بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

شرکت سهامی تولید وانتقال نیروی برق ایران

(توانیر)

معاونت تحقیقات وتکنولوژی

دفتر استانداردها

استاندارد تجهیزات بانک‌های خازنی

۲۰ و ۳۳ کیلو ولت

جلد اول

مطالعات پایه، اصول و معیارها

شهریور ماه ۱۳۷۵

آدرس : صندوق پستی ۶۴۶۷-۱۴۱۵۵ تلفن : ۲۱۴۳۴۹۶ - ۸۰۱۷۷۴ فاکس : ۸۰۱۷۷۶۷

فهرست صفحه

مقدمه ۴

فصل اول : جبران توان راکتیو ۵

۱-۱- مقدمه

۱-۲- استفاده از خازن‌ها برای جبران توان راکتیو

فصل دوم : خازن‌های فشار قوی ۱۱

۲-۱- مقدمه

۲-۲- سیستم عایقی

۲-۳- مشخصه‌های مهم دیگر سیستم عایقی

فصل سوم : حفاظت فیوزی خازن‌ها ۱۷

۳-۱- مقدمه

۳-۲- نیازها

۳-۳- فیوزهای داخلی

۳-۳-۱- نحوه عمل فیوز داخلی و انتخاب مقادیر نامی

۳-۳-۲- رابطه ظرفیت واحد خازنی با فیوز داخلی

۳-۳-۴- معایب فیوز داخلی

۳-۴- فیوزهای خارجی

۳-۴-۱- نحوه عمل فیوز خارجی و انتخاب مقادیر نامی

۳-۴-۲- مزایای فیوز خارجی

۳-۴-۳- معایب فیوز خارجی

۳-۵- کاربرد فیوزهای داخلی و خارجی براساس مشخصات بانکهای خازنی

فصل چهارم: بررسی روش‌های مختلف اتصال خازنها در هر مجموعه خازنی ۳۸

فصل پنجم : بررسی نحوه استقرار خازنها و بانک‌های خازنی ۴۰
۵-۱- مقدمه
۵-۲- عوامل مؤثر در طرح استقرار
۵-۲-۱- ولتاژ سیستم
۵-۲-۲- ولتاژ نامی واحد خازنی
۵-۲-۳- سطوح عایقی
۵-۲-۴- ظرفیت مجموعه
۵-۲-۵- آرایش الکتریکی مجموعه خازنی
۵-۲-۶- واحد خازنی با یک بوشنیگ یا دو بوشنیگ
۵-۲-۷- وزن واحدهای خازنی
۵-۲-۸- مساحت و فضای در دسترس
۵-۲-۹- شرائط محیطی

فصل ششم : مقایسه واحد خازنی با یک بوشنیگ یا ۲ بوشینگ ۴۸
۶-۱- مقدمه
۶-۲- مقایسه
۶-۳- نتیجه‌گیری

فصل هفتم : تجهیزات کلیدزنی خازن‌ها ۵۱
۷-۱- مقدمه
۷-۲- بررسی انواع کلیدها به لحاظ نوع محفظه قطع
۷-۲-۱- تعدد دفعات قطع و وصل
۷-۲-۲- قطع جریان خازنی
۷-۲-۳- وصل بانکهای خازنی
۷-۲-۴- نتیجه‌گیری
۷-۳- بررسی ترکیب تجهیزات کلیدزنی
۷-۳-۱- مقایسه فنی بین طرحهای مختلف
۷-۳-۲- مقایسه مالی بین طرحهای مختلف

۳-۳-۷- نتیجه‌گیری

فصل هشتم : حفاظت خازنها ۵۹

۱-۸- حفاظت فیوزی

۲-۸- حفاظت جریان زیاد، بار زیاد

۳-۸- حفاظت در برابر اضافه ولتاژ

۱-۳-۸- اضافه ولتاژهای ناشی از شبکه

۲-۳-۸- اضافه ولتاژ بر روی واحدهای خازنی

فصل نهم : کنترل مجموعه خازنها ۶۳

۱-۹- رله کنترل ورود و خروج خازنها

۲-۹- تأخیر در وصل خازنهای باردار

۳-۹- قفل حصار محوطه خازنها

۴-۹- رله قطع فیدر و قفل وصل مجدد(trip & lock out)

پیوست ها : ۶۹

پیوست شماره یک - محاسبه اضافه ولتاژها ۶۹

پیوست شماره دو - محاسبه جریان هجومی وصل خازنها و روش محدودنمودن آن ۱۰۴

پیوست شماره سه - محاسبات جریان عدم تعادل نوترال ستاره دوگانه ۱۱۱

پیوست شماره چهار ـ مختصری در باره روغن‌های عایق خازنها ۱۱۳

مشخصات فنی استاندارد
برای تجهیزات و تأسیسات خازنی ۲۰ و ۳۳ کیلوولت به عنوان جبران‌کننده توان راکتیو در پست‌های فوق توزیع
مطالعات پایه ـ اصول و معیارها

مقدمه

در راستای تهیه استاندارد برای تجهیزات صنعت برق، معاونت تحقیقات و تکنولوژی شرکت توانیر بر آن شد تا نسبت به تهیه مشخصات فنی استاندارد برای تجهیزات و تأسیسات خازنی ۲۰ و ۳۳ کیلوولت که در پست‌های فوق توزیع به عنوان جبران کننده توان راکتیو بکار می‌روند اقدام نماید. از آنجائیکه مسائل اساسی تأسیسات خازنی تاکنون مورد بررسی جامعی که طی آن از نظرات کارشناسان محترم صنعت برق بصورت کامل و منظم استفاده شده‌باشد، قرار نگرفته است، در مرحله اول، مشخصات اصلی تأسیسات خازنی و تجهیزات مربوطه با توجه به اطلاعات الکتریکی پست‌های فوق توزیع، اطلاعات مربوط به سازندگان داخلی و خارجی و استانداردهای وزارت نیرو برای پست‌های فوق توزیع، مورد بررسی و مسائل و گزینه‌های اساسی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس گزارش پیشنهادی ارائه شد و جهت ارائه نظرات کارشناسان محترم، تقدیم گردید. متعاقب آن طی جلسه ی در تاریخ ۷۳/۶/۲۷ در دفتر معاونت تحقیقات و تکنولوژی اقدام به بحث و بررسی شد و نتایج حاصله در تهیه گزارش حاضر ملحوظ گردید.

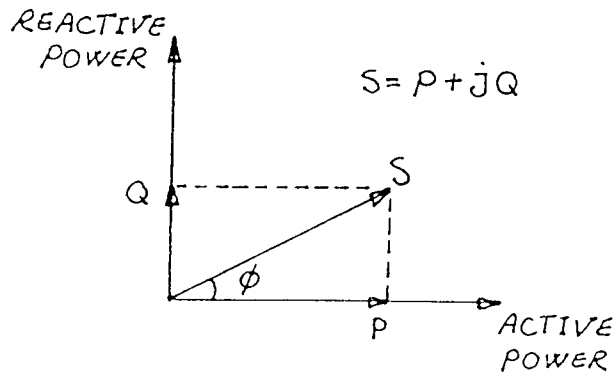
در مرحله دوم، مشخصات فنی استاندارد برای تجهیزات و تأسیسات خازنی یاد شده بالا بر اساس نتایج حاصله از مطالعات و بررسی‌های این مرحله تهیه خواهد شد.

فصل اول - جبران توان راکتیو

۱-۱ مقدمه

مصرف کننده‌های صنعتی، کشاورزی و حتی مصرف کننده‌های خانگی، علاوه بر توان اکتیو، نیاز به تأمین توان راکتیو دارند چون اینگونه مصارف الکتریکی در دوره‌هایی از زمان قسمتی از انرژی الکتریکی را به صورت انرژی مغناطیسی ذخیره نموده و سپس در زمان‌های بعد آنرا به سیستم باز می‌گردانند. تأمین این انرژی اضافی هر چند که بازگردانده شود باعث افزایش جریان در شبکه الکتریکی خواهد شد و بنابر این سطح مقطع هادیها و استقامت مکانیکی برج‌های نگهدارنده این هادیها بایستی افزایش یابند. در غیر اینصورت جریان الکتریکی که بدین سان افزوده می‌شود افت انرژی بیشتری بصورت تلف حرارتی در شبکه الکتریکی ایجاد می‌نماید و نیز باعث افت ولتاژ بیشتر در مسیر عبور جریان خواهدشد.

هر چه بار مصرفی در شبکه الکتریکی بیشتر اندکتیو باشد توان راکتیو بیشتری در شبکه بایستی جاری شود و اختلاف فاز بین شدت جریان و فشار الکتریکی بیشتر می‌شود البته در ایده‌آل‌ترین شرائط این اختلاف فاز صفر بوده و نتیجتاً توان ظاهری، یعنی حاصل‌ضرب شدت جریان الکتریکی و فشار الکتریکی، با توان حقیقی یا توان اکتیو برابر می‌شود اما در حالت کلی همواره توان ظاهری از توان حقیقی بیشتر بوده و نسبت ایندو ضریب قدرت ($\cos\phi$)است شکل ۱-۱ توان اکتیو و توان راکتیو و نیز توان ظاهری را بصورت دیاگرام برداری نشان می‌دهند.



شکل ۱-۱

علاوه بر آنچه در مورد شبکه‌های توزیع و انتقال گفته شد افزایش توان راکتیو در نیروگاه‌ها نیز باعث ایجاد مشکلاتی خواهندشد هر چند افزایش تحریک در ژنراتورهای سینکرون باعث تولید راکتیو میشود .ما از نقطه نظر ظرفیت ژنراتور، این افزایش تحریک نمی‌تواند بدون محدودیت و کاملاً تحت تأثیر نیاز

بارصورت پذیرد. زیرا قسمتی از ظرفیت تولید ژنراتور که بایستی صرف تولید توان اکتیو شود صرف تولید توان راکتیو می‌شود.

با توجه به آنچه که گفته شد توان راکتیو مصرف کننده‌ها بایستی تأمین شود و از سوی دیگر بایستی آندسته از مشکلات تولید و انتقال انرژی الکتریکی را که در اثر این نیاز مصرف کننده‌ها ایجاد می‌شود مرتفع نمود. در جدول زیر توان راکتیو مورد نیاز برخی از مصرف کننده‌ها و نیز اجزاء سیستم انتقال و توزیع نشانداده شده‌اند.

کیلوولت آمپر/کیلووار	تقریباً	۰/۰۵	ترانسفورماتورها
کیلووات /کیلووار		۵ - ۲	خطوط انتقال
کیلووات /کیلووار		۰/۹ - ۰/۵	موتورهای القائی
کیلووات /کیلووار		۲	لامپ‌های فلورسنت

یکی از روشهای تأمین توان راکتیو، استفاده از موتورهای سینکرون در شبکه است. با تنظیم تحریک این موتورها، می‌توان آنها را در محدودهٔ وسیعی از یک مصرف کنندهٔ توان راکتیو، به یک تولیدکنندهٔ توان راکتیو تبدیل نمود. هرگاه اینگونه موتورها با تحریک افزوده مورد استفاده قرارگیرند بعنوان مولد توان راکتیو و در صورتی که با تحریک کم مورد استفاده قرار گیرند بعنوان مصرف کننده توان راکتیو می‌توانند مورد استفاده قرارگیرند بنابراین می‌توان این مولدها را در ساعات مختلف شبانه روز به دو گونه مختلف مورد استفاده قرار داد. اگر چه اینگونه مولدها قابلیت تنظیم مناسبی دارند اما هزینه‌های اولیه تأسیسات این ماشین‌های گردان، نسبت به تأسیسات استاتیک زیاد بوده و علاوه بر آن اتلاف توان آنها نیز بیشتر است و از سوی دیگر با توجه به متمرکز بودن آنها در یک مرکز و محل معین در شبکه که به منظور کاستن از هزینه‌های اولیه انجام میگیرد باعث میشود که این نوع تأسیسات مولد توان راکتیو بیشتر در شبکه‌های انتقال مورد استفاده قرارگیرند بنابراین اگرچه مشکل تولید توان راکتیو را مرتفع می‌نمایند اما آن دسته از مشکلاتی که ناشی از انتقال توان راکتیو به مصرف کننده در شبکه‌های انتقال انرژی است یعنی، تلف حرارتی در شبکه‌های انتقال، افت فشارالکتریکی، بالاتر انتخاب نمودن مشخصات خطوط انتقال کاملاً مرتفع نخواهند شد. بنابراین اصولاً هر چه مولد توان راکتیو به محل مصرف کننده نزدیکتر باشد از ایندسته از مشکلات نیز بیشتر کاسته میشود. ایده‌ال‌ترین شرائط این است که هر مصرف کننده خود دارای تأسیسات تولید توان راکتیو باشد بر پایه همین سیاست است که مشترکین صنعتی موظف به نصب تأسیسات جبران توان راکتیو میشوند تا ضریب خود را افزایش دهند و نیز بر پایه همین سیاست وزارت نیرو در صدد است که از مشترکین با ضریب قدرت کمتر از ۰/۹ جریمه اخذ نمایندتا انگیزه‌ای برای جبران کاهش ضریب قدرت در مشترکین بوجود آید.

۲-۱- استفاده از خازن‌ها برای جبران توان راکتیو

مناسب‌ترین روش جبران توان راکتیو، استفاده از خازن‌هاست که امروزه در شبکه‌های برق بعلت سادگی سیستم و هزینه‌بری کم بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نزدیک بودن خازن‌ها به بار مصرفی تا آن اندازه امکان پذیر است که حتی چراغ‌های دارای لامپ فلورسنت خود دارای خازن تصحیح ضریب قدرت هستند و نیز برروی بعضی از موتورهای القائی خازن تصحیح ضریب قدرت نصب میشود و در مدار الکتریکی آنها بکارمیرود.

با توجه به اینکه اقتصادی‌ترین سطح ولتاژ برای تولید خازن، سطوح ولتاژ شش تا پانزده کیلوولت است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نصب خازن در شبکه‌های بیست کیلوولت (ولتاژ فاز به زمین حدود یازده کیلوولت) و سی‌وسه کیلوولت (با ولتاژ فاز به زمین حدود نوزده کیلوولت) مناسب‌ترین روش خواهد بود البته همانطور که در بخش‌های بعد خواهد آمد حتی در این سطوح ولتاژ هم دو و یا چند واحد خازن باهم بطورسری قرار می‌گیرند.

اگر چه سطوح ولتاژ توزیع فشار متوسط برای نصب تأسیسات خازنی مناسب است ولی هنوز این سؤال مطرح است که کدام محل برای نصب تأسیسات خازنی ارجح است آیا خازن‌ها بایستی در پست‌های فوق توزیع ۶۳/۲۰ کیلوولت، ۱۳۲/۲۰ کیلوولت، ۱۳۲/۳۳ کیلوولت نصب شوند و یا در پست‌های توزیع ۲۰/۰/۴ کیلوولت و یا ۳۳/۰/۴ کیلوولت ؟ بدلایل زیر توصیه میگردد که خازن‌ها و تجهیزات وابسته به آنها در پست‌های فوق توزیع نصب گردند:

۱- سطح دانش فنی بالاتر تکنسین‌های مسئول راهبری، نگهداری و تعمیرات

۲- امکان مراقبت پیوسته

۳- امکان ورود و خروج خازن‌ها از شبکه در زمان‌های مختلف شبانه‌روز وجود دارد برخلاف پست‌های توزیع ۲۰/۰/۴ کیلوولت و یا ۳۳/۰/۴ کیلوولت که استفاده از وسائل کلیدزنی برای ورود و خروج خازن‌ها هم بدلیل هزینه‌بری و هم بدلیل نیاز به نظارت و انجام عمل قطع و وصل چندان مطلوب نیست .

۴- امکان رسیدگی به موقع و در زمان‌های مناسب جهت خدمات نگهداری و نیز در صورت لزوم انجام تعمیرات

۵- کاهش هزینه‌های راهبری، نگهداری و تعمیرات تأسیسات متمرکز نسبت به تأسیسات پراکنده

۶- کاهش هزینه‌های خرید و نصب تأسیسات مذکور بصورت مجتمع نسبت به حالت پراکنده آنها، بخصوص برای تجهیزات حفاظت و کنترل مانند رله‌های سنجش توان راکتیو که برای ورود و خروج خودکار خازن‌ها از شبکه مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

بایستی توجه به این نکته داشت که بانصب خازن در پست‌های فوق توزیع، علیرغم بدست آوردن کلیه امکانات فوق، هنوز تلف توان بصورت حرارتی و افت فشار الکتریکی در شبکه‌های توزیع و فوق توزیع موجود هستند و بنابراین، این روش جبران سازی در پایین آوردن سطح مقطع مورد نیاز هادیهای خطوط در شبکه‌های بیست کیلوولت و سی وسه کیلوولت تأثیرگذار نمی‌باشد. زیرا همانطور که قبلاً نیز گفته شد خازن‌ها حتی‌المقدور بایستی به بارهای مصرفی نزدیکتر باشند.

برای کاهش در هزینه‌های نصب تأسیسات خازنی و صرفه‌جوئی در هزینه‌های کلیدخانه خازنها معمولاً قسمتی از خازن مورد نیاز رابصورت اتصال مستقیم و بدون کلید قطع و وصل در نظر می‌گیرند. این قسمت از خازن‌ها بایستی تأمین کنندهٔ توان راکتیو مورد نیاز برای حداقل بار باشد اما چنانچه این حداقل بار به نسبت بار ماکزیمم ناچیز باشد نصب خازن‌ها بصورت ثابت پیش‌بینی نمی‌شود و چنانچه ظرفیت "وار" خازن بیش از توان راکتیو مورد نیاز در زمان حداقل بار انتخاب شود ممکن است در همان زمان باعث ایجاد اضافه ولتاژ ناخواسته گردد. بنابراین نصب و یا عدم نصب خازن‌های ثابت و نیز تصمیم‌گیری در مورد ظرفیت "وار" آن‌ها بایستی با در نظرگرفتن حداقل بار و نیز ضریب قدرت موجود انجام شود از آنجا که معمولاً بار در محدوداً وسیعی تغییر میکند بنابراین معمولاً خازن‌ها بصورت مرحله‌ای وارد مدار می‌شوند به این صورت که خازن‌ها به چند دسته (bank) تقسیم می‌شوند و هر دسته توسط یک سویچ مستقل تغذیه خواهندشد. اگر تصحیح ضریب قدرت برای بیش از ۰/۸۵ مورد لزوم نباشد معمولاً از یک مرحله استفاده میشود هر چه محدودهٔ تغییر بار ونیز محدودهٔ تغییر ضریب قدرت وسیعتر باشند و یا تصحیح ضریب قدرت برای بیش از ۰/۹ مورد نیاز باشد تقسیم تأسیسات خازنی به تعداد بیشتری از دسته‌ها لازم خواهد بود البته بایستی در نظر داشت که افزایش تعداد مراحل کنترل و تقسیم تأسیسات خازنی به دسته‌های جداگانه باعث افزایش هزینه‌های اولیه می‌شوند هرگونه تصمیم‌گیری در موارد ظرفیت و تعداد دسته‌ها علاوه بر در نظرگرفتن نیازهای فنی بایستی با توجه به ملاحظات اقتصادی انجام شود.

در یک پست فوق توزیع محاسبهٔ ظرفیت "کیلووار" بانک‌های خازنی بایستی براساس ظرفیت قطعی پست فوق توزیع (firm Capacity) تعیین گردد. این ظرفیت، ظرفیتی است که پست فوق توزیع بایستی در اکثر موارد قادر به تأمین آن باشد. بعنوان مثال در پروژه استاندارد کردن پست‌های ۶۳/۲۰ کیلوولت ظرفیت قطعی پست‌های فوق توزیع مطابق جدول زیر تعیین شده‌اند:

ظرفیت قطعی	تعداد و ظرفیت ترانسفورماتورها
(مگاولت آمپر) ۷/۵	۲×۷/۵ (مگاولت آمپر)
(مگاولت آمپر) ۲۱	۲×۱۵ (مگاولت آمپر)

(مگاولت آمپر)۴۲ (مگاولت آمپر) ۳۰×۲

(مگاولت آمپر)۷۸ (مگاولت آمپر) ۳۰×۳

علاوه بر ظرفیت قطعی بایستی ضریب قدرت موجود و ضریب قدرت هدف (پس از اصلاح) نیز در نظر گرفته شوند در اینصورت با استفاده از رابطه :

$$Q_C = S_F \cdot P_C \cdot (tg (\cos^{-1} P_E) - tg (\cos^{-1} P_C))$$

می‌توان ظرفیت "کیلووار" خازن را محاسبه نمود در رابطهٔ فوق

Q_C ظرفیت "کیلووار" خازن

S_F ضریب قطعی پست فوق توزیع

P_C ضریب قدرت هدف (پس از اصلاح)

P_E ضریب قدرت موجود (پیش از اصلاح

بعنوان مثال در پست فوق توزیعی که دارای دو ترانسفورماتور ۱۵ مگاولت آمپراست و ظرفیت قطعی آن ۲۱ مگاولت آمپر می‌باشد برای تصحیح ضریب قدرت از ۰/۸۵ به ۰/۹۵ به دو بانک خازنی هریک به ظرفیت ۲/۹ مگاوار نیاز خواهدبود.

$$Q_C = ۲۱ \times ۰/۹۵ \times (tg (Cos^{-1} (۰/۸۵)) - tg (Cos^{-1} (۰/۹۵))$$

$$= ۵/۸ \quad \text{مگاوار} \quad = ۲ \times ۲/۹ \text{ مگاوار}$$

جدول ۱-۱ ضریب $K = tg (Cos^{-1} P_E) - tg (Cos^{-1} P_C)$ را به ازاء مقادیر مختلف ϕ_1 و ϕ_2 بدست می‌دهد.

$$\frac{Q_C}{S_F \cdot P_C} = K \qquad P_E = Cos\phi_1 \qquad , P_C = Cos\phi_2$$

در پروژه استاندارد کردن پست‌های ۶۳/۲۰کیلوولت به منظور یکسان سازی طراحی این پست‌ها، به میزان ۲/۴ و ۴/۸ مگاوار و هر یک در دو مرحله، برای ترانسفورماتور ۱۵ و ۳۰ مگاولت آمپر خازن پیش‌بینی شده است . اما از آنجا که مقدار ضریب قدرت و حدود تغییر آن در مناطق مختلف کشور متفاوت است و به منظور ایجاد پویائی بیشتر و نیز قابلیت انعطاف بیشتر توصیه میشود که ضریب قدرت موجود منطقه و تغییرات آن در محاسبهٔ خازن مورد نیاز مورد توجه قرار گیرد. ضریب قدرت مطلوب، بنا به توصیه دفتر برنامه‌ریزی برق وزارت نیرو ۰/۹۵ برای شبکه‌های انتقال نیرو تعیین شده‌است .

Determination of required capacitor rating

	Desired . f . cosφz														
cosφ1	0.7	0.75	0.8	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.9	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	1.0
0.20	3.38	4.02	4.15	4.20	4.26	4.28	4.31	4.36	4.42	4.48	4.54	4.57	4.61	4.70	4.90
0.25	2.86	2.99	3.31	3.18	3.23	3.25	3.28	3.33	3.39	3.45	3.51	3.54	3.58	3.67	3.88
0.30	2.16	2.30	2.42	2.48	2.53	2.56	2.59	2.65	2.70	2.76	2.82	2.85	2.89	2.98	3.18
0.35	1.66	1.80	1.93	1.98	2.03	2.06	2.08	2.14	2.19	2.25	2.31	2.35	2.38	2.47	2.86
0.40	1.27	1.44	1.54	1.60	1.65	1.67	1.70	1.76	1.81	1.87	1.93	1.96	2.00	2.09	2.29
0.45	0.97	1.11	1.24	1.29	1.34	1.36	1.40	1.45	1.50	1.56	1.62	1.66	1.69	1.78	1.99
0.50	0.71	0.85	0.98	1.04	1.09	1.11	1.14	1.20	1.25	1.31	1.37	1.40	1.44	1.53	1.73
0.52	0.62	0.76	0.89	0.95	1.00	1.02	1.05	1.11	1.16	1.22	1.28	1.31	1.35	1.44	1.64
0.54	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.94	0.97	1.02	1.08	1.14	1.20	1.23	1.27	1.36	1.56
0.56	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.86	0.89	0.94	1.00	1.05	1.12	1.15	1.19	1.28	1.48
0.58	0.39	0.52	0.66	0.71	0.76	0.78	0.81	0.87	0.92	0.98	1.04	1.08	1.11	1.20	1.41
0.06	0.31	0.45	0.58	0.64	0.69	0.71	0.74	0.80	0.85	0.91	0.97	1.00	1.04	1.13	1.33
0.62	0.25	0.39	0.52	0.57	0.62	0.65	0.67	0.73	0.78	0.84	0.90	0.94	0.97	1.06	1.27
0.64	0.18	0.32	0.45	0.51	0.56	0.58	0.61	0.67	0.72	0.78	0.84	0.87	0.92	1.00	1.20
0.66	0.12	0.26	0.39	0.45	0.49	0.52	0.55	0.60	0.66	0.71	0.78	0.81	0.85	0.94	1.14
0.68	0.06	0.20	0.33	0.38	0.43	0.46	0.49	0.54	0.60	0.65	0.72	0.75	0.79	0.88	1.08
0.70		0.14	0.27	0.33	0.38	0.40	0.43	0.49	0.54	0.60	0.66	0.69	0.73	0.82	1.02
0.72		0.08	0.22	0.27	0.32	0.34	0.37	0.43	0.48	0.54	0.60	0.64	0.67	0.76	0.97
0.74		0.03	0.16	0.21	0.26	0.29	0.32	0.37	0.43	0.48	0.55	0.58	0.62	0.71	0.91
0.76			0.11	0.15	0.21	0.24	0.26	0.32	0.37	0.43	0.50	0.53	0.56	0.65	0.86
0.78			0.05	0.11	0.16	0.18	0.21	0.27	0.32	0.38	0.44	0.47	0.51	0.60	0.80
0.80				0.05	0.10	0.13	0.16	0.21	0.27	0.33	0.39	0.42	0.46	0.55	0.75
0.82					0.05	0.08	0.10	0.16	0.22	0.27	0.33	0.37	0.40	0.49	0.70
0.84						0.03	0.05	0.11	0.16	0.22	0.28	0.32	0.35	0.44	0.65
0.85							0.03	0.08	0.14	0.19	0.26	0.29	0.33	0.42	0.62
0.86								0.06	0.11	0.17	0.23	0.26	0.30	0.39	0.59
0.88									0.06	0.11	0.17	0.21	0.25	0.33	0.54
0.90										0.06	0.12	0.16	0.19	0.28	0.48
0.92											0.06	0.10	0.13	0.22	0.43
0.94	K factor											0.03	0.07	0.16	0.36

جدول ١ - ١

فصل دوم : خازنهای فشار قوی

۱ - ۲ - مقدمه

کاپاستیانس یا ظرفیت خازنی بیان توانایی یک سیستم از مواد عایقی و هادیهابرای «ذخیره کردن الکتریسیته یا بار الکتریکی است . با اتکاء به این تعریف، کاپاستیانس (C) برابر با نسبت بار الکتریکی ذخیره شده (Q) به اختلاف پتانسیل U است.

یعنی :

$$C = Q / U$$

مفهوم فیزیکی ساخته شده برای بهره‌برداری از این مشخصه ، خازن نامیده می‌شود.

از کاربرد مواد مختلف در خازنها بعنوان مواد عایقی، اطلاعات مهمی حاصل شد که نتیجه قانون فاراده بود. مشخصه این مواد می‌تواند بوسیله مفهوم ثابت دی‌الکتریک نسبی تعیین شود.ثابت دی‌الکتریک نسبی نشان می‌دهد که کاپاستیانس بین الکترودها وقتی که مواد عایق مورد نظر در فضای خالی بین هادیها قرار می‌گیرد چه مقدار افزایش می‌یابد.

در اواخر قرن نوزدهم در زمینه خازنها، فعالیتهایی مبنی بر ارائه مزیت‌های اقتصادی و فنی آن برای اصلاح ضریب قدرت تأسیسات برقی به نمایش گذاشته شد. تا قبل از آن زمان، هیچگونه نیازی در صنعت، به خازنها بوجود نیامده بود.

در آستانه چرخش قرن در ارتباط با خازنها، در شبکه‌های ac تجربه‌های زیادی انجام شد، هر چند که تجربه‌های مذکور از نظر اقتصادی گران بودند و از قابلیت اطمینان ضعیفی برخوردار بودند، ولی باید توجه داشت که این تجارب سنگ‌بنای پیشرفت‌های بعدی را پی‌ریزی نمودند. شکست عایقی معمولاً در اثر اضافه حرارت ناشی از تلفات عایقی رخ می‌داد.

پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ شناخت و ساخت مواد در طی این قرن، منجر به کاهش چشمگیری در زمینه تلفات عایقی و حجم مواد مورد استفاده در خازنها گردید. بطوریکه، امروزه، خازنهای فشارقوی به یکی از تجهیزات لازم و بدیهی در سیتم‌های توزیع و انتقال قدرت تبدیل شده‌اند.

خازنها برای اصلاح توانایی شبکه‌ها در انتقال و توزیع انرژی (جبران کننده‌های سری و موازی)، و برای تنظیم ولتاژ. و در فیلترها (یعنی در انتقال HVDC) به منظور حذف نمودن اعوجاج در شکل موج‌های ولتاژهای متداوب سینوسی بکار میروند.

۲-۲- سیستم عایقی

وظیفه اساسی یک خازن فشارقوی تولید توان راکتیو و فرمول زیر برای آن بکار میرود.

$$Q = \omega C U^2$$

که در آن:

Q توان راکتیو ایجاد شده

ω فرکانس زاویه‌ای ولتاژ

C کاپاسیتانس یا ظرفیت خازن

ضمن اینکه فرمول و عبارت زیر برای بدست آوردن کاپاسیتانس (C) الکترود خازن بکار می‌رود

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 A}{d}$$

که در آن:

ε ثابت دی‌الکتریک عایق بکاررفته

ε_0 ثابت دی‌الکتریک خلاء

A سطح الکترودها

d فاصله بین الکترودها

عبارت زیر که گویای چگالی توان راکتیو (توان راکتیو در واحد حجم) می‌باشد از فرمولهای قبلی نتیجه می‌شود

$$q = \varepsilon E^2$$

که در این رابطه E متوسط نیروی میدان در دی‌الکتریک می‌باشد.

در فرمولهای فوق ε یا ثابت دی‌الکتریک عاملی مهم است که ماهیتاً با پارامترهای دیگر متفاوت می‌باشد و این همان چیزی است که تاریخ پیشرفت‌های عایق در آن مستتر است .

دلیل اینکه چرا بیشترین تلاشها برای اصلاح و بهبود سیستم عایقی اختصاص داده شده است، آنست که بدینوسیله با انتخاب مناسب مواد عایقی، در چگالی توان راکتیو می‌توان اثر گذاشت و در نتیجه قیمت توان راکتیو تولیدی را کاهش داد.

دیگر پارامتر مهم عایق ضریب پراکندگی یا همان تلفات عایقی ($\tg \delta$) می‌باشد. حرارت خازن در اثر تلفات عایقی می‌تواند کمیت‌های دیگر خازن از جمله توان نامی واحد خازنی را محدود نماید و در نتیجه بطور غیر مستقیم در قیمت توان راکتیو ایجاد شده تأثیر بگذارد. که این بمعنای تأثیر در قیمت خازن خواهد بود.

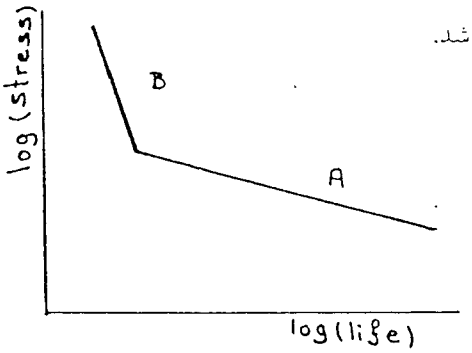
۳-۲- مشخصه‌های مهم دیگر سیستم عایقی

- سیستم عایقی وقتی در معرض تنش‌های حرارتی و الکتریکی قرار می‌گیرد، دچار فرسودگی و نهایتاً پیری می‌شود و بسخن دیگر، تغییر مشخصه‌های سیستم عایقی نسبت به زمان می‌تواند فرسودگی و پیری و یا به تعبیر بهتر عمر تلقی گردد.

فرسودگی یا پیری زودرس در اثر شکست عایقی می‌تواند به مرگ پیش هنگام تبدیل شود.

چون مواد عایقی گوناگون و ترکیب‌های مختلف ماده، تغییر نرخ‌های پیری و فرسودگی را وسیعاً به نمایش می‌گذارند این مشخصه‌ها دارای اهمیت بزرگی می‌باشند.

در نمودار ذیل، رابطه عمر یک سیستم عایقی در ارتباط با تنش‌های اعمالی بآن نشان داده شده است.



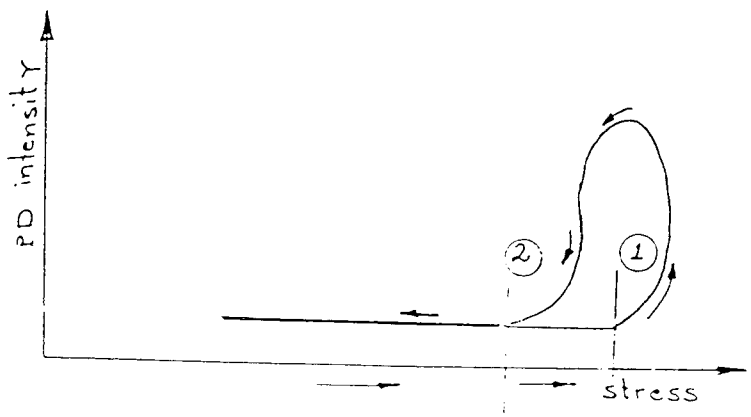
این نمودار، مشخصه نوعی هر سیستم عایقی می‌تواند باشد.

- پیری سیستم در قسمت A از نمودار، می‌تواند با اثرات شیمیائی، شیمیایی - الکتریکی یا حرارتی محض رابطه داشته باشد.
- پیری سیستم در قسمت B از نمودار معمولاً در نتیجهٔ تخلیه‌های جزیی یا کرونا می‌باشد.

برای هر سیستم عایقی، یک سطح تنش معینی وجود داردکه در بالای آن تخلیه جزیی بطور دائم و پیوسته رخ می‌دهد.

تخلیه‌های جزیی در یک خازن کاملاً اشباع در لبه‌های هادیها که بوسیله عایق احاطه شده است رخ می‌دهد. تخلیه‌ی جزیی موجب یک واکنش داخلی بین بارهای آزاد و ماده عایق میگرددکه این امر بنوبه خود فرسودگی سیستم عایقی را شتاب می‌بخشد.

. دریک سیستم عایقی خازنی بر پایه مایع اشباع‌کننده ، تخلیه‌ی جزئی یک اثر هیسترزیس مانند را مطابق شکل زیر به نمایش میگذرد.



-ناحیه ۱، ناحیه تنش شروع تخلیه جزئی[*] است که ولتاژ مربوطه دراین نقطه، شروع تخلیهٔ جزئی می‌باشد.

ناحیه ۲، ناحیه‌ای است که در آن تنش اطفاء تخلیه جزئی[**] پیش می‌آید و ولتاژ مربوط به این نقطه نیز، ولتاژ اطفاء تخلیه جزئی است.

این نواحی عمدتاً بوسیله آیتم‌ها و پارامترهای زیر تعیین می‌شوند.

- ضخامت عایقی سیستم یا همان فاصله الکترودها(d).
- درجه حرارت عایقی سیستم.
- نوع مایع اشباع کننده یا عایق مایع.
- مدت زمانی که ولتاژی بیش از ولتاژ شروع تخلیهٔ جزیی اعمال میگردد.
- ظاهر شدن لبه‌ها در الکترودها.
- فشار هیدرواستاتیک مایع اشباع کننده
- حجم رطوبت باقیمانده در عایق
- تعداد لایه‌های عایقی بین الکترودها

یک واحد خازن فشار قوی، از تعدادی المان یا بوبین خازنی درست شده‌است که هر بوبین شامل چندین لایه خیلی نازک از مواد عایقی در بین دو لایه باریک از فویلهای آلومینیومی (الکترودها) می‌باشد.

این بوبینها ابتداء بصورت لوله‌ای استوانه‌ای پیچیده می‌شوند و سپس بشکل یک مکعب مستطیل به منظور استقرار آسانتر در محفظه خازنی در می‌آیند. بوبین های خازنی حاصل برروی هم قرارگرفته و پس از برقراری اتصالات سری و موازی براساس نیازهای مورد نظر بوسیله مفتولهای هادی که برای برقراری اتصالات فویلها مورد استفاده قرار می‌گیرند، واحد خازنی بوجود می‌آید که پس از عایق‌کاری مجموعه در داخل محفظه خازنی جای می‌گیرند.

سیستم عایقی خازن‌های فشارقوی شامل عایق جامد و عایق مایع که جهت اشباع نمودن عایق‌های

---

*-تنش شروع تخلیهٔ جزیی و ولتاژ مربوط باین نقطه :

Partial Discharge Inception Stress (PDIS)

Partial Discharge Inception Voltage (PDIV)

**-تنش اطفاء تخلیهٔ جزیی و ولتاژ مربوط باین نقطه به ترتیب عبارتند از:

Partial Discharge Extinction Stress (PDES)

Partial Discharge Extinction Voltage (PDEV)

جامد و الکترودها بکار میروند می‌باشد.

عایق جامد امروزه شامل لایه‌های فیلم با جنس پلی‌پروپیلن و یا... می‌باشد که تعداد لایه‌های فیلم‌های عایقی امروزه حداکثر به ۳ لایه میرسند.

المانها یا بوبین‌های خازنی بشکل ماتریسی متصل می‌شوند که تعداد المانها یا بوبین‌های سری و موازی بوسیله اطلاعات الکتریکی مورد نیاز واحد خازنی تعیین می‌شوند.

-درگذشته مواد عایقی جامد، بصورت کاغذ عایقی بود که در کابلها نیز مورد استفاده قرار می‌گرفت. برای رسیدن به عمل مطلوب، مواد عایقی خازن خشک میگردید و سپس تحت خلاء با مایع عایقی که در آن زمان بیشتر روغن‌های معدنی بودند، اشباع میشدند. این سیستم عایقی در خازنهای فشارقوی و فشار ضعیف هر دو بکار برده می‌شد.

خازنهای با عایق کاغذی با در نظر گرفتن اصلاح و بهبود تلفات عایقی و استقامت عایقی جای خود را به خازنهای با عایق مختلط (نیمه کاغذ - نیمه‌فیلم) دارد.

این روند در تکامل خود امروزه به خازنهای با عایق تمام فیلم رسیده است.

یادآوری می‌گردد که در گذر از این تغییرات، عایق مایع اشباع کننده هم تکامل خاص خود را داشته است بطوریکه در حال حاضر مایع‌های عایقی اشباع‌کننده گوناگونی توسط کارخانجات سازنده خازنها با توجه به توانایی جلوگیری نمودن از توسعه تخلیه جزیی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

همانطوریکه قبلاً توضیح داده شد تخلیهٔ جزیی در ولتاژهای بالا بین الکترودها رخ می‌دهد، این پدیده در لبه‌های الکترودها، جائی که میدان الکتریکی بالاترین مقدار خود را دارد شروع می‌شود که ممکن است استقامت عایقی در عرض ثانیه‌ها یا دقیقه‌ها بسته به مقدار تخلیه جزیی در هم بشکنند. اضافه ولتاژهایی که در اثر نوسانات شبکه قدرت بوجود می‌آید، مواد عایقی راکه قبلاً تحت تنش‌های عادی قرار گرفته‌اند، در معرض تنش‌های بزرگتری قرار می‌دهند. برای جلوگیری کردن از تخلیه‌های مزاحم انرژی تحت چنان شرایطی، طراحی نمودن عایق با قابلیت ایستادگی در برابر اضافه ولتاژهای گذرا ضروری و لازم است.

- با پیشرفتهای حاصلهٔ در تکنولوژی ساخت مواد عایق اعم از جامد و مایع در سالهای اخیر، توان راکتیو خازنهای فشار قوی باندازه ۶ برابر افزایش یافته است. بطوریکه پاره‌ای از سازندگان توان راکتیو واحدهای خازنی خود را به ۵۰۰-۴۰۰ کیلووار رسانده‌اند ضمن اینکه ظرفیت‌های ۶۰۰-۵۰۰ کیلوولتی را هم در دسترس میدانند. امروزه استقامت الکتریکی دی‌الکتریک خازنها بین ۷۰-۶۵ کیلوولت بر میلی‌متر رسیده است. بطوریکه این رقم در مقایسه با محدد لات الکتریکی دیگر تقریباً بیش از ۱۰ برابر است. با این نیروهای الکتریکی بالا و سطوح عایقی وسیع مورد استفاده در خازنها که

معمولاً در حدود ۵۰۰ مترمربع می‌باشند وقوع شکست عایقی کاملاً نمی‌تواند منتفی گردد. ضمناً علیرغم اینکه بهبودهای کمی و کیفی در شناخت و ساخت مواد عایق‌های جامد و مایع و همچنین تکنولوژی ساخت خازن، حاصل شده است ، وجود نقاط ضعف در مراحل مذکور واقعیتی است که از آن نمی‌توان چشم‌پوشی نمود، بهمین منظور حفاظت فیوزی مناسب مطرح می‌گردد.

- در ارتباط با عایق مایع اشباع کننده (روغن‌های عایق خازنها) به پیوست شماره ۴ تحت عنوان «مختصری در باره روغن‌های عایق خازنها» رجوع گردد.

فصل سوم : حفاظت فیوزی خازنها

۱ـ۳ـ مقدمه

قبل از پرداختن به این موضوع، مختصری درباره بروز خطا در خازن، علل و انواع مختلف آن می‌پردازیم و سپس در مورد حفاظت آنها از نقطه نظر فیوزگذاری بحث خواهیم کرد .

- با نگاهی گذرا به تاریخچه ساخت خازنهای فشارقوی از نقطه نظر عایق‌های جامد و مایع بکاررفته در آن که به نام خازنهای تمام کاغذی، خازنهای مختلط (نیمه کاغذ - نیمه فیلم) و در نهایت خازنهای تمام فیلم شناخته می‌شوند، مشخص می‌گردد که علیرغم بهبودهای کمی و کیفی که در شناخت مواد عایقی و ساخت آنها، و نیز تکنولوژی ساخت خازنها حاصل شده است، وقوع شکست عایقی بطور کامل نمی‌تواند منتفی گردد.

خطاها در واحدهای خازنها می‌تواند دو نوع باشند.

- خطای المان یا بوبین
- خطاهای دیگر

- خطای المان یا بوبین در اثر شکست مواد عایق بین الکترودها پدید می‌آید که دلیل آن می‌تواند عیب مواد و یا عیب ساخت و یا شرایط غیرعادی کار باشد.

- خطاهای دیگر در واحد خازنی می‌تواند خطا بین المانها یا بوبین‌های خازنی و یا بین هادیهای داخلی و بدنه محفظه خازنی رخ دهد. ایجاد قوس‌ها یا جرقه‌هادر طول یک بوشنیگ و یا بین بوشنیگ‌ها هم از این دست می‌باشند.

در مقایسهٔ این دو نوع خطا، می‌توان از دامنه احتمالی "خطاهای دیگر" در واحدهای خازنی با بکارگیری دقت بیشتر بهنگام ساخت آنها و استفاده نمودن از تمهیداتی مثل انتخاب مناسب بوشینگ‌ها و در نظرگرفتن فاصله مناسب بین آنها، کم کرد. بنابراین ملاحظه می‌گردد که خطای المان یا بوبین در خازنهای فشارقوی، توجه بیشتری را طلب می‌کند و نیاز به حفاظت واحد خازنی در مقابل این نوع خطا بیشتر می‌شود.

شکست‌های المانی که عمدتاً در اثر عیب مواد و ساخت بوجود می‌آیند به شکل‌های مختلف، بسته به ساخت مواد عایق جامد و مایع و چگونگی تکنیک استفاده از فویلهای آلومینیمی بعنوان الکترود، تظاهر می‌کنند.

اثرات ناشی از تنشهای الکتریکی و حرارتی موجبات فرسودگی عایقی را در خازنها فراهم

می‌نمایند.

عوامل چندی روند فرسودگی عادی یک سیستم عایقی را تسریع می‌نمایند که از آن میان، همانطوریکه قبلاً گفته شد، مراحل ساخت مواد و ساخت واحدهای خازنی و شرایط کار غیرعادی را می‌توان نام برد. نقطه ضعف در مواد و مراحل ساخت معمولاً خیلی سریع خود را در شکست المانی زودرس نشان می‌دهد.

این نوع شکست‌های المانی را می‌توان عیوب زودرس نامید که معمولاً چنین خازنهایی تحت شرایط تخلیه‌های جزئی که موجب ضعیف شدن مواد شده و نهایتاً باعث شکست عایقی با یک پریود زمانی چند دقیقه تا چند روز می‌شود کار می‌کند. این امر نشان می‌دهد که خازن مزبور برای شرایط تنش الکتریکی و حرارتی مورد نظر مناسب نمی‌باشد.

دومین نوع عیب در خازنها، عیوبی هستند که جنبه تصادفی دارند که آنهم با عیوب مواد و ساخت ارتباط تنگاتنگ دارند لیکن خود را در مواردی شبیه اضافه ولتاژهای گذرا نشان می‌دهند، که می‌توان گفت شرایط کار غیر عادی موجب پیدایش این عیب گردیده است.

سومین نوع عیب، فرسودگی سیستم عایقی است، که عمدتاً بعد از ۲۰ سال کار مداوم، فرسودگی خود را بطور مسلط نشان می‌دهد. زمان فرسودگی عادی با افزایش نرخ عیب دنبال می‌گردد.

۲-۳-نیازها

حال با توجه به آنچه که فوقاً گفته شد برای حفاظت خازنهای فشارقوی دو روش وجود دارد.

- انتخاب فیوزهای داخلی
- انتخاب فیوزهای خارجی

فیوزها علاوه بر حفاظت واحدهای خازنی، از تجهیزات و اجزاء پیرامون خود نیز حفاظت می‌نمایند چراکه عملکرد به موقع فیوز، مانع گسترش خطا و خرابی می‌شود و بدنبال آن نیز مجموعه خازن‌ها می‌توانند بکار خود ادامه دهند. همچنین انجام تعمیر و نگهداری بر طبق جدول زمان بندی نیز ممکن می‌گردد بطوریکه حتی‌المقدور نیازی به قوریت های اضطراری نباشد.

طرزکار یک فیوز الکتریکی نسبتاً ساده است . فیوز می‌بایست یک جزء و یا وسیله‌ای را که با آن بطور سری وصل شده است حفاظت نماید. در صورت بروز شکست عایقی، جریان عبوری از فیوز افزایش یافته، حرارت بالا میرود، و نهایتاً فیوز سوخته و مدار قطع می‌شود.

مهمترین نیازهای مورد انتظار از یک فیوز عبارتند از:

-فیوز می‌بایست برای محدود نمودن خرابی اجزاء و یا خود سیستم، سریعاً عمل نماید. چراکه

جریان خطا می تواند خیلی بالا باشد.

- عمل فیوز برای قطع جریان خطا و انرژی آزادشده حاصل از آن نباید به تجهیزات و اجزاء پیرامون آن صدمه بزند.
- بعد از اینکه فیوز عمل نمود، می‌بایست یک عایقی کافی و مناسب در مقابل برگشت ولتاژ موجود باشد.
- فیوز می‌بایست تحت شرایط خطا عمل نموده و عمل نابجا در سایر موارد نداشته باشد.
- مشخصه‌های فیوز نباید طولانی مدت تغییر نماید و از قابلیت اطمینان آن کم شود.

فیوزهای مربوط به خازنها علاوه بر نیازهای کلی، می‌بایست تعدادی نیازهای اضافه دیگر را هم اجابت نمایند.

- شکست عایقی دریک المان خازنی که با چندین المان دیگر بصورت سری قرار گرفته است ، هیچگونه افزایش جدی را در جریان واحد خازنی موجب نمی‌شود. با این وجود، مهم است که محدوده عمل فیوزبخوبی تعریف شود، بطوریکه فیوز قادر شود سریعاً قوس را قطع نماید.
- چون خازن در فرکانس‌های بالا امپدانس پائین و کمی دارد و جریانهای هارمونیک را جلب می‌نماید، بنابراین در حین کار عادی، جریانهای هارمونیک نباید موجب عمل فیوز شوند. علاوه بر آن وقوع جریانهای خیلی زیاد در اثنای تخلیه خازن و جریانهای هجومی که دارای فرکانس‌های بالا نیز می‌باشند، نباید موجب عمل فیوز گردند.
- ارزیابی تلفات امروزه نقش مهمی در انتخاب طرحهای مختلف بازی می‌کند و چون خازنهای فشار قوی مدرن دارای تلفات خیلی پائینی می‌باشند، بنابراین تلفات اهمی فیوز و نتیجتاً حرارت ناشی از آن، حتی‌الامکان می‌بایست کم باشد.

حال با توجه به مطالبی که قبلاً ارائه شد، به بررسی نقش هریک از دو نوع فیوز می‌پردازیم و ضمن بررسی مزایا و معایب هر یک، سعی می‌کنیم یک مقایسه تطبیقی از عملکردشان بدست دهیم تا در انتخاب خود تمامی زمینه‌ها و موارد ممکن را ملحوظ کرده باشیم .

۳-۳- فیوز داخلی

در مقدمه این بخش روشن گردید که خطاهای واحدهای خازنی عمدتاً از نوع شکست‌های المانی می‌باشند که با توجه به پیشرفت‌های حاصله در تکنولوژی ساخت واحدها و المانهای خازنی از نقطه نظر ظرفیت توان راکتیو و ولتاژ،نیاز به حفاظت المانهای خازنی بیشتر مطرح می‌گردد . بطوریکه با

استفاده از فیوز داخلی و تخصیص آن برای هرالمان خازنی می‌تواند از معیوب نشدن کامل واحد خازنی در مواقع شکست عایقی در المان خازنی جلوگیری نمود. بطوریکه در صورت بروز عیب تنها المان مربوطه از مدار جدا شده و خازن بکار خود ادامه میدهد.

وبدین ترتیب مقدار کمی از توان راکتیو (بسته به ظرفیت واحد خازنی) از دست خواهد رفت .

چون فیوزهای داخلی بعنوان یک جزء داخلی واحد خازنی محسوب می‌شوند، می‌بایست ضمن داشتن محاسن و مزایای حفاظتی خود، از نقطه‌نظر مشخصات فیزیکی هم طوری طراحی گردد که اثرات سوء آن بر واحد خازنی به حداقل برسد.

با توجه به مطالب مذکور، مهمترین پارامترهای فیوز داخلی عبارتند از طول، مقطع، انتخاب مواد و مواد تشکیل دهنده پیرامون فیوز.

- طول: طول سیم فیوز (یعنی المان فیوز) که بر مبنای استقامت عایقی کافی برای بعد از عمل فیوز انتخاب می‌شود.
- مقطع: سطح مقطع در مشخصه‌های جریان / زمان از اهمیت بالایی برخورداراست و حرارت تولید شده و جریان مجاز فیوز به سطح مقطع و خنک شدن آن به محیط بستگی دارد.
- انتخاب مواد: جنس المان فیوز درمقاومت و قابلیت حرارتی آن تأثیر دارد، در صورتی که محیط آن از نقطه‌نظر فیزیکی در خنک شدن و انتقال حرارت از سیم فیوز نقش قاطعی دارد.

از مشخصه‌های جریان / زمان امکان تعیین یک جریان دائم مناسب برای فیوز فراهم می‌باشد. جریان دائم می‌بایست بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقدار حدی آن برای زمان بی‌نهایت ($t \to \infty$)باشد. این انتخاب تنها به منظور حداقل کردن تلفات فیوز نیست بلکه برای جلوگیری کردن از عملکرد نابجای فیوز نیز می‌باشد.

مشخصه‌های جریان / زمان همچنین اطلاعاتی درباره زمان لازم برای ذوب شدن فیوز در یک جریان مشخص را بدست می‌دهند. این جریان وقتی که یک شکست عایقی در داخل خازنها رخ میدهد حاصل می‌شود.

۱-۳-۳. نحوه عمل فیوز داخلی و انتخاب مقادیر نامی

بروز خطا در المان خازنی، موجب بالارفتن جریان عبوری از فیوز المان مربوطه از یک طرف و سبب اضافه ولتاژ روی المانهای سالم سری با المان معیوب از طرف دیگر میگردد. و در صورت رسیدن این جریان به مقدار ذوب فیوز، فیوز مزبور قطع و المان معیوب از مدار خارج می‌گردد. پس از قطع جریان و خروج المان معیوب، بدلیل افزایش امپدانس طبقه مربوط به المان معیوب، ولتاژ روی

المانهای سالم این طبقه، نسبت به حالت سالم افزایش خواهد یافت (رجوع شود به بحث اضافه ولتاژها).

مقدار جریان عبوری از المان معیوب و فیوز مربوطه شامل جریانهای با فرکانس شبکه و جریان با فرکانس بالا ناشی از تخلیه المانهای موازی با المان معیوب می‌باشد.

میزان جریان خطای ناشی از هریک از دو نوع فوق بستگی به ولتاژ لحظه‌ای در زمان خطا دارد و در زمانی که ولتاژ دارای مقدار کمی است، جریان با فرکانس و بالعکس زمانی که مقدار ولتاژ لحظه‌ای بالاست جریان ناشی از تخلیه شارژ المانهای موازی، نقش اصلی را دارا می‌باشند.

بدیهی است مقدار جریان خطا به جریان نامی فیوز برای هر مورد فوق به نسبت ازدیاد المانهای موازی بالا می‌رود.

با توجه باینکه وقوع خطا (شکست عایقی) در ولتاژهای بالا محتمل می‌باشد، لذا انرژی تخلیه شده از المانهای موازی، که مقدار آن با توان دوم ولتاژ لحظه‌ای متناسب است، نقش تعیین کننده‌ای را دارا می‌باشد.

فرکانس این جریان بدلیل کمی اندوکتانس بین خازنها دارای فرکانس تا چند کیلو هرتز می‌باشد.

محدوده کار معمولی برای عملکرد فیوز در آزمایش مربوطه براساس استاندارد IEC 539 (استاندارد فیوزهای داخلی خازنهای موازی) که به میزان $0.9\ U_n$ - $2.2\ U_n$ مشخص گردیده است مؤید این نظر می‌باشد که وقوع خطا و شکست عایقی بیشتر در ولتاژهای بالا محتمل است .

حال با توجه به آنچه که بیان گردید و با عنایت به توصیه‌های استانداردهای مربوط به فیوز و خازن و استفاده از تجربیات سازندگان واحدها و المانهای خازنی، مقادیر نامی فیوزهای داخلی می‌تواند بصورت زیر توصیه شود.

- حداکثر جریان دائمی که فیوز داخلی در طول عمر خود می‌بایست بتواند از خود عبور دهد، براساس جریان مجاز واحد خازنی تعیین می‌شود که براساس استاندارد IEC 871-2 مقدار آن برابر $1/5I_n$ است .

از طرف دیگر، در استاندارد مربوطه، همان واحد خازنی در آزمایش ولتاژ AC، برای مدت 10 ثانیه می‌بایست تحت ولتاژی برابر $2/15\ U_n$ قرار گیرد که در اینصورت از واحد خازنی، و به تبع آن از المانهای خازنی و فیوزهای مربوطه، جریانی معادل $2/15 \times I_n$ برای مدت 10 ثانیه متناسباً عبور خواهد نمود که این امر مؤید آن است که فیوزهای داخلی می‌بایست بتوانند جریان مذکور را تحمل نمایند. چراکه آزمایش مذکور شکست عایقی المانها و یا بروز قوس در داخل آن را مجاز ندانسته است .

حال با توجه به احتمال بیشتر بروز خطا در المانها و بوبین‌های خازنی در ولتاژهای لحظه‌ای بالاتر ر

یک طرف و تعیین حداقلی برای المانهای خازنی موازی در واحدهای خازنی با فیوز داخلی، جهت تضمین سلامت عمل هر فیوز بهنگام بروز خطا (شکست عایقی) بواسطه تخلیهٔ انرژیهای ذخیره شده در المان معیوب، به نظر می‌رسد که جریان نامی فیوزهای داخلی را بتوان با حاشیه ایمنی بالاتر انتخاب نمود، بطوری که این انتخاب لطمه‌ای به کارکرد آن نزند، بلکه، از قطع شدن بی‌مورد آن نیز در موارد غیرقابل پیش‌بینی جلوگیری بعمل آورد. با چنین پیش‌زمینه‌ای، انتخاب جریان نامی فیوز می‌تواند به بیش از دو برابرجریان نامی خازن محدود گردد که زیاد دور از جریانهای ایجاد شده در عمل و آزمایشات نباشد. (*)

۲-۳-۳- رابطه ظرفیت واحد خازنی با فیوز داخلی

مقدار ظرفیت واحد خازنی برابر است با:

$$Q_u = s \cdot p \cdot q_e$$

که در این رابطه :

ظرفیت واحد خازنی	Q_u
ظرفیت المان خازنی	q_e
تعداد المانهای سری در واحد خازنی	S
تعداد المانهای موازی در واحد خازنی	P

می‌باشد. تعداد المانهای سری اساساً با توجه به ولتاژ نامی واحد خازنی انتخاب می‌شود که با توجه باینکه ولتاژ نامی هر المان تقریباً =< ۲KV است انتخاب میگردد.

ضمناً امروزه المانهای خازنی با توجه به عایق تمام فیلم حدود =< ۵ کیلووار می‌باشند.

حال رابطه ظرفیت یاد شده بالا را بصورت تقریبی زیر می‌توان نوشت :

$$Q_u \cong \frac{U_n}{2} \cdot P \cdot 5$$

$$P \cong \frac{2 \cdot Q_u}{5 \cdot U_n}$$

ملاحظه می‌گردد که تعداد المانهای موازی بستگی به ظرفیت کل واحد و نسبت عکس با ولتاژ نامی

(*)- در این ارتباط، توکب یکی از سازندگان واحدهای خازنی با فیوز داخلی، فاکتور ۵ برابر جریان نامی المان خازنی را برای فیوز داخلی، یک مقدار و حد قابل قبول دانسته است، و اعلام نموده‌است که این مقدار هیچ لطمه‌ای بدیگر نیازهای فیوز نخواهد زد و در عین حال به هنگام بروز خطا، مقدار جریان المان معیوب و فیوز مربوطه، همیشه خیلی بیش از این مقدار خواهدبود که نهایتاً می‌تواند باعث عمل فیوز المان معیوب شود.

واحد دارد.

در واحدهای خازنی با فیوز داخلی، تعداد المانهای موازی با هم حتماً باید دارای حداقلی باشد تا آنکه سوختن فیوز به هنگام خطای المان حتمی باشد.

و از طرفی، چون در صد اضافه ولتاژ روی المانهای سالم موازی با المان معیوب، با ازدیاد تعداد المانهای موازی (P) کاهش می‌یابد، هر چه تعداد المانهای موازی بیشتر باشد درصد اضافه ولتاژ کمتر و بالنتیجه عمر المانهای موازی بیشتر خواهد بود که این امر لزوم طرح واحدهای خازنهای با المانهای موازی بیشتر را ایجاب می‌نماید.

برای حصول به این نیاز (تعیین حداقل تعداد المانهای موازی) می‌باید از سفارش واحدهای با ظرفیت نامی پائین و یا ولتاژ نامی بالا پرهیز نمود. (*) چراکه این امر منجر به عدم کارکرد فیوز المانهای خازنی بهنگام خطا (شکست عایقی) و یا بروز اضافه ولتاژهای غیرقابل قبول روی المانهای سالم خواهد گردید. و در صورتی که سازنده بخواهد تحت این شرایط، واحد خازنی قابل قبول به لحاظ فنی ارائه نماید، مجبور به تولید غیر استاندارد و پر هزینه خواهدشد.

با عنایت به موارد فوق و اینکه اصولاً در واحدهای خازنی با المانهای مجهز به فیوز داخلی، بازرسی و تعویض احتمالی واحدها بصورت دوره‌ای و با برنامه‌ریزی قبلی انجام میگردد و این امر مسأله مربوط به وزن واحدهای خازنی بالاتر را تا حدود زیادی حل می‌نماید. جهت پرهیز از طرح واحدهای خازنی گرانتر و غیراستاندارد با عملکرد فنی پائین‌تر، می‌باید در ولتاژ نامی مشخص از سفارش واحدهای خازنی با ظرفیت پائین‌تر از مقدار مشخص خودداری نمود.

(*)- مزید نظر مذکور، ولتاژهای نامی ساخت، واحدهای خازنی با فیوز داخلی بوسیله سازندگان مختلف خارجی و داخلی، برابر ۴/۵ الی ۹ کیلوولت می‌باشد. بنابراین با توجه به این امر، ولتاژ نامی واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی مورد استفاده در سیستم ولتاژهای مورد استفاده این استاندارد، برابر ۵/۷۷۳۵ کیلوولت (برای سیستم ولتاژ ۲۴ کیلوولت)، ۴/۷۶۲۵ و ۶/۳۵ کیلوولت (برای سیستم ولتاژ ۳۶ کیلوولت) خواهند بود. (جهت توضیحات بیشتر به بخش ۳ مراجعه شود.) از طرف دیگر با استفاده از داده‌های سازندگان مختلف مبنی بر عدم ساخت واحدهای با ظرفیت ۱۵۰ کیلوواری تنها پاره‌ای از سازندگان، می‌توان به تعیین تقریبی حداقل تعداد المانهای موازی جهت عملکرد درست فیوز داخلی در مواقع خطا دست یافت که به نظر می‌رسد مقدار آن حداقل ۱۰-۸ باشد. از بکار بستن نقطه نظرات حاصل شده، چنان بر می‌آید که ظرفیت حداقل و مناسب برای اکثر سازندگان حدود ۲۰۰ کیلوار می‌باشد

۳-۳-۳- مزایای فیوز داخلی

- توان خارج شده از مدار در صورت عمل فیوز داخلی طوری است که نیازی به جایگزینی واحد خازنی کامل نیست . بنابراین تداوم سرویس مثل قبل وجوددارد که در اینصورت هزینه جایگزینی صرفه‌جویی می‌شود و هزینه ناشی از عدم جبران توان راکتیو درزمان خارج از سرویس بودن مجموعه جلوگیری می‌گردد.

- با فیوز داخلی خرابی و خسارت فرصت گسترش نمی‌یابد

- با محدود شدن و خارج شدن المان معیوب ازمدار بوسیله فیوز داخلی امکان گسیختگی و ترکیدن محفظه خازنی کم‌می‌شود.

- هزینه‌های سرویس کاهش می‌یابد، غالباً تعمیرات کمتری مورد نیاز است بطوریکه سرویس و نگهداری می‌تواند بطور منظم برنامه‌ریزی و انجام شود.

- واحدهای خازنی با فیوز داخلی، در صورت خارج شدن از مدار بشرط اینکه مایع اشباع کننده کیفیت خود را از دست نداده باشد می‌تواند بوسیله کارخانه سازنده خازن در داخل تعمیر و نوسازی گردد.

- تأثیری جوی مثل آب (باران)، برف و یخ و آلودگی برروی فیوزهای داخلی وجود ندارد.

- عمر المانهای سالم در خازن تحت تأثیر المان معیوب و از دست رفته قرار نمی‌گیرد. (البته در مقایسه با عمر المانهای مشابه در واحدهای خازنی مجهز به فیوز خارجی) .

- فیوزهای داخلی با خود واحدهای خازنی تحت آزمایش کارخانه‌ای قرار می‌گیرند.

- واحدهای خازنی با فیوز داخلی بدلیل نیاز به فضای کمتر، طراحی بانکهای خازنی را ساده‌تر می‌کنند.

- حفاظت عدم تعادل بانکهای خازنی با فیوز داخلی از دقت و حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند.

۴-۳-۳- معایب فیوز داخلی

- فیوز داخلی فاقد نشان دهنده قابل رؤیت می‌باشد. بهمین جهت واحدهای خازنی که در آنها فیوز یا فیوزهای داخلی عمل کرده‌اند در ظاهر قابل تشخیص نیستند مگر اینکه با اندازه‌گیری کاپاسیتانس خازنها بتوان واحد معیوب را تشخیص داد.

- فیوز داخلی هیچگونه نقشی در حفاظت اتصالی‌های بوشنیگ‌ها و بوشنیگ و بدنه واحد خازنی بعهده ندارد (که البته این مشکل توسط حفاظت فیدر قابل حل می‌باشد).

- ساخت واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی برای ظرفیت‌های کوچکتر از ۲۰۰ کیلوواری و ولتاژهای بالاتر از ۹ کیلوولت در حال حاضر عملی نمی‌باشد و در صورت استفاده در چنین مواردی، عملکرد صحیح فیوز قابل تضمین نمی‌باشد.

۴-۳- فیوزهای خارجی

فیوزهای خارجی که خود براساس جریان زیاد کار می‌کنند، عموماً در مواقعی که شکست عایقی در واحد خازنی بوجود می‌آید عمل می‌کنند. در انتخاب این فیوزها، مبنا به حداقل رساندن احتمال ترکیدن محفظه خازنی واحد معیوب می‌باشد. این فیوزها بردو نوعند.

- فیوزهای Expulsion type یا فیوزهایی که جریان را محدودنمی‌کنند(Non-current limiting fuses).
- فیوزهای با ظرفیت قطع بالا (high Rupturing capacity) یا فیوزهایی که جریان را محدود می‌کنند (Current limiting fuses).

- فیوزهای Expulsion type وقتی بکار می‌روند که جریان اتصال کوتاه در مقایسه با فیوزهای HRC کمتر است (کم بودن جریان اتصال کوتاه می‌تواند در اثر زمین نشدن نقطه مرکز ستاره و یا به جهت سری بودن تعدادی واحد خازنی) باشد.

ضمناً در صورت استفاده از این نوع فیوز، مجموع انرژیهای ذخیره شده در خازنهای موازی با خازن معیوب باید کمتر از انرژی قابل تخلیهٔ بدون انفجار فیوز باشد آنچنانکه از انرژی لازم برای ترکیدن محفظه خازنی واحد معیوب هم می‌بایست کمتر باشد.

- فیوزهای HRC: به این فیوزها وقتی که اضافه جریانهای با فرکانس شبکه یا حداکثر انرژی ذخیره شده‌در واحدهای خازنی موازی باواحدمعیوب باندازه‌ای زیادباشدکه موجب انفجارفیوزExpulsion type یا محفظه خازنی واحد معیوب شود می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند.

یاد آوری می‌گردد که بدلیل استفاده از راکتورها سری محدودکننده جریان در تأسیسات خازنی جبران کننده توان راکتیو، عموماً در صورت استفاده از فیوزهای خارجی ، از فیوزهای نوع Expulsion type استفاده می‌گردد.

۱-۴-۳- نحوه عمل فیوز خارجی و انتخاب مقادیر نامی

بدلیل محدودیت در ساخت المانهای خازنی، به لحاظ ولتاژ و توان راکتیو، واحدهای خازنی نیز، بناگزیر دارای المانهای سری و موازی خواهندبود. شکست عایقی هر المان، موجب اتصال کوتاه آن شده و بدین ترتیب، یک دسته موازی از المانها، اتصال کوتاه شده، مسیر جریانی خود را از دست میدهند.

این امر تقسیم دوباره ولتاژ را بدنبال دارد که موجب تحمیل اضافه ولتاژ بر المانهای دیگر که با المان معیوب سری می‌باشند را فراهم می‌نماید. اضافه ولتاژهای حاصل موجب زیاد شدن تنش در المانهای مذکور شده و پیری و فرسودگی عایقی را بدنبال خود دارد. این وضعیت ادامه می‌یابد، تا اینکه المان بعدی دچار شکست عایقی گردد. با ادامه این روند، جریان واحد خازنی بالا رفته و نهایتاً منجر به سوختن فیوز خارجی می‌شود.

ملاحظه می‌گردد که جریان واحد خازنی در چنین حالتی به تأنی و کندی افزایش می‌یابد و تا قبل از عمل نمودن فیوز، وجود قوس را نمی‌توان منتفی دانست، بطوریکه اگر در انتخاب و هماهنگی منحنی جریان / زمان گسیختگی محفظه (بدنه) خازنی با فیوز خارجی دقت نشود و حاشیه‌ی ایمنی لازم برای آن در نظرگرفته نشود، امکان ترکیدن محفظه (بدنه) خازنی در چنین شرایطی بعید نخواهد بود. از طرف دیگر، با بالارفتن جریان خطا در واحد خازنی، در آستانه جریان و نقطه کار فیوز، می‌توان گفت که واحد خازنی معیوب شده‌است، و در چنین حالتی واحدهای خازنی موازی با خازن معیوب ، در آن تخلیه می‌شوند.

در چنین شرایطی، برای آنکه فیوز کار خود را بدرستی انجام دهد، تعداد واحدهای خازنی موازی با واحد معیوب، به لحاظ انرژی و توان راکتیو نامی، نباید از ۴/۶۵ - ۳/۱ مگاوار معادل (۱۵-۱۰) کیلوژول بیشتر شود.

سقف مذکور برای فیوزهای خارجی از نوع Expulsion توصیه شده است .

در صورت بیشتر شدن تعداد واحدهای خازنی موازی با واحد معیوب از سقف مذکور به لحاظ انرژی یا توان راکتیو، یا می‌بایست از فیوزهای نوع محدودکننده جریان (CURRENT - LIMITING FUSES)

استفاده نمود (که از نظر اقتصادی، قیمت تأسیسات را بالا خواهد برد و یا با کاهش دادن مقدار ظرفیت بانک خازنی باین منظور دست یافت.[*]

(*)-استاندارد IEC871-2 مربوط به خازن، در ارتباط با استفاده از فیوزهای C.L.F یا HRC.F (High Rupturing Capacity) می‌گوید: این فیوزها وقتی که اضافه جریانهای خطا (با فرکانس شبکه) یا ماکزیمم انرژی تخلیه شده از واحدهای موازی به واحد معیوب، باندازه‌ای زیاد باشد که موجب انفجار فیوز Expulsion type و یا محفظه خازنی گردد، بکار میروند. بنابر این در انتخاب هردو فیوز، هم جریان خطا (بافرکانس شبکه) و هم مقدار انرژی هردو عامل و فاکتور تعیین کننده می‌باشند.

بزرگی جریانی که از واحد خازنی معیوب میگذرد عامل مهمی در انتخاب فیوز می‌باشد، بطوریکه اگر در انتخاب فیوز یک واحد خازنی در هر فاز استفاده شود، زمین شدن یا نشدن نقطه نوترال تأثیر بسیار زیادی بر جریان خطای عبوری از ←

همانطوریکه قبلاً گفتیم، بروز خطا در واحد خازنی، موجب تقسیم شدن دوباره ولتاژها در بانک خازنی می‌شود که بدنبال آن اضافه ولتاژهایی بر گروه‌های واحد خازنی سری، یا واحد معیوب، (قبل از عمل نمودن فیوز) تحمیل می‌شود. حدود و مقدار و زمان تحمل این اضافه ولتاژها بوسیلهٔ واحدهای خازنی در استاندارد IEC 871 مشخص شده‌است و نحوه محاسبه آنها در پیوست شماره یک «محاسبه اضافه ولتاژها» انجام شده است.

- در انتخاب فیوز هر خازن، می‌بایست مطمئن شویم که مقدار اضافه ولتاژهای ایجاد شده و زمان مربوط به آن از مقادیر تعیین شده در استاندارد مذکور تجاوز نمی‌نماید.

- از دیگر نکات مهم در تعیین مشخصات نامی فیوز خارجی، همانطوریکه قبلاً بآن اشاره گردید، هماهنگی منحنی جریان / زمان مربوط به محفظه واحد خازنی است که از اهمیت بسزایی در تأسیسات، برخوردار است.

ماکزیمم زمان پاک کردن خطا برای فیوز می‌بایست با منحنی گسیختگی محفظه خازنی هماهنگ شود. در این هماهنگی، لازم است مطمئن شویم، فیوز قبلی از وقوع ترکیدن محفظه خازنی، مدار را قطع خواهد نمود.

منحنی مربوط به فیوز می‌بایست در سمت چپ منحنی گسیختگی محفظه خازنی (منحنی گسیختگی محفظه خازنی توسط سازنده واحد خازنی می‌بایست ارائه شود.) و در زیر سطح جریان خطای قابل دسترس قرار بگیرد.

- هر فیوز خارجی مربوط به واحدهای خازنی سالم و موازی با واحد خازنی معیوب، می‌بایست جریان ناشی از انرژی تخلیه شده در واحد معیوب را، که از خودش نیز عبور می‌کند، تحمل نماید. فرکانس جریان تخلیه اغلب به ده‌ها کیلوهرتز میرسد و دامنه آن نیز، بسته به ولتاژ لحظه خطا می‌تواند بزرگ باشد.

واحد خازن معیوب خواهد داشت.

برای نوترال زمین نشده، جریان اتصال کوتاه (با جریان عبوری از واحد معیوب) حدوداً به سه برابر جریان نامی فاز بانک خازنی محدود خواهدشد. لیکن در نوترال زمین شده، جریان خطای واحد خازنی برابر جریان خطای فاز به زمین مدار خواهد شد. در صورتی که جریان خطای مذکور از ۶ کیلوآمپر تجاوز نماید، فیوزهای نوع Expulsion توصیه نمی‌گردد و می‌بایست از فیوزهای نوع C.L.F / HRC.F استفاده شود. و یا در چنین حالتی می‌توان با زمین‌نکردن نقطه نوترال اتصال ستاره خازنی مجدداً از فیوز Expulsion استفاده نمود. لیکن در اتصالاتی که تعداد واحدهای خازنی سری بیش از یک عدد باشد (در رعایت سقف پیش گفته) چه نقطه نوترال اتصال ستاره خازنی زمین شود و چه نشود، می‌توان از فیوزهای نوع Expulsion استفاده نمود.

لازم به یادآوری است که، زمان جریان تخلیه خیلی کوتاه می‌باشد، که با توجه به سقف در نظرگرفته شده، برای آنکه فیوز خارجی واحد معیوب در معرض جریان تخلیهٔ ناشی از واحدهای موازی، بتواند عمل نماید، جریان تخلیه در واحدهای سالم در مقایسه با دیگر موارد برای تعیین نمودن، مشخصات نامی فیوز از آنچنان نقش تعیین کننده‌ای، برخوردار نخواهد بود.

اضافه جریانهای گذرا(*) با فرکانس و دامنه بالا، بهنگام ورود خازنها به مدار، و یا مخصوصاً وقتی که قسمتی از بانک خازنی، موازی با دیگر قسمت‌ها که قبلاً برقرار شده‌اند، وارد مدار می‌شود، ممکن است رخ دهد. برای رساندن این اضافه جریانهای گذرا، به مقادیر قابل قبول در ارتباط با خازن و دیگر وسایل کلیدزنی و حفاظتی، مثل فیوز (در اینجا فیوز خارجی) از قرار دادن راکتور سری در مدار تغذیه هر قسمت از بانک خازنی استفاده می‌نمایند و بدین ترتیب مقدار پیک این جریان را به کمتر از ۱۰۰ برابر جریان نامی بانک خازنی محدود می‌نمایند. نحوه محاسبه و چگونگی مشخص نمودن اندوکتانس این راکتورها در پیوست شماره ۲ انجام می‌گیرد.

فیوزها می‌بایست سهم خود را از این اضافه جریانهای گذرا، که به ۱۰۰ برابر جریان نامی بانک خازنی محدود شده‌اند و دارای فرکانس و دامنه بالایی می‌باشند و به جریانهای هجومی شناخته می‌شوند، تحمل نمایند. بنابراین با استفاده از منحنی جریان / زمان فیوز مربوطه، این مقدار نیز، می‌بایست چک شود، چنانچه پاسخ این بررسی، مساعد نبود، بهتر است منحنی جریان / زمان فیوز، طوری انتخاب شود که پاسخ مربوطه، مساعد و قابل قبول باشد.

فیوز و خازن می‌بایست قادر باشند در مقابل جریان خطای حاصله، عکس‌العمل درست نشان دهند. بعنوان مثال وقتی خازنها در یک اتصال ستاره یا نوترال زمین شده بصورت، هر یک خازن ، در یک فاز قرار می‌گیرد، خطای ترمینال به ترمینال در خازن از طریق بدنه خازن موجب جاری شدن جریان خطای سیستم از خازن و فیوز مربوطه میگردد. خازن می‌بایست این جریان را تا زمانی که فیوز آنرا قطع می‌کند، تحمل نماید و گسیخته نشود، ضمن اینکه فیوز می‌بایست جریان مذکور را با موفقیت بتواند قطع نماید. در بانکهای خازنی که چندین خازن بطور سری در هر فاز آن قرار می‌گیرند، جریان خطای سیستم از واحد خازنی معیوب نمی‌گذرد مگر آنکه دیگر واحدهای خازنی سری شده با واحد معیوب، بطور همزمان

(*)اضافه جریانهای گذرای دیگر، مثل موج‌های جریانی با فرکانس بالا ناشی از صاعقه، بوسیله عواملی مثل Shielding خوب پست و وجود فیوزهای متعدد موازی که موجب تقسیم موج‌های مذکور، شده و نهایتاً وجود برقگیر، تأثیر مهمی برروی واحدهای خازنی و فیوز آنها نخواهد داشت . موج های ناشی از کلیدزنی هم،که حادترین حالت آن همان کلیدزنی بانکهای خازنی پشت به پشت می‌باشد در بالا مورد بررسی قرار گرفت .

معیوب شوند و یا قوس خارجی در آنها رخ دهد. بهمین جهت معمولاً فرض بر اینست که، جریان خطای سیستم، از بانکهای خازنی با بیش از یک واحد خازنی سری، عبور نمی‌کند. نتیجتاً فیوزهای نوع Expulsion عموماً بیشتر از فیوزهای C.L.F / HRC مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- حداکثر جریانی که فیوز خارجی، در طول عمر خود می‌بایست بتواند از خود بگذراند بر پایه ماکزیمم جریان واحد خازنی تعیین می‌شود که مقدار آن برطبق استاندارد IEC 871 برابر $1/5I_n$ می‌باشد.(*)

بنابراین مقدار مذکور می‌تواند مقدار نامی فیوز خارجی در نظر گرفته شود و منحنی جریان / زمان آن با منحنی جریان / زمان گسیختگی بدنه خازن هماهنگ گردد.

۲-۴-۳- مزایای فیوز خارجی

- فیوزهای خارجی خطاهای ناشی از بوشنیگ‌ها را که ممکن است در اثر آلودگی و یا حیوانات بوجود آید ردیابی نموده و عمل می‌نماید.

- فیوزهای خارجی قابل تعویض بوده و بعد از عمل نمودن، بدلیل وجود نشاندهنده قابل رؤیت قابل تشخیص می‌باشند که این امر سهولت در تعویض و جایگزینی فیوز و واحد خازنی را فراهم می‌نماید.

۲-۴-۳- معایب فیوز خارجی

- توان راکتیو از مدار خارج شده در صورت عمل فیوز، کل واحد خازنی را در برمی‌گیرد که در

(*) - جریان دائمی فیوز خارجی توسط MAC - GRAW EDISON بیش از ۱۵۰٪ جریان نامی واحد خازنی توصیه شده است.

- ترکیبا دیگر سازنده واحدهای خازنی، جریان نامی فیوزهای خارجی را بیش از دوبرابر جریان نامی واحد خازنی پیشنهاد نموده است. که این بدین معناست که نصف گروه‌های سری المانهای خازنی در واحد خازنی، با شکست عایقی روبرو شده‌اند.

- HAWKER (هاوکر سازنده انگلیسی فیوزهای خارجی) مبنای انتخاب جریان نامی فیوزها را ماکزیمم جریان گذرای مورد انتظار که حسرتی هم بوجود نیاورد، در مقایسه با جریان بار کامل پیشنهادنموده است.

- در شبکه موجود کشور، جریان نامی فیوز کات اوت برای واحدهای خازنی که جریان نامی آنها ۱۵/۶ آمپر می‌باشد برابر ۲۰ آمپر انتخاب گردیده است که بر این حساب، جریان نامی آن تقریباً ۱/۳ برابر جریان نامی واحد خازنی انتخاب شده است

اینصورت نیاز به جایگزینی هم فوریت می‌یابد.

- تأثیرات محیطی مثل باران، برف و یخ و همچنین آلودگی بر کار این فیوزها بعضاً می‌توانند تولید اخلال نمایند.

- با وجود فیوز خارجی بهمراه واحدهای خازنی در بانکهای خازنی، آرایش آن از نقطه‌نظر لی‌اوت و نصب پیچیده‌تر می‌شود بطوریکه در چنین حالتی، بانک خازنی به فضای بیشتری نیاز دارد.

- حفاظت عدم تعادل در بانک‌های خازنی، با وجود فیوز خارجی از دقت و حساسیت کمتری برخوردار می‌باشد (در مقایسه با واحدهای خازنی با فیوز داخلی).

۵-۳- کاربرد فیوزهای داخلی و خارجی بر اساس مشخصات بانک‌های خازنی

با توجه به سیستم ولتاژهای مورد استفاده در این استاندارد یعنی ولتاژهای ۲۴ و ۳۶ کیلوولت که ولتاژ کار آنها به ترتیب برابر ۲۰ و ۳۳ کیلوولت می‌باشند، می‌توان آرایش بانکهای خازنی را به لحاظ فیوزگذاری آنها به شرح زیر انجام داد.

در صورت استفاده از واحدهای خازنی با فیوز خارجی، هر واحد خازنی می‌تواند با توان موردنظر با ولتاژهای نامی حداکثر ۱۱/۵۴۷ = ۲۰/√۳ و ۱۹/۰۵=۳۳/√۳ کیلوولت ساخته شود.

لیکن در صورت استفاده از واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی، با توجه به محدودیت‌های عنوان شده در بخش ۲ در ارتباط با ولتاژهای ساخت واحدهای خازنی با فیوز داخلی، ولتاژهای مورد نیاز واحدهای مذکور به ترتیب برابر مقادیر ذیل خواهندبود.

- برای ولتاژ فاز به زمین ۱۱/۵۴۷ کیلوولت در ولتاژ کار ۲۰ کیلوولت، دو واحد خازنی با ولتاژ نامی ۵/۷۷۳۵ کیلوولت می‌بایست با هم سری گردند.

- در ولتاژ کار ۳۳ کیلوولت برای ولتاژ فاز به زمین ۱۹/۰۵ کیلوولت، دو آلترناتیو می‌تواند مطرح گردد.

۳ واحد خازنی با ولتاژ نامی ۶/۳۵ کیلوولت یا

۴ واحد خازنی با ولتاژ نامی ۴/۷۶۲۵ کیلوولت

باهم سری شده و تحت ولتاژ ۱۹/۰۵ کیلوولت کار نمایند.

- چنانچه در بانکهای خازنی، ضرورت استفاده از واحدهای خازنی با ظرفیتهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوواری و یا در بعضی موافع [*] ۱۵۰ کیلوواری الزامی گردد. پیشنهاد می‌شود با توجه به نتایج حاصل

(*)-واحدهای ۱۵۰ کیلوواری با ولتاژهای مورد نظر ، بسته به سازندگان مختلف، می‌تواند به فیوز داخلی مجهز باشد

از این بررسی‌ها، واحدهای مذکور، مجهز به فیوز خارجی گردند، چراکه عملکرد فیوزهای داخلی در این واحدها بدلیل محدودیت‌های فنی و تکنیکی مطلوب نمی‌باشند.

همانطوریکه در بند ۲-۳-۳ «رابطه ظرفیت واحد خازنی با فیوز داخلی» گفته شد، واحد خازنی ۲۰۰ کیلوواری به لحظ فیوز داخلی و ساخت آنها در ولتاژهای نامی مورد نیاز، از جمیع جهات مطلوبتر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

بدیهی است در صورت لزوم از واحدهای ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوواری هم می‌توان استفاده نمود.

حال با توجه به سیستم ولتاژهای این استاندارد و ولتاژهای نامی مورد نظر برای واحدهای خازنی و توان نامی واحدهای خازنی با فیوز داخلی و فیوز خارجی و موارد دیگر، در جداول صفحات بعد به بررسی بانکهای خازنی با آرایش‌های مختلف اقدام گردیده است.

واحدهای خازنی ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوواری با فیوز داخلی برای ولتاژهای موردنظر، توسط تعدادی سازندگان قابل ساخت بوده که می‌توانند در بانکهای خازنی مورد استفاده قرار گیرند.

جداول انتخاب آرایش

ملاحظات			
ولتاژ کار دائمی KV	20/ √3=11 .547	33/ √3=19.05	
ولتاژ سیستم KV	24	36	
ولتاژ استقامت عایقی KV	50/125	70/170	
	300	ستاره منفرد - با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازن ۱۰۰ کیلوواری	
	450	ستاره منفرد - با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری	
گزینه‌های پیشنهادی: ستاره منفرد	600	ستاره منفرد - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری ستاره دوگانه - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۱۰۰ کیلوواری	
ستاره دوگانه باظرفیتهای ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوواری برای هر ستاره هم امکان پذیراست	750	ستاره منفرد - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری (گزینه پیشنهادی) ستاره دوگانه - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۱۲۵ کیلوواری	
ستاره دوگانه باظرفیت‌های ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوواری هم برای هر ستاره امکان پذیر است	900	ستاره منفرد -بافیوزخارجی، درهرفازدوواحدخازن موازی یاسری ۱۵۰ کیلوواری (گزینه پیشنهادی) ستاره دوگانه - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری	
درستاره دوگانه، آلترناتیو دوواحدخازن ۱۰۰ کیلوواری بطور موازی بافیوزخارجی هم امکان پذیرمی باشد (*) گزینه پیشنهادی	1200	ستاره دوگانه - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری ستاره منفرد -بافیوزخارجی، درهرفاز، دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطور موازی - ستاره منفرد- با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطور سری (*)	

قدرت بانک خازنی KVAR

ولتاژ کار دائمی KV		20/ √3=11 .547	33/ √3=19.05	ملاحظات
ولتاژ سیستم KV		24	36	
ولتاژ استقامت عایقی KV		50/125	70/170	
قدرت بانک خازنی KVAR	1500	ستاره دوگانه - بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری ستاره منفرد - بافیوزخارجی، درهرفاز دو واحد خازن ۲۵۰کیلوواری بطورموازی -ستاره منفرد-بافیوزداخلی، درهر فاز دو واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری بطور سری		
	1800	ستاره دوگانه -بافیوزخارجی،درهرفازدو واحدخازن ۱۵۰کیلوواریبطورموازی ستاره منفرد-بافیوزخارجی،درهرفاز۴ واحد خازن ۱۵۰کیلوواری بطور موازی یا۲ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری یا ۳ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطور موازی -ستاره منفرد،بافیوزداخلی،دوواحد خازن ۳۰۰کیلوواریبطورسری	-ستاره منفرد، بافیوزداخلی درهرفاز ۳واحدخازن ۲۰۰کیلوواریبطورسری	درستاره‌دوگانه،آلترناتیو یک واحدخازن ۳۰۰ کیلوواریبایک‌واحد خازن ۱۰۰ویک واحد ۲۰۰کیلوواریبطور موازی هم‌امکان‌پذیرمی‌باشد
	2400	ستاره دوگانه،با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطور سری	ستاره دوگانه،با فیوز خارجی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطورموازی	

ولتاژ کار دائمی KV		20/ √3=11 .547	33/ √3=19.05	ملاحظات
ولتاژ سیستم KV		24	36	
ولتاژ استقامت عایقی KV		50/125	70/170	
قدرت بانک خازنی KVAR	4800	- ستاره دوگانه : بافیوز داخلی، در هرفاز ۴ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری که بصورت دو شاخه موازی، در هر شاخه دو واحد خازن سری قرار دارد.(*)	- ستاره دوگانه : با فیوز خارجی، در هر فاز ۴ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری به طور سری (*)	گزینه‌های پیشنهادی(*)
		- ستاره دوگانه : با فیوز خارجی، در هر فاز ۴ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری موازی ، یا ۲ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری و یک واحد ۲۰۰ کیلوواری بطور موازی .		

در جداول مذکور، بانکهای خازنی، با قدرتهای ۱۲۰۰، ۲۴۰۰، ۲۸۰۰ کیلوواری که قبلاً استاندارد شده‌اند، باگزینه‌های مختلف فیوزگذاری مشخص گردیده‌اند، که گزینه پیشنهادی و توصیه شده این گروه کاری با علامت (*) مشخص گردیده است.

در گزینه‌های پیشنهادی، توصیه و ملاحظات زیر مدنظر قرار گرفته است که ضمناً در انتخاب فیوزگذاری بانکهای خازنی با ظرفیتهایی غیر از ظرفیتهای استاندارد مورد اشاره فوق نیز، بکار گرفته شده‌اند.

۱- اجتناب از بکارگرفتن واحدهای خازنی با ظرفیت بالاتر از ۳۰۰ کیلووار، چراکه ساخت این واحدها در بین سازندگان خازن، بخصوص سازندگان داخلی (بافرکانس ۵۰ هرتز) چندان معمول نیست. بنابراین هر زمان که به ظرفیتهای بالاتر از ۳۰۰ کیلووار نیاز باشد، بایستی از ترکیب دو واحد خازنی بجای آن بهره جست.

۲- در مقایسه مجموعه‌های خازنی که دارای ظرفیت (کیلووار) یکسان هستند، استفاده از مجموعه‌هایی که در آنها واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی بکار گرفته شده است، ارجح است.

در استفاده از مجموعه‌های خازنی با فیوز داخلی، سعی شده است حتی‌المقدور از افزایش تعداد واحدهای خازنی سری کاسته شود، چراکه عدم توجه به این امر، موجب افزایش فضای مورد نیاز برروی سازه‌ها و به تبع آن افزایش قیمت سازه‌ها میگردد. ضمن اینکه در پاره‌ای از موارد ایجاب می‌نماید که سازه‌های نگهدارنده می‌بایست از یکدیگر ایزوله باشند. از طرف دیگر، قیمت واحدهای خازنی نیز افزایش خواهند یافت. زیرا قیمت یک واحد خازنی با ظرفیت دو برابر از قیمت دو واحد خازنی با ظرفیت نصف مسلماً ارزانتر است (و همینطور دو واحد خازنی هر یک با ظرفیت نصف نیز ارزانتر از سه واحد خازنی هر یک با ظرفیت ثلث و الی آخر...) بنابراین تأکید می‌گردد که بایستی در مواردی که استفاده از دو واحد خازنی مجهز به فیوز داخلی و بصورت سری در هر فاز ستاره امکان پذیر است، استفاده از واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی با ظرفیت کوچکتر و بصورت سه واحد سری در هر فاز ستاره اقتصادی نخواهند بود.

لیکن در مقایسه بین دو نوع آرایش واحدهای خازنی، که در یکی از این دو نوع، واحدهای خازنی دارای ولتاژ نامی فاز به زمین و در هر فاز دو واحد موازی و هر واحد نیز دارای فیوز خارجی باشند و در دیگری واحدهای خازنی دارای ولتاژ نامی برابر نصف ولتاژ نامی فاز به زمین و در هر فاز دو واحد سری و مجهز به فیوز داخلی است (که لزوماً ظرفیت هر واحد نیز در هردو حالت یکی است) توصیه می‌شود گزینه دوم انتخاب گردد.

۳- در مقایسه بین دو گزینه که دارای ظرفیت‌های یکسان می‌باشند، گزینه‌ای که دارای تعداد واحدهای خازنی کمتر است برتری دارد.

۴- در مقایسه مجموعه‌های خازنی مجهز به فیوز داخلی بصورت ستاره منفرد و ستاره دوگانه استفاده از طرح ستاره دوگانه بدلیل امکان استفاده از حفاظت عدم تعادل با [illegible] برتری دارد.

۵- درمواردی که فیوز خارجی استفاده می‌شود، ستاره منفرد نسبت به ستاره دوگانه ترجیح دارد.

۶- همانطوریکه ملاحظه می‌شود اتصال نوع ستاره دوگانه در ظرفیت‌های بالاتر مجموعه‌های بانکهای خازنی مورد استفاده قرار می‌گیرند البته بعلت افزایش هزینهٔ سازه‌های نگهدارنده واحدهای خازنی، با استفاده از این نوع اتصال در شرایطی توصیه می‌شود که واحدهای خازنی دارای حفاظت فیوزی از نوع داخلی باشند که در این نوع حفاظت لزوم استفاده از یک نوع حفاظت عدم تعادل حساس‌تر الزامی است.

فصل چهارم - بررسی روش‌های مختلف اتصال خازنها در هر مجموعه خازنی

واحدهای خازنی را می‌توان در مجموعه‌های خازنی بصورت مثلث، ستاره با نوتر زمین نشده، ستاره با نوترزمین شده و یا ستاره دوگانه (که مرکز ستارهٔ آنها بهم وصل شده‌اند) بهم متصل نمود.

اتصال واحدهای خازنی بصورت مثلث، معمولاً در ولتاژهای پائین‌تر ومجموعه‌های خازنی با ظرفیت کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شبکه‌های ۲۰ و ۳۳کیلوولت، خازنها بصورت ستاره بسته می‌شوند.

انتخاب نوع ستارهٔ زمین شده و یا ستاره زمین نشده به عوامل زیر در شبکه بستگی دارند. که با بررسی این عوامل و مقایسه آنها می‌توان تصمیم گرفت که از کدام نوع استفاده نمود.

۱) اتصال نقطهٔ نوتر ستاره به زمین، باعث ایجاد مسیری برای هارمونی‌های مضرب سه خواهد شد. جریان یافتن این هارمونی‌ها علاوه براینکه بدلیل فرکانس بالا باعث ایجاد اغتشاش در سیستم‌های مخابراتی خواهندشد، جریان عبوری از خود واحدهای خازنی را نیز افزایش میدهند.

۲) در صورت اتصال نقطه نوتر ستاره به زمین، قطع و وصل گروه خازنی، موجب تغییر امپدانس مؤلفه صفر شبکه می‌شود که در این صورت تنظیم حفاظت‌های اتصال زمین در حالت‌های قطع و وصل گروه‌های خازنی متفاوت خواهدبود که اینکار نیز با سیستم‌های حفاظتی معمول شبکه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۳) علاوه بر تغییر جریان اتصال زمین شبکه، افزایش آن که بعلت زمین کردن نوترال بوجود می‌آید باعث افزایش جریان اتصال به زمین تجهیزات قطع و وصل‌کننده مثل کلید و فیوزها میگردد.

۴) زمین کردن نقطه نوتر ستاره به زمین، علاوه برمزایای زمین کردن نقطه نوترال در سایر شبکه‌ها همچون، تعادل فازها، حفاظت بهتر، قیمت نصب ارزانتر، کاهش ولتاژ برگشتی ناشی از کلیدزنی خازن در دوسر کلید و کاهش اضافه ولتاژهای سیستم در حالات گذرا همانند کلیدزنی و رعد و برق را نیز سبب خواهدشد.

درمقایسه بین این دو روش، با توجه به افزایش جریان و نیز اغتشاش ناشی از عبور جریانهای هارمونی‌های مضرب سه و نیز امپدانس مؤلفه صفر شبکه و نیز با توجه باینکه تجهیزات جدید از قبیل کلیدهای قدرت نوع SF_6 و خلأ بدلیل قطع Rrestrike Free اضافه ولتاژهای کمتری را تولید می‌نمایند،

و همچنین با کاربرد برقگیر در مجموعه خازنی و حفاظت عدم تعادل ترجیح داده می‌شود که اتصال نوع ستاره زمین نشده مورد استفاده قرار گیرد.

و به تبع آن اتصال ستاره دوگانه که نقطه‌های نوتر آن‌ها بدون آنکه زمین شوند بهم متصل می‌گردند، در ظرفیت‌های بالاتر گروه‌های خازنی مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

فصل پنجم - بررسی نحوه استقرار خازنها و بانکهای خازنی

۵-۱- مقدمه

در این فصل نحوه استقرار خازنها در بانک‌های خازنی و عوامل مؤثر در آن بررسی می‌گردد. هدف از این بررسی ارائه یک یا چند طرح مشخص نمی‌باشد بلکه شناخت بیشتر نسبت به نحوه تأثیر عوامل مختلف و انواع استقرار ممکن می‌باشد که در نهایت می‌تواند در اعلام نیازهای کلی به سازنده و ارزیابی فنی پیشنهاد سازنده مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲- عوامل مؤثر در طرح استقرار

۵-۲-۱- ولتاژ سیستم

ولتاژ سیستم در این مورد برابر ۲۰ و ۳۳ کیلوولت (به ترتیب دارای بالاترین ولتاژ سیستم ۲۴ و ۳۶ کیلوولت) می‌باشد. مشخصات مرتبط با ولتاژسیستم عبارتند از:

۵-۲-۲- ولتاژ نامی واحد خازنی

با توجه به اتصال ستاره، ولتاژ فاز به نوترال برابر $۲۰/\sqrt{۳}$ ، $۳۳/\sqrt{۳}$ می‌باشد. در خازنهای مجهز به فیوز داخلی به دلیل محدودیت در ساخت واحدهای با ولتاژنامی بالا از ۲ و ۳ عدد واحد خازنی بطور سری به ترتیب در ولتاژهای سیستم فوق استفاده می‌گردد.

در خازن‌های بدون فیوز داخلی محدودیت ذکر شده فوق وجود ندارد. تعداد واحدهای خازنی مسلماً تأثیر در نحوه استقرار آن داشته ولی میزان تأثیر به آرایش الکتریکی و مشخصات عایقی واحد خازنی بستگی دارد. که در بندهای بعدی این فصل به آنها اشاره می‌گردد.

۵-۲-۳- سطوح عایقی

در رابطه با سطوح عایقی مجموعه خازنی سه مورد را باید از هم تمایز داد:

۱)مقدار عایقی مجموعه نسبت به زمین، که برای آرایش با نوترال ایزوله مقادیر تحمل عایقی با فرکانس شبکه و موج صاعقه برابر ۵۰/۱۲۵ و ۷۰/۱۷۰ کیلوولت به ترتیب برای ولتاژ ۲۰ و ۳۳ کیلوولت می‌باشد.

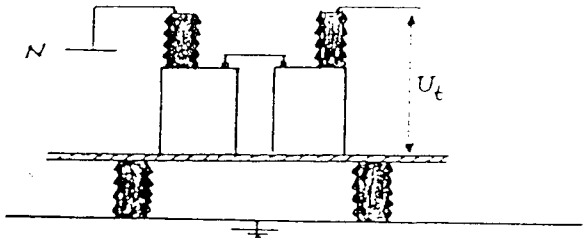
۲)مقدار عایقی ترمینال واحد خازنی به محفظه آن :

- در واحدهای با عایق کامل نسبت به محفظه، محفظه این واحدها می‌تواند زمین شود و در مجموعه با نوترال ایزوله مقادیر عایقی ترمینال نسبت به زمین باید کامل و برابر بند ۱-۳-۲-۵ فوق باشد.

در مجموعه خازنی که محفظه واحدها از زمین عایق می‌شود (مانند مجموعه دارای واحدهای تک بوشنیگی)، واحدهای خازنی باید دارای عایق برابر

$U_t = 2.15 \times U_N \times n$

نسبت به محفظه باشند که U_N ولتاژ نامی و n تعداد واحد سری که روی یک پایه فلزی قرار می‌گیرند، می‌باشد. اگر نقطه اتصال بین واحدهای سری به پایه فلزی اتصال یابد n برابر با تعداد واحدهای سری در یک سمت این نقطه می‌باشد (طرفی که دارای واحدهای سری بیشتری است) بطور مثال در شکل زیر



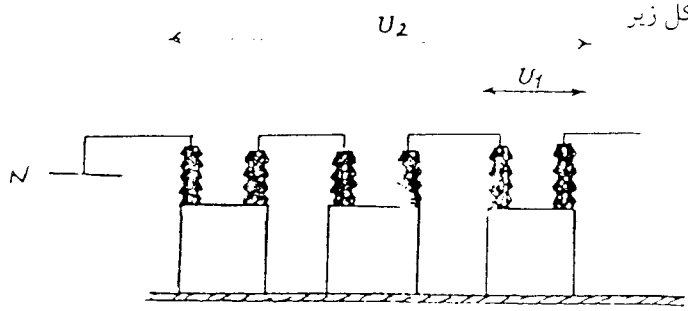
$U_t = 2.15 \times U_N \times 1$

دقت شود که نقطه اتصال وسط به محفظه و پایه سبب می‌شود که n=1 باشد.

۳)تحمل ولتاژ بین ترمینال‌ها، برای مجموعه‌های خازنی با نوترال ایزوله برابر با

$U_t = 2.15 \times U_N \times n$

می‌باشد که در این رابطه n برابر با تعداد واحد سری که منظور محاسبه ولتاژ بین ترمینالهای آن‌ها است ، می‌باشد. بطور مثال در شکل زیر



تحمل عایقی بین ترمینال‌های یک واحد $U_1 = 2.15 \times U_N \times 1$

تحمل عایقی بین ترمینال‌های ۳ واحد $U_2 = 2.15 \times U_N \times 3$

۴)ولتاژ عایقی نوترال نسبت به زمین باید برابر بامقادیر بند ۱-۳-۲-۵ فوق باشد.

۴-۲-۵- ظرفیت مجموعه

بسته به ظرفیت مجموعه خازنی و آرایش الکتریکی آن و ظرفیت انتخابی هر واحد ممکن است احتیاج به موازی کردن واحدهای خازنی با هم باشد. واحدهای موازی روی استراکچر واحد و در کنار یکدیگر نصب می‌شوند تا اتصالات موازی به راحتی انجام گردد. واحدهای خازنی موازی جهت امکان تبادل حرارت با محیط باید با یکدیگر فاصله حداقلی را داشته باشند.

در طرح استراکچر مجموعه خازنی باید پیش‌بینی لازم جهت انجام توسعه‌های پیش‌بینی شده انجام گردد.

۵-۲-۵- آرایش الکتریکی مجموعه خازنی

آرایش الکتریکی مجموعه خازنی در نحوه استقرار آن تأثیر دارد. آرایش مورد نظر برای این سطوح ولتاژ بصورت ستاره با نوترال ایزوله در نظر گرفته شده و دارای دو نوع ستاره تکی و ستاره دوبل می‌باشد. نوترال ایزوله به معنای عایق بودن نقطه نوترال از زمین مطابق بند ۴-۳-۲-۵ می‌باشد.

انواع آرایش الکتریکی در ظرفیت‌های مختلف در فصل سوم تشریح گردیده است . در مقایسه بین آرایش ستاره تکی و دوبل بطور کلی می‌توان گفت که آرایش ستاره تکی دارای استقرار ساده‌تری نسبت به آرایش دوبل می‌باشد ولی میزان ساده‌تر بودن بستگی به مشخصات واحدهای خازنی به جهت داشتن عایق کامل از زمین (محفظه می‌تواند زمین شود) یا عایق بودن محفظه از زمین دارد. این اثر در بند ۶-۲-۵ همین فصل مورد بررسی بیشتری قرار گرفته است .

۶-۲-۵- واحد خازنی با یک بوشینگ یا ۲ بوشینگ

واحدهای خازنی اصولاً از هر دونوع فوق ساخته می‌شوند. آنچه درمرحله اول بنظر میرسد کمتر بودن قیمت و وزن واحد با یک بوشنیگ نسبت به واحد ۲ بوشنیگی می‌باشد. ولی از طرف دیگر باید توجه داشت که در این حالت محفظه خازن که به یکی از ترمینالهای واحد خازنی متصل است بسته به اینکه این ترمینال در آرایش الکتریکی چه نقطه‌ای است دارای ولتاژ خواهد بود بنابراین این واحدها باید

۱) روی استراکچر عایق شده نسبت به زمین نصب شوند.

۲) وقتی دو یا چند واحد بطور سری وصل شده‌اند نقاط اتصال به محفظه در فازهای مختلف نیز باید نسبت به یکدیگر عایق باشند.

۳) در آرایش ستاره دوبل، استراکچر هر یک از ستاره‌هانیز از دیگری عایق گردد.

درموارد فوق عایقی نسبت به زمین توسط مقره‌های اتکائی مناسب و عایقی سایر موارد توسط مقره اتکائی یا فاصله هوائی (جداکردن استراکچرها) برقرار می‌گردد.

در خازنهای با ۲ بوشنیگ تنها نقاط نوترال نسبت به استراکچر با مقره عایق میشوند که البته بار مکانیکی قابل توجهی نیز به مقره وارد نمی‌شود.

با توجه به موارد فوق مشاهده می‌گردد انتخاب واحدهای خازنی دارای یک بوشنیگ تنها برای مواردی که احتیاج به اتصال سری نباشد (که سطوح ولتاژ مورد بررسی حاضر برای خازنهای بدون فیوز داخلی صادق است) و یا درمواردی که تعداد زیادی واحد خازنی بصورت موازی قرار می‌گیرند می‌تواند مناسب باشد (به دلیل صرفه‌جوئی در تعداد زیادی بوشنیگ).

مقره‌های اتکائی مورد استفاده در استراکچر خازنهاکه بار واحدهای خازنی روی آنهاست می‌باید با محاسبهٔ نیروهای مکانیکی وارده بخصوص در شرائط زلزله انتخاب شوند.

با توجه به مراتب فوق در ولتاژهای مورد نظر استفاده از خازنهای تک بوشنیگه بخصوص برای خازنهای با فیوز داخلی مناسب بنظر نمی‌رسد.

در شکل‌های ضمیمه نمونه‌ای از نحوه استقرار بانک خازنی برای آرایش ستاره دوبل در ولتاژ سیستم ۲۰ کیلوولت نشان داده شده است . شکل ۱-۵ برای واحدهای تک بوشنیگ و شکل ۲-۵ برای واحدهای دارای ۲ بوشنیگ می‌باشد. با مقایسه این دو طرح سادگی نحوه استقرار در مجموعه با واحدهای ۲ بوشنیگی روشن می‌باشد به نحویکه با استفاده از واحدهای ۲ بوشنیگی می‌توان کلیه واحدهای ستاره دوبل را روی یک استراکچر مشترک بدون مقره اتکائی نصب نمود.

۷-۲-۵- وزن واحدهای خازنی

با پیدایش خازنهای تمام فیلم وزن واحدهای خازنی با مقادیر نامی مشخص نسبت به نوع دارای عایق کاغذی کاهش یافته است ، وزن واحدهای خازنی در درجه اول با مقدار ظرفیت آن و تا حد کمتری با ولتاژ عایقی آن تناسب دارد.

عامل وزن واحد خازن در نحوه تعمیرات مجموعه خازنی مؤثر است و انتخاب خازن‌های با ظرفیت بالاتر سبب اضافه شدن وزن و مشکل‌تر شدن نصب و تعویض آنها می‌گردد ولی از طرف دیگر انتخاب واحدهای خازنی با ظرفیت کمتر (مثلاً ۱۰۰ کیلوواری) در مواردی که واحدهای با ظرفیت بالاتر می‌تواند انتخاب گردد به دلایل زیر قابل توصیه نیست :

۱) تعبیه فیوز داخلی برای واحدهای با ظرفیت پائین، به دلیل فنی - اقتصادی توصیه نشده (رجوع

شود به فصل سوم).

۲) تعداد بیشتر واحدهای خازنی در ظرفیت مشخص برای مجموعه به لحاظ اقتصادی و بیشتر شدن اتصالات و احتیاج به فضای بیشتر. توجه شود که واحد خازنی تمام فیلم اقتصادی دارای ظرفیت ۲۰۰ کیلووار به بالا می‌باشد.

۳) واحدهای خازنی به شرط در نظرگرفتن کلیه شرائط و مشخصات لازم اصولاً دارای میزان خطای خیلی پائین می‌باشند و این امر احتیاج به تعمیرات را کم می‌کند.

۴) واحدهای با ظرفیت کمتر نیز هر چند دارای وزن کمتری هستند ولی تعویض آنها نیز بخصوص اگر در ارتفاع نصب شده باشند بوسیله کارگر و بدون افزار بالابر مشکل و حتی غیرممکن است به عنوان مثال وزن واحد ۱۰۰ کیلوواری حدود ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم می‌باشد.

۸-۲-۵- مساحت و فضای در دسترس

مقدار زمین و فضای در دسترس در محوطه پست در طراحی مجموعه خازنی باید مدنظر قرارگیرد و بطور کلی مساحت کمتر سبب لزوم استفاده از ارتفاع می‌گردد. لازم است در سفارش مجموعه خازنی زمانی که از نظر مساحت زمین محدودیت وجود دارد اولاً از طرحهای (آرایش الکتریکی) ساده‌تر که به زمین کمتری احتیاج دارند استفاده شود و محدودیت در فضا یا مساحت در دسترس نیز به سازنده اعلام تا طرح را براساس آن انجام دهد.

نصب خازن‌ها در ارتفاع با رعایت فواصل ایمنی در ارتفاع، باعث امکان استفاده از سطح زمین برای رفت و آمد می‌گردد که البته در توصیه‌های بهره‌برداری و نیز تابلوهای هشداردهنده بایستی توقف در کنار و اطراف سازه‌ها ممنوع شود چون خطرات ترکیدن واحد خازنی با عایق روغنی هرچند با احتمال کم ولی به هر حال وجود دارد. بطورکلی بهتر است در صورت عدم ضرورت، مجموعه خازنها با ارتفاع کم طرح و با نصب فنس ایمنی لازم برقرارگردد که این طرح باعث سهولت تعمیرات و سبکتر شدن سازه‌ها و فونداسیون مربوطه شده و امکان نصب توری یا سایه‌بان (در صورت لزوم) در بالای مجموعه خازنی سهل تر می‌گردد.

۹-۲-۵- شرایط محیطی

شرایط محیطی نامناسب بخصوص در رابطه با آلودگی، نصب خازنها بصورت داخلی را توصیه‌پذیر می‌نماید. این امر تمیزکردن مقره‌های خازنها را غیر ضروری می‌نماید.

این نوع نصب بخصوص برای شرائط محیطی مشابه سواحل جنوبی کشور که دارای آلودگی خیلی

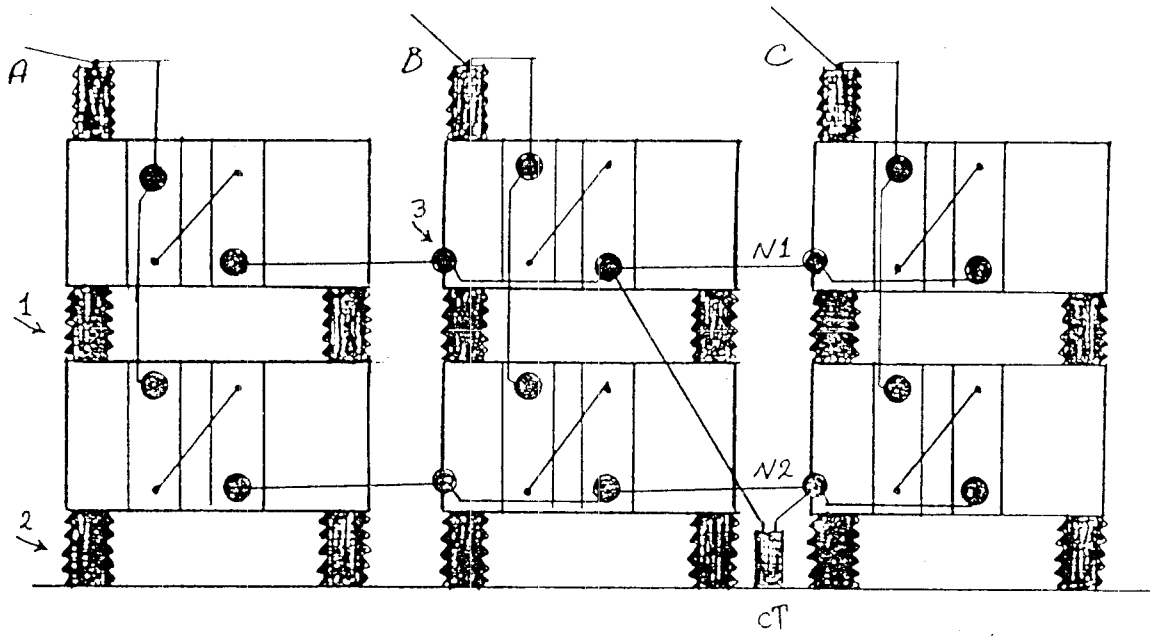
بالا (حتی بالاتر از دسته‌بندی خیلی سنگین مطابق استاندارد IEC) می‌باشد مناسب بوده و از بالارفتن درجه حرارت خازن‌ها به علت تابش مستقیم نور خورشید و گرمای محوطه نیز جلوگیری می‌نماید.

چنانچه نصب خازن، بصورت داخلی مدنظر قرار گیرد، خنک کردن واحدهای خازن با تهویه مناسب ونیز مواردی که مربوط به تعمیرات و جابجائی واحدهای خازنی می‌باشند باید مدنظر قرار گیرند.

۹ - ۲ - ۵ - حصار کشی

حصار کشی خازنها به دو منظور اساسی، ایجاد فواصل ایمنی الکتریکی و جلو گیری از حضور حیوانات بر روی قسمت‌های ولتاژ بالا انجام می‌شود.

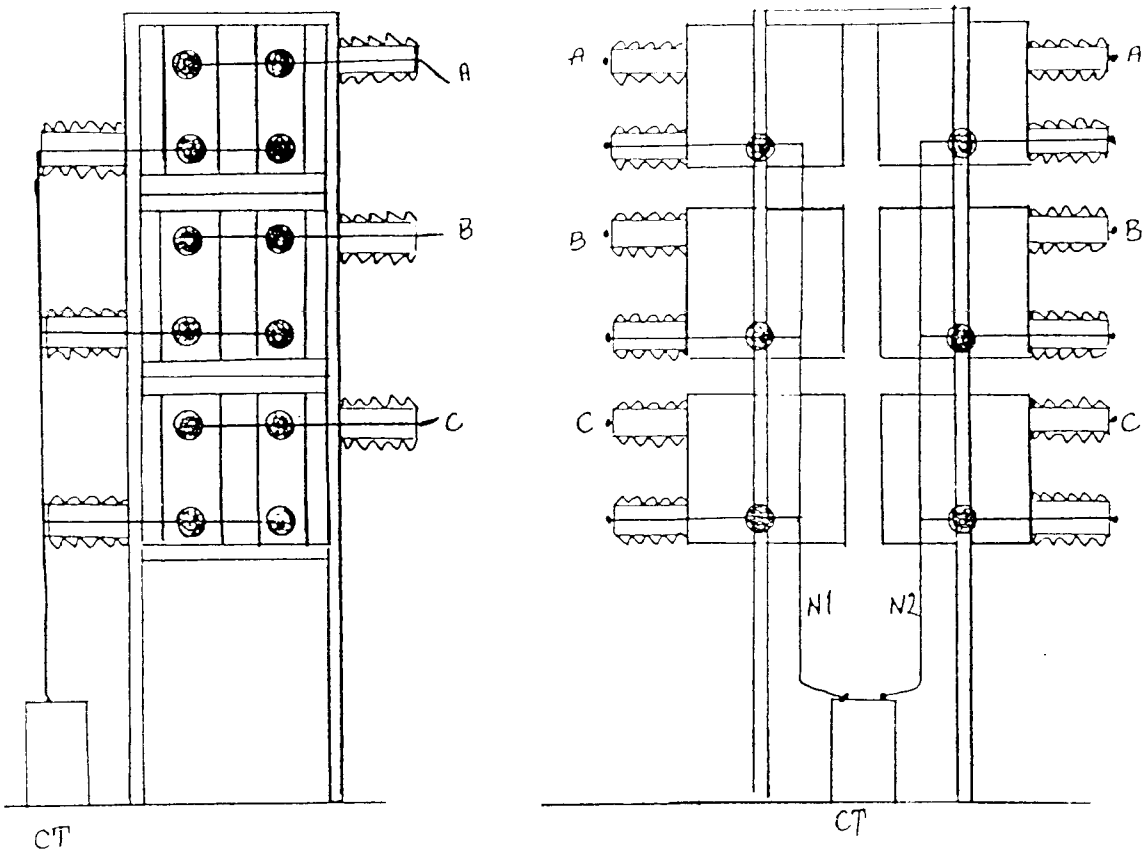
نصب تجهیزات ولتاژ بالای تأسیسات خازنی (تجهیزات ترمینال باز)، همانطور که در بند ۸ - ۲ - ۵ فوق، ذکر شده است به دو صورت نصب در ارتفاع با رعایت فواصل ایمنی لازم یا در ارتفاع پائین قابل انجام است که نصب فنس دور تأسیسات در حالت اخیر به نحویکه فاصله ایمنی لازم را برقرار نماید ضروری است. مشخصات این فنس باید بگونه‌ای باشند که از ورود حیواناتی نظیر گربه و مار که می‌توانند باعث بروز اتصالی روی تجهیزات شوند، جلوگیری به عمل آورد. در تجهیزات نصب شده در ارتفاع بالا بهتر است پایه تجهیزات خود بگونه‌ای باشند که حیوانات نتوانند به قسمت‌های ولتاژ بالا راه یابند. نصب توری جهت جلوگیری از نشستن پرندگان بزرگ در همه حال توصیه می‌شود. این توری باید بالای تجهیزات و با رعایت فاصله لازم نصب شده و دارای استحکام کافی باشد و از دسترسی راحت به هنگام تعمیرات جلوگیری ننماید.



شکل ۱-۵

بانک خازنی با واحدهای تک بوشنیگی - ستاره دوبل با دو واحد سری در هر فاز

سه فاز دارای استراکچرهای جداگانه می‌باشند، ستاره‌ها توسط مقره‌های شماره 1 از هم جداشده و عایقی نسبت به زمین توسط مقره‌های شماره 2 برقرار شده است. مقره‌های شماره 3 جهت پایه اتصال نوترال می‌باشد. در صورت نیاز به واحدهای موازی می‌توان این واحدها را کنار واحدهای نشان داده شده قرار داد.



شکل ۱-۵

بانک خازنی با واحدهای ۲ بوشینگی - ستاره دوبل با دو واحد سری در هر فاز

فصل ششم - مقایسه واحد خازن با یک بوشنیگ یا ۲ بوشنیگ

۱-۶- مقدمه

واحدهای خازنی تک‌فاز به دو صورت تک بوشنیگی یا دو بوشنیگی ساخته می‌شوند در این فصل این واحدهای خازنی نسبت به یکدیگر مقایسه شده و تأثیر انتخاب هر یک بر نحوه استقرار مجموعه خازنی مورد بررسی اجمالی قرار گرفته است.

۲-۶- مقایسه

واحدهای خازنی در دو نوع با یک بوشنیگ و یا ۲ بوشنیگ ساخته میشوند.در نوع ۲ بوشنیگ هر دو ترمینال خازن توسط بوشنیگ‌ها از محفظه عایق شده است و در نوع تک بوشنیگ یکی از ترمینالها فاقد بوشنیگ بوده و به محفظه خازن متصل می‌باشد.

کلیه سازندگان واحدهای خازنی، بسته به سفارش هر یک از انواع فوق را تولید می‌نمایند.

با ساخت خازن تک بوشنیگ عملاً در هزینه ساخت آن (واحد خازنی) صرفه‌جوئی حاصل می‌گردد که به عنوان مثال برای یک واحد ۲۰۰ کیلوواری در سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولتی این صرفه‌جوئی حدود ۴ درصد می‌باشد مسلماً این در صد با افزایش کیلووار خازنی کاهش و در صورت افزایش ولتاژ عایقی یا فاصله خزشی افزایش می‌یابد.

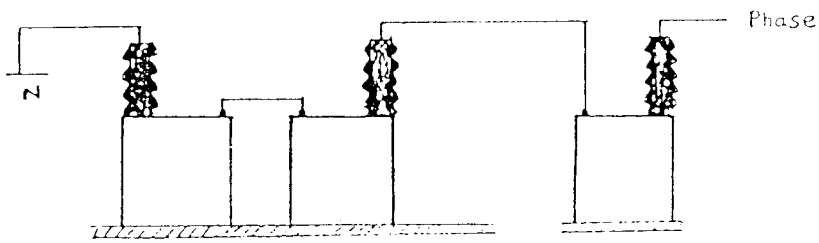
از لحاظ فنی مزیت خازن تک بوشنیگه کاهش تعداد بوشنیگ‌ها در کل مجموعه باعث سهولت موارد نگهداری آنها (مثل تمیزکردن) و کاهش میزان اتصال کوتاه به محفظه می‌گردد.

مزیتهای ذکر شده فوق در رابطه با واحد خازنی صادق است ولی از طرف دیگر با اتصال یک ترمینال به محفظه، عملاً محفظه می‌تواند دارای ولتاژ باشد که در طرحهای مجموعه‌های خازنی نوع ستاره با نقطه صفر ایزوله این امر همواره صادق است بنابراین در وحله اول لازم است که محفظه از زمین عایق گردد و در صورت سری شدن واحدهای خازنی که در سطح ولتاژ موردنظر ما برای خازنهای دارای فیوز داخلی الزامی است نقطه مشترک بین دو واحد نیز باید از نقطه مشابه سایر فازها ایزوله باشد و در آرایش ستاره دوبل ضمن رعایت موارد فوق نقاط یادشده باید در دو ستاره نیز از هم ایزوله باشند.

رعایت موارد فوق عملاً باعث الزام در استفاده از مقره اتکائی یا استفاده از استراکچرهای کاملاً مجزا می‌گردد. در فصل پنجم (نحوه استقرار مجموعه های خازنی) یک نمونه از نحوه نصب مجموعه خازنی با آرایش ستاره دوبل و دارای دو واحد سری از هر فاز نشان داده شده، همانطور که مشاهده می‌گردد

استراکچر سه فاز از هم مجزا بوده و نسبت به زمین با مقره عایقی ایزوله شده‌اند . شاخه‌های مربوطه به هر یک از ستاره‌ها نیز در دو طبقه که با مقره اتکائی از هم ایزوله شده‌اند قرار دارند.

در حالتیکه سه عدد واحد خازنی بصورت سری قرار دادند . بعلت لزوم جداسازی بین دو نقطه مشترک مطابق شکل زیر



محفظه و بنابراین استراکچرهای واحدهای خازنی علاوه بر نیازهای فوق‌الذکر می‌باید بصورت نشان داده شده از هم ایزوله (مجزا) باشند که این مورد هم برپیچیدگی استراکچر مجموعه خازنی می‌افزاید.

با توجه به موارد فوق و نیازهای مقره‌های اتکائی مورد استفاده که در فصل پنجم (نحوه استقرار مجموعه خازنی) ذکر شده است مشاهده می‌گردد که صرفه‌جوئی و امتیاز فنی ذکر شده برای واحدهای تک بوشنیگه منجر به مسائل فنی و اضافه هزینه‌های مربوط به نیازهای عایقی خازنی می‌گردد.

بنابراین استفاده از خازن تک بوشنیگی باید برحسب عوامل زیر

۱)- تعداد خازنهای سری

۲)- نوع آرایش مجموعه (ستاره تکی یا دوبل)

۳)- نوترال ایزوله

۴)- تعداد واحدهای موازی

مورد ارزیابی قرارگیرد و بطور کلی می‌توان گفت با کمتر شدن واحدهای سری (یعنی استفاده از فیوز خارجی)، سادگی آرایش (ستاره تکی) و تعداد بالاتر خازنهای پارالل (یعنی صرفه جوئی بیشتر در تعداد بوشنیگ ها)، استفاده از خازنهای تک بوشنیگ موجه‌تر می‌گردد.

از موارد دیگر قابل ذکر برای خازنهای تک بوشنیگه عدم امکان آزمایش عایقی واحد خازنی می‌باشد زیرا ولتاژ اعمالی بین ترمینال دارای بوشنیگ و محفظه، عملاً بین دو ترمینال نیز اعمال می‌گردد و این در حالی است که خازن توان تحمل این ولتاژها ندارد.

۳-۶- نتیجه گیری

مقایسه بین خازنهای تک بوشینگی و ۲ بوشینگی در بالا انجام گردید ولی بهرحال می توان انتخاب هر یک از این دو را در زمانی که تأثیر آن روی نحوه استقرار مجموعه و تبعات اقتصادی آن مطرح است به عهده سازنده مجموعه نهاد.

فصل هفتم - تجهیزات کلیدزنی خازن‌ها

۱-۷- مقدمه

این تجهیزات به دو منظور ورود و خروج مجموعه‌های خازنی و حفاظت از آنها در مواقع خطا بکار می‌روند.

اتصال مستقیم خازنها به شبکه، روی شبکه فشار ضعیف و یا در مورد خازن‌های موازی موتورها که وسیله کلیدزنی موتور همزمان خازن مربوطه را نیز وارد و خارج می‌نماید کاربرد دارد. در مورد خازن‌های جبران کننده در این بررسی،تأسیسات خازنی دارای حفاظت مستقل می‌باشند و ورود و خروج آنها به شبکه توسط وسائل کلیدزنی که می‌توانند شامل سوئیچ‌ها و دژنکتورها باشند انجام می‌گردد.

در این فصل در مورد وسائل مناسب برای کلیدزنی خازنها به لحاظ نوع محفظه قطع (روغنی، SF_6 و خلاء) و ترکیب سوئیچ‌ها و دژنکتورها به منظور ورود و خروج خازنها و حفاظت فیدر خازنی، بررسی انجام می‌شود.

۲-۷- بررسی انواع کلیدها به لحاظ نوع محفظه قطع

علاوه بر نیازهای عمومی این وسائل ، نیازهای عمده زیر در انتخاب این وسائل در ارتباط با کاربرد موردنظر آنها در این پروژه باید مدنظر قرار گیرد:

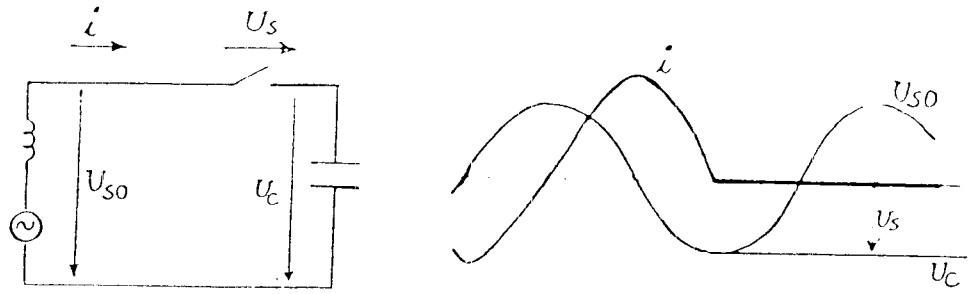
۱-۲-۷- تعداد دفعات قطع و وصل

به دلیل تغییرات بار و ضریب قدرت در طول زمان‌های کوتاه، مقدار خازن مورد نیاز متغیر بوده و این امر سبب ورود و خروج مجموعه‌های خازنی به دفعات زیاد می‌گردد، بنابراین وسیله کلیدزنی موردنظر باید قابلیت عملکرد به دفعات زیاد، بدون احتیاج به بازرسی و تعمیرات را داشته باشد. کلیدهای خلاء و SF_6 به این لحاظ مناسب و کلیدهای کم روغن نامناسب می‌باشند.

۲-۲-۷- قطع جریان خازنی

قطع بار خازنی شامل مسائل خاصی می‌باشد که وجود نیازهای خاصی را برای وسیله کلیدزنی سبب می‌گردد. چون جریان خازن ۹۰ درجه از ولتاژ پیش فاز است و از طرفی به هنگام قطع جریان،

خاموش شدن قوس در صفر جریان انجام می‌شود، لذا به هنگام قطع جریان مقدار ولتاژ خازن برابر پیک ولتاژ سینوسی خواهدبود. بنابراین پس از قطع جریان ولتاژ طرف بارخازنی مقدار ثابتی (بامیرائی کم) داشته و ولتاژ شبکه نیز بصورت سینوسی تغییر خواهد کرد و در نتیجه با توجه به شکل زیر ولتاژ دو سر کنتاکت‌های وسیله کلیدزنی (Us) که برابر اختلاف این دو



است پس از ۱۰ میلی‌ثانیه به ۲ برابر مقدار معمولی خود می‌رسد. اگر عایق بین دوکنتاکت در این زمان به حد کافی نباشد قوس مجدد (Restrike) برقرار می‌شود. شکل موج جریان این قوس دارای فرکانس بالا (فرکانس طبیعی مدار) بوده و مجدداً در لحظه عبور از مقدار صفر قطع می‌گردد که این امر سبب برقراری ولتاژ بالاتری روی خازن و دو سر وسیله کلیدزنی می‌گردد که خود احتمال بروز قوس‌های مجدد بعدی را به همراه دارد که به معنای اضافه ولتاژهای بالاتر روی تجهیزات خازنی و احتمال بروز خطا در آن‌ها و عدم توانائی وسیله کلیدزنی در قطع جریان می‌باشد. بنابراین وسائل کلیدزنی باید از نوعی باشند که امکان بروز قوس مجدد در آنها نباشد (Restrike - Free). در کلیدهای روغنی و کم روغن که دارای گردش روغن با فشار (forced oil circulation) نمی‌باشند و کلیدهای هوائی بطور عمومی احتمال بروز قوس مجدد وجود دارد در حالیکه کلیدهای نوع خلاء و SF_6 بطورکلی از نوع Restrike - Free بوده و جهت قطع جریان خازنی مناسب‌تر هستند.

۳-۲-۷- وصل بانک‌های خازنی

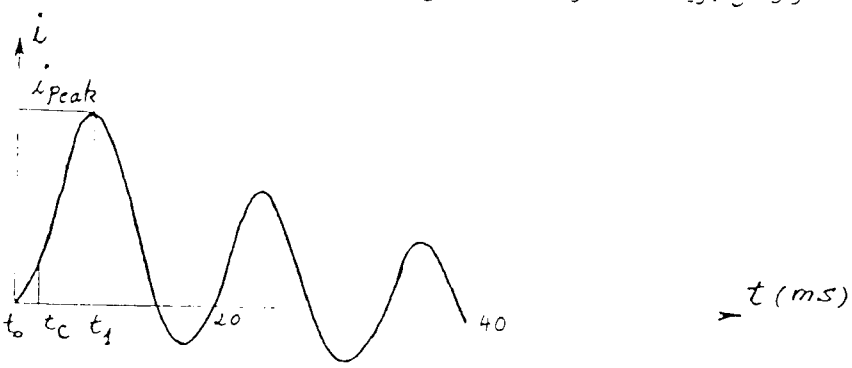
برقدار کردن بانکهای خازنی باعث ایجاد جریان‌های هجومی (Inrush Current) با فرکانس بالا می‌گردد. مقدار جریان هجومی و فرکانس آن به مشخصات منبع و خازنها بستگی دارد و با بالارفتن هر یک از آنها شرائط سخت‌تری برای وسیله کلیدزنی فراهم می‌گردد. مقادیر جریان هجومی و فرکانس این جریان به مشخصات خازن (ظرفیت)، اندوکتانس سری با خازن، وجود یا عدم وجود مجموعه خازن‌های موازی با مجموعه خازن موردنظر و ظرفیت آنها و شارژ باقی‌مانده در خازن موردنظر از قبل

دارد (که البته در خازنهای موردنظرشارژ باقیمانده در خازن با وسیله مناسب سریعاً به صفر رسیده و همواره در لحظه بستن شارژ خازن تقریباً صفر می‌باشد). مقدار این جریان و فرکانس آن بستگی به مشخصات وسیله کلیدزنی نداشته و آنچه باید مورد توجه واقع شود عملکرد کلید در مقابل جریان هجومی است . یادآوری می‌گردد که کلیدهای با مقاومت وصل که مقاومت یادشده قبل از وصل وارد مدار می‌گردد و جریان آن را کاهش می‌دهد نیز ساخته شده است که مدنظر این بررسی نمی‌باشد.

ابتدا در جهت بررسی عملکرد کلید لازم است که پدیده پیش‌قوس (Pre-arcing) ذکر گردد. این پدیده کم وبیش در کلیه وسائل کلیدزنی وجوددارد و به معنی برقراری قوس (برقراری اتصال الکتریکی) قبل از تماس کنتاکت‌ها به هنگام بستن بعلت شکست عایق بین آنها در اثر وجود اختلاف ولتاژ بین آنها می‌باشد. هرچند این پدیده به هنگام برقدارکردن انواع بار وجود دارد ولی به هنگام بستن روی بار خازنی بعلت شامل شدن جریانهای بالا با فرکانس‌های بالا میزان سختی آن برای وسیله کلیدزنی بیشتر است .

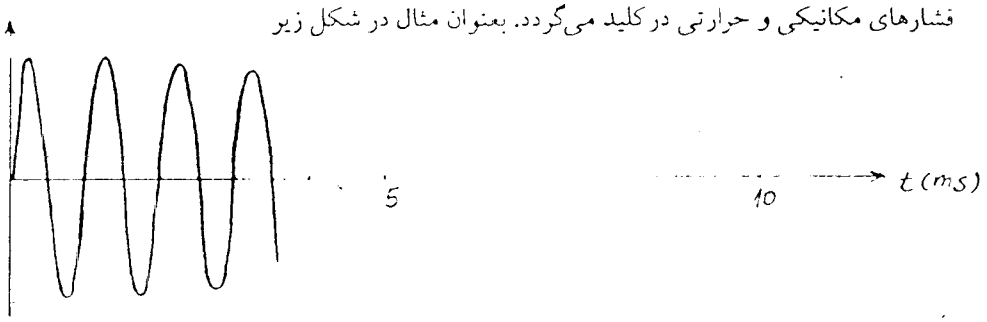
مطابق استاندارد دژنکتور پیک جریان وصل نامی آن روی اتصال کوتاه ۲/۵ برابر جریان اتصال کوتاه نامی آن می‌باشد (مثلاً برای دژنکتورهای ۲۰ کیلوولت استاندارد پستهای فوق توزیع با جریان اتصال کوتاه نامی ۱۶ کیلوآمپر، پیک جریان وصل نامی ۴۰ کیلوآمپر می‌باشد) که جریان بسیار بالائی است ولی این قابلیت لزوماً به معنای توانائی کلید در وصل جریانهای هجومی خازنی حتی با مقادیر دامنه به مراتب کمتر، نمی‌باشد.

علت سخت‌تر بودن جریان هجومی با فرکانس بالا نسبت به جریان وصل اتصال کوتاه حتی با مقدار بالاتر این است که در وصل جریان اتصال کوتاه مطابق شکل زیر



پس از اتصال الکتریکی (پیش قوس) در لحظه t_0، مقدار پیک جریان در زمان t_1 می‌باشد که حدود ۱۰ میلی‌ثانیه پس از لحظه t_0 است . با توجه به سرعت مکانیزم عمل و زمان کوتاه پیش قوس قبل از اینکه جریان به مقدار پیک خود برسد کنتاکت‌های کلید کاملاً بسته شده است (در زمان t_c) یعنی اینکه جریان قوس به مراتب کمتر از مقدار پیک جریان اتصال کوتاه خواهدبود.

در جریان هجومی پس از برقراری قوس الکتریکی بعلت فرکانس خیلی بالای جریان، قبل از اینکه کنتاکت‌ها بهم رسیده و کاملاً محکم شده باشند، جریان به پیک خود می‌رسد و این امر سبب بروز فشارهای مکانیکی و حرارتی در کلید می‌گردد. بعنوان مثال در شکل زیر



جریان هجومی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز نشان داده شده که پس از ۰/۲۵ میلی‌ثانیه به پیک خود می‌رسد و مثلاً اگر زمان Pre-arcing در کلید یک میلی‌ثانیه باشد جریان در این زمان ۲ بار به مقدار پیک خود رسیده است.

فشارهای الکترومکانیکی و حرارتی ناشی از قوس در زمان Pre-arcing بستگی به مقدار جریان و زمان آن دارد و در عمل، بسته به شرائط شبکه ممکن است لازم باشد تا با نصب راکتور (سلف) بصورت سری، دامنه و فرکانس این جریان را کاهش داد.

توجه شود که در اینجا راجع به محدودیت‌های وسیله کلیدزنی در مقابل جریان‌های هجومی صحبت می‌شود و خازنها خود نیز در این مورد دارای محدودیت می‌باشند (تا ۱۰۰ برابر جریان نامی) که موضوع بحث این فصل نمی‌باشد.

کاهش زمان Pre-arcing در کلیدهای خلاء و SF_6 که به دلیل عایقی بالاتر بین کنتاکت‌ها در این انواع می‌باشد و تلفات انرژی کمتر ناشی از قوس در این کلیدها به لحاظ کلی تناسب این کلیدها را نسبت به انواع دیگر، در رابطه با کلیدزنی خازنها سبب می‌گردد.

۴-۲-۷- نتیجه‌گیری

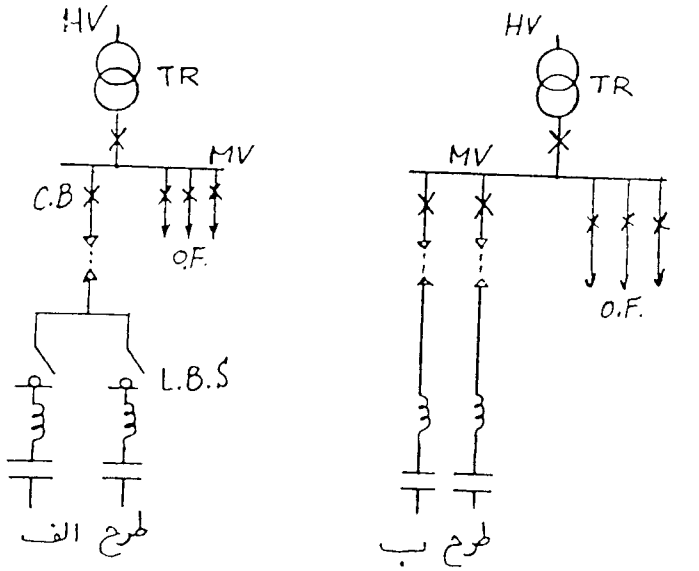
کلیدهای خلاء و SF_6 به دلیل مزایای متعدد امروزه جایگزین کلیدهای کم روغن شده‌اند و در ارتباط با کلیدزنی خازنها بخصوص سازگاری بهتری دارند و جهت این امر پیشنهاد میشوند و در این بین کلیدهای خلاء دارای برتری نسبی به نوع SF_6 می‌باشند.

۳-۷- بررسی ترکیب تجهیزات کلیدزنی

در پستهای فوق توزیع کشور جهت انواع فیدرهای ولتاژ متوسط در حال حاضر از سلولهای داخلی (indoor) استفاده می‌شود و هر چند درگذشته در سطح ولتاژ ۳۳ کیلوولت از تجهیزات نوع بیرونی نیز استفاده شده است ولی در این سطح ولتاژ نیز در طرحهای فعلی از سلول‌های داخلی استفاده شده و خواهدشد.

برای ورود و خروج خازنها، با توجه به تغییر بار و ضریب قدرت، خازنها بصورت چند مجموعه که بطور مستقل قابل کنترل می‌باشند طرح می‌شوند لذا راه‌حل‌های مختلفی جهت ورود و خروج هر مجموعه و حفاظت آنها مدنظر بوده که مورد بررسی قرار می‌گیرد.

استفاده از دژنکتور جهت حفاظت فیدر الزامی می‌باشد ولی برای ورود و خروج هر مجموعه خازنها می‌توان از دژنکتور و یا سوئیچ قابل قطع زیر بار استفاده کرد و براین مبنا دو طرح تک خطی زیر که در طرحهای مختلف تأسیسات خازنی موجود نیز استفاده شده‌اند را درنظر می‌گیریم . در این طرحها یک ترانسفورمر قدرت نشان داده شده است که البته ترانس دوم هم در صورت وجود، مشابه این ترانس دارای فیدرهای ترانس، خروجی و خازن خواهد بود.



در طرحهای در نظر گرفته شده برروی هر ترانس قدرت دو مجموعه خازنی قابل کنترل بطور مستقل در نظر گرفته شده است .

طرح الف شامل یک دژنکتور داخلی برای حفاظت و مجزاکردن کل فیدر خازنی بهمراه دو عدد سوئیچ قابل قطع زیر بار جهت ورود و خروج هر مجموعه خازنی است .

طرح ب شامل یک دژنکتور داخلی برای حفاظت و ورود و خروج هر مجموعه خازنی می‌باشد.

۱-۳-۷- مقایسه فنی بین طرحهای مختلف

۱) طرح ب شامل تجهیزات کلیدزنی با تنوع کمترنسبت به طرح الف می‌باشد.

۲) با توجه به اینکه دژنکتورهای SF_6 و خلاء که امروزه جانشین سایر انواع آنها میشوند (بخصوص در مورد پست‌های فوق توزیع) و مناسبت آنها با قطع و وصل خازن‌ها، عملاً در طرح ب ازسلولهای باتجهیزات مشابه در فیدرهای ترانس و خط و خازن استفاده خواهد شد و از مصرف سوئیچ‌ها در این پست‌ها جلوگیری می‌شود و این امر سبب سهولت بیشتر در بهره‌برداری و تعمیرات می‌گردد.

۳) توسعه فیدر خازنی در طرح ب سهل‌تر می‌باشد و جهت این امر می‌توان یک سلول جدید را به آسانی به باس بار فشار متوسط اضافه کرد در حالیکه در طرح الف، بسته به طرح اولیه این امر مشکل یا غیرممکن است.

۴) در طرح ب، تعمیرات مورد لزوم روی یک مجموعه با قطع دژنکتور و خارج کردن آن از حالت سرویس بدون وقفه در بهره‌برداری از مجموعه دیگر امکان پذیراست ولی در طرح الف این امر مستلزم منظور داشتن آن در طرح تجهیزات محوطه می‌باشد. نکته مهم در مقایسه این مورد این است که، سوئیچ‌های خازن بدلیل اینکه در حالت باز عایق بین کنتاکت‌ها هوا نبوده بلکه گاز SF_6 روغن یا خلاء می‌باشد نمی‌توانند جداسازی مطمئن همانند آنکه با خروج دژنکتور از حالت سرویس (جداسازی با فاصله هوائی وشاتر) فراهم میسازد را ایجاد کنند. تعبیه سوئیچ کشوئی نیز در مورد اکثر سازندگان غیرعملی یا باعث گران شدن وسیله می‌گردد.

۵) در اخذ پیشنهادات با طرح الف پیشنهاد دهندگان مختلف برای سوئیچ‌ها پیشنهادات گوناگونی بسته به نوع تولیدات، موارد مالی و غیره ارائه می‌دهند که بطور مثال انواع زیر قابل ذکر است:

- سوئیچ داخلی که وسیله کلیدزنی در واقع دژنکتور می‌باشد
- سوئیچ خارجی که وسیله کلیدزنی در واقع دژنکتور است که در سلول مناسب برای نصب بیرونی جاسازی شده و دارای بوشنیگ برای اتصالات خارجی است.
- سوئیچ خارجی از نوع بیرونی که در واقع حد واسطی بین سوئیچ خارجی از نوع بیرونی و دژنکتور می‌باشد (Fault Interrupture) و از نوع ترمینال باز مشابه کلیدهای بیرونی است.

این گوناگونی باعث مشکل شدن بررسی فنی و مسائل ناشی از تنوع تجهیزات می‌گردد.

۶) سازندگان متعدد داخلی (ایرانی) برای سلول‌های مجهز به دژنکتور وجوددارد در حالیکه سفارش

سوئیچ های قابل قطع زیربار خازنی عمدتاً منجر به تأمین آن از سازندگان خارجی می‌گردد.

۷) در طرح ب حفاظت هرمجموعه جداگانه انجام می‌شود، لذا به هنگام خطا در تأسیسات خازنی تنها یک قسمت از مدار خارج می‌شود در حالیکه در طرح الف اینطور نیست .

۸) طرح کنترل وسائل کلیدزنی در طرح ب ساده‌تر از طرح الف می‌باشد.

۹) قابلیت اطمینان پذیری (reliability) در طرح ب بیشتر از طرح الف می‌باشد که این به دلیل وجود یک وسیله کلیدزنی در مدار هر مجموعه می‌باشد در حالیکه در طرح الف دو وسیله بطور سری در مدار هر مجموعه قرار می‌گیرد.

۱۰) همانطور که توسعه فیدر خازنی در طرح ب سهل‌تر است، در حالتیکه به سبب کاهش بار یک پست یا افزایش ضریب قدرت بار، تصمیم به کاهش ظرفیت خازنی باشد، بعلت مستقل بودن کل فیدر خازنی هر مجموعه، می‌توان به راحتی یک مجموعه را به همراه کلید، تجهیزات و لوازم کنترل و حفاظت برچید و در محل دیگری نصب کرد.

۱۱) یادآوری می‌گردد که طرح الف هرچند از سوئیچ‌های با قابلیت قطع و وصل بار خازنی استفاده می‌گردد ولی دژنکتور فیدر نیز باید دارای این قابلیت باشد چون علاوه براینکه این دژنکتور به عنوان پشتیبان سوئیچ‌ها در قطع بار خازنی استفاده می‌گردد حفاظت‌های خازن‌ها نیز به دژنکتور فرمان قطع می‌دهند.

۱۲) یکی از مواردیکه می تواند توجیه کننده طرح الف نسبت به طرح ب باشد عدم فضای کافی در اتاق کلیدخانه ولتاژ متوسط است .

۲-۳-۷- مقایسه مالی بین طرحهای مختلف

مقایسه مالی بین دو طرح فوق در درجه اول مربوط به قیمت سلول دژنکتور ۲۰ کیلوولت و سوئیچ خازن می‌شود. در حال حاضر، با توجه به تولیدات سازندگان داخلی، تأمین سلولهای با مشخصات مناسب از منابع داخلی میسر است ولی در مورد سوئیچ خازن اینطور نبوده و عمدتاً در سفارشها از سازندگان خارجی پیشنهاد می‌گردد.

موارد عمده مؤثر در اختلاف قیمت بین طرحهای فوق شامل کابل فشار قوی، سرکابل، سلول دژنکتور، سوئیچ خازن، رله و کنترل می‌باشد.

اختلاف قیمت تجهیزات طرحهای فوق بسته به نوع پیشنهاد برای هر یک از اقلام دارد ولی بطور کلی می‌توان در صورتیکه سازنده سلول دژنکتور و سوئیچ خازن بصورت یادشده بالا باشد کاهش قیمت جزئی در طرح ب نسبت به طرح الف را انتظار داشت .

۳-۳-۷- نتیجه گیری

در کلیدزنی تأسیسات خازنی استفاده از وسائل نوع SF_6 و خلاء لازم است که با روند پیشرفت فنی و برنامه سازندگان نیز مطابقت دارد، در زمینه ترکیب وسائل کلیدزنی (دژنکتورو سوئیچ) استفاده از فیدرهای مستقل با دژنکتور برای هر مجموعه خازنی نسبت به استفاده از دژنکتور فیدر و سوئیچ برای هر مجموعه دارای مزایای فنی عمده‌ای بوده و به لحاظ مالی قیمت ارزانتری (جزئی) می‌توان برای آن انتظار داشت. لذا استفاده از طرح فیدر مستقل با دژنکتور برای مجموعه خازنی (طرح ب) به عنوان طرح استاندارد توصیه می‌گردد.

فصل هشتم - حفاظت خازن‌ها

۸-۱- حفاظت فیوزی

در این مورد در فصل سوم مشروحاً توضیح داده شده است

۸-۲- حفاظت جریان زیاد، بارزیاد، جریان زمین

خازن‌های فشارقوی می‌بایست در مقابل اضافه جریان‌های گذرا و دائم حفاظت شوند. استانداردهای مختلف مقدار مجاز اضافه جریان (پیوسته) را که در اثر اضافه ولتاژها و هارمونیک‌ها پدید می‌آیند تا ۳۰٪ مجاز می‌شمارند. بنابراین حفاظت اضافه‌بار (بارزیاد) بایست خازن‌ها را برای بیش از ۳۰٪ افزایش در جریان عبوری از آنها حفاظت نمایند. بعلاوه اضافه جریان‌های گذرا که بعلت بروز اتصال کوتاه در سیستم ممکن است رخ دهند نیز توسط سیستم حفاظتی بایستی مشخص گردند. اما لازم بیادآوری است که عملکرد سیستم حفاظت اتصال کوتاه در اثر بروز خطای داخل واحدهای خازنی و یا المانهای داخل یک واحد نباید مورد انتظار باشد چون همانطور که قبلاً نیز شرح داده شد بروز خطا در یک المان از یک خازن بیشتر باعث تخلیه جریان از المان‌های خازنی موازی با آن خواهد شد واثر افزایش جریان شبکه (بخصوص چنانچه المان های خازنی بصورت ماتریسی در واحد خازن چیده شده باشند) ناچیز بوده و منجر به عملکرد سیستم حفاظت اتصال کوتاه نمی‌شود. در چنین حالاتی اگر المان خازنی با فیوز داخلی مناسب تجهیز شده باشد ارتباط خود را از واحد خازن قطع خواهد نمود و در صورتیکه واحد خازن به فیوز خارجی مناسب تجهیز شده باشد پس از پیش روی خطا از المان معیوب به المان‌های دیگر و ایجاد تخلیه الکتریکی در واحد خازن، فیوز خارجی آن براثر عبور جریان تخلیه واحدهای خازن موازی و یا جریان شبکه عمل کرده و واحد معیوب را جدا خواهد نمود به بیان دیگر حفاظت‌های جریان زمین ، جریان زیاد مجموعهٔ خازن‌ها، تنها اتصالی‌های فازبه فاز و فاز به زمین را در فیدر خازن‌ها مشخص خواهد نمود. این اتصالی‌ها ممکن است براثر قرارگرفتن یک شیئی خارجی یا حیوان در فاصلهٔ بین فازها، سرکابل، هادیها و بوشینگ‌های واحد خازن و غیره ایجاد شوند.

ترانسفورماتورهای جریان که برای تأمین جریان‌های سیستم‌های حفاظتی اضافه بار و اضافه جریان در فیدر مجموعهٔ خازن‌ها قرارمی‌گیرند بنا به توصیه استاندارد I.E.C بایستی دارای جریان نامی حداقل ۱/۵ برابر جریان نامی فیدر باشند و این به علت وجود جریان‌های ناشی از هارمونیک هاست . برای تأمین جریان‌های سیستم حفاظت اضافه‌بار و اضافه جریان استفاده از دو ترانسفورماتور جریان برروی

فازهای C و A کافی بوده و با استفاده از دو رلهٔ بار زیاد / جریان زیاد در روی دو فاز و نیز رلهٔ جریان زمین، سیستم حفاظت جریانی تکمیل می‌گردد. کلاس دقت ترانسفورماتورهای جریان مذکور از نوع 5P و یا 10P میتواند باشد و ضریب حد دقت (Accuracy Limit factor) آنها نیز با توجه به بردن رله‌ها، کابل‌ها، سطح اتصال کوتاه، مقدار تنظیم و مشخصات رله‌های جریانی و بالاخره بردن هسته ترانسفورماتور جریان موردنظر بایستی تعیین شود.

همانطور که در بخشهای قبل نیز گفته شد جریان هجومی خازن‌ها در زمان وصل فیدر مجموعهٔ خازن‌ها شدید بود و لذا حفاظت جریان زیاد بایستی دارای چنان مشخصه‌ای باشد که در اثر عبور این جریان هجومی عملکرد نابجا نداشته باشد با توجه به مقدار معمول راکتورهای سری جریان هجومی خازن‌ها تا صد برابر محدود می‌گردد بنابراین حفاظت‌های جریان زیاد و یار زیاد خازن ها بایستی در مقابل این جریان هجومی فرکانس بالا پایدار باشد این پایداری ممکن است با در نظرگرفتن فیلتر مناسب در سیستم حفاظتی و یا با استفاده از تأخیر زمان در قطع حاصل شود.

۳-۸- حفاظت در برابر اضافه ولتاژ

۱-۳-۸- اضافه ولتاژهای ناشی از شبکه

بر طبق توصیه استاندارد I.E.C یک خازن بایستی در مقابل افزایش ولتاژ تا ۱/۱۵ برابر ولتاژ نامی پایدار بماند و اضافه ولتاژ ۱۰٪ را برای مدت ۱۲ ساعت متوالیاً تحمل نماید. بنابراین برای انتخاب ولتاژ نامی واحد خازن بایستی ولتاژ تنظیم شده شین موردنظر قرار گیرد و اگر ولتاژ تنظیم شده شین به هر دلیل از ۲۰ کیلوولت (و یا ۳۳ کیلوولت) بیشتر باشد ولتاژ نامی واحدهای خازن هم بایستی متناوباً افزایش یابند.

بنابراین با توجه به موارد فوق حفاظت اضافه ولتاژ با مشخصهٔ معکوس زمانی میتواندمفید باشد و یا اینکه از دو رلهٔ اضافه ولتاژ موازی باهم استفاده شود که یکی از ایندو برای حفاظت در مقابل اضافه ولتاژهای پیوسته و دیگری برای حفاظت در مقابل ولتاژهای موقت (چنانچه در شبکه موردنظر وجود داشته باشد) میتواند مورد استفاده قرارگیرد. ایندورله بایستی متفاوت تنظیم شوند و نیز دارای تأخیر زمانی تنظیم شده متفاوت نیز باشند.

۲-۳-۸- اضافه ولتاژ برروی واحدهای خازنی

علاوه بر اضافه ولتاژهایی که در اثر شرائط شبکه ایجاد میشوند، عدم تعادل فازها در مجموعه‌های خازن نیز باعث ایجاد اضافه ولتاژ برروی بعضی از واحدهای خازن خواهدشد. اصولاً این عدم تعادل در اثر بروز خطا در یک یا چند واحد از مجموعهٔ خازن ها پدید می‌آیند و با خارج شدن واحد یا المان مذکور بوسیلهٔ حفاظت فیوزی (داخل و یا خارجی) نیز این عدم تعادل ادامه می‌یابد.

۱)اتصال ستاره تکی

- در سیستم‌های ستاره تکی که نقطهٔ نوتر ستارهٔ آنها زمین نشده است، نقطهٔ نوتر توسط یک ترانسفورماتور ولتاژ به زمین متصل می‌شود (شکل ۱-۹) و در ثانویهٔ این ترانسفورماتور ولتاژ یک یا دو رلهٔ اضافه ولتاژ قرار خواهد گرفت که در اثر ولتاژ نوتر عمل خواهد کرد. تنظیم رله ولتاژی بستگی به نوع حفاظت فیوزی خازن‌ها خواهد داشت اگر حفاظت فیوزی خازن‌ها از نوع فیوز خارجی باشد. عملکرد حفاظت عدم تعادل بایستی پس از فیوز خارجی و جداشدن واحد معیوب رخ دهد چه در غیر اینصورت اگر همزمان با وقوع خطا در واحد خازنی، حفاظت عدم تعادل عمل کند مجموعهٔ خازنی از مدار خارج خواهدشد و بعلت عدم عملکرد حفاظت فیوز خارجی و عدم وجود نشانه‌ای از افتادن فیوزها، اثری از وقوع خطا مشاهده نخواهد شد و گروه تعمیرات بایستی نسبت به بازرسی کلیهٔ واحدهای خازنی اقدام نمایند. از سوی دیگر زمان عملکرد فیوز خارجی هم بایستی کوتاهتر از زمان استقامت مکانیکی محفظه، در مقابل ترکیدن (در اثر پدید آمدن گاز در داخل) نیز باشد.تنظیم رله ولتاژی مذکور معمولاً بنحوی انجام می‌شود که فقط با خارج شدن یک واحد خازنی تحریک شود و نیز تنظیم زمان آن همانطور که گفته شد بایستی بنحوی باشد که از زمان عملکرد فیوز خارجی کندتر باشد.

چنانچه واحدهای خازنی که در مجموعهٔ خازن‌ها بکار میروند دارای حفاظت فیوزی از نوع داخلی باشند در اینصورت با سوختن یک فیوز داخلی در اثر پدید آمدن خطا در یک المان خازن، واحد آسیب دیدهٔ مجموعهٔ خازن‌ها نبایستی از سرویس خارج شود. اما چنانچه تعداد المانهای معیوب داخل واحد (و یا واحدهای دیگر بحدی رسید که عدم تعادل بتواند باعث ایجاد اضافه ولتاژ مضر شود در اینصورت حفاظت عدم تعادل بایستی تحریک شود و به موقع مجموعهٔ خازن‌ها را از سرویس خارج نماید و تا زمان رسیدن گروه تعمیرات و اندازه‌گیری کاپاسیتانس واحدهای خازنی به منظور یافتن واحد و یا واحدهای معیوب، کلید فیدر مجموعهٔ خازنی نبایستی امکان وصل مجدد داشته باشد (LOCK OUT).

حفاظت عدم تعادل برای مجموعه‌های خازنی که از حفاظت فیوزی نوع داخلی استفاده می‌نمایند میتوانند از نوع دو مرحله‌ای باشند. در مرحلهٔ اول که هنوز عدم تعادل باعث ایجاد اضافه ولتاژهای مضر

نشده است حفاظت عدم تعادل «هشدار*» خواهد داد. در این مرحله می‌توان با اعلام به گروه تعمیرات، همزمان خازن‌ها را در سرویس باقی گذارد. در صورتیکه عدم تعادل بیشتر شود و خازن‌ها در معرض اضافه ولتاژهای مضرقرارگیرندآنگاه فرمان قطع‌کلید ونیز قفل‌ووصل مجددآن (TRIP & LOCK OUT) از سوی حفاظت عدم تعادل ارسال خواهدشد. محاسبات مربوط به اضافه ولتاژهایی که برروی المان‌های خازنی و واحدهای خازنی سالم در اثر شکست عایقی در یک المان (یا واحد خازنی) رخ می‌دهد در پیوست شماره یک آمده است.

۲)اتصال ستاره دوگانه

در سیستم‌هایی که بصورت اتصال دوگانه بسته شده‌اند حفاظت عدم تعادل معمولاً یک رله جریانی است که به ترانسفورماتور جریان نوترال مشترک ستاره‌ها بسته شده است (شکل ۲-۹). در این حالت نیز به ازاء حداکثر درصد اضافه ولتاژ مجاز برروی خازن‌ها بایستی جریان عبوری از نوترال مشترک محاسبه گردیده و جریان تنظیم رله براساس محاسبات مربوطه مشخص گردد. در صورتیکه از حفاظت فیوزی نوع داخلی استفاده شود همانطورکه گفته شد می‌توان از حفاظت عدم تعادل دو مرحله‌ای استفاده نمود که مرحلهٔ اول آن «هشدار» و مرحلهٔ دوم آن قطع کلید را موجب خواهد شد. اگر حفاظت فیوزی از نوع فیوز خارجی باشد در اینصورت رله عدم تعادل یک مرحله‌ای و با حساسیت کمتر انتخاب میشود. جریان نامی اولیه ترانسفورماتور جریان واقع در نوترال مشترک بایستی براساس حداکثر جریان عدم تعادل محاسبه گردد و از آنجا که برای نوع فیوز داخلی رله عدم تعادل بایستی دارای حساسیت بالاتری باشد بنابراین توصیه میشود که کلاس دقت این ترانسفورماتور جریان از نوع Cl.1 باشد. در پیوست شماره سه نحوهٔ محاسبهٔ جریان Io گذرنده از نوترال مشترک در هنگام شرایط عدم تعادل آمده است. بایستی توجه داشت که تقسیم متعادل واحدهای خازنی از نظر کاپاسیتانس آنها در سه فاز، در هر نوع اتصال ستاره تکی و ستاره دوگانه می‌تواند در حساستر کردن حفاظت عدم تعادل مؤثر باشد.

* Alarm

فصل نهم - کنترل مجموعهٔ خازن‌ها

۹-۱- رله کنترل ورودو خروج خازنها

برای کنترل ورود و خروج مجموعه‌های خازنی روشهای مختلفی وجود دارند. همانطور که قبلاً نیز یادآوری گردید ورود خازنها باعث افزایش ولتاژ خواهد شد و بنابراین اندازه‌گیری ولتاژ شین بار میتواند مقیاس و معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد وصل مجموعه‌های خازنی باشد اگر این ولتاژ نسبت به یک ولتاژ مرجع کوچکتر باشد بایستی کلید وصل شود. البته در مواردی که از سیستم تنظیم ولتاژ زیر بار استفاده میشود استفاده از این روش به منظور کنترل توان راکتیو چندان مناسب نخواهد بود.

روش دیگر کنترل ورود و خروج مجموعه‌های خازنی استفاده از رلهٔ جریانی است که به ترانسفورماتور جریان فیدر ورودی به شین بایستی متصل شود و میتواند در مراحل مختلفی با افزایش بار یعنی افزایش جریان مورد اندازه‌گیری، فرمان وصل مجموعه‌های خازنی را صادر نماید.

از روش‌های دیگر کنترل فیدر خازن‌ها، بکاربردن رلهٔ زمانی است این رله که برای زمان شروع پیک بار تنظیم میشود فرمان وصل مجموعهٔ خازن‌ها را صادر می‌نماید.

اما معمول‌ترین روش کنترل و بخصوص در شبکه‌های فشار متوسط و فشار قوی، استفاده از رله‌هایی است که با بار راکتیو عمل می‌نماید. این رله‌ها با جریان ثانویه ترانسفورماتور فیدر ورودی شین و ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ شین بار تغذیه میشوند شکل‌های ۳-۹ تا ۶-۹ نحوهٔ کاربرد رله‌های کنترل مختلف را در نقشه‌های تک خطی نشان میدهند.

شکل ۸-۹ دیاگرام برداری رله کنترل راکتیو خازن‌ها را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می‌شود این رله‌ها معمولاً دارای دو تنظیم هستند. تنظیم ضریب قدرت مطلوب ($\cos\phi$) و تنظیم حساسیت (C/K). در حقیقت هرچه تنظیم C/K عدد بزرگتری باشد با تغییر بار راکتیو در یک محدودهٔ مشخص تعداد کمتری قطع و وصل کلید مجموعهٔ خازنی رخ خواهد داد و اگر این مقدار تنظیم کوچکتر باشد قطع و وصل کلید خازن‌ها بیشتر انجام میشود. برای اینکه از قطع و وصل بی‌ثمر جلوگیری شود توصیه میشود که C/K به روش زیر محاسبه گردد.

$$C/K = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V_{SEC} \cdot K_1 \cdot K_2}$$

K_1 نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان

K_2 نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ

ظرفیت کوچکترین مجموعهٔ خازنی به کیلووار Q

رله‌های کنترل توان راکتیو معمولاً دارای چندین مرحلهٔ کنترل هستند و در هر مرحله می‌توانند به یکی از کلیدها فرمان وصل صادر نمایند از آنجاکه قطع وصل اولین مراحل همواره بیش از سایر مراحل انجام می‌شود و این میتواند باعث استهلاک وسائل کلیدزنی آنها شود بنابراین چنانچه قابلیت جابجائی مراحل مختلف در رله کنترل توان راکتیو نباشد توصیه می‌شود با تعبیه یک سلکتورسوئیچ در سیستم کنترل، نسبت به جابجائی مراحل کنترل در زمان‌های مختلف اقدام گردد. اینکار به بالابردن عمر مفید خازن ها نیز کمک خواهد کرد.

۹-۲- تأخیر در وصل خازن‌های باردار

برای جلوگیری از اضافه ولتاژهای مزاحم، لازم است که وصل خازن‌ها در حالتی انجام شود که خازن‌ها دارای بارالکتریکی نباشند. برای این منظور همانطور که در بخش‌های قبل نیز یادآوری گردید از مقاومت‌های تخلیه در داخل واحدهای خازنی استفاده می‌نمایند. این مقاومت‌ها بایستی براساس استاندارد I.E.C ولتاژ ترمینال واحد خازنی را درمدت زمان ۳۰۰ ثانیه به کمتر از ۵۰ ولت برساند. بنابراین از آنجاکه تخلیهٔ واحدهای خازنی مدتی به طول خواهد انجامید، پس وصل مجدد آنها بایستی تأخیری باشد و لذا از یک رلهٔ زمانی برای این منظور بایستی استفاده شود.

۹-۳- قفل حصار محوطهٔ خازن‌ها (FENCE LOCK)

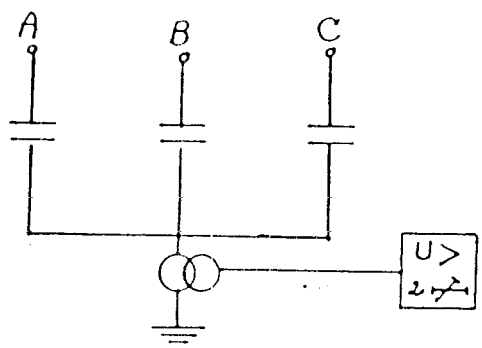
برای جلوگیری از ورود افراد به محوطهٔ خازنها در حالت برقدار بودن آنها که ممکن است در اثر بی‌توجهی آنان رخ دهد و بخصوص در شرائطی که خازن‌ها در ارتفاع پایین و یا حتی برروی زمین نصب میشوند محوطهٔ خازنها را بایستی حصارکشی نمود و از سیستم قفل اتوماتیک در نیز استفاده کرد. به این مفهوم که در زمان برقداربودن خازن‌ها ورود به محوطه امکان پذیر نباشد و نیز در صورت باز بودن در، امکان برقدار کردن خازن‌ها ممکن نباشد. برای کسب اطمینان بیشتر می‌توان بازکردن در را به سکسیونر زمین فیدر خازن ها اینترلاک نمود یعنی در هنگامی میتواند باز شود که علاوه بر قطع کلید قدرت، سکسیونر زمین فیدر خازن هانیز وصل شده باشد. استفاده از حصارهای روبسته برای جلوگیری از ورود پرندگان و سایر حیوانات به محوطهٔ خازن‌ها، هر جا که امکان وقوع اتصال کوتاه وجود دارد توصیه میشود.

۹-۴- رله قطع فیدر و قفل وصل مجدد (TRIPδ LOCK OUT)

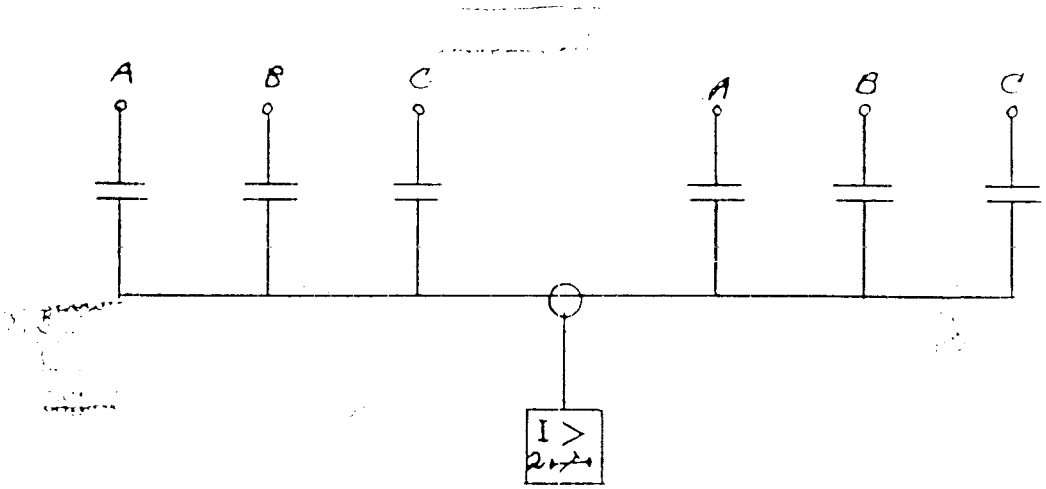
حفاظت‌های جریان زیاد ، بار زیاد، اضافه ولتاژ، عدم تعادل بایستی دارای کنتاکت‌های با قابلیت قطع مناسب به منظور ارسال فرمان تریپ به کلید قدرت باشند در صورتیکه قابلیت قطع این کنتاکت‌ها مناسب نباشد از یک رلهٔ قطع میانی که دارای کنتاکت‌های با قابلیت قطع مناسب (heavy duty) هستند بایستی استفاده شود. اصولاً استفاده از رلهٔ قطع میانی برای حفاظت مجموعه‌های خازنی از این نظر که وصل مجدد خازن‌ها را پس از وقوع خطا می‌توان جلوگیری نمود در اولیت خواهدبود در اینصورت رله قطع میانی بایستی از نوع (TRIP & LOCK OUT) باشد.

۵-۹- تأخیر زمانی در وصل سکسیونر زمین فیدر خازن

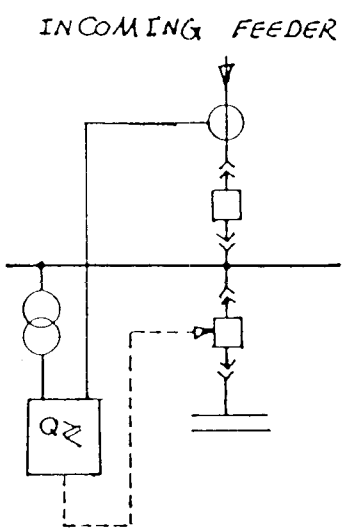
از آنجاکه زمین کردن فیدر خازن‌ها، بلافاصله پس از قطع کلید فیدر، بعلت عدم تخلیه بار آنها توسط مقاومت های تخلیه ، ممکن است سبب آسیب به سکسیونر زمین شود بنابراین لازم است که زمین کردن فیدر خازن‌ها نیز در زمانی انجام شود که مقاومت‌های تخلیه تا حد زیادی بار خازن‌ها را تخلیه کرده باشند. لذا سیستم کنترل بایستی این تأخیر را نیز دارا باشد.



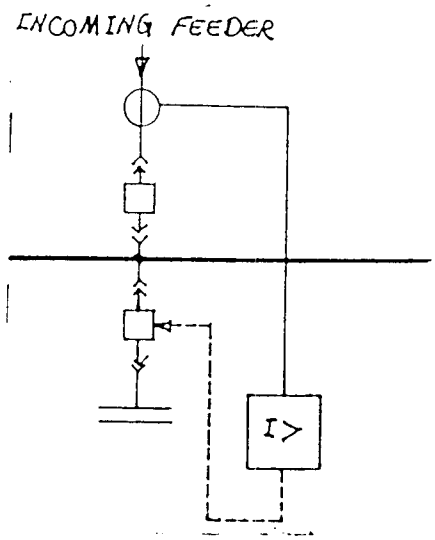
شکل ۱-۹



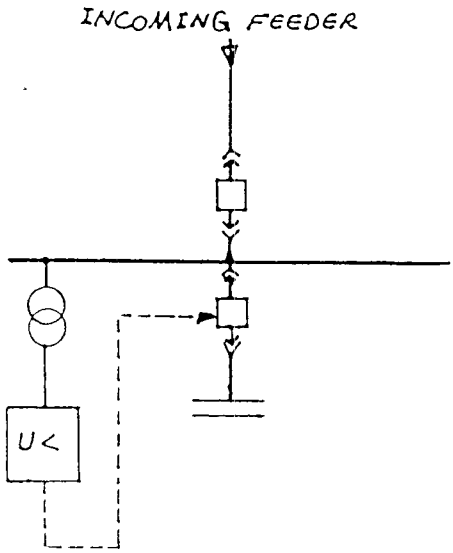
شکل ۲-۹



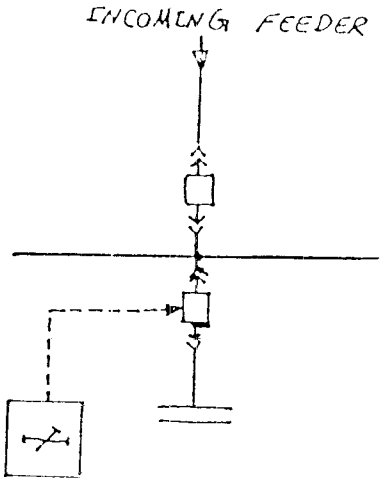
شکل ۹-۳



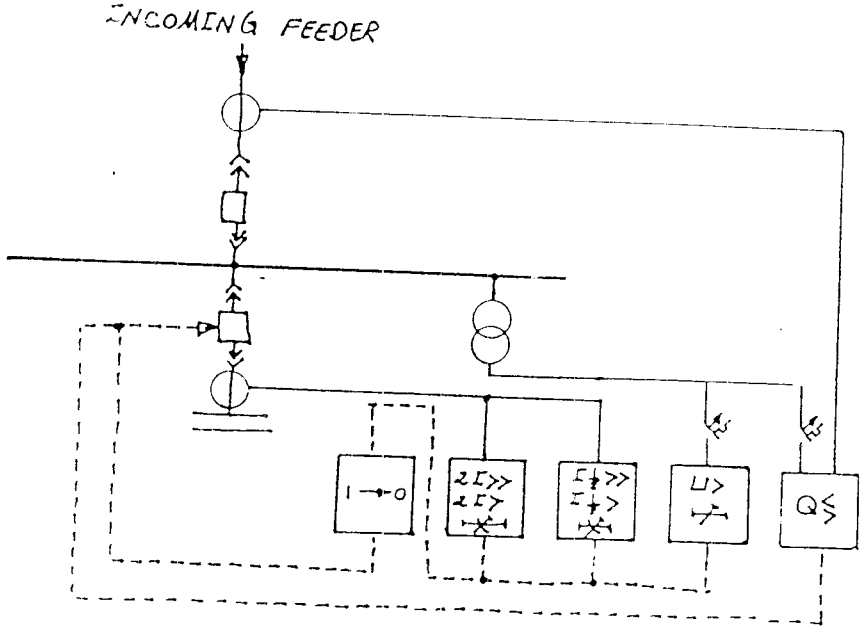
شکل ۹-۴



شکل ۹-۵



شکل ۶-۹



شکل ۷-۹

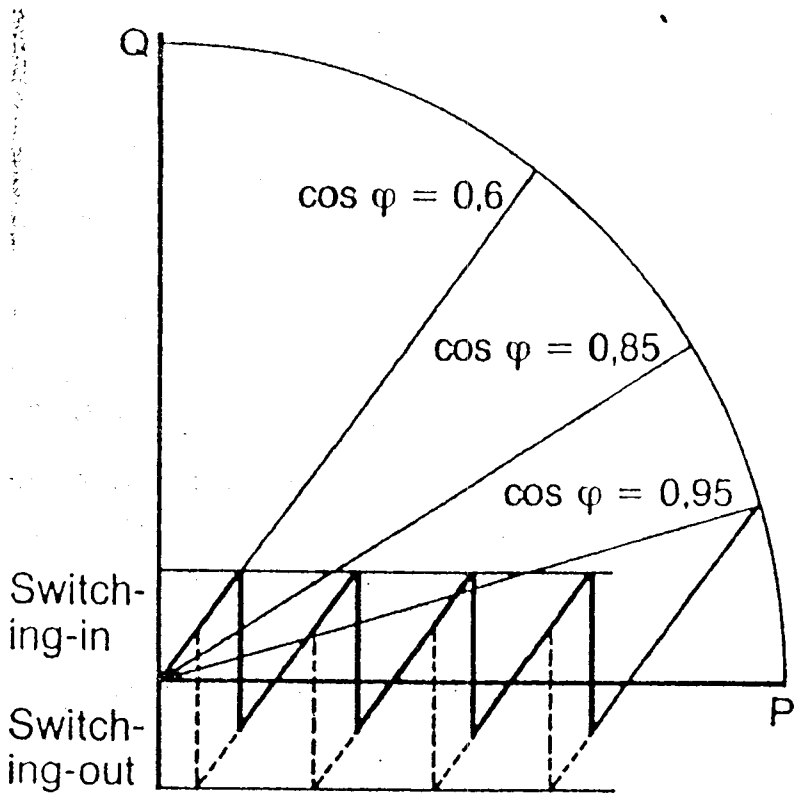


Figure 10 Diagram of four stage regulation of a capacitor bank. The dotted line represents disconnection

شکل ۸-۹

پیوست شماره یک - محاسبه اضافه ولتاژها

۱ - مقدمه

اضافه ولتاژها یکی از مباحث مهم، در ارتباط با خازنها می‌باشند، چراکه افزایش ولتاژ از مقدار ولتاژ نامی واحد یا المان خازنی، موجب افزایش تنش در سیستم‌های عایقی خازن شده و نتیجتاً با سرعت دادن به فرسودگی و پیری عایقی، باعث کاهش طول عمر واحد یا المان خازنی می‌گردد.(*)

مقادیر حداکثر ولتاژهای مجاز و زمانهای اعمال آنها بر واحدها/المانهای خازنی بوسیله استاندارد IEC871 مشخص گردیده است.

به منظور حفاظت واحدهای خازنی در مقابل اضافه ولتاژهایی که بیش از مقادیر مجاز می‌باشند، رله‌های مختلفی در نظر گرفته می‌شود که بنا به مقتضای کار در فصل هشتم، به آن پرداخته شده است.

هدف این بخش، انجام نحوه محاسبهٔ این اضافه ولتاژها بهنگام وقوع خطا در المانها و واحدهای خازنی در حالاتی که واحد خازنی دارای فیوز داخلی و یا مجهز به فیوز خارجی باشد، می‌باشد.

با توجه به قدرتهای مختلف بانکهای خازنی و نحوه آرایش آنها که در جداول انتخاب آرایش از بخش ۳ برای سیستم‌های ولتاژ ۲۴ و ۳۶ کیلوولت ارائه گردیده است، نمونه‌هایی از هریک، به لحاظ حفاظت فیوزی (فیوز داخلی و یا خارجی) و آرایش بانک خازنی بصورت ستاره‌منفرد و ستاره دوگانه جهت روشن شدن مطلب، انتخاب شده که محاسبات مربوط به اضافه ولتاژها بهنگام وقوع خطا در آنها، جهت تنظیم رله‌های عدم تعادل و رله‌های دیگر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

جهت سهولت کار، حتی‌المقدور سعی شده است که از بانکهای خازنی‌ای که در شبکه‌های کشورما بیشتر مورد استفاده قرار گرفته شده است، استفاده شود.

(*) توضیحات بیشتر در این زمینه، در بخش حفاظتی فیوزی ارائه شده است

۲- محاسبات مربوط به ستاره‌منفرد

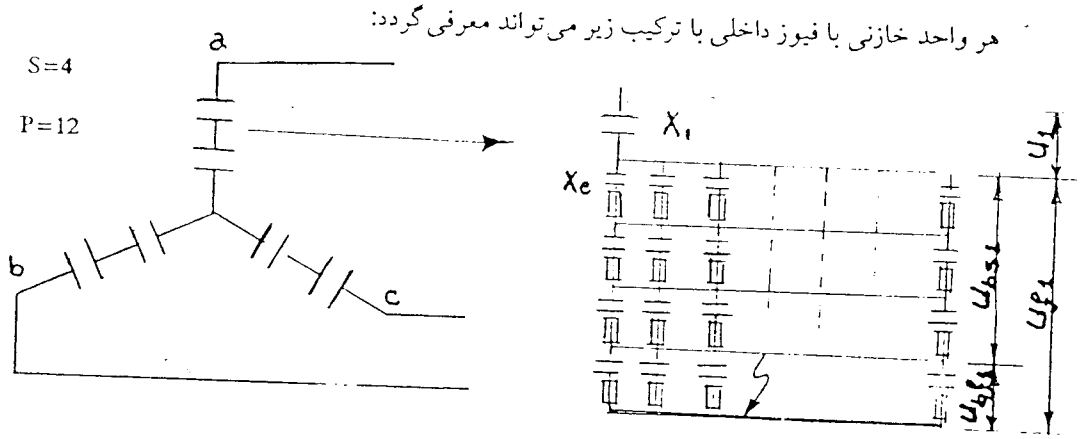
۲-۱- ستاره منفرد به فیوز داخلی

بانک خازنی به ظرفیت ۱/۲ مگاوار، جهت استفاده در سیستم ۲۰ کیلوولت، که در هرفاز آن از ۲ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطورسری استفاده می‌گردد.

$U_{ph} = 20/\sqrt{3} = 11.547 \quad KV.$

$U_u = 11.547 / 2 = 5.7735 \quad KV.$

هر واحد خازنی با فیوز داخلی با ترکیب زیر می‌تواند معرفی گردد:



- با معیوب شدن اولین المان خازنی، فیوز مربوطه عمل نموده و محاسبات بشکل زیر خواهد بود:

$$X_{uf1} = X_{bf1} + X_{bs1} \Rightarrow \begin{matrix} X_{bf1} = \frac{X_e}{P-1} \\ X_{bs1} = \frac{S-1}{P} X_e \end{matrix} \Rightarrow X_{uf1} = \frac{PS - S + 1}{P(P-1)} X_e$$

$$X_1 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{a1} = X_1 + X_{uf1} = \frac{S}{P} X_e + \frac{PS - S + 1}{P(P-1)} X_e \Rightarrow X_{a1} = \frac{2PS - 2S + 1}{P(P-1)} X_e$$

$$X_{b1} = X_{c1} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a.} - E_{n1}}{\frac{2PS - 2S + 1}{P(P-1)} X_e}$$

$$I_{b1} = \frac{E_{b.} - E_{n1}}{X_{b1}} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a.} - E_{n1}}{\frac{2s}{p}X_e}$$

$$I_{c1} = \frac{E_{c.} - E_{n1}}{X_{c1}} = \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a.} - E_{n1}}{\frac{2s}{p}X_e}$$

چون نقطه نوترایزوله می‌باشد، بنابراین :

$$I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} = 0$$

$$\frac{E_{a.}}{\frac{2PS-2S+1}{P(P-1)}X_e} - \frac{E_{a.}}{\frac{2S}{P}X_e} = \frac{E_{n1}}{\frac{2PS-2S+1}{P(P-1)}X_e} + \frac{2E_{n1}}{\frac{2S}{P}X_e}$$

$$E_{n1} = \frac{-1}{6PS - 6S + 2}E_{a.}$$

$$E_{n1} = -0.00376\,E_{a.} \Rightarrow E_{a1} = 1.00376\,E_{a.}$$

$$U_{uf1} = E_{a1} \cdot \frac{X_{uf1}}{X_{a1}} = E_{a1} \cdot \frac{\frac{PS-S+1}{P(P-1)}X_e}{\frac{2PS-2S+1}{P(P-1)}X_e} = \frac{PS-S+1}{2PS-2S+1} \cdot E_{a1} \cong 0.508\,E_{a.}$$

$$\frac{U_{uf1}}{U_1}\% = \frac{0.508}{0.5} \cdot 100 = 101.6\%$$

$$U_{bf1} = U_{uf1} \cdot \frac{X_{bf1}}{X_{uf1}} = 0.508\,E_{a.} \cdot \frac{\frac{X_e}{P-1}}{\frac{PS-S+1}{P(P-1)}X_e} = 0.135\,E_{a.}$$

$$\frac{U_{bf1}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.135\,E_{a.}}{0.125\,E_{a.}} \cdot 100 = 108.4\ \%$$

$$U_1 = E_{a1} - U_{uf1} = 1.00376\,E_{a.} - 0.508\,E_{a.} = 0.496\,E_{a.}$$

$$\frac{U_1}{U_{un}} \cdot 100 = \frac{0.496\,E_{a.}}{0.5\,E_{a.}} \cdot 100 = 99.152\%$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a.} - E_{n1}}{X_{a1}} = \frac{1.00376\,E_{a.}}{\frac{(2PS-2S+1)}{P(P-1)}X_e} = \frac{1.00376\,E_{a.}}{\frac{(2PS-2S+1)}{(P-1)\cdot 2S} \cdot \frac{2S}{P}X_e} = 0.9925\,I_{a.}$$

$$E_{b1} = E_{b\circ} - E_{n1} = (-0.5 - j\,0.86)\,E_{a\circ} + (0.00376\,E_{a\circ})$$

$$= (-0.49624 - j\,0.86)\,E_{a\circ} = 0.993\,E_{a\circ}$$

$$E_{c1} \cong E_{b1} \cong 0.993\,E_{a\circ}$$

$$I_{c1} \cong I_{b1} \cong 0.993\,I_{a\circ}$$

- با فرض اینکه دومین المان خازنی از همان شاخه قبلی معیوب شود، در اینصورت:

$$X_{uf2} = X_{bf2} + X_{bs2} \Rightarrow \begin{matrix} X_{bf2} = \dfrac{X_e}{P-2} \\ X_{bs2} = \dfrac{S-1}{P}\,X_e \end{matrix} \Rightarrow X_{uf2} = \left(\frac{1}{P-2} + \frac{S-1}{P}\right) X_e = \frac{PS-2S+2}{P(P-2)}\,X_e$$

$$X_2 = \frac{S}{P}\,X_e$$

$$X_{a2} = X_{uf2} + X_2 = \frac{2SP-4S+2}{P(P-2)}\,X_e$$

$$X_{b2} = X_{c2} = \frac{2S}{P}\,X_e$$

$$I_{a2} + I_{b2} + I_{c2} = 0$$ چون:

$$\frac{E_{a\circ}}{\dfrac{2PS-4S+2}{P(P-2)}\,X_e} - \frac{E_{a\circ}}{\dfrac{2S}{P}\,X_e} = \frac{E_{n2}}{\dfrac{2PS-4S+2}{P(P-2)}\,X_e} + \frac{2E_{n2}}{\dfrac{2S}{P}\,X_e}$$

$$E_{n2} = \frac{-1}{3PS-6S+2} \cdot E_{a\circ} = -0.0082\,E_{a\circ}$$

$$E_{a2} = E_{a\circ} - E_{n2} = E_{a\circ} - (-0.0082\,E_{a\circ}) = 1.0082\,E_{a\circ}$$

$$U_{uf2} = E_{a2} \cdot \frac{X_{uf2}}{X_{a2}} = E_{a2} \cdot \frac{\dfrac{PS-2S+2}{P(P-2)}X_e}{\dfrac{2PS-4S+2}{P(P-2)}\,X_e} = 1.0082 * \frac{42}{82} \cong 0.5164\,E_{a\circ}$$

$$\frac{U_{uf2}}{U_2}\% = \frac{0.5164}{0.5} \cdot 100 = 103.28$$

$$U_{bf2} = U_{uf2} \cdot \frac{X_{bf2}}{X_{uf2}} = E_{a2} \cdot \frac{\frac{X_c}{P-2}}{\frac{PS-2S+2}{P(P-2)} X_c} = \frac{P}{PS-2S+2} \cdot E_{a2} = 0.1475\ E_{a_0}$$

$$\frac{U_{bf2}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.1475\ E_{a_0}}{0.125\ E_{a_0}} \cdot 100 = 118\%$$

$$U_2 = E_{a2} - U_{uf2} = 1.0082\ E_{a_0} - 0.5164 E_{a_0} = 0.4918\ E_{a_0}$$

$$\frac{U_2}{U_{un}} \cdot 100 = \frac{0.4918\ E_{a_0}}{0.5\ E_{a_0}} \cdot 100 = 98.36\ \%$$

$$I_{a2} = \frac{E_{a2}}{X_{a2}} = \frac{1.0082\ E_{a_0}}{\frac{2SP-4S+2}{2S(P-2)} \cdot \frac{2S}{P} X_c} = 0.9836\ I_{a_0}$$

$$E_{b1} \cong E_{c1} = (-0.5 - j\ 0.86) + 0.0082\ E_{a_0} = 0.99\ E_{a_0}$$

$$I_{c2} \cong I_{b2} \cong 0.99\ I_{a_0}$$

- با فرض اینکه سومین المان از همان شاخه قبلی معیوب شود، در اینصورت :

$$X_{uf3} = X_{bf3} + X_{bs3} \Rightarrow \begin{cases} X_{bf3} = \frac{X_c}{P-3} \\ X_{bs3} = \frac{S-1}{P} X_c \end{cases} \Rightarrow X_{uf3} = \left(\frac{1}{P-3} + \frac{S-1}{P}\right) X_c$$

$$X_{uf3} = \frac{PS-3S+3}{P(P-3)} X_c$$

$$X_3 = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{a3} = X_3 + X_{uf3} = \frac{2SP-6S+3}{P(P-3)} X_c$$

$$X_{b3} = X_{c3} = \frac{2S}{P} X_c$$

$$I_{a3} + I_{b3} + I_{c3} = 0$$ چون :

$$\frac{E_{a_0}}{\frac{2PS-6S+3}{P(P-3)} X_c} - \frac{E_{a_0}}{\frac{2S}{P} X_c} = \frac{E_{n3}}{\frac{2SP-6S+3}{P(P-3)} X_c} + \frac{2E_{n3}}{\frac{2S}{P} X_c}$$

$$E_{n3} = \frac{-1}{2SP-6S+2} E_{a_o}$$

$$E_{n3} \cong -0.0135\, E_{a_o} \Rightarrow E_{a3} = 1.0135\, E_{a_o}$$

$$U_{uf3} = E_{a3} \cdot \frac{X_{uf3}}{X_{a3}} = \frac{\frac{PS-3S+3}{P(P-3)} X_e}{\frac{2PS-6S+3}{P(P-3)} X_e} \cdot E_{a3} = 0.52 \cdot 1.0135\, E_{a_o}$$

$$= 0.527\, E_{a_o}$$

$$\frac{U_{uf3}}{U_3} \cdot 100 = \frac{0.527\, E_{a_o}}{0.5\, E_{a_o}} \cdot 100 = 105.4$$

$$U_{bf3} = U_{uf3} \cdot \frac{X_{bf3}}{X_{uf3}} = 0.527\, E_{a_o} \cdot \frac{\frac{X_e}{P-3}}{\frac{(PS-3S+3)X_e}{P(P-3)}} = 0.162\, E_{a_o}$$

$$\frac{U_{bf3}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.162\, E_{a_o}}{0.125\, E_{a_o}} \cdot 100 = 129.72\ \%$$

$$U_3 = E_{a3} - U_{uf3} = 1.0135\, E_{a_o} - 0.527\, E_{a_o} = 0.4865\, E_{a_o}$$

$$\frac{U_3}{U_{un}} \cdot 100 = \frac{0.4865\, E_{a_o}}{0.5\, E_{a_o}} \cdot 100 = 97.3\ \%$$

$$I_{a3} = \frac{E_{a3}}{X_{a3}} = \frac{1.0135\, E_{a_o}}{\frac{(2PS-6S+3)}{2S(P-3)} \cdot \frac{2S}{P} X_e} = 0.973\, I_{a_o}$$

$$E_{b3} = E_{b_o} - E_{n3} = (-0.5 - j\,0.86)\, E_{a_o} - (-0.0135\, E_{a_o})$$

$$= (-0.4865 - j\,0.86)\, E_{a_o}$$

$$= 0.988\, E_{a_o}$$

$$E_{c3} \cong E_{b3} \cong 0.988\, E_{a_o}$$

$$I_{c3} \cong I_{b3} \cong 0.988\, I_{a_o}$$

- با فرض اینکه چهارمین المان خازنی از همان شاخه قبلی معیوب شود، در اینصورت :

$$X_{uf4} = X_{bf4} + X_{bs4} \Rightarrow \begin{cases} X_{bf4} = \dfrac{X_c}{P-4} \\ X_{bs4} = \dfrac{S-1}{P} X_c \end{cases} \Rightarrow X_{uf4} = \left(\frac{1}{P-4} + \frac{S-1}{P}\right) X_c$$

$$X_{uf4} = \frac{PS-4S+4}{P(P-4)} X_c$$

$$X_4 = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{a4} = \frac{(2PS-8S+4)}{P(P-4)} X_c$$

$$I_{a4} + I_{b4} + I_{c4} = 0$$

$$E_{n4} = \frac{-2}{3PS-12S+4} E_{a\circ} = -0.02\ E_{a\circ}$$

$$E_{a4} = 1.02\ E_{a\circ}$$

$$U_{uf4} = E_{a4} \cdot \frac{X_{uf4}}{X_{a4}} = 0.54\ E_{a\circ}$$

$$\frac{U_{uf4}}{U_4} \cdot 100 = 108\ \%$$

$$U_{bf4} = U_{uf4} \cdot \frac{X_{bf4}}{X_{uf4}} = \frac{P}{PS-4S+4} \cdot 0.54\ E_{a\circ} = 0.18\ E_{a\circ}$$

$$\frac{U_{bf4}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.18\ E_{a\circ}}{0.125\ E_{a\circ}} \cdot 100 = 144$$

$$U_4 = 0.48\ E_{a\circ} \qquad \frac{U_4}{U_{un}} \cdot 100 = \frac{0.48\ E_{a\circ}}{0.5\ E_{a\circ}} \cdot 100 = 96\%$$

$$I_{a4} = 0.96\ I_{a\circ}$$

$$E_{b4} \cong E_{c4} \cong 0.985\ E_{a\circ}$$

$$I_{b4} \cong I_{c4} \cong 0.985\ E_{a\circ}$$

- با فرض معیوب شدن پنجمین المان خازنی از شاخه‌ی قبلی خواهیم داشت :

$$X_{uf5} = \frac{PS-5S+5}{P(P-5)} X_c$$

$$X_{a5} = \frac{2PS-10S+5}{P(P-5)} X_c$$

$$E_{n5} = \frac{-5}{6PS-30S+10} E_{a\circ} = -0.028\ E_{a\circ}\ ,\ E_{a5} = 1.028\ E_{a\circ}$$

$$U_{uf5} = 0.556\ E_{a\circ}$$

$$\frac{U_{uf5}}{U_{bn}} \cdot 100 = 111.2\%$$

$$U_{ub5} = U_{uf5} \cdot \frac{X_{uf5}}{X_{uf5}} = 0.202\ E_{a\circ}$$

$$\frac{U_{bf5}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.202\ E_{a\circ}}{0.125\ E_{a\circ}} \cdot 100 = 161.6\%$$

$$U_5 = 0.472\ E_{a\circ}$$

$$\frac{U_5}{U_{un}} \cdot 100 = \frac{0.472\ E_{a\circ}}{0.5\ E_{a\circ}} \cdot 100 = 94.4$$

$$I_{a5} = \frac{E_{a5}}{X_{a5}} = 0.944\ I_{a\circ}$$

$$E_{b5} \cong E_{c5} \cong 0.981\ E_{a\circ}$$

$$I_{b5} \cong I_{c5} \cong 0.981\ I_{a\circ}$$

- مقادیر و کمیتهای مذکور بدنبال معیوب شدن المان خازنی ششم، مقادیر زیر را خواهند گرفت .

$$X_{uf6} = \frac{PS-6S+6}{P(P-6)} X_c$$

$$X_{a6} = \frac{2PS-12S+6}{P(P-6)} X_c$$

$$E_{n6} = \frac{-1}{PS-6S+2} E_{a\circ} = -0.0385\ E_{a\circ}$$

$$E_{a6} = 1.0385\ E_{a\circ}$$

$$U_{uf6} = E_{a6} \cdot \frac{X_{uf6}}{X_{a6}} = 1.0385 \cdot \frac{30}{54} = 0.577\ E_{a.}$$

$$\frac{U_{uf6}}{U_6} \cdot 100 = \frac{0.577\ E_{a.}}{0.5\ E_{a.}} \cdot 100 = 115.4\%$$

$$U_{bf6} = U_{uf6} \cdot \frac{X_{bf6}}{X_{uf6}} = 0.577\ E_{a.} \cdot \frac{12}{30} = 0.2308\ E_{a.}$$

$$\frac{U_{bf6}}{U_{bn}} \cdot 100 = \frac{0.2308\ E_{a.}}{0.125\ E_{a.}} \cdot 100 = 184.64$$

$$U_6 = 0.4615\ E_{a.}$$

$$\frac{U_6}{U_{un}} \cdot 100 = 92.3$$

$$I_{a6} = 0.923$$

$$E_{b6} \cong E_{c6} \cong 0.976\ E_{a.}$$

$$I_{b6} \cong I_{c6} \cong 0.976\ I_{a.}$$

- در تمامی حالتهای ۶گانه این محاسبات جریان فاز a برابر با جریان خطا نیز می‌باشد.

جدول شماره ۱ - مربوط به ستاره منفرد با فیوز داخلی

زمان‌موردانتظاربرای خطای بعدی (•)	جریان		ولتاژ						
	I_a / $I_{a\bullet}$	$I_b=I_c$ / $I_{a\bullet}$	E_a / $E_{a\bullet}$	$E_b=E_c$ / $E_{a\bullet}$	E_n / $E_{a\bullet}$	$U_{bf}/\frac{E_{a\bullet}}{8}$	U_{uf} / $E_{a\bullet}/2$	U / $E_{a\bullet}/2$	
	100%	1.00	100%	1.00	0.00	100%	100%	1.00	قبل از وقوع هرگونه خطا
ولتاژ واحد و المان خازنی	99.25	<1	100.4	<1	-0.4	108	101.6	<1	۱ المان معیوب
زیرمقادیرحدی بوده، ضمن اینکه جریان خطا هم کمترازمقدارنامی‌می‌باشد.بنابراین زمان‌طولانی وقابل پیش‌بینی نیست.									
ولتاژ واحد معیوب زیر مقدار	98.4	<1	100.8	<1	-0.8	118	103.3	<1	۲ المان معیوب
حدی است ودر همان‌حال ولتاژ شاخه‌ای که دارای‌المان معیوب می‌باشد دارای‌اضافه ولتاژ ۱۸ درصدی باجریان کمتر از مقدار نامی می‌باشد، بطوریکه اگر المانهااشکالی نداشته باشند شاید سالها طول بکشد تا المانهای بعدی معیوب شوند.									
همانند حالت بالا با این تفاوت که	97.3	<1	101.4	<1	-1.35	129.7	105.4	<1	۳ المان معیوب
اضافه ولتاژ شاخه‌ای که دارای المان معیوب می‌باشدبه حدود ۳۰ درصد می‌رسد ضمن اینکه، مقدار جریان آن از حالت قبل کمتر می‌باشد، بنابراین با شرط عدم وجود اشکال ساختاری شاید کمتر از سال ، بلکه یک ماه طول بکشد تا المانهای بعدی معیوب شود.									
در مقایسه با حالت قبلی، و	96	<1	102	<1	-2	144	108	<1	۴ المان معیوب
همان شرط، مسلماً درزمان کمتری المانهای بعدی معیوب خواهندشد. شاید به ماهها نرسد، بلکه هفته‌ها برای معیوب شدن المان بعدی کفایت نماید.									
در مقایسه با حالت قبلی، مسلماً	94.4	<1	102.8	<1	-2.8	161	111.2	<1	۵ المان معیوب
در زمان کمتری المانهای بعدی معیوب می‌شود، بطوریکه ممکن است کمتر از هفته و شاید روزها برای آن کافی باشد.									
در این حالت شاید به ساعت	92.3	<1	103.8	<1	-3.8	184.6	115.4	<1	۶ المان معیوب
یا حتی دقیقه هم نکشد و المان بعدی معیوب گردد.									

(•) زمان مورد انتظار برای خطای بعدی، می‌بایست توسط سازندگان برای حالتهای مختلف ارائه گردد.

- U ولتاژ واحد خازنی سالم در فاز a می‌باشد.

- U_{uf} نشاندهنده ولتاژ واحد خازنی دارای المان معیوب می‌باشد و U_{bf} نیز ولتاژ طبقه‌ای از همان واحد خازنی است که المان معیوب در آن طبقه است .

- E_a، E_b، E_c به ترتیب ولتاژ فازهای a، b و c نسبت به نول می‌باشد و E_n ولتاژ نقطه نول است .

- I_a، I_b و I_c جریانهای فازهای a، b و c می‌باشند.

- $E_{a\bullet}$ و $I_{a\bullet}$ مقادیر ولتاژ فاز به نول و جریان فاز در حالت قبل از خطا می‌باشند.

- جهت آرایش مجموعه خازنی و آرایش المانها در واحد خازنی به شکل بند ۱-۲ مراجعه گردد.

۲-۲- ستاره منفرد با فیوز خارجی

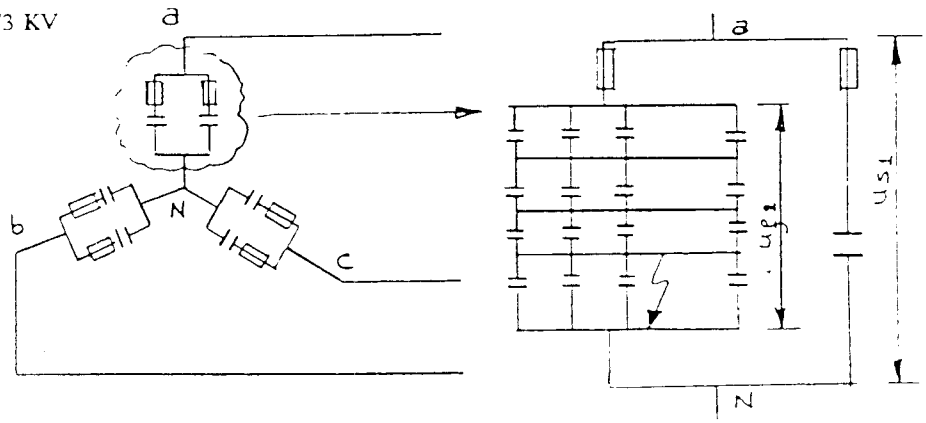
بانک خازنی با ظرفیت ۱/۲ مگاوار، جهت استفاده در سیستم ۲۰ کیلوولت که در هر فاز آن از ۲ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطور موازی استفاده می‌گردد.

$U_{Ph} = 20/\sqrt{3} = 11.573$ KV

$U_u = 11.547$

$S=6$

$P=8$



$S = 6 \qquad P = 8$

$$X_{uf1} = \frac{S-1}{P} X_c$$

$$X_{us1} = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{a1} = \frac{S(S-1)}{P(2S-1)} X_c$$

$$X_{b1} = X_{c1} = \frac{S}{2P} X_c$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a\circ} - E_{n1}}{X_{a1}} = \frac{E_{a\circ} - E_{n1}}{\frac{S(S-1)}{P(2S-1)} X_c}$$

$$I_{b1} = \frac{E_{b1} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a\circ} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c}$$

$$I_{c1} = \frac{E_{c1} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a\circ} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c}$$

- چون نوترال یزوله می باشد بنابراین:

$$I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} = 0$$

$$\frac{E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S(S-1)}{P(2S-1)} X_c} + \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c} + \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{2P} X_c} = 0$$

$$E_{n1} = \frac{1}{6S-5} \cdot E_{a_0} = 0.032\ E_{a_0}$$

$$E_{a1} = 0.968\ E_{a_0}$$

$$I_{uf1} = \frac{E_{a1}}{X_{uf1}} = \frac{0.968\ E_{a_0}}{\frac{S-1}{P} X_c} = \frac{0.968\ E_{a_0}}{\frac{S-1}{S} \cdot \frac{S}{P} X_c} \cong 1.162\ I_{a_0}$$

$$I_{us1} = \frac{E_{a1}}{X_{us1}} = \frac{0.968\ E_{a_0}}{\frac{S}{P} X_c} = 0.968\ I_{a_0}$$

$$I_{a1} = I_{uf1} + I_{us1} = 2.13\ I_{a_0}$$

$$I_{ut1} \quad I_{un} \cdot 100 = 1.162\ I_{a_0}/I_{a_0} \cdot 100 = 116.2$$

$$E_{b1} = E_{b_0} - E_{n1} = (-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - 0.032\ E_{a_0}$$

$$= 1.01125$$

$$E_{c1} = E_{c_0} = E_{n1} = (-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - 0.032\ E_{a_0}$$

$$= 1.01125$$

$$I_{b1} = I_{c1} \cong 1.01125\ I_{a_0}$$

- مقادیر حاصل برای وقتی است که خطا در یکی از المانها بوجود آید. ایجاد خطا در هر یک از المانهای خازنی همانند شرحی که برای فیوز، ترمی در وضع حاصله نخواهد داشت. مگر آنکه المان دیگری

از شاخه دیگر معیوب گردد. بنابراین معیوب شدن المان دوم تبعات زیر را بدنبال خواهدداشت :

$$X_{uf2} = \frac{S-2}{P} X_e$$

$$X_{us2} = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{a2} = \frac{S(S-2)}{2P(S-1)} X_e$$

$$X_{b2} = X_{c2} = \frac{S}{2P} X_e$$

با در نظر گرفتن نوترال ایزوله و شرط: $\vec{I}_{a1} + \vec{I}_{b2} + \vec{I}_{c2} = 0$

خواهیم داشت.

$$E_{n2} = 0.077\ E_{a.}$$

$$E_{a2} = 0.923\ E_{a.}$$

$$I_{uf2} = \frac{E_{a2}}{X_{uf2}} = \frac{0.923\ E_{a.}}{\frac{S-2}{S} \cdot \frac{S}{P} X_e} = 1.3845\ I_{a.}$$

$$I_{us2} = 0.923\ I_{a.}$$

$$I_{a2} = I_{uf2} + I_{us2} = 2.3075$$

$$I_{uf2} / I_{un} \cdot 100 = 1.3845\ I_{a.}/I_{a.} \cdot 100 = 138.45$$

$$E_{b2} = E_{c2} \cong 1.036\ E_{a.}$$

$$I_{b2} = I_{c2} \cong 1.036\ I_{a.}$$

- وقتی که المان سوم از شاخه سوم دچار خطا می‌گردد. نتیجه مطابق محاسبات و مقادیر زیر

خواهدبود:

$$X_{uf3} = \frac{S-3}{P} X_e$$

$$X_{us3} = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{a3} = \frac{S(S-3)}{P(2S-3)} X_c$$

$$X_{b3} = X_{c3} = \frac{S}{2P} X_c$$

بدلیل ایزوله بودن نوترال داریم :

$$\vec{I}_{a3} + \vec{I}_{b3} + \vec{I}_{c3} = 0$$

$$\frac{\vec{E}_{a3}}{X_{a3}} + \frac{\vec{E}_{b3}}{X_{b3}} + \frac{\vec{E}_{c3}}{X_3} = 0$$

$$\frac{E_{a_\circ} - E_{n3}}{X_{a3}} + \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_\circ} - E_{n3}}{X_{b3}} + \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a_\circ} - E_{n3}}{X_{c3}} = 0$$

$$E_{n3} = 0.143\ E_{a_\circ}$$

$$E_{a3} = 0.857\ E_{a_\circ}$$

$$I_{uf3} = 1.714\ I_{a_\circ}$$

$$I_{us3} = 0.857\ I_{a_\circ}$$

$$I_{a3} = 2.571$$

$$I_{uf3} / I_{un} \cdot 100 = 1.714\ I_{a_\circ} / I_{a_\circ} \cdot 100 = 171.4$$

$$E_{b3} = E_{c3} \cong 1.074\ E_{a_\circ}$$

$$I_{b3} = I_{c3} \cong 1.074\ I_{a_\circ}$$

- با معیوب شدن المان چهارم از شاخه چهارم، محاسبات بصورت زیر خواهدبود:

$$X_{uf4} = \frac{S-4}{P} X_c$$

$$X_{us4} = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{a4} = \frac{S(S-4)}{P(2S-3)} X_c$$

$$X_{b4} = X_{c4} = \frac{S}{2P} X_e$$

$$E_{n4} = 0.25\ E_{a\bullet}$$

$$E_{a4} = 0.75\ E_{a\bullet}$$

$$I_{uf4} = 2.25\ I_{a\bullet} \qquad \& \qquad I_{us4} = 0.75\ I_{a\bullet}$$

$$I_{a4} = I_{uf4} + I_{us4} = 3\ I_{a\bullet}$$

$$I_{uf4} / I_{un} \bullet 100 = 2.25\ I_{a\bullet} / I_{a\bullet} \bullet 100 = 225$$

$$E_{b4} = E_{c4} \cong 1.141\ E_{a\bullet}$$

$$I_{b4} = I_{c4} \cong 1.141\ I_{a\bullet}$$

- با معیوب شدن المان پنجم از شاخه پنجم، محاسبات اضافه ولتاژها و اضافه جریانها بصورت زیر خواهد بود:

$$X_{uf5} = \frac{S-5}{P} X_e$$

$$X_{us5} = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{a5} = \frac{S(S-5)}{P(2S-5)} X_e$$

$$X_{b5} = X_{c5} = \frac{S}{2P} X_e$$

- مطابق حالت‌های قبلی، خواهیم داشت :

$$E_{n5} = 0.4545\ E_{a\bullet}$$

$$E_{a5} = 0.545\ E_{a\bullet}$$

$$I_{uf5} = 3.276\ I_{a\bullet} \qquad \& \qquad I_{us5} = 0.545\ I_{a\bullet}$$

$I_{a5} = 3.821\ I_{a.}$

$I_{af5} / I_{an} \cdot 100 = 3.276\ I_{a.} / I_{a.} \cdot 100 = 327.6$

$E_{b5} = E_{c5} \cong 1.28\ E_{a.}$

$I_{b5} = I_{c5} \cong 1.28\ I_{a.}$

جدول شماره ۲- مربوط به ستاره منفرد با فیوز خارجی

زمان‌موردانتظاربرای خطای بعدی	جریان			ولتاژ			
	$I_c=I_b$	I_a	I_{uf}	$E_c=E_b$	E_n	$E_a=U_{uf}$	
	/I_a.			/E_a.			
	100	200	100	100	0.00	100	قبل از وقوع مرگونه خطا
جریان و ولتاژ واحد خازنی	101.125	213	116.2	101.125	+3.2	96.8	۱ المان معیوب
معیوب از مقادیرحدی استاندارد پائین‌تر می‌باشد. بنابراین در صورت عدم اشکال ساختاری در المانهای بعدی، معیوب شدن المان بعدی ممکن است سالهاطول‌بکشد.							
در مقایسه با حالت قبلی،	103.6	230.75	138.45	103.6	+7.7	92.3	۲ المان معیوب
جریان ۲۰ درصد بالاتر است، که باهمان شرط قبلی، قاعدتاً در صورت بروز اضافه جریان در سیستم که به مقدار جریان خطا اضافه شود، می‌تواند باعث معیوب شدن المانهای بعدی گردد چراکه در اینصورت از مقادیر حدی بالاتر می‌شود.							
جریان واحد خازنی معیوب	107.4	257.1	171.4	107.4	+14.3	85.7	۳ المان معیوب (•)
بالاتر از مقدار حدی تعیین شده بوسیله استاندارد می‌باشد، بنابراین المان بعدی ممکن است در عرض ثانیه یا... معیوب گردد و به وضعیت بعدی برسد.							
در این حالت، معیوب شدن	114.1	300	225	114.1	+25	75	۴ المان معیوب
المانهای بعدی خیلی سریع اتفاق میافتند، بطوریکه نهایتاً موجب عمل نمودن فیوز خارجی فاز می‌گردد، ضمن اینکه اضافه ولتاژ فازهای دیگر هم از حد مجاز بیشتر شده است .							
حالت قبلی خیلی سریع به	128	382.1	327.6	128	+45.45	54.5	۵ المان معیوب
این حالت می‌رسد و بدنبال آن می‌تواند تمام المانها معیوب شده و موجب عمل فیوز خارجی گردد.							

(۰) در واقع پس از معیوب شدن ۳ المان ، حدود ۵۰ درصد یا نصف واحد خازنی از بین رفته است، بطوریکه با جریان خطای موجود در واحد خازنی المانهای بعدی سریعاً معیوب شده و قبل از اینکه منجر به ترکیدن محفظه خازنی گردد، فیوز خارجی عمل می‌نماید و بدنبال آن رله مربوطه، ستاره‌منفرد را از مدار خارج می‌نماید.

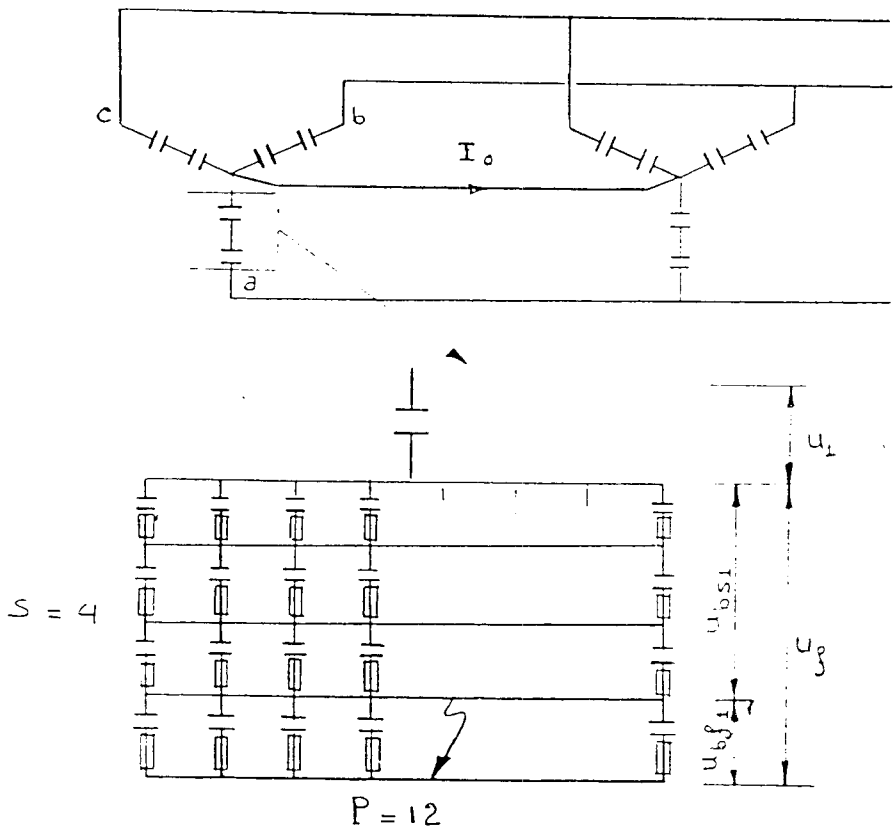
توضیحات :

- E_a ،E_b و E_c به ترتیب ولتاژ فازهای a، b، c و E_n ولتاژ نقطه نول می‌باشند .
- I_a ،I_b و I_c به ترتیب جریان فازهای a، b و c می‌باشند.
- E_{a_0} و I_{a_0} مقادیر ولتاژ فاز به نول و نصف جریان فاز در حالت قبل از خطا می‌باشند.
- جهت آرایش مجموعه خازنی و آرایش المانها در واحد به شکل بند ۲-۲ رجوع شود.

۳- محاسبات مربوط به ستاره‌دوگانه

۳-۱- ستاره‌دوگانه با فیوز داخلی

بانک خازنی با ظرفیت ۲/۴ مگاوار، جهت استفاده در سیستم ۲۰ کیلوولت، که در هر فاز آن از ۲ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری بطورسری استفاده میگردد.



با معیوب شدن اولین المان خازنی، فیوز مربوطه عمل نموده و محاسبات بشکل زیر خواهد بود.

$$X_{uf1} = X_{bf1} + X_{bs1} \Rightarrow \begin{cases} X_{bf1} = \frac{1}{P-1} X_e \\ X_{bs1} = \frac{S-1}{P} X_e \end{cases} \Rightarrow X_{uf1} = \left(\frac{1}{P-1} + \frac{S-1}{P}\right) X_e = \frac{(PS-S+1)X_e}{P(P-1)}$$

$$X_1 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af1} = \left(\frac{1}{P-1} + \frac{S-1}{P} + \frac{S}{P}\right) X_e = \frac{2PS-2S+1}{P(P-1)} X_e$$

$$X_{as1} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$\frac{1}{X_{a1}} = \frac{P(P-1)}{(2PS-2S+1)\,X_c} + \frac{P}{2SX_c} \Rightarrow X_{a1} = \frac{2S(2PS-2S+1)\,X_c}{P(4PS-4S+1)}$$

$$X_{b1} = X_{c1} = \frac{S}{P} X_c$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a_0} - E_{n1}}{X_{a1}} X_c = \frac{E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{2S(2PS-2S+1)}{4P^2S-4PS+P}} X_c$$

$$I_{b1} = \frac{E_{b1}}{X_{b1}} = \frac{E_{b_0} - E_{n1}}{X_{b1}} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_c}$$

$$I_{c1} = \frac{E_{c1}}{X_{c1}} = \frac{E_{c_0} - E_{n1}}{X_{c1}} = \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_c}$$

از تبدیل دو ستاره که باهم موازی هستند به یک ستاره، چون نقطه نوتر ایزوله می‌باشد، بنابراین می‌توان نوشت :

$$\vec{I}_{a1} + \vec{I}_{b1} + \vec{I}_{c1} = 0$$

$$\frac{E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{2S(2SP-2S+1)}{P(4SP-4S+1)} X_c} + \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_c} + \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_c} = 0$$

که نتیجتاً داریم :

$$E_{n1} = \frac{-1}{12PS-12S+5} E_{a_0}$$

$$E_{n1} = -\,0.0019\,E_{a_0}$$

$$E_{a1} = 1.0019\,E_{a_0}$$

$$I_{af1} = \frac{E_{a1}}{X_{af1}} = \frac{1.0019\,E_{a_0}}{\frac{2PS-2S+1}{P(P-1)} X_c} = \frac{1.0019\,I_{a_0}}{\frac{2PS-2S+1}{2S(P-1)} \cdot \frac{2S}{P} X_c}$$

- که با در نظر گرفتن مقدار $\frac{2S}{P} X_c = X_{a_0}$ خواهیم داشت :

$$I_{af1} = 0.99\,I_{a_0}$$

$$I_{as1} = \frac{E_{a1}}{X_{as1}} = \frac{1.0019\,E_{a_0}}{\frac{2S}{P} X_c} = 1.0019\,I_{a_0}$$

$$I_{o1} = I_{as1} - I_{af1} = 1.0019\,I_{a_0} - 0.99\,I_{a_0} = 0.0119\,I_{a_0}$$

$$I_{o1} \cong 0.02\,I_{a_0}$$

$$I_{af1} = I_{a1} \cdot 100 = 0.99\, I_{a_0} \quad I_{a_0} \cdot 100 = 99\ \%$$

$$U_1 = I_{af1} \cdot X_1 = 0.99\, I_{a_0} \cdot \frac{S}{P} X_e = 0.99\, I_{a_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P} X_e$$

$$= 0.495\, E_{a_0}$$

$$U_{uf1} = E_{a1} - U_1 = 1.0019\, E_{a_0} - 0.495\, E_{a_0} = 0.5069\, E_{a_0}$$

$$U_{bf1} = U_{uf1} \cdot \frac{X_{bf1}}{X_{uf1}} = 0.5069\, E_{a_0} \cdot \frac{\frac{X_e}{P-1}}{\frac{(PS-S+1)\, X_e}{P(P-1)}} = 0.135\, E_{a_0}$$

$$U_{bf1} \quad U_{bn} \cdot 100 = \frac{0.135\, E_{a_0}}{0.125\, E_{a_0}} \cdot 100 \cong 108.13$$

$$U_1 \quad U_{1S} \cdot 100 = \frac{0.495\, E_{a_0}}{0.5\, E_{a_0}} \cdot 100 = 99\ \%$$

- با معیوب شدن دومین المان خازنی از همان شاخه‌ای که المان اول معیوب شده است، فیوز دوم عمل نموده که بدنبال آن تغییرات زیر حاصل خواهدشد که محاسبات همچون وضعیت قبل ذیلاً ارائه شده است.

$$X_{uf2} = X_{bf2} + X_{bs2} = \frac{X_e}{P-2} + \frac{(S-1)\, X_e}{P} = \frac{SP-2S+2}{P(P-2)} X_e$$

$$X_2 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af2} = X_{uf2} + X_2 = \frac{2(SP-2S+1)}{P(P-2)} X_e$$

$$X_{as2} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$\frac{1}{X_{a2}} = \frac{1}{X_{as2}} + \frac{1}{X_{af2}} \Rightarrow X_{a2} = \frac{2S(SP-2S+1)}{P(2SP-4S+1)} X_e$$

$$X_{b2} = X_{c2} = \frac{S}{P} X_e$$

$$\vec{I}_{a2} + \vec{I}_{b2} + \vec{I}_{c2} = 0$$

$$I_{a2} = \frac{E_{b2}}{X_{a2}} = \frac{E_{a_0} - E_{n2}}{X_{a2}}$$

$$I_{b2} = \frac{E_{b2}}{X_{b2}} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\, E_{a_0} - E_{n2}}{X_{b2}}$$

$$I_{c2} = \frac{E_{c2}}{X_{c2}} = \frac{(-0.5 + j\,0.866)\,E_{a\circ} - E_{n2}}{X_{c2}}$$

$$E_{n2} = \frac{-1}{6SP-12S+5}\,E_{a\circ} = -0.00408\,E_{a\circ}$$ در نتیجه :

$$E_{a2} = 1.00408\,E_{a\circ}$$

$$I_{af2} = \frac{E_{a2}}{X_{af2}} \cong 0.98\,I_{a\circ}$$

$$I_{as2} = \frac{E_{a2}}{X_{as2}} \cong 1.0041\,I_{a\circ}$$

$$I_{o2} = I_{as2} - I_{af2} \cong 0.0241\,I_{a\circ}$$

$$I_{af2} / I_{a\circ} \cdot 100 = 0.98\,I_{a\circ} / I_{a\circ} \cdot 100 = 98\ \%$$

$$U_2 = I_{af2} \cdot X_2 = 0.98\,I_{a\circ} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P}\,X_e = 0.49\,E_{a\circ}$$

$$U_{uf2} = E_{a2} - U_2 = 1.0041\,E_{a\circ} - 0.49\,E_{a\circ} = 0.5141\,E_{a\circ}$$

$$U_{bf2} = U_{uf2} \cdot \frac{X_{bf2}}{X_{uf2}} \cong 0.147\,E_{a\circ}$$

$$U_{bf2} / U_{bf0} \cdot 100 = 0.147\,E_{a\circ} / 0.125\,E_{a\circ} \cdot 100 \cong 117.5$$

$$U_2 / U_{2s} \cdot 100 = 0.49\,E_{a\circ} / 0.5\,E_{a\circ} \cdot 100 = 98$$

- با معیوب شدن سومین المان خازنی از همان شاخهٔ قبلی، فیوز سوم عمل نموده که بدنبال آن تغییرات زیر حاصل خواهدشد.

$$X_{uf3} = X_{bf3} + X_{bs3} = \frac{1}{P-3}\,X_e + \frac{(S-1)}{P}\,X_e = \frac{SP-3S+3}{P(P-3)}\,X_e$$

$$X_3 = \frac{S}{P}\,X_e$$

$$X_{af3} = X_{uf3} + X_3 = \frac{(2SP-6S+3)}{P(P-3)}\,X_e$$

$$X_{as3} = \frac{2S}{P}\,X_e$$

$$X_{a3} = X_{af3} \parallel X_{as3} = \frac{2S(2SP-6S+3)}{P(4SP-12S+3)}\,X_e$$

$$X_{b3} = X_{u3} = \frac{S}{P}\,X_e$$

$$I_{a3} = \frac{E_{a3}}{X_{a3}} \quad , \quad I_{b3} = \frac{E_{b3}}{X_{b3}} \quad , \quad I_{c3} = \frac{E_{c3}}{X_{c3}}$$

چون $\vec{I}_{a2} + \vec{I}_{b2} + \vec{I}_{c2} = 0$ می باشد، بنابراین داریم :

$$E_{n3} = - 0.0067\ E_{a\circ}$$

$$E_{a3} = 1.0067\ E_{a\circ}$$

$$I_{af3} = \frac{E_{a3}}{X_{af3}} = 0.966\ I_{a\circ}$$

$$I_{as3} = \frac{E_{a3}}{X_{as3}} = 1.0067\ I_{a\circ}$$

$$I_{o3} = I_{as3} + I_{af3} = 0.0407\ I_{a\circ}$$

$$I_{af3} / I_{a\circ} \cdot 100 = 0.966\ I_{a\circ} / I_{a\circ} \cdot 100 = 96.6$$

$$U_3 = I_{af3} \cdot X_3 = 0.966\ I_{a\circ} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P} X_e = 0.483\ E_{a\circ}$$

$$U_{uf3} = E_{a3} - U_3 = 1.0067\ E_{a\circ} - 0.483\ E_{a\circ} = 0.5237\ E_{a\circ}$$

$$U_{bf3} = U_{uf3} \cdot \frac{X_{bf3}}{X_{uf3}} \cong 0.17\ E_{a\circ}$$

$$U_{bf3} / U_{bn} \cdot 100 = 0.17\ E_{a\circ} / 0.125\ E_{a\circ} \cdot 100 = 136$$

$$U_3 / U_{3s} \cdot 100 = 0.483\ E_{a\circ} / 0.5\ E_{a\circ} \cdot 100 = 96.6$$

- معیوب شدن المان چهارم و سوختن فیوز آن، مقادیر زیر را بدنبال خود خواهد داشت :

$$X_{uf4} = X_{bf4} + X_{bs4} = \frac{1}{P-4} X_e + \frac{(S-1)}{P} X_e = \frac{SP-4S+4}{P(P-4)} X_e$$

$$X_4 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af4} = X_{uf4} + X_4 = \frac{(2SP-8S+4)}{P(P-4)} X_e$$

$$X_{as4} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$X_{34} = X_{af4} \parallel X_{as4} = \frac{S(SP-4S+2)}{P(SP-4S+1)} X_e$$

$$X_{bf4} = X_{cf4} = \frac{S}{P} X_e$$

$$E_{af4} = 1.01 E_{a\circ} - 0.01 E_{a\circ}$$

$$E_{a4} = 1.01 E_{a\circ}$$

$$I_{af4} = \frac{E_{a4}}{X_{af4}} = 0.95 I_{a\circ}$$

$$I_{as4} = 1.01 I_{a\circ}$$

$$I_{of4} = 0.06 I_{a\circ}$$

$$I_{af4} / I_{a\circ} \cdot 100 = 95$$

$$U_4 = I_{af4} \cdot X_4 = 0.95 I_{a\circ} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P} X_e = 0.475 E_{a\circ}$$

$$U_{uf4} = E_{a4} - U_4 = 1.01 E_{a\circ} - 0.475 E_{a\circ} = 0.535 E_{a\circ}$$

$$U_{bf4} = U_{uf4} \cdot \frac{X_{bf4}}{X_{uf4}} \cong 0.178 E_{a\circ}$$

$$U_{bf4} / U_{bn} \cdot 100 = 0.178 E_{a\circ} / 0.125 E_{a\circ} \cdot 100 = 142.6$$

$$U_4 / U_{4s} \cdot 100 = 0.475 E_{a\circ} / 0.5 E_{a\circ} \cdot 100 = 95$$

- سوختن فیوز پنجم در اثر معیوب شده المان خازنی مربوطه، مقادیر زیر را بدنبال خواهدداشت :

$$X_{uf5} = X_{bf5} + X_{bs5} = \frac{1}{P-5} X_e + \frac{(S-1)}{P} X_e = \frac{SP-5S+5}{P(P-5)} X_e$$

$$X_5 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af5} = X_{uf5} + X_5 = \frac{(2SP-10S+5)}{P(P-5)} X_e$$

$$X_{as5} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$X_{a5} = X_{af5} \parallel X_{as5} = \frac{2S(2SP-10S+5)}{P(4SP-20S+5)} X_e$$

$$X_{b5} = X_{c5} = \frac{S}{P} X_e$$

$$E_{n5} = -0.014\ E_{a_0}$$

$$E_{as5} = 1.014\ E_{a_0}$$

$$I_{af5} = \frac{E_{as}}{X_{af5}} = 0.93\ I_{a_0}$$

$$I_{as5} = 1.014\ I_{a_0}$$

$$I_{o5} = I_{as5} - I_{af5} = 0.084\ I_{a_0}$$

$$I_{af5} / I_{a_0} \cdot 100 = 93$$

$$U_5 = 0.465\ E_{a_0}$$

$$U_{uf5} = E_{a5} - U_5 = 0.549\ E_{a_0}$$

$$U_{bf5} = U_{uf5} \cdot \frac{X_{bf5}}{X_{uf5}} \cong 0.2\ E_{a_0}$$

$$U_{bf5} / U_{bn} \cdot 100 = 160$$

$$U_5 / U_{5s} \cdot 100 = 93$$

- سوختن فیوز ششم، مقادیر زیر را بدنبال خواهدداشت :

$$X_{uf6} = X_{bf6} + X_{bs6} = \frac{1}{P-6} X_e + \frac{(S-1)}{P} X_e = \frac{SP-6S+6}{P(P-6)} X_e$$

$$X_6 = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af6} = \frac{(2SP-12S+6)}{P(P-6)} X_e$$

$$X_{as6} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$X_{a6} = X_{af6} \parallel X_{as6} = \frac{S(2SP-12S+6)}{P(2SP-12S+3)} X_e$$

$$X_{b6} = X_{c6} = \frac{S}{P} X_e$$

$$E_{n6} = -0.0189\ E_{a_0}$$

$$I_{ad_0} = 0.9\ I_{a_0}$$

$$I_{aq_0} = 0.0189\ I_{a_0}$$

$$I_{af_0} = I_{ad_0} - I_{ad_0} \cong 0.119\ I_{a_0}$$

$$I_{ad_0} : I_{a_0} \cdot 100 = 90$$

$$U_0 = 0.45\ E_{a_0}$$

$$U_{ad_0} = E_{ad_0} - U_0 \cong 0.569\ E_{a_0}$$

$$U_{af_0} = U_{ad_0} \cdot \frac{X_{af_0}}{X_{ad_0}} = 0.2276\ E_{a_0}$$

$$U_{af_0} : U_{a_0} \cdot 100 = 182$$

$$U_0 : U_{a_0} \cdot 100 = 98$$

جدول شماره ۳- مربوط به ستاره دوگانه با فیوز داخلی

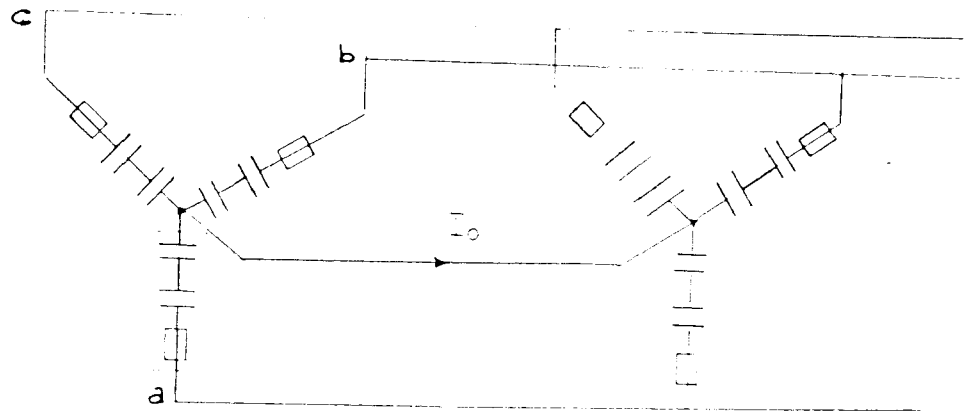
	ولتاژ					جریان		زمان‌موردانتظاربرای خطای بعدی (•)	
	E_a	E_n	U_{uf}	$E_b=E_c$	U_{bf}	I_{af}	I_o		
	/$E_{a•}$				/$E_{a•}$/8	/$I_{a•}$			
قبل از وقوع هرگونه خطا	100	0.00	50	1.00	100	100	0.00		
۱ المان معیوب	100.19	-0.19	50.69	<1	108.13	99	2	ولتاژ شاخه‌ای که المان	
معیوب درآن شاخه است، از مقدار مجاز کمتر است، ضمن اینکه جریان آن شاخه ازمقدار نامی کمترمی‌باشد، بنابراین زمان معیوب شدن المان بعدی قابل پیش‌بینی نیست و ممکن است سالها طول بکشد.									
۲ المان معیوب	100.4	-0.408	51.41	<1	117.5	98	2.4	ولتاژ شاخه‌ای که المان	
معیوب درآن شاخه است، از مقدار مجاز بیشتراست، ضمن اینکه جریان این شاخه ازمقدار نامی کمترمی‌باشد، بنابراین اگر المانهای این شاخه دارای اشکال ساختاری نباشد ممکن است سال(ها) طول بکشد تاالمان بعدی معیوب شود.									
۳ المان معیوب	100.67	-0.67	52.37	<1	136	96.6	4.07	ولتاژ شاخه‌ای که المان	
معیوب درآن شاخه است، از مقدار مجاز در مقایسه با حالت قبلی بیشتر است. با توجه باینکه جریان آن کمتر است بنابراین اگر المانهای این شاخه دارای اشکال ساختاری نباشد ممکن است ماه (ها) طول بکشد تا المان بعدی معیوب گردد.									
۴ المان معیوب	101	-1.0	53.5	<1	142.6	95	6	ولتاژ شاخه‌ای که المان	
معیوب درآن شاخه است، در مقایسه با حالت قبلی مقدار اضافه ولتاژاش بیشتر است .ضمن اینکه جریان آن کمتر است بنابراین با همان شرط، شاید روز(ها) تا هفته‌ها طول بکشد.									
۵ المان معیوب	101.4	-1.4	54.9	<1	160	93	8.4	در این حالت ممکن است	
ساعتها تا روز طول بکشد تا المان بعدی معیوب گردد.									
۶ المان معیوب	101.89	-1.89	56.9	<1	182	90	11.9	در این حالت ممکن است	
دقیقه‌ها تا ساعت طول بکشد تا المان بعدی معیوب گردد.									

(•) زمان مورد انتظار برای خطای بعدی، اساساً به طراحی و ساخت المانهای خازنی بستگی دارد که می‌بایست از سازنده استعلام گردد. ضمن اینکه جریان I_{oi} (جریانی که از ارتباط نقاط نوترال دوستاره میگذرد) عامل راه‌اندازی رله عدم تعادل می‌باشد که با توجه به تنظیم رله مذکور، ممکن است مراحل مذکور در این جدول بوسیله آن محدود شود.

- زیرنویسهای جدول شماره ۱ نیز در اینجا معتبر است، ضمن اینکه I_o و I_{af} به ترتیب جریان‌های عبوری از اتصال نقاط نول ستاره دوگانه در حالت خطا و جریان عبوری در حالت خطا در فاز a از ستاره‌ای که خطا در آن رخ داده است .

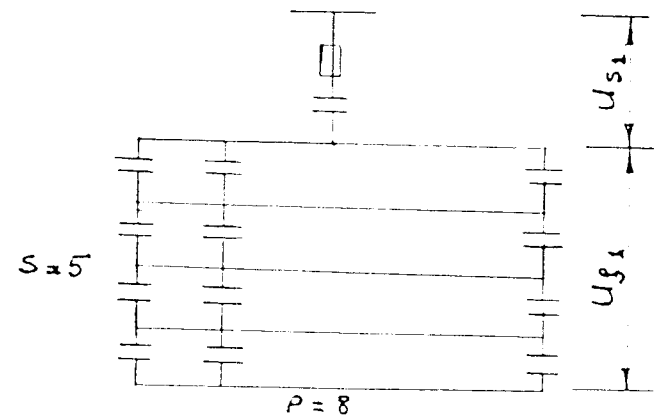
۲-۳- ستاره‌دوگانه با فیوز خارجی

بانک خازنی با همان ظرفیت، جهت استفاده در سیستم ولتاژ ۳۳ کیلوولت با فیوز خارجی در نظرگرفته شده است که در هر فاز آن ۲ واحد خازن ۲۰۰ کیلووآری بطور موازی یا سری قرار می‌گیرد، که بعنوان نمونه، حالت سری را در نظرمی‌گیریم.



S=5

P=8



با معیوب شدن اولین المان خازنی شاخه دارای المان معیوب اتصال کوتاه شده از مدار خارج می‌شود.

$$X_{S1} = \frac{S-1}{P} X_c$$

$$X_{S1} = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{S1} = \frac{2S-1}{P} X_c$$

$$X_{s\,1} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$X_{af1} = X_{cf1} \parallel X_{as1} = \frac{2S(2S-1)}{P(4P-1)} X_e$$

$$X_{bf1} = X_{c1} = \frac{S}{P} X_e$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a_0} - E_{n1}}{X_{a1}} = \frac{E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{2S(2S-1)}{P(4S-1)} X_e}$$

$$I_{b1} = \frac{E_{b_0} - E_{n1}}{X_{b1}} = \frac{(-0.5 - j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_e} \quad \& \quad I_{c1} = \frac{(-0.5 + j\,0.86)\,E_{a_0} - E_{n1}}{\frac{S}{P} X_e}$$

چون کو نزال ایزولہ می باشند داریم:

$$I_{a_0} + I_{b1} + I_{c1} = 0$$

$$E_{n1} = \frac{1}{12S-5} E_{a_0} = 0.0182\ E_{a_0}$$

$$E_{a1} = 0.982\ E_{a_0}$$

$$I_{af1} = \frac{E_{a1}}{X_{af1}} = \frac{0.982\ E_{a_0}}{\frac{2S-1}{P} X_e} = \frac{0.982\ E_{a_0}}{\frac{(2S-1)}{2S} \cdot \frac{2S}{P} X_e} = 1.091\ I_{a_0}$$

$$I_{as1} = \frac{E_{a1}}{X_{as1}} = \frac{0.982\ E_{a_0}}{\frac{2S}{P} X_e} = 0.982\ I_{a_0}$$

$$I_{s1} = I_{af1} - I_{as1} = 1.091\ I_{a_0} - 0.982\ I_{a_0} \cong 0.11\ I_{a_0}$$

$$I_{af1} / I_{a_0} \cdot 100 = 1.091\ I_{a_0} / I_{a_0} \cdot 100 = 109.1$$

$$U_{s1} = I_{af1} \cdot X_{s1} = 1.091\ I_{a_0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P} X_e = 0.5455\ E_{a_0}$$

$$U_{uf1} = E_{a1} - U_{s1} = 0.982\ E_{a_0} - 0.546\ E_{a_0} \cong 0.436\ E_{a_0}$$

$$U_{uf1} / U_{un} \cdot 100 = 0.436\ E_{a_0} / 0.5\ E_{a_0} \cdot 100 = 87.2$$

$$U_{s1} / U_{un} \cdot 100 = 0.546\ E_{a_0} / 0.5\ E_{a_0} \cdot 100 \cong 109.2$$

$$E_{b1} = (-0.5 - j0.86)\,E_{a_0} - E_{n1} = (-0.5 - j0.86)\,E_{a_0} - 0.0182\ E_{a_0}$$

$E_{b1} \cong 1.004\ E_{a.}$

$E_{c1} \cong 1.004\ E_{a.}$

$I_{c1} = I_{b1} = 1.004\ I_{a.}$

- با معیوب شدن دومین المان خازنی، از شاخه دوم، مقادیر زیر از محاسبات بدست می‌آیند:

$$X_{f2} = \frac{S-2}{P} X_e$$

$$X_{s2} = \frac{S}{P} X_e$$

$$X_{af2} = X_{f2} + X_{s2} = \frac{2(S-1)}{P} X_e$$

$$X_{as2} = \frac{2S}{P} X_e$$

$$X_{a2} = X_{af2} \parallel X_{as2} = \frac{2S(S-1)}{P(2S-1)} X_e$$

$$X_{b2} = X_{c2} = \frac{S}{P} X_e$$

$$\vec{I}_{a2} + \vec{I}_{b2} + \vec{I}_{c2} = 0$$

چون نوترال ایزوله می‌باشد، بنابراین:

در نتیجه:

$$E_{n2} = 0.04\ E_{a.}$$

$$E_{a2} = 0.96\ E_{a.}$$

$$I_{af2} = \frac{E_{a2}}{X_{af2}} = 1.2\ I_{a.}$$

$$I_{as2} = 0.96\ I_{a.}$$

$$I_{o2} = I_{af2} - I_{as2} = 0.24\ I_{a.}$$

$$I_{af2} / I_{a.} \cdot 100 = 1.2\ I_{a.} / I_{a.} \cdot 100 = 120$$

$$U_{s2} = I_{af2} \cdot X_{s2} = 1.2\ I_{a.} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2S}{P} X_e = 0.6\ E_{a.}$$

$$U_{uf2} = E_{a2} - U_{s2} = 0.96\ E_{a.} - 0.6\ E_{a.} = 0.36\ E_{a.}$$

$U_{uf2} / U_{un} \cdot 100 = 0.36\ E_{a\circ} / 0.5\ E_{a\circ} \cdot 100 = 72$

$U_{s2} / U_{un} \cdot 100 = 0.6\ E_{a\circ} / 0.5\ E_{a\circ} \cdot 100 = 120$

$E_{b2} = 1.0155\ E_{a\circ}$ & $E_{c2} \cong 1.0155\ E_{a\circ}$

$I_{b2} = I_{c2} = 1.0155\ I_{a\circ}$

- معیوب شدن المان خازنی سوم ، از شاخه سوم ، با مقادیر زیر توأم خواهدبود:

$$X_{f3} = \frac{S-3}{P} X_c$$

$$X_{s3} = \frac{S}{P} X_c$$

$$X_{af3} = X_{f3} + X_{s3} = \frac{2S-3}{P} X_c$$

$$X_{as3} = \frac{2S}{P} X_c$$

$$X_{a3} = X_{af3} \parallel X_{as3} = \frac{2S(2S-3)}{P(4S-3)} X_c$$

$$X_{b3} = X_{c3} = \frac{S}{P} X_c$$

$$\vec{I}_{a3} + \vec{I}_{b3} + \vec{I}_{c3} = 0$$

$E_{n3} \cong 0.067\ E_{a\circ}$

$E_{a3} \cong 0.93\ E_{a\circ}$

$$I_{af3} = \frac{E_{a3}}{X_{af3}} = 1.33\ I_{a\circ}$$

$I_{as3} = 0.93\ I_{a\circ}$

$I_{o3} = 0.4\ I_{a\circ}$

$I_{af3} / I_{a\circ} \cdot 100 = 1.33\ I_{a\circ} / I_{a\circ} \cdot 100 = 133$

$U_{s3} = I_{af3} \cdot X_{s2} = 0.665\ E_{a\circ}$

$U_{a23} = E_{a3} - U_{s3} = 0.265\ E_{a\bullet}$

$U_{a23} / U_{un} \bullet 100 = 0.265\ E_{a\bullet} / 0.5\ E_{a\bullet} \bullet 100 = 53$

$U_{s3} / U_{un} \bullet 100 = 0.665\ E_{a\bullet} / 0.5\ E_{a\bullet} \bullet 100 = 133$

$E_{b2} \cong E_{c3} = 1.03\ E_{a\bullet}$

$I_{b3} = I_{c3} = 1.03\ I_{a\bullet}$

جدول شماره ۴- مربوط به ستاره دوگانه با فیوز خارجی

	ولتاژ					جریان			زمان مورد انتظار(*)	
	E_a	E_a	U_{uf}	U_s	$E_b=E_c$	I_{af}	I_o	$I_b=I_c$	المان معیوب	عملکردن فیوز
	ΔE_{a_o}					ΔI_{a_o}				
قبل از وقوع هرگونه خطا	100	0.00	50	50	100	100	0.00	100		
۱ المان معیوب	98.2	+1.82	43.6	54.6 =109.2	100.4	109.1	11	100.4	سالها	
۲ المان معیوب	96	+4	36	60 120%	101.55	120.1	24	100.4	دقیقه (ها)- سال (ها)	
۳ المان معیوب	93	+6.7	265	66.5 133	103	133	40	103	ثانیه (ها)- ساعت (ها)	دقیقه (ها)
بعد از معیوب شدن المان بعدی، بسرعت تمام المانها معیوب شده و درمعرض چند دقیقه فیوز خارجی عمل می‌نماید.										

(*)زمان مورد انتظار، بسته به طراحی و ساخت المانهای خازنی، می تواند متفاوت باشد در هر حال این زمانها می بایست از سازندگان استعلام شوند.

- U_s ولتاژ واحد سالم در شاخه‌ای از فاز خطادار می باشد.
- I_{af} جریان خ ـ ـ ای واحد خازنی که خطا در آن رخ داده است .
- I_o جریان عبوری از اتصال نقاط نول ستاره دوگانه در حالت خطا.
- I_{a_o} و E_{a_o} به ترتیب جریان فاز a از یکی از ستاره‌ها و ولتاژ فاز به نول فاز a قبل از خطا می باشد.
- E_c ، E_b و E_a به ترتیب ولتاژ فازهای c ، b و a می باشند .
- I_b و I_c به ترتیب جریان فازهای b و c قبل از خطا می باشند.
- جهت آرایش مجموعه خازنی و آرایش المانها در واحد به شکل بند ۲-۳ رجوع شود

پیوست شماره دو
محاسبه جریان هجومی و روش محدود نمودن آن

۱ - مقدمه

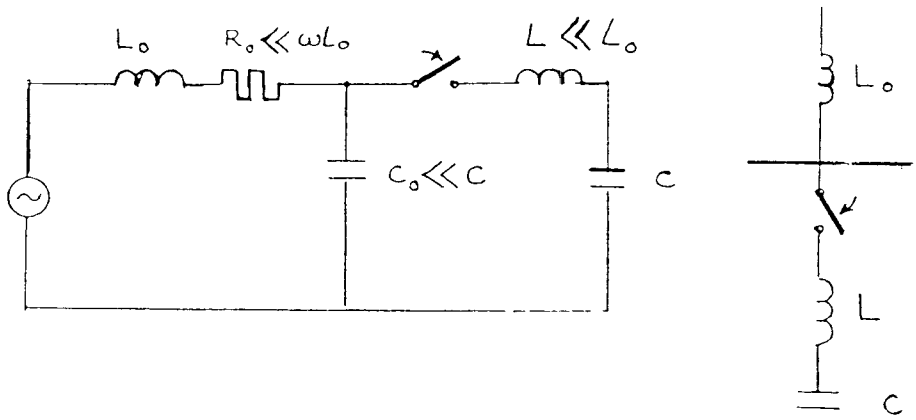
برقدار کردن بانک خازنی توسط یک وسیله کلیدزنی، یک جریان هجومی وصل را بوجود میآورد. که این جریان تابعی از ولتاژ اعمالی، مقدار ظرفیت خازن، مقدار و اندوکتانس در شبکه، بار خازن در لحظه وصل مدار و مستهلک شدن حالت گذرای کلیدزنی می‌باشد. در این پیوست نحوه محاسبه جریان هجومی، فرکانس و نرخ افزایش آن بیان میگردد.

جریان هجومی وصل در بانک خازنی شارژ شده (باردار)، از بانک خازنی شارژ نشده (فاقدبار)، بسته به پلاریته ولتاژ شبکه و ولتاژ روی خازن، می‌تواند بالاتر باشد.

محاسبه مقدار پیک جریان هجومی، نرخ افزایش و فرکانس آن می‌تواند نسبتاً ساده و با فرض اینکه بانک خازنی تخلیه شده است و وصل در لحظه‌ای است که حداکثر جریان هجومی تولید می‌شود، انجام گردد.

۲ - چگونگی بروز حالت گذرا در وصل بانک خازنی منفرد

این پدیده از شکل ساده شده ذیل (شکل ۱) بخوبی قابل درک می‌باشد.



شکل ۱ - دیاگرام‌های مدار ساده شده بانک خازنی منفرد:

C_0 ، R_0 و L_0 پارامترهای مدار در طرف شبکه

L و C پارامترهای مدار در طرف بانک خازنی

آنچنانکه از تئوری مدار برمی‌آید، بعد از بستن کلید مدار فوق، جریان در مدار جاری می‌گردد که این جریان دارای دو مؤلفه ثابت و گذرا می‌باشد. جریان گذرای مذکور وقتی که عمل بستن کلید در پیک موج ولتاژ اتفاق بیفتد، دارای بالاترین دامنه خواهدبود. در صورتی که موج ولتاژ سینوسی و پریودیک باشد، مؤلفه گذرای جریان نیز سینوسی و پریودیک خواهدبود.

$$i = i\hat{} \quad ^{-\frac{R_\circ}{2L_\circ}t} \quad \sin \omega_i t$$

در رابطه (۱)، i مقدار پیک جریان گذراست و $\omega_i = 2nf . \frac{1}{\sqrt{L_\circ C}}$ فرکانس جریان هجومی مدار است و چون مقاومت اهمی مدار نسبتاً کوچک است ،مقدار پیک جریان گذرا، یا امپدانس مدار یعنی Z تعیین می‌گردد

$$i = \frac{U\hat{}}{Z} = U\hat{}\sqrt{\frac{C}{L_\circ}} = U_n \sqrt{\frac{2}{3}} . \frac{C}{L_\circ} \qquad (۲)$$

که در آن U_n ولتاژ نامی شبکه است .

و مقدار پیک جریان کاپاسیتو مؤلفه ثابت از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$\sqrt{2}\circ IC = \sqrt{\frac{2}{3}}\ U_n\, \omega C \qquad (۳)$$

که در آن ω فرکانس شبکه می‌باشد.

از نسبت پیک جریانهای مؤلفه‌های ثابت و گذرا از روابط (۲) و (۳) خواهیم داشت :

$$\frac{i\hat{}}{\sqrt{2}\,IC} = \frac{1}{\omega\sqrt{L_\circ C}} = \frac{\omega_i}{\omega} = \frac{f_i}{f} \qquad (۴)$$

به عبارت دیگر، قدرت اتصال کوتاه در باسبارهای بانک خازنی (ش ۱ - سمت راست) برابر است با:

$$P_k = \frac{U_n^2}{\omega L_\circ} \qquad (۵)$$

و قدرتهای بانک خازنی برابراست با:

$$P_c = U_n^2\, \omega c \qquad (۶)$$

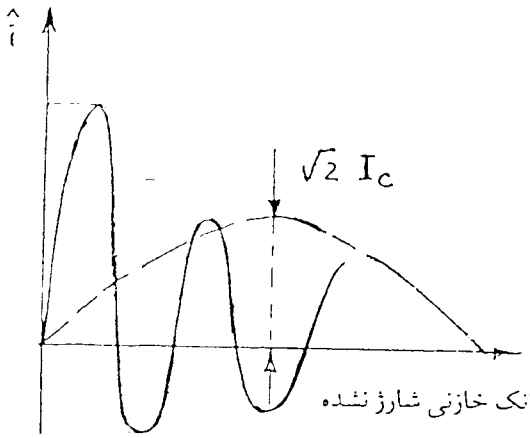
که نسبت ایندو قدرت برابر است با:

$$\frac{P_k}{P_C} = \frac{1}{\omega^2 L_\circ c} = \frac{\omega i^2}{\omega^2} = \frac{fi^2}{f^2} \qquad (۷)$$

که با استفاده از روابط (۶) و (۷) می‌توان نوشت :

$$\frac{\hat{i}}{\sqrt{2}\,IC} = \sqrt{\frac{P_k}{P_c}} \qquad (۸)$$

روابط (۷) و (۸) نشان میدهد که مقدار پیک مؤلفه گذرای جریان، معمولاً از مقدار پیک مؤلفه ثابت جریان بیشتر است، بنابراین می‌توان در نظر گرفت که شروع شکل جریان وصل با مؤلفه گذرای جریان آغاز می‌شود که بر طبق رابطه (۱) در شکل (۲) نشان داده شده است.

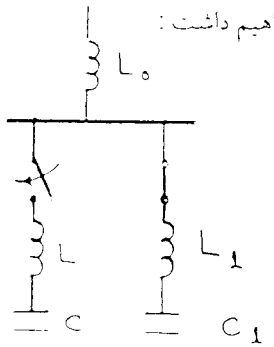


ش ۲ - جریان در وصل یک بانک خازنی شارژ نشده
(وصل در لحظه پیک ولتاژ شبکه)

۳- چگونگی بروز حالت گذرا در وصل بانکهای خازنی پشت به پشت

در حالتیکه دو بانک خازنی پشت به پشت (مطابق شکل ۳) در مدار قرار گرفته‌اند و یکی از آنها قبلاً به باسبار وصل شده باشد.

- با قرار دادن مقادیر کاپاسیتانس‌ها و اندوکتانس‌های سری در رابطه (۲) خواهیم داشت :



$$\hat{i} = U_n \sqrt{\frac{2}{3}\,\frac{c_1 c}{c_1 + c}\cdot\frac{1}{L_1 + L}} \qquad (۹)$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{c_1 c}{c_1 + c}(L_1 + L)}} \qquad (۱۰)$$

ش ۳- دیاگرام مدار دو بانک خازنی پشت به پشت

حال با درنظرگرفتن $c_1 = nc$ که در آن $n \geq 1$ یعنی $c_1 \geq c$ است و $L = L_1$ (که معمولاً این حالت می‌باشد.) از روابط (۹) و (۱۰) خواهیم داشت :

$$\hat{i} = \sqrt{\frac{2}{3}}\ U_n \sqrt{\frac{a}{a+1}} \sqrt{\frac{c}{2L}} \qquad (11)$$

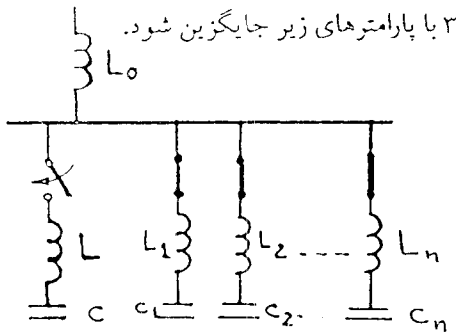
$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{a+1}{a}} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (12)$$

در مقایسه روابط (۳) و (۱۱)، می‌بینیم که جریان هجومی برقدارکننده بانک دوم یعنی رابطه (۱۱) می‌تواند بصورت تابعی از مؤلفه ثابت جریان بانک نخست بیان شود.

$$\hat{i} = \frac{a}{a+1} \cdot \frac{f_i}{f} \cdot \sqrt{2}\, IC \qquad (13)$$

رابطه (۱۳) در عمل برای محاسبه نمودن مؤلفه گذرای جریان هجومی بانکهای خازنی پشت به پشت با دوبانک یا بیشتر استفاده می‌شود.

بانکهای خازنی با n شاخه بر طبق شکل (۴) می‌تواند بصورت ترکیبی معادل دو بانک خازنی درآید و از معادلات بالا استفاده گردد، مشروط بر آنکه L_1 و C_1 از شکل ۳ با پارامترهای زیر جایگزین شود.



$$L' = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n}} \qquad (14)$$

$$C' = C_1 + C_2 + \ldots + C_n \qquad (15)$$

ش ۴- دیاگرام n بانک خازنی پشت به پشت

۴- ماکزیمم فرکانس‌های جریان هجومی بانک خازنی

- تنش‌های ولتاژ بر بانکهای خازنی در وصل مهم نیستند، چراکه ضریب اضافه ولتاژها در بستن کلید بانکهای خازنی شارژ نشده کمتر از ۲ است. (بعد از هر قطع کلید، بانکهای خازنی در مقاومت‌ها یا ترانسفورماتورهای ولتاژ تخلیه می‌شوند.)

- تنش‌های ماکزیمم جریان بانکهای خازنی، برای خازنها در استاندارد IEC بدین ترتیب مشخص شده‌اند که مقدار پیک جریان لحظه‌ای شارژ بانک خازنی (جریان وصل)، نباید از ۱۰۰ برابر مقدار مؤثر جریان نامی بانک خازنی بیشتر باشد.

$$\hat{i} \leq 100\, IC \qquad (16)$$

با قراردادن مقادیر روابط (۱۱) و (۳)، رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\, U_n \sqrt{\frac{a}{a+1}} \cdot \sqrt{\frac{C}{2L}} \leqslant 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} U_n \cdot 2\pi f C \qquad (۱۷)$$

با ساده شدن روابط فوق داریم :

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} < 100 \sqrt{\frac{a}{a+1}} \cdot 2\pi f \qquad (۱۸)$$

و با قراردادن مقدار $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ در رابطه (۱۸) خواهیم داشت:

$$f_1 \leqslant \frac{100}{\sqrt{2}} \cdot \frac{a+1}{a} \cdot f$$

چون $\frac{a+1}{a}$ برای $a=1$ ماکزیمم است (بانکهای خازنی معادل در تمام شاخه‌ها).

$$f_1 \leqslant 100\sqrt{2}\ f \qquad (۲۰)$$

- برای $f = 50\ HZ$ در رابطه (۲۰)، فرکانس جریان هجومی بانکهای خازنی بیشتر به بیشتر می‌تواند به مقدار KHZ ۱ برسد.

- برای بانکهای خازنی منفرد، با دامنه محدود شده جریان هجومی بر طبق رابطه (۱۹)، فرکانس ماکزیمم این جریان مستقیماً از رابطه (۴) بدست می‌آید.

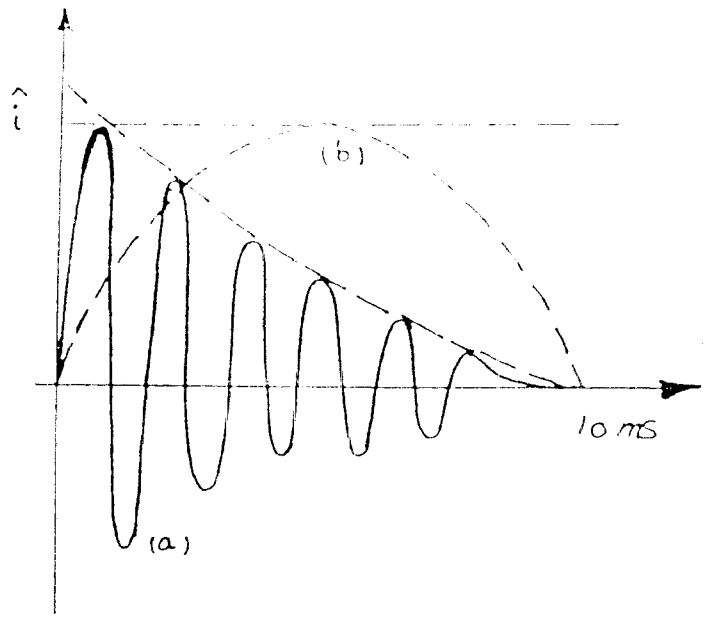
$$\frac{f_1}{f}\sqrt{2}\,IC \leqslant 100\ IC \qquad (۲۱)$$

$$f_1 \leqslant \frac{100}{\sqrt{2}} f \qquad (۲۲)$$

با قراردادن $f = 50\ HZ$، مقدار ماکزیمم $f_1 = ۳/۵\ KHZ$ حاصل می‌شود.

۵- تنش‌های وسایل کلیدزنی بهنگام وصل بانکهای خازنی

وصل بانکهای خازنی فشارقوی با ظهور دوباره قوس بین کنتاکت‌های وسایل کلیدزنی شروع می‌شود. در نتیجه فرکانس زیاد، دامنه‌ی جریان هجومی قبل از اینکه فشار بین کنتاکت‌ها جهت وصل کامل شود به مقدار پیک خود میرسد. بنابراین جریان نامی هجومی وصل بانک خازنی یک کلید فشارقوی معمولاً بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از ظرفیت جریان اتصال کوتاه وصل کلید می‌باشد. این امر در شکل زیر بخوبی قابل رؤیت می‌باشد که جریان هجومی وصل بانک خازنی با فرکانس یک کیلوهرتز (a) با جریان منفرد اتصال کوتاه وصل مقایسه می‌گردد.



شروع نرخ افزایش جریان (S) ، ساده‌ترین راه با فرض اینکه شکل جریان مطابق رابطه (۱) سینوسی غیرمستهلک شود (یعنی $R = 0$ یا اینکه مقاومت بسیار کوچک است) بدست می‌آید. بدین ترتیب که از رابطه مذکور مشتق می‌گیریم.

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = \omega \hat{I} \qquad (۲۳)$$

اگر مقادیر جریان $\hat{I}$ و $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_0 C}}$

در رابطه (۲۳) قرار داده شود، رابطه مذکور برای محاسبه نرخ افزایش جریان هجومی در صورتی که بانک خازنی ، منفرد باشد، بصورت زیر خواهد بود.

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U_P}{L_0} \qquad (۲۴)$$

در صورتیکه تعداد بانکها دو یا بیشتر باشد، رابطهٔ مربوطه برای نرخ افزایش جریان هجومی با قراردادن روابط (۹) و (۱۰) در رابطه (۲۳) حاصل می‌شود.

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U_n}{2L_c} \qquad (۲۵)$$

از مقایسه روابط ۲۴ و ۲۵، می‌توانیم دریابیم که نرخ افزایش جریان هجومی بانک خازنی در حالت اخیر، به اندوکتانس شبکه یعنی L_0 بستگی ندارد. لیکن به اندوکتانسهای نسبتاً کوچک L_c که بطور سری با خازنها متصل می‌شوند بستگی پیدا می‌کند که مقدار این اندوکتانس‌ها به طرح تأسیسات بانک خازنی بستگی دارد. اگر تأسیسات خازنی از نوع معمول باشد، می‌توانیم فرض کنیم که در یک شبکه

معمول اندوکتانس هر متر طول باسبار برابر یک میکروهانری باشد. نتیجتاً برای مثال، وقتی که $L=10\mu H$ باشد مقدار نرخ افزایش جریان برای یک بانک خازنی با ولتاژ نامی ۲۰ کیلوولت برابر مقدار ذیل خواهد شد.

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U_n}{2L}$$

$$S = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{20\times10^3}{20\times10^6} = 816\ A/\mu S \qquad (۲۶)$$

بخوبی معلوم است که ظهور قوس در بستن کلید یا هر وسیلهٔ کلیدزنی بوقوع می‌پیوندد و همزمان با آن جریان وصل آغاز به جاری شدن می‌نماید قبل از اینکه کنتاکت‌ها تماس حاصل نمایند. انرژی قوس متناسباً با نرخ افزایش جریان رشد می‌نماید. وقتی که نرخ افزایش جریان خیلی بالا است ، انرژی قوس می‌تواند باندازه کافی برای جلوگیری نمودن از وصل کنتاکت‌ها بزرگ باشد. بهمین جهت سازندگان وسایل کلیدزنی مقادیر پیک جریان هجومی وصل مجاز و نرخ افزایش آنها را محدود می‌کنند. تجربه و مطالعاتی که در این ارتباط تاکنون انجام شده‌است نشان میدهد که کلیدهای خلاء و SF6 از قابلیت خوبی جهت وصل جریان هجومی بانکهای خازنی برخوردارند.

ضمناً در مواقعی که مقدار پیک جریان هجومی وصل و نرخ افزایش آن بالاست جهت محدود نمودن نرخ افزایش جریان از روابط (۲) ، (۹) و (۲۵)استفاده نموده و مقدار اندوکتانس راکتورسری را در آن ملحوظ نموده و مقدار جریان و شیب آن را به سطح مورد قبول محدود می‌نمائیم .

پیوست شماره ۳: محاسبات جریان عدم تعادل نوترال ستاره‌دوگانه

محاسبات زیر، جریان عبوری از نوترال مشترک ستاره دوگانهٔ خازن‌ها را برای واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی ارائه میدهند در این محاسبات فرض شده است :

۱- ولتاژ دو سر واحدهای خازنی سالم از ٪ ۱۱۰ ولتاژ نامی تجاوز ننماید.

۲- ولتاژ دو سر المان‌های سالم در داخل واحد خازنی از ٪ ۱۸۰ ولتاژ نامی تجاوز ننماید.

$$I_o = \frac{Q_e}{U} \times B$$

I_o: جریان عدم تعادل از نوترال مشترک

Q_e: توان راکتیو نامی واحد خازنی

U: ولتاژ سیستم

B: پارامتر مربوط به نوع اتصال مجموعهٔ خازنی و ولتاژ نامی واحد خازنی

پارامتر B در جدول صفحهٔ بعد، به ازاء انواع مختلف اتصال ستاره‌دوگانه که دارای تعداد متفاوتی از واحدهای خازنی بصورت سری و موازی هستند نشانداده شده‌اند.

S / P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1+1	0.200	0.149	0.120	0.109	0.104	0.101	0.098	0.097	0.095	0.094
1+2	0.137	0.125	0.122	0.120	0.119	0.119	0.118	0.118	0.117	0.117
2+2	0.208	0.189	0.183	0.181	0.179	0.178	0.177	0.177	0.176	0.176
2+3	0.168	0.157	0.154	0.153	0.152	0.151	0.151	0.151	0.150	0.150
3+3	0.211	0.197	0.193	0.191	0.190	0.189	0.189	0.188	0.188	0.180
3+4	0.181	0.173	0.170	0.169	0.168	0.167	0.167	0.167	0.167	0.166
4+4	0.212	0.202	0.199	0.197	0.196	0.195	0.195	0.195	0.194	0.194
4+5	0.189	0.182	0.179	0.178	0.178	0.177	0.177	0.177	0.176	0.176
5+5	0.213	0.205	0.202	0.201	0.200	0.199	0.199	0.199	0.198	0.198
5+6	0.194	0.188	0.186	0.185	0.184	0.184	0.183	0.183	0.183	0.183
6+6	0.214	0.206	0.204	0.203	0.202	0.202	0.202	0.201	0.201	0.201
6+7	0.197	0.192	0.190	0.189	0.189	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188
7+7	0.214	0.208	0.206	0.205	0.204	0.204	0.204	0.203	0.203	0.203
7+8	0.200	0.195	0.193	0.193	0.192	0.192	0.192	0.191	0.191	0.191
8+8	0.214	0.209	0.207	0.206	0.206	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205
8+9	0.202	0.197	0.196	0.195	0.195	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
9+9	0.215	0.210	0.208	0.207	0.207	0.207	0.206	0.206	0.206	0.206
9+10	0.203	0.199	0.198	0.197	0.197	0.197	0.196	0.196	0.196	0.196
10+10	0.215	0.210	0.209	0.208	0.208	0.208	0.207	0.207	0.207	0.207

S: تعداد واحدهای سری

P: تعداد واحدهای موازی

پیوست شماره ۴ : مختصری در باره روغن‌های عایق خازنها

روغن‌های نسوز مصنوعی(Synthetic) از دیر باز باین سو بعنوان عایق الکتریکی در تجهیزات الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب اصلی این روغن‌ها، مواد Poly Chlorinated Biphenyls می‌باشند که بین ۴۰ تا ۶۰ درصد محلول می‌باشند که بصورت مخلّف روغن‌های PCB(s) معروف شده‌اند و جهت سهولت استفاده کنندگان نهایی End user نام تجاری اسکارل Askarel را بر آن نهاده‌اند.

آسکارلها که پایه شیمیائی آنها، مخلوطی از ایزومرهای (تری،تترا،پنتا) کلروبی فنیل و مقادیر کمی (دی و هگزا) کلروبی فنیل بهمراه دو نوع بنزن کلردار بعنوان مواد افزودنی می‌باشند، در مقایسه با روغن‌های معدنی یا فسیلی، دارای خواص برجسته‌ای مثل غیر قابل اشتعال (احتراق) بودن، عدم زوال در اثر اکسیداسیون، تولید گازهای غیر قابل اشتعال و انفجار در اثر تجزیه ناشی از قوس الکتریکی، ثابت دی الکتریک بالا، دانسیته بالاتر از آب، استقامت عایقی خوب، حساسیت بیشتر نسبت به آب و به رطوبت، گرمای ویژه و هدایت حرارتی بهتر و ویسکوزیته مناسب‌تر بوده که علاوه بر آنها، دارا بودن عمر زیاد و هزینه نگهداری کمتر موجب گردید که استفاده از آنها، در تجهیزات الکتریکی روزبروز گسترش یابد. بهمین جهت در سطح وسیع و با نامهای گوناگون همچون Pyralene (پیرالن) در فرانسه،Pyrenol (پیروکنل) در انگلستان Clophen (کلوفن) در آلمان، Apiolio,Fenclor (فنزکلر،آپیولیو) در ایتالیا و Sovtol,Solvol (سولتول،سوتول) در شوروی تولید گردید.

تقریباً از ابتدای کاربرد آسکارلها در تجهیزات الکتریکی مشخص گردید که تماس مداوم با آسکارلها، سبب خارش پوست شده و تنفس بخارات داغ آن در یک پریود طولانی، اثرات منفی برارگانیسم داخلی بدن بجا میگذارد، بهمین دلیل بمرور زمان استفاده از آسکارلها، با توجه به خواص برجسته بی شمار آنها، تنها به تجهیزات بسته و ایزوله شده با محیط، نظیر ترانسفورماتورها و خازنها محدود گشت بدین ترتیب خازنها به یکی از عمده ترین موارکاربرد آسکارلها تبدیل شدند.

لیکن بتدریج، اثرات منفی دیگری از این ماده بروز نمود که در اثر بررسی‌های علمی و آماری انجام شده شناسائی گردید، بطوریکه حذف یا جایگزینی تجهیزات مذکور در دستور کار سازمانهای بین المللی محیط زیست قرار داده شده که ذیلاً مهمترین عوامل مؤثر در علل توقف ساخت و کاربرد این مواد که بیشتر جنبه زیست محیطی دارند را می‌شماریم.

۱ - تولید مواد سمّی* PCDF , PCDD , PCB(s)

۲ - پایداری زیاد در مقابل عوامل تجزیه کننده بیولوژیکی.

۳ - اثرات زیان آور بر سلامتی و بخصوص مشکوک بداشتن اثرات سرطان‌زائی.

باتوجه به مختصری که فوقاً توضیح داده شد، امروزه استفاده از روغن‌های PCB(s) مجاز شمرده نمی‌شود و بجای آنها استفاده از روغن‌های Non - PCB(s) ، توصیه میگردد. جهت دست یابی به اطلاعات بیشتر و جامع‌تر در مورد روغن‌های عایقی خازنها، به گزارش ۴ جلدی ذیل که معاونت تحقیقات و تکنولوژی اقدام به تهیه آن نموده است، مراجعه شود.

- بررسی علل و موارد کاربرد آسکارلها در تجهیزات الکتریکی گزارش اول.
- بررسی علل توقف کاربرد آسکارلها در تجهیزات الکتریکی گزارش دوم.
- بررسی جایگزینی و مواد جایگزین در تجهیزات الکتریکی گزارش سوم.
- بررسی روشهای معدوم سازی و ارائه روشهای ساخت مواد جایگزین گزارش چهارم.

---

* مخفف PCDF Poly Chlorinated Dibenzo Furan

مخفف PCDD Poloy Chlorinated Dibenzo Dioxin

مخفف PCB(s) Poly Chlorinated Biphenyls