



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۲۶۲۰-۱

چاپ اول

ISIRI

2620-1

1st.Edition

ترانسفورماتورهای قدرت -
قسمت ۱: کلیات

Power transformers –
Part 1: General

ICS: 29.180

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۰۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادهای سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« ترانسفورماتورهای قدرت - قسمت ۱: کلیات »

سمت و/یا نمایندگی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد
تهران جنوب

رئیس:

طالبی گلین قشلاقی، نعمت
(دکترای برق قدرت)

دبیر:

کارشناس شرکت مهندسی امواج برق پایدار

تقی‌زاده ، بهزاد
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس

آخوندی ، حمیدرضا
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس دفتر فنی شرکت مهندسی تارا

آذر ، مهرناز
(لیسانس مهندسی برق - شبکه های انتقال و توزیع)

مدیر پروژه کیفیت توان شرکت سهامی خدمات
مهندسی برق مشانیر

جوانی ، خدایار
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

مدیر مهندسی فروش شرکت پارس مقره

حاجی زاده ، سائنا
(لیسانس مهندسی برق - شبکه های انتقال و توزیع)

کارشناس دفتر امور تدوین سازمان ملی استاندارد
ایران

رثائی ، حامد
(لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس ارشد شرکت فرا موج

رفیعی ، پیمان
(فوق لیسانس مهندسی برق - الکترونیک - نانو فناوری)

ایران ترانسفو، کارشناس طراحی و محاسبات
ترانسفورماتور

صفار، فاطمه
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس برق شرکت مهندسی مشاور منیران

عابدی ، مرتضی
(لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو

کمانکش ، سیما
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس

مصطفوی ، معین
(فوق لیسانس مهندسی برق - کنترل)

کارشناس شرکت مهندسی امواج برق پایدار

مفنی یزدی ، علی
(لیسانس مهندسی برق - قدرت)

کارشناس برق و تاسیسات الکتریکی اداره کل
مسکن و شهرسازی استان البرز

هاشمیان ، سید مجتبی
(لیسانس مهندسی برق - شبکه های انتقال و توزیع)

کارشناس اداره کل نظارت بر اجرای استانداردهای
برق، مهندسی پزشکی سازمان ملی استاندارد ایران

یوسف زاده فعال دقتی ، بهاره
(لیسانس مهندسی برق - الکترونیک)

فهرست مندرجات

| صفحه | | عنوان |
|------|------|---|
| ب | | آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران |
| ج | | کمیسیون فنی تدوین استاندارد |
| ح | | پیش‌گفتار |
| ۱ | ۱ | هدف و دامنه کاربرد |
| ۲ | ۲ | مراجع الزامی |
| ۳ | ۳ | اصطلاحات و تعاریف |
| ۳ | ۱-۳ | کلیات |
| ۴ | ۲-۳ | پایانه‌ها و نقطه خنثی |
| ۵ | ۳-۳ | سیم‌پیچ‌ها |
| ۷ | ۴-۳ | مقادیر اسمی |
| ۹ | ۵-۳ | انشعاب‌ها |
| ۱۲ | ۶-۳ | تلفات و جریان بی‌باری |
| ۱۳ | ۷-۳ | مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و افت ولتاژ |
| ۱۴ | ۸-۳ | افزایش دما |
| ۱۴ | ۹-۳ | عایق‌بندی |
| ۱۵ | ۱۰-۳ | انواع اتصال |
| ۱۶ | ۱۱-۳ | طبقه‌بندی آزمون |
| ۱۷ | ۱۲-۳ | اطلاعات هواسنجی مربوط به خنک‌کننده |
| ۱۷ | ۱۳-۳ | تعاریف دیگر |
| ۱۸ | ۴ | شرایط کاری |
| ۱۸ | ۱-۴ | کلیات |
| ۱۹ | ۲-۴ | شرایط کار طبیعی |
| ۲۰ | ۵ | مقادیر اسمی و الزامات عمومی |
| ۲۰ | ۱-۵ | توان اسمی |
| ۲۲ | ۲-۵ | روش‌های خنک‌کنندگی |
| ۲۳ | ۳-۵ | قطع بار در ترانسفورماتورهایی با اتصال مستقیم به ژنراتور |
| ۲۳ | ۴-۵ | ولتاژ و فرکانس اسمی |
| ۲۳ | ۵-۵ | مقررات شرایط کاری نامتعارف |
| ۲۴ | ۶-۵ | بیشینه مقدار ولتاژ تجهیز Um و آزمون‌های سطوح دی‌الکتریک |
| ۲۵ | ۷-۵ | اطلاعات تکمیلی مورد نیاز در درخواست خرید |

فهرست مندرجات (ادامه)

| صفحه | عنوان | |
|------|--|------|
| ۲۶ | اجزاء و مواد | ۸-۵ |
| ۲۷ | الزامات ترانسفورماتورهایی با یک سیم‌پیچ انشعاب‌دار | ۶ |
| ۲۷ | کلیات - نشانه‌گذاری گسترده‌ی انشعاب | ۱-۶ |
| ۲۷ | ولتاژ انشعاب - جریان انشعاب. رده‌بندی استاندارد تغییر ولتاژ انشعاب. انشعاب ولتاژ بیشینه | ۲-۶ |
| ۳۰ | توان انشعاب. انشعاب‌های توان کامل - انشعاب‌های توان کاهش‌یافته | ۳-۶ |
| ۳۱ | تعیین ویژگی انشعاب‌ها در درخواست خرید و سفارش | ۴-۶ |
| ۳۳ | مشخص‌سازی مقاومت ظاهری اتصال کوتاه | ۵-۶ |
| ۳۴ | تلفات بار و افزایش دما | ۶-۶ |
| ۳۵ | نمادهای جابجایی فاز اتصالات | ۷ |
| ۳۵ | نمادهای اتصالات جابجایی فاز در ترانسفورماتورهای سه‌فاز و ترانسفورماتورهای تک‌فاز در بانک‌های سه‌فاز | ۱-۷ |
| ۳۸ | نمادهای اتصالات و جابجایی فاز برای ترانسفورماتورهای تک‌فاز، نه در بانک‌های سه‌فاز | ۲-۷ |
| ۴۰ | صفحه مقادیر اسمی | ۸ |
| ۴۰ | کلیات | ۱-۸ |
| ۴۱ | اطلاعاتی که برای کلیه‌ی موارد ارایه می‌شوند | ۲-۸ |
| ۴۱ | اطلاعات تکمیلی که در صورت امکان باید داده شوند | ۳-۸ |
| ۴۳ | نکات ایمنی، الزامات محیطی و غیره | ۹ |
| ۴۳ | نکات ایمنی و الزامات محیطی | ۱-۹ |
| ۴۴ | تعیین اندازه اتصال خنثی | ۲-۹ |
| ۴۴ | سیستم نگهدارنده مایع | ۳-۹ |
| ۴۵ | جریان‌های DC در مدارهای خنثی | ۴-۹ |
| ۴۵ | علامت‌گذاری مرکز ثقل | ۵-۹ |
| ۴۶ | رواداری‌ها | ۱۰ |
| ۴۸ | آزمون‌ها | ۱۱ |
| ۴۸ | الزامات کلی آزمون‌های تک‌به‌تک، نوعی و ویژه | ۱-۱۱ |
| ۵۲ | اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ | ۲-۱۱ |
| ۵۲ | اندازه‌گیری نسبت ولتاژ و بررسی جابجایی فاز | ۳-۱۱ |
| ۵۲ | اندازه‌گیری مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و تلفات بار | ۴-۱۱ |

فهرست مندرجات (ادامه)

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۵۳ | ۵-۱۱ اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری |
| ۵۵ | ۶-۱۱ اندازه‌گیری مقاومت(های) ظاهری توالی صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز |
| ۵۶ | ۷-۱۱ آزمون‌های تغییردهنده‌ی انشعاب تحت‌بار- آزمون عملکرد |
| ۵۶ | ۸-۱۱ آزمون نشتی تحت فشار برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (آزمون استحکام) |
| ۵۶ | ۹-۱۱ آزمون تغییرشکل تحت خلاء برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع |
| ۵۷ | ۱۰-۱۱ آزمون تغییر شکل تحت فشار برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع |
| ۵۸ | ۱۱-۱۱ آزمون استحکام تحت خلاء در محل مصرف برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع |
| ۵۹ | ۱۲-۱۱ بررسی عایق هسته و چارچوب |
| ۵۹ | ۱۲ سازگاری الکترومغناطیسی |
| ۵۹ | ۱۳ گذراهای کلیدزنی فرکانس بالا |
| ۶۰ | پیوست الف - اطلاعات فنی جهت درخواست خرید و سفارش |
| ۶۵ | پیوست ب - مثال‌هایی از مشخصات ترانسفورماتورهای انشعاب‌دار |
| ۷۰ | پیوست پ - تعیین مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه به کمک کران‌ها |
| ۷۱ | پیوست ت - مثال‌هایی از اتصالات ترانسفورماتور سه‌فاز |
| ۷۴ | پیوست ث - تصحیح دمایی تلفات بار |
| ۷۵ | پیوست ج - تجهیزاتی جهت اتصال آتی در ترانسفورماتورها به منظور نظارت بر شرایط |
| ۷۶ | پیوست چ - ملاحظات محیطی و ایمنی |
| ۷۷ | کتابنامه |

پیش گفتار

استاندارد "ترانسفورماتورهای قدرت- قسمت ۱: کلیات" که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط، توسط شرکت مهندسی امواج برق پایدار تهیه و تدوین شده است و در ششصد و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در موقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۲۰: سال ۱۳۶۶ (ترانسفورماتورهای قدرت- کلیات) باطل و این استاندارد جایگزین آن می شود.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60076-1 ed3.0 : 2011, Power transformers - Part 1: General

ترانسفورماتورهای قدرت - قسمت ۱: کلیات

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه‌ی مقرراتی کلی برای ترانسفورماتورهای قدرت سه‌فاز و تک‌فاز (شامل اتوترانسفورماتورها) می‌باشد. این استاندارد در مورد برخی رده‌های ترانسفورماتورهای کوچک و مخصوص، به‌قرار زیر کاربرد ندارد:

- ترانسفورماتورهای تک‌فاز با توان اسمی کمتر از ۱ kVA و ترانسفورماتورهای سه‌فاز با توان اسمی کمتر از ۵ kVA؛

- ترانسفورماتورهایی که ولتاژ اسمی هیچ‌یک از سیم‌پیچ‌های آن بیشتر از ۱۰۰۰V نباشد؛

- ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری؛

- ترانسفورماتورهای نصب شده در قطارها؛

- ترانسفورماتورهای راه‌اندازی؛

- ترانسفورماتورهای آزمون؛

- ترانسفورماتورهای جوشکاری؛

- ترانسفورماتورهای ضد انفجار و مورد استفاده در معادن؛

- ترانسفورماتورهایی با کاربرد در اعماق آب.

چنانچه استانداردهای IEC برای رده‌هایی از ترانسفورماتورها موجود نباشد (به‌ویژه ترانسفورماتورهایی با مصارف صنعتی که سیم‌پیچی با ولتاژ بیشتر از ۱۰۰۰ V ندارند)، می‌توان از کل یا قسمتی از این استاندارد برای آنها نیز استفاده کرد.

الزامات این استاندارد شامل ترانسفورماتورهای نصب‌شده در دسترس عموم مردم نمی‌باشد.

این استاندارد در آن‌دسته از ترانسفورماتورهای قدرت و راکتورهایی که دارای استاندارد اختصاصی هستند، در صورت ارجاعات متقابل با استانداردهای دیگر قابل استفاده خواهد بود. نمونه‌ای از چنین استانداردهایی به قرار زیر می‌باشد:

- کلیه راکتورها (IEC 60076-6)؛

- ترانسفورماتورهای خشک (استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰)؛

- ترانسفورماتورهای خودمحافظ (استاندارد ملی ایران شماره ۱۳-۲۶۲۰)؛

- ترانسفورماتورهای قدرت گازی (استاندارد ملی ایران شماره ۱۵-۲۶۲۰)؛

- ترانسفورماتورهای مورد استفاده در توربین بادی (IEC 60076-16)؛

- ترانسفورماتورها و راکتورهای سیستم حمل‌ونقل (IEC 60310)؛

- ترانسفورماتورهای مبدل با کاربردهای صنعتی (IEC 61378-1)؛

- ترانسفورماتورهای مبدل موردنیاز در سیستم HVDC (IEC 61378-2).

در قسمت‌های متعددی از این استاندارد پیشنهاد یا مشخص شده که انتخاب راه‌حل‌های فنی و نحوه‌ی اجرای کار باید از توافق میان خریدار و سازنده حاصل شود. شرایط چنین توافقی باید ترجیحاً در مراحل اولیه تعیین شده و در متن درخواست خرید نیز گنجانده شود.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۶۲۰: سال ۱۳۹۰، ترانسفورماتورهای قدرت - قسمت ۵: توانایی تحمل اتصال کوتاه

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰: سال ۱۳۸۶، ترانسفورماتورهای قدرت - قسمت ۱۱: ترانسفورماتورهای نوع خشک

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۷۱۵: سال ۱۳۸۸، تعویض‌کننده‌های انشعاب - قسمت ۱: الزامات عملکرد و روش‌های آزمون

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۳-۹۲۳۶: سال ۱۳۸۸، طبقه‌بندی شرایط محیطی - قسمت ۳-۴: طبقه‌بندی گروه‌های پارامترهای محیطی و شدت‌های مربوط - استفاده ساکن در مکان‌های محافظت نشده در برابر شرایط آب و هوایی

۵-۲ استاندارد ایران - ایزو ۹۰۰۱: سال ۱۳۸۸، سیستم‌های مدیریت کیفیت - الزامات

2-6 IEC 60076-2, Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers

2-7 IEC 60076-3:2000¹, Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air

2-8 IEC 60076-10:2004, Power transformers - Part 10: Determination of sound levels

2-9 IEC 60137:2008, Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V

2-10 IEC 60296:2003, Fluids for electrotechnical applications - Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۲۲: سال ۱۳۶۶ (ترانسفورماتورهای قدرت - سطح‌های عایق‌بندی و آزمون‌های دی‌الکتریک) با مرجع سال ۱۹۸۰ تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد از اصطلاحات و تعاریف زیر استفاده می‌شود.

یادآوری - اصطلاحات دیگر، دارای معنایی منطبق با سند IEC^۱ خواهند بود.

۱-۳ کلیات

۱-۱-۳

ترانسفورماتور قدرت

بخش ساکنی از دستگاهی با دو یا چند سیم‌پیچی، که به واسطه‌ی القای الکترومغناطیسی ولتاژ و جریان متناوب را به ولتاژ و جریانی عموماً با دامنه متفاوت با همان فرکانس، به منظور انتقال توان الکتریکی، تبدیل می‌کند.

[IEC 60050-421:1990,421-01-01، اصلاح شده]

۲-۱-۳

اتوترانسفورماتور

ترانسفورماتوری است که حداقل دو سیم‌پیچ آن در یک قسمت مشترک باشند.

[IEC 60050-421:1990,421-01-11]

یادآوری - چنانچه نیازمند تاکید بر ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مجزا از هم باشد، از عباراتی چون ترانسفورماتوری با سیم‌پیچی جداگانه^۲ یا ترانسفورماتور دوسیم‌پیچه^۳ استفاده خواهیم کرد.

۳-۱-۳

ترانسفورماتور سری

ترانسفورماتوری متمایز از اتوترانسفورماتور که یکی از سیم‌پیچ‌های آن جهت تغییر ولتاژ و/یا جابجایی فاز، در اتصال سری با مدار قرار می‌گیرد. سیم‌پیچ دیگر سیم پیچ تغذیه می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990,421-01-12، اصلاح شده]

یادآوری - در نسخه‌های قبلی این استاندارد، ترانسفورماتور سری، ترانسفورماتور بوستر (تقویت‌کننده) نامیده می‌شد.

۴-۱-۳

ترانسفورماتور غوطه‌ور در مایع

ترانسفورماتوری که مدار مغناطیسی و سیم‌پیچ‌های آن درون مایع قرار دارد.

1- International Electrical Vocabulary
2- Separate winding transformer
3- Double-wound transformer

۵-۱-۳

ترانسفورماتور خشک

ترانسفورماتوری که مدار مغناطیسی و سیم‌پیچ‌های آن درون مایع عایقی قرار ندارد.

[IEC 60050-421:1990,421-01-16]

۶-۱-۳

سیستم نگهدارنده مایع

سیستمی که در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع جهت تطبیق انبساط حرارتی مایع تعبیه شده است.

یادآوری - در مواردی می‌توان تماس بین مایع و هوای خارجی را کاهش داد و یا از وقوع آن جلوگیری کرد.

۷-۱-۳

مقادیر تعیین شده

مقادیر تعیین شده توسط خریدار که در زمان سفارش مشخص می‌گردد.

۸-۱-۳

مقادیر طراحی

مقدار مورد انتظار نسبت تبدیل ناشی از تعداد دور در فرآیند طراحی یا مقادیر محاسبه شده‌ی طراحی برای مقاومت‌ظاهری، جریان بی‌باری یا پارامترهای دیگر.

۹-۱-۳

بیشینه ولتاژ تجهیز U_m قابل اعمال به سیم‌پیچ ترانسفورماتور

بیشینه مقدار ولتاژ موثر خطی سیستم سه‌فاز که عایق‌بندی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور برای آن مقدار طراحی می‌شود.

۲-۳ پایانه‌ها و نقطه خنثی

۱-۲-۳

پایانه

قطعه‌ای رسانا جهت اتصال سیم‌پیچ به هادی‌های خارجی است.

۲-۲-۳

پایانه‌ی خط

پایانه‌ای جهت اتصال به هادی خط شبکه می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990,421-02-01]

۳-۲-۳

پایانه‌ی خنثی

الف - در ترانسفورماتورهای سه‌فاز و بانک‌های سه‌فاز متشکل از ترانسفورماتورهای تک‌فاز:

پایانه یا پایانه‌های متصل به نقطه‌ی مشترک (نقطه‌ی خنثی^۱) سیم‌پیچ اتصال ستاره یا زیگزاگ است.
ب - در ترانسفورماتورهای تک‌فاز:

پایانه‌ای جهت اتصال به نقطه‌ی خنثی شبکه می‌باشد.
[IEC 60050-421:1990,421-02-02، اصلاح شده]

۴-۲-۳

نقطه خنثی

نقطه‌ای از سیستم ولتاژهای متقارن که عموماً دارای پتانسیل صفر می‌باشد.

۵-۲-۳

پایانه‌های مشابه

پایانه‌هایی از سیم‌پیچ‌های مختلف ترانسفورماتور که توسط حروف و یا علائم مشابه نشان‌گذاری شده‌اند.
[IEC 60050-421:1990,421-02-03]

۳-۳ سیم‌پیچ‌ها

۱-۳-۳

سیم‌پیچ

مجموعه حلقه‌های سازنده‌ی یک مدار الکتریکی مرتبط با یکی از ولتاژهای تعیین‌شده‌ی ترانسفورماتور است.
[IEC 60050-421:1990,421-03-01، اصلاح شده]

یادآوری - در ترانسفورماتورهای سه‌فاز، "سیم‌پیچ" ترکیبی از سیم‌پیچ فازها خواهد بود (به زیربند ۳-۳-۳ مراجعه شود).

۲-۳-۳

سیم‌پیچ انشعاب‌دار

سیم‌پیچی که تعداد دور موثر آن، به شکل پله‌ای قابل تغییر باشد.

۳-۳-۳

سیم‌پیچ فاز

مجموعه حلقه‌های سازنده‌ی یک فاز از یک سیم‌پیچ سه‌فاز است
[IEC 60050-421:1990,421-03-02، اصلاح شده]

یادآوری - اصطلاح "سیم‌پیچ فاز" را نباید برای مشخص کردن مجموعه پیچک‌های واقع بر یک ساق ترانسفورماتور بکار برد.

۴-۳-۳

سیم پیچ فشار قوی* (HV)

سیم پیچی که دارای بیشترین ولتاژ اسمی است.

[IEC 60050-421:1990,421-03-03]

۵-۳-۳

سیم پیچ فشار ضعیف* (LV)

سیم پیچی که دارای کمترین ولتاژ اسمی است.

[IEC 60050-421:1990,421-03-04]

یادآوری - در ترانسفورماتورهای سری، سیم پیچ متناظر با ولتاژ اسمی کمتر می تواند سطح عایقی بالاتری داشته باشد.

۶-۳-۳

سیم پیچ فشار متوسط*

سیم پیچی از ترانسفورماتور چندسیم پیچه، که ولتاژ اسمی آن بین بیشترین و کمترین ولتاژهای اسمی

سیم پیچی ها می باشد.

[IEC 60050-421:1990,421-03-05]

۷-۳-۳

سیم پیچ کمکی

سیم پیچی جهت اتصال به باری کوچک در مقایسه با توان اسمی ترانسفورماتور می باشد.

[IEC 60050-421:1990,421-03-08]

۸-۳-۳

سیم پیچ پایدار کننده

سیم پیچی تکمیلی با اتصال مثلث در ترانسفورماتورهایی با اتصال ستاره-ستاره یا ستاره-زیگزاگ، که جهت

کاهش مقاومت ظاهری توالی صفر (به زیر بند ۳-۷-۳ مراجعه شود) کاربرد دارد.

[IEC 60050-421:1990,421-03-09، اصلاح شده]

یادآوری - تنها در صورتی می توان سیم پیچ را پایدار کننده دانست که فاقد اتصال سه فاز به مدار خارجی باشد.

* سیم پیچی که از منبع تغذیه در حال کار توان اکتیو تحویل می گیرد، "سیم پیچ اولیه" و سیم پیچی که توان اکتیو به بار تحویل می دهد، "سیم پیچ ثانویه" نامیده می شود. این اصطلاحات هیچ منظوری بر این که کدام سیم پیچ ولتاژ اسمی بالاتری دارد نداشته و توصیه می شود تنها جهت بیان شارش توان اکتیو از آن استفاده شود (به استاندارد 07 & 06-03-421 : IEC 60050-421 مراجعه شود). سیم پیچ دیگری در ترانسفورماتور، عموماً با مقدار توان اسمی کمتری نسبت به سیم پیچ ثانویه با نام "سیم پیچ ثالثیه" وجود دارد. همچنین به تعریف بند فرعی ۳-۸-۳ مراجعه شود.

۹-۳-۳

سیم پیچ مشترک

قسمت مشترک سیم پیچ های اتوترانسفورماتور است.

[IEC 60050-421:1990,421-03-10]

۱۰-۳-۳

سیم پیچ سری

قسمتی از سیم پیچ اتوترانسفورماتور یا سیم پیچ ترانسفورماتور سری که در اتصال سری با مدار قرار دارد.

[IEC 60050-421:1990,421-03-11، اصلاح شده]

۱۱-۳-۳

سیم پیچ تغذیه (در ترانسفورماتورهای سری)

سیم پیچی از ترانسفورماتور سری که جهت اعمال توان به سیم پیچ سری کاربرد دارد.

[IEC 60050-421:1990,421-03-12، اصلاح شده]

۱۲-۳-۳

سیم پیچ های اتوترانسفورماتوری^۱

سیم پیچ های سری و مشترک اتوترانسفورماتور است.

۴-۳ مقادیر اسمی

۱-۴-۳

مقادیر اسمی

به مقادیر عددی کمیت های تعریف کننده ی کارکرد ترانسفورماتور در شرایط مشخص شده ی این استاندارد که مورد ضمانت سازنده بوده و آزمون ها مبتنی بر آنها هستند، اطلاق می شود.

۲-۴-۳

متغیرهای اسمی

کمیت هایی (ولتاژ، جریان و غیره)، که مقدار عددی آنها معرف مقدار اسمی است.

یادآوری ۱ - چنانچه قید خاصی نباشد، در ترانسفورماتورهای مجهز به انشعاب^۲، کمیت های اسمی، متناظر با انشعاب اصلی خواهند بود (به ۳-۵-۲ مراجعه شود). کمیت های متناظر با انشعاب های دیگر را می توان، با مفهوم مشابه، کمیت های انشعاب نامید.

یادآوری ۲ - ولتاژها و جریان ها همواره با مقادیر موثرشان بیان می شوند، مگر اینکه غیر این تصریح شود.

1- Auto-connected windings

2-Tapping

۳-۴-۳

ولتاژ اسمی سیم پیچ

U_r

ولتاژ اسمی تعیین شده‌ی اعمالی به، یا تولید شده بین پایانه‌ها توسط سیم پیچ فاقد انشعاب یا سیم پیچ انشعاب دار واقع در انشعاب اصلی در شرایط بی باری (به ۳-۵-۲ مراجعه شود) می باشد. در سیم پیچ سه فاز این عدد برابر ولتاژ بین پایانه‌های خط می باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-04-01، اصلاح شده]

یادآوری ۱ - در شرایط بی باری با اعمال ولتاژ اسمی به یکی از سیم پیچ‌ها، در همه‌ی سیم پیچ‌ها، هم‌زمان، ولتاژ اسمی تولید خواهد شد.

یادآوری ۲ - در ترانسفورماتورهای تک فاز با اتصال ستاره مورد استفاده در بانک سه فاز یا ترانسفورماتورهای متصل بین خط و خنثی سیستم سه فاز، ولتاژ اسمی به صورت ولتاژ خط تقسیم بر $\sqrt{3}$ نشان داده می شود، به عنوان نمونه $400/\sqrt{3}$ kV.

یادآوری ۳ - در ترانسفورماتورهای تک فاز متصل بین فازهای شبکه، ولتاژ اسمی توسط ولتاژ خط بیان می شود.

یادآوری ۴ - در سیم پیچی سری ترانسفورماتور سری سه فاز، که به شکل سیم پیچ مدار باز طراحی می شود (به ۳-۱۰-۵ مراجعه شود)، ولتاژ اسمی برای حالت اتصال ستاره‌ی سیم پیچ‌ها بیان می شود.

۴-۴-۳

نسبت تبدیل اسمی

نسبت ولتاژ اسمی یک سیم پیچ به ولتاژ اسمی سیم پیچ دیگری با ولتاژ اسمی کمتر یا برابر می باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-04-02، اصلاح شده]

۵-۴-۳

فرکانس اسمی

f_r

فرکانسی که ترانسفورماتور برای کار در آن طراحی شده است.

[IEC 60050-421:1990, 421-04-03، اصلاح شده]

۶-۴-۳

توان اسمی

S_r

مقدار قراردادی توان ظاهری سیم پیچ که به همراه ولتاژ اسمی سیم پیچ، جریان اسمی را تعیین خواهد کرد.

یادآوری - هر دو سیم پیچ ترانسفورماتور دوسیم پیچه دارای توان اسمی یکسانی هستند که بنابه تعریف توان اسمی کل ترانسفورماتور نیز خواهد بود.

۷-۴-۳

جریان اسمی

I_r

جریان عبوری از پایانه‌ی خط سیم‌پیچ، که از توان اسمی S_r و ولتاژ اسمی U_r سیم‌پیچ حاصل می‌شود.
[IEC 60050-421:1990,421-04-05، اصلاح شده]

یادآوری ۱ - در سیم‌پیچ سه‌فاز، جریان اسمی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_r}$$

یادآوری ۲ - در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور تک‌فاز مورد استفاده در بانک سه‌فاز با اتصال مثلث، جریان اسمی، جریان خط تقسیم بر $\sqrt{3}$ خواهد بود:

$$I_r = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$

یادآوری ۳ - در ترانسفورماتور تک‌فازی که برای بانک سه‌فاز در نظر گرفته نشده، جریان اسمی به قرار زیر خواهد بود:

$$I_r = \frac{S_r}{U_r}$$

یادآوری ۴ - جریان اسمی سیم‌پیچ‌های مدار باز (به ۳-۱۰-۵ مراجعه شود) ترانسفورماتور، از نسبت توان اسمی به حاصلضرب تعداد فازها و ولتاژ اسمی سیم‌پیچی مدار باز حاصل می‌شود:

$$I_r = \frac{S_r}{U_r \times \text{تعداد فازها}}$$

۵-۳ انشعاب‌ها

۱-۵-۳

انشعاب

در ترانسفورماتور مجهز به سیم‌پیچی انشعاب‌دار، اتصال خاصی از آن سیم‌پیچ گویای تعداد دور موثر معینی در سیم‌پیچ انشعاب‌دار خواهد بود، که نتیجه‌ی آن نسبت تبدیل معینی میان این سیم‌پیچ و سیم‌پیچ دیگری با تعداد دور ثابت خواهد بود.

یادآوری - یکی از انشعاب‌ها، به عنوان انشعاب اصلی تعریف می‌شود و انشعاب‌های دیگر نسبت به آن با ضرایب انشعاب نسبی بیان می‌شوند. در ادامه به تعاریف و اصطلاحات آن می‌پردازیم.

۲-۵-۳

انشعاب اصلی

انشعابی که مقادیر اسمی به آن نسبت داده می‌شوند.

[IEC 60050-421:1990,421-05-02]

۳-۵-۳

ضریب انشعاب (مربوط به یک انشعاب معین)

نسبت (U_d/U_r) را ضریب انشعاب نامند، که به صورت درصد، $100 \times (U_d/U_r)$ بیان می‌شود. در این عبارت:

U_r ولتاژ اسمی سیم‌پیچ می‌باشد (به ۳-۴-۳ مراجعه شود)؛

U_d ولتاژ بی‌باری پایانه‌های سیم‌پیچ در انشعاب مربوطه، با فرض اعمال ولتاژ اسمی به سیم‌پیچ بدون انشعاب می‌باشد.

یادآوری - در ترانسفورماتورهای سری، ضریب انشعاب از نسبت ولتاژ سیم‌پیچ سری متناظر با انشعاب مفروض به U_r به دست می‌آید.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-03, اصلاح شده]

۴-۵-۳

انشعاب مثبت

انشعابی با ضریب انشعاب بزرگتر از یک می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-04]

۵-۵-۳

انشعاب منفی

انشعابی با ضریب انشعاب کوچکتر از یک می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-05]

۶-۵-۳

پله انشعاب

اختلاف میان ضرایب انشعاب دو انشعاب مجاور، بر حسب درصد، می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-06]

۷-۵-۳

گستره‌ی انشعاب

گستره‌ی تغییرات ضریب انشعاب در مقایسه با عدد ۱۰۰، بر حسب درصد، می‌باشد.

یادآوری - اگر ضریب انشعاب گستره‌ای از $100+a$ تا $100-b$ داشته باشد، گستره‌ی انشعاب به شکل $a\% +$ تا $b\% -$ نمایش

داده می‌شود. در مواردی که $a=b$ ، آن را به شکل $a\% \pm$ نمایش می‌دهیم.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-07]

۸-۵-۳

نسبت تبدیل انشعاب (در یک زوج سیم‌پیچی)

برابر است با نسبت ولتاژ اسمی:

- ضرب در ضریب انشعاب سیم‌پیچ انشعاب‌دار، چنانچه سیم‌پیچ فشار قوی باشد؛

- تقسیم بر ضریب انشعاب سیم‌پیچ انشعاب‌دار، چنانچه سیم‌پیچ فشار ضعیف باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-08]

یادآوری - درحالی که بنا به تعریف، حداقل مقدار نسبت ولتاژ اسمی برابر یک خواهد بود، اما نسبت ولتاژ انشعاب در انشعاب‌هایی با نسبت ولتاژ اسمی نزدیک به یک، می‌تواند مقداری کمتر از یک باشد.

۹-۵-۳

کمیت‌های انشعاب

کمیت‌هایی که مقادیر عددی آنها مشخصات انشعاب معینی را مشخص می‌کند (غیر از انشعاب اصلی).

یادآوری - کمیت‌های انشعاب محدود به سیم‌پیچی انشعاب‌دار نبوده و برای هر سیم‌پیچ دیگری از ترانسفورماتور وجود دارند (به ۲-۶ و ۳-۶ مراجعه شود).

کمیت‌های انشعاب شامل موارد زیر است:

- ولتاژ انشعاب (مشابه ولتاژ اسمی، به ۳-۴-۳ مراجعه شود)؛
 - توان انشعاب (مشابه توان اسمی، به ۳-۴-۶ مراجعه شود)؛
 - جریان انشعاب (مشابه جریان اسمی، به ۳-۴-۷ مراجعه شود).
- [IEC 60050-421:1990, 421-05-10، اصلاح شده]

۱۰-۵-۳

انشعاب توان کامل

انشعابی که توان انشعاب آن برابر توان اسمی است.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-14]

۱۱-۵-۳

انشعاب توان کاهش یافته

انشعابی که توان انشعاب آن کمتر از توان اسمی است.

[IEC 60050-421:1990, 421-05-15]

۱۲-۵-۳

تعویض کننده‌ی انشعاب تحت بار^۱

OLTC

افزایی جهت تعویض اتصالات انشعاب سیم‌پیچی در شرایط تغذیه شده یا بارداری ترانسفورماتور می‌باشد.

[IEC 60050-421:1990, 421-11-01]

۱۳-۵-۳

تعویض کننده‌ی انشعاب بی بار^۲

DETC

افزایی جهت تعویض اتصالات انشعاب سیم‌پیچی که جهت کار نیازمند قطع تغذیه (قطع اتصال از شبکه) می‌باشد.

1-On-load tap-changer

2-De-energized tap-changer

۱۴-۵-۳

بیشینه مقدار مجاز ولتاژ کاری انشعاب

ولتاژی با فرکانس اسمی که ترانسفورماتور جهت تحمل مداوم و بدون آسیب آن، در هر موقعیت انشعاب و توان انشعاب متناظر، طراحی شده است.

یادآوری ۱ - این ولتاژ با مقدار U_m محدود می‌شود.

یادآوری ۲ - این ولتاژ عموماً به 105% ولتاژ اسمی انشعاب محدود می‌شود، مگر اینکه صریحاً طبق مشخصات خریدار برای انشعاب (به ۴-۶ مراجعه شود) یا طبق نتایج حاصل از مشخصات ۲-۴-۶ به ولتاژ بیشتری نیاز باشد.

۶-۳ تلفات و جریان بی‌باری

یادآوری - به‌استثنای مواردی که مشخص شده‌اند مقادیر و تعاریف زیر مربوط به انشعاب اصلی خواهند بود (به ۲-۵-۳ مراجعه شود).

۱-۶-۳

تلفات بی‌باری

توان حقیقی جذب‌شده توسط ترانسفورماتور در شرایط اعمال ولتاژ اسمی (ولتاژ انشعاب) با فرکانس اسمی به پایانه‌های یکی از سیم‌پیچ‌ها می‌باشد. در این حالت سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های دیگر مدار باز است. [IEC 60050-421:1990, 421-06-01، اصلاح‌شده]

۲-۶-۳

جریان بی‌باری

مقدار موثر جریان عبوری از پایانه‌ی خط سیم‌پیچ، با فرض اعمال ولتاژ اسمی (ولتاژ انشعاب) با فرکانس اسمی به آن سیم‌پیچ می‌باشد. در این حالت سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های دیگر مدار باز است.

یادآوری ۱ - در ترانسفورماتور سه‌فاز، جریان بی‌باری به‌شکل میانگین عددی جریان‌های سه خط تعریف می‌شود.

یادآوری ۲ - جریان بی‌باری سیم‌پیچ اغلب برحسب درصدی از جریان اسمی آن سیم‌پیچ بیان می‌شود. در ترانسفورماتور چند سیم‌پیچه، این درصد به سیم‌پیچی با بیشترین توان اسمی ارجاع داده می‌شود.

[IEC 60050-421:1990, 421-06-02، اصلاح‌شده]

۳-۶-۳

تلفات بار

توان اکتیو جذب‌شده توسط یک زوج سیم‌پیچ در فرکانس اسمی و دمای مرجع (به ۱-۱۱ مراجعه شود) در شرایط عبور جریان اسمی (جریان انشعاب) از پایانه‌های خط یکی از سیم‌پیچ‌ها و اتصال کوتاه پایانه‌های سیم‌پیچ دیگر است. در این حالت سیم‌پیچ‌های دیگر، در صورت وجود، مدار باز خواهند بود.

یادآوری ۱ - در ترانسفورماتورهای دوسیم پیچه تنها یک انتخاب از زوج سیم پیچ در دسترس بوده و به تبع یک مقدار تلفات بار حاصل خواهد شد. ترانسفورماتورهای چندسیم پیچه به دلیل تعدد زوج های سیم پیچی، دارای مقادیر متفاوتی از تلفات بار خواهد بود (به بند ۷ استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود). منحنی ترکیبی تلفات بار یک ترانسفورماتور کامل، به ترکیب بار سیم پیچی خاصی ارجاع داده می شود. عموماً، امکان اندازه گیری مستقیم این کمیت میسر نمی باشد.

یادآوری ۲ - چنانچه زوج سیم پیچی ها دارای توان اسمی متفاوتی باشند، تلفات بار به جریان اسمی سیم پیچی با توان اسمی کوچکتر ارجاع داده می شود و توان مرجع نیز باید ذکر گردد.

۴-۶-۳

تلفات کل

برابر مجموع تلفات بی باری و تلفات بار می باشد.

یادآوری - توان مصرفی دستگاه های کمکی در تلفات کل منظور نشده و جداگانه بیان می شوند.

[IEC 60050-421:1990, 421-06-05، اصلاح شده]

۷-۳ مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و افت ولتاژ

۱-۷-۳

مقاومت ظاهری اتصال کوتاه یک زوج سیم پیچی

مقدار مقاومت ظاهری سری معادل $Z=R+jX$ ، در فرکانس اسمی و دمای مرجع با واحد /هم، بین پایانه های یکی از دو سیم پیچ می باشد. در این حالت پایانه های سیم پیچ دیگر اتصال کوتاه بوده و سیم پیچی های دیگر، در صورت وجود، مدار باز خواهند بود. در ترانسفورماتورهای سه فاز، مقاومت ظاهری به صورت فازی (اتصال ستاره ای معادل) بیان می شوند.

یادآوری ۱ - در ترانسفورماتوری با سیم پیچی انشعاب دار، مقاومت ظاهری اتصال کوتاه به انشعابی خاص ارجاع داده می شود. چنانچه قید خاصی نباشد، انشعاب اصلی انتخاب خواهد شد.

یادآوری ۲ - این کمیت می تواند به شکل نسبی و بدون بعد، به صورت کسری z از مقاومت ظاهری مبنای Z_{ref} همان سیم پیچی بیان می شود. برحسب درصد داریم:

$$z = 100 \times \frac{Z}{Z_{ref}}$$

که در آن: Z_{ref} : برابر $\frac{U^2}{S_r}$ است (برای هر دو ترانسفورماتورهای سه فاز و تکفاز صادق می باشد)؛

U : ولتاژ (ولتاژ اسمی یا ولتاژ انشعاب) سیم پیچی که Z و Z_{ref} به آن تعلق دارند، می باشد؛

S_r : مقدار مرجع توان اسمی می باشد.

البته این مقدار نسبی برابر با نسبت ولتاژ اعمالی اندازه گیری اتصال کوتاه، که منجر به جریان اسمی (یا جریان انشعاب) مربوطه خواهد شد، به ولتاژ اسمی (یا ولتاژ انشعاب) می باشد. این ولتاژ اعمالی، ولتاژ اتصال کوتاه (IEC 60050-421:1990, 421-07-01) زوج سیم پیچی نامیده می شود و عموماً برحسب درصد بیان می شود.

[IEC 60050-421:1990, 421-07-02، اصلاح شده]

۲-۷-۳

کاهش یا افزایش ولتاژ در شرایط مشخص بارگذاری

برابر تفاوت عددی ولتاژ بی‌باری سیم‌پیچ با ولتاژ بارداری پایانه‌های همان سیم‌پیچ در بار و ضریب توان مشخصی است. در چنین شرایطی ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های دیگر به قرار زیر خواهد بود:

- چنانچه ترانسفورماتور در انشعاب اصلی باشد، برابر مقدار اسمی خواهد بود (در چنین حالتی ولتاژ بی‌باری سیم‌پیچ برابر مقدار اسمی آن خواهد بود)؛
- چنانچه ترانسفورماتور به انشعاب دیگری متصل باشد، برابر مقدار ولتاژ انشعاب خواهد بود.

این اختلاف عموماً به شکل درصدی از ولتاژ بی‌باری سیم‌پیچ بیان می‌شود.

یادآوری - در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، کاهش یا افزایش ولتاژ نه تنها به بار و ضریب توان خود سیم‌پیچ، بلکه به بار و ضریب توان سیم‌پیچ‌های دیگر نیز بستگی دارد (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

[IEC 60050-421:1990,421-07-03]

۳-۷-۳

مقاومت‌ظاهری توالی صفر (در سیم‌پیچ سه‌فاز)

مقاومت‌ظاهری بین پایانه‌های به‌هم‌متصل خطی سیم‌پیچ سه‌فاز با اتصال ستاره یا زیگزاگ و پایانه‌ی خنثی در فرکانس اسمی می‌باشد. این کمیت با واحد/هم‌برفاز بیان می‌شود.

[IEC 60050-421:1990,421-07-04] اصلاح‌شده

یادآوری ۱ - مقاومت‌ظاهری توالی صفر به دلیل وابستگی به نحوه‌ی اتصال پایانه‌های سیم‌پیچی یا سیم‌پیچی‌های دیگر و بارگذاری آنها، می‌تواند مقادیر متعددی داشته باشد.

یادآوری ۲ - مقاومت‌ظاهری توالی صفر، به‌ویژه در ترانسفورماتورهای بدون سیم‌پیچی اتصال مثلث، می‌تواند به مقدار جریان و دما وابسته باشد.

یادآوری ۳ - مقاومت‌ظاهری توالی صفر را نیز می‌توان مشابه مقاومت‌ظاهری (توالی مثبت) اتصال کوتاه به شکل مقداری نسبی بیان کرد (به ۳-۷-۱ مراجعه شود).

۸-۳ افزایش دما

اختلاف دمای قسمت تحت بررسی و دمای عامل خنک‌کننده‌ی خارجی است (به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود).

[IEC 60050-421:1990,421-08-01] اصلاح‌شده

۹-۳ عایق‌بندی

جهت آگاهی از اصطلاحات و تعاریف مرتبط با عایق‌بندی به استاندارد IEC 60076-3 رجوع شود.

۱۰-۳ انواع اتصال

۱-۱۰-۳

اتصال ستاره

اتصال که در آن سیم‌پیچ‌های فازی ترانسفورماتور سه‌فاز، یا سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تک‌فاز سازنده‌ی مجموعه‌ی سه‌فاز با ولتاژ اسمی مشابه، به نقطه‌ی مشترک (نقطه خنثی) وصل شده و انتهای دیگر آنها به پایانه‌ی خط مربوط متصل می‌شود.

[IEC 60050-421:1990,421-10-01، اصلاح‌شده]

یادآوری - گاهی اتصال ستاره با نماد Y نشان داده می‌شود.

۲-۱۰-۳

اتصال مثلث

اتصال که در آن سیم‌پیچ‌های فازی ترانسفورماتور سه‌فاز، یا سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تک‌فاز سازنده‌ی مجموعه‌ی سه‌فاز با ولتاژ اسمی مشابه، در اتصال سری با یکدیگر یک مدار بسته را تشکیل می‌دهند.

[IEC 60050-421:1990,421-10-02، اصلاح‌شده]

یادآوری - گاهی اتصال مثلث با نماد D نشان داده می‌شود.

۳-۱۰-۳

اتصال مثلث باز

اتصال که در آن سیم‌پیچ‌های فازی ترانسفورماتور سه‌فاز، یا سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تک‌فاز سازنده‌ی بانک سه‌فاز، در مداری به شکل مثلث که یکی از گوشه‌های آن باز است، بطور سری بسته می‌شوند.

[IEC 60050-421:1990,421-10-03]

۴-۱۰-۳

اتصال زیگزاگ

Z اتصال

اتصال متشکل از دو دسته سیم‌پیچی است، که دسته‌ی اول اتصال ستاره داشته و دسته‌ی دوم در اتصال سری میان دسته‌ی اول و پایانه‌های خط قرار می‌گیرد. نحوه‌ی چینش این دو دسته به‌گونه‌ای است که هر فازی از دسته‌ی دوم بر ساقی متفاوت از ساق دسته‌ی اول متصل به آن، پیچیده می‌شود.

یادآوری - برای آگاهی از مواردی که دو دسته سیم‌پیچی ولتاژهای یکسانی دارند، به پیوست ت مراجعه شود.

۵-۱۰-۳

سیم‌پیچی‌های باز

سیم‌پیچ‌های فازی ترانسفورماتور سه‌فاز، که فاقد اتصال درونی در داخل ترانسفورماتور می‌باشند.

[IEC 60050-421:1990,421-10-05، اصلاح‌شده]

۳-۱۰-۶

جابجایی فاز (در سیم‌پیچ سه‌فاز)

اختلاف زاویه بین فازورهای ولتاژهای بین نقطه خنثی (واقعی یا مجازی) و پایانه‌های مشابه دو سیم‌پیچ می‌باشد. در این حالت به پایانه‌های فشار قوی، ولتاژی با توالی مثبت اعمال می‌شود که فازهای آن به ترتیب حروف الفبا یا اعداد برحسب آنکه با حروف یا اعداد مشخص شده باشند، پشت سرهم قرار می‌گیرند. چرخش فازورها عکس جهت حرکت عقربه‌های ساعت فرض می‌شود.

[IEC 60050-421:1990, 421-10-08، اصلاح‌شده]

یادآوری ۱ - به بند ۷ پیوست ت مراجعه شود.

یادآوری ۲ - بافرض فازور سیم‌پیچی فشار قوی به عنوان فازور مینا، جابجایی هر سیم‌پیچ دیگری برحسب شماره‌های ساعت بیان خواهد شد. یعنی، بافرض انطباق فازور سیم‌پیچ فشار قوی بر ساعت ۱۲، شماره‌ی ساعتی که فازور سیم‌پیچ به آن اشاره می‌کند (افزایش شماره‌ی ساعت معادل افزایش پس‌فازی خواهد بود).

۳-۱۰-۷

نشانه‌ی اتصال

علامتی قراردادی جهت نمایش اتصال سیم‌پیچ‌های فشار قوی، فشار متوسط (در صورت وجود) و فشار ضعیف و جابجایی(های) فازی آنها نسبت به یکدیگر، که به‌شکل ترکیبی از حروف و شماره‌ی ساعت نمایش داده می‌شود.

[IEC 60050-421:1990, 421-10-09، اصلاح‌شده]

۳-۱۱-۱۱ طبقه‌بندی آزمون

۳-۱۱-۱

آزمون تک‌به‌تک

آزمونی که روی همه ترانسفورماتورها اجرا می‌شود.

۳-۱۱-۲

آزمون نوعی

آزمون اجرا شده روی ترانسفورماتور نمونه، جهت بررسی مطابقت این ترانسفورماتورها با الزامات مشخصی که توسط آزمون‌های تک‌به‌تک قابل بررسی نیست. ترانسفورماتوری نمونه‌ی دیگران نامیده می‌شود که در کارخانه‌ای مشابه با نقشه‌های فنی مشابه و به‌کمک روش فنی و مواد مصرفی مشابه ساخته شود.

یادآوری ۱ - آن دسته از تغییرات طراحی که به‌وضوح بی‌ارتباط با نوع خاصی از آزمون نوعی باشد، نیازمند اجرای مجدد آن آزمون نوعی خاص نخواهد بود.

یادآوری ۲ - در صورت موافقت طرفین خریدار و سازنده، آن دسته از تغییرات طراحی که منجر به کاهش مقادیر و تنش‌های مرتبط با نوع خاصی از آزمون نوعی می‌شود، نیازمند آزمون نوعی جدید نخواهد بود.

یادآوری ۳ - در صورت اثبات سازگاری با الزامات آزمون نوعی، تغییرات عمده‌ی طراحی ترانسفورماتورهای کمتر از ۲۰ MVA و ۷۲٫۵ kV می‌تواند قابل قبول باشد.

۳-۱۱-۳

آزمون ویژه

آزمونی متفاوت از آزمون تک‌به‌تک و نوعی، که براساس توافق سازنده و خریدار اجرا می‌شود.

یادآوری - آزمون‌های ویژه می‌توانند روی یک یا تمامی ترانسفورماتورهای با طراحی خاص اجرا شود. این امر توسط خریدار، در درخواست خرید و برای هر یک از آزمون‌های ویژه مشخص می‌شود.

۱۲-۳ اطلاعات هواسنجی مربوط به خنک‌کننده

۱-۱۲-۳

دمای لحظه‌ای عامل^۱ خنک‌کننده

بیشینه دمای ثبت‌شده‌ی عامل خنک‌کننده در طول سالیان متمادی می‌باشد.

۲-۱۲-۳

دمای متوسط ماهانه

نصف مجموع مقدار متوسط بیشینه‌ی روزانه و مقدار متوسط کمینه‌ی روزانه در طول ماه معینی از سال در طول سالیان متمادی است.

۳-۱۲-۳

دمای متوسط سالانه

برابر یک‌دوازدهم مجموع دماهای متوسط ماهانه می‌باشد.

۱۳-۳ تعاریف دیگر

۱-۱۳-۳

جریان بار

برابر مقدار موثر جریان در هر سیم‌پیچ تحت شرایط کاری می‌باشد.

۲-۱۳-۳

محتوای هارمونیک کل^۲

برابر نسبت مقدار موثر کلیه‌ی هارمونیک‌ها به مقدار موثر هارمونیک اول (E_1 , I_1) می‌باشد.

محتوای هارمونیک کل ولتاژ:

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} E_i^2}}{E_1}$$

1-Medium

2-Total harmonic content

محتوای هارمونیک کل جریان:

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} I_i^2}}{I_1}$$

E_i مقدار موثر هارمونیک i ام ولتاژ می باشد.

I_i مقدار موثر هارمونیک i ام جریان می باشد.

۳-۱۳-۳

محتوای هارمونیک زوج

برابر نسبت مقدار موثر کلیه هارمونیک های زوج به مقدار موثر هارمونیک اول (E_1 , I_1) می باشد. محتوای هارمونیک زوج ولتاژ:

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2i}^2}}{E_1}$$

محتوای هارمونیک زوج ولتاژ:

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} I_{2i}^2}}{I_1}$$

E_i مقدار موثر هارمونیک i ام ولتاژ می باشد.

I_i مقدار موثر هارمونیک i ام جریان می باشد.

۴ شرایط کاری

۱-۴ کلیات

شرایط کاری مذکور در ۴-۲ معرف حد متعارف بهره برداری ترانسفورماتور مورد استفاده در این استاندارد می باشد. برای شرایط کاری نامتعارف که نیازمند ملاحظات ویژه ای در طراحی ترانسفورماتور می باشد، به ۵-۵ مراجعه شود. چنین شرایطی شامل ارتفاع زیاد، دمای محیطی بسیار زیاد یا بسیار کم، رطوبت گرمسیری، زمین لرزه، آلودگی زیاد، شکل موج های نامتعارف ولتاژ یا جریان بار، تابش شدید خورشید و بارگذاری نوبتی می باشد. این موارد می تواند شرایط جابجایی، نگهداری و نصب، مانند محدودیت های وزن و حجم، را تحت تاثیر قرار دهد (به پیوست الف مراجعه شود).

اصول تکمیلی ارزیابی و آزمون در استانداردهای زیر ذکر شده است:

- افزایش دما و نحوه ی خنک کاری در دمای محیطی زیاد یا در ارتفاع زیاد: استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه ور در مایع و استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ برای ترانسفورماتورهای خشک؛
- عایق بندی خارجی در ارتفاع زیاد: استاندارد IEC 60076-3 برای ترانسفورماتورهای غوطه ور در مایع و استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ برای ترانسفورماتورهای خشک.

۲-۴ شرایط کار طبیعی

این استاندارد الزامات دقیق ترانسفورماتورهای مورد استفاده با شرایط زیر را ارائه می‌کند:
الف) ارتفاع

ارتفاع از سطح دریا نباید از ۱۰۰۰m تجاوز کند.

ب) دمای عامل خنک‌کننده

دمای هوای خنک‌کننده در ورودی تجهیز خنک‌کننده نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

- مقدار لحظه‌ای 40°C ؛

- متوسط ماهانه گرمترین ماه سال 30°C ؛

- متوسط سالیانه 20°C ؛

- در ترانسفورماتورهای نصب شده در فضای آزاد 25°C -؛

- در صورت نصب ترانسفورماتور و خنک‌کننده در محیطی مسقف 5°C -.

مقدار لحظه‌ای، متوسط ماهانه و سالانه در ۳-۱۲ تعریف شده‌اند.

خریدار می‌تواند کمینه دمای بیشتری را برای تجهیز خنک‌کننده تعیین کند، که در این حالت مقدار کمینه دمای عامل خنک‌کننده باید در صفحه مقادیر اسمی ثبت شود.

یادآوری ۱ - پاراگراف فوق جهت اجازه‌ی استفاده از مایع عایقی جایگزین در مواردی که الزامات دمای کمینه در محیط‌هایی که دمای کمینه 25°C - مناسب نباشد، در نظر گرفته شده است.

در ترانسفورماتورهای خنک‌شونده‌ی با آب، دمای آب خنک‌کننده‌ی ورودی نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

- مقدار لحظه‌ای 25°C ؛

- متوسط سالانه 20°C .

مقدار لحظه‌ای و متوسط سالانه در ۳-۱۲ تعریف شده‌اند.

محدودیت‌های بیشتر خنک‌کننده در موارد زیر ارائه شده‌اند:

- استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع؛

- استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ برای ترانسفورماتورهای خشک.

یادآوری ۲ - در ترانسفورماتورهایی با مبادله‌کننده‌های حرارتی هوا/آب یا آب/مایع، دمای عامل خنک‌کننده بجای ارجاع به دمای آب در مدار میانی، که می‌تواند از مقدار اسمی تجاوز کند، به دمای هوای خارجی ارجاع داده می‌شود.

یادآوری ۳ - دمای ورودی تجهیز خنک‌کننده، دمای مناسب‌تری نسبت به دمای هوای خروجی می‌باشد، بدین معنی که توصیه می‌شود کاربر، در صورتی که تاسیسات دارای شرایطی برای گردش هوا در خروجی خنک‌کننده باشد، آن را در تعیین دمای هوای خنک‌کننده لحاظ کند.

پ) شکل موج ولتاژ اعمالی

منبع ولتاژ سینوسی که محتوای هارمونیک کل و محتوای هارمونیک زوج آن به ترتیب از ۵٪ و ۱٪ تجاوز نکند.

ت) محتوای هارمونیک جریان بار

محتوای هارمونیک کل جریان بار نباید از ۵٪ جریان اسمی تجاوز کند.

یادآوری ۴ - ترانسفورماتورهایی که محتوای هارمونیک کل جریان بار آنها از ۵٪ جریان اسمی تجاوز کند یا ترانسفورماتورهای متصل به بارهای الکترونیک قدرت یا یکسوساز، باید طبق سری استاندارد IEC 61378 مشخص شوند.

یادآوری ۵ - ترانسفورماتور می‌تواند در جریان اسمی، بدون کاهش قابل توجه عمر بهره‌برداری، در محتوای هارمونیک کل کمتر از ۵٪ کار کند، اما باید به خاطر داشت که هرگونه جریان هارمونیک منجر به افزایش دما شده و می‌تواند منجر به تجاوز از افزایش اسمی شود.

ث) تقارن منبع ولتاژ سه‌فاز

به ترانسفورماتورهای سه‌فاز مجموعه ولتاژهای سه‌فاز تقریباً متقارن اعمال می‌شود. تقریباً متقارن بدین معنی است که بیشترین ولتاژ فاز به فاز نباید بیش از ۱٪ در حالت مداوم یا ۲٪ در بازه‌های زمانی کوتاه (حدود ۳۰ min) در شرایط استثنایی، بیشتر از کمترین ولتاژ فاز به فاز باشد.

ج) محیط نصب

محیطی که نرخ آلودگی آن (به استاندارد IEC 60137 و IEC/TS 60815 مراجعه شود) نیازمند توجه ویژه به عایق خارجی پوشینگ‌های ترانسفورماتور یا خود ترانسفورماتور نباشد.

محیط در معرض اختلال لرزه‌ای که نیازمند ملاحظات ویژه‌ی طراحی است، نباشد. (یعنی در مواردی که شتاب زمین a_g کمتر از 2 ms^{-2} یا تقریباً $0.2g$ باشد.) به استاندارد IEC 60068-3-3 مراجعه شود.

در صورت نصب ترانسفورماتور در فاصله‌ی زیاد از تجهیز خنک‌کننده در محیطی که مورد تایید سازنده نباشد، به‌عنوان نمونه محیطی با عایق صوتی، دمای لحظه‌ای هوای پیرامون ترانسفورماتور نباید از 40°C تجاوز کند.

شرایط محیطی طبق تعاریف زیر منطبق بر استاندارد ملی ایران شماره ۴-۳-۹۲۳۶ باشد:

- شرایط آب‌وهوایی 4K2 به‌استثنای کمینه‌ی دمای خارجی عامل خنک‌کننده، که برابر 25°C می‌باشد؛

- شرایط آب و هوایی ویژه 4Z2 و 4Z4 و 4Z7؛

- شرایط زیست محیطی 4B1؛

- مواد فعال شیمیایی 4C2؛

- مواد فعال مکانیکی 4S3؛

- شرایط مکانیکی 4M4.

در ترانسفورماتورهای نصب‌شده در محیط‌های مسقف، برخی از این شرایط محیطی کاربردی نیستند.

۵ مقادیر اسمی و الزامات عمومی

۱-۵ توان اسمی

۵-۱-۱ عمومی

توان اسمی کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها باید توسط خریدار تعیین شود یا خریدار در مرحله‌ی ثبت سفارش، اطلاعات کافی جهت تعیین توان اسمی ترانسفورماتور را در اختیار سازنده قرار دهد. ترانسفورماتور باید توان اسمی مشخصی در هر یک از سیم‌پیچی‌های خود باشد که باید بر صفحه مقادیر اسمی ثبت شود. توان اسمی برای بارگذاری مداوم تعریف می‌شود که مقدار مینا برای ضمانت و آزمون‌های تلفات بار و افزایش دما می‌باشد.

چنانچه در شرایط متفاوتی، مانند روش‌های مختلف خنک‌کنندگی، مقادیر متفاوتی از توان اسمی در اختیار باشد، بیشترین این مقادیر توان اسمی خواهد بود.

ترانسفورماتور دوسیم‌پیچه تنها یک مقدار توان اسمی برای هر دو سیم‌پیچ دارد. در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، خریدار باید ترکیب‌های مختلف توان-بارگذاری مورد نیاز را تعیین کند، و در صورت لزوم، توان‌های اکتیو و راکتیو را به طور جداگانه مشخص کند.

با اعمال ولتاژ اسمی به سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور، و عبور جریان اسمی از سیم‌پیچ ثانویه، ترانسفورماتور توان اسمی نظیر آن زوج سیم‌پیچی را دریافت خواهد کرد.

در کار مداوم، ترانسفورماتور باید توانایی آرایه‌ی توان اسمی (در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه: ترکیب‌های) مشخصی از توان‌های (اسمی سیم‌پیچی) را طبق شرایط بند ۴، بدون تجاوز از محدودیت‌های مشخص‌شده‌ی افزایش دما در استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع، دارا باشد.

یادآوری ۱ - تفسیر توان اسمی طبق این زیربند، به مقدار توان ظاهری ورودی به ترانسفورماتور اشاره دارد که شامل توان اکتیو و راکتیو جذب شده توسط خود ترانسفورماتور نیز می‌باشد. توان ظاهری آرایه‌شده توسط ترانسفورماتور به مدار متصل به پایانه‌های سیم‌پیچ ثانویه در بارگذاری اسمی متفاوت از توان اسمی خواهد بود. ولتاژ پایانه‌های ثانویه به‌واسطه‌ی کاهش (یا افزایش) ولتاژ در ترانسفورماتور، متفاوت از ولتاژ اسمی خواهد بود. مقدار مجاز افت ولتاژ نسبت به ضریب توان بار، براساس ولتاژ اسمی و گستره‌ی انشعاب تعیین می‌شود (به بند ۷ استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

مقررات ملی می‌تواند متفاوت باشد.

یادآوری ۲ - در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه، نصف جمع عددی مقادیر توان اسمی کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها (سیم‌پیچ‌های جداگانه و نه اتوترانسفورماتوری) تخمین اولیه‌ای از ابعاد فیزیکی آن را در مقایسه‌ی با ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه نتیجه می‌دهد.

۵-۱-۲ مقادیر ترجیحی توان اسمی

توصیه می‌شود در ترانسفورماتورهایی تا ۲۰ MVA، مقادیر توان اسمی، ترجیحاً از سری R10 استاندارد ملی ایران شماره ۲۷۰۰ انتخاب شود:

kVA (... و ۱۰۰۰ و ۸۰۰ و ۶۳۰ و ۵۰۰ و ۴۰۰ و ۳۱۵ و ۲۵۰ و ۲۰۰ و ۱۶۰ و ۱۲۵ و ۱۰۰ ...)

یادآوری - مقررات ملی می‌تواند متفاوت باشد.

۳-۱-۵ کمینه مقدار توان در روش‌های خنک‌کنندگی جایگزین

چنانچه کاربر الزام ویژه‌ای برای کمینه‌ی توان در شرایط متفاوت خنک‌کنندگی تحت وضعیت توان اسمی داشته باشد، باید در درخواست خرید تعیین کند.

در کار مداوم، ترانسفورماتور باید توانایی ارائه‌ی کمینه توان ویژه‌ای (در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه: ترکیب(های) مشخصی از توان(های) اسمی سیم‌پیچی) را طبق شرایط بند ۴، بدون تجاوز از محدودیت‌های مشخص‌شده‌ی افزایش دما در استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع، دارا باشد.

یادآوری - نمونه‌ای از این، در الزام کارکرد ترانسفورماتور در درصد کمینه‌ی خاصی از توان اسمی با خروج اجباری خنک‌کننده (ONAN) جهت قطع منبع تغذیه‌ی تجهیزات کمکی، مشاهده می‌شود.

۴-۱-۵ بارگذاری فراتر از توان اسمی

ترانسفورماتور و تجهیزات منطبق با این استاندارد، در مواردی توانایی ارائه‌ی باری بیشتر از توان اسمی را دارا هستند. روش محاسبه‌ی بارگذاری مجاز برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع در استاندارد IEC 60076-7 و برای ترانسفورماتورهای خشک در استاندارد IEC 60076-12 ارائه شده است.

کلیده‌ی الزامات ویژه‌ی بارگذاری بیشتر از توان اسمی، بهره‌برداری در دماهای بیشتر عامل خنک‌کننده‌ی خارجی یا کران‌های کاهش‌یافته‌ی افزایش دما باید توسط خریدار در درخواست خرید و قرارداد تعیین شود. هرگونه آزمون یا محاسبات تکمیلی جهت تایید سازگاری با این الزامات ویژه نیز باید تعیین شوند.

یادآوری ۱ - از این گزینه به‌ویژه می‌توان جهت حصول مبنای طراحی و ضمانت بارگذاری موقت اضطراری ترانسفورماتورهای قدرت استفاده کرد.

بوشینگ‌ها، تغییردهنده‌های انشعاب، ترانسفورماتورهای جریان و دیگر تجهیزات کمکی باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که کوچکترین محدودیتی بر قابلیت بارگذاری ترانسفورماتور تحمیل نکنند.

یادآوری ۲ - توصیه می‌شود برای قابلیت بارگذاری بوشینگ‌ها از استاندارد IEC 60137 و برای تغییردهنده‌های انشعاب از استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۷۱۵ استفاده شود.

یادآوری ۳ - چنین الزاماتی در ترانسفورماتورهایی با کاربرد ویژه، که فاقد بارگذاری بیشتر از توان اسمی هستند اعمال نمی‌شود. برای این ترانسفورماتورها، در صورت نیاز به چنین قابلیت، باید بر آن تصریح شود.

۲-۵ روش‌های خنک‌کنندگی

خریدار باید عامل خنک‌کننده را تعیین کند (هوا یا آب).

چنانچه خریدار الزامات ویژه‌ای برای روش(های) خنک‌کنندگی یا تجهیز خنک‌کننده دارد، باید آن را در درخواست خرید اعلام کند.

برای اطلاعات بیشتر به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود.

۳-۵ قطع بار در ترانسفورماتورهایی با اتصال مستقیم به ژنراتور

ترانسفورماتورهایی که جهت اتصال مستقیم به ژنراتورها به گونه‌ای که آنها را در معرض شرایط قطع بار قرار دهد، در نظر گرفته باشند، باید توانایی تحمل $1/4$ برابر ولتاژ اسمی را به مدت 5 s در پایانه‌های متصل به ژنراتور دارا باشند.

۴-۵ ولتاژ و فرکانس اسمی

۱-۴-۵ ولتاژ اسمی

ولتاژ اسمی باید توسط خریدار مشخص شود، یا در کاربردهای ویژه خریدار باید اطلاعات مناسب را جهت تعیین ولتاژ اسمی در مرحله‌ی درخواست خرید، در اختیار سازنده قرار دهد.

ترانسفورماتور باید ولتاژ اسمی مشخصی برای هر یک از سیم‌پیچ‌ها داشته باشد، که باید بر صفحه مقادیر اسمی نیز ثبت شوند.

۲-۴-۵ فرکانس اسمی

فرکانس اسمی توسط خریدار تعیین می‌شود، که برابر فرکانس عادی غیرمغشوش شبکه می‌باشد. فرکانس اسمی مقدار مبنای مقادیر ضمانت‌شده، مانند تلفات، مقاومت ظاهری و سطح صوتی می‌باشد.

۳-۴-۵ کارکرد در ولتاژ و/یا فرکانسی بیشتر از مقادیر اسمی

روش‌های تعیین ولتاژ اسمی مناسب و گستره‌ی انشعاب، جهت پاسخگویی به مجموعه‌ای از حالات بارگذاری (توان بارگذاری و ضریب توان، ولتاژهای بهره‌برداری خطی) در استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ ارایه شده‌اند.

در محدوده مقادیر تعیین‌شده U_m ، برای سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، ترانسفورماتور باید توانایی بهره‌برداری بدون آسیب و پیوسته در توان اسمی را تحت شرایط "اضافه‌شاری"^{۱)} دارا باشد، که در آن، مقدار ولتاژ به فرکانس (V/Hz) نباید بیش از 5% از مقدار نظیر در ولتاژ اسمی و فرکانس اسمی، تجاوز کند، مگر آنکه غیر آن توسط خریدار تصریح شود.

در بی‌باری، ترانسفورماتورها باید توانایی بهره‌برداری مداوم در V/Hz برابر 110% مقدار اسمی را دارا باشند.

در جریان K برابر جریان اسمی ترانسفورماتور ($1 \leq K \leq 1.2$)، اضافه‌شار باید طبق رابطه زیر محدود شود:

$$(U/U_r) \times (f_r/f) \times 100 \leq 110 - 5K \quad (\%)$$

چنانچه ترانسفورماتور باید در V/Hz بیشتری از مقادیر فوق کار کند، باید توسط خریدار در درخواست خرید تعیین شود.

۵-۵ مقررات شرایط کاری نامتعارف

خریدار باید در درخواست خرید خود کلیه‌ی شرایط کاری که در شرایط کار عادی نمی‌گنجد را تعیین کند. نمونه‌هایی از این شرایط به قرار زیر می‌باشند:

- دمای عامل خنک‌کننده‌ی خارجی بیرون از کران‌های تعیین‌شده در ۲-۴؛

- محدودیت تهویه؛

- ارتفاع متجاوز از کران تعیین شده در ۲-۴؛
- گاز و بخارهای متصاعد خطرناک؛
- بخار آب؛
- رطوبت متجاوز از کران تعیین شده در ۲-۴؛
- نشستی و چکه آب؛
- افشانه نمک؛
- گردوخاک زیاد و خورنده؛
- محتوای هارمونیک زیاد جریان بار متجاوز از الزامات ۲-۴؛
- اعوجاج شکل موج ولتاژ اعمالی متجاوز از کرانهای تعیین شده در ۲-۴؛
- گذراهای نامتعارف کلیدزنی فرکانس بالا، به بند ۱۳ مراجعه شود؛
- جریان DC برهم‌نهی شده؛
- شرایط زمین‌لرزه که نیازمند برخی ملاحظات خاص در طراحی است. به زیربند ۲-۴ مراجعه شود؛
- ضربه مکانیکی و لرزش‌های شدید؛
- تابش خورشیدی؛
- انرژی‌دار شدن‌های مکرر، بیش از ۲۴ مرتبه در سال؛
- اتصال کوتاه‌های مکرر؛
- V/Hz متجاوز از ۳-۴-۵؛
- چنانچه ترانسفورماتور افزایشده ژنراتور در شرایط عدم اتصال به ژنراتور و بدون حفاظت در سمت فشار ضعیف، برای کار در حالت تغذیه وارون^۱ در نظر گرفته شده باشد؛
- حفاظت خوردگی، براساس نوع تاسیسات و محیط نصب (به ۲-۴ مراجعه شود)، توصیه می‌شود خریدار کلاس حفاظتی را براساس استاندارد ISO 12944 یا به شکل توافق دوطرفه تعیین نماید؛
- شرایط قطع بار برای ترانسفورماتورهای ژنراتور شدیدتر از موارد ۳-۵.
- مشخصات ترانسفورماتور جهت بهره‌برداری تحت چنین شرایط غیرعادی، باید براساس توافقی میان فروشنده و خریدار حاصل شود.
- الزامات تکمیلی کران‌های تعریف شده، برای مقادیر اسمی و آزمون ترانسفورماتورهای طراحی شده برای کار در شرایطی متفاوت از شرایط کار عادی بند ۴، مانند دمای زیاد هوای خنک‌کننده یا ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ m، در استاندارد IEC 60076-2 ارایه شده‌اند.

۶-۵ بیشینه مقدار ولتاژ تجهیز U_m و آزمون‌های سطوح دی‌الکتریک

- برای پایانه‌های خط، چنانچه خریدار غیر آن تصریح کند، U_m باید برابر با کمترین مقدار بیشتر از ولتاژ اسمی کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها، طبق استاندارد IEC 60076-3 انتخاب شود.

برای سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور با بیشینه مقدار ولتاژ تجهیز بیشتر از ۷۲٫۵ kV، خریدار باید اتصال مستقیم یا عدم اتصال پایانه‌های خنثی آن سیم‌پیچ را به زمین در شرایط کار مشخص نماید. در صورت عدم اتصال، U_m برای پایانه‌های خنثی باید توسط خریدار تعیین شود. چنانچه خریدار غیر این تصریح کند، سطوح آزمون دی‌الکتریک باید متناظر با کمترین مقدار U_m مورد استفاده، طبق استاندارد IEC 60076-3 انتخاب شود.

۷-۵ اطلاعات تکمیلی مورد نیاز در درخواست خرید

۱-۷-۵ طبقه‌بندی ترانسفورماتور

نوع ترانسفورماتور، مانند ترانسفورماتور با سیم‌پیچی جداگانه، اتوترانسفورماتور یا ترانسفورماتور سری، که باید توسط خریدار تعیین شود.

۲-۷-۵ نحوه‌ی اتصال سیم‌پیچی و تعداد فازها

اتصال سیم‌پیچی مورد نیاز باید براساس قواعد بند ۷ توسط مصرف‌کننده تعیین شود. نیاز به سیم‌پیچی پایدارکننده‌ی مثلث باید توسط خریدار تعیین شود. در ترانسفورماتورهایی با اتصال ستاره-ستاره یا اتوترانسفورماتورها، چنانچه طراحی دارای مدار مغناطیسی بسته‌ای برای شار توالی صفر باشد و سیم‌پیچی مثلث تصریح نشده باشد، آنگاه الزام آن باید میان سازنده و خریدار مطرح شود (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

یادآوری - مدار مغناطیسی بسته برای شار توالی صفر در ترانسفورماتور زرهی و ترانسفورماتور هسته‌ای با ساق یا ساق‌های فاقد سیم‌پیچی موجود می‌باشد.

چنانچه الزاماتی برای کران‌های بالا و پایین مقاومت ظاهری توالی صفر موجود باشد، باید توسط خریدار تعیین شود که می‌تواند ساختار هسته و الزام وجود سیم‌پیچ مثلث را تحت تاثیر قرار دهد. چنانچه الزامات توالی صفر استفاده‌ی از سیم‌پیچی مثلثی را، که مستقیماً توسط خریدار تصریح نشده، تحمیل کند، این مورد باید به‌وضوح در اسناد مناقصه سازنده گنجانده شود.

چنانچه تصریحی بر سیم‌پیچ مثلث نباشد، سازنده‌ی ترانسفورماتور نباید از سیم‌پیچ آزمون با اتصال مثلث استفاده کند، مگر آنکه توافقاتی با خریدار به عمل آورد.

چنانچه الزام خاصی برای مجموعه‌ی ترانسفورماتور تک‌فاز یا واحد سه‌فاز باشد، باید توسط خریدار مشخص شود، در غیر این صورت سازنده باید به‌وضوح در اسناد مناقصه نوع ترانسفورماتور پیشنهادی را تعیین کند.

۳-۷-۵ سطح صوتی

چنانچه خریدار الزامی خاصی برای بیشینه سطح صوتی ضمانت‌شده داشته باشد، باید در درخواست خرید ذکر کرده و ترجیحاً آن را در قالب سطح توان صوت بیان کند.

چنانچه غیر این تصریح شود، سطح صوتی باید سطح صوتی بی‌باری به‌همراه کارکرد تجهیزات خنک‌کنندگی در بار کامل باشد. در صورت تصریح بر روش خنک‌کاری جایگزین (به ۳-۱-۵ مراجعه شود)، سطح صوتی

روش جایگزین می‌تواند توسط خریدار تعیین شود و در صورت تصریح، باید توسط سازنده ضمانت شده و در آزمون اندازه‌گیری شود.

سطح صوتی شرایط کار تحت تاثیر جریان بار می‌باشد (به استاندارد IEC 60076-10 مراجعه شود). چنانچه خریدار نیازمند آزمون اندازه‌گیری سطح صوتی در جریان بار یا تضمین سطح نوفه‌ی ترانسفورماتورها، شامل نوفه‌ی بار، باشد باید آن را در درخواست خرید ثبت کند.

سطح صوتی اندازه‌گیری شده در آزمون منطبق بر استاندارد IEC 60076-10 نباید از بیشینه سطح صوتی ضمانت شده تجاوز کند. بیشینه سطح صوتی ضمانت شده کران بدون رواداری می‌باشد.

۴-۷-۵ جابجایی

۱-۴-۷-۵ محدودیت جابجایی

در صورت اعمال محدودیت‌های وزن و ابعاد برای جابجایی، باید آنها را در درخواست خرید ثبت کرد. در صورت اعمال شرایط ویژه در جابجایی، باید آنها را در درخواست خرید ثبت کرد. چنین مواردی می‌تواند شامل محدودیت‌هایی در جابجایی با مایع عایقی یا شرایط محیطی متفاوت مورد انتظار در جابجایی نسبت به شرایط پیش‌بینی شده حین کار باشد.

۲-۴-۷-۵ شتاب جابجایی

ترانسفورماتور باید به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شود که توانایی تحمل حداقل شتاب ثابت * ۱ g را در تمام جهات (علاوه بر شتاب جاذبه‌ی زمین در راستای قائم) بدون هیچ گونه خسارتی دارا باشد، که به‌واسطه‌ی محاسبات نیروی ایستا براساس مقدار ثابتی از شتاب اثبات می‌شود.

چنانچه سازنده مسئولیتی در جابجایی ترانسفورماتور نداشته باشد و شتابی بیشتر از ۱ g در جابجایی محتمل باشد، شتاب‌ها و فرکانس‌ها باید در درخواست خرید تعریف شوند. در صورت نیاز مصرف‌کننده به شتاب بیشتر، سازنده باید سازگاری را به‌واسطه‌ی محاسبات اثبات کند.

چنانچه از ترانسفورماتور به شکل سیار استفاده شود، این امر باید در درخواست خرید ذکر شود.

یادآوری - استفاده از ثبات‌های ضربه در جابجایی ترانسفورماتور بزرگ امری مرسوم است.

۸-۵ اجزاء و مواد

کلیه‌ی اجزاء و مواد مورد استفاده در ساخت ترانسفورماتور باید با الزامات استانداردهای مرتبط IEC در صورت وجود، سازگار باشند، درغیراینصورت، مورد توافق بوده یا تعیین می‌شوند. به‌طور خاص، پوشینگ‌ها باید سازگار با استاندارد IEC 60137 باشند، تغییردهنده‌های انشعاب باید سازگار با استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۷۱۵ باشند، و مایع عایقی باید سازگار با استاندارد IEC 60296 برای روغن معدنی یا طبق توافق برای دیگر مایعات باشد.

* شتاب ثقل زمین است.

۶ الزامات ترانسفورماتورهای با یک سیم‌پیچ انشعاب‌دار

۱-۶ کلیات - نشانه‌گذاری گستره‌ی انشعاب

زیربندهای زیر برای ترانسفورماتورهای که تنها یک سیم‌پیچ انشعاب‌دار دارند، قابل استفاده است. در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه، توضیحات به ترکیب سیم‌پیچ انشعاب‌دار و سیم‌پیچ‌های بدون انشعاب قابل اعمال است.

در ترانسفورماتورهای مبتنی بر ۶-۴-۲، نمادگذاری باید توسط خریدار طبق بخش ۳ همان زیربند تعیین شود.

در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ اتوترانسفورماتوری، انشعاب‌ها در مواردی در خنثی قرار داده می‌شوند، بدین معنی که تعداد دوره‌های موثر همزمان در هر دو سیم‌پیچ تغییر می‌کنند. برای چنین ترانسفورماتورهایی، جز موارد تصریح شده در ۶-۴-۲، جزییات انشعاب نیازمند توافق خواهد بود. الزامات این زیربند باید تاحدامکان مورد استفاده باشند.

چنانچه غیر این تصریح شود، انشعاب اصلی در میانه‌ی گستره‌ی انشعاب قرار می‌گیرد. انشعاب‌های دیگر به‌کمک ضرایب انشعابشان شناسایی می‌شوند. تعداد انشعاب‌ها و گستره‌ی تغییر نسبت ترانسفورماتور، می‌تواند با نمادگذاری کوتاه به‌کمک انحراف درصد ضرایب انشعاب از مقدار ۱۰۰ بیان شود (برای تعاریف واژگان به ۳-۵ مراجعه شود).

مثال - ترانسفورماتوری با سیم‌پیچی انشعاب‌دار ۱۶۰ kV با گستره‌ی انشعاب $\pm 15\%$ دارای ۲۱ انشعاب می‌باشد، با توزیع متقارن حول ولتاژ اسمی، خواهیم داشت:

$$66 \text{ kV} / (10 \times 1.15 \pm 160)$$

چنانچه گستره‌ی انشعاب حول ولتاژ اسمی نامتقارن باشد، خواهیم داشت:

$$66 \text{ kV} / (10 \times 1.15 - 120 \times 1.15)$$

درخصوص ارایه‌ی کامل اطلاعات انشعاب‌ها در صفحه مشخصات به بند ۸ مراجعه شود.

برخی از انشعاب‌ها به‌دلیل محدودیت‌های ولتاژ انشعاب و یا جریان انشعاب، "انشعاب توان کاهش‌یافته" می‌توانند باشند. انشعاب‌های کران که چنین محدودیت‌هایی در آنها ظاهر می‌شوند، "انشعاب ولتاژ بیشینه" و "انشعاب جریان بیشینه" نامیده می‌شوند (به اشکال الف، اب و اث مراجعه شود).

۲-۶ ولتاژ انشعاب - جریان انشعاب. رده‌بندی استاندارد تغییر ولتاژ انشعاب. انشعاب ولتاژ بیشینه

نشانه‌گذاری کوتاه گستره‌ی انشعاب و پله‌های انشعاب تعیین‌کننده‌ی گستره‌ی تغییر نسبت ترانسفورماتور می‌باشد. اما مقادیر منتصب کمیت‌های انشعاب نمی‌تواند به‌شکل کامل توسط تنها این تعیین شود. اطلاعات بیشتری مورد نیاز می‌باشد. که می‌تواند به‌شکل جدولی از توان انشعاب، ولتاژ انشعاب و جریان انشعاب برای کلیه‌ی انشعاب‌ها، یا به‌شکل نوشتاری، با تعیین "رده‌بندی تغییر ولتاژ" و محدودیت‌های محتمل گستره برای انشعاب‌هایی که "انشعاب‌های توان کامل" هستند، بیان کرد. رده‌های تغییر ولتاژ انشعاب به قرار زیر تعریف می‌شوند:

الف) تغییر ولتاژ با شار ثابت (CFVV)^۱
 ولتاژ انشعاب در کلیه سیم‌پیچ‌های بدون انشعاب در گذر از انشعابی به انشعاب دیگر ثابت است. ولتاژهای انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار متناسب با ضرایب انشعاب هستند. به شکل الف مراجعه شود.

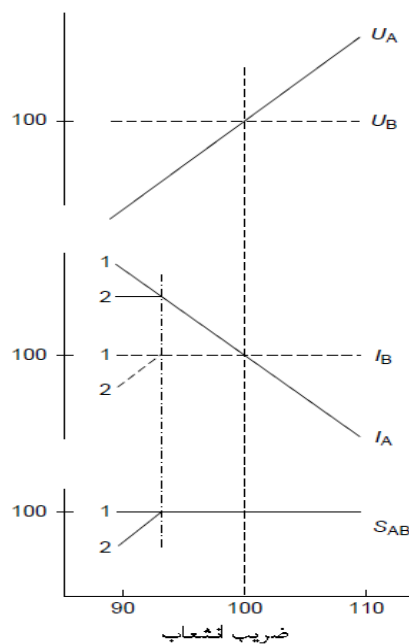
ب) تغییر ولتاژ با تغییر شار (VFVV)^۲
 ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار در گذر از انشعابی به انشعاب دیگر ثابت است. ولتاژهای انشعاب در کلیه سیم‌پیچ‌های بدون انشعاب تناسب عکس با ضریب انشعاب هستند. به شکل اب مراجعه شود.

پ) تغییر ولتاژ ترکیبی (CbVV)^۳
 در بسیاری از کاربردها و به‌ویژه در ترانسفورماتورهای با گستره‌ی انشعاب بزرگ، ترکیبی از دو روش با اعمال به قسمت‌های مختلف گستره تصریح می‌شود: نقطه‌ی تعویض "انشعاب ولتاژ بیشینه" نامیده می‌شود. برای این سیستم موارد زیر اعمال می‌شود:

CFVV به انشعاب‌هایی با ضرایب انشعاب کمتر از ضریب انشعاب ولتاژ بیشینه اعمال می‌شود.

VFVV به انشعاب‌هایی با ضرایب انشعاب بیشتر از ضریب انشعاب ولتاژ بیشینه اعمال می‌شود.

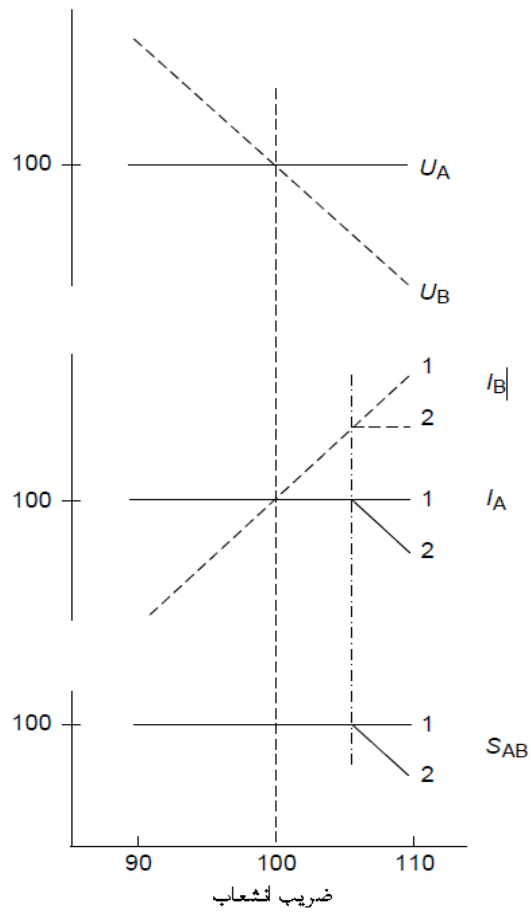
به شکل اپ مراجعه شود.



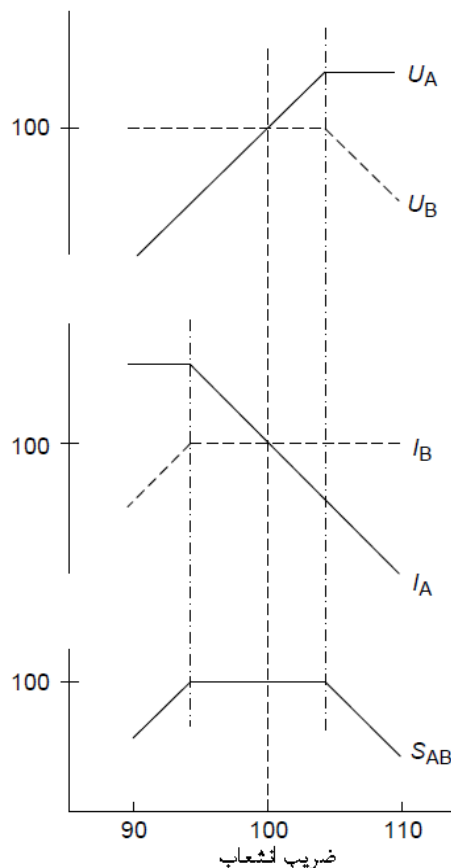
شکل الف - تغییر ولتاژ با شار ثابت (CFVV)

با نمایش انشعاب جریان بیشینه‌ی اختیاری

-
- 1- Constant flux voltage variation
 - 2- Variable flux voltage variation
 - 3- Combined voltage variation



شکل ۱ ب - تغییر ولتاژ با تغییر شار (VFVV)
 با نمایش انشعاب جریان بیشینه‌ی اختیاری



شکل ۱ پ - تغییر ولتاژ ترکیبی (CbVV)

نقطه‌ی تعویض در گستره‌ی انشعاب مثبت نشان داده شده است. با ترکیب انشعاب ولتاژ بیشینه (U_A) و انشعاب جریان بیشینه (I_B) ثابت، در بالاتر از نقطه‌ی تعویض افزایش نمی‌یابد. علاوه بر آن، انشعاب جریان بیشینه‌ی اختیاری (در گستره‌ی CFVV) نیز دیده می‌شود.

راهنمای شکل‌های ۱ الف، ۱ ب و ۱ پ:

U_A و I_A ولتاژ انشعاب و جریان انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار

U_B و I_B ولتاژ انشعاب و جریان انشعاب در سیم‌پیچ بدون انشعاب

S_{AB} توان انشعاب

طول افقی ضریب انشعاب، برحسب درصد (گویای تعداد دورهای موثر در سیم‌پیچ انشعاب‌دار)

۱ شاخص انشعاب‌های توان کامل در سراسر گستره‌ی انشعاب

۲ شاخص "انشعاب ولتاژ بیشینه"، "انشعاب جریان بیشینه" و گستره‌ی انشعاب‌های توان کاهش یافته

شکل ۱ - روش‌های مختلف تغییر ولتاژ

۳-۶ توان انشعاب. انشعاب‌های توان کامل - انشعاب‌های توان کاهش یافته

موارد زیر باید اعمال شود، مگر آنکه ولتاژ و جریان هر انشعاب، به گونه‌ی دیگری تعیین شوند:

کلیدهای انشعاب‌ها باید انشعاب توان کامل باشند، یعنی، جریان انشعاب اسمی در هر انشعابی، باید برابر نسبت

توان اسمی بر ولتاژ انشعاب اسمی در هر انشعابی باشد، مگر در مواردی که به‌قرار زیر تعیین می‌شود.

در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جداگانه با توان اسمی تا و خود ۲۵۰۰ kVA با گستره‌ی انشعاب محدود به

٪ ± 5 ، جریان انشعاب اسمی در کلیدهای انشعاب‌های منفی باید برابر با جریان انشعاب اسمی انشعاب اصلی

باشند. این بدان معنی است که انشعاب اصلی "انشعاب جریان بیشینه" می‌باشد.

در ترانسفورماتورهای با گستره‌ی انشعاب گسترده‌تر از $\pm 5\%$ محدودیت‌هایی می‌توان بر مقادیر ولتاژ انشعاب و جریان انشعاب اعمال کرد، درغیراین‌صورت به مقادیری فراتر از مقادیر اسمی افزایش می‌یابند. با تعیین چنین محدودیت‌هایی، انشعاب‌های مربوطه، "انشعاب‌های توان کاهش‌یافته" خواهند شد. این زیربند به شرح چنین توافقاتی می‌پردازد.

با انحراف ضریب انشعاب از مقدار واحد، جریان انشعاب در انشعاب‌های توان کامل می‌تواند به مقداری فراتر از جریان اسمی یکی از سیم‌پیچ‌ها افزایش یابد. همانطور که شکل ۱ الف نشان می‌دهد، چنین اتفاقی برای انشعاب‌های منفی سیم‌پیچ انشعاب‌دار در شرایط CFVV و انشعاب‌های مثبت سیم‌پیچ‌های فاقد انشعاب در شرایط VFVV رخ می‌دهد (شکل ۱ ب). جهت محدود کردن تقویت مربوطه سیم‌پیچ مورد بحث، می‌توان انشعاب جریان بیشینه تعیین کرد. از این انشعاب به بعد، مقادیر جریان انشعاب سیم‌پیچ ثابت تعیین می‌شوند. بدین معنی که، انشعاب‌های باقیمانده تا انشعاب کران، انشعاب‌های توان کاهش یافته خواهند بود (به شکل‌های ۱ الف، ۱ ب و ۱ پ مراجعه شود).

در روش CbVV، "انشعاب ولتاژ بیشینه"، نقطه‌ی تعویض بین دو روش CFVV و VFVV، باید همزمان "انشعاب جریان بیشینه" نیز باشد، مگر آنکه غیر آن تصریح شود. این بدان معنی است که جریان سیم‌پیچ فاقد انشعاب تا انشعاب مثبت کران ثابت باقی می‌ماند (شکل ۱ پ).

۴-۶ تعیین ویژگی انشعاب‌ها در درخواست خرید و سفارش

۱-۴-۶ عمومی

خریدار باید الزامات انشعاب را طبق ۲-۴-۶ یا ۳-۴-۶ تعیین کند.

خریدار باید کارکرد تغییردهنده یا تغییردهنده‌های انشعاب را در شرایط باردار یا بی‌بار تعیین کند. در صورت استفاده از روش تغییر ولتاژ با تغییر شار VFVV، عموماً تنها در دو موقعیت از گستره‌ی تنظیم امکان تطبیق نسبت طراحی با نسبت تعیین شده وجود دارد. خریدار باید محل انطباق نسبت طراحی را با نسبت تعیین شده انتخاب کند، برای مثال انشعاب‌های کران، انشعاب اصلی و انشعاب بیشینه یا انشعاب اصلی و انشعاب کمینه. چنانچه غیر این تصریح نشود، دو انشعاب کران باید نسبت‌های تطبیقی باشند.

یادآوری - زیربند ۲-۴-۶ از مصرف‌کننده می‌خواهد که سیم‌پیچ انشعاب‌دار و به‌ویژه توان‌های انشعاب را تعیین کند. زیربند ۳-۴-۶ الزامات کلی ولتاژ و جریان را تعریف کرده و از سازنده می‌خواهد سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های انشعاب‌دار را انتخاب کند. چنین انتخابی می‌تواند منجر به تنوع طراحی‌های محتمل ترانسفورماتور شود. استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ جزئیات آرایش‌های انشعاب و محاسبات افت ولتاژ را ارائه می‌کند.

۲-۴-۶ تعیین ویژگی ساختمانی

داده‌های زیر جهت تعریف طراحی ترانسفورماتور لازم است:

الف) کدام سیم‌پیچ باید مجهز به انشعاب شود؛

ب) تعداد پله‌ها و پله انشعاب (یا گستره‌ی انشعاب و تعداد پله‌ها). چنانچه غیر این تصریح شود، چنین فرض خواهد شد که گستره حول انشعاب اصلی متقارن بوده و اینکه پله‌های انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار برابر

هستند. چنانچه به دلایلی، طراحی دارای پله‌های نابرابر باشد، این امر باید در اسناد پیشنهاد خرید تعیین شود؛

پ) رده‌ی تغییر ولتاژ، در صورت استفاده از تغییر ترکیبی، باید نقطه‌ی تعویض ("انشعاب ولتاژ بیشینه"، به زیربند ۶-۲ مراجعه شود) تعیین شود؛

ت) آیا باید محدودیت جریان بیشینه (انشعاب‌های توان کاهش یافته) اعمال شود، و در صورت جواب مثبت، به کدامین انشعاب‌ها باید اعمال شود.

بجای موارد پ و ت، می‌توان جهت سودمندی بیشتر از جدولی مشابه آنچه در صفحه مقادیر اسمی به کار رفت، استفاده کرد (به مثال پیوست ب مراجعه شود).

۳-۴-۶ مشخص سازی عملکرد

این نوع از تعیین ویژگی، جهت اجازه‌ی به خریدار در تعیین الزامات بهره‌برداری و نه نوع تغییر ولتاژ یا سیم‌پیچ انشعاب‌دار در نظر گرفته شده است.

این روش ذکر ویژگی در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچی جداگانه تا و خود ۲۵۰۰ kVA با گستره‌ی انشعاب محدود به $\pm 5\%$ قابل اجرا نیست.

اطلاعات زیر باید توسط خریدار در درخواست خرید علاوه بر ولتاژ اسمی و توان اسمی تعریف شده در بند ۵، ارائه شوند:

الف) جهت شارش توان (که می‌تواند دوسویه باشد).

ب) تعداد پله‌های انشعاب و اندازه‌ی پله انشعاب برحسب درصد ولتاژ اسمی انشعاب اصلی. چنانچه گستره‌ی انشعاب حول انشعاب اصلی متقارن نباشد، باید به این امر اشاره شود. چنانچه پله‌های انشعاب در طول گستره برابر نباشند، باید به این امر اشاره شود.

یادآوری ۱- ممکن است گستره‌ی تغییر و تعداد پله‌ها مهمتر از حصول ولتاژ دقیق در انشعاب اصلی باشد. در چنین موردی گستره‌ی تغییر و تعداد پله‌ها می‌تواند تعیین شود. برای نمونه $5\% +$ تا $10\% -$ در ۱۱ پله. پ) کدام ولتاژ باید به منظور تعریف ولتاژ انشعاب اسمی تغییر کند.

یادآوری ۲ - ولتاژ انشعاب اسمی نیازمند تعیین مبنای مقاومت‌ظاهری هر انشعابی است. در مواردی که روش ذکر ویژگی کارکردی انتخاب شود، ولتاژ انشعاب اسمی نمی‌تواند جهت تعیین توان انشعاب اسمی استفاده شود.

ت) کلیه‌ی الزامات جهت تثبیت نسبت دور بین دو سیم‌پیچ خاص در ترانسفورماتور بیش از دو سیم‌پیچ.

ث) ضریب توان کمینه در بار کامل (این امر بر افت ولتاژ ترانسفورماتور موثر است).

ج) آیا هر انشعابی یا هر گستره‌ای از انشعاب‌ها می‌تواند انشعاب‌های توان کاهش یافته باشد.

سازنده آرایش سیم‌پیچ‌ها، سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های انشعاب‌دار را انتخاب خواهد کرد. ترانسفورماتور باید توانایی تغذیه جریان اسمی در سیم‌پیچ ثانویه و در کلیه‌ی موقعیت‌های انشعاب، سازگار با شرایط کارکردی فوق، بدون تجاوز افزایش دما از الزامات تعریف شده در استاندارد IEC 60076-2 را دارا باشد.

ترانسفورماتور باید برای تحمل بدون آسیب افزایش ولتاژ و افزایش شار ناشی از شرایط بارگذاری فوق (شامل هرگونه شرایط تصریح شده‌ی اضافه بار) طراحی شود. در صورت درخواست، باید محاسبات نمایش دهنده‌ی ارضا این شرایط به خریدار ارائه شود.

مثالی در پیوست ب ارائه شده است (مثال ۴).

در روشی جایگزین، مصرف کننده می تواند مجموعه‌ای از موارد بارگذاری با مقادیر توان اکتیو و راکتیو (با تعیین صریح جهت شارش توان)، و ولتاژهای بارداری نظیر را پیشنهاد دهد. توصیه می شود این موارد گویای مقادیر کران نسبت ولتاژ در توان کامل و توان کاهش یافته باشد (به روش شش پارامتری استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود). براساس این اطلاعات، سازنده سیم پیچ انشعاب دار را انتخاب کرده و، کمیت های اسمی و کمیت های انشعاب را در برگه‌ی پیشنهاد خود تعیین خواهد کرد. توافقی باید میان سازنده و خریدار در طراحی کمیت های انشعاب حاصل شود.

۵-۶ مشخص سازی مقاومت ظاهری اتصال کوتاه

در ترانسفورماتورهایی که فاقد انشعابی با تغییر ولتاژ متجاوز از $\pm 5\%$ از انشعاب اصلی هستند، مقاومت ظاهری اتصال کوتاه زوج سیم پیچی باید تنها در انشعاب اصلی، یا براساس هم بر فاز Z یا بر حسب درصد Z با ارجاع به توان اسمی و ولتاژ اسمی ترانسفورماتور، تعیین شود (به ۳-۷-۱ مراجعه شود). در روشی جایگزین، مقاومت ظاهری می تواند مطابق یکی از دو روش زیر تعیین شود.

در ترانسفورماتورهایی با انشعاب هایی با تغییر ولتاژ متجاوز از $\pm 5\%$ از انشعاب اصلی، مقادیر مقاومت ظاهری بیان شده بر حسب Z یا Z باید برای انشعاب اصلی و انشعاب (های) کران متجاوز از 5% تعیین شود. در چنین ترانسفورماتورهایی، این مقادیر مقاومت ظاهری نیز باید طی آزمون مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و تلفات بار (به ۴-۱۱ مراجعه شود) اندازه گیری شوند و باید به قرار رواداری های بند ۱۰ باشند. چنانچه مقاومت ظاهری بر حسب درصد Z بیان شود، این مقدار باید به ولتاژ انشعاب اسمی (در آن انشعاب) و توان اسمی ترانسفورماتور (در انشعاب اصلی) ارجاع داده شود.

یادآوری ۱ - انتخاب مقدار مقاومت ظاهری توسط کاربر در معرض مطالبات متضاد^۱ می باشد: محدودیت افت ولتاژ در مقابل محدودیت اضافه جریان در شرایط عیب سیستم. بهینه سازی اقتصادی طراحی، براساس تلفات، منجر به گستره‌ی خاصی از مقادیر مقاومت ظاهری می شود. بهره برداری موازی با ترانسفورماتور موجود نیازمند تطبیق مقاومت ظاهری است (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

یادآوری ۲ - چنانچه برگه اعلام، علاوه بر ویژگی مقاومت ظاهری انشعاب اصلی، شامل تغییرات آن در گستره‌ی انشعاب نیز باشد، این امر می تواند محدودیت مهمی بر طراحی ترانسفورماتور تحمیل کند (آرایش سیم پیچ ها نسبت به یکدیگر و هندسه‌ی آنها). همچنین تعیین ویژگی و طراحی ترانسفورماتور نیازمند لحاظ کردن این امر می باشد که تغییرات بزرگ مقاومت ظاهری بین انشعاب ها می تواند اثر انشعاب ها را کاهش یا افزایش دهد.

در روشی جایگزین، مقاومت ظاهری بیشینه و کمینه بر حسب Z یا Z می تواند برای هر انشعابی از گستره‌ی کامل انشعاب تعیین شود. این امر می تواند به کمک نمودار یا جدول انجام شود (به پیوست پ مراجعه شود).

توصیه می‌شود در جایی که امکان دارد، کران‌ها در حداقل فاصله از یکدیگر قرار داشته باشند تا رواداری‌های دوسویه بند ۱۰ بر مقدار میانی بین آنها قابل اعمال باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده نباید خارج از کران‌ها باشند، چراکه محدوده‌هایی بدون رواداری هستند.

یادآوری ۳ - توصیه می‌شود که مقاومت‌های ظاهری بیشینه و کمینه تعیین شده، رواداری مقاومت‌ظاهری رواداری‌های بند ۱۰ را برآورده سازد اما در صورت نیاز، رواداری کوچکتری می‌تواند به واسطه‌ی توافق طرفین استفاده شود.

یادآوری ۴ - بنانه‌دان مقاومت‌ظاهری بر ولتاژ انشعاب اسمی و توان اسمی ترانسفورماتور در انشعاب اصلی، بدین معنی است که رابطه‌ی میان *Z* /هم‌برفاز و مقاومت‌ظاهری برحسب درصد *Z* برای هر انشعابی متفاوت بوده و نیز وابسته به سیم‌پیچی خواهد بود که تغییر ولتاژ در آن سیم‌پیچ رخ می‌دهد. از اینرو اطمینان از صحت مقاومت‌ظاهری تعیین شده نیازمند توجه ویژه‌ای است. این امر به‌ویژه برای ترانسفورماتورهای تعیین شده با توان‌های انشعاب متفاوت از توان اسمی انشعاب اصلی مهم است.

۶-۶ تلفات بار و افزایش دما

الف) چنانچه گستره‌ی انشعاب درون $\pm 5\%$ باشد و توان اسمی بیشتر از ۲۵۰۰ kVA نباشد، ضمانت‌های تلفات بار و افزایش دما تنها به انشعاب اصلی منتسب می‌شوند، و آزمون افزایش دما در آن انشعاب اجرا می‌شود.

ب) چنانچه گستره‌ی انشعاب از $\pm 5\%$ تجاوز کند یا توان اسمی بیشتر از ۲۵۰۰ kVA باشد، تلفات ضمانت شده باید در موقعیت انشعاب اصلی بیان شود، مگر آنکه در مرحله‌ی درخواست، خریدار غیر آن تصریح کند. در صورت وجود چنین الزامی، باید تعیین شود که در کدام انشعاب‌ها، علاوه بر انشعاب اصلی، تلفات بار توسط سازنده ضمانت شده است. این تلفات بار به مقادیر جریان انشعاب مربوطه ارجاع داده می‌شود. کران‌های افزایش دما برای کلیه‌ی انشعاب‌ها در توان انشعاب، ولتاژ انشعاب و جریان انشعاب اختصاص یافته معتبر می‌باشد.

آزمون نوعی افزایش دما تنها روی یک انشعاب اجرا می‌شود، مگر غیر آن تصریح شود. این انشعاب، مگر غیر آن توافق شود، "انشعاب جریان بیشینه" خواهد بود (که عموماً انشعابی با بیشترین تلفات بار می‌باشد). تلفات کل بیشینه در هر انشعابی، توان آزمون برای تعیین افزایش دمای مایع طی آزمون افزایش دما می‌باشد، و جریان انشعاب برای انشعاب منتخب، جریان مرجع برای تعیین افزایش دمای سیم‌پیچ نسبت به مایع می‌باشد. برای اطلاعاتی درباره قواعد و آزمون‌های مرتبط با افزایش دمای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع، به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود.

اساساً آزمون نوعی افزایش دما، باید قابلیت تجهیز خنک‌کننده را در پراکنده کردن تلفات کل بیشینه هر انشعاب، و عدم تجاوز افزایش دما نسبت به دمای عامل خنک‌کننده‌ی خارجی را در هر انشعابی از هر سیم‌پیچ، از مقدار بیشینه تعیین شده، نشان دهد.

یادآوری ۱ - در اتوترانسفورماتور، جریان بیشینه سیم‌پیچ‌های سری و مشترک، عموماً در دو موقعیت متفاوت انشعاب قرار دارند. از اینرو جهت آزمون، می‌توان از موقعیت میانی انشعاب استفاده کرد. با این روش الزامات استاندارد IEC 60076-2 در هر دو سیم‌پیچ، طی همان آزمون، برآورده می‌شود.

یادآوری ۲ - برای برخی از آرایش‌های انشعاب، سیم‌پیچ انشعاب‌دار جریان را در انشعاب جریان بیشینه هدایت نمی‌کنند. از اینرو، در صورت نیاز به تعیین افزایش دمای سیم‌پیچ انشعاب‌دار، انشعاب دیگری می‌تواند انتخاب شود یا آزمون مازادی می‌تواند توافق شود.

۷ نمادهای جابجایی فاز اتصالات

۱-۷ نمادهای اتصالات جابجایی فاز در ترانسفورماتورهای سه‌فاز و ترانسفورماتورهای تک‌فاز در بانک‌های سه‌فاز

۱-۱-۷ نماد اتصال

اتصال ستاره، مثلث یا زیگزاگ مجموعه‌ی سیم‌پیچ‌های فاز ترانسفورماتور سه‌فاز یا سیم‌پیچ‌های هم‌ولتاژ ترانسفورماتورهای تک‌فاز بانک سه‌فاز، باید در سیم‌پیچ فشار قوی با حروف بزرگ Y، D یا Z و در سیم‌پیچ‌های فشار متوسط و فشار ضعیف با حروف کوچک y، d یا z نمایش داده شوند. چنانچه نقطه‌ی خنثی سیم‌پیچ اتصال ستاره یا اتصال زیگزاگ در دسترس باشد، نشانه باید به ترتیب، YN(yN) یا ZN(zN) باشد. این روش در ترانسفورماتورهایی که اتصالات سرهای خنثی هر سیم‌پیچ فاز، جداگانه در دسترس بوده اما برای تشکیل نقطه‌ی خنثی شبکه در اتصال با یکدیگر قرار دارند، نیز استفاده می‌شود. در زوج سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری، نماد سیم‌پیچ فشار ضعیف با حرف a جایگزین می‌شود. سیم‌پیچ‌های باز^۱ ترانسفورماتور سه‌فاز (که درون ترانسفورماتور به یکدیگر متصل نبوده اما دو انتهای هر سیم‌پیچ فاز در پایانه‌ها در دسترس هستند، مانند سیم‌پیچ‌های خط ترانسفورماتورهای سری و جابجاکننده‌ی فاز) با III (فشار قوی)، یا با iii (سیم‌پیچ‌های فشار متوسط و فشار ضعیف) نمایش داده می‌شوند. نمادهای حرفی سیم‌پیچ‌های متفاوت ترانسفورماتور به ترتیب نزول ولتاژ اسمی و مستقل از شارش توان مشخص شده ثبت می‌شوند. حرف اتصال سیم‌پیچ در سیم‌پیچ فشار متوسط و فشار ضعیف بلافاصله با "شماره‌ی ساعت" جابجایی فاز سیم‌پیچ (به شکل ۳-۱۰-۶ مراجعه شود) دنبال می‌شود. مثال‌های اتصال در استفاده کلی، به همراه نمودارهای اتصال، در پیوست د نشان داده شده است.

۲-۱-۷ نماد نویسی جابجایی فاز با شماره‌ی ساعت

از قراردادهای نماد نویسی زیر استفاده می‌شود.

نمودارهای اتصال سیم‌پیچ فشار قوی را در بالا، و سیم‌پیچ فشار ضعیف را در پایین نمایش می‌دهند (جهت‌های ولتاژهای القایی در قسمت بالای سیم‌پیچ‌ها، مطابق شکل ۲، هستند).

نمودار فازوری سیم‌پیچ فشار قوی با اشاره‌ی فاز I به ساعت ۱۲ جهت‌دهی می‌شود. فازور فاز I سیم‌پیچ فشار ضعیف براساس رابطه‌ی ولتاژ القایی، طبق اتصال نشان داده شده، جهت‌دهی خواهد شد. نماد شماره‌ی ساعت، ساعتی است که فشار ضعیف به آن اشاره دارد.

جهت چرخش نمودارهای فازوری برخلاف عقربه‌های ساعت، توالی I - II - III می‌باشد.

یادآوری - این شماره گذاری اختیاری است. علامت گذاری پایانه در ترانسفورماتور تابع قواعد ملی است. می توان به راهنمایی های IEC/TR 60616 مراجعه کرد.

سیم پیچ های باز فاقد نماد نویسی شماره ی ساعت هستند چراکه رابطه ی فاز ی این سیم پیچ ها با سیم پیچ های دیگر وابسته به اتصال بیرونی است.

۳-۱-۷ سیم پیچ هایی که برای بار گذاری در نظر گرفته نشده اند

وجود سیم پیچ پایدار کننده یا سیم پیچ آزمون (سیم پیچ اتصال مثلث یا ستاره که مختوم به بار گذاری سه فاز خارجی نیست) با نماد +d یا +y بر حسب اتصال بعد از نمادهای سیم پیچ های بار پذیر، همانند مثال های زیر نمایش داده می شوند:

YNa0+d یا YNa0+y

۴-۱-۷ سیم پیچ های با قابلیت تعویض اتصال

چنانچه ترانسفورماتور توانایی تعویض اتصال را دارا باشد، ولتاژ اتصال و اتصال جایگزین درون براکت بعد از اتصال تحویلی به مصرف کننده، طبق مثال های زیر نمایش داده می شود:

چنانچه فشار قوی بتواند ۲۲۰ kV یا ۱۱۰ kV (ولتاژ دوگانه) باشد، اما برای هر دو ولتاژ اتصال ستاره مورد نیاز باشد و ترانسفورماتور در اتصال ۲۲۰ kV و فشار ضعیف ۱۰/۵ kV اتصال مثلث تحویل داده شود:

YNd11 220 (110) / 10.5 kV

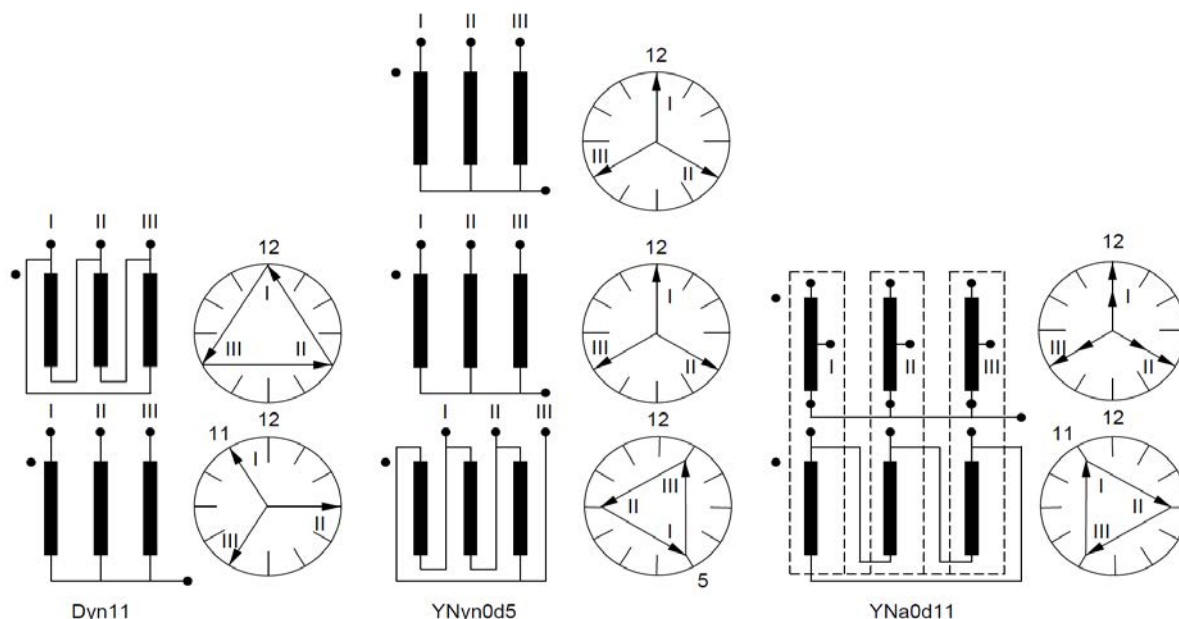
چنانچه فشار ضعیف در اتصال ستاره ۱۱ kV و در اتصال مثلث ۶/۳۵ kV باشد و ترانسفورماتور در اتصال ستاره ۱۱ kV و فشار قوی ۱۱۰ kV ستاره تحویل داده شود:

YNy0 (d11) 110 / 11 (6.35) kV

چنانچه مجموعه ی برداری فشار ضعیف، بدون تغییر ولتاژهای اسمی توانایی تغییر اتصال را دارا باشند (در این مثال ۱۱ kV) و ترانسفورماتور در ساختار d11 با فشار قوی ۱۱۰ kV ستاره تحویل داده شود:

YNd11 (d1) 110 / 11 kV

مثال‌هایی در زیر ارائه شده و نمودارهای گرافیکی آنها در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲ - تشریح با نماد نویسی شماره ساعت

- ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ فشار قوی اسمی ۲۰ kV، اتصال مثلث، سیم‌پیچ فشار ضعیف اسمی ۴۰۰ V اتصال ستاره با خنثی در دسترس. سیم‌پیچ فشار ضعیف نسبت به فشار قوی 330° پس‌فازی دارد.

$$\text{Dyn11} \quad 20000 / 400 \text{ V}$$

- ترانسفورماتور سه‌سیم‌پیچ با سیم‌پیچ فشار قوی اسمی ۱۲۳ kV، اتصال ستاره با خنثی در دسترس. یک سیم‌پیچ فشار متوسط ۳۶ kV، اتصال ستاره با خنثی در دسترس، هم‌فاز با سیم‌پیچ فشار قوی اما غیر اتوترانسفورماتوری و سیم‌پیچ سوم اتصال مثلث ۷/۲ kV، با پس‌فازی 150° :

$$\text{YNyn0d5} \quad 123 / 36 / 7.2 \text{ kV}$$

- مجموعه‌ی سه اتوترانسفورماتور تک‌فاز طراحی شده برای ۴۰۰ kV فشار قوی و یک ۱۳۰ kV فشار متوسط با سیم‌پیچ ثالثیه‌ی ۲۲ kV. سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری در اتصال ستاره هستند، حال آنکه سیم‌پیچ‌های ثالثیه در اتصال مثلث هستند. سیم‌پیچ با اتصال مثلث در پس‌فازی 330° از سیم‌پیچ فشار قوی قرار دارد:

$$\text{YNa0d11} \quad \frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} / 22 \text{ kV}$$

چنانچه سیم‌پیچ مثلث در سه پایانه‌ی خط در دسترس نباشد و تنها به‌عنوان سیم‌پیچ پایدارکننده استفاده شود، این امر با نماد علامت مثبت نشان داده می‌شود. نماد نویسی جابجایی فاز به سیم‌پیچ پایدارکننده قابل اعمال نیست:

$$\text{YNa0+d} \quad \frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} / 22 \text{ kV}$$

از نماد مشابهی، به‌استثنای نماد نویسی ولتاژ، برای اتوترانسفورماتور سه‌فاز با اتصال مشابه استفاده می‌شود. به مثال زیر توجه کنید.

- اتوترانسفورماتور سه‌فاز طراحی شده برای ۴۰۰ kV فشار قوی و ۱۳۰ kV فشار متوسط با سیم‌پیچ ثالثیه ۲۲ kV. سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری در اتصال ستاره هستند، حال آنکه سیم‌پیچ‌های ثالثیه در اتصال مثلث هستند. سیم‌پیچ مثلث در پس‌فازی 330° نسبت به سیم‌پیچ فشار قوی قرار دارد:

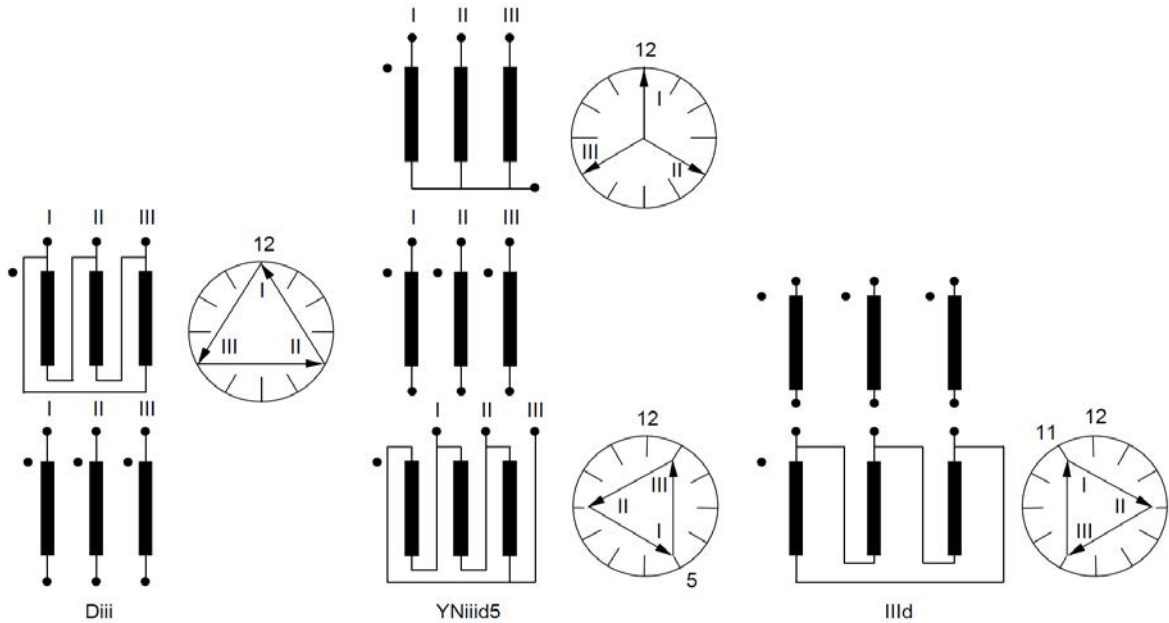
$$\text{YNa0d11} \quad 400 / 130 / 22 \text{ kV}$$

- چنانچه سیم پیچ مثلث در سه پایانه‌ی خط در دسترس نباشد و تنها به عنوان سیم پیچ پایدار کننده استفاده شود، این امر با نماد علامت مثبت نشان داده می‌شود. نماد نویسی جابجایی فاز به سیم پیچ پایدار کننده قابل اعمال نیست:

$$YNa0+d \quad 400 / 130 / 22 \text{ kV}$$

- ترانسفورماتور سه فاز افزاینده‌ی متصل به ژنراتور طراحی شده برای شبکه ۲۰ kV و سمت ژنراتور ۸/۴ kV سیم پیچ‌های متصل به ژنراتور در اتصال مثلث هستند، حال آنکه سیم پیچ‌های سمت شبکه در اتصال ستاره هستند. سیم پیچ مثلث 330° نسبت به سیم پیچ فشار قوی پسفازی دارد:

$$YNd11 \quad 20 / 8.4 \text{ kV}$$



شکل ۳ - تشریح با نماد نویسی شماره ساعت برای ترانسفورماتورهایی با سیم پیچ‌های باز

- ترانسفورماتور سه فاز طراحی شده برای فشار قوی ۲۰ kV مثلث و با یک سیم پیچ باز ۱۰ kV:

$$Diii \quad 20 / 10 \text{ kV}$$

- ترانسفورماتور سه سیم پیچی سه فاز طراحی شده برای فشار قوی ۲۲۰ kV ستاره با یک سیم پیچ باز ۴۰ kV و سیم پیچ سوم ۱۰ kV مثلث:

$$YNiid5 \quad 220 / 40 / 10 \text{ kV}$$

- ترانسفورماتور سری سه فاز طراحی شده برای شبکه‌ی ۴۰۰ kV و سیم پیچ تحریک ۴۰ kV با اتصال مثلث:

$$III d \quad 400 / 40 \text{ kV}$$

۲-۷ نمادهای اتصالات و جابجایی فاز برای ترانسفورماتورهای تکفاز، نه در بانک‌های سه فاز

۱-۲-۷ نماد اتصالات

- اتصال مجموعه‌ی سیم پیچ‌های فاز ترانسفورماتورهای تکفاز برای سیم پیچ فشار قوی با حرف بزرگ I و برای سیم پیچ‌های فشار متوسط و فشار ضعیف با حرف کوچک i نمایش داده می‌شود.

نمادهای حرفی برای سیم‌پیچ‌های متفاوت ترانسفورماتور به ترتیب نزول ولتاژ اسمی، مستقل از شارش توان تعیین شده ذکر می‌شوند. نماد حرفی اتصال برای هر سیم‌پیچ فشار متوسط و فشار ضعیف، بلافاصله با شماره ساعت جابجایی فاز دنبال می‌شود (به تعریف ۳-۱۰-۶ مراجعه شود).

برای زوج سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری، نماد سیم‌پیچ با ولتاژ کمتر، با حرف a جایگزین می‌شود.

۲-۲-۷ جابجایی فاز در نماد نویسی شماره ساعت

شماره ساعت ترانسفورماتورهای تکفاز طبق روش ترانسفورماتورهای سه‌فاز تعیین می‌شود، اما تنها می‌تواند صفر باشد چنانچه دو سیم‌پیچ هم‌فاز باشند، یا ۶ باشد چنانچه سیم‌پیچ‌ها در فاز مقابل باشند.

۳-۲-۷ سیم‌پیچ‌هایی که برای بارگذاری در نظر گرفته نشده‌اند

وجود سیم‌پیچ آزمون یا تکمیلی، که به بارگذاری خارجی ختم نمی‌شوند، بعد از نمادهای سیم‌پیچ‌های بارپذیر با نماد +i، طبق مثال زیر، نشان داده می‌شود:

$$I_{i0+i}$$

۴-۲-۷ سیم‌پیچی‌های با توانایی تغییر اتصالات

چنانچه ترانسفورماتوری توانایی تعویض اتصال را دارا باشد، ولتاژ اتصال و اتصال جایگزین درون پرانتز بعد از اتصال تحویلی به مصرف‌کننده، طبق مثال‌های زیر نمایش داده می‌شود:

- چنانچه فشار قوی بتواند ۲۲۰ kV یا ۱۱۰ kV (ولتاژ دوگانه) باشد و هر دو ولتاژ اتصال یکسانی داشته باشند:

$$I_{i0} \quad 220 (110) / 27.5 \quad kV$$

- چنانچه فشار ضعیف بتواند در ۰، ۱۱ kV و در ۶، ۵٫۵ kV باشد و ترانسفورماتور در ساختار ۱۱ kV با فشار قوی ۱۱۰ kV تحویل داده شود:

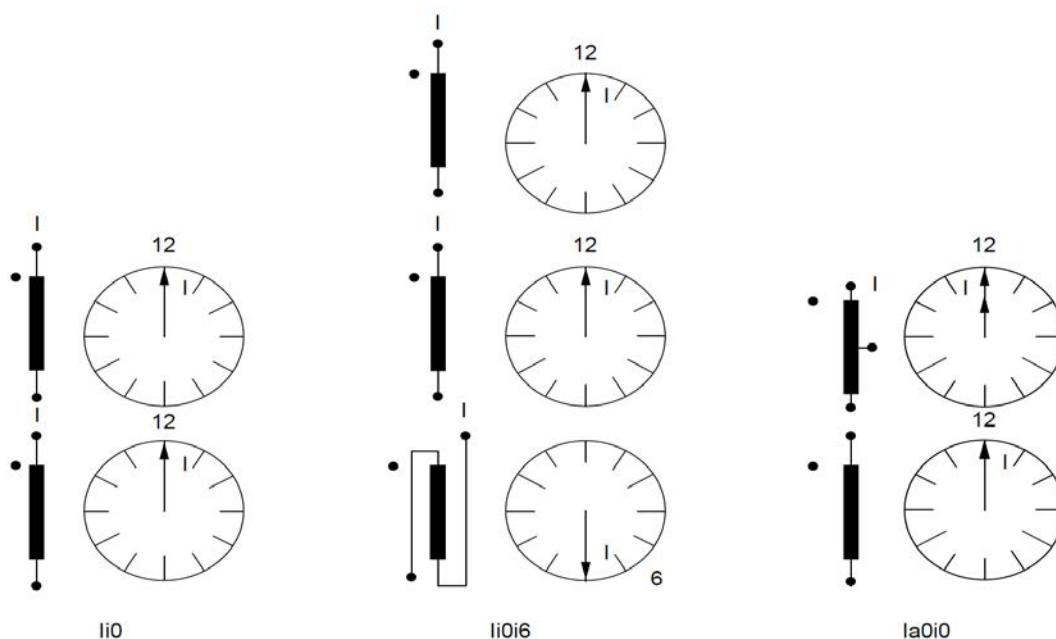
$$I_{i(i6)} \quad 110 / 11 (5.5) \quad kV$$

- چنانچه گروه برداری فشار ضعیف توانایی تغییر اتصال را بدون تغییر ولتاژهای اسمی دارا باشد (در این مثال ۱۱ kV) و ترانسفورماتور در i0 و فشار قوی ۱۱۰ kV تحویل داده شود:

$$I_{i0} (06) \quad 110 / 11 \quad kV$$

مثال‌ها

مثال‌هایی در زیر ارائه شده و نمودارهای گرافیکی برخی از آنها در شکل ۴ ارائه شده است. از قواعد مشابه با شکل ۲ استفاده می‌شود.



شکل ۴ - تشریح با نماد نویسی شماره ساعت

- ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ فشار قوی با ولتاژ اسمی ۲۰ kV، سیم‌پیچ فشار ضعیف با ولتاژ اسمی ۴۰۰ kV، سیم‌پیچ فشار ضعیف همفاز با سیم‌پیچ فشار قوی است:

$$Ii0 \quad 20000 / 400 \text{ V}$$

- ترانسفورماتور سه‌سیم‌پیچه: با فشار قوی ۱۲۳ kV، سیم‌پیچ فشار متوسط ۳۶ kV، همفاز با سیم‌پیچ فشار قوی اما غیر اتوترانسفورماتوری، و سیم‌پیچ سوم با ۷٫۲ kV با پسفازی 180° :

$$Ii0i6 \quad 123 / 36 / 7.2 \text{ kV}$$

- اتوترانسفورماتور تکفاز طراحی شده برای ۴۰۰ kV فشار قوی و فشار متوسط ۱۳۰ kV با سیم‌پیچ‌های ثالثیه‌ی ۲۲ kV، که همگی همفاز هستند:

$$Ia0i0 \quad 400 / 130 / 22 \text{ kV}$$

- چنانچه سیم‌پیچ سوم برای بارپذیری در نظر گرفته نشده باشد، این امر با نماد علامت مثبت نمایش داده می‌شود. نماد نویسی جابجایی فاز به سیم‌پیچ سوم قابل اعمال نیست:

$$Ii0+I \quad 400 / 130 / 22 \text{ kV}$$

۸ صفحه مقادیر اسمی

۱-۸ کلیات

- ترانسفورماتور باید مجهز به یک صفحه مقادیر اسمی با ماده‌ای مقاوم در برابر شرایط جوی، نصب شده در محلی قابل رویت، با نمایش موارد زیر باشد. ماندگاری اطلاعات ثبت شده بر صفحه الزامی است.

۲-۸ اطلاعاتی که برای کلیه موارد ارائه می‌شوند

الف) نوع ترانسفورماتور (برای مثال ترانسفورماتور، اتوترانسفورماتور، ترانسفورماتور سری و غیره).
ب) شماره این استاندارد.

پ) نام سازنده، کشور و شهری که ترانسفورماتور در آن مونتاژ شده است.

ت) شماره سریال سازنده.

ث) سال ساخت.

ج) تعداد فازها.

چ) توان اسمی (با واحدهای kVA یا MVA). (برای ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، توان اسمی هر سیم‌پیچ باید ارائه شود. ترکیب‌های بارگذاری نیز باید نشان داده شوند مگر آنکه توان اسمی یکی از سیم‌پیچ‌ها برابر مجموع توان‌های اسمی سیم‌پیچ‌های دیگر باشد.)

ح) فرکانس اسمی (با واحد Hz).

خ) ولتاژهای اسمی (با واحد V یا kV) و گستره انشعاب.

د) جریان‌های اسمی (با واحد A یا kA).

ذ) نماد اتصالات و جابجایی فاز.

ر) مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه، مقدار اندازه‌گیری شده برحسب درصد. برای ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، مقاومت‌های ظاهری ترکیب‌های مختلف دو سیم‌پیچ به‌همراه مقادیر توان مرجع مربوطه، باید ارائه شوند. برای ترانسفورماتورهای انشعاب‌دار زیربند ۵-۶ و مورد ب زیربند ۳-۸ مشاهده شود.

ز) نوع خنک‌کنندگی. (چنانچه ترانسفورماتور دارای چندین روش خنک‌کنندگی معین باشد، مقادیر توان مربوطه می‌تواند برحسب درصدی از توان اسمی بیان شود، برای مثال ONAN/ONAF 70/100%).
ژ) جرم کل.

س) جرم و نوع مایع عایقی براساس استانداردهای مرتبط IEC.

ش) بیشینه توان یا جریان اتصال کوتاه سیستم که برای تعیین ظرفیت استقامت ترانسفورماتور، اگر بی‌نهایت نباشد، استفاده می‌شود.

چنانچه ترانسفورماتور، براساس اتصال‌های مختلف سیم‌پیچ‌ها که در طراحی به‌طور خاص اجازه داده شده‌اند، بیش از یک مقادیر اسمی داشته باشد، مقادیر اسمی افزوده شده باید بر همان صفحه مقادیر اسمی ارائه شوند، یا صفحه‌های مقادیر اسمی جداگانه‌ای باید برای هر مجموعه‌ای نصب شود.

۳-۸ اطلاعات تکمیلی که در صورت امکان باید داده شوند

برای ترانسفورماتور، در صورت امکان، اطلاعات فهرست‌شده در زیر باید در صفحه مقادیر اسمی گنجانده شود:

الف) برای ترانسفورماتورهای با یک یا چند سیم‌پیچ با بیشترین ولتاژ تجهیز U_m برابر یا بیشتر از ۳۶ kV:
نماد نویسی کوتاه سطوح عایقی (ولتاژهای استقامت) طبق استاندارد IEC 60076-3.

ب) معرفی انشعاب:

- برای ترانسفورماتورهای با بیشترین ولتاژ اسمی کمتر از یا برابر با ۷۲٫۵ kV و توان اسمی کمتر از یا برابر با ۲۰ MVA (سه فاز) یا ۶۷ MVA (تکفاز) با گستره‌ی انشعاب محدود به $\pm 5\%$ ، ولتاژهای انشعاب سیم‌پیچ انشعاب‌دار برای کلیه‌ی انشعاب‌ها.
 - و برای دیگر ترانسفورماتورها:
 - جدول ولتاژ انشعاب، ولتاژ کاری بیشینه انشعاب مجاز، جریان انشعاب، توان انشعاب و اتصال داخلی کلیه‌ی انشعاب‌ها.
 - جدول مقادیر مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه انشعاب اصلی و حداقل انشعاب‌های کران، برحسب درصد، به‌همراه توان مرجع.
- پ) بیشینه افزایش دمای ضمانت‌شده‌ی سطح فوقانی مایع و سیم‌پیچ‌ها (چنانچه مقادیر معمول نباشند). چنانچه ترانسفورماتور برای نصب در ارتفاع در نظر گرفته شده باشد، ارتفاع، توان اسمی و افزایش دما در آن ارتفاع به‌همراه یکی از موارد زیر باید در صفحه مقادیر اسمی نشان داده شود:
- چنانچه ترانسفورماتور برای نصب در ارتفاع زیاد طراحی شده باشد، افزایش دما (کاهش‌یافته) برای توان اسمی تحت شرایط طبیعی دمای عامل خنک‌کننده خارجی.
 - چنانچه ترانسفورماتور برای شرایط طبیعی دمای عامل خنک‌کننده خارجی شود، توان اسمی برای افزایش دمای ضمانت‌شده تحت شرایط طبیعی دمای عامل خنک‌کننده خارجی.
- ت) نمودار اتصال (در مواردی که نماد اتصال نتواند اطلاعات کاملی از اتصال‌های داخلی در اختیار قرار دهد). چنانچه اتصال‌ها در داخل ترانسفورماتور قابل تغییر باشند، این امر باید در همان صفحه، صفحه‌ای جداگانه یا با صفحه‌های مقادیر اسمی دوگانه یا دوطرفه نشان داده شود. اتصال تحویلی باید نشان داده شود. در صورت استفاده از مقاومت‌های غیرخطی یا فیوزها در درون ترانسفورماتور، محل و اتصال چنین تجهیزاتی باید در صفحه نمودار، به‌همراه نمادهای پایانه‌ای نشان داده شود. نشانه‌ای از هر یک از ترانسفورماتورهای جریان تعبیه‌شده در داخل، در صورت استفاده، باید در دیاگرام ارائه شود.
- ث) جرم جابجایی (چنانچه متفاوت از جرم کل باشد).
- ج) جرم بدون محفظه (برای ترانسفورماتورهای با جرم کل متجاوز از ۵ t).
- چ) قابلیت استقامت مخزن، منبع انبساط، تعویض‌کننده‌های انشعاب و تجهیزات خنک‌کننده درمقابل خلاء.
- ح) برای ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، هرگونه محدودیت ترکیب‌های توان-بارگذاری.
- خ) برای ترانسفورماتورهای مجهز به نشانگر دمای سیم‌پیچ (WTI)^۱، تنظیمات کلیه‌ی نشانگرهای دما. تفاوت بین دمای نقطه‌ی داغ سیم‌پیچ در توان اسمی و دمای سطح مایع، محاسبه‌شده از نتایج آزمون افزایش دما امری طبیعی است. چنانچه بیش از یک روش خنک‌کنندگی داشته باشیم، هر روش خنک‌کنندگی می‌تواند تنظیمات مختلفی داشته باشد.
- د) برای کلیه‌ی ترانسفورماتورهای جریان نصب‌شده در درون ترانسفورماتور، محل، نسبت‌تبدیل(ها)، کلاس درستی و خروجی اسمی (ولت/مپرا اسمی) ترانسفورماتور جریان.

1- Winding temperature indicator

ذ) دمای کمینه‌ی عامل خنک‌کننده، چنانچه برای ترانسفورماتورهای نصب‌شده در محل مسقف 5°C - یا برای ترانسفورماتورهای نصب‌شده در فضای آزاد 25°C - نباشد. صفحات شناسایی و معرفی مشخصات تجهیزات کمکی طبق استانداردهای مرتبط با چنین اجزایی (بوشینگ‌ها، تغییردهنده‌های انشعاب، ترانسفورماتورهای جریان، تجهیزات ویژه‌ی خنک‌کننده)، باید بر روی خود اجزا یا بر روی ترانسفورماتور نصب شوند.

۹ نکات ایمنی، الزامات محیطی و غیره

۱-۹ نکات ایمنی و الزامات محیطی

۱-۱-۹ نشت مایع

سازندگان ترانسفورماتور باید مهار موثری برای مایع ترانسفورماتور در نظر گرفته و اقدامات موثری را جهت پیشگیری از نشت به عمل آورند. توجه ویژه‌ای باید به کارکرد طولانی‌مدت مواردی مانند زیر اعمال شود:

- طراحی اتصالات؛

- مواد درزبندی؛

- جوشکاری؛

- پیشگیری از خوردگی.

ترانسفورماتورها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که فاقد نشت باشند و هرگونه نشتی مشاهده‌شده در محل مصرف در پایان مرحله‌ی راه اندازی باید توسط مسئول ذیربط برطرف شود.

۲-۱-۹ ملاحظات ایمنی

سازنده باید ایمنی متصدیان و کارگران تعمیرات و نگهداری را در طراحی ترانسفورماتور، به‌ویژه در جنبه‌های زیر، لحاظ کند:

- دسترسی به اجزاء با دمای زیاد؛

- دسترسی به اجزاء برقرار^۱؛

- دسترسی به اجزاء متحرک؛

- مقررات جابجایی و تماس بدنی؛

- دسترسی جهت تعمیر، در صورت نیاز به تعمیر؛

- کار در ارتفاع.

در مواردی که تاسیسات بتواند هر یک از موارد فوق را دستخوش تغییراتی کند، دستورالعمل‌های مناسب نصب باید تهیه شوند.

یادآوری - در صورت تجهیز ترانسفورماتور به نردبان، سکو و وسایل دسترسی مشابه، باید از سری ISO 14122^۲ استفاده شود.

1- Live parts

2- ISO 14122 series, Safety of machinery - Permanent means of access to machinery

۲-۹ تعیین اندازه اتصال خنثی

هادی و پایانه‌ی خنثی ترانسفورماتورهای در نظر گرفته شده برای تغذیه باری بین فاز و خنثی (مانند ترانسفورماتورهای توزیع) باید برای جریان بار اختصاص داده شده و جریان عیب زمین ارزیابی شود (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

هادی و پایانه‌ی خنثی ترانسفورماتورهایی که برای تغذیه بار بین فاز و خنثی در نظر گرفته نشده اند، باید برای حمل جریان عیب زمین، زمانیکه ترانسفورماتور مستقیماً زمین می شود، طراحی شوند.

۳-۹ سیستم نگهدارنده مایع

در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع، نوع سیستم نگهداری مایع می تواند در مرحله‌ی درخواست و ثبت سفارش تعیین شود. چنانچه تعیین نشود، سازنده باید سیستم نگهداری مایع را در پیشنهاد خود تعیین کند. انواع زیر مهم هستند:

- سیستم تنفس آزاد^۱ یا سیستم منبع انبساط^۲ که ارتباط آزادی بین هوای محیط و فضای انبساط پر از هوای بالای سطح ، درون مخزن یا ظرف انبساط جداگانه (منبع انبساط)، وجود دارد. در محل اتصال با هوای آزاد از یک هواکش رطوبت گیر استفاده می شود.
- سیستم نگهدارنده مایع دیافراگمی^۳ یا بالشتکی که در آن حجم متراکمی از هوا با فشار جو بر سطح مایع قرار می گیرد اما از تماس مستقیم با مایع به واسطه‌ی دیافراگم یا بالشتکی قابل انعطاف ممانعت می شود. در محل اتصال با هوای آزاد از یک هواکش رطوبت گیر استفاده می شود.
- سیستم فشار گاز بی اثر^۴ که در آن فضای انبساط بالای مایع با گاز بی اثر خشک، با اندکی فشار بیشتر پر می شود، و به منبع کنترل شونده فشار یا بالشتکی ارتجاعی متصل می شود.
- سیستم مخزن آب بندی شده با بالشتک گازی^۵ که در آن حجمی از گاز بر سطح مایع در مخزنی صلب، انبساط مایع را در فشارهای متفاوت تنظیم می کند.
- سیستم آب بندی شده، کاملاً انباشته^۶ که در آن انبساط مایع توسط جابجایی ارتجاعی مخزن موج دار یا رادیاتورهای به طور دائم آب بندی شده جذب می شود.

ابعاد سیستم نگهدارنده یا انبساط باید برای تطبیق تغییر حجم مایع از سردترین محیط، زمانی که ترانسفورماتور بی برق است تا بیشترین دمای میانگین مایع، زمانی که ترانسفورماتور با بالاترین سطح مجاز منطبق بر مقررات بارگذاری استاندارد IEC 60076-7 برای روغن معدنی یا مایع خنک کننده‌ی جایگزین بارگذاری شود، مناسب باشد.

-
- 1- Freely breathing system
 - 2- Conservator system
 - 3- Diaphragm or bladder-type liquid preservation system
 - 4- Inert gas pressure system
 - 5- Sealed-tank system with gas cushion
 - 6- Sealed, completely filled system

یادآوری - میزان مجاز تغییر ضریب انبساط حرارتی که می‌تواند برای مایع‌های مختلف هم‌نوع رخ دهد، باید تعیین شود.

۴-۹ جریان‌های DC در مدارهای خنثی

ترانسفورماتوری با خنثی زمین‌شده می‌تواند تحت تاثیر جریان‌های DC عبوری از خنثی باشد. برای مثال، جریان DC می‌تواند به واسطه‌ی موارد زیر تولید شود:

- سیستم‌های حمل‌ونقل DC؛
- سیستم‌های حفاظت کاتدی؛
- سیستم‌های یکسوساز؛
- جریان‌های القایی خواص مغناطیسی زمین (GIC)^۱.

زمانی که ترانسفورماتور در معرض جریان‌های DC در خنثی باشد، منجر به بایاس DC مغناطیس‌شوندگی در مدار مغناطیسی خواهد شد. جریان مغناطیس‌کنندگی شدیداً نامتقارن شده و محتوای هارمونیک زیادی خواهد داشت. پیامدهای محتمل به قرار زیر هستند:

- افزایش سطح صوتی؛
- عملکرد بد رله و قطع نادرست؛
- گرمای بیش از حد شار پراکندگی؛
- افزایش چشمگیر جریان مغناطیس‌کننده؛
- افزایش تلفات بی‌باری.

چنین پدیده‌هایی تابع توانایی جریان DC در مغناطیسی کردن هسته و طراحی هسته می‌باشند. اثرات منتجه تابعی از دامنه و مدت‌زمان جریان DC، نوع هسته و مشخصات کلی طراحی ترانسفورماتور می‌باشد. چنانچه ترانسفورماتور در معرض جریان‌های DC باشد، باید سطوح چنین جریان‌هایی به همراه محدودیت‌های عواقب ناشی از آن، توسط خریدار در درخواست خرید تعیین شود. همچنین به زیربند ۴-۱۱ استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود.

۵-۹ علامت‌گذاری مرکز ثقل

مرکز ثقل ترانسفورماتور آماده‌ی جابجایی با جرم انتقال متجاوز از پنج تن، باید دارای علامت‌گذاری ماندگار در حداقل دو وجه مجاور ترانسفورماتور باشد.

نمی‌توان همواره، به‌ویژه در ترانسفورماتورهای بزرگ چندسیم‌پیچه با ولتاژهای اسمی نسبتاً کوچک، نسبت‌دورها را که متناظر با نسبت‌ولتاژهای اسمی تعیین‌شده هستند، با درستی زیادی مطابقت داد. همچنین کمیت‌های دیگری وجود دارند که می‌توانند در مرحله‌ی پیشنهاد فاقد مقادیر دقیقی باشند، یا در حیطه‌ی عدم‌قطعیت ساخت و اندازه‌گیری قرار دارند.

ازاینرو رواداری‌ها در برخی مقادیر طراحی و تعیین‌شده الزامی است.

ترانسفورماتوری سازگار با این قسمت تلقی خواهد شد که کمیت‌های دارای رواداری خارج از رواداری‌های جدول ۱ نباشند. حذف رواداری در یک سمت گویای عدم محدودیت مقدار در آن سمت می‌باشد.

این بند تنها به‌منظور پذیرش یا عدم‌پذیرش بوده و جایگزین ضمانت‌های تعیین‌شده برای ارزیابی اقتصادی خریداران نخواهد شد (به‌عنوان مثال هزینه‌ی تلفات). موارد این جدول هیچ اولویتی نسبت به محدودیت‌های قرارداد نخواهد داشت.

جدول ۱ - رواداری‌ها

| میزان رواداری | متغیر |
|--|---|
| <p>۱۰٪ + تلفات کل</p> <p>۱۵٪ + تلفات اجزا، به شرط عدم تجاوز رواداری تلفات کل</p> | <p>۱. الف) تلفات کل یادآوری ۱ مشاهده شود</p> <p>ب) تلفات اندازه‌گیری شده‌ی اجزا یادآوری ۱ مشاهده شود</p> |
| <p>مقدار کوچکتر مقادیر زیر:</p> <p>الف) ۰٫۵٪ ± نسبت تعیین شده</p> <p>ب) ۰٫۱٪ ± مقدار درصد واقعی مقاومت‌ظاهری در انشعاب اصلی</p> | <p>۲. نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری شده‌ی بی‌باری در انشعاب اصلی برای اولین زوج سیم‌پیچ تعیین شده یا انشعاب‌های کران، در صورت تصریح</p> |
| <p>۰٫۵٪ ± مقدار طراحی نسبت تبدیل</p> <p>۰٫۵٪ ± مقدار طراحی نسبت تبدیل</p> | <p>نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری شده در انشعاب‌های دیگر، برای همان زوج نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری شده برای زوج‌های بعدی</p> |
| <p>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری بیشتر از یا مساوی با ۱۰٪ باشد</p> <p>۰٫۵٪ ± مقدار تعیین شده</p> <p>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری کمتر از ۱۰٪ باشد</p> <p>۱۰٪ ± مقدار تعیین شده</p> <p>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری بیشتر از یا مساوی با ۱۰٪ باشد</p> <p>۱۰٪ ± مقدار تعیین شده</p> <p>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری کمتر از ۱۰٪ باشد</p> <p>۱۵٪ ± مقدار تعیین شده</p> | <p>۳. مقاومت‌ظاهری اندازه‌گیری شده برای:</p> <p>- ترانسفورماتور سیم‌پیچ جداگانه با دوسیم‌پیچ، یا</p> <p>- اولین زوج سیم‌پیچ‌های جداگانه‌ی تعیین شده در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه</p> <p>الف) انشعاب اصلی</p> <p>ب) هر انشعاب دیگری از زوج</p> |
| <p>۱۰٪ ± مقدار تعیین شده</p> <p>۱۰٪ ± مقدار طراحی برای آن انشعاب</p> <p>طبق توافق، اما با مقداری بزرگتر از ۱۵٪ ±</p> | <p>۴. مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه اندازه‌گیری شده برای:</p> <p>- زوج سیم‌پیچ اتوترانسفورماتوری یا</p> <p>- دومین زوج سیم‌پیچ‌های جداگانه‌ی تعیین شده در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه</p> <p>الف) انشعاب اصلی</p> <p>ب) هر انشعاب دیگری از زوج</p> <p>- زوج سیم‌پیچ‌های بعدی</p> |
| <p>۳۰٪ ± مقدار طراحی</p> | <p>۵. جریان بی‌باری اندازه‌گیری شده</p> |
| <p>یادآوری ۱ - رواداری‌های تلفات ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، به کلیه‌ی زوج سیم‌پیچ‌ها اعمال می‌شود، مگر آنکه طبق ضمانت‌نامه برای ترکیب بار معینی معتبر باشد.</p> <p>یادآوری ۲ - برای برخی از اتوترانسفورماتورها و ترانسفورماتورهای سری، مقدار کوچک مقاومت‌ظاهری آنها می‌تواند رواداری بزرگتری داشته باشد. ترانسفورماتورهای با گستره‌ی انشعاب بزرگ، به‌ویژه چنانچه گستره نامتقارن باشد، ممکن است نیازمند توجه ویژه‌ای باشد. از سوی دیگر، برای مثال، چنانچه ترانسفورماتور با واحدهای از پیش موجود ترکیب شود، می‌توان رواداری‌های باریکتری برای مقاومت‌ظاهری تعیین و توافق کرد. هرگونه رواداری ویژه‌ای باید در درخواست خرید ثبت شود، و هر رواداری تجدیدنظرشده‌ای منوط به توافق سازنده و خریدار خواهد بود.</p> | |

۱-۱۱ الزامات کلی آزمون‌های تک‌به‌تک، نوعی و ویژه

۱-۱-۱۱ عمومی

ترانسفورماتورها باید طبق مقررات زیر مورد آزمون قرار گیرند. آزمون‌ها بجز آزمون‌های افزایش دما باید در دمای عامل خنک‌کننده خارجی بین 10°C و 40°C انجام شوند. برای آزمون‌های افزایش دما به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود. آزمون‌ها باید در کارخانه سازنده اجرا شوند، مگر آنکه غیر آن میان سازنده و خریدار توافق شود. کلیه اجزا خارجی و اتصالاتی که احتمالاً بر عملکرد ترانسفورماتور طی آزمون تاثیرگذار هستند، باید در محل باشند.

چنانچه ترانسفورماتور نتواند جهت آزمون در شرایط از پیش تعیین‌شده بهره‌برداری قرار گیرد (برای مثال چنانچه ترانسفورماتور طی آزمون کارخانه‌ای مربوطه، مجهز به برجک‌های آزمون^۱ و پوشینگ‌های آزمون یا آرایشی از تجهیز خنک‌کننده که نتواند در موقعیت کاری قرار گیرد، باشد) توافقی باید میان خریدار و سازنده پیش از آغاز آزمون‌ها ایجاد شود. چنانچه محدودیتی در مرحله‌ی پیشنهاد وجود داشته باشد، باید توسط سازنده به‌وضوح تعیین شود.

چنانچه ترانسفورماتوری جهت تحویل با پوشینگ‌های مایع / SF_6 در نظر گرفته شده باشد، با توافق طرفین، آزمون می‌تواند توسط پوشینگ‌های معادل مایع/هوا^۲ انجام شود مشروط بر آنکه انتهای غوطه‌ور در مایع پوشینگ آزمون، مشابه پوشینگ حین کار بوده و پوشینگ حین کار حداقل در همان سطح ترانسفورماتور آزموده شده باشد.

سیم‌پیچ‌های انشعاب‌دار باید در انشعاب اصلی باشند، مگر آنکه بند آزمون مربوطه غیر آن تصریح کند یا مگر آنکه سازنده و خریدار غیر آن توافق کنند.

مبنای آزمون کلیه‌ی مشخصات بجز عایق‌بندی شرایط اسمی است، مگر آنکه بند آزمون غیر از این تصریح کند.

کلیه‌ی سیستم‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمون باید دارای درستی قابل‌رصد و تاییدشده و کالیبراسیون دوره‌ای منطبق بر استاندارد ایران- ایزو ۹۰۰۱ باشند.

الزامات ویژه‌ی درستی و تایید سیستم‌های اندازه‌گیری در سری استاندارد IEC 60060 و استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ ارایه شده‌اند.

در صورت نیاز به تصحیح نتایج آزمون به یک دمای مرجع، داریم:

الف) برای ترانسفورماتورهای خشک، دمای مرجع باید منطبق بر الزامات کلی آزمون‌ها در استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ باشد؛

1-Test-turrets
2-Liquid/ SF_6
3-Liquid/air

ب) برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع با متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ کمتر از یا برابر با ۶۵ K
برای OF یا ON، یا ۷۰ K برای OD؛
۱) دمای مرجع 75°C است؛

۲) بنا به درخواست مشتری، مقدار بیشتر دو عدد زیر دمای مرجع خواهد بود: مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با 20°C ، یا مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با متوسط سالیانه دمای عامل خنک‌کننده‌ی خارجی.

پ) برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع با مقادیر دیگر متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ، دمای مرجع برابر با مقدار بیشتر دو عدد زیر خواهد بود: مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با 20°C ، یا مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با متوسط سالیانه دمای عامل خنک‌کننده خارجی.

چنانچه خریداری علاقمند به مقایسه‌ی تلفات ترانسفورماتورهای رده B با تلفات ترانسفورماتورهای رده الف و پ باشد (با سیستم‌های متفاوت عایقی و مقادیر متفاوت متوسط افزایش دمای سیم‌پیچ)، دمای مرجع الزاماً باید طبق ب ۲ فوق تعیین شود. چنانچه خریدار علاقمند به چنین مقایسه‌ای باشد، باید آن را در پیشنهاد خرید اعلام کند.

یادآوری ۱ - برای طراحی‌های فعلی، تبدیل بین تلفات در دماهای مرجع جایگزین، به کمک محاسبات انجام می‌شود. هیچ یک از آزمون‌های نوعی، از جمله آزمون افزایش دما، صرفاً به دلیل تغییر دمای مرجع نیازمند تکرار نخواهند بود.

یادآوری ۲ - برای دماهای متوسط سالیانه‌ی عامل خنک‌کننده‌ی خارجی که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای متفاوت از 20°C می‌باشد، تلفات واقعی حین کار می‌تواند متفاوت از تلفات حاصل از دمای مرجع باشد. تلفات واقعی حین کار تابع بار و پروفایل دما خواهد بود.

ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع باید با مایع هم‌نوع با ویژگی یکسان با مایع مصرفی حین کار آزموده شوند.

یادآوری ۳ - هدف آن است که ترانسفورماتور با مایعی آزموده شود که نتایج آزمون کاملاً معرف عملکرد حین کار ترانسفورماتور باشد.

کلیدهای اندازه‌گیری‌ها و آزمون‌هایی که نیازمند منبعی با فرکانس قدرت هستند، باید با فرکانس منبع درون 1% فرکانس اسمی ترانسفورماتور انجام شوند. شکل موج ولتاژ منبع باید به‌گونه‌ای باشد که محتوای هارمونیک کل از 5% تجاوز نکند. چنانچه چنین شرطی برقرار نباشد آنگاه تاثیر شکل موج بر پارامتر اندازه‌گیری‌شده باید توسط سازنده محاسبه شده و مورد تایید خریدار نیز قرار گیرد. اندازه‌گیری‌های تلفات نباید جهت احتساب هارمونیک‌های ولتاژ منبع، مگر در مواردی که در زیربند ۱۱-۵ مجاز شده‌اند، تصحیح شوند. در صورت استفاده از منبع سه‌فاز، ولتاژ منبع باید متقارن باشد. بیشینه‌ی ولتاژ هر سیم‌پیچ فاز تحت آزمون، نباید از کمینه‌ی ولتاژ بیش از 3% اختلاف داشته باشد.

هرگونه ناتوانی سازنده در اجرای آزمون و اندازه‌گیری در فرکانس اسمی باید توسط سازنده در مرحله‌ی پیشنهاد تعیین شود و ضرایب تبدیل مناسب مورد توافق باشند.
لیست آزمون‌های زیر فاقد توالی خاصی است. چنانچه خریدار نیازمند اجرای آزمون‌ها در توالی خاصی باشد، این امر باید در برگه‌ی خرید ثبت شود.

۱۱-۱-۲ آزمون‌های تک‌به‌تک

۱۱-۱-۲-۱ آزمون‌های تک‌به‌تک برای کلیه‌ی ترانسفورماتورها

الف) اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ (به زیربند ۱۱-۲ مراجعه شود).
ب) اندازه‌گیری نسبت ولتاژ و کنترل جابجایی فاز (به زیربند ۱۱-۳ مراجعه شود).
پ) اندازه‌گیری مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و تلفات بار (به زیربند ۱۱-۴ مراجعه شود).
ت) اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری (به زیربند ۱۱-۵ مراجعه شود).
ث) آزمون‌های تک‌به‌تک دی‌الکترونیک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).
ج) آزمون‌های تغییردهنده‌های انشعاب تحت بار، هر جا که مناسب باشد (به زیربند ۱۱-۷ مراجعه شود).
چ) آزمون نشتی تحت فشار برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (آزمون استحکام) (به زیربند ۱۱-۸ مراجعه شود).

ح) آزمون‌های استحکام و آزمون‌های فشار برای مخازن ترانسفورماتورهای گازی (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۵-۲۶۲۰ مراجعه شود).

خ) بررسی نسبت تبدیل و پلاریته ترانسفورماتورهای جریان توکار.

د) بررسی عایق‌بندی هسته و چارچوب ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع با عایق‌بندی هسته و چارچوب (به زیربند ۱۱-۱۲ مراجعه شود).

۱۱-۱-۲-۲ آزمون‌های تک‌به‌تک تکمیلی برای ترانسفورماتورهای با $U_m > 72,5 \text{ kV}$

الف) تعیین ظرفیت‌های خازنی بین سیم‌پیچ‌ها به زمین و بین سیم‌پیچ‌ها.
ب) اندازه‌گیری مقاومت d.c. عایق‌بندی بین هر سیم‌پیچ با زمین و بین سیم‌پیچ‌ها.
پ) اندازه‌گیری ضریب تلفات ($\tan \delta$) ظرفیت‌های خازنی سیستم عایق‌بندی.
ت) اندازه‌گیری گازهای حل شده در مایع دی‌الکترونیک در کلیه‌ی قسمت‌های روغنی جداگانه جز قسمت کلید برگردان^۱.

ث) اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری در ۹۰٪ و ۱۱۰٪ ولتاژ اسمی (به زیربند ۱۱-۵ مراجعه شود).

۱۱-۱-۳ آزمون‌های نوعی

الف) آزمون نوعی افزایش دما (به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود).

ب) آزمون‌های نوعی دی‌الکترونیک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).

پ) تعیین سطح صوتی (به استاندارد IEC 60076-10 مراجعه شود) برای هر روش خنک‌کنندگی که مقید به سطح صوتی ضمانت‌شده‌ای باشد.

ت) اندازه‌گیری توان مصرفی موتورهای هواکش و پمپ مایع.

ث) اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری در ۹۰٪ و ۱۱۰٪ ولتاژ اسمی.

۴-۱-۱۱ آزمون‌های ویژه

الف) آزمون‌های ویژه‌ی دی‌الکتریک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).

ب) اندازه‌گیری‌های افزایش دمای نقاط داغ سیم‌پیچ.

پ) تعیین ظرفیت‌های خازنی بین سیم‌پیچ‌ها و زمین و بین سیم‌پیچ‌ها.

ت) اندازه‌گیری ضریب تلفات (\tan) ظرفیت‌های خازنی سیستم عایق‌بندی.

ث) تعیین مشخصه انتقال ولتاژ گذرا (به پیوست B استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).

ج) اندازه‌گیری مقاومت‌(های) ظاهری توالی صفر در ترانسفورماتورهای سه‌فاز (به زیربند ۱۱-۶ مراجعه شود).

چ) آزمون استقامت در برابر اتصال کوتاه (به استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۶۲۰ مراجعه شود).

ح) اندازه‌گیری مقاومت d.c. عایق‌بندی هر سیم‌پیچ نسبت به زمین و بین سیم‌پیچ‌ها.

خ) آزمون تغییر شکل تحت خلاء در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (به زیربند ۱۱-۹ مراجعه شود).

د) آزمون تغییر شکل تحت فشار در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (به زیربند ۱۱-۱۰ مراجعه شود).

ذ) آزمون استحکام در مقابل خلاء انجام‌شده در محل مصرف برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (به زیربند ۱۱-۱۱ مراجعه شود).

ر) اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی (تحلیل پاسخ فرکانسی^۱). روش آزمون باید مورد توافق طرفین باشد.

ز) بررسی پوشش خارجی (طبق استانداردهای ISO 2178 و ISO 2409 یا در صورتی که ذکر شود).

ژ) اندازه‌گیری گازهای حل‌شده در مایع دی‌الکتریک.

س) آزمون مکانیکی یا ارزیابی آمادگی مخزن برای جابجایی (براساس ملاحظات مصرف‌کننده).

ش) تعیین وزن ترانسفورماتور آماده‌ی انتقال، که برای ترانسفورماتورهای تا ۱/۶ MVA به واسطه‌ی اندازه‌گیری و برای ترانسفورماتورهای بزرگتر طبق توافق طرفین، به واسطه‌ی اندازه‌گیری یا محاسبه تعیین خواهد شد.

آزمون‌های دیگر ترانسفورماتورها می‌تواند در اسناد ویژه ترانسفورماتورهای تخصصی، مانند خشک، خودمحافظ و گروه‌های دیگر تعریف کرد.

چنانچه روش‌های آزمون در این استاندارد تعیین نشده باشند، یا چنانچه آزمون‌هایی متفاوت از آزمون‌های لیست فوق در قرارداد مقرر شود، روش‌های چنین آزمونی تابع توافقی دوطرفه خواهد بود.

۱۱-۲ اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ

۱۱-۲-۱ عمومی

مقاومت هر سیم‌پیچ، پایانه‌هایی که بین آنها اندازه‌گیری انجام شده و دمای سیم‌پیچ‌ها باید ثبت شوند. برای اندازه‌گیری باید از جریان مستقیم استفاده شود. در کلیه اندازه‌گیری‌های مقاومت، باید از کمینه‌بودن اثرات خودالقایی اطمینان داشت.

۱۱-۲-۲ ترانسفورماتورهای خشک

پیش از اندازه‌گیری، دمای عامل خنک‌کننده خارجی نباید حداقل برای ۳ h بیشتر از 3°C تغییر کند و کلیه دماهای سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، اندازه‌گیری شده با حسگرهای داخلی دما، نباید از دمای عامل خنک‌کننده خارجی بیشتر از 2°C متفاوت باشند.

مقاومت سیم‌پیچ و دمای سیم‌پیچ باید همزمان اندازه‌گیری شوند. دمای سیم‌پیچ باید به وسیله حسگرهایی تعبیه شده در نقاط منتخب، ترجیحاً درون مجموعه سیم‌پیچ‌ها، برای مثال، در مجرای بین سیم‌پیچ‌های فشار قوی و فشار ضعیف اندازه‌گیری شود.

۱۱-۲-۳ ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

پس از آنکه ترانسفورماتور حداقل برای ۳ h بدون برقرارکردن درون مایع قرار گرفت، دمای متوسط مایع باید تعیین شود و دمای سیم‌پیچ باید برابر با دمای متوسط مایع فرض شود. دمای متوسط مایع از میانگین دماهای فوقانی و زیرین مایع به دست می‌آید.

در اندازه‌گیری مقاومت سرد با هدف تعیین افزایش دما، تعیین دقیق دمای متوسط سیم‌پیچ الزامی است. از اینرو، تفاوت دما بین بالا و پایین مایع نباید از ۵ K تجاوز کند. جهت حصول سریعتر چنین نتیجه‌ای، می‌توان مایع را توسط پمپ به گردش درآورد.

۱۱-۳ اندازه‌گیری نسبت ولتاژ و بررسی جابجایی فاز

نسبت ولتاژ باید در هر انشعابی اندازه‌گیری شود. قطبیت ترانسفورماتورهای تکفاز و نماد اتصال ترانسفورماتورهای سه‌فاز باید بررسی شوند. در صورت استفاده از اندازه‌گیری ولتاژ، ولتاژ هر دو سیم‌پیچ باید همزمان اندازه‌گیری شوند.

۱۱-۴ اندازه‌گیری مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و تلفات بار

مقاومت ظاهری اتصال کوتاه و تلفات بار یک زوج سیم‌پیچ باید در فرکانس اسمی با اعمال ولتاژ به پایانه‌های یکی از سیم‌پیچ‌ها با اتصال کوتاه پایانه‌های سیم‌پیچ دیگر، و با مدار باز بودن سیم‌پیچ‌های دیگر، اندازه‌گیری شود. (جهت انتخاب انشعاب آزمون، به زیربندهای ۶-۵ و ۶-۶ مراجعه شود). توصیه می‌شود جریان عبوری برابر با جریان اسمی مربوطه (جریان انشعاب) باشد اما نباید کمتر از ۵۰٪ آن باشد. اندازه‌گیری‌ها باید سریع انجام شوند، به طوری که افزایش دما منجر به خطاهای فاحش نشود. تفاوت دما بین مایع فوقانی و مایع تحتانی باید جهت تعیین دقیق دمای میانگین، به اندازه‌ی کافی کوچک باشد. تفاوت دما بین مایع فوقانی و

تحتانی نباید از 5 K تجاوز کند. جهت حصول سریعتر چنین نتیجه‌ای، می‌توان مایع را توسط پمپ به گردش درآورد.

مقدار اندازه‌گیری شده‌ی تلفات بار باید در مربع نسبت جریان اسمی (جریان انشعاب) به جریان آزمون ضرب شود. سپس عدد به دست آمده باید برای دمای مرجع تصحیح شود (به زیربند ۱۱-۱ مراجعه شود). تلفات I^2R (مقاومت d.c. است) مستقیماً با دما و تمام تلفات دیگر معکوس با دما تغییر خواهند کرد. اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ باید طبق زیربند ۱۱-۲ باشد. روش تصحیح دما در پیوست ۳ ارائه شده است. مقاومت ظاهری اتصال کوتاه به شکل اتصال سری راکتانس و مقاومت a.c. نشان داده می‌شود. مقاومت ظاهری با فرض ثبوت راکتانس و اینکه مقاومت a.c. حاصل از تلفات بار طبق روش فوق تغییر کند، به دمای مرجع تصحیح می‌شود.

در ترانسفورماتورهای مجهز به سیم‌پیچ انشعاب‌دار با گستره‌ی انشعاب نامتجاوز از $\pm 5\%$ ، مقاومت ظاهری اتصال کوتاه باید در انشعاب اصلی اندازه‌گیری شود.

برای ترانسفورماتورهایی با انشعاب‌های متجاوز از تغییر ولتاژ 5% از انشعاب اصلی، مقادیر مقاومت ظاهری باید برای انشعاب اصلی و انشعاب(های) کران متجاوز از 5% اندازه‌گیری شوند. اندازه‌گیری‌های در انشعاب‌های دیگر می‌تواند در درخواست خرید تصریح شوند.

چنانچه گستره‌ی انشعاب نامتقارن باشد، چنانچه توسط خریدار تصریح شود، اندازه‌گیری‌ها باید بر انشعاب میانی اجرا شوند.

در ترانسفورماتور سه‌سیم‌پیچه، اندازه‌گیری‌ها بر سه ترکیب مختلف زوج سیم‌پیچ اجرا می‌شوند. نتایج با تخصیص مقاومت‌های ظاهری و تلفات جداگانه‌ی سیم‌پیچ‌ها، مجدداً محاسبه می‌شوند (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود). بنابراین تلفات کل برای موارد معینی از بارگذاری کلیه‌ی این سیم‌پیچ‌ها به دست می‌آید.

یادآوری ۱ - برای ترانسفورماتورهایی با دو سیم‌پیچ ثانویه با توان اسمی و ولتاژ اسمی یکسان و مقاومت ظاهری برابر با اولیه (که در مواردی ترانسفورماتورهای با ثانویه دوگانه^۱ نامیده می‌شوند)، می‌توان چنین توافق کرد که وضعیت بارگذاری متقارن به وسیله‌ی یک آزمون مازاد با اتصال کوتاه همزمان دو سیم‌پیچ ثانویه، بررسی شود.

یادآوری ۲ - اندازه‌گیری تلفات بار در ترانسفورماتور بزرگ به دلیل ضریب توان کوچک و جریان‌های غالباً بزرگ آزمون، نیازمند مراقبت ویژه و تجهیز مناسب اندازه‌گیری می‌باشد. توصیه می‌شود هر خطایی و تلفات مدار خارجی کمینه شود. توصیه می‌شود خطاهای اندازه‌گیری ترانسفورماتور و مقاومت اتصالات آزمون تصحیح شوند مگر آنکه آشکارا قابل چشم‌پوشی باشند (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

۱۱-۵ اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری

تلفات بی‌باری و جریان بی‌باری باید در یکی از سیم‌پیچ‌ها در فرکانسی اسمی و در ولتاژی برابر ولتاژ اسمی، در صورت اجرای آزمون در انشعاب اصلی یا ولتاژ انشعاب مربوطه، در صورت اجرای آزمون در انشعابی دیگر اندازه‌گیری شود. سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های باقیمانده باید مدار باز باشند و کلیه‌ی سیم‌پیچ‌هایی که می‌توانند

مثلث باز باشند، باید به مثلث بسته تبدیل شوند. همانطور که در زیربندهای ۱۱-۲ و ۱۱-۳ نشان داده شد، اندازه‌گیری باید در ۹۰٪ و ۱۱۰٪ ولتاژ اسمی (یا ولتاژ انشعاب مناسب) انجام شود. ترانسفورماتور تقریباً باید در دمای محیط کارخانه باشد.

برای ترانسفورماتور سه‌فاز، انتخاب سیم‌پیچ و اتصال به منبع توان آزمون باید، درحداکثر، ولتاژهایی متقارن و سینوسی در سه‌فاز مهیا کنند.

ولتاژ آزمون باید به‌وسیله‌ی ولتمتری با توانایی اندازه‌گیری مقدار میانگین ولتاژ، اما با صفحه‌ی نمایش مدرج به مقادیر موثر ولتاژ موج سینوسی با همان مقدار میانگین تنظیم شود. قرائت این ولتمتر U نامیده می‌شود. ضمناً، ولتمتری با توانایی اندازه‌گیری مقدار موثر ولتاژ باید در اتصال موازی با ولتمتر مقدار میانگین باشد و مقدار ولتاژ نمایش داده‌شده‌ی آن U باید ثبت شود.

چنانچه در آزمون ترانسفورماتور سه‌فاز سیم‌پیچ مثلث برقرار شود، ولتاژها باید بین پایانه‌های خط اندازه‌گیری شوند و چنانچه سیم‌پیچ YN یا ZN برقرار شود، ولتاژها باید بین پایانه‌های فاز و خنثی اندازه‌گیری شوند. ولتاژهای فاز به فاز می‌توانند از اندازه‌گیری‌های فاز به زمین محاسبه شوند، اما ولتاژهای فاز به زمین نباید از اندازه‌گیری‌های فاز به فاز محاسبه شوند.

شکل موج ولتاژ آزمون در صورتی رضایت‌بخش است که مقادیر قرائت‌شده‌ی U با دقت ۳٪ یکسان باشند. چنانچه تفاوت بین قرائت‌های ولتمتر بیش از ۳٪ باشد، اعتبار آزمون در گروهی توافق خواهد بود. تفاوتی بزرگتر می‌تواند در بالاتر از ولتاژ اسمی قابل قبول باشد، مگر آنکه این اندازه‌گیری مورد ضمانت باشد.

یادآوری ۱ - مشخص شده است که شدیدترین شرایط بارگذاری برای درستی منبع ولتاژ آزمون، عموماً به‌واسطه‌ی ترانسفورماتورهای تک‌فاز بزرگ رخ می‌دهد.

تلفات بی‌باری اندازه‌گیری‌شده P_m می‌باشد، و تلفات بی‌باری تصحیح‌شده به قرار زیر است:

$$P_0 = P_m (1+d)$$

$$d = \frac{U' - U}{U} \text{ (عموماً منفی)}$$

مقدار موثر جریان بی‌باری همزمان با تلفات اندازه‌گیری می‌شود. در ترانسفورماتور سه‌فاز از مقدار میانگین قرائت‌های سه‌فاز استفاده می‌شود.

تلفات بی‌باری نباید جهت اعمال اثرات دما تصحیح شود.

یادآوری ۲ - در تعیین جایگاه آزمون بی‌باری در توالی کامل آزمون‌ها، باید به‌خاطر داشت که اندازه‌گیری‌های تلفات بی‌باری انجام‌شده پیش از آزمون ضربه^۱ و/یا اندازه‌گیری‌های مقاومت، با فرض اینکه هسته از پیش مغناطیس نشده باشند، عموماً، معرف سطح متوسط تلفات در کار طولانی‌مدت خواهد بود. بدین معنی که، در صورت اجرای آزمون‌های بی‌باری بعد از اندازه‌گیری‌های مقاومت و/یا آزمون‌های ضربه‌ی صاعقه، هسته‌ی ترانسفورماتور باید قبل از اجرای آزمون بی‌باری، توسط اضافه‌تحریک مغناطیس‌زدایی شود.

۱۱-۶ اندازه‌گیری مقاومت(های) ظاهری توالی صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز

مقاومت ظاهری توالی صفر در فرکانس اسمی بین پایانه‌های به هم متصل خط سیم‌پیچ اتصال ستاره یا اتصال زیگزآگ و پایانه‌ی خنثی اندازه‌گیری می‌شود. این عدد برحسب اهم بر فاز بیان شده و با $3U/I$ محاسبه می‌شود، که در آن ولتاژ آزمون و I جریان آزمون می‌باشد.

جریان آزمون به‌ازا فاز $I/3$ باید در گزارش آزمون ثبت شود.

باید از سازگاری جریان عبوری اتصال خنثی و ظرفیت جریانی آن اطمینان حاصل شود.

در ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ مثلث اضافی، مقدار جریان آزمون باید به گونه‌ای باشد که جریان سیم‌پیچ مثلث با احتساب مدت زمان کاربرد بیش از اندازه نشود.

چنانچه تعادل آمپر-دور در سیستم توالی صفر از دست برود، برای نمونه در ترانسفورماتور ستاره - ستاره بدون سیم‌پیچ مثلث، ولتاژ اعمالی نباید در شرایط عادی بهره‌برداری از ولتاژ فاز به خنثی تجاوز کند. توصیه می‌شود جریان در خنثی و مدت زمان کاربرد، جهت ممانعت از افزایش مفرط دمای اجزاء فلزی ساختار محدود شود.

در ترانسفورماتورهایی با بیش از یک سیم‌پیچ ستاره با پایانه‌ی خنثی، مقاومت ظاهری توالی صفر وابسته به اتصال بوده (به ۳-۷-۳ مراجعه شود) و آزمون‌هایی که باید اجرا شوند، باید دارای توافقی دوطرفه باشند.

برای اتوترانسفورماتورها و ترانسفورماتورهای YY، ترکیب‌های متنوعی از آزمون‌ها جهت اجرا وجود دارد:

- فشار قوی با فشار ضعیف مدار باز؛

- فشار قوی با فشار ضعیف اتصال کوتاه؛

- فشار ضعیف با فشار قوی مدار باز؛

- فشار ضعیف با فشار قوی اتصال کوتاه.

برای ترانسفورماتورهای YD، مقاومت ظاهری توالی صفر تنها از دید Y اندازه‌گیری می‌شود.

اتوترانسفورماتورهای مجهز به پایانه‌ی خنثی با اتصال دائمی به زمین باید همانند ترانسفورماتورهای معمولی با دو سیم‌پیچ ستاره تلقی شوند. بنابراین، سیم‌پیچ سری و سیم‌پیچ مشترک با هم یک مدار اندازه‌گیری تشکیل می‌دهند و سیم‌پیچ مشترک به تنهایی مدار اندازه‌گیری دیگری را تشکیل خواهد داد. اندازه‌گیری‌ها با جریانی کمتر از تفاوت بین جریان‌های اسمی سمت فشار ضعیف و سمت فشار قوی انجام می‌شوند.

یادآوری ۱ - در شرایطی که تعادل آمپر-دور سیم‌پیچ از دست برود، رابطه بین ولتاژ و جریان عموماً خطی نخواهد بود. در چنین حالتی، اندازه‌گیری‌های متعددی در مقادیر متفاوت جریان می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار قرار دهد.

یادآوری ۲ - مقاومت ظاهری توالی صفر به استقرار فیزیکی سیم‌پیچ‌ها و قسمت‌های مغناطیسی بستگی دارد، لذا اندازه‌گیری‌های روی سیم‌پیچ‌های مختلف می‌تواند مورد توافق نباشد. به‌ویژه، برای ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ زیگزآگ مقاومت ظاهری توالی صفر اندازه‌گیری شده بین پایانه‌های به هم متصل خط و خنثی می‌تواند منجر به مقداری متفاوت از مقدار حاصل از شرایط اعمال ولتاژ سه‌فاز متقارن و اتصال پایانه‌ی یک خط به خنثی شود.

یادآوری ۳ - آزمون مقاومت‌ظاهری توالی صفر مازادی می‌تواند برای ترانسفورماتورهای مجهز به سیم‌پیچ‌های مثلث با دسترسی به دو اتصال یکی از گوشه‌ها، به‌گونه‌ای که بتواند اتصال باز یا بسته باشد، نیاز باشد.

یادآوری ۴ - استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ گویای جزئیات بیشتری است.

۷-۱۱ آزمون‌های تغییردهنده‌ی انشعاب تحت‌بار - آزمون عملکرد

با نصب کامل تغییردهنده‌ی انشعاب بر ترانسفورماتور، عملیات زیر باید به‌ترتیب ذکرشده بدون رخداد خرابی اجرا شوند:

(الف) بدون برقرارکردن ترانسفورماتور، اجرای هشت دوره عملکرد کامل (هر دوره از عملکرد، حرکت از یک انتهای گستره‌ی انشعاب به انتهای دیگر، و بازگشت مجدد است).

(ب) بدون برقرارکردن ترانسفورماتور، و با کاهش ولتاژ کمکی به ۸۵٪ مقدار اسمی، اجرای یک دوره عملکرد کامل.

(پ) با برقرار کردن ترانسفورماتور در ولتاژ و فرکانس اسمی در شرایط بی‌باری، اجرای یک دوره عملکرد کامل.

(ت) با اتصال کوتاه یک سیم‌پیچ و، تا جایی که عملی باشد، با گذر جریان اسمی در سیم‌پیچ انشعاب‌دار، اجرای ده دوره عملکرد تغییردهنده‌ی انشعاب بر گستره‌ی دو پله در دو سوی نقطه‌ی تعویض کلید، یا درغیراینصورت در دو سوی انشعاب میانی (تغییردهنده‌ی انشعاب ۲۰ مرتبه از محل نقطه تعویض عبور خواهد کرد).

۸-۱۱ آزمون نشتی تحت فشار برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (آزمون استحکام)

سازنده‌ی ترانسفورماتور باید آزمون توافق‌شده‌ای را جهت اثبات عدم نشت مخزن ترانسفورماتور در کار واقعی انجام دهد. چنانچه توافقی نباشد، برای ترانسفورماتورهای بزرگتر از ۲۰ MVA یا ۷۲٫۵ kV، فشاری با مقدار کمینه‌ی ۳۰ kPa بیشتر از فشار عادی مایع، باید اعمال شده و به‌مدت ۲۴ h حفظ شود. در ترانسفورماتورهایی با مقادیر اسمی و ولتاژ کمتر، این مدت به ۸ h کاهش می‌یابد. به‌طور معمول، این فشار به‌کمک ستون مایع یا فشار گاز منبع انبساط اعمال می‌شود. سپس، کل ترانسفورماتور باید جهت مشاهده‌ی نشتی بازبینی شود. برای مخازنی با قابلیت انعطاف جهت انبساط مایع (شیاردار)، آزمون‌های نشتی و طول عمر نیازمند توافق می‌باشد.

۹-۱۱ آزمون تغییرشکل تحت خلاء برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

این آزمون در ترانسفورماتورهایی که طبق طراحی، مخازنشان در محل نصب از هوا تخلیه می‌شوند، قابل اجراست.

عموماً، چنین ترانسفورماتورهایی بدون مایع جابجا می‌شوند.

درصورت تصریح، تغییر شکل مخزن با اعمال خلاء و تغییر شکل ماندگار مخزن بعد از حذف خلاء باید اندازه‌گیری شوند.

آزمون باید زمانی انجام شود که ترانسفورماتور از کلیه‌ی جهات تکمیل شده باشد و بر روی کلیه‌ی قسمت‌هایی که در محل نصب در معرض خلاء هستند باید اجرا شود.

پیش از اعمال خلاء، نقطه‌ی مرجع اندازه‌گیری مناسب، با اتصال صلب به چارچوب اتاق آزمون یا کف، مستقل از ترانسفورماتور در نقطه‌ای در حدامکان نزدیک به نقطه‌ای از مخزن با بیشینه تغییر شکل مورد انتظار در شرایط خلاء، باید تعیین شود. فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن باید اندازه‌گیری و ثبت شود.

متعاقب اعمال خلاء تا سطح متناظر با شرایط کار، فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن باید مجدداً اندازه‌گیری شود. تغییر شکل تحت خلاء برابر تفاوت بین این اندازه‌گیری و اندازه‌گیری اول خواهد بود.

سپس خلاء باید حذف شود و باید اندازه‌گیری سوم فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن انجام شود. تغییر شکل ماندگار برابر تفاوت بین این اندازه‌گیری و اندازه‌گیری اول خواهد بود.

می‌توان از روش‌های معادل جایگزین اندازه‌گیری استفاده کرد و جهت جبران جابجایی مخزن در طول آزمون، اندازه‌گیری‌های دیگری بر وجه مقابل ترانسفورماتور انجام داد. عموماً، تغییر شکل مورد انتظار تحت خلاء و تغییر شکل ماندگار باید پیش از آزمون توسط سازنده محاسبه و اعلام شوند. در غیر این صورت باید از مقادیر نوعی زیر استفاده شود:

الف) ترانسفورماتورهای متوسط بین ۲۰ MVA و ۱۰۰ MVA:

- تغییر شکل ماندگار بعد از حذف خلاء: ۱ mm ؛

ب) ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ (با دیواره‌های صاف مخزن)، بیشتر از ۱۰۰ MVA:

- تغییر شکل ماندگار بعد از حذف خلاء: ۵ mm .

در صورت تجاوز از مقادیر مورد انتظار، آزمون جهت مشاهده‌ی اینکه آیا ابعاد مخزن تثبیت می‌شود، باید تکرار شود. اگر تثبیت نشود، راهکارهای مفیدی، برای مثال تجهیز مخزن به نگهدارنده‌های مازاد، باید اتخاذ شود.

۱۰-۱۱ آزمون تغییر شکل تحت فشار برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

در صورت تصریح، تغییر شکل مخزن با اعمال فشار و تغییر شکل ماندگار مخزن بعد از حذف فشار باید اندازه‌گیری شوند. برای مخازنی با قابلیت انعطاف جهت انبساط مایع (موجدار)، این آزمون قابل اجرا نیست. آزمون باید زمانی انجام شود که ترانسفورماتور از کلیه‌ی جهات تکمیل شده و پر مایع شده باشد. آزمون باید روی کلیه‌ی قسمت‌های جداگانه‌ی شامل مایع انجام شود.

چنانچه غیر این تصریح شود، فشار آزمون بر مخزن باید ۳۵ kPa بیشتر از فشار شرایط کار عادی باشد. چنانچه ترانسفورماتور مجهز به افزارهای کاهنده‌ی فشار باشد، فشار اعمالی طی این آزمون باید از فشار مورد نیاز جهت عملکرد افزارهای کاهنده‌ی فشار، حداقل ۱۰ kPa بیشتر باشد. بنابراین افزارهای کاهنده‌ی فشار طی این آزمون باید بی‌اثر شوند.

یادآوری – اضافه فشار تعیین شده می تواند به راحتی با تنظیم ارتفاع ستون مایع (برای نمونه به وسیله بلند کردن منبع انبساط جداگانه متصل به بالا بر) اعمال شود.

پیش از اعمال فشار، در خلال مدتی که مخزن در سطح عادی مایع می باشد، نقطه‌ی مرجع اندازه‌گیری مناسب، با اتصال صلب به چارچوب اتاق آزمون یا کف، مستقل از ترانسفورماتور در نقطه‌ای در حدامکان نزدیک به نقطه‌ای از مخزن با بیشینه تغییر شکل مورد انتظار در شرایط فشار، با احتساب تغییر شکل مورد انتظار، باید تعیین شود. فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن باید اندازه‌گیری و ثبت شود.

متعاقب اعمال فشار مازاد، فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن باید مجدداً اندازه‌گیری شود. تغییر شکل تحت فشار برابر تفاوت بین این اندازه‌گیری و اندازه‌گیری اول خواهد بود.

می توان از روش‌های معادل جایگزین اندازه‌گیری استفاده کرد و جهت جبران جابجایی مخزن در طول آزمون، اندازه‌گیری‌های دیگری بر وجه مقابل ترانسفورماتور انجام داد.

سپس فشار باید به سطح اصلی کاهش یابد و اندازه‌گیری سوم فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرجع تا دیواره‌ی مخزن در راستای تقریباً متعامد بر دیواره‌ی مخزن باید انجام شود. تغییر شکل ماندگار برابر تفاوت بین این اندازه‌گیری و اندازه‌گیری اول خواهد بود.

عموماً، تغییر شکل مورد انتظار تحت فشار و تغییر شکل ماندگار باید پیش از آزمون توسط سازنده محاسبه و اعلام شوند. در غیر این صورت باید از مقادیر نوعی زیر استفاده شود:

الف) ترانسفورماتورهای متوسط بین ۲۰ MVA و ۱۰۰ MVA:

- تغییر شکل ماندگار بعد از اضافه فشار: ۱ mm؛

ب) ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ (با دیواره‌های صاف)، بیشتر از ۱۰۰ MVA:

- تغییر شکل ماندگار بعد از اضافه فشار: ۵ mm.

در صورت تجاوز از مقادیر مورد انتظار، آزمون جهت مشاهده‌ی اینکه آیا ابعاد مخزن تثبیت می شود، باید تکرار شود. اگر تثبیت نشود، راهکارهای مفیدی، برای مثال تجهیز مخزن به نگهدارنده‌های مازاد، باید اتخاذ شود.

۱۱-۱۱ آزمون استحکام تحت خلاء در محل مصرف برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

این آزمون برای ترانسفورماتورهای طراحی شده جهت تخلیه‌ی مخازن در محل مصرف و جابجایی بدون مایع قابل اجرا است. متعاقب نصب در محل مصرف و پیش از تزریق مایع، توانایی ترانسفورماتوری که جهت پرشدن نیازمند استفاده‌ی از خلاء می باشد یا کارکردهای دیگر محل نصب در تحمل خلاء بدون پذیرفتن هوا، باید به‌قرار زیر اثبات شود:

خلایی با بیشترین سطح مورد نیاز در کارکرد محل نصب باید به مدت دو ساعت یا تا حصول سطح پایدار خلاء اعمال شود. سپس پمپ خلاء متوقف شده و ترانسفورماتور آب‌بندی می شود.

سپس خلاء درون ترانسفورماتور تا حصول نرخ یکنواخت تغییر خلاء، به کمک سنجه^۱ خلاء رصد خواهد شد. افزایش فشار باید کمتر از ۰/۲ kPa بر ساعت، اندازه‌گیری شده در بازه‌ی زمانی حداقل ۳۰ min، باشد.

۱۱-۱۲ بررسی عایق هسته و چارچوب

این آزمون باید روی کلیه‌ی ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع که عایقی هسته و چارچوب و/یا چهارچوب و مخزن را از هم جدا می‌کنند، انجام شود.

برای ترانسفورماتورهایی که با تزریق مایع، اتصال‌های زمین هسته و چارچوب از دسترس خارج می‌شوند، پیش از نصب اجزاء فعال در مخزن، عایق‌بندی باید در ۵۰۰ V d.c. برای ۱ min بدون شکست آزموده شود. در ترانسفورماتورهایی که با تزریق مایع، اتصال‌های زمین هسته و چارچوب در دسترس باقی می‌مانند، پس از تزریق مایع به ترانسفورماتور، عایق‌بندی باید در ۲۵۰۰ V d.c. برای ۱ min بدون شکست آزموده شود.

۱۲ سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)^۲

ترانسفورماتورهای قدرت در نشر اختلالات الکترومغناطیسی و مصونیت نسبت به آن، باید به‌عنوان یک عنصر غیرفعال تلقی شوند.

یادآوری ۱ - برخی ملحقات می‌توانند مستعد تداخل الکترومغناطیسی باشند.

یادآوری ۲ - عناصر غیرفعال نقشی در تولید اختلالات الکترومغناطیسی نداشته و عملکرد آنها نیز متاثر از چنین اختلالاتی نخواهد بود.

۱۳ گذراهای کلیدزنی فرکانس بالا

کلیدزنی ترانسفورماتورهایی با بار کم و/یا ضریب توان کوچک (بار القایی)، با قطع‌کننده‌های مبتنی بر خلاء و SF₆ می‌توانند ترانسفورماتور را در معرض گذراهای ولتاژ بالقوه زیان‌آور با فرکانس‌هایی تا گستره‌ی مگاهرتز قرار دهد و ولتاژ را به بیشتر از ولتاژ استقامت ضربه‌ی ترانسفورماتور برساند. راهکارهای تضعیف، نه به‌عنوان اجزایی از ترانسفورماتور، می‌تواند شامل وسایلی جهت افزایش میرایی از طریق اسنابرهای مقاومتی-خازنی، مقاومتهای تعبیه‌شده‌ی درون کلیدها یا کلیدزنی تحت بار باشد. در صورت تصریح خریدار، سازنده باید جزییات فرکانس‌های طبیعی تشدید و/یا پارامترهای مدل فرکانس بالای ترانسفورماتور را ارائه کند.

یادآوری - IEEE C57.142 اطلاعات بیشتری در زمینه‌ی رخداد و تضعیف گذراهای کلیدزنی ناشی از ترانسفورماتور، افزار کلیدزنی، و تاثیرات متقابل سیستم در اختیار قرار می‌دهد.

1- Guage

2- Electromagnetic compatibility

پیوست الف

(اطلاعاتی)

اطلاعات فنی جهت درخواست خرید و سفارش

الف-۱ مقادیر اسمی و اطلاعات کلی

الف-۱-۱ اطلاعات معمولی

اطلاعات زیر باید در کلیه موارد ارائه شوند:

الف) مشخصاتی از ترانسفورماتور که باید برآورده شوند.

ب) نوع ترانسفورماتور، بطور مثال ترانسفورماتور سیم‌پیچ جداگانه، اتوترانسفورماتور یا ترانسفورماتور سری.

پ) واحد تکفاز یا سه‌فاز.

ت) تعداد فازهای سیستم.

ث) فرکانس.

ج) نوع ترانسفورماتور، خشک یا غوطه‌ور در مایع. در صورت غوطه‌وری در مایع، تعیین جنس مایع: روغن

معدنی، مایع عایقی طبیعی یا مصنوعی. در صورت خشک بودن، تعیین درجه‌ی حفاظت (به استاندارد

IEC 60529 مراجعه شود).

چ) نصب در فضای بسته یا فضای باز.

ح) نوع خنک‌کننده.

خ) توان اسمی هر سیم‌پیچ و گستره‌ی انشعاب متجاوز از $\pm 5\%$ انشعاب جریان بیشینه تعیین شده.

در صورت تجهیز ترانسفورماتور به روش‌های جایگزین خنک‌کنندگی، مقادیر توان کوچکتر نظیر هر روش

به‌همراه توان اسمی (که به‌عنوان پربازده‌ترین خنک‌کنندگی شناخته می‌شود) باید ارائه شوند.

د) ولتاژ اسمی هر سیم‌پیچ.

ذ) در ترانسفورماتوری مجهز به انشعاب (به ۶-۴ مراجعه شود):

- شرایط تعویض انشعاب، تحت بار یا بی‌بار؛

- الزامات تثبیت نسبت دور بین دو سیم‌پیچ خاص در ترانسفورماتوری با بیش از دو سیم‌پیچ؛

- تعیین انشعاب یا گستره‌ای از انشعاب که می‌تواند انشعاب با توان کاهش یافته باشد؛

- تعداد و اندازه‌ی پله انشعاب یا گستره‌ی انشعاب؛

و یکی از دو دسته‌ی زیر:

- تعیین سیم‌پیچ مجهز به انشعاب؛

- چنانچه انشعاب دارای گستره‌ای بیش از $\pm 5\%$ باشد، تعیین نوع تغییرات ولتاژ و محل انشعاب

جریان بیشینه، در صورت وجود؛

یا:

- جهت شارش توان (می‌تواند دوسویه نیز باشد)،

- تعیین ولتاژی که جهت تعریف ولتاژ انشعاب اسمی باید تغییر کند؛
- کمینه مقدار ضریب توان بار کامل.
- (ر) بیشینه ولتاژ تجهیز (U_m) در پایانه‌های خط هر سیم‌پیچ و خنثی (با توجه به عایق‌بندی، به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).
- (ز) روش زمین کردن (برای هر سیم‌پیچ).
- (ژ) سطح عایق‌بندی و سطوح آزمون دی‌الکتریک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود)، برای پایانه‌های هر سیم‌پیچ خط و خنثی.
- (س) الزامات نشانه‌ی اتصال و خنثی در هر سیم‌پیچ.
- (ش) هرگونه ویژگی در مراحل نصب، تولید، جابجایی و تماس بدنی. محدودیت‌های ابعادی و جرمی.
- (ص) جزییات ولتاژ تغذیه‌ی کمکی (برای هواکش‌ها و پمپ‌ها، تغییردهنده‌ی انشعاب، زنگ خطر و غیره).
- (ض) تجهیزات مورد نیاز و شاخصی جهت تشخیص وجهی که از آن وجه، وسایل اندازه‌گیری، صفحه مقادیر اسمی، شاخص‌های سطح مایع و غیره قابل رویت هستند.
- (ط) نوع سیستم نگهدارنده مایع.
- (ظ) در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، ترکیبات مورد نیاز توان-بارگذاری، و در صورت نیاز تعیین جداگانه‌ی خروجی‌های اکتیو و راکتیو، به‌ویژه در اتوترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه.
- (ع) اطلاعات بیشینه افزایش دمای ضمانت‌شده.
- (غ) شرایط بهره‌برداری نامتعارف (به بند ۴ و ۵-۵ مراجعه شود).
- (ف) جزییات نوع و آرایش پایانه‌ها، به‌عنوان نمونه پوشش‌های هوایی یا جعبه کابل یا باسبارهای گازی.
- (ق) تعیین دسترس‌پذیری اتصالات هسته و چارچوب جهت زمین‌کردن خارجی.

الف-۱-۲ اطلاعات ویژه

- ارایه‌ی اطلاعات تکمیلی زیر در صورت نیاز خریدار به موردی خاص، الزامی خواهد بود:
- (الف) نیاز به آزمون ولتاژ ضربه‌ی صاعقه و اینکه آیا آزمون شامل موج‌های برش‌یافته خواهد بود یا خیر (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).
 - (ب) نیاز به سیم‌پیچ متعادل‌کننده، و در صورت نیاز تعیین روش زمین کردن.
 - (پ) مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه یا گستره‌ی مقاومت‌ظاهری (به پیوست پ مراجعه شود). در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه تعیین مقاومت‌ظاهری زوج سیم‌پیچی‌های تعیین‌شده (به‌همراه مقادیر اسمی مرجع متناظر، در صورت ارائه مقادیر برحسب درصد).
 - (ت) رواداری‌های نسبت‌ولتاژ و مقاومت‌های ظاهری اتصال کوتاه براساس توافقات جدول ۱، یا مقادیری متفاوت از مقادیر جدول.
 - (ث) چنانچه ترانسفورماتور دارای اتصالات جایگزین سیم‌پیچی باشد، نحوه‌ی تغییر اتصالات و اتصال تحویلی به مشتری.

ج) مشخصات اتصال کوتاه سیستم‌های متصل (بیان شده برحسب توان یا جریان اتصال کوتاه، یا اطلاعات مقاومت‌ظاهری سیستم) و محدودیت‌های محتمل موثر بر طراحی ترانسفورماتور (به استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۶۲۰ مراجعه شود).

چ) جزییات الزامات سطح صوتی، ضمانت‌نامه‌ها و اندازه‌گیری‌های ویژه (به استاندارد IEC 60076-10 مراجعه شود).

ح) استقامت مخزن، منبع انبساط و تجهیزات خنک‌کننده ترانسفورماتور درمقابل خلاء، درصورت نیاز به مقداری مشخص.

خ) هر آزمون ویژه‌ی پیشنهادی خریدار که در این استاندارد به آنها اشاره نشده است.

د) اطلاعات محاسبه تلفات یا تلفات بیشینه.

ذ) محدودیت‌های ابعادی، برای نمونه جهت نصب بر فونداسیون موجود یا نصب در ساختمان. محدودیت‌های ویژه‌ی محل نصب که می‌تواند بر فاصله مستقیم و محل پایانه موثر باشد.

ر) محدودیت‌های ابعادی و وزنی جابجایی. مقادیر کمینه استقامت در مقابل شتاب، درصورت تجاوز از مقدار مذکور در زیربند ۵-۷-۴-۲.

ز) شرایط جابجایی و انبارداری، در موارد متفاوت از شرایط عادی مذکور در ۵-۷-۴ و ۴-۲.

ژ) هرگونه الزامات یا محدودیت‌های نگهداری.

س) نیاز به محفظه‌ی قطع اتصال در اتصالات مستقیم کابل.

ش) نیاز به تجهیزاتی جهت نظارت بر شرایط (به پیوست ج مراجعه شود).

ص) ملاحظات ویژه‌ی محیطی در مورد تاثیر ترانسفورماتور بر محیط که باید در طراحی ترانسفورماتور لحاظ شوند، به پیوست چ مراجعه شود.

ض) ملاحظات ویژه‌ی ایمنی و سلامتی که باید در طراحی ترانسفورماتور درمورد نصب، بهره‌برداری، نگهداری و اسقاط لحاظ شوند (به پیوست چ مراجعه شود).

ط) شرایط نامتعارف بهره‌برداری الکتریکی، همانند:

۱) اتصال ترانسفورماتور به ژنراتور، مستقیم یا با واسطه‌ی کلید و تعیین احتمال رخداد قطع بار و تعیین شرایط ویژه‌ی قطع بار.

۲) احتمال رخداد اغتشاش شدید در شکل موج جریان بار. احتمال بارگذاری سه‌فاز نامتعادل و تعیین جزییات هر دو حالت.

۳) تعیین اتصال ترانسفورماتور به تجهیزات کلیدخانه با عایق گاز^۱، به‌صورت مستقیم یا از طریق خط‌هوایی کوتاه.

۴) احتمال رخداد اضافه‌جریان‌های مکرر در ترانسفورماتورها، به‌عنوان نمونه، ترانسفورماتورهای کوره و سیستم حمل‌ونقل.

- (۵) جزییات اضافه بار دوره‌ای از پیش تعیین شده بجز موارد زیر بند ۵-۴-۱ (جهت تعیین مقادیر اسمی تجهیزات کمکی ترانسفورماتور).
- (۶) ولتاژهای نامتعادل a.c.، یا انحراف ولتاژهای a.c. سیستم از شکل موج اساساً سینوسی.
- (۷) بارهایی شامل جریان‌های هارمونیک غیرعادی، مانند مواردی که در کنترل حجم عظیمی از جریان‌های بار با ادوات حالت جامد یا ادوات مشابه رخ می‌دهد. چنین جریان‌های هارمونیک می‌تواند منجر به تلفات بیش از اندازه و گرمایش غیرعادی شود.
- (۸) شرایط بارگذاری تعیین شده (خروجی‌های kVA، ضریب توان‌های سیم‌پیچ و ولتاژ سیم‌پیچ‌ها) در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه و اتوترانسفورماتورها.
- (۹) تحریک متجاوز از ۱۱۰٪ ولتاژ اسمی یا ولت‌بره‌تر متجاوز از ۱۱۰٪ نظیر اسمی.
- (۱۰) اتصال کوتاه‌های با برنامه به‌عنوان بخشی از بهره‌برداری عادی.
- (۱۱) شرایط اتصال کوتاه نامتعارف متفاوت از شرایط استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۶۲۰.
- (۱۲) شرایط نامتعارف ولتاژ شامل اضافه‌ولتاژهای گذرا، تشدید، ضربه‌ی کلیدزنی و غیره که می‌تواند نیازمند ملاحظات ویژه‌ای در مرحله‌ی طراحی عایقی باشد.
- (۱۳) میدان‌های مغناطیسی شدیداً قوی. قابل ذکر است که اغتشاشات مغناطیس خورشیدی می‌تواند منجر به عبور جریان از زمین به سمت خنثی^۱ ترانسفورماتور می‌شود.
- (۱۴) ترانسفورماتورهای بزرگ با آرایشی از باسبارهای جریان زیاد. قابل ذکر است که باسداکت‌های جریان زیاد عایق‌بندی‌شده‌ی فازی با میدان‌های مغناطیسی قوی، می‌تواند منجر به جریان‌های چرخشی ناخواسته‌ای در مخازن ترانسفورماتور، محافظ‌ها و باسداکت‌ها شود. تلفات ناشی از چنین جریان‌های ناخواسته‌ای، در فقدان روش‌های تصحیح در مراحل طراحی، می‌تواند منجر به افزایش شدید دما شود.
- (۱۵) بهره‌برداری موازی. هرچند بهره‌برداری موازی امری نامتعارف نیست، اما توصیه می‌شود، مصرف‌کننده اتصال موازی و مشخصات ترانسفورماتورهای در اتصال موازی را در اختیار سازنده قرار دهد.
- (۱۶) برقدار کردن‌های مکرر متجاوز از ۲۴ مرتبه در سال.
- (۱۷) اتصال کوتاه‌های مکرر.
- ظ) شرایط نامتعارف فیزیکی - محیطی
- (۱) ارتفاع از سطح دریا، در صورت تجاوز از هزار متر (۳۳۰۰ ft).
- (۲) شرایط ویژه‌ی دمای عامل خنک‌کننده خارجی، خارج از گستره‌ی عادی (به ۴-۲ ب مراجعه شود)، یا محدودیت‌های گردش هوای خنک‌کننده.
- (۳) زمین‌لرزه‌های قابل پیش‌بینی در محل نصب که نیازمند ملاحظات ویژه‌ای است.
- (۴) گازها و بخارات مخرب، گردوغبار بیش از حد یا ساینده، ترکیبات انفجاری گردوغبار یا گازها، بخار آب، افشانه‌های قلیایی، رطوبت بیش از اندازه، یا نشستی آب و غیره.
- (۵) لرزش غیرعادی، واژگونی یا ضربه.

الف-۲ بهره‌برداری موازی

در صورت نیاز به بهره‌برداری موازی با ترانسفورماتورهای موجود، این امر باید اعلام شده و اطلاعات زیر در مورد ترانسفورماتور موجود ارائه گردد:

الف) توان اسمی.

ب) نسبت ولتاژ اسمی.

پ) نسبت ولتاژهای متناظر با انشعاب‌های متفاوت از انشعاب اصلی.

ت) تلفات بار در جریان اسمی انشعاب اصلی، تصحیح شده برای دمای مرجع متناظر، به ۱۱-۱ مراجعه شود.

ث) مقاومت ظاهری اتصال کوتاه در انشعاب اصلی و انشعاب‌های کران، در صورت تجاوز ولتاژ در انشعاب‌های کران از ۵٪ و در صورت امکان مقاومت ظاهری در انشعاب‌های باقیمانده.

ج) نقشه‌ی اتصالات، یا نماد اتصال، یا هر دو.

یادآوری - عموماً در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچ‌ه نیازمند اطلاعات تکمیلی هستیم.

پیوست ب
(اطلاعاتی)

مثال‌هایی از مشخصات ترانسفورماتورهای انشعاب‌دار

ب-۱ - مثال ۱ - تغییر ولتاژ در شار ثابت

ترانسفورماتوری با مشخصات سه‌فاز با نسبت تبدیل $20 \text{ kV} / 66 \text{ kV}$ با توان اسمی 40 MVA و گستره‌ی انشعاب $\pm 10\%$ در سیم‌پیچی 66 kV با یازده انشعاب مفروض است. که در نمایش کوتاه‌شده داریم:
 $20 \text{ kV} / (66 \pm 5 \times 2\%)$

CFVV نوع تغییر ولتاژ:

40 MVA توان اسمی:

66 kV/20 kV ولتاژهای اسمی:

66 kV (با گستره‌ی انشعاب $\pm 10\%$) سیم‌پیچ انشعاب‌دار:

۱۱ تعداد انشعاب‌ها:

چنانچه ترانسفورماتور دارای انشعاب توان کاهش‌یافته باشد، مثلاً از انشعاب 6% ، آنگاه عبارت زیر نیز اضافه می‌شود:

انشعاب جریان بیشینه: انشعاب 6%

سپس جریان انشعاب سیم‌پیچ فشارقوی از انشعاب 6% تا انشعاب آخر 10% ، به مقدار 372 A محدود می‌شود، که در نتیجه‌ی آن توان انشعاب به 38.3 MVA کاهش می‌یابد.

ب-۲ - مثال ۲ - تغییر ولتاژ در شار متغیر

ترانسفورماتوری با مشخصات سه‌فاز با نسبت تبدیل $6 \text{ kV} / 66 \text{ kV}$ با توان اسمی 20 MVA و گستره‌ی انشعابی از 15% تا 5% در سیم‌پیچی فشارقوی مفروض است. با فرض ثبوت ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی فشارقوی و تغییر ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی فشارضعیف در حد فاصل 6.32 kV تا 5.22 kV خواهیم داشت:

VFVV نوع تغییر ولتاژ:

20 MVA توان اسمی:

66 kV/6 kV ولتاژهای اسمی:

66 kV (با گستره‌ی انشعاب 15% تا 5%) سیم‌پیچ انشعاب‌دار:

۱۳ تعداد انشعاب‌ها:

$$6 \div 0.95 = 6.32 - 1$$

$$6 \div 1.15 = 5.22 - 2$$

ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی ۶ kV و ۶,۳۲ kV و ۵,۲۲ kV
 چنانچه ترانسفورماتور دارای انشعاب توان کاهش‌یافته باشد، عبارت زیر نیز افزوده خواهد شد:
 انشعاب جریان بیشینه: انشعاب ۵٪ +

سپس "جریان انشعاب" سیم‌پیچ فاقد انشعاب (فشارضعیف) از انشعاب ۵٪ + تا انشعاب کران ۱۵٪ + محدود به ۲۰۲۰ A خواهد شد. در این حالت توان انشعاب به ۱۸,۳ MVA کاهش می‌یابد.

ب-۳ مثال ۳ - تغییر ولتاژ ترکیبی

ترانسفورماتوری با مشخصات سه‌فاز با نسبت تبدیل ۱۶۰ kV/۲۰ kV با توان اسمی ۴۰ MVA و گستره‌ی انشعاب ۱۵٪ ± در سیم‌پیچی ۱۶۰ kV مفروض است. نقطه‌ی تعویض (انشعاب ولتاژ بیشینه) در ۶٪ + می‌باشد. از سویی در حالت CFVV دارای انشعاب جریان بیشینه در ۹٪ - هستیم:
 سیم‌پیچ انشعاب‌دار: ۱۶۰ kV و گستره‌ی ۱,۵ × ۱۰ ±

جدول ب-۱ - مثال تغییر ولتاژ ترکیبی

| توان انشعاب S MVA | جریان انشعاب | | ولتاژ انشعاب | | نسبت تبدیل | انشعاب |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----------|
| | I _{LV} A | I _{HV} A | U _{LV} kV | U _{HV} kV | | |
| ۳۶,۸۶ | ۱۱۵۵ | ۱۲۵,۶ | ۱۸,۴۳ | ۱۶۹,۶ | ۹,۲۰ | ۱ (+۱۵٪) |
| ۴۰ | ۱۱۵۵ | ۱۳۶,۲ | ۲۰ | ۱۶۹,۶ | ۸,۴۸ | ۷ (+۶٪) |
| ۴۰ | ۱۱۵۵ | ۱۴۴,۴ | ۲۰ | ۱۶۰ | ۸ | ۱۱ (۰٪) |
| ۴۰ | ۱۱۵۵ | ۱۵۸,۷ | ۲۰ | ۱۴۵,۶ | ۷,۲۸ | ۱۷ (-۹٪) |
| ۳۷,۴ | ۱۰۸۰ | ۱۵۸,۷ | ۲۰ | ۱۳۶ | ۶,۸۰ | ۲۱ (-۱۵٪) |

یادآوری ۱ - در تکمیل اطلاعات انشعاب‌های میانی، می‌توان جدول فوق را بر صفحه مشخصات اسمی الصاق کرد.

یادآوری ۲ - این مشخصات را با مشخصات CFVV که به‌قرار زیر خواهد بود مقایسه کنید:

$$(۱۶۰ \pm ۱۵ \%) / ۲۰ \text{ kV} - ۴۰ \text{ MVA}$$

تفاوت در آن است که ولتاژ انشعاب فشارقوی، براساس نتایج مثال، از مقدار "بالاترین ولتاژ سیستم" سیستم فشارقوی، که برابر ۱۷۰ kV می‌باشد (مقدار استاندارد شده IEC)، تجاوز نمی‌کند. کمیت "بیشینه ولتاژ تجهیز" که مبین عایق سیم‌پیچ است، نیز برابر ۱۷۰ kV می‌باشد (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).

ب-۴ مثال ۴ - مشخص سازی عملکردی انشعاب

قواعد مشخص سازی عملکرد ترانسفورماتور با انشعاب‌های منطبق بر زیربند ۳-۴-۶، چارچوبی برای مشخص سازی الزامات بهره‌برداری در فقدان جزئیات طراحی سیم‌پیچ و آرایش‌های انشعاب، در اختیار سازنده قرار می‌دهد.

سه الزام ویژه که باید به‌طور صحیح تعریف شوند:

- ولتاژ بهره‌برداری؛

- ظرفیت جریان بار؛

- مقاومت ظاهری.

چنانچه غیر این تصریح شود، بیشترین ولتاژ بهره‌برداری، به‌عنوان ولتاژ اعمالی بر هر انشعابی تلقی شده و کران بالایی برای ولتاژ کلیه سیم‌پیچ‌ها خواهد بود برای مثال، ترانسفورماتوری کاهنده، با انشعاب فشار ضعیف ۱۵٪+ و بیشترین ولتاژ بهره‌برداری برابر با ۱۰٪+ ولتاژ اسمی، نباید در شرایط بی‌باری در آن انشعاب در ولتاژهای فشار قوی متجاوز از ۵٪- ولتاژ اسمی استفاده شود، اما در شرایط بارداری، همان انشعاب می‌تواند در ولتاژهای فشار قوی بالاتر جهت جبران افت ولتاژ ترانسفورماتور استفاده شود. کارکرد در ولتاژ فشار ضعیف بالاتر ممکن است در شرایط قطع بار برای مدت زمان کوتاهی مورد نیاز باشد.

جریان سمت بار از تقسیم توان اسمی به ولتاژ اسمی حاصل خواهد شد (در انشعاب اصلی). ترانسفورماتوری منطبق بر ۳-۴-۶ ظرفیت تغذیه‌ی این جریان بار را در کلیه‌ی محل‌های انشعاب دارا خواهد بود. در روشی دیگر، ظرفیت جریان بار می‌تواند برای هر انشعاب مشخص شود.

در تعیین مقاومت‌ظاهری برحسب درصد باید توجه داشت که یا باید بر توان و ولتاژ مبنا تاکید صریح شود یا براساس قرارداد، مقاومت‌ظاهری انشعاب خاصی، از توان اسمی انشعاب اصلی و ولتاژ آن انشعاب خاص به‌دست می‌آید. تنها به همین دلیل، تغییر ولتاژ در فشار قوی یا فشار ضعیف باید ارایه شوند.

موارد زیر نمونه‌هایی از چنین مشخصاتی و ترانسفورماتور ناشی از آن می‌باشد:

ب-۴-۱ مثال ۴-۱ ترانسفورماتوری با تغییر ولتاژ فشارقوی

ترانسفورماتور باید برای کارکرد در حالت کاهش ولتاژ مناسب باشد.

توان اسمی S_r : ۷۰ MVA در انشعاب اصلی

ولتاژهای اسمی: ۲۲۰ kV/۹۰ kV

ولتاژ بیشینه بهره‌برداری: ۱۰٪+

تعداد پله‌های انشعاب: ۲۶

اندازه‌ی پله انشعاب: ۱٪

تغییر ولتاژ فشارقوی: ۱۰٪+ تا ۱۵٪-

مقاومت‌ظاهری: ۱۰٪ در کلیه‌ی انشعاب‌ها در مبنای ۷۰ MVA

کمینه مقدار ضریب‌توان بار کامل: ۰٫۸

جدول ب-۲ - مثالی از مشخص سازی عملکرد با تغییر ولتاژ فشارقوی

| جریان اتصال کوتاه در فشار ضعیف در ۲۲۰ kV | مقاومت ظاهری اتصال کوتاه | | توان انشعاب | جریان انشعاب اسمی | | بیشترین ولتاژ مداوم (در بارداری) | | ولتاژ انشعاب اسمی | | نسبت ولتاژ بی باری | انشعاب |
|--|--------------------------|------------------------|-------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | kA | Z _{HV} /phase | | Z % a | I _{LV} A | I _{HV} A | LV kV | HV kV | U _{LV} kV | | |
| ۴,۰۸ | ۸۴ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۱۶۷ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۲۴۲ | ۹۰ | ۲,۶۹ | ۱ (+۱۰٪) |
| ۴,۲۸ | ۷۶ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۱۷۵ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۲۳۱ | ۹۰ | ۲,۵۷ | ۷ (+۵٪) |
| ۴,۴۹ | ۶۹ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۱۸۴ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۲۲۰ | ۹۰ | ۲,۴۴ | ۱۱ (۰٪) |
| ۴,۷۳ | ۶۲ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۱۹۳ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۲۰۹ | ۹۰ | ۲,۳۲ | ۱۷ (-۵٪) |
| ۴,۹۹ | ۵۶ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۲۰۴ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۱۹۸ | ۹۰ | ۲,۲۰ | ۲۱ (-۱۰٪) |
| ۵,۲۸ | ۵۰ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۲۱۶ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۱۸۷ | ۹۰ | ۲,۰۸ | ۲۷ (-۱۵٪) |

^a ارجاع یافته به مقدار ۷۰ MVA.

یادآوری ۱ - جریان اتصال کوتاه در پایانه های فشار ضعیف با ۲۲۰ kV اعمالی به پایانه های فشارقوی، به قرار زیر و با فرض صفر بودن مقاومت ظاهری شبکه محاسبه می شود.

$$I_{SC} = \frac{220}{U_{HV}} \times I_{LV} \times \frac{100}{Z} \times \frac{S_r}{S_{tap}}$$

یادآوری ۲ - در مثال فوق، جهت سادگی، مقاومت ظاهری z نسبت به محل انشعاب ثابت است. این امر لزوماً یک حالت واقعی نیست.

یادآوری ۳ - مقاومت ظاهری ترانسفورماتور بر حسب اهم بر فاز از عبارت زیر به دست می آید.

$$Z_{HV} = \frac{Z}{100} \times \frac{U_{HV}^2}{S_r}$$

ب-۴-۲ مثال ۲-۴ - ترانسفورماتوری با تغییر ولتاژ فشار ضعیف

ترانسفورماتور باید برای کارکرد در حالت کاهش ولتاژ مناسب باشد.

توان اسمی S_r: ۷۰ MVA در انشعاب اصلی

ولتاژهای اسمی: ۲۲۰ kV/۹۰ kV

ولتاژ بیشینه بهره برداری: +۱۰٪

تعداد پله های انشعاب: ۲۶

اندازه ی پله انشعاب: ۱٪

تغییر ولتاژ فشارقوی: +۱۰٪ -۱۵٪

مقاومت ظاهری: ۱۰٪ در کلیه ی انشعابها در مبنای ۷۰ MVA

کمینه مقدار ضریب توان بار کامل: ۰,۸

یادآوری - جز جابجایی تغییر ولتاژ از فشارقوی به فشارضعیف، مشخصات دیگر مشابه مثال ۴-۱ می باشد. درمقایسه‌ی با ترانسفورماتور مثال ۱ به استثنای انشعاب اصلی، حتی با وجود یکسانی ولتاژ فشارقوی و محل انشعاب، این ترانسفورماتور مقاومت‌ظاهری متفاوتی خواهد داشت و در نتیجه جریان‌های اتصال کوتاه متفاوتی در فشارضعیف در دسترس خواهند بود.

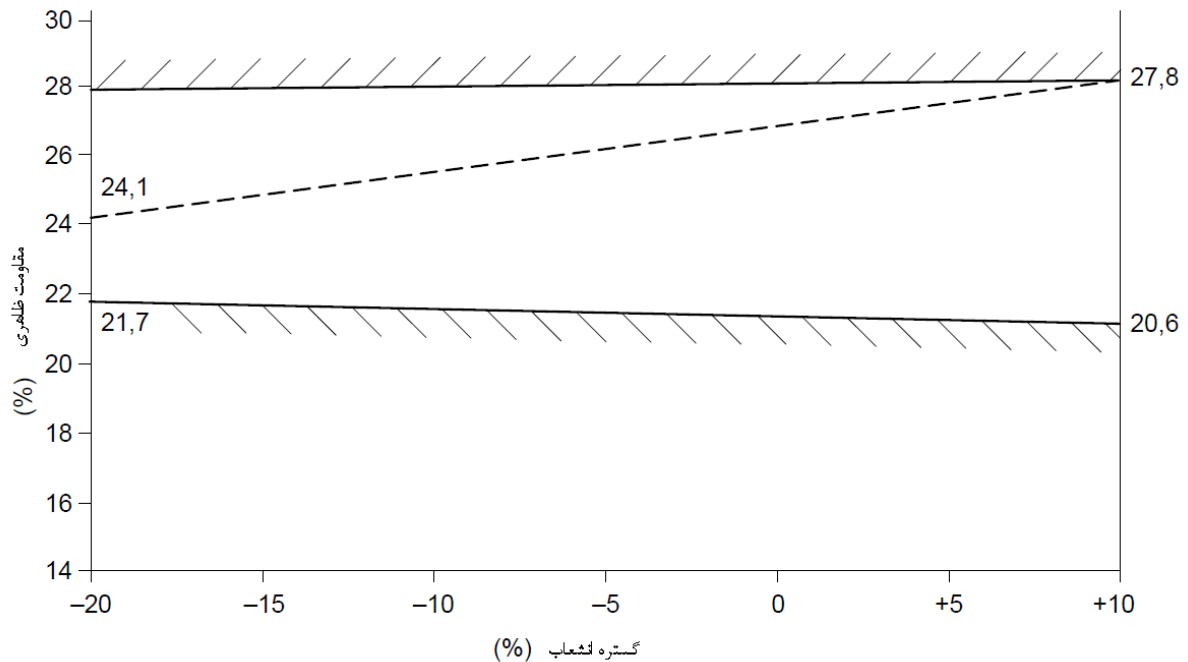
جدول ب-۳ - مثالی از مشخص سازی عملکرد با تغییر ولتاژ فشارضعیف

| جریان اتصال کوتاه در فشارضعیف در ۲۲۰ kV | مقاومت‌ظاهری اتصال کوتاه | | توان انشعاب | جریان انشعاب اسمی | | بیشترین ولتاژ مداوم (در بارداری) | | ولتاژ انشعاب اسمی | | نسبت ولتاژ بی‌باری | انشعاب |
|---|--------------------------|-----------------|-------------|-------------------|------------|----------------------------------|-------|-------------------|-------------|--------------------|-----------|
| | kA | Z_{HV} /phase | | Z % a | I_{LV} A | I_{HV} A | LV kV | HV kV | U_{LV} kV | | |
| ۴,۹۹ | ۶۹ | ۱۰ | ۶۳ | ۴۴۹ | ۱۶۵ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۸۱ | ۲۲۰ | ۲,۷۲ | ۱ (+۱۰٪) |
| ۴,۷۳ | ۶۹ | ۱۰ | ۶۶,۵ | ۴۴۹ | ۱۷۵ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۸۵,۵ | ۲۲۰ | ۲,۵۷ | ۷ (+۵٪) |
| ۴,۴۹ | ۶۹ | ۱۰ | ۷۰ | ۴۴۹ | ۱۸۴ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۹۰ | ۲۲۰ | ۲,۴۴ | ۱۱ (۰٪) |
| ۴,۲۸ | ۶۹ | ۱۰ | ۷۳,۵ | ۴۴۹ | ۱۹۳ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۹۴,۵ | ۲۲۰ | ۲,۳۳ | ۱۷ (-۵٪) |
| ۴,۰۸ | ۶۹ | ۱۰ | ۷۷ | ۴۴۹ | ۲۰۵ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۲۲۰ | ۲,۲۲ | ۲۱ (-۱۰٪) |
| ۳,۹۰ | ۶۹ | ۱۰ | ۸۰,۵ | ۴۴۹ | ۲۱۱ | ۹۹ | ۲۴۲ | ۱۰۳,۵ | ۲۲۰ | ۲,۱۳ | ۲۷ (-۱۵٪) |

^a ارجاع یافته به مقدار ۷۰ MVA.

پیوست پ
(اطلاعاتی)

تعیین مقاومت ظاهری اتصال کوتاه به کمک کران‌ها



کران فوقانی مقداری ثابت از مقاومت ظاهری اتصال کوتاه برحسب درصد می‌باشد، که از افت ولتاژ مجاز در بارگذاری معین و در ضریب توان معین، به دست می‌آید.

کران زیرین نیز از اضافه جریان مجاز در سمت ثانویه طی شرایط خطا حاصل می‌شود. خط چین نمونه‌ای از منحنی مقاومت ظاهری اتصال کوتاه ترانسفورماتوری مقید به شرایط فوق می‌باشد.

شکل پ-۱ - نمونه‌ای از تعیین مقاومت ظاهری اتصال کوتاه به کمک کران

پیوست
(اطلاعاتی)

مثالهایی از اتصالات ترانسفورماتور سه فاز

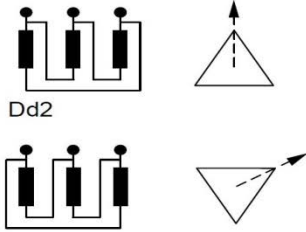
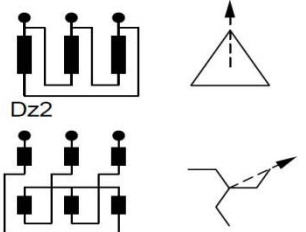
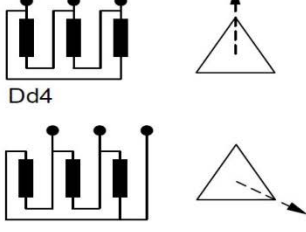
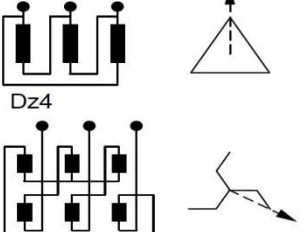
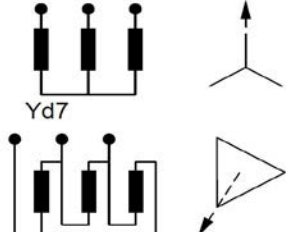
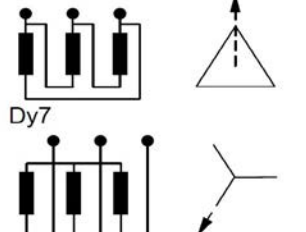
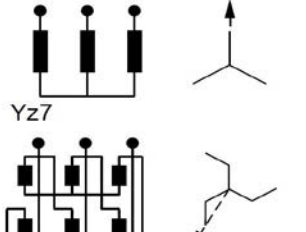
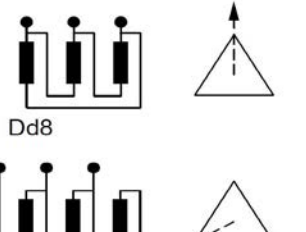
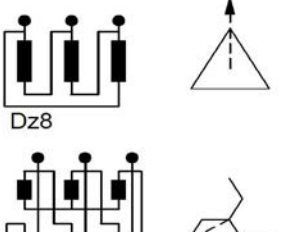
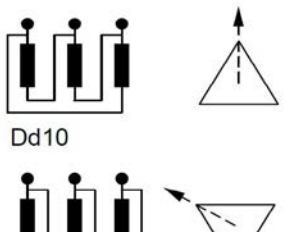
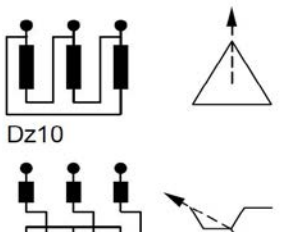
اتصالات رایج در شکل ت-۱ نشان داده شده‌اند.

| | | | |
|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | <p>Yy0</p> <p>Dd0</p> | <p>Dy0</p> <p>Dz0</p> | <p>Yz0</p> <p>Dz0</p> |
| 1 | <p>Yd1</p> <p>Dy1</p> | <p>Dy1</p> <p>Dz1</p> | <p>Yz1</p> <p>Dz1</p> |
| 5 | <p>Yd5</p> <p>Dy5</p> | <p>Dy5</p> <p>Dz5</p> | <p>Yz5</p> <p>Dz5</p> |
| 6 | <p>Yy6</p> <p>Dy6</p> | <p>Dy6</p> <p>Dz6</p> | <p>Yz6</p> <p>Dz6</p> |
| 11 | <p>Yd11</p> <p>Dy11</p> | <p>Dy11</p> <p>Dz11</p> | <p>Yz11</p> <p>Dz11</p> |

قراردادهای نقشه‌کشی همانند شکل ۲ (بند ۷) سند اصلی می‌باشد.

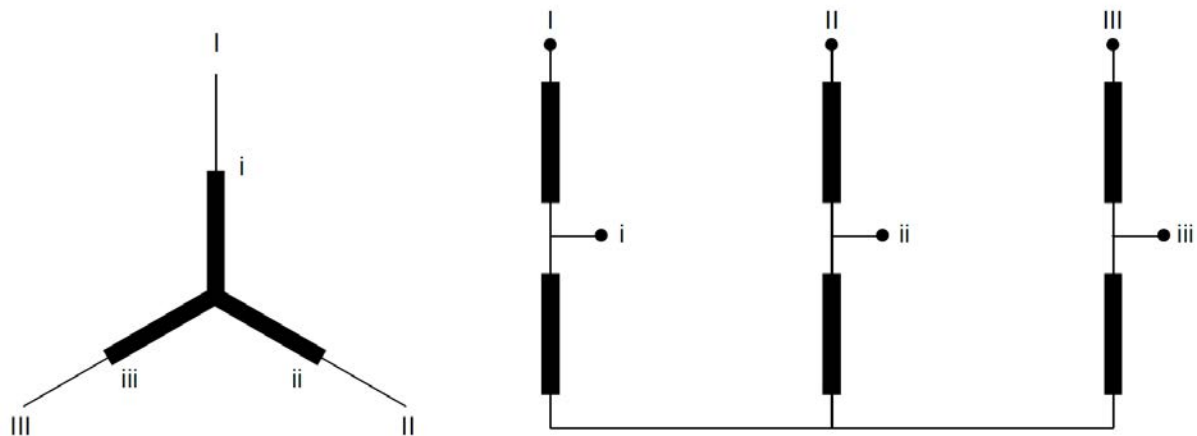
شکل ت-۱ - اتصالات رایج

اتصالات دیگری در شکل ت-۲ نمایش داده شده‌اند.

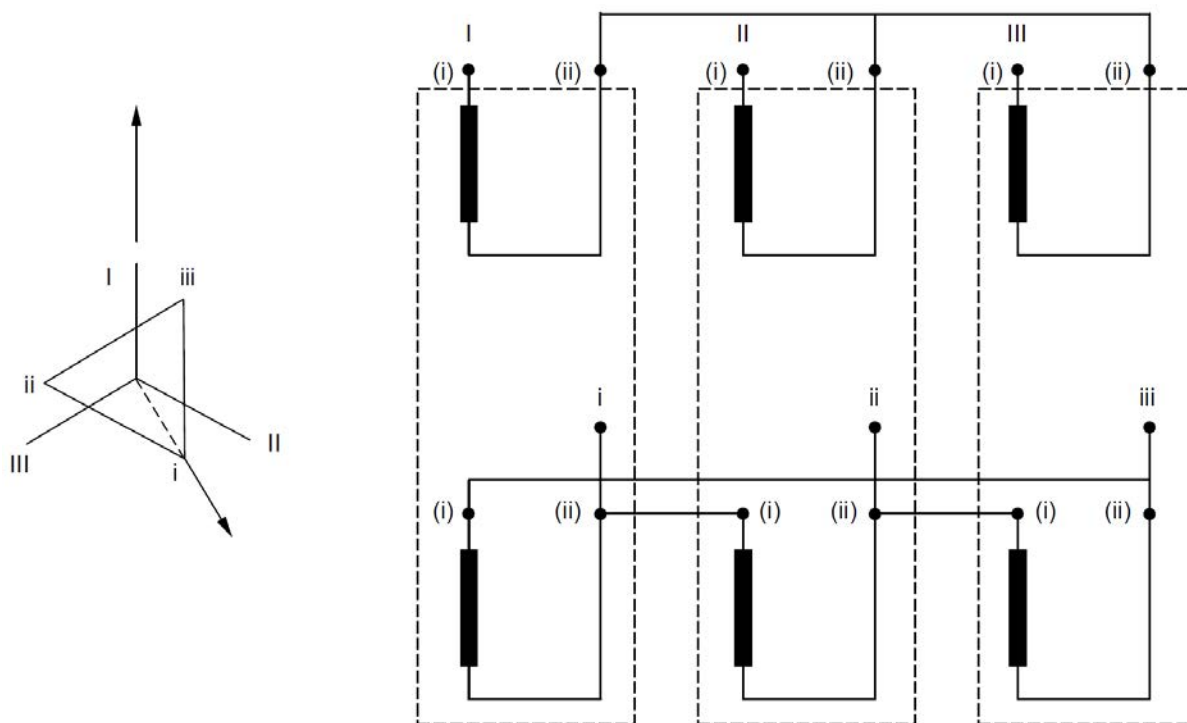
| | | | |
|----|---|--|---|
| 2 | |  <p>Dd2</p> |  <p>Dz2</p> |
| 4 | |  <p>Dd4</p> |  <p>Dz4</p> |
| 7 |  <p>Yd7</p> |  <p>Dy7</p> |  <p>Yz7</p> |
| 8 | |  <p>Dd8</p> |  <p>Dz8</p> |
| 10 | |  <p>Dd10</p> |  <p>Dz10</p> |

قراردادهای نقشه‌کشی همانند شکل ۲ (بند ۷) سند اصلی می‌باشد.

شکل ت-۲ - اتصالات دیگر



شکل ت-۳ - معرفی اتصال اتوترانسفورماتورهای سه فاز به کمک نمادهای اتصال (اتوترانسفورماتور Ya0)



شکل ت-۴ - مثالی از سه ترانسفورماتور تکفاز در یک بانک سه فاز (نماد اتصال Yd5)

پیوست ث

(الزامی)

تصحیح دمایی تلفات بار

فهرست نشانه‌ها

| | |
|---------|--|
| نمایه ۱ | مربوط به اندازه‌گیری "مقاومت سیم‌پیچ سرد" (۱۱-۲)؛ |
| نمایه ۲ | گویای شرایط طی اندازه‌گیری تلفات بار (۱۱-۴)؛ |
| r | گویای شرایط در "دمای مرجع"؛ (۱۱-۱) |
| R | مقاومت؛ |
| | دمای سیم‌پیچی بر حسب °C؛ |
| P | تلفات بار؛ |
| I | جریان بار مورد استفاده در تعیین تلفات (جریان اسمی، جریان انشعاب، دیگر مقادیر معین مربوط به بارگذاری خاصی)؛ |
| P_a | "تلفات مازاد". |

اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ در دمای ۱ انجام می‌شود. مقدار اندازه‌گیری شده R_1 می‌باشد. تلفات بار در سیم‌پیچی با دمای متوسط ۲ اندازه‌گیری می‌شود. تلفات اندازه‌گیری شده متناظر با جریان معین I را P_2 می‌نامیم. این تلفات ترکیبی از "تلفات اهمی": $I^2 R_2$ و "تلفات اضافی": P_{a2} می‌باشد.

$$R_2 = R_1 \frac{235 + 2}{235 + 1} \quad (\text{مس}) \qquad R_2 = R_1 \frac{225 + 2}{225 + 1} \quad (\text{آلومینیوم})$$

$$P_{a2} = P_2 - I^2 R_2$$

$I^2 R_2$ غبرابر مجموع تلفات مقاومت d.c. در کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها است. در دمای مرجع r ، مقاومت سیم‌پیچ R_r ، تلفات اضافی P_{ar} و تلفات کلی بار P_r خواهد بود.

$$R_r = R_1 \frac{235 + r}{235 + 1} \quad (\text{مس}) \qquad R_r = R_1 \frac{225 + r}{225 + 1} \quad (\text{آلومینیوم})$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + 2}{235 + r} \qquad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + 2}{225 + r}$$

برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع با دمای مرجع 75°C ، معادلات به‌قرار زیر خواهند بود:

$$R_r = R_1 \frac{310}{235 + 1} \quad (\text{مس}) \qquad R_r = R_1 \frac{300}{225 + 1} \quad (\text{آلومینیوم})$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + 2}{310} \qquad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + 2}{300}$$

$$P_r = I^2 R_r + P_{ar}$$

پیوست ج (اطلاعاتی)

تجهیزات مورد نیاز اتصال آتی در ترانسفورماتورها به منظور نظارت بر شرایط

چنانچه تعبیه‌ی تجهیزات لازم جهت راه‌اندازی آتی سیستم نظارتی الزامی باشد، مواردی مانند حسگر و موارد دیگر مذکور در جدول زیر، باید مدنظر باشند. حسگرها و تجهیزات واقعی تعبیه‌شده باید مورد توافق سازنده و خریدار بوده و تابع ابعاد و حساسیت ترانسفورماتور خواهد بود. راهنمایی‌های بیشتر در شماره ۳۴۳ بروشور سیگره^۱ در دسترس می‌باشد.

جدول ج-۱ - تجهیزات مورد نیاز جهت نظارت بر شرایط

| پارامتر تحت نظارت | تجهیزات پیشنهادی جهت نظارت |
|---|---------------------------------------|
| دمای سطح روغن | حسگر |
| دمای روغن در کف مخزن | حسگر |
| حجم گاز محلول در روغن | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| رطوبت روغن | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| سطح روغن در سیستم هشدار منبع انبساط | کنتاکت هشدار |
| سطح روغن در سیستم شاخص منبع انبساط | حسگر |
| نظارت‌های متعدد گاز | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| حسگر تخلیه‌ی جزئی | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| جریان مستقیم اتصال خنثی | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| مدار مغناطیسی | اتصال زمین در دسترس |
| دمای سیستم خنک‌کننده | حسگر |
| کارکرد خنک‌کننده | حسگر سیال یا کنتاکت کمکی |
| دمای روغن در ورودی خنک‌کننده | حسگر |
| دمای روغن در خروجی خنک‌کننده | حسگر |
| ولتاژ در بوشینگ انشعاب | تجهیزات نگهدارنده مبدل |
| جریان بار | ترانسفورماتور جریان اضافی |
| فشار روغن بوشینگ | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| محل انشعاب | حسگر |
| توان اکتیو مصرف‌شده در موتور درایو | تجهیزات نگهدارنده مبدل |
| دمای روغن در بخش کلید برگردان ^۲ | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| دمای روغن در بخش کلید | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| دمای مخزن اصلی در حوالی تغییردهنده‌ی انشعاب | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| شاخص سطح روغن در قسمت کلید برگردان | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| هشدار سطح روغن در قسمت کلید برگردان | کنتاکت هشدار |
| وضعیت روغن قسمت کلید برگردان | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| نظارت بر کلیدزنی کلید برگردان | کنتاکت‌های اضافی در قسمت کلید برگردان |
| دمای نقطه‌ی داغ سیم‌پیچی | حسگر |

پیوست چ (اطلاعاتی)

ملاحظات محیطی و ایمنی

تأثیرات محیطی ترانسفورماتور در طول عمر کاری واحد از مرحله‌ی طراحی تا اسقاط باید مورد توجه سازنده و خریدار باشد. توصیه می‌شود عوامل زیر طی این ملاحظات مدنظر بوده و برای کمینه کردن تأثیر کلی تولید، استفاده و اسقاط تلاش شود.

(۱) مواد اولیه‌ی ترانسفورماتور باید توسط معیارهای زیر سنجیده شود:

- الف) مصرف انرژی طی استخراج، پالایش و تولید؛
- ب) تولیدات معیوب و آلودگی استخراج، پالایش و تولید؛
- پ) آلودگی سمی یا دیگر اثرات بهداشتی مواد یا فرآیندها بر کارگران طی استخراج، پالایش و تولید؛
- ت) تأثیر محیطی مواد.

(۲) توصیه می‌شود در تعیین مشخصات و طراحی ترانسفورماتور به موارد زیر توجه شود:

- الف) ایمنی افراد طی ساخت، نصب، بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات و اسقاط؛
- ب) انرژی مصرفی طی عمر کاری ترانسفورماتور؛
- پ) استفاده‌ی پایدار از مواد خام در ترانسفورماتور؛
- ت) حذف یا کمینه کردن استفاده‌ی از مواد خطرناک و آلاینده‌ی محیطی؛
- ث) محصور کردن مواد خطرناک یا آلاینده‌های محیطی؛
- ج) اسقاط ترانسفورماتور، حذف یا کمینه کردن استفاده‌ی از مواد یا ترکیباتی از مواد با چرخه‌ی بازیافت طولانی مدت یا غیرقابل بازیافت.

(۳) در مرحله ساخت، توصیه می‌شود مشتری در تعیین مشخصات و سازنده طی ساخت ترانسفورماتور موارد زیر را در نظر داشته باشد:

- الف) استفاده‌ی از سیستم مدیریت محیطی (استاندارد ISO 14001)؛
- ب) استفاده‌ی بهینه از انرژی و منابع؛
- پ) حذف یا کاهش محصولات آلاینده‌ی محیطی و معیوب؛
- ت) استفاده‌ی مجدد یا بازیافت کلیه‌ی قطعات معیوب؛
- ث) سلامتی و ایمنی نیروی کار.

(۴) ملاحظات مازاد

- الف) انرژی مصرف شده و اثرات محیطی انتقال ترانسفورماتور به محل نصب؛
 - ب) اسقاط یا استفاده‌ی مجدد از مواد بسته‌بندی ترانسفورماتور؛
 - پ) اثرات محیطی یا بهداشتی مواد تولیدی در شرایط خطا؛
 - ت) امکان انتشار مواد آلاینده‌ی محیطی طی کارکرد غیرعادی یا خطا؛
- طول عمر ترانسفورماتور می‌تواند برحسب مواد و انرژی ورودی و تلفات در نظر گرفته شود.

کتابنامه

- [۱] استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷: سال ۱۳۸۰، ترانسفورماتورهای قدرت- قسمت ۸: راهنمای کاربرد ترانسفورماتور قدرت
- [۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱۵-۲۶۲۰: سال ۱۳۸۷، ترانسفورماتورهای قدرت- قسمت ۱۵: ترانسفورماتورهای قدرت پرشده از گاز
- [۳] استاندارد ملی ایران شماره ۲۷۶۸: سال ۱۳۶۶، علامتگذاری ترمینالها و انشعابات ترانسفورماتورهای قدرت
- [۴] استاندارد ملی ایران شماره ۲۷۰۰: سال ۱۳۶۵، اعداد ترجیحی و سری های اعداد ترجیحی
- [۵] استاندارد ملی ایران شماره ۶۸۲۷: سال ۱۳۸۱، تعیین ضخامت پوشش های غیر مغناطیسی بر روی بستهای مغناطیسی - روش آزمون مغناطیسی
- [6] IEC 60050-421: 1990, International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 421: Power transformers and reactors
- [7] IEC 60060 (all parts), High-voltage test techniques
- [8] IEC 60068-3-3, Environmental testing - Part 3: Guidance. Seismic test methods for equipment
- [9] IEC 60076-4¹, Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing - Power transformers and reactors
- [10] IEC 60076-6, Power transformers - Part 6: Reactors
- [11] IEC 60076-7, Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers
- [12] IEC 60076-10-1, Power transformers - Part 10-1: Determination of sound levels - Application guide
- [13] IEC 60076-12, Power transformers - Part 12: Loading guide for dry-type power transformers
- [14] IEC 60076-13², Power transformers - Part 13: Self-protected liquid-filled transformers
- [15] IEC/TS 60076-14, Power transformers - Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials
- [16] IEC 60076-16, Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbine applications
- [17] IEC 60270, High-voltage test techniques - Partial discharge measurements
- [18] IEC 60310, Railway applications - Traction transformers and inductors on board rolling stock
- [19] IEC 60529:1989³, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- [20] IEC/TS 60815 (all parts), Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions
- [21] IEC 61378 (all parts), Converter transformers
- [22] IEC 61378-1, Converter transformers - Part 1: Transformers for industrial applications
- [23] IEC 61378-2, Converter transformers - Part 2: Transformers for HVDC applications

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۲۳، مرجع این استاندارد، استاندارد IEC 60076-4:1976 است.

۲- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳-۲۶۲۰، مرجع این استاندارد، استاندارد IEC 60076-13:2006 است.

۳- استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۶۸، مرجع این استاندارد، استاندارد IEC 60529:2001 است.

- [24] IEC 62032, Guide for the application, specification, and testing of phase-shifting transformers
- [25] IEC 62262¹, Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)
- [26] ISO 2409:2007², Paints and varnishes – Cross-cut test
- [27] ISO 12944³ (all parts), Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
- [28] ISO 14001⁴, Environmental management systems – Specification with guidance for use
- [29] ISO 14122 (all parts), Safety of machinery – Permanent means of access to machinery
- [30] ANSI/IEEE C57.12.00, General requirement for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers
- [31] ANSI/IEEE C57.12.90, IEEE standard test code for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers
- [32] IEEE C57.142, Guide to describe the occurrence and mitigation of switching transients induced by transformer, switching device, and system interaction
- [33] CIGRE Brochure 156, Guide for customers specifications for transformers 100 MVA and 123 kV and above
- [34] CIGRE Brochure 204, Guide for transformer design review
- [35] CIGRE Brochure 343, Recommendations for Condition Monitoring and Condition Assessment Facilities for Transformers

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۹۹۳۶، مرجع این استاندارد، استاندارد IEC 62262:2002 است.
 ۲- استاندارد ملی ایران شماره ۵۹۰۵، مرجع این استاندارد، استاندارد ISO 2409:1992 است.
 ۳- استاندارد ملی ایران شماره ۶۵۹۴، مرجع این استاندارد، استاندارد ISO 12944:1998 است.
 ۴- استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۰۰۱، مرجع این استاندارد، استاندارد ISO 14001:1996 است.