

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

نشریه شماره ۲-۴۲۸

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



omoorepeyman.ir

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



🌐 omorepeyman.ir

جمهوری اسلامی ایران

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

نشریه شماره ۲-۴۲۸

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



omoorepeyman.ir

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



🌐 omorepeyman.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی

شماره : ۱۰۰/۱۶۱۶۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ : ۱۳۸۷/۲/۲۴	
موضوع : مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای جریان در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)	
به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۲۸ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، در دو مجلد با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای جریان در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ارسال کنند. امیرمنصور برقی معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	





 omorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>



omoorepeyman.ir



🌐 omorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرایی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای جریان در پست‌های فشار قوی - جلد دوم» در بر گیرنده مطالب مربوط به مبانی طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور جریان، آزمون‌های ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با کلاس دفت، TPS, TPX, TPY, TPZ و دستورالعمل‌های بهره‌برداری از ترانسفورماتورهای جریان می باشد.

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

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷





🌐 omorepeyman.ir

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای جریان در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۴۲۸

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين بهزاد کیوانی، مجید جوکار راهجردی، محمود حالتی املشی و آقای دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

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

آقای مهندس جمال بیانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح
آقای مهندس حسین آخوندی	معاونت هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
آقای مهندس رحمت الله اکرم	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای دکتر عارف درودی	شرکت مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس سعیدی	شرکت مشانیر
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای مهندس سید حسن عرب اف	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس اباذر میرزایی	مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر
خانم مهندس طاهره نوری	شرکت مهندسين مشاور نیرو
خانم مهندس آزاده نیکخواه	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی

مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرایی به عهده آقایان مهندسين پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.





 omorepeyman.ir

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل اول- اهداف، کلیات، تعاریف
۳	۱-۱- کلیات
۳	۲-۱- انواع ترانسفورماتور جریان
۳	۱-۲-۱- انواع ترانسفورماتور جریان از نظر عایق‌بندی
۴	۲-۲-۱- انواع ترانسفورماتور جریان از نظر ساختمانی
۵	۳-۱- تعاریف
۵	۱-۳-۱- ترانسفورماتور اندازه‌گیری
۵	۳-۳-۱- مدار ثانویه
۵	۴-۳-۱- جریان نامی اولیه
۶	۵-۳-۱- جریان نامی ثانویه
۶	۶-۳-۱- حداکثر ولتاژ سیستم (Um)
۶	۷-۳-۱- نسبت تبدیل نامی
۶	۹-۳-۱- خطای جریان (خطای نسبت تبدیل)
۷	۱۰-۳-۱- جابه‌جایی فاز
۷	۱۱-۳-۱- کلاس دقت
۷	۱۲-۳-۱- بردن
۷	۱۳-۳-۱- بردن نامی
۷	۱۴-۳-۱- خروجی نامی
۷	۱۵-۳-۱- حداکثر ولتاژ تجهیزات
۷	۱۶-۳-۱- سطح عایقی نامی
۸	۱۷-۳-۱- سیستم زمین ایزوله
۸	۱۸-۳-۱- سیستم مستقیماً زمین شده
۸	۱۹-۳-۱- سیستم زمین شده با امپدانس
۸	۲۰-۳-۱- سیستم زمین رزونانسی
۸	۲۱-۳-۱- ضریب اتصال زمین



۸	 سیستم با نقطه نوترال زمین شده ۲۲-۳-۱
۹	 فرکانس نامی ۲۳-۳-۱
۹	 جریان نامی حرارتی کوتاهمدت (Im) ۲۴-۳-۱
۹	 جریان نامی دینامیکی (Idyn) ۲۵-۳-۱
۹	 جریان نامی دائمی حرارتی ۲۶-۳-۱
۹	 خطای مرکب ۲۷-۳-۱
۱۰	 ولتاژ نقطه زانوی نامی ۲۸-۳-۱
۱۰	 ترانسفورماتور جریان از نوع اندازه گیری ۲۹-۳-۱
۱۰	 حد نامی جریان اولیه تجهیز ۱-۲۹-۳-۱
۱۰	 ضریب اطمینان دستگاه اندازه گیری ۲-۲۹-۳-۱
۱۰	 حد نیروی محرکه ثانویه ۳-۲۹-۳-۱
۱۱	 ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۳۰-۳-۱
۱۱	 حد دقت نامی جریان اولیه ۱-۳۰-۳-۱
۱۱	 ضریب حد دقت ۲-۳۰-۳-۱
۱۱	 کلاس دقت حفاظتی P ۳-۳۰-۳-۱
۱۱	 حد نیروی محرکه ثانویه ۴-۳۰-۳-۱
۱۱	 بردن مقاومتی نامی ۵-۳۰-۳-۱
۱۱	 مقاومت سیم پیچی ثانویه ۶-۳۰-۳-۱
۱۱	 مقاومت حلقه ثانویه ۷-۳۰-۳-۱
۱۲	 ثابت زمانی نامی حلقه ثانویه ۸-۳۰-۳-۱
۱۲	 فوران اشباع ۹-۳۰-۳-۱
۱۲	 فوران پس ماند ۱۰-۳۰-۳-۱
۱۲	 ضریب پس ماند ۱۱-۳۰-۳-۱
۱۲	 ترانسفورماتور جریان حفاظتی با کلاس PR ۱۲-۳۰-۳-۱
۱۲	 مشخصه تحریک ۱۳-۳۰-۳-۱
۱۳	 ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX ۱۴-۳۰-۳-۱
۱۳	 نسبت دور نامی ۱۵-۳۰-۳-۱
۱۳	 خطای نسبت دور ۱۶-۳۰-۳-۱



۱۳	 ضریب ابعادی ۱۷-۳۰-۳-۱
۱۳	 ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی ویژه حالات گذرا ۳۱-۳-۱
۱۳	 جریان اتصال کوتاه نامی اولیه ۱-۳۱-۳-۱
۱۳	 خطای لحظه‌ای جریان ۲-۳۱-۳-۱
۱۴	 پیک خطای لحظه‌ای ۳-۳۱-۳-۱
۱۴	 پیک خطای لحظه‌ای جزء متناوب جریان ۴-۳۱-۳-۱
۱۴	 کلاسهای دقت ۵-۳۱-۳-۱
۱۵	 ثابت زمانی مشخص شده اولیه ۶-۳۱-۳-۱
۱۵	 زمان مجاز حد دقت ۷-۳۱-۳-۱
۱۵	 زمان رسیدن به حداکثر فوران ۸-۳۱-۳-۱
۱۵	 زمان مرده ۹-۳۱-۳-۱
۱۵	 چرخه کاری مشخص شده ۱۰-۳۱-۳-۱
۱۶	 بردن مقاومتی نامی ۱۱-۳۱-۳-۱
۱۶	 مقاومت سیم‌پیچی ثانویه ۱۲-۳۱-۳-۱
۱۶	 مقاومت حلقه ثانویه ۱۳-۳۱-۳-۱
۱۶	 ثابت زمانی نامی حلقه ثانویه ۱۴-۳۱-۳-۱
۱۶	 ضریب جریان اتصال کوتاه متقارن نامی ۱۵-۳۱-۳-۱
۱۷	 ضریب گذرا ۱۶-۳۱-۳-۱
۱۷	 ضریب ابعادی گذرای نامی ۱۷-۳۱-۳-۱
۱۷	 ترانسفورماتور جریان با فوران نشتی کم ۱۸-۳۱-۳-۱
۱۷	 ترانسفورماتور جریان با فوران نشتی بالا ۱۹-۳۱-۳-۱
۱۷	 حد نیروی محرکه ثانویه ۲۰-۳۱-۳-۱
۱۸	 حد ولتاژ نامی تحریک ثانویه ۲۱-۳۱-۳-۱
۱۸	 نیروی محرکه معادل ثانویه متناظر با حد دقت ۲۲-۳۱-۳-۱
۱۸	 ولتاژ معادل ثانویه متناظر با حد دقت ۲۳-۳۱-۳-۱
۱۸	 فوران اشباع ۲۴-۳۱-۳-۱
۱۸	 فوران پس‌ماند ۲۵-۳۱-۳-۱
۱۸	 ضریب پس‌ماند ۲۶-۳۱-۳-۱



۱۸	 ۱-۳-۳۱-۲۷- فوران متناظر با حد دقت
۱۹	 ۱-۳-۳۱-۲۸- جریان تحریک ثانویه متناظر با حد دقت
۱۹	 ۱-۳-۳۱-۲۹- ضریب ساخت
۱۹	 ۱-۳-۳۲- عایقهای خودترمیم
۱۹	 ۱-۳-۳۳- عایقهای غیر خودترمیم
۱۹	 ۱-۳-۳۴- آزمون نوعی
۱۹	 ۱-۳-۳۵- آزمون جاری
۱۹	 ۱-۳-۳۶- آزمون ویژه

فصل دوم - مبانی طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور جریان

۲۳	 ۱-۲- کلیات
۲۳	 ۲-۲- اطلاعات موردنیاز جهت طراحی
۲۳	 ۲-۲-۱- مشخصات سیستم
۲۴	 ۲-۲-۲- مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی
۲۴	 ۲-۳- شاخصها و پارامترهای مهم ترانسفورماتورهای جریان
۲۵	 ۲-۴- شرایط بهره‌برداری ترانسفورماتور جریان در شرایط عادی و ویژه
۲۵	 ۲-۴-۱- وضعیت بهره‌برداری در شرایط عادی
۲۵	 ۲-۴-۱-۱- درجه حرارت محیط
۲۵	 ۲-۴-۱-۲- ارتفاع
۲۵	 ۲-۴-۱-۳- سایر شرایط بهره‌برداری برای ترانسفورماتورهای جریان بیرونی
۲۵	 ۲-۴-۲- شرایط بهره‌برداری ویژه
۲۵	 ۲-۴-۲-۱- درجه حرارت محیط
۲۶	 ۲-۴-۲-۲- ارتفاع
۲۶	 ۲-۵- سیستم زمین
۲۶	 ۲-۶- جریان نامی اولیه
۲۷	 ۲-۷- جریان نامی ثانویه
۲۷	 ۲-۸- تغییر در نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان
۲۸	 ۲-۹- ولتاژ نامی



۲۸	 ۱۰-۲- جریان نامی دائمی حرارتی
۲۸	 ۱۱-۲- خروجی نامی
۲۹	 ۱۲-۲- مقادیر جریان کوتاه مدت
۲۹	 ۱-۱۲-۲- جریان نامی حرارتی کوتاه مدت
۳۰	 ۲-۱۲-۲- جریان دینامیکی نامی
۳۰	 ۱۳-۲- محدودیت افزایش درجه حرارت
۳۱	 ۱۴-۲- کلاس دقت ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری
۳۳	 ۱۵-۲- کلاس دقت ترانسفورماتور جریان حفاظتی
۳۳	 ۱-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی P
۳۴	 ۲-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PR
۳۵	 ۳-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX
۳۵	 ۴-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی X
۳۵	 ۵-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی C
۳۶	 ۱۶-۲- انتخاب ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی برای حالت گذرا
۳۶	 ۱-۱۶-۲- حدود خطا برای ترانسفورماتورهای جریان از نوع TPS
۳۷	 ۲-۱۶-۲- حدود خطا برای ترانسفورماتورهای جریان از نوع TPY TPZ و TPX
۳۷	 ۳-۱۶-۲- انتخاب بین کلاسهای حفاظتی گذرا
۳۷	 ۱-۳-۱۶-۲- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPS و TPX
۳۸	 ۲-۳-۱۶-۲- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY
۳۸	 ۳-۳-۱۶-۲- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPZ
۴۰	 ۱۷-۲- ملزومات عایقی سیم‌پیچ اولیه
۴۰	 ۱-۱۷-۲- سطوح عایقی استاندارد
۴۰	 ۱۸-۲- فاصله خزشی مقره‌ها
۴۱	 ۱۹-۲- مثالهای کاربردی
۴۱	 ۱-۱۹-۲- مثال کاربردی برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی P
۴۶	 ۲-۱۹-۲- مثال کاربردی برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی TPY
۴۷	 پیوست (۱-۲): معادلات تئوری پایه برای ابعادیابی حالت گذرا

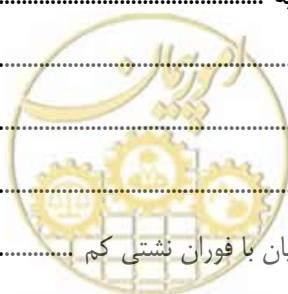
فصل سوم - آزمونهای ترانسفورماتور جریان

۵۱	 ۱-۳- آزمونهای نوعی
۵۱	 ۱-۱-۳- آزمونهای جریان کوتاه مدت
۵۲	 ۲-۱-۳- آزمون افزایش دما
۵۲	 ۳-۱-۳- آزمونهای موج ضربه روی سیمپیچ اولیه
۵۲	 ۱-۳-۱-۳- کلیات
۵۳	 ۲-۳-۱-۳- آزمون موج صاعقه
۵۳	 ۳-۳-۱-۳- آزمون موج کلیدزنی
۵۴	 ۴-۱-۳- آزمون تحت شرایط مرطوب برای ترانسفورماتورهای جریان نصب شده در محوطه روباز ...
۵۴	 ۵-۱-۳- آزمون اندازه گیری دقت برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری
۵۵	 ۶-۱-۳- آزمون خطای مرکب برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی
۵۵	 ۱-۶-۱-۳- آزمون مستقیم
۵۸	 ۲-۶-۱-۳- آزمون غیرمستقیم
۵۸	 ۷-۱-۳- آزمون بازبینی پایین بودن راکتانس نشی برای ترانسفورماتور جریان حفاظتی با کلاس PX
۵۸	 ۸-۱-۳- آزمون ولتاژ تداخل رادیویی
۶۰	 ۲-۳- آزمونهای جاری
۶۱	 ۱-۲-۳- آزمون تایید علامت گذاری ترمینالها
۶۱	 ۱-۱-۲-۳- روش علامتگذاری
۶۱	 ۲-۱-۲-۳- علامتهای استفاده شده
۶۲	 ۳-۱-۲-۳- نشان دادن پلارتهها
۶۲	 ۲-۲-۳- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت روی سیمپیچهای اولیه و اندازه گیری تخلیه جزئی
۶۲	 ۱-۲-۲-۳- آزمون فرکانس قدرت
۶۲	 ۲-۲-۲-۳- اندازه گیری تخلیه جزئی
۶۵	 ۳-۲-۳- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت بین قسمتهای سیمپیچهای اولیه و ثانویه و روی سیمپیچهای ثانویه ...
۶۵	 ۴-۲-۳- آزمون اضافه ولتاژ بین حلقه های
۶۶	 ۵-۲-۳- آزمون اندازه گیری دقت برای ترانسفورماتور جریان اندازه گیری
۶۶	 ۶-۲-۳- آزمون خطای مرکب
۶۷	 ۷-۲-۳- آزمونهای اندازه گیری دقت برای کلاس حفاظتی PX

۶۷	 ۳-۲-۷-۱- تعیین ولتاژ نقطه زانو و جریان تحریک ماکزیمم
۶۷	 ۳-۲-۷-۲- مقاومت سیم‌پیچ ثانویه
۶۷	 ۳-۲-۷-۳- خطای نسبت دور
۶۸	 ۳-۲-۸- آزمونهای اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PR
۶۸	 ۳-۲-۸-۱- تعیین ضریب پس‌ماند
۶۸	 ۳-۲-۸-۲- تعیین ثابت زمانی حلقه ثانویه
۶۸	 ۳-۲-۸-۳- تعیین مقاومت سیم‌پیچ ثانویه
۶۸	 ۳-۳- آزمونهای ویژه
۶۸	 ۳-۳-۱- آزمون موج بریده روی سیم‌پیچ اولیه
۶۹	 ۳-۳-۲- آزمون موج بریده چندگانه روی سیم‌پیچ اولیه
۷۰	 ۳-۳-۳- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی
۷۰	 ۳-۳-۴- آزمونهای مکانیکی

فصل چهارم - آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با کلاس دقت TPS,TPX,TPY,TPZ

۷۵	 ۴-۱- کلیات
۷۶	 ۴-۲- آزمونهای نوعی
۷۶	 ۴-۲-۱- کلیات
۷۶	 ۴-۲-۲- اندازه‌گیری پیک لحظه‌ای جریان خطا
۷۷	 ۴-۲-۳- اندازه‌گیری ضریب ساخت
۷۷	 ۴-۳- آزمونهای جاری و نوعی
۷۷	 ۴-۳-۱- خطای نسبت تبدیل
۷۹	 ۴-۳-۲- خطای نسبت تبدیل و جابه‌جایی فاز در حالت ماندگار
۷۹	 ۴-۳-۳- تعیین مقاومت سیم‌پیچی ثانویه
۷۹	 ۴-۳-۴- تعیین مشخصه‌های تحریک ثانویه
۷۹	 ۴-۳-۵- تعیین ضریب پس‌ماند
۷۹	 ۴-۳-۶- محاسبه ثابت زمانی حلقه ثانویه
۸۰	 ۴-۴- آزمونهای ویژه
۸۰	 ۴-۴-۱- بازبینی طراحی ترانسفورماتور جریان با فوران نشستی کم



پیوست (۱-۴): آزمونهای مستقیم ۸۱

پیوست (۲-۴): تعیین مشخصه مغناطیسی هسته ۸۶

فصل پنجم - دستورالعمل‌های بهره‌برداری از ترانسفورماتورهای جریان

۱-۵- کلیات ۹۷

۲-۵- تعمیرات کلی ۹۸

۳-۵- رفع اشکالات ۹۸

۱-۳-۵- نشتی روغن ۹۸

۲-۳-۵- نشتی روغن از طرفین انتهایی مقره ۹۸

۳-۳-۵- شکستن مقره ۹۹

۴-۵- نگهداری ۹۹

۱-۴-۵- بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور جریان ۹۹

۲-۴-۵- بازدیدهای هفتگی از ترانسفورماتور جریان ۹۹

۳-۴-۵- بازدید ماهیانه ترانسفورماتور جریان ۹۹

۴-۴-۵- بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور جریان ۱۰۰

۵-۴-۵- سرویس‌های دوره‌ای ترانسفورماتور جریان ۱۰۰

پیوست (۱-۵): نمونه‌ای از فرم آزمونهای راه‌اندازی برای ترانسفورماتور جریان ۱۰۱

پیوست (۲-۵): فرم بازدید روزانه ترانسفورماتور جریان ۱۰۲

پیوست (۳-۵): فرم بازدید هفتگی ترانسفورماتور جریان ۱۰۳

پیوست (۴-۵): فرم بازدید ماهانه ترانسفورماتور جریان ۱۰۴

منابع و مراجع ۱۰۷



فصل ۱

اهداف، کلیات، تعاریف





🌐 omorepeyman.ir

مقدمه

هدف از این فصل معرفی و شناخت ترانسفورماتورهای جریان می‌باشد. ترانسفورماتورهای جریان جهت نمونه برداری از جریان عبوری شبکه جهت ارسال به دستگاههای اندازه‌گیری، کنترل و حفاظتی بکار می‌روند. همچنین مشخصه‌های عمومی ترانسفورماتور جریان و تعاریف کلی مرتبط با آنها از دیگر مباحث این فصل خواهد بود.

۱-۱- کلیات

ترانسفورماتورهای جریان جهت تبدیل جریانهای با دامنه بالا به جریانهای قابل اندازه‌گیری توسط تجهیزات حفاظتی و کنترلی به کار می‌روند. ترانسفورماتورهای جریان در شرایط عادی و غیر عادی به شبکه متصل هستند، بنابراین حالات ایجاد شده در این شرایط نباید سبب خرابی یا عدم دقت آنها شود. ترانسفورماتورهای جریان همچنین باید قابلیت تحمل جریانهای اتصال کوتاه و دقت مناسب را در حالت گذرا (به استثناء ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری که دقت آنها در شرایط خطا تضمین نمی‌گردد) داشته باشند. از دیگر وظایف اساسی و مهم ترانسفورماتورهای جریان می‌توان به ایزوله نمودن ولتاژ فشار قوی اولیه از دستگاههای قابل دسترسی طرف ثانویه (دستگاههای اندازه‌گیری و رله‌های حفاظتی و ...) اشاره نمود. از اولیه ترانسفورماتورهای جریان در شرایط عادی شبکه، جریان نرمال شبکه عبور می‌کند و در حالت ایده‌آل دامنه جریان ثانویه برابر درصدی از جریان اولیه و هم‌فاز با آن خواهد بود.

ترانسفورماتورهای جریان در شبکه قدرت به دو منظور عمده بکار می‌روند:

الف- اندازه‌گیری جریان به منظور اطلاع از وضعیت شبکه از لحاظ عبور جریان در آن نقطه.

در این حالت به ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری گفته شده که ثانویه آن به دستگاههای اندازه‌گیری متصل می‌گردد. آنچه در این حالت بیشتر مورد نظر است، شرایط عادی شبکه بوده و نیازی به دقت در شرایط غیرعادی از قبیل اتصال کوتاه و غیره نمی‌باشد.

ب- اندازه‌گیری جریان به منظور حفاظت شبکه در شرایط غیرعادی.

در این حالت به ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور جریان حفاظتی گفته شده که ثانویه آن به رله‌های حفاظتی متصل می‌گردد. آنچه در این نوع ترانسفورماتورهای جریان دارای اهمیت است تبعیت جریان ثانویه از اولیه آنها و حفظ دقت مورد نیاز در جریانهای اتصال کوتاه (هنگام بروز عیب) می‌باشد.

۱-۲- انواع ترانسفورماتور جریان

۱-۲-۱- انواع ترانسفورماتور جریان از نظر عایق‌بندی

ترانسفورماتورهای جریان بر حسب نوع عایق اصلی در انواع مختلف ساخته می‌شوند که عبارتند از:



- نوع خشک با عایق رزینی
- نوع روغنی با کاغذ آغشته به روغن
- نوع SF6

ساخت ترانسفورماتورهای جریان نوع خشک با عایق رزینی برای ولتاژهای پایین (۲۰ تا ۶۳ کیلوولت) عملی بوده و موارد استعمال آن بیشتر در محلهای سرپوشیده (کلاس داخلی) است (احتمال انفجار این نوع ترانسفورماتورها به دلیل داشتن ایمنی بیشتر در مقایسه با ترانسفورماتورهای جریان نوع روغنی، وجود ندارد).

ساخت ترانسفورماتورهای جریان نوع روغنی با کاغذ آغشته به روغن برای ولتاژهای پایین تا بالاترین ولتاژ فشار قوی معمول بوده و در حال حاضر عمده ترانسفورماتورهای جریان، مخصوصاً ترانسفورماتورهای جریان فشار قوی از این نوع ساخته می‌شوند. ترانسفورماتورهای جریان نوع SF6 که در آنها از گاز SF6 به عنوان ماده عایقی استفاده می‌شود، هنوز در مراحل اولیه استفاده بوده و تنها تعداد معدودی از سازندگان این نوع ترانسفورماتورها را تولید می‌کنند. لذا هنوز در بین شرکتهای برق مقبولیت عام نیافته است.

۱-۲-۲- انواع ترانسفورماتور جریان از نظر ساختمانی

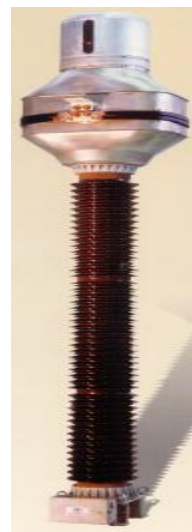
ترانسفورماتورهای جریان از نظر ساختمانی به دو نوع هسته بالا (معکوس) و هسته پایین (تانک) تقسیم می‌شوند. در نوع هسته پایین، هسته‌ها و سیم‌پیچهای ثانویه در داخل مخزن زمین شده در پایین مقره اصلی قرار دارند و مدار اولیه با عایق‌بندی کامل از داخل مقره اصلی عبور کرده و پس از عبور از مخزن به سمت کلاهدک ترانسفورماتور جریان هدایت می‌شود. عیب این نوع ترانسفورماتور جریان در شرایط اتصال کوتاه بروز می‌کند که در آن به علت نزدیک بودن دو هادی رفت و برگشت، نیروی الکترومکانیکی بالایی بین دو هادی بوجود می‌آید و اثرات مکانیکی نامطلوبی حاصل می‌گردد.

در نوع هسته بالا، هسته‌ها و سیم‌پیچهای ثانویه در داخل کلاهدک و یا به عبارتی در داخل یک محفظه در بالای ترانسفورماتور جریان قرار دارند. این طرح بویژه در شرایطی که جریان اولیه زیاد باشد مناسبتر است زیرا در این حالت طول مدار اولیه ترانسفورماتور جریان کوتاه بوده و در برابر نیروهای الکترومکانیکی مقاومتر می‌باشد. از معایب این نوع ترانس جریان، می‌توان به حجم بیشتر عایق‌بندی اصلی نسبت به نوع هسته پایین و همچنین ساخت و نصب مشکل‌تر به علت بالابودن مرکز ثقل آن اشاره نمود. همچنین هرگونه سیستم نگهداری روغن می‌تواند در ترانسفورماتورهای جریان نوع هسته پایین قابل کاربرد باشد در حالیکه در نوع هسته بالا فقط محفظه قابل ارتجاع فلزی یا لاستیکی کاربرد دارد. علاوه بر موارد ذکرشده، استفاده از ترانس‌های جریان هسته بالا به دلیل بالابودن مرکز ثقل در مناطق زلزله‌خیز مناسب نیست و به همین دلیل امروزه حتی در سطح ولتاژ ۴۰۰kV نیز طراحی و ساخت به سمت ترانس‌های جریان نوع هسته پایین میل کرده است. شکل (۱-۱) نمونه‌ای از ترانسفورماتور جریان در دو نوع هسته پایین و هسته بالا را نشان می‌دهد.





ترانسفورماتور جریان هسته پایین



ترانسفورماتور جریان هسته بالا

شکل ۱-۱: ترانسفورماتورهای جریان هسته پایین و هسته بالا

۱-۳- تعاریف

۱-۳-۱- ترانسفورماتور اندازه‌گیری^۱

ترانسفورماتوری که به قصد تغذیه تجهیزات اندازه‌گیری، رله‌ها و تجهیزات مشابه بکار می‌رود.

۱-۳-۲- ترانسفورماتور جریان

ترانسفورماتوری که جریان ثانویه آن در شرایط عادی کار شبکه، متناسب با جریان اولیه آن بوده و اختلاف فاز آن با جریان اولیه در حد صفر می‌باشد.

۱-۳-۳- مدار ثانویه

مدار خارجی که توسط سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان تغذیه می‌شود.

۱-۳-۴- جریان نامی اولیه

مقداری از جریان اولیه که مبنای کار ترانسفورماتور جریان است. مقادیر استاندارد جریان نامی اولیه بر حسب آمپر عبارتند از: ۷۵-۶۰-۵۰-۴۰-۳۰-۲۵-۲۰-۱۵-۱۲/۵-۱۰ و یا ضرایب ده‌دهی از آنها. مقادیری که زیر آنها خط کشیده شده است دارای ارجحیت بیشتری می‌باشند.

1. Instrument transformer

۱-۳-۵- جریان نامی ثانویه

مقداری از جریان ثانویه که مبنای کار ترانسفورماتور جریان است. مقادیر استاندارد جریان نامی ثانویه عبارتند از: ۱، ۲ و ۵ آمپر که مقادیر ۱ و ۵ آمپر ارجحیت دارند. برای ترانسفورماتورهای جریانی که به صورت مثلث بسته می‌شوند مقادیر فوق تقسیم بر $\sqrt{3}$ نیز مقادیر استاندارد می‌باشند.

۱-۳-۶- حداکثر ولتاژ سیستم (U_m)

حداکثر ولتاژ موثر فاز - فاز است که تحت شرایط عادی کار سیستم، در هر نقطه از شبکه و در هر لحظه ممکن است به وجود آید. مقدار حداکثر ولتاژ سیستم براساس ولتاژ نامی آن مطابق جدول زیر می‌باشد:

جدول ۱-۱: حداکثر ولتاژ سیستم

ولتاژ نامی سیستم (U_n (kV)	۶۳(۶۶)	۱۳۲	۲۳۰	۴۰۰
حداکثر ولتاژ سیستم (U_m (kV)	۷۲/۵	۱۴۵	۲۴۵	۴۲۰

۱-۳-۷- نسبت تبدیل نامی

نسبت جریان نامی اولیه به جریان نامی ثانویه.

۱-۳-۸- نسبت تبدیل واقعی^۱

نسبت جریان واقعی اولیه به جریان واقعی ثانویه.

۱-۳-۹- خطای جریان (خطای نسبت تبدیل)^۲

خطایی که ترانسفورماتور در اندازه‌گیری یک جریان بروز می‌دهد و ناشی از این واقعیت است که نسبت واقعی ترانسفورماتور با نسبت تبدیل نامی آن برابر نمی‌باشد. خطای جریان بر حسب درصد با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Current Error \%} = \frac{(K_n I_s - I_p) \times 100}{I_p} \quad (1-1)$$

که در آن:

K_n : نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور

I_p : جریان واقعی اولیه

I_s : جریان واقعی ثانویه هنگامی که جریان I_p در سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جاری است.



omoorepeyman.ir

1. Actual ratio

2. Current error (Ratio error)

۱-۳-۱۰- جابه جایی فاز^۱

اختلاف فاز بین بردار جریان اولیه و ثانویه، جهت بردارها چنان انتخاب می شود که برای یک ترانسفورماتور جریان ایده آل این اختلاف زاویه صفر باشد. جابه جایی فاز هنگامی که بردار جریان ثانویه نسبت به بردار جریان اولیه پیش فاز باشد مثبت در نظر گرفته می شود. این پارامتر معمولاً بر حسب دقیقه یا سانتی رادیان بیان می گردد.

۱-۳-۱۱- کلاس دقت^۲

مشخصه ای در ترانسفورماتور جریان که بیان کننده این نکته است که تحت شرایط معین و تعریف شده بارگیری، خطای اختلاف فاز و نسبت تبدیل از حدود تعیین شده تجاوز نخواهد نمود.

۱-۳-۱۲- بردن^۳

امپدانس مدار ثانویه بر حسب اهم و ضریب قدرت، بردن معمولاً بر حسب ولت آمپر بیان شده و توانی است که در یک ضریب قدرت معلوم و در جریان نامی ثانویه جذب می گردد.

۱-۳-۱۳- بردن نامی^۴

بردنی که تعریف و تحقق کلاس دقت ترانسفورماتور جریان بر اساس آن صورت می گیرد.

۱-۳-۱۴- خروجی نامی^۵

مقدار توان مشخصی (بر حسب ولت آمپر و در یک ضریب قدرت مشخص) که ترانسفورماتور جریان در جریان نامی ثانویه و با بردن نامی متصل به آن ارائه می دهد. مقادیر استاندارد خروجی نامی ترانسفورماتورهای جریان به شرح زیر می باشد:

۲/۵-۵-۱۰-۱۵-۳۰

البته مقادیر خروجی نامی بالاتر از ۳۰ ولت آمپر نیز بنا به نیاز می تواند انتخاب شود.

۱-۳-۱۵- حداکثر ولتاژ تجهیزات

بیشترین ولتاژ موثر فاز- فاز که برای یک ترانسفورماتور جریان با توجه به سطح عایقی آن در نظر گرفته می شود.

۱-۳-۱۶- سطح عایقی نامی

ترکیبی از چند ولتاژ که تحمل ترانسفورماتور جریان را با توجه به تنش های عایقی ناشی از اضافه ولتاژهای شبکه از قبیل کلیدزنی، صاعقه و فرکانس قدرت توصیف می نمایند.



1. Phase displacement
2. Accuracy class
3. Burden
4. Rated burden
5. Rated output

۱-۳-۱۷- سیستم زمین ایزوله^۱

سیستمی که نقطه نوترال آن جهت مقاصد حفاظتی یا اندازه‌گیری به زمین متصل نیست. چنانچه سیستمی به منظور اهداف حفاظتی یا اندازه‌گیری با استفاده از یک امپدانس بالا زمین شود نیز در این رده طبقه‌بندی می‌شود.

۱-۳-۱۸- سیستم مستقیماً زمین شده^۲

سیستمی که نقطه نوترال آن مستقیماً به زمین متصل شده است.

۱-۳-۱۹- سیستم زمین شده با امپدانس^۳

سیستمی که نقطه نوترال آن به جهت محدود کردن جریان خطا با یک امپدانس به زمین وصل شده باشد.

۱-۳-۲۰- سیستم زمین رزونانسی^۴

سیستمی که در آن نقطه یا نقاط نوترال از طریق راکتانس به زمین متصل می‌شوند تا در آن مؤلفه خازنی جریان اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین توسط این راکتانس جبران شود. با این‌گونه زمین شدن سیستم، جریان باقیمانده خطا^۵ تا حدی کاهش می‌یابد که یک خطای همراه با قوس در هوا معمولاً خودبه‌خود خاموش^۶ می‌شود.

۱-۳-۲۱- ضریب اتصال زمین^۷

در یک مکان معین از سیستم سه فاز و برای آرایش سیستمی مشخص، نسبت حداکثر مقدار مؤثر ولتاژ فرکانس قدرت فاز به زمین بر روی یک فاز سالم در حین خطای زمین (که در هر نقطه از سیستم یک یا چند فاز را تحت تاثیر قرار می‌دهد) به مقدار مؤثر ولتاژ فرکانس قدرت قابل حصول در هر نقطه و در غیاب هرگونه خطا را ضریب اتصال زمین می‌نامند.

۱-۳-۲۲- سیستم با نقطه نوترال زمین شده^۸

سیستمی که نقطه نوترال آن مستقیماً و یا توسط یک مقاومت یا سلف به اندازه کافی کوچک به جهت کاهش مقدار نوسانات گذرا و نیز بدست آوردن یک جریان مناسب و کافی برای تشخیص مناسب خطای زمین، زمین شده است. الف - یک سیستم به طور مؤثر زمین شده با ضریب خطای زمین کمتر از $\frac{1}{3}$ مشخص می‌شود. این وضعیت معمولاً هنگامی حاصل می‌شود که برای تمامی آرایشهای سیستم، نسبت راکتانس توالی صفر به راکتانس توالی مثبت از ۳ و نسبت مقاومت توالی صفر به راکتانس توالی مثبت از ۱ کمتر باشد.

1. Isolated neutral system
2. Solidly earthed neutral system
3. Impedance earthed neutral system
4. Resonant earthed neutral system
5. Residual current in the fault
6. Self-extinguishing
7. Earth fault factor
8. Earthed neutral system



ب - یک سیستم به طور غیر موثر زمین شده با ضریب خطای زمین بیشتر از ۱/۳ مشخص می شود.

۱-۳-۲۳- فرکانس نامی

مقداری از فرکانس که سایر مشخصات این استاندارد بر مبنای آن می باشد و برابر فرکانس نامی شبکه سراسری برق ایران یعنی ۵۰ هرتز می باشد.

۱-۳-۲۴- جریان نامی حرارتی کوتاه مدت (I_{th})^۱

مقدار موثر جریان اولیه که یک ترانسفورماتور به مدت یک ثانیه در هنگام اتصال کوتاه شدن ثانویه، بدون تأثیرات مخرب قادر به تحمل آن می باشد. مقادیر استاندارد مربوط به I_{th} عبارتند از:

۶-۳ -۸ -۱۰ -۱۰۰ kA -۸۰ -۶۳ -۵۰ -۴۰ -۳۱/۵ -۲۵ -۲۰ -۱۶ -۱۲/۵ -۱۰ -۸ -۳-۶

۱-۳-۲۵- جریان نامی دینامیکی (I_{dyn})^۲

مقدار پیک جریانی که اولیه یک ترانسفورماتور در هنگام اتصال کوتاه شدن ثانویه بدون صدمه دیدگی ناشی از پدیده های الکتریکی و مکانیکی حاصل از نیروهای الکترومغناطیسی قادر به تحمل آن باشد.

۱-۳-۲۶- جریان نامی دائمی حرارتی^۳

مقدار جریانی که یک ترانسفورماتور جریان هنگام اتصال ثانویه به بردن نامی خود می تواند بدون اینکه درجه حرارت از مقادیر تعیین شده تجاوز نماید از اولیه خود عبور دهد. گاهی این جریان به صورت درصدی از جریان نامی اولیه بیان می گردد.

۱-۳-۲۷- خطای مرکب^۴

در شرایط ماندگار، مقدار مؤثر اختلاف بین جریان لحظه ای اولیه و مقدار لحظه ای جریان ثانویه منتقل شده به اولیه (جریان ثانویه ضربدر نسبت تبدیل ترانسفورماتور) خطای مرکب نامیده می شود. علامتهای مثبت جریان اولیه و ثانویه بستگی به نحوه علامتگذاری ترمینالها دارد.

مقدار خطای مرکب (ϵ_c) مطابق رابطه زیر معمولاً به صورت درصدی از مقدار موثر جریان اولیه بیان می شود:

$$\epsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt} \quad (2-1)$$

که در آن:

K_n : نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور



omoorepeyman.ir

1. Rated short-time thermal current
2. Rated dynamic current
3. Rated continuous thermal current
4. Composite error

I_p : مقدار موثر جریان اولیه

i_p : مقدار لحظه‌ای جریان اولیه

i_s : مقدار لحظه‌ای جریان ثانویه

T : زمان یک سیکل می‌باشد.

۱-۳-۲۸- ولتاژ نقطه زانوی نامی^۱

حداقل ولتاژ سینوسی در فرکانس قدرت که در آن، افزایش ۱۰٪ ولتاژ، در حالیکه بقیه سیم‌پیچی‌های ثانویه مدار باز هستند، باعث افزایش بیش از ۵۰٪ جریان تحریک نشود. باید توجه داشت که ولتاژ نقطه زانوی واقعی از ولتاژ نقطه زانوی نامی بیشتر است.

۱-۳-۲۹- ترانسفورماتور جریان از نوع اندازه‌گیری (ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری)

ترانسفورماتور جریانی که تجهیزات نشان‌دهنده مثل دستگاه‌های اندازه‌گیری و تجهیزات مشابه را تغذیه می‌کند.

۱-۳-۲۹-۱- حد نامی جریان اولیه تجهیز (IPL)^۲

کمترین مقدار جریان اولیه که در آن خطای مرکب ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری بیشتر یا مساوی ده درصد باشد. بردن ثانویه باید برابر با بردن نامی باشد. این مقدار خطای مرکب به جهت حفاظت تجهیزات اندازه‌گیری تغذیه شده توسط ترانسفورماتور جریان در مقابل جریانهای بالای ناشی از اتصال کوتاه می‌باشد (باتوجه به تبعیت جریان ثانویه CT از جریان اولیه آن لازم است این تبعیت تا حد معینی از جریان اولیه باشد و پس از آن به جهت حفاظت دستگاه‌های اندازه‌گیری، جریان ثانویه به تدریج از تابعیت جریان اولیه خارج شده، خطای مرکب افزایش یابد و عبارتی هسته CT با افزایش جریان اولیه از حد نامی تدریجاً به اشباع می‌رود تا جریان ثانویه به مقدار خطرناک برای وسایل اندازه‌گیری نرسد).

۱-۳-۲۹-۲- ضریب اطمینان دستگاه اندازه‌گیری (FS)^۳

نسبت حد نامی جریان اولیه به جریان نامی اولیه. در هنگام بروز اتصال کوتاه در سیستم، جریان خطا در سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان جاری می‌شود. امنیت تجهیزات اندازه‌گیری متصل به ترانسفورماتور جریان هنگامی که ضریب اطمینان نامی تجهیز کوچک باشد بالاتر است.

۱-۳-۲۹-۳- حد نیروی محرکه ثانویه^۴

حاصلضرب سه پارامتر ضریب اطمینان تجهیز (FS)، جریان نامی ثانویه و جمع‌برداری بردن نامی و امپدانس سیم‌پیچ ثانویه. برای محاسبه حد نیروی محرکه ثانویه، مقاومت سیم‌پیچ ثانویه بایستی مطابق دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد اصلاح شده باشد.



omorepeyman.ir

1. Rated knee point e.m.f

2. Rated instrument limit primary current

3. Instrument security factor

4. Secondary limiting e.m.f

۱-۳-۳۰- ترانسفورماتور جریان حفاظتی

ترانسفورماتور جریانی که رله‌های حفاظتی را تغذیه می‌کنند.

۱-۳-۳۰-۱- حد دقت نامی جریان اولیه^۱

مقداری از جریان اولیه که تا آن مقدار، ملزومات خطای مرکب ترانسفورماتور برآورده شود.

۱-۳-۳۰-۲- ضریب حد دقت^۲

نسبت حد دقت نامی جریان اولیه به جریان نامی اولیه.

۱-۳-۳۰-۳- کلاس دقت حفاظتی P

در این کلاس حد دقت با خطای مرکب و جریان اولیه متقارن و مانا تعریف می‌گردد. هیچ محدودیتی برای فوران پس‌ماند وجود ندارد.

۱-۳-۳۰-۴- حد نیروی محرکه ثانویه

حاصلضرب سه پارامتر ضریب حد دقت (ALF)، جریان نامی ثانویه و جمع‌برداری بردن نامی و امپدانس سیم‌پیچ ثانویه.

۱-۳-۳۰-۵- بردن مقاومتی نامی^۳ (R_b)

مقدار نامی بردن مقاومتی متصل شده به ثانویه برحسب اهم.

۱-۳-۳۰-۶- مقاومت سیم‌پیچی ثانویه^۴ (R_{ct})

مقاومت dc سیم‌پیچی ثانویه بر حسب اهم که برای دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد یا دیگر درجه حرارت‌های مشخص، تصحیح شده است.

۱-۳-۳۰-۷- مقاومت حلقه ثانویه^۵ (R_s)

مجموع مقاومت مدار ثانویه شامل مقاومت تصحیح شده سیم‌پیچ ثانویه برای دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد (یا دمای مشخص شده دیگر) و تمام بردنهای متصل خارجی^۶.



1. Rated accuracy limit primary current
2. Accuracy limit factor
3. Rated resistive burden
4. Secondary winding resistance
5. Secondary loop resistance
6. External burden connected

۱-۳-۳۰-۸- ثابت زمانی نامی حلقه ثانویه (T_S)

مقداری که از نسبت مجموع اندوکتانس پراکندگی و مغناطیس شونده (L_S) به مقاومت حلقه ثانویه (R_S) بدست می آید:

$$T_S = L_S / R_S \quad (3-1)$$

۱-۳-۳۰-۹- فوران اشباع $(\varphi_S)^2$

مقدار پیک فوران هسته که هنگام عبور از حالت غیر اشباع به اشباع کامل ایجاد می گردد و فرض می شود نقطه ای در منحنی B-H است که در آن نقطه به ازاء ۱۰ درصد افزایش B، مقدار H، ۵۰ درصد افزایش یابد.

۱-۳-۳۰-۱۰- فوران پس ماند $(\varphi_r)^3$

مقدار فورانی که در زمانی معادل سه دقیقه بعد از قطع جریان تحریک (این جریان تحریک باید به اندازه ای باشد که فوران اشباع را در هسته ایجاد کند) در هسته باقی می ماند.

۱-۳-۳۰-۱۱- ضریب پس ماند $(K_r)^4$

نسبت بین فوران پس ماند و فوران اشباع، ضریب پس ماند نام دارد و با رابطه زیر تعریف می شود:

$$K_r = \frac{\varphi_r}{\varphi_s} \quad (4-1)$$

۱-۳-۳۰-۱۲- ترانسفورماتور جریان حفاظتی با کلاس PR

ترانسفورماتور جریانی که در آن حدی برای ضریب پس ماند مشخص شده است. در برخی موارد ثابت زمانی حلقه ثانویه و حد مقاومت سیم پیچ ثانویه نیز ممکن است مشخص شود.

۱-۳-۳۰-۱۳- مشخصه تحریک ^{5}

رابطه بین مقدار مؤثر جریان تحریک و مقدار مؤثر نیروی محرکه که به سیم پیچ ثانویه اعمال شده و به صورت جدول یا منحنی نمایش داده می شود (در این حالت سیم پیچ اولیه و بقیه سیم پیچ ها مدار باز هستند).
مقادیر جریان تحریک از مقادیر پایین تا مقداری که در آن، ولتاژ نقطه زانوی نامی (تعریف شده در بند ۱-۳-۲۸) حاصل می گردد داده می شود.



1. Rated secondary loop time constant
2. Saturation flux
3. Remanent flux
4. Remanence factor
5. Excitation characteristic

۱-۳-۳۰-۱- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX

ترانسفورماتوری با راکتانس نشتی پایین که اطلاع از مشخصه تحریک ثانویه، مقاومت سیم پیچ ثانویه، بردن ثانویه و نسبت دور آن برای برآورد عملکرد ترانسفورماتور در جریانهی به سیستم حفاظتی که برای آن مورد استفاده قرار می گیرد لازم است.

۱-۳-۳۰-۱۵- نسبت دور نامی^۱

نسبت تعداد دور اولیه به تعداد دور ثانویه مورد نیاز.

۱-۳-۳۰-۱۶- خطای نسبت دور

اختلاف بین نسبت دور نامی و نسبت دور واقعی که به صورت درصد بیان شده و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{نسبت دور نامی} - \text{نسبت دور واقعی} = \frac{\text{نسبت دور نامی}}{\text{نسبت دور واقعی}} \times 100 \quad (5-1)$$

نسبت دور نامی

۱-۳-۳۰-۱۷- ضریب ابعادی (K_X)

ضریبی که حاصل ضرب آن در جریان نامی ثانویه (I_{sn})، نشان دهنده جریان ثانویه ای است که تحت شرایط وقوع خطا در شبکه قدرت بوجود می آید و تا آن جریان ترانسفورماتور دقت خود را حفظ می کند. ضرائب اطمینان نیز ممکن است در این ضریب لحاظ شوند.

۱-۳-۳۱- ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی ویژه حالات گذرا

۱-۳۱-۳-۱- جریان اتصال کوتاه نامی اولیه^۲ (I_{psc})

مقدار موثر جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه^۳ که مبنای دقت ترانسفورماتور جریان می باشد.

۱-۳۱-۳-۲- خطای لحظه ای جریان^۴ (i_e)

اختلاف بین مقادیر لحظه ای جریان ثانویه (i_s) ضربدر نسبت تبدیل (K_n) و جریان اولیه (i_p):

$$i_e = K_n \cdot i_s - i_p \quad (6-1)$$

هنگامی که هر دو مؤلفه جریان متناوب و مستقیم در اولیه ترانسفورماتور موجود باشند، i_e به شکل زیر تعریف می گردد:

$$i_e = i_{e\ ac} + i_{e\ dc} = (K_n i_{sac} - i_{pac}) + (K_n i_{sdc} - i_{pdc}) \quad (7-1)$$



1. Turns ratio
2. Rated primary short-circuit current
3. Primary symmetrical short-circuit current
4. Instantaneous error current

۱-۳-۳۱-۳- پیک خطای لحظه‌ای $\hat{\varepsilon}$

بیشترین خطای لحظه‌ای جریان برای چرخه کاری تعریف شده که به صورت درصدی از پیک مقدار لحظه‌ای جریان نامی اتصال کوتاه اولیه بیان می‌شود:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{100i_{\varepsilon}}{\sqrt{2}.I_{psc}} \% \quad (۸-۱)$$

۱-۳-۳۱-۴- پیک خطای لحظه‌ای جزء متناوب جریان $\left(\hat{\varepsilon}_{ac}\right)^2$

بیشترین مقدار لحظه‌ای خطای مولفه متناوب جریان که به صورت درصدی از پیک مقدار جریان نامی اتصال کوتاه اولیه بیان می‌شود.

$$\hat{\varepsilon}_{ac} = \frac{100i_{\varepsilon ac}}{\sqrt{2}.I_{psc}} \% \quad (۹-۱)$$

۱-۳-۳۱-۵- کلاسهای دقت

الف- کلاس دقت TPS: ترانسفورماتور جریان با کلاس دقت TPS دارای فوران پراکندگی کم بوده و عملکرد آن با مشخصه تحریک ثانویه و محدوده نسبت تبدیل توصیف می‌گردد. هیچ محدودیتی برای فوران پس ماند وجود ندارد.

ب- کلاس دقت TPX: حد دقت به وسیله حداکثر خطای لحظه‌ای $\hat{\varepsilon}$ در طول دوره گذرای تعیین شده تعریف می‌شود. هیچ محدودیتی برای فوران پس ماند وجود ندارد.

ج- کلاس دقت TPY: حد دقت به وسیله حداکثر خطای لحظه‌ای $\hat{\varepsilon}$ در طول دوره گذرای تعیین شده تعریف می‌شود. مقدار فوران پس ماند نباید از ۱۰ درصد مقدار فوران اشباع فراتر رود.

د- کلاس دقت TPZ: حد دقت به وسیله حداکثر خطای لحظه‌ای مولفه متناوب جریان $\hat{\varepsilon}_{ac}$ در طی یک بار برقرار نمودن ترانسفورماتور جریان با بیشترین آفت DC در یک ثابت زمانی حلقه ثانویه مشخص تعریف می‌شود. هیچگونه الزامی برای حد خطای مولفه DC وجود ندارد. فوران پس ماند عملاً می‌بایستی قابل چشم‌پوشی باشد.



1. Peak instantaneous error

2. Peak instantaneous alternating current component error

۱-۳-۳۱-۶- ثابت زمانی مشخص شده اولیه^۱ (T_p)

مقدار مشخصی از ثابت زمانی مؤلفه مستقیم (dc) جریان اولیه که عملکرد ترانسفورماتور جریان حفاظتی بر مبنای آن توصیف می‌شود. این مقدار یکی از مقادیر نامی ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPX، TPY و TPZ بوده و روی پلاک مشخصات این ترانسفورماتورها قید می‌گردد. مقادیر استاندارد این پارامتر بر حسب میلی‌ثانیه به شرح زیر می‌باشد:

۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰-۱۲۰

در برخی از کاربردها نظیر به کارگیری ترانسفورماتور جریان در مدارات توربو ژنراتوری بزرگ، مقادیر بالاتری از ثابت زمانی اولیه ممکن است مورد نیاز باشد.

۱-۳-۳۱-۷- زمان مجاز حد دقت^۲ (t_{al})

مدت زمانی که در طول آن، دقت مشخص شده در طی هر دوره از برقرار شدن ترانس جریان و در یک چرخه کاری مشخص، حفظ می‌شود.

این پارامتر معمولاً توسط اندازه‌گیری زمان بحرانی طرح حفاظتی مرتبط و برای تصمیم‌گیری مناسب تعریف می‌شود. هنگامی که عملکرد با ثبات طرح حفاظتی مورد نیاز است، ممکن است لازم باشد که زمان قطع کلید نیز در نظر گرفته شود.

۱-۳-۳۱-۸- زمان رسیدن به حداکثر فوران^۳ (t_{max})

زمان سپری شده در طی یک دوره برقرار شدن مشخص ترانس جریان که در طی این زمان، فوران گذرا در هسته ترانسفورماتور جریان به حداکثر مقدار خود رسیده است. اینگونه فرض می‌شود تا زمان t_{max} هسته به اشباع نرفته است.

۱-۳-۳۱-۹- زمان مرده^۴ (در طی عمل وصل مجدد خودکار)^۵ (t_{fr})

بازه زمانی بین قطع و اعمال مجدد جریان اتصال کوتاه در طی دوره عمل وصل مجدد کلید.

۱-۳-۳۱-۱۰- چرخه کاری مشخص شده^۶ (C-O یا C-O-C-O)

چرخه کاری که در آن در طی برقرار شدن ترانسفورماتور جریان، فرض می‌شود که جریان اولیه ناشی از برقرار شدن ترانسفورماتور کاملاً جابه‌جا شده^۷ باشد (با ثابت زمانی میرایی T_p و دامنه نامی I_{PSC}).

چرخه‌های کاری به صورت زیر می‌باشند:

یک بار برقرار شدن: C-t'-O

دوبار برقرار شدن: C-t'-O-t''-C-t''-O



1. Specified primary time constant
2. Permissible time to accuracy limit
3. Time to maximum flux
4. Dead time
5. Auto - reclosing
6. Specified duty cycle
7. Fully offset

(در هر دو مرحله، فوران دارای پلاریته یکسانی است)

که در آن:

t' : مدت زمان تداوم جریان اول: دقت تعیین شده در مدت زمان t'_{al} حفظ می شود.

t'' : مدت زمان تداوم جریان دوم: دقت تعیین شده در مدت زمان t''_{al} حفظ می شود.

۱-۳۱-۳-۱۱- بردن مقاومتی نامی $(R_b)^1$

مقدار نامی بردن مقاومتی متصل شده به ثانویه بر حسب اهم. مقادیر استاندارد این پارامتر بر مبنای جریان ثانویه یک آمپر عبارتند از: ۱۵-۱۰-۷/۵-۵-۲/۵ که زیر مقادیر ترجیحی خط کشیده شده است. برای ترانسفورماتورهای جریان با مقادیر جریان ثانویه غیر از یک آمپر، مقادیر بالا می بایستی با مجذور عکس نسبت جریانه تغییر یابد.

۱-۳۱-۳-۱۲- مقاومت سیم پیچی ثانویه $(R_{ct})^2$

مقاومت سیم پیچ ثانویه در بند ۱-۳۰-۳-۶ تعریف شده است.

۱-۳۱-۳-۱۳- مقاومت حلقه ثانویه $(R_s)^3$

مقاومت حلقه ثانویه در بند ۱-۳۰-۳-۷ تعریف شده است.

۱-۳۱-۳-۱۴- ثابت زمانی نامی حلقه ثانویه $(T_s)^4$

ثابت زمانی نامی حلقه ثانویه در بند ۱-۳۰-۳-۸ تعریف شده است.

۱-۳۱-۳-۱۵- ضریب جریان اتصال کوتاه متقارن نامی $(K_{ssc})^5$

این ضریب از رابطه زیر بدست می آید:

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pn}} \quad (۱۰-۱)$$

که در آن I_{psc} جریان اتصال کوتاه نامی اولیه و I_{pn} جریان نامی اولیه می باشد. مقادیر استاندارد این پارامتر عبارت است از:

۵۰-۴۰-۳۰-۲۵-۲۰-۱۷/۵-۱۵-۱۲/۵-۱۰-۷/۵-۳

مقادیری که زیر آنها خط کشیده شده است دارای ارجحیت می باشد.



omoorepayman.ir

1. Rated resistive burden
2. Secondary winding resistance
3. Secondary loop resistance
4. Rated secondary loop time constant
5. Rated symmetrical short-circuit current factor

۱-۳-۳۱- ضریب گذرا^۱ (K_{tf})

نسبت کل فوران دور ثانویه (از نظر تئوری) به پیک مقدار لحظه‌ای مولفه متناوب همان فوران دور، هنگامی که ترانسفورماتور جریان تنها یک بار برقرار شود. در این حالت فرض می‌شود که ثابت زمانی حلقه ثانویه (T_S) مقدار ثابتی را در طول برقرارشدن حفظ می‌نماید.

۱-۳-۳۱-۱۷- ضریب ابعادی گذرای نامی^۲ (K_{td})

جهت اقتاع چرخه کاری مشخص شده از ضریب ابعادی گذرای نامی استفاده می‌شود. این ضریب با توجه به محاسبات گذرا بدست می‌آید.

۱-۳-۳۱-۱۸- ترانسفورماتور جریان با فوران نشستی کم^۳

ترانسفورماتور جریانی که اطلاع از مشخصه تحریک ثانویه و مقاومت سیم‌پیچ ثانویه آن برای برآورد عملکرد گذرای ترانس در هر ترکیبی از بردن و چرخه کاری و در جریان اتصال کوتاه متقارن نامی اولیه یا پایین‌تر تا جریانی که حد تئوری تحمل ترانسفورماتور جریان است کافی خواهد بود.

۱-۳-۳۱-۱۹- ترانسفورماتور جریان با فوران نشستی بالا^۴

ترانسفورماتور جریانی که الزامات بند ۱-۳-۳۱-۱۸ را برآورده نکرده و برای در نظر گرفتن تأثیرات فوران نشستی اضافی می‌بایستی توسط سازنده اطلاعات بیشتری منظور شود. انتظار می‌رود که این نوع ترانسفورماتور جریان در یک چرخه کاری مشخص، ملزومات دقت خود را اقتاع کند. باید توجه داشت که در حالت کلی، چنانچه ضریب ابعادی گذرای نامی (K_{td}) برای یک چرخه کاری C-O-C-O اقتاع شده باشد، در آن صورت ترانسفورماتور دقت خود را در طول یک چرخه کاری C-O تا زمانی که نیروی محرکه ثانویه به حد خود (که در بند ۱-۳-۳۱-۲۰ تعریف شده است) برسد حفظ خواهد کرد.

۱-۳-۳۱-۲۰- حد نیروی محرکه ثانویه^۵ (E_{al})

مقدار موثر نیروی محرکه ثانویه در فرکانس نامی که برای اقتاع شرایط چرخه کاری مشخص شده لازم است و به صورت زیر بدست می‌آید:

$$E_{al} = K_{SSC} \cdot K_{td} (R_{ct} + R_b) \cdot I_{sn} \quad (11-1)$$

1. Transient factor
2. Rated transient dimensioning
3. Low leakage flux current transformer
4. High leakage flux current transformer
5. Rated equivalent limiting secondary e.m.f



۱-۳-۳۱-۲۱- حد ولتاژ نامی تحریک ثانویه^۱ (U_{al})

مقدار موثر ولتاژ سینوسی در فرکانس نامی که برای حفظ حد نیروی محرکه ثانویه (با در نظر گرفتن طراحی ترانسفورماتور جریان) لازم است. هنگامی که این ولتاژ به سیم‌پیچی ثانویه اعمال شود نتیجه آن جریان مغناطیس‌کننده‌ای است که حدود خطای آن از حدود مجاز (بسته به کلاس دقت ترانسفورماتور جریان) فراتر نخواهد رفت. U_{al} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_{al} = E_{al} \cdot F_c \quad (۱۲-۱)$$

در رابطه فوق، F_c ضریب ساخت^۲ است که توسط سازنده مشخص می‌شود (به بند ۱-۳-۳۱-۲۹ رجوع شود).

۱-۳-۳۱-۲۲- نیروی محرکه معادل ثانویه متناظر با حد دقت^۳ (E_{alc})

مقدار موثر نیروی محرکه با فرکانس نامی که با آزمون مستقیم تعیین می‌شود. در این حالت جریان خطای مشاهده شده متناظر با حد کلاس دقت مربوطه می‌باشد.

۱-۳-۳۱-۲۳- ولتاژ معادل ثانویه متناظر با حد دقت^۴ (U_{alc})

مقدار موثر ولتاژ سینوسی با فرکانس نامی که اگر به سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان اعمال شود نتیجه آن جریان تحریکی متناظر با بیشترین جریان خطای مجاز (متناسب با کلاس دقت ترانسفورماتور جریان) خواهد بود.

۱-۳-۳۱-۲۴- فوران اشباع^۵ (φ_s)

فوران اشباع در بند ۱-۳-۳۰-۹ تعریف شده است.

۱-۳-۳۱-۲۵- فوران پس‌ماند^۶ (φ_r)

فوران پس‌ماند در بند ۱-۳-۳۰-۱۰ تعریف شده است.

۱-۳-۳۱-۲۶- ضریب پس‌ماند^۷ (K_r)

ضریب پس‌ماند در بند ۱-۳-۳۰-۱۱ تعریف شده است.

۱-۳-۳۱-۲۷- فوران متناظر با حد دقت^۸ (φ_{al})

1. Rated equivalent excitation limiting secondary voltage

2. Factor of construction

3. Equivalent secondary accuracy limiting e.m.f

4. Equivalent secondary accuracy limiting voltage

5. Saturation flux

6. Remanent flux

7. Remanence factor

8. Accuracy limit flux



مقدار پیک فوران دور ثانویه متناظر با E_{al} که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Phi_{al} = \sqrt{2} \cdot E_{al} / (2\pi f) \quad (۱۳-۱)$$

۱-۳-۳۱-۲۸- جریان تحریک ثانویه متناظر با حد دقت $(I_{al})^1$

پیک مقدار جریان تحریک متناسب با کلاس دقت ترانسفورماتور جریان.

۱-۳-۳۱-۲۹- ضریب ساخت $(F_c)^2$

ضریب اعلام شده توسط سازنده برای طراحی. این ضریب به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_c = U_{alc} / E_{alc} \quad (۱۴-۱)$$

۱-۳-۳۲- عایقهای خودترمیم

عایقهایی که قادرند پس از یک شکست الکتریکی مجدداً به استقامت الکتریکی اولیه دست یابند. این نوع عایقها غالباً از نوع خارجی (سطوح خارجی عایقهای جامد و یا هوای آزاد) هستند.

۱-۳-۳۳- عایقهای غیر خودترمیم

عایقهایی که اگر در آنها شکست مخربی رخ دهد قادر نخواهد بود استقامت الکتریکی کامل اولیه خود را باز یابند. این نوع عایقها غالباً از نوع عایقهای داخلی بوده و معمولاً از ترکیب دو یا چند عایق مختلف (گاز، مایع، جامد) تشکیل می‌گردند.

۱-۳-۳۴- آزمون نوعی^۳

این نوع آزمون روی یک تجهیز از هر مدل ترانسفورماتور جریان انجام می‌شود و بیانگر این مطلب است که تمام ترانسفورماتورهای جریان این مدل، دارای خصوصیات مشابه (در مورد مواد هر آزمون) می‌باشند.

۱-۳-۳۵- آزمون جاری^۴

آزمونی که روی تمام ترانسفورماتورهای جریان در حال ساخت یا ساخته شده برای بررسی مطابقت تجهیز با ضوابط تعیین شده انجام می‌شود.

۱-۳-۳۶- آزمون ویژه^۵

آزمونی که علاوه بر آزمون نوعی و آزمون جاری براساس توافق سازنده و خریدار یا با نظر سازنده انجام می‌شود.

1. Accuracy limiting secondary exciting current
2. Factor of construction
3. Type test
4. Routine test
5. Special test





فصل ۲

مبانی طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور جریان





 omorepeyman.ir

مقدمه

بدیهی است که کنترل و حفاظت شبکه قدرت وابسته به کنترل پارامترهای الکتریکی آن نظیر ولتاژ، جریان و توان می‌باشد. به عبارت دیگر تصمیم‌گیری صحیح در مورد وضعیت حال و آینده شبکه‌های قدرت به دقت و انتخاب صحیح تجهیزات نمونه‌برداری از پارامترهای شبکه نظیر ترانسفورماتور جریان وابسته است. انتخاب ترانسفورماتور جریان با مشخصات بهینه، نیازمند دانستن پارامترهای الکتریکی مختلف مانند جریان نامی، سطوح عایقی، جریان اتصال کوتاه و... و شرایط اقلیمی نظیر درجه حرارت، ارتفاع از سطح دریا و ... می‌باشد. در این فصل، چگونگی انتخاب مشخصات یک ترانسفورماتور جریان ارائه می‌گردد.

۲-۱- کلیات

ترانسفورماتورهای جریان به دلیل نقش اساسی که در تغذیه و نهایتاً عملکرد صحیح سیستم‌های اندازه‌گیری و حفاظتی دارند از اهمیت ویژه‌ای نسبت به سایر تجهیزات فشارقوی برخوردار می‌باشند. از این رو انتخاب صحیح و مناسب مشخصات آنها دقت خاصی را طلب می‌نماید.

عوامل مهمی که در انتخاب یا مقایسه ترانسفورماتورهای جریان، مؤثر و لازم می‌باشند عبارتند از:

- مشخصات شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور جریان به آن متصل می‌گردد.
- شرایط محیطی و اقلیمی محلی که ترانسفورماتور جریان در آن نصب می‌شود.
- مشخصه‌های فنی، پارامترها و شاخص‌های مورد نیاز جهت انتخاب ترانسفورماتور جریان.

۲-۲- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

۲-۲-۱- مشخصات سیستم

ترانسفورماتورهای جریان می‌بایستی اضافه جریانه‌ها را در مدت زمان مشخص تحمل نمایند. همچنین افزایش درجه حرارت در آنها در شرایط نامی ولتاژ و جریان شبکه، نباید از حد مجاز تعیین شده تجاوز نماید. همه موارد فوق بستگی به مشخصات شبکه مورد مطالعه داشته و می‌بایستی در هنگام انتخاب ترانسفورماتور جریان دقیقاً مورد توجه قرار گیرند. این عوامل عبارتند از :

- ولتاژ نامی
- حداکثر ولتاژ سیستم
- سطح اتصال کوتاه سیستم
- فرکانس نامی
- نحوه زمین کردن نوترال



۲-۲-۲- مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی

پاره‌ای از مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی تاثیرگذار در انتخاب ترانسفورماتور جریان به شرح زیر می‌باشد:

- ارتفاع از سطح دریا
- حداکثر درجه حرارت محیط
- حداقل درجه حرارت محیط
- حداکثر متوسط دمای روزانه
- میزان و نوع آلودگی
- درصد رطوبت نسبی
- شتاب زلزله
- سرعت باد
- میزان تشعشع خورشید

با توجه به موارد فوق، طراحی و تعیین مشخصات عمومی و فنی ترانسفورماتورهای جریان انجام می‌گیرد.

۳-۲- شاخصها و پارامترهای مهم ترانسفورماتورهای جریان

پارامترهای زیر از مواردی هستند که می‌بایستی در مرحله طراحی مشخص گردند:

- نوع ترانسفورماتور جریان از نظر عایق بندی (روغنی، خشک و SF6)
- نوع ترانسفورماتور جریان از نظر ساختمانی (هسته بالا، هسته پایین)
- سطح عایقی براساس مطالعات هماهنگی عایقی
- فاصله خزشی مقره
- جریان نامی اولیه براساس جریان نامی فیدرهای پست
- جریان نامی ثانویه
- بردن خروجی براساس توان مصرفی دستگاهها و تجهیزات تغذیه شده توسط ترانسفورماتور جریان
- کلاس دقت براساس دقت مورد نیاز در بخش سیستمهای حفاظتی و اندازه‌گیری
- جریان نامی حرارتی کوتاه مدت
- جریان نامی دائمی حرارتی



۲-۴- شرایط بهره‌برداری ترانسفورماتور جریان در شرایط عادی و ویژه

۲-۴-۱- وضعیت بهره‌برداری در شرایط عادی

۲-۴-۱-۱- درجه حرارت محیط

ترانسفورماتورهای جریان مطابق جدول زیر به سه گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند:

جدول ۲-۱: طبقه بندی حرارتی ترانسفورماتور جریان

گروه حرارتی	حداقل درجه حرارت	حداکثر درجه حرارت (C)
-۵/۴۰	-۵	۴۰
-۲۵/۴۰	-۲۵	۴۰
-۴۰/۴۰	-۴۰	۴۰
توجه: در انتخاب گروه حرارتی، شرایط انبار کردن و شرایط حمل و نقل می‌بایستی در نظر گرفته شود.		

۲-۴-۱-۲- ارتفاع

ارتفاع نباید از ۱۰۰۰ متر تجاوز نماید.

۲-۴-۱-۳- سایر شرایط بهره‌برداری برای ترانسفورماتورهای جریان بیرونی

- متوسط مقدار درجه حرارت محیط ، اندازه‌گیری شده در مدت زمان ۲۴ ساعت ، از ۳۵ درجه سانتیگراد بیشتر نمی‌باشد.
- تابش خورشید تا سطح ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (در ظهر یک روز آفتابی) در نظر گرفته می‌شود.
- هوای محیط ممکن است به وسیله گرد و غبار ، دود، گازهای خورنده، بخار یا نمک آلوده شده باشد.
- فشار باد از ۷۰۰ پاسکال (مطابق با سرعت باد معادل ۳۴ متر بر ثانیه) بیشتر نمی‌باشد.
- شرایط وجود تقطیر و بارش بایستی در نظر گرفته شود.

۲-۴-۲- شرایط بهره‌برداری ویژه

هنگامی که ترانسفورماتور جریان تحت شرایطی متفاوت با شرایط بند ۲-۴-۱ کار نماید، بایستی الزامات زیر در نظر گرفته شود .

۲-۴-۲-۱- درجه حرارت محیط

برای نصب ترانسفورماتور جریان در محلی که درجه حرارت محیط می‌تواند به طور محسوسی خارج از گستره ذکرشده در بند

۲-۴-۱-۱ باشد، حداقل و حداکثر درجه حرارتی که پیشنهاد می‌شود، می‌بایستی برابر یکی از گروه‌های زیر باشد:

* ۵۰- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای شرایط آب و هوایی خیلی سرد

* ۵- و ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای شرایط آب و هوایی خیلی گرم

در نواحی با بادهای گرم و مرطوب، ممکن است درجه حرارت دچار تغییرات ناگهانی شود که نتیجه آن وقوع تقطیر حتی در فضاهای بسته می‌باشد.

ممکن است تحت شرایط مشخصی از تابش خورشید، اقدامات ویژه‌ای مانند مسقف نمودن، ایجاد تهویه (فن) یا منظور نمودن ضریبی برای در نظر گرفتن اثر افزایش درجه حرارت انجام گیرد.

۲-۴-۲- ارتفاع

برای نصب در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر، فاصله جرکه^۱ می‌بایستی تحت شرایط آب و هوایی استاندارد با ضرب ولتاژهای تحمل مورد نیاز در شرایط محل بهره‌برداری در ضریب K تعیین شود.

ضریب K از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K = e^{m(H-1000)/8150} \quad (۱-۲)$$

که در آن:

H: ارتفاع بر حسب متر

m: ضریبی ثابت که برای ولتاژهای با فرکانس قدرت و موج ضربه صاعقه برابر یک و برای موج ضربه کلیدزنی برابر ۰/۷۵ می‌باشد.

۲-۵- سیستم زمین

سیستم‌های زمین مفروض عبارتند از:

الف - سیستم زمین ایزوله

ب - سیستم زمین رزونانسی

ج - سیستم زمین شده

ج ۱- سیستم مستقیماً زمین شده

ج ۲- سیستم زمین شده به صورت امپدانسی

۲-۶- جریان نامی اولیه

جریان نامی اولیه جریانی است که عملکرد ترانسفورماتور جریان بر پایه آن می‌باشد و بر اساس محاسبات پخش بار و جریانهای عبوری از فیدرها و شینه پست مشخص می‌گردد. مقادیر استاندارد جریان نامی اولیه عبارتند از:

$$10 - 12/5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 \text{ (A)}$$

مضارب ده دهی مقادیر فوق نیز مقادیر استاندارد هستند. مقادیری که زیر آنها خط کشیده شده است دارای ارجحیت بیشتری می باشند.

نحوه انتخاب جریان نامی ترانسفورماتور جریان در نشریه "شینه بندی و آرایش تک خطی" آمده است [۱۳].

۲-۷- جریان نامی ثانویه

جریان نامی ثانویه می تواند یکی از مقادیر ۱ یا ۵ آمپر انتخاب گردد. جریان یک آمپر در پستهای با ولتاژ بالا (۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت) که طول کابل‌های ارتباطی از ترانسفورماتور جریان تا رله‌ها و وسایل اندازه‌گیری زیاد است، استفاده می‌گردد. برای پستهای ۱۳۲ کیلوولت و ۶۳ کیلوولت، بسته به نوع آرایش پست می‌توان از هریک از مقادیر فوق استفاده نمود.

۲-۸- تغییر در نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان

تفاوت توان مصرفی در نقاط مختلف شبکه، تغییرات بار مصرفی به علت گسترش مصارف خانگی، صنعتی یا کشاورزی و همچنین افزایش خطوط نیرو و تأسیس پستهای جدید و غیره عواملی هستند که امکان بهره‌برداری از یک ترانس جریان را در یک نسبت تبدیل ثابت دشوار می‌نماید. به این جهت امروزه طرح سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای جریان را طوری انتخاب می‌کنند که امکان تغییر نسبت تبدیل به صورت دو گانه و یا چندگانه وجود داشته باشد. این تغییر می‌تواند در دو مدار اولیه (در صورت داشتن اولیه به شکل سیم‌پیچ) و ثانویه ترانسفورماتورهای جریان امکان‌پذیر باشد که هر کدام دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر بوده که به شرح زیر می‌باشد:

- با تغییر نسبت تبدیل از اولیه مشخصات خروجی هسته تغییری نمی‌نماید و کلاس دقت و سایر مشخصات مربوطه کماکان به قوت خود باقی می‌ماند. درحالی که با تغییر نسبت تبدیل از ثانویه این مشخصات تغییر می‌کند و به همین دلیل در روش اخیر باید دقت کافی در عملکرد هسته‌های حفاظتی و اندازه‌گیری مبذول داشت.
- تغییر نسبت تبدیل در اولیه با نسبت‌های "۱:۲" و در برخی از طرحها "۱:۲:۴" امکان‌پذیر است. در عین حال تغییر نسبت تبدیل در ثانویه با نسبت‌های متعدد امکان‌پذیر است و با مقادیر دلخواه قابل ساخت می‌باشد.
- در صورتیکه ترانسفورماتور جریان دارای سیم‌پیچی‌های متعددی در مدار اولیه باشد باید در مقابل اضافه ولتاژها حفاظت گردد. این امر با استفاده از برقگیر قابل حل بوده و لذا منجر به افزایش قیمت ترانسفورماتور جریان خواهد گشت.
- ساخت ترانسفورماتور با تغییر نسبت تبدیل از ثانویه ساده‌تر و تغییر نسبت تبدیل در محل پست از ثانویه راحت‌تر می‌باشد. اگرچه گرفتن انشعاب در سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان به دلیل بزرگ شدن غیر ضروری سیم‌پیچی تا آنجائیکه به دلیل مسائل فنی - اقتصادی ضرورت نداشته باشد توصیه نمی‌گردد، با این حال به دلیل رشد تدریجی بار از زمان راه‌اندازی پست تا زمان بار کامل و همچنین افزایش سطح اتصال کوتاه از مقدار حداقل اولیه به مقدار نهایی پیش‌بینی شده برای سیستم، وجود چنین امکانی در ثانویه ترانسفورماتور ضروری است.



مقدار انشعابات بسته به نیاز سیستم تعیین شده که معمولاً بین ۲ تا ۵ می باشد. ولی به هر حال باید تعداد انشعابات با در نظر گرفتن نیازهای فنی وسایل حفاظتی یا اندازه گیری متصل به آن انتخاب گردد و از سفارش بدون دلیل نسبت های متعدد پرهیز نمود.

۲-۹- ولتاژ نامی

مقدار ولتاژ نامی با توجه به ولتاژ شبکه ای که ترانسفورماتور جریان به آن اتصال می یابد می بایستی یکی از اعداد $\frac{63(66)}{\sqrt{3}}$ ، $\frac{400}{\sqrt{3}}$ ، $\frac{230}{\sqrt{3}}$ ، $\frac{132}{\sqrt{3}}$ کیلوولت انتخاب گردد.

۲-۱۰- جریان نامی دائمی حرارتی

جریان نامی دائمی حرارتی می بایستی برابر جریان نامی اولیه باشد مگر برای ترانسفورماتور جریان پارامتر دیگری به نام جریان نامی افزایش داده شده (به بند ۲-۱۴ مراجعه شود) تعریف شود که در این صورت جریان نامی دائمی حرارتی باید برابر با جریان نامی افزایش یافته انتخاب گردد.

۲-۱۱- خروجی نامی

بردن خروجی ثانویه ترانسفورماتور جریان، توان ظاهری است که به وسیله مصرف کننده ها و خود ترانسفورماتور جریان مصرف می شود. ترانسفورماتور جریان می بایستی بتواند توان ظاهری مصرف شده توسط دستگاه های اندازه گیری، رله ها، کابلها، سیمهای رابط و سیم پیچ ثانویه خود را تأمین نماید.

بردن ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری در شرایط بار عادی علاوه بر عوامل ذکر شده به جریان نامی ثانویه و نسبت تبدیل آن نیز بستگی دارد.

در مورد ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی، علاوه بر موارد فوق، شرایط بوجود آمده در هنگام وقوع خطا نیز می بایستی در نظر گرفته شود. به این منظور سطح اتصال کوتاه، زمان عملکرد رله ها، ترتیب عمل قطع و وصل و ثابت زمانی سیستم و مدار ثانویه دارای اهمیت است.

از آنجا که توان مصرفی رله های امروزی بسیار کوچک بوده و در برخی موارد تا حدود زیر یک ولت آمپر هم می رسد، لذا در مرحله اول، قسمت اعظم توان مصرفی ترانسفورماتورهای جریان مربوط به مقاومت سیمهای رابط و سپس مقاومت سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن ملاحظات مذکور، یک ترانسفورماتور جریان با توان خروجی کمتر از ۳۰ ولت آمپر جهت تغذیه رله های حفاظتی که صرفاً مولفه AC را مدنظر دارند معمولاً مطلوب و کافی است.

به هر حال، با بالا رفتن سطح اتصال کوتاه در شبکه، به منظور کاهش تأثیر اتصال کوتاه های سنگین بر روی تجهیزات می بایستی زمان عملکرد رله ها کاهش پیدا کند. مؤلفه های گذرای امواج جریان با ثابت زمانی بالا ممکن است برای مدت طولانی در

شبکه تداوم پیدا نموده و ترانس‌های جریان حفاظتی می‌بایستی این جریانهای گذرا را با همان مشخصات و بدون تغییر و در مدت زمان معلوم به ثانویه انتقال دهند (به بند ۲-۱۶ مراجعه شود).

مقدار نامی بردن خروجی ترانسفورماتور جریان باتوجه به بار نامی متصل شده به آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_n = (I_{sn})^2 \times Z \quad (2-2)$$

که در آن، Z کل امپدانس موجود در ثانویه ترانس جریان و I_{sn} جریان نامی ثانویه است.

بار نامی رله‌ها و دستگاههای اندازه‌گیری معمولاً توسط سازندگان آنها داده می‌شود. بار مربوط به ثانویه ترانسفورماتور و کابلها و سیمهای رابط نیز با ضرب مقاومت آنها در مجذورجریان بدست می‌آید. مقادیر استاندارد بردن به قرار زیر است :

$$2/5 - 5 - 10 - 15 - 30 \quad \text{VA}$$

البته مقادیر بالاتر از ۳۰ ولت آمپر نیز ممکن است با توجه به کاربرد خاص انتخاب شده و مورد استفاده قرار گیرند.

۱۲-۲- مقادیر جریان کوتاه مدت

ترانسفورماتورهای جریان بایستی ملزومات زیر را برآورده نمایند:

۱-۱۲-۲- جریان نامی حرارتی کوتاه مدت (I_{th})

این جریان با توجه به محاسبات اتصال کوتاه سیستم در محلی که ترانسفورماتور جریان در آن نصب می‌گردد، تعیین می‌شود. سطح مقطع سیم‌پیچ اولیه با توجه به این جریان مشخص می‌گردد و در صورتی که سطح اتصال کوتاه بالا بوده و یا مدت اتصال کوتاه طولانی باشد، اولیه را باید به صورت میله انتخاب نمود. به هر حال باید این نکته را در نظر گرفت که به دلیل حداقل نمودن اثر تنشهای مکانیکی ایجادشده در شرایط اتصال کوتاه می‌بایستی تا حد امکان سطح مقطع سیم‌پیچ اولیه و تعداد دور آن را کاهش داد. با داشتن چگالی جریان مجاز یک هادی و سطح اتصال کوتاه می‌توان سطح مقطع سیم پیچ یا میله اولیه ترانس جریان را به راحتی انتخاب نمود.

مطابق استاندارد، در پستهای ۶۳ تا ۴۰۰ کیلوولت مدت زمان تداوم جریان اتصال کوتاه نامی یک ثانیه می‌باشد. نحوه انتخاب سطح اتصال کوتاه در نشریه "شینهبندی و آرایش تک خطی" آمده است [۱۳]. جدول (۲-۲) مبین سطوح اتصال کوتاه برای سطوح مختلف ولتاژی می‌باشد.

جدول ۲-۲: مقادیر جریان اتصال کوتاه برای سطوح ولتاژی مختلف

سطح ولتاژ (kV)	جریان اتصال کوتاه (kA)
۶۳(۶۶)	۲۰-۲۵-۳۱/۵-۴۰
۱۳۲	۲۵-۳۱/۵-۴۰
۲۳۰	۴۰-۵۰
۴۰۰	۵۰-۶۳

۲-۱۲-۲- جریان دینامیکی نامی (I_{dyn})

مقدار جریان دینامیکی نامی می‌بایستی $2/5$ برابر جریان نامی حرارتی کوتاه مدت انتخاب گردد. همچنین ترانسفورماتور جریان باید بتواند نیروی الکترومغناطیسی مربوط به جریان $2/5$ برابر پیک جریان کوتاه مدت را تحمل نماید.

۲-۱۳-۲- محدودیت افزایش درجه حرارت

افزایش درجه حرارت یک ترانسفورماتور جریان هنگامی که از آن جریان اولیه‌ای برابر با جریان نامی دائمی حرارتی عبور می‌نماید و خروجی متصل به آن برابر با خروجی نامی در ضریب قدرت یک می‌باشد نباید از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۳) بیشتر شود. این مقادیر بر مبنای شرایط گفته شده در بند (۲-۴) می‌باشند.

اگر درجه حرارت محیط از آنچه در بند ۲-۴-۱ گفته شد بیشتر شود مقادیر مجاز افزایش درجه حرارت (جدول ۲-۳) می‌بایستی به اندازه‌ای که درجه حرارت محیط افزایش یافته‌است، کاهش یابند.

اگر ترانسفورماتور جریان در ارتفاع بالای ۱۰۰۰ متر استفاده شود ولی در ارتفاع زیر ۱۰۰۰ متر مورد آزمون قرار گرفته باشد محدوده‌های افزایش درجه حرارت بیان شده در جدول (۲-۳) می‌بایستی به ازاء هر ۱۰۰ متر ارتفاع اضافه بر ۱۰۰۰ متر به صورت زیر کاهش یابند:

- ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در روغن ۰/۴ درصد

- ترانسفورماتورهای نوع خشک ۰/۵ درصد

افزایش درجه حرارت سیم پیچی به وسیله پایین‌ترین کلاس عایقی که مربوط به خود سیم پیچ یا محیط اطراف آن است محدود می‌شود. حداکثر افزایش درجه حرارت کلاسهای عایقی مختلف در جدول (۲-۳) آمده است.

جدول ۲-۳: محدودیت افزایش درجه حرارت

حداکثر افزایش درجه حرارت (°K)	کلاس عایقی (مطابق IEC شماره ۶۰۰۸۵)
۶۰	تمام کلاسها، غوطه‌ور در روغن
۶۵	تمام کلاسها، غوطه‌ور در روغن، آب‌بندی شده ^۱
۵۰	تمام کلاسها، غوطه‌ور در مواد مرکب غیر معدنی
	تمام کلاسها غیر غوطه‌ور در روغن یا مواد مرکب غیر معدنی :
۴۵	Y
۶۰	A
۷۵	E
۸۵	B
۱۱۰	F
۱۳۵	H
توجه: برای برخی عایق‌ها (نظیر رزین) سازنده می‌بایستی کلاس عایقی را مشخص کند.	

1. Hermetically sealed

هنگامی که یک ترانسفورماتور جریان دارای تانک انبساط روغن بوده (که دارای گاز بالای روغن است) یا آب‌بندی شده باشد، افزایش درجه حرارت روغن بالای تانک یا محفظه نباید از ۵۵ درجه تجاوز نماید. در غیر این صورت افزایش درجه حرارت روغن بالای تانک یا محفظه نباید بیشتر از ۵۰ درجه باشد.

افزایش درجه حرارت اندازه‌گیری شده روی سطح خارجی هسته و سایر قسمت‌های فلزی در محل تماس با (یا نزدیک به) عایق نباید از مقادیر مرتبط در جدول فوق تجاوز نماید.

۲-۱۴- کلاس دقت ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری:

کلاس دقت برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری به وسیله بیشترین درصد مجاز خطای جریان و جریان نامی مرتبط با کلاس دقت مربوطه تعیین می‌شود.

کلاس‌های دقت برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری عبارتند از:

۰/۱ - ۰/۲ - ۰/۵ - ۱ - ۳ - ۵ و ۰/۲ S و ۰/۵ S

برای کلاس‌های دقت ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ خطای جریان و جابه‌جایی فاز در فرکانس نامی هنگامی که جریان از ۵٪ تا ۱۲۰٪ جریان نامی و خروجی ثانویه از ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ خروجی نامی تغییر می‌نماید نباید از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۴) تجاوز نماید.

کلاس‌های دقت ۰/۲S و ۰/۵S برای کاربردهای ویژه نظیر وسایل اندازه‌گیری الکتریکی که جریانهای بین ۵۰ میلی آمپر و ۶ آمپر (که به ترتیب ۱٪ و ۱۲۰٪ جریان نامی ۵ آمپر می‌باشند) را اندازه‌گیری می‌نمایند به کار می‌روند. در این حالت خطای جریان و جابه‌جایی فاز در فرکانس نامی هنگامی که جریان از ۱٪ تا ۱۲۰٪ جریان نامی و خروجی ثانویه بین ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ خروجی نامی تغییر می‌نماید، نباید از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۵) تجاوز نماید. این کلاسهای دقت می‌بایستی برای نسبت تبدیل‌های ۲۵ به ۵، ۵۰ به ۵ و یا ۱۰۰ به ۵ آمپر و دیگر مضارب ده دهی آنها و تنها برای جریان خروجی ۵ آمپر استفاده شوند.

برای کلاس ۳ و کلاس ۵، هنگامی که خروجی ثانویه بین ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ خروجی نامی تغییر می‌نماید، خطای جریان در فرکانس نامی نباید از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۶) تجاوز نماید. برای این کلاسها خطای فاز مشخص نشده است.

در کلیه حالت‌های ذکر شده به جز مواردی که خروجی کمتر از ۵ ولت آمپر باشد، خروجی ثانویه می‌بایستی دارای ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز باشد. در مواردی که خروجی کمتر از ۵ ولت آمپر باشد می‌بایستی از ضریب قدرت واحد استفاده شود. در هیچ حالتی نباید خروجی آزمون از یک ولت آمپر کمتر باشد.

ضریب اطمینان دستگاه اندازه‌گیری (FS) بیان‌کننده به اشباع رفتن ترانسفورماتور جریان در جریانهای زیاد است. این ضریب از نظر عددی برابر نسبت حد نامی جریان اولیه به جریان نامی اولیه است عموماً مقدار ۵ یا ۱۰ را دارد. ضریب اطمینان دستگاه اندازه‌گیری بعد از کلاس دقت ذکر می‌شود. مثلاً در کلاس 0.5FS5 کلاس دقت ۰/۵ و ضریب اطمینان دستگاه اندازه‌گیری ۵ است.



جدول ۲-۴: حدود خطای جریان و جابه‌جایی فاز برای ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری (کلاس ۰/۱ تا ۱)

کلاس دقت	درصد خطای جریان در درصدی از جریان نامی				خطای جابه‌جایی فاز در درصدی از جریان نامی (±)			
	دقیقه				سانتی رادیان			
	۱۲۰	۱۰۰	۲۰	۵	۱۲۰	۱۰۰	۲۰	۵
۰/۱	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۵	۵	۸	۱۵
۰/۲	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۲	۰/۲	۱۰	۱۰	۱۵	۳۰
۰/۵	۱/۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۵	۳۰	۳۰	۴۵	۹۰
۱	۳	۱/۵	۱	۱	۶۰	۶۰	۹۰	۱۸۰

جدول ۲-۵: حدود خطای جریان و جابه‌جایی فاز برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری برای کاربردهای ویژه

کلاس دقت	درصد خطای جریان در درصدی از جریان نامی (±)					خطای جابه‌جایی فاز در درصدی از جریان نامی (±)				
	دقیقه					سانتی رادیان				
	۱۲۰	۱۰۰	۲۰	۵	۱	۱۲۰	۱۰۰	۲۰	۵	۱
۰/۲ S	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۳۰
۰/۵ S	۱/۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۳۰	۳۰	۳۰	۴۵	۹۰

نکته: این جدول تنها برای ترانسفورماتورهای جریان با جریان ثانویه ۵ آمپر کاربرد دارد.

جدول ۲-۶: حدود خطای جریان برای ترانسفورماتورهای جریان (کلاس ۳ و ۵)

کلاس	درصد (مثبت و منفی) خطای جریان در درصدی از جریان نامی	
	۱۲۰	۵۰
۳	۳	۳
۵	۵	۵

برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقت ۰/۱ تا ۱ ممکن است پارامتر دیگری به نام جریان نامی افزایش یافته^۱ تعریف گردد. در این نوع ترانسفورماتورهای جریان شرایط زیر برقرار است:

- جریان نامی دائمی حرارتی با جریان نامی افزایش یافته (که به صورت درصدی از جریان نامی اولیه بیان می‌شود) برابر است.
- حدود خطای جریان و جابه‌جایی فاز که در جدول ۲-۴ برای ۱۲۰ درصد جریان نامی بیان شده است، برای جریان نامی افزایش یافته نیز برقرار است.



مقادیر استاندارد برای جریان نامی افزایش یافته عبارتند از ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درصد جریان نامی اولیه.

۲-۱۵- کلاس دقت ترانسفورماتور جریان حفاظتی

۲-۱۵-۱- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی P

چون هسته حفاظتی ترانسفورماتور جریان برای تغذیه رله‌های حفاظتی بکار می‌رود می‌بایستی عملکرد مناسبی برای جریانهای تا چندین برابر جریان نامی ناشی از اتصال کوتاه داشته و به ازاء حداکثر جریانهای اتصال کوتاه، جریان ثانویه با دقت مناسبی از جریان اولیه تبعیت نماید. این نوع ترانسفورماتورهای جریان نسبت به ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری دارای تفاوت‌های زیر هستند:

- دقت کمتر

- ولتاژ نقطه زانوی بالاتر (بند ۱-۳-۲۸).

کلاس دقت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با دو پارامتر درصد خطای دامنه و ضریب حد دقت مشخص می‌گردد. خطاهای دامنه استاندارد برابر ۵ و ۱۰ درصد بوده و ضرایب حد دقت استاندارد (ALF) نیز عبارتند از: ۳۰ - ۲۰ - ۱۵ - ۱۰ - ۵ ضریب حد دقت ضریبی از جریان نامی است که تا آن مقدار جریان، خطای مرکب ترانسفورماتور در محدوده ذکر شده باقی می‌ماند. به طور مثال هنگامی که کلاس دقت یک ترانس جریان حفاظتی "P۲۰ ۵" ذکر می‌شود مبین این مطلب است که کلاس دقت ترانسفورماتور جریان حفاظتی در خروجی نامی برابر P ۵ بوده و ضریب حد دقت آن ۲۰ می‌باشد، یعنی دقت این ترانسفورماتور جریان تا ۲۰ برابر جریان نامی و در خروجی نامی، $\pm 5\%$ درصد خواهد بود و هسته به اشباع نخواهد رفت. در ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی، در فرکانس نامی و با خروجی نامی متصل به ثانویه ترانسفورماتور جریان، خطای جریان و جابه‌جایی فاز و خطای مرکب نباید از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۷) تجاوز نماید. در هنگام انجام آزمون برای تعیین خطای جریان و جابه‌جایی فاز، خروجی می‌بایستی دارای ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز باشد. در مواردی که خروجی کمتر از ۵ ولت آمپر است ضریب قدرت یک، مجاز می‌باشد. برای تعیین خطای مرکب، با نظر سازنده، خروجی می‌بایستی دارای ضریب قدرتی بین ۰/۸ پس فاز و یک باشد.

جدول ۲-۷: حدود خطا برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با کلاس حفاظتی P

کلاس دقت	درصد خطای جریان در جریان نامی اولیه	خطای جابه‌جایی فاز در جریان نامی اولیه		در صد خطای مرکب درجریان حد دقت اولیه نامی
		دقیقه	سانتی رادیان	
P ۵	± 1	$\pm 6\%$	$\pm 1/8$	۵
P ۱۰	± 3	-	-	۱۰

انتخاب کلاس دقت ترانسهای جریان حفاظتی با توجه به مقدار جریان اتصال کوتاه و خروجی ترانس جریان صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که اگر به ترانس جریان، خروجی کمتری نسبت به مقدار نامی آن متصل شود ضریب حد دقت یا ALF آن بالاتر خواهد رفت و دقت مورد نظر تا جریانهای اتصال کوتاه با دامنه بیشتر هم به دست خواهد آمد.

تغییر ضریب حد دقت با توجه به تغییر خروجی را می توان به شکل رابطه زیر نوشت :

$$ALF' = ALF \times \frac{P_n + R_{ct} \cdot I_{sn}^2}{P + R_{ct} \cdot I_{sn}^2} \quad (3-2)$$

که در این رابطه P_n برابر مقدار خروجی نامی، P مقدار خروجی متصل به ترانسفورماتور جریان حفاظتی، R_{ct} مقاومت سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان، I_{sn} جریان نامی ثانویه و نهایتاً ALF' ضریب جدید حد دقت می باشد.

عملکرد هسته حفاظتی به ترکیب مقدار ALF ، خروجی و مقاومت سیم پیچ ثانویه بستگی دارد و می توان به عنوان مثال با بالاتر انتخاب نمودن خروجی، مقدار ALF آن را کمتر از نسبت جریان اتصال کوتاه به جریان نامی انتخاب کرد. به هر حال کلاس دقت، خروجی و ALF باتوجه به سطح اتصال کوتاه و نیازهای رله های حفاظتی متصل به ثانویه انتخاب می گردند.

نکته آخر این که با استفاده از ضریب حد دقت و توان مصرفی خروجی می توان ولتاژ نقطه زانوی ترانسفورماتور جریان را نیز محاسبه نمود. برای این کار ابتدا از رابطه زیر مقدار امپدانس بردن محاسبه می شود:

$$Z = \frac{S}{I_{sn}^2} \quad (4-2)$$

که در این رابطه

I_{sn} : جریان نامی ثانویه برحسب آمپر

S : توان مصرفی خروجی بر حسب ولت آمپر

Z : امپدانس ترانسفورماتور برحسب اهم می باشد.

پس از محاسبه Z ، ولتاژ نقطه زانویی را می توان از رابطه زیر بدست آورد [۱۴]:

$$V_{knee} \approx \frac{E_{al}}{1/25} = \frac{(Z + Z_s) \cdot ALF \cdot I_{sn}}{1/25} \quad (5-2)$$

که در رابطه فوق Z_s مقدار امپدانس سیم پیچی ثانویه بعلاوه امپدانس سیم های رابط و V_{knee} ولتاژ نقطه زانویی می باشد. E_{al} نیز حد نیروی محرکه ثانویه است.

۲-۱۵-۲- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PR

در این نوع ترانسفورماتورهای جریان، حدی برای ضریب پس ماند مشخص می شود. کلاس دقت در این نوع ترانسفورماتورها، همانند کلاس حفاظتی P بیان کننده بیشترین درصد خطای مرکب در حد جریان نامی اولیه است. کلاس دقت استاندارد برای این نوع ترانسفورماتورها عبارتند از: 5PR و 10PR، همچنین مقادیر استاندارد ضریب حد دقت (ALF) در این نوع ترانسفورماتورها همانند ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی P می باشد.

در این نوع ترانسفورماتورهای جریان، در فرکانس نامی و در حالی که خروجی نامی به ثانویه ترانسفورماتور جریان متصل است، خطای جریان، جابجائی فاز و خطای مرکب نباید از مقداری که برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی P مشخص شده است (جدول ۲-۷) بیشتر شود.

ضریب پس ماند در این نوع ترانسفورماتور نباید از ۱۰٪ بیشتر باشد.



نکته: اضافه کردن یک یا چند شکاف هوایی در هسته ترانسفورماتور باعث می شود ضریب پس ماند پایین آورده شود. ثابت زمانی حلقه ثانویه (T_s) در صورت نیاز می بایستی توسط خریدار مشخص شود. بیشترین مقاومت سیم پیچ ثانویه (R_{ct}) نیز می بایستی با توافق بین سازنده و خریدار تعیین شود.

۲-۱۵-۳- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX

عملکرد ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX با توجه به پارامترهای زیر مشخص می شود.

- ۱- جریان نامی اولیه (I_{pn})
- ۲- جریان نامی ثانویه (I_{sn})
- ۳- نسبت دور نامی (خطای نسبت دور نمی بایستی از ۰/۲۵٪ بیشتر شود)
- ۴- ولتاژ نقطه زانوی نامی (E_K)
- ۵- بیشترین مقدار جریان تحریک (I_e) در ولتاژ نقطه زانوی نامی
- ۶- بیشترین مقاومت سیم پیچ ثانویه در دمای $75^\circ C$ (R_{ct})
- ۷- بردن مقاومتی نامی (R_b)
- ۸- ضریب ابعادی (K_X)

توجه: ولتاژ نقطه زانوی نامی به صورت زیر بیان می شود:

$$E_K = K_X (R_{ct} + R_b) \times I_{sn} \quad (2-15-3)$$

۲-۱۵-۴- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی X

این کلاس حفاظتی در استاندارد BS شماره ۳۹۳۸ تعریف شده است و عموماً برای حفاظت دیفرانسیل استفاده می شود. پارامترهای ترانسفورماتور جریان در این کلاس حفاظتی به قرار زیر است:

- جریان نامی اولیه
- نسبت تبدیل
- ولتاژ نقطه زانوی نامی
- جریان مغناطیس کنندگی در ولتاژ نقطه زانوی نامی
- مقاومت سیم پیچ ثانویه تصحیح شده در دمای $75^\circ C$ یا بیشترین دمای کاری ترانسفورماتور که از $75^\circ C$ بزرگتر است.
- پارامتر مرتبط با کلاس P در استاندارد IEC یعنی E_{al} و پارامتر مرتبط با کلاس X در استاندارد BS یعنی V_{knee} را می توان به صورت $E_{al} \approx 1/25 V_{knee}$ به یکدیگر ارتباط داد.

۲-۱۵-۵- ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی C

این کلاس حفاظتی در استاندارد ANSI/IEEE شماره C57.13 تعریف شده است. در این کلاس حفاظتی، ترانسفورماتور جریان به گونه ای طراحی شده است که خطای نسبت تبدیل در فاصله بین ۱ تا ۲۰ برابر جریان نامی ثانویه بیشتر از ۱۰٪ نشود. تعریف این



کلاس به صورت Cxxx است که در این رابطه xxx مبین ولتاژ ترمینال ثانویه در ۲۰ برابر جریان نامی و با مقاومت سیم‌پیچی ثانویه R_{ct} است. در عین حال این کلاس حفاظتی تنها برای ترانسفورماتورهای جریان با جریان نامی ثانویه ۵ آمپر به کار می‌رود. برای مثال ترانسفورماتور جریان با مشخصات C200, $R_{ct} = 2\Omega$ ولتاژ ترمینال ثانویه ۲۰۰ ولت در ۲۰ برابر جریان نامی دارد ($U_B = 20 \times 5 \times 2 = 200$). معادل این ترانسفورماتور جریان در استاندارد IEC و کلاس حفاظتی P به صورت $P_n = 5^2 \times 2 = 50VA$ و $ALF \geq 20$ می‌باشد.

با اضافه کردن افت ولتاژ روی مقاومت سیم‌پیچ ثانویه برای E_{al} داریم:

$$E_{al} \approx U_B + R_{ct} \times 20 \times I_{sn} \quad (7-2)$$

۲-۱۶- انتخاب ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی برای حالات گذرا

در پارامترهای موارد به منظور تأمین نیازهای سیستم حفاظتی در بدترین شرایط پاسخ گذرا (که همان وجود جریان اتصال کوتاه نامتقارن در اثر بالا بودن مؤلفه dc می‌باشد)، از ترانسهای جریان با کلاسهای حفاظتی TP استفاده می‌شود. کلاسهای دقت استفاده شده برای برآورده نمودن شرایط حالات گذرا عبارتند از:

TPS, TPX, TPY, TPZ

مشخصات ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقتهای فوق به شرح ذیل می‌باشد:

کلاس دقت TPS: ترانسفورماتور جریان مخصوص استفاده در حالات گذرا

کلاس دقت TPX: ترانسفورماتور جریان بدون هسته هوایی (با ابعاد بزرگ)

کلاس دقت TPY: ترانسفورماتور جریان با هسته همراه با فاصله هوایی کوچک (با فلوی پسماند، اندک)

کلاس دقت TPZ: ترانسفورماتور جریان با هسته همراه با فاصله هوایی بزرگ (بدون فلوی پسماند، خطی)

۲-۱۶-۱- حدود خطا برای ترانسفورماتورهای جریان از نوع TPS:

در ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقت TPS مقدار خطای نسبت تبدیل $\left(\frac{1}{K_n}\right)$ نباید از $\pm 0.25\%$ تجاوز نماید. حد دقت که

با مشخصه مغناطیس‌شوندگی هسته ترانس و حد ولتاژ تحریک ثانویه (U_{al}) تعیین می‌شود نباید از مقدار مشخص شده فراتر رود. مقدار حد دقت می‌بایستی به گونه‌ای باشد که در ولتاژ U_{al} افزایش ۱۰ درصدی در دامنه ولتاژ تحریک، باعث افزایش بیش از ۱۰۰ درصد پیک لحظه‌ای جریان تحریک متناظر آن نشود. تعیین این حد مجاز ممکن است توسط خریدار انجام گیرد که در این صورت مقدار اندازه‌گیری شده پیک جریان تحریک، در حد ولتاژ تحریک ثانویه نباید از مقدار تعیین شده توسط خریدار تجاوز نماید. اگر هیچ محدودیتی مشخص نشده باشد، در هر حالت جریان تحریک نباید از مقدار متناظر با ۱۰ درصد I_{th} (جریان نامی حرارتی کوتاه مدت) منتقل شده به طرف ثانویه بیشتر شود.

حد ولتاژ تحریک ثانویه باید از رابطه زیر تبعیت کند:

$$U_{al} \geq K \cdot K_{SSC} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \quad (8-2)$$

در این رابطه K پارامتر ابعادی تعیین شده توسط خریدار می‌باشد. R_{ct} توسط سازنده ارائه می‌شود مگر در مواردی که خریدار جهت هماهنگی با سایر تجهیزات خود محدوده خاصی را مدنظر داشته باشد.

۲-۱۶-۲- حدود خطا برای ترانسفورماتورهای جریان از نوع TPX و TPZ:

حدود خطای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقت TPX، TPY و TPZ مطابق جدول ۸-۲ می‌باشد:

جدول ۸-۲: حدود خطای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقت TPX، TPY، TPZ

در شرایط حد دقت	در جریان نامی اولیه			کلاس دقت
	جابه جایی فاز		درصد خطای نسبت تبدیل	
	سانتی رادیان	دقیقه		
$\hat{\varepsilon} = 10$	± 0.9	± 30	± 0.5	TPX
$\hat{\varepsilon} = 10$	± 1.8	± 60	± 1	TPY
$\hat{\varepsilon}_{ac} = 10$	$5/3 \pm 0.6$	180 ± 18	± 1	TPZ

در برخی کاربردها ممکن است انحراف از مقادیر جدول فوق لازم باشد (به عنوان مثال به پیوست D3 استاندارد IEC شماره ۶-۶۰۴۴ رجوع شود). همچنین در برخی موارد و برای مجموعه‌ای از یک محصول مشخص، پایین‌بودن انحراف معیار نسبت به اندازه خطای فاز دارای اهمیت بیشتری خواهد بود.

۲-۱۶-۳- انتخاب بین کلاسهای حفاظتی گذرا

توانایی ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی گذرا را می‌توان براساس توان تلفاتی در مدار ثانویه یا براساس حداکثر ولتاژ تحریک لازم (E_{al}) ارزیابی نمود.

$$E_{al} = K_{ssc} \cdot K_{td} (R_{ct} + R_b) I_{sn} \approx \frac{P_i + P_e}{I_{sn}} K_{ssc} \cdot K_{td} \quad (2-9)$$

که P_i و P_e به ترتیب تلفات توان در سیم‌پیچ ثانویه و بردن متصل به ترانس می‌باشد. به هر حال انتخاب بین کلاسهای دقت TPX، TPY، TPS و TPZ در بسیاری از اوقات با توجه به نظرات خریدار و با توجه به نوع رله‌هایی که به ترانسفورماتور جریان اتصال یافته است، انجام می‌گیرد. بعضی ویژگیهای اصلی در انتخاب کلاس دقت به شرح ذیل می‌باشد:

۲-۱۶-۳-۱- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPS و TPX

علاوه بر اینکه ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPS باید از نوع فوران نشستی کم باشد، کنترل دقیق نسبت تبدیل این ترانسفورماتور الزامی است. این دو ویژگی (فوران نشستی کم و نسبت تبدیل دقیق) برای به کارگیری این ترانسفورماتور در طرحهای حفاظتی اتصال کوتاه فاز- فاز یا اتصال کوتاه فاز به زمین که بر پایه اصل ساده جریان گردشی و استفاده از رله‌های امپدانس بالا می‌باشند ضروری است. چون در این نوع کلاس دقت، برای فوران پس‌ماند هیچ محدوده مشخصی اعلام نشده است، اعمال حدود

برای رله‌های حفاظتی معمولاً بر پایه روابط تجربی است که از آزمون‌ها به دست آمده است. قطع جریان اولیه ترانسفورماتور جریان هنگامی که به شدت به اشباع رفته است باعث افت خیلی سریع جریان در مدار ثانویه می‌شود (در این حالت فوران از مقدار اشباع به سطح فوران پس‌ماند تنزل می‌یابد). بنابراین در ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPS، زمان تنظیم مجدد^۱ رله‌های حفاظتی معمولاً تحت تاثیر این جریان کاهش قرار نمی‌گیرد.

کلاس TPS به لحاظ اطلاعات لازم جهت سفارش، تقریباً مشابه ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی X است. مشخصات اصلی ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPX عموماً شبیه ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPS است. با این حال حدود خطای متفاوت و امکان تاثیر عواملی که اجبار به انتخاب ضریب ساخت (F_c) بزرگتر از ۱/۱ می‌نمایند کلاس TPX را از کلاس TPS متمایز می‌کند.

برای کلاس‌های TPS و TPX که در آنها $t' < t_{max}$ و $T_p \ll T_s$ است، معادله ساده شده زیر برای ضریب گذرا (تنها در یک بار برقدار شدن) حاکم است:

$$K_{tr} \approx 2\pi f \cdot T_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{t'_{al}}{T_p}}\right) + 1 \quad (۲-۱)$$

تعاریف t' , t_{max} , t'_{al} , T_p , T_s در بندهای ۱-۳-۳۱ تا ۱-۳-۳۱ آمده است.

۲-۳-۱۶-۲- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY

در ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY فوران پس‌ماند به گونه‌ای است که مقدار آن بیشتر از ۱۰ درصد فوران اشباع نشود. در طول دوره انتقال از فوران اشباع تا فوران پس‌ماند، جریان در مدار ثانویه نسبت به ترانسفورماتور جریان با کلاس TPS و TPX (با ابعاد و خروجی متصل به ثانویه مشابه) برای مدت طولانی‌تر و در مقدار بالاتری باقی می‌ماند. برای چرخه کاری C-O-C-O ضریب ابعادی گذرای لازم (K_{td})، برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY به شدت تحت تاثیر رابطه بین ثابت زمانی مدار ثانویه (T_s) و زمان مرده (t_{tr}) قرار دارد. چون خطای مجاز کل برابر ۱۰ درصد است، ضریب ابعادی گذرا می‌بایستی از رابطه زیر محاسبه شود:

$$\frac{100 K_{td}}{2\pi f T_s} = \varepsilon \leq 10\% \quad (۲-۱۱)$$

۲-۳-۱۶-۳- ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPZ

برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس دقت TPZ مقدار فوران پس‌ماند قابل صرف‌نظر کردن است و محدوده تغییرات ثابت زمانی حلقه ثانویه داده می‌شود. چنانچه پس از وقوع خطا، ترانسفورماتور جریان با کلاس دقت TPZ به شدت به اشباع رود، جریان ثانویه در لحظات اولیه نسبت به همین حالت برای کلاس TPY کاهش کمتری داشته و این امر به نوبه خود، زمان تنظیم مجدد رله



را تحت تاثیر قرار می دهد. از طرفی بسیاری از رله ها دارای مبدل های ولتاژ / جریان^۱ بوده و بنابراین تنها مولفه متناوب جریان ثانویه مورد توجه می باشد. در نتیجه عملکرد تنظیم مجدد رله ها به نحوه کم شدن جریان ترانس را بستگی زیادی نخواهد داشت.

چرخه کاری برای ترانسفورماتور جریان کلاس TPZ بر پایه رسیدن فوران به مقدار حداکثر خود تعیین می شود. چون محدوده تغییرات ثابت زمانی حلقه ثانویه مشخص است مقدار K_{td} مستقیماً تعیین می شود.

از آنجاییکه ابعاد هسته ترانسفورماتورهای جریان حالت گذرا نسبت به هسته ترانسفورماتور جریان معمولی بسیار بزرگتر است، پارامترهای مورد نیاز برای هر یک از کلاس های این نوع ترانسفورماتور باید به دقت انتخاب شود. پارامترهای مورد نیاز برای کلاس های مختلف مطابق جدول ۲-۹، می بایستی ارائه شود.

جدول ۲-۹: پارامترهای مورد نیاز جهت سفارش ترانسفورماتور جریان حالت گذرا

کلاس ترانسفورماتور جریان	TPS	TPX	TPY	TPZ
جریان نامی اولیه (I_{pn})	×	×	×	×
جریان نامی ثانویه (I_{sn})	×	×	×	×
فرکانس نامی	×	×	×	×
ولتاژ سیستم و سطح عایقی	×	×	×	×
جریان نامی کوتاه مدت حرارتی (I_{th})	×	×	×	×
جریان دینامیکی نامی (I_{dyn})	×	×	×	×
نسبت تبدیل	×	×	×	×
ضریب اتصال کوتاه متقارن نامی (K_{ssc})	×	×	×	×
ثابت زمانی اولیه (T_p)	----	×	×	×
ثابت زمانی ثانویه (T_s)	----	----	----	----
چرخه کاری در یک بار برقدار شدن: t', t'_{al} در دو بار برقدار شدن: $t', t'_{al}, t_{fr}, t'', t''_{al}$	----	×	×	----
بردن مقاومتی نامی (R_b)	×	×	×	×
ضریب ابعادی گذرا (K)	×	----	----	----
ماکزیمم I_{al} در U_{al}	×	----	----	----
مقاومت سیم پیچ ثانویه در دمای $75^\circ C$ (R_{ct})	×	----	----	----

توجه: خریدار به منظور انطباق با تجهیزات موجود ممکن است محدوددهای برای پارامترهایی مثل T_s یا R_{ct} تعیین کند.



۲-۱۷- ملزومات عایقی سیم پیچ اولیه

۲-۱۷-۱- سطوح عایقی استاندارد

سطوح عایقی استاندارد براساس حداکثر ولتاژ سیستم (U_m) برای ولتاژهای ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت در جدول (۲-۱۰) نشان داده شده است. نحوه محاسبه سطح تحمل عایقی ترانسفورماتور جریان در نشریه "هماهنگی عایقی" آمده است [۱۱].

جدول ۲-۱۰: سطوح تحمل عایقی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۰۷۱-۱

ولتاژ استقامت کوتاه مدت فرکانس قدرت [kV - r.m.s]	سطح استقامت عایقی در برابر موج ضربه صاعقه استاندارد [kV - Peak]	سطوح استقامت عایقی در برابر موج ضربه کلید زنی استاندارد [kV - Peak]	حداکثر ولتاژ سیستم U_m [kV]	ولتاژ نامی U_n [kV]
۱۴۰	۳۲۵	—	۷۲/۵	۶۳(۶۶)
۲۳۰	۵۵۰	—	۱۴۵	۱۳۲
۲۷۵	۶۵۰			
۳۶۰	۸۵۰	—	۲۴۵	۲۳۰
۳۹۵	۹۵۰			
۴۶۰	۱۰۵۰			
۵۷۰	۱۳۰۰	۹۵۰	۴۲۰	۴۰۰
۶۳۰	۱۴۲۵	۱۰۵۰		

۲-۱۸- فاصله خزشی مقره‌ها

براساس سطح آلودگی موجود در محل نصب ترانسفورماتور جریان می‌توان فاصله خزشی بر حسب mm/kV را از جدول ۲-۱۱ بدست آورد. با ضرب حداکثر ولتاژ سیستم در این مقدار، طول فاصله خزشی مقره ترانسفورماتور جریان محاسبه می‌گردد. برای طبقه‌بندی مناطق مختلف ایران از نظر سطح آلودگی می‌توان به نشریه "طبقه‌بندی شرایط آلودگی و اقلیمی" مراجعه نمود [۱۲].

جدول ۲-۱۱: حداقل فاصله خزشی براساس میزان آلودگی

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

۲-۱۹- مثال‌های کاربردی

۲-۱۹-۱- مثال کاربردی برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی P

در این بند مثالی جهت انتخاب ترانسفورماتور جریان برای پست ۲۳۰ کیلوولت آورده شده است.

- میزان رطوبت نسبی : ۸۰ درصد

- میزان آلودگی : متوسط

- نوع ترانسفورماتور از نظر عایق بندی: روغنی

ترانسفورماتور جریان مورد نظر در ورودی خطی به طول ۱۶۰ کیلومتر که به پست ۲۳۰ کیلوولت متصل است، نصب شده است. امپدانس خط انتقال برابر $0.2038 + j 0.073$ اهم در هر کیلومتر می‌باشد.

جریان نامی عبوری از خط ۹۰۰ آمپر پیش‌بینی شده و قرار است در آینده نزدیک ظرفیت عبوری از آن دو برابر شود. فرض می‌شود که به دو هسته حفاظتی و یک هسته اندازه‌گیری احتیاج است. بار متصل شده به هسته اندازه‌گیری برابر ۱۰ ولت‌آمپر است و کابل ارتباطی دارای سطح مقطع ۴ میلی‌متر مربع بوده و طول آن ۱۸۰ متر می‌باشد. بار متصل شده به هسته حفاظتی نیز یک رله دیستانس، رله حفاظت شینه و ثبات خطا به ترتیب با بردن‌های ۰/۲۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ ولت‌آمپر می‌باشد. کابل ارتباطی بین ترانس جریان و تجهیزات حفاظتی دارای سطح مقطع ۶ میلی‌متر مربع است. همچنین سطح اتصال کوتاه در شینه ۲۳۰ کیلوولت ۴۰ kA در نظر گرفته شده است.

محاسبات به شرح زیر خواهد بود:

- جریان نامی اولیه : با توجه به جریان عبوری از خط و پیش‌بینی توسعه آینده جریان نامی اولیه ۲۰۰۰ A در نظر گرفته می‌شود.

- جریان نامی ثانویه: یک آمپر انتخاب می‌شود (لازم به ذکر است که در پستهای ۲۳۰ کیلوولت به دلیل فاصله زیاد محوطه تجهیزات تا ساختمان کنترل به جهت جلوگیری از افزایش تلفات (RI^2) سیمهای ارتباطی، از جریان ثانویه یک آمپری استفاده می‌شود).

- نسبت تبدیل : این نسبت برابر است با

$$\frac{I_{pn}}{I_{sn}} = \frac{2000}{1} = 2000 \quad (2-12)$$

- تعداد تپ‌ها: با توجه به روند تدریجی رشد بار و مطالب ارائه شده در بند (۲-۸)، تعداد تپ‌ها در ثانویه برای ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری و حفاظتی برابر ۲ انتخاب می‌شود. ترانسفورماتور جریان دارای تپ‌هایی با مقاومت سیم‌پیچ ثانویه زیر در نظر گرفته می‌شود:

برای هسته حفاظتی:

$$2000/1 : R_{ct} = 4\Omega$$

$$1000/1 : R_{ct} = 2\Omega$$



برای هسته اندازه گیری:

$$200\% : R_{ct} = 4\Omega$$

$$100\% : R_{ct} = 2\Omega$$

- جریان نامی حرارتی کوتاه مدت : این پارامتر با توجه به مطالعات شبکه ۴۰ کیلوآمپر در نظر گرفته شده و مدت آن نیز یک ثانیه انتخاب می شود.
- جریان حرارتی نامی دائمی : این جریان برابر جریان نامی می باشد.
- سطح عایقی : مقادیر سطوح عایقی، مطابق نشریه "هماهنگی عایقی" محاسبه می شوند.
- محدودیت افزایش درجه حرارت: با توجه به انتخاب ترانسفورماتور جریان نوع روغنی و حداکثر افزایش درجه حرارت مجاز برابر ۶۰ درجه سانتیگراد، به دلیل ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا، افزایش مجاز درجه حرارت با توجه به بند ۲-۱۳ برابر است با:

$$60 - \frac{(1300 \times 1000) \times 0.460}{100 \times 100} = 59.28^\circ \text{C} \quad (2-13)$$

الف- کلاس دقت و بردن سیم پیچ اندازه گیری:

- ابتدا بردن نامی این سیم پیچ برابر ۳۰ ولت آمپر انتخاب می شود. کلاس دقت نیز 0.5FS5 در نظر گرفته می شود.
- بردن خروجی: بردن انتخابی باید با توجه به مصرف دستگاههای متصل شده به ثانویه و تلفات در سیمهای رابط بازبینی شود. برای هسته اندازه گیری این مقدار برابر است با :

$$R_c = 2 \times R_{cable} = 1/925\Omega \quad (2-14)$$

$$S_{burden} = R_c I^2 + S_m = 1/925(1)^2 + 10 = 11/925 \text{VA} \quad (2-15)$$

در رابطه فوق S_m بردن دستگاه اندازه گیری و R_c مقاومت مسیر رفت و برگشت کابل ۴ میلی متر مربع است.

از طرفی بردن هسته اندازه گیری در همه تپ ها باید بین ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ بردن نامی باشد. در نتیجه بردن نامی ۳۰VA، برای تپ ۲۰۰٪ مناسب است. در تپ ۱۰۰٪ نیز بردن ۱۵ ولت آمپر خواهد بود.

برای اطمینان از اینکه هسته اندازه گیری در هنگام بروز اتصال کوتاه جریان مخربی را از تجهیزات اندازه گیری نمی گذراند محاسبات زیر را انجام می دهیم.

در تپ ۲۰۰٪:

$$V_{max} = I_s \times FS \times (R_{ct} + \frac{S_n}{I_s^2}) = 1 \times 5 \times (4 + \frac{30}{1^2}) = 170 \text{V} \quad (2-16)$$

$$R_{load} = R_c + R_{burden} = 1/925 + 10 = 11/925\Omega \quad (2-17)$$

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{R_{ct} + R_{load}} = \frac{170}{4 + 11/925} = 10/68 \text{A} \quad (2-18)$$



حد جریان حرارتی کوتاه مدت تجهیز اندازه گیری ۲۵A اعلام شده است و بنابراین در این حالت در هنگام بروز اتصال کوتاه می توان از عدم آسیب دیدگی تجهیز مطمئن بود.

در تپ $\frac{100}{1}$:

$$V_{\max} = 1 \times 5 \times (2 + 15) = 85 \text{ V} \quad (19-2)$$

$$I_{\max} = 6/1 \text{ A} \quad (20-2)$$

در این تپ نیز ماکزیمم جریان ایجاد شده در ثانویه ناشی از وقوع اتصال کوتاه در شبکه از جریان حرارتی کوتاه مدت تجهیز کمتر است.

ب- کلاس دقت و بردن سیم پیچ حفاظتی

ابتدا بردن نامی این سیم پیچ برابر ۳۰ ولت آمپر انتخاب می شود. کلاس دقت نیز 5P20 فرض می شود.

- مجموع بردن حفاظتی و توان تلفاتی روی کابل با سطح مقطع ۶ میلی متر مربع از روابط زیر بدست می آید:

$$R_c = 2 \times R_{\text{cable}} = 1/3 \Omega \quad (21-2)$$

$$S_{\text{burden}} = R_c I^2 + S_p = 1/3(1)^2 + 0/6 = 1/9 \text{ VA} \quad (22-2)$$

در رابطه فوق S_p بردن رله های حفاظتی و R_c مقاومت مسیر رفت و برگشت کابل ۶ میلی متر مربع است. همانطور که مشاهده می شود بردن انتخابی مناسب است.

باتوجه به سطح اتصال کوتاه و جریان نامی انتخابی مقدار ALF' به صورت زیر بدست می آید:

$$ALF' = \frac{4000}{2000} = 20$$

در دو تپ مختلف ترانسفورماتور جریان، ALF را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$ALF = ALF' \times \frac{P + R_{ct} I_{sn}^2}{P_n + R_{ct} + I_{sn}^2} \quad (23-2)$$

برای تپ $\frac{200}{1}$:

$$ALF = 20 \times \frac{1/9 + 4 \times (1)^2}{30 + 4 \times (1)^2} = 3/47 \quad (24-2)$$

مشابهاً برای تپ $\frac{100}{1}$ داریم:

$$ALF = 20 \times \frac{1/9 + 2(1)^2}{15 + 2(1)^2} = 9/8$$

بنابراین باتوجه به مقادیر موجود کلاس 5P20 ($ALF = 20$) مناسب است.

شرایطی که تاکنون برای طراحی ترانسفورماتورهای جریان ذکر گردید، شامل شرایطی بود که اغلب توسط شبکه قدرت تعیین می شد ولی پس از انتخاب ترانسفورماتور جریان می بایستی شرایطی که مورد نیاز تجهیزات تغذیه شونده هستند نیز بررسی شود. این



شرایط تحت عنوان "ملزومات ترانسفورماتور جریان" در کاتالوگ و مشخصات فنی رله‌ها موجود می‌باشد. در ذیل مثالی جهت بررسی یکی از این شرایط آورده شده است:

$$CT : 2000-1000/1 \quad CL : 5P20 \quad VA = 30 \text{ VA} \quad R_{ct}=4\Omega$$

فرض کنید نسبت $\frac{X}{R}$ شبکه برابر ۸ است.

- ملزومات ترانسفورماتور جریان که در کاتالوگ یک نمونه رله آورده شده است به صورت ذیل می‌باشد:

- برای خطای ایجاد شده در نزدیکی محل رله:

$$E_{2max} > \frac{I_{kmax} \times I_{sn}}{I_{pn}} \times a \times (R_{ct} + R_L + \frac{VA_{relay}}{I_R^2}) \quad (25-2)$$

- برای خطای ایجاد شده در ناحیه یک (Zone 1):

$$E_{2max} > \frac{I_{kzone1} \times I_{sn}}{I_{pn}} \times k \times (R_{ct} + R_L + \frac{VA_{relay}}{I_R^2}) \quad (26-2)$$

که در آن:

I_{kmax} : حداکثر مولفه جریان با فرکانس قدرت برای خطای جلو یا پشت رله.

I_{kzone1} : حداکثر مولفه جریان با فرکانس قدرت برای خطای در ناحیه یک.

I_{pn} : جریان نامی اولیه ترانسفورماتور جریان.

I_{sn} : جریان نامی ثانویه ترانسفورماتور جریان.

I_R : جریان نامی رله.

R_{ct} : مقاومت سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان.

R_L : مقاومت کابل متصل به ثانویه ترانسفورماتور جریان.

a, k : مقادیر ثابت. این مقادیر باتوجه به اینکه نسبت $\frac{X}{R}$ برابر ۸ است از کاتالوگ رله بدست می‌آید ($a=2$, $k=4$).

ثابت زمانی T_p برابر خواهد بود با:

$$\frac{L}{R} = \frac{X}{R(2 \times \pi \times f)} = \frac{X}{R(2 \times \pi \times 50)} = 0.0255 \Rightarrow T_p = 25/5 \text{ ms} \quad (27-2)$$

$$Z_s = \frac{1/1 \times V_n}{\sqrt{3} \times I_{kmax}} = \frac{1/1 \times 23 \cdot kV}{\sqrt{3} \times 4 \cdot kA} = 3/65 \Omega \quad (28-2)$$

$$R_s = \frac{Z_s}{\sqrt{(1 + T_p^2 (2 \times \pi \times f)^2)}} = 0.453 \Omega \quad (29-2)$$

$$X_s = \sqrt{(Z_s^2 - R_s^2)} = 3/62 \Omega \quad (30-2)$$



در ناحیه ۱ و برای ۸۵ درصد طول خط خواهیم داشت:

$$Z_{set.} = R_{set.} + jX_{set.}$$

$$Z_{set.} = 0.185 \times 160 \times (0.73 + j0.28) = 9.928 + j27.72 \Omega \quad (31-2)$$

امپدانس خط:

$$Z = Z_{set.} + Z_s = 10.38 + j31.34 \Omega \quad (32-2)$$

بیشترین جریان اتصال کوتاه در ناحیه ۱:

$$I_{K Zone1} = \frac{1/1 \times V_n}{\sqrt{3} \times Z} = \frac{1/1 \times 230 \times 10^3}{\sqrt{3} \times \sqrt{(10.38)^2 + (31.34)^2}} = 4424/4 A \quad (33-2)$$

برای تپ ۲۰۰٪:

مقدار E_{2max} با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان از رابطه زیر بدست می‌آوریم:

$$E_{2max} \approx ALF \times I_{sn} \times (R_{ct} + \frac{P_n}{I_{sn}^2}) = 20 \times 1(4 + \frac{30}{1}) = 680 V \quad (34-2)$$

برای خطای نزدیک به رله، مطابق رابطه ۲-۲۵ داریم:

$$E_{req} = \frac{4000}{2000} \times 1 \times 2 \times (4 + 1/3 + \frac{0.6}{1}) = 236 V \quad (35-2)$$

برای خطا در ناحیه ۱ رله، مطابق رابطه ۲-۲۶ داریم:

$$E_{req} = \frac{4424/4}{2000} \times 1 \times 4 \times (4 + 1/3 + \frac{0.6}{1}) = 52/2 V \quad (36-2)$$

ملاحظه می‌شود که در هر دو حالت حد ولتاژ ثانویه از حداکثر ولتاژ ایجاد شده بیشتر بوده و بنابراین CT انتخاب شده مناسب

است. برای تپ ۱۰۰٪ محاسبات به صورت مشابه انجام می‌گیرد.

برای تپ ۱۰۰٪:

$$E_{2max} = 340 V$$

برای خطای نزدیک رله داریم:

$$E_{req} = 312 V$$

برای خطای ناحیه ۱ داریم:

$$E_{req} = 69 V$$

ملاحظه می‌شود در هر دو حالت رابطه $E_{2max} > E_{req}$ برقرار است و ملزومات ترانسفورماتور جریان برآورده شده است.



۲-۱۹-۲- مثال کاربردی برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی TPY

مشخصات شبکه، خط انتقال و رله همانند مثال قبل است. فرض می‌شود برای جریاندی به رله به جای استفاده از هسته حفاظتی با کلاس P از هسته حفاظتی با کلاس TPY، با یک تپ در ثانویه و به مشخصات زیر استفاده شده است:

$$TPY: 2000/\sqrt{3}, R_{ct} = 5/6 \Omega, T_p = 80 \text{ ms}, T_s = 50.1 \text{ ms}, K_{ssc} = 20, K_{td} = 10/91$$

$$R_b = 5 \Omega, C - O - C - O : 90(40) - 400 - 90(40) \text{ ms}$$

نتایج بدست آمده در مثال قبل در محاسبه جریانهای اتصال کوتاه در این قسمت نیز صادق است.

$E_{2 \max}$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{2 \max} = K_{td} K_{ssc} (R_{ct} + R_b) I_{sn} = 10/91 \times 20 \times (5/6 + 5) \times 1 = 3312/9 \text{ V} \quad (37-2)$$

بیشترین جریان اتصال کوتاه در محل رله 40 kA فرض شده است. مقدار a در رابطه ۲-۲۵ با توجه به ثابت زمانی اولیه و کاتالوگ رله ۲ فرض می‌شود. باتوجه به این مقادیر و برای خطای نزدیک رله مطابق رابطه ۲-۲۵ داریم:

$$E_{\text{req}} = \frac{40000}{2000} \times 1 \times 2 \times (5/6 + 1/3 + \frac{0.6}{(1)^2}) = 300 \text{ V} \quad (38-2)$$

بیشترین جریان اتصال کوتاه در ناحیه ۱ از رابطه ۲-۳۳ محاسبه شده است. مقدار k در رابطه ۲-۲۶ باتوجه به ثابت زمانی اولیه و کاتالوگ رله ۴ فرض می‌شود برای خطا در ناحیه ۱ رله، مطابق رابطه ۲-۲۶ داریم:

$$E_{\text{req}} = \frac{4424/4}{2000} \times 1 \times 4 (5/6 + 1/3 + \frac{0.6}{(1)^2}) = 66/4 \text{ V} \quad (39-2)$$

ملاحظه می‌شود در هر دو حالت رابطه $E_{2 \max} > E_{\text{req}}$ برقرار است و ملزومات ترانسفورماتور جریان برآورده شده است.



پیوست (۱-۲): معادلات تئوری پایه برای ابعادیابی حالت گذرا

۱- جریان اتصال کوتاه

رابطه کلی مقدار لحظه‌ای جریان اتصال کوتاه با مولفه متقارن I_{psc} را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$i(t) = \sqrt{2}I_{psc} \left[e^{-t/T_p} \cdot \cos \theta - \cos(\omega t + \theta) \right] \quad (۴۰-۲)$$

جریان کاملاً جابه جاشده^۱ است هنگامی که $\theta = 0$ باشد:

$$i(t) = \sqrt{2}I_{psc} \left[e^{-t/T_p} - \cos(\omega t) \right] \quad (۴۱-۲)$$

۲- ضریب ابعادی گذرا

ضریب گذرا برای یک جریان کاملاً "جابه جاشده" اتصال کوتاه بعد از زمان t (معادله ۲) به صورت زیر است:

$$K_{tf} = \left[\omega T_p T_s / (T_p - T_s) \right] (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) - \sin \omega t \quad (۴۲-۲)$$

هنگامی که محاسبه ضریب گذرا برای ابعادیابی ترانس جریان لازم است، رابطه فوق با جایگزینی $\sin \omega t = -1$ ساده خواهد

شد. K_{tf} در زمان $t=t_{max}$ دارای ماکزیمم مقدار خود خواهد بود و مقدار t_{max} نیز به صورت زیر است:

$$t_{max} = \left[T_p \cdot T_s / (T_p - T_s) \right] \ln(T_p / T_s) \quad (۴۳-۲)$$

و ماکزیمم K_{tf} نیز برابر خواهد بود با:

$$K_{tfmax} = \omega T_p (T_p / T_s)^{T_p / (T_s - T_p)} + 1 \quad (۴۴-۲)$$

برای چرخه کاری C-O، ضریب ابعادیابی گذرا به صورت زیر خواهد بود:

$$K_{td} = \left[\omega T_p T_s / (T_p - T_s) \right] (e^{-t_{al}^*/T_p} - e^{-t_{al}^*/T_s}) + 1 \quad (۴۵-۲)$$

برای چرخه کاری C-O-C-O ضریب ابعادیابی گذرا به صورت زیر خواهد بود:

$$K_{td} = \left\{ \left[\omega T_p T_s / (T_p - T_s) \right] [e^{-t^*/T_p} - e^{-t_{al}^*/T_s}] - \sin \omega t^* \right\} e^{-(t_{fr}^* + t_{al}^*)/T_s} + \left[\omega T_p T_s / (T_p - T_s) \right] [e^{-t_{al}^*/T_p} - e^{-t_{al}^*/T_s}] + 1 \quad (۴۶-۲)$$



فصل ۲

آزمونهای ترانسفورماتور جریان



مقدمه

در این فصل آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای جریان جهت حصول اطمینان به عملکرد صحیح آنها بیان می گردد.

۳-۱- آزمونهای نوعی

فهرست آزمونهای نوعی به قرار زیر است:

- ۱- آزمونهای جریان کوتاه مدت (۳-۱-۱)
- ۲- آزمون افزایش دما (۳-۱-۲)
- ۳- آزمون موج ضربه صاعقه (۳-۱-۳)
- ۴- آزمون موج ضربه کلیدزنی (۳-۱-۳)
- ۵- آزمون با شرایط مرطوب برای ترانسفورماتورهای نصب شده در محوطه روباز (۳-۱-۴)
- ۶- آزمون اندازه گیری دقت (۳-۱-۵، ۳-۱-۶ و ۳-۱-۷)
- ۷- آزمون ولتاژ تداخل رادیویی (۳-۱-۸)

تمامی آزمونهای عایقی باید بر روی یک ترانسفورماتور انجام پذیرد مگر اینکه شرایط دیگری مشخص شده باشد. پس از انجام آزمونهای عایقی، آزمونهای جاری روی همان ترانسفورماتورها انجام می گیرد.

۳-۱-۱- آزمونهای جریان کوتاه مدت

برای آزمون جریان حرارتی کوتاه مدت (I_{th})، ابتدا ترانسفورماتور می بایستی در محیطی با درجه حرارت بین ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد. این آزمون با اتصال کوتاه نمودن سیم پیچهای ثانویه و در جریان I که برای مدت زمان t (بین ۵ تا ۰/۵ ثانیه) تداوم می یابد انجام می گیرد و در این حالت مقدار $I^2 t$ نباید کمتر از $(I_{th})^2 t$ باشد. آزمون دینامیکی می بایستی با اتصال کوتاه نمودن سیم پیچهای ثانویه و با جریان اولیه ای که مقدار پیک آن بالاتر از مقدار جریان دینامیکی اولیه (I_{dyn}) است انجام گیرد (برای حداقل یک پیک). می توان آزمون دینامیکی را با آزمون حرارتی فوق ترکیب نمود مشروط به اینکه مقدار پیک جریان آزمون از جریان نامی دینامیکی (I_{dyn}) کمتر نباشد. ترانسفورماتور جریان آزمون را با موفقیت گذرانده است اگر پس از اینکه دمای ترانسفورماتور به دمای محیط (بین ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد) رسید شرایط ذیل را برآورده سازد:

الف - صدمه دیدگی قابل تشخیص با چشم نداشته باشد.

ب - خطاهای قبل و بعد از آزمون نباید بیش از نصف حدود مشخص شده (متناظر با کلاس دقت مربوطه) باشد.

ج - در مقابل آزمونهای عایقی ذیل که با ۹۰٪ مقدار ولتاژ یا جریان مربوطه انجام می شود ایستادگی نماید:

- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت روی سیم پیچهای اولیه و اندازه گیری تخلیه جزئی

- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت بین قسمتهای سیم پیچهای اولیه و ثانویه و روی سیم پیچ ثانویه

- آزمون اضافه ولتاژ بین حلقه‌ها

د - عایق مجاور سطح هادی، هیچ تخریب قابل مشاهده‌ای (مانند کربنیزه شدن) نداشته باشد.

اگر چگالی جریان در سیم‌پیچ اولیه (متناظر با جریان نامی حرارتی کوتاه مدت) از مقادیر زیر بیشتر نباشد برآورده شدن شرط بند "د" لازم نیست :

- ۱۸۰ آمپر بر میلی‌متر مربع در جایی که سیم‌پیچ مسی باشد و هدایت مس از ۹۷ درصد مقدار بیان شده در استاندارد IEC شماره

۶۰۰۲۸ کمتر نباشد (در این استاندارد هدایت الکتریکی مس در دمای 20°C بزرگتر یا مساوی مقدار $\frac{m}{\text{ohm.mm}^2}$ ۵۸ در نظر

گرفته شده است).

- ۱۲۰ آمپر بر میلی‌متر مربع در جایی که سیم‌پیچ آلومینیومی باشد و هدایت آن از ۹۷ درصد مقدار بیان شده در استاندارد IEC

شماره ۶۰۱۲۱ کمتر نباشد (در این استاندارد هدایت الکتریکی آلومینیوم در دمای 20°C بزرگتر یا مساوی مقدار

$\frac{m}{\text{ohm.mm}^2}$ ۳۵/۷ در نظر گرفته شده است).

آزمونها نشان می‌دهند، به شرط آنکه چگالی جریان در سیم‌پیچ اولیه (متناظر با جریان حرارتی کوتاه مدت) از مقادیر اشاره شده فوق بیشتر نباشد، ملزومات مربوط به مقادیر نامی حرارتی معمولاً در شرایط کلاس عایقی A برآورده می‌شود.

اگر توافقی بین سازنده و خریدار صورت گیرد، برآورده شدن این ملزومات می‌تواند توسط آزمایش عایقی مشخص گردد.

۳-۱-۲- آزمون افزایش دما

این آزمون جهت اثبات برآورده شدن ملزومات "محدودیت افزایش درجه حرارت" می‌بایستی انجام شود. ترانسفورماتور هنگامی از لحاظ درجه حرارت در شرایط ماندگار در نظر گرفته می‌شود که نرخ افزایش درجه حرارت از یک درجه در ساعت بیشتر نباشد. درجه حرارت محیط انجام آزمون بایستی بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد باشد.

برای این آزمون، ترانسفورماتور جریان می‌بایستی مطابق شرایط کاری خود، مونتاژ کامل شده باشد.

افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ‌ها (در هر جا که عملی باشد) بوسیله روش اندازه‌گیری افزایش مقاومت تعیین می‌شود ولی برای سیم‌پیچ‌های با مقاومت خیلی پایین می‌توان از روش ترموکوپل نیز استفاده نمود.

افزایش درجه حرارت قسمت‌های مختلف (غیر از سیم‌پیچ) می‌تواند توسط دماسنج یا ترموکوپل اندازه‌گیری شود.

۳-۱-۳- آزمونهای موج ضربه روی سیم‌پیچ اولیه

۳-۱-۳-۱- کلیات

این آزمون می‌بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰-۱ انجام شود. ولتاژ آزمون باید بین ترمینالهای سیم‌پیچ اولیه (متصل به یکدیگر) و زمین اعمال شود. بدنه، هسته (اگر ترمینال زمین برای آن تعبیه شده باشد) و تمام ترمینالهای سیم‌پیچ‌های ثانویه می‌بایستی به زمین متصل شوند.



آزمونهای موج ضربه معمولاً شامل اعمال سطوح ولتاژ نامی و مبنا است. ولتاژ آزمون موج ضربه مبنا می‌بایستی بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ ولتاژ تحمل نامی در برابر موج ضربه باشد. پیک موج و شکل موج ولتاژها می‌بایستی ثبت شود. وجود صدمه دیدگی و خرابی عایق ناشی از انجام آزمون را می‌توان با مشاهده تغییرات در شکل موج ولتاژ تحمل نامی و مبنا بدست آورد. برای آشکار نمودن بهتر شکست عایق ثبت جریان زمین (علاوه بر ثبت ولتاژها) را نیز می‌توان مورد نظر قرار داد.

۳-۱-۳-۲- آزمون موج صاعقه

ولتاژ آزمون مطابق جدول (۲-۱۰) و (۲-۱۱) و با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیزات (U_m) و سطح عایقی مشخص شده انتخاب می‌شود.

- سیم‌پیچهای با ولتاژ نامی $U_m < 300 \text{ kV}$

آزمون می‌بایستی با هر دو پلاریته مثبت و منفی انجام شود. پانزده موج متوالی از هر پلاریته بدون در نظر گرفتن تصحیحات ناشی از شرایط جوی، باید اعمال شود. ترانسفورماتور آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر برای هر پلاریته :

- هیچگونه تخلیه مخربی بین عایقهای داخلی غیر خود ترمیم صورت نگیرد.
- هیچگونه جرقه‌ای روی عایقهای خارجی غیر خود ترمیم رخ ندهد.
- بیشتر از دو جرقه روی عایقهای خارجی خود ترمیم صورت نگیرد.
- هیچگونه موردی از شکست عایقی مشاهده نشود (بطور مثال تغییرات شکل موج کمیات ثبت شده).

نکته : اعمال ۱۵ موج با پلاریته مثبت و ۱۵ موج با پلاریته منفی برای آزمون عایقهای خارجی تعیین شده است. اگر آزمونهای دیگری جهت آزمون عایقهای خارجی بین خریدار و سازنده توافق شود، تعداد موجهای صاعقه می‌بایستی به ۳ موج از هر پلاریته کاهش یابد. برای حالت اخیر نباید تصحیحی به منظور در نظر گرفتن شرایط جوی انجام داد.

- سیم‌پیچهای با ولتاژ نامی $U_m \geq 300 \text{ kV}$

آزمون باید با هر دو پلاریته مثبت و منفی انجام شود. سه موج متوالی از هر پلاریته بدون در نظر گرفتن تصحیحات ناشی از شرایط جوی می‌بایستی اعمال شود. ترانسفورماتور آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر :

- هیچگونه تخلیه مخربی صورت نگیرد.
- هیچگونه موردی از شکست عایقی مشاهده نشود (بطور مثال تغییرات شکل موج کمیات ثبت شده).

۳-۱-۳-۳- آزمون موج کلیدزنی

ولتاژ آزمون می‌بایستی مطابق با جدول (۲-۱۰) و با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیزات (U_m) و سطح عایقی مشخص شده انتخاب شود. پانزده موج متوالی با پلاریته مثبت که بر اساس شرایط محیطی اصلاح شده‌اند می‌بایستی اعمال شود. برای ترانسفورماتورهای جریان نصب شده در محوطه روباز، آزمون می‌بایستی تحت شرایط مرطوب که در ادامه آمده است انجام شود. ترانسفورماتور آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر:

- هیچگونه تخلیه مخربی روی عایقهای داخلی غیر خود ترمیم مشاهده نشود.

- هیچگونه جرقه‌ای روی عایقهای خارجی غیرخود ترمیم مشاهده نشود.
 - بیش از دو جرقه روی عایقهای خارجی خود ترمیم صورت نگیرد.
 - هیچگونه موردی از شکست عایقی مشاهده نشود (بطورمثال تغییرات شکل موج کمیات ثبت شده)
- نکته: موجهای ضربه همراه با جرقه روی دیوار و سقف آزمایشگاه می‌بایستی نادیده گرفته شود.

۳-۱-۴- آزمون تحت شرایط مرطوب برای ترانسفورماتورهای جریان نصب شده در محوطه روباز

رویه مرطوب‌سازی (باران مصنوعی) بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۶۰ انجام گیرد.

برای سیم‌پیچهای دارای $U_m < 30 \text{ kV}$ ، آزمون می‌بایستی با ولتاژ فرکانس قدرت و با پلارته مثبت، مطابق مقادیر ارائه شده در جدول (۱۰-۲) (با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیزات) انجام شود. اعداد می‌بایستی مطابق شرایط محیطی تصحیح شوند.

برای سیم‌پیچهای دارای ولتاژ $U_m \geq 30 \text{ kV}$ ، آزمون می‌بایستی با ولتاژ موج کلیدزنی با پلارته مثبت مطابق با مقادیر ارائه شده در جدول (۱۰-۲) (با توجه به بیشترین ولتاژ تجهیزات و کلاس عایقی نامی) انجام شود.

۳-۱-۵- آزمون اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری

این آزمون می‌بایستی برای بررسی حدود خطای دامنه و فاز ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری انجام شود.

برای ترانسفورماتورهای با کلاس دقت ۰/۱ تا ۱ آزمون باید برای هر مقداری از جریان ارائه شده در جدول (۲-۴) در ۲۵٪ و ۱۰۰٪ بردن نامی انجام شود (حداقل بردن در این آزمون یک ولت آمپر است).

برای ترانسفورماتورهای جریان با جریان نامی افزایش یافته بزرگتر از ۱۲۰٪، آزمون می‌بایستی در جریان اولیه نامی افزایش یافته (بجای ۱۲۰٪ جریان نامی) انجام شود.

درخصوص ترانسفورماتورهای کلاس ۳ و کلاس ۵ آزمون می‌بایستی با دو مقدار ارائه شده در جدول (۲-۶) و در ۵۰٪ و ۱۰۰٪ بردن نامی انجام گیرد (حداقل یک ولت آمپر).

آزمون نوعی دیگری نیز برای اطمینان از عملکرد مناسب ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری در جریانهای بزرگتر از حد نامی جریان اولیه تجهیز می‌تواند انجام شود. روش انجام این آزمون به قرار زیر است:

در حالیکه سیم‌پیچهای اولیه به صورت مدار باز است، سیم‌پیچ ثانویه در فرکانس نامی بوسیله یک ولتاژ کاملاً سینوسی که دارای مقدار مؤثری برابر با حد نیروی محرکه ثانویه می‌باشد تحریک می‌شود. جریان تحریک ایجاد شده (I_{exc}) که به صورت درصدی از مقدار جریان نامی ثانویه (I_{sn}) ضربدر ضریب اطمینان تجهیز (FS) بیان می‌شود می‌بایستی بزرگتر یا مساوی مقدار خطای مرکب ۱۰٪ باشد.

$$\frac{I_{exc}}{I_{sn} FS} \times 100 \geq 10$$

(۱-۳)

اگر نتایج این آزمون مورد پذیرش نبود می‌بایستی آزمونی به روش مستقیم انجام گیرد که نتایج این آزمون قطعی است (به آزمون مستقیم در بند ۳-۱-۶ اشاره شده است).



نکته: بزرگترین مزیت روش آزمون غیرمستقیم آن است که عبور جریانهای بالا از اولیه لازم نبوده (بطور مثال به جریان 30 kA برای انجام آزمون روی تجهیز با جریان نامی اولیه 3 kA و ضریب اطمینان تجهیز 10 ، نیازی نیست) و همچنین به ساخت بردن نامی نیز نیازی نیست. هادیهای برگشتی اولیه تأثیر چندانی در آزمون غیرمستقیم ندارند. تحت شرایط کاری، این اثرات تنها می‌تواند خطای مرکب را افزایش دهد که برای حفاظت تجهیزات متصل به ترانسفورماتور اندازه‌گیری در برابر جریانهای بالامطلوب نیز خواهد بود.

۳-۱-۶- آزمون خطای مرکب برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

الف - برآورده شدن حدود خطای مرکب ارائه شده در جدول (۲-۷) می‌بایستی توسط یک آزمون مستقیم اثبات شود که در آن جریانی کاملاً سینوسی برابر با جریان نامی حد دقت اولیه از سیم‌پیچی اولیه عبور کرده و سیم‌پیچی ثانویه به باری که توان آن برابر بردن نامی است، در ضریب قدرتی بین $0/8$ پس فاز و یک (با نظر سازنده) متصل است.

آزمون را می‌توان روی یک ترانسفورماتور مشابه ترانسفورماتور خریداری شده انجام داد. باید توجه داشت که می‌بایستی همان ترکیب هندسی حفظ شود. در این ترانسفورماتور از عایق کمتری می‌توان استفاده نمود.

در جایی که جریانهای اولیه بسیار بالا است و از ترانسفورماتورهای جریان با سیم‌پیچی اولیه تک‌میله‌ای استفاده می‌شود، فاصله بین هادی جریان برگشتی و ترانسفورماتور جریان می‌بایستی مشابه با شرایط بهره‌برداری تنظیم شود.

ب - برای ترانسفورماتورهای جریان دارای هسته‌های حلقوی اساساً پیوسته^۱، سیم‌پیچهای ثانویه با توزیع یکنواخت و ترانسفورماتورهای دارای هادی اولیه واقع در مرکز یا دارای سیم‌پیچ اولیه با توزیع یکنواخت، می‌توان آزمون غیرمستقیم را جایگزین آزمون مستقیم نمود. در آزمون غیرمستقیم تأثیر هادی برگشتی اولیه نادیده گرفته می‌شود. این آزمون در بند ۳-۱-۶-۲ آمده است.

- در محاسبه حد نیروی محرکه ثانویه، امپدانس سیم‌پیچ ثانویه می‌بایستی برابر مقاومت سیم‌پیچ ثانویه اندازه‌گیری شده در دمای اتاق و تصحیح شده در دمای 75 درجه سانتی‌گراد فرض شود.

- در اندازه‌گیری خطای مرکب به روش غیرمستقیم، نیازی به در نظر گرفتن این احتمال که بین نسبت تبدیل و نسبت تبدیل نامی اختلاف وجود دارد نیست.

۳-۱-۶-۱- آزمون مستقیم

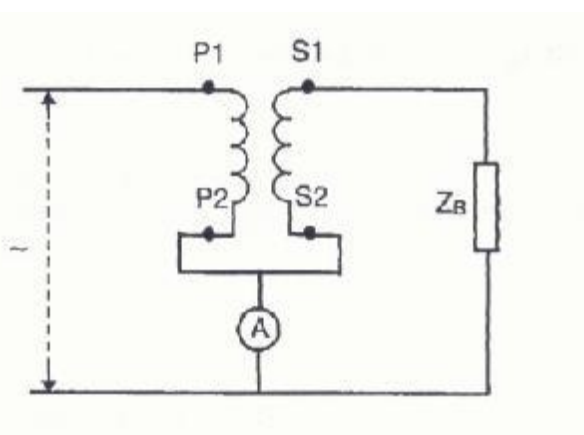
شکل (۳-۱) یک ترانسفورماتور جریان که دارای نسبت یک به یک است را نشان می‌دهد. این ترانسفورماتور جریان به یک منبع جریان سینوسی و بردن ثانویه Z_B (با مشخصات خطی) متصل است. هر دو جریان اولیه و ثانویه از آمپرتر عبور می‌کنند (البته در جهت مخالف هم). در این حالت جریان عبوری از آمپرتر با جریان تحریک برابر خواهد بود و مقدار موثر این جریان که با مقدار موثر جریان اولیه متناسب است، خطای مرکب است که رابطه آن در بند ۱-۳۲ بیان شد. بنابراین شکل (۳-۱) مدار پایه‌ای برای اندازه‌گیری خطای مرکب به روش مستقیم را بیان می‌دارد.

برای ترانسفورماتورهای جریانی که دارای نسبت تبدیلی غیر از یک می‌باشند می‌توان از مدار شکل ۳-۲ استفاده نمود. این شکل دو ترانسفورماتور جریان با نسبت تبدیل نامی یکسان را نشان می‌دهد. ترانسفورماتور جریانی که با حرف "N" نشان داده شده است در شرایط غالب (کمترین خروجی) دارای خطای مرکب قابل چشم‌پوشی است و ترانسفورماتور جریانی که با حرف "X" نشان داده

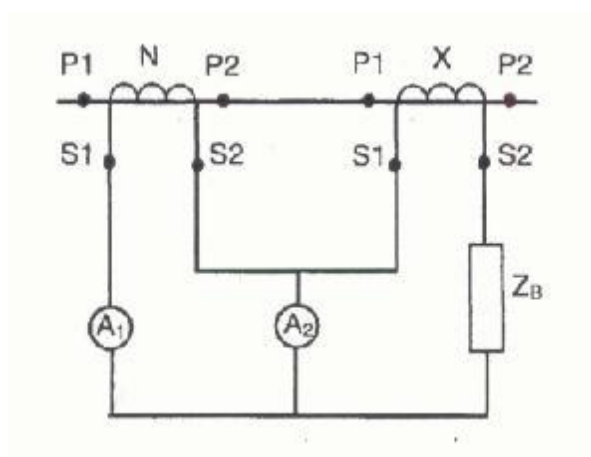
1. Substantially continuous ring cores

شده است به خروجی نامی متصل است. اولیه هر دو آنها به یک منبع جریان سینوسی متصل بوده و از یک آمپر متر برای اندازه گیری اختلاف جریان ثانویه دو ترانسفورماتور جریان استفاده شده است. تحت این شرایط مقدار موثر جریان آمپر متر A_2 نسبت به مقدار موثر جریان آمپر متر A_1 ، مقدار خطای مرکب ترانسفورماتور "X" است که به درصد بیان می شود.

با این روش لازم است که خطای مرکب ترانسفورماتور "N" تحت شرایط انجام این آزمون قابل صرف نظر کردن باشد. به دلیل طبیعت پیچیده خطای مرکب (برای مثال وقتی شکل موج دارای اعوجاج است)، حتی اگر خطای مرکب ترانسفورماتور مرجع N در اختیار باشد نمی توان نتایج آزمون را باتوجه به آن تصحیح کرد.

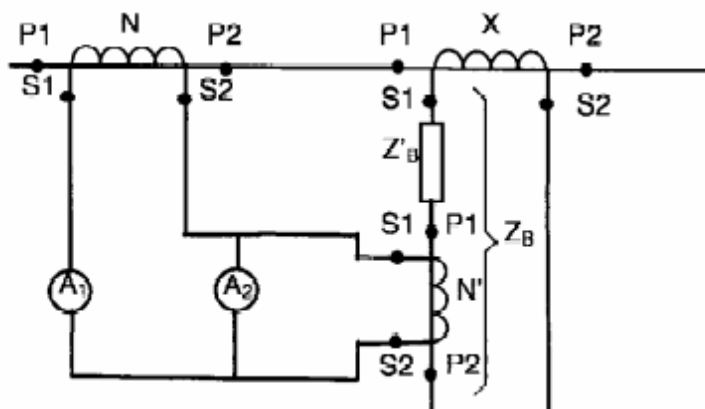


شکل ۳-۱: اندازه گیری خطای مرکب به روش مستقیم با استفاده از ترانسفورماتور جریانی با نسبت یک به یک



شکل ۳-۲: اندازه گیری خطای مرکب به روش مستقیم با استفاده از ترانسفورماتور جریان با نسبت تبدیل غیر یک





شکل ۳-۳: اندازه‌گیری مستقیم خطای مرکب به روش جایگزین

در عین حال از روش‌های جایگزین نیز می‌توان برای اندازه‌گیری خطای مرکب استفاده کرد. یکی از این روش‌ها در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

درحالی‌که روش نشان داده شده در شکل ۳-۲ به یک ترانسفورماتور مرجع N (که نسبت تبدیلی نامی آن مشابه با ترانسفورماتور X بوده و نیز در حد دقت جریان اولیه، خطای مرکب آن قابل چشم‌پوشی است) نیازمند است روش نشان داده شده در شکل ۳-۳ ترانسفورماتورهای جریان مرجع N و N' را در جریانهای نامی اولیه‌شان به کار می‌گیرد. با این حال برای این ترانسفورماتورهای مرجع نیز خطای مرکب باید قابل صرف‌نظر کردن باشد (این شرط ساده‌تر برآورده می‌شود).

در شکل ۳-۲ ترانسفورماتور مورد آزمون با X نشان داده شده است و N ترانسفورماتور مرجع استاندارد است که جریان نامی اولیه‌ای به اندازه جریان حد دقت نامی ترانسفورماتور X دارد (جیرانی که آزمون در آن انجام می‌پذیرد). ترانسفورماتور مرجع استاندارد N' نیز جریان نامی اولیه‌ای با دامنه جریان ثانویه معادل جریان حد دقت ترانسفورماتور X دارد.

باید توجه کرد که ترانسفورماتور N' قسمتی از بردن Z_B ترانسفورماتور X محسوب می‌شود و بنابراین باید در هنگام محاسبه Z_B' لحاظ شود. A_1 و A_2 نمایانگر آمپرمترها هستند. آمپرتر A_2 اختلاف بین جریانهای ثانویه ترانسفورماتورهای N و N' را نشان می‌دهد.

چنانچه نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور N ، K_n و نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور X ، K_{nx} و نسبت تبدیل ترانسفورماتور N' ،

K_n' باشد، نسبت K_n باید با حاصلضرب K_n' و K_{nx} برابر باشد.

$$K_n = K_n' \times K_{nx} \quad (۳-۲)$$

تحت این شرایط مقدار مؤثر جریان در آمپرتر A_2 تقسیم بر مقدار جریان در آمپرتر A_1 ، خطای مرکب ترانسفورماتور X را نشان می‌دهد. این نسبت به صورت درصد بیان می‌شود.

توجه: در هنگام استفاده از روش‌های نشان داده شده در شکل‌های ۳-۲ و ۳-۳، باتوجه به اینکه ولتاژ دو سر A_2 در شکل ۳-۲ و مقدار ولتاژ دو سر A_2 تقسیم بر نسبت تبدیل ترانسفورماتور N در شکل ۳-۳، قسمتی از بردن ترانسفورماتور X را تشکیل می‌دهد و این ولتاژ به گونه‌ای است که مقدار بردن دیده شده توسط ترانسفورماتور مورد آزمون را کاهش می‌دهد، امپدانس آمپرتر A_2 باید پایین باشد. به طور مشابه، این ولتاژ باعث افزایش بردن در ترانسفورماتور N نیز می‌شود.

۳-۶-۲-آزمون غیرمستقیم

در حالی که سیم‌پیچ‌های اولیه به صورت مدار باز است، سیم‌پیچ ثانویه در فرکانس نامی بوسیله ولتاژی کاملاً سینوسی که دارای مقدار موثری برابر با حد نیروی محرکه ثانویه می‌باشد تغذیه می‌گردد.

باتوجه به کلاس دقت ترانس جریان، جریان تحریک ایجاد شده (I_{exc})، که بصورت درصدی از جریان نامی ثانویه (I_{sn}) ضربدر ضریب حد دقت (ALF) بیان می‌شود می‌بایستی کوچکتر یا مساوی حد خطای مرکب ذکر شده در جدول ۲-۷ باشد.

۳-۷-۱-آزمون بازبینی پایین بودن راکتانس نشی برای ترانسفورماتور جریان حفاظتی با کلاس PX

به منظور اثبات پایین بودن راکتانس نشی برای این نوع ترانسفورماتورها، می‌بایستی موارد ذیل بوسیله نقشه‌ها و مدارک ترانسفورماتور نشان داده شود:

۱- ترانسفورماتور جریان دارای هسته‌ای حلقوی با فاصله هوایی توزیع شده یکنواخت باشد.

۲- سیم‌پیچ ثانویه به طور یکنواخت توزیع شده باشد.

۳- هادی اولیه در جهت‌های مختلف متقارن باشد.

۴- تاثیر هادی‌های مجاور بیرون از محفظه ترانسفورماتور جریان و فازهای کناری قابل چشم‌پوشی باشد.

چنانچه به هر علتی ارجاع به نقشه‌ها و مدارک ترانسفورماتور برای اثبات پایین بودن راکتانس نشی ترانسفورماتور مورد قبول خریدار و سازنده نباشد، در این صورت خطای مرکب برای کل سیم‌پیچ ثانویه، در جریان ثانویه $K_X \times I_{sn}$ و بردن ثانویه R_b و با استفاده از یکی از روش‌های مستقیم که در بند ۳-۶-۱ بیان شد اندازه‌گیری می‌شود.

در صورتیکه خطای مرکب بدست آمده از روش مستقیم کمتر از ۱/۱ برابر خطای محاسبه شده با استفاده مشخصه تحریک ثانویه باشد، پایین بودن راکتانس نشی اثبات می‌شود.

توجه: ممکن است تجهیزات سازنده قابلیت تولید جریان اولیه مورد نیاز برای انجام آزمون خطای مرکب مستقیم را نداشته باشد. انجام آزمون در جریان اولیه پایین‌تر می‌تواند بین سازنده و خریدار توافق شود.

۳-۸-۱-آزمون ولتاژ تداخل رادیویی

ترانسفورماتور جریان، با تجهیزات کامل و در یک وضعیت خشک و بدون آلودگی و در دمایی تقریباً برابر دمای اتاق مورد آزمون واقع می‌شود. این آزمون برای ترانسفورماتورهای جریان که حداکثر ولتاژ سیستم بزرگتر از ۱۳۲ کیلوولت دارند انجام می‌شود.

آزمون باید تحت شرایط آب و هوایی زیر انجام گیرد:

- دمای بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد

- فشار بین $10^5 \times 0.87$ و $10^5 \times 1.07$ پاسکال

- رطوبت نسبی بین ۴۵ تا ۷۵ درصد

با توافق بین خریدار و سازنده، آزمون می‌تواند در شرایط آب و هوایی غیر از مقادیر فوق انجام شود. هیچ ضریب تصحیحی مطابق آنچه که در IEC شماره ۱-۶۰۰۶۰ بیان شده است برای اعمال شرایط آب و هوایی لازم نیست.



اتصالات آزمون نمی‌بایستی منبع تولید ولتاژ تداخل رادیویی باشد. در نظر گرفتن شیلد برای ترمینال‌های اولیه و شبیه‌سازی شرایط کاری به منظور جلوگیری از وقوع تخلیه الکتریکی خطرناک می‌بایستی انجام گیرد. استفاده از قطعاتی نظیر استوانه توخالی با سرهای کروی شکل توصیه می‌شود.

ولتاژ آزمون می‌بایستی بین یکی از ترمینال‌های سیم‌پیچ اولیه شیء مورد آزمون (C_a) و زمین اعمال شود. بدنه، محفظه، هسته (چنانچه تمهیدی برای زمین کردن آن اندیشیده شده باشد) و تمامی ترمینال‌های سیم‌پیچ ثانویه می‌بایستی به زمین متصل شوند. مدار اندازه‌گیری مطابق نشریه CISPR شماره ۲-۱۸ است (شکل ۳-۴). این مدار آزمون می‌بایستی در فرکانسی بین ۰/۵MHz تا ۲MHz تنظیم شود. فرکانس اندازه‌گیری می‌بایستی ثبت شده و نتایج می‌بایستی در واحد میکروولت بیان شود. امپدانس بین هادی مورد آزمون و زمین ($Z_s + (R_1 + R_2)$) در شکل ۳-۴ می‌بایستی مقدار $40 \pm 300 \Omega$ باشد. زاویه فاز این امپدانس نمی‌بایستی از ۲۰ درجه بیشتر باشد.

خازن C_s ممکن است به جای فیلتر Z_s استفاده شود. ظرفیت 1000 pF عموماً برای این خازن مناسب است.

توجه: استفاده از خازن فوق ممکن است باعث شود فرکانس تشدید به شدت کم شود.

به منظور جلوگیری از این مسئله می‌توان از یک خازن با طراحی ویژه استفاده کرد.

به منظور جداسازی منبع فرکانس قدرت از مدار اندازه‌گیری، فیلتر Z می‌بایستی امپدانس بالائی را در فرکانس اندازه‌گیری نشان دهد. مقدار مناسب این امپدانس در فرکانس اندازه‌گیری بین 10000Ω تا 20000Ω است.

در ابتدای آزمون، ترانسفورماتور باید با ولتاژ $\frac{1/8 U_m}{\sqrt{3}}$ به مدت ۳۰ ثانیه تحت تنش قرار گیرد. سپس ولتاژ آزمون در زمان ۱۰ ثانیه

تا سطح $\frac{1/8 U_m}{\sqrt{3}}$ کاهش پیدا می‌کند و قبل از اندازه‌گیری ولتاژ تداخل رادیویی، ولتاژ آزمون به مدت ۳۰ ثانیه در همین مقدار ثابت

نگهداشته می‌شود. تجهیزات جانبی از این نظر که ممکن است منبع تولید اغتشاش بوده و روی ترانسفورماتور جریان و مدار اندازه‌گیری در حین آزمون تأثیرگذار باشند می‌بایستی مورد توجه واقع شوند. سطح اغتشاشات زمینه (اغتشاشات رادیویی که بواسطه میدان خارجی ترانس فشارقوی بوجود می‌آید) باید حداقل ۴dB (ترجیحاً ۱۰dB) پایین‌تر از سطح اغتشاشات مشخص شده باشد. ترانسفورماتور جریان در صورتی این آزمون را با موفقیت پشت‌سر می‌گذارد که ولتاژ تداخل رادیویی در ولتاژ $\frac{1/8 U_m}{\sqrt{3}}$ از

۲۵۰۰ میکروولت بیشتر نشود.

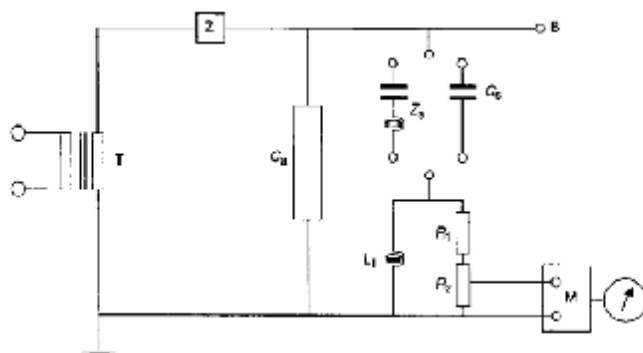
روش‌های کالیبره کردن تجهیزات و مدار اندازه‌گیری در نشریه CISPR شماره ۲-۱۸ آورده شده است.

توجه: با توافق بین خریدار و سازنده این آزمون می‌تواند با استفاده از آزمون اندازه‌گیری تخلیه جزئی انجام شود. در این صورت ولتاژ آزمون و ولتاژ پیش تنش مطابق مقادیری که گفته شد انتخاب می‌شود. کلیه اقدامات احتیاطی مربوط به آزمون تخلیه جزئی برای جلوگیری از تخلیه خارجی (نظیر شیلدینگ) نباید استفاده شود. در این حالت، مدار آزمون متعادل مناسب نخواهد بود. با اینکه هیچ رابطه مستقیمی بین واحدهای اندازه‌گیری تداخل رادیویی (میکروولت)

و تخلیه جزئی (پیکوکولن) وجود ندارد، چنانچه در این آزمون سطح تخلیه جزئی ترانسفورماتور جریان در ولتاژ $\frac{1/8 U_m}{\sqrt{3}}$ از ۳۰۰ پیکوکولن تجاوز نکند،

ترانسفورماتور آزمون را با موفقیت پشت‌سر گذاشته است.





C_a : تجهیز مورد آزمون

Z : فیلتر

B : ترمینال باز (این ترمینال به گونه‌ای طراحی شده است که پدیده کرونا در آن رخ نمی‌دهد)

M : دستگاه اندازه‌گیری

$$Z_s + (R_1 + R_2) = 300 \Omega$$

T : ترانسفورماتور آزمون

Z_s, C_s, R_1, R_2 : به نشریه CISPR شماره ۲-۱۸ مراجعه شود.

شکل ۳-۴: مدار اندازه‌گیری مربوط به آزمون ولتاژ تداخل رادیویی

۳-۲-آزمونهای جاری

فهرست آزمونهای جاری به قرار زیر است:

- آزمون تایید علامت‌گذاری ترمینال‌ها (۱-۲-۳)
- آزمون تحمل فرکانس قدرت روی سیم‌پیچی اولیه (۱-۲-۳)
- اندازه‌گیری تخلیه جزئی (۲-۲-۳)
- آزمون تحمل فرکانس قدرت روی سیم‌پیچی ثانویه (۳-۲-۳)
- آزمون تحمل فرکانس قدرت بین قسمت‌های مختلف سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه (۳-۲-۳)
- آزمون اضافه ولتاژ بین حلقه‌ای (۴-۲-۳)
- آزمون اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری (۵-۲-۳)
- آزمون خطای مرکب برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی P (۶-۲-۳)
- آزمونهای اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PX (۷-۲-۳)
- آزمون اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PR (۸-۲-۳)

ترتیب انجام آزمونها رویه استاندارد ندارد ولی آزمونهای اندازه‌گیری دقت و خطای مرکب باید در پایان آزمونها انجام شود. آزمونهای تحمل فرکانس قدرت در صورت انجام مکرر باید با ولتاژی معادل ۸۰٪ ولتاژ آزمون مشخص شده انجام گیرد.

۳-۲-۱- آزمون تایید علامت‌گذاری ترمینالها

صحت علامتگذاری ترمینالها می‌بایستی باتوجه به جدول ۳-۱ و موارد زیر بازبینی گردد.

- سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه
- قسمتهای مختلف سیم‌پیچی (در صورت وجود)
- پلار تیه هر سیم‌پیچی و بخشهای مختلف سیم‌پیچ
- تپ‌های میانی (در صورت وجود)

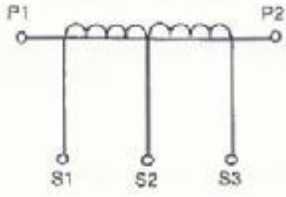
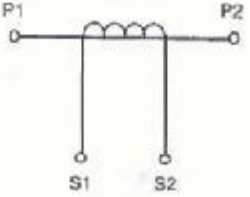
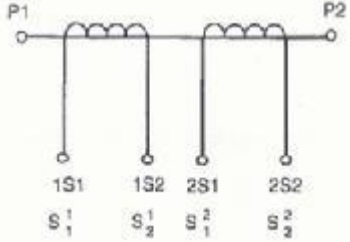
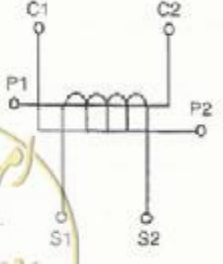
۳-۲-۱-۱- روش علامتگذاری

علامتگذاری ترمینالها بایستی بطور واضح و ثابت ("ثابت" به این مفهوم است که در اثر بروز شرایط محیطی علامتگذاری محو نشود) و روی سطح آنها انجام گیرد. علامتگذاری می‌بایستی با حروف پشت سرهم و در صورت لزوم با شماره مرتب شده باشد. از حروف بزرگ باید استفاده شود.

۳-۲-۱-۲- علامتهای استفاده شده

علامتهای ترانسفورماتورهای جریان بایستی مطابق موارد نشان داده شده در جدول (۳-۱) باشند.

جدول ۳-۱: علامتگذاری ترمینالها

 شکل ۲: ترانسفورماتور باتپ میانی روی سیم‌پیچ ثانویه	 شکل ۱: ترانسفورماتور با یک نسبت تبدیل	ترمینال‌های اولیه ترمینال‌های ثانویه
 شکل ۴: ترانسفورماتور با دوسیم‌پیچ ثانویه، هریک با هسته مغناطیسی مربوط به خود (دو انتخاب برای علامتگذاری ترمینالهای ثانویه)	 شکل ۳: ترانسفورماتور با سیم‌پیچ اولیه در دو بخش، در نظر گرفته شده برای اتصال سری یا موازی	ترمینال‌های اولیه ترمینال‌های ثانویه

۳-۱-۲-۳- نشان دادن پلار تیه‌ها

کلیه ترمینالهای علامتگذاری شده با حروف C1, S1, P1 می‌بایستی دارای پلار تیه یکسان باشند.

۳-۲-۲- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت روی سیم‌پیچهای اولیه و اندازه‌گیری تخلیه جزئی

۳-۲-۲-۱- آزمون فرکانس قدرت

آزمون تحمل فرکانس قدرت می‌بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰-۱ انجام شود.

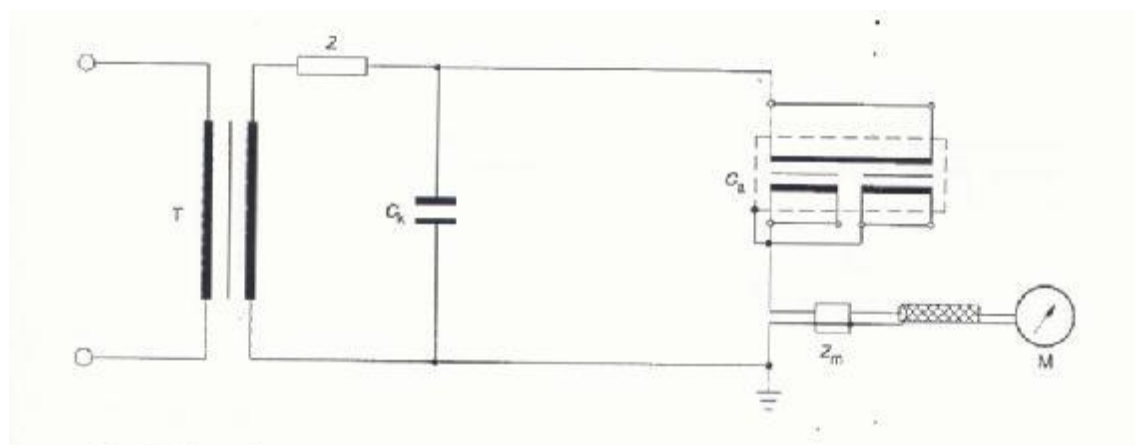
ولتاژ آزمون مطابق با مقادیر ارائه شده در جداول (۲-۱۰) و (۲-۱۱) (با توجه به بیشترین ولتاژ تجهیز) انتخاب می‌گردد. زمان آزمون می‌بایستی ۶۰ ثانیه باشد.

ولتاژ آزمون می‌بایستی بین سیم‌پیچ اولیه اتصال کوتاه شده و زمین اعمال شود. سیم‌پیچ ثانویه اتصال کوتاه شده، بدنه و هسته (در صورتیکه ترمینال زمین برای هسته موجود باشد) می‌بایستی به زمین متصل شوند.

۳-۲-۲-۲- اندازه‌گیری تخلیه جزئی

الف - مدار آزمون و تجهیزات

مدار آزمون و تجهیزات مورد استفاده بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۲۷۰ باشد. چندمثال برای مدارهای آزمون در شکل‌های ۳-۵ تا ۳-۷ نشان داده شده است.



T: ترانسفورماتور آزمون

C_a : ترانسفورماتور اندازه‌گیری مورد آزمون

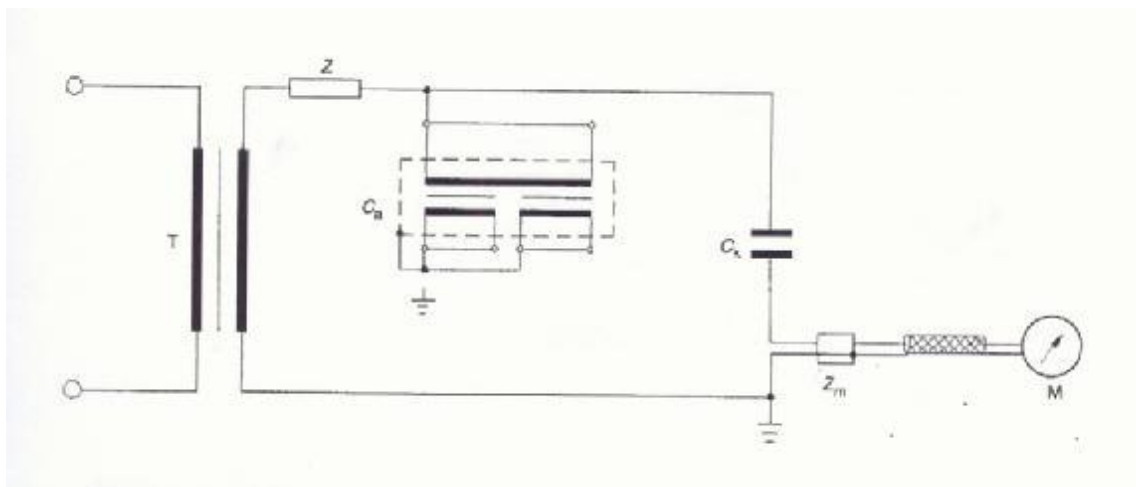
C_k : خازن کوپلاژ

M: دستگاه اندازه‌گیری تخلیه جزئی

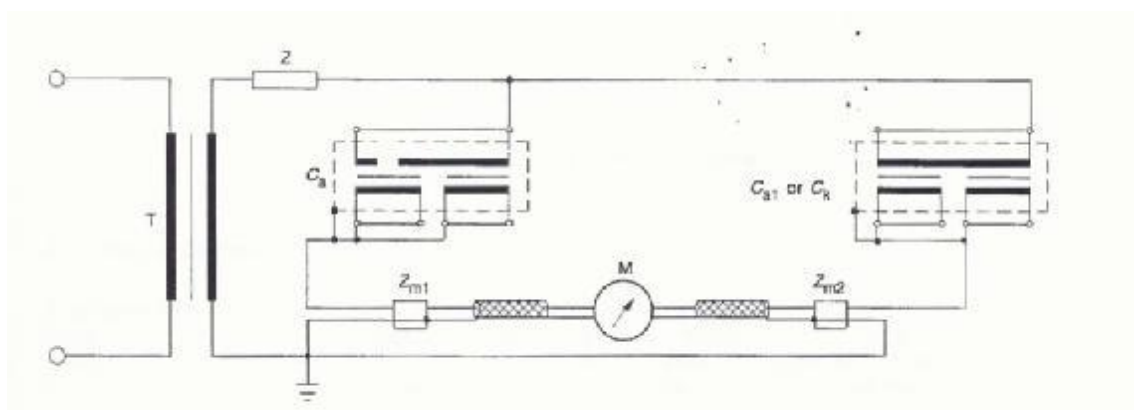
Z_m : امپدانس اندازه‌گیری

Z: فیلتر (در صورتی که به جای C_k از خازن معادل ترانسفورماتور آزمون استفاده شود از فیلتر استفاده نمی‌شود).

شکل ۳-۵: مدار آزمون برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی



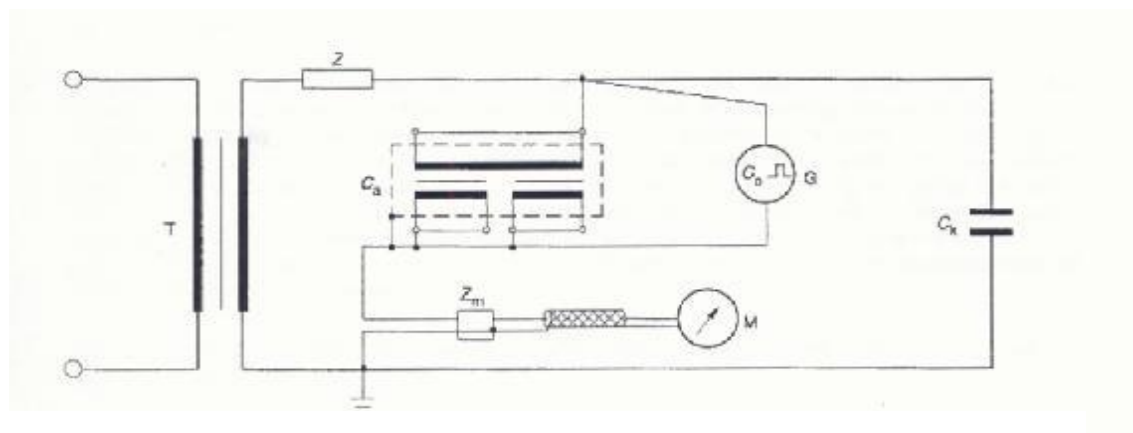
شکل ۳-۶: مدار آزمون دیگری برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی



T: ترانسفورماتور آزمون
 C_a : ترانسفورماتور اندازه‌گیری مورد آزمون
 C_{a1} : تجهیز کمکی که تخلیه جزئی ناچیز دارد (می‌توان به جای آن از خازن کوپلاژ C_k استفاده کرد)
M: دستگاه اندازه‌گیری تخلیه جزئی
 Z_{m1} و Z_{m2} : امپدانس اندازه‌گیری

شکل ۳-۷: مثالی از مدار آزمون متعادل برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی





شکل ۳-۸: مثالی از مدار کالیبراسیون برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی

شکل ۳-۸: مثالی از مدار کالیبراسیون برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی

تجهیز اندازه‌گیری می‌بایستی بارظاهری q را که بر حسب پیکوکولن بیان می‌شود اندازه‌گیری نماید. کالیبراسیون این دستگاه باید در مدار آزمون صورت گیرد (شکل ۳-۸).

تجهیزات اندازه‌گیری با پهنای باند وسیع باید پهنای باندی از ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱/۲ مگاهرتز داشته باشند. فرکانس تشدید تجهیزات اندازه‌گیری با پهنای باند باریک می‌بایستی در بازه ۰/۱۵ تا ۲ مگاهرتز قرار گیرد. مقادیر ترجیحی باید در گستره ۰/۵ تا ۲ مگاهرتز باشد ولی اگر امکان‌پذیر باشد، اندازه‌گیری در فرکانسی که بالاترین حساسیت^۱ را به همراه دارد انجام می‌شود. حساسیت دستگاه باید اجازه آشکارشدن سطوح تخلیه جزئی تا ۵ پیکوکولن را بدهد.

نکات:

- مقدار نویز می‌بایستی به اندازه کافی پایین‌تر از حساسیت باشد. پالسهای که شناخته شده بوده و در اثر اغتشاشات خارجی ایجاد شده‌اند می‌توانند نادیده گرفته شوند.
- برای کاهش نویزهای خارجی، مدار آزمون متعادل (شکل ۳-۵) مناسب است.
- هنگامی که جهت کاهش نویزهای زمینه از روشهای پردازش سیگنال استفاده می‌گردد، با تغییر پارامترهای آن باید آشکارسازی پالسهای مکرر به وقوع پیوسته امکان‌پذیر باشد.

ب - رویه آزمون تخلیه جزئی

بعد از انجام یکی از روشهای زیر که به نام شرایط پیش‌تنش مشهور است، ولتاژهای آزمون تخلیه جزئی تعیین شده در جدول زیر به دستگاه اعمال شده و سطوح تخلیه جزئی متناظر در مدت زمان ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. تخلیه جزئی اندازه‌گیری شده نباید از حدود مجاز مشخص شده در جدول زیر بیشتر شود.



جدول ۳-۲: سطوح مجاز تخلیه جزئی

سطوح مجاز تخلیه جزیی (پیکوکولن)		ولتاژ آزمون تخلیه جزیی kV	نحوه زمین شدن سیستم
نوع عایق			
جامد	غوطه‌ور در روغن		
۵۰ ۲۰	۱۰ ۵	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ $\frac{1/2 U_m}{\sqrt{3}}$	سیستم با نوترال زمین‌شده (ضریب خطای زمین کوچکتر یا مساوی ۱/۵)
۵۰ ۲۰	۱۰ ۵	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ $\frac{1/2 U_m}{\sqrt{3}}$	سیستم غیرمؤثر زمین‌شده و یا با نوترال ایزوله (ضریب خطای زمین بزرگتر از ۱/۵)
نکته ۱: اگر طبقه زمین‌شدن سیستم مشخص نباشد، مقادیر ارائه‌شده برای سیستم غیرمؤثر زمین‌شده یا با نوترال ایزوله معتبر می‌باشند.			
نکته ۲: سطوح مجاز ارائه‌شده برای فرکانس‌های متفاوت با فرکانس نامی نیز معتبر است.			

روش ۱: ولتاژ آزمون تخلیه جزئی، بعد از آزمون تحمل ولتاژ با فرکانس قدرت و هنگام کاهش ولتاژ آزمون اعمال گردد.

روش ۲: آزمون تخلیه جزئی پس از آزمون تحمل ولتاژ با فرکانس قدرت انجام شود. ولتاژ اعمال شده تا ۸۰ درصد ولتاژ تحمل فرکانس قدرت افزایش یافته و سپس ۶۰ ثانیه در همان حال باقی‌مانده و سرانجام تا ولتاژ تعیین شده برای آزمون تخلیه جزئی کاهش یابد.

انتخاب روش (۱) یا روش (۲) به عهده سازنده است مگر طور دیگری مشخص شده باشد. روش آزمون استفاده شده می‌بایستی در گزارش آزمون قید گردد.

۳-۲-۳- آزمونهای تحمل فرکانس قدرت بین قسمتهای سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه و روی سیم‌پیچی‌های ثانویه

ولتاژ آزمونی که مقدار مؤثر آن برابر ۳ کیلوولت است، می‌بایستی به مدت ۶۰ ثانیه به نوبت بین ترمینال‌های اتصال کوتاه شده بخشهای هر سیم‌پیچی یا هر سیم پیچ ثانویه و زمین اعمال شود.

هسته، بدنه و ترمینال‌های سایر سیم‌پیچها یا بخشها می‌بایستی با اتصال به یکدیگر به زمین وصل شوند.

نکته: ولتاژ آزمون برای سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PX که ولتاژ نقطه زانویشان از ۲ kV بزرگتر است، ۵ kV است که می‌بایستی به مدت ۶۰ ثانیه به سیم‌پیچ ثانویه اعمال گردد.

۳-۲-۴- آزمون اضافه ولتاژ بین حلقه‌ای

آزمون اضافه ولتاژ بین حلقه‌ای مطابق یکی از روشهای ذیل انجام می‌شود (چنانچه در انجام این آزمون با یکی از روش‌های زیر توافقی بین خریدار و سازنده نشده باشد انتخاب روش آزمون با سازنده است):



روش ۱: در حالی که سیم‌پیچهای ثانویه مدار باز است (یا متصل به یک دستگاه امپدانس بالا برای قرائت حداکثر مقدار ولتاژ است)، یک جریان کاملاً سینوسی با فرکانسی بین ۴۰ تا ۶۰ هرتز (مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۶۰) و مقدار مؤثری برابر با مقدار جریان نامی اولیه (یا مقدار جریان نامی افزایش یافته در صورت وجود) می‌بایستی برای مدت ۶۰ ثانیه از سیم‌پیچی اولیه عبور داده شود. اگر پیک ولتاژ آزمون قبل از رسیدن به جریان نامی (یا جریان نامی افزایش یافته) به حداکثر مقداری معادل ۴/۵ کیلوولت رسید، باید جریان اعمالی محدود شود.

روش ۲: در حالی که سیم‌پیچ اولیه مدار باز است، ولتاژ آزمون مشخص (با فرکانسی مناسب) می‌بایستی برای مدت ۶۰ ثانیه به ترمینال‌های هر سیم‌پیچ ثانویه اعمال شود، مشروط بر اینکه مقدار مؤثر جریان ثانویه از مقدار جریان نامی ثانویه (یا جریان نامی افزایش یافته) بیشتر نشود. مقدار فرکانس آزمون نباید از ۴۰۰ هرتز بیشتر باشد. در این فرکانس، اگر مقدار پیک ولتاژ بدست‌آمده در جریان نامی ثانویه (یا جریان نامی افزایش یافته) کمتر از ۴/۵ کیلوولت باشد ولتاژ مذکور باید بعنوان ولتاژ آزمون در نظر گرفته شود. هنگامی که فرکانس از دو برابر فرکانس نامی بیشتر شود، مدت زمان آزمون را باید بصورت زیر کاهش داد (با حداقل مقدار ۱۵ ثانیه):

$$(۳-۳) \quad ۶۰ * \frac{\text{دو برابر فرکانس (هرتز)}}{\text{فرکانس آزمون (هرتز)}} = \text{زمان آزمون (ثانیه)}$$

نکته: برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PX که ولتاژ نقطه زانوبشان از ۴۵۰V بزرگتر است، ولتاژ آزمون می‌بایستی ۱۰ برابر ولتاژ نقطه زانوی مشخص شده انتخاب شود. چنانچه پیک این ولتاژ از ۱۰ kV بیشتر باشد پیک ولتاژ آزمون ۱۰ kV در نظر گرفته می‌شود. برای سیستم‌های انتقال EHV مقدار محدودکننده پیک ولتاژ آزمون (که ۱۰ kV فرض شده است) می‌تواند مقدار بالاتری انتخاب گردد.

۳-۲-۵- آزمون اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتور جریان اندازه‌گیری

آزمونهای جاری می‌بایستی همانند آزمونهای نوعی انجام شوند با این تفاوت که این آزمونها را می‌توان در تعداد کمتری از ولتاژ و بردن خروجی انجام داد. برای این منظور باید در آزمونهای نوعی نشان داده شود که انجام آزمون با تعداد کمتری از ولتاژ و بردن خروجی روی یک ترانسفورماتور مشابه برای اثبات درصد خطای ترانسفورماتور کفایت می‌نماید.

۳-۲-۶- آزمون خطای مرکب

برای تمامی ترانسفورماتورهایی که مشخصات آنها در قسمت "ب" بند ۳-۱-۶ (آزمون خطای مرکب برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی) آمده است، آزمون جاری می‌بایستی همانند آزمون نوعی انجام گیرد.

برای سایر ترانسفورماتورها، می‌توان از آزمون غیرمستقیم اندازه‌گیری جریان تحریک استفاده نمود، با این تفاوت که در این حالت باید ضریب تصحیح روی نتایج اعمال شود. این ضریب از مقایسه بین نتایج آزمونهای مستقیم و غیرمستقیم اعمال شده روی ترانسفورماتوری مشابه با ترانسفورماتور مورد نظر بدست می‌آید. ضریب دقت و وضعیت بارگذاری این دو ترانسفورماتور مشابه است. در چنین حالاتی، گواهی موفقیت آزمون بایستی توسط سازنده ارائه شود.

نکات:

- ضریب تصحیح برابر نسبت خطای مرکب بدست آمده از روش آزمون مستقیم به جریان تحریک (بیان شده بعنوان درصدی از جریان نامی ثانویه ضربدر ضریب حد دقت) است که از آزمون غیر مستقیم (بند ۳-۱-۶-۲) بدست آمده است.
- اصطلاح "ترانسفورماتور مشابه" اشاره براین مطلب دارد که آمپردورها صرفنظر از نسبت تبدیل، چیدمان هندسی، مواد مغناطیسی و سیم‌پیچهای ثانویه یکسان باشد.

۳-۲-۷- آزمونهای اندازه‌گیری دقت برای کلاس حفاظتی PX

ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PX علاوه بر آزمونهای که در قسمتهای قبل شرح داده شد می‌بایستی تحت آزمونهای زیر قرار گیرند:

۳-۲-۷-۱- تعیین ولتاژ نقطه زانو (E_K) و جریان تحریک ماکزیمم (I_e)

ولتاژی سینوسی در فرکانس نامی و با مقداری برابر ولتاژ نقطه زانوی نامی می‌بایستی به سیم‌پیچ ثانویه اعمال شود. بقیه سیم‌پیچ‌ها می‌بایستی در حالت مدار باز قرار داده شده و در این وضعیت، جریان تحریک اندازه‌گیری شود. پس از اندازه‌گیری جریان تحریک، ولتاژ اعمالی ۱۰٪ بیشتر می‌شود و در این وضعیت جریان تحریک نمی‌بایستی بیشتر از ۵۰٪ افزایش داشته باشد. همه اندازه‌گیری‌ها می‌بایستی توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار مؤثر انجام گیرد. به دلیل طبیعت غیرسینوسی کمیات اندازه‌گیری شده، اندازه‌گیری می‌بایستی توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار مؤثر با ضریب قله^۱ بزرگتر از ۳ انجام پذیرد.

مشخصه تحریک باید حداقل تا نقطه زانو ترسیم شود. جریان تحریک (I_e) در ولتاژ نقطه زانو و در درصدهای مشخص شده از ولتاژ نقطه زانو نمی‌بایستی از مقادیر نامی بیشتر شود. تعداد نقاطی که اندازه‌گیری در آنها انجام می‌گیرد می‌بایستی بین خریدار و سازنده توافق شود.

۳-۲-۷-۲- مقاومت سیم‌پیچ ثانویه (R_{ct})

مقاومت کل سیم‌پیچ ثانویه می‌بایستی اندازه‌گیری شود. پس از تصحیح مقدار اندازه‌گیری شده در دمای $75^{\circ}C$ ، این مقدار نباید از مقدار مشخص شده بیشتر باشد.

۳-۲-۷-۳- خطای نسبت دور (ϵ_t)

نسبت دور باتوجه به توضیحات داده شده در بند ۴-۳-۱ تعیین می‌شود. خطای نسبت دور نمی‌بایستی از مقدار مشخص شده در بند ۲-۱۶-۳ فراتر رود.

توجه: با توافق بین خریدار و سازنده، با صفر در نظر گرفتن بردن متصله به سیم‌پیچ ثانویه، برای اندازه‌گیری خطای نسبت دور آزمون ساده‌تری را می‌توان انجام داد.



۳-۲-۸- آزمونه‌های اندازه‌گیری دقت برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PR

ترانسفورماتورهای جریان با کلاس حفاظتی PR علاوه بر آزمونه‌هایی که در قسمت‌های قبلی شرح داده شد، می‌بایستی تحت آزمونه‌های زیر واقع گردند:

۳-۲-۸-۱- تعیین ضریب پس‌ماند (K_r)

به منظور بازبینی کوچک‌تر بودن ضریب پس‌ماند از ۱۰٪، باتوجه به پیوست (۴-۲) ضریب پس‌ماند اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۲-۸-۲- تعیین ثابت زمانی حلقه ثانویه

ثابت زمانی حلقه ثانویه (T_s) می‌بایستی تعیین شود. ثابت زمانی حلقه ثانویه نمی‌بایستی بیشتر از $\pm 30\%$ از مقدار مشخص شده تفاوت داشته باشد. در صورت لزوم می‌توان از مطالب مندرج در پیوست (۴-۲) استفاده کرد.

۳-۲-۸-۳- تعیین مقاومت سیم‌پیچ ثانویه (R_{ct})

مقاومت سیم‌پیچ ثانویه می‌بایستی اندازه‌گیری شود و در دمای $75^\circ C$ تصحیح شود. مقدار تصحیح شده مقدار نامی مقاومت سیم‌پیچ ثانویه است.

توجه: مقاومت حلقه ثانویه از حاصل جمع $R_s = R_{ct} + R_b$ بدست می‌آید. در این رابطه R_b مقدار بردن مقاومتی نامی است که در ترانسفورماتور جریان با کلاس حفاظتی PR برابر با قسمت مقاومتی بردنی فرض می‌شود که در بند ۲-۱۵-۱ و در تعیین خطای جریان و جابجائی فاز به آن اشاره شد.

۳-۳- آزمونه‌های ویژه

فهرست آزمونه‌های ویژه با توافق بین خریدار و سازنده انجام می‌گیرد، به قرار زیر است:

- آزمون موج بریده روی سیم‌پیچ اولیه
- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی
- آزمون موج بریده چندگانه روی سیم‌پیچ اولیه
- آزمون مکانیکی

۳-۳-۱- آزمون موج بریده روی سیم‌پیچ اولیه

آزمون باید تنها با پلارته منفی انجام شود و با آزمون موج صاعقه با پلارته منفی به روش زیر ترکیب شود:

ولتاژ آزمون باید یک موج صاعقه استاندارد بوده که بین ۲ تا ۵ میکروثانیه بریده شده باشد. مدار برش باید بگونه‌ای آرایش‌یافته باشد که دامنه اضافه جهش^۱ پلارته مخالف موج آزمون واقعی تقریباً به ۳۰ درصد مقدار پیک محدود شود. ولتاژ آزمون موجهای



کامل می‌بایستی با توجه به مقدار حداکثر ولتاژ تجهیزات و سطح عایقی تعیین شده از جداول (۲-۱۰) انتخاب گردد. پیک ولتاژ آزمون موج بریده می‌بایستی برابر ۱۱۵ درصد ولتاژ موج صاعقه کامل باشد.

ترتیب اعمال موج بصورت زیر می‌باشد:

الف) برای سیم‌پیچهای با ولتاژ $U_m < 300 \text{ kV}$

- یک موج کامل

- دو موج بریده شده

- چهارده موج کامل

ب) برای سیم‌پیچهای با ولتاژ $U_m \geq 300 \text{ kV}$

- یک موج کامل

- دو موج بریده شده

- دو موج کامل

وجود اختلاف در شکل موجهای کامل اعمال شده قبل و بعد از اعمال موج بریده شده، نشانه‌ای از بروز خطای داخلی می‌باشد. بروز جرقه روی عایقهای خارجی خودترمیم در طول زمان اعمال موج بریده شده می‌بایستی در ارزیابی رفتار عایقی نادیده گرفته شود.

۳-۳-۲- آزمون موج بریده چندگانه روی سیم‌پیچ اولیه

اگر موضوع اضافه‌ای توافق شده باشد، سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورهای جریان غوطه‌ور در روغن ۴۰۰ کیلوولت باید جهت بررسی رفتار نسبت به تشنه‌های فرکانس بالا در شرایط کاری قادر به تحمل موجهای بریده چندگانه نیز باشد.

در حال حاضر یک روال آزمون قطعی و ضوابط پذیرش مشخص برای این نوع آزمونها وجود ندارد، تنها برخی اطلاعات بعنوان یک روش آزمون ارائه می‌شود. ارائه مدرک مبنی بر طراحی مناسب، بعهده سازنده خواهد بود.

آزمون می‌بایستی با موجهای پلاریته منفی که از نزدیک قله بریده شده‌اند انجام شود.

زمان مجازی فروپاشی ولتاژ که مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۶۰۰ اندازه‌گیری می‌شود می‌بایستی حدود ۰/۵ میکروثانیه باشد. مدار آزمون باید بگونه‌ای باشد که جهش به پلاریته مخالف موج ثبت شده، ۵۰ درصد مقدار پیک باشد.

مقدار پیک ولتاژ می‌بایستی حدود ۶۰ درصد ولتاژ تحمل نامی در برابر موج ضربه صاعقه باشد. برای ایجاد شکست حداقل ۱۰۰ موج ضربه مورد نیاز است که باید با نرخ یک موج در دقیقه اعمال شوند.

قبل از انجام آزمون و سه روز بعد از آن بایستی آزمایش گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور جریان انجام شود.

معیارهای ارزیابی نتایج باید بر پایه مقدار و ترکیب گازهای تولیدشده باشد. مقادیر نسبتاً بالای گازهای H_2 و C_2H_2 نشان از عدم موفقیت آزمون دارند. رویه نمونه گرفتن از روغن باید مطابق استاندارد IEC شماره ۵۶۷ باشد. رویه بررسی ترکیب روغن و تشخیص خرابی روغن باید مطابق استاندارد IEC شماره ۵۹۹ باشد.



۳-۳-۳- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی

اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی می‌بایستی پس از آزمون تحمل فرکانس قدرت روی سیم‌پیچهای اولیه انجام شود. ولتاژ آزمون باید بین ترمینال‌های اتصال کوتاه شده سیم‌پیچ اولیه و زمین اعمال گردد. عموماً سیم‌پیچهای اتصال کوتاه شده ثانویه، صفحات و پوشش فلزی عایق شده باید به پل اندازه‌گیری متصل شوند. اگر ترانسفورماتور جریان مجهز به ترمینال ویژه‌ای برای این اندازه‌گیری است، سایر ترمینال‌های فشارضعیف می‌بایستی اتصال کوتاه شده و همراه با پوشش فلزی به زمین یا صفحه پل اندازه‌گیری^۱ وصل شوند.

در برخی حالات، ممکن است لازم باشد که سایر قسمتهای پل اندازه‌گیری هم به زمین متصل شوند.

آزمون می‌بایستی با ترانسفورماتور جریان در دمای محیط انجام شود و مقدار درجه حرارت باید ثبت گردد.

مقادیر خازن و ضریب تلفات عایقی ($\tan\delta$) باید به فرکانس نامی و ولتاژی در محدوده ۱۰ کیلوولت تا $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ ارجاع داده شوند.

هدف از این آزمون بررسی عدم یکنواختی محصولات است. حدود مجاز پارامترها می‌تواند با توافق سازنده و خریدار تعیین گردد.

ضریب تلفات عایقی به نحوه طراحی عایق، ولتاژ و درجه حرارت وابسته است. مقدار این پارامتر در ولتاژ $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ و درجه حرارت محیط معمولاً کمتر از ۰/۰۰۵ است.

۳-۳-۴- آزمونهای مکانیکی

این آزمون ویژه ترانسفورماتورهای جریان دارای حداکثر ولتاژ تجهیز بالاتر از ۷۲/۵ کیلوولت است.

ترانسفورماتور جریان می‌بایستی تحمل نیروهای استاتیکی وارده طبق جدول زیر را داشته‌باشد. اعداد داخل جدول شامل بارهای باد و یخ می‌باشد. بارهای آزمون مشخص شده می‌تواند در هر جهتی به ترمینال‌های اولیه وارد شوند.



جدول ۳-۳: نیروهای آزمون استاتیک

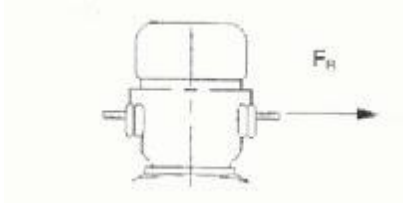
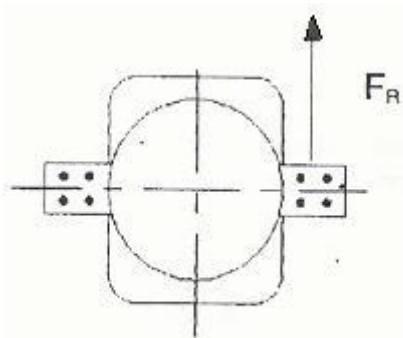
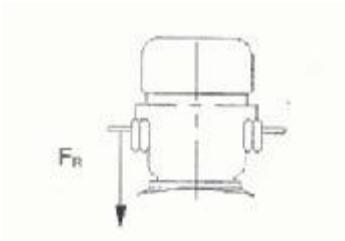
بارهای تحمل استاتیکی $F_R(N)$		حداکثر ولتاژ تجهیزات $U_m(kV)$
کلاس بار II	کلاس بار I	
۲۵۰۰	۱۲۵۰	۷۲/۵
۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۴۵
۴۰۰۰	۲۵۰۰	۲۴۵
۶۰۰۰	۴۰۰۰	۴۲۰
نکات: - مجموع نیروهای وارده در هنگام کارکرد عادی تجهیز نباید از ۵۰٪ نیروی آزمون مشخص شده فراتر رود. - ترانسفورماتورهای جریان بایستی نیروهای دینامیکی نادری مثل نیروی اتصال کوتاه را نیز تحمل نماید که نباید از ۱/۴ نیروهای استاتیکی آزمون فراتر رود. - برخی مواقع ممکن است لازم باشد مقاومت در برابر چرخش ترمینالهای اولیه نیز تعیین گردد. گشتاور اعمالی در این آزمون می بایستی مورد توافق خریدار و سازنده باشد.		

ترانسفورماتور جریان جهت انجام آزمون مکانیکی می بایستی بطور کامل مونتاژ و در وضعیت عمودی در جای خود به دقت نصب شده باشد.

ترانسفورماتورهای جریان غوطه‌ور در روغن می بایستی با روغن پر شده و فشار آن مثل وضعیت عملکرد عادی باشد. نیروهای آزمون بایستی برای زمان ۶۰ ثانیه مطابق با جدول (۳-۴) اعمال گردند. ترانسفورماتور جریان در صورتی که هیچگونه آسیبی شامل تغییر شکل، شکستگی و نشتی ندیده باشد، آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است.



جدول ۳-۴: نیروهای وارده به ترمینال‌های اولیه

	
	افقی به هر ترمینال
	عمودی به هر ترمینال
نکته: نیروهای آزمون بایستی به مرکز ترمینال وارد شود.	



فصل ۴

آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با کلاس دقت TPS, TPX, TPY, TPZ





🌐 omorepeyman.ir

مقدمه

در این فصل آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با کلاس دقتهای TPX,TPY,TPZ جهت حصول اطمینان به عملکرد صحیح آنها بیان می گردد.

۴-۱- کلیات

برای حصول اطمینان از عملکرد ترانسفورماتور جریان حفاظتی دارای کلاس دقت TPX,TPY,TPZ با ملزومات این استاندارد می بایستی طبق جدول (۴-۱) آزمونهایی بر روی ترانسفورماتورهای جریان مذکور انجام گیرد.

جدول ۴-۱: آزمونهای ترانسفورماتور جریان حفاظتی

با کلاس دقت TPS,TPX,TPY,TPZ

ملاحظات	شماره بند	کلاس دقت				نام آزمون
		TPS	TPX	TPY	TPZ	
۱	۱-۳-۴	×	—	—	—	خطای نسبت تبدیل
۱	۲-۳-۴	—	×	×	×	خطای نسبت تبدیل و جابه جایی فاز در حالت ماندگار
۱	۳-۳-۴	×	×	×	×	مقاومت ترانسفورماتور جریان (R_{ct})
۱	۴-۳-۴	×	×	×	×	مشخصه های تحریک
۱	۵-۳-۴	—	—	×	—	تعیین K_f
۱	۶-۳-۴	—	—	×	×	تعیین T_s
۲	۲-۲-۴	—	×	×	×	خطاها در شرایط حدی دقت
۲	۳-۲-۴	—	×	×	×	تعیین F_c
۳	۴-۴	×	—	—	—	بازبینی طراحی ترانسفورماتور جریان با فوران نشی کم ($F_c < 1/1$)
ملاحظات:						
۱- آزمونهای جاری و نوعی						
۲- آزمونهای نوعی						
۳- آزمونهای ویژه که تنها با توافق سازنده و خریدار انجام می شود						



۴-۲- آزمونه‌های نوعی

۴-۲-۱- کلیات

آزمونه‌های مستقیمی که با پارامترهای معین و در چرخه کاری مشخص انجام می‌گیرند آزمون نوعی محسوب شده و اهداف آنها به شرح ذیل می‌باشد:

- اندازه‌گیری مقدار پیک لحظه‌ای خطای جریان ترانسفورماتور هنگامی که تحت یک چرخه کاری معین قرار دارد (آیتم ۳-۳۱-۳-۱ برای کلاس دقت TPY و TPX و آیتم ۳-۳۱-۳-۱-۴ برای کلاس دقت TPZ)
- تعیین ضریب ساخت (F_C)

آزمونها می‌تواند روی مدلی با مقیاس کامل که از قسمتهای فعال ترانسفورماتور شامل کلیه محفظه‌های فلزی مونتاژ شده شکل گرفته است انجام شود. می‌توان در این مدل از عایق کمتری استفاده کرد.

اگر یکی از شرایط زیر محقق شود آزمون مستقیم می‌تواند با آزمونه‌های تحریک ثانویه جایگزین شود:

الف- ترانسفورماتور جریان از نوع با فوران نشتی کم باشد

برای اثبات اینکه ترانسفورماتور از نوع فوران نشتی کم است، لازم است موارد زیر نشان داده شود:

۱- ترانسفورماتور جریان دارای هسته‌ای حلقوی با فاصله هوایی توزیع شده یکنواخت باشد.

۲- سیم‌پیچ ثانویه به طور یکنواخت توزیع شده باشد.

۳- هادی اولیه در جهت‌های مختلف متقارن باشد.

۴- تأثیر هادیهای مجاور بیرون از محفظه ترانسفورماتور جریان و فازهای کناری قابل چشم‌پوشی باشد.

ب- گزارش آزمون ترانسفورماتور جریان دیگری که اساساً دارای همان ساختار و مقدار جریان اولیه نامی اتصال کوتاه باشد، موجود باشد.

اگر علیرغم موارد فوق، آزمونه‌های مستقیم طبق نظر خریدار مورد نیاز باشد، این مورد باید در قرارداد ذکر گردد.

۴-۲-۲- اندازه‌گیری پیک لحظه‌ای جریان خطا

روش اندازه‌گیری مستقیم پیک لحظه‌ای خطای جریان به شرح پیوست (۴-۱) می‌باشد.

مقادیر لحظه‌ای جریانهای اولیه، ثانویه و جریان خطا بعلاوه انتگرال ولتاژ روی ترمینال ثانویه از مقادیری هستند که می‌بایستی

ثبت شوند. با استفاده از این مقادیر می‌توان نیروی محرکه معادل ثانویه را در شرایط حدی (E_{al}, E_{alc}) بدست آورد.

مقادیر زیر می‌بایستی در گزارش آزمون ارائه شود.



- نوع طراحی

- سال ساخت و شماره سریال

- پلاک مشخصات

- نتایج آزمون تحریک ثانویه (مطابق پیوست ۴-۲)

- نتایج آزمونهای مستقیم شامل پارامترهای آزمون، مدار آزمون، عکسهای از چیدمان مدار آزمون و نتایج ثبت شده
- اظهارنظر سازنده در ارتباط با اعتبار آزمون نوعی برای ترانسفورماتور جریان سفارش داده شده باتوجه به انجام آزمون نوعی بر روی ترانسفورماتور جریانی با مشخصات فنی متفاوت.

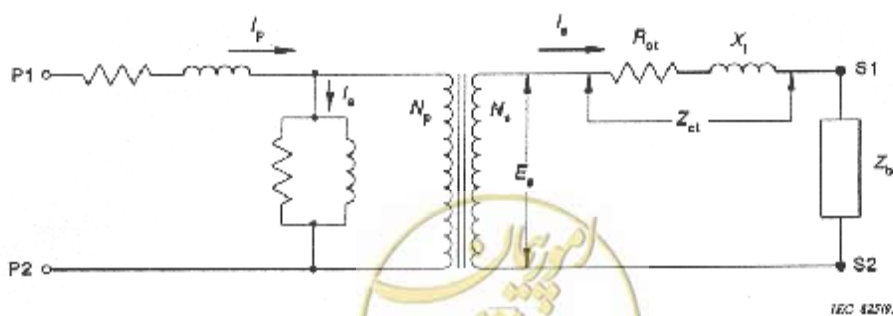
۴-۲-۳- اندازه گیری ضریب ساخت (F_c)

روش بدست آوردن این ضریب در پیوست (۴-۱) قسمت (ج) آمده است. این ضریب از نسبت U_{alc}/E_{alc} بدست می آید و برای کارکرد ترانسفورماتور جریان در شرایط نامی و در بالاترین مقدار تئوری ضریب ابعادی گذرا (K_{td}) معتبر است. اگر دو چرخه کاری C-O و C-O-C-O تعیین شده باشد، مقدار K_{td} از هر چرخه کاری که مقدار بیشتری را بدست می دهد مشخص می گردد. هنگامی که ضریب ساخت از مقدار ۱/۱ بزرگتر نباشد، طراحی ممکن است برای معیارهای یک ترانس جریان با فوران نشستی کم رضایت بخش باشد. ضریب ساخت، صرفاً مشخصه های تحریک ثانویه ترانسفورماتور جریان را تحت شرایط تعیین شده به عملکرد واقعی ترانسفورماتور جریان پیوند می دهد.

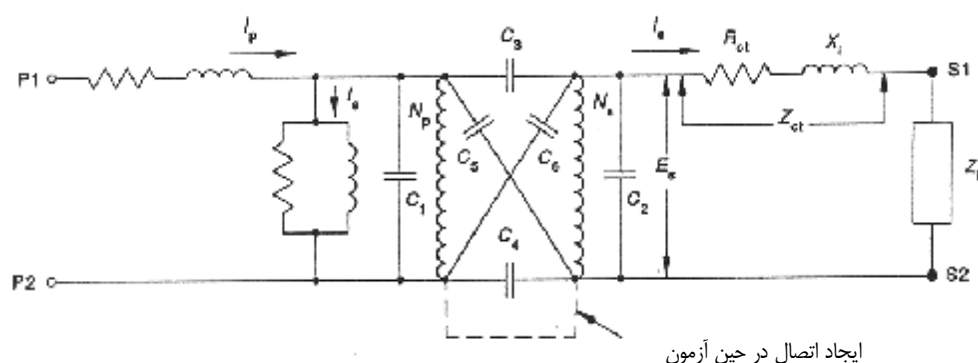
۴-۳- آزمونهای جاری و نوعی

۴-۳-۱- خطای نسبت تبدیل

- در حال حاضر هیچ روش مستقیمی برای اندازه گیری دقیق خطای نسبت تبدیل روی یک ترانسفورماتور جریان کامل وجود ندارد.
- خطای نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان تحت تأثیر سه عامل زیر رخ می دهد:
- اختلاف بین نسبت تبدیل و نسبت تبدیل نامی
 - جریان تحریک هسته (I_c)
 - جریانی که در خازن پراکندگی مرتبط با سیم پیچ ها جاری می شود.
- شکل (۴-۱) اجزاء مقاومتی و سلفی معادل ترانسفورماتور جریان را نشان می دهد. شکل (۴-۲) خازن پراکندگی سیم پیچها که ممکن است در ترانسفورماتورهای جریان دارای دوره های بالا (بالا تر از ۱۰۰۰) تأثیرگذار باشند را نیز در نظر می گیرد.



شکل ۴-۱: مدار معادل ساده شده برای ترانسفورماتور جریان



شکل ۴-۲: مدار معادل ساده شده برای ترانسفورماتور جریان با در نظر گرفتن تاثیر خازنهای پراکنده

اگر خطای نسبت تبدیل کوچک باشد (به طور مثال یک درصد)، می توان فرض کرد که برای یک ولتاژ القایی اعمالی به سیم پیچی ثانویه (E_s)، جریانهائی که باعث ایجاد خطا می شوند و ناشی از خازنهای پراکنده و مغناطیس شونده هستند صرفنظر از جریان اولیه (I_p)، در مقداری ثابت باقی خواهد ماند.

چنانچه امپدانس حلقه ثانویه به شکل مناسبی تنظیم شود، از لحاظ تئوری می تواند در بازه ای از مقادیر جریان، در مقداری ثابت باقی بماند. برای ترانسفورماتورهای جریان از نوع فوران نشستی کم (مانند کلاس TPS) از راکتانس نشستی ثانویه می توان چشم پوشی نمود و تنها مقاومت سیم پیچی ثانویه را در نظر گرفت. بنابراین برای هر دو جریان مانند I'_s و I''_s معادله ای که ملزومات آزمون را مشخص می سازد به صورت زیر است:

$$I'_s(R_{ct} + R'_b) = E_s = I''_s(R_{ct} + R''_b) \quad (1-4)$$

با فرض اینکه مقدار خطای نسبت تبدیل اندازه گیری شده برابر ϵ'_c و ϵ''_c باشند، همچنین مقدار خطای جریان با ϵ_t مشخص شود و ترکیب جریانهائی پراکنده و مغناطیس کنندگی با I_x نشان داده شود، مقدار جریانهائی خطا تقریباً به صورت زیر می باشد:

$$(\epsilon'_c - \epsilon_t) \frac{k_n I'_s}{100} = I_x = (\epsilon''_c - \epsilon_t) k_n \frac{I''_s}{100} \quad (2-4)$$

که از آنجا خواهیم داشت:

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon'_c I'_s - \epsilon''_c I''_s}{(I'_s - I''_s)} \quad (3-4)$$

چنانچه $I'_s = 2I''_s$ در نظر گرفته شود، مقدار خطای نسبت تبدیل تقریباً برابر خواهد بود با: $2\epsilon'_c - \epsilon''_c$.

انجام آزمون در جریان نامی با حداقل خروجی ثانویه، پس از انجام آزمون با نصف جریان نامی (با افزایش مناسب در مقاومت حلقه ثانویه) شرط فوق را ا قناع کرده و معمولاً نتایج رضایت بخشی در پی خواهد داشت.

۴-۳-۲- خطای نسبت تبدیل و جابه‌جایی فاز در حالت ماندگار

مقاومت حلقه ثانویه در مقدار نامی ($R_s = R_{ct} + R_b$) تنظیم شده و خطای نسبت تبدیل و جابه‌جایی فاز در جریان نامی (I_{pn}) اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۳-۳- تعیین مقاومت سیم‌پیچی ثانویه (R_{ct})

مقاومت سیم‌پیچی ثانویه بایستی اندازه‌گیری شده و اگر اندازه‌گیری در دمایی غیر از ۷۵ درجه سانتی‌گراد یا دمایی غیر از دمای تعیین شده انجام شود می‌بایستی تصحیح مناسب روی آن اعمال شود. در این صورت مقدار تصحیح شده، مقدار نامی مقاومت سیم‌پیچ ثانویه است.

۴-۳-۴- تعیین مشخصه‌های تحریک ثانویه

برای آزمونهای نوعی، منحنی مغناطیس‌شوندگی تا ۱/۱ برابر فوران اشباع لازم خواهد بود. سازنده می‌تواند روش آزمون را خود اختیار کند. برای انجام این آزمون می‌توان از روشهای بیان شده در پیوست ۴-۲ استفاده نمود.

برای آزمونهای جاری روی ترانسفورماتورهای جریان TPX و TPY، حداکثر مقدار جریان تحریک می‌بایستی در U_{al} اندازه‌گیری شود. برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPZ حداکثر مقدار جریان تحریک ثانویه I_{al} نبایستی از مقدار داده شده در رابطه زیر تجاوز نماید:

$$I_{al} \leq \sqrt{2} K_{ssc} I_{sn} \{ [(K_{td} - 1) / \omega T_s] + 0.1 \} \quad (4-4)$$

نکته: برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPZ، دقت تنها برای مؤلفه ac تعیین شده است در حالیکه در تعیین مقدار مجاز I_{al} در حین آزمونهای غیرمستقیم، لازم است که مؤلفه dc جریان تحریک هم در نظر گرفته شود. در رابطه فوق، مؤلفه dc متناظر با $(K_{td} - 1)$ و خطای مجاز در مؤلفه ac متناظر با ۰/۱ است.

۴-۳-۵- تعیین ضریب پس‌ماند (K_r)

ضریب پس‌ماند (K_r) می‌بایستی برای اثبات برآورده شدن مناسب حدود کلاس دقت، اندازه‌گیری شود (به پیوست ۴-۲ رجوع شود).

۴-۳-۶- محاسبه ثابت زمانی حلقه ثانویه:

ثابت زمانی حلقه ثانویه (T_s) می‌بایستی تعیین شده و نباید این مقدار برای کلاس دقت TPY بیشتر از $\pm 30\%$ درصد و برای کلاس TPZ بیش از $\pm 10\%$ درصد با مقدار نامی اعلام شده تفاوت داشته باشد (به پیوست ۴-۲ رجوع شود).



۴-۴-آزمونهای ویژه

۴-۴-۱-بازبینی طراحی ترانسفورماتور جریان با فوران نشتی کم

آزمونهای مستقیم برای بازبینی اینکه آیا طراحی ترانسفورماتور جریان ملزومات اساسی مربوط به یک ترانسفورماتور جریان با فوران نشتی کم را برآورده می‌سازد یا خیر در ترکیبهای مختلفی از جریان، چرخه کاری و بردن خروجی انجام می‌گیرد. از نتایج این آزمونها باید بتوان تصدیق نمود که اختلاف بین مقدار تئوری نیروی محرکه معادل ثانویه و مقدار اندازه‌گیری شده بیش از ۱۰ درصد نیست.

برای بازبینی طراحی ترانس جریان با فوران نشتی کم از آزمونهای غیرمستقیم در محدوده‌های تعیین شده نیز می‌توان استفاده نمود.

مقدار U_{al} از روی مشخصه‌های تحریک ثانویه و در مقدار ولتاژی که ۱۰ درصد افزایش در مقدار موثر آن، مقدار پیک جریان تحریک ثانویه را به اندازه بیش از ۵۰ درصد و کمتر از ۱۰۰ درصد تغییر نمی‌دهد، محاسبه می‌گردد.



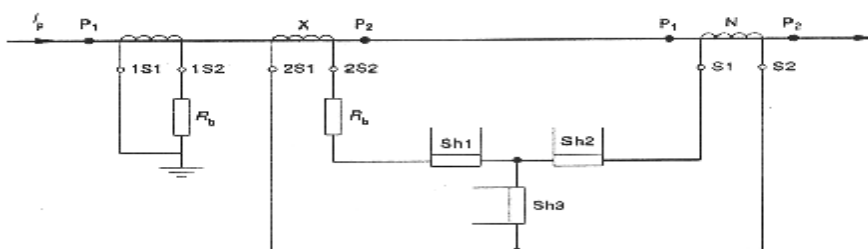
پیوست (۴-۱): آزمونهای مستقیم

الف) اندازه‌گیری جریان‌های خطا

مقدار لحظه‌ای جریان خطا به روشهای مختلفی قابل اندازه‌گیری است. در کلیه حالات و در طول چرخه کاری، خطای سیستم اندازه‌گیری نیابستی از ۱۰ درصد حد خطای متناظر با کلاس دقت ترانسفورماتور جریان تجاوز نماید.

الف- در مدارهای آزمون شکلهای (۴-۳) و (۴-۴)، از یک ترانسفورماتور جریان مرجع استفاده می‌شود.

ترانسفورماتور جریان مرجع می‌بایستی از نوع با فوران نشی کم باشد و بگونه‌ای مونتاژ شده باشد که تأثیر هادی‌های حلقه‌ای قابل چشم‌پوشی باشد. هنگامی که ترانسفورماتور جریان مرجع دارای ضریب پس‌ماند بالایی است، از بین بردن خاصیت مغناطیسی قبل از آزمون الزامی است. اگر ثابت زمانی مدار ثانویه ترانسفورماتور مرجع (با در نظر گرفتن تأثیر امپدانس‌های موازی) از ده برابر ثابت زمانی مدار ثانویه ترانسفورماتور جریان تحت آزمون، در طول چرخه کاری، بزرگتر باشد، خطای ترانسفورماتور مرجع قابل چشم‌پوشی است.



X: ترانسفورماتور جریان تحت آزمون

N: ترانسفورماتور جریان مرجع از نوع فوران نشی کم

Sh: امپدانس‌های موازی غیرالقائی

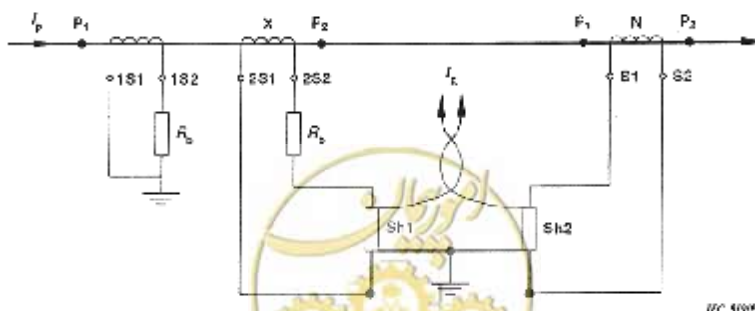
$$I_s = 1.1$$

$$\frac{I_p}{k_n} = 2.2$$

$$I_e = 3.3$$

R_b : بردن نامی ثانویه که در صورت نیاز برای تطبیق پارامترهای آزمون تنظیم می‌شود.

شکل ۴-۳: مدار آزمون اختلاف جریان



اختلاف ولتاژ -

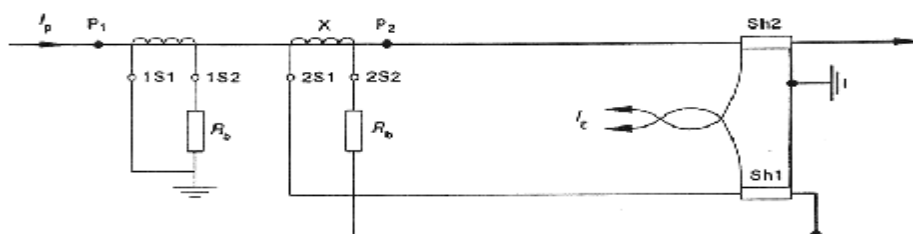
شکل ۴-۴: روش

امپدانس‌های موازی در ثانویه

ب- در استفاده از روشهای اختلاف ولتاژ (شکلهای ۴-۴ و ۴-۵) می‌بایستی دقت نمود که امپدانس‌های موازی دارای ثابت زمانی یکسانی بوده و نویز الکتریکی در مدار آزمون به حداقل برسد. در مدار آزمون شکل (۴-۵)، امپدانس‌های موازی بگونه‌ای تنظیم می‌شوند که نسبت تبدیل موثر ایجادشده برابر نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان مورد آزمون باشد.

ج- برای اندازه‌گیری جداگانه جریانهای اولیه و ثانویه از روشهای دیجیتالی می‌توان استفاده نمود و مقدار لحظه‌ای جریانهای خطا را مطابق با تعاریف مربوطه بدست آورد. فرآیند نمونه برداری از جریانهای اولیه و ثانویه می‌بایستی هماهنگ بوده و بازه نمونه‌برداری می‌بایستی بقدر کافی کوچک باشد تا دقت مورد نیاز بدست آید.

در شکل‌های (۴-۶) و (۴-۷) شکل موج‌های نوعی مربوط به این آزمون برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس‌های TPZ و TPY آورده شده است.



X: ترانسفورماتور جریان مورد آزمون

N: ترانسفورماتور جریان مرجع از نوع فوران نشی کم

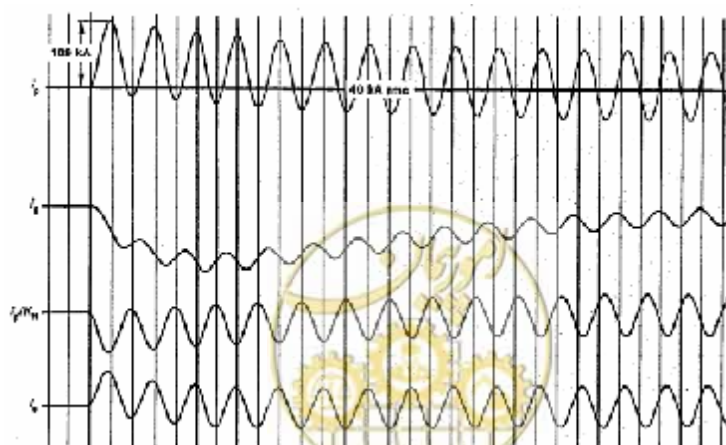
Sh: امپدانس موازی غیرالقائی

$$I_S = 1.1$$

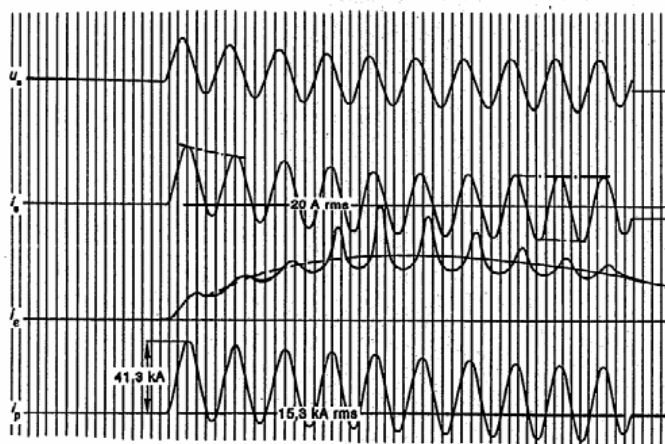
$$\frac{I_P}{K_n} = 2.2$$

R_b : بردن نامی ثانویه که در صورت نیاز برای تطبیق پارامترهای آزمون تنظیم می‌شود.

شکل ۴-۵: روش اختلاف ولتاژ- تنظیم نسبت تبدیل با امپدانس‌های موازی در اولیه



شکل ۴-۶: شکل موج‌های نوعی مربوط به ترانسفورماتور جریان کلاس TPZ



شکل ۴-۷: شکل موج‌های نوعی مربوط به ترانسفورماتور جریان کلاس TPY

ب) اندازه‌گیری انتگرال ولتاژ ثانویه

انتگرال ولتاژ ثانویه در طول زمان می‌تواند با استفاده از روش‌های آنالوگ نظیر استفاده از تقویت‌کننده‌های عملیاتی یا با استفاده از روش‌های دیجیتالی نظیر نمونه‌برداری و پردازش داده‌ها انجام گیرد.

در هر دو حالت انتگرال زیر باید محاسبه گردد:

$$\varphi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (4-5)$$

در این معادله:

$\varphi(t)$: شار پیوندی ثانویه با واحد وبر

R_{ct} : مقاومت سیم‌پیچ ثانویه

R_b : مقاومت ثانویه متصل به سیم‌پیچ است.

ولتاژ موثر معادل $U(t)$ در فرکانس نامی f از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U(t) = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \int_0^t R_b i_s dt \quad (4-6)$$

در آزمون مستقیم، خطا در اندازه‌گیری فوران نباید از $\pm 5\%$ تجاوز کند.

ج) آزمونهای مستقیم برای بررسی محدودیت‌های حد دقت

هسته ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPX, TPS به علت داشتن ضریب پس‌ماند بالا قبل از انجام آزمون مستقیم باید مغناطیس‌زدائی شده باشد. همچنین در صورتیکه ضریب پس‌ماند ترانسفورماتور جریان با کلاس TPY قابل چشم‌پوشی نباشد، هسته این نوع ترانسفورماتور نیز قبل از انجام آزمون مستقیم باید مغناطیس‌زدائی شود. دو آزمون مستقیم در فرکانس نامی و در بردن نامی به شرح زیر انجام می‌گیرد:

الف) جریان نامی اتصال کوتاه اولیه بدون هیچگونه مؤلفه dc در فرکانس نامی به سیم‌پیچی اولیه اعمال شده و مؤلفه ac جریان خطای لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار باید در محدوده خطائی باشد که باتوجه به ثابت زمانی ثانویه به صورت تتوریک بدست می‌آید $(\frac{1}{\omega T_s})$.

ب) جریان نامی اتصال کوتاه اولیه با حداکثر مقدار مؤلفه dc به سیم‌پیچی اولیه اعمال می‌شود. برای ثابت زمانی‌های اولیه کوچکتر از ۸۰ ms آزمون باتوجه به محدودیت‌های دقت ترانسفورماتور (چرخه کاری مشخص شده) انجام می‌پذیرد. ثابت زمانی اولیه نباید از مقدار مشخص شده بیشتر از ۱۰٪ انحراف داشته باشد. برای ثابت زمانی‌های بیشتر از ۸۰ ms آزمون‌ها باید در شرایط حد دقت معادل که مورد توافق خریدار و سازنده قرار می‌گیرد، انجام شود.

در طول هر دورهٔ برقدارشدن، اولین پیک لحظه‌ای جریان اولیه نباید از مقداری که شرایط مشخص شده تعیین می‌کند کمتر باشد. دورهٔ برقدارشدن و بردن ثانویه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که انتگرال ولتاژ (رابطه ۴-۵) به مقدار فوران حد دقت (φ_{al}) برسد. پیک لحظه‌ای جریان خطای معادل، اندازه‌گیری شده و این مقدار نباید از حد جریان خطای معادل با کلاس دقت مربوطه (مطابق جدول ۲-۸) بیشتر شود. برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY, TPX کل جریان خطا اندازه‌گیری می‌شود. برای کلاس TPZ، مؤلفه ac جریان خطا به اندازه نصف مقدار پیک تا پیک اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۴-۸).

نکته ۱: چنانچه برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPZ مقدار نامی I_{psc} حاصل نشد، بردن ثانویه به منظور رسیدن به سطح فوران مورد نیاز (φ_{al}) تنظیم می‌شود. مقدار اندازه‌گیری شده مؤلفه ac جریان خطا باید در ضریب تصحیح K_n ضرب شود.

$$K_n = \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ct} + R'_b} \quad (۴-۷)$$

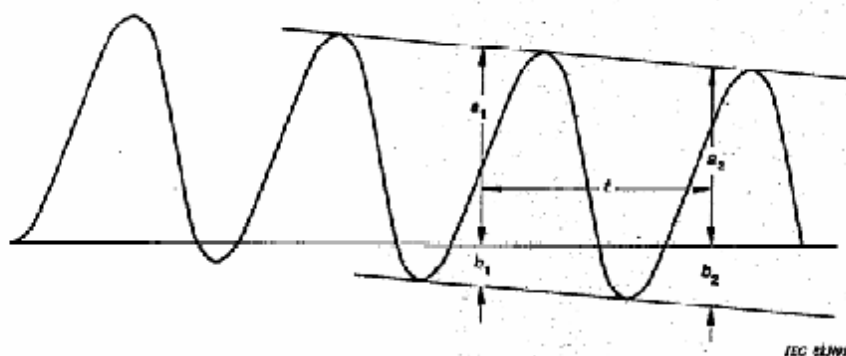
در این رابطه R_b بردن نامی و R'_b بردن آزمون است.

نکته ۲: اگر بردن ثانویه برای رسیدن به فوران مورد نیاز تنظیم شده باشد، باید به تغییر دوره یا دوره‌های لازم برقدارکردن دقت شود. این مسئله برای چرخه کاری C-O-C-O و ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPY, TPX که سطح فوران آنها در شروع دوره برقدارشدن دوم تغییر نمی‌کند مشهود است. نتیجه تغییر در پارامترها در معادلات پیوست ۲-۱ دیده می‌شود.

ج) اندازه‌گیری ضریب ساخت (F)

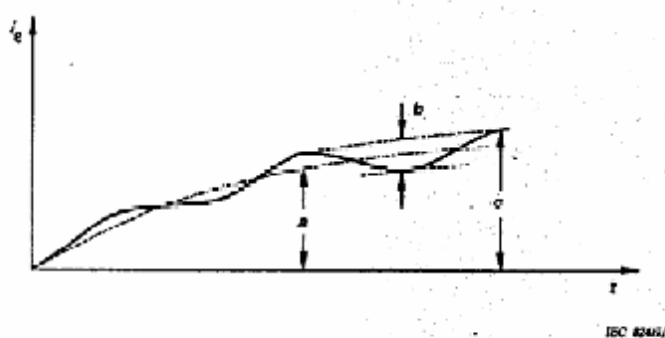
با انجام آزمون دوم از بند (ب) و افزایش طول دورهٔ برقدارشدن و بردن ثانویه، جریان خطای لحظه‌ای اندازه‌گیری شده به مقدار حد کلاس دقت (که در جدول ۲-۸ ذکر شده است) رسانده شده و سپس مقدار انتگرال ولتاژ زمان مربوطه تعیین می‌شود. برای کلاس TPZ از روش درونیابی خطی برای تعیین لحظه‌ای که مقدار حدی مؤلفه ac جریان خطا حاصل می‌شود، استفاده می‌گردد. از آزمون تحریک ثانویه، انتگرال ولتاژ زمان تا زمان جریان تحریک مشابه محاسبه شده و سپس ضریب ساخت محاسبه می‌شود.





$$T_p = t / \ln \frac{a_1 - (a_1 + b_1) / 2}{a_2 - (a_2 + b_2) / 2} = \frac{t}{\ln \left(\frac{a_1 - b_1}{a_2 - b_2} \right)}$$

الف) اندازه گیری ثابت زمانی اولیه برای ترانسفورماتورهای جریان نوع TPZ



$$a = I_{gdo}$$

$$b = 2 I_{g10}$$

$$c = I_{gdo} + I_{gdo}$$

$$I_g = c : \text{نوع TPY}$$

$$I_g = I_{gac} = b/2 : \text{نوع TPZ}$$

ب) اندازه گیری جریانهای خطا برای ترانسفورماتورهای جریان نوع TPZ,TPY

شکل ۴-۸: نحوه اندازه گیری T_p و جریانهای خطا برای ترانسفورماتورهای جریان با کلاس TPZ,TPY



پیوست (۴-۲): تعیین مشخصه مغناطیسی هسته

۱- کلیات

هنگامی که از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان یک جریان نامتقارن اتصال کوتاه کاملاً "جابجاشده" بگذرد، مولفه یک طرفه^۱ این جریان، فورانی با طول دوره نسبتاً طولانی در هسته ایجاد می‌کند. بنابراین آزمونهای غیرمستقیم که هسته ترانسفورماتور جریان را تحت تاثیر فوران یک طرفه قرار می‌دهند شرایط واقعی‌تری را ایجاد می‌کنند. برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPX و TPS به دلیل ضریب پسماند بالا لازم است که قبل از هر آزمون، هسته کاملاً مغناطیس‌زدایی شود. برای ترانسفورماتور جریان کلاس TPY، ضریب پسماند پایین بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود.

مغناطیس‌زدایی هسته نیاز به تجهیزات اضافی دارد که به وسیله آنها فوران هسته می‌تواند از نقطه اشباع کاهشی آرام را روی حلقه‌های هیستریزیس آغاز نماید. هنگامی که آزمون dc استفاده می‌شود بایستی یک منبع جریان با تنظیم دستی یا اتوماتیک فراهم باشد.

اندازه‌گیری مشخصات مغناطیسی هسته، رابطه بین فوران پیوندی ثانویه هسته و جریان مغناطیس‌کننده را بیان می‌نماید. اگر ولتاژ دلخواه $U(t)$ به ترمینالهای ثانویه اعمال شود (شکل ۴-۹)، فوران هسته $\phi(t)$ ایجاد شده در سیم‌پیچ ثانویه در زمان t در اثر این ولتاژ، از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\phi(t) = \int_0^t (U - R_{ct} i_m) dt \quad (4-8)$$

تاثیر افت ولتاژ روی مقاومت سیم‌پیچ ثانویه می‌بایستی تخمین زده شود و اگر این مقدار از ۲ درصد تجاوز نماید می‌بایستی از مقدار اندازه‌گیری شده کسر شود.

۲- روش AC

در این روش یک ولتاژ متناوب سینوسی به ترمینالهای ثانویه اعمال شده و مقدار جریان مغناطیس‌کننده اندازه‌گیری می‌شود. آزمون می‌تواند به دلیل جلوگیری از ایجاد ولتاژ غیر قابل تحمل برای سیم‌پیچی و ترمینالهای ثانویه در فرکانس کمتری انجام شود. تاثیر تلفات جریان گردابی^۳ در هسته و جریانهای خازنی بین لایه‌های سیم‌پیچی پایین بوده و باعث خطای قرائت در فرکانسهای پایین‌تر نخواهد شد.

جریان تحریک می‌بایستی با یک تجهیز قرائت‌کننده مقدار پیک، اندازه‌گیری شود. ولتاژ تحریک نیز با وسیله‌ای که واکنش آن متناسب با مقدار میانگین بوده ولی با مقدار موثر درجه‌بندی شده است اندازه‌گیری می‌شود. مقدار فوران پیوندی هسته (Φ) از مقدار موثر ولتاژ اعمالی U' در فرکانس f' به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\phi = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f'} \cdot U' \quad (4-9)$$



1. Fully offset
2. Unidirectional component
3. Eddy current

مقدار موثر ولتاژ U در فرکانس قدرت از رابطه زیر حاصل می شود:

$$U = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \quad (10-4)$$

نتیجه به صورت یک منحنی نمایش داده می شود که رابطه بین پیک جریان مغناطیسی و پیک فوران متناظر با مقدار موثر ولتاژ U در فرکانس نامی را ارائه می دهد.

اندوکتانس مغناطیس کننده توسط میانگین شیب منحنی تخمینی در بازه بین ۲۰ تا ۹۰ درصد فوران اشباع (Φ_s) محاسبه شده و به صورت زیر بیان می شود:

$$L_m = \frac{\Phi_s}{i_m} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2\pi f i_m} \quad (H) \quad (11-4)$$

هنگامی که اندوکتانس نشی ثانییه قابل چشم پوشی باشد، ثابت زمانی مدار ثانویه (T_s) برای مجموع بردن مقاومتی ($R_{ct} + R_b$) می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} \approx \frac{L_m}{R_{ct} + R_b} \quad (S) \quad (12-4)$$

در تعیین ضریب پسماند (K_r) با روش آزمون ac لازم است که از ولتاژ تحریک به صورتی که در شکل (۱۰-۴) نشان داده شده است انتگرال گرفته شود. ولتاژ انتگرال گرفته شده با جریان متناظر آن در دو محور X-Y اسیلوسکوپ یک حلقه هیستریزیس را نشان خواهد داد. اگر جریان تحریک به گونه ای باشد که فوران اشباع (Φ_s) بدست آید، فرض می شود که مقدار فوران در لحظه عبور از

نقطه صفر جریان، بیان کننده فوران پسماند (Φ_r) است. ضریب پسماند بنا به تعریف از نسبت $K_r = \frac{\Phi_r}{\Phi_s} = \frac{\Psi_r}{\Psi_s}$ بدست می آید.

۳- روش DC

در این روش، یک ولتاژ dc تا زمانی که فوران به مقدار فوران اشباع برسد به سیم پیچی ثانویه اعمال می شود. افزایش آرام جریان مغناطیس کنندگی اشاره بر به حساب آوردن افت ولتاژ روی مقاومت سیم پیچی دارد. اندازه فوران از گرفتن انتگرال ولتاژ روی ترمینالهای سیم پیچ برقرار به علاوه ولتاژی متناظر با $R_{ct} \cdot I_m$ بدست می آید. مدار نمونه آزمون در شکل (۱۱-۴) نشان داده شده است. اگر یک سیم پیچ مستقل اضافی در همان هسته موجود باشد یا اگر سیم پیچی ثانویه با تپهای متعدد فراهم شده باشد که بتوان آزمونها را روی آنها انجام داد، می توان با انتگرال گیری مستقیم از ولتاژ القا شده روی سیم پیچ آزاد، مقدار فوران را بدست آورد. در این حالت باید نسبت تبدیل مربوطه مشخص بوده و بخشهای هر دو سیم پیچی آزاد و برقرار شده دارای توزیع یکنواختی در طول مسیر متوسط هسته باشند. به علاوه هنگامی که ملزومات عملکرد حالت گذرا برای تپهایی به جز تپهای برقرار برآورده شده است علاوه بر تعیین مقدار فوران می توان با استفاده از نسبت تبدیل مربوطه، مقدار جریان مغناطیس کننده را نیز تعیین کرد. شکل (۱۳-۴) مدار این آزمون را نشان می دهد.



برای این که بتوان در مدت زمان معقولی به جریان تحریک مطلوب رسید، حداکثر جریان برقرار نمودن^۱ (I_m) می‌بایستی بیش از مقدار مورد نیاز باشد. به طور مثال برای همه کلاسها به جز I_m ، TPS می‌تواند دو برابر مقدار حد جریان خطای گذرا باشد. برای کلاس TPS، مقدار I_m می‌تواند ۵ برابر جریان تحریک در E_{a1} باشد. حتی ممکن است در تعیین ضریب پسماند (K_r) به مقادیر بالاتری از I_m برای به اشباع بردن هسته نیاز باشد.

ولتاژ باتری انتخاب شده می‌بایستی کمی از $R_{ct} \cdot I_m$ بیشتر باشد تا تنظیم جریان روی مقاومت محدود کننده R_1 به صورت نشان داده شده انجام گیرد.

مقاومت تخلیه R_d می‌بایستی متصل باشد، در غیر این صورت هنگامی که کلید S باز گردد ممکن است قطع جریان سلفی هسته، باعث ایجاد اضافه ولتاژهای بالایی شود.

اگر مقاومت R_d به گونه‌ای انتخاب شود که مقدار $R_d + R_{sh}$ برابر با R_b شود، ثابت زمانی مدار تخلیه تقریباً برابر ثابت زمانی مدار ثانویه (T_s) خواهد بود و رفتار تخلیه در مدار ثانویه می‌تواند پس از باز شدن کلید S، ثبت شود. با این وجود ممکن است انتخاب R_d با این شرایط، باعث ایجاد جریان‌های بسیار بالا شود که در این صورت نیاز است که R_d بزرگتر انتخاب گردد.

گاهی اوقات پس از بسته شدن کلید S، به نظر می‌رسد که جریان تحریک i_m به مقدار حداکثر خود (I_m) رسیده است که در آن مقدار فوران هسته ثابت خواهد ماند. اگر مدار شکل (۴-۹) استفاده نشود افت ولتاژ جبران نشده $R_{ct} \cdot I_m$ ممکن است افزایش بی‌موردی را به انتگرال گیر بدهد و در نتیجه فوران به صورت مستمر و نابه جا افزایش یابد. جبران‌سازی به وسیله تنظیم ضریب تقویت کننده متصل به امپدانس موازی انجام می‌شود و تعادل هنگامی بدست می‌آید که جریان تحریک i_m به مقدار حداکثر خود رسیده و فوران ثابت بماند.

جهت اندازه‌گیری فوران با جبران مقاومتی، تمام اجزا الکترونیکی مدار انتگرال‌گیری می‌بایستی در یک تجهیز مشخص، مونتاژ شده و بتوان در حد دقت لازم آن را کالیبره نمود. انتگرال مشخص شده که روی ولتاژ U و در طی ۱۵ ثانیه گرفته می‌شود، نباید با مقدار $15U$ ، بیشتر از ۳٪ اختلاف داشته باشد.

در تعیین مشخصات تحریک هسته، پس از ریست کردن^۲ انتگرال‌گیر، می‌بایستی بلافاصله کلید S بسته شود. مقادیر افزایش جریان مغناطیس‌کنندگی و فوران باید تا زمانی که به مقدار ثابتی می‌رسند ثبت شده و سپس کلید S باز شود.

نمونه‌ای از مقادیر ثبت شده آزمون، شامل مقدار فوران $\Phi(t)$ و جریان مغناطیس‌کننده $i_m(t)$ به عنوان تابعی از زمان در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده‌اند.

اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی L_m می‌تواند از روی نقاط مناسبی که روی منحنی مغناطیس‌کنندگی قرار دارند یا به وسیله رابطه (۴-۱۰) هنگامی که مقادیر فوران بر حسب موثر ولتاژ $U(t)$ داده شده است، بدست آید.

در ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPX و TPS، برای تخمین شیب متوسط منحنی $\Phi(i_m)$ ، استفاده از ثبت‌کننده X-Y پیشنهاد می‌شود.

ثابت زمانی مدار ثانویه (T_s) طبق رابطه (۴-۱۲) محاسبه می‌شود.



در هنگام بازکردن کلید S، یک جریان مغناطیس‌کنندگی در حال کاهش از سیم‌پیچی ثانویه و مقاومت تخلیه R_d عبور می‌کند. در این حالت مقدار فوران متناظر کاهش می‌یابد، ولی در جریان صفر به مقدار صفر نمی‌رسد. هنگامی که جریان تحریک مناسبی برای رسیدن به فوران اشباع Φ_s انتخاب شده است، می‌توان فرض نمود که مقدار فوران در جریان صفر، همان شار پسماند Φ_r است. برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPX و TPS که اجباراً هسته قبلاً مغناطیس‌زدایی شده است و نیز برای ترانسفورماتورهای جریان TPY مغناطیس‌زدا شده، ضریب پسماند از نسبت $\frac{\Phi_r}{\Phi_s}$ بدست می‌آید.

برای یک ترانسفورماتور جریان کلاس TPY که هسته آن قبلاً مغناطیس‌زدایی نشده است می‌توان ضریب پسماند را با یک آزمون اضافی که در آن ترمینالهای ثانویه جا به جا شده‌اند، تعیین نمود. در این حالت ضریب پسماند (K_r) ممکن است به صورت فوق ولی با در نظر گرفتن نصف مقدار فوران پسماند اندازه‌گیری شده در آزمون دوم محاسبه شود.

۴- روش DC جایگزین

برای ترانسفورماتورهای جریان کلاس TPY می‌توان از روشی که ساده‌تر از روش قسمت قبل است، استفاده نمود. در این روش فرض می‌شود اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی (L_m) مشخص بوده و تا رسیدن به جریان اشباع مقدار ثابتی داشته باشد و باطری نشان داده شده نیز تا رسیدن به این جریان دارای نیروی محرکه ثابتی باشد. مدار آزمون در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است. برای تعیین مشخصات تحریک، کلید S بسته می‌شود و افزایش مقدار جریان مغناطیس‌کننده تا زمانی که مقدار i_m ثابت شده و برابر I_m شود، ثبت می‌گردد.

اگر نیروی محرکه باطری ثابت باشد، جریان که به وسیله ثابت زمانی T و مقدار I_m کنترل شده است، به صورت نمایی تا حد اشباع افزایش می‌یابد.

ثابت زمانی T با در نظر گرفتن این که زمان رسیدن جریان به مقدار $0.393 I_m$ برابر $\frac{T}{2}$ است بدست می‌آید. مقاومت مجموع معادل مدار (R_{eq}) از حاصل تقسیم نیروی محرکه باطری (E) بر I_m بدست می‌آید. اندوکتانس مغناطیس‌کننده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L_m = T \cdot R_{eq} = T \cdot \frac{E}{I_m} \quad (۴-۱۳)$$

فوران پیوندی سیم‌پیچ ثانویه در جریان i_m و در ناحیه غیر اشباع برابر است با :

$$\Phi = L_m \cdot i_m \quad (۴-۱۴)$$

حد ولتاژ موثر معادل در فرکانس نامی هنگامی که $i_m \leq i_{al}$ است را می‌توان از رابطه (۴-۱۰) بدست آورد.



۵- روش تخلیه خازن

روش تخلیه خازن از شارژ یک خازن در سمت ثانویه برای برقرار کردن ترانسفورماتور جریان استفاده می‌نماید. خازن با ولتاژی به اندازه کافی بزرگ شارژ می‌شود به گونه‌ای که ولتاژی با انتگرال ولتاژ-زمان برابر یا بزرگتر از حد ولتاژ نامی تحریک معادل ثانویه (U_{al}) در ترمینالهای ترانسفورماتور جریان ایجاد شود.

مقدار پیک جریان تحریک ثانویه i_m می‌بایستی اندازه‌گیری شده و این مقدار نباید از جریان تحریک حد دقت ثانویه (I_{al}) تجاوز نماید. مدار آزمون در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است.

مقدار خازن باید به گونه‌ای انتخاب شود که نیازی به در نظر گرفتن افت ولتاژ روی مقاومت سیم‌پیچ ثانویه نباشد. اگر انتگرال ولتاژ $R_{ct} \cdot i_m$ در زمان t_D از ۲ درصد مجموع تجاوز نکند (و بنابراین اشباع وجود نداشته باشد)، این شرایط برآورده می‌شود:

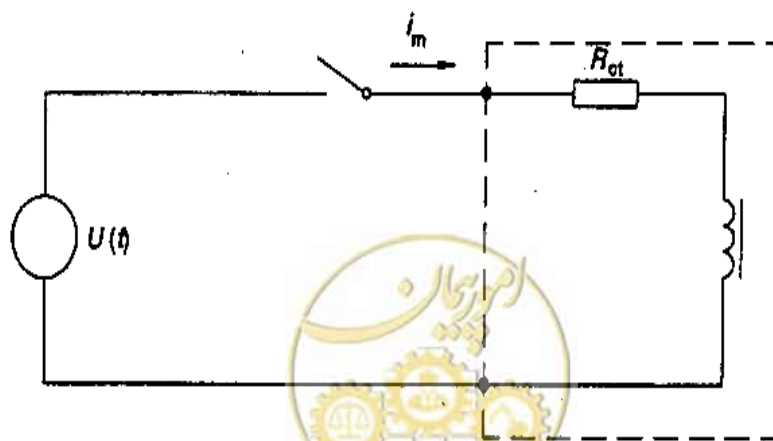
$$t_D \leq 0.02\pi \frac{L_s}{R_{ct}} \approx 0.06T_s \frac{R_{ct} + R_b}{R_{ct}} \quad (۴-۵)$$

مقادیر ثبت شده نوعی در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است.

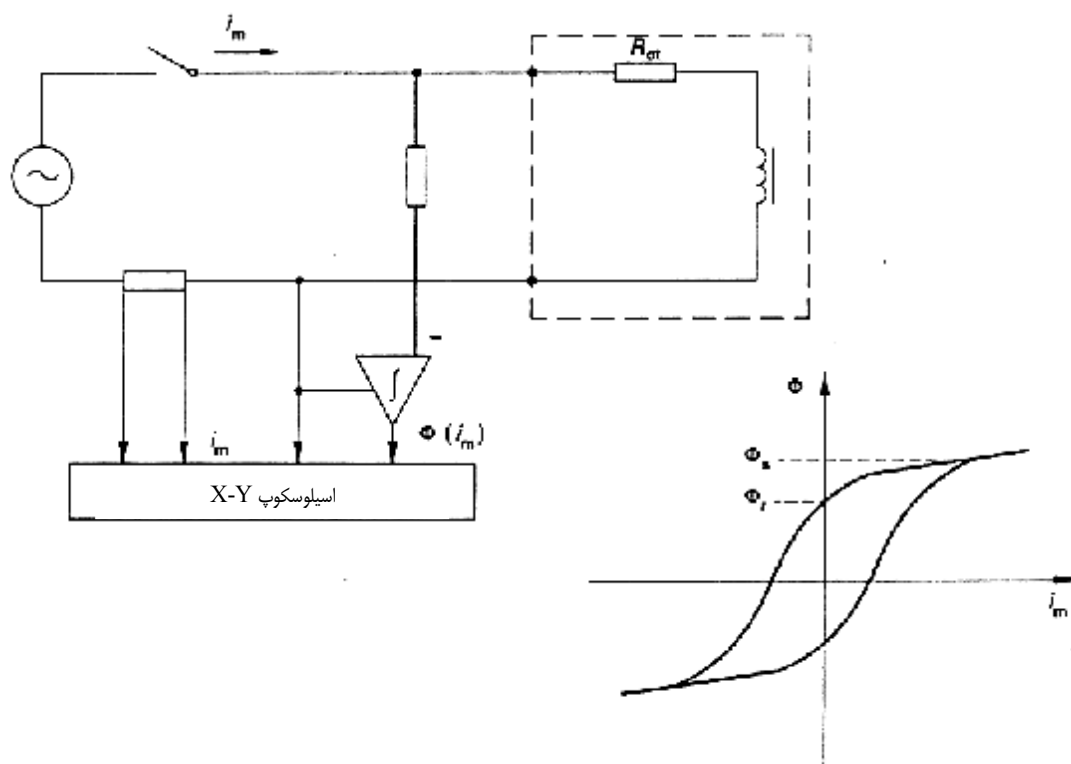
ثابت زمانی ثانویه (T_s) می‌بایستی به وسیله اعمال ولتاژی به ترمینالهای ثانویه ترانسفورماتور جریان که انتگرال ولتاژ-زمان آن ۹۰ درصد حد ولتاژ نامی تحریک ثانویه است اندازه‌گیری شود. جریان تحریک متناظر i'_m اندازه‌گیری شده و ثابت زمانی ثانویه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_s = \frac{\sqrt{2} \times 0.9U_{al}}{2\pi f(R_{ct} + R_B)i'_m} \quad (۴-۱۶)$$

انتگرال ولتاژ با جریان متناظر یک حلقه هیستریزس را در اسیلوسکوپ X-Y تشکیل خواهند داد. از این منحنی می‌توان برای تعیین ضریب پس‌ماند (K_r) استفاده کرد. اگر جریان تحریک به گونه‌ای باشد که فوران اشباع حاصل شود فرض می‌شود که مقدار فوران در لحظه عبور جریان از نقطه صفر همان فوران اشباع Φ_r است. بنابراین K_r از نسبت $\frac{\Phi_r}{\Phi_s}$ بدست می‌آید.

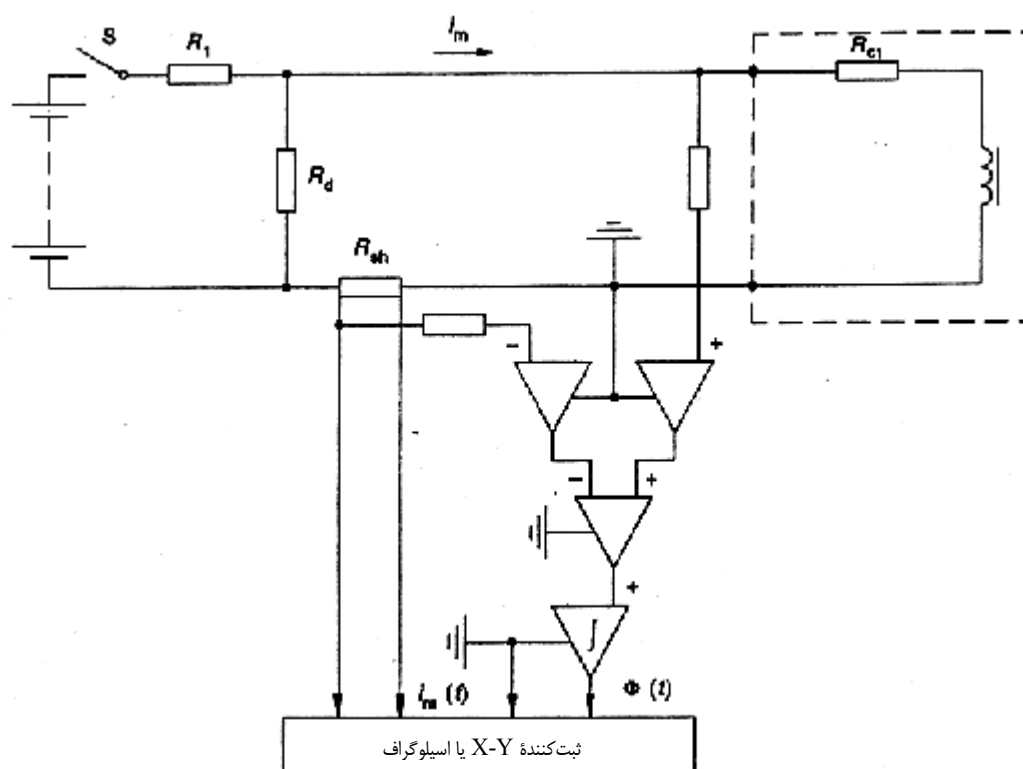


شکل ۴-۹: مدار پایه برای تعیین مشخصه مغناطیسی هسته

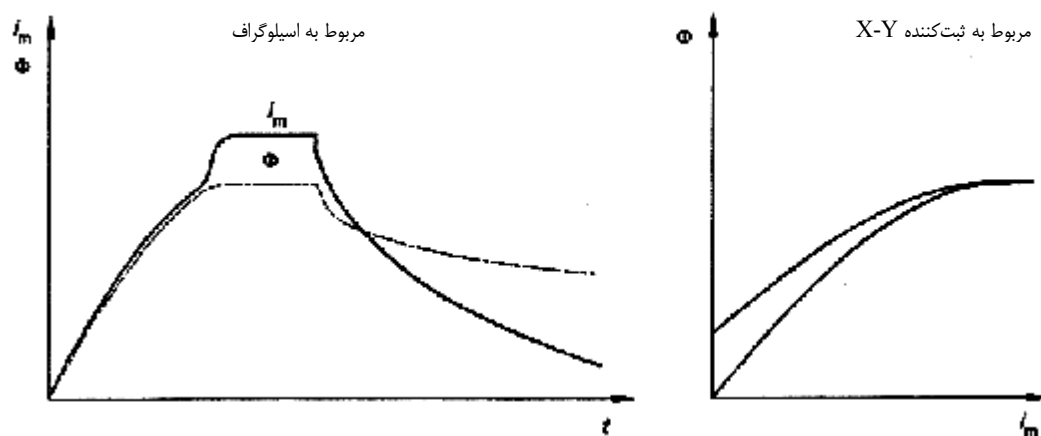


شکل ۴-۱: تعیین ضریب پسماند K_r به وسیله حلقه هیستروزیس



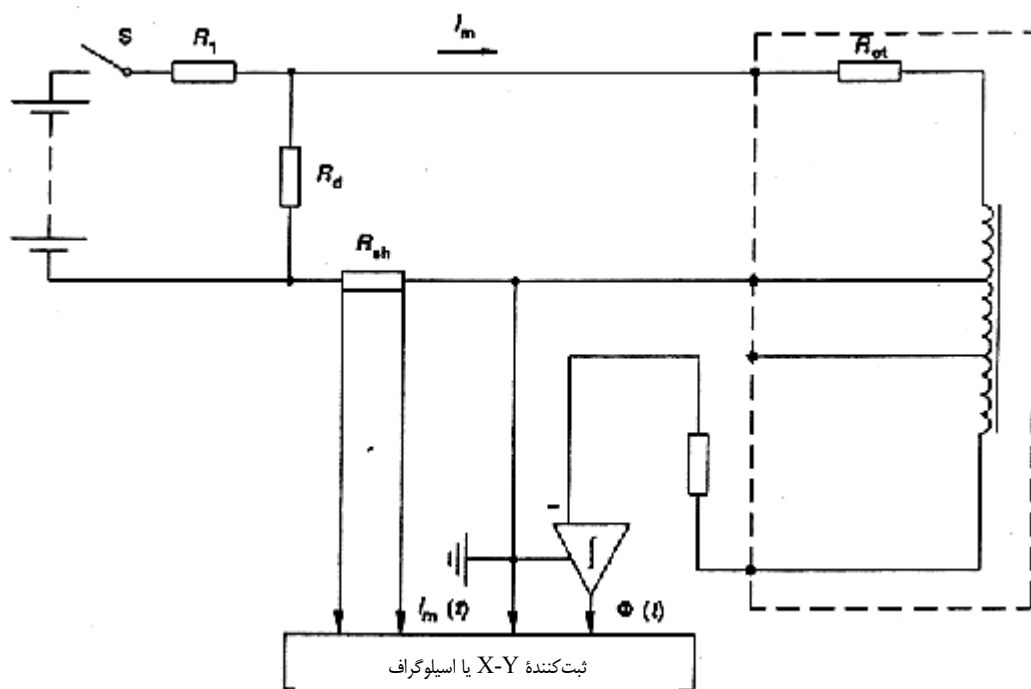


شکل ۴-۱۱: مدار پایه برای روش dc

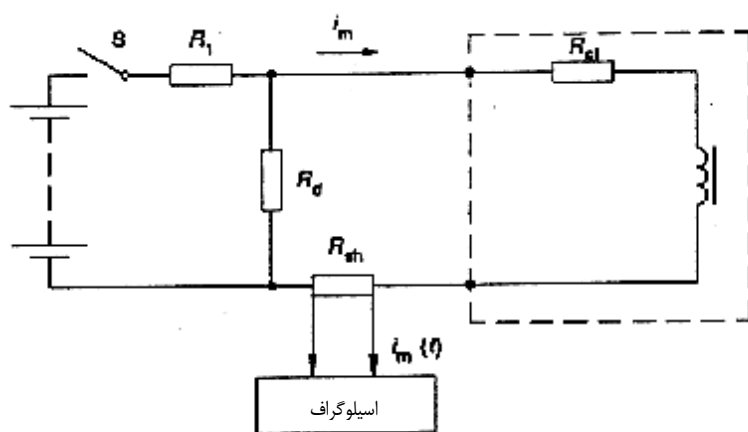


شکل ۴-۱۲: مقادیر ثبت شده نوعی



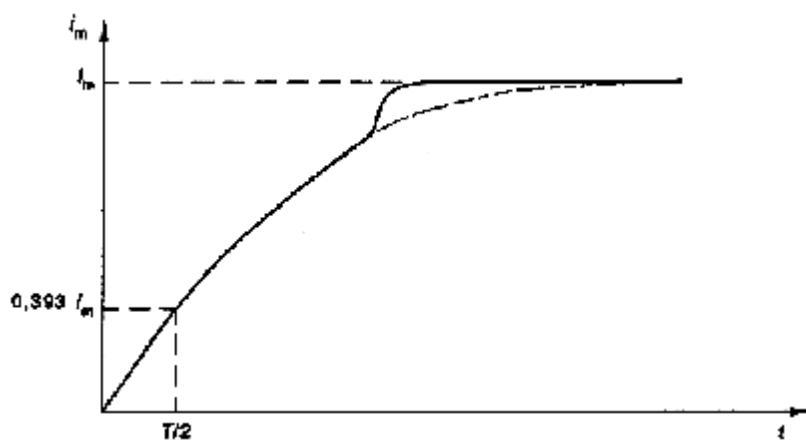


شکل ۴-۱۳: اندازه گیری فوران به وسیله سیم پیچی اضافی

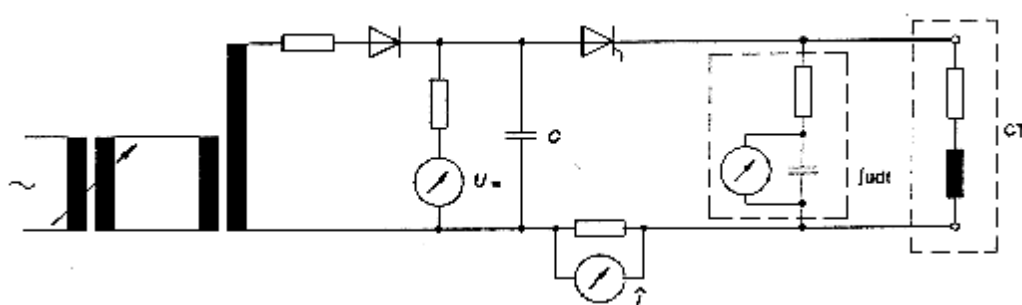


شکل ۴-۱۴: مدار روش dc جایگزین

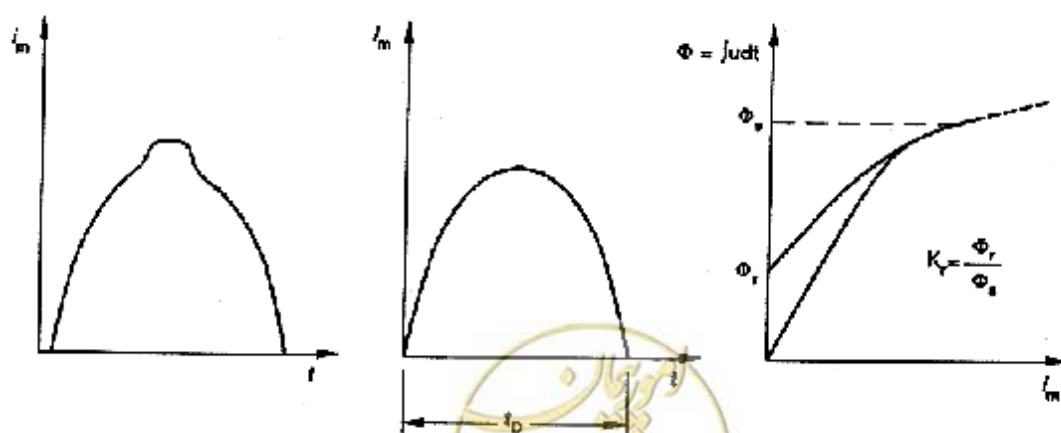




شکل ۴-۱۵: مقادیر ثبت شده نوعی به وسیله روش dc جایگزین



شکل ۴-۱۶: مدار برای روش تخلیه خازن



شکل ۴-۱۷: مقادیر ثبت شده نوعی برای روش تخلیه خازن

فصل ۵

دستورالعمل بهره‌برداری از ترانسفورماتورهای جریان





 omorepeyman.ir

مقدمه

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

۵-۱- کلیات

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

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

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

سرویس و تعمیرات به موقع و همچنین آزمونهای دوره‌ای و پیشگیرانه تجهیزات پست در سلامتی و طولانی شدن عمر آنها مؤثر می‌باشد و از آسیب دیدن، تعمیرات اصلاحی مکرر و احتمالاً از گسترش عیب در سایر تجهیزات پست (که می‌تواند سبب خروج طولانی مدت و یا غیرقابل بهره‌برداری شدن تجهیزات و یا قطع پستهای مهم شوند) جلوگیری بعمل می‌آورد. لذا می‌بایستی واحدهای تعمیرات سرویس دوره‌ای، تعمیرات اساسی و آزمونها را با توجه به نوع دستگاه، عملکرد، شرایط محیطی و همچنین دستورالعملهای صادره از سوی سازندگان تجهیزات به اجرا گذارند.

عملکرد صحیح و به موقع سیستم حفاظت و کنترل که ترانسفورماتور جریان نیز جزئی از آن است، دو عمل عمده را در شبکه انجام می‌دهد. اول اینکه از گسترش عیب در قسمت معیوب جلوگیری می‌نماید و در ثانی با جدا کردن قسمت معیوب از شبکه، بقیه قسمت‌های سالم شبکه اجازه می‌یابند تا کار عادی خود را که تامین انرژی مشترکین است ادامه دهند.

به همین دلیل بکارگیری روشهای مناسب در سرویس و نگهداری تجهیزات فشارقوی و سیستمهای حفاظت و کنترل ضروری است تا وقفه‌ای در عملکرد آنها بوجود نیاید.



۵-۲- تعمیرات کلی

بعنوان یک قانون و قاعده کلی، ترانسفورماتور جریان نیاز به هیچگونه تعمیراتی نخواهد داشت. تنها سرویس لازم تجهیز نمودن سطوح خارجی با توجه به شرایط آب و هوایی و محیط نصب ترانسفورماتور بوده و روش و میزان آن بهمان نحو که برای سایر تجهیزات نظیر کلیدهای فشارقوی و سکسیونرها عمل می‌شود می‌باشد. بطور کلی یک بازدید ظاهری ساده از قسمت‌های بیرونی ترانسفورماتور جهت تعیین شرایط و وضعیت ترانسفورماتور کافی خواهد بود. در خلال بازرسی ظاهری، می‌بایستی مطمئن بود که نشان‌دهنده سطح روغن، پر بودن روغن را نشان دهد.

در خلال بهره‌برداری از ترانسفورماتور جریان، سطوح و چترهای مفره همواره بوسیله ذرات گرد و غبار، دوده، نمک و غیره پوشیده می‌شود که بطور محسوس دقت تجهیزات را پایین می‌آورد. تمیز نمودن سطوح مذکور نیاز به هیچگونه سیستم مخصوص یا ابزار خاصی ندارد.

روشهای معمول که برای تمیز نمودن آلودگی سطوح سایر تجهیزات مشابه پذیرفته شده و بکار می‌رود، می‌تواند برای ترانسفورماتور جریان نیز بکار رود. برای مثال سیستم ثابت شستشوی با آب با استفاده از پاشش آب در جهت بالا و پایین بدون نیاز به بی‌برق ساختن و خارج نمودن ترانسفورماتور جریان از شرایط کاری، مفره‌های ترانسفورماتور را می‌شوید. از آنجائیکه ترانسفورماتور جریان در کارخانه بصورت مناسبی آب بندی می‌شود. آلودگی خارجی در روغن داخل ترانسفورماتور تاثیر نداشته و لذا نیازی به کنترل استقامت عایقی روغن ترانسفورماتور نخواهد بود.

۵-۳- رفع اشکال

۵-۳-۱- نشستی روغن

نشستی روغن ممکن است باعث آسیب رساندن به ترانسفورماتور و مانع بهره‌برداری از آن گردد. نشستی روغن بوسیله کنترل ظاهری سطوح بیرونی ترانسفورماتور مشخص می‌گردد. در صورت وجود نشستی روغن، پس از مشخص شدن محل آسیب‌دیدگی و نشستی، می‌بایستی عملیات رفع نشستی با توجه به میزان نشستی و در نظر گرفتن موارد ذیل انجام شود :

- نشستی جزئی روغن خطرناک نبوده و پس از عملیات موفقیت‌آمیز رفع نشستی نیازی به اضافه نمودن روغن به ترانسفورماتور نمی‌باشد.
- با توجه به بسته‌بندی و آب‌بندی شدن ترانسفورماتور جریان در کارخانه، امکان اضافه نمودن روغن در محل وجود ندارد.
- در صورتی که امکان رفع نشستی در محل نبوده و یا میزان روغن خارج شده زیاد باشد توصیه می‌شود که ترانسفورماتور معیوب با ترانسفورماتور سالم تعویض شود.

۵-۳-۲- نشستی روغن از طرفین انتهایی مفره

در پاره‌ای از موارد نشستی روغن از ناحیه بین واشرهای تعبیه شده بین قسمت‌های فلزی و مفره‌چینی می‌تواند بوسیله محکم نمودن پیچ‌های مربوطه رفع گردد (پیچ‌ها بایستی به تدریج و بصورت قطری محکم شوند).



نشستی روغن از اطراف نشان‌دهنده سطح روغن و ترمینال اولیه فشارقوی می‌تواند بوسیله محکم نمودن پیچ و یا مهره‌های مربوطه انجام شود. دقت کافی و ویژه می‌بایستی بهنگام محکم کردن پیچ‌های نشان‌دهنده سطح روغن بکار رود.

۵-۳-۳- شکستن مقره

در صورت آسیب دیدن مقره و شکستگی آن، می‌بایستی ترانسفورماتور معیوب با ترانسفورماتور سالم تعویض گردد.

۵-۴- نگهداری

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

۵-۴-۱- بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور جریان

- وضعیت ظاهری از نظر صدای غیرعادی
 - مقره‌ها از نظر آلودگی، ترک و شکستگی
 - عدم وجود نشستی و متناسب بودن سطح روغن
 - استشمام بوی غیر عادی
- در پیوست ۵-۲ نمونه‌ای از فرم بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور جریان آورده شده است.

۵-۴-۲- بازدیدهای هفتگی از ترانسفورماتور جریان

- سالم یا معیوب بودن وضعیت ظاهری
 - وجود یا عدم وجود ترک و شکستگی در مقره‌ها
 - طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن
 - وجود یا عدم وجود نشستی روغن
 - کامل یا ناقص بودن اتصالات هادیهای ورودی و خروجی فشارقوی
 - سایر اشکالات مشاهده شده
- در پیوست ۵-۳ نمونه‌ای از فرم بازدیدهای هفتگی از ترانسفورماتور جریان آورده شده است.

۵-۴-۳- بازدید ماهیانه ترانسفورماتور جریان

- کامل یا ناقص بودن اتصال هادیهای ورودی و خروجی هر سه فاز
- سالم یا معیوب، تمیز یا کثیف بودن مقره هر سه فاز و نیاز یا عدم نیاز به شستشو یا تمیز کردن
- در حد طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن در نشان‌دهنده روغن هر سه فاز
- وجود یا عدم وجود نشستی روغن در هر سه فاز

- سالم یا معیوب بودن کابل ثانویه هر سه فاز
- کامل یا ناقص بودن اتصال سیم زمین
- سایر اشکالات مشاهده شده

در پیوست ۴-۵ نمونه‌ای از فرم بازدیدهای ماهانه از ترانسفورماتورهای جریان آورده شده است.

۴-۴-۵- بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور جریان

ترانسفورماتورهای جریان در دوران بهره‌برداری دارای آزمونهای دوره‌ای نمی‌باشند. تنها بازدید و آچارکشی ترمینالها و سیم زمین کافی خواهد بود. این تجهیزات فقط در موارد ذیل مورد آزمون قرار می‌گیرند :

- در آزمونهای راه‌اندازی پستها^۱ (در پیوست ۵-۱ نمونه‌ای از فرم آزمونهای راه‌اندازی برای ترانسفورماتور جریان آورده شده است).
- هنگام بروز حوادثی نظیر ترکیدن کلیدها، برقگیرها، اتصالی شدید روی شینه‌ها و ...
- در صورتی که تشخیص داده شود که مدار CT مدتی باز مانده است.
- پس از بررسی حوادث و تشخیص احتمالی وجود عیب در CTها و یا مدارات آنها

۵-۴-۵- سرویس‌های دوره‌ای ترانسفورماتور جریان

- سرویس و آچارکشی اتصالات (استراکچر و ترمینالهای فشارقوی)
- سرویس و آچارکشی ترمینالهای ثانویه در جعبه اتصالات
- کنترل و آچارکشی سیم اتصال زمین از لحاظ شل‌شدگی و فرسودگی اتصالات و پارگی
- کنترل و آچارکشی کلاhek (درپوش بالایی)
- بازدید از دیافراگم روغن و تعویض آن در صورت نیاز
- کنترل وضعیت ظاهری مقره‌ها و تمیز نمودن آنها در صورت نیاز
- تمیز نمودن و کنترل جعبه اتصالات
- کنترل وضعیت ظاهری از نظر نشی احتمالی و رفع نمودن آن در صورت نیاز



پیوست (۵-۱): نمونه‌ای از فرم آزمونهای راه‌اندازی برای ترانسفورماتور جریان

شماره برگ آزمون: تاریخ آزمون قبلی: تاریخ آزمون:
 نام پست: نام و شماره فیدر:
 نوع ترانس: نام کارخانه سازنده: شماره سریال:
 نسبت تبدیل (نسبت‌های تبدیل ممکن نوشته شود):

۱- آزمون عایقی

اولیه با هر یک از سیم‌پیچهای ثانویه و زمین ($500V$):

(core 3) = MEGA ohm (core 2) = MEGA ohm (core 1) = MEGA ohm
 (core 6) = MEGA ohm (core 5) = MEGA ohm (core 4) = MEGA ohm

ثانویه با زمین ($1000V$): مگا اهم

(core 3) = MEGA ohm (core 2) = MEGA ohm (core 1) = MEGA ohm
 (core 6) = MEGA ohm (core 5) = MEGA ohm (core 4) = MEGA ohm

۲- آزمون پلاریته (باتری ۶ یا ۱۲ ولت): صحیح/ناصحیح

تذکر: صحیح یا ناصحیح بودن پلاریته با توجه به نقشه‌های اجرایی مشخص می‌گردد.

۳- آزمون نسبت تبدیل:

تزریق حداقل ۱۰٪ جریان نامی:

CORE 1				CORE 2				CORE 3			
IP1	Is1	RATIO	ERROR%	IP2	Is2	RATIO	ERROR%	IP3	Is3	RATIO	ERROR%

CORE 4				CORE 5				CORE 6			
IP4	Is4	RATIO	ERROR%	IP5	Is5	RATIO	ERROR%	IP6	Is6	RATIO	ERROR%

۴ - اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ ثانویه:

با استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری مقاومت (پل وتستون)

(core 3) = ohm R(core 2) = ohm R(core 1) = ohm
 (core 6) = ohm R(core 5) = ohm R(core 4) = ohm

نام و نام خانوادگی آزمون کننده:



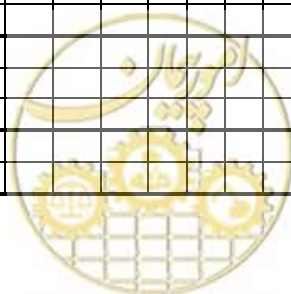
نام پست

ولتاژ:

56

سال:

ردیف	نام تجهیز یا سیستم معیوب	ولتاژ	شماره تجهیز	وضعیت	ایام ماه																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
					۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
				معیوب																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

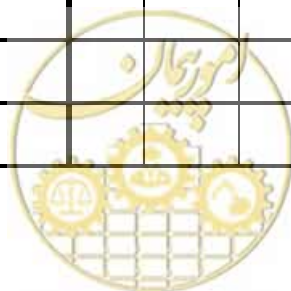


۱۰۳

شماره بی:

پیوست (۵-۴): فرم بازدید ماهانه ترانسفورماتور جریان

نام پست:		ولتاژ:		شماره تجهیز:		نام فیدر:		شماره بی:																		
موضوع بازدید و شماره ردیف	اتصال هادی‌های ورودی و خروجی				مقره ترانسفورماتور جریان								سطح روغن		نشتی روغن		کابل ثانویه									
	۱				۲								۳		۴		۵									
	کامل	ناقص			تمیز	نیاز به شستشو			سالم	معیوب			طبیعی	کم			ندارد	دارد			سالم	معیوب				
		C	B	A		C	B	A		C	B	A		C	B	A		C	B	A						





🌐 omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

1. IEC 60044-1, "Instrument transformers, Part 1, Current transformers".
2. IEC 60044-6, "Instrument transformers, Part 6, Requirements for Protective Current transformers for transient performance".
۳. استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت جلد ۲۰۶: معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور جریان تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۴. استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت جلد ۳۰۶: مشخصات فنی ترانسفورماتور جریان تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۵. استاندارد پست‌های ۶۳/۲۰ کیلوولت تهیه شده توسط مشاوران
۶. استاندارد آیین بهره‌برداری، تعمیرات و آزمون‌های دوره‌ای تجهیزات و تأسیسات پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت شماره ۷۳-۴۰۵: تعمیرات، سرویس و آزمون‌های دوره‌ای تجهیزات بیرونی پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۷. استاندارد آیین بهره‌برداری، تعمیرات و آزمون‌های دوره‌ای تجهیزات بیرونی پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، شماره ۷۳-۴۰۴: بازدیدهای دوره‌ای تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۸. نشریه "هماهنگی عایقی" از سری همین نشریات
۹. نشریه "طبقه‌بندی شرایط آلودگی و اقلیمی" از سری همین نشریات
۱۰. نشریه "شینه‌بندی و آرایش تک خطی" از سری همین نشریات





🌐 omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

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

دفتر نظام فنی اجرایی





🌐 omorepeyman.ir

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال -
ترانسفورماتورهای جریان در پست های فشار
قوی (جلد دوم)» دربرگیرنده مطالب مربوط به
معرفی انواع ترانسفورماتور های جریان، مبانی
طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور های
جریان، آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای
جریان و ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با
کلاس دقت TPS, TPX, TPY, TPZ و
همچنین دستورالعمل های بهره برداری از
ترانسفورماتور های جریان می باشد.





🌐 omorepeyman.ir