طراحی پستهای فشارقوی

(رشته برق)

حسین عسگریان ابیانه

POWEREN.IR

ازسری انتشارات آزمایشی متون درسی

POWEREN.IR

بسم الله الرحمن الرحیم

ملسفه دهم باغبانی فارس

دفتر شماره ۱

صفحه ۱۰ ← شکل شیرها

صفحه ۴۷ و ۴۸ ← ۳۱ دستگاه تراکتور ۱۶۰ شاولی، ۱۲۰ شاولی، ۱۲۰ شاولی ← کمبود

صفحه ۵۹ ← Tayshagerl دست دقیق ← ... ۵۰ تن

طراحی پستهای فشارقوی

(رشتهٔ برق)

گردآوری و تألیف : حسین عسگریان ابیانه

POWEREN.IR

دانشگاه پیام نور

گروه برق
آ/۱

دانشگاه پیام نور
۲۵۰

دانشگاه پیام نور (آموزش از راه دور)

- عنوان: طراحی پستهای فشار قوی (رشته برق)
- گردآوری و تألیف: دکترحسین عسگریان ابیانه
- ویراستار: دکتررضا قاضی
- طراحی و صفحه آرایی و ترسیم اشکال: گروه گرافیک (مدیریت تدوین)
- حروفچینی: مدیریت هماهنگی، تدوین و آماده‌سازی منابع درسی
- لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکزچاپ وانتشارات دانشگاه پیام نور
- تعداد: ۳۰۰۰
- نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول مرداد ماه ۱۳۷۳
- کلیه حقوق برای دانشگاه پیام نور محفوظ است.
- [redacted] ریال

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	پنج
مقدمه	هفت
فصل اول	
پستها و اجزاء تشکیل دهنده آنها	۱
۱-۱- انواع پستها	۱
۱-۲- تقسیم پستها از نظر کلی و نوع تجهیزات	۲
۱-۳- پستهای سیار	۳
۱-۴- اجزای تشکیل دهنده پستها	۴
۱-۵- پارامترهای مهم در طراحی پستها و انتخاب تجهیزات	۵
۱-۶- اطلاعات الکتریکی مبنا	۷
فصل دوم	
شینه بندی در پست	۲۰
۲-۱- سیستم تک شینه	۲۰
۲-۲- سیستم های شین دوبل	۲۲
۲-۳- سیستم غربالی (یک کلیده)	۲۳
۲-۴- سیستم یک و نیم کلیده	۲۵
فصل سوم	
ترانسفورماتورهای قدرت	۲۸
۳-۱- نحوه کار ترانسفورماتور	۲۸
۳-۲- نیروهای الکترومونوری سیم پیچی سه فاز	۳۳
۳-۳- هارمونیکهای سوم در عمل ترانسفورماتورهای سه فاز	۳۴
۳-۴- گروه بندی ترانسفورماتورهای سه فاز	۳۷
۳-۵- کار پارالل ترانسفورماتورهای سه فاز	۳۹

عنوان	صفحه
۶-۳- انتهای ترانسفورماتور	۴۱
۷-۳- کاربرد ترانسفورماتور	۴۴
۸-۳- مشخصات فنی و نحوه انتخاب آنها در ترانسفورماتور	۴۵
فصل چهارم	
کلیدهای قدرت	۶۴
۱-۴- جرقه مشکل اساسی	۶۴
۲-۴- کلیدهای فشار قوی	۶۶
۳-۴- انتخاب سکسیونر از نظر نوع و مشخصات	۷۶
۴-۴- کلید (سکسیونر) قابل قطع زیر بار	۷۹
۵-۴- موارد استعمال کلید قابل قطع زیر بار	۸۲
۶-۴- کلید قدرت یا دیژنکتور	۸۶
۷-۴- حالتهای گذرا و اثر آن بر کلیدها	۸۸
۸-۴- انواع کلیدهای قدرت	۱۰۱
۹-۴- انتخاب کلید قدرت	۱۱۴
فصل پنجم	
ولتاژهای ضربه ای و محدود کننده آن (برقگیر)	۱۲۴
۱-۵- یونیزاسیون هوا	۱۲۴
۲-۵- تاثیر موج ولتاژ شکست استقامت الکتریکی هوا	۱۲۶
۳-۵- طراحی سیستم پست در مقابل امواج ضربه ای (ایزولاسیون)	۱۲۸
۴-۵- کاربرد برق گیر در پست های فشار قوی	۱۳۴
۵-۵- آلودگی مقره ها	۱۴۱
فصل ششم	
ترانسفورماتورجریان - ترانسفورماتور ولتاژ - ترانسفورماتور ولتاژ خازنی	
۱-۶- ترانسفورماتور جریان	۱۴۴
۲-۶- انواع ترانسفورماتورهای جریان از نظر ساختمانی	۱۴۵
۳-۶- ترانسفورماتورهای ولتاژ (ترانسفورماتورهای پتانسیل)	۱۴۷

عنوان | صفحه

فصل هفتم

زمین کردن - سیستم زمین ۱۵۶

۷-۱- فشار الکتریکی تماسی و گامی ۱۵۶

۷-۲- زمین کردن در عمل ۱۵۹

۷-۳- مدار زمین کردن ۱۶۱

۷-۴- محاسبه مقاومت الکترودهای طبیعی ۱۶۹

۷-۵- زمین کردن نقاط خنثی ژنراتورها و ترانسفورماتورها ۱۷۵

فصل هشتم

اصول آرایش فیزیکی در پست ۱۸۴

۸-۱- فواصل اساسی ۱۸۴

۸-۲- نواحی تعمیر یا نگهداری ۱۸۹

۸-۳- ناحیه بندی در پست ۱۹۲

۸-۴- ملاحظات الکتریکی ۱۹۹

۸-۵- صرفه جوئی در طراحی پست ۲۰۵

۸-۶- پروژه ۲۰۶

منابع ۲۰۹

POWEREN.IR

بِسْمِ اللّهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیمِ

پیشگفتار

طراحی پستهای فشار قوی و تجهیزات آن که مقدمه ایجاد و نصب پستهای فشار قوی است از ضروریات است. بطور خلاصه لزوم این مطلب را می‌توان در عدم یکنواختی مصارف مختلف، هزینه‌های تولید انرژی الکتریکی ، عدم وجود مراکز مصرف در نزدیکی نیروگاهها و بطور کلی وجود شبکه سراسری و امکان قطع بموقع قسمتهای خطا شده در شبکه قدرت جستجو کرد که مفصل‌تر در مقدمه و کلیات خواهد آمد.

اگرچه کتب زیادی در زمینه شبکه‌های قدرت نوشته شده‌است و کتبی چند نیز در زمینه نیروگاهها و تجهیزات نیروگاهها و پستها وجود دارد، ولی مجموعه‌ای که بطور مشخص طراحی پست‌ها را بسبک بیان شده در این کتاب مورد تحلیل قرار دهد وجود ندارد و لذا تألیف آن برای مهندسین و دانشجویان رشته برق ضروری به نظر می‌رسد.

براین اساس مولف پس از چندین سال تجربه طراحی و تدریس این درس درصدد تالیف این کتاب برآمده است تا شاید بتواند گامی کوچك در جهت پاسخگوئی به سوالات مطروحه در این زمینه بردارد.

در تدوین کتاب از اطلاعات و عکس‌های شرکت مشانیر، برق منطقه‌ای غرب، مقالات و کتب فارسی و لاتین که نام مولفین آنها در قسمت مراجع آورده شده است استفاده شده است که در فرصت از آنها قدردانی و تشکر می‌شود.

همچنین از مدیریت، کارکنان تدوین و آماده‌سازی منابع درسی، خصوصاً واحد گرافیک، و مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه پیام‌نور که در تهیه این مجموعه زحمات زیادی کشیده‌اند نیز قدردانی می‌گردد.

حسین عسگریان ابیانه

POWEREN.IR

مقدمه وکلیات

امروزه می توان گفت که تمام وسایل صنعتی وخانگی و تجاری بطور مستقیم یا غیر مستقیم با انرژی الکتریکی سرو کار دارند که نحوه تولید و توزیع این صنعت عظیم متضمن هزینه ها ، نیروهاوتخصص های مختلف است .لذا در این کتاب بخشی از این صنعت را مورد بررسی قرار می دهیم. علت وجود و احداث پستهای فشار قوی وضعیف و متوسط بطور خلاصه از این قرار است:

۱- مصارف صنعتی ، خانگی و تجاری در تمام ساعات روز یکنواخت نمی باشد.بدین معنی‌که مصارف خانگی بیشتر در شبها مورداستفاده دارد ومصارف تجاری در ساعات روز بیشتراست و مصارف صنعتی بنسبه مصارف یکنواختی درطول شبانه روز دارد. این ناهمگونی‌مصارف در طول ساعات شبانه روز سبب می گردد که اگر بفرض شهری یا منطقه‌ای صنعتی‌باشد درتمام روز یکنواخت انرژی‌الکتریکی تولید گردد.در حالیکه برای شهرهایا بخش‌هایی که عمدتاًمصارف روشنائی و خانگی دارند در ساعات شب پیک تولید داشته باشند ودر ساعات روز کمتر انرژی‌تولیدگردد.

۲- مراکز تولید انرژی الکتریکی (نیروگاهها) متضمن هزینه های ثابت (وسایل ونصب آنها) ومخارج جاری‌که شامل هزینه های‌پرسنلی و استهلاک‌دستگاههاوسوخت مصرفی‌می‌باشد.

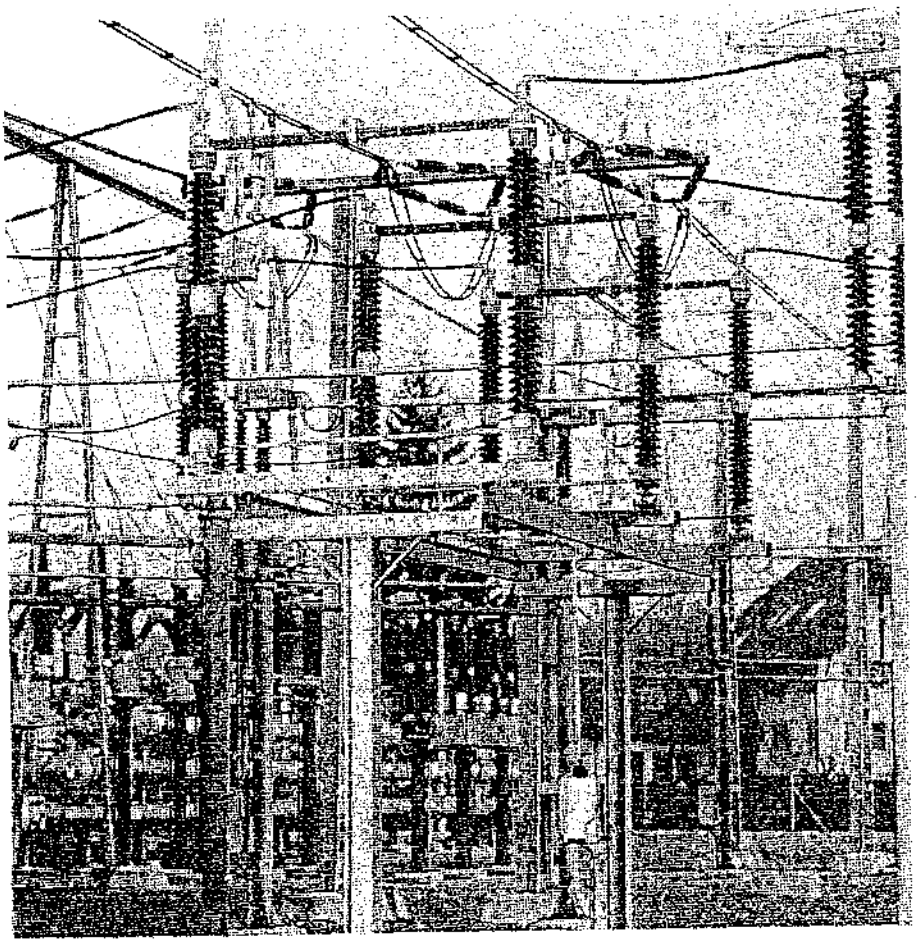
۳- از آنجا که تولید انرژی الکتریکی بعوامل چون انرژی اولیه یعنی نیروی (آب ،سوخت زغال،گازوئیل و غیره) نیاز داردبنابر این نیروگاههابرحسب میزان دسترسی به سوخت وانرژی‌های مختلف احداث می گردند. برای مثال نیروگاه‌آبی‌در جائیکه امکان ایجاد سد وجود دارد و نیروگاه بخاری در نقاطی که نزدیک مراکز سوخت است ایجاد می گردد.

۴- چون مراکز مصارف با توجه به آنچه که در مورد بند ۳ توضیح داده شده عموماً در جوار مراکزتولید نیستند لذا لازم است انرژی‌الکتریکی بواصل دور منتقل شود. ولتاژ انتقالی به

فاصله و قدرت مصرفی بستگی دارد.بطور کلی هر چه طول مسیر و یا قدرت انتقالی بیشتر باشد ولتاژ بیشتری مورد نیاز است .

۵- برای اینکه بتوان از انرژی الکتریکی که مورد نیاز در نقطه مصرفی A نمی باشد در محل دیگری مانند B استفاده کرد لازم است که شبکه ارتباط دهنده ها مراکز تولید و مصرف مانندشبکه سراسری برق ایران وجودداشته باشد.

۶- چون لازم است که از یک طرف در نقاط مختلف (تولید ، انتقال و توزیع) ولتاژهای متفاوت داشته باشیم واز طرف دیگر شبکه‌ارتباطی وجود داشته باشد بنابراین مراکزی که این اعمال(وصل کردن و تبدیل سطح ولتاژ هر نقطه به نقاط مختلف دیگر) را بتوانند انجام دهند ضرورت پیدا می کند که این مراکز به پست‌های فشارقوی موسوم‌است . البته پست‌های طراحی دارای تجهیزات زیادی‌نظیر وسایل قطع و وصل ، ترانسفورماتورهای قدرت ، وسایل‌ارتباط دهنده باسیستم‌های حفاظتی و.... می باشند.



فصل اول

پستها و اجزای تشکیل دهنده آنها

مقدمه

همانطوری که در مقدمه وکلیات بیان شد بمنظور استفاده بهینه از انرژی تولیدی،انتقال انرژی ازنقطه‌ای که توان تولیدی برق را داردلیکن در ساعاتی از شبانه روز مصرف کمتراز تولید است و در همان ساعات نقاط دیگری از کشور به نیروی برق نیاز دارند، می‌نیمم کردن کمبود انرژی و به حداقل رسانیدن هزینه های اولیه نظیر زغال و گازوئیل و... نیاز به اتصال شبکه های توزیع و انتقال می‌باشد و محل اتصال این شبکه ها پست های فشار قوی هستند.

۱-۱- انواع پستها

پستهای برق ازنظروظیفه‌ای‌که در شبکه به عهده دارند به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- پستهای بالا برنده ولتاژ[1] (پست نیروگاهی)
- پستهای توزیع [2] (کاهنده ولتاژ)
- پستهای کلیدی [3]

۱-۱-۱- پستهای بالا برنده ولتاژ:

ولتاژ تولیدی ژنراتورها به علت محدودیت هایی که در ساخت آنها وجود دارد محدود بوده و برای انتقال اقتصادی قدرتهای زیاد به فواصل طولانی لازم است که ولتاژ آنها افزایش یابد. بنابر این معمولاً در نیروگاههای بزرگ که از مراکز مصرف دور می‌باشند لازم است پستهایی به منظور تبدیل ولتاژ به ولتاژ بالاتر (که مقدار آن بستگی به فاصله و قدرت انتقالی دارد) احداث گردند که به این پستها که وظیفه افزایش ولتاژ تولیدی را دارند پستهای بالابرنده ولتاژ می‌گویند.

1.Step up Substation 2.Distribution Substation 3.Switching Substation

۲-۱-۱- پستهای توزیع:

ولتاژ انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان بایستی در حد مطلوب کاهش داده شود تا بتواند قابل مصرف باشد. این کاهش ولتاژ از طریق پستهای کاهنده و یا پستهای توزیع صورت می‌گیرد ولی باید توجه داشت که کاهش ولتاژ به مقدار خیلی زیاد از طریق ایستگاههای توزیع با قدرت کم اقتصادی نمی باشد و بنابر این لازم است که ولتاژ در چند مرحله کاهش داده شود.

۳-۱-۱- پستهای کلیدی:

این پستها در واقع هیچگونه تبدیل ولتاژی انجام نمی دهند بلکه فقط وظیفه اشان ارتباط خطوط شبکه به یکدیگر است . لازم به تذکر است که ممکن است پستهایی در شبکه وجود داشته باشند که ترکیبی از هر یک از پستهای فوق باشند. به عنوان مثال قسمتی از پست نیروگاهی می‌تواند با کاهش ولتاژ وظیفه توزیع کلی را نیز انجام دهد و یا در پستی علاوه بر انجام عمل ارتباط خطوط مختلف عمل تبدیل یا کاهش ولتاژ نیز صورت بگیرد.

۲-۱- پستها از نظر کلی و نوع تجهیزات به دونوع تقسیم می شوند

الف- پستهای باز (بیرونی)
ب - پستهای بسته (داخلی)

پستهای باز پستهایی هستند که تجهیزات فشار قوی آنها در محوطه باز قرار دارد. شکل‌های (۱-۱)،(۲-۱)و (۳-۱) نمونه هایی از این پست را نشان می‌دهند. پستهای بسته پستهایی هستند که تجهیزات فشارقوی آنهادرمحوطه پوشیده قرار می‌گیرند.

۱-۲-۱- انواع پستهای باز:

پستهای معمولی .
پستهای هوایی .

پستهای معمولی پستهایی هستند که هوای آزاد عایق بین فازها و قسمتهای برق دار با زمین می‌باشد و بنابر این لازم است فواصل معینی بین قسمتهای برق دار برقرار گردد و علاوه بر

آن برای ایمنی افرادی که در محوطه پست عبور و مرور می‌کنند بایستی فواصل مشخص و معینی بین تجهیزات و زمین در نظر گرفته شود. در این پستها تجهیزات مستقیماً در معرض عوامل جوی از قبیل آلودگی و غیره می‌باشند.

پستهای هوایی پستهای توزیع در ولتاژهای ۲۰ کیلو ولت به پایین هستند که روی تیرهای سیمانی و یا چوبی نصب می‌گردند.

۲-۲-۱- انواع پستهای بسته:

پستهای گازی: در بعضی از مناطق که به عللی از قبیل کمبود جا و یا آلودگی بیش از حد (مناطق ساحلی) امکان احداث پستهای معمولی باز نمی باشد. پستهای گازی که به‌لحاظ وجود لوله های با گاز که فازهای مختلف و قسمتهای برق دار را از زمین ایزوله می‌نمایند و نیازی به رعایت فواصل مشخص تجهیزات از یکدیگر نبوده، نصب می‌گردند. در شکل (۴-۱) نمونه ای از این پست گازی از نوع بسته آورده شده است.

پستهای معمولی: پستهای با ولتاژ پایین (تا حدود ۶۳ کیلو ولت) را برای افزایش ایمنی و همچنین جلو گیری از اثرات آلودگی محیط می‌توان به صورت بسته احداث نمود گر چه امروز این پستها در ولتاژ ۱۳۲ کیلو ولت نیز وجود دارد.

البته باید توجه داشت که بسته به محل احداث پستهای معمولی نوع بسته و نوع ساختمان ممکن است به انواع مختلفی از قبیل کیوسکی، زیر زمینی و غیره تقسیم بندی شود.

۳-۱- پستهای سیار

پستهای سیار پستهایی هستند که در سطوح ولتاژ بالا مثلا ۱۳۲/۲۰ کیلو ولت و یا ۲۳۰/۶۳ کیلو ولت به صورت موقت به خط فشار قوی (بصورت T) اتصال یافته و از طریق یک دستگاه ترانسفورماتور، قدرت مورد نیاز منطقه را به ولتاژ توزیع تبدیل می‌نمایند. معمولا تجهیزات و ترانسفورماتور این نوع پستها روی یک دستگاه و یا چند دستگاه تریلی قرار دارند. در حال حاضر تعدادی از این پستها درشبکه ایران در حال بهره برداری می‌باشند. مورد استعمال این نوع پستها در حالتهای ضروری و تا مواقعی خواهد بود که پست اصلی در منطقه مزبور راه اندازی شود.

۴-۱- اجزای تشکیل دهنده پستها:

بطور کلی پستها از اجزاء کلی :

سوئیچگیر [1]، ترانسفورماتورهای قدرت ، ترانسفورماتورهای زمین یا تغذیه داخلی،سیستم های جبران کننده از قبیل راکتور و یا خازن ، تاسیسات جنبی الکتریکی مانند سیستم روشنایی محوطه ، سیستم حفاظت از رعد و برق و سیستم زمین تشکیل می‌گردند. نمونه ای از پست بهمراه ترانسفورماتور در شکل (۵-۱) نشانداده شده است.

البته باید توجه داشت که در بعضی از پستها بسته به نوع پست ممکن است بعضی از اجزاء فوق وجود نداشته باشد. به طور مثال در پستهای کلیدی ترانسفورماتور قدرت وجود ندارد.

۱-۴-۱- سوئیچگیر:

به مجموعه‌ای از تجهیزات فشار قوی که‌عمل ارتباط فیدرهای مختلف را به باس بار (شینه) و یا قسمتهای مختلف باس بار را به یکدیگر در یک سطح ولتاژ معین انجام می‌دهد ، سوئیچگیر می‌گویند.

سوئیچگیرها معمولا از اجزا و تجهیزات زیر تشکیل‌می‌گردند:

الف- باس‌بار(شین)-مقره-اسلکت فلزی -سیم-لوله کلمپ واتصالات [2]

ب-کلید فشار قوی (دژنکتور). [3]

ج - سکسیونر (جدا کننده). [4]

د- ترانسفورماتورهای جریان ولتاژ [5]

ه - تله موج و متعلقات مربوطه . [6]

و- برق گیر [7]

شرح مربوط به ترانسفورماتورها در فصل سوم آورده می‌شود.

۲-۴-۱- سیستم های جبران کننده از قبیل راکتور یا خازن :

معمولا برای تولید و یا مصرف توان راکتیو در شبکه ، در مواقع لزوم و ایجاد پایداری

1.Switchgear 2.Bus Bar 3.Circuit Breaker
4.Disconnect Switch 5.Instrument Transformers 6.Line Trap
7.Lightning Arrester

سیستم از نظر ولتاژ لازم است در بعضی از موارد تجهیزاتی مثل راکتورهای موازی در انتهای خطوط فشار قوی و یا خازن های تصحیح ضریب قدرت روی شینه در داخل پستها نصب می‌گردند.

انرژی اکتیو مورد نیاز ، توسط نیروگاهها که غالبا از مراکز مصرف نیز دارای فاصله باشند تولید و توسط خطوط انتقال انرژی و ترانسفورماتورهای قدرت منتقل و ولتاژ تولید شده کاهش و یا افزایش داده می‌شود و سپس مورد استفاده مصرف کننده واقع می‌شود.

انرژی راکتیو درشبکه‌ها، توسط اندوکتانس خطوط انتقال و ترانسفورماتورو مدارهای الکترو مغناطیسی ، موتورها و بالاخره توسط بعضی مصرف کننده ها (به طور مثال فلورسنت) مصرف می‌گردد که این موضوع بطور کلی باعث کاهش ضریب قدرت شده که نتیجتا باعث تقلیل قدرت انتقال انرژی آکتیو می‌شود. با توجه به این مطلب بایستی سعی نمود که بار راکتیو به حداقل برسد که به این منظور بایستی از جبران کننده های بار راکتیو استفاده نمود.شکلهای (۶-۱) و (۷-۱) سیستم کنترل توان رأکتیو را نشان می‌دهد.

در خصوص تاسیسات روشنائی در درس تاسیسات الکتریکی و سیستم حفاظت از رعد وبرق و سیستم زمین در فصول پنجم و هفتم بحث خواهد شد.

۵-۱- پارامترهای مهم در طراحی پستها و انتخاب تجهیزات

شرایط محیط مربوط به محل احداث پست در طراحی آن نقش عمده ایی داشته و این شرایط عمدتا عبارتند از:

الف - درجه حرارت حداکثر محیط.
ب - درجه حرارت حداقل محیط.
ج - ارتفاع از سطح دریا.
د - سرعت باد.
ه - مقدار یخ
و - زلزله .
ز - مقدار باران و رطوبت هوا.
ح - تعداد صاعقه .

۱-۵-۱- درجه حرارت حداکثر محیط:

درجه حرارت حداکثرمتوسط محیط حائز اهمیت بوده و درطراحی دستگاهها و وسایل

ولوازم از نقطه نظر تحمل درجه حرارت حداکثرمحیط ومتوسط آن موردتوجه قرارمی‌گیرد.

۲-۵-۱- درجه حرارت حداقل محیط:

درجه حرارت حداقل محیط نیز در طراحی دستگاههای یک پست مورد توجه قرار می‌گیرد و بایستی یک دستگاه بتواند در پایین ترین درجه حرارت محیط به راحتی کار نماید.

۳-۵-۱- ارتفاع از سطح دریا:

باافزایش‌ارتفاع از سطح دریا که باعث کم شدن فشار هوا می‌گردد مقدار ولتاژ شکست هوا برای یک فاصله مشخص کمتر شده ، همچنین تبادل حرارت بین دستگاهها و محیط اطراف کندتر می‌گردد که بایستی این موارد در طراحی دستگاهها در نظر گرفته شوند.

فرمول تجربی زیرجهت بدست آوردن ضریب تصحیح ولتاژ شکست هوادردرجه حرارت و فشار هوای مختلف برای یک جفت گوی استفاده می‌شود.

$$K= 0.386 \frac{H}{273 + t} \qquad (۱-۱)$$

K= ضریب تصحیح ولتاژ شکست

H= فشار هوای محیط بر حسب میلیمتر جیوه

t= درجه حرارت بر حسب درجه سانتیگراد

۴-۵-۱- مقدار یخ:

درطراحی ، ضخامت یخ معمولا مقدار ۲۰ میلیمتروچگالی آن ۰/۹در نظر گرفته می‌شود.

۵-۵-۱- سرعت باد:

مقدار سرعت باد در محل یک پست نیز در طراحی استقامت مکانیکی دستگاهها و پایه ها و سیمها و شینه ها واتصالات مورد توجه قرار می‌گیرد.

نیروی وارده توسط باد به پایه فلزی و یا برج و یا وسایل و تجهیزات پست رامی‌توان از فرمول زیر محاسبه نمود.

$$Q= 0.629 \cdot V^2 \cdot C \cdot A \qquad (N) \qquad (۱-۲)$$

Q= نیروی ایجاد شده توسط باد- نیوتن
V= سرعت باد- متر بر ثانیه
A= سطح موثر دستگاه با پایه - متر مربع
C= ضریب مربوط به شکل دستگاه و جهت باد

نیروی وارده توسط باد به سیمهای هوایی از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$q = 0.625 . V^2 . C . R . \sin^2\phi$ N/m (۱-۳) سیم های هوائی

V= سرعت باد- متر بر ثانیه
D= قطر سیم هوائی به متر
C= ضریب مربوط به شکل سیم که برای سیمهای با قطر بزرگتر از ۱۵ میلیمتر برابر یک می‌باشد.
ϕ= زاویه بین مسیر وزش باد و خط انتقال
R= ضریب کاهش بار بخاطر اینکه تند باد تمام طول اسپن را نمی پوشاند R=۱ اگر طول اسپن کمتر از ۱۰۰ متر باشد و R=۰/۶ اگر طول اسپن بزرگتر از ۳۰۰ متر باشد.

۶-۵-۱- زلزله :

وسایل و تجهیزات و پایه ها و ساختمانها در طرح یک پست بایستی با توجه به شرایط و اطلاعات مربوط به وضعیت زلزله در محل پست انتخاب شوند.

۷-۵-۱- تعداد صاعقه :

تعداد روزهای بارانی و طوفانی که امکان ایجاد رعدو برق وجود دارد برای مدت یک سال در منطقه محل احداث پست بایستی مشخص شود. تحقیق در مورد شرایط ووضعیت وفرم صاعقه نیز در طراحی یک پست حائز اهمیت می‌باشد.

۶-۱- اطلاعات الکتریکی مبنا

الف- ولتاژ نامی و ولتاژ حداکثر.
ب - جریان نامی .
ج - جریان اتصال کوتاه .

د - فرکانس .
ه - سیستم اتصال فازها و گروه برداری .
و - سطح ایزولاسیون یا سطح عایقی تجهیزات پست ولتاژ نامی .

۱-۶-۱- ولتاژ نامی و ولتاژ حداکثر کار:

انتخاب ولتاژ نامی یک سوئیچ گیر بستگی به پارامترهای مختلفی نظیر موقعیت پست در شبکه ، مقدار قدرت قابل انتقال از خطوط متصل به پست ، فاصله انتقال بین پست مورد نظر و پستهای بعدی، محدود نمودن افت ولتاژ در خطوط ، قدرت ترانسفورماتورهای طراحی شده در پست ، قدرت مورد نیاز مصرف کنندگان تغذیه شونده از پست، دارد.

۲-۶-۱- جریان نامی :

جریان نامی یکدستگاه بطور کلی عبارتست از جریانی که از یکدستگاه در حالت کار عادی از آن عبور می‌نماید.

در یک پست فشار قوی معمولا دستگاهها و اتصالات مربوط به هرفیدر (خروجی خط و یاترانسفورماتور) دارای یک جریان نامی مشترک بوده و درصورتیکه از نظر اقتصادی نیز چندان تفاوت ننماید سعی می‌گردد که کلیه وسایل و تجهیزات قسمتهای یک پست (در یک ولتاژ خاص) جریان نامی یکسان داشته باشند.

۳-۶-۱- جریان اتصال کوتاه:

مقدار جریان اتصال کوتاه جهت تنظیم نمودن رله ها و به دست آوردن قدرت قطع کلیدها و قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه در بقیه دستگاهها و همچنین انجام محاسبات مکانیکی در شینه ها و سیمها و اتصالات و بطور کلی کلیه قسمتهایی که جریان اتصال کوتاه از آن عبور می‌نماید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

-اثر حرارتی :

عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات و قسمتهای مختلف یک پست باعث ایجاد حرارت می‌شود که بایستی در طراحی تجهیزات این مورد را در نظر داشت . مقدار حداکثر مجاز درجه حرارت یکدستگاه در موقع اتصال کوتاه و درمدت زمان یک و یا سه ثانیه (بستگی به طراحی دارد) برابر با ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتیگراد (بستگی به نوع دستگاه و نحوه عایق بندی دارد) می‌باشد.

-اثرات مکانیکی :

در اثر عبور جریان اتصال کوتاه بین فازهای مخالف یک پست ،به قسمتهای مختلف تجهیزات و اتصالات یک سری نیرو وارد شده که اگر نتوانند این نیروهارا تحمل نمایند باعث شکستن و یا خم شدن و یا خارج شدن از فرم اصلی آنها خواهد شد که این موضوع باعث از بین رفتن عایقها و در نتیجه ایجاد شکست الکتریکی و یا باعث عدم کارکرد صحیح و بموقع دستگاهها خواهد شد.

۴-۶-۱- فرکانس:

مقادیر استاندارد شده فرکانس برابر ۵۰ و ۶۰ هرتز بوده که در شبکه ایران فرکانس ۵۰ هرتز استفاده می‌شود.

۵-۶-۱- سیستم اتصال فازها و گروه برداری :

تولید و انتقال انرژی در شبکه به صورت سه فاز انجام می‌گیرد و پستهای فشار قوی نیز به صورت سه فاز ساخته می‌شوند. جهت سهولت تشخیص فازها از یکدیگر، فازها معمولاً در طرح یک پست کد گذاری می‌شوند.

در حال حاضر کدهای مختلفی وجود دارد که نمونه های آن عبارتند از:

۱) A, B, C

۲) U, V, W

۳) R, S, T

۴) R, Y, B

۵) 0, 4, 8

۶-۶-۱- سطح ایزولاسیون یا سطح عایقی تجهیزات پست:[1]

گذشته از اینکه تجهیزات پست بایستی از نظر ولتاژ بتوانند ولتاژ نامی‌پست را بطور دائمی تحمل نمایند بایستی بتوانند اضافه ولتاژهای موقتی و گذرا راکه در شبکه اتفاق می‌افتد، نیز تحمل کنند. مقدار قدرت تحمل این اضافه ولتاژها توسط تجهیزات را سطح ایزولاسیون و یا سطح عایقی تجهیزات و یا به اختصار (B. I. L) می‌نامند. بطور کلی دو نوع سطح عایقی زیر برای دستگاهها تعریف می‌گردد.

---

1. Basic Insulation Level

الف - سطح عایقی خارجی[1]:اضافه ولتاژهای زیادی که برروی تجهیزات قرار می‌گیرد ممکن است سبب شکستن عایقی تجهیزات گردند. مقدار اضافه ولتاژ قابل تحمل توسط مقره های عایقی تجهیزات که قسمت‌های زنده دستگاه را در محیط آزاد جدا می‌نماید سطح عایقی خارجی گویند. این اضافه ولتاژ سبب شکستن عایقی فواصل بین فازهاو یا فازها با زمین که بوسیله هوا و یا مقره ها از یکدیگر جدا شده اند نمی گردد.

ب - سطح عایقی داخلی [2]:مقدار تحمل اضافه ولتاژ توسط عایقهای داخلی تجهیزات که ممکن است از نوع جامد و یا مایع و یاگاز بوده و از اثرات محیط اتمسفر محفوظ باشند را سطح عایقی داخلی می‌نامند.

برای تعیین سطح عایقی دستگاهها بایستی ابتدا اضافه ولتاژهایی که در یک پست بوجود می‌آید مورد بررسی قرارگرفته و سپس با توجه به امکانات فنی جهت محدود نمودن این اضافه ولتاژ، هماهنگی عایقی [3]بوجود آید.

بطور کلی سه نوع اضافه ولتاژ در شبکه تعریف می‌گرددکه این سه نوع اضافه ولتاژ عبارتنداز:

اضافه ولتاژ سوئیچینگ[4]

اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه[5]

اضافه ولتاژهای موقتی با فرکانس معمولی[6]

-اضافه ولتاژهای سوئیچینگ :

در حالات گذرا که همیشه همراه با یک تغییر ناگهانی در مقدار قدرت تغذیه شبکه می باشد اضافه ولتاژها ظاهر می‌گردند. دامنه این اضافه ولتاژها بستگی به ولتاژ نامی شبکه و نحوه اتصال نقطه نوترال به زمین و یا عایق بودن نسبت به زمین و علت ایجاد تغییر و پارامترهای دیگر دارد. از آنجایی که تغییرات در مقدار قدرت همواره در اثر قطع و وصل نمودن کلیدها بوجود می‌آید آنرا اضافه ولتاژهای سوئیچینگ می‌نامند. اضافه ولتاژهای سوئیچینگ در مواقع قطع و وصل و ایجاد عیب در سیستم بوجود می‌آید.

---

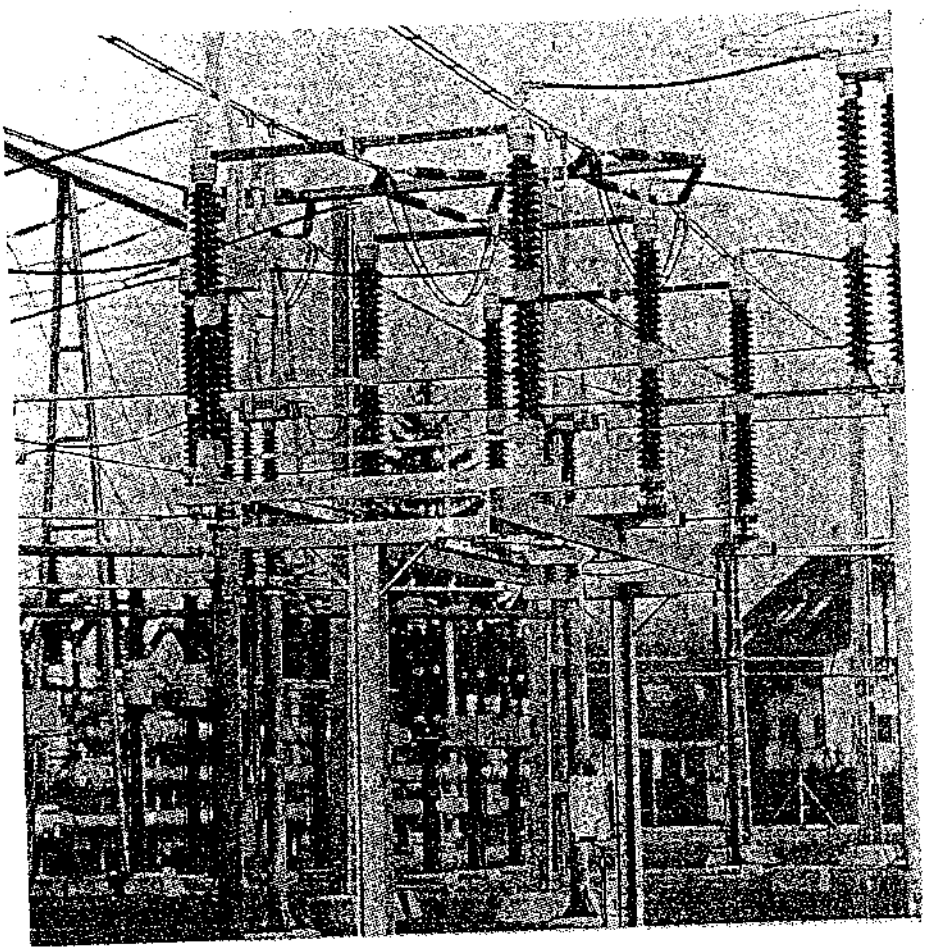
1. External Insulation
2. Internal Insulation
3. Insulation Coordination
4.Switching Overvoltage
5.Lightning Overvoltage
6.Temporary Power Frequncy Overvoltage

-اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه :

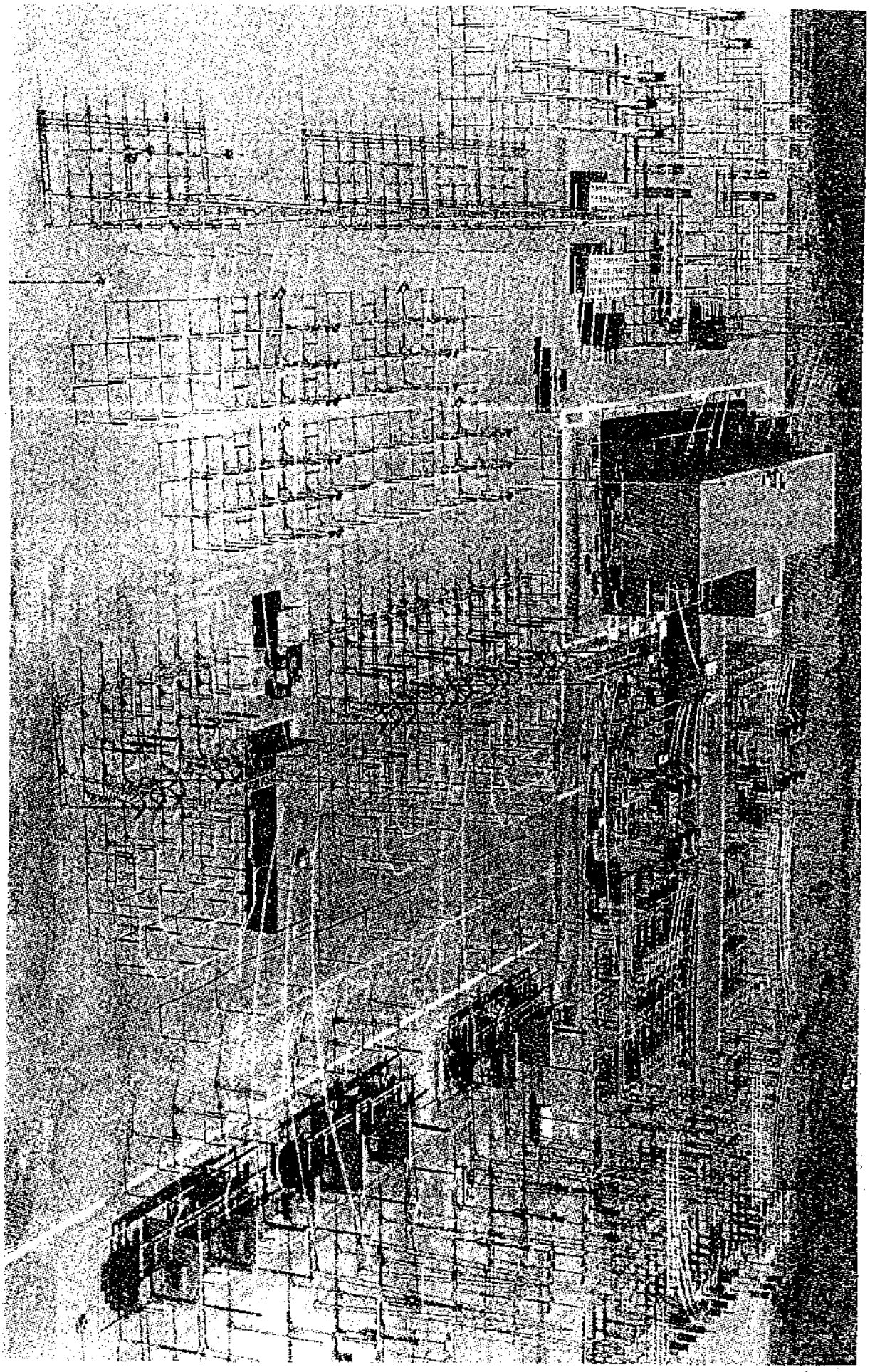
صاعقه بر اثر تخلیه الکتریکی ابرها بین قسمت بالا و پائین ابرها و همچنین ابر با زمین بوجود می‌آید (لازم به توضیح است قسمت بالای اُبر دارای بار الکتریکی مثبت و قسمت پائین آن دارای بار الکتریکی منفی است). تخلیه الکتریکی معمولاً در نقطه ای که دارای فشار الکتریکی می‌باشد صورت می‌گیرد. در اکثر موارد (حدود ۹۰ درصد) پالاریته تخلیه بار الکتریکی منفی می‌باشد.

-اضافه ولتاژهای موقت با فرکانس معمولی :

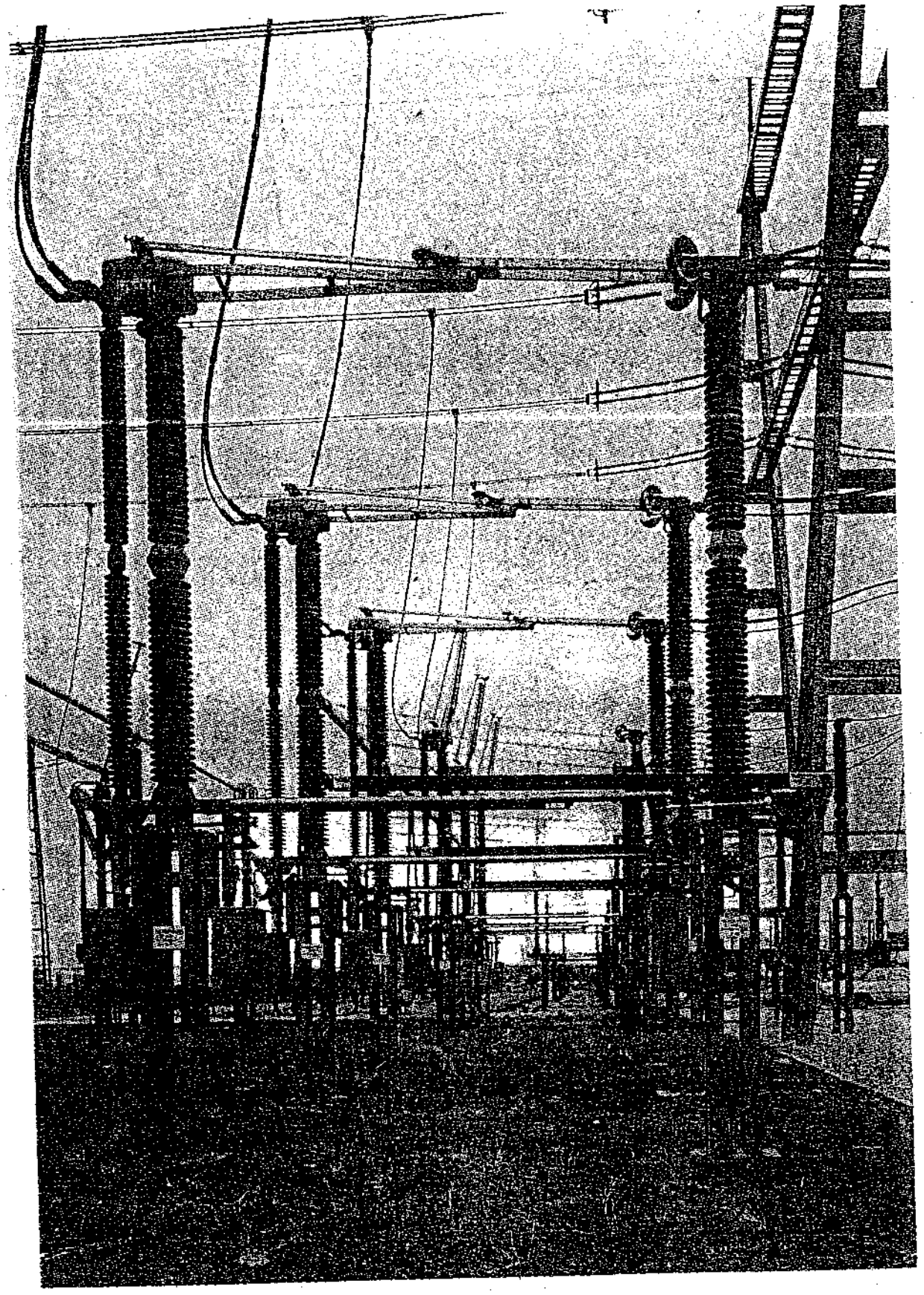
اضافه ولتاژهای موقت با فرکانس معمولی در یک شبکه ممکن است به علل مختلف بوجود آیند که کاهش ناگهانی بار، اتصال کوتاه غیرمتقارن با زمین و پدیده های رزونانس را می‌توان بعنوان بعضی از مهمترین آنها نام برد.



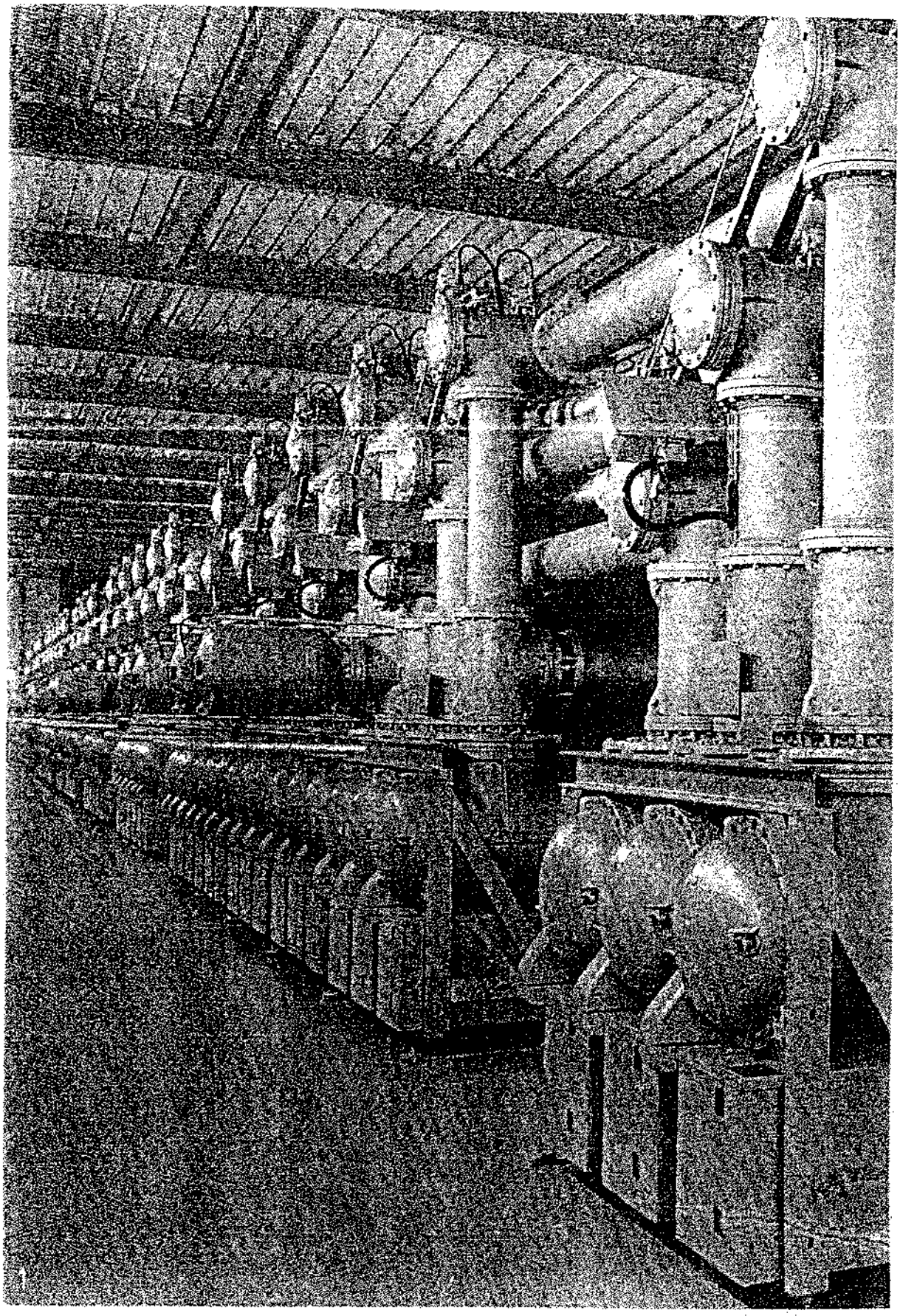
شکل (۱-۱)پست ۳۰۰ کیلو ولت کارون از نوع معمولی وباز(عکس از .SPREC. ENERG)



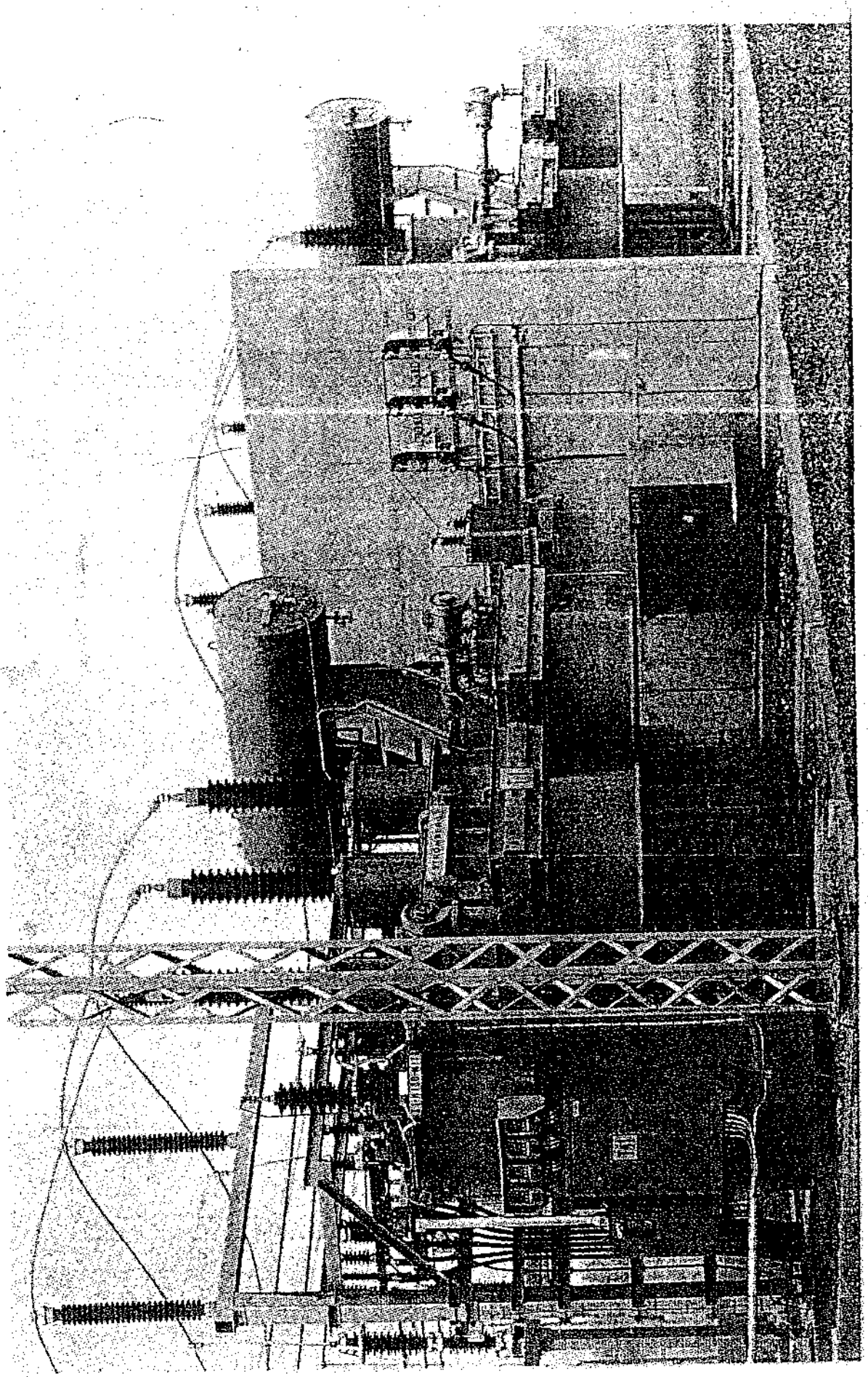
شکل (۲-۱)عکس هوایی از یک پست معمولی از نوع بازعکس از (SIEMENS)



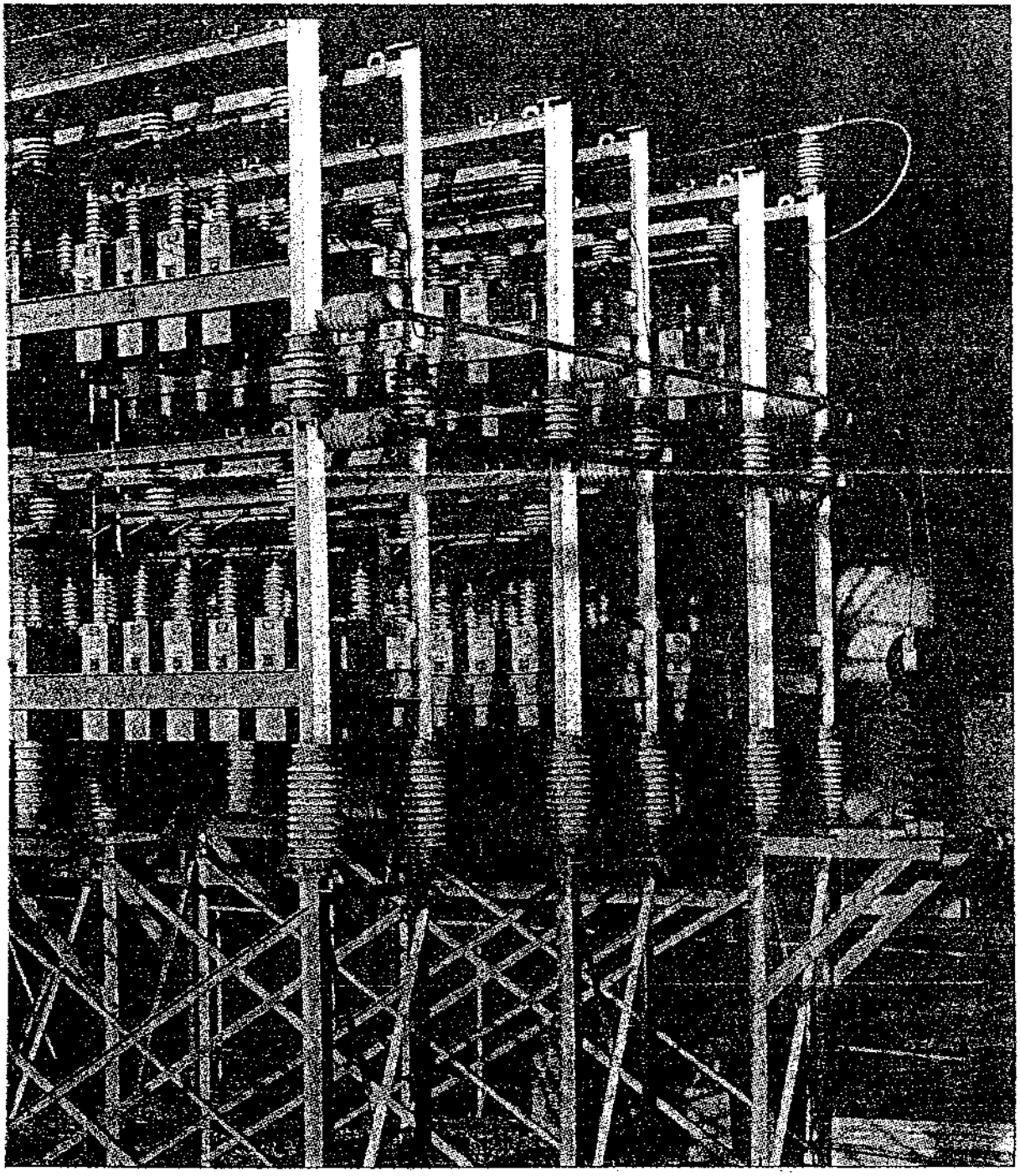
شکل (۳-۱): قسمتی از یک پست معمولی از نوع باز (عکس از SPEC. ENER.)



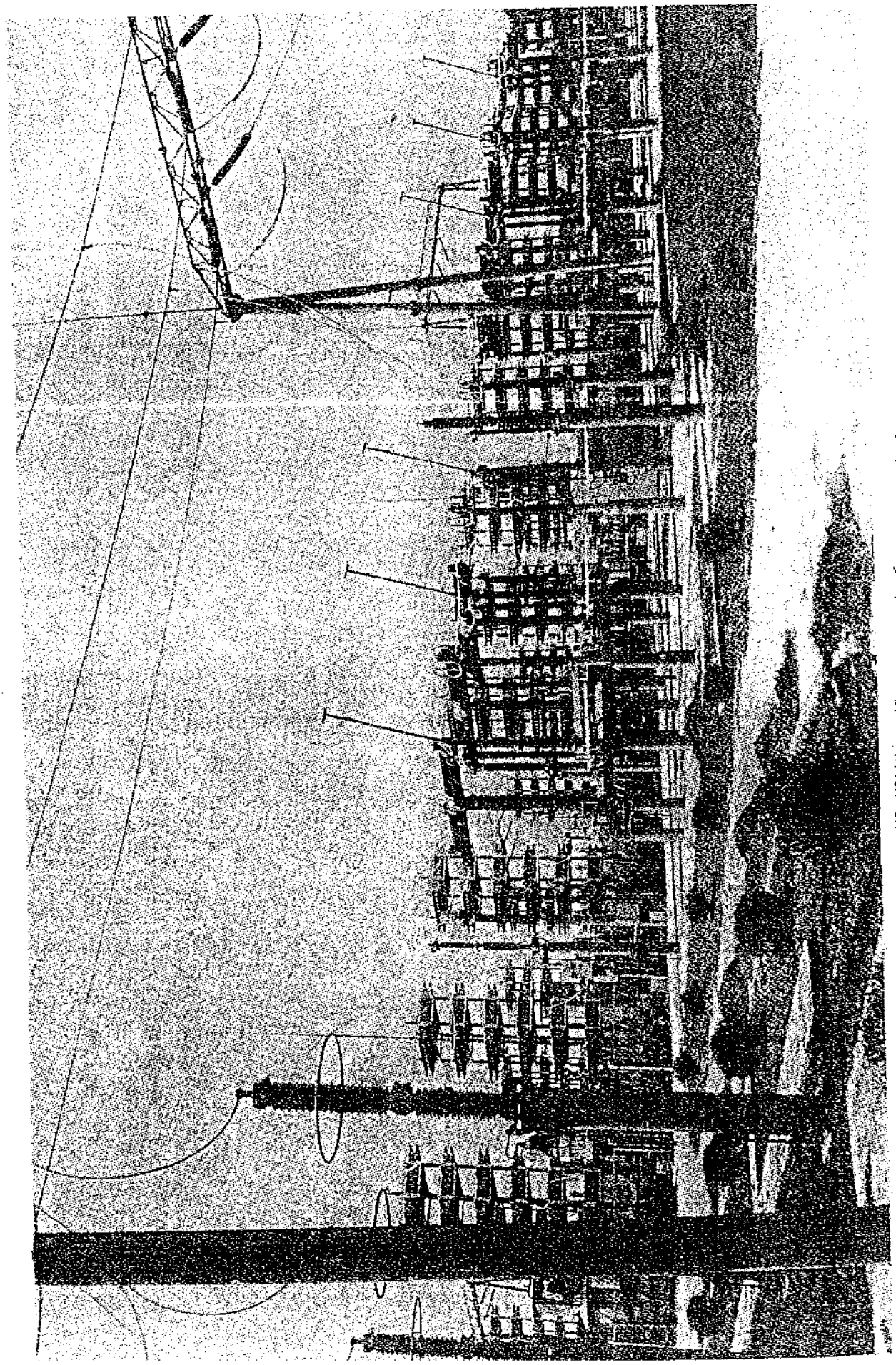
شکل (۴-۱): پست گازی از نوع بسته (عکس از SPEC. ENER.)



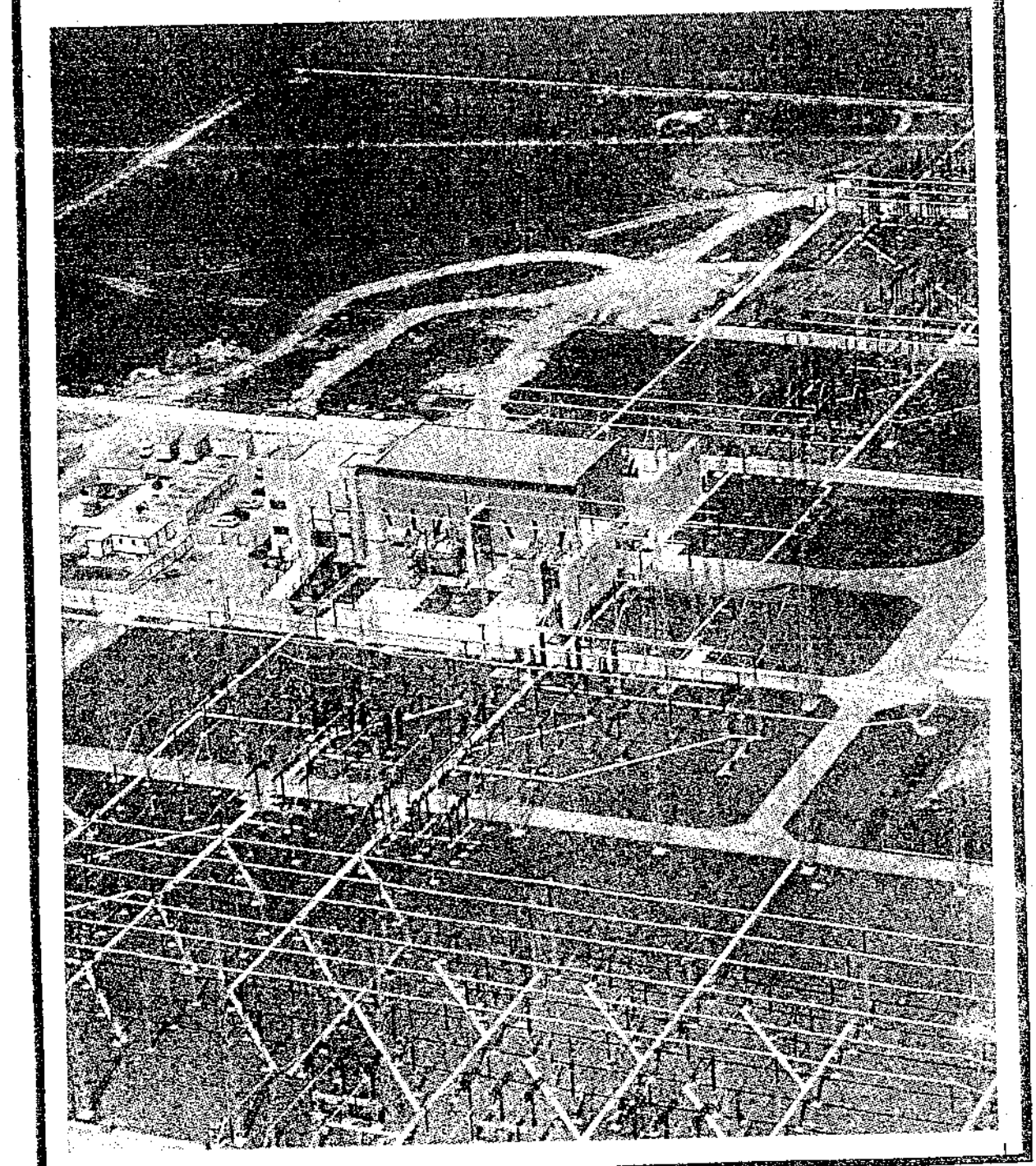
شکل (۵-۱)نمای ترانسفورماتور در داخل پست(عکس از ABB)



شکل (۶-۱): خازنهای موازی در یک کارخانه فولاد (عکس از COOPER SYSTEMS)



شکل (۷-۱): سیستم کنترل غیرمتمرکز (عکس از SIEMENS)



فصل دوم

شینه بندی در پست

مقدمه

نظر به اینکه در یک پست فشار قوی که شامل ورودی و خروجی می‌باشد بایستی انرژی هر کدام از ورودی ها به تنهایی به اولیه ترانسفورماتورها منتقل گردد تا در صورت خرابی یک ورودی ، از ورودی های دیگر بتوان استفاده کرد لذا خطوط ورودی و خروجی به طریقی به یکدیگر مرتبط می‌شوند. عاملی که این ارتباط را برقرار می‌سازد شینه یا باس بار نام دارد.
انواع شینه بندی های رایج و مهم در پستهای فشار قوی :[1]

۱-۲- سیستم تک شینه

۱-۱-۲- تک شینه ساده [2]:

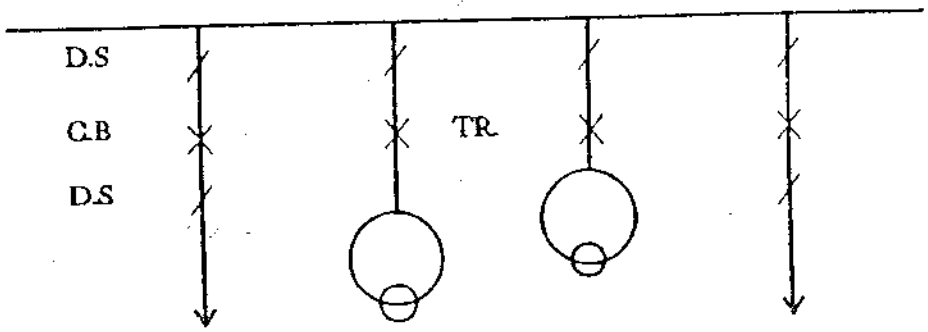
این نوع شین بندی درپستهای کم اهمیت و ولتاژپایین مورداستفاده قرارمی‌گیرد و ساده و کم خرج می‌باشد و عملکرد اپراتور بر روی آن بسیارآسان است (شکل ۱-۲) ولی دارای نکات ضعفی می‌باشد از جمله تعمیر شین ملزم به قطع تمام ارتباط ها می‌گردد.برای کاهش این مشکل می‌توان با تقسیم شین توسط سکسیونر تعداد این قطعی ها راکم نمود (شکل ۲-۲) از طرف دیگر بروز خطا بر روی شین در این حالات منجر به عملکرد تمام رله های حفاظتی ارتباط ها گردیده و باعث قطعی تمام آنها خواهد گردید برای جلوگیری‌از این مساله می‌توان شین را توسط کلید [3] به دو نیمه تقسیم کرده و با عملکرداین کلید از قطع قسمتی از ارتباط جلوگیری نمود(شکل ۳-۲).

۲-۱-۲- تک شین فرم U:

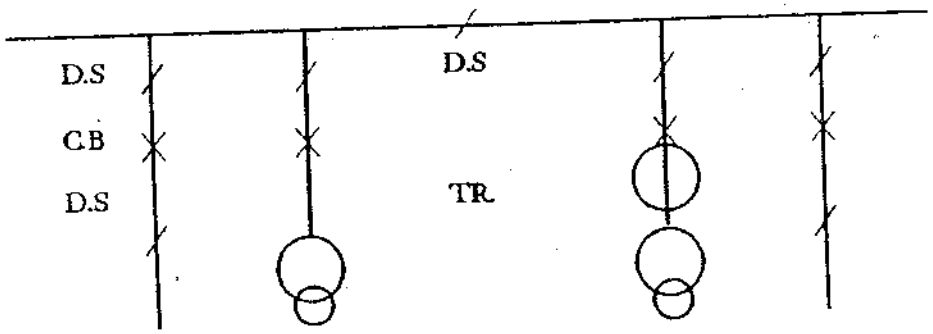
برای‌ارتباط موازی مانند خطوط دوبل منطقی‌است که هر کدام از این خطوط بر روی

1.Bus Bar Arrangement 2.Single Bus 3.Bus Section

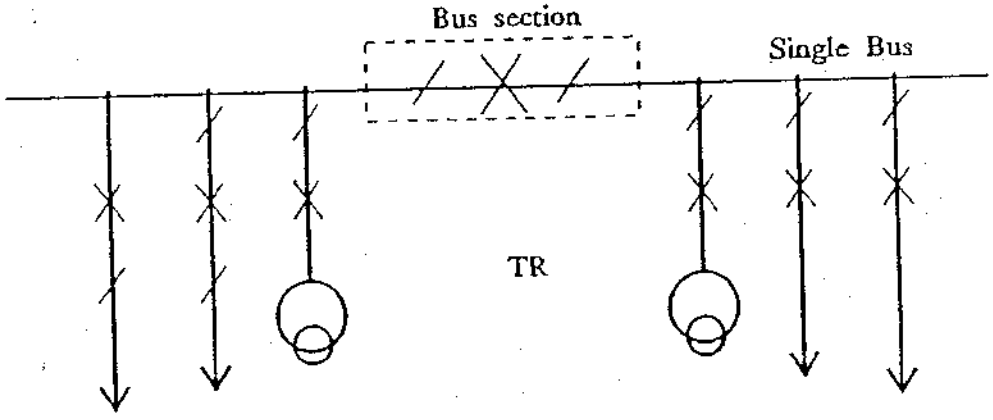
قسمتی از شین که تقسیم شده است قرارگیرد در این حالت اگر شین به فرم ساده (مستقیم) باشد خطوط بایستی از روی هم عبور نمانید برای رفع این مشکل شینه فرم U ازتداخل و عبور خطوط دوبل از روی هم جلوگیری می‌نماید



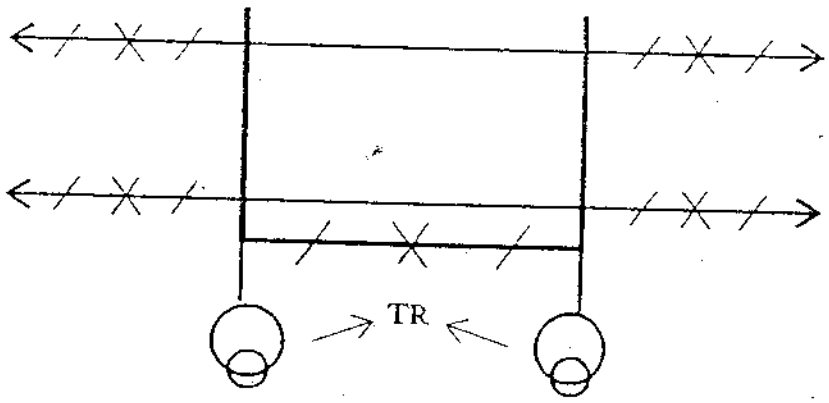
شکل (۲-۱):سیستم تک شینه ساده



شکل (۲-۲): سیستم تک شینه ساده باسکسیونر روی شین



شکل (۲-۳): سیستم تک شینه ساده باکلید قدرت روی شینه(جداگانه)

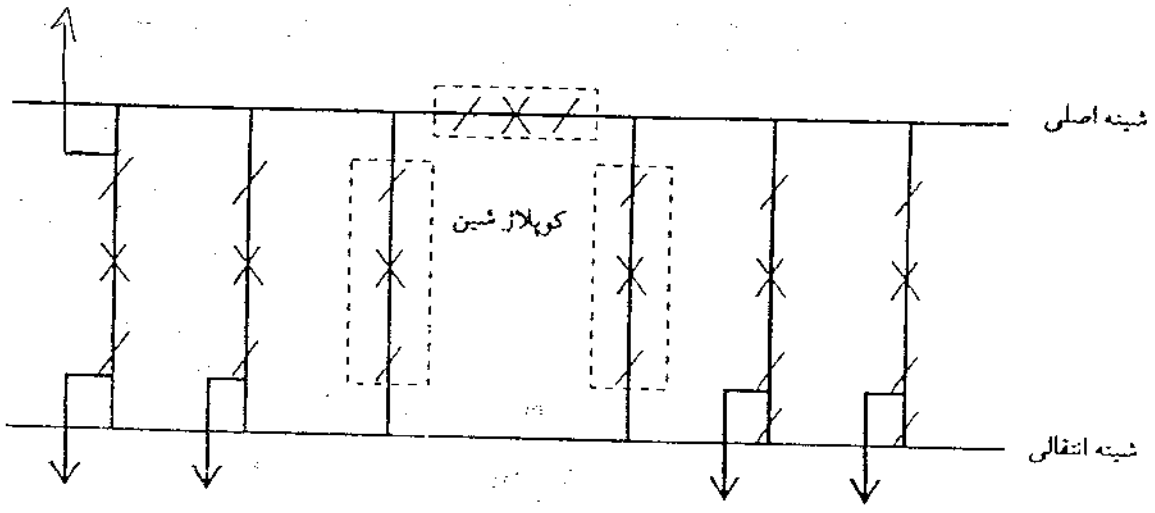


شکل (۲-۴): سیستم تک شینه فرم U

۲-۲- سیستم های شین دوبل

۲-۲-۱- شین دوبل (اصلی و یدکی):

در این نوع از سیستم شین‌بندی، تغذیه یک شین، در دو جهت توسط کلیدهای قدرت در نظر گرفته شده است، به عبارت دیگر شین اصلی هم می‌تواند توسط کلید قدرت مربوطه و هم توسط کلید کوپلاژ در شرایط اضطراری تغذیه شود و مادامی‌که کلید اصلی ارتباط در دست تعمیر باشد کلید کوپلاژ وظیفه آنرا بعهده می‌گیرد (شکل ۵-۲) بنابر این مزیت این نوع سیستم نسبت به سیستم تک شینه امکان تعمیر کلیدهر ارتباط بدون از دست دادن آن می‌باشد در این حالت (تعمیرکلید)، مسیر جریان ارتباط در شکل زیر بصورت خط چین نشان داده شده است.



شکل (۲-۵): شین بندی دوبل (اصلی و یدکی)

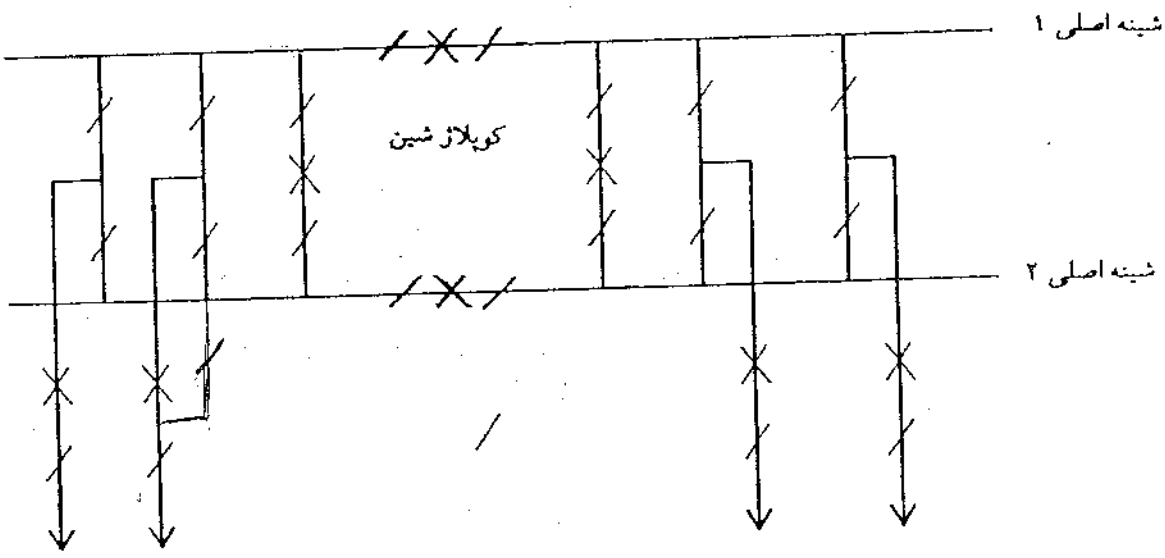
۲-۲-۲- سیستم دو شین اصلی:

دراین سیستم از شین دوبل استفاده شده و هردو شین بعنوان شین‌کار در نظر گرفته شده است و هر کدام از ارتباطات توسط دو سکسیونر امکان مانور روی شین ها را دارد(شکل ۶-۲). در این سیستم چنانچه خطای دایمی و یا مشکلی برای شین ها اتفاق بیافتد ، می‌توان از شین دیگر تا تعمیر آن شین استفاده نمود. برای مانور هر ارتباط از روی یک شین به شین دیگر بایستی کلید کوپلاژ بکار گرفته شود.

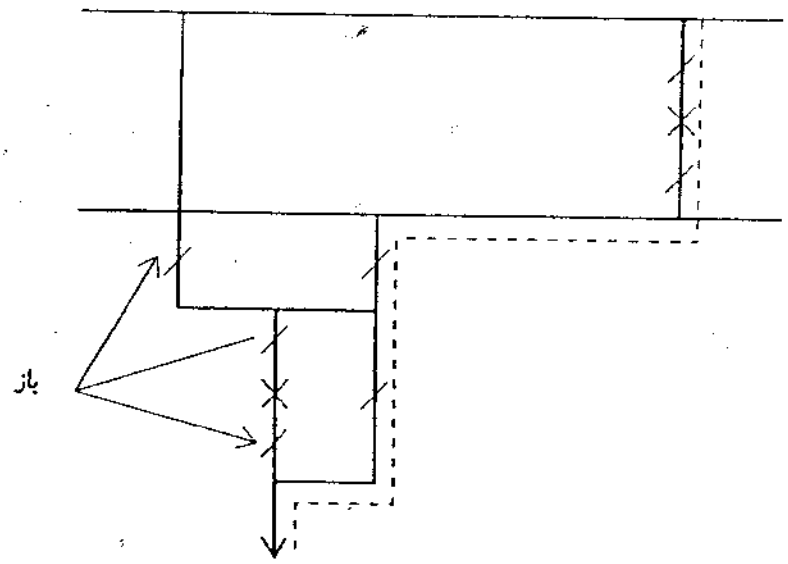
توجه : در این سیستم برای تعمیر کلیدها می‌توان سکسیونری در نظر گرفت که کلید مورد تعمیر را میان بر زده و با در اختیار قرار گرفتن کلید کوپلاژ بعنوان کلید آن ارتباط، ایجاد قطعی ننماید. مسیر جریان ارتباطی در این حالت در شکل (۷-۲) بصورت خط چین نشان داده شده است .

۲-۳- سیستم غربالی (یک کلیده):

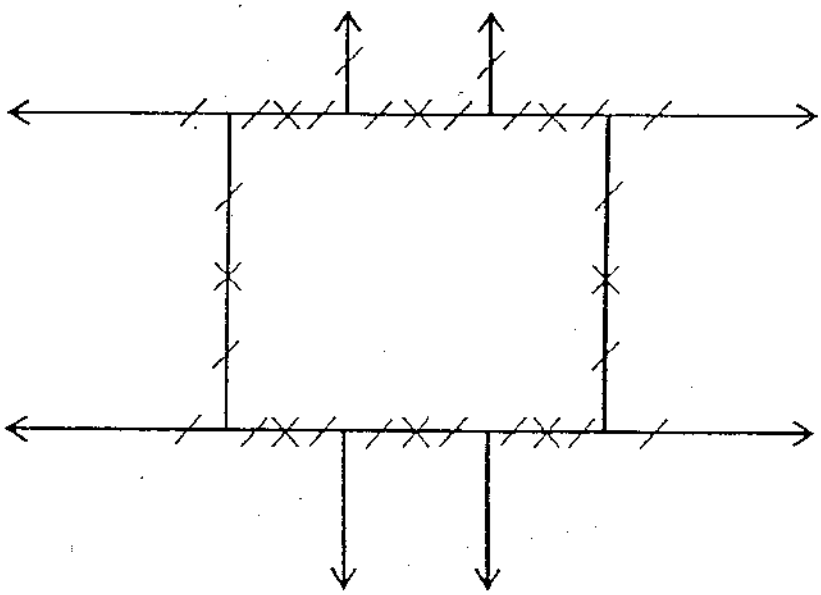
در این سیستم کلیدها بر روی شین قرار گرفته و بدین صورت یک شین حلقوی به تعداد ارتباطات منشعب تقسیم می‌گردد(شکل ۸-۲) در این حالت تعداد کلیدها نظیر سیستم های تک شینه و یا شین دوبل اصلی و یدکی بازاء هر ارتباط یک کلید به کار گرفته شده است‌بنابراین تعداد فیدرهای خروجی و ورودی با تعداد کلیدها برابرند و سیستم مزبور بعد از سیستم یک ونیم کلیده که در قسمت ۲-۴ آورده خواهد شد از درجه اطمینان خوبی برخوردار خواهد بود، زیرا هر ارتباط از دو جهت (سیستم حلقه) با بقیه متصل می‌باشد .



شکل (۶-۲): سیستم دو شینه، دو ورودی و دو خروجی



شکل (۷-۲): سیستم دو شین اصلی همراه با مسیر جریان بهنگام تعمیر دژنکتور

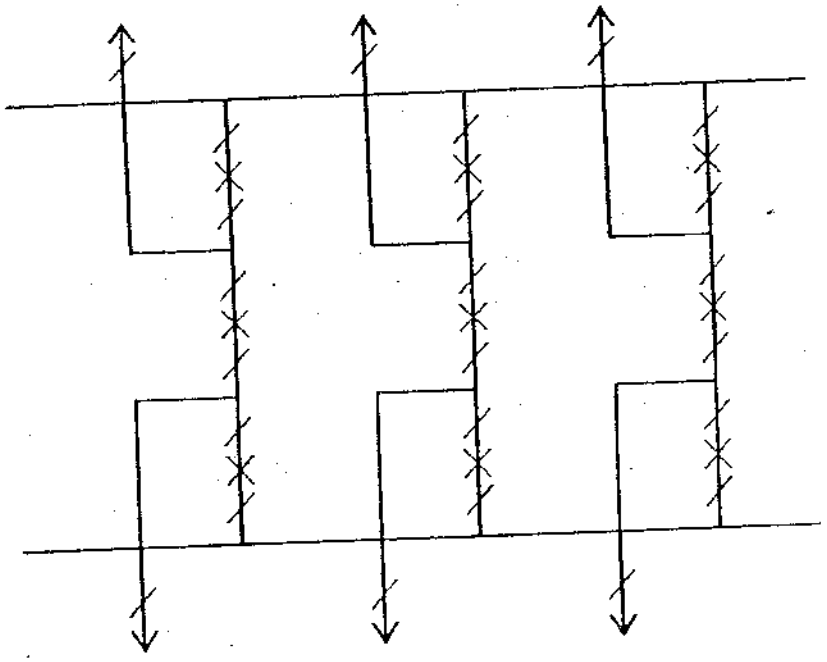


شکل (۸-۲): سیستم شینه حلقوی

چنانچه خطایی بر روی شین اتصالی بیافتد حلقه با باز شدن کلیدهای دو طرف اتصالی پاره شده و یک ارتباط (ورودی یا خروجی) از سیستم خارج می‌شودولی بقیه می‌توانند بکار خود بدون قطع موقت هم ادامه دهند در این سیستم نیز مانند سیستم یک ونیم کلیدی بروز خطا در هر ارتباط منجر به عملکرد دو کلید در پست می‌گردد.

۴-۲- سیستم یک ونیم کلیده:

در این سیستم بازاء هر دو ارتباط ۳کلید در نظر گرفته شده است و هر دو شین توسط این کلیدها به هم مرتبط و برق دار می‌باشند(شکل ۹-۲) بنابراین با توجه باینکه بازاءهر فیدر خروجی یا ورودی یک ونیم کلید وجود دارد. لذا به سیستم یک ونیم کلیده معروف است . این سیستم نسبت به دیگرسیستمهایی که تاکنون ذکر شده اند گرانترمی‌باشد (بعلت تعدادبیشتر کلیدها)و از درجه اطمینان بالایی برخوردار می‌باشد. لذا در ایستگاههای بسیار مهم از جمله پست های تولیدی با ظرفیت بالااین نوع شینه بندی در نظر گرفته می‌شوند. چنانچه خطایی بر روی شین اتفاق بیافتد با قطع کلیدهای طرف آن شین هیچگونه قطع لحظه‌ای در روی ارتباطات نخواهیم داشت.



شکل (۹-۲): سیستم شینه بندی یک ونیم کلیده

به هر حال توجه شود که بروز هر خطا در ارتباطات منشعب از پست ، باعث قطع دو کلید مجاور آن ارتباط خواهد گردید که چنانچه خطا دایمی باشد می‌توان با باز نمودن سکسیونر آن ارتباط ، برای تعمیر آن اقدام گردد.

اینجا جدول مقایسه (مزایا ومعایب) انواع شینه بندی آورده می‌شود.

نوع شینه‌بندی	مزایا	معایب
تک شینه ای	۱- هزینه کم. ۲- بااستفاده از تکنیکهای جداسازی شینه وبا U شکل نمودن می توان بعضی از معایب آنرا تا حدی بر طرف نمود.	۱- کلید منجر به قطع تمام پست می شود. ۲- سرویس وتعمیربسیار مشکل است. ۳- توسعه بدون قطع کامل پست امکان پذیر نیست. ۴- فقط در مواردی که بار از اهمیت کمی برخوردار بوده ویا راههای دیگری جهت تغذیه آن وجود دارد مناسب است.
دوبل باس بار (اصلی وانتقالی)	۱- هزینه کم. ۲- امکان تعمیرباسرویس هر کلید وجود دارد. ۳- ازوسیله اندازه- گیری ولتاژ بر روی باس می توان برای تمام فیدرها استفاده نمود.	۱- کلید اضافی برای ارتباط باس انتقالی به باس اصلی نیاز هست. ۲- درموقع سرویس هر کلید عملیات سوئیچینگ مشکل است. ۳- خطای باس بار وياخرابی کلید باعث قطع کامل پست می گردد.
دوبل باس بار (هردوشین‌اصلی)	۱- انعطاف بیشتری نسبت به سیستم تک شینه با داشتن دوباس بار وجود دارد. ۲- هریک از دو باس بارمي توانند تحت سرویس قرار گیرند. (بطورجداگانه)	۱- کلید(کلیدهای) اضافی برای کوپلاژ باس بارنیاز است. ۲- برای هر مدار در واقع چهار سکیونر نیاز است. ۳- خطای هرکلید باعث قطع تمام مدارهای متصل می شود.
حلقوی	۱- هزینه نسبتاً کم. ۲- قابلیت انعطاف. ۳- تعداد کم کلید(برای هر مدار فقط یک کلید). ۴- در واقع به باس بار اصلی احتیاج نیست. ۵- هرفیدر از طریق دو کلید. ۶- تمام عملیات فقط باکلیدها انجام می شود.	۱- درمقطع سرویس کلید، رینگ به دو قسمت تقسیم می شود. ۲- وصل مجدد اتوماتیک و سیستم حفاظتی پیچیده ای دارد. ۳- وسایل اندازه گیری ولتاژ روی تمام مدارها نیاز است.
۱/۵ کلید	۱- بیشترین قابلیت انعطاف در تعمیر وبهره برداری. ۲- قابلیت اطمینان ۳- خطای کلیدهای وسط فقط یک مدار اضافی را بی برق می‌کند (بطورموقت) ۴- تمام عملیات سوئیچینگ فقط با کلیدها انجام می گیرد. ۵- عملیات مانور بسیارآسان است وبرای عملیات عادی عملکرد سکیونرنیاز نمی‌باشد ۶- برای سرویس وتعمیر هر یک از باس بارها می تواند از مدار خارج شوند.	۱- تعداد کلیدهای بیشتری نیاز دارد. ۲- سیستم حفاظتی ووصل مجدد اتوماتیک پیچیده تر می‌باشد.

جدول (۱-۲): مزایا و معایب انواع شینه بندی

فصل سوم

ترانسفورماتورهای قدرت

مقدمه

نظر به اینکه در فصول قبل ضرورت وجود پستهای فشار قوی محرز گردید، در این فصل یکی از اجزاء مهم پست که ترانسفورماتورقدرت‌است توضیح داده می‌شود.

ترانسفورماتوردستگاهی است که می‌تواند ولتاژ را بالا برده (پست انتقال) و یا ولتاژ اولیه را بنا به نیاز پایین آورده (پست کوپلاژ) ویا از ثانویه آن جهت مصرف کننده ها مورد استفاده قرار گیرد(پست توزیع).

۱-۳- نحوه کار ترانسفورماتور

۱-۱-۳- *نحوه کار ترانسفورماتورهای سه فازه دربارمتعادل:*

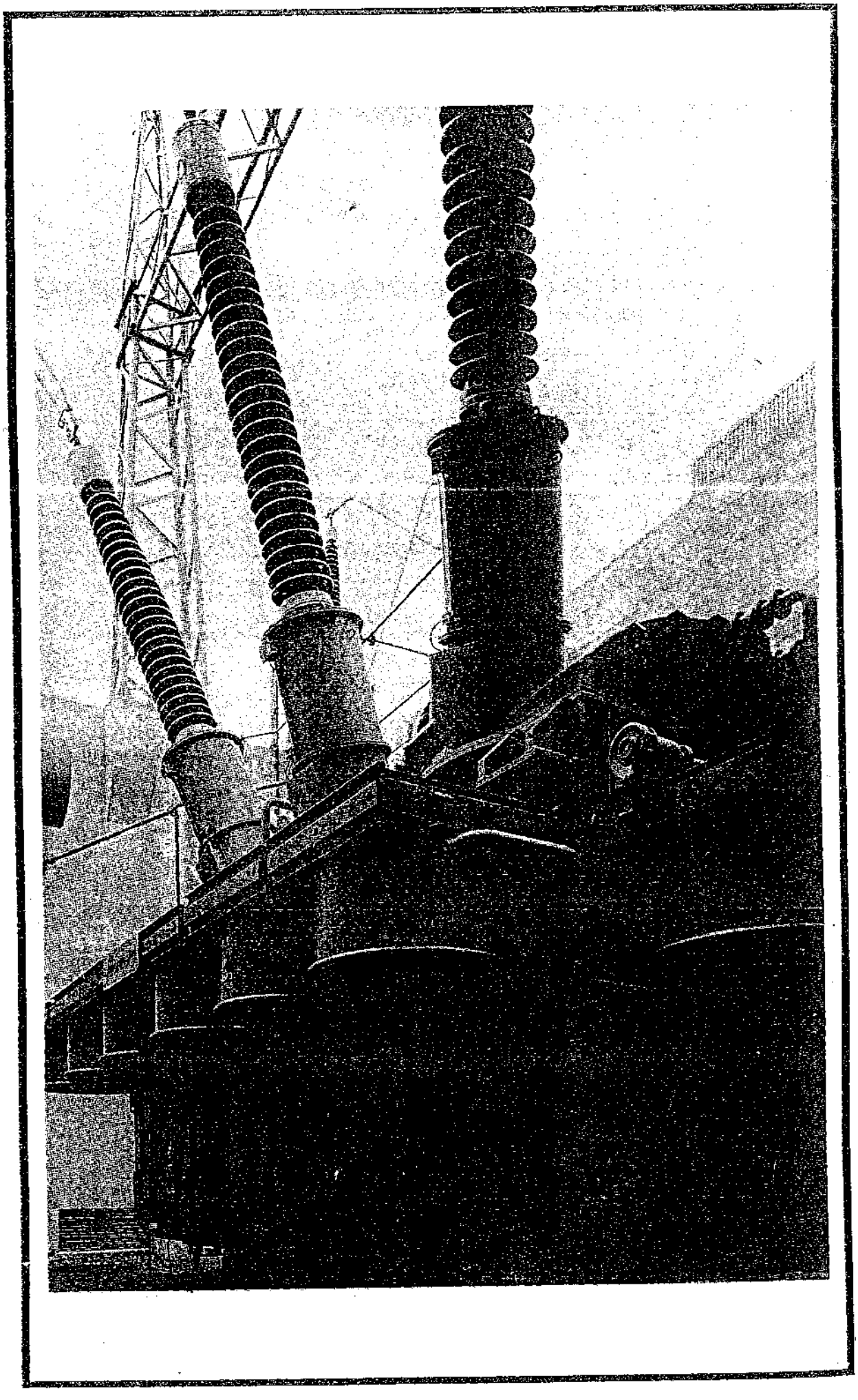
از لحاظ نحوه عمل ، تفاوتی بین ترانسفورماتورهای یک فاز و سه فازوجود نداردو تئوری ترانسفورماتور یک فاز در اینجا نیز صادق می‌باشد. بهمین علت بطور ساده ومختصر به بررسی ترانسفورماتور سه فاز می‌پردازیم.

الف- حالت بی باری : هرگاه سیم پیچی های اولیه به یک شبکه سه فاز متصل گردند ولی سیم پیچی های ثانویه باز باشند، حالت بی باری ترانسفورماتور بوجود می‌آید(شکل ۱-۳).

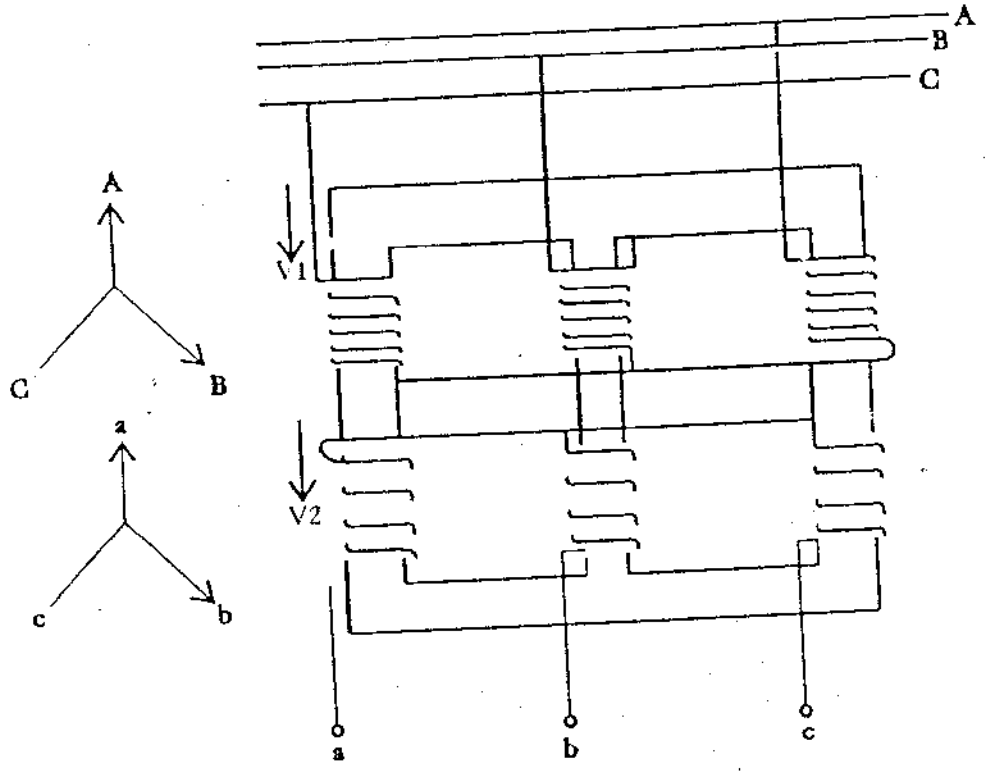
جریانی که سیم پیچی های اولیه از شبکه اخذ می‌کنند ، جریان بی باری می‌باشد که حدود چند درصد جریان اسمی اولیه خواهد بود و توان اخذ شده در اینجا صرف تلف آهن می‌گردد. با تقریب بسیار خوب برای ولتاژ اولیه و ثانویه هر فاز داریم :

V ولتاژ و W تعداد حلقه فازی است $\frac{V2}{V1}=\frac{W2}{W1}$

که در آن $\frac{W2}{W1}$ نسبت حلقه های ثانویه به اولیه می‌باشد.



ب- حالت با باری: هنگامی‌که یک سیستم با سه فاز متعادل به سیم پیچی های ثانویه متصل گردد همانطور که در ترانسفورماتور یک فاز مشاهده شده جریانI_2از فازهای ثانویه عبور نموده وباعث می‌شود که جریان فازهای اولیه افزایش یافته و از مقدارI_0 به I_1 افزایش یابد.



شکل (۱-۳):شمای ترانسفورماتورقدرت سه فاز درحالت بی باری.

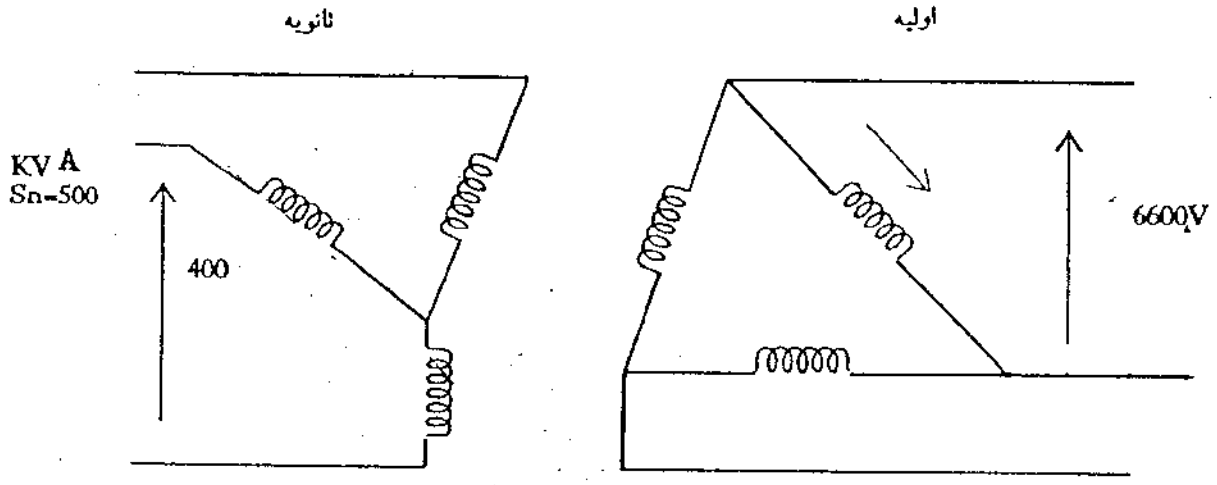
واضح است که سیستم جریانهای اولیه و ثانویه از نوع سه فاز خواهد بود. در اینجا نیز با صرفنظر کردن از جریانI_0برای هر فاز داریم :

$$W_1 \cdot I_1 = W_2 \cdot I_2$$

وبه عبارت دیگر برای هر ساق ترانسفورماتور تعادل آمپر دوربین سیم پیچ اولیه و ثانویه آن ساق برقرار می‌گردد.

تلف مس ترانسفورماتور سه فاز از یک آزمایش اتصال کوتاه تعیین می‌گردد و بطور کلی مدار معادل آن نیز شبیه مدار معادل ترانسفورماتور یک فاز می‌باشد.

مثال ۱-۳ : یک ترانسفورماتور سه فاز ۳۳/۱۱ کیلو ولت با اتصال (مثلث-مثلث) موجود است.به ثانویه بار متعادل ۱۰۰ کیلو وات با ضریب قدرت 0.8 پس فاز متصل است و اولیه به

۳۰ ــ


شکل (۲-۳)اتصال ترانسفورماتور DY

شبکه سه فاز ۳۳کیلو ولت متصل گردیده است . جریان هر یک از فازهای اولیه و ثانویه و توان ظاهری اولیه را حساب کنید.

حل: جریان یک فاز ثانویه:

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3}.V_2.\ COS\phi_2} = \frac{100000}{\sqrt{3}\times 11000\times 0.8} = 6.56 \qquad (۳-۱)$$

جریان اولیه :

$$I_1 = I_2\frac{W_2}{W_1} = I_2\frac{V_2}{V_1} = 65.7\ \frac{11}{33} = 2.18\ [A]$$

توان ظاهری :

$$s_1 = \sqrt{3}.V_1\ I_1 = \sqrt{3}\times 33\times 2.18 = 125\ [KVA]$$

مثال ۲-۳ :مطلوب است جریان هر فاز اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور سه فاز به مشخصات ۵۰۰KVA، ۶۶۰۰/۴۰۰V، f= 50 HZ اتصال DY (مثلث-ستاره) در صورتیکه ثانویه توان ظاهری اسمی را تحویل بار دهد.

حل : جریان فاز ثانویه ۰

$$I_2 = \frac{500000}{\sqrt{3}\times 400} = 722.5\ A$$

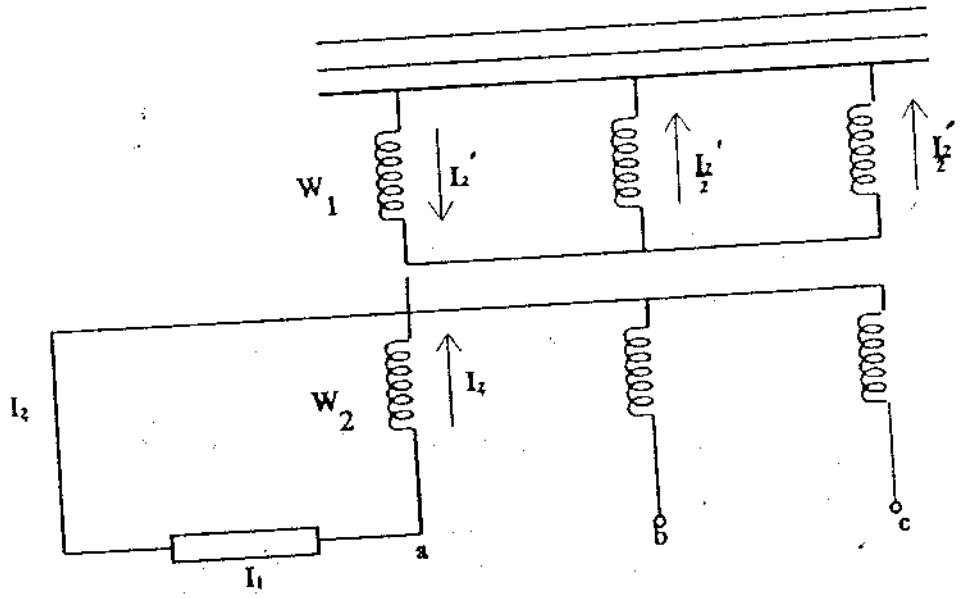
با استفاده از نسبت تبدیل ، برای جریان فاز اولیه داریم :

$$I_1 = I_2\ \frac{V_{2ph}}{V_{1ph}} = 722.5\ \frac{400/\sqrt{3}}{6600} = 25.3\ A$$

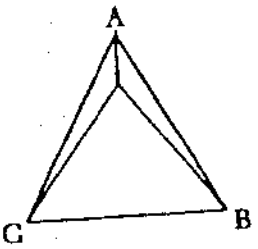
۲-۱-۳- نحوه کار ترانسفورماتورهای سه فاز در بار نامتعادل :

در صورتی که بارترانسفورماتور نامتعادل باشد، علاوه بر جریان فازها، ولتاژ فازها نیز ممکن است نامتعادل گردند و باعث بروز اشکالاتی شوند. بررسی حالت نامتعادل معمولا بکمک مولفه های متقارن صورت می‌گردد. در این جا یک حالت ساده مطالعه می‌شود تا احتیاجی به استفاده از مولفه های متقارن نباشد و فقط از تعادل آمپر دور هر ساق استفاده شود.

الف:اتصال ستاره-ستاره: هر گاه طبق شکل ۳-۳ بار نامتعادل یک فاز Z را بین فازونول ثانویه یک ترانسفورماتور نوع پوششی قرار دهیم در ثانویه فقط از سیم پیچ یکی از فازها (فاز a شکل ۳-۳) جریان I_2 عبور خواهد نمود .



الف : دیاگرام شماتیکی



ب : دیاگرام برداری ولتاژهای اولیه بار متعادل بین یك فاز و نول ثانویه

شکل (۳-۳): اتصال ستاره ستاره با بارنامتعادل

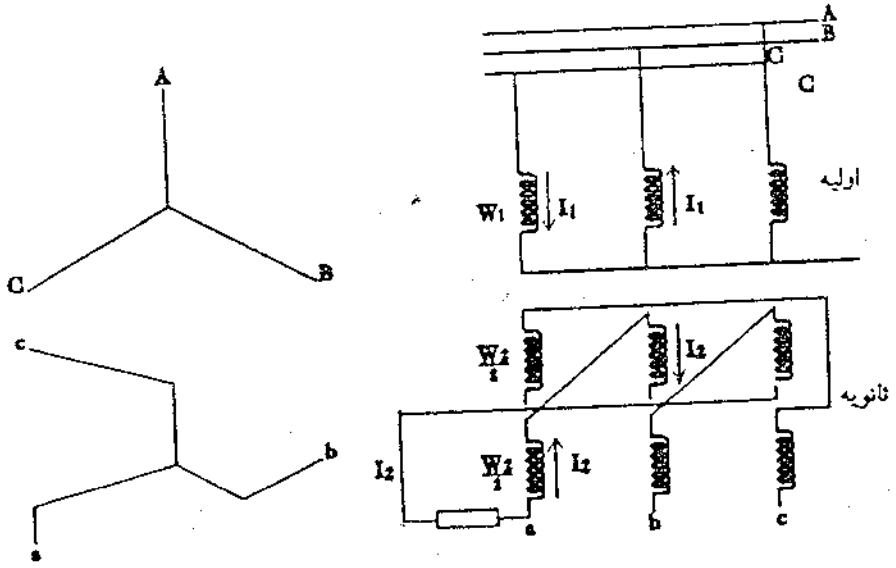
در نتیجه از سیم پیچ اولیه همان فاز جریان $I'_2 = I_2 \frac{W_2}{W_1}$ عبور خواهد نمود تا تعادل آمپر دور در آن ساق برقرار گردد(توجه شود که فقط در ترانسفورماتورنوع پوششی که مدارمغناطیسی فازهامستقل ازیکدیگرمی‌باشند این تعادل برقرار می‌گردد در حالی که در ترانسفورماتور نوع هسته ای این تعادل برقرار نمی‌گردد).مسیر برگشت این جریان از دو فاز دیگر می‌باشد،بنابراین همانطور که مشاهده می‌گردد برای ساقهای B و Cتعادل آمپر دوربرقرارنیست زیرااز سیم‌پیچهای ثانویه این دو ساق جریانی عبور نمی‌کند. بنابر این ساقها بشدت اشباع می‌گردند که نتیجه آن القاء ولتاژهای بزرگ در سیم پیچهای ساقی که به بار متصل است می‌باشد و ولتاژ فازها طبق شکل (ب (ب-۳-۳) نامتقارن می‌گردند (در ولتاژهای خط که توسط شبکه دیکته می‌گردد نمی‌تواند تغییر حاصل گردد).

اشکال دیگراین نوع اتصال در وجود شارهای همفاز است که در هر سه ساق ایجاد می‌گردنداین شارها از مسیرهای اطراف هسته عبور می‌کنند و نمی‌توانند مانند شارهای اصلی ترانسفورماتور از طریق هسته آهنی بسته شوند. این شارها تلف اضافه بهمراه خواهند داشت.

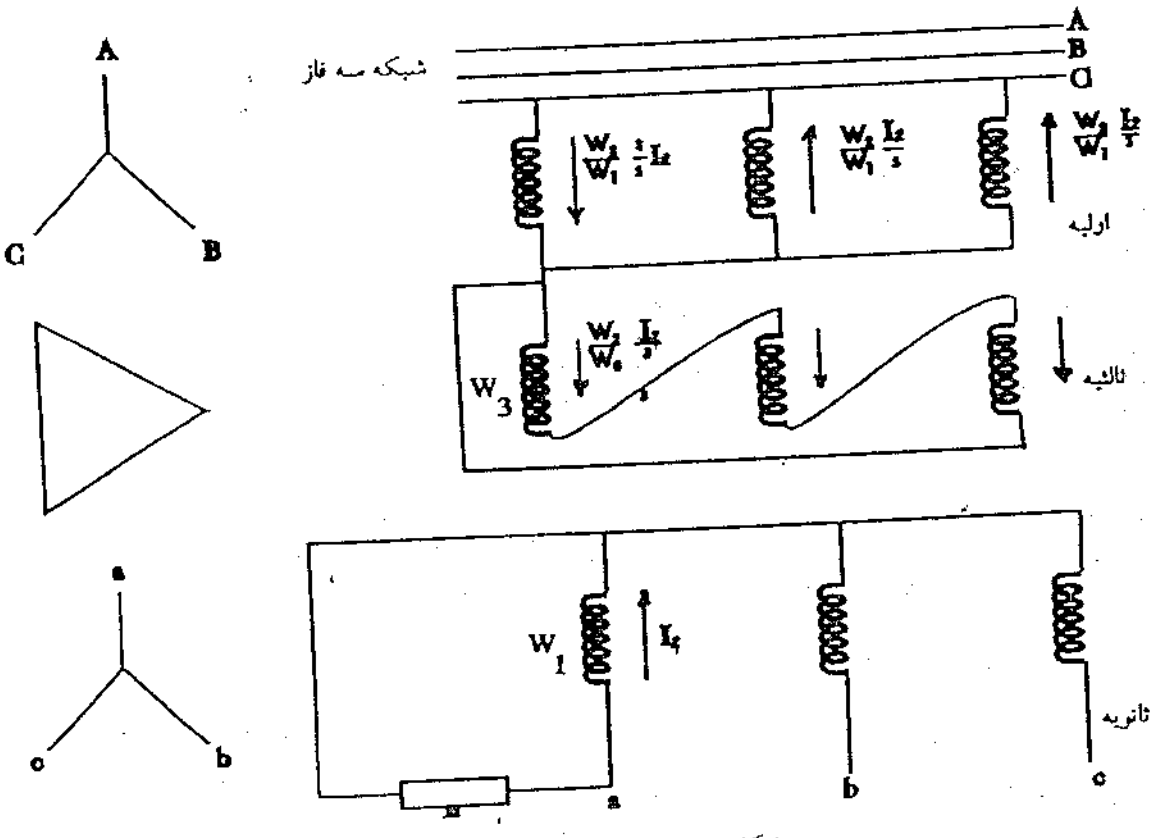
ب-رفع معایب بار نامتعادل: از آنجا که در عمل بار ترانسفورماتور ممکن است نامتعادل باشد مثلا در ترانسفورماتورهای توزیع که برق منازل رااز یک فاز و نول تامین می‌کنند لذا روش هایی جهت رفع معایب آن ابداع شده است .

ب-۱-استفاده از اتصال زیگزاگ در ثانویه:دراین نوع اتصال هریک ازسه سیم‌پیچ ثانویه دارای دو قسمت می‌باشند.این شش قسمت طبق شکل (۴-۳) بیکدیگر مرتبط می‌گردند. همانطور که از شکل مشاهده می‌گردد جریان باریک فاز بطور متعادل روی دوساق توزیع می‌گردد بطوری که آمپر دور برای هر ساق موجود بوده و عدم تعادلی در ولتاژ فازها تولید نمی‌شود.

ب-۲-استفاده از سیم پیچ ثالثیه: در بعضی از ترانسفورماتورها علاوه بر سیم پیچهای اولیه و ثانویه روی هر ساق سیم پیچی دیگری نیز نصب شده است که اتصال آنها بصورت مثلث می باشد و سیم پیچ ثالثیه نامیده می‌شود. وجود این سیم پیچ باعث می‌گردد که در حالت بار نامتعادل تعادل آمپر دورها برقرار گردد این نکته در شکل (۵-۳) بدون ارائه محاسبات نشان داده شده است . هر چند که جریانهای اولیه نامتعادل است ولی تعادل آمپر دور بر هر سه ساق برقرار می‌باشد.



شکل(۲-۳): اتصال ستاره-زیگزاگ



شکل(۵-۳): استفاده از سیم پیچ ثانویه

۲-۳- نیروهای الکتروموتوری سیم پیچی سه فاز

نیروهای الکتروموتوری E_A , E_B و E_C در فازهای A و B و C معمولا سینوسی نیستند با فرض وجود هارمونیک های فرد و فاز اولیه ($\phi=0$) نیروی الکترو موتوری فاز A برابر است با:

$$E_A = E_1 Sin\omega t + E_3 Sin3\omega t + E_5 Sin5\omega t + E_7 Sin7\omega t + ... \quad (۳-۲)$$

و بهمین ترتیب برای فازهای B و C خواهیم داشت :

$$E_B = E_1\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + E_3\mathrm{Sin}3(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + E_5\mathrm{Sin}5(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \quad (۳-۳)$$

$$E_7\mathrm{Sin}7(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \ldots = E_1\mathrm{Sin}(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + E_3\mathrm{Sin}3\omega t + E_5\mathrm{Sin}(5\omega t - \frac{4\pi}{3}) +$$

$$E_7\mathrm{Sin}(7\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \ldots$$

$$E_C = E_1\mathrm{Sin}(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + E_3\mathrm{Sin}3(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + E_5\mathrm{Sin}5(\omega t - \frac{4\pi}{3}) +$$

$$E_7\mathrm{Sin}(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + \ldots = E_1\mathrm{Sin}(\omega t - \frac{4}{\pi 3}) + E_3\mathrm{Sin}3\omega t + E_5\mathrm{Sin}(5\omega t - \frac{2}{\pi 3}) +$$

$$E_7\mathrm{Sin}(7\omega t - \frac{4}{\pi 3}) + \ldots \quad (۳-۴)$$

از فرمول های فوق نتایج زیر بدست می‌آید.

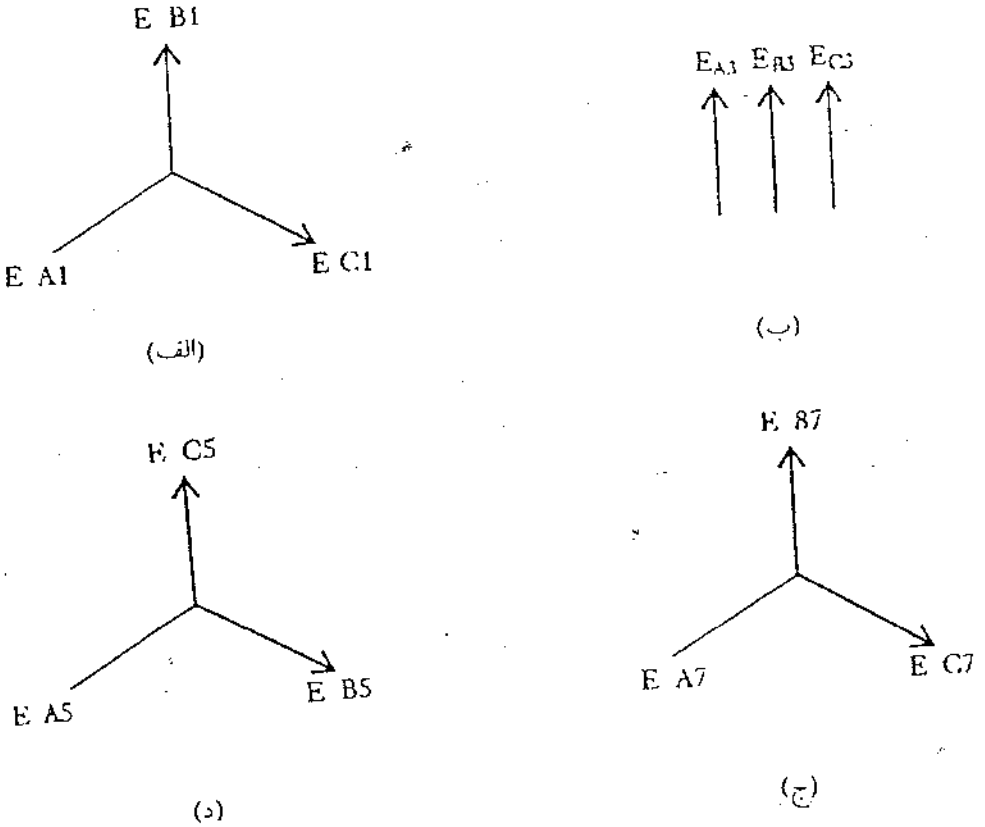
الف- هارمونیکهای اول نیروهای الکترو موتوری فازهای A و B و C ستاره سه پره مساوی با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه اند. $E_{A3}=E_{B3}-E_{C3}$

ب- هارمونیکهای سوم نیروی الکتروموتوری و همچنین هارمونیکهای قابل قسمت به عدد سه هر فاز سیم پیچی ، با یکدیگر هم فازند در نتیجه نسبت آنها در هر فاز صرفنظر از اتصال سیم پیچها ، نسبت تعداد حلقه ها از ابتدا به انتها یا از انتها به ابتدای آن فاز می باشد.

ج- هارمونیکهای پنجم و هفتم نیروی الکتروموتوری ستاره سه پره قرینه ای را تشکیل می دهند ولی توالی فازهای هارمونیک پنجم مخالف توالی فازهای هارمونیک اول است (یعنی EA_5 و EB_5 و EC_5 در شکل ۶-۳ ج). در حالی که توالی هارمونیکهای هفتم موافق توالی فازهای هارمونیک اول است (یعنی EA_7 و EB_7 و EC_7 در شکل ۶-۳ د). بطور کلی هارمونیکهای 3C +1 (C عدد زوج است) دارای همان توالی فازهای هارمونیک اول و هارمونیکهای 3C - 1 دارای توالی فازی مخالف با توالی فازهای هارمونیک اول است .

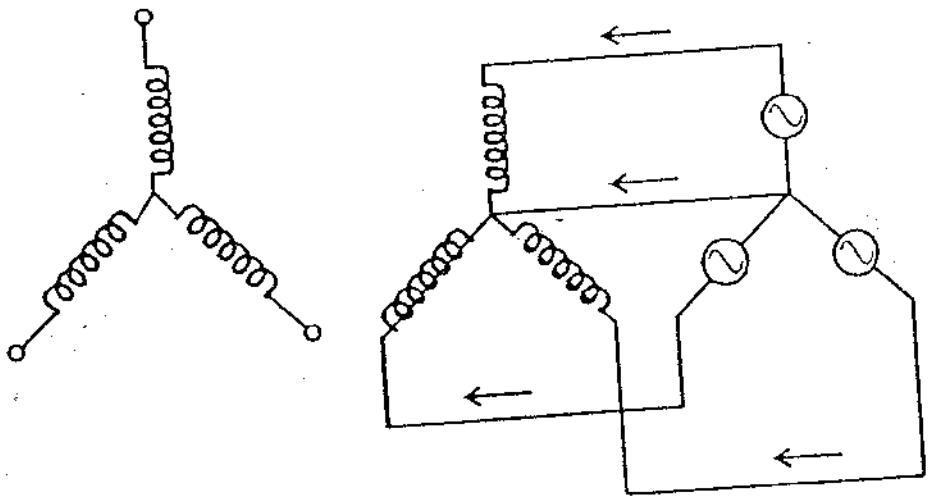
۳-۳- هارمونیکهای سوم در عمل ترانسفورماتورهای سه فاز

مولفه هارمونیکهای سوم جریان تحریک ممکن است اثرات نامطلوب در عمل ترانسفورماتورها داشته و بخصوص این اثر در اتصال Y-Y مشهودتر است.



شکل (۶-۳): دیاگرام هارمونیکهای مختلف

(شکل ۷-۳) یک اتصال Y-Y را نمایش می‌دهد. فرض شده است که سه ترانسفورماتور تکفاز مشابه بدون بار، توسط یک مدار سه فاز تغذیه گردد. مجموع جریان های لحظه ای اولیه به انضمام جریان سیم خنثی (صفر) باید مساوی صفر شود یعنی :



شکل (۷-۳): اتصال Y-Y ترانسفورماتور قدرت

$$I_A + I_B + I_C + I_N = 0 \qquad (۳-۵)$$

مجموع تمام مولفه های هارمونیکها بجز هارمونیک سوم و مضارب آن در I_C, I_B, I_A مساوی صفر است بنابر این فقط باید شامل هارمونیک های سوم و مضارب آن باشد. بعلاوه‌چون هارمونیکهای هرفازبه‌اندازه 120° اختلاف فاز دارند جریان خطی خنثی باید مساوی سه برابر هارمونیک سوم جریان مصرف آن باشد.

هارمونیک سوم دارای دامنه نسبتاکوتاه می‌باشدو جریان I_N سه برابر جریان هارمونیک سوم خواهد بود.

اگر اتصال خنثی بین اولیه های ترانسفورماتور مولد باز باشد، $I_N=0$ است و در نتیجه هارمونیک سوم باید صفر باشد. از این رو فوران نمی‌تواندشکل سینوسی داشته باشد .اگر ترانسفورماتورها کاملا مشابه باشند هیچ هارمونیک سوم در ولتاژ فاز به فاز وجودنخواهد داشت:

$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN} \qquad (۳-۶)$$

ولتاژهای هارمونیک سوم در سه ترانسفورماتور مساوی و هم فازند یعنی :

$$V_{AN3} = V_{BN3} = V_{CN3} \qquad (۳-۷)$$

$$V_{AB3} = V_{AN3} - V_{BN3} = 0 \qquad (۳-۸)$$

زمانی که اولیه های ترانسفورماتورهای مشابه بصورت D بهم وصل شده باشند هیچ هارمونیک سوم در جریانهای خط I_C ، I_B و I_A وجود نخواهد داشت زیرا جریانهای خط مساوی اختلاف جریانهایی است که در سیم پیچهای D شکل در گردش است .

از(شکل ۸-۳) آشکار است که جریانهای لحظه ای‌درثانویه ترانسفورماتور:

$$I_a = I_{ab} - I_{ca} \qquad (۳-۹)$$

$$I_{ab3} = I_{bc3} = I_{ca3} \qquad (۳-۱۰)$$

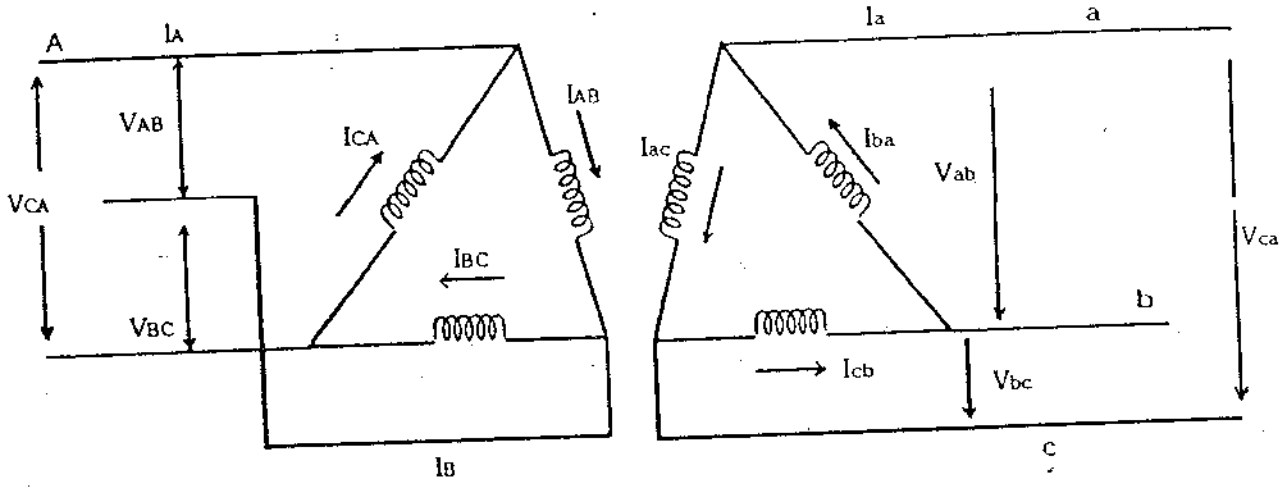
$$I_{a3} = I_{ab3} - I_{ca3} = 0 \qquad (۳-۱۱)$$

و بنابر این جریان هارمونیک سوم در D دور می‌زند.همچنین برای ترانسفورماتورهای با اتصال Y-d اگر خط خنثی اولیه از نقطه خنثی (صفر) در اتصال Y قطع شود جریان هارمونیک

سوم در ثانویه که بطور D وصل شده است دور می‌زند و از این رو فوران سینوسی است. چنین نتیجه می‌شود که اگر ولتاژهای هارمونیک سوم وجود داشته باشند در هر سه فاز با یکدیگر هم فاز بوده و مجموع آنها سه برابر مقدارش در یک فاز خواهد بود. چون مجموع ولتاژهای خطی D ثانویه باید مساوی صفر باشد(طبق قانون ولتاژهای کیرشهف) بنابر این هیچ ولتاژ هارمونیک سوم در ثانویه ترانسفورماتورها وجود ندارد.

اتصال D علاوه بر اینکه تعادل ولتاژها راتضمین می‌نماید مسیری برای هارمونیک سوم تهیه می‌کند و این سبب آن است که اتصالات Y-D ویاD-Y بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

هنگامی‌که تبدیل Y-Y مورد نیاز باشد معمولا یک سیم پیچ بنام سیم پیچ سوم بصورت D بکار برده می‌شود.



شکل(۸-۳):اتصال DD

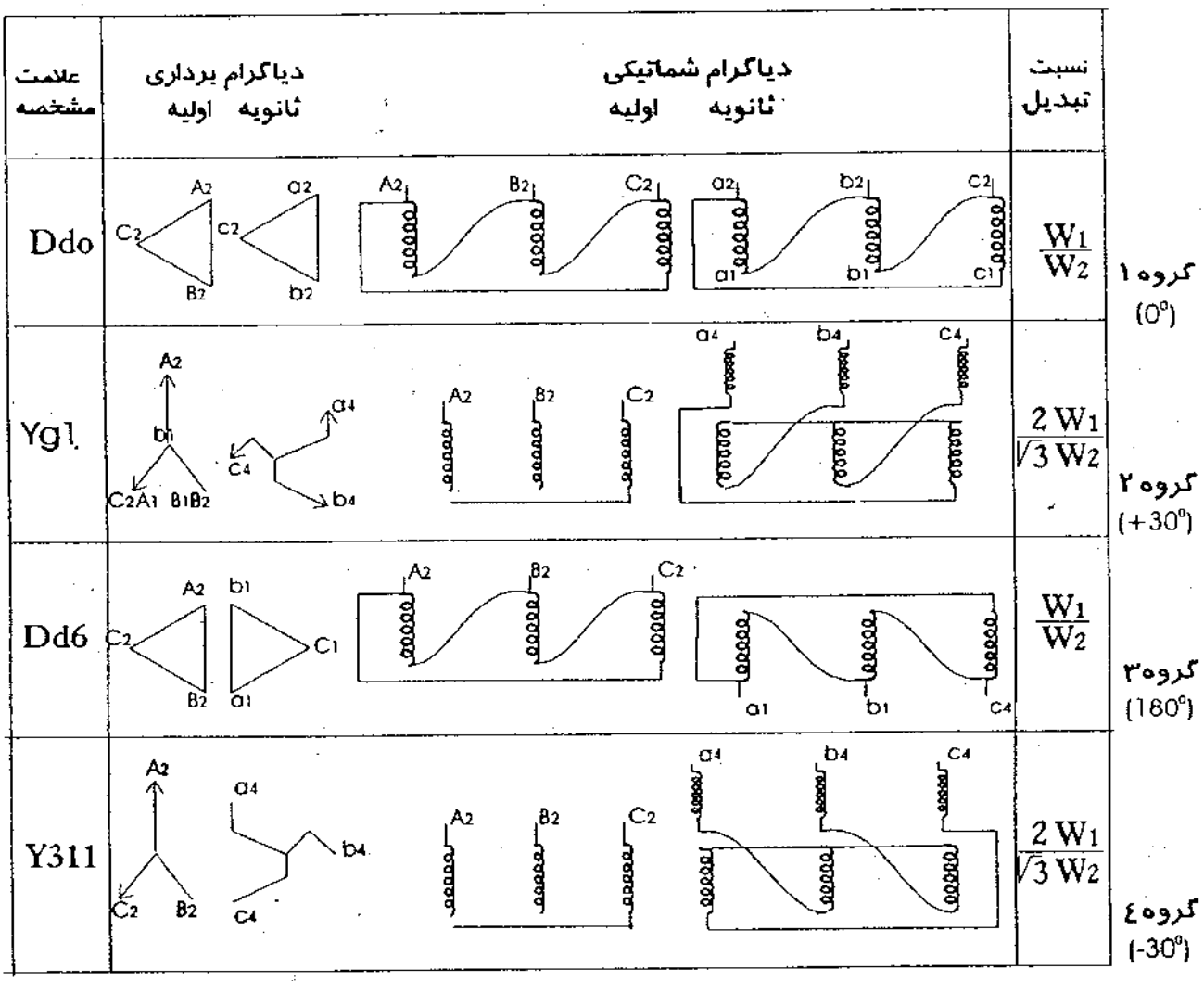
۴-۳- گروه بندی ترانسفورماتورهای سه فاز:

از آنجا که هر یک از فازها حداقل دارای دوسیم پیچ اولیه و ثانویه می‌باشد، امکانات متعددی برای اتصال آنها به یکدیگر وجود دارد. در این اتصالات ، اولیه و ثانویه می‌توانند بصورت ستاره، مثلث و زیگزال بسته شوند. با در نظر گرفتن همه امکانات مشاهده می‌گردد که تمامی انواع اتصالات در چهار گروه مختلف قرار خواهند گرفت که وجه تمایز آنها در اختلاف فاز بین ولتاژها می‌باشد. یکی از شرایط موازی کردن دو ترانسفورماتور سه فاز این است که گروه آنها یکی باشد.

هرگروه توسط یک عدد و حرف مشخص می‌گردد.عدد نماینده اختلاف فاز.بین دو ولتاژ هم نام اولیه و ثانویه می‌باشد. این دو ولتاژ می‌توانند ولتاژ خط یا ولتاژ فاز اختیار شوند.

اگر بین دو ولتاژ اختلاف فازی موجود نباشد عدد صفر، اگر ۳۰ درجه باشد عدد ۱ و اگر ۶۰ درجه باشد عدد ۲ و غیره بکار می‌رود. برای تعیین عدد بایستی بردار دو ولتاژ ثانویه را درجهت مثلثاتی (خلاف جهت ساعت) بگردانیم تا بر بردار ولتاژ اولیه همنام خود منطبق گردد، سپس از تقسیم زاویه دوران بر ۳۰ عدد گروه مشخص می‌گردد. در ضمن از حروف Y برای اتصال ستاره، حرف D برای اتصال مثلث و حرف Z برای اتصال زیگزال استفاده می‌شود. حروف بزرگ برای اولیه و حروف کوچک برای ثانویه بکار می‌روند، در شکل(۹-۳) چند نمونه برای چهار گروه مختلف رسم شده است.

مثلا برای گروه۲ اتصال در اولیه ولتاژ خط A_2B_2 و در ثانویه ولتاژ خط هم نام آن a_4b_4 به اندازه ۳۰ با هم اختلاف فاز دارند ، بنابر این عدد شناسایی آن ۱ می‌باشد. که در آن $\frac{W2}{W1}$ نسبت



شکل (۹-۳): انواع اتصالات ترانسفورماتور سه فاز

حلقه های ثانویه به اولیه می‌باشد.

۵-۳- کار پارالل ترانسفورماتورهای سه فاز

برای اینکه دو یا چند ترانسفورماتور بتوانند بصورت موازی کار کنند لازم است که شرایط زیر برقرار باشد:

نسبت تبدیل ترانسفورماتورها یکی باشد. در غیر اینصورت جریانهای گردشی بین ثانویه ترانسفورماتورها(همچنین بین اولیه آنها) پدید می‌آید که تولید تلف مس اضافی می نماید. امپدانس‌های داخلی آنها برابر باشد.در این صورت کل بار به نسبت جریانهای اسمی بین ترانسفورماتورها توزیع می‌گردد.گروه آنها یکی باشد. یعنی بین ولتاژهای ثانویه آنها اختلاف فاز وجود نداشته باشد.

۱-۵-۳- تقسیم بار بین ترانسفورماتورها:

الف-تقسیم بار بین ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه: صحیح بستن فازها در شکل ۱۰-۳ بوسیله ولت متر آزمایش می‌گردد، اگر بستن فازها صحیح باشد ولت متر صفر نشان خواهد داد،برای ترانسفورماتور با نسبت تبدیل، مقادیر بین دو فاز نشان داده خواهد شد. وقتی ترانسفورماتور با نسبت تبدیل برابر بطور موازی قرار گیرند قدرت به نسبت توان نامی‌و عکس درصد ولتاژ اتصال کوتاه (U k%) تقسیم می‌شود.تقسیم بار بطور تقریب از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$P_1 = Pg \times \frac{P_{N1}}{P_{N1} + P_{N2} + \ldots} \times \frac{U_{kd}}{U_{kn1}} \qquad (۳-۱۲)$$

$$P_2 = Pg \times \frac{P_{N1}}{P_{N1} + P_{N2} + \ldots} \times \frac{U_{kd}}{U_{kn2}} \qquad (۳-۱۳)$$

$$P_3 = Pg \times \frac{P_{N3}}{P_{N1} + P_{N2} + \ldots} \times \frac{U_{kd}}{U_{kn3}} \qquad (۳-۱۴)$$

$$U_{kd} = \frac{P_{N1} + P_{N2} + \ldots\ldots\ldots}{\frac{P_{N1}}{U_{Kn1}} + \frac{P_{N2}}{U_{Kn2}} + \ldots\ldots\ldots} \qquad (۳-۱۵)$$

بطوری که Pg جمع بار برحسب KVA ,Ukd متوسط در صد ولتاژ اتصال کوتاه PN_1 ,PN_3

PN_2,توان نامی بر حسب KVA, U_{kn3}, U_{kn1},U_{kn2} درصد امپدانس اتصال کوتاه می‌باشد.

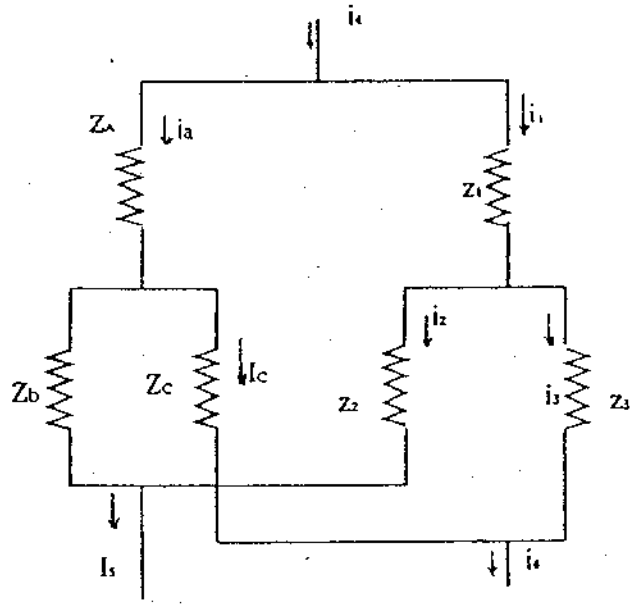
ب- تقسیم بار در **شاخه ها ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه**: هر گاه مقدار بار (KVA) در اولیه (سیم پیچ اول) ترانسفورماتور سه سیم پیچه معلوم باشد و فرض کنیم که دو سیم پیچ دیگر به یک منبع با امپدانس صفر وصل شده باشند تقسیم بار بین این دو سیم پیچ توسط روابط زیر معین می‌شود.

مدار معادل دو ترانسفورماتور موازی در شکل (۱۰-۳)دیده می‌شود.

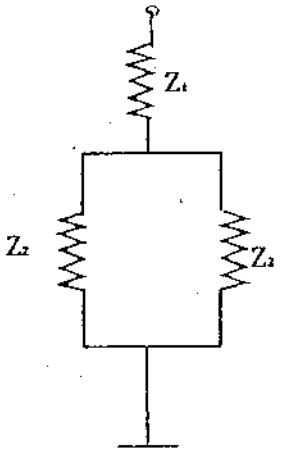
$$(KVA)_2 = \frac{\%Z_3}{\%Z_{23}} \times (KVA)1 \qquad (۳-۱۶)$$

$$(KVA)_3 = \frac{\%Z_2}{\%Z_{23}} (KVA)1 \qquad (۳-۱۷)$$

$$I_4 = I_5 + I_6$$



ب - مدار معادل ترانسفورماتور سه سیم پیچه



الف - بخشی از مدار

در صورتی که دوبار I_5 و I_6 (شکل ۱۱-۳) بر حسب KVA معلوم باشد. بنابر این جمع خروجی هابرابر I_4 می‌شود.

$$I_4 = I_5 + I_6 \qquad (۳-۱۸)$$

توزیع I_4 و I_5 و I_6 در شبکه (۱۰-۳) بصورت زیر خواهد بود.

$$I_1=\frac{I_4Z_a(1 + K_1) + I_5Z_b + I_6Z_cK_1}{(Z_1 + Z_a)(1+ K_1) + Z_c + Z_b} \qquad (۳-۱۹)$$

$$K_1=\frac{Z_2 + Z_b}{Z_2 + Z_c} \qquad (۳-۲۰)$$

$$I_a = I_4 - I_1 \qquad (۳-۲۱)$$

POWEREN.IR

$$I_2=\frac{I_4Z_a + I_5Z_b(1 + K_2) - I_6Z_cK_2}{(Z_1 + Z_a)(1 +K_1) + Z_2 + Z_b} \qquad (۳-۲۲)$$

$$K_2= \frac{Z_1 + Z_a}{Z_2 + Z_c} \qquad (۳-۲۳)$$

$$I_3 = I_1 - I_2 \qquad (۳-۲۴)$$

$$I_c = I_2 - I_3 \qquad (۳-۲۵)$$

$$I_b = I_5 - I_2 \qquad (۳-۲۶)$$

$$\text{بارکل شاخه} = \sqrt{(\text{کیلووات هرشاخه})^2 + (KVA)^2} \qquad (۳-۲۷)$$

۶-۳- افتهای ترانسفورماتور:

افت های ترانسفورماتور بوسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Pv=P_0+a^2P_K \qquad (۳-۲۸)$$

افتهای بدون بار شامل تلفات آهنی و تلفات مسی بوده ، نسبت افتها در حالت بی باری به تلفات مسی در حالت با باری معمولا ۱ به ۵ می‌باشد.

در رابطه (۲۸-۳)افتها شامل افت بی‌باری P_0، افت بابارنامی P_k و a نسبت باربه بارنامی می‌باشد.افتهای بی بار ، افتهای مغناطیسی (هیسترزیس) و آهنی در ولتاژ ثابت است و افتهای

۴۲ ـــ

ضریب بار a برای بهره ماکزیمم ترانسفورماتور به قرار زیر تعریف می‌شود:

PK= تلفات مسی در جریان نامی

$$\frac{\partial \eta}{\partial a} = 0 \text{ یا } a^2 = \frac{Po}{PK} \text{ یاو } a = \sqrt{\frac{Po}{PK}} \qquad (۳-۳۰)$$

مثال۳-۳: برای مسئله بالا داریم:

$$\eta_{max} \text{ برای } a = \sqrt{\frac{1.1}{5.5}} = .447$$

---

1. Load Factor

یعنی در aP_N و $\cos\phi$ ثابت ، ماکزیمم بهره بدست می‌آید واین توان برابر است‌با:

$$P = aP_N = 0.447 \times 500 = 223.6 \text{ KVA}$$
$$P = 223.606 \text{ KVA}$$

مثال۴-۳ :اگر سه ترانسفورماتور با توان‌نامی

$$P_{N3} = 630\text{KVA},\ P_{N2} = 400 \text{ KVA},\ P_{N1} = 250 \text{ KVA}$$

بطور موازی قرار گیرد و در صد امپدانس اتصال کوتاه $U_{KN2} = 4\%$, $U_{KN1} = 3.6\%$ $U_{KN3} = 4.4\%$ وجمع بار $Pg = 1250$ KVA باشد داریم;

$$Ukd = (PN_2 + PN_1 + PN_3)/\left(\frac{PN_1}{U_{KN1}} + \frac{PN_2}{U_{KN2}} + \frac{PN_3}{U_{KN3}}\right)$$

$$Ukd = (250 + 400 + 630)/\left(\frac{250}{3.6} + \frac{400}{4} + \frac{630}{4.4}\right);\ Ukd = 4.1\%$$

$$P_1 = Pg \times \frac{PN_1}{PN_1+PN_2+PN_3} \times \frac{Ukd}{U_{KN1}} = 1250\ \frac{250}{250+400+630} \times \frac{4.1\%}{3.6\%} = 278\text{KVA}$$

$$P_2 = 1250 \times \frac{400}{250+400+630} \times \frac{4.1\%}{4\%} = 400 \text{ KVA}$$

$$P_3 = 1250 \times \frac{630}{250+400+630} \times \frac{4.1\%}{4.4\%} = 572 \text{ KVA}$$

$$pg = 278+400+572 \cong 1250 \text{ KVA}$$

اگر جمع بار در ترانسفورماتور به 25% کاهش یابد توزیع بار، بصورت زیر خواهد بود.

$$P_1 = 278 \text{ KVA} \times \frac{1125 \text{ KVA}}{1250 \text{ KVA}} = 250.2 \text{ KVA}$$

$$P_2 = 400 \text{ KVA} \times \frac{1125 \text{ KVA}}{250 \text{ KVA}} = 360.6 \text{ KVA}$$

$$P_3 = 572 \times \frac{1125}{1250} = 514.8 \text{ KVA}$$

$$Pg = 250.2 + 360.6 + 514.8 = 1125$$

$$a = \sqrt{\frac{Po}{Pk}}$$

که در آن

$$a = \sqrt{\frac{1.1 \text{ KW}}{5.5}} = .447$$

بنابر این ماکزیمم بهره در بار زیر واقع می‌شود:

$$Pa = aP_N$$

که بهره این بار

$$\eta = 100\% - \frac{1.1 \text{ KW} + .447^2 \times 5.5 \text{ KW}}{.447 \times 500 \times .8 + 1.1 \text{ KW} + 0.447^2 \times 5.5} \times 100\% = 98.78\%$$

۳-۷- کاربرد ترانسفورماتورهای سه فاز:

بسته به نوع سیم پیچی می‌توان از ترانسفورماتور سه فازبرای موارد زیر استفاده نمود:

۳-۷-۱- *انتقال انرژی الکتریکی از ژنراتورها به خطوط انتقال:*

در این حالت از اتصال ستاره مثلث استفاده می‌شود که در آن، اتصال مثلث به ژنراتور واتصال ستاره به خط انتقال متصل می‌گردد.

۳-۷-۲- *توزیع انرژی به مصرف کننده:*

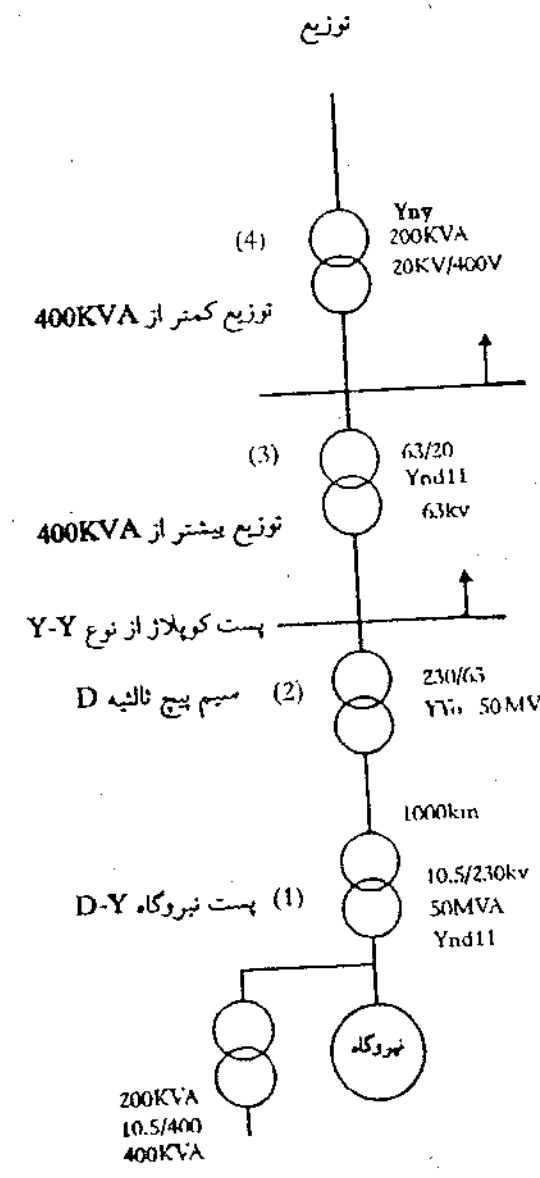
درشبکه های توزیع انرژی برای توانهای بالاتر از 400 KVA از اتصال مثلث - ستاره با سیم نول در ثانویه وبرای توانهای کوچکتر از اتصال ستاره زیگزاگ استفاده بعمل می‌آید. در شکل (۳-۱۱) ترانسفورماتور شماره ۳ با قدرت 30 MVA ترانسفورماتور توزیع بالاتر از توان 400 KVA است ، وشماره ۴ ترانسفورماتور توزیع با سیم نول و قدرت کمتر از 400 KVA است.

۳-۷-۳- *کوپلاژ بین شبکه فشار قوی وشبکه متوسط:*

دراین حالت‌ازاتصال ستاره-ستاره استفاده بعمل می‌آید ومعمولا دارای سیم پیچ ثالثیه نیزمی‌باشند.

۸-۳- مشخصات فنی و نحوه انتخاب آنها در ترانسفورماتور

همانطوری که می‌دانیم معمولا ترانسفورماتورهای قدرت در ولتاژهای بالا بصورت سری ساخته نمی‌شود و کارخانه سازنده با توجه به مشخصات فنی مورد نیاز طرح مناسب را تهیه و سپس شروع به ساخت می‌نماید. بمنظور سفارش ترانسفورماتور به کارخانه سازنده بایستی مشخصات فنی ترانسفورماتور را مشخص نماییم تا از یک طرف سازنده قادر به طرح و ساخت آن بشود و از طرف دیگر ترانسفورماتورمناسب و هماهنگ با پست و شبکه مربوطه باشد. اهم این مشخصات به شرح زیر می‌باشند:



شکل (۱۱-۳): بخشی از شبکه قدرت شامل نیروگاه

- ظرفیت
- ولتاژ (نسبت تبدیل)
- نوع سیستم خنک کنندگی
- نوع سیم پیچی (ترانسفورماتوربا سیم پیچ های جداگانه - معمولی)
- رابطه برداری
- افزایش درجه حرارت سیم پیچی و روغن نسبت به محیط
- نوع نصب (داخلی یا بیرونی)
- امپدانس های اتصال کوتاه
- رگولاسیون در ترانسفورماتور و انتخاب تپ چنجر
- سایر مشخصات از قبیل : سطح صدا، نوع روغن، سیستم کنسرواتور،تانک‌اصلی ، مشخصات متعلقات از قبیل : رادیاتور، فن ، پمپ و غیره.

استانداردهایی که می‌تواند در رابطه با تعیین مشخصات ترانسفورماتورهای قدرت مورد استفاده قرار گیرد بشرح زیر می‌باشد.

IEC	76	Parts 1 to 5 Power Transformers
IEC	137	Bushings
IEC	296	Oil
IEC	354	Loading guide
IEC	214	Tap Changer
IEC	551	Measurement of sound level
IEC	270	Partial discharge measurement
IEC	542	Application guide for on load tap changers
IEC	616	Terminal and tapping
IEC	722	Impulse test gride

۱-۸-۳- ظرفیت نامی:

برای تعیین ظرفیت نامی‌ترانسفورماتور بایستی به عوامل زیر توجه نمود:

الف- ظرفیت پست (ظرفیت اولیه - ظرفیت نهایی).

ب - محدودیت های حمل و نقل.

ج - سطح ولتاژ .
د - مسایل اقتصادی و تنوع زدایی در شبکه .
ه - نوع ترانسفورماتور

معمولاً ظرفیت پستهای فشار قوی بستگی به منطقه مورد تغذیه و همچنین وضعیت شبکه و میزان بار مصرفی دارد و ضمناً ظرفیت پستهای توزیع به نحوی انتخاب می‌گردد که توزیع قدرت مربوطه در منطقه مورد بحث از لحاظ فنی و اقتصادی قابل توجیه باشد. بنابر این با فرض اینکه پیش بینی بار و برنامه ریزی شبکه توزیع، ظرفیت اولیه و نهایی یک پست را تعیین کرده باشد می‌توان با این فرض که در ابتدا حداقل ۲ دستگاه ترانسفورماتور و در نهایت نیز حداکثر چهار دستگاه ترانسفورماتور در یک پست توزیع نصب گردد ترانسفورماتور را تعیین نمود و سپس ظرفیت را با توجه به عدم تنوع زیاد در شبکه و همچنین محدودیتهای حمل و نقل و سطح ولتاژ بصورت نهایی بدست آورد.

در مورد پستهای نیروگاهی معمولا ظرفیت ترانسفورماتور متناسب با قدرت ژنراتور و واحدهای مربوطه انتخاب می‌شود(انتخاب ظرفیت ژنراتور و واحدها در نیروگاهها به عوامل مختلفی بستگی دارد که در اینجا جای بحث در مورد آنها نیست)برای روشن شدن موارد فوق به مثال زیر توجه فرمایید:

فرض کنید می خواهیم پستی ۶۳-۲۳۰ کیلو ولت با ظرفیت نهایی ۳۵۰ مگا ولت آمپر احداث نماییم، چنانچه بار اولیه این پست (۱۴۰) مگا ولت آمپرباشد ظرفیت ترانسفورماتورهای این پست را تعیین نمایید.

شرط اول: در ابتدا بدیهی است که بمنظور اطمینان کافی از بهره برداری در پست و تداوم تامین بار منطقه لازم است حداقل دو دستگاه ترانسفورماتور در مرحله اول در پست نصب گردد تا در صورت بروز اشکال روی یک دستگاه ترانسفورماتور دیگر قادر باشد بار پست را تامین نماید، با این فکر در لحظه اول بنظر می‌آید که دو دستگاه ترانسفورماتور هر یک با ظرفیت ۱۴۰ مگا ولت آمپر مناسب این پست می‌باشد. Redundant

شرط دوم: از طرف دیگر با توجه به ظرفیت نهایی پست و این نکته که این ظرفیت معمولا بوسیله ۳ یا ۴ دستگاه ترانسفورماتور باید تامین بشود و ضمنا همواره یک دستگاه ترانسفورماتور بصورت ذخیره وجود داشته باشد، خواهیم داشت:
ظرفیت ترانسفورماتوردر MVA ۱۷۵=۲:۳۵۰ انتخاب اول یعنی حالتی که تعداد کل

ترانسفورماتور ۳ دستگاه باشد.
ظرفیت ترانسفورماتور در MVA ۱۱۶=۳:۳۵۰ انتخاب دوم یعنی حالتی که تعداد کل ۴ دستگاه باشد.

بمنظور جلوگیری از تنوع در ظرفیت ترانسفورماتورهای یک شبکه به استانداردهای موجود مراجعه می‌شود(برای مثال در این سطح ولتاژ ظرفیت ۱۶۰ و ۱۲۵ و ۸۰ مگا ولت آمپر از طرف شرکت توانیر برای ایران استاندارد شده است).
بنابر این دو انتخاب وجود دارد:

- ۱۲۵ مگا ولت آمپر با تعداد نهایی چهار دستگاه.
- ۱۶۰ مگاولت آمپر با تعداد نهایی سه دستگاه.

اما انتخاب حالت ۱ شرط اول را نمی‌پوشاند وبنابر این بهترین ظرفیت می‌تواند ۱۶۰ مگاولت آمپر باشد.

شاید در اینجااین سئوال مطرح شود که ۱۶۰ مگا ولت آمپر نیز شرط دوم را دربر نمی گیرد ولی باید متذکر شد که معمولا ترانسفورماتورها می‌توانند به مدت های محدودی تحت اضافه بار قرار گیرند(طبق استاندارد IEC 354) و بنابر این در شرایط عادی که هر سه دستگاه ترانسفورماتور در سرویس می‌باشند مساله ای وجود نداشته و در مواقع ضروری که یک دستگاه ترانسفورماتور تحت تعمیر می‌باشد می‌توان در صورت لزوم بنحوی یا بار پست راکمی کاهش داد و یا طبق استاندارد مربوطه بسته به شرایط جوی (درجه حرارت محیط) ترانسفورماتورهای دیگر را تحت اضافه بار قرار داد.

پس از انتخاب مناسب بایستی محدودیتهای ناشی از ظرفیت را مورد توجه قرار داده و در صورتیکه این محدودیتها، از قبیل حداقل وزن قابل حمل و... باعث بروز اشکالاتی باشد در ظرفیت و یا نوع ترانسفورماتور (سه فاز یا مجموعه تک فاز) تجدید نظر نمود.

۲-۸-۳- *سطوح ولتاژ و نسبت تبدیل:*

این پارامتر بستگی به وضعیت پستی که قرار است ترانسفورماتورها برای آن انتخاب شوند دارد.

در مورد پستهای با دو سطح ولتاژ مساله ای وجود ندارد ولی در مورد پستهای با سه سطح ولتاژ بایستی بررسیهای مناسب هنگام طرح پست صورت گرفته باشد که آیا از

ترانسفورماتورهای سه سیم پیچ استفاده شود یا از دو ترانسفورماتور با نسبت تبدیل های مختلف.

بعنوان مثال در یک پست ۴۰۰/۲۳۰/۶۳ کیلوولت هم می‌توان از ترانسفورماتورهای سه سیم پیچی که سیم پیچ سوم آن بصورت مثلث بسته شده استفاده نمودو هم می‌توان از دو دسته ترانسفورماتورهای دو سیم پیچی با نسبت تبدیل ۴۰۰/۲۳۰ و ۲۳۰/۶۳ استفاده نمود. انتخاب مناسب یکی از دو حالت فوق بایستی بر مبنای قدرتهای مورد نیاز در هر سطح ولتاژ، محاسبات اقتصادی ، میزان استقلال در تغذیه هر یک از شبکه های ثانویه (۲۳۰ و ۶۳ کیلو ولت)، نوع ترانسفورماتور و رابطه برداری بین شبکه ها صورت گیرد.

۳-۸-۳- سیستم خنک کننده [1]:

بطور کلی حرارت حاصله از ترانسفورماتورها بایستی بنحوی به محیط خارج انتقال داده شود. انواع سیستم های خنک کننده متداول به شرح زیر می‌باشد:

الف-
ONAN (Oil Natural Air Natural)
یعنی اینکه روغن ترانسفورماتور بطور طبیعی داخل سیستم رادیاتورها گردش کرده و توسط هوای محیط خنک می‌شود.

ب-
ONAF (Oil Natural Air Forced)
در این حالت روغن بصورت طبیعی داخل رادیاتورها به گردش در آمده توسط فن های الکتریکی حرارت خود رابه هوای مجاور منتقل می‌نماید.

ج-
OFAF (Oil Forced Air Forced)
در این حالت روغن توسط پمپ ها در رادیاتورها بگردش درآمده وتوسط فن‌های الکتریکی حرارت خود را به محیط مجاور منتقل می‌نماید.

د- سیستم های خنک کننده با استفاده از آب [2]: معمولا در ایران کمتر از سیستم های خنک کننده آبی استفاده می‌شود مگر در موارد بخصوص (در نیروگاهها) و از سه سیستم دیگر بسته به قدرت و ظرفیت ترانسفورماتور می‌توان از یک ، دو و یا سه حالت استفاده نمود.

بعنوان مثال اگر بخواهیم ترانسفورماتوری را در سطح ولتاژ ۲۳۰/۶۳ کیلو ولت با ظرفیت ۱۶۰ مگا ولت‌آمپر با سیستم خنک کنندگی ONAN داشته باشیم عملی بوده ولی بدیهی است اقتصادی نمی‌باشدزیرا بایستی تانک و حجم روغن ترانسفورماتور بقدری بزرگ انتخاب شود که قادر باشد تمامی حرارت حاصله از تلفات در بار کامل (۱۶۰مگا ولت

1.Cooling Systems
2.Water Cooled

آمپر) را بطور طبیعی به محیط مجاور انتقال دهد.

ولی می‌توان همین ترانسفورماتور را طوری طرح نمود که حرارت حاصله از تلفات مربوط به درصدی از قدرت خود مثلا(۶۰٪)را بصورت طبیعی و حرارت حاصله از تلفات مربوط به بار نامی‌رابا استفاده از مجموعه پنکه و پمپ به محیط مجاور انتقال دهد و در این صورت است که طرح اقتصادی می‌شود.

چنین ترانسفورماتوری باسیستم خنک کنندگی ONAN/ONAF/OFAF مشخص می‌شود و درصورتیکه ترانسفورماتوری دارای پمپ نباشد و فقط از پنکه در یک یا دو مرحله استفاده نماید به ترتیب به شکل زیر می‌شود.

ONAN/ONAF

ONAN/ONAF 1/ONAF 2

نکته مهم دیگری که باید بدان توجه داشت این است که سطح ولتاژ اولیه و ثانویه تعیین کننده حداقل حجم لازم برای تانک اصلی ،به لحاظ لزوم رعایت فواصل خاصی بین بوشینگها و سایر متعلقات از یکدیگر، می‌باشد. بنابر این حداقل حجم درترانسفورماتورهای با قدرت کم ممکن است طوری باشد که احتیاج به هر دو مرحله و یا حتی یک مرحله از سیستم خنک کننده هم نباشد. بنابر این در چنین مواردی ترانسفورماتورها با سیستم خنک کنندگی ONAN و ONAN/ONAF ساخته می‌شوند.

۴-۸-۳- *نوع ترانسفورماتور از نظر کوپلاژ سیم پیچ ها:*

معمولا ترانسفورماتورها از این نظر بر دو نوع هستند.

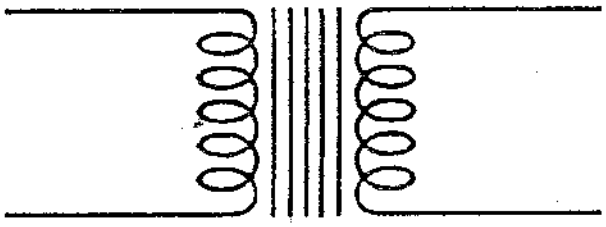
الف-ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ های جداگانه[1]:که به ترانسفورماتور معمولی معروف هستند و در واقع هیچگونه کوپلاژ الکتریکی بین سیم پیچهای آن وجود ندارد وفقط ارتباط آنها از نوع کوپلاژ مغناطیسی می‌باشد.

در این ترانسفورماتورها قدرت نامی‌ترانسفورماتور معادل قدرت هر یک از سیم پیچ هامی باشد(شکل ۱۲-۳).

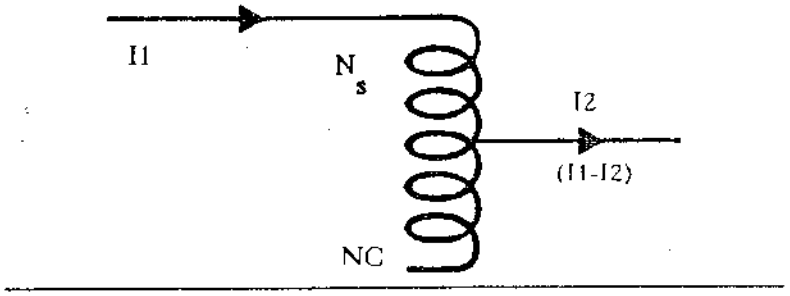
ب- اتو ترانسفورماتورها: ترانسفورماتورهایی هستند که کوپلاژ الکتریکی نیز بین اولیه وثانویه وجود دارد.

---

1. Separate Winding Transformer



شکل (۱۲-۳): شمای ترانسفورماتور با سیم پیچی جداگانه



شکل (۱۳-۳): شمای اتو ترانسفورماتور

در این نوع ترانسفورماتورها شکل (۱۳-۳) قسمتی ازسیم پیچ در اولیه و ثانویه مشترک می‌باشد که به سیم پیچی مشترک [1] $N_c=N_2$ معروف است وقسمتی از سیم پیچ که در آن جریان اولیه‌وجود دارد و به سیم پیچی سری [2] N_s معروف است.

$$N_1=N_s+N_c \qquad (۳-۳۱)$$

در سیم پیچی سری جریان اولیه و در سیم مشترک تفاوت جریان ثانویه و اولیه جاری خواهد شد.

$$I_c=I_1-I_2 \qquad (۳-۳۲)$$

1. Common Winding 2. Series Winding

بنا براین در ترانسفورماتوربا سیم پیچی جدارابطه زیر برقرار است.

$$S_{eq}=\frac{S_p+S_s}{2}=S_p=S_s \qquad (۳-۳۳)$$

و در اتو ترانسفورماتور

$$S_{eq}=\frac{S_c+S_s}{2}=\frac{N_1-N_2}{N_1}\times S_p \qquad (۳-۳۴)$$

بعبارت دیگر $(\frac{V_p-V_s}{V_p})\times$ ظرفیت معادل سیم پیچی جدا= ظرفیت واقعی

اگر $X=\frac{V_p}{V_s}$ فرض شود(در واقع نسبت تبدیل)،

$(1-\frac{1}{X})$ظرفیت معادل سیم پیچی جدا= ظرفیت واقعی اتو ترانسفورماتور

بنابر این بسته به میزان X می‌توان اتو ترانسفورماتور را نسبت به ترانسفورماتورهای معادل با سیم پیچی جداکوچکتر ساخت و این تفاوت وقتی قابل ملاحظه می‌باشدکه X خیلی کوچک باشد(نزدیک به ۱) ،لذا چنانچه نسبت تبدیل در اتو ترانسفورماتور به عدد یک نزدیک باشد اقتصادی است که اتو ترانسفورماتور باشد.

با توضیحات فوق واضح است که اگر نسبت تبدیل به عدد ۱ نزدیک بود بهتر است از اتو ترانسفورماتور در غیر اینصورت از ترانسفورماتورهای با سیم پیچهای جداگانه استفاده شود.

در ایران معمولا ترانسفورماتورهای ۴۰۰/۲۳۰ کیلو ولت از نوع اتو ترانسفورماتور می‌باشند بخصوص اینکه در ترانسفورماتورها سیم پیچ سوم هم استفاده می‌شود.

برای روشن شدن مطلب دو ترانسفورماتور ۴۰۰/۲۳۰ و ۱۳۲/۲۰ کیلو ولت را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم در حالت اول ولتاژ نزدیک بهم و در نتیجه نسبت X نزدیک به یک است در اینصورت عدد داخل پرانتز $(1-\frac{1}{X})$ برای اتو ترانسفورماتور کوچک شده و حجم قدرت اتو ترانس نسبت به ترانسفورماتور با سیم پیچی جداگانه کوچکتر می‌گردد. در حالیکه در حالت دوم عدد X خیلی بزرگ است و تفاوت زیادی بین SP , S_{eq} نخواهد بود. و در نتیجه از ترانسفورماتور با سیم پیچی جداگانه استفاده می‌شود.

۵-۸-۳- *افزایش درجه حرارت سیم پیچی و روغن نسبت به محیط:*

همانطوری که می‌دانیم تلفات ترانسفورماتور باعث گرم شدن سیم پیچی و روغن آن شده و بنابر این لازم است که سیستم خنک کننده و طرح ترانسفورماتوربه نحوی باشد که درجه حرارتهای فوق تحت شرایط کار عادی ترانسفورماتور از حد مشخص تجاوز ننمایند.

استانداردIEC 76 حدود مجاز افزایش درجه حرارتهای فوق را نسبت به محیط با شرایط استاندارد(درجه حرارت حداکثر ۴۰ درجه و متوسط ماکزیمم ۳۰ درجه) بشرح زیر مشخص نموده است(برای ترانسفورماتورهای روغنی).

قسمت	حداکثر افزایش درجه حرارت نسبت به محیط استاندارد
سیم پیچی[1]	۶۵ درجه سانتیگراد
روغن بالا[2]	۶۰ درجه سانتیگراد

اما اگر ترانسفورماتور بخواهد در محیطی مورد استفاده قرارگیرد که شرایط محیطی آن از شرایط استاندارد متفاوت می‌باشد بایستی حدود فوق را با شرح زیر تغییر داد:

ابتدا مشخصات شرایط استاندارد بشرح زیر عنوان می‌گردد.

۴۰ درجه سانتیگراد ماکزیمم درجه حرارت[3]

۲۵ درجه سانتیگراد حداقل درجه حرارت[4]

۳۰ درجه سانتیگراد ماکزیمم متوسط روزانه[5]

۱۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا[6]

کاهش مقادیر افزایش درجه حرارت سیم پیچی و روغن برای محیطهای با شرایط غیر نرمال طبق استانداردIEC 76-2 بقرار زیر است:

الف -انحراف درجه حرارتهای ماکزیمم 40° و ماکزیمم متوسط 30° روزانه از حدود نرمال :اگر این انحراف درمورد هر یک از دو درجه حرارت فوق کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد برای ترانسفورماتورهای بزرگتر ازMVA ۱۰، به میزان انحراف مقادیر حدود مجاز کاهش داده می‌شود.

---

1. Winding
2. Top Oil
3. Max. Temperature
4. Min. Temperature
5. Max. daily Average
6. Height Above Sea Level

ولی برای ترانسفورماتورهای کوچکتر از MVA ۱۰ اگر میزان انحراف کمتر از ۵ درجه باشد معادل ۵ درجه درجه سانتیگراد و اگر بیشتر از ۵ درجه باشد معادل ۱۰ درجه کاهش داده می‌شوند.

ب-انحراف ارتفاع محل نصب از شرایط نرمال: برای هر ۵۰۰ مترافزایش ۲٪ در خصوص ترانسفورماتورهای ONAN.و برای هر ۵۰۰ متر ۳٪در خصوص ترانسفورماتورهای باسیستم ONAF یا OFAFنسبت به حالت نرمال تغییر می کند.

مثال ۴-۳:فرض کنید بخواهیم ترانسفورماتوری را برای شهر اهواز انتخاب نماییم که درجه حرارت ماکزیمم آن ۵۰ و متوسط ماکزیمم روزانه آن ۲۵ درجه باشد و ارتفاع از سطح دریا نیز کمتر از ۱۰۰۰ متر است. حدود مجاز تغییرات درجه حرارت سیم پیچی و روغن چقدر انتخاب می‌گردد. همانطوری که مشخص است شرایط محیطی اهواز به ترتیب نسبت به شرایط نرمال ۱۰ درجه و ۵ درجه اختلاف دارند. به این ترتیب منظور بیشترین اختلاف که ۱۰ درجه است را از حدود مجاز تعیین شده در استاندارد کم می‌کنیم:

^{o}۵۵=۱۰-۶۵= حد مجاز افزایش درجه حرارت سیم پیچی

^{o}۵۰=۱۰-۶۰= حد مجاز افزایش درجه حرارت روغن

چون ارتفاع محل از شرایط نرمال انحرافی ندارد تصحیح در آن مورد لازم نیست.

مثال ۵-۳:اگر بخواهیم ترانسفورماتوری را برای شهر فیروزکوه با ارتفاع ۱۹۲۲ متر از سطح دریا (شرایط‌محیطی ^{o}۴۰ و ^{o}۳۰) انتخاب کنیم حدود مجاز افزایش درجه حرارت را محاسبه کنید:

انحراف ارتفاع محل از شرایط نرمال ۱۰۰۰=۱۰۰۰-۲۰۰۰

به ازاء هر ۵۰۰ متر ۳٪ کم می‌شود یعنی ۶٪(برای ترانس از نوع ONAF یا OFAF).

پس درجه ۴=۶٪×۶۵، لذا;

درجه ۶۱=حد مجاز افزایش درجه حرارت روغن

یعنی ۵۶=۴-۶۰، ۶۱=۴-۶۵ و

درجه ۵۶= حد مجاز افزایش درجه حرارت روغن

یعنی ۵۶=۴-۶۰

۶-۸-۳- نوع نصب:

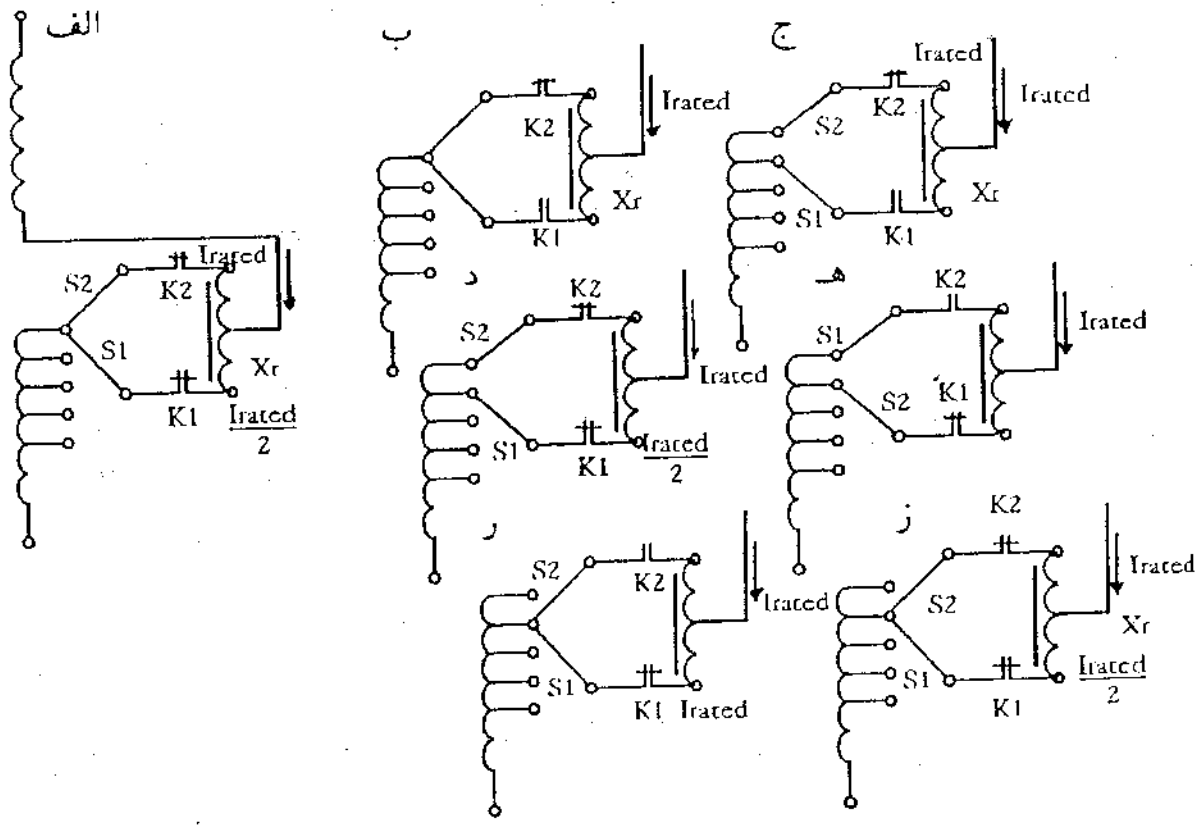
نوع نصب با توجه به توضیحاتی که در بخش انواع پستها داده شد بسته به نوع پست

بسادگی انتخاب می‌شود معمولا در ایران ترانسفورماتورهای فشار قوی وبا قدرتهای بالا از نوع بیرونی[1] بوده و فقط ترانسفورماتورهای توزیع ۲۰ کیلو ولت به پایین ممکن است از نوع داخلی[2] باشند.

۷-۸-۳- تپ چنجر:

عمل تغییر دهنده تعداد سیم پیچی (تپ چنجر[3]) درحقیقت افزایش یا کاهش دورهای موثرسیم‌پیچ ترانسفورماتور می‌باشد و استفاده از تاپ چنجر(یا رگولاتور ولتاژ) معمول ترین روش کنترل ولتاژ در ترانسفورماتورهای با قدرت زیاد می‌باشد.و امروزه از طرح های مختلف تاپ چنجرهایی‌که شامل راکتور و یا مقاومت محدودکننده جریان می‌باشند استفاده می‌گردد، که بطورمختصر آنها را معرفی و با هم مقایسه می‌نماییم.

الف-تاپ چنجر با راکتور:مطابق شکل (۱۴-۳) می‌باشد که در آنها S_1 وS_2سوئیچ ها و K_1



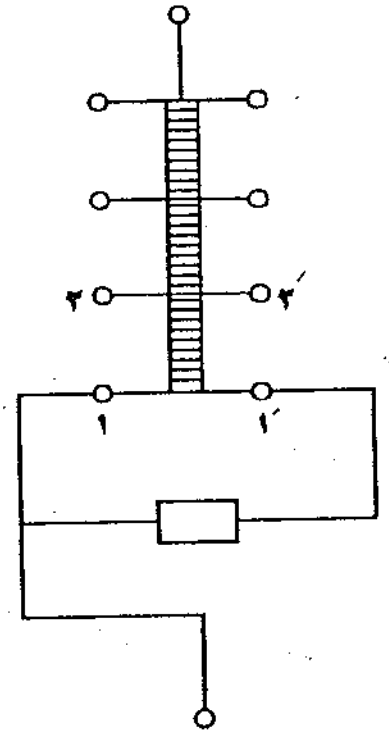
شکل (۱۴-۳): مدار یک تاپ چنجر با راکتور

1. Outdoor 2. Indoor 3. Tap Changer

K_2 کنتاکتورها و X علامت راکتور می‌باشد.

ب-تاپ چنجر مقاومتی: برای جلوگیری از اشکالاتی که در راکتورهای کوچک در تانک ترانس اصلی بوجود می‌آید از تاپ چنجرهای مقاومتی که دارای سرعت زیاد و مجهز به محدود کننده جریان اتصال کوتاه یا قوس الکتریکی می‌باشند، استفاده می‌شود، ضمناً کلیدهای انشعاب در دو محفظه جداگانه و یا گاهی اوقات در یک محفظه قرار می‌گیرند که درنوع تک محفظه از کلید تنظیم گردان بدین منظور استفاده می‌شود.

در شکل (۱۵-۳) تاپ چنجر را نشان می‌دهد که محدود سازنده جریان اتصال کوتاه درآن فقط یک مقاومت است.

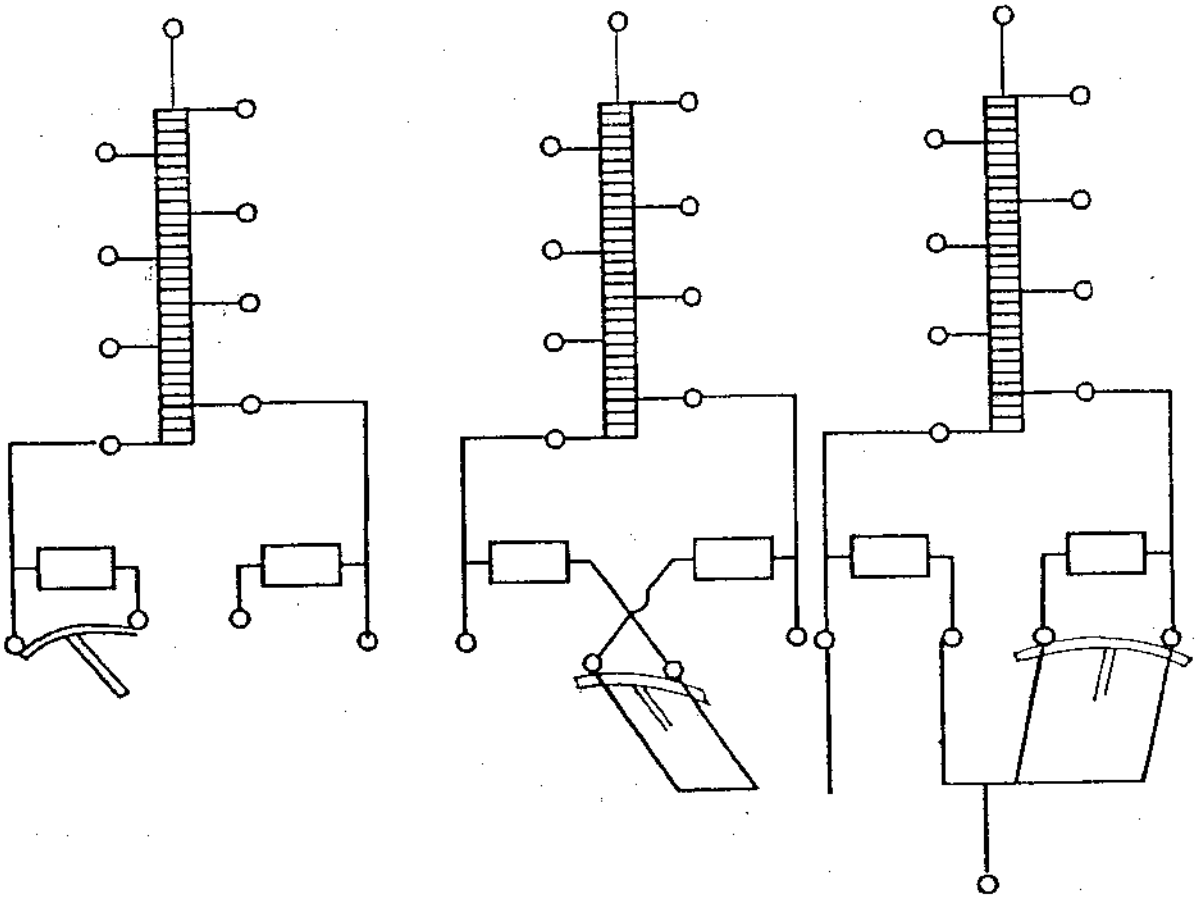


شکل (۱۵-۳): مدار یک تاپ چنجر مقاومتی

وکار آن بدین صورت است که وقتی بخواهند از ۱'-۱ به ۲'-۲ منتقل شوند ابتدا ۱ را روی ۲ می‌برندو در این فاصله مدار از طریق ۱' و مقاومت وصل است و وقتی ۱ بر ۲ منطبق شود، وضعیت ۱' به ۲' تغییر می‌یابد که این عمل از طریق کلید گردان به راحتی انجام می‌پذیرد و

عمل اتصال را در زمان انجام این عمل حفظ می‌کند که این مدل به تاپ چنجر نوع پرچمی [1] معروف است.

و در شکلهای (الف ، ب و ج ۱۶-۳)از نوعی هستند که مقاومتهای محدودکننده جریان کموتاسیون و کلیدهای مدار بار، جدا می‌باشند که به مدلّ بیرقی معروفند.



(الف) (ب) (ج)

شکل (۱۶-۳): تاپ چنجر مقاومتی از نوع بیرقی

مقاومتهای محدودکننده جریان کموتاسیون ،از سیم های لخت نیکل کرم ساخته می شوند و ابعاد آنهابر حسب جریان و ولتاژی که به آنها اعمال می‌شود تعیین می‌گردند.

1.Flag Tap Changer

۸-۸-۳- فرق بین مدارهای ترتیب یافته با راکتانس و مقاومت:

مزایا ومعایب تاپ چنجر رآکتوری نسبت به مقاومتی بقرار زیر است:

الف- مزایا: به کمک راکتانس می‌توان مقدار جریان را بطور نامعین زیاد کردو بدون هیچگونه شتابی از یک وضعیت به وضعیت دیگر گذر کرد.
- در آن واحد می‌توان از آن بعنوان تقسیم کننده ولتاژ نیز استفاده نمود.

ب- معایب: راکتانس بین جریان قطع شده، و ولتاژ انحراف ایجاد می‌کند و نحوه قطع شدن در آن بسیار دشوارتر از کموتاتورهای مقاومتی می‌باشد.
- داشتن حجم زیاد و سنگینی وزن آن باعث می‌شود جای زیادی از مخزن ترانس را اشغال کند و این باعث افزایش آهن و روغن در ساختن ترانس می‌شود. در وضعیت کار یا سرویس ،راکتانس یک تلفات اضافی علاوه بر تلفات خود ترانس ایجاد می‌کند.

در صورتی که مقاومتها از نقطه نظر ابعاد اقتصادی بوده و فقط زمان عبور جریان در آنها بسیار کوتاه و سرعت گذراز یک کنتاکت به کنتاکت دیگر باید فوق العاده سریع باشد. و عمل قطع به واسطه اینکه جریان را با ولتاژ می‌شود هم فاز کرد آسان می‌باشدو تلفاتی ندارد.

می‌دانیم که بوسیله تاپ چنجر می‌توان نسبت تبدیل ولتاژ ترانس را تغییر داد مثلا اگر توسط یک ترانس قدرت، قدرت خروجی یک ژنراتور به شبکه داده می‌شود، در مواقعی که شبکه افت ولتاژ دارد می‌توان با انتخاب ولتاژ ثانویه بیشتری افت در شبکه را خنثی نمود.همچنین در مواردی که شبکه افزایش ولتاژ دارد میتوان باکاهش تعداد دور ثانویه بوسیله تاپ چنجر افزایش ولتاژ ثانویه را جبران نمود این عمل هم‌دستی و هم بوسیله موتور انجام می‌شود.

عملی که در داخل ترانس انجام می‌شود این است که هر بار تغییر تپ، ترکیب خاصی از سر سیمهایی که از قسمتهای مختلف سیم پیچی ثانویه ترانس به تپ چنجر برده شده اند بهم وصل می‌شوند . لذا تعداد دور سیمهای ثانویه که در مدار قرار می‌گیرند عوض می‌شود و نسبت تبدیل تغییر می‌کند .به عبارت دیگر با ولتاژ ثابت اولیه، ولتاژ ثانویه عوض می‌شود. در روی پلاک مشخصات ترانسها،ترتیب تعویض تپ ها و شماره ترمینالهایی که در هر انتخاب ولتاژ جدید باید بهم وصل شوند و شماره وضعیت تپ چنجر داده می‌شود .در ترانسهای قدرت معمولی ،تپ چنجر روی طرف ولتاژ بالاعمل می‌کند، بخاطر اینکه در طرف ولتاژ بالا ولتاژ در هر دور سیم پیچی کمتر از طرف پایین است و جریان نیز از طرف فشارپایین ،کمتر است . لذا

مسئله تعویض تپ، آسانتر وبی اشکالتر از نظر جرقه و قوس خواهد بود. البته در ترانسهای مخصوص ممکن است به شکل دیگری باشد، مثلا در ترانس نیروگاه نکاءکه ۴۰۰/۲۳۰/۲۰ کیلو ولت است در هر سه طرف فشار بالا، فشار متوسط و فشار پایین از تپ چنجر استفاده شده است که البته دارای تکنیک بالاتری می‌باشد.

۹-۸-۳- *انواع تپ چنجرها به لحاظ قطع و وصل زیر بار:*

تقسیم بندی تپ چنجرها به لحاظ قطع و وصل عبارتند از:

الف - دستگاه تعویض‌انشعاب یا تپ چنجر در زیربار[1]:دراین‌نوع تپ چنجرها می‌توان تپ را زیر بار عوض کرد. در این نوع خود به تکنیک بالایی احتیاج دارد و ترانس ۴۰۰/۲۳۰/۲۰ کیلو ولت نیروگاه نکاء از نوع فوق می‌باشد.بطور کلی در مواقعی استفاده می‌شود که مصرف کننده هایی که از طریق ترانس تغذیه می‌شوند حساس بوده و قطع برق آنها خساراتی به دنبال داشته باشد .مثلا ترانس پست ۲۳۰/۶۳ کیلو ولت نیروگاه ری که پالایشگاه تهران را تغذیه می‌کند، زیرا به خاطر حساس بودن پالایشگاه تپ چنجر آن زیر بار عوض می‌شود.

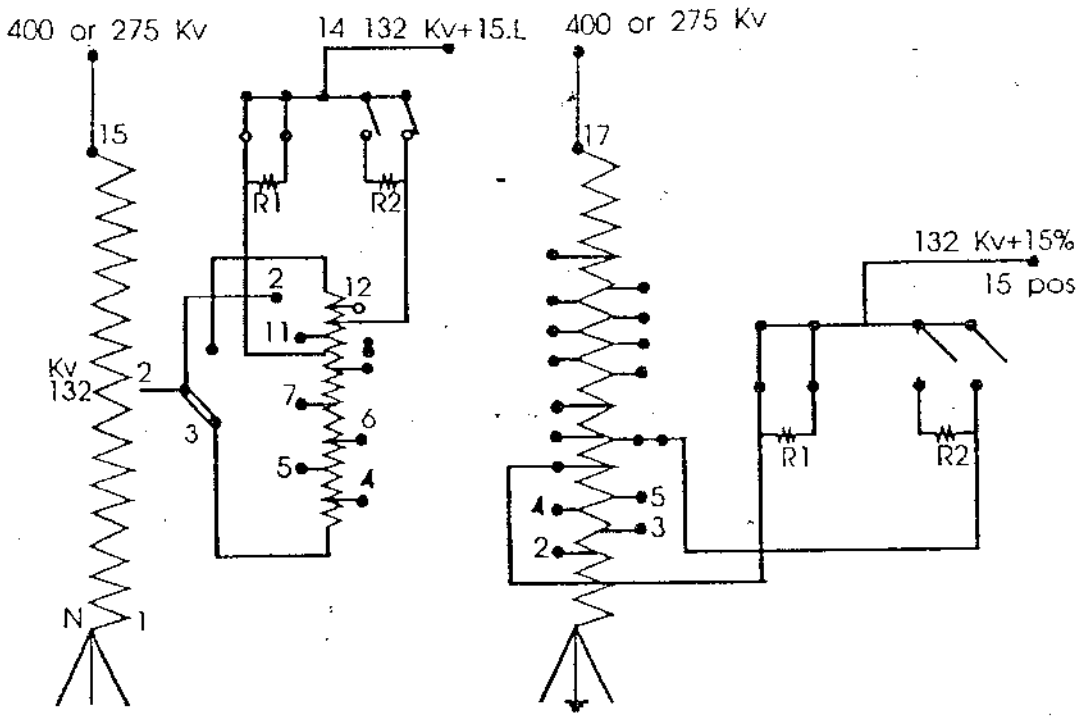
در ترانسهای بزرگ قدرت،تپ چنجر از نوع زیر بار غالبا با انشعاب تنظیم و کلیدهای تقسیم جریان (دیورتورها) بطور مجزا ساخته می‌شوند. دستگاه‌های تنظیم انشعاب عموما بصورت دایره بوده گاهی از نوع خطی یا هلالی هستند و کلیدهای تقسیم جریان هم مجهز به اتصالاتی هستند که پشت سر هم بطور سریع عمل می‌کنند و معمولا از چهار واحد قطع و وصل تشکیل شده اند.

در شکل(۱۷-۳ الف و ب) در زیر دیاگرام سیستم سه فاز ۴۰۰/۱۳۰ کیلو ولت و ۲۷۵/۱۳۲ کیلو ولت اتوترانسفورماتوری را با تپ چنجر ۱۳۲ کیلو ولت و با سرعت سریع و مجهز به مقاومت را نشان می‌دهد که در آن از انشعاباتی که دارای سر اتصال زمین نیز هستند استفاده شده است که این نوع اتصالات در اتو ترانسفورماتورهای ۴۰۰/۱۳۲ کیلو ولت به فراوانی مورد استفاده قرار گرفته اند.

تاثیر این انشعابات اینست که ضمن اینکه باعث تغییر همزمان دور های اولیه و ثانویه ترانس می‌شوند باعث تغییر در اندوکسیون مغناطیسی هسته هم می‌گردند و از طرفی عیب شان هم این است که مشکلاتی بصورت ولتاژ ثالثیه متغیر بوجود می‌آورند که آنرا از طریق یک افزاینده ثالثیه که بوسیله سیم پیچی انشعابی تغذیه می‌شود بر طرف می‌سازند.

---

1. On Load



شکل (۱۷-۳): دیاگرام تاپ چنجر اتو ترانسفورماتور مقاومتی

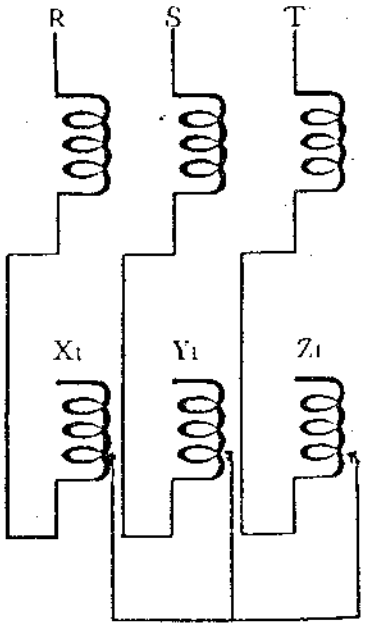
دستگاه تعویض انشعاب (تپ چنجر) در زیر بار را باید طوری طراحی کرد که وقتی به سیستمهای ولتاژ زیاد وصل می‌شوند بتوانند با ولتاژهایی که بصورت موج ضربه ای ظاهر می شوند مقابله کنند. سابقا دستگاههای تعویض انشعاب ولتاژ زیاد را با قرار دادن مقاومتهای غیر خطی در دو سر هر یک از انشعابات یا روی کنتاکتهای یک سری از انشعابات مجهز می‌کردند و مشخصه مهم این بود که در اثر افزایش ولتاژ مقاومت آنها سریعا کاهش می‌یافت بطور کلی مشخصاتی که تپ چنجر زیر بار را معلوم و معین می‌کندشامل:

- نوع دستگاه (از نظر یک فاز،سه فاز،یا صفر)
- جریان نامی که از آن می گذرد
- تعداد پله ها (تپ ها)، نوع کار سلکتور فرعی
- ولتاژ عایق بندی نسبت به زمین
- ولتاژ هر پله (تپ)
- ولتاژ عایق بندی میان اجزاء فازهای مختلف

- ولتاژ عایق بندی میان کنتاکتهای مجاور هم سلکتورو سلکتور فرعی
- ولتاژ عایق بندی کنتاکتهای کموتاتور در حالیکه باز است
- جریان اضافی مورد قبول در اتصال کوتاه
- تعویض کننده انشعاب (تپ چنجر) باید اضافه بار ترانسفورماتوری را که بر آن سوار است تحمل کند و درضمن عمل کردن جریانها تا ۱/۱ و گاهی اوقات تا ۱/۳ برابر جریان نامی را بتواند عبور دهد
- تپ چنجر باید همیشه به وسایل حفاظتی بخاطر امکان بوجود آمدن جریانهای زیاد مجهز باشد

ب- نصب تپ چنجر بی بار:در این نوع باید ترانس را بی بار کردو سپس تپ را عوض نمود که ترانس ۲۳۰/۶۳ کیلو ولت پست طرشت از این نوع می‌باشدو از نظر بسته شدن سیم پیچی می توان گفت که در این نوع تنظیم ولتاژ در صورتی که سیم پیچی ترانسفورماتورتنظیم شونده ستاره بسته شود تنظیم در نقطه صفرستاره به شکل(۱۸-۳) خواهد بود.

این روش مورد استفاده کمی دارد و بیشتر در ترانسهای با قدرت کم و متوسط و جاهایی که قطع شدن لحظه بار برای مصرف کننده هابی ضرر باشد به کار می‌رود.



نحوه اتصال درفاز T	ولتاژ تنظیمی	مقدار تنظیمی ولتاژ	نحوه اتصال
W2-W3	+5%	+5%	X1-Y1-Z1
W3-W4	+2.5%		
W4-W5	مقدارنامی	مقدار نامی	X2-Y2-Z2
W5-W6	-2.5%		
W6-W7	-5%	-5%	X3-Y3-Z3

شکل (۱۸-۳): تاپ چنجر بی بار ،چگونگی تنظیم در نقطه صفر ستاره

فصل چهارم

کلیدهای قدرت

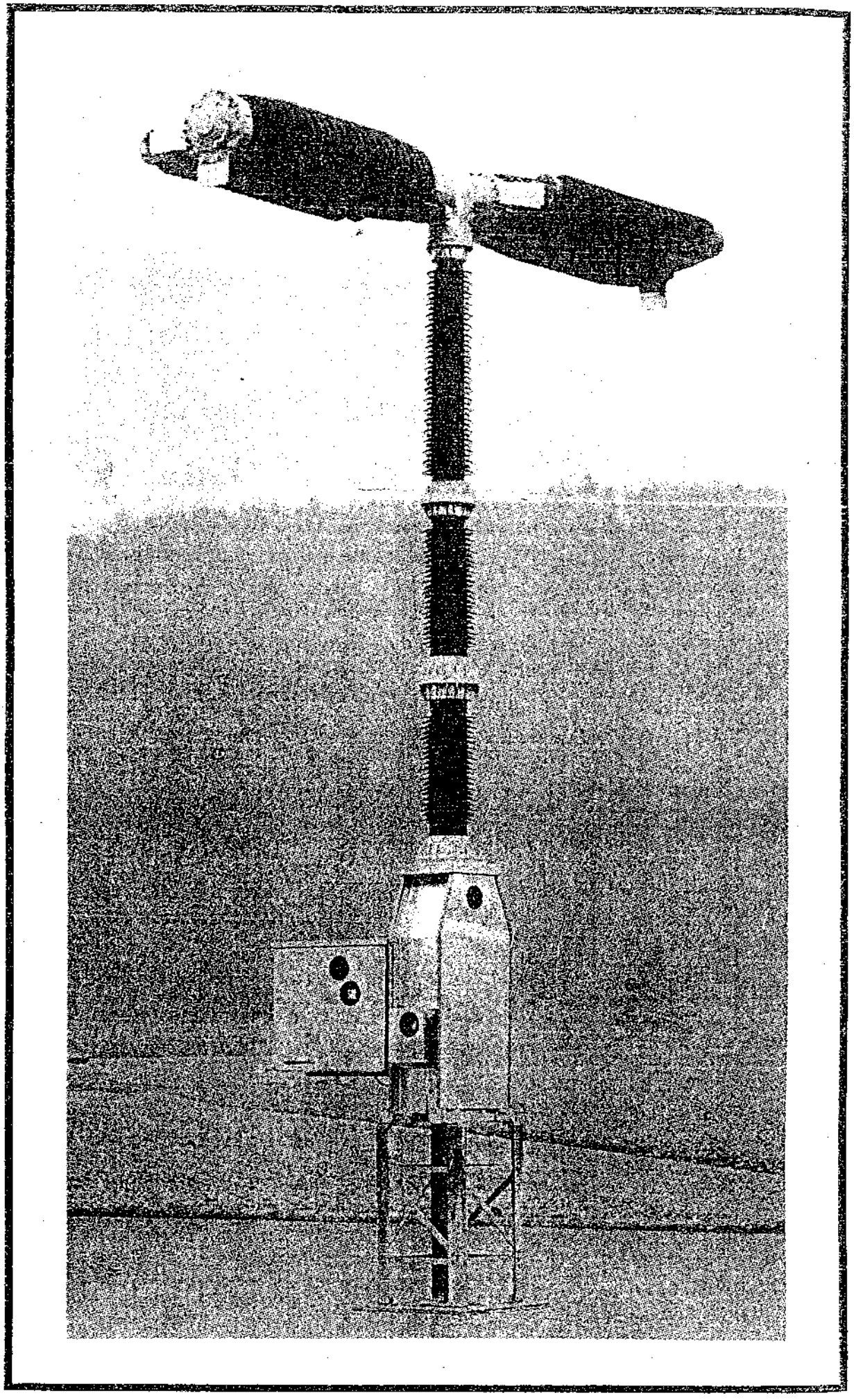
مقدمه

پستهای فشار قوی برای اینکه بتوانند اعمال (قطع در هنگام بروز حادثه ، حفاظت در مقابل رعد وبرق هنگام بوجود آمدن خطاها، برطرف نمودن اثرات ناشی از اضافه ولتاژ ، خنثی سازی اثرات ناشی از حرارت ، و ...) را انجام دهند لازم است برای آنها تجهیزاتی متناسب با ظرفیت و ولتاژ پست طراحی گردد مشروح تجهیزات مورد نیاز عبارتند از:

۱-۴- جرقه مشکل اساسی در کلیدها

مسلماً در خط انتقال انرژی که وظیفه اش رسانیدن انرژی الکتریکی به یک مصرف کننده برق است ، لااقل باید دارای یک قطع کننده باشد .قطع و وصل کردن یک کلید روی خطی که از آن جریان عبور نکند حتی اگر ولتاژ وجود داشته باشد تقریبا بدون مشکل می تواند صورت گیرد. ولی از آنجا که اغلب قطع کردن مدار و گاهی وصل مدار در حالات اضطرار پیش می آید ،یعنی لازم است کلید مربوطه در حالتی که جریان زیاد از خط عبور می‌کند قطع شود که وجود جریان زیاد در خط ،قطع کردن را با مشکلاتی روبرو می‌سازد .وقوع اتصال کوتاه در یک سیستم مهمترین حالت اضطراری است که در بالا بدان اشاره شد .وقتی که بر حسب لزوم کلیدی تحت جریان شروع به باز کردن می‌کند یک اختلاف فشار الکتریکی در دو طرف کلید یعنی روی دو کنتاکت آن بوجود می‌آید .این اختلاف ولتاژ در دو سر کلیدی که در حال باز شدن است و هنوز نتوانسته است فاصله کافی را ایجاد کند، گازهای موجود در این فاصله کم را یونیزه کرده و سعی می‌کنند که متناسب با اختلاف ولتاژ موجود و متناسب با عکس فاصله ایجاد شده جریان درخواستی خط را تامین کند. این جریان که از طریق یونیزاسیون یک گاز برقرار می‌شود بصورت جرقه یا قوس الکتریکی در فاصله‌بین‌دوکنتاکت ظاهر می‌گردد .جرقه ایجاد شده مسائل اصلی کلید را سبب می‌شود .زیرا ذوب شدن سر کنتاکتهای کلید و خسارات دیگر و انفجار کلید و احتمال آتش سوزی از اتفاقاتی است که در اثر جرقه می تواند بوقوع بپیوندد.

در شبکه های جریان متناوب بعلت اینکه جریان در یک خط ممکن است برحسب نوع



مصرف کننده عقب تر از ولتاژ یا همفاز یا جلوتر از ولتاژ باشد ،بوجود آمدن جرقه بهنگام باز شدن کلید در حالت های مذکور تفاوت دارد. فرض می‌کنیم که از خطی جریان صد درصد اهمی عبور می‌کند و کلیدی می‌خواهد این مدار را باز کند چون در این خط جریان با ولتاژ هم فاز است .هنگام باز شدن کلید لحظه ای که ولتاژ هر دو صفر می‌شوند جرقه خاموش شده و بارها ترکیب شده و از بین می‌روند. در این لحظه اگر کنتاکت های کلید فاصله کافی از هم گرفته باشند برگشت مجدد جرقه امکان پذیر نیست .

حال مصرف کننده را اهمی و سلفی فرض می‌کنیم ،در این حالت جریان قدری از ولتاژ عقب تر است .برای این نوع مصرف کننده وقتی که قطبین کلید در حال باز شدن هستند و جریان به صفر می‌رسد جریان قطع و جرقه خاموش می‌شود. ولی چون در این لحظه ولتاژ عکس العمل سلف ناگهان از بین می‌رود و ولتاژ نامی سیستم در دو سر کلید ظاهر می‌گردد این اختلاف فشار الکتریکی از ترمیم مجدد یونهای موجود در این فاصله جلوگیری کرده تا اینکه مجددا جریان از مرز صفر عبور می‌کند و چون محیط بصورت یونیزه باقی مانده است جرقه مجددا ادامه پیدا می‌کند .لذا در این حالت کنتاکتها یا قطبین کلید نسبت بحالت پیش باید فاصله بیشتری بگیرند تا برگشت جرقه امکان پذیر نباشد یعنی زمان خاموش شدن جرقه بیشتر از حالت پیش است .این اشکال در حالتی که از خط جریان خالص سلفی عبور می‌کند حادترین وضعیت را پیدا خواهد کرد. زیرا در این حالت جریان از ولتاژ ۹۰ درجه عقب تر است یعنی وقتیکه مقدار جریان به صفر می‌رسد ولتاژ نامی سیستم مقدار حداکثر خودر را دارد. حال اگر فرض کنیم جریانی که از خط می‌گذرد اهمی و خازنی بوده یعنی جریان منتجه از ولتاژ قدری جلوتر باشد و کلید می خواهد چنین مداری را باز کند. در این حالت وقتی که کنتاکتهای دو سر کلید در حال باز شدن می‌باشد، جریان سینوسی به صفر می‌رسد وجرقه خاموش می‌شود. چون در این لحظه ولتاژ طرف دوم کلید بدلیل وجود خازن در مدار برابر ولتاژ نامی سیستم بوده یا مقدار کمی کمتر و ولتاژ خازن قادر نیست مانند ولتاژ دو سر سلف ناگهان از بین برود لذا ولتاژ دو سر کلید در لحظه قطع جریان تقریبا مساوی بوده در نتیجه یونها ترکیب شده و امکان برگشت جرقه از بین می‌رود. در این حالت نیز واضح است که اگر جریان صد در صد خازنی یعنی ۹۰ درجه از ولتاژ جلوتر باشد قطع آسان تر صورت می‌گیرد .زیرا هنگام صفر شدن جریان ولتاژ نامی مقدار ماکزیمم خود را دارا می‌باشد و همچنین خازن در طرف دیگر کلید همین ولتاژ را دارد لذا پس از صفر شدن جریان ۱/۴ سیکل فرصت لازم است تا اختلاف ولتاژ در دو سر کلید بوجود آید این فاصله، زمان خوبیست تا اینکه بخوبی آثار یونیزاسیون در فاصله بین دو قطب کلید از بین رفته و امکان برگشت جرقه وجود نداشته باشد. نکته ای که قابل تذکر می‌باشد این است که اگر کنتاکتها در این فاصله نتوانند فاصله کافی را ایجاد کنند و نیم سیکل بعدی فرا رسد وجود ولتاژ طرف دوم کلید

که باقیمانده ولتاژ خازن است امکان جرقه را تشدید می‌کند.

بطور کلی اگر مصرف کننده را روی یک خط، در پنج حالت صد در صد سلفی، سلفی و اهمی ،صد در صد اهمی ، اهمی و خازنی و صد در صد خازنی در نظر بگیریم قطع مدار در حالت اول از همه حالات دیگر مشکلتر و در حالت آخر از همه حالات آسانتر است. از بررسی فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که قطع مدار در یک سیستم جریان مستقیم نیز مشکل است زیرا ولتاژ دو سر کلید در طول باز شدن کنتاکتها ایجاد شده و جرقه ادامه دارد.

با توجه به مطالبی که گذشت ملاحظه می‌شود که کلیدهای قطع کننده حتی فیوزها از لحاظ ساختمانی و مواد بکار برده شده باید طوری تدارک دیده شوند که هنگام قطع و وصل مدار بتوانند هر چه زودتر جرقه ایجاد شده را خفه کرده و از تداوم و توسعه آن جلوگیری نمایند.

۲-۴- کلیدهای فشار قوی

همانطور که در مبحث کلیدهای فشار ضعیف گفته شده کلیدها وسیله ارتباط سیستم های مختلف هستند و باعث عبور و یا قطع جریان می‌شوند.کلیدها در حالت بسته (عبور جریان) و یا در حالت باز(قطع جریان) باید دارای مشخصاتی بشرح زیر باشند.

الف- در حالت قطع باید دارای استقامت الکتریکی کافی و مطمئن در محل قطع شدگی باشد.

ب- در حالت وصل باید کلید در مقابل کلیه جریانهائی که امکان عبور آن در مدار هست، حتی جریان اتصال کوتاه، مقاوم و پایدار باشد و این جریانها و اثرات ناشی از آن نباید کوچکترین اختلالی در وضع کلید و هدایت صحیح جریان بوجود آورد.

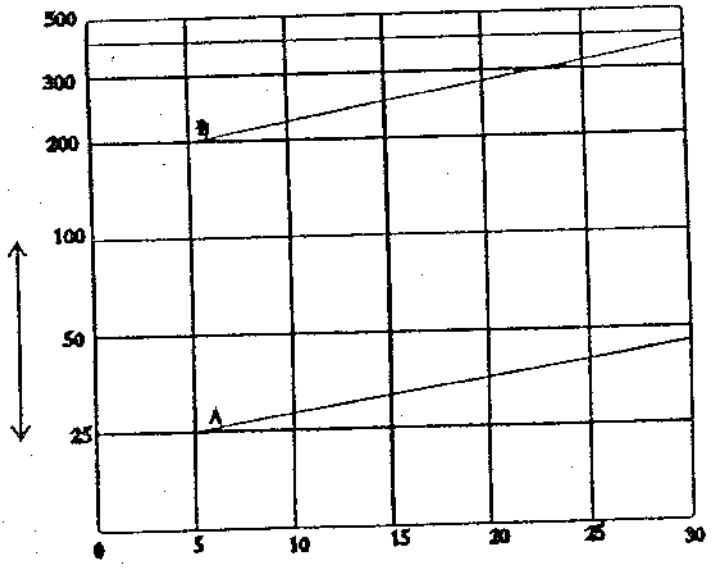
و بدین ترتیب باید کلید فشار قوی در مقابل اثرات دینامیکی و حرارتی جریانها مقاوم باشد.البته برای اینکه ساختمان کلید ساده تر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، اغلب استقامت الکتریکی و دینامیکی و حرارتی کلید را توسط دستگاههای حفاظتی تا حدودی محدود می‌کنند کلیدهای فشار قوی را می‌توان بر حسب وظایفی که به عهده دارند به انواع مختلف زیر تقسیم نمود.

- کلید بدون بار یا سکسیونر
- کلید قابل قطع زیر بار یا سکسیونر قابل قطع زیر بار
- کلید قدرت یا دیژنکتور

۱-۲-۴- کلید بدون بار (سکسیونر):

سکسیونر وسیله قطع و وصل سیستمهائی است که تقریبا بدون بار هستند بعبارت دیگر قطعات و وسایل راکه فقط زیر ولتاژ هستند از شبکه جدا می‌سازد. "تقریبا بدون بار" بآن معنی است که می‌توان به کمک سکسیونر جریانهای خازنی [1] مقره ها، ماشینهاو تاسیسات برقی و کابلهای کوتاه و همینطور جریان ترانسفورماتور ولتاژ را نیز قطع نمود و یا حتی ترانسفورماتورهای کم قدرت را با سکسیونر قطع کرد.

نمودار شکل (۱-۴) حداکثر قدرتی راکه می‌توان توسط سکسیونر مستقیما قطع نمود نشان می‌دهد. در این شکل قدرت نامی ترانسفورماتور قدرت بدون بار ترانسفورماتور می‌باشد. علت بدون جریان نمودن سکسیونر در موقع قطع یا وصل، مجهز نبودن سکسیونر به وسیله جرقه خاموش کن است .لذا بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عمل قطع و وصل سکسیونر باید بدون جرقه ویا با جرقه ناچیزی صورت گیرد. بر حسب این تعریف در صورتیکه از سکسیونر جریان عبور کند ولی در موقع قطع اختلاف پتانسیل بین دو کنتاکت‌آن موجود نباشد قطع کردن سکسیونر مجاز خواهد بود. از آنچه که گفته شد چنین نتیجه می‌شود که سکسیونر یک کلید نیست بلکه یک ارتباط دهنده یا قطع کننده مکانیکی بین سیستمها است.

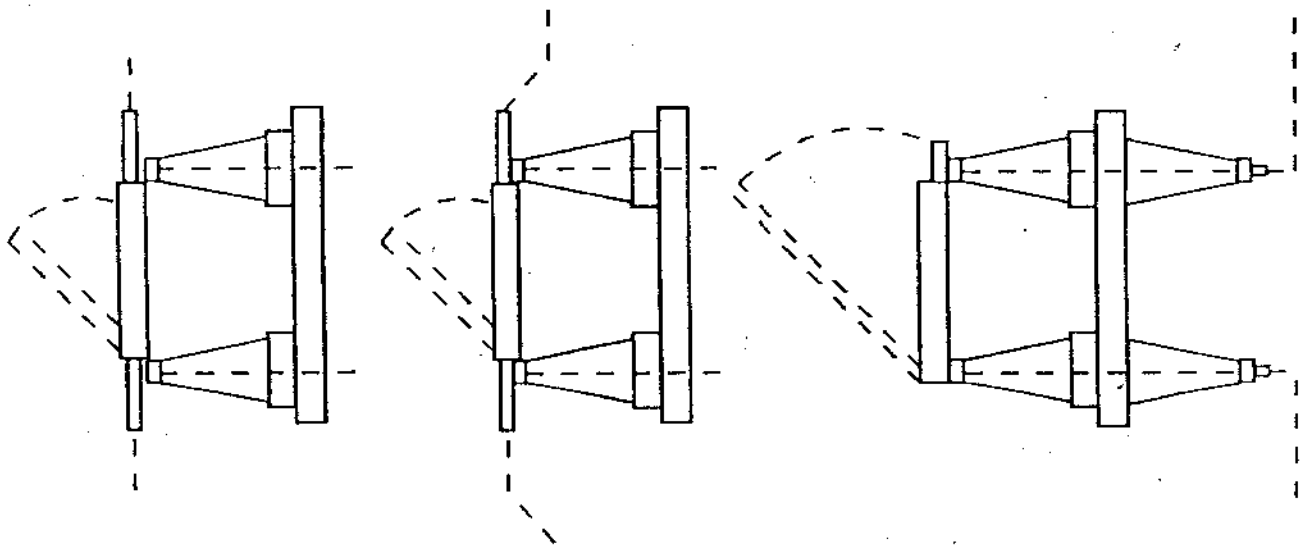


شکل(۱-۴): مشخصه سکسیونر

1. Capacitive

سکسیونر باید در حالت بسته یک ارتباط گالوانیکی محکم و مطمئن در کنتاکت هر قطب بر قرار سازد و مانع افت ولتاژ گردد. لذا باید مقاومت عبور جریان در محدوده سکسیونر کوچک باشد تا حرارتی که در اثر کار مدام در کلید ایجاد می‌شود از حد مجاز تجاوز نکند. این حرارت توسط ضخیم کردن تیغه و بزرگ کردن سطح تماس در کنتاکت و فشار تیغه در کنتاکت دهنده کوچک نگهداشته می‌شود. در ضمن موقع بسته بودن کلید، نیروی دینامیکی شدیدی که در اثر عبور جریان اتصال کوتاه بوجود می‌آید باعث لرزش تیغه یا احتمالا باز شدن آن نگردد. از این جهت در موقع شین کشی و نصب سکسیونر باید دقت کرد تا تیغه سکسیونر در امتداد شین قرار گیرد .بدینوسیله از ایجاد نیروی دینامیکی حوزه الکترو مغناطیسی جریان اتصال کوتاه جلوگیری بعمل آید شکل (۲-۴) چند نمونه از اتصال سکسیونر را نشان می‌دهد.

بهمین منظور تیغه سکسیونر بصورت تسمه یا پروفیل های موازی است تا نیروی الکترو دینامیکی حاصل از جریان اتصال کوتاه باعث فشردن هر چه بیشتر تیغه در محل کنتاکت دهنده باشد و از لرزش آن که باعث کوچک شدن سطح می‌گردد جلوگیری شود.



شکل (۲-۴): چند نمونه از اتصال سکسیونر

همینطور مقره هایی که پایه سکسیونر را تشکیل می‌دهند قادر به تحمل فشار وارده در اثر نیروی کشش الکترو مغناطیسی در فاز مجاور و مربوط به یک فاز در زمان عبور جریان اتصال کوتاه باشند.

۱-۱-۲-۴- موارد استعمال سکسیونر

همانطور که گفته شد اصولا سکسیونرها وسائل ارتباط دهنده مکانیکی و گالوانیکی

قطعات و سیستمهای مختلف می‌باشندو در درجه اول بمنظور حفاظت اشخاص و متصدیان مربوطه در مقابل برق زدگی بکار برده می‌شوند. بدین جهت طوری ساخته می‌شوند که در حالت قطع یا وصل محل قطع شدگی یا چسبندگی بطور واضح و آشکار قابل رویت باشد یعنی عمل قطع شدگی در هوای آزاد انجام گیرد.

از آنجائیکه سکسیونر باعث بستن یا بازکردن مدار الکتریکی نمی شود ، برای باز کردن و بستن هر مدار الکتریکی فشار قوی احتیاج به یک کلید دیگری بنام کلید قدرت خواهیم داشت که قادر است مدار را تحت هر شرایطی باز کند و سکسیونر وسیله ای برای ارتباط کلید قدرت و یا هر قسمت دیگری از شبکه که دارای پتانسیل است‌به شین می‌باشد.طبق قوانین متداول الکتریکی جلوی هر کلید قدرتی از1 کیلو ولت ببالا و یا هر دو طرف در صورتیکه آن خط از دو طرف پتانسیل می‌گیرد، سکسیونر نصب می‌گردد.

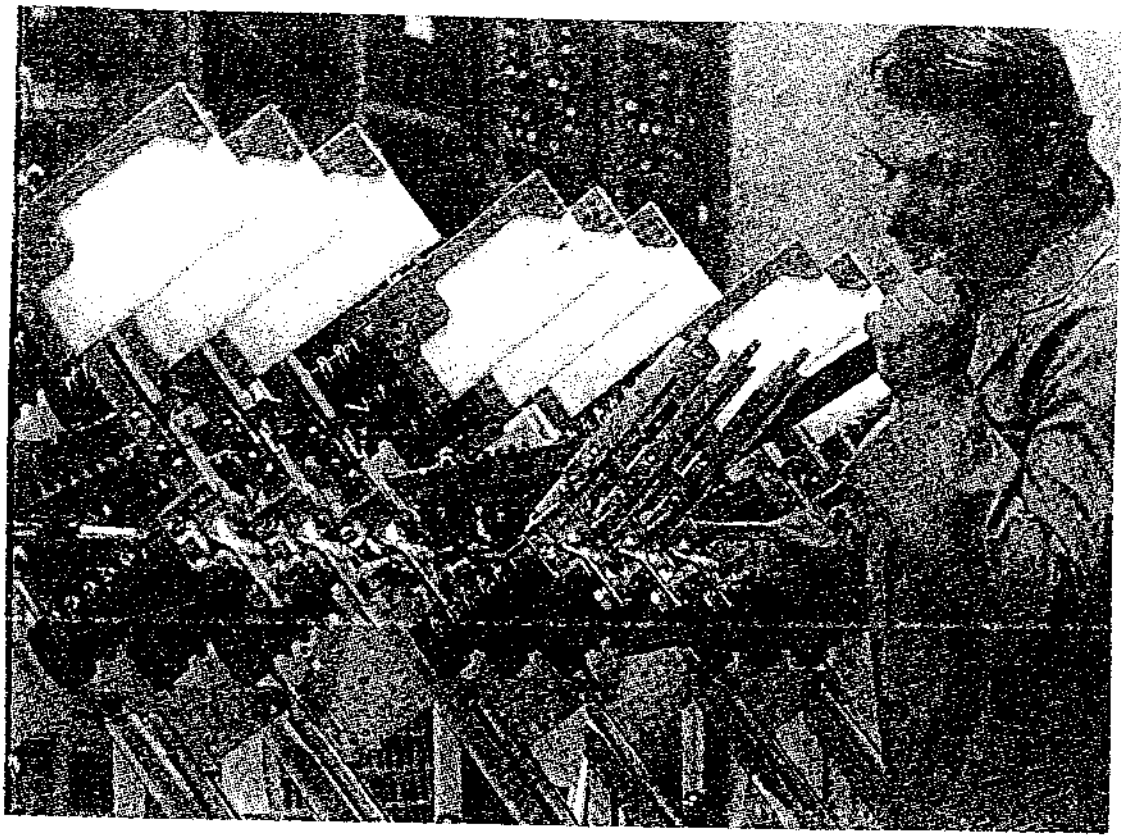
برای جلوگیری از قطع و یا وصل بی موقع و در زیر بار سکسیونر ،معمولا بین سکسیونر و کلید قدرت چفت و بست (مکانیکی یا الکتریکی)بنحوی برقرار می‌شود که با وصل بودن کلید قدرت نتوان سکسیونر را قطع یا وصل نمود.

۲-۱-۲-۴- انواع مختلف سکسیونر

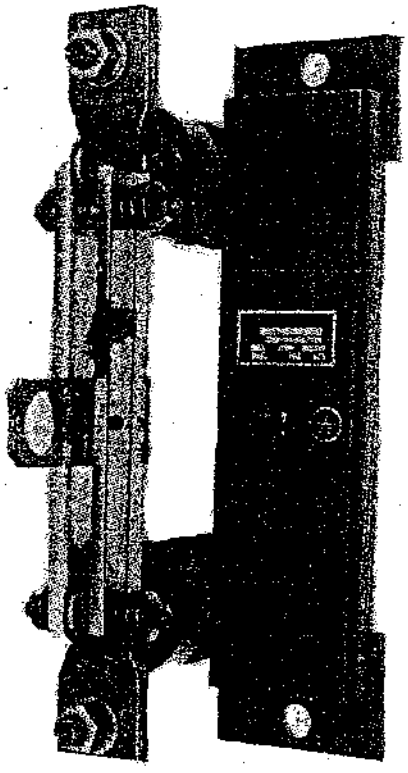
سکسیونر را می‌توان از نظر ساختمانی به انواع مختلف زیر تقسیم نمود.

الف- سکسیونر تیغه ای
ب - سکسیونر کشوئی
ج - سکسیونر دورانی
د - سکسیونر قیچی ای فشارهای زیاد و خیلی زیاد

الف - سکسیونر تیغه ای:این سکسیونرها که برای ولتاژهای تا ۳۰کیلو ولت یک پل و سه پل ساخته می‌شوند دارای تیغه یا تیغه هایی هستند که در ضمن قطع کلید عمود بر سطح افقی (در سطح محور پایه ها) حرکت می‌کنند ودر بالای ایزولاتورها قرار می‌گیرند (شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴) .تیغه ها در جریان های کم بصورت بسته و در جریان های زیاد بصورت پروفیل و از مس ساخته می‌شوندو در هر حال تیغه ها بخاطر جلوگیری از ارتعاشات کلید در موقع عبور جریان اتصال کوتاه بطور دو تائی و موازی نصب می‌شوند. قطع و وصل کلید توسط اهرم و یا موتور و از راه دور و یا کمپرسی با هوای فشرده ایجاد می‌شود.

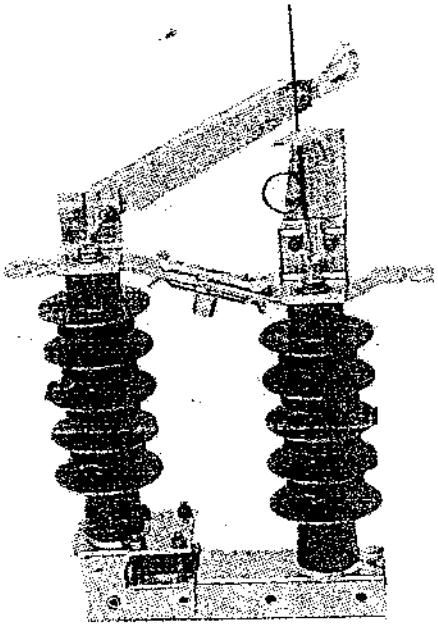


شکل(۳-۴):شمای نیمرخ سکسیونر تیغه ای (عکس از .SPREC. ENERG)



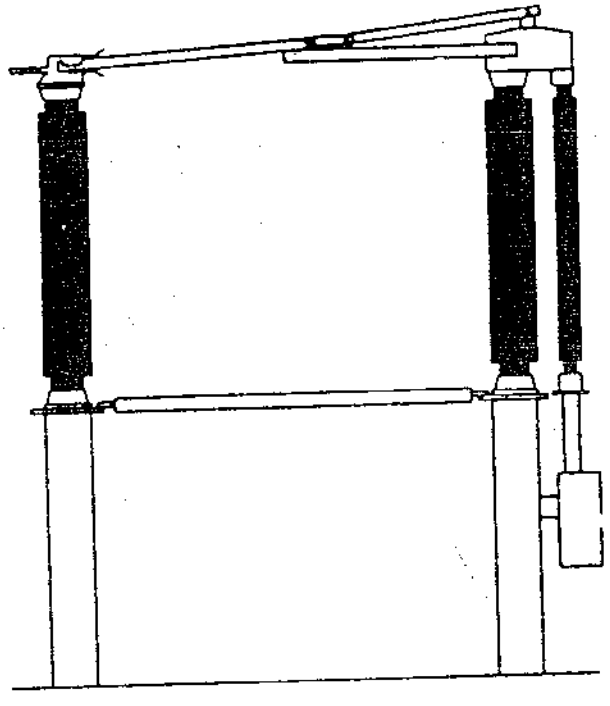
شکل (۴-۴): شمای عمودی سکسیونر تیغه ای داخلی

شکل (۵-۴) سکسیونری را برای مصرف در شبکه و با فرمان قطع موتوری نشان می دهد. جریان نامی این سکسیونر In=630 Amp و ولتاژ نامی آن Un=24 KV است.



شکل (۵-۴):سکسیونر 24 کیلو ولت (عکس از ABB)

سکسیونر تیغه ای برای فشار قوی بصورت یک پل ساخته می‌شود و فرمان قطع و وصل انها عموما کمپرسی با هوای فشرده انجام می‌گیرد. شکل (۶-۴) یک سکسیونر تیغه ای ساخت زیمنس را برای ۲۲۰ کیلو ولت در حالت بسته و قبل از بسته شدن نشان می‌دهد.

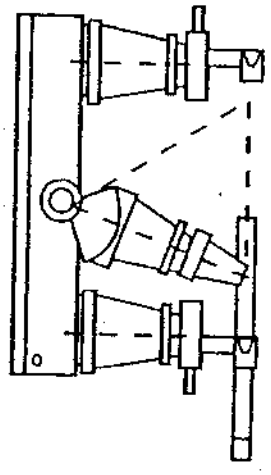


شکل (۶-۴): سکسیونر تیغه ای (عکس از SPEC. ENER.)

ب - سکسیونر کشوئی:سکسیونر کشوئی برای کیوسک یا قفسه هائی که دارای عمق کم هستند بسیار مناسب است.این سکسیونر ها برای ولتاژ تا ۲۰ کیلو ولت مناسب هستند.

در این سکسیونر تیغه متحرک در موقع قطع در امتداد خود(در امتداد سطح افقی یا عمود بر سطح محور پایه ها) حرکت می‌کند و بدین جهت فضای اضافی برای تیغه در حالت قطع از بین می‌رود. شکل(۷-۴) چنین سکسیونری را برای جریان ۴۰۰ آمپر و ولتاژ ۲۰ کیلو ولت نشان می‌دهد. برای جریان های خیلی زیاد که هر قطب از چندین تیغه موازی تشکیل می‌شود سکسیونر کشوئی دارای این مزیت است که می‌توان تیغه ها را بصورت لوله ساخت و در داخل هم جای داد . این طریقه باعث می‌شود که جریان در لوله ها که داخل هم قرار دارند بهتر از تیغه های پهلوی هم تقسیم شود.

ج - سکسیونر دورانی :سکسیونر دورانی که برای ولتاژهای زیاد بخصوص ۶۰کیلو ولت و ۱۱۰ کیلو ولت ساخته می‌شود بجای یک تیغه بلند و یک کنتاکت ثابت دارای دو تیغه متحرک و



شکل (۷-۴): شمای سکسیونر کشوئی

دورانی می‌شود که با برخورد آنها بهم ارتباط الکتریکی برقرار می‌شود. در این نوع کلید حرکت تیغه ها بموازات سطح افقی و یا عمود بر سطح محور پایه ها انجام می‌گیرد و دارای این مزیت است که باکوچک بودن طول بازوی تیغه فاصله هوائی لازم بین دو تیغه بوجود می‌آیدو چون تیغه ها با گردش پایه ها باز وبسته می‌شوند عوامل خارجی مثل فشار باد وبرق و غیره نمی تواند باعث وصل بی موقع آن گردد یا بعلت یخ زدگی کنتاکت در زمستان احتیاج به نیروی

اضافی برای باز شدن آن ها نیست.

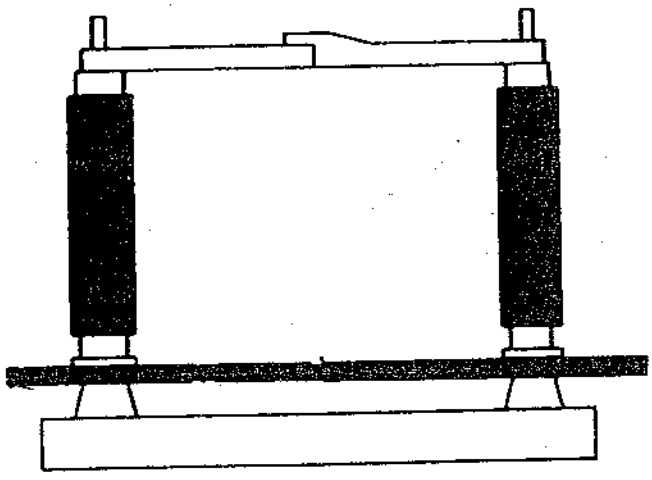
سکسیونر دوارنی بصورت یک فاز ساخته می‌شود و بسته به نوع شین بندی شبکه، فاصله سه تای آن بصورت متوالی در کنار هم یا بصورت سری پشت سر هم در شبکه سه فاز نصب می گردد. تمام قطبها توسط اهرم وسیله بطور مکانیکی بهم متصل و مرتبط می‌شود و دارای فرمان واحد می‌باشد که معمولا کمپرسی و در حالت اضطراری دستی است.

هر یک از سکسیونرها یک فاز دارای دو پایه عایقی قابل گردش می‌باشند که تیغه ها درآنها نصب شده است بطوریکه در موقع قطع و یا وصل سکسیونر پایه ها حول محور خود در جهت خلاف یکدیگر به اندازه ۹۰ درجه می‌چرخند و باعث قطع و یا وصل کنتاکت ها می شوند شکل (۸-۴) یک کلید دورانی را نشان می‌دهد.

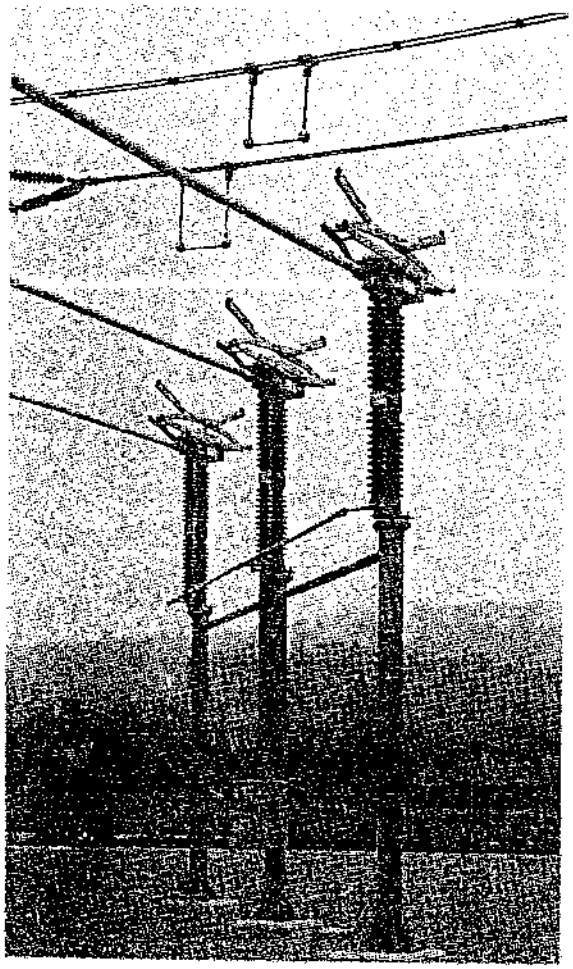
د - سکسیونر قیچی ای: سکسیونر قیچی ای برای فشارهای زیادبسیار مناسب است زیرا بعلت اینکه کنتاکت ثابت آن را شین یا سیم هوائی تشکیل نمی دهد احتیاج به دو پایه عایقی مجزا از یکدیگر که در فشار قوی باعث بزرگی ابعاد و سنگینی وزن آن شود ندارد. فقط شامل یک پایه عایقی است که چنگ یا تیغه قیچی مانند کنتاکت دهنده روی آن نصب می‌شود و با حرکت قیچی مانندی با شین یا سیم هوائی ارتباط پیدا می‌کند.

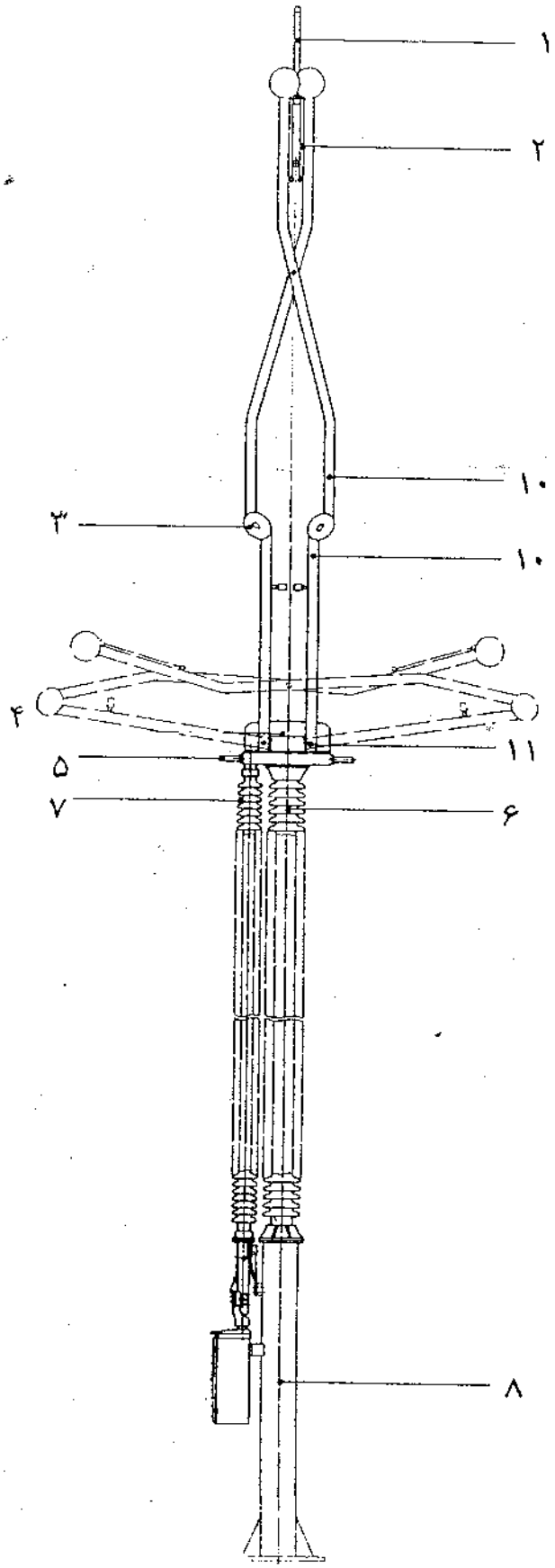
مورداستعمال سکسیونر قیچی‌ای که‌به آن سکسیونر تک‌ستونی گفته می‌شود در شبکه‌ای است که دارای دو شین به ازای هر فازند ،سطوح و ارتفاع مختلف نسبت به زمین و بالای هم باشندو سکسیونر ارتباط بین این دو شین را فراهم می‌سازد.شکل (۱۰-۴)

شکل(۹-۴) نمونه ای از سکسیونر قیچی ای را نشان می‌دهد. در شکل سمت راست حرکت قیچی در ضمن بسته شدن در لحظات مختلف مشخص شده است.

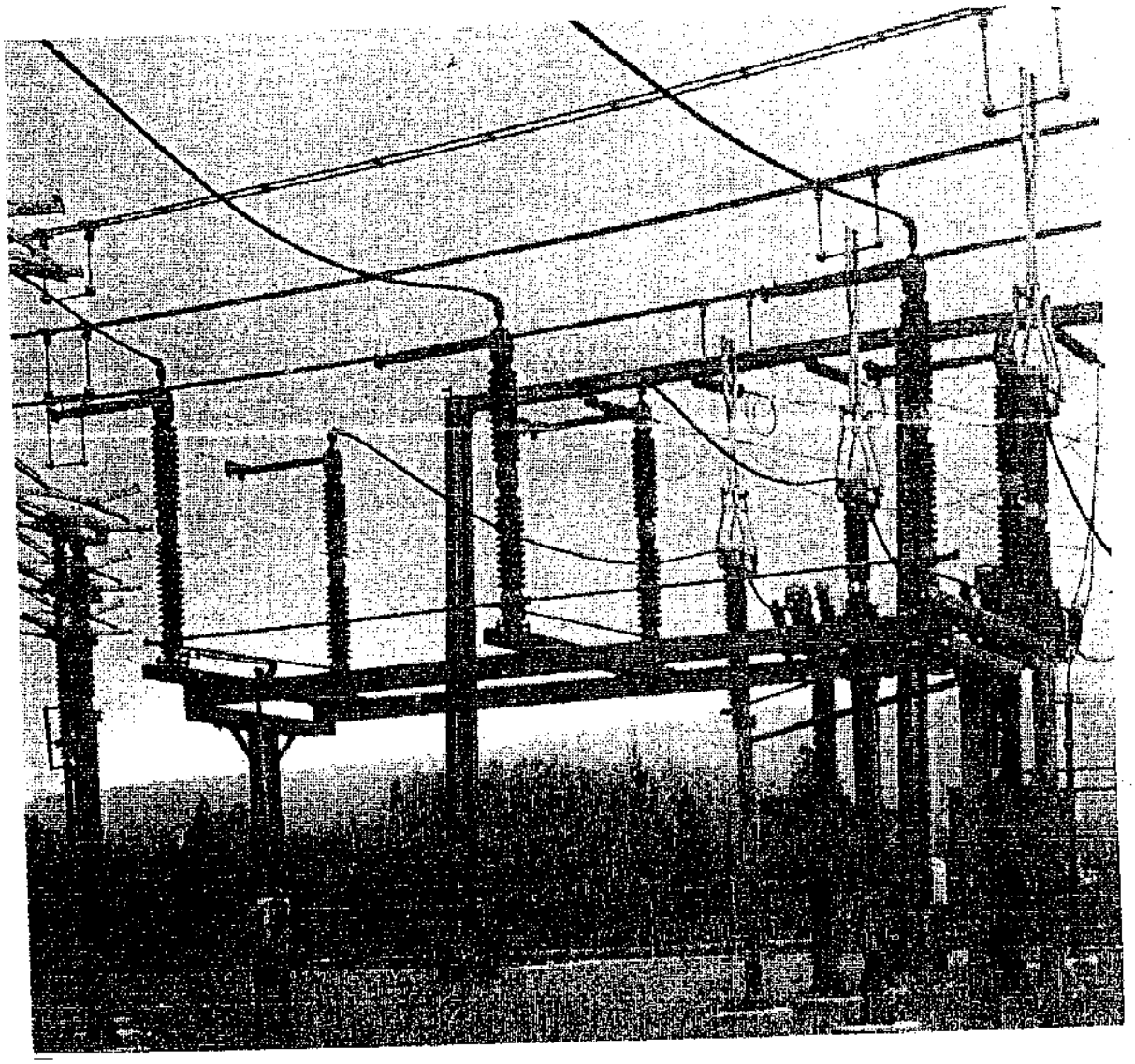


شکل (۸-۴): سکسیونر دورانی (عکس از SPREC. ENERG.)





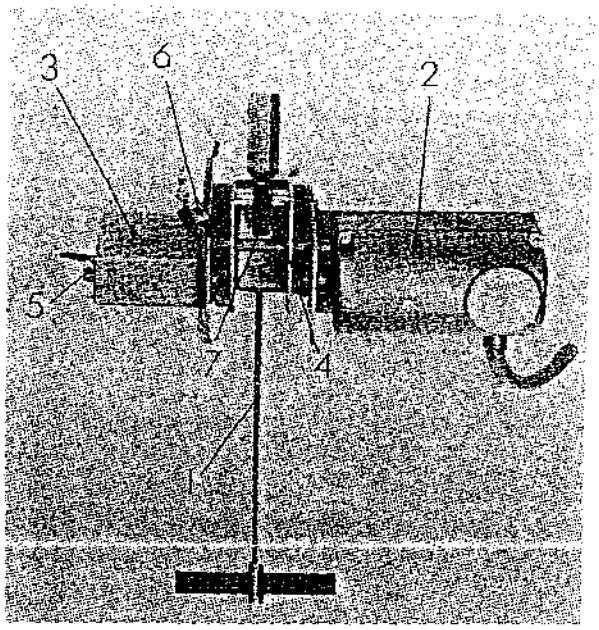
شکل (۹-۴): نمونه ای از سکسیونر قیچی ای (عکس از SPREC. ENERG.)



شکل (۱۰-۴): نمونه ای از اتصال سکسیونرهای قیچی ای دریک پست (عکس از SPREC. ENERG.)

در شکل (۹-۴): ۱- عبارت است از کنتاکت ثابت که به شین یاسیم هوائی متصل است (آویزان است) ۲- کنتاکت قیچی ۳- مفصل قیچی ۴- قوطی قیچی که روی ایزولاتور شماره ۶ نصب شده است ۵- محل اتصال سیم شین یا کابل خروجی ۶- ستون دوار ۷-پایه نگهدارنده ۸- وسیله فرمان (راه انداز) می‌باشد که در داخل آن موتور راه انداز و کلیدهای کمکی و اتصالها نصب شده است.

شکل (۱۱-۴) قسمت داخلی راه انداز در سکسیونر را بطور کامل نشان می‌دهد



شکل (۱۱-۴): قسمت های راه انداز سکسیونر(عکس از .SPREC. ENERG)

در ایـن شکـل : ۱- هـندل دستی ۲- موتور ۳- محور کلید سکسیونر که با حرکت موتور فرمان می‌گیرد ۴- جعبه دنده ۵-کلید کمکی و فرمان ۶- رله مغناطیسی ۷- نمایانگر وضعیت کلید (باز-بسته)می‌باشد.

۳-۴- انتخاب سکسیونر از نظر نوع و مشخصات

انتخاب سکسیونر از نظر نوع فقط بستگی به شکل و طرز قرار گرفتن شین ها و شین بندی شبکه و محلی که باید سکسیونر در آنجا نصب شود دارد. مشخصات سکسیونر بستگی به مشخصات فنی و الکتریکی شبکه دارد. همانطور که گفته شد سکسیونرها باید در مقابل حرارت ناشی از عبورجریان عادی و اسمی و جریان اتصالی کوتاه مدت و نیروی دینامیکی جریان اتصال کوتاه و بخصوص ضربه ای استقامت کافی داشته باشند. سکسیونر در حالت باز باید عایق خوب و مطمئنی برای پتانسیل بین تیغه و کنتاکت ثابت هر فاز و بازمین باشد.

لذا مشخصات مهم یک سکسیونر که گویای مشخصات فنی و استقامت الکتریکی و دینامیکی آن می‌باشد عبارتند از:

- ولتاژ نامی Un
- جریان نامی In

ولتاژ اسمی kV		245	300	360	420	525
تحمل ولتاژ متناوب به مدت یک دقیقه و مرطوب برحسب kV	در امتداد پایه بین تیغه	460 620	460 620	525 750	680 920	790 1050
تحمل فشار ضربه‌ای برحسب kV	در امتداد پایه بین تیغه	1050 1210	1050 1210	1300 1425	1550 1780	1800 2050
جریان نامی برحسب I_n (A)		2500 3150 4000	2500 3150 4000	2500	2500 3150 4000	2500 3150
جریان ضربه‌ای I_s برحسب kA		100 125 150	100 125 150	125	125 150	100 125 150
جریان اتصالی کوتاه مدت به مدت یک ثانیه I_{th} (kA)		40 50 60	40 50 60	50	50 60	40 50 60
ایزولاتور	حداقل نیروی شکست N	8000	8000	8000	8000-12000	8000-12000
	طول ایزولاتور mm	1925	1925	2415	2950-2910	3516-3600
	طول مسیر جریان خزنده mm	4290	4290	5380	6310-6600	8070-8050

جدول (۲-۴) مشخصات سکسیونر تیغه ای ساخت زیمنس شکل ۶-۴

ولتاژ اسمی kV		123	145	170	245	300
تحمل ولتاژ متناوب به مدت یک دقیقه و مرطوب برحسب kV	در امتداد پایه بین تیغه	230 310	275 370	325 440	460 620	460 620
تحمل فشار ضربه‌ای به kV	در امتداد پایه بین تیغه	550 650	650 750	750 860	1050 1210	1050 1210
جریان نامی برحسب I_n (A)		800 1250 2000	800 1250 2000	2000	2000	2000
جریان ضربه‌ای I_s برحسب kA		66 100	66 100	100	100	100
جریان اتصالی کوتاه مدت به مدت ثانیه I_{th} (kA)		26,5 40	26,5 40	40	40	40
ایزولاتور	حداقل نیروی شکست N	4000	4000	4000	4000	9100
	طول ایزولاتور mm	1040	1210	1435	1970	1910
	طول مسیر جریان خزنده mm	2290	2690	3235	4360	5730

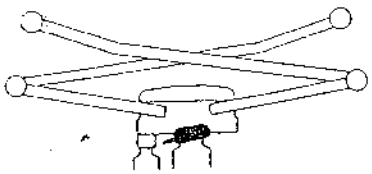
جدول (۳-۴) مشخصات سکسیونر قیچی ای ساخت زیمنس شکل ۱۲-۴

- جریان اتصال کوتاه ضربه ای مجاز Is
- جریان اتصالی کوتاه مدت Itn (و معمولا بمدت یک تا ۳ ثانیه)

جدول زیر شدت جریان اتصالی کوتاه مدت را برای سکسیونرهای مختلف نسبت بجریان ضربه طبق DIN ۴۳۶۳۵ نشان می‌دهد.

U_n kV	I_s kA	I_{th} kA	I_n (جریان نامی) A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	35 75 125	14 30 50	400	630		1250			2500		
10	35 50 75 125 160	14 20 30 50 63	400	630 630		1250 1250 1250	1600 1600 1600		2500 2500	4000	6300
20	35 50 75	14 20 30	400	630		1250	1600				
30	50 75	20 30		630		1250			2500		
60	50	20		630		1250					
110	50 75 100	20 30 40			800	1250 1250	1600 1600 1600	2000 2000 2000			
220	50 75	20 30				1250 1250		2000			
380E	75	30						2000			

جدول (۱-۴) مشخصات سکسیونر تیغه ای دورانی ساخت زیمنس



شکل (۱۲-۴): سکسیونر فیجی ای

۴-۴- کلید (سکسیونر)قابل قطع زیربار

بعلت اینکه در بیشتر شبکه ها و پست های کوچک ،کلید قدرت و سکسیونر و وسائل اضافی مربوطه به چفت و بست آنها مبالغ زیادی از مخارج و هزینه کل تاسیسات را شامل می گردد، وبعلت اینکه در اغلب موارد برای اینگونه شبکه هانصب کلید قدرت با مزایای قطع و وصل سریع آن حتما لازم و ضروریست، کلید سکسیونر قابل قطع زیر بار طرح و ساخته شد.

سکسیونر قابل قطع زیر بار در ضمن اینکه باید وظیفه یک سکسیونر را انجام دهد، یعنی در ضمن برداشتن ولتاژ یک قطع شدگی ،قابل رویت و مطمئن در مدار شبکه مدار فشار قوی بوجود آورد، باید قادر باشد مانند یک دیژنکتور،قدرتهای کوچک الکتریکی را نیز قطع کند.

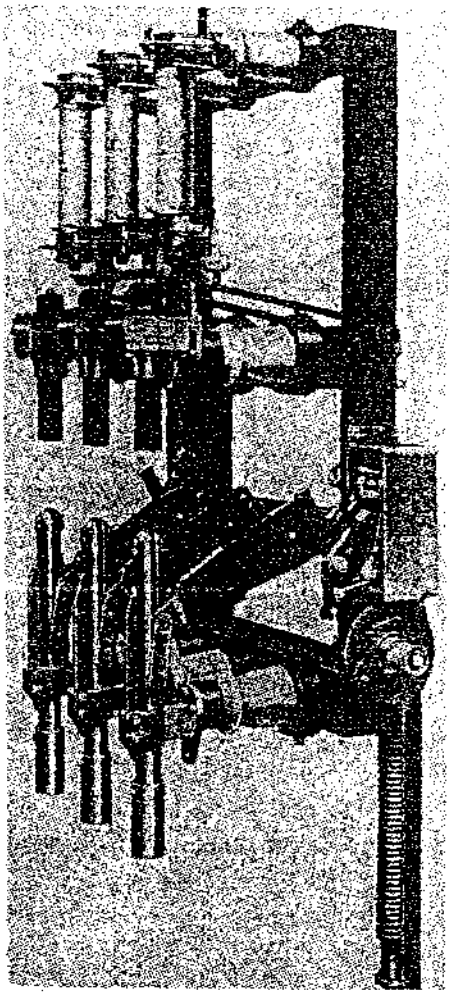
لذا هر سکسیونر قابل قطع زیر بار باید دارای وسیله ای برای قطع فوری جرقه باشد.

شکل (۱۳-۴) یک سکسیونر قابل قطع زیر بار کشوئی را با محفظه جرقه نشان می دهد.اساس کار این محفظه جرقه خاموش کن همانند کلید قدرت با گاز سخت است.

سکسیونر قابل قطع‌زیر بار اصولا دارای قدرت وصل بسیار زیاد است و می‌تواند جریانهای با شدت ۷۵-۲۵ کیلو آمپر (ماکسیموم موثر) را بخوبی وصل کند ولی قدرت قطع آن کم و از ۱۵۰۰-۴۰۰ آمپر یعنی در حدود جریان نامی آن تجاوز نمی کند . لذا نتیجه می‌شود که این کلیدها برای قطع جریان اتصال کوتاه ساخته نشده و مناسب هم نمی باشند.

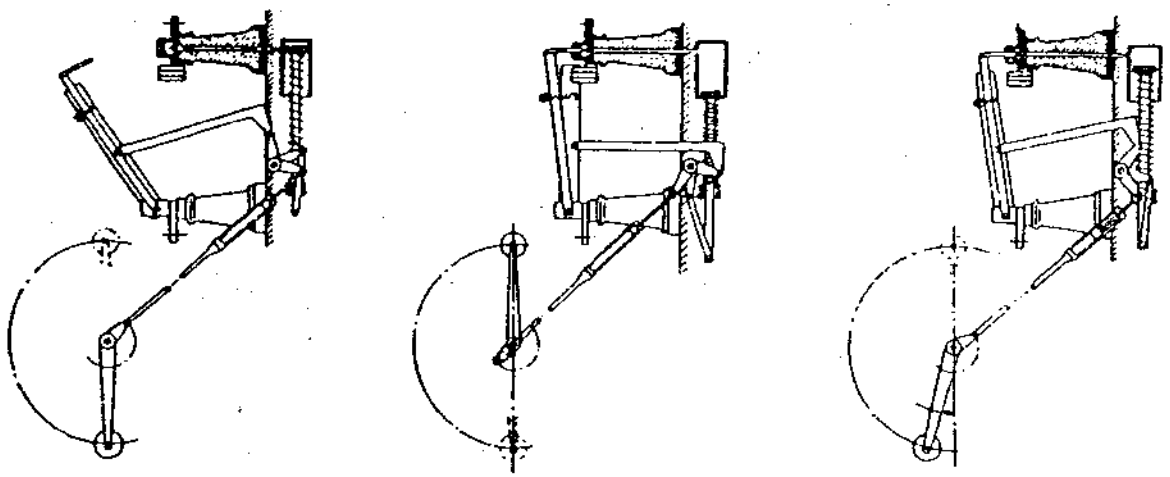
بهمین دلیل سکسیونر قابل قطع زیر بار در صورتی می‌تواند برای شبکه هائی که امکان عبور جریان اتصال کوتاه دارند، استفاده گردد که جریان قطع کلید توسط فیوز محدود و مهار شود ، لذا در اینگونه مواقع بهمراه کلید از فیوز فشار قوی قدرت‌زیادکه در ۶تا ۲۰ هزار ولت دارای شدت قطع کنندگی درحدود۴۰۰MVA می‌باشند ، وجریان‌اتصال کوتاه را در همان مراحل ابتدائی قطع می‌کنند استفاده می‌شود.

از آنچه که گفته شد نتیجه می‌شود که سکسیونر قابل قطع زیر بار فقط برای قطع جریان نامی شبکه مناسب است و جریان اتصال کوتاه را فیوز قطع می‌کند. البته باید متذکر شد که پس از قطع جریان اتصال کوتاه توسط سوختن فیوز، قطع کلید بطور خودکار انجام می‌گردد.



شکل (۱۳-۴): شمای سکسیونر قابل قطع زیر بار

شکل(۱۴-۴) یک سکسیونر قابل قطع زیر بار راکه در آن دمیدن هوا باعث خاموش شدن جرقه می‌گردد نشان می‌دهد.



شکل (۱۴-۴): سکسیونر قابل قطع زیر بار همراه بامکانیزم
خاموش شدن جرقه بوسیله دمیدن هوا

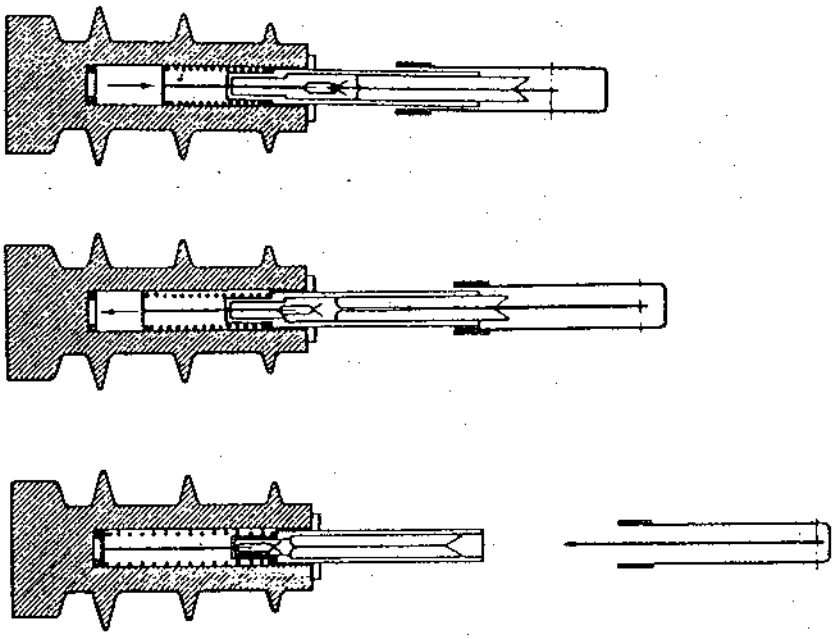
در اثر حرارت جرقه اولا مقداری گاز از سطح عایق متصاعد می‌شود که باعث خنک شدن جرقه شده و عمل خاموش کردن جرقه را سهل تر می‌سازد. ثانیاً بعلت برگشت سریع انبرک در اثر باز شدن مجدد فنر، فاصله بین دو کنتاکتی که جرقه می‌زند به سرعت زیاد شده و این اضافه طول باعث قطع جرقه قبل از خارج شدن سوزن جرقه گیر از کنتاکت ثابت کلید می‌شود.

شکل (۱۶-۴) قسمت داخلی محفظه جرقه گیر و کنتاکتهارا در مراحل مختلف نشان می‌دهد. شکل (۱۶-۴) سکسیونر قابل قطع زیر بار راکه برای محدود کردن جریان قطع مجهز به فیوز فشار قوی قدرت زیاد است نشان می‌دهد.شکل‌های (۱۷-۴ و ۱۸-۴) کلید سکسیونر قابل قطع زیر بار روغنی را نشان می‌دهند. چنانچه دیده می‌شود کنتاکت ثابت این کلید مجهز به یک محفظه جرقه گیر روغنی است و طرز کار آن مانند کلید روغنی با قدرت کم است.

۵-۴- موارد استعمال کلید قابل قطع زیر بار

نظر باینکه کلید قابل قطع زیر بار برای فشار نامی تا ۲۰ کیلو ولت ساخته می‌شود، مورد استعمال آن فقط در تاسیسات فشارمتوسط است.

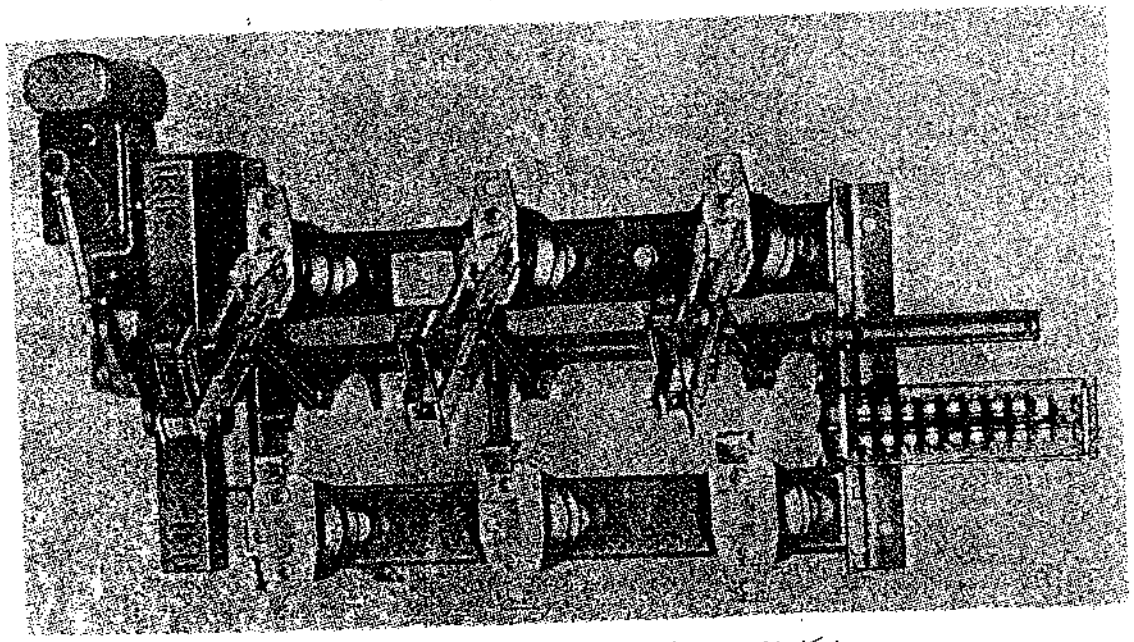
نظر باینکه کلید قابل قطع زیر بار کار سکسیونر را انجام می‌دهد با این تفاوت که بدون



شکل (۱۶-۴): سکسیونر قابل قطع زیر بار همراه با محفظه جرقه گیر

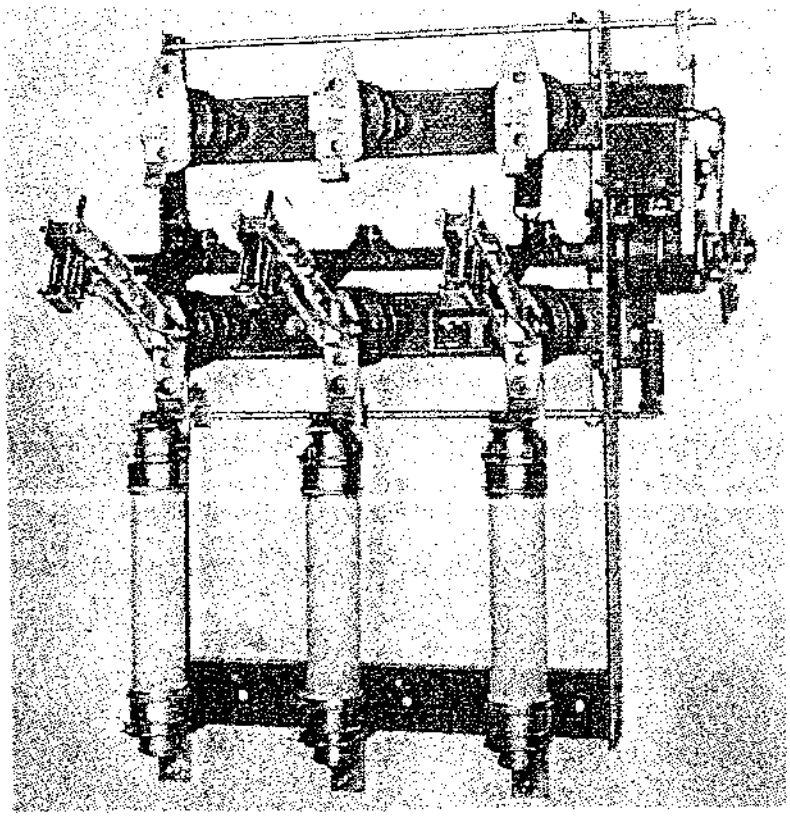
در شکل (۱۴-۴) که یک نمونه از این کلید را نشان می‌دهد ۱- سوراخ سراسری که به یک تلمبه (کمپرسور) منتهی می‌شود ۲- سوزن جرقه گیر که در انتهای تیغه متحرک قرار دارد ۳- تیغه متحرک ۴- پایه نگهدارنده تیغه متحرک

همانطور که دیده می‌شود بهنگام قطع کلید ابتدا تیغه متحرک از قطب مقابل جدا می‌شود ولی عبور جریان توسط قوس الکتریکی بین سوزن و کنتاکت دهنده باقی می‌ماند. سپس قوس با فشار هوائی که کمپرسور بوجود می‌آورد بطرف خارج دمیده شده و در اثر ازدیاد طول قوس عبور جریان قطع و جرقه خاموش می‌گردد. توسط این کلید می‌توان قدرت هائی تا MVA ۱۵ را قطع کرد. مدت دوام جرقه در حدود ۱/ ثانیه است و جرقه بمحض رسیدن جریان به صفر قطع نمی‌شود.شکل (۱۵-۴) یک نوع دیگر کلید قابل قطع زیر بار ساخت AEG را نشان می‌دهد. در این کلید کنتاکت ثابت به روی پایه تعبیه شده است.در داخل این حفره‌محفظه جرقه گیر قراردارد که توسط پیچ و مهره به مقره محکم شده است.

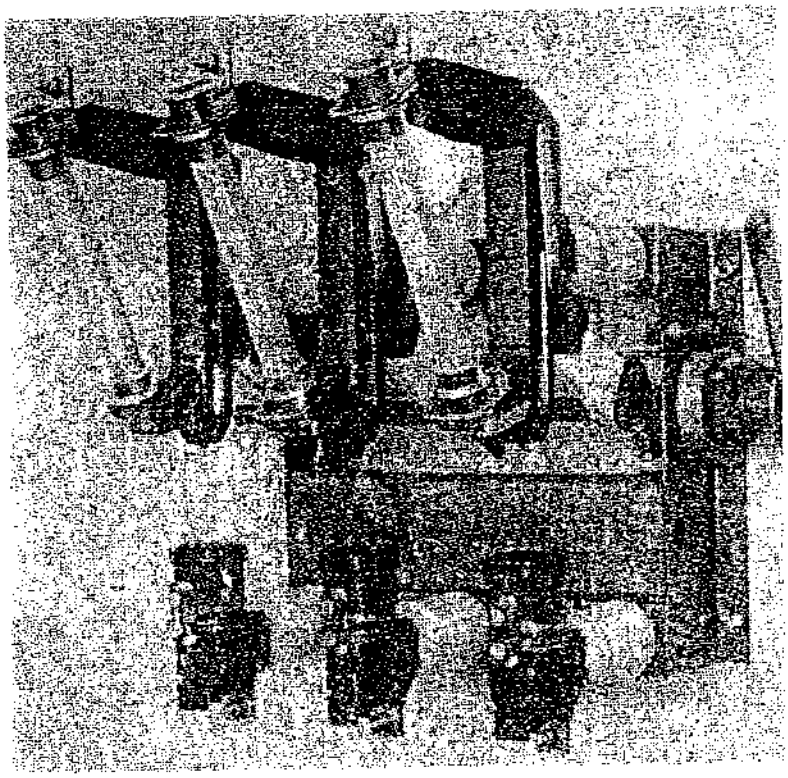


شکل (۱۵-۴): سکسیونر قابل قطع زیربار ساخت AEG

در داخل محفظه جرقه گیر علاوه بر یک استوانه عایقی متحرک که در حالت وصل کلید سوزن جرقه گیر را در میان دارد یک انبرک فلزی نیز نصب شده است . سوزن و انبرک ،کنتاکت فرعی کلید را تشکیل میدهند. بمحض فرمان قطع کلید ، تیغه اصلی از کنتاکت ثابت بدون ایجاد جرقه جدا می‌شود و سوزن جرقه گیر انبرک را با خود بطرف خارج می‌کشد بدون اینکه مدار جریان قطع گردد .در این حالت با جمع شدن فلزی که انبرک برروی آن سوار است باعث رها شدن سوزن در انبرک گردیده و در این لحظه قوس الکتریکی بین سوزن و انبرک برقرار می‌شود.



شکل(۱۷-۴):سکسیونر قابل قطع زیر بار مجهز به فیوز فشار قوی

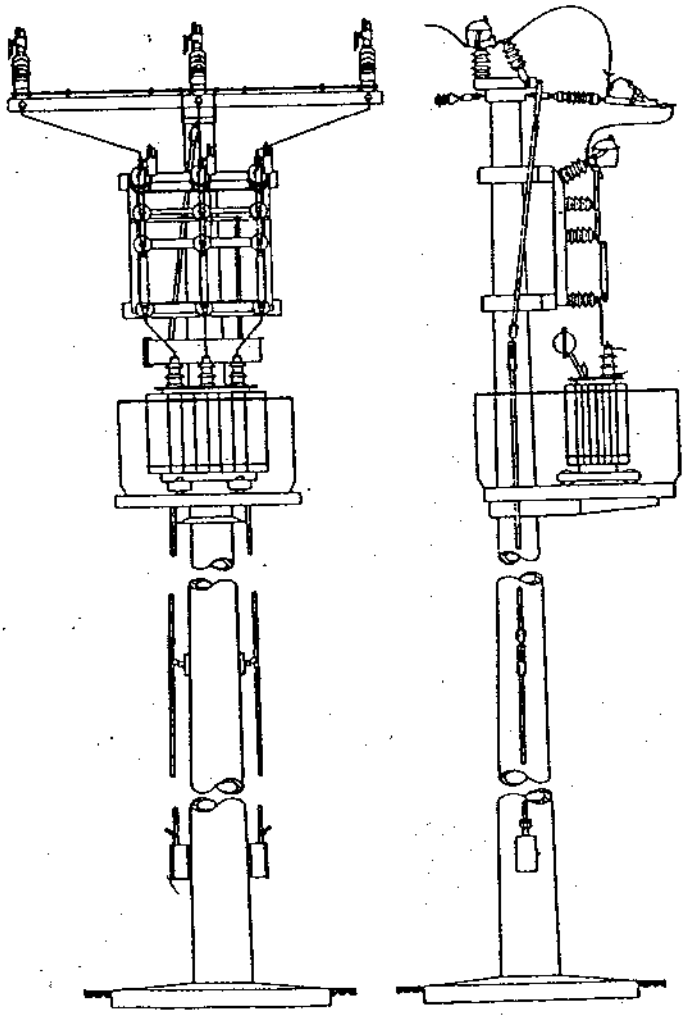


شکل (۱۸-۴):یک سکسیونر قابل قطع زیر بار روغنی

بست‌بین سکسیونر و دیژنکتور و جلوگیری از جریانهای غلط و رعایت نوبت فراوان از آن بجای سکسیونر در خطوط خروجی نیز استفاده می‌شود.

در ضمن سکسیونر قابل قطع زیر باربرای وصل سیمهای انتقال انرژی کابل های خروجی ترانسفورماتورهای کم قدرت شکل (۱۹-۴) و همینطور قطع و وصل مدارها و شبکه‌های حلقه ای و مسدود بسیار مناسب است. علاوه بر آن می‌توان از سکسیونر قابل قطع زیر بار برای راه اندازی موتورهای فشار قوی و اتصال خازنها و سلفهای فشار قوی استفاده کردو وسیله قطع و وصل این کلیدها اغلب دستی است. البته فرمان موتوری و کمپرسوری آن طبق سفارش امکان پذیر است.

کلید قابل قطع زیر بار و فیوز را می‌توان در همه جا، جانشین سکسیونر ودیژنکتور کرد



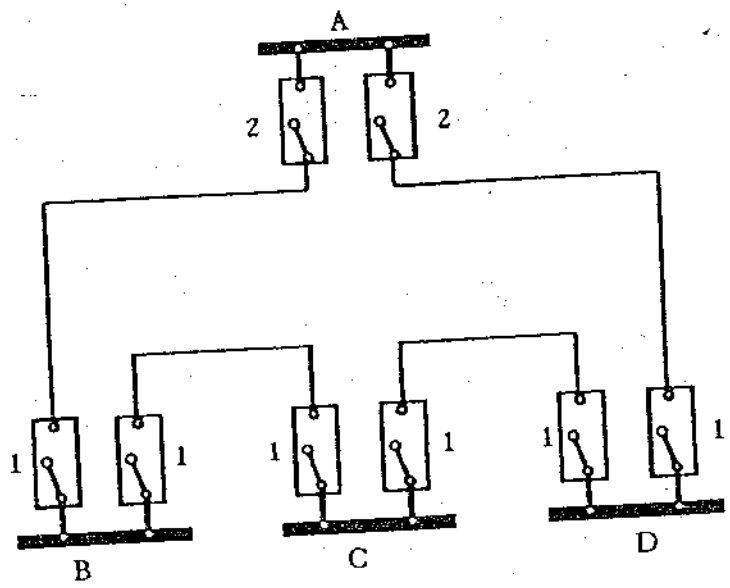
شکل (۱۹-۴): سکسیونر قابل قطع زیر بار دریک شبکه توزیع جهت وصل ترانسفورماتورتوزیع به شبکه

کلید قابل قطع زیر بار و فیوز را می‌توان در همه جا، جانشین سکسیونر ودیژنکتور کرد بشرط آنکه قدرت قطع دیژنکتور از قدرت قطع فیوزفشار قوی موجود در صنعت‌بزرگتر نشود. این تعویض بخصوص در پستهای قدیمی که مجهز به کلید روغنی هستند بسیار مناسب است، بشرط اینکه در این پست وصل سریع کلید لازم و ضروری نباشد.

زیرا همانطور که می‌دانیم بدون تعویض فیوز سوخته شده نمی توان کلید را مجددا آماده بهره برداری کرد و این عمل از راه دور یا با فرمان غیر ممکن است .

برای مثال شکل (۲۰-۴) راکه دارای پست اصلی با دیژنکتور و قطع کننده جریان زیاد (رله جریان زیاد) است و شین های فرعی D وC وB مربوط به یک رینگ را تغذیه می‌کند در نظر می‌گیریم. شین های فرعی مجهز به سکسیونر قابل قطع زیر بار می‌باشند و می‌توان مدار حلقه ای را بطور دلخواه بدون برداشت بار قطع کرد. حال اگر دیژنکتور شین A و سکسیونر مربوط راکه در شکل رسم نشده با یک سکسیونر قابل قطع زیر بار تعویض کنیم، در ضمن اینکه با این تعویض لطمه ای به حفاظت شبکه وارد نمی آید هزینه تاسیسات هم بطور قابل ملاحظه‌ای تنزل می‌کند.

از آنچه که گفته شد نتیجه می‌شود: بطور کلی در تمام مواقع که قیمت سکسیونر و کلید قدرت مقرون به صرفه نباشد و قدرت اتصال کوتاه شبکه بحدی باشد که بتوان فیوز معادلی برای آن به دست آورد بهتر است از سکسیونر قابل قطع زیر بار استفاده شود، البته مشروط برآن که فرمان وصل فوری کلید مورد نظر نباشد.



شکل (۲۰-۴): یک شبکه حلقوی همراه با سکسیونرقابل قطع زیربارنصب در آن

جدول زیر مشخصات سکسیونر قابل قطع زیر بار را نشان می‌دهد.

ولتاژ شبکه							ولتاژ نامی
23-20-15		11,5-10-6-3				kV	ولتاژ شبکه
630	400	1600	1250	630	400	A	جریان نامی
630	400	1600	1250	630	400	A	جریان قطع مجاز در $\cos\phi \geq 0,7$
630	400	630	630	630	400	A	جریان قطع مجاز در $\cos\phi \geq 0,15$
50	35	75	75	50-75	35	kA	جریان ضربه‌ای I_s
20	24	30	30	20-30	14	kA	جریان زیادگذرا مدت I_{th}
35	25	75	75	50	35	kA	جریان قطع مجاز I_a
22	14	28	22	11	7	MVA	قدرت قطع در $\cos\phi \geq 0,7$

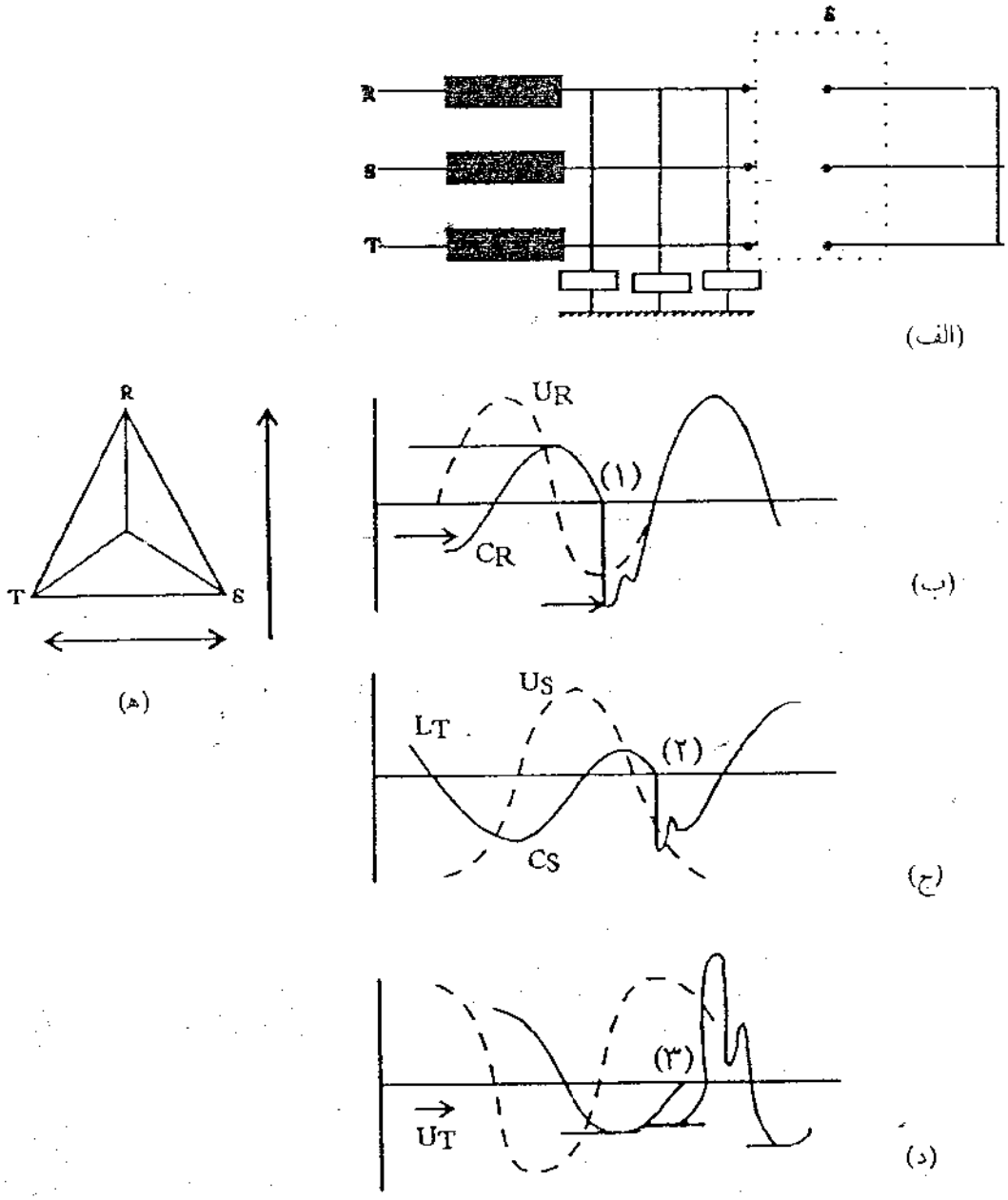
جدول (۴-۲): مشخصات سکسیونر قابل قطع زیربار

۶-۴- کلید قدرت یا دیژنکتور

دیژنکتور کلیدی است که می‌تواند در موقع لزوم جریان جاری شبکه در موقع اتصال کوتاه و جریان اتصال زمین و یا هر نوع جریانی با هر اختلاف فازی را سریع قطع کند. در اتصال سه فاز که یک حالت خاصی از بار متعادل است با اینکه فرمان قطع به هر سه قطب کلید یکجا و در یک‌زمان داده می‌شود، ابتدا فقط یکی از قطبها(در شکل ۲۱-۴ ب قطب R) که جریان آن اول مرتبه از صفر می‌گذرد قطع می‌شود.در این لحظه اتصال کوتاه سه فاز تبدیل بیک اتصال کوتاه دو فاز می‌شود که پس از گذشت $\frac{1}{4}$ پریود جرقه در این دوقطب همزمان از بین می‌رود و اتصالی قطع می‌گرددشکل (۲۱-۴ ج و د).

زمان خاموش شدن جرقه در دو قطب بعدی معادل صفر شدن جرقه با نقطه۲ مشخص شده است. در یک شبکه با صفر آزاد نقطه اتصال کوتاه شده Kکه قبل از خاموش شدن جرقه در فاز R از مرکز ستاره MP به نقطه K در وسط بردار همبستگی ولتاژST منتقل می‌شود (شکل ۲۱-۴ ه)

در نتیجه ولتاژ دو سر قطبی از کلید که جرقه آن زودتر از قطبهای دیگر خاموش شده به مقدار ماکسیموم V می‌رسد.البته این ازدیاد ولتاژ آنقدرها در استحکام کلید موثرنیست ولی جرقه طولانی تر در دو قطب دیگر در استقامت الکتریکی و حرارتی کلید بسیار موثر واقع



شکل (۲۱-۴):چگونگی قطع سه فاز در یک کلید قدرت

می‌شود (در یک شبکه با نقطه صفر زمین شده اگر اتصال سر فاز با تماس زمین ایجاد شود).

پس از خاموش شدن جرقه در یکی از فازها یعنی قطع یکی از اتصالی ها با زمین ولتاژ بین دو کنتاکت آن قطب از V تجاوز نمی کند. اگر اتصال کوتاه در نقطه دوری از کلید در شبکه باشد، ممکن است در موقع قطع کلید برگشت ولتاژ Uw (ولتاژ ضربه ای که با نوساناتی به ولتاژ اصلی با فرکانس ۵۰ منتهی می‌شود) در تحت شرایط خاصی با ضریب زاویه زیاد شروع به نوسان کند(شروع جهش آن عمود می‌باشد) .در این حالت فاصله بین دو قطب کلید بیشتر تحت تاثیر ولتاژ قرار می‌گیرد تا جریان طبیعی . در صورتیکه دو شبکه با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بهم

بهم وصل شوند، در بین دو قطب هر فاز کلید کوپلاژ اختلاف سطح ۲ V موثر خواهد افتاد. که عمل قطع جرقه را بمراتب مشکل تر می‌کند.

۴-۷- حالتهای گذراو اثر آن بر کلیدها

۴-۷-۱- حالت گذرای عادی:

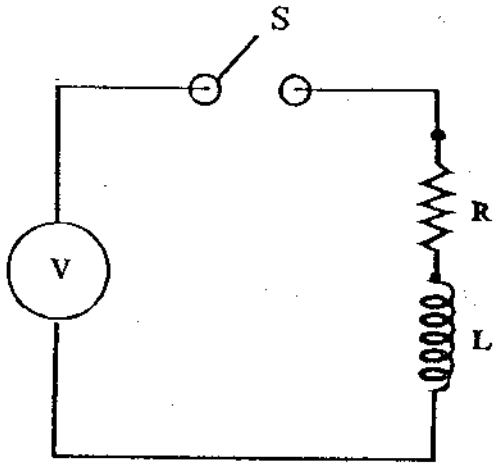
الف-کلید یا دیژنکتوربرای تامین انرژی بار: بارها از مقاومت و یک سلف بطور سری تشکیل شده است که ضریب قدرت آن درحالت ماندگاربرابراست با:

$$\text{Cos}\,\phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{R}{(R^2+L^2\omega^2)^{1/2}} \qquad (۴-۱)$$

وقتی کلید S بسته می‌شود معادله ای که بیانگر جریان مدار است عبارتست از:

$$RI + L\frac{dI}{dt} = Vm\ \text{Sin}(\omega t + \theta) \qquad (۴-۲)$$

بروشهای مختلفی می‌توان معادله دیفرانسیل فوق را حل نمود جریان مدار بصورت زیر در می آید.



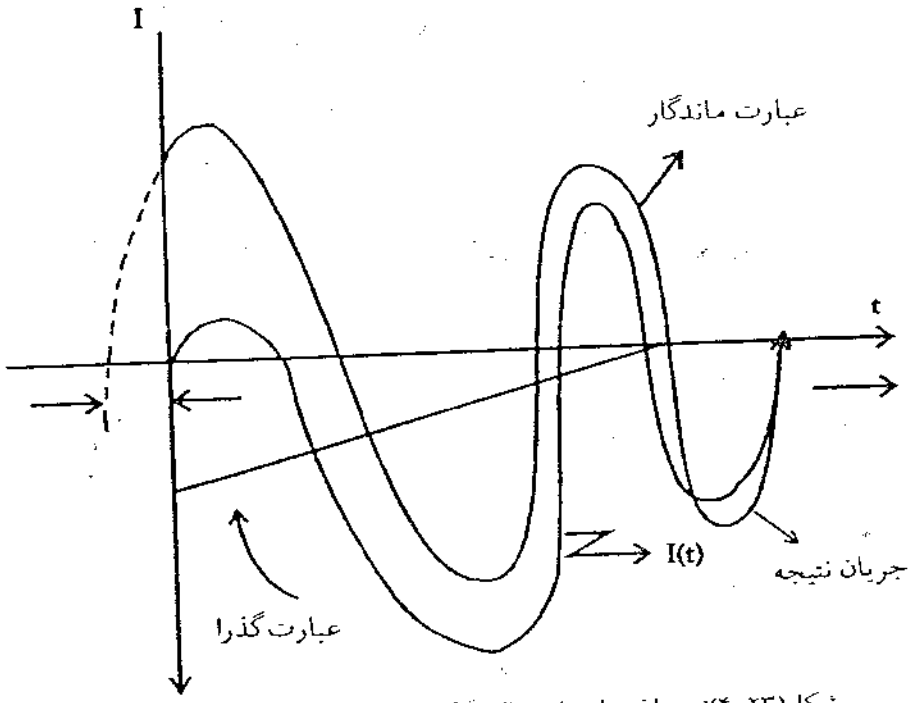
شکل (۴-۲۲): مدار معادل یک مدار با بار مقاومتی و سلفی

$$\text{Cos}\,\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{(R^2+L^2\omega^2)^{1/2}} \qquad (۴-۳)$$

$$I(t) = \frac{Vm}{(R^2+L^2\omega^2)^{1/2}}\left[(\text{Sin}(\omega t+\theta-\phi)e^{-\alpha t})\right] \qquad (۴-۴)$$

در معادلات یاد شده $\alpha = \frac{R}{L}$ عکس ثابت زمانی مدار فوق بوده ، θ نمایانگر لحظه بسته شدن کلید، R مقاومت اهمی و L ضریب سلفی بار می‌باشد.

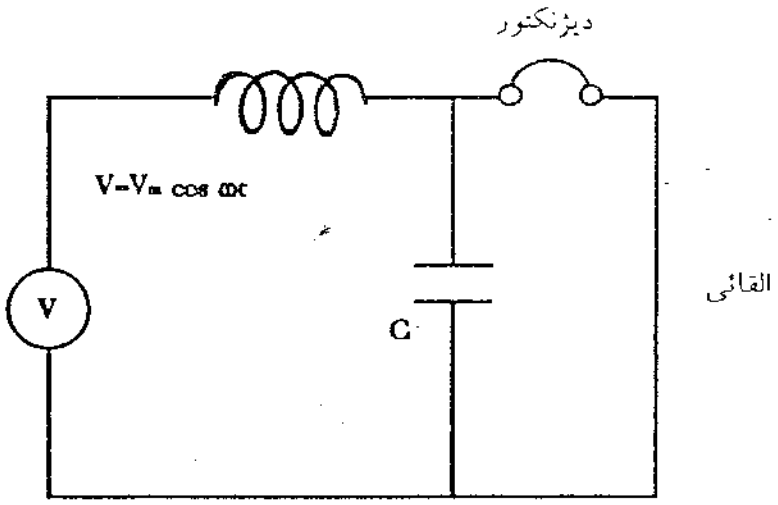
چنانچه در شکل (۲۳-۴) مشاهده می‌گردد جریان از دو عبارت ماندگار و گذرا تشکیل یافته است، که درشکل کاملا مشخص گردیده است.



شکل(۲۳-۴): جریان مدار برای حالت گذرای عادی متشکل از عبارات ماندگار و گذار

در حالت حاصله که کلید در لحظه $\theta = \alpha$ بسته می‌گردد عبارت گذرا از بین می‌رود و موج جریان متقارن خواهد بود از طرف دیگر اگر کلید هنگامیکه $\theta = \phi \pm \frac{\pi}{2}$ است بسته شود عبارت گذرا ماکزیمم دامنه خود را خواهد داشت و اولین پیک جریان حدوداً به دو برابر پیک دامنه مولفه سینوسی ماندگار خواهد رسید و این مسئله از اهمیت زیادی برای دیژنکتور برخوردار است. این حالت هنگامیکه کلید روی اتصال در مدار بسته می‌گردد بحرانی بوده و نتیجتا از کلید مذکور دو برابر جریان اتصال کوتاه خواهد گذشت که با توجه به این امر کلید باید از نظر الکتریکی ،مکانیکی، حرارتی ، طوری طراحی شده باشد که نه تنها تحت چنین شرایطی انجام وظیفه کند بلکه آماده برای باز و بسته شدن های بعدی نیز باشد.

ب- بیانگر حالتی است‌که دیژنکتوربرای برطرف کردن اتصالی‌بازمی‌گردد: فرض براین است که باری از طریق این دیژنکتور تغذیه می‌شود در اثر وقوع اتصالی آناً از مدار ایزوله می‌شود L شامل کلیه اندوکتانسهای مدار تا نقطه اتصالی است.C خازن بار مجاوردیژنکتور می‌باشد که



شکل (۲۴-۴): مدار نمایانگر برطرف کردن انصالی

شامل خازن به زمین از طریق بوشینگها[1] ، ترانسفورماتورهای جریان و غیره می‌گردد:

در هنگام قطع مدار مقاومت اهمی ناچیز و خازن در اینحالت نسبت به حالتهای قبل نمایان‌تر است.

صفر را لحظه ای در نظر می‌گیریم که قطع واقعی انجام می‌گیرد و در نتیجه ولتاژ منبع مقدار ماکزیمم خود را دارا خواهد بود.

معادله مدار بصورت زیر در می‌آید:

$$L\frac{dI}{dt} + Vc = Vm\cos\omega t \qquad (۴-۵)$$

$$I = C\frac{dVc}{dt} \qquad (۴-۶)$$

POWEREN.IR

باقرار دادن جریان I در معادله (۴-۵) داریم:

$$\frac{d^2Vc}{dt^2} + \frac{1}{LC}Vc = \frac{Vm}{LC}\cos\omega t \qquad (۴-۷)$$

از معادله دیفرانسیل فوق مقدار Vc(t) را بدست می‌آوریم که عبارتست از:

$$Vc = \frac{\omega_\circ^2}{\omega_\circ^2 - \omega^2} Vm\,[\cos\omega t - \cos\omega_\circ t] \qquad (۴-۸)$$

1. Bushings

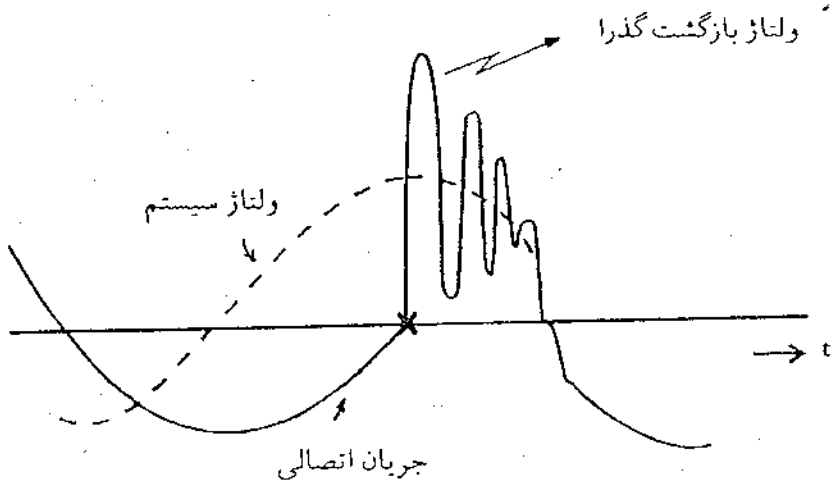
که درآن $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ و ω_0 فرکانس طبیعی مدار می‌باشد.

معمولا زمانی که نوسانات با فرکانس طبیعی غالب است در عبارت فرکانس قدرت تغییر اندکی وجود داشته و معادله فوق را در آن مدت می‌توان بدینصورت در نظر گرفت.

$$Vc(t) = Vm\ (1- \cos\omega_0 t) \qquad (۴-۹)$$

که وقایع قبل و بعد از صفر شدن جریان در شکل (۴-۲۵) نشانداده شده است البته باید توجه داشت که در معادلات از اثر میراشوندگی [1] صرف نظر کرده ایم ولی در این شکل این اثر مشهود بوده و می‌بینیم که چگونه ولتاژ به دو برابر ماکزیمم ولتاژ سیستم می‌رسدو آن وقتی است که $\cos \omega_0 t = -1$ باشد.

اگرفرکانس طبیعی $f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ زیاد باشد ولتاژ دو سر کنتاکت بسرعت افزایش خواهد یافت و اگر نرخ این افزایش از نرخ تجدید مقاومت عایقی محیط بین دو کنتاکت بیشتر باشد کلید قادر به تحمل ولتاژ نخواهد بود و دوباره جرقه تشکیل خواهد شد. و معمولا باعث می‌گردد که کلید لااقل نیم سیکل دیگر جریان اتصالی را از خود عبور دهد. روشن است که نرخ افزایش بازگشت ولتاژ [2] فاکتور مهمی است برای مثال اگر که $C= 400PF$, $L=1mH$ باشد، پریود آن معادل $T= 4\mu sec$ خواهد بود. حال در یک مدار 13.8 kV کیلو ولت ماکزیمم بین دو فاز باصرف نظرکردن از میرا شوندگی ولتاژ دو سر کنتاکت به دو برابر ماکزیمم ولتاژ سیستم در 1/4 پریود خواهد رسید و در نتیجه مقدار متوسط r.r.r.v برابر خواهد بود با



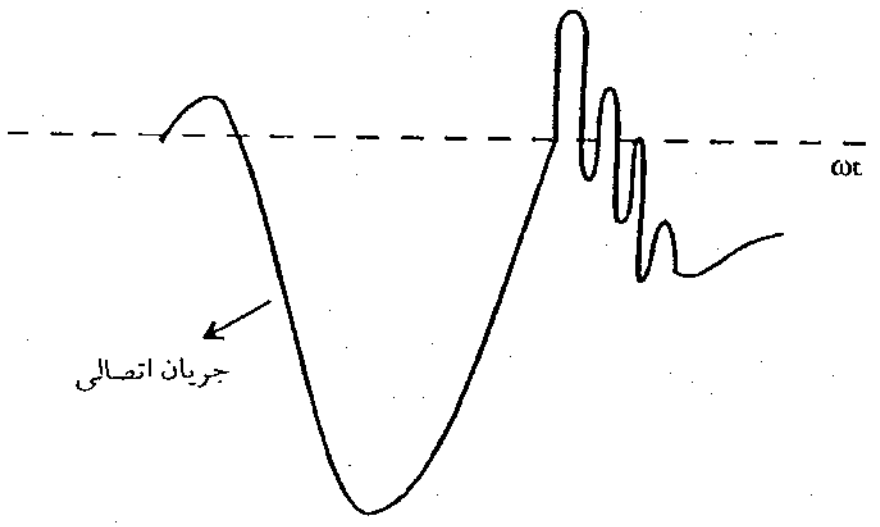
شکل (۴-۲۵):نمایانگر ولتاژ سیستم جریان اتصال قبل و بعد از صفر شدن جریان

1. Damping
2.Rate of Rise of Recovery Voltage (r.r.r.v)

$\frac{2\times13.8\times\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 22.6\text{kV}/\mu\text{sec}$ که از قدرت اغلب کلیدها خارج می‌باشد. همانطوریکه در قسمت قبلی نشانداده شد احتمال زیاد می‌رود که جریان فاقد تقارن باشدو این عدم تقارن بستگی به لحظه ای در سیکل ولتاژ داردکه کلید بسته می‌گردد.

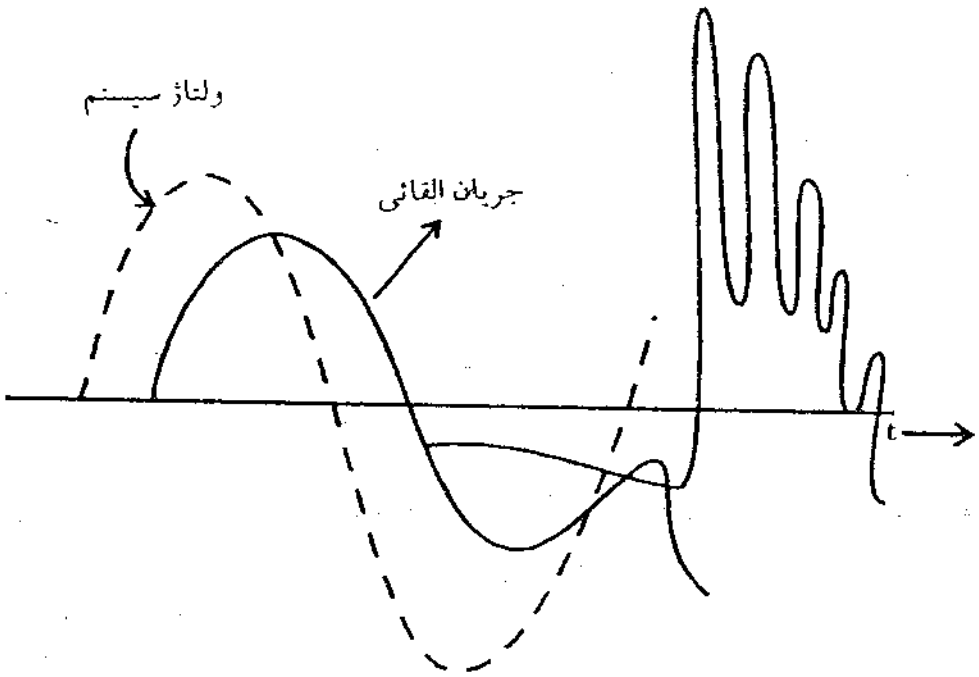
بطور مشابه جریان اتصال کوتاه نیز می‌تواند از عدم تقارن برخوردار باشد. کلید همواره در صفر جریان است که عمل قطع واقعی را انجام می‌دهد و r.v [1] حول مقدار لحظه ای ولتاژ منبع نوسان خواهد کرد اما جریان به اندازه حالت قبل نخواهد بوداین امر در شکل (۲۶-۴) نشانداده شده است.

در تجزیه و تحلیل قبل ،از ولتاژ در کلید صرفنظر شده بود در حالیکه در اغلب مواقع چنین ولتاژی وجوددارد از آنجائیکه ولتاژ جرقه تا زمانی که جرقه وجود دارد در دو سر خازن می باشد در نتیجه در لحظه $t=0$ مقداری ولتاژ یعنی $V_c=(0)$ در دو سر خازن خواهیم داشت و این عبارت به عبارت مشابهی r.v افزوده گشته و تمایل به افزایش حالت گذرا دارد این اثر با اثر ثانویه جرقه که مخالفت با عبور جریان می‌کند و در نتیجه فاز جریان را تغییر می‌دهد باعث می گردد که ولتاژ منبع در $t=0$ که لحظه قطع واقعی است در مقدار ماکزیمم خود نباشد.شکل (۲۷-۴) بیانگر مطالب فوق می‌باشد.



شکل (۲۶-۴):نمایانگر عدم تقارن جریان اتصال کوتاه

1. Recovery Voltage



شکل (۲۷-۴): ولتاژ جرقه که با عامل بوجود آورنده آن مخالفت می کند

در دو حالت قبل متوجه شدیم که در هنگام باز شدن کلید وقتی اتصالی های سیستم رخ داده است امکان دارد که ۲.۷ به دو برابر مقدار ماکزیمم ولتاژ سیستم برسد. ویا هنگامیکه کلیدی برای تامین انرژی باز و بسته می‌گردد این امکان وجود دارد که جریان به دو برابر جریان حالت ماندگار برسد. به این گونه ولتاژها و جریان های گذرا ولتاژ و جریان گذرای نرمال می‌گویند. حال مواقعی وجود دارند که مقادیر ولتاژ و جریان خیلی بیشتر از مقادیر فوق می‌گردد که به ولتاژ و جریان گذرای غیر عادی موسومند.

۲-۷-۴- حالتهای گذرای غیر عادی[1]:

الف- برش جریان[2]: وقتی جریان ناچیزی راکلید قطع می‌نماید دستگاههای قطع جرقه ممکن است باعث شود که جریان زودتر از موعد مقرر (صفر طبیعی اش) به صفرباشد.

به این عمل برش ناگهانی جریان گویند که شکلی از تضعیف جریان [3] می‌باشد این عمل باعث ایجاد اضافه ولتاژ[4] غیر عادی می‌گردد که ناشی از انرژی مغناطیسی جریان گذرنده مدار می باشد که بطور ناگهانی صفر شده است. این پدیده غالبا در هنگام قطع جریان بی‌باری یا جریان

1.Abnormal Switching Transients 2. Current Chopping
3.Current Supperession 4.Over Voltage

۹۴ ـــ

مغناطیس کننده ترانسفورماتور مشاهده می‌گردد چگونگی بوجود آمدن اضافه ولتاژ را درشکل (۲۸-۴) می‌توان درک نمود.

فرض کنیم هنگامیکه عمل برش جریان انجام می‌گیرد مقدار جریان لحظه ای I_0 باشد. قسمت اعظم $\frac{1}{2} L_m I_0^2$ در هسته ترانسفوماتوّر باقی می‌ماند و ممکن است که مقدار قابل ملاحظه ای باشد زیرا با وجود اینکه I_0 حدود یک درصد جریان بار کامل ترانسفورماتور می باشد ولی اندوکتانس مغناطیس کننده L_m زیاد می‌باشد بنابر این جریان در چنین مدار اندوکتیوی نمی تواند ناگهان متوقف گردد. اما راهی هم برای عبور جریان از طریق کلید وجود ندارد لذا چنین جریانی از خازن C عبور می‌نماید(این خازن در مرحله اول خازن سیم پیچی ترانسفورماتور است که ممکن است در اتصالات بین کلید و ترانس باشد) حال انرژی میدان مغناطیس به انرژی در میدان الکتریکی خازن متصل می‌گردد اگر مقدار این خازن معلوم باشد امکان محاسبه ولتاژی که با آن خازن C شارژ می‌گردد وجود دارد.

حال:

$$\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} L_m I_0^2 \qquad (۴-۱۰)$$

ویا:

$$V = I_0 \left(\frac{L_m}{C} \right)^{1/2} \qquad (۴-۱۱)$$

که در آن I_0 جریان در لحظه شکست و $\sqrt{\frac{l}{c}}$ امپدانس موجی است.

عبارت فوق بیان می‌کند ولتاژ دو سر خازن و در نتیجه دو سر سیم پیچی برابر با حاصلضرب مقدار جریان در لحظه شکست و امپدانس موجی ترانسفورماتور است. مسئله قابل توجه در معادله فوق این است که ولتاژ گذرا مستقل از ولتاژ سیستم می‌باشد.

برای مثال ترانسفورماتور با مشخصات , 13.8 kV و 1000 KVA را در نظر بگیرید جریان مغناطیس کننده حدودا ۱/۵- آمپر می‌باشد بدین ترتیب :

$$L_m = \frac{V_{ph}}{\omega I_m} = \frac{13800}{\sqrt{3} \times 2 \times \pi \times 50 \times 1.5} = 16/91^{H}$$

مقدار خازن بستگی به نوع سیم پیچی و عایق بندی بین 1000 - 10000PF می‌باشد که در این مثال ، مقدار C=5000PF در نظر می‌گیریم.

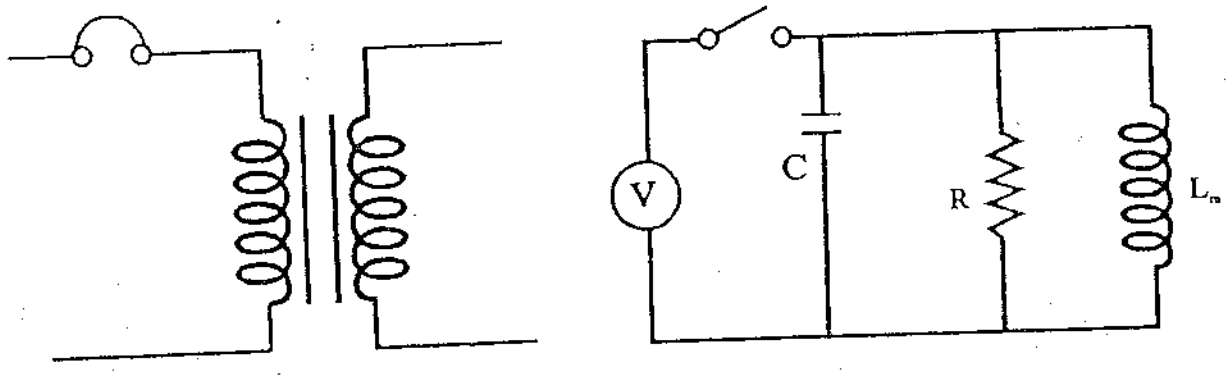
در نتیجه

$$Z_0 = \left(\frac{Lm}{C} \right)^{1/2} = \left(\frac{16/91}{5 \times 10^{-9}} \right)^{1/2} = 58154/96\ \Omega$$

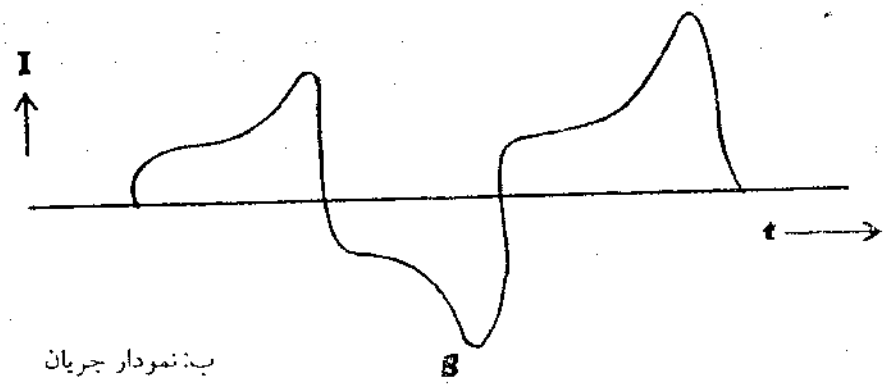
امپدانس موجی ترانس اگر کلید عمل برشگری یا شکست را در ماکزیمم جریان انجام دهد که بعلت اعوجاج ناشی از هارمونیک ها ممکن است 2.5 آمپر باشد پیک ولتاژ گذرا از نظر تئوریک به ۱۳۵ کیلو ولت خواهد رسید که حقیقتا یک ولتاژ زیاد غیر عادی برای سیستم ۱۳/۸ کیلو ولت می‌باشد.

$2.5 \times 58154/96 = 145387/4V$

بدو علت در عمل هیچگاه ولتاژ به این مقدار نخواهد رسید اولا بعلت تلفاتی که باعث میرا شدن [1] می‌گردد ثانیا بعلت اینکه کسری انرژی محبوس شده در هسته در لحظه شکست جریان آزاد می‌گردد که این دلیل حائز اهمیت بیشتری است.



الف:نمودار مداری که در آن شکست جریان اتفاق می افتد



ب: نمودار جریان

شکل (۲۸-۴): نمودار شکست جریان ها

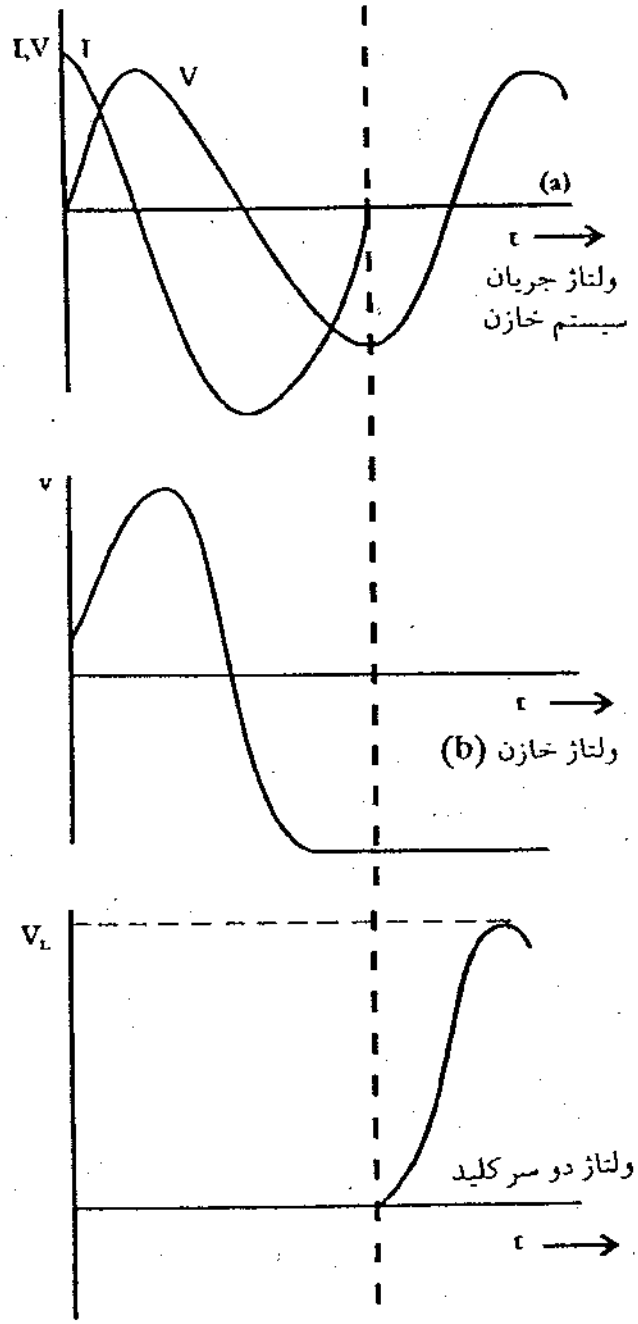
ب- قطع مدار خازنی [2] :این امر در موقع سوئیچ کردن یک خط طویل یا کابل که باز بوده و یا هنگامیکه یک بانک خازنی [3] قطع می‌شود اتفاق می‌افتد. شکل(۲۹-۴) وقایعی راکه قبل و بعد

1. Damping
2.Capacitor Switching
3. Capacitor Bank

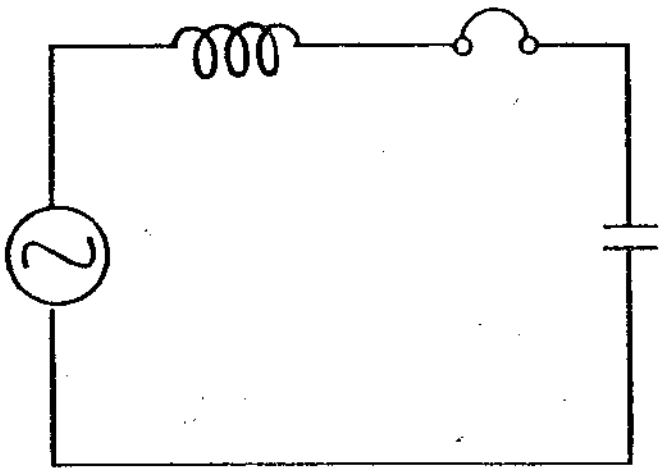
از چنین عملی اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد که در اینحالت عمل قطع با موفقیت انجام گرفته است(قطع کلید)،ولتاژ منبع و ولتاژ خازن از هم کم می‌شوند تا ولتاژ دو سر کلید بدست آید.

بعلت اینکه جریان از نظر فازی تقریبا ۹۰ درجه از ولتاژ جلوتر است هنگامیکه کلید قطع می‌شود خازن تحت ولتاژ ماکزیمم شارژ می‌گردد.

حال خازن از منبع ایزوله شده است و بارش را مطابق شکل (۲۹b-۴) حفظ می‌نماید. در نتیجه باقی ماندن این بار روی خازن می‌توان در شکل (۲۹C-۴) مشاهده نمود که نیم سیکل



ب: منحنی جریان و ولتاژ در مراحل قطع



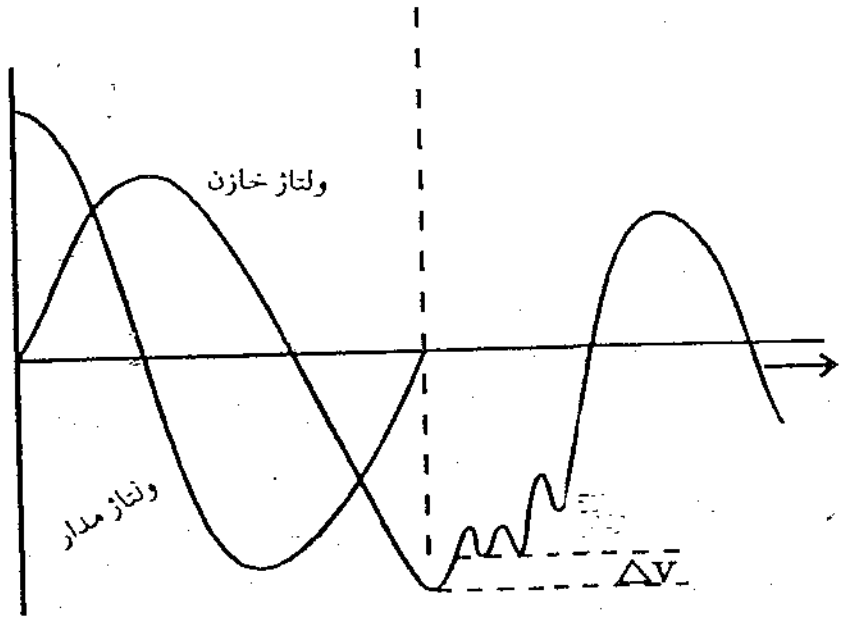
الف: مدار معادل یک خط طویل یا کابل

POWEREN.IR

شکل (۲۹-۴): مراحل قطع مدار خازنی

بعد از صفرشدن ولتاژ دو سر کلید به مقدار ماکزیمم ۲V خواهد رسید که می‌تواند خطرناک باشد. شکل(۲۹-۴)مسئله مورد نظر را تا حد زیادی ساده کرده است و در واقع مسئله بدین قرار است که جریان پیش فازی که از مدار عبور می‌کند باعث می‌گردد که ولتاژ دو سر خازن اندکی از ولتاژ مدار باز سیستم بیشتر باشد و بالنتیجه پدیده ای موسوم به رگرسیون منفی ایجاد می‌نماید که هنگامیکه خازن قطع می‌گردد پتانسیل طرف منبع کلید باین مقدار کمتر می‌گردد.اما این عمل بانوسان در مداری شامل اندوکتانس ،منبع و خازن های پراکنده مجاور کلید در طرف منبع انجام می‌گیرد.

شکل دقیقتر این عمل قطع در شکل (۳۰-۴) نشانداده شده است که ΔV همان رگرسیون منفی است که ذکر کردیم و بمنظور سادگی تجزیه و تحلیل از این اثر صرفنظر می‌کنیم .



شکل (۳۰-۴): قطع مدار خازنی

اغلب دیژنکتورها جریان بار یا اتصالی را در اولین صفر آن قطع نمی کنند بلکه آنقدر منتظر می‌مانند که فضای کافی بین کنتاکت‌هایشان برقرار شود تا وسائل خاموش کننده جرقه فرصت بهتری برای عمل پیدا نمایند اغلب دژنکتورهاقادر به قطع اینگونه جریانها که بسیار ناچیز می‌باشند، هستند .اگر این عمل خیلی زود و بعد از اینکه کنتاکت ها اندکی از هم جدا شده اند انجام نپذیرد ولتاژ ۲V دو سر کنتاکت هاکه فاصله شان خیلی کم است قرار گرفته و بالنتیجه احتمال برقراری مجدد جرقه افزایش می‌یابد فرض کنید درست هنگامیکه ولتاژ به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد جرقه مجددی اتفاق می‌افتد که این وضعیت معادل با بسته شدن کلید در

آن لحظه می‌باشد مسلماً انتظار می‌رود که این مدار LC این اغتشاش ناگهانی را با نوسانی در فرکانس طبیعی ای که برابر با رابطه (۴-۱۲) است پاسخ دهد.

$$f_{\circ}=\frac{\omega_{\circ}}{2\pi}=\frac{1}{2\pi(Lc)^{1/2}} \qquad (۴-۱۲)$$

معادله جریان گذرای ناشی از برقراری مجدد جرقه عبارتست از:

$$Vm\cos\omega t - Vc = L\frac{dI}{dt} \qquad (۴-۱۳)$$

$$Vc = V_c(o) + \frac{1}{c}\int I\,dt \qquad (۴-۱۴)$$

حال با فرض اینکه در فاصله زمانی مورد نظر ولتاژ منبع تغییر چندانی ندارد و در مقدار ماکزیممش می‌باشد می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$L\frac{dI}{dt}+\frac{1}{C}\int Idt = Vm - Vc(o) \qquad (۴-۱۵)$$

اگر معادله فوق را حل نمائیم مقدار I(t) عبارت خواهد بود از:

$$I(t) = \frac{Vm - Vc(o)}{L\omega_{\circ}}\sin\omega_{\circ}t = [Vm - Vc(o)]\,(C/L)^{1/2}\,\mathrm{Sin}\,\omega_{\circ}t \qquad (۴-۱۶)$$

Vm - Vc(o) ولتاژ دو سر کلید در لحظه برقراری مجدد می‌باشد که در این مسئله برابر 2Vm می‌باشد و کمیت $(L/C)^{1/2}$ امپدانس موجی مدار می‌باشد بدین ترتیب جریان گذرا سینوسی بوده و برابر با ولتاژ دوسر کلید بخش بر امپدانس موجی می‌باشد. حال برای روشن شدن مطلب از مثال عددی استفاده می‌کنیم تا ببینیم دامنه جریانی که از آن صحبت می‌شود چقدر است. فرض کنید $C= 60\,\mu f$ و ولتاژ سیستم ۱۵KV (موثر بین دوفاز) باشد که این مشخصات یک بانک خازنی[1] ۵۰۰۰KVA سه فاز است. جریان کاپاسیتیوی که باید قطع شود حدودا ۲۰۰ آمپر می‌باشد حال فرض کنیم که اندکتانس منبع حدودا ۱mH باشد اگر هنگامیکه ولتاژ دو سر کلید دو برابر مقدار ماکزیمم ولتاژ فاز به نول است جرقه مجددی برقرار گردد جریان گذرا مقدار ماکزیممی برابر با:

1. Capaitor Bank

$$2Vp\,(\,C/L\,)^{1/2} = \frac{2\times15000\times\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\,(\,\frac{6\times10^{-5}}{10^{-3}}\,)^{1/2} = 6000\ A$$

خواهد داشت. که توجه می‌کنیم که چندین برابر جریان نرمال 60 HZ می‌باشد فرکانس جریان بازگشتی [1] برابر است با:

$$f_{\circ} = \frac{1}{2\pi(LC)^{1/2}} = \frac{1}{2\pi\times(6\times10^{-5}\times10^{-3})^{1/2}} = 650\ HZ$$

چنانچه می‌دانیم در یک مدار عملی اثر میراشوندگی [2] وجود داشته و با توجه به آن اعداد فوق را می‌توان تا حدی تصحیح نمود حال با توجه به معادله جریان گذرا که از خازن عبور می نماید می‌توان ولتاژ خازن را محاسبه نمود.

$$Vc = Vc + \frac{1}{C}\int^{t}[Vm - Vc(o)]\,(C/L)^{1/2}\sin\omega_{\circ}t\,dt \qquad (۴-۱۷)$$

حال اگر ولتاژ مطابق شکل (۲۹-۴ب) برابر Vm- باشد جریان برگشتی موقعی اتفاق می‌افتد که ولتاژ سیستم Vm+ می‌باشد معادله فوق بصورت زیر در می‌آید.

$$V_c = -Vm + \frac{2Vm}{(LC)^{1/2}}\int^{t}\mathrm{Sin}\,\omega_{\circ}t \qquad (۴-۱۸)$$

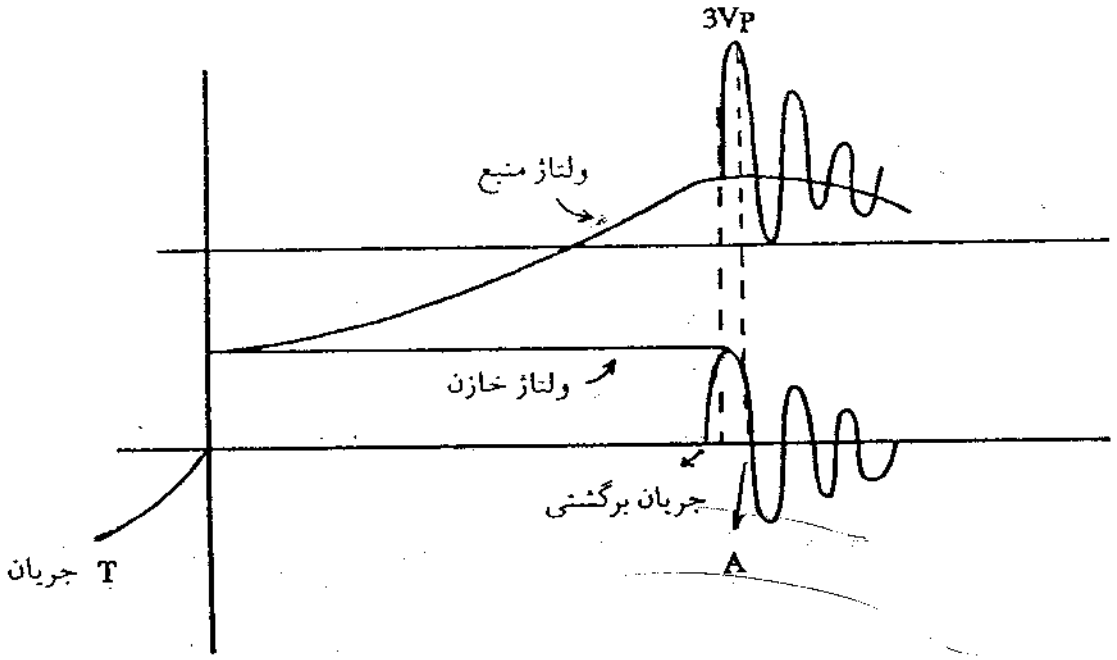
$$V_c = -Vm + 2Vm\,(1-C_n\omega_{\circ}t) \qquad (۴-۱۹)$$

که مقدار ماکزیمم آن برابر 3Vm+ می‌باشد شکل (۳۱-۴) ترتیب اولین قطع کلید، محبوس شدن بار روی خازن و جریان برگشتی بعدی را نشان می‌دهد که لزوما آخر کار نمی‌باشد.

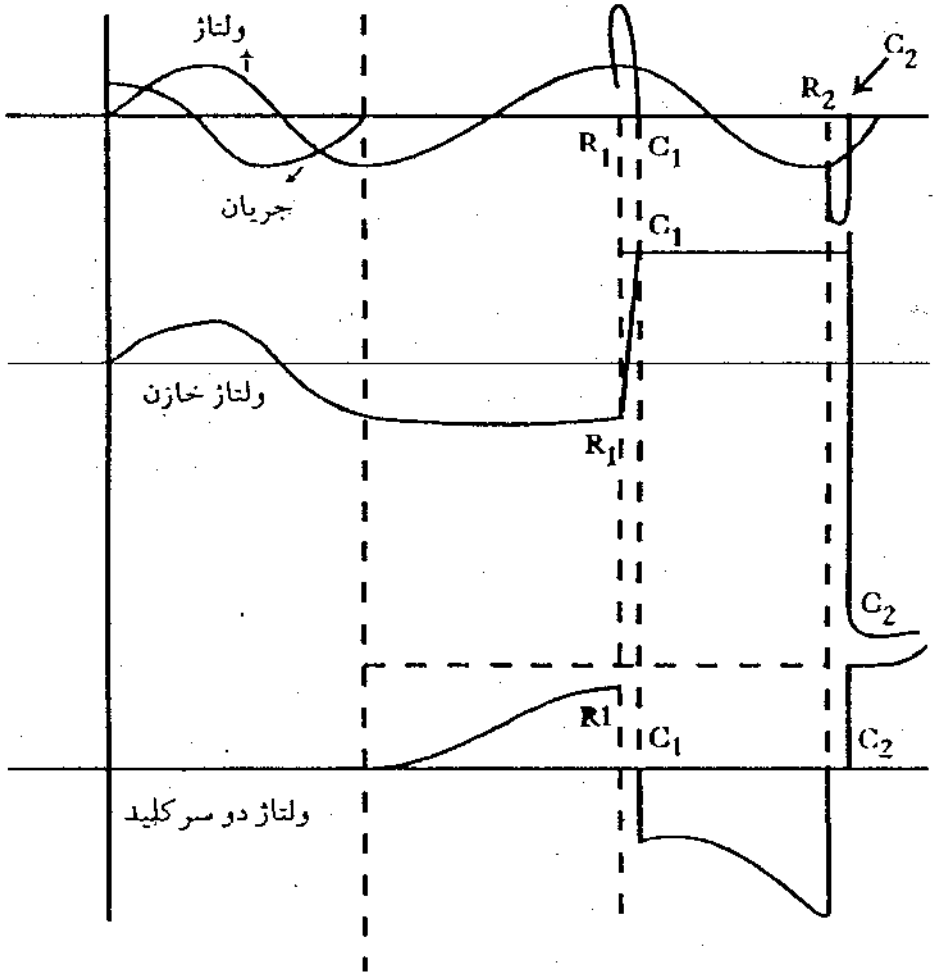
زمانی که ولتاژ گذرا به مقدار ماکزیممش می‌رسد که در شکل بصورت نقطه A نشانداده شده است، جریان گذرا از صفر عبور می‌نماید. بعضی از کلیدها در این لحظه قادر به قطع جریان هستند در این صورت ولتاژ زیادی روی خازن محبوس می‌ماند و بعد از نیم سیکل دیگر ولتاژ تقریبا معادل VP دو سر کلید ظاهر می‌گردد. اگراین ولتاژ باعث شکست الکتریکی [3] دوم شود جریان و شارژ نوسانی ، دومی‌آغاز می‌گردد حال چونکه دوبرابر ولتاژ دو سر کلید حالت قبل است جریان نیز دو برابر می‌گردد و ولتاژ خازن 3Vp به 5Vp می‌رسد.

---

1. Restrike current 2.Damping 3.Break Down



شکل (۳۱-۴): نشانگر ترتیب اولین قطع کلید،محبوس شدن باروجریان برگشتی بعدی



شکل (۳۲-۴) مراحل چگونگی ازدیاد ولتاژ دو سر کلید

این عمل در مراحل بعدی یا باعث جرقه خارجی[1] و یا معیوب شدن خازن می‌گردد در شکل (۳۲-۴) این مسئله نشانداده شده است و در این شکل منظور از R ها فاصله زمانی از شروع مجدد جرقه[2] و C ها برطرف شدن جرقه[3] می‌باشد.

۸-۴- انواع کلیدهای قدرت

قبل از پرداختن به انواع کلید قدرت به مشخصات مهم آنها می‌پردازیم:

الف-ولتاژ نامی کلید: معمولا برای ولتاژ شبکه ایست که کلید در آن نصب می‌شود و می‌تواند در حدود ۱۵٪ از ولتاژ شبکه کوچکتر باشد. اغلب بخاطر بوجود آوردن اطمینان بیشتر در استحکام شبکه از کلیدی استفاده می‌شود که ولتاژ نامی آن از ولتاژ شبکه قدری بزرگتر باشد. مثلا از سری ۲۰ کیلو ولت بجای ۱۰ کیلو ولت برای شبکه ۱۳ هزار ولت.

ب- جریان نامی: که مساوی با بزرگترین جریان کارمعمول شبکه است.

ج- قدرت نامی قطع کلید: که باید با قدرت اتصال کوتاه در محل کلید مطابقت کند.

برای محاسبه قدرت قطع کلید و جریان اتصال کوتاه شبکه می‌توان به مرجع شماره ۴۰ مراجعه کرد.

$$N=\sqrt{3}\ U\ Ia \qquad (۴-۲۰)$$

$$Ia=\mu I_{sw} \qquad (۴-۲۱)$$

$$\mu=f\left(\frac{I_{sw},t}{I_n}\right) \qquad (۴-۲۲)$$

که N قدرت قطع کلید، I_{sw} جریان اتصال کوتاه، Ia جریان قطع و μ ضریب قطع است که بعداً در خصوص آن صحبت بمیان خواهد آمد.

قدرت قطع کلید روغن با همین قدرت قطع وصل نامی کلید نیز عملا مشخص می‌شود زیرا بر حسب تعریف VDE باید قدرت وصل کلید در حدود ۲/۵ برابر قدرت وصل آن باشد. جدول (۵-۴) مشخصات کامل الکتریکی کلیدهای نرم استاندارد را نشان می‌دهد در این جدول I دیژنکتور برای نصب در شبکه محصور و F برای نصب در شبکه آزاد می‌باشد.

د- نوع فرمان وصل کلید: دستی- الکتریکی ویا کمپرسی توسط هوای فشرده

---

1. External Flashover 2. Restrike 3. Clearing

۱۰۲ ـــ

جدول (۵-۲): مشخصات دژنکتورهای VDE برای شبکه آزاد و محصور

1. Primray 2. Secordary

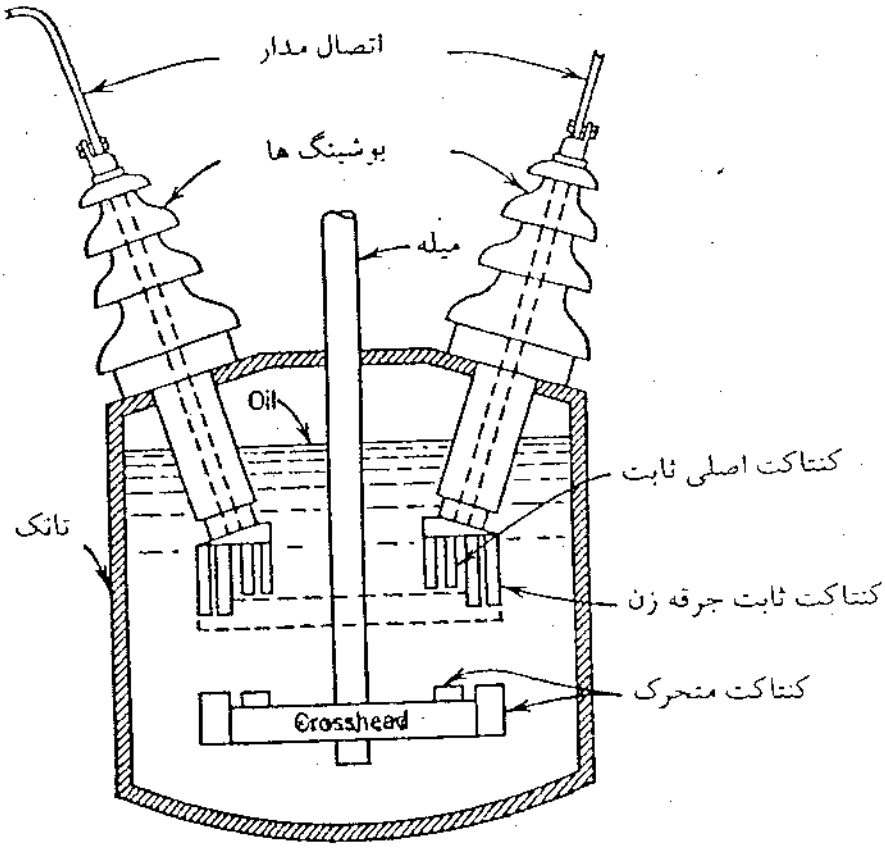
این زمان در کلیدهای مدرن امروزی به ۰/۰۵ ثانیه می‌رسد که تقریبا ۰/۰۲ ثانیه آن برای قطع جرقه مصرف می‌شود. کلیدهای قدرت امروزی برای حدود ۲۵۰۰۰ قطع و وصل ساخته می‌شوند و باید سالیانه یک بار یا پس از هر ۳۰۰۰ بار قطع و وصل یک بار سرویس و مورد بازدید وبررسی قرار گیرند.

۱-۸-۴-کلید روغنی:

این کلید که در سالهای ۱۹۱۰ تا ۱۹۲۵ از متداولترین کلیدهای فشار قوی با قدرت زیاد بود امروزه توسط کلیدهای مدرن دیگر (گازی و کم روغن) بخصوص در اروپا بکلی کنار زده شده است.

در کلید روغنی در درجه اول از روغن بعنوان عایق استفاده می‌شودو بدین جهت هر چه فشار الکتریکی شبکه بیشتر باشد حجم روغن داخل کلید نیز زیادتر می‌گردد. بطوریکه وزن روغن در کلید روغنی ۲۲۰ کیلو ولت به ۲۰ تن می‌رسدو همین حجم زیاد روغن یکی از بزرگترین معایب این نوع کلید بخصوص در موقع آتش سوزی است.

شکل (۳۳-۴) یک کلید روغنی یک قطبه را بطور شماتیک نشان می‌دهد. در این کلید بخاطر اینکه از مکانیسم خاصی برای خاموش کردن جرقه استفاده نشده است، جرقه در اثر



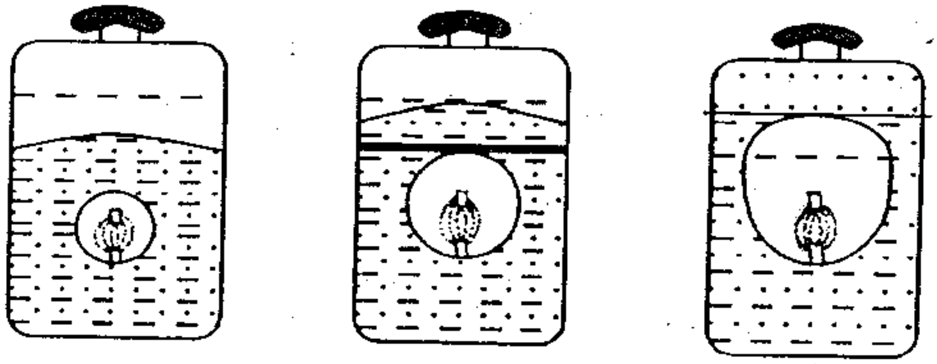
شکل (۳۳-۴): شمای یک کلید روغنی

ازدیاد طول باید از بین برود و بدین جهت کنتاکتهای کلید طوری ساخته شده که جرقه در دو نقطه بطور متوالی انجام گیرد و با یک حرکت قطع کلید، مدار جریان در دو نقطه قطع گردد.

بدین جهت این کلید از دو کنتاکت ثابت که به انتهای دو مقره عبور نصب شده است تشکیل شده و تیغه متحرکی که توسط اهرم عایقی فرمان می‌گیرد، ارتباط بین دو کنتاکت ثابت را فراهم می‌کند.

در موقع قطع کلید و جدا شدن از تیغه کنتاکت همانطور که گفته شد تراکم در یک نقطه از کنتاکت ها بقدری زیاد می‌شود که باعث شروع جرقه در آن محل می‌گردد. در اثر حرارت شدید جرقه، روغن تجزیه شده و ایجاد گاز می‌کند که بصورت حبابی اطراف جرقه را می‌پوشاند. با جدا شدن هر چه بیشتر تیغه از کنتاکت ثابت و طویل شدن جرقه حباب گازی نیز بزرگتر و بزرگتر می‌گردد و در ضمن اینکه مقداری از حرارت جرقه صرف بخار کردن و تجزیه روغن می‌شود، در اثر ازدیاد بیش از حد طول جرقه قوس می‌شکند و جرقه قطع می‌شود. شکل(۳۴-۴) حباب گاز را در سه مرحله مختلف نشان می‌دهد.

نظر باینکه حجم حباب بستگی به شدت جرقه و شدت جرقه مستقیما بستگی به شدت جریانی دارد که کلید قطع می‌کند، باید فضای خالی بالای روغن (در شکل ۳۴-۴ الف) مناسب باشد. اگرجرقه قبل از رسیدن سطح روغن به زیر در پوش منبع خاموش نشود، امکان ترکیدن منبع در اثر ازدیاد فشار داخلی بسیار زیاد است (منبع کلید معمولا فشاری در حدود ۱/۷ اتمسفر را تحمل می‌کند.)

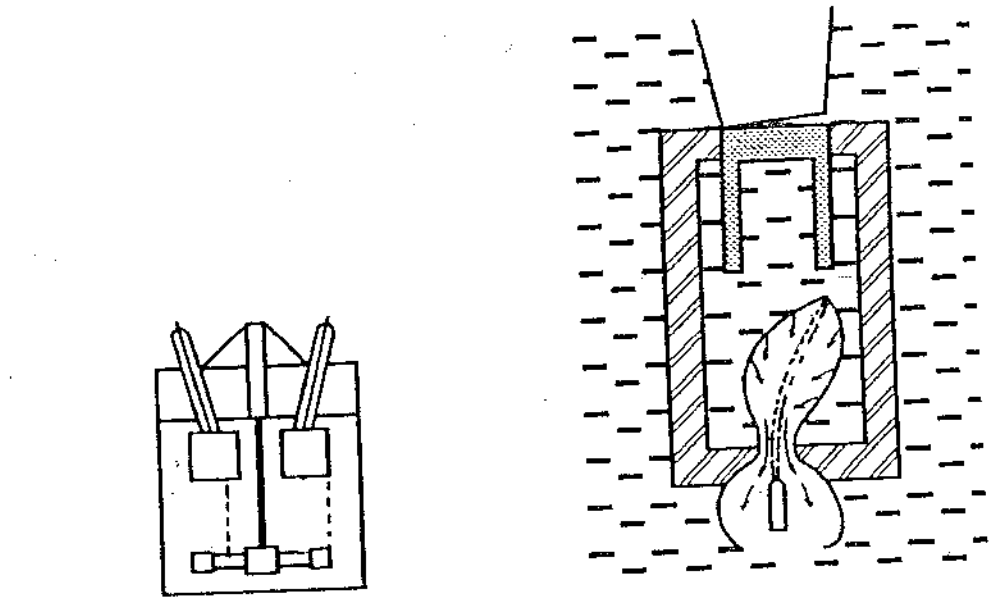


شکل (۳۴-۴):مراحل خاموش کردن یک کلید روغنی

کلید قدرت علاوه بر اینکه جریان اتصال کوتاه را قطع می‌کند، باید قادر باشد مدار اتصال کوتاه شده ای را نیز به شبکه برق وصل کند. بعبارت دیگر در زیر اتصال کوتاه وصل شود.

از آنجا که در این حالت در لحظه وصل، جریان اتصال کوتاه ضربه ای شدیدی از کلید می گذرد، در اطراف کلید حوزه الکترو مغناطیسی شدیدی ایجاد می‌شود (شکل۳۵-۴) که سبب

لرزش کنتاکتها که نتیجه آن بوجود آمدن نقطه جوشهائی در سطح کنتاکتها و از کار افتادن کلید می گردد . برای جلو گیری از این ارتعاشات بخصوص در کلیدهای فشار قوی هر قطب کلید دارای محفظه جرقه خاموش کن مربوط بخود می‌باشند.

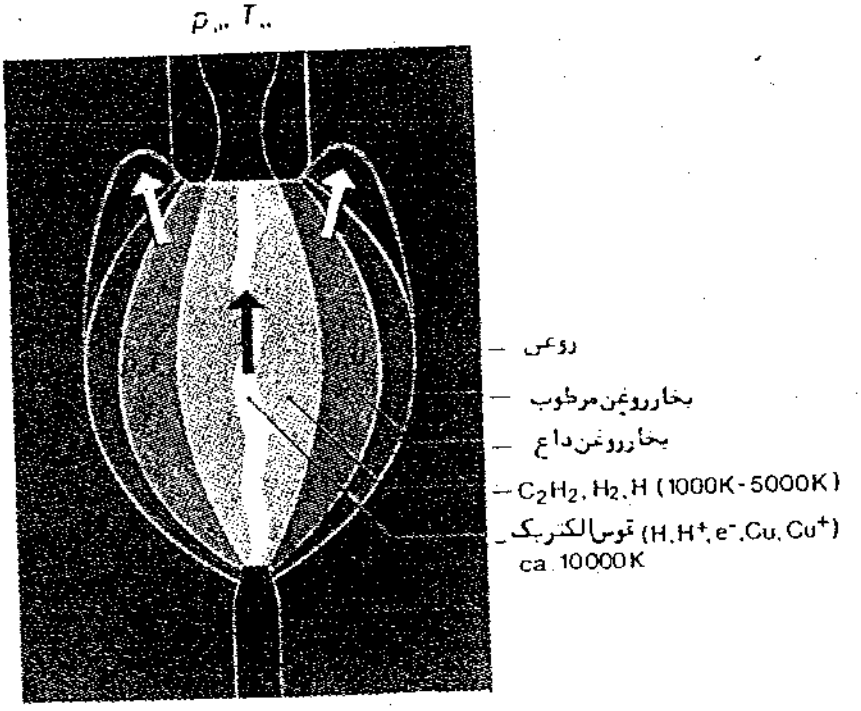


الف: کنتاکت متحرک را احاطه می کند

ب: کنتاکت متحرک را در دو محل از کنتاکتهای ثابت جدا می شود.

شکل (۳۵-۴): نمونه ای از ایجاد جرقه در کلید قدرت

شکل(۳۶-۴) یک نمونه ساده از این محفظه را نشان می‌دهد.



شکل (۳۶-۴): نمونه ای از محفظه خاموش کردن جرقه

۲-۸-۴- کلید کم روغن :

برای تشریح طرز کار کلید کم روغن وقایعی که در موقع جرقه زدن در روغن اتفاق می افتد و عواملی که درخاموش شدن جرقه موثر هستند ذیلا توضیح داده می‌شود. در موقع جدا شدن دو کنتاکت کلید زیر بار محفظه روغنی که از آخرین نقطه تماس فلزی کنتاکت می‌گذرد باعث گداخته شدن و تبخیر فلز(مس) می‌شود و همین جریان اساس تولید جرقه یا قوس الکتریکی بین دو کنتاکت جدا شده است. حرارت زیاد جرقه روغن اطراف قوس را تبخیر و ایجاد یک حباب گازی با فشار زیاد می‌کند. این حباب گازی از لایه های مختلفی تشکیل شده که از دیدگاه روغن مرکز قوس عبارتند از:

الف - لایه بخار مرطوب روغن

ب - لایه بخار داغ و خشک

ج - لایه‌اطراف قوس مرکب از H, H_2, C_2H_2 با حرارتی در حدود ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ درجه کلوین و همینطور که بعدا خواهیم دید همین وجود اتم و ملکولهای هیدروژن است که با خواص خوب حرارتی که دارند روغن را برای قطع جریان مناسب می کنند.

در مرکز حباب جریان بصورت یک قوس الکتریکی عبور می‌کند و قوس قسمتی از گاز است که‌به‌علت درجه حرارت زیادی که دارد (۵۰۰۰-۱۰۰۰۰K) باعث یونیزاسیون حرارتی می شود. قسمتی از اتمهای هیدروژن را یونیزه کرده و یک مجرای هادی بین دو کنتاکت کلید برای عبور جریان بوجود می‌آورد. حرارت شدید قوس توسط گازهای مجاور که بیشتر از ملکول و اتم هیدروژن تشکیل شده و دارای قابلیت هدایت حرارتی بسیار زیاد است(۲۰ برابرهوا) به روغن مجاور پس داده می‌شود این عمل تبادل حرارتی را می‌توان با به جریان انداختن گاز که دارای فشار P و درجه حرارت T است به محفظه دیگری با درجه حرارت T_o وفشار P_o تشدید نمود .با استفاده از آنچه که توضیح داده شد عمل قطع جریان متناوب باید بطریق زیر انجام گیرد.

چنانچه دیده می‌شود کنتاکت ثابت از دو تیغه موازی تشکیل شده (شکل ۳۵-۴ الف) تا در موقع عبور جریان اتصال کوتاه در ضمن وصل کلید ، حوزه های الکترومغناطیس باعث فشردن تیغه ها به میله کنتاکت دهنده شده و مانع لرزش آن شود. در ضمن در موقع قطع کلید حباب گازی که در محیط ایجاد می‌شود، بمحض خارج شدن میله از محفظه با سرعت بطرف خارج کشیده می‌شودو در قطع سریع جرقه موثر واقع می‌شود.

در نزدیکی صفر شدن جریان، قدرت حرارتی جرقه که برابر حاصلضرب جریانی I در اختلاف سطح U_L است تقریبا صفر می‌شود. اگر در این موقع هدایت حرارت بخار بخارج بسیار

سریع انجام گیرد، حرارت اطراف جرقه با صفر شدن جریان آنقدر پائین می‌آید که قوس هدایت الکتریکی خود را بکلی از دست می‌دهد و الزاماً جرقه خاموش می‌شود. اما برای این تبادل حرارتی فقط یک فرصت بسیار کوتاهی که جریان از صفر و یا حوالی صفر می‌گذرد موجود است. به این ترتیب باید عناصری که جرقه رادر بردارند دارای آنچنان قابلیت هدایت حرارتی باشند که بتوانند سریع و بی درنگ حرارت را بخارج منتقل کنند. خوشبختانه هیدروژن متصاعد شده از روغن مناسبترین عنصر برای این منظور است. در یک زمان بسیار کوتاه که قابلیت هدایت قوس الکتریکی بسیار کم است (مقاومت الکتریکی زیاد) فقط یک جریان ناچیزی از بین دو کنتاکت می‌گذرد که اگر در این موقعیت حرارت خارج شده به اندازه ای نباشد که هدایت الکتریکی بین دو الکترود را به صفر برساند، قوس با نیم موج بعدی جریان بر می‌گردد و جریان اتصال کوتاه ادامه پیدا می‌کند. این برگشت مجدد جرقه در صورتی که با هدایت مناسب حرارتی همراه باشد، جرقه هم قطع شود. برای نگهداشتن این وضعیت و جلوگیری از برگشت مجدد جرقه شرط دیگری نیز لازم است و آن استقامت الکتریکی بین دو کنتاکت است. بدین معنی که حباب گازی که هنوز بین دو کنتاکت موجود است، گرچه دیگر بخارنیست ولی باید دارای آن چنان استقامت الکتریکی باشد که در اثر برگشت ولتاژ شبکه بمحض صفرشدن جریان دو کنتاکت، باعث انهدام الکتریکی و در نتیجه باعث برگشت مجدد قوس الکتریکی و عبور جریان نشود.

U_D اختلاف سطحی که باعث جرقه مجدد می‌شود و ما به آن اختلاف سطح شکست الکتریکی عایق می‌گوئیم برای گازها در فاصله ثابت بین دوالکترود معین بستگی به تراکم گاز دارد و یا بعبارت دیگر متناسب با T,P است. بدین جهت اگر خواسته باشیم جرقه در اثر برگشت ولتاژ برنگردد و عایق دچار شکست الکتریکی نشود، باید تراکم گاز در زمانی که جریان به حوالی صفر می‌رسد خیلی زیاد شود، تا فاصله دو کنتاکت که هنوز خیلی زیاد نشده استقامت الکتریکی مناسب و کافی را پیدا کند. یعنی در همان موقعی که جریان به صفر می‌رسد و جرقه برای اولین بار قطع می‌شود باید تراکم گاز داخل محفظه خیلی زیاد باشد و چون این تراکم زیاد را نمی توان فقط با ازدیاد فشار P بدست آورد، باید همزمان با به جریان انداختن و خارج کردن گاز گرم در خنک کردن گاز نیز کوشید.

همانطور که می‌دانیم تراکم گاز در محفظه جرقه خاموش کن در موقع عبور جریان از صفر برابر است با نسبت مقدار گازی که قبلا بوجود آمده (m) به فضائی که برای این مقدار گاز موجود است (V)

این فضا در ابتدا توسط خارج شدن کنتاکت متحرک از محفظه والاستیسیته روغن داخل محفظه جرقه خاموش کن تعیین می‌شود. ولی بعداکه روغن اطراف گاز به جریان می‌افتد وگاز

۱۰۸ ـــ

بطرف مخزن بالای کلید راه پیدا می‌کند حجم گاز نیز زیاد می‌شود.
بدین معنی که حباب گازی که هنوز بین دو کنتاکت موجود است ، گرچه دیگر بخارنیست ولی باید دارای آن چنان استقامت الکتریکی باشد که در اثر برگشت ولتاژ شبکه بمحض صفرشدن جریان دو کنتاکت، باعث انهدام الکتریکی و درّ نتیجه باعث برگشت مجدد قوس الکتریکی و عبور جریان نشود.

U_D اختلاف سطحی که باعث جرقه مجدد می‌شود و ما به آن اختلاف سطح شکست الکتریکی عایق می‌گوئیم برای گازها در فاصله ثابت بین دوالکترود معین بستگی به تراکم گاز دارد و یا بعبارت دیگر متناسب با T,P است. بدین جهت اگر خواسته باشیم جرقه در اثر برگشت ولتاژ برنگردد و عایق دچار شکست الکتریکی نشود، باید تراکم گاز در زمانی که جریان به حوالی صفر می‌رسد خیلی زیاد شود، تا فاصله دو کنتاکت که هنوز خیلی زیاد نشده استقامت الکتریکی مناسب و کافی را پیدا کند. یعنی در همان موقعی که جریان به صفر می‌رسد و جرقه برای اولین بار قطع می‌شود باید تراکم گاز داخل محفظه خیلی زیاد باشد و چون این تراکم زیاد را نمی‌توان فقط با ازدیاد فشار P بدست آورد ،باید همزمان با به جریان انداختن و خارج کردن گاز گرم در خنک کردن گاز نیز کوشید.

همانطور که می‌دانیم تراکم گاز در محفظه جرقه خاموش کن در موقع عبور جریان از صفر برابر است با نسبت مقدار گازی که قبلا بوجود آمده (m) به فضائی که برای این مقدار گاز موجود است (V)

این فضا در ابتدا توسط خارج شدن کنتاکت متحرک از محفظه والاستیسیته روغن داخل محفظه جرقه خاموش کن تعیین می‌شود. ولی بعدا که روغن اطراف گاز به جریان می‌افتد وگاز بطرف مخزن بالای کلید راه پیدا می‌کند حجم گاز نیز زیاد می‌شود.

۳-۸-۴ *کلید هوائی*[1]:

این نوع کلیدها که از هوای فشرده برای خاموش کردن جرقه استفاده می‌شود دارای مزایای زیادی است،یکی از مهمترین مزایائیکه این نوع دیژنکتور می‌تواند داشته باشد رنجهای[2] مختلف و متناسب با احتیاجات شبکه های مختلف قدرت است که کاربرد زیادی دارد.بعلاوه‌این‌نوع‌کلیدبرای سوئیچگیرهای مختلف‌نظیرپوشیده‌فلزی[3] وپاپست در فضای آزاد بکار می‌رود.بطور خلاصه از مزایای کلید با هوای فشرده:

الف- قابلیت انعطاف پذیری که در مقایسه باخاموش کننده های مایع این اجازه را می دهد که

1.Air Blast C.B 2. Range 3.Metal Clad

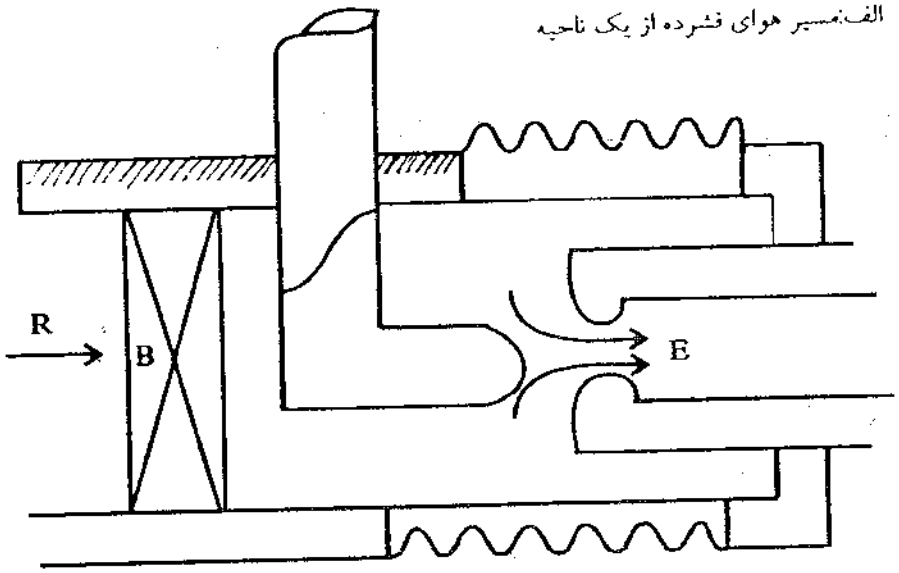
طراحی ساخت آن بدون توجه به فشار ایجاد شده و عکس العمل های آن باشد.

ب- تحرک (سرعت حرکت) که امکان ذخیره شدن هوا در محلی دور از محل جرقه، کاهش نیازهای تعمیری وغیره را می دهد.

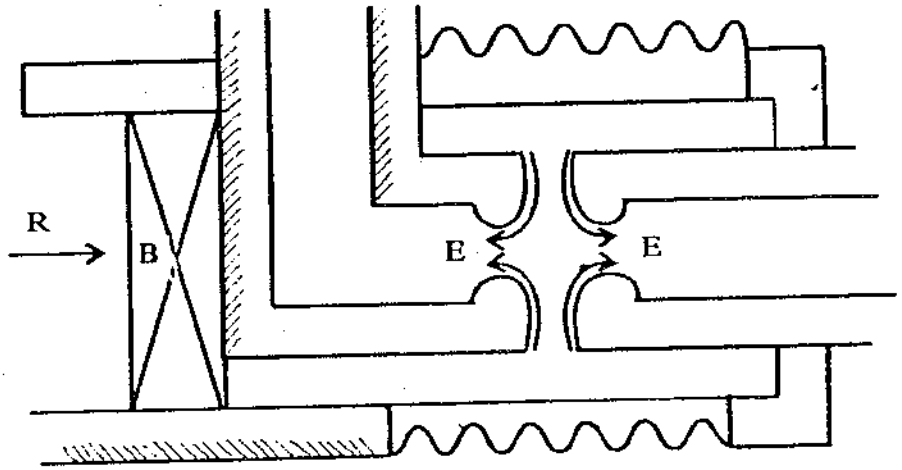
ج- غیر قابل اشتعال بودن

د- کاربرد در فشار الکتریکی زیاد که بوسیله چندین قطع کننده بطور سری امکان پذیر است.

الف:مسیر هوای فشرده از یک ناحیه



ب: مسیر هوای فشرده از دو ناحیه



شکل (۳۷-۴): شمای یک کلید با هوای فشرده

R= فشرده کننده هوا[1]

E= دریچه خروجی [2]

B= دریچه فشرده کردن هوا [3]

---

1. Compressed air supply
2. Exhaust Valves (down stream)
3. blast valves (up stream)

از معایب آن می‌توان هزینه زیاد جهت فشرده کردن هوا، هزینه ثابت خاموش کردن سرو صدا نام برد.

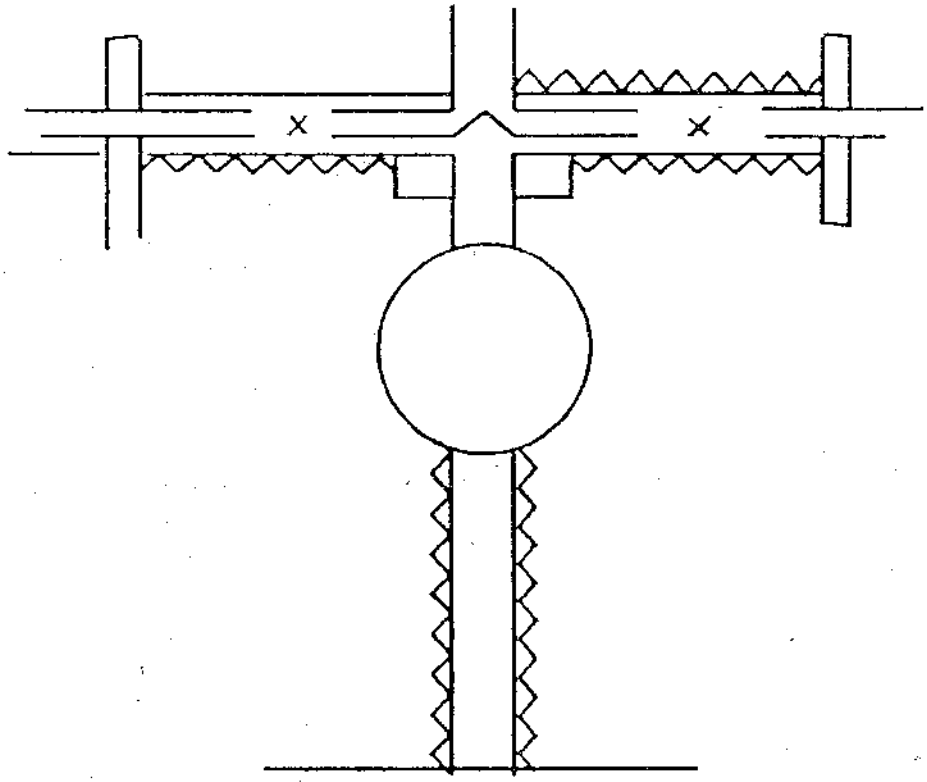
سیستم کار این نوع کلیدها باین ترتیب است که از کنتاکت یکی ثابت و دیگری متحرک استفاده می‌شود. شکل(۳۷-۴) دو نوع معمول کلید با هوای فشرده را نشان می‌دهد شکل (۳۷-۴الف) که مسیر هوای فشرده به محل جرقه از یک ناحیه می‌باشد در حالیکه در شکل (۳۷-۴ب) که به مسیر دو گانه معروف است ، هوای فشرده به دو قسمت مساوی تقسیم شده و در دوجهت مخالف حرکت می‌نماید.

در شکل (۳۷-۴) هوای فشرده شده در ناحیه R بوده که کنترل ورودی برای فشرده به محل جرقه، توسط دریچه B صورت می‌گیرد. کنترل مسیر خروجی هوا توسط دریچه می‌باشد باید توجه داشت که در این کلیدها فاصله هوائی دو کنتاکت در موقع قطع جرقه بایستی طوری باشد که پس از قطع هوای فشرده مجددا جرقه برقرار نگردد.

این کلیدها در دوفرم "ترمینالهای آزاد" یا " درفضای بسته شده"ساخته می‌شود. در حالت اول ترمینالهای آزاد قسمتهای زنده کلید به بیرون راه دارند در حالیکه حالت دوم ترمینالهای آن در یک فضای فلزی محدود شده اند.

یک نمونه از کلید ترمینالهای آزاد در شکل (۳۸-۴) نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست قسمت زنده (برق دار) در ارتفاع قرار گرفته است در قسمت پائین کلید یک منبع ذخیره هوای فشرده شده قرار داده شده است که این منبع به قسمت کنتاکتهادر حالت عادی ارتباط نداشته و لیکن در موقع عمل کلید ارتباط برقرار شده و هوای سرد فشرده شده با فشار و مقدار ثابت ومستقل از جریان عبوری از کلید به سمت کنتاکت ها رانده می‌شود. با توجه به وجود هوا بین دو کنتاکت و اینکه خاصیت عایقی هوا از روغن پائین تر است در نتیجه فاصله بین دو کنتاکت از این نوع کلید، از کلیدهای نیمه روغنی بیشتر می‌شود. این موضوع باعث می گردد که زمان قطع کلید طولانی تر باشد لذا جهت به حداقل رساندن قطع کلید و یاکم کردن زمان حرکت کنتاکت متحرک از چندین مرحله قطع (کنتاکت های زیادتری که بصورت سری[1] بسته شده اند) استفاده گردد .

1. Multi Breaking Unit



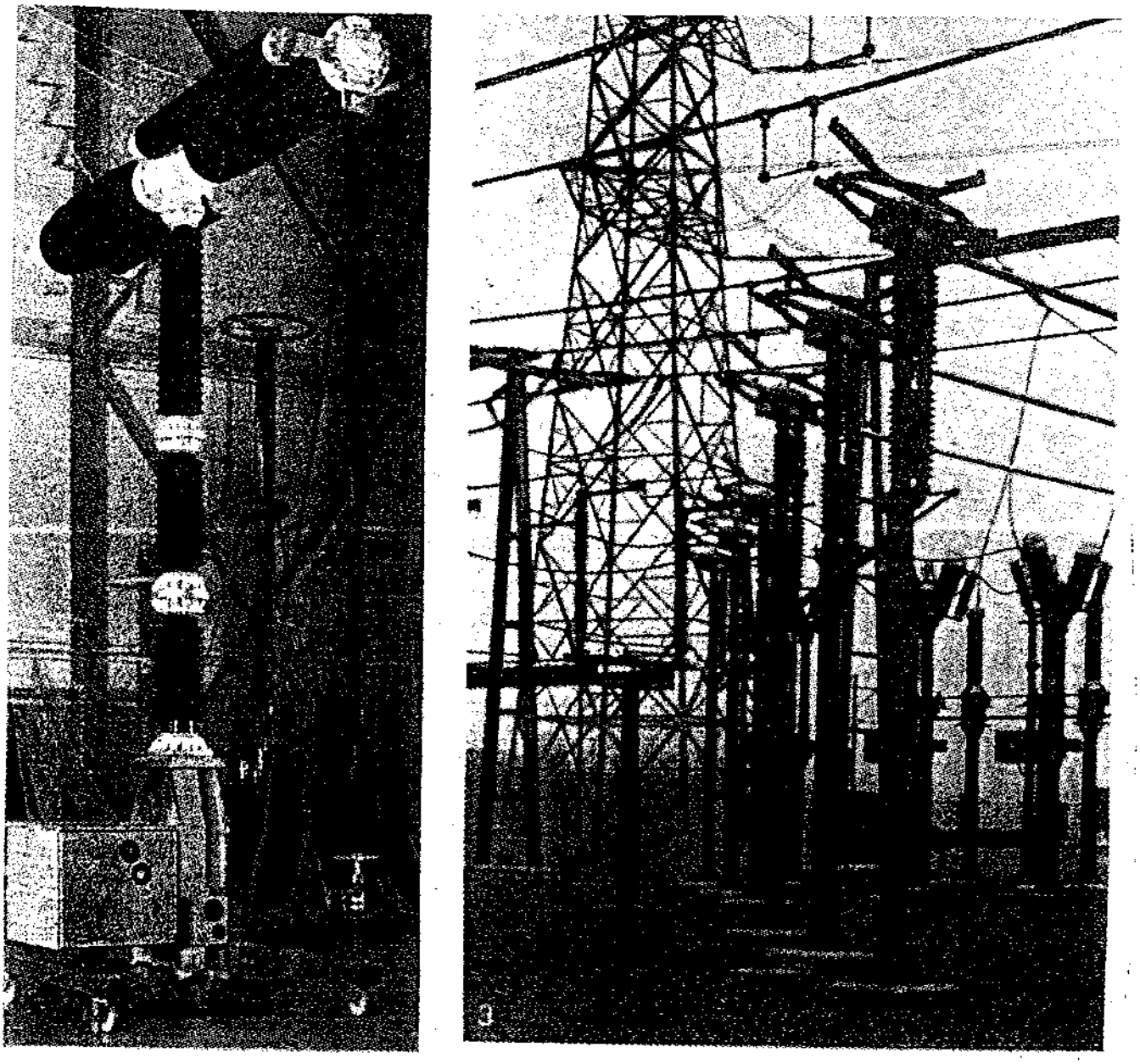
شکل (۳۸-۴): یک کلید هوائی از نوع ترمینالهای ازاد

مشابه کلیدهای کم روغن هر دوجفت کنتاکت می‌توانند دارای یک میله عمل کننده باشند و از نظر شکل ظاهری بصورت Y یا T ساخته شوند. در کلیدهای با چندین قطع کننده بایستی از خازنهای یکنواخت کننده که بصورت موازی با کنتاکت‌ها بسته می‌شونداستفاده کرد (شکل ۳۹-۴).

استفاده از مقاومت های موازی با کنتاکت که چند لحظه قبل از قطع و یا وصل کلید وارد مدار می‌شوند جهت محدود نمودن اضافه ولتاژها و نیز کند نمودن ولتاژ برگشت در کلیدهای با ولتاژ بالا متداول است. این نوع کلیدها در حال حاضر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و لیکن رفته رفته کلیدهای نوع دیگر جایگزین این نوع کلید خواهد شد.

۴-۸-۴- کلید SF6:

در این کلید از گاز SF6 بعنوان گاز خاموش کننده جرقه و عایق بین دو کنتاکت و نگهدارنده ولتاژ استفاده شده است. گاز SF6 الکترونهای آزاد را جذب می‌کند و ایجاد یون منفی بدون تحرک می‌کند. در نتیجه مانع ایجاد ابر بهمنی الکترونها که باعث شکست عایق و ایجاد جرقه می‌شود می‌گردد. بطوریکه استقامت الکتریکی گازSF6 به ۲ تا ۳ برابر استقامت الکتریکی هوا می‌رسد.

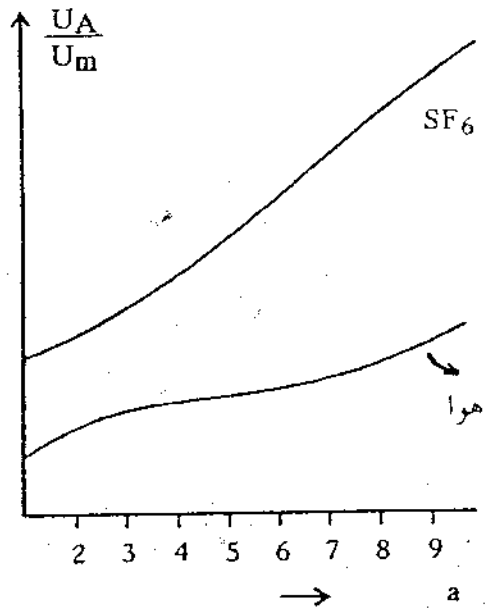


الف:قرار گرفتن کلیدهای یاد شده درپست

ب:قسمت قطع کننده همراه با خازن موازی

شکل(۳۹-۴):نمونه ای از دژنکتور با خازن موازی ساخت (عکس از FUNKTION آلمان)

شکل (۴۰-۴) منحنی مقاومت بر حسب اختلاف سطح گاز SF6 را بر حسب فشار گاز نشان می‌دهد. گاز SF6 از نظر شیمیایی با ثبات است و میل ترکیبی آن خیلی کم و غیر سمی می باشد و تقریبا ۵ برابر هوا وزن دارد و در مقابل حرارت نیز پایدار و غیر قابل اشتعال است. در ضمن این گاز دارای قابلیت هدایت حرارتی بسیار زیاد است لذا علاوه بر اینکه در خاموش کردن جرقه بسیار موثر واقع می‌شود، عایق بسیار با ارزشی نیز می‌باشد. طرز استفاده از این گاز در کلیدهای فشار قوی عموما بر مبنای انژکسیون گاز تراکم شده SF6 به محل قوس الکتریکی و محفظه احتراقی است.

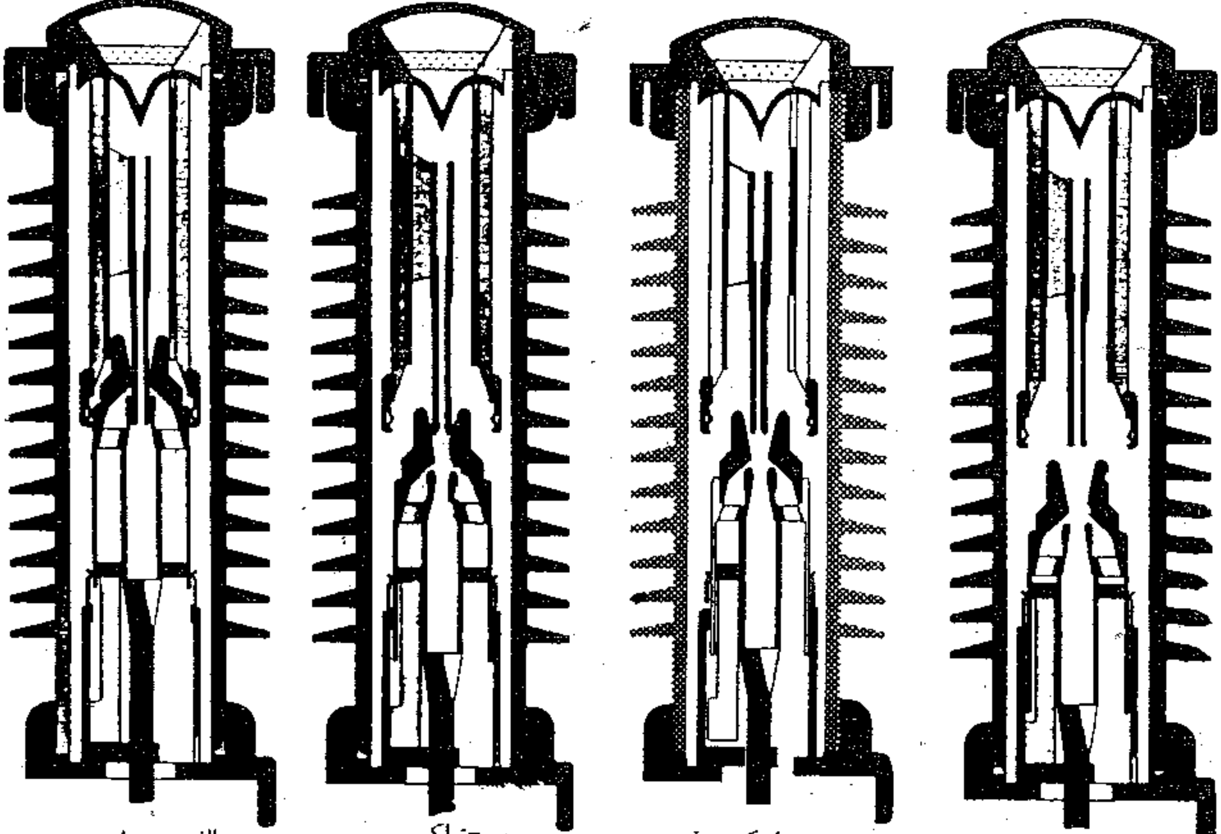


شکل (۴۰-۴): مقایسه استقامت الکتریکی گاز SF6 و هوا

شکل (۴۱-۴) کمپرسور محفظه احتراقی کلید SF6 ساخت زیمنس را نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، در این کلید از یک کنتاکت متحرک استفاده نشده است، بلکه قسمت اصلی کلید تشکیل شده از لوله ثابت که بفاصله معینی متناسب با ولتاژ نامی‌کلید در مقابل هم قرار گرفته اند. ارتباط این دو لوله و دو حالت وصل کلید توسط موف(بوش) انگشتانه مانند فلزی انجام می‌گیرد. (شکل ۴۱-۴الف)

کمپرسور تشکیل شده از یک سیلندر عایقی پر از گاز که بوسیله میله فرمان مخصوصی بطرف پائین و بالا حرکت می‌کند ودر ضمن باعث قطع و وصل کلید نیز می‌شود .در قسمت تحتانی این سیلندر عایقی یک پیستون رینگ مانند بطور ثابت نصب شده است. این مجموعه (پیستون وسیلندرو گاز وموف اتصالی) در موقع قطع کلید مانند یک کمپرسور و دیژنکتور عمل می‌کند. با این تفاوت که گاز داخل کمپرسور با فشردن پیستون متراکم نمی‌شود. بلکه با پائین آمدن لوله سیلندری فشرده ومتراکم می‌شود. در موقع قطع کلید، کمپرسور که در حقیقت بعنوان‌دستگاه تراکم کننده و دمنده گاز عمل می‌کند بوسیله اهرمی‌که فرمان قطع را اجرا می‌کندبه طرف پائین کشیده می‌شود(شکل ۴۱-۴ب) ،در اینحالت گازSF6 داخل کمپرسور متراکم می شودو موقعی که گاز تراکم لازم برای خاموش کردن جرقه را پیداکرد، موف اتصالی از لوله ثابت فوقانی جدا می‌شودو در ضمن اینکه بین دو کنتاکت لوله ای جرقه حاصل می‌شود، مجرای ورودگاز از دو طرف جرقه باز می‌شود و کمپرسورتبدیل به انژکتور می‌گردد.گاز تحت فشار بطور عمودی قوس وارد شده و در امتداد طول قوس در داخل لوله ها جریان پیدا می‌کند (شکل ۴۱-۴پ) و باعث قطع سریع جرقه در زمان عبور جریان از صفر می‌شود. پس از قطع کامل

جریان سیلندر عایقی کمپرسور در محل (شکل ۲۱-۴ت) بطور ثابت قرار می‌گیرد. در موقع وصل کلید سیلندر عایقی مجدداً بالا می‌رود و فضای خالی آن از گاز SF6 پر می‌شود و کلید آماده برای قطع می‌گردد.



شکل (۲۱-۴): مراحل عملکرد یک کلید SF6 (عکس از SPREC. ENERG.)

۹-۴- انتخاب کلید قدرت

کلیدهای قدرت ویا بطور کلی کلیدهای مراکز پست برق و کارنجات برق باید جریان اتصال کوتاه را در همان لحظات اول که مقدار جریان نزول نکرده قطع کنند.

اگر قسمتی از مداراتصال کوتاه شده و مقاومت های سر راه عبارت باشند از: ژنراتورها و ترانسفورماتورها و خود شبکه لذا در موقع اتصال کوتاه جریانی که از مدار می‌گذرد عبارتست از:

$$I_{sw}= \frac{1.1U}{\sqrt{3}.\sqrt{R^2+X^2}} \qquad (۴-۲۳)$$

در رابطه (۲۳-۴) عدد 1.1 ضریب اطمینان ، X,R مقاومت و راکتانس دیده شده در محل اتصال کوتاه و Isw جریان موثر اتصال کوتاه است.

اگر طول سیمهای شبکه خیلی زیاد نباشد مقاومت سلفی مدار به مراتب بیشتر از

مقاومت اهمی مدار می‌باشد به این جهت در محاسبات معمولا از مقاومت اهمی صرفنظر می شود در نتیجه فرمول بصورت زیر ساده می‌شود.

$$I_{sw}= \frac{1.1\ U}{\sqrt{3}X} \qquad (۴-۲۴)$$

در این فرمول مقدار X برای ژنراتور و با ترانسفورماتورها برابر است با:

$$X= \frac{U}{\sqrt{3}.\ p.\ In} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U^2}{N} \qquad (۴-۲۵)$$

بطوریکه U عبارتست از فشار الکتریکی بر حسب کیلو ولت و In جریان نرمال بر حسب کیلو ولت و p عبارتست از نسبت جریان ضربه ای اتصال کوتاه به جریان نرمال و یا pبرابر است با نسبت اختلاف سطح نرمال به اختلاف سطح ضربه ای و U_k عبارتست از درصد اختلاف سطح اتصال کوتاه و N عبارتست از قدرت نرمال به MVA .مقدار ماکسیموم جریان اتصال کوتاه متناوب برابر است با:

$$I_s= K.\sqrt{2}.\ I_{sw} \qquad (۴-۲۶)$$

که در این فرمول $\sqrt{2}$ عبارتست از فاکتوری که برابر با نسبت بین ماکسیموم و موثر جریان می باشد و K عبارتست از فاکتوری است که در اثر ازدیاد جریان اتصال کوتاه متناوب در اثر وجود مقدار ثابت جریان دائمی بوجود می‌آید و از این جهت اولاً همیشه از یک بزرگتر می‌باشد و در ثانی باید در Isw ضرب شود تا جریان ضربه ای ماکسیموم اصلی بدست آید.

معمولا بین 1.08 تا 1.8 می‌باشد و متناسب با نسبت R/X است.

R/X	0	0.1	0.15	0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	1
K	1.8	1.6	1.5	1.45	1.33	1.26	1.2	1.15	1.1	1.08

جدول (۴-۶): جدول پیدا کردن ضریب K

چون کلید بمحض اتفاق افتادن اتصال کوتاه آنرا قطع می‌کند و زمان قطع مقداری بطول می‌انجامد. (معمولا قدری بیشتر از 0.25 ثانیه) لذا جریانی راکه کلید قطع می‌کند قدری کمتر از

جریان ضربه ای اتصال کوتاه متناوب (Isw) می‌باشد از این جهت با در نظر گرفتن این فاکتور مقدار جریانی راکه کلید باید قطع کند برابر است با:

$$Ia = \mu . I_{sw} \qquad (۴-۲۷)$$

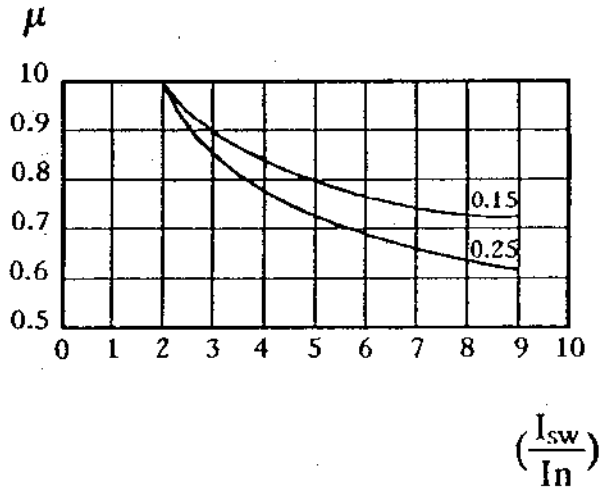
μ عبارتست از فاکتور با ضریب افت جریان. مقدار μ از روی منحنی شکل (۴-۲۲) بدست می‌آید

۱- برای تاخیر در قطع تقریبا0.15 ثانیه
۲- برای تاخیر در قطع بزرگتر یا مساوی 0.25 ثانیه

حال جهت بدست آوردن قدرت قطع کلید باید جریان Ia را در $\sqrt{3}$ و Ua فشار الکتریکی مدار ضرب کنیم به این طریق که:

$$N = \sqrt{3}\ UIa \qquad (۴-۲۸)$$

در این فرمول $\sqrt{3}$ فاکتور می‌باشد.

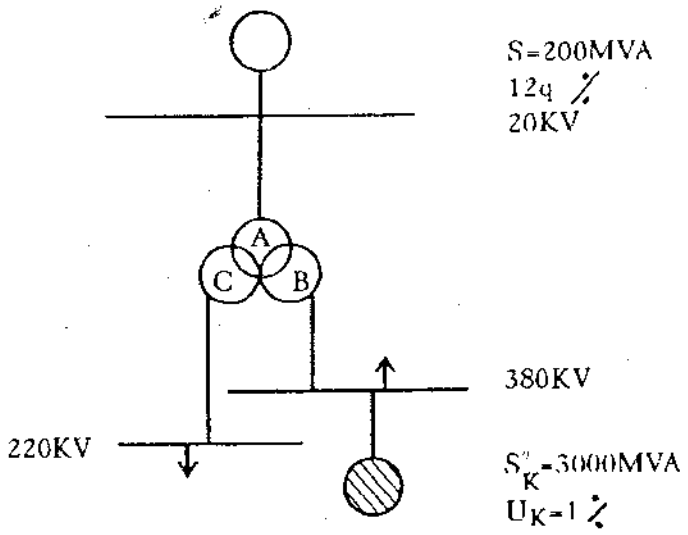


شکل (۴۲-۴): منحنی پیدا کردن ضریب μ

مثال ۱-۴: در پست زیر که مشخصات آن در شکل زیر داده شده است. اولاً با فرض اینکه زمان قطع کلیدهای شین ها ۰/۱۵ ثانیه باشد قدرت قطع کلیدهای شین های ۲۲۰،۳۸۰ کیلو ولت را

بدست آورید ماکزیمم جریان نامی فیدر ۳۸۰، ۱۵۰MVA است . ثانیاً اطلاعات لازم برای انتخاب سکسیونرها ۳۸۰، ۲۲۰ کیلو ولت را محاسبه کنید.

U_{KAB}= 6%
S_{AB}= 50 MVA
S_{BC}= 150 MVA
U_{KBC}= 10%
U_{KAC}=8%
S_{AC}= 50 MVA

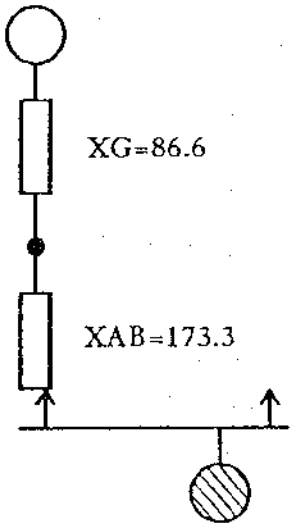


شکل (۴۳-۴): پست 20/380/220 KV

$$X_G = \frac{12}{100} \times \frac{U^2}{S} = \frac{12}{100} \times \frac{380^2}{200} = 86.6\ \Omega$$

$$X_{AB} = U_{KAB} \times \frac{U^2}{S} = .06 \times \frac{380^2}{50} = 173.28\ \Omega$$

مدار معادل برای محاسبه قدرت قطع کلید فیدر در خروجی ۳۸۰ کیلو ولت عبارت است از:



شکل (۴۴-۴): مدار معادل برای محاسبه قدرت قطع کلید

جریان اتصال کوتاه ناشی از منبع در ولتاژ ۳۸۰کیلو ولت عبارت است از:

$$I_{SW1} = \frac{1.1\ U}{\sqrt{3}X} = \frac{1.1\ U}{\sqrt{3}(86.6+173.3)} = \frac{1.1 \times 380}{\sqrt{3}(259.9)} = 0.93\ KA$$

جریان اتصال کوتاه ناشی از منبع بینهایت

$S''_K = \sqrt{3}\ UI_{SW2}$, یا $3000 = \sqrt{3} \times 380\ I_{SW2}$

و در نتیجه

$$I_{SW2} = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 380} = 4.56\ KA$$

جریان اتصال کوتاه با ضریب اطمینان $I_{SW} = 1.1 \times 4.56 = 5.01$

جریان اتصال کوتاه کلیدهای ۳۸۰کیلو ولت $I_{SW(380\ KV)} = .93 + 5.01 = 5.93\ KA$

$I_a = \mu\ I_{SW} =$

$$\mu = f(\frac{I_{SW}}{I_n})$$

با استفاده از منحنی (۴۳-۴) که ضریب جریان قطع بدست می‌آید.
جریان فیدر ۳۸۰کیلو ولت برابر است با:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U} = \frac{150}{\sqrt{3} \times 380} = 0.228\ KA$$

$$\frac{I_{SW}}{I_n} = \frac{5.93}{.228} = 26.01$$

با توجه به اینکه زمان ۰/۱۵ ثانیه است با استفاده از منحنی شکل (۲۲-۴)، $\mu = 0.7$ خواهد بود در نتیجه:

$$I_{a(380\ KV)} = 5.93 \times 7 = 4.151\ KA$$

قدرت قطع کلید ۳۸۰ کیلو ولت:

$$S_{a(380\ KV)} = \sqrt{3}\ UIa = \sqrt{3} \times 380 \times 4.151 = 2728.8\ KA$$

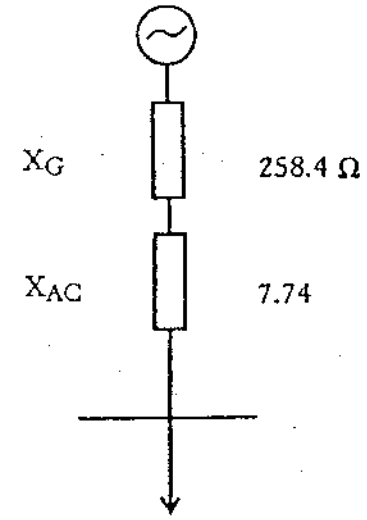
برای یافتن مدار معادل لازم برای قدرت قطع و فیدر خروجی ۲۲۰ کیلو ولت عبارت خواهد بود از:

$$\frac{X_{G(220\ KV)}}{X_{G(380\ KV)}} = \frac{380^2}{220^2}\ ,\ \text{یا}\ X_{G(220\ KV)} = \frac{361}{121} \times 86.6 = 258.4\ \Omega$$

$$X_{AC} = U_{KAC} \times \frac{U^2}{S} = .08 \times \frac{220^2}{50} = 7.74\ \Omega$$

$$X_{BC} = U_{KBC} \times \frac{U^2}{S} = 0.1 \times \frac{220^2}{150} = 0.1 \times \frac{484}{15} = 3.2\ \Omega$$

برای بدست آوردن جریان اتصال کوتاه حاصل از منبع S= 200 MVA از مدار معادل شکل (۴-۴۵) استفاده می‌کنیم:



شکل (۴-۴۵): مدار معادل جریان اتصال کوتاه حاصل از منبع 200 MVA

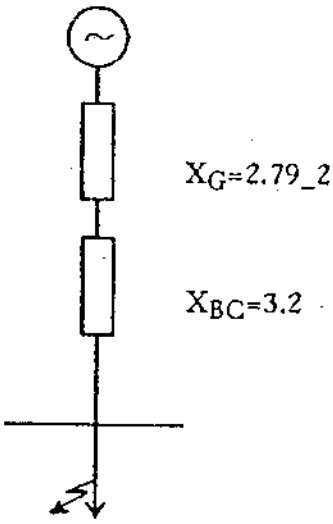
جریان اتصال کوتاه ناشی از منبع در ولتاژ ۲۲۰ کیلو ولت عبارت است از:

$$I_{SW1} = \frac{1.1\ U}{\sqrt{3}X} = \frac{1.1 \times 220}{\sqrt{3}\ (258.4 + 7.74)} = \frac{1.1 \times 220}{460.4} = 0.526\ KA$$

جریان اتصال کوتاه ناشی از منبع بینهایت

$$S''_K = \sqrt{3}\ U \times \frac{U}{X}\ ,\ \text{یا}\ X = \sqrt{3}\ \frac{U^2}{S''_K} = \sqrt{3} \times \frac{220^2}{3000} = \sqrt{3} \times \frac{22^2}{300} = 2.79\ \Omega$$

$$X = 2.79 + 3.2 = 5.99$$



$$I_{SW1(220\ KV)} = \frac{1.1\ U}{\sqrt{3}X} = \frac{1.1 \times 220}{\sqrt{3}(5.99)} = 23.3\ KA$$

جریان نامی ترانسفورماتور C برابر است با:

$$I_{SW(220\ KV)} = 23.300 + .526 = 23.826\ KA$$

$$I_n = \frac{150}{\sqrt{3} \times 220} = 0.39\ KA$$

برای یافتن μ ابتدا نسبت $\frac{I_{SW}}{I_n}$ را پیدا می‌کنیم یعنی:

$$\frac{I_{SW}}{I_n} = \frac{23.826}{0.39} = 61$$

با استفاده از منحنی $\mu = 0.7$ خواهد بود:

بنابر این:

$$I_{a(220\ KV)} = \mu\ I_{SW} = 7 \times 23.83 = 16.7\ KA$$

قدرت قطع کلید 220 KV

$$S_a = \sqrt{3} \times 220 \times 16.7 = 6356\ MVA$$

برای انتخاب سکسیونر جریان ضربه ای اتصال کوتاه لازم است یعنی :

$$I_S = K\sqrt{2}\, I_{SW}$$

که چون R=0 است ، با استفاده از جدول K= 1.8 ، K بمیزان سلفی بودن در مقابل اهمی بودن مدار بستگی دارد برای مدار کاملاً سلفی ماکزیمم است. بنابر این برای سکسیونرهای ۳۸۰ کیلو ولت داریم مقدار جریان ضربه ای :

$$I_S = 1.8 \times 1.4 \times 5.93 = 14.94\ KA$$

و برای سکسیونرهای ۲۲۰ کیلو ولت مقدار جریان ضربه ای :

$$I_S = 1.8 \times 23.83 = 60\ KA$$

R/X	0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1
K	1.8	1.6	1.5	1.45	1.33	1.26	1.2	1.15	1.1	1.08

جدول (۶-۲): جدول تعیین ضریب K جهت محاسبه

فصل پنجم

ولتاژهای ضربه ای و محدود کننده آن (برقگیر)

مقدمه

ولتاژهاو جریانهای (امواج) بسیار با دامنه بالا که بعلت کلیدزنی ویا رعد وبرق در نقطه ای از خط بوجود می‌آید، برروی خط حرکت کرده و به پست وارد می‌شود. بمنظور جلوگیری از صدمات حاصل از داخل شدن امواج یاد شده از وسایلی بنام برقگیر استفاده می‌شود که مانع از اصابت این امواج به تجهیزات با قیمت بالا می‌شود. در این فصل لزوم برقگیرها و چگونگی انتخاب آنها خواهد آمد.

۱-۵- یونیزاسیون هوا

هوا بدلیل داشتن خصوصیات خوبی از جهت عایق بودن و نیز عدم صرف هزینه برای دسترسی به‌آن و فراوان بودن و نیز بعلت بازیابی خاصیت عایقی بعد از وقوع هر گونه شکست استقامت الکتریکی در آن یکی از مهم ترین عایق ها در تاسیسات فشار قوی می‌باشد و کاربرد فراوانی دارد.

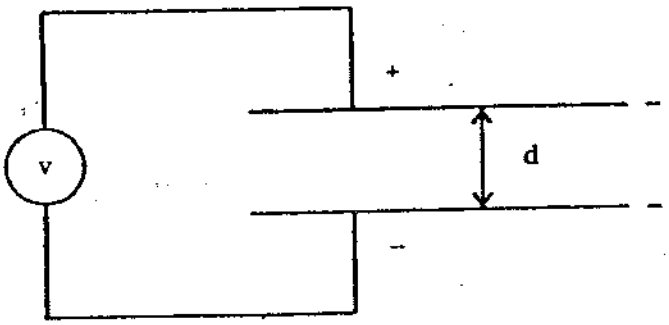
هرگاه شدت میدان الکتریکی در هوا از حد مجاز آن (E_0) بیشتر گردد. بارهای آزاد موجود در هوا با کسب نیرو از میدان و بدست آوردن انرژی سینتتیک کافی با برخورد با ملکول های اطراف خود باعث یونیزه شدن آنها می‌گردند و این عمل بصورت بهینه ادامه یافته و بارهای فراوان و آزاد جهت ایجاد یک کانال یونیزه را بوجود می‌آورند.پدیده فوق به یونیزاسیون هوا یا تخلیه الکتریکی موسوم می‌باشد.

چنانچه میدان الکتریکی موجود همگون باشد تخلیه الکتریکی کامل بوده و به شکست استقامت الکتریکی هوا منجر می‌گردد. در میدان های غیر همگون در بعضی از نقاط فضا تخلیه الکتریکی صورت گرفته که به تخلیه الکتریکی ناقص مشهور می‌باشد. و چنانچه کمیت شدت میدان الکتریکی در بقیه نقاط به حد کافی برسد تخلیه ناقص گسترش یافته و به تخلیه الکتریکی کامل منجر می‌شود که همان شکست استقامت الکتریکی می‌باشد.

کمیاتی که مقدار شدت میدان الکتریکی را مشخص می‌نمایند ، دامنه ولتاژ و فاصله الکترودها از نوع وشکل الکترودها می‌باشند. بنحوی که برای دو صفحه موازی با فاصله (d) که بسیار وسیع باشند شدت میدان الکتریکی عبارت است از:

$$E=\frac{V}{d}$$ برای تمام نقاط فضای بین دو صفحه (۵-۱)

که در آن V ولتاژ،d فاصله وE شدت میدان الکتریکی برای تمام نقاط فضای بین دو صفحه است.



شکل (۱-۵): نمایش دو صفحه موازی برای محاسبه شدت میدان الکتریکی

حد شدت میدان الکتریکی برای شروع یونیزاسیون هوا بستگی به فشار هوا ، درجه حرارت و مقدار رطوبت نسبی آن و غیره دارد که برای شرایط هواایین مقدار E=30KV/cm می باشد.

چنانچه ولتاژ شکست استقامت الکتریکی هوارا در شرایط متعارفی V_0 بنامیم ولتاژ شکست استقامت الکتریکی هوا در دیگر شرایط از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V=\delta V_0$$ (۵-۲)

که در این رابطه V_0 ولتاژ شکست در شرایط متعارفی، V ولتاژ شکست در شرایط جوی دیگرو δ[1] غلظت نسبی هواست.

همینطور غلظت نسبی هوا(δ) از رابطه (۳-۵) بدست می‌آید.

۱۲۶ ــ

$$\delta = (R.A.D) = .386 \frac{P}{273+t} \qquad (۵-۳)$$

در این رابطه P فشار هوا به میلی متر جیوه و t درجه حرارت هوا می‌باشد.

توجه: ریزش باران نیزدر کاهش ولتاژ شروع تخلیه الکتریکی موثر می‌باشد.

۲-۵- تاثیر موج ولتاژ در ولتاژ شکست استقامت الکتریکی هوا

۱-۲-۵- *مقایسه امواج متناوب و مستقیم:*

شکست استقامت الکتریکی هوا برای امواج متناوب ومستقیم متفاوت می‌باشد. بنحوی که بالا رفتن فرکانس موج اعمالی سبب افزایش استقامت الکتریکی هوا می‌شود.

طول مدت زمان موج اعمالی نیز از عوامل موثر دیگر در شکست استقامت الکتریکی هوا می‌باشد بطوری که با افزایش این زمان استقامت الکتریکی هوا کاهش می‌یابد.

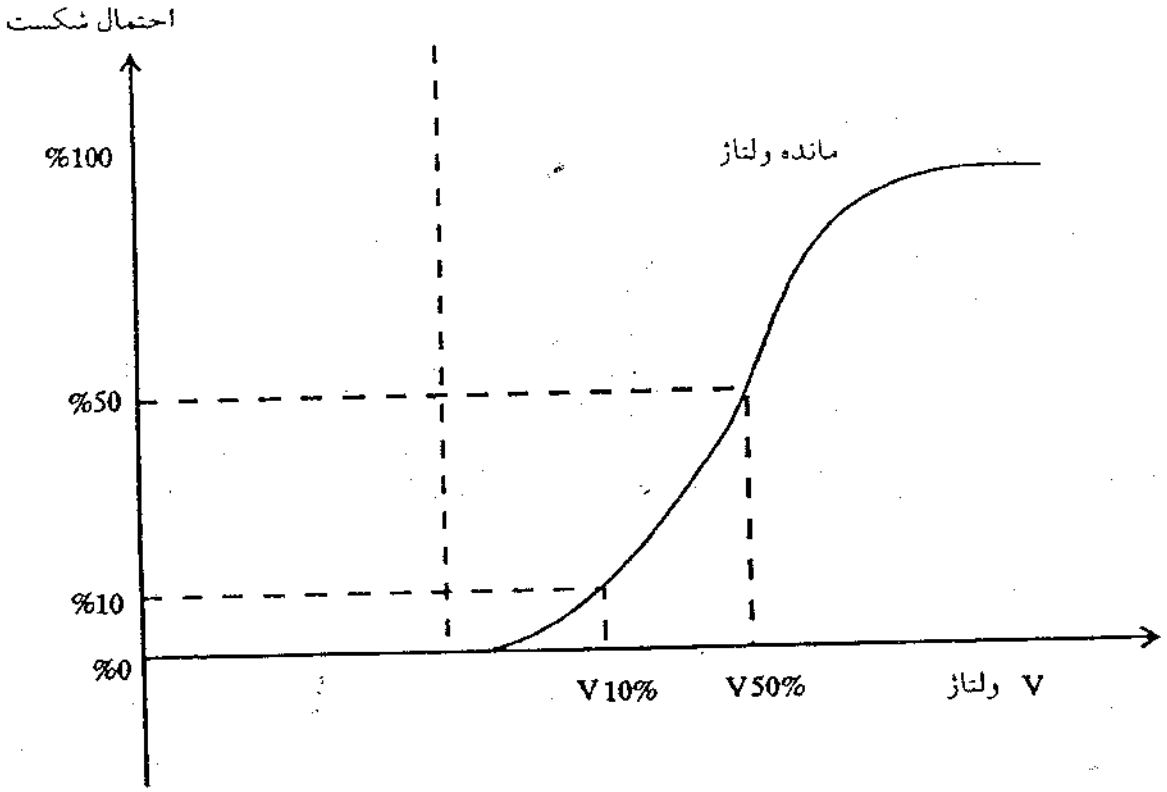
مثبت و منفی بودن موج ولتاژ یکی دیگر از پارامترهای موثر در حد ولتاژ شکست استقامت الکتریکی هوا می‌باشد.چنانچه یکی از الکترودها سطح زمین انتخاب شود ولتاژ شکست برای موج اعمالی با پلاریته مثبت کوچکتر از ولتاژ شکست برای موج اعمالی با پلاریته منفی خواهد بود.

۲-۲-۵- *استقامت الکتریکی هوا در مقابل امواج ضربه ای:*

ولتاژ شکست الکتریکی هوا در مقابل امواج ضربه‌ای بر خلاف آنچه در مورد امواج DC و AC با فرکانس منفی که از یک مقدار ثابت و قطعی پیروی می‌کند، کاملا" ماهیت آماری داشته و قطعی نمی باشد.به عبارت دیگر در یک باند ولتاژ احتمال شکست از صفر تا صد درصد تغییر می‌نماید. شکل (۲-۵) نشانگر این موضوع می‌باشد.

$V_{50\%}$ که مطابق با ولتاژی است که امکان وقوع شکست و یا پایداری برابر بوده ومساوی 50 درصد می‌باشد به ولتاژ بحرانی حد شکست یا CFV [1] معروف می‌باشد. $V_{10\%}$ که مطابق ولتاژی است که امکان وقوع شکست به ازاء آن ۱۰٪ ویا احتمال پایداری ۹۰٪ می‌باشد به ولتاژ مقاوم استاندارد [2] معروف می‌باشد.

1.Critical Flashover Voltage 2.Rated Withstand Voltage



شکل (۲-۵)منحنی احتمال شکست نسبت به ولتاژ

برای امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها[1] (L.I) و امواج ضربه‌ای‌ناشی از کلید زنی[2] (S.I) رابطه $V_{10\%}$ و $V_{50\%}$ بصورت زیر می‌باشد:

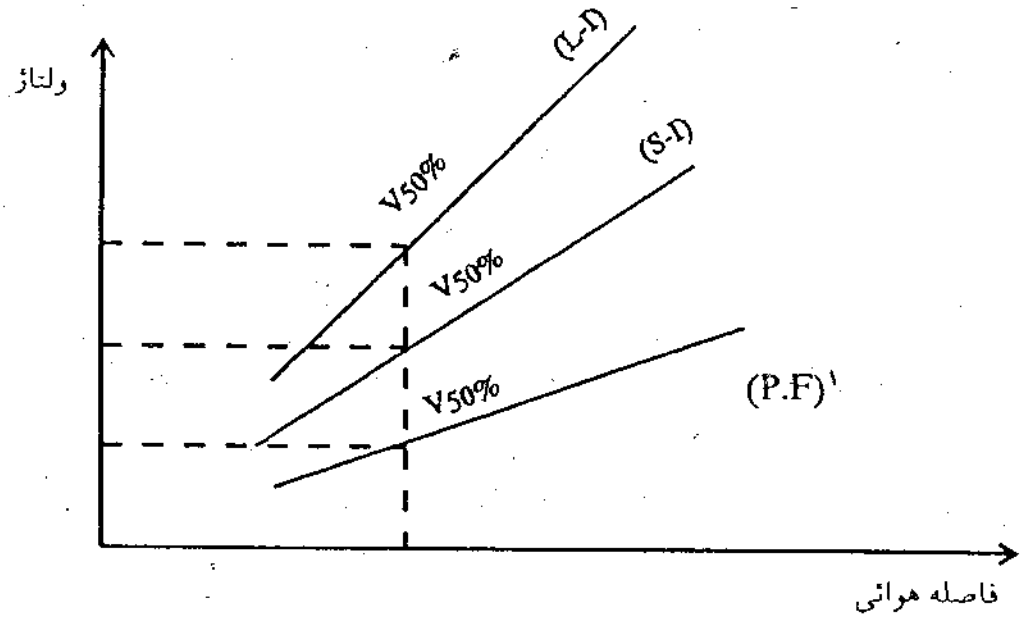
برای L.I $V_{10\%} = 0{,}96\ V_{50\%}$

برای S.I $V_{10\%} = 0{,}92\ V_{50\%}$

۳-۲-۵- مقایسه ولتاژهای شکست استقامت الکتریکی هوا در مقابل انواع ولتاژهای اعمالی:

همانطور که گفتیم با بالا رفتن فرکانس موج اعمالی استقامت الکتریکی هوا نیز در برابر آن افزایش می‌یابد.بنابر این بدلیل داشتن فرکانس های بالا در پیشانی امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها و کلید زنی استقامت الکتریکی هوا در مقابل آنها بیشتر از امواج با فرکانس صنعتی ۵۰ هرتز ویا ۶۰ هرتز به ازاء فواصل و نوع الکترود ورودی و شرایط جوی یکسان می باشد. شکل (۳-۵) نمایانگر این مطلب می‌باشد.

1. Lightning Impulse
2. Switching Impulse



شکل (۳-۵): مقایسه ولتاژ شکست هوادرمقابل انواع ولتاژهای اعمالی

۳-۵- طراحی سیستم پست در مقابل امواج ضربه ای (ایزولاسیون)

۱-۳-۵- منابع پیدایش امواج ضربه ای در شبکه های فشارقوی:

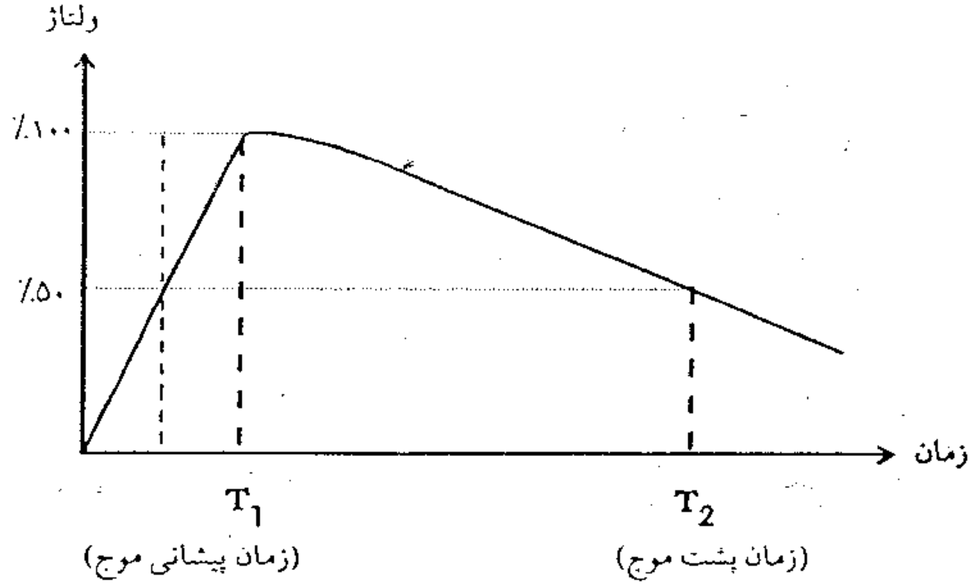
امواج ضربه‌ای‌در شبکه های فشار قوی از دو منبع بوجود می‌آیند. که این منبع یا داخلی بوده که امواج ضربه‌ای‌ناشی ازکلید زنی از این نوع هستند و یا از منابع خارجی بوجود می‌آیند که امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها می‌باشند. شکل این امواج بصورت نمودار (۴-۵) می‌باشد.

حدود T_1 T_2 در هردو موج جهت شبیه سازی در آزمایشگاهها بصورت زیر استاندارد شده است.

برای L.I $T_1/T_2 \rightarrow 1.2/50\ \mu s$

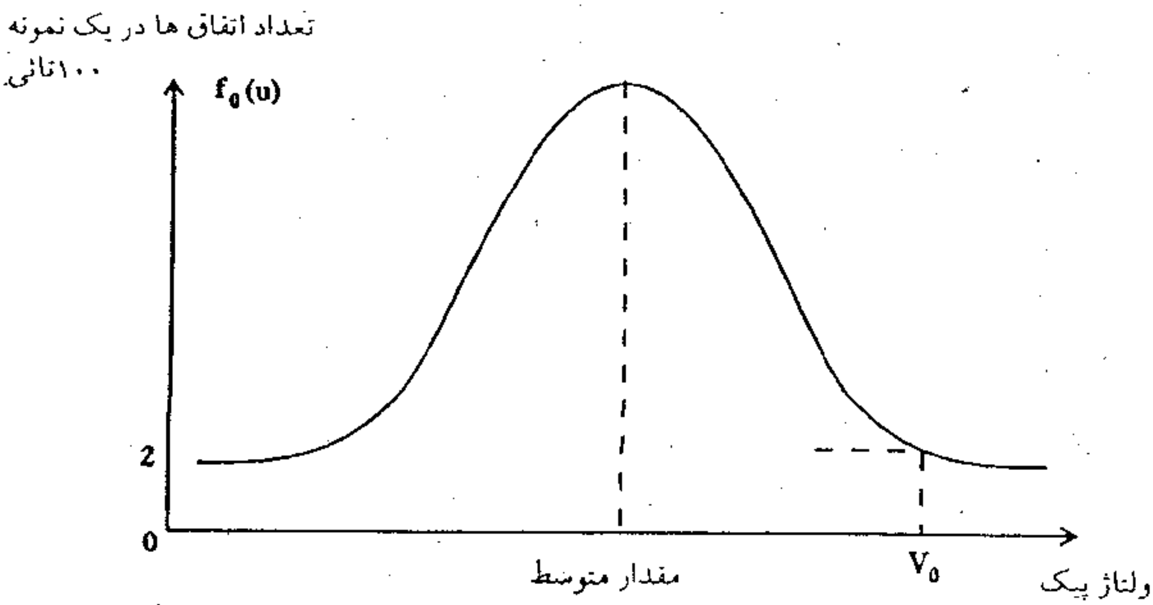
برای s.I $T_1/T_2 \rightarrow 250/2500\ \mu s$

1. Power Frequency



شکل (۴-۵): نمودار موج ضربه ای شبیه سازی شده

آنچه حائز اهمیت می‌باشد این است که امواج همواره با یک مقدار معینی (پیک) تولید نمی شوند. بلکه از لحاظ سطح این امواج تولیدی به یک ماهیت آماری برخورد می‌کنیم که منحنی آن مطابق شکل (۵-۵)است.



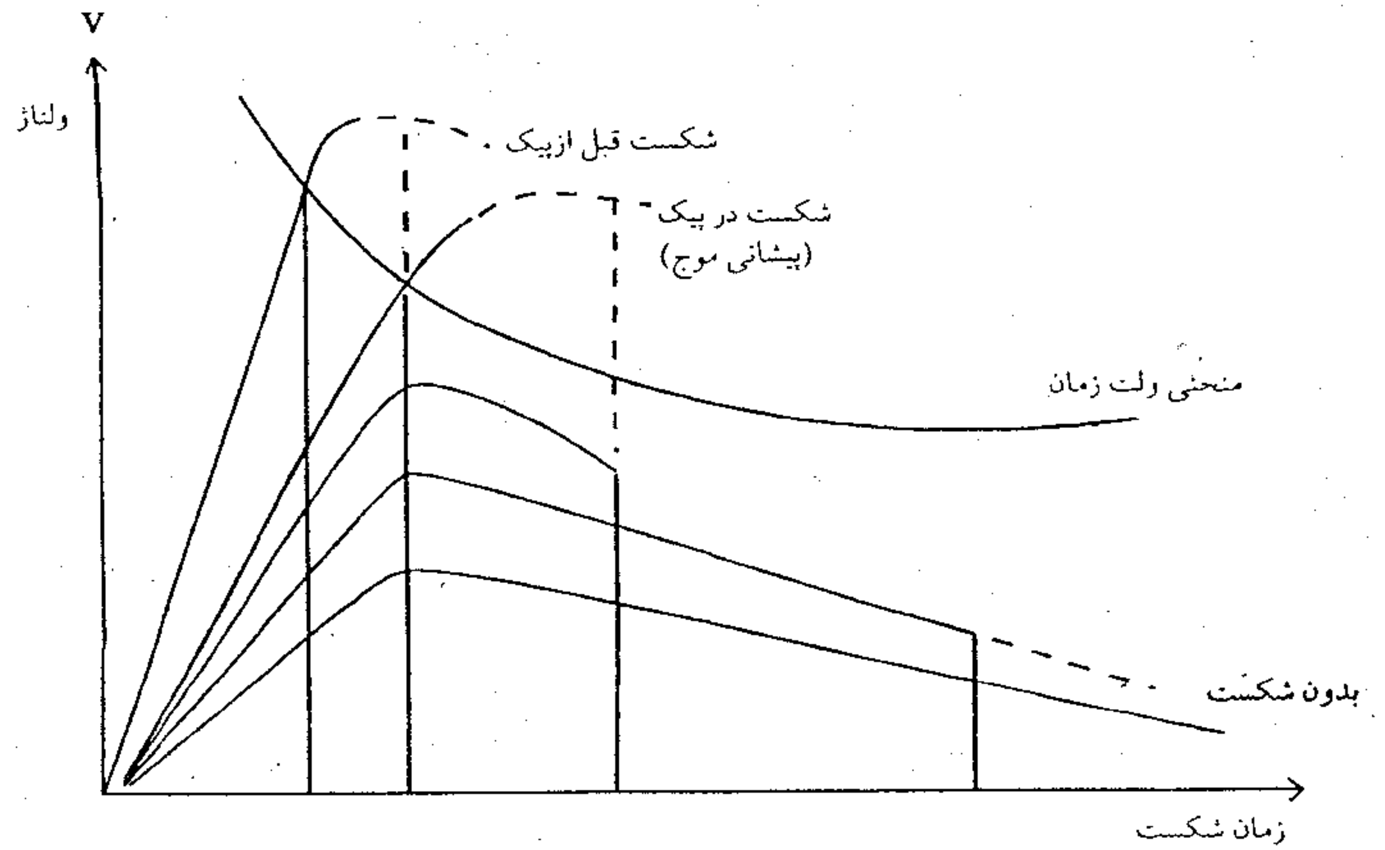
شکل (۵-۵): منحنی آماری احتمال وقوع اتفاق ها[1]

1. Stress

V_0 ولتاژی است که احتمال وقوع امواج ضربه‌ای برابر ۲درصد باشد.

۲-۳-۵- منحنی ولت-زمان:

جهت نشان دادن ولتاژ شکست هوا نسبت به طول زمانی که موج روی الکترودها لحظه شکست اعمال می‌شود، منحنی ولت زمان گفته می‌شود شکل (۶-۵). در این منحنی هر نقطه آن نشان دهنده زمان شکست و پیک ولتاژ اعمالی به ایزولاسیون می‌باشد.



شکل (۶-۵):منحنی ولت- زمان

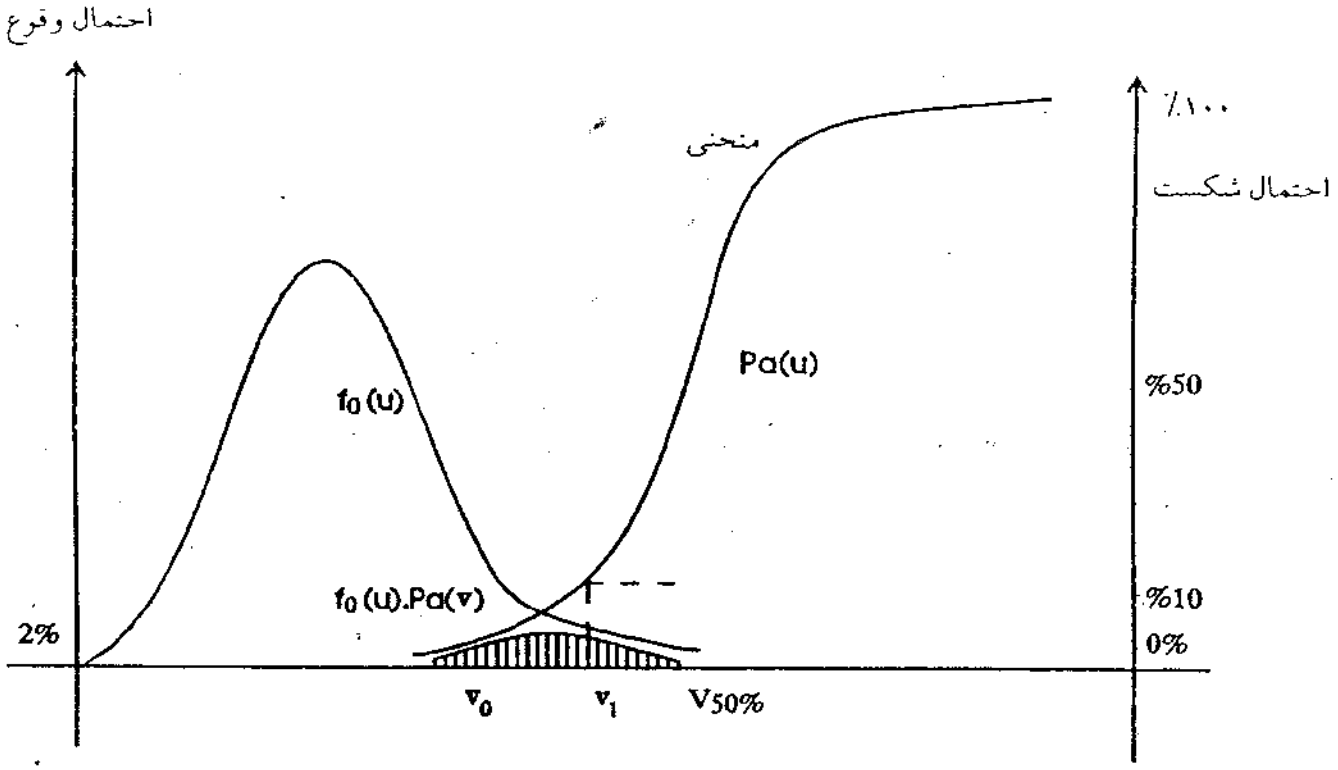
توجه شود که مشخصات ولتاژ مربوط به کمیت ولتاژ در لحظه شکست پس از عبور از ماکزیمم دامنه آن نبوده بلکه پیک ولتاژی است که در اثر آن شکست در لحظاتی بعد صورت گرفته است.

۳-۳-۵- تعریف سطح BIL برای ایزولاسیون:

سطح ایزولاسیون هر عایقی در مقابل امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها

ولتاژهای ضربه ای و محدود کننده آن (برقگیر) ـــ

1.Basic Impulse Insulation Level 2.Basic Switching Surge Level



شکل (۷-۵): تلاقی دو منحنی احتمال شکست[1] و احتمال وقوع[2]

برای تقلیل سطح هزینه ایزولاسیون بهتر است تا حد مقدور و اقتصادی از طرق مختلف از سطح امواج ضربه‌ای تولیدی برروی سیستم کاست، که نیاز به یک مطالعه اقتصادی می‌باشد که نقطه‌ای اپتیمم بدست می‌آید و یا به تعبیر دیگر با اتخاذ روش هایی بایستی منحنی احتمال وقوع را به سمت چپ شیفت داد تا با صرف هزینه کمتری بتوان منحنی احتمال شکست را انتخاب نمود.

۵-۳-۵- تقلیل سطح امواج ضربه‌ای برروی سیستم (حفاظت شبکه در مقابل امواج ضربه‌ای):

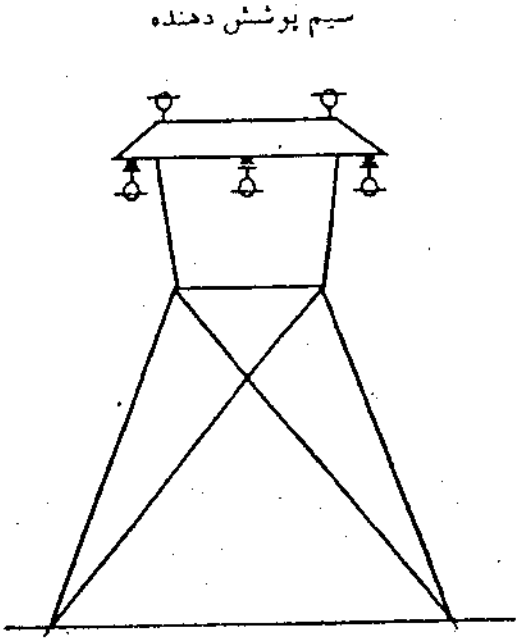
برای تقلیل امواج ضربه‌ای ناشی از کلید زنی در شبکه های فشار قوی مناسب است که هنگام کلید زنی مقاومتی در مدار قرار گرفته که بعد از کلید زنی حذف گردد.

با انتخاب صحیح این مقاومت این عمل به تقلیل بسیار مناسبی خواهد انجامید که ذکر جزئیات آن در این میسر نمی باشد.

---

1. Strength 2. Stress

برای تقلیل سطح امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها،برروی خطوط و پست های فشار قوی بایستی این تاسیسات را در مقابل برخورد مستقیم صاعقه با عناصر دارای ولتاژ شبکه توسط پوشش مناسب حفاظت نمود. این حفاظت توسط سیم های محافظ به طریقی عمل می‌گردد که احتمال خطای آن کمتر از 0.001 باشد. شکل (۸-۵) روش حفاظت خطوط انتقال را در مقابل این امواج توسط سیم های محافظ که در ارتفاع بالاتری از سیم های فشار قوی نصب گردیده اند رانشان می‌دهد.



شکل (۸-۵): حفاظت بوسیله سیم های محافظ [1]

در مورد انتخاب سطح ایزولاسیون خطوط انتقال پس از انتخاب سیم های حفاظتی مناسب و زمین کردن آنها در هر پایه برج ایزولاسیون بنحوی در نظر گرفته می‌شود که از خطای یکبار در سال آن صرفنظر می‌نمایند.بهمین مناسبت جداولی ناشی از تجربیات بدست آمده است که در کتاب های عملی طرح خط موجودند که با رجوع به آنها میزان ایزولاسیون لازم مشخص می‌گردد.

در مورد پست های فشار قوی جدا از محافظت پست در مقابل برخورد مستقیم امواج ضربه‌ای‌ناشی از تخلیه الکتریکی ابرها، وسیله دیگری بنام برق گیر تعبیه می‌شود تا سطح امواج

1. Shield Wire

ضربه‌ای‌که از طریق خطوط به پست وارد می‌شوند را نیز کاهش دهد و در نتیجه بتوان ایزولاسیون پائین تری برای آنها در نظر گرفت.

۴-۵- کاربرد برق گیر در پست های فشار قوی

۱-۴-۵- کاربرد برق گیر:

امواج ضربه‌ای‌با سطوح ولتاژ پائین تر نسبت به ایزولاسیون خطوط بطرف پستهای فشار قوی هدایت می‌شوند. انتخاب ایزولاسیون مناسب برای تجهیزات داخل پست بر اساس این امواج امری کاملاً غیر اقتصادی و غیر قابل اجرا می‌باشد. بخصوص در ترانسفورماتورهای قدرت با توجه به انعکاس این امواج متضمن مخارج بسیار کلان خواهدگردید.

ناچارا" بایستی بنحوی سطح ولتاژ این امواج راکاهش داد. تاحدی که ساخت تجهیزات با ایزولاسیون کافی در سطح پائین تری ممکن باشد. سازندگان وسایل الکتریکی داخل پست ها با تجربیات بدست آمده توانستند برای ولتاژهای کار به نوعی استاندارد برسند که ساخت و هماهنگی در این سطوح ولتاژها(BIL) میسر و ممکن باشد.

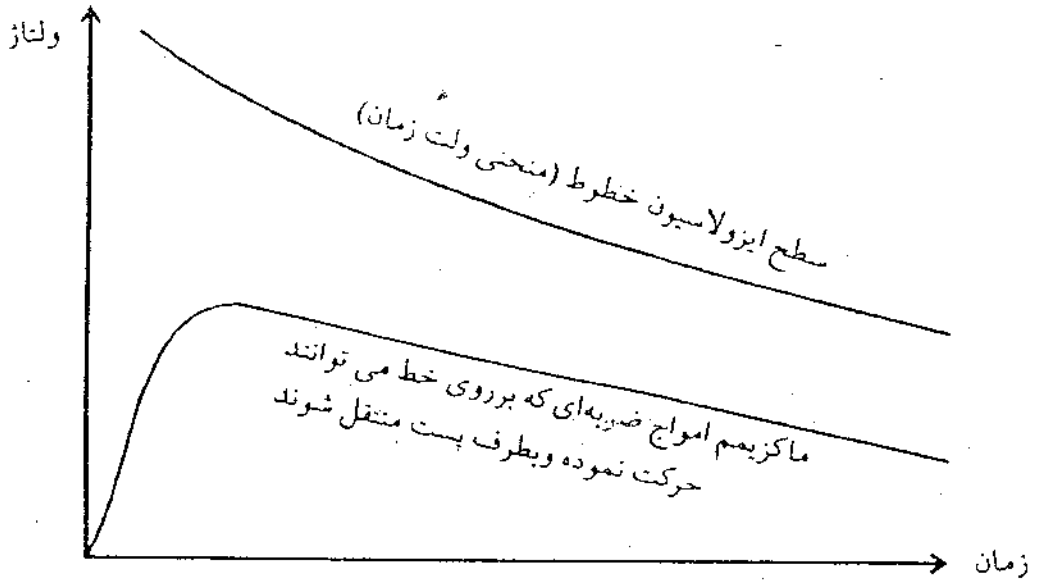
بنابر این با داشتن سطح مبنای استاندارد برای پست مشخص کافی است که وسیله‌ای‌در پست های فشار قوی نصب گرددکه بمحض دریافت ولتاژهای بالاتری از این سطح مبنا آنها را بطرف زمین هدایت نموده وآنها را حداقل در این سطح تثبیت نماید.

قبل از اختراع برق گیر وسیله مناسب جهت این امر نصب شاخکهای هوائی با ایزولاسیون پائین تر از این سطح در ابتدای خطوط ورودی به پست بود بنحوی که با شکست استقامت الکتریکی هوا این امواج را به زمین هدایت می‌نمود. ولی عیب این شاخکها این بود که قادر نبودند پس از وقوع شکست در آنها ، قوس الکتریکی ناشی شده از شکست را خاموش نمایند و در نهایت بعلت اتصال کوتاه ایجاد شده در سیستم ،قطعی ایجاد می‌شد.

با ساخت برق گیر که قادر بود از هدایت امواج ضربه‌ای‌بالاتر از سطح ایزولاسیون به زمین از عبور جریان عادی سیستم نیز جلوگیری نماید و همچنین قوس الکتریکی ایجاد شده را نیز خفه نماید، این مشکل برطرف گردید و امروزه در بیشتر پست های فشار قوی این وسیله نصب گردیده و کاربرد فراوان دارد.

۲-۴-۵- طرز انتخاب برق گیرمناسب برای پست های فشار قوی:

با داشتن سطح ایزولاسیون خطوط ، ماکزیمم سطح امواج ضربه‌ای‌که به پست هدایت می‌شوند مانند نمودار (۹-۵) مشخص می‌شود.



شکل (۹-۵): منحنی های سطح ایزولاسیون و ماکزیمم امواج ضربه ای وارده به خط

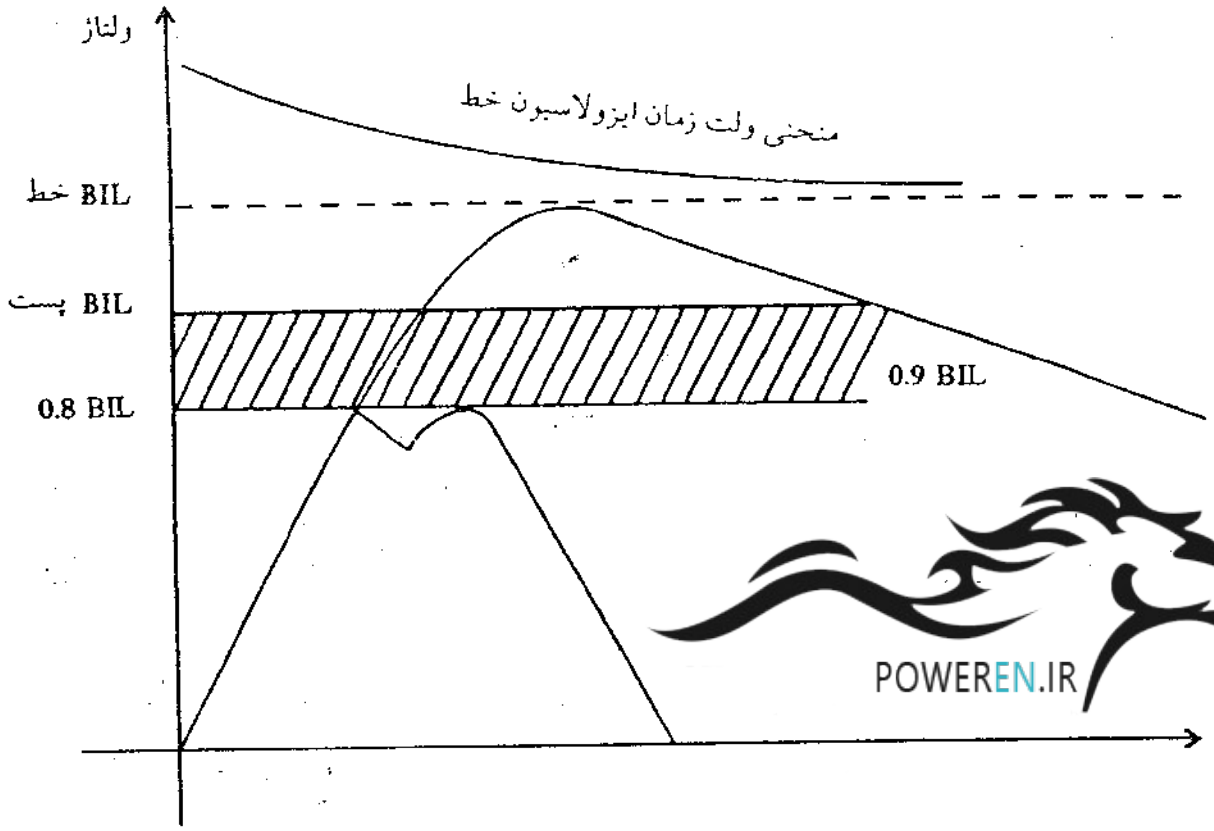
ولتاژهای ضربه‌ای‌با دامنه بیشتر از موج نشان داده شده باعث شکست ایزولاسیون خط شده و به زمین متصل می‌شوند.

پس از مشخص شدن سطح ایزولاسیون مبنای پست ، از طریق جداول استاندارد که معمولاً کمتر از سطح نشان داده شده در منحنی فوق می‌باشند (کمتر از سطح ایزولاسیون خطوط) برق گیر بنحوی انتخاب می‌گردد که حداکثر در برابر امواج ضربه‌ای‌با سطح بیشتر از 0.8 BIL پست عکس العمل نشان داده و آنها را به زمین هدایت نماید.

بدین طریق شکل (۱۰-۵) در رابطه با سطح ایزولاسیون مبنای پست عملکرد برق گیر مناسب را نشان می‌دهد.

برق گیر در هنگام تخلیه جریان ضربه‌ای‌به زمین نبایستی ولتاژ تخلیه بیشتر از 0.8 BIL را از خود بروز دهد. وهم چنین قادر باشد در ماکزیمم ولتاژ سیستم (درحالتی که خطائی در فاز دیگر اتفاق افتاده) قوس الکتریکی بعد از تخلیه راکه حاوی جریان عادی سیستم به زمین است قطع نماید. این ولتاژ که به ولتاژ نامی [1] برق گیر معروف است از مشخصات عمده برق گیر می باشد.

1. Rated Voltage



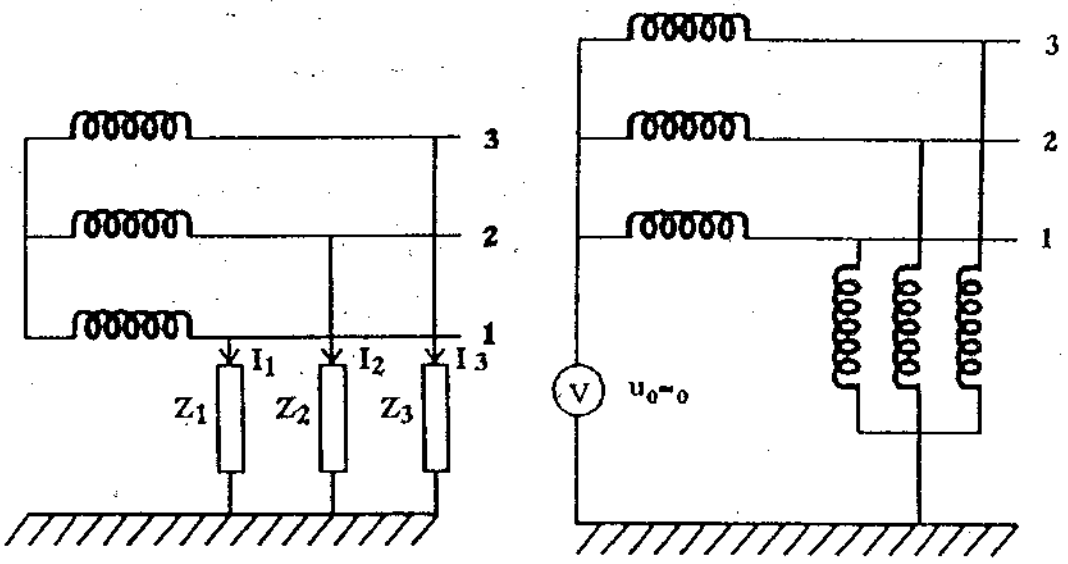
POWEREN.IR

شکل (۱۰-۵): بررسی عملکرد برقگیر بر اساس 0.8 BIL

۳-۴-۵- محاسبات ولتاژ برق گیر:

الف- برای ترانسفورماتور (شبکه) با ترانسفورماتور زمین ، زمین شده .

مدار مربوطه در شکل (۱۱-۵) نشانداده شده است.

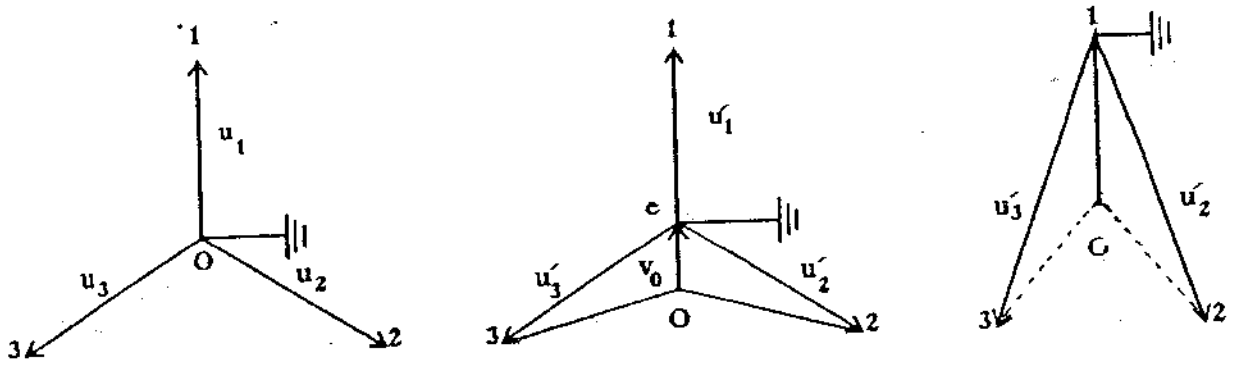


(ب): مدار شماتیک (الف):مدار معادل

شکل (۱۱-۵): ترانسفورماتور های با ترانسفورماتور زمین، زمین شده

در شبکه با نقطه خنثی عایق که توسط ترانسفورماتور زمین، زمین شده است، چون در حالت عادی امپدانس سر سیم پیچ برابر ومقاومت محل اتصال نیز برای سه فاز یکسان می‌باشد بنابر این سه امپدانس Z_1 و Z_2 و Z_3 شکل (۱۱-۵ب)یکسان است و شکل (۱۲-۵الف) دیاگرام برداری فازهای مختلف ۱ و ۲و ۳ را نشان می‌دهد در این حالت نقطه صفر و زمین هم پتانسیل بوده V_1 و V_2 و V_3 نیز از نظر مقدار برابر و با یکدیگر ۱۲۰° اختلاف فاز دارند.

اگر یک اتصال کوتاه یکفاز برای یکی از فازها پیش آید امپدانس Z_1 و Z_2 و Z_3 متفاوت خواهد بود و دیاگرام متفاوتی با شکل (۱۱-۵الف) خواهد داشت . شکل (۱۲-۵ب) دیاگرام برداری فازها را برای وقتی که امپدانس Z_1 و Z_2 و Z_3 برابر نباشد نشان می‌دهد. در حالت خاصی که Z_1 تقریباً صفر باشد (اتصال کوتاه) ولتاژ فاز ۲ و ۳ با زمین $\sqrt{3}$ V یا ولتاژ خطی خواهد بود .



(ج):حالت عادی (ب):حالت اتصال کوتاه (الف)اتصال یکفازبزمین

شکل (۱۲-۵):تحلیل برداری برای حالتهای عادی و خطائی

$$Z_1=Z_2=Z_3=Z \qquad (۵-۵)$$

و در حالت اول:

$$V_1= I_1Z_2, V_2=I_2Z_2, V_3=I_3Z_3 \qquad (۵-۶)$$

ذیلاً روابطی که منجر به دیاگرامهای بالا شده است شرح داده می‌شود:
چون $V_1=V_2=V_3$ و $V_0=0$ پس $I_1=I_2=I_3$ خواهد بود.

در حالت دوم که $Z_2=Z_3$ ولی $Z_1 \neq Z_2$ می‌باشد داریم:

$$V'_1=V_1-V_0 \qquad (۵-۷)$$

$$V'_2=V_2-V_0 \qquad (۵-۸)$$

$$V'_3=V_3-V_0 \qquad (۵-۹)$$

که V_0 ولتاژ نقطه خنثی به زمین، V_3,V_2,V_1 ولتاژ فازهای مختلف حالت عادی سیستم و V'_3,V'_2,V'_1 ولتاژها پس از وقوع خطاست که در این حالت $V_0 \neq 0$
و از قانون کریشهف داریم:

$$I_1+I_2+I_3=0 \qquad (۵-۱۰)$$

$$\frac{\vec{V_1}-\vec{V_0}}{Z_1}+\frac{\vec{V_2}-\vec{V_0}}{Z_2}+\frac{\vec{V_3}-\vec{V_0}}{Z_3}=0 \qquad (۵-۱۱)$$

که $Z_2=Z_3=Z$ و $Z_1=\frac{ZZ'}{Z+Z'}$ که Z امپدانس اولیه فاز (۱) که با فاز ۲ برابر بود و Z' امپدانس که در اثر نا متعادلی موازی آن قرارگرفت (مانند عمل اتصال کوتاه).

پس

$$\frac{\vec{V_1}-\vec{V_0}}{Z}+\frac{\vec{V_2}-\vec{V_0}}{Z}+\frac{\vec{V_3}-\vec{V_0}}{Z}+\frac{\vec{V_1}-\vec{V_0}}{Z'}=0 \qquad (۵-۱۲)$$

$$\frac{\vec{V_1}+\vec{V_2}+\vec{V_3}-3\vec{V_0}}{Z}+\frac{\vec{V_1}-\vec{V_0}}{Z'}=0 \qquad (۵-۱۳)$$

$$\frac{-3\vec{V_0}}{Z}+\frac{\vec{V_1}-\vec{V_0}}{Z'}=0 \qquad (۵-۱۴)$$

$$\text{و یا} \quad \frac{-3\vec{V_0}Z'+\vec{V_1}Z-\vec{V_0}Z}{ZZ'}=0=V_1Z \qquad (۵-۱۵)$$

ولتاژهای ضربه ای و محدود کننده آن (برقگیر) ـــ

Transcribed text:

$$\Rightarrow V_{\circ}= \frac{\vec{V_1}Z}{3Z'+Z} \qquad (۵-۱۶)$$

که در حالت خاص اتصال کوتاه $Z'=0$ شکل (۱۲-۵ ج)

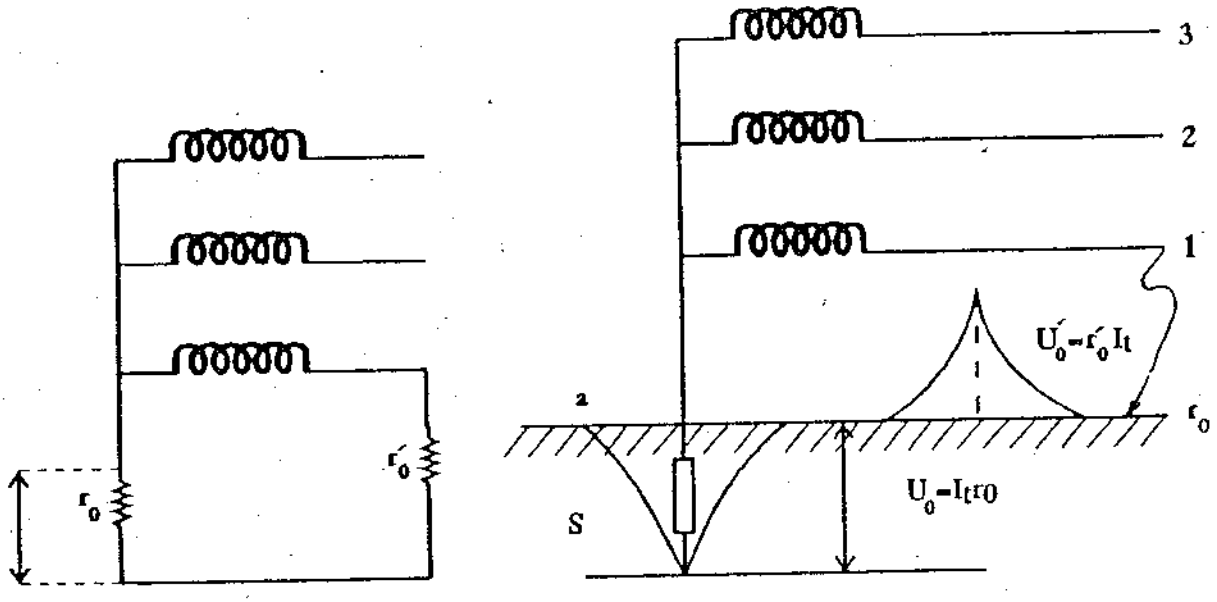
$$\vec{V_{\circ}}=V_1$$

و ولتاژ دو فاز 3,2 خواهد بود.

$$V'_2=V_2-V_{\circ}=V_2-V_1=\sqrt{3}V \qquad (۵-۱۷)$$

پس فاز 3,2 برابر ولتاژ خطی است که جهت انتخاب ولتاژ نامی برق گیر در این حالت ولتاژ خطی شبکه را منظور می‌دارند.

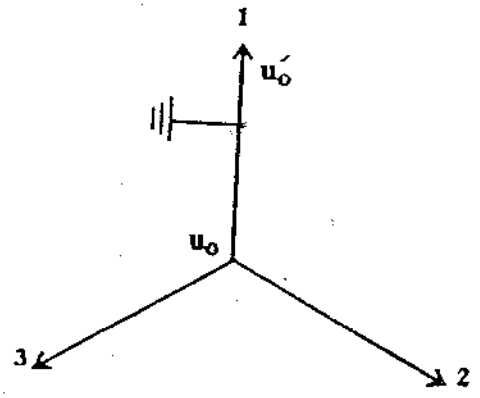
ب: شبکه با نقطه خنثی زمین شده (مستقیم زمین شده)



(الف):مدار شماتیک

(ب):مدار معادل

شکل (۱۳-۵): شبکه مستقیم زمین شده



شکل (۱۲-۵): دیاگرام برداری

در حالت عادی در شبکه سه فاز داریم:

$$\vec{V_1}=\vec{I_1}Z_1=\vec{V}ph_1$$

$$\vec{V_2}=\vec{I_2}Z_2=\vec{V}ph_2 \qquad (۵-۱۸)$$

$$\vec{V_3}=\vec{I_3}Z_3=\vec{V}ph_3$$

$\vec{V_1}$ و$\vec{V_2}$ و $\vec{V_3}$ بردار ولتاژ فازها نسبت به زمین بوده و $\vec{I_1}$ و $\vec{I_2}$ و $\vec{I_3}$ بردار جریانهای فازهاست.

اگر r_0 مقاومت الکترود زمین مساوی صفر باشد $V_0=I_1r_0$ می‌شود و فشار الکتریکی نسبت به زمین در نقطه اتصالی بزمین $\vec{V'_0}=\vec{V_1}-\vec{V_0}=\vec{V_1}$ خواهد شد و فشار الکتریکی فاز ۲ و ۳ خواهد بود.

$$\vec{Vh}=\vec{V_2}-\vec{V_0}=\vec{V_2} \qquad (۵-۱۹)$$

که بفرض اینکه مقاومت نقطه خنثی صفر باشد ولتاژی که برای دوفاز ۲ و ۳ منظور است ،ولتاژفازی است . ولی چون مقاومت محل اتصال صفر نیست بنابراین ولتاژ فاز ۲ و۳ را در انتخاب برق گیر ۴۰٪ اضافه تر از ولتاژ فازی می‌گیرند یعنی:

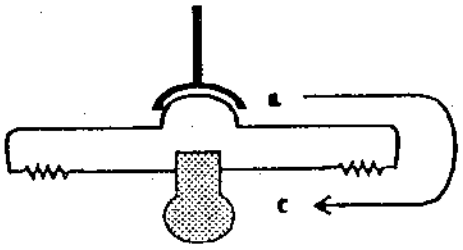
$$\vec{Vh}=\vec{Vph}+40\%\ \vec{Vph}=1.4\ Vph \qquad (۵-۲۰)$$

۵-۵- آلودگی مقره ها:

یکی از مسائل مهم در طرح مقره ها (ایزولاسیون جامد) آلودگی سطح آنها توسط گرد وغبار و دیگر مواد می‌باشد. این شکل در نواحی صنعتی و نواحی که تأسیسات در کویر و یا حاشیه آن قرار دارند و یا در کنار سواحل دریا خیلی بیشتر محسوس می‌باشد.

لذا در طرح فیزیکی مقره ها سعی بر این است که سطح مقره کاملا" صیقلی بوده تا حتی المقدور آلودگی کمتری بر روی آن قرار گیرد و هم چنین با ایجاد برآمدگی، تورفتگی هایی درسطح مقره از ایجاد یک سطح پیوسته از آلودگی جلوگیری نمایند. و هم چنین سطح خارجی مقره از طول بیشتری برخوردار شود تا بدین طریق از نفوذ جریان لغزشی قدرت درسطح مقره جلوگیری نمایند.

بهر حال در نواحی با آلودگی بسیار زیاد شستشوی دائمی و یا مرحله‌ای حتما" بایستی انجام شود تا از استقامت الکتریکی ایزولاسیون در طول عملکرد آن کاسته نشود.از مشخصات مهمی که در سطح مقره داده می‌شود و با مسأله آلودگی مربوط است فاصله خزنده[1] می‌باشد و آن فاصله طولی در سطح مقره بنحوی است که در شکل (۱۵-۵) نشان داده شده است.



شکل (۱۵-۵): مقره همراه با فاصله خزنده

1. Creepage Distance

فصل ششم

ترانسفورماتور جریان -ترانسفورماتور ولتاژ - ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

مقدمه

رله های حفاظتی در سیستم قدرت متناوب [1] در مدار ثانویه ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتورهای ولتاژ قرار داده می‌شوند. طرح و استفاده این ترانسفورماتورها بکلی با ترانسفورماتورهای قدرت متفاوت است . در ترانسفورماتورهای جریان، اولیه توسط مدار ثانویه کنترل نشده است ،بنابراین در ترانسفورماتورهای جریان ،جریان طرف اولیه یک عامل مسلط می‌باشد.

ترانسفورماتورهای جریان بدو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند:

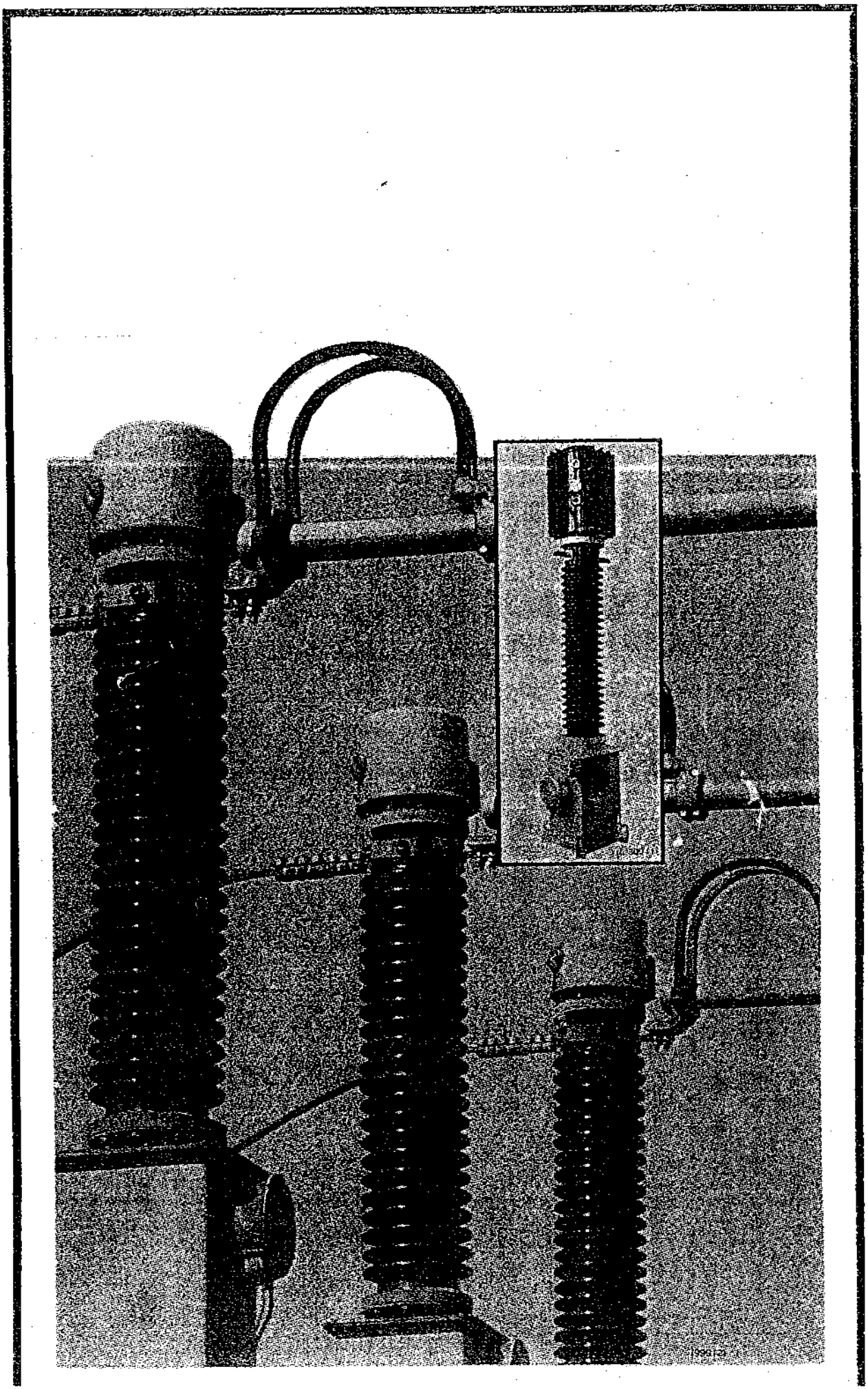
الف- ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی که برای سیستم های حفاظتی مورد استفاده قرار می گیرد. این نوع C.T های تا چندین برابر جریان نامی و در جریان های اتصال کوتاه به اشباع نمی روند که این مطلب تفاوت عمده این نوع ترانسفورماتورها با ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری است.

ب- ترانسفورماتورهای ابزار دقیق یا ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری که در رابطه با آمپر متر،وات متر و غیره بکار برده می شود.

قاعدتا" نسبت خطا در ترانسفورماتورهای حفاظتی خیلی مهم است ولی اختلاف زاویه فاز می‌تواند مهم نباشد. ترانسفورماتور ولتاژ برای تبدیل ولتاژ از یک مقدار به مقدار دیگر است که معمولا" ترانسفورماتورهای ولتاژ حفاظتی کاهنده هستند.

---

1. A.C



۱-۶- ترانسفورماتور جریان[1]

۱-۱-۶- مشخصات ترانسفورماتور جریان:

جهات زیر در انتخاب ترانسفورماتور های جریان باید مورد توجه قرار گیرد.

۱ - مقدار جریان اولیه
۲ - مقدار جریان ثانویه
۳ - مقدار بار و ظرفیت لازم
٤ - فرکانس سیستم
۵ - معین بودن دقت عمل ترانسفورماتور یا بصورت تعیین کلاس آن یا طریق دیگر
٦ - حدود ابعاد و یا حجم دستگاه
۷ - ولتاژ سیستم در اولیه مدار و عایق بندی مطلوب در اولیه ترانسفورماتور
۸ - مقدار جریان اتصال کوتاه در اولیه سیستم و مدت آن که ترانسفورماتور جریان استقامت آن را داشته باشد.

۲-۱-۶- دقت ترانسفورماتورهای جریان:

هنگامیکه CT در حفاظت استفاده می‌کنیم نسبت خطا خیلی اهمیت پیدا می‌کند زیرا جریان در حالت اتصال کوتاه زیاد است.
نسبت خطا بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\%RE=\left(\frac{KnIs-Ip}{Ip}\right)\times 100 \qquad (۶-۱)$$

درصد نسبت خطادر اولیه $\%RE=\%Ratio\ Error$

Ip[1]مقدار موثر جریان اولیه و Is[2] مقدار موثر جریان ثانویه می‌باشد

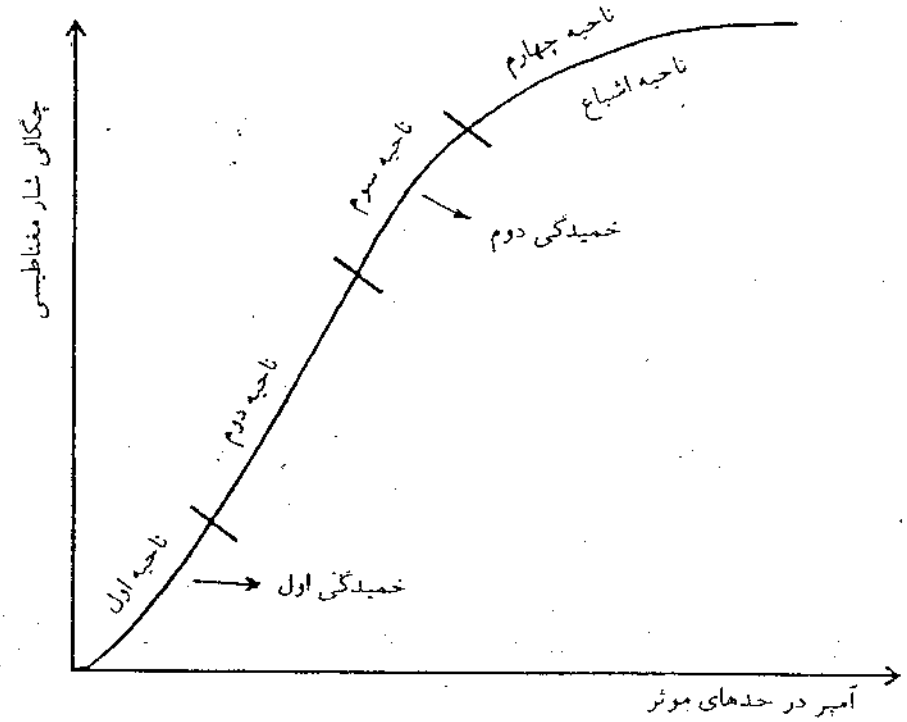
$$Kn=\text{نسبت نامی}=\frac{\text{جریان نامی ثانویه}}{\text{جریان نامی اولیه}} \qquad (۶-۲)$$

معمولاً درصد نسبت خطا با افزایش جریان اولیه افزایش پیدا می‌کند.

1.Current Transformer=CT

۳-۱-۶- منحنی مغناطیس شدن:

این منحنی در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.منحنی تحریک را می‌توان به چهار ناحیه یا چهار قسمت تقسیم کرد.ناحیه یک از مبدا تا اولین خمیدگی، ناحیه دوم از اولین خمیدگی تا دومین خمیدگی ،ناحیهٔ سوم ناحیه دومین خمیدگی و ناحیه چهارم یا ناحیه اشباع می‌باشد. قسمت زانویی خمیدگی دوم قسمتی است که در ۵٪ افزایش آمپر دور ۱۰٪ افزایش چگالی فاز مغناطیسی حاصل می‌شود. کار ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی بطور کلی از قسمت خمیدگی اول تا ناحیه خمیدگی دوم منحنی یا حتی بالاتر می‌باشد در حالی که ترانسفورماتور های جریان اندازه گیری فقط در ناحیه اولیه خمیدگی منحنی کار می‌کنند.



شکل(۱-۶): منحنی مغناطیس شدن ترانسفورماتور جریان

۴-۱-۶- جریان های نامی ثانویه:

۵ آمپر و ۱ آمپر جریان نامی استاندارد شده برای CT ها می‌باشد. انتخاب CT ها بطور کلی به خواسته تقاضاکننده یا به ماهیت و امپدانس مداری که به ثانویه CT وصل می‌شود بستگی دارد.

۵-۱-۶- باز بودن مدار در ثانویه:

یک نکته قابل توجه در CT ها این است که ولتاژ در حالت باز بودن مدار ثانویه

CT ظاهر شود. ولتاژ معمولی در ثانویه یک ترانسفورماتور جریان چند ولت است بعنوان مثال اگر توان مصرفی در مدار خروجی مصرف‌کننده یک CT، ۱۵ VA باشد و جریان ثانویه ۵ آمپر باشد:

$$\text{ولتاژ ثانویه} = \frac{۱۵}{۵} = ۳V$$

حال اگر در اثر ولتاژ مدار ثانویه CT باز گذاشته شود ولتاژ ثانویه تا مقدار بالایی افزایش پیدا می‌کند ،بطوری که ولتاژ پیک ممکن است چند کیلو ولت شود. این ولتاژ زیاد بخاطر اشباع هسته CT می‌باشد .با توجه به مطالب فوق اگر یک CT باز باشد ولتاژ زیاد سبب از بین بردن عایق بندی و اتصال کوتاه شده و نیز تلفات مذکور بعلت اشباع هسته ،حرارت غیر قابل تحمل در هسته ایجاد خواهد کرد.

۶-۱-۶- مشخصات فنی ترانسفورماتور جریان حفاظتی :

ترانسفوماتورهای جریان حفاظتی که معمولاً در محوطه پستها بعنوان یکی از تجهیزات پست گذارده می‌شود با سه پارامتر مهم مشخص می‌گردد. پارامتر اول مصرف[1] است که عبارت است از بار (ولت آمپری) که در بار نامی می‌تواند به مصرف کننده بدهد. دومین پارامتر خطا یا به عبارت دیگر عکس دقت است و آن بدین منظور است که نشان دهد که C.T در K (پارامتر سومی که تعریف خواهد شد) برابر جریان نامی می‌تواند بمیزان تا پارامتر دوم، دقت خود را حفظ کند. پارامتر سوم (K) حد ماکزیمم جریان است و آن نسبت جریان اتصال کوتاه به جریان نامی است که در آن C.T قادر است دقت یاد شده خود را بمیزان پارامتر دوم حفظ نماید. برای مثال در یک C.T, 10VA/5P/15 ، قدرت نامی C.T ، ۱۰ ولت آمپر، ۱۵ حدماکزیمم جریان C.T ، ۵٪ دقت آنست که CT در ۱۵ برابر جریان نامی تا ۵٪ خطا دقت خود را حفظ می‌کند.

۲-۶- انواع ترانسفورماتورهای جریان از نظر ساختمانی

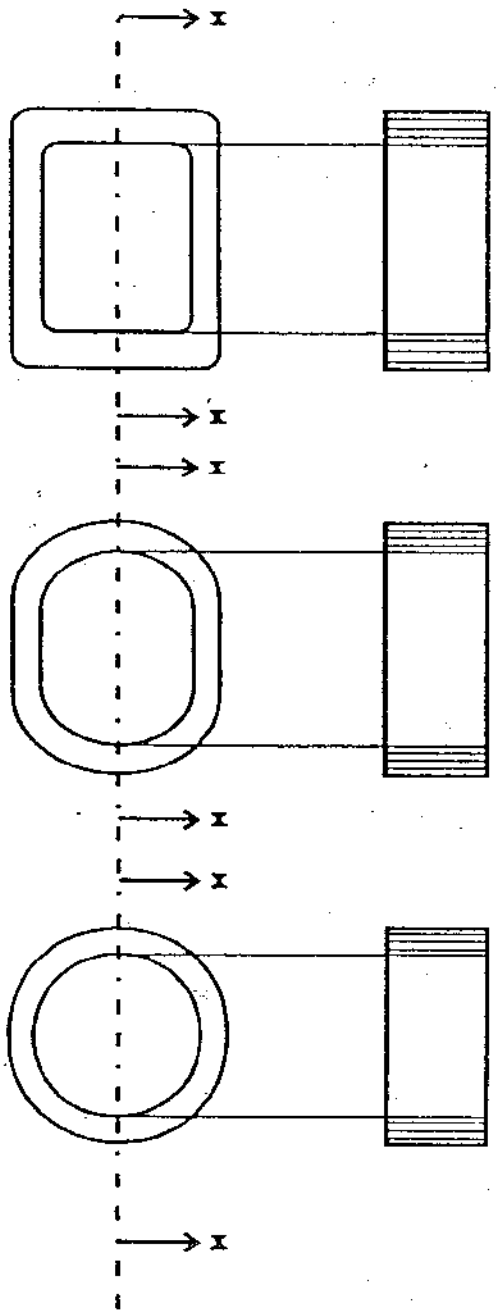
۱-۲-۶- نوع حلقه ای :

این ساده ترین نوع CT هاست. هسته در این ترانسفورماتور ها از لحاظ شکل عمومی به سه نوع مربع مستطیل ،تخم مرغی دایره شکل مطابق شکل (۲-۶) می‌باشد.

---

1. Burder

در CT ها هسته از آلیاژ آهن و نیکل است . قبل از استفاده ، هسته بطور کامل و محکم عایق بندی می‌شود.



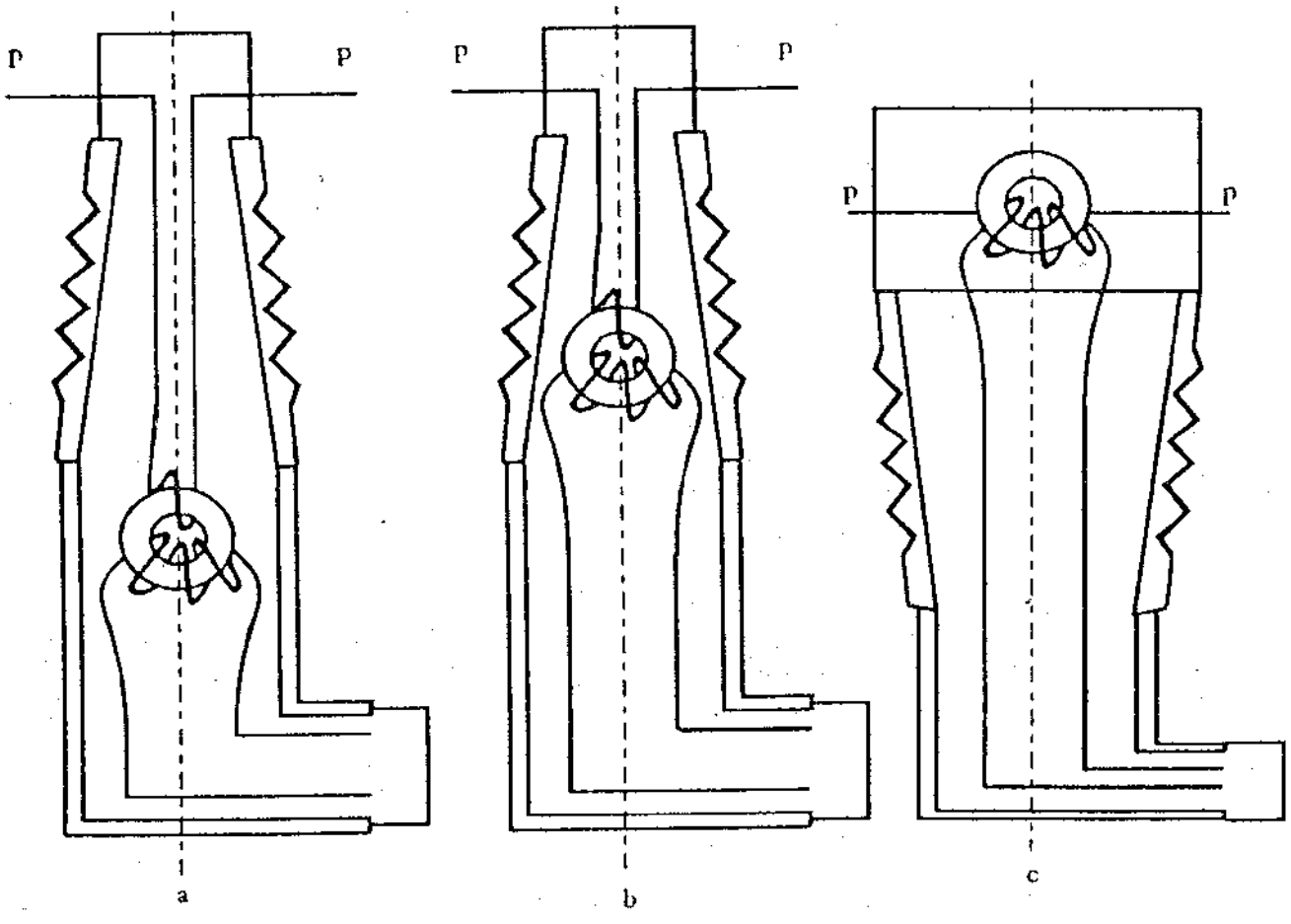
شکل (۲-۶): سه نوع CT بلحاظ ساختمانی

۲-۲-۶- ترانسفورماتورهای جریان برای ولتاژهای بالا:

CT های برای استفاده پست [1] که بطور مجزا قرار داده می‌شود CT های مناسب

1. Post Type

برای کار در محوطه باز می‌باشند. این CT ها معمولاً در بیرون محوطه کلیدها نصب می‌شوند ولتاژ در هادی اولیه این CT ها با توجه به زمین زیاد است. بنابر این CT ها بوسیله ستونهای توخالی عایق که بوسیله روغن پرشده اندنسبت به محیط اطراف عایق می شوند. ثانویه این CT ها شبیه CT های حلقه ای است که قبلاً توضیح داده شده است. شکل (۳-۶) این CT ها را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۶): سه نمونه از شکل ساختمان CT نوع Post Type

۳-۲-۶- نوع با سیم پیچی مرکب در اولیه:

در CT های با سیم پیچی اولیه ، سیم پیچی اولیه و ثانویه بطور هم مرکز پیچیده شده اند. سیم پیچی ولتاژ کم معمولاً سیم پیچی درونی می‌باشد.

۳-۶- ترانسفورماتورهای ولتاژ (ترانسفورماتورهای پتانسیل)[1]

۱-۳-۶- *انواع PT ها از نظر ساختمانی:*

الف - نوع الکترومغناطیسی
ب - PT برای ولتاژ زیاد در محوطه سر باز
ج - نوع خازنی

ترانسفورماتور (PT) های نوع الکترومغناطیسی مانند یک ترانسفوماتور عادی است . منتها در آن دقت بیشتری بخرج داده شده است تا خطا در ترانسفورماتوربه حداقل برسد. ساختمان یک PT عمدتا" به ولتاژ نامی اولیه مربوط می شود. برای ولتاژهای تا ۳/۳ KV ترانسفورماتورهای نوع خشک که با ماده عایق پر شده و سیم پیچی آن نوار پیچی شده است کاملا" رضایت بخش است . برای ولتاژهای بالاتر از روی تجربه PT هایی که هسته سیم پیچی آنها در روغن غرق شده است مناسب تشخیص داده شده اند.

اخیرا" سیم پیچها در رزین های مصنوعی و مرکب پر شده و پوشیده می‌شوند وبا این پیشرفت PT های نوع خشک برای ولتاژهای بالاتر از ۳/۳KV تا ۶۶KV در اختیار می باشد.شکل های مختلف هسته ها در PT ها در شکل (۴-۶) نشان داده شده است برای PT های بزرگ در هسته های C شکل مناسب است.

۲-۳-۶- *ترانسفورماتور ولتاژ برای ولتاژ زیاد درمحوطه سرباز:*

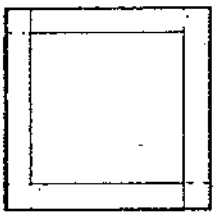
برای ولتاژهای بالاتر از ۱۳۲KV، PT های الکترو مغناطیسی بکار می‌رود که عموما"بصورت آبشاری یا موج دار می‌باشد. از این PT ها معمولا" روی هر فاز یکی با هسته جداگانه نصب می‌شود . همچنین سیم پیچهای واسطه ای نیز در نظر گرفته شده تا نشتی اندوکتانس راکاهش دهد .این PT ها براحتی در داخل محفظه های چینی جا داده می‌شود.

۳-۳-۶- *ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی:*

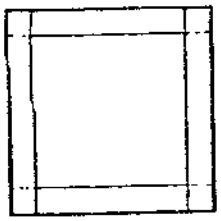
PT های نوع خازنی برای ولتاژهای ۶۶KV و بالاتر بکار می‌روند. در چنین ولتاژهایی هزینه PT های الکترومغناطیسی خیلی بالااست. در این جا خازنهایی بطور سری که نقش تقسیم کردن ولتاژ را دارند منظور می‌شود .جریان مصرفی در خروجی این گونه PT ها در برابر جریان

---

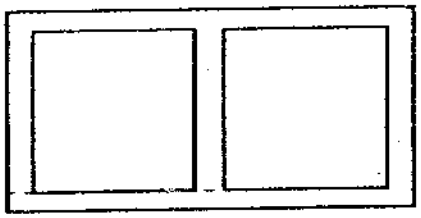
1. Potential Transformer (PT)



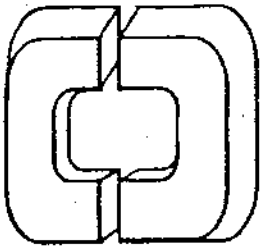
(الف): هسته با ورقه های L شکل



(ب): هسته با ورقه های I شکل



(ج): هسته با ورقه های E شکل و I شکل



(د): هسته با ورقه های C شکل

شکل (۴-۶): شکل های مختلف هسته PTها

عبوری از خازنها ناچیز است. بهر حال در این نوع PT ها اختلاف فاز و خطای نسبی و جریان مصرف کننده بیشتر است .

راکتور بطوری سری بامدار مصرف در خروجی PT قرار داده شده وبطوری تنظیم می‌شود که فرکانس سیستم با مجموع دو خازن حالت تشدید را ایجاد کند. این عمل خطا را نیز برطرف می‌کند. ساختمان PT های خازنی به شکل تقسیم کننده ولتاژ خازنی مربوط می‌شود. معمولاً خازن ولتاژ بالا در پوششهای چینی جا داده می‌شوند.

از PT های خازنی علاوه بر استفاده های اندازه گیری و حفاظتی استفاده مخابراتی نیز می‌شود.در شکل (۵-۶) دیاگرام اصلی این نوع PT ها نشان داده شده است.

۴-۳-۶- نسبت خطا[1]

درصد خطا گاهی در صد خطای ولتاژ هم گفته می‌شود و بصورت زیر بدست می‌آید.

$$\%R.E=\frac{100(K_nV_s-V_v)}{V_v} \qquad (۶-۳)$$

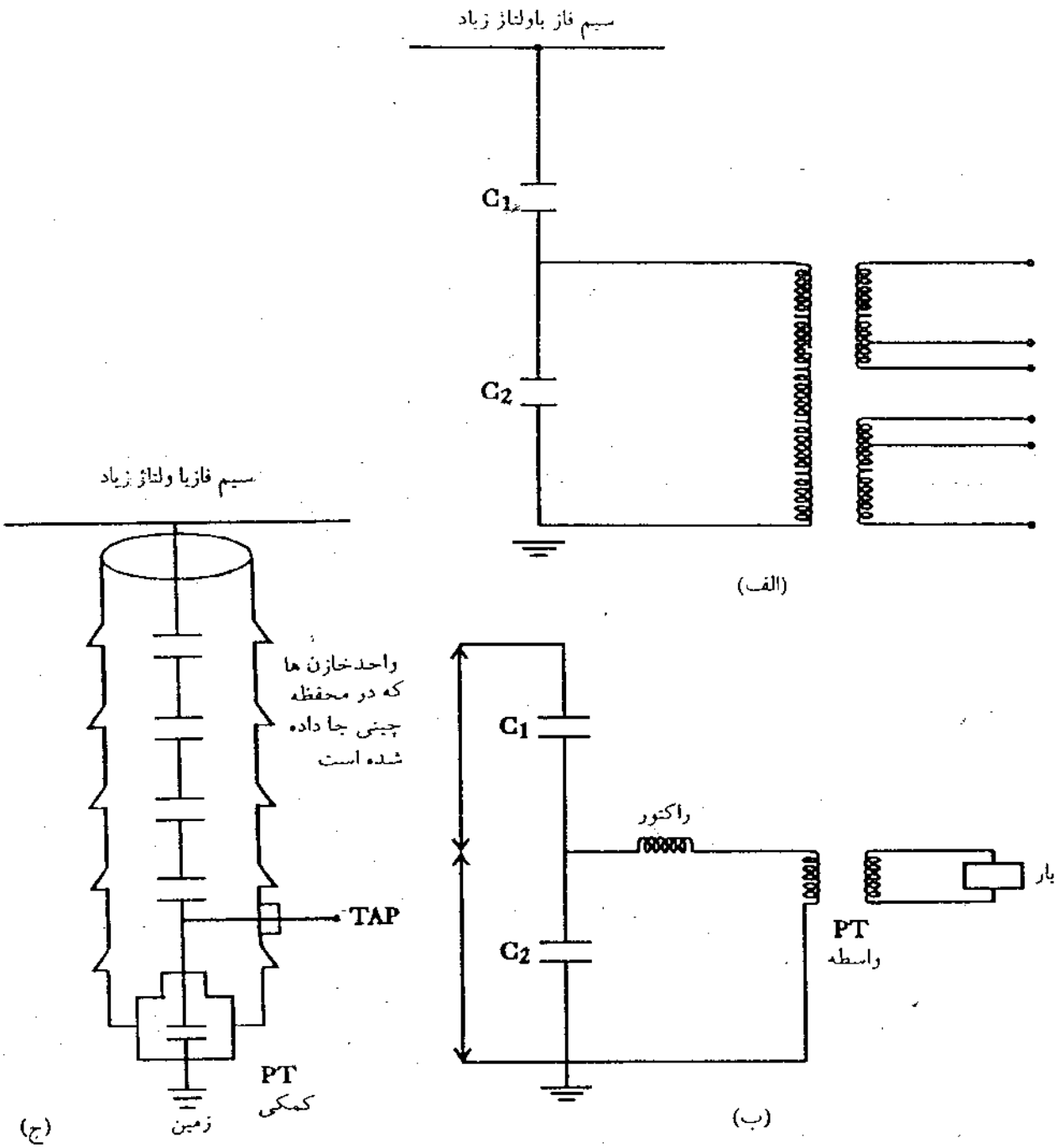
که در این رابطه

K_n= نسبت نامی

V_s= ولتاژ ثانویه

V_v= ولتاژ اولیه

1. Ratio Error



شکل (۵-۶):نمودار ترانس ولتاژ (خازنی)

۵-۳-۶-کلاسهای دقت وموارد استفاده آنها برای PT های BS3941:

بطور استاندارد حدودی برای خطاها در PT های مشخص نشده است . تمام PT های حفاظتی در کلاسهای A و B و C که استاندارد شده است دسته بندی شوند.

۶-۳-۶- ولتاژهای نامی استاندارد شده در ثانویه:

PT های B.S3941 دارای چندین ولتاژ نامی اولیه ولی فقط چهار ولتاژ ثانویه بقرار زیر می‌باشند:

$$110\ ,\ \frac{110}{\sqrt{3}}\ ,\ 220\ ,\ \frac{220}{\sqrt{3}}$$

۷-۳-۶- مشخصات PT ها:

موارد زیر بایستی هنگام انتخاب PT ها در نظر گرفته شود:

الف- ولتاژ نامی اولیه

ب - ولتاژ ثانویه

ج - مصرف کننده روی PT

د - ترکانس سیستم

فصل هفتم

زمین کردن - سیستم زمین

مقدمه

هدف از زمین کردن دستگاهها و سیستم ها آنست که اولاً مقاومت الکترود سیستم زمین باندازه ای کم باشد که عملکرد رله ها را ممکن سازد. ثانیاً ولتاژهایی تحت عنوان گامی و تماسی که در قسمت های بعد تعریف خواهد شد در حد قابل اطمینانی قرار گیرند. بمنظور فراهم آوردن شرایط بالا بدنه تجهیزات را زمین کرده و در پستها از سیستمهایی بنام شبکه زمین استفاده می‌کنند.

۱-۷- فشار الکتریکی تماسی و گامی

۱-۱-۷- *فشار الکتریکی تماسی*[1]:

تماس با قسمت های برقی سبب می‌شود که جریان در مسیر علاوه بر مقاومت بدن از قسمت های دیگری نیز که بطور متوالی قرار دارند عبور کند. قسمتی از فشار الکتریکی که روی بدن شخص قرار می‌گیرد فشار الکتریکی تماسی نامیده می‌شود.

$$V_h = I_h \times R_h \qquad (۷-۱)$$

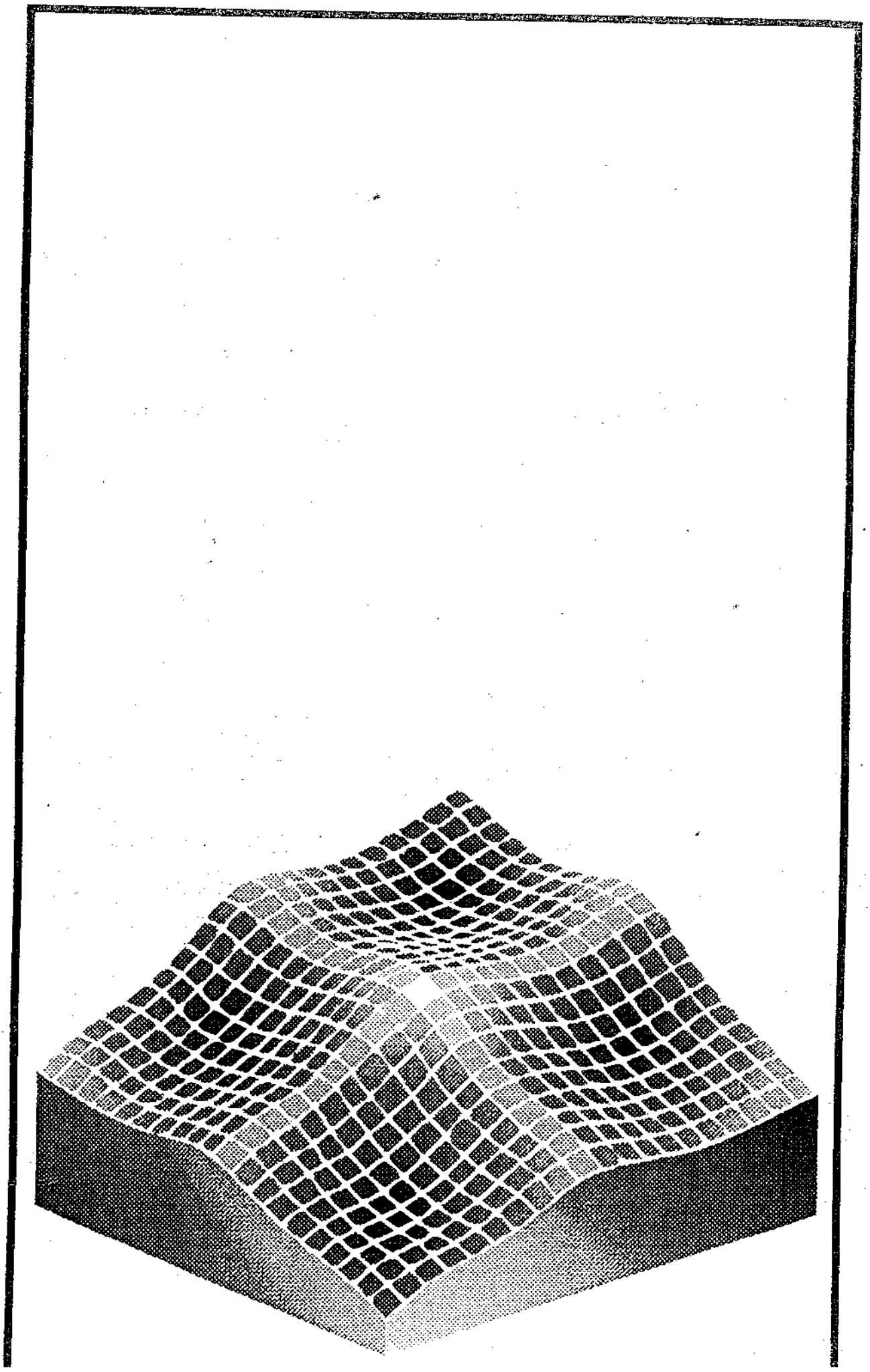
در این فومول :

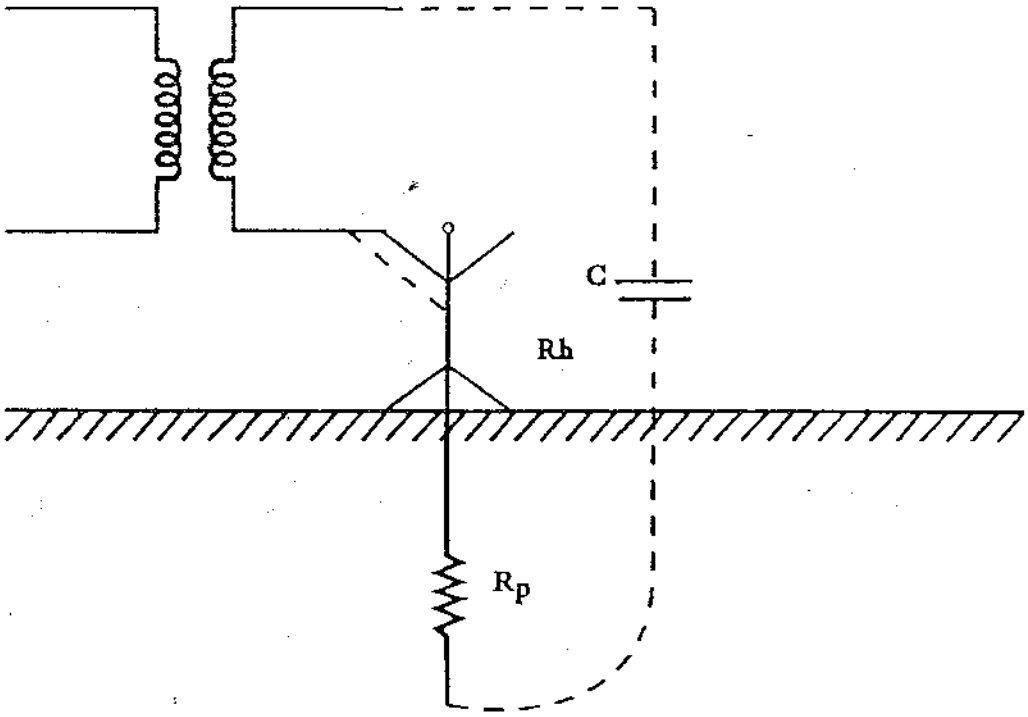
I_h = شدت جریان عبوری از بدن انسان

R_h = مقاومت بدن می‌باشد

شکل (۱-۷) نشان دهنده مسیر عبور جریان از بدن شخص در صورت تماس با وسیله برقدار است.

1.Touch Voltage





شکل (۱-۷): مدار نشاندهنده مسیر جریان تماسی

برای کاهش فشار تماسی و خنثی کردن آن روش های مختلفی به کار می‌رود.

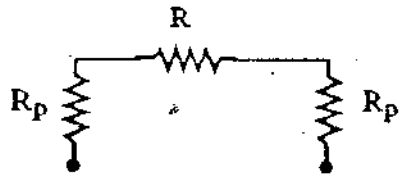
الف- زیاد کردن مقاومت زیر پای شخص به وسیله مواد عایق(ایزوله کردن)
ب - هم پتانسیل کردن زیر پای شخص با بدنه دستگاهها

برای فشار تماسی حد مجازی در نظر گرفته می‌شود که بستگی به محل از ۶۵ ولت تا ۱۲ ولت تغییر می‌کند.

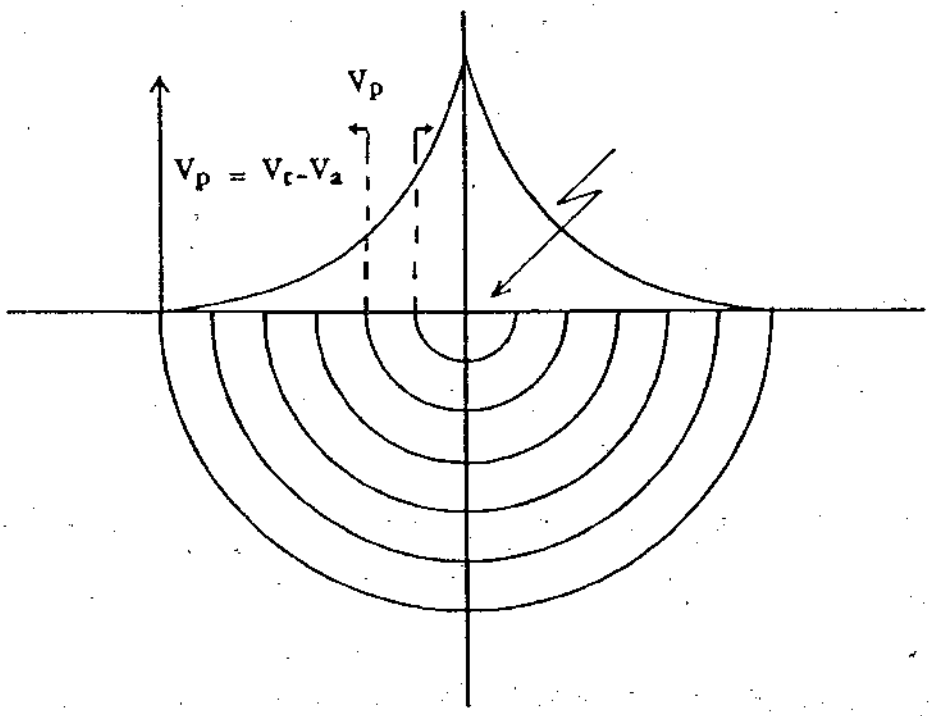
۲-۱-۷- فشار گامی[1]:

عبور جریان به یک نقطه از زمین سبب می‌شود که در محل زمین شدن و اطراف آن پتانسیلی به صورت منحنی های شکل (۲-۷)پخش شود. در این حالت دو پای شخص روی دو قسمت از منحنی ها با پتانسیل متفاوت قرار می‌گیرد .ولتاژی بین دو پا اعمال می‌شود که به فشار گامی‌موسوم است. پتانسیل در فاصله ۲۰ متری نسبت به نقطه ورود جریان مطابق شکل (۲-۷) صفر می‌شود.

1.Step Voltage



الف): مدار معادل



ب) : توزیع پتانسیل

شکل (۲-۷): مدار معادل و توزیع پتانسیل بهنگام عبور جریان بیک نقطه از زمین

جریان گامی از رابطه:

$$I=\frac{V_p}{2R_p+R} \qquad (۲-۷)$$

بدست می‌آید.

R مقاومت بدن انسان و R_p مقاومت زیر پای شخص است.

جهت کاهش فشار گامی ،هم پتانسیل کردن و پوشیدن کفش های عایق توصیه می‌شود.

برای فشار گامی حد مجازی در نظر گرفته نشده است ولی نبایستی از یک حدی تجاوز نماید. مثلاً فشار گامی بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ ولت باشد باعث گرفتگی عضلات و سقوط شخص شده و شخص دچاربرق زدگی می‌شود.

۲-۷- زمین کردن در عمل

در صورتیکه عایق سیم پیچی موتورها یا وسایل برقی خراب شده و فاز به بدنه دستگاهها اتصالی پیدا کند بدنه دارای پتانسیل خطرناکی نسبت بزمین شده و کسی که با این دستگاه کار کند دچار برق زدگی می‌گردد . زمین کردن دستگاهها این پتانسیل را نسبت بزمین پائین آورده و مخاطره برق زدگی را از بین می‌برد. در شکل هدایت عایق الکتریکی سیم (۱) و (۲) و هم چنین هدایت شخص که بدستگاه برقی دست می‌زندبه ترتیب با g_1 , g_2, g_h نشان داده شده است ضمناً gt هدایت اتصال زمین شده و g_h معادل هدایت بدن شخص است :

$$g'=g_1+g_t+g_h \qquad (۷-۳)$$

$$g=\frac{g'g}{g'+g_2} \qquad (۷-۴)$$

فشار الکتریکی که بدن شخص وارد می‌شود. V_h خواهد بود.

$$V_h=\frac{vg_2}{g_1+g_2+g_h+g_t} \qquad (۷-۵)$$

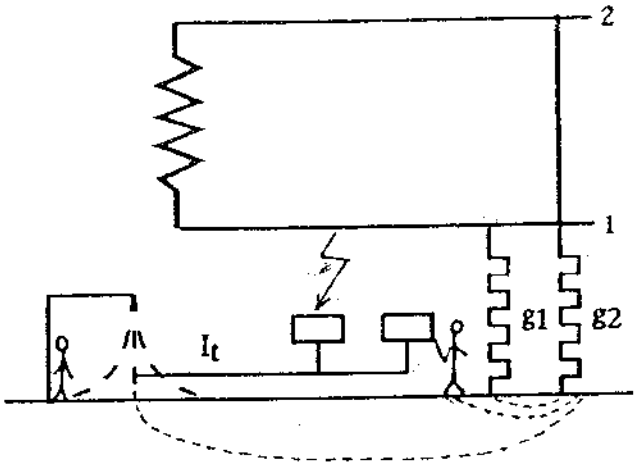
$$\frac{V_h}{V}=\frac{g}{g'}=\frac{(g_1+g_t+g_h)g_2}{(g_1+g_2+g_t+g_h)(g_1+g_h+g_t)} \qquad (۷-۶)$$

شدت جریان که از بدن شخص عبور می‌کند برابر خواهد بودبا:

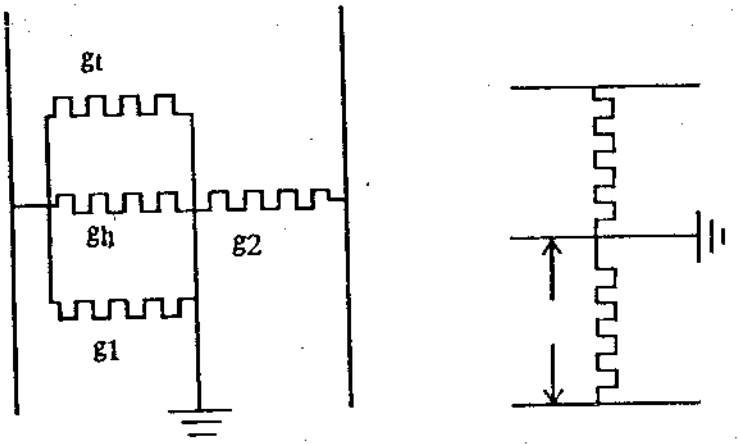
$$I_h=V_hg_h=\frac{V.g_2.g_h}{g_1+g_2+g_h+g_t} \qquad (۷-۷)$$

اگر در مخرج کسر g_h،g_2،g_1 را نسبت به g_t که خیلی کم می‌باشد حذف کنیم خواهیم داشت:

$$I_h=\frac{V.g_2.g_h}{g_t} \qquad (۷-۸)$$



الف): نمایانگر حالتی که فاز به بدنه اتصالی شده



ب): مدار معادل حالت (الف)

شکل (۳-۷): مدار معادل اتصال فاز به بدنه

چنانچه دیده می‌شود برای تقلیل I_h یا بایستی هدایت بدن انسان g_h را و یا عایق شبکه g_2 را کم نمود و یا g_t هدایت زمین را زیاد تر ساخت. بهمین علت دقت می‌شود که عایق شبکه خوب بوده و مسیر جریان از بدن انسان از مقاومت زیاد (از قبیل داشتن کفش لاستیکی، دستکش و غیره باشد) و مقاومت زمین مصنوعی خیلی کم باشد(در این جا $\alpha=1$ گرفته ایم).

$$V \cong \frac{It}{gt} = ItVt \leq V \quad \text{حد مجاز} \qquad (۷-۹)$$

اگر مقاومت زمین مصنوعی زیاد باشد، اتصال بدنه یکی از موتورها که بزمین وصل شده در بدنه تمام دستگاههای برقی زمین شده پتانسیل خطرناکی ایجاد می‌کند. شرط معادله (۹-۷) ولتاژ مجاز بالا را می‌توان بدو طریق عملی نمود:

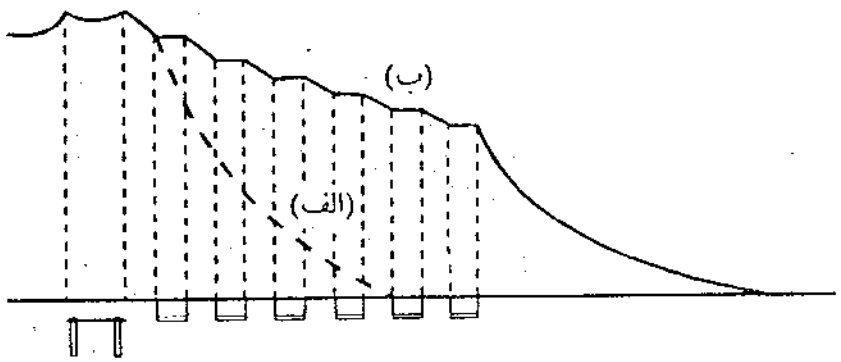
الف- کاهش It با ازدیاد مقاومت عایق شبکه
ب - تقلیل r_t یا مقاومت الکترودها

شرط دوم را در بعضی از موارد نمی توان عملی ساخت.

۳-۷- مدار زمین کردن

۱-۳-۷- *تحلیل زمین کردن :*

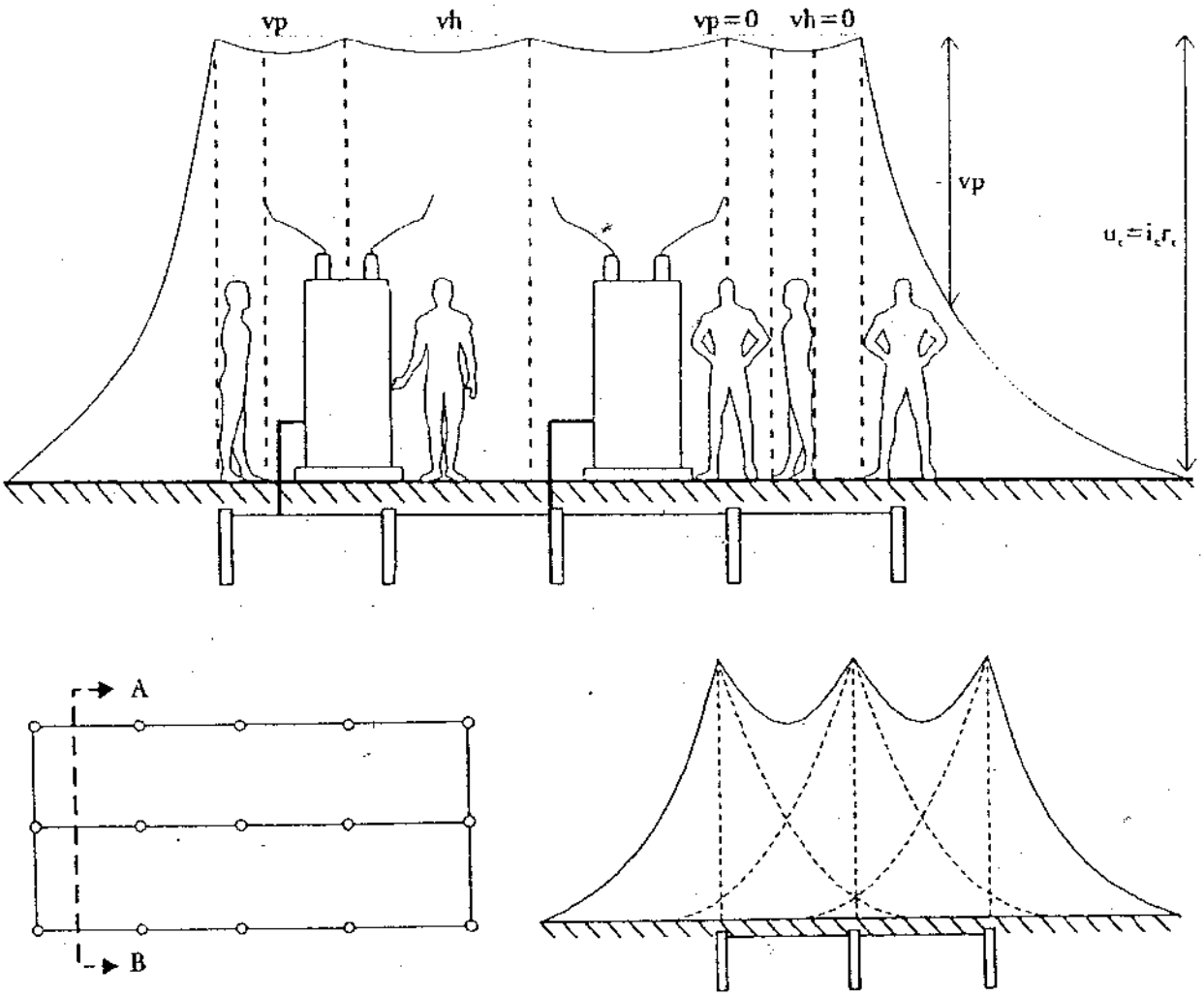
تحلیل شرایط ایمنی وعبورجریان از الکترودهای زمین بستگی به فشار گامی و تماسی دارد که مقادیر این فشار ها نباید از حد مجازی تجاوز نماید. چنانچه می‌دانیم فشار تماسی در اینکه شخص نزدیکتر به الکترود زمین باشد کمتر می‌باشد. برعکس فشار گامی وقتی‌کمتر است که شخص دورتر از الکترود باشد ،الکترودهای تکی و یا مجتمع در موقع عبور جریان از آنها منحنی پخش پتانسیل مطلوب را نمی دهد .تقلیل فشار گامی و تماسی فقط با ایجاد مدار بسته (کونتور)[1] از الکترودهای زمین می‌تواند عملی شود .در برش A-B دیده می‌شود که در داخل کونتور فشار گامی و تماسی کم می‌باشد ولی بواسطه شیب بندی که این افت پتانسیل در خارج از مدار دارد برای جلوگیری از برق زدگی خارج از مدار قسمتهایی از فولاد که اصلاً با مدار اصلی مرتبط نمی باشند قرار می‌دهند شکل (۵-۷). چنانچه در شکل مقابل دیده می‌شود فاصله الکترودهای داخل کونتور ۲متر (در عمق ۷-۶ متری) مس شمش بفاصله ۳ متر از کونتور بعمق ۱/۵متر و شمش دیگری بفاصله ۶ متر بعمق ۲/۵ متر از سطح زمین قرار گرفته است.



الف - افت پتانسیل در زمین ب - افت پتانسیل در طول شمشها

شکل (۴-۷): منحنی تسطیح پتانسیل در مجاورت مدار توسط الکترودهای زمین

1. Counter

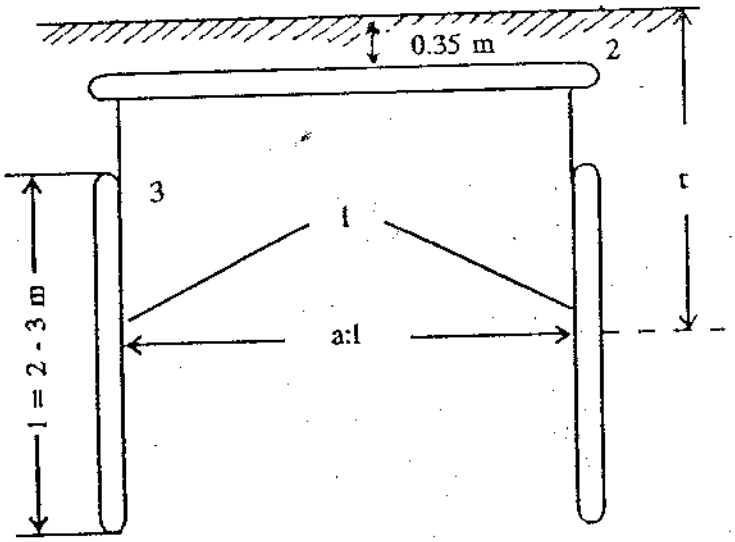


شکل (۵-۷): منحنی پتانسیل برای شبکه زمین (کونفور)

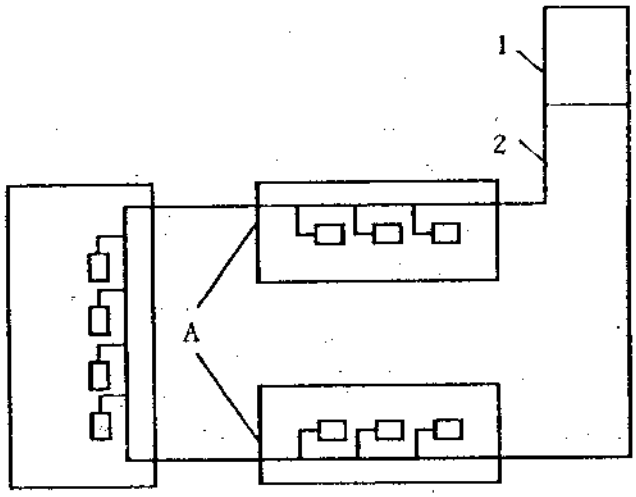
۲-۳-۷- ایجاد زمین مصنوعی:

الف- اصول زمین کردن مصنوعی: برای زمین کردن تجهیزات برقی اغلب از الکترودهای طبیعی که در زیر خاک قرار گرفته اند از قبیل لوله های آبرسانی ،لوله های چاه عمیق ، قطعات فلزی ساختمانها که با زمین تماس خوبی دارند ، بدنه فلزی کابلها و غیره استفاده می‌شود.در صورتی که نتوانیم مقاومت کمتری برای عبور جریان اتصالی با وسایل فوق بدست آوریم مجبور به ایجاد زمین مصنوعی خواهیم بود.

ایجاد زمین مصنوعی با لوله های فولادی بطول (۳-۲)متر و بقطر (۵۰-۳۵) میلی‌متر و تسمه های فولادی بمقطع mm^2(۱۰۰-۴۸) عملی می‌گردد شکل(۶-۷). مقطع شمشهای اصلی زمین را از نقطه نظر استقامت مکانیکی نبایستی کمتر از (۴×۲۵) میلیمتر مربع برای فولاد انتخاب نمود.



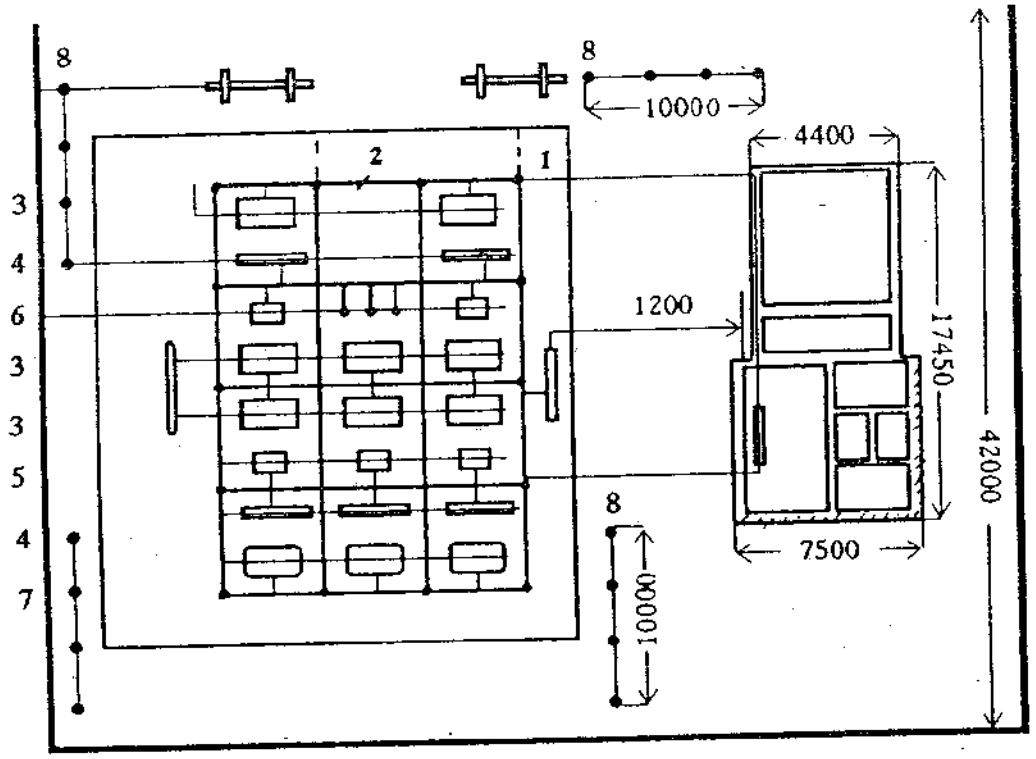
الف): لوله های فولادی



ب): مدار کنتور زمین مصنوعی

شکل (۶-۷): ایجاد زمین مصنوعی

در تجهیزات فشار قوی مقاطع شمشها را نسبت به استقامت حرارتی نیز امتحان می کنند، ممکن است زمین مصنوعی را در جائی که مرطوب بوده و کمترین مقاومت برای عبور جریان اتصالی داشته باشد ایجاد نموده و از آن برای زمین کردن کارگاهها مطابق شکل (۷-۷) استفاده کنند. در این شکل طرز قرار گرفتن الکترودهای زمین مصنوعی در مرکز فرعی برق در فضای آزاد نشان داده شده است. (۱) الکترودها (۲) کنتور (۳) سکسیونر (۴) دکل ها (۵) دیژنکتور (۶) دیژنکتور وسکسیونر با هم (۷) ترانسفورماتور (۸) برق گیرها می‌باشد.

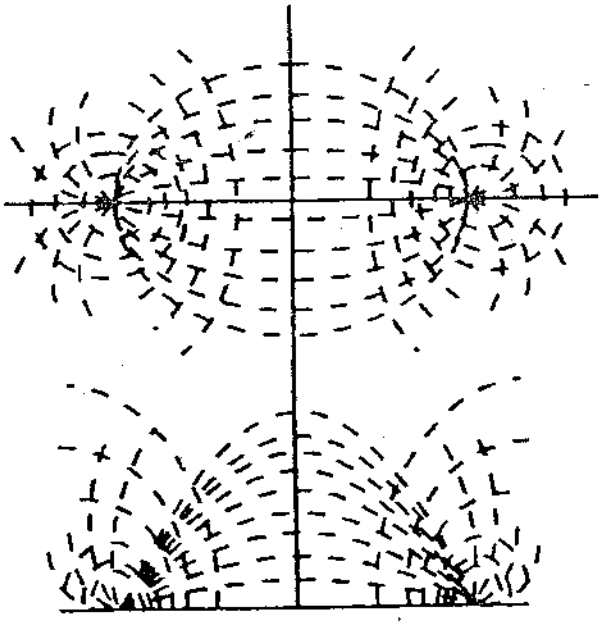


شکل (۷-۷): مدار زمین پست نمونه

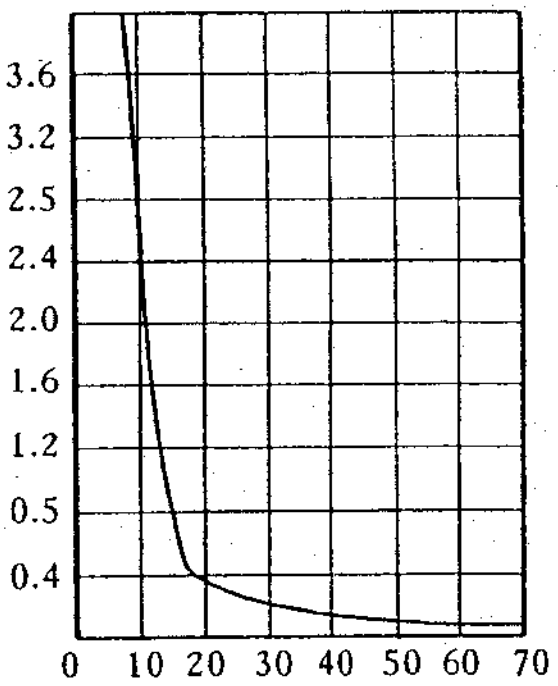
ابعاد به mm داده شده است ، مقاومت برای عبور جریان از الکترودها نسبت به وضع الکترود خاک فرق می‌کند .می‌توان گفت که عبور جریان از الکترود بزمین چون اطراف الکترود را خاکی با مقاومت مخصوص کمتری پرمی‌کنند چندان مقاومتی نشان نداده و عبور جریان بستگی به مقاومت خاک خواهد داشت.

مقاومت الکترودها را می‌توان از مقدارشدت جریان عبوری و ولتاژ زمین محاسبه نمود. $rt=\frac{Vt}{It}$ درشکل (۸-۷) با خطوط خط چین مسیر جریان و با خطوط پر خطوط هم پتانسیل نشان داده شده است و شدت جریان در زمین از تمام قسمتهای الکترود عبور نموده و در نزدیکی الکترود غلظت جریان خطی زیاد بوده وهر قدر دورتراز الکترود برویم این غلظت (چگالی) تقلیل می‌یابد.پس برای عبور جریان از زمین می‌توان مقاومت مخصوص خاک را منظور نمود که آن عبارت از مقاومت مکعبی از خاک بابعاد (1cm) از هر طرف می‌باشد و دیمانسیون‌آن.(Ω.Cm) می‌گردد و تغییرات مقاومت مخصوص خاک (خاکرس) در شکل (۹-۷) نسبت به درصد رطوبت دیده می‌شود.

شدت جریانی که بین دو الکترود از زمین بگذرد در طول مسیر افت فشار ΔV بوجود می‌آید .افت فشار برای واحد طول‌بمانند مقاومت خاک ثابت نمی باشد . بزرگترین مقدار آن در مجاورت الکترود داشته و با دور شدن از الکترود این افت فشار تقلیل می‌یابد. در شکل (۱۰-۷ ب) ΔV نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود که از نقطه A افت ولتاژ بالارفته و در نزدیکی الکترود این ازدیاد خیلی سریع می‌باشد زیرا در این جا خاک مقاومت زیادی برای عبور



شکل (۸-۷): خطوط هم پتانسیل و مسیر شدت جریان

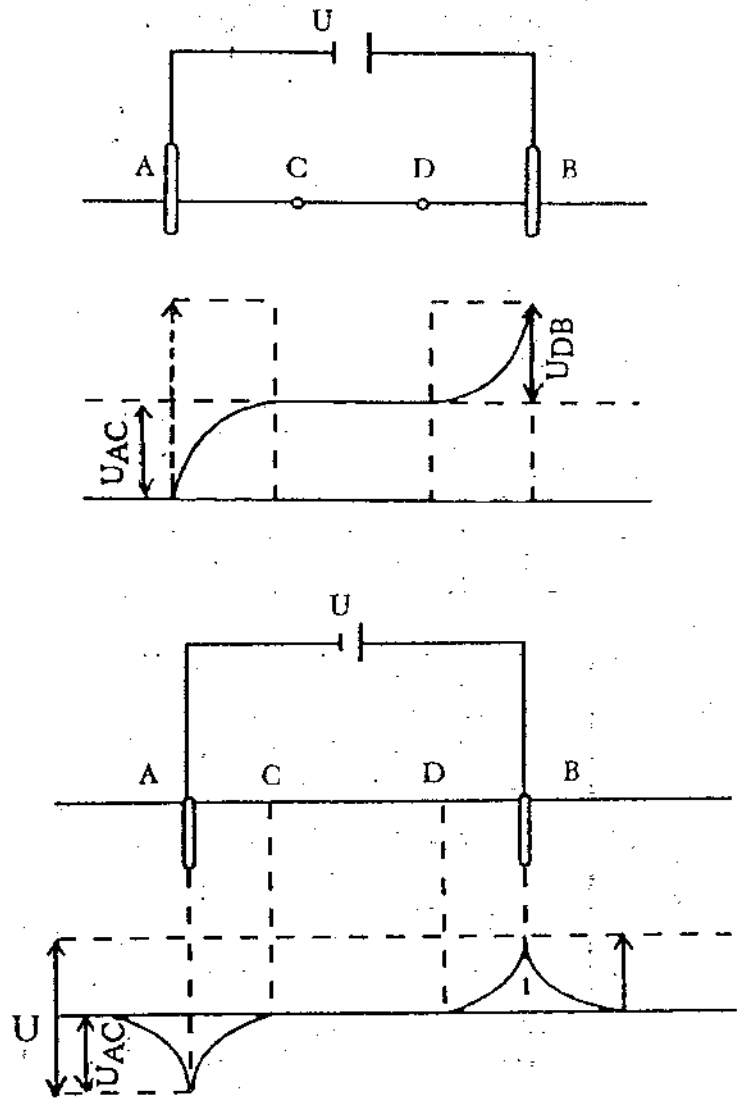


شکل (۹-۷): تغییرات مقاومت مخصوص خاک بر حسب درصد رطوبت

جریان نشان می‌دهد پس مقاومت خاک کم می‌شود و در 20 m اصلاً مقاومت خاک به مقاومت مخصوص خاک بستگی ندارد.

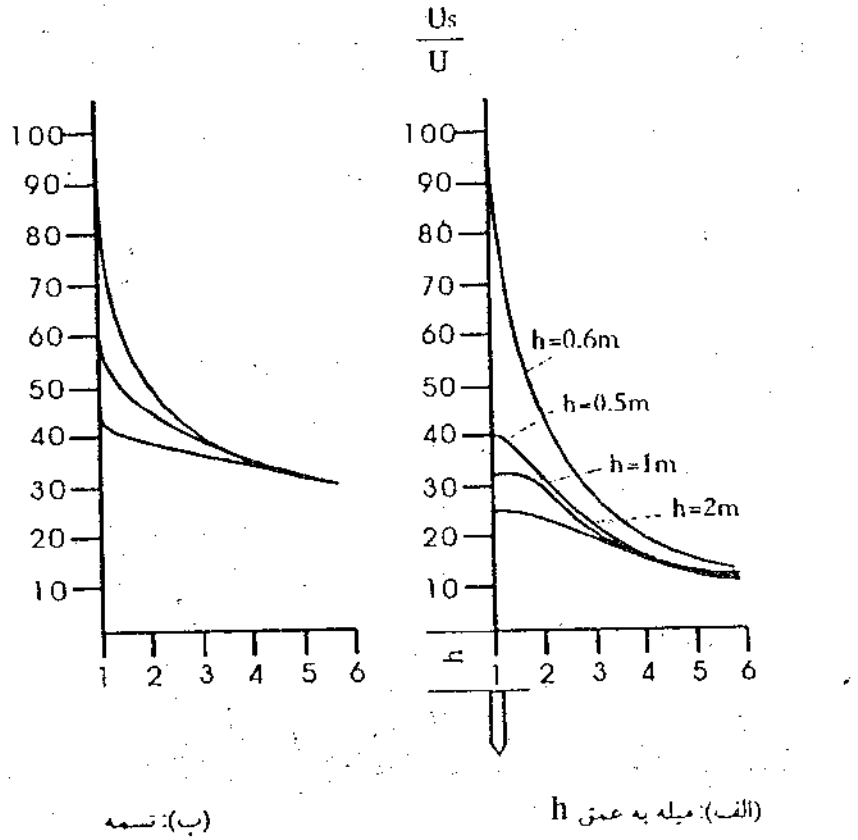
$$V_{DB} = I_t R_B$$
$$V_{AC} = I_t R_B \qquad (۷-۱۰)$$

پخش پتانسیل در سطح خاک در اطراف الکترودها در شکل (۱۰-۷ب) دیده می‌شود پتانسیل های A , B دارای جهات مختلف بوده و آن بعلت عبور (خروج و ورود) جریان می باشد و مشخصه منحنی پخش پتانسیل در اطراف الکترودها بستگی به شکل الکترودها - عمق



شکل (۱۰-۷): مسیر افت فشار ناشی از عبور جریان

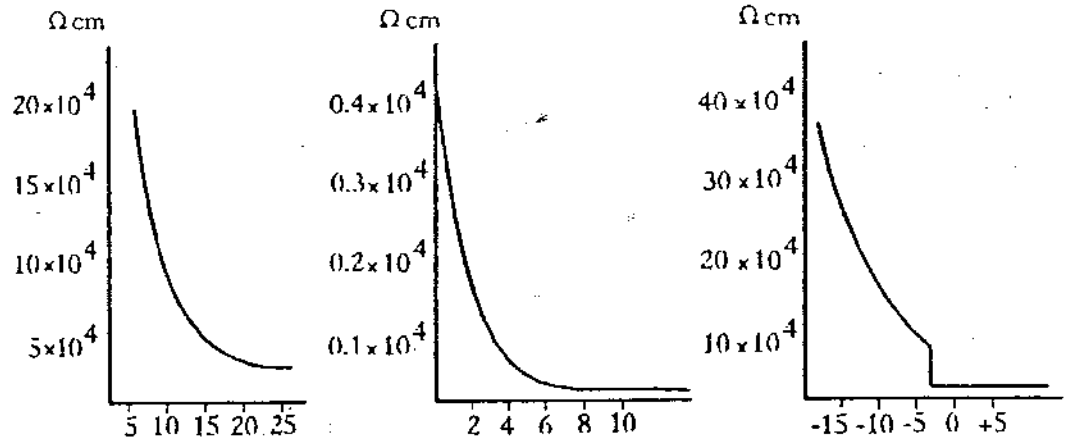
قرارگرفتن آنها از سطح خاک وضع الکترودها نسبت بهم دارد. و تقریبا" می‌توان گرفت که بمقدار شدت جریان عبوری از الکترودها و مقاومت مخصوص خاک بستگی ندارد . در شکل پخش پتانسیل در اطراف الکترود درسطح خاک که شکل میله و به عمق ها(h) متفاوت و هم چنین تسمه را نشان داده ایم چنانچه دیده می‌شود هر قدر عمق قرار گرفتن الکترود در سطح خاک بیشتر باشد مقدار حداکثر پتانسیل پائین می‌افتد یعنی مثل اینکه بین لایه های الکترود افت پتانسیل بوجود می‌آید.



شکل (۱۱-۷): مقدار پتانسیل بر حسب شکل و نوع زمین کننده

هر قدر عمق استقرار الکترود بیشتر باشد همانقدر افت پتانسیل بیشتر می‌شود و منحنی پخش پتانسیل نیز مسطح تر می‌شود .مقاومت مخصوص خاک نسبت به جنس لایه و مقدار رطوبت و درجه حرارت ،مقدار خاک فرق می‌کند. در شکل (۱۲-۷) این تغییرات نمایش داده شده است.

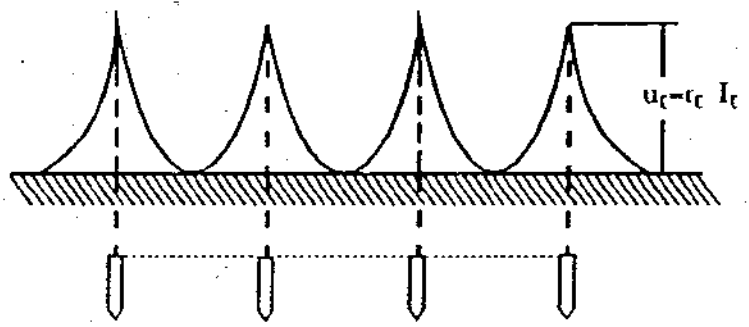
ب- **الکترودهای گروهی**:هر قدر الکترودها کمتر باشد می‌توان گفت مقدار فشار در گامی و تماسی تقلیل می‌یابد. بنابر این برای کاهش مقاومت الکترودها و تسطیح منحنی پخش پتانسیل



(الف): رطوبت درصد (ب):تمک Nacl درصد (ج):درجه حرارت درصدمی‌باشد.

شکل (۱۲-۷): منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب درصد رطوبت و درجه حرارت

احتیاج به چندین الکترود خواهیم داشت که در فواصل مشخص از هم در زیر خاک قرارگرفته و بوسیله تسمه هایی بهم متصل می‌گردند. فرض کنیم m الکترود در فاصله ۴۰ متری از هم باشند در این حالت مقاومت کل زمین مصنوعی $r_t = \frac{R_o}{m}$ خواهد شد.



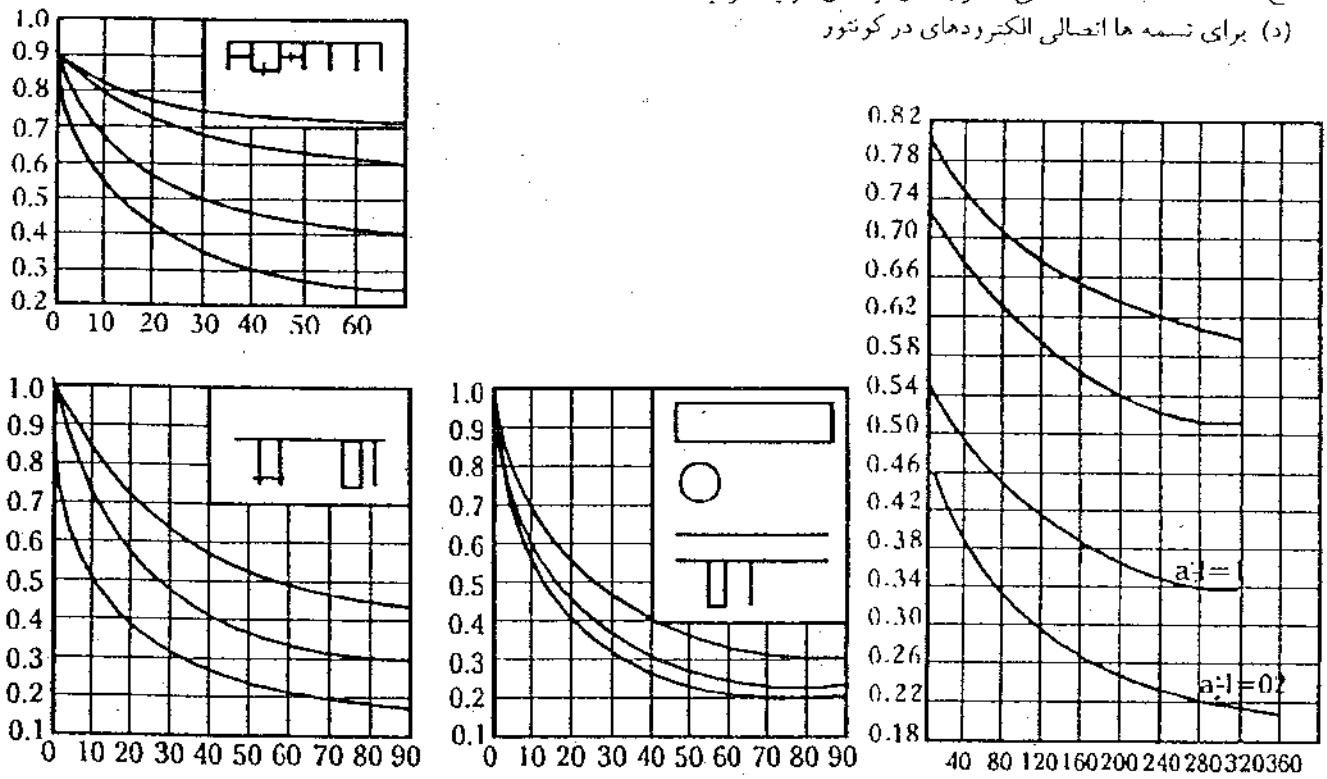
شکل (۱۳-۷): نمودار الکترودهای گروهی

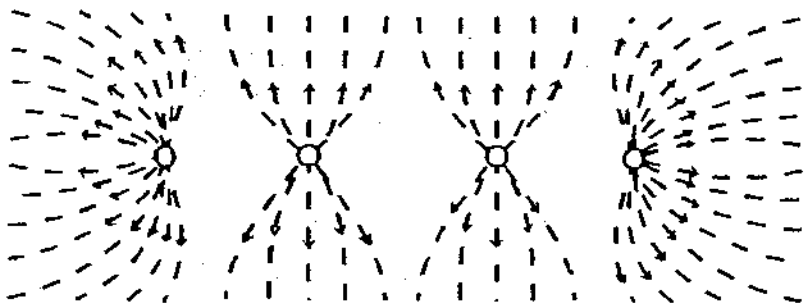
R_o مقاومت یک الکترود می‌باشد . ولی انتخاب فاصله ۴۰ متری چندان مقبول نیست ، لذا عملاً فاصله الکترود در حدود طول آنها گرفته می‌شود که در اینصورت هدایت کل تغییرمی‌کند و مقاومت کل رابطه (۱۱-۷) خواهد بود.

$$r_t = \frac{R_o}{m\eta} \qquad (۷-۱۱)$$

که در این رابطه r_t مقاومت کل، Ro مقاومت هر الکترود، m تعداد الکترودها و η ضریب استفاده از الکترودهاست که در شکل (۱۴-۷) دیده می‌شود. در این اشکال:

(الف)برای الکترودهای لوله ای در یک ردیف
(ب) برای الکترودهای لوله ای که در کونتوری قرار گرفته اند
(ج) برای تسمه های اتصالی الکترودهای لوله ای در یک ردیف
(د) برای تسمه ها اتصالی الکترودهای در کونتور





شکل (۱۴-۷): منحنی های تعیین η

۴-۷- محاسبه مقاومت الکترودهای طبیعی

در ایجاد حفاظ زمین دقت می‌شود که از الکترودهای طبیعی از قبیل لوله های فلزی در خاک ، غلاف کابلها، قطعات فلزی ساختمان وغیره استفاده شود ولی بایستی باین مسئله توجه شود که وجود الکترود طبیعی بطولهای خیلی زیاد در مواقع اتصال کوتاه ممکن است پتانسیل را خارج از محیط استحفاظی برده و سبب برق زدگی اشخاص گردد.بهر حال محاسبه مقاومت الکترودهای طبیعی در زیر داده می‌شود:

۱-۴-۷- مقاومت الکترودهای طبیعی :

الف - تیرهای فلزی انتقال انرژی :اگر تعداد آنها کمتر از ۲۰ عدد باشد رابطه (۷-۱۲) نمایانگر مقاومت معادل است:

$$R_e = \sqrt{Rr}\ \mathrm{cth}\left(\sqrt{\frac{r}{R}} \times m\right) \qquad (۷-۱۲)$$

اگر تعداد آنها از ۲۰ بیشتر باشد

$$R_e = \sqrt{Rr} \qquad (۷-۱۳)$$

R مقاومت زمین هر تیر، r مقاومت سیم زمین برای فاصله دو تیر، n تعداد تیرهاو Re مقاومت معادل کل می‌باشد

ب - لوله بطول کمتر از 2Km :مقاومت الکترودهای لوله ای (میله ای) با ازدیاد طول کمتر می گردد ولی اگر طول بیشتر از (۳-۲) متر بگیریم این تقلیل چندان قابل توجه نمی باشد مگر اینکه بخواهیم ازدیاد طول لوله (میله) به لایه های دیگر که در عمق قرار گرفته اند تماس حاصل نماید.

تاثیر ازدیاد قطر نیز چندان زیاد نمی باشد از نقطه نظر استحکام مکانیکی mm (۵۰-۳۵) قطر لوله ها برابر می‌دارند.

$$Re = \frac{\rho}{2\pi l} L_n \frac{l^2}{2db} \qquad (۷-۱۴)$$

در این فرمول ρ مقاومت مخصوص خاک به $\Omega.cm$,l طول لوله به cm ,d قطر خارجی لوله به cm ,b عمق استقرار لوله از سطح زمین به cm

ج - غلاف کابلها(یا لوله بیشتراز 2Km):

$$Re = \sqrt{rr_p}\ \mathrm{cth}\left(\sqrt{\frac{r_p}{r}} \times l\right) \qquad (۷-۱۵)$$

r مقاومت طول 1cm الکترود $(r = 1.69\rho)$ l' طول الکترود (کابل) به cm ,r_p مقاومت طولی

آکتیو 1cm الکترود (غلاف کابل) Ω.cm می‌باشد.

مقادیر rp برای کابل های سه فاز در جدول زیر بطور تقریبی داده میشود (عمق استقرار کابل از زمین 70 cm می‌باشد).

مقطع کابل mm^2	مقاومت اکتیو کل غلاف کابل در طول 1 cm به 10^{-6} Ω cm فشار الکتریکی به KV				
	3	6	10	20	35
3×70	14.7	11.3	10.1	4.4	2.6
3×95	12.8	10.9	9.4	4.1	2.4
3×120	11.7	9.7	8.5	3.8	2.3
3×150	9.8	8.5	7.1	3.5	2.3
3×185	9.4	7.7	6.6	3.0	2.3

جدول (۱-۷): جدول تعیین rp برای کابل های سه فاز

اگر n کابل هم مقطع داشته باشیم مقاومت کل آنها را از فرمول تقریبی (۱۶-۷) می‌توان پیدا نمود.

$$R_e = \frac{R'}{\sqrt{n}} \qquad (۷-۱۶)$$

که R' مقاومت هر کابل است و n تعداد کابلهاست.

مثال ۱-۷ : مطلوبست تعیین مقاومت کل سه گروه کابل که درخندقهای مختلف قرار دارند.

4کابل	بطول	15Km	بمقطع	$3\times120\ mm^2$
2 "	"	2Km	"	$3\times120\ mm^2$
2 "	"	1Km	"	$3\times120\ mm^2$

ولتاژ کابل ها 6KV ومقاومت مخصوص خاک $\rho = 10\times10^4$ Ω-cm می‌باشد.

سازندگان کابل در بعضی از موارد 20% مقادیر جدول (۱-۷) را تقلیل می‌دهند بعلاوه در محاسبات r ضریبی نسبت به نوع خاک منظور می‌شود که عبارتست از:

$$r=1.69\rho k \qquad (۷-۱۷)$$

$\rho = \Omega$ cm 10^4	005	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0
k	6.0	2.6	2.0	1.4	1.2	1.05

جدول (۲-۷): تعیین K

r_p در جدول (۱-۷) و 20% تقلیل پیدا می‌شود:

$$r\rho = .8\times9.7\times10^{-6}\ \Omega cm$$

چون خاک $\rho=10\times10^4\ \Omega$-cm باشد پس $k=1.2$ و $r= 1.69\rho k$ می‌باشد.

$$r=1.69\times10\times10^4\times1.2 = 20.3\times10^4\ \Omega$$

پس مقاومت غلاف 6KV بمقطع $3\times120\ mm^2$ خواهد بود.

$$R= 1.585\ Cotg\ (4.9\times10^{-6}l)$$
$$R_1= 2.53\ \Omega$$
$$R_2= 2.11\ \Omega$$
$$R_3= 3.49$$

برای کابلهای مختلف خواهیم داشت:

پس برای چهار کابل از نوع (۱) مقاومت محل می‌شود $R_I= \frac{2.53}{\sqrt{4}} =7.27\ \Omega$

" " دو " (۲) " " $R_{II}= \frac{2.11}{\sqrt{2}} =1.50\ \Omega$

" " ۳ " (۳) " " $R_{III}= \frac{3.49}{\sqrt{2}} =2.47\ \Omega$

مقاومت کل کابلها خواهد شد:

$$Re = \frac{1}{\frac{1}{1.27} + \frac{1}{1.50} + \frac{1}{2.47}} = .54\,\Omega$$

در جدول (۲-۷) مقاومت مخصوص خاک برای انواع خاک داده شده است. می‌توان گفت که مقاومت مخصوص خاک کاملا" خشک نزدیک به بینهایت می‌باشد .مقدار رطوبت تاثیر در مقاومت مخصوص نموده ولی بیشتر از ۱۵ درصد چندان موثر نیست بعلاوه در صورتی که مقدار رطوبت بیش از ۸۰-۷۰ درصد گردد مسئله را معکوس نموده و مقدار مقاومت مخصوص را بالا می‌برد .تاثیر درجه حرارت در حالت برودت مقدار مقاومت مخصوص را بالا برده و در درجه حرارت ^{c}۱۰۰ مقاومت تقلیل پیدا می‌کند زیرا در این حالت نمکها در داخل خاک حل می‌گردد اگر درجه حرارت بالاتر از ^{c}۱۰۰ ببریم رطوبت تبخیر شده و دوباره مقاومت زیادتر می‌گردد. چنانچه می‌دانیم مقدار حرارت بستگی به مقدار شدت جریان عبوری از خاک خواهد داشت . هر مقدار مواد اسیدی و نمکها در خاک بیشتر باشند مقاومت خاک تقلیل می‌یابد خاک اطراف الکترود هر قدر سفت تر باشد همانقدر مقاومت برای عبور جریان کمتر خواهد شد و به همین علت خاک اطراف الکترودها را می‌کوبند .با تمام اینها بهتر است مقاومت مخصوص خاک را بطور تجربی برای هر نقطه ایکه لازم برای ایجاد زمین مصنوعی باشد با سنجش قبلا" تعیین نمود.

نوع زمین	Ω-cm
آب دریا	1 - 100
خاک رس نمناک	1,400 - 3,000
زمین باتلاقی	1,000 - 10,000
خاک درخت و خاک گلدانی	3,000 - 5,000
شن	6,000 - 13,000
شن درشت	12,000 - 7×10^6
مخلوط سنگ و خاک	20,000 - 35,000
سنگ آهک	20,000 - 4×10^5
زمین خشک	10^5 - 4×10^5
صخره-کوه	Up To 10^6
آب خالص	2.5×10^7
آب باران	80,000

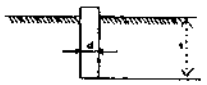
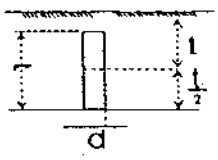
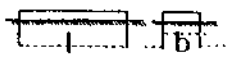
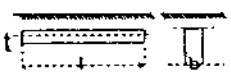
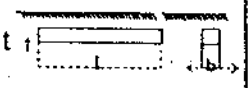
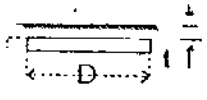
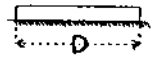
جدول (۲-۷): مقاومت مخصوص خاک‌برای زمین های مختلف

۲-۴-۷- تعیین مقاومت الکترودهای مصنوعی:

مقاومت الکترودهای زمین مصنوعی را از روش مشابه خازن الکترواستاتیک با قید انعکاس بدست می‌آورند برای لوله و یا میله بطول lبرحسب cm و بقطر dبر حسب cm از رابطه (۷-۱۸) بدست می‌آید:

$$Ro = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \qquad (۷-۱۸)$$

ρ مقاومت مخصوص خاک [Ω.cm] می‌باشد. از روی تجارب در جدول (۷-۳)برای الکترودهای مختلف فرمولهائی داده می‌شود تا بتوان مقاومت آنها را حساب نمود.

شکل الکترودهای زمین مصنوعی	شرایط کاربرد فرمول	فرمول برای محاسبات الکترود باتوجه به عبور جریان در زمین	وضع قرارگرفتن الکترود در خاک
میله یا لوله	$l >> \frac{d}{2}$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	
میله یالوله که از سطح خاک مطابق شکل بعمق t قرارگرفته	$l >> \frac{d}{2}$ $l >> \frac{1}{4} t$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{l}{2} \ln \frac{2t+½}{2t-½} \right)$	
تسمه بمقطع چهارضلعی در سطح خاک(درخط مستقیم)	$l >> b$	$R = \frac{\rho}{2l} \ln \frac{4d}{b}$	
سیم بمقطع دایره‌ای در زیرخاک (درخط مستقیم)	$l >> d$ $t >> \frac{1}{4} l$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2t} \right)$	
تسمه در زیر خاک (درخط مستقیم)	$l >> d$ $t >> \frac{1}{4} l$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{b} + \ln \frac{l}{2t} \right)$	
صفحه دایره ای درزیر خاک	$t >> \frac{D}{2}$	$R = \frac{\rho}{4D} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D}{2\sqrt{4t^2 + \frac{D^2}{4}}}\right)$	
صفحه دایره‌ای در سطح خاک		$R = \frac{\rho}{2D}$	

جدول (۷-۳): جدول فرمول های یافتن مقاومت زمین اشکال بالا

همانطور که دیده می‌شود مثلاً برای تسمه بمقطع چهار ضلعی در سطح خاک و در خط مستقیم بافرض اینکه $l >> b$ نشان داده در شکل باشد.

$$Rn = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\frac{4d}{b} \qquad (۷-۱۹)$$

پیدا نمود.در این روابط ابعاد به [cm] و مقاومت مخصوص خاک ρ [Ω.cm]می‌باشد.

۵-۷- زمین کردن نقاط خنثی ژنراتور ها و ترانسفورماتورها

۱-۵-۷- مقدمه:

پیداکردن خطا به غیر از موارد استثنایی بسادگی صورت می‌گیرد و این امر همواره بر وجود مقدار قابل توجهی از جریان خط استوار است و چنین جریانی معمولاً در هنگام بروز خطاهائی از نوع فاز به فاز و یا یک یا دو فاز به زمین بوجود می‌آید.

در موارد استثنایی در پیداکردن خطا فقط شامل خطاهای زمین می‌باشد و چون در اینگونه خطاها جریان خط بستگی به روش زمین کردن نقطه صفر ستاره سیستم دارد پیداکردن خطا اندکی دشوارتر است .

دلائل متعدد فنی و اقتصادی برای زمین کردن نقطه صفر وجود دارد (علاوه بر احتیاجات تنظیم های الکتریکی) دلیل اقتصادی فقط در ولتاژهای خیلی بالا است که بوسیله زمین کردن مستقیم نقطه خنثی ترانسفورماتور این امکان بوجود می‌آید که در طراحی و ساخت ترانسفورماتور هر چه بطرف نقطه صفر نزدیکتر می‌شویم سطح عایق بندی کاهش می‌یابد و ضمناً ضخامت عایق سیم پیچ راکمتر کنیم. در میان دلائل فنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) پتانسیل شناور [1] در سیم پیچ ولتاژ پائین (ثانویه یا ثالثیه) در سطح مطلوب و بی ضرر نگهداشته می شود.

ب) خطاهای زمین که منجر به قوس الکتریکی می شود در فازهای سالم باعث افزایش ولتاژ خطرناک نمی شود.

ج) با کنترل کردن مقدار جریان خطای زمین تداخل القائی بین مدارهای مخابراتی و مدارهای

1.Floating Potential

قدرت را می توان کنترل کرد.

د) مقدار مفیدی از جریان خطای زمین در اغلب موارد در دسترس است بطوری که سیستم های حفاظتی عادی را تحریک کرده و بکار اندازد.

دلائل فوق بطور کافی می‌تواند روش های معمول در زمین کردن نقطه صفر سیستم های قدرت را توجیه نماید. در این جا به اختصار روش های زمین کردن نقطه صفر را بیان می‌کنیم:

۲-۵-۷- *انواع زمین کردن:*

الف) زمین کردن مستقیم[1]: در این روش امپدانس بین نقطه صفر و زمین فقط مربوط به امپدانس سیم ونیز مقاومت بین صفحه یا میله زمین [2] و زمین است که برای زمین کردن بکار می رود. یک تعریف بین المللی برای این نوع زمین کردن بطور موثر زمین شده[3] وجود دارد که در آن با بروز خطای یک فاز به زمین ، ولتاژ نسبت به زمین در فازهای سالم از ۸۰٪ ولتاژ بین فازهای سیستم تجاوز نمی کند.

ب) زمین کردن با مقاومت[4]: در این روش یک مقاومت بین نقطه صفر ستاره و زمین قرار می دهند .این روش بنام زمین کردن غیر موثر[5] نیز معروف است.

ج) زمین کردن با راکتانس[6]: در اینجایک راکتور[7] به جای مقاومت بکار می‌رود و بازبنام غیر موثر موسوم است . راکتانس طوری انتخاب می‌شود که نیازهای مربوط به حفاظت و برطرف کردن تداخل امواج مخابراتی با شبکه قدرت را برآورده سازد.

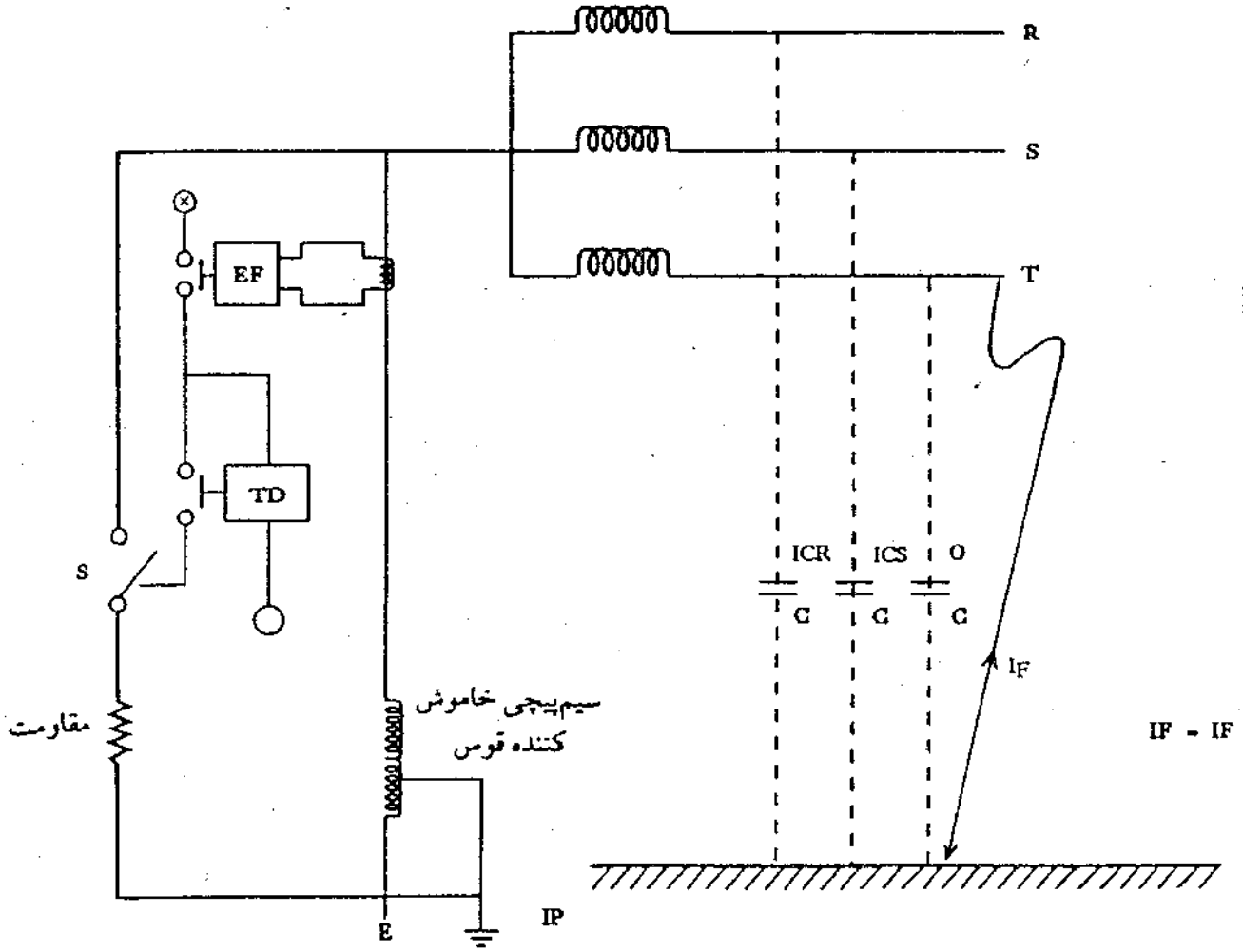
د) زمین کردن با سیم پیچ خفه کننده قوس[8]: این سیم پیچ بنام پترسن [9] هم معروف است .در این روش هم یک راکتور بکار گرفته می‌شود ولی راکتانس آن طوری تنظیم می‌شود که مقدار کاپاسیتانس دو فاز به زمین را در حالتی که یک فاز مستقیماً به زمین وصل شده باشدکاملاً تطبیق دهد.

---

1. Solid Earthing 2. Plate or Rod 3. Effectively Earthed
4. Resistance Earthing 5. Non-Effective 6. Reactance-Earthing
7. Reactor 8. Arc-Suppresion Coil 9. Petersen

در این روش مؤلفه راکتیو جریان خازنی که در محل اتصال به زمین یک فاز وجود دارد بوسیله جریان سیم پیچی [1] که در همان مسیر ولی در جهت خلاف آن است (°۱۸۰ اختلاف فاز) خنثی می‌شود.

هـ) زمین کردن ترکیبی (مرکب): در این روش ترکیبی از سیم پیچ خاموش کننده قوس و مقاومت برای زمین کردن نقطه صفر بکار می‌رود. در اینجا اگر خطای زمین ادامه دار در یک فاز رخ دهد ابتدا سیم پیچ خاموش کننده قوس عکس العمل نشان می‌دهد. در صورتیکه لازم باشد خطا پس از زمان معینی از روی سیستم برداشته شود پس از گذشت زمان معینی مثلاً ۳۰ ثانیه که‌قابل تنظیم می‌باشد مقاومت بطور خودکار با سیم پیچ مذکور بطور موازی [2] قرار می‌گیرد.مقدار این مقاومت کم وطوری است که جریان خطای زمین به حد کافی باشد بطوری که بتواند سیستم‌های حفاظتی را بکار اندازد شکل (۱۵-۷).



شکل (۱۵-۷):شمای از زمین کردن ترکیبی

1. Coil 2. Shunt

۳-۵-۷- خطای زمین[1]:

الف) خطای زمین و رله های جریان زیاد و زمین:خطای زمین (مثلاً یکفاز به زمین) ، پتانسیل وجریان مؤلفه صفر راکه از سه بردار هم اندازه و هم جهت تشکیل می‌شود بوجود می‌آورد .در نتیجه فقط یک رله جریان زیاد جهت دار برای خطای زمین لازم است که بوسیله جریان یا ولتاژ باقیمانده ترانسفورماتورهای جریان یا ولتاژ تغذیه می‌شود:
برای خطای یکفاز بزمین

$$Vres=3V_0 \ , \ Ires=3\ I_0 \qquad (۷-۲۰)$$

که Vers, Ires نشان دهنده جریان و ولتاژ باقیمانده سیستم سه فاز در موقع خطای زمین است.
توضیح آن‌که در حالت عادی و زمانی که تعادل در شبکه برقرار است رابطه جریان ها و ولتاژهای سیستم سه فاز بصورت:

$$V_R+V_S+V_t=0 \ , \ I_R+I_S+I_t=0 \qquad (۷-۲۱)$$

می‌باشد ولی در هنگام خطای زمین یک فاز که باعث عدم تقارن در شبکه می‌شود این روابط بصورت:

$$I_R+I_S+I_t=3I_0 \ , \ V_R+V_S+V_t=3V_0 \qquad (۷-۲۲)$$

سه فاز می‌باشند بنام مقدار باقیمانده جریان و ولتاژ موسوم است.یک نمونه از کاربرد رله ای که توسط جریان باقیمانده کار می‌کند در شکل (۷-۱۶) دیده می‌شود.
مؤلفه صفر جریان I_0 فقط می‌تواند از نقطه خنثی زمین شده بطرف نقطه ای که خطای زمین اتفاق افتاده است جریان یابد. مقدار این جریان از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$I_0=\frac{E}{Z_0+Z_2+Z_1}$$

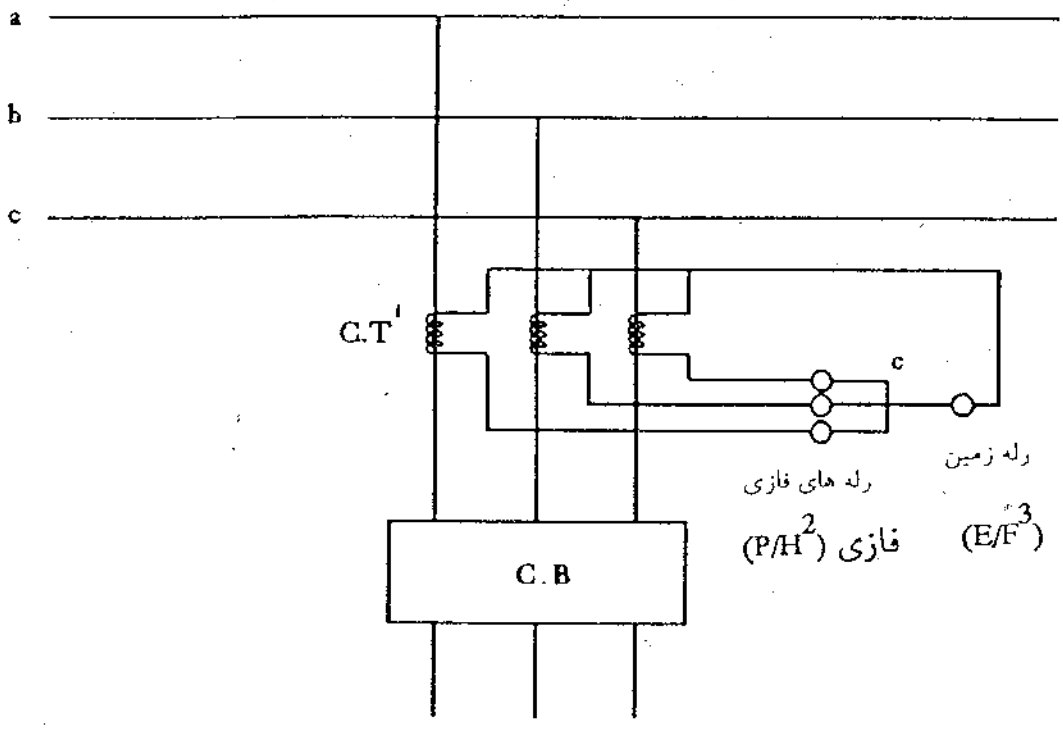
که در آن Z_0, Z_2, Z_1 امپدانس های کلی سیستم که در موقع خطا دیده می‌شود می‌باشد.
E ولتاژ (منبع) مولّد (معادل سیستم مثبت) است .
مؤلفه صفر جریان در ترانسفورماتوری که اتصالات آن بصورت ستاره- مثلث باشد نمی تواند جریان پیداکند زیرا حتی اگر نقطه خنثی در طرف ستاره زمین شده باشد، جریان باقیمانده

---

1. Earth-Fault

C.T[1]
P/H[2]
F/E[3]

POWEREN.IR



شکل (۱۶-۷): ترکیب رله های جریان و زمین

$$I_0 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \qquad (۷-۲۳)$$

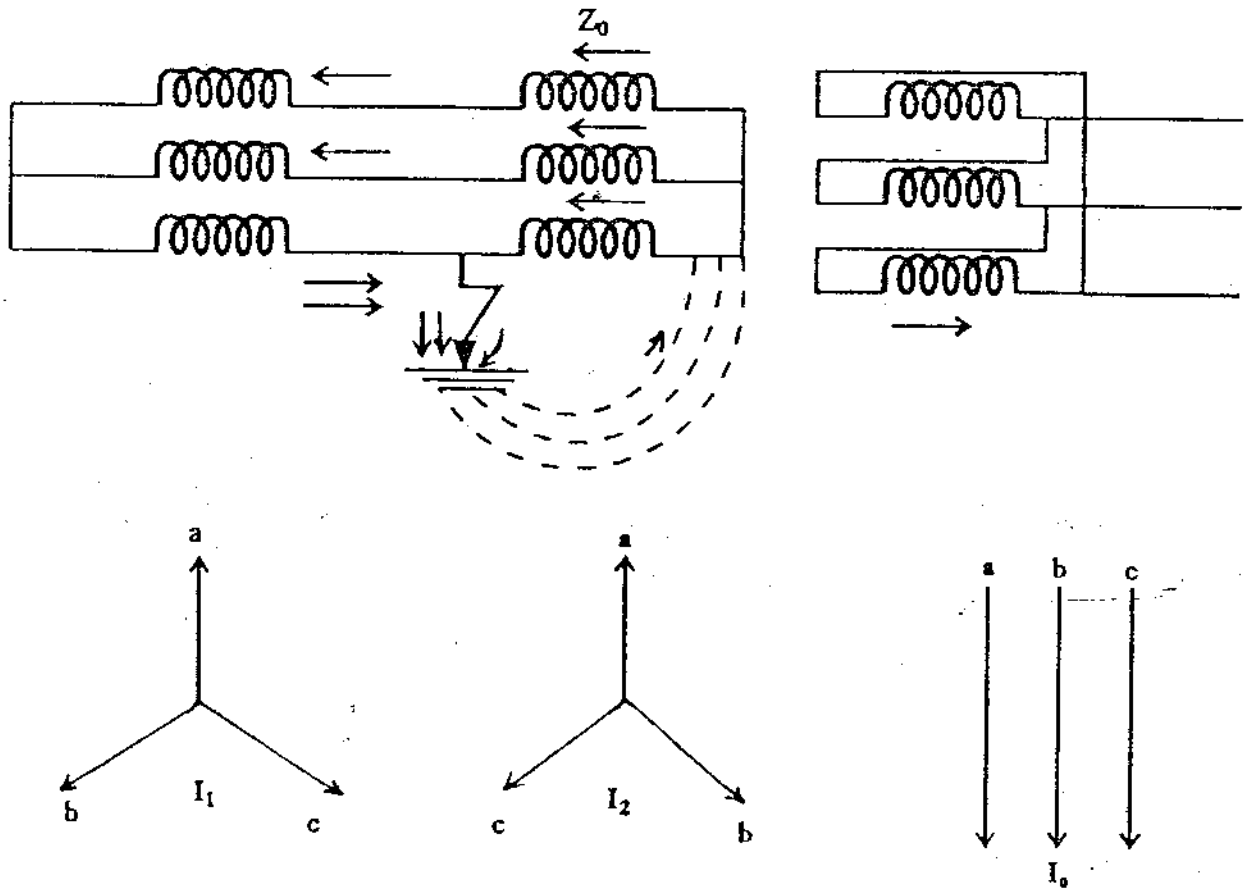
فقط می‌تواند در مدار مثلث گردش کند و نمی تواند در سیستمی که به این مثلث متصل است جریان یابد(مانند هارمونیک سوم است) . شکل (۱۷-۷) این موضوع را روشن می‌کند.

همانطور که در شکل دیده می‌شود مولفه های مثبت و منفی جریان فقط از سمت چپ شکل و توسط ژنراتوری که زمین نشده است تولید می‌شود مؤلفه صفر جریان فقط از طرف راست و بوسیله ترانسفورماتور زمین شده تامین می‌شود.

جریان مؤلفه صفر از میان ترانسفورماتور (ستاره- مثلث- ستاره) می تواند از یک طرف بطرف دیگر عبور کند در صورتیکه هر دو سیم پیچ ستاره زمین شده باشند.

البته بعلت برخی عوامل غیر قابل پیشگیری ، نظیرعدم برابری در مشخصه های

1. Current Transformer 2. Phase Fault 3. Earth Fault



شکل (۱۷-۷): اتصال ستاره مثلث وچگونگی مؤلفه صفر جریان

مغناطیسی هسته ترانسفورماتورهای جریان وبسته نشدن همزمان کنتاکت های کلید سه فاز،خطاهایی در عمل رله های جریان باقیمانده ممکن است بروز کند و آنها را ناخواسته بکار اندازد و برای جبران این عوامل قطعاتی از قبیل مقاومت کننده در ساختمان رله بکار می‌رود.

در سیستم هایی که از طریق راکتوری که برمبنای کاپاسیتانس سیستم نسبت به زمین تنظیم می‌شود کار می‌کند، جریان خطای زمین بطور خودکار مسدود[1] شده و از بین می‌رود زیرا این جریان بین راکتور و کاپاسیتانس فازهای سالم نسبت به زمین در جهت مخالف تقسیم می شود.

ب) حفاظت خطای زمین محدود شده[2]: اصطلاح فوق دلالت از حفاظت دیفرانسیل ژنراتور در برابر خطای زمین می‌کند. به این نوع حفاظت از آن جهت محدود شده‌گفته می‌شود که رله مربوط فقط بر اثر خطای زمین که در منطقه حفاظتی یک سیم پیچی رخ دهد عمل می‌کندو برای خارج آن عمل نمی نماید.

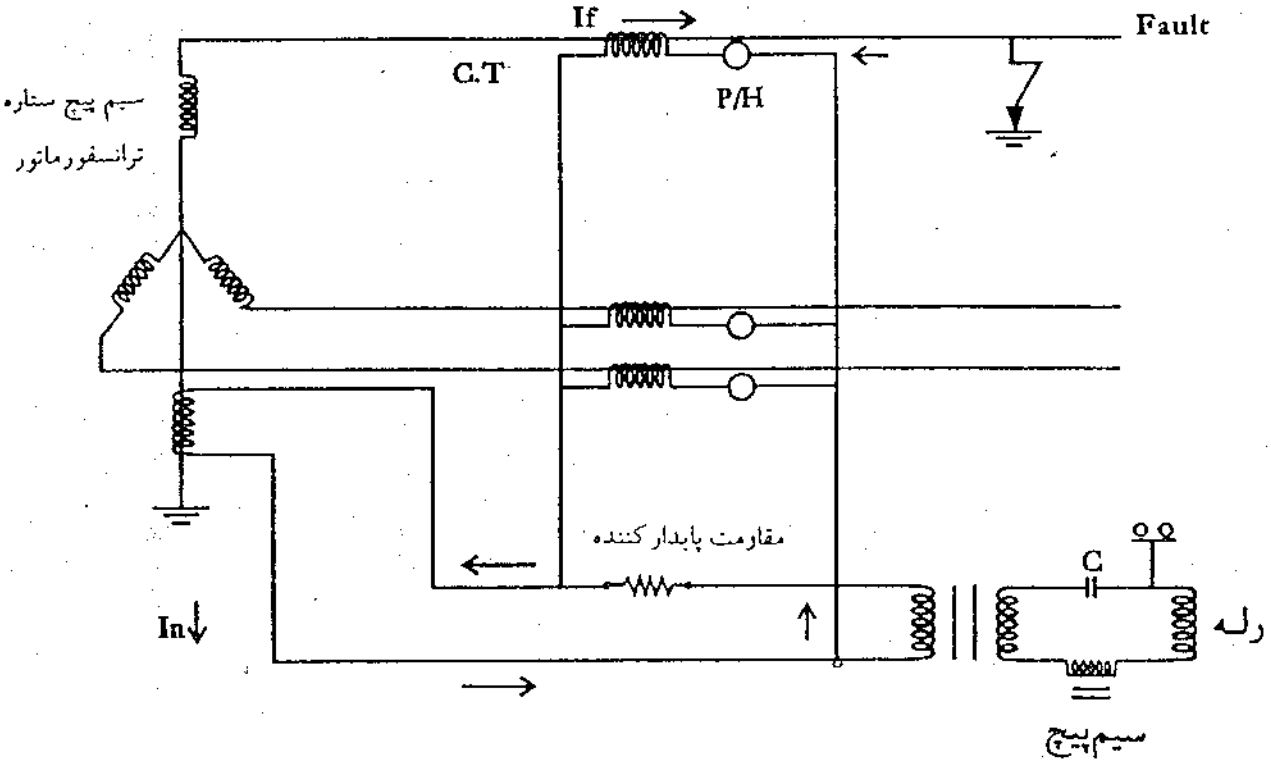
1. Blocked 2.Restricted Earth Fault Protection

قانون کیرشهف را در مورد سیستم های با نقطه خنثی زمین شده می‌توان اعمال کرد. برای مثال می‌توان گفت که مجموع جریان هایی که از سیم خنثی عبور می‌کند و جریان های باقیمانده در یک نقطه معین باید برابر صفر باشد.

شکل (۱۸-۷) حفاظت خطای زمین محدود شده را برای سیم پیچی ستاره زمین شده یک ژنراتور یا ترانسفورماتور نشان می‌دهد.

I_n بطور عادی برابر جریان باقیمانده سه فاز خواهد بودو جریانی در رله وجود نخواهد داشت مگر اینکه خطای زمینی در منطقه حفاظت شده رخ دهد و موجب عدم تقارن گردد که در آنصورت رله عمل خواهد کرد.

همچنین برای خطاهای زمین و فاز به فاز که خارج از منطقه حفاظتی اتفاق بیفتد، همانطور که در شکل (۱۸-۷) نشان داده شده است ، جریانی از رله مذکور عبور نخواهد کرد و رله نسبت به اینگونه خطاها عکس العملی نخواهد داشت. ولی خطاهای خارجی بر روی این رله یک اثر منفی دارند و آن هنگامی‌است که جریان خیلی شدیدی که از خطای خارجی ناشی می‌شود و از ترانسفورماتورهای جریان عبور می‌کند باعث اشباع نابرابر هسته آنها شده و باعث جریان دیفرانسیل اشتباه و ناخواسته در رله گرددو آن را بکار اندازد. البته بیان چگونگی بروز



شکل (۱۸-۷): حفاظت زمین محدود شده

۱۸۲ ـــ

1. Trip 2. Choke

طراحی پستهای فشار قوی ـــ

فصل هشتم

اصول آرایش فیزیکی پست

مقدمه

اصولاً آرایش فیزیکی[1] یک پست عبارتست از شکل قرار گرفتن تجهیزات، مطابق با الگو یا شکل منظمی که مقررات فواصل لازم بین آنها جهت تعمیر و نگهداری و کار اشخاص بر روی تجهیزات رعایت شده باشد. ضمناً اتصال الکتریکی خطوط ورودی و خروجی در یک پست مطابق طرح معین شده‌ای است که بآن سیستم شینه بندی[2] می‌گویند.

یک پست معمولاً از تعدادی واحدهای مداری مشابه تشکیل می‌گردد که هر یک شامل بخشی از شینه یا شینه ها، یک کلید قدرت با سکسیونرهای مربوطه و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان می‌باشد. بنابر این برای بررسی آرایش فیزیکی یک پست در بیشتر مواقع، بررسی آرایش فیزیکی یک مدار اصلی کافی می‌باشد. اصول آرایش فیزیکی پست اندکی تحت تاثیر تغییرات ولتاژ و جریان می‌باشد و این تغییرات صرفاً بر اندازه تجهیزات و فواصل بین آنها اثر می‌گذارد.

۸-۱ فواصل اساسی

چهار نوع فاصله وضع قرار گرفتن تجهیزات و هادیها را مشخص می‌نماید که عبارتست از:

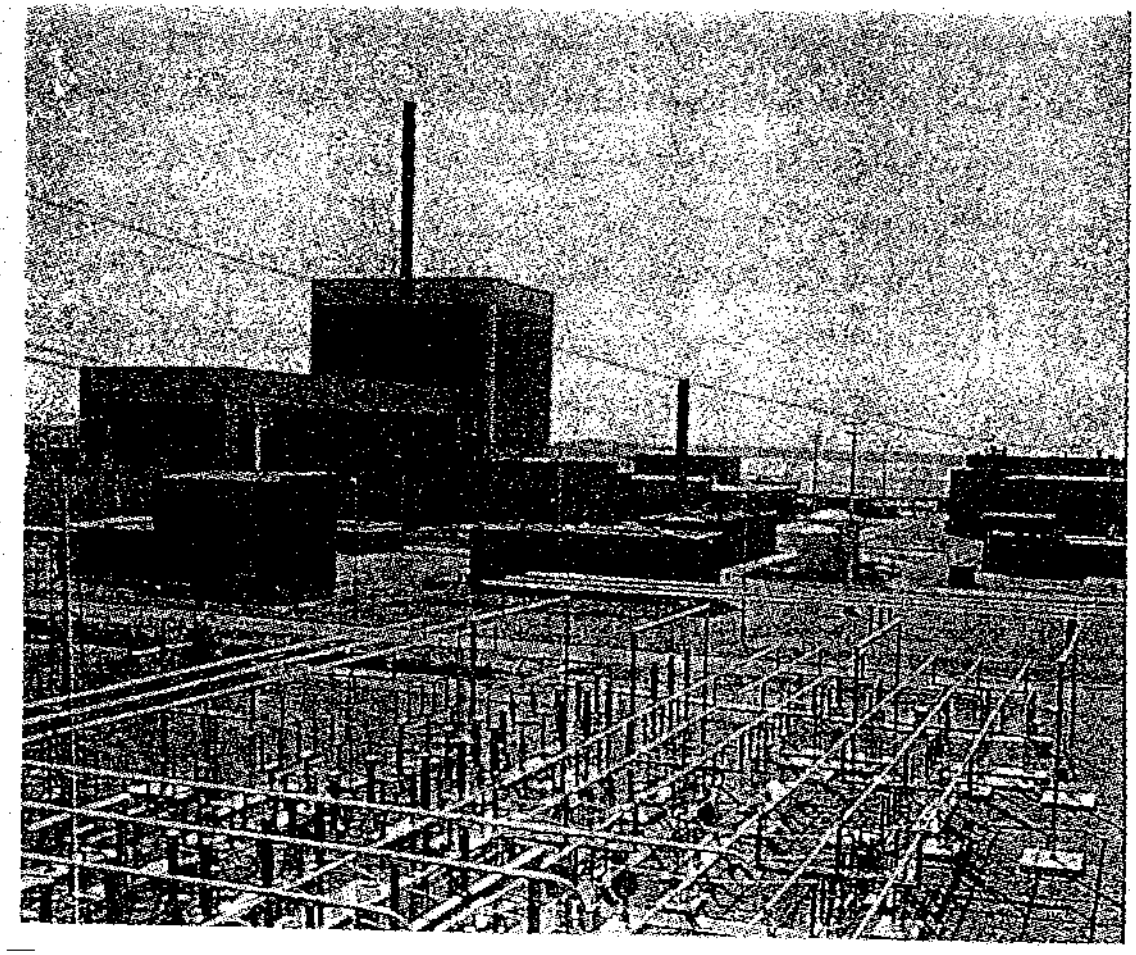
الف) فاصله با بدنه (E.C)[3]: عبارتست از فاصله بین قسمتهای زنده یا تحت ولتاژ با اسکلت های زمین شده، دیوارها، تورهای سیمی و زمین.

ب) فاصله فازی (P.C)[4]: عبارتست از فاصله بین قسمتهای زنده فازهای مختلف.

---

1. Layout
2. Busbar Arrangement
3. Earth Clearance
4. Phase Clearance

POWEREN.IR



ج) فاصله ایزولاسیون (I.D) [1]: عبارتست از فاصله بین ترمینالهای یک سکسیونر ، یا اتصالات به آن و یا فاصله بین اتصالات به ترمینالهای دژنکتور

د) فاصله اطمینان (S.C) [2]: عبارتست از فاصله بین قسمتهای زنده و حدود منطقه نگهداری یا تعمیر(ناحیه کار)می‌باشد.حدود منطقه تعمیر یا نگهداری ممکن است زمین یا سکویی باشد که شخص روی آن کار میکند .اگر اشخاص مجاز باشند که آزادانه زیر تجهیزات تحت ولتاژ قدم بزنند، نتیجتاً ضروری است که فاصله کافی بین پائین نقطه هر ایزولاتور (جائیکه مقره باقسمت فلزی زمین شده تلاقی می‌نماید) و زمین به منظور اطمینان از عدم تجاوز شخص به ناحیه تحت ولتاژ ایجاد گردد این فاصله که به فاصله زمینی (G.C) [3] موسوم است بر مبنای دسترسی شخص با دستهای کشیده بسمت بالا مشخص می‌گردد و مقدار آن برابر ۲/۴۴ متر (۸ فوت) می‌باشد.

باستثناء (G.C) مقادیری که به فواصل نسبت داده می‌شود بوسیله ماکزیمم ولتاژهایی که سیستم می‌تواند در معرض آن قرار گیرد و محیط ظاهری تجهیزات مشخص می‌گردد.

عایق بندی سیستم که شامل فواصل هوائی می‌باشد که در آن هوای اتمسفر محیط دی الکتریکی را تشکیل می‌دهدکه در معرض مداوم ولتاژ با فرکانس صنعتی و در معرض ولتاژهای ضربه ای گذرای ناشی از صاعقه و موجهای کلیدزنی قرار می‌گیرد. مقادیری که باعث شکست الکتریکی عایق بندی می‌گردد بستگی به شکل موج ضربه ای دارد.

این شکل موج بر حسب زمان رسیدن به مقدار ماکزیمم (زمان پیشانی موج) و زمان لازم برای کاهش به نصف مقدار ماکزیمم (زمان پشت موج) مشخص می‌گردد. پلاریته موج می‌تواند حائز اهمیت باشد. اگر میدان الکترو استاتیکی یکنواخت باشد مقادیر ولتاژ ناشی ازجرقه [4] برای امواج مثبت و منفی یکسان می‌باشد و در غیر اینصورت یعنی در صورت عدم یکنواختی میدان ، ولتاژ یاد شده برای امواج مثبت کمتر می‌باشد. معمولاً عوامل تعیین کننده ایزولاسیون پستهائی که در فضای آزاد قرار گرفته اند و در ارتباط با خطوط هوائی تا ۳۰۰ کیلو ولت می باشند ولتاژهای ناشی از صاعقه هستند.

تحمل تجهیزات در مقابل ولتاژ ضربه ای موسوم به BIL [5] موسوم است که مبتنی بر آزمایش با شکل موجی است که نظیر موج ناشی از صاعقه بوده و دارای زمان پیشانی موج ۱/۲ میکرو ثانیه و زمان پشت موج ۵۰ میکرو ثانیه و معمولاً به موج ۱/۲/۵۰ موسوم است.

هماهنگی عایق بندی را معمولاً با استفاده از سیم های حفاظت کننده [6] ، برق گیرها،

---

1. Isolating Distance
2. Safety (Section) Clearance
3. Ground Clearance
4. Flash Over
5. Basic Impulse Level
6. Shielding

۱۸۶ ـــ
شاخک های جرقه [1] بوجود می‌آورند و هدف از آن محدودکردن ولتاژهای اعمالی به تجهیزات تا حدود ۸۰٪ BIL می‌باشد. عمل متداولی است که BIL تجهیزات اصلی را با آزمایش بدست می‌آورند و در آن اثر محیط ظاهری تجهیزات نیز منظورمی‌گردد. معمولاً آزمایش هر یک از ترکیبات مختلف هادیها و کلمپ هائی که به آن متصل می‌گردد عملی مقرون به صرفه نیست . در نتیجه معقول می‌باشد که فواصل را در ارتباط با مقادیری از BIL که می‌توان درآرایش فیزیکی پستها مورد استفاده قرار گیرد بیان نمائیم.

جداول (۱-۸) و (۲-۸) فهرست تعدادی از E.C ها وP.C هایی است که از آزمایشات متعددی اقتباس شده است و جدول (۳-۸) S.C های مربوط را مشخص می‌نماید.

می‌نیمم فواصل بین‌فازهادر هوایا بین اتصالات فاز یکسان که از نظرالکتریکی قابل جدا شدن باشند (P.C)		می‌نیمم‌فاصله‌بابدنه (E.C)		ولتاژ نامی	ولتاژضربه ای (مقدارماکزیمم یک)
in	mm	in	mm	KV	KV
13	330	11	279	150	22
17	432	15	381	200	33
22	558	19	482	250	44
31	786	27	685	350	66
39	989	34	863	450	88
48	1219	42	1068	550	110
58	1473	50	1270	650	132
67	1702	58	1473	750	165
94	2388	81	2082	1050	220

جدول (۱-۸): فواصل اساسی برای پستهای باز با ولتاژهای نامی 22 KV تا 88 KV و برای سیستم هایی که بطور الکتریکی زمین نشده اند برای 110 KV و بالاتر (BS 162 استاندارد)

عامل تعیین کننده ایزولاسیون در ولتاژهای بالاتر از ۳۰۰کیلو ولت ولتاژهائی است که ناشی از امواج کلید زنی است ،شکل موج و دامنه آنها بطور قابل ملاحظه ای با شکل موج و دامنه امواج ناشی از صاعقه تفاوت دارد. آزمایشات متعددی نشان می‌دهد که محیط ظاهری و مجاورت زمین اهمیت بیشتری دارا می‌باشد و همیشه عمل جرقه در کوتاه ترین فاصله اتفاق نمی افتد. در نتیجه ایجاد جداول مشخص‌کننده فواصل مشکل می‌باشد،با این وجود تلاشهایی

1. Arcgap

PowerEn.ir

می‌نیمم فواصل بین‌فازهادر هوابین اتصالات فاز یکسان که از نظرالکتریکی قابل جدا شدن باشند (P.C)		می‌نیمم‌فاصله‌بایدنه (E.C)		ولتاژ نامی	ولتاژضربه ای (مقدارماکزیمم پیک)
KV	KV	mm	in	mm	in
450	110	863	34	989	39
550	132	1068	42	1219	48
650	165	1270	50	1473	58
900	220	1779	70	2057	81
1050	275	2082	82	2388	94

جدول (۲-۸): فواصل اساسی برای پستهای باز و برای پستهائی که بطور موثر زمین نشده اند
(110 KV و بالاتر)

در این زمینه شده است .در ولتاژهای بالاتر برای تشخیص فواصل مذکور مصلحت در اینست که روی ترکیبات واقعی آزمایش نمائیم. پستهائی که در فضای بسته قرار گرفته اند و به پستهای کابلی متصل می‌باشند از ولتاژهای ناشی از صاعقه مصون بوده و ایزولاسیون آنها در کلیه ولتاژها بوسیله امواج کلیدزنی مشخص می‌گردد. در ولتاژهای کمتر از ۳۰۰کیلو ولت ولتاژهای ناشی از کلید زنی از ولتاژهای ناشی از صاعقه کمتر می‌باشد و ایزولاسیون کمتر و درنتیجه فواصل کمتری را می‌توان ایجاد نمود. عده‌ای معتقدند که در اینگونه موارد می‌توان اعداد مربوط به فواصل ولتاژی که در جدول مقابل ولتاژ مورد نظر قرار گرفته است استفاده نمود. P.C ها و IDهارا معمولاً ۱۰ تا ۱۵ درصد بیش از E.C هامشخص می‌نمایند. این امر می‌تواند با توجه به اینکه خطاهای فازی و خطاهای بین ترمینالها منجر به نتایج خطیری می‌گردند قابل توصیه می باشد، با این وجود تفاوتی در BIL ایجاد نمی کند. انطباق یک اضافه ولتاژ[1] روی یک فاز یا مقدار ماکزیمم ولتاژ سیستم با پلاریته مخالف روی فاز مجاور می‌تواند افزایش ولتاژی بین فازها ایجاد نماید که عملاً از ۱۵٪ تجاوز نمی کند. با توجه به مطالب فوق روشن می‌گردد که پیچیدگی موضوع رسیدن به استانداردهای بین المللی برای فواصل را دشوار می‌سازد. اثر کاهش چگالی هوا در ارتفاعات زیاد این است که ولتاژ جرقه از طریق هوا راکاهش می‌دهد و در نتیجه

1. Over voltage

می نیمم فاصله اساسی از هر نقطه روی تجهیزات داثمی که شخص ممکن است روی آن بایستد

ولتاژ نامی	S.C			G.C		
KV	m	ft	in	mm	ft	in
Up to 11	2.59	8	6			
15						
22	274	9	0			
33						
44	2.89	9	6			
66	3.05	10	0	2.44	8	0
88	3.20	10	6			
110	3.35	11	0			
132	3.50	11	6			
165	3.81	12	6			
220	4.27	14	0			
275	4.57	15	0			

جدول (۳-۸): فاصله اطمینان بمنظور سهولت اپراتور،بازرس،تعمیر و....(S.C)

ضروری است که در ارتفاعات بیش از ^{m}۱۰۰۶ (^{FT}۳۳۰۰) برای هر ^{m}۳۰۵ (^{FT}۱۰۰۰) افزایش ارتفاع ،به مقدار فواصل حدوداً ۳ درصد بیافزاییم. به ازاء هر ۱۰۰ متر ،۱٪ فاصله اضافه می شود.

در بعضی مناطق در ولتاژهای پائین (معمولاً کمتر از ۶۶کیلو ولت) مصلحت در این است که افزایشی در فواصل بمنظور جلو گیری از عمل جرقه های ناشی از حضور پرندگان منظور کنیم.

تکنیک آرایش فیزیکی پست بیشتر در مورد روش استفاده S.C ها برای جدا کردن نواحی تعمیر و اعمال P.C هاو I.D ها بین هادیهائی که از روی هم عبور می‌کنند حائز اهمیت است.

۲-۸ نواحی تعمیر یا نگهداری

۱-۲-۸ مقدمه:

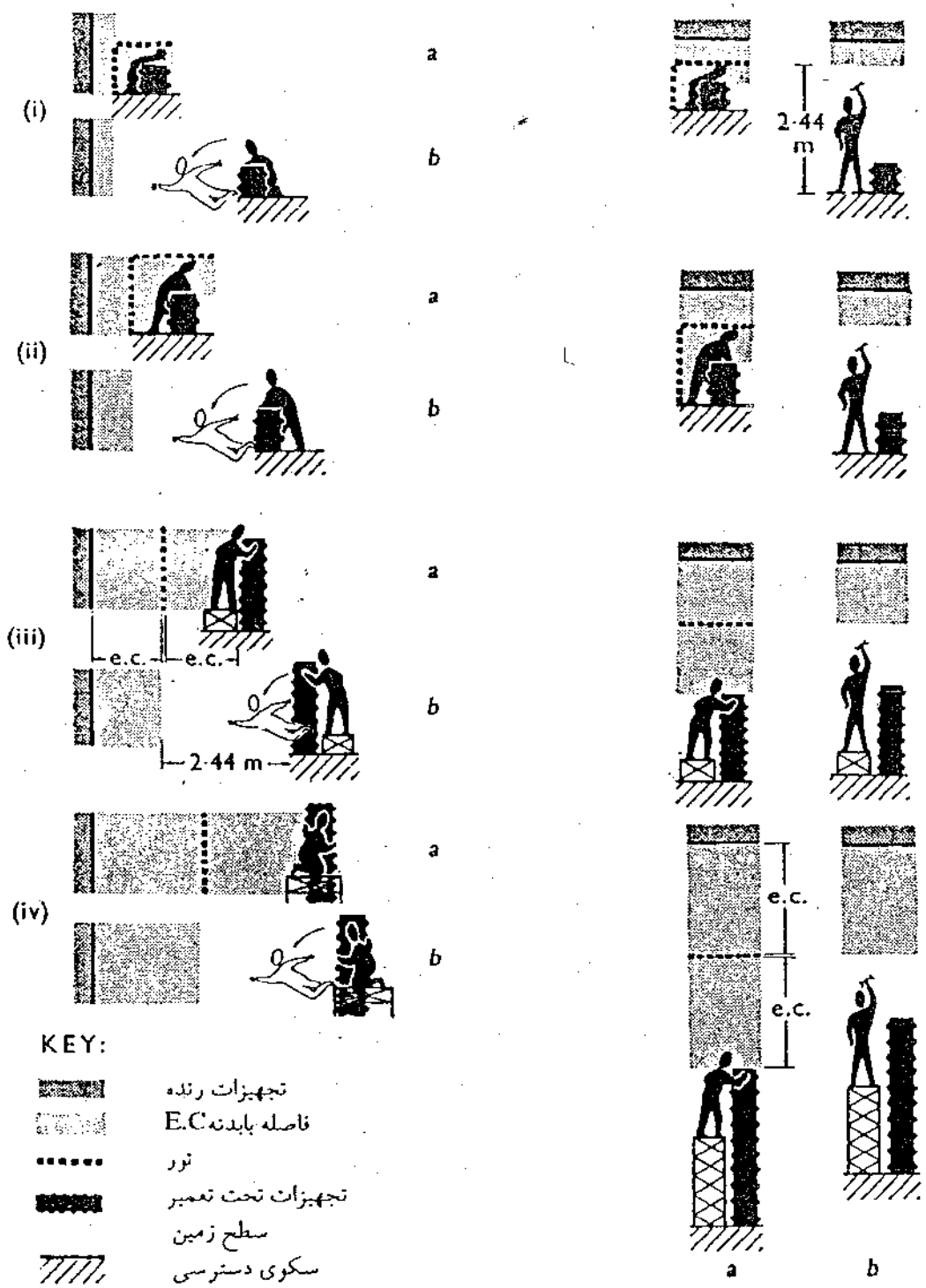
یکی از مهمترین جنبه های آرایش فیزیکی پست ناحیه بندی کردن تجهیزات برای تعمیر می‌باشد، برای تشریح مسئله ابتدا به بررسی S.C می‌پردازیم . بدست آوردن S.C از جمع G.C و E.C در مواردی که از تور استفاده شده بدست می‌آید.

$$S.C= G.C+E.C \qquad (۸-۱)$$

۲-۲-۸ تفکیک نواحی تعمیر:

برای تفکیک تجهیزات در ناحیه تعمیر که از تجهیزات تحت ولتاژ مجاور جدا شده و طبیعی است که خود نیز تحت ولتاژ نمی باشد، می‌توان از حصار زمین شده استفاده نمود. انتخاب بین این دو روش بستگی به ولتاژ و اینکه ناحیه مورد بحث افقی یا عمودی است دارد. اشکال (۱-۸)الف وب بصورت مصور مطالب فوق را تشریح می‌نمایند. با توجه به این مطلب که S.C از مجموع G.C که ۲/۴۴ متر می‌باشد و E.C بدست می‌آید روشن می‌گردد. در ولتاژهایی که E.C برابر ۲/۴۴ متر می‌شود فضای مورد لزوم چه در صورت استفاده از S.C و چه در صورت استفاده از حصار زمین شده یکسان می‌باشد. این مسئله در ولتاژ حدود ۳۰۰ کیلوولت اتفاق می‌افتد، در کمتر از این ولتاژ با استفاده از حصار زمین شده برای مجزا کردن نواحی تعمیر در فضای مورد نیاز می‌توان صرفه جوئی نمود.

برای نواحی عمودی وضع باین سادگی نیست و ضروری است که فضای اشغال شده بوسیله تجهیزات و احیاناً در ولتاژهای بالاتر لزوم سکو برای دسترسی به تجهیزات را نیز بحساب آورد. هیچ ابعاد مشخصی برای ارتفاع سکو در مشخصات مختلف تعیین نشده است ولی ۱/۳۷ متر زیر بالاترین نقطه کاری می‌تواند انتخاب شود که نقطه کاری را زیر سطح دید شخصی باقد متوسط قرار می‌دهد.خصوصیات فوق در اشکال (۱-۸)ب و (۲-۸) ب آورده شده است. با توجه به شکل در ولتاژ ۱۰۰ کیلو ولت فضای مورد لزوم چه در صورت استفاده از S.C و چه در صورت استفاده از حصار زمین یکسان است در کمتر از این ولتاژ استفاده از حصار زمین شده از نظر فضای مورد احتیاج مقرون به صرفه است. با اینکه بنظر می‌رسد که در ولتاژهای پائین تر با استفاده از حصار زمین شده می‌توان در فضای مورد نیاز بطور قابل ملاحظه ای صرفه جوئی نمود ، لیکن حالت ناراحت شخص برای کار در ولتاژ ۳۳ کیلو ولت تاکید بر لزوم در نظر گرفتن فضای کاری دارد.فضای کاری که با E.C ، مربوط به ۶۶ کیلو ولت [(۲۷in)^{mm}۶۸۵]



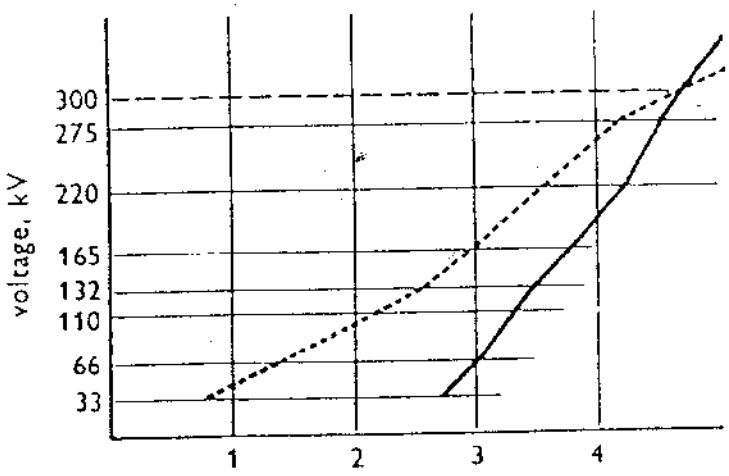
(الف):افقی (ب):عمودی

(I)33 KV (II) 66 KV (III)132 KV (IV)275 KV

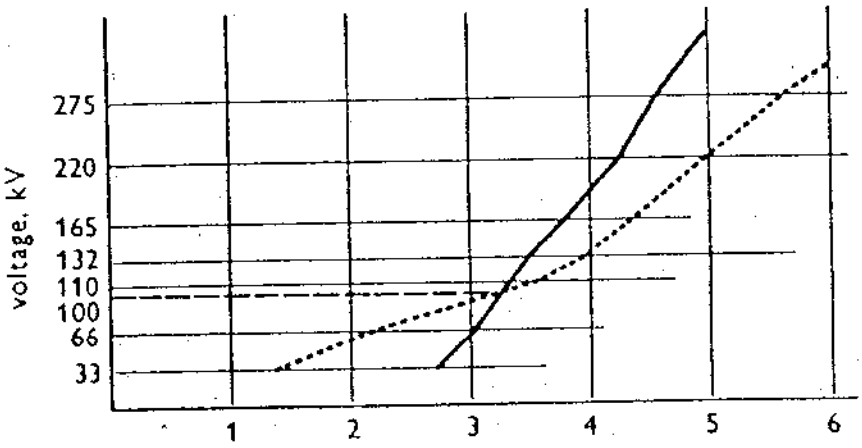
a: جداشده باتور = E.C +50 mm E.C

b: جداشده بدون تور =2.44 +E.C

شکل (۱-۸):تفکیک نواحی تعمیر



(الف):فاصله S.C افقی به متر



(ب): فاصله S.C عمودی به متر

شکل (۲-۸): دیاگرام مربوط به S.C

جدائی باتور زمین شده- - - - - -

جدائی بدون تور با فاصله ——

ایجاد می‌شود که حدوداً حداقل فضای معقول راحت برای کار کردن می‌باشد.

بطور خلاصه ، هنگامی‌که احتیاج به نواحی تعمیر افقی می‌باشد درکمتر از ۳۰۰KV با استفاده از حصار زمین شده می‌توان در فضای مورد نیاز صرفه جوئی نمود هم چنین است برای وقتی که ولتاژها کمتر از ۱۰۰KV بوده و احتیاج به نواحی تعمیر عمودی باشد.

۳-۲-۸ ایجاد نواحی تعمیر:

بعضی از نواحی تعمیربسهولت مشخص می‌شوند و احتیاج به آنها کاملاً بدیهی است . شاید مشخص ترین تعمیر، مربوط به دژنکتور باشد که معمولاً نسبت به سایر تجهیزات احتیاج به تعمیر بیشتری دارد. بقیه وسایل در دو طرف دژنکتور برای ایزوله کردن آن از سایر تجهیزات

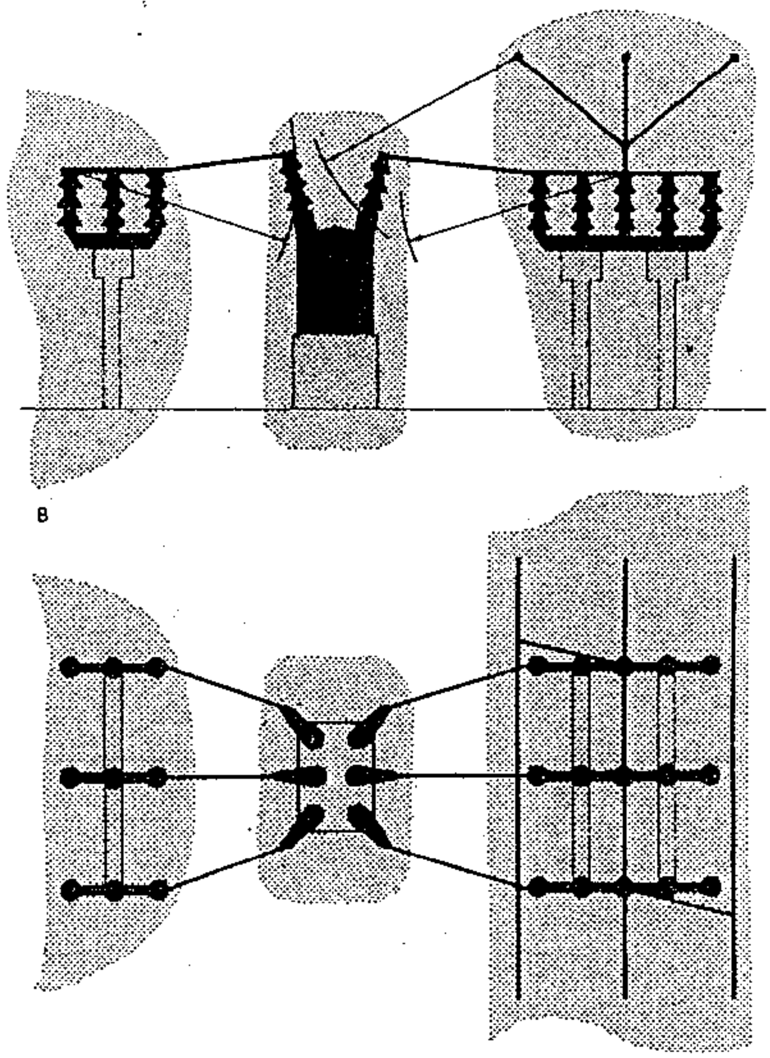
مجاور تحت ولتاژ، عمل متداولی است. سایر نواحی تعمیر که شامل سکسیونرها ،شینه ها و غیره می‌باشند کاملاً مشخص نیست و روش های متعددی برای ناحیه بندی آنها وجود دارد.

۳-۸ ناحیه بندی در پست

۱-۳-۸ ناحیه بندی در یک پست تک شینه :

برای یک فیدر از پستی با یک شینه مطابق شکل (۳-۸) سه ناحیه تعمیر مورد لزوم می باشد که عبارتند از:

- ناحیه دژنکتور
- ناحیه شینه شامل سکسیونر شینه
- ناحیه فیدر شامل سکسیونر فیدر و تجهیزات طرف فیدر



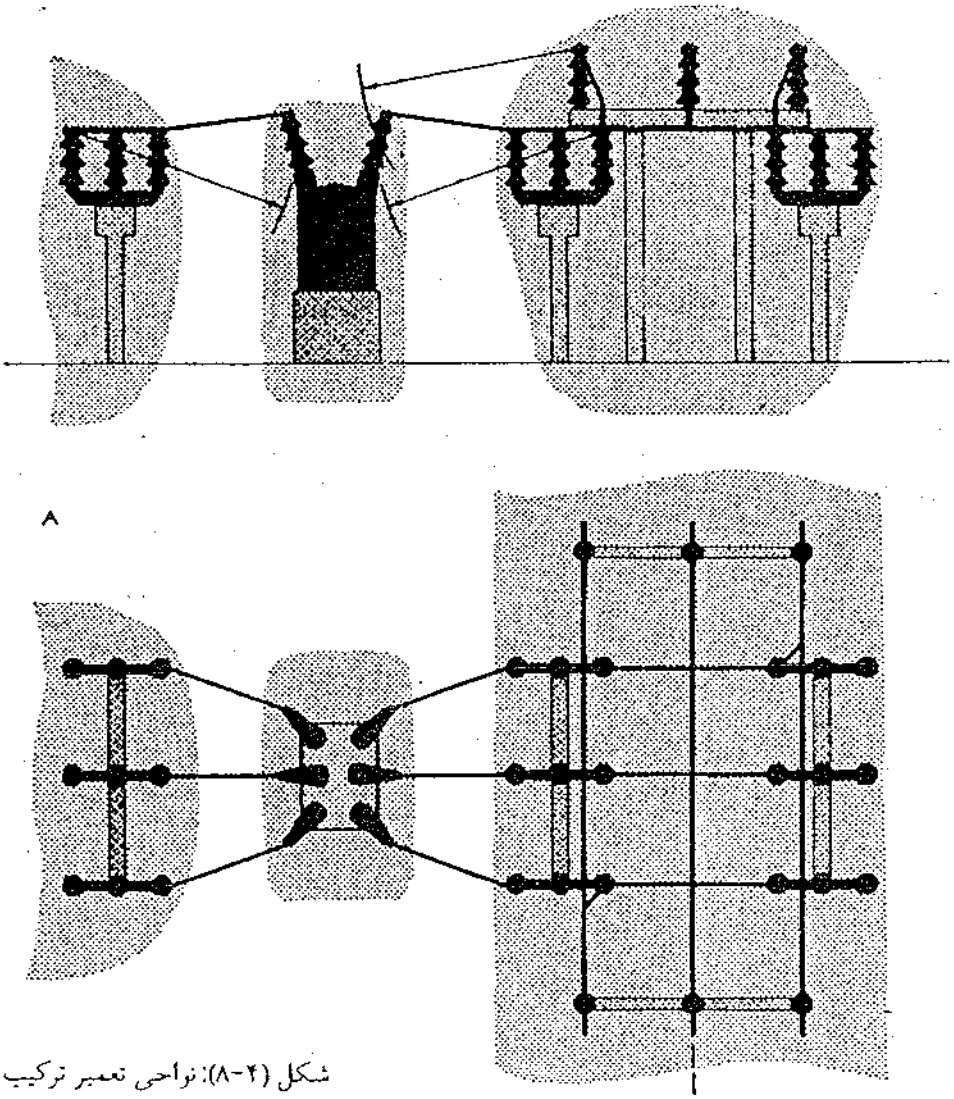
شکل (۳-۸): نواحی تعمیر در پست تک شینه با مدار پشت به پشت مشابه

کمان نشاندهنده فاصله S.C →

از آنجائیکه تعمیر سکسیونر شینه مستلزم قطع کلی برق شینه می‌باشد، بدیهی است که لزومی‌به ایجاد S.C یا حصار زمین شده بین شینه و سکسیونر شینه وجود ندارد. بطور مشابه از آنجائیکه تعمیر ایزولاتورهای نگهدارنده شینه مستلزم قطع کلیه مدارهای متصل به شینه می باشد لذا لزومی‌به ایجاد فاصله بین ایزولاتورهای نگهدارنده شینه و سکسیونرهای شینه وجود ندارد .با اینکه این حقایق کاملاً روشن است ولی پستهای متعددی وجود دارند که با ایجاد فواصل غیر ضروری بین این تجهیزات فضائی را تلف نموده اند.

اگر وسائلی را بتوان ایجاد نمود که شینه ها را با استفاده از ایزولاتورهای سکسیونر نگهدارد ترکیب قبلی مطابق شکل (۴-۸)ممکن می‌گردد (بین سکسیونرهای پشت به پشت هیچگونه ناحیه ای لازم نیست و بسهولت می‌توانند بیکدیگر ملحق شوند).

مقایسه شکل (۳-۸)با شکل (۴-۸) نشان می‌دهد که در حالت دوم هم از نظر ایزولاتورهم از نظر اسکلت بندی صرفه جوئی و در نتیجه فضای مورد نیاز را هم کاهش داده ایم.

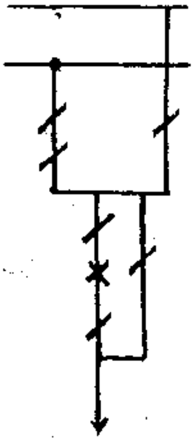


شکل (۴-۸): نواحی تعمیر ترکیب شده در یک پست تک شینه

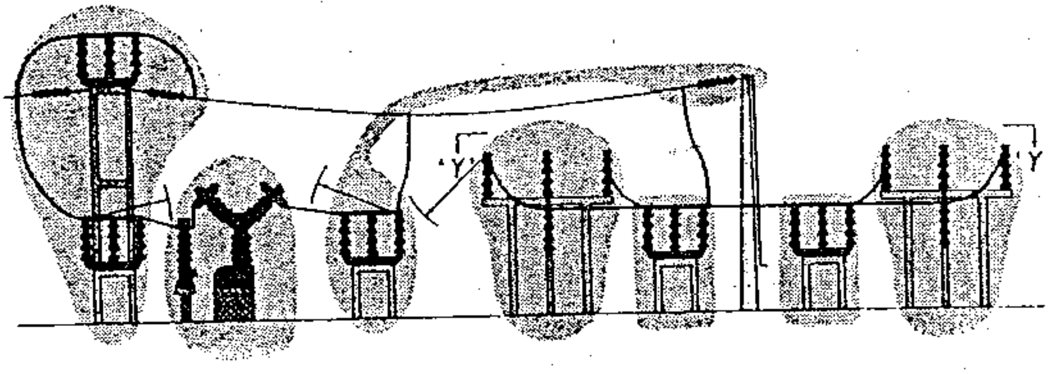
کمان نشاندهنده فاصله S.C) ←

۲-۳-۸ ناحیه بندی در پستی با شینه های دوبل:

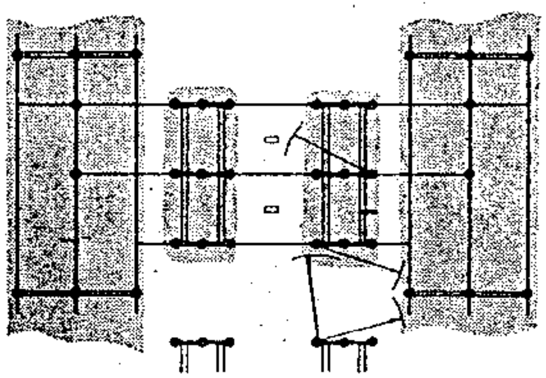
پستی با باس بار دوبل با امکانات بایپاس[1] که در شکل (۵-۸) نشانداده شده است شامل هفت ناحیه تعمیر می‌باشد که عبارتست از:



(ب): مدار تک خطی



(الف): تصویر از پهلو



(ج): مقطع Y-Y (تصویر از بالا)

شکل (۵-۸): نواحی تعمیر در یک پست دوبل باس بار

کمان نشاندهنده فاصله S.C ←

- یک ناحیه برای دژنکتور
- دو ناحیه برای سکسیونرشینه هاکه برای تعمیر هر کدام قطع برق‌در یکی ازشینه ها لازم است.
- دو ناحیه برای شینه ها
- یک ناحیه برای سکسیونر دژنکتور و اتصالات مدار
- یک ناحیه برای فیدر ، شامل سکسیونر بایپاس، تجهیزات طرف خط

بررسی و ملاحظه جنبه های عملی تعمیرات منتج به نتایج زیر می‌گردد:

برای تعمیر سکسیونر شینه یک مدار خاص قطع مدار و تمامی شینه مجاور به

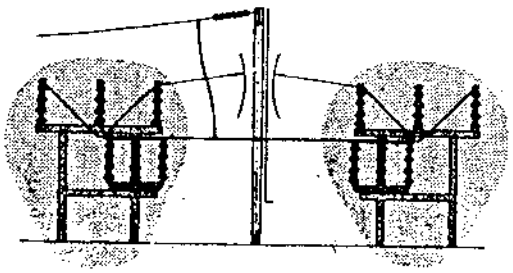
---

1. Bypass

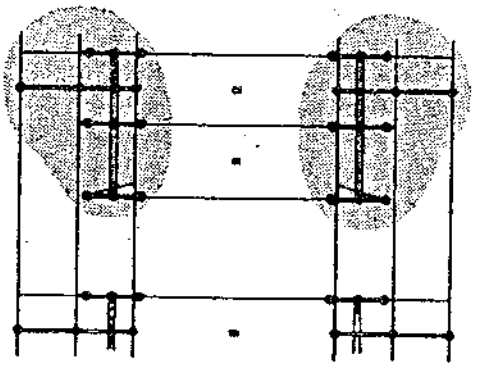
سکسیونر مورد نظر ضروری است. کارهای تعمیراتی سکسیونر مورد نظر عبارت از است : پاک کردن سه مقره در هر فاز ، سرویس کردن کنتاکت ها و مکانیسم کار سکسیونر می‌باشد. امکان تعمیر کلیه مقره های شینه بصورت همزمان بدون قطع هیچ مداری وجود دارد. اما احتمالاً مناسبتر است که در هنگام تعمیر سکسیونرهای شینه که شینه مورد نظر خارج از سرویس است اقدام به تعمیر ایزولاتورهای شینه نمائیم.

اگر این مسئله را قبول نمائیم یک ناحیه کردن سکسیونرهای شینه با ایزولاتورهای شینه بمنظور تعمیرات ،نتیجه منطقی ای خواهد داد و حاصل آن کاهش تعداد نواحی تعمیر به پنج ناحیه و صرفه جوئی در فضای مورد نیاز می‌باشد(شکل ۶-۸).

(الف): تصویر از پهلو



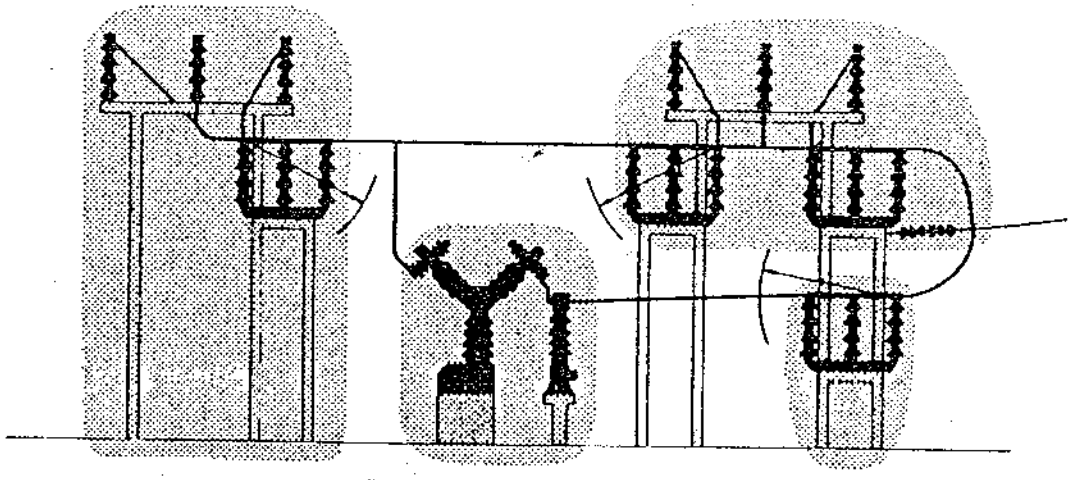
(ب): تصویر از بالا



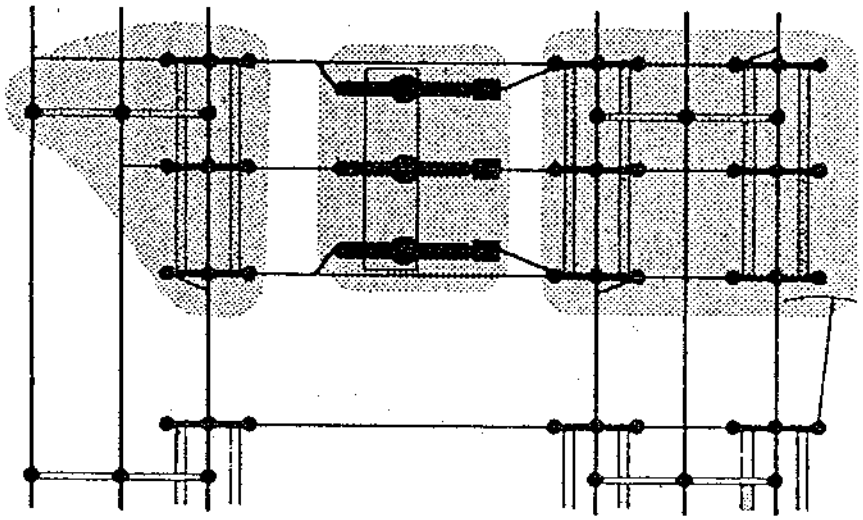
شکل (۶-۸): نواحی تعمیر ساده شده در یک پست با شینه دوبل

کمان نشاندهنده فاصله S.C←

بدیهی است به ناحیه بندی نهائی هنگامی میرسیم که بتوانیم برای نگهداری شینه ها از ایزولاتورهای سکسیونر مانند مثال قبل مطابق شکل (۵-۸) استفاده نمائیم. شکل (۷-۸) پستی با شینه بندی دوبل راکه نواحی ایزولاتورهای شینه و همچنین نواحی سکسیونر و مقره های انتهای خط با یک شینه را در هم ادغام نموده است نشان می‌دهد. ممکن است ترجیح بدهیم که مقره های انتهای خط با سکسیونر فیدر در یک ناحیه قرار بگیرند که در آنصورت می‌توان آنها را بدون قطع شینه تعمیر نمائیم.



(الف): تصویر از پهلو



(ب): تصویر از بالا

شکل (۷-۸): حداقل نواحی تعمیر در پست با شینه بندی دوبل

S.C از طرف شینه سکسیونر بایپاس تا سکوی مناسبی که از آن بتوان مقره های انتهائی خط را تعمیر کرد نیز وجود دارد.

به هر صورت تعداد نواحی به چهار ناحیه کاهش می‌یابند که عبارتند از:

- سکسیونر شینه و مقره های شینه
- مقره های شینه ، سکسیونر شینه، سکسیونر بایپاس بایابدون مقره های خط
- کلید قدرت
- سکسیونر فیدر با یا بدون مقره های خط

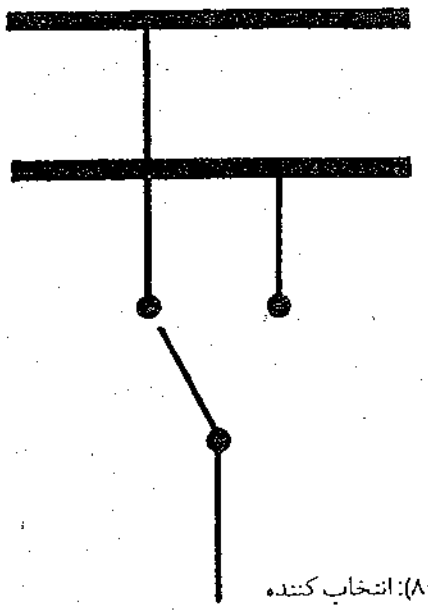
مزایای چنین ناحیه بندی کردن عبارتند از:

- کاهش تعداد نواحی که منجر به فهم آسان آرایش فیزیکی و شرایط ایمنی و تعمیر بهتر می‌شود.
- سطح کلی زمین مورد نیاز کاهش می یابد
- تعداد اسکلت ها کاهش می‌یابد.

موارد یاد شده بالا بعضی از طرق منطقی ناحیه بندی را که جنبه اقتصادی را می‌توان در آن رعایت کرد تشریح می‌نمایند.

مثال ابتدائی از ترکیبی که ناحیه صحیحی ندارد استفاده از کلید انتخاب کننده شینه [1] شکل (۸-۸) در پستی با شینه دوبل می‌باشد. بدیهی است که چنین دستگاهی در هر دو ناحیه شینه قرار می‌گیردو نمی توان آن را تحت تعمیر قرار داد مگر هر دو شینه بی برق باشند و لذا ناحیه بندی غلطی خواهد بود.

ضمناً ایراد دیگری که در استفاده از این کلید وجود دارد این‌است که برای مانور کردن روی شینه ها حتماً چند لحظه ای قطعی داریم .در عمل مرسوم است که از دو سکسیونر شینه مجزا که دارای یک ترمینال مشترک می‌باشند استفاده می‌شود و سکسیونرها را با S.C یا حصار زمین شده از یکدیگر مجزا می‌نماید. پستهائی وجود دارند که در آنها از سکسیونرهای شکل (۸-۸) استفاده شده است.



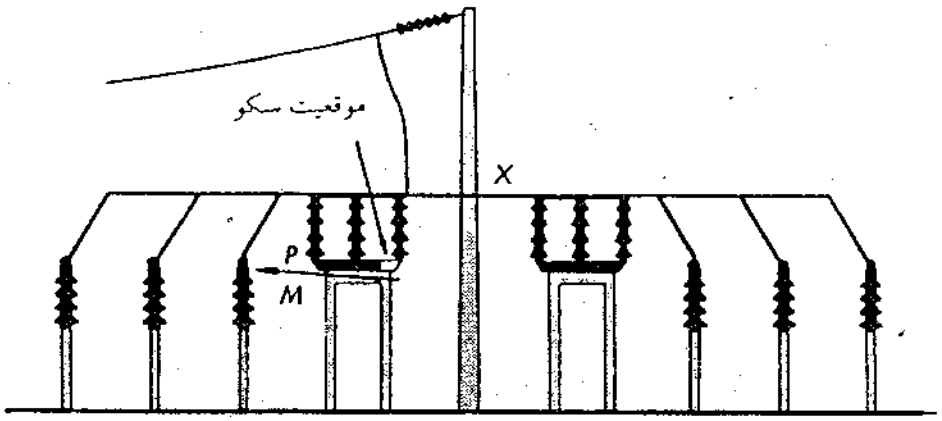
شکل (۸-۸): انتخاب کننده

1. Busbar Selector

۸-۳-۳ مسئله توسعه پست و رابطه آن با نواحی تعمیر:

نواحی تعمیر تاثیر بسزائی بر توسعه پست در آینده دارد در اینمورد مثال زیر را می‌توان ذکر نمود:

شکل (۹-۸) فرم متداول شینه ها و سکسیونر شینه بندی دوبل با هادیهای لوله ای را نشان میدهد.برای تکمیل یک مدار در خط میانی که صرفاً شینه ها از آن عبور می‌نمایند، هرکدام از سکسیونر شین هاو اتصالشان به شینه مربوطه را با قطع همان شینه می‌توان نصب نمود.مدارهای موجود به شینه دیگر متصل می‌گردند و بکار خود ادامه می‌دهندامانصب قسمت مشترک X که نصب آن دردو انتهای آن همزمان باید انجام گیرد بدون قطع هر دو شینه ممکن نیست ، زیرا فاصله دو سر سکسیونر باندازه S.C نمی باشد. بنظر می‌رسد که اگر اتصالات سکسیونر به شینه را در مرحله آخر انجام دهیم S.C زیادی مانند M خواهیم داشت در صورتی که شخصی روی استراکچر سکسیونر می‌ایستد تا این اتصال را نصب نماید بسهولت به نقطه P دسترسی دارد که صرفاً فاصله اش از شینه برابر E.C می‌باشد.



شکل (۹-۸):شینه ها وسکسیونر شینه بندی دوبل

نهایتاً نصب اتصال مشترک X بدون قطع دو شینه با حفظ فواصل موجود عمل بی خطری نمی باشد. برای ایجاد S.C از نقطه P تا شینه احتمالاً احتیاج به ایزولاتورهای نگهدارنده اضافی و نتیجتاً احتیاج به فضای بیشتری خواهد بود. راه حلهای ممکنه در مورد مثال فوق عبارتند از:

الف - ابتدا با توجه به توسعه پست در آینده سکسیونرهای شینه (یالااقل ایزولاتورهاو قسمت اصلی آنرا) و اتصالات X را برای کلیه خط های آینده نصب نمود.

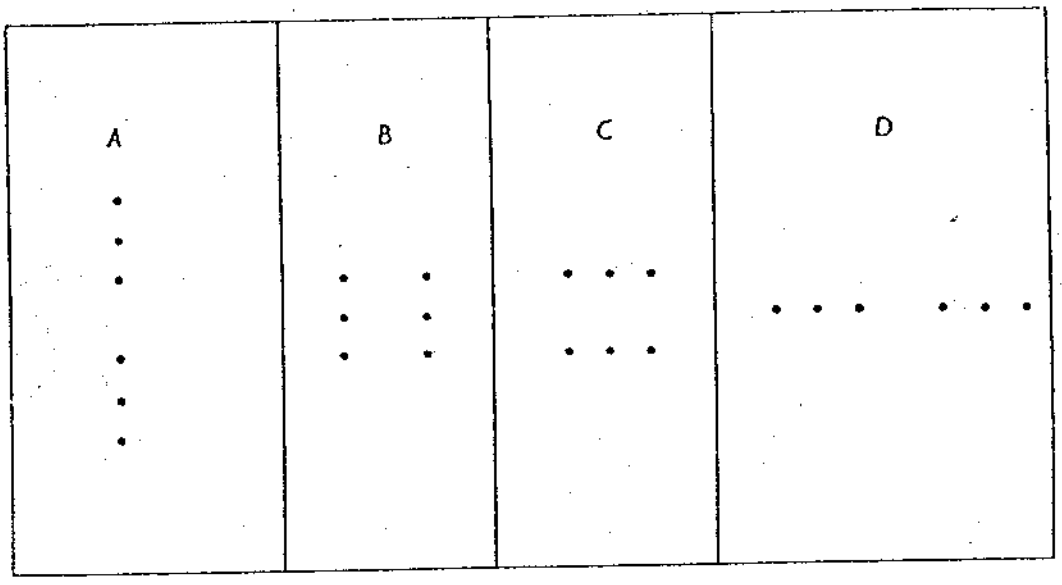
ب - اتصال X را دو قسمت کردو یک ایزولاتور در وسط ایجاد نمود.
ج - از هادیهای قابل انعطاف برای قسمت X استفاده نمود که احتیاج به‌اتصال همزمان دو انتهای قسمت X نباشد.

راه حل اول در مواردی که احتمال دارد بزودی پست مورد نظر توسعه یابد اشکالی ندارد ولی در غیر اینصورت از نظر اقتصادی مقرون بصرفه نیست .راه حل دوم گران بوده و ایمنی ایزولاسیون را پائین می‌آورد. بالاخره راه حل سوم ساده و اقتصادی است.

۸-۴ ملاحظات الکتریکی

۸-۴-۱ *ترتیب قرارگرفتن فازهای باس بار:*

هادی های فازهای شین ها بطرق مختلفی نسبت بیکدیگر قرار می‌گیرند. بهتر است که حالات مختلف را برای سیستمی با شینه بندی دوبل در نظر بگیریم شکل (۱۰-۸) چهار ترکیب مختلف را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰-۸): موقعیت فازهای شینه ها

در پستهائی که در فضای آزاد قرار دارند حالت D بر حالتهای A,B,C بدلایل زیر ارجحیت دارد:

الف- افتادن یا پارگی یک باس بار یا فازهای یک باس بار نباید باس باردیگر یافازهای دیگر را

درمعرض خطر قراردهد.

ب - در ترکیبات A,C جدا کردن نواحی تعمیر شینه ها مشکل می‌باشد وترکیبات افقی وعمودی و یا مثلث و سایر ترکیبات دیگر مواردااستعمالشان در پستهائی است که در فضای بسته قرار دارند.

۲-۴-۸ *فواصل الکتریکی:*

بانضمام ناحیه تعمیر، P.C , I.D تجهیزات پست و هادیهای متصله به آنها مبنای اصلی آرایش فیزیکی پستهای مختلف را تشکیل می‌دهد. اساساً حداقل سه فاصله الکتریکی در هر مدار مورد لزوم می‌باشد که عبارتند از:

الف - فاصله بین ترمینالهای سکسیونر یا سکسیونرهای شینه و یا اتصالات به‌آنها

ب - فاصله بین ترمینالهای دژنکتور و یا اتصالات به آنها

ج - فاصله بین ترمینالهای سکسیونر فیدر یا اتصالات به آنها

ممکن است فواصل دیگری برای بدست آوردن P.C ها در نقاطی که هادیهای فازهای مختلف از روی هم عبور می‌نمایند مورد لزوم باشد.

۳-۴-۸ *استنتاج فرمولهای اصلی :*

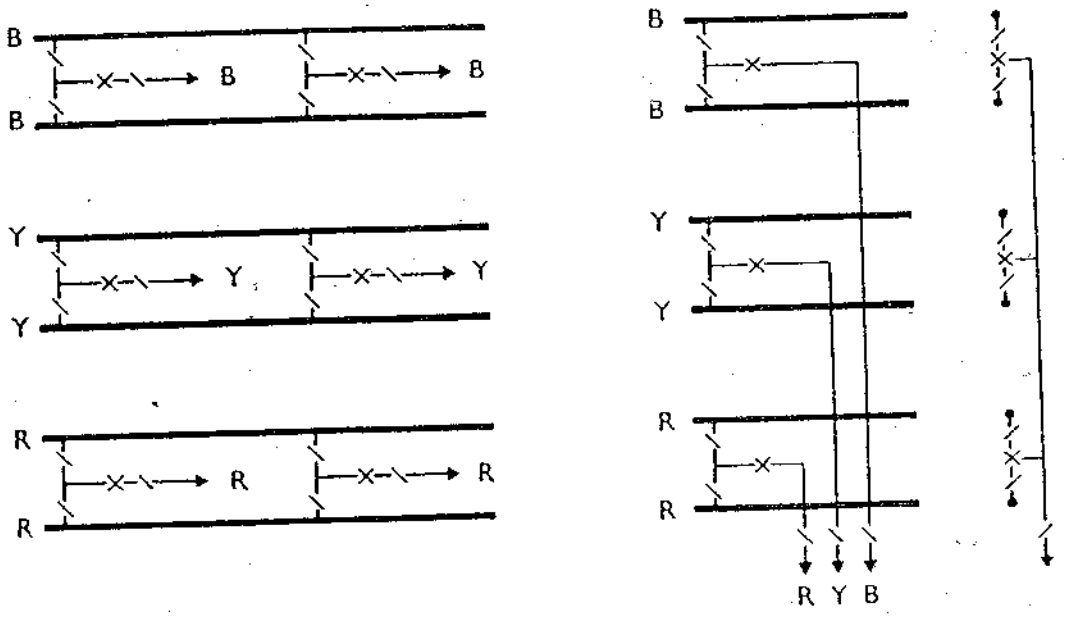
نقطه شروع منطقی در بسط و توسعه آرایش فیزیکی[1] پست ترسیم طرح و یا دیاگرام ابتدائی است. اگر این دیاگرام بصورت سه فاز کشیده شود نقاطی که در آنها فواصل الکتریکی اصلی و P.C بین هادیهائی که از روی هم عبور می‌کنند وجود دارد روشن می‌گردد. بعلاوه طرق مختلفی برای تعیین فواصل با توجه به دیاگرامهای مختلفی که کشیده می‌شود امکان پذیر است.

برای مثال اگر دیاگرامی که برای پستی با شینه دوبل کشیده شده است مطابق شکل (۸-۱۱) باشد روشن می‌گردد که کلیه فواصل را می‌توان در یک صفحه منظور نمود بدین ترتیب پستی را می‌توان ساخت که کلیه تجهیزات تحت ولتاژ در یک صفحه باشد و هیچ هادی ای از روی هادی دیگر عبور ننماید. پستهائی که در فضای آزاد قرار دارند.معمولاً تجهیزات شان را روی استراکچرها سوار می‌نمایند. حال می‌توان یک تصویر ذهنی از پستی که در فضای آزاد قرار دارد مجسم نمود .برای مثال پست ۱۳۲ کیلو ولتی که کلیه تجهیزات آن در یک سطح می‌باشند را می‌توان اینطور مجسم نمود که ابتدای ایزولاسیون های آن در ارتفاع ۲/۴۴ متر و هادیهای متصله آنها در ارتفاع ۳/۶۶ متر از سطح زمین قرار گرفته اند. با توجه به مطالب مذکور پست

1. Layout

مورد نظر شبیه شکل (۱۱-۸ الف) می‌باشد.

روشن است آرایش فیزیکی پست فوق فقط هنگامی عملی است که کلیه مدارهای پست از طریق کابل متصل شده باشند برای روشن شدن موضوع در شکل (۱۱-۸ ب) در مدار نشان داده شده است. اگر ورودی پست خط هوائی باشد ایجاد یک سطح دیگر برای حفظ فواصل بین فازها مطابق شکل (۱۱-۸الف) مورد لزوم می‌باشد.



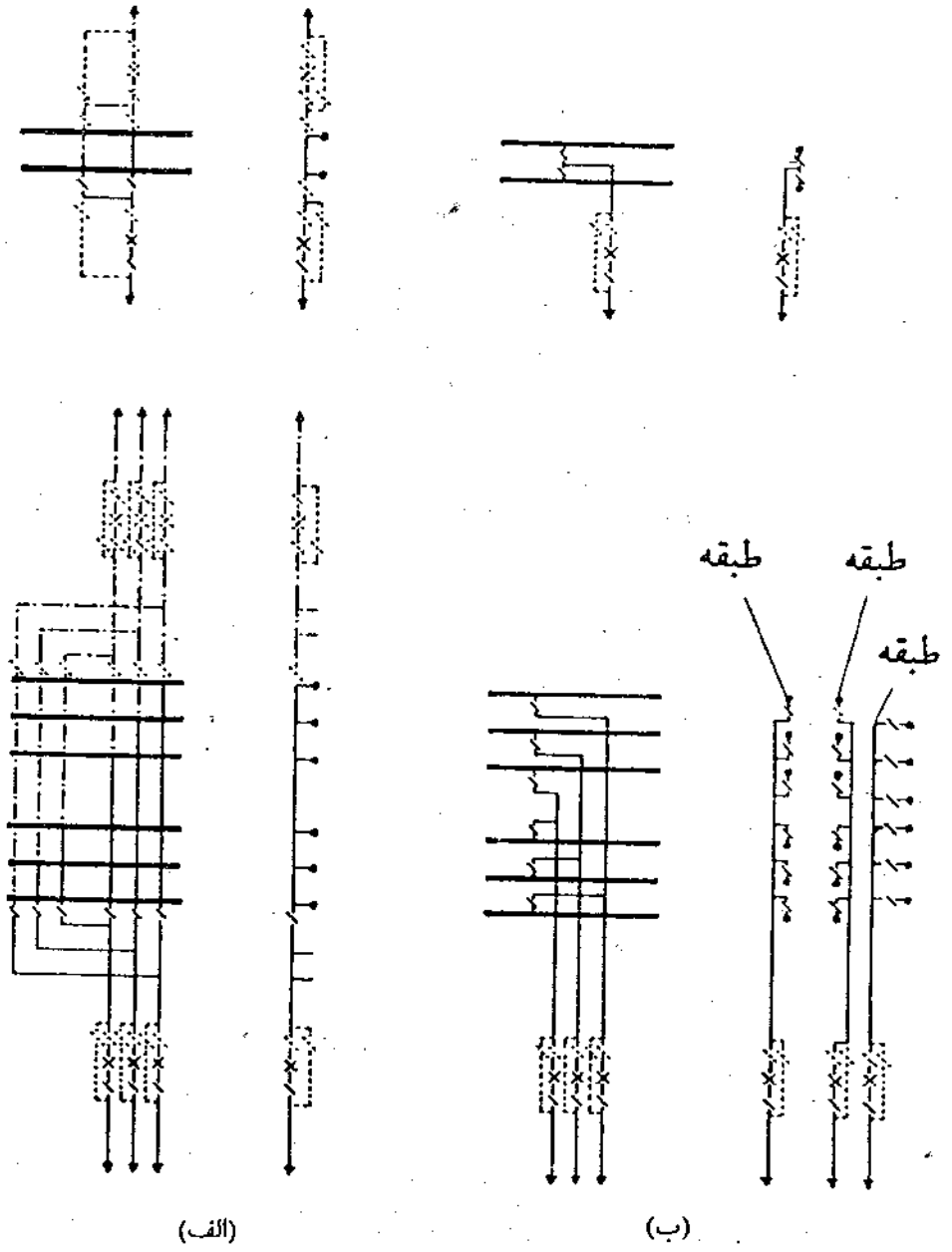
(ب): در دو سطح (الف):در یک سطح

شکل (۱۱-۸): استنتاج جدائی فواصل الکتریکی

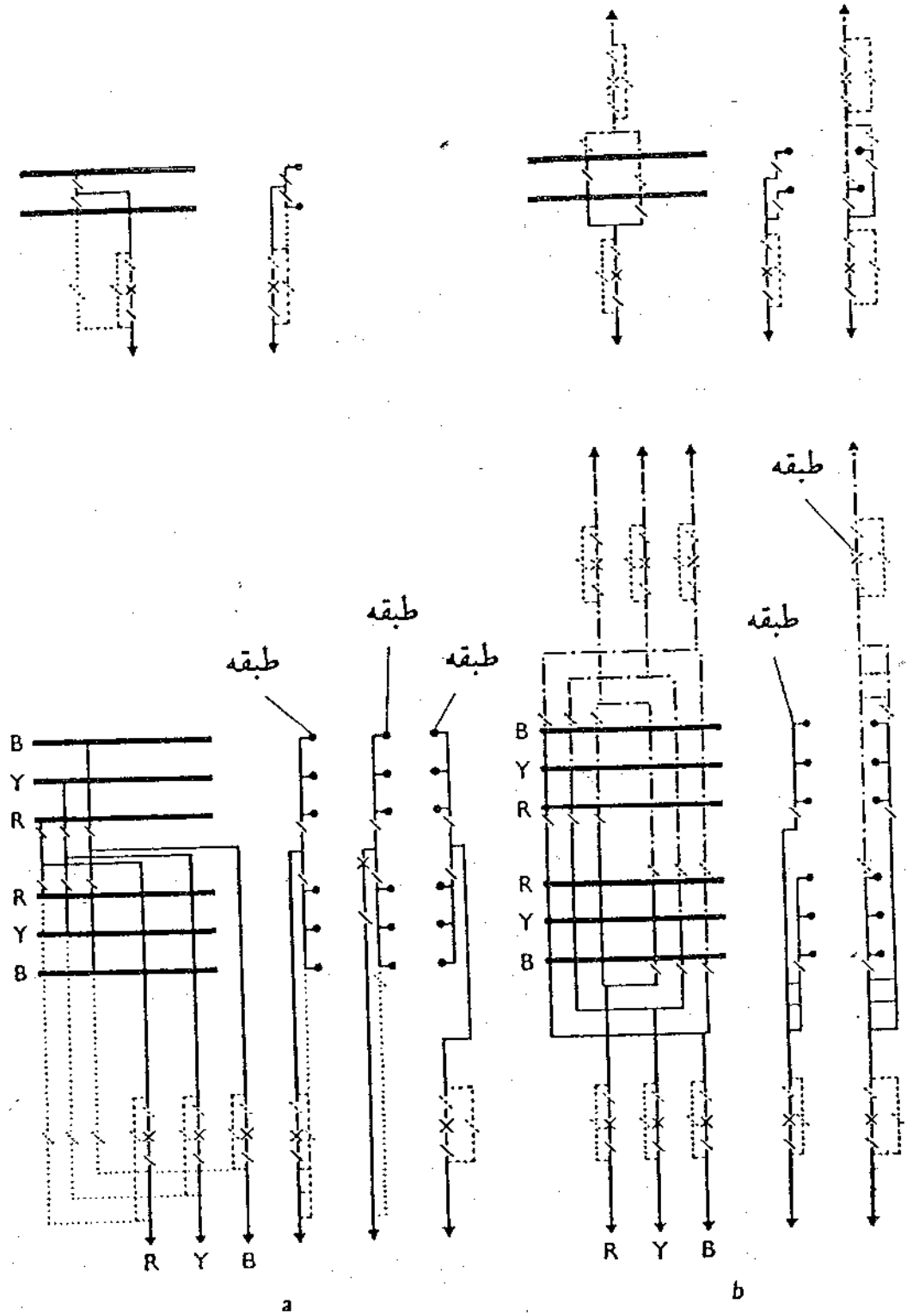
نقاط مختلفی که در آنها فواصلی را باید منظور نمود با رسم دیاگرام سه فازه با مقاطع مختلف روشن می‌گردد. بعضی از این نقاط را برای پستی با شینه بندی دوبل در اشکال (۱۲-۸) و(۱۳-۸) تشریح نموده ایم .برای کمک به فهم مسئله دیاگرامهای تک فازه نیز رسم شده اند .در حالت اول اتصال عمودی را در صورتی که از زیر شینه ها عبور نمایند نشان داده ایم ، در عمل می‌تواند این ارتباطات از روی شینه ها نیز عبور کند. اما حالت اول بر حالت دوم رجحان دارد.

سمبل ها و خطوط نقطه چین در دیاگرامها نشان می‌دهد که چطور امکانات با پیاس کردن دژنکتورها را می‌توان اضافه نمود و چطور می‌توان مدارها را پشت به پشت قرار داد.

مسئله دوم موقعیکه ورودی به پست از دو طرف باشد حائز اهمیت می‌باشد و معمولاً باعث صرفه جوئی در مصالح و فضای مورد نیاز می‌شود.



شکل (۱۲-۸): نمایش جدایی الکتریکی تجهیزات در دو سطح



شکل (۱۳-۸)تمایش جدائی الکتریکی در سه سطح

۴-۴-۸ پستهایی که در دو صفحه قرارگرفته و یا در دو طبقه اند:

نتایج زیر را از مطالعه اشکال (۱۲-۸)الف وب می‌توان بدست آورد.

بعلت اینکه یک سکسیونر شینه در پشت سکسیونر دیگر شینه در شکل (۱۲-۸الف) قرارگرفته است دو سکسیونر مطابق مقطع مربوطه باید پهلوبه پهلو قرار گرفته و مستلزم یک خط با پهنای زیادی می‌باشد. در عوض در مقطع شکل (۱۲-۸ب)کلیه سکسیونرها قابل رویت بوده و بیانگر این مطلب است که کلیه سکسیونرها را می‌توان در یک سطح خط باریک قرارداد. سه فاز دژنکتور و اتصالات مدار در مقطع پشت یکدیگر قرار گرفته و بنابر این در پلان باید پهلو به پهلو قرار گیرند، در نتیجه پهنای خط را مشخص می‌نمایند. بعلت اینکه اتصالات مدار به شینه ها و سکسیونرهای شینه به صفحات مختلفی قرار گرفته اند می‌تواند از زیر یا روی شینه ها عبور نمایند.

انواع شینه بندی نظیر شینه بندی ساده، شینه بندی دوبل، شینه بندی رینگ و شینه تبدیل ازیک وضعیت به وضعیت دیگر[1] در پستهای دوطبقه می‌تواندبکار رود.ناحیه شینه یک پست شامل تجهیزات زیر می‌باشد:

- هادیهای باس بار
- ایزولاتورهای نگهدارنده
- اتصالات بین شینه ها و سکسیونرهای آن
- سکسیونرهای شینه
- اتصالات بین سکسیونرهای شینه و کلید قدرت
- کلیدهای قدرت کوپلاژ و کلید قدرت تقسیم کننده شینه اگر سیستم با بسته بودنکلید قدرت مذکور کار می کند.
- ترانسفورماتور ولتاژ ،برقگیرها و راکتورها که در بعضی مواقع به شینه ها متصلند

ایمنی ناحیه شینه را می‌توان با توجه به نکات زیر افزایش داد.

- شینه ها یا فازهای شینه روی یکدیگر بخصوص در پستهایی که در فضای آزاد قرار گرفته‌اند واقع نشوند
- اتصالات مدار بویژه در پستهائی که در فضای آزاد قرار گرفته اند از روی شینه‌عبورنکند

---

1. Transfer Busbar

- تا حد امکان از حداقل ایزولاتور استفاده نمائیم
- از حداقل اتصال در هادیها استفاده نمائیم
- روشن و واضح بودن روشهای تعمیر
- وسائل مناسب برای نظارت بر کلیه تجهیزات
- تا حد امکان از قرار دادن تجهیزات از قبیل ترانسفورماتور ولتاژ ،برق گیر وسکسیونر زمین‌در ناحیه شینه خودداری نمائیم

۵-۸ صرفه جوئی در طراحی پست

۱-۵-۸ صرفه جویی در زمین پست:

جائیکه زمین ارزان و در دسترس می‌باشد همیشه لزومی‌به صرفه جویی در زمین نمی باشد. اما صرفاً هزینه زمین به تنهائی حائز اهمیت نیست بلکه هزینه هم سطح کردن زمین پست و محوطه سازی و محصور کردن زمین جاده های داخل پست و کابل هاو ....نیز حائز اهمیت می باشد .نتیجتاً باکاهش زمین پست می‌توان صرفه جوئی قابل ملاحظه ای نمود ،بنابر این کوچک بودن زمین را نمی توان بعنوان یک عیب تلقی نمود البته بشرط اینکه به قیمت افزایش بیش از حد اسکلت ها بعلت عدم اقتصادی بودن و زیبائی منجرنشود و یا بدلیل کوچک بودن زمین آرایش فیزیکی پست بغرنج و یا دسترسی به تجهیزات برای تعمیر کار مشکل نگردد. در سراسر جهان فقدان زمینهای بایر در شهرها و لزوم آوردن ولتاژهای فوق العاده زیاد در این مناطق اولیای امور را آگاه‌به لزوم طراحی پستهای متراکم نموده است .با استفاده از اینگونه پستها زمین مورد نیاز به ۱/۳ زمین موردنیاز برای پست معمولی مشابه تقلیل می‌یابد. در ضمن در آرایش فیزیکی پستها حتی الامکان باید سعی نمود تا فضاهای جزئی تلف شده ایجاد نگردد. واضح است که اینگونه فضاها بطور مجزا قابل استفاده نبوده ولی سعی در یکجا نمودن اینگونه فضاها این امکان را بما میدهد که از آن ها برای انبار کردن تجهیزات فرعی یا کمکی و دفتر و غیره استفاده نمائیم.

۲-۵-۸ صرفه جویی در تجهیزات:

مقدار تجهیزات اصلی از قبیل کلید های قدرت و سکسیونرها، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ برای یک سیستم شینه و طرح تفصیلی مشخص ثابت می‌باشد. مسئله صرفه جوئی اساساً در نوع ترکیبی که برای اتصال اینگونه تجهیزات بیکدیگر استفاده می‌گردد و در تعدادو نوع ایزولاتورهای نگهدارنده و اسکلت ها مطرح می‌گردد.

در یک آرایش فیزیکی ایده ال اتصالات بین تجهیزات بوسیله خود آنها نگهداشته می شود ،لذا تعداد ایزولاتورها و اسکلت های اضافی که مورد استفاده قرار می‌گیرد معیاری برای سنجش از حالت ایده ال و اینکه از خود تجهیزات می‌توان بعنوان نگهدارنده استفاده نمود یا خیر بستگی به عوامل زیر دارد:

- فاصله بین آنها
- مقاومت آنها
- مقاومت خود اتصالات
- شرایط آرایش فیزیکی پست

در یک آرایش فیزیکی مناسب فاصله بین تجهیزات به حداقل مجاز می‌رسد. حقیقتی که نباید نادیده گرفت اینستکه هزینه اسکلت یک نکهدارنده [1] و فونداسیون آن ممکن است از هزینه خود نگهدارنده بیشتر گردد. همچنین هر نگهدارنده احتیاج به وسائل دسترسی برای تعمیر دارد که تهیه آن ممکن است پیچیدگی آرایش فیزیکی و فضای مورد لزوم را افزایش دهد . حذف هرنگهدارنده باعث افزایش ایمنی و کاهش در تعمیرات می‌گردد. اسکلت ها و ساختمانها قسمت بزرگی از هزینه کل را تشکیل می‌دهند و آرایش فیزیکی مناسب می‌تواند منجر به صرفه جوئی قابل ملاحظه ای در کل هزینه پست گردد.

۶-۸ پروژه

در انتخاب تجهیزات پروژه پست نکات کلی زیر می‌بایستی مورد نظر باشد.

الف - تجهیزات خریداری بایستی بگونه ای طراحی گردد که حداکثر حفاظت‌ممکنه را دارا بوده و با هزینه پیشنهادی نیز مطابقت داشته باشد.

ب - حفاظت و ایمنی سیستم باید بگونه ای باشد که حداقل خاموشی را چه درهنگام مانور و چه در حالت عادی داشته باشد.

ج - طرح آرایش فیزیکی باید بر اساس یک‌استاندارد بین المللی در کنار یکدیگر قرار گرفته و دسترسی به وسایل بوسیله کامیون و غیره بخصوص برای وسایلی که‌امکان خرابیشان بیشتر است نظیرکلید قدرت باشد.

د - در طراحی قسمت ساختمان می بایستی اطاق کنترل در محلی در نظر گرفته‌شود که

1. Isolator

مشرف و مسلط به عبور و مرور و ورود وخروج وسایل باشد وهمچنین تجهیزات در محوطه پست [1] را نیز زیر نظر داشته باشد.

هـ - طراحی بایستی بگونه ای باشد که امکان توسعه آن در آینده وجود داشته‌باشد.

ذیلاً مراحل محاسبه و طراحی قسمتهای مهم پست فهرست وار بیان می‌گردد:

۸-۶-۱ انتخاب کلید قدرت:

منظور از انتخاب کلید قدرت ، انتخاب مشخصات فنی کلید نظیر قدرت قطع ، جریان نامی، ولتاژ نامی و ... است. برخی از این مشخصات نظیر ولتاژ نامی‌به شبکه مربوط است و برخی نظیر قدرت اتصال کوتاه و قطع که بایستی محاسبه گردد. نحوه محاسبات آن در فصل چهارم مفصل گفته شده است .پس از محاسبه مشخصات کلید با توجه به اعداد بدست آمده بایستی از جداول استاندارد بین المللی نظیر IEC یا VDE و غیره کلید را استاندارد نمود.

۸-۶-۲ ترانسفورماتور قدرت:

از مشخصات عمده ترانسفورماتور قدرت ،قدرت ،گروه و نسبت تبدیل، تعداد سیم پیچی های آن است که بسته به مشخصات مورد نیاز ترانسفورماتور براساس یکی از استانداردهای بین المللی استاندارد می‌گردند.

۸-۶-۳ انتخاب سکسیونر:

مشخصات اصلی سکسیونر قبل از استاندارد شدن بایستی انتخاب گردد. اهم این مشخصات جریان نامی،ولتاژ نامی و جریان اتصال کوتاه برای مدت معینی است . پس از انتخاب مشخصات فوق الذکر بر اساس استانداردهای بین المللی بایستی استاندارد شوند.

۸-۶-۴ برقگیر:

ولتاژ نامی برقگیر بسته به نوع زمین شدن شبکه بایستی محاسبه و بقیه مشخصات نظیر BIL و غیره از جداول استانداردپیدا شود.

۸-۶-۵ ترانس جریان و ولتاژ:

ثانویه ترانس جریان معمولاً ۱ یا ۵ آمپر است و ثانویه ترانس ولتاژ ۱۰۰ و یا ۱۱۰ ولت

---

1. Outdoor

می‌باشد. با توجه به جریان اولیه در ترانس ، جریان و ولتاژ اولیه در ترانسفورماتور، ولتاژ ترانس‌های اندازه گیری یا حفاظتی معین می‌گردند.

۶-۶-۸ شینه :

مشخصات شینه ها که اهم آن جریان و سطح مقطع هستند ابتدا محاسبه وسپس با تطبیق با جداول استاندارد ،استاندارد می‌گردند.

منابع

1. Miller,J.E.T,"Reactive power control in electric system",John wiley sons., 1982.
2. Flurschein, C. H., "Power circuit breaker", Theory and Design,
3. Cigre working group 33. 10 and IEEE Task force,"Temporary overvoltages: Causes effects and evaluation", CIGRE, Paper. 33-210 , 1990.
4. Bickford, J. P, Mullineux, N. and Reed, J. R. ,"Computation of power system transients", Peter Peregrinus Ltd, 1980.
5. Dialynas. E. N., Machias .A. V.,"Interactive modelling of substation switching operations following a failure event", IEE Proceedings, vol.134,pt.C,No.2, March 1987.
6. Traca - de - Almeida, A.,"Substation interlocking and sequence switching a digital computer:, ibid, 1981, PAS - 100, PP- 3002 - 3007
7. Albrecht , P. F., " Reliability evaluation of substation bus arrangements", Can., Electr.Assoc Trans. 1974, 13, pt III , paper 74- 5P-52
8. Giles, R. " Lagout of EHV substations", Cambridge University Press, London, 1970.
9. Blume,L.F,et al," Transformer engineering", John Wiley, Second Edition, 1951.
10. Westinghouse, " Transmission and disttribution reference book", Forth Edition,1950.
11. IEC, " Application guide for power transformers", Publication No.606, 1978.
12. Flottmeyer, F. and Kotschnigg, J. , " Aspects of design, tests and operation of an 850 MVA standardized generator transformer", CIGRE, paper No. 12-206, 1990.
13. Godec,Z, " How to eliminate some systematic errors in transformer temperature-rise measurements", CIGRE, 12-101-, 1990.
14. IEC, " Power transformers: Temperature rise", Publication No. 76-2, 1976.

15. IEC, " Power transformers: Temperature rise " , Draft of publication 76-2, Tc 14/WG 19, June 1989.
16. Godec. Z., " New method for determination of steady-state temperature rise of transformers", IEE, Proc.A 131 (1984)5, 307-311.
17. Elliker, A., Lerondeau, A., Karrenbauer, H.," Recent evolution of SF 6 circuit-breakers and the impact on driving mechanism technology", CIGRE, Group 13, paper, 13-303 , 1990.
18. Study Committees 15 and 33 , " Dielectric diagnosis of electrical equipment for AC applications and its effects on insulation coordination", CIGRE, 1990.
19. Troger, H. et al ," Compilation of the international experience on installation and operation with metaclad substations", CIGRE 1972, Paper 23-04.
20. Peek, F.W., " The effect of transient voltages on dielectrics", Trans, AIEE, Vol. 34.2, 1915, P.1857.
21. Greenwood, A., " Electrical transients in power system", Wiley Interscience,1972.
22. Young, A.F., " Some researches in current chopping in H.V. circuit breakers", Proc. IEE, Vol. 100, No.76, 1953.
23. Westinghouse Electric Corporation, " Surge protection of power systems", 1991
24. Baker, W.P.," The impulse strength of 11KV plant", IEE 108, Lightning and Distribution System, 1974, P.SS.
25. Khalafalla, K.E.B., " Breakdown of impregnated paper under switching surge voltages", MSc Thesis, UMIST, 1967.
26. Goodlet, B.L., " Electromagnetic phenomena in high voltage testing equipment", Journal IEE, Vol. 74, 1934, P.377.
27. Henriksen, T., et al, " Measured and calculated temporary overvoltages in a solid grouded 300KV network and a 132KV network grounded by arc-suppression coils", CIGER, paper 33-202, 1990.

28. Reid, W.E., " Guidelines for determining parallel resonance on EHV transmission lines", IEEE Transactions, PAS 102, PP.3196-3204, sept.1983.

29. El-Morshedy, A. et al," Modelling of substation grounding grides", IEE Proceedings, Vol.133, pt. C, No.5 , July 1986.

30. Nahman, J. ,Jelovac, D., " High Voltage/Medium (low)-voltage substation earthing systems", IEE Proceedings, Vol.134, pt.C, No.1, January 1987.

31. Nahman, J. , Salamon, D.," Analytical expressions for the resistance of grounding grids in nonuiform soil", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103-No.4, April 1984.

32. Ning Yung, E.,K., " An innovative analysis of earthing grids for power substations", IEE Proceedings, Vol.132, pt.C, No.5, September 1985.

33. Gross, E.T.B., and Hollitch.R.S.," Grounding grids for high voltage stations III-resistance of rectangular grids", Ibid, 1956, 75, pt.III, pp. 926-935.

34. Meliopoulos. A.P., Webb. R.P., and Joy, E.B., " Analysis of grounding systems", IEEE Trans., 1981, PAS-100, (3), pp.1039-1048.

35. Electricity Council," Power system protection", Vol.1,2 and 3, London 1969.

36. GEC Measurements Ltd," Protective relays application guide", 3nd ed. 1971.

37. Vormerk, H.J., " The maintenance of substations in technical, economical and organisational respect", Electra No.32,1974.

38. Rosales, J.I., " Applied criteria to install ten shunt feactors in the spanish 400 KV transmission system for a total of 1500 MVA", CIGRE, Paper 23-204, 1990.

39. Maeda, T. et al," Development of D-Gis aimed at easy restoration from internal fault ", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.3, 1987.

۴۰- مهندس مسعود سلطانی، " محاسبات اتصال کوتاه در شبکه"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۵۹.

۴۱- مهندس مسعود سلطانی ،" تولید و تنظیم"، جزوه درسی دانشکده فنی دانشگاه‌تهران ۱۳۵۴.

۴۲- مهندس مسعود سلطانی ، "تجهیزات نیروگاه" ، تکنوبوک ،۱۳۶۲.

۴۳- محمود احمدی پور ، " طراحی پستهای فشار قوی"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۶۸.

۴۴- احمد رضا قندهاری، مجید حیدری،" بررسی کنترل توان رأکتیو توسط جبران کننده های استاتیک و نقش آنها در بهینه سازی شبکه"، پایان نامه کارشناسی ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۱۳۷۲.

۴۵- دکتر سیدمحمد طالقانی ،" ترانسفورماتور"، انتشارات پژوهش، ۱۳۶۲

۴۶- دکتر ذواشتیاق،" ایمنی در مقابل برق زدگی"، جزوه دانشکده فنی دانشگاه‌تهران.

۴۷- دکتر مهدی رفیعیان،" زمین کردن پایه های خطوط انتقال و پستها"، شرکت مهاب(مشانیر وابسته به وزارت نیرو)، ۱۳۶۰.

۴۸- جزوات مشانیر وابسته به وزارت نیرو.

۴۹- محمود حمدی‌پور، جواد عرفانیان، «طراحی پستهای فشار قوی»، جزوه دانشگاه فنی و مهندسی.

POWEREN.IR