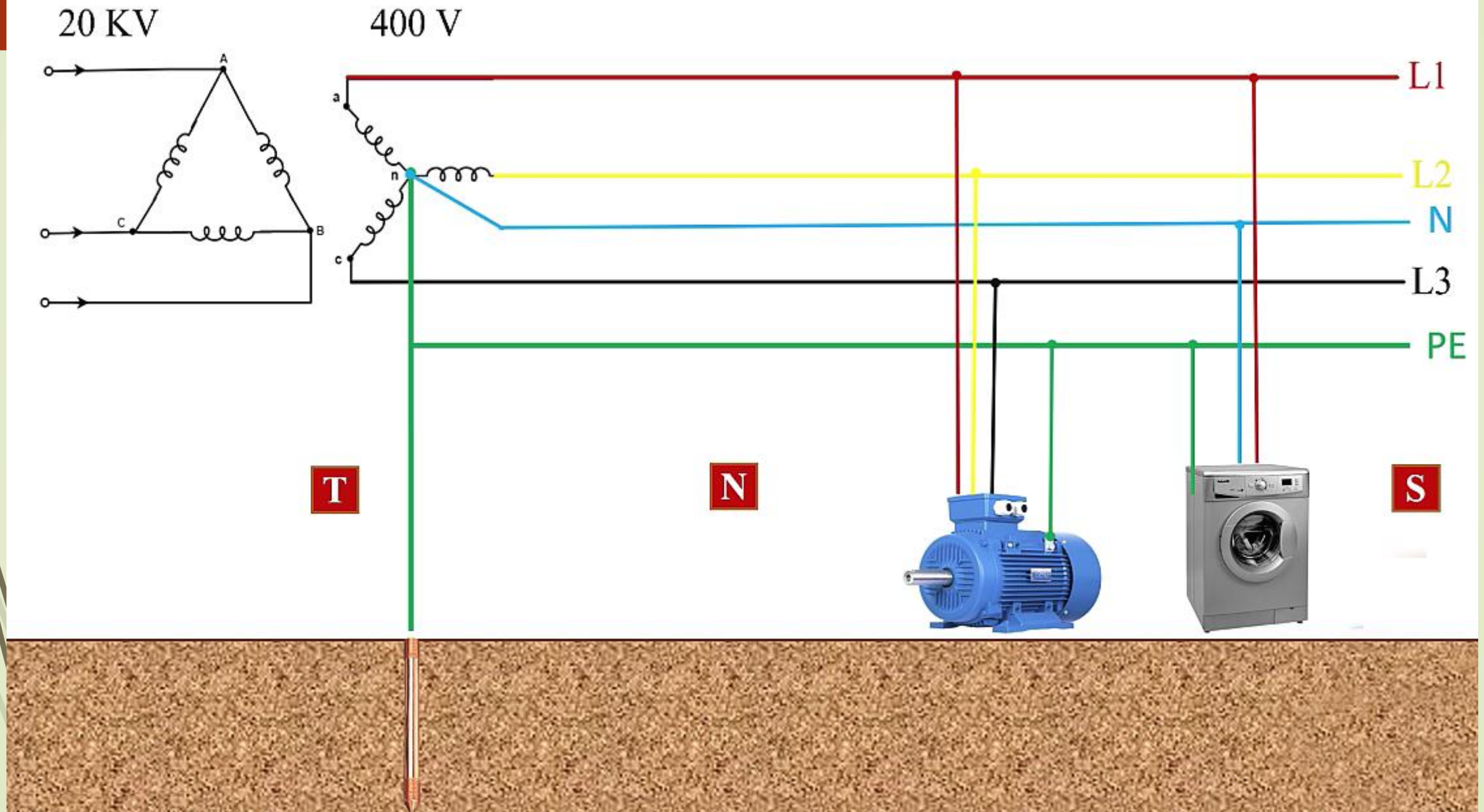


هادی مشترک حفاظتی-خنثی (PEN)

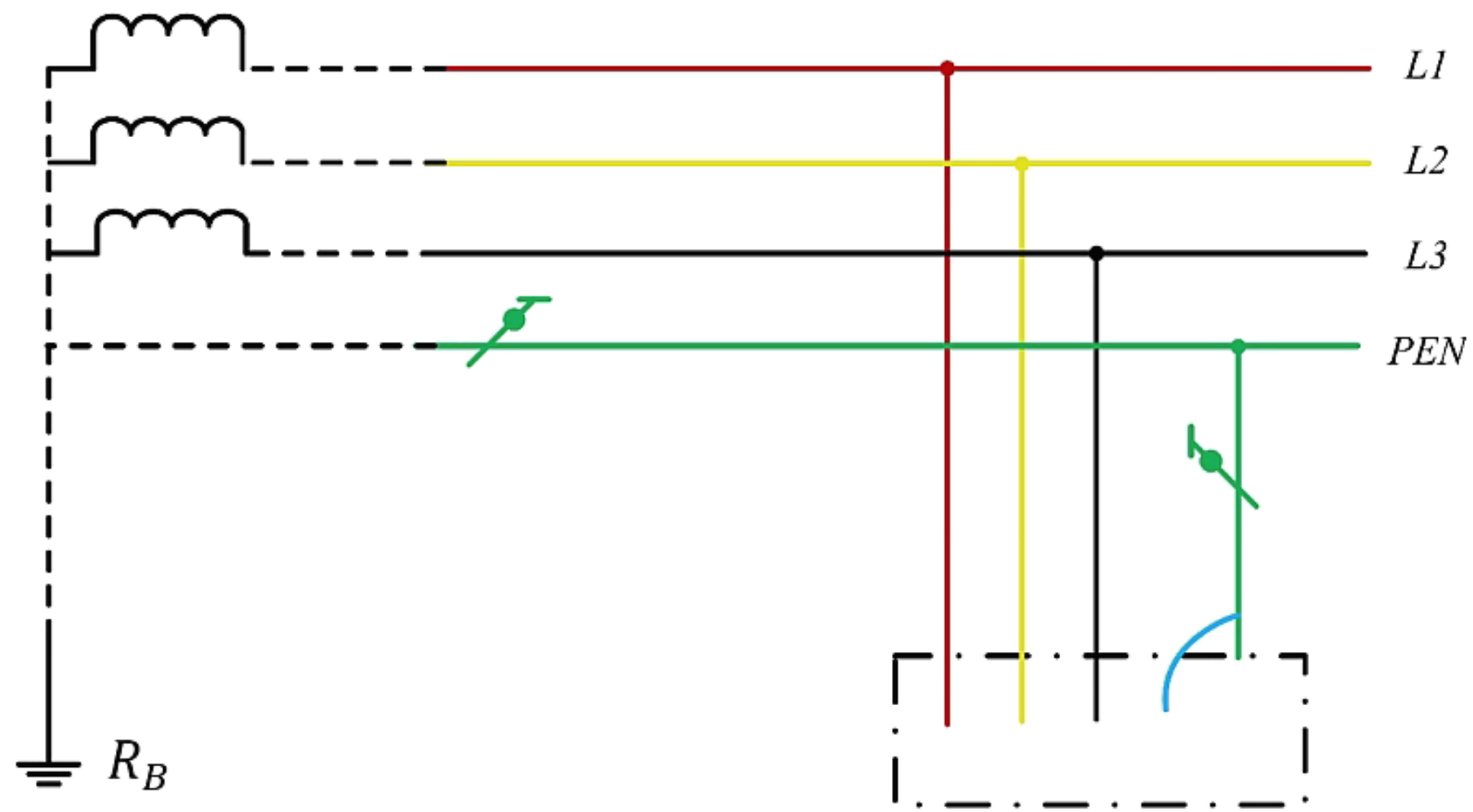


T N S

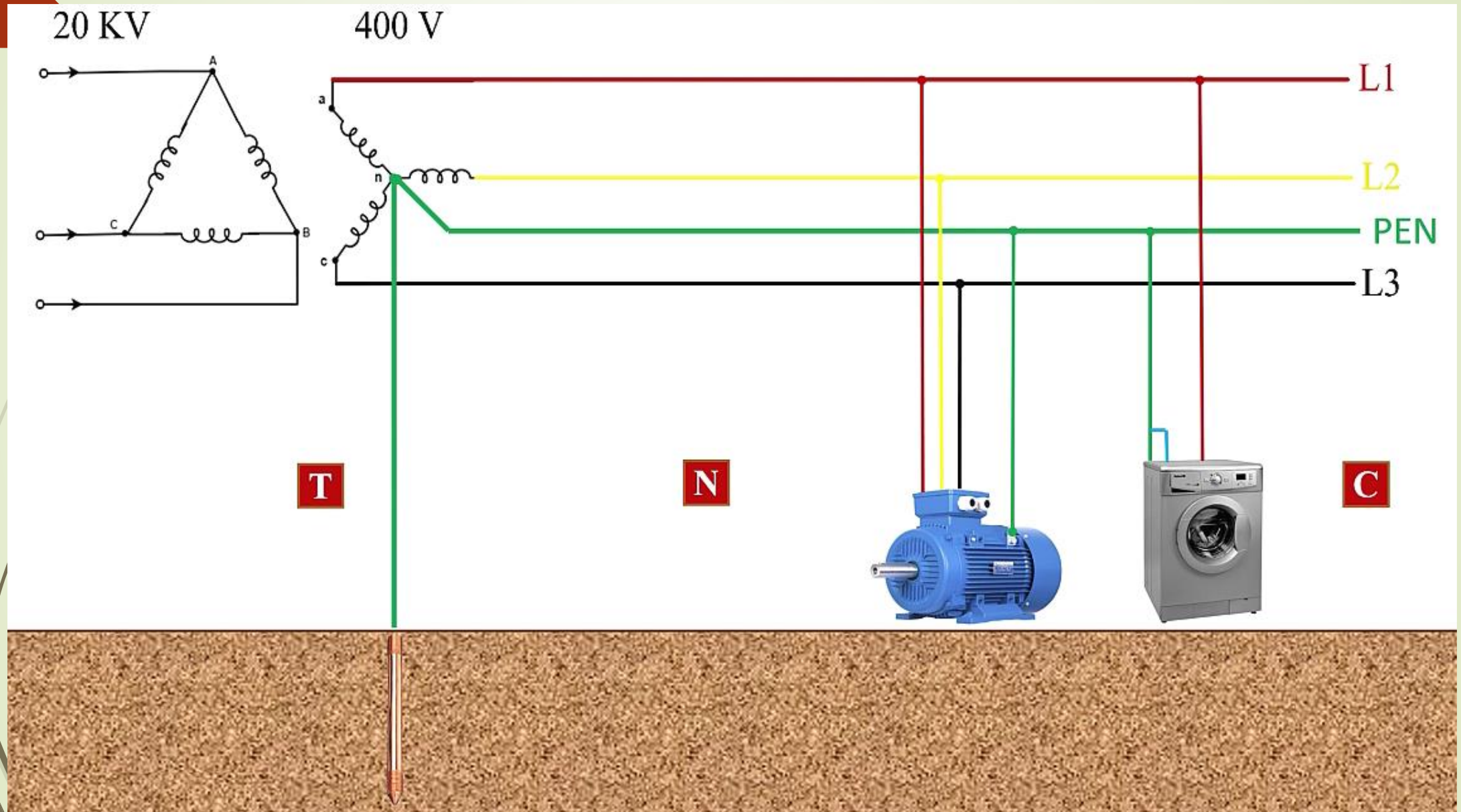


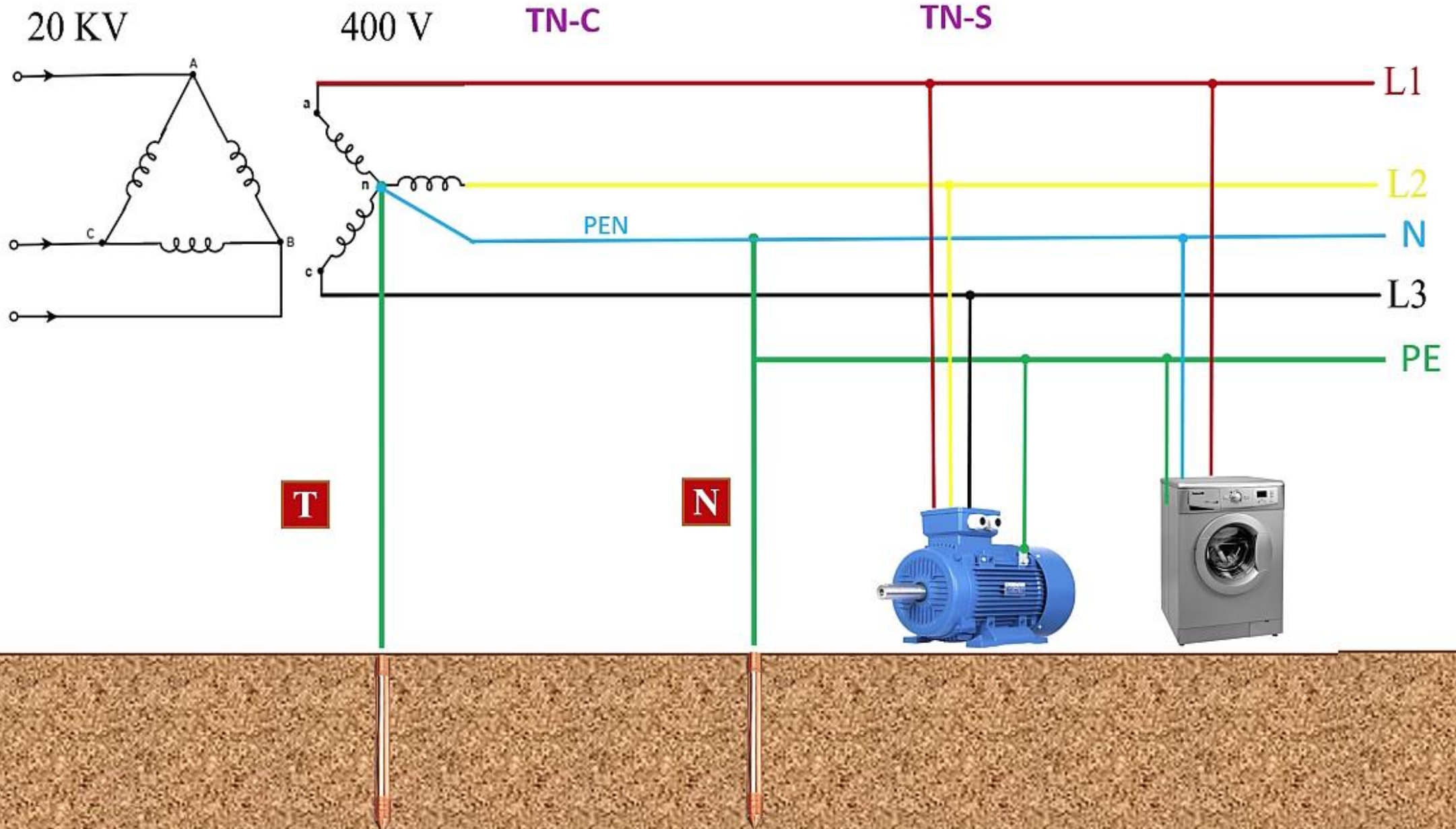


T N C



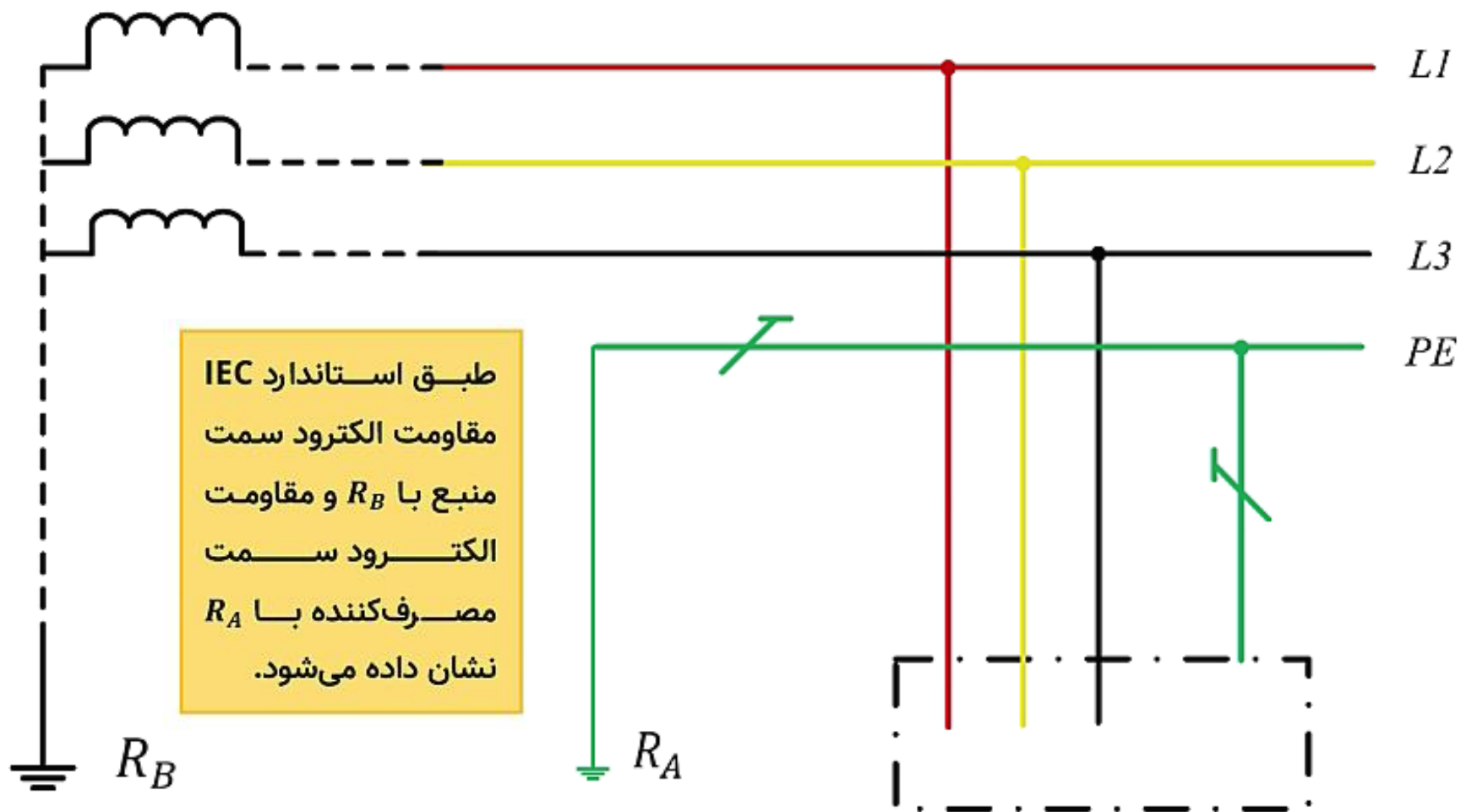
نقشه شماتیک



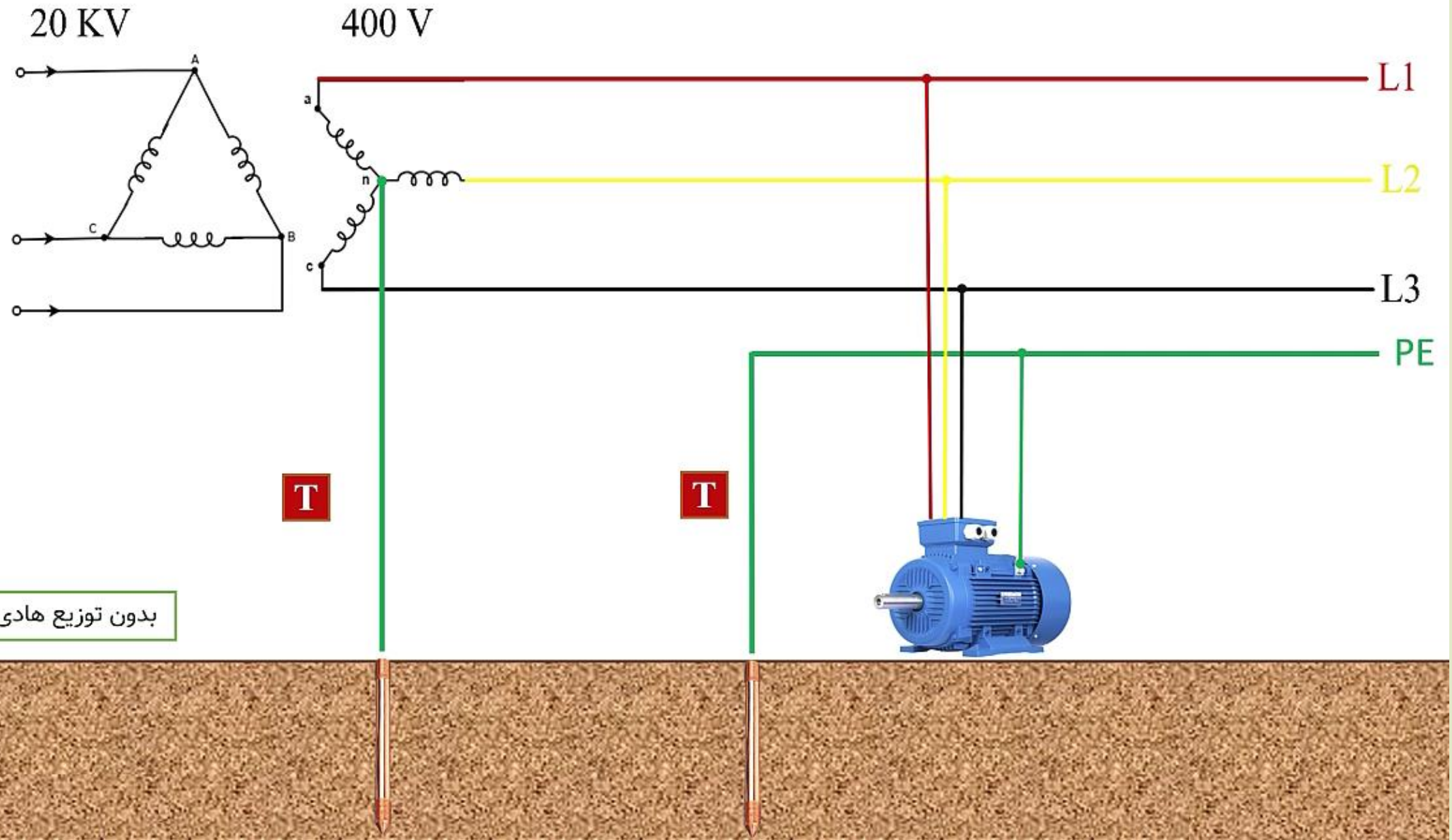




بدون توزیع هادی خشی

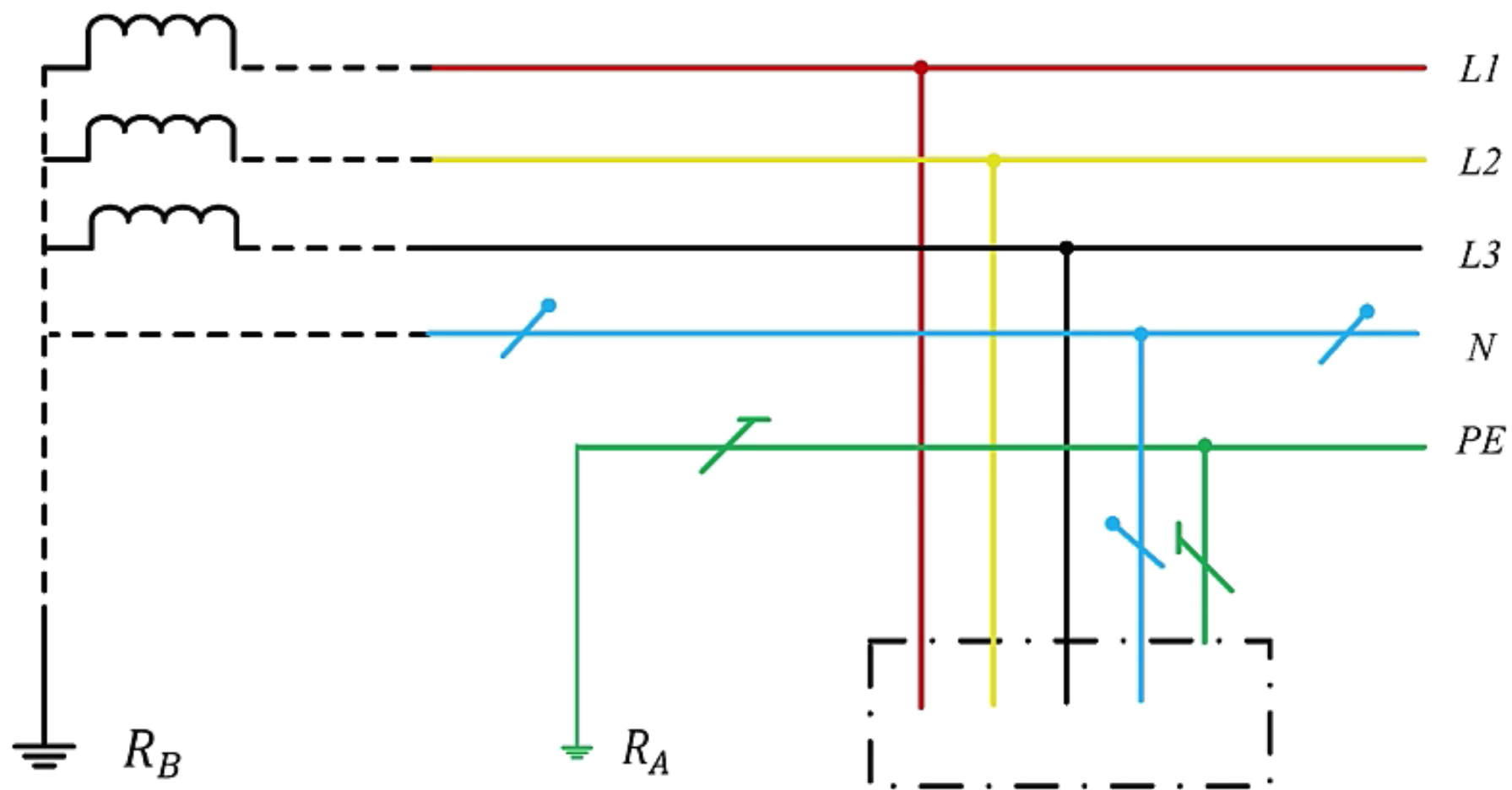


نقشه شماتیک



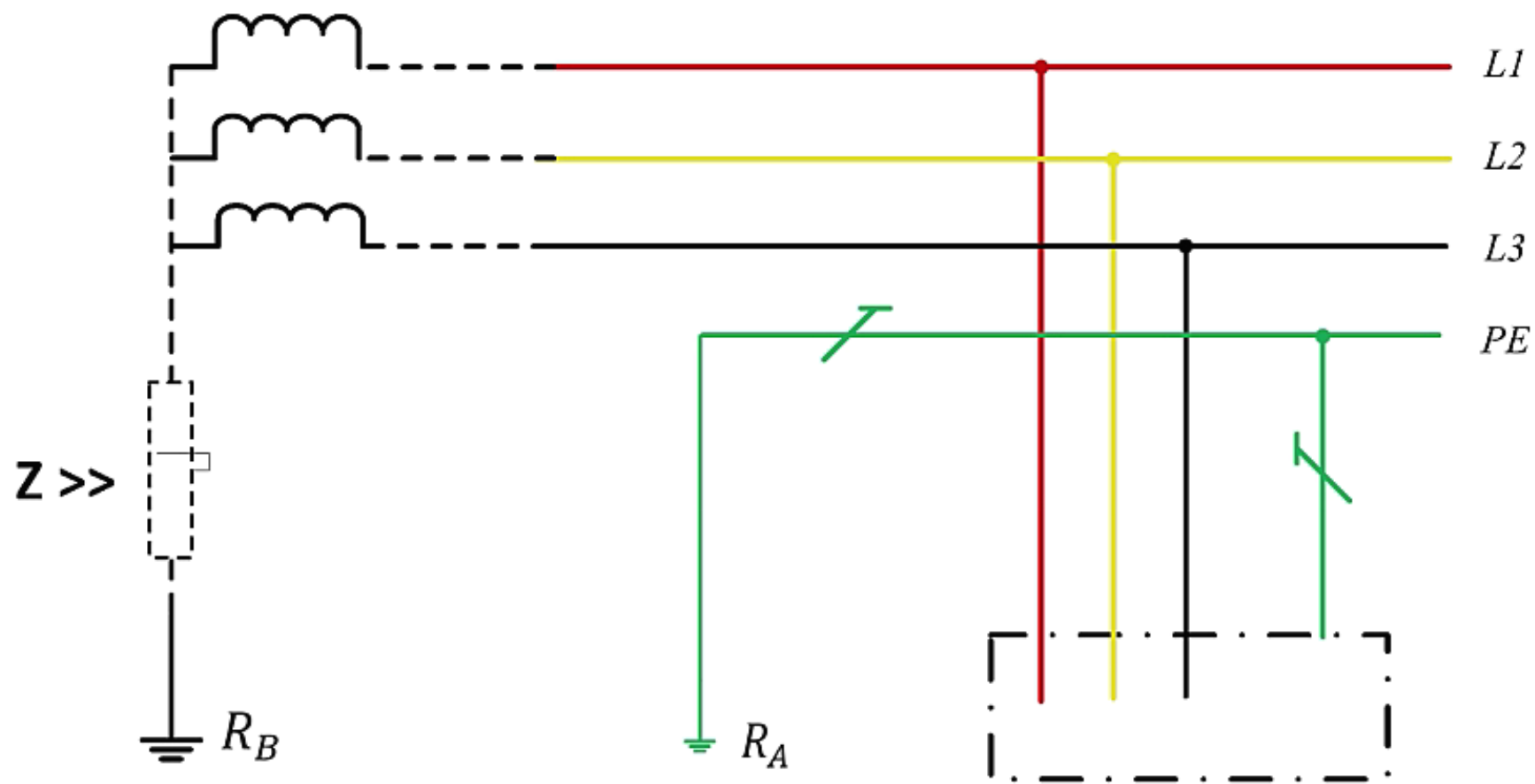
T T

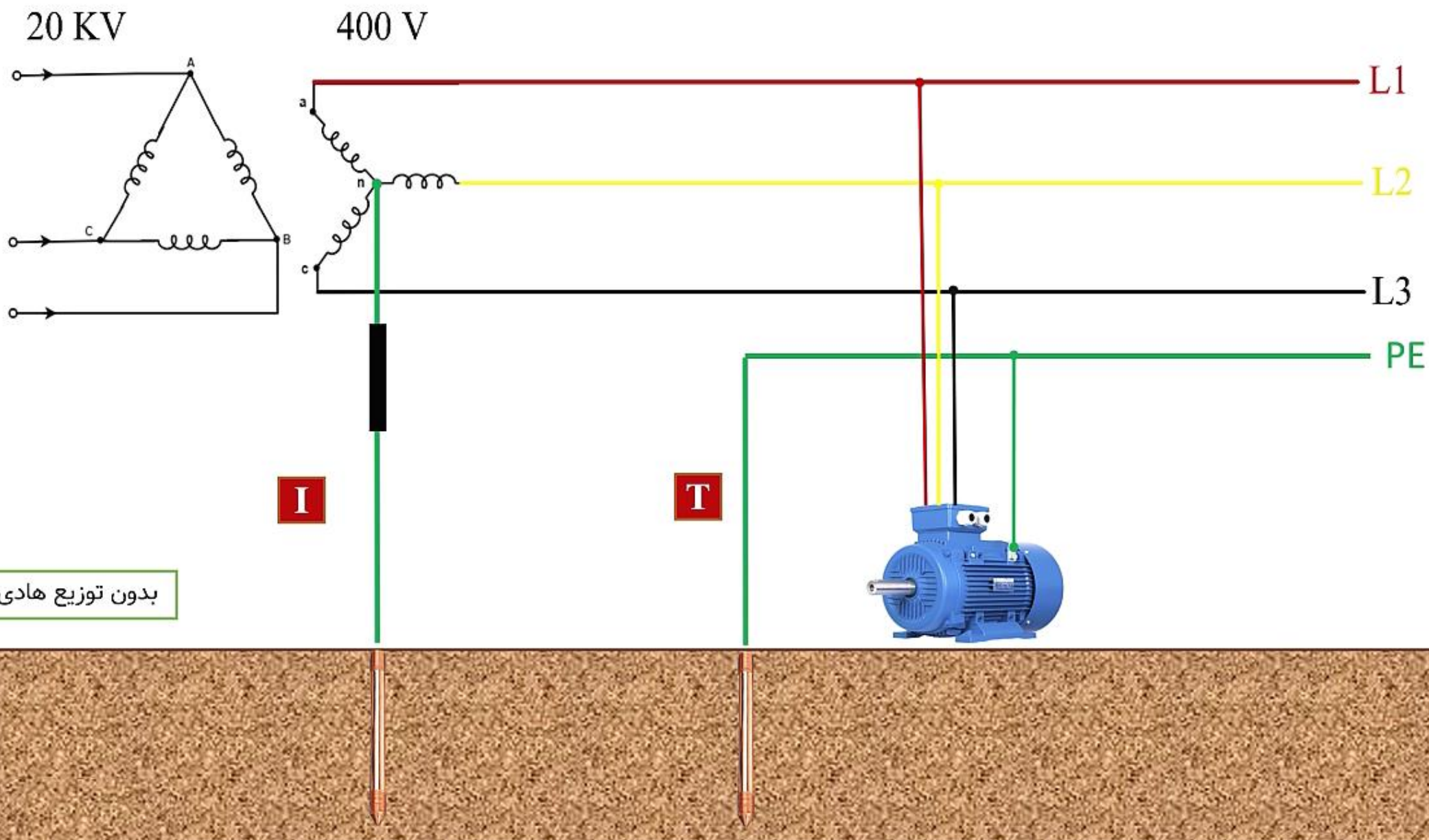
با توزیع هادی خنثی

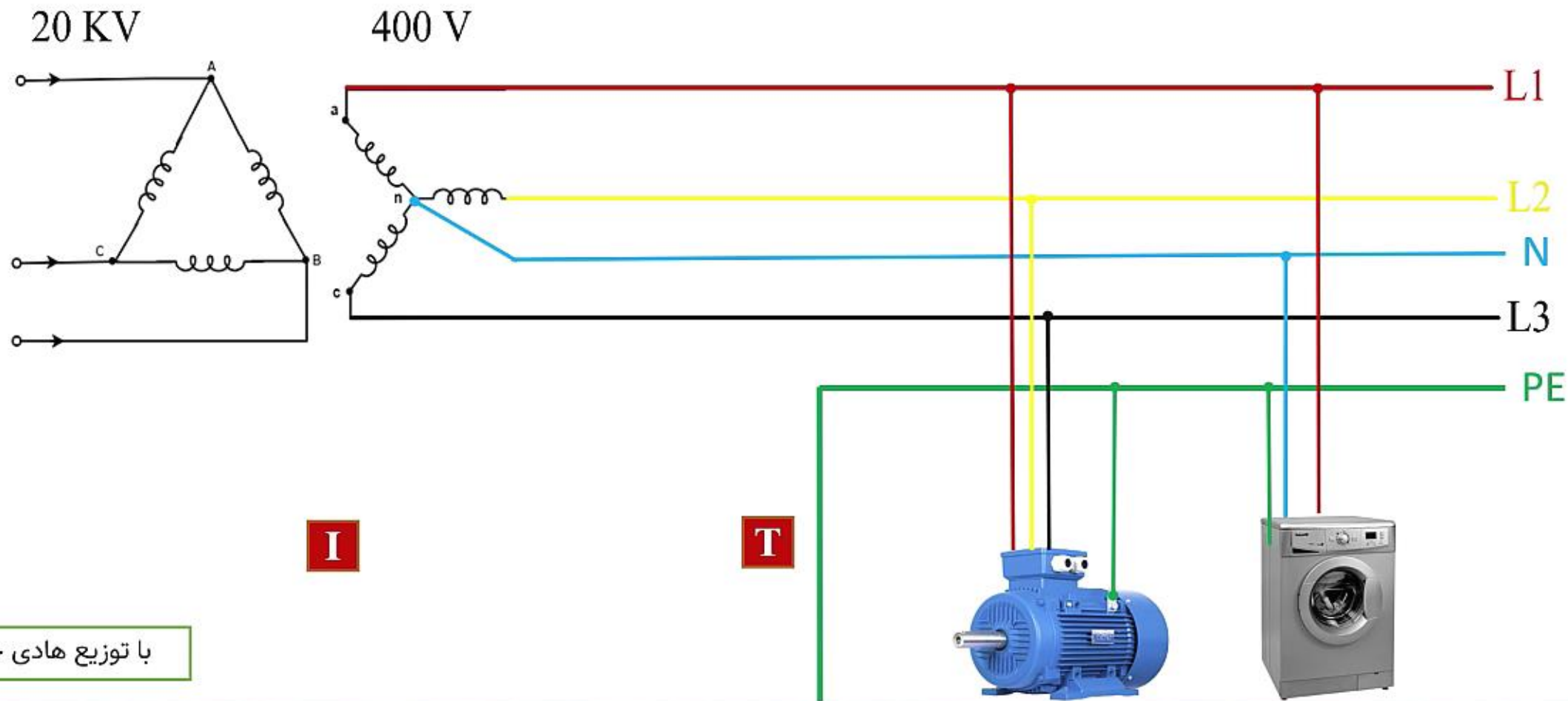


I T

بدون توزیع هادی خنثی

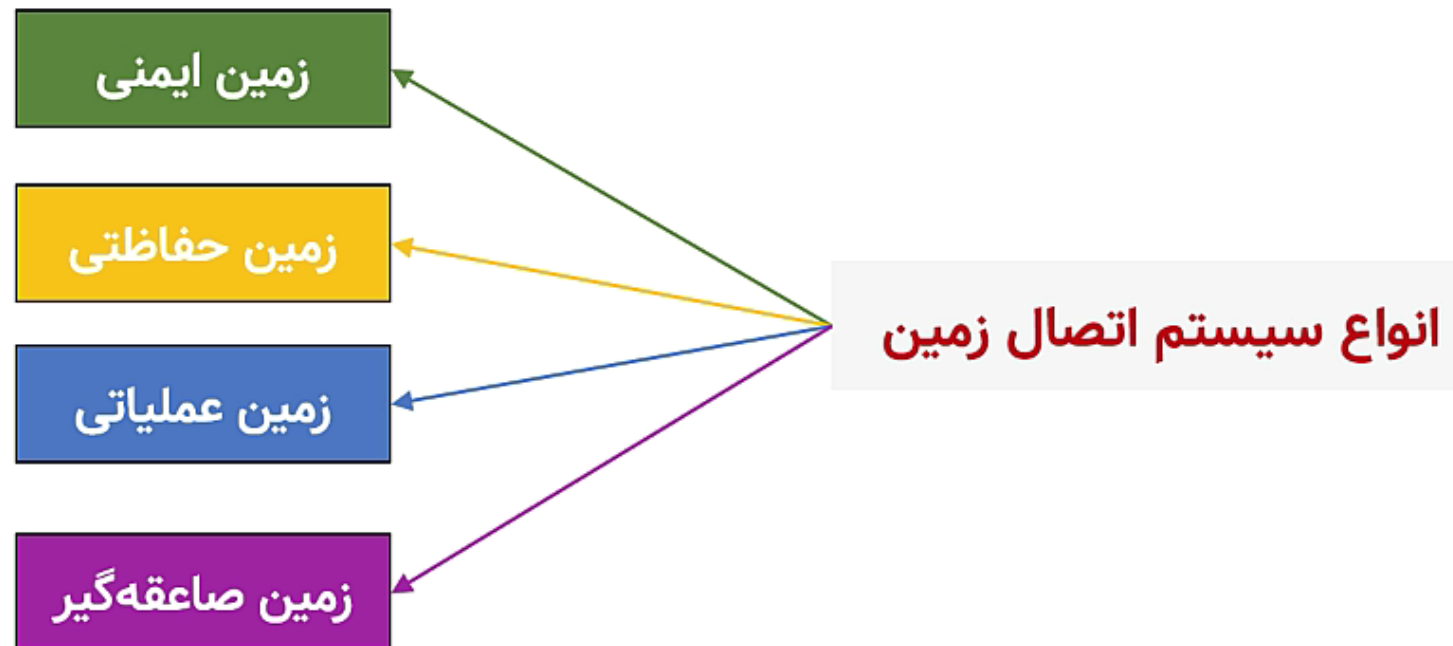






انواع سیستم اتصال زمین

اتصال زمین برای حفاظت جان انسان و حیوان، تامین شرایط کارکرد صحیح تاسیسات برقی و حفاظت سیستم‌های آن بکار می‌رود.



زمین ایمنی

به اتصال نقطه خنثی منبع نیرو (ترانسفورماتور و ژنراتور) به زمین که به منظور **تثبیت ولتاژ نقطه خنثی و کارکرد صحیح**

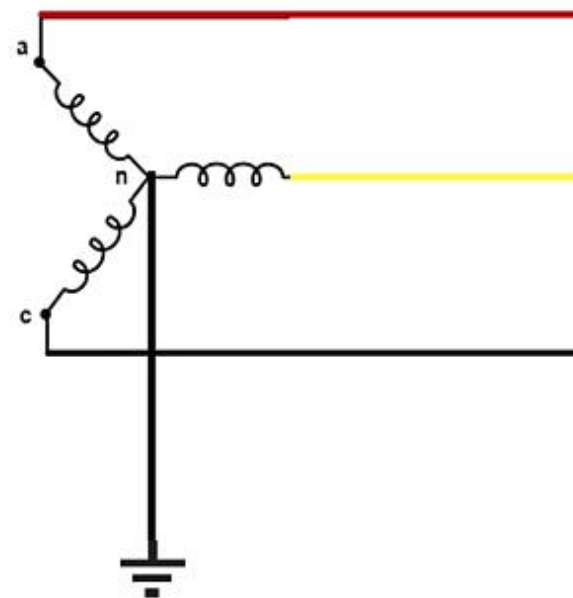
تجهیزات صورت می گیرد، اتصال زمین ایمنی می گویند.

بوشینگ فشار متوسط

بوشینگ فشار ضعیف

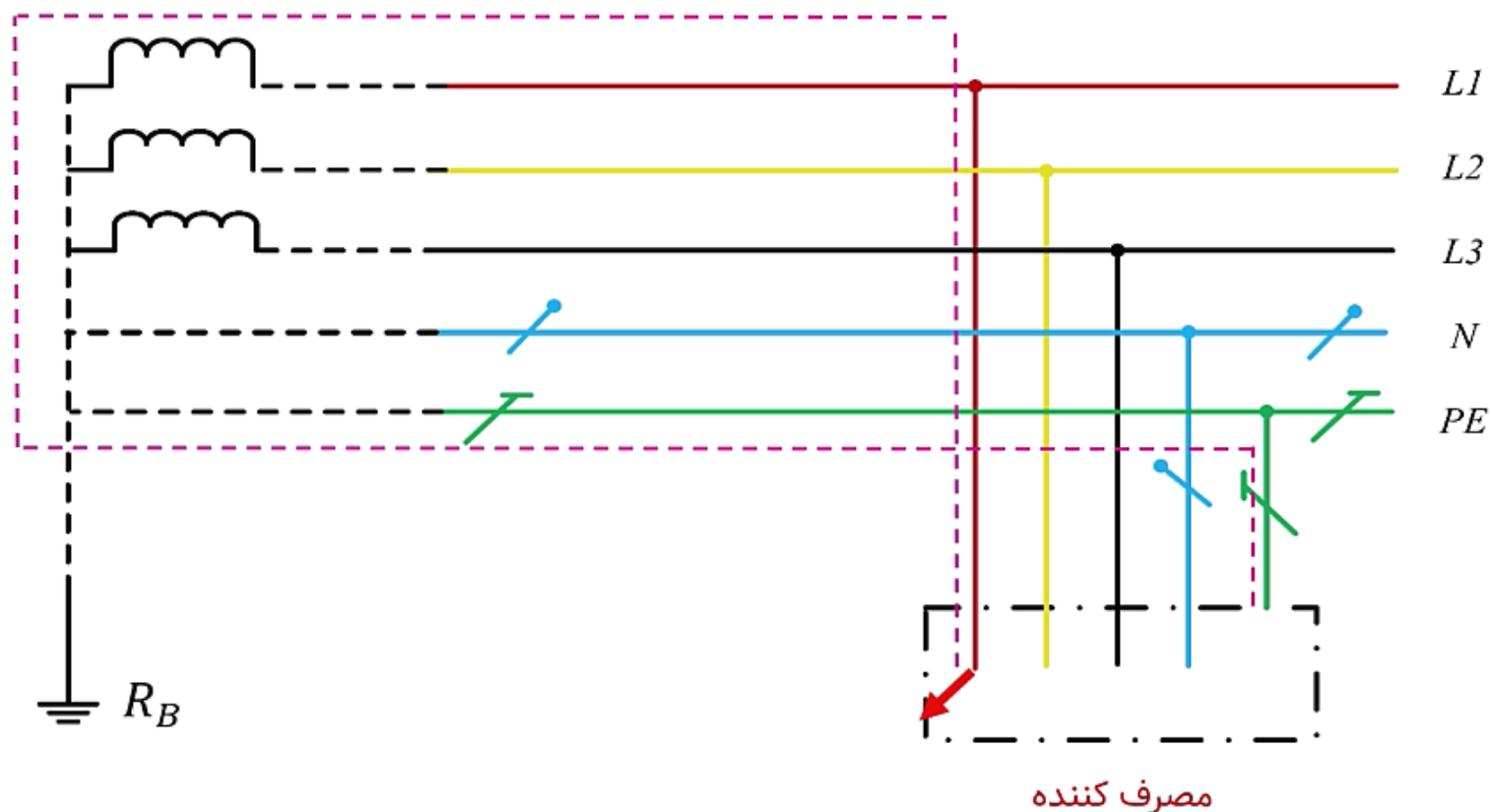


الکتروود زمین ایمنی



عملکرد زمین ایمنی

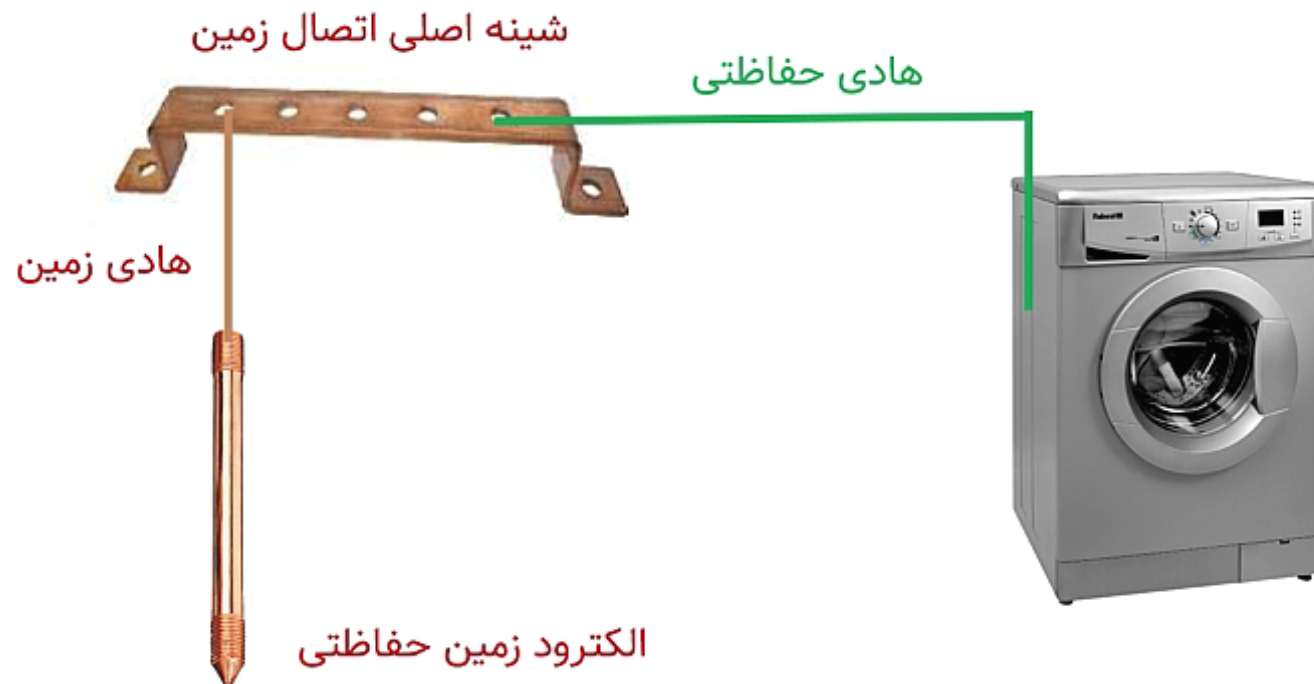
T N S



در صورت بروز خطای اتصالی به زمین یا بدنه فلزی تجهیزات، به دلیل زمین کردن نقطه خنثی منبع نیرو، حلقه اتصال کوتاه با مقاومت بسیار کم تشکیل و باعث قطع مدار توسط تجهیزات حفاظتی می‌شود. در نتیجه منجر به حفظ عایق‌بندی تجهیزات، جلوگیری از اضافه ولتاژ و کارکرد ایمن و صحیح و بدون نقص آنها می‌شود.

زمین حفاظتی

به اتصال قسمت‌های رسانای قابل تماس تجهیزات الکتریکی به زمین (یا هادی حفاظتی) که به منظور **جلوگیری از برق‌گرفتگی** صورت می‌گیرد، اتصال زمین حفاظتی می‌گویند. بنابراین در صورت اتصال فاز به بدنه در یک مصرف‌کننده، از انتقال جریان به بدن افراد یا بروز آتش‌سوزی جلوگیری می‌شود.



برای هادی‌های زمین حفاظتی، رنگ سبز و زرد راه‌راه تعیین شده است.

زمین عملیاتی

اتصال نقاطی از دستگاه‌های الکترونیکی و سیستم‌های جریان ضعیف مانند مرکز کامپیوتر یا مرکز داده، مرکز تلفن، مخابرات و ارتباطات و ... به زمین، که به منظور **تضمین عملکرد صحیح و مطمئن تجهیزات** این سیستم‌ها صورت می‌گیرد. چون برخی از تجهیزات الکترونیکی برای داشتن عملکرد صحیح به ولتاژ مرجعی برابر با پتانسیل جرم زمین نیاز دارند. (به منظور به حداقل رساندن میزان تداخل القاء یا نویز)





□ هادی‌های مورد استفاده برای اتصال زمین عملیاتی با توجه به فرکانس کار تجهیزات مورد نظر، ممکن است به صورت تسمه‌های فلزی، سیم‌های بافته‌ای تخت یا کابل‌های با سطح مقطع مدور باشند.

□ برای هادی‌های زمین عملیاتی هیچ رنگی مشخص نشده است. با این حال رنگ سبز و زرد که برای هادی‌های اتصال زمین حفاظتی تعیین شده است، نباید استفاده شود. پیشنهاد می‌شود از یک رنگ مشابه در سرتاسر تاسیسات برای مشخص بودن هادی‌های اتصال زمین عملیاتی بکار برده شود.

□ اتصال زمین عملیاتی در نهایت باید به ترمینال اصلی اتصال زمین ساختمان وصل و هم‌بندی شود.

زمین صاعقه گیر

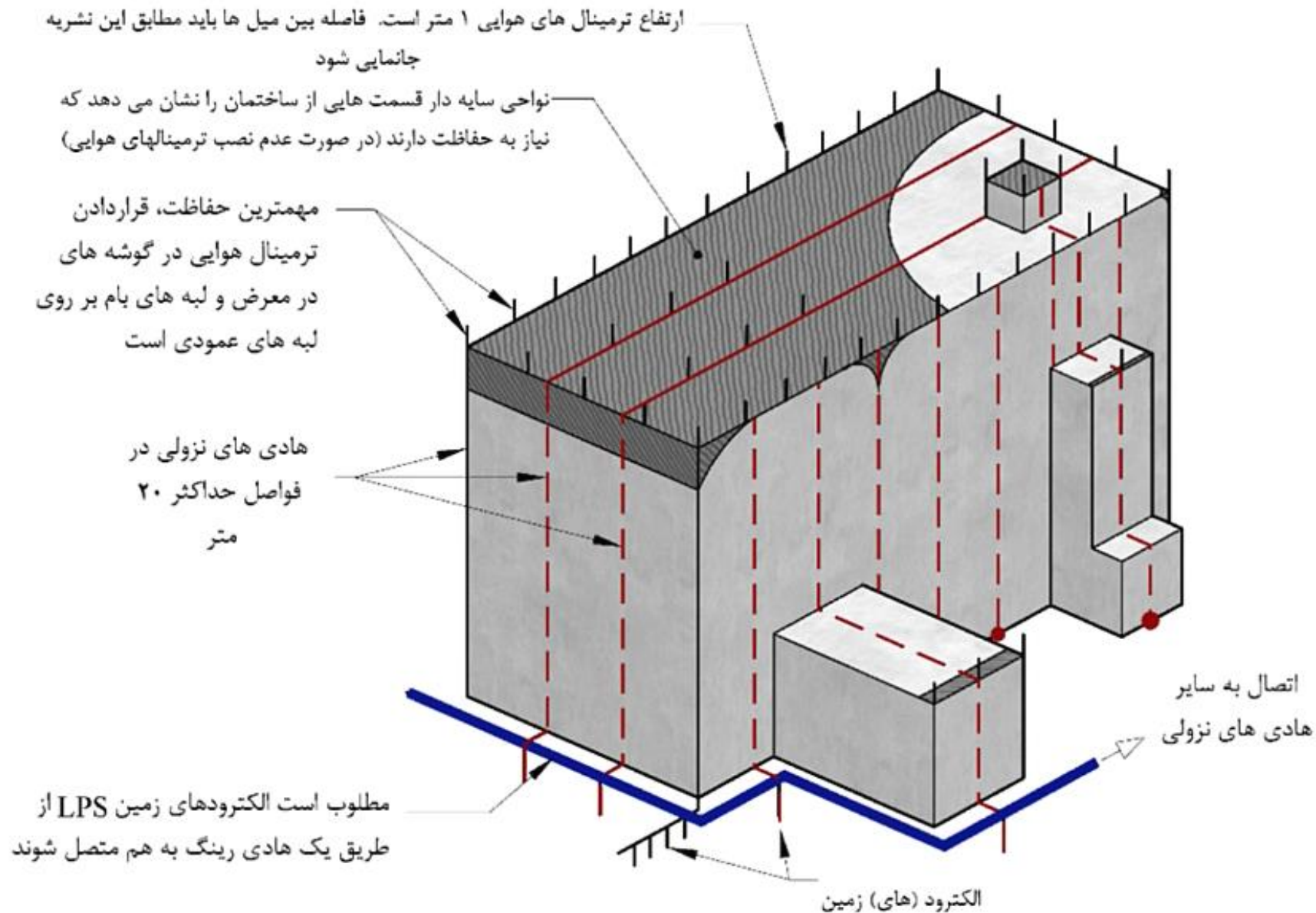
کاربرد سیستم‌های حفاظت از صاعقه

- ❑ ساختمان‌های بلند
- ❑ بناهای تجمعی
- ❑ بناهای درمانی / مراقبتی
- ❑ بناهای صنعتی مانند برج‌ها، دودکش‌ها، مناره‌ها
- ❑ خطوط انتقال نیرو
- ❑ پالایشگاه‌ها و نظایر آن
- ❑ کلیه بناهای مرتفع

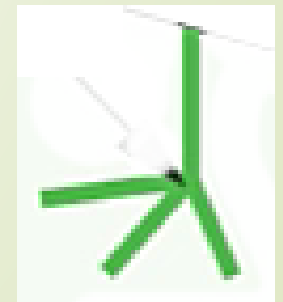
معیارهای ارزیابی ریسک صاعقه

- ❑ نوع بنا یا سازه (مسکونی، تجمعی، درمانی، صنعتی و ...)
- ❑ ساختار و مصالح بکار رفته در بنا (چوب، آجر، بتن، فولاد و ...)
- ❑ ارتفاع ساختمان
- ❑ موقعیت نسبی ساختمان نسبت به بلندی سایر بناها
- ❑ موقعیت توپوگرافی محل (زمین مسطح، تپه ماهور، کوهستانی)
- ❑ محتوای تصرف از نظر حریق
- ❑ دفعات رعد و برق در منطقه

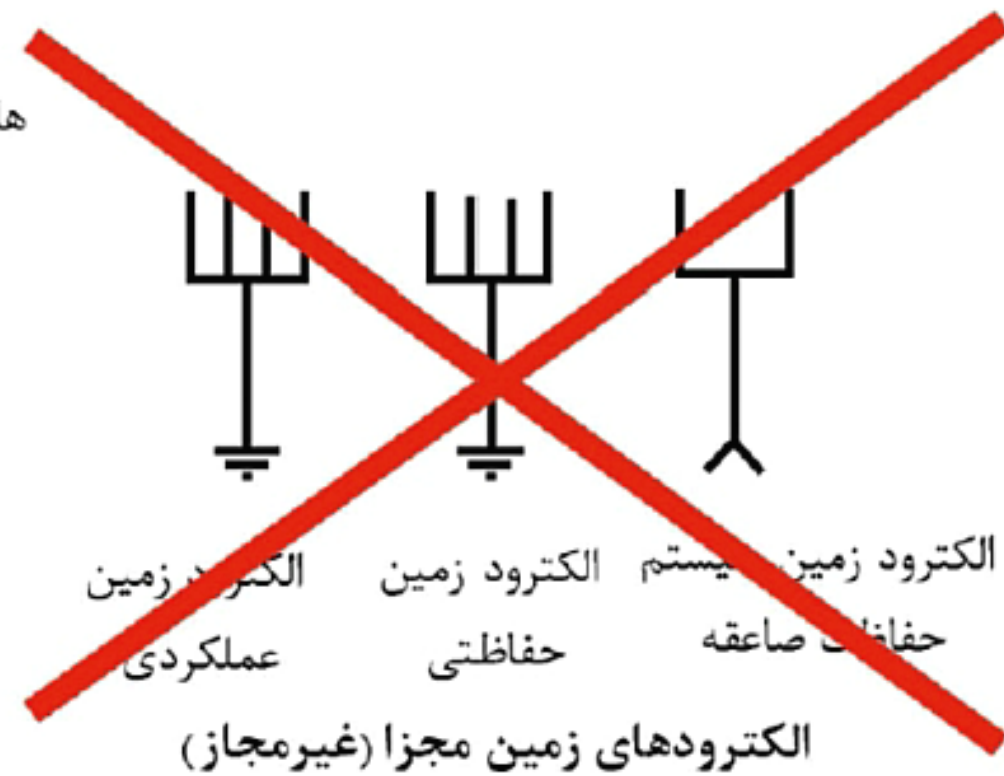
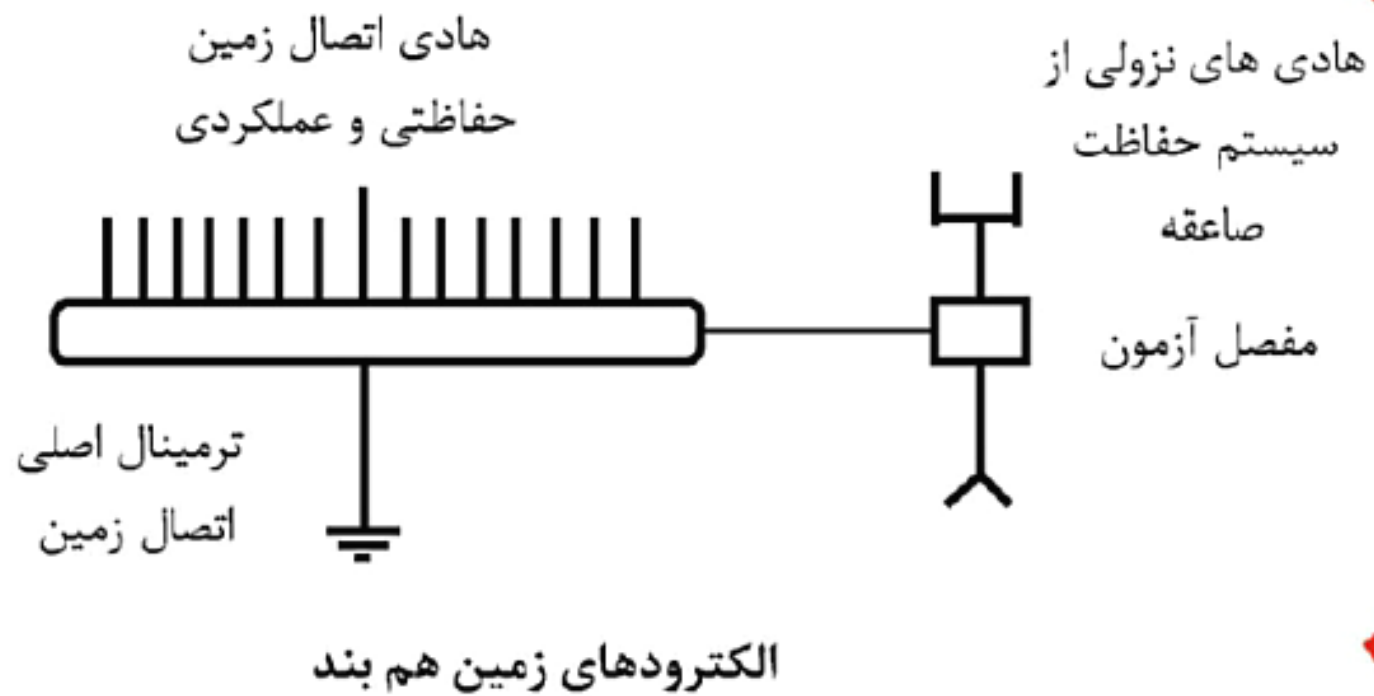
طرحواره کلی سیستم حفاظت از صاعقه



هادی اتصال به زمین پا
پرنده ای یا پا کلاغی

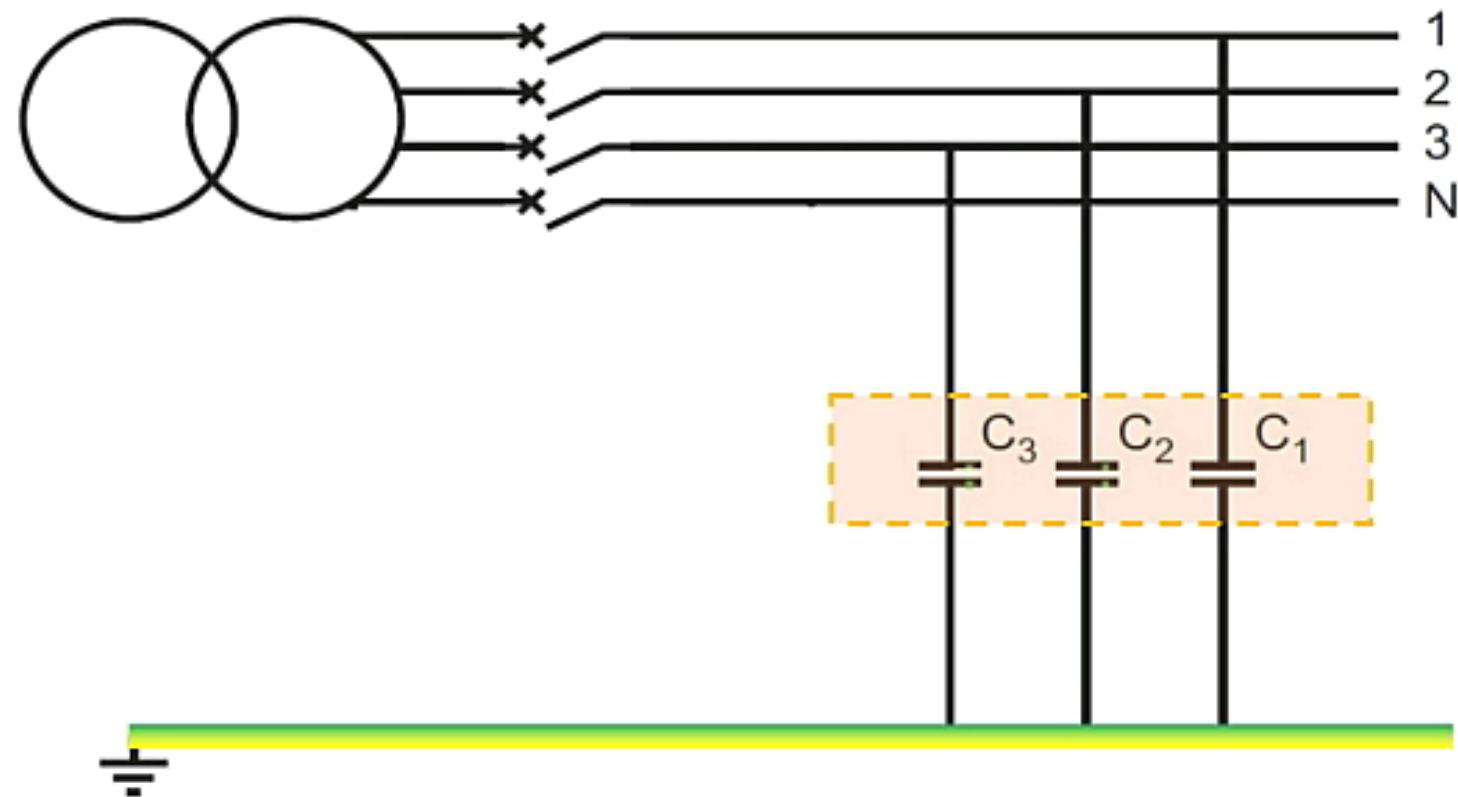


طرحواره نحوه اتصال الکترودهای زمین حفاظتی ، عملیاتی و صاعقه گیر

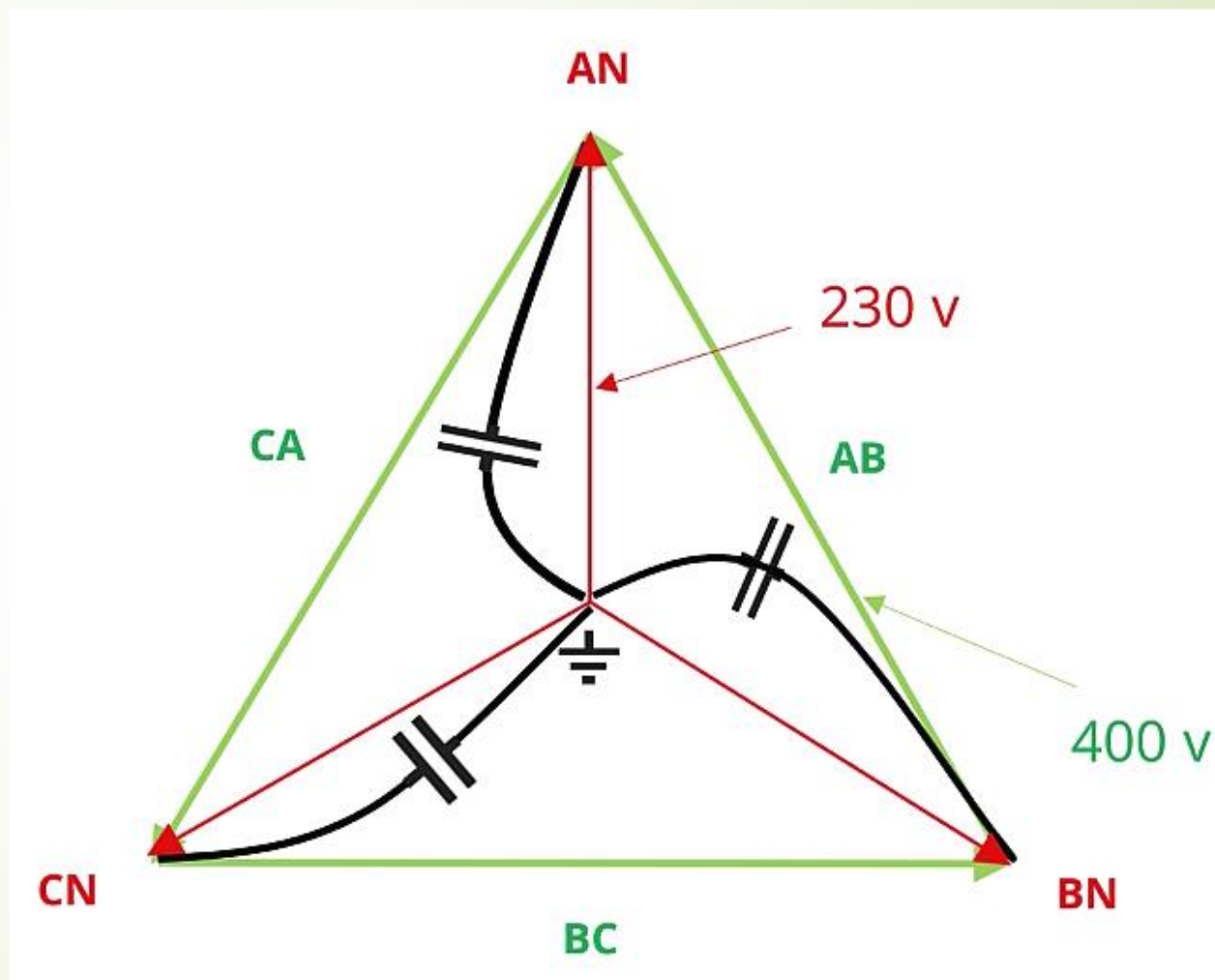
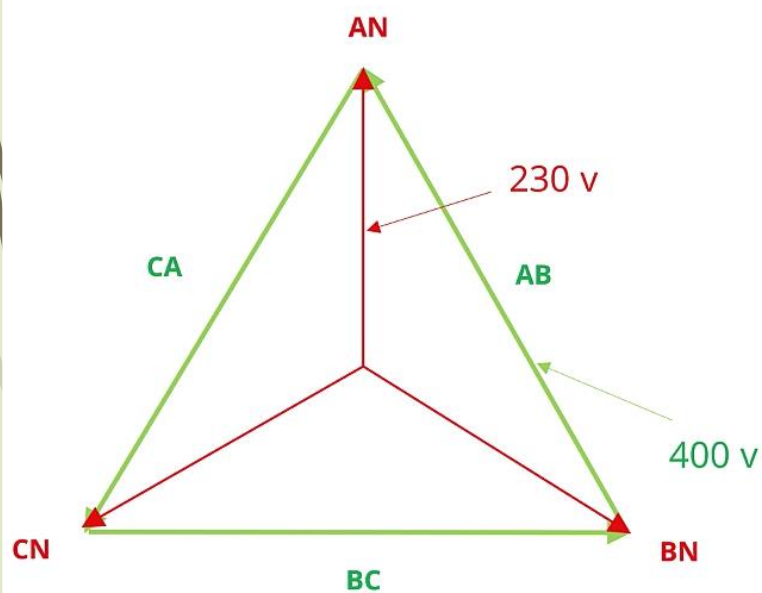
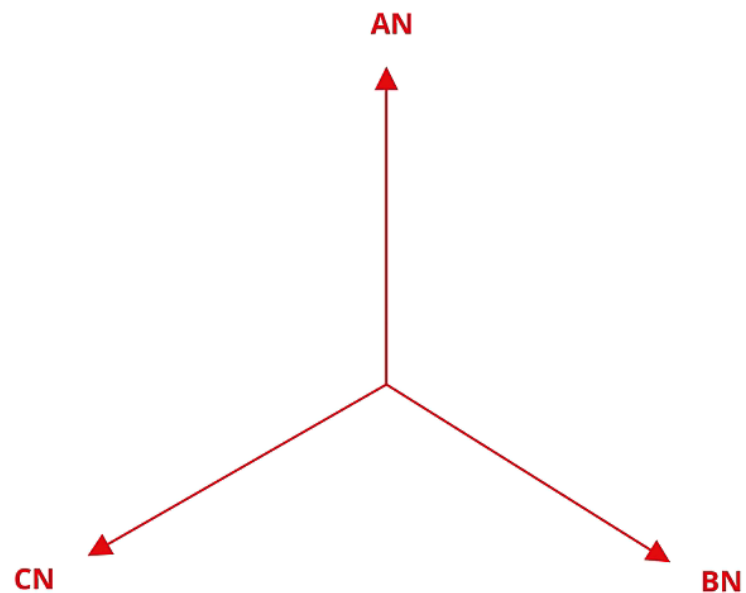


آشنایی با سیستم سه فاز

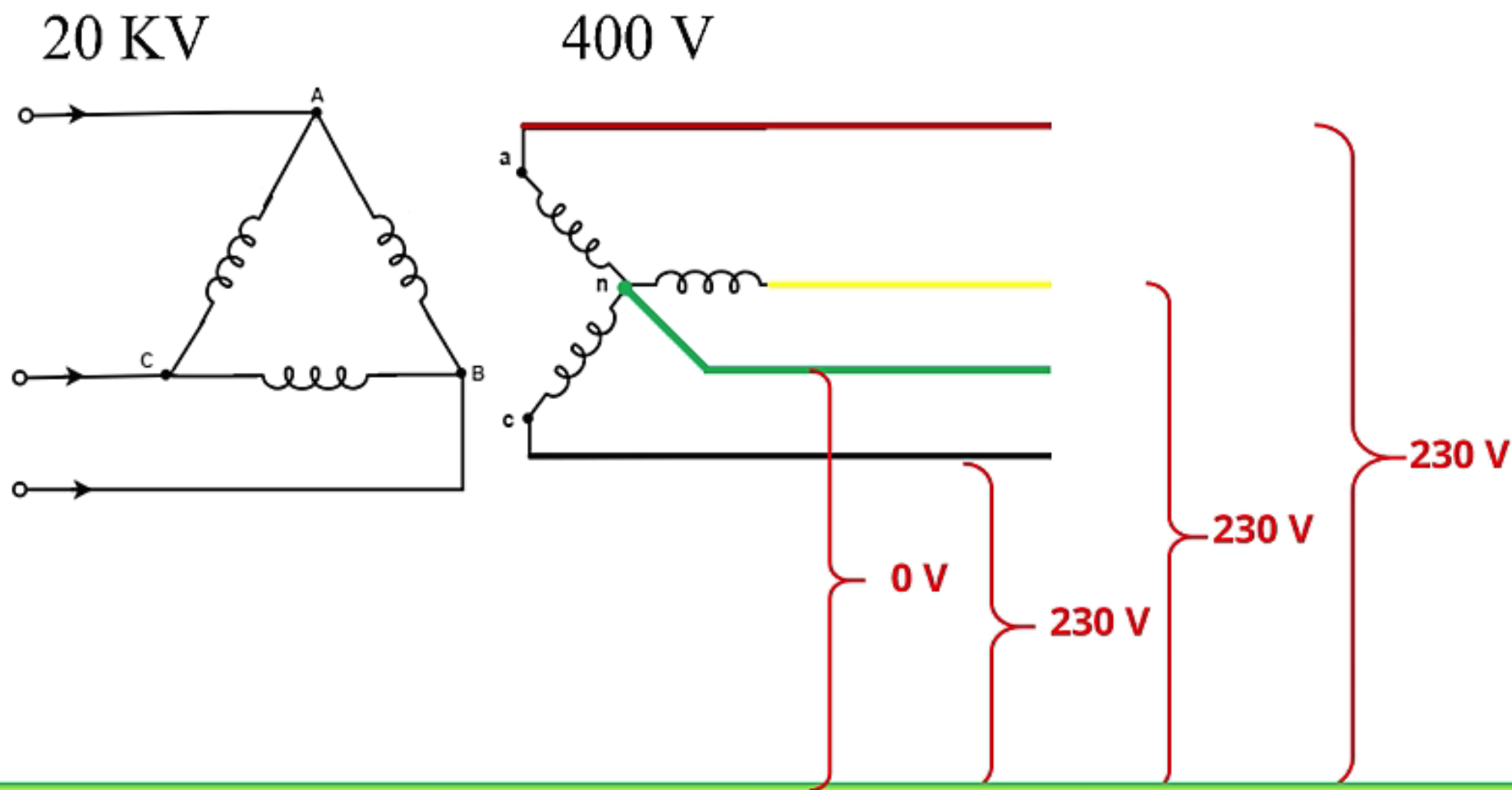
در شرایطی که سیستم سالم است، بدلیل وجود خازنهای طبیعی بین فازها و زمین، ولتاژ فازها با هم برابر بوده و تنش ولتاژی روی عایق بندی وجود ندارد.



نمودار فازی سیستم سه فاز

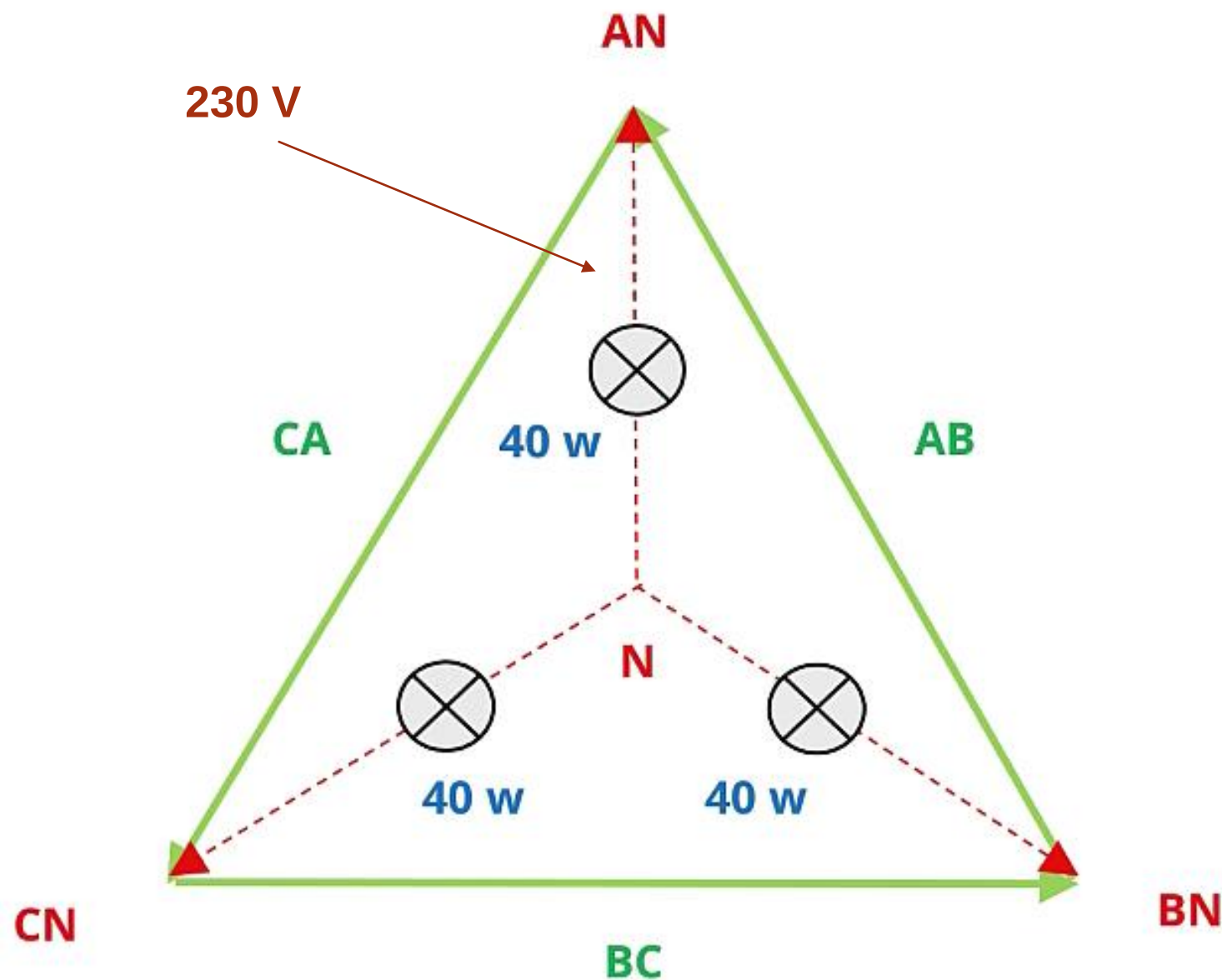


شکل مداری سیستم سه فاز

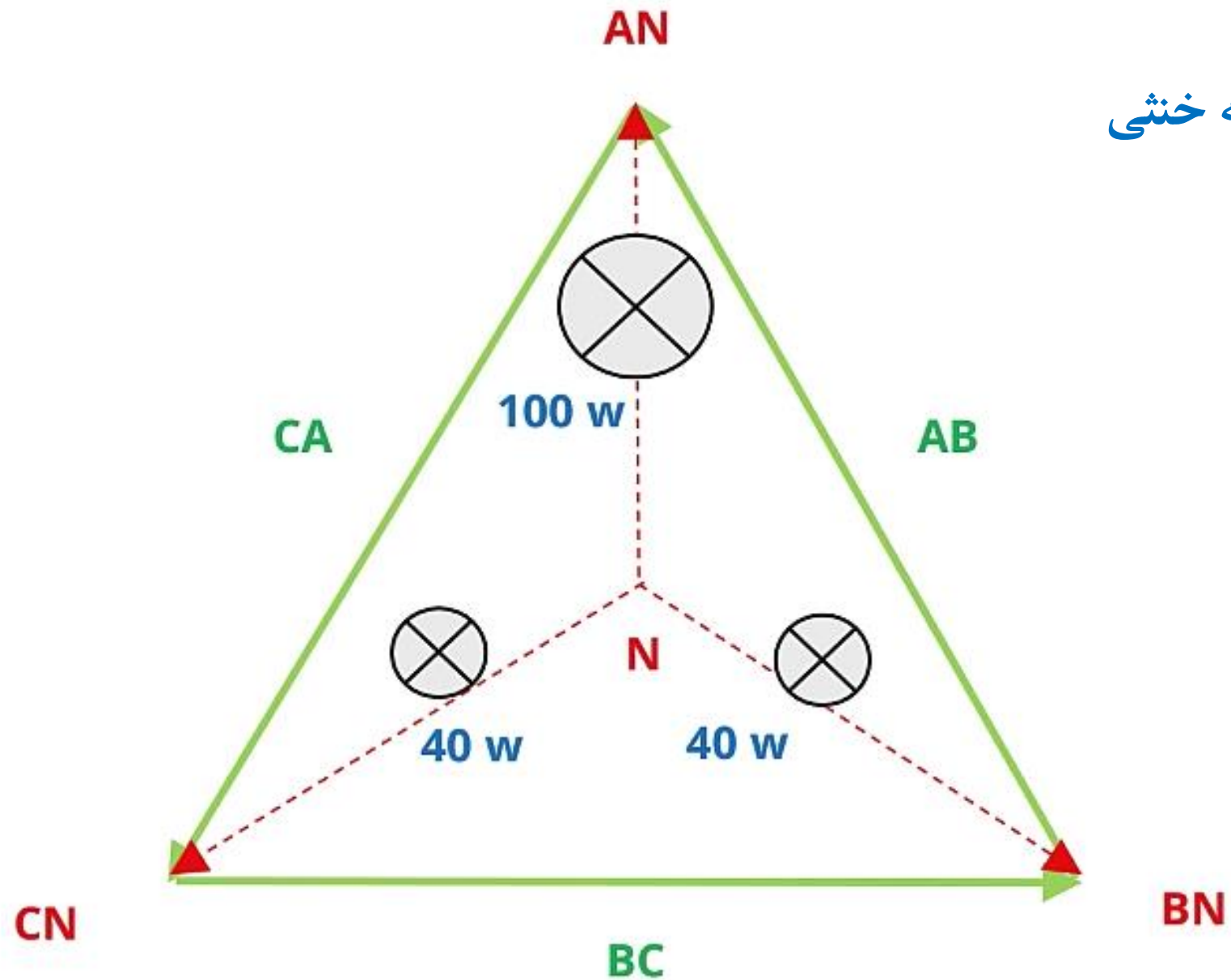


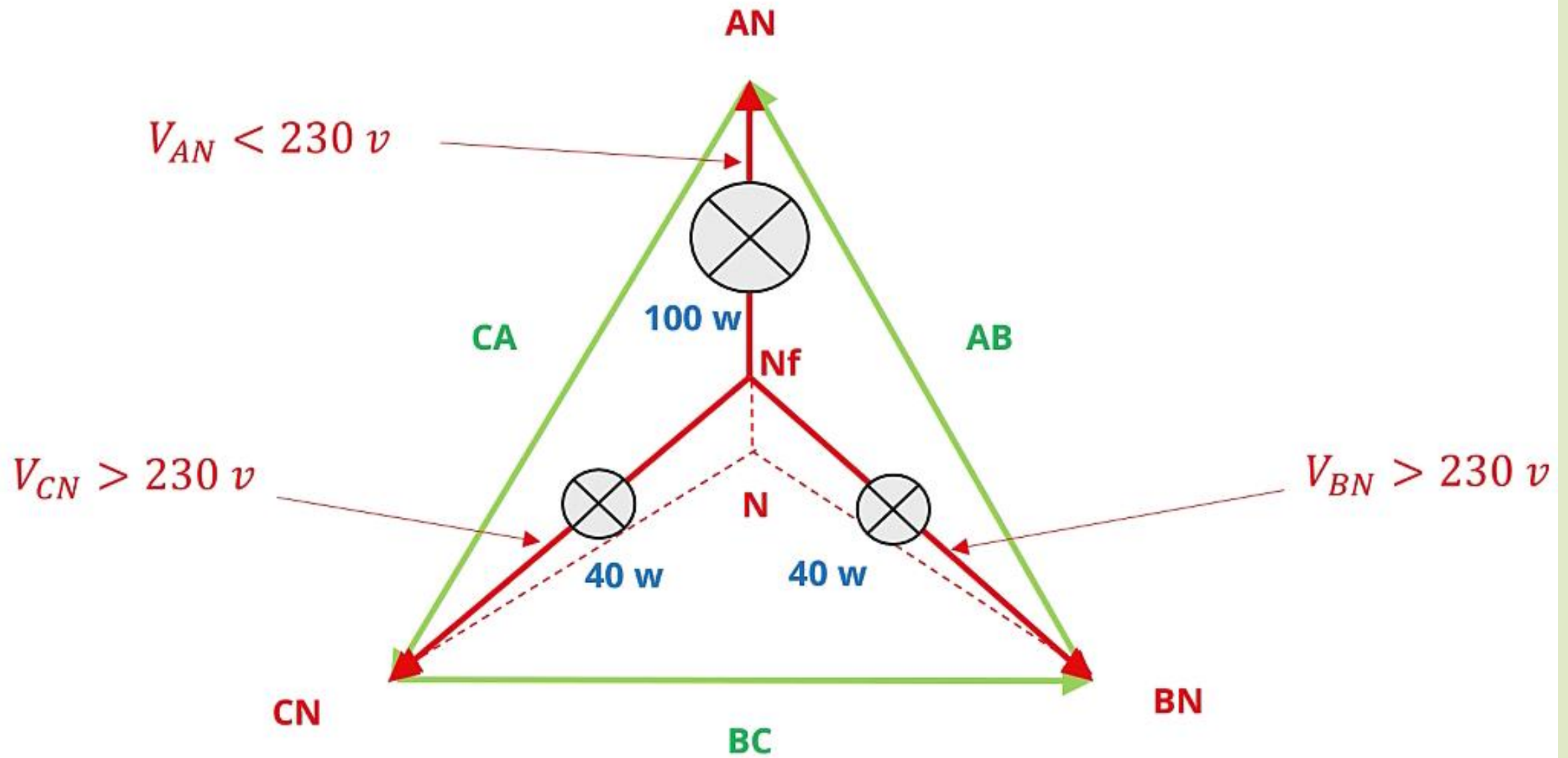
شناور بودن نقطه نول

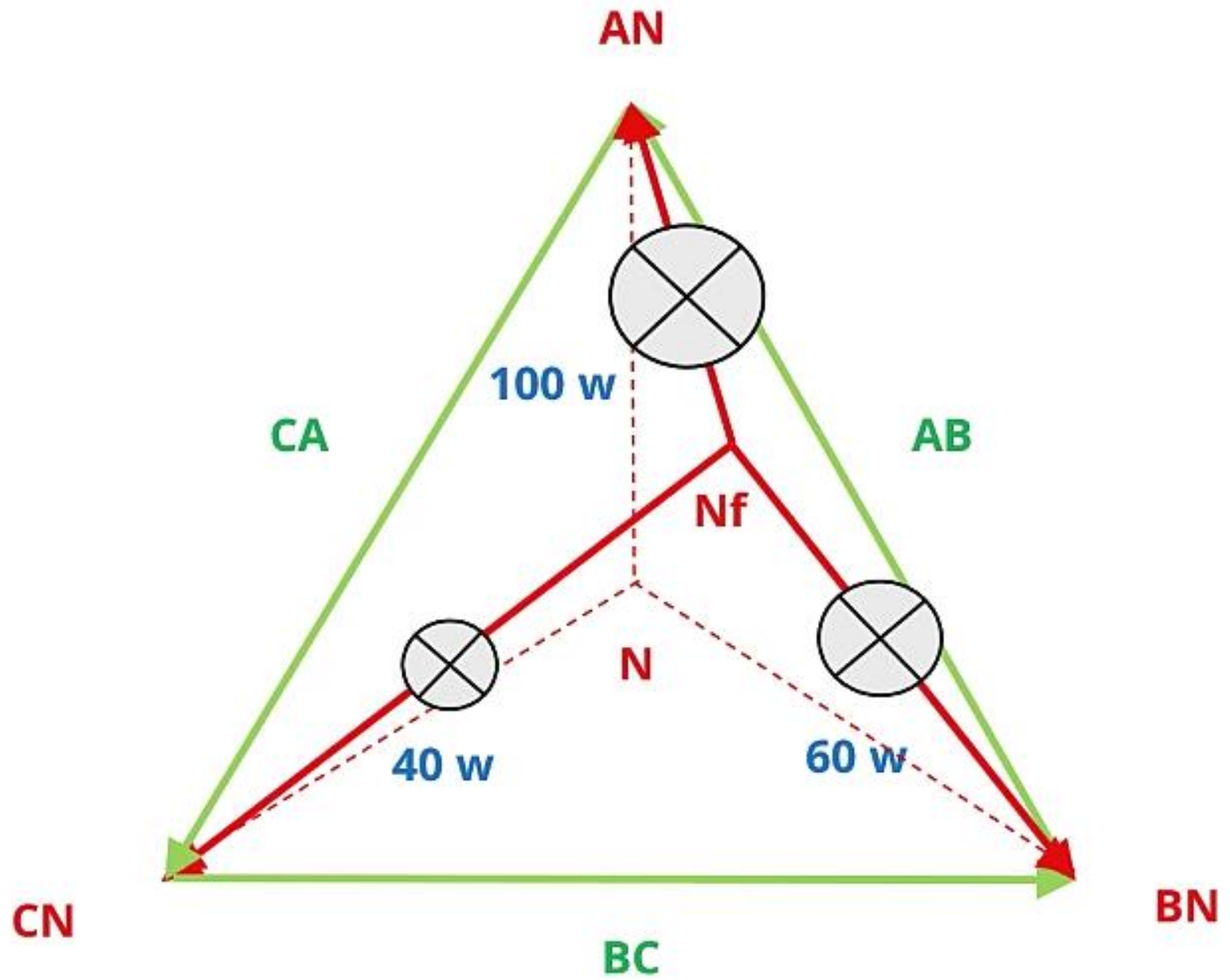
– بار متعادل و ولتاژ نقطه خنثی :



اثر نا متعادلی بار بر روی نقطه خشی

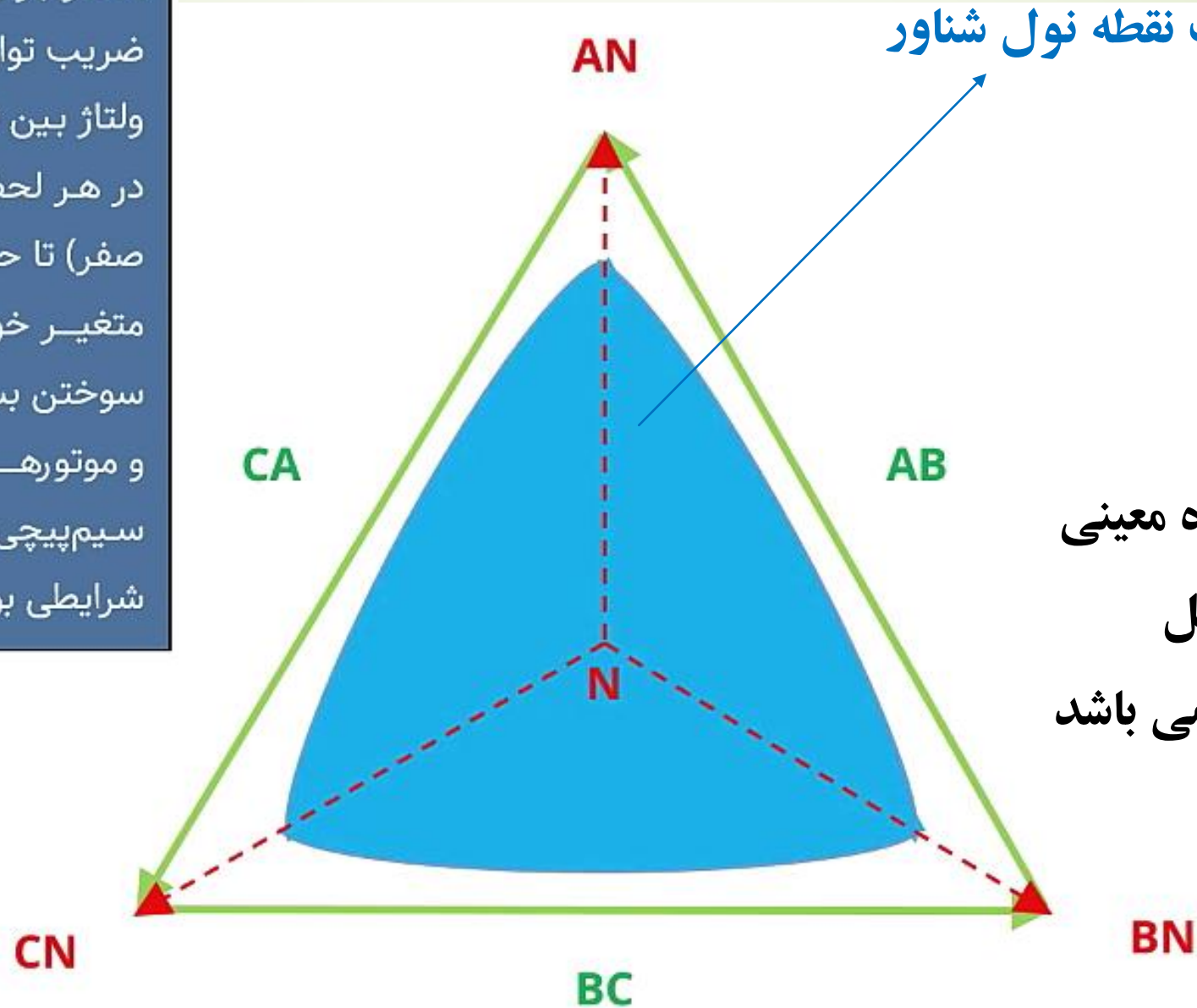






ولتاژ نقطه خنثی در هر لحظه تابع مقدار بار و مشخصات شبکه (امپدانس و ضریب توان) دارد.

ولتاژ بین نقطه خنثی و هر یک از فازها در هر لحظه از حداقل (قدری بیشتر از صفر) تا حداکثر (قدری کمتر از ۴۰۰ ولت) متغیر خواهد بود و این امر سبب سوختن بسیاری از لامپ‌ها، لوازم خانگی و موتورها و شکست عایق‌بندی در سیم‌پیچی‌ها و سایر اجزاء همه اینها در شرایطی بود که سیستم سالم است.



مکان هندسی تغییرات نقطه نول شناور

مکان هندسی محدوده معینی
ندارد و این شکل
فقط جهت راهنمایی می باشد

خطراتی که در اثر پاره شدن هادی حفاظتی-خنثی (PEN) در سیستم TN بوجود می‌آید:

پارگی PEN بزرگترین خطر در یک سیستم TN است. پارگی PEN دو نوع خطر ایجاد می‌کند:

- ❑ ۱- ولتاژ بدنه‌های هادی ممکن است به مدت طولانی بیش از مقدار مجاز شود و خطر برق گرفتگی بوجود آورد.
- ❑ ۲- به علت موج شدن بیش از حد هادی PEN، ولتاژهای بین هر فاز و هادی PEN ممکن است به شدت تغییر کند و سبب شکست عایق‌بندی و سوختن لوازم شود.

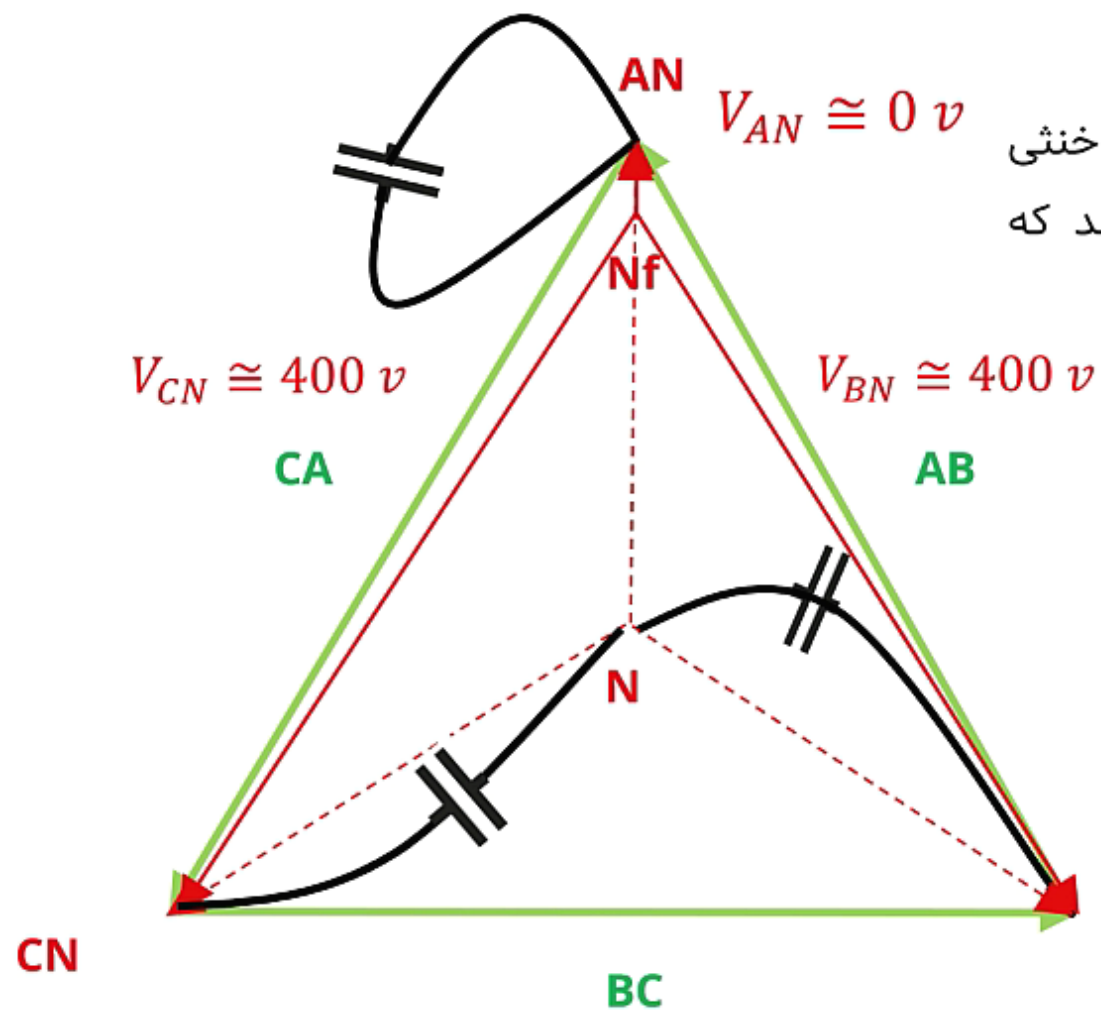
حفاظت در برابر اضافه ولتاژ در تاسیسات برق فشار ضعیف

برای حفاظت در مقابل اضافه ولتاژ در تاسیسات برق فشار ضعیف موارد زیر باید رعایت شود:

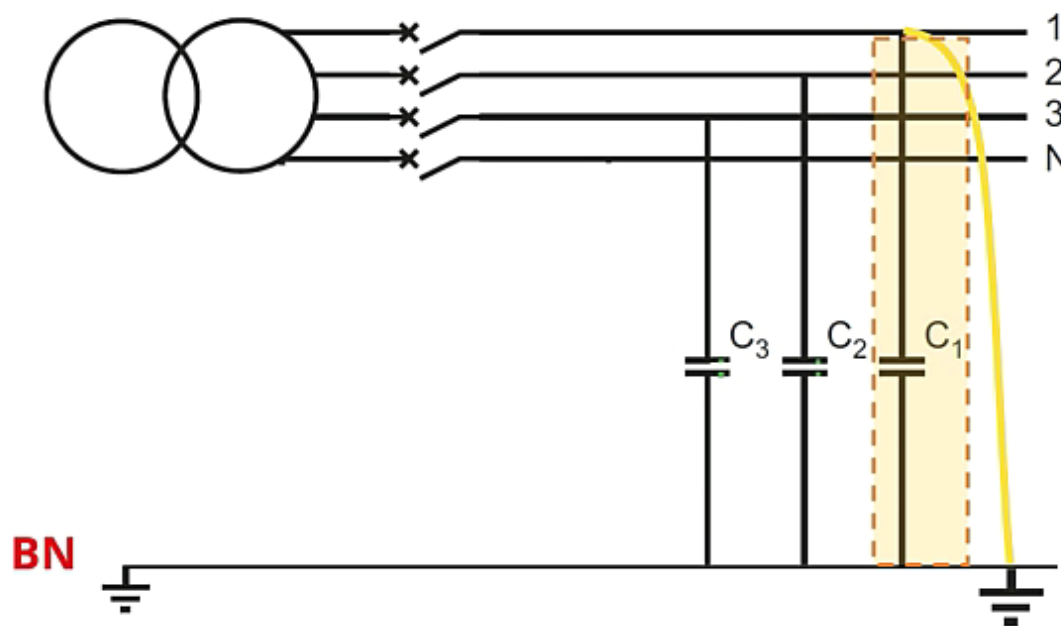
الف) برای جلوگیری از اضافه ولتاژ در هادی خنثی در صورت بروز اتصال بین هادی فاز و هادی خنثی، تجهیزات حفاظتی در مقابل اضافه ولتاژ باید در مدار پیش‌بینی شود.

ب) قطع هادی خنثی باعث مواج‌شدن ولتاژ بین فازها و هادی خنثی شده و موجب شکست عایق‌بندی و در نتیجه سوختن لوازم و تجهیزات الکتریکی می‌شود. برای این منظور باید تمهیدات لازم برای پیشگیری از قطع هادی خنثی پیش‌بینی گردد.

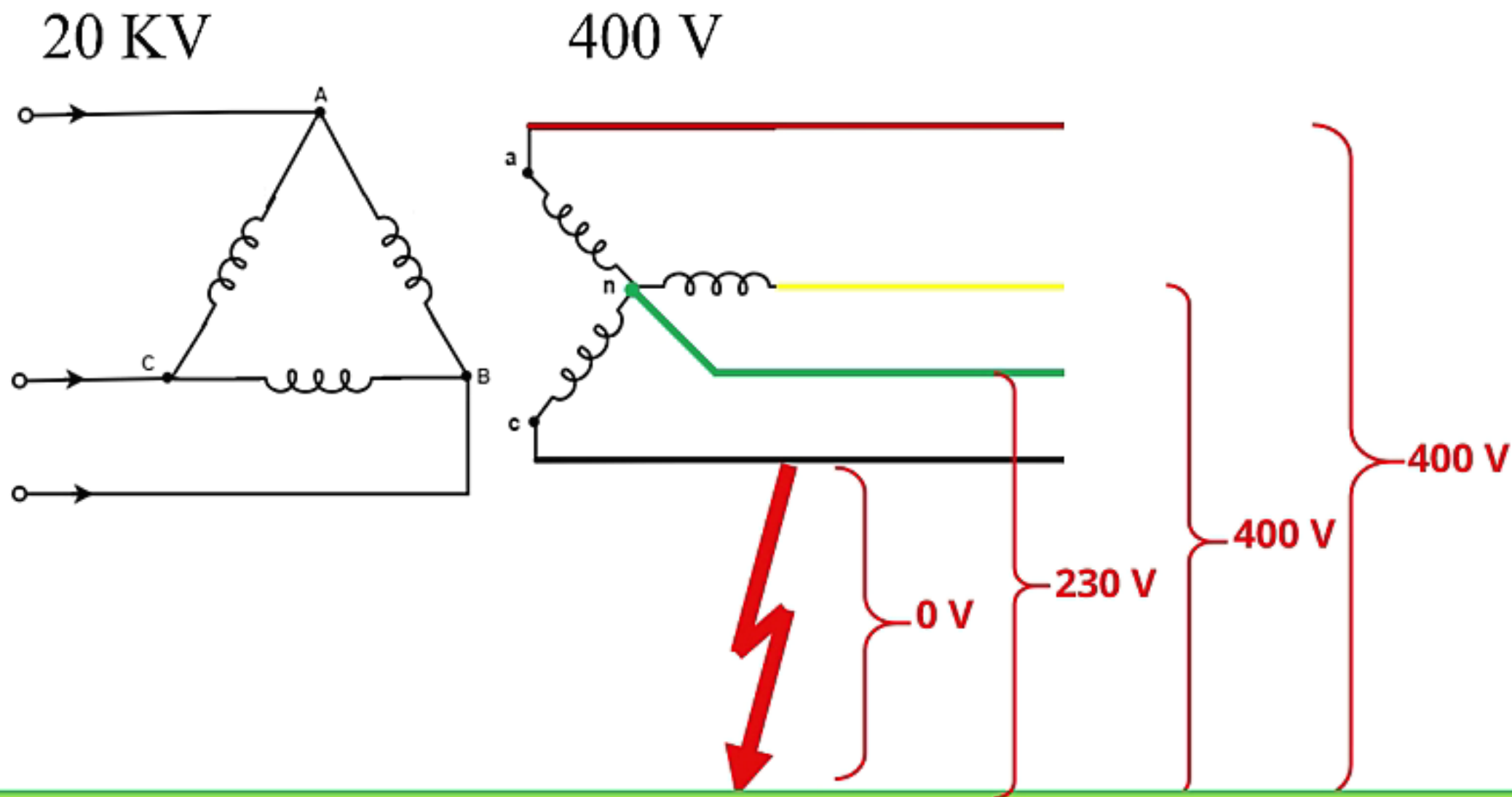
سیستم بدون اتصال به زمین



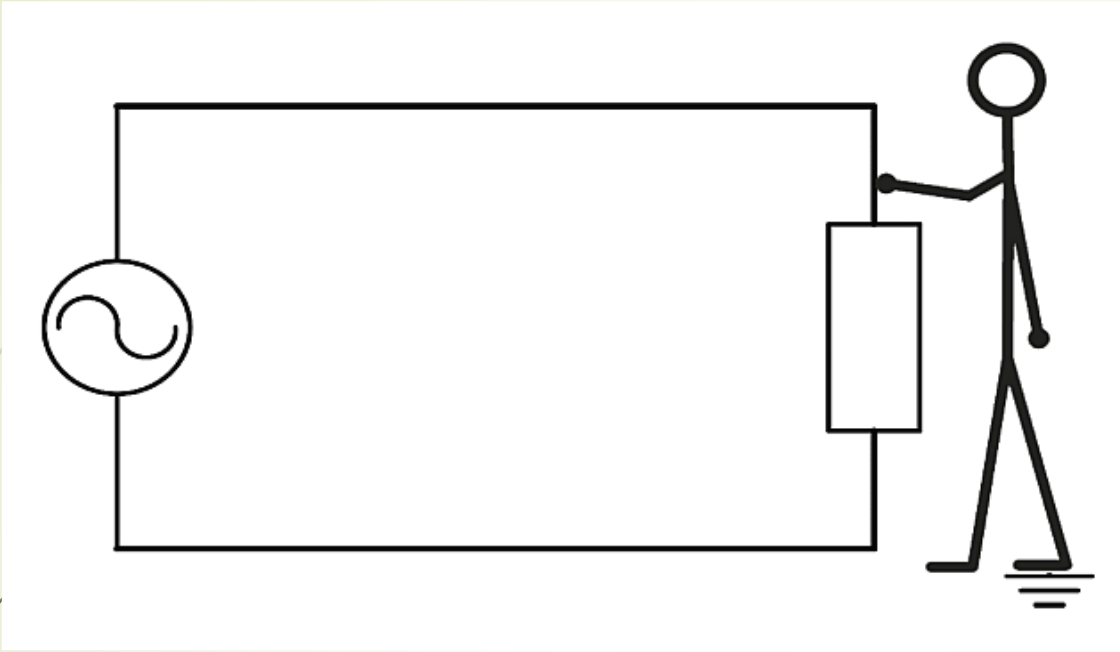
در صورتی که یکی از فازها به زمین وصل شود، ولتاژ سایر فازها و هادی خنثی افزایش پیدا کرده و موجب ایجاد تنش ولتاژی روی عایق‌بندی خواهد شد که موجب سوختن تجهیزات متصل به دو فاز دیگر خواهد شد.



سیستم بدون اتصال به زمین (شکل مداری)

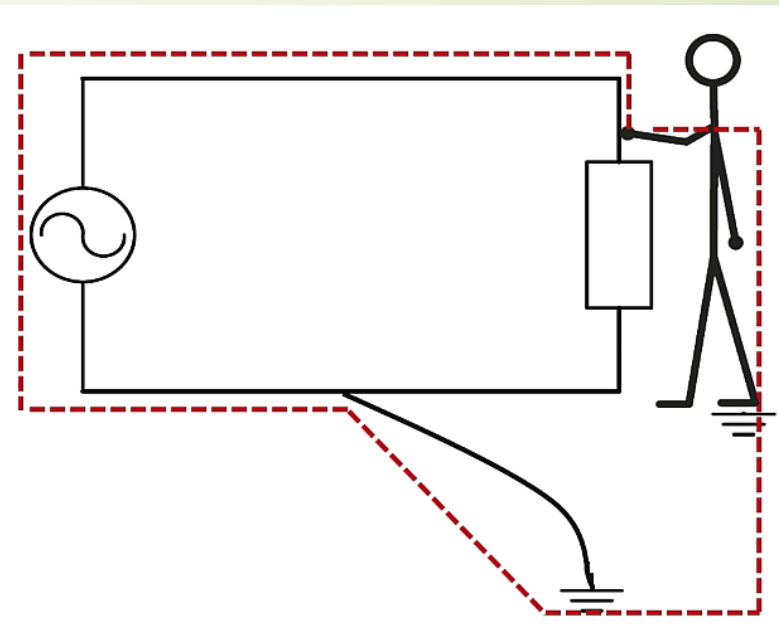
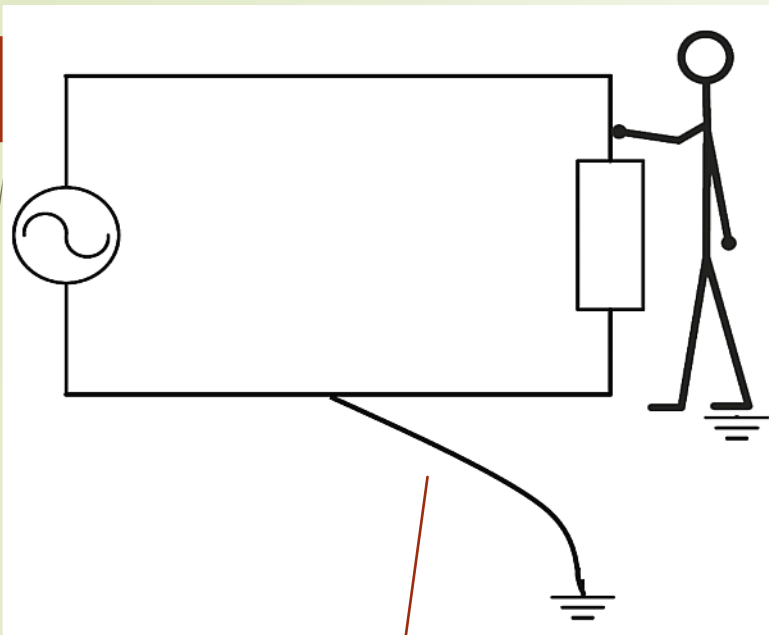


حسن سیستم بدون اتصال به زمین



هیچگونه مسیری برای
عبور جریان بین دست فرد
و منبع ایجاد نمی‌شود.

به نحوی که گذشت استفاده از سیستم به ظاهر ساده بدون اتصال به زمین تنها یک حسن دارد و آن این است که در صورت سالم بودن سیستم، تماس با هر یک از هادی‌های فاز، انسان را دچار برق‌گرفتگی نمی‌کند. زیرا مسیری که شامل بخشی از بدن انسان باشد، برای بسته شدن وجود ندارد.



اتصال اتفاقی به زمین

- قطع سیم و افتادن روی زمین خیس
- کوبیدن میخ بر روی دیوار و زخمی کردن سیم
- اتصال سیم زخمی به درب و پنجره فلزی
- اتصال سیم زخمی به نرده‌های فلزی

اگر یکی از فازها با زمین تماس پیدا کرده باشد ،

تماس انسان با یکی از دو فاز دیگر مانند

حالت قبل بی خطر نبوده و می تواند بسیار

خطرناک باشد .

IEC 60617 SYMBOLS

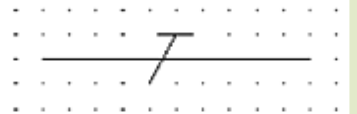
اتصال کوتاه



هادی نول یا خنثی (N)



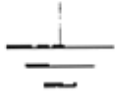
هادی حفاظتی (PE)



هادی مشترک حفاظتی- خنثی (PEN)



اتصال زمین (نشانه کلی)



اتصال زمین عملیاتی



اتصال زمین حفاظتی



شاسی یا بدنه



همبندی همولتاژکننده حفاظتی



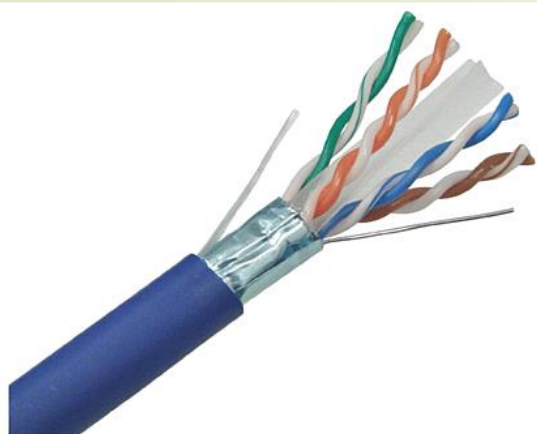
رنگ عایق سیم ها در مدار نهایی

■	هادی فاز ۱: قرمز	
■	هادی فاز ۲: زرد	
■	هادی فاز ۳: سیاه	
■	هادی خنثی: آبی کم رنگ	
■	هادی حفاظتی: سبز - زرد راه راه	
■	هادی برگشت فاز: خاکستری یا سفید	

کابل شبکه کامپیوتر

برای کابل کشی شبکه از کابل های

چند زوج به هم تابیده (Twisted Pair) با هادی مسی استفاده می شود



استاندارد نام گذاری کابل های شبکه

U / U TP

نشان دهنده نحوه حفاظت چهار زوج

سیم بهم تابیده با هم

نشان دهنده نحوه حفاظت هر زوج

سیم بهم تابیده مستقل از هم

Unshielded

Shielded

Foiled

در سینی ها و نردبان های فلزی کابل های شبکه کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، ضمن تامین تداوم هدایت الکتریکی سینی ها و نردبان ها در کل مسیر، **ابتدا و انتهای** آنها نیز باید به ترمینال یا شینه سیستم اتصال زمین وصل گردند.

هادی بیگانه

قسمت‌های فلزی است که جزء تاسیسات الکتریکی نمی‌باشند ولی قادر است پتانسیلی را که معمولاً پتانسیل زمین است در معرض تماس قرار دهد و در اثر اتصال برق‌دار شود. قسمت‌ها و یا بدنه‌های هادی بیگانه مانند:

اسکلت فلزی و قسمت‌های فلزی ساختمان‌ها مانند کابینت فلزی، نرده فلزی، سینک و ...

لوله‌های فلزی گاز، آب، تاسیسات برودتی و حرارتی و سایر تاسیسات مکانیکی

کلیه لوازم غیربرقی که ممکن است در اثر بروز اتصال، برق‌دار شوند. (رادیاتورهای فلزی متصل به تاسیسات مکانیکی)

کف‌ها و دیوارهای غیرعایق

هم بندی اصلی برای هم ولتاژ کردن

در هر ساختمان یک هم‌بندی اصلی باید کلیه قسمت‌های زیر را از نظر الکتریکی به یکدیگر وصل کند:

(۱) هادی حفاظتی اصلی (PE یا PEN)

(۲) هادی خنثی (N)

(۳) لوله‌های اصلی فلزی آب

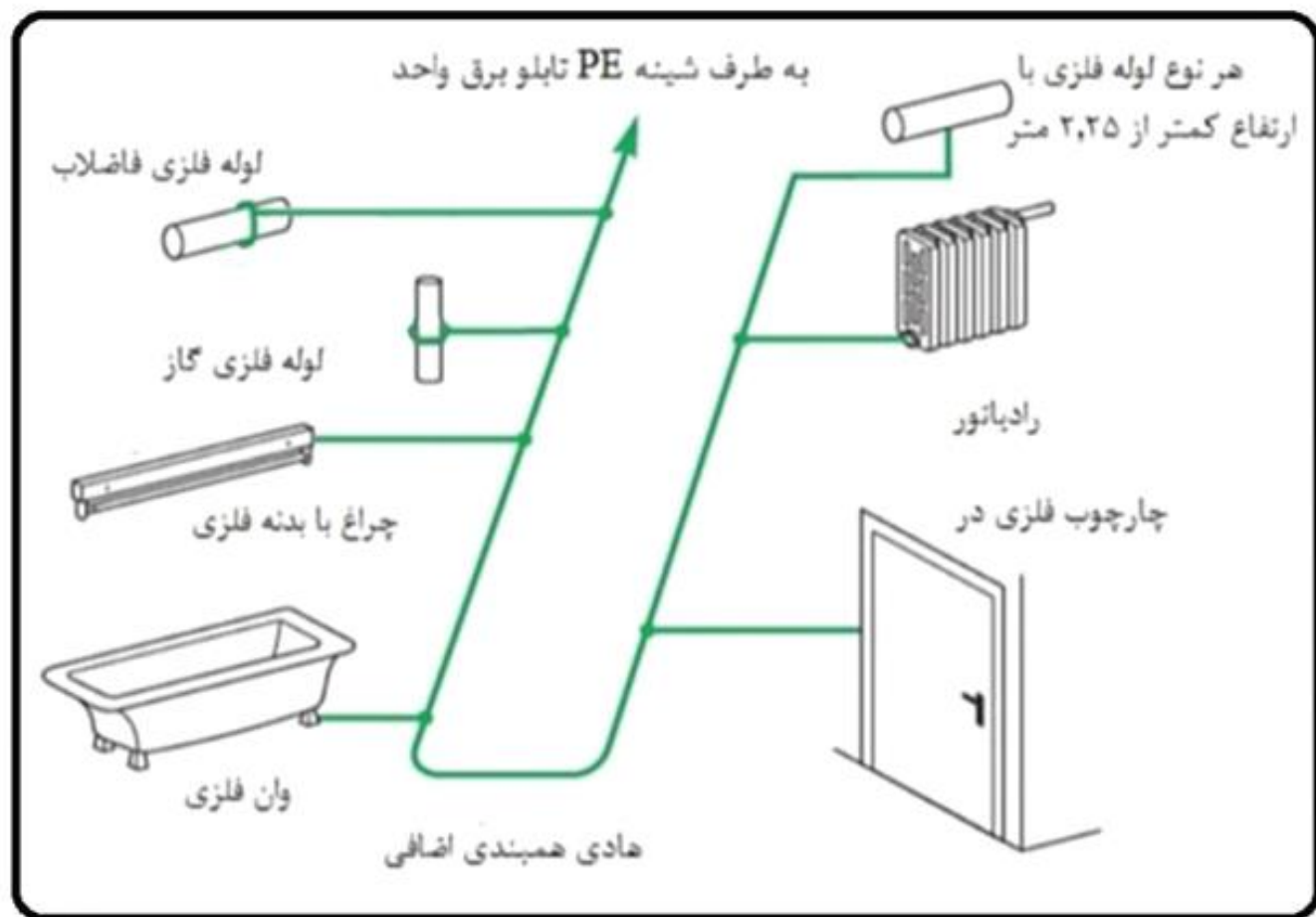
(۴) لوله‌های اصلی گاز

(۵) لوله‌های فلزی اصلی و یا بالارو (رایزر) تاسیسات: سیستم‌های حرارتی و برودتی، فاضلاب و ...

(۶) ریل‌های کابین و ریل‌های وزنه تعادل آسانسورهای کششی و جک آسانسورهای هیدرولیکی

(۷) قسمت‌های اصلی فلزی ساختمان‌ها (اسکلت‌های فلزی و آرماتورهای بتن مسلح فونداسیون)

هم بندی اضافی



اجرای همبندی اضافی

مکمل همبندی اصلی بوده و به منظور همولتاژ کردن نقاطی است که به صورت همزمان در دسترس هستند. از جمله:

- ❑ کلیه بدنه‌های هادی دستگاه و لوازم نصب ثابت
- ❑ قسمت‌های هادی بیگانه از هر نوع
- ❑ قسمت‌های فلزی قابل دسترس در ساختمان‌ها مانند اسکلت فلزی

زمین (جرم کلی کره زمین)

جرم هادی کره زمین است که پتانسیل همه نقاط آن به طور قراردادی برابر صفر انتخاب می‌شود. جرم کلی زمین را می‌توان دارای خواص زیر دانست:

❖ ۱- می‌توان آن را مانند شینه‌ای با مقطع بزرگ فرض کرد که مقاومت بین هر دو نقطه آن عملاً نزدیک به صفر است.

❖ ۲- وصل شدن به جرم کلی زمین تنها از راه الکتروود زمین امکان پذیر است.

❖ ۳- اتصال الکتروود زمین به جرم کلی زمین، همیشه همراه با مقاومتی است که همان مقاومت اتصال به زمین و با مقاومت الکتروود زمین و یا بطور خلاصه **مقاومت زمین** است.

نحوه اندازه گیری اندازه مقاومت زمین :

آیا با اهم متر می توان میزان مقاومت زمین را اندازه گرفت ؟

خیر، با اهم متر معمولی نمی توان مقاومت زمین (چاه ارت) را به صورت دقیق اندازه گرفت.

اهم متر (یا مولتی متر در حالت اندازه گیری مقاومت) برای مدارهای کوچک و بسته طراحی شده است. یعنی وقتی دو سر آن را به دو نقطه از یک مدار وصل میکنی، مقدار مقاومت بین آن دو نقطه را با تزریق جریان خیلی کم (معمولاً چند میلی آمپر) اندازه میگیرد.

اما مقاومت زمین مفهومی متفاوت است. منظور از آن، مقاومت بین الکتروود ارت (میله یا صفحه در زمین) و جرم کلی زمین در اطرافش است. این مقاومت به **نوع خاک ، میزان رطوبت ، عمق و جنس الکتروود و فاصله تا نقاط مرجع** بستگی دارد.

برای اندازه گیری مقاومت زمین از دستگاهی به نام ارت تستر (Earth Tester) یا استفاده می شود.

این دستگاه با استفاده از سه یا چهار الکتروود مجزا و تزریق جریان در خاک، مقدار واقعی مقاومت بین چاه ارت و زمین مرجع را اندازه می گیرد.

نحوه کار با دستگاه ارت تستر :

دستگاه ارت تستر سه سیمه دارای لوازم زیر می باشد :

- دو میخ کمکی (الکترو د کمکی) معمولاً فولادی به طول حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر

- سه سیم رابط با طول های متفاوت (معمولاً سبز، زرد و قرمز)

این دستگاه معمولاً سه ترمینال دارد:

E (Earth) برای اتصال به الکترو د اصلی زمین (چاه ارت)

P (Potential) برای الکترو د کمکی ولتاژ (میخ دوم)

C (Current) برای الکترو د کمکی جریان (میخ سوم)

مراحل اندازه گیری:

۱. قطع ارتباط چاه ارت از تأسیسات (چاه باید از تابلو یا تجهیزات جدا شود تا اندازه گیری دقیق باشد).

۲. کوبیدن میخ‌ها در زمین

- میخ اول: الکتروود اصلی (چاه ارت) نقطه‌ی مرجع

- میخ دوم P در فاصله حدود ۱۰ متر از چاه

- میخ سوم C در فاصله حدود ۲۰ متر از چاه

(به صورت خط مستقیم، اگر فضا ندارید می‌توانید کمی با زاویه قرار دهید).

۳. اتصال سیم‌ها

- سیم سبز → از ترمینال E به چاه ارت

- سیم زرد → از ترمینال P به میخ وسط (ولتاژ)

- سیم قرمز → از ترمینال C به میخ دورتر (جریان)

۴. روشن کردن دستگاه و اندازه گیری

دستگاه یک جریان AC کوچک به خاک تزریق می کند و افت ولتاژ بین میخ ها را می سنجد. سپس طبق قانون اهم، $R = V / I$ را محاسبه کرده و عدد مقاومت زمین را نشان می دهد.

۵. بررسی صحت اندازه گیری

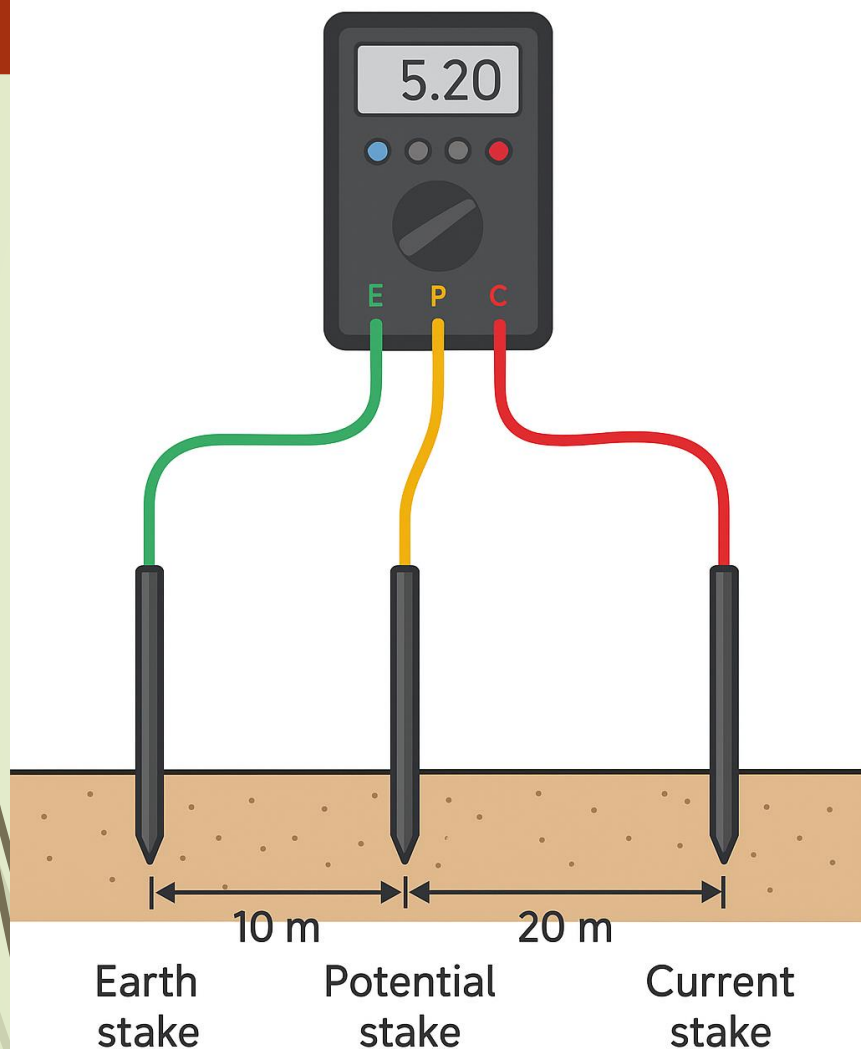
برای اطمینان، محل میخ وسط (P) را کمی جلو و عقب (مثلاً ± 2 متر) جابجا کن و دوباره اندازه بگیر. اگر مقدار مقاومت زیاد تغییر نکند (مثلاً $\pm 5\%$)، عدد درست است. اگر تغییر زیاد داشت، یعنی زمین ناهمگن است یا فاصله ها کافی نیست.

نتیجه استاندارد:

- مقاومت زمین مطلوب برای چاه ارت معمولاً باید کمتر از ۲ اهم باشد

(در سیستم‌های حساس حتی تا ۱ اهم یا کمتر).

* در شرایط معمولی ساختمان‌ها، زیر ۵ اهم قابل قبول است.



در عمل همیشه نمی‌شود فاصله‌های ۱۰ و ۲۰ متری را رعایت کرد (مثلاً در محوطه‌های کوچک یا ساختمان‌های شهری). در این حالت می‌توان از چند روش جایگزین و ترفند استفاده کرد:

۱. کاهش فاصله با حفظ نسبت‌ها :

اگر فضای کافی نداری، می‌توانی فاصله‌ها را متناسب کاهش دهی. نسبت بین میخ‌ها باید حفظ شود (میخ وسط تقریباً در یک سوم فاصله کل). مثلاً:

فاصله کل (از چاه تا میخ جریان C)	فاصله میخ ولتاژ (P) تا چاه
۲۰ متر (استاندارد)	۱۰ متر
۱۰ متر	۵ متر
۶ متر	۳ متر
۳ متر	۱.۵ متر

دقت: هرچه فاصله کمتر شود، دقت اندازه‌گیری هم پایین‌تر می‌آید، چون میدان الکتریکی میخ‌ها روی هم اثر می‌گذارد.

۲. استفاده از چیدمان زاویه دار (L یا V شکل)

اگر نمی توانی میخ ها را در خط مستقیم بکوبی، می توانی آن ها را با زاویه ۳۰ تا ۹۰ درجه نسبت به چاه ارت قرار دهی. این روش میدان ها را تا حدی از هم جدا می کند و خطا را کاهش می دهد.

۳. جابجایی چندباره ی میخ P:

برای اطمینان از صحت اندازه گیری:

- چند بار اندازه بگیر؛ هر بار میخ P را کمی جلو و عقب کن (مثلاً ± 1 متر)

- اگر عدد زیاد تغییر نکند (کمتر از ۵٪)، اندازه گیری معتبر است.

۴. در فضاهای خیلی محدود

اگر اصلاً جا نداری (مثل ساختمان های چندطبقه یا پشت بام ها)، از این روش ها استفاده کن:

ارت تستر دوپین (کلمپی): بدون نیاز به میخ، با گیره دور سیم ارت مقدار مقاومت را می سنجد

مقدار مجاز مقاومت زمین در مراکز درمانی:

طبق استانداردهای بین‌المللی و آیین‌نامه‌های برق ایران (مانند IEC 60364-7-710 و مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان):

محل یا نوع سیستم	حداکثر مقاومت مجاز زمین
چاه ارت اختصاصی اتاق عمل	≥ 0.5 اهم
ارت عمومی بیمارستان (ارت حفاظتی کل سیستم)	≥ 1 اهم
ارت سیستم ایزوله (IT System) اتاق عمل	≥ 0.2 تا 0.5 اهم ترجیحاً نزدیک به 0.2 اهم

چند نکته مهم:

مقاومت زمین پایین با چند الکتروود موازی و افزایش رطوبت یا استفاده از بتونیت قابل دستیابی است.

* مسیر ارت اتاق عمل باید کاملاً مجزا از سایر بخش‌ها باشد و اتصال هم‌پتانسیل (equipotential bonding) رعایت شود.

* تمام تجهیزات فلزی (تخت، چراغ جراحی، ریل‌ها و غیره) باید به شینه ارت مخصوص اتاق عمل متصل باشند.

پایین آوردن مقاومت زمین با چند الکترود موازی

چون در عمل، رسیدن به مقاومت زمین پایین (مثلاً زیر ۲ اهم یا برای اتاق عمل زیر ۰.۵ اهم) معمولاً فقط با یک الکترود ممکن نیست بنابراین از چند الکترود موازی (میله یا صفحه) استفاده می کنیم.

وقتی چند الکترود زمین به طور موازی در خاک نصب شوند، مسیرهای جریان به جرم زمین بیشتر می شود و مقاومت کلی کاهش می یابد .

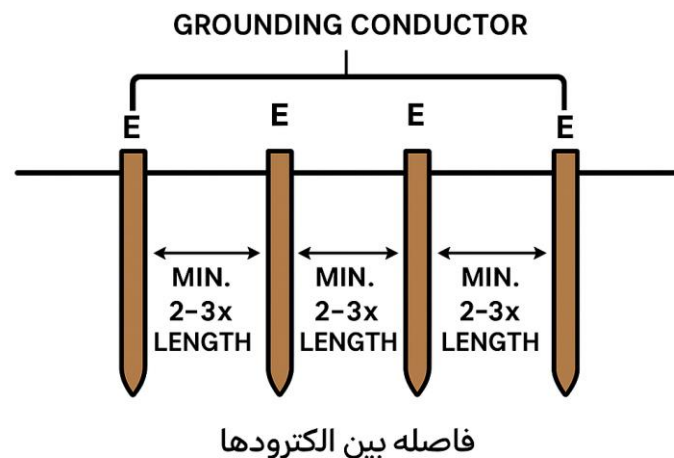
اما این کاهش مقاومت به صورت خطی نیست؛ یعنی اگر دو الکترود با مقاومت ۱۰ اهم داشته باشیم، مقاومت کل دقیقاً ۵ اهم نمی شود، چون میدان الکتریکی هر الکترود روی دیگری اثر دارد.
فاصله مناسب بین الکترودها:

– فاصله بین دو الکترود باید حداقل ۲ تا ۳ برابر طول خود الکترود باشد.

مثلاً اگر میله ۲ متری داری → فاصله بین میله ها حداقل ۴ تا ۶ متر.

اگر فاصله کمتر باشد، میدان های جریان روی هم می افتند و اثر کاهش مقاومت کمتر می شود.

PARALLEL GROUNDING ELECTRODES TO REDUCE EARTH RESISTANCE



✂ روش نصب عملی:

۱. چند میله ارت (مثلاً ۲ تا ۵ عدد) را در زمین فرو می‌کنی.

۲. همه را با نوار یا کابل مسی ضخیم (ارت باس) به هم متصل می‌کنی.

۳. مسیرها را به شینه ارت اصلی متصل کن.

۴. برای بهبود تماس با خاک :

* اطراف میله‌ها را با بنتونیت، نمک، و ذغال پر کن (ولی نه در اتاق عمل‌ها، چون خوردگی بالا می‌رود).

* در مناطق خشک، گودال را کمی مرطوب نگه دار.

برای دستیابی به مقادیر خیلی پایین (مثل ۱ اهم یا کمتر):

* از ترکیب میله و صفحه ارت استفاده کن.

* یا سیستم ارت را در چاه عمیق (ارت عمقی) اجرا کن، چون رطوبت خاک در عمق بیشتر است.

* یا چند چاه ارت مجزا را با باس مسی مشترک به صورت موازی ببند.

الزامات برقی بیمارستان و مراکز درمانی

امروزه رشد روز افزون فناوری در تجهیزات پزشکی ، گسترش استفاده از سیستم های دیجیتالی و ابزارهای دقیق و مکانیزه شدن واحدهای درمانی و پزشکی ، اعمال کنترل و مراقبت پیوسته بر سیستم های برق در این مراکز را به یک الزام تبدیل کرده است. این ضرورت مدیریتی برای حفظ سرمایه ، انجام مطمئن عملیات تشخیص و درمان و دستیابی به بهره وری مطلوب است. در گذشته نه چندان دور ، بیشتر تجهیزات پزشکی فاقد سیستم های الکترونیکی و دیجیتالی بودند ولی در حال حاضر تقریباً تمام تجهیزات پزشکی علاوه بر قسمت های مکانیکی ، پنوماتیکی ، هیدرولیکی ، الکتریکی و ... حتماً دارای قسمت های الکترونیکی ، حداقل در خروجی (صفحه نمایش و ...) یا ورودی (سوئیچینگ پاورهای تغذیه دستگاه و ...) است.

برق سالم مجاز برای استفاده در مصارف حساس باید دارای سه خصوصیت زیر باشد:

– ولتاژ سالم و تمیز Clean

– ولتاژ تثبیت شده Stable

– ولتاژ پایدار و پیوسته Continuous

توجه به خصوصیات طبیعی شبکه برق سراسری کشور در خصوص تأمین برق ، امکان بهره برداری از برق مناسب برای کلیه تجهیزات الکتریکی در تمام زمان هایی که نیاز آن وجود دارد ، **از طریق برق شهر میسر نیست**. لذا مصرف کننده ها با توجه به اهمیت کاربری هر کدام از تجهیزات الکتریکی مورد استفاده ، باید یکی از تجهیزات پشتیبان برق از جمله دیزل ژنراتور ، استابلایزر ولتاژ و یا ترانس ایزوله را استفاده کنند.

با توجه به اینکه تأمین یک حاشیه ایمن عملیاتی مستلزم پیش نیازهایی است که در حیطه وظایف مسئولان تجهیزات پزشکی مرکز درمانی نیست ، موارد زیر به **عنوان پیش فرض های انجام شده** توسط سایر واحدهای مرتبط مرکز درمانی (مدیریت ، تأسیسات و ...) در نظر گرفته می شود:

توان کافی : تأمین یک انشعاب اصلی دارای مجموع قدرت یا آمپر لازم برای مصارف مراکز درمانی با در نظر گرفتن حداقل ۲۰٪ ضریب اطمینان.

تابلو برق استاندارد : استقرار تابلوهای برق اصلی و فرعی با کلیه ملزومات ، شامل کلیدهای قدرت اصلی و فرعی ، نشانگرهای جریان و ولتاژ ، شینه های مناسب با جریان مصرفی ، عایق بندی مناسب ، **ارت و نول** استاندارد ، سیم بندی و کابل کشی استاندارد ، تفکیک مصارف تابلوهای فرعی و بخش ها با استفاده از کلیدها و فیوزهای متناسب با مصرف ، ایزولاسیون و تهویه متناسب ، کانال های استاندارد برای انتقال سیم و کابل ، نقشه و پلاک و علائم مناسب ، امکان دسترسی و توسعه آتی.

تابلوی خازن برای اصلاح ضریب قدرت : استقرار تابلوی بانک خازنی متناسب با مصرف (با توجه به عوارض منفی وجود بار راکتیو (Reactive) در شبکه برق کشوری از جمله بالا رفتن جریان ، کاهش ولتاژ ، افزایش تلفات مسی و همچنین افزایش هزینه برق مصرفی برای مصرف کننده ، لزوم طراحی و نصب تابلوی بانک خازنی متناسب با مصرف بسیار اهمیت دارد).

چاه ارت مناسب: وجود چاه یا چاه های ارت مناسب و ارت کشی برای کلیه تجهیزات به صورت استاندارد (به دلیل مسائل ایمنی فنی و حفاظت های لازم حیاتی برای بیماران و پرسنل مراکز درمانی و لزوم حذف نویزهای ناخواسته ، ایجاد ارت مناسب جزء ضروریات کلیه مراکز درمانی و تشخیصی است که توضیحات آن در ادامه آمده است).



الزامات برق بیمارستانی به شرح زیر می باشند:

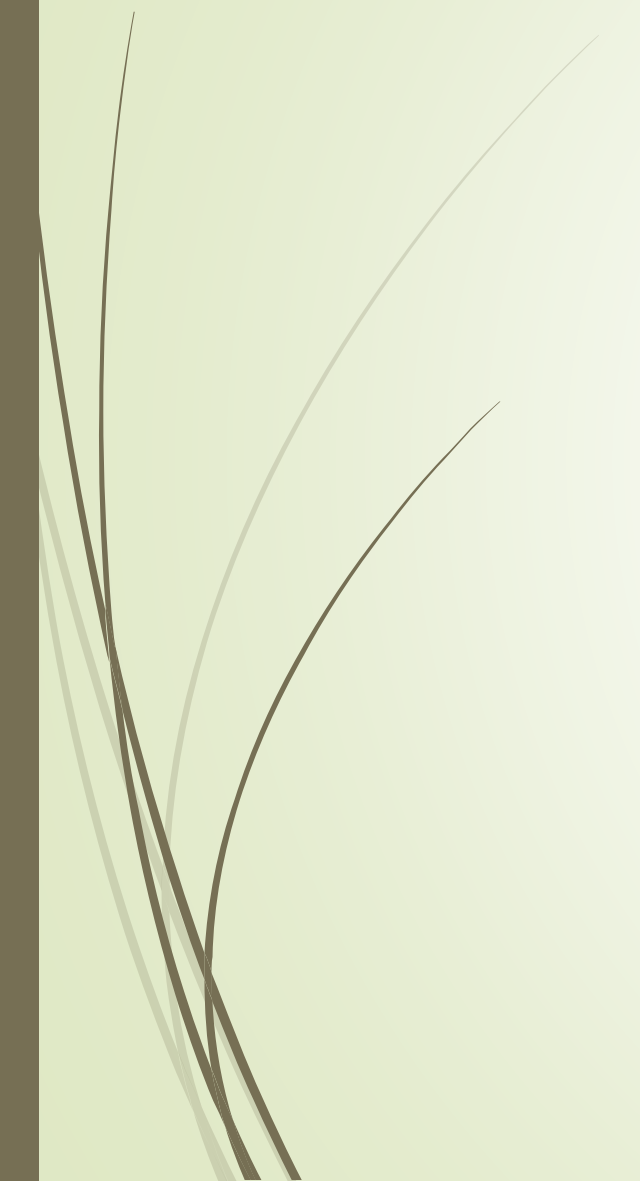
– اتصال زمین (سیستم ارتینگ)

– برق اضطراری (دیزل ژنراتور)

– برق سالم (استابلایزر)

– برق پشتیبان (UPS)

– ایزولاسیون (ترانس ایزوله)



بخش‌های بیمارستان از نظر خطر شوک الکتریکی و اهمیت عملکرد ایمنی به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

گروه	نوع فضا	توضیح	مثال
گروه ۰	فضاهایی که تجهیزات الکتریکی با بدن بیمار تماس ندارند	نیازی به زمین حفاظتی ویژه نیست، فقط ارت عمومی ساختمان	راهروها، انبار، اداری
گروه ۱	فضاهایی که تجهیزات ممکن است به صورت خارجی یا سطحی با بیمار در تماس باشند	سیستم TN-S یا TT با هم‌بندی مناسب	اتاق معاینه، سونوگرافی، بخش بستری عادی
گروه ۲	فضاهایی که تجهیزات مستقیماً با اعضای داخلی بدن بیمار در تماس هستند	الزاماً سیستم ارت ایزوله System IT Medical با Isolation Transformer و مانیتور عایق IMD	اتاق عمل، ICU، CCU، همودیالیز

اجزای اصلی سیستم ارتینگ بیمارستان

۱. چاه ارت اصلی

* مقاومت زیر ۲ اهم توصیه می شود.

۲. باس ارت اصلی

* در تابلو اصلی برق بیمارستان قرار دارد.

* کلیه ارت ها (قدرت، الکترونیک، دیتا و...) به این نقطه متصل می شوند.

۳. باس ارت فرعی هر بخش

* مخصوص هر بخش حساس (مثل اتاق عمل).

* تمام بدنه ها، پریزها، میز جراحی و ... به آن متصل می گردند.

۴. سیستم همبندی

* در گروه ۲ بسیار حیاتی است.

* اختلاف پتانسیل بین دو نقطه در اطراف بیمار نباید بیش از **۱۰ میلی ولت** باشد.

مشخصات سیستم ارت در هر گروه

ویژگی‌ها	نوع سیستم ارت	گروه
زمین عمومی ساختمان، مقاومت زمین ≥ 10	TN-S یا TT	گروه ۰
کلیه بدنه‌ها و پریزها به باس ارت مشترک متصل شوند، هم‌بندی اضافی در دسترس	TN-S	گروه ۱
هر مدار دارای ترانسفورماتور ایزوله، ارت مجزا، مانیتور عایق، هشدار خطای زمین	IT با ترانس ایزوله پزشکی	گروه ۲

مثال عملی

محل	گروه ارت	نوع سیستم	نیاز به ترانس ایزوله	نیاز به مانیتور عایق
اتاق عمل	2	IT	✓	✓
ICU	2	IT	✓	✓
اتاق رادیولوژی	1	TN-S	✗	✗
آزمایشگاه	1	TN-S	✗	✗
انبار دارو	0	TN-S	✗	✗