استاندارد ملی ایران

۲۶۲۰-۱

چاپ اول

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

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 مادهٔ 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 موسسه 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 وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، 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 می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ 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 کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت 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 شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد 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 نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

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 می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه-بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) 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، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) 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 »

| **رئیس:** | **سمت و/ یا نمایندگی** |
| --- | --- |
| طالبی گلین قشلاقی، نعمت<br>(دکترای برق قدرت) | عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب |
| **دبیر:** | |
| تقی‌زاده ، بهزاد<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس شرکت مهندسی امواج برق پایدار |
| **اعضا**: (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| آخوندی ، حمیدرضا<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس |
| آذر ، مهرناز<br>(لیسانس مهندسی برق- شبکه های انتقال و توزیع) | کارشناس دفتر فنی شرکت مهندسی تارا |
| جوانی ، خدایار<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- قدرت) | مدیر پروژه کیفیت توان شرکت سهامی خدمات مهندسی برق مشانیر |
| حاجی زاده ، ساینا<br>(لیسانس مهندسی برق- شبکه های انتقال و توزیع) | مدیر مهندسی فروش شرکت پارس مقره |
| رثائی ، حامد<br>(لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس دفتر امور تدوین سازمان ملی استاندارد ایران |
| رفیعی ، پیمان<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- الکترونیک- نانو فناوری) | کارشناس ارشد شرکت فرا موج |
| صفار، فاطمه<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- قدرت) | ایران‌ترانسفو، کارشناس طراحی و محاسبات ترانسفورماتور |
| عابدی ، مرتضی<br>(لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس برق شرکت مهندسی مشاور منیران |
| کمانکش ، سیما<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو |

| | |
|---|---|
| مصطفوی ، معین<br>(فوق لیسانس مهندسی برق- کنترل) | کارشناس |
| مقنی یزدی ، علی<br>(لیسانس مهندسی برق- قدرت) | کارشناس شرکت مهندسی امواج برق پایدار |
| هاشمیان ، سید مجتبی<br>(لیسانس مهندسی برق- شبکه های انتقال و توزیع) | کارشناس برق و تاسیسات الکتریکی اداره کل مسکن و شهرسازی استان البرز |
| یوسف زاده فعال دقتی ، بهاره<br>(لیسانس مهندسی برق - الکترونیک) | کارشناس اداره کل نظارت بر اجرای استانداردهای برق، مهندسی پزشکی سازمان ملی استاندارد ایران |

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**


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

## فهرست مندرجات (ادامه)


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

## فهرست مندرجات (ادامه)

**عنوان** **صفحه**


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

## 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 ضدانفجار و مورد استفاده در معادن؛
- ترانسفورماتورهایی با کاربرد در اعماق آب.

چنانچه استانداردهای IEC برای رده هایی 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، درصورت ارجاعات متقابل با استانداردهای دیگر قابل استفاده خواهد بود. نمونه‌ای از چنین استانداردهایی به قرار زیر می‌باشد:

- کلیه‌ی 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 درتوربین 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 آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود.

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:

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

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

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

۲-۴ 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

۲-۵ 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 60076-3:2000[1], 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 IEV[1] خواهند بود.

### ۳-۱ کلیات

#### ۳-۱-۱

**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، اصلاح‌شده]

#### ۳-۱-۲

**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[2] یا ترانسفورماتور دوسیم‌پیچه[3] 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، اصلاح‌شده]

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

#### ۳-۱-۴

**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** – درمواردی می‌توان تماس بین مایع و هوای خارجی را کاهش داد و یا از وقوع آن جلوگیری کرد.

**۷-۱-۳**

**مقادیر تعیین‌شده**

مقادیر تعیین‌شده توسط خریدار که در زمان سفارش مشخص می‌گردد.

**۸-۱-۳**

**مقادیر طراحی**

مقدار مورد انتظار نسبت‌تبدیل ناشی از تعداد دور در فرآیند طراحی یا مقادیر محاسبه‌شده‌ی 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 ـ در ترانسفورماتورهای سه‌فاز و بانک‌های سه‌فاز متشکل از ترانسفورماتورهای تکفاز:

پایانه یا پایانه‌های متصل به نقطه‌ی مشترک (نقطه‌ی خنثی[1]) سیم‌پیچ اتصال ستاره یا زیگزاگ است.
ب ـ در ترانسفورماتورهای تکفاز:
پایانه‌ای جهت اتصال به نقطه‌ی خنثی شبکه می‌باشد.
[ IEC 60050-421:1990,421-02-02، اصلاح‌شده]

**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 علایم مشابه نشانه‌گذاری 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، اصلاح‌شده]

**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، به‌شکل 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، اصلاح‌شده]

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

1- Neutral

**۴-۳-۳**

**سیم پیچ فشار قوی* (HV)**

سیم‌پیچی که دارای بیشترین ولتاژ اسمی است.

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

**۵-۳-۳**

**سیم‌پیچ فشار ضعیف*(LV)**

سیم‌پیچی که دارای کمترین ولتاژ اسمی است.

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

**یادآوری** - در ترانسفورماتورهای سری، سیم‌پیچ متناظر با ولتاژ اسمی کمتر می‌تواند سطح عایقی بالاتری داشته باشد.

**۶-۳-۳**

**سیم‌پیچ فشار متوسط***

سیم‌پیچی از ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه، که ولتاژ اسمی آن بین بیشترین و کمترین ولتاژهای اسمی سیم‌پیچی‌ها می‌باشد.

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

**۷-۳-۳**

**سیم‌پیچ کمکی**

سیم‌پیچی جهت اتصال به باری کوچک در مقایسه با توان اسمی ترانسفورماتور می‌باشد.

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

**۸-۳-۳**

**سیم‌پیچ پایدارکننده**

سیم‌پیچی تکمیلی با اتصال مثلث در ترانسفورماتورهایی با اتصال ستاره-ستاره یا ستاره-زیگزاگ، که جهت کاهش مقاومت‌ظاهری توالی صفر (به زیربند ۳-۷-۳ مراجعه شود) کاربرد دارد.

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

**یادآوری –** تنها درصورتی می‌توان سیم‌پیچ را پایدارکننده دانست که فاقد اتصال سه‌فاز به مدار خارجی باشد.

---

* سیم‌پیچی که از منبع تغذیه در حال کار توان اکتیو تحویل می‌گیرد، "سیم‌پیچ اولیه" و سیم‌پیچی که توان اکتیو به بار تحویل می‌دهد، "سیم‌پیچ ثانویه" نامیده می‌شود. این اصطلاحات هیچ منظوری بر این که کدام سیم‌پیچ ولتاژ اسمی بالاتری دارد نداشته و توصیه می‌شود تنها جهت بیان شارش توان اکتیو از آن استفاده شود (به استاندارد IEC 60050-421 : 1990, 421-03-06 & 07 مراجعه شود). سیم‌پیچ دیگری در ترانسفورماتور، عموماً با مقدار توان اسمی کمتری نسبت به سیم‌پیچ ثانویه با نام "سیم‌پیچ ثالثیه" وجود دارد. همچنین به تعریف بند فرعی ۳-۳-۸ مراجعه شود.

**۹-۳-۳**

**سیم‌پیچ مشترک**

قسمت مشترک سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتور است.

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

**۱۰-۳-۳**

**سیم‌پیچ سری**

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

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

**۱۱-۳-۳**

**سیم‌پیچ تغذیه** (در ترانسفورماتورهای سری)

سیم‌پیچی از ترانسفورماتور سری که جهت اعمال توان به سیم‌پیچ سری کاربرد دارد.

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

**۱۲-۳-۳**

**سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری**[1]

سیم‌پیچ‌های سری و مشترک اتوترانسفورماتور است.

## ۴-۳ مقادیر اسمی

**۱-۴-۳**

**مقادیر اسمی**

به مقادیر عددی کمیت‌های تعریف‌کننده‌ی کارکرد ترانسفورماتور در شرایط مشخص‌شده‌ی این استاندارد که مورد ضمانت سازنده بوده و آزمون‌ها مبتنی بر آنها هستند، اطلاق می‌شود.

**۲-۴-۳**

**متغیرهای اسمی**

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

**یادآوری۱** - چنانچه قید خاصی نباشد، در ترانسفورماتورهای مجهز به انشعاب[2]، کمیت‌های اسمی، متناظر با انشعاب اصلی خواهند بود (به ۳-۵-۲ مراجعه شود). کمیت‌های متناظر با انشعاب‌های دیگر را می‌توان، با مفهوم مشابه، کمیت‌های انشعاب نامید.

**یادآوری۲** - ولتاژها و جریان‌ها همواره با مقادیر موثرشان بیان می‌شوند، مگر اینکه غیر این تصریح شود.

1- Auto-connected windings
2-Tapping

**۳-۴-۳**

**ولتاژ اسمی سیم‌پیچ**

$U_r$

ولتاژ اسمی تعیین‌شده‌ی اعمالی به، یا تولیدشده بین پایانه‌ها توسط سیم‌پیچ فاقد انشعاب یا سیم‌پیچ انشعاب‌دار واقع در انشعاب اصلی در شرایط بی‌باری (به ۳-۵-۲ مراجعه شود) می‌باشد. در سیم‌پیچ سه‌فاز این عدد برابر ولتاژ بین پایانه‌های خط می‌باشد.

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

**یادآوری۱** - در شرایط بی‌باری بااعمال ولتاژ اسمی به یکی از سیم‌پیچ‌ها، در همه‌ی سیم‌پیچ‌ها، هم‌زمان، ولتاژ اسمی تولید خواهد شد.

**یادآوری۲** - در ترانسفورماتورهای تک‌فاز با اتصال ستاره مورد استفاده در بانک سه‌فاز یا ترانسفورماتورهای متصل بین خط و خنثی سیستم سه‌فاز، ولتاژ اسمی به‌صورت ولتاژ خط تقسیم بر $\sqrt{3}$ نشان داده می‌شود، به‌عنوان نمونه $400/\sqrt{3}$ kV.

**یادآوری۳** - در ترانسفورماتورهای تکفاز متصل بین فازهای شبکه، ولتاژ اسمی توسط ولتاژ خط بیان می‌شود.

**یادآوری۴** - در سیم‌پیچی سری ترانسفورماتور سری سه‌فاز، که به‌شکل سیم‌پیچ مدار باز طراحی می‌شود (به ۳-۱۰-۵ مراجعه شود)، ولتاژ اسمی برای حالت اتصال ستاره‌ی سیم‌پیچ‌ها بیان می‌شود.

**۴-۴-۳**

**نسبت‌تبدیل اسمی**

نسبت ولتاژ اسمی یک سیم‌پیچ به ولتاژ اسمی سیم‌پیچ دیگری با ولتاژ اسمی کمتر یا برابر می‌باشد.

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

**۵-۴-۳**

**فرکانس اسمی**

$f_r$

فرکانسی که ترانسفورماتور برای کار در آن طراحی شده است.

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

**۶-۴-۳**

**توان اسمی**

$S_r$

مقدار قراردادی توان ظاهری سیم‌پیچ که به‌همراه ولتاژ اسمی سیم‌پیچ، جریان اسمی را تعیین خواهد کرد.

**یادآوری** - هر دو سیم‌پیچ ترانسفورماتور دوسیم‌پیچه دارای توان اسمی یکسانی هستند که بنابه‌تعریف 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، اصلاح‌شده]

**یادآوری۱** - در سیم‌پیچ سه‌فاز، جریان اسمی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

**یادآوری۲** - در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور تک‌فاز مورداستفاده در بانک سه‌فاز با اتصال مثلث، جریان اسمی، جریان خط تقسیم بر $\sqrt{3}$، خواهد بود:

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

**یادآوری۳** – در ترانسفورماتور تک‌فازی که برای بانک سه‌فاز در نظر گرفته نشده، جریان اسمی به قرار زیر خواهد بود:

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

**یادآوری۴** – 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:

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

## ۳-۵ 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 نسبت‌تبدیل معینی میان این سیم‌پیچ و سیم‌پیچ دیگری با تعداد دور ثابت خواهد بود.

**یادآوری** - یکی از انشعاب‌ها، به‌عنوان 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 به‌صورت درصد، $(U_d/U_r)\times 100$ 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، بافرض اعمال ولتاژ اسمی به سیم‌پیچ بدون انشعاب می‌باشد.

**یادآوری** ـ در ترانسفورماتورهای سری، ضریب انشعاب از نسبت ولتاژ سیم‌پیچ سری متناظر با انشعاب مفروض به $U_r$ به‌دست می‌آید.

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

**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، برحسب درصد، می‌باشد.

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

**۷-۵-۳**

**گستره‌ی انشعاب**

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

**یادآوری** – اگر ضریب انشعاب گستره‌ای از a+100 تا b-100 داشته باشد، گستره‌ی انشعاب به‌شکل a+ % تا b- % نمایش داده می‌شود. درمواردی‌که a=b، آن را به‌شکل a± % نمایش می‌دهیم.

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

**۸-۵-۳**

**نسبت‌تبدیل انشعاب** (در یک زوج سیم‌پیچی)

برابر است با نسبت‌ولتاژ اسمی:

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

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

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

یادآوری – درحالی‌که بنابه‌تعریف، حداقل مقدار نسبت‌ولتاژ اسمی برابر یک خواهد بود، اما نسبت‌ولتاژ انشعاب در انشعاب‌هایی با نسبت‌ولتاژ 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 ۶-۲ و ۶-۳ 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، اصلاح‌شده]

**۱۰-۵-۳**

**انشعاب توان‌کامل**

انشعابی که توان انشعاب آن برابر توان اسمی است.

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

**۱۱-۵-۳**

**انشعاب توان‌کاهش‌یافته**

انشعابی که توان انشعاب آن کمتر از توان اسمی است.

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

**۱۲-۵-۳**

**تعویض‌کننده‌ی انشعاب تحت بار**[1]

**OLTC**

افزاری جهت تعویض اتصالات انشعاب سیم‌پیچی در شرایط تغذیه‌شده یا بارداری ترانسفورماتور می‌باشد.

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

**۱۳-۵-۳**

**تعویض‌کننده‌ی انشعاب بی‌بار**[2]

**DETC**

افزاری 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.

**یادآوری۱** – این ولتاژ با مقدار $U_m$ محدود می‌شود.

**یادآوری۲** – این ولتاژ عموماً به ٪ ۱۰۵ ولتاژ اسمی انشعاب محدود می‌شود، مگر اینکه صریحاً طبق مشخصات خریدار برای انشعاب (به ۶-۴ مراجعه شود) یا طبق نتایج حاصل از مشخصات ۶-۴-۲ 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 ۳-۵-۲ 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، بافرض 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 ۱۱-۱ مراجعه شود) در شرایط عبور جریان اسمی (جریان انشعاب) از پایانه‌های خط یکی از سیم‌پیچ‌ها و اتصال‌کوتاه پایانه‌های سیم‌پیچ دیگر است. در این حالت سیم‌پیچ‌های دیگر، درصورت وجود، مدار باز خواهند بود.

**یادآوری۱** – در ترانسفورماتورهای دوسیم‌پیچه تنها یک انتخاب از زوج سیم‌پیچ دردسترس بوده و به‌تبع یک مقدار برای تلفات بار حاصل خواهد شد. ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه به‌دلیل تعدد زوج‌های سیم‌پیچی، 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 سیم‌پیچی خاصی ارجاع داده می‌شود. عموماً، امکان اندازه‌گیری مستقیم این کمیت میسر نمی‌باشد.

**یادآوری ۲** – چنانچه زوج سیم‌پیچی‌ها دارای توان اسمی متفاوتی باشند، تلفات بار به جریان اسمی سیم‌پیچی با توان اسمی کوچکتر ارجاع داده می‌شود و توان مرجع نیز باید ذکر گردد.

**۴-۶-۳**

**تلفات کل**

برابر مجموع تلفات بی‌باری و تلفات بار می‌باشد.

**یادآوری** – توان مصرفی دستگاه‌های کمکی در تلفات کل منظور نشده و جداگانه بیان می‌شوند.

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

## ۷-۳ مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه و افت ولتاژ

**۱-۷-۳**

**مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه یک زوج سیم‌پیچی**

مقدار مقاومت‌ظاهری سری معادل $Z=R+jX$، در فرکانس اسمی و دمای مرجع با واحد *اهم*، بین پایانه‌های یکی از دو سیم‌پیچ می‌باشد. در این حالت پایانه‌های سیم‌پیچ دیگر اتصال‌کوتاه بوده و سیم‌پیچی‌های دیگر، درصورت وجود، مدار باز خواهند بود. در ترانسفورماتورهای سه‌فاز، مقاومت‌ظاهری به‌صورت فازی (اتصال ستاره‌ی معادل) بیان می‌شوند.

**یادآوری۱** - در ترانسفورماتوری با سیم‌پیچی انشعاب‌دار، مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه به انشعابی خاص ارجاع داده می‌شود. چنانچه قید خاصی نباشد، انشعاب اصلی انتخاب خواهد شد.

**یادآوری۲** – این کمیت می‌تواند به شکل نسبی و بدون بعد، به‌صورت کسری $z$ از مقاومت‌ظاهری مبنای $Z_{ref}$ همان سیم‌پیچی بیان می‌شود. 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 سه‌فاز و تکفاز صادق می‌باشد)؛

$U$ : ولتاژ (ولتاژ اسمی یا ولتاژ انشعاب) سیم‌پیچی که Z و $Z_{ref}$ به آن تعلق دارند، می‌باشد؛

$S_r$ : مقدار مرجع توان اسمی می‌باشد.

البته این مقدار نسبی برابر با نسبت ولتاژ اعمالی اندازه‌گیری اتصال‌کوتاه، که منجر به جریان اسمی (یا جریان انشعاب) مربوطه خواهد شد، به ولتاژ اسمی (یا ولتاژ انشعاب) می‌باشد. این ولتاژ اعمالی، ولتاژ اتصال‌کوتاه (IEC 60050-421:1990, 421-07-01) زوج سیم‌پیچی نامیده می‌شود و عموماً برحسب درصد بیان می‌شود.

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

**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. درچنین شرایطی ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های دیگر به قرار زیر خواهد بود:

ـ چنانچه ترانسفورماتور در انشعاب اصلی باشد، برابر مقدار اسمی خواهد بود (در چنین حالتی ولتاژ بی‌باری سیم‌پیچ برابر مقدار اسمی آن خواهد بود)؛

ـ چنانچه ترانسفورماتور به انشعاب دیگری متصل باشد، برابر مقدار ولتاژ انشعاب خواهد بود.

این اختلاف عموماً به‌شکل 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 *اهم‌برفاز* بیان می‌شود.

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

**یادآوری۱** – مقاومت‌ظاهری توالی صفر به‌دلیل وابستگی به نحوه‌ی اتصال پایانه‌های سیم‌پیچی یا سیم‌پیچی‌های دیگر و بارگذاری آنها، می‌تواند مقادیر متعددی داشته باشد.

**یادآوری۲** – مقاومت‌ظاهری توالی صفر، به‌ویژه در ترانسفورماتورهای بدون سیم‌پیچی اتصال مثلث، می‌تواند به مقدار جریان و دما وابسته باشد.

**یادآوری۳** – مقاومت‌ظاهری توالی صفر را نیز می‌توان مشابه مقاومت‌ظاهری (توالی مثبت) اتصال‌کوتاه 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.

## ۳-۱۰ انواع اتصال

### ۳-۱۰-۱

**اتصال ستاره**

اتصالی 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.

### ۳-۱۰-۲

**اتصال مثلث**

اتصالی که در آن سیم‌پیچ‌های فازی ترانسفورماتور سه‌فاز، یا سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تکفاز سازنده‌ی مجموعه‌ی سه‌فاز با ولتاژ اسمی مشابه، دراتصال 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**

اتصالی 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 ]

### ۳-۱۰-۴

**اتصال زیگزاگ**

**اتصال Z**

اتصالی 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.

### ۳-۱۰-۵

**سیم‌پیچی‌های باز**

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

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

**۶-۱۰-۳**

**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]

**یادآوری۱** - به بند ۷ پیوست ت مراجعه شود.

**یادآوری۲** – بافرض فازور سیم‌پیچی فشار قوی به عنوان فازور مبنا، 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).

**۷-۱۰-۳**

**نشانه‌ی اتصال**

علامتی قراردادی جهت نمایش اتصال سیم‌پیچ‌های فشار قوی، فشار متوسط (درصورت 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]

## ۱۱-۳ طبقه‌بندی آزمون

**۱-۱۱-۳**

**آزمون تک‌به‌تک**

آزمونی که روی همه ترانسفورماتورها اجرا می‌شود.

**۲-۱۱-۳**

**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.

**یادآوری۱** – آن دسته از تغییرات طراحی که به‌وضوح بی‌ارتباط با نوع خاصی از آزمون نوعی باشد، نیازمند اجرای مجدد آن آزمون نوعی خاص نخواهد بود.

**یادآوری۲** - 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.

**یادآوری۳** – درصورت اثبات سازگاری با الزامات آزمون نوعی، تغییرات عمده‌ی طراحی ترانسفورماتورهای کمتر از ۲۰ MVA و $U_m \leq$ 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.

## ۳-۱۲ اطلاعات هواسنجی مربوط به خنک‌کننده

**۳-۱۲-۱**

**دمای لحظه‌ای عامل[1] خنک‌کننده**

بیشینه دمای ثبت‌شده‌ی عامل خنک‌کننده در طول سالیان متمادی می‌باشد.

**۳-۱۲-۲**

**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.

## ۳-۱۳ تعاریف دیگر

**۳-۱۳-۱**

**جریان بار**

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

**۳-۱۳-۲**

**محتوای هارمونیک کل[2]**

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 می‌باشد.

$I_i$ مقدار موثر هارمونیک $i$ ام جریان می‌باشد.

**۳-۱۳-۳**

**محتوای هارمونیک زوج**

برابر نسبت مقدار موثر کلیه‌ی هارمونیک‌های زوج به مقدار موثر هارمونیک اول ($I_1$ , $E_1$) می‌باشد.

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 می‌باشد.

$I_i$ مقدار موثر هارمونیک $i$ام جریان می‌باشد.

## ۴ شرایط کاری

### ۴-۱ کلیات

شرایط کاری مذکور در ۴-۲ معرف حد متعارف بهره‌برداری ترانسفورماتور مورد استفاده در این استاندارد می‌باشد. برای شرایط کاری نامتعارف که نیازمند ملاحظات ویژه‌ای در طراحی ترانسفورماتور می‌باشد، به ۵-۵ مراجعه شود. چنین شرایطی شامل ارتفاع زیاد، دمای محیطی بسیار زیاد یا بسیار کم، رطوبت گرمسیری، زمین‌لرزه، آلودگی زیاد، شکل‌موج‌های نامتعارف ولتاژ یا جریان بار، تابش شدید خورشید و بارگذاری نوبتی می‌باشد. این موارد می‌تواند شرایط جابجایی، نگهداری و نصب، مانند محدودیت‌های 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 نحوه‌ی خنک‌کاری در دمای محیطی زیاد یا در ارتفاع زیاد: استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع و استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ برای ترانسفورماتورهای خشک؛
- عایق‌بندی خارجی در ارتفاع زیاد: استاندارد IEC 60076-3 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور 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 ارایه 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 ۴۰ °C؛
- متوسط ماهانه گرمترین ماه سال ۳۰ °C؛
- متوسط سالیانه ۲۰ °C؛
- در ترانسفورماتورهای نصب شده در فضای آزاد ۲۵- °C ؛
- درصورت نصب ترانسفورماتور و خنک‌کننده در محیطی مسقف ۵- °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 کمینه‌ی دمای عامل خنک‌کننده باید در صفحه مقادیر اسمی ثبت شود.

**یادآوری۱** – پاراگراف فوق جهت اجازه‌ی استفاده از مایع عایقی جایگزین در مواردی که الزامات دمای کمینه در محیط‌هایی که دمای کمینه ۲۵- °C مناسب نباشد، درنظر گرفته شده است.

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

- مقدار لحظه‌ای ۲۵ °C؛
- متوسط سالانه ۲۰ °C.

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

محدودیت‌های بیشتر خنک‌کننده در موارد زیر ارایه شده‌اند:

- استاندارد IEC 60076-2 برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع؛
- استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲۶۲۰ برای ترانسفورماتورهای خشک.

**یادآوری۲** - 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.

**یادآوری۳** – دمای ورودی تجهیز خنک‌کننده، دمای مناسب‌تری نسبت به دمای هوای خروجی می‌باشد، بدین معنی که توصیه می‌شود کاربر، درصورتی که تاسیسات دارای شرایطی برای گردش هوا در خروجی خنک‌کننده باشد، آن را در تعیین دمای هوای خنک‌کننده لحاظ کند.

پ) شکل‌موج ولتاژ اعمالی

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

ت) محتوای هارمونیک جریان بار

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

**یادآوری۴** – 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.

**یادآوری۵** – ترانسفورماتور می‌تواند در جریان اسمی، بدون کاهش قابل‌توجه عمر بهره‌برداری، در محتوای هارمونیک کل کمتر از ٪ ۵ کار کند، اما باید به‌خاطر 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 بوشینگ‌های ترانسفورماتور یا خود ترانسفورماتور نباشد.

محیط درمعرض اختلال لرزه‌ای که نیازمند ملاحظات ویژه‌ی طراحی است، نباشد. (یعنی درمواردی که شتاب زمین $a_g$ کمتر از $2\ ms^{-2}$ یا تقریباً ۰٫۲g باشد.) به استاندارد IEC 60068-3-3 مراجعه شود.

درصورت 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 °C ۴۰ 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 °C ۲۵- 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

### ۵-۱ 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 درهریک از سیم‌پیچی‌های خود باشد که باید بر صفحه مقادیر اسمی ثبت شود. توان اسمی برای بارگذاری مداوم تعریف می‌شود که مقدار مبنا برای ضمانت و آزمون‌های تلفات بار و افزایش دما می‌باشد.

چنانچه در شرایط متفاوتی، مانند روش‌های مختلف خنک‌کنندگی، مقادیر متفاوتی از توان اسمی دراختیار 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 درصورت 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 ارایه‌ی توان اسمی (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.

**یادآوری۱** – 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 ارایه‌شده 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.

**یادآوری۲** – در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه، نصف جمع عددی مقادیر توان اسمی کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها (سیم‌پیچ‌های جداگانه و نه اتوترانسفورماتوری) تخمین اولیه‌ای از ابعاد فیزیکی آن را درمقایسه‌ی با ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه نتیجه می‌دهد.

### ۵-۱-۲ مقادیر ترجیحی توان اسمی

توصیه می‌شود در ترانسفورماتورهایی تا ۲۰MVA، 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.

### ۵-۱-۳ 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 ارایه‌ی 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.

### ۵-۱-۴- بارگذاری فراتر از توان اسمی

ترانسفورماتور و تجهیزات منطبق با این استاندارد، در مواردی توانایی ارایه‌ی 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 IEC60076-12 ارایه شده است.

کلیه‌ی 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.

**یادآوری۱** - 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.

**یادآوری۲** - توصیه می‌شود برای قابلیت بارگذاری بوشینگ‌ها از استاندارد IEC 60137 و برای تغییردهنده‌های انشعاب از استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۷۱۵ استفاده شود.

**یادآوری۳** – چنین الزاماتی در ترانسفورماتورهایی با کاربرد ویژه، که فاقد بارگذاری بیشتر از توان اسمی هستند اعمال نمی‌شود. برای این ترانسفورماتورها، درصورت نیاز به چنین قابلیتی، باید بر آن تصریح شود.

### ۵-۲ 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.

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

ترانسفورماتورهایی که جهت اتصال مستقیم به ژنراتورها به‌گونه‌ای که آنها را درمعرض شرایط قطع بار قرار دهد، درنظر گرفته باشند، باید توانایی تحمل ۱٫۴ برابر ولتاژ اسمی را به‌مدت ۵ s در پایانه‌های متصل به ژنراتور دارا باشند.

### ۵-۴ ولتاژ و فرکانس اسمی

#### ۵-۴-۱ 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.

#### ۵-۴-۲ فرکانس اسمی

فرکانس اسمی توسط خریدار تعیین می‌شود، که برابر فرکانس عادی غیرمغشوش شبکه می‌باشد.

فرکانس اسمی مقدار مبنای مقادیر ضمانت‌شده، مانند تلفات، مقاومت‌ظاهری و سطح صوتی می‌باشد.

#### ۵-۴-۳ 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 تعیین‌شده‌ی $U_m$، برای سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور، ترانسفورماتور باید توانایی بهره‌برداری بدون آسیب و پیوسته در توان اسمی را تحت شرایط "اضافه‌شاری[1]" دارا باشد، که در آن، مقدار ولتاژ به فرکانس (V/Hz) نباید بیش از ٪ ۵ 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 ٪ ۱۱۰ مقدار اسمی را دارا باشند.

در جریان $K$ برابر جریان اسمی ترانسفورماتور ($0 \le K \le 1$)، اضافه‌شار باید طبق رابطه زیر محدود شود:

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

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 ۴-۲؛
- محدودیت تهویه؛

---

1- Overfluxing

- ارتفاع متجاوز از کران تعیین‌شده در ۴-۲؛
- گاز و بخارهای متصاعد خطرناک؛
- بخار آب؛
- رطوبت متجاوز از کران تعیین‌شده در ۴-۲؛
- نشتی و چکه آب؛
- افشانه نمک؛
- گردوخاک زیاد و خورنده؛
- محتوای هارمونیک زیاد جریان بار متجاوز از الزامات ۴-۲؛
- اعوجاج شکل‌موج ولتاژ اعمالی متجاوز از کران‌های تعیین‌شده در ۴-۲؛
- گذراهای نامتعارف کلیدزنی فرکانس بالا، به بند ۱۳ مراجعه شود؛
- جریان DC برهم‌نهی‌شده؛
- شرایط زمین‌لرزه که نیازمند برخی ملاحظات خاص در طراحی است. به زیربند ۴-۲ مراجعه شود؛
- ضربه مکانیکی و لرزش‌های شدید؛
- تابش خورشیدی؛
- انرژی‌دارشدن‌های مکرر، بیش از ۲۴ مرتبه در سال؛
- اتصال‌کوتاه‌های مکرر؛
- V/Hz متجاوز از ۵-۴-۳؛
- چنانچه ترانسفورماتور افزاینده ژنراتور در شرایط عدم اتصال به ژنراتور و بدون حفاظت در سمت فشار ضعیف، برای کار در حالت تغذیه وارون[1] در نظر گرفته‌شده باشد؛
- حفاظت خوردگی، براساس نوع تاسیسات و محیط نصب (به ۴-۲ 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 ۵-۳.

مشخصات ترانسفورماتور جهت بهره‌برداری تحت چنین شرایط غیرعادی، باید براساس توافقی میان فروشنده و خریدار حاصل شود.

الزامات تکمیلی کران‌های تعریف‌شده، برای مقادیر اسمی و آزمون ترانسفورماتورهای طراحی‌شده 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.

---

1-Back-feed

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. درصورت 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 $U_m$ مورداستفاده، طبق استاندارد IEC 60076-3 انتخاب شود.

### ۵-۷ اطلاعات تکمیلی مورد نیاز در درخواست خرید

#### ۵-۷-۱ طبقه‌بندی ترانسفورماتور

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

#### ۵-۷-۲ 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 سه‌فازه باشد، باید توسط خریدار مشخص شود، درغیراینصورت سازنده باید به‌وضوح در اسناد مناقصه نوع ترانسفورماتور پیشنهادی را تعیین کند.

#### ۵-۷-۳ سطح صوتی

چنانچه خریدار الزامی خاصی برای بیشینه سطح صوتی ضمانت‌شده داشته باشد، باید در درخواست خرید ذکر کرده و ترجیحاً آن را درقالب سطح توان صوت بیان کند.
چنانچه غیر این تصریح شود، سطح صوتی باید سطح صوتی بی‌باری به‌همراه کارکرد تجهیزات خنک‌کنندگی در بار کامل باشد. درصورت تصریح بر روش خنک‌کاری جایگزین (به ۵-۱-۳ مراجعه شود)، سطح صوتی

روش جایگزین می‌تواند توسط خریدار تعیین شود و درصورت 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 اندازه‌گیری‌شده در آزمون منطبق بر استاندارد IEC 60076-10 نباید از بیشینه سطح صوتی ضمانت‌شده تجاوز کند. بیشینه سطح صوتی ضمانت‌شده کران بدون رواداری می‌باشد.

### ۵-۷-۴ جابجایی

#### ۵-۷-۴-۱ محدودیت جابجایی

درصورت اعمال محدودیت‌های وزن و ابعاد برای جابجایی، باید آنها را در درخواست خرید ثبت کرد.
درصورت 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 پیش‌بینی‌شده حین کار باشد.

#### ۵-۷-۴-۲ شتاب جابجایی

ترانسفورماتور باید به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شود که توانایی تحمل حداقل شتاب ثابت * g ۱ را در تمام جهات (علاوه بر شتاب جاذبه‌ی زمین در راستای قایم) 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 g ۱ در جابجایی محتمل باشد، شتاب‌ها و فرکانس‌ها باید در درخواست خرید تعریف شوند. درصورت 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.

### ۵-۸ اجزاء و مواد

کلیه‌ی اجزاء و مواد مورد استفاده در ساخت ترانسفورماتور باید با الزامات استانداردهای مرتبط IEC درصورت وجود، سازگار باشند، درغیراینصورت، مورد توافق بوده یا تعیین می‌شوند. به‌طور خاص، بوشینگ‌ها 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 ترانسفورماتورهایی با یک سیم‌پیچ انشعاب‌دار

### ۶-۱ کلیات - نشانه‌گذاری گستره‌ی انشعاب

زیربندهای زیر برای ترانسفورماتورهایی 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 درمواردی در خنثی قرار داده می‌شوند، بدین معنی که تعداد دورهای موثر همزمان در هر دو سیم‌پیچ تغییر می‌کنند. برای چنین ترانسفورماتورهایی، جز موارد تصریح‌شده 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 ٪ ۱۵± دارای ۲۱ انشعاب می‌باشد، با توزیع متقارن حول ولتاژ اسمی، خواهیم داشت:

(۱۶۰±۱۰×۱٫۵ ٪) / ۶۶ kV

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

$$\left(160\ ^{+\ 12\times 1{,}5\ \%}_{-\ 8\times 1{,}5\ \%}\right) / 66\ \text{kV}$$

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 ۱الف، ۱ب و ۱ث مراجعه شود).

### ۶-۲ 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 توان‌کامل" هستند، بیان کرد.

رده‌های تغییر ولتاژ انشعاب به قرار زیر تعریف می‌شوند:

الف) تغییر ولتاژ با شار ثابت (CFVV)[1]

ولتاژ انشعاب در کلیه‌ی سیم‌پیچ‌های بدون انشعاب در گذر از انشعابی به انشعاب دیگر ثابت است. ولتاژهای انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار متناسب با ضرایب انشعاب هستند. به شکل ۱الف مراجعه شود.

ب) تغییر ولتاژ با تغییر شار (VFVV)[2]

ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچ انشعاب‌دار در گذر از انشعابی به انشعاب دیگر ثابت است. ولتاژهای انشعاب در کلیه‌ی سیم‌پیچ‌های بدون انشعاب تناسب عکس با ضریب انشعاب هستند. به شکل ۱ب مراجعه شود.

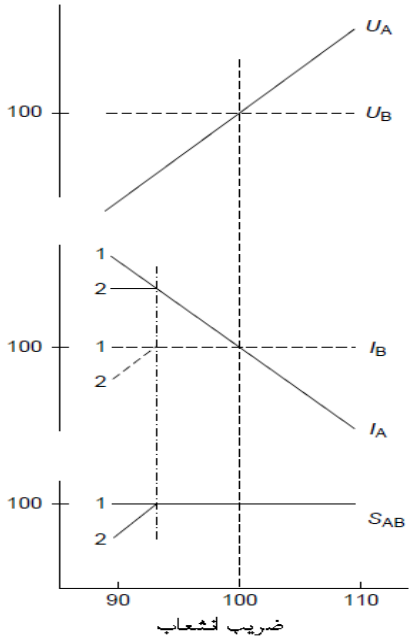
پ) تغییر ولتاژ ترکیبی (CbVV)[3]

در بسیاری از کاربردها و به‌ویژه در ترانسفورماتورهایی 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.

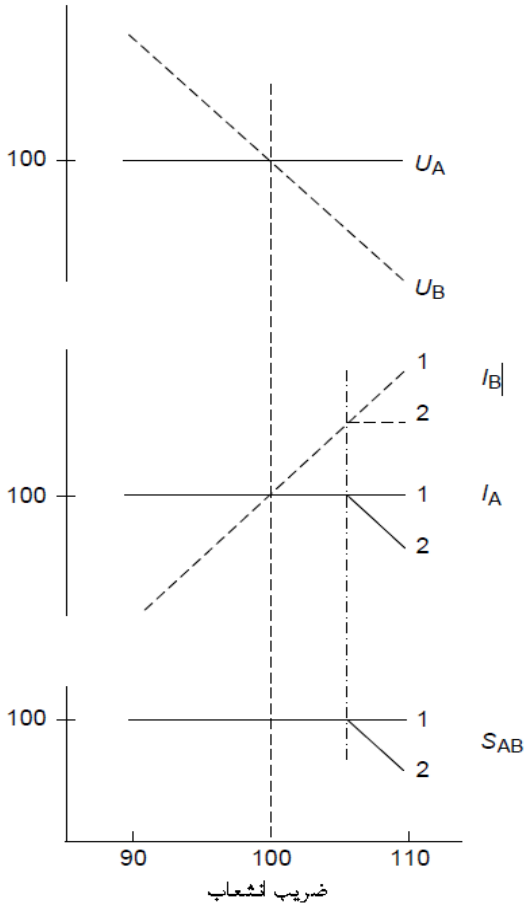
به شکل ۱پ مراجعه شود.




**شکل ۱ الف – تغییر ولتاژ با شار ثابت (CFVV)**

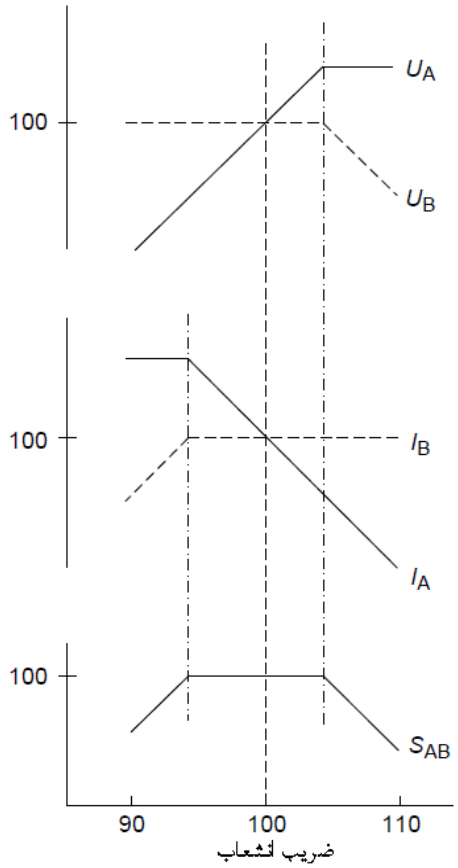
با نمایش انشعاب جریان بیشینه‌ی اختیاری

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 داده‌شده‌است. با ترکیب انشعاب ولتاژ بیشینه ($U_A$) و انشعاب جریان بیشینه ($I_B$ ثابت، در بالاتر از نقطه‌ی تعویض افزایش نمی‌یابد). علاوه‌برآن، 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 توان‌کامل در سراسر گستره‌ی انشعاب

۲ شاخص "انشعاب ولتاژ بیشینه"، "انشعاب جریان بیشینه" و گستره‌ی انشعاب‌های توان‌کاهش‌یافته

**شکل ۱ - روش‌های مختلف تغییر ولتاژ**

### ۳-۶ توان انشعاب. انشعاب‌های توان‌کامل - انشعاب‌های توان کاهش‌یافته

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

کلیه‌ی انشعاب‌ها باید انشعاب توان‌کامل باشند، یعنی، جریان انشعاب اسمی در هر انشعابی، باید برابر نسبت توان اسمی بر ولتاژ انشعاب اسمی در هر انشعابی باشد، مگر درمواردی که به‌قرار زیر تعیین می‌شود.

در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچ جداگانه با توان اسمی تا و خود ۲۵۰۰ kVA با گستره‌ی انشعاب محدود به ٪ ۵± ، جریان انشعاب اسمی در کلیه‌ی 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 ٪ ۵± 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 توان‌کامل 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 ۱ب). جهت محدودکردن تقویت مربوطه سیم‌پیچ موردبحث، می‌توان انشعاب جریان بیشینه تعیین کرد. از این انشعاب به‌بعد، 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 روشCFVV 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 ۱پ).

### ۶-۴ تعیین ویژگی انشعاب‌ها در درخواست خرید و سفارش

#### ۶-۴-۱ عمومی

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

خریدار باید کارکرد تغییردهنده یا تغییردهنده‌های انشعاب را در شرایط باردار یا بی‌بار تعیین کند.

درصورت استفاده از روش تغییر ولتاژ با تغییر شار VFVV، عموماً تنها در دو موقعیت از گستره‌ی تنظیم امکان تطبیق نسبت طراحی با نسبت تعیین‌شده وجود دارد. خریدار باید محل انطباق نسبت طراحی را با نسبت تعیین‌شده 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 ۶-۴-۲ از مصرف‌کننده می‌خواهد که سیم‌پیچ انشعاب‌دار و به‌ویژه توان‌های انشعاب را تعیین کند. زیربند ۶-۴-۳ 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 افت‌ولتاژ را ارایه می‌کند.

#### ۶-۴-۲ 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، درصورت 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 کاهش‌یافته) اعمال شود، و درصورت جواب مثبت، به‌کدامین 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).

### ۶-۴-۳ مشخص‌سازی عملکرد

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

این روش ذکر ویژگی در ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچی جداگانه تا و خود ۲۵۰۰ kVA با گستره‌ی انشعاب محدود به ٪ ۵± قابل اجرا نیست.

اطلاعات زیر باید توسط خریدار در درخواست خرید علاوه بر ولتاژ اسمی و توان اسمی تعریف‌شده در بند ۵، ارایه 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.

**یادآوری۱**- ممکن است گستره‌ی تغییر و تعداد پله‌ها مهمتر از حصول ولتاژ دقیق در انشعاب اصلی باشد. در چنین موردی گستره ی تغییر و تعداد پله‌ها می‌تواند تعیین شود. برای نمونه ٪ ۵+ تا ٪۱۰- در ۱۱ پله.

پ) کدام ولتاژ باید به‌منظور تعریف ولتاژ انشعاب اسمی تغییر کند.

**یادآوری۲** – 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 نسبت‌دور بین دو سیم‌پیچ خاص در ترانسفورماتور بیش از دو سیم‌پیچ.

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

ج) آیا هر انشعابی یا هر گستره‌ای از انشعاب‌ها می‌تواند انشعاب‌های توان کاهش‌یافته 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 تعریف‌شده در استاندارد IEC 60076-2 را دارا باشد.

ترانسفورماتور باید برای تحمل بدون‌آسیب افزایش ولتاژ و افزایش شار ناشی از شرایط بارگذاری فوق (شامل هرگونه شرایط تصریح‌شده‌ی اضافه‌بار) طراحی شود. درصورت درخواست، باید محاسبات نمایش‌دهنده‌ی ارضا این شرایط به خریدار ارایه شود.

مثالی در پیوست ب ارایه شده است (مثال۴).

در روشی جایگزین، مصرف‌کننده می‌تواند مجموعه‌ای از موارد بارگذاری با مقادیر توان اکتیو و راکتیو (با تعیین صریح جهت شارش توان)، و ولتاژهای بارداری نظیر را پیشنهاد دهد. توصیه می‌شود این موارد گویای مقادیر کران نسبت‌ولتاژ در توان کامل و توان کاهش‌یافته باشد (به روش شش پارامتری استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود). براساس این اطلاعات، سازنده سیم‌پیچ انشعاب‌دار را انتخاب کرده و، کمیت‌های اسمی و کمیت‌های انشعاب را در برگه‌ی پیشنهاد خود تعیین خواهد کرد. توافقی باید میان سازنده و خریدار در طراحی کمیت‌های انشعاب حاصل شود.

### ۶-۵ مشخص‌سازی مقاومت ظاهری اتصال‌کوتاه

در ترانسفورماتورهایی که فاقد انشعابی با تغییر ولتاژ متجاوز از ٪ ۵± از انشعاب اصلی هستند، مقاومت ظاهری اتصال‌کوتاه زوج سیم‌پیچی باید تنها در انشعاب اصلی، یا براساس *اهم‌برفاز* Z یا برحسب درصد z با ارجاع به توان اسمی و ولتاژ اسمی ترانسفورماتور، تعیین شود (به ۳-۷-۱ مراجعه شود). در روشی جایگزین، مقاومت‌ظاهری می‌تواند مطابق یکی از دو روش زیر تعیین شود.

در ترانسفورماتورهایی با انشعاب‌هایی با تغییر ولتاژ متجاوز از ٪ ۵± از انشعاب اصلی، مقادیر مقاومت‌ظاهری بیان‌شده برحسب Z یا z باید برای انشعاب اصلی و انشعاب(های) کران متجاوز از ٪ ۵ تعیین شود. درچنین ترانسفورماتورهایی، این مقادیر مقاومت‌ظاهری نیز باید طی آزمون مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه و تلفات بار (به ۴-۱۱ مراجعه شود) اندازه‌گیری شوند و باید به قرار رواداری‌های بند ۱۰ باشند. چنانچه مقاومت‌ظاهری برحسب درصد z بیان شود، این مقدار باید به ولتاژ انشعاب اسمی (در آن انشعاب) و توان اسمی ترانسفورماتور (در انشعاب اصلی) ارجاع داده شود.

**یادآوری۱** – انتخاب مقدار مقاومت‌ظاهری توسط کاربر درمعرض مطالبات متضاد[1] می‌باشد: محدودیت افت‌ولتاژ درمقابل محدودیت اضافه‌جریان در شرایط عیب سیستم. بهینه‌سازی اقتصادی طراحی، براساس تلفات، منجر به گستره‌ی خاصی از مقادیر مقاومت‌ظاهری می‌شود. بهره‌برداری موازی با ترانسفورماتور موجود نیازمند تطبیق مقاومت‌ظاهری است (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود).

**یادآوری۲** – چنانچه برگه استعلام، علاوه بر ویژگی مقاومت‌ظاهری انشعاب اصلی، شامل تغییرات آن در گستره‌ی انشعاب نیز باشد، این امر می‌تواند محدودیت مهمی بر طراحی ترانسفورماتور تحمیل کند (آرایش سیم‌پیچ‌ها نسبت به یکدیگر و هندسه‌ی آنها). همچنین تعیین ویژگی و طراحی ترانسفورماتور نیازمند لحاظ کردن این امر می‌باشد که تغییرات بزرگ مقاومت‌ظاهری بین انشعاب‌ها می‌تواند اثر انشعاب‌ها را کاهش یا افزایش دهد.

در روشی جایگزین، مقاومت‌ظاهری بیشینه و کمینه برحسب z یا Z می‌تواند برای هر انشعابی از گستره‌ی کامل انشعاب تعیین شود. این امر می‌تواند به‌کمک نمودار یا جدول انجام شود (به پیوست پ مراجعه شود).

---

1-Conflicting demand

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 اندازه‌گیری‌شده نباید خارج از کران‌ها باشند، چراکه محدوده‌هایی بدون رواداری هستند.

**یادآوری۳** – توصیه می‌شود که مقاومت‌های ظاهری بیشینه و کمینه‌ی تعیین‌شده، رواداری مقاومت‌ظاهری رواداری‌های بند ۱۰ را برآورده سازد اما درصورت نیاز، رواداری کوچکتری می‌تواند به‌واسطه‌ی توافق طرفین استفاده شود.

**یادآوری۴** – بنانهادن مقاومت‌ظاهری بر ولتاژ انشعاب اسمی و توان اسمی ترانسفورماتور در انشعاب اصلی، بدین معنی است که رابطه‌ی میان *اهم‌برفاز* Z 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. ازاینرو اطمینان از صحت مقاومت‌ظاهری تعیین‌شده نیازمند توجه ویژه‌ای است. این امر به‌ویژه برای ترانسفورماتورهای تعیین‌شده با توان‌های انشعاب متفاوت از توان اسمی انشعاب اصلی مهم است.

### ۶-۶ تلفات بار و افزایش دما

الف) چنانچه گستره‌ی انشعاب درون ٪ ۵± 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 ٪ ۵± تجاوز کند یا توان اسمی بیشتر از ۲۵۰۰ kVA باشد، تلفات ضمانت‌شده باید در موقعیت انشعاب اصلی بیان شود، مگر آنکه در مرحله‌ی درخواست، خریدار غیر آن تصریح کند. درصورت وجود چنین الزامی، باید تعیین شود که در کدام انشعاب‌ها، علاوه‌بر 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 اختصاص‌یافته 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 پراکنده‌کردن 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 تعیین‌شده، نشان دهد.

**یادآوری۱** - در اتوترانسفورماتور، جریان بیشینه سیم‌پیچ‌های سری و مشترک، عموماً در دو موقعیت متفاوت انشعاب قرار دارند. ازاینرو 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.

**یادآوری۲** - برای برخی از آرایش‌های انشعاب، سیم‌پیچ انشعاب‌دار جریان را در انشعاب جریان بیشینه هدایت نمی‌کنند. ازاینرو، درصورت نیاز به تعیین افزایش دمای سیم‌پیچ انشعاب‌دار، انشعاب دیگری می‌تواند انتخاب شود یا آزمون مازادی می‌تواند توافق شود.

## ۷ نمادهای جابجایی فاز اتصالات

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

#### ۷-۱-۱ 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 دردسترس باشد، نشانه باید به‌ترتیب، YN(yn) یا ZN(zn) باشد. این روش در ترانسفورماتورهایی که اتصالات سرهای خنثی هر سیم‌پیچ فاز، جداگانه دردسترس 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[1] ترانسفورماتور سه‌فاز (که درون ترانسفورماتور به‌یکدیگر متصل نبوده اما دو انتهای هر سیم‌پیچ فاز در پایانه‌ها دردسترس هستند، مانند سیم‌پیچ‌های خط ترانسفورماتورهای سری و جابجاکننده‌ی فاز) با III (فشارقوی)، 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 مشخص‌شده 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، به‌همراه نمودارهای اتصال، در پیوست د نشان داده شده است.

#### ۷-۱-۲ نمادنویسی جابجایی فاز با شماره‌ی ساعت

از قراردادهای نمادنویسی 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 نشان‌داده‌شده، 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.

---

1- Open windings

**یادآوری** - این شماره‌گذاری اختیاری است. علامت‌گذاری پایانه در ترانسفورماتور تابع قواعد ملی است. می‌توان به راهنمایی‌های IEC/TR 60616 مراجعه کرد.

سیم‌پیچ‌های باز فاقد نمادنویسی شماره‌ی ساعت هستند چراکه رابطه‌ی فازی این سیم‌پیچ‌ها با سیم‌پیچ‌های دیگر وابسته به اتصال بیرونی است.

### ۷-۱-۳ سیم‌پیچ‌هایی که برای بارگذاری درنظر گرفته نشده‌اند

وجود سیم‌پیچ پایدارکننده یا سیم‌پیچ آزمون (سیم‌پیچ اتصال مثلث یا ستاره که مختوم به بارگذاری سه‌فاز خارجی نیست) با نماد d+ یا y+ برحسب اتصال بعد از نمادهای سیم‌پیچ‌های بارپذیر، همانند مثال‌های زیر نمایش داده می‌شوند:

YNa0+y یا YNa0+d

### ۷-۱-۴ سیم‌پیچ‌های باقابلیت تعویض اتصال

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

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 ستاره و فشار قوی ۱۱۰ kV ستاره تحویل داده شود:

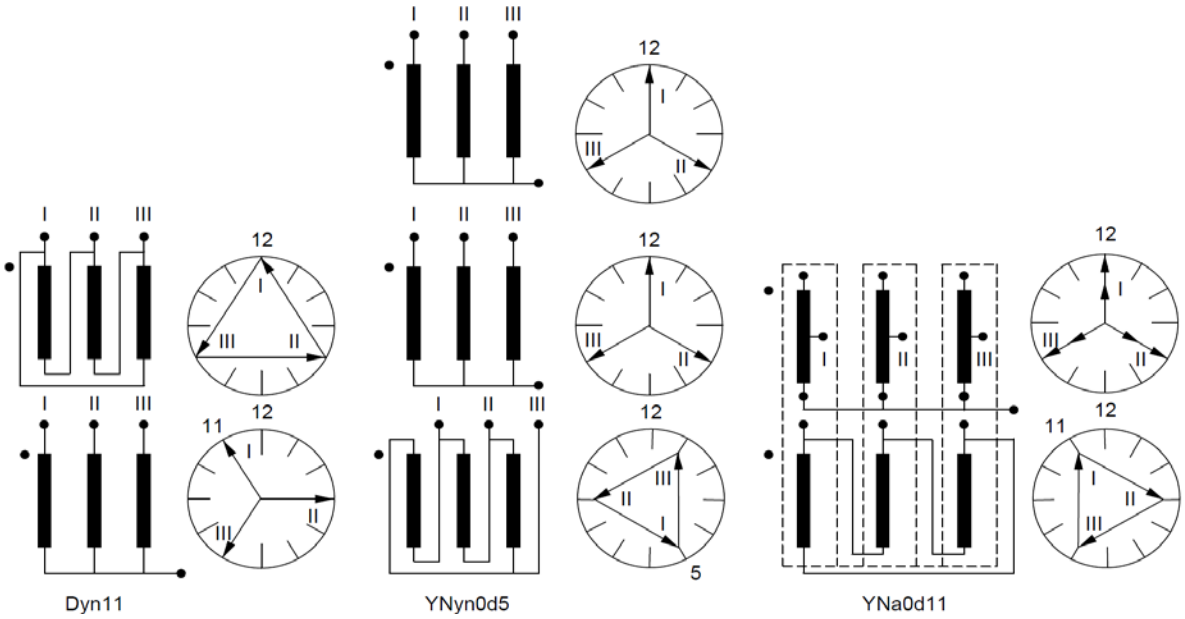
YNy0 (d11) 110 / 11 (6.35) kV

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

YNd11 (d1) 110 / 11 kV

### ۷-۱-۵ مثال

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




**شکل ۲ – تشریح با نمادنویسی شماره ساعت**

- ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ فشار قوی اسمی ۲۰ kV، اتصال مثلث، سیم‌پیچ فشار ضعیف اسمی ۴۰۰ V اتصال ستاره با خنثی دردسترس. سیم‌پیچ فشار ضعیف نسبت به فشار قوی ۳۳۰° پسفازی دارد.

Dyn11 20000 / 400 V

- ترانسفورماتور سه‌سیم‌پیچ با سیم‌پیچ فشار قوی اسمی ۱۲۳ kV، اتصال ستاره با خنثی دردسترس. یک سیم‌پیچ فشار متوسط ۳۶ kV، اتصال ستاره با خنثی دردسترس، همفاز با سیم‌پیچ فشار قوی اما غیر اتوترانسفورماتوری و سیم پیچ سوم اتصال مثلث ۷٫۲ kV ، با پسفازی ۱۵۰°:

YNyn0d5 123 / 36 /7.2 kV

- مجموعه‌ی سه اتوترانسفورماتور تکفاز طراحی شده برای ۴۰۰kV فشار قوی و یک ۱۳۰ kV فشار متوسط با سیم‌پیچ ثالثیه‌ی ۲۲ kV. سیم‌پیچ‌های اتوترانسفورماتوری در اتصال ستاره هستند، حال‌آنکه سیم‌پیچ‌های ثالثیه در اتصال مثلث هستند. سیم‌پیچ با اتصال مثلث در پسفازی ۳۳۰° 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 دردسترس نباشد و تنها به‌عنوان سیم‌پیچ پایدارکننده استفاده شود، این امر با نماد علامت مثبت نشان داده می‌شود. نمادنویسی 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 نمادنویسی 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. سیم‌پیچی‌های اتوترانسفورماتوری در اتصال ستاره هستند، حال‌آنکه سیم‌پیچ‌های ثالثیه در اتصال مثلث هستند. سیم‌پیچ مثلث در پسفازی ۳۳۰° نسبت به سیم‌پیچ فشار قوی قرار دارد:

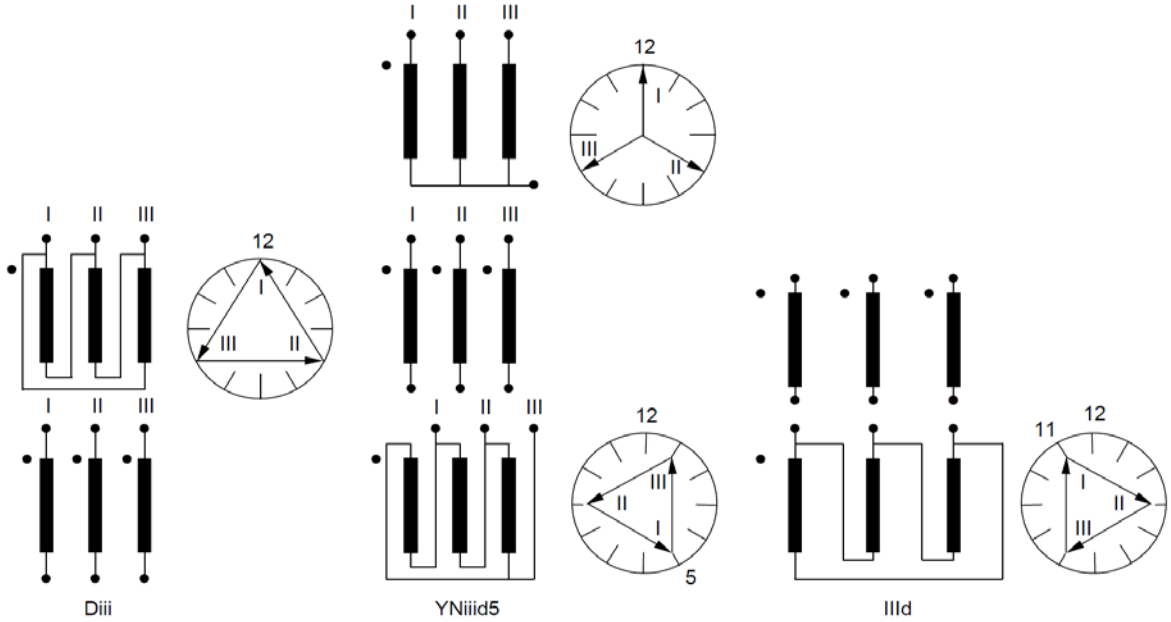
YNa0d11 400 / 130 / 22 kV

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

YNa0+d  400 / 130 / 22  kV

- ترانسفورماتور سه‌فاز افزاینده‌ی متصل به ژنراتور طراحی‌شده برای شبکه ۲۰ kV و سمت ژنراتور ۸٫۴ kV. سیم‌پیچ‌های متصل به ژنراتور در اتصال مثلث هستند، حال‌آنکه سیم‌پیچ‌های سمت شبکه در اتصال ستاره هستند. سیم‌پیچ مثلث ۳۳۰° نسبت به سیم‌پیچ فشارقوی پسفازی دارد:

YNd11  20 / 8.4  kV




**شکل ۳ – تشریح با نمادنویسی شماره ساعت برای ترانسفورماتورهایی با سیم‌پیچ‌های باز**

- ترانسفورماتور سه‌فاز طراحی‌شده برای فشار قوی ۲۰ kV مثلث و با یک سیم‌پیچ باز ۱۰ kV:

Diii  20 / 10  kV

- ترانسفورماتور سه‌سیم‌پیچه‌ی سه‌فاز طراحی‌شده برای فشار قوی ۲۲۰ kV ستاره با یک سیم‌پیچ باز ۴۰ kV و سیم‌پیچ سوم ۱۰ kV مثلث:

YNiiid5  220 / 40 / 10  kV

- ترانسفورماتور سری سه‌فاز طراحی‌شده برای شبکه‌ی ۴۰۰ kV و سیم‌پیچ تحریک ۴۰ kV با اتصال مثلث:

IIId  400 / 40  kV

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

### ۱-۲-۷ نماد اتصالات

اتصال مجموعه‌ی سیم‌پیچ‌های فاز ترانسفورماتورهای تکفاز برای سیم‌پیچ فشار قوی با حرف بزرگ I و برای سیم‌پیچ‌های فشار متوسط و فشار ضعیف با حرف کوچک i نمایش داده می‌شود.

نمادهای حرفی برای سیم‌پیچ‌های متفاوت ترانسفورماتور به‌ترتیب نزول ولتاژ اسمی، مستقل از شارش توان تعیین‌شده 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.

### ۷-۲-۲ جابجایی فاز در نمادنویسی 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.

### ۷-۲-۳ سیم‌پیچ‌هایی که برای بارگذاری درنظر 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:

Ii0+i

### ۷-۲-۴ 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:

Ii0 220 (110) / 27.5 kV

- چنانچه فشارضعیف 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:

Ii(i6) 110 / 11 (5.5) kV

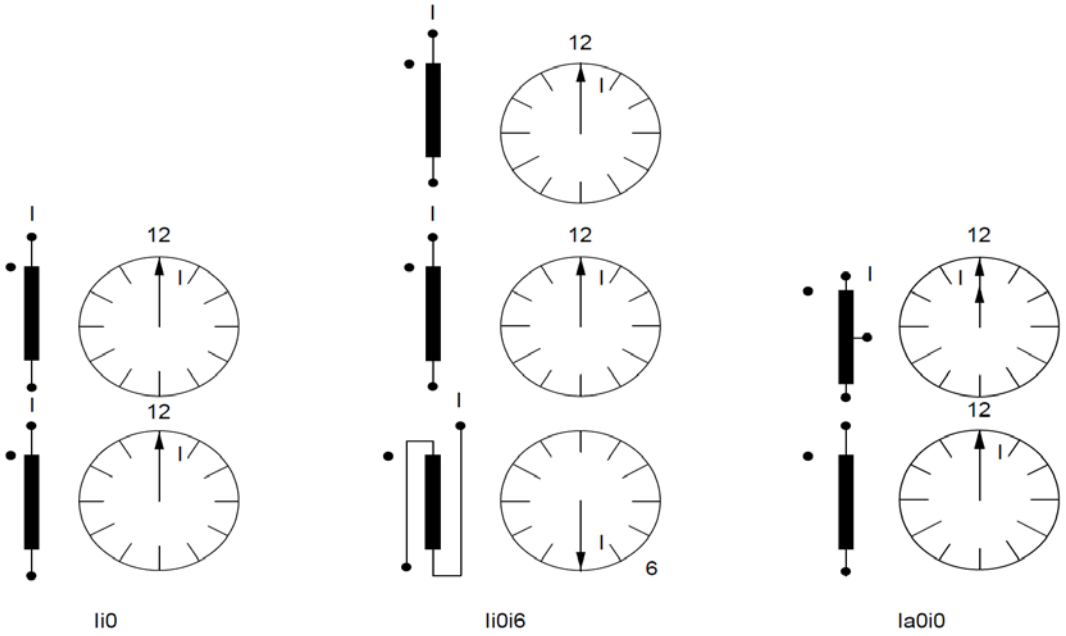
- چنانچه گروه برداری فشار ضعیف توانایی تغییر اتصال را بدون تغییر ولتاژهای اسمی دارا باشد (در این مثال ۱۱ kV) و ترانسفورماتور در i0 و فشار قوی ۱۱۰ kV تحویل داده شود:

Ii0 (06) 110 / 11 kV

**مثال‌ها**

مثال‌هایی در زیر ارایه شده و نمودارهای گرافیکی برخی از آنها در شکل ۴ ارایه شده است.

از قواعد مشابه با شکل ۲ استفاده می‌شود.




**شکل ۴ – تشریح با نمادنویسی شماره ساعت**

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

Ii0 20000 / 400 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 ۱۸۰°:

Ii0i6 123 / 36 / 7.2 kV

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

Ia0i0 400 / 130 / 22 kV

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

Ii0+I 400 / 130 / 22 kV

## ۸ صفحه مقادیر اسمی

### ۸-۱ کلیات

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

### ۸-۲ اطلاعاتی که برای کلیه‌ی موارد ارایه 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 ارایه 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 اتصال‌کوتاه، مقدار اندازه‌گیری‌شده برحسب درصد. برای ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، مقاومت‌های ظاهری ترکیب‌های مختلف دو سیم‌پیچ به‌همراه مقادیر توان مرجع مربوطه، باید ارایه شوند. برای ترانسفورماتورهای انشعاب‌دار زیربند ۶-۵ و مورد ب زیربند ۸-۳ 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 اتصال‌کوتاه 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 افزوده‌شده باید بر همان صفحه مقادیر اسمی ارایه شوند، یا صفحه‌های مقادیر اسمی جداگانه‌ای باید برای هر مجموعه‌ای نصب شود.

### ۸-۳ اطلاعات تکمیلی که درصورت امکان باید داده شوند

برای ترانسفورماتور، درصورت 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 ۳٫۶ kV:
نمادنویسی 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 ۶٫۷ MVA (تکفاز) با گستره‌ی انشعاب محدود به ٪ ۵±، 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 اتصال‌کوتاه 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 درنظر 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 طراحی شود، توان اسمی برای افزایش دمای ضمانت‌شده تحت شرایط طبیعی دمای عامل خنک‌کننده‌ی 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. درصورت 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، درصورت استفاده، باید در دیاگرام ارایه 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)[1]، 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 (*ولت‌آمپر* اسمی) ترانسفورماتور جریان.

1- Winding temprature indicator

ذ) دمای کمینه‌ی عامل خنک‌کننده، چنانچه برای ترانسفورماتورهای نصب‌شده در محل مسقف °C ۵- یا برای ترانسفورماتورهای نصب‌شده در فضای آزاد °C ۲۵- 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

### ۹-۱ نکات ایمنی و الزامات محیطی

#### ۹-۱-۱ نشت مایع

سازندگان ترانسفورماتور باید مهار موثری برای مایع ترانسفورماتور درنظر 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 محل‌مصرف در پایان مرحله‌ی راه اندازی باید توسط مسئول ذیربط برطرف شود.

#### ۹-۱-۲ 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 برقدار[1]؛
- دسترسی به اجزاء متحرک؛
- مقررات جابجایی و تماس بدنی؛
- دسترسی جهت تعمیر، درصورت نیاز به تعمیر؛
- کار در ارتفاع.

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

**یادآوری** – درصورت تجهیز ترانسفورماتور به نردبان، سکو و وسایل دسترسی مشابه، باید از سری ISO 14122[2] استفاده شود.

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

### ۹-۲ تعیین اندازه اتصال خنثی

هادی و پایانه‌ی خنثی ترانسفورماتورهای درنظر گرفته‌شده برای تغذیه باری بین فاز و خنثی (مانند ترانسفورماتورهای توزیع) باید برای جریان بار اختصاص‌داده‌شده 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 درنظر گرفته نشده‌اند، باید برای حمل جریان عیب زمین، زمانیکه ترانسفورماتور مستقیماً زمین می‌شود، طراحی شوند.

### ۹-۳ سیستم نگهدارنده مایع

در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع، نوع سیستم نگهداری مایع می‌تواند 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[1] یا سیستم منبع انبساط[2] که ارتباط آزادی بین هوای محیط و فضای انبساط پر از هوای بالای سطح مایع، درون مخزن یا ظرف انبساط جداگانه (منبع انبساط)، وجود دارد. در محل اتصال با هوای آزاد از یک هواکش رطوبت‌گیر استفاده می‌شود.
- سیستم نگهدارنده مایع دیافراگمی[3] یا بالشتکی که در آن حجم متراکمی از هوا با فشار جو بر سطح مایع قرار می‌گیرد اما از تماس مستقیم با مایع به‌واسطه‌ی دیافراگم یا بالشتکی قابل‌انعطاف ممانعت می‌شود. در محل اتصال با هوای آزاد از یک هواکش رطوبت‌گیر استفاده می‌شود.
- سیستم فشار گاز بی‌اثر[4] که در آن فضای انبساط بالای مایع با گاز بی‌اثر خشک، با اندکی فشار بیشتر پر می‌شود، و به منبع کنترل‌شونده فشار یا بالشتکی ارتجاعی متصل می‌شود.
- سیستم مخزن آب‌بندی‌شده با بالشتک گازی[5] که در آن حجمی از گاز بر سطح مایع در مخزنی صلب، انبساط مایع را در فشارهای متفاوت تنظیم می‌کند.
- سیستم آب‌بندی‌شده، کاملاً انباشته[6] که در آن انبساط مایع توسط جابجایی ارتجاعی مخزن موج‌دار یا رادیاتورهای به‌طور دایم آب‌بندی شده جذب می‌شود.

ابعاد سیستم نگهدارنده یا انبساط باید برای تطبیق تغییر حجم مایع از سردترین محیط، زمانی‌که ترانسفورماتور بی‌برق است تا بیشترین دمای میانگین مایع، زمانی‌که ترانسفورماتور با بالاترین سطح مجاز منطبق بر مقررات بارگذاری استاندارد IEC 60076-7 برای روغن معدنی یا مایع خنک‌کننده‌ی 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.

### ۹-۴ جریان‌های DC در مدارهای خنثی

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

- سیستم‌های حمل‌ونقل DC؛
- سیستم‌های حفاظت کاتدی؛
- سیستم‌های یکسوساز؛
- جریان‌های القایی خواص مغناطیسی زمین (GIC)[1].

زمانی‌که ترانسفورماتور درمعرض جریان‌های DC در خنثی باشد، منجر به بایاس DC مغناطیس‌شوندگی در مدار مغناطیسی خواهد شد. جریان مغناطیس‌کنندگی شدیداً نامتقارن شده و محتوای هارمونیکی 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 درمعرض جریان‌های DC باشد، باید سطوح چنین جریان‌هایی به‌همراه محدودیت‌های عواقب ناشی از آن، توسط خریدار در درخواست خرید تعیین شود. همچنین به زیربند ۴-۱۱ استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ مراجعه شود.

### ۹-۵ 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.

1-Geomagnetically induced currents

## ۱۰ رواداری‌ها

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 روداری 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**

| متغیر | میزان رواداری |
|---|---|
| ۱. الف) تلفات کل یادآوری ۱ مشاهده شود<br>ب) تلفات اندازه‌گیری‌شده‌ی اجزا یادآوری ۱ مشاهده شود | ٪ ۱۰+ تلفات کل<br>٪ ۱۵+ تلفات اجزا، به‌شرط عدم تجاوز رواداری تلفات کل |
| ۲. نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری‌شده‌ی بی‌باری در انشعاب اصلی برای اولین زوج سیم‌پیچ تعیین‌شده یا انشعاب‌های کران، درصورت تصریح<br><br>نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری‌شده در انشعاب‌های دیگر، برای همان زوج<br>نسبت‌ولتاژ اندازه‌گیری‌شده برای زوج‌های بعدی | مقدار کوچکتر مقادیر زیر:<br>الف) ٪ ۰٫۵± نسبت تعیین‌شده<br>ب) ۰٫۱± مقدار درصد واقعی مقاومت‌ظاهری در انشعاب اصلی<br>٪ ۰٫۵± مقدار طراحی نسبت‌تبدیل<br>٪ ۰٫۵± مقدار طراحی نسبت‌تبدیل |
| ۳. مقاومت‌ظاهری اندازه‌گیری‌شده برای:<br>- ترانسفورماتور سیم‌پیچ جداگانه با دوسیم‌پیچ، یا<br>- اولین زوج سیم‌پیچ‌های جداگانه‌ی تعیین‌شده در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه<br>الف) انشعاب اصلی<br><br><br><br>ب) هر انشعاب دیگری از زوج<br><br><br><br> | چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری بیشتر از یا مساوی با ٪۱۰ باشد<br>٪ ۷٫۵± مقدار تعیین‌شده<br>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری کمتر از ٪۱۰ باشد<br>٪ ۱۰± مقدار تعیین‌شده<br>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری بیشتر از یا مساوی با ٪۱۰ باشد<br>٪ ۱۰± مقدار تعیین‌شده<br>چنانچه مقدار مقاومت‌ظاهری کمتر از ٪۱۰ باشد<br>٪ ۱۵± مقدار تعیین‌شده |
| ۴. مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه اندازه‌گیری‌شده برای:<br>- زوج سیم‌پیچ اتوترانسفورماتوری یا<br>- دومین زوج سیم‌پیچ‌های جداگانه‌ی تعیین‌شده در ترانسفورماتور چندسیم‌پیچه<br>الف) انشعاب اصلی<br>ب) هر انشعاب دیگری از زوج<br>- زوج سیم‌پیچ‌های بعدی | ٪ ۱۰± مقدار تعیین‌شده<br>٪ ۱۰± مقدار طراحی برای آن انشعاب<br>طبق توافق، اما با مقداری بزرگتر از ٪ ۱۵± |
| ۵. جریان بی‌باری اندازه‌گیری‌شده | ٪ ۳۰± مقدار طراحی |

**یادآوری۱** – رواداری‌های تلفات ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه، به‌کلیه‌ی زوج سیم‌پیچ‌ها اعمال می‌شود، مگر آنکه طبق ضمانت‌نامه برای ترکیب بار معینی معتبر باشد.

**یادآوری۲** – 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.

## ۱۱ آزمون‌ها

### ۱۱-۱ الزامات کلی آزمون‌های تک‌به‌تک، نوعی و ویژه

#### ۱۱-۱-۱ عمومی

ترانسفورماتورها باید طبق مقررات زیر مورد آزمون قرار گیرند.

آزمون‌ها بجز آزمون‌های افزایش دما باید در دمای عامل خنک‌کننده خارجی بین ۱۰°C و ۴۰°C انجام شوند.

برای آزمون‌های افزایش دما به استاندارد IEC 60076-2 مراجعه شود.

آزمون‌ها باید در کارخانه سازنده اجرا شوند، مگرآنکه غیر آن میان سازنده و خریدار توافق شود.

کلیه‌ی 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[1] و بوشینگ‌های 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 بوشینگ‌های مایع / $SF_6$[2] درنظر گرفته شده باشد، با توافق طرفین، آزمون می‌تواند توسط بوشینگ‌های معادل مایع/هوا[3] انجام شود مشروط بر آنکه انتهای غوطه‌ور در مایع بوشینگ آزمون، مشابه بوشینگ حین کار بوده و بوشینگ 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 مورداستفاده 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.

درصورت 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 ۷۵°C است؛

۲) بنا به درخواست مشتری، مقدار بیشتر دو عدد زیر دمای مرجع خواهد بود: مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با ۲۰°C، یا مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با متوسط سالیانه‌ی 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 ۲۰°C، یا مجموع متوسط اسمی افزایش دمای سیم‌پیچ با متوسط سالیانه دمای عامل خنک‌کننده خارجی.

چنانچه خریداری علاقمند به مقایسه‌ی تلفات ترانسفورماتورهای رده ب با تلفات ترانسفورماتورهای رده الف و پ باشد (با سیستم‌های متفاوت عایقی و مقادیر متفاوت متوسط افزایش دمای سیم‌پیچ)، دمای مرجع الزاماً باید طبق ب۲ فوق تعیین شود. چنانچه خریدار علاقمند به چنین مقایسه‌ای باشد، باید آن را در پیشنهاد خرید اعلام کند.

**یادآوری۱** - برای طراحی‌های فعلی، تبدیل بین تلفات در دماهای مرجع جایگزین، به‌کمک محاسبات انجام می‌شود. هیچ یک از آزمون‌های نوعی، ازجمله آزمون افزایش دما ، صرفاً به‌دلیل تغییر دمای مرجع نیازمند تکرار نخواهند بود.

**یادآوری۲** – برای دماهای متوسط سالیانه‌ی عامل خنک‌کننده‌ی خارجی که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای متفاوت از ۲۰°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.

**یادآوری۳** - هدف آن است که ترانسفورماتور با مایعی آزموده شود که نتایج آزمون کاملاً معرف عملکرد حین کار ترانسفورماتور باشد.

کلیه‌ی اندازه‌گیری‌ها و آزمون‌هایی که نیازمند منبعی با فرکانس قدرت هستند، باید با فرکانس منبع درون ٪ ۱ فرکانس اسمی ترانسفورماتور انجام شوند. شکل‌موج ولتاژ منبع باید به‌گونه‌ای باشد که محتوای هارمونیک کل از ٪ ۵ تجاوز نکند. چنانچه چنین شرطی برقرار نباشد آنگاه تاثیر شکل‌موج بر پارامتر اندازه‌گیری‌شده باید توسط سازنده محاسبه شده و مورد تایید خریدار نیز قرار گیرد. اندازه‌گیری‌های تلفات نباید جهت احتساب هارمونیک‌های ولتاژ منبع، مگر درمواردی که در زیربند ۱۱-۵ مجاز شده‌اند، تصحیح شوند. درصورت استفاده از منبع سه‌فاز، ولتاژ منبع باید متقارن باشد. بیشینه‌ی ولتاژ هر سیم‌پیچ فاز تحت آزمون، نباید از کمینه‌ی ولتاژ بیش از ٪ ۳ 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 نسبت‌ولتاژ و کنترل جابجایی فاز (به زیربند ۱۱-۳ مراجعه شود).
پ) اندازه‌گیری مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه و تلفات بار (به زیربند ۱۱-۴ مراجعه شود).
ت) اندازه‌گیری تلفات و جریان بی‌باری (به زیربند ۱۱-۵ مراجعه شود).
ث) آزمون‌های تک‌به‌تک دی‌الکتریک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).
ج) آزمون‌های تغییردهنده‌های انشعاب تحت بار، هرجا که مناسب باشد (به زیربند ۱۱-۷ مراجعه شود).
چ) آزمون نشتی تحت فشار برای ترانسفوراتورهای 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 نسبت‌تبدیل 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 $U_m$ > ۷۲٫۵ 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 حل‌شده در مایع دی‌الکتریک در کلیه‌ی قسمت‌های روغنی جداگانه جز قسمت کلید برگردان[1].
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 دی‌الکتریک (به استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).

1- Diverter switch

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.

**۱۱-۱-۴ 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 ($\tan \delta$) ظرفیت‌های خازنی سیستم عایق‌بندی.
ث) تعیین مشخصه انتقال ولتاژ گذرا (به پیوست B استاندارد IEC 60076-3 مراجعه شود).
ج) اندازه‌گیری مقاوت(های) ظاهری توالی صفر در ترانسفورماتورهای سه‌فاز (به زیربند ۱۱-۶ مراجعه شود).
چ) آزمون استقامت دربرابر اتصال‌کوتاه (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 تغییرشکل 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 درمقابل خلاء انجام‌شده درمحل‌مصرف برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع (به زیربند ۱۱-۱۱ مراجعه شود).
ر) اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی (تحلیل پاسخ فرکانسی[1]). 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 به‌واسطه‌ی اندازه‌گیری و برای ترانسفورماتورهای بزرگتر طبق توافق طرفین، به‌واسطه‌ی 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.

1- Frequency Response Analysis, FRA

## ۲-۱۱ اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ

### ۱-۲-۱۱ 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 کلیه‌ی اندازه‌گیری‌های مقاومت، باید از کمینه‌بودن اثرات خودالقایی اطمینان داشت.

### ۲-۲-۱۱ ترانسفورماتورهای خشک

پیش از اندازه‌گیری، دمای عامل خنک‌کننده خارجی نباید حداقل برای h ۳ بیشتر از °C ۳ تغییر کند و کلیه‌ی دماهای سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، اندازه‌گیری‌شده با حسگرهای داخلی دما، نباید از دمای عامل خنک‌کننده خارجی بیشتر از °C ۲ متفاوت باشند.

مقاومت سیم‌پیچ و دمای سیم‌پیچ باید همزمان اندازه‌گیری شوند. دمای سیم‌پیچ باید به‌وسیله‌ی حسگرهایی تعبیه‌شده در نقاط منتخب، ترجیحاً درون مجموعه‌ی سیم‌پیچ‌ها، برای مثال، در مجرایی بین سیم‌پیچ‌های فشار قوی و فشار ضعیف اندازه‌گیری شود.

### ۳-۲-۱۱ ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

پس از آنکه ترانسفورماتور حداقل برای h ۳ بدون برقدارکردن 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 به‌دست می‌آید.

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

## ۳-۱۱ اندازه‌گیری نسبت‌ولتاژ و بررسی جابجایی فاز

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

## ۴-۱۱ اندازه‌گیری مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه و تلفات بار

مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه و تلفات بار یک زوج سیم‌پیچ باید در فرکانس اسمی با اعمال ولتاژ به پایانه‌های یکی از سیم‌پیچ‌ها با اتصال‌کوتاه 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، به‌طوری‌که افزایش دما منجر به خطاهای فاحش نشود. تفاوت دما بین مایع فوقانی و مایع تحتانی باید جهت تعیین دقیق دمای میانگین، به‌اندازه‌ی کافی کوچک باشد. تفاوت دما بین مایع فوقانی و

تحتانی نباید از K ۵ تجاوز کند. جهت حصول سریعتر چنین نتیجه‌ای، می‌توان مایع را توسط پمپ به‌گردش درآورد.

مقدار اندازه‌گیری‌شده‌ی تلفات بار باید در مربع نسبت جریان اسمی (جریان انشعاب) به جریان آزمون ضرب شود. سپس عدد به‌دست‌آمده باید برای دمای مرجع تصحیح شود (به زیربند ۱۱-۱ مراجعه شود). تلفات $I^2R$ ($R$ 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 ث ارایه شده است.

مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه به‌شکل اتصال سری راکتانس و مقاومت a.c. نشان داده می‌شود. مقاومت‌ظاهری بافرض 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 ٪ ۵±، مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه باید در انشعاب اصلی اندازه‌گیری شود.

برای ترانسفورماتورهایی با انشعاب‌های متجاوز از تغییر ولتاژ ٪ ۵ از انشعاب اصلی، مقادیر مقاومت‌ظاهری باید برای انشعاب اصلی و انشعاب(های) کران متجاوز از ٪ ۵ 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 به‌دست می‌آید.

**یادآوری۱** – برای ترانسفورماتورهایی با دو سیم‌پیچ ثانویه با توان اسمی و ولتاژ اسمی یکسان و مقاومت‌ظاهری برابر با اولیه (که در مواردی ترانسفورماتورهای با ثانویه دوگانه[1] نامیده می‌شوند)، می‌توان چنین توافق کرد که وضعیت بارگذاری متقارن به‌وسیله‌ی یک آزمون مازاد با اتصال‌کوتاه همزمان دو سیم‌پیچ ثانویه، بررسی شود.

**یادآوری۲** – اندازه‌گیری تلفات بار در ترانسفورماتور بزرگ به‌دلیل 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 مگرآنکه 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، درصورت اجرای آزمون در انشعاب اصلی یا ولتاژ انشعاب مربوطه، درصورت اجرای آزمون در انشعابی دیگر اندازه‌گیری شود. سیم‌پیچ یا سیم‌پیچ‌های باقیمانده باید مدار باز باشند و کلیه‌ی سیم‌پیچ‌هایی که می‌توانند

1-Dual-secondary transformers

مثلث باز باشند، باید به مثلث بسته تبدیل شوند. همانطور که در زیربندهای ۱۱-۱-۲ و ۱۱-۱-۳ 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، درحدامکان، 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 نمایش‌داده‌شده‌ی آن $U$ باید ثبت شود.
چنانچه در آزمون ترانسفورماتور سه‌فاز سیم‌پیچ مثلث برقدار شود، ولتاژها باید بین پایانه‌های خط اندازه‌گیری شوند و چنانچه سیم‌پیچ YN یا ZN برقدار 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.
شکل‌موج ولتاژ آزمون درصورتی رضایت‌بخش است که مقادیر قرائت‌شده‌ی $U'$ و $U$ با دقت ٪ ۳ یکسان باشند. چنانچه تفاوت بین قرائت‌های ولتمتر بیش از ٪ ۳ باشد، اعتبار آزمون در گروی توافق خواهد بود. تفاوتی بزرگتر می‌تواند در بالاتر از ولتاژ اسمی قابل قبول باشد، مگرآنکه این اندازه‌گیری مورد ضمانت باشد.

**یادآوری۱** – 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:

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

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

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.

**یادآوری۲** – در تعیین جایگاه آزمون بی‌باری در توالی کامل آزمون‌ها، باید به‌خاطر داشت که اندازه‌گیری‌های تلفات بی‌باری انجام‌شده پیش از آزمون ضربه[1] 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، درصورت اجرای آزمون‌های بی‌باری بعد از اندازه‌گیری‌های مقاومت و/یا آزمون‌های ضربه‌ی صاعقه، هسته‌ی ترانسفورماتور باید قبل از اجرای آزمون بی‌باری، توسط اضافه‌تحریک مغناطیس‌زدایی شود.

1-Impulse test

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

مقاومت‌ظاهری توالی صفر در فرکانس اسمی بین پایانه‌های به‌هم‌متصل خط سیم‌پیچ اتصال ستاره یا اتصال زیگزاگ و پایانه‌ی خنثی اندازه‌گیری می‌شود. این عدد برحسب *اهم‌برفاز* بیان شده و با $3U/I$ محاسبه می‌شود، که در آن $U$ 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 به‌گونه‌ای 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 ـ 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، مقاومت‌ظاهری 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 مدارباز؛
- فشار قوی با فشار ضعیف اتصال‌کوتاه؛
- فشار ضعیف با فشار قوی مدارباز؛
- فشار ضعیف با فشار قوی اتصال‌کوتاه.

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

اتوترانسفورماتورهای مجهز به پایانه‌ی خنثی با اتصال دایمی 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 به‌تنهایی 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.

**یادآوری۱** - 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 دراختیار قرار دهد.

**یادآوری۲** – مقاومت‌ظاهری 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 زیگزاگ مقاومت‌ظاهری توالی صفر اندازه‌گیری‌شده بین پایانه‌های به‌هم‌متصل 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.

**یادآوری۳** – آزمون مقاومت‌ظاهری توالی صفر مازادی می‌تواند برای ترانسفورماتورهای مجهز به سیم‌پیچ‌های مثلث با دسترسی به دو اتصال یکی ازگوشه‌ها، به‌گونه‌ای که بتواند اتصال باز یا بسته باشد، نیاز باشد.

**یادآوری۴** – استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۷۷ گویای جزئیات بیشتری است.

### ۱۱-۷ 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 برقدارکردن 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 برقدارکردن ترانسفورماتور، و با کاهش ولتاژ کمکی به ٪ ۸۵ مقدار اسمی، اجرای یک دوره عملکرد کامل.

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

ت) با اتصال‌کوتاه 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).

### ۱۱-۸ 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 طول‌عمر نیازمند توافق می‌باشد.

### ۱۱-۹ 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 محل‌نصب درمعرض 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 درنقطه‌ای درحدامکان نزدیک به نقطه‌ای از مخزن با بیشینه تغییرشکل 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. تغییرشکل 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. تغییرشکل 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. درغیراینصورت باید از مقادیر نوعی زیر استفاده شود:

الف) ترانسفورماتورهای متوسط بین ۲۰ MVA و ۱۰۰ MVA:

- تغییرشکل ماندگار بعد از حذف خلاء: ۱ mm ؛

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

- تغییرشکل ماندگار بعد از حذف خلاء: ۵ mm.

درصورت 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

درصورت 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** – اضافه‌فشار تعیین‌شده می‌تواند به‌راحتی با تنظیم ارتفاع ستون مایع (برای نمونه به‌وسیله‌ی بلندکردن منبع انبساط جداگانه متصل به بالابر) اعمال شود.

پیش از اعمال فشار، درخلال مدتی که مخزن در سطح عادی مایع می‌باشد، نقطه‌ی مرجع اندازه‌گیری مناسب، با اتصال صلب به چارچوب اتاق آزمون یا کف، مستقل از ترانسفورماتور درنقطه‌ای درحدامکان نزدیک به نقطه‌ای از مخزن با بیشینه تغییرشکل مورد انتظار در شرایط فشار، با احتساب تغییرشکل 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. تغییرشکل تحت فشار 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.

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. تغییرشکل 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. درغیراینصورت باید از مقادیر نوعی زیر استفاده شود:

الف) ترانسفورماتورهای متوسط بین ۲۰ MVA و ۱۰۰ MVA:

- تغییرشکل ماندگار بعد از اضافه‌فشار: ۱ mm؛

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

- تغییرشکل ماندگار بعد از اضافه‌فشار: ۵ mm.

درصورت 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.

### ۱۱-۱۱ آزمون استحکام تحت خلاء در محل‌مصرف برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع

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

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

سپس خلاء درون ترانسفورماتور تا حصول نرخ یکنواخت تغییر خلاء، به‌کمک سنجه[1] خلاء رصد خواهد شد. افزایش فشار باید کمتر از ۰٫۲ kPa بر ساعت، اندازه‌گیری‌شده در بازه‌ی زمانی حداقل ۳۰ min، باشد.

### ۱۲-۱۱ بررسی عایق هسته و چارچوب

این آزمون باید روی کلیه‌ی ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع که عایقی هسته و چهارچوب 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 دردسترس 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)[2]

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

**یادآوری۱** - برخی ملحقات می‌توانند مستعد تداخل الکترومغناطیسی باشند.

**یادآوری۲** - 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 $SF_6$ می‌توانند ترانسفورماتور را درمعرض 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. درصورت تصریح خریدار، سازنده باید جزییات فرکانس‌های طبیعی تشدید و/یا پارامترهای مدل فرکانس بالای ترانسفورماتور را ارایه کند.

**یادآوری** – IEEE C57.142 اطلاعات بیشتری در زمینه‌ی رخداد و تضعیف گذراهای کلیدزنی ناشی از ترانسفورماتور، افزار کلیدزنی، وتاثیرات متقابل سیستم دراختیار 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 کلیه‌ی موارد ارایه 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. درصورت غوطه‌وری در مایع، تعیین جنس مایع: روغن معدنی، مایع عایقی طبیعی یا مصنوعی. درصورت 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 ٪ ۵± ، انشعاب جریان بیشینه تعیین‌شده.

درصورت 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، تحت‌بار یا بی‌بار؛
- الزامات تثبیت نسبت‌دور بین دو سیم‌پیچ خاص در ترانسفورماتوری با بیش از دو سیم‌پیچ؛
- تعیین انشعاب یا گستره‌ای از انشعاب که می‌تواند انشعاب با توان کاهش‌یافته 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 ٪ ۵± باشد، تعیین نوع تغییرات ولتاژ و محل انشعاب جریان بیشینه، درصورت وجود؛

یا:

- جهت شارش توان (می‌تواند دوسویه نیز باشد)،

- تعیین ولتاژی که جهت تعریف ولتاژ انشعاب اسمی باید تغییر کند؛
- کمینه مقدار ضریب‌توان 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 زمین‌کردن (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 درصورت‌نیاز 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 بوشینگ‌های 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 درصورت 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 درصورت نیاز تعیین روش زمین کردن.

پ) مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه یا گستره‌ی مقاومت‌ظاهری (به پیوست پ مراجعه شود). در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه تعیین مقاومت‌ظاهری زوج سیم‌پیچی‌های تعیین‌شده (به‌همراه مقادیر اسمی مرجع متناظر، درصورت ارائه مقادیر برحسب درصد).

ت) رواداری‌های نسبت‌ولتاژ و مقاومت‌های ظاهری اتصال‌کوتاه 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 اتصال‌کوتاه سیستم‌های متصل (بیان‌شده برحسب توان یا جریان اتصال‌کوتاه، 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[1]، به‌صورت مستقیم یا از طریق خط‌هوایی کوتاه.

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

1-Gas-insulated switchgear (GIS)

۵) جزییات اضافه‌بار دوره‌ای از پیش تعیین‌شده بجز موارد زیربند ۵-۴-۱ (جهت تعیین مقادیر اسمی تجهیزات کمکی ترانسفورماتور).

۶) ولتاژهای نامتعادل .a.c، یا انحراف ولتاژهای .a.c سیستم از شکل‌موج اساساً سینوسی.

۷) بارهایی شامل جریان‌های هارمونیکی غیرعادی، مانند مواردی که در کنترل حجم عظیمی از جریان‌های بار با ادوات حالت جامد یا ادوات مشابه رخ می‌دهد. چنین جریان‌های هارمونیکی می‌تواند منجر به تلفات بیش‌ازاندازه و گرمایش غیرعادی شود.

۸) شرایط بارگذاری تعیین‌شده (خروجی‌های kVA ، ضریب توان‌های سیم‌پیچ و ولتاژ سیم‌پیچ‌ها) در ترانسفورماتورهای چندسیم‌پیچه و اتوترانسفورماتورها.

۹) تحریک متجاوز از ٪ ۱۱۰ ولتاژ اسمی یا ولت‌برهرتز متجاوز از ٪ ۱۱۰ نظیر اسمی.

۱۰) اتصال‌کوتاه‌های بابرنامه به‌عنوان بخشی از بهره‌برداری عادی.

۱۱) شرایط اتصال‌کوتاه 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[1] ترانسفورماتور می‌شود.

۱۴) ترانسفورماتورهای بزرگ با آرایشی از باسبارهای جریان‌زیاد. 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، درفقدان 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 دراختیار سازنده قرار دهد.

۱۶) برقدارکردن‌های مکرر متجاوز از ۲۴ مرتبه در سال.

۱۷) اتصال‌کوتاه‌های مکرر.

ظ) شرایط نامتعارف فیزیکی- محیطی

۱) ارتفاع از سطح دریا، درصورت تجاوز از هزار متر (۳۳۰۰ft).

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 محل‌نصب که نیازمند ملاحظات ویژه‌ای است.

۴) گازها و بخارات مخرب، گردوغبار بیش‌ازحد یا ساینده، ترکیبات انفجاری گردوغبار یا گازها، بخار آب، افشانه‌های قلیایی، رطوبت بیش‌ازاندازه، یا نشتی آب و غیره.

۵) لرزش غیرعادی، واژگونی یا ضربه.

---

1-Tulluric currents

### الف-۲ بهره‌برداری موازی

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

الف) توان اسمی.

ب) نسبت‌ولتاژ اسمی.

پ) نسبت‌ولتاژهای متناظر با انشعاب‌های متفاوت از انشعاب اصلی.

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

ث) مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه در انشعاب اصلی و انشعاب‌های کران، درصورت تجاوز ولتاژ در انشعاب‌های کران از ٪ ۵ و درصورت امکان مقاومت‌ظاهری 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 نسبت‌تبدیل ۶۶ kV / ۲۰ kV با توان اسمی ۴۰ MVA و گستره‌ی انشعاب ٪۱۰± در سیم‌پیچی ۶۶ kV با یازده انشعاب مفروض است. که در نمایش کوتاه‌شده داریم:

۲۰kV / (۶۶±۵×۲٪)

| | |
|---|---|
| نوع تغییر ولتاژ: | CFVV |
| توان اسمی: | ۴۰ MVA |
| ولتاژهای اسمی: | ۶۶ kV/۲۰ kV |
| سیم‌پیچ انشعاب‌دار: | ۶۶ kV (با گستره‌ی انشعاب ٪۱۰± ) |
| تعداد انشعاب‌ها: | ۱۱ |

چنانچه ترانسفورماتور دارای انشعاب توان کاهش‌یافته باشد، مثلاً از انشعاب ٪ ۶- ، آنگاه عبارت زیر نیز اضافه می‌شود:

| | |
|---|---|
| انشعاب جریان بیشینه: | انشعاب ٪ ۶- |

سپس جریان انشعاب سیم‌پیچ فشارقوی از انشعاب ٪ ۶- تا انشعاب آخر ٪ ۱۰- ، به‌مقدار ۳۷۲ A محدود می‌شود، که درنتیجه‌ی آن توان انشعاب به ۳۸٫۳ MVA کاهش می‌یابد.

### ب-۲ مثال۲ – تغییر ولتاژ در شار متغیر

ترانسفورماتوری با مشخصات سه‌فاز با نسبت‌تبدیل ۶۶ kV/۶ kV با توان اسمی ۲۰ MVA و گستره‌ی انشعابی از ٪ ۱۵+ تا ٪ ۵- در سیم‌پیچی فشارقوی مفروض است. بافرض ثبوت ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی فشارقوی و تغییر ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی فشارضعیف درحدفاصل ۶٫۳۲ kV[1] تا ۵٫۲۲ kV[2] خواهیم داشت:

| | |
|---|---|
| نوع تغییر ولتاژ: | VFVV |
| توان اسمی: | ۲۰ MVA |
| ولتاژهای اسمی: | ۶۶ kV/۶ kV |
| سیم‌پیچ انشعاب‌دار: | ۶۶ kV (با گستره‌ی انشعاب ٪ ۱۵+ تا ٪ ۵- ) |
| تعداد انشعاب‌ها: | ۱۳ |

---

۱- ۶٫۳۲ = ۰٫۹۵ ÷ ۶

۲- ۵٫۲۲ = ۱٫۱۵ ÷ ۶

ولتاژ انشعاب در سیم‌پیچی ۶ kV  ۶٫۳۲ kV و ۶ 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. دراین‌حالت توان انشعاب به ۱۸٫۳ MVA کاهش می‌یابد.

## ب-۳ مثال۳ - تغییر ولتاژ ترکیبی

ترانسفورماتوری با مشخصات سه‌فاز با نسبت‌تبدیل 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. ازسویی 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**

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

**یادآوری۱** – در تکمیل اطلاعات انشعاب‌های میانی، می‌توان جدول فوق را بر صفحه مشخصات اسمی الصاق کرد.

**یادآوری۲** – این مشخصات را با مشخصات CFVV که به‌قرار زیر خواهد بود مقایسه کنید:

(۱۶۰±۱۵ ٪) / ۲۰ kV – ۴۰ MVA

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

## ب-۴ مثال۴ – مشخص‌سازی عملکردی انشعاب

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

سه الزام ویژه که باید به‌طور صحیح تعریف شوند:

- ولتاژ بهره‌برداری؛
- ظرفیت جریان بار؛
- مقاومت‌ظاهری.

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 ۶-۴-۳ 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.

درتعیین 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 فشارضعیف باید ارایه شوند.

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

### ب-۴-۱ مثال۴-۱ ترانسفورماتوری با تغییر ولتاژ فشارقوی

ترانسفورماتور باید برای کارکرد درحالت 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 مشخص‌سازی عملکرد با تغییر ولتاژ فشارقوی**

| انشعاب | نسبت ولتاژ بی‌باری | ولتاژ انشعاب اسمی | | بیشترین ولتاژ مداوم(در برداری) | | جریان انشعاب اسمی | | توان انشعاب | مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه | | جریان اتصال‌کوتاه در فشارضعیف در ۲۲۰ kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $U_{HV}$ kV | $U_{LV}$ kV | HV kV | LV kV | $I_{HV}$ A | $I_{LV}$ A | $S_{tap}$ MVA | $Z$ % a | $Z_{HV}$ Ω/phase | kA |
| ۱ (+۱۰٪) | ۲٫۶۹ | ۹۰ | ۲۴۲ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۱۶۷ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۸۴ | ۴٫۰۸ |
| ۷ (+۵ ٪) | ۲٫۵۷ | ۹۰ | ۲۳۱ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۱۷۵ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۷۶ | ۴٫۲۸ |
| ۱۱ (۰ ٪) | ۲٫۴۴ | ۹۰ | ۲۲۰ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۱۸۴ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۶۹ | ۴٫۴۹ |
| ۱۷ (-۵ ٪) | ۲٫۳۲ | ۹۰ | ۲۰۹ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۱۹۳ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۶۲ | ۴٫۷۳ |
| ۲۱ (-۱۰٪) | ۲٫۲۰ | ۹۰ | ۱۹۸ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۲۰۴ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۵۶ | ۴٫۹۹ |
| ۲۷ (-۱۵٪) | ۲٫۰۸ | ۹۰ | ۱۸۷ | ۲۴۲ | ۹۹ | ۲۱۶ | ۴۴۹ | ۷۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵٫۲۸ |
| [a] ارجاع‌یافته به مقدار ۷۰ MVA. | | | | | | | | | | | |

**یادآوری۱** - جریان اتصال‌کوتاه در پایانه‌های فشارضعیف با ۲۲۰ kV اعمالی به پایانه‌های فشارقوی، به قرار زیر و با فرض صفر بودن مقاومت‌ظاهری شبکه محاسبه می‌شود.

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

**یادآوری۲** - در مثال فوق، جهت سادگی، مقاومت‌ظاهری $z$ نسبت به محل انشعاب ثابت است. این امر لزوماً یک حالت واقعی نیست.

**یادآوری۳** - مقاومت‌ظاهری ترانسفورماتور برحسب *اهم‌برفاز* از عبارت زیر به‌دست می‌آید.

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

### ب-۴-۲ مثال ۴-۲ - ترانسفورماتوری با تغییر ولتاژ فشارضعیف

ترانسفورماتور باید برای کارکرد درحالت 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+ ٪ ۱۵- |
| مقاومت‌ظاهری: | ٪ ۱۰ در کلیه‌ی انشعاب‌ها در مبنای ۷۰ MVA |
| کمینه مقدار ضریب‌توان بار کامل: | ۰٫۸ |

**یادآوری** - جز جابجایی تغییر ولتاژ از فشارقوی به فشارضعیف، مشخصات دیگر مشابه مثال ۴-۱ می‌باشد. درمقایسه‌ی با ترانسفورماتور مثال ۱ به‌استثنای انشعاب اصلی، حتی باوجود یکسانی ولتاژ فشارقوی و محل انشعاب، این ترانسفورماتور مقاومت‌ظاهری متفاوتی خواهد داشت و درنتیجه جریان‌های اتصال‌کوتاه متفاوتی در فشارضعیف در دسترس خواهند بود.

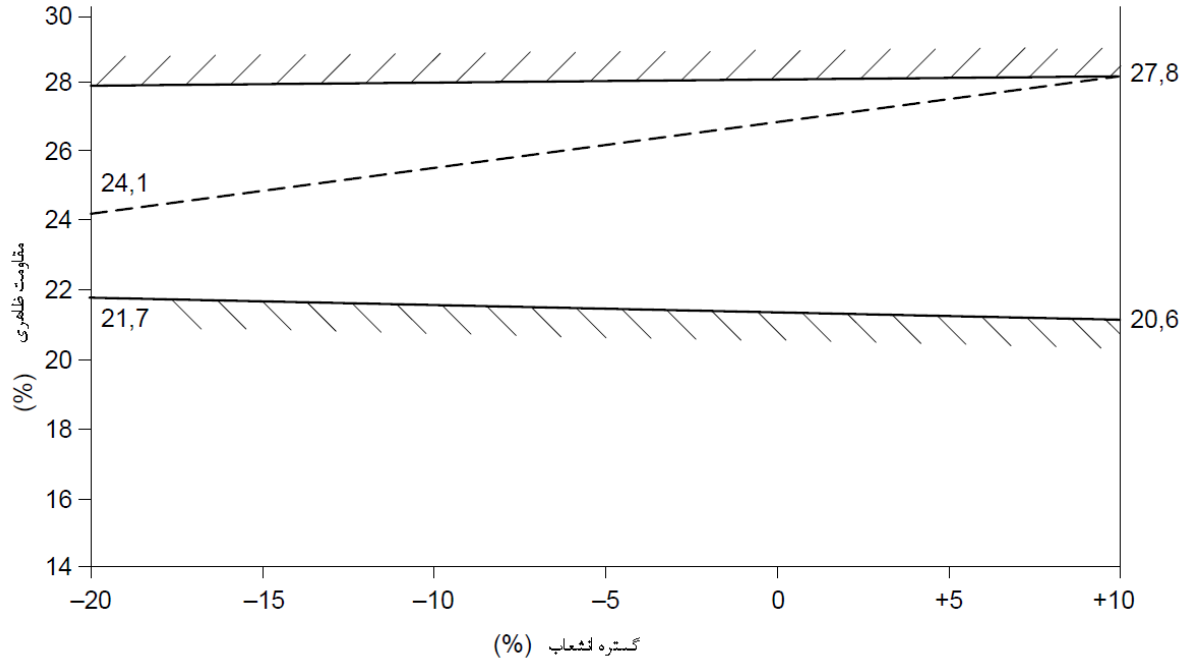
**جدول ب-۳ – مثالی از مشخص‌سازی عملکرد با تغییر ولتاژ فشارضعیف**

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

# پیوست پ

## (اطلاعاتی)

## تعیین مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه به‌کمک کران‌ها




کران فوقانی مقداری ثابت از مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه برحسب درصد می‌باشد، که از افت‌ولتاژ مجاز در بارگذاری معین و در ضریب‌توان معین، به‌دست می‌آید.

کران زیرین نیز از اضافه‌جریان مجاز در سمت ثانویه طی شرایط خطا حاصل می‌شود.

خط‌چین نمونه‌ای از منحنی مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه ترانسفورماتوری مقید به شرایط فوق می‌باشد.

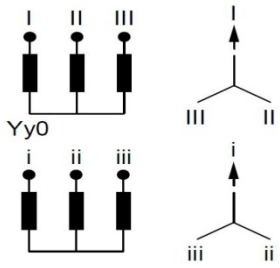
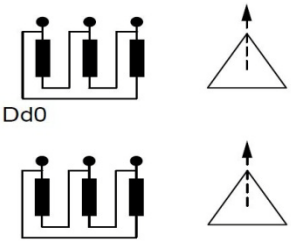
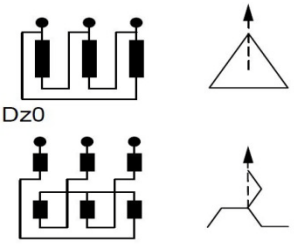
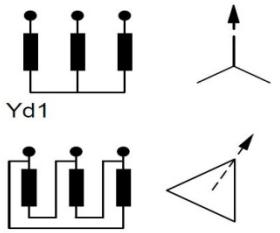
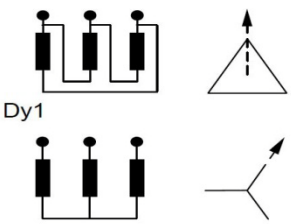
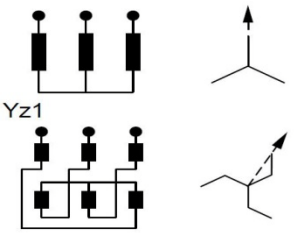
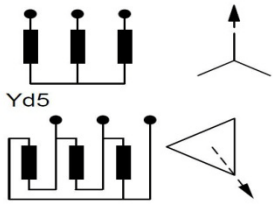
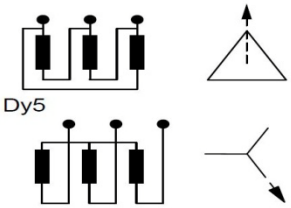
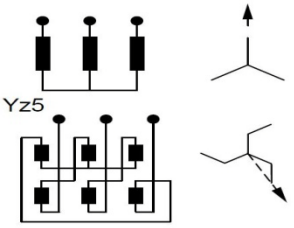
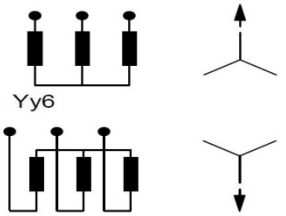
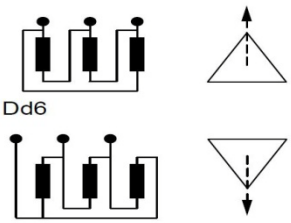
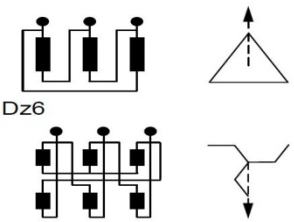
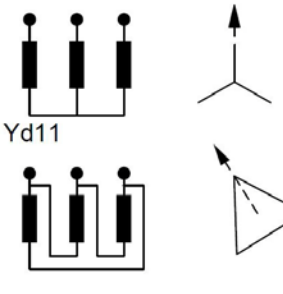
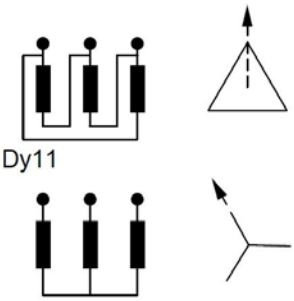
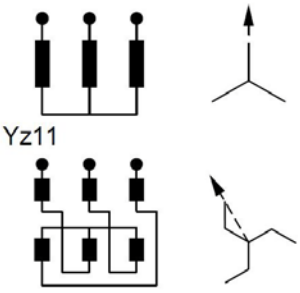
**شکل پ-۱ – نمونه‌ای از تعیین مقاومت‌ظاهری اتصال‌کوتاه به‌کمک کران**

## پیوست ت

## (اطلاعاتی)

## مثال‌هایی از اتصالات ترانسفورماتور سه‌فاز

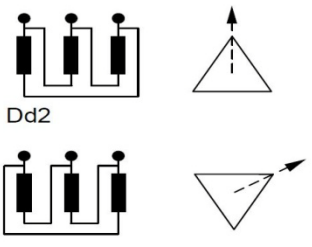
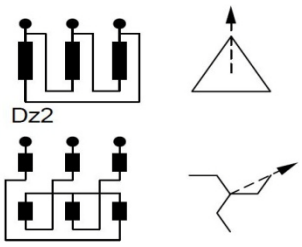
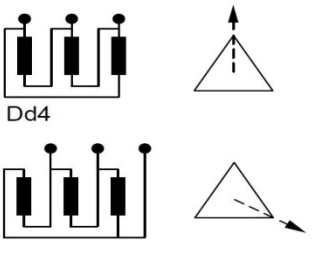
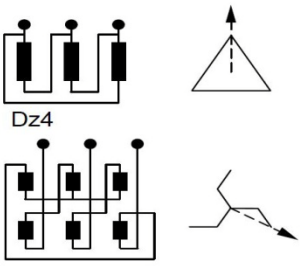
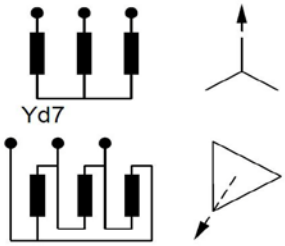
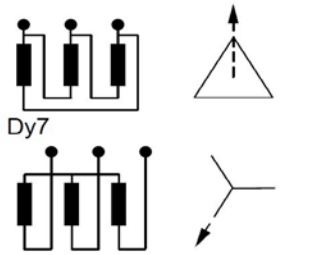
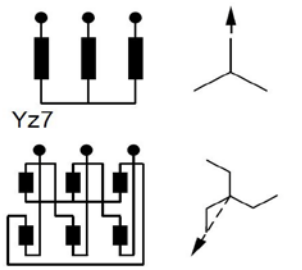
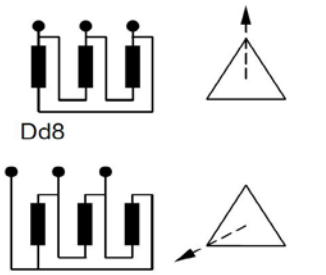
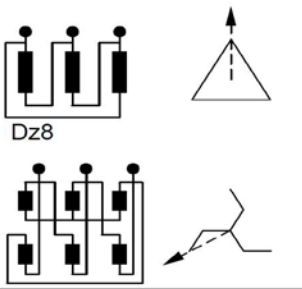
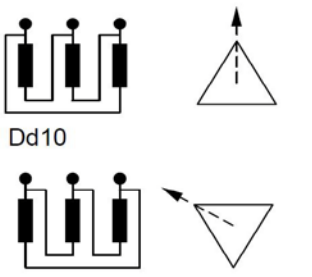
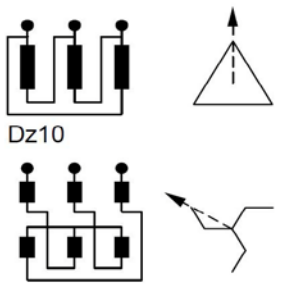
اتصالات رایج در شکل ت-۱ نشان داده شده‌اند.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 |  |  |  |
| 1 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| 6 |  |  |  |
| 11 |  |  |  |

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

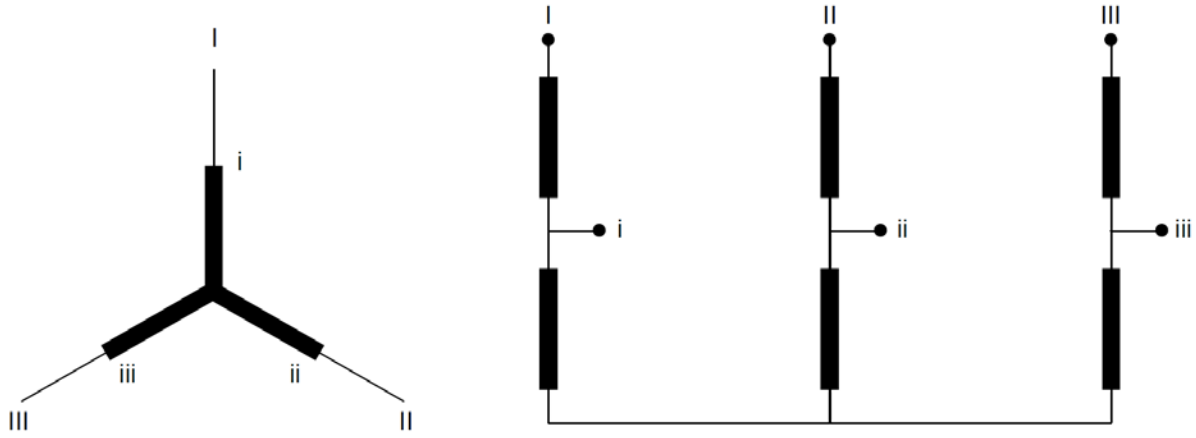
**شکل ت-۱ – اتصالات رایج**

اتصالات دیگری در شکل ت-۲ نمایش داده شده‌اند.

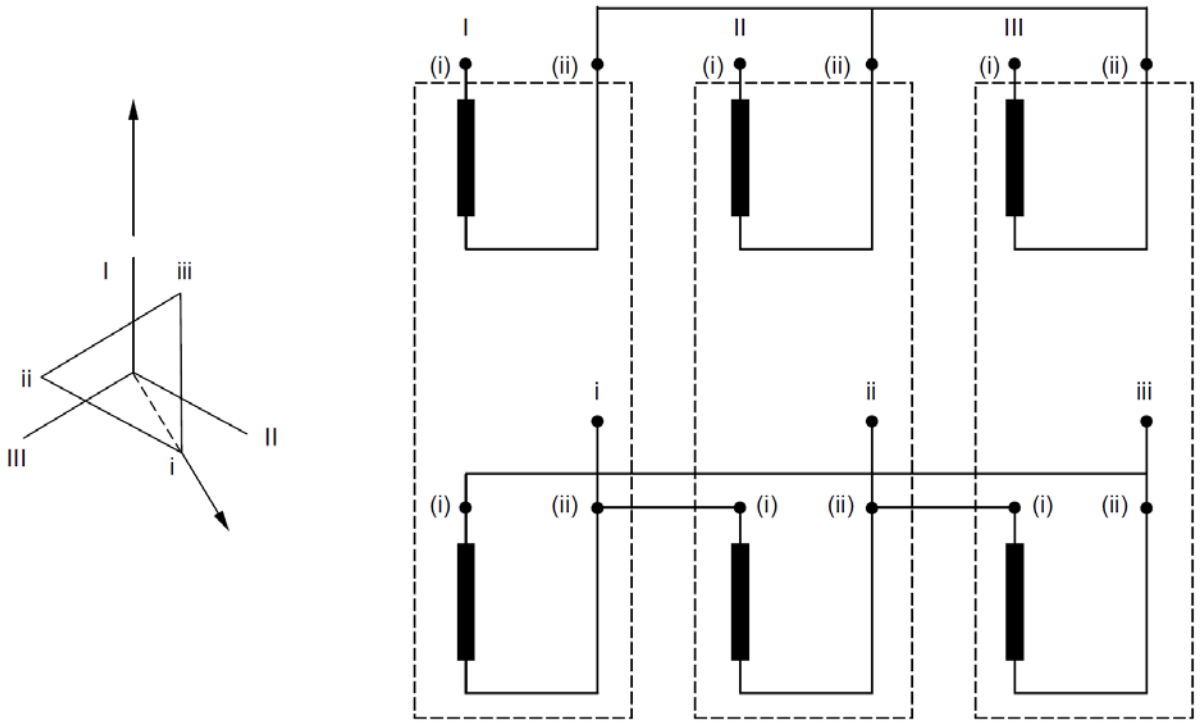
| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | |  |  |
| 4 | |  |  |
| 7 |  |  |  |
| 8 | |  |  |
| 10 | |  |  |

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

**شکل ت-۲ – اتصالات دیگر**




**شکل ت-۳ – معرفی اتصال اتوترانسفورماتورهای سه‌فاز به‌کمک نمادهای اتصال (اتوترانسفورماتور Ya0)**




**شکل ت-۴ – مثالی از سه ترانسفورماتور تکفاز در یک بانک سه‌فاز (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؛

$\theta$ دمای سیم‌پیچی برحسب °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 $\theta_1$ انجام می‌شود. مقدار اندازه‌گیری‌شده $R_1$ می‌باشد.

تلفات بار در سیم‌پیچی با دمای متوسط $\theta_2$ اندازه‌گیری می‌شود. تلفات اندازه‌گیری‌شده متناظر با جریان معین $I$ را $P_2$ می‌نامیم. این تلفات ترکیبی از "تلفات اهمی": $I^2R_2$ و "تلفات اضافی": $P_{a2}$ می‌باشد.

(آلومینیوم) $R_2 = R_1 \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}$ (مس) $R_2 = R_1 \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$

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

$\sum I^2R_2$ برابر مجموع تلفات مقاومت d.c. در کلیه‌ی سیم‌پیچ‌ها است.

در دمای مرجع $\theta_r$، مقاومت سیم‌پیچ $R_r$، تلفات اضافی $P_{ar}$ و تلفات کلی بار $P_r$ خواهد بود.

(آلومینیوم) $R_r = R_1 \frac{225 + \theta_r}{225 + \theta_1}$ (مس) $R_r = R_1 \frac{235 + \theta_r}{235 + \theta_1}$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_r}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_r}$$

برای ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در مایع با دمای مرجع ۷۵°C، معادلات به‌قرار زیر خواهند بود:

(آلومینیوم) $R_r = R_1 \frac{300}{225 + \theta_1}$ (مس) $R_r = R_1 \frac{310}{235 + \theta_1}$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{300}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{310}$$

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

## پیوست ج

## (اطلاعاتی)

## تجهیزات مورد نیاز اتصال آتی در ترانسفورماتورها به‌منظور نظارت بر شرایط

چنانچه تعبیه‌ی تجهیزات لازم جهت راه‌اندازی آتی سیستم نظارتی الزامی باشد، مواردی مانند حسگر و موارد دیگر مذکور در جدول زیر، بایدمدنظر 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[1] دردسترس می‌باشد.

**جدول ج-۱ – تجهیزات موردنیاز 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 جزیی | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| جریان مستقیم اتصال خنثی | تجهیزات نگهدارنده حسگر |
| مدار مغناطیسی | اتصال زمین دردسترس |
| 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[2] | 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 |

1-CIGRE brochure 343
2-Diverter switch

## پیوست چ

## (اطلاعاتی)

## ملاحظات محیطی و ایمنی

تاثیرات محیطی ترانسفورماتور درطول عمرکاری واحد از مرحله‌ی طراحی تا اسقاط باید موردتوجه سازنده و خریدار باشد. توصیه می‌شود عوامل زیر طی این ملاحظات مدنظر بوده و برای کمینه‌کردن تاثیر 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) تاثیر 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 عمرکاری ترانسفورماتور؛

پ) استفاده‌ی پایدار از مواد خام در ترانسفورماتور؛

ت) حذف یا کمینه‌کردن استفاده‌ی از مواد خطرناک و آلاینده‌ی محیطی؛

ث) محصورکردن مواد خطرناک یا آلاینده‌های محیطی؛

ج) اسقاط ترانسفورماتور، حذف یا کمینه‌کردن استفاده‌ی از مواد یا ترکیباتی از مواد با چرخه‌ی بازیافت طولانی‌مدت 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 مصرف‌شده 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 ؛

طول‌عمر 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 بسترهای مغناطیسی ـ 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 60076-4[1], 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 60076-13[2], 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 60529:1989[3], 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, Convertor 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 62262[1], Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)
[26] ISO 2409:2007[2], Paints and varnishes – Cross-cut test
[27] ISO 12944[3] (all parts), Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
[28] ISO 14001[4], Environmental management systems – Specification with guidance for use
[29] ISO 14122 (all parts), Safety of machinery – Permanent means of acces 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.