

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
ترانسفورماتورهای ولتاژ
در پست های فشار قوی (جلد دوم)
نشریه شماره ۲-۸۰

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

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

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
ترانسفورماتور و لتاژ درپست های فشارقوی
نشریه شماره ۲-۴۰۸

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

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



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی

شماره : ۱۰۰/۱۹۵۶۰	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ : ۱۳۸۷/۳/۴	
موضوع : مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتور ولتاژ 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 ۴۰۸ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، در ۲ مجلد با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتور ولتاژ 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 	

ویرایش شد. میرمحسنی ۱۳۸۶/۱۱/۱۶

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>

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 ریاست جمهوری (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 ولتاژ در پست‌های فشار قوی - جلد دوم» می‌باشد که در شش فصل و مشتمل بر مشخصات فنی عمومی و اجرایی ترانسفورماتورهای ولتاژ، مبانی طراحی و انتخاب، آزمون‌های استاندارد مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی و انداکتیو و همجنس مقسم خازنی و دستورالعمل‌های نگهداری ترانسفورماتور ولتاژ تهیه شده است.

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

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای ولتاژ در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۴۰۸

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری خانم مهندس طاهره نوری، آقایان مهندسين مهدی جاهدی، 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 رحمت الله اکرم	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای دکتر عارف درودی	مهندسين مشاور نیرو
آقای مهندس محمد برکاتی	شرکت مشانیر
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای مهندس سید حسن عرب اف	مهندسين مشاور قدس نیرو
خانم مهندس طاهره نوری	مهندسين مشاور نیرو
خانم مهندس آزاده نیکخواه	مهندسين مشاور قدس نیرو
آقای دکتر کبیری	شرکت ایران ترانسفو
آقای مهندس اباذر میرزایی	مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری توانیر
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی طرح
مسئولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفترنظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسين پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.	

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل اول - کلیات و تعاریف
۳	۱-۱- کلیات
۳	۲-۱- انواع ترانسفورماتور ولتاژ
۴	۳-۱- مقایسه ترانسفورماتور ولتاژ نوع اندوکتیو (PT) با نوع خازنی (CVT)
۵	۴-۱- ساختمان و وظایف اجزاء اصلی ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی
۷	۱-۴-۱- مقسم خازنی (CVD)
۷	۲-۴-۱- واحد الکترومغناطیسی (EMU)
۸	۱-۲-۴-۱- ترانسفورماتور ولتاژ متوسط (IVT)
۸	۳-۴-۱- جعبه ترمینال ثانویه
۸	۵-۱- پدیده فرورزونانس در ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی
۹	۶-۱- تعاریف مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ
۹	۱-۶-۱- ولتاژ نامی اولیه
۹	۲-۶-۱- ولتاژ نامی ثانویه
۹	۳-۶-۱- حداکثر ولتاژ سیستم (Um)
۱۰	۴-۶-۱- فرکانس نامی
۱۰	۵-۶-۱- بردن
۱۰	۶-۶-۱- بردن نامی
۱۰	۷-۶-۱- توان خروجی نامی
۱۰	۸-۶-۱- خروجی حرارتی ترانسفورماتور ولتاژ
۱۰	۹-۶-۱- نسبت تبدیل واقعی و نسبت تبدیل نامی (Kn)
۱۱	۱۰-۶-۱- کلاس دقت
۱۱	۱۱-۶-۱- خطا در ترانسفورماتورهای ولتاژ
۱۱	۱-۱۱-۶-۱- خطای نسبت تبدیل (خطای ولتاژ)
۱۱	۲-۱۱-۶-۱- خطای جابجائی فاز
۱۱	۱۲-۶-۱- ضریب ولتاژ نامی
۱۱	۱۳-۶-۱- سیم‌پیچ ولتاژ باقیمانده
۱۲	۱۴-۶-۱- ترمینال فشار ضعیف
۱۲	۱۵-۶-۱- ترمینال فشار متوسط

۱۲	 ۱-۶-۱۶- ترمینال فشارقوی
۱۲	 ۱-۶-۱۷- خازن فشارقوی (C1)
۱۲	 ۱-۶-۱۸- خازن فشارمتوسط (C2)
۱۲	 ۱-۶-۱۹- ضریب تلفات عایقی ($tg\delta$)
۱۲	 ۱-۶-۲۰- ضریب دما
۱۳	 ۱-۶-۲۱- کلاس دما
۱۳	 ۱-۶-۲۲- عایقهای خودترمیم
۱۳	 ۱-۶-۲۳- عایقهای غیر خودترمیم
۱۳	 ۱-۶-۲۴- آزمون نوعی
۱۳	 ۱-۶-۲۵- آزمون جاری
۱۳	 ۱-۶-۲۶- آزمون ویژه
۱۳	 ۱-۶-۲۷- ضریب اتصال زمین
۱۴	 ۱-۶-۲۸- سیستم با نوترال ایزوله
۱۴	 ۱-۶-۲۹- سیستم با نوترال مستقیماً زمین شده
۱۴	 ۱-۶-۳۰- سیستم با نوترال زمین شده از طریق امپدانس
۱۴	 ۱-۶-۳۱- سیستم با نوترال زمین شده به صورت تشدید

فصل دوم - مبانی طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور ولتاژ

۱۷	 ۱-۲- کلیات
۱۸	 ۲-۲- انتخاب نوع ترانسفورماتور ولتاژ
۱۸	 ۳-۲- انتخاب ولتاژ نامی اولیه
۱۸	 ۴-۲- ولتاژ نامی ثانویه
۱۹	 ۵-۲- فرکانس نامی
۱۹	 ۶-۲- ضریب ولتاژ نامی
۱۹	 ۷-۲- توان خروجی نامی
۲۰	 ۸-۲- کلاس دقت
۲۰	 ۱-۸-۲- کلاس دقت سیم‌پیچ اندازه‌گیری ترانسفورماتورهای ولتاژ
۲۰	 ۲-۸-۲- کلاس دقت حفاظتی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ
۲۱	 ۳-۸-۲- کلاس دقت پاسخ گذرای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی
۲۲	 ۹-۲- ملزومات عایقی
۲۳	 ۱۰-۲- فاصله خزشی مقرر

۲۳	 ۱۱-۲- مشخصات خازن CVT
۲۳	 ۱۲-۲- کلاس دما
۲۳	 ۱-۱۲-۲- کلاس دمای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از نظر میزان افزایش درجه حرارت
۲۴	 ۲-۱۲-۲- کلاس دمای محیطی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی
۲۵	 ۱۳-۲- سیم پیچ ولتاژ باقیمانده
۲۶	 ۱۴-۲- مثال کاربردی

فصل سوم - آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو

۳۱	 ۱-۱-۳- آزمونهای نوعی
۳۱	 ۱-۱-۳- آزمون افزایش دما
۳۲	 ۲-۱-۳- آزمون موج ضربه بر روی سیم پیچ اولیه
۳۲	 ۱-۲-۱-۳- کلیات
۳۲	 ۲-۲-۱-۳- آزمون موج صاعقه
۳۳	 ۳-۲-۱-۳- آزمون موج کلیدزنی
۳۳	 ۳-۱-۳- آزمون شرایط مرطوب برای ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع بیرونی
۳۳	 ۲-۳-۱-۳- سیم پیچهای دارای حداکثر ولتاژ سیستم ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر
۳۳	 ۴-۱-۳- آزمون قابلیت تحمل اتصال کوتاه
۳۴	 ۵-۱-۳- آزمونهای دقت
۳۴	 ۱-۵-۱-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ با هسته اندازه گیری
۳۴	 ۲-۵-۱-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ با هسته حفاظتی
۳۵	 ۲-۳- آزمونهای جاری
۳۵	 ۱-۲-۳- آزمون تائید علامت گذاری ترمینالها
۳۶	 ۲-۲-۳- آزمونهای فرکانس قدرت روی سیم پیچ اولیه و اندازه گیری میزان تخلیه جزئی
۳۶	 ۱-۲-۲-۳- کلیات
۳۷	 ۲-۲-۲-۳- سیم پیچهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۰۰ کیلوولت ($U_m < 300 \text{ kV}$)
۳۷	 ۳-۲-۲-۳- سیم پیچهای با حداکثر ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)
۳۸	 ۴-۲-۲-۳- اندازه گیری میزان تخلیه جزئی
۳۹	 ۳-۲-۳- آزمون فرکانس قدرت بین قسمتهای مختلف و روی سیم پیچهای ثانویه
۳۹	 ۴-۲-۳- آزمونهای دقت
۳۹	 ۳-۳- آزمونهای ویژه
۳۹	 ۱-۳-۳- آزمون موج صاعقه بریده شده روی سیم پیچ اولیه
۴۰	 ۲-۳-۳- اندازه گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی

۴۰ ۳-۳-۳ آزمونهای مکانیکی

فصل چهارم - آزمونهای مربوط به ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

- ۴۵ ۱-۴ کلیات
- ۴۷ ۲-۴ آزمونهای نوعی
- ۴۹ ۱-۲-۴ آزمون افزایش درجه حرارت
- ۴۹ ۲-۲-۴ آزمونهای موج ضربه
- ۵۰ ۱-۲-۲-۴ آزمون موج ضربه صاعقه
- ۵۰ ۲-۲-۲-۴ آزمون موج ضربه صاعقه بریده شده
- ۵۰ ۳-۲-۲-۴ آزمون در حالت مرطوب برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی بیرونی
- ۵۰ ۳-۲-۴ آزمون فرورزونانس
- ۵۱ ۴-۲-۴ آزمون پاسخ گذرا
- ۵۳ ۵-۲-۴ آزمون دقت
- ۵۴ ۶-۲-۴ آزمون قابلیت تحمل اتصال کوتاه
- ۵۴ ۷-۲-۴ آزمون ولتاژ تداخل رادیویی
- ۵۵ ۸-۲-۴ آزمون آببندی واحد الکترومغناطیسی پر شده از مایع
- ۵۵ ۹-۲-۴ آزمون بازبینی دقت
- ۵۷ ۱۰-۲-۴ اندازه گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت
- ۵۷ ۱-۱۰-۲-۴ رویه اندازه گیری خازن
- ۵۸ ۲-۱۰-۲-۴ اندازه گیری تلفات خازن
- ۵۸ ۳-۴ آزمونهای جاری
- ۵۹ ۱-۳-۴ آزمون تحمل فرکانس قدرت و اندازه گیری خازن، ضریب تلفات عایقی و تخلیه جزئی برای مقسم خازنی
- ۵۹ ۱-۱-۳-۴ آزمون تحمل فرکانس قدرت و اندازه گیری خازن و ضریب تلفات عایقی
- ۵۹ ۲-۱-۳-۴ اندازه گیری تخلیه جزئی
- ۶۰ ۳-۱-۳-۴ آزمون تحمل ولتاژ متناوب روی ترمینال فشار ضعیف مقسم خازنی
- ۶۰ ۴-۱-۳-۴ آزمون تحمل فرکانس قدرت برای واحد الکترومغناطیسی
- ۶۱ ۲-۳-۴ آزمون آببندی مقسم خازنی پر شده از مایع
- ۶۱ ۳-۳-۴ آزمون بازبینی علامت گذاری ترمینالها
- ۶۲ ۴-۳-۴ آزمون بازبینی فرورزونانس
- ۶۲ ۴-۴ آزمونهای ویژه
- ۶۳ ۱-۴-۴ اندازه گیری ضریب انتقال اضافه ولتاژهای فرکانس بالا
- ۶۳ ۲-۴-۴ آزمون تحمل مکانیکی

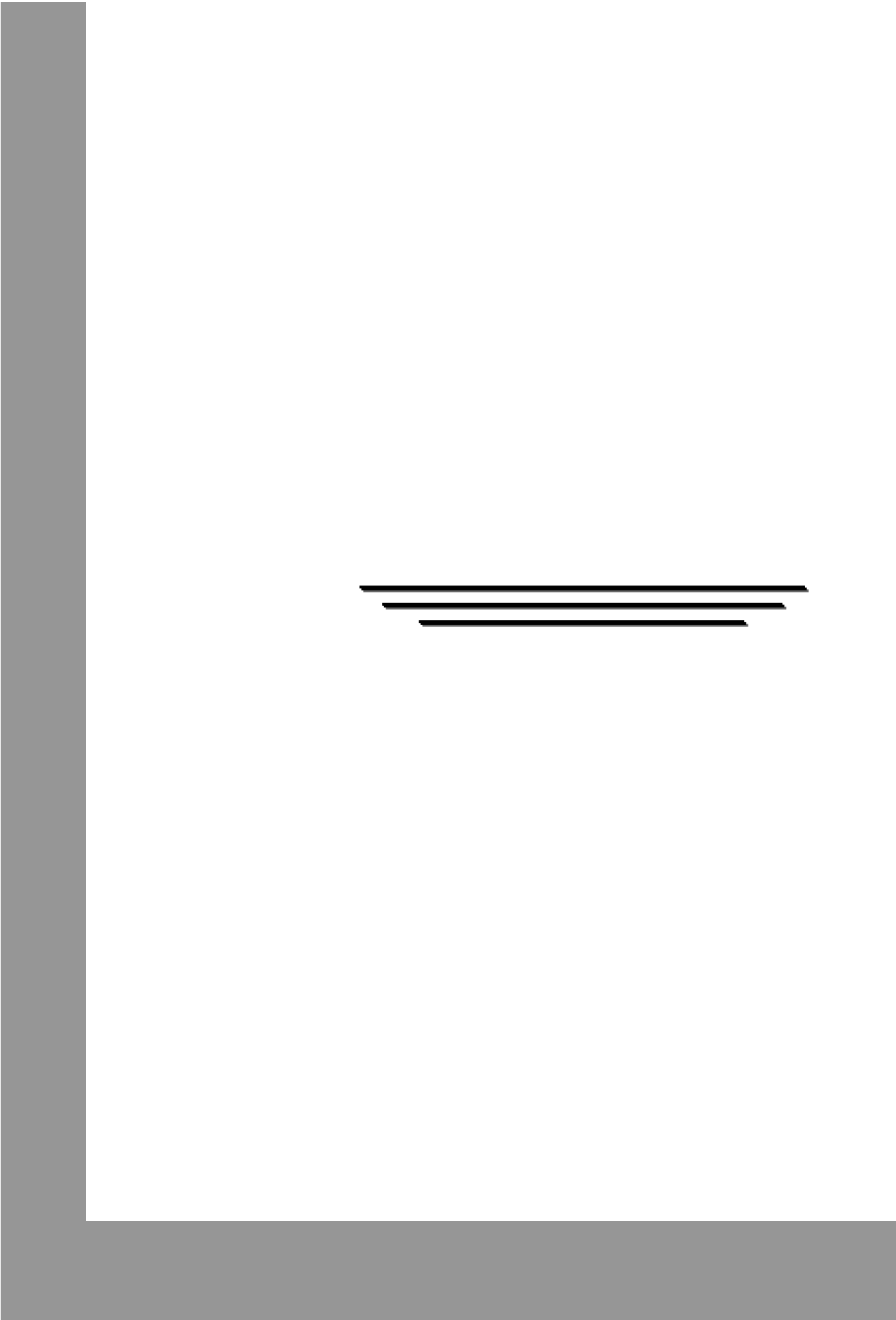
- ۶۳ ۳-۴-۴- آزمون تعیین ضریب دما (TC)
- ۶۴ ۴-۴-۴- آزمون آببندی ساخت واحدهای خازنی

فصل پنجم - آزمونهای مربوط به مقسم خازنی

- ۶۷ ۱-۵- شرایط آزمون
- ۶۷ ۲-۵- آزمونهای نوعی
- ۶۷ ۱-۲-۵- آزمونهای فرکانس بالا
- ۶۷ ۱-۲-۵-۱-۱- خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل
- ۶۸ ۲-۲-۵-۱-۲- خازن پراکندگی و هدایت پراکندگی ترمینال فشار ضعیف
- ۶۸ ۲-۲-۵- آزمونهای ولتاژ
- ۶۸ ۱-۲-۵-۱-۲- آزمون ولتاژ متناوب در حالت خشک
- ۶۸ ۲-۲-۵-۲- آزمون ولتاژ متناوب در حالت مرطوب
- ۶۹ ۳-۲-۵-۳- آزمون ولتاژ موج کلیدزنی در حالت خشک
- ۶۵ ۴-۲-۵-۴- آزمون موج ولتاژ کلیدزنی در حالت مرطوب
- ۶۹ ۵-۲-۵-۵- آزمون ولتاژ موج صاعقه
- ۷۰ ۳-۲-۵- آزمون تخلیه
- ۷۰ ۴-۲-۵- آزمون تخلیه جزئی
- ۷۰ ۱-۴-۲-۵- کلیات
- ۷۱ ۲-۴-۲-۵- آزمون نوعی تخلیه جزئی
- ۷۲ ۵-۲-۵- آزمون اندازه گیری ضریب دما
- ۷۲ ۶-۲-۵- آزمون نیروی محوری
- ۷۳ ۳-۵- آزمونهای جاری
- ۷۳ ۱-۳-۵- اندازه گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت
- ۷۳ ۱-۳-۵-۱-۱- تلورانس خازن
- ۷۳ ۲-۳-۵- اندازه گیری تلفات خازن
- ۷۳ ۳-۳-۵- آزمونهای ولتاژ
- ۷۴ ۴-۳-۵- آزمون ولتاژ بین ترمینال فشار ضعیف و ترمینال زمین
- ۷۴ ۵-۳-۵- آزمون تخلیه جزئی
- ۷۵ ۶-۳-۵- آزمون آببندی

فصل ششم - دستورالعملهای نگهداری ترانسفورماتور ولتاژ

۸۱	 کلیات ۱-۶
۸۲	 نگهداری ۲-۶
۸۲	 بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور ولتاژ ۱-۲-۶
۸۲	 بازدیدهای هفتگی از ترانسفورماتور ولتاژ ۲-۲-۶
۸۲	 بازدیدهای ماهیانه ترانسفورماتور ولتاژ ۳-۲-۶
۸۲	 بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ ۴-۲-۶
۸۳	 سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ ۵-۲-۶
۸۷	 منابع و مراجع



۱- مقدمه

هدف از این فصل معرفی و شناخت ترانسفورماتورهای ولتاژ است. همچنین مشخصه‌های عمومی ترانسفورماتور ولتاژ و تعاریف کلی مرتبط با آن از دیگر مباحث مطرح شده در این فصل خواهد بود.

۱-۱- کلیات

جهت بررسی نحوه عملکرد شبکه‌های قدرت می‌بایستی پارامترهایی نظیر ولتاژ، جریان، توان و... این شبکه‌ها را همواره کنترل نمود. کنترل این پارامترها به جهت حفظ قابلیت اطمینان نسبت به تداوم بار، امری حیاتی و لازم می‌نماید. به همین جهت می‌بایستی ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بکار گرفته شوند. ترانسفورماتورهای ولتاژ علاوه بر پایین آوردن ولتاژ طرف فشار قوی و ایزوله نمودن طرف فشار قوی از دستگاه‌های قابل دسترس طرف ثانویه، جهت اهداف مختلفی مانند: اندازه‌گیری، حفاظت، کنترل و سنکرونیزاسیون بکار می‌روند. از ولتاژ تبدیل شده توسط ترانسفورماتورهای ولتاژ، تجهیزات مختلفی چون دستگاه‌های اندازه‌گیری، رله‌ها، ثبات‌ها، کنتورها، تجهیزات سیستم اسکادا و... استفاده می‌نمایند. تصمیم‌گیری در مورد وضعیت حال و آینده شبکه‌های الکتریکی نیازمند پارامترهایی است که توسط تجهیزات مذکور بدست می‌آید که این امر خود بیانگر ضرورت وجود ترانسفورماتورهای ولتاژ است.

۱-۲- انواع ترانسفورماتور ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ از نظر ساخت به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع اندوکتیو^۱ (PT)

- ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی^۲ (CVT)

در سطوح ولتاژ متوسط نظیر ۲۰ و ۳۳ کیلوولت که استفاده از سیستم PLC ضرورتی ندارد از ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع اندوکتیو (PT) استفاده می‌شود ولی در سطوح ولتاژی ۶۳ کیلوولت و بالاتر استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو اقتصادی نبوده و ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی (CVT) بکار گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است در سطح ولتاژ ۶۳ کیلوولت به ندرت از PT نیز استفاده می‌شود. خازن ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی می‌تواند بعنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC هم بکار رود و در این صورت در پست‌های با سطح ولتاژ بالاتر از ۶۳ (۶۶) کیلوولت که دارای سیستم PLC می‌باشند نیازی به استفاده از خازن کوپلاژ مجزا نخواهد بود.

ترانسفورماتورهای ولتاژ از نظر عایق‌بندی به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

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

1: Potential transformer

2: Capacitive voltage transformer

ساخت ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خشک با عایق رزینی برای ولتاژهای پایین (۲۰ تا ۶۳ کیلوولت) عملی است و موارد استعمال آن با توجه به عدم انفجار این نوع ترانسفورماتور و داشتن ایمنی بیشتر در مقایسه با نوع روغنی، بیشتر در محلهای سرپوشیده (کلاس داخلی) است. ساخت ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع روغنی با کاغذ آغشته به روغن برای کلیه سطوح ولتاژی معمول بوده و در حال حاضر عمده ترانسفورماتورهای ولتاژ فشار قوی از این نوع ساخته می‌شوند. ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع SF6 که در آنها از ماده عایقی SF6 استفاده می‌شود هنوز در مراحل اولیه استفاده بوده و در حال حاضر تنها تعداد محدودی از سازندگان این نوع ترانسفورماتور ولتاژ را تولید می‌نمایند.

در ولتاژهای ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت استفاده از نوع خشک (رزینی) به دلایل اقتصادی و حجم و وزن بالا معمول نبوده و لذا از نوع روغنی استفاده می‌شود. در سطح ولتاژ ۶۳ کیلوولت استفاده از هر دو نوع از ترانسفورماتور ولتاژ نوع خشک و روغنی مرسوم می‌باشد.

۱-۳- مقایسه ترانسفورماتور ولتاژ نوع اندوکتیو (PT) با نوع خازنی (CVT)

ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع اندوکتیو شامل سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه و هسته بوده و براساس نسبت تبدیل ترانسفورماتور، ولتاژ اولیه را به ولتاژ ثانویه قابل استفاده در دستگاههای اندازه‌گیری، رله‌ها، کنتورها و دستگاههای کنترل و ... تبدیل می‌کنند. ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خازنی شامل یک مقسم خازنی و یک ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو فشار متوسط می‌باشند. به این صورت که ولتاژ فشار قوی ابتدا توسط مقسم خازنی به سطح ولتاژ فشار متوسط (معمولاً حدود ۲۴ کیلوولت) کاهش یافته و سپس این ولتاژ بعنوان ولتاژ اولیه ترانسفورماتور اندوکتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولتاژ ثانویه واحد اندوکتیو متناسب و هم‌فاز با ولتاژ اولیه اعمال شده به مقسم خازنی است. بنابراین در ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خازنی، نسبت تبدیل ناشی از نسبت تبدیل مقسم خازنی و نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو خواهد بود. به دلیل مورد استفاده قرارگرفتن ترانسفورماتورهای نوع خازنی در ولتاژهای فشار قوی و روغنی بودن بخش خازنی، بخش اندوکتیو هم لزوماً روغنی خواهد بود. ترانسفورماتورهای ولتاژ بایستی قادر باشند تغییرات ولتاژ سیستم در اثر اتصال کوتاه را سریعاً در ثانویه خود منعکس نمایند. این ویژگی دارای اهمیت بسزایی در عملکرد صحیح و به موقع سیستم‌های حفاظتی می‌باشد. با بروز اتصال کوتاه در شبکه، انرژی ذخیره شده در المانهای خازنی و سلفی CVT باعث بروز نوسان گذرای در طرف ثانویه می‌شود. این نوسان گذرا عموماً ترکیبی از دو فرکانس پایین (۲ تا ۱۵ هرتز) و فرکانس بالا (حدود ۹۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز) می‌باشد. نوسان فرکانس بالا معمولاً بسیار سریع و در زمانی کوتاه (حدود ۱۰ میلی‌ثانیه) میرا می‌شود. موج فرکانس پایین ممکن است برای مدت بیشتری باقی بماند. دامنه نوسانات بستگی به زاویه ولتاژ فاز در لحظه اتصال کوتاه دارد. رفتار حالت گذرای CVT به عوامل دیگری نظیر دامنه و فرکانس ولتاژهای گذرای بوجود آمده در سیستم نیز بستگی دارد.

در ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو نوسانات فرکانس بالا به سرعت میرا می‌شوند و نوسانات بحرانی فرکانس پایین به دلیل عدم وجود مقسم خازنی، وجود نداشته و مشکلی ایجاد نمی‌نمایند. از این رو پاسخ زمانی و رفتار گذرای PTها سریعتر از CVTهاست. در مواردی که ظرفیت حرارتی ترانسفورماتورهای ولتاژ دارای اهمیت بالایی است و یا بخواهیم شارژ خط را پس از بی‌برق شدن از طریق ترانسفورماتورهای ولتاژ تخلیه نماییم، ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو بدلیل ظرفیت حرارتی بالاتر و مسیر نشستی که می‌توانند برای تخلیه شارژ خط بی‌برق شده به زمین فراهم نمایند، ارجحیت دارند.

۱-۴- ساختمان و وظایف اجزاء اصلی ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی

از نظر ساختمان و نحوه اتصال به شبکه، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی به صورت واحد تکفاز ساخته شده و بین خط و زمین قرار می‌گیرد. ظرفیت خازنی این نوع ترانسفورماتورها معمولاً باتوجه به نیازهای سیستم مخابراتی تعیین می‌شود. هر چه ظرفیت خازنی آنها افزایش یابد قیمت تجهیز بالا رفته ولی در عوض می‌توان جهت اهداف مخابراتی سیستمهای PLC از باندهای فرکانس پایین‌تری که تلفات سیگنال کمتری دارند استفاده نمود. بزرگ بودن ظرفیت خازن ترانسفورماتور ولتاژ خازنی همچنین می‌تواند روی عملکرد آن در شرایط آلودگی شدید منطقه تاثیر مثبت داشته و اثر منفی خازنهای پراکندگی اجزاء ترانسفورماتور ولتاژ خازنی روی دقت آن را کاهش دهد.

شکل شماره (۱-۱) اجزاء اصلی و نحوه اتصال آنها در یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

الف- مقسم خازنی^۱ (CVD) که شامل اجزاء زیر می‌باشد.

- ترمینال فشار قوی یا اولیه

- محفظه انبساط روغن

- خازن فشار قوی C1 (متصل بین ترمینال فشارقوی و ترمینال فشار متوسط)

- ترمینال فشار متوسط

- خازن فشار متوسط C2 (متصل بین ترمینالهای فشار متوسط و فشار ضعیف)

- ترمینال فشار ضعیف

ب- واحد الکترومغناطیسی^۲ (EMU) که شامل اجزاء زیر می‌باشد:

- راکتور جبران کننده

- ترانسفورماتور ولتاژ متوسط^۳ (IVT)

- امپدانس میراکننده

ج- جعبه ترمینال ثانویه^۴ (STB) که شامل اجزاء زیر می‌باشد:

- ترمینالهای ثانویه (حفاظت، اندازه‌گیری و در صورت نیاز سیم پیچ ولتاژ باقی‌مانده)

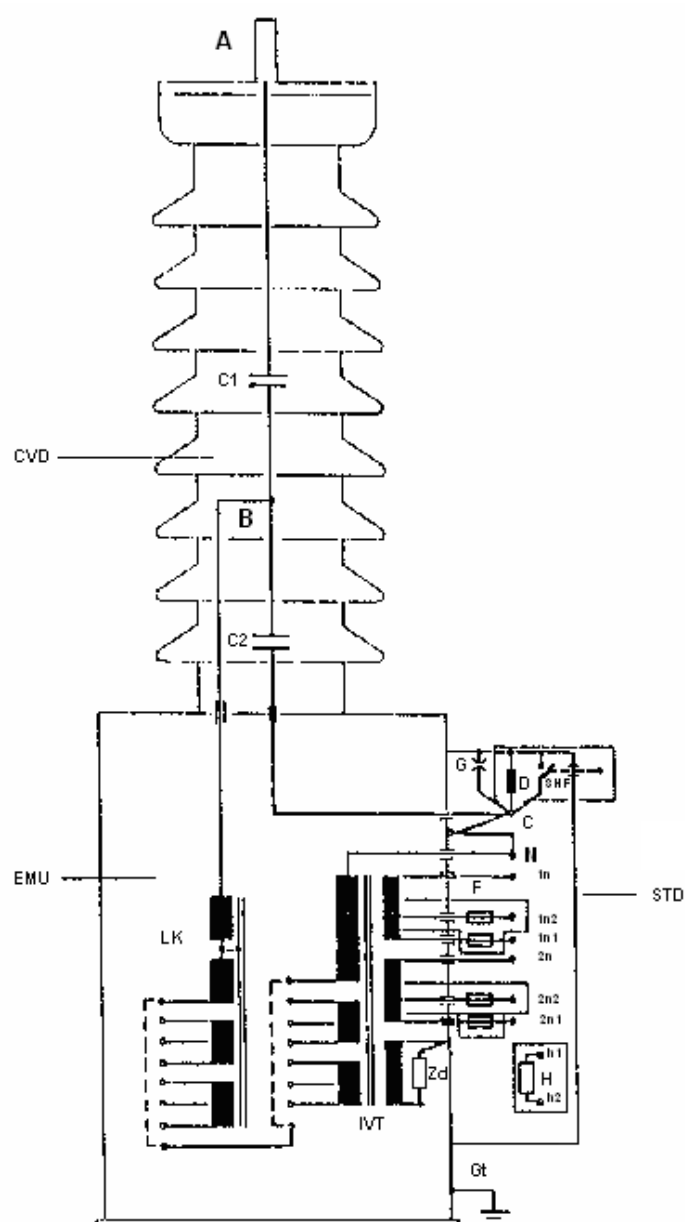
- ترمینال زمین

1 .Capacitive voltage divider

2 . Electromegnetic unit

3 . Intermediate voltage transformer

4 . Secondary terminal box



- CVD. مقسم خازنی
 A. ترمینال فشارقوی
 B. ترمینال فشارمتوسط
 C. ترمینال فشارضعیف
 N. ترمینال زمین
 C1. خازن فشارقوی
 C2. خازن فشارمتوسط
 STB. جعبه ترمینال ثانویه
 Gt. ترمینال زمین
 H. گرم کن
 F. فیوزها
 D. بوبین نشستی فرکانس بالا
 G. جرقه گیر فرکانس بالا
 SHF. کلید زمین فرکانس بالا
 EMU. واحد الکترومغناطیسی
 IVT. ترانسفورماتور ولتاژ فشارمتوسط
 LK. راکتور جبران کننده
 Zd. امپدانس میراکننده

شکل ۱-۱: اجزاء اصلی و نحوه اتصال آنها در یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

۱-۴-۱- مقسم خازنی (CVD)

مقسم خازنی معمولاً از چند واحد خازنی تشکیل شده که بسته به سطح ولتاژ و ظرفیت مورد نیاز سری می‌شوند. توسط مقسم خازنی، ولتاژ فشار قوی شبکه به ولتاژی در سطح متوسط (در حدود چند ده کیلوولت) پایین آورده شده و به این ترتیب مقسم خازنی سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط (IVT) را تغذیه می‌کند. بنا به تعریف، نسبت ولتاژی یک مقسم خازنی (K) عبارتست از:

$$K = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (1-1)$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (2-1)$$

ظرفیت معادل یک ستون خازنی در ترانسفورماتور ولتاژ خازنی نیز برابر است با:

مقسم‌های خازنی غالباً با استفاده از نوارهای فلزی با عایق‌های کاغذی که در روغن‌های معدنی غوطه‌ور شده‌اند، ساخته می‌شوند. عملکرد صحیح مقسم خازنی در طول عمر مفید و کار CVT بسیار موثر است. معمولاً فشار روغن داخل CVD کمی بیشتر از فشار اتمسفر است تا از نفوذ رطوبت یا هوا به درون آن جلوگیری شود. بدلیل غیرایده‌ال بودن خازنهای مورد استفاده، همواره مقداری تلفات توان در آنها دیده می‌شود که باعث تولید حرارت داخلی و پیری زودرس عایق‌ها می‌گردد. در مدل الکتریکی، خازنهای واقعی با یک مقاومت مجازی سری می‌شوند تا تلفات فوق‌الذکر توجیه شود. این تلفات می‌تواند باعث افزایش دمای درون مقسم خازنی شده و باعث کهنولت و پیری زودرس مواد سازنده آنها گردد. از سوی دیگر تغییرات دما باعث تغییر ظرفیت‌های خازنی شده و این امر می‌تواند روی کلاس دقت ترانسفورماتور ولتاژ خازنی تأثیر سوء بگذارد. از این نظر باید تدابیر لازم برای توزیع یکنواخت دما و ثابت ماندن نسبت تقسیم مقسم خازنی با وجود تغییر ظرفیت‌های C_1 و C_2 اندیشیده شود.

در مقام مقایسه اثر تغییر دما و تغییر ظرفیت خازن کوپلاژ روی سیستم PLC کم اهمیت‌تر بوده و تنها می‌تواند باعث جابجایی مختصر مشخصه فرکانسی، واحد تطبیق امپدانس^۱ (LMU) و موج‌گیر^۲ (LT) گردد. در انتخاب ظرفیت خازنی CVD در صورتیکه این خازن بعنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC به کار رود، ملاحظات مربوط به نیازهای شبکه مخابراتی نیز در نظر گرفته می‌شود.

۱-۴-۲- واحد الکترومغناطیسی (EMU)

یکی از اجزاء ترانسفورماتور ولتاژ خازنی است که بین ترمینال فشار متوسط و ترمینال زمین مقسم خازنی متصل است و مدار ثانویه را تغذیه می‌کند. یک واحد الکترومغناطیسی اساساً شامل یک ترانسفورماتور برای کاهش ولتاژ فشار متوسط به مقدار لازم جهت ولتاژ ثانویه و یک راکتور جبران‌کننده است. راکتانس راکتور جبران‌کننده در فرکانس نامی تقریباً برابر راکتانس خازنی ناشی از دو قسمت مقسم خازنی است که بصورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند ($C_1 + C_2$).

1. Line matchnig unit
2. Line trap

کلیه تجهیزات واحد الکترومغناطیسی از قبیل ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط، سیم‌پیچ جبران‌کننده و امپدانس میراکننده در یک محفظه فلزی (تانک) قرار گرفته و در روغن شناور می‌باشند. ارتباطهای الکتریکی لازم با مقسم خازنی (CVD) و جعبه ترمینال ثانویه (STB) از طریق پوشینگ صورت گرفته و با جنس مناسب محفظه فلزی واحد الکترومغناطیسی (مثلاً استفاده از آلومینیوم، فولاد گالوانیزه و یا فولاد ضدزنگ) مسئله خوردگی کنترل می‌شود.

این محفظه می‌تواند به وسایل جانبی از قبیل شیر تخلیه روغن، دریچه پرکردن روغن، نشان‌دهنده سطح روغن برای کنترل نشتی احتمالی و امکانات لازم برای حمل و نقل ایمن CVT تجهیز شود.

۱-۴-۲-۱ ترانسفورماتور ولتاژ متوسط (IVT)

پس از تقلیل ولتاژ اولیه توسط مقسم خازنی به یک ولتاژ فشار متوسط چند ده کیلوولتی، ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط این ولتاژ را به ولتاژهای ثانویه مناسب برای عملکرد رله‌ها و دستگاههای اندازه‌گیری و سنکرونیزاسیون کاهش می‌دهد.

ظرفیت معادل مقسم خازنی، در فرکانس نامی شبکه، با سیم‌پیچ جبران‌کننده در حالت تشدید قرار می‌گیرد تا بدین ترتیب میزان خطای CVT تحت شرایط مختلف بارگیری و بهره‌برداری در حدود تعیین شده قرار گیرد. راکتور جبران‌کننده و ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط معمولاً دارای تپ‌هایی جهت اصلاح خطای فاز و نسبت تبدیل هستند. علاوه بر این در مواردی که مقسم خازنی یک CVT به عنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC به کار می‌رود، انشعاب ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط (IVT) دارای ترمینالی برای اعمال سیگنالهای فرکانس بالای PLC است.

۱-۴-۳-۱ جعبه ترمینال ثانویه

جعبه ترمینال ثانویه امکان دسترسی به ترمینالهای فشارضعیف یعنی ترمینالهای سیم‌پیچهای حفاظتی و اندازه‌گیری ثانویه، تجهیزات اضافی برای سیستم PLC و غیره را فراهم می‌نماید.

چنانچه CVT در محلی استفاده شود که رطوبت بالایی داشته و تغییرات درجه حرارت زیاد باشد، در جعبه ترمینال ثانویه از یک هیتر ضد تقطیر استفاده می‌شود.

ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ عمدتاً بصورت ستاره متصل می‌گردند. اما در مواردی نظیر شبکه‌هایی که زمین نشده و یا از طریق یک امپدانس بزرگ زمین شده‌اند برای تشخیص اتصالیهای فاز به زمین از اتصال مثلث باز استفاده می‌شود. در چنین حالتی (استفاده از مثلث باز) ولتاژ فاز به زمین ثانویه می‌بایستی به اندازه یک سوم ولتاژ نامی فاز به فاز ثانویه انتخاب گردد تا اختلاف ولتاژ در دو نقطه باز مثلث در بدترین حالت بیشتر از ولتاژ فاز به فاز نشود.

۱-۵-۱ پدیده فرورزونانس در ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی

پدیده فرورزونانس ممکن است در هر مداری شامل یک خازن و یک سیم‌پیچ با هسته آهنی (نظیر مقسم خازنی و ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط در ترانسفورماتور ولتاژ خازنی) رخ دهد. این پدیده با به اشباع رفتن ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط به هر دلیلی (نظیر کلیدزنی در شبکه قدرت) بوجود می‌آید. در این وضعیت یکسری نوسانات با فرکانس معمولاً کمتر از فرکانس نامی شبکه پدید آمده و روی موج اصلی سوار می‌شوند. این نوسانات، چنانچه بطور موثری میرا نگردند برای مدت زمانی بسیار طولانی، هسته

ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط را به اشباع برده و در این حالت جریان مغناطیس‌کننده هسته می‌تواند به حدی افزایش یابد که باعث معیوب شدن و از کار افتادن CVT گردد. لذا بایستی پیش‌بینی لازم به منظور جبران سریع و موثر این نوسانات صورت پذیرد. امروزه معمولاً این نوسانات توسط یک امیدانس میراکننده در مدار ثانویه کاهش می‌یابد.

۱-۶- تعاریف مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ

حداقل تعاریف لازم برای تعیین مشخصات ترانسفورماتورهای ولتاژ به شرح ذیل می‌باشند:

۱-۶-۱- ولتاژ نامی اولیه

مقدار ولتاژی که در طراحی ترانسفورماتور ولتاژ جهت سیم‌پیچ اولیه در نظر گرفته شده و مشخصات و عملکرد ترانسفورماتور بر مبنای آن بیان می‌گردد.

۱-۶-۲- ولتاژ نامی ثانویه

مقدار ولتاژی که در طراحی ترانسفورماتور ولتاژ جهت سیم‌پیچ ثانویه در نظر گرفته شده و مشخصات و عملکرد ترانسفورماتور بر مبنای آن می‌باشد.

مطابق استاندارد IEC شماره ۲-۶۰۴۴، مقادیر استاندارد ولتاژ نامی ثانویه برای ترانسفورماتورهای ولتاژ تکفازی که بین فاز و زمین قرار گرفته‌اند عبارتند از: $\frac{100}{\sqrt{3}}$ ولت، $\frac{110}{\sqrt{3}}$ ولت، $\frac{200}{\sqrt{3}}$ ولت

البته لازم به ذکر است که برای سیم‌پیچ ولتاژ باقی‌مانده (مثلاً باز) در شبکه‌های به طور غیرموثر زمین شده مقادیر $\frac{100}{3}$ ، $\frac{110}{3}$ ، $\frac{200}{3}$ ولت و در شبکه‌های بطور موثر زمین شده مقادیر ۲۰۰ و ۱۱۰ و ۱۰۰ ولت بعنوان ولتاژ ثانویه انتخاب می‌گردد.

۱-۶-۳- حداکثر ولتاژ سیستم (Um)

حداکثر مقدار ولتاژ موثر فاز به فاز شبکه است که تحت شرایط عادی کار سیستم، در هر نقطه از شبکه و در هر لحظه می‌تواند بوجود آید. مقدار حداکثر ولتاژ سیستم بر اساس 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

۱-۶-۴- فرکانس نامی

فرکانس نامی ترانسفورماتورهای ولتاژ، فرکانسی است که سایر مشخصات بر مبنای آن استوار است و برابر فرکانس نامی شبکه سراسری برق ایران یعنی ۵۰ هرتز می‌باشد.

۱-۶-۵- بردن^۱

ادمیتانس دیده شده در مدار ثانویه که با واحد زیمنس بیان می‌شود را بردن گویند. توجه: بردن معمولاً به صورت توان ظاهری (VA) جذب شده در ضریب قدرت مشخص و ولتاژ ثانویه نامی بیان می‌شود.

۱-۶-۶- بردن نامی^۲

بردنی است که تعریف و تحقیق کلاس دقت ترانسفورماتور ولتاژ بر اساس آن صورت می‌گیرد.

۱-۶-۷- توان خروجی نامی

عبارتست از توان ظاهری بر حسب ولت‌آمپر در یک ضریب قدرت معین که قرار است توسط مدار ثانویه ترانسفورماتور و در ولتاژ نامی ثانویه مصرف گردد.

استاندارد IEC شماره ۶۰۰۴۴-۲ مقادیر زیر را بعنوان خروجی نامی ترانسفورماتورهای ولتاژ در ضریب قدرت ۰/۸ پس‌فاز اعلام نموده است (مقادیر بر حسب ولت‌آمپر می‌باشد):

۱۰- ۱۵ - ۲۵ - ۳۰ - ۵۰ - ۷۵ - ۱۰۰ - ۱۵۰ - ۲۰۰ - ۳۰۰ - ۴۰۰ - ۵۰۰

مقادیری که زیر آنها خط کشیده است دارای ارجحیت بیشتری می‌باشند.

۱-۶-۸- خروجی حرارتی ترانسفورماتور ولتاژ

توان ظاهری در ولتاژ نامی است که می‌توان از سیم‌پیچ ثانویه دریافت نمود، بدون آنکه میزان افزایش درجه حرارت (باتوجه به مقادیر مشخص شده در استاندارد) ترانسفورماتور ولتاژ از حدود مجاز فراتر رود.

۱-۶-۹- نسبت تبدیل واقعی و نسبت تبدیل نامی (Kn)

نسبت مقدار واقعی ولتاژ اولیه به مقدار واقعی ولتاژ ثانویه “نسبت تبدیل واقعی” یک ترانسفورماتور ولتاژ خوانده می‌شود. نسبت مقدار نامی ولتاژ اولیه به مقدار نامی ولتاژ ثانویه “نسبت تبدیل نامی” یک ترانسفورماتور ولتاژ نامیده می‌شود.

1. Burden
2. Rated burden

۱-۶-۱۰- کلاس دقت

کلاس دقت یک ترانسفورماتور ولتاژ معرف این مطلب است که تحت شرایط مشخص و تعریف شده‌ای از بارگیری ترانسفورماتور، خطای اختلاف فاز و نسبت تبدیل از حدود تعیین شده‌ای تجاوز نخواهند نمود. بطور کلی این خطا تابعی از مدار ثانویه، ولتاژ ثانویه، توان ظاهری و ضریب قدرت خروجی ترانسفورماتور ولتاژ بوده و با تغییر هر یک، میزان خطای اندازه‌گیری نیز تغییر خواهد نمود.

۱-۶-۱۱- خطا در ترانسفورماتورهای ولتاژ

۱-۶-۱۱-۱- خطای نسبت تبدیل (خطای ولتاژ)

خطای نسبت تبدیل در اثر عدم تساوی نسبت تبدیل واقعی و نسبت تبدیل نامی بوجود می‌آید و غالباً بصورت درصد و توسط رابطه ذیل بیان می‌گردد:

$$E\% = \frac{K_n \cdot U_s - U_p}{U_p} \times 100 \quad (3-1)$$

که در این رابطه $E\%$ خطای نسبت تبدیل بر حسب درصد و K_n نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور ولتاژ است.

۱-۶-۱۱-۲- خطای جابجائی فاز

اختلاف فاز بین بردار ولتاژ ثانویه و بردار ولتاژ اولیه، خطای جابجائی فاز نامیده می‌شود (جهت بردارهای ولتاژ باید به گونه‌ای انتخاب شود که برای یک ترانسفورماتور ولتاژ ایده‌آل خطای جابجائی فاز صفر باشد). خطای جابجائی فاز هنگامیکه بردار ولتاژ ثانویه نسبت به بردار ولتاژ اولیه پیش فاز است مثبت در نظر گرفته می‌شود. معمولاً این خطا بر حسب دقیقه یا سانتی رادیان بیان می‌شود.

۱-۶-۱۲- ضریب ولتاژ نامی

ضریبی از ولتاژ نامی اولیه که یک ترانسفورماتور ولتاژ می‌تواند در این ولتاژ ضمن تحمل اضافه حرارت حاصله برای دوره زمانی تعریف شده، دقت خود را حفظ نماید.

۱-۶-۱۳- سیم‌پیچ ولتاژ باقیمانده

چنانچه سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای تک فاز هر سه فاز به صورت سری و در یک آرایش مثلث باز به یکدیگر متصل شوند، نتیجه حاصله سیم‌پیچی ولتاژ باقیمانده نامیده می‌شود. از این سیم‌پیچی برای مقاصد زیر استفاده می‌شود:

- تولید ولتاژ باقیمانده‌ای در ثانویه در هنگام بروز خطای تک فاز به زمین

- میرا کردن نوسانات ناخواسته نظیر فرورزونانس

۱-۶-۱۴- ترمینال فشار ضعیف

ترمینال فشار ضعیف ترمینالی است که به منظور اتصال به زمین استفاده می‌شود. این ترمینال می‌تواند به صورت مستقیم یا از طریق بوبین نشی به زمین متصل شود (بوبین نشی در هنگام استفاده از سیستم PLC به کار می‌رود و در فرکانس نامی امپدانس ناچیزی دارد).

۱-۶-۱۵- ترمینال فشار متوسط

ترمینالی است که به منظور اتصال مدار فشار متوسط (نظیر واحد الکترومغناطیسی) به مقسم خازنی استفاده می‌شود.

۱-۶-۱۶- ترمینال فشار قوی

ترمینالی است که برای اتصال به هادی خط در نظر گرفته شده است.

۱-۶-۱۷- خازن فشار قوی (C1)

خازن فشار قوی بخشی از مقسم خازنی است که بین ترمینال‌های فشار قوی و فشار متوسط (مطابق با شکل ۱-۱) متصل می‌شود.

۱-۶-۱۸- خازن فشار متوسط (C2)

خازن فشار متوسط خازنی است که بین ترمینال‌های فشار متوسط و فشار ضعیف نصب می‌شود.

۱-۶-۱۹- ضریب تلفات عایقی (tgδ)

نسبت بین توان اکتیو مصرفی به توان راکتیو تولیدی خازن ضریب تلفات عایقی خوانده می‌شود.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_a}{P_r} \quad (۴-۱)$$

۱-۶-۲۰- ضریب دما

ضریب دمای یک خازن عبارتست از میزان تغییرات ظرفیت خازنی به ازاء واحد درجه حرارت که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{C_0} \times \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (۵-۱)$$

که در آن:

α : ضریب حرارتی خازن

ΔC : تغییر ظرفیت خازنی به ازاء تغییر درجه حرارت Δt

Δt : تغییر درجه حرارت

C_0 : ظرفیت اندازه‌گیری شده خازن در ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

رابطه فوق تنها در صورتی که ظرفیت تابعی خطی از دما باشد صحیح بوده و در غیر اینصورت تغییرات ظرفیت بر حسب دما باید بصورت یک منحنی یا جدول نشان داده شود.

۱-۶-۲۱- کلاس دما

کلاس دما بیان کننده حداقل و حداکثر دمای مجاز خازن ترانسفورماتور ولتاژ خازنی می باشد.

۱-۶-۲۲- عایقهای خودترمیم

عایقهایی که قادرند پس از وقوع 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.

۱-۶-۲۳- عایقهای غیر خودترمیم

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

۱-۶-۲۴- آزمون نوعی^۱

این نوع آزمون روی یک نمونه از هر مدل ترانسفورماتور ولتاژ انجام می شود و بیانگر این مطلب است که تمام ترانسفورماتورهای ولتاژ این مدل، دارای خصوصیات مشابه (در مورد مواد هر آزمون) می باشند.

۱-۶-۲۵- آزمون جاری^۲

آزمونی که روی تمام ترانسفورماتورهای ولتاژ ساخته شده (برای بررسی مطابقت آنها با ضوابط تعیین شده) انجام می شود.

۱-۶-۲۶- آزمون ویژه^۳

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

۱-۶-۲۷- ضریب اتصال زمین^۴

در یک مکان معین از سیستم سه فاز و برای یک 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 می دهد) به مقدار مؤثر ولتاژ فرکانس قدرت قابل حصول در هر نقطه و در غیاب هرگونه خطا را ضریب اتصال زمین می نامند.

1- Type test

2- Routine test

3- Special test

4. Earth fault footer

۱-۶-۲۸- سیستم با نوترال ایزوله^۱

سیستمی که نقطه نوترال در آن زمین نمی‌شود. در برخی موارد به منظور اهداف حفاظتی یا اندازه‌گیری نقطه نوترال از طریق یک امپدانس بالا زمین می‌شود.

۱-۶-۲۹- سیستم با نوترال مستقیماً زمین شده^۲

سیستمی که نقطه یا نقاط نوترال آن مستقیماً به زمین متصل شده است. در این سیستم، ضریب اتصال زمین کمتر از $\frac{1}{3}$ است. این وضعیت هنگامی حاصل می‌شود که در هر نقطه سیستم، نسبت راکتانس توالی صفر به راکتانس توالی مثبت کوچکتر از ۳ و نسبت مقاومت توالی صفر به مقاومت توالی مثبت کوچکتر از ۱ شود.

۱-۶-۳۰- سیستم با نوترال زمین شده از طریق امپدانس^۳

سیستمی که نقطه یا نقاط نوترال آن از طریق امپدانس‌هایی (به منظور کاهش جریان خطای زمین) زمین شده است.

۱-۶-۳۱- سیستم با نوترال زمین شده به صورت تشدید^۴

سیستمی که در آن یک یا تعدادی از نقاط نوترال از طریق راکتانس‌هایی به زمین متصل شده‌اند. راکتانس بوبین متصل به نقطه نوترال (موسوم به بوبین پترسن) به گونه‌ای تنظیم شده است که مؤلفه خازنی جریان خطای تک فاز به زمین را خنثی نماید.

توجه:

- با زمین‌نمودن نوترال یک سیستم به صورت تشدید، جریان باقیمانده خطا به اندازه‌ای محدود می‌شود که به ازای آن قوس ناشی از خطا در هوا معمولاً به خودی خود خاموش می‌شود.

1- Solated neutral system

2- Solidly earthed system

3- Impedance earthed neutral system

4- Resonant earthed neutral system

Τβ ΙΜΓ Η ΤΡ ές Τ3 ιΤ

Ο Γ Οεγ3 έ Ό ΧΖ3

۲- مقدمه

بدیهی است که کنترل و حفاظت شبکه قدرت وابسته به کنترل پارامترهای الکتریکی شبکه نظیر ولتاژ، جریان، توان و ... می باشد. به عبارت دیگر تصمیم گیری صحیح در مورد وضعیت حال و آینده شبکه های الکتریکی به دقت و انتخاب صحیح تجهیزات نمونه برداری از پارامترهای شبکه نظیر ترانسفورماتور ولتاژ وابسته است. انتخاب ترانسفورماتور ولتاژ با مشخصات بهینه، نیازمند دانستن پارامترهای الکتریکی مختلف مانند سطح ولتاژ و سطوح عایقی شبکه و ... و شرایط اقلیمی نظیر درجه حرارت، ارتفاع از سطح دریا و ... می باشد. در این فصل، چگونگی انتخاب مشخصات یک ترانسفورماتور ولتاژ ارائه می گردد.

۲-۱- کلیات

اطلاعات مورد نیاز جهت انتخاب ترانسفورماتورهای ولتاژ را می توان به دو گروه زیر تقسیم بندی نمود:

الف- مشخصات و ویژگیهای شبکه ای که ترانسفورماتور ولتاژ (اندوکتیو یا خازنی) در آن نصب می شود. این مشخصات عبارتند از:

- ولتاژ نامی شبکه

- حداکثر ولتاژ سیستم

- فرکانس نامی

- نحوه زمین شدن نوترال شبکه

علاوه بر کارکرد صحیح در شرایط عادی، ترانسفورماتورهای ولتاژ بایستی قادر به تحمل شرایط غیر عادی اعمال شده از طرف سیستم نظیر اضافه ولتاژهای ایجادشده در سیستم و بروز پدیده فروزونانس نیز باشد. لذا به هنگام انتخاب آنها داشتن محدوده تغییرات مشخصات و ویژگیهای سیستم لازم خواهد بود.

ب- مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی محل نصب ترانسفورماتور ولتاژ. پارامترهای محیطی که در هنگام بررسی برای انتخاب می بایستی مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- ارتفاع محل نصب از سطح دریا، حداکثر درجه حرارت محیط، حداقل درجه حرارت محیط، سرعت باد، درصد رطوبت، شتاب زلزله و میزان آلودگی محیط.

با توجه به موارد فوق، طراحی و تعیین مشخصات فنی ترانسفورماتورهای ولتاژ انجام می گیرد. پارامترهای زیر از مواردی هستند که می بایستی در مرحله بررسی و انجام مطالعات مشخص گردند :

- نوع ترانسفورماتور از نظر عایق بندی (روغنی، خشک و SF6)

- نوع ترانسفورماتور ولتاژ از نظر ساختاری (اندوکتیو، خازنی)

- سطح عایقی بر اساس مطالعات هماهنگی عایقی

- فاصله خزشی مقره ها

- ولتاژ نامی اولیه بر اساس ولتاژ نامی سیستم

- ولتاژ نامی ثانویه بر اساس سطح ولتاژ ثانویه مورد نیاز و نحوه اتصال ترانسفورماتور

- ضریب ولتاژ نامی بر اساس نحوه زمین شدن سیستم

- ظرفیت بانک خازنی در صورت استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی (باتوجه به نیازهای کویلاژ تجهیزات مخابراتی)
- توان خروجی براساس توان مصرفی دستگاهها و تجهیزات تغذیه شده از ترانسفورماتور ولتاژ با در نظر گرفتن افت در کابل های ارتباطی
- کلاس دقت براساس دقت مورد نیاز در بخش سیستمهای حفاظتی و اندازه گیری
- کلاس دما (محدودیت افزایش دما)
- ضریب دما (این کمیت مختص ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بوده و توسط سازنده مشخص می گردد)

۲-۲- انتخاب نوع ترانسفورماتور ولتاژ

از نظر اقتصادی و با بالارفتن سطح ولتاژ، قیمت ترانسفورماتور ولتاژ نوع خازنی نسبت به ترانسفورماتور ولتاژ نوع اندوکتیو کاهش می یابد. این تفاوت قیمت معمولاً از سطح ولتاژ ۶۳ کیلوولت و ۶۳ کیلوولت به بالا زیاد و قابل توجه است. لذا معمولاً امروزه برای ولتاژهای ۶۳ کیلوولت به بالا از ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی استفاده می گردد. همچنین در مواردی که نیاز به استفاده از سیستم PLC باشد با توجه به استفاده از خازن ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بعنوان خازن کویلاژ سیستم PLC، می توان از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی استفاده نمود که توجیه اقتصادی نیز خواهد داشت. ترانسفورماتور ولتاژ نوع اندوکتیو در شرایط گذرا عملکرد بهتری نسبت به نوع خازنی داشته و مسیری مناسب تر جهت تخلیه بار الکتریکی خط پس از قطع تغذیه (به هنگام رخ دادن اتصال کوتاه) ایجاد می نماید. در مواردی که نصب ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بدلیل ارتباط PLC روی تعدادی از خطوط لازم است، بهتر است جهت یکنواختی سیستم و امکان ایجاد هماهنگی، سایر ترانسفورماتورهای ولتاژ آن پست نیز از این نوع انتخاب گردند.

۲-۳- انتخاب ولتاژ نامی اولیه

با توجه به اینکه در پستهای فشار قوی، ترانسفورماتورهای ولتاژ به صورت فاز به زمین به سیستم متصل می گردند، مقدار ولتاژ نامی اولیه با توجه به ولتاژ شبکه ای که ترانسفورماتور ولتاژ به آن اتصال می یابد تعیین می شود (در ایران باتوجه به ولتاژ شبکه های فوق توزیع و انتقال از مقادیر $\frac{400}{\sqrt{3}}$, $\frac{230}{\sqrt{3}}$, $\frac{132}{\sqrt{3}}$, $\frac{63(66)}{\sqrt{3}}$ استفاده می شود).

۲-۴- ولتاژ نامی ثانویه

ولتاژ نامی ثانویه بایستی مطابق نیازهای سیستمی که ترانسفورماتور ولتاژ در آن نصب می شود انتخاب گردد. برای ترانسفورماتورهای ولتاژ تکفاز که در پستهای فشارقوی مورد استفاده قرار می گیرند مقادیر استاندارد ولتاژ نامی ثانویه برابر

$$\frac{100}{\sqrt{3}}, \frac{110}{\sqrt{3}}, \frac{200}{\sqrt{3}} \text{ ولت می باشد. در پستهای فشار قوی کشور ولتاژ } \frac{200}{\sqrt{3}} \text{ کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. لذا به منظور}$$

تنوع زدایی و هماهنگی، دو ولتاژ $\frac{100}{\sqrt{3}}$ و $\frac{110}{\sqrt{3}}$ ولت برای ولتاژ نامی ثانویه پیشنهاد می گردد.

برای سیم پیچ ولتاژ باقیمانده با توجه به نوع زمین شدن شبکه از مقادیر زیر بعنوان ولتاژ نامی ثانویه استفاده می شود.

- برای شبکه‌های بطور مؤثر زمین شده
 - برای شبکه‌های بطور غیرمؤثر زمین شده
- ۱۱۰ و ۱۰۰ ولت
 $\frac{100}{3}$ و $\frac{110}{3}$ ولت

۲-۵- فرکانس نامی

فرکانس نامی ترانسفورماتورهای ولتاژ می‌بایستی برابر فرکانس نامی شبکه سراسری برق ایران یعنی ۵۰ هرتز باشد.

۲-۶- ضریب ولتاژ نامی

مقدار این ضریب بین $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{9}$ بوده و به نحوه زمین شدن شبکه و مدت زمان استمرار اضافه ولتاژها در شبکه وابسته است. ضریب ولتاژ نامی را می‌توان از جدول زیر بدست آورد :

جدول ۲-۱: ضریب ولتاژ نامی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ

ضریب ولتاژ نامی	دوره زمانی	نحوه اتصال سیم‌پیچ اولیه و کیفیت زمین شدن سیستم
$\frac{1}{2}$	دائم	- بین فازها در کلیه شبکه‌ها - بین نقطه ستاره ترانسفورماتور و زمین در کلیه شبکه‌ها
$\frac{1}{2}$	دائم	- بین فاز و زمین در یک شبکه بطور مؤثر زمین شده
$\frac{1}{5}$	۳۰ ثانیه	
$\frac{1}{2}$	دائم	- بین فاز زمین در یک شبکه بطور غیرمؤثر زمین شده با قطع خودکار
$\frac{1}{9}$	۳۰ ثانیه	- اتصال زمین
$\frac{1}{2}$	دائم	- بین فاز و زمین در یک شبکه با نوترال ایزوله یا نوترال زمین شده
$\frac{1}{9}$	۸ ساعت	- توسط راکتور بدون قطع خودکار اتصال زمین

۲-۷- توان خروجی نامی

انتخاب میزان خروجی نامی ترانسفورماتورهای ولتاژ با توجه به مجموع بار مصرفی متصل به آن و منظور نمودن توسعه آتی پست صورت می‌گیرد. همچنین باید سعی شود که مجموع بارهای مصرفی از ۲۵٪ خروجی نامی انتخابی کمتر نباشد. با این کار ملزومات دقت ترانسفورماتور ولتاژ رعایت شده است.

از جمله بارهای مصرفی می‌توان تجهیزاتی چون تجهیزات حفاظتی - سنکرونایزینگ، فرکانس متر، کنتورهای اکتیو و راکتیو، ولتمتر، واتمتر، وارمتر و ترانسفورماتور کاهنده سیستم اسکادا را نام برد. نهایتاً مجموع ولت آمپر تجهیزات متصل به ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ نبایستی از ولت آمپر نامی ترانسفورماتور ولتاژ فراتر رود. معمولاً هر ترانسفورماتور ولتاژ دارای دو سیم‌پیچی است که می‌توان از یک سیم‌پیچی برای مقاصد حفاظتی و از دیگری برای مقاصد اندازه‌گیری استفاده کرد.

۲-۸- کلاس دقت

۲-۸-۱- کلاس دقت سیم پیچ اندازه گیری ترانسفورماتورهای ولتاژ

مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۴۴-۲ کلاس دقتهای تعریف شده برای ترانسفورماتورهای ولتاژ اندازه گیری و یا سیم پیچ اندازه گیری ترانسفورماتورهای ولتاژ مطابق جدول زیر می باشد:

جدول ۲-۲: کلاس دقت اندازه گیری

کلاس	درصد خطای نسبت تبدیل (±)	خطای فاز مثبت یا منفی	
		دقیقه	سانتی رادیان
۰/۱	۰/۱	۵	۰/۱۵
۰/۲	۰/۲	۱۰	۰/۳
۰/۵	۰/۵	۲۰	۰/۶
۱	۱	۴۰	۱/۲
۳	۳	تعیین نشده	تعیین نشده

عموماً در پستهای فشار قوی از کلاس دقت ۰/۵ برای اهداف اندازه گیری استفاده می شود. البته می توان برای سیستمها و تجهیزات اندازه گیری دقیق تر از کلاسهای بادقت بالاتر نیز استفاده نمود. سیم پیچی که برای مقاصد اندازه گیری استفاده می شود باید در بازه ولتاژی ۸۰ تا ۱۲۰ درصد ولتاژ نامی دقت خود را حفظ کند.

۲-۸-۲- کلاس دقت حفاظتی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ

مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۴۴-۲ کلاس دقتهای تعریف شده برای سیم پیچهای حفاظتی ترانسفورماتورهای ولتاژ مطابق جدول زیر می باشد:

جدول ۲-۳: کلاس دقت حفاظتی

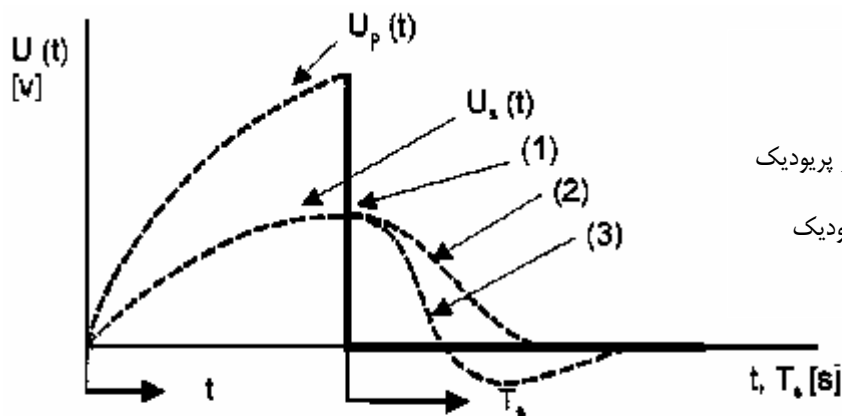
کلاس	درصد خطای نسبت تبدیل (±)	خطای فاز مثبت یا منفی	
		دقیقه	سانتی رادیان
۳P	۳	۱۲۰	۳/۵
۶P	۶	۲۴۰	۷

عموماً در پستهای فشار قوی، از کلاس دقت ۳P برای اهداف حفاظتی استفاده می گردد. کلاس دقت یک سیم پیچ ولتاژ باقی مانده برابر ۶P انتخاب می گردد. مشخص نمودن کلاس دقت برای سیم پیچ ولتاژ باقیمانده ای که تنها برای میرا کردن نوسانات ناخواسته استفاده می شود اجباری نیست.

سیم‌پیچی که برای مقاصد حفاظتی استفاده می‌شود باید در بازه ۵٪ تا U_F برابر ولتاژ نامی دقت خود را حفظ کند. در ۲٪ ولتاژ نامی، خطای ترانسفورماتور ولتاژ نباید از دو برابر خطایی که در جدول ۲-۳ ذکر شده است بیشتر شود. بایستی توجه نمود که سیم‌پیچ‌های ثانویه ترانس ولتاژ معمولاً دقتی ترکیبی دارد. مثلاً کلاس دقت ۰/۵+۳P به مفهوم این است که سیم‌پیچی مربوطه در ۸۰ تا ۱۲۰ درصد ولتاژ نامی دقت اندازه‌گیری را اقلان می‌کند و نیز در بین بازه‌های ولتاژ ۵ تا ۸۰ درصد ولتاژ نامی و ۱۲۰ درصد تا U_F برابر ولتاژ نامی دقت و نیز پاسخ‌گذاری مناسب کلاس حفاظتی ۳P حاصل می‌شود.

۲-۸-۳- کلاس دقت پاسخ‌گذاری ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

چنانچه دامنه ولتاژ لحظه‌ای ثانویه ($U_s(t)$) را پس از سپری‌شدن T_s ثانیه از اعمال اتصال کوتاه بین ترمینال فشارقوی و فشارضعیف، به مقدار پیک ولتاژ ثانویه قبل از اعمال خطا ($\sqrt{2}U_S$) تقسیم کنیم، نسبت حاصله کلاس دقت پاسخ‌گذاری ترانسفورماتور ولتاژ خازنی نامیده می‌شود.



(۱) شکل موج ولتاژ اولیه $U_p(t)$

(۲) شکل موج ولتاژ ثانویه در حالت میرایی غیر پریودیک

(۳) شکل موج ولتاژ ثانویه در حالت میرایی پریودیک

شکل ۲-۱: پاسخ‌گذاری ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

در جدول زیر کلاس‌های دقت پاسخ‌گذاری ترانسفورماتور ولتاژ خازنی آورده شده است.

جدول ۲-۴: کلاس دقت پاسخ گذرای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

نسبت $\frac{[U_s(t)]_{t=T_s}}{\sqrt{2} U_s}$ به درصد			
زمان T_s (msec)	$3PT_1$ $6PT_1$	$3PT_2$ $6PT_2$	$3PT_3$ $6PT_3$
۱۰	—	≤ 25	≤ 4
۲۰	≤ 10	≤ 10	≤ 2
۴۰	≤ 10	≤ 2	≤ 2
۶۰	≤ 10	≤ 0.6	≤ 2
۹۰	≤ 10	≤ 0.2	≤ 2

پاسخ $U(t)$ برای کلاس دقت مشخص می‌تواند میرایی پریودیک یا غیرپریودیک باشد. از دستگاه میراکننده مناسب نیز می‌توان استفاده کرد. در کلاس‌های $3PT_3$ و $6PT_3$ لازم است از دستگاه میراکننده استفاده شود. انتخاب مقادیر دیگری برای T_s و نسبت خطای گذرا، غیر از آنچه که در جدول آمده منوط به توافق بین خریدار و سازنده است. انتخاب کلاس دقت مناسب با توجه به مشخصه‌های حفاظتی رله‌های موجود انجام می‌پذیرد.

۲-۹- ملزومات عایقی

سطوح عایقی استاندارد براساس حداکثر ولتاژ سیستم (U_m) برای سطوح ولتاژی ۶۳ الی ۴۰۰ کیلوولت در جدول (۲-۵) نشان داده شده‌اند.

جدول ۲-۵: سطوح استقامت عایقی مطابق با استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۷۱

ولتاژ نامی $U_n[kV]$	حداکثر ولتاژ سیستم $U_m[kV]$	سطح تحمل عایقی در برابر موج ضربه کلیدزنی استاندارد [kV-Peak]	سطح تحمل عایقی در برابر موج ضربه صاعقه استاندارد [kV-Peak]	ولتاژ تحمل کوتاه‌مدت فرکانس قدرت [kV-r.m.s]
۶۳(۶۶)	۷۲/۵	—	۳۲۵	۱۴۰
۱۳۲	۱۴۵	—	۵۵۰	۲۳۰
۲۳۰	۲۴۵	—	۹۵۰	۳۷۵
۴۰۰	۴۲۰	۹۵۰	۱۰۵۰	۴۶۰
		۱۰۵۰	۱۳۰۰	۵۷۰
			۱۴۲۵	۶۳۰

نحوه محاسبه سطوح عایقی ترانسفورماتورهای ولتاژ در نشریه “هماهنگی عایقی” و از همین مجموعه استانداردها آمده است [۴].

۲-۱۰- فاصله خزشی مقره‌ها

براساس سطح آلودگی موجود در محل نصب ترانسفورماتور ولتاژ می‌توان فاصله خزشی برحسب mm/kV را با استفاده از جدول زیر بدست آورد. سپس با ضرب حداکثر ولتاژ سیستم در این مقدار، طول فاصله خزشی مقره ترانسفورماتور ولتاژ محاسبه می‌گردد برای طبقه‌بندی مناطق مختلف ایران از نظر سطح آلودگی می‌توان به نشریه طبقه‌بندی شرایط آلودگی و اقلیمی از سری همین نشریات مراجعه نمود [۵].

جدول ۲-۶: حداقل فاصله خزشی بر اساس میزان آلودگی

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

۲-۱۱- مشخصات خازن CVT

از خازن یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی می‌توان هم به عنوان مقسم خازنی و هم بعنوان خازن کوپلاژ سیگنال‌های مخابراتی استفاده نمود. در مواردی که از خازن CVT به عنوان خازن کوپلاژ استفاده می‌شود، مقدار ظرفیت خازنی بایستی طوری تعیین شود که نیازهای سیستم مخابراتی و شبکه قدرت را تأمین نماید و از حیث تأمین باند فرکانسی موردنیاز سیستم PLC با آن هماهنگ باشد.

۲-۱۲- کلاس دما

۲-۱۲-۱- کلاس دمای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از نظر میزان افزایش درجه حرارت

جدول محدودیت افزایش درجه حرارت با توجه به نوع کلاس عایقی ترانسفورماتور ولتاژ و مطابق استاندارد IEC شماره

۲-۴۴-۶۰۰ به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ۲-۷: محدودیت افزایش درجه حرارت

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

ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی و ترانسفورماتورهای ولتاژ القائی معمولاً در سطح ولتاژ ۶۳kV تا ۴۰۰kV در رده "غوطه‌ور در روغن" ساخته می‌شوند (حداکثر افزایش درجه حرارت 60°K). ترانسفورماتورهای ولتاژ القائی رزینی معمولاً با کلاس عایقی B ساخته می‌شوند (حداکثر افزایش درجه حرارت 85°K).

افزایش دمای اندازه‌گیری شده در سطح خارجی هسته یا قسمت‌های فلزی دیگری که در مجاورت یا تماس با عایق‌ها هستند نباید از حد مشخص شده در جدول فوق بیشتر شود. درجه حرارت ترانسفورماتور ولتاژ در مقادیر نامی ولتاژ، فرکانس و بار خروجی، در ضریب قدرت‌های مابین ۰/۸ پس فاز تا یک نباید از مقادیر ذکر شده در جدول فوق فراتر رود. در صورتیکه ترانسفورماتور در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر مورد آزمون واقع شود و در ارتفاع بیشتر از ۱۰۰۰ متر به کار برده شود به ازاء هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع محل نصب از مقدار مبنا (۱۰۰۰ متر) بایستی مقادیر افزایش درجه حرارت استاندارد برای ترانسفورماتورهای نوع روغنی ۰/۴ درصد و برای نوع خشک ۰/۵ درصد کاهش داده شود.

۲-۱۲-۲- کلاس دمای محیطی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی

مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۴۴-۲ خازنها از نظر حداکثر و حداقل دمای مجاز محیط در سه کلاس مطابق جدول ذیل طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۲-۸: کلاس دمای خازن

گروه	حداقل دما	حداکثر دما
-۵/۴۰	-۵	۴۰
-۲۵/۴۰	-۲۵	۴۰
-۴۰/۴۰	-۴۰	۴۰

در تعیین کلاس دما باید شرایط نگهداری و حمل و نقل را نیز مدنظر داشت.

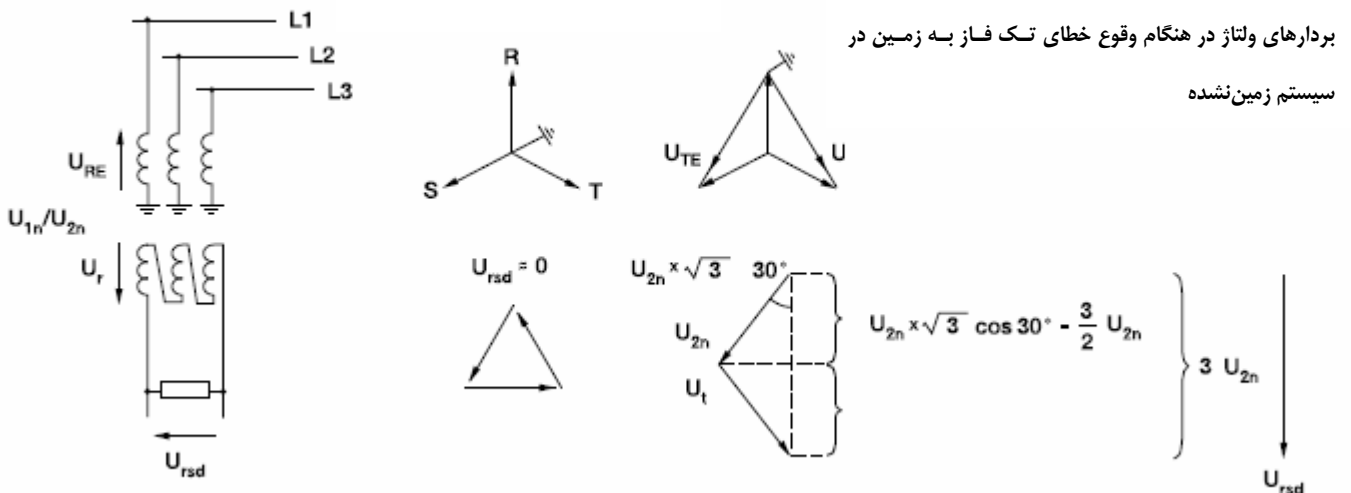
۲-۱۳- سیم پیچ ولتاژ باقیمانده

سیم پیچ ولتاژ باقیمانده، سیم پیچی از ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز است که با دو سیم پیچ مشابه فازهای دیگر، یک اتصال مثلث باز^۱ را تشکیل می دهند. اتصال مثلث باز برای دو منظور بکار می رود:

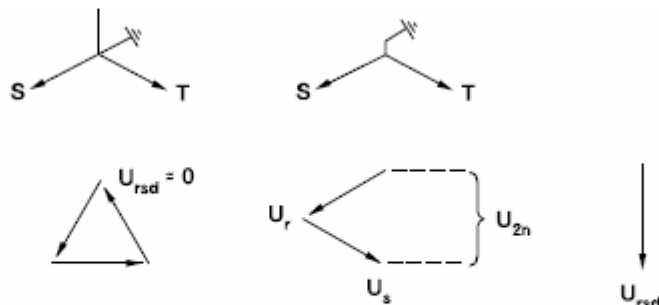
- ایجاد ولتاژ باقیمانده یا ولتاژ جابه جا شده نوترال در حین اتصال کوتاه
- میرا کردن نوسانات فرورزونانس

برای رله های اتصال زمین، ولتاژ باقیمانده شبکه (U_{res}) را می توان از طریق یک ترانسفورماتور ولتاژ که میان نوترال و زمین ترانسفورماتور قدرت قرار می گیرد اندازه گیری نمود. علاوه بر این ولتاژ را می توان به روش دیگری از طریق هادیهای فاز نیز بدست آورد که در شکل زیر نشان داده شده است.

بردارهای ولتاژ قبل از وقوع خطا



بردارهای ولتاژ در هنگام وقوع خطای تک فاز به زمین در سیستم به طور موثر زمین شده



شکل ۲-۲: اتصال مثلث باز برای سنجش ولتاژ باقیمانده حین یک اتصال زمین

1. Open delta

همانطور که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود ثانویه‌های سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که بصورت فاز به زمین متصل هستند در یک اتصال مثلث باز قرارداده شده‌اند.

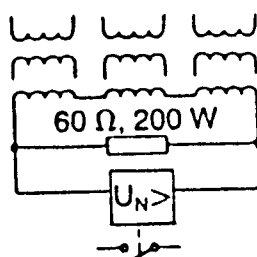
چنانچه ولتاژ نامی ثانویه هر یک از سیم‌پیچهای ولتاژ باقیمانده U_{2n} فرض شود می‌توان به سادگی نشان داد که ولتاژ باقیمانده در یک اتصال زمین از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$U_{res} = U_{2n} \quad \text{برای شبکه‌های بطور موثر زمین شده} \quad (۱-۲)$$

$$U_{res} = 3 \times U_{2n} \quad \text{برای شبکه‌های بطور غیر موثر زمین شده} \quad (۲-۲)$$

چنانچه مقدار U_{2n} برای شبکه‌های بطور موثر زمین شده سه برابر U_{2n} برای شبکه‌های بطور غیر موثر زمین شده انتخاب گردد در این صورت مقدار U_{res} یکسانی برای سیستمهای حفاظتی بدست خواهد آمد.

از طرفی نوسانات پدیده فرورزونانس که معمولاً در شبکه‌های با نوترال ایزوله و میان ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو (PT) و خازن فاز به زمین شبکه رخ می‌دهد، به علت خسارتی که ممکن است به بار آورند باید سریعاً میرا شوند. در PT ها این کار معمولاً با اتصال یک مقاومت به مدار مثلث باز ثانویه‌های ترانسفورماتورهای ولتاژ صورت می‌گیرد (مطابق شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: مقاومت میراکننده نوسانات فرورزونانس PTها

خروجی نامی سیم‌پیچ ولتاژ باقیمانده بر حسب ولت‌آمپر (VA) و از میان مقادیر استاندارد شده مشابه سیم‌پیچهای ثانویه انتخاب می‌گردد.

۲-۱۴- مثال کاربردی

در این بند، مثالی جهت انتخاب ترانسفورماتور ولتاژ خازنی برای یک پست ۲۳۰ کیلوولت آورده شده است. مشخصات:

- ولتاژ نامی سیستم : ۲۳۰ کیلوولت
- حداکثر ولتاژ سیستم : ۲۴۵ کیلوولت
- فرکانس نامی سیستم : ۵۰ هرتز
- نحوه زمین شدن سیستم : بطور موثر زمین شده است
- ارتفاع از سطح دریا : ۱۴۰۰ متر
- حداکثر درجه حرارت محیط : ۴۵ درجه سانتیگراد
- حداقل درجه حرارت محیط : ۲۵- درجه سانتیگراد

- سرعت باد : برای ۵ ثانیه - ۴۰ متر بر ثانیه

برای ۱۰ ثانیه - ۳۰ متر بر ثانیه

- میزان رطوبت نسبی : ۶۰ درصد

- حداکثر شتاب زلزله : ۰/۳۵g

- میزان آلودگی : سنگین

- نوع ترانسفورماتور از نظر عایق بندی : روغنی

مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ انتخابی به شرح زیر می باشد:

- نوع ترانسفورماتور از نظر ساختاری : خازنی (در این مثال خاص از سیستم PLC استفاده شده است)

- حداکثر ولتاژ اولیه : $245/\sqrt{3}$ کیلوولت (فاز - زمین) با توجه به ولتاژ نامی شبکه

- ولتاژ نامی اولیه : $230/\sqrt{3}$ کیلوولت (فاز - زمین) با توجه به ولتاژ نامی شبکه

- ولتاژ ثانویه : $100/\sqrt{3}$ ولت یا $110/\sqrt{3}$ ولت (در صورتی که توسعه یک پست مدنظر باشد استفاده از ولتاژ ثانویه ای

که قبلاً هم استفاده شده است توصیه می شود).

- ضریب ولتاژ نامی : ۱/۲ (دائم) (با توجه به نحوه زمین شدن سیستم و اتصال سیم پیچ اولیه)

۱/۵ (۳۰ ثانیه) (با توجه به نحوه زمین شدن سیستم و اتصال سیم پیچ اولیه)

- سطح عایقی : مقادیر سطوح عایقی، مطابق نشریه "هماهنگی عایقی" محاسبه می شوند.

- فاصله خزشی : با توجه به سنگین بودن آلودگی محل مورد نظر، فاصله خزشی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$245 \text{ kV} \times 25 \frac{\text{mm}}{\text{kV}} = 6125 \text{ mm}$$

- محدودیت افزایش درجه حرارت : با توجه به انتخاب ترانسفورماتور ولتاژ نوع روغنی، حداکثر افزایش درجه حرارت مجاز ۶۰

درجه سانتیگراد می باشد و با توجه به ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا به ازاء هر ۱۰۰ متر اضافه ارتفاع از مبنای ۱۰۰۰ متر ۰/۴٪ از

درجه حرارت فوق کاسته می شود:

$$60 - 60 (0.004 \times 4) = 59.04^\circ \text{C}$$

- توان خروجی: توان خروجی می بایستی با توجه به دستگاههای تغذیه شونده انتخاب گردد.

- مقادیر بار (فرضی) :

- کنتور اکتیو و راکتیو: ۶ ولت آمپر

- ترانسفورماتور کاهنده سیستم اسکادا : ۲ ولت آمپر

- ولت متر ۰/۱ ولت آمپر

- وات متر ۳ ولت آمپر

- وار متر ۳ ولت آمپر

که مجموع بار متصله به هسته این ترانسفورماتور ولتاژ خازنی برابر است با:

$$P=14/1 \text{ ولت آمپر}$$

ملاحظه می‌گردد که اگر ظرفیت نامی ترانسفورماتور ولتاژ برابر ۵۰ ولت آمپر انتخاب گردد ضمن تغذیه بارهای متصل به ثانویه مقدار ولت‌آمپر مصرفی از ۲۵ درصد ظرفیت نامی بالاتر است و ملزومات دقت رعایت می‌شود.

- کلاس دقت : برای ترانسفورماتورهای ولتاژ اندازه‌گیری (سیم‌پیچ اندازه‌گیری) کلاس دقت ۰/۵ و برای ترانسفورماتورهای ولتاژ حفاظتی (سیم‌پیچ حفاظتی) کلاس دقت ۳P انتخاب می‌گردد. از طرفی از آنجا که معمولاً در ترانسفورماتور ولتاژ هسته‌های حفاظتی و اندازه‌گیری از یکدیگر جدا نیستند و هسته‌ها دقت ترکیبی دارند، کلاس دقت 0.5+3P انتخاب می‌گردد.

- مقدار ظرفیت خازنی نامی : میزان ظرفیت مقسم خازنی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بر اساس باند فرکانسی مورد استفاده در سیستم PLC با هماهنگی بخش مخابرات تعیین می‌گردد.

ΚΩ ΠΟΛΕΓ C Μ3ΟΓή⁻

Ο Ζ Η 3 τ' ΖΨΗ C Ο Γ ΟΕγ3 έ

۳- مقدمه

در این فصل آزمونهای مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو جهت حصول اطمینان به عملکرد صحیح آنها بیان می‌گردد.

۳-۱- آزمونهای نوعی

ترانسفورماتورهای ولتاژی که با آزمونهای نوعی که ماده عایق را تحت تنش قرار می‌دهند مورد آزمون واقع شوند، در ادامه باید با آزمونهای جاری نیز مورد آزمون واقع شوند.

۳-۱-۱- آزمون افزایش دما

این آزمون برای بررسی محدودیتهای مربوط به افزایش دما انجام می‌گیرد. هنگامی که نرخ افزایش درجه حرارت از یک درجه در ساعت بیشتر نیست ترانسفورماتور از لحاظ درجه حرارت در شرایط ماندگار در نظر گرفته می‌شود. درجه حرارت محیط محل آزمون باید بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد باشد.

هنگامی که بیش از یک سیم‌پیچ ثانویه وجود دارد سیم‌پیچها می‌بایستی در حال تغذیه بار نامی خود باشند مگر شرایط دیگری بین خریدار و سازنده توافق شود. برای انجام این آزمون، ترانسفورماتور باید شبیه به حالت نصب خود در محل قرار گرفته باشد. غیر از مواردی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود، افزایش دما در ترانس ولتاژ در ولتاژ مشخص و فرکانس نامی و در بردن نامی (یا در بردن ماکزیمم در صورت وجود چندین بردن نامی) و در ضریب قدرت بین ۰/۸ پس فاز و ضریب قدرت واحد، نباید از مقادیر مشخص شده در جدول ۲-۷ بیشتر شود.

در آزمون افزایش دما موارد ذیل باید مورد آزمون قرار گیرند:

الف- تمامی ترانس‌های ولتاژ باید در ولتاژ ۱/۲ برابر ولتاژ نامی مورد آزمون واقع شوند. چنانچه خروجی حرارتی مشخص شده باشد ترانسفورماتور باید در ولتاژ اولیه نامی و در بردن با ضریب قدرت واحد و معادل خروجی حرارتی و در شرایط بی بار بودن سیم‌پیچی ولتاژ باقیمانده مورد آزمون واقع شود.

چنانچه خروجی حرارتی برای یک یا چند سیم‌پیچی ثانویه به صورت مجزا داده شده باشد، آزمون باید برای هر سیم‌پیچی به صورت مجزا با خروجی حرارتی آن سیم‌پیچی انجام پذیرد. در حین انجام آزمون، سیم‌پیچی ولتاژ باقیمانده بی بار است. آزمون تا زمانی که دمای ترانس به مقدار پایداری برسد ادامه می‌یابد. دمای ترانس نباید از مقدار مشخص شده در جدول ۲-۷ بیشتر شود.

ب- ترانسفورماتورهایی که ضریب ولتاژ نامی ۱/۵ برای ۳۰ ثانیه یا ۱/۹ برای ۳۰ ثانیه را دارند، باید پس از اعمال ولتاژ ۱/۲ برابر و رسیدن ترانس به دمای پایدار (مطابق قسمت الف) به مدت ۳۰ ثانیه تحت ضریب ولتاژ نامی خود قرار گرفته و در این حالت دما نباید بیشتر از ۱۰ درجه از مقدار مشخص شده در جدول ۲-۷ بیشتر شود. این آزمون را می‌توان بدون اعمال ولتاژ ۱/۲ برابر ولتاژ نامی هم انجام داد. در این حالت افزایش دمای سیم‌پیچی نباید از ۱۰ درجه کلین بیشتر شود.

چنانچه از روش‌های دیگر بتوان رضایت‌بخش بودن عملکرد ترانسفورماتور را تحت شرایط فوق نشان داد این آزمون می‌تواند انجام نگیرد.

ج- ترانسفورماتورهایی که ضریب ولتاژ $1/9$ برای ۸ ساعت را دارند باید پس از اعمال ولتاژ $1/2$ برابر ولتاژ نامی و رسیدن ترانس به دمای پایدار، به مدت ۸ ساعت و در ولتاژ $1/9$ برابر ولتاژ نامی مورد آزمون واقع شوند. افزایش دما در این حالت نباید بیشتر از ۱۰ درجه از مقدار مشخص شده در جدول ۲-۷ بیشتر شود.

توجه:

- از آنجا که در حین انجام آزمون، ولتاژ ثانویه ممکن است از حد ولتاژ نامی ثانویه ضریب ولتاژ به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر باشد، اندازه‌گیری ولتاژ می‌بایست در سیم‌پیچ اولیه انجام پذیرد.

افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ بایستی بوسیله روش اندازه‌گیری افزایش مقاومت تعیین شود. افزایش درجه حرارت قسمت‌های دیگر (به جز سیم‌پیچ) می‌تواند بوسیله ترمومتر یا ترموکوپل اندازه‌گیری شود.

۳-۱-۲- آزمون موج ضربه بر روی سیم‌پیچ اولیه

۳-۱-۲-۱- کلیات

این آزمون شامل اعمال سطوح ولتاژ نامی و مبنا است. موج ولتاژ مبنای آزمونهای موج ضربه می‌بایستی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ به ترانسفورماتور ولتاژ اعمال شده و بین ۵۰ تا ۷۵ درصد ولتاژ نامی تحمل در برابر موج ضربه باشد. پیک موج و شکل موج ولتاژها می‌بایستی ثبت شود. وجود صدمه دیدگی و خرابی عایق را می‌توان با مشاهده میزان تغییرات کمیات و پارامترهای ثبت شده در هر دو ولتاژ مبنا و نامی اثبات نمود.

ولتاژ آزمون می‌بایست بین هر کدام از ترمینالهای خط سیم‌پیچ اولیه و زمین اعمال شود. در هنگام انجام این آزمون، ترمینال زمین سیم‌پیچ اولیه، حداقل یک ترمینال از هر سیم‌پیچ ثانویه، بدنه و هسته می‌بایستی زمین گردند. آشکارسازی خرابی عایق، توسط وجود تغییراتی در شکل موج‌های ولتاژ مبنا و ولتاژ تحمل نامی مشخص می‌شود. مقدار پیک و شکل موج ضربه می‌بایست ثبت شود. جهت آشکارسازی و خرابی عایق علاوه بر ثبت ولتاژ اعمالی می‌بایست جریان زمین یا ولتاژهایی که در دو سر سیم‌پیچ‌های ثانویه القاء می‌شوند نیز ثبت شود.

نکته: اتصالات زمین را می‌تواند از طریق یک وسیله ثبت جریان انجام داد.

۳-۱-۲-۲- آزمون موج صاعقه

ولتاژ آزمون می‌بایستی از مقادیر داده شده در جدول (۲-۵) و با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیزات انتخاب گردد.

- سیم‌پیچ‌های با حداکثر ولتاژ سیستم کمتر از ۳۰۰ کیلوولت ($U_m < 300 \text{ kV}$)

این آزمون باید با هر دو پلاریته مثبت و منفی انجام شود. ۱۵ موج ضربه پی در پی از هر پلاریته باید اعمال شود (لازم به اعمال تصحیحات مربوط به شرایط جوی نیست). ترانسفورماتور این آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر برای هر پلاریته :

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

نکته: اعمال ۱۵ موج پلاریته مثبت و ۱۵ موج پلاریته منفی برای آزمایش عایقهای خارجی است. اگر آزمونهای دیگری جهت آزمایش عایقهای خارجی بین خریدار و سازنده توافق شود، تعداد موجهای صاعقه بایستی به ۳ موج از هر پلاریته کاهش یابد (لزومی به اعمال ضریب تصحیح مربوط به شرایط جوی نیست).

- سیم پیچهای با حداکثر ولتاژ سیستم ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)

این آزمون باید با هردو پلاریته مثبت و منفی انجام شود. ۳ موج ضربه پی در پی از هر پلاریته باید اعمال شود. ترانسفورماتور این آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر برای هر پلاریته :

- هیچگونه تخلیه مخربی صورت نگیرد.

- هیچگونه موردی از شکست عایقی مشاهد نشود (بطور مثال تغییرات شکل موج کمیّات ثبت شده).

۳-۱-۲-۳- آزمون موج کلیدزنی

دامنه ولتاژ آزمون با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیز و سطح عایقی مناسب، مطابق جدول ۵-۲ تعیین می شود.

این آزمون باید با پلاریته مثبت انجام شود. ۱۵ موج ضربه پی در پی از پلاریته مثبت با اعمال تصحیحات لازم مربوط به شرایط جوی باید اعمال شود.

برای ترانسفورماتورهای ولتاژی که در فضای باز نصب می شوند این آزمون باید تحت شرایط مرطوب انجام گردد بند (۳-۱-۳). از آنجا که انجام این آزمون می تواند توام با اشباع هسته باشد می توان در بین آزمونها با استفاده از رویه مناسبی شار باقیمانده هسته را از بین برد. ترانسفورماتور این آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر برای هر پلاریته :

- هیچگونه تخلیه مخربی بین عایقهای داخلی خودترمیم صورت نگیرد.

- هیچگونه جرقه ای روی عایقهای خارجی غیر خودترمیم صورت نگیرد.

- بیشتر از دو جرقه بین عایقهای خارجی خودترمیم صورت نگیرد.

- هیچگونه موردی از شکست عایقی مشاهده نشود (بطور مثال تغییرات شکل موج کمیّات ثبت شده).

۳-۱-۳- آزمون شرایط مرطوب برای ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع بیرونی

رویه خیس کردن ترانسفورماتور ولتاژ مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۶۰ انجام می گیرد.

۳-۱-۳-۱- سیم پیچهای با حداکثر ولتاژ سیستم کمتر از ۳۰۰ کیلوولت ($U_m < 300 \text{ kV}$)

این آزمون با ولتاژ فرکانس قدرت انجام می پذیرد. ولتاژ فرکانس قدرت این آزمون باید با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیز و از روی جدول شماره (۵-۲) بدست آمده و سپس تصحیحات لازم با توجه به اثر شرایط محیطی روی آن انجام پذیرد.

۳-۱-۳-۲- سیم پیچهای دارای حداکثر ولتاژ سیستم ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر

این آزمون می بایستی با ولتاژ کلیدزنی مطابق بند ۳-۱-۳ انجام گیرد.

۳-۱-۴- آزمون قابلیت تحمل اتصال کوتاه

برای این آزمون، ترانسفورماتور ولتاژ باید دارای درجه حرارت ابتدایی بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد باشد. ترانسفورماتور ولتاژ باید از سمت اولیه برقرار شده و طرف ثانویه اتصال کوتاه شود. اتصال کوتاه می بایستی برای مدت یک ثانیه و تنها یکبار اعمال گردد.

وقتی فیوزها قسمتی از ترانسفورماتور هستند نیز باید موارد فوق اعمال شود. در طول آزمون مقدار موثر ولتاژ اعمال شده به ترمینالهای ترانسفورماتور نباید از مقدار ولتاژ نامی کمتر باشد. در انجام این آزمون می‌توان سیم‌پیچی ثانویه را برقرار کرد و ترمینال‌های اولیه را اتصال کوتاه کرد.

در حالتی که ترانسفورماتور دارای بیش از یک سیم‌پیچ ثانویه یا قسمت بوده و یا دارای تپ باشد اتصالات آزمون باید با توافق خریدار و سازنده صورت گیرد. آزمون موفقیت‌آمیز خواهد بود اگر ترانسفورماتور پس از سرد شدن تا دمای محیط، شرایط زیر را برآورده سازد:

- صدمه دیدگی قابل مشاهده نداشته باشد.
- خطاهای ترانسفورماتور بعد از انجام آزمون نسبت به حالت قبل از انجام آن، بیش از نصف حدود مجاز خطا (با توجه به کلاس دقت مربوطه) تفاوت نداشته باشد.
- باید آزمونهای عایقی بندهای ۳-۲-۳ و ۳-۲-۳ را با ۹۰٪ ولتاژ تعیین شده در بندهای مذکور تحمل کند.
- در عایقهای نزدیک سطح سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه نباید هیچگونه اثری مبنی بر خرابی (مانند کربنی شدن) وجود داشته باشد. چنانچه چگالی جریان از مقدار $160 \frac{A}{mm^2}$ بیشتر نشود (جایی که مس سیم‌پیچها دارای هدایتی بالاتر از ۹۷٪ هدایت مشخص شده توسط IEC شماره ۶۰۰۲۸ باشد) رعایت این بند لازم نخواهد بود. چگالی جریان براساس جریان اتصال کوتاه متقارن اندازه‌گیری شده در سیم‌پیچ ثانویه محاسبه می‌گردد.

۳-۱-۵- آزمونهای دقت

۳-۱-۵-۱- ترانسفورماتورهای ولتاژ با هسته اندازه‌گیری

برای اثبات درصد خطای مرتبط با کلاس دقت ترانسفورماتور ولتاژ با هسته اندازه‌گیری، که در قسمت ۲-۸-۱ به آن اشاره شد آزمونهای نوعی می‌بایستی در ۸۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ ولتاژ نامی در فرکانس نامی و ۲۵٪ و ۱۰۰٪ بردن نامی انجام شده و درصد خطای آنها اندازه‌گیری شود.

۳-۱-۵-۲- ترانسفورماتورهای ولتاژ با هسته حفاظتی

برای اثبات درصد خطای مرتبط با کلاس دقت ترانسفورماتور ولتاژ حفاظتی که در قسمت ۲-۸-۲ به آن اشاره شد، آزمونهای نوعی می‌بایستی در ۲٪، ۵٪ و ۱۰۰٪ ولتاژ نامی و ولتاژ نامی ضربدر ضریب ولتاژ نامی و در ۲۵٪ و ۱۰۰٪ بردن نامی و در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز انجام شوند.

در حین انجام این آزمون در ولتاژهای کمتر و مساوی ولتاژ نامی، سیم‌پیچی ولتاژ باقیمانده بارگذاری نمی‌شود. این سیم‌پیچی در سطح ولتاژهای ولتاژ نامی ضربدر ضریب ولتاژ نامی و با بردن نامی خود بارگذاری می‌شود.

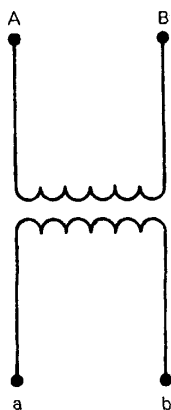
۳-۲- آزمونهای جاری

۳-۲-۱- آزمون تأیید علامت گذاری ترمینالها

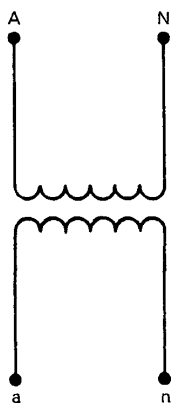
صحت علامت گذاری ترمینالها می بایستی (با توجه به شکل های ۱-۳، ۲-۳، ۳-۳ و ۴-۳) بازبینی گردد.

- حروف بزرگ A, B, C و N ترمینالهای سیم پیچ اولیه و حروف کوچک a, b, c و n ترمینالهای سیم پیچ ثانویه را نشان می دهند. حروف بزرگ A, B, C و مربوط به ترمینالهای با عایق کامل و حرف N مربوط به ترمینالی است که زمین خواهد شد و عایق آن کمتر از دیگر ترمینالهاست. علامتهای da و dn مربوط به ترمینالهای سیم پیچ ولتاژ باقیمانده است.

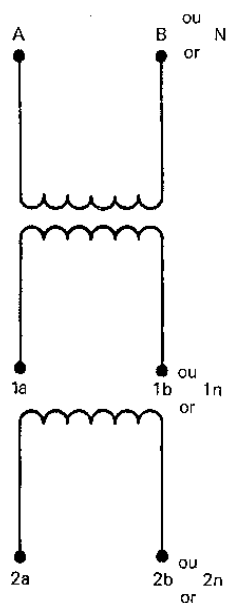
- ترمینالهایی که دارای حروف کوچک و بزرگ همنام هستند بایستی دارای پلاریته یکسان باشند.



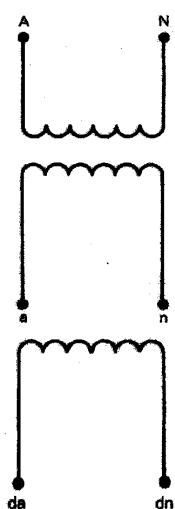
شکل ۳-۱: ترانسفورماتور تکفاز با ترمینالهای با عایق کامل و یک سیم پیچ ثانویه



شکل ۳-۲: ترانسفورماتور تکفاز با یک ترمینال اولیه نوترال با عایق غیر کامل و یک سیم پیچ ثانویه



شکل ۳-۳: ترانسفورماتور تکفاز بادو سیم پیچ ثانویه



شکل ۳-۴: ترانسفورماتور تکفاز با یک سیم پیچ ولتاژ باقیمانده

۳-۲-۲- آزموهای فرکانس قدرت روی سیم پیچ اولیه و اندازه گیری میزان تخلیه جزئی

۳-۲-۲-۱- کلیات

آزمون فرکانس قدرت می بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ انجام گیرد. برای آزمونهای تحمل اضافه ولتاژ القایی، فرکانس ولتاژ آزمون ممکن است به جهت جلوگیری از اشباع هسته به مقداری بالاتر از مقدار نامی افزایش یابد. طول دوره آزمون بایستی ۱ دقیقه باشد. اگر فرکانس آزمون از دو برابر فرکانس نامی تجاوز نماید طول دوره آزمون طبق رابطه زیر از یک دقیقه کاهش می یابد:

$$(۱-۳) \quad ۶۰ \times \frac{\text{دو برابر فرکانس نامی}}{\text{فرکانس آزمون}} = \text{طول دوره آزمون (ثانیه)}$$

حداقل طول دوره برابر ۱۵ ثانیه است. در صورت انجام مکرر آزمون فرکانس قدرت در سیم‌پیچی اولیه، ولتاژ اعمالی باید در ۸۰٪ ولتاژ آزمون مشخص شده تنظیم شود.

۳-۲-۲-۲-۳- سیم‌پیچهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۰۰ کیلوولت ($U_m < 300 \text{ kV}$)

ولتاژ آزمون با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیز و از روی جدول (۵-۲) انتخاب می‌گردد. آزمونهای زیر می‌بایستی انجام گیرد:

- آزمون تحمل ولتاژ در وضعیت جدا از منبع^۱

ولتاژ آزمون برابر ۳ کیلوولت موثر است و به مدت ۱ دقیقه بین ترمینال زمین سیم‌پیچ اولیه و زمین اعمال می‌شود. محفظه، هسته، بدنه و تمام ترمینالهای سیم‌پیچهای ثانویه باید به یکدیگر متصل و سپس زمین شوند.

- آزمون تحمل اضافه ولتاژ القایی^۲

با نظر سازنده، این آزمون می‌تواند با تحریک سیم‌پیچ ثانویه و یا با تحریک مستقیم سیم‌پیچ اولیه در ولتاژ آزمون مشخص شده انجام می‌شود. در حالت اول، مقدار ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ ثانویه باید به اندازه‌ای باشد که ولتاژ آزمون مشخص شده در سیم‌پیچ اولیه القا شود. در هر حالت، ولتاژ آزمون می‌بایستی در طرف فشار قوی اندازه‌گیری شود. محفظه، بدنه، هسته و یک ترمینال از سیم‌پیچی ثانویه و ترمینال زمین سیم‌پیچی اولیه بایستی به یکدیگر متصل و زمین شوند. ولتاژ آزمون باید به تمامی ترمینالهای فشارقوی اولیه به مدت نصف زمانی که در ابتدا ذکر شد (با حداقل زمان ۱۵ ثانیه برای هر ترمینال) اعمال شود.

۳-۲-۲-۳- سیم‌پیچهای با حداکثر ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)

ترانسفورماتور باید آزمونهای زیر را پشت سر بگذارد:

- آزمون تحمل ولتاژ در وضعیت جدا از منبع

ولتاژ آزمون برابر ۳ کیلوولت موثر است و به مدت ۱ دقیقه بین ترمینال زمین سیم‌پیچ اولیه و زمین اعمال می‌شود. محفظه، هسته، بدنه و تمام ترمینالهای سیم‌پیچهای ثانویه باید به یکدیگر متصل و سپس زمین شوند.

- آزمون تحمل اضافه ولتاژ القایی

باتوجه به ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه (مطابق جدول زیر)، ولتاژ آزمون انتخاب شده و آزمون می‌بایستی مطابق بند آزمون تحمل اضافه ولتاژ القایی در قسمت ۳-۲-۲-۳ انجام شود.

1. Separate source withstand voltage

2. Induced voltage withstand test

جدول (۱-۳): ولتاژ تحمل کوتاه مدت فرکانس قدرت برای $U_m \geq 300kV$ به ازاء ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه نامی

ولتاژ نامی تحمل در برابر موج ضربه صاعقه (مقدار پیک بر حسب kV)	ولتاژ نامی تحمل فرکانس قدرت (مقدار مؤثر بر حسب kV)
۱۰۵۰	۴۶۰
۱۱۷۵	۵۱۰
۱۳۰۰	۵۷۰
۱۴۲۵	۶۳۰

۳-۲-۴- اندازه گیری میزان تخلیه جزئی

مدار و تجهیزات این آزمون مطابق با IEC شماره ۶۰۲۷۰ انتخاب می شود. دستگاه اندازه گیری مورد استفاده باید بار ظاهری q را اندازه گیری کند. این بار در واحد پیکوکولن (pC) بیان می شود.

دستگاه اندازه گیری با پهنای باند گسترده باید حداقل پهنای باند ۱۰۰ kHz را داشته باشد و فرکانس قطع بالای آن از ۱/۲MHz بیشتر نباشد. دستگاه با پهنای باند کم باید فرکانس تشدید در بازه ۰/۱۵ MHz تا ۲ MHz داشته باشد. بازه فرکانسی ۰/۵ تا ۲ مگاهرتز ترجیحی است، در عین حال در صورت امکان این فرکانس می تواند به گونه ای تنظیم شود که بیشترین حساسیت حاصل شود. حساسیت دستگاه باید به گونه ای باشد که سطح تخلیه جزئی ۵ پیکوکولن تشخیص داده شود.

سطح اغتشاش می بایست از سطح حساسیت دستگاه اندازه گیری پایین تر باشد.

برای انجام این آزمون ابتدا مطابق یکی از روش های زیر، ترانسفورماتور ولتاژ باید تحت تنش قرار داده شود.

روش اول: پس از انجام آزمون تحمل ولتاژ القائی، با کاهش ولتاژ، ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتور ولتاژ در سطح ولتاژ آزمون تخلیه جزئی تنظیم می شود.

روش دوم: پس از انجام آزمون تحمل ولتاژ القائی، ولتاژ اعمالی تا ۸۰٪ ولتاژ تحمل القائی بالابرده می شود و به مدت بیشتر از ۶۰ ثانیه به ترانسفورماتور ولتاژ اعمال می شود، سپس بدون هیچگونه وقفه ای سطح ولتاژ تا سطح ولتاژ آزمون تخلیه جزئی پایین آورده می شود.

پس از اعمال ولتاژ آزمون تخلیه جزئی، سطح تخلیه جزئی در مدت ۳۰ ثانیه اندازه گیری می شود.

چنانچه روش دیگری غیر از روش های فوق برای تحت تنش قراردادن ترانسفورماتور توسط سازنده بکار گرفته شده است روش آزمون باید در گزارش آزمون آورده شود.

جدول ۳-۲: ولتاژهای آزمون و سطوح مجاز تخلیه جزئی

نوع زمین کردن سیستم	اتصالات سیم پیچی اولیه	ولتاژ آزمون تخلیه جزئی (kV)	سطح تخلیه جزئی مجاز (pC)	
			نوع عایق	
			جامد	غوطه ور در مایع
سیستم به طور مؤثر زمین شده (ضریب اتصال زمین کوچکتر از ۱/۵)	فاز به زمین	U_m $1.2 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	۱۰	۵۰
	فاز به فاز	$1.2 U_m$	۵	۲۰
سیستم با نوترال زمین نشده و سیستم غیرمؤثر زمین شده (ضریب اتصال زمین بزرگتر از ۱/۵)	فاز به زمین	$1.2 U_m$ $1.2 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	۱۰	۵۰
	فاز به فاز	$1.2 U_m$	۵	۲۰

۱- چنانچه زمین کردن شبکه مشخص نبود مقادیر داده شده مربوط به سیستمهای زمین نشده معتبر است.

۲- سطح تخلیه جزئی مجاز برای فرکانسهای غیر از فرکانس نامی نیز معتبر است.

۳- هنگامیکه ولتاژ نامی ترانس ولتاژ به صورت قابل توجهی از حداکثر ولتاژ سیستم (U_m) کمتر است در هنگام تنش قراردادن ترانس اعمال، ولتاژهای کمتر بین خریدار و سازنده توافق می شود.

۳-۲-۳- آزمون فرکانس قدرت بین قسمتهای مختلف و روی سیم پیچهای ثانویه

ولتاژ آزمون برابر ۳ کیلوولت مؤثر برای مدت ۱ دقیقه است که بین ترمینالهای اتصال کوتاه شده هر قسمت سیم پیچی یا هر سیم پیچی ثانویه و زمین اعمال خواهد شد. محفظه، بدنه، هسته و تمام ترمینالهای دیگر سیم پیچها و قسمتهای مختلف بایستی به یکدیگر متصل و سپس زمین شوند.

۳-۲-۴- آزمونهای دقت

آزمون دقت باید پس از انجام دیگر آزمونها انجام گیرد. آزمونهای جاری دقت هم در حقیقت، همانند آزمونهای نوعی انجام شده ولی آزمونهای جاری در تعداد کمتری از ولتاژها و بردنهای آزمون نیز مجاز می باشند. البته کم کردن از تعداد آزمونها در این حالت در صورتی امکان پذیر است که برای ترانسفورماتور مشابه، در آزمونهای نوعی نشان داده شود که این تعداد آزمون برای اثبات درصد خطای ترانسفورماتور کفایت می کند.

۳-۳- آزمونهای ویژه

۳-۳-۱- آزمون موج صاعقه بریده شده روی سیم پیچ اولیه^۱

این آزمون می بایستی تنها با پلاریته منفی انجام گرفته و با آزمون موج صاعقه کامل با پلاریته منفی به شرح زیر ترکیب گردد.

1 . Chopped impulse test on primary winding

موج استاندارد صاعقه بایستی بعد از ۲ تا ۵ میکروثانیه بریده شود. مدار برش باید بگونه‌ای باشد که مقدار اضافه جهش^۱ به پلاریته مخالف موج ثبت شده به ۳۰٪ پیک موج محدود شود. پیک موج صاعقه بریده شده برابر ۱۱۵٪ پیک موج صاعقه کامل است. پیک موج کمتر از این مقدار بین خریدار و سازنده توافق می‌شود. توالی اعمال موج در این آزمون به صورت زیر خواهد بود:

الف - برای سیم‌پیچهای با حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۰۰ کیلوولت ($U_m < 300 \text{ kV}$)

- یک موج کامل ۱۰۰٪

- دو موج بریده شده ۱۰۰٪

- ۱۴ موج کامل ۱۰۰٪

ب - برای سیم‌پیچهای با حداکثر ولتاژ ۳۰۰ کیلوولت و بالاتر ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)

- یک موج کامل ۱۰۰٪

- دو موج بریده شده ۱۰۰٪

- دو موج کامل ۱۰۰٪

اختلاف بین شکل موج کامل اعمال شده قبل و بعد از موج بریده شده بیانگر خطای داخلی است. جرقه‌های بوجود آمده در حین اعمال موجهای بریده شده به عایق‌های خارجی خودترمیم در ارزیابی این عایقها نادیده گرفته شود.

۳-۳-۲- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی

این آزمون می‌بایستی پس از آزمون تحمل ولتاژ فرکانس قدرت، روی سیم‌پیچ اولیه انجام شود. این آزمون تنها درمورد ترانسفورماتورهای اعمال می‌شود که سیم‌پیچی اولیه آنها در روغن غوطه‌ور است و حداکثر ولتاژ سیستم (U_m) برای آنها بزرگتر یا مساوی ۷۲/۵ کیلوولت است. مقدار ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی ($\tan\delta$) باید در فرکانس نامی و در ولتاژی بین ۱۰ کیلوولت و $U_m / \sqrt{3}$ ارائه شود.

هدف از این آزمون بازبینی یکنواختی محصولات است. حدود تغییرات مجاز با توافق بین سازنده و خریدار مشخص می‌گردد.

ضریب تلفات عایقی بستگی به طراحی عایق، سطح ولتاژ و درجه حرارت دارد. مقدار این ضریب در ولتاژ $U_m / \sqrt{3}$ و در درجه حرارت محیط معمولاً بیشتر از ۰/۰۰۵ نیست.

مدار آزمون می‌بایستی مورد توافق سازنده و خریدار باشد. روش پل ارجحیت دارد. آزمون بایستی در درجه حرارت محیط انجام شده و مقدار درجه حرارت بایستی ثبت گردد.

۳-۳-۳- آزمونهای مکانیکی

این آزمون ویژه ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو با ولتاژ ۷۲/۵ کیلوولت و بالاتر است. ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو می‌بایستی تحمل نیروهای استاتیک وارده طبق جدول (۳-۳) را داشته باشد. اعداد داخل جدول شامل بارهای باد و یخ می‌باشد. بارهای آزمون مشخص شده می‌تواند در هر جهتی به ترمینالهای اولیه وارد شود.

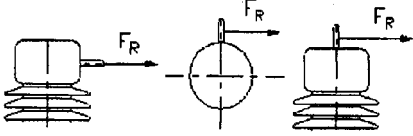
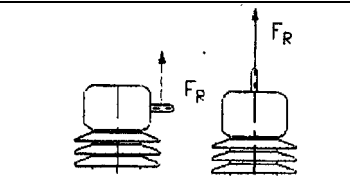
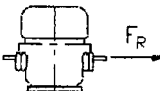
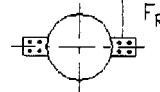
ترانسفورماتور ولتاژ جهت انجام آزمون مکانیکی بایستی بطور کامل مونتاژ و در وضعیت عمودی در جای خود به دقت نصب شده باشد.

ترانسفورماتور ولتاژ غوطه‌ور در روغن بایستی با روغن مخصوص خود پر شده و فشار آن چک گردد. نیروهای آزمون بایستی برای زمان ۶۰ ثانیه مطابق با جدول (۳-۳) اعمال گردند. ترانسفورماتور ولتاژ در صورتی که هیچگونه آسیبی شامل تغییر شکل، شکستگی و یا نشتی ندیده باشد، آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است.

جدول ۳-۳: نیروهای آزمون استاتیک

نیروی تحمل استاتیکی آزمون (N)			حداکثر ولتاژ تجهیز $U_m(kV)$
ترانسفورماتور ولتاژ با			
ترمینالهای عبور جریان		ترمینالهای ولتاژ	
کلاس □ □	کلاس □		
۲۵۰۰	۱۲۵۰	۵۰۰	۷۲/۵
۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۴۵
۴۰۰۰	۲۵۰۰	۱۲۵۰	۲۴۵
۵۰۰۰	۴۰۰۰	۱۵۰۰	۴۲۰
			نکات:
- مجموع نیروهای وارده در هنگام عملکرد عادی تجهیز نباید از ۵۰٪ نیروی آزمون فراتر رود.			
در برخی کاربردها، ترانسفورماتورهای ولتاژ با ترمینالهای 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 می‌بایستی مورد توافق خریدار و سازنده باشد.			

جدول ۳-۴: نیروهای آزمون برای مدت زمان ۶۰ ثانیه

نوع ترانسفورماتور ولتاژ	طریقه اعمال نیرو	
با ترمینال ولتاژ	افقی	
	عمودی	
با ترمینالهای جریان میانی	افقی به هر ترمینال	
	عمودی به هر ترمینال	
توجه: نیروهای آزمون بایستی به مرکز ترمینال وارد شوند.		

ΚΩ ΠΟΛΕΓ C Μ30Γή

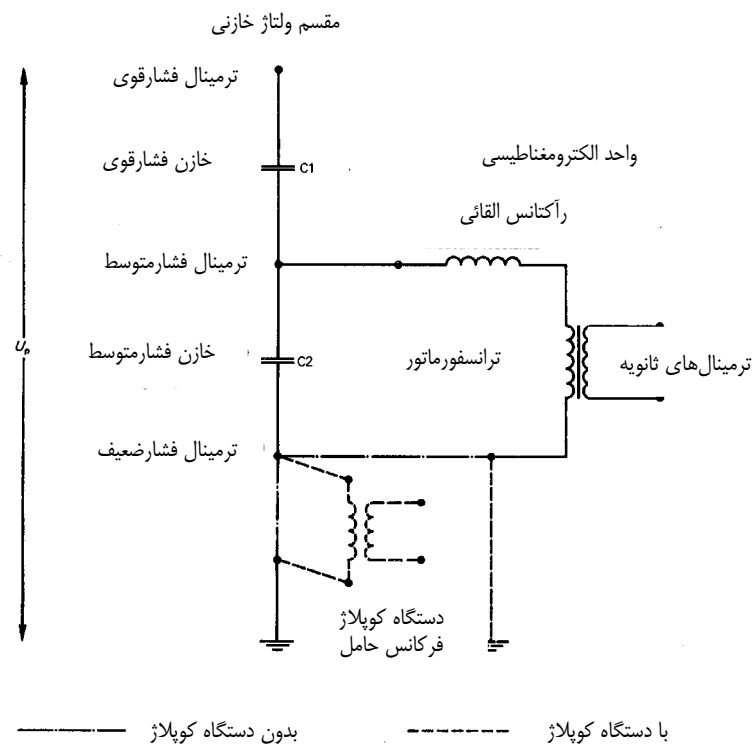
Τ3ή Φ t' ΖΨΗ Ο Γ ΟΕγ3 έ

۴- مقدمه

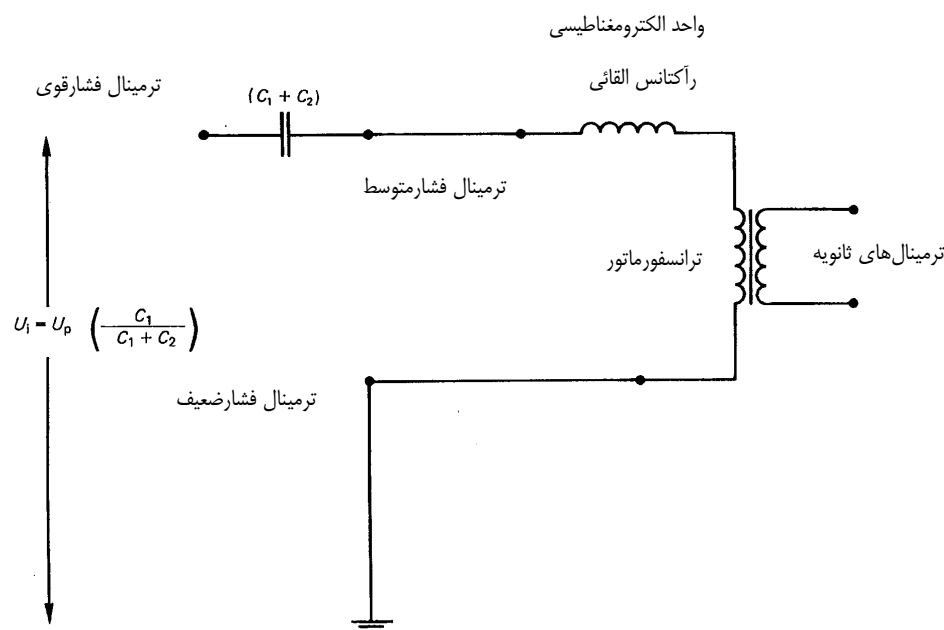
در این فصل، آزمونهایی که ویژه ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی است مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۱- کلیات

در این فصل آزمونهای نوعی، جاری و ویژه‌ای که بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی انجام می‌گیرد شرح داده می‌شود. توالی انجام آزمونهای نوعی و جاری مطابق فلوچارت شکل ۳-۴ است. در شروع و پایان هر مرحله باید ظرفیت خازنی، ضریب تلفات عابقی و دقت اندازه‌گیری شود. در صورت انجام آزمون بر یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل، دیاگرام تجهیز نمونه در شکل ۴-۱ آورده شده است. در بعضی از آزمونها می‌توان از مدار معادل ترانسفورماتور خازنی استفاده کرد که در ادامه به آن اشاره شده است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۱: دیاگرام نوعی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی



شکل ۴-۲: مدار معادل ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

شرایط مجاز آزمون روی مدار معادل به شرح زیر می باشد:

$$L_1 \times C_1 = L_2 \times C_2 \quad (۱-۴)$$

$$R_1 \times C_1 = R_2 \times C_2 \quad (۲-۴)$$

در این روابط L_1 , C_1 , R_1 به ترتیب اندوکتانس سری، ظرفیت خازنی و مقاومت سری معادل تلفات خازن فشار قوی C_1 می باشند. L_2 , C_2 , R_2 مقادیر مشابه خازن فشار متوسط C_2 هستند.

این روابط در برگیرنده این ضرورت است که خازنهای C_1 , C_2 دارای ساختمان مشابه بوده و ضریب تلفات عایقی آنها بیش از مقدار $۱۰^{-۴} \times ۳$ با هم تفاوت ندارد.

روابط مرتبط با اندوکتانس سری، در اکثر مقسمهای خازنی با فرکانس طبیعی ۱۰۰ کیلوهرتز یا بالاتر تأثیر چندانی نخواهد داشت. اگر یک مقاومت اضافی با یکی از خازنهای C_1 یا C_2 سری گردد، مدار معادل جواب صحیحی نخواهد داد و در این حالت مدار باید با احتیاط بیشتری مورد استفاده قرار گیرد.

تمام آزمونها می بایستی با واحدهای الکترومغناطیسی واقعی و نه مدل آنها انجام شوند. در مقابل ممکن است بجای خازن مقسم خازنی از ظرفیت خازنی معادل $C_1 + C_2$ استفاده شود. مدار مورد آزمون بایستی در گزارش آزمون قید شود.

۴-۲- آزمونهای نوعی

همانطور که فلوجارت شکل ۳-۴ مشاهده می شود آزمونهای نوعی را می توان با یک یا دو ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از یک نوع خاص انجام داد. استفاده از یک یا دو ترانسفورماتور ولتاژ خازنی در آزمونهای نوعی با نظر سازنده است.

ظرفیت خازنی (C) یک واحد خازنی یا یک ستون خازنی یا ظرفیت خازنی مقسم ولتاژ نباید بیشتر از $\frac{\Delta C}{C} \leq \frac{1}{n} = \frac{C}{C_0}$ در پایان

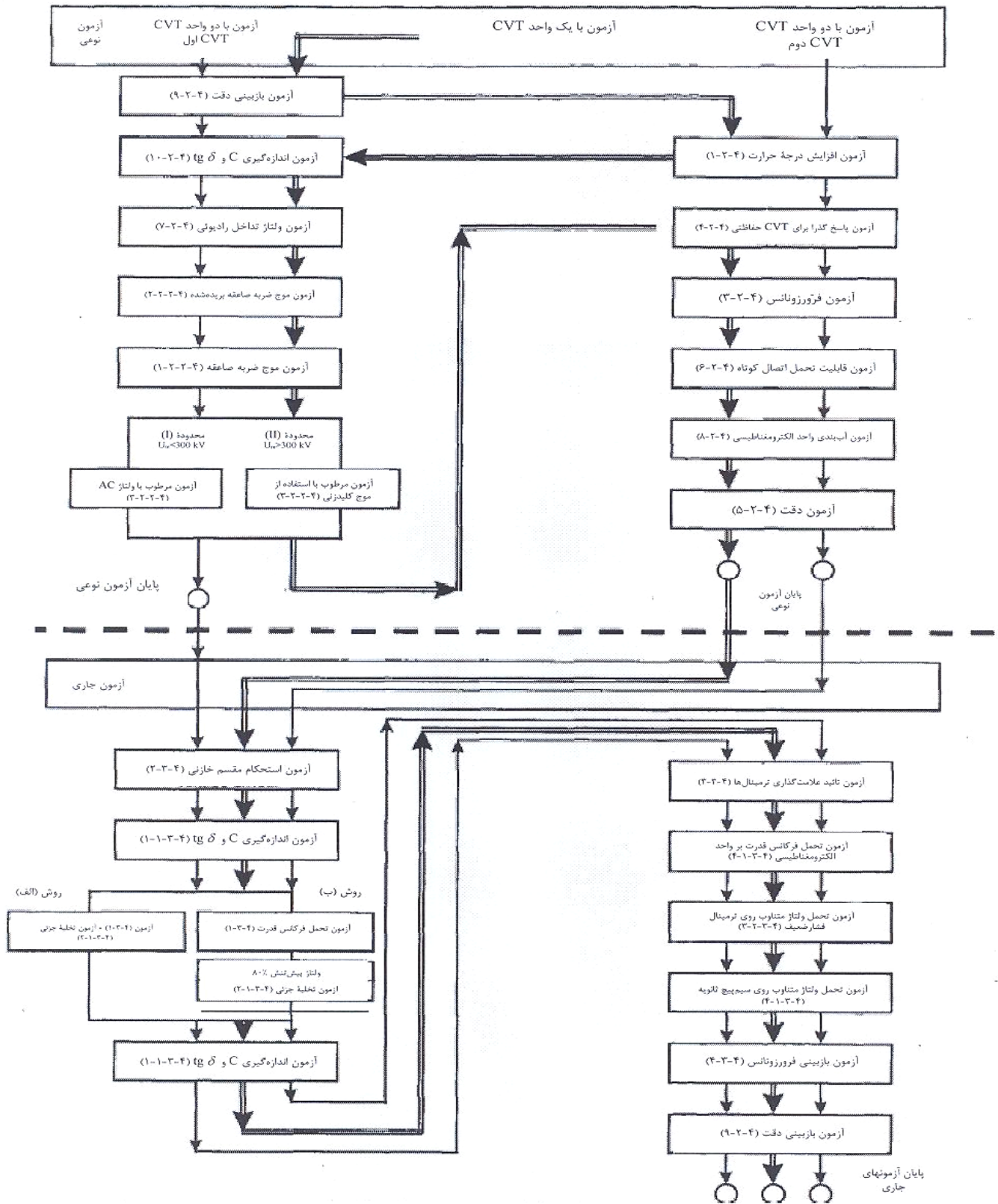
هر آزمون تغییر کند. در رابطه ذکر شده n تعداد المانهای سری و C_0 ظرفیت خازنی یک واحد است. گزارش آزمون نوعی باید نتایج آزمونهای جاری را نیز در بر داشته باشد.

با توافق سازنده و خریدار ترتیب انجام آزمون ها که در شکل ۳-۴ آورده شده است می تواند تغییر کند.

لیست آزمونهای نوعی به قرار زیر است:

- (۱) آزمون بازیینی دقت
- (۲) آزمون افزایش دما
- (۳) آزمون اندازه گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت
- (۴) آزمون ولتاژ ضربه بریده شده
- (۵) آزمون ولتاژ تداخل رادیویی
- (۶) آزمون قابلیت تحمل اتصال کوتاه
- (۷) آزمون ولتاژ ضربه صاعقه
- (۸) آزمون کلیدزنی در حالت مرطوب برای محدوده ولتاژی بالای ۳۰۰ کیلوولت
- (۹) آزمون پاسخ گذرا (این آزمون برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی حفاظتی انجام می شود)
- (۱۰) آزمون فرورزونانس
- (۱۱) آزمون آب بندی واحد الکترومغناطیسی
- (۱۲) آزمون دقت

شکل ۴-۳: فلوچارت توالی انجام آزمونهای نوعی و جاری



۴-۲-۱- آزمون افزایش درجه حرارت

این قسمت همانند آزمون افزایش درجه حرارت ذکر شده در آزمونهای نوعی مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو (بند ۱-۳-۱) انجام می شود. این آزمون می تواند تنها بر روی واحد الکترومغناطیسی انجام گیرد. هنگامیکه این آزمون بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل انجام می شود، ولتاژ اعمالی به سیم پیچی اولیه (U_P) در جدول ۴-۱ آمده است. همچنین چنانچه تنها واحد الکترومغناطیسی مورد آزمون قرار گیرد، باید ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتور ولتاژ متوسط به نحوی تنظیم شود که ولتاژ ثانویه (U_S) با مقادیری که در جدول ۴-۱ آمده است انطباق داشته باشد. در جدول ۴-۱، K_R نسبت تبدیل نامی ترانس ولتاژ خازنی و U_{PR} ولتاژ نامی اولیه است.

همانطور که در جدول ۴-۱ مشاهده می شود کلیه آزمونها در ابتدا با ولتاژ آزمون $1/2$ برابر ولتاژ نامی انجام می شوند. اعمال ولتاژ $1/2$ برابر تا رسیدن دمای واحد الکترومغناطیسی به دمای پایدار ادامه می یابد. انجام آزمون حد مجاز خروجی حرارتی در صورتی است که خروجی حرارتی برای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی مشخص شده باشد.

جدول ۴-۱: ولتاژهای آزمون برای آزمون افزایش دما

ضریب ولتاژ		$U_f=1/2$		$U_f=1/5$ یا $1/9$		$U_f=1/9$		حد مجاز خروجی حرارتی *
ولتاژ آزمون در بردن نامی، اعمال این ولتاژ تا زمانی ادامه می یابد که نرخ افزایش درجه حرارت کمتر از 1°K/h باشد	واحد الکترومغناطیسی	ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل	واحد الکترومغناطیسی	واحد الکترومغناطیسی	ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل	واحد الکترومغناطیسی	ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل	
	$U_S = \frac{1.2U_{PR}}{K_R}$	$U_P=1.2U_{PR}$	$U_S = \frac{1.2U_{PR}}{K_R}$	$U_P=1.2U_{PR}$	$U_P=1.2U_{PR}$	$U_S = \frac{1.2U_{PR}}{K_R}$	$U_P=1.2U_{PR}$	$U_S = \frac{1.2U_{PR}}{K_R}$
ولتاژ آزمون برای آخرین پریود آزمون	—	—	$U_S = \frac{U_f U_{PR}}{K_R}$	$U_P=U_f$ U_{PR}	$U_S = \frac{1.9U_{PR}}{K_R}$	$U_P=1.9U_{PR}$	آزمون حد مجاز خروجی حرارتی برای سیم پیچ هایی که برای آنها این حد مشخص شده است.	
مدت اعمال ولتاژ آزمون	به صورت پیوسته	۳۰ ثانیه	۸ ساعت	—	—	—	—	

* در صورتی که برای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی این حد مشخص شده باشد.

۴-۲-۲- آزمونهای موج ضربه

آزمونهای موج ضربه مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰-۱ انجام می شود. ولتاژ آزمون بین ترمینال فشارقوی و زمین اعمال می شود.

در طول آزمون، ترمینال زمین سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور ولتاژ متوسط، ترمینال فشارضعیف مقسم خازنی، یکی از ترمینالهای سیم پیچ های ثانویه و بدنه باید به زمین متصل شوند. ادوات محدودکننده اضافه ولتاژ باید از CVT جدا شوند. باید توجه داشت که پس از انجام این آزمونها معیوب شدن CVT ممکن است در آزمونهای جاری پایانی مشاهده شود. ولتاژ ضربه مینا ۵۰ تا ۷۵ درصد ولتاژ ضربه نامی است.

۴-۲-۱- آزمون موج ضربه صاعقه

شکل موج ولتاژ آزمون مطابق استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۶۰ است. در عین حال باتوجه به محدودیت‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری، زمان پیشانی موج می‌تواند تا ۸ میکروثانیه افزایش داشته باشد. بقیه موارد آزمون مشابه نکاتی است که در بند ۳-۱-۳-۲ بدان اشاره شد.

۴-۲-۲- آزمون موج ضربه صاعقه بریده شده

این آزمون بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل انجام می‌شود، شکل موج ولتاژ آزمون مطابق شکل موج ضربه صاعقه استاندارد است که بعد از ۲ تا ۸ میکروثانیه بریده شده است بقیه موارد آزمون، مشابه نکاتی است که در بند ۳-۳-۱ آمده است.

۴-۲-۳- آزمون در حالت مرطوب برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی بیرونی

این آزمون بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل انجام می‌شود.

- چنانچه حداکثر ولتاژ سیستم کمتر از ۳۰۰ کیلوولت باشد (محدوده I) آزمون با ولتاژ فرکانس قدرت کوتاه‌مدت، باتوجه به مقدار U_m و جدول ۲-۵ انجام می‌شود. در طول آزمون باید ادوات میراکننده و حفاظتی از CVT جدا شوند. چنانچه اتصال میان مقسم خازنی و واحد الکترومغناطیسی از نوع داخلی باشد، واحد الکترومغناطیسی باید جدا شود و آزمون بر روی مقسم خازنی انجام گیرد. چنانچه این اتصال از نوع خارجی باشد واحد الکترومغناطیسی نیز باید به صورت مجزا با ولتاژ آزمونی که در قسمت ۳-۱-۳-۴ به آن اشاره می‌شود مورد آزمون واقع شود. بقیه موارد آزمون همانند نکاتی است که در بند ۳-۱-۳-۱ به آن اشاره شد.

- چنانچه حداکثر ولتاژ سیستم بیشتر یا مساوی ۳۰۰ کیلوولت باشد (محدوده II) اتصالات و ترمینال‌ها باید مطابق توضیحات ابتدای قسمت (۲-۴) زمین شوند. بقیه موارد آزمون همانند نکاتی است که در بند ۳-۱-۳-۲ به آن اشاره شد.

۴-۲-۴- آزمون فرورزونانس

این آزمون روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا مدار معادل آن انجام می‌شود. در هنگام استفاده از مدار معادل باید از خازنهای مقسم خازنی استفاده شود. این آزمون با اتصال کوتاه کردن سیم‌پیچ ثانویه انجام می‌شود. پس از سپری شدن زمان T_s ثانیه از لحظه بروز پدیده فرورزونانس خطای $\hat{\epsilon}_F$ که از رابطه زیر بدست می‌آید باید از مقادیر مشخص شده در جدول (۲-۴) کوچکتر باشد.

$$\hat{\epsilon}_F = \frac{\hat{U}_S(T_f) - \frac{\sqrt{2} U_P}{K_R}}{\frac{\sqrt{2} U_P}{K_R}} = \frac{K_R \hat{U}_S(T_f) - \sqrt{2} U_P}{\sqrt{2} U_P} \quad (3-4)$$

که در آن:

$\hat{U}_S$: پیک ولتاژ ثانویه

U_P : مقدار مؤثر ولتاژ اولیه

K_R : نسبت تبدیل نامی

T_f : بازه زمانی فرورزونانس

U_{PR} : ولتاژ نامی اولیه (مقدار مؤثر) می‌باشد.

جدول ۴-۲: مقادیر مجاز خطا برای پدیده فرورزونانس

ولتاژ اولیه (U_p) (مقدار مؤثر)	بازه زمانی فرورزونانس (T_f) (ثانیه)	خطا ($\hat{\epsilon}_f$) پس از گذشت زمان T_f
$0.8 U_{PR}$	≤ 0.5	≤ 10
$1.0 U_{PR}$	≤ 0.5	≤ 10
$1.2 U_{PR}$	≤ 0.5	≤ 10
$1.5 U_{PR}$ برای سیستم‌های به طور مؤثر زمین شده $1.9 U_{PR}$ برای سیستم‌های به طور غیرمؤثر زمین شده	≤ 2	≤ 10

این آزمون باید برای هر سطح ولتاژ مشخص شده در جدول ۴-۲ حداقل ده بار انجام گیرد. انتخاب وسیله حفاظتی قطع اتصال کوتاه براساس توافقی بین خریدار و سازنده انجام می‌گیرد. اگر هیچ توافقی وجود نداشت، انتخاب براساس نظر سازنده خواهد بود. چنانچه فیوز به عنوان وسیله حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد، زمان تداوم اتصال کوتاه از ۰/۱ ثانیه کمتر خواهد بود.

ولتاژ منبع (در ترمینال فشارقوی)، ولتاژ ثانویه و جریان اتصال کوتاه بایستی در طول آزمون ثبت شوند. مقادیر ثبت‌شده باید بخشی از گزارش آزمون باشد. پس از اتصال کوتاه، بردن متصل به سیم‌پیچ ثانویه که فقط شامل دستگاه ثبات است نباید از یک ولت‌آمپر بیشتر شود.

در طی اتصال کوتاه، ولتاژ منبع نباید بیش از ۱۰٪ با مقدار قبل از اتصال کوتاه متفاوت باشد و بایستی سینوسی باقی بماند. افت ولتاژ در حلقه اتصال کوتاه (شامل مقاومت تماس کنتاکتور بسته) که مستقیماً در ترمینال ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ خازنی اندازه‌گیری می‌شود باید کمتر از ۱۰٪ ولتاژ همان ترمینال قبل از اتصال کوتاه باشد.

نکته ۱: اگر مشخص شود که یک بردن قابل اشیاع^۱ بعنوان مصرف‌کننده وجود دارد بایستی بین سازنده و خریدار توافقی در مورد آزمونهایی که در همان بردن یا نزدیک آن انجام می‌شود صورت گیرد.

نکته ۲: برای اطمینان از اینکه ولتاژ منبع در زمان اتصال کوتاه بیشتر از ۱۰ درصد با ولتاژ قبل از اتصال کوتاه تفاوت ندارد بایستی امیدانس مدار منبع پایین باشد.

۴-۲-۴- آزمون پاسخ گذرا

این آزمون برای بررسی شرایط حالت گذرا انجام شده و فقط برای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی حفاظتی قابل اعمال است. این آزمون می‌تواند روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا مدار معادلی که با خازنهای واقعی ساخته شده است، انجام گیرد.

1. Saturable burden

این آزمون با اتصال کوتاه کردن ترمینال فشارقوی در ۱۰۰ درصد و ۲۵ یا صفر درصد بردن نامی انجام می‌شود. ولتاژ قبل از

اتصال کوتاه برای حالتی که آزمون با مدار معادل انجام می‌شود برابر $U_p \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ است.

مقادیر بردن باتوجه به موارد زیر تعیین می‌شود:

الف - بردن سری با ضریب قدرت ۰/۸ متشکل از مقاومت خالص (محدوده I در جدول ۳-۴) و یک راکتانس القائی (محدوده II در جدول ۳-۴).

ب - بردن متشکل از مقاومت خالص.

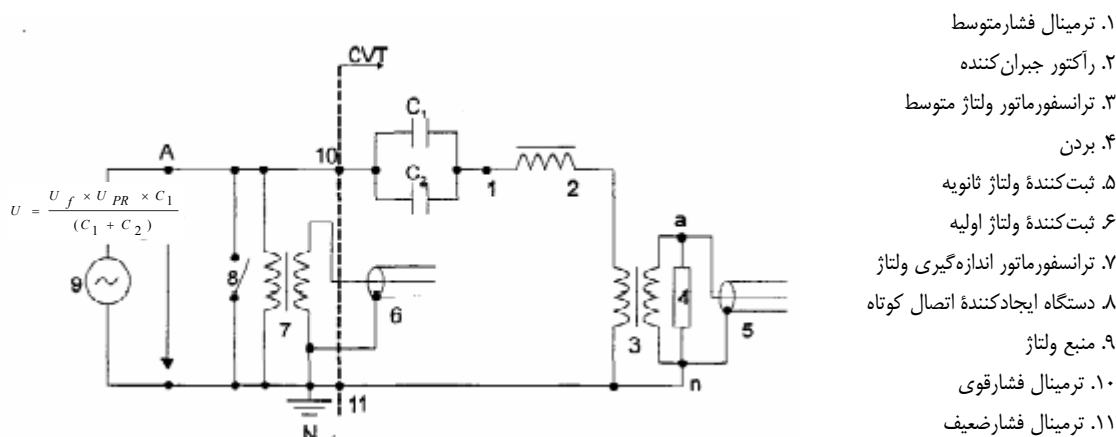
نوع بردن ترانسفورماتور ولتاژ خازنی، نتایج آزمون پاسخ گذرا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این آزمون، سیم‌پیچ‌های ثانویه باید مطابق شرایط کاری خود بارگذاری شوند. در عین حال اندازه بردن نباید از ۱۰۰٪ بردن مشخص شده بیشتر باشد.

ضریب قدرت بردن سیستم‌های میکروپروسسوری حفاظتی جدید برابر واحد است.

ولتاژ آزمون (U_p) باتوجه به جدول ۱-۲ به ترانسفورماتور ولتاژ خازنی اعمال می‌شود. ولتاژهای اولیه و ثانویه باید بوسیله اسیلوسکوپ ثبت شوند. نتایج ثبت شده باید بخشی از گزارش آزمون باشد. این آزمون باید مواردی را که در بند ۲-۸-۳ به آن اشاره شده است پوشش دهد.

برای اندازه‌گیری ولتاژ ورودی می‌توان از یک مقسم RC استفاده کرد.

استفاده از مدار معادل در انجام این آزمون در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴: استفاده از مدار معادل برای آزمون پاسخ گذرای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

این آزمون بایستی دو بار در پیک ولتاژ اولیه و دو بار در نقطه عبور از صفر ولتاژ اولیه انجام شود. در حالت اخیر، زاویه فاز ولتاژ اولیه نباید بیش از $\pm 20^\circ$ با مقدار فاز ولتاژ در پیک و فاز ولتاژ در صفر متفاوت باشد.

نکته: با توافق بین سازنده و خریدار می‌توان این آزمون را با بردنی که در عمل مورد استفاده واقع می‌شود انجام داد.

۴-۲-۵- آزمون دقت

آزمون دقت باید در فرکانس نامی و دمای اتاق و در دو درجه حرارت حداکثر و حداقل روی یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا روی مدار معادل برای کلاس دقت ۱ و بالاتر انجام شود. برای کلاسهای دقت ۰/۲ و ۰/۵ استفاده از مدار معادل یا محاسبه تاثیر درجه حرارت باید با توافق خریدار و سازنده باشد.

نکته : انجام آزمون در درجه حرارتهای حداقل و حداکثر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل خیلی سخت تر و گرانتر از انجام آزمون روی مدار معادل یا محاسبه تاثیر حرارت است. آزمونهای انجام شده روی تجهیز کامل ترانسفورماتور ولتاژ خازنی به دلیل تغییرات ایجاد شده در درجه حرارت، نتایج بهتری را درباره اندازه گیری خطاهایی که ممکن است در حین کارکرد تجهیز رخ دهد بدست می دهد.

اگر از مدار معادل استفاده شود بایستی دو اندازه گیری با شرایط یکسان از لحاظ مقادیر ولتاژ، ظرفیت، فرکانس و درجه حرارت در گستره حرارتی استاندارد روی تجهیز کامل و روی مدار معادل انجام گیرد. اختلاف دو اندازه گیری یاد شده نباید بیش از ۲۰ درصد کلاس دقت (برای مثال ۰/۱ درصد و ۴ دقیقه برای کلاس ۰/۵) باشد. چنانچه در آزمون بر روی تجهیز کامل محدودیت هایی از نظر دمائی و فرکانسی وجود داشته باشد یک حاشیه ۲۰٪ نیز در نظر گرفته می شود.

در صورتی که مشخصات حرارتی مقسم خازنی در گستره حرارتی مرجع مشخص باشد، ممکن است خطاها در مقادیر حداکثر و حداقل درجه حرارت توسط اندازه گیری نتایج در یک درجه حرارت در گستره فوق و استفاده از ضریب دمای مقسم خازنی تعیین شوند. در روشی دیگر جهت تعیین خطا در مقادیر حداکثر و حداقل درجه حرارت می توان اندازه گیری را با مدار معادل و ظرفیت خازنی متناظر با همان درجه حرارتهای حداکثر و حداقل با در نظر گرفتن ضریب دمای مقسم خازنی انجام داد. آزمونهای در درجه حرارت ثابت بایستی در حداکثر فرکانس انجام شوند.

مقادیر واقعی فرکانس آزمون و درجه حرارت باید بعنوان بخشی از گزارش آزمون آورده شود.

نکته ۱: آزمونها تاثیر بردن، ولتاژ و فرکانس و همچنین درجه حرارت را روی خازن معادل $C_1 + C_2$ نشان می دهند. بایستی به این واقعیت توجه نمود که اثر درجه حرارت روی راکتانس اندوکتیو و مقاومت سیم پیچ واحد الکترومغناطیسی در صورتی قابل اندازه گیری خواهند بود که این واحد در معرض حداکثر درجه حرارت باشد. بعنوان یک ارزیابی اضافی درباره تغییرات نسبت مقسم خازنی در اثر درجه حرارت، اندازه گیری خطای ولتاژ و زاویه فاز بعد یا بلافاصله بعد و یا در حین آزمون افزایش درجه حرارت روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی پیشنهاد می شود. در این حالت، نمی توان اندازه گیری را همانند آزمون افزایش درجه حرارت بر روی مدار معادل یا واحد الکترومغناطیسی تنها انجام داد.

نکته ۲: امروزه تجربه بهره برداری نشان می دهد که ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی می توانند بصورت رضایت بخشی در کلاس دقت ۰/۵ استفاده شوند. تغییرات ناگهانی درجه حرارت، شرایط ویژه آب و هوایی، خازنهای پراکندگی و جریانهای ناشی روی خطای ولتاژ و جابجایی فاز تأثیرگذار هستند. این اثرات تنها بصورت تئوری قابل محاسبه بوده و در ترانسفورماتور ولتاژ خازنی با کلاس های بالاتر بسیار با اهمیت هستند. آزمون دقت برای سیم پیچ حفاظتی و اندازه گیری مشابه بند ۳-۱-۵ انجام می شود. بردن آزمون می بایستی مطابق جدول ۳-۴ انتخاب شود.

جدول ۴-۳: گروه‌های بردن برای آزمونهای دقت

گروه	بردن‌های ترجیحی	مقادیر آزمون به درصد	ضریب قدرت
I	۵ و ۲/۵ و ۱	۱۰۰ و ۰	۱
II	۱۰۰ و ۵۰ و ۲۵ و ۱۰	۱۰۰ و ۲۵	۰/۸ پس‌فاز

آزمون برای سیم‌پیچ اندازه‌گیری باید در محدوده استاندارد فرکانس و برای سیم‌پیچ حفاظتی در دو مقدار حداکثر و حداقل محدوده فرکانسی استاندارد انجام گیرد.

در هنگام سفارش ترانسفورماتور ولتاژ با بیش از یک سیم‌پیچ ثانویه، به علت اثر القای متقابل باید برای هر سیم‌پیچی محدوده‌ای برای خروجی در نظر گرفت. هر سیم‌پیچ باید ملزومات دقت خود را هنگامیکه بقیه سیم‌پیچ‌ها بین ۰ تا ۱۰۰ درصد بردن نامی بارگذاری شده‌اند در مقدار خروجی نامی حفظ کند. برای اطمینان از این مسئله می‌توان تنها آزمون را با در نظر گرفتن بیشترین مقادیر بردن انجام داد. چنانچه هیچ محدوده‌ای برای بردن مشخص نشده باشد مقادیر مشخص شده در جدول ۴-۳ به کار می‌رود.

۴-۲-۶- آزمون قابلیت تحمل اتصال کوتاه

این آزمون مطابق مطالب بند ۳-۱-۴ انجام می‌شود.

۴-۲-۷- آزمون ولتاژ تداخل رادیویی

ترانسفورماتور ولتاژ خازنی، 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 ولتاژ خازنی که حداکثر ولتاژ سیستم بزرگتر از ۱۳۲ کیلوولت دارند انجام می‌شود.

آزمون باید تحت شرایط آب و هوایی زیر انجام گیرد:

- دمای بین ۱۵ 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 ۱-۶۰۶۰ بیان شده است برای اعمال شرایط آب و هوایی لازم نیست.

در ابتدای آزمون، ترانسفورماتور باید با ولتاژ $\frac{1/5 U_m}{\sqrt{3}}$ به مدت ۳۰ ثانیه تحت تنش قرار گیرد. سپس ولتاژ آزمون در زمان

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

مقدار ثابت نگهداشته می‌شود. 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 ولتاژ خازنی در صورتی این آزمون را

با موفقیت پشت‌سر می‌گذارد که ولتاژ تداخل رادیویی در ولتاژ $\frac{1/1 U_m}{\sqrt{3}}$ از ۲۵۰۰ میکروولت بیشتر نشود.

توجه:

- 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 ولتاژ خازنی در ولتاژ $\frac{1/1U_m}{\sqrt{3}}$ از ۳۰۰ پیکوکولن تجاوز نکند، ترانسفورماتور آزمون را با موفقیت پشت‌سر گذاشته است.

۴-۲-۸- آزمون آب‌بندی واحد الکترومغناطیسی پر شده از مایع

این آزمون بر روی واحد الکترومغناطیسی درحالتیکه با مایع مشخصی پر شده است انجام می‌شود. فشار داخل واحد الکترومغناطیسی باید به مدت ۸ ساعت به اندازه $10^5 \times (0/1 \pm 0/5)$ پاسکال بیشتر از حداکثر فشار کاری واحد الکترومغناطیسی نگه‌داشته شود. در صورت عدم مشاهده نشتی، واحد الکترومغناطیسی آزمون را با موفقیت پشت‌سر گذاشته است.

۴-۲-۹- آزمون بازبینی دقت

این آزمون باید در دمای محیط، در فرکانس نامی و بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا مدار معادل و برای کلاس دقت بزرگتر از یک با بردن هائی که در جدول ۴-۴ ذکر شده است انجام گیرد.

در صورتی می‌توان در این آزمون از مدار معادل استفاده کرد که اختلاف بین نتایج انجام این آزمون بر روی ترانسفورماتورهای خازنی و نتایج بدست آمده با مدار معادل کمتر از ۲۰ درصد محدوده کلاس دقت باشد.

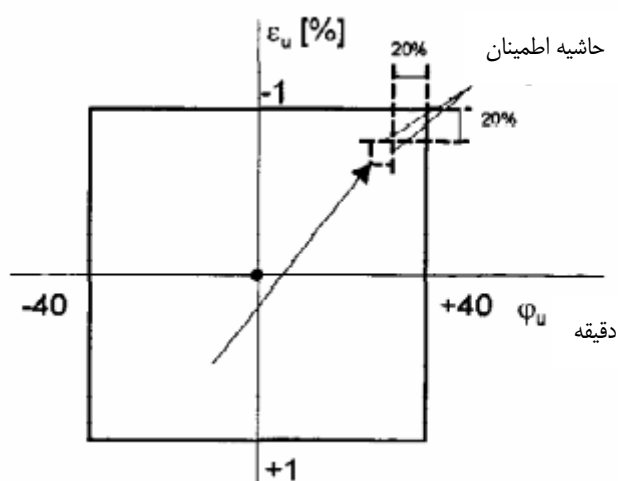
آزمون با مدار معادل می‌تواند با خازن‌های واقعی یا با خازن‌های دیگری که ظرفیتشان مساوی ظرفیت اندازه‌گیری شده خازن‌های واقعی است انجام شود. حاشیه اطمینانی جهت احتساب خطاهای ناشی از دما و فرکانس در نظر گرفته می‌شود. این حاشیه باید با توجه به بدترین حالت که شامل احتساب همزمان دما و فرکانس است تعیین شود.

این حاشیه به دی‌الکتریک خازن و به طراحی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بستگی دارد. در دیاگرام خطای شکل ۴-۵ این حاشیه اطمینان ملاحظه می‌شود (حاشیه اطمینان ۲۰٪ مربوط به استفاده از مدار معادل).

در صورت استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل در این آزمون، حاشیه اطمینانی جهت احتساب تأثیر همزمان دما و فرکانس باید در نظر گرفته شود.

جدول ۴-۴: بردن‌های آزمون بازبینی دقت

مقدار بردن به درصد				ولتاژ آزمون	سیم پیچ ثانویه
محدوده II- ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز		محدوده I- ضریب قدرت واحد			
۱۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر		۱ تا ۵ ولت آمپر			
حفاظت	اندازه گیری	حفاظت	اندازه گیری		
—	۲۵	—	۰	U _{PR}	سیم پیچ اندازه گیری
—	۱۰۰	—	۱۰۰		
۲۵	—	۰	—	0.05×U _{PR}	سیم پیچ حفاظتی
۱۰۰	—	۱۰۰	—		
۲۵	—	۰	—	U _f ×U _{PR}	
۱۰۰	—	۱۰۰	—		
۰	۲۵	۰	۰	اندازه گیری	سیم پیچ حفاظتی و اندازه گیری
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	1 × U _{PR}	
۲۵	۰	۰	۰	حفاظتی	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	0.05 × U _{PR}	
۲۵	۰	۰	۰	حفاظتی	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	U _f ×U _{PR}	



شکل ۴-۵: مثال مربوط به دیاگرام خطای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی با کلاس ۱ برای آزمون بازبینی دقت با مدار معادل

۴-۲-۱۰- اندازه‌گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت

۴-۲-۱۰-۱- رویه اندازه‌گیری خازن

این آزمون ممکن است روی ستون خازنی و یا واحدهای مجزا انجام شود. خازن بایستی با روشی اندازه‌گیری شود که تاثیرات ناشی از هارمونیکها و تجهیزات مدار اندازه‌گیری به حداقل ممکن رسد. دقت روش اندازه‌گیری بایستی داده شود. در این آزمون واحد الکترومغناطیسی می‌بایستی جدا شود.

اندازه‌گیری نهایی خازن بایستی در 0.9 تا 1.1 برابر ولتاژ نامی بعد از آزمونهای ولتاژ یا آزمونهای جاری انجام شود. آزمون باید در فرکانس نامی انجام شود. با توافق بین خریدار و سازنده فرکانس آزمون می‌تواند در بازه 0.8 تا 1.2 فرکانس نامی باشد. جهت آشکارشدن هرگونه تغییر در خازن ناشی از سوراخ‌شدن یک یا تعداد بیشتری از اجزاء بایستی ظرفیت خازن قبل از آزمونهای ولتاژ یا آزمونهای جاری در یک ولتاژ به اندازه کافی کوچک (کمتر از 15% ولتاژ نامی) برای اطمینان از اینکه هیچ سوراخ‌شدگی روی هیچیک از اجزاء ایجاد نشده است انجام شود.

نکته ۱: هنگامی که یک ترمینال فشار متوسط پس از مونتاژ ترانسفورماتور ولتاژ خازنی همچنان در دسترس است مقادیر زیر بایستی اندازه‌گیری شوند:

الف- خازن بین ترمینالهای فشارقوی و فشار ضعیف یا بین ترمینالهای فشارقوی و زمین

ب- خازن بین ترمینالهای فشارضعیف و فشارمتوسط یا بین ترمینالهای فشارمتوسط و زمین

نکته ۲: اگر سیستم عایقی خازن بگونه‌ای است که ظرفیت خازنی اندازه‌گیری شده با ولتاژ تغییر می‌یابد، تکرار اندازه‌گیری ظرفیت خازنی بعد از آزمون ولتاژ با همان ولتاژ قبلی و سپس در ولتاژی که از ولتاژ نامی کمتر نیست معقول خواهد بود.

نکته ۳: اگر تعداد اجزاء سری شده در واحد مورد آزمون زیاد باشد، تشخیص سوراخ‌شدگی به دلیل عدم قطعیت در موارد زیر می‌تواند دشوار باشد:

- خطاهای اندازه‌گیری (از قبیل خطای دستگاه اندازه‌گیری، خطای اپراتور و ...)
- تغییر خازن بر اثر نیروهای مکانیکی روی اجزاء در حین آزمونهای ولتاژ
- تغییر خازن بر اثر اختلاف درجه حرارت خازن قبل و بعد از آزمونها

در این حالت بایستی بطور مثال با مقایسه با ظرفیت خازنی همان نوع خازن و یا با محاسبه تغییر خازن بواسطه افزایش درجه حرارت در طول آزمون توسط سازنده اثبات شود که هیچ سوراخ‌شدگی اتفاق نیفتاده است. به دلیل عدم قطعیت در حالتی که اندازه‌گیریها روی ستون خازنی انجام می‌شود، اندازه‌گیریها را می‌توان به طور جداگانه روی هر واحد انجام داد.

ظرفیت خازنی اندازه‌گیری شده نباید بیش از 5% و 10% با مقدار نامی ظرفیت خازنی تفاوت داشته باشد. نسبت ظرفیتهای خازنی دو واحد مشابه یک ستون خازنی نباید بیش از 5% با عکس نسبت ولتاژهای نامی شان تفاوت داشته باشد.

۴-۲-۱۰-۲- اندازه‌گیری تلفات خازن

ضریب تلفات خازن ($tg\delta$) بایستی در $0/9$ تا $1/1$ برابر ولتاژ نامی، با استفاده از روشهایی که مانع از تاثیرات ناشی از هارمونیکها و متعلقات مدار اندازه‌گیری است بعد از آزمونهای ولتاژ اندازه‌گیری شود. دقت روش اندازه‌گیری بایستی ارائه شود. اندازه‌گیری باید در فرکانس نامی یا با توافق بین سازنده و خریدار در بازه $0/8$ تا $1/2$ فرکانس نامی انجام پذیرد.

ملزومات وابسته تلفات خازن می‌تواند براساس توافق بین سازنده و خریدار باشد.

نکته ۱: هدف از اندازه‌گیری تلفات خازن، بررسی یکنواختی و همسان بودن محصولات است.

نکته ۲: مقدار ضریب تلفات عایقی بستگی به نوع عایق، ولتاژ، دما و فرکانس اندازه‌گیری دارد.

نکته ۳: مقدار ضریب تلفات عایقی مربوط به انواع مشخصی از عایقها، تابعی از زمان برقرارشدن قبل از اندازه‌گیری است.

نکته ۴: مقادیر نوعی ضریب تلفات عایقی در دمای 20 درجه سانتی‌گراد برای دی‌الکتریک‌هایی که با روغن معدنی یا روغن مصنوعی

اشباع شده‌اند برحسب نوع عایق خازن به قرار زیر است:

$$\text{الف) کاغذ } tg\delta \leq 5.10^{-3}$$

$$\text{ب) حالت ترکیبی: کاغذ_فیلم_کاغذ و فیلم_کاغذ_فیلم } tg\delta \leq 2.10^{-3}$$

$$\text{ج) فیلم } tg\delta \leq 1.10^{-3}$$

۴-۳- آزمونهای جاری

لیست آزمونهای جاری به قرار زیر است:

- (۱) آزمون آب‌بندی مقسم خازنی
- (۲) آزمون اندازه‌گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت
- (۳) آزمون تحمل فرکانس قدرت
- (۴) اندازه‌گیری تخلیه جزئی
- (۵) آزمون تأیید ترمینال‌ها
- (۶) آزمونهای تحمل فرکانس قدرت روی واحد الکترومغناطیسی
- (۷) آزمون تحمل فرکانس قدرت روی ترمینال فشار ضعیف
- (۸) آزمون تحمل فرکانس قدرت روی سیم‌پیچ‌های ثانویه
- (۹) آزمون بازبینی فرورزونانس
- (۱۰) آزمون بازبینی دقت

شرح آزمون بازبینی دقت همانند نکاتی است که در قسمت آزمونهای نوعی به آن اشاره شد.

۴-۳-۱- آزمون تحمل فرکانس قدرت و اندازه‌گیری خازن، ضریب تلفات عایقی و تخلیه جزئی برای مقسم خازنی

این آزمون باتوجه به استاندارد IEC شماره ۶۰۶۰-۱ انجام می‌شود. در این آزمون واحد الکترومغناطیسی از مقسم خازنی جدا می‌شود. می‌توان در طی این آزمون ظرفیت خازنی، ضریب تلفات عایقی و سطح تخلیه جزئی را نیز اندازه‌گیری کرد. ولتاژ اعمالی می‌بایست از یک ولتاژ پایین به سرعت به سطح ولتاژ آزمون برسد و برای یک دقیقه ثابت نگهداشته شود (ممکن است شرایط دیگری بین خریدار و سازنده توافق شود). سپس از این ولتاژ به سرعت کاهش پیدا کرده و در نهایت قطع گردد.

۴-۳-۱-۱- آزمون تحمل فرکانس قدرت و اندازه‌گیری خازن و ضریب تلفات عایقی

همه مقسم‌های خازنی، ستون‌های خازنی یا واحدهای خازنی باید با این آزمون، مورد آزمون واقع شوند. ولتاژ آزمون در هنگامیکه یک واحد خازنی مورد آزمون واقع می‌شود بین ترمینال فشارقوی و زمین و هنگام آزمون یک واحد بین ترمینال‌ها اعمال می‌شود. هنگامیکه ترمینال فشارضعیف در دسترس است در طول این آزمون این ترمینال باید از طریق یک امپدانس کوچک به زمین متصل شود. در طول آزمون هیچ اثری از سوراخ‌شدگی یا جرقه نباید مشاهده شود (مانند آنچه که در ۴-۲-۱۰ گفته شد).

ظرفیت خازنی باید در ولتاژی کمتر از ۱۵ درصد ولتاژ نامی قبل و بعد از آزمون تحمل فرکانس قدرت اندازه‌گیری شود.

در هنگام انجام آزمون روی یک واحد از یک ستون مقسم خازنی، ولتاژ آزمون باید برابر مقدار زیر باشد:

$$(۴-۴) \quad \frac{\text{ولتاژ نامی واحد}}{\text{ولتاژ نامی یک ستون خازنی}} \times \text{ولتاژ آزمون یک ستون خازنی} \times ۱/۰۵$$

در هنگام انجام آزمون بر روی یک ستون از یک مقسم خازنی، ولتاژ آزمون باید برابر مقدار زیر باشد:

$$(۵-۴) \quad \frac{\text{ولتاژ نامی یک ستون خازنی}}{\text{ولتاژ نامی یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل}} \times \text{ولتاژ آزمون یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل} \times ۱/۰۵$$

ولتاژهای آزمون برای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی مطابق جدول ۲-۵ انتخاب می‌شوند.

ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی باید در یکی از ولتاژهای زیر اندازه‌گیری شود:

$$(۶-۴) \quad U_T = U_{PF} \times \frac{\text{ولتاژ نامی یک واحد}}{\text{ولتاژ نامی یک ستون خازنی}}$$

$$(۷-۴) \quad U_T = U_{PR} \times \frac{\text{ولتاژ نامی یک ستون خارجی}}{\text{ولتاژ نامی یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل}}$$

۴-۳-۱-۲- اندازه‌گیری تخلیه جزئی

مدار و تجهیزات مورد استفاده در این آزمون مطابق IEC شماره ۶۰۲۷۰ است توضیحات مربوط به خصوصیات دستگاه اندازه‌گیری در ۳-۲-۴ آورده شده است.

در صورتیکه قسمتهای مقسم خازنی مورد آزمون واقع شوند، ولتاژ آزمون یکی از ولتاژهای زیر است:

$$(۸-۴) \quad \frac{\text{ولتاژ نامی یک واحد}}{\text{ولتاژ نامی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی}} \times \text{ولتاژ آزمون ترانسفورماتور ولتاژ خازنی} \times ۱/۰۵$$

$$(۹-۴) \quad \frac{\text{ولتاژ نامی یک ستون خازنی}}{\text{ولتاژ نامی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی}} \times \text{ولتاژ آزمون ترانسفورماتور ولتاژ خازنی} \times ۱/۰۵$$

مراحل انجام این آزمون مطابق ۳-۲-۲-۴ است.

۳-۱-۳-۴- آزمون تحمل ولتاژ متناوب روی ترمینال فشار ضعیف مقسم خازنی

مقسم‌های ولتاژ خازنی که ترمینال فشار ضعیف آنها در دسترس است باید برای یک دقیقه ولتاژ آزمون مشخصی را بین ترمینال‌های فشار ضعیف و زمین تحمل کند. چنانچه ترمینال فشار ضعیف در مواجهه با هوا نباشد یا اینکه تجهیز کوپلینگ فرکانس حامل با حفاظت اضافه ولتاژ قسمتی از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی باشد ولتاژ آزمون باید ولتاژی متناوب با مقدار مؤثر ۴ کیلوولت باشد. در غیر از مواردی که ذکر شد ولتاژ آزمون، ولتاژ متناوبی با مقدار مؤثر ۱۰ کیلوولت است.

در طول این آزمون واحد الکترومغناطیسی نباید جدا شود. در هنگامیکه جرقه گیر بین ترمینال فشار ضعیف و زمین وجود دارد، باید از عمل جرقه گیر در طول آزمون جلوگیری کرد. تجهیزات مخابراتی در طول آزمون باید جدا شوند. چنانچه ولتاژ آزمون از مقدار لازم جهت هماهنگی عایقی بین تجهیزات مخابراتی و ترمینال فشار ضعیف بسیار کمتر باشد، باتوجه به سفارش خریدار می‌توان ولتاژ آزمون بزرگتری را اعمال کرد.

توجه:

- این آزمون را می‌توان به ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی که دارای تجهیزات مخابراتی به همراه حفاظت اضافه ولتاژ هستند یا ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی که فاقد این تجهیزات هستند اعمال کرد.

۳-۱-۳-۴- آزمون تحمل فرکانس قدرت برای واحد الکترومغناطیسی

الف) آزمون استقامت عایقی واحد الکترومغناطیسی

ولتاژ آزمون بین ترمینال‌های فشار متوسط و زمین اعمال می‌شود. ولتاژ آزمون فرکانس قدرت کوتاه مدت برابر مقدار مؤثر $U_{PR} \times 3.3 \times \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ است. فرکانس ولتاژ آزمون برای جلوگیری از اشباع می‌تواند از مقدار نامی بیشتر باشد. چنانچه فرکانس آزمون از دو برابر فرکانس نامی بیشتر باشد مدت آزمون مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(۱۰-۴) \quad \text{مدت زمان آزمون} = \frac{\text{دو برابر فرکانس نامی}}{\text{فرکانس آزمون}} \times 60 \text{ Sec}$$

مدت زمان آزمون حداقل ۱۵ ثانیه است. چنانچه واحد الکترومغناطیسی تجهیز حفاظتی برای حفاظت اضافه ولتاژ داشته باشد باید از عملکرد آن در طول آزمون جلوگیری کرد. چنانچه جهت حفاظت تجهیزات از مخابراتی جرقه گیر استفاده شده باشد، باید در طول آزمون آن را اتصال کوتاه کرد.

ب) آزمون بین قسمت‌های سیم‌پیچ و سیم‌پیچ‌های ثانویه

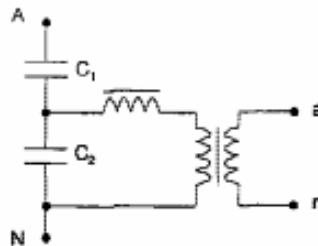
ولتاژ آزمون برابر ۳ کیلوولت مؤثر است که باید به مدت یک دقیقه بین ترمینال‌های هر سیم‌پیچ ثانویه یا قسمتی از سیم‌پیچی و زمین اعمال شود. بدنه، محفظه، هسته (در صورت امکان زمین شدن) و ترمینال‌های سیم‌پیچ‌ها و قسمت‌های دیگر باید به یکدیگر متصل و سپس زمین شود.

۴-۳-۲- آزمون آب‌بندی مقسم خازنی پر شده از مایع

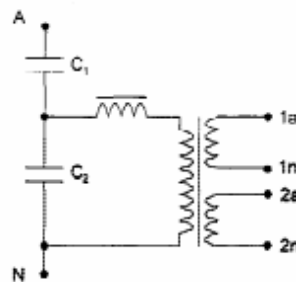
این آزمون یکی از آزمونهای جاری است که بر روی مقسم ولتاژ خازنی یا بر روی واحدهای مجزا انجام می‌شود. فشار مایع در این آزمون بیشتر از مقدار فشار حالت کار تنظیم شده و بسته به نوع منبع انبساط ترانسفورماتور به مدت ۸ ساعت ادامه می‌یابد. با توافق بین خریدار و سازنده یک آزمون ویژه برای اثبات استحکام واحدهای خازنی انجام می‌پذیرد (بند ۴-۴-۴).

۴-۳-۳- آزمون بازیابی علامت‌گذاری ترمینال‌ها

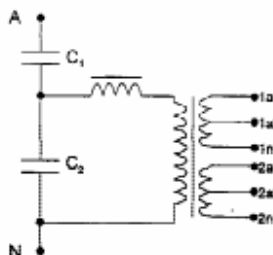
جهت علامت‌گذاری ترمینال‌ها بایستی باتوجه به شکل‌های ۴-۶ تا ۴-۹ بازیابی شوند.



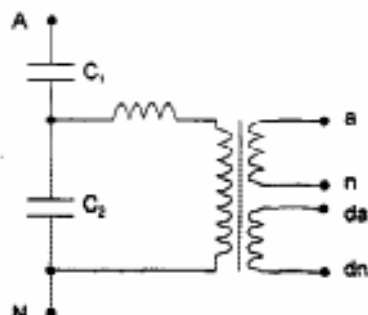
شکل ۴-۶: ترانسفورماتور تک فاز با ترمینال نوترال اولیه و یک سیم‌پیچ ثانویه



شکل ۴-۷: ترانسفورماتور تک فاز با ترمینال نوترال اولیه و دو سیم‌پیچ ثانویه



شکل ۴-۸: ترانسفورماتور تک فاز با ترمینال نوترال اولیه و دو سیم‌پیچ ثانویه تپ‌دار



شکل ۴-۹: ترانسفورماتور تک فاز با ترمینال نوترال اولیه و یک سیم پیچ ولتاژ باقیمانده و یک سیم پیچ ثانویه

۴-۳-۴- آزمون بازبینی فرورزونانس

این آزمون بر روی یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا بر روی مدار معادل انجام می‌شود. ولتاژ آزمون اولیه (U_P) تعداد اتصال کوتاه‌های انجام شده بر روی سیم‌پیچی ثانویه و زمان نوسانات فرورزونانس در جدول ۴-۵ ذکر شده است:

جدول ۴-۵: آزمون بازبینی فرورزونانس

ولتاژ اولیه (U_P) (مقدار مؤثر)	تعداد اتصال کوتاه‌های انجام شده در ترمینال ثانویه	مدت زمان تداوم نوسانات فرورزونانس (T_f)	خطا ($\hat{\varepsilon}_f$) پس از طی زمان T_f
$0.8 U_{PR}$	۳	≤ 0.5	≤ 10
$U_F \times U_{PR}$	۳	≤ 2	≤ 10

روال انجام این آزمون همانند قسمت ۴-۲-۳ است. با اینحال تعداد ولتاژهای آزمون و تعداد اتصال کوتاه‌ها متفاوت است. ترانسفورماتور ولتاژ خازنی این آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است اگر مدت زمان تداوم نوسانات فرورزونانس (T_f) و خطای اندازه‌گیری پس از طی زمان T_f از مقادیر ذکر شده در جدول ۴-۵ کمتر باشد.

۴-۴- آزمون‌های ویژه

لیست آزمون‌های ویژه به قرار زیر می‌باشد:

(۱) اندازه‌گیری ضریب انتقال اضافه ولتاژهای فرکانس بالا

(۲) آزمون تحمل مکانیکی

(۳) آزمون تعیین ضریب دما

(۴) آزمون آب‌بندی ساخت واحدهای خازنی

۴-۴-۱- اندازه گیری ضریب انتقال اضافه ولتاژهای فرکانس بالا

اضافه ولتاژهای منتقل شده از سیم پیچ اولیه به ثانویه نباید از مقادیری که در جدول ۴-۶ ذکر شده است بیشتر شود. ولتاژ ضربه نوع اول به ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی ای اعمال می شود که در پست های معمولی نصب می شوند. ولتاژ ضربه نوع دوم برای ترانسفورماتورهای ولتاژی است که در پست های GIS نصب می شوند. مقادیر ولتاژهای ضربه نوع اول، معرف جرقه های روی فاصله های هوایی است. مقادیر ولتاژهای ضربه نوع دوم، نشان دهنده پیشانی تیز موج های ضربه ای است که در پست های GIS ایجاد می شوند.

جدول ۴-۶: ملزومات آزمون اندازه گیری ضریب انتقال اضافه ولتاژهای فرکانس بالا

نوع ضربه	نوع اول	نوع دوم
مقدار پیک ولتاژ اعمالی (U_p)	$1/6\sqrt{2} \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$1/6 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_m$
مشخصه شکل موج: زمان پیشانی معمولی (T_1) زمان به نصف رسیدن (T_2) زمان پیشانی (T_1) زمان دوم موج (T_2)	$0/5\mu s \pm 20\%$ $\geq 50\mu s$ — —	— — $10ns \pm 20\%$ $>100ns$
حد مجاز اضافه ولتاژ منتقل شده به ثانویه (U_s)	$1/6 \text{ kV}$	$1/6 \text{ kV}$

چنانچه در این آزمون، اضافه ولتاژ منتقل شده به ثانویه (U_s) از حد مجاز مشخص شده در جدول ۴-۵ کمتر باشد ترانسفورماتور ولتاژ خازنی این آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است.

۴-۴-۲- آزمون تحمل مکانیکی

این آزمون بر روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل انجام می شود. ترانسفورماتور می بایستی عمود بر زمین قرار داده شود و در جای خود محکم گردد. چنانچه ترانسفورماتور ولتاژ برای نصب تله موج مورد استفاده قرار گیرد، با توافق خریدار و سازنده بارهای آزمون دیگری می تواند استفاده شود. این آزمون مشابه روندی که در ۳-۳-۳ اشاره شد، انجام می گیرد.

۴-۴-۳- آزمون تعیین ضریب دما (TC)

این آزمون برای تعیین ضریب دمائی C_1 و C_2 و ضریب تلفات عایقی آنها انجام می گیرد. آزمون می تواند روی واحد خازن یا روی یک مدل خازنی تشکیل شده از همان اجزاء و دارای همان ساختار ارتباطات و اتصالات خازن مورد نظر انجام شود.

خازن آزمون باید در محفظه‌ای قرار داده شود که بتوان در آن درجه حرارت هوا را بین حد پایین گستره حرارتی و ۱۵ درجه بالاتر از حد بالای گستره حرارتی تنظیم نمود. می‌توان از یک حمام مایع^۱ که در همان گستره درجه حرارت فوق تنظیم شده است استفاده نمود.

مقدار خازن (و مقدار ضریب تلفات عایقی (tgδ) برای اطلاعات بیشتر) بایستی در یک ولتاژ کاهش یافته (بالاتر از ۰/۲۵ ولتاژ نامی) و فرکانسی در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ فرکانس نامی و در فواصل درجه حرارتی حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شود. قبل از هر اندازه‌گیری، خازن می‌بایستی به تعادل حرارتی برسد. ضریب دمای بدست آمده از این اندازه‌گیریها نباید از مقدار مشخص شده توسط خریدار، یا در صورت نبودن چنین مقداری، از مقدار تعهد شده توسط سازنده تجاوز نماید. ولتاژ آزمون تنها باید برای زمان لازم برای اندازه‌گیری به خازن اعمال شود.

نکته ۱: اگر از یک خازن مدل برای این آزمون استفاده می‌شود، تعداد اجزاء استفاده شده باید با وسایل اتصالشان به قدر کافی بزرگ باشند که به درستی یک مدل الکتریکی و مکانیکی از خازن مورد نظر ایجاد کنند.

نکته ۲: اگر سازنده بتواند یک تاییدیه از آزمونهای قبلی که دربرگیرنده تمامی گستره حرارتی موردنظر این آزمون می‌باشد ارائه نماید، تکرار این آزمون می‌تواند روی یک گستره حرارتی کوچکتر مورد توافق قرار گیرد.

نکته ۳: تغییر در نسبت ولتاژ مقسم خازنی با درجه حرارت (که عموماً برای دقت مقسم ولتاژ خازنی مهمتر از تغییر خازن معادل است) توسط این آزمون حاصل نمی‌شود چرا که تغییرات درجه حرارت در ستون خازنی ناشی از تاثیر افزایش درجه حرارت در واحدها در نظر گرفته نمی‌شود.

۴-۴-۴- آزمون آب‌بندی ساخت واحدهای خازنی

این آزمون برای اثبات کیفیت ساخت واحدهای خازنی از نظر آب‌بندی انجام می‌شود. این آزمون می‌بایستی با استفاده از حداقل فشار مایع^۵ ۱۰ پاسکال بیشتر از حداکثر فشار حالت کار ترانسفورماتور انجام شود.

آزمون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای ۸ ساعت انجام شده و مقسم خازنی همانند شرایط کاری خود مونتاژ می‌شود. منبع انبساط ترانسفورماتور ممکن است به صورت خاص برای دمای ۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم شده باشد. تدبیر مناسبی برای کنترل تغییر شکل مکانیکی ناشی از اضافه فشار^۵ ۱۰ پاسکال می‌تواند اتخاذ شود. مقسم خازنی پر شده با مایع در صورتی این آزمون را با موفقیت پشت‌سر خواهد گذاشت که در طول آزمون و پس از آزمون هیچ نشانه‌ای از نشتی مشاهده نشود.

1 . Liquid bath

Κ' ΠΟΛΕΓ C Μ3ΟΓή -

Τ3ή Φ ΒγJΓ



۵- مقدمه

این بخش دربرگیرنده آزمونهای نوعی و جاری مربوط به مقسم خازنی، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی می باشد.

۵-۱- شرایط آزمون

برای هر آزمون یا اندازه گیری مشخص، درجه حرارت عایق خازن باید در ابتدای آزمون بین $+5$ تا $+35$ درجه سانتیگراد باشد، مگر اینکه توافق دیگری انجام شده باشد.

در صورتی که خازن برای مدت کافی در محیطی با درجه حرارت ثابت در وضعیت برقرار نشده قرار داده شود، می توان درجه حرارت عایق خازن را همان درجه حرارت هوای محیط فرض نمود.

اگر تصحیحی لازم باشد، درجه حرارت مبنا بایستی برابر 20 درجه سانتیگراد باشد مگر مطلب دیگری بین خریدار و سازنده توافق شده باشد.

آزمونهای ولتاژ متناوب و اندازه گیریها باید در فرکانسی بین $0/8$ تا $1/2$ برابر فرکانس نامی برای خازنهای با فرکانس نامی 50 هرتز یا بالاتر و در فرکانسی بین 40 تا 72 هرتز برای خازنهای با فرکانس نامی زیر 50 هرتز انجام شود (مگر اینکه مورد دیگری مشخص شده باشد).

آزمونهای نوعی مگر در صورت مشخص شدن مورد دیگر، باید روی یک ستون خازنی انجام شوند. اگر خازن شامل چندین واحد خازنی باشد، آزمون جاری می تواند روی واحدهای مجزا انجام شود (با در نظر گرفتن ولتاژ آزمون افزایش یافته، برای فراهم ساختن توزیع غیریکنواخت ولتاژ ناشی از تلورانس خازن).

۵-۲- آزمونهای نوعی

۵-۲-۱- آزمونهای فرکانس بالا (فقط برای خازنهای کوپلاژ و مقسمهای خازنی با هدف کوپلاژ حامل)

۵-۲-۱-۱- خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل

اندازه گیری بایستی روی ستون خازنی کامل انجام شود. خازنها و مقاومت سری معادل بایستی در دو حد بالا و پایین کلاس دمایی و در دمایی در گستره استاندارد برای آزمون (5 تا 35 درجه سانتیگراد) و در چند فرکانس، حول گستره 30 تا 500 کیلوهرتز انجام شود.

مقادیر اندازه گیری شده خازن بین ترمینالهای فشارقوی و فشارضعیف نباید بیش از 20% و 50% از مقدار ظرفیت نامی خازن انحراف داشته باشد. مقدار مقاومت سری معادل اندازه گیری شده بین همان ترمینالها نباید از 40 اهم در هر دما و فرکانسی بیشتر باشد. برای فرکانسهای اندازه گیری پایین تر (مثل 30 تا 100 کیلوهرتز) و درجه حرارتهای نزدیک به حد پایین کلاس دمایی یا برای ستونهای خازنی با خازن معادل برابر یا کمتر از 2000 پیکوفاراد، مقاومت سری معادل ممکن است از 40 اهم فراتر رود. در این حالت، مقداری بین سازنده و خریدار باید توافق شود. برای مشخصات فرکانس بالا و روشهای اندازه گیری به پیوست (۵-۱) رجوع نمایید.

نکته: هنگامی که مشکلات عملی برای انجام آزمون در حدود پایین و بالای کلاس دمایی وجود دارد، ممکن است سازنده و خریدار برای انجام آزمون در گستره دمایی کوچک‌تری توافق نمایند یا آزمون روی خازن مدل شده‌ای با تعداد محدودتری از اجزاء صورت گیرد.

۵-۲-۱-۲- خازن پراکندگی و هدایت پراکندگی ترمینال فشار ضعیف

اندازه‌گیریها بایستی روی یک واحد یا یک مدل که بخش پایینی خازن مورد نظر را مدل می‌کند انجام شوند. چنانچه از مدل استفاده شود، این مدل بایستی شامل ترمینال زمین و بخشهای فلزی (مثل فلنچ‌ها که بطور دائم به مدل متصل است) و ترمینال فشار ضعیف با حداقل یک واحد خازنی متصل به آن باشد. واحد خازنی باید در جای مناسب خود قرار داده شود. مدل می‌بایست از مایع عایقی پر شده باشد. مقادیر خازن پراکندگی و هدایت پراکندگی اندازه‌گیری شده در هر فرکانسی در گستره فرکانس بالا نباید به ترتیب بیشتر از ۲۰۰ پیکوفاراد و ۲۰ میکروزیمنس باشد.

برای یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی، اندازه‌گیری بایستی روی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی کامل یا روی واحد پایینی مقسم خازنی متصل به واحد الکترومغناطیسی انجام شود. در این حالت ممکن است مقادیر بالای خازن و هدایت پراکندگی بین سازنده و خریدار توافق شود (پیوست ۵-۱).

نکته: برای جلوگیری از افزایش هدایت پراکندگی در محیطهای آلوده، ترمینال فشار ضعیف بایستی دارای فاصله خزشی مطابق با بند (۲-۱۰) باشد.

۵-۲-۲- آزمونهای ولتاژ

۵-۲-۲-۱- آزمون ولتاژ متناوب در حالت خشک (برای خازنهای از نوع داخلی و سطح ولتاژ $U_m < 300 \text{ kV}$)

این آزمون بایستی روی ستون خازنی انجام شود. یک ولتاژ آزمون متناوب برابر با ولتاژ تحمل کوتاه‌مدت فرکانس قدرت (مطابق جدول ۲-۵) متناظر با حداکثر ولتاژ تجهیز، بین ترمینالهای فشار قوی و زمین اعمال می‌گردد. هنگامی که ترمینال فشار ضعیف وجود دارد بایستی در طول این آزمون مستقیماً یا از طریق یک امپدانس کوچک به زمین متصل گردد.

این آزمون بایستی با یک موج سینوسی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ انجام شود. ولتاژ آزمون باید سریعاً از مقداری نسبتاً پایین به سطح ولتاژ آزمون برسد، یک دقیقه در این مقدار باقی بماند و سپس قبل از اینکه مدار قطع شود سریعاً به یک ولتاژ نسبتاً پایین برسد.

هیچ جرقه یا سوراخ شدگی نباید مشاهده شود. برای اطمینان از اینکه هیچگونه سوراخ شدگی رخ نداده است، اندازه‌گیری خازن واحدها در ۰/۹ تا ۱/۱ ولتاژ نامی، بایستی قبل و بعد از آزمون انجام شود.

۵-۲-۲-۲- آزمون ولتاژ متناوب در حالت مرطوب (برای خازنهای کلاس بیرونی و با سطح ولتاژ $U_m < 300 \text{ kV}$)

شرایط این آزمون مطابق بند ۵-۲-۲-۱ ولی با شرایط باران مصنوعی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ می‌باشد.

۵-۲-۳-۳- آزمون ولتاژ موج کلیدزنی در حالت خشک (برای خازنهای کلاس داخلی و با سطح ولتاژ $Um \geq 300 \text{ kV}$)

این آزمون بایستی روی ستون خازنی انجام شود. پانزده موج کلیدزنی از هر پلاریته با حداکثر مقدار برابر با ولتاژ نامی تحمل در برابر موج کلیدزنی (مطابق جدول ۲-۵) متناظر با حداکثر ولتاژ تجهیز، باید بین ترمینالهای فشارقوی و زمین اعمال گردد. هنگامی که ترمینال فشارضعیف موجود است، می‌بایستی در طول آزمون مستقیماً و یا از طریق یک امپدانس کوچک به زمین متصل گردد. شکل موجهای اعمال شده باید بصورت شکل موج استاندارد ۲۵۰/۲۵۰ میکروثانیه مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ باشد. ستون خازنی می‌تواند روی پایه‌ای فلزی با ارتفاع کمتر از ۲/۵ متر و قطر معادلی حداقل مساوی دو برابر بزرگترین قطر پوشش عایقی^۱ خازن قرار داشته باشد.

بجز متعلقات ستون خازنی که در وضعیت عادی به آن متصل است، هیچگونه وسیله دیگری نباید به ستون خازنی متصل باشد. اگر بیشتر از دو جرقه (شکست عایقی) در هر پلاریته اتفاق نیفتد، ستون خازنی آزمون را با موفقیت پشت‌سر گذاشته است. در طول آزمون نباید هیچگونه سوراخ‌شدگی داخلی اتفاق بیافتد که این موضوع با ثبت موج ضربه ولتاژ توسط اسیلوگراف و اندازه‌گیری خازن واحدها در ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی قبل و بعد از آزمون تحقیق می‌شود.

نکته ۱: اگر مدارکی دال بر توانایی تحمل ۱۵ موج کلیدزنی در هر پلاریته توسط محفظه عایقی، بدون بروز بیشتر از دو جرقه (شکست عایقی) وجود دارد، آزمون می‌تواند تنها برای سه موج کلیدزنی از هر پلاریته انجام شود. در این حالت، هیچ جرقه و سوراخ‌شدگی نباید اتفاق بیافتد. به هر حال، با توجه به دلایل آماری اگر تنها یک شکست عایقی اتفاق بیافتد، تکرار مجدد آزمون با سه موج از همان پلاریته مجاز است.

نکته ۲: نصب ستون خازنی روی یک پایه فلزی، مشخصات تحمل در برابر موج کلیدزنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین انجام این آزمون با نصب روی پایه فلزی مطابق شرایط کاری مناسب است. این نکته باید یادآوری شود که نصب مستقیم روی سطح زمین سخت‌ترین شرایط است.

نکته ۳: آرایش اتصال به خط می‌تواند مشخصات شکست عایقی را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین ممکن است طبق انتخاب سازنده لازم باشد تا آزمون نوعی با اتصال به خط مطابق شرایط کاری انجام شود.

نکته ۴: ممکن است از دو ستون جدا ولی مشابه، برای هر پلاریته استفاده شود.

۵-۲-۳-۴- آزمون موج ولتاژ کلیدزنی در حالت مرطوب (برای خازنهای بیرونی و با سطح ولتاژ $Um \geq 300 \text{ kV}$)

شرایط آزمون مطابق بند ۳-۲-۲-۵ بوده ولی آزمون بایستی تحت شرایط باران مصنوعی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ انجام شود.

۵-۲-۳-۵- آزمون ولتاژ موج صاعقه

این آزمون بایستی روی ستون خازنی انجام شود. ۱۵ موج از هر پلاریته با حداکثر مقدار برابر ولتاژ تحمل نامی در برابر موج صاعقه (مطابق جدول ۲-۵) و متناظر با حداکثر ولتاژ تجهیز، بایستی بین ترمینالهای فشارقوی و زمین اعمال شود. هنگامی که ترمینال فشارضعیف وجود دارد بایستی در طول آزمون مستقیماً و یا از طریق یک امپدانس کوچک به زمین وصل شود.

1. Insulating envelope

شکل موج اعمال شده بایستی مطابق با استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ باشد، ولی ممکن است زمان پیشانی موج به درخواست سازنده به علت محدودیت تجهیزات آزمون تا ۸ میکروثانیه افزایش یابد.

اگر بیشتر از دو جرقه (شکست عایقی) در هر پلاریته اتفاق نیفتد، ستون خازنی آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است. هیچگونه سوراخ‌شدگی داخلی نباید اتفاق بیافتد که این موضوع با ثبت موج ضربه ولتاژ توسط اسیلوگراف و اندازه‌گیری خازن واحدها در ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی قبل و بعد از آزمون تحقیق می‌شود.

نکته ۱: اگر مدارکی دال بر توانایی تحمل ۱۵ موج صاعقه از هر پلاریته توسط محفظه عایقی بدون رخداد بیشتر از دو جرقه (شکست عایقی) وجود دارد، آزمون می‌تواند تنها برای سه موج صاعقه از هر پلاریته انجام شود. در این حالت هیچ جرقه و سوراخ‌شدگی نباید اتفاق بیافتد. با توجه به دلایل آماری اگر تنها یک شکست عایقی اتفاق بیافتد، تکرار مجدد آزمون با سه موج از همان پلاریته مجاز است.

نکته ۲: ممکن است از دو ستون مجزا ولی مشابه برای هر پلاریته استفاده شود.

نکته ۳: برای خازنهای با $U_m < 300 \text{ kV}$ ، ممکن است تنها یک آزمون با پلاریته مثبت بین سازنده و خریدار توافق شود.

۵-۲-۳- آزمون تخلیه

این آزمون ممکن است روی ستون خازنی یا روی یک واحد انجام شود. ولتاژی باید بین ترمینالهای فشارقوی و زمین ستون خازنی یا بین ترمینالهای واحد برای شارژ نمودن خازن تا ولتاژی برابر ولتاژ تحمل نامی در برابر موج صاعقه (مطابق جدول ۲-۵) و متناظر با حداکثر ولتاژ تجهیز اعمال شود. سپس خازن باید روی یک میله جرقه‌زن^۱ که برای بدست آوردن فرکانس تخلیه‌ای بین ۰/۵ تا یک مگاهرتز تنظیم شده است تخلیه شود.

هنگامی که ترمینال فشارضعیف وجود دارد، بایستی در طول آزمون مستقیماً یا توسط یک امپدانس کوچک به زمین متصل شود. این آزمون بایستی در عرض مدت ۵ دقیقه دو بار تکرار شود. عدم بروز خطا بایستی توسط اندازه‌گیری خازن واحدها در ۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی قبل و بعد از آزمون اثبات شود (به نکته ۳ بند ۴-۲-۱۰ مراجعه شود).

نکته ۱: در حالتی که خازنهای دارای ابعاد بزرگ، ولتاژ بالا و یا با ظرفیت خازنی بالایی استفاده می‌شوند (مثلاً برای حفاظت اضافه ولتاژ) ممکن است تخلیه در فرکانس پایین اتفاق بیافتد.

نکته ۲: هدف از انجام این آزمون بررسی اتصالات داخلی خازن است.

نکته ۳: خازن می‌تواند بوسیله یک ژنراتور DC و یا یک مولد موج ضربه شارژ شود. انتخاب بعهده سازنده می‌باشد.

۵-۲-۴- آزمون تخلیه جزئی

۵-۲-۴-۱- کلیات

مدار آزمون اندازه‌گیری تخلیه جزئی و تجهیزات اندازه‌گیری مربوطه بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۲۷۰ باشد. تجهیزات اندازه‌گیری استفاده شده بستگی به کمیتی دارد که اندازه‌گیری می‌شوند. کمیت ارجح در این استاندارد بار ظاهری q است که

برحسب پیکوکولن (pC) بیان می‌شود. مشخصات مدار آزمون بایستی بگونه‌ای باشد که یک تخلیه کوچک ۵ پیکوکولنی قابل اندازه‌گیری باشد.

کالیبراسیون مدار اندازه‌گیری بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۲۷۰ انجام شود.

چنانچه این آزمون روی یک ستون خازنی یا یک واحد مجزا انجام شود ولتاژ آزمون باتوجه به رابطه (۴-۴) و (۴-۵) تعیین می‌شود.

نکته ۱: مدار آزمون بایستی بگونه‌ای باشد که اندازه‌گیری شدت تخلیه جزئی تحت تاثیر تخلیه کرونای خارجی قرار نگیرد.

نکته ۲: اندازه‌گیری پهنای باند تخلیه جزئی با یک پهنای باند حداقل ۱۰۰ کیلوهرتز به خصوص هنگامیکه تجهیزات آزمون دارای خازن و اندوکتانس توزیع شده باشند دارای مزایای ویژه‌ای است. با این وجود معمولاً یک باند باریک اندازه‌گیری تخلیه جزئی برای خازنهای کوپلاژ (مخصوصاً اگر انتخاب فرکانسهای اندازه‌گیری در گستره ۰/۱۵ مگاهرتز تا ۲ مگاهرتز ممکن باشد) کافی است. مقادیر ترجیحی عبارتند از ۰/۵ مگاهرتز و یک مگاهرتز ولی اگر عملی باشد، اندازه‌گیری بایستی در فرکانسی انجام شود که بیشترین حساسیت بروز نماید.

نکته ۳: اگر ظرفیت خازنی واحد تحت آزمون در مقایسه با خازنی که حساسیت دستگاهها برای آن کافی است خیلی بزرگ باشد ممکن است اندازه‌گیری دامنه تخلیه جزئی حساس نباشد. در این حالت برای انجام آزمون روی یک مدل واحد که دارای ولتاژ یا ظرفیت خازنی کمتری است ولی دارای همان طراحی و ساختار است باید توافقی بین سازنده و خریدار انجام شود.

نکته ۴: هنگامی که از تجهیزات اندازه‌گیری استفاده می‌شود که واحد شدت تخلیه غیر از پیکوکولن است بایستی به استاندارد IEC شماره ۶۰۲۷۰ رجوع نمود.

۵-۲-۴-۲- آزمون نوعی تخلیه جزئی

آزمون نوعی تخلیه جزئی بایستی مطابق رویه (الف) برای ستونهای خازنی با سطح ولتاژ $U_m < 30.0 kV$ و مطابق رویه (الف) یا (ب) برای ستونهای خازنی با سطح ولتاژ $U_m \geq 30.0 kV$ انجام شود. انجام رویه (ب) بایستی با توافق سازنده و خریدار باشد.

الف - یک ولتاژ ac بایستی بین ترمینالهای خط و زمین ستون خازنی و یا بین ترمینالهای یک واحد اعمال شده و به سرعت از یک ولتاژ نسبتاً پایین تا سطح ولتاژی موسوم به ولتاژ پیش تنش^۱ مطابق جدول (۵-۱) افزایش یافته، پس از ۱۰ ثانیه باقی ماندن در این ولتاژ سریعاً به ولتاژ اندازه‌گیری تخلیه جزئی (مطابق جدول ۵-۱) کاهش یافته و یک ساعت در این ولتاژ باقی بماند. در طول این مدت شدت تخلیه جزئی بایستی تقریباً هر ۱۰ دقیقه یکبار اندازه‌گیری شود.

ب - یک ولتاژ ac بین ترمینالهای خط و زمین ستون خازنی و یا بین ترمینالهای یک واحد اعمال شده و به سرعت از یک ولتاژ نسبتاً پایین تا ولتاژ $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ (موثر) افزایش می‌یابد. برای حصول به مقدار ولتاژی که حداکثر آن برابر است با ولتاژ نامی تحمل در برابر موج کلیدزنی متناظر با بیشترین ولتاژ تجهیز خازن (مطابق جدول ۵-۲)، در شروع این آزمون حداقل سه موج کلیدزنی به ولتاژ موردنظر اضافه می‌شود. برآیند این سه موج باید پیک برابر پیک موج ضربه کلیدزنی نامی متناظر با حداکثر ولتاژ تجهیز را دارا باشد.

ولتاژ ac بایستی در مقدار $\frac{1/5U_m}{\sqrt{3}}$ برای مدت یک ساعت باقی بماند. در طول این دوره، مقدار شدت تخلیه جزیی بایستی تقریباً هر ۱۰ دقیقه یکبار اندازه‌گیری شود.

پیشانی موج کلیدزنی سوار شده روی موج ولتاژ ac ممکن است با موج کلیدزنی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ متفاوت باشد. زمان نصف موج بایستی حداقل ۲۵۰۰ میکروثانیه باشد.

نکته: اگر خازن در شبکه با نقطه ستاره غیرموثر زمین شده استفاده شود، ممکن است مقدار دیگری برای موج ac بین سازنده و خریدار توافق شود.

مقادیر ارجح برای سطوح مجاز شدت تخلیه جزیی در جدول ۵-۱ آمده است. غیر از موجهای کلیدزنی سوار شده بر موج ولتاژ ac، ولتاژهای آزمون و ولتاژهای اندازه‌گیری اعمال شده در طول این آزمون بایستی اساساً دارای شکل موج سینوسی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ باشند. مدار آزمون بایستی برای کم کردن و از بین بردن اضافه ولتاژهای ناشی از حالات گذرا مناسب باشد.

۵-۲-۵- آزمون اندازه‌گیری ضریب دما

این آزمون تنها برای مقسمهای خازنی کاربرد داشته و در صورت توافق بین سازنده و خریدار انجام می‌شود. آزمون همانند بند ۴-۳-۴ انجام می‌گیرد.

۵-۲-۶- آزمون نیروی محوری

نیروی آزمون F_T بایستی به ترمینال بالایی خازن و عمود بر محور آن در جهتی مناسب برای مدت زمان یک دقیقه اعمال گردد. این نیرو بستگی به ابعاد خازن، طول L (ارتفاع پوشش عایقی) و بزرگترین قطر چتر پوشش عایقی d داشته و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_T = [(450 \times L \times d) + 500] \times 1.5$$

که L و d برحسب متر می‌باشند.

اگر هیچگونه شکست و نشتی رخ ندهد خازن این آزمون را با موفقیت سپری کرده است. کاغذ جذب‌کننده، گچ سفید و یا یک روش معادل جهت مشخص شدن اثرات نشتی بایستی استفاده شود.

نکته ۱: ضرایب معادله فوق برای نیروی آزمون F_T بر مبنای ماکزیمم سرعت باد یعنی ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت (که فشار بادی معادل ۹۰۰ نیوتن بر مترمربع ایجاد می‌کند) و برای حداکثر نیروی وارد بر ترمینال خط، معادل ۵۰۰ نیوتن و ضریب اطمینان ۱/۵ می‌باشد.

نکته ۲: اگر یک خازن با یک ترمینال فشار ضعیف یا فشار متوسط جانبی تجهیز شود که دیواره محفظه استوانه‌ای از جنس چینی را سوراخ کرده است نیروی آزمون بایستی هم بصورت عمود و هم بصورت موازی با ترمینال اعمال شود.

۳-۵- آزمونهای جاری

۱-۳-۵- اندازه‌گیری خازن و ضریب تلفات عایقی در فرکانس قدرت

این آزمون همانند بند ۴-۲-۱۰-۱ انجام می‌شود.

۱-۱-۳-۵- تلورانس خازن

این آزمون همانند بند ۴-۲-۱۰-۲ انجام می‌شود.

۲-۳-۵- اندازه‌گیری تلفات خازن

این آزمون همانند بند ۴-۲-۱۰-۲ انجام می‌شود.

۳-۳-۵- آزمونهای ولتاژ

هر ستون خازنی بایستی تحت آزمون بند (الف) و هر ستون خازنی با حداکثر ولتاژ سیستم بیشتر از ۳۰۰ کیلوولت باید تحت آزمون آزمونهای بند (الف) یا (ب) قرار گیرد. ولتاژ آزمون هنگامی که ستون خازنی تحت آزمون قرار می‌گیرد بین ترمینالهای خط و زمین و هنگام آزمون هر واحد بین ترمینالها اعمال می‌گردد. هنگامی که یک ترمینال فشارضعیف موجود است، در حین آزمون بایستی مستقیماً یا از طریق یک امپدانس کوچک به زمین متصل شود. در صورت عدم وجود توافق بر سر آزمونهای بند (الف) یا (ب)، انتخاب به عهده سازنده است. در حین آزمون هیچگونه سوراخ‌شدگی و جرقه‌ای نباید مشاهده شود. هنگام آزمایش یک واحد تکی از یک ستون خازنی، مقدار ولتاژ آزمون بایستی برابر مقدار زیر باشد :

$$(۵-۱) \quad \frac{\text{ولتاژ نامی واحد}}{\text{ولتاژ نامی ستون}} \times \text{ولتاژ آزمون ستون خازنی} \times ۱/۰۵$$

الف) یک آزمون ولتاژ متناوب که در آن مقدار ولتاژ آزمون برابر با ولتاژ استقامت کوتاه مدت فرکانس قدرت (مطابق جدول ۲-۵) متناسب با بیشترین ولتاژ تجهیز خازن است.

آزمون بایستی با موجی اساساً سینوسی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ انجام شود. ولتاژ بایستی سریعاً از یک مقدار نسبتاً پایین به مقدار ولتاژ آزمون افزایش یافته، مدت یک دقیقه در این مقدار بماند (مگر موضوع دیگری توافق شده باشد) و سپس قبل از خاموش شدن مدار سریعاً به مقداری نسبتاً پایین باز گردد.

ب) یک آزمون ولتاژ متناوب که سه موج کلیدزنی با پلاریته مثبت یا منفی بر روی آن سوار شده است. پیک ولتاژ آزمون برابر ولتاژ تحمل در برابر موج کلیدزنی مطابق جدول ۲-۵ با توجه به حداکثر ولتاژ تجهیز می‌باشد. این آزمون موج کلیدزنی بایستی با آزمون تخلیه جزئی ترکیب شود که در این صورت این آزمون مطابق رویه (ب) بند ۵-۲-۴-۲ خواهد بود. در این حالت زمان اندازه‌گیری از یک ساعت به یک دقیقه کاهش می‌یابد.

نکته ۱: برای آزمون موج کلیدزنی، پیشانی موج ممکن است با موج کلیدزنی استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ تفاوت داشته باشد. مقدار زمان نصف موج^۱ بایستی حداقل ۲۵۰۰ میکروثانیه باشد.

نکته ۲: برای خازنهای دارای مقادیر ظرفیت خازنی بالا (خازنهای کوپلینگ و یا خازنهای استفاده شده برای حفاظت اضافه ولتاژ) که مشخصات تجهیزات آزمون اجازه انجام آزمون ولتاژ متناوب را نمی‌دهد (به علت پدید آمدن اضافه بار در تجهیزات آزمون) ممکن است آزمون ولتاژ مستقیم به پیشنهاد سازنده و توافق سازنده و خریدار انجام شود. روش آزمون همان روش بیان شده در بند (الف) همین بند است. در این حالت مقدار ولتاژ آزمون باید دو برابر مقدار موثر ولتاژ متناوب انتخاب گردد.

۵-۳-۴- آزمون ولتاژ بین ترمینال فشار ضعیف و ترمینال زمین

خازنهای با یک ترمینال فشار ضعیف بایستی برای مدت یک دقیقه تحت آزمون ولتاژ متناوب بین ترمینال فشار ضعیف و ترمینال زمین قرار بگیرند.

(الف) اگر ترمینال فشار ضعیف در معرض هوا است ولتاژ آزمون برابر ۱۰ کیلوولت موثر است.

(ب) اگر ترمینال فشار ضعیف در معرض هوا نباشد (بطور مثال داخل جعبه ترمینال ترانسفورماتور ولتاژ خازنی) ولتاژ آزمون باید برابر ۴ کیلوولت موثر باشد.

در حین آزمون هیچ جرقه و سوراخ‌شدگی نباید مشاهده شود.

نکته: اگر مقدار ولتاژ آزمون برای هماهنگی عایقی تجهیزات مخابراتی با ترمینال فشار ضعیف خیلی پایین باشد ممکن است به درخواست خریدار مقدار بالاتری برای ولتاژ توافق شود.

۵-۳-۵- آزمون تخلیه جزئی

در اینجا نیز همان مباحث ارائه شده در بند ۵-۳-۲-۴-۱ حاکم است. آزمون جاری تخلیه جزئی باید بعد از آزمون ولتاژ بین ترمینالها توضیح داده شده در بند ۵-۳-۳ و قبل از اندازه‌گیری نهایی خازن توضیح داده شده در بند ۵-۳-۱-۱ انجام شود.

یک آزمون ولتاژ ac بایستی بین ترمینالهای فشار قوی و زمین ستون خازنی و یا بین ترمینالهای یک واحد اعمال شده و سریعاً از یک ولتاژ نسبتاً پایین تا ولتاژ پیش تنش^۲ (جدول ۵-۱) افزایش یافته برای مدت حداقل ۱۰ ثانیه در این ولتاژ باقی مانده و سپس سریعاً به ولتاژ اندازه‌گیری تخلیه (ارائه شده در جدول ۵-۱) کاهش یافته و شدت تخلیه جزئی بایستی پس از حداقل یک دقیقه اندازه‌گیری شود.

مقادیر ارجح برای سطوح مجاز شدت تخلیه جزئی در جدول (۵-۱) آمده است.

ولتاژ اعمال شده در طول این آزمون بایستی مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۰۶۰ اساساً سینوسی شکل باشد. مدار آزمون بایستی قابلیت کاهش اضافه ولتاژهای ناشی از حالت‌های گذرا را تا حد امکان داشته باشد.

نکته: این آزمون ممکن است حین کاهش ولتاژ بعد از آزمون تحمل ولتاژ فرکانس قدرت (بند ۵-۳-۳) انجام شود. اگر مقادیر اندازه‌گیری تخلیه جزئی از مقادیر جدول (۵-۱) فراتر رود ممکن است یک آزمون جدا بعنوان تعیین موارد فوق انجام شود.

1. Time – to – half value

2. Pre – stress voltage

جدول ۵-۱: مقادیر آزمون تخلیه جزئی

نحوه زمین شدن ^(۱)	ولتاژ قبل از تنش ^(۲) $\geq 10 S$	ولتاژ اندازه گیری ^(۲) $> 1 \text{ min}$	سطح مجاز تخلیه جزئی ^(۳)
شبکه‌های با زمین ایزوله و یا نقطه ستاره زمین شده تشدید	$\frac{1}{3} U_m$	$\frac{1}{8} U_m$ ^(۳)	100 PC ^(۳)
		$\frac{1}{8} U_m / \sqrt{3}$	10 PC
شبکه‌های با نقطه ستاره بطور موثر زمین شده	$0.8 \times \frac{1}{3} U_m$	$\frac{1}{8} U_m / \sqrt{3}$	10 PC

(۱) اگر مشخص نباشد که خازن جهت استفاده در چه شبکه‌ای از لحاظ زمین شدن شبکه بکار خواهد رفت سطوح مطابق با نقطه ستاره جدا (زمین ایزوله) گرفته می‌شود.

(۲) این مقادیر برحسب تجربه برای ضمانت منطقی قابلیت اطمینان درمقابل قیمت تجهیز بدست آمده است. هرگاه وجه تمایز واضحی بین اغتشاشات زمینه قوی تر و اغتشاشات ناشی از تجهیزات آزمون وجود داشته باشد، اگر توافقی بین سازنده و خریدار باشد، می‌توان این اغتشاشات قوی را پذیرفت.

(۳) این مقادیر تنها براساس توافق سازنده و خریدار استفاده می‌شوند.

(۴) برای خازنهای دارای مقادیر ظرفیت خیلی بالا، ممکن است به لحاظ ضریب انتقال پایین و محدودیت قدرت ترانسفورماتور آزمون، یک آزمون تخلیه جزئی با مقادیر مشخص شده فوق انجام شود. در وضعیتهای این چنین، مقادیر مناسب بایستی بین سازنده و خریدار توافق شود.

۵-۳-۶- آزمون آب بندی

اگر هیچگونه توافقی نباشد، آزمون آب بندی با روشی که انتخاب آن به عهده سازنده می‌باشد بایستی انجام شود. آزمون آب بندی ممکن است هر زمانی پس از تکمیل خازنها انجام شود.

(پیوست ۵-۱)

ویژگیهای فرکانس بالای خازنهای کوپلاژ برای مدارهای PLC

۱- خازن و هدایت پراکندگی ترمینال فشار ضعیف

خازن و هدایت پراکندگی ترمینال فشار ضعیف نسبت به ترمینال زمین بایستی تا حد ممکن کم باشد.

نکته ۱: مقادیر بالای ۲۰ میکروزیمنس ممکن است دارای تأثیر محسوسی روی پهنای باند تجهیزات کوپلاژ باشند (به خصوص برای عملکرد در فرکانسهای پایین تر از ۱۰۰ کیلوهرتز و یا برای خازن کوپلاژ با ظرفیت پایین).

نکته ۲: هنگامی که ترانسفورماتور ولتاژ خازنی تحت آزمون، دارای تلفات خازنی و تلفات اضافی واحد الکترومغناطیسی می‌باشد، مقادیر ارائه شده در بند ۵-۲-۱-۲ معمولاً قابل دسترسی نمی‌باشد. برای ترانسفورماتور ولتاژ خازنی معمولاً محدودیتهای زیر را می‌توان پذیرفت:

- برای خازن پراکندگی: $(C_n \times 0.5 / 300)$ که در آن C_n ظرفیت نامی خازن برحسب پیکوفاراد می‌باشد.

- برای هدایت پراکندگی: ۵۰ میکروزیمنس

نکته ۳: طراحی ترمینال و چیدمان آنها باید بگونه‌ای باشد که شرایط محیطی باعث افزایش ظرفیت خازن و هدایت پراکندگی بیش از مقادیر ذکر شده در بند ۵-۲-۱-۲ و یا مقادیر فوق نشود.

۲- جریان فرکانس بالای خازن کوپلاژ

خازنهای کوپلاژ بایستی بگونه‌ای طراحی شوند که قابلیت تحمل جریان ماندگار فرکانس بالا عبوری با مقدار حداقل یک آمپر (مقدار مؤثر جریان معادل یک توان ۴۰۰ وات برای مقاومت ترمینالی برابر ۴۰۰ اهم) را بدون آسیب دیدگی داشته باشند.

۳- اندازه‌گیری خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل

اندازه‌گیری باید روی ستون خازن کوپلاژ انجام شود. اندازه‌گیری برای دماهای پایین می‌تواند در یک محفظه که از نظر آب و هوایی تنظیم شده است انجام گیرد. با توافق بین خریدار و سازنده این آزمایش می‌تواند بر روی یک خازن مدل که تعداد محدودی واحد دارد انجام گیرد.

روشهای اندازه‌گیری که مقادیر خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل را بدست می‌دهد ممکن از بین روشهای مناسب مقادیر فرکانس بالا مثل روش پل، روش جایگزینی و ... انتخاب شود.

شکل (۵-۱) مثالی از اندازه‌گیری روش پل را ارائه می‌نماید.

بعد از متعادل نمودن مدار با تنظیم پارامترهای C_m و R_m مقادیر موردنیاز بصورت زیر بدست می‌آیند :

$$C_s = C_m \quad (۵-۲)$$

$$R_s = R_m \quad (۵-۳)$$

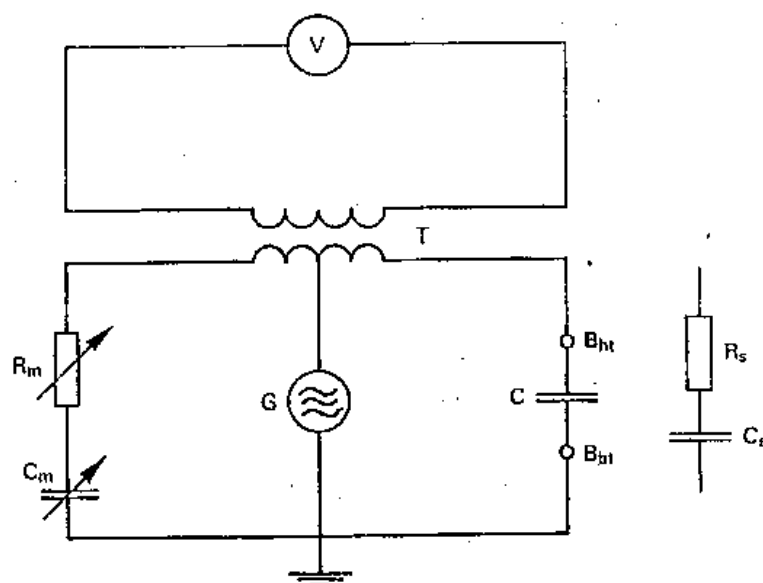
هنگامی که روش اندازه‌گیری استفاده شده مقادیر سری را ارائه نمی‌دهد می‌توان از طریق مقادیر موازی C_p و R_p آنها را محاسبه نمود :

$$C_s = C_p [1 + 1/(\omega^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p^2)] \quad (۵-۴)$$

$$R_s = R_p / (1 + \omega^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p^2) \quad (۵-۵)$$

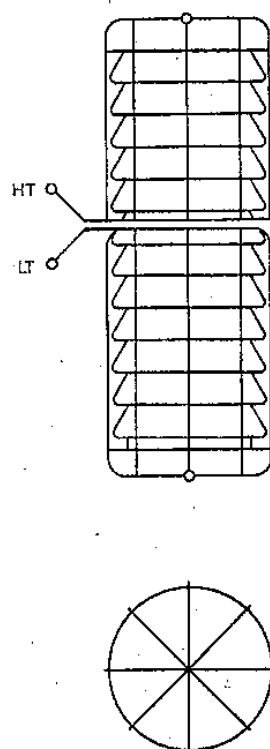
پیشنهاد می‌شود که خازنها و اندوکتانسهای ناشی از اتصالات اندازه‌گیری (با کاهش طولشان) و همچنین خازنهای زمین تا حد امکان کاهش یابند. مراقبتهای ویژه‌ای جهت تجهیزات اندازه‌گیری و در صورت لزوم اتصالات آنها باید انجام شود. در صورتیکه خازنهای پراکندگی و سلفهای ناشی از تجهیزات اندازه‌گیری قابل ملاحظه است، تأثیر آنها در اندازه‌گیری باید لحاظ شود.

عدم کنترل خازنها و سلفهای پراکندگی ممکن است باعث ایجاد خطای جدی در اندازه‌گیری خازن شود. برای کاهش مقادیر ناچیز اندوکتانس ناشی از اتصالات اندازه‌گیری، روشی با استفاده از دو قفس پیشنهاد می‌شود که از هم جدا بوده و هر یک از شش یا هشت تسمه مسی تشکیل شده‌اند. این قفسها بایستی خازن تحت آزمایش را احاطه کرده و در تماس نزدیک با ماده عایقی در طول آن باشند. یک انتهای قفس بالائی بایستی به ترمینال فشارقوی متصل باشد در حالی که انتهای قفس پایینی به ترمینال فشار ضعیف متصل است. پل اندازه‌گیری بایستی توسط دو سیم به اندازه کافی کوتاه به دو انتهای قفسها متصل باشد (شکل ۵-۲).



- C = خازن کوپلاژ تحت آزمون
- R_s = مقاومت سری معادل خازن کوپلاژ
- C_s = خازن فرکانس بالای معادل برای خازن کوپلاژ
- B_{bt} = ترمینال فشارضعیف
- B_{ht} = ترمینال فشارقوی
- C_m = خازن متغیر اندازه گیری
- R_m = مقاومت متغیر اندازه گیری
- G = مولد فرکانس بالا
- T = ترانسفورماتور هیبرید
- V = ولت متر یا وسیله اندازه گیری دیگر

شکل ۵-۱: روش پل برای اندازه گیری خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل خازن کوپلاژ



HT = ترمینال فشار قوی

LT = ترمینال فشار ضعیف

شکل ۵-۲: نمودار سیم‌بندی مدار اندازه‌گیری برای خازن فرکانس بالا و مقاومت سری معادل خازن کوپلاژ

I

С МЎЗ С М Д Ў ОЗβΨ

t' ZΨH O Γ O€γ3 έ

=====

۶- مقدمه

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

۶-۱- کلیات

از آنجایی که برای تاسیس پستهای انتقال نیرو بودجه عظیمی مصرف 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. آسیبهای تجهیزات و دستگاههای موجود در پستهای انتقال نیرو کلاً ناشی از چند عامل بوده که ذیلاً به این عوامل اشاره شده است:

- عوامل جوی مانند باران، باد، درجه حرارت و ...
- عوامل داخلی شبکه مانند اضافه‌ولتاژهای 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 پیش آمده، عدم بکارگیری مقررات و دستورالعملهای تدوین شده و انجام مانورهای غلط
- عوامل مربوط به سرویس و نگهداری صحیح تجهیزات مانند تأخیر در سرویس دستگاهها، عدم استفاده از دستورالعملهای سازنده.

سرویس و تعمیرات به موقع و همچنین آزمونهای دوره‌ای و پیشگیرانه تجهیزات پستها علاوه بر اینکه در سلامتی و طولانی شدن عمر آنها موثر می‌باشد از آسیب‌دیدن و یا 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 می‌آورند. لذا بایستی واحدهای تعمیراتی سرویس دوره‌ای، تعمیرات اساسی و آزمونها را با توجه به نوع دستگاه، عملکرد، شرایط محیطی و همچنین دستورالعملهای صادره از سوی سازندگان تجهیزات به اجرا گذارند.

عملکرد صحیح و به موقع سیستم حفاظت و کنترل که ترانسفورماتور ولتاژ نیز جزئی از آن است، دو عمل عمده را در شبکه انجام می‌دهد. اولاً از گسترش عیب در قسمت معیوب جلوگیری نموده ثانیاً 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 فشار قوی و سیستمهای حفاظت و کنترل ضروری است تا وقفه‌ای در عملکرد آنها بوجود نیاید.

۶-۲- نگهداری

نگهداری از ترانسفورماتور ولتاژ و رفع عیبهای احتمالی نیازمند انجام یکسری بازدیدهای دوره‌ای می‌باشد که در ذیل به طول دوره و مواردی که در هر بازدید بایستی مورد توجه قرارگیرد اشاره شده‌است.

۶-۲-۱- بازدیدهای روزانه از ترانسفورماتور ولتاژ

- وضعیت ظاهری از نظر صدای غیرعادی
- وضعیت مقره‌ها از نظر آلودگی، ترک و شکستگی
- عدم وجود نشئی و متناسب بودن سطح روغن
- استشمام بوی غیرعادی

۶-۲-۲- بازدیدهای هفتگی از ترانسفورماتور ولتاژ

- سالم یا معیوب بودن وضعیت ظاهری
- وجود یا عدم وجود ترک، شکستگی در مقره‌ها
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن
- وجود یا عدم وجود نشئی روغن
- کامل یا ناقص بودن اتصالات هادیهای ورودی و خروجی فشارقوی
- سایر اشکالات مشاهده شده

۶-۲-۳- بازدیدهای ماهیانه ترانسفورماتور ولتاژ

- کامل یا ناقص بودن اتصالات هادیهای ورودی به فازها
 - سالم یا معیوب، تمیز یا کثیف بودن مقره فازها و نیاز یا عدم نیاز به شستشو یا تمیز کردن
 - کامل یا ناقص بودن اتصال سیم زمین فازها
 - طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن در روغن نمای فازها
 - وجود یا عدم وجود نشئی روغن در فازها
 - سایر اشکالات مشاهده شده
- فرم نمونه بازدید ماهانه در پیوست ۶-۲ آمده است.

۶-۲-۴- بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ

این نوع بازدیدها و آزمونها در دوره‌های زمانی معین در پستهای در حال بهره‌برداری برروی کلیه تجهیزات بایستی انجام گیرد تا از وضعیت و سلامت سیستمهای مذکور اطمینان حاصل گردد.

ترانسفورماتورهای ولتاژ در زمان بهره‌برداری، آزمون دوره‌ای نمی‌شوند و تنها بازدید و آچارکشی ترمینالها و سیم زمین بصورت سالانه کافی خواهد بود.

ترانسفورماتورهای ولتاژ در موارد زیر مورد آزمون قرار می‌گیرند:

- آزمونهای راهاندازی پستها^۱ (فرم نمونه آزمون راهاندازی در پیوست ۶-۱ آمده است).
- هنگام بروز حوادثی که موجب وارد شدن خسارات بر تجهیزات پست می‌گردد.
- در صورت مشاهده عدم دقت در ولتمترها
- پس از بررسی حوادث و تشخیص احتمال وجود عیب در تجهیز یا مدارات آن.

۶-۲-۵- سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ

این سرویسها شامل موارد زیر می‌باشد:

- سرویس و آچارکشی اتصالات (استراکچر، ترمینالهای فشارقوی و قسمت میانی)
- 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)
- کنترل وضعیت ظاهری مقرها و تجهیز نمودن آنها در صورت نیاز
- کنترل و آچارکشی ترمینالهای فیوزهای ثانویه
- تمیز نمودن و کنترل جعبه اتصالات
- کنترل وضعیت ظاهری از نظر نشی احتمالی و رفع نمودن در صورت نیاز
- کنترل و آزمون سالم بودن ممبران
- کنترل سطح روغن

پیوست ۶-۱): فرم نمونه آزمون راه اندازی برای ترانسفورماتور ولتاژ

برگ آزمایش ترانسفورماتور ولتاژ (در صورت نیاز)

شماره برگ آزمایش: تاریخ آزمایش قبلی: تاریخ آزمایش:
 نام پست: نام و شماره فیدر:
 نوع ترانس: نام کارخانه سازنده: شماره سریال:
 نسبت تبدیل (نسبتهای تبدیل ممکن نوشته شود):
 ۱- آزمایش عایقی:
 اولیه با هر یک از سیم پیچهای ثانویه و زمین (۵۰۰۰۷):

CORE1 = MEGA ohm CORE 2 = MEGA ohm CORE 3 = MEGA ohm

ثانویه با زمین (۵۰۰۷):

CORE1 = MEGA ohm CORE 2 = MEGA ohm CORE 3 = MEGA ohm

۲- آزمایش پلاریته (باطری ۶ یا ۱۲ ولت) : صحیح/ناصحیح
 تذکر : صحیح یا ناصحیح بودن پلاریته با رجوع به نقشه های اجرایی مشخص می گردد.
 ۳- آزمایش نسبت تبدیل:

تزریق ولتاژ متناوب به مدار اولیه و اندازه گیری آن در مدار ثانویه
 تذکر: برای ترانسهای ولتاژ خازنی ولتاژ تزریقی باید بیش از ۱۰۰۰ ولت باشد.

CORE 1				CORE 2				CORE 3			
VP1	Vs1	RATIO	ERROR %	VP2	Vs2	RATIO	ERROR %	VP3	Vs3	RATIO	ERROR %

۴ - اندازه گیری توان (BURDEN) مدار ثانویه:

تزریق ولتاژ متناوب به اندازه ولتاژ نامی و اندازه گیری جریان عبوری از مدار ثانویه

BURDEN =

VA (Core 1) = VA VA(Core 2) = VA VA(Core 3) = VA

نام و نام خانوادگی آزمایش کننده:

شماره بی:

[illegible]

نام پست:

ولتاژ:

نام فیدر:

شماره بی:

[illegible]

منابع و مراجع

1. IEC 60044-2, "Inductive voltage transformers"
2. IEC 60044-5, "Capacitor voltage transformers"
3. IEC 60358, "Coupling capacitors and capacitor dividers"
۴. استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت جلد ۲۰۷: معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور ولتاژ تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۵. استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت جلد ۳۰۷: مشخصات فنی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو
۶. استاندارد پست‌های (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی جلد ۱۲۲۰: ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی تهیه شده توسط مهندسین مشاور قدس نیرو
۷. استاندارد پست‌های ۶۳/۲۰ کیلوولت تهیه شده توسط مشاوران
۸. 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
۹. 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
۱۰. نشریه هماهنگی عایقی از سری همین نشریه‌ها
۱۱. نشریه طبقه‌بندی شرایط آلودگی و اقلیمی از سری همین نشریه‌ها

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

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال –
ترانسفورماتورهای ولتاژ در پست های فشار قوی (جلد
دوم)» می باشد که در شش فصل شامل مشخصات فنی
عمومی و اجرایی ترانسفورماتورهای ولتاژ، مبانی طراحی
و انتخاب، آزمون های استاندارد مربوط به
ترانسفورماتورهای ولتاژ فازی و انداکتیو و همجنس
مقسم فازی و دستورالعمل های نگهداری
ترانسفورماتور ولتاژ تهیه شده است.

