جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
خازن های موازی در پست های فشار قوی

نشریه شماره ۲ – ۵۰٤

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور وزارت نیرو – شرکت توانیر
معاونت نظارت راهبردی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
دفتر نظام فنی اجرایی www.tavanir.ir
http://tec.mporg.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال خازن های موازی درپست های فشارقوی

نشریه شماره ۲ – ۵۰۴

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
http://tec.mporg.ir

وزارت نیرو – شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: ۱۰۰/۸۷۰۰۴
	تاریخ: ۱۳۸۸/۹/۱۶

موضوع:

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – خازن‌های موازی در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۰۴ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو مجلد با عنوان «**مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال– خازن‌های موازی در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

ابراهیم عزیزی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

omoorepeyman.ir

627968

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی- تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱- خیابان صفی علی شاه

http://tec.mporg.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و بـه منظـور تعمـیم اسـتانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقـال و توزیـع نیـروی بـرق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی – دفتر نظـام فنـی اجرائـی) بـا همکـاری وزارت نیرو – شرکت توانیر(دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیسـت محیطـی) در قالـب طـرح «ضـوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – خازن هـای مـوازی در پست ها ی فشار قوی- جلد دوم» در برگیرنده مباحث مربوط به خازن های موازی شامل کلیات و تعاریف، معیارهـای طراحی و مهندسی، آزمون های نوعی(که به منظور بررسی و تائید مشخصات فنی خازن های موازی، و وسایل جانبی و تجهیزات کمکی انجام می گیرد)، آزمون های جاری(که برای تشخیص نقائص و خطاهای موجود در ساختار خازن های موازی صورت می گیرد) و دستورالعملهای نگهداری و بهـره بـرداری دسـتگاه هـای مزبـور در پسـت هـای فشـار قـوی می باشد.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۸

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – خازن های موازی در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۵۰٤

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسین مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسین شهرام کاظمی، بهزاد کیوانی و سرکار خانم طاهره نوری و آقای دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیاتی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – مجری طرح
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس علیرضا خیری	دفتر استانداردها- وزارت نیرو
آقای دکتر عارف درودی	شرکت مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس علی رحیم زاده خوشرو	کارشناس معاونت برنامه ریزی – دفتر فنی شبکه
آقای مهندس سید حسن عرب اف	شرکت مهندسین مشاورقدس نیرو
آقای مهندس بهروز قهرمانی	سازمان توسعه برق
آقای مهندس بهروز قیاسی معاصر	شرکت مهندسین مشاورقدس نیرو
آقای مهندس اباذر میرزائی	مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
آقای مهندس حامد نفیسی	شرکت مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس سید جمال الدین واسعی	پژوهشگاه نیرو
آقای مهندس مرتضی یعقوبی شریف	شرکت مشانیر
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو- سازمان توانیر- دبیر کمیته فنی

مسوولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفترنظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسین پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ـ اهداف، کلیات، تعاریف

۱-۱- کلیات ۳

۱-۲- منابع تولیدکننده توان راکتیو ۳

۱-۲-۱- کندانسورهای سنکرون ۴

۱-۲-۲- جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو ۴

۱-۲-۳- خازنهای موازی ۴

۱-۳- نکات کلی در مورد خازن‌ها ۵

۱-۴- مزایای نصب خازن موازی ۷

۱-۴-۱- تأمین توان راکتیو ۷

۱-۴-۲- تصحیح ضریب توان ۷

۱-۴-۳- بهبود پروفیل ولتاژ ۹

۱-۴-۴- افزایش ظرفیت سیستم ۱۰

۱-۴-۵- کاهش تلفات توان سیستم ۱۱

۱-۴-۶- کاهش هزینه ۱۲

۱-۵- انواع خازن‌ها ۱۲

۱-۵-۱- تقسیم‌بندی خازنها ازنظر محل نصب و ساختمان ظاهری ۱۲

۱-۵-۲- تقسیم‌بندی خازنهای مورد استفاده برحسب نحوه ورود به شبکه ۱۳

۱-۵-۳- تقسیم‌بندی خازنها ازنظر تعداد بوشینگها ۱۳

۱-۶- انواع اتصال خازن‌ها ۱۴

۱-۷- حفاظت خازن‌ها ۱۵

۱-۷-۱- حفاظت فیوزی ۱۵

۱-۷-۲- حفاظت رله‌ای ۱۶

۱-۸- تعاریف ۱۶

۱-۸-۱- المان خازنی (عنصر خازنی) ۱۶

۱-۸-۲- واحد خازنی ۱۶

۱-۸-۳- بانک خازنی ۱۶

omoorepeyman.ir

۱-۸-۴- وسیله تخلیه خازن ۱۶
۱-۸-۵- فیوز داخلی خازن ۱۶
۱-۸-۶- ترمینال خط ۱۷
۱-۸-۷- خروجی نامی خازن (QN) ۱۷
۱-۸-۸- ظرفیت نامی خازن (CN) ۱۷
۱-۸-۹- ولتاژ نامی خازن (UN) ۱۷
۱-۸-۱۰- فرکانس نامی خازن(fN) ۱۷
۱-۸-۱۱- جریان نامی خازن (IN) ۱۷
۱-۸-۱۲- تلفات خازن ۱۷
۱-۸-۱۳- تانژانت زاویه تلفات خازن ۱۷
۱-۸-۱۴- ماکزیمم ولتاژ متناوب خازن ۱۷
۱-۸-۱۵- ماکزیمم جریان متناوب خازن ۱۷
۱-۸-۱۶- درجه حرارت خنک‌کنندگی ۱۸
۱-۸-۱۷- شرایط ماندگار ۱۸
۱-۸- ۱۸- ولتاژ پس‌ماند ۱۸

فصل دوم ـ معیارهای طراحی و انتخاب خازن‌های موازی

۲-۱- انتخاب خازن ۲۱
۲-۱-۱- ولتاژ نامی ۲۱
۲-۱-۲- انتخاب نوع خازن ازنظر محل نصب و ساختمان ظاهری ۲۱
۲-۱-۳- تعداد بوشینگها ۲۱
۲-۱-۴- کلاس حرارتی خازن ۲۱
۲-۱-۵- نحوه اتصال خازن ۲۲
۲-۱-۶- محاسبه خازن مورد نیاز ۲۳
۲-۱-۶-۱- ظرفیت خازن ۲۳
۲-۱-۶-۲- واحد خازنی ۲۴
۲-۱-۶-۳- بانک خازنی ۲۴
۲-۱-۷- انتخاب حفاظت فیوزی ۲۵
۲-۱-۸- نحوهٔ آرایش بانکهای خازنی ۲۵
۲-۱-۹- سطوح عایقی ۲۷
۲-۱-۱۰- اضافه ولتاژها و اضافه جریان‌ها ۲۷

omoorepeyman.ir

۲-۱-۱۰-۱- برقگیر ۲۸
۲-۱-۱۱- حفاظت رله‌ای خازن ۲۹
۲-۱-۱۱-۱- حفاظت اضافه جریان خط ۳۰
۲-۱-۱۱-۲- حفاظت عدم تعادل ۳۰
۲-۱-۱۱-۳- تنظیم رله‌های حفاظتی ۳۴
۲-۱-۱۱-۴- انواع رله‌های مورد استفاده ۳۴
۲-۱-۱۲- کنترل مجموعه خازن‌ها ۳۵
۲-۱-۱۲-۱- رله کنترل ورود و خروج خازن‌ها ۳۵
۲-۱-۱۲-۲- تأخیر در وصل خازن‌های باردار ۳۶
۲-۱-۱۲-۳- تأخیر زمانی در وصل تیغه زمین فیدر خازن ۳۶
۲-۲- راکتور سری ۳۷
۲-۲-۱- محاسبه جریان هجومی ۳۷
۲-۲-۱-۱- جریان هجومی ناشی از وصل بانک خازنی منفرد ۳۷
۲-۲-۱-۲- جریان هجومی ناشی از وصل بانکهای خازنی موازی ۳۹
۲-۲-۱-۳- ماکزیمم فرکانس جریان هجومی بانک خازنی ۴۰
۲-۳- ترانسفورماتور جریان ۴۲
۲-۴- ترانسفورماتور ولتاژ ۴۳
۲-۵- نمونه طراحی ۴۳
۲-۵-۱- انتخاب خازن ۴۳
۲-۵-۲- راکتور سری ۴۵
۲-۵-۳- ترانسفورماتور جریان ۴۷
۲-۵-۴- ترانسفورماتور ولتاژ ۴۷
۲-۵-۵- حفاظت رله‌ای ۴۷

فصل سوم ـ آزمون‌های لازم برای خازن‌های موازی

۳-۱- شرایط آزمون ۵۱
۳-۲- طبقه‌بندی آزمون‌ها ۵۱
۳-۲-۱- آزمون‌های جاری ۵۱
۳-۲-۲- آزمون‌های نوعی ۵۲
۳-۲-۳- آزمون‌های خاص ۵۲
۳-۳- آزمون‌های جاری ۵۲

omoorepeyman.ir

۳-۳-۱- اندازه‌گیری ظرفیت خازن ۵۲
۳-۳-۲- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات ($\tan\delta$) ۵۴
۳-۳-۳- آزمون ولتاژ بین ترمینالها ۵۴
۳-۳-۴- آزمون ولتاژ ac بین ترمینال‌ها و محفظه ۵۴
۳-۳-۵- آزمون تجهیزات تخلیه داخلی ۵۵
۳-۳-۶- آزمون آب‌بندی ۵۵
۳-۳-۷- آزمون تخلیه روی فیوزهای داخلی ۵۵
۳-۴- آزمون‌های نوعی ۵۶
۳-۴-۱- آزمون پایداری حرارتی ۵۶
۳-۴-۲- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات خازن ($\tan\delta$) در درجه حرارت بالاتر از استاندارد ۵۷
۳-۴-۳- آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها و محفظه خازن ۵۷
۳-۴-۴- آزمون موج ضربه صاعقه بین ترمینال‌ها و محفظه ۵۸
۳-۴-۵- آزمون تخلیه اتصال کوتاه ۵۸

فصل چهارم ـ دستورالعملهای نگهداری و بهره‌برداری خازن‌های موازی

۴-۱- کلیات ۶۱
۴-۱-۱- درجه حرارت عملکرد ۶۱
۴-۱-۲- شرایط ویژه کارکرد ۶۱
۴-۲- بازدیدهای اولیه ۶۲
۴-۳- قفل حصار محوطهٔ خازن‌ها ۶۳
۴-۴- بازدیدهای دوره‌ای ۶۳
۴-۴-۱- بازدید روزانه از خازن ۶۳
۴-۴-۲- بازدید هفتگی از خازن ۶۳
۴-۴-۳- بازدید ماهیانه از خازن ۶۴
۴-۴-۴- جداول بازدیدهای دوره‌ای ۶۴
۴-۵- سرویس دوره‌ای بانک خازنی ۶۴

منابع و مراجع ۶۷

omoorepeyman.ir

فصل ۱

اهداف، کلیات، تعاریف

omoorepeyman.ir

۱-۱- کلیات

بسیاری از بارهای متصل به شبکه قدرت ازجمله موتورها، بارهای روشنائی (غیر از لامپ‌های رشته‌ای)، کوره‌های الکتریکی و ترانسفورماتورها تقاضای توان راکتیو را افزایش می‌دهند. بنابراین شبکه قدرت همواره در ضریب توان پس فاز کوچکتر از یک کار می‌کند. عملکرد در این ضریب توان باعث می‌گردد که شبکه قدرت نیاز به توان راکتیو بیشتری داشته باشد. در نتیجه باید بخشی از توان تولیدی نیروگاهها به توان راکتیو اختصاص یابد. هرچند افزایش تحریک در ژنراتورهای سنکرون باعث تولید توان راکتیو می‌شود اما از نقطه نظر ظرفیت ژنراتور، این افزایش تحریک نمی‌تواند بدون محدودیت و کاملاً تحت تأثیر نیاز بار صورت پذیرد. زیرا قسمتی از ظرفیت تولید ژنراتور که باید صرف تولید توان اکتیو شود دراختیار تولید توان راکتیو قرار می‌گیرد. علاوه براین اگر توان راکتیو منحصراً در نیروگاه تولید شود، برای هریک از تجهیزات موجود در نیروگاه و سیستم انتقال باید مشخصات نامی بالاتری انتخاب گردد. با این توضیحات نیاز به تأمین توان راکتیو از منابع دیگری به جز ژنراتور احساس شده تا ضمن بهبود ضریب توان، ظرفیت انتقال توان را نیز در شبکه افزایش دهد. یکی از این منابع، خازن‌های موازی هستند. خازنها با کاستن از تقاضای بار راکتیو تولیدی ژنراتورها، می‌توانند این شرایط را بهبود بخشیده و جریان خطوط را کاهش دهند. در نتیجه از تلفات و بارگذاری روی خطوط و ترانسفورماتورها کاسته می‌گردد. این جبران‌کننده‌ها نسبتاً ارزان بوده و نگهداری و بهره‌برداری ساده‌ای دارند. همچنین تلفات انرژی کمی داشته و در فضای آزاد نیز قابل نصب می‌باشند. مزایای نصب خازن موازی را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- تأمین توان راکتیو
- تصحیح ضریب توان
- بهبود پروفیل ولتاژ
- افزایش ظرفیت سیستم
- کاهش تلفات سیستم
- کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در شبکه
- کاهش هزینه مصرف کننده

۱-۲- منابع تولیدکننده توان راکتیو

منابع تولیدکننده توان راکتیو را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی نمود:

- کندانسورهای سنکرون
- جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو (FACTS)
- خازنهای موازی

omoorepeyman.ir

۱-۲-۱- کندانسورهای سنکرون

اینگونه جبران‌کننده‌ها در اصل موتورهای سنکرونی می‌باشند که معمولاً در محل مصرف به شبکه متصل شده و توان راکتیو لازم برای مصرف‌کننده‌ها را بطور پیوسته تأمین می‌کنند. مهمترین مشخصه آنها تثبیت ولتاژ بطور پیوسته در سیستم توزیع می‌باشد. بدین ترتیب که با تغییر تحریک موتور می‌توان میزان تزریق توان راکتیو را به شبکه تنظیم کرد. از معایب این موتورها می‌توان به هزینه بالا، مشکلات راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری آنها اشاره نمود.

۱-۲-۲- جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو

جبران‌کننده استاتیک را می‌توان یک سوسپتانس موازی قابل تنظیم تلقی کرد. توانایی این وسایل بیشتر از خازنها و راکتورهای ثابت موازی می‌باشد. واژه استاتیک به این معناست که این جبران‌کننده‌ها برخلاف کندانسورهای سنکرون، دارای قسمت متحرک نمی‌باشند.

کاربردهای عملی جبران‌کننده‌های استاتیک در سیستم‌های قدرت عبارتند از:

- ثابت نگاهداشتن ولتاژ در یک سطح معین و یا نزدیک به آن
- بهبود پایداری سیستم قدرت
- بهبود ضریب توان
- تصحیح عدم تقارن فازها

از مشخصه‌های مهم جبران‌کننده استاتیک سرعت پاسخ آن است. توان راکتیو جبران‌کننده باید در پاسخ به تغییرات کوچک ولتاژ ترمینال، با سرعت کافی تغییر نماید.

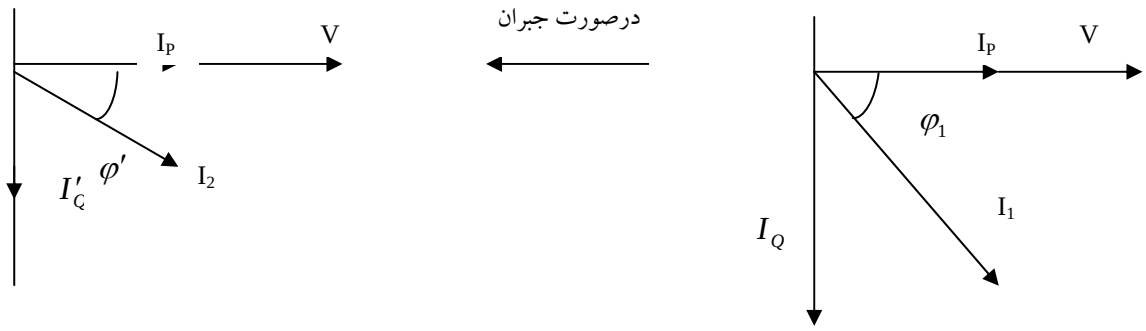
۱-۲-۳- خازنهای موازی

یکی از مهم‌ترین منبع تولید توان راکتیو در سیستم‌های قدرت خازنهای موازی می‌باشند. این خازنها به صورت موازی به شبکه متصل شده و جریان راکتیو را به آن تزریق می‌کنند.

بطورکلی خازنها می‌توانند بصورت گروهی به شکل بانکهای خازنی همراه با فیوزهای مناسب برروی فیدرها نصب گردند. اساس عملکرد یک خازن را می‌توان با شکل ۱-۱ نمایش داد. همانطور که مشاهده می‌شود با قرارگرفتن خازن در مدار:

- جریان مدار از مقدار I_1 به I_2 تغییر می‌یابد.
- مولفه راکتیو جریان از I_Q به I_Q' تغییر می‌یابد.
- مولفه اکتیو جریان ثابت باقی می‌ماند.

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۱: اساس عملکرد یک خازن موازی

با توجه به اینکه خازن یک المان راکتیو است مولفه اکتیو کل جریان مدار تغییری نمی‌کند. یعنی تصویر بردار I_2 روی محور افقی (I_P) ثابت است. درنتیجه مقدار ضریب توان افزایش می‌یابد. از روی دیاگرام فازوری آشکار است که با افزایش $\cos\varphi$ جریان عبوری از شبکه از مقدار I_1 به مقدار I_2 کاهش می‌یابد. چون این جریان از خطوط دارای مقاومت عبور می‌کند، تلفات شبکه نیز متناظر با آن کاهش خواهد یافت. با افزایش خازن دامنه بردار جریان کاهش یافته ولی همچنان تصویر آن روی محور افقی ثابت و برابر I_P خواهد بود. جبران‌کنندگی ایده‌آل حالتی است که اثر سلفی و خازنی مدار با یکدیگر برابرشده و در نتیجه جریان عبوری کاملاً هم فاز با ولتاژ خط شود که در این حالت کمترین تلفات را خواهیم داشت.

از مزایای خازن موازی نسبت به کندانسورهای سنکرون می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تلفات انرژی کمتر
- قیمت کمتر
- نصب و نگهداری و عملکرد ساده‌تر
- کارهای ساختمانی ارزان
- نداشتن سر و صدا
- قابل نصب حتی در ترمینال دستگاهها

۱-۳- نکات کلی در مورد خازن‌ها

خازن یک جزء غیرقابل تقسیم بوده که از الکترودهای هادی تشکیل می‌گردد. این الکترودها توسط دی‌الکتریک (عایق) از یکدیگر جداشده‌اند. قسمت اصلی یک خازن از دو صفحه آلومینیومی که به کمک چند لایه عایق از یکدیگر جدا می‌شوند تشکیل شده است. ضخامت عایق از ۸ تا ۲۴ میکرون متناسب با ولتاژی که خازن برای آن طراحی شده است تغییر می‌کند. برای ولتاژهای پایین‌تر می‌توان تنها از یک لایه عایق با ضخامت مناسب استفاده نمود. با این حال معمول است که حداقل از دو یا بعضی مواقع سه

omoorepeyman.ir

لایه عایق استفاده شود تا از اتصال کوتاه صفحات آلومینیومی از طریق مواد ناخالصی که نقش هدایت‌کننده در عایق دارند جلوگیری گردد. چون این صفحات آلومینیومی به صورت لایه‌ای روی هم پیچیده می‌شوند باید از طریق ۲ یا ۳ لایه عایق از هم جدا شوند.

ظرفیت خازنی بیان توانایی یک سیستم از مواد عایقی و هادیها برای ذخیره کردن الکتریسیته یا بار الکتریکی است. با اتکاء به این نکته، ظرفیت خازنی(C) برابر با نسبت بار الکتریکی ذخیره شده (Q) به اختلاف پتانسیل U تعریف می‌گردد، یعنی:

$$C = \frac{Q}{U} \qquad (۱-۱)$$

از رابطه زیر می‌توان برای بدست آوردن کاپاسیتانس (C) هر خازن استفاده نمود :

$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 A}{d} \qquad (۱-۲)$$

که در آن ε_r ثابت نسبی دی‌الکتریک عایق و ε_0 ثابت دی‌الکتریک خلا (0.885×10^{-11}، فاراد بر متر)، A سطح الکترودها بر حسب مترمربع و d فاصله بین الکترودها بر حسب متر می‌باشد. چگالی توان راکتیو را با رابطه زیر تعریف می‌کنند:

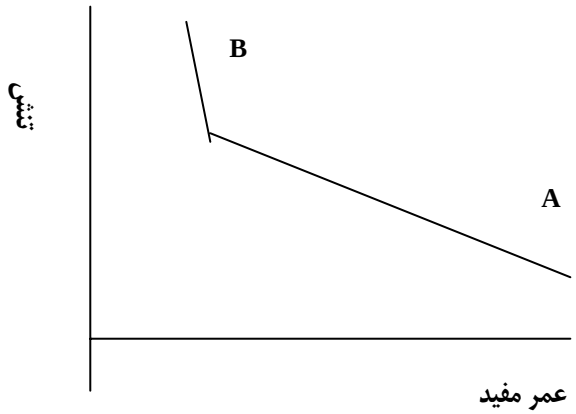
$$q = \varepsilon E^2 \qquad (۱-۳)$$

که در آن E شدت میدان الکتریکی متوسط در عایق بر حسب ولت بر متر است. با انتخاب مناسب مواد عایقی می‌توان در چگالی توان راکتیو اثر گذاشت. دیگر پارامتر مهم عایق، ضریب پراکندگی یا همان تلفات عایقی (tgδ) می‌باشد. حرارت بوجود آمده در خازن (ناشی از تلفات عایقی) می‌تواند کمیتهای دیگر خازن از جمله توان نامی واحد خازنی را محدود نماید و در نتیجه بطور غیرمستقیم در قیمت توان راکتیو ایجاد شده تأثیر بگذارد که این بمعنای تأثیر در قیمت کل خازن خواهد بود.

خازنها دارای تلفات انرژی هستند. محدودیت عمده برای ساخت واحدهای خازنی بزرگ تلفات آنهاست زیرا با بزرگ شدن مقدار واحد خازنی، سطح خارجی آن متناسب با مقدار خازن افزایش نمی‌یابد و در نتیجه انتقال گرما به بیرون کاهش خواهد یافت. تلفات که در خازنها با واحد وات بر کیلووار سنجیده می‌شود در ارزیابی و مقایسه خازنهای مختلف عامل مهمی است. با بزرگتر شدن واحد خازنی مقدار تلفات بر کیلووار آن کاهش می‌یابد.

سیستم عایقی وقتی در معرض تنشهای حرارتی و الکتریکی قرار می‌گیرد دچار فرسودگی و پیری می‌شود. نرخ فرسودگی و پیری در مواد عایقی گوناگون و ترکیبهای مختلف ماده، می‌تواند در محدودهٔ وسیعی تغییر کند. در نمودار شکل (۱-۱) رابطه بین عمر یک سیستم عایقی در ارتباط با تنشهای اعمالی آورده شده است. این نمودار، مشخصه نوعی هر سیستم عایقی می‌تواند باشد. پیری سیستم در قسمت A این نمودار، می‌تواند با اثرات شیمیایی، شیمیایی- الکتریکی یا حرارتی محض رابطه داشته باشد. همچنین پیری سیستم در قسمت B معمولاً در نتیجه تخلیه‌های جزئی و کرونا می‌باشند. در یک سیستم عایقی یک سطح تنش معین وجود دارد که در بالای آن تخلیه جزئی به طور دائم و پیوسته رخ می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۲: رابطه بین عمر یک سیستم عایقی در ارتباط با تنش‌های اعمالی

۱-٤- مزایای نصب خازن موازی

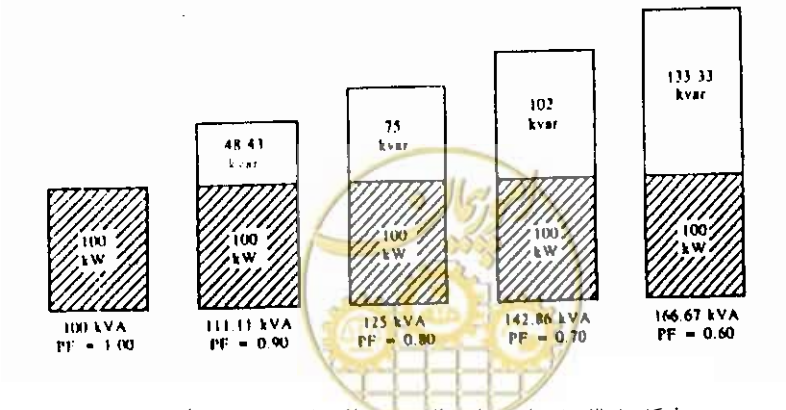
۱-٤-۱- تأمین توان راکتیو

تأمین توان راکتیو مزیتی است که بسیاری از مزایای دیگر را به همراه دارد، از جمله بهبود کنترل ولتاژ و ضریب توان، کاهش تلفات سیستم وکاهش نیاز به تولید توان راکتیو توسط ژنراتورها و همچنین افزایش محدودهٔ پایداری ماندگار سیستم.

خازن‌های موازی در پست‌های فوق‌توزیع و توزیع به منظور تأمین توان راکتیو در مجاورت بار در شبکه‌های انتقال و توزیعی که شدیداً تحت بارگذاری قرارگرفته‌اند بکار می‌روند.

۱-٤-۲- تصحیح ضریب توان

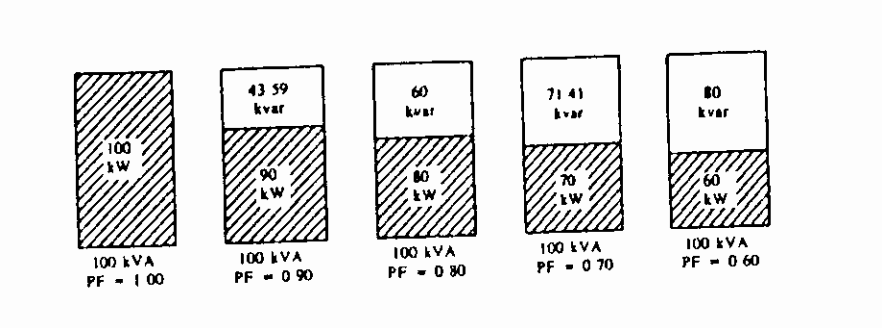
شکل شماره (۱-۳) گویای تغییرات توان ظاهری تولیدی در اثر تغییر ضریب توان با ثابت فرض نمودن توان اکتیو می‌باشد. از روی شکل می‌توان مشاهده نمود که در اثر کاهش ۲۰ درصدی ضریب توان، توان ظاهری ۲۵ درصد افزایش می‌یابد.



شگل ۱-۳: تغییرات توان ظاهری در اثر تغییر ضریب توان

omoorepeyman.ir

شکل (۱-۴) نیز گویای تغییرات توان راکتیو و اکتیو در اثر تغییرات ضریب توان با ثابت فرض کردن توان ظاهری می‌باشد. پیداست که با ۲۰٪ کاهش ضریب توان باید ۲۰٪ از توان اکتیو تولیدی کاست تا بتوان توان راکتیو مصرف‌کنندگان را تأمین نمود و توان ظاهری را ثابت نگه داشت.



شکل ۱-٤: تغییرات توان راکتیو و اکتیو در اثر تغییرات ضریب توان

فرض کنید یک بار با توان حقیقی P، توان راکتیو Q_1 و توان ظاهری S_1 در ضریب توان $Cos\varphi_{old}$ تغذیه شود. در این صورت داریم:

$$PF_{old} = Cos\varphi_{old} = \frac{P}{S_{old}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_{old}^2}} \qquad (۴-۱)$$

حال وقتی خازن موازی با توان راکتیو Q_C در نزدیک بار نصب گردد ضریب توان به مقدار زیر بهبود می‌یابد:

$$PF_{new} = Cos\varphi_{new} = \frac{P}{S_{new}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_{new}^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_{old} - Q_c)^2}} \qquad (۵-۱)$$

این بهبود در وضعیت شبکه از نظر کاهش توان ظاهری و توان راکتیو تولیدی در مسیر قبل از نصب خازن وجود داشته و بعد از آن تغییراتی از این جهات نداریم.

در این حالت برای توان ظاهری آزادشده رابطه زیر موجود است:

$$\frac{PF_{old}}{PF_{new}} = 1 - S_{release} \qquad (۶-۱)$$

$$S_{release} = S_{old} - S_{new} \qquad (۷-۱)$$

در این روابط توانهای ظاهری برحسب پریونیت می‌باشند.

از طرفی مقدار توان راکتیو مورد نیاز جهت تصحیح ضرب توان از رابطه زیر بدست می‌آید:

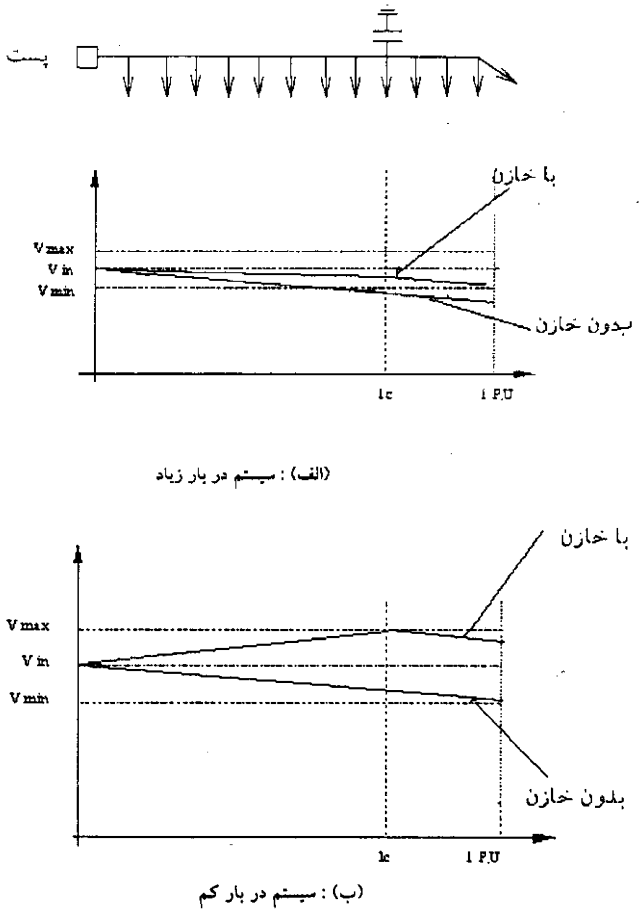
$$Q_C = S_F \times PF_{new}(tg\varphi_{old} - tg\varphi_{new}) \qquad (۸-۱)$$

در این رابطه S_F ظرفیت قطعی پست می‌باشد.

omoorepeyman.ir

۱-٤-۳- بهبود پروفیل ولتاژ

شکل(۱-۵) اثر یک بانک خازنی ثابت را بر روی پروفیل ولتاژ مربوط به یک فیدر با توزیع بار یکسان نشان می‌دهد (در حالت کم‌باری و بار زیاد). همانطور که از روی شکلها مشاهده می‌شود نقاطی که خازن در آن نصب می‌گردد بیش از جاهای دیگر می‌تواند در معرض اضافه ولتاژ قرار گیرد که از این نظر باید موضوع خازن‌گذاری در این نقاط بیشتر مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۱-۵: اثر بانک خازنی روی پروفیل ولتاژ الف) بار زیاد ب) کم باری

مطابق شکل (۱-۶) و براساس دیاگرامهای فازوری نشان داده شده قبل و بعد از نصب خازن، براحتی می‌توان دریافت که پس از نصب خازن، جریان راکتیو خازن موجب پیش فاز شدن جریان خط گشته که این امر سبب کاهش میزان افت ولتاژ خط می‌شود. شکل (۱-۶) دیاگرام (a) افت ولتاژ فیدر را قبل از نصب خازن و دیاگرام (b) افت ولتاژ فیدر را پس از نصب خازن نشان می‌دهد. با توجه به دیاگرام (b) در صورتیکه مقدار ظرفیت خازن خیلی بزرگ انتخاب شود، ولتاژ انتهای فیدر می‌تواند حتی از ولتاژ ابتدای آن نیز بیشتر شود.

با توجه به اینکه مقدار افزایش ولتاژ فیدر به محل نصب خازن، جنس هادی خط و به تک‌تک بارهای فیدر بستگی دارد، لذا نمی‌توان رابطه دقیقی برای میزان افزایش ولتاژ هر نقطه از فیدر بر حسب مقدار ظرفیت خازن بکار رفته، ارائه داد.

اضافه ولتاژ ناشی از نصب خازن را می‌توان بطور تقریبی از رابطه زیر محاسبه نمود.

omoorepeyman.ir

$$\Delta V = \frac{Q_c \times X_2}{10^3 \times V^2} \qquad (۹-۱)$$

در این رابطه:

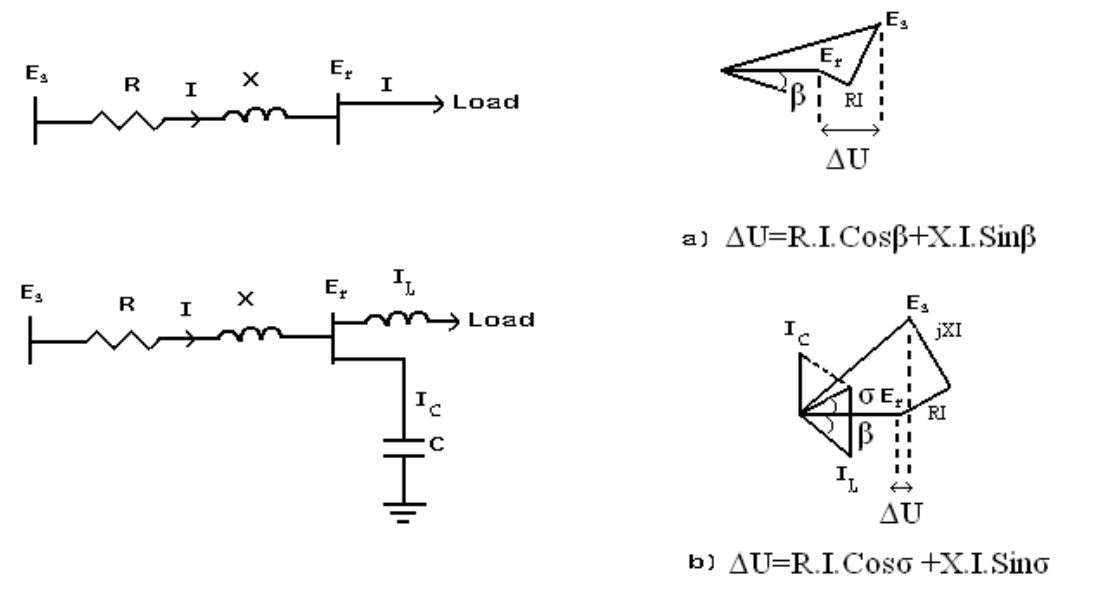
ΔV = درصد افزایش ولتاژ در نقطه نصب خازن

V= ولتاژ خط بدون قرارگرفتن خازن در سرویس برحسب کیوولت

Q_c = مقدار توان راکتیو سه فاز تولیدی توسط بانک خازنی برحسب کیلووار

X_2 = راکتانس سیستم در نقطه نصب خازن برحسب اهم

بانکهای خازنی عموماً در سیستم‌های فوق‌توزیع درشینه‌های اصلی نصب می‌گردند تا ولتاژ موردنیاز را برای منطقه وسیعی تأمین کنند. بانکهای خازنی که جهت بهبود یا اصلاح ولتاژ نصب می‌گردند معمولاً در دورهٔ پیک بار یا شرایط کاهش ولتاژ به مدار واردشده و در شرایط کم‌باری یا اضافه ولتاژ از مدار خارج می‌گردند.



شکل ۱-٦: افت ولتاژ فیدر قبل و بعد از نصب خازن

۱-٤-٤- افزایش ظرفیت سیستم

مهمترین مزیت نصب خازن‌های موازی، افزایش ظرفیت سیستم است. این مزیت علی‌الخصوص در مواقعی که بارهای متصل به سیستم با افزایش مواجه می‌باشد، نمایان می‌گردد.

با افزودن خازن موازی، بارهای راکتیو یا به عبارت دیگر کیلوولت آمپر مورد نیاز بارها کاهش می‌یابد. بنابراین ظرفیت سیستم که در مواقع اضافه بار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد افزایش می‌یابد.

ضریب توان بهینه سیستم تنها با درنظر گرفتن افزایش ظرفیت (ظرفیت قابل آزادشدن) از رابطه زیر تعیین می‌گردد [۳].

$$PF = \sqrt{1-\left(\frac{C_c}{S}\right)^2} \qquad (۱۰-۱)$$

omoorepeyman.ir

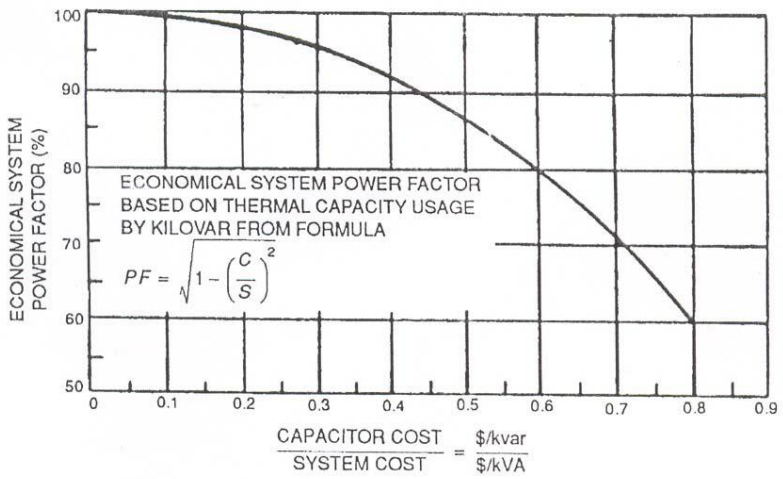
در این رابطه:

C_c = قیمت هر کیلووار بانک خازنی

S = قیمت هر کیلوولت آمپر تجهیزات سیستم

PF = ضریب توان بهینه

رابطه فوق هزینه نصب خازن را با هزینه تجهیزات سیستم از قبیل ترانسفورماتورها، رگولاتورها و ..... ، در صورتیکه همان مقدار افزایش ظرفیت سیستم را برآورده‌کنند، مقایسه می‌کند. نمودار مربوطه در شکل (۱-۷) آمده‌است.



شکل ۱-۷: ضریب توان بهینه سیستم

۱-٤-۵- کاهش تلفات توان سیستم

با نصب خازن‌های موازی، کاهش چشمگیری در تلفات توان در شبکه انتقال و توزیع حاصل می‌گردد. نصب خازن‌های موازی جریان عبوری در سیستم را از محل تولید به نقطه نصب خازن کاهش داده که بعلت متناسب‌بودن تلفات با مجذور جریان، کاهش بیشتری در تلفات توان ایجاد خواهد شد. به این جهت معمولاً خازن‌ها هر چه نزدیکتر به بار نصب می‌گردند.

نسبت تلفات سیستم به بار محلی، بدون خازن و با نصب خازن را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد. در این رابطه فرض می‌گردد که ولتاژ بار و مقدار توان حقیقی عبوری از سیستم انتقال و توزیع ثابت می‌باشد.

$$\text{نسبت تلفات} = \frac{\text{تلفات با خازن}}{\text{تلفات بدون خازن}} = \left[\frac{PF_{old}}{PF_{new}}\right]^2 \qquad (۱-۱۱)$$

در این رابطه:

PF_{old} = ضریب توان موجود

PF_{new} = ضریب توان تصحیح شده

omoorepeyman.ir

۱-٤-٦- کاهش هزینه

از آنجا که بکاربردن خازن‌های موازی باعث کاهش ولت‌آمپر مصرفی می‌گردد، این امر منجر به کاهش هزینه پرداختی از سوی مصرف‌کننده نیز خواهد شد. علاوه‌برآن به دلیل تأمین توان راکتیو در محلی غیراز نیروگاه، هزینه‌های مربوط به سیستم انتقال و تجهیزات نیروگاهی که با اتصال خازن‌های موازی به شبکه مشخصات نامی پایین‌تری می‌توانند داشته باشند، کاهش می‌یابد.

کاهش تلفات همچنین باعث کاهش سوخت مورد نیاز جهت تأمین این توان و نیز کاهش قیمت تجهیزات مورد نیاز برای تأمین تلفات در بار پیک می‌گردد.

۱-۵- انواع خازن‌ها

خازن‌های مورد استفاده در شبکه‌های قدرت را از سه لحاظ می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

۱-۵-۱- تقسیم‌بندی خازنها ازنظر محل نصب و ساختمان ظاهری

خازنها ازنظر نصب بصورت داخل ساختمانی[۱] و یا نصب خارجی[۲] تقسیم‌بندی می‌شوند. ازنظر ساختمان ظاهری نیز خازنها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- نوع تابلویی [۳]
- نوع تانکی [۴]
- قفسه باز [۵]

نصب خازنها به صورت قفسه باز در محوطهٔ پست‌های فشارقوی به صورت افقی یا عمودی و بر روی چارچوب‌های فولادی گالوانیزه یا آلومینیوم بسیار معمول می‌باشد. این نوع خازنها بصورت طبیعی خنک می‌شوند. تجهیزات جانبی از قبیل ادوات کلیدزنی، ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری و برقگیر بر روی سازه‌های جداگانه نصب می‌شود. واحدهای خازن و مقره‌های مربوطه که در محوطه نصب هستند، بیشتر درمعرض آلودگی و شکستگی قراردارند. این نوع از بانکهای خازنی می‌توانند بر روی یک قفسه به صورت سه فاز یا به صورت یک فاز بر روی یک قفسه نصب گردد. از آن جا که در این نوع بانک خازنی قسمتهای برق‌دار گسترده هستند می‌بایستی حصاری اطراف بانک خازنی کشیده شود. می‌توان با استفاده از اینترلاکی دسترسی به بانک خازنی را قبل از زمین کردن آن ناممکن ساخت. در بعضی نقاط به علت محدودیت فضای قابل دسترس و مقدار بانک خازنی مورد لزوم می‌توان خازنها را به صورت تابلویی یا تانکی خنک‌شونده با هوا سفارش داد که ازنظر قیمت گرانتر هستند.

1 .Indoor
2 .Outdoor
3 . Cubicle type
4 . Tank type
5 . Open rack type

omoorepeyman.ir

۱-۵-۲- تقسیم‌بندی خازنهای مورد استفاده برحسب نحوه ورود به شبکه

این خازنها بر دونوع هستند:

- خازنهای دائم
- خازنهای پریودیک (قطع‌شونده)

خازنهای ثابت در بار کم بکار می‌روند و بعد از افزایش بار راکتیو، خازنهای متغیر در بانکها جداگانه وارد مدار می‌گردند. از نقطه‌نظر تنظیم ولتاژ، اندازه بانک خازنی ثابت مورداستفاده باید به‌گونه‌ای باشد که ولتاژ انتهای خط درحالت حداقل بار از ولتاژ مجاز تجاوز نکند.

۱-۵-۳- تقسیم‌بندی خازنها ازنظر تعداد بوشینگها

واحدهای خازنی تک فاز به دو صورت تک‌بوشینگی یا دوبوشینگی ساخته می‌شوند. در نوع دوبوشینگی هر دو ترمینال خازن توسط بوشینگ‌ها از محفظه عایق شده است در حالی که در نوع تک بوشینگی یکی از ترمینالها فاقد بوشینگ بوده و به محفظه خازن متصل می‌باشد.

با ساخت خازن تک بوشینگ 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 درصد با افزایش کیلووار خازنی کاهش و در صورت افزایش ولتاژ عایقی یا فاصله خزشی افزایش می‌یابد.

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

مزیتهای ذکرشده 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 مرحله اول لازم است که محفظه از زمین عایق گردد و در صورت سری شدن واحدهای خازنی که در سطح ولتاژ مورد نظر 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 با استفاده از استراکچرهای کاملاً مجزا می‌گردد.

محفظه و استراکچرهای واحدهای خازنی علاوه بر نیازهای فوق‌الذکر می‌باید از هم ایزوله (مجزا) باشند که این مورد هم بر پیچیدگی استراکچر مجموعه خازنی می‌افزاید.

با توجه به موارد فوق و نیازهای مقره‌های اتکائی مورد استفاده مشاهده می‌گردد که صرفه‌جوئی و امتیاز فنی ذکر شده برای واحدهای تک بوشینگ منجر به مسائل فنی و اضافه هزینه‌های مربوط به نیازهای عایقی خازنی می‌گردد.

بنابراین استفاده از خازن تک بوشینگی باید برحسب عوامل زیر مورد ارزیابی قرار گیرد:

- تعداد خازنهای سری
- نوع آرایش مجموعه (ستاره تکی یا دوبل)
- نوترال ایزوله

omoorepeyman.ir

- تعداد واحدهای موازی

بطورکلی می‌توان گفت با کمتر شدن واحدهای سری (یعنی استفاده از فیوز خارجی)، سادگی آرایش (ستاره تکی) و تعداد بالاتر خازنهای موازی (یعنی صرفه‌جوئی بیشتر در تعداد بوشینگ‌ها)، استفاده از خازنهای تک بوشینگ موجه‌تر می‌گردد.

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

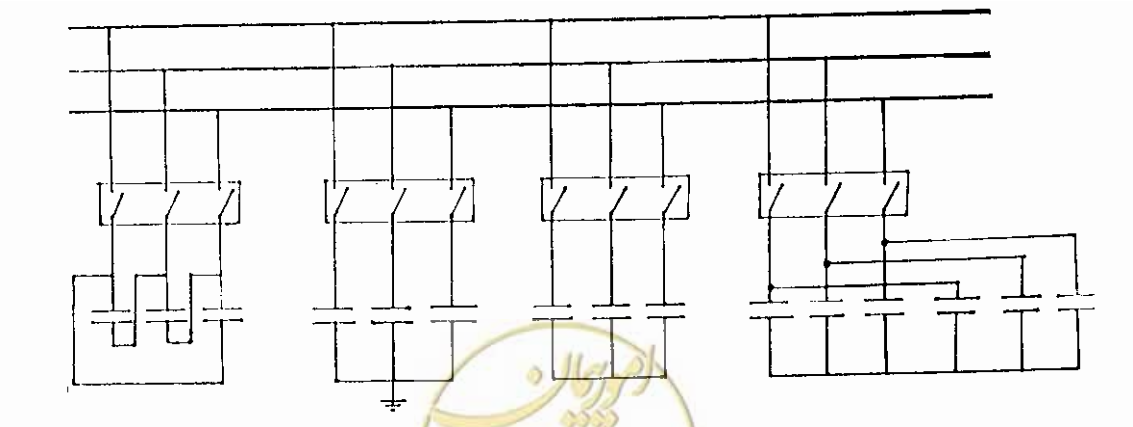
۱-٦- انواع اتصال خازن‌ها

خازنهای موازی به صورت مثلث یا ستاره به شبکه وصل می‌گردند. اتصال ستاره می‌تواند دارای نوترال زمین شده یا نوترال آزاد باشد. اتصال ستاره زمین نشده نیز می‌تواند به صورت اتصال ستارهٔ دوبل انتخاب گردد. در ولتاژ ۲۰ و ۳۳ کیلوولت اتصال خازنها به صورت ستاره زمین شده یا زمین نشده معمول است.

این اتصالات را می‌توان بصورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

- ستاره با نقطه نوترال زمین‌شده
- ستاره با نقطه نوترال زمین‌نشده
- ستاره دوبل که مراکز ستارهٔ آنها بهم متصل شده است.
- مثلث
- پل H [1]

برای تحمل ولتاژهای بالاتر توسط خازنها می‌توان واحدهای خازنی را به صورت سری (جهت داشتن ولتاژ نامی مورد نظر) متصل نمود و برای تأمین توان راکتیو لازم این مجموعه‌ها را به طور موازی قرار می‌دهند. در شکل (۱-۸) برخی از انواع اتصالات ذکر شده آورده شده است.



شکل ۱-۸: اتصال مختلف خازنهای موازی

1 . Bridge H

omoorepeyman.ir

۱-۷- حفاظت خازن‌ها

حفاظت خازن‌ها شامل موارد زیر می‌گردد:

۱-۷-۱- حفاظت فیوزی

در حفاظت از خازنها توسط فیوزها به طور کلی از دو روش فیوز داخلی و فیوز خارجی استفاده می‌شود. در عین حال می‌توان از آرایش بدون فیوز نیز بهره برد.

فیوز داخلی:

خطاهای واحدهای خازنی عمدتاً از نوع شکست‌های المانی می‌باشند. با استفاده از فیوز داخلی و تخصیص آن برای هر المان خازنی می‌توان از معیوب‌شدن کامل واحد خازنی در مواقع شکست عایقی در المان خازنی جلوگیری نمود. بطوریکه در صورت بروز عیب، تنها المان مربوطه از مدار جداشده و خازن به‌کار خود ادامه می‌دهد.

فیوز خارجی:

فیوز خارجی عموماً درمواقعی که شکست عایقی در واحد خازنی بوجود می‌آید عمل می‌کند. در انتخاب این نوع فیوزها، مبنا به حداقل رساندن احتمال ترکیدن محفظه خازنی واحد معیوب می‌باشد.

آرایش بدون فیوز[1]:

یک بانک خازنی بدون فیوز از یک یا چند رشته از المانهای سری خازنی تشکیل شده است. در صورت خرابی یک المان قسمت سری مربوطه کاملاً اتصال کوتاه می‌شود. افزایش جریان ناشی از خروج المان بسیار اندک است و متعاقباً اضافه ولتاژی که در بقیه المانها رخ می‌دهد اندک است.

استفاده از آرایش بدون فیوز مزایای زیر را دارد:

- هزینه‌های عملکردی و راه‌اندازی پایین
- تلفات کم
- حفاظت عدم تعادل مطمئن
- تسهیل در ایجاد تاسیسات و نگهداری
- قابلیت اطمینان بهتر
- ایده‌آل برای فیلترهای هارمونیکی

omoorepeyman.ir

1 . Fuse leis

۱-۷-۲- حفاظت رله‌ای

بانکهای خازنی درمقابل اضافه ولتاژ و اضافه جریان بوسیلهٔ رله‌های حفاظتی که عملکرد آنها منجر به آلارم یا ارسال فرمان به کلید می‌شود، حفاظت می‌گردند. نوع حفاظت بانک بستگی به نوع اتصال آن دارد.

انواع حفاظت‌های رله‌ای بانکهای خازنی عبارتند از:

- حفاظت اضافه جریان شامل حفاظت در مقابل جریان اتصال کوتاه و حفاظت اضافه بار
- حفاظت اضافه ولتاژ
- حفاظت در مقابل قطع ولتاژ
- حفاظت در مقابل عدم تعادل

۱-۸- تعاریف

۱-۸-۱- المان خازنی[1] (عنصر خازنی)

وسیله‌ای که اساس آن از دو الکترود تشکیل شده است که بوسیله یک دی‌الکتریک از هم جدا شده‌اند.

۱-۸-۲- واحد خازنی[2]

مجموعه‌ای از یک یا چند المان خازنی که در یک محفظه قرار گرفته و دارای ترمینالهای خروجی می‌باشند.

۱-۸-۳- بانک خازنی[3]

تعدادی از واحدهای خازنی که به هم متصل شده‌اند و بصورت یکپارچه عمل می‌کنند.

۱-۸-٤- وسیله تخلیه خازن[4]

وسیله‌ای که در داخل خازن بکار می‌رود و بعد از قطع اتصال خازن به شبکه قادر است در یک مدت زمان مشخص ولتاژ بین ترمینالها تا زمین را کاهش دهد.

۱-۸-۵- فیوز داخلی خازن[5]

فیوزی است که در داخل واحد خازنی نصب‌شده و با یک المان یا گروهی از المانها بصورت سری قرار دارد.

omoorepeyman.ir

1 .Capacitor element
2 . Capacitor unit
3 . Capacitor bank
4 . Discharge device of a capacitor
5 . Internal fuse of a capacitor

۱-۸-٦- ترمینال خط[1]

ترمینالی است که به منظور اتصال خازن به هادی خط شبکه بکار می‌رود.

۱-۸-۷- خروجی نامی خازن(Q_N)

میزان توان راکتیو که هر خازن بر اساس آن طراحی شده است.

۱-۸-۸- ظرفیت نامی خازن(C_N)

اندازه ظرفیت خازن است که از مقادیر نامی خروجی، ولتاژ و فرکانس خازن بدست آمده است.

۱-۸-۹- ولتاژ نامی خازن(U_N)

مقدار مؤثر ولتاژ متناوب که هر خازن بر اساس آن طراحی شده است.

۱-۸-۱۰- فرکانس نامی خازن(f_N)

فرکانسی که طراحی خازن بر اساس آن صورت گرفته است.

۱-۸-۱۱- جریان نامی خازن(I_N)

مقدار مؤثر جریان متناوب که هر خازن بر اساس آن طراحی شده است.

۱-۸-۱۲- تلفات خازن

عبارت است از توان اکتیو تلف‌شده در کلیهٔ مؤلفه‌های تولیدکننده تلفات خازن، که برای یک واحد خازنی شامل تلفات دی‌الکتریک اجزاء خازن ، فیوزهای داخلی، مقاومت تخلیه داخلی و کلیه اتصالات و برای یک بانک خازنی شامل تلفات واحدهای خازنی، فیوزهای خارجی، شینه‌ها، راکتور میراکننده و مقاومت تخلیه می‌باشد.

۱-۸-۱۳- تانژانت زاویه تلفات خازن

عبارت است از نسبت بین مقاومت معادل سری و راکتانس خازنی در ولتاژ متناوب سینوسی و فرکانس مشخص.

۱-۸-۱٤- ماکزیمم ولتاژ متناوب خازن

ماکزیمم ولتاژ متناوب مؤثر که خازن برای یک مدت زمان مشخص و در شرایط تعیین‌شده می‌تواند تحمل کند.

۱-۸-۱۵- ماکزیمم جریان متناوب خازن

ماکزیمم جریان متناوب مؤثر که خازن می‌تواند برای یک مدت زمان مشخص و در شرایط تعیین‌شده تحمل کند.

1 . Line terminal

omoorepeyman.ir

۱-۸-۱۶- درجه حرارت خنک‌کنندگی

عبارت است از درجه حرارت اندازه‌گیری شده مابین دو واحد در داغترین نقطه بانک خازنی تحت شرایط ماندگار. اگر فقط یک واحد وجود داشته باشد، درجه حرارت مذکور در نقطه‌ای تقریباً ۰/۱ متر دورتر از محفظه خازن و در دو سوم ارتفاع از سطح آن اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۸-۱۷- شرایط ماندگار[1]

شرایط متعادل بدست آمده توسط خازن در شرایط خروجی ثابت و درجه حرارت ثابت محیط.

۱-۸- ۱۸- ولتاژ پس‌ماند[2]

عبارت است از ولتاژ باقیمانده در ترمینالهای یک خازن در مدت زمان معینی بعد از قطع خازن.

omoorepeyman.ir

1 . Steady – state condition
2 . Residual voltage

فصل ۲

معيارهاي طراحي و انتخاب خازن‌هاي موازي

omoorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل به چگونگی انتخاب و محاسبه پارامترهای مختلف مورد نیاز جهت طراحی و انتخاب خازن‌های موازی در شبکه پرداخته خواهد شد.

۲-۱- انتخاب خازن

۲-۱-۱- ولتاژ نامی

بانکهای خازنی به دلایل اقتصادی و نیز سهولت بهره‌برداری عمدتاً در پست‌های فوق‌توزیع و درسمت فشارضعیف آن نصب می‌گردند، لذا ولتاژ نامی آنها معمولاً برابر با ۲۰ یا ۳۳ کیلوولت خواهد بود. لازم به توضیح است که در سطح ولتاژ ۶۳kV به بالا نیز به ندرت ممکن است از بانک خازنی استفاده شود.

۲-۱-۲- انتخاب نوع خازن ازنظر محل نصب و ساختمان ظاهری

اغلب خازن‌های مورد استفاده در شبکه‌های فشار قوی از نوع نصب خارجی می‌باشند. این خازن‌ها اکثراً بصورت قفسه باز ساخته می‌شوند.

۲-۱-۳- تعداد بوشینگها

واحدهای تک بوشینگ تنها در مواردی که احتیاج به اتصال سری نباشد و یا مواردی که تعداد زیادی واحد خازنی بصورت موازی قرار می‌گیرند، به دلیل صرفه‌جویی در تعداد زیاد بوشینگ می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مقره‌های اتکایی مورد استفاده در استراکچر خازنها که بار واحدهای خازنی روی آنهاست باید با محاسبه نیروهای مکانیکی وارده بخصوص در شرایط زلزله انتخاب شوند.

به این ترتیب پیشنهاد می‌گردد خصوصاً درمورد خازن‌های با فیوز داخلی از خازن‌های با دو بوشینگ استفاده گردد.

۲-۱-٤- کلاس حرارتی خازن

می‌توان خازن‌ها را برحسب درجه حرارت به چند دسته تقسیم نمود که هر دسته با یک حرف و یک عدد مشخص می‌گردد. عدد موردنظر، پایین‌ترین درجه حرارت محیط را که خازن در آن می‌تواند مورد بهره‌برداری قرارگیرد، نشان می‌دهد. حروف نیز محدودهٔ بالای بازه تغییرات دمایی را نشان می‌دهد که در جدول ۲-۱ آمده است. این تقسیم‌بندی شامل درجه حرارت‌های بین ۵۰- تا ۵۵+ درجه سانتیگراد می‌باشد.

پایین‌ترین درجه حرارت محیط که خازن می‌تواند در آن کار کند از بین پنج مقدار $+5^{\circ}C$، $-5^{\circ}C$، $-25^{\circ}C$، $-40^{\circ}C$ و $-50^{\circ}C$ انتخاب می‌گردد.

omoorepeyman.ir

نکته: درصورت موافقت سازنده، خازن را می‌توان در درجه حرارت‌های پایین‌تر از مقادیر ذکرشده نیز بکار گرفت. این امر درصورتی امکان‌پذیر است که خازن در درجه حرارت بالاتر از مقادیر فوق برقدار شده باشد.

جدول ۲-۱ براساس شرایط محیطی است که در آن خازن بر درجه حرارت محیط تأثیرگذار نمی‌باشد (بعنوان مثال نصب خارج از ساختمان).

جدول ۲-۱: نشانه‌های حرفی مربوط به بالاترین درجه حرارت مجاز

درجه حرارت محیط (درجه سانتیگراد)			
نشانه	ماکزیمم	بالاترین متوسط در یک دورهٔ زمانی	
		۲۴ ساعته	یک‌ساله
A	۴۰	۳۰	۲۰
B	۴۵	۳۵	۲۵
C	۵۰	۴۰	۳۰
D	۵۵	۴۵	۳۵

اگر خازن بر درجه حرارت محیط تأثیر بگذارد، انتخاب تهویه برای خازن باید به‌گونه‌ای باشد که محدوده‌های ذکرشده در جدول ۲-۱ برآورده شوند. درجه حرارت خنک‌کنندگی در نصب نباید از محدوده‌های دمایی ذکرشده در جدول ۲-۱ بیش از پنج درجه سانتیگراد بالاتر باشد.

کلاسهای حرارتی زیر جهت خازن ترجیح داده می‌شود.

-40/A, -25/A, -5/A, -5/C

۲-۱-۵- نحوه اتصال خازن

واحدهای خازنی را می‌توان در بانک‌های خازنی بصورت مثلث، ستاره با نوترال زمین‌نشده، ستاره با نوترال زمین‌شده و یا ستاره دوبل (که مرکز ستارهٔ آنها بهم وصل شده‌اند) بهم متصل نمود.

اتصال واحدهای خازنی بصورت مثلث، معمولاً در ولتاژهای پایین‌تر و بانک‌های خازنی با ظرفیت کمتر مورد استفاده قرارمی‌گیرند. درسطوح ولتاژ ۲۰ و۳۳ کیلوولت، خازنها بصورت ستاره بسته می‌شوند.

انتخاب نوع ستارهٔ زمین‌شده و یا ستارهٔ زمین‌نشده برای بانکهای خازنی به عوامل زیر بستگی دارد:

- اتصال نقطهٔ نوترال ستاره به زمین، باعث ایجاد مسیری برای هارمونیک‌های مضرب سه (توالی صفر) خواهد شد. جریان‌یافتن این هارمونیک‌ها علاوه براینکه بدلیل فرکانس بالا باعث ایجاد اغتشاش در سیستم‌های مخابراتی خواهند شد، جریان عبوری از خود واحدهای خازنی را نیز افزایش می‌دهند.
- درصورت استفاده از اتصال ستاره با نوترال زمین‌شده، قطع و وصل بانک خازنی موجب تغییر امپدانس مؤلفه صفر شبکه می‌شود که دراین صورت تنظیم حفاظت‌های اتصال زمین در دو حالت قطع و وصل بانک خازنی متفاوت خواهد بود.
- زمین‌کردن نوترال باعث افزایش جریان اتصال کوتاه به زمین‌شده و درنتیجه آن باید مقادیر نامی تجهیزات کلیدزنی و حفاظتی مانند کلیدها و فیوزها بالاتر انتخاب گردد.

omoorepeyman.ir

– زمین‌کردن نقطه نوترال ستاره به زمین در خازنها، علاوه‌بر مزایای زمین‌کردن نقطه نوترال در سایر شبکه‌ها همچون متعادل‌نمودن فازها، حفاظت بهتر و قیمت نصب ارزانتر، کاهش ولتاژ برگشتی ناشی از کلیدزنی خازن دردو سر کلید را نیز سبب خواهد شد.

– در سیستم‌های با نوترال زمین نشده و یا از طریق امپدانس زمین شده، نقطه نوترال خازنها نباید زمین شوند.

به دلایل زیر، استفاده از اتصال ستاره با نوترال زمین‌نشده ارجحیت دارد:

– کاهش جریان اتصال کوتاه

– حذف اغتشاش ناشی از عبور هارمونیکهای جریان مضرب سه

– عدم تغییر امپدانس مؤلفه صفر شبکه

– گسترش روزافزون استفاده از برقگیرها در بانکهای خازنی

– استفاده از حفاظت عدم تعادل

اتصال ستاره دوبل را نیز می‌توان در ظرفیت‌های بالاتر بانک‌های خازنی مورد استفاده قرار داد.

۲-۱-٦- محاسبه خازن مورد نیاز

۲-۱-٦-۱- ظرفیت خازن

ضریب توان مورد نیاز جهت آزادسازی یک مقدار معین از توان ظاهری سیستم برحسب کیلوولت آمپر، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$PF_{new} = \frac{PF_{old}}{1 - S_{release}} \qquad (۱-۲)$$

که درآن:

PF_{new}: ضریب توان تصحیح شده

PF_{old}: ضریب توان موجود

$S_{release}$: مقدار توان ظاهری موردنظر که باید آزاد گردد (برحسب پریونیت بر پایه توان ظاهری موجود)

برای محاسبه توان راکتیو خازنی لازم جهت تصحیح ضریب توان به یک ضریب توان بالاتر، باید توان راکتیو مربوط به ضریب توان جدید را از توان راکتیو مربوط به ضریب توان قبلی کم کرد. اختلاف این دو مقدار، توان راکتیو خازنی لازم است که باید به سیستم اضافه شود

محاسبهٔ ظرفیت "کیلووار" بانک‌های خازنی براساس ظرفیت قطعی ترانسفورماتورهای آن پست تعیین می‌گردد. این ظرفیت، ظرفیتی است که ترانسفورماتورهای پست انتقال یا فوق‌توزیع باید دراکثر موارد قادر به تأمین آن باشند. ظرفیت‌های استاندارد ترانسفورماتور در یک پست فوق‌توزیع برابر ۷/۵، ۱۵و۳۰ مگاولت آمپر می‌باشد. ظرفیت قطعی این ترانسفورماتورها نیز به ترتیب برابر ۳/۷۵، ۱۰و۲۱ مگاولت آمپر است.

مقدار توان راکتیو در هر فاز برابر است با:

$$Q_{C\varphi} = \frac{Q_C}{3} \qquad (۳-۲)$$

omoorepeyman.ir

مقدار ظرفیت «کیلووار» خازن در هر فاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_{C\varphi} = \omega.C.U_{N\varphi}^2 \qquad (۴-۲)$$

که درآن $U_{N\varphi}$ مقدار ولتاژ هر فاز و C کاپاسیتانس خازن مورد نیاز در هر فاز می‌باشد. به این ترتیب جریان عبوری از هر خازن عبارت است از:

$$I_{C\varphi} = \frac{Q_{C\varphi}}{U_{N\varphi}} \qquad (۵-۲)$$

پس از محاسبه ظرفیت خازن، باید تعداد و ظرفیت خازن‌هایی که با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا ظرفیت و ولتاژ مورد نیاز را تأمین کنند، مشخص گردد.

۲-۱-٦-۲- واحد خازنی

ظرفیت واحد خازنی باید از بین اعداد زیر انتخاب شود.

۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ (kVAR)

درصورتیکه به ظرفیت‌های بالاتراز ۴۰۰ کیلووار نیاز باشد، باید از ترکیب دو یا چند واحد خازنی به جای آن بهره گرفت.

۲-۱-٦-۳- بانک خازنی

حداکثر ظرفیت بانک خازنی در یک شینه باتوجه به تغییرات ولتاژ سیستم در اثر کلیدزنی بانک خازنی و نیز محدودهٔ جریان پیوسته تجهیزات کلیدزنی، محدود می‌گردد. با اتصال یک بانک خازنی به سیستم یا قطع آن، تغییراتی در ولتاژ سیستم رخ می‌دهد که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Delta V = (\frac{Q_C}{S_{SC}}) \times 100\% \qquad (۶-۲)$$

که در آن Q_C ظرفیت بانک خازنی برحسب مگاوار و S_{SC} قدرت اتصال کوتاه سه فاز در محل بانک خازنی برحسب مگاولت آمپر می‌باشد.

اگر ضریب توان مطلوب شبکه را برابر با ۰/۹۵ فرض کنیم، خازن مورد نیاز برحسب مگاوار در ضریب توان‌های مختلف برای ظرفیت‌های قطعی استاندارد باتوجه به رابطه (۱-۸) بصورت زیر خواهد بود.

جدول ۲-۲: ظرفیت بانکهای خازنی برحسب ظرفیت قطعی ترانسفورماتور (MVA)

ظرفیت قطعی ترانسفورماتور (MVA) / ضریب توان قبل از تصحیح	۳/۷۵	۱۰/۵	۲۱
۰/۷۵	۲	۵/۵	۱۱
۰/۸	۱/۵	۴/۲	۸/۴
۰/۸۵	۱	۲/۹	۵/۸

omoorepeyman.ir

با در نظرگرفتن محدودهٔ تغییرات ولتاژ ۲/۵ درصد و امپدانس اتصال کوتاه ۰/۱۳، باتوجه به حداکثر ظرفیت قطعی ترانسفورماتور (۲۱ مگاولت آمپر)، حداکثر ظرفیت بانک خازنی برابر با ۵/۸ مگاوار می‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق و همچنین مسئله تنوع‌زدایی، ظرفیت بانکهای خازنی باید ازبین مقادیر زیر انتخاب گردد:

۳۰۰، ۴۵۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰، ۱۸۰۰، ۲۴۰۰، ۳۰۰۰، ۳۶۰۰، ۴۸۰۰، ۵۴۰۰

مقادیر فوق برحسب کیلووار می‌باشند.

۲-۱-۷- انتخاب حفاظت فیوزی

انتخاب نوع حفاظت فیوزی خازن‌ها بر اساس ظرفیت، ولتاژ سیستم و خازن‌های دردسترس انجام می‌گیرد. در مورد انتخاب واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی باید این نکته مد نظر قرارگیرد که این واحدها برای ظرفیت‌های کمتر از ۲۰۰ کیلووار قابل ساخت نبوده و درصورت استفاده، عملکرد صحیح آنها قابل تضمین نیست. لذا در صورت ضرورت استفاده از بانکهای خازنی که از واحدهای خازنی با ظرفیت‌های ۵۰،۱۰۰ و یا ۱۵۰ کیلووار تشکیل شده‌اند، باید آنها را به فیوز خارجی مجهز نمود.

منحنی عملکرد جریان- زمان فیوز خارجی مورد استفاده می‌بایستی به گونه‌ای باشد که قبل از ذوب شدن محفظه بانک خازنی عمل کند. با بررسی منحنی استقامت جریان- زمان محفظه و منحنی عملکردی جریان- زمان فیوز می‌توان از عملکرد مناسب فیوز اطمینان حاصل کرد.

در مورد انتخاب نوع تندکار یا کندکار فیوز خارجی می‌بایستی مصالحه و برآورد مناسبی را در نظر گرفت.

از نقطه‌نظر تحمل جریان پیوسته، گذراهای جریان ناشی از کلیدزنی، صاعقه و تخلیه خازن، فیوز کندکار عملکرد مناسب‌تری دارد. با این حال از نظر هماهنگی فیوز با منحنی استقامت جریان- زمان محفظه، هماهنگی با حفاظت عدم تعادل، کاهش اضافه ولتاژ ایجاد شده در واحدهای خازنی سالم در حین خطا و نیز کاهش انرژی تخلیه شده در واحد خازنی آسیب‌دیده، تندکار بودن فیوز عملکرد بهتری را به دنبال خواهد داشت.

حداقل جریان نامی قابل قبول برای این فیوزها ۱/۳۵ تا ۱/۶۵ برابر جریان نامی خازن است. در استاندارد IEC شماره ۶۰۵۴۹ جریان نامی فیوز حداقل ۱/۴۳ برابر جریان نامی خازن تعیین شده است که بین دو مقدار ذکرشده یعنی ۱/۳۵ و ۱/۶۵ قراردارد.

به منظور اجتناب از عملکرد نابجای خازن در اثر گذراهای کلیدزنی و پاسخ‌های مکانیکی، جریان نامی فیوز بزرگتر از ۱/۶۵ برابر جریان نامی خازن نیز انتخاب می‌گردد. بعنوان مثال خازن‌های ولتاژ بالا ممکن است تنها نیاز به یک فیوز ۲ آمپری داشته باشند اما به دلیل پایداری مکانیکی از فیوز ۵ آمپر استفاده می‌گردد.

۲-۱-۸- نحوهٔ آرایش بانکهای خازنی

در جدول (۲-۳) بانکهای خازنی ۲۰و۳۳ کیلوولت با ظرفیتهای مختلف و آرایشهای مختلف ارائه‌شده است. نحوهٔ آرایش بانکهای خازنی باید براساس این جدول صورت گیرد. در جدول مذکور، برخی از بانکهای خازنی با گزینه‌های مختلف مشخص گردیده‌اند. آرایشهای ذکرشده برای سطوح ولتاژ ۲۰و۳۳ کیلوولت است مگراینکه به طور خاص مشخص شده باشد.

omoorepeyman.ir

جدول ۲-۳: انتخاب آرایش بانکهای خازنی

نوع اتصال	قدرت بانک خازنی kVAR
۱- ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز یک خازن ۱۰۰ کیلوواری	۳۰۰
۱- ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری	۴۵۰
۱- ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری	۶۰۰
۱- ستاره منفرد، با فیوز خارجی، درهر فاز دو واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری ۲- ستاره دوبل، بافیوز خارجی، در هر فاز، یک واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری	۹۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازنی ۲۰۰ کیلوواری ۲-ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری ۳-ستاره منفرد، با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن، ۲۰۰ کیلوواری	۱۲۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز یک واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری ۲-ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری به طور موازی ۳-ستاره منفرد، با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری	۱۵۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز دو واحد خازن ۱۵۰ کیلوواری ۲-ستاره منفرد، با فیوز خارجی، در هر فاز ۳ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری ۳-ستاره منفرد، با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری	۱۸۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز داخلی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری یا یک واحد ۴۰۰ کیلوواری ۲-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز دو واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری یا یک واحد ۴۰۰ کیلوواری	۲۴۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز ۲ واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری ۲-ستاره دوبل، با فیوز داخلی، در هر فاز ۲ واحد خازن ۲۵۰ کیلوواری	۳۰۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز داخلی، در هر فاز ۲ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری ۲-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز ۲ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری	۳۶۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز داخلی، در هر فاز ۴ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری یا دو واحد ۴۰۰ کیلوواری ۲-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، درهر فاز ۴ واحد خازن ۲۰۰ کیلوواری یا دو واحد خازن ۴۰۰ کیلوواری	۴۸۰۰
۱-ستاره دوبل، با فیوز داخلی،در هر فاز ۳ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری ۲-ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز ۳ واحد خازن ۳۰۰ کیلوواری	۵۴۰۰

در جدول فوق، توصیه‌های زیر مد نظر قرارگرفته است:

- درمقایسه بانک‌های خازنی که دارای ظرفیت (کیلووار) یکسان هستند، استفاده از بانک‌هایی که در آنها واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی بکارگرفته شده است، ارجح است.
- درمقایسه بین دو گزینه که دارای ظرفیت‌های یکسان می‌باشند، به دلیل پایین‌تربودن قیمت و کاهش فضای مورد نیاز و همچنین مسائل بهره‌برداری، گزینه‌ای که دارای تعداد واحدهای خازنی کمتر است برتری دارد.

omoorepeyman.ir

- درمقایسه مجموعه‌های خازنی مجهز به فیوز داخلی بصورت ستاره منفرد و ستاره دوبل استفاده از طرح ستاره دوبل بدلیل امکان استفاده از حفاظت عدم تعادل با حساسیت بالاتر، برتری دارد.
- استفاده از اتصال ستاره دوبل در ظرفیت‌های بالاتر. البته بعلت افزایش هزینهٔ سازه‌های نگهدارنده واحدهای خازنی، استفاده از این نوع اتصال در شرایطی توصیه می‌شود که واحدهای خازنی دارای حفاظت فیوزی از نوع داخلی باشند که دراین نوع حفاظت، استفاده از یک نوع حفاظت عدم تعادل با دقت بالا الزامی است.

۲-۱-۹- سطوح عایقی

درمورد انتخاب سطوح عایقی می‌توان خازن‌ها را به دو بخش تقسیم‌بندی نمود.

خازن‌های عایق‌شده از زمین:

برای خازن‌هایی که از زمین عایق‌شده‌اند، خواه با اتصال مثلث یا با اتصال ستاره‌ای که نقطه نوترال آن ایزوله شده است، همه مسیرهای عایقی بین هریک از بخشهای برقدار خازن، ازجمله ترمینال‌ها و الکترودها و زمین باید ولتاژهای مندرج در جدول (۲-۴) را تحمل کنند.

جدول ۲-٤: سطوح عایقی خازن‌های موازی

ولتاژ نامی سیستم (kV)	ولتاژ تحمل کوتاه مدت با فرکانس قدرت (kV)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه(kV)
۲۰	۵۰	۱۲۵
۳۳	۷۰	۱۷۰

خازن‌هایی که نقطه نوترال آنها به زمین وصل شده است:

بوشینگها و عایق‌های بین ترمینال‌ها و محفظه این خازن‌ها باید ولتاژ متناوب با دامنه ۲/۵ برابر ولتاژ نامی را تحمل کنند.
عایق‌های بین ترمینال خط و زمین که از لحاظ الکتریکی موازی هستند باید در برابر ولتاژ متناوب با دامنه ۲/۱۵ برابر ولتاژ نامی فاز پایداری کنند.

۲-۱-۱۰- اضافه ولتاژها و اضافه جریان‌ها

عواملی که باعث ایجاد اضافه ولتاژ بر روی خازنها می‌شوند عبارتند از:

- اضافه ولتاژ زیاد در حالت گذرا، هنگامی پیش می‌آید که خازنها با استفاده از کلیدهایی از شبکه قطع گردند که امکان ایجاد جرقه مجدد در آن کلیدها وجود داشته باشد. این مشکل با استفاده کردن از کلیدهایی که در موقع قطع و وصل، اضافه ولتاژ بیش از حدی را ایجاد نکنند برطرف می‌گردد.
- خازنهایی که در معرض اضافه ولتاژهای بالای ناشی از صاعقه قرار دارند باید ازحفاظت مناسب برخوردار باشند. اگر از برقگیر استفاده گردد باید تا جایی که ممکن است نزدیک خازنها نصب گردد.

omoorepeyman.ir

- هنگام تشکیل یک بانک خازنی با استفاده از تعدادی از واحدهای خازنی که بصورت تصادفی انتخاب شده باشند، بعلت اختلاف بین ظرفیت خازنی واحدها، اضافه ولتاژی ناشی می‌شود که باید از آن اجتناب گردد. لذا باید در انتخاب هر واحد دقت لازم را داشت تا بهترین ترکیب ممکن حاصل شده و از اختلاف ولتاژ بین واحدها جلوگیری گردد و یا اینکه برای واحدها، ولتاژ نامی انتخاب گردد که در آن، مقدار اضافه‌ای نیز برای افزایش ولتاژ منظور شده باشد. برای جلوگیری از اختلاف ولتاژ بین واحدها باید واحدهای خازنی که بصورت سری بهم وصل می‌گردند، طوری انتخاب شوند که ظرفیت خازنی آنها در محدوده مجاز تعیین شده دارای بیشترین مقدار باشد. در جایی که بانکهای خازنی بصورت ستاره متصل بوده و مرکز ستاره هم عایق شده باشد در آنصورت اختلاف ظرفیت خازنی بین فازها، منجر به افزایش ولتاژ روی خازنهایی در هر فاز می‌گردد که کمترین مقدار ظرفیت را داشته باشند. بنابراین در جاهایی که اختلاف ظرفیت بزرگ باشد در آنصورت این افزایش ولتاژ باید کنترل گردد.

۲-۱-۱۰-۱- برقگیر

هدف استفاده از برقگیر محدود کردن اضافه ولتاژهای پدید آمده در دو سر خازن است. برقگیر از یک مقاومت غیرخطی تشکیل شده است که مقاومت آن پس از افزایش ولتاژ دو سر آن از حد مشخصی به شدت کاهش می‌یابد. این عمل می‌تواند باعث محدود شدن ولتاژ دو سر المان مورد حفاظت در حدود مناسب شود.

- گذراهای صاعقه

مهمترین اهداف استفاده از برقگیرها در پست‌های فشارقوی حفاظت تجهیزات در مقابل امواج صاعقه است. با اینحال نقش حفاظت برقگیر در مقابل امواج صاعقه برای بانکهای خازنی نسبتاً کم اهمیت است.

- گذراهای کلیدزنی

چنانچه پدیده جرقه مجدد برای کلید بانک خازنی یا اختلال در کلیدزنی در سیستم‌های کنترل‌شونده تریستوری بوجود آید، خازنها اضافه ولتاژ بالائی را تجربه می‌کنند، در چنین مواردی حفاظت برقگیر می‌تواند به نحو مطلوبی از وقوع اضافه ولتاژهای خطرناک در دو سر خازن جلوگیری کند.

چنانچه احتمال وقوع جرقه مجدد کلید در نظر گرفته شود، یک مطالعه کامل برای انتخاب قابلیت‌های برقگیر می‌بایستی انجام شود.

- اضافه ولتاژهای گذرا

بانک‌های خازنی که در معرض اضافه ولتاژهای موقت با فرکانس قدرت (و هارمونیک‌های آن) می‌باشند می‌توانند توسط برقگیر حفاظت شوند.

اضافه ولتاژهای گذرا ممکن است بواسطه وقوع خطاهای تک فاز به زمین بوجود آیند. این نوع اضافه ولتاژها در زمانی نسبتاً طولانی‌تر از اضافه ولتاژهای کلیدزنی و صاعقه در مدار حضور دارند (چند سیکل). در چنین وضعیت‌هائی بررسی دقیق تغییرات ولتاژ برای انتخاب برقگیر ضروری است.

omoorepeyman.ir

- ولتاژ نامی

ولتاژ نامی برقگیر به عنوان پارامتر مرجع برای انطباق مشخصه‌های عملکردی و حفاظتی استفاده می‌شود. این مقدار به عنوان یک حد برای عبور یک جریان مشخص از برقگیر در نظر گرفته می‌شود. این شرایط معمولاً برای چند دقیقه مجاز است.

انتخاب مقدار نامی برقگیر مصالحه‌ای بین حد حفاظتی و قابلیت حفاظت در مقابل اضافه ولتاژهای گذراست. با افزایش ولتاژ نامی برقگیر، احتمال استقامت در مقابل اضافه ولتاژها بالا می‌رود با اینحال حاشیه حفاظتی کاهش خواهد یافت.

در حالت عادی ولتاژ کار پیوسته در دو سر تجهیز نمی‌بایستی از ٪۸۰ ولتاژ نامی برقگیر بیشتر شود. مدت دوام و فرکانس اضافه ولتاژها ممکن است به گونه‌ای باشد که نیازمند ولتاژ کار پیوسته کمتر از ٪۸۰ ولتاژ نامی برقگیر باشد.

- جذب انرژی

برای انتخاب مناسب برقگیر، بیشترین انرژی ایجاد شده در حین تخلیه در برقگیر می‌بایستی بررسی شود. برای حفاظت در مقابل صاعقه این ارزیابی مستقیماً بر پایه تقریب بار ناشی از صاعقه و مشخصه ولتاژ برقگیر انجام شود. قابلیت جذب انرژی معمولاً توسط سازنده، در واحد کیلوژول بر کیلوولت نامی بیان می‌شود.

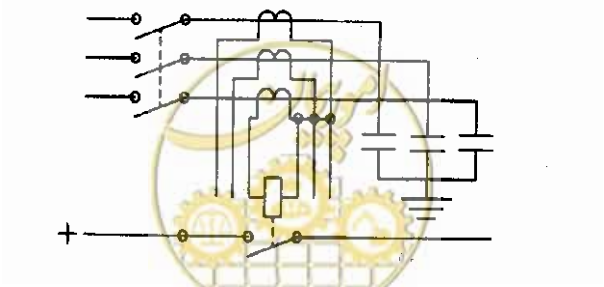
نحوه انتخاب برقگیر در استاندارد "مشخصات فنی، عمومی و اجرایی برقگیرها در پست‌های فشارقوی" از سری همین استانداردها آمده است.

۲-۱-۱۱- حفاظت رله‌ای خازن

خازن‌های فشارقوی باید دربرابر اضافه جریان‌های گذرا و دائم و اضافه ولتاژهای ناشی از شبکه و نیز ناشی از عدم تعادل فاز در مجموعه خازنی حفاظت شوند. لذا حفاظت‌های زیر باید برای بانکهای خازنی فراهم گردد:

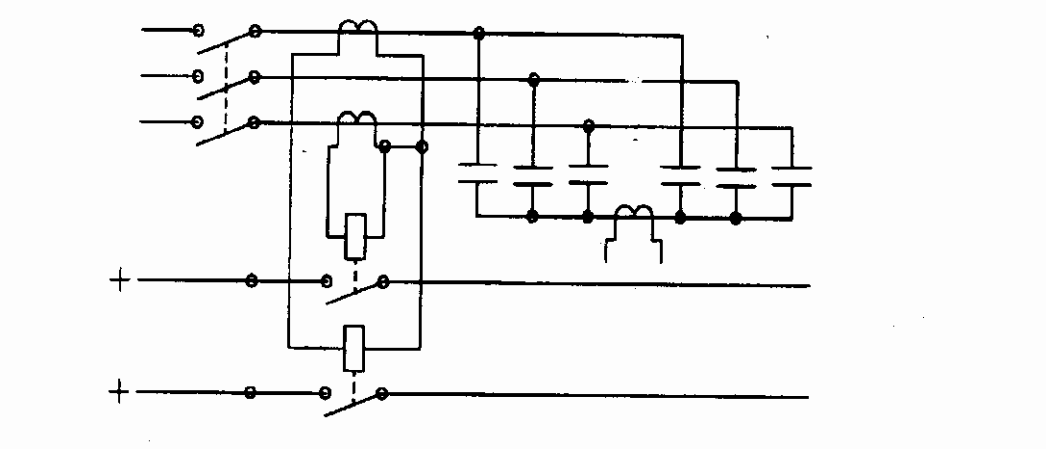
- حفاظت جریان زیاد / اضافه جریان
- حفاظت جریان زمین
- حفاظت اضافه ولتاژ
- حفاظت ولتاژ صفر
- حفاظت عدم تعادل بانک خازنی
- حفاظت عدم تعادل در فازها

برای بانکهای بطور مؤثر زمین‌شده، حفاظت معمولاً با یک ترانس جریان و رله آن در هر فاز آرایش‌بندی می‌شود (شکل ۲-۱). اگر بانک زمین‌نشده باشد، حفاظت در دو فاز از سه فاز کفایت می‌کند (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۱: رله‌های اضافه جریان خط برای بانک خازنی زمین‌شده

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۲: رله‌های اضافه جریان خط برای بانک خازنی زمین‌نشده

۲-۱-۱۱-۱- حفاظت اضافه جریان خط

برای بانک‌های خازنی کوچک (کمتر از ۱۰ مگاوار)، که جریان‌های هجومی در آن مدت زمان کوتاهی حضور دارند می‌توان از یک رله مشترک برای حفاظت اضافه بار وحفاظت اتصال کوتاه استفاده نمود.

درصورت بوجودآمدن جریان‌های بالای هجومی ناشی از کلیدزنی بانکهای منفرد بزرگ یا حاصل از کلیدزنی بانکهای موازی، باید رله‌های اضافه‌بار و حفاظت اتصال کوتاه به طور مجزا مورد استفاده قرار گیرند. در حفاظت اتصال کوتاه به منظور اجتناب از فرمان نادرست رله در حالت کلیدزنی، تنظیم جریان رله باید مقدار بالایی انتخاب شود. اگر بانک زمین نشده باشد، برای حفاظت آنی بانک خازنی ممکن است جریان خطای فاز به زمین کافی نباشد. به‌هرحال حفاظت عدم تعادل همواره این نوع از خطا را با یک تأخیر زمانی قابل قبول تشخیص خواهد داد.

دقت رله‌های بکاررفته برای حفاظت اضافه‌بار باید در رنج فرکانس ۵۰ هرتز تا ۱۰۰۰ هرتز معتبر باشد. نسبت تنظیم مجدد باید حداقل ۹۵٪ باشد.

۲-۱-۱۱-۲- حفاظت عدم تعادل

تغییرات کوچک توزیع ولتاژ و جریان عبوری از بانک خازنی درمواقعی که یک المان خازنی داخلی دچار خطا می‌شود پیش‌بینی نشده است. این عدم تعادل به تعداد المانهای معیوب و موقعیت آنها در بانک بستگی دارد. اگر یک خازن مجهز به فیوز خارجی بوسیله یک فیوز قطع گردد، تغییر ولتاژ و جریان بزرگتری حاصل خواهد شد تا اینکه یک المان منفرد با یک فیوز داخلی قطع گردد. با بکاربردن اتصالات گوناگون بانک و شماهای رله‌گذاری، عدم تعادل ولتاژ یا جریان را می‌توان اندازه‌گیری و جهت حفاظت مورد استفاده قرارداد.

هدف اصلی حفاظت عدم تعادل، دادن اخطار یا قطع کل بانک خازنی در هنگامی است که اضافه ولتاژها روی خازن‌های سالم، در مجاورت خازن معیوب، زیاده از حد باشد.

به طور عادی اضافه ولتاژهای تا ۱۰٪ یا کمتر مجاز می‌باشد (محدودهٔ اضافه ولتاژها مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۸۷۱ است).

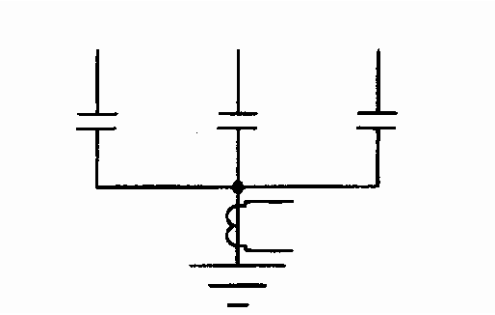
omoorepeyman.ir

هدف دیگر حفاظت عدم تعادل خارج‌کردن بانک از سرویس برای خطایی است که توسط فیوز جدانشده است و یا حفاظت بانکهایی که فیوز داخلی یا خارجی ندارند. لازم به ذکراست که حفاظت عدم تعادل، جایگزین حفاظت اتصال کوتاه نمی‌باشد.

انواع حفاظت عدم تعادل عبارتند از:

الف) حفاظت دربرابر عدم تعادل جریان نوترال:

اگر خازن‌ها بصورت اتصال ستاره زمین شده وصل شده باشند، یک ترانس جریان بین نوترال و زمین وصل می‌گردد. عدم تعادل در بانک باعث می‌شود که جریان از نوترال به زمین جریان یابد. حفاظت موردنظر به عدم تعادل‌های فازی در شبکه حساس است و بستگی به این دارد که سیستم به طور مؤثر زمین شده باشد. تنظیم‌ها باید به‌گونه‌ای باشند که اجازه تغییرات عادی را بدهند و لذا ممکن است به حساسیت حفاظت لطمه وارد شود.

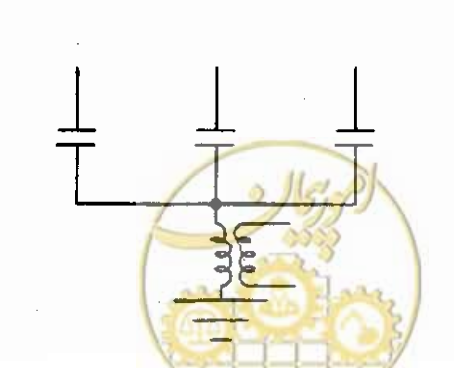


شکل ۲-۳: اتصال ستاره با نقطه نوترال زمین‌شده از طریق ترانسفورماتور جریان

ب) حفاظت دربرابر عدم تعادل ولتاژ نوترال:

اگر خازن‌ها بصورت اتصال ستاره زمین‌نشده بسته شده باشند، باید ترانس ولتاژ بین نوترال و زمین متصل گردد. به این ترتیب هرگونه اختلاف ولتاژ بین نوترال و زمین اندازه‌گیری خواهد شد. تنظیمات باید اجازه تغییرات مجاز را بدهد و لذا ممکن است حساسیت حفاظت کاهش یابد. این روش در ترکیب با فیوزهای خارجی مناسب‌ترین روش را بدست می‌دهد.

ولتاژ نوترال در طول کلیدزنی بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و اگر مقادیرنامی ترانسفورماتور درست نباشد، ممکن است به اشباع برود. مقسم مقاومتی و رله‌های استاتیک می‌تواند به جای ترانسفورماتورهای ولتاژ جهت برطرف کردن مشکل اشباع، اضافه ولتاژهای گذرا درهنگام کلیدزنی و هزینه بالای ترانسفورماتور ولتاژ (نامی شده برای ولتاژ کامل سیستم) بکار رود.



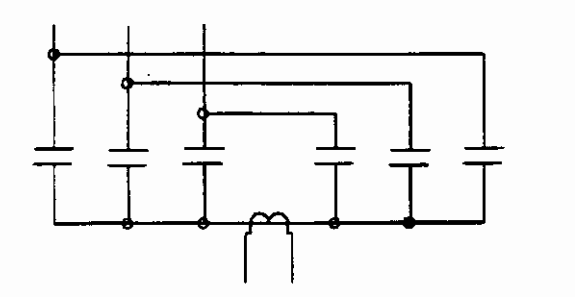
شکل ۲-٤: اتصال ستاره با ترانسفورماتور ولتاژ بین نقطه نوترال و زمین

omoorepeyman.ir

ج) حفاظت دربرابر عدم تعادل جریان بین نوترال‌ها:

اگر آرایش خازن‌ها بصورت ستارهٔ دوبل زمین‌نشده باشد، یک ترانسفورماتور جریان بین نوترال آن دو وصل می‌گردد. عدم تعادل در بانک باعث عبور جریان بین نوترال‌ها خواهد شد.

این حفاظت با عدم تعادل در شبکه تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و علی‌الخصوص به هارمونیکها حساس نیست. این نوع حفاظت می‌تواند هم با فیوزهای داخلی و هم خارجی مورد استفاده قرارگیرد.

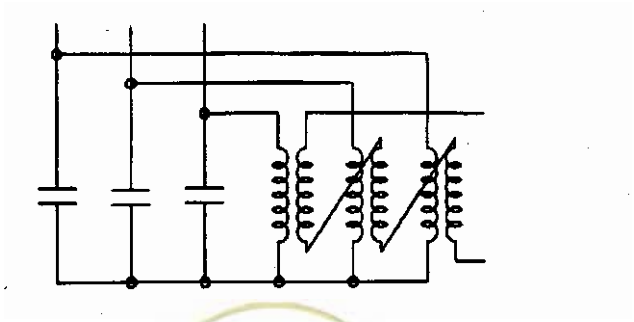


شکل ۲-۵: اتصال ستاره دوبل با نقطه نوترال زمین‌نشده

د) حفاظت در برابر عدم تعادل ولتاژ فاز:

اگر خازن‌ها بصورت ستاره زمین‌نشده اتصال یافته باشند، سه ترانسفورماتور ولتاژ خط به نوترال وصل می‌گردد که اتصال دوم آنها به صورت مثلث باز می باشد. عدم تعادل در بانک منجر به شیفت ولتاژ نوترال‌شده و بنابراین یک سیگنال خروجی در مثلث باز ایجاد خواهد شد. این ترانسهای ولتاژ باید مقدار نامی برای ولتاژهای اولیه به زمین و اولیه به ثانویه داشته باشند.

دراثر جمع سه فاز، میدان مغناطیسی خروجی بزرگتر از آن چیزی است که با اندازه‌گیری نوترال به زمین بدست می آید (شکل ۲-۶).



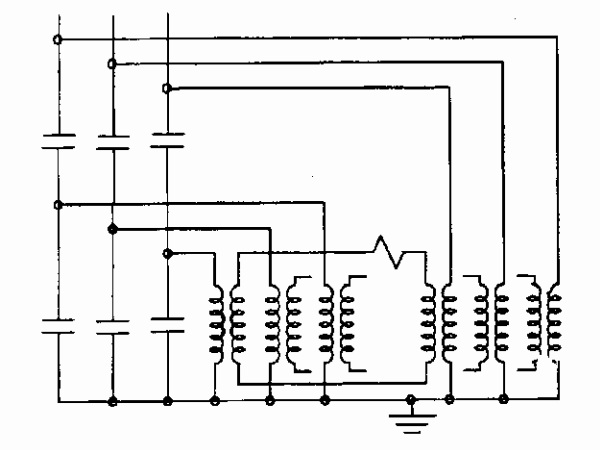
شکل ۲-٦: اتصال ستاره با نقطه نوترال زمین‌نشده همراه با ترانسفورماتورهای ولتاژ با اتصال مثلث باز

omoorepeyman.ir

هـ) حفاظت دربرابر اختلاف ولتاژ:

اگر اتصال خازن‌ها بصورت ستارهٔ زمین‌نشده یا زمین‌شده باشد شیفت ولتاژ نقطه میانی هر فاز (یا نزدیک به نقطه میانی) نسبت به ولتاژ فاز به نوترال آن باید بوسیله ترانس‌های ولتاژ اندازه‌گیری شود. سیگنالها به طور جداگانه از هر فازی که خطای خازن در آن اتفاق افتاده است، بدست خواهد آمد.

روش فوق برای بانکهای خازنی بزرگ مناسب است زیرا کل بانک به سه ناحیه حفاظتی جداگانه تقسیم می‌شود. این روش به دلیل حساسیت زیاد از اهمیت بالایی برخوردار است و با عدم تعادل ولتاژ فاز تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.

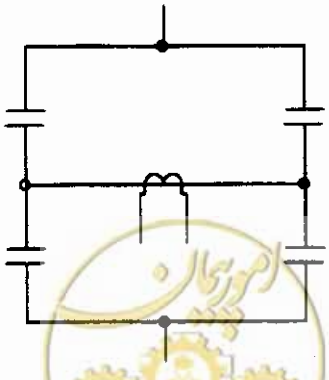


شکل ۲-۷: اتصال ستاره با نقطه نوترال زمین‌شده همراه با ترانسفورماتورهای ولتاژ نصب شده جهت اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ

و) حفاظت دربرابر عدم تعادل جریان در اتصال پل:

ممکن است خازن‌ها در هر فاز در دو شاخه قرارگرفته باشند و یک ترانسفورماتور جریان بین نقاط میانی یا نزدیک نقاط میانی دو شاخه، متصل شده باشد. اگرخطاها درهر فاز اتفاق بیفتد باعث عدم تعادل جریان عبوری از ترانسفورماتور جریان می‌گردد.

روش فوق برای بانکهای خازنی بزرگ مناسب است، زیرا کل بانک به سه ناحیه حفاظتی جداگانه تقسیم می‌شود. این روش با عدم تعادل ولتاژ فاز تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و می‌تواند در بانکهای با اتصال ستاره یا مثلث با نوترال زمین‌شده یا نشده استفاده شود.



شکل ۲-۸: اتصال پل

omoorepeyman.ir

۲-۱-۱۱-۳- تنظیم رله‌های حفاظتی

برای اجتناب از عملکرد غلط ناشی از کلیدزنی یا حالتهای گذرای دیگر، رله‌های عدم تقارن باید یک زمان تأخیر مطمئن داشته باشند. تنظیم‌های تأخیر حدود ۰/۱ تا ۱ ثانیه‌اند. برای فیوزهای خارجی، هماهنگی با فیوزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
عموماً باید حساسیت رله‌های بکاررفته برای حفاظت عدم تعادل برای فرکانس‌هایی غیر از فرکانس اصلی کاهش یابد تا از عملکرد نامطلوب جلوگیری شود و محاسبات تنظیم رله راحت گردد.

هنگام تعیین تنظیم برای رله عدم تعادل، محدودهٔ اضافه ولتاژ برای خازن‌های مجاور باید درنظر گرفته شود (۱۰درصد). بعنوان مثال امکان آلارم برای اضافه ولتاژهای کمتر از ۱۰٪ و تریپ وقتی از ۱۰ درصد بیشتر است فراهم گردد. برای فازهایی که دارای فیوز داخلی هستند ممکن است محدودیت‌های مختلفی در افزایش ولتاژ دو سر المان‌های داخلی سالم موازی وجود داشته باشد.

بسته به اندازه بانک، یک فیوز یا بیشتر می‌تواند قبل از اینکه آلارم شروع شود عمل کند. حفاظت رله‌ای باید در لحظه‌ای که از محدودهٔ اضافه ولتاژ فراتر رود، بانک خازنی را از مدار خارج کند.

۲-۱-۱۱-٤- انواع رله‌های مورد استفاده

رله اضافه ولتاژ

ولتاژ نامی متناوب این رله‌ها برابر باولتاژ نامی ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ یعنی $\frac{۱۰۰}{\sqrt{۳}}$ یا $\frac{۱۱۰}{۳}$ ولت و ولتاژ نامی DC آنها برابر با ولتاژ تغذیه کمکی یعنی ۱۱۰ یا ۱۲۵ ولت می‌باشد.

این رله بین دوفاز بسته می‌شود. خازن باید در برابر اضافه ولتاژ کوتاه‌مدت تا ۱/۱۵ برابر ولتاژ نامی پایدار بوده و اضافه ولتاژ ۱۰ درصد را بطور پیوسته برای مدت ۱۲ ساعت تحمل نماید. لذا حفاظت اضافه ولتاژ باید دارای مشخصه معکوس زمانی باشد.

رله جریانی

ولتاژ نامی DC این رله‌ها برابر با ولتاژ تغذیه کمکی پست فشارقوی یعنی ۱۱۰ یا ۱۲۵ ولت بوده و جریان نامی AC آنها معادل جریان نامی ثانویه ترانسفورماتورهای جریان یعنی ۱ یا ۵ آمپر می‌باشد. استفاده از دو رله جریان زیاد در دو فاز جهت حفاظت جریان زیاد کفایت می‌کند.

محدودهٔ تنظیم جریان معکوس زمانی رله‌های جریانی از ۰/۵ تا ۲/۵ برابر جریان نامی و محدودهٔ تنظیم جریان لحظه‌ای آنها از سه برابر جریان تنظیم‌شده به بالا می‌باشد.

رله عدم تعادل

رله عدم تعادل می‌تواند نوع ولتاژی یا جریانی و یک مرحله‌ای یا دومرحله‌ای باشد. اگر آرایش خازن‌ها ستاره منفرد باشد، رله عدم تعادل مورد استفاده باید از نوع ولتاژی باشد. اگر آرایش خازن‌ها بصورت ستاره دوبل باشد، رله عدم تعادل باید ازنوع جریانی باشد.

درصورتیکه واحدهای خازنی مجهز به فیوز داخلی باشند، رله عدم تعادل باید دومرحله‌ای انتخاب شود، و چنانچه این واحدها دارای فیوز خارجی باشند، رله عدم تعادل یک مرحله‌ای کفایت می‌کند.

omoorepeyman.ir

۲-۱-۱۲- کنترل مجموعه خازن‌ها

۲-۱-۱۲-۱- رله کنترل ورود و خروج خازنها

برای کنترل ورود و خروج مجموعه‌های خازنی روشهای مختلفی وجوددارد. ورود خازنها باعث افزایش ولتاژ خواهد شد و بنابراین اندازه‌گیری ولتاژ شینه بار می‌تواند مقیاس و معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری درمورد وصل مجموعه‌های خازنی باشد. اگر این ولتاژ نسبت به یک ولتاژ مرجع کوچکتر باشد بایستی کلید وصل شود. البته درمواردی 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 شینه 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.

روش رایج کنترل بخصوص در شبکه‌های فشارمتوسط، استفاده از رله‌هایی است که با بار راکتیو عمل می‌نماید. این رله‌ها با جریان ثانویه ترانسفورماتور فیدر ورودی شینه و ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ شینه بار تغذیه می‌شوند.

شکل (۲-۹) دیاگرام‌برداری رله کنترل راکتیو خازن‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این رله‌ها معمولاً دارای دو تنظیم هستند. تنظیم ضریب قدرت مطلوب ($\mathrm{Cos}\,\phi$) و تنظیم حساسیت (C/K). 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. پیشنهاد می‌گردد جهت جلوگیری از قطع و وصل اضافی، C/K به روش زیر محاسبه گردد:

$$C/K = \frac{Q_{C_{min}}}{\sqrt{3}.V_{SEC}.K_1.K_2} \qquad (۲-۷)$$

که در این رابطه:

K_1: نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان

K_2: نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ

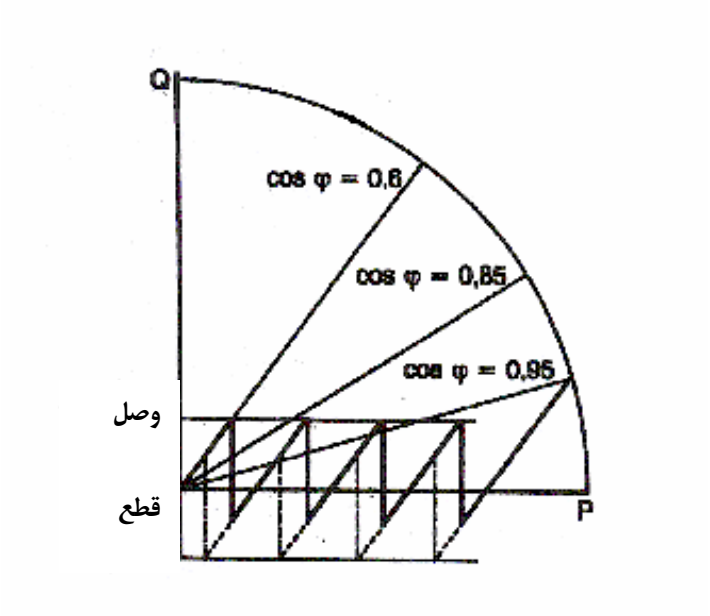
Q_{cmin}: ظرفیت کوچکترین واحد خازنی به کیلووار

V_{SEC} : ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ می‌باشد.

رله‌های کنترل توان راکتیو معمولاً دارای چندین مرحلهٔ کنترل هستند و در هر مرحله می‌توانند به یکی از کلیدها فرمان وصل صادر نمایند. از آنجا که قطع وصل اولین مراحل همواره بیش از سایر مراحل انجام می‌شود و این امر می‌تواند باعث استهلاک وسائل کلیدزنی آنها شود، بنابراین چنانچه قابلیت جابجائی مراحل مختلف در رله کنترل توان راکتیو نباشد توصیه می‌شود با تعبیه یک

omoorepeyman.ir

سلکتورسوئیچ در سیستم کنترل، نسبت به جابجائی مراحل کنترل در زمان‌های مختلف اقدام گردد. اینکار به بالابردن عمر مفید خازن‌ها نیز کمک خواهد کرد.



شکل ۲-۹: دیاگرام مربوط به تنظیم بانکهای خازنی در چهار مرحله
(خطوط نقطه‌چین لحظات قطع را نشان می‌دهد.)

۲-۱-۱۲-۲- تأخیر در وصل خازن‌های باردار

برای جلوگیری از اضافه ولتاژهای مزاحم و نیز کاهش جریان‌های هجومی لازم است که وصل خازن‌ها در حالتی انجام شود که خازن‌ها دارای بارالکتریکی نباشند. برای این منظور از مقاومت‌های تخلیه در داخل واحدهای خازنی استفاده می‌نمایند. این مقاومت‌ها بایستی ولتاژ ترمینال واحد خازنی را در مدت زمان حداکثر ۱۰ دقیقه به کمتر از ۷۵ ولت برساند. از آنجا که تخلیهٔ واحدهای خازنی مدتی به طول خواهد انجامید، بایستی در وصل مجدد آنها تأخیری وجود داشته باشد و لذا باید از یک رلهٔ زمانی برای این منظور استفاده شود.

۲-۱-۱۲-۳- تأخیر زمانی در وصل تیغه زمین فیدر خازن

از آنجا که زمین‌کردن فیدر خازن‌ها، بلافاصله پس از قطع کلید فیدر، بعلت عدم تخلیه بار آنها توسط مقاومت‌های تخلیه، ممکن است سبب آسیب‌رساندن به تیغه زمین شود، لازم است که زمین‌کردن فیدر خازن‌ها نیز در زمانی انجام شود که مقاومت‌های تخلیه تا حد زیادی بار خازن‌ها را تخلیه کرده باشند. لذا باید سیستم کنترل این تأخیر را نیز دارا باشد. با رعایت این تاخیر زمانی جریان تخلیه خازنی کاهش خواهد یافت.

omoorepeyman.ir

۲-۲- راکتور سری

۲-۲-۱- محاسبه جریان هجومی

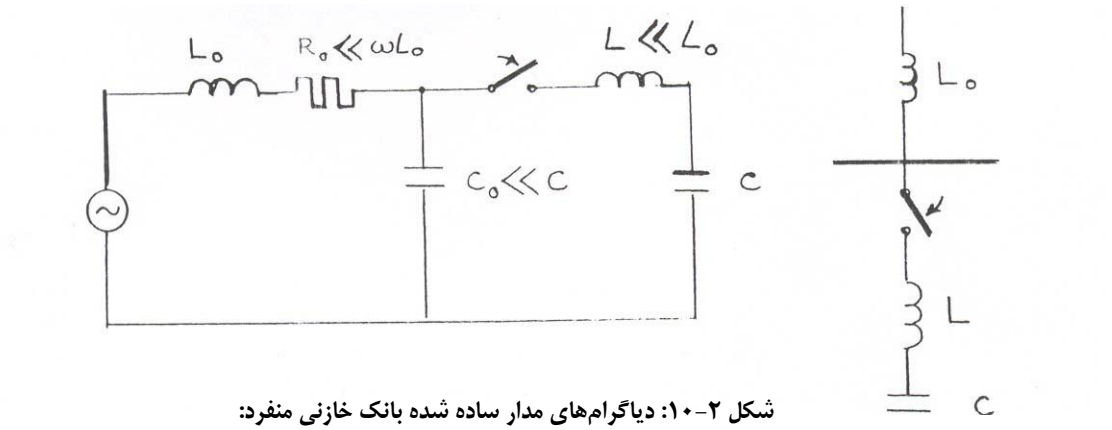
در هنگام برقدارکردن بانک خازنی توسط یک وسیله کلیدزنی، جریان هجومی وصل [1] بوجود خواهد آمد. این جریان تابعی از ولتاژ اعمالی، مقدار ظرفیت خازن، مقدار اندوکتانس شبکه، بار خازن در لحظه وصل مدار و مستهلک‌شدن حالت گذرای کلیدزنی می‌باشد.

جریان هجومی وصل در بانک خازنی شارژشده (باردار)، از بانک خازنی شارژنشده (فاقد بار)، بسته به پلاریته ولتاژ شبکه و ولتاژ روی خازن، می‌تواند بالاتر باشد.

مقدار جریان هجومی باید به کمتر از صد برابر جریان خازن محدود گردد بهمین جهت از راکتورهای سری با خازن‌های موازی استفاده می‌گردد.

۲-۲-۱-۱- جریان هجومی ناشی از وصل بانک خازنی منفرد

جهت درک بهتر مطلب بانک خازنی منفرد به صورت ارائه‌شده در شکل (۲-۱۰) ساده می‌گردد.



شکل ۲-۱۰: 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

باتوجه به مدار، با بستن کلید جریانی در مدار به حرکت درمی‌آید که دارای دو مؤلفهٔ ثابت و گذرا است. مؤلفه‌گذرای جریان i_t از رابطه (۲-۸) بدست می‌آید:

$$i_t = i_m . e^{-\frac{R_0}{2L_0}t} \operatorname{Sin} \omega_i t \qquad (۲-۸)$$

1 .Inrush current

omoorepeyman.ir

در رابطه فوق، i_m مقدار پیک جریان گذرا بوده و $\omega_i = 2\pi f.\frac{1}{\sqrt{L_0 C}}$ فرکانس جریان هجومی مدار است. چون مقاومت اهمی مدار نسبتاً کوچک است، مقدار پیک جریان گذرا، با امپدانس مدار یعنی Z تعیین می‌گردد.

$$i_m = \frac{U}{Z} = U.\sqrt{\frac{C}{L_0}} = U_n\sqrt{\frac{2}{3}.\frac{C}{L_0}} \qquad (۹-۲)$$

که در آن U_n ولتاژ خط نامی شبکه است.

و مقدار پیک مؤلفه ثابت جریان خازنی ازرابطه زیر بدست می‌آید.

$$\sqrt{2}\times I_C = \sqrt{\frac{2}{3}}\, U_n \omega C \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن ω فرکانس شبکه می‌باشد.

از نسبت پیک جریانهای مؤلفه‌های ثابت و گذرا خواهیم داشت:

$$\frac{i_m}{\sqrt{2}I_C} = \frac{1}{\omega\sqrt{L_0 C}} = \frac{\omega_i}{\omega} = \frac{f_i}{f} \qquad (۱۱-۲)$$

قدرت اتصال کوتاه در شینه بانک خازنی (P_K) برابراست با:

$$P_K = \frac{(U_n)^2}{\omega L_0} \qquad (۱۲-۲)$$

و قدرت بانک خازنی برابر است با:

$$P_c = U_n{}^2 \omega C \qquad (۱۳-۲)$$

نسبت این‌دو قدرت برابر است با:

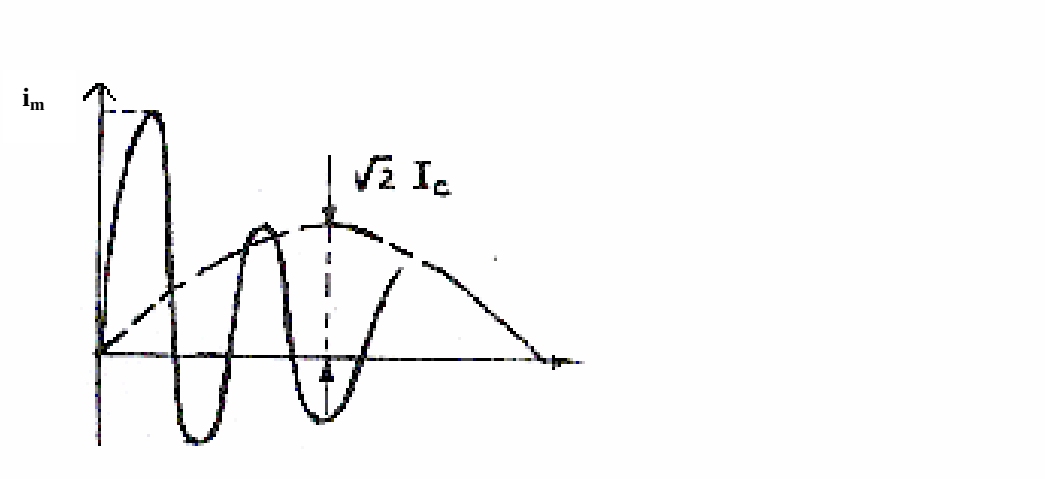
$$\frac{P_K}{P_C} = \frac{1}{\omega^2 L_0 C} = \frac{\omega_i{}^2}{\omega^2} = \frac{f_i{}^2}{f^2} \qquad (۱۴-۲)$$

که باتوجه به روابط فوق می‌توان نوشت:

$$\frac{i_m}{\sqrt{2}I_C} = \sqrt{\frac{P_K}{P_C}} \qquad (۱۵-۲)$$

روابط (۲-۱۴) و (۲-۱۵) نشان می‌دهد که مقدار پیک مؤلفه گذرای جریان، معمولاً از مقدار پیک مؤلفه ثابت جریان خازنی بیشتر است، بنابراین می‌توان درنظر گرفت که شروع شکل جریان وصل با مؤلفه گذرای جریان آغاز می‌شود که برطبق رابطه (۲-۸) در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



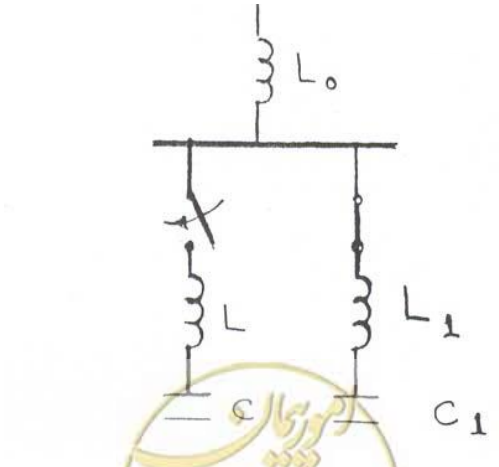
شکل ۲-۱۱: جریان در وصل یک بانک خازنی شارژنشده
(وصل در لحظه پیک ولتاژ شبکه)

۲-۲-۱-۲- جریان هجومی ناشی از وصل بانکهای خازنی موازی

در حالتیکه دو بانک خازنی پشت به پشت (مطابق شکل ۲-۱۲) در مدار قرارگرفته‌اند و یکی از آنها قبلاً به شینه وصل شده باشد، با قراردادن مقادیر ظرفیت خازنی و اندوکتانس‌های سری در رابطه (۲-۹) خواهیم داشت:

$$i_i = U_n\sqrt{\frac{2}{3}.\frac{C_1.C}{C_1+C}.\frac{1}{L_1+L}} \qquad (۲-۱۶)$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_1.C}{C_1+C}.(L_1+L)}} \qquad (۲-۱۷)$$



شکل ۲-۱۲: دیاگرام مدار دو بانک خازنی پشت به پشت

اگر n بانک خازنی در مدار بوده و بانک خازنی (n+1) ام بصورت موازی باآنها در مدار قرارگیرد خواهیم داشت:

omoorepeyman.ir

$$i_m = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \cdot \sqrt{\frac{n}{n+1}} \sqrt{\frac{C}{2L}} \qquad (۱۸-۲)$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L.C}} \qquad (۱۹-۲)$$

در مقایسه روابط (۲-۱۰) و (۲-۱۸)، مشاهده می‌شود که جریان هجومی برقدارشدن بانک دوم یعنی رابطه (۲-۱۸) می‌تواند بصورت تابعی از مؤلفه ثابت جریان بانک نخست بیان شود.

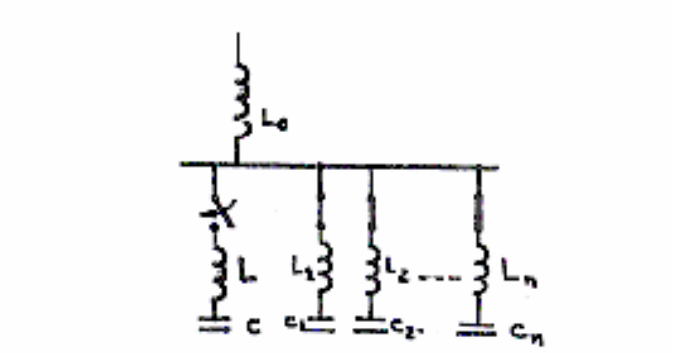
$$i_m = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{f_i}{f} \cdot \sqrt{2} I_C \qquad (۲۰-۲)$$

رابطه (۲-۲۰) در عمل برای محاسبه مؤلفه گذرای جریان هجومی بانکهای خازنی پشت به پشت با دو بانک یا بیشتر استفاده می‌شود.

بانکهای خازنی با nشاخه (شکل۲-۱۳) می‌تواند معادل ترکیبی از دو بانک خازنی درنظر گرفته شود. در این حالت می‌توان از معادلات بالا مجدداً استفاده نمود، مشروط برآنکه L_1 و C_1 از شکل (۲-۱۲) با پارامترهای زیر جایگزین شود.

$$L = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... + \frac{1}{L_n}} \qquad (۲۱-۲)$$

$$C' = C_1 + C_2 + ... + C_n \qquad (۲۲-۲)$$



شکل ۲-۱۳: دیاگرام nبانک خازنی موازی

۲-۲-۱-۳- ماکزیمم فرکانس جریان هجومی بانک خازنی

تنش‌های ولتاژ بر بانکهای خازنی در لحظه وصل چندان مهم نیستند، زیرا ضریب اضافه ولتاژها دربستن کلید بانکهای خازنی شارژنشده کمتر از ۲ است (بعد از هر قطع کلید، بانکهای خازنی در مقاومت‌ها یا ترانسفورماتورهای ولتاژ تخلیه می‌شوند).

omoorepeyman.ir

مقدار پیک جریان لحظه‌ای شارژ بانک خازنی (جریان وصل)، نباید از ۱۰۰ برابر مقدار مؤثر جریان نامی بانک خازنی بیشتر باشد.

$$i_m \le 100 I_C \qquad (۲-۲۳)$$

با قراردادن مقادیر روابط (۲-۱۸) و (۲-۱۹)، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\sqrt{\frac{2}{3}} U_n \sqrt{\frac{n}{n+1}} . \sqrt{\frac{C}{2L}} \le 100 . \frac{1}{\sqrt{3}} U_n . 2\pi f C \qquad (۲-۲۴)$$

با ساده‌سازی روابط فوق داریم:

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} < 100 \sqrt{\frac{n}{n+1}} \times 2\pi f \qquad (۲-۲۵)$$

و با قراردادن مقدار $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ در رابطه (۲-۲۵) خواهیم داشت:

$$f_i \le \frac{100}{\sqrt{2}} . \frac{n+1}{n} . f \qquad (۲-۲۶)$$

چون $\frac{n+1}{n}$ برای n=1 ماکزیمم است، داریم:

$$f_i \le 100\sqrt{2} . f \qquad (۲-۲۷)$$

- برای f=50Hz، دررابطه (۲-۲۷)، فرکانس جریان هجومی بانکهای خازنی پشت به پشت می‌تواند به مقدار هفت کیلوهرتز برسد.

- برای بانکهای خازنی منفرد، با دامنه محدودشده جریان هجومی برطبق رابطه (۲-۲۵)، ماکزیمم فرکانس این جریان مستقیماً از رابطه (۲-۲۸) بدست می‌آید.

$$\frac{f_i}{f} \sqrt{2} I_C \le 100 I_C \qquad (۲-۲۸)$$

$$f_i \le \frac{100}{\sqrt{2}} f \qquad (۲-۲۹)$$

با قراردادن f=50HZ، مقدار ماکزیمم فرکانس برابر ۳/۵ کیلوهرتز حاصل می‌شود.

جهت محاسبه راکتور سری مورد نیاز باید ابتدا جریان هجومی را همانطور که بیان شد از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$i_m = U_n \sqrt{\frac{2}{3} \frac{C}{L_{eq}}} \qquad (۲-۳۰)$$

که در این رابطه:

i_m : دامنه پیک جریان هجومی

U_n: ولتاژ نامی سیستم (ولتاژ خط)

C: ظرفیت بانک خازنی

omoorepeyman.ir

L_{eq}: راکتانس معادل سیستم از دید شینه‌ای که بانک خازنی به آن متصل است.

جریان هجومی محاسبه‌شده از رابطه فوق نباید از ۱۰۰ برابر مقدار مؤثر جریان نامی بانک خازنی بیشتر شود. در غیر اینصورت استفاده از راکتور سری جهت محدودکردن جریان هجومی ضروری است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{L}{eq} = \frac{2U_n^2 C}{3i_m^2} \qquad (۳۱-۲)$$

در رابطه فوق L_{eq} مجموع راکتانس مورد نیاز جهت راکتور سری و راکتانس منبع است.

این راکتورها ازنوع سیم‌پیچ با هسته هوا بوده و جریان نامی آنها همان جریان نامی خازنهاست.

در این حالت باید فرکانس جریان هجومی نیز به یک مقدار ماکزیمم محدود گردد. بعبارت دیگر پس از محاسبه راکتور سری باید شرط زیر برقرار باشد:

$$f_i \le 100\sqrt{2}\ f \qquad (۳۲-۲)$$

که f فرکانس شبکه (۵۰ هرتز) و f_i ماکزیمم فرکانس جریان هجومی در بانک خازنی است.

مقادیر مربوط به سطوح عایقی راکتور سری نیز با توجه به مقادیر سطوح عایقی خازن‌های موازی تعیین می‌گردد. همانگونه که در بخشهای قبل توضیح داده شد، سطوح عایقی برای ولتاژ ۲۰ کیلوولت ۱۲۵/۵۰ کیلوولت و برای ولتاژ ۳۳ کیلوولت ۱۷۰/۷۰ کیلوولت می‌باشد.

۲-۳- ترانسفورماتور جریان

ترانسفورماتورهای جریان باید از نوع خشک بوده و دارای سطوح عایقی برابر با سطوح عایقی خازن باشند. جریان نامی اولیه در این ترانسفورماتورها با توجه به جریان عبوری فیدر محل نصب تعیین می‌گردد.

مقدار جریان نامی اولیه را می‌توان از بین مقادیر استاندارد زیر و مضارب ده دهی آنها تعیین نمود.

۱۰ ،۱۲/۵ ،۱۵ ،۲۰ ،۲۵ ،۳۰ ،۴۰ ،۵۰ ،۶۰ ،۷۵

از بین مقادیر فوق، جریان‌های نامی زیر (با دو تپ) ترجیح داده می‌شوند.

۲×۷۵ و ۲×۱۵۰ و ۲×۲۵۰

جریان نامی ثانویه ترانسفورماتور جریان ۱ یا ۵ آمپر می‌باشد. باتوجه به نصب خازن‌ها در سمت فشار متوسط پست‌های ۶۳ و۱۳۲ کیلوولت، انتخاب جریان نامی ثانویه ۵ آمپر برای ترانسفورماتورهای جریان پیشنهاد می‌گردد.

ثانویه این ترانسفورماتورها دارای یک سیم‌پیچی بوده و کلاس دقت آنها برای اندازه‌گیری ۰/۵ و برای حفاظت 5P,10P می‌باشد. ترانسفورماتورهای جریان فیدر معمولاً دوهسته‌ای انتخاب می‌شوند (یک هسته اندازه‌گیری و یک هسته حفاظتی).

ظرفیت خروجی این ترانسها را می‌توان از مقادیر زیر انتخاب نمود که برای اندازه‌گیری ۱۵ ولت‌آمپر و برای حفاظت ۱۵ و ۳۰ ولت‌آمپر ترجیح داده می‌شود.

۲/۵–۵–۱۰–۱۵–۳۰

مشخصات ترانسفورماتورهای جریان حفاظت عدم تعادل که بین نوترال‌های دو بانک خازنی موازی نصب می‌گردد می‌بایستی مطابق استانداردهای مربوطه باشد.

omoorepeyman.ir

۲-٤- ترانسفورماتور ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ بکاررفته ازنوع خشک بوده و ثانویه آنها دارای تنها یک سیم‌پیچی است. کلاس دقت این ترانسفورماتورها باید حداقل 0.5+3P باشد. ولتاژ نامی اولیه این ترانسفورماتورها برابر با ولتاژ اولیه سیستم یعنی $20/\sqrt{3}$ یا $33/\sqrt{3}$ کیلوولت و ولتاژ نامی ثانویه آنها $110/\sqrt{3}$یا $100/\sqrt{3}$ ولت است. سطوح عایقی مربوط به این ترانسفورماتورها باید برابر با سطوح عایقی خازن باشد.

ترانسفورماتورهای ولتاژ بکار رفته جهت نوترال بانک خازنی مشخصات مشابهی با ترانسفورماتورهای ولتاژ فازی دارند.

۲-۵- نمونه طراحی

هدف از این مثال، طراحی خازن جهت یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت می‌باشد. نصب دو بانک خازنی ۲/۴مگاوار در این پست ضروری تشخیص داده شده است. میزان جریان اتصال کوتاه سه فاز در محل نصب خازن ۲۰ کیلوآمپر است. بالاترین درجه حرارت در محل پست ۴۰ درجه سانتیگراد و حداقل درجه حرارت محیط ۳۵- درجه سانتیگراد می‌باشد.

۲-۵-۱- انتخاب خازن

ولتاژ نامی خازن:

ولتاژ نامی خازن برابر با ولتاژ سمت فشارضعیف پست یعنی ۲۰ کیلوولت می‌باشد.

انتخاب نوع خازن:

خازن موردنظر از نوع قفسه باز بوده و بصورت خارجی نصب می‌گردد.

تعداد بوشینگها:

باتوجه به توضیحات ارائه‌شده در بند ۲-۱-۳ از خازن با دو بوشینگ استفاده می‌گردد.

کلاس حرارتی:

برای این پست از خازن‌هایی با کلاس حرارتی 40/A- استفاده می‌گردد.

انتخاب نحوهٔ اتصال خازن:

نوع اتصال خازن‌ها در این مثال بصورت ستاره دوبل با نقطه نوترال زمین نشده می‌باشد.

محاسبات خازن مورد نیاز:

مقدار توان راکتیو در هر فاز بصورت زیر محاسبه می‌شود:

omoorepeyman.ir

$$Q_{C\varphi} = \frac{Q_C}{3} = \frac{2400}{3} = 800 \quad (kVAR)$$

$$U_{\varphi} = \frac{20}{\sqrt{3}} \quad (kV)$$

مقدار ظرفیت خازن برابر است با:

$$Q_{C\varphi} = \omega.C.U_{N\varphi}^2 \Rightarrow 800\times10^3 = 2\pi\times50\times C\times\left(\frac{20\times10^3}{\sqrt{3}}\right)^2 \Rightarrow C = 19.1 \quad (\mu F)$$

$$I_{C\varphi} = \frac{Q_{C\varphi}}{U_{N\varphi}} = \frac{800\times10^3}{\left(\frac{20\times10^3}{\sqrt{3}}\right)} = 69.28 \quad (A)$$

آرایش بانک خازنی:

آرایش بانک خازنی موردنظر بصورت ستاره دوبل، با فیوز خارجی، در هر فاز آرایش ستاره، ۲ واحد ۲۰۰ کیلوواری بطور موازی انتخاب می‌گردد.

حفاظت فیوزی:

جهت حفاظت خازن از فیوزهای خارجی استفاده می‌گردد که جریان نامی آنها بصورت زیر محاسبه می‌شود:

هر فاز از هر بانک MVAR ۲/۴ از ۴ واحد ۲۰۰ کیلوواری تشکیل شده است بنابراین جریان نامی برابر است با:

$$I_{bank} = \frac{2400\ K}{\sqrt{3}\times20} = 69.28 \quad (A)$$

$$I_{unit} = \frac{I_{bank}}{4} = 17.32 \quad (A)$$

$$I_{Fuse} = 1.65\ I_{unit} = 28.58 \quad (A)$$

بنابراین جریان نامی استاندارد فیوز برابر با A ۳۵ انتخاب می‌گردد.

سطوح عایقی:

میزان سطح عایقی بوشینگها و عایق‌های بین ترمینال‌ها و محفظه این خازن برابر است با:

$$U_i = 2.5\times U_{N\varphi} = 2.5\times\frac{20}{\sqrt{3}}\times10^3 = 29 \quad (kV/phase)$$

omoorepeyman.ir

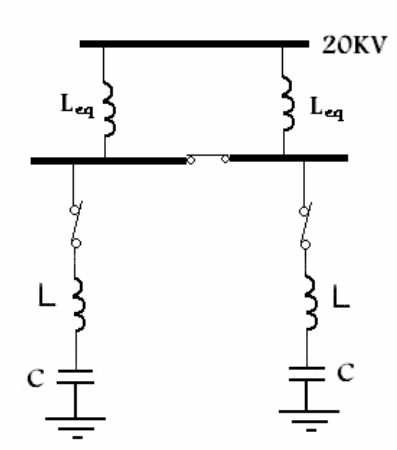
۲-۵-۲- راکتور سری

محاسبه جریان هجومی:

برای محاسبه مقدار راکتور سری مورد نیاز، باید بانکهای خازنی را به ترتیب وارد مدار کرده و در هر مرحله جریان هجومی و مقدار راکتور سری مورد نیاز را محاسبه نمود.

الف- اتصال اولین بانک ۲/۴ مگاواری به شبکه

برای محاسبه جریان هجومی ابتدا باید اندوکتانس معادل شبکه را بدست آوریم.



شکل ۲-۳: مدار معادل بانکهای خازنی متصل به شبکه به همراه راکتور سری

$$X_{eq} = \frac{U_N}{\sqrt{3}I_{3\varphi}} = \frac{20kV}{\sqrt{3}\times 20kA} = 0.577 \quad ohm$$

$$L_{eq} = \frac{X_{eq}}{\omega} = \frac{0.577}{100\pi} = 1836.6 \quad \mu H$$

$$i_m = U_N\sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_{eq}}} = 20\times 10^3 \times \sqrt{\frac{2}{3}\times\frac{19.1}{1836.6}} = 1665 \quad (A)$$

حال باید شرط زیر بررسی شود:

$$i_m < 100 I_C$$

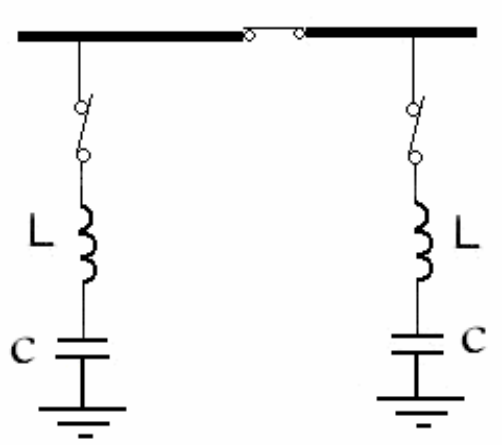
$$1665 < 100\times 69.28 = 6928$$

از آنجایی که شرط فوق برقرار است با واردکردن اولین بانک خازنی نیاز به استفاده از راکتور سری نمی‌باشد.

omoorepeyman.ir

ب- اندوکتانس مورد نیاز پس از اتصال دومین بانک خازنی ۲/۴ مگاواری

پس از واردکردن دومین بانک خازنی، مدار معادل بانکهای خازنی در اتصال به شبکه بصورت زیر تغییر می‌یابد. به دلیل مجهول‌بودن مقدار اندوکتانس مدار، با فرض اینکه در بدترین حالت مقدار جریان هجومی برابر با I_c ۱۰۰ باشد مقدار اندوکتانس سری محاسبه می‌گردد.



شکل ۲-٤: مدار معادل بانک‌های خازنی نمونه طراحی

خازن معادل عبارت است از:

$$C_t = C/2 = 9.55 \qquad (\mu F)$$

درصورتیکه اندوکتانس سری هر شاخه برابر با L باشد: $L_T = 2L$

$$100 I_C = U_N \sqrt{\frac{2}{3}\frac{C_t}{L_T}} \Rightarrow L_T = 53.06 \quad \mu H$$

بنابراین اندوکتانس سری در هر شاخه برابر است با:

$$L = L_T/2 = 26.53 \quad \mu H$$

پس از نصب یک اندوکتانس ۲۶/۵۳ میکروهانری درهر فاز از بانکهای خازنی، فرکانس جریان هجومی در حالتهای الف و ب بصورت زیر محاسبه می‌گردد. این فرکانس باید در محدودهٔ ذکرشده قرارگیرد.

درحالت الف:

$$L_T = L_{eq} + L = 1803.1 \quad \mu H$$

$$C_T = C = 19.1 \quad \mu F$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}} = 843.7 \quad HZ$$

شرط فرکانس برقرار است.

$$843.7 \le 100 \times \sqrt{2} \times 50 = 7071$$

omoorepeyman.ir

در حالت ب:

$L_T = 2L = 53.06 \quad (\mu H)$

$C_T = C/2 = 9.55 \quad (\mu F)$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}} = 7070.3 \quad HZ$$

در این حالت نیز شرط فرکانس برقرار می‌باشد.

$$7070.3 \le 100 \times \sqrt{2} \times 50 = 7071$$

۲-۵-۳- ترانسفورماتور جریان

ترانسفورماتورهای جریان با مشخصات زیر انتخاب می‌گردد:

نوع ترانسفورماتور جریان: خشک / دو هسته‌ای (یک هسته حفاظتی و یک هسته اندازه‌گیری)

سطح عایقی : ۲۹ $(kV/phase)$

جریان نامی اولیه: (A) ۲×۱۵۰

جریان نامی ثانویه: (A) ۵

کلاس دقت: ۵P / ۰/۵

۲-۵-۴- ترانسفورماتور ولتاژ

ترانسفورماتور ولتاژ با مشخصات زیر انتخاب می‌گردد:

نوع ترانسفورماتور ولتاژ: خشک / تک‌هسته‌ای

ولتاژ نامی اولیه: $\frac{20}{\sqrt{3}}(kV)$

ولتاژ نامی ثانویه: $\frac{110}{\sqrt{3}}(V)$

کلاس دقت: ۰/۵ +۳P

۲-۵-۵- حفاظت رله‌ای

حفاظت‌های زیر باید برای این بانک خازنی فراهم شود:

- حفاظت جریان زیاد
- حفاظت جریان زمین
- حفاظت اضافه ولتاژ
- حفاظت ولتاژ صفر
- حفاظت عدم تعادل بانک خازنی

omoorepeyman.ir

– حفاظت عدم تعادل در فازها

رله اضافه ولتاژ با ولتاژ نامی متناوب $110/\sqrt{3}$ ولت و ولتاژ نامی DC برابر با ۱۱۰ ولت، با مشخصه معکوس زمانی انتخاب می‌گردد.

رله‌های جریانی با ولتاژ نامی DC ۱۱۰ ولت و جریان نامی ۵ آمپر در فازهای A و C انتخاب می‌گردد.

از آنجا که آرایش این خازن‌ها بصورت ستاره دوبل با فیوز خارجی می‌باشد، از رله عدم تعادل نوع جریانی و یک مرحله‌ای استفاده می‌شود.

جهت انتخاب برقگیر می‌توان به استاندارد "مشخصات فنی، عمومی و اجرایی برقگیرها در پستهای فشارقوی" از سری همین استانداردها رجوع نمود.

omoorepeyman.ir

فصل ۳

آزمون‌هاي لازم براي خازن‌هاي موازي

omoorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل آزمون‌های لازم برای خازن‌های موازی و شرایط انجام این آزمون‌ها بیان می‌گردد. این آزمون‌ها جهت حصول اطمینان از عملکرد صحیح خازن‌ها باید برروی آنها انجام گیرد. این آزمونها می‌بایستی منطبق با استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۸۷۱ باشد.

۳-۱- شرایط آزمون

درجه حرارت عایق خازن‌ها به جز آزمون‌ها و یا اندازه‌گیری خاص، باید در محدوده ۵+ تا ۳۵+ درجه سانتیگراد باشد. هرگاه تصحیحی لازم باشد، دمای مرجع ۲۰ درجه سانتیگراد درنظر گرفته می‌شود.

هنگامی که خازن در یک دورهٔ زمانی کافی، در درجه حرارت ثابت محیط بدون برقدارشدن قرار گیرد، می‌توان چنین فرض نمود که درجه حرارت عایق واحد خازنی با درجه حرارت محیط یکسان است. آزمون‌های ac و اندازه‌گیری‌ها باید در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز مستقل از فرکانس نامی خازن انجام گیرد.

۳-۲- طبقه‌بندی آزمون‌ها

آزمون‌ها به آزمون‌های جاری، نوعی و پذیرش دسته‌بندی می‌شوند.

۳-۲-۱- آزمون‌های جاری

آزمون‌های جاری مورد نیاز خازن‌ها عبارتند از:

- اندازه‌گیری ظرفیت خازن
- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات خازن ($\tan\delta$)
- آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها
- آزمون ولتاژ ac بین ترمینال‌ها و محفظه واحد خازنی
- آزمون وسایل دشارژ داخلی
- آزمون آب‌بندی
- آزمون تخلیه روی فیوزهای داخلی

این آزمون‌ها باید توسط سازنده قبل از حمل روی هریک از خازن‌ها انجام شود. اگر خریدار درخواست نماید باید جزئیات تأیید نتایج هر آزمون نیز فراهم گردد. ترتیب آزمونها مهم نیست.

درصورت توافق بین سازنده و خریدار، آزمون تخلیه اتصال کوتاه را نیز می‌توان بعنوان آزمون جاری انجام داد. پارامترهای آزمون باید به توافق طرفین برسد.

omoorepeyman.ir

۳-۲-۲- آزمون‌های نوعی

آزمون‌های نوعی مورد نیاز خازن عبارتند از:

- آزمون پایداری حرارتی
- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات خازن ($\tan\delta$) در درجه حرارت بالا
- آزمون ولتاژ ac بین ترمینال‌ها و محفظه واحد خازنی
- آزمون ولتاژ ضربه صاعقه بین ترمینال‌ها و محفظه واحد خازنی
- آزمون تخلیه اتصال کوتاه
- آزمون فیوز خارجی در ترکیب با خازن (مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۵۴۹)
- آزمون قطع روی فیوزهای داخلی (مطابق با استاندارد IEC شماره ۴-۶۰۸۷۱)

آزمون‌های نوعی به منظور تأیید تطابق طراحی، اندازه، مواد بکاررفته و نحوه ساخت خازن با مشخصه‌ها و نیازهای عملکرد مشخص‌شده در استاندارد ساخت انجام می‌گیرد.

هر نمونه خازن که جهت اعمال آزمون‌های نوعی مد نظر قرار می‌گیرد، باید قبلاً آزمون‌های جاری را با موفقیت پشت سر گذاشته باشد، مگر در مواردی که مشخصاً به توافق طرفین برسد.

آزمون‌های نوعی باید روی خازن‌هایی که طراحی مشابهی با خازن‌های خریداری‌شده دارند انجام گیرد.

آزمون‌های نوعی را می‌توان روی خازنهایی که دارای طراحی یکسان با خازن خریداری‌شده هستند و یا بر روی خازنهایی که طراحی و ساخت آنها به هیچ‌عنوان روی خواصی که قرار است با آزمون نوعی مورد بازبینی قرارگیرند تأثیر نمی‌گذارد انجام داد. آزمون‌های نوعی باید بوسیله سازنده در یک آزمایشگاه معتبر (مورد تائید کارفرما) انجام گرفته و درصورت نیاز باید گزارش تأیید همراه با جزئیات نتایج آزمون‌ها به خریدار ارائه گردد.

۳-۲-۳- آزمون‌های خاص

کلیه آزمون‌های نوعی و جاری یا برخی از آنها درصورت تأیید در قرارداد و با موافقت خریدار، می‌تواند توسط سازنده تکرار گردد. تعداد نمونه‌های مورد آزمون و معیارهای قبولی باید به توافق سازنده و خریدار برسد و در قرارداد نیز آورده شود.

۳-۳- آزمون‌های جاری

۳-۳-۱- اندازه‌گیری ظرفیت خازن

ولتاژ اعمالی به خازن جهت اندازه‌گیری ظرفیت آن باید بین ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی خازن باشد. روش اندازه‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که وجود هارمونیکها باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری نگردد.

درصورتی که ضرایب تصحیح با توافق بین سازنده وخریدار اعمال شوند، اندازه‌گیری می‌تواند در ولتاژهای دیگر نیز صورت گیرد. اندازه‌گیری نهایی ظرفیت باید بعد از آزمون ولتاژ انجام گیرد.

omoorepeyman.ir

برای مشخص‌شدن تغییرات در ظرفیت خازنی که در اثر عواملی از قبیل سوراخ‌شدگی یک المان خازنی یا خطای یک فیوز داخلی رخ می‌دهد، اندازه‌گیری اولیه ظرفیت باید قبل از سایر آزمون‌های جاری صورت گیرد. این اندازه‌گیری باید با ولتاژ کمتر یا مساوی ۰/۱۵ ولتاژ نامی انجام گردد.

دقت روش اندازه‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که تلورانس‌های مجاز رعایت شود. اگر دقت بالاتری مورد نیاز است، دقت روش اندازه‌گیری باید توسط سازنده اعلام گردد. قابلیت تکرار روش اندازه‌گیری باید به‌گونه‌ای باشد که المان خازنی سوراخ‌شده یا فیوز داخلی دچار خطاشده قابل تشخیص باشد.

برای خازن‌های چندفاز، ولتاژ اندازه‌گیری باید بین ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی در روی هر المان خازنی تنظیم گردد.

سازنده باید درصورت توافق جداول و منحنی‌هایی را ارائه دهد که موارد زیر را مشخص نماید:

- ظرفیت تحت شرایط ماندگار در خروجی نامی بعنوان تابعی از درجه حرارت محیط (باتوجه به طبقه‌بندی درجه حرارت)
- ظرفیت بعنوان تابعی از درجه حرارت عایق خازن (باتوجه به طبقه‌بندی درجه حرارت)

اختلاف ظرفیت اندازه‌گیری‌شده خازن با ظرفیت نامی نباید از محدوده‌های زیر تجاوز نماید:

- در واحدها یا بانک‌های خازنی شامل یک واحد خازنی در هر فاز: ۵٪- تا ۱۵٪+
- در بانک‌های خازنی تا ۳ مگاوار: ۵٪- تا ۱۰٪+
- در بانکهای خازنی از ۳ مگاوار تا ۳۰ مگاوار: ۰ تا ۱۰٪+
- در بانک‌های خازنی بیش از ۳۰ مگاوار: ۰ تا ۵٪+

در واحدهای خازنی یا بانک‌های خازنی سه فاز، نسبت مقادیر ماکزیمم ظرفیت اندازه‌گیری‌شده بین هر دو ترمینال خط به می‌نیمم مقدار آن، نباید از ۱/۰۸ بیشتر شود.

در سایر موارد باید بین سازنده و خریداری توافق صورت گیرد.

محاسبه خروجی خازن‌های سه فاز با استفاده از ظرفیت اندازه‌گیری‌شده هریک از سه فاز:

فرض کنید ظرفیت اندازه‌گیری‌شده بین هر دو ترمینال خط خازن سه فاز با اتصال ستاره یا مثلث با C_a و C_b و C_c نشان داده شود. اگر ظرفیت‌های اندازه‌گیری‌شده نیازهای بند ۳-۳-۱ را برآورده سازد، خروجی Q خازن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$Q = \frac{2}{3}(C_a + C_b + C_c)\,\omega U_N{}^2 \times 10^{-6} \qquad (۱-۳)$$

که در آن:

C_a و C_b و C_c : ظرفیت‌های اندازه‌گیری‌شده بین دو ترمینال خط برحسب میکروفاراد

U_N : ولتاژ نامی خازن برحسب کیلوولت

Q: خروجی خازن برحسب مگاوار

omoorepeyman.ir

۳-۳-۲- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات ($\tan\delta$)

ولتاژ اعمالی به خازن باید در ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی اندازه‌گیری شود. روش بکاررفته باید به‌گونه‌ای باشد که وجود هارمونیکها باعث ایجاد خطا در مقادیر بدست‌آمده نگردد. دقت روش اندازه‌گیری و ارتباط با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در فرکانس و ولتاژ نامی باید ارائه گردد.

برای خازن‌های چندفاز ولتاژ اندازه‌گیری باید به مقداری تنظیم شود که روی هر المان خازنی بین ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی بیفتد.

مقدار ($\tan\delta$) معمولاً تابعی از زمان برقداربودن قبل از اندازه‌گیری است.

سازنده باید با توافق خریدار منحنی‌ها و جداولی را تهیه کند که تلفات خازن ($\tan\delta$) را تحت شرایط ماندگار در خروجی نامی، بعنوان تابعی از درجه حرارت (باتوجه به طبقه‌بندی درجه حرارت) نشان دهد.

تلفات در فیوزهای خارجی باید با استفاده از ضرب مقاومت ac نامی (مشخص‌شده توسط سازنده فیوز در درجه حرارت $^{\circ C}$۲۰) در مجذور جریان نامی خازن محاسبه گردد.

۳-۳-۳- آزمون ولتاژ بین ترمینالها

هر خازن باید به مدت ده ثانیه تحت آزمون‌های ac و dc شرح داده شده در زیر قرارگیرد. درصورت عدم توافق، حق انتخاب با سازنده است. درطول آزمون هیچ سوراخ‌شدگی یا جرقه‌ای نباید مشاهده شود.

آزمون ac:

آزمون ac باید در ولتاژی سینوسی با دامنه ۲/۱۵ برابر ولتاژ نامی انجام گردد. اگر چنین توافق شده است که خازن‌ها باید بعد از حمل دوباره مورد آزمون قرارگیرند، ولتاژی برابر با ۷۵ درصد ولتاژ نامی جهت آزمون دوم پیشنهاد می‌گردد.

برای خازن‌های چندفاز، آزمون ولتاژ باید جهت بدست‌آوردن ولتاژ مناسب در دو سر هر المان تنظیم شود.

آزمون dc:

ولتاژ آزمون dc باید ۴/۳ برابر ولتاژ نامی باشد.

۳-۳-٤- آزمون ولتاژ ac بین ترمینال‌ها و محفظه

واحدهای خازنی که تمام ترمینال‌های آنها از محفظه عایقکاری شده‌اند باید به مدت ۱۰ ثانیه تحت ولتاژ آزمون قرارگیرند. این ولتاژ بین ترمینال‌های آن (متصل شده بهم) و محفظه اعمال می‌گردد. برای واحدهای بکاررفته در بانکها که نوترال آنها ایزوله شده و محفظه‌های آنها به زمین متصل شده‌اند ولتاژهای آزمون برای سطوح ۲۰و۳۳ کیلوولت به ترتیب برابر ۵۰و۷۰ کیلوولت می‌باشد. برای سایر اتصالات ولتاژ آزمون متناسب با ولتاژ نامی بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U_t = 2.5 \times U_N \times n \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

U_t : ولتاژ آزمون

U_N : ولتاژ نامی خازن

omoorepeyman.ir

n: تعداد واحدهای سری که در یک محفظه قرارگرفته‌اند.

واحدهایی که یک ترمینال آنها دائماً به محفظه وصل شده است نباید تحت این آزمون قرارگیرند.

واحدهایی که فازهای آنها مجزا هستند باید تحت آزمون‌های ولتاژ بین فازها با مقادیر یکسان با آنچه که در آزمون ولتاژ ترمینال به محفظه بکار می‌رود، قرارگیرند.

در حین انجام آزمون، هیچ سوراخ‌شدگی یا جرقه‌ای نباید مشاهده شود.

۳-۳-۵- آزمون تجهیزات تخلیه داخلی

مقدار مقاومت وسایل تخلیه داخلی باید با اندازه‌گیری مقاومت بررسی گردد. انتخاب روش اندازه‌گیری بعهده سازنده می‌باشد. آزمون باید بعد از آزمون ولتاژ (بند ۳-۳-۳) انجام شود.

۳-۳-٦- آزمون آب‌بندی

واحد خازنی (درحالتی که هنوز رنگ نشده است) باید تحت آزمونی قرارگیرد که بطور مؤثر هرگونه نقص در محفظه و بوشینگ(ها) را مشخص کند. روش آزمون به انتخاب سازنده است. سازنده باید در گزارش خود روش آزمون را شرح دهد. درصورتیکه سازنده روش خاصی را تعیین نکرده باشد، آزمون باید بصورت زیر انجام شود:

واحدهای خازنی درحالتی که بی‌برق هستند باید به مدت حداقل ۲ ساعت گرم شوند به‌گونه‌ای که همهٔ بخشهای آن به دمایی برسند که حداقل ۲۰ درجه سانتیگراد بالاتر از ماکزیمم درجه حرارت مشخص‌شده در جدول (۳-۱) باشد.

درحین آزمون هیچ نشتی‌ای نباید بروزکند. پیشنهاد می‌گردد که یک نشان‌دهنده مناسب مورد استفاده قرارگیرد.

۳-۳-۷- آزمون تخلیه روی فیوزهای داخلی

خازن‌هایی که مجهز به فیوز داخلی می‌باشند باید تحت یک آزمون تخلیه اتصال کوتاه قرارگیرند. آزمون باید با ولتاژ dc با دامنه ۱/۷ برابر ولتاژ نامی انجام شود. این ولتاژ باید ازطریق فاصله هوایی که در فاصله هرچه نزدیکتر به خازن قرارداده شده، بدون هیچ امپدانس اضافه‌ای درمدار، اعمال گردد.

ظرفیت باید قبل و بعد از آزمون تخلیه اندازه‌گیری شود. اختلاف بین دو اندازه‌گیری باید کمتر از مقدار مربوط به عملکرد یک فیوز داخلی باشد.

آزمون تخلیه می‌تواند قبل یا بعد از آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها انجام گردد. درهرحال اگر این آزمون بعد از آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها انجام شود، اندازه‌گیری ظرفیت در ولتاژ نامی بعد از آن باید انجام شود تا عملکرد فیوزها مشخص شود.

اگر تعدادی از فیوزهای خازن‌های خریداری‌شده عملکرده باشد و درهنگام خریداری به توافق خریدار رسیده باشد، آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها باید بعد از آزمون تخلیه انجام شود.

می‌توان ولتاژ شارژ dc را با برقدارکردن اولیه ac با ولتاژ پیک ۱/۷ برابر ولتاژ نامی و قطع در جریان صفر، ایجاد کرد. به این ترتیب خازن بلافاصله از مقدار پیک خود، تخلیه خواهد شد.

omoorepeyman.ir

اگر خازن در ولتاژی بالاتر از ۱/۷ برابر ولتاژ نامی قطع شده باشد، می‌توان تخلیه را با کمی تأخیر شروع کرد تا زمانی که مقاومت تخلیه، ولتاژ را به ۱/۷ برابر ولتاژ نامی کاهش دهد.

۳-٤- آزمون‌های نوعی

۳-٤-۱- آزمون پایداری حرارتی

این آزمون با اهداف زیر انجام می‌گیرد:

- تعیین پایداری حرارتی خازن تحت شرایط اضافه بار
- آماده‌کردن خازن برای اندازه‌گیری تلفات

واحد خازنی مورد آزمون باید بین دو واحد دیگر با مقادیر نامی مشابه قرارگیرد. این دو واحد خازنی باید در ولتاژ یکسان با خازن آزمون برقدار گردند. دراین آزمون می‌توان از دو خازن مجازی که هرکدام شامل مقاومت هستند استفاده نمود. تلفات در مقاومت‌ها باید روی مقداری تنظیم شود که دمای محفظه خازن‌های مجازی فوق در نقاط بالایی صفحات مقابل هم، بزرگتر یا مساوی با خازن تحت آزمون باشد. فاصله بین واحدها باید مساوی یا کمتر از فاصله معمول باشد.

مجموعه خازن باید در هوای راکد، در محفظه‌ای گرم شده و در سخت‌ترین شرایط دمایی محل نصب مطابق با دستورالعمل سازنده، قرارگیرد.

درجه حرارت محیط باید در یکی از ماکزیمم دماهای مشخص‌شده در جدول (۳-۱) و یا بالاتر از آن نگهداشته شود.

باید بایک ترمومتر که ثابت زمانی حرارتی آن تقریباً یک ساعت است، ثابت‌بودن دما بررسی شود. ترمومتر مورد استفاده باید دارای روکش محافظ (شیلد) بوده به‌گونه‌ای که تبادل حرارتی آن با سه نمونه برقدار به حداقل ممکن برسد.

جدول ۳-۱: درجه حرارت استاندارد محیط

نشانه	ماکزیمم درجه حرارت محیط(°C)	بالاترین میانگین درجه حرارت(°C) در یک دورهٔ	
		۲٤ساعته	یک ساله
A	۴۰	۳۰	۲۰
B	۴۵	۳۵	۲۵
C	۵۰	۴۰	۳۰
D	۵۵	۴۵	۳۵

خازن مورد آزمون باید برای یک دورهٔ حداقل ۴۸ ساعته تحت آزمون ولتاژ ac با شکل موج کاملاً سینوسی قرارگیرد. دامنه ولتاژ درطی ۲۴ ساعت آخر آزمون باید طوری تنظیم شود که خروجی محاسبه‌شده با مقدار خازن اندازه‌گیری‌شده، حداقل ۱/۴۴ برابر خروجی نامی را بدهد. در ۶ ساعت آخر، درجه حرارت محفظه در نقاط بالایی باید حداقل چهار بار اندازه‌گیری شود. درطول این دوره ۶ ساعته، افزایش درجه حرارت نباید بیش از یک درجه باشد. اگر تغییر بزرگتری مشاهده شد آزمون باید تا زمانی که چهار اندازه‌گیری متوالی درحین دورهٔ ۶ ساعته پایانی رضایت‌بخش باشد، ادامه پیداکند.

omoorepeyman.ir

قبل و بعد از آزمون، باید ظرفیت در شرایط دمایی استاندارد ذکرشده در بند ۳-۱ اندازه‌گیری شود و دو اندازه‌گیری مذکور باید بر اساس یک درجه حرارت عایق مشابه تصحیح گردد. اختلاف بین دو اندازه‌گیری باید کمتر از مقدار لازم جهت شکست یک المان خازنی یا عملکرد فیوز داخلی باشد.

۳-٤-۲- اندازه‌گیری تانژانت زاویه تلفات خازن ($\tan\delta$) در درجه حرارت بالاتر از استاندارد

ضریب تلفات عایقی خازن ($\tan\delta$) باید در انتهای آزمون پایداری حرارتی اندازه‌گیری شود. ولتاژ اندازه‌گیری باید مطابق با آزمون پایداری حرارتی باشد.

مقدار ($\tan\delta$) اندازه‌گیری‌شده، نباید از مقدار تعیین‌شده توسط سازنده یا مقدار به توافق رسیده بین سازنده و خریدار افزایش پیدا کند.

۳-٤-۳- آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها و محفظه خازن

واحدهای خازنی که کلیه ترمینال‌های آنها از محفظه عایق شده است، باید به مدت یک دقیقه تحت ولتاژ آزمون اعمال‌شده بین ترمینال‌ها (متصل بهم) و محفظه قرارگیرند.

برای واحدهای بکاررفته در بانک‌ها با نوترال ایزوله‌شده که محفظه آنها متصل به زمین است، ولتاژهای آزمون مطابق با آنچه در بند ۳-۳-۴ ذکرشده می‌باشد.

واحدهایی که یک ترمینال آنها بطور دائم به محفظه وصل شده است، باید به منظور بررسی و مطلوب‌بودن عایق نسبت به محفظه، تحت ولتاژ آزمون اعمال شده بین ترمینال‌ها قرارگیرد.

ولتاژ آزمون متناسب با ولتاژ نامی است و از رابطه (۳-۲) محاسبه می‌گردد. هرگاه ولتاژ این آزمون از نیازهای آزمون عایقی تجاوز کرد باید به منظور جلوگیری از خطای عایقی، بعنوان مثال با افزایش تعداد المان‌های خازنی سری، ترکیب عایقی واحدها تصحیح گردد. در هرحال، عایق‌کاری نسبت به محفظه نباید تغییر کند.

راه دیگر این است که آزمون فوق با استفاده از یک واحد مشابه با دو ترمینال ایزوله که دارای عایقی مشابه محفظه می‌باشند کامل گردد.

واحدهایی که فازهای آنها مجزاست باید تحت آزمون ولتاژ بین فازها قرارگیرند به نحوی که ولتاژ آزمون برابر با ولتاژ اعمال‌شده در آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها و محفظه باشد.

برای واحدهای داخلی[1] آزمون بصورت خشک انجام می‌شود و برای واحدهایی که در محوطه و فضای باز [2] نصب می‌گردند، با ایجاد باران مصنوعی انجام می‌گردد.

موقعیت بوشینگها درهنگام انجام آزمون تحت باران مصنوعی، باید مطابق با شرایط سرویس‌دهی آنها باشد.

درحین آزمون هیچگونه سوراخ شدگی یا جرقه‌ای نباید مشاهده گردد.

1 . Indoor
2 . Outdoor

omoorepeyman.ir

درمورد واحدهایی که برای محوطه و فضای باز درنظرگرفته شده‌اند، درصورتیکه سازنده بتواند یک گزارش آزمون نوعی جداگانه تهیه کند که نشان دهد بوشینگها ولتاژ آزمون رطوبی برای مدت یک دقیقه را تحمل می‌کنند، می‌توان تنها بوشینگها را تحت آزمون خشک قرار داد. شرایط بوشینگها دراین آزمون باید مطابق با شرایط سرویس‌دهی آنها باشد.

۳-٤-٤- آزمون موج ضربه صاعقه بین ترمینال‌ها و محفظه

آزمون موج ضربه صاعقه برای واحدهای خازنی که جهت استفاده در بانکهای با نوترال عایق‌شده درنظرگرفته شده‌اند قابل اعمال است.

واحدهایی که تمام ترمینال‌های آنها از محفظه عایق شده‌اند و محفظه آنها به زمین وصل است باید تحت آزمون زیر قرارگیرند. ۱۵ موج ضربه با پلاریته مثبت و سپس ۱۵ موج ضربه با پلاریته منفی باید بین بوشینگهای متصل بهم و محفظه اعمال گردد. بعد از تغییر پلاریته و قبل از اعمال ضربه‌های بعدی می‌توان چند موج ضربه با دامنه کوچکتر اعمال کرد.

درصورتی که شرایط زیر برقرار باشد، خازن آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است.

- هیچ سوراخ‌شدگی رخ ندهد.
- بیش از دو قوس خارجی در هر پلاریته اتفاق نیفتد.
- شکل موج هیچ چیز غیرعادی یا تغییر مشخصی را نسبت به نتایج ثبت‌شده در آزمون با ولتاژ پایین‌تر نشان ندهد.

واحد خازنی می‌تواند به جای آزمون فوق تحت سه ضربه با پلاریته مثبت قرارگیرد. در این حالت آزمون به شرطی موردقبول واقع می‌شود که علاوه بر موارد فوق هیچ قوسی رخ ندهد.

آزمون موج ضربه صاعقه باید مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۶۰ و با یک موج $1/2/50\ \mu s$ تا $5/50\ \mu s$ انجام گیرد. مقدار قله موج باید منطبق مقادیر ارائه شده در بند ۳-۳-۴ باشد. واحدهایی که یک ترمینال آنها بطور دائم به محفظه وصل شده است، نباید تحت این آزمون قرارگیرند.

۳-٤-۵- آزمون تخلیه اتصال کوتاه

در این آزمون واحد خازنی باید با یک ولتاژ dc شارژ گردد و سپس ازطریق یک فاصله هوایی که در نزدیکترین فاصله به خازن قرارگرفته است تخلیه گردد. چنین تخلیه‌ای باید در مدت زمان ۱۰دقیقه، ۵ بار تکرار شود.

ولتاژ آزمون باید ۲/۵ برابر ولتاژ نامی باشد. در ۵ دقیقه پس از آزمون، واحد موردنظر باید تحت یک آزمون ولتاژ بین ترمینال‌ها مطابق با بند ۳-۳-۴ قرارگیرد.

ظرفیت باید قبل از آزمون تخلیه و بعد از آزمون ولتاژ اندازه‌گیری شود. اختلاف بین دو اندازه‌گیری باید کمتر از مقدار لازم جهت شکست یک المان خازنی یا عملکرد فیوز داخلی باشد.

هدف از آزمون تخلیه آشکارکردن هرگونه عیب در اتصالات داخلی است.

برای مواردی از کاربرد که اضافه ولتاژها و یا جریان‌های گذرا محدود هستند، درصورت توافق خریدار و سازنده، ولتاژ آزمون می‌تواند کمتر از ۲/۵ برابر ولتاژ نامی باشد.

omoorepeyman.ir

فصل ۴

دستورالعمل نگهداري و بهره‌برداري خازن‌هاي موازي

omoorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل نکات مربوط به نصب و بهره‌برداری خازن‌های موازی، از جمله شرایط ویژه کارکرد و بازدیدهای دوره‌ای ارائه می‌گردد. در انتهای فصل جداول مربوط به بازدیدهای دوره‌ای آورده شده است.

٤-١- کلیات

برخلاف اغلب تجهیزات الکتریکی، خازن‌های موازی از لحظه راه‌اندازی به طور دائم تحت بار کامل و یا باری که تنها تغییرات آن ناشی از تغییرات فرکانس و ولتاژ است، قراردارند.

اضافه دما و اضافه فشار، طول عمر خازن را کم می‌کند. لذا شرایط عملکرد (بعنوان مثال درجه حرارت، ولتاژ و جریان) باید کاملاً کنترل‌شده و مشخص باشد.

شایان ذکراست که ورود خازن در یک سیستم ممکن است شرایط عملکرد نامطلوبی بوجود آورد. بعنوان مثال هارمونیکها را شدت ببخشد و یا باعث خود تحریکی ماشینها، اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی، عملکرد نامطلوب دستگاههای کنترل از راه دور و ... گردد.

به دلیل انواع گوناگون خازن‌ها و پارامترهای بسیار زیادی که وجوددارد، امکان تعیین یک قانون دقیق و جامع برای نگهداری و بهره‌برداری خازن‌ها در کلیه شرایط ممکن، وجودندارد. به هر حال به برخی از نکات مهم در زیر اشاره می‌شود.

٤-١-١- درجه حرارت عملکرد

حداکثر درجه حرارت عملکرد خازن باید مورد توجه قرار گیرد، چرا که بر طول عمر خازن به شدت موثر است. وقتی عایق خازن به درجه حرارتی در زیر محدودهٔ پایین کلاس حرارتی خود می‌رسد، نه تنها در هنگام برقدار شدن بلکه درطول سرویس‌دهی (که خازن تلفات دی‌الکتریک کمی دارد و باعث افزایش ناچیز درجه حرارت می‌گردد) نیز ممکن است خطر آغاز تخلیه‌های جزئی در دی‌الکتریک وجود داشته باشد.

همهٔ تجهیزات دارای تلفات، مانند فیوزهای خارجی، راکتورها و ... باید در محاسبه کل تلفات بانک خازنی درنظر گرفته شوند.

٤-١-٢- شرایط ویژه کارکرد

علاوه بر شرایط ذکرشده در بخش‌های قبل، سازنده باید راجع به هریک از شرایط خاص ازجمله موارد زیر با خریدار مشورت کند.

- رطوبت نسبتاً بالا:

ممکن است استفاده از عایق‌های با طراحی خاص ضروری باشد. باید توجه شود که این امکان وجود دارد که فیوزهای خارجی با لایهٔ رطوبتی که در سطح آنها جمع شده است بطور موازی قرارگیرند.

omoorepeyman.ir

- رشد سریع کپک و قارچ:

فلزات، مواد سرامیکی و برخی رنگها و مواد لاک رزینی درمقابل رشد کپک و قارچ مصون نمی‌باشند. در مواردی که از مواد قارچ‌کش استفاده می‌شود، این مواد خاصیت ضدقارچ خود را بیش از چندماه حفظ نمی‌کنند. درهرحال کپک و قارچ ممکن است در هر محلی که گردوغبار وجود دارد، رشد کند.

- محیط خورنده:

این نوع آب و هوا در مناطق صنعتی و ساحلی یافت می‌شود. باید توجه شود که در آب و هوای گرمتر، این اثرات مخربتر از آب و هوای معتدل است. محیط‌های بسیارخورنده ممکن است در نصب‌های داخل ساختمان نیز وجود داشته باشد.

- آلودگی:

درمواردی که خازن‌ها در محلی نصب شده‌اند که درجه آلودگی بالاست، ملاحظات لازم باید انجام گیرد.

- ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر:

خازن‌هایی که در ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر نصب شده‌اند، جزء شرایط ویژه نصب محسوب می‌گردند. انتخاب نوع خازن باید با توافق سازنده و خریدار باشد.

- مناطق زلزله‌خیز:

در بعضی مناطق احتمال زلزله بیشتر است که این امر بر طراحی مکانیکی خازن‌ها و بانکهای خازنی جهت نصب در این مناطق تأثیر می‌گذارد.

٤-۲- بازدیدهای اولیه

قبل از برقدارکردن خازن و قراردادن آن در سرویس باید بازدیدهای اولیه زیر بر روی آن انجام گیرد.

- مجموعه تجهیزات خازن بازبینی ظاهری گردد و مناسب‌بودن فواصل هوایی و ساختار مکانیکی آن تائید شود.
- امکانات کافی جهت اندازه‌گیری مقادیر مربوط به واحدهای خازنی فراهم گردد و تائید گردد که این مقادیر با مقادیر ثبت‌شده در پلاک مقادیر نامی مطابقت دارد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری‌شده جهت مقایسه‌های بعدی ثبت گردد.
- تأیید گردد که فیوزها و تجهیزات آن کاملاً صحیح نصب شده‌اند و کلیه اتصالات الکتریکی در وضعیت مطلوبی قرار دارند. کلیه پیچ و مهره‌ها و اتصالات ترمینال‌ها بررسی گردد که از استحکام کافی برخوردار باشند. اتصالات فیوزها باید به طور جداگانه بازبینی شوند و تأیید گردد که در وضعیت مطلوبی قرار دارند و اتصالات به خوبی برقرار هستند. بررسی گردد که اتصال فیوز بین خازن و شینه و همچنین اتصال فیوز به خازن در وضعیت مطلوبی قرار داشته باشد.
- بررسی گردد اتصال دو سر فیوز با خازن در وضیت مطلوبی قرار داشته باشد. در فیوز لینکهایی که دو سر آن قابل جدا شدن هستند باید بررسی شود که دو سر فیوز به طرز مناسبی روی فیوز لینک نصب شده باشند.
- کلیه عایق‌ها، فیوزها و بوشینگها تمیز شوند تا از انباشته شدن آلودگی که خطر بروز جرقه را بوجود می‌آورد، جلوگیری گردد.
- عایق‌ها و بوشینگها بازبینی شوند تا اطمینان حاصل گردد که ترک یا شکستگی ندارند.
- محفظه خازن‌ها بازبینی شود تا اطمینان حاصل گردد که هیچگونه منفذ و شکافی در آنها وجود ندارد.

omoorepeyman.ir

- عملکرد کلیه کلیدهای مربوط به کنترل و قطع بار، قطع خازن و کلید زمین قبل از برقدارشدن خازن بررسی گردد.
- قبل از برقدارشدن خازن بررسی گردد که مقادیر ظرفیت هر فاز خازن کاملاً با تجهیزات حفاظتی همخوانی داشته باشد.
- تجهیزات حفاظت عدم تعادل خازن‌ها بررسی شود و عملکرد صحیح آنها تأیید گردد.
- بلافاصله پس از برقدارشدن خازن باید بررسی شود که صعود ولتاژ با مقدار مورد انتظار همخوانی داشته باشد. همچنین بررسی شود که ولتاژ اعمالی، جریان و توان راکتیو خازنی در محدودهٔ نامی قرار داشته باشد.
- در خلال ۸ تا ۲۴ ساعت پس از در سرویس قرارگرفتن خازن حتماً باید بررسی شود که آیا فیوز سوخته و محفظه‌های آسیب‌دیده وجود دارد یا نه. همچنین تعادل جریان فازها مورد بررسی قرار گیرد.

٤-٣- قفل حصار محوطهٔ خازن‌ها[1]

برای جلوگیری از ورود افراد به محوطهٔ خازنها درحالت برقداربودن آنها که ممکن است دراثر بی‌توجهی آنان رخ دهد و بخصوص در شرایطی که خازن‌ها در ارتفاع پایین و یا حتی بر روی زمین نصب می‌شوند، محوطهٔ خازنها را بایستی حصارکشی نمود و نیز از سیستم قفل اتوماتیک در استفاده کرد، به طوری که در زمان برقداربودن خازن‌ها ورود به محوطه امکان‌پذیر نباشد و نیز در صورت بازبودن در، برقدارکردن خازن‌ها ممکن نباشد. برای کسب اطمینان بیشتر می‌توان بازکردن در را به سکسیونر زمین فیدر خازن‌ها اینترلاک نمود. یعنی هنگامی در می‌تواند باز شود که علاوه بر قطع کلید قدرت، سکسیونر زمین فیدر خازن‌ها نیز وصل شده باشد. استفاده از حصارهای روبسته برای جلوگیری از ورود پرندگان و سایر حیوانات به محوطهٔ خازن‌ها، هرجا که امکان وقوع اتصال کوتاه وجود دارد توصیه می‌شود.

٤-٤- بازدیدهای دوره‌ای

بازدیدهای لازم جهت خازن‌ها شامل بازدیدهای روزانه، هفتگی و ماهیانه است که به شرح زیر می‌باشد:

٤-٤-١- بازدید روزانه از خازن

بازدیدهای زیر بطور روزانه باید برروی خازن انجام گردد:

- وضعیت ظاهری از نظر نظافت، صدا و لرزش غیرعادی
- اتصالات و مقره‌ها از نظر آلودگی، ترک و شکستگی
- سالم‌بودن یونیت‌ها و المنت‌ها (فیوزها)
- سالم‌بودن کلید خازن

٤-٤-٢- بازدید هفتگی از خازن

بازدیدهای زیر باید بطور هفتگی برروی خازن انجام گردد:

- سالم یا معیوب بودن وضعیت ظاهری

omoorepeyman.ir

1 .Fence Lock

- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در سلول خازنها
- وجود یا عدم وجود ترک و شکستگی در مقرهها
- کامل یا ناقص بودن اتصالات
- سالم یا معیوب بودن المنتها (فیوزها) و راکتورهای محدودکننده جریان هجومی
- سایر اشکالات مشاهده شده

٤-٤-٣- بازدید ماهیانه از خازن

بازدیدهای زیر باید بطور ماهیانه برروی خازن انجام گردد:

- تمیز یا کثیف‌بودن مقرهها و نیاز به شستشو و تمیزکردن آن
- سالم یا معیوب بودن مقره فازها
- متورم بودن یا نبودن بدنه واحدها
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن
- وجود یا عدم وجود آثار جرقه یا دود بر روی فازها
- کامل یا ناقص بودن اتصال سیم زمین به استراکچر
- کامل یا ناقص‌بودن اتصالات
- سایر اشکالات مشاهده شده

٤-٤-٤- جداول بازدیدهای دوره‌ای

جهت انجام بازدیدهای دوره‌ای پیشنهاد می‌گردد جداولی مانند جداول ۴-۱ و ۴-۲ تهیه گردیده و در هر دوره با اطلاعات حاصل از بازدیدها تکمیل گردد.

٤-٥- سرویس دوره‌ای بانک خازنی

سرویس‌های دوره‌ای زیر باید برروی بانک‌های خازنی انجام گردد:

- کنترل وضعیت ظاهری مقرهها، یونیت‌های خازن و راکتورها و درصورت نیاز تمیزنمودن آنها
- کنترل و آچارکشی کلیه اتصالات ترمینال‌های فاز و استراکچر
- کنترل یونیت‌های خازن از نظر متورم‌بودن و نشتی روغن و آثار بروز جرقه
- اندازه‌گیری ظرفیت تک به تک یونیت‌های خازن
- کنترل و آچارکشی سیم اتصال زمین ازلحاظ شل‌شدگی و فرسودگی اتصالات و پارگی
- آزمایش مدارات فرمان و کنترل عملکرد و تنظیم‌های موردنیاز
- اندازه‌گیری جریان یا ولتاژ نقطه نوترال و تنظیم رله مربوطه

omoorepeyman.ir

جدول ٤-١- فرم پیشنهادی جهت بازدید هفتگی خازن

نام پست : **ولتاژ:** **شماره تجهیز:** **ظرفیت:**

موضوع بازدید / تاریخ بازدید	وضعیت ظاهری		نشتی روغن در سلول خازن‌ها		ترک و شکستگی مقره‌ها		وضعیت اتصالات		فیوزها و سلفهای محدودکننده			سایر اشکالات خازن	امضاء اپراتور بازدیدکننده	امضاء مسئول پست
	سالم	معیوب	دارد	ندارد	دارد	ندارد	کامل	ناقص	سالم	معیوب: فیوز	معیوب: سلف			

omoorepeyman.ir

جدول ٤-٢- فرم پیشنهادی جهت بازدید ماهیانه خازن

نام پست : **ولتاژ:** **شماره تجهیز:** **ظرفیت:**

موضوع بازدید / تاریخ بازدید	تمیزی مقره‌ها		وضعیت مقره‌ها		متورم بودن بدنه				نشتی روغن				آثار جرقه یا دود				اتصال سیم زمین به استراکچر		اتصالات		سایر موارد
	تمیز	نیاز به شستشو	سالم	معیوب	سالم	معیوب- شماره خازن			ندارد	دارد – شماره خازن			ندارد	دارد – شماره خازن			کامل	ناقص	کامل	ناقص	
		دارد / ندارد		A / B / C		A / B / C				A / B / C				A / B / C							

omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

1- IEC 60871, Shunt Capacitors for AC Power System Having A Rated Voltage Above 1000 V.
2- IEEE Std. 18-1992, IEEE Standard for Shunt Power Capacitors.
3- IEEE Std. 1036-1992, Guide for Application of Shunt Power Capacitors.
4- BS 1650 – 1971 , Amd 1 – Capacitors for Connection to Power Frequency System.
۵- استاندارد پست‌های (۳۳) ۲۰ /۱۳۲ کیلوولت معمولی _ جلد ۱۲۰۴، خازن‌های موازی، دفتر استانداردها.
۶- استاندارد تجهیزات بانک‌های خازنی ۲۰ و ۳۳ کیلوولت _ مطالعات پایه، اصول و معیارها، دفتر استانداردها.
۷- استاندارد تجهیزات بانک‌های خازنی ۲۰ و ۳۳ کیلوولت _ مشخصات فنی، دفتر استانداردها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

General Technical Specification and Execution Procedures for Transmission and Subtransmission Networks Shunt Capacitors of High Voltage Substations

NO: 504- 2

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System
http://tec.mporg.ir

Energy Ministry - Tavanir Co.
Power Industry Technical Criteria Project
www.tavanir.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

این نشریه

با عنوان "مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – خازن های موازی در پست‌های فشار قوی" جلد دوم از مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث مربوط به خازن های موازی شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی، آزمون های نوعی، آزمون های جاری و دستورالعمل های نگهداری و بهره برداری دستگاه های مزبور در پست های فشار قوی، ارائه شده است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir