لیست گزارشات

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
پژوهشگاه نیرو

عنوان گزارش : ترانسفورماتورهای توزیع

عنوان پروژه: "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی"

کد پروژه: PTRVT02

کارفرما: سازمان توانیر

پژوهشکده انتقال و توزیع نیرو
گروه پژوهشی خط و پست
آبان‌ماه ۱۳۸۲

پیشگفتار

گزارشات حاضر براساس موافقتنامه ۱۰۱-۸۰-۲۷۳ مورخ ۸۰/۷/۲۲ با موضوع "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی" که مابین شرکت توانیر و پژوهشگاه نیرو منعقد شده است تهیه گردیده است. این گزارشات براساس استانداردهای موجود در زمینه شبکه و تجهیزات توزیع فشار متوسط و فشار ضعیف تدوین شده است. فهرست کلیه گزارشات در جدول صفحه بعد قید شده است.

لیست گزارشات مربوط به پروژه "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی"

عنوان کلی / گزارشات	شبکه‌های توزیع نیروی برق فشار متوسط و ضعیف	تابلوهای فشار ضعیف و متوسط برق	پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت هوایی و زمینی	انشعابات برق مشترکین
۱	- طراحی خطوط توزیع هوایی	- تابلوهای فشار ضعیف و متوسط	- پستهای هوایی توزیع	- مقررات عمومی و خصوصی انشعابات برق مشترکین
۲	- هادیهای خطوط هوایی توزیع		- کلیات پستهای توزیع ۲۰ و ۳۳ کیلوولت زمینی	- کنتورهای اکتیو
۳	- یراق‌آلات خطوط هوایی		- تاسیسات پستهای ۲۰ و۳۳ کیلوولت زمینی	- کنتورهای راکتیو
۴	- حریم خطوط هوایی		- معماری و ساختمان پستهای توزیع زمینی	- کنتورهای استاتیکی
۵	- کراس‌آرم‌ها و سرتیرهای خطوط توزیع هوایی		- سیستم زمین پستهای توزیع	- فیوزهای فشارضعیف
۶	- تیرهای فلزی، بتونی و چوبی		[illegible]	- کلیدهای اتوماتیک
۷	- مقره‌های توزیع		- کلیدهای قدرت ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	- کنتاکتورهای نوع ضعیف
۸			- سکسیونرهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	- کلیدهای قابل قطع زیربار
۹			- کابلهای فشار متوسط و ضعیف	- ترانسفورماتورهای ولتاژ ۲۰ و ۳۳ کیلوولت
۱۰			- کات‌اوت‌های فشار متوسط	- ترانسفورماتورهای جریان ۲۰ و ۳۳ کیلوولت
۱۱			- برقگیرهای فشار متوسط	- یراق‌آلات کابلهای شبکه‌های توزیع

بخش اول
اصول طراحی و مهندسی

لیست گزارشات

فهرست مطالب

مقدمه ۱

۱- هدف و دامنه کاربرد ۲

۲-شرایط کار ۲

۲-۱- شرایط کار عادی ۲

۲-۲- شرایط کار غیر عادی ۳

۳- نیازها و خواسته‌ها ۳

۳-۱- تعاریف اولیه ۳

۳-۱-۱- اتوترانسفورماتور ۳

۳-۱-۲- ترانسفورماتور بوستر ۴

۳-۱-۳- ترانسفورماتور روغنی ۴

۳-۱-۴- ترانسفورماتور خشک ۴

۴- اطلاعات مورد نیاز طراحی ۴

۴-۱- مشخصات شبکه‌ای که ترانسفورماتور نصب می‌گردد ۴

۴-۲- مشخصات محیطی و اقلیمی محل نصب ترانسفورماتور ۵

۵- مبانی و معیارهای لازم برای طراحی ۶

۵-۱-انواع ترانسفورماتور ۶

۵-۱-۱- انواع ترانسفورماتور از لحاظ نوع سیم پیچ ۶

۵-۱-۲- انواع ترانسفورماتور از لحاظ عایق بندی ۶

۵-۱-۳- انواع ترانسفورماتورها از نقطه نظر محل نصب ۷

۵-۲- سیستم خنک کنندگی ۷

۵-۳- محدودیتهای افزایش دما در ترانسفورماتور ۸

۵-۳-۱- حدود مجاز افزایش دما ۸

۵-۳-۲- ضرایب تصحیح برای شرایط کار غیر نرمال ترانسفورماتور ۹
۵-۴- مشخصات اسمی ۱۰
۵-۴-۱- ولتاژ نامی سیم پیچ ۱۰
۵-۴-۲- فرکانس نامی ۱۰
۵-۴-۳- توان نامی ۱۰
۵-۴-۴- جریان نامی ۱۱
۵-۴-۵- نسبت تبدیل نامی ۱۱
۵-۵- نحوه اتصالات و گروه برداری ۱۱
۵-۵-۱- نحوه اتصالات سیم پیچها ۱۱
۵-۵-۲- جابجایی فاز بین سیم پیچها و گروه بهره‌برداری ۱۲
۵-۶- تنظیم ولتاژ و تپ چنجر ۱۲
۵-۷- تعیین سطوح عایقی ۱۲
۵-۷-۱- کلیات ۱۲
۵-۷-۲- انتخاب سطح عایقی ۱۳
۵-۷-۳- بالاترین ولتاژ سیستم ۱۳
۵-۷-۴- مقادیر سطوح عایقی ۱۳
۵-۸- میزان تحمل اتصال کوتاه ترانسفورماتور ۱۵
۵-۸-۱- امپدانس ولتاژ ۱۵
۵-۸-۲- امپدانس اتصال کوتاه ۱۶
۵-۸-۳- محاسبه مقدار جریان اتصال کوتاه ۱۶
۵-۸-۴- مدت زمان تداوم اتصال کوتاه ۱۷
۵-۸-۵- میزان تحمل حرارتی ترانسفورماتور در لحظه اتصال کوتاه ۱۷
۵-۸-۶- میزان تحمل دینامیکی ۱۸
۵-۹- تلفات ترانسفورماتور ۱۸
۵-۱۰-میزان مجاز صدا ۱۹
۵-۱۱- شرایط مربوط به موازی کردن دو ترانسفورماتور ۲۰

۵-۱۲- روغن ترانسفورماتور ۲۱
۵-۱۲-۱- کیفیت ۲۱
۵-۱۲-۲- مشخصات روغن ۲۱
۵-۱۲-۳- شرایط استفاده از انواع روغنها ۲۳
۵-۱۲-۴- نحوه حمل روغن ۲۳
۶- مراحل قدم به قدم طراحی ۲۳
۶-۱- نیاز و خواسته ۲۴
۶-۲- مشخصات و ویژگیهای شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور در آن نصب می‌شود : ۲۴
۶-۳- مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی ۲۴
۶-۴- پارامترهای انتخاب ترانسفورماتور ۲۴

فهرست جداول

جدول (۱) : حدود مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای روغنی ۹
جدول (۲) : سطوح عایقی برای سیم پیچها و بوشینگهای سمت فشار قوی ترانسفورماتور ۱۴
جدول (۳) : فاصله عایقی قسمتهای برقدار خارجی ترانسفورماتور ۱۵
جدول (۴) : مقادیر نوعی امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورها مطابق استاندارد IEC 76-5 ..... ۱۵
جدول (۵) : مقادیر توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه توزیع ۱۶
جدول (۶) : حداکثر مجاز میانگین دمای سیم پیچ (θ_1) بعد از اتصال کوتاه ۱۸
جدول (۷) : سطح مجاز صدا ترانسفورماتورهای توزیع ۲۰
جدول (۸) : مشخصات روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور ۲۲

مقدمه

فهرست مطالب

گزارش موجود در راستای انجام پروژه «تهیه مشخصات فنی و عمومی ترانسفورماتورهای توزیع ۲۰ و ۳۳ کیلوولت» می‌باشد. این استاندارد شامل مشخصات طراحی و انتخاب تجهیز، آزمونهای مربوطه و نکاتی در مورد نحوه طرح و ساخت آن می‌باشد.

فهرست مطالب

۱- هدف و دامنه کاربرد

هدف از این استاندارد ارائه معیارهای طراحی و مهندسی ترانسفورماتورهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت می‌باشد.

این استاندارد کلیه ترانسفورماتورهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت (دو سیم پیچ، سه سیم پیچ و اتوترانسفورماتور) را در بر می‌گیرد.

۲-شرایط کار

۲-۱- شرایط کار عادی

این استاندارد برای ترانسفورماتوری که در شرایط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاربرد دارد.

الف- ارتفاع

ارتفاع محل نصب حداکثر ۱۰۰۰متر بالاتر از سطح دریا باشد.

ب- دمای هوای محیط و ماده خنک کننده

دمای محیط کار ترانسفورماتور نباید از $-25^{\circ}C$ پایینتر و از $+40^{\circ}C$ فراتر رود. برای ترانسفورماتورهایی که با آب خنک می‌شوند، دمای آب در ورودی به ترانسفورماتور، نباید از $+25^{\circ}C$ بالاتر رود.

برای محدودیتهای بیشتر در مورد ترانسفورماتورهای روغنی به بخش (۵-۳) و در مورد ترانسفورماتورهای خشک به بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) رجوع شود.

ج- شکل موج ولتاژ تغذیه

ولتاژ تغذیه باید تقریباً سینوسی باشد.

تذکر : این شرط معمولاً سیستمهای عادی چندان ضروری و مهم نیست ولی برای مواردی که ترانسفورماتور برای تامین بار مبدلهای قدرت، نصب شده است، قابل ملاحظه است.

د- تقارن ولتاژ منبع سه فاز

برای ترانسفورماتورهای سه فاز، ولتاژ تغذیه باید تقریباً متقارن باشد.

ه- محیط نصب

نرخ آلودگی محیط نصب ترانسفورماتور باید طور باشدکه برای نصب ترانسفورماتور در محیط آزاد محدودیتی وجود نداشته باشد.

محیط نصب نباید در معرض اغتشاشات ناشی از زلزله قرار داشته باشد. این شرط در صورتیکه شتاب زمین (g) کمتر از $۲ m/s^2$ باشد، تامین می‌شود.

۲-۲- شرایط کار غیر عادی

اگر شرایط کار ترانسفورماتور غیر از موارد ذکر شده در بخش (۲-۱) می‌باشد، باید در موقع استعلام و سفارش کالا آن شرایط به اطلاع سازنده رسانده شود. بعلاوه برای شرایط غیر عادی کار، ضرایب تصحیحی وجود دارند که باید به مشخصه‌های ترانسفورماتور اعمال شوند. این ضرایب در بخشهای بعد ذکر می‌گردند.

فهرست مطالب

۳- نیازها و خواسته‌ها

ترانسفورماتور یکی از تجهیزات با اهمیت پستهای برق بوده که با توجه به خاصیت القاء مغناطیسی بین دو یا چند سیم پیچ، ولتاژ و جریان الکتریکی متناوب را با همان فرکانس به ولتاژ و جریان الکتریکی معمولاص با مقادیر متفاوت تبدیل می‌کند.

ترانسفورماتور در پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت به منظور کاهش ولتاژ (۲۰ و ۳۳ کیلوولت) و رساندن آن به سطحی که قابل استفاده توسط مصرف کنندگان باشد، مورد استفاده قرار میگیرد.

قسمتهای اصلی ترانسفورماتور عبارتند از : هسته، سیم پیچها، عایق بندی، بوشینگها و تپ چنجر

۳-۱- تعاریف اولیه

۳-۱-۱- اتوترانسفورماتور

ترانسفورماتورهایی که در آنها دو سیم پیچ، حداقل در یک قسمت مشترک باشند را اتوترانسفورماتور می‌گویند.

تذکر : استفاده از اتوترانسفورماتور در پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت از لحاظ اقتصادی و فنی قابل توجیه نیست.

۳-۱-۲- ترانسفورماتور بوستر

ترانسفورماتوری که یکی از سیم پیچهای آن به منظور تغییر ولتاژ یا زاویه فاز بطور سری در مدار قرار گرفته است و سیم پیچ دیگر وظیفه تغذیه را بر عهده دارد، ترانسفورماتور بوستر گویند. این نوع ترانسفورماتور در پستهای ۲۰ و۳۳ کیلوولت کاربردی ندارد.

۳-۱-۳- ترانسفورماتور روغنی

به ترانسفورماتوری که هسته و سیم پیچ آن در داخل روغن قرار دارند، ترانسفورماتور روغنی گویند.

۳-۱-۴- ترانسفورماتور خشک

به ترانسفورماتوری که هسته و سیم پیچ آن در عایق مایع قرار ندارند ترانسفورماتور خشک گویند.

۴- اطلاعات مورد نیاز طراحی

فهرست مطالب

بر اساس استانداردهای IEC 60076-1 الی IEC 60076-5 و IEC 60076-8، اطلاعات مورد نیاز طراحی یا انتخاب ترانسفورماتور قدرت عمدتا شامل مشخصات شبکه قدرت و مشخصات محیطی و اقلیمی محل نصب ترانسفورماتور است.

۴-۱- مشخصات شبکه‌ای که ترانسفورماتور نصب می‌گردد

در موقع طراحی ترانسفورماتور، دانستن مشخصات و ویژگیهای شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور قرار است در آن نصب شود از ضروریات است. این مشخصات را میتوان بصورت زیر بر شمرد :

- ولتاژ نامی سیستم که به اولیه و یا ثانویه ترانسفورماتور متصل می‌شود

در مورد پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت معمولا این مقدار شامل ۲۰kV/۳۸۰V و یا ۳۳kV/۳۸۰V می‌باشد مگر آنکه مقادیر دیگری اعلام شود.

- حداکثر ولتاژ اولیه و ثانویه

مطابق استاندارد IEC 60038، در شبکه‌های ۲۰kV، حداکثر ولتاژ ۲۴kV و در شبکه‌های ۳۳kV، حداکثر ولتاژ ۳۶kV می‌باشد.

- فرکانس نامی سیستم

در ایران، فرکانس شبکه‌های قدرت ۵۰Hz می‌باشد.

- گروه بهره‌برداری شبکه
- امپدانس اتصال کوتاه (در صورتیکه ترانسفورماتوری بایست بصورت موازی با ترانسفورماتور دیگری کار کند)
- قدرت اتصال کوتاه شبکه
- جزییات نحوه زمین کردن نوترال سیستم

حالت نوترال سیستم نسبت به زمین به سه صورت میتواند باشد:

الف- ایزوله از زمین

ب- بطور مستقیم زمین شده باشد (بدون واسطه)

ج- از طریق یک امپدانس به زمین وصل شده باشد

۴-۲- مشخصات محیطی و اقلیمی محل نصب ترانسفورماتور

شرایط آب و هوایی و اقلیمی در طرح و انتخاب ترانسفورماتور نقش مهمی دارند. برای آنکه یک ترانسفورماتور بتواند بصورت بهینه و ظیفه خود را انجام دهد و دارای بازدهی بالا باشد، نیاز است که شرایط و پارامترهای آب و هوایی ذیل بطور کامل مشخص شوند :

- حداکثر درجه حرارت محیط
- حداکثر متوسط درجه حرارت سالیانه محیط
- حداکثر متوسط درجه حرارت روزانه محیط
- حداقل درجه حرارت محیط
- ارتفاع از سطح دریا
- حداکثر سرعت باد
- رطوبت نسبی
- ضخامت یخ
- میزان و نوع آلودگی
- شتاب زلزله

این اطلاعات محیطی را میتوان برای هر منطقه از طریق سازمانهای هواشناسی بدست آورد.

فهرست مطالب

۵- مبانی و معیارهای لازم برای طراحی

۵-۱-انواع ترانسفورماتور

۵-۱-۱- انواع ترانسفورماتور از لحاظ نوع سیم پیچ

ترانسفورماتورها از نقطه نظر نوع سیم پیچی به سه صورت سیم پیچ جدا، اتوترانسفورماتور و ترانسفورماتور بوستر تقسیم می‌گردند. با توجه به آنکه اتوترانسفورماتور برای مواردی که نسبت تبدیل کوچکتر از ۲ باشد توجیه اقتصادی دارد و همچنین ترانسفورماتورهای بوستر برای موارد خاص استفاده میشود، تنها گزینه انتخابی برای ترانسفورماتورهای توزیع، ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جدا است. ترانسفورماتورهای توزیع به صورت دو سیم پیچه و سه فاز ساخته می‌شوند.

۵-۱-۲- انواع ترانسفورماتور از لحاظ عایق بندی

ترانسفورماتورها از نقطه نظر نوع عایق بندی به دو نوع روغنی و خشک تقسیم می‌شوند. در ترانسفورماتورهای روغنی، هسته و سیم پیچ در داخل روغن با پایه نفتانیک و یا پارافینیک (روغن معدنی) قرار داده شده و روغن ضمن تامین عایق بندی بین سیم پیچ و بدنه، وظیفه سیستم خنک کننده را نیز ایفا می‌نماید.

روغن مورد استفاده در ترانسفورماتورها عموماً از نوع روغن معدنی بوده که از تقطیر و پالایش نفت خام بدست می‌آید.

بسته به نفتی که مورد پالایش قرار می‌گیرد روغنها به دو دسته متمایز تقسیم می‌گردند :

الف- روغن حاصل ازنفت خام پایه نفتانیک

ب- روغنهای حاصل از نفت خام پایه پارافینیک

طبق استاندارد IEC 296، روغن ترانسفورماتور بر اساس ۳ مشخصهٔ، ویسکوزیته، نقطه اشتعال و نقطه ریزش به ۳ دسته مختلف تقسیم می‌شود. روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور باید دارای ویسکوزیته کم، نقطه اشتعال بالا و نقطه ریزش کم باشد. در مواردی که خواص روغن مناسب نباشد به آن موادی اضافه می‌شود مانند مواد ضد اکسیداسیون برای جلوگیری از اکسید شدن روغن و موادی جهت کاهش نقطه ریزش روغن. روغنهای تولید شده از نفت خام پایه نفتانیک نیاز به مواد افزودنی ندارند و مناسبترین روغن برای ترانسفورماتور می‌باشد.

علاوه بر ترانسفورماتورهای روغنی، در سیستمهای توزیع از ترانسفورماتورهای نوع خشک هم استفاده می‌شود که برای سیستم عایق بندی آنها به بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) رجوع شود.

۵-۱-۳- انواع ترانسفورماتورها از نقطه نظر محل نصب

ترانسفورماتورها بسته به آنکه در محیط باز و یا محیط بسته مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو نوع درونی و بیرونی تقسیم می‌گردند.

۵-۲- سیستم خنک کنندگی

گرمایی که در ترانسفورماتور بدلیل تلفات هسته و سیم پیچ تولید می‌شود، باعث افزایش دما می‌شود. در صورتیکه دما بطریق مناسبی کاهش نیابد و به حد مجاز نرسد ممکن است که عایقهای ترانسفورماتور آسیب ببینند. بهمین دلیل در نظر گرفتن سیستم خنک کنندگی مناسب با شرایط کار و آب و هوایی محل نصب ترانسفورماتور از اهمیت بسزایی برخوردار است.

براساس استاندارد IEC 60076-2، برای نشان دادن سیستم خنک کنندگی از حروف اختصاری زیر استفاده می‌شود.

الف- حرف اول : که نشاندهنده محیط خنک کنندگی مجاور سیم پیچ است.

O : روغن معدنی یا هر مایع عایقی با نقطه اشتعال کمتر از $300\,^{\circ}C$

K : مایع عایقی با نقطه اشتعال بزرگتر از $300\,^{\circ}C$

L : هر مایع که نقطه اشتعال آن مشخص نباشد

ب- حرف دوم : که نشان دهنده مکانیزم چرخش ماده خنک کننده داخلی است.

N : چرخش طبیعی

F : چرخش اجباری

D : چرخش اجباری جهت داده شده

ج- حرف سوم : که نشاندهنده محیط خنک کننده خارجی است.

A : هوا

W : آب

د- حرف چهارم : که نشاندهنده مکانیزم چرخش ماده خنک کننده خارجی است.

N : چرخش طبیعی

F : چرخش اجباری (فن یا پمپ)

نکته : در ترانسفورماتوری که سیستم خنک آن بصورت روغن با گردش اجباری جهت داده شده است (حرف دوم :D) مقدار روغنی که در سیم پیچها جریان می‌یابد بوسیله ظرفیت پمپ تعیین میشود و تحت تاثیر بارگذاری ترانسفورماتور قرار ندارد. ولی در ترانسفورماتورهای با گردش اجباری روغن (حرف دوم: F) مقدار روغنی که در سیم پیچها جریان دارد با تغییر بار ترانس تغییر می‌کند و مستقیماً به ظرفیت پمپ وابسته است.

یک ترانسفورماتور میتواند ازچندین سیستم خنک کننده بهره ببرد. در این صورت، همه حالات کار سیستم را از چپ به راست می‌نویسند. مثلاً ONAN/ONAF. ظرفیت نامی ترانسفورماتور در قویترین سیستم خنک کنندگی آن بدست می‌آید.

در مورد ترانسفورماتورهای خشک که در محفظه بسته قرار دارند از سیستمهای AN و AF استفاده می‌گردد. در این نوع ترانسفورماتورها از پنکه‌های خنک کننده (AF) یا گردش طبیعی هوا (AN) برای خنک کردن استفاده می‌شود. برای جزییات بیشتر به بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) مراجعه شود. در قدرتهای پایین تا حد ۱۵ مگاولت آمپر، سیستم خنک کنندگی طبیعی به علت سادگی، استحکام و قابلیت اطمینان بالا، بهترین طرح می‌باشد.

۵-۳- محدودیتهای افزایش دما در ترانسفورماتور

۵-۳-۱- حدود مجاز افزایش دما

برای ترانسفورماتورهایی که در شرایط کار نرمال و توان نامی خود کار می‌کنند افزایش دمای سیم پیچها، هسته و روغن ترانسفورماتور نباید از مقادیر ذکر شده در جدول (۱) که برای ترانسفورماتورهای روغنی است، تجاوز نماید. جدول مربوط به ترانسفورماتورهای خشک در بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) آمده است.

جدول (۱) : حدود مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای روغنی

حداکثر افزایش دما - درجه سلسیوس	نوع گردش روغن	روش خنک کنندگی	قسمت
۶۵	طبیعی (ON) یا اجباری (OF)	هوای طبیعی (AN)	سیم پیچها باکلاس حرارتی A (اندازه‌گیری بطریق مقاومتی)
۷۰	اجباری جهت داده شده (OD)	هوای طبیعی (AN)	
۶۰، برای ترانسفورماتور با محفظه کاملا بسته یا منبع انبساط	-	-	سطح بالای روغن (اندازه‌گیری توسط ترمومتر)
دما تحت هر شرایطی تا حدی مجاز است که باعث آسیب دیدن هسته و قسمتهای مجاور نگردد	-	-	هسته و سایر قسمتها

۵-۳-۲- ضرایب تصحیح برای شرایط کار غیر نرمال ترانسفورماتور

الف- ترانسفورماتورهای روغنی با روش خنک کنندگی هوا

اگر شرایط کار ترانسفورماتور در محل نصب آن به غیر از شرایط نرمال باشد که در بخش دوم بیان شد، محدودیتهای افزایش دما برای ترانسفورماتور باید اصلاح شود.

محدوده درجه حرارت نرمال محیط، همانطور که قبلاً گفته شد، بین $-۲۵^{\circ}C$ تا $+۴۰^{\circ}C$ است. با توجه به اینکه ترانسفورماتور توسط هوا خنک می‌شود، محدوده حرارتی محیط محل نصب ترانسفورماتور نباید از $+۳۰^{\circ}C$ برای درجه حرارت متوسط ماهانه (گرمترین ماه) و $-۲۰^{\circ}C$ برای درجه حرارت متوسط سالانه فراتر رود. اگر محدوده حرارتی محل نصب ترانسفورماتور بالاتر از این محدودیتها باشد. باید حدود مجاز افزایش دما ترانسفورماتور به همان اندازه کاهش یابد.

اگر ارتفاع محل نصب ترانسفورماتور بیش از ۱۰۰۰ متر باشد ولی محل تست ترانسفورماتور در ارتفاعات معمول باشد، محدوده مجاز افزایش دما ترانسفورماتور در طول تست، باید بصورت زیر تصحیح شود:

- برای ترانسفورماتور با سیستم خنک کنندگی هوای طبیعی (AN) به ازای هر ۴۰۰ متر که ارتفاع نقطه کار مورد نظر نسبت به ۱۰۰۰ متر افزایش می‌یابد، حدود مجاز $1^{\circ}C$ کاهش می‌یابد.

- برای ترانسفورماتور با سیستم خنک کنندگی اجباری هوا (AF) کاهش حدود مجاز $1^{\circ}C$ به ازای هر ۲۵۰ متر افزایش ارتفاع نسبت به ۱۰۰۰ متر می‌باشد.

در صورتیکه ارتفاع محل نصب کمتر از ۱۰۰۰ باشد و محل تست بالاتر از ۱۰۰۰ متر ارتفاع داشته باشد شرایط تصحیح بر عکس می‌شود.

ب- ترانسفورماتورهای خشک

به بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) رجوع شود.

۵-۴- مشخصات اسمی

مشخصات اسمی، طبق تعریف مقادیر عددی کمیتهای مانند ولتاژ، جریان، فرکانس، نسبت تبدیل و قدرت ترانسفورماتور می‌باشد. مشخصات اسمی باید بگونه‌ای باشند که تحت بار یکنواخت بدون آنکه افزایش از حد مجاز تجاوز نماید جریان اسمی از ترانسفورماتور بگذرد و افزایش دما از حدود تعیین شده در بخش (۵-۳) تجاوز ننماید، با فرض اینکه ولتاژ اسمی اعمال گردیده و تغذیه با فرکانس نامی باشد.

۵-۴-۱- ولتاژ نامی سیم پیچ

ولتاژ تعیین شده برای تغذیه یا تولید شده در حالت بی‌باری، بین ترمینالهای یک سیم پیچ ترانسفورماتور سه فازه یا تک فاز را ولتاژ نامی سیم پیچ می‌نامند. مقادیر نامی ولتاژهای استاندارد بر حسب کیلوولت عبارتند از :

۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲، ۶۳ و ۳۳، ۲۰ و ۰/۴

در ترانسفورماتورهای توزیع سطوح ولتاژ متداول ،۰/۴۰ ۲۰ و ۳۳ کیلوولت می‌باشد.

۵-۴-۲- فرکانس نامی

فرکانسی که ترانسفورماتور برای کار با آن طراحی شده است فرکانس نامی گویند. فرکانس کار ترانسفورماتورهای قدرت در ایران ۵۰ هرتز است.

۵-۴-۳- توان نامی

توان نامی عبارت است از توان ظاهری که بر حسب KVA یا MVA بیان می‌شود و تعیین کننده مقدار جریان نامی می‌باشد که از ترانسفورماتور تحت ولتاژ اسمی و شرایط تعیین شده در این استاندارد می‌گذرد.

نکته : در یک ترانسفورماتور دو سیم پیچه، هر دو سیم پیچ دارای توان نامی یکسان می‌باشند.

۵-۴-۴- جریان نامی

جریان نامی، جریانی است که در ترمینالهای خط یک سیم پیچ جاری شده و مقدار آن از تقسیم توان نامی بر ولتاژ نامی بدست آید.

نکته : در ترانسفورماتور سه فاز، برای بدست آوردن جریان نامی، باید توان نامی را بر برابر ولتاژ نامی تقسیم کرد.

۵-۴-۵- نسبت تبدیل نامی

نسبت ولتاژ نامی یک سیم پیچ به ولتاژ نامی سیم پیچ دیگر را که ولتاژ آن کمتر یا ولتاژ اسمی است، نسبت تبدیل نامی گویند.

۵-۵- نحوه اتصالات و گروه برداری

۵-۵-۱- نحوه اتصالات سیم پیچها

سه نوع اتصال در سیم پیچهای سه فاز متداول است که عبارتند از اتصال ستاره، مثلث و زیگزاگ. اتصال زیگزاگ به تعداد دور بیشتری نسبت به اتصال ستاره نیاز دارد و ساخت آن نیز مشکل است و فقط در ترانسفورماتورهای زمین و سیم پیچهای با بار نامتقارن و قدرتهای بسیار پایین و کمتر از ۸۰۰ کیلوولت آمپر کاربرد دارد [IEC 60076-8]

در ترانسفورماتورهای قدرت دو اتصال ستاره و مثلث مطرح است. اتصال ستاره جهت سیم پیچهای فشار قوی با عایق بندی ناهمگون و سیم پیچهای تپ چنجر و مواردی که نیاز به نقطه صفر باشد کاربرد دارند. اتصال مثلث جهت جریانهای بالا بسیار مناسب می‌باشد.

در ترانسفورماتورهای ۲۰/۰/۴kV و یا ۳۳/۰/۴kV سه فاز، اتصال ستاره یا زیگزاگ برای ثانویه (۴۰۰V)، بدلیل آنکه احتیاج به نقطه صفر می‌باشد مناسب می‌باشد و برای اولیه (۲۰kV) اتصال ستاره و یا مثلث معمول می‌باشد.در حال حاضر اتصال معمول در این ترانسفورماتورها، Dy و Yz می‌باشد.

نکته : برای نشان دادن اتصالات ستاره، مثلث و زیگزاگ در ترانسفورماتورها، برای سیم پیچهای فشار قوی از حروف D،Y و Z، و برای سیم پیچهای فشار ضعیف و متوسط از حروف d،y و z استفاده می‌شود.

۵-۵-۲- جابجایی فاز بین سیم پیچها و گروه برداری

در ترانسفورماتورها،بین ولتاژ سیم پیچهای اولیه، ثانویه و سیم پیچ سوم (در صورت وجود) معمولاً اختلاف فازی وجود دارد که نسبت به بردار مربوط به سیم پیچ فشار قوی سنجیده می‌شود. گروه برداری معرف میزان اختلاف فاز بین ولتاژهای اولیه و ثانویه ترانسفورماتور می‌باشد.

طبق استاندارد IEC 60076-1 و IEC 60076-4 برای نمایش گروه برداری حرف اول بصورت حروف بزرگ انگلیسی معرف نحوه اتصال سیم پیچ فشارقوی (Y،D یا Z) و بدنبال آن وجود یا عدم وجود حرف N معرف در دسترس بودن یا نبودن نوترال فشار قوی و سپس حروف کوچک حروف d،y و z معرف نوع اتصال سیم پیچ فشار ضعیف و وجود و عدم وجود حرف n بیانگر در دسترس بودن یا نبودن نوترال فشار ضعیف می‌باشد و پس از آن عدد فازی که معرف میزان پس فاز بودن ثانویه نسبت به اولیه (بصورت مضربی از ۳۰ درجه) قید می‌گردد.

بعنوان مثال یک ترانسفورماتور ۲۰kV/۴۰۰V که طرف فشار قوی آن بصورت مثلث و طرف فشار ضعیف بصورت ستاره با نقطه صفر قابل دسترسی، بسته شده است و ولتاژ ثانویه آن نسبت به اولیه $^{\circ}$ ۳۳۰ پس فاز است دارای گروه برداری Dyn11 می‌باشد.

۵-۶- تنظیم ولتاژ و تپ چنجر

یکی از روشهای تنظیم ولتاژ شبکه تغییر نسبت تبدیل ترانسفورماتور بصورت پله‌ای و با استفاده از تپ چنجر است. تپ چنجرها بر دو نوع قابل عمل در حالت بدون جریان و قابل عمل زیر بار تقسیم می‌شوند. در مواردی که تنظیم مداوم ولتاژ بدون قطع بار ضروری می‌باشد، از تپ چنجرهای قابل عمل زیر بار استفاده می‌شود و در غیر اینصورت از تپ چنجرهای غیر قابل عمل زیر بار استفاده می‌گردد.

در صورت استفاده از تپ چنجر در ترانسفورماتور لازم است که جزییات مورد نیاز با مراجعه به استاندارد IEC 60076-4 تهیه گردد.

۵-۷- تعیین سطوح عایقی

۵-۷-۱- کلیات

کلیه تجهیزات فشار قوی از جمله ترانسفورماتورها تحت تاثیر اضافه ولتاژهای بوجود آمده در سیستم یا برای سیستم قرار می‌گیرند. سیم پیچ ترانسفورماتورها در مقابل این اضافه ولتاژها، حساسیت زیادی از

خـود نشـان میدهـند. بنابراین علاوه بر اینکه ترانسفورماتورها به کمک تجهیزات حفاظتی مانند برقگیرها حفاظـت مـی‌شـوند، باید خود نیز بتوانند تا حدودی این امواج را تحمل کنند. بدین لحاظ انتخاب سطوح عایقـی مناسـب، بخـش عمـده از طراحـی ترانسـفورماتور اسـت. انـتخاب سـطوح عایقـی مناسـب بـرای ترانسفورماتورها نقش مهمی در هزینه ساخت ترانسفورماتور خواهد داشت.

۵-۷-۲- انتخاب سطح عایقی

سـطح عایقـی توسـط خـریدار تعییـن مـی‌گـردد. انـتخاب سـطح عایقـی با توجه به عوامل زیر تعیین می‌گردد:

الف- بالاترین ولتاژ سیستم

ب- شرایط زمین شدن سیستم

ج- میزانی که ترانسفورماتور در معرض اضافه ولتاژ قرار می‌گیرد و نوع وسیله حفاظتی

۵-۷-۳- بالاترین ولتاژ سیستم

بالاترین ولتاژ سیستم، بیشترین ولتاژ بین دو فاز است که بتوان بطور دایم در هر زمان و یا هر نقطه از سیسـتم اعمـال نمـود (بـه استثنای تغییرات موقت ولتاژ ناشی از وقوع خطا در سیستم و یا قطع ناگهانی بار).

در استاندارد IEC 60076-3، مقادیر حداکثر ولتاژ سیستم برای ترانسفورماتورها توزیع ۲۴،۳۶ کیلوولت در نظر گرفته شده است.

۵-۷-۴- مقادیر سطوح عایقی

مقادیـر ولتاژهای قابل تحمل سیم پیچها و بوشینگها سمت فشار قوی یک ترانسفورماتور در برابر ولتاژ ضـربه و ولـتاژ بـا فـرکانس قـدرت از جـدول (۲) بدست می‌آید. لازم به یادآوری است که طبق استاندارد IEC 60076-3، بـرای سیستمهایی که بالاترین ولتاژ آنها کمتر از ۲۰۰kV است، فقط کافی است سطوح استقامت عایقی برای اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه و اضافه ولتاژهای با فرکانس قدرت تعیین شوند.

جدول (۲) : سطوح عایقی برای سیم پیچها و بوشینگهای سمت فشار قوی ترانسفورماتور

سطح عایقی با ولتاژ ناشی از صاعقه (پیک) kV		سطح عایقی ولتاژهای با فرکانس قدرت برای مدت زمانی کوتاه (موتر) kV		حداکثر ولتاژ سیستم (موتر) kV
بوشینگ	سیم پیچ	بوشینگ	سیم پیچ	
۷۵	۷۵	۳۵	۲۸	۱۲
۱۲۵	۱۲۵	۵۵	۵۰	۲۴
۱۷۰	۱۷۰	۷۵	۷۰	۳۶

برای نقطه خنثی ترانسفورماتور در صورت یکنواخت بودن عایق بندی، اعداد جدول (۲) صادق می‌باشد.

نکته۱: در مورد سیم پیچهای با گروه اتصال مثلث و یا ستاره که زمین شدن نقطه ستاره آن مشخص نگردیده باشد، استفاده از روش عایق بندی تدریجی مجاز نمی‌باشد. عایق بندی تدریجی را میتوان برای شبکه‌های با ولتاژ ۷۲/۵ کیلوولت و یا بیشتر و با گروه اتصال ستاره بکار برد، در صورتیکه نقطه خنثی مستقیماً یا توسط امپدانس زمین شده باشد. بنابراین استفاده از عایق بندی تدریجی در ترانسفورماتورهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت معمول نمی‌باشد.

نکته ۲ : برای ترانسفورماتورهای خشک که نیازمندی عایقی سیستم محل نصب ترانسفورماتور کمتر از مقدار معمول است و یا با توجه به محل نصب آن، نیازی به تستهای ضربه نیست میتوان سطح ولتاژ با فرکانس قدرت را کاهش داد. میزان کاهش از طریق تجربه بدست می‌آید. [IEC 60076-3]

نکته دوم : اگر ارتفاع محل نصب ترانسفورماتور خشک بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا باشد، سطح عایقی با ولتاژهای فرکانس قدرت به ازای هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع محل نصب نسبت به ۱۰۰۰ متر، ۶/۲۵ درصد افزایش می‌یابد. این شرط برای ترانسفورماتورهایی که کاملاً آب بندی شده‌اند صادق نیست. البته ملاحظات خاصی در مورد بوشینگها باید اعمال شود.

نکته سوم : با افزایش ارتفاع از سطح، دانسیته هوا کاهش یافته و خاصیت عایقی آن که در سطوح عایقی خارجی نقش دارد، کاهش می‌یابد. بهمین دلیل اگر ترانسفورماتوری در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا مورد بهره‌برداری قرار بگیرد، فاصله عایقی (سطح عایقی خارجی) باید به ازای هر ۱۰۰۰

متر افزایش نسبت به ۱۰۰۰متر، ۱٪ افزایش یابد. فواصل عایقی (سطوح عایقی خارجی) برای قسمهای برقدار (زنده) ترانسفورماتور مطابق جدول (۳) می‌باشند.

جدول (۳) : فاصله عایقی قسمتهای برقدار خارجی ترانسفورماتور

حداقل فاصله (mm)	حداکثر ولتاژ ترانسفورماتور (موثر) kV
۱۲۵	۱۲
۲۲۵	۲۴
۳۱۵	۳۶

۵-۸- میزان تحمل اتصال کوتاه ترانسفورماتور

۵-۸-۱- امپدانس ولتاژ

امپدانس ولتاژ عبارتست از ولتاژیکه لازم است به ترمینالهای یک سیم پیچ، در فرکانس نامی، اعمال گردد تا جریان نامی از سیم پیچ عبور نماید، در حالیکه سیم پیچهای دیگر ترانسفورماتور اتصال کوتاه شده باشند. در جدول (۴) مقادیر نوعی امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورها بر حسب توان اسمی آنها آمده است. این مقادیر دقیق نبوده و امکان متغیر بودن آنها با تغییر سطح ولتاژ می‌باشد، ولی بعنوان یک عدد تقریبی میتوان از آنها استفاده کرد.

*جدول (۴) : مقادیر نوعی امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورها مطابق استاندارد **IEC 76-5***

توان نامی kVA	امپدانس ولتاژ (٪)
تا ۶۳۰	۴
از ۶۳۱ تا ۱۲۵۰	۵
از ۱۲۵۰ تا ۲۱۵۰	۶/۲۵

۵-۸-۲- امپدانس اتصال کوتاه

امپدانس اتصال کوتاه معادل امپدانس اندازه‌گیری شده اتصال ستاره ترمینالهای یک سیم پیچ در فرکانس نامی بر حسب اهم بر فاز در حالیکه دیگر سیم پیچها اتصال کوتاه شده باشند، می‌باشد.

رابطه بین امپدانس اتصال کوتاه (Z_t) و امپدانس ولتاژ (U_z) یک سیم پیچ مشخص از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$Z_t = \frac{U_Z}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n}$$

که U_n ، ولتاژ نامی و S_n توان نامی سیم پیچ است.

۵-۸-۳- محاسبه مقدار جریان اتصال کوتاه

مقدار موثر جریان اتصال کوتاه متقارن یک ترانسفورماتور سه فاز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

$$I = \frac{U}{(Z_t + Z_s)\sqrt{3}} \qquad (KA)$$

که :

U : ولتاژ نامی سیم پیچ (بر حسب kV)

Z_S : امپدانس اتصال کوتاه سیستم می‌باشد که از رابطه U_S^2/S محاسبه می‌شود (بر حسب اهم بر فاز)

U_S : ولتاژ نامی سیستم (بر حسب KV)

S : توان ظاهری اتصال کوتاه سیستم (بر حسب مگا ولت آمپر)

برای ترانسفورماتورهای توزیع (تا توان اسمی ۳۱۵۰ کیلوولت آمپر)، برای محاسبه جریان اتصال کوتاه، اگر امپدانس سیستم (Z_S) کوچکتر یا برابر ۵٪ امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور (Z_t) باشد میتوان از Z_S چشم پوشی کرد. در صورتیکه مقدار توان ظاهری اتصال کوتاه سیستم در دسترس نباشد، بر طبق استاندارد IEC 76-5 میتوان از مقادیر تقریبی جدول (۵) استفاده کرد.

جدول (۵) : مقادیر توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه توزیع

حداکثر ولتاژ سیستم (KV)	توان ظاهری اتصال کوتاه (MVA)
۱۲و۲۴	۵۰۰
۳۶	۱۰۰۰

۵-۸-۴- مدت زمان تداوم اتصال کوتاه

مدت زمان تداوم جریان اتصال کوتاه که برای محاسبه میزان تحمل حرارتی ترانسفورماتور مورد نیاز است، معمولاً ۲ ثانیه در نظر گرفته می‌شود، مگر آنکه مقدار دیگری توسط خریدار مشخص شده باشد. این زمان با توجه به سیستمهای حفاظتی تعیین می‌گردد.

۵-۸-۵- میزان تحمل حرارتی ترانسفورماتور در لحظه اتصال کوتاه

ترانسفورماتور باید بتواند در هر انشعابی و در حین کار بدون آنکه صدمه‌ای ببیند اثرات حرارتی اتصال کوتاه در ترمینالهای هر یک از سیم پیچها را برای مدت زمان معین تحمل نماید.

حداکثر میانگین دمای سیم پیچ ترانسفورماتور بعد از اتصال کوتاه توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

برای مس

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{\frac{101000}{J^2 t} - 1}$$

برای آلومینیم

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 226)}{\frac{43600}{J^2 t} - 1}$$

که

θ_0 : درجه حرارت اولیه سیم پیچ در شرایط عادی بر حسب سلسیوس

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

t : مدت زمان اتصال کوتاه بر حسب ثانیه

θ_0 : دمای اولیه سیم پیچ عبارت است از مجموع حداکثر دمای محیط خنک کننده و افزایش دمای مربوطه که توسط روش تغییر مقاومت (بخش بعد) اندازه‌گیری شده است.

حداکثر میانگین دمای سیم پیچ (θ_1) که به روش فوق محاسبه گردید نباید از حداکثر مقدار مجاز، که در جدول (۶) مشخص گردیده است، تجاوز نماید.

جدول (۶) : حداکثر مجاز میانگین دمای سیم پیچ (θ_1) بعد از اتصال کوتاه

نوع ترانسفورماتور	درجه حرارت سیستم عایقی ($^{\circ}C$) (کلاس دما)	ماکزیمم مقدار θ_1 ($^{\circ}C$)	
		مس	آلومینیم
روغنی	۱۰۵(A)	۲۵۰	۲۰۰*
خشک	۱۰۵(A)	۱۸۰	۱۸۰*
	۱۰۵(E)	۲۵۰	۲۰۰*
	۱۰۵(B)	۳۵۰	۲۰۰*
	۱۰۵(F)	۳۵۰	۲۰۰*
	۱۰۵(H)	۳۵۰	۲۰۰*
	۲۲۰	۳۵۰	۲۰۰*

نکته : مقادیر مشخص شده با (*) در صورت توافق خریدار و سازنده میتواند تا $^{\circ}C$ ۲۵۰ افزایش یابد.

۵-۸-۶- میزان تحمل دینامیکی

ترانسفورماتور باید بتواند در هر انشعابی در حین کار، بدون آنکه صدمه ببیند نیروهای الکترومغناطیسی حاصل از شرایط اتصال کوتاه را که توسط ماکزیمم دامنه جریان غیر متقارن در سیم پیچها ایجاد می‌گردد تحمل نماید. مقدار این جریان حداکثر $1.8\sqrt{2}$ (۲/۵۵) برابر مقدار موثر جریان اتصال کوتاهی است که از بخش ۵-۸-۳ بدست می‌آید.

۵-۹- تلفات ترانسفورماتور

از آنجا که ترانسفورماتور دارای سیم پیچ مسی و هسته آهنی می‌باشد دارای تلفات نیز خواهد بود. میزان تلفات یک ترانسفورماتور نقش مهمی در ارزیابی اقتصادی آن دارد. زیرا در یک ارزیابی منطقی باید هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری، تعمیرات و تلفات را برای کل طول عمر ترانسفورماتور در نظر گرفت. بنابراین انتخاب ترانسفورماتورهای با قیمت بیشتر اما تلفات کمتر نسبت به ترانسفورماتورهای با همان مشخصات اما قیمت کمتر و تلفات بیشتر می‌تواند توجیه‌پذیر و اقتصادی باشد و در مجموع هزینه کمتری را برای خریدار در طول عمر خود ایجاد کند.

در ترانسفورماتوری قدرت سه نوع تلفات وجود دارد :

- تلفات آهن یا بی‌باری

- تلفات مس یا بار
- تلفات سیستمهای جانبی مانند سیستم خنک کننده

تلفات بی باری عبارت است از قدرت اکتیو جذب شده توسط ترانسفورماتور در حالیکه به یک طرف آن ولتاژ نامی با فرکانس نامی اعمال شود و طرف دیگر باز و بدون بار باشد. تلفات بی باری شامل تلفات هیسترزیس در هسته و تلفات فوکو می‌باشد. البته تلفات ناشی از جریان گردابی در کلمپ و مهره‌های هسته هم وجود دارد که بسیار ناچیز می‌باشند.

تلفات بار عبارت است از قدرت اکتیو جذب شده در فرکانس نامی توسط ترانسفورماتور در حالیکه یک سیم پیچ دارای جریان نامی و سیم پیچ دیگر اتصال کوتاه شده باشد. تلفات بار شامل تلفات مس ناشی از جریان بار و تلفات ناشی از جریان گردابی در هادی سیم پیچها در اثر فلوی پراکندگی می‌شود.

تلفات کل ترانسفورماتور برابر مجموع تلفات بی باری و بار ترانسفورماتور می‌باشد و تلفات سیستمهای جانبی بر مقدار آن تاثیر ندارد.

سازندگان ترانسفورماتور بایستی مقادیر تلفات بارداری و بی باری ترانسفوماتور را تضمین نمایند. جهت تامین ترانسفورماتورهایی با تلفات کم لازم است که جریمه تلفات بار و بی باری بصورت اطلاعات اولیه به سازندگان اعلام گردد.

در صورت عدم وجود اطلاعات لازم میتوان نرخ $۱۹۰۰ \$/kw$ (دلار بر کیلووات) را جهت جریمه تلفات بی باری و نرخ $۹۵۰ \$/kw$ (دلار بر کیلووات) را برای جریمه تلفات بار، منظور نمود.

۵-۱۰-میزان مجاز صدا

ارتعاشات هسته در محل اتصال ستون هسته به قسمتهای بالایی و پایینی، تغییر طول ورقه‌های هسته، سیم پیچهای هادی و جریان و نیز فنها و پیچها از عوامل مختلف ایجاد صدا در ترانسفورماتورها می‌باشند. استاندارد NEMA-TR1 در سال ۱۹۷۴ برای صدا حدود مجازی را تعیین نموده است. در جدول (۷)، مقادیر مطلوب سطح صدا در فاصله ۱ متری از ترانسفورماتورداده شده است. اندازه‌گیری سطح صدا باید طبق استاندارد IEC60551 انجام گیرد.

جدول (۷) : سطح مجاز صدا ترانسفورماتورهای توزیع

توان ترانسفورماتور (KVA)	میزان صدا (db)
۱۰۰	۴۶
۱۲۵،۱۶۰	۴۷
۲۰۰،۲۵۰	۴۸
۳۱۵،۴۰۰	۵۰
۵۰۰،۶۳۰	۵۲
۸۰۰،۱۰۰۰	۵۴
۱۲۵۰،۱۶۰۰	۵۶

۵-۱۱- شرایط مربوط به موازی کردن دو ترانسفورماتور

چنانچه هدف این باشد که ترانسفورماتور با ترانسفورماتورهای موجود بصورت موازی کار کند، باید این امر به اطلاع سازنده رسانده شود و مشخصات زیر در مورد ترانسفورماتورهای موجود اعلام گردد :

الف- توان نامی ترانسفورماتورهای موجود

ب- نسبت تبدیل نامی

ج- نسبت تبدیل در تپهایی غیر از تپ نامی

د- تلفات بار در تپ نامی و دمای مبنا

ه- امپدانس اتصال کوتاه در تپهای حداکثر و حداقل در صورتیکه محدوده تغییرات تپها از ۵ ± درصد بیشتر باشد.

ز- دیاگرام اتصال و گروه برداری

برای اینکه امکان عملکرد موازی دو یا چند ترانسفورماتور به نحو مطلوب وجود داشته باشد، لازم است شرایط زیر محقق گردد :

الف- نسبت تبدیلهای یکسان

ب- گروه برداری مشابه

ج- امپدانس اتصال کوتاه یکسان

د- قدرت نامی نزدیک به هم

برای جزییات بیشتر به استاندارد IEC 60076-8 مراجعه شود.

۵-۱۲- روغن ترانسفورماتور

۵-۱۲-۱- کیفیت

روغن ترانسفورماتور باید مطابق با استاندارد IEC 60296 تهیه شود و از نوع روغن عایق، استفاده نشده و بدست آمده از پالایش و تصفیه نفت باشد. بر اساس استاندارد IEC 60296، روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور در سه کلاس I، II و III تقسیم بندی می‌شود. این تقسیم بندیها بر اساس خواص فیزیکی روغنها یعنی درجه حرارت خمیری شدن (نقطه ریزش)، درجه حرارت اشتعال و میزان چسبندگی جنبشی (ویسکورینه) در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و یک دمای پایین‌تر صورت می‌گیرد. همچنین روغن ترانسفورماتور در دو پایه نفتان و پارافین وجود دارد. روغن با پایه نفتان برای استفاده نیاز به مواد افزودنی مانند ضد اکسیداسیون ندارد، ولی روغن با پایه پارافین احتیاج به ماده ضد اکسیداسیون دارد. بنابراین روغن با پایه نفتان برای استفاده در ترانسفورماتورها مناسبتر است.

۵-۱۲-۲- مشخصات روغن

براساس استاندارد IEC 60296، مشخصات روغنهای کلاس I، II و III مطابق جدول ۸ می‌باشد.

جدول (۸) : مشخصات روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور

مشخصه (واحد)	شرایط	کلاس I	کلاس II	کلاس III
چسبندگی جنبشی (میلی متر مربع بر ثانیه)	در $40^{\circ}C$	کوچکتر یا مساوی ۱۶/۵	کوچکتر یا مساوی ۱۱	کوچکتر یا مساوی ۳/۵
	در $20^{\circ}C$	کوچکتر یا مساوی ۴۰	کوچکتر یا مساوی ۲۵	کوچکتر یا مساوی ۶
	در $-15^{\circ}C$	کوچکتر یا مساوی ۸۰۰	-	-
	در $-30^{\circ}C$	-	کوچکتر یا مساوی ۱۸۰۰	-
	در $-40^{\circ}C$	-	-	کوچکتر یا مساوی ۱۵۰
درجه حرارت اشتعال (سانتیگراد)	-	بزرگتر یا مساوی ۱۴۰	بزرگتر یا مساوی ۱۳۰	بزرگتر یا مساوی ۹۵
درجه حرارت خمیری شدن (نقطه ریزش) (سانتیگراد)	-	کوچکتر یا مساوی ۳۰-	کوچکتر یا مساوی ۴۵-	کوچکتر یا مساوی ۶۰-
شکل ظاهری	-	رنگ روشن و شفاف و بدون هر گونه مواد معلق و ته نشینی		
چگالی (kg/dm^2)	در $20^{\circ}C$	کوچکتر یا مساوی ۰/۸۹۵		
کشش سطحی (N/m)	در $25^{\circ}C$	بزرگتر یا مساوی 40×10^{-3}		
درجه خنثی بودن ($mg\,KOH/g$)	-	کوچکتر یا مساوی ۰/۰۳		
خورندگی گوگردی	-	غیر خورنده		
مقدار آب محلول (mg/kg)	-	کوچکتر یا مساوی ۴۰		
ماده افزودنی ضد اکسیداسیون	-	در مورد روغنهای بدون افزودنی ماده ضد اکسید کننده اضافه نمی‌شود در مورد روغنهای با افزودنی، مقدار ماده ضد اکسید کننده با توافق بین خریدار و فروشنده تعیین می‌گردد.		
درجه خنثی بودن ($mg\,KOH/g$)	بعد از اکسید شدن روغن بدون افزودنی	کوچکتر یا مساوی ۰/۴		
مقدار لجن روغن	بعد از اکسید شدن روغن بدون افزودنی	کوچکتر یا مساوی ۰/۱٪ از جرم کل روغن		
ولتاژ شکست عایقی (kV)	روغن قبل از تصفیه	بزرگتر یا مساوی ۳۰		
	روغن بعد از تصفیه	بزرگتر یا مساوی ۵۰		
ضریب تلفات	در $90^{\circ}C$ و فرکانس ۴۰ تا ۶۰ هرتز	کوچکتر یا مساوی ۰/۰۰۵		

۵-۱۲-۳- شرایط استفاده از انواع روغنها

با توجه به اینکه درجه حرارت اشتعال روغنها کلاس III، بزرگتر یا مساوی $۹۵^{\circ}C$ است و برای کشور ایران این مقدار حداقل باید $۱۰۰^{\circ}C$ باشد، بنابراین روغنهای کلاس III در ایران استفاده نمی‌شود.

طبق استاندارد، روغنهای خالص با پایه نفتان در کلاس II برای مناطقی که حداقل درجه حرارت $-۴۰^{\circ}C$ است مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای مناطقی که حداقل درجه حرارت $-۲۰^{\circ}C$ و $-۳۰^{\circ}C$ است، از روغنهای پایه نفتان یا پارافین در کلاس I استفاده می‌شود.

۵-۱۲-۴- نحوه حمل روغن

۱- روغن ترانسفورماتور باید در بشکه‌های پر تحویل داده شود.

۲- شبکه‌ها باید نو و از مناسبترین جنس و بطور کلی از نوعی باشند که عموماً در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳- تمام بشکه‌های روغن باید، حداقل دارای ۲ مشخصه زیر باشند :

الف- مشخصات تهیه کننده (فروشنده)

ب- کلاس روغن

۴- همراه هر محموله روغن باید اطلاعات زیر توسط فروشنده ارائه گردد :

۱- مشخصات فروشنده

۲- کلاس روغن

۳- هر نوع ماده افزودنی به روغن، اگر ماده ضد اکسیداسیون اضافه شده است باید نوع آن بطور کامل مشخص گردد. همچنین افزودن هر گونه ماده، جهت پایین آوردن نقطه ریزش روغن باید با توافق بین فروشنده و خریدار باشد. در این مورد نیز، در صورت افزوده شدن ماده اضافی، باید نوع آن دقیقاً مشخص شود.

فهرست مطالب

۶- مراحل قدم به قدم طراحی

در این بخش بر اساس نتایج بدست آمده از بررسیهای بخشهای قبلی مراحل مختلف چگونگی انتخاب ترانسفورماتور برای پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت تشریح می‌گردد.

۶-۱- نیاز و خواسته

طراحی یک ترانسفورماتور دو سیم پیچه جهت یک پست ۲۰ (۳۳) کیلوولت

۶-۲- مشخصات و ویژگیهای شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور در آن نصب می‌شود :

- ولتاژ نامی اولیه و ثانویه
- ولتاژ حداکثر اولیه و ثانویه
- فرکانس نامی
- دیاگرام برداری شبکه
- قدرت قطع اتصال کوتاه
- نحوه زمین کردن نوترال

۶-۳- مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی

مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی محلی که ترانسفورماتور در آن نصب و بهره‌برداری می‌شود. بر اساس شرایط واقعی و مطابق با جزییات ارائه شده در بخش (۴-۲) باید مشخص و به اطلاع سازنده رسانده شود.

۶-۴- پارامترهای انتخاب ترانسفورماتور

این پارامترها که براساس نتایج بخش ۵ تعیین می‌گردند عبارتند از :

- نوع ترانسفورماتور، بر اساس بخش ۵-۱-۱
- نوع عایق بندی ترانسفورماتور بر اساس بخش ۵-۱-۲
- انتخاب نوع نصب (درونی یا بیرونی) بر اساس بخش ۵-۱-۳
- ولتاژ و توان نامی بر اساس بخش ۵-۴
- سیستم خنک کنندگی بر اساس بخش ۵-۲
- میزان افزایش مجاز درجه حرارت روغن و سیم پیچ بر اساس بخش ۵-۳
- نحوه اتصال سیم پیچها و گروه برداری بر اساس بخش ۵-۵
- تنظیم ولتاژ و مشخصات تپ چنجر بر اساس بخش ۵-۶

- ولتاژ حداکثر هر یک از سیم پیچها بر اساس بخش ۵-۷-۳
- تعیین سطوح عایقی بر اساس بخش ۵-۷
- امپدانس ولتاژ بر اساس بخش ۵-۸-۱
- امپدانس اتصال کوتاه بر اساس بخش ۵-۸-۲
- مقادیر جریانهای اتصال کوتاه بر اساس بخش ۵-۸-۳
- میزان تحمل شرایط اتصال کوتاه بر اساس بخشهای ۵-۸-۵ و ۵-۸-۶
- شرایط مربوط به موازی نمودن (در صورت نیاز) بخش ۵-۱۱
- میزان مجاز صدا، بر اساس بخش ۵-۱۰
- تعیین روغن ترانسفورماتور بر اساس بخش ۵-۱۲

بخش دوم
معیارها و ویژگیهای فنی

لیست گزارشات

فهرست مطالب

۱-تابلو مشخصات ۱
۲- ابعاد و وضع ظاهری ترانسفورماتور توزیع ۲
۳- رنگ و پرداخت نهایی ۳
۴- طراحی و ساختمان ۳
۴-۱- هسته ۳
۴-۲- سیم پیچها ۴
۴-۳- مونتاژ هسته و سیم‌پیچی ۴
۴-۴- تانک ۵
۴-۵- سیستم خنک کنندگی ۵
۴-۶- ملحقات ۶
۴-۶-۱- کنسرواتور ۶
۴-۶-۲- رله دو وضعیتی تشخیص گاز (رله بوخ هلتز) ۶
۴-۶-۳- نشان دهنده سطح روغن کنسرواتور ۷
۴-۶-۴- نشان دهنده درجه حرارت سیم پیچ و روغن ۷
۴-۶-۵- رطوبت گیر (سیلیکاژل) ۷
۴-۶-۶- چرخها ۷
۴-۷- تغییر دهنده ولتاژ (تپ چنجر) ۸
۴-۸- بوشینگها ۸
۴-۹- نیازها از نظر زمین لرزه ۸
۴-۱۰- ضربه شوک و انحراف از شاقول ۹
۵- مردود نمودن ۹
۶- لوازم یدکی همراه با ترانسفورماتور ۹
۷- آزمونها ۱۰

۸- اطلاعات و مشخصات همراه با پیشنهادات ۱۰
۹- جداول خریدار و فروشنده ۱۱
۱۰- توضیحات لازم جهت تکمیل جدول یک ۲۲
ضمیمه ۱ : شرایط محیطی ۳۲
ضمیمه ۲ : تلفات بی باری و بارداری ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۳۵

فهرست جداول

جدول (۱) : مشخصات اصلی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۱۲
جدول (۲) : مشخصات فنی و داده‌های تضمین شده برای ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۱۶
جدول (۳): حداکثر ولتاژ سیستم شبکه توزیع ۲۲
جدول (۴): انواع سطح آلودگی ۲۴
جدول (۵): حد مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای از نوع روغنی ۲۵
جدول (۶): تعداد پله‌ها و محدوده مجاز تغییرات انشعاب ۲۵
جدول (۷): گروه برداری ترانسفورماتورهای توزیع ۲۵
جدول (۸): ولتاژ امپدانس ترانسفورماتورهای روغنی توزیع مطابق IEC 76-5 ..... ۲۶
جدول (۹): مقادیر توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه توزیع ۲۷
جدول (۱۰): مقادیر ولتاژهای قابل تحمل سیم پیچها و بوشینگها سمت فشار قوی ۲۷
جدول (۱۱) : حداقل فاصله خزشی بوشینگهای شبکه توزیع ۲۸
جدول (۱۲): سطح صدای ترانسفورماتورهای توزیع ۲۸
جدول (۱۳) : :جدول شماره یک تکمیل شده برای خرید ترانسفورماتور روغنی توزیع ۵۰۰ کیلوولت آمپری ۲۹
جدول (II) : میزان تلفات ترانسفورماتورهای روغنی با سیم پیچ مسی و سیستم خنک کنندگی ONAN ۳۵

فهرست مطالب

۱- تابلو مشخصات

برروی بدنه هر ترانسفورماتور و در محلی که کاملاً در معرض دید باشد. می‌باید تابلو مشخصات نصب گردد. جنس تابلو باید از مواد ضدزنگ بوده و نوشته‌های روی تابلو باید کاملاً مشخص و خوانا باشد. تابلو باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

الف- اطلاعات عمومی

این اطلاعات باید برروی تابلو تمامی ترانسفورماتور موجود باشد:

۱- نوع ترانسفورماتور (برای مثال، ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه، اتوترانسفورماتور، ترانسفورماتور بوستر و ...)

۲- شماره استاندارد

۳- نام کارخانه سازنده

۴- شماره سریال سازنده

۵- سال ساخت

۶- تعداد فاز

۷- توان نامی (KVA یا MVA)

۸- فرکانس نامی

۹- ولتاژ نامی

۱۰- جریان نامی

۱۱- نحوه اتصالات

۱۲- امپدانس اتصال کوتاه

۱۳- نوع سیستم خنک‌کننده

۱۴- وزن کل

۱۵- وزن روغن عایق

ب- اطلاعات اضافی

این اطلاعات در موارد خاص که مشخص می‌شود، ارائه می‌گردند:

۱- سطوح عایقی بصورت اختصار (IEC 60076-3)، (برای ترانسفورماتورهایی که دارای سیم‌پیچی با ولتاژ حداکثر ۳/۶ کیلوولت یا بالاتر می‌باشند).

۲- جزییات مربوط به تپ چنجر برای شرایط زیر:

- اگر رنج تپ ترانسفورماتور کمتر از $\pm 5\%$ است: ولتاژ تپ برای تمامی پله‌ها
- اگر رنج تپ ترانسفورماتور بیشتر از $\pm 5\%$ است: یک جدول شامل ولتاژ، جریان و توان تپ برای تمامی پله‌ها و همچنین امپدانس اتصال کوتاه مربوط به تپ اصلی و تپ ماکزیمم باید مشخص شود.

۳- افزایش دمای بالایی روغن و سیم‌پیچ، اگر مقدار عادی و معمولی نباشد.

۴- مایع عایقی ترانسفورماتور، اگر از روغن استفاده نشده باشد.

۵- دیاگرام اتصالات، در مواردی که نحوه اتصالات، اطلاعات کاملی از نحوه اتصالات داخلی ترانسفورماتور را بیان نکند.

۶- وزن آماده حمل ترانسفورماتور، برای ترانسفورماتورهایی که وزن کل آنها از ۵ تن تجاوز کند.

۷- وزن بدون تانک برای ترانسفورماتورهایی که وزن کل آنها از ۵ تجاوز کند.

۸- مقاومت تانک و کنسرواتور در مقابل خلاء

فهرست مطالب

۲- ابعاد و وضع ظاهری ترانسفورماتور توزیع

ابعاد خارجی ترانسفورماتورهای توزیع، مطابق با مشخصات ترانسفورماتورهای توزیع استاندارد ایران (ساخت ایران ترانسفو یا مشابه آن) در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است که در صورت استفاده از انواع دیگر ترانسفورماتورها می‌باید جزییات این ترانسفورماتورها از نظر ابعاد و ظاهر مورد توجه قرار بگیرند.

مشخص بودن ابعاد خارجی و وضع ظاهری ترانسفورماتور در طراحی فضای استقرار و ابعاد حوضچه روغن تورانسفورماتور (فقط ترانسفورماتورهای روغنی) موثر است.

فهرست مطالب

۳- رنگ و پرداخت نهایی

الف- گالوانیزاسیون (در صورت استفاده از ورق گالوانیزه)

گالوانیزه نمودن قطعات باید برطبق استاندارد ISO- 1461 (سال ۱۹۷۳ یا آخرین انتشار) انجام گیرد.

ب- زیرسازی و رنگ‌آمیزی:

ب-۱) زیرسازی:

زیرسازی باید مطابق با آخرین انتشار استاندارد ANSI A159-1 انجام گیرد.

ب-۱-۱) رنگ‌زدایی:

قطعات آهنی و صفحات فولادی باید بوسیله شن‌پاشی مطابق با آخرین استاندارد BS 4232 و با هر روشی مورد تایید دیگری از رنگ پاک شود.

ب-۱-۲) چربی‌زدایی

قطعات آهنی و صفحات فولادی باید با استفاده از حلالها از چربی پاک شود.

ب-۲) رنگ‌آمیزی خارجی

رنگ روی قطعات آهنی و صفحات فولادی باید از سه لایه پوشش به ضخامت هر یک حداقل ۴۰ میکرون (حداقل ۵۰ میکرون برای آب و هوای مرطوب) تشکیل گردد که یک لایه ضد زنگ اولیه، پوشش دوم رنگ آستری و در نهایت پوشش سوم، رنگی مقاوم در مقابل رطوبت، تابش‌آفتاب و تغییرات دما با ضخامت کلی حداقل ۱۲۰ میکرون (حداقل ۱۵۰ میکرون برای آب و هوای مرطوب) می‌باشد. رنگ‌آمیزی باید مطابق با آخرین انتشار استاندارد BS 5493 باشد و یک صفحه رنگ شده به عنوان نمونه باید مطابق با آزمون‌های مربوطه تست شود. اضافه کردن لایه‌های رنگ می‌تواند با توافق صورت پذیرد.

فهرست مطالب

۴- طراحی و ساختمان

۴-۱- هسته

جنس ورق هسته ترانسفورماتور باید از فولاد سیلیکون دار سرد نورد شده با دانه‌های جهت دار ساخته شود. این ماده باید دارای کیفیت بالایی بوده و دارای طول عمر زیاد باشد. هسته ترانسفورماتور بایستی بصورت ورق نازک و با تلفات کم و قابلیت نفوذ پذیری بالا باشد و لبه‌های آن دارای تیزی نباشد. هسته، باید به دقت مونتاژ شده و به محکمی به یکدیگر متصل گردند تا در مقابل ضربات خارجی مقاوم بوده و

استقامت مکانیکی کافی جهت نگهداری سیم پیچ را داشته باشد. همچنین نباید در هنگام حمل و نقل هیچ گونه جابجایی در صفحات هسته ایجاد شود و در شرایط کار نامی نوسان و لرزش هسته باید حداقل مقدار ممکن باشد.

۴-۲- سیم پیچها

در طراحی و ساخت و تهیه سیم پیچها ملاحظات ویژه‌ای برای همه عوامل کاری مانند استقامت عایقی، قدرت مکانیکی عایق، مشخصات سیم پیچی، توزیع یکنواخت شار الکتریکی به حداقل تلفات عایقی، جریان آزاد روغن جهت ایجاد درجه حرارت یکنواخت و حذف نقطه‌های داغ و توزیع یکنواخت ولتاژ بین حلقه‌های مجاور و در سر سیم پیچی‌ها باید مورد توجه قرار گیرند.

هادیهای سیم پیچ باید عاری از هر گونه پوسته برآمدگی و یا شکاف بوده و بطور یکنواخت عایق بندی شوند. همه هادیهای استفاده شده برای سیم پیچی باید از مس الکترولیتی ساخته شود و حلقه‌های سیم پیچی باید بطور یکدست و طوری پیچیده شده باشند که تقویت استقامت مکانیکی و الکتریکی و کاهش زوال سیم پیچی را در بر داشته باشد.

سیم پیچها بایستی طوری ساخته، شکل داده و توسط بستهایی بهم محکم شوند تا در مقابل تغییرات درجه حرارت و انبساط و انقباض بوجود آمده صدمه نبینند و نیز این عمل مانع از خراشیدگی و سایش عایقها شده و مقاوم شدن ترانسفورماتور در مقابل حرکات و اعوجاج ایجاد شده توسط شرایط کاری غیر عادی را به دنبال داشته باشد. بین سیم پیچ ولتاژ بالا و ولتاژ پایین و نیز بین سیم پیچ و هسته بایستی موانع عایقی کافی وجود داشته باشد.

۴-۳- مونتاژ هسته و سیم‌پیچی

هر هسته و سیم پیچ مونتاژ شده باید تحت شرایط خلاء با فشار کمتر از ۰/۵ میلیمتر جیوه خشک شود و بلافاصله پس از این مرحله در روغن فرو رفته و تحت عمل اشباع روغن قرار گیرد تا اطمینان کافی از کاهش نفوذ رطوبت و هوا در ساختار عایقی آن حاصل گردد. هسته و سیم پیچ را بلافاصله پس از اشباع نمودن باید در روغن بدون رطوبت و هوا غوطه ور ساخت.

۴-۴- تانک

تانک ترانسفورماتور باید از فولادکم کربن نورد شده در حالت گرم و بصورت مقاوم در مقابل روغن ساخته شود. درپوش تانک باید بگونه‌ای باشد که آب در روی آن راکد نماند. اتصالات بین بدنه تانک و درپوش آن و همچنین مابین قطعات مختلف تانک باید با فلانج و پیچهای همراه با واشر مناسب و ترجیحاً دوبل انجام گیرد تا بخوبی در مقابل روغن آب بندی شود. واشرها باید از مواد نرم و ارتجاعی و غیر قابل حل در روغن گرم ساخته شوند.

تانک ترانسفورماتور، رادیاتورها، لوله‌های ارتباطی روغن و کنسرواتور باید ضمن تحمل خلاء کامل، تحمل اضافه فشار ناشی از مقدار روغن به اندازه اختلاف ارتفاع پایین‌ترین و بالاترین مقدار روغن تانک را داشته باشد.

بدنه خارجی ترانسفورماتور باید مجهز به ترمینال برای اتصال به سیستم زمین بوده و در هر کدام از ترمینالها باید در محل اتصال برای وصل هادی زمین در نظر گرفته شده باشد.

تانک ترانسفورماتور باید حداقل شامل شیرهای زیر باشد :

- شیر تخلیه، این شیر باید در جایی نصب گردد که تانک را کاملاً تخلیه کند.
- شیر نمونه‌گیری از روغن
- یک سوراخ با درپوش برای تخلیه گاز یا هوای جمع شده در بالاترین قسمت تانک
- شیر تصفیه روغن

۴-۵- سیستم خنک کنندگی

ترانسفورماتورهای توزیع عموماً دارای سیستم خنک کنندگی طبیعی هستند. رادیاتورهای این سیستم باید به گونه‌ای طراحی شده باشند که براحتی برای تمیز نمودن یا رنگ آمیزی قابل دسترسی باشند و به هنگام تخلیه تانک ترانسفورماتورها، روغن رادیاتورها نیز بطور کامل تخلیه شود و در هنگام پرکردن تانک از روغن نیز هوای آن به داخل تانک راکتور رانده شود و اطمینان خاطر از عدم تجمع حبابهای گاز در آنها حاصل گردد.

۴-۶- ملحقات

همه اندازه‌گیرها، رله‌ها و ترمومترها بایستی طوری در روی ترانسفورماتور نصب شوند که لرزش‌های ناشی از خود ترانسفورماتور به دستگاههای مورد نظر انتقال پیدا نکند. ترانسفورماتور باید با تجهیزات و ملحقات ذیل همراه باشد :

۴-۶-۱- کنسرواتور

تانک کنسرواتور باید دارای ظرفیت مناسب در محدوده تغییرات درجه حرارت مشخص شده محیط باشد و باید با ایجاد شیب مناسبی در کف آن به منظور تخلیه روغن، روی ترانسفورماتور قرارگیرد. کف کنسرواتور باید مجهز به یک شیر تخلیه به اندازه مناسب و با درپوش لازم باشد. لوله ارتباطی بین کنسرواتور و تانک ترانسفورماتور باید دارای یک شیر قطع کننده خودکار با نشان دهنده وضعیت باز و بسته بودن در سمت کنسرواتور و نیز رله بوخ هلتز باشد.

کنسرواتوربایستی همراه با محفظه‌ای جهت تنفس گر سیلیکاژل بوده و نیز بایستی دارای یک نشان دهنده سطح روغن باشد.

سیستم انبساط بایستی برای جلوگیری از ورود هوا به روغن کاملاً آب بندی شود. کنسرواتور باید کاملاً آب بندی شود.

۴-۶-۲- رله دو وضعیتی تشخیص گاز (رله بوخ هلتز)

رله تشخیص گاز باید طوری قرار گیرد که تمام گازهای تولید شده را جمع کند. محل قرار گیری این رله روی لوله ارتباطی بین کنسرواتور و تانک ترانسفورماتور می‌باشد. رله باید مجهز به یک سری کنتاکت برای وصل مدار هشدار به خاطر تجمع تدریجی گاز در محفظه و یک سری دیگر برای فرمان قطع ترانسفورماتور در اثر جریان ناگهانی و سریع گاز باشد.

رله بوخ هلتز باید مجهز به کلیدهای آزمون پوش باتون باشد. رله باید طوری طراحی و ساخته شود که قسمتهای فعال آن در دسترس بوده و قابل بازرسی، تعمیر و تعویض بدون خالی کردن داخل کنسرواتور باشد.

۴-۶-۳- نشان دهنده سطح روغن کنسرواتور

نشـان دهـنده سطح روغن و قابل رویت از سطح زمین باید روی سطح خارجی کنسرواتور نصب گردد. عقربه نشان دهنده باید نمایانگر سطوح حداکثر، حداقل و عادی باشد.

شیشـه یـا طلـق بکار رفته باید طوری باشد که شفافیت خود را در مقابل نور خورشید از دست ندهد و در مقابل تغییرات درجه حرارت آسیب نبیند.

۴-۶-۴- نشان دهنده درجه حرارت سیم پیچ و روغن

باید یک نشان دهنده عقربه ای درجه حرارت تهیه شود که مناسب برای ترکیب درجه حرارت روغن و جـریان سـیم پیچـی باشـد. ایـن نشـان دهنده برای درجه حرارت گرمترین نقطه سیم پیچ ترانسفورماتور کالیبره می‌شود. نشان دهنده باید روی بدنه ترانسفورماتور نصب گردند.

نشـان دهـنده عقـربه‌ای درجـه حرارت روغن به همراه عنصر حساس آن در گرمترین مکان روغن قرار مـی گـیرد.نشان دهنده باید روی بدنه ترانسفورماتور و در مجاورت نشان دهنده درجه حرارت سیم پیچها نصب گردد.

این نشان دهنده باید مجهز به کنتاکتهای آلارم قابل تنظیم زیر باشند :

اعلام آلارم در مواقعی که درجه حرارت به مقدار از پیش تنظیم شده برسد.

- تحـریک مدار قطع کلید طرف بار ترانسفورماتور در مواقعی که درجه حرارت به مقدار تنظیم شده برسد.

۴-۶-۵- رطوبت گیر (سیلیکاژل)

رطوبـت گیر خشک یا نشان دهنده رنگی دیگر که به تایید رسیده باشد بایستی با ذرات خشک کننده و بدون تماس با هوای اتمسفر ساخته شود. تنفسگیر در جایی نصب شود که براحتی بتوان آن را تعمیر و نگهداری کرد.

۴-۶-۶- چرخها

بـرای جابجایـی ترانسفورماتور بر روی ریل داخل پست ترانسفورماتور باید مجهز به چرخهایی باشد که قـابل چـرخش بـه انـدازه ۹۰ درجـه باشد و تحمل وزن ترانسفورماتور همراه با تانک پر از روغن را داشته باشد. بعد از استقرار ترانسفورماتور در جای اصلی خود، چرخها باید به کمک نگهدارنده‌های پیچ و مهره‌ای روی ریلها محکم گردند.

۴-۷- تغییر دهنده ولتاژ (تپ چنجر)

ترانسفورماتور ها باید مجهز به تغییر دهنده دستی ولتاژ برای تغییر اتصالات به پله‌های مختلف در سیم پیچی باشند.

تغییر پله باید فقط موقعی انجام بگیرد که ترانسفورماتور بی برق باشد. تغییر دهنده ولتاژ باید شامل دستگیره‌ای جهت تنظیم، همراه با نشان دهنده پله‌ها و نیز وسایلی برای قفل نمودن دستگیره تغییر دهنده ولتاژ در هر یک از پله‌های مورد نظر باشد.

کنتاکتهای تغییر دهنده ولتاژ باید قادر به تحمل جریان کامل اتصال کوتاه ترانسفورماتور بدون هیچگونه صدمه و آسیب دیدن بوده و نیز جریان مستمر بیش از۱/۲ برابر حداکثر جریان بار کامل سیم پیچی را تحمل نمایند. دسته تغییر دهنده ولتاژ باید به وسایل مناسبی برای حفاظت در برابر عملکرد ناصحیح مجهز باشد. در صورت درخواست خریدار برای داشتن تپ چنجر On Load، باید برروی ترانسفورماتور نصب گردد.

۴-۸- بوشینگها

بوشینگها باید مطابق با آخرین استاندارد IEC 60233 و IEC 60137 بوده و به گونه‌ای باشند که مناسب کار در شرایط محیطی در جدول شماره ۱ باشند.

بوشینگهای هم ولتاژ باید قابل تعویض با یکدیگر باشند. بوشینگها باید در مقابل روغن، هوا و آب نفوذناپذیر باشند.

۴-۹- نیازها از نظر زمین لرزه

ترانسفورماتورهایی که بطور کامل مونتاژ و نصب می‌گردند (بعلاوه کلیه محلقات آنها) باید طوری طراحی شده باشند که نیروهای دینامیکی زمین لرزه را بدون هر گونه صدمه تحمل نمایند. شتابهای افقی و عمودی زلزله باید در همان جهتی هدایت و خنثی شوند که شدیدترین وضعیت بارگذاری ترانسفورماتور و ملحقات آن ایجاد می‌نمایند. (مقدار این شتاب بطور کلی باید ۰/۳ شتاب ثقل زمین باشد مگر در شرایط خاص که توسط خریدار مشخص گردیده باشد.)

82461041

۴-۱۰- ضربه شوک و انحراف از شاقول

ترانسفورماتورها باید از آنچنان طراحی، مواد و ساختی برخوردار باشند که در اثر وارد آمدن شوک و ضربات احتمالی در ضمن بارگیری، تخلیه، نقل و انتقلات زمینی و دریایی یا هر گونه جابجایی تا حد ۳ برابر شتاب ثقل زمین در هر یک از جهات (طول، عرض یا ارتفاع) آسیبی به آنها وارد نگردد. انحراف از قائم تا میزان حداکثر ۱۵ درجه نسبت به خط شاقول نیز نباید سبب وارد آمدن ضربه به ترانسفورماتور گردد.

فهرست مطالب

۵- مردود نمودن

خریدار حقوق خود را برای رد ترانسفورماتور و درخواست ترانسفورماتورهای جدید در صورت بروز هر یک از موارد مغایرت زیر در رابطه با مقادیر تعیین شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در زمان انجام آزمایشات یا کار ترانسفورماتور محفوظ می‌دارد :

الف- تلفات اندازه‌گیری شده نسبت به مقادیر تضمینی بیش از محدوده هایی باشد که در استاندارد IEC مشخص گردیده است.

ب- ولتاژ امپدانس اندازه‌گیری شده نسبت به مقادیر تضمینی بیش از ۱۰ درصد اختلاف داشته باشد.

ج- افزایش درجه حرارت روغن یا سیم پیچی نسبت به مقادیر تضمینی تجاوز کند.

د- ترانسفورماتور در آزمون تحمل موج ضربه رد شود.

ه- ترانسفورماتور در آزمون تحمل ولتاژ با فرکانس قدرت رد شود.

و- چنانچه ثابت شود که ترانسفورماتور مطابق با مشخصات توافق شده ساخته نشده است.

چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده برای موارد فوق الذکر که در محدوده مقادیر تضمینی نبوده و در عوض در محدوده‌های ذکر شده در فوق قرار گرفته باشند، در صورت موافقت خریدار، سازنده یا باید ترانسفورماتور را اصلاح نماید یا پرداخت جریمه‌ای که توسط خریدار پیشنهاد می‌گردد تقبل نماید.

فهرست مطالب

۶- لوازم یدکی همراه با ترانسفورماتور

وسایل اضافی زیر جهت راه‌اندازی ترانسفورماتور بعنوان حداقل نیازها باید برای هر ترانسفورماتور در نظر گرفته شود :

۱- یک سری کامل واشرها همراه با مواد لازم جهت تثبیت واشرها.
۲- مقدار کافی نوارهای عایقی .
۳- یک قوطی رنگ سطح نهایی.
۴- ۱۰٪ کل مقدار روغن
۵- یک جعبه ابزار کامل همراه با ابزارهای مخصوص لازم
۶- مواد و وسایل ضروری دیگر طبق پیشنهاد سازنده با توجه به نوع ترانسفورماتور.

فهرست مطالب

۷- آزمونها

ترانسفورماتور و متعلقات آن باید طبق استانداردهای IEC مورد آزمون قرار گیرند. لیست آزمونها در استاندارد آزمون ترانسفورماتورهای توزیع آمده است.

آزمونهای نوعی در صورت حصول توافق مابین خریدار و فروشنده بهنگام عقد قرارداد باید انجام پذیرند. فروشنده می‌باید گزارش آزمون نوعی ترانسفورماتور مورد نظر را ارائه نماید و در صورتی که گزارش آزمون از نظر خریدار قابل قبول نباشد و یا اینکه آزمایشگاهی که آزمون را انجام داده است مورد قبول خریدار نباشد فروشنده موظف است به انجام مجدد آزمون به هزینه خود می‌باشد.

فهرست مطالب

۸- اطلاعات و مشخصات همراه با پیشنهادات

اطلاعات و مشخصات زیر باید همراه با پیشنهاد جهت تایید و بررسی در مناقصه باید از طرف سازنده ارائه شوند :

۱- نقشه‌هایی کلی که ساخت، ابعاد خارجی و وزن قطعات و نحوه مونتاژ تجهیزات پیشنهاد شده را نشان بدهند. نقشه‌ها باید نمایانگر فواصل الکتریکی مابین قسمتهای مختلف داخلی و خارجی ترانسفورماتور اطلاعات الکتریکی و مکانیکی لازم و نحوه خارج ساختن هسته و روغن از مخزن و غیره باشند.
۲- کاتالوگهای همه اجزا اصلی و ملحقات
۳- لیست لوازم یدکی
۴- مشخصات فنی تفصیلی طبق آنچه در جداول فروشنده آمده است.

۵- گزارش آزمونهای نوعی

۶- لیست تجربیات فروشنده در ساخت ترانسفورماتورهای مشابه.

۷- اسناد و نقشه‌های لازم برای نصب، نگهداری و تعمیرات

۸- کلیه تجهیزات موقت و دایمی لازم برای نصب همچنین مشخصات خودروهای لازم برای حمل و نقل همه اسناد و مدارک مناقصه باید توسط نماینده مجاز فروشنده مهر و امضاء شود.

فهرست مطالب

۹- جداول خریدار و فروشنده

در جدول (۱) اطلاعاتی که خریدار در موقع ارائه پیشنهاد باید به سازنده ارائه دهد آورده شده است در جدول (۲) همه مشخصات فنی ترانسفورماتور که سازنده همراه با مدارک مناقصه بایدارائه کند آورده شده است.

جدول شماره یک

مشخصات اصلی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع

یادآوری :

این جدول توسط خریدار تکمیل می‌گردد.

جدول (۱) : مشخصات اصلی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۱	اطلاعات عمومی :	
۱-۱	محل نصب (فضای آزاد/فضای بسته)	
۱-۲	نوع رادیاتور (لوله‌ای/کنگره‌ای)	
۱-۳	تعداد فاز (یکفاز / سه فاز)	
۱-۴	نوع سیستم خنک کننده	
۱-۵	فرکانس نامی (هرتز)	
۱-۶	توان خروجی نامی (کیلوولت آمپر)	
۱-۷	ولتاژ نامی در HV//LV در حالت بی باری (کیلوولت – مقدار موثر)	
۱-۸	حداکثر ولتاژ سیستم در HV/LV (کیلوولت- مقدار موثر)	
۱-۹	سیستم زمین	
	الف- سیستم زمین فشار قوی	
	ب- سیستم زمین فشار ضعیف	
۲	شرایط محیط :	
۲-۱	ارتفاع (متر)	
۲-۲	حداکثر درجه حرارت محیط (درجه سانتیگراد)	
۲-۳	حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه (درجه سانتیگراد)	
۲-۴	حداکثر درجه حرارت تابش آفتاب (درجه سانتیگراد)	
۲-۵	حداقل دما (درجه سانتیگراد)	
۲-۶	تعداد روزهای سال با درجه حرارت زیر صفر	
۲-۷	سطح آلودگی (طبق استاندارد IEC ۷۱-۲)	
۲-۸	بار زلزله (ضریبی از شتاب ثقل زمین)	
۳	حداکثر افزایش دما در توان نامی :	
۳-۱	سیم پیچ (درجه سانتیگراد	
۳-۲	روغن (درجه سانتیگراد)	

ادامه جدول (۱) :

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۴	تپ چنجر بی برقی : (بلی / خیر)	
۴-۱	محل استقرار تپ چنجر	
۴-۲	جریان نامی (آمپر)	
۴-۳	محدوده تغییرات انشعاب (٪ ±)	
۴-۴	تعداد پله‌ها	
۵	گروه بهره‌برداری	
۶	حداقل ولتاژ امپدانس در انشعاب اصلی و دمای ۷۵ درجه سانتیگراد(٪)	
۷	پایداری در مقابل اتصال کوتاه :	
۷-۱	خطای سه فاز در سیستم فشار قوی (آمپر)	
۷-۲	خطای سه فاز در سیستم فشار ضعیف (آمپر)	
۷-۳	مدت زمان اتصال کوتاه (ثانیه)	
۸	عایقبندی بصورت تدریجی یا یکنواخت (در صورت وجود سیم پیچ ستاره یا زیگزاگ)	
۹	سطح عایقی	
۹-۱	سیم پیچها	
	الف- تحمل موج ولتاژ ضربه	
	I) در ترمینال فشار قوی (کیلوولت- پیک)	
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – پیک)	
	III) در ترمینال زمین (کیلوولت- پیک)	
	ب- تحمل ولتاژ در مدت یک دقیقه با فرکانس صنعتی	
	I) در ترمینال فشار قوی (کیلوولت- موثر)	
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – موثر)	
	III) در ترمینال زمین (کیلوولت- موثر)	

ادامه جدول (۱) :

۹-۲	بوشینگ‌ها	
	الف- تحمل موج ولتاژ ضربه	
	I) در ترمینال فشار قوی (کیلوولت- پیک)	
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – پیک)	
	III) در ترمینال زمین (کیلوولت- پیک)	
	ب- تحمل ولتاژ در مدت یک دقیقه با فرکانس صنعتی	
	I) در ترمینال فشار قوی (کیلوولت- موثر)	
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – موثر)	
	III) در ترمینال نوترال (کیلوولت- موثر)	
۱۰	حداقل فاصله خزشی :	
۱۰-۱	بوشینگ فشار قوی (میلیمتر)	
۱۰-۲	بوشینگ فشار ضعیف (میلیمتر)	
۱۰-۳	بوشینگ نوترال (میلیمتر)	
۱۱	نحوه اتصال ترمینال :	
	الف- ترمینال فشار قوی	
	ب- ترمینال فشار ضعیف	
	ج- ترمینال نوترال	
۱۲	حداکثر سطح صدا طبق استاندارد IEC551 در ولتاژ نامی (دسی بل)	
۱۳	حداکثر تداخل رادیویی (RIV) در فرکانس یک مگا هرتز و ولتاژی برابر با ۱۰۵٪ ولتاژ نامی فشار قوی مطابق با استاندارد NEMA 107 (میکروولت)	
۱۴	لوازم جانبی اختیاری :	
۱۴-۱	جک هیدرولیک (بلی / خیر)	
۱۴-۲	کیت آزمون روغن (بلی / خیر)	

ادامه جدول (۱) :

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۱۴-۳	رله بوخهلتس (طبق استاندارد DIN 425 66) (بلی / خیر)	
۱۴-۴	پمپ آزمون رله بوخهلتس (بلی / خیر)	
۱۴-۵	پایه‌های برقگیر (بلی / خیر)	
۱۴-۶	دما سنج (بلی / خیر)	
۱۴-۷	چرخ :	
	الف- مورد نیاز است ؟ (بلی / خیر)	
	ب- قابل حرکت در دو جهت / قابل حرکت در یک جهت	
۱۴-۸	هر مشخصه و وسیله دیگر	
۱۵	روغن :	
۱۵-۱	کلاس (طبق استاندارد IEC 60296)	
۱۵-۲	نشان دهنده سطح روغن (بلی / خیر)	
۱۵-۳	آیا ماده افزودنی به روغن بکار گرفته شود (بلی / خیر)	
۱۵-۴	نوع ماده افزودنی به روغن	
۱۶	حداکثر ارتفاع هنگام حمل و نقل (متر)	

82461041

جدول شماره دو
مشخصات فنی داده‌های تضمین شده برای
ترانسفورماتورهای روغنی توزیع

یادآوری :

این جدول توسط فروشنده تکمیل می‌گردد.

جدول (۲) : مشخصات فنی و داده‌های تضمین شده برای ترانسفورماتورهای روغنی توزیع

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۱	اطلاعات کلی :	
۱-۱	سازنده	
	نام	
	کشور	
۱-۲	نوع طراحی	
۱-۳	استاندارد بکار گرفته شده	
۱-۴	نوع رادیاتور (لوله‌ای / کنگره‌ای)	
۱-۵	نوع خنک کننده	
۱-۶	فرکانس نامی (هرتز)	
۱-۷	قدرت خروجی نامی (کیلوولت آمپر)	
۱-۸	ولتاژ نامی (کیلوولت- موثر، در اولیه و ثانویه)	
۱-۹	ماکزیمم ولتاژ سیستم (کیلوولت- موثر، در اولیه و ثانویه)	
۲	قدرت خروجی دائم در انشعاب اصلی (کیلوولت آمپر)	
۳	حداکثر افزایش دما در توان نامی خروجی با در نظر گرفتن ارتفاع و دمای محیط در محل نصب	
۳-۱	دما در سطح روغن، اندازه‌گیری بوسیله دما سنج (درجه سانتیگراد)	
۳-۲	دمای سیم پیچ، اندازه‌گیری بروش مقاومتی (درجه سانتیگراد)	
۳-۳	دمای بالاترین نقطه (درجه سانتیگراد)	
۴	تپ چنجر بی برقی : (بلی / خیر)	
۴-۱	نوع	
۴-۲	سازنده	
۴-۳	جریان نامی	
۴-۴	محدوده تغییرات کلی	

ادامه جدول (۳) :

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۴-۵	تعداد مراحل تغییر ولتاژ	
۴-۶	تغییر ولتاژ در هر مرحله	
۵	گروه برداری	
۶	امپدانس ها : (در مبنای توان نامی)	
۶-۱	امپدانس توالی مثبت در دمای $75^{\circ}C$، در انشعاب اصلی (٪)	
۶-۲	امپدانس توالی مثبت در دمای $75^{\circ}C$ و حداکثر افزایش ولتاژ (٪)	
۶-۳	امپدانس توالی مثبت در دمای $75^{\circ}C$ و حداکثر افزایش ولتاژ (٪)	
۶-۴	امپدانس صفر در دمای $75^{\circ}C$، در انشعاب اصلی (٪)	
۷	پایداری در مقابل اتصال کوتاه سیم پیچها	
۷-۱	در سیستم فشار قوی مقدار جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز متقارن (کیلوآمپر)	
۷-۲	در سیستم فشار ضعیف مقدار جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز متقارن (کیلوآمپر)	
۷-۳	مدت زمان اتصال کوتاه (ثانیه)	
۷-۴	محاسبات اتصال کوتاه ارائه خواهد شد؟ (بلی / خیر)	
۸	سطح عایقی (هنگامیکه آزمایش در ارتفاع هم سطح دریا انجام می‌گیرد.)	
۸-۱	پایداری عایق در مقابل موج ضربه الف- سیم پیچ فشار قوی / بوشینگ (کیلوولت- پیک) ب- سیم پیچ فشار ضعیف / بوشینگ (کیلوولت- پیک) ج- انتهای سیم پیچ / بوشینگ نوترال	

ادامه جدول (۳) :

۸-۲	پایداری ولتاژ در فرکانس صنعتی در مدت یک دقیقه الف- سیم پیچ فشار قوی / بوشینگ (کیلوولت- پیک) ب- سیم پیچ فشار ضعیف / بوشینگ (کیلوولت- پیک) ج- انتهای سیم پیچ / بوشینگ نوترال فشار ضعیف (کیلوولت – موثر)	
۸-۳	طراحی با ارتفاع بیشتر از سطح دریا (متر)	
۹	اطلاعات در مورد بوشینگ	
۹-۱	سازنده	
۹-۲	نوع	
۹-۳	فاصله خزشی برای دو طرف فشار قوی و ضعیف (میلیمتر)	
۹-۴	حداکثر نیروی مکانیکی روی بوشینگهای فشار قوی و ضعیف الف- استاتیک، افقی ب- استاتیک، عمودی ج- دینامیک، افقی د- دینامیک، عمودی	
۹-۵	زاویه تلفات در ولتاژ کار	
۹-۶	ظرفیت الکترواستاتیکی بوشینگ (پیکو فاراد)	
۹-۷	مقدار روغن هر بوشینگ (لیتر)	
۹-۸	استاندارد آزمون	
۱۰	جریان تحریک	
۱۰-۱	در ولتاژ نامی هنگامیکه تحریک از طرف فشار قوی انجام می‌گیرد (آمپر – موثر)	
۱۰-۲	در ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی هنگامیکه تحریک از طرف فشار قوی صورت می‌گیرد (آمپر – موثر)	
۱۱	تلفات	

ادامه جدول (۲) :

۱۱-۱	تلفات بارداری در فرکانس نامی ، دمای $75^{\circ}C$ و جریان نامی با انشعاب اصلی : در حالت ONAN (کیلووات)	
۱۱-۲	تلفات بارداری در فرکانس نامی ، دمای $75^{\circ}C$ و حداکثر افزایش ولتاژ انشعاب در حالت ONAN (کیلووات)	
۱۱-۳	تلفات بارداری در فرکانس نامی ، دمای $75^{\circ}C$ و حداکثر کاهش ولتاژ انشعاب در حالت ONAN (کیلووات)	
۱۱-۴	تلفات بارداری در فرکانس نامی ، دمای $75^{\circ}C$ و فرکانس نامی با انشعاب اصلی در حالت ONAN (کیلووات)	
۱۲	راندمان ترانسفورماتور در فرکانس نامی و $75^{\circ}C$ و جریان نامی با ضریب توان ۰/۹ پس فاز در حالت ONAN با مقادیر بار : نامی، $\frac{3}{4}$ نامی، $\frac{1}{2}$ نامی و $\frac{1}{4}$ نامی	
۱۳	اطلاعات مربوط به شدت جریان و شدت فلوی مغناطیسی	
۱۳-۱	نوع ورقه ورقه شدن هسته فولادی	
۱۳-۲	ضخامت ورقه‌های فولادی در هسته ترانس (میلیمتر)	
۱۳-۳	شدت فلوی مغناطیسی هسته در سمت فشار قوی با ولتاژ نامی با انشعاب اصلی (وبر بر متر مربع)	
۱۳-۴	همانند شماره ۳-۱۳ در حالت ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی (وبربر مربع)	
۱۳-۵	مساحت هسته (سانتیمتر مربع)	
۱۳-۶	چگالی جریان در توان و ولتاژ نامی	
	الف- در سیم پیچ فشار قوی (آمپر بر میلیمتر مربع)	
	ب- در سیم پیچ فشار ضعیف (آمپر بر میلیمتر مربع)	
۱۴	عایقبندی :	
۱۴.۱	نوع عایقبندی	
	الف- در سمت فشار قوی	
	ب- در سمت فشار ضعیف	

ادامه جدول (۲) :

۱۴-۲	جنس عایقها :	
	الف- برای هادیهای هر دور (فشار قوی و ضعیف)	
	ب- بین دو سیم پیچ فشار قوی و ضعیف	
	ج- بین هسته و سیم پیچ فشار ضعیف	
	د- ورقه‌های هسته	
	هـ- صفحات جانبی	
	و- انشعابات	
	ز- اتصالات انشعابات	
۱۵	مخزن	
۱۵-۱	ضخامت صفحات ترانسفورماتور	
	الف- مخزن (میلیمتر)	
	ب- جوانب مخزن (میلیمتر)	
	ج- ته مخزن (میلیمتر)	
	د- صفحات یا لوله‌های رادیاتور (میلیمتر)	
۱۵-۲	پایداری در مقابل خلاء	
	الف- مخزن (میلیمتر جیوه)	
	ب- جوانب مخزن (میلیمتر)	
	ج- ته مخزن (میلیمتر)	
	د- صفحات یا لوله‌های رادیاتور (میلیمتر)	
۱۵-۳	پایداری در مقابل فشار مثبت برای کل ترانسفورماتور (میلیمتر جیوه)	
۱۶	روغن	
۱۶-۱	کلاس (طبق استاندارد IEC 60296)	
۱۶-۲	آیا روغن دارای مواد افزودنی می‌باشد (بلی / خیر)	
۱۶-۳	جزئیات مواد افزودنی به روغن	

82461041

ادامه جدول (۳) :

۱۶-۴	پایداری دی الکتریک و استاندارد تست	
	الف- در حالت تازه بودن (کیلوولت)	
	ب- بعد از طی شدن عمر مفید (کیلوولت)	
۱۶-۵	مقدار روغن	
	الف- تانک اصلی (لیتر)	
	ب- مخزن انبساط روغن (لیتر)	
۱۶-۶	نحوه حمل و نقل	
۱۷	حداکثر صدابر طبق استاندارد IEC 60551 (دسی بل)	
۱۸	حداکثر تداخل امواج رادیویی در فرکانس ۱ مگاهرتز برای کل ترانسفورماتور مطابق با استاندارد NEMA۱۰۷ (میکروولت)	
۱۹	میزان لرزش در فرکانس نامی و ولتاژ نامی در دمای $75\ ^{\circ}C$ (میکرون)	
۲۰	اطلاعات فیزیکی	
۲۰-۱	ارتفاع کل ، با در نظر گرفتن بوشینگها (میلیمتر)	
۲۰-۲	پهنای کل، با در نظر گرفتن اجزا جانبی متصل به ترانس (میلیمتر)	
۲۰-۳	طول کل، با در نظر گرفتن اجزا جانبی متصل به ترانس (میلیمتر)	
۲۰-۴	ارتفاع لازم برای جابجایی هسته و سیم پیچها (میلیمتر)	
۲۰-۵	حداکثر ابعاد (میلیمتر × میلیمتر × میلیمتر)	
۲۰-۶	وزن هسته و سیم پیچها (کیلوگرم)	
۲۰-۷	وزن تانک همراه با رادیاتور و پایه‌های نصب آن (کیلوگرم)	
۲۰-۸	وزن روغن (کیلوگرم)	
۲۰-۹	وزن کل ترانسفورماتور (کیلوگرم)	
۲۰-۱۰	حداکثر وزن موقع حمل و نقل	
	الف- سنگین‌ترین جزء (کیلوگرم)	
	ب) بطور کامل (کیلوگرم)	
۲۱	چرخ (بلی / خیر)	

82461041

ادامه جدول (۳) :

۲۱-۱	قابل حرکت در یک جهت / قابل حرکت در دو جهت	
۲۱-۲	فاصله چرخها از طرفین (میلیمتر)	
۲۲	تمام لوازم جانبی طبق مشخصات داده شده تحویل می‌گردند؟ (بلی / خیر)	
۲۳	تمام متعلقات و لوازم بصورت بسته‌بندی وجود دارند؟ (بلی / خیر)	
۲۴	جدول مربوط به انحرافات و اشکالات تکمیل گردیده است؟ (بلی / خیر)	
۲۵	تمام اجزاء اضافی تهیه شده‌اند؟ (بلی / خیر)	
۲۶	لوازم جانبی	
	الف- رله بوخهلتس (مطابق با DIN 42 566) (بلی / خیر)	
	ب- نمایش دهنده سطح روغن (بلی / خیر)	
	پ- نمایش دهنده دمای روغن (بلی / خیر)	
۲۷	آیا کاتالوگهای ترانسفورماتور و لوازم جانبی در ---------- نسخه همراه متعلقات وجود دارد ؟ (بلی / خیر)	

فهرست مطالب

۱۰- توضیحات لازم جهت تکمیل جدول یک

۱- حداکثر ولتاژ سیستم در شبکه توزیع طبق استاندارد IEC-60076 مطابق با جدول (۳) می‌باشد.

جدول (۳): حداکثر ولتاژ سیستم شبکه توزیع

حداکثر ولتاژ سیستم (KV-rms)	ولتاژ سیستم (KV-rms)
۲۴	۲۰
۳۶	۳۳

۲- شرایط محیط، بستگی به محل نصب ترانسفورماتور دارد و میتوان مطابق با توضیحات مندرج در ضمیمه ۱، مشخصات منطقه مورد نظر را پیدا کرد.

لازم بـه ذکـر است که توان نامی ترانسفورماتور روغنی توزیع با توجه به حداکثر دمای محیط و ارتفاع محل نصب از سطح دریا به ترتیب زیر تغییر می‌کند:

الف- از نظر حداکثر دمای محیط

- برای مناطقی که در گروه A واقع شده اند میزان توان مجاز ترانسفورماتور برابر توان نامی آن می‌باشد.
- بـرای مناطقـی کـه در گروه B واقع شده اند میزان توان مجاز ترانسفورماتور برابر ۰/۸۸ توان نامی آن می‌باشد.
- بـرای مناطقـی کـه در گـروه C واقع شده اند میزان توان مجاز ترانسفورماتور برابر ۰/۸ توان نامی آن می‌باشد.
- بـرای مناطقـی که در گروه D واقع شده اند میزان توان مجاز ترانسفورماتور برابر ۰/۷۲ توان نامی آن می‌باشد.

ب- از نظر ارتفاع از سطح دریا

ضـرایب عـنوان شـده در بـند الف با توجه به ارتفاع منطقه مورد نظر از سطح دریا در اعداد ذیل ضرب می‌شوند :

- مناطقی که در گروه A واقع شده‌اند : ۱
- مناطقی که در گروه B واقع شده‌اند : ۰/۹۷۵
- مناطقی که در گروه C واقع شده‌اند : ۰/۹۵۰
- مناطقی که در گروه D واقع شده‌اند : ۰/۹۲۵

بـه عـنوان مـثال یـک ترانسـفورماتور ۵۰۰ کیلوولـت آمـپری در شـهر زنجان که از نظر حداکثر درجه حـرارت در گـروه B و از نظـر ارتفـاع از سـطح دریـا در گروه C واقع شده است حداکثر توان مجاز برابر : ۵۰۰×۰/۸۸×۰/۹۵ KVA خواهد داشت.

۳- استاندارد IEC 60085 مناطق را از نظر سطح آلودگی مطابق جدول (۴) تقسیم بندی مینماید.

جدول (۴): انواع سطح آلودگی

سطح آلودگی	مثالهایی از چند نمونه ناحیه
۱- سبک	- ناحیه‌های بدون کارخانه و با تراکم کمی از خانه‌های مسکونی - ناحیه‌هایی با تراکم کم کارخانه‌های صنعتی و خانه و یا وزش باد و بارندگی دائمی - ناحیه‌های کشاورزی - نواحی کوهستانی - تمام نواحی فوق باید دارای حداقل فاصله‌ای برابر ۱۰ الی ۲۰ کیلومتر از دریا بوده و دارای وزش مستقیم باد از طرف دریا نباشند.
۲- متوسط	- ناحیه‌هایی با کارخانه‌هایی که دارای دود آلوده کننده مخصوصی نیستند و یا ناحیه‌هایی با تراکم متوسطی از خانه‌هایی که دارای لوازم گرمازا هستند. - ناحیه‌هایی با تراکم زیاد خانه‌ها و یا تراکم کارخانه‌ها و با وزش مداوم باد و یا بارش مداوم باران - ناحیه‌هایی که در معرض باد از سمت دریا بوده ولی خیلی به ساحل دریا نزدیک نیستند (حداقل چندین کیلومتر فاصله وجود دارد)
۳- سنگین	- ناحیه‌هایی با تراکم زیاد کارخانه و شهرهای بزرگی که دارای حومه در اطراف خود هستند با منابع گرمایی که مولد گرما هستند. - نواحی نزدیک به دریا که در تمام شرایط در معرض وزش بادهای نسبتاً شدید از طرف دریا هستند.
۴- خیلی سنگین	- ناحیه‌هایی که دارای گرد و غبارهای محلی بوده و کارخانه‌هایی که مولد دودهای آلوده کننده همراه با ذرات ریزز معلق هستند. - ناحیه‌هایی با وسعت محدود که خیلی به ساحل دریا نزدیک بوده و در معرض قطرات ریز آب دریا و یا بادهای آلوده خیلی قوی از طرف دریا هستند. - نواحی خشک و بدون باران که در معرض بادهای شنی قرار دارند.

82461041

۴- حداکثر افزایش دما طبق استاندارد IEC 60076 برای ترانسفورماتورهای توزیع روغنی مطابق جدول(۵) می‌باشد.

جدول (۵): حد مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای از نوع روغنی

حداکثر افزایش دما – درجه سلسیوس	نوع گردش روغن	روش خنک کنندگی	قسمت
۶۵	طبیعی (ON)	هوای طبیعی (AN)	سیم پیچها با کلاس حرارتی A (اندازه‌گیری به طریقه مقاومتی)
۶۰ برای ترانسفورماتورهای با محفظه کاملا بسته یا منبع انبساط.	-	-	سطح بالای روغن (اندازه‌گیری توسط ترمومتر)
دما تحت هر شرایطی تا حدی مجاز است که باعث آسیب دیدن هسته و قسمت مجاور نگردد.	-	-	هسته و سایر قسمتها

۵- در مورد تپ چنجر بی برقی به بند ۴-۷ مشخصات فنی ترانسفورماتورهای توزیع مراجعه نمایید. تعداد پله‌ها و محدوده مجاز تغییرات انشعاب برای ترانسفورماتورهای توزیع مطابق جدول (۶) می‌باشد.

جدول (۶): تعداد پله‌ها و محدوده مجاز تغییرات انشعاب

تعداد پله‌ها و محدوده تغییرات انشعاب (٪)			
از ۲۵۰KVA تا ۱۶۰۰KVA ± ۵:	از ۲۵KVA تا ۲۰۰KVA ± ۴:	۲۰	سطح ولتاژ (KV)
برای کلیه رنجها : ۲×۲/۵ ±		۳۳	

- لازم به ذکر است که جدول فوق به جهت رایج بودن آن و تنها بعنوان نمونه ارائه گردیده است و جنبه استاندارد ندارد

۶- گروه برداری مجاز ترانسفورماتورهای توزیع مطابق جدول (۷) می‌باشد.

جدول (۷): گروه برداری ترانسفورماتورهای توزیع

گروه برداری			
از ۲۵۰KVA تا ۱۶۰۰KVA : Dyn5	از ۲۵KVA تا ۲۰۰KVA : Yzn5	۲۰	سطح ولتاژ (KV)
از ۲۵۰KVA تا ۱۶۰۰KVA : Dyn1	از ۵۰KVA تا ۲۰۰KVA : Yzn5	۳۳	

- لازم بـه ذکـر است که جدول (۶) به جهت رایج بودن آن و تنها به عنوان نمونه ارائه گردیده است و جنبه استاندارد ندارد.

۷- ولـتاژ امـپدانس تقریبـی ترانسـفورماتورهای توزیـع مطـابق جدول (۸) می‌باشد. این مقادیر کاملاً دقـیق نمـی‌باشـند و امکـان متغـیر بودن آن با تغییر سطح ولتاژ می‌باشد ولی به عنوان یک عدد تقریبی میتوان از آن استفاده کرد.

جدول (۸): ولتاژ امپدانس ترانسفورماتورهای روغنی توزیع مطابق IEC 76-5

توان اسمی (KVA)	ولتاژ امپدانس (٪)
تا ۶۳۰	۴
از ۶۳۱ تا ۱۲۵۰	۵
از ۱۲۵۱ تا ۳۱۵۰	۶/۲۵

۸- بـرای محاسـبه مـیزان جریانی که ترانسفورماتور در حالت اتصال کوتاه باید قادر به تحمل آن باشد اگـر تـوان ظاهـری اتصـال کوتـاه شـبکه‌ای کـه مـی‌خواهیم ترانسفورماتور مورد نظر را در آن نصب کنیم مشـخص باشـد و مقـدار آن در رابطـه (۱-۱) صـدق کـند مـی‌توانیم از رابطه (۱-۲) برای محاسبه جریان اتصـال کوتـاه اسـتفاده کنـیم و در صورتیکه رابطه (۱-۱) صادق نباشد باید از رابطه (۱-۳) برای محاسبه جریان اتصال کوتاه استفاده کنیم.

$$Z_S \rangle 0.05 Z_T \qquad (۱-۱)$$

$$I = \frac{U_{nT}}{(Z_T + Z_S)\sqrt{3}} \qquad (۱-۲)$$

$$I = \frac{U_{nT}}{Z_T \times \sqrt{3}} \qquad (۱-۳)$$

$$Z_S = \frac{U_{ns}^2}{S_s} \qquad (۱-۴)$$

$$Z_T = \frac{\%U_k}{100} \times \frac{U_{nT}^2}{S_n} \qquad (۱-۵)$$

Z_S : امپدانس سیستم بر حسب اهم

Z_T : امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور بر حسب اهم

U_{nT} : ولتاژ فاز به فاز نامی ترانسفورماتور در انشعاب اصلی بر حسب کیلوولت

U_{nS} : ولتاژ فاز به فاز نامی سیستم بر حسب کیلوولت

S_n : توان ظاهری نامی ترانسفورماتور بر حسب مگاولت آمپر

S_S : توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه بر حسب مگاولت آمپر

$\%U_k$: ولتاژ امپدانس ترانسفورماتور بر حسب درصد

I : جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور در طرفی که ولتاژ آن U_n می‌باشد بر حسب آمپر.

در صورتیکه مقدار توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه در دسترس نباشد بر طبق IEC 60076-5 میتوان از مقادیر تقریبی جدول (۹) استفاده کرد.

جدول (۹): مقادیر توان ظاهری اتصال کوتاه شبکه توزیع

حداکثر ولتاژ سیستم (KV)	توان ظاهری اتصال کوتاه (MVA)
۲۴	۵۰۰
۳۶	۱۰۰۰

- مدت زمان اتصال کوتاه :

این زمان با توجه به سیستمهای حفاظتی تعیین می‌گردد. اما معمولاً این زمان ۲ ثانیه فرض می‌شود.

۹- می‌توان با استفاده از جدول (۱۰) مقادیر ولتاژهای قابل تحمل سیم پیچها و بوشینگهای سمت فشار قوی یک ترانسفورماتور در برابر ولتاژ ضربه و ولتاژ با فرکانس قدرت را بدست آورد.

برای نقطه خنثی ترانسفورماتور، در صورت یکنواخت بودن عایق‌بندی اعداد جدول (۱۰) صادق می‌باشد.

جدول (۱۰): مقادیر ولتاژهای قابل تحمل سیم پیچها و بوشینگها سمت فشار قوی بر اساس (IEC 60076-3 و IEC 60137)

حداکثر ولتاژ سیستم (موتر) (KV)	ولتاژ قابل تحمل در مدت یک دقیقه با فرکانس صنعتی (موتر)		ولتاژ ضربه* (پیک)	
	سیم پیچ (KV)	بوشینگ (KV)	سیم پیچ (KV)	بوشینگ (KV)
۲۴	۵۰	۵۵	۱۲۵	۱۲۵
۳۶	۷۰	۷۵	۱۷۰	۱۷۰

* برای بوشینگهای در حالت خشک

۱۰- برای هر سطح آلودگی تعریف شده در جدول (۴) حداقل فاصله خزشی بر حسب میلیمتر بر کیلوولت (فاز به فاز) در حداکثر ولتاژ تجهیزات طبق استاندارد IEC 60815 مطابق جدول (۱۱) تعریف می‌گردد.

جدول (۱۱) : حداقل فاصله خزشی بوشینگهای شبکه توزیع

سطح آلودگی	حداقل فاصله خزشی نامی (mm/KV)
۱- سبک	۱۶
۲- متوسط	۲۰
۳- سنگین	۲۵
۴- خیلی سنگین	۳۱

۱۱- سطح صدا، طبق استاندارد IEC 60551 بدست می‌آید.

سطح صدا در فاصله یکمتری را میتوان طبق جدول (۱۲) در نظر گرفت.

جدول (۱۲): سطح صدای ترانسفورماتورهای توزیع

KVA	Db(1m)
۱۰۰	۴۶
۱۶۰ و ۱۲۵	۴۷
۲۵۰ و ۲۰۰	۴۸
۴۰۰ و ۳۱۵	۵۰
۶۳۰ و ۵۰۰	۵۲
۱۰۰۰ و ۸۰۰	۵۴
۱۶۰۰ و ۱۲۵۰	۵۶

۱۲- برای کلیه ترانسفورماتورها با قدرت ۳۱۵ کیلوولت آمپر و بیشتر استفاده از رله بوخهلتس الزامی می‌باشد.

۱۳- در تعیین نوع روغن ترانسفورماتور یکی از مهمترین عوامل درجه حرارت نقطه ریزش می‌باشد. این درجه حرارت را با اضافه کردن عددی در حدود ۵- درجه سانتیگراد، به حداقل درجه حرارت منطقه‌ای که از ضمیمه یک بدست می‌آوریم محاسبه می‌کنیم.

۱۴- در جدول (۱۳)، یک نمونه از درخواست خریدار برای سفارش یک ترانسفورماتور توزیع KVA ۵۰۰ آمده است.

جدول (۱۳) : جدول شماره یک تکمیل شده برای خرید ترانسفورماتور روغنی توزیع ۵۰۰ کیلوولت آمپری : (این جدول توسط خریدار تکمیل می‌گردد)

ردیف	توضیحات	مشخصات فنی
۱	اطلاعات عمومی :	
۱-۱	محل نصب (فضای آزاد/ فضای بسته)	فضای آزاد
۱-۲	نوع ترانسفورماتور (روغنی / خشک)	روغنی
۱-۳	نوع رادیاتور (لوله‌ای / کنگره ای)	کنگره‌ای
۱-۴	تعداد فاز (یکفاز / سه فاز)	سه فاز
۱-۵	نوع سیستم خنک کننده	ONAN
۱-۶	فرکانس نامی (هرتز)	۵۰
۱-۷	توان خروجی نامی (کیلوولت آمپر)	۵۰۰
۱-۸	ولتاژ نامی در HV/LV (کیلوولت – مقدار موثر)	۲۰-۰/۴
۱-۹	حداکثر ولتاژ سیستم در HV/LV (کیلوولت – مقدار موثر)	۲۴-۱
۱-۱۰	سیستم زمین	
	الف- سیستم زمین فشار قوی	-
	ب- سیستم زمین فشار ضعیف	زمین شده مستقیم
۲	شرایط محیط :	
۲-۱	ارتفاع (متر)	۱۰۰۰
۲-۲	حداکثر درجه حرارت محیط (درجه سانتیگراد)	۵۰
۲-۳	حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه (درجه سانتیگراد)	۴۰
۲-۴	حداکثر درجه حرارت تابش آفتاب (درجه سانتیگراد)	۸۲
۲-۵	حداقل دما (درجه سانتیگراد)	-۵
۲-۶	تعداد روزهای سال با درجه حرارت زیر صفر	۱۰
۲-۷	سطح آلودگی (طبق استاندارد IEC 60071-2)	سنگین
۲-۸	بار زلزله (ضریبی از شتاب ثقل زمین)	۰/۳
۳	حداکثر افزایش دما در توان نامی :	
۳-۱	سیم پیچ (درجه سانتیگراد)	۶۵
۳-۲	روغن (درجه سانتیگراد)	۶۰
۴	تپ چنجر بی برقی : (بلی / خیر)	بلی
۴-۱	محل استقرار تپ چنجر	سیم پیچ فشار قوی
۴-۲	جریان نامی (آمپر)	۱۵۰
۴-۳	محدوده تغییرات انشعاب (٪ ±)	٪۵ ±
۴-۴	تعداد پله‌ها	۳

ادامه جدول (۱۳):

۵	گروه برداری	Dyn5
۶	حداقل ولتاژ امپدانس در انشعاب اصلی و دمای ۷۵ درجه سانتیگراد (٪)	٪۵
۷	پایداری در مقابل اتصال کوتاه :	
۷-۱	خطای سه فاز در سیستم فشار قوی (آمپر)	۳۶۰
۷-۲	خطای سه فاز در سیستم فشار ضعیف (آمپر)	۱۸۰۰۰
۷-۳	مدت زمان اتصال کوتاه (ثانیه)	۲
۸	عایقبندی بصورت تدریجی یا یکنواخت (در صورت وجود سیم پیچ ستاره یا زیگزاگ)	یکنواخت
۹	سطح عایقی	
۹-۱	سیم پیچها	
	الف- تحمل موج ولتاژ ضربه	
	I) در ترمینال فشارقوی (کیلوولت – پیک)	۱۲۵
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – پیک)	
	III)در ترمینال نوترال (کیلوولت – پیک)	-
	ب- تحمل ولتاژ در مدت یک دقیقه با فرکانس صنعتی	
	I) در ترمینال فشارقوی (کیلوولت – پیک)	۵۰
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – پیک)	۳
	III) در ترمینال نوترال (کیلوولت – پیک)	۳
۹-۲	بوشینگها	
	الف- تحمل موج ولتاژ ضربه	
	I) در ترمینال فشارقوی (کیلوولت – پیک)	۱۷۰
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – پیک)	-
	III) در ترمینال نوترال (کیلوولت – پیک)	-
	ب- تحمل ولتاژ در مدت یک دقیقه با فرکانس صنعتی	
	I) در ترمینال فشارقوی (کیلوولت – موثر)	۵۵
	II) در ترمینال فشار ضعیف (کیلوولت – موثر)	-
	III) در ترمینال نوترال (کیلوولت – موثر)	-
۱۰	حداقل فاصله خزشی :	
۱۰-۱	بوشینگ فشار قوی (میلیمتر)	۶۰۰
۱۰-۲	بوشینگ فشار ضعیف (میلیمتر)	-

ادامه جدول (۱۳):

۳-۱۰	بوشینگ نوترال (میلیمتر)	-
۱۱	نحوه اتصالات ترمینال :	
	الف- ترمینال فشار قوی	بوشینگ
	ب- ترمینال فشار ضعیف	بوشنیگ
	ج- ترمینال نوترال	بوشینگ
۱۲	حداکثر سطح صدا طبق استاندارد IEC 60551 در ولتاژ نامی (دسی بل)	۵۴
۱۳	حداکثر تداخل رادیوئی (RIV) در فرکانس یک مگاهرتز و ولتاژی برابر با ۱۰۵٪ ولتاژ نامی فشار قوی مطابق با استاندارد NEMA 107 (میکروولت)	۵
۱۴	لوازم جانبی اختیاری :	
۱۴-۱	جک هیدرولیک (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۲	کیت آزمون روغن (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۳	آنالایزر گاز (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۴	رله بوخهلتس طبق استاندارد DIN 425 66 (بلی / خیر)	بلی
۱۴-۵	پمپ آزمون رله بوخهلتس (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۶	پایه‌های برقگیر (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۷	دما سنج (بلی / خیر)	بلی
۱۴-۸	پلاک قدرت نامی (بلی / خیر)	خیر
۱۴-۹	چرخ :	
	الف- مورد نیاز است ؟ (بلی / خیر)	خیر
	ب- قابل حرکت در دو جهت/ قابل حرکت در یک جهت	-
۱۴-۱۰	هر مشخصه و وسیله دیگر	-
۱۵	روغن :	
۱۵-۱	کلاس (طبق استاندارد IEC 60296)	یک
۱۵-۲	نشان دهنده سطح روغن (بلی / خیر)	بلی
۱۵-۳	آیا ماده افزودنی به روغن به کار گرفته شود (بلی / خیر)	خیر
۱۵-۴	نوع ماده افزودنی به روغن	-
۱۶	حداکثر ارتفاع هنگام حمل و نقل (متر)	-

فهرست مطالب

ضمیمه ۱ : شرایط محیطی

اطلاعات محیطی ودسته بندی آنها

۱- ارتفاع از سطح دریا

با افزایش ارتفاع از سطح دریا دانسیته هوا کاهش یافته و از یکطرف خاصیت عایقی آن که در سطوح عایقی خارجی نقش دارد کاهش یافته و از سوی دیگر خاصیت تبادل حرارت بین دستگاهها و محیط اطراف کاهش می‌یابد. این پارامتر بشرح زیر گروه بندی گردیده است:

- گروه A – ارتفاعهای کمتر از ۱۰۰۰ متر، معادل ۱۰۰۰ متر (شرایط نرمال)
- گروه B- ارتفاعهای بین ۱۰۰۰ متر تا ۱۵۰۰، معادل ۱۵۰۰ متر
- گروه C – ارتفاعهای بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر، معادل ۲۰۰۰ متر
- گروه D – ارتفاعهای بیش از ۲۰۰۰۰ متر که بسیار محدود می‌باشند، معادل ۲۵۰۰ متر

۲- درجه حرارت حداکثر محیط

این درجه حرارت که عمدتا در طرح سیستمهای خنک کننده و درجه حرارت مجاز هادیها و غیره نقش دارد بشرح زیر گروه بندی شده است:

گروه A- مناطقی که درجه حرارت حداکثر آنها کمتر از ۴۰ درجه سانتیگراد است، معادل ۴۰ درجه سانتیگراد (شرایط نرمال)

گروه B- مناطقی که درجه حرارت حداکثر آنها بین ۴۰-۴۵ درجه سانتیگراد است معادل ۴۵ درجه سانتیگراد

گروه C – مناطقی که درجه حرارت آنها بین ۴۵-۵۰ درجه سانتیگراد است،معادل ۵۰ درجه سانتیگراد

گروه D – مناطقی که درجه حرارت آنها بیش از ۵۰ درجه سانیتگراد است،معادل ۵۵ درجه سانتیگراد

۳- درجه حرارت حداقل محیط

این درجه حرارت که برای کارکرد مناسب تجهیزات و قسمتهای وابسته در شرایط مزبور نقش دارد بشرح زیر دسته بندی شده‌اند:

گروه A- مناطقی که درجه حرارت حداقل آنها از ۲۰- درجه سانتیگراد کمتر نمی‌شود، به عنوان مناطق با شرائط نرمال و معادل ۲۰- درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شوند.

گروه B- مناطقی که درجه حرارت حداقل محیط آنها بین ۲۰- تا ۳۰- درجه سانتیگراد می‌باشد معادل ۳۰- درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شوند.

گروه C – مناطقی که درجه حرارت حداقل محیط آنها از ۳۰- درجه سانتیگراد نیز کمتر می‌باشد معادل ۴۰- درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شوند.

۴- سرعت باد

سرعت بادهای کوتاه مدت (Gust Wind) با احتمال۲٪ و در ارتفاع ۱۰ متر و با دوره زمانی ۵ ثانیه در طراحی پستها از نقطه نظرات نیروهای مکانیکی وارده به تجهیزات و سازه‌ها و ... در نظر گرفته می‌شود. طبق بررسیهای انجام شده در کشور این سرعت در اکثر نقاط کشور معادل ۴۰ متر در ثانیه در نظر گرفته شده و در مناطق ساحلی خلیج فارس (دزفول – اهواز – اندیمشک و استان خوزستان) این مقدار معادل ۴۵ متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود. بهر حال این سرعت از نظر گستردگی طبق آمارهای هواشناسی بشرح زیر دسته‌بندی شده‌اند:

- گروه A – سرعتهای زیر ۳۰ متر در ثانیه
- گروه B- سرعتهای بین ۳۰ تا ۴۰ متر در ثانیه
- گروه C- سرعتهای بیشتر از ۴۰ متر در ثانیه

۲- رطوبت نسبی

این پارامتر بشرح زیر دسته بندی شده است :

گروه A – رطوبتهای زیر ۵۰٪

گروه B – رطوبتهای بی ۵۰ تا ۷۵٪

گروه C – رطوبتهای بیشتر از ۷۵٪

۳- زلزله

ایـن پارامـتر و نحوه اثر گذاری آن در طرح قسمتهای ساختمانی مطابق آئین نامه سازمان برنامه انجام می‌گیرد و از نظر طرح تجهیزات متاسفانه آماری در مورد مناطق مختلف وجود ندارد که بتوان دسته‌بندی لازم را انجـام داد. بهـر حـال در نظر گرفتن ۰/۳ شتاب ثقل بعنوان یک مورد مناسب و استاندارد تا کنون ملاک عمل بوده است.

فهرست مطالب

ضمیمه ۲ : تلفات بی باری و بارداری ترانسفورماتورهای روغنی توزیع

بـه جهت پیشرفت روز افزون تکنولوژی ساخت ورقهای دینامو و با توجه به این نکته که از اواسط دهه هشـتاد مـیلادی توجـه خاصـی بـه کـاهش تلفـات بی باری ترانسفورماتورهای توزیع شده است استاندارد خاصـی نمـی‌تـوان به عنوان حداقل مجاز تلفات (بارداری و بی‌باری) عنوان کرد تنها میـتوان از جدول (II) که بر اساس استاندارد DIN 42 500 تدوین شده است استفاده کرد.

جدول (II) : میزان تلفات ترانسفورماتورهای روغنی با سیم پیچ مسی و سیستم خنک کنندگی ONAN

توان نامی (KVA)	تلفات بی باری (W) ولتاژ تا ۲۰ کیلوولت	تلفات بارداری در ۷۵ درجه سانتیگراد (W)
۵۰	۱۹۰	۱۱۰۰
۱۰۰	۳۲۰	۱۷۵۰
۱۶۰	۴۶۰	۲۳۵۰
۲۵۰	۶۵۰	۳۲۵۰
۴۰۰	۹۳۰	۴۶۰۰
۶۳۰	۱۳۰۰	۶۵۰۰
۱۰۰۰	۱۷۰۰	۱۰۵۰۰
۱۶۰۰	۲۶۰۰	۱۷۰۰۰

در هـر صـورت بـر اسـاس اسـتاندارد IEC 60076 حداکثر انحراف از مقدار عنوان شده توسط سازنده بـرای مجمـوع تلفـات بـارداری و بی‌باری پس از آزمایش نباید از ۱۰ درصد بیشتر باشد و این مقدار برای تلفات بارداری و بی‌باری بطور مجزا نباید بیش از ۱۴ درصد و برای جریان بیش از ۳۰ درصد باشد.

بخش سوم
آزمونها

لیست گزارشات

فهرست مطالب

۱-هدف ۱
۲-کاربرد ۱
۳-آزمونهای ترانسفورماتورهای توزیع ۱
۳-۱- شرایط عمومی برای آزمونهای جاری، نوعی و ویژه ۱
۳-۱-۱- آزمونهای جاری ۲
۳-۱-۲- آزمونهای نوعی ۲
۳-۱-۳- آزمونهای خاص ۲
۳-۲- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ (آزمون جاری) ۲
۳-۲-۱- ترانسفورماتور خشک ۳
۳-۲-۲- ترانسفورماتور روغنی ۳
۳-۳- اندازه‌گیری نسبت ولتاژ کنترل و میزان جابجایی فاز (آزمون جاری) ۳
۳-۴- اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بار ۳
۳-۵- اندازه‌گیری جریان و تلفات بی‌باری ۴
۳-۶- آزمون سیستم عایق‌بندی ۴
۳-۶-۱- کلیات ۴
۳-۶-۲- قواعد عایق‌بندی و آزمونهای مربوط به ترمینال نوترال یک سیم‌پیچ با عایق‌بندی غیر یکنواخت ۶
۳-۶-۲-۱- کلیات ۶
۳-۶-۲-۲- ترمینال نوترال که مستقیماً زمین شده است. ۷
۳-۶-۲-۳- ترمینال نوترال مستقیماً زمین نشده است ۷
۳-۶-۳- شرایط آزمونها روی ترانسفورماتوری که دارای یک سیم‌پیچ با تپ چنجر است. ۸
۳-۶-۴- تکرار آزمونهای دی‌الکتریک ۸
۳-۶-۵- روش آزمون استقامت در برابر منبع ولتاژ جداگانه ۸
۳-۶-۶- روش آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی ۹

۳-۶-۶-۱- کلیات ۹
۳-۶-۶-۲- آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی برای ترانسفورماتورهای با عایق‌بندی یکنواخت ۹
۳-۶-۶-۳- آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی فاز به زمین برای ترانسفورماتورهای با عایق‌بندی غیر یکنواخت ۱۰
۳-۶-۷-آزمون ضربه صاعقه ۱۰
۳-۶-۷-۱- کلیات ۱۰
۳-۶-۷- مراحل آزمون ۱۱
۳-۶-۷-۳- اتصالات آزمون ۱۱
۳-۶-۷-۴- آزمون ضربه روی ترمینال نوترال ۱۲
۳-۶-۷-۵- روش انتقال ضربه ۱۲
۳-۷-۷-۶- ثبت نتایج آزمون ۱۳
۳-۶-۷-۷- معیارهای آزمون ۱۳
۳-۶-۸- آزمون ضربه صاعقه با موج بریده (تست ویژه) ۱۴
۳-۶-۸-۱- فاصله برش و مشخصات ۱۴
۳-۶-۸-۲- ترتیب آزمون و معیار آزمون ۱۴
۳-۷- آزمون افزایش دما ۱۵
۳-۷-۱- کلیات ۱۵
۳-۷-۱-۱- اندازه‌گیری دمای هوای خنک‌کننده ۱۵
۳-۷-۲- روشهای آزمون برای تعیین میزان افزایش دما ۱۵
۳-۷-۲-۱- روش اتصال کوتاه ۱۶
۳-۷-۳- تعیین دمای روغن ۱۷
۳-۷-۳-۱- دمای سطح بالای روغن ۱۷
۳-۷-۳-۲- دمای سطح پایین و متوسط روغن ۱۸
۳-۷-۴- تعیین متوسط دمای سیم‌پیچ ۱۸
۳-۷-۴- تعیین درجه حرارت سیم‌پیچ قبل از تغذیه ۱۹

۳-۷-۵- ضرایب تصحیح درجه حرارت ۱۹
۳-۸- آزمون اتصال کوتاه ۲۰
۳-۸-۱- شرایط ترانسفورماتور قبل از آزمون اتصال کوتاه ۲۰
۳-۸-۲- مقدار پیک جریان برای ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچ ۲۰
۳-۸-۳- مقدار جریان اتصال کوتاه برای ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچه ۲۱
۳-۸-۴- مراحل آزمون اتصال کوتاه ۲۱
۳-۸-۵- تشخیص عیبها و خطاها ۲۳
۳-۸-۶- ارزیابی نتایج آزمونهای اتصال کوتاه ۲۴
۳-۹- تعیین میزان صدا ترانسفورماتور (آزمون خاص) ۲۵
۳-۹-۱- تجهیزات لازم ۲۵
۳-۹-۲- شرایط اندازه‌گیری ۲۵
۳-۹-۲-۱- شرایط محیطی آزمون ۲۵
۳-۹-۲-۲- شرایط کاری ترانسفورماتور ۲۵
۳-۹-۲-۳- مقادیری که باید اندازه‌گیری شوند ۲۵
۳-۹-۳- روشهای اندازه‌گیری ۲۶
۳-۹-۳-۱- اندازه‌گیری نویز محیط ۲۶
۳-۹-۳-۲- اندازه‌گیری صدای ترانسفورماتور ۲۶
۳-۹-۴- مقادیر اصلاح شده برای نویز محیط ۲۷

فهرست جداول

جدول (۳-۱): روشهای تست عایقی ترانسفورماتورهای قدرت ۴
جدول (۳-۲): ولتاژهای نامی قابل تحمل برای سیم‌پیچهای ترانسفورماتور ۵
جدول (۳-۲): مقادیر ضریب $K\sqrt{2}$ ۲۱
جدول (۳-۳): مقادیر برای جبران اثر نویز محیط روی سطح صدای ترانسفورماتور ۲۷

فهرست مطالب

۱-هدف

هدف از این استاندارد، شرح آزمونهایی است که باید روی یک ترانسفورماتور توزیع انجام گیرد تا کارکرد صحیح آن مورد تایید قرار گیرد.

۲-کاربرد

این استاندارد برای ترانسفورماتورهای قدرت توزیع ۲۰ و ۳۳ کیلوولت کاربرد دارد.

فهرست مطالب

۳-آزمونهای ترانسفورماتورهای توزیع

۳-۱- شرایط عمومی برای آزمونهای جاری، نوعی و ویژه

شرایط زیر در موقع تست ترانسفورماتورها باید برقرار باشند:

۱- درجه حرارت محیط محل آزمایش ترانسفوماتور باید بین $10^{\circ}C$ تا $40^{\circ}C$ باشد. اگر سیستم خنک کننده از آب استفاده می‌کند، دمای آب نباید از $25^{\circ}C$ افزایش یابد.

۲- آزمونها باید در محل کارخانه انجام شوند، مگر آنکه توافق خاصی بین خریدار و سازنده منعقد شده باشد.

۳- تمام تجهیزاتی که در کار ترانسفورماتور تاثیر می‌گذارند، باید در محل خود نصب شود.

۴- در مورد سیم‌پیچهای دارای تپ، آزمایشات باید در تپ اصلی انجام گیرد مگر آنکه در آزمایش وضعیت دیگری مشخص گردد یا آنکه سازنده و خریدار توافق دیگری بنمایند.

۵- اساس آزمایشات برای تمامی ویژگیها به غیر از عایق‌بندی، شرایط نامی ترانسفورماتور می‌باشد، مگر آنکه در آزمایش شرایط دیگری قید گردد.

۶- در صورتیکه تصحیح نتایج آزمونها نسبت به دمای مبنا لازم باشد، دماهای مبنا عبارتند از:

- برای ترانسفورماتور روغنی $75^{\circ}C$.
- برای ترانسفورماتور خشک، به رده بندی عایق ترانسفورماتور وابسته است که مقادیر آن در جدول (۲) بخش دوم استاندارد (استاندارد ترانسفورماتورهای خشک) آمده است. دمای مبنا، با اضافه کردن ۲۰K به حداکثر دمای مجاز سیم‌پیچها بدست می‌آید.

۷- تمامی تجهیزات اندازه‌گیری باید دارای گواهینامه معتبر، دقت قابل قبول و تنظیمات دوره‌ای طبق قوانین ISO 9001 باشند.

۳-۱-۱- آزمونهای جاری

الف- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ (IEC 60076-1)

ب- اندازه‌گیر نسبت ولتاژ و میزان جابجایی فاز (IEC 60076-1)

ج- اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بار(IEC 60076-1)

د-اندازه‌گیری جریان و تلفات بی‌باری (IEC 60076-1)

ه- تستهای جاری سیستم عایق‌بندی (IEC 60076-3)

۳-۱-۲- آزمونهای نوعی

الف- آزمون افزایش درجه حرارت (IEC 60076-2)

ب—تستهای نوعی سیستم عایق‌بندی (IEC 60076-3)

۳-۱-۳- آزمونهای خاص

الف- تستهای مخصوص سیستم عایق‌بندی (IEC 60076-3)

ب- تعیین ظرفیت خازنی بین سیم‌پیچها و بین سیم‌پیچها و زمین

ج- تعیین مشخصه ولتاژ گذرا

د- اندازه‌گیری امپدانس مولفه صفر ترانسفورماتورهای سه‌فاز (IEC 60076-1)

و- تعیین میزان صدا (IEC 60551)

ز- اندازه‌گیری هارمونیک جریان بی‌باری (IEC 60076-1)

ح- اندازه‌گیری میزان مقاومت عایقی سیم‌پیچها نسبت به زمین

۳-۲- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ (آزمون جاری)

برای اندازه‌گیری مقاومت از جریان مستقیم (dc) استفاده می‌شودو بعد از انجام آزمون،مقاومت هر سیم‌پیچ از ترمینالهایی که اندازه‌گیری بین آنها انجام شده و دمای سیم‌پیچها باید یادداشت شود. در اندازه‌گیری مقاومت باید دقت شود که اثرات خود القایی تا حد امکان کاهش یابد.

۳-۲-۱- ترانسفورماتور خشک

قبل از اندازه‌گیری ترانسفورماتور باید برای حداقل ۳ ساعت در حالت بدون بار و تغذیه باشد. مقاومت سیم‌پیچ و درجه حرارت آن باید در یک زمان اندازه‌گیری شوند. دمای سیم‌پیچ باید توسط سنسورهایی که در داخل سیم‌پیچها بعنوان مثال در فضای بین سیم‌پیچ فشارقوی و فشار ضعیف، قرار گرفته‌اند اندازه‌گرفته شود.

۳-۲-۲- ترانسفورماتور روغنی

پس از آنکه ترانسفورماتور برای مدت سه ساعت بدون تغذیه بود، میانگین دمای روغن تعیین گردیده و این دما بعنوان دمای سیم‌پیچ هم محسوب می‌شود. میانگین دمای روغن از متوسط دمای سطوح بالا و پایین روغن تعیین می‌گردد.

۳-۳- اندازه‌گیری نسبت ولتاژ کنترل و میزان جابجایی فاز (آزمون جاری)

نسبت ولتاژ باید در هر تپ اندازه گرفته شود. پلاریته ترانسفورماتور تک‌فاز و گروه اتصال ترانسفورماتورهای سه‌فاز باید کنترل شود.

۳-۴- اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بار

برای اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه و تلفات باریک جفت سیم‌پیچ، یک ولتاژ سینوسی با فرکانس نامی به ترمینالهای یک سیم‌پیچ اعمال می‌گردد در حالیکه سیم‌پیچ دیگر اتصال کوتاه شده است و در صورت وجود سیم‌پیچهای دیگری آنها مدار باز هستند. جریان ورودی به سیم‌پیچ باید متناسب با جریان نامی (جریان تپ چنجر) باشد اما نباید از ۵% مقدار آن کمتر شود. پارامترهای لازم برای تعیین امپدانس اتصال کوتاه و تلفات بار، باید سریع اندازه گرفته شوند تا افزایش دمای سیم‌پیچ به ترانسفورماتور آسیب نرساند.

برای تصحیح مقادیر اندازه‌گیر شده، مقدار امپدانس اتصال کوتاه را باید در نسبت جریان اسمی (جریان تپ) به جریان آزمایش و مقدار تلفات بار را در مجذور نسبت جریان اسمی به جریان آزمایش ضرب کرد. همچنین برای تصحیح حرارتی باید مطابق بخش (۳-۱) عمل نمود.

۳-۵- اندازه‌گیری جریان و تلفات بی‌باری

جریان و تلفات بی‌باری تحت ولتاژ و فرکانس نامی اندازه‌گیری شده و شکل موج تغذیه تقریباً سینوسی می‌باشد. ولتاژ باید به ترمینالهای یکی از سیم‌پیچها اعمال گردیده و مدار سیم پیچهای دیگر باید باز باشد. چنانچه سیم‌پیچ‌هایی بصورت مثلث باشند باید مدار آنها نیز بسته شود. چنانچه تپ ترانسفورماتور در مقدار اصلی آن نباشد، ولتاژ تغذیه باید متناسب با تپ مورد نظر باشد. برای جزییات بیشتر به استاندارد IEC شماره 60076-1 مراجعه شود.

۳-۶- آزمون سیستم عایق‌بندی

۳-۶-۱- کلیات

قواعد کلی برای تست عایق ترانسفورماتور در جدول (۳-۱) بطور خلاصه آمده است:

جدول (۳-۱): روشهای تست عایقی ترانسفورماتورهای قدرت

مشخصات سیم‌پیچی	انواع تستها	روشهای تست
$U_m < 300kV$ و عایق بندی یکنواخت	- آزمون اضافه ولتاژ با فرکانس قدرت - آزمون ولتاژ ضربه - آزمون ولتاژ ضربه برای نوترال، اگر لازم باشد	- منبع جداگانه AC (جاری) - ولتاژ ضربه که به ترمینال خط اعمال می‌شود (نوعی) - اضافه ولتاژ القایی (جاری)
$U_m < 300kV$ و عایق بندی غیر یکنواخت	- آزمون اضافه ولتاژ با فرکانس قدرت برای ترمینال خط - ولتاژ ضربه برای ترمینال خط - اضافه ولتاژ با فرکانس قدرت برای نوترال - ولتاژ ضربه برای نوترال	- منبع جداگانه AC (جاری) - ولتاژ ضربه که به ترمینال خط اعمال می‌شود (نوعی) - اضافه ولتاژ القایی (جاری)

توضیحات جدول (۳-۱):

الف- تستهای عایقی برای سیم‌پیچیهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۰۰ کیلوولت و عایق‌بندی یکنواخت مقادیر ولتاژهای با فرکانس قدرت و ولتاژ ضربه که در طی آزمونها، سیم‌پیچها باید تحمل کنند در جدول (۳-۲) آمده است، در اینجا چون هدف تست ترانسفورماتورهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت است، فقط مقادیر مربوط به این سطوح ولتاژ ذکر شده‌اند.

جدول (۳-۲): ولتاژهای نامی قابل تحمل برای سیم‌پیچهای ترانسفورماتور

حداکثر ولتاژ (موثر) kV	ولتاژ آزمایش با فرکانس قدرت (موثر)	ولتاژ آزمایش ضربه (حداکثر دامنه) kV	
		گروه اول	گروه دوم
۲۴	۵۰	۹۵	۱۲۵
۳۶	۷۰	۱۴۵	۱۷۰

نکته: برای انتخاب ولتاژ آزمون ضربه از بین گروه اول و دوم، باید شرایط سیستم را در نظر گرفت، بطوریکه اگر اضافه ولتاژهای بوجود آمده شدید بودند از گروه دوم انتخاب می‌شود. برای اطلاعات بیشتر به IEC 60071-1 مراجعه شود.

ولتاژهای نامی قابل تحمل سیم‌پیچهای ترانسفورماتور با تستهای دی‌الکتریک زیر معین می‌شوند:

- آزمون ولتاژ با فرکانس قدرت و با منبع جداگانه (تست جاری).

با این تست میزان تحمل اضافه ولتاژ با فرکانس قدرت سیم‌پیچ تحت آزمایش نسبت به زمین و دیگر سیم‌پیچها، بدست می‌آید.

- آزمون تحمل اضافه ولتاژ القایی (تست جاری)

با این آزمون میزان تحمل اضافه ولتاژ القایی سیم‌پیچ تحت آزمایش در طول سیم پیچ و بین فازهای آن با فرکانس قدرت معین می‌شود.

- آزمون ولتاژ ضربه صاعقه با موج کامل (تست نوعی)

با این آزمون میزان توانایی تحمل هر ترمینال خط نسبت به زمین و دیگر سیم‌پیچ و در طول سیم‌پیچ تحت آزمون بدست می‌آید.

- آزمون ضربه برای ترمینال نوترال (خنثی) (تست ویژه)، اگر یک ولتاژ استقامت ضربه برای ترمینال خنثی مشخص شده باشد.

این آزمون برای تعیین میزان تحمل ترمینال نسبت به زمین و سایر سیم‌پیچها در برابر ولتاژ ضربه می‌باشد.

ب- تستهای عایقی برای سیم‌پیچهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۰۰ کیلوولت و عایق‌بندی غیر یکنواخت

ولتاژهایی که سیم‌پیچها باید تحمل کنند در جدول (۳-۲) آمده است.

ولتاژهای نامی قابل تحمل سیم‌پیچهای ترانسفورماتور با تستهای دی‌الکتریک زیر معین می‌شوند:

- آزمون میزان تحمل اضافه ولتاژ القایی (تست جاری)

این آزمون برای تعیین استقامت در برابر ولتاژ با فرکانس قدرت ترمینالها نسبت به زمین و سایر سیم‌پیچها، توانایی استقامت بین فازها در طول سیم‌پیچ تحت آزمون می‌باشد.

- آزمون ولتاژ ضربه صاعقه با موج کامل (تست نوعی)

با این آزمون میزان تحمل هر ترمینال خط نسبت به زمین و دیگر سیم‌پیچها و در طول سیم‌پیچ تحت آزمون، بدست می‌آید.

- آزمون استقامت در برابر ولتاژ با فرکانس قدرت و با منبع جداگانه برای ترمینال نوترال (تست جاری).

این آزمون برای تعیین توانایی در برابر ولتاژ با فرکانس قدرت ترمینال خنثی نسبت به زمین می‌باشد.

- آزمون ضربه برای ترمینال نوترال (تست ویژه) اگر یک ولتاژ استقامت ضربه‌ای برای ترمینال خنثی مشخص شده باشد.

این آزمون برای تعیین توانایی تحمل در برابر ولتاژ ضربه ترمینال نوترال نسبت به زمین و سایر سیم‌پیچها می‌باشد.

۳-۶-۲- قواعد عایق‌بندی و آزمونهای مربوط به ترمینال نوترال یک سیم‌پیچ با عایق‌بندی غیر یکنواخت

۳-۶-۲-۱- کلیات

سطح عایق‌بندی نوترال بستگی دارد به اینکه آیا ترمینال نوترال مستقیماً زمین شده است یا نه اگر ترمینال نوترال مستقیماً زمین نشده باشد، بمنظور محدود کردن اضافه ولتاژهای گذرا، باید یک وسیله حفاظت بین ترمینال نوترال و زمین در نظر گرفته شود. در غیر این صورت عایق‌بندی غیر یکنواخت سیم‌پیچ توصیه نمی‌شود.

نکته: توصیه‌های زیر برای تعیین حداقل ولتاژ قابل تحمل ترمینال نوترال می‌باشد. اما چنانچه این حداقل ولتاژ افزایش داده شود، می‌توان ترانسفورماتور را براحتی در شبکه تعویض نمود. همچنین جهت

استفاده از اتصالات آزمون برای تست ولتاژ القایی ممکن است لازم باشد که سیم‌پیچ را با سطح عایقی بالاتری طراحی نمود.

۳-۶-۲-۲- ترمینال نوترال که مستقیماً زمین شده است.

ترمینال نوترال بطور دایم، بصورت مستقیم یا از طریق یک ترانسفورمر جریان زمین، بدون هیچ‌گونه امپدانس اضافی در محل اتصال، زمین است. در این مورد ولتاژ استقامت کوتاه مدت با فرکانس قدرت، حداقل باید ۳۸ کیلوولت باشد. آزمون ضربه برروی ترمینال خنثی توصیه نمی‌شود. در طول تستهای ضربه روی ترمینالهای خط، ترمینال نوترال باید مستقیماً زمین شود.

۳-۶-۲-۳- ترمینال نوترال مستقیماً زمین نشده است

ترمینال نوترال بطور دایم، مستقیماً زمین نشده است. ترمینال نوترال ممکن است از طریق یک امپدانس قابل ملاحظه زمین شده باشد (مانند سیم‌پیچ محدود کننده جریان جرقه (به زمین) ترمینال نوترال سیم‌پیچ فاز، ممکن است بطور جداگانه به یک ترانسفورماتور تنظیم کننده وصل شود.

ولتاژ نامی برقگیری که جهت حفاظت نوترال نصب می شود، باید حداقل برابر با ماکزیمم ولتاژ فرکانس قدرت در شرایط خطا در سیستم در نظر گرفته می شود.

انتخاب وسیله حفاظت در برابر اضافه ولتاژ تعیین سطح حفاظت در برابر ضربه و مشخص کردن ولتاژ استقامت ضربه برای ترمینال نوترال ترانسفورماتور با مسئولیت محدود خریدار است. مقادیر مناسب و استاندارد را می‌توان از جدول (۳-۲) انتخاب کرد. مقادیر ولتاژ نامی با فرکانس قدرت نیز از این جدول تعیین می‌شود.

باید دقت شود که ولتاژ استقامت با فرکانس قدرت، از ولتاژ بروز خطا در سیستم که در بالا ذکر شد،کمتر باشد.

ولتاژ نامی استقامت ضربه برای ترمینال نوترال توسط آزمونهای شرح داده شده در بخشهای (۳-۶-۷) تعیین می‌شود. آزمون ضربه با موج بریده روی ترمینال نوترال توصیه نمی‌شود.

۳-۶-۳- شرایط آزمونها روی ترانسفورماتوری که دارای یک سیم‌پیچ با تپ چنجر است.

اگر حدود تپ ۵ ± درصد یا کمتر باشد، آزمونهای دی الکتریک ترانسفورماتور در تپ اصلی انجام می‌شود. اگر حدود تپ از ۵ ± درصد بیشتر باشد، انتخاب تپ مطابق موارد زیر تعیین می‌شود:

- شرایط آزمون برای تستهای ولتاژ القایی با فرکانس قدرت و کیلدزنی، تعیین کننده تپ لازم می‌باشد.
- در آزمون ضربه صاعقه، توزیع فشارهای (نیروهای) دی‌الکتریک با اتصال تپ و طرح کلی ترانسفورماتور تغییر می‌کند. در صورتیکه توافقی خاص برای آزمون ضربه برروی یک تپ خاص صورت نگرفته باشد، آزمون ضربه روی در تپ نهایی و تپ اصلی انجام می‌گیرد.

۳-۶-۴- تکرار آزمونهای دی‌الکتریک

اگر یک ترانسفورماتور تمام آزمونهای پذیرش دی‌الکتریک را که در بخشهای قبل شرح داده شد، بطور موفقیت‌آمیزی گذارنده باشد و حال لازم باشد که آن آزمونها دوباره تکرار شود و ولتاژ آزمون باید به ٪۷۵ مقدار اصلی تقلیل یابد، مگر آنکه توافق دیگری انجام شده باشد و مشروط به آنکه عایق‌بندی داخلی در موقع آزمون تغییر نیافته باشد.

۳-۶-۵- روش آزمون استقامت در برابر منبع ولتاژ جداگانه

این آزمون باید با ولتاژ متناسب که تا حد امکان سینوسی است و فرکانس آن از ٪۸۰ مقدار نامی کمتر نیست، انجام شود. مقدار پیک ولتاژ باید اندازه گرفته شود. مقدار پیک تقسیم بر $\sqrt{2}$ باید برابر با مقدار آزمون باشد.

آزمون با ولتاژی که از $\frac{1}{3}$ مقدار تعیین شده برای تست کمتر است شروع می‌شود و ولتاژ تا مقدار ولتاژ آزمون با سرعتی برابر سرعت اندازه‌گیری، افزایش می‌یابد در پایان آزمون، قبل از قطع کلید مدار، ولتاژ باید به سرعت به مقداری کمتر از $\frac{1}{3}$ مقدار آزمون کاهش داده شود.

ولتاژ آزمون باید بمدت ۶۰ ثانیه بین سیم‌پیچ تحت تست و همه ترمینالهای بقیه سیم‌پیچها، هسته، قاب و مخزن یا پوشش ترانسفورماتور که بهم متصل و زمین شده‌اند اعمال گردد.

آزمون در صورتی موفقیت‌آمیز است که در ولتاژ تست هیچ‌گونه شکستی حاصل نشود.

۳-۶-۶- روش آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی

۳-۶-۶-۱- کلیات

این آزمون برای انواع مختلف سیم‌پیچها به دو طریق که در بندهای ۳-۶-۶-۲ و ۳-۶-۶-۳ بیان شده‌اند انجام می‌شود. برای انجام آزمون، ولتاژ متناوبی باید به ترمینالهای یک سیم‌پیچ ترانسفورماتور اعمال گردد. شکل موج ولتاژ باید تا حد امکان سینوسی باشد و فرکانس آن با بقدر کافی بیشتر از فرکانس نامی باشد تا در طول آزمون از جریان مغناطیسی اضافی جلوگیری شود.

مقدار پیک القایی آزمون باید اندازه گرفته شود. مقدار پیک تقسیم بر $\sqrt{2}$، باید برابر ولتاژ آزمون باشد. برای شروع آزمون، ولتاژ اعمالی نباید از $\frac{1}{3}$ مقدار نهایی آزمون بیشتر باشد و افزایش آن تا مقدار نهایی ولتاژ آزمون، با سرعتی همگام با اندازه‌گیری انجام می‌شود. در انتهای تست، قبل از قطع کلید ولتاژ تغذیه، ولتاژ باید با سرعت بمقداری کمتر از $\frac{1}{3}$ تقلیل داده شود. طول مدت آزمون برای ولتاژ کامل و هر فرکانسی که کمتر از دو برابر فرکانس نامی باشد، ۶۰ ثانیه است. مگر آنکه مقداری غیر از این در بخشهای دیگر تعیین شود. اگر فرکانس آزمون از دو برابر فرکانس نامی فراتر رود طول مدت تست از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$T = ۱۲۰ \times \frac{\text{فرکانس نامی}}{\text{فرکانس آزمون}} \quad \text{(ثانیه)} \qquad (۱)$$

اما مقدار T نباید به هیچ‌وجه از ۱۵ ثانیه کمتر شود.

۳-۶-۶-۲- آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی برای ترانسفورماتورهای با عایق‌بندی یکنواخت

ولتاژ آزمون یک سیم‌پیچ بدون تپ باید دو برابر ولتاژ نامی باشد، اما ولتاژ آزمون فازبه‌فاز هر سیم‌پیچ سه‌فاز نباید از ولتاژ قابل تحمل نامی که در جدول (۳-۲) (ستون دوم، ولتاژ استقامت با فرکانس قدرت) آمده است، تجاوز کند.

یک سیم‌پیچ سه‌فاز باید ترجیحاً با ولتاژهای سه‌فاز متقارن که در سه سیم‌پیچ فاز القا شده‌اند تست گردند. اگر سیم‌پیچ دارای ترمینال نوترال است این ترمینال را می‌توان در طول آزمون، زمین کرد. اگر در طول مدت آزمون، ترانسفورماتور دچار شکست نشود، نتیجه تست رضایت‌بخش است.

۳-۶-۶-۳- آزمون استقامت در برابر اضافه ولتاژ القایی فاز به زمین برای ترانسفورماتورهای با عایق‌بندی غیر یکنواخت

ولتاژ اعمالی به ترمینالهای خط در آزمون از جداول مربوطه مشخص می‌گردد (جدول ۲-۳). در ترانسفورماتورهای تک‌فاز، آزمون با زمین کردن ترمینال نوترال انجام می‌شود. اگر نسبت بین سیم‌پیچها توسط تپ چنجر قابل تغییر باشد از آن جهت ایجاد شرایط ولتاژ آزمون روی سیم‌پیچهای مختلف استفاده می‌شود. در شرایط استثنایی ولتاژ ترمینال خنثی را می‌توان با اتصال یک ترانسفورماتور بوستر افزایش داد، یا می‌توان سیم‌پیچ دیگر ترانسفورماتور را با سیم‌پیچ تحت آزمون سری کرد.

ترتیب آزمون در مورد ترانسفورماتور سه‌فاز شامل اعمال سه ولتاژ تک‌فاز می‌باشد که در هر بار نقاط مختلف سیم‌پیچ زمین می‌شود. برای انجام آزمون، اتصالات مختلفی برای سیم‌پیچها توصیه می‌شود که در استاندارد IEC 60076-1 نشان داده شده‌اند. این اتصالتا از اضافه ولتاژ زیاد بین ترمینال خط جلوگیری می‌کنند.

در طی آزمون سیم‌پیچ‌های مجزا دیگر، اگر ستاره هستند در نقطه نوترال،و اگر مثلث هستند در یکی از ترمینالها، باید زمین شوند.

ولتاژ هر دور سیم پیچ در مدت تست به نوع اتصال بستگی دارد و می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد. انتخاب یک اتصال مناسب برای آزمون براساس مشخصات ترانسفورماتور و تاسیسات آزمایشگاه تعیین می‌گردد. آزمون موقعی رضایت بخش است که هیچگونه شکستی در ولتاژ آزمون مشاهده نگردد.

۳-۶-۷-آزمون ضربه صاعقه

۳-۶-۷-۱- کلیات

در آزمون ضربه، شکل موج باید طبق استاندارد IEC 60060 برابر باشد با:

$1/2 \pm 30\% / 50 \pm 20\% \quad \mu s$

اگر مشخصات ترانسفورماتور تحت آزمایش بگونه‌ای باشد که تهیه این شکل موج استاندارد میسر نباشد، (بدلیل پایین بودن اندوکتانس سیم‌پیچ و یا ظرفیت خازنی بالای سیم‌پیچ ممکن این حالت رخ دهد.)، حدود تغییرات وسیع‌تری را برحسب توافق مابین سازنده و خریدار می‌توان اختیار نمود. مساله شکل موج ضربه با روشهای مختلف زمین کردن در هنگام آزمون قابل حل می‌باشد.

مدار ضربه و اتصالات اندازه‌گیری در طول کالیبره کردن و آزمون ولتاژ کامل نباید تغییر بکنند.

برای ترانسفوماتورهای روغنی،برای کاهش احتمال تخلیه سطحی در سطح خارجی روغن، ولتاژ آزمون معمولاً دارای قطبیت منفی می‌باشد.

برای جلوگیری از جرقه در طول آزمون، می‌توان جرقه‌گیرها را برداشت و یا فاصله آنها را افزایش داد. در صورتیکه المانهای غیر خطی و یا شاخکهای برق‌گیر برای محدود کردن اضافه ولتاژ گذرا در ترانسفورماتور و یا در خارج آن تعبیه شده باشد، فرآیند آزمون ضربه در حالت ویژه مورد بحث قرار خواهد گرفت. اگر چنین المانهایی به هنگام آزمون وجود داشته باشد ارزیابی نتایج آزمون احتمالاً دشوارتر خواهد بود. تعاریف کلی در مورد اصطلاحات مربوط به آزمونهای ضربه، مقررات مربوطه آزمونهای کارایی و کنترلهای جاری روی وسایل اندازه‌گیری در استاندارد IEC 60060 آمده است.

۳-۶-۷- مراحل آزمون

ترتیب آزمون شامل اعمال یک ولتاژ ضربه بین ۵٪ تا ۷۵٪ ولتاژ کامل آزمون و سپس اعمال سه ولتاژ ضربه کامل بطور متوالی می‌باشد. اگر در طول اعمال هر کدام از این امواج ضربه در شاخک جرقه‌گیر بوشینگ جرقه ایجاد گردد و یا اگر ثبت در اسیلوگراف مربوط به هر کانال اندازه‌گیری انجام نگیرد آن آزمون مورد قبول نخواهد بود و یک آزمون دیگر باید انجام گیرد.

می‌توان ضربه‌های دیگری که دامنه آنها از ۵٪ ولتاژ کامل آزمون بالاتر نباشد نیز اعمال نمود ولی ذکر آنها در گزارش آزمون ضرورتی ندارد.

۳-۶-۷-۳- اتصالات آزمون

ولتاژهای ضربه متوالی (بخش ۳-۶-۷-۲) به ترتیب به هر یک از ترمینالهای خط سیم‌پیچ تحت آزمون اعمال می‌گردد. در مورد ترانسفورماتورهای سه‌فاز، دیگر ترمینالهای خط سیم‌پیچ، باید مستقیماً یا از طریق یک امپدانس کوچک مانند مدار موازی اندازه‌گیری جریان زمین شود. اگر سیم‌پیچ دارای

ترمینال نوترال است این ترمینال هم باید مستقیماً یا از طریق یک امپدانس کم زمین شود. تانک ترانسفورماتور نیز باید به زمین متصل شود. در مورد ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جداگانه، ترمینالهای سیم پیچی که تحت آزمون نیستند باید مستقیماً یا از طریق یک امپدانس کم زمین شوند، بطوریکه در تمام شرایط ولتاژ ظاهر شده در آنها کمتر از ۷۵٪ ولتاژ استقامت ضربه صاعقه آنها باشد.

در مورد سیم‌پیچهای تحت آزمون ضربه با امپدانس کم، ایجاد شکل موج ضربه مناسب در ترمینالهای تحت آزمون مشکل است. در این موارد، حدود تغییرات گسترده‌ای را برای شکل موج ضربه، با توافق بین سازنده و خریدار در نظر می‌گیرند. این مساله را می‌توان با زمین کردن ترمینالهایی که تحت آزمون قرار ندارند، از طریق مقاومت ساده‌تر کرد. مقدار مقاومت نباید از ۵۰۰ اهم فراتر رود و طوری باید انتخاب شود که ولتاژ ظاهر شده در ترمینالها از ۷۵٪ مقدار ولتاژ استقامت ضربه آنها کمتر باشد. حالت دیگری برای حل مشکل استفاده از روش انتقال ضربه است که باید با توافق صورت بگیرد (بخش ۳-۶-۷-۵).

۳-۶-۷-۴- آزمون ضربه روی ترمینال نوترال

وقتی که ترمینال نوترال یک سیم‌پیچ دارای ولتاژ ایستادگی نامی ضربه باشد می‌توان برای بررسی آن، یک آزمون ضربه از طریق هر یک از ترمینالهای خط یا در شرایطی که همه ترمینالهای خط بهم وصل شده‌اند، انجام داد. ترمینال نوترال از طریق یک امپدانس به زمین وصل می‌شود، وقتی که موج ضربه استاندارد به ترمینال خط اعمال می‌گردد، دامنه ولتاژ ظاهر شده برروی این امپدانس،باید برابر ولتاژ ایستادگی اسمی آن باشد. دامنه ضربه که روی ترمینال خط اعمال می‌گردد، مشخص نشده است اما نباید از ۷۵٪ مقدار ولتاژ ایستادگی ضربه صاعقه ترمینال خط فراتر رود.

در حالت دیگر آزمون، وقتی تمامی ترمینالهای خط زمین شده‌اند یک ولتاژ ضربه مطابق ولتاژ ایستادگی نامی نوترال،مستقیماً به نوترال اعمال می‌گردد. در این مورد، بیشترین مدت زمان برای پیشانی موج ۱۲ میکروثانیه می‌باشد.

۳-۶-۷-۵- روش انتقال ضربه

هنگامیکه سیم‌پیچ ولتاژ بالا در عمل نتواند ولتاژهای اضافی صاعقه منتقل شده از سیستم ولتاژ کم را تحمل نماید این سیم‌پیچ با توافق سازنده و خریدار با ضربه انتقال یافته از سیم‌پیچ ولتاژ بالا تست می‌گردد.

این روش موقعی صحیح است که یک ضربه اعمال شده بطور مستقیم به سیم‌پیچ ولتاژ کم بتواند فشارهای غیر واقعی در سیم‌پیچ ولتاژ بالا ایجاد کند.

در روش انتقال ضربه، آزمونهای روی سیم‌پیچ ولتاژ کم همزمان با آزمونهای ضربه روی سیم‌پیچهای ولتاژ بالا انجام می‌گیرد. ترمینالهای خط سیم‌پیچ ولتاژ کم از طریق یک مقاومت به زمین وصل می‌شوند بطوریکه دامنه ولتاژ ضربه انتقالی بین ترمینال خط و زمین، یا بین ترمینالهای مختلف خط و یا در طول سیم‌پیچ فاز، تا حد ممکن زیاد باشد ولی از مقدار ولتاژ ایستادگی نامی ضربه تجاوز ننماید. مقدار مقاومت نباید از ۵۰۰۰ اهم تجاوز نماید. جزییات مراحل آزمون، باید قبلاً مورد توافق واقع شده باشد.

۳-۷-۷-۶- ثبت نتایج آزمون

منحنی‌های ثبت شده توسط دستگاه اسیلوگراف (منحنی نگار) در مراحل کالیبره کردن و آزمونها، بطور وضوح شکل موج ولتاژ ضربه‌ای اعمال شده را نشان می‌دهد. در بیشتر حالات منحنی جریانی که از سیم‌پیچ آزمون به زمین جریان دارد حساسیت بیشتری برای نشان دادن موارد خطا و عیب در ترانسفورماتور، دارند. جریانی که از مخزن به زمین می‌رود و یا ولتاژ انتقال یافته در سیم‌پیچ تست نشده، نمونه‌هایی از مقادیر مناسب جهت اندازه گیری هستند.

۳-۶-۷-۷- معیارهای آزمون

اگر اختلاف عمده‌ای بین ولتاژها و جریانهای گذرا در آزمون ضربه با ولتاژ کاهش یافته و با ولتاژ کامل وجود نداشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که عایق‌بندی تحمل آزمون را دارد. تحلیل جزییات منحنی‌های ثبت شده آزمون و تشخیص مقادیر اشتباه از مقادیر واقعی نیاز به مهارت و تجربه فراوانی دارد.

اگر در مورد تحلیل اختلافات بین منحنی‌ها، شکی وجود داشته باشد سه ضربه متوالی در ولتاژ کامل اعمال خواهد شد یا تمامی آزمون ضربه روی ترمینال تکرار خواهد شد.

مشاهدات اضافی در طول آزمون (اثرات صوتی و غیره) می‌تواند برای تایید منحنی‌های ثبت شده استفاده شود اما به تنهایی کافی نخواهد بود.

۳-۶-۸- آزمون ضربه صاعقه با موج بریده (تست ویژه)

در صورت درخواست خریدار، به غیر از اعمال شکل موج کامل ضربه موج ضربه‌ای که شکل آن از انتها بریده شده است هم به ترمینالهای خط سیم‌پیچ اعمال می‌گردد. مقدار قله ضربه پریده شده باید برابر قله موج کامل باشد.

معمولاً برای آزمون، تنظیمات مولد ضربه و وسیله اندازه‌گیری مانند آزمون موج کامل خواهد بود و فقط وسیله برش دهنده موج به آن اضافه می‌شود. زمان بریدن موج از نقطه شروع موج بین ۲ تا ۶ میکروثانیه باید باشد.

۳-۶-۸-۱- فاصله برش و مشخصات

برای تهیه موج بریده شده توصیه می‌شود که از برش دهنده تریگری با زمان قابل تنظیم استفاده گردد. البته استفاده از یک فاصله میله‌ای ساده نیز مجاز می‌باشد. این فاصله باید تا حد امکان به ترمینال فاز تحت آزمایش نزدیک شود. مدار برش طوری باید باشد که مقدار نوسان قطب مخالف ضربه ثبت شده از ٪۳۰ دامنه ضربه بریده شده تجاوز نکند.

۳-۶-۸-۲- ترتیب آزمون و معیار آزمون

همانطور که در بالا گفته شد، این آزمون با آزمون ضربه کامل در یک توالی فرد، ترکیب می‌شود. دستور پیشنهادی برای اعمال ضربه‌های مختلف عبارتند از:

۱- یک ضربه کامل کاهش یافته
۲- یک ضربه کامل صد در صد
۳- یک یا چند ضربه بریده کاهش یافته
۴- دو ضربه بریده صد در صد
۵- دو ضربه کامل صد در صد

برای آزمون، همه کانالهای اندازه‌گیری و منحنی‌های مشابه، باید مشخص شوند.

در اصل برای مشخص نمودن عیب در طول آزمون ضربه بریده، مقایسه منحنی‌های آزمون ضربه بریده صد در صد و آزمون ضربه بریده کاهش یافته لازم است. ثبت جریان نوترال (یا هر ثبت کمکی دیگر) نشان دهنده یک پدیده گذرا در پیشانی موج ضربه و از یک نقطه برش است. تغییرات احتمالی در تاخیر

زمانی برش حتی اگر اندک باشد باید در نظر گرفته شود زیرا که قسمت آخر نمونه نوسانی، تغییر پیدا کرده و تفکیک این اثر از منحنی نشان دهنده عیب، مشکل خواهد بود.
ثبت آزمونهای پی‌درپی ضربه‌های صددرصد کامل یک معیار کمکی برای تشخیص عیب می‌باشد. اما این امر به تنهایی یک معیار کیفیت برای آزمون موج بریده نیست.

۳-۷- آزمون افزایش دما

۳-۷-۱- کلیات

در این بخش مراحل تعیین دما و میزان افزایش دما، در طول آزمونهای نوعی مشخص می‌شوند. در طول آزمون افزایش دما، تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتور (مانند رله بوخهلتس در ترانسفورماتورهای روغنی) باید نصب شده باشند.

۳-۷-۱-۱- اندازه‌گیری دمای هوای خنک‌کننده

دمای هوای خنک‌کننده می‌باید توسط حداقل ۳ سنسور حرارتی(ترمومتر) که در نقاط مختلف اطراف ترانسفورماتور قرار گرفته‌اند، اندازه‌گیری گردد. سنسورها باید در فاصله یک تا دو متری از تانک یا سطح خنک‌کننده و در ارتفاعی حدوداً نصف ارتفاع سطح خنک‌کننده نصب شوند و باید از جریان هوا و تشعشعات حرارتی محافظت گردند. در صورتیکه ترانسفورماتور با جریان اجباری هوا خنک می‌گردد دمای هوا باید در ورودی خنک‌کننده مشخص گردد.

مقداری که بعنوان دمای هوا خنک‌کننده در آزمون در نظر گرفته می‌شود متوسط اعداد خوانده شده از روی سنسورها در فواصل زمانی مساوی است و یا از روی مقادیری که بصورت اتوماتیک و پیوسته ثبت شده‌اند، محاسبه می‌گردد تدابیر لازم باید در نظر گرفته شود. تا از خطاهای مربوط به تاخیر زمانی مابین تغییرات در دمای ترانسفورماتورهای بزرگ و دمای هوا خنک‌کننده جلوگیری شود.

۳-۷-۲- روشهای آزمون برای تعیین میزان افزایش دما

روش استاندارد برای تعیین میزان افزایش دما در ترانسفورماتورهای روغنی،روش اتصال کوتاه است.روش دیگر، روش مستقیم است که آزمون تحت ولتاژ و جریان نامی انجام می‌شود در حالیکه

بارمناسبی هم به ترانسفورماتور متصل شده است.این روش برای ترانسفورماتورهای با توان نامی پایین قابل کارکرد و مناسب است. روش پشت به پشت هم روش دیگری جهت تعیین میزان افزایش دما است. در این روش ترانسفورماتور تحت آزمون با ترانسفورماتور دیگری موازی شود. این دو ترانسفورماتور با ولتاژهای نامی تحریک می‌شوند. با توجه به اختلاف ولتاژهای مختلف ترانسفورماتور یا به کمک یک ولتاژ تزریقی، جریان نامی از ترانسفورماتور تحت آزمون گذرانده می‌شود.

با توجه به اینکه از نظر عملی، روش استاندارد برای تعیین میزان افزایش دما، روش اتصال کوتاه است. در ادامه این روش شرح داده می‌شود.

۳-۷-۲-۱- روش اتصال کوتاه

در این روش ترانسفورماتور بطور همزمان تحت جریان و ولتاژ نامی قرار نمی‌گیرد، بلکه تلفات کل که قبلاً بدست آمده است به سیم‌پیچ تحریک اعمال می‌گردد. در این حالت یکی از سیم‌پیچها تحریک و دیگری اتصال کوتاه می‌شود. این آزمون در دو مرحله انجام می‌شود:

الف- اعمال تلفات کل

در این حالت، در حالیکه ترانسفورماتور تحت ولتاژ آزمون قرار گرفته است و توان اکتیو اندازه‌گیر شده برابر تلفات کل ترانسفورماتور است، افزایش دمای سطح بالای روغن و میانگین افزایش دمای روغن ثبت می‌گردد. برای جبران میزان تلفات بی‌باری، جریان آزمایش از جریان نامی بیشتر خواهد شد و درجه حرارت سیم‌پیچ هم به همان میزان بالا خواهد رفت.

دمای روغن و دمای متوسط خنک‌کننده باید ثبت شود و آزمون تا رسیدن به شرایط پایداری میزان افزایش دمای روغن ادامه خواهد یافت.

وقتی که نرخ تغییرات دمای سطح بالای روغن کمتر از یک کلوین بر ساعت شد و برای مدت ۳ ساعت در همین حد باقی ماند آزمایش را می‌توان خاتمه داد. اگر اطلاعات بصورت ناپیوسته و در بازه‌های زمانی مساوی ثبت می‌شوند، مقدار متوسط اطلاعات خوانده شده در آخرین ساعت آزمون، بعنوان نتیجه تلقی می‌گرد. همچنین اگر ثبت اطلاعات بصورت پیوسته است، مقدر متوسط در ساعت آخر آزمون بعنوان نتیجه در نظر گرفته می‌شود.

ب) اعمال جریان نامی

وقتی میزان افزایش دمای سطح بالای روغن بدست آمد، باید بلافاصله جریان آزمون به جریان نامی تقلیل داده شود تا دمای سیم‌پیچ بدست آید. این حالت برای مدت یک ساعت ادامه می‌یابد و دمای متوسط روغن و محیط خنک‌کننده بطور مداوم مشاهده و ثبت می‌گردد.

بعد از سپری شدن یک ساعت، مقاومت سیم‌پیچ اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ دو روش وجود دارد. روش اول شامل قطع منبع تغذیه و اندازه‌گیری سریع مقاومت سیم‌پیچ است. در روش دوم بدون قطع منبع، با استفاده از قاعده جمع آثار، یک جریان d.c کوچک همراه با جریان بار، به سیم‌پیچ اعمال می‌گردد (برای جزییات بیشتر به IEC 60279 مراجعه شود). مقدار متوسط دمای سیم‌پیچ‌ها از مقاومتهای اندازه‌گیری شده محاسبه می‌گردند. در طول این مرحله آزمون، دمای روغن افت می‌کند. بنابراین در موقع محاسبه دمای سیم‌پیچ باید این میزان افت در نظر گرفته شود و به دمای محاسبه شده اضافه گردد. اگر از درجه حرارت تصحیح شده سیم‌پیچ درجه حرارت محیط خنک‌کننده که در پایان مرحله (الف) ثبت شده است کم گردد، افزایش متوسط دمای سیم‌پیچ بدست می‌آید.

با توجه به آنکه محاسبات دما در بارگذاریهای متغیر است طبق قرارداد، افزایش دمای سیم‌پیچ از مجموع مقدار متوسط افزایش دمای روغن و مقدار اختلاف بین دمای متوسط سیم‌پیچ و دمای متوسط روغن، بدست می‌آید. اگر بین خریدار و سازنده توافق شود، می توان دو مرحله (الف) و (ب) را در یک مرحله انجام داد، بطوریکه میزان توان اعمالی به ترانسفورماتور مقداری بین تلفات بار و تلفات کل باشد. افزایش دمای روغن و سیم‌پیچ در این حالت با استفاده از قوانین تصحیح (بخش (۳-۷-۵)) بدست می‌آید. اما توان اعمالی در طول تست، باید حداقل برابر ۸۰٪ تلفات کل باشد.

۳-۷-۳- تعیین دمای روغن

۳-۷-۳-۱- دمای سطح بالای روغن

دمای سطح بالای روغن توسط یک یا چند سنسور حرارتی (ترمومتر) که در محفظه پر از روغن قرار دارند، اندازه گرفته می‌شود. استفاده از چند سنسور در ترانسفورماتورهای بزرگ مهم است، تا بدین طریق مقدار دمای اندازه‌گیری قابل قبول‌تر باشد.

۳-۷-۳-۲- دمای سطح پایین و متوسط روغن

مـای سـطح پایین روغن در واقع دمای روغن ورودی به محفظه سیم‌پیچها است. با توجه به ملاحظات عملـی سـاخت ترانسفورماتور این دما با دمای روغن برگشتی از تجهیزات خنک‌کننده به تانک برابر است. دمـای سـطح پایین روغن توسط سنسورهایی که در مسیر بازگشت روغن از رادیاتورها یا خنک‌کننده‌های دیگـر قـرار داده شـده‌انـد اندازه گرفته می‌شود. البته، اگر جریان روغن طبیعی نباشد و روغن توسط پمپ جریان یابد، دماهای تعیین شده ممکن است دارای خطا باشند.

دمای متوسط روغن، در اصل دمای متوسط روغن خنک‌کننده سیم‌پیچها است. برای محاسبه این دما، متوسط دمای سطح بالا و پایین روغن تعیین می‌شود.

نکـته: بـرای ترانسـفورماتورهایی بـا قـدرت حداکـثر ۲۵۰۰ کیلوولـت‌آمـپر و بـا سیستم خنک‌کنندگی ONAN کـه دارای تـانک معمولـی هسـتند و یا سیستم خنک‌کننده مستقیماً روی تانک نصب شده است مـیزان متوسـط افزایش دمای روغن نسبت به هوای محیط را می‌توان برابر ۸٪ افزایش دمای سطح بالای روغن فرض کرد.

۳-۷-۴- تعیین متوسط دمای سیم‌پیچ

دمـای متوسـط سیم‌پیچ از طریق اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ تعیین می‌گردد. ابتدا مقاومت سیم‌پیچ در دمـای محـیط و شـرایط ماندگـار (بخـش ۳-۲) انـدازه گرفـته مـی‌شـود (R_1 , θ_1)، وقتی که مقاومت سـیم‌پـیچ در انـتهای زمـان آزمـایش انـدازه‌گـیری شده، مقدار دمای سیم‌پیچ در این شرایط از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(235 + \theta_1) - 235 \qquad \text{(مـس)}$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(225 + \theta_1) - 225 \qquad \text{(آلومینیوم)}$$

اگـر دمـای محـیط خـنک‌کنـنده خارجـی در زمـان قطع تغذیه θ_0 باشد، افزایش دمای سیم‌پیچ برابر خواهد بود با

$$\Delta\theta_w = \theta_2 - \theta_0$$

۳-۷-۴- تعیین درجه حرارت سیم‌پیچ قبل از تغذیه

روش استاندارد برای تعیین درجه حرارت متوسط سیم‌پیچ بلافاصله قبل از قطع تغذیه (بخش ۳-۷-۲-۱) بدین طریق است که بلافاصله بعد از قطع منبع تغذیه و قطع کردن مدارات اتصال کوتاه، جریان dc به سیم‌پیچی که قرار است اندازه‌گیری روی آن صورت بگیرد اعمال می‌گردد. سیم‌پیچها معمولاً دارای ثابت زمانی (L/R) بزرگی هستند، بنابراین برای داشتن اطلاعات دقیق باید خواندن اطلاعات با تاخیر معینی صورت بگیرد. با گذشت زمان مقاومت سیم‌پیچ، بدلیل خنک شدن آن تغییر می‌کند. با اندازه‌گیریهای متعدد مقاومت در فواصل زمانی کافی با روش برون‌یابی می‌توان مقاومت در لحظه قطع تغذیه را محاسبه کرد.

۳-۷-۵- ضرایب تصحیح درجه حرارت

اگر در طول آزمایش مقادیر مشخص شده توان و جریان بدست نیامد نتایج آزمایش باید طبق روابط زیر تصحیح شوند. این روابط برای محدوده توان تا ٪۲۰ ± توان نامی و جریان تا ٪۱۰ ± نامی معتبر هستند. با توافق می‌توان این محدوده‌ها را افزایش داد.

برای تصحیح افزایش دمای روغن نسبت به محیط، در ضریب زیر باید ضرب گردد:

$$\left(\frac{\text{تلفات کل}}{\text{تلفات آزمون}}\right)$$

که X=۰/۸ برای ترانسفورماتورهای توزیع با خنک‌کنندگی طبیعی و حداکثر توان نامی ۲۵۰۰KVA برای تصحیح افزایش دمای متوسط سیم‌پیچ نسبت به دمای متوسط روغن ضریب زیر باید اعمال گردد:

$$\left(\frac{\text{جریان نامی}}{\text{جریان آزمون}}\right)^{y}$$

که

y=۱/۶ برای گردش طبیعی و اجباری روغن (ON یا OF)

y=2 برای گردش جهت داده شده روغن (OD)

در مورد ترانسفورماتورهای خشک، در صورتی که جریان تست از ۹۰ درصد جریان نامی کمتر نباشد، میزان افزایش دمای سیم‌پیچ، $\Delta\theta_t$ با روش مقاومتی اندازه گرفته شده و برای رسیدن به شرایط بار نامی $\Delta\theta_N$، از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t}\right]^q$$

که

q = ۱/۶ اگر ترانسفورماتور دارای سیستم خنک‌کنندگی گردش طبیعی هوا (AN) باشد.

q = ۱/۸، اگر ترانسفورماتور دارای سیستم خنک‌کنندگی گردش اجباری هوا (AF) باشد

۳-۸- آزمون اتصال کوتاه

۳-۸-۱- شرایط ترانسفورماتور قبل از آزمون اتصال کوتاه

آزمون اتصال کوتاه باید روی ترانسفورماتور نو و آماده سرویس انجام شود، مگر آنکه توافق خاصی صورت گرفته باشد. نصب تجهیزات کمکی مانند سیستم خنک‌کننده که اثری در رفتار ترانسفورماتور در شرایط اتصال کوتاه ندارند، الزامی نیست.

پیش از انجام آزمون اتصال کوتاه، آزمونهای نوعی باید انجام پذیرفته باشد و گزارشی از نتایج این آزمونها باید آماده و در دسترس باشد. درآغاز آزمون، دمای متوسط سیم‌پیچها باید بین صفر تا ۴۰ درجه سانتیگراد باشد.

۳-۸-۲- مقدار پیک جریان برای ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچ

دامنه اولین پیک جریان نامتقارن آزمون توسط رابطه

$$\hat{i} = IK\sqrt{2}$$

محاسبه می‌شود که جریان اتصال کوتاه متقارن I طبق مباحث بخشهای بعد تعیین می‌شود.

ضریب $K\sqrt{2}$ بستگی به نسبت X/R دارد که X برابر مجموع راکتانسهای سیستم و ترانسفورماتور $(X=X_t+X_s)$ است و R برابر مجموع مقاومتهای ترانسفورماتور و سیستم $(R=R_t+R_s)$ می‌باشد. در صورتی که محدودیتی مشخص نشده باشد، ضریب $K\sqrt{2}$ به ۲/۵۵ محدود می‌گردد. در جدول (۳-۲) ضرایب $K\sqrt{2}$ را برحسب مقادیر مختلف X/R مشخص شده است.

جدول (۳-۲): مقادیر ضریب $K\sqrt{2}$

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 بین ۱ و۱۴ که مقدار ضریب مربوط به آنها مشخص نشده است، ضریب مربوط به آنها توسط روش درون یابی مشخص می‌شود.

۳-۸-۳- مقدار جریان اتصال کوتاه برای ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچه

اگر جریان نامتقارن که اولین پیک آن $\hat{i}$ است برای مدت زمان طولانی به ترانسفورماتور اعمال گردد، به جریان متقارن تغییر می‌یابد.

مقدار پیک جریان آزمون نباید بیش از ۵٪ و جریان متقارن نباید بیشتر از ۱۰٪ از مقدار مشخص شده اختلاف داشته باشد.

۳-۸-۴- مراحل آزمون اتصال کوتاه

الف- بمنظور رسیدن به شرایط بند (۳-۸-۳) می‌توان ولتاژ بی‌بار منبع تغذیه را بالاتر از ولتاژهای سیم‌پیچ قرار داد. مرحله اتصال کوتاه سیم‌پیچ را می‌توان بعد از اعمال ولتاژ به سیم‌پیچ دیگر یا قبل از آن انجام داد. اگر اتصال کوتاه کردن بعد از اعمال ولتاژ باشد، مقدار ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ نباید از ۱/۱۵ برابر ولتاژ نامی سیم‌پیچ فراتر رود. ولی اگر اتصال کوتاه کردن قبل از اعمال ولتاژ باشد و ابتدا تنظیمات اتصال کوتاه انجام شود و ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچهای متحدالمرکز باشد، منبع ولتاژ باید به سیم‌پیچ دورتر از هسته متصل شود و سیم‌پیچ نزدیکتر به هسته اتصال کوتاه می‌شود. این شرط برای جلوگیری از اشباع هسته است که موجب بوجود آمدن جریان مغناطیس کننده شدید می‌شود و در چند سیکل اول

جریان اتصال کوتاه به آن اضافه می‌شود. برای ترانسفورماتورهای دیگر، شرایط پیش تنظیم اتصال کوتاه با توافق بین سازنده و خریدار مشخص می‌شود.

ب- برای رسیدن به پیک اولیه جریان (بند ۳-۸-۲)، لحظه وصل کلید باید توسط یک کلید سنکرون تنظیم شود. بمنظور کنترل مقادیر جریان آزمون ($\hat{I}$ و I)، جریانها باید بطور دایم توسط اسلیوگراف ثبت شوند. برای رسیدن به ماکزیمم جریان نامتقارن در سیم‌پیچ فاز، لحظه وصل کلید باید در هنگام عبور ولتاژ سیم‌پیچ از صفر باشد.

نکته ۱: برای اتصال کوتاه ستاره، ماکزیمم جریان نامتقارن با وصل کلید در لحظه‌ای که ولتاژ فاز از صفر می‌گذرد بدست می‌آید ضریب K، مربوط به پیک جریان $\hat{I}$، از منحنی‌های مربوط به جریان خط تعیین می‌گردد.

برای اتصال مثلث، ماکزیمم جریان نامتقارن با وصل کلید در لحظه‌ای که ولتاژ خط-خط از صفر می‌گذرد بدست می‌آید. برای تعیین ضریب K می‌توان لحظه وصل کلید را هنگامی انتخاب کرد که ولتاژ خط به خط ماکزیمم است. در این شرایط ضریب K از منحنی‌های جریان خط بدست می‌آیند یکی دیگر از روشهای تعیین جریان فاز در اتصال مثلث، اتصال مناسب سرهای ثانویه ترانسفورماتورهای جریانی که مقدار جریان خط را اندازه می‌گیرند می‌باشد.

نکته۲: برای ترانسفورماتورهای با اتصال ستاره – زیگزاگ که حداکثر قدرت آنها ۳۱۵۰ KVA است و یا دارای شار ثابت با تغییرات ولتاژ می‌باشند و نسبت جزء راکتیو امپدانس ولتاژ ترانسفورماتور به جزء اکتیو آن $\left(\frac{U_x}{U_y}\right)$ کوچکتر یا مساوی سه است، می‌توان کلید هر سه فاز را بطور همزمان بدون استفاده از کلید سنکرون وصل کرد. برای دیگر ترانسفوماتورها با اتصال ستاره – زیگزاگ روش اتصال کلید، به توافق بین خریدار و فروشنده بستگی دارد.

ج- برای ترانسفورماتورهای سه‌فاز یک منبع سه‌فاز باید استفاده شود. در صورت موجود نبودن منبع سه‌فاز می‌توان از منبع تک‌فاز بصورت زیر بهره گرفت.

*برای اتصال مثلث منبع تک‌فاز بین دو گوشه مثلث قرار می‌گیرد و مقدار ولتاژ، باید همان ولتاژ فاز در طی آزمون سه‌فاز باشد.

*برای اتصال ستاره منبع تک‌فاز بین یک ترمینال خط و دو ترمینال دیگر که بهم متصل شده اند قرار داده می‌شود. ولتاژ منبع تک فاز در طول آزمون، باید برابر $\sqrt{\frac{3}{2}}$ ولتاژ بین فازها در طول آزمون سه‌فاز باشد.

نکته: این روش برای ترانسفورماتورهای با قدرت حداکثر ۳۱۵۰ KVA بندرت استفاده می شود.

د- اگر برای تعداد و زمان آزمونها، مقادیر خاصی مشخص نشده باشند، بصورت زیر عمل می‌گردد. البته این مقادیر شامل آزمونهای اولیه‌ای که با حداکثر ۷۰٪ جریان معین شده برای کنترل عملکرد مناسب تنظیمهای آزمون با توجه به لحظه وصل کلید، میرایی و مدت دوره آن، انجام می‌گیرد نمی‌شود.

*برای ترانسفورماتورهای سه‌فاز با قدرت حداکثر ۳۱۵۰ KVA، تعداد کل آزمونها ۹ عدد می‌باشد که روی هر ستون ۳ تست انجام می‌شود. مدت زمان هر آزمون باید ۰/۵ ثانیه با تلرانس ۱۰٪ ± باشد. اگر ترانسفورماتور دارای تپ چنجر باشد و برای نحوه آزمونها روش خاصی مشخص نشده باشد. آزمونها روی هر ستون ترانسفورماتور با تپ متفاوتی انجام می‌شود، یعنی روی ستون بیرونی ۳ آزمون با تپ حداکثر، روی ستون وسط ۳ آزمون با تپ اصلی و روی ستون بیرونی دیگر،۳ آزمون با حداقل تپ انجام می‌شود.

۳-۸-۵- تشخیص عیبها و خطاها

الف- قبل از انجام آزمونها، یک مجموعه اندازه‌گیریها و تستها مطابق بند (۳-۸-۱) باید انجام شود. رله گازی (اگر وجود داشت) باید کنترل گردد. از این مقادیر اندازه‌گیری شده بعنوان مرجع برای تشخیص عیوب استفاده می‌شود.

ب- در طول هر آزمون، حتی آزمونهای اولیه منحنی‌های زیر باید ثبت شوند:

- ولتاژهای اعمالی بین ترمینالها خط (بند ۳-۸-۴)
- جریانها (بند ۳-۸-۴)

بعلاوه ترانسفورماتور تحت آزمون باید بصورت چشمی هم بازرسی شود. همچنین می‌توان منحنی‌های مربوط به شار نشتی را هم ثبت کرد و اطلاعات مربوط به صداها و نویزهای ترانسفورماتور جریان بین تانک و زمین هم در کنترل و تشخیص عیوب ترانسفورماتور مفید می‌باشند.

ج- بعد از هر آزمون، منحنی‌های بدست آمده در طول تست و رله‌گازی باید بازرسی و کنترل شوند و اگر لازم باشد راکتانس اتصال کوتاه هم بعد از هر قسمت اندازه گرفته شود.

هر اختلافی بین نتایج اندازه گرفته شده قبل و بعد از آزمونها می‌تواند محکی برای تعیین عیبهای ممکن باشد. تغییرات راکتانس اندازه گرفته شده بعد از هر آزمون، در طی آزمونهای متوالی، که ممکن است بطور مدام ادامه داشته باشد یا به مقدار پایداری برسد از پارامترهای مهم تشخیص عیب در ترانسفورماتور است.

بعد از کامل شدن تستها، ترانسفورماتور و رله گازی باید بازرسی و کنترل شوند. نتایج راکتانس اتصال کوتاه که در طول آزمونهای مختلف اندازه گرفته شده و منحنی‌ها ثبت شده باید مقایسه شوند. در این مرحله، با موافقت سازنده و خریدار می‌توان تمامی یا قسمتی از آزمونهای جاری را انجام داد (تستهای عایقی با ولتاژ فرکانس قدرت با ۷۵٪ ولتاژ اولیه باید انجام می‌شود). سپس تانک ترانسفورماتور جدا شده و هسته و سیم‌پیچها بازرسی و کنترل می‌شوند.

اگر نتایج آزمونها، اندازه‌گیریها و بازرسیها هیچ عیبی را مشخص نکرد تانک ترانسفورماتور دوباره در جای خود قرار می‌گیرد و آزمونهای نوعی انجام می‌گیرد. آزمونهای عایقی با ولتاژ فرکانس قدرت، با ولتاژی برابر ۷۵٪ مقدار اولیه انجام می‌شود. (مگر آنکه مقداری بالاتری توافق شده باشد) آزمونهای ضربه هم در صورت توافق سازنده و خریدار تکرار می‌شوند.

اگر در نتایج آزمونها و مشاهده و بازرسی ترانسفورماتور ایراد و شکی پیدا شد و نتایج با هم سازگار نبودند برای بررسی کامل‌تر، ترانسفوماتور باید بطور کامل پیاده شود. برای ترانسفورماتورهای با قدرت حداکثر ۳۱۵۰ کیلوولت آمپر، اگر راکتانس آزمایش با راکتانس اولیه بیش از ۲٪ اختلاف داشت،پیاده کردن ترانسفورماتور الزامی است.

۳-۸-۶- ارزیابی نتایج آزمونهای اتصال کوتاه

اگر مقادیر اندازه‌گیری شده و بازرسی و کنترلهای ترانسفورماتور (در حالت بدون تانک یا پیاده شده)، هیچ عیب آشکاری از قبیل جابجایی و انحراف در سیم‌پیچها، اتصالات و قسمتهای نگهدارنده و یا تخلیه جزیی نشان نداد، باید ترانسفورماتور را مقاوم در برابر آزمونهای اتصال کوتاه دانست.

۳-۹- تعیین میزان صدا ترانسفورماتور (آزمون خاص)

۳-۹-۱- تجهیزات لازم

برای اندازه‌گیری میزان صدا، باید از تجهیزات اندازه‌گیری صدای نوع یک، که در IEC 60651 معرفی شده‌اند استفاده شود.

بلافاصله قبل و بعد از اندازه‌گیری صدا تجهیزات باید توسط یک منبع نویز کالیبره تست شوند. تنظیم تجهیزات باید مطابق استاندارد ISO3746 باشد.

۳-۹-۲- شرایط اندازه‌گیری

۳-۹-۲-۱- شرایط محیطی آزمون

محیط آزمون باید عاری از هرگونه وسایل منعکس کننده به غیر از دیوارها باشد.

۳-۹-۲-۲- شرایط کاری ترانسفورماتور

برای اندازه‌گیری میزان صدای ترانسفورماتورهای با یا بدون تجهیزات خنک‌کننده کمکی ترانسفورماتور باید بدون بار باشد که با یک منبع ولتاژ سینوسی (با ولتاژ و فرکانس نامی) تحریک شده است و اگر تپ چنجر وجود دارد، باید در تپ اصلی تنظیم شود.

اگر منبع ولتاژ بطور ناگهانی به ترانسفورماتور اعمال گردد، اندازه‌گیریها باید با چند دقیقه تاخیر صورت بگیرد.

۳-۹-۲-۳- مقادیری که باید اندازه‌گیری شوند

سطح صدای ترانسفورماتور و منابع نویز محیطی باید هر دو اندازه گرفته شوند. برای حذف خطاهای ناشی از اثرات اغتشاش تجهیزات اندازه‌گیری آنها باید دارای سرعت پاسخ‌دهی بالا باشند.

۳-۹-۳- روشهای اندازه‌گیری

۳-۹-۳-۱- اندازه‌گیری نویز محیط

میزان سطح نویز محیط آزمون باید بلافاصله قبل و بعد از اندازه‌گیری میزان صدای ترانسفورماتور، اندازه گرفته شود. اگر اختلاف سطح نویز محیط از سطح صدای ترکیب ترانسفورماتور و محیط، بیشتر از ۱۰dB (دسی‌بل) باشد، اندازه‌گیری نویز محیط در یک موقعیت کافی است و لازم نیست که سطح صدای اندازه‌گیری شده مربوط به ترانسفورماتور تصحیح شود. اما، اگر اختلاف سطح نویز محیط با سطح صدای ترانسفورماتور کمتر از ۱۰ دسی‌بل و بیشتر از ۳ دسی‌بل باشد، طبق جدول (۳-۳)، باید در سطح صدای ترانسفورماتور تغییرات صورت بگیرد. در چنین مواردی، سطح نویز باید در هر موقعیت که صدای ترانسفورماتور اندازه گرفته می‌شود، مشخص گردد. اگر تعداد کل اندازه‌گیریها از ده عدد بالاتر رود، کافی است که صدای محیط فقط در ۱۰ نقطه اطراف ترانسفورماتور اندازه‌گیری شود.

اما اگر این اختلاف کمتر از ۳ دسی‌بل باشد، آزمون معتبر نیست مگر آنکه سطح ترکیب صداهای محیط و ترانسفورماتور از مقدار ضمانت شده کمتر باشد. در چنین مواردی صدای ترکیبی منهای سه را می‌توان بعنوان بالاترین سطح صدا در چنین شرایطی فرض کرد.

ارتفاع محل نصب میکروفنها برای اندازه‌گیری نویز محیط باید برابر ارتفاع میکروفنهایی که برای اندازه‌گیری صدای ترانسفورماتور استفاده می‌شوند، باشد.

۳-۹-۳-۲- اندازه‌گیری صدای ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهایی که دارای سیستم خنک‌کنندگی هوا اجباری نیستند یا سیستم خنک‌کنندگی هوا اجباری آنها در فاصله بیشتر از سه متری از سطح انعکاس اصلی تانک قرار گرفته است و ترانسفورماتورهای خشک محفظه‌دار و ترانسفورماتورهای خشک با خنک‌کننده اجباری هوا که در محفظه قرار دارد، دارای یک روش یکسان به شرح زیر برای اندازه‌گیری سطح صدا هستند:

سطح انعکاس اصلی ترانسفورماتور، از تصویر بالای ترانسفورماتور (اگر بطور عمودی از بالای تانک نگاه کنیم) بدست می‌آید. این سطح اطراف ترانسفورماتور را بطور کامل در بر می‌گیرد. سطح انعکاس اصلی شامل تجهیزات خنک کننده متصل به تانک، تجهیزات کمکی مانند جعبه‌های کابل، تپ چنجر و غیره و تاسیسات کمکی خنک‌کننده‌های اجباری هوا می‌باشد.

فاصله محیط مقرر شده برای نصب میکروفنها باید ۳۰ سانتیمتر از سطح انعکاس اصلی فاصله داشته باشد اگر ارتفاع تانک ترانسفورماتور کمتر از ۲/۵ متر باشد، محل نصب میکروفنها باید در نیمه ارتفاع تانک باشد. اما اگر ارتفاع تانک بیش از ۲/۵ متر یا برابر آن باشد. محل نصبها در دو نقطه $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ تانک باید باشد.

در طول آزمون باید پیچهای روغن بسته باشد. فاصله بین تجهیزات اندازه‌گیری کننده باید حداکثر ۱ متر باشد و حداقل تعداد تجهیزات هم نباید از ۶ عدد کمتر شود.

۳-۹-۴- مقادیر اصلاح شده برای نویز محیط

بعد از اندازه‌گیری سطح صدا ترانسفورماتور مطابق بند ۳-۹-۳ باید این مقادیر با توجه به میزان نویز محیط که روش اندازه‌گیری آن در بند ۳-۹-۳-۱ توضیح داده شد باید تصحیح شوند. مقادیر تصحیح در جدول (۳-۳) آمده است.

جدول (۳-۳): مقادیر برای جبران اثر نویز محیط روی سطح صدای ترانسفورماتور

اختلاف بین سطح صدای ترانسفورماتور در حال کار و سطح نویز محیط به تنهایی (dB)	مقدار تصحیح که باید از سطح صدای ترانسفورماتور در حال کار کم شود. (dB)
۳	۳
۴-۵	۲
۶-۸	۱
۹-۱۰	۰/۵

بخش چهارم
آئین‌کار و روشهای اجرایی

لیست گزارشات

فهرست مطالب

۱-کلیات ۱
۲-شرایط حمل و نقل و انبارداری ۱
۳-تخلیه و استقرار ترانسفورماتور ۲
۴-نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای روغنی ۳
۴-۱-بازرسی داخلی ۳
۴-۲-روغن زدن ترانسفورماتور ۳
۴-۳-خشک کردن ترانسفورماتور ۵
۴-۴-نصب قطعات و اجزا ترانسفورماتور ۶
۴-۵-نصب سیم و کابل حفاظت ترانسفورماتور ۷
۴-۶-آزمون ترانسفورماتور ۷
۴-۷-راه‌اندازی ترانسفورماتور ۸
۵-نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای خشک ۸
۵-۱-بازرسی داخلی ۸
۵-۲-کنترل و بازرسی ترانسفورماتور پیش از برق‌دار کردن ۹
۵-۳-آزمونها ۹
۵-۳-۱-آزمون مقاومت عایقی ۱۰
۵-۳-۲-آزمون ولتاژ ۱۱
۵-۴-خشک کردن ترانسفورماتورهای خشک ۱۲
۵-۵-راه‌اندازی ۱۳
۶-شرایط محیطی و مکانی نصب ترانسفورماتور ۱۳
۶-۱-محل نصب ترانسفورماتورهای توزیع ۱۳
۶-۲-روشهای نصب ۱۳
۶-۳-مکان نصب ۱۴

۶-۳-۱-نصب در محیط بسته ۱۴
۶-۳-۲-نصب در محیط باز ۱۴
۶-۴-شرایط محیطی نصب ۱۴
۶-۵-مشخصات اطاق ترانسفورماتور ۱۵
۷-تعمیر و نگهداری ۱۶
۷-۱-کلیات ۱۶
۷-۲-ترانسفورماتورهای روغنی ۱۷
۷-۲-۱-شرایط تعمیر و نگهداری ۱۷
۷-۲-۲-نمونه‌گیری و آزمایش روغن ۱۸
۷-۲-۳-رنگ بدنه ترانسفورماتور ۱۹
۷-۳-ترانسفورماتور خشک ۱۹
۸-بهره‌برداری از ترانسفورماتور ۲۰
۸-۱-تعیین ظرفیت ترانسفورماتور ۲۰
۸-۲-بارگذاری ۲۰

فهرست جداول

جدول (۴-۱): حداقل مقاومت عایقی مطلوب برای ترانسفورماتورهای خشک ۱۱

فهرست مطالب

۱-کلیات

در این فصل نکات کلی و روشهای عمومی بسته‌بندی، انبارداری، بارگیری، حمل و نقل، بارانداز، نصب راه‌اندازی، بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات ترانسفورماتورهای توزیع روغنی و خشک مورد بحث قرار می‌گیرد.

به هنگام حمل، تخلیه، نصب آزمایش و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای باید آیین‌نامه‌ها و دستورالعمهای وزارت نیرو و شرکتهای برق منطقه‌ای و کلیه روشها و دستورالعمل‌های خاص سازندگان مورد مطالعه قرار گرفته و بموازات این استاندارد به اجرا درآید.

سازنده باید قبل از تحویل دادن ترانسفورماتور به خریدار، دستورالعملهای لازم در مورد نحوه انبار کردن و حمل و نقل ترانسفورماتور به خریدار اعلام کند و دستورالعملهای مربوط به نصب، بهره‌برداری و نگهداری را در موقع تحویل ترانسفورماتور به خریدار تحویل دهد.

فهرست مطالب

۲-شرایط حمل و نقل و انبارداری

در موقع حمل ترانسفورماتور باید به دستورالعملهای سازنده توجه کافی شود. اگر شرایط کار در حین حمل و ذخیره کردن ترانسفورماتور از نظر دما و رطوبت مطابق دستورات سازنده نباشد، باید قبل از حمل و ذخیره، توافق مخصوصی بین خریدار و سازنده انجام شود. باید در حین حمل و ذخیره ترانسفورماتور دقت کافی مبذول شود تا حفاظت عایقی ترانسفورماتور آسیب نبیند. ممکن است در هنگام حمل یا ذخیره کردن، شرایط آب و هوایی مانند بارش برف و باران، رطوبت و غیره روی عایق‌بندی ترانسفورماتور اثر بگذارد. همچنین باید به مساله لرزش در موقع حمل توجه کافی شود. در موقع حمل باید دقت شود که امتداد اصلی آن همواره در حالت قایم باشد.

در صورت انبار کردن ترانسفورماتورها، باید محل نگهداری گرم و خشک باشد و از ورود گرد و غبار به آن محل جلوگیری شود. اگر محل نگهداری دارای این شرایط نیست باید ترانسفورماتور توسط پوششی برای جلوگیری از ورود آب، رطوبت و گرد و غبار پوشانده شود. این شرایط برای ترانسفورماتورهایی که بطور کامل آب بندی شده‌اند (مانند ترانسفورماتورهای خشک آب بندی شده) لازم نیست که رعایت شود. در موقع انبار کردن ترانسفورماتور باید از اجزاء خاص ترانسفورماتور مانند بوشینگها، دریچه ها و غیره حفاظت خاصی صورت بگیرد تا آسیب نبینند.

فهرست مطالب

۳-تخلیه و استقرار ترانسفورماتور

بهنگام ورود ترانسفورماتور به محل و قبل از تخلیه آن باید بازرسی کامل از بدنه آن بعمل آید و در صورت مشاهده نشانه آسیب دیدگی در اثر حمل، بازرس حمل و نقل احضار گردیده و کارخانه سازنده نیز باید در جریان قرار بگیرد. اگر آسیب‌دیدگی ترانسفورماتور جدی است بازرسی داخلی ترانسفورماتور ضروری است. این بازرسی در صورت امکان می‌تواند روی وسیله نقلیه انجام شود، در غیر این‌صورت بعد از تخلیه ترانسفورماتور و استقرار آن، این بازرسی باید صورت بگیرد.

برای تخلیه ترانسفورماتور از روی تریلر یا هر وسیله نقلیه دیگر مناسبترین روش استفاده از جرثقیل است. نکته مهم در موقع تخلیه ترانسفورماتور، جابجایی آن بصورت عمودی است، مگر آنکه سازنده اجازه جابجایی بصورت دیگری هم داده باشد. در موقع جابجا کردن ترانسفورماتور با جرثقیل باید دقت شود که زاویه کابلهایی که ترانسفورماتور را بلند می‌کنند با امتداد قایم حداکثر ۳۰° باشد. در این حالت باید ترانسفورماتور با تریلر یا وسیله حامل آن زیر بازوی جرثقیل قرار گرفته و بعد از بازشدن بندها و مهارها به آرامی از جا بلند شود و به محل مورد نظر منتقل گردد.

در جایی که وسیل نقلیه بتواند در سطح همتراز با سکوی تخلیه قرار گیرد استفاده از سیم و قرقره برای جابجا کردن آن مناسب خواهد بود. در این حالت می‌توان با چیدن الوار چوبی سطح محل تخلیه ترانسفورماتور را بصورت همتراز با محل استقرار آن در آورد و آنگاه با قرار دادن ریل یا صفحات آهنین ترانسفورماتور را بکمک سیم و قرقره به محل مورد نظر منتقل نمود.

در صورت که جابجایی ترانسفورماتور توسط جرثقیل یا به کمک ریل امکان‌پذیر نباشد، می‌توان با در نظر گرفتن قابلیت شاسی و طراحی بدنه، آن را روی صفحه شیب‌دار لغزاند یا با قراردادن لوله‌های فولادی غلطان در زیر شاسی به حرکت درآورد. جابجایی ترانسفورماتور در هر یک از مراحل بارگیری و تخلیه تا استقرار نهایی آن روی سکوی مربوطه می‌باید به آرامی و بدون وارد آوردن ضربه و شتاب زیاد انجام گیرد. همچنین دهانه کانالها و دریچه‌های کف در مسیر جابجایی ترانسفوماتور باید با صفحات فولادی ضخیم بطور موقت پوشانده شود.

باید توجه داشت که حلقه قلاب تعبیه شده در بالای ترانسفورماتور، عموماً به منظور بلند کردن کامل ترانسفورماتور به صورت قایم طراحی شده است و برای کشیدن ترانسفورماتور به کمک سیم و قرقره باید از حلقه‌های مخصوصی که در قسمت شاسی و پایه آن تعبیه شده است استفاده نمود.

فهرست مطالب

۴-نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای روغنی

۴-۱- بازرسی داخلی

بعد از بازدید بیرونی ترانسفورماتور که قبل از تخلیه آن صورت می‌پذیرد، باید یک بازرسی دقیق از داخل ترانسفورماتور هم بعمل بیاید. اگر در بازدید و بازرسی خارجی ترانسفورماتور عیبی پیدا شد و یا مورد مشکوکی بنظر رسید می‌توان بازرسی داخلی قبل از تخلیه (در صورت امکان) انجام داد، در غیر این صورت بعد از استقرار آن، باید بازرسی داخلی انجام شود.

۴-۲- روغن زدن ترانسفورماتور

در مواردی خاص منبع انبساط و قسمتی از روغن ترانسفورماتور بصورت جداگانه به محل حمل می‌گردد. در این صورت فضای خالی تانک با گازی خشک مانند ازت تحت فشار پر می شود تا از ورود رطوبت به تانک جلوگیری گردد. پس از پر شدن تانک با گاز ازت، در پوششهای آن آب‌بندی می‌شود. در موقع تحویل ترانسفورماتور، باید فشار گاز داخل تانک کنترل شود. اگر فشار گاز داخل تانک بالاتر از صفر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که آب‌بندی تانک موثر واقع شده است و اگر فشار گاز صفر یا منفی باشد احتمال ورود رطوبت به تانک وجود دارد و باید سازنده در جریان قرار بگیرد.

یادآوری: اگر ترانسفورماتور با تانک پر از روغن حمل شود، احتیاج به این کنترل وجود ندارد. لازم به ذکر است که اغلب ترانسفورماتورهای توزیع در حالیکه کاملاً مونتاژ شده‌اند و تانک پر از روغن است، حمل می‌گردند و به مشتری تحویل داده می‌شوند.

جذب رطوبت توسط عایقها و روغن ترانسفورماتور، موجب افت استقامت عایقی آنها شده و احتمال خطا را در ترانسفورماتورها افزایش می‌دهد. بهمین دلیل برای پر کردن تانک ترانسفورماتور از روغن شرایط آب و هوایی باید بگونه‌ای باشد که امکان ورود رطوبت به ترانسفورماتور حداقل باشد. بطور کلی برای حفظ استقامت عایقی باید کلیه پیش‌بینی‌های لازم در کارگاه نصب بعمل آید تا از نفوذ هرگونه رطوبت و هوای غبارآلود به سطح روغن یا حباب هوا به داخل تانک ترانسفورماتور یا منبع انبساط روغن جلوگیری گردد. در صورتیکه منبع انبساط روغن در محل نصب گردیده یا ارتفاع سطح روغن برروی درجه روغن نما با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت محیط، پایین‌تر از حد تعیین شده باشد، می‌باید مقداری روغن عایق به منبع انبساط اضافه شود. در اینحالت چنانچه روغن عایق کارخانه سازنده در

ظروف دربسته و مطمئنی در کارگاه موجود باشد، می‌توان آن را با اطمینان مورد استفاده قرار داد. ولی اگر روغن داخل بشکه مورد اطمینان نباشد باید قبل از استفاده از نظر استقامت عایقی آزمایش گردد (حداقل ولتاژ شکست برای روغن باید ۳۰ kV باشد). همچنین اگر وجود آب در روغن ثابت گردید باید قبل از استفاده از فیلتر گذرانده شود تا استقامت عایقی آن به حد مطلوب برسد.

به هنگام اضافه کردن روغن ترانسفورماتور باید توجه داشت که اختلاف درجه حرارت بین روغن تازه و روغن موجود در ترانسفورماتور از ۵ درجه سانتیگراد تجاوز نکند.

چنانچه سطح روغن ترانسفورماتور پایین‌تر از درپوش آن باشد باید روغن به آرامی از دریچه بالای تانک بداخل آن ریخته شود و سپس این دریچه بخوبی مسدود و آب‌بندی گردد. سپس باقی روغن از دریچه مخزن انبساط ریخته شود تا از جمع شدن هوا در زیر درپوش جلوگیری بعمل آید. در این هنگام باید مجاری هواگیری بوشینگها باز باشد تا هوای موجود آنها تخلیه گردد. سپس همینکه روغن از این مجاری سرریز نمود پیچ‌های مربوطه باید محکم و آب‌بندی شوند. جزییات مربوط به هواگیری بوشینگها و مجاری آن می‌باید براساس دستورالعملهای سازنده انجام شود.

بهنگام هواگیری ترانسفورماتور می‌باید دریچه بالایی رله بوخهلتز نیز بطور متناوب باز و بسته شود تا جریان روغن آن دیده شود. همچنین بمنظور اطمینان از کارکرد درست رله بوخهلتز می‌باید ترانسفورماتور را موقع نصب با قرار دادن قطعات آهن در زیر چرخ از طرف منبع انبساط روغن آن کمی بالاتر آورد تا بقایای هوای موجود و حبابهای گازی که ممکن است در آن جمع شده باشد بطرف رله بوخهلتز و منبع انبساط رانده شود.

در عملیات روغن‌زنی باید توجه داشت که روغن مورد استفاده ترانسفورماتور باید از نظر همخوانی با کلیه نیازهای استانداردها چک شود (IEC 60296) و نیز کمبود در روغن ترانسفورماتور فقط با همان نوع روغنی که قبلاً در آن بوده است جبران گردد. در طی این عملیات باید آتش‌گیر بودن روغن ترانسفورماتور از نظر ایمنی بطور جدی مورد توجه قرار گیرد. همچنین باید دقت نمود که لوله‌ها، پمپها و ظروف مورد استفاده در عملیات روغن‌زنی باید قبل از استفاده بکمک روغن ترانسفورماتور شستشو داده شود و بدقت تمیز گردد.

۴-۳- خشک کردن ترانسفورماتور

در صورتیکه به هر دلیل سطح روغن ترانسفورماتور برای مدتی پایین‌تر از سطح هسته و سیم‌پیچی داخل ترانسفورماتور قرار گیرد. همچنین در صورتی که روغن موجود در ترانسفورماتور یا روغنی که بدان افزوده می‌شود مشکوک باشد، در اینصورت احتمال جذب رطوبت توسط مواد عایق و در نتیجه پایین آمدن استقامت الکتریکی آنها وجود دارد. در چنین حالتی اگر ولتاژ استقامت الکتریکی روغن کمتر از ۳۰ کیلوولت باشد لازم است که عملیات خشک‌گردانی عایق و روغن داخل ترانسفورماتور در محل انجام گیرد.

خشک کردن ترانسفورماتور به روشهای مختلفی امکان‌پذیر است، از جمله با استفاده از دستگاههای تصفیه روغن و خشک کردن تحت خلاء که مورد استفاده آن بیشتر در ترانسفورماتورهای بزرگ است و روش وقت گیری است و کاربرد آن در ترانسفورماتورهای توزیع در صورت لزوم، می‌باید براساس دستورالعملهای سازنده انجام گیرد.

ساده ترین روش متداول برای خشک کردن ترانسفورماتورها، بخصوص ترانسفورماتورهای توزیع، روش اتصال کوتاه و استفاده از گرمای حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌پیچ ترانسفورماتور است.

در این روش می‌باید ابتدا جدار مخزن ترانسفورماتور را در حد امکان با پوششهای عایق گرما پوشاند تا افزایش درجه حرارت آن سریعتر انجام گیرد. سپس با اتصال کوتاه کردن سیم پیچ فشار ضعیف و اعمال ولتاژی برابر با حاصلضرب امپدانس اتصال کوتاه سیم‌پیچ در ولتاژ نامی آن (با تلرانس ۱۰ ± درصد)، در طرف فشارقوی ترانسفورماتور، جریانی معادل جریان نامی در سیم‌پیچ ثانویه آن برقرار می‌شود. بعنوان مثال، اگر امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور ۶٪ باشد، ولتاژ اتصال کوتاه در سطح ۲۰ کیلوولت برابر ۲۰۰ ولت خواهد بود.

قبل از شروع عمل خشک کردن باید سطح روغن مخزن انبساط در جای مناسب خود باشد. پس از اعمال ولتاژ اتصال کوتاه می‌باید درجه حرارت روغن کم‌کم به ۹۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد برسد. درجه حرارت ترانسفورماتور باید به مدت ۳ الی ۴ ساعت در این حد باقی بماند تا رطوبت موجود در روغن و مواد عایق آن بتدریج به منبع انبساط که درجه حرارت آن کمتر است منتقل گردد. پس از این مدت باید روغن موجود در منبع انبساط تعویض شود و داخل آن با روغن گرم شستشو داد و سپس به روشی که قبلاً شرح داده شد آن را از روغن تازه پرنمود.

در موقع اتصال کوتاه باید دقت شود که دمای سیم‌پیچ و روغن از حد مجاز فراتر نرود. برای این منظور باید مقاومت سیم‌پیچ و دمای روغن در طول عمل خشک کردن، بطور مکرر اندازه‌گیری شود.

با توجه به آتش‌گیر بودن روغن ترانسفورماتور، در طی این عملیات نباید نکات ایمنی را از نظر دور داشت.

۴-۴- نصب قطعات و اجزا ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهای توزیع، بخصوص در ظرفیتهای کوچک و متوسط مورد نظر این استاندارد، عموماً بصورت کامل در کارخانه مونتاژ گردیده به هنگام حمل به محل آماده بهره‌برداری می‌باشند. لیکن در موارد خاص برخی از قسمتهای آن مانند بوشینگها، منبع انبساط روغن، رله بوخهلتز و غیره بطور جداگانه حمل گردیده و در محل مونتاژ می‌گردند. نصب این قطعات در محل می‌باید با نظارت نماینده فنی سازنده و یا طبق دستورالعمل دقیق سازنده انجام گیرد. نصب این قطعات بجز منبع انبساط روغن باید پس از روغن زدن ترانسفورماتور انجام گیرد.

قبل از نصب دستگاه تنفس و رطوبت‌گیر روی منبع انبساط روغن، می‌باید از نظر انتقال هوا بخوبی کنترل گردد. بدین ترتیب که از طریق ورودی مخصوص پرکردن روغن واقع برروی منبع انبساط روغن مقداری هوا بداخل آن دمیده می‌شود. در این حالت چنانچه در قسمت تحتانی دستگاه رطوبت‌گیر که مملو از روغن است حبابهای هوا ظاهر گردد، این امر نشانه صحت مجاری تنفس خواهد بود.

وقتی‌که سطح روغن به ارتفاع ۳۰ تا ۴۰ میلیمتری بالای خط نشان روی درجه روغن منبع انبساط رسید کار روغن‌زنی انجام یافته و می‌توان نصب باقی اجزا ترانسفورماتور را انجام داد. در این هنگام باید حداقل دو چرخ متقابل و در صورت امکان هر چهار چرخ ترانسفورماتور را در جای خود محکم نمود تا دستگاه از جایش تکان نخورد.

باید توجه داشت که تمام قطعاتی که در کارگاه روی ترانسفورماتور نصب می‌گردند باید کاملاً تمیز و زنگ نزده باشند. در صورت مشاهده هر نوع زنگ‌زدگی یا آلودگی این تجهیزات باید آنها را قبل از نصب بدقت تمیز نمود و با روغن شستشو داد.

۴-۵- نصب سیم و کابل حفاظت ترانسفورماتور

بعد از روغن‌زنی و استقرار ترانسفورماتور می‌باید اتصال کابلهای حفاظت آن بین رله بوخهلتز و ترمومتر و سایر حفاظتها با سویچگیر فشار متوسط و دیژنکتور مربوطه تکمیل گردد. در صورتیکه بجای کابل از سیم روپوش‌دار استفاده می‌شود عبور سیمها از داخل لوله فلزی باید انجام گیرد و سطح مقطع آنها حداقل ۱/۵ میلیمتر مربع باشد. اصول کابل‌کشی فشار متوسط و فشار ضعیف در استاندارد مربوطه، تشریح گردیده است.

۴-۶- آزمون ترانسفورماتور

بعد ازآنکه نصب و استقرار ترانسفورماتور و اتصال کلیه ملحقات و بازرسی روغن آن بشرحی که گذشت انجام شد، برای اطمینان از آمادگی کامل آن برای راه‌اندازی می‌باید آزمونهایی بشرح زیر روی آن انجام بگیرد. آزمونهایی که با علامت * مشخص شده‌اند، در صورتیکه برگه آزمایش جاری کارخانه‌ای ترانسفورماتور موجود باشد ضروری نخواهد بود. لیکن بسته به وسایل و امکانات و با توجه به اهمیت پست و ترانسفورماتور آن، انجام این آزمونها که در عین حال می‌توانند سابقه‌ای برای تعمیر و نگهداری و آزمونهای آینده به شمار آیند بعد از نصب ترانسفورماتور در محل توصیه می‌گردد:

۱- اندازه‌گیری مقاومت عایقی سیم پیچها نسبت به یکدیگر و نسبت به زمین

* ۲- اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانسفورماتور روی تپهای مختلف و مقایسه آن با مقادیر پلاک مشخصه

* ۳- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچها بکمک پل الکتریکی و مقایسه آن با نتایج آزمونهای کارخانه

۴- کنترل مسیرهای گردش روغن

۵- کنترل استقامت عایقی روغن

۶- کنترل عملکرد تجهیزات کمکی ترانسفورماتور (در صورت موجود بودن) مانند پمپهای روغن، فن‌ها و غیره، مطابق دستورالعمل سازنده

۷- کنترل تجهیزات حفاظتی مانند رله بوخهلتز برای داشتن عملکرد صحیح

نکته: برای آزمایش روغن باید نمونه‌برداری آن با دقت و طبق دستورالعمل سازنده انجام گیرد. برای اینکار لازم است که روغن ازشیر مخصوص پایین ترانسفورماتور بمیزان ۲ الی ۴ لیتر در یک ظرف دردار شیشه‌ای ریخته شود. این ظرف باید کاملاً تمیز بوده و قبلاً با روغن ترانسفورماتور شستشو داده

شـود. بـه هـنگام برداشـت روغـن باید دقت نمود که روغن از کنار ظرف بداخل آن ریخته شود و هیچ گونه حبابی در آن بوجود نیاید. این ظرف که تا بالای آن از روغن لبریز شده بعد از مسدود شدن درب آن می‌باید به محل مورد نظر جهت آزمایش منتقل گردد.

۴-۷- راه‌اندازی ترانسفورماتور

پـس از آنکـه نصـب ترانسفورماتور به پایان رسید و کلیه آزمونهای آن انجام گرفت،ترانسفورماتور آماده راه‌اندازی و بهره‌برداری خواهد بود.

قـبل از اعمـال ولـتاژ بـه ترانسـفورماتور لازمسـت کـه شـیر یـا مجـرای بیـن محفظـه روغـن و تـانک ترانسفورماتور مجدداً بازرسی شود تا از باز بودن کامل آن اطمینان حاصل شود.

بـا توجـه بـه اینکه ترانسفورماتورهای توزیع عموماً بصورت غیر موازی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، ولـتاژ فشـار متوسـط بـه ترمیـنال اولـیه آنها می‌تواند با بستن دیژنکتور فشار متوسط بطور کامل و یکباره اعمـال گـردد. بـه هـنگام اعمـال ولتاژ به ترانسفورماتور می‌باید صدای وزوز آرام و یکنواختی بدون سوت کشیدن یا صدای ناهنجار از آن شنیده شود.

بعـد از آنکـه ترانسفورماتور با ولتاژ مورد نظر آزمایش و راه‌اندازی شد، می‌باید برق آن برای مدتی قطع شـود تـا اتصـالات و اسـتحکامات آن مورد بازرسی مجدد قرار گیرد. بعد از آن نیز برق ورودی آن چند بار بطـور متناوب قطع و وصل گردد تا اطمینان لازم از صحت تنظیم رله‌ها در مقابل جریان رانش مغناطیس کننده حاصل گردد.

اگـر ترانسفورماتور به تپ چنجر مجهز است باید آن را در وضعیت تپ اصلی قرار داد. همچنین قبل از بـرق‌دار کـردن ترانسـفورماتور بـدون بـار بـاید توجـه داشت که ترمینال ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه نباشد.

فهرست مطالب

۵- نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای خشک

۵-۱- بازرسی داخلی

بعـد از کنـترل و بازرسی ظاهر ترانسفورماتور، در صورتیکه عیب و ایراد درآن پیدا شد، توصیه می‌شود کـه یـک کنترل از اجزا داخل ترانسفورماتور هم بعمل آید. در این بازرسی باید احتمال شکستن اتصالات،

آسیب دیدن یا جابجایی بعضی از قسمتهای داخلی، ورود گرد و غبار یا اشیا خارجی، شکستن مقره‌ها و یا ورود آب به داخل ترانسفورماتور مد نظر باشد.

برای ترانسفورماتورهای خشک با محفظه تهویه‌دار (جریان هوا سیم‌پیچ و هسته را خنک می‌کند)، بازرسی داخلی براحتی در یک مکان تمیز و خشک قابل انجام است. اما برای ترانسفورماتورهای خشک آب‌بندی شده، بازرسی داخلی با توافق بین خریدار و سازنده در محل کارخانه یا هر محل دیگری انجام می‌شود. قبل از برداشتن درپوش تانک در این نوع ترانسفورماتورها باید گاز عایق طبق دستورالعملهای سازنده خارج شود.

در صورت مشاهده هر گونه عیبی در ترانسفورماتور، مراتب باید به اطلاع سازنده رسانده شود.

۵-۲-کنترل و بازرسی ترانسفورماتور پیش از برق‌دار کردن

اگر ترانسفورماتور پیش از نصب در انبار نگهداری شود در موقع نصب باید دوبار بازرسی و کنترل شود. قبل از بهره‌برداری از ترانسفورماتور باید عملکرد فن‌ها، موتورها، رله و دیگر تجهیزات کمکی کنترل شود. همچنین باید از محکم بودن اتصالات الکتریکی مطمئن شد.

برای ترانسفورماتور خشک آب‌بندی شده، قبل از بهره‌برداری، باید فشار داخل تانک کنترل شود و اگر از مقدار داده شده توسط سازنده کمتر بود باید محل نشت کنترل شود و تعمیر گردد و طبق دستورالعمل سازنده فشار تانک به میزان مناسب افزایش داده شود.

۵-۳- آزمونها

آزمونهای پیش از سرویس، بعد از نصب ترانسفورماتور جدید و قبل از برق‌دار کردن آن انجام می‌شود و اطلاعات بدست آمده برای مقایسه‌های بعدی ثبت می‌شود. اما آزمونهای دوره‌ای، در موقع تعمیر و نگهداری انجام می‌شوند و برای مواقعی است که یک ترانسفورماتور خشک برای مدتی بی‌برق بوده و یا دست تعمیر بوده است.

اگر احتمال آن می‌رود که عایق یک ترانسفورماتور خیس باشد باید قبل از انجام آزمونها،ترانسفورماتور خشک گردد. برای جزییات خشک کردن ترانسفورماتور به بند (۵) مراجعه شود.

الف- آزمونها پیش از سرویس

- انجام این آزمونها پیش از برق‌دار کردن یک ترانسفورماتور خشک توصیه می‌گردد:

۱- آزمون استقامت عایقی

۲- آزمون ولتاژ

۳- بدست آوردن نسبت سیم‌پیچها در تپ‌های مختلف

- آزمونهای زیر در صورت نیاز انجام می‌شوند:

۱- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچها

۲- اندازه‌گیری تلفات بی‌باری و جریان تحریک

۳- پلاریته و زاویه فاز

۴- آزمون ولتاژ القایی

ب- آزمونهای دوره‌ای

- این آزمونهای پیش از بهره‌برداری مجدد از ترانسفورماتوری که مدتی بی‌برق بوده است توصیه می‌گردد:

۱- آزمون مقاومت عایقی

۲- آزمون ولتاژ

- این آزمونها برای ترانسفورماتوری که تعمیر شده است، اگر لازم باشد، توصیه می‌گردد:

۱- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچها

۲- اندازه‌گیری نسبت ولتاژها

۳- اندازه‌گیری تلفات بی‌باری و جریان تحریک

۴- پلاریته و زاویه فاز

۵- آزمون ولتاژ القایی

اگر هیچ کدام از این آزمونها انجام نشده است،بهتراست که آزمون ولتاژ بعد از انجام بقیه تستها انجام شود.

۵-۳-۱- آزمون مقاومت عایقی

اندازه‌گیری مقاومت عایقی برای مقایسه‌های در آزمونهای بعدی و تعیین قابلیت اطمینان ترانسفورماتور برای سرویس دهی مناسب، لازم است. این آزمون باید قبل از آزمون ولتاژ انجام شود.

اندازه‌گیری مقاومت عایقی باید مطابق استاندارد ANSI/IEEE C57.12.91 انجام گیرد. در موقع آزمون باید میزان رطوبت و دما ثبت شود.

مقاومت عایقی تابعی از نوع طراحی سیم‌پیچها و نوع ماده عایقی استفاده در ترانسفورماتور خشک است. بنابراین، تعیین حداقل میزان مقاومت عایقی قابل قبول برای ترانسفورماتورهای خشک کار سختی است. به همین دلیل، توصیه می‌شود که حداقل مقاومت عایقی از دستورالعملها و توصیه‌های سازنده استخراج شود. اما اگر به هردلیلی حداقل مقاومت عایقی توصیه شده در دسترس نبود می‌توان از جدول (۴-۱)، این مقادیر را بدست آورد:

جدول (۴-۱): حداقل مقاومت عایقی مطلوب برای ترانسفورماتورهای خشک

ولتاژ سیم‌پیچ (kV)	مقاومت عایقی $(M\Omega)$
۱/۲	۶۰۰
۲/۵	۱۰۰۰
۵	۱۵۰۰
۸/۷	۲۰۰۰
۱۵	۳۰۰۰

اگر بعد از اندازه‌گیری مقاومت عایقی، مقدار آن از مقدار مطلوب کمتر بود، احتمال خیس بودن عایق وجود دارد و ترانسفورماتورباید خشک شود.

۵-۳-۲- آزمون ولتاژ

برای انجام این آزمون، باید مطابق روش استاندارد ANS1/IEEE C57.12.91 عمل شود. استفاده از هر دو ولتاژ ac و dc در انجام این آزمون قابل قبول است. این آزمون، اگر برای اولین بار و در نصب اولیه ترانسفورماتور انجام می‌شود با ۷۵ درصد ولتاژ آزمون کارخانه، و اگر بعد از انجام تعمیرات ترانسفورماتور انجام می‌شود با ۶۵ درصد ولتاژ کارخانه باید انجام بگیرد. اگر از ولتاژ dc استفاده می‌شود ولتاژ آزمون نباید از مقدار rms ولتاژ کارخانه فراتر رود.

۵-۴- خشک کردن ترانسفورماتورهای خشک

مقاومت عایقی بین سیم‌پیچها و همچنین بین سیم‌پیچها و زمین، گویای شرایط عایقی می‌باشد، خصوصاً هنگامی که از ترانسفورماتور برای مدتی بهره‌برداری نشده و در مقابل آلودگی هوا نیز قرار گرفته باشد. بعد از اندازه‌گیری مقاومت عایقی توسط وسایل مربوطه، در صورتیکه مقدار آن از میزان مطلوب و توصیه شده توسط سازنده و یا میزان داده شده در جدول (۴-۱) (در صورت نبودن توصیه سازنده) کمتر بود، در اینصورت احتمال دارد که عایق رطوبت بخود جذب نموده باشد. برای خشک کردن ترانسفورماتور می‌توان به یکی از طرق زیر عمل نمود:

۱- گرم کردن سیم‌پیچ تحت دمای حدوداً ۸۰ درجه سانتیگراد، داخل کوره و یا توسط المانهای مقاومتی، لامپ و یا رادیاتور. اگر از تشعشع بطور مستقیم استفاده می‌شود دمای سطح سیم‌پیچ نباید از ۱۰۰ درجه تجاوز نماید.

۲- گرم کردن سیم‌پیچ تحت شرایط اتصال کوتاه یکی از سیم‌پیچها ترانسفورماتور (خروجی) اتصال کوتاه می‌گردد و به سیم‌پیچ دیگر، منبع ولتاژ با فرکانس نامی سیم‌پیچ و ولتاژ برابر با حاصلضرب امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور در ولتاژ نامی سیم‌پیچ، اعمال می‌گردد. این ولتاژ باید بتواند در سیم‌پیچ اتصال کوتاه ۵۰ تا ۱۰۰ درصد جریان نامی را جاری کند. در موقع اتصال کوتاه باید نرخ افزایش دما و حداکثر مجاز دمای سیم‌پیچ کنترل شود تا از حد مطلوب و مجاز خارج نشود.

در حین خشک کردن اطاق مربوطه باید به نحو مناسب تهویه گردد و در این مدت مقاومت عایقی باید مداوم اندازه‌گیری گردد. این اندازه‌گیری باید حداکثر در بازه‌های زمانی ۲ ساعت انجام شود تا محکی برای میزان خشک شدن ترانسفورماتور بدست آید.

نکته۱: بدلیل آنکه مقاومت عایقی با تغییرات دما، نسبت عکس دارد اندازه‌گیری مقاومت عایقی باید بعد از ثابت شدن دما، انجام شود.

نکته۲: ترانسفورماتورهای خشک آب‌بندی شده،فقط در صورتیکه محفظه آنها آسیب ببیند و بشکند احتیاج به خشک کردن دارند. روش خشک برای این نوع ترانسفورماتور، به گردش درآوردن هوای گرم اطراف هسته و سیم‌پیچها است.

۵-۵- راه‌اندازی

پس از آنکه نصب ترانسفورماتور بپایان رسید و کلیه آزمونهای آن انجام گرفت ترانسفورماتور آماده راه‌اندازی و بهره‌برداری خواهد بود. بقیه مراحل راه‌اندازی همانند شرایط مربوط به ترانسفورماتورهای روغنی است (بند ۴-۷).

فهرست مطالب

۶- شرایط محیطی و مکانی نصب ترانسفورماتور

۶-۱- محل نصب ترانسفورماتورهای توزیع

ترانسفورماتورهای توزیع را می‌باید حتی‌المکان در نزدیک‌ترین محل به مرکز بار نصب کرد تا از تلفات انتقال کاسته شود و افت ولتاژ نیز به حداقل برسد. بنابراین باید سعی شود که سیم‌های متصل به ثانویه ترانسفورماتور تا حد ممکن کوتاه باشند.

۶-۲- روشهای نصب

ترانسفورماتورهای کوچک توزیع را می‌توان بر روی تیر نصب کرد. اینگونه ترانسفورماتورها را می‌توان به تیر برق محکم بست و یا روی چهارچوبی که در ارتفاع و بین دو تیر برق درست شده قرار داد.

ترانسفورماتورهای بزرگ را روی زمین و برروی فونداسیون قرار می‌دهند. در این صورت چنانچه ترانسفورماتور در دسترس افراد غیر مسئول باشد می‌باید در اطراف آن تور کشیده شود تا از امکان نزدیک شدن افراد به دستگاه جلوگیری شود.

ترانسفورماتورهای کوچک توزیع را می‌توان مستقیماً به تیر با پیچ و مهره بست و یا به چوبی که در ارتفاع بالای تیر بصورت صلیب تعبیه شده آویزان نمود که این برای ترانسفورماتورهای با قدرت ۲۵ کیلوولت آمپر امکان‌پذیر است.

محل نصب باید عاری از جریان آب سطحی باشد و طوری در نظر گرفته شود که تشعشع خورشید کمترین اثر را برروی سیستم خنک‌کنندگی بگذراند.

۶-۳- مکان نصب

۶-۳-۱- نصب در محیط بسته

ترانسفورماتورهای روغنی که درمحیط بسته (داخلی) نصب می‌شود باید در داخل اطاق‌های کاملاً پوشیده که آنها را در مقابل باران، برف، گرد و غبار و غیره محافظت نماید قرار گیرند. ترانسفورماتورهای خشک باید در داخل اطاقهای بسته با محیط خشک و عاری از گرد و غبار نصب گردند. دسترسی به داخل اطاق باید بگونه‌ای باشد که امکان حمل و نقل، بهره‌برداری، سرویس و نگهداری و همچنین اطفاء حریق کاملاً میسر باشد.

۶-۳-۲- نصب در محیط باز

ترانسفورماتورهای روغنی چنانچه دارای مقره و رنگ مناسب باشند، می‌توان آنها را در محیط بیرون نصب کرد. ترانسفورماتورهای خشک عمدتاً برای نصب داخلی طراحی می‌شوند ولی چنانچه این نوع ترانسفورماتورها دارای حفاظ و پوششهای مناسبی برای مقابله با شرایط آب و هوایی محیط باشند، نصب آنها در محیط بیرون بلامانع است. ترانسفورماتورهای خشک که بطور کامل آب‌بندی شده‌اند برای نصب در هر محیطی که امکان نصب ترانسفورماتورهای روغنی وجود دارد، بدون اشکال است.

۶-۴- شرایط محیطی نصب

ترانسفورماتورهایی که دارای منبع انبساط و دریچه ورود هوا هستند باید به رطوبت‌گیر مجهز گردیده تا عایق‌بندی داخل در مقابل شرایط محیطی و رطوبت و اثرات شیمیایی صنایع محافظت گردند.

ترانسفورماتورهای خشک برای نصب در محیطهایی که دارای رطوبت بالا، گازهای خورنده و شیمیایی، گرد و غبار زیاد و آلودگی بالایی هستند، مناسب نمی‌باشند. بهمین دلیل اصولاً این ترانسفورماتورها برای نصب در محیطهای بسته طراحی می‌شوند.

۶-۵- مشخصات اطاق ترانسفورماتور

۱ - ابعاد اطاق

ابعاد ترانسفورماتور عامل مهمی در تعیین ابعاد اطاق نصب ترانسفورماتور است. در تعیین ابعاد اطاق باید امکان افزایش مصرف در آینده را در نظر گرفت و حتی برای مصرفهای کم، بهتر است که ابعاد برای ترانسفورماتور با قدرت ۶۳۰ کیلوولت آمپر در نظر گرفته شود. همچنین برای مصارف ۸۰۰ الی ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر پست باید براساس قدرت ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر طراحی گردد.

ترانسفورماتور باید طوری در اتاق نصب شود که فاصله آن با دیوار و دیگر تجهیزات به اندازه کافی باشد بطوریکه بتوان براحتی بازدیدها و تعمیرات دوره‌ای را انجام داد. همچنین فضای اطراف ترانسفورماتور باید طوری باشد که هوا بتواند آزادانه اطراف آن به گردش درآید. فواصل حداقل زیر با توجه به ابعاد باید رعایت گردد:

- فاصله جانبی ترانسفورماتور تا تجهیزات یا موانع دیگر معادل ۷۵ سانتیمتر. این فاصله با توجه به حداقل فضای امن برای بازرسی و عبور، براساس مقادیر توصیه شده در نظر گرفته شده است و در صورت لزوم می توان آنرا در طرف مجاور با دیوار تا ۵۰ سانتیمتر کاهش داد.
- حداقل فاصله مخزن روغن ترانسفورماتور تا سقف معادل ۱۰۰ سانتیمتر. ارتفاع اطاق ترانسفورماتور بستگی به ارتفاع ترانسفورماتور، نحوه تهویه اطاق‌ها محل کابل و اتصالات آنها و فاصله مجاز بین قسمتهای برقدار و قسمتهای فلزی که زمین شده‌اند، دارد.

۲- نحوه تهویه اطاق

گرمای ناشی از تلفات سیم‌پیچ و هسته ترانسفورماتور مهمترین عامل گرم شدن فضای اطاق پست است. بالا رفتن درجه حرارت داخل پست می‌تواند سبب اختلال در کارکرد تجهیزات الکتریکی و کاهش عمر ترانسفورماتور گردد. از این‌رو تهویه فضای پست (اطاق ترانسفورماتور) بصورت طبیعی یا مصنوعی (هواکش برقی) می‌باید بطور موثری مد نظر قرار گیرد.

در تهویه طبیعی باید دریچه‌های ورودی و خروجی هوا تعبیه گردد. دریچه ورودی هوا باید در ناحیه ترانسفورماتور و یا نزدیکترین نقطه به کف اطاق باشد بطوریکه محل نصب آن بالاتر از ارتفاع وسط ترانسفورماتور نباشد. دریچه‌های خروجی هوا حتی‌الامکان باید در بالاترین نقطه اطاق باشد و در دیوار مقابل دیوار دریچه ورودی باشد.

در صورت ضرورت نصب هواکش برقی، این هواکش می‌باید در پشت دریچه‌های خروجی هوا نصب گردد. برای تعیین جزییات سیستم تهویه پست به استاندارد مشخصات فنی و عمومی پستهای زمینی و هوایی رجوع شود.

فهرست مطالب

۷- تعمیر و نگهداری

۷-۱-کلیات

قبل از هر اقدامی باید به این نکته مهم توجه شود که تعمیر و نگهداری در صورتی مجاز است که تغذیه ترانسفورماتور قطع گردیده و ترمینالها زمین شوند. تعمیر و نگهداری ترانسفورماتور شامل سرکشی‌های منظم و طبق برنامه، بازرسی‌های دوره‌ای از کارکرد آن، انجام تعمیرات جاری و سرویس منظم، انجام آزمونهای دوره‌ای، کنترل درجه حرارت و بار آن است.

بازرسی‌های منظم و رفع نقایص ترانسفورماتورها برای بهره‌برداری بهینه از آن لازمست. این بازرسی در مورد ترانسفورماتورهای واقع در پستهای توزیع می‌باید حداقل هر شش ماه یکبار انجام گیرد.

برای پیشگیری از هر نوع حادثه‌ای، بازرسی ترانسفورماتور باید تنها توسط افراد مسئول و آزموده از یک فاصله حفاظتی و از پشت نرده و تور سیمی حریم آن انجام گیرد. ورود بازرس به داخل این حریم تنها هنگامی مجاز است که بوشینگهای ترانسفورماتور در داخل محفظه ترمینال قرار داشته و یا برق ترانسفورماتور قطع و ترمینال‌های آن زمین شده باشد.

بازرسی خارج از برنامه ترانسفورماتور، در صورت اتفاق حوادث خاصی از قبیل تغییرات سریع و زیاد درجه حرارت محیط یا قطع برق ترانسفورماتور در اثر عملکرد رله‌ها ضروری می‌باشد.

۷-۲- ترانسفورماتورهای روغنی

۷-۲-۱- شرایط تعمیر و نگهداری

نکاتی که به هنگام بازرسی پست در رابطه با ترانسفورماتور می‌باید مورد توجه بازرسین قرار بگیرد بشرح زیر می‌باشد:

۱- گذرگاه و دیدگاههای منتهی به ترانسفورماتور نباید بصورت متروک در آیند. در همین رابطه دیوارها، درها و دریچه‌های تهویه و کلیه نقاط ساختمان باید سالم بوده و سقف آن نشت نکرده باشد.

۲- تانک اصلی ترانسفورماتور باید دست نخورده و سالم بوده، آثار نشت روغن در محل اتصال در پوش‌ها و بست‌ها و شیر تخلیه وجود نداشته باشد و سطح روغن مخزن انبساط آن با در نظر گرفتن درجه حرارت محیط به اندازه کافی باشد. همچنین از سالم بودن واشرهای آب‌بندی باید اطمینان حاصل کرد.

۳- سیلیکاژ محفظه رطوبت‌گیر باید کنترل گردد و در صورت نیاز بازیابی یا تعویض شود.

۴- حوضچه روغن ترانسفورماتور یا چاله روغن و لوله‌های ارتباطی آن باید در وضعیت مناسب و خالی از مواد زاید باشد.

۵- درجه حرارت ترانسفورماتور باید از روی دماسنج مربوطه قابل خواندن باشد.

۶- بوشینگها باید سالم و دست نخورده باشند و گرد و غبار زیادی سطح آنها را نپوشانده باشد.

۷- هیچگونه آثار حرارتی ناشی از جرقه اتصال کوتاه روی کابل‌ها و شینه‌ها و در محل سربندی آنها وجود نداشته باشد.

۸- تاسیسات روشنایی، سیستم تهویه و سیستم‌های هشدار دهنده در صورت موجود بودن باید در وضعیت مطلوب باشند.

۹- سیستم زمین باید کامل و اتصالات آن درست باشد و این امر با اندازه‌گیری مقاومت زمین در نقاط مختلف اتصال باید مشخص گردد.

۱۰- تجهیزات اطفاء حریق در صورت موجود بودن باید سالم و آماده کار باشند.

۱۱- ارتباط مخزن انبساط روغن با تانک ترانسفورماتور باید برقرار باشد. این امر با خالی کردن کمی از روغن ترانسفورماتور از زیر شیر تخلیه و مشاهده کاهش سطح روغن روی درجه روغن تمامی محفظه روغن قابل مشاهده است.

۱۲- در زیر مخزن انبساط روغن رطوبت و نم جمع نشده باشد.

۱۳- سیستم گردش روغن باید خوب کار کند و ظرف رطوبت‌گیر باید در هر بازدید دوره‌ای از سیلیکاژل تازه یا باز یافته پر گردد.

۱۴- مشاهده هر گونه اشکالی در حین بازرسی باید فوراً گزارش داده شود و در صورت احتمال بروز حادثه می‌باید پست بلافاصله از مدار قطع گردد.

۱۵- ترانسفورماتور در صورت بروز یکی از وضعیتهای زیر می‌باید ازسرویس خارج شود:

الف- صداهای ناهنجار و غیر عادی از آن شنیده شود.

ب- افزایش درجه حرارت آن غیر عادی بوده و دمای آن در شرایط بار نامی و تهویه عادی صدا و بطور دائم افزایش یابد.

ج- روغن از بالای مخزن انبساط روغن سرریز نموده باشد.

د- روغن نشت کرده و سطح آن در درجه سطح سنج شیشه‌ای پایین آمده باشد.

ه- روغن تغییر رنگ داده باشد.

و- عایق چینی روی بوشینگها شکسته یا زنگ خورده باشد یا آثار تخلیه جزیی بارهای خزنده روی سطح آن مشاهده گردد یا مسیرهای تخلیه الکتریکی روی آن یافت شود.

ز- روغن حاوی کربن، رطوبت و قطعات بزرگ ضایعات مکانیکی بوده و یا حالت اسیدی آن بالا رفته و ولتاژ عایقی آن کاهش یافته باشد.

باید توجه داشت که وضعیت روغن ترانسفورماتور از اهمیت خاصی در بهره‌برداری آن برخوردار است. زیرا روغن هم عایق آن بشمار می‌رود و هم وسیله خنک کننده آن است. لذا می‌باید نمونه‌گیری و آزمایش روغن ترانسفورماتور طبق دستورالعملهای مربوطه بطور منظم و دقیق انجام گیرد.

۷-۲-۲- نمونه‌گیری و آزمایش روغن

برای نمونه‌گیری از روغن باید به نکات زیر توجه کرد:

۱- بطری نمونه‌برداری باید دهانه باز داشته باشد و درب آن از جنس چوب پنبه نباشد.

۲- بطری را باید با الکل تمیز شستشو داده و کاملاً خشک نمود.

۳- شیر نمونه‌برداری باید کاملاً خشک و تمیز باشد. قبل از نمونه‌برداری باید تقریباً ۴ لیتر روغن بداخل ظرفی تخلیه گردد.

۴- قبل از نمونه‌برداری، بطری را باید تا نیمه از روغن پر نمود و با این روغن شستشو داد.

بعد از نمونه‌گیری، یک لیتر روغن را در داخل ظرفی آزمایش ریخته و دو الکترود با فاصله ۲/۵ سانتیمتر درآن قرار داده می‌شود. برای هر نمونه، آزمایش ولتاژ شکست روغن ۶ بار با فاصله دو دقیقه از یکدیگر انجام شده و ولتاژ شکست از میانگین مقادیر بدست آمده در مراحل ۲ الی ۶ بدست می‌آید. در صورتی که ولتاژ شکست روغن که از طریق آزمایش بدست می‌آید از مقدار داده شده توسط سازنده کمتر باشد، روغن باید تعویض یا بازیابی (خشک) شود.

اگر ضروری باشد که به روغن ترانسفورماتور افزوده شود باید روغن جدید با روغن داخل ترانسفورماتور کاملاً از یک جنس باشد. بهتر است برروی روغن جدید قبل از افزودن، آزمایش شکست عایقی انجام گیرد.

۷-۲-۳- رنگ بدنه ترانسفورماتور

بدنه ترانسفورماتور و متعلقات معمولاً بطریق زیر رنگ‌آمیزی می‌گردند:

۱- لایه زیرسازی

۲- رنگ آستری

۳- رنگ نهایی

عملیات نگهداری عموماً شامل لکه‌گیری و یا تعویض رنگ نهایی است. اگر رنگ شدیداً صدمه دیده باشد بهتراست با سازنده ترانسفورماتور مشورت گردد. لکه‌گیری باید دقیقاً توسط رنگ اصلی ترانسفورماتور انجام گیرد.

۷-۳- ترانسفورماتور خشک

نکاتی که به هنگام بازرسی از یک ترانسفورماتور خشک باید مورد بررسی قرار گیرند بشرح زیر می‌باشند. لازم به ذکر است که موارد ۱، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۴ که در بند (۷-۲-۱) در رابطه با تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای روغنی بیان شد، در مورد ترانسفورماتورهای خشک نیز صادق است و باید رعایت شوند.

۱- ترانسفورماتورهای خشک باید در مقابل خاک و آلودگی هوا حفاظت گردند. در نوبتهای منظم باید توسط مکنده و یا دمنده هوا گرد و غبار روی ترانسفورماتور گرفته شود.

۲- باید مقاومت عایقی ترانسفورماتور اندازه‌گیری شود و در صورت نیاز ترانسفورماتور خشک گردد.

۳- برای ترانسفورماتورهای خشک آب‌بندی شده، فشار گاز داخل آنها باید کنترل گردد.

۴- ترانسفورماتور باید از لحاظ خوردگی کنترل گردد و در صورتی که رنگ ظاهر آن شدیداً آسیب دیده است باید با سازنده مشورت گردد و اگر آسیب دیدگی جزیی است باید لکه‌گیری شده و مجدداً رنگ شود. برای جزییات بیشتر به بند (۷-۲-۳) مراجعه شود.

۵- ترانسفورماتور در صورت بروز یکی از وضعیتهای زیر باید از سرویس خارج شود:

الف- صداهای ناهنجار و غیرعادی از آن شنیده شود.

ب- افزایش درجه حرارت آن غیر عادی بوده و دمای آن در شرایط بار نامی و تهویه عادی مداماً افزایش یابد.

ج- مقاومت عایقی ترانسفورماتور از حد مجاز کمتر شده باشد.

د- عایق‌چینی روی بوشینگها شکسته یا زنگ خورده باشد و آثار تخلیه جزیی بارهای خزنده روی سطح آن مشاهده گردد و یا مسیرهای تخلیه الکتریکی روی آن یافت شود.

فهرست مطالب

۸- بهره‌برداری از ترانسفورماتور

۸-۱- تعیین ظرفیت ترانسفورماتور

تعیین ظرفیت یک ترانسفورماتور توزیع (که در واقع همان ظرفیت پست می‌باشد) با توجه به نیازهای موجود و امکانات توسعه آینده انجام می‌شود.

پستهای کوچک توزیع عموماً با استفاده از یک ترانسفورماتور احداث می‌گردند. در انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورها باید عوامل محیطی موثر در کاهش ظرفیت مانند درجه حرارت و ارتفاع از سطح دریا را مورد توجه قرار داده.

۸-۲- بارگذاری

عموماً ترانسفورماتورها برای کار دایم در کیلوولت آمپر نامی خود طراحی می‌شوند. برای بارگذاری صحیح ترانسفورماتور به استاندارد IEC 60354 مراجعه گردد.

بخش پنجم
استاندارد ترانسفورماتورهای خشک توزیع

لیست گزارشات

فهرست مطالب

۱-هدف و دامنه کاربرد ۱
۲-شرایط کار ۱
۲-۱-درجه حرارت هوای خنک‌کننده ۱
۳-سیستم خنک‌کنندگی ۱
۳-۱-علایم مشخص کننده ۱
۳-۲-نحوه مشخص نمودن سیستم خنک‌کنندگی ۲
۴-محدودیتهای افزایش دما ۲
۴-۱-تصحیحات لازم برای شرایط کاری غیر نرمال ۳
۵-آزمونها ۳
۵-۱-آزمون افزایش دما (آزمون نوعی) ۴
۵-۱-۱-روش شبیه سازی‌بار ۴

فهرست جداول

جدول ۳-۱): علایم اختصاری مربوط به سیستم خنک‌کنندگی ترانسفورماتور خشک..... ۱

جدول (۴-۱): حدود مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای خشک..... ۲

فهرست مطالب

۱-هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد در مورد ترانسفورماتورهای خشک تا ولتاژ حداکثر ۳۶ کیلوولت کاربرد دارد. این استاندارد مکمل استانداردی است که در مورد ترانسفورماتورهای توزیع نوشته شده است. در واقع آن استاندارد کلی شامل ترانسفورماتورهای روغنی و خشک می‌شود، بجز مواردی که به این استاندارد ارجاع داده می‌شود.

۲-شرایط کار

۲-۱-درجه حرارت هوای خنک‌کننده

این دما هرگز نباید از $40^{\circ}C$ فراتر رود و از $-25^{\circ}C$ در مورد ترانسفورماتورهای بیرونی و $-5^{\circ}C$ در مورد ترانسفورماتورهای درونی پایین‌تر رود.

بعلاوه درجه حرارت محیط محل نصب، نباید از $+30^{\circ}C$ برای متوسط دمای یک روز و $+20^{\circ}C$ برای متوسط سالانه بالاتر رود. اگر شرایط کاری غیر از این موارد بود باید مشخصات ترانسفورماتور تصحیح شود که در جای خود توضیح داده می شود.

فهرست مطالب

۳- سیستم خنک‌کنندگی

۳-۱-علایم مشخص کننده

در جدول (۳-۱) نوع محیط خنک‌کنندگی همراه با علامت اختصاری آن معرفی شده است.

جدول ۳-۱): علایم اختصاری مربوط به سیستم خنک‌کنندگی ترانسفورماتور خشک

نوع محیط خنک کننده	علامت اختصاری
هوا	A
گاز	G
نوع چرخش	
طبیعی	N
اجباری	F

۳-۲-نحوه مشخص نمودن سیستم خنک‌کنندگی

ترتیب استفاده از علایم اختصاری همان ترتیبی است که در بخش اول استاندارد آمده است و تفاوتی ندارد. در ترانسفورماتورهای خشک بدون محفظه حفاظتی یا با محفظه، بطوریکه هوا می‌تواند در آن جریان یابد، سیستم خنک‌کنندگی آنها با دو علامت اختصاری که مربوط به گردش هوا است مشخص می‌شود. بعنوان مثال،اگر گردش هوا طبیعی باشد، سیستم خنک‌کننده با AN مشخص می‌شود.

سیستم خنک‌کننده بقیه ترانسفورماتورها توسط ۴ حرف اختصاری معرفی می‌شود. بعنوان نمونه، یک ترانسفورماتور با محفظه آب‌بندی شده که داخل آن با گاز نیتروژن پر شده و با گردش طبیعی، سیم‌پیچ را خنک می‌کند و خارج محفظه با گردش طبیعی یا اجباری هوا خنک می‌شود، با علامت GNAN/GAAF معرفی می‌شود.

فهرست مطالب

۴- محدودیتهای افزایش دما

در جدول (۴-۱)، حدود مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای خشک آمده است.

جدول (۴-۱): حدود مجاز افزایش دما برای ترانسفورماتورهای خشک

قسمت	دمای سیستم عایقی (کلاس دما) $(^{\circ}C)$	حداکثر افزایش دما (K)
سیم‌پیچها (روش اندازه‌گیری افزایش دما، روش مقاومتی است)	۱۰۵ (A)	۶۰
	۱۲۰ (E)	۷۵
	۱۳۰ (B)	۸۰
	۱۵۵ (F)	۱۰۰
	۱۸۰ (H)	۱۲۵
	۲۲۰ (O)	۱۵۰
هسته، قسمتهای فلزی و اجزا مجاور		دما، تحت هر شرایطی تا حدی مجاز است که باعث آسیب دیدن هسته و دیگر قسمتها یا مواد مجاور نگردد

۴-۱-تصحیحات لازم برای شرایط کاری غیر نرمال

اگر ترانسفوماتور برای کار در شرایطی که دمای هوای خنک‌کننده از مقادیر داده شده در بند (۲) این استاندارد،افزایش می‌یابد طراحی شده باشد و میزان این افزایش کمتر یا مساوی ۱۰K باشد، میزان مجاز افزایش دمای سیم‌پیچ باید طبق روش زیر کاهش یابد:

- اگر افزایش دمای هوا خنک کننده کمتر یا مساوی 5k است، میزان کاهش حد مجاز افزایش دمای سیم‌پیچ، 5k است
- اگر افزایش دمای هوا خنک کننده بزرگتر از 5k و کمتر یا مساوی ۱۰k است، میزان کاهش حد مجاز دما، ۱۰k است.

اگر میزان افزایش دمای هوا خنک‌کننده بیش از ۱۰k باشد، حد مجاز افزایش دمای سیم‌پیچ به توافق بین خریدار و سازنده بستگی دارد.

اگر از قبل توافقی بین سازنده و خریدار صورت نگرفته باشد برای ترانسفورماتورهایی که برای کار در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر طراحی شده‌اند، ولی در ارتفاع عادی (۱۰۰۰ متر) تست می‌شوند، محدودیتهای افزایش دما باید کاهش یابد. این کاهش بدین صورت است که به ازای هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع محل کار نسبت به ۱۰۰۰ متر، حد مجاز دما، در صورتی که ترانسفورماتور با گردش طبیعی هوا خنک می‌شود، ۲/۵% و اگر ترانسفورماتور با گردش اجباری هوا خنک می‌شود، ۵% کاهش می‌یابد. [IEC 60725]

اگر ترانسفورماتور برای کار در ارتفاع زیر ۱۰۰۰ متر طراحی شده و تستها در ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر انجام می‌شود، حدود مجاز افزایش دما، به ازای هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع محل تست نسبت به ارتفاع مرجع (۱۰۰۰ متر)، مطابق مقادیر بالا کاهش می‌یابد.

۵- آزمونها

فهرست مطالب

اکثر آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای خشک با آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای روغنی، تفاوتی ندارند و نحوه انجام آزمون همان است که در بخش اول استاندارد گفته شد. آن تعداد از آزمونهایی که شرایط انجام آنها در مورد ترانسفورماتورهای خشک تفاوت می‌کند در ادامه شرح داده می‌شوند.

82461016

۵-۱-آزمون افزایش دما (آزمون نوعی)

تنها تفاوت آزمون افزایش دمای ترانسفورماتور خشک با آزمون گفته شده در بخش اول استاندارد ، در روش انجام آن است. همانطور که قبلاً گفته شد سه روش بارگذاری مستقیم، پشت‌به‌پشت و اتصال کوتاه وجود دارند که برای آزمون حرارتی استفاده می‌شوند. در این قسمت آزمون اتصال کوتاه در مورد ترانسفورماتورهای خشک شرح داده می‌شود.

۵-۱-۱- روش شبیه سازی‌بار

این روش باید با توافق بین سازنده و خریدار انجام شود. این روش برای ترانسفورماتورهای محفظه‌دار یا بدون محفظه که با جریان طبیعی هوا خنک می‌شوند کاربرد دارد. این آزمون در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول فقط تلفات بی‌باری اعمال می‌گردد و در مرحله دوم فقط تلفات بار (در حالت اتصال کوتاه) اعمال می‌شود. تست بی‌باری در ولتاژ نامی انجام می‌شود و تا رسیدن به شرایط پایدار ادامه می‌یابد و سپس افزایش دمای سیم‌پیچها $(\Delta\theta_e)$ بطور جداگانه اندازه گرفته می‌شود. بلافاصله بعد از تست بی‌باری، آزمون اتصال کوتاه شروع می‌شود. در این مرحله یکی از سیم‌پیچها اتصال کوتاه می‌شود و در سیم‌پیچ دیگر جریان نامی برقرار می‌گردد. این آزمون تا رسیدن به شرایط پایدار ادامه می‌یابد و سپس میزان افزایش دمای هر یک از سیم‌پیچها $(\Delta\theta_c)$، اندازه گرفته می‌شود. برای محاسبه افزایش کامل دمای هر یک سیم‌پیچ‌ها، $\Delta\theta'_c$، با جریان نامی و تحریک نامی هسته، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c\left[1+\left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c}\right)^{1.25}\right]^{0.8}$$

برای انواع دیگر ترانسفورماتورها،این فرمول باید اصلاح شود.

لیست گزارشات