TOM
PC-BASED
POWER APPARATUS & SYSTEM MONOLOGICAL ANALYSIS
PASHA

فصل ۹

زمین کردن نقطهٔ نول و ازدیاد ولتاژ

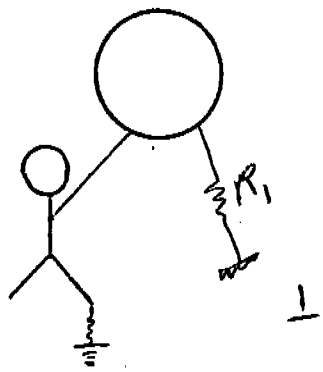
۹ـ۱. مقدمه

زمین کردن در شبکه‌ها بطور کلی بدو صورت انجام می‌گیرد.

الف ـ زمین نمودن بدنه وسائل EQUIPMENT GROUNDING

ب ـ زمین نمودن نقطه نول سیستم NEUTRAL GROUNDING

دلیل اصلی در زمین نمودن بدنه وسائل هدف برآورده ساختن سلامتی و از بین بردن خطر برق گرفتگی در مورد پرسنل می‌باشد. بطور مثال در شکل زیر اگر بدنه وسیله زمین نگردد در اثر تماس شخص با بدنه این وسیله امکان برق گرفتگی هنگامیکه یک فاز به بدنه وصل شده باشد و یا اینکه در اثر القاء ولتاژ در بدنه برای شخص وجود دارد.

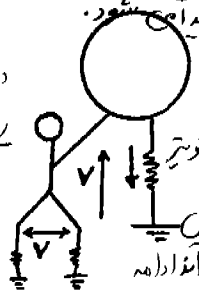


۱

یک جریان حدود 20^{mA} که از قلب انسان عبور نماید کافیست که ضربان قلب را عوض نموده و باعث مرگ گردد. جریان در حدود 0.1 الی 5^{mA} باعث ایجاد شُک می‌گردد که خیلی از ما با آن ممکن است مواجه شده باشیم.

بدین خاطر است که بدنه وسائل الکتریکی بطور مؤثر می‌باید زمین گردند. اثر زمین نمودن بدنه وسیلهٔ الکتریکی در شکل زیر مشخص است که با عبور جریان از طریق زمین از ولتاژ بدنه کاسته می‌گردد.

دلایل اصلی زمین کردن:
۱) جلوگیری از ازدیاد ولتاژ: چون هر نقطه نسبت به زمین خازن دارد، اگر اتصال زمین شود، پتانسیل کل سیستم است
۲) آسان پیدا کردن محل اتصال زمین: در صورت زمین کردن، با استفاده از لامپهای نئونی یا ولتمتر، محل اتصالی پیدا می‌شود.
۳) جریان کافی برای رله‌گذاری: برای رله‌گذاری جریان کافی داریم.



معایب:
۱) افزایش جریان خطاهای نامتقارن: پس دیزانکتور حساس‌تر و کابل با ظرفیت بالاتر، پس گرانتر
۲) قطع سرویس: اگر زمین نکنیم، با اتصالی زمین، سرویس قطع می‌شود، ولی اگر زمین نکنیم، سرویس می‌تواند ادامه داشته باشد.

راه حل: زمین کردن با امپدانس تابین مزیت اول و معایب اول تعادل برقرار کند.

همچنین در پستها، مقدار ولتاژ مابین پاهای یک شخص نیز می‌باید به حداقل رسانده شود. طراحی شبکهٔ زمین که دارای این خواص باشد (یعنی مقاومت کمی از خود نشان دهد) مسئله خاصی است که موضوع بحث در اینجا نمی‌باشد.

دلیل اصلی
موضوع بحث در این قسمت از این مقوله، زمین کردن نقطهٔ نول در شبکه‌های الکتریکی می‌باشد. (که هدف از انجام این عمل جلوگیری از بالا رفتن ولتاژ یا اصطلاحاً ازدیاد ولتاژ در شبکهٔ برق‌رسانی می‌باشد. البته با زمین نمودن شبکه همچنانکه می‌دانیم باعث افزایش جریان اتصالی می‌گردیم. در نظر گرفتن کاهش ازدیاد ولتاژ و افزایش ازدیاد جریان در زمین کردن نقطهٔ نول، بطوریکه قیمت کلی ساخت و استفاده از تجهیزات الکتریکی کاهش یابد موضوع اصلی در طراحی نوع زمین کردن نقطه نول می‌باشد. همراه با این مسائل، نکاتی از قبیل قطع نشدن سرویس، آسان پیدا نمودن محل اتصالی، وجود جریان کافی جهت رله‌گذاری می‌باید در مدّ نظر طراح قرار گیرند. در نظرگیری تمامی این مسائل باعث

① در ژنراتور X_0 خیلی کمتر از X_1 است پس جریان تکفاز اگر ژنراتور سخت زمین شده باشد از اتصالی سه فاز که جریان $\frac{1}{X_1}$ دارد بیشتر است.

$$I_{1\phi} = \frac{3}{X_1+X_2+X_0} \qquad I_{3\phi} = \frac{1}{X_1} = \frac{3}{3X_1} \xrightarrow{X_0 \ll X_1} I_{3\phi} < I_{1\phi}$$

شده است که اصولاً هیچ متد کلاسیک و سیستماتیک خاصی برای انتخاب نوع زمین وجود نداشته باشد و طراحان بیشتر به تجربیات گذشته خود همراه با در نظرگیری مسائل تکنیکی متکی باشند. امّا یکی از علل اصلی زمین کردن نقطهٔ نول در شبکه‌های برق‌رسانی کاهش ازدیاد ولتاژ می‌باشد. بنابراین قبل از تشریح انواع زمین نمودن در شبکه‌ها، می‌باید شرایطی را که تحت آن ازدیاد ولتاژ صورت می‌گیرد مورد بررسی قرار دهیم.

۹_۲. منابع ازدیاد ولتاژ

ازدیاد ولتاژ و دلایل بوجود آمدن آنرا به سه دسته کلی می‌توان تقسیم نمود:

الف_ صاعقه (LIGHTNING)

ب_ ازدیاد ولتاژ ماندگار یا دائمی در اثر بروز خطا و یا عمل ناصحیح سیستم (SUSTAINED OVERVOLTAGES)

ج_ ازدیاد ولتاژ گذرا که در اثر سویچینگ ایجاد می‌گردد (TRANSIENT OVERVOLTAGES)

قسمت (الف) یعنی ازدیاد ولتاژ در اثر برخورد صاعقه که بتوسط تعبیه وسائل برق‌گیر، سیستم مورد حفاظت قرار می‌گیرد مورد بحث در این بخش نمی‌باشد.

ازدیاد ولتاژ در یک سیستم اصولاً با متد زمین شدن سیستم بستگی مستقیم دارد. زمین کردن نقطهٔ نول در یک سیستم بطور حدی به دو صورت زیر:

الف_ نول ایزوله INSULATED NEUTRAL

ب_ نول زمین شده GROUNDED NEUTRAL

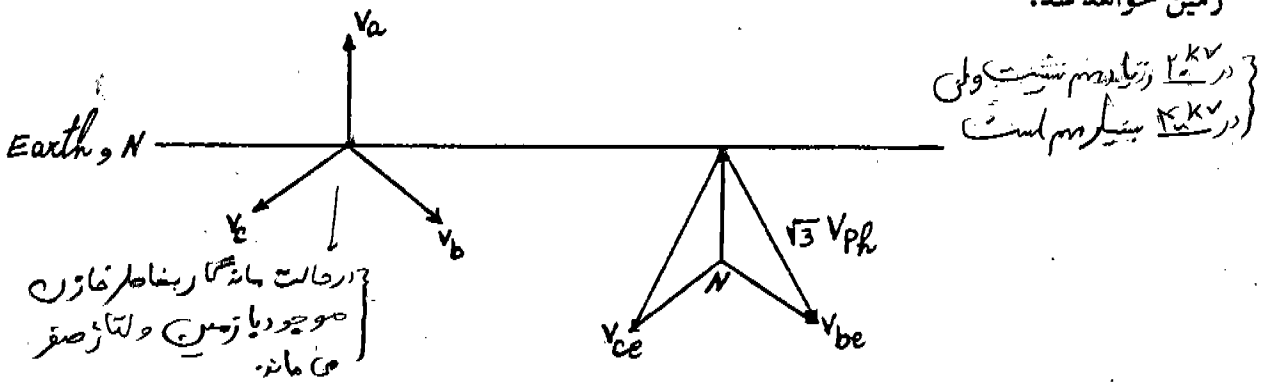
صورت میگیرد. در حالیکه در سیستمهای نول ایزوله مقدار ازدیاد ولتاژ معمولاً بیشتر است مقدار جریان اتصالی در این نوع سیستمها کمتر می‌باشد. انتخاب نوع زمین همانطوریکه گفته شد باین دو فاکتور بستگی دارد.

۱ـ۲ـ۹. ازدیاد ولتاژ ماندگار یا دائمی (SUSTAINED OVERVOLTAGES)

ازدیاد ولتاژهائی از این قبیل می‌توانند تحت شرایط مختلفی ایجاد گردند، که چندین مورد آن در قسمتهای زیر بحث شده است. (محاسبه کردن نیکه دراین حالت ساده است. ولی درنظرگرفتن خازنها درحوالحظه خیلی سخت است)

۱ـ۱ـ۲ـ۹. ازدیاد ولتاژ در فازهای سالم

همانطوریکه قبلاً در فصل ششم اثبات گردید، در یک شبکه نول ایزوله اگر اتصالی تک فاز با زمین، مثلاً فاز a با زمین ایجاد گردد، در اینصورت ولتاژ فازهای سالم (b و c) باندازه $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ فاز نسبت به زمین خواهد شد.

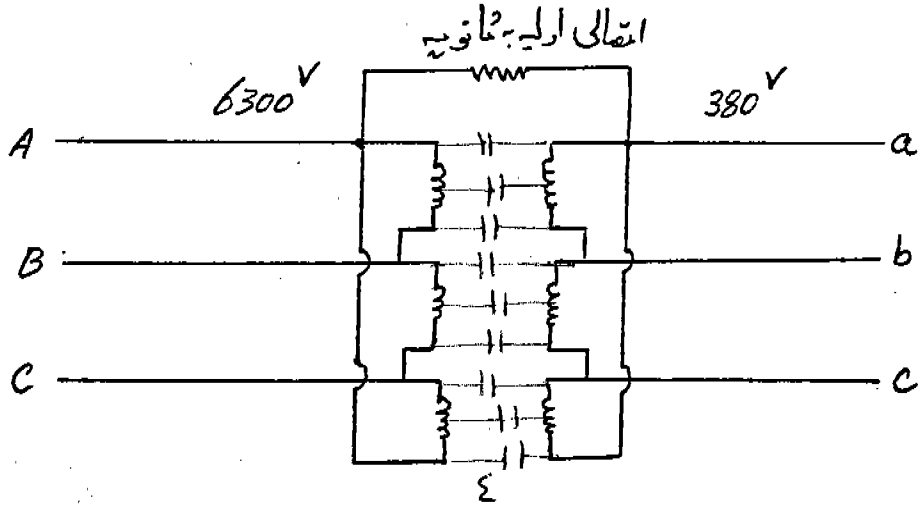


(در ۲۰kV زیاد مهم نیست ولی در ۴۰۰kV بسیار مهم است)

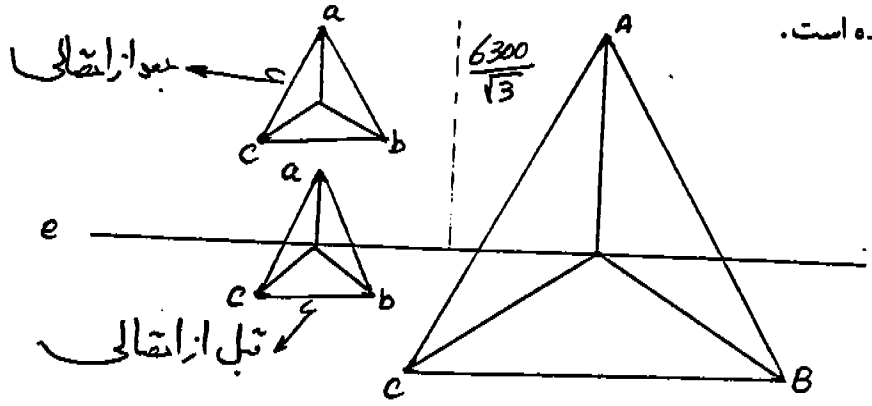
(درحالت ماندگار بخاطر خازن موجود با زمین ولتاژ صفر می ماند.)

۲ـ۱ـ۲ـ۹. ازدیاد ولتاژ در اثر اتصال اولیه و ثانویه یک ترانس

شبکهٔ زیر را در نظر بگیرید.

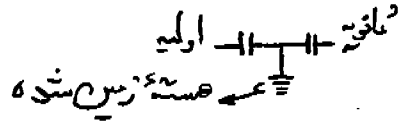


در اثر اتصال اتفاقی اولیه ترانس به ثانویه، ولتاژ مابین فازهای ثانویه یعنی ab و bc و ac بهمان صورتی که بودند یعنی ۳۸۰ V باقی می‌ماند ولی ولتاژ فاز a نسبت به زمین باندازهٔ $\frac{6300}{\sqrt{3}}$ V خواهد گردید. این موضوع در شکل زیر رسم شده است.



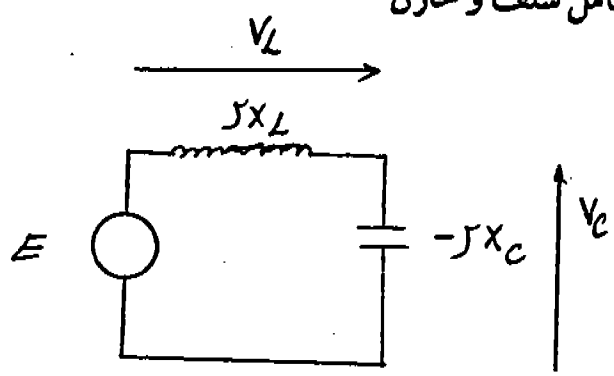
البته اگر شبکهٔ ثانویه ایزوله نباشد ولتاژ نسبت به زمین همان $\frac{380}{\sqrt{3}}$ V باقی می‌ماند و فقط جریانهای زیادی عبور می‌نمود که توسط قطع دژنکتور قابل بطرف شدن می‌بود.

حتی اگر اولیه به ثانویه وصل نگردد بخاطر وجود خازن مابین اولیه و ثانویه در یک ترانس هنگامیکه ترانس وصل می‌گردد (در نتیجه خازن بصورت اتصال کوتاه عمل می‌نماید) ولتاژ ثانویه زیاد می‌شود. در عمل برای جلوگیری از این موضوع هستهٔ داخل ترانس زمین می‌گردد و در نتیجه خازن مابین اولیه و ثانویه و زمین قرار دارد و شرایط ذکر شده ایجاد نمی‌گردد.



۳_۱_۲_۹. ازدیاد ولتاژ در مدارات شامل سلف و خازن

شکل زیر را در نظر بگیرید.



با توجه به شکل داریم.

$$V_C = \frac{-jX_C}{j(X_C - X_L)}\mathcal{E}$$

$$V_C = \frac{X_C}{X_C - X_L}\mathcal{E}$$

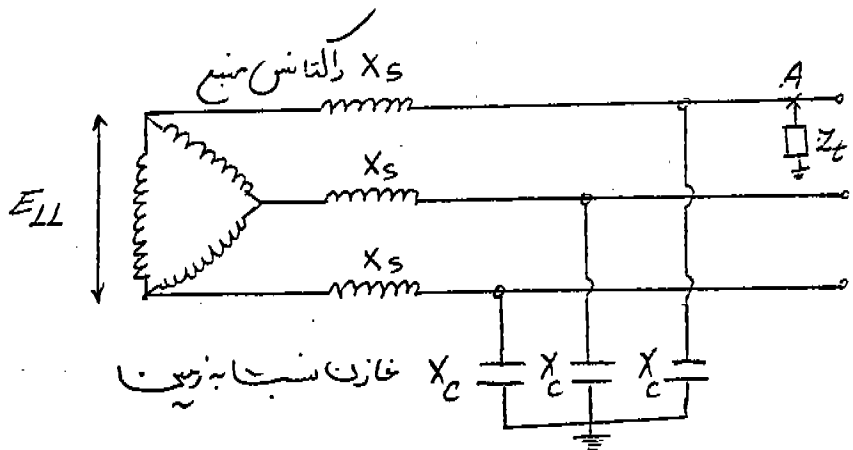
$$V_L = \frac{X_L}{X_C - X_L}\mathcal{E}$$

بعنوان مثال فرض نمائید که $X_C = 0.5X_L$ باشد در اینصورت خواهیم داشت.

$$\begin{cases} V_C = -\mathcal{E} \\ V_L = -2\mathcal{E} \end{cases}$$

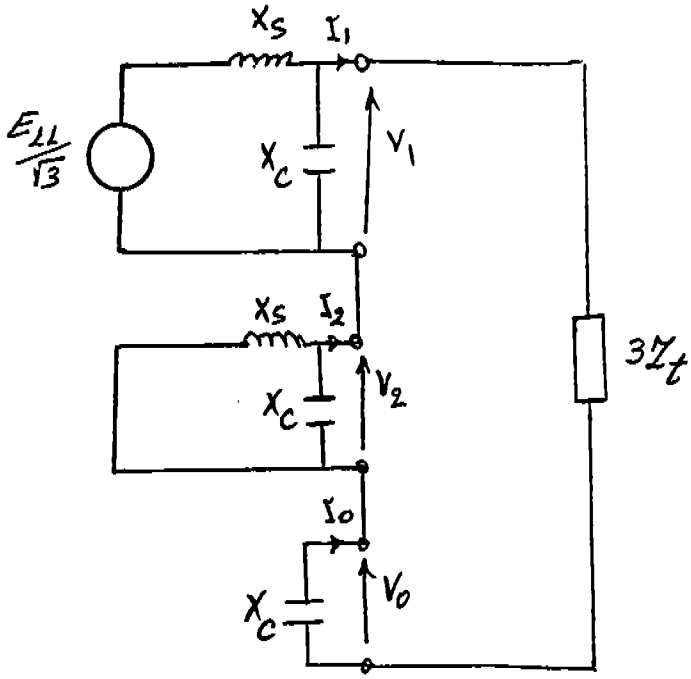
یعنی در دو سر بعضی از المانهای این سیستم ولتاژ ماندگار تا ۲ برابر ولتاژ منبع تجاوز می‌نماید و این موضوع در شبکه‌هائی که مقادیر X_C و X_L با یکدیگر قابل مقایسه باشند وجود دارد.

حال با توجه به این موضوع مدار شکل زیر را در یک شبکهٔ نول ایزوله در نظر بگیرید:

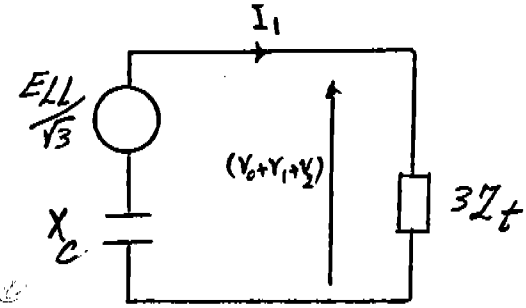


اگر شبکه‌های ① و ② و ⑤ از دید نقطهٔ A را رسم نمائیم و برای اتصالی فاز a به زمین؛ امپدانس مدار معادل را تشکیل دهیم، داریم:

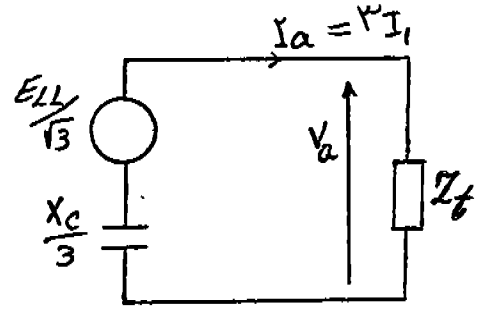
۹_۷



مدار معادل این شبکه با صرفنظر کردن از X_S (خازنهای شبکه ① و ② اتصال کوتاه می‌شوند) بصورت زیر ساده می‌گردد



با توجه به اینکه $I_a=3I_1$ است بنابراین اگر بخواهیم شبکه را برای جریان ولتاژ فاز a ترتیب دهیم داریم :



البته دیاگرام بالا را که با اینهمه تلاش از روی شبکه‌های صفر و یک و دو بدست آورده‌ایم می‌توانستیم از

ابتدا از دید نقطه A و در شبکهٔ سه فازه ترسیم نمائیم.

حال اگر Z_t برابر یک مقدار:

الفـ مقاومتی R

بـ خازنی X_{ct}

جـ سلفی X_L

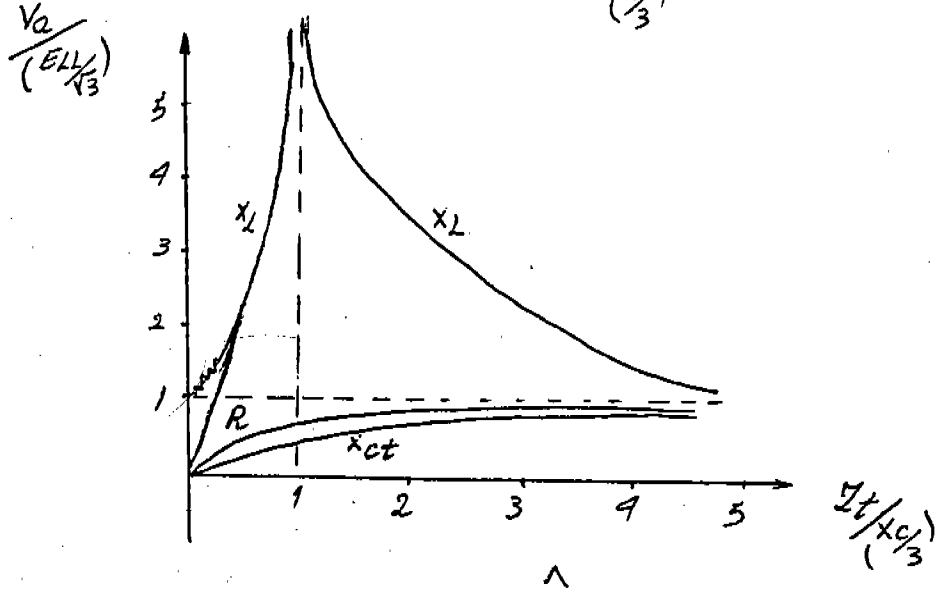
باشد روابط زیر برای ولتاژ فاز a برقرار است:

الفـ
$$V_a = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{X_c}{3}\right)^2}} \frac{E_{LL}}{\sqrt{3}}$$

بـ
$$V_a = \frac{X_{ct}}{X_{ct} + X_{c/3}} \frac{E_{LL}}{\sqrt{3}}$$

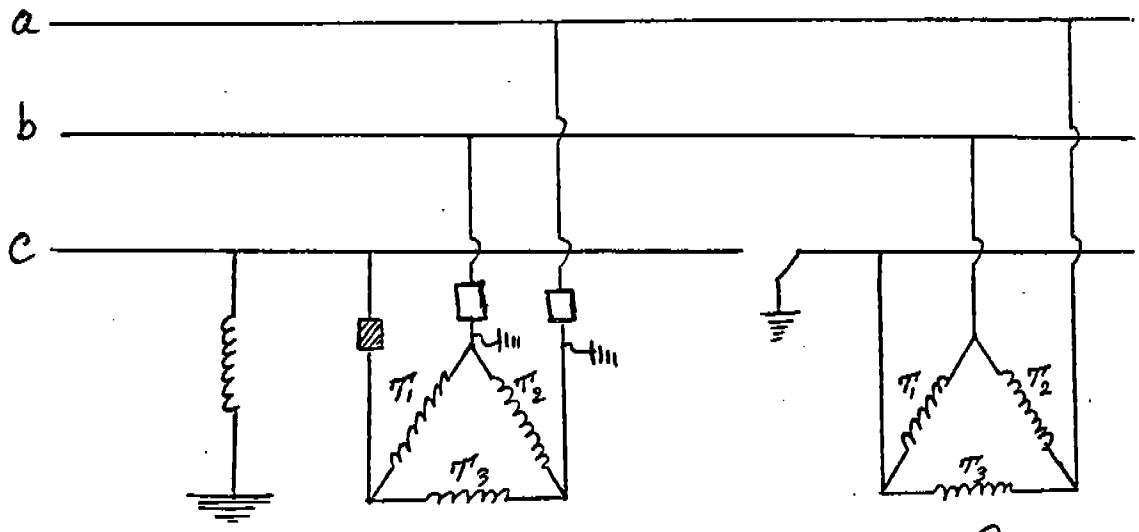
جـ
$$V_a = \frac{X_L}{X_{c/3} - X_L} \frac{E_{LL}}{\sqrt{3}}$$

با توجه به روابط فوق و تغییر نسبت $\frac{Z_t}{X_{c/3}}$ از 0 تا ∞ منحنیهای زیر حاصل می‌گردد.



همانطوریکه دیده می‌شود در هنگامیه اتصالی بتوسط مقداری سلف ایجاد گردد و مقدار امپدانس این سلف (X_L) با $\frac{X_C}{3}$ قابل مقایسه باشد در اینصورت ازدیاد ولتاژ ایجاد می‌گردد و وقتیکه این دو برابرند تا ∞ ادامه می‌یابد. البته در عمل بخاطر تلفات به این حد نمی‌رسد. بهر حال شرایطی که باعث می‌گردند این مقدار امپدانس سلف حاصل شود اسباب ازدیاد ولتاژ خواهند شد. (معمولاً در طرف چپ منحنی سلفی قرار داریم زیرا X_C خیلی بزرگ است).

اشکال زیر سه مثال برای بوجود آمدن چنین شرایطی را نشان می‌دهند.



خط تغذیه در یک فاز قطع گردیده و به زمین وصل شده است.

نوع (fault) بصورت (L-L-G) بررسی می‌گردد. یا دو راکتور بزرگ

فیوزهای فازهای اتصالی شده قطع گردیده و $T_1 // T_3$ به زمین وصل شده است.

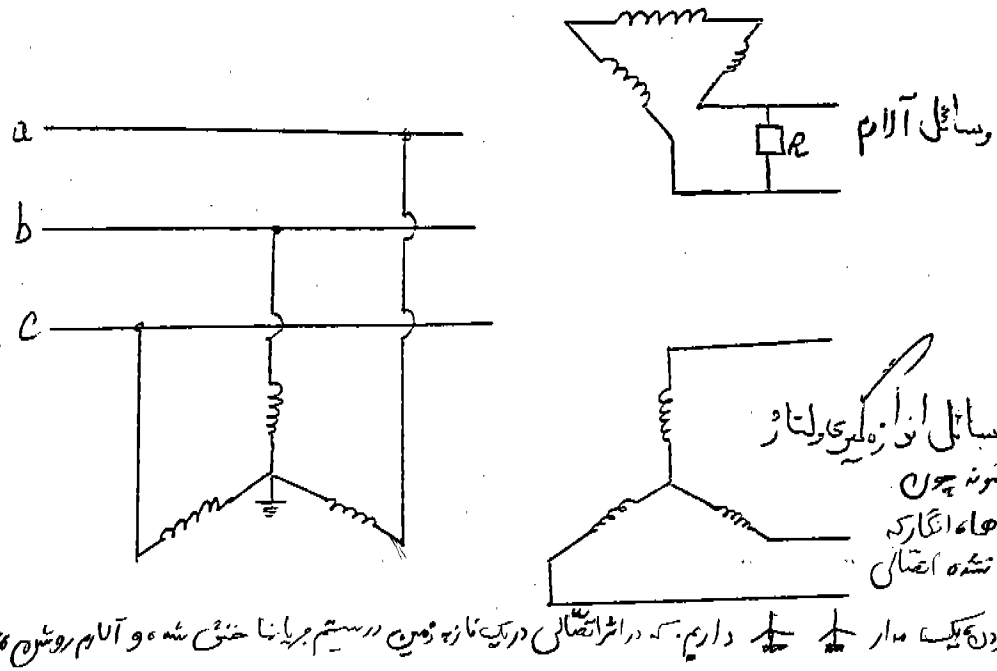
یک سلف بصورت اتفاقی بین یک فاز و زمین قرار گرفته. بعنوان مثال کویل استارتر موتور که اتفاقی به زمین وصل شود.

(در حالت هادی بین دو فاز است)

که امکان بوجود آمدن ولتاژهای زیاد در مدارات بالا بوضوح قابل تشخیص است.

۲_۱_۲_۹. ازدیاد ولتاژ در اثر فرورزونانس ترانسهای ولتاژ (PT)

استفاده از ترانسهای ولتاژ زمین شده در یک شبکهٔ زمین نشده ممکن است تحت شرایطی ایجاد ازدیاد ولتاژ نمایند. این نوع ترانسها معمولاً در ثالثیه دارای یک مثلث شکسته می‌باشند که برای اینکه بتوان وجود اتصال کوتاه تک فازدر سیستم نول ایزوله را مشخص نمود (آلارم داد) مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شرایط رزونانسی که در قسمت قبل مورد بحث قرار گرفت در این حالت نیز می‌تواند ایجاد گردد چرا که مقدار اندوکتانس مغناطیس شونده مابین خط و زمین ترانس ولتاژ وجود دارد. و این راکتانس مغناطیس شونده می‌تواند اشباع نیز شود. در این شرایط مقدار راکتانس طوری خواهد بود که خود را با $\frac{X_c}{3}$ تطبیق دهد و اصطلاحاً شرایط فرورزونانس را ایجاد کند. البته ازدیاد ولتاژهای فرورزونانسی تا دو الی سه برابر ولتاژ سیستم می‌گردند. امّا از این موضوع بدتر موقعی است که X_m بدون اشباع ترانس ولتاژ با $\frac{X_c}{3}$ قابل مقایسه باشد که در اینصورت نیز ازدیاد ولتاژ زیاد ایجاد خواهد شد.

دلیل زیاد شدن سلف بخاطر کابلها هستند که اگر در آب باشند بیشتر است

برای اینکه از این ازدیاد ولتاژها جلوگیری بعمل آید دو عمل زیر تواماً می‌باید انجام شود.

< AIEE Vol.60 1941 >

۱ـ ترانسهای ولتاژ با ظرفیت ولتاژ خط مورد استفاده قرار می‌گیرند. یعنی ازمازکه بزمین احتیاج دارد استفاده کرد.

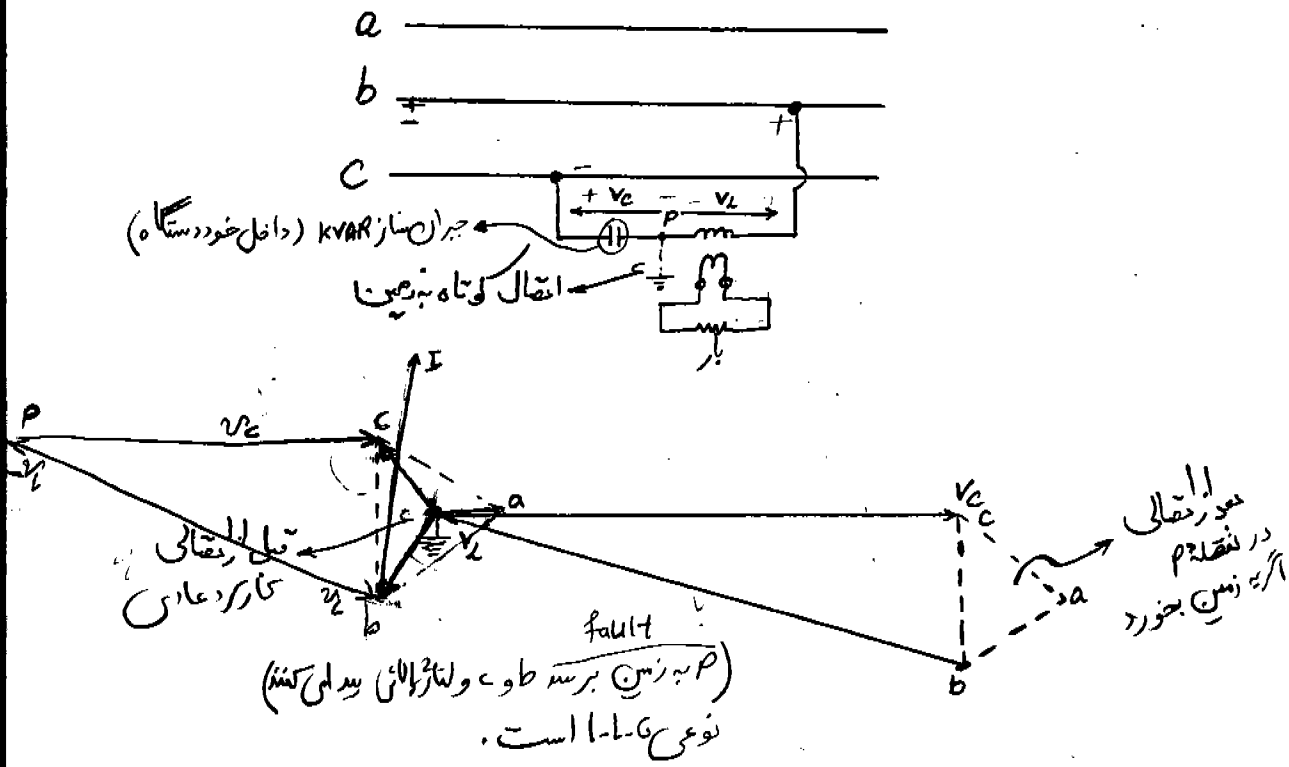
۲ـ مقدار مقاومت (وسائل آلارم R) نباید بیشتر از 40% راکتانس مغناطیس شونده ترانس باشد.

۳ـ یک مدار مقاومتی خازنی با تایریستور برای جلوگیری از اتصالات فرورزانانس استفاده می کنند.

در مورد این نوع ترانسهای ولتاژ ذکر این نکته نیز خالی از لطف نیست که ثانویه این نوع ترانسها را نمی‌توان در نقطهٔ نول زمین نمود چرا که در اینصورت عبور جریان صفر از اولیه صفر شده و قابل اندازه‌گیری توسط ثالثیه نمی‌باشد.

۵ـ۱ـ۲ـ۹. امکان ازدیاد ولتاژ در دستگاه جوش

در دستگاههای جوشکاری خصوصاً با سایزهای بزرگ معمولاً یک خازن سری برای کاهش KVAR مورد نیاز دستگاه مورد استفاده قرار میگیرد.



پس در سیستم زمین نشده [redacted] از دستگاه جوش نباید استفاده کرد. چون درصورت خطا، افزایش ولتاژهای زیادی خواهیم داشت، مگر اینکه از برقگیر در فاز استفاده کنیم.

۹-۱۲ ازجهتی باید Breaker ها باشد تا تصادفی نرکد و برقگیر نترکد. این حفاظت باید سریع باشد. پس می‌توان از فیوز (Ground Propose) استفاده کرد، ولی از (cut out) می‌توان استفاده کرد.

نکته

در زمان بهره‌برداری عادی از دستگاه جوش مقادیر V_L و V_C چندین برابر ولتاژ سیستم را خواهند داشت. اگر در اینحالت اتصالی در نقطهٔ P با زمین (همانطوریکه در شکل نمایش داده شده) ایجاد گردد مقادیر ولتاژ فازهای b و c و بتبع آنان فاز a از زمین بمقدار زیادی فاصله خواهند گرفت.

۹-۲-۲. ازدیاد ولتاژ گذرا (TRANSIENT OVERVOLTAGES)

گذشته از برخورد صاعقه به خط که باعث ایجاد ازدیاد ولتاژ گذرا در سیستم می‌شود، عمل سویچینگ (بستن یا باز نمودن) در شبکه نیز باعث بوجود آوردن ازدیاد ولتاژ گذرا در شبکه‌های قدرت میگردد.

چندین مورد از این نوع افزایش ولتاژ در قسمتهای زیر بحث شده است.

بیشترین مسائل قدرت و نقصان اطلاعات سیستم در این جهت زیاد است. چون معادلات ریاضی مشکلی دارد. دلیل سختی معادلات دیفرانسیلی با المنتهای قابل پیش بینی. پس امپدانس مخلوط تعیین کردنش سخت است.

۹-۲-۱. پدیده قوس زمین (ARCING GROUND)

ولی می‌توان گفت که با اثرمی و زمین سبب میراشدن سریع ولتاژهای گذرا می شود.

مقدار قابل توجهی ازدیاد ولتاژ در شبکه‌هائی که زمین نشده‌اند در اثر بوجود آمدن یک اتصالی تک فاز و جرقه زدن مداوم آن ممکن است ایجاد گردد. اتصالی متوالی در یک شبکه به صور مختلف از قبیل، ارتعاش-که سبب متصل شدن متناوب یک هادی به زمین، یا ایجاد جرقه متوالی و خاموش شدن جرقه مابین هادی و زمین و مسائلی از این قبیل ایجاد گردد.

(تفاوت عمل زمین کردن خنثی است)

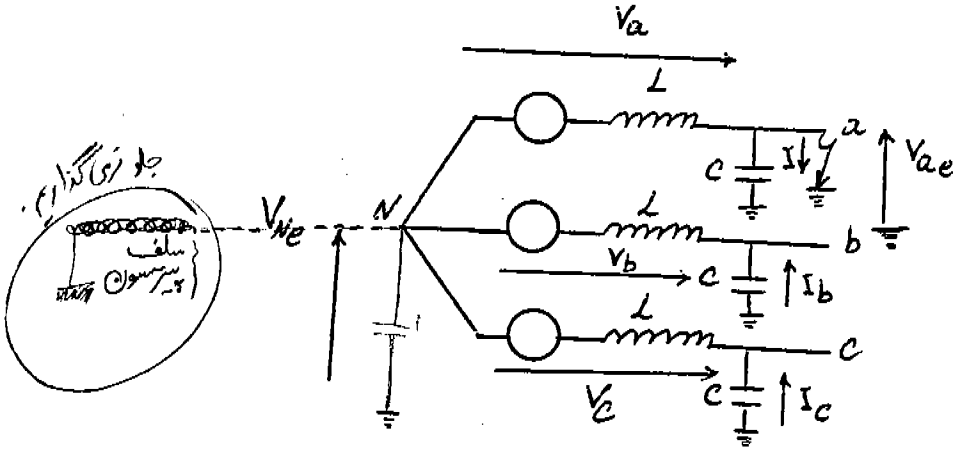
اتصالی متوالی در یک شبکهٔ فشار ضعیف زمین نشده باعث ایجاد ازدیاد ولتاژهائی بمقدار ۵ تا ۶ برابر ولتاژ نرمال سیستم و از بین بردن ۴۰ تا ۵۰ موتور شده‌اند. این پدیده در شبکه‌هائی که حتی توسط امپدانس بزرگی زمین شده بودند و نسبت $\frac{X_1}{X_0}$ کوچکتر از 0.1 بوده است نیز دیده شده است.

شکل زیر را در نظر بگیرید:

دونوع سوختن داریم،

(۱) دراثر از دیاد جریان، ایجاد گرمایی کند. این گرما در اطرافش اثر می گذارد.

(۲) دراثر از دیاد ولتاژ، سوختن عایق بندی. دراثر از دیاد ۱۲ ولتاژ جرقه می زند.



در اثر ایجاد اتصال کوتاه تک فاز در فاز a روابط زیر برقرارند

قبل از اتصالی $\begin{cases} V_{ae} + V_{be} + V_{ce} = 0 \\ V_{Ne} = 0 \end{cases}$

داریم $\begin{cases} V_{Ne} = V_{ae} - V_a \\ V_{be} = V_{Ne} + V_b \\ V_{ce} = V_{Ne} + V_c \end{cases}$

بعد از اتصالی $V_{ae} = 0 \Rightarrow V_{Ne} = -V_a \Rightarrow V_{be} = V_b - V_a \;,\; V_{ce} = V_c - V_a$

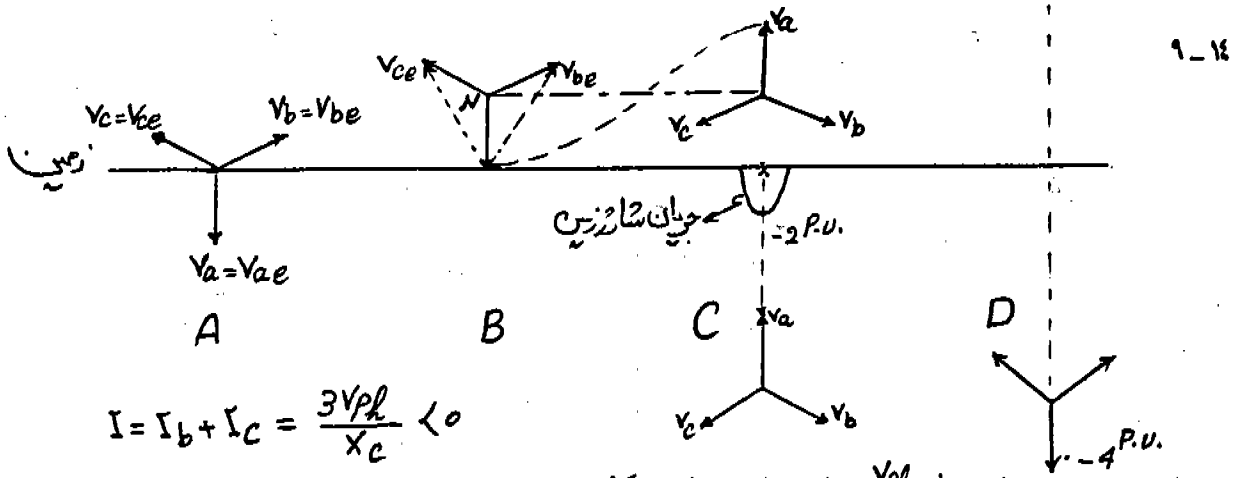
با فرض : $V_a = V_{ph} \angle -90^\circ \;,\; V_b = V_{ph} \angle 30^\circ \;,\; V_c = V_{ph} \angle 150^\circ$

داریم :

$V_{be} = \sqrt{3}\, V_{ph} \angle 60^\circ$

$V_{ce} = \sqrt{3}\, V_{ph} \angle 120^\circ$

$Z_c = -jX_c$



$$I = I_b + I_c = \frac{3V_{pl}}{X_c} < 0$$

بنابراین جریانی باندازه $\Sigma = \frac{V_{pl}}{\frac{X_c}{3}} < 0$ از محل اتصالی میگذرد.

در شکل بالا در قسمت A دیاگرام برداری ولتاژهای سیستم قبل از اتصالی رسم شده‌اند. در این هنگام نقطهٔ نول سیستم در پتانسیل زمین قرار دارد و بردارها با سرعت سنکرون در حال چرخش میباشند. در قسمت B فاز a به زمین اتصال کوتاه شده است و با توجه به روابط بالا ولتاژ فاز a نسبت به زمین صفر شده و ولتاژ نقطهٔ نول نسبت به زمین برابر $-V_a$ میباشد. اگر در این شرایط اتصالی رفع گردد (جریان از صفر عبور نموده و ولتاژ ماکزیمم خود را داراست) ولتاژ نقطه نول نسبت به زمین بخاطر شارژ DC موجود بر روی خازنها و تخلیه نشدن این شارژ در همان نقطهٔ قبلی باقی می‌ماند. قسمت C هنگامی را نشان میدهد که بردارها 180° تغییر فاز داده‌اند (در اثر چرخش برداری) حال اگر اتصالی مجدداً برقرار گردد ولتاژ فاز a می‌خواهد از 2+ به صفر برسد با توجه باینکه مدار دارای خازن و سلف است برای رسیدن ولتاژ از 2+ به صفر نوساناتی مابین 2+ و 2- با فرکانس 20 تا 100 برابر فرکانس سیستم $\left(\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)$ ایجاد میگردد که باعث می‌شود که بردارها نیز نوسان نمایند (قسمت ۲ـ۲ـ۹ این پدیده را تشریح نموده است). اگر اتصالی دائمی باشد این نوسانات میرا شده و ولتاژ فاز a نسبت به زمین صفر خواهد شد. همراه این نوسانات یک جریانی به داخل زمین تخلیه می‌گردد که در قسمت پائین شکل رسم شده است. هنگامیکه این جریان صفر گردد موقعیت خیلی خوبی برای اتصالی است که برطرف گردد. اگر اتصالی برطرف شود ولتاژ نقطهٔ نول نسبت به زمین در $-3^{P.U.}$ شارژ باقی می‌ماند. و عملیات بالا مجدداً در قسمتهای D و E می‌توانند تکرار گردند (اینبار نوساناتی مابین $+4^{P.U.}$ و $-4^{P.U.}$ برای فاز a) و باعث بوجود آوردن ازدیاد ولتاژهای زیادی می‌شوند.

چون V_a می خواهد صفر شود دول می‌شود پس خازن کنار V_a با سلفی خط و نیرو این تغییرات را انجام می دهند. مرض براین است که V_a با متاومتی زمین می شود و گرنه که باید V_a مساوی صفر شود و تمام.

باید توجه کرد که در تشریح این پدیده تمامی شرایط طوری انتخاب شده‌اند که، ماکزیمم ازدیاد ولتاژ ایجاد گردد، که در عمل ممکن است چنین نباشد. در بالا ما فرض کردیم که

۱ـ عمل وصل مجدد اتصالی در زمانی صورت می‌گیرد که ولتاژ فاز a بیشترین مقدار خود (+2.0 p.u.) نسبت به زمین را داراست که در عمل ممکن است قبل از این مقدار، اتصالی صورت گیرد

۲ـ عمل قطع اتصالی نیز در اولین زمانی که جریان صفر می‌گردد فرض شد

تحت شرایط فرضی بالا ازدیاد ولتاژهائی بمقدار ۵ تا ۶ برابر ولتاژ نرمال سیستم در زمان دو سیکل ایجاد می‌گردد. امّا در عمل وصل مجدد قبل از رسیدن ولتاژ به ماکزیمم مقدار خود صورت میپذیرد و چندین نوسان قبل از باز شدن اتصالی ممکن است اتفاق بیافتد. گرچه از نظر تئوری با شرایط فرضی بالا ازدیاد ولتاژها تا مقدار نامحدودی ممکن است ادامه یابند ولی در عمل ازدیاد ولتاژهائی بیشتر از ۵ تا ۶ برابر ولتاژ نرمال سیستم کاملاً بندرت مشاهده شده‌اند. بخاطر مقاومت زمین و تاج اکثراً ۴ یا ۴.۵ p.u.

بهر حال ایجاد چنین حالتی در سیستم باعث بوجود آوردن اتصالیهای دیگر در نقاط مختلف سیستم شده و یا باعث خرابی اجزاء مدار می‌گردند. که پس از خارج نمودن اجزاء خراب شده و توجه ننمودن به محل اصلی اتصالی امکان بوجود آمدن مجدد پدیده و خراب نمودن اجزاء دیگر وجود دارد.

تمامی این ازدیاد ولتاژها با زمین نمودن مؤثر سیستم از بین خواهند رفت. زمین نمودن توسط مقاومت بمقداری که جریان شارژ خازنی را تأمین نماید برای جلوگیری از پدیدهٔ فوق مؤثر میباشد. اگر از راکتانس استفاده شود (بندرت راکتانس در شبکه‌های صنعتی برای زمین کردن مورد استفاده قرار میگیرد) مقدار این راکتانس باید طوری باشد که نسبت $\frac{X_1}{X_0}$ از مقدار 0.1 بیشتر باشد. اگر این مقدار کمتر شود امکان بوجود آمدن ازدیاد ولتاژ متوالی از نوع دیگری وجود دارد.

سلف بزرگ (خاموش کننده موس)

زمین کردن از نوع خنثی نمودن جریان شارژ خازنی (سلف پیترسون) باعث جلوگیری از بوجود آمدن پدیدهٔ فوق خواهد شد. این بدین خاطر است که سلف پیترسون با خازن سیستم منطبق شده است و نوسانات در فرکانس نرمال سیستم صورت خواهند گرفت (50^{HZ}). بعد از قطع شدن اتصالی در قسمت B در شکل قبل پتانسیل نقطهٔ نول سیستم نیز بخاطر وجود سلف مابین $1^{P.U.}+$ و $1^{P.U.}-$ با فرکانس سیستم نوسان خواهد نمود.

بنابراین اگر پتانسیل فاز a مابین $2^{P.U.}+$ و $2^{P.U.}-$ بخواهد نوسان نماید پتانسیل نقطه نول نیز همراه آن طوری نوسان میکند که همواره پتانسیل نقطهٔ a را در ولتاژ زمین ثابت باقی نگهدارد و ولتاژ نقطهٔ نول نیز بعد از نوسانات به صفر خواهد رفت.

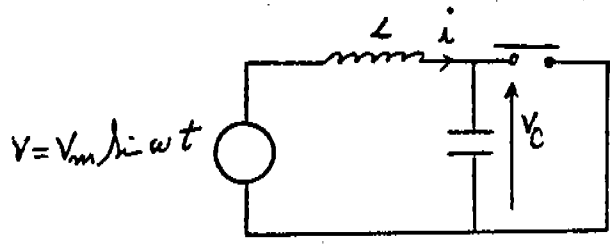
در عمل ۱۵ تا ۲۰ سیکل طول میکشد که ولتاژ فاز a به $\frac{3}{4}$ ولتاژ نرمال نسبت به زمین برسد و بنابراین اتصالی مجددی ایجاد نخواهد شد.

۲ـ۲ـ۹. ایجاد نوسانات با فرکانس بالا در اثر قطع جریان اتصال کوتاه

(TRANSIENT RESTRIKING VOLTAGE)

(TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE)

شکل زیر را در نظر بگیرید:



فرض نمائید که جریان اتصالی توسط دژنکتور بخواهد قطع گردد. معادلات مدار عبارتند از

$$L\frac{di}{dt} + V_C = V_m \sin \omega t$$

$$i = C\frac{dV_C}{dt}$$

از حل معادلات فوق با در نظر گرفتن شرایط اولیهٔ

$$V_C(0) = 0$$

$$\frac{dV_C(0)}{dt} = \frac{i(0)}{C} = 0$$

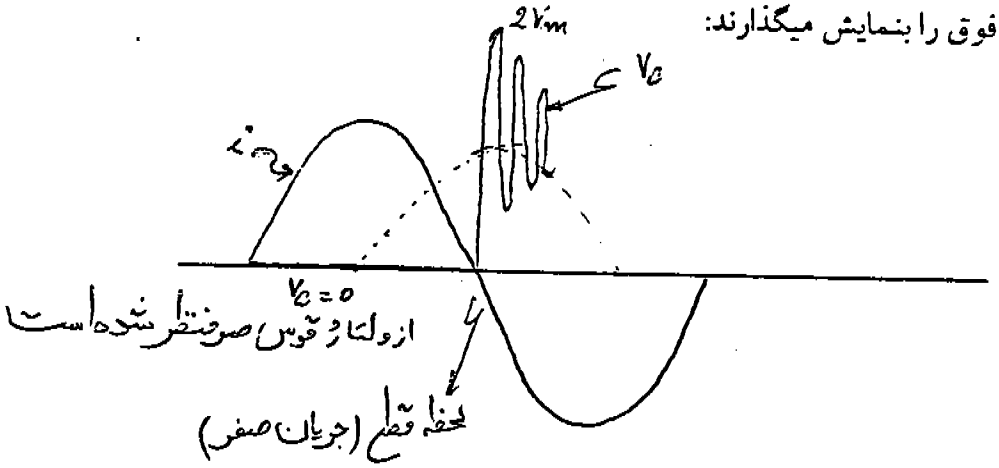
و اینکه مدار در لحظه‌ای که جریان از صفر عبور می‌نماید قطع میگردد، خواهیم داشت:

$$V_C = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} V_m \left[\cos \omega t - \cos \omega_0 t\right]$$

که در آن:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

اشکال زیر پدیدهٔ فوق را بنمایش میگذارند:



این بدان معناست که ولتاژ دو سر خازن قبل از قطع 0 بوده است بعد از قطع ولتاژ خازن می‌خواهد به مقدار V_m برسد بنابراین مقدار ولتاژ دو سر خازن طی نوساناتی تا دو برابر V_m خواهد رسید. میرا شدن

۹-۱۸ برای خاموش کردن قوس: ۱- جریان صفر می‌گذرد قطع کردن آن بسیار مشکل است. راه حل: کنترل با تأخیر سیستم رله‌ها یا مکوس ولتاژ با خازن را به صفر تقلیل می‌دهیم. ۲- قوس سرد شود تا اثر حرارتی از بین برود و یونیزاسیون کم شود. از مواد روغن یا (SF6) استفاده می‌کنند.

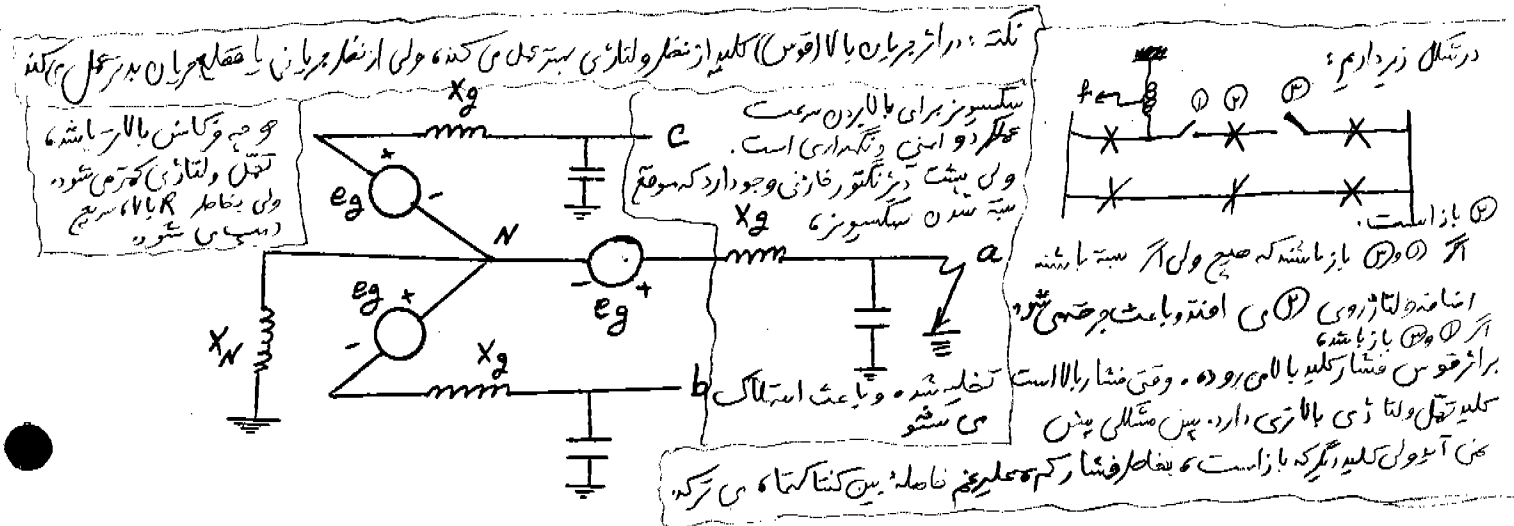
نوسانات که شکل نشان داده شده است در اثر مقاومتی است که ما در معادلات صرفنظر کرده‌ایم.

بدیهی است که دژنکتور در هنگام قطع می‌باید طوری طراحی شده باشد که این ازدیاد ولتاژ را تحمل نماید بدین خاطر به آن TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE می‌گویند.

مثال بالا نشان میدهد که پدیده ازدیاد ولتاژهای گذرا در شبکه‌هائی که دارای سلف و خازن می‌باشند و عمل سویچینگ در آنها ایجاد می‌گردد ممکن است بوجود آید. دژنکتورهائی که برای باز شدن از مقاومت استفاده مینمایند با در فاز قرار دادن ولتاژ و جریان باعث کاهش این ازدیاد ولتاژ می‌گردند.

نکته: در ولتاژ های خیلی بالا (۴۷۰ KV) چون مقاومت مدار بالا است سریعاً دمپ می‌شود. اگر دژنکتور سریع قطع نکند، این ولتاژ دوباره سبب جرقه مجدد خواهد شد. چون در (SF6) اینگونه مشکل وجود ندارد.

با توجه به پدیده بالا شکل زیر را در نظر بگیرید:



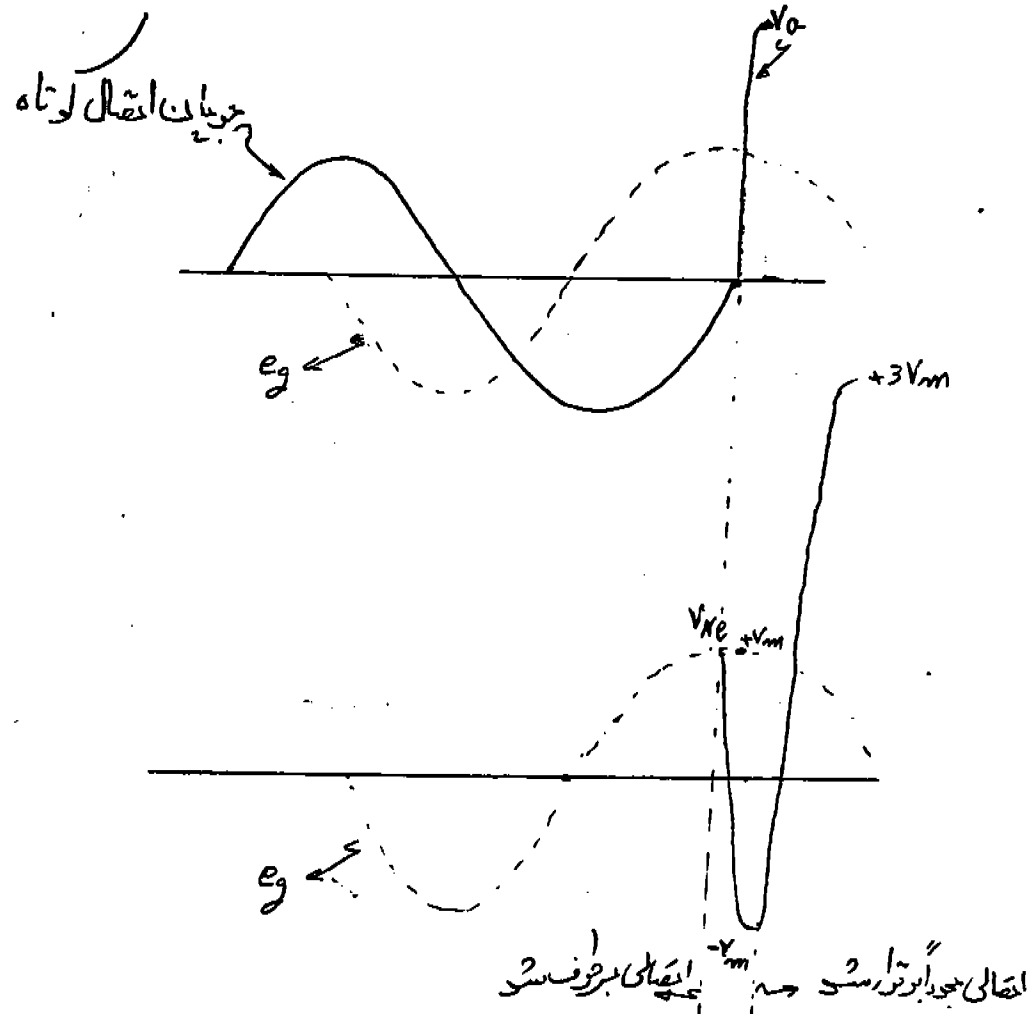
فرض نمائید که $X_N \gg X_g$ باشد در اینصورت معادلهٔ زیر همواره برقرار است:

$$V_{Ne} \cong e_g - V_a$$

اگر $V_a = 0 \Rightarrow V_{Ne} = e_g$

اگر اتصالی قطع شود ولتاژ فاز a طبق مسئله‌ای که هم اکنون بحث شد به طرف $2V_m$ خواهد رفت و در اینحالت ولتاژ V_{Ne} از مقدار V_m بطرف $-V_m$ خواهد رفت چرا که e_g ثابت است. اگر در اینحالت مجدداً اتصال کوتاه برقرار شود ولتاژ V_{Ne} که در $-V_m$ است می‌خواهد به مقدار قبلی یعنی V_m برسد بنابراین تا

$3V_m$ بالا خواهد رفت.



امّا اگر مقدار X_M با X_g قابل مقایسه باشد در اینصورت فرض بالا قابل قبول نیست و نوساناتِ به این شدیدی ایجاد نخواهد شد.

۳_۲_۲_۹. موارد دیگر (O.V) ازدیاد ولتاژ

موارد بسیار زیادی در شرایط مختلف ایجاد ازدیاد ولتاژ گذرا می‌کنند که در زیر بعضی از این موارد نام برده شده‌اند

الف_ در تبدیل کننده اتوترانسفورماتوری برای استارت موتور هنگامی که موتور از اتوترانس جدا می‌گردد

و به خط وصل می‌شود بعلت امکان وجود اختلاف فاز 180° با منبع داخلی موتور (حدود O.V. (0.5 P.U.) وجود دارد.

ب- در مجزا شدن دو قسمت از شبکه از یکدیگر و وصل مجدد این دو قسمت با اختلاف زاویهٔ 180° خارج فاز بودن.

ج- قطع کورهٔ قوس الکتریک هنگامیکه قوس در حال برقراری باشد و منبع راکتیوی هم موجود نباشد.
پس سعی می‌شود اول جریان را صفر رسانند و سپس جریان را قطع کنند.

د- اجبار جریان به صفر شدن در هنگام قطع ($\frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}LI^2$).
(برای رفع از یک مقاومت استفاده می‌کنند)
(کوچک و یا بزرگ است ولتاژ خیلی بالا می‌رود) ← (این ولتاژ به ولتاژ سیستم ربطی ندارد و ممکن است تجهیزات را برای آن تقویت نکرده باشیم)

هـ- یکی از مسائل مهم در مورد اتوترانسفورماتورها زمین نمودن هر دو طرف این ترانسها می‌باشد (نقطهٔ نول N_{HV}). چرا که اگر احتمال کوتاه شدن یک فاز در اولیه داشته باشیم، مقدار ازدیاد ولتاژ فازهای دیگر مستقیماً به ثانویه منتقل می‌شود.
(در این حالت اولیه و ثانویه در اتصال ستاره الکتریکی به هم وصلند)

۹ـ۲. زمین کردن نقطهٔ نول سیستم

در عصر یکی از روزها در یک کارخانه صنعتی بهره‌برداری از شبکهٔ برق‌رسانی کارخانه بدون هیچ اطلاع قبلی از حالت عادی خود خارج شد. اولین نشانه‌ای که ظاهر شده بود، خراب شدن یک موتور ۲۸۰ ولتی در حال کار بود و بعد موتورها یکی بعد از دیگری خراب شدند. از آنجائیکه سیستم زمین نشده بود، ولتاژ مابین خطوط اندازه‌گیری شده و مسئلهٔ غیرعادی مشاهده نشد ،ولی خراب شدن وسائل الکتریکی همچنان ادامه داشت. با استفاده از یک ولتمتر ۱۲۰۰ ولتی، ولتاژ مابین فاز و زمین در این شبکهٔ ۲۸۰ ولتی اندازه‌گیری شد و با کمال تعجب عقربهٔ ولتمتر از ولتاژ ۱۲۰۰ ولت نیز عبور کرد.

پرسنل مجتمع به اتصالی در ترانسهای قدرت ورودی به مجتمع مابین اولیه و ثانویه مشکوک شدند. و یکی بعد از دیگری آنها را خارج نمودند امّا وسائل الکتریکی همچنان در حال خراب شدن بودند. بالاخره تصمیم گرفته شد که برق کل مجتمع قطع گردد امّا قبل از اجرای این تصمیم یکی از کارگران متوجه شد که از یکی از اتوترانسهای مربوط به استارت یک موتور دود کمی خارج می‌شود و صدائی شبیه جرقه زدن نیز از آن شنیده می‌شود. این مدار از شبکه خارج شد و پس از خروج آن ازدیاد ولتاژ نیز از بین رفت. در طول ۲ ساعت که این قوس زمین برقرار بود حدود ۵۰ موتور خراب شده بودند. پس از باز کردن اتوترانس استارت و معاینه آن معلوم شد که سیم‌پیچی در یک نقطه به بدنه اتصالی داده است. محل اتصالی سیاه رنگ شده بود ولی سوختگی شدید نبود.

سوختگی دراثر حرارت است وسیاهی زیادی بجای گذارد
سوختگی دراثر ولتاژ: قوس است وسیاهی کمی دارد و جرقه می زند
سوختگی غیرشدید یعنی جریان کم

برای امتحان موضوع یک گروه متخصص سعی نمودند که به پرسنل مجتمع نشان دهند که علت ازدیاد ولتاژ چه بوده است. برای اینکار محل اتصالی بتوسط سیم مجدداً اتصال داده شد. با کمال تعجب (و در میان حیرت پرسنل) ۳۰٪ اضافه ولتاژ در دو فاز دیگر مشاهده شد.

این واقعه یکی از مواردی است که اثر بوجود آمدن پدیدهٔ قوس زمین و ضایعاتی را که بوجود می‌آورد نشان میدهد و بعلت وسعت خرابی که بوجود آورده تقریباً بصورت ضرب‌المثل شده است. حوادثی نظیر این

مسئله در وسعت کمتری ممکن است اتفاق افتاده باشد که بعضی از آنها حتی ردیابی هم نشده‌اند.

مسئله زمین کردن سیستم با پیدایش شبکه‌های قدرت همواره تحت سؤال بوده است ولی هیچگاه یک پروسه کاملاً آنالتیک و دقیق که جواب را در نظر همهٔ مهندسین برق (برای یک مسئله بخصوص) یکسان سازد وجود نداشته است. شاید یکی از مهمترین عوامل موجود نبودن محاسبات دقیق برای یافتن ازدیاد ولتاژها بوده باشد. بهرحال جواب به این سؤال که آیا نقطهٔ نول یک سیستم می‌باید زمین شود و یا نه و یا چطور؟ همواره بصورت سلیقه‌ای مابین مهندسین برق متفاوت بوده و هست. بیشتر مهندسین و طراحان سعی می‌نمایند که با استفاده از تجربیات گذشته خود به این سؤال پاسخ دهند و پروسهٔ کاملاً مشخصی برای رسیدن به جواب هنوز وجود ندارد.

زمین کردن از یک طرف باعث قطع سرویس در اثر اتصالی تک فاز می‌گردد و از طرف دیگر از بوجود آمدن ازدیاد ولتاژ جلوگیری می‌نماید. برای کارخانجاتی که قطع سرویس بسیار مهم است (از قبیل مجتمع‌های فولاد) راه‌حلهای میانه نیز وجود دارند که در این بخش به بررسی انواع زمین نمودن نقطهٔ نول و یا ایجاد مصنوعی زمین در یک شبکه می‌پردازیم.

۱_۳_۹. سیستم نول ایزوله

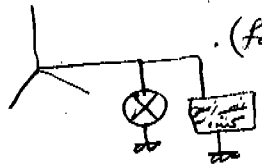
مزیت اصلی یک سیستم نول ایزوله همواره در این بوده است که اتصالی تکفاز به زمین باعث قطع سرویس نمی‌شود. در بعضی از مجتمعها از نول ایزوله حتی در سطوح ولتاژ 3.3^{KV} الی 6.6^{KV} استفاده شده است و طراحان و بهره‌برداران آنها نیز مدعیند که سیستم کاملاً موفقیت‌آمیز بوده است. امّا امکان بوجود آمدن پدیده‌های ازدیاد ولتاژ در این سیستم‌ها بسیار زیاد است.

آلارم اتصال زمین در این سیستمها قابل تعبیه کردن است ولی محل اتصال فقط با خارج و وارد نمودن قسمتهای مختلف سیستم یکی پس از دیگری قابل تشخیص است. اگر دو اتصال زمین در یک فاز در دو

در روب آهن، جرقه است و آتش. موتورهای آب اگر خلاص شوند و آهن بماند، ۲ ماه طول می‌کشد تا با جوشکاری باز کنند. اگر آب رد نشود، پیدا نمی‌سوزد. در این جاها بهتر است زمین شود. تا 6.6^{KV} نقطهٔ زمین داده شده است تا اتصال کوتاه تکفاز سرویس را قطع نکند.

مجتمع شهیاران، اگر جرقه باشد (بخاطر ولتاژ بالا) خیلی خطرناک است. پس حتماً زمین می‌شود.
مجتمع فولاد، حتماً زمین نمی‌خواهد چون جرقه است. مگر برای حفاظت کاتدیک سازی.

حلر زگذاشتن چراغ خطر (نشان دهنده Fault).



چراغ روشن شود وجود خطای فاز به زمین داریم

۹ـ۲۳

راه دیگر تشخیص خطای ولتاژ فاز به زمین دو فاز از ۱۷۳ شده خطا در فاز دیگر است.

جای سیستم داشته باشیم پیدا کردن محل اتصالی بسیار مشکل است چرا که با خارج و وارد نمودن مدارات مختلف هیچگاه اتصالی از بین نخواهد رفت. اگر دو اتصال زمین در دو فاز مختلف در دو جای سیستم داشته باشیم، یک فیوز یا دژنکتور ممکن است قطع گردد و هنوز اتصالی برقرار باشد.

مشکل دیگر سرعت است که با قطع ولتاژ بصورت دو فاز کار کند (اگر حفاظت نداشته باشد) می سوزد. معمولاً برای ۱۱۰kV به بالا حفاظت دو فاز داریم.

تجربه نشان داده است که امکان بوجود آمدن دومین اتصالی در یک سیستم نول ایزوله بسیار زیاد بوده است، چرا که معمولاً اپراتورها محل اتصالی اولی را بلافاصله دنبال نکرده و منتظر فرصت مناسب جهت تشخیص محل خطا می‌مانند و در این ساعات امکان برقراری دومین اتصالی زیاد است.

۲ـ۳ـ۹. مزایا و معایب زمین نمودن سیستم

در زیر مزایای زمین نمودن سیستم نوشته شده‌اند:

الف ـ باعث کاهش هزینه بهره‌برداری و نگهداری میگردد با:

۱ـ پائین آوردن ازدیاد ولتاژ گذرا

۲ـ حفاظت سیستم در مقابل امواج گذرای سریع بهتر انجام می‌شود (برقگیرها می‌توانند زمین شوند) (یعنی برای ولتاژ تعیین شوند)

۳ـ محل خطای زمین بآسانی مشخص میگردد

۴ـ حفاظت زمین راحتتر انجام می‌شود

ب ـ قابلیت اطمینان سیستم را بالا می‌برد (در صورت حاشگی صحیح)

ج ـ از نظر سلامتی برای افراد و پرسنل بهتر است

د ـ خرج عایق‌بندی را در سیستمهای E-H-V کاهش میدهد (در شبکه توزیع ۲۳kV و EHV است)

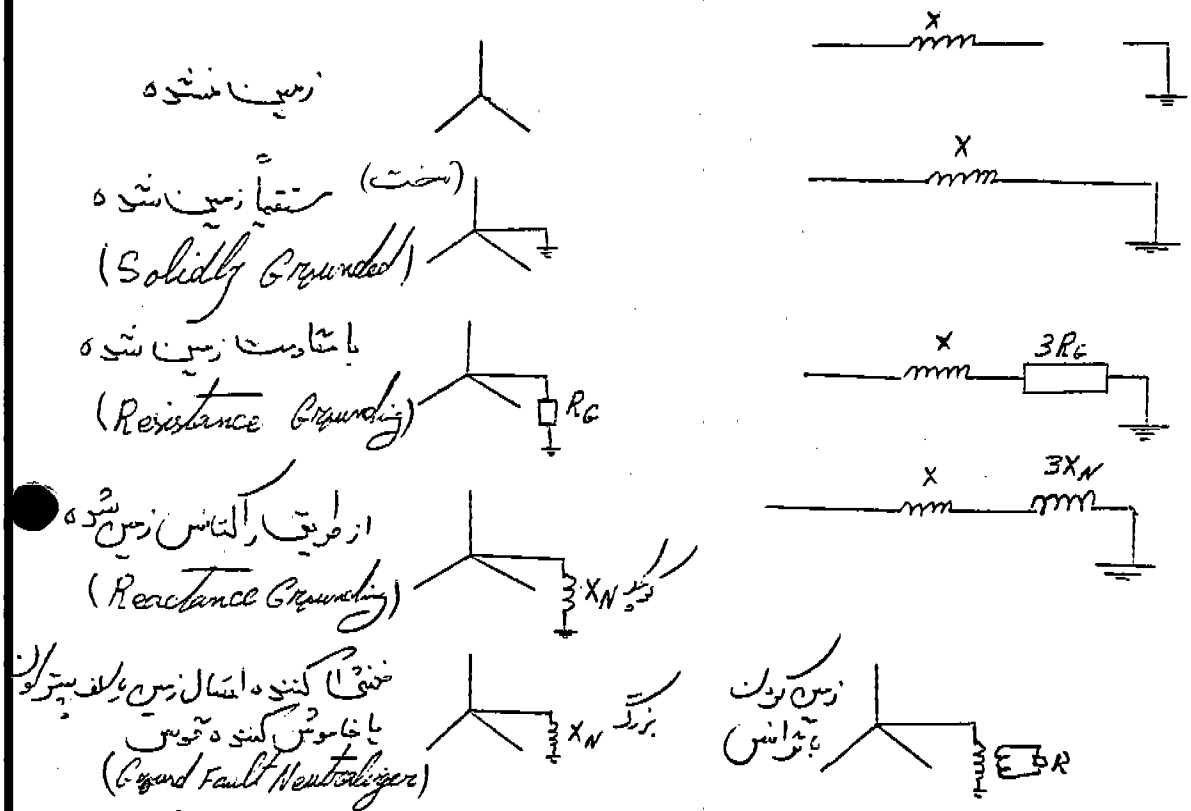
مزایائی که در بالا برشمرده شده‌اند بستگی به ولتاژ سیستم دارند و بعضی از آنان برای ولتاژهای بالا و

۹ـ۲ معایب زمین کردن / در صورت بروز اتصالی سرویس قطع می شود.
مقدار جریان اتصال کوتاه تک فازه زمین زیاد است.

بعضی در ولتاژهای پائین مزیت محسوب میگردند. مثلاً سیستمهائی که در ولتاژهای پائین 15^{KV} هستند در معرض خطر صاعقه نمی‌باشند (مثلاً در شبکه‌های صنعتی)، بنابراین مزیت استفاده از برقگیر در این نوع سیستمها مزیت محسوب نمی‌شود. وقتی که یک شبکه صنعتی از ولتاژ بالاتر از 15^{KV} استفاده مینماید، معمولاً این شبکه در معرض خطر صاعقه قرار دارد و بنابراین زمین نمودن با یک امپدانس کوچک که باعث می‌شود بتوان از برقگیر استفاده نمود یک مزیت مهم محسوب میگردد.

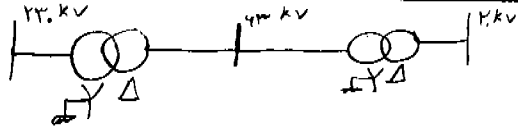
۳ـ۳ـ۹. طریقه زمین نمودن سیستم

بهترین نقطهٔ زمین نمودن یک سیستم استفاده از نقطهٔ نول اتصال ستاره جهت زمین نمودن است. انواع مختلف زمین نمودن یک سیستم از طریق نقطهٔ نول در زیر آورده شده است.



همچنین در سیستمهائی که نقطه نول قابل دسترس نمی‌باشد، زمین نمودن با استفاده از ترانس زیگزاگ یا ترانس Δ با ثانویه هوا باز معمول میباشد. که اشکال اینان در زیر رسم شده‌اند

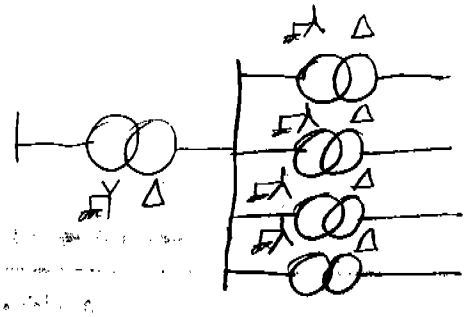
در شبکه روبرو

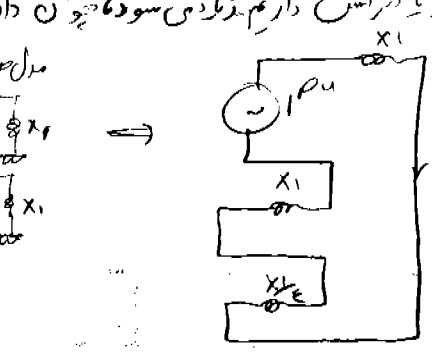


در مورد بانک Δ-Y اگر Δ سمت چپ زمین نخواهد می‌توان همان Y را در نظر داشت به شرطی که (۱) هسته یکی باشد (۲) نزدیک باشد

در چنین شرایطی بالا از یک ترانس سه پارا استفاده می‌کنند. معمولاً زیگزاگ

در زمین کردن مستقیم، جریان در تریکی جاهایی زیاد در ترانس داریم زیاد می‌شود، چون داریم:



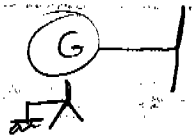


$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{X_1 + X_1 + \frac{X_1}{\varepsilon}} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} I_a = \dfrac{3}{X_1 + X_1 + \frac{X_1}{\varepsilon}} \\ I_{2\phi} = \dfrac{1}{X_1} = \dfrac{3}{X_1 + X_1 + X_1} \end{cases}$$

جریان اتصال کوتاه تقریباً زیاد است

در زمین کردن مستقیم، جریان در تریکی نزدیکی نیروگاه بالاتر رود چون داریم:



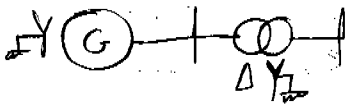
$$\Rightarrow \begin{cases} I_{3\phi} = \dfrac{1}{X_1} \\ I_a = \dfrac{3}{2X_1 + X_0} \end{cases} \Rightarrow I_{3\phi} < I_a$$

پس با مقاومت زمین می‌کنیم که این گونه نشود.

در نیروگاه‌ها از شانک روبرو استفاده می‌کنند چون جریان اتصال کوتاه از طرفی ژنراتور کم شود و هارمونیک به داخل ژنراتور نیاید و نرود.

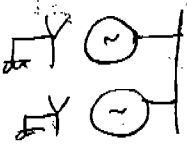
می‌توان با R_g کم زمین شود ← از زیاد جریان زیاد ← از زیاد ولتاژ کم.

می‌تواند (معمولاً) با R_g زیاد زمین شود (بیش از $\frac{\Omega}{6}$) از ولتاژ زیاد ← جریان کم.



اگر دو ژنراتور موازی داشته باشیم:

(یکی از مناسب زمین کردن)



در صورت روبرو، هارمونیک سوم بین دو ژنراتور می‌گردد، البته در صورتی که غاز صنعتی داخل Δ فرق کند، در این صورت هارمونیک سوم ۱۸۰° فرق می‌کند، پس داغ می‌کند (فقط اثر حرارتی دارد)

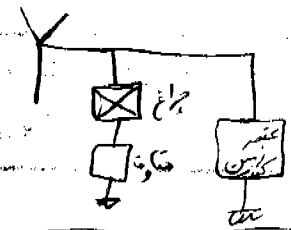
توجه: اگر ۱ و ۲ هم‌فاز باشند مساوی باشند، زاویه داخل هم برابر است

اگر یکی را وصل نکنیم، در صورت ترمیم آن ژنراتور، زمین ندارم.

اگر مقاومت بگذاریم نیز همان مثل بالاست.

اگر سلف بگذاریم چون $3f$ داریم (در هارمونیک سوم) آمپدانس بالا رفته و هارمونیک سوم را می‌گیرد.

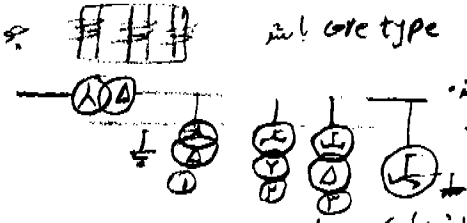
برای تشخیص اتصال زمین از روش روبروی روند:

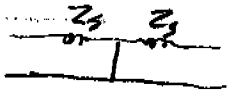


اگر اتصالی شود، ولتاژ نول بالا رفته و چراغ روشن می‌گردد.

در مورد مدل صفر اگر core type باشد چون سه مبنع هم جهت وصل کنیم خلو در هوا می‌گردد. لذا راکتانس کم می‌شود.

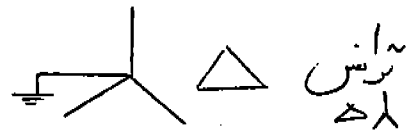
پس ۱ و ۳ با هم فرقی ندارند.





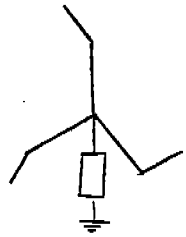
توالی صفر زیگزاگ

ترانس ستاره



ترانس زیگزاگ

(معمولاً در شبکه های توزیع)



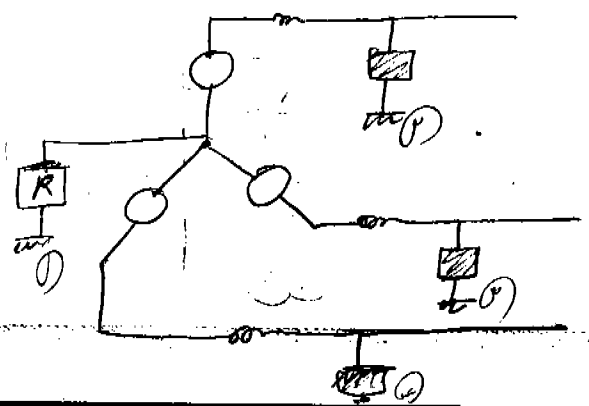
۹_۲_۲. زمین کردن مستقیم نقطهٔ نول (SOLID GROUNDING)

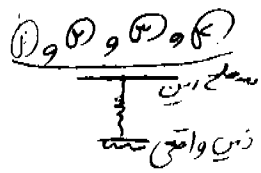
زمین کردن مستقیم نقطهٔ نول باعث می‌گردد که هزینه عایقبندی کاهش یابد این از آنجائی ناشی می‌شود که O.V. در سیستم کاهش می‌یابد. این مسئله در خطوط E.H.V (ولتاژ بالا) از آنجائیکه پدیده کرونا یک پارامتر در محاسبهٔ خطوط محسوب می‌شود بسیار مهم است. امّا از طرف دیگر زمین کردن مستقیم باعث عبور جریان زیاد اتصالی تک فاز می‌گردد و بنابراین در سیستمهای با ولتاژ کم و متوسط معمولاً بکار برده نمی‌شود.

برای تمامی سیستمهائی که مستقیماً زمین میگردند (همچنین برای سیستمهائی که توسط راکتانس زمین می‌شوند) لازم است که مقدار جریان اتصال کوتاه تک فاز برابر ۲۵ الی ۱۰۰ درصد مقدار جریان اتصال کوتاه سه فاز گردد تا از بوجود آمدن ازدیاد ولتاژ جلوگیری گردد.

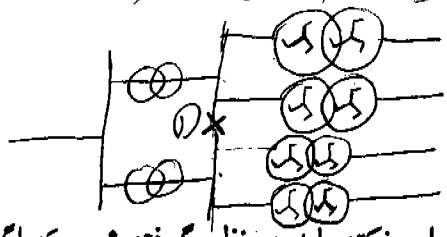
مستقیم زمین نمودن ژنراتورها بدون استفاده از امپدانس دیگری، باعث می‌گردد که جریان اتصال کوتاه تک فاز از محدودهٔ بالا خارج گردد و در نتیجه از جریان مجاز ژنراتور هنگام اتصالی بیشتر شود. بنابراین ژنراتورها معمولاً با یک امپدانس کم زمین میگردند تا از محدوده جریان مجاز خارج نشوند. برای سیستمهای چهار سیمه معمولاً این محدودیت تا 100% جریان سه فاز می‌باشد.

در سیستمهائی که احتیاج به استفاده از برقگیر است، مقدار ولتاژی که نقطهٔ نول می‌تواند در اثر برخورد صاعقه بالا رود یک محدودیت اساسی است. در این نوع سیستمها نیز نقطهٔ نول می‌باید بتوسط یک امپدانس خیلی کم و یا مستقیماً زمین گردد.





مجتمع قوا داهوازه ازتراس زنراتور استفاده می‌کند که هارمونیک سوم را دمپ می‌دهد: لزگزاک برای هارمونیک سوم زمین است)



۹_۲۶ این دو سری را نمی‌توان با کلید ⊙ به هم وصل کرد، چون جریان اتصال کوتاه تکفاز را افزایش می‌دهد.

در زمین نمودن دو ژنراتور که موازی عمل می‌نمایند، همواره این نکته باید در نظر گرفته شود که اگر شرایط کاری این دو ژنراتور طوری باشد که منابع داخلی آنها اختلاف زاویهٔ 60° داشته باشند، این اختلاف زاویه برای هارمونیک سوم 180° می‌باشد بنابراین جریان هارمونیک سوم همیشه مابین دو ژنراتور در حال چرخش است. این مسئله باعث داغ شدن ژنراتور می‌شود. (رجوع شود)

۹_۳_۵. زمین کردن با مقاومت (RESISTOR GROUNDING)

اگر از یک مقاومت کوچک در زمین کردن نقطهٔ نول استفاده شود، این طریقه باعث از بین بردن کلیهٔ ازدیاد ولتاژهای گذرا میگردد. همچنین می‌توان مقاومت را طوری انتخاب نمود که جریان اتصال کوتاه تک فاز را در محدوده مجاز برای ماشینها قرار دهد. مقدار مقاومت معمولاً طوری انتخاب میگردد که جریان اتصال کوتاه تک فاز برابر جریان نرمال سیستم گردد. مثلاً برای یک ژنراتور $5\ MVA$ و $6.6\ KV$ مقدار مقاومت $0.72\ \Omega$ می‌باشد که بآسانی قابل ساخت است. انتخاب مقاومت گاهی اوقات (معمولاً در ژنراتورها) ممکن است باعث گردد که اگر اتصالی در 10% از سیم‌پیچی ژنراتور نزدیک نقطهٔ نول اتفاق بیافتد، اتصالی تشخیص داده نشود و هنوز باعث خرابی ماشین گردد.

در صورتیکه مقدار مقاومت زیاد باشد (کوچکتر از X_c)، در اینصورت مجدداً پدیده‌های گذار اتفاق نخواهد افتاد. امّا در بقیهٔ شرایط سیستم مانند نول ایزوله عمل می‌نماید و تشخیص محل خطا در این نوع سیستمها نیز مشکل می‌باشد. سیستمهائی که با مقاومت زیاد زمین میگردند، در صورت احتیاج به برقگیر، همانند سیستمهای نول ایزوله می‌باید در نظر گرفته شوند. (ولتاژ سیستم برای طراحی برقگیر ولتاژ خط در نظر گرفته می‌شود، برای سیستمهائی که بطور مؤثر زمین شده‌اند ولتاژ سیستم برای طراحی برقگیر مابین ولتاژ فاز الی ۱۲۰% ولتاژ فاز (۸۰% ولتاژ خط) در نظر گرفته می‌شود). مقدار مقاومت طوری انتخاب می‌گردد که ثابت زمانی مدار RC کمتر از نصف سیکل گردد:

زمان افتادن ولتاژ

$$3RC \leq \frac{2}{314}$$

خازن پخش ← مقاومت زمین شده

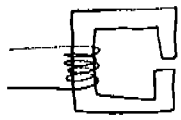
$$R \leq \frac{2}{3} X_c$$

برقگیر برای صاعقه است نه اتصال کوتاه تکفاز به زمین

ZnO سریع عمل می‌سوزد. نباید اضافه ولتاژ ماندگار باشد.

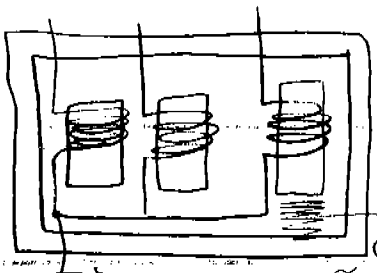
صاعقه $6.6\ KV$ ← حدود برابر اضافه ولتاژ تا $3\ KV$

سلف بترسن را با فاصله هوائی برای انتخاب راکتور در نظر می گیریم:



مجموعه راکتورهای power:

۴۰kv: بزرگ است اندازه تراش { compensation reactive ۵۰ mvar و ۱۰۰ mvar و ۱۶۰ mvar

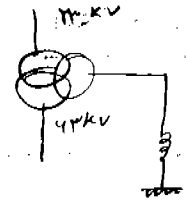


کاغذهای آغشته به روغن

فاصله ها باید آغذ دار باشد که مولکول کم باشد.

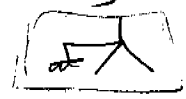
بعضی راکتور (تا ۱۰ مول را زمین کند) به اندازه تراش ۲۰kv است. برای حالات گذرا

۲۳۰kv: جهم ½ کلاس درس، { swichable



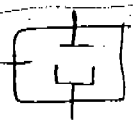
نوع دیگر و قطعیه کم کردن fault level را دارند.
راه اندازی موتورها.
فاصله هوائی دارند. با آب خنک می شوند
در پشت به صورت مارپیچ است تا مولکول کم شود.

درزمین کشور: چون ولتاژ پائین است گوهک است. مشکل تپ دارد { پس جهم آن زیاد است. تجهیزات مکانیکی تپ راکتور و فیلترهای خازنی و سیستم انگونه است.



فاصله هوائی برای کم کردن راکتور.

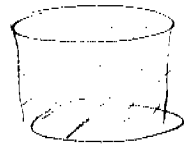
{ خوابیدن به زمین است
ذوب آهن زمین نیست



{ ولی آکسیده نشود.
آکسید نشود
ذرات رانگیرد.
⇐ خلاصه خیلی دم و دستگاه دارد.

ول راکتور: { ارزانتر است
راکتر می سازیم
با فاصله هوائی عمل آکم و زیاد می کنیم.

ساختار مقاومتی: پرسیدن تا ۳۸۰ داریم ول بالاتر نداریم. چون انرژی تلفاتی کربن را از بین می برد.

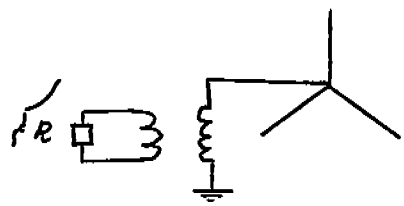
چون کربن دوبرو  از داخل می سوزد. چون تبادل ندارد. اگر هوا نباشد باید جهم بالا برود.

البته در جاهائی که زمان گذشتن جریان کم است می توان استفاده کرد. دکل بلندی برای مقاومتی کربن. ۲ و ۳ ثانیه بیشتر تو نیست.

البته اکنون بعضی مقاومت (Zno) استفاده می کردند.

transient stability

ساخت چنین مقاومتی در عمل بسیار مشکل است بنابراین در اکثر موارد از ترانس در نقطهٔ نول استفاده می‌شود. اکثر ژنراتورهای بزرگ بدین طریق زمین میگردند.

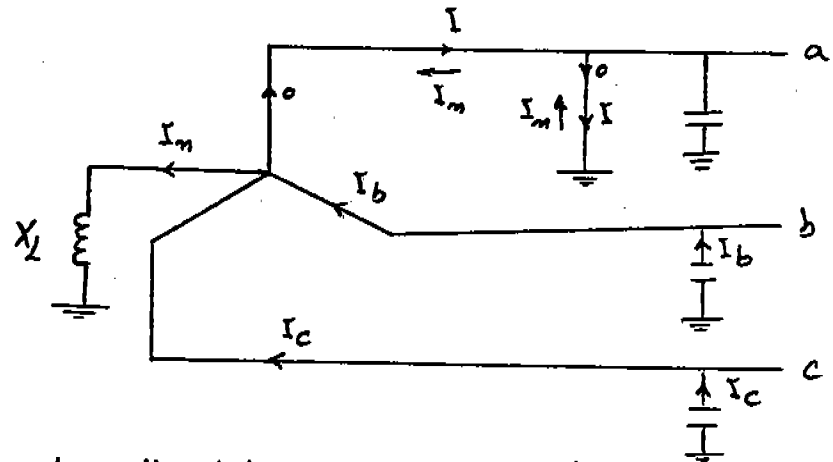


۹_۳_۶. زمین کردن از طریق راکتانس (REACTANCE GROUNDING)

از راکتانس گاهی بجای مقاومت جهت زمین نمودن استفاده می‌شود ولی از آنجائیکه راکتانس نمی‌تواند ولتاژهای گذرا را مانند مقاومت از بین ببرد مزیتی در این مورد به مقاومت ندارد (جز اینکه کم خرجتر است). مقدار راکتانسی که انتخاب می‌شود معمولاً طوری است که جریان اتصالی تک فاز را محدود نماید. خاصیت مهم استفاده از راکتانس از بین بردن هارمونیک سوم است چرا که مقدار راکتانس با افزایش فرکانس زیاد می‌شود.

۹_۳_۷. خنثی کننده اتصال زمین (GROUND - FAULT NEUTRALIZER)

شکل زیر را در نظر بگیرید



با در نظر گرفتن اینکه مقدار X_L زیاد است. اگر اتصالی در فاز a سیستم اتفاق بیافتد در اینصورت جریانی که از نقطهٔ اتصالی (بدون در نظر گرفتن سلف) می‌گذشت همانطوریکه قبلاً بدست آمد برابر:

$$I = I_b + I_c = \frac{V_{pl}}{\frac{X_c}{3}} \angle 0$$

و ولتاژ نقطهٔ نول:

$$V_{Ne} = -V_a = V_{pl} \angle 90^\circ$$

توجه به اینکه راکتانس X_L را در نقطهٔ نول قرار داده‌ایم جریان عبوری از این راکتانس که از محل اتصالی نیز خواهد گذشت برابر است با:

$$I_m = \frac{V_{pl} \angle 90}{X_L \angle 90} = \frac{V_{pl}}{X_L} \angle 0$$

بنابراین وقتیکه:

$$X_L = \frac{X_c}{3}$$

باشد مجموع جریانهائی که از نقطهٔ اتصالی می‌گذرد برابر صفر می‌شود.

$$I = I_m.$$

در عمل مقدار این جریان بخاطر وجود مقاومت مدار، کرونا و یا مقاومت نشتی مقره‌ها صفر نمی‌باشد و جریان کمی هم فاز با ولتاژ از مدار عبور می‌نماید و چون ولتاژ و جریان هر دو با هم از نقطهٔ صفر عبور می‌کنند قوس خاموش می‌گردد.

برای سیستمهائی که جریان اتصالی تک فاز همراه با پدید آمدن قوس می‌باشد این روش راه خوبی برای از بین بردن اتصالی می‌باشد. در ولتاژهای خیلی بالا ($220\,KV$) تلفات کرونا و عوامل دیگری باعث می‌شوند که جریان I_m و I همفاز نبوده و جریان زیادی از نقطهٔ اتصالی عبور نماید که قابل خاموش کردن نیست.

بیشتر از این سیستم در خطوط هوائی استفاده می‌شود امّا در بعضی از صنایع مانند مجتمعهای فولاد در ولتاژهای ۶.۹ KV و ۱۰.۵ KV استفاده از آن دیده شده است. زمین نمودن توسط این متد باعث کاهش ازدیاد ولتاژ در سیستم نیز می‌گردد. امّا باید متذکر شد که اتصالی در اثر شکستن مقره، یا داخل کاغذ، یا لاستیک، یا پارچه‌های روغنی ایجاد میگردد بتوسط این متد خاموش نمی‌گردند.

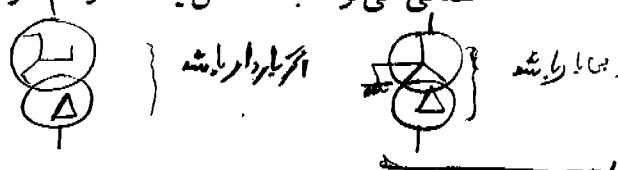
بهرحال محل اتصالی در این متد از زمین کردن نیز قابل تشخیص نمی‌باشد، مگر با استفاده از یک مقاومت موازی سلف. در اینصورت مقاومت حتماً می‌باید به دژنکتور مجهز باشد و در هنگامیکه آلارم اتصالی وجود دارد و اپراتور بخواهد بصورت اتوماتیک قسمت اتصالی شده را جدا نماید مقاومت موازی را وارد مدار می‌کند. البته این متد پر هزینه می‌باشد.

یکی از مهمترین مشخصات سیستمهائی که باینگونه زمین کننده مجهزند، تنظیم نمودن مقدار راکتانس سلف زمین کننده (که معمولاً با استفاده از تپ متغیر انجام می‌شود) با کاپاسیتانس سیستم می‌باشد که با تغییر توپولوژی سیستم در حالت بهره‌برداری مقدار کاپاسیتانس سیستم تغییر می‌نماید.

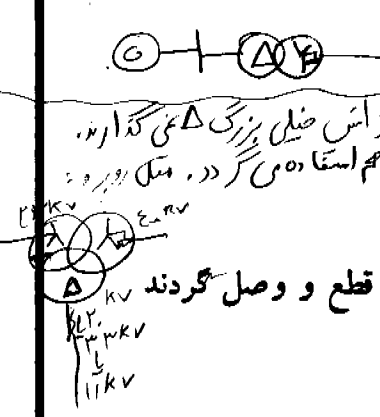
۹_۳_۸. ترانس زمین

ترانس زمین در نقاطی که نقطهٔ نولی برای زمین کردن در دست نیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بیشتر اوقات یک ترانس سه فاز زیگزاگ (یا ستاره) در اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد امّا استفاده از ترانس Δ/Δ نیز معمول است. تحت شرایط نرمال بهره‌برداری فقط جریان مغناطیس کننده که خیلی کم است از ترانس می‌گذرد. امّا در شرایط اتصال کوتاه نامتقارن، ترانس زمین یک امپدانس خیلی کم برای عبور جریان صفر دارد (با توجه به مدار معادل ترانس) که باعث عبور جریان صفر می‌گردد. مقدار جریان اتصالی می‌تواند با گذاشتن یک مقاومت در نقطهٔ نول محدود گردد. (اگر نه خود ترانس جریان را محدود می‌کند)

ترانس Δ/Δ از ترانستر است از ترانس Δ/Y یا Y/Δ است.



دلایل استفاده
۱) جبران هارمونیک. Δ هارمونیک اول را خنثی می‌کند. اگر Y/Δ استفاده کنیم، زمینا وصل هستند.
۲) جلوگیری از انتقال جریان اتصال کوتاه.
۳) جابجائی زمینا حالت Y/Δ زمین دو طرف یکی است و جهت زمین سمت راست است و سمت چپ هم هست.
از نظر محاسبات نیز، یکی بودن زمینا سخت است.



برای جلوگیری از ایجاد ازدیاد ولتاژ حتماً می‌باید سه فاز این امپدانس با یکدیگر قطع و وصل گردند وگرنه شرایطی که یک راکتانس به یک فاز متصل است ایجاد می‌گردد.

۹ـ۳ـ۹. خلاصهٔ مطلب زمین کردن سیستم

مطالبی که ذکر شد در جدول زیر خلاصه شده است:

	نول ایزوله	مستقیماً زمین شده	زمین شده با راکتور کوچک	زمین شده با راکتانس بزرگ	خنثی کننده اتصال زمین	زمین شده با مقاومت بزرگ	زمین شده با مقاومت کوچک
جریان I_a	$0.01\ I_{3\phi}$	$> I_{3\phi}$ یا $< I_{3\phi}$	$< I_{3\phi}$ و $> 0.25\ I_{3\phi}$	$< 0.25\ I_{3\phi}$ و $> 0.05\ I_{3\phi}$	صفر	$< 0.25\ I_{3\phi}$ و $> 0.05\ I_{3\phi}$	I_m
ازدیاد ولتاژ گذرا	خیلی زیاد	نه	نه	خیلی زیاد	نه	نه	نه
مجزا نمودن اتوماتیک قسمت اتصالی	نه	بله	بله	بله	نه	نه	بله
مورد استفاده		برای سیستمهای $< 600V$ و $> 15KV$	برای سیستمهای $< 600V$ و $> 15KV$	استفاده نمی‌شود	برای ولتاژهای بالای KV 33 بجز صنعتی	$2.4KV$ الی $15KV$	$2.4KV$ الی $15KV$

بعضی از نکات اساسی که در مورد زمین کردن باید توجه داشت عبارتند از:

الفـ در هر سطح ولتاژ سیستم بطور جداگانه می‌باید زمین گردد.

بـ زمین کردن در محل ترانسهای تغذیه بار، موتورها و ... از آنجائیکه ممکن است این بارها در بهره‌برداری خارج گردند مجاز نمی‌باشد و اگر همه اتصال زمین داشته باشند جریان اتصالی زیاد می‌شود.

جـ تمامی فیدرهای تغذیه کننده زمین گردند، مگر اینکه تعداد فیدرهای تغذیه کننده زیاد باشد که در

در ولتاژهای کوچکتر از 42V زمین کردن نول را در اختیار داشته باشیم تا بتوانیم این مطرف کننده هایی مانند ساختمانها و اجزای لوازم خانگی

برای ولتاژ 24V برای جلوگیری از اضافه ولتاژ زمین می کنیم.

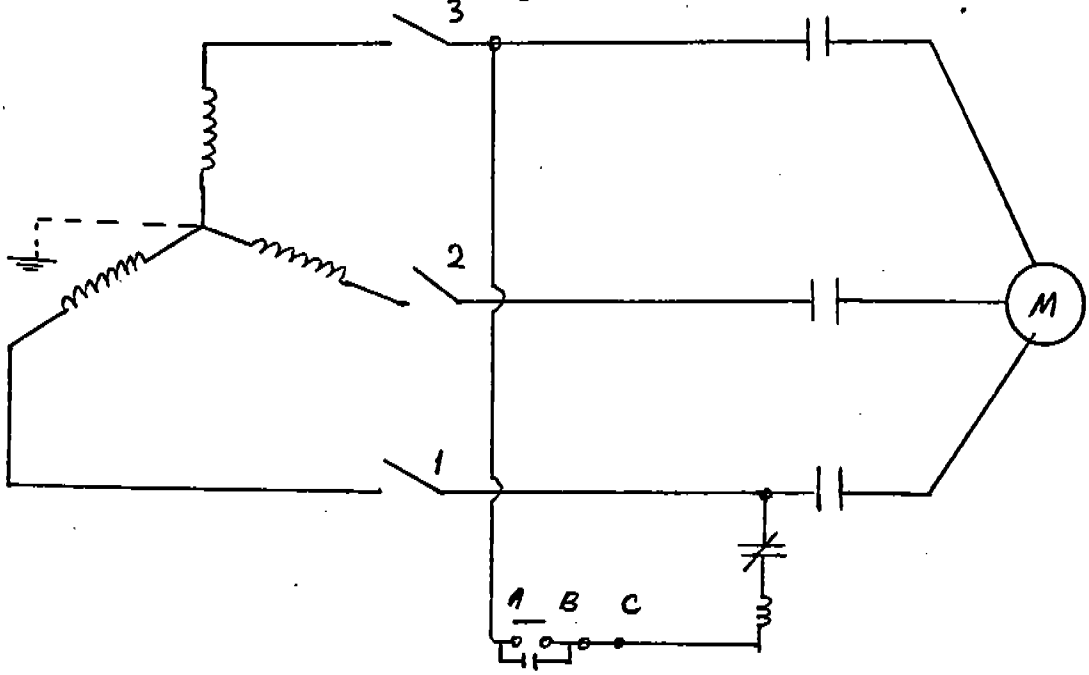
در چهار سیمه از دو طرف نول زمین شده و از نول جهت تغذیه بارهای تکفاز بین مسیر استفاده می شود.

در پنج سیمه، سیم زمین هم به مجموعه فوق اضافه می شود.

اینصورت فقط آنهائی که حداقل یکی از آنان همیشه در مدار است به زمین اتصال داده می‌شود.

۹-۳-۱. اثر زمین نکردن سیستم در سیستمهای کنترل A.C

شکل زیر را در نظر بگیرید: (3 یا 2 اتصالی به زمین دارد و تشخیص داده نمی‌شود است) .



اگر نقطهٔ نول زمین نشده باشد در اینصورت اگر یک اتصال به زمین در نقطهٔ B داشته باشیم، دو سر کویل ،ولتاژ خط را داریم بنابراین کویل عمل می‌کند و تمامی کنتاکتها بسته می‌شوند. اگر اتصالی در نقطهٔ C باشد در اینصورت حتی دستور قطع موتور اجرا نمی‌شود. اگر اتصال زمین داشته باشیم، اولاً فیوزها عمل می‌کنند و ثانیاً ولتاژ دو سر کویل در اثر اتصال زمین نقطهٔ B به ولتاژ خط نمی‌رسد بنابراین عملی انجام نمی‌گردد.

البته در سیستمهای کنترلی که زمین نیز می‌باشند تمامی موارد اتصال به زمین می‌باید در نظر گرفته شود.

پارامترهای مطروحه در زمین کردن { (1) اضافه ولتاژ زیاد یا خیر
(2) نوع مجزا نمودن ء اتوماتیک یا خیر

معمولاً اگر سری باشد قطع غیر اتوماتیک و اگر موازی باشد قطع اتوماتیک.
البته بسته به میزان جریان عالت مورد نیاز جهت تشخیص رله باشد.
در شبکه سری اگر یکی از اعضاء خراب شود، خود به خود کل سیستم خراب و نیاز به قطع اتوماتیک ندارد. ولی در توکیب موازی در صورت بروز اتکی شبکه قطع نکرده و باید اشیاء قطع اتوماتیک داشته باشند.