جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال ترانسفورماتورهای قدرت در پست های فشار قوی(جلد دوم)

نشریه شماره ۲-۴۳۷

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس 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 ترانسفورماتورهای قدرت در پست های فشارقوی

نشریه شماره ۲– ۴۳۷

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس 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

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۰۰/۳۱۶۵۰
	تاریخ : ۱۳۸۷/۴/۸

موضوع :
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترانسفورماتورهای قدرت 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 ٤٢٣٣٩/ت ٣٣٤٩٧هـ ، مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۳۷ دفتر نظام فنی اجرایی ، در دو مجلد با عنوان «**مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – ترانسفورماتورهای قدرت 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.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

۴۸۶۷۰۱

omoorepeyman.ir

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 به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی – دفتر نظام فنی اجرایی) با همکاری وزارت نیرو – شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط 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 – ترانسفورماتورهای قدرت در پست های فشار قوی – جلد دوم» در بر گیرنده مباحث مربوط به معرفی و شناخت ترانسفورماتورهای قدرت و مشخصه های آن، معیارهای طراحی و انتخاب این گونه تجهیزات همراه با یک نمونه طراحی، آزمون های نوعی، جاری و ویژه، و دستوالعمل های بهره برداری و نگهداری 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

۱۳۸۷

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای قدرت در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۴۳۷

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسین مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندس پوریا معقولی، دکتر فرامرز رهبر و 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 حسین آخوندی	معاونت هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
آقای مهندس رحمت الله اکرم	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق
آقای دکتر عارف درودی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای دکتر فرامرز رهبر	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس پوریا معقولی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس سید حسن عرب اف	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس علی اصغر کساییان	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس احمدی پور	شرکت مشانیر
آقای مهندس رضا حیدر بزرگ	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای دکتر محمد کبیری	شرکت ایران ترانسفو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – دبیر کمیته فنی طرح

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 و کلیات

مقدمه ۳

۱-۱- کلیات ۳

۱-۲- ساختمان ترانسفورماتور قدرت ۳

۱-۲-۱- هسته ترانسفورماتور قدرت ۳

۱-۲-۲- سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور ۴

۱-۲-۳- تانک ترانسفورماتور ۵

۱-۳- سایر اجزاء ترانسفورماتور ۶

۱-۴- مشخصه‌های الکتریکی ترانسفورماتور ۶

۱-۵- تعاریف ۷

۱-۵-۱- سیم‌پیچ کمکی ۷

۱-۵-۲- سیم‌پیچ پایدار ساز ۷

۱-۵-۳- سیم‌پیچ مشترک ۷

۱-۵-۴- سیم‌پیچ سری ۷

۱-۵-۵- تپ اصلی ۷

۱-۵-۶- ضریب تپ ۷

۱-۵-۷- امپدانس اتصال کوتاه (امپدانس مشخصه / امپدانس درصد) ۸

۱-۵-۸- امپدانس مؤلفه صفر ۸

۱-۵-۹- حداکثر ولتاژ سیستم ۸

۱-۵-۱۰- موج ضربه کلیدزنی استاندارد ۸

۱-۵-۱۱- موج ضربه صاعقه استاندارد ۸

فصل دوم ـ معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور قدرت

مقدمه ۱۱

۲-۱- کلیات ۱۱

۲-۲- انتخاب نوع ترانسفورماتور ۱۲

omoorepeyman.ir

۲-۳- انتخاب ظرفیت ۱۳
۲-۴- امپدانس اتصال کوتاه ۱۴
۲-۵- سطوح عایقی ۱۵
۲-۶- میزان مجاز افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ ۱۷
۲-۷- نحوه اتصال و گروه‌برداری ۱۸
۲-۸- مشخصات تپ‌چنجر ۱۸
۲-۹- سطح نویز ۱۹
۲-۱۰- بوشینگها ۲۱
۲-۱۱- بارگیری از ترانسفورماتور قدرت ۲۱
۲-۱۲- تلفات در ترانسفورماتورهای قدرت ۲۲
۲-۱۳- ارزیابی اقتصادی ترانسفورماتور ۲۲
۲-۱۳-۱- عوامل مؤثر در قیمت ترانسفورماتور ۲۲
۲-۱۳-۲- مقایسه پیشنهادات مالی ۲۳
۲-۱۴- سایر موارد ۲۳
۲-۱۵- نمونه‌ای از طراحی و انتخاب مشخصه‌های ترانسفورماتور قدرت ۲۴
۲-۱۵-۱- حد مجاز افزایش درجه حرارت ۲۴
۲-۱۵-۲- سایر موارد ۲۵

فصل سوم ـ آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای قدرت

مقدمه ۲۹
۳-۱- آزمونهای جاری ۲۹
۳-۱-۱- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ ۲۹
۳-۱-۲- اندازه‌گیری نسبت تبدیل ولتاژ و کنترل گروه اتصال ۲۹
۳-۱-۳- اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات فاز ۳۰
۳-۱-۴- اندازه‌گیری جریان و تلفات بی‌باری ۳۰
۳-۱-۵- آزمونهای مربوط به تپ چنجر قابل تغییر زیربار ۳۱
۳-۱-۶- آزمون منبع مجزای AC ۳۱
۳-۱-۷- آزمون ولتاژ AC القایی ۳۲
۳-۱-۷-۱- آزمون ولتاژ AC القایی کوتاه‌مدت ۳۲
۳-۱-۷-۲- آزمون ولتاژ AC القایی بلندمدت ۳۶

omoorepeyman.ir

۳-۱-۸- آزمون ضربه صاعقه ۳۸
۳-۱-۸-۱- اتصالات آزمون ۳۹
۳-۱-۸-۲- ثبت آزمون ۴۰
۳-۱-۸-۳- معیارهای آزمون ۴۰
۳-۱-۹- آزمون موج کلیدزنی ۴۰
۳-۲- آزمونهای نوعی ۴۱
۳-۲-۱- آزمون افزایش درجه حرارت ۴۱
۳-۲-۱-۱- تعیین دمای روغن ۴۲
۳-۲-۱-۲- تعیین دمای متوسط سیم‌پیچ ۴۲
۳-۲-۲- آزمونهای نوعی عایقی ۴۳
۳-۳- آزمونهای ویژه ۴۳
۳-۳-۱- آزمونهای ویژه عایقی ۴۳
۳-۳-۲- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی بین سیم‌پیچها و سیم‌پیچ به زمین ۴۴
۳-۳-۳- تعیین مشخصات موج‌گذاری انتقالی ۴۴
۳-۳-۴- اندازه‌گیری امپدانس مؤلفه صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز ۴۴
۳-۳-۵- اندازه‌گیری هارمونیکهای جریان بی‌باری ۴۵
۳-۳-۶- اندازه‌گیری توان دریافتی پمپها و فنها ۴۵
۳-۳-۷- اندازه‌گیری مقاومت عایق سیم‌پیچها نسبت به زمین و/ یا اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی ۴۵
۳-۳-۸- آزمون تحمل اتصال کوتاه ۴۵
۳-۳-۸-۱- تحمل حرارتی جریان اتصال کوتاه ۴۵
۳-۳-۸-۲- تحمل دینامیکی جریان اتصال کوتاه ۴۶
۳-۳-۹- تعیین سطح صدا ۴۸

فصل چهارم ـ دستورالعملهای بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور قدرت

مقدمه ۵۵
۴-۱- کلیات ۵۵
۴-۲- نگهداری ۵۶
۴-۲-۱- بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور قدرت ۵۶
۴-۲-۲- بازدید هفتگی از ترانسفورماتور قدرت ۵۶
۴-۲-۳- بازدید ماهیانه از ترانسفورماتور قدرت ۵۷
۴-۲-۳-۱- بوشینگها ۵۷

omoorepeyman.ir

۴-۲-۳-۲- کنسرواتور ۵۸
۴-۲-۳-۳- محفظه سیلیکاژل ۵۸
۴-۲-۳-۴- رله بوخ‌هلتز ترانسفورماتور و تپ چنجر ۵۸
۴-۲-۳-۵- تانک اصلی ترانسفورماتور ۵۸
۴-۲-۳-۶- رادیاتورها، فن‌ها، پمپ‌ها ۵۸
۴-۲-۳-۷- ترمومتر روغن و سیم‌پیچ ۵۹
۴-۲-۳-۸- تابلوی مارشالینگ ۵۹
۴-۲-۳-۹- تپ چنجر ۵۹
۴-۳- سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت ۶۰
۴-۳-۱- وضعیت تانک ۶۰
۴-۳-۲- تپ چنجر قابل تغییر زیر بار ۶۰
۴-۳-۳- تپ چنجر بی‌بار ۶۱
۴-۳-۴- سیستم خنک‌کننده ۶۱
۴-۳-۵- تابلوی کنترل و جعبه ترمینال ۶۱
۶-۳-۶- بوشینگ‌ها ۶۱
۴-۳-۷- ترانسفورماتور جریان بوشینگی ۶۲
۴-۳-۸- دستگاه‌های حفاظتی و اندازه‌گیری ۶۲
۴-۳-۹- سیستم اعلام و اطفاء حریق ۶۳
۴-۳-۱۰- مهارتهای لازم ۶۳
۴-۳-۱۱- ابزار و لوازم مورد نیاز ۶۳
۴-۴- تعمیرات اساسی ترانسفورماتور قدرت ۶۳
۴-۴-۱- تانک ۶۳
۴-۴-۲- تپ چنجر تحت بار ۶۴
۴-۴-۳- مکانیزم عملکرد تپ چنجر ۶۵
۴-۴-۴- سیستم خنک‌کننده ۶۶
۴-۴-۵- آزمونها ۶۶
۴-۴-۶- مهارت‌های لازم ۶۷
۴-۴-۷- لوازم و ابزار مورد نیاز ۶۷

منابع و مراجع

omoorepeyman.ir

فصل ۱

اهداف، کلیات

omoorepeyman.ir

مقدمه

هدف از این فصل معرفی و شناخت ترانسفورماتورهای قدرت می‌باشد. همچنین مشخصه‌های عمومی ترانسفورماتورهای قدرت و تعاریف کلی مرتبط با آنها از دیگر مباحث این فصل خواهد بود.

۱-۱- کلیات

ترانسفورماتور ماشین استاتیکی است که ازطریق القای الکترومغناطیسی، ولتاژ و جریان متناوب الکتریکی را بدون تغییری در فرکانس بین دو یا چند سیم‌پیچ به مقادیر مختلف تبدیل می‌کند. ترانسفورماتورها در پستهای نیروگاهی به منظور بالابردن ولتاژ برای انتقال اقتصادی قدرت و در پستهای فوق‌توزیع و توزیع به منظور پایین‌آوردن ولتاژ به مقادیر موردنیاز و قابل مصرف بکار گرفته می‌شوند.

۱-۲- ساختمان ترانسفورماتور قدرت

ساختار یک ترانسفورماتور قدرت به طور کلی شامل یک هسته مغناطیسی است که دو یا چند سیم‌پیچ بر روی آن قرار گرفته‌اند. مجموعه هسته و سیم‌پیچ در داخل تانک قرار دارند.

۱-۲-۱- هسته ترانسفورماتور قدرت

هسته، مدار مغناطیسی ترانسفورماتور و مسیر اصلی عبور شار مغناطیسی است که از ورقه‌های نازک فولادی با درصد بالای سیلیکون که در کنار هم بطور فشرده قرار گرفته‌اند ساخته می‌شود.

این مجموعه تشکیل‌دهنده یک مسیر مغناطیسی پیوسته با حداقل فواصل هوایی بوده که دارای ضریب نفوذ مغناطیسی بالایی است. تلفات هیسترزیس در هسته به کمک عملیات حرارتی ویژه‌ای به حداقل ممکن می‌رسد و جهت کنترل تلفات گردابی، هسته بصورت لایه‌لایه که از هم عایق شده‌اند ساخته می‌شود.

بسته به نحوه قرارگرفتن سیم‌پیچها بر روی هسته عمدتاً ترانسفورماتورها را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

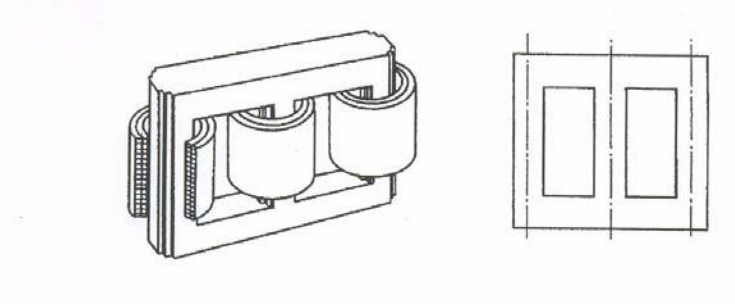
- ترانسفورماتورهای نوع هسته‌ای[1]

omoorepeyman.ir

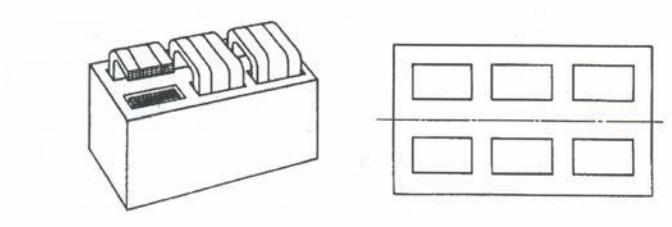
1 . Core type transformer

- ترانسفورماتورهای نوع زرهی[1]

همانطور که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود در ترانسفورماتورهای نوع هسته‌ای، سیم‌پیچها بخش اصلی هسته یعنی ستونها را دربرگرفته‌اند در حالیکه مطابق شکل (۱-۲) در ترانسفورماتورهای نوع زرهی، هسته سیم‌پیچها را دربر می‌گیرد.



شکل ۱-۱: ترانسفورماتور نوع هسته‌ای



شکل ۱-۲: ترانسفورماتور نوع زرهی

هسته ترانسفورماتورهای سه فاز عمدتاً از نوع هسته‌ای و سه ستونه با سطح مقطع یکسان بوده که سیم‌پیچهای مربوط به هر فاز روی یک ستون قرار می‌گیرند. در قدرتهای بالا و در نقاطی که محدودیت ارتفاع وجود داشته باشد می‌توان از هسته پنج ستونه نیز استفاده کرد که علاوه بر متعادل نمودن جریانهای مغناطیسی، باعث کاهش ارتفاع ترانسفورماتور می‌گردد. هسته پنج ستونه همچنین از نظر هارمونیکی کارایی بهتری داشته و مانع از بسته‌شدن شار ناشی از هارمونیک سوم از طریق تانک می‌گردد (در ترانسفورماتورهایی که اجازه چرخش هارمونیک در سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه وجود ندارد (به عنوان مثال در اتصال ستاره- ستاره).

تلفات هسته ترانسفورماتور شامل تلفات هیسترزیس و فوکو است که هر دو به جنس مواد هسته وابسته هستند. تلفات فوکو علاوه بر وابستگی به جنس مواد به مجذور ضخامت ورقه‌ها نیز بستگی دارد. بنابراین جهت کاهش تلفات هسته لازم است که اولاً تا حدامکان ضخامت ورقه‌ها را کاهش داد و ثانیاً از مواد مغناطیسی با ضریب مقاومت بالا استفاده کرد.

۱-۲-۲- سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور

سیم‌پیچها به همراه عایق‌بندی آن مهمترین قسمت یک ترانسفورماتور هستند که از مجموعه‌ای از حلقه‌های هادی تشکیل شده و حلقه‌های مختلف نسبت به یکدیگر و هسته عایق می‌باشند. مجموعه حلقه‌ها بر روی ستونهای هسته قرار می‌گیرند. معمولاً در ترانسفورماتورهای سه‌فاز، سیم‌پیچی‌های مختلف هر فاز روی ستون مربوطه به نحوی قرار می‌گیرند که متحدالمرکز بوده و به لحاظ

1 . Shell type transformer

omoorepeyman.ir

فنی حتی‌المقدور سیم‌پیچهای نزدیک به هسته دارای ولتاژ کمتری باشند. جنس هادی سیم‌پیچها به طور معمول مس و یا در پاره‌ای موارد آلومینیوم است. سیم‌پیچها بایستی درمجموع دارای خصوصیات زیر باشند:

- استحکام مکانیکی در مقابل نیروهای ناشی از اتصال کوتاه
- مقاومت حرارتی در مقابل حرارت حاصل از اتصال کوتاه و حالت کار عادی
- استحکام عایقی مناسب
- حداکثر هدایت الکتریکی

هادی‌های مورد استفاده معمولاً به دو صورت گرد و یا با مقطع مستطیلی با عایق مناسب هستند. از نظر نحوه پیچیدن، سیم‌پیچها به سه نوع عمده زیر تقسیم می‌شوند:

- سیم‌پیچ‌های لایه‌ای[۱]
- سیم‌پیچ‌های حلزونی[۲]
- سیم‌پیچ‌های دیسکی پیوسته[۳]

سیم‌پیچهای لایه‌ای معمولاً در جریانهای بالا و ولتاژهای پایین، سیم‌پیچهای حلزونی در جریانهای متوسط و سیم‌پیچهای دیسکی در ترانسفورماتورهای بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع چهارمی نیز موسوم به سیم‌پیچی سیلندری[۴] وجود دارد که معمولاً در تپ چنجرهای قابل تغییر زیر بار استفاده می‌شود.

۱-۲-۳- تانک ترانسفورماتور

اجزاء اصلی ترانسفورماتور مانند هسته و سیم‌پیچها در داخل ظرفی بنام تانک ترانسفورماتور قرار می‌گیرند. تانکها ازنظر سهولت و امکانات مورد نیاز برای قراردادن[۵] و خارج‌نمودن[۶] قسمت اکتیو ترانسفورماتور (مجموعه هسته و سیم‌پیچها) به دو نوع معمولی[۷] و زنگی[۸] تقسیم می‌شوند. در طرح معمولی، درپوش تانک از بالای آن باز شده در حالیکه در نوع زنگی محل اتصال بین درپوش و بدنه تانک در قسمت تحتانی قرار گرفته و بدون نیاز به جابجایی هسته و سیم‌پیچ امکان دسترسی به آنها میسر است. برای بازرسی دقیق مجموعه هسته و سیم‌پیچ در طرح معمولی لازم است که کل مجموعه از داخل تانک بیرون آورده شود. درعین حال مشکلات مرتبط با نشتی روغن در قسمت اتصال، استفاده از تانکهای نوع زنگی را محدود می‌سازد.

ابعاد تانک ترانسفورماتور با افزایش قدرت ترانس افزایش می‌یابد. همچنین افزایش سطح ولتاژ باعث افزایش فاصله عایقی بین سیم‌پیچها و نیز افزایش ابعاد هسته می‌شود که در نتیجه باعث افزایش ابعاد تانک ترانسفورماتور می‌گردد. با این حال ابعاد ترانسفورماتورها درنهایت به حدود مجاز حمل و نقل محدود می‌گردد.

1 . Layer type winding
2 . Helical type winding
3 . Continuous disc type winding
4 . Cylindrical winding
5 . Tanking
6 . Untanking
7 . Conventional type
8 . Bell type

omoorepeyman.ir

۱-۳- سایر اجزاء ترانسفورماتور

از دیگر اجزاء اصلی ترانسفورماتور می‌توان به بوشینگها و تپ چنجر اشاره نمود. بوشینگها به منظور عبور سیم‌پیچهای داخل ترانسفورماتور به خارج از تانک و جهت ارتباط با شبکه استفاده می‌شوند که از یک هادی در داخل یک استوانه عایقی تشکیل شده است. از تپ چنجر به منظور کنترل دامنه ولتاژ سیم‌پیچها استفاده می‌شود که دارای دو نوع زیربار[1] و بدون بار[2] می‌باشد.

سایر اجزاء و تجهیزات نصب‌شده بر روی ترانسفورماتور عبارتند از: رله بوخهلتس، ترمومتر اندازه‌گیری درجه حرارت روغن، ترمومتر اندازه‌گیری درجه حرارت سیم‌پیچها، نمایشگر میزان روغن، شیر فشارشکن، فنها، پمپهای روغن، ترانسفورماتورهای جریان بوشینگی، تابلوهای کنترل، شیرهای روغن، نقاط هواگیری، رادیاتورها، کنسرواتور، لوله‌های ارتباطی، سیستم تنفسی (رطوبت‌گیر)، چرخها، حلقه‌های بلندکردن و کشیدن، نردبان و غیره.

۱-٤- مشخصه‌های الکتریکی ترانسفورماتور

اعمال ولتاژ سینوسی به ترانسفورماتور باعث ایجاد فوران مغناطیسی در هسته شده که این فوران خود موجب القای ولتاژ در سیم‌پیچ دیگر می‌گردد. فوران ایجادشده دارای مشخصه سینوسی است.

جریان بی‌باری را می‌توان به دو مؤلفهٔ هم فاز با ولتاژ القایی و مؤلفه عمود برآن (۹۰ درجه پس فاز نسبت به آن) تجزیه کرد. مؤلفه هم فاز جهت تأمین تلفات هیسترزیس و فوکو از شبکه است که در مجموع تلفات هسته نامیده می‌شوند. مؤلفه دوم که وظیفه آن مغناطیس کردن هسته است جریان مغناطیس‌کنندگی نام دارد.

به دلیل خاصیت مغناطیسی غیرخطی هسته، این جریان غیرسینوسی و حاوی هارمونیکهای فرد است که از بین آنها هارمونیک مرتبه سوم نیازمند توجه ویژه‌ای است و بایستی مسیری برای عبور این هارمونیک وجود داشته باشد که این امر در حالت سه فاز به کمک نحوه اتصال سیم‌پیچها برآورده می‌شود.

تلفات هسته جدای از تلفات هیسترزیس و فوکو شامل تلفات دی‌الکتریک و تلفات مسی ناشی از عبور جریان بی‌باری نیز می‌باشد که در عمل به دلیل کوچک بودن این دو مؤلفه، از آنها صرفنظرشده و تلفات هسته برابر تلفات آهن (فوکو و هیسترزیس) در نظر گرفته می‌شود.

در حالت بارداری، فوران مغناطیسی ناشی از جریان ثانویه در هسته ایجاد شده که فوران بار نامیده می‌شود و با جریان بار همفاز است. درعین حال جریان اولیه فورانی ایجاد می‌کند که از نظر مقدار برابر با فوران ثانویه ولی در فاز مخالف با آن می‌باشد که یکدیگر را خنثی کرده و هسته از نظر وضعیت مغناطیسی مانند حالت بی‌باری خواهد بود. به همین دلیل تلفات هسته (آهن) وابسته به بار نیست. سایر تلفات موجود در حالت بارداری شامل تلفات مس در هر دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه، تلفات فوکو در سیم‌ها و تلفات پراکندگی در تانک و هسته می‌باشد.

ازنظر مداری، ترانسفورماتور به کمک یک امپدانس سری که منجر به افت ولتاژ در ثانویه می‌شود و یک شاخه موازی که مدل‌کننده جریان مغناطیسی و تلفات هسته است مدل می‌گردد. در بسیاری از مطالعات شبکه می‌توان از شاخه موازی صرفنظر کرد و

1 . ON – Load
2 . Off – Load

omoorepeyman.ir

ترانسفورماتور را تنها به کمک یک امپدانس سری مدل کرد. مقادیر امپدانسهای سری و موازی ترانسفورماتور را می‌توان به کمک آزمایشهای مدار باز و اتصال کوتاه تعیین کرد.

۱-۵- تعاریف

۱-۵-۱- سیم‌پیچ کمکی[1]

سیم‌پیچی که صرفاً جهت تغذیه بارهای کوچک در مقایسه با توان نامی ترانسفورماتور استفاده می‌شود.

۱-۵-۲- سیم‌پیچ پایدارساز[2]

سیم‌پیچ جانبی با اتصال مثلث که در ترانسفورماتورها با اتصال ستاره- ستاره یا ستاره- زیگزاگ جهت کاهش امپدانس مؤلفه صفر استفاده می‌شود.

۱-۵-۳- سیم‌پیچ مشترک

بخش مشترک سیم‌پیچ بین اولیه و ثانویه در اتوترانسفورماتور.

۱-۵-٤- سیم‌پیچ سری

بخشی از سیم‌پیچ یک اتوترانسفورماتور که بصورت سری در مدار قرار می‌گیرد.

۱-۵-۵- تپ اصلی[3]

تپی که در آن مقادیر ولتاژها برابر مقادیر نامی خود هستند.

۱-۵-٦- ضریب تپ[4]

ضریب تپ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{ضریب تپ} = \frac{U_d}{U_r}$$

که در آن:

U_r: ولتاژ نامی سیم‌پیچ

U_d: ولتاژی که در حالت بی‌باری در دو سر سیم‌پیچ دارای تپ به ازای اعمال ولتاژ نامی به سیم‌پیچ فاقد تپ ایجاد می‌شود.

omoorepeyman.ir

1 . Auxiliary winding
2 . Stabilizing winding
3 . Principal tapping
4 . taping factor

۱-۵-۷- امپدانس اتصال کوتاه (امپدانس مشخصه/ امپدانس درصد)

امپدانس معادل سری در فرکانس نامی و دمای مبنا بین ترمینالهای یک سیم‌پیچ در حالیکه سیم‌پیچ دیگر اتصال کوتاه شده است برحسب اهم (اهم بر فاز). درصورتیکه ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچ سوم باشد این سیم‌پیچ مدار باز خواهد بود.

۱-۵-۸- امپدانس مؤلفه صفر

امپدانس بین ترمینالهای خط سیم‌پیچهای با اتصال ستاره یا زیگزاگ که به هم متصل شده‌اند و ترمینال نوترال در فرکانس نامی و برحسب اهم بر فاز.

۱-۵-۹- حداکثر ولتاژ سیستم

حداکثر ولتاژ مؤثر فاز به فاز است که تحت شرایط عادی کار سیستم، در هر نقطه از شبکه و در هر لحظه ممکن است بوجود آید.

۱-۵-۱۰- موج ضربه کلیدزنی استاندارد

یک موج ضربه ولتاژ که دارای زمان پیک ۲۵۰ میکروثانیه و زمان پشت موج ۲۵۰۰ میکروثانیه می‌باشد.

۱-۵-۱۱- موج ضربه صاعقه استاندارد

یک موج ضربه ولتاژ که دارای زمان پیک ۱/۲ میکروثانیه و زمان پشت موج ۵۰ میکروثانیه می‌باشد.

omoorepeyman.ir

ĥ فصل

ƙlUɋpzl ÆɛsɗzHūǫ p ÆfIƐĂ åłaʒLɯ̈ūǫ

ت3ɗa̱ 3Ǹ°lǫ3ǸÄ̈ʂzlƐ°

omoorepeyman.ir

مقدمه

دراین فصل نحوه طراحی و انتخاب ترانسفورماتورهای قدرت در پستهای فشارقوی ارائه می‌شود و در انتهای فصل یک نمونه طراحی نیز ارائه خواهد شد.

۲-۱- کلیات

تعیین مشخصات فنی مورد نیاز جهت سفارش ترانسفورماتور شامل پارامترهای زیر بوده که طراح بایستی مقادیر مناسب آنها را با توجه به نیازمندیها و ویژگیهای پروژه، انتخاب نماید:

- مشخصات سیستم شامل ویژگیهای شبکه‌ای که ترانسفورماتور در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد همچون سطح ولتاژ
- شرایط بهره‌برداری همچون شرایط محیطی محل نصب
- نوع ترانسفورماتور، گروه برداری، بیرونی یا داخلی بودن آن
- ولتاژهای نامی و سطوح عایقی سیم‌پیچها و بوشینگها
- قدرت نامی ترانسفورماتور در شرایط مختلف
- امپدانس درصد
- مقادیر مجاز افزایش درجه حرارت
- مشخصات سیستم خنک‌کنندگی
- مشخصات تپ چنجر و تنظیم‌کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR)
- مشخصات بوشینگها، ازجمله فواصل خزشی و ترانسفورماتورهای جریان بوشینگی
- تحمل اتصال کوتاه ترانسفورماتور
- هزینه تلفات جهت ارزیابی در فرایند مناقصه و جریمه در صورت بیشتر بودن تلفات نسبت به مقدار گارانتی شده
- مشخصات سیستم تغذیه کمکی
- سیستمهای جانبی مورد نیاز همچون سیستم مونیتورینگ بلادرنگ روغن، سیستم اطفاء حریق و غیره

در انتخاب مشخصات ترانسفورماتور، طراحی بایستی به ویژگیهای خاص مناطق مختلف کشور همچون محدودیتهای ارتفاع حمل در بعضی نقاط و یا حداکثر وزن قابل تحمل در پاره‌ای مناطق و استانداردهای ملی همچون فواصل بین ریلها توجه داشته باشد.

در انتخاب ترانسفورماتورها، ویژگیهای شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور در آن نصب می‌شود باید درنظر گرفته شود. مهمترین این ویژگیها عبارتند از: ولتاژ نامی سیستمی که به اولیه و ثانویه ترانسفورماتور متصل می‌شود، حداکثر ولتاژهای ممکن در شبکه، فرکانس نامی سیستم، گروه‌برداری شبکه، ولتاژهای تغذیه سیستم‌های AC و DC پست، قدرت اتصال کوتاه شبکه و جزئیات مربوط به نحوه زمین کردن پست.

omoorepeyman.ir

جدای از این مسائل شرایط آب و هوایی محل نصب ترانسفورماتور بر طرح و انتخاب آن تأثیر زیادی دارد. معمولاً ترانسفورماتورهایی که در یک شرایط جغرافیائی خاص و برای قدرت نامی معینی طراحی شده‌اند، چنانچه در شرایط جغرافیائی نامناسب‌تری (ارتفاع بیشتر و یا درجه حرارت محیط بالاتر) نصب و مورد بهره‌برداری قرار گیرند قادر به تحویل قدرت نامی در محل جدید نخواهند بود. پیری زودرس نیز یکی دیگر از عواملی است که ترانسفورماتور می‌تواند با آن مواجه شود. بنابراین در انتخاب و طراحی ترانسفورماتور بایستی شرایط محیطی بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفته و دخالت داده شوند.

ترانسفورماتورهای قدرت مورد استفاده در شبکه ایران از نوع روغنی و دارای فرکانس نامی ۵۰ هرتز، از نوع هسته‌ای و دارای ولتاژهای نامی مطابق با ولتاژهای نامی شبکه ایران می‌باشند که این ولتاژها به همراه حداکثر ولتاژ سیستم در جدول (۲-۱) آمده است.

ترانسفورماتورها می‌توانند در محوطه باز و یا در محوطه بسته نصب شوند و لذا به دو نوع بیرونی و داخلی تقسیم‌بندی می‌شوند که بسته به محل پست و مشخصات محیطی می‌توان نوع مناسب را انتخاب کرد.

جدول ۲-۱: ولتاژهای نامی و حداکثر ولتاژ سیستم

حداکثر ولتاژ سیستم (kV)	ولتاژ نامی (kV)
۲۴	۲۰
۳۶	۳۳
۷۲/۵	۶۳(۶۶)
۱۴۵	۱۳۲
۲۴۵	۲۳۰
۴۲۰	۴۰۰

۲-۲- انتخاب نوع ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهای مورد استفاده در پستهای فشار قوی از نقطه‌نظر نحوه کوپلاژ بین سیم‌پیچها به دو صورت سیم‌پیچ جداگانه و اتوترانسفورماتور تقسیم می‌گردند. هرچه نسبت تبدیل به یک نزدیکتر شود به دلیل کاهش مس مصرفی، استفاده از اتوترانسفورماتور دارای توجیه اقتصادی قویتری خواهد بود.

با وجود مزیت اقتصادی ذکرشده، پاره‌ای معایب همچون تحت تنش قرارگرفتن سیم‌پیچ ثانویه توسط اولیه بعلت وجود اتصال الکتریکی، پایین‌بودن امپدانس اتصال کوتاه، مشترک بودن نوترال اولیه و ثانویه و ... باعث محدودشدن استفاده از اتوترانسفورماتورها در شبکه می‌شود. به هر حال، در نسبت تبدیلهای کمتر از ۲ (۴۰۰/۲۳۰، ۲۳۰/۱۳۲ و ۱۳۲/۶۳) بسته به نظر طراح استفاده از اتو ترانسفورماتور می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

بعلت وجود مشکلاتی در حمل و نقل و ساخت، ترانسفورماتورها با ظرفیتهای بالا، معمولاً بصورت سه ترانسفورماتور تکفاز ساخته می‌شوند. در نصب ترانسفورماتورهای تک فاز بجای سه فاز، هزینه‌های مربوط به اتصالات و فونداسیون بیشتر خواهد بود. هزینه و تلفات ترانسفورماتورهای تکفاز در برابر ترانسفورماتور مشابه سه‌فاز بیشتر بوده و درمجموع استفاده از ترانسفورماتورهای سه‌فاز اقتصادی‌تر است. با این حال درمواردی که محدودیت حمل و نقل وجود داشته باشد ناچاراً بایستی از سه ترانسفورماتور تکفاز بجای یک ترانسفورماتور سه فاز استفاده کرد. استفاده از سه ترانسفورماتور تکفاز این مزیت را نیز داراست که در هنگام بروز مشکل در یک سیم‌پیچ می‌توان از بانک سه‌فاز بصورت مثلث باز بهره‌برداری کرد و یا با تأمین یک ترانسفورماتور اضافه بصورت رزرو مدت زمانی خاموشی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد که این امر در پستهای کلیدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بطور خلاصه طراح بایستی با مقایسه هزینه‌های حمل و نقل و ساخت و معیارهای قابلیت اطمینان نسبت به سه فاز یا تکفاز بودن ترانسفورماتور تصمیم گیرد.

در ترانسفورماتورها با اتصال ستاره ـ ستاره و یا اتوترانسفورماتورها معمولاً سیم‌پیچ سومی با اتصال مثلث درنظر گرفته می‌شود که کاربرد آن به شرح زیر می‌باشد:

- حذف هارمونیک سوم جریان بی‌باری
- امکان بارگیری نامتقارن و ایجاد تعادل در اتصال کوتاههای فاز به زمین
- کاهش امپدانس صفر سیم‌پیچهای ستاره
- اتصال به بارهای محلی، وسایل جبرانساز و یا ترانسفورماتور زمین

۲-۳- انتخاب ظرفیت

ظرفیت نامی ترانسفورماتورها براساس ظرفیت پست و با توجه به مطالعات پخش‌بار و برنامه‌ریزی سیستم و نیز پیش‌بینی بار تعیین می‌گردد. در مجموع پارامترهای زیر را می‌توان به عنوان فاکتورهای مؤثر در انتخاب ظرفیت ترانسفورماتور نام برد:

- ظرفیت پست در ابتدا و ظرفیت نهایی پیش‌بینی‌شده
- محدودیتهای حمل و نقل
- سطح ولتاژ پست
- مسائل اقتصادی و تنوع‌زدایی
- نوع ترانسفورماتور (سیم‌پیچ مجزا یا اتوترانس)
- میزان مصرف داخلی پست
- تصمیم درمورد تعداد ترانسفورماتورهای پست
- سایر موارد

با توجه به تجربه و سابقه تولیدات موجود در کشور پیشنهاد می‌شود جهت برآورده‌سازی اهداف تنوع‌زدایی درنهایت ظرفیت ترانسفورماتورها از ظرفیتهای مندرج در جدول (۲-۲) انتخاب شود.

omoorepeyman.ir

توان نامی سیم‌پیچ ثالثیه براساس چگونگی استفاده از این سیم‌پیچ تعیین می‌گردد. این سیم‌پیچ یک سیم‌پیچ فرعی بوده و ظرفیت دائمی آن به صورت جزئی از ظرفیت سیم‌پیچهای اصلی می‌باشد. در انتخاب ظرفیت سیم‌پیچ سوم بایستی به قابلیت تحمل مکانیکی آن در شرایط اتصال کوتاه، توانهای خارجی متصل شده به سیم‌پیچ همچون راکتورهای موازی، جریانهای هارمونیکی و جریانهای ناشی از عدم تعادل فازها توجه کرد. ظرفیت مناسب پیشنهادی سیم‌پیچ سوم به طور معمول بین یک سوم تا یک ششم ظرفیت ترانس می‌باشد. با توجه به مشکلات حفاظتی که اتصال بار خارجی به سیم‌پیچ سوم ایجاد می‌کند، توصیه می‌شود از این سیم‌پیچ برای تغذیه بارهای خارجی استفاده نشود. به این ترتیب کاربرد این سیم‌پیچ به موارد ایجاد مسیری برای چرخش جریان هارمونیک سوم، ایجاد تعادل مغناطیسی در هسته و امکان بارگیری نامتقارن و کاهش امپدانس مؤلفه صفر ترانسفورماتور محدود می‌شود. جهت تعیین دقیق ظرفیت این سیم‌پیچ می‌توان به مرجع [۲۲] مراجعه کرد.

در حفاظت و بارگیری از سیم‌پیچ سوم ملاحظات خاصی بایستی رعایت گردد که در گزارش "بررسی سیم‌پیچ سوم ترانسفورماتورهای قدرت در شبکه انتقال" تهیه شده توسط دفتر فنی و نظارت انتقال شرکت توانیر به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

جدول ۲-۲: ظرفیتها و امپدانسهای اتصال کوتاه پیشنهادی در ترانسفورماتورهای قدرت

امپدانس اتصال کوتاه (درصد)	ظرفیت (مگاولت آمپر)	سطح ولتاژ (کیلوولت)
۱۲/۵	۳ × ۱۶۶/۷ (۵۰۰)	۴۰۰ / ۲۳۰ / ۲۰(۳۳)
۱۲	۳۱۵	
۱۲	۲۰۰	
۱۲/۵	۲۰۰	۴۰۰ / ۱۳۲ / ۲۰(۳۳)
۱۳	۲۰۰	۴۰۰ / ۶۳ (۶۶)/ ۲۰(۳۳) ۴۰۰/۶۳
۱۶	۸۰ و ۱۲۵ و ۱۶۰	۲۳۰ / ۱۳۲ / ۲۰(۳۳)
۱۲/۵	۸۰ و ۱۲۵	۲۳۰ / ۶۳(۶۶) / ۲۰(۳۳)
۱۶	۱۶۰	۲۳۰/۶۳(۶۶)
۱۰	۱۵	۱۳۲ / ۲۰(۳۳)
۱۲/۵	۳۰	
۱۲/۵	۴۰	
۱۲/۵	۴۰	۶۳ (۶۶)/ ۲۰(۳۳)
۱۳/۵	۳۰	
۱۳/۵	۱۵	
۱۳/۵	۷/۵	

۲-٤- امپدانس اتصال کوتاه (U_K%)

امپدانس اتصال کوتاه معمولاً برحسب درصدی از ولتاژ نامی بیان می‌شود (امپدانس ولتاژ) و عبارتست از ولتاژ لازم با فرکانس نامی جهت اعمال به یک سیم‌پیچ به منظور جاری‌شدن جریان نامی در آن در حالیکه سیم‌پیچ دیگر اتصال‌کوتاه شده باشد.

omoorepeyman.ir

در انتخاب میزان امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورها عوامل مختلفی به شرح زیر مؤثر است:

- تنظیم ولتاژ در شبکه باتوجه به افت ولتاژ دو سر ترانسفورماتور
- کنترل سطوح اتصال کوتاه در شبکه
- پایداری شبکه
- تأثیر در ساخت و اندازه ترانسفورماتور

ازنظر معیارهای اول و سوم امپدانسهای پایین و از نقطه‌نظر معیار دوم امپدانسهای بالا مناسب می‌باشند، اما باتوجه به محدودیتهای ساخت حد بهینه‌ای وجود دارد که به سطح ولتاژ و ظرفیت و هزینه‌های مس و آهن ترانسفورماتور وابسته است.

انتخاب امپدانسهای پایین باعث عبور جریان اتصال کوتاه بالائی از ترانسفورماتور شده و باید متناسب با آن سطح استقامت مکانیکی بالائی تأمین گردد و از طرف دیگر انتخاب امپدانسهای بالا باعث افت ولتاژ زیادی در ترانسفورماتور می‌شود. این عوامل به همراه عوامل مرتبط با ساخت، حدودی برای مقادیر امپدانس ولتاژ تعیین می‌کند و بطور کلی می‌توان مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۲) را جهت امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای مختلف پیشنهاد کرد. بایستی دقت کرد که امپدانسهای ارائه شده صرفاً پیشنهادی بوده و بسته به نیازمندیهای یک پروژه، طراح می‌بایستی امپدانس درصد مناسب را انتخاب کند. طبیعی است در مواردی که سطح اتصال کوتاه بالا مطلوب باشد (مثل تغذیه بارهای موتوری بزرگ یا کوره‌های الکتریکی) می‌توان از امپدانسهای کوچکتری استفاده نمود و در مواردی که هدف محدودسازی جریان اتصال کوتاه است می‌بایستی از امپدانسهای بزرگتری بهره گرفت.

لازم به ذکر است که ترانسفورماتورهای قدرت بایستی در شرایط اتصال کوتاههای کوتاه‌مدت (۲ثانیه)، استقامت دینامیکی و حرارتی لازم را داشته باشند. در شرایط اتصال کوتاه دمای سیم‌پیچهای مسی می‌تواند تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (استاندارد IEC شماره ۵-۶۰۰۷۶).

۲-۵- سطوح عایقی

کلیه تجهیزات فشارقوی منجمله ترانسفورماتورها تحت تأثیر اضافه ولتاژهای بوجود آمده در سیستم قرار می‌گیرند. سیم‌پیچ ترانسفورماتورها در مقابل این اضافه ولتاژها و نیز القاء الکترومغناطیسی یا الکترواستاتیکی این امواج از سیم‌پیچی به سیم‌پیچ دیگر، حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهد. بنابراین علاوه براینکه ترانسفورماتورها به کمک تجهیزاتی از قبیل برقگیرها حفاظت می‌شوند، خود نیز بایستی بتوانند تا حدودی این اضافه ولتاژها را تحمل کنند. بدین‌لحاظ انتخاب سطوح عایقی ترانسفورماتورها (داخلی: سیم‌پیچها و خارجی: بوشینگها) به عنوان بخشی از مطالعات هماهنگی عایقی مطرح می‌گردد.

انتخاب سطوح عایقی مناسب برای ترانسفورماتورها نقش مهمی در هزینه ساخت آن خواهد داشت. سطوح عایقی سیم‌پیچها از آنجا که تحت تأثیر شرایط محیطی قرار ندارند نیازی به کاربرد فاکتورهای تصحیح در آنها نبوده اما سطوح عایقی خارجی (بوشینگها) باید با توجه به شرایط محیطی محل نصب ترانسفورماتور انتخاب شوند.

به طور معمول سطح عایقی بوشینگها را یک مرتبه بالاتر از سطح عایقی سیم‌پیچ درنظر می‌گیرند. جدول (۲-۳) مقادیر سطوح عایقی پیشنهادی برای سیم‌پیچها و جدول (۲-۴) مقادیر پیشنهادی برای بوشینگهای ترانسفورماتور را نشان می‌دهد. حداکثر ولتاژ

omoorepeyman.ir

سیستم باتوجه به جدول (۲-۱) تعیین می‌شود و انتخاب بین مقادیر مختلف در جداول (۲-۳) و (۲-۴) به کمک مطالعات هماهنگی عایقی انجام می‌شود.

جدول ۲-۳: سطوح عایقی سیم‌پیچها

حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه (کیلوولت پیک)	ولتاژ تحمل AC القایی یا منبع مجزای کوتاه مدت (کیلوولت مؤثر)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه کلیدزنی فاز به زمین (کیلوولت پیک)
۲۴	۹۵ / ۱۲۵	۵۰	ـــــ
۳۶	۱۴۵ / ۱۷۰	۷۰	ـــــ
۷۲/۵	۳۲۵	۱۴۰	ـــــ
۱۴۵	*۴۵۰ /۵۵۰/ ۶۵۰	۱۸۵ /۲۳۰/ ۲۷۵	ـــــ
۲۴۵	(۶۵۰) / (۷۵۰) / ۸۵۰ / ۹۵۰ / ۱۰۵۰	۳۲۵ / ۳۶۰ / ۳۹۵ / ۴۶۰	(۵۵۰) / (۶۵۰) /(۷۵۰) / (۸۵۰)
۴۲۰	۱۰۵۰ / ۱۱۷۵ / ۱۳۰۰ / ۱۴۲۵ / ۱۵۵۰	۴۶۰ / ۵۱۰ / ۵۷۰ / ۶۳۰	۸۵۰ / ۹۵۰ / ۱۰۵۰ / (۱۱۷۵)

* درصورت درنظر گرفتن این سطح عایقی لازم است آزمون تحمل فاز به فاز انجام شود.

جدول۲-٤: سطوح عایقی بوشینگها

حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه (کیلوولت پیک)	ولتاژ تحمل AC القایی یا منبع مجزای کوتاه مدت (کیلوولت مؤثر)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه کلیدزنی فاز به زمین (کیلوولت پیک)
۲۴	۹۵ / ۱۲۵ / ۱۴۵	۵۰ / ۷۰	ـــــ
۳۶	۱۴۵ / ۱۷۰ / ۲۵۰	۷۰ / ۹۵	ـــــ
۷۲/۵	۳۲۵ / ۴۵۰	۱۴۰ / ۱۸۵	ـــــ
۱۴۵	۴۵۰ /۵۵۰/ ۶۵۰ / ۷۵۰	۱۸۵ /۲۳۰/ ۲۷۵ / ۳۲۵	ـــــ
۲۴۵	(۶۵۰)/(۷۵۰)/۸۵۰/۹۵۰/۱۰۵۰/۱۱۷۵	۳۲۵ / ۳۶۰ / ۳۹۵ / ۴۶۰ / ۵۱۰	(۵۵۰)/(۶۵۰)/(۷۵۰)/(۸۵۰)/(۹۵۰)
۴۲۰	۱۰۵۰/۱۱۷۵/۱۳۰۰/۱۴۲۵/۱۵۵۰/۱۶۷۵	۴۶۰ / ۵۱۰ / ۵۷۰ / ۶۳۰ /۶۸۰	۸۵۰/۹۵۰/۱۰۵۰/(۱۱۷۵)/(۱۳۰۰)

یادآوری: مقادیر داخل پرانتز با استاندارد هماهنگی عایقی IEC شماره ۱-۶۰۰۷۱ مطابقت ندارد با این حال در برخی کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نحوه عایق‌بندی نوترال ترانسفورماتور به چگونگی زمین‌کردن این نقطه در سیستم بستگی دارد. مطابق استاندارد IEC شماره ۳-۶۰۰۷۶ تحمل عایقی نوترال درصورتیکه مستقیماً زمین شود در حد ۳۸ کیلوولت کافی است و در این صورت می‌توان از عایقبندی کاهش داده شده تدریجی یا ناهمگون استفاده نمود در حالیکه اگر نوترال ایزوله باشد عایق‌بندی کامل یا همگون ضرورت پیدا می‌کند. با این حال توصیه می‌شود که سطح عایقی نوترال برابر ۵۰ کیلوولت انتخاب شود.

استاندارد IEC مسئولیت تعیین سطح عایقی نوترال زمین‌نشده را برعهده خریدار گذارده و این مقدار بایستی از بین مقادیر جدول (۲-۳) انتخاب شود. در هر صورت ولتاژ تحمل فرکانس قدرت نوترال ایزوله بایستی بزرگتر از بیشترین اضافه ولتاژی باشد که ممکن است در شرایط خطا روی دهد.

omoorepeyman.ir

۲-٦- میزان مجاز افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ

تلفاتی که در اثر اعمال ولتاژ و بارگیری در هسته و سیم‌پیچهای ترانسفورماتورها ایجاد می‌شود به گرما تبدیل شده و درجه حرارت را بالا می‌برد. استاندارد IEC شماره ۲-۶۰۰۷۶ حدود مجاز افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ و روغن در شرایط محیطی استاندارد (حداکثر درجه حرارت مطلق معادل ۴۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه ۳۰ درجه و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) را مطابق جدول (۲-۵) توصیه کرده است.

جدول ۲-۵: حدود مجاز افزایش درجه حرارت

اجزاء ترانسفورماتور	حداکثر افزایش دما (درجه سانتی‌گراد)
سیم‌پیچها (عایق کلاس A و اندازه‌گیری با روش مقاومت)	۶۵
روغن سطح بالای مخزن (اندازه‌گیری به کمک ترمومتر)	۶۰: وقتی ترانسفورماتور مجهز به منبع انبساط روغن است. ۵۵: وقتی که ترانسفورماتور مجهز به منبع انبساط نیست یا بصورت تانک بسته است.
هسته، قسمتهای فلزی و سایر قسمتها	تا حدی که به هسته، اجزاء فلزی و تجهیزات جانبی آسیبی نرسد.

اگر ترانسفورماتور در نقاطی با درجه حرارتهای بیشتر از مقادیر استاندارد نصب شود، میزان افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ بایستی دقیقاً به مقدار درجه حرارت افزایش یافته محیط نسبت به شرایط استاندارد کاهش داده شود.

چنانچه ترانسفورماتور برای پستی طراحی گردد که ارتفاع آن از ۱۰۰۰ متر بیشتر باشد و به سیستم خنک‌کنندگی گردش طبیعی هوا مجهز باشد، مقدار افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ و روغن بایستی به میزان یک درجه سانتی‌گراد به ازاء هر ۴۰۰ متر افزایش ارتفاع، کاهش داده شود و اگرترانسفورماتور دارای سیستم خنک‌کنندگی با گردش اجباری هوا باشد بایستی این مقادیر به ازاء هر ۲۵۰ متر افزایش ارتفاع، یک درجه سانتی‌گراد کاهش داده شوند.

سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتور وظیفه محدود نگهداشتن افزایش درجه حرارت ترانسفورماتور را دارد چرا که افزایش درجه حرارت باعث آسیب به عایقها می‌شود. اگر ترانسفورماتوری در چند حالت مختلف از سیستم خنک‌کنندگی کار کند، همه حالات کار سیستم را به ترتیب از چپ به راست می‌نویسند مثل ONAN / ONAF / OFAF. در هر حال ترانسفورماتور ظرفیت نامی خود را در آخرین مرحله سیستم خنک‌کنندگی ارائه می‌دهد. در قدرتهای پایین تا حد ۱۵ مگاولت‌آمپر، سیستم‌های خنک‌کنندگی طبیعی به علت سادگی، استحکام و قابلیت اطمینان بالا بهترین طرح می‌باشد ولی در قدرتهای بالاتر اقتصادی نیستند. استفاده از سیستم گردش اجباری هوا (ONAF) ظرفیت ترانسفورماتور را ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به حالت ONAN افزایش می‌دهد و لذا در قدرتهای متوسط و در همه سطوح ولتاژ کاربرد وسیعی دارد. با استفاده از گردش اجباری روغن این امکان فراهم می‌شود که درجه حرارت متوسط بالاتری برای سیم‌پیچ انتخاب گردد. در یک طراحی استاندارد و متعادل، تغییر ظرفیت ۲۰ تا ۳۰ درصد به ازاء هر مرحله بالاتر سیستم خنک‌کنندگی منطقی می‌باشد. سیستمهای خنک‌کننده آبی کاربرد چندانی در پستهای معمولی ندارد ولی درطرح پستهای زیرزمینی می‌توان از این نوع سیستم استفاده نمود.

در انتخاب نوع سیستم خنک‌کنندگی بایستی دقت کرد که سیستمهای گردش اجباری روغن (OF) و یا گردش اجباری جهت داده شده (OD) سیستمهای پیچیده‌ای بوده و نسبت به سیستمهای گردش اجباری هوا (AF) فرآیند تعمیر و نگهداری مشکل‌تری

omoorepeyman.ir

دارند. لذا با توجه به ملاحظات بهره‌برداری، سیستمهای (AF) بر سیستمهای (OF یا OD) ارجح‌تر می‌باشند. همچنین در صورت انتخاب سیستم (OD) پیشنهاد می‌شود حد مجاز افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ ۶۵ درجه انتخاب شود.

۲-۷- نحوه اتصال و گروه‌برداری

باتوجه به نحوه اتصال سیم‌پیچها بین ولتاژهای اولیه و ثانویه اختلاف فازی وجود خواهد داشت که به کمک گروه‌برداری نشان داده می‌شود. از آنجا که ترانسفورماتور جهت کار در یک شبکه بهم‌پیوسته انتخاب می‌شود، گروه‌برداری آن تابع وضعیت برداری شبکه و امکان عملکرد موازی با سایر ترانسفورماتورهای پست می‌باشد.

مطابق استاندارد IEC، برای نمایش گروه‌برداری حرف اول بصورت حرف بزرگ انگلیسی معرف نحوه اتصال سیم‌پیچ فشارقوی (D : مثلث و Y : ستاره) و به دنبال آن وجود یا عدم وجود حرف N معرف دردسترس بودن یا نبودن نوترال فشارقوی و سپس حروف کوچک d و y معرف نوع اتصال سیم‌پیچ فشار ضعیف و وجود و یا عدم وجود حرف n بیانگر در دسترس بودن یا نبودن نوترال فشار ضعیف می‌باشد و پس از آن عددی بیان می‌شود که با ضرب آن در ۳۰ درجه میزان پس فازبودن ثانویه نسبت به اولیه قید می‌گردد. همین روش برای نشان دادن سیم‌پیچ سوم نیز کاربرد دارد که عدد نشان داده شده مشخص‌کننده اختلاف فاز بین سیم‌پیچ اولیه و ثالثیه می‌باشد.

به عنوان مثال در ترانسفورماتورهای ۲۰/ ۲۳۰/ ۴۰۰ کیلوولت با سیم‌پیچ جداگانه، دیاگرام برداری YNyn0d11 نشان‌دهنده اختلاف فاز ثانویه نسبت به اولیه صفر و ثالثیه نسبت به اولیه ۳۳۰ درجه است.

۲-۸- مشخصات تپ‌چنجر

یکی از روشهای تنظیم ولتاژ در شبکه تغییر نسبت تبدیل ترانسفورماتورها بصورت پله‌ای و با استفاده از تپ‌چنجر است. تپ‌چنجرها بر دو نوع قابل تغییر در حالت بدون بار و قابل تغییر در زیر بار تقسیم می‌شوند که در ترانسفورماتورهای قدرت همواره از تپ‌چنجر قابل تغییر زیر بار استفاده می‌شود. بسته به نحوه کلیدزنی، تپ‌چنجرها به دو نوع روغنی و خلاء تقسیم می‌شوند که تپ‌چنجرهای خلاء از عمر بیشتری برخوردار بوده و نیاز کمتری به تعمیر و نگهداری دارند. در این تپ‌چنجرها قطع و وصل جریان در محیط خلاء انجام شده و لذا تأثیری بر پارامترهای روغن ترانسفورماتور ندارند.

در انتخاب محل تپ‌چنجر عواملی همچون جریان پایین قطع و وصل، عایق‌بندی کم، مشخصه امپدانس ترانسفورماتور و تغییرات چگالی شار حائز اهمیت است. به هر حال از نقطه نظر فنی ترجیح داده می‌شود که محل تپ‌چنجر بصورت زیر انتخاب شود:

- درصورتیکه نسبت تبدیل ولتاژ بزرگ باشد، بهتر است تپ‌چنجر در طرف اولیه (فشارقوی) قرار گیرد.
- در ترانسفورماتورهای ستاره ـ مثلث ترجیح داده می‌شود که محل تپ‌چنجر در سمت نوترال سیم‌پیچ ستاره که در آن جریان و ولتاژ دارای مقادیر کمتری است قرار داده شود.

تعیین رنج تغییرات ولتاژ و درصد تغییرات در هر پله مستلزم مطالعه منحنی تغییرات ولتاژ برحسب زمان (رژیم بار روزانه) و محاسبات پخش بار به ازای حالات مختلف بهره‌برداری است. درصورت کوچک انتخاب‌کردن پله‌ها تعداد عملکرد تپ چنجر بسیار

omoorepeyman.ir

بالا خواهد بود که موجب استهلاک آن می‌گردد و از طرف دیگر بزرگ انتخاب‌کردن پله‌ها امکان تنظیم ولتاژ مناسب را از بین خواهد برد.

جریان نامی تپ‌چنجر بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که محدودیتی بر اضافه‌بارهای مجاز ترانسفورماتور قدرت (مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۳۵۴) ایجاد نکند.

۲-۹- سطح نویز

یکی از مسائل مربوط به ترانسها که محیط زندگی اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد میزان نویز ناشی از عملکرد ترانسفورماتور می‌باشد. بطورکلی منشأ نویز در ترانسفورماتورها تغییرات پریودیک طول ورقه‌های هسته در اثر تغییرات القاء مغناطیسی، ارتعاشات ورقه‌های هسته در محل اتصال ستون هسته به قسمت فوقانی و تحتانی، سیم‌پیچها که در آنها جریان الکتریکی برقرار است و فنها و پمپها می‌باشد. اندازه‌گیری میزان نویز ترانسفورماتور بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۱۰-۶۰۰۷۶ انجام شود و سطح نویز برحسب دسی‌بل بیان می‌شود. استاندارد IEC هیچگونه حدود مجازی برای نویز ترانسفورماتورها ارائه نداده است و در این مورد می‌توان به استاندارد NEMA-TR1 مراجعه کرد (جدول ۲-۶).

در انتخاب سطح مناسب نویز بویژه اگر ترانسفورماتور در نقاط شهری نصب شود بایستی به معیارهای زیست‌محیطی و استانداردهای ملی در این زمینه نیز توجه شود (در صورت وجود).

omoorepeyman.ir

جدول ۲-٦: حدود مجاز نویز در ترانسفورماتورهای قدرت

ظرفیت معادل دو سیم‌پیچ (KVA)																				سطح متوسط صدا (دسی‌بل)
1300 kV LIWL and Above			1175kV LIWL			900 and 1050 kV LIWl			750 and 825 kV LIWL			450,500,650 kV LIWL			350 kV LIWL and below				
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱		
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۷۰۰	۵۷	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۰۰۰	۵۸	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۷۰۰	–	–	–	۵۹	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۰۰۰	–	–	۱۵۰۰	۶۰	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۰۰۰	۶۱	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۵۰۰	–	–	۲۵۰۰	۶۲	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۰۰۰	–	–	۳۰۰۰	۶۳	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۵۰۰	–	–	۴۰۰۰	۶۴	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۳۰۰۰	–	–	۵۰۰۰	۶۵	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۳۰۰۰	–	–	–	–	۴۰۰۰	–	–	۸۰۰۰	۶۶	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۴۰۰۰	۳۱۲۵	–	–	۳۷۵۰	۵۰۰۰	–	۶۲۵۰	۷۵۰۰	۶۷	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۵۰۰۰	۳۷۵۰	–	–	۵۰۰۰	۶۰۰۰	–	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۶۸	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۶۰۰۰	۵۰۰۰	–	–	۹۲۵۰	۷۵۰۰	–	۹۳۷۵	۱۲۵۰۰	۶۹	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۷۵۰۰	۶۲۵۰	–	–	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	–	۱۲۵۰۰	۱۵۰۰۰	۷۰	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۰۰۰۰	۷۵۰۰	–	–	۹۳۷۵	۱۲۵۰۰	–	۱۶۶۶۷	۲۰۰۰۰	۷۱	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۲۵۰۰	۹۳۷۵	–	–	۱۲۵۰۰	۱۵۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۷۲	
–	–	–	–	–	–	۱۲۵۰۰	–	–	۱۵۰۰۰	۱۲۵۰۰	–	–	۱۶۶۶۷	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۶۶۶۷	۳۰۰۰۰	۷۳	
–	–	–	–	–	۱۲۵۰۰	۱۵۰۰۰	–	–	۲۰۰۰۰	۱۶۶۶۷	–	۲۰۸۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۷۴	
–	–	–	–	–	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۶۶۶۷	–	۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲۵۰۰۰	۲۶۶۶۷	۳۰۰۰۰	۴۱۶۸۷	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۷۵	
–	–	۱۲۵۰۰	–	–	۱۵۰۰۰	–	۱۶۶۶۷	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲۵۰۰۰	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۷۶	
–	–	۱۵۰۰۰	–	۱۶۶۶۷	۲۰۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۶۶۶۷	۲۵۰۰۰	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۴۱۶۶۷	۶۶۶۶۷	۶۶۶۸۷	۸۰۰۰۰	۷۷	
۲۰۸۰۰	۱۶۶۶۷	۲۰۰۰۰	۲۰۸۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۶۶۶۷	۳۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۳۳۳۳۳	۴۱۶۶۷	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۷۸	
۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۶۶۶۷	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۱۶۶۷	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۱۰۰۰۰۰	–	۷۹	
۳۳۳۳۳	۲۶۶۶۷	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۱۶۶۷	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۶۶۶۶۷	۶۶۶۶۷	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۸۷	۱۳۳۳۳۳	۸۰	
۴۱۶۶۷	۳۳۳۳۳	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۱۶۶۷	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۶۶۶۶۷	۸۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	–	۸۱	
۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۶۶۶۶۷	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۷	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	–	–	۸۲	
۶۶۶۶۷	۵۳۳۳۳	۶۰۰۰۰	۶۶۶۶۷	۶۶۶۶۷	۸۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۷	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	–	–	۸۳	
۶۶۶۶۷	۶۶۶۶۷	۸۰۰۰۰	۸۳۳۳۳	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۷	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	–	–	–	۸۴	
۸۳۳۳۳	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۷	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	۸۴	
۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۷	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	۸۶	
۱۳۳۳۳۳	۱۳۳۳۳۳	۱۶۶۶۶۷	۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	۸۷	
۱۶۶۶۶۷	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۸۸	
۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۸۹	
۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۹۰	
۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۹۱	
۴۰۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		

* ستون اول مربوط به ترانسفورماتورها با گردش طبیعی هوا و ستونهای دوم و سوم ترانسفورماتورها با گردش اجباری هوا هستند. ستون دوم مربوط به ONAF1 و ستون سوم ONAF2 می‌باشد.
* در صورتیکه ظرفیت موردنظر در جدول موجود نباشد بایستی از اولین ظرفیت بعد از آن استفاده شود.

omoorepeyman.ir

۲-۱۰- بوشینگها

سطوح عایقی بوشینگها در بخش (۲-۵) ارائه شده است. استاندارد IEC شماره ۶۰۱۳۷ مقادیر نامی ولتاژ و جریان بوشینگها را ارائه داده که بایستی در مرحله انتخاب، این مقادیر مطابق با آن انتخاب شوند. طول فاصله خزشی [1] مطابق با رابطه (۲-۱) تعیین می‌شود:

$$\text{طول فاصلهٔ خزشی} = d_{CS}(\text{mm/kV}) \times U_m(\text{kV}) \qquad (۲-۱)$$

دراین رابطه d_{CS} حداقل فاصلهٔ خزشی است که با توجه به سطح آلودگی منطقه و به کمک جدول (۲-۷) تعیین می‌گردد. U_m نیز حداکثر ولتاژ سیستم است. جهت مشخص نمودن سطح آلودگی منقطه می‌توان از گزارش "طبقه‌بندی شرایط اقلیمی و محیطی" از سری همین استانداردها استفاده نمود.

در مناطق بارانی و بادخیز لازمست که طول فاصله خزشی حفاظت‌شده نیز تعیین گردد.

مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۸۱۵، نمی‌توان هیچگونه قانون عمومی برای باز یا حفاظت شده بودن پروفیل چتر ارائه داد چرا که این امر به عواملی همچون شرایط آلودگی محل نصب، ویژگی خودشویندگی مقره و نحوه نصب و زاویه بوشینگ مرتبط است. لازم به ذکر است که فاصله خزشی حفاظت شده معمولاً بصورت درصدی از فاصله خزشی کل بوشینگ بیان می‌شود.

جدول ۲-۷: تعیین حداقل فاصلهٔ خزشی (d_{CS})

سطح آلودگی	حداقل فاصلهٔ خزشی (mm/kV)
سبک	۱۶
متوسط	۲۰
سنگین	۲۵
خیلی سنگین	۳۱

توجه:

- در مناطقی که میزان آلودگی در آنجا ناچیز است، می‌توان از فواصل خزشی کمتر از ۱۶ نیز استفاده نمود اما حد پایین این فاصله نمی‌بایستی کمتر از ۱۲ باشد.
- در مناطقی که میزان آلودگی در آنجا بسیار زیا یا ویژه می‌باشد، میزان فاصله خزشی ۳۱ ممکن است کفایت ننماید که در چنین مواردی بر اساس تجارب و نتایج آزمونهای آزمایشگاهی می‌توان مقادیر بزرگتری از فاصله خزشی را مورد استفاده قرار داد. در برخی موارد شاید استفاده از گزینه‌های دیگری همچون: شستشوی دوره‌ای مقره‌ها، گریس‌زدن مقره‌ها و ... مناسب‌تر باشد.

۲-۱۱- بارگیری از ترانسفورماتور قدرت

بارگیری از ترانسفورماتور بیش از ظرفیت نامی آن باعث افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ شده و فرایند پیرشدن عایقی را تسریع می‌کند. با این حال پیرشدن عایق یک فرایند تجمعی [2] بوده و امکان اضافه بارگیری از ترانسفورماتور به شرط آنکه قبلاً در توانی پایین‌تر از مقدار نامی خود کارکرده باشد وجود دارد. باتوجه به آنکه منحنی بار همواره بصورت دوره‌ای و حاوی مقادیر حداقل و

1 .Creepage distance
2 . Cumulative

omoorepeyman.ir

حداکثر (پیک) است، می‌توان ظرفیت ترانسفورماتور را طوری انتخاب کرد که در شرایط پیک، از ترانسفورماتور اضافه بار گرفت. با این حال در این مورد بایستی دقت کافی بکار رفته و بارگیری مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۳۵۴ انجام شود. این استاندارد اضافه بار تا حد ۵۰ درصد را به شرط محدودبودن زمان آن برای ترانسفورماتورها مجاز می‌داند. بایستی دقت شود که حدود مجاز بارگیری که در استاندارد IEC آمده است مربوط به ترانسفورماتورهایی است که بطور کامل با نیازمندیهای این استاندارد مطابقت داشته باشند.

۲-۱۲- تلفات در ترانسفورماتورهای قدرت

ازجمله مشخصه‌ها و پارامترهای اساسی در ساخت و انتخاب ترانسفورماتورها میزان تلفات آنها می‌باشد. این تلفات بطورکلی به دو نوع تلفات بی‌باری و بارداری تقسیم می‌گردد.

تلفات بی‌باری یا تلفات آهن مستقل از تغییرات بار عبوری از ترانسفورماتور بوده و با فرض ولتاژ و فرکانس ثابت، مقدار آن مادامیکه ترانس در مدار قرار دارد تقریباً ثابت است. بخش عمده تلفات بارداری ناشی از تلفات اهمی در سیم‌پیچ است. علاوه‌بر موارد فوق تلفات سیستم خنک‌کننده شامل قدرت مصرفی فن‌ها و پمپها نیز وجود دارند.

باوجود آنکه به نظر می‌رسد هرچه میزان تلفات کمتر باشد مطلوب‌تر است ولی از آنجائیکه کاهش تلفات باعث پیچیدگی ساخت و افزایش سرمایه‌گذاری اولیه می‌گردد لذا در ساخت ترانسفورماتور حالت بهینه‌ای بین میزان تلفات و قیمت ساخت با توجه به ارزش تلفات در شبکه‌های مختلف و شاخص قیمت مواد اولیه در کشور سازنده ترانسفورماتور وجود دارد که بایستی ملاک عمل قرار گیرد.

باتوجه به موارد فوق مرسوم است در خرید ترانسفورماتور مقدار مشخصی جهت تلفات ارائه نشود بلکه ارزش تلفات با درنظرگرفتن منابع تولید، نحوه بهره‌برداری، چگونگی انتقال نیرو و غیره مشخص گردد تا سازنده بتواند براساس ارزش تلفات، طراحی و ساخت ترانسفورماتور را به مناسب‌ترین و مطلوب‌ترین شکل اقتصادی و فنی انجام دهد.

جهت تأمین ترانسفورماتورهایی با تلفات پایین لازم است که هزینه و جریمه تلفات بارداری و بی‌باری بصورت اطلاعات اولیه به سازنده اعلام گردد.

محاسبه هزینه تلفات در شبکه به پارامترهای متعددی همچون هزینه ارزی - ریالی احداث نیروگاهها، قیمت سوخت و هزینه‌های بهره‌برداری، میزان مطلوب رزرو چرخان و غیرچرخان در شبکه، ضریب بار و ضریب تلفات وابسته است.

۲-۱۳- ارزیابی اقتصادی ترانسفورماتور

۲-۱۳-۱- عوامل مؤثر در قیمت ترانسفورماتور

فاکتورهایی که در قیمت ترانسفورماتورها تأثیر زیادی داشته و لازم است هنگام انتخاب آنها توسط مهندس طراح مورد توجه قرارگیرند عبارتند از:

- توان نامی: قیمت ترانسفورماتور مستقیماً به توان نامی آن مرتبط است و لذا مهندس طراح بایستی ظرفیت موردنظر را با توجه به سیکل بار و حداکثر افزایش دمای مجاز در ترانسفورماتور انتخاب کند. انتخاب ظرفیت برمبنای حداکثر دیماند منجر به گرانترین گزینه خواهد شد.

omoorepeyman.ir

– استقامت عایقی: قیمت ترانسفورماتور با افزایش استقامت عایقی آن افزایش می‌یابد. لذا بایستی به کمک تکنیکهایی همچون استفاده از برقگیر مناسب در پست جهت حفاظت ترانسفورماتور قدرت و زمین‌کردن مستقیم نوترال، سطوح استقامت عایقی را تا حدامکان پایین آورد.

– امپدانس درصد: برای یک توان و ولتاژ مشخص، اندازه و وزن ترانسفورماتور تابعی از امپدانس آن بوده و وزن ترانسفورماتور در یک مقدار مشخصی از امپدانس حداقل می‌شود. زمانی که امپدانس افزایش می‌یابد سطح مقطع آهن کاهش یافته و تلفات آهن کم می‌شود ولی تلفات مس افزایش می‌یابد بطوریکه تلفات در مجموع افزایش می‌یابد. برای هر سطح ولتاژ محدوده‌ای از امپدانس وجود دارد که قیمت ترانسفورماتور چندان تغییری نمی‌کند. این محدوده‌ها در جدول (۲–۸) آمده است.

جدول ۲–۸: محدوده تغییرات امپدانس بدون تغییر محسوس قیمت

محدوده امپدانس (درصد)	حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت)	محدوده ظرفیت (مگاولت آمپر)
۱۰ تا ۱۴	۱۲۳ تا ۱۷۰	۲۰ تا ۵۰
۱۲ تا ۱۶	۲۴۵ تا ۴۲۰	۵۰ تا ۳۰۰

– استفاده از اتوترانسفورماتور:

در نسبت تبدیلهای کوچکتر از ۲ و نزدیک به یک استفاده از اتوترانسفورماتور اقتصادی‌تر خواهد بود.

– ترانسفورماتورهای سه فاز یا تکفاز:

درصورتیکه محدودیتهای حمل و نقل وجود نداشته باشد پیشنهاد می‌شود از ترانسفورماتور سه فاز استفاده شود چرا که نسبت به سه ترانس تکفاز اقتصادی‌تر خواهد بود.

– تلفات بارداری و بی‌باری:

تلفات در قیمت ترانسفورماتور تأثیر بسزایی دارد بطوریکه ترانسفورماتور با تلفات بیشتر ارزانتر از ترانسفورماتور مشابه خود با تلفات کمتر می‌باشد.

۲-۱۳-۲- مقایسه پیشنهادات مالی

در روش مقایسه مستقیم پیشنهادات مالی، هزینه تلفات بارداری و بی‌باری کلیه ترانسفورماتورها محاسبه و سپس این هزینه‌ها به قیمت پیشنهادی افزوده شده و نهایتاً کلیه پیشنهادات مقایسه می‌شوند. البته باتوجه به اینکه زمان ساخت و تحویل ترانسفورماتور اهمیت زیادی از نظر اقتصادی در بهره‌برداری دارد، لازمست به این فاکتور نیز توجه شود.

بعد از انتخاب سازنده و هنگام تحویل، تلفات ترانسفورماتور اندازه‌گیری‌شده و درصورتی که تلفات واقعی با مقدار ادعایی سازنده حداکثر تا ۱۰ درصد اختلاف داشته باشد ضرایب جریمه به این افزایش تلفات اعمال می‌شود. درصورت وجود اختلاف بیش از ۱۰ درصد خریدار می‌تواند ترانسفورماتور را عودت دهد.

۲-۱۴- سایر موارد

موارد دیگری که در هنگام طراحی ترانسفورماتور بایستی مدنظر قرار گیرد عبارتند از:

omoorepeyman.ir

- مشخصات ترانسفورماتورهای جریان بوشینگی که تعداد هسته‌ها و کلاس دقت آنها با توجه به نیازمندیهای سیستم حفاظت و کنترل انتخاب می‌شود.
- ملاحظات مربوط به آتش‌سوزی که در صورت نیاز می‌توان از سیستمهای ویژه این امر (Transformer Protector) استفاده کرد و یا در جانمایی پست فاصله کافی بین ترانسفورماتورها لحاظ و در نهایت از دیوار آتش استفاده نمود.
- مشخصات فیزیکی همچون ارتفاع حمل و فاصله بین چرخها که بایستی با توجه به موقعیت جغرافیایی پست و جاده‌های دسترسی و استانداردهای ترافیکی و ریلهای استاندارد کشور انتخاب شوند.

۲-۱۵- نمونه‌ای از طراحی و انتخاب مشخصه‌های ترانسفورماتور قدرت

هدف انتخاب یک ترانسفورماتور قدرت برای یک پست ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت است. شرایط محیطی محل پست به شرح زیر است:

- حداکثر درجه حرارت: ۵۰ درجه سانتی‌گراد
- حداکثر متوسط روزانه: ۴۰ درجه سانتی‌گراد
- ارتفاع: ۱۵۰۰ متر
- میزان آلودگی: سنگین

ظرفیت ترانسفورماتور مورد نظر با توجه به مطالعات پخش بار تعیین شده که در این مثال ۲۰۰ مگاولت آمپر فرض می‌گردد. با توجه به اینکه نسبت تبدیل ترانسفورماتور کوچکتر از ۲ است، انتخاب اتوترانسفورماتور اقتصادی خواهد بود. سطح ولتاژ سیم‌پیچ سوم برابر ۲۰ کیلوولت و اتصال آن بصورت مثلث انتخاب می‌شود. به این ترتیب گروه‌برداری ترانسفورماتور به شکل YNad11 خواهد بود. با توجه به ظرفیت انتخاب شده، ترانسفورماتور از نوع سه فاز بوده و ظرفیت هر سیم‌پیچ به شکل ۲۰۰/۲۰۰/۴۰ مگاولت آمپر است.

باتوجه به جدول (۲-۲) امپدانس ترانسفورماتور برابر ۱۲ درصد انتخاب می‌شود. سطوح اتصال کوتاه شبکه در قسمت اولیه ۵۰ کیلوآمپر، ثانویه۴۰ کیلوآمپر و ثالثیه ۲۵ کیلوآمپر فرض می‌شود.

باتوجه به سطح آلودگی منطقه فاصله خزشی بوشینگها بصورت زیر تعیین می‌گردد:

بوشینگ فشارقوی : ۴۲۰ × ۲۵ = ۱۰۵۰۰ mm

بوشینگ فشارمتوسط : ۲۴۵ × ۲۵ = ۶۱۲۵ mm

بوشینگ فشارضعیف : ۲۴ × ۲۵ = ۶۰۰ mm

بوشینگ نوترال : ۲۴ × ۲۵ = ۶۰۰ mm

۲-۱۵-۱- حد مجاز افزایش درجه حرارت

حدود مجاز افزایش درجه حرارت باتوجه به جدول (۲-۵) و شرایط محیطی محل پست تعیین می‌گردد. باتوجه به اینکه دمای محیط ۱۰ درجه بالاتر از شرایط استاندارد IEC است بنابراین مقادیر مجاز افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ بایستی ۱۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شود.

omoorepeyman.ir

از طرف دیگر باتوجه به ارتفاع پست که ۵۰۰ متر بیشتر از مقدار استاندارد است، حدود مجاز بایستی به میزان ۲ درجه کاهش داده شوند. به این ترتیب حداکثر مجاز افزایش درجه حرارتهای سیم‌پیچ و روغن به شکل زیر تعیین می‌شوند:

- حداکثر افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ ۶۵-۱۰-۲=۵۳°C
- حداکثر افزایش درجه حرارت روغن ۶۰-۱۰-۲=۴۸°C

سیستم خنک‌کننده این ترانسفورماتور نیز بصورت ONAN/ONAF1/ONAF2 پیشنهاد می‌شود.

۲-۱۵-۲- سایر موارد

ترانسفورماتور بایستی مجهز به تپ چنجر قابل تغییر زیر بار (OLTC) با محدوده تغییرات ٪۱۵ و با ۱۹ پله تغییرات باشد.

برای کلیه بوشینگها (اولیه، ثانویه، ثالثیه و نوترال) ترانسفورماتور جریان بوشینگی درنظر گرفته می‌شود که نسبت تبدیل، کلاس دقت و تعداد هسته‌های آنها مطابق نیازمندیهای حفاظتی و اندازه‌گیری پست انتخاب می‌شوند.

با توجه به جدول (۲-۳) و انجام مطالعات هماهنگی عایقی، سطح عایقی سیم‌پیچ فشار قوی (LIWL) برابر ۱۳۰۰ کیلوولت انتخاب می‌شود. به کمک جدول (۲-۶) حد مجاز نویز صوتی برابر ۷۸ دسی‌بل است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۴ فصل

NjÑ٨٤ę åłHJDZÑęɛƎ

ت٦dá åłهƷÑ٥łę٦ÑÄŧDZIɛ٥ Ǵ٨

omoorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل انواع آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای قدرت جهت حصول اطمینان به عملکرد صحیح آنها ارائه می‌گردد.

آزمونها بایستی در دمای محیطی ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شوند و کلیه تجهیزات جانبی که درعملکرد ترانسفورماتور مؤثر هستند بایستی متصل باشند.

ترانسفورماتور بایستی در تپ اصلی خود مستقر باشد، مگر آنکه در آزمون مربوطه به غیر از این قید شده باشد یا با توافق سازنده و خریدار این اتفاق رخ دهد.

مشخصات کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری باید مطابق استاندارد ISO شماره ۹۰۰۱ باشند.

در کلیه آزمونها لازم است که شرایط محیطی در زمان انجام آزمون ثبت گردد.

۳-۱- آزمونهای جاری

۳-۱-۱- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ

مقاومت هر سیم‌پیچ، ترمینالهایی که بین آن اندازه‌گیری صورت می‌گیرد و دمای سیم‌پیچ می‌بایستی ثبت گردد. در کلیه اندازه‌گیری‌ها می‌بایستی سعی شود که اثر خودالقایی به حداقل خود برسد. در اندازه‌گیری مقاومت بایستی از جریان مستقیم (DC) استفاده شود. ترانسفورماتور بایستی حداقل سه ساعت بدون تحریک بماند. در این حالت دمای سیم‌پیچ برابر دمای متوسط روغن فرض شده و دمای متوسط روغن نیز میانگین دمای روغن نقطه بالا و پایین درنظر گرفته می‌شود.

در اندازه‌گیری مقاومت در حالت سرد جهت تعیین مقدار افزایش درجه حرارت، میانگین دمای سیم‌پیچ بایستی به دقت تعیین شود و به این منظور بایستی اختلاف دمای بین روغن قسمت بالا و پایین کوچک باشد. برای دستیابی سریعتر به این شرایط می‌توان روغن را به کمک پمپ به چرخش درآورد.

۳-۱-۲- اندازه‌گیری نسبت تبدیل ولتاژ و کنترل گروه اتصال

نسبت تبدیل ولتاژ بایستی در کلیه تپهای ترانسفورماتور اندازه‌گیری شود. همچنین باید نحوه اتصال سیم‌پیچها (گروه‌برداری) با دیاگرام برداری مطابقت داده شود.

omoorepeyman.ir

۳-۱-۳- اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بار

در اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بارداری، بایستی در حالیکه سیم پیچ دوم اتصال کوتاه است ولتاژی با فرکانس نامی و شکل موج سینوسی به سیم‌پیچ اول اعمال شود و اگر ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچ دیگری نیز باشد، این سیم‌پیچ بایستی مدار باز باشد. جریان عبوری از سیم‌پیچ نباید کمتر از ۵۰ درصد جریان نامی بوده و اندازه‌گیریها بایستی به سرعت انجام شوند تا افزایش دما باعث بروز خطا در اندازه‌گیریها نگردد. اختلاف دما بین نقطه بالای روغن و پایین آن بایستی به اندازه‌ای کوچک باشد که بتوان مقدار میانگین آن را به راحتی محاسبه نمود. درصورتی که ترانس مجهز به سیستم خنک‌کنندگی گردش اجباری روغن است می‌توان برای کم کردن این اختلاف دما از پمپ روغن استفاده نمود.

مقدار تلفات بار اندازه‌گیری شده بایستی در مجذور نسبت جریان نامی به جریان آزمون ضرب شود. عدد بدست آمده می‌بایستی با توجه به درجه حرارت مرجع (۷۵ درجه سانتیگراد) تصحیح گردد. می‌توان فرض نمود که تلفات RI^2 (R مقاومت dc است) مستقیماً با مقاومت سیم‌پیچ متناسب بوده در حالی که بقیه تلفات به طور معکوس با مقاومت متناسب هستند.

امپدانس اتصال کوتاه بصورت یک راکتانس سری و مقاومت ac مدل می‌شود و در ترانسفورماتورهای دارای تپ که محدوده تغییرات بیش از ٪۵± است بایستی این امپدانس در تپ اصلی و حدود نهایی بالا و پایین تپ اندازه‌گیری شود. امپدانس را باید با توجه به درجه حرارت مرجع و به کمک روشی که در استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۷۶ آمده تصحیح نمود (راکتانس ثابت فرض می‌شود).

در ترانسفورماتورهای سه سیم‌پیچه، اندازه‌گیریها بایستی به ازای هرجفت سیم‌پیچ اندازه‌گیری شود. نتایج حاصله را می‌توان به کمک روشی که در استاندارد IEC شماره ۸-۶۰۰۷۶ آمده به هر سیم‌پیچ تخصیص داد.

۳-۱-٤ اندازه‌گیری جریان و تلفات بی‌باری

در این آزمایش ولتاژ و فرکانس نامی به یک سیم‌پیچ اعمال شده در حالیکه سایر سیم‌پیچها مدار باز هستند. ترانسفورماتور بایستی تقریباً در دمای کارخانه قرار داشته باشد.

بایستی سعی شود تا حد ممکن سیستم ولتاژی متعادل و متقارن و سینوسی به سیم‌پیچها اعمال شود. جهت اندازه‌گیری ولتاژ باید از دو ولتمتر استفاده شود. ولتمتر اول نسبت به مقدار میانگین موج حساس بوده اما مقیاس آن بر اساس مقدار موثر است. به عبارتی مقدار موثر موجی که مقدار میانگین آن اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار اندازه‌گرفته شده این ولتمتر را U' در نظر می‌گیریم.

ولتمتر دوم مقدار موثر را اندازه‌گیری می‌کند (U) و موازی با ولتمتر اول قرار می‌گیرد. شکل موج ولتاژ درصورتی که مقادیر U و U' کمتراز ۳ درصد اختلاف داشته باشند قابل قبول است. در ترانسفورماتورهای سه فاز با اتصال مثلث، ولتاژ موردنظر ولتاژ بین دو ترمینال است و در ترانسفورماتورهای ستاره، ولتاژ فاز به نوترال مدنظر می‌باشد.

اگر P_m تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده باشد، مقدار تلفات بی‌باری ترانسفورماتور از روابط زیر بدست می‌آید:

$$P_0=P_m(1+d) \qquad (۱-۳)$$

که در آن:

$$d=\frac{U'-U}{U'} \qquad (۲-۳)$$

omoorepeyman.ir

مقدار d معمولاً منفی است و اگر اختلاف U و U' بیش از ۳ درصد باشد اعتبار آزمون وابسته به موافقت طرفین خواهد بود.

مقدار موثر جریان بی‌باری نیز همزمان با آزمون تلفات بی‌باری اندازه‌گیری شده و مقدار نهایی جریان بی‌باری برابر متوسط جریان موثر فازها در نظر گرفته می‌شود.

اگر آزمون تلفات بی‌باری قبل از آزمونهای عایقی و افزایش درجه حرارت انجام شود، مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار تلفات در عمل مطابقت بیشتری خواهد داشت.

۳-۱-۵- آزمونهای مربوط به تپ چنجر قابل تغییر زیربار

تپ چنجر نصب شده بر روی ترانسفورماتور بایستی مجموعه عملکردهای زیر را بدون خطا انجام دهد:

الف) درحالیکه ترانسفورماتور بی‌برق[1] است، انجام هشت سیکل کامل‌کاری (منظور از یک سیکل کامل‌کاری رفتن از تپ حداقل به حداکثر و برعکس می‌باشد).

ب) درحالیکه ترانسفورماتور بی‌برق است و ولتاژ کمکی (ولتاژ مکانیزم عملکرد تپ چنجر) به ۸۵ درصد مقدار نامی کاهش داده شده است، انجام یک سیکل کامل‌کاری.

ج) درحالیکه ترانسفورماتور برقدار و بی‌بار است، انجام یک سیکل کامل کاری.

د) درحالیکه یکی از سیم‌پیچها اتصال کوتاه است، ده بار عملکرد تغییر تپ چنجر با دو پله، در دو طرف تپ اصلی و حتی‌المقدور در جریان نامی ترانسفورماتور.

علاوه بر موارد فوق بایستی مجموعه مدارات کمکی تپ چنجر تحت آزمون فرکانس قدرت قرار گیرد.

۳-۱-۶- آزمون منبع مجزای AC

این آزمون بایستی بوسیله یک منبع ولتاژ مجزا که شکل موج آن تا حد امکان سینوسی است و فرکانس آن کمتر از ۸۰ درصد فرکانس نامی نیست انجام شود. مقدار پیک ولتاژ اعمال شده بایستی اندازه‌گیری شده و این مقدار تقسیم بر $\sqrt{2}$ برابر ولتاژ آزمون خواهد بود.

این آزمون را باید از ولتاژی که از یک سوم مقدار آزمون بیشتر نیست شروع کرد و به سرعت تا سطح ولتاژ آزمون افزایش داد. در انتهای آزمون و پیش از آنکه مدار آزمون قطع شود، ولتاژ باید سریعاً تا یک سوم مقدار آزمون کاهش پیدا کند.

ولتاژ کامل بایستی برای ۶۰ ثانیه بین ترمینالهای سیم‌پیچ مورد آزمون (درحالیکه سایر ترمینالهای سیم‌پیچهای دیگر، هسته و تانک زمین شده است) اعمال گردد. ولتاژ آزمون مطابق جداول (۳-۱) و (۳-۲) تعیین می‌شود.

در صورتی که در طول آزمون، فروپاشی ولتاژی صورت نگیرد، آزمون موفقیت‌آمیز بوده است.

omoorepeyman.ir

1 . Unenergized

۳-۱-۷- آزمون ولتاژ AC القایی

این آزمون خود شامل دو آزمون ولتاژ AC القایی کوتاه‌مدت و بلندمدت است که بسته به سطح ولتاژ ترانسفورماتور جزء آزمونهای جاری و یا ویژه قرار می‌گیرد. برای ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ ۱۷۰کیلوولت و بالاتر، آزمون ولتاژ AC القایی بلندمدت جزء آزمونهای جاری محسوب شده در حالیکه برای ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۱۷۰ کیلوولت، آزمون ولتاژ AC القایی کوتاه‌مدت جزء آزمونهای جاری محسوب می‌شود. در سایر موارد آزمون ولتاژ AC القایی جزء آزمونهای ویژه می‌باشد.

ولتاژ اعمالی به ترمینالهای سیم‌پیچ در این آزمونها بایستی تا حد ممکن سینوسی بوده و جهت جلوگیری از ایجاد جریان مغناطیسی بالا، بایستی فرکانس به حد کافی بالاتر از فرکانس نامی باشد.

مقدار پیک ولتاژ آزمون القایی بایستی اندازه‌گیری شده و این مقدار تقسیم بر $\sqrt{2}$ برابر با ولتاژ آزمون خواهد بود.

زمان آزمون به ازای اعمال ولتاژ با فرکانسی تا ۲ برابر فرکانس نامی برابر۶۰ ثانیه خواهد بود و در فرکانسهای بیشتر از دو برابر فرکانس نامی، زمان آزمون از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{زمان آزمون} = \frac{\text{فرکانس نامی} \times ۱۲۰}{\text{فرکانس آزمون}} \qquad (۳-۳)$$

این زمان در هیچ حالتی نباید کمتر از ۱۵ثانیه باشد.

آزمون تخلیه جزئی نیز بایستی در کل دوره آزمون ولتاژ AC القایی بلندمدت و همزمان با آن انجام شود.

۳-۱-۷-۱- آزمون ولتاژ AC القایی کوتاه‌مدت

این آزمون جهت اثبات تحمل عایقی ترمینال خط و سیم‌پیچ متصل به آن نسبت به زمین و سایر سیم‌پیچها و تحمل عایقی بین فازها انجام می‌شود.

برای ترانسفورماتورها با حداکثر ولتاژ بزرگتر از ۱۷۰کیلوولت این آزمون جزء آزمونهای ویژه و برای سایر ترانسفوماتورها آزمون جاری محسوب می‌شود.

۳-۱-۷-۱-۱- ترانسفورماتورها با عایق یکنواخت

ولتاژ آزمون بایستی متقارن باشد و نوترال ترانسفورماتور در طول آزمون زمین شده باشد. آزمون تنها بصورت فاز به فاز انجام می‌گیرد چرا که نیازمندیهای آزمون فاز به زمین توسط آزمون منبع ولتاژ مجزا پوشش داده شده است.

الف) ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ کمتر یا مساوی ۷۲/۵ کیلوولت

ولتاژ فاز به فاز اعمالی نبایستی از مقادیری که در جدول (۲-۳) ارائه شده بیشتر باشد.

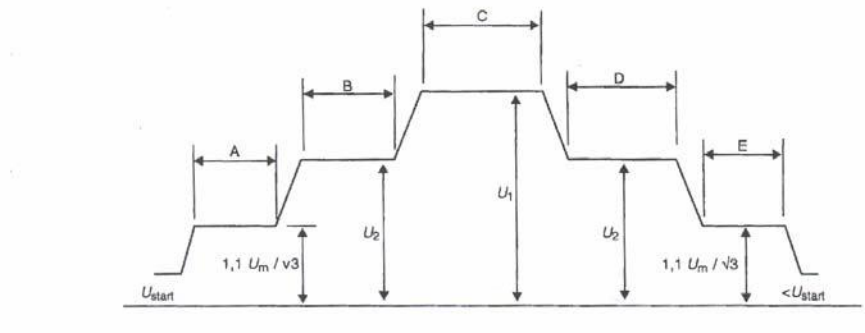
به عنوان یک قانون، ولتاژ دو سر یک سیم‌پیچ بایستی نزدیک به دو برابر ولتاژ نامی باشد. به طور معمول و در طول دوره این آزمون، هیچ‌گونه اندازه‌گیری تخلیه جزئی انجام نمی‌شود. ولتاژ اعمالی در ابتدای شروع آزمون نبایستی از یک سوم مقدار نهایی بزرگتر باشد و پس از شروع، این ولتاژ تا مقدار نهایی خود افزایش می‌یابد. در پایان آزمون و قبل از قطع مدار، ولتاژ بایستی سریعاً به کمتر از یک سوم مقدار نهایی کاهش داده شود.

omoorepeyman.ir

ب) ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ بزرگتر از ۷۲/۵ کیلوولت

این آزمون بایستی همراه با آزمون تخلیه جزئی انجام شود. ولتاژ فاز به فاز اعمالی نبایستی از مقادیری که در جدول (۳-۳) ارائه شده است بیشتر باشد و به عنوان یک قانون این ولتاژ بایستی تا حد ممکن به دو برابر ولتاژ نامی نزدیک باشد.

میزان تخلیه جزئی در بازه‌های زمانی آزمون بایستی اندازه‌گیری شود. ولتاژ اعمالی در این آزمون بایستی مطابق شکل (۳-۱) باشد.



شکل ۳-۱: نمودار ولتاژ اعمالی (فاز به زمین)

روند انجام این آزمون مطابق روال زیر است:

- شروع آزمون با اعمال ولتاژ U_{start} که نباید بیش از یک سوم U_2 باشد.
- افزایش ولتاژ به $1/1U_m/\sqrt{3}$ و اعمال این ولتاژ به مدت A=۵ دقیقه (U_m حداکثر ولتاژ سیستم)
- افزایش ولتاژ به $U_2 = 1/3U_m/\sqrt{3}$ و اعمال این ولتاژ به مدت B=۵ دقیقه
- افزایش ولتاژ به مقدار U_1 و اعمال این ولتاژ به مدت C که C برابر زمان آزمون و مقدار آن با توجه به بند ۳-۱-۷ تعیین می‌شود (U_1 ولتاژ آزمون است که از جدول ۳-۱ بدست می‌آید).
- بعد از پایان زمان آزمون، ولتاژ بایستی به سرعت و به صورت پیوسته تا مقدار U_2 کاهش یابد و این ولتاژ برای مدت زمان D=۵ دقیقه اعمال شود. اندازه‌گیری میزان تخلیه جزئی نیز در این مدت انجام می‌شود.
- کاهش ولتاژ به مقدار $1/1U_m/\sqrt{3}$ و اعمال این ولتاژ برای مدت E=۵ دقیقه
- کاهش ولتاژ به مقداری کمتر از U_{start} قبل از بی‌برق کردن مدار.

در هنگام اندازه‌گیری سطح تخلیه جزئی، نویز زمینه نباید بیش از ۱۰۰pc باشد.

آزمون به شرطی موفقیت‌آمیز تلقی می‌گردد که:

- هیچ‌گونه فروپاشی ولتاژی اتفاق نیافتد.
- سطح پیوسته بار ظاهری در ولتاژ U_2 و در طول دوره پنج دقیقه‌ای نباید در هیچ‌یک از نقاط اندازه‌گیری بیش از ۳۰۰pc باشد.
- تخلیه جزئی نباید روند افزایشی داشته باشد.
- سطح پیوسته بار ظاهری[1] از ۱۰۰pc در ولتاژ $1/1U_m/\sqrt{3}$ تجاوز نکند.

omoorepeyman.ir

1 . Continuous level of apparent charges

جدول ۳-۱: ولتاژ آزمون کوتاه مدت با حداکثر ولتاژ سیستم بیش از ۷۲/۵ کیلوولت و عایق یکنواخت

حداکثر ولتاژ سیستم U_m(kV)	ولتاژ تحمل کوتاه‌مدت (مطابق جدول ۲-۳) (kV)	ولتاژ آزمون فاز به فاز U_1(kV)	$U_2 = ۱/۳ \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ (فاز به زمین)	$U_2 = ۱/۳ U_m$ (فاز به فاز)
۱۴۵	۱۸۵	۱۸۵	۱۱۰	۱۸۵
۱۴۵	۲۳۰	۲۳۰	۱۱۰	۱۸۵
۱۴۵	۲۷۵	۲۷۵	۱۱۰	۱۸۵
۲۴۵	۳۲۵	۳۲۵	۱۸۵	۳۲۰
۲۴۵	۳۶۰	۳۶۰	۱۸۵	۳۲۰
۲۴۵	۳۹۵	۳۹۵	۱۸۵	۳۲۰
۲۴۵	۴۶۰	۴۶۰	۱۸۵	۳۲۰
۴۲۰	۴۶۰	۴۶۰	۲۹۰	۵۰۵
۴۲۰	۵۱۰	۵۱۰	۲۹۰	۵۰۵
۴۲۰	۵۷۰	۵۷۰	۳۱۵	۵۴۵
۴۲۰	۶۳۰	۶۳۰	۳۱۵	۵۴۵

۳-۱-۷-۱-۲- ترانسفورماتورها با عایق غیریکنواخت

این آزمون برای ترانسفورماتورها با $U_m \leq ۱۷۰$ و ۷۲/۵ کیلوولت آزمون جاری و برای ترانسفورماتورها با $U_m > ۱۷۰kV$ آزمون ویژه محسوب می‌شود.

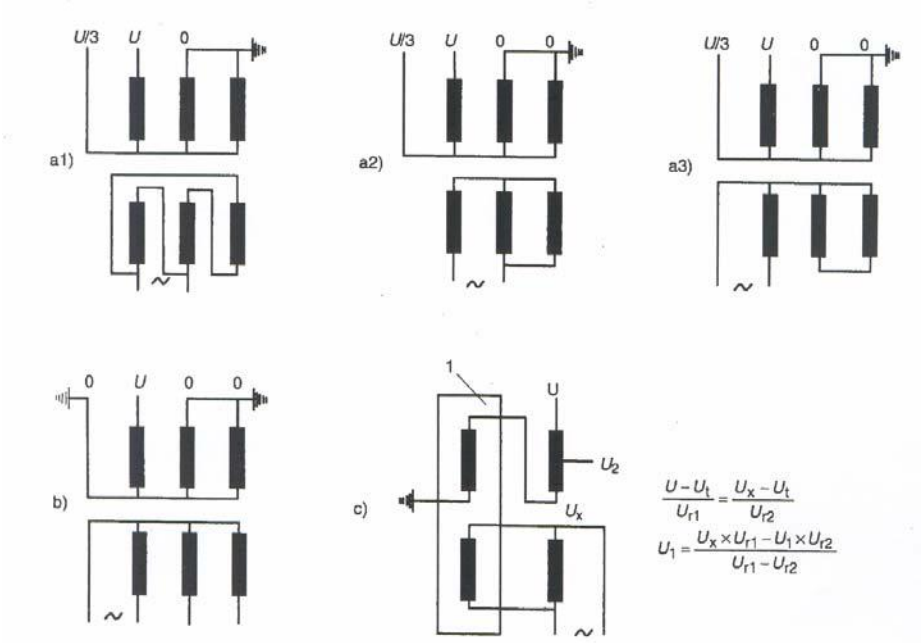
آزمون تحمل ولتاژ القایی کوتاه مدت در ترانسفورماتورها با عایق یکنواخت شامل دو مجموعه آزمون زیر می‌باشد:

الف) آزمون فاز به زمین با ولتاژ تحمل نامی فاز به زمین که از جدول (۳-۲) تعیین می‌شود (به همراه اندازه‌گیری تخلیه جزئی).

ب) آزمون فاز به فاز با ولتاژ تحمل نامی فاز به فاز که از جدول (۳-۲) تعیین می‌شود (به همراه اندازه‌گیری تخلیه جزئی). در این آزمون، نوترال ترانسفورماتور بایستی زمین شده باشد. در این حالت آزمون بایستی مشابه بخش ب در بند (۳-۱-۷-۱) انجام شود.

در ترانسفورماتورهای تکفاز تنها لازمست که آزمون فاز به زمین انجام شود و در این حالت نوترال زمین شده می‌باشد. برای ترانسفورماتورهای سه فازی که از سه ترانسفورماتور تکفاز مجزا تشکیل شده‌اند، آزمون شامل سه آزمون تک فاز است که در هر حالت ترمینالهای مختلفی مطابق شکل (۳-۲) زمین می‌شوند.

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۲: نحوه اتصالات در آزمون تکفاز منبع ولتاژ AC القایی در ترانسفورماتورها با عایق غیریکنواخت

شکل a زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نوترال بایستی یک سوم ولتاژ آزمون (U) را تحمل کند. شکل b در ترانسفورماتورهایی بکار می‌رود که مسیری مغناطیسی و بدون سیم‌پیچ، جهت برگشت فوران در ساقه تحت آزمون دارند. شکل c جهت آزمون اتوترانسفورماتور استفاده می‌شود و در آن از یک ترانسفورماتور بوستر (1) استفاده شده است.

مقدار ولتاژ بر دور در طول آزمون بسته به نحوه اتصالات می‌تواند مقادیر مختلفی را دارا گردد. انتخاب بهترین نحوه اتصال وابسته به مشخصات ترانسفورماتور و محدودیتهای سیستمهای انجام آزمون و اندازه‌گیری می‌باشد. زمان آزمون مطابق بند (۳-۱-۷) و روند آزمون مشابه بند ۳-۱-۷-۱-۱ خواهد بود.

برای ارزیابی میزان تخلیه جزئی، لازمست در طول دوره آزمون فاز به فاز و زمانی که U_2=۱/۳ U_m است اندازه‌گیری انجام شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۲: ولتاژ آزمون کوتاه‌مدت با حداکثر ولتاژ بیش از ۷۲/۵ کیلوولت و عایق غیریکنواخت

حداکثر ولتاژ سیستم U_m(kV)	ولتاژ تحمل کوتاه‌مدت (kV) (جدول ۲-۳)	ولتاژ آزمون فاز به فاز U_1(kV)	$U_2 = 1/3\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ (فاز به زمین)	$U_2 = ۱/۳ U_m$ (فاز به فاز)
۱۴۵	۱۸۵	۱۸۵	۱۲۵	۱۸۵
۱۴۵	۲۳۰	۲۳۰	۱۲۵	۱۸۵
۱۴۵	۲۷۵	۲۷۵	۱۲۵	۱۸۵
۲۴۵	۳۲۵	۳۲۵	۲۱۵	۳۲۰
۲۴۵	۳۶۰	۳۶۰	۲۱۵	۳۲۰
۲۴۵	۳۹۵	۳۹۵	۲۱۵	۳۲۰
۲۴۵	۴۶۰	۴۶۰	۲۱۵	۳۲۰
۴۲۰	۴۶۰	۴۶۰	۳۶۵	۵۰۴
۴۲۰	۵۱۰	۵۱۰	۳۶۵	۵۰۴
۴۲۰	۵۷۰	۵۷۰	۳۶۵	۵۴۵
۴۲۰	۶۳۰	۶۳۰	۳۶۵	۵۴۵

۳-۱-۷-۲- آزمون ولتاژ AC القایی بلندمدت

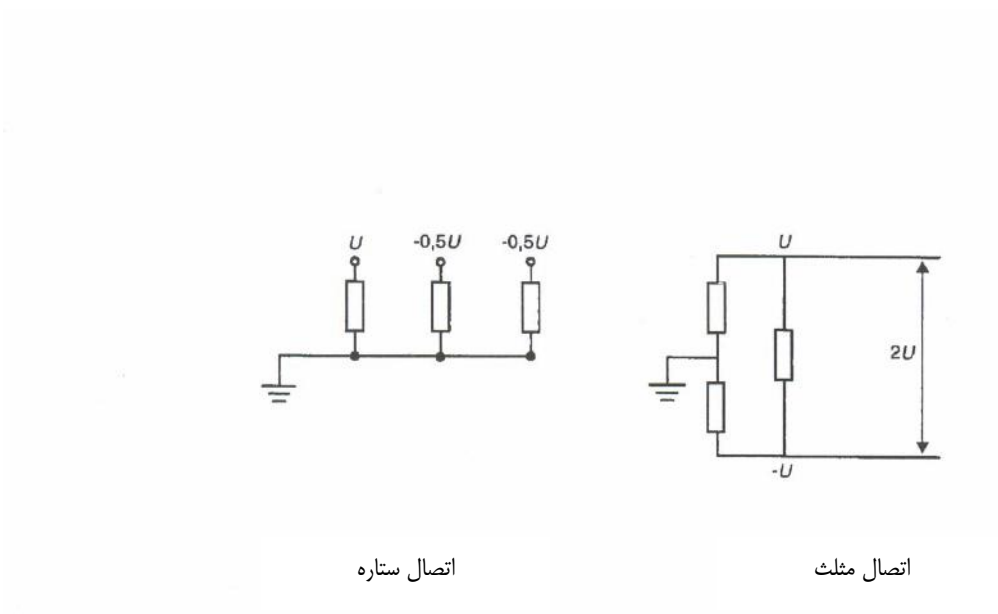
این آزمون برای ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۷۲/۵ کیلوولت اعمال نمی‌شود. برای ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ بیش از ۷۲/۵ کیلوولت و کمتر از ۱۷۰کیلوولت، آزمون ولتاژ القایی بلندمدت، آزمون ویژه محسوب شده و در ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ بیش از ۱۷۰کیلوولت آزمون جاری می‌باشد.

در ترانسفورماتورهای سه فاز می‌توان این آزمون را بصورت تک‌فاز انجام داد که در این صورت آزمون مطابق شکل (۳-۳) انجام می‌شود. ترانسفورماتورهای سه فاز را می‌توان با اعمال ولتاژ سه فاز متقارن نیز مورد آزمون قرارداد که در این صورت بایستی توجه شود که اگر ترانسفورماتور دارای اتصال ستاره است، ولتاژ بین فازها بیش از حالت تکفاز خواهد بود که این امر طراحی عایق‌بندی فاز- فاز را تغییر داده و نیازمند فواصل هوایی خارجی بزرگتری است.

در صورتی که ترانسفورماتور در طرف فشار قوی دارای سیم‌پیچ مثلث باشد و از طرف فشار ضعیف تغذیه شود، می‌توان در یک آزمون سه فاز ولتاژ مناسب آزمون را در حالتی که سیم‌پیچ فشار قوی در حالت شناور است به آن اعمال نمود. از آنجا که ولتاژ فاز به زمین در چنین آزمونی بستگی کامل به ظرفیت‌های خازنی فاز به زمین و سایر سیم‌پیچها دارد، این آزمون برای $U_m \geq ۲۴۵kV$ توصیه نمی‌شود. در مورد این ترانسفورماتورها بهتر است که آزمون بصورت تکفاز و مطابق شکل (۳-۳) انجام شود.

درطول آزمون، ترمینال نوترال سیم‌پیچ مورد آزمون بایستی زمین شود. برای دیگر سیم‌پیچها، در صورتیکه اتصال ستاره داشته باشند بایستی نقطه نوترال آن به زمین متصل شود و اگر دارای اتصال مثلث باشند باید در یکی از ترمینالها زمین شوند و یا توسط نقطه نوترال منبع تغذیه زمین شوند. سیم پیچهای دارای تپ بایستی در تپ اصلی قرار داشته و روش آزمون (تکفاز یا سه فاز) مطابق توافق سازنده و خریدار خواهد بود.

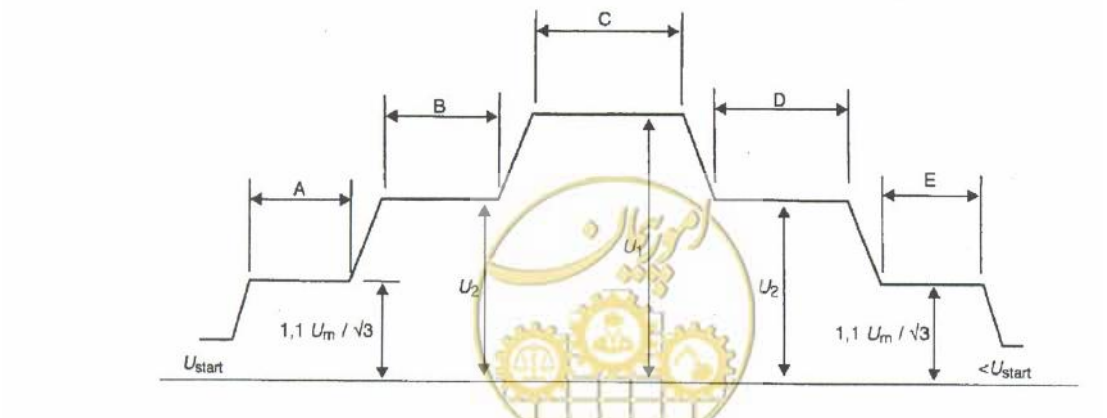
omoorepeyman.ir



شکل ۳-۳: نحوه انجام آزمون تکفاز بر روی ترانسفورماتورهای سه فاز

روند انجام آزمون مطابق شکل (۳-۴) و به ترتیب زیر خواهد بود:

- در شروع آزمون اعمال ولتاژ U_{start} نباید بیشتر از یک سوم U_2 باشد.
- افزایش ولتاژ به $1/1U_m/\sqrt{3}$ و اعمال آن برای مدت A=۵ دقیقه
- افزایش ولتاژ به U_2 و اعمال آن به مدت B=۵ دقیقه
- افزایش ولتاژ به U_1 و اعمال آن برای مدت آزمون مطابق بند ۳-۱-۷
- بعد از سپری شدن مدت آزمون کاهش سریع و پیوسته ولتاژ به سطح U_2 و اعمال آن برای مدت ۶۰ دقیقه درصورتیکه $U_m \geq 300kV$ باشد و یا ۳۰ دقیقه درصورتیکه $U_m \leq 300kV$ باشد. اندازه‌گیری تخلیه جزئی در طول این زمان (D) انجام می‌شود.
- کاهش ولتاژ به مقدار $1/1U_m/\sqrt{3}$ و اعمال آن برای مدت E=۵ دقیقه
- کاهش ولتاژ به مقداری کوچکتر از یک سوم U_2 قبل از قطع منبع ولتاژ



شکل ۳-٤: آزمون ولتاژ AC القایی بلندمدت

omoorepeyman.ir

طول مدت کلی آزمون بجز زمان C (مدت آزمون) مستقل از فرکانس است. ولتاژهای اعمالی به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$U_1 = 1/7U_m/\sqrt{3} \quad \text{و} \quad U_2 = 1/5U_m/\sqrt{3} \qquad (۴-۳)$$

در شبکه‌هایی که امکان اضافه ولتاژهای بالا وجود دارد مقادیر U_1 و U_2 می‌تواند تا $1/8U_m/\sqrt{3}$ و $1/6U_m/\sqrt{3}$ افزایش یابد که بایستی مورد توافق قرار گیرد. نویز زمینه نباید بیش از ۱۰۰pc باشد و در طول آزمون بایستی مقدار آن ثبت شود. میزان تخلیه جزئی در طول آزمایش بایستی ارزیابی گردد که در این مورد می‌توان به استاندارد IEC شماره ۶۰۲۷۰ مراجعه کرد.

آزمون موفقیت‌آمیز است به شرط آنکه:

- هیچ فروپاشی ولتاژی اتفاق نیافتد.
- سطح پیوسته تخلیه جزئی نباید بیش از ۵۰۰pc در طول دوره اعمال U_2 باشد.
- میزان تخلیه جزئی در مدت اعمال U_2 نبایستی روند افزایشی داشته باشد. بروز ناگهانی و گاه به گاه مقادیر بالای تخلیه جزئی می‌تواند صرفنظر گردد.
- سطح پیوسته بار ظاهری در مدت اعمال $1/1U_m/\sqrt{3}$ نباید بیش از ۱۰۰pc باشد.

عدم مطابقت مقدار تخلیه جزئی با محدوده مجاز منجر به رد آزمون نمی‌شود و پذیرش یا عدم پذیرش ترانسفورماتور وابسته به توافق سازنده و خریدار خواهد بود. در این موارد می‌توان به توصیه‌های ذکرشده در پیوست A استاندارد IEC شماره ۳-۶۰۰۷۶ رجوع نمود.

۳-۱-۸- آزمون ضربه صاعقه

این آزمون برای ترانسفورماتورها با $U_m \leq ۷۲/۵$ kV آزمون نوعی و برای ترانسفورماتورهای با $U_m > ۷۲/۵$ kV آزمون جاری محسوب می‌شود.

آزمون ضربه صاعقه تنها به سیم‌پیچهایی اعمال می‌شود که ترمینالهای آن در خارج از تانک ترانسفورماتور وجود دارد. جهت کاهش احتمال وقوع شکست عایقی در مدار آزمون، به طور معمول در آزمون ترانسفورماتورهای روغنی از موج با پلاریته منفی استفاده می‌شود. شاخکهای جرقه‌گیر بوشینگ بایستی باز شده و یا فاصله بین آنها افزایش یابد به نحوی که در طول آزمون تخلیه‌ای در آنها صورت نگیرد.

ولتاژ آزمون بایستی ولتاژ ضربه صاعقه استاندارد با پیشانی موج ۳۰٪ ± ۱/۲ μs و زمان پشت موج ۲۰٪ ± ۵۰ μs باشد. جهت انجام آزمون ابتدا یک موج ضربه با دامنه ۵۰ تا ۷۰ درصد ولتاژ آزمون اعمال شده و پس از آن سه بار موج ضربه با ولتاژ آزمون اعمال می‌گردد. اگر در طول اعمال این ضربه‌ها، شکست عایقی خارجی در مدار آزمون و یا بین شاخکهای جرقه‌گیر بوشینگ اتفاق افتد و یا اسیلوگراف به هر دلیلی شکل موج را ثبت نکند، اعمال موج ضربه بایستی تکرار شود.

omoorepeyman.ir

۳-۱-۸-۱- اتصالات آزمون

ولتاژ آزمون بایستی به هر یک از ترمینالهای خط سیم‌پیچ به صورت متوالی اعمال شود. در ترانسفورماتورهای سه فاز سایر ترمینالها بایستی مستقیماً و یا از طریق یک امپدانس کوچک زمین شوند. در صورتیکه سیم‌پیچ دارای ترمینال نوترال باشد این ترمینال نیز بایستی مستقیماً و یا از طریق یک امپدانس کوچک زمین شود. تانک ترانسفورماتور نیز بایستی مستقیماً زمین شود.

در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جداگانه، ترمینالهای سیم‌پیچهایی که تحت آزمون نیستند بایستی به گونه‌ای زمین شوند (مستقیم یا از طریق یک امپدانس کوچک) که تحت کلیه شرایط، ولتاژ ترمینالها به بیش از ۷۵ درصد ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه در سیم‌پیچهای ستاره و ۵۰ درصد ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه در سیم‌پیچهای مثلث نرسد.

در اتوترانسفورماتورها هنگامی که ترمینال خط سیم‌پیچ مشترک مستقیماً زمین شده است، ممکن است نتوان به ولتاژ آزمون موردنظر دست یافت. در این حالت می‌توان سیم‌پیچی که بر روی آن آزمون انجام نمی‌شود را از طریق یک مقاومت کمتر از ۴۰۰ اهم زمین کرد. در این حالت نیز سطوح ولتاژ ظاهر شده در ترمینالها بایستی از حدودی که قبلاً برای ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جداگانه ذکر شد کمتر باشد.

- آزمون موج ضربه روی ترمینال نوترال

اگر برای ترمینال نوترال ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه ذکر شده باشد بایستی به شکل زیر مورد آزمون قرار گیرد:

الف) روش غیرمستقیم

در این حالت به هر کدام از ترمینالهای خط (به صورت دلخواه) و یا به هر سه ترمینال خط سیم‌پیچ سه فاز، موج ضربه صاعقه استاندارد اعمال می‌شود و ترمینال نوترال از طریق امپدانسی زمین شده و یا باز نگه داشته می‌شود. ولتاژ ظاهر شده بر روی ترمینال نوترال هنگام اعمال موج ضربه به ترمینالهای خط بایستی برابر مقدار نامی ولتاژ تحمل در مقابل موج ضربه صاعقه ترمینال نوترال باشد. اندازه ولتاژ ضربه اعمالی به ترمینالهای خط نبایستی بیش از ۷۵ درصد ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه نامی ترمینال خط باشد.

ب) روش مستقیم

در این روش ولتاژ ضربه استاندارد با دامنه‌ای برابر با مقدار نامی ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه ترمینال نوترال در حالیکه کلیه ترمینالهای خط زمین شده است به ترمینال نوترال اعمال می‌شود. در این حالت طول مدت پیشانی موج ضربه می‌تواند تا ۱۳میکروثانیه نیز افزایش یابد.

- آزمون موج ضربه انتقالی روی سیم‌پیچهای فشار ضعیف

اگر نتوان سیم‌پیچ فشار ضعیف را مستقیماً مورد آزمون موج ضربه صاعقه قرارداد بنا به توافق بین خریدار و سازنده می‌توان این آزمون را به کمک اعمال ولتاژ به سمت فشار قوی و انتقال ولتاژ به سمت فشار ضعیف انجام داد. ترمینالهای خط سیم‌پیچ فشار ضعیف بایستی از طریق مقاومت به گونه‌ای زمین شوند که ولتاژ انتقالی ظاهر شده بین ترمینال و خط و یا بین دو ترمینال از مقدار نامی بیشتر نباشد. درعین حال ولتاژ ضربه اعمالی به سیم‌پیچ فشار قوی نبایستی از ولتاژ نامی تحمل در برابر موج ضربه صاعقه سیم‌پیچ فشار قوی بیشتر باشد.

omoorepeyman.ir

۳-۱-۸-۲- ثبت آزمون

دستگاههای ثبات (اسیلوگرافی و یا دیجیتالی) در فرایند کالیبره کردن و آزمون بایستی بتوانند شکل موج ضربه را به وضوح ثبت نمایند (پیشانی موج، زمان رسیدن به نصف پیک و مقدار پیک).

حداقل یک کانال اندازه‌گیری اضافه بایستی درنظر گرفته شود. در بسیاری موارد اسیلوگرامی که جریان نوترال سیم‌پیچ تحت آزمون و یا دستگاهی که جریان خازنی انتقالی به سیم‌پیچ دیگر را ثبت می‌کند بهترین حساسیت جهت نشان دادن خطا را دارند. جریانی که از تانک به زمین منتقل می‌شود و یا ولتاژ القایی در سیم‌پیچهایی که تحت آزمون نیستند گزینه‌های مناسب دیگر جهت تشخیص خطا هستند.

۳-۱-۸-۳- معیارهای آزمون

عدم وجود تفاوت بارز بین ولتاژ و جریانهای گذرای ثبت شده هنگام اعمال ولتاژ کوچکتر از مقدار نامی و هنگامی که موج کامل اعمال شده است، نشان دهنده موفقیت آزمون خواهد بود. درصورتی که در تفسیر نتایج، رد یا قبول آزمون مورد تردید واقع شود بایستی سه موج ضربه کامل دیگر به ترانسفورماتور اعمال شده و اگر منحنی‌های ثبت شده تغییرات بیشتری نشان ندادند، آزمون موفقیت‌آمیز تلقی خواهد شد.

سایر مشاهدات همچون وجود صدای غیرعادی در هنگام آزمون می‌تواند در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار گیرد با این حال این نکات به خودی خود معیار قابل قبولی نخواهند بود.

۳-۱-۹- آزمون موج کلیدزنی

این آزمون برای ترانسفورماتورهای با U_m>۱۷۰kV آزمون جاری محسوب شده و در ولتاژهای پایینتر اعمال نمی‌شود. در ترانسفورماتورها با ۱۷۰ < U_m <۳۰۰ کیلوولت، اگر آزمون ولتاژ AC کوتاه مدت انجام شود نیازی به انجام این آزمون نخواهد بود.

موج ضربه را می‌بایستی بصورت مستقیم به ترمینال سیم‌پیچ مورد نظر اعمال کرد. روش دیگر اعمال ولتاژ به سیم‌پیچ فشارضعیف و القای ولتاژی مناسب بر روی سیم‌پیچ فشار قوی می‌باشد. ولتاژ آزمون مشخص شده بایستی بین خط و زمین ظاهر شود. ترمینالهای نوترال بایستی زمین شوند. در ترانسفورماتورهای سه فاز، ولتاژ ظاهرشده بین ترمینالهای خط بایستی تقریباً ۱/۵ برابر ولتاژ ظاهرشده بین ترمینال خط و زمین باشد. ولتاژ آزمون بایستی دارای پلاریته منفی بوده تا ریسک وقوع تخلیه خارجی در مدار آزمون را کاهش داد. ولتاژ ظاهرشده در سیم‌پیچهای مختلف ترانسفورماتور تقریباً متناسب با نسبت تبدیل بین سیم‌پیچها بوده و ولتاژ آزمون می‌بایستی متناسب با سیم‌پیچ با بیشترین ولتاژ (U_m) انتخاب شود.

ولتاژ ضربه اعمالی بایستی دارای زمان پیشانی مجازی حداقل ۱۰۰میکروثانیه باشد. زمانی که دامنه موج اعمالی از ۹۰ درصد حداکثر دامنه مشخص‌شده بیشتر است بایستی حداقل ۲۰۰ میکروثانیه باشد. زمان بین مبدأ مجازی[1] شروع موج تا اولین عبور از صفر بایستی حداقل ۵۰۰ میکروثانیه و ترجیحاً۱۰۰۰میکروثانیه باشد.

زمان پیشانی موج بایستی توسط سازنده تعیین شده به نحوی که توزیع ولتاژ در طول سیم‌پیچ خطی باشد. مقدار این زمان معمولاً بیش از ۱۰۰ میکروثانیه و کمتر از ۲۵۰ میکروثانیه است. در طی آزمون، فوران قابل ملاحظه‌ای در مدار مغناطیسی ایجاد می‌شود.

1 . Virtual origin

omoorepeyman.ir

ولتاژ ضربه تا لحظه‌ای که هسته به اشباع رفته و امپدانس مغناطیس‌کننده ترانسفورماتور به شدت کاهش یابد می‌بایستی باقی نگاه داشته شود.

آزمون بایستی شامل اعمال یک موج ضربه با دامنه ۵۰ تا ۷۵ درصد موج کامل و اعمال سه موج با دامنه کامل در ادامه آن باشد. در صورتیکه در حین اعمال ولتاژ، در ثبت گزارشات خطایی رخ دهد موج کامل می‌بایستی یک بار دیگر اعمال شود.

گزارشات ثبت شده حداقل بایستی شامل شکل موج ولتاژ اعمالی به ترمینال و جریان نوترال باشد.

بایستی دقت شود که به علت بروز پدیده اشباع در هسته ترانسفورماتور، نمودارهای ثبت شده متوالی ممکن است با هم متفاوت باشند. جهت محدودسازی این مشکل می‌توان بعد از اعمال هر موج ضربه یک موج ضربه با پلاریته معکوس و دامنه کمتر اعمال نمود تا هسته به حالت غیراشباع برگردد.

در طول آزمون، ترانسفورماتور بایستی در شرایط بی‌باری باشد. سیم‌پیچهایی که در آزمون استفاده نمی‌شوند بایستی زمین شوند (این سیم‌پیچها نباید اتصال کوتاه شوند). در ترانسفورماتورهای تک‌فاز، ترمینال نوترال سیم‌پیچ تحت آزمون بایستی مستقیماً زمین شود.

سیم‌پیچهای هر فاز به صورت جداگانه و در حالیکه ترمینال نوترال زمین شده است مورد آزمون قرار می‌گیرند. ترانسفورماتور بایستی به گونه‌ای اتصال یابد که ولتاژی با پلاریته مخالف و تقریباً برابر با نصف دامنه روی دو ترمینال دیگر ظاهر شود (این دو ترمینال می‌تواند به یکدیگر متصل گردد). برای محدودسازی ولتاژ با پلاریته مخالف به ۵۰ درصد سطح ولتاژ آزمون، توصیه می‌شود ترمینالهایی که تحت آزمون نیستند با مقاومتهای میراکننده بزرگ (۱۰ تا ۲۰ کیلو اهم) زمین شوند.

در صورتیکه هیچگونه فروپاشی ناگهانی ولتاژ و یا ناپیوستگی در جریان نوترال مشاهده نشود، آزمون موفقیت‌آمیز تلقی می‌شود.

۳-۲- آزمونهای نوعی

۳-۲-۱- آزمون افزایش درجه حرارت

در طول آزمون افزایش درجه حرارت، ترانسفورماتور بایستی مجهز به تجهیزات حفاظتی خود مانند رله بوخهلتس باشد. درجه حرارت هوای محیط بایستی ثابت نگه داشته شده و حداقل از سه سنسور دما باید استفاده شود. سنسورها بایستی در فواصل ۱ تا ۲ متری تانک ترانسفورماتور قرار داده شده و میانگین قرائت آنها، دمای هوای خنک‌کننده محسوب می‌شود. در ترانسفورماتورهای خنک‌شونده با گردش اجباری هوا، سنسورها بایستی به گونه‌ای قرار گیرند که دمای واقعی هوای وارد شده به دمنده‌ها را اندازه‌گیری کنند.

آزمون افزایش درجه حرارت را می‌توان به روشهای مختلفی از جمله بارگیری مستقیم، روش پشت به پشت و روش اتصال کوتاه انجام داد که استاندارد IEC شماره ۲-۶۰۰۷۶ روش اتصال کوتاه را به عنوان روش استاندارد پیشنهاد کرده است. در این روش به یک سیم‌پیچ، ولتاژی کمتر از ولتاژ نامی اعمال می‌شود و سیم‌پیچ دیگر اتصال کوتاه خواهد بود. ولتاژ آزمون بایستی در مقداری تنظیم شود تا توان اکتیو دریافتی ترانسفورماتور برابر مجموع تلفات بی‌باری و بارداری آن باشد. جهت این امر ممکن است جریان ترانسفورماتور در مقداری بیش از مقدار نامی خود قرار گیرد. دمای روغن و هوای خنک‌کننده محیط در طول آزمایش اندازه‌گیری می‌شود و آزمون آنقدر ادامه می‌یابد تا روغن به یک افزایش دمای ثابت برسد. آزمون زمانی به پایان می‌رسد که نرخ افزایش دمای

omoorepeyman.ir

روغن قسمت بالا کمتر از ۱ درجه بر ساعت بوده و این امر برای ۳ ساعت حفظ شود. میانگین دماهای خوانده شده در بازه‌های زمانی مختلف و در یک ساعت پایانی آزمون به عنوان میزان افزایش درجه حرارت روغن بالای ترانسفورماتور در نظر گرفته می‌شود.

بعد از تعیین مقدار افزایش درجه حرارت روغن بالای ترانسفورماتور، آزمون بایستی جهت تعیین افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ ادامه یابد. به این منظور جریان به مقدار جریان نامی کاهش داده شده و برای مدت یک ساعت در این وضعیت باقی می‌ماند. در پایان یک ساعت بایستی مقاومت سیم‌پیچ اندازه‌گیری شود و به کمک آن دمای نهایی سیم‌پیچ تعیین شود. اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ می‌تواند به کمک قطع منبع تغذیه و اندازه‌گیری سریع انجام شود و یا می‌توان یک جریان مستقیم و با دامنه کم را به جریان سیم‌پیچ افزوده و به کمک اصل بر هم نهی[1] مقدار مقاومت را تعیین کرد.

در طول یکساعت اعمال جریان نامی، دمای روغن کاهش می‌یابد. به همین دلیل جهت تصحیح، مقدار دمای اندازه‌گیری شده سیم‌پیچ بایستی به اندازه کاهش دمای روغن، افزایش یابد.

در ترانسفورماتورهای با محدوده تپ بزرگتر از ٪۵±، آزمون بایستی به ازای تپی که منجر به بیشترین جریان می‌شود انجام گیرد و مقدار تلفات که بصورت توان به ترانسفورماتور تزریق می‌شود بایستی برابر بیشترین مقدار آن در تپهای مختلف باشد.

در ترانسفورماتورهای چند سیم‌پیچه که توان ظاهری یک سیم‌پیچ برابر مجموع توانهای سیم‌پیچهای دیگر است توان تزریقی در آزمون افزایش درجه حرارت برابر تلفات کل همه سیم‌پیچها می‌باشد. در غیر اینصورت بیشترین تلفات ممکن بین دو سیم‌پیچ به عنوان توان تزریقی در آزمون بایستی مورد استفاده قرار گیرد. نحوه محاسبه تلفات در ترانسفورماتورهای چند سیم‌پیچه در IEC شماره ۸-۶۰۰۷۶ آمده است.

۳-۲-۱-۱- تعیین دمای روغن

جهت تعیین دمای بالای روغن بایستی از یک یا چند سنسور غوطه‌ور در قسمت بالای روغن استفاده کرد. در ترانسفورماتورهای بزرگ بایستی از چند سنسور استفاده کرد و دمای متوسط آنها را به عنوان دمای روغن بالای تانک منظور کرد. دمای روغن پایین در واقع دمای روغن ورودی به سیم‌پیچ در قسمت تحتانی تانک است که می‌توان آن را برابر دمای روغنی که از خنک‌کننده‌ها به تانک وارد می‌شود در نظر گرفت. جهت تعیین دمای روغن پایین بایستی سنسور یا سنسورهایی را در مسیر روغن خروجی از خنک‌کننده‌ها (رادیاتورها) قرار داد. دمای متوسط روغن برابر مقدار متوسط دمای بالای روغن و دمای پایین آن در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۱-۲- تعیین دمای متوسط سیم‌پیچ

دمای متوسط سیم‌پیچ به کمک اندازه‌گیری مقاومت آن تعیین می‌شود. در ترانسفورماتورهای سه فاز بایستی مقاومت سیم‌پیچ ستون وسط اندازه‌گیری شود. رابطه بین مقاومت در دو دمای مختلف را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$ برای هادی مسی (۳-۵-الف)

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}$$ برای هادی آلومینیومی (۳-۵-ب)

1 . Super position

omoorepeyman.ir

اندازه‌گیری مقاومت مرجع (R_1) بایستی در حالت ماندگار ترانسفورماتور و در دمای محیط (θ_1) انجام شود و به کمک این اندازه‌گیری و روابط فوق، دمای متوسط سیم‌پیچ در هنگام آزمون تعیین می‌شود. در صورتیکه دمای محیط خنک‌کننده خارجی در هنگام پایان آزمون θ_a باشد، افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\Delta\theta_w = \theta_2 - \theta_a \qquad (۶-۳)$$

جهت تعیین مقاومت سیم‌پیچ بایستی بعد از قطع منبع توان آزمون و برطرف کردن اتصال کوتاه سیم‌پیچهای دیگر، سریعاً مدار اندازه‌گیری مقاومت dc را به سیم‌پیچ تحت آزمون متصل کرد. به دلیل بالابودن ثابت زمانی الکتریکی مدار (L/R)، مقدار دقیق مقاومت بعد از یک تأخیر زمانی بدست می‌آید. به دلیل آنکه به محض قطع منبع توان، سیم‌پیچ شروع به خنک‌شدن می‌کند، مقاومت سیم‌پیچ در لحظه قطع مدار را بایستی به کمک برون‌یابی اطلاعات بعد از زمان قطع منبع تعیین کرد.

در صورتیکه به هر دلیلی آزمون در توان و جریانی کمتر از مقدار مشخص‌شده انجام گیرد بایستی مقدار افزایش درجه حرارت روغن در ضریب زیر ضرب شود:

$$\left[\frac{\text{کل تلفات}}{\text{تلفات آزمون}}\right]^x \qquad (۷-۳)$$

که در ترانسفورماتورهای قدرت با گردش طبیعی روغن x=۰/۹ و در ترانسفورماتورهای قدرت با گردش اجباری یا جهت داده شده روغن x=۱ خواهد بود.

پ- افزایش متوسط دمای سیم‌پیچ نسبت به دمای متوسط روغن بایستی در ضریب زیر ضرب شود:

$$\left[\frac{\text{جریان نامی}}{\text{جریان آزمون}}\right]^y \qquad (۸-۳)$$

که در ترانسفورماتورهای با گردش طبیعی و اجباری روغن y=۱/۶ و با گردش جهت داده شده روغن y=۲ خواهد بود.

۳-۲-۲- آزمونهای نوعی عایقی

تنها آزمون عایقی نوعی، آزمون موج ضربه صاعقه بوده که به ترانسفورماتورهای با حداکثر ولتاژ $U_m \leq$ ۷۲/۵ کیلوولت و مطابق بند (۳-۱-۸) اعمال می‌شود.

۳-۳- آزمونهای ویژه

۳-۳-۱- آزمونهای ویژه عایقی

آزمون منبع ولتاژ Ac القایی بلندمدت برای ترانسفورماتورهای با $U_m \leq$ ۱۷۰ ≤ ۷۲/۵ کیلوولت آزمون ویژه محسوب شده و مطابق بند (۳-۱-۷-۲) انجام می‌شود.

همچنین آزمون منبع ولتاژ AC القایی کوتاه مدت در ترانسفورماتورهای با U_m>۱۷۰ کیلوولت آزمون ویژه محسوب می‌شود و بایستی مطابق بند (۳-۱-۷-۱) انجام گیرد.

omoorepeyman.ir

آزمون موج ضربه صاعقه بریده شده[1] به عنوان یک آزمون ویژه بایستی با آزمون ضربه صاعقه ترکیب شود. بیشترین مقدار موج ضربه بریده شده بایستی ۱/۱ برابر دامنه موج ضربه کامل باشد. به طور معمول در تنظیمات مدار آزمون موج صاعقه تغییری داده نمی‌شود و تنها یک فاصله هوایی برشی[2] اضافه می‌شود. روند انجام آزمون به شکل زیر خواهد بود:

- اعمال یک موج ضربه با دامنه کاهش داده شده
- اعمال یک موج ضربه بادامنه کامل
- اعمال یک یا تعداد بیشتری موج ضربه بریده شده با دامنه کاهش داده شده
- اعمال دو موج ضربه بریده شده با دامنه کامل
- دو موج ضربه با دامنه کامل

با توجه به شکل موجهای اسیلوگرافیک ثبت شده و مقایسه حالت موج کامل با موج کاهش داده شده می‌توان به بروز خطا پی برد.

۳-۳-۲- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی بین سیم‌پیچها و سیم‌پیچ به زمین

روش انجام این آزمون مطابق توافق بین سازنده و خریدار تعیین می‌شود.

۳-۳-۳- تعیین مشخصات موج‌گذاری انتقالی[3]

روش انجام این آزمون مطابق توافق بین سازنده و خریدار تعیین می‌شود.

۳-۳-٤- اندازه‌گیری امپدانس مؤلفه صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز

امپدانس مؤلفه صفر در فرکانس نامی و بین ترمینالهای خط که به هم متصل شده‌اند و نوترال اندازه‌گیری می‌شود (در سیم‌پیچهای ستاره و زیگزاگ). این مقدار برحسب اهم بر فاز ارائه شده و برابر ۳ U/I می‌باشد که U ولتاژ آزمون و I جریان آزمون است. بایستی دقت شود که در این آزمون جریان نوترال بیش از حد تحمل نامی آن نباشد.

در صورتیکه ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچ مثلث دیگری باشد، جریان آزمون بایستی در حدی باشد که باعث عبور جریان بیش از حد از سیم‌پیچ مثلث با توجه به دوره آزمون نشود.

در ترانسفورماتورهایی که امکان برقراری تعادل جریان مؤلفه صفر وجود ندارد (مانند ترانسفورماتورهای ستاره ـ ستاره بدون سیم‌پیچ سوم مثلث)، ولتاژ آزمون نبایستی بیش از ولتاژ نامی فاز به زمین سیم‌پیچ باشد. در ترانسفورماتورهای با بیش از یک سیم‌پیچ ستاره، امپدانس مؤلفه صفر اندازه‌گیری شده وابسته به نحوه اتصالات سیم‌پیچها بوده که بایستی مورد توافق بین سازنده و خریدار قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

1 . Lightning impulse chopped on the tail (LTC)
2 . Chopped gap
3 . Transient voltage transfer charachristics

اتوترانسفورماتورهایی که ترمینال نوترال آنها بطور ثابت به زمین متصل می‌شود به عنوان یک ترانسفورماتور دو سیم‌پیچ ستاره ـ ستاره در نظر گرفته می‌شوند. در این ترانسفورماتورها، سیم‌پیچ سری و مشترک به صورت توام به عنوان سیم‌پیچی که اندازه‌گیری روی آن انجام می‌شود در نظر گرفته شده و سیم‌پیچ مشترک به تنهایی به عنوان سیم‌پیچ دیگر در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۵- اندازه‌گیری هارمونیکهای جریان بی‌باری

مقدار هارمونیکهای جریان بی‌باری در هر سه فاز بایستی اندازه‌گیری شده و مقدار آنها بر حسب نسبت آنها به جریان مؤلفه اصلی بیان شود. روش آزمون مطابق توافق بین سازنده و خریدار خواهد بود.

۳-۳-۶- اندازه‌گیری توان دریافتی پمپها و فنها

روش انجام این آزمون مطابق توافق بین سازنده و خریدار تعیین می‌شود.

۳-۳-۷- اندازه‌گیری مقاومت عایق سیم‌پیچها نسبت به زمین و / یا اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی (tgδ)

مقادیر اندازه‌گیری شده می‌بایستی به عنوان مقادیر پایه جهت مقایسه با اندازه‌گیریها در سایت استفاده شود. روش انجام این آزمون مطابق توافق بین سازنده و خریدار خواهد بود.

۳-۳-۸- آزمون تحمل اتصال کوتاه

۳-۳-۸-۱- تحمل حرارتی جریان اتصال کوتاه

مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۷۶-۵ تحمل حرارتی اتصال کوتاه ترانسفورماتور می‌بایستی با محاسبه بررسی شود. مطابق این استاندارد جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$I = \frac{U}{(Z_t + Z_s)\times\sqrt{3}} \qquad (۹-۳)$$

که در آن I جریان اتصال کوتاه برحسب کیلوآمپر بوده و Z_s به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$Z_s = \frac{U_s^2}{SCC} \qquad \text{(اهم بر فاز)} \qquad (۱۰-۳)$$

U_s ولتاژ نامی سیستم برحسب کیلوولت و SCC سطح اتصال کوتاه ظاهری سیستم برحسب مگاولت آمپر می‌باشد. U و Z_t به شکل زیر تعریف می‌شوند:

- در تپ اصلی

U ولتاژ نامی سیم‌پیچ موردنظر بر حسب کیلوولت و Z_t امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور در طرف سیم‌پیچ تحت آزمون است که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_s = \frac{u_Z U_n^2}{100\times S_n} \qquad \text{(اهم بر فاز)} \qquad (۱۱-۳)$$

که u_Z امپدانس ولتاژ در جریان نامی و دمای مرجع برحسب درصد و S_n توان نامی ترانسفورماتور برحسب مگاولت آمپر است.

omoorepeyman.ir

- در تپهای غیراز تپ اصلی

U ولتاژ متناظر با تپ سیم‌پیچ تحت آزمون و Z_t امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور در سمت سیم‌پیچ تحت آزمون و با در نظر گرفتن تپ آن می‌باشد.

دوره اعمال جریان در آزمون حرارتی ۲ ثانیه است. با این حال در اتوترانسفورماتورها و ترانسفورماتورهایی که جریان اتصال کوتاه آنها بیش از ۲۵ برابر جریان نامی است، دوره‌ای کمتر از ۲ ثانیه نیز بنا به توافق قابل انتخاب است.

بیشترین دمای متوسط مجاز برای هادیهای مسی ۲۵۰ درجه و هادیهای آلومینیومی ۲۰۰ درجه است. حداکثر درجه حرارت متوسطی که سیم‌پیچ در طول دوره اتصال کوتاه بدان می‌رسد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{\frac{106000}{J^2 t} - 1} \qquad \text{(هادی مسی)} \qquad (۱۴-۳)$$

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 225)}{\frac{45700}{J^2 t} - 1} \qquad \text{(هادی آلومینیوم)}$$

که در آن:

θ_0 : دمای اولیه برحسب درجه سانتیگراد

J : چگالی جریان اتصال کوتاه بر حسب آمپر بر میلی‌متر مربع

t : دوره اعمال اتصال کوتاه برحسب ثانیه

θ_1: ماکزیمم دمای متوسط مجاز سیم‌پیچ می‌باشد.

۳-۳-۸-۲- تحمل دینامیکی جریان اتصال کوتاه

تحمل دینامیکی جریان اتصال کوتاه را می‌توان به کمک آزمون و یا محاسبات بررسی نمود که انتخاب روش بر مبنای توافق سازنده و خریدار خواهد بود.

ممکن است ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ را نتوان مطابق روش این استاندارد مورد آزمون قرارداد که در این صورت روش آزمون بایستی مورد توافق قرار گیرد.

جهت انجام آزمون، نصب تجهیزات جانبی که در رفتار ترانسفورماتور به هنگام اتصال کوتاه نقش ندارند الزامی نیست. قبل از انجام این آزمون بایستی آزمونهای جاری بر روی ترانسفورماتور انجام شده باشد. در صورتیکه ترانسفورماتور مجهز به تپ باشد، امپدانس آن در تپی که آزمون انجام می‌شود، بایستی اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیریهای امپدانس را بایستی بتوان با دقت ±۰/۲ درصد تکرار کرد. در زمان شروع آزمون، دمای متوسط سیم‌پیچ بایستی بین ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

اندازه اولین پیک جریان نامتقارن اتصال کوتاه $(\hat{i})$ به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{i} = IK\sqrt{2} \qquad (۱۵-۳)$$

omoorepeyman.ir

که جریان اتصال کوتاه متقارن I مطابق رابطه (۳-۹) تعیین شده و ضریب K وابسته به نسبت X/R می‌باشد که در آن، X مجموع راکتانس ترانسفورماتور و سیستم و R مجموع مقاومت ترانسفورماتور و سیستم بر حسب اهم می‌باشد. جدول (۳-۳) مقادیر ضریب K را به ازای نسبتهای مختلف X/R نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳: مقادیر ضریب K

X/R	۱	۱,۵	۲	۳	۴	۵	۶	۸	۱۰	۱۴
$K\sqrt{2}$	۱/۵۱	۱/۶۴	۱/۷۶	۱/۹۵	۲/۰۹	۲/۱۹	۲/۲۷	۲/۳۸	۲/۴۶	۲/۵۵

برای مقادیر مختلف X/R که در جدول نیامده می‌توان از درونیابی‌خطی استفاده کرد. برای مقادیر $\frac{X}{R} > 14$، ضریب $K\sqrt{2}$ در ترانسفورماتورهای تا ظرفیت ۱۰۰مگاولت آمپر برابر ۲/۵۵ و در ترانسفورماتورهای با ظرفیت بیش از ۱۰۰مگاولت آمپر برابر ۲/۶۹ خواهد بود. مقدار جریان پیک که در آزمون بدست می‌آید نباید بیش از پنج درصد و جریان متقارن بیش از ده درصد با مقدار تعیین شده متفاوت باشد.

به منظور دستیابی به مقدار مورد نظر جریان اتصال کوتاه، ولتاژ منبع تغذیه بایستی بیش از مقدار نامی ولتاژ سیم‌پیچ باشد. برقراری اتصال کوتاه در سیم‌پیچ دوم می‌تواند قبل و یا بعد از اعمال ولتاژ به سیم‌پیچ اولیه انجام گیرد. در صورتیکه اتصال کوتاه بعد از اعمال ولتاژ برقرار شود، ولتاژ منبع نباید بیش از ۱/۱۵ برابر ولتاژ نامی سیم‌پیچ باشد. در صورتیکه اتصال کوتاه پیش از اعمال ولتاژ به سیم‌پیچ دیگر انجام شود، در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچی متحدالمرکز، بهتر است که ولتاژ به سیم‌پیچ خارجی (دور از هسته) اعمال شود و سیم‌پیچ داخلی اتصال کوتاه گردد. در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ ساندویچی و یا متحدالمرکز دوگانه، روش اعمال اتصال کوتاه پیش از برقراری ولتاژ بایستی مورد توافق بین سازنده و خریدار قرار گیرد.

سوئیچینگ منبع تغذیه بایستی به کمک یک سوئیچ سنکرون تنظیم شود. شکل موج جریان اتصال کوتاه بایستی توسط اسیلوگراف ثبت شود. برای دستیابی به حداکثر عدم تقارن، لحظه سوئیچینگ بایستی زمان عبور از صفر ولتاژ سیم‌پیچ باشد.

آزمون ترانسفورماتورهای سه فاز بایستی به کمک یک منبع سه فاز انجام شود. در صورت عدم امکان استفاده از منبع تغذیه سه‌فاز می‌توان به روش زیر عمل کرد.

در ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث، ولتاژ بایستی به دو گوشه سیم‌پیچ مثلث اعمال شده و اندازه این ولتاژ برابر ولتاژ فاز به فاز در آزمون سه فاز خواهد بود. در ترانسفورماتورهای با اتصال ستاره، ولتاژ بایستی بین یک ترمینال خط و دو ترمینال خط دیگر که به هم متصل هستند اعمال شود. ولتاژ آزمون بایستی $\frac{\sqrt{3}}{2}$ برابر ولتاژ فاز به فاز در آزمون سه فاز باشد.

تعداد انجام آزمون (اعمال اتصال کوتاه)، جدای از اولین اعمال ولتاژ که منجر به جریان کمتر از ۷۰ درصد جریان اصلی آزمون شده و جهت کالیبره‌کردن دستگاههای اندازه‌گیری انجام می‌شود، به شکل زیر تعیین می‌گردد:

در ترانسفورماتورهای سه فاز با ظرفیت کمتر از ۱۰۰مگاولت آمپر تعداد آزمون برابر ۹ خواهد بود (سه آزمون بر روی هر فاز). آزمون در سه تپ مختلف انجام می‌شود به این معنی که سه آزمون در بالاترین تپ و بر روی یکی از فازهای خارجی، سه آزمون در تپ اصلی و بر روی فاز میانی و سه آزمون در کمترین تپ و بر روی فاز خارجی دیگر.

omoorepeyman.ir

در ترانسفورماتورهای با ظرفیت بیش از ۱۰۰مگاولت آمپر، تعداد آزمون و محل تپ چنجر حتماً بایستی مورد توافق بین سازنده و خریدار قرار گیرد. به عنوان یک پیشنهاد، تعداد انجام آزمونها را می‌توان در ترانسفورماتورهای تک‌فاز برابر ۳ و در ترانسفورماتورهای سه فاز برابر ۹ در نظر گرفت و موقعیت تپ چنجر نیز مشابه ترانسفورماتورهای با ظرفیت کمتر از ۱۰۰مگاولت آمپر است.

دوره هر آزمون برابر ۰/۲۵ ثانیه با تقریب حداکثر ٪۱۰± خواهد بود.

در ترانسفورماتورهای با بیش از دو سیم‌پیچ و یا اتو ترانسفورماتورها، حالات مختلف اتصالات بایستی درنظر گرفته شود و به تبع آن نحوه انجام آزمون نیز بایستی تعیین شود. نحوه اتصالات، روش آزمون و تعداد آنها در این حالت بایستی موردتوافق بین سازنده و خریدار قرار گیرد.

قبل از انجام آزمون اتصال کوتاه، راکتانس ترانسفورماتور بایستی اندازه‌گیری شده و وضعیت رله بوخهلتس مورد بررسی قرار گیرد. این اندازه‌گیریها به عنوان مرجعی برای مقایسه و تشخیص بروز خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در طول هر آزمون، شکل موج ولتاژ و جریان به وسیله اسیلوگرام ثبت شده و وضعیت خارجی ترانسفورماتور نیز بایستی بصورت ویدیوئی ثبت گردد. بعد از هر آزمون، اسیلوگرافهای ثبت شده و وضعیت رله بوخلهتس بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد و راکتانس اتصال کوتاه اندازه‌گیری شود.

هر نوع تغییر غیرعادی بخصوص درمورد راکتانس اتصال کوتاه بایستی ثبت شود.

بعد از پایان آزمون، بخش فعال ترانسفورماتور (هسته و سیم‌پیچها) بایستی از داخل تانک خارج شده و مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله بایستی کلیه آزمونهای جاری بر روی ترانسفورماتور تکرار شود.

موفقیت آزمون تحمل دینامیکی جریان اتصال کوتاه وابسته به برقراری شرایط زیر است:

- نتایج آزمون اتصال کوتاه و اندازه‌گیریهای مراحل مختلف نشان‌دهنده وجود خطا نباشند.
- آزمونهای جاری پس از آزمون اتصال کوتاه با موفقیت به پایان برسد.
- بررسی سیم‌پیچها هیچ‌گونه خطایی را همچون جابجایی، تغییر شکل سیم‌پیچ و نگهدارنده‌ها آشکار نسازد.
- هیچ اثری از تخلیه الکتریکی داخلی مشاهده نشود.
- در ترانسفورماتورهای با ظرفیت کمتر از ۱۰۰مگاولت آمپر و سیم‌پیچی ساندویچی غیردایره‌ای یا متحدالمرکز دایره‌ای، راکتانس اتصال کوتاه در مراحل مختلف آزمون بیش از ۲ درصد با مقدار اولیه تفاوت نداشته باشد.
- در ترانسفورماتورهای با ظرفیت کمتر از ۱۰۰مگاولت آمپر و سیم‌پیچی متحدالمرکز غیردایره‌ای، راکتانس اتصال کوتاه در مراحل مختلف آزمون بیش از ۷/۵ درصد با مقدار اولیه تفاوت نداشته باشد.
- در ترانسفورماتورها با ظرفیت بیش از ۱۰۰مگاولت آمپر، راکتانس اتصال کوتاه در مراحل مختلف آزمون بیش از ۱درصد با مقدار اولیه تفاوت نداشته باشد.

۳-۳-۹- تعیین سطح صدا

اندازه‌گیری سطح صدا بایستی مطابق با استاندارد IEC شماره ۱۰-۶۰۰۷۶ انجام شود.

اندازگیری سطح صدا می‌تواند به دو روش اندازه‌گیری فشار صوت و روش اندازه‌گیری شدت صوت انجام شود.

omoorepeyman.ir

اندازه‌گیری فشار صوت[1] بایستی با سنسورهای نوع یک مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۶۵۱ انجام گیرد. اندازه‌گیری شدت صوت[2] بایستی با سنسورهای نوع یک مطابق استاندارد IEC شماره ۶۱۰۴۳ انجام شود.

اندازه‌گیری سطح صدا بایستی در شرایط بی‌باری و در ولتاژ نامی انجام گیرد. به کمک رابطه زیر می‌توان مقدار تقریبی سطح صدا در حالت بارداری را تعیین کرد.

$$L_{wa,in} \approx 39 + 18 \log \frac{S_r}{S_P} \qquad (۳-۱۶)$$

که در آن:

$L_{wa,in}$: سطح صدای ترانسفورماتور در فرکانس، ولتاژ و جریان نامی

S_r: توان نامی ترانسفورماتور (مگاولت آمپر)

S_P: توان مرجع (یک مگاولت آمپر) می‌باشد.

در صورتی که $L_{wa,in}$ به میزان ۸ دسی‌بل یا بیشتر کمتر از مقدار گارانتی شده باشد، اندازه‌گیری سطح صدا تحت جریان نامی لازم نخواهد بود.

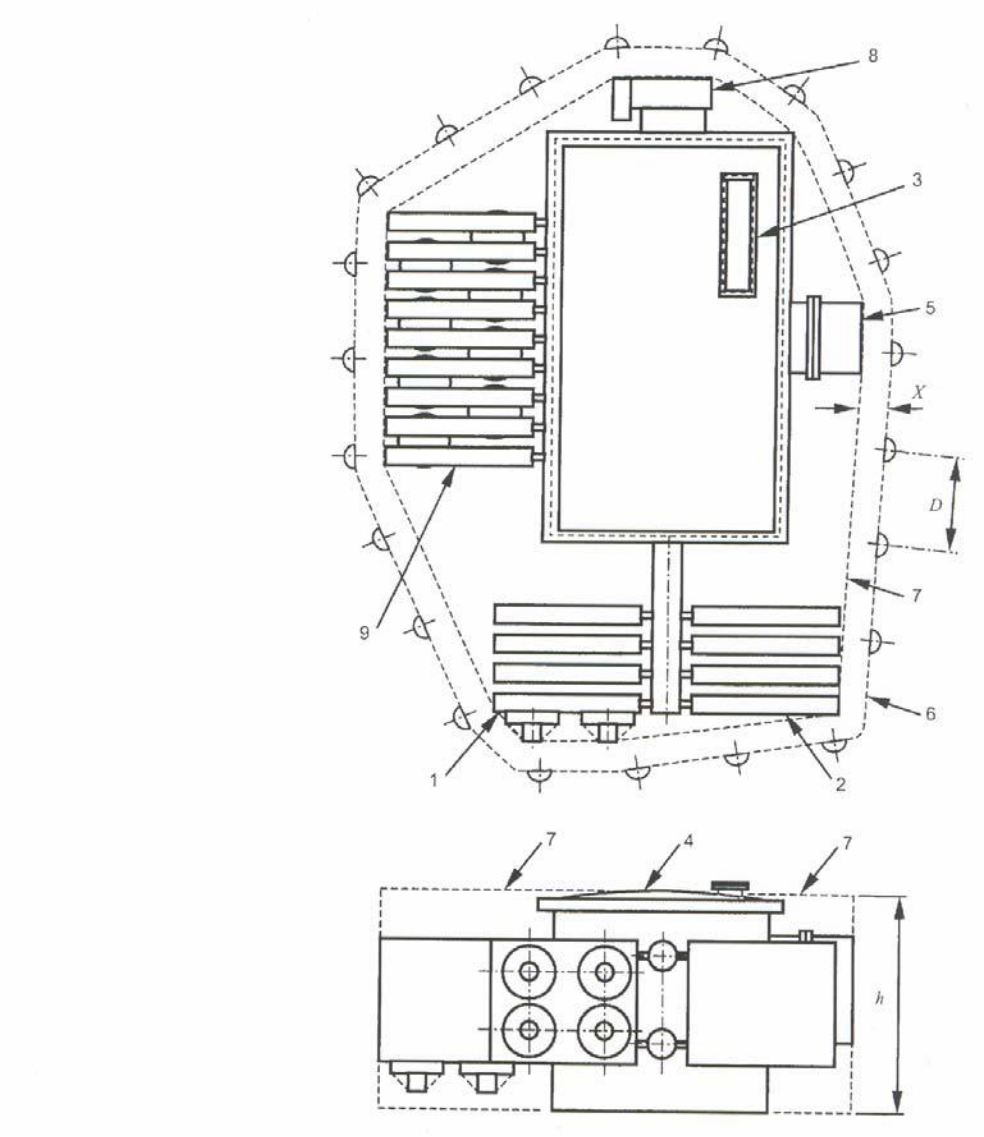
قبل و بعد از انجام آزمون، نویز زمینه بایستی مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. ترانسفورماتور بایستی در مکانی مورد آزمون قرار گرفته که فاصله بین ترانسفورماتور تا سطوح منعکس‌کننده صوت به اندازه کافی زیاد باشد.

میکروفونها بایستی بر روی کانتور اندازه‌گیری و با فواصل مساوی حداکثر یک متری قرار گیرند و حداقل از شش میکروفون جهت اندازه‌گیری استفاده شود. شکلهای (۳-۵) و (۳-۶) محل میکروفونها را برای انواع مختلف ترانسفورماتورها نشان می‌دهد.

کانتور اندازه‌گیری خطی افقی است که سنسورها بر روی آن قرار می‌گیرند و به فاصله‌ای مشخص از سطح تشعشع قرار گرفته است. سطح تشعشع سطحی فرضی است که ترانسفورماتور را در بر می‌گیرد و فرض می‌شود که تشعشع نویز صوتی از این سطح انجام می‌شود.

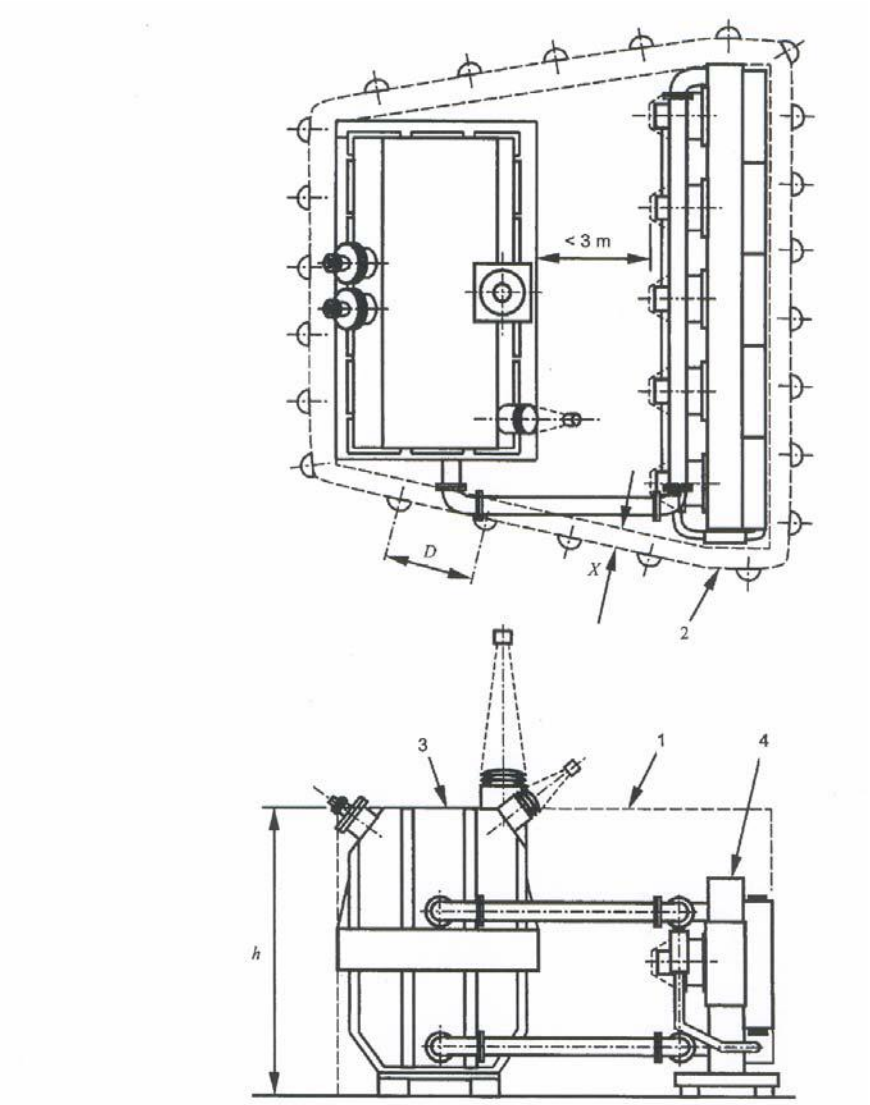
omoorepeyman.ir

1 . Sound pressure
2 . Sound intensity



شکل ۳-۵: محل نمونه میکروفونها در ترانسفورماتورهای مجهز به تجهیزات خنک‌کننده که مستقیماً بر روی تانک نصب‌شده‌اند و یا در فاصله‌ای کمتر از ۳ متر تا سطح تشعشع قرار دارند.

omoorepeyman.ir



شکل ۳-٦: محل نمونه میکروفونها در ترانسفورماتورهای مجهز به سیستم خنک‌کننده مجزا که در فاصله‌ای کمتر از ۳ متر تا سطح تشعشع قرار گرفته است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

ħ فصل

p åʒlʏƐƛdzƐʜʊƛ åʟʜʊɹʒüǩlʒÑϥsʏ

ت3ɜdā̈ ʒÑ°lϥʒÑÄ̈ʂ℠lƐ° å3lɜʜʊŬ℠

omoorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل دستورالعملهای بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور قدرت ارائه می‌شود. همچنین نحوه بازدیدهای دوره‌ای و انجام سرویس روی ترانسفورماتورها نیز از دیگر مباحث مطرح شده در این فصل خواهد بود.

٤-١- کلیات

از آنجایی که برای تأسیس پستهای انتقال نیرو بودجه عظیمی صرف می‌شود و ماهها وقت لازم است تا تجهیزات و وسایل آن خریداری، تهیه، نصب و راه‌اندازی گردد و از طرفی با توجه به اهمیت این پستها در شبکه و نقش آنها در تداوم سرویس‌دهی به مشترکین لازم است در نگهداری آنها نهایت دقت و تلاش لازم بعمل آید.

به طور کلی صدماتی که بر تجهیزات و دستگاههای موجود در پستهای فشارقوی وارد می‌گردد ناشی از عوامل زیر می‌باشد:

- عوامل جوی مانند باران، باد، درجه حرارت و .....
- عوامل داخلی شبکه مانند اضافه ولتاژهای ناشی از قطع و وصل کلیدها، تغییرات ناگهانی در پارامترهای سیستم و یا اختلال در سیستم (مانند اتصال کوتاه)
- عوامل ناشی از بهره‌برداری غیراصولی مانند عدم بازدید به موقع و صحیح از تجهیزات در حال کار، عدم توجه به عیوب و اشکالات پیش آمده، عدم بکارگیری مقررات و دستورالعملهای تدوین شده و انجام مانورهای غلط
- عوامل مربوط به سرویس و نگهداری صحیح تجهیزات مانند تأخیر در سرویس دستگاهها، عدم استفاده از دستورالعملهای سازنده و ...

سرویس و تعمیرات به موقع و همچنین آزمونهای دوره‌ای و پیشگیرانه تجهیزات پستهای فشارقوی علاوه بر اینکه در سلامتی و طولانی شدن عمر آنها مؤثر است، از آسیب دیدن و یا تعمیرات اصلاحی مکرر و گسترش احتمالی عیب در سایر تجهیزات پست که می‌تواند سبب خروج طولانی مدت و یا غیرقابل بهره‌برداری شدن تجهیزات و یا قطع پستهای مهم شود نیز جلوگیری بعمل می‌آورد. لذا باید واحدهای تعمیراتی سرویس دوره‌ای، تعمیرات اساسی و آزمونها را با توجه به نوع دستگاه، عملکرد، شرایط محیطی و همچنین دستورالعملهای صادره از سوی سازندگان تجهیزات به اجرا گذارند.

omoorepeyman.ir

٤-٢- نگهداری

نگهداری از ترانسفورماتور قدرت و رفع عیبهای احتمالی نیازمند انجام یکسری بازدیدهای دوره‌ای بوده که در زیر به طول دوره و مواردی که در هر بازدید باید مورد توجه قرار گیرد اشاره شده است.

٤-٢-١- بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور قدرت

مواردی که در بازدید روزانه از ترانسفورماتور قدرت باید مدنظر قرار گیرند بشرح زیر است:

- وضعیت ظاهری از نظر نظافت، صدا و لرزش غیرعادی
- ترمینال‌های اصلی و بوشینگ‌ها ازنظر آلودگی، ترک و شکستگی
- عدم وجود نشتی روغن در تانک اصلی، کنسرواتورها، رادیاتورها، بوشینگ‌ها، رله بوخهلتس، تانک اصلی و تپ‌چنجر، پمپها و شیرها
- طبیعی‌بودن وضعیت ظاهری فن‌ها و پمپ‌ها و کلیدهای آن
- عادی‌بودن درجه حرارت سیم‌پیچ و روغن
- مطلوب‌بودن سطح روغن کنسرواتور، بوشینگ و تپ‌چنجر
- مطلوب‌بودن وضعیت ظاهری محفظه سیلیکاژل، رنگ سیلیکال و روغن زیر آن
- طبیعی بودن وضعیت ظاهری تابلو، مکانیزم و اجزاء تپ‌چنجر
- سالم‌بودن روشنایی و گرمکن جعبه‌های کنترل خنک‌کننده‌ها و تپ‌چنجر

٤-٢-٢- بازدید هفتگی از ترانسفورماتور قدرت

بازدیدهای هفتگی در واقع بازدیدهایی هستند که با اعمال آن وضعیت تجهیزات دقیقتر از بازدیدهای روزانه مورد بررسی قرار می‌گیرد و سعی شده است اهم مواردی که شخص بازدیدکننده ممکن است برخورد کند درنظر گرفته شود.

- سالم یا معیوب‌بودن بوشینگها و طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن آنها
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن کنسرواتورها
- سالم یا معیوب‌بودن ترمومتر سیم‌پیچ‌ها
- سالم یا معیوب‌بودن ترمومتر روغن
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن از قسمتهای مختلف ترانسفورماتور و تعیین محل آن
- وجود یا عدم وجود لرزش و صدای غیرعادی در ترانسفورماتور
- سالم یا معیوب‌بودن سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوهای ترانسفورماتور
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن گیربکس تپ‌چنجر
- برقرار بودن یا نبودن برق ac و dc مربوط به مدارات کنترل
- تغییر رنگ $\frac{2}{3}$ سیلیکاژل و نیاز یا عدم نیاز به تعویض آن

omoorepeyman.ir

- تمیز یا کثیف‌بودن روغن محفظه سیلیکاژل و خالی یا پر بودن روغن محفظه تا خط نشانه
- کامل یا ناقص‌بودن اتصال سیم زمین به بدنه ترانسفورماتور در نقاط مختلف
- کامل یا ناقص‌بودن اتصالات هادی‌های ورودی و خروجی فشارقوی
- سایر اشکالات مشاهده شده

٤-۲-۳- بازدید ماهیانه از ترانسفورماتور قدرت

بازدید ماهیانه که در واقع بصورت دقیق انجام می‌گیرد دربرگیرنده کلیه معایبی است که ممکن است در ترانسفورماتور وجود داشته باشد و علاوه بر آن در واقع این بازدید پوشش‌دهنده بازدیدهای روزانه و هفتگی نیز می‌گردد. به هر ترتیب این بازدید دلیلی بر عدم انجام بازدیدهای روزانه و هفتگی نخواهد بود.

٤-۲-۳-۱- بوشینگها

- کامل یا ناقص‌بودن اتصال هادی متصل به سوزنی بوشینگ‌های اولیه
- کامل یا ناقص‌بودن اتصال هادی متصل به سوزنی بوشینگ‌های ثانویه
- کامل یا ناقص‌بودن اتصال هادی متصل به سوزنی بوشینگ‌های ثالثیه (در صورت وجود)
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن بوشینگ‌های اولیه
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن بوشینگ‌های ثانویه
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن بوشینگ‌های ثالثیه (در صورت وجود)
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در بوشینگ‌های اولیه
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در بوشینگ‌های ثانویه
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در بوشینگ‌های ثالثیه (در صورت وجود)
- تمیز یا کثیف‌بودن مقره بوشینگ‌های اولیه و نیاز یا عدم نیاز به شستشو یا تمیزکردن
- تمیز یا کثیف‌بودن مقره بوشینگ‌های ثانویه و نیاز یا عدم نیاز به شستشو یا تمیزکردن
- تمیز یا کثیف‌بودن مقره بوشینگ‌های ثالثیه و نیاز یا عدم نیاز به شستشو یا تمیزکردن (در صورت وجود)
- سالم یا معیوب‌بودن مقره بوشینگ‌های اولیه و نیاز یا عدم نیاز به تعویض آن
- سالم یا معیوب‌بودن مقره بوشینگ‌های ثانویه و نیاز یا عدم نیاز به تعویض آن
- سالم یا معیوب‌بودن مقره بوشینگ‌های ثالثیه و نیاز یا عدم نیاز به تعویض آن (در صورت وجود)
- طبیعی و غیرطبیعی بودن وضعیت و فاصله شاخکهای جرقه دو سر بوشینگ‌های اولیه
- طبیعی و غیرطبیعی بودن وضعیت و فاصله شاخکهای جرقه دو سر بوشینگ‌های ثانویه
- طبیعی و غیرطبیعی بودن وضعیت و فاصله شاخکهای جرقه دو سر بوشینگ‌های ثالثیه (در صورت وجود)

omoorepeyman.ir

٤-٢-٣-٢- کنسرواتور

- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن تانک اصلی
- تمیز یا کثیف‌بودن نشان‌دهنده روغن تانک اصلی
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن تپ‌چنجر بر روی نشان‌دهنده آن
- تمیز یا کثیف‌بودن نشان‌دهنده روغن تپ‌چنجر
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن کنسرواتور

٤-٢-٣-٣- محفظه سیلیکاژل

- آبی‌بودن یا نبودن رنگ بیشتر یا کمتر از $\frac{2}{3}$ سیلیکاژل
- تمیز یا کثیف بودن روغن محفظه سیلیکاژل و خالی یا پر بودن روغن محفظه تا خط نشانه
- محکم یا غیرمحکم بودن پیچهای محفظه سیلیکاژل
- مشخص‌کردن اینکه رنگ سیلیکاژل از بالا به پایین تغییر می‌کند یا برعکس

٤-٢-٣-٤- رله بوخ‌هلتز ترانسفورماتور و تپ‌چنجر

- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در رله بوخ‌هلتز
- تمیز یا کثیف‌بودن شیشه نشان‌دهنده روغن رله بوخ‌هلتز و قابل رویت‌بودن یا نبودن سطح روغن آن
- وجود یا عدم وجود گاز یا هوا در رله بوخ‌هلتز (در صورت در دیدرس بودن)

٤-٢-٣-٥- تانک اصلی ترانسفورماتور

- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در تانک اصلی
- کثیف بودن یا تمیز بودن بدنه تانک اصلی و نیاز یا عدم نیاز به شستشو
- وجود یا عدم وجود زنگ‌زدگی در بدنه تانک اصلی و محفظه‌های زیر بوشینگ
- کامل یا ناقص‌بودن اتصال سیم زمین به بدنه ترانسفورماتور در نقاط مختلف

٤-٢-٣-٦- رادیاتورها، فن‌ها، پمپ‌ها

- داشتن یا نداشتن نشتی روغن رادیاتورها
- ثبت تعداد رادیاتورهایی که بدنه آنها صدمه دیده است
- وجود یا عدم وجود آشیانه پرنده در بین پره‌های رادیاتورها
- به موقع در مدارآمدن یا نیامدن فن‌ها
- تعداد فن‌های صدمه‌دیده
- قطع‌شدن یا نشدن گروه فنها به طور اتوماتیک

omoorepeyman.ir

- شماره پمپ دارای نشتی روغن
- شماره پمپی که کار نمی‌کند
- شماره پمپی که نشان‌دهنده حرکت روغن آن کار نمی‌کند
- شماره پمپی که کلید آن بطور اتوماتیک قطع شده است

٤-٢-٣-٧- ترمومتر روغن و سیم‌پیچ

- سالم یا معیوب‌بودن شیشه ترمومتر روغن
- سالم یا معیوب‌بودن بدنه ترمومتر روغن
- کارکردن یا نکردن ترمومتر روغن
- سالم یا معیوب‌بودن شیشه ترمومتر سیم‌پیچ
- سالم یا معیوب‌بودن بدنه ترمومتر سیم‌پیچ
- کارکردن یا نکردن ترمومتر سیم‌پیچ

٤-٢-٣-٨- تابلوی مارشالینگ

- سالم یا معیوب بودن قفل و درب تابلوی مارشالینگ و بسته‌شدن یا نشدن درب آن بطور کامل
- سالم یا معیوب بودن آب‌بندی درب تابلوی مارشالینگ
- سالم یا معیوب بودن سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوی مارشالینگ
- نیاز یا عدم نیاز به آچارکشی ترمینالهای داخل تابلوی مارشالینگ

٤-٢-٣-٩- تپ چنجر

- سالم یا معیوب بودن آب‌بندی درب جعبه فرمان تپ‌چنجر
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن جعبه دنده
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در جعبه دنده
- نیاز یا عدم نیاز به اضافه نمودن روغن به جعبه دنده
- سالم یا معیوب‌بودن موتور الکتریکی مربوط به جعبه دنده
- قابلیت تغییر تپ در محل
- قابلیت تغییر تپ از ساختمان کنترل
- نیاز یا عدم نیاز به تعویض ترمینالها و کنتاکتورهای داخل جعبه فرمان
- سالم یا معیوب‌بودن سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن داخل جعبه فرمان تپ‌چنجر

در پیوست (۴-۱) فرمهای بازدید هفتگی و ماهیانه ترانسفورماتور قدرت آمده است.

omoorepeyman.ir

٤-۳- سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت

سرویس‌های دوره‌ای ترانسفورماتور که براساس برنامه‌های از قبل تنظیم شده در قالب برنامه‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه سالیانه هستند شامل موارد کنترل، سرویس و آزمونهای موردنیاز می‌باشد. سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور شامل موارد زیر است:

٤-۳-۱- وضعیت تانک

- بررسی وضع ظاهری ترانسفورماتور و آچارکشی کلیه تجهیزات جانبی
- کنترل نشان‌دهنده‌های درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ و عملکرد صحیح کنتاکت‌های فن، پمپ و سیستم‌های آلارم و تریپ
- کنترل رطوبت‌گیر و تمیز نمودن فیلتر سیستم تنفسی ترانسفورماتور و تعویض یا احیاء رطوبت‌گیر و روغن زیر آن
- کنترل سطح روغن در کنسرواتور اصلی و تپ‌چنجر و تنظیم نمودن نشان‌دهنده‌های مربوطه با توجه به درجه حرارت
- کنترل نشتی روغن در قسمتهای فلنج، اتصالات جوشکاری، شیر و واشرها
- کنترل بدنه ترانسفورماتور از نظر خوردگی یا پریدگی یا پوسته‌شدن رنگ
- کنترل سیم اتصالات زمین ازلحاظ شل‌شدگی و فرسودگی اتصالات و پارگی
- نمونه‌گیری روغن جهت آنالیز گازهای محلول در روغن
- کنترل چرخ‌های ترانس، گریس‌کاری آنها در صورت لزوم و کنترل عامل نگهدارنده چرخ‌ها
- کنترل وضعیت ریل و فونداسیون از نظر ترک و شکستگی یا نشست
- کنترل وضعیت حرارت در سطح بدنه و اتصالات بوسیله دستگاه ترموویژن
- کنترل ترازبودن ترانس
- کنترل صدا و لرزش

٤-۳-۲- تپ چنجر قابل تغییر زیر بار

- کنترل و ثبت تعداد عملکرد تپ چنجر (کنتور تپ‌چنجر)
- آچارکشی ترمینالهای مکانیزم عمل‌کننده تپ‌چنجر، آزمایش و کنترل هیترها و روشنایی
- کنترل رله (جانسون) دایورتور سویچ
- بررسی اتصالات و محور تپ‌چنجر
- کنترل مکانیزم عمل‌کننده تپ‌چنجر
- تعویض کلیه تپ‌ها به منظورتمیزکاری کنتاکت‌های سلکتور سویچ حداقل ۲ بار از تپ حداقل به حداکثر و بالعکس
- کنترل و بررسی عملکرد هماهنگ بین مکانیزم و تپ سلکتور
- کنترل قفل اینترلاک تپ اول و آخر
- اندازه‌گیری جریان تغذیه موتور
- تنظیم سطح روغن گیربکس تپ‌چنجر و گریس‌کاری در صورت نیاز
- کنترل نشان‌دهنده روغن و تمیزکردن شیشه

omoorepeyman.ir

- آزمایش عایقی روغن
- تعویض روغن و بازدید کنتاکتها و اتصالات دایورتر سوئیچ باتوجه به تعداد عملکرد در صورت نیاز

٤-۳-۳- تپ‌چنجر بی‌بار

- تعویض کلیه تپ‌ها به منظور تمیزکاری کنتاکت‌های سلکتور سویچ حداقل ۲ بار از تپ حداقل به حداکثر و بالعکس و تنظیم آن به حالت اول.
- کنترل اینترلاک

٤-۳-٤- سیستم خنک‌کننده

- کنترل وضعیت صحیح شیرهای پروانه‌ای رادیاتورها
- کنترل اتصالات لوله‌ها و شیرها از نظر نشتی روغن و خوردگی یا پوسیدگی لوله‌ها
- کنترل وضعیت پمپ روغن
- کنترل فنها ازنظر گریس‌کاری بلبرینگ، محکم بودن پایه نگهدارنده، اندازه‌گیری جریان و مقاومت عایقی
- کنترل بی‌متال فن‌ها
- کنترل ترتیب در مدارگرفتن فن و پمپها
- تمیزکردن و هواگیری رادیاتورها
- تست اتوماتیک و دستی‌بودن فنها
- کنترل عایقی بین بدنه فنها و تانک اصلی (درصورت وجود حفاظت تانک)

٤-۳-٥- تابلوی کنترل و جعبه ترمینال

- کنترل وضعیت روشنایی، هیتر و ترموستات (عدم وجود شبنم) تابلوهای کنترل و آچارکشی ترمینالها
- کنترل تابلو از نظر رنگ و قفل
- تعمیر یا تعویض تیغه کنتاکتها در کلیدهای اتوماتیک و کنتاکتورها در صورت نیاز
- کنترل وضعیت فیوزها، رله‌های حفاظتی، لامپ‌ها و اتصالات مربوطه
- تمیزنمودن داخل تابلو و ترمینال‌ها و اتصالات از گرد و غبار و زنگ‌زدگی
- آب‌بندی بودن درب از نظر عدم ورود آب یا گرد و خاک
- بررسی کابلها از نظر خوردگی و زدگی

٤-۳-٦- بوشینگ‌ها

- کنترل سطح روغن یا فشار روغن و هواگیری در صورت لزوم
- تمیزبودن شیشه نشان‌دهنده سطح روغن

omoorepeyman.ir

- کنترل نشتی روغن
- تمیزنمودن مقره بوشینگ‌ها و کنترل از نظر شکستگی و ترک‌خوردگی
- کنترل شاخک‌های جرقه‌گیر و اندازه‌گیری فاصله مابین آنها
- کنترل ترمینالهای بوشینگ‌ها و آچارکشی در صورت لزوم

٤-٣-٧- ترانسفورماتور جریان بوشینگی

- کنترل اتصالات و ترمینالها
- اتصال کوتاه‌بودن ثانویه CT (درصورتیکه استفاده نشده باشد)
- کنترل گلندها و آب‌بندی
- کنترل بوبین مربوط به دستگاه اندازه‌گیری درجه حرارت سیم‌پیچ
- بازبینی اتصال زمین
- نظافت و اکسیدزدایی داخل جعبه ترمینالها و داخل جعبه آنها

٤-٣-٨- دستگاه‌های حفاظتی و اندازه‌گیری

- آزمون مکانیزم و عملکرد رله بوخ‌هلتز و جانسون شامل مدار حفاظتی، کابل‌های اتصال، کنتاکت‌ها و شناورهای آلارم و تریپ
- کنترل و آزمون وجود گاز درون رله بوخهلتز و در صورت لزوم تمیزنمودن شیشه نشان‌دهنده سطح روغن
- کنترل سیستم دریچه اطمینان از نظر سالم‌بودن شیشه یا پوشش محفظه انتهایی، عدم پارگی دیافراگم لاستیکی، مدار فرمان تریپ و غیره
- کنترل سیستم دریچه اطمینان از نظر عدم نشتی روغن، مدار فرمان تریپ، اهرم شاخص تریپ و کنتاکت‌ها
- کالیبره‌نمودن ترمومتر درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ (نشان‌دهنده درجه حرارت) و کنترل لوله‌های موئین مربوطه
- آزمون نشان‌دهنده‌های جریان روغن (فلومترها)
- کنترل کنتاکتهای آزادکننده فشار تانک ترانسفورماتور
- کنترل آلارم کاهش سطح روغن ترانس و تپ‌چنجر
- اندازه‌گیری مقاومت عایقی
- اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)
- اندازه‌گیری مقاومت اهمی سیم‌پیچ در تمام تپ‌ها
- آزمون پیوستگی در تپ‌چنجر
- اندازه‌گیری نسبت تبدیل
- تکمیل و تنظیم فرمهای آزمون مربوطه

omoorepeyman.ir

٤-۳-۹- سیستم اعلام و اطفاء حریق (در صورت وجود)

- کنترل سالم‌بودن مسیر آب تا نازل
- کنترل سیستم کنترل اتوماتیک و سنسورهای حرارتی

٤-۳-۱۰- مهارتهای لازم

- کارشناس یک نفر
- تکنسین یک نفر
- کارگر ماهر دو نفر

٤-۳-۱۱- ابزار و لوازم موردنیاز

جعبه ابزار کامل، دستگاه تست دی‌الکتریک روغن، اهم‌متر، ولت‌متر، آمپرمتر، میگر، پمپ روغن، کنتاکت شور، تلمبه باد، جاروبرقی، ظرف شیشه‌ای جهت گرفتن نمونه روغن، خودرو، سیلیکاژل، وسیله گرمکن روغن جهت تست نشان‌دهنده‌های درجه حرارت (ترمومتر)، دستگاه شستشوی تانک ترانسفورماتور، دستگاه نسبت تبدیل، دستگاه تانژانت دلتا، دستگاه ترموویژن.

٤-٤- تعمیرات اساسی ترانسفورماتور قدرت

از آنجائیکه تعمیرات اساسی معمولاً براساس دستورالعمل سازنده و هرچند سال یکبار صورت می‌گیرد و در طی آن اجزاء ترانسفورماتور بازبینی می‌شوند و ممکن است تا دوره بعدی تعمیرات اساسی، این اجزاء مجدداً مورد بازرسی قرار نگیرند، ضروریست تعمیرات اساسی با دقت عمل بالا و نیز در کمترین زمان ممکن بعلت توقف عملکرد ترانسفورماتور صورت پذیرد.

٤-٤-۱- تانک

- آچارکشی کلیه تجهیزات جانبی و شستشوی کامل رادیاتورها و اتصالات
- کنترل کنتاکت‌ها، شناورها، خطوط ارتباطی و کالیبره و تنظیم نمودن نشان‌دهنده سطح روغن و سیم‌پیچ
- کنترل سطح و تمیزی روغن آب‌بندی در زیر محفظه سیلیکاژل و تمیزکردن شیشه آن و درصورت لزوم تعویض آن.
- تمیزکردن کنسرواتور از آب و لجن، بررسی بالشتک لاستیکی و کنترل گیج روغن شامل: شناور، کنتاکت‌های الکتریکی، اهرم مکانیکی یا مغناطیسی، شیشه نمایش (عدم شکستگی و کثیف‌بودن در سطح آن)، کالیبره‌نمودن و تنظیم کردن با توجه به سطح روغن و درجه حرارت
- کنترل شیرهای معمولاً باز (شیرهای پروانه‌ای اصلی، رادیاتور، پمپ روغن کنسرواتور از تانک اصلی و تپ چنجر، رله بوخ‌هلتز و سیستم تنفسی).
- کنترل شیرهای معمولاً بسته (شیرهای تخلیه روغن زیر بدنه تانک اصلی، تخلیه زیر کنسرواتور، تزریق روغن به تانک اصلی، نمونه‌گیر روغن از تانک اصلی، نمونه‌گیر از محفظه تپ‌چنجر، نمونه‌گیر گاز از رله بوخ‌هلتز).
- بازدید وکنترل چرخ‌ها از نظر لقی و عامل نگهدارنده، گریس‌کاری در صورت لزوم.

omoorepeyman.ir

- بازدید و کنترل سیستم اعلام و اطفاء حریق (در صورت وجود) از نظر سالم‌بودن تجهیزات مسیر آب و هوا و نازل‌ها و همچنین سالم و در مداربودن سیستم کنترل و سنسورهای حرارتی
- تخلیه روغن و بازدید از داخل تانک تا حد امکان و قسمت فعال (سیم‌پیچ و هسته) و صفحه الکترومگنتیک و اتصال زمین هسته و اتصالات زیر بوشینگ به سیم‌پیچ
- لجن‌زدایی و تمیزنمودن قسمت‌های مختلف هسته و سیم‌پیچ
- آچارکشی سرسیم‌های سلکتور و نگهدارنده‌های قسمت فعال (سیم‌پیچ و هسته)
- بررسی کنتاکت‌های سلکتور و اندازه‌گیری مقاومت اهمی و تعویض کنتاکت‌ها در صورت لزوم
- تعویض اورینگ‌ها و واشرآلات
- رنگ‌نمودن بدنه، رادیاتورها و اتصالات در صورت لزوم
- کنترل و تمیزنمودن اتصال زمین تانک، موتورهای فن، ترمینال زمین و قسمت‌های فلزی
- تصفیه روغن و گرم‌کردن آنها در داخل تانک
- خلاء نمودن به مدت موردنیاز
- تزریق روغن به ترانس و هواگیری
- تصفیه روغن جهت رطوبت‌زدایی

٤-٤-٢- تپ‌چنجر تحت بار

- کنترل شماره نشان‌دهنده تپ در موتور محرک و کلید تنظیم ولتاژ
- کنترل شاخصهای مشخص‌کننده تپ در وضعیت وسط
- کنترل آزادشدن دایورتر سوئیچ از کنتاکتهای ثابت
- خارج‌نمودن دایورتر سوئیچ و تمیزنمودن آن با فشار روغن ترانس و فرچه مناسب
- بازدید و بررسی کامل متعلقات بصورت چشمی و آزمایش نمودن مقاومت اهمی آنها
- مشخص‌نمودن کنتاکتهای اصلی و فرعی و مقاومت‌ها
- بازنمودن متعلقات موردنظر، کنترل ضخامت کنتاکتهای اصلی و فرعی با کولیس و مطابقت آنها با توصیه‌های سازنده (در صورت نیاز به تعویض بایستی کلیه کنتاکتها تعویض شود).
- تمیزنمودن سطح کنتاکتها و کنترل پیچ و مهره‌ها و واشرهای قفلی مربوطه
- تمیزنمودن مقاومتها و کنترل پیچ و مهره، واشرهای قفلی مربوطه
- تمیزنمودن کنتاکتهای ثابت و کنترل پیچ و مهره‌ها و واشرهای قفلی مربوطه
- شستشوی کلیه قطعات و محفظه دایورتر سوئیچ و لجن‌زدایی با روغن نو
- کنترل درگیرشدن دایورتر سوئیچ با کنتاکتهای ثابت
- کنترل صحت عملکرد کلید تنظیم ولتاژ و موتور محرک
- کنترل صحت یکسان‌بودن نشان‌دهنده تپ در کلید تنظیم ولتاژ و موتور محرک

omoorepeyman.ir

- کنترل شیرهای مربوطه
- آزمون سیستم‌های حفاظتی تپ‌چنجر
- تکمیل و تنظیم فرمهای آزمون مربوطه

٤-٤-٣- مکانیزم عملکرد تپ‌چنجر

- کنترل واشر درب مکانیزم
- کنترل سیستم روشنایی و گرمایی
- تمیزنمودن محل اتصالات سیستم‌ها و ترمینالها
- تمیزنمودن کلیدها، کنتاکتورها و محل اتصالات و ترمینالهای مربوطه
- تمیزنمودن زنگ‌زدگی از اتصالات ترمینالهای ورودی و خروجی کلیدها و کنتاکتورها (طبق دستورالعمل)
- تمیزنمودن میکروسوئیچ (بوسیله اسپری)
- سرویس کنتاکتورها
- تمیزنمودن محل اتصال زمین به بدنه
- محکم‌نمودن ترمینالهای ورودی و خروجی
- آزمایش میکروسوئیچ‌ها (بوسیله اهم‌متر)
- آزمایش اینترلاکهای مکانیکی
- آزمایش مدارات میکروسوئیچ‌های مربوط به اینترلاک الکتریکی
- آزمایش آلارم‌های مربوطه
- تزریق گریس به محلهای مربوطه
- کنترل سطح روغن جعبه دنده
- کنترل پیچ و مهره واشرهای قفلی
- کنترل محفظه رطوبت‌گیر
- کنترل قفل الکتریکی در تپ اول و آخر
- کنترل سطح روغن گیربکس موتور و نشتی
- کنترل گلندهای مربوطه
- کنترل صحت عملکرد مکانیزم
- کنترل شماره‌اندازه
- کنترل حفاظت موتور محرک
- کنترل جریان سه فاز موتور
- کنترل و اطمینان از صدای نرمال موتور
- تکمیل و تنظیم فرمهای مربوطه

omoorepeyman.ir

٤-٤-٤- سیستم خنک‌کننده

- آزمایش کابلهای ارتباطی با میگر
- کنترل جریان راه‌اندازی و مقاومت عایقی فن‌ها و پمپ‌ها
- کنترل فیوزها و جافیوزها
- آزمایش مدارات و رله‌های مربوط به تریپ کنتاکتورهای اصلی
- کنترل فنها و پمپ‌ها از نظر جهت چرخش، سالم‌بودن و تقارن پره‌ها، روغن‌کاری (گریس‌کاری) و در صورت لزوم تعویض بلبرینگ‌ها
- کنترل پوشش محافظ الکتروپمپها
- آزمایش مدارات روشنایی و هیترها و رفع اشکال احتمالی آنها
- آب‌بندی و نظافت کامل تابلوی مارشالینگ
- آچارکشی ترمینالها و سیستم‌های زمین مربوطه
- محکم بودن پایه‌های نگهدارنده فن (ضدلرزش)
- آزمون کامل فن و پمپ بصورت دستی و اتوماتیک و مقاومت عایقی
- کنترل میزان لرزش صدا، حرارت غیرعادی فن‌ها، پمپ‌ها
- هواگیری از رادیاتورها، لوله‌های اصلی، کنسرواتور اصلی و تپ چنجر، شیر اطمینان و رله بوخهلتس ازطریق شیرهای مخصوص هواگیری
- تکمیل و تنظیم فرمهای آزمون مربوطه

٤-٤-٥- آزمون‌ها

- آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی سیم‌پیچها
- آزمون اندازه‌گیری نسبت تبدیل و گروه‌برداری
- آزمون بی‌باری و تقسیم فوران در هسته
- آزمون ولتاژ بالای (HV) سیم‌پیچ‌ها
- اندازه‌گیری مقاومت کنتاکت‌ها و محدودکننده‌های تپ‌چنجر
- آزمون اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی (در صورت نیاز)
- آزمون اندازه‌گیری مقاومت اهمی (d.c) سیم‌پیچ‌ها در تمام تپ‌ها
- آزمایش سیستم زمین
- آزمایش رله‌های حفاظتی و کنترل
- آزمایش کامل روغن (الکتریکی، شیمیایی و فیزیکی)
- آزمون اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی بوشینگ‌ها (در صورت نیاز)

omoorepeyman.ir

- آزمون پیوستگی در تپ چنجر
- اندازه‌گیری سطح صدا و لرزش
- کالیبره‌نمودن ترمومترهای روغن و سیم‌پیچ

٤-٤-٦- مهارت‌های لازم

- کارشناس یک نفر
- تکنسین دو نفر
- کارگر ماهر یک نفر

٤-٤-٧- لوازم و ابزار موردنیاز

جعبه ابزار کامل، دستگاه تست روغن، اهم‌متر، وسیله گرمکن روغن، سمباده نرم، گریس پمپ، پمپ روغن، کنتاکت شور، تلمبه باد، جارو برقی، ظرف شیشه‌ای جهت گرفتن نمونه روغن، دستگاه تصفیه روغن و تانک روغن، پمپ خلاء، دستگاه‌های $TTR - tg\delta$، انواع ولتمتر و آمپرمتر، دستگاه میگر ۲/۵ تا ۵ کیلوولت، دستگاه تزریق جریان، دستگاه تزریق گاز نیتروژن همراه کپسول‌های مربوطه و دستگاه شستشوی تانک ترانسفورماتور، کولیس، پل وتستون، جراثقال.

در پیوست (۴-۲) برگه‌های آزمونهای مربوط به ترانسفورماتور آمده است.

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-١) : بازدید هفتگی ترانسفورماتور قدرت

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

موضوع بازدید و شماره ردیف / تاریخ بازدید	وضعیت بوشینگ‌ها و سطح روغن				سطح روغن کنسرواتور		ترمومتر سیم‌پیچها		ترمومتر روغن		نشتی روغن		لرزش و صدای غیرعادی		سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوها		سطح روغن گیربکس تپ چنجر		برق ac و dc مدارات کنترل			تغییررنگ و تعویض سیلیکاژل			
	سالم	معیوب	طبیعی	کم	طبیعی	کم	سالم	معیوب	سالم	معیوب	محل نشتی: دارد	محل نشتی: ندارد	دارد	ندارد	سالم	معیوب	طبیعی	کم	برقرار	قطع: ac	قطع: dc	تغییر رنگ: دارد	تغییر رنگ: ندارد	نیاز به تعویض: دارد	نیاز به تعویض: ندارد

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-١) : بازدید هفتگی ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

وضعیت روغن محفظه سیلیکاژل				اتصال سیم زمین به بدنه ترانس در نقاط مختلف		اتصالات هادی‌های ورودی و خروجی		سایر اشکالات ترانسفورماتور قدرت	امضاء اپراتور بازدیدکننده	امضاء مسئول پست
تمیز	کثیف	خالی	پر	کامل	ناقص	کامل	ناقص			

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت

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

موضوع بازدید و شماره ردیف / تاریخ بازدید	اتصال هادی به سوزنی بوشینگهای طرف اولیه						اتصال هادی به سوزنی بوشینگهای طرف ثانویه						اتصال هادی به سوزنی بوشینگهای طرف ثالثیه (در صورت وجود)						سطح روغن بوشینگهای طرف اولیه						سطح روغن بوشینگهای طرف ثانویه					
	کامل	ناقص					کامل	ناقص					کامل	ناقص					طبیعی	کم					طبیعی	کم				
		A	B	C	N			A	B	C	N			A	B	C	N			A	B	C	N			A	B	C	N	

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

وضعیت و فاصله شاخکهای جرقه‌گیر بوشینگهای ثالثیه (درصورت وجود)					سطح روغن تانک اصلی		تمیزبودن نشان‌دهنده روغن تانک اصلی		سطح روغن تپ چنجر		تمیزبودن نشان‌دهنده روغن تپ چنجر		نشتی روغن کنسرواتور		رنگ $\frac{2}{3}$ سیلیکاژل		وضعیت روغن محفظه سیلیکاژل				وضعیت پیچهای محفظه سیلیکاژل		نحوهٔ تغییر رنگ سیلیکاژل		نشتی روغن رله‌های بوخ‌هلتز		
طبیعی	غیرطبیعی				طبیعی	کم	تمیز	کثیف	طبیعی	کم	تمیز	کثیف	دارد	ندارد	آبی	غیرآبی	تمیز	کثیف	پر	خالی	محکم	غیرمحکم	از بالا به پائین	از پائین به بالا	دارد		ندارد
	A	B	C	N																					تانک	تپ چنجر	

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

شیشهٔ نشان‌دهنده روغن رله‌های بوخ‌هلتز			وجود گاز یا هوا در رله بوخ‌هلتز			نشتی روغن در تانک اصلی		تمیزبودن تانک اصلی و نیاز به شستشو			زنگ‌زدگی			اتصال سیم زمین به بدنه ترانس در نقاط مختلف		نشتی روغن رادیاتور صدمه‌دیده		تعداد رادیاتورهای صدمه‌دیده	وجود آشیانه پرنده در بین رادیاتورها		در مدارآمدن فن‌ها			تعداد فن‌های صدمه‌دیده
تمیز	کثیف		نشتی	دارد		دارد	ندارد	تمیز	نیاز به شستشو		ندارد	دارد		کامل	ناقص	دارد	ندارد	دارد	ندارد		دارد	ندارد	به موقع	درمدار نمی‌آید		
	تانک	تپ چنجر		تانک	تپ چنجر				دارد	ندارد		تانک اصلی	زیر بوشینگ										گروه ۱	گروه ۲	

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

وضعیت قطع اتوماتیک فن‌ها			شماره پمپ دارای نشتی روغن	شماره پمپی که کار نمی‌کند	شماره پمپی که نشان‌دهندهٔ روغن آن کار نمی‌کند	شماره پمپی که کلید آن قطع شده است	وضعیت شیشه ترمومتر روغن		وضعیت بدنه ترمومتر روغن		وضعیت عملکرد ترمومتر روغن		وضعیت شیشه ترمومتر سیم‌پیچ		وضعیت بدنه ترمومتر سیم‌پیچ		وضعیت عملکرد ترمومتر سیم‌پیچ		وضعیت قفل و درب تابلوی مارشلینگ				آب‌بندی بودن درب تابلوی مارشلینگ	
بلی	خیر						سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب			سالم	معیوب
	گروه ۱	گروه ۲																					معیوب			
																							قفل	درب		

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

وضعیت روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوی مارشلینگ				نیاز به آچارکشی ترمینالها		آب‌بندی درب جعبه فرمان تپ‌چنجر		سطح روغن جعبه دنده		نشتی روغن جعبه دنده		نیاز به اضافه‌نمودن روغن جعبه دنده		موتور الکتریکی جعبه دنده		قابلیت تغییر تپ در محل		قابلیت تغییر تپ از اطاق فرمان		وضعیت تجهیزات داخل جعبه فرمان			سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن جعبه فرمان تپ‌چنجر			
	روشنایی	ترموستات	گرمکن																			دارد	ندارد			روشنایی	ترموستات	گرمکن

omoorepeyman.ir

پیوست (٤-۲) : بازدید ماهانه ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

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

سایر اشکالات ترانسفورماتور قدرت	امضاء اپراتور بازدیدکننده	امضاء مسئول پست

omoorepeyman.ir

پیوست ٤-۳ : آزمونهای ترانسفورماتور قدرت

نام پست: ترانسفورماتور شماره:

مدل ترانس: شماره سریال:

کارخانه سازنده: سال بهره‌برداری:

قدرت: ولتاژ:

گروه‌برداری: تاریخ تصفیه روغن:

تاریخ آزمون:

٤-۳-۱- آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی

درجه حرارت روغن (° C): درجه حرارت محیط (° C):

دستگاه آزمون: ولتاژ آزمون (kV):

شماره آزمون	نوع اتصال	مقاومت (MΩ)		$\frac{R_{10}}{R_1}$	ملاحظات
		۱ دقیقه	۱۰ دقیقه		
۱	HV-LV				
۲	HV-TV				
۳	LV-TV				
۴	HV-N				
۵	LV-N				
۶	TV-N				

omoorepeyman.ir

آزمونهای ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

نام پست: ترانسفورماتور شماره: تاریخ آزمون:

٤-۳-۲- آزمون اندازه‌گیری استقامت الکتریکی روغن

مشخصات دستگاه آزمون: درجه حرارت روغن ($^{\circ}C$):

شماره آزمون		۱	۲	۳	٤	٥	٦	میانگین	ملاحظات
ولتاژ شکست (kV)	نمونه‌برداری از بالای ترانس								
	نمونه‌برداری از پایین ترانس								
	تپ چنجر								

٤-۳-۳- آزمون اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی $(tg\delta)$

مشخصات دستگاه آزمون:

درجه حرارت روغن (°C) : درجه حرارت محیط (°C):

شماره آزمون	نوع اتصال	ولتاژ (kV)	جریان (mA)	tgδ(%)	ملاحظات
۱	HV-LV				
۲	HV-TV				
۳	LV-TV				
۴	HV-LV.TV.TANK(N)				
۵	TV-HV.LV.TANK(N)				
۶	TV-HV.LV.TANK(N)				

نام مسئول آزمون:

omoorepeyman.ir

آزمونهای ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

نام پست: ترانسفورماتور شماره: تاریخ آزمون:

٤-٣-٤- آزمون اندازه‌گیری مقاومت اهمی سیم‌پیچها

درجه حرارت روغن: جریان تزریقی:

Tap	HV(Ω)			ملاحظات
	1U-N	1V-N	2W-N	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
LV Winding	HV(Ω)			
	2U-N	2V-N	2W-N	
TV Winding	TV(Ω)			
	3(U-V)	3(V-W)	3(W-U)	

omoorepeyman.ir

آزمون ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

٤-۳-۵- آزمون اندازه‌گیری نسبت تبدیل

نام پست: شماره ترانسفورماتور: تاریخ آزمون:

Tap	HV(volt)			LV(volt)			Ratio in Phases			ملاحظات
	1U-N	1V-N	1W-N	2U-N	2V-N	2W-N	1U-N/2U-N	1V-N/2V-N	1W-N/2W-N	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
تپ نرمال	HV(volt)			TV(volt)						
	1U-N	1V-N	1W-N	3(W-V)	3(U-V)	3(V-W)				

omoorepeyman.ir

آزمونهای ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

نام پست: نسبت تبدیل ترانس: شماره ترانس:

تیپ و سازنده: MVA نامی: MVA زمان بهره‌برداری:

شماره سریال: سال ساخت:

٤-٣-٦- آزمونهای الکتریکی و شیمیایی روی نمونه روغن ترانسفورماتور

وزن روغن: نمونه روغن شماره: تاریخ نمونه‌گیری:

دمای روغن هنگام نمونه‌گیری: نمونه روغن: بالا وسط پایین

شماره	نام آزمون	نتایج	مقادیر مجاز	ملاحظات
۱	ویسکوزیته جنبشی در ۴۰ درجه سانتی‌گراد (mm^2/s)			
۲	ویسکوزیته جنبشی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (mm^2/s)			
۳	درجه حرارت اشتعال (درجه سانتی‌گراد)			
۴	درجه حرارت خمیری‌شدن (درجه سانتی‌گراد)			
۵	چگالی (کیلوگرم به دسیمتر مکعب)			
۶	کشش سطحی (نیوتن بر متر)			
۷	شکل ظاهری			
۸	درجه خنثی‌بودن (میلی‌گرم پتاس بر گرم روغن)			
۹	خورندگی گوگردی			
۱۰	مقدار آب محلول (میلی‌گرم به کیلوگرم روغن)			
۱۱	مواد افزودنی ضداکسیدکننده			
۱۲	مقدار لجن روغن (درصد وزنی)			
۱۳	ولتاژ شکست عایقی (کیلوولت)			
۱۴	ضریب تلفات در ۹۰ درجه سانتی‌گراد			

omoorepeyman.ir

آزمونهای ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

نام پست: ترانسفورماتور شماره: تاریخ آزمون:

٤-۳-۷- آزمون گاز کروماتوگرافی

نام پست	شماره ترانس	تاریخ نمونه قبلی	تاریخ نمونه فعلی	فاصله دو نمونه‌گیری	محل نمونه‌گیری	پایین:	وسط:	بالا:
				روز	شماره شیشه			
					شماره دستگاه			

مشخصات فنی:	نام کارخانه سازنده:		شماره سریال:	وزن روغن:	نوع روغن و کلاس آن:
	سال ساخت:		ظرفیت (MVA) :	تعداد رطوبت‌گیر:	
	سال بهره‌برداری:		نسبت تبدیل ترانس:	نوع تپ‌چنجر:	
سابقه بهره‌برداری	میزان حداکثر بار ترانسفورماتور : (MW)			شماره کنتور تپ‌چنجر:	وضعیت سلیکاژل:
	تاریخ آخرین تصفیه روغن:			مدت خارج‌بودن ترانس از مدار در فاصله دو نمونه‌گیری و علت آن:	
	میزان آب و اسیدیته روغن:			نوع حوادثی که ترانسفورماتور تاکنون داشته است:	

نتایج آزمایشگاه	نوع گاز	O2	N2	CO2	CO	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	C3H6	C3H8	TCC
	مقادیر قبلی ppm												
	مقادیر فعلی ppm												
	میزان رشد ppm												
	خلاصه نظریات و پیشنهادات قبلی:												

نظریه کارشناسی و پیشنهادات:

نام و امضاء کارشناس

omoorepeyman.ir

آزمونهای ترانسفورماتور قدرت (ادامه)

نام پست: شماره ترانسفورماتور:

مدل ترانس: شماره سریال:

کارخانه سازنده: سال بهره‌برداری:

قدرت: ولتاژ:

گروه‌برداری: تاریخ تصفیه روغن:

٤-٣-٨- سایر آزمونها

ردیف	آزمایش	کامل	ناقص	ملاحظات
۱	سیستم حفاظتی تپ‌چنجر			
۲	آزمون پیوستگی تپ‌چنجر			
۳	مدار کابلهای ارتباطی			
۴	مدار تریپ کلیدهای اصلی			
۵	رله بوخهلتز			
۶	آلارم و تریپ ترمومترها			
۷	ورود و خروج فن‌ها			
۸	رله توان معکوس			
۹	آزمون مقاومت اهمی			
۱۰	آزمون امپدانس و تقسیم شار			
۱۱	اینترلاک مکانیکی			
۱۲	اینترلاک الکتریکی			
۱۳	مدار میکروسوئیچ‌ها			
۱۴	مدارات ترمومترها			
۱۵	سیستم زمین			

omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

[1] IEC 60076-1, "Power Transformers: General", 2000.
[2] IEC 60076-2, "Power Transformers: Temperature Rise", 1993.
[3] IEC 60076-3, "Power Transformers: Insulation Levels, Dielectric Tests And External Clearances in Air" , 2000.
[4] IEC 60076-4, "Power Transformers: Guide to Lightning Impulse and Switching Impulse Testing" , 2002.
[5] IEC 60076-5, "Power Transformers: Ability to Withstand Short Circuit" , 2000.
[6] IEC 60076-8, "Power Transformers: Application Guide" , 1997.
[7] IEC 60076-10, "Power Transformers: Determination of Sound Level", 2001.
[8] IEC 60616, "Terminal and Tapping Markings for Power Transformers", 1978.
[9] IEC 60137, "Insulated Bushings for Alternating Voltages above 1000V" 1995.
[10] IEC 60542, "Application Guide for on – Load Tap – Changers", 1976.
[11] VDI 3739, "Characteristic Noise Emission Values of Technical Sound Sources: Transformers", 1999.
[12] IEEE Std C57.93, "Guide for Instillation of Liquid Immersed Power Transformers", 1995.
[13] NEMA TR1, "Transformers, Regulators and Reactors", 1994.
[۱۴] مشخصات استاندارد برای ترانسفورماتورهای قدرت (۲۰) ۲۳۰/۱۳۲/۳۳ کیلوولت، دفتر فنی برق، وزارت نیرو، ۱۳۷۱.
[۱۵] مشخصات استاندارد برای ترانسفورماتورهای قدرت ۲۳۰/۶۳/۲۰ کیلوولت، دفتر فنی برق، وزارت نیرو، ۱۳۷۱.
[۱۶] مشخصات استاندارد برای ترانسفورماتورهای قدرت ۲۳۰/۶۳ کیلوولت، دفتر فنی برق، وزارت نیرو، ۱۳۷۱.
[۱۷] استاندارد پستهای (۳۳)۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۱۲۱۲: ترانسفورماتورهای قدرت، مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۵.
[۱۸] استاندارد پستهای (۳۳)۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۳۲۱: مشخصات و جداول فنی ترانسفورماتور، ۱۳۷۵.
[۱۹] استاندارد پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت، جلد ۱: مشخصات فنی، مهندسین مشاور مشانیر، ۱۳۷۲.
[۲۰] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۰۱: معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور قدرت، مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷.
[۲۱] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۳۰۱: مشخصات فنی ترانسفورماتور قدرت، مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷.
[۲۲] محمود احمدی‌پور، "طراحی بهینه و موارد حذف سیم‌پیچ سوم در ترانسفورماتورهای قدرت"، سومین کنفرانس شبکه سراسری برق، تهران، آبانماه ۱۳۶۷.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

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 Power Transformers at HV Substations

NO: 437-2

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 – ترانسفورماتورهای قدرت در پست‌های فشار قوی" (جلد دوم) از مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث مربوط به اهداف و کلیات، معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب، آزمون استاندارد های لازم، و دستوالعملهای بهره برداری و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت در پست های فشار قوی ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir