جمهوری اسلامی ایران

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

نشریه شماره ۲-۴۷۹

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
http://tec.mporg.ir

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

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال ترانسفورماتورهای زمین– کمکی در پست های فشارقوی

نشریه شماره ۲–۴۷۹

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

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

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۰۰/۲۸۶۵۷
	تاریخ : ۱۳۸۸/۳/۲۵

موضوع :
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – ترانسفورماتورهای زمین – کمکی در پست‌های فشار قوی

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 ۳۳۴۹۷هـ، مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۷۹ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو جلد با عنوان «**مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – ترانسفورماتورهای زمین– کمکی 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 نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

607944

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، ایهام 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 بـه منظـور تعمـیم اسـتانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقـال و توزیـع نیـروی بـرق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی – دفتر نظـام فنـی اجرائـی) بـا همکـاری وزارت نیرو – شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صـنعت بـرق» اقـدام بـه تهیـه مجموعـه کـاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – ترانسـفورماتورهای زمین – کمکی در پست های فشار قوی- جلد دوم » در بر گیرنده مباحث مربوط به ترانسفورماتورهای زمـین – کمکـی شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی، آزمونهای نوعی(که بـه منظـور بررسـی و تائیـد مشخصـات فنـی ترانسفورماتورهای زمین – کمکی، وسایل جنبی و تجهیزات کمکی انجام می گردد)، آزمونهای جاری(که برای تشخیص نقائص و خطاهای موجود در ساختار ترانسفورماتورهای مزبور صورت می گیرد) و دستورالعمل های بهره برداری می باشد.

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

۱۳۸۸

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - ترانسفورماتورهای زمین- کمکی در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۴۷۹

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسین مشاور نیرو با همکاری آقای مهندس پوریا معقولی، خانم مهندس طاهره نوری، آقای دکتر فرامرز رهبر و آقای 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 شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیاتی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – مجری طرح
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس محمود احمدی پور	شرکت مشانیر
آقای دکتر عارف درودی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس پژمان خزائی	پژوهشگاه نیرو
آقای مهندس سید حسن عرب اف	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس بهروز قهرمانی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس امیر رضا یزداندوست	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – دبیر کمیته فنی طرح

مسوولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفترنظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسین پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ـ اهداف، کلیات و تعاریف

۱-۱- کلیات ۳
۱-۲- ساختمان ترانسفورماتور زمین- کمکی ۳
۱-۳- مشخصه‌های ترانسفورماتور زمین- کمکی ۴
۱-۴- تعاریف ۴
۱-۴-۱- سیم‌پیچ اصلی ۴
۱-۴-۲- ولتاژ نامی ۴
۱-۴-۳- جریان نوترال نامی ۴
۱-۴-۴- جریان دائمی نامی ۴
۱-۴-۵- امپدانس مؤلفه صفر ۴
۱-۴-۶- ظرفیت کوتاه‌مدت ۵
۱-۴-۷- ظرفیت دائم ۵
۱-۴-۸- سیستم زمین ایزوله ۵
۱-۴-۹- سیستم مستقیماً زمین‌شده ۵
۱-۴-۱۰- سیستم زمین‌شده با امپدانس ۵
۱-۴-۱۱- زمان نامی ۵
۱-۴-۱۱- حداکثر ولتاژ سیستم ۵

فصل دوم ـ معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور زمین- کمکی

۲-۱- کلیات ۹
۲-۲- ظرفیت نامی ۹
۲-۲-۱- ظرفیت کوتاه‌مدت ۱۰
۲-۲-۲- ظرفیت پیوسته ۱۰
۲-۳- راکتانس ۱۱
۲-۴- استقامت عایقی بوشینگها و ترمینالها ۱۲
۲-۵- حدود مجاز افزایش دما ۱۳
۲-۶- فاصله خزشی بوشینگها ۱۴
۲-۷- تپ چنجر ۱۵
۲-۸- امپدانس ولتاژ ۱۵

۲-۹- قابلیت تحمل جریان پیک اتصالی به زمین ۱۵
۲-۱۰- ترمینال‌بندی طرف اولیه و ثانویه ۱۶
۲-۱۱- استقامت سیم‌پیچ‌ها در برابر اتصال کوتاه ۱۶
۲-۱۲- سطح صدا ۱۶
۲-۱۳- نمونه‌ای از طراحی و انتخاب مشخصه‌های ترانسفورماتور زمین- کمکی ۱۷
۲-۱۳-۱- مشخصات عمومی ۱۷
۲-۱۳-۲- تعیین ظرفیت ۱۸
۲-۱۳-۳- استقامت عایقی ۱۸
۲-۱۳-۴- حدود مجاز افزایش درجه حرارت ۱۸

فصل سوم ـ دستورالعملهای بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور زمین- کمکی

۳-۱- کلیات ۲۳
۳-۲- نگهداری ۲۳
۳-۲-۱- سرویسهای دوره‌اغی ترانسفورماتور زمین- کمکی ۲۳
۳-۲-۲- تعمیرات اساسی ترانسفورماتور زمین- کمکی ۲۵
۳-۲-۳- دستورالعمل بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور زمین- کمکی ۲۶

منابع و مراجع ۳۵

فصل ۱

اهداف، کلیات و تعاریف

مقدمه

هدف از این فصل معرفی و شناخت ترانسفورماتورهای زمین- کمکی می‌باشد. ترانسهای زمین- کمکی جهت ایجاد نقطه صفر مصنوعی و تأمین مصارف داخلی پستهای فشارقوی بکار می‌روند. شایان ذکر است که در مورد ترانسفورماتورهای تغذیه داخلی پستهای نیروگاهی می‌توان به استانداردهای توانیر رجوع نمود.

۱-۱- کلیات

درحال حاضر، نقطه صفر (نوترال) اغلب شبکه‌های فوق توزیع و انتقال به طور مستقیم و یا ازطریق یک وسیله محدودکننده جریان زمین می‌شوند. در سیستمهایی که نقطه صفر آنها زمین نشده باشد، درشرایط بروز اتصال کوتاه نامتعادل، مانند اتصالی فاز به زمین، ولتاژ فازهای سالم می‌تواند تا حدی افزایش یابد که سبب ایجاد قوس الکتریکی بین قسمتهای برقدار تأسیسات و زمین و در نتیجه از بین رفتن تجهیزات سیستم و عایق‌بندی آن شود و لذا می‌بایستی نقطه صفر سیستم به زمین اتصال یابد.

به طورکلی سه هدف عمده در استفاده از ترانسفورماتور زمین مدنظر است:

- محدودنمودن جریان اتصال کوتاه تک‌فاز
- ثابت نگه‌داشتن ولتاژ نقطه صفر
- ایجاد نقطه صفر مصنوعی برای اتصال مثلث طرف ثانویه یا ثالثیه ترانسفورماتورهای قدرت

درکنار ملزومات مربوط به زمین‌کردن سیستم قدرت، در پستهای فشارقوی همواره مجموعه‌ای از بارهای LVAC وجود دارند که بایستی با ولتاژ ۴۰۰ ولت سه‌فاز و یا ۲۳۰ ولت تکفاز تغذیه شوند. این بارها شامل موتورهای الکتریکی، پمپها و فنها، سیستم روشنایی، سرویس ساختمانهای اداری و ... می‌باشند. جهت تأمین مصارف فوق لازم است که ترانسفورماتوری (ترانسفورماتور کمکی) در داخل پست نصب گردد تا پایین‌ترین سطح ولتاژ ترانسفورماتور قدرت را به ولتاژ قابل مصرف تبدیل نماید.

درحال حاضر ترانسفورماتورهای زمین وکمکی هم به صورت مجزا و هم بصورت کمپکت و به عنوان یک واحد با نام ترانسفورماتور زمین- کمکی ساخته می‌شوند. ترانسفورماتور زمین- کمکی علاوه برایجاد نقطه نوترال مصنوعی، سیم‌پیچی نیز برای تغذیه بارهای LVAC دارد و به عنوان ترانسفورماتور کمکی نیز بکار می‌رود.

۱-۲- ساختمان ترانسفورماتور زمین- کمکی

ترانسفورماتور زمین- کمکی از نوع ستونی[1] و روغنی بوده که اتصال اولیه آن اکثراً بصورت زیگزاگ و اتصال ثانویه ستاره است. هر چند که نوع خشک این ترانسفورماتورها نیز وجود دارد اما استفاده از نوع روغنی ارجحیت دارد. جهت کاهش اثرات فرورزونانس، سیم‌پیچ اولیه را می‌توان بصورت ستاره زمین شده نیز نصب کرد. دراین حالت درصورت عدم تقارن بار ثانویه، جریان توالی صفر عبور کرده که باید روشی جهت رفع این مشکل اتخاذ گردد که معمولاً توسط یک سیم‌پیچ مثلث اضافه قابل حل است.

1.Core type

نقطه نوترال اتصال زیگزاگ بصورت مستقیم و یا ازطریق یک امپدانس به زمین متصل می‌شود و سیم‌پیچ ستاره تأمین‌کننده بارهای ولتاژ پایین سه فاز و تکفاز خواهد بود.

درصورتی که ترانسفورماتور صرفاً به عنوان ترانس زمین استفاده شود، اتصال آن می‌تواند زیگزاگ یا از نوع دو سیم پیچ بصورت ستاره- مثلث باشد.

۱-۳- مشخصه‌های ترانسفورماتور زمین- کمکی

مهمترین مشخصه ترانسفورماتور زمین- کمکی راکتانس مؤلفه صفر آن است. قسمت عمده راکتانس مؤلفه صفر در یک سیستم با ترانسفورماتور زمین- کمکی، مربوط به راکتانس این ترانسفورماتور است. انتخاب مقدار راکتانس صفر ترانسفورماتور زمین- کمکی بستگی به راکتانس توالی مثبت سیستم و ترانسفورماتور اصلی و میزان قابل تحمل جریان اتصال کوتاه دارد. اگر ترانسفورماتور زمین- کمکی بطور مستقیم به زمین وصل شود، تشکیل یک سیستم زمین راکتانسی را می‌دهد.

بدیهی است در صورتی که ترانسفورماتور اصلی بصورت ستاره مستقیماً زمین شده باشد دیگر نیازی به استفاده از ترانسفورماتور زمین نیست.

۱-٤- تعاریف

۱-٤-۱- سیم‌پیچ اصلی[1]

سیم‌پیچی که ترمینالهای آن به فازهای سیستم اصلی که قرار است زمین شود، متصل می‌شود.

۱-٤-۲- ولتاژ نامی

ولتاژ کار عادی ترانسفورماتور در فرکانس نامی.

۱-٤-۳- جریان نوترال نامی

جریانی که از نوترال سیم‌پیچ اصلی برای یک مدت زمان مشخص عبور می‌کند.

۱-٤-٤- جریان دائمی نامی[2]

جریان پیوسته در فرکانس نامی، متناظر با توان نامی سیم‌پیچ ثانویه.

۱-٤-٥- امپدانس مؤلفه صفر

سه برابر امپدانسی که بین ترمینال نوترال و ترمینالهای خط درحالتی که به هم متصل شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شود.

1. Main winding
2.Rated continuous current

۱-٤-٦- ظرفیت کوتاه مدت[1]

حاصلضرب ولتاژ فاز به زمین برحسب کیلوولت در حداکثر جریان اتصال زمین ترانسفورماتور.

۱-٤-۷- ظرفیت دائم

منظور از ظرفیت دائم (پیوسته) ترانسفورماتور زمین- کمکی، حداکثر ظرفیت آن به طور دائم است بدون‌آنکه افزایش دمای ترانس از حد مجاز خود تجاوز نماید.

۱-٤-۸- سیستم زمین ایزوله[2]

سیستمی که نقطه نوترال آن بجز برای اتصالهای امپدانس بالا به جهت مقاصد حفاظتی یا اندازه‌گیری به زمین متصل نیست.

۱-٤-۹- سیستم مستقیماً زمین‌شده[3]

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

۱-٤-۱۰- سیستم زمین‌شده با امپدانس[4]

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

۱-٤-۱۱- زمان نامی[5]

مدت زمانی که نوترال ترانسفورماتور می‌تواند جریان نامی را تحمل کند.

۱-٤-۱۱- حداکثر ولتاژ سیستم (U_m)

حداکثر ولتاژ مؤثر فاز- فاز است که تحت شرایط عادی کار سیستم، در هر نقطه از شبکه و در هر لحظه ممکن است بوجود آید. مقدار حداکثر ولتاژ سیستم براساس ولتاژ نامی برای ۲۰ کیلوولت برابر ۲۴ کیلوولت، برای ۳۳کیلوولت برابر ۳۶ کیلوولت و برای ۶۳(۶۶) کیلوولت برابر ۷۲/۵ کیلوولت می‌باشد.

1. Short term capacity
2. Isolated neutral system
3. Solidly earthed neutral system
4. Impedance earthed neutral system
5. Rated time

فصل ۲

معيارهاي طراحي و مهندسي انتخاب ترانسفورماتور زمين - كمكي

مقدمه

دراین فصل نحوه طراحی و انتخاب ترانسفورماتور زمین- کمکی در پستهای فشارقوی مورد بررسی قرار می‌گیرد. درانتهای فصل یک نمونه طراحی نیز ارائه خواهد شد.

۲-۱- کلیات

در پستهای فشارقوی عموماً از دو ترانسفورماتور قدرت و به تبع آن از دو ترانسفورماتور زمین- کمکی استفاده می‌شود. یکی از این ترانسفورماتورها همواره در مدار بوده و وظیفه برقرسانی را به عهده دارد و دیگری به عنوان پشتیبان آماده به کار می‌باشد. هریک از ترانسفورماتورهای زمین- کمکی باید قادر به تأمین کل بارهای موردنیاز سیستم LVAC پست باشد. ترانسفورماتورهای زمین- کمکی اساساً مشابه ترانسفورماتورهای معمولی نوع هسته‌ای هستند که به دو صورت روغنی و خشک ساخته می‌شوند. چون ترانسفورماتورهای خشک جهت مصارف فضای باز دارای طول عمر کمتری در مقایسه با ترانسفورماتورهای نوع روغنی می‌باشند، عمدتاً از نوع روغنی استفاده می‌شود. به دلیل ظرفیت پایین این ترانسفورماتورها، سیستم خنک‌کنندگی همواره از نوع گردش طبیعی هوا و روغن (ONAN) است.

ولتاژ نامی سیم‌پیچ اولیه معمولاً ۲۰(۳۳) کیلوولت و در پاره‌ای موارد ۶۳ کیلوولت است. در پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، ترانسفورماتورهای قدرت را با سه سیم‌پیچ نصب می‌کنند که از سیم‌پیچ سوم جهت تغذیه اولیه ترانسفورماتور زمین_کمکی در ولتاژ ۲۰ (۳۳)کیلوولت استفاده می‌شود. در سایر پستها، اولیه ترانسفورماتور زمین کمکی، مستقیماً به ثانویه ترانسفورماتور قدرت متصل می‌شود. ولتاژ نامی ثانویه ترانسفورماتور زمین- کمکی همواره ۴۰۰ ولت خواهد بود.

اتصال اولیه ترانسفورماتورهای زمین- کمکی معمولاً زیگزاگ بوده و ازآنجا که وجود نقطه نول در ثانویه از جهت تغذیه بارهای تکفاز اهمیت دارد، اتصال ثانویه ستاره می‌باشد.

گروه‌برداری ترانسفورماتورهای زمین- کمکی عمدتاً بصورت ZNyn11 و یا ZNyn5 می‌باشد. گرچه اتصالات ZNyn1 و ZNyn7 نیز می‌تواند مقدور باشد.

۲-۲- ظرفیت نامی

ظرفیت ترانسفورماتور زمین- کمکی در شرایط عادی وابسته به مقدار مصارف داخلی پست می‌باشد. برای هر ترانسفورماتور زمین- کمکی دو نوع ظرفیت به شرح زیر تعریف می‌شود:

- ظرفیت کوتاه مدت
- ظرفیت پیوسته

ظرفیت ترانسفورماتور باید به گونه‌ای انتخاب شود که در شرایط عادی مانند یک ترانسفورماتور توزیع عمل کند و در شرایط اتصالی نیز استحکام کافی ازنظر مقاومت حرارتی و مکانیکی داشته باشد. ضمناً این ظرفیت بایستی با توجه به بارهای پست و به صورت بهینه محاسبه شده و از بین مقادیر استاندارد زیر برحسب کیلوولت آمپر انتخاب شود:

۸۰۰ و ۶۳۰ و ۵۰۰ و ۴۰۰ و ۳۱۵ و ۲۵۰ و ۲۰۰ و ۱۶۰ و ۱۰۰ و ۵۰

۲-۲-۱- ظرفیت کوتاه مدت

این ظرفیت، برحسب کیلوولت آمپر (KVA) بیان می‌شود و برابر است با حاصلضرب ولتاژ فاز به زمین برحسب کیلوولت در بیشترین جریان اتصال زمین ترانسفورماتور.

به عنوان مثال، اگر یک ترانسفورماتور زمین- کمکی در شبکه ۲۰ کیلوولتی (ولتاژ اولیه ترانس زمین- کمکی) مورد استفاده قرار گیرد که بیشترین جریان اتصالی زمین درآن ۱۰۰ آمپر است، ظرفیت کوتاه مدت آن $\frac{20\times100}{\sqrt{3}}=1156$ کیلوولت آمپر خواهد بود.

مدت زمان عبور جریان اتصالی، بستگی به نحوه طراحی رله‌های حفاظتی و میزان تنظیم آنها درسیستم مورد نظر دارد. هرقدر این مدت زمان بزرگتر باشد، طبعاً ابعاد و قیمت ترانسفورماتور افزایش می‌یابد و درنتیجه ظرفیت پیوسته آن نیز زیادتر می‌شود. یادآور می‌گردد که قیمت یک ترانسفورماتور زمین به طور تقریبی با ریشه دوم زمان نامی (بند ۱-۴-۱۱) آن رابطه مستقیم دارد.

اگر ترانسفورماتور زمین- کمکی، به طور مستقیم به زمین وصل شود، همانطور که قبلاً اشاره شد، تشکیل یک سیستم زمین راکتانسی را می‌دهد که می‌توان با تعیین امپدانس صفر آن میزان جریان اتصال زمین سیستم را به نحوی معین نمود که میزان اضافه ولتاژ گذرای سیستم، از حد مجاز تجاوز ننماید و از آنجا ظرفیت کوتاه‌مدت ترانسفورماتور را محاسبه کرد.

برای تعیین ظرفیت کوتاه‌مدت، می‌توان ابتدا حدی برای جریان خطای زمین انتخاب کرده و از روی آن ظرفیت کوتاه مدت را محاسبه کرد. برای تعیین این جریان بایستی نیازمندیهای مربوط به نحوه زمین شدن سیستم مشخص گردد. مطابق توصیه استاندارد IEEE شماره C62.92 برای تضمین $\frac{X_0}{X_1}<10$ بایستی جریان خطای تکفاز به زمین را به ۲۵ درصد جریان خطای سه فاز محدود کرد. در این صورت اضافه‌ولتاژهای ناشی از بروز خطا به مقادیر قابل تحمل تجهیزات محدود می‌گردد.

در عمل استفاده از معیار فوق می‌تواند منجر به انتخاب ظرفیت بزرگی برای ترانسفورماتور زمین گردد. با توجه به استفاده از برقگیر در سمت فشار متوسط کلیه پستهای فشارقوی، می‌توان مقادیر بزرگتری برای $\frac{X_0}{X_1}$ نیز در نظر گرفت. به طور معمول در پستهای فشارقوی جریان خطای تکفاز به زمین (جریان نامی ترانسفورماتور زمین) به جریان نامی ترانسفورماتور قدرت محدود می‌گردد (۸۰٪ تا ۱۲۰٪). با استفاده از این معیار می‌توان به ظرفیت مناسبی برای ترانسفورماتور زمین دست یافت اما بایستی توجه کرد که در این حالت معمولاً $\frac{X_0}{X_1}>10$ بوده و لذا بایستی به کمک برقگیر اضافه ولتاژها را کنترل کرد. در نهایت لازم است که این ظرفیت کوتاه‌مدت با ظرفیت پیوسته ترانسفورماتور که در بخش بعد تعریف می‌شود هماهنگی داشته باشد.

۲-۲-۲- ظرفیت پیوسته

منظور از ظرفیت پیوسته ترانسفورماتور زمین- کمکی، بیشترین جریان عبوری از آن به طور دائم می‌باشد، بدون‌آنکه افزایش دمای آن از حد مجاز خود تجاوز نماید. در کنار تغذیه داخلی پست عوامل زیر نیز در عبور پیوسته جریان از ترانسفورماتور دخیل هستند:

- نامتعادلی بارهای خازنی
- جریان هارمونیک سوم
- وجود یک اتصال زمین با مقاومت بالا که توسط رله‌های حفاظتی آشکار نشده باشد.

درحقیقت ظرفیت پیوسته ترانسفورماتور زمین، وابسته به ظرفیت کوتاه مدت و زمان نامی آن است. ظرفیت پیوسته و کوتاه مدت ترانسفورماتورهای زمین- کمکی، مطابق جدول زیر به هم وابسته‌اند (استاندارد IEEE شماره ۳۲).

جدول ۲-۱: رابطه ظرفیت پیوسته و کوتاه مدت ترانسفورماتور زمین- کمکی

زمان نامی ترانسفورماتور	ظرفیت با جریان پیوسته ترانس بر حسب درصد ظرفیت یا جریان کوتاه مدت
۱۰ ثانیه	٪۳
۳۰ ثانیه	٪۵
۶۰ ثانیه	٪۷
۱۰ دقیقه	٪۳۰
زمان مداوم	٪۳۰

۲-۳- راکتانس

مقدار راکتانس ترانسفورماتور تابعی از راکتانس توالی مثبت سیستم (X_1) می‌باشد. اگر بخواهیم ترانسفورماتور زمین- کمکی، سیستم مورد نظر را به صورت راکتانسی زمین نماید، میزان راکتانس آن باید به گونه‌ای باشد که نسبت X_0/X_1 سیستم بیش از ۱۰ و یا ترجیحاً بیش از ۳ نباشد تا از هرگونه افزایش ولتاژ ناشی از قطع جریان خطا جلوگیری به عمل آید.

محدوده ۳ برای نسبت X_0/X_1 همراه با حداکثر مقدار ۱ برای R_0/X_1، درمجموع معیار مربوط به یک سیستم کاملاً زمین‌شده را تأمین می‌نماید. قسمت عمده X_0 درنسبت یادشده در یک سیستم با ترانسفورماتور زمین- کمکی، مربوط به راکتانس این ترانسفورماتور است. در سیستمی که ترانسفورماتور زمین- کمکی در آن تنها منبع زمین‌کننده محسوب می‌شود (امپدانس مؤلفه صفر سیستم تنها شامل امپدانس مؤلفه صفر ترانس زمین است)، میزان راکتانس ترانسفورماتور (X_{gt}) درهرفاز، برحسب اهم، برای تأمین هر نسبتی از $\frac{X_0}{X_1}$ سیستم از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$X_{gt} = \frac{1000 \times E^2 (\frac{X_0}{X_1})}{KVA_{SC}} \qquad (۱-۲)$$

که درآن:

E: ولتاژ فازبه فاز سیستم برحسب ولت

KVA_{SC}: سطح اتصال کوتاه سه فاز متقارن سیستم برحسب کیلوولت آمپر است.

در مواردی که ترانسفورماتور زمین به طور مستقیم زمین می‌شود، باید درانتخاب راکتانس آن دقت به عمل آید که مقدار آن به اندازه کافی کوچک باشد تا جریان اتصالی کافی جهت به کارانداختن رله‌های حفاظتی از آن عبور نماید.

۲-٤- استقامت عایقی بوشینگها و ترمینالها

سطح استقامت عایقی ترمینالهای فاز سیم‌پیچ اولیه باید براساس استاندارد IEC شماره ۳-۶۰۰۷۶ و جدول (۲-۲) انتخاب شود. نحوه انتخاب سطوح عایقی برای ولتاژهای ۲۴ و۳۶ کیلوولت بستگی به میزان حادبودن شرایط اضافه ولتاژ در سیستم و اهمیت تأسیسات مورد نظر دارد که دراین رابطه استاندارد IEC شماره ۱-۶۰۰۷۱ دررابطه با هماهنگی عایقی راهنما خواهد بود.

جدول ۲-۲: استقامت عایقی ترمینالهای فاز سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور زمین- کمکی

حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت)	ولتاژ تحمل فرکانس قدرت (کیلوولت)	ولتاژ تحمل در برابرموج ضربه صاعقه (کیلوولت پیک)	
۲۴	۵۰	۹۵	۱۲۵
۳۶	۷۰	۱۴۵	۱۷۰
۷۲/۵	۱۴۰	۳۲۵	

سطح عایقی استقامت ترمینال ولتاژ پایین در برابر ولتاژ فرکانس قدرت همواره ۳ کیلوولت خواهد بود.

به طور معمول سطح عایقی بوشینگ را یک مرتبه بالاتر از سطح عایقی سیم‌پیچ در نظر می‌گیرند. درکنار این مسأله بایستی دقت شود که استقامت عایقی فاصله هوایی [1]بوشینگ وابسته به ارتفاع بوده و به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع نسبت به سطح ۱۰۰۰ متر، فاصله هوایی بایستی یک درصد افزایش یابد. جدول (۲-۳) سطوح عایقی بوشینگها را مطابق استاندارد IEC شماره ۶۰۱۳۷ نشان می‌دهد.

جدول ۲-۳: سطوح عایقی بوشینگها

حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت)	ولتاژتحمل فرکانس قدرت (کیلوولت)	ولتاژ تحمل در برابر موج ضربه صاعقه (کیلوولت پیک)
۲۴	۵۰	۱۲۵
۳۶	۷۰	۱۷۰
۷۲/۵	۱۴۰	۳۲۵

استقامت عایقی نقطه صفر بستگی به این دارد که این نقطه به طور دائم زمین می‌شود و یا قابل بازشدن است. در صورتیکه نقطه صفر ترانسفورماتور قابل بازشدن از زمین باشد سطح عایقی آن مشابه سطح عایقی فازها و مطابق جدول (۲-۲) انتخاب می‌شود. جدول (۲-۴) انتخاب سطح عایقی نقطه صفر ترانسفورماتور زمین- کمکی را درحالتی که نقطه صفر ترانسفورماتور به طور مستقیم و دائم به زمین وصل شد مشخص می‌نماید.

1. Arcing distance

جدول ۲-٤: انتخاب سطح عایقی نقطه صفر ترانسفورماتور زمین- کمکی

حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت مؤثر)	افزایش ولتاژ فازهای سالم در هنگام خطای تکفاز به زمین (کیلوولت مؤثر)	
ستون ۱	ستون ۲	ستون ۳
۲۴	۱۲	۷/۲
۳۶	۲۴	۷/۲
۷۲/۵	۳۶	۱۲

در جدول (۲-۴) برای انتخاب سطح عایقی نقطه صفر مطابق با معیار ولتاژ اتصالی، حداکثر ولتاژ مؤثری که ممکن است بین ترمینال فازهای سالم و زمین در شرایط اتصالی تک فاز وجود داشته باشد تعیین می‌گردد. اگر این ولتاژ بین مقادیر مندرج در ستونهای ۲و۳ متناظر با بالاترین ولتاژ سیستم قرارگیرد، سطح استقامت عایقی نقطه صفر برابر با مقدار ستون ۲ انتخاب می‌شود. اگر این ولتاژ کمتراز مقدار ستون ۳ باشد، سطح استقامت عایقی نقطه صفر برابر با مقدار مندرج در ستون ۳ انتخاب می‌شود و اگر ولتاژ فازهای سالم از مقدار ستون ۲ تجاوز کند، سطح استقامت عایقی نقطه صفر برابر با بالاترین ولتاژ سیستم در ستون ۱ خواهد بود. این جدول از استاندارد IEEE شماره ۳۲ برداشت شده است.

۲-۵- حدود مجاز افزایش دما

حدود مجاز افزایش درجه حرارت کاملاً وابسته به شرایط محیطی است. شرایط محیطی استاندارد به شرح زیر می‌باشد:

- حداکثر درجه حرارت مطلق: ۴۰ درجه سانتی‌گراد
- حداکثر درجه حرارت متوسط ماهانه:۳۰ درجه سانتی‌گراد
- حداکثر درجه حرارت متوسط سالیانه: ۲۰ درجه سانتی‌گراد
- ارتفاع کمتراز ۱۰۰۰ متر از سطح دریا

سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتورهای زمین- کمکی همواره ازنوع ONAN می‌باشد و اگر در محیطهایی با درجه حرارتهای بیشتر از مقادیر استاندارد نصب شوند، میزان مجاز افزایش درجه حرارت روغن و سیم‌پیچ بایستی دقیقاً به مقدار میزان درجه حرارت افزایش یافته محیط کاهش داده شود.

چنانچه ترانسفورماتور برای پستی طراحی گردد که ارتفاع آن از ۱۰۰۰ متر بیشتر باشد، مقدار افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ و روغن بایستی به میزان یک درجه سانتی‌گراد به ازاء هر ۴۰۰ متر افزایش ارتفاع کاهش داده شود.

حدود مجاز افزایش دمای اجزاء مختلف ترانسفورماتور زمین برطبق شرایط IEC شماره ۲-۶۰۰۷۶ مطابق جدول (۲-۵) می‌باشد.

جدول ۲-۵: افزایش دمای مجاز اجزای ترانسفورماتور زمین_کمکی روغنی

اجزاء ترانسفورماتور	حداکثر افزایش دما (درجه سانتی‌گراد)
سیم‌پیچها (عایق کلاس A و اندازه‌گیری با روش مقاومت)	۶۵
روغن سطح بالای مخزن (اندازه‌گیری با روش ترمومتر)	۶۰ : وقتی ترانسفورماتور مجهز به منبع انبساط روغن است. ۵۵: وقتی که ترانسفورماتور مجهز به منبع انبساط روغن نیست یا بصورت تانک بسته می‌باشد.
هسته، قسمتهای فلزی و سایر قسمتها	تاحدی که به هسته، اجزاء فلزی و تجهیزات جانبی آسیبی نرسد.

دمای سیم‌پیچ ترانسفورماتور زمین- کمکی روغنی پس از بارگذاری کوتاه مدت تا ۱۰ ثانیه نباید از مقادیر جدول (۲-۶) (استاندارد IEC شماره ۵-۶۰۰۷۶) تجاوز نماید (کلاس حرارتی روغن: A). در مورد نحوه محاسبه این دما می‌توان به استانداردهای ترانسفورماتور قدرت رجوع نمود.

جدول ۲-٦: دمای مجاز سیم‌پیچ

نوع هادی سیم‌پیچ	
مس	آلومینیم
۲۵۰ °C	۲۰۰ °C

۲-٦- فاصله خزشی بوشینگها

سطوح عایقی بوشینگها در بخش (۲-۴) ارائه شده است. استاندارد IEC شماره ۶۰۱۳۷ مقادیر نامی ولتاژ و جریان بوشینگها را ارائه داده که بایستی در مرحله انتخاب، این مقادیر مطابق با آن انتخاب شوند. طول فاصله خزشی[1] مطابق بارابطه (۲-۲) تعیین می‌شود:

$$\text{طول فاصلهٔ خزشی} = d_{CS}(mm/kV) \times U_m(kV) \qquad (۲-۲)$$

دراین رابطه d_{CS} حداقل فاصلهٔ خزشی است که باتوجه به سطح آلودگی منطقه و به کمک جدول (۲-۷) تعیین می‌گردد. U_m نیز حداکثر ولتاژ سیستم است.

1.Creepage distance

جدول ۲-۷: تعیین حداقل فاصلهٔ خزشی (d_{CS})

سطح آلودگی	حداقل فاصلهٔ خزشی mm/kV
سبک	۱۶
متوسط	۲۰
سنگین	۲۵
خیلی سنگین	۳۱

جهت مشخص‌نمودن سطح آلودگی مناطق مختلف ایران می‌توان به گزارش "طبقه‌بندی شرایط اقلیمی و محیطی" از سری همین گزارش‌ها رجوع نمود.

۲-۷- تپ چنجر

تپ چنجر درطرف اولیه ترانسفورماتور زمین- کمکی نصب می‌گردد. معمولاً تپ چنجر بصورت غیر قابل عمل در زیر ولتاژ[1] و با دامنه ٪۲/۵ × ۲ ± خواهد بود که جوابگوی نیازهای پست می‌باشد. تعبیه تپ چنجر الزامی نبوده و بنا به نیاز می‌توان آن را درنظر گرفت.

۲-۸- امپدانس ولتاژ

امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین- کمکی که ولتاژ اولیه آنها ۲۰ (۳۳)کیلوولت می‌باشد از ۴ تا ۶ درصد متغیر است و امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین- کمکی با ولتاژ اولیه ۶۳ کیلوولت ۶ تا ۱۰ درصد می‌باشد. حداقل مقادیر این امپدانسها به حسب ظرفیت مطابق جدول زیر می‌باشد.

جدول ۲-۸: امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین- کمکی (حداقل مقدار)

ظرفیت نامی (کیلوولت آمپر)	امپدانس ولتاژ (٪)
تا ۶۳۰	۴
از ۶۳۱ تا ۱۲۵۰	۵
از ۱۲۵۰ تا ۳۱۵۰	۶/۲۵

۲-۹- قابلیت تحمل جریان پیک اتصالی به زمین

ترانسفورماتور زمین، باید بدون هیچ‌گونه آسیب مکانیکی قادر به تحمل حداکثر جریان‌گذرای اتصالی زمین[2] که در شرایط اتصالی با راکتانسهای فوق گذرا در سیستم ایجاد می‌شود، باشد. مقدار این جریان را که باتوجه به نسبت $\frac{X}{R}$ سیستم میرا می‌شود می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$I_C = k \times \sqrt{2} \times I_n \qquad (۲-۳)$$

1.Off circuit
2.Crest of the offset current wave

که درآن:

I_C: حداکثر جریان گذرای اتصالی زمین (جریان دینامیکی)

I_n: جریان کوتاه مدت ترانسفورماتور می‌باشد.

k: ضریبی که از جدول زیر بدست می‌آید.

جدول ۲-۹: ضریب k برحسب $\frac{X}{R}$ سیستم

$\frac{X}{R}$	۱	۱/۵	۲	۳	۴	۵	۶	۸	۱۰	۱۴	>۱۴
$k \times \sqrt{2}$	۱/۵۱	۱/۶۴	۱/۷۶	۱/۹۵	۲/۰۹	۲/۱۹	۲/۲۷	۲/۳۸	۲/۴۶	۲/۵۵	۲/۵۵

جدول فوق از استاندارد IEC شماره ۵- ۶۰۰۷۶ استخراج شده است.

۲-۱۰- ترمینال‌بندی طرف اولیه و ثانویه

در ترانسفورماتورهای زمین- کمکی که ولتاژ سیم‌پیچ اولیه آنها تا ۳۳ کیلوولت می‌باشد، فاصله کم شینه و بوشینگهای اولیه مشکلاتی را از نظر اتصال کوتاه اولیه فراهم نموده است. جهت حل این مشکلات، تبدیل شینه‌ها به کابل و بکاربردن جعبه کابل جهت پوشش ترمینال‌بندی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور زمین- کمکی ضروری می‌باشد.

در ترانسفورماتورهای قدرت دو سیم‌پیچه Yd با ولتاژ ثانویه ۶۳ کیلوولت که ترانسفورماتور زمین- کمکی به سیم پیچ مثلث آنها متصل می‌شود، معمولاً فاصله فازهای سیم‌پیچ مثلث به اندازه کافی می‌باشد. لذا در ترمینال‌بندی طرف اولیه ترانسفورماتور زمین- کمکی متصل به اینگونه ترانسفورماتور قدرت، جعبه کابل لازم نمی‌باشد ولی استفاده از جعبه کابل برای ترمینال ثانویه با امکان نصب فیوز یا MCCB توصیه می‌شود.

۲-۱۱- استقامت سیم‌پیچ‌ها در برابر اتصال کوتاه

سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه ترانسفورماتور زمین- کمکی بایستی در برابر جریان اتصال کوتاه شبکه مربوطه مقاوم باشد. سطح اتصال کوتاه شبکه بستگی به محل پست داشته و مقدار آن می‌تواند ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۳۱/۵ و ۴۰ کیلوآمپر و به مدت ۲ ثانیه باشد (IEC شماره ۵-۶۰۰۷۶).

۲-۱۲- سطح صدا[1]

سطح قابل قبول صدا در ترانسفورماتورهای زمین- کمکی وابسته به ظرفیت آنها بوده و این سطوح مجاز با توجه به استاندارد NEMA شماره TR1 مطابق جدول (۲-۱۰) می‌باشد. اندازه‌گیری سطح صدا بایستی مطابق با استاندارد IEC شمارهٔ ۱۰-۶۰۰۷۶

1. Sound pressure level

انجام شود. لازم به ذکر است که سطوح مجاز ذکرشده مربوط به عملکرد عادی (تغذیه مصارف داخلی) ترانسفورماتور زمین- کمکی می‌باشد.

جدول ۲-۱۰: سطوح مجاز صدای ترانسفورماتورهای زمین_کمکی برحسب ظرفیت پیوسته

سطح متوسط مجاز صدا (دسی بل)	ظرفیت پیوسته ترانس (کیلوولت آمپر)
۴۸	۵۰-۰
۵۱	۱۰۰-۵۱
۵۵	۳۰۰-۱۰۱
۵۶	۵۰۰-۳۰۱
۵۷	۷۵۰
۵۸	۱۰۰۰

۲-۱۳- نمونه‌ای از طراحی و انتخاب مشخصه‌های ترانسفورماتور زمین- کمکی

هدف طراحی ترانسفورماتور زمین- کمکی برای یک پست ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت است که سیم‌پیچ سوم ترانسفورماتور قدرت آن ۲۰ کیلوولت است. مصرف داخلی پست KVA ۳۰۰ و زمان تحمل جریان اتصالی توسط ترانسفورماتور زمین- کمکی یک دقیقه می‌باشد. راکتانسهای توالی مثبت، منفی و صفر شبکه در سمت ۲۰ کیلوولت به ترتیب ۳۰ و ۳۰ و ۲۰ اهم می‌باشند.

شرایط محیطی محل پست به شرح زیر هستند:

- حداکثر درجه حرارت محیط :$50^{\circ}C$
- حداکثر متوسط روزانه درجه حرارت محیط: $40^{\circ}C$
- حداکثر متوسط سالانه درجه حرارت محیط: $30^{\circ}C$
- ارتفاع از سطح دریا: ۱۵۰۰ متر

۲-۱۳-۱- مشخصات عمومی

ترانسفورماتور زمین- کمکی انتخابی ازنوع روغنی، با منبع انبساط، سه فاز، ۵۰ هرتز، ONAN و قابل نصب در فضای آزاد خواهد بود. گروه‌برداری این ترانسفورماتور ZNyn11 و دارای تپ چنجر غیرقابل عمل در زیر بار در ۵ مرحله و با پله‌های $2 \times 2/5\% \pm$ است.

مقدار امپدانس ولتاژ ۶٪ انتخاب می‌شود و سطح اتصال کوتاه قابل تحمل برابر ۲۵ کیلوآمپر. جهت جلوگیری از اتصال کوتاه درطرف ۲۰ کیلوولت لازمست که ترمینال‌بندی طرف اولیه بصورت جعبه کابل باشد. جهت آسان‌نمودن ارتباط معمولاً ترمینال طرف ثانویه بصورت جعبه کابل با امکان نصب فیوز یا MCCB ثانویه درنظرگرفته می‌شود.

۲-۱۳-۲- تعیین ظرفیت

فرض کنیم که مطلوب، زمین کردن سیستم بطور مؤثر باشد. دراینصورت بایستی شرط $\frac{X_0}{X_1} \le 3$ برقرار باشد. بنابراین:

$\frac{X_{0T}+20}{30} \le 3 \Rightarrow X_{0T} = 70$ اهم

جریان عبوری از نوترال ترانس برابر خواهد بود با:

$$I_{nt} = 3 \times \frac{20kV}{\sqrt{3} \times X_0} = \frac{\sqrt{3} \times 20KV}{X_0} = 495 \quad A$$

به این ترتیب ظرفیت کوتاه مدت این ترانس بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ظرفیت کوتاه مدت} = \frac{20 \times 495}{\sqrt{3}} = 5714 \quad KVA$$

باتوجه به جدول (۲-۱) ظرفیت پیوسته این ترانس برابر خواهد بود با:

ظرفیت پیوسته = ۵۷۱۴ × ۷٪ = ۴۰۰ KVA

باتوجه به اینکه تغذیه داخلی پست شامل عدم تعادل بارها نیز می‌باشد این ظرفیت جهت تغذیه مصارف داخلی پست مناسب خواهد بود.

اگر ظرفیت پیوسته مرتبط با ظرفیت کوتاه مدت از میزان بار دائم کمتر باشد، باید درابتدا ظرفیت پیوسته را بر مبنای بار دائم طراحی نمود. دراین حالت حتماً شرط $\frac{X_0}{X_1} \le 3$ برقرار خواهد بود.

۲-۱۳-۳- استقامت عایقی

باتوجه به جدول (۲-۲) استقامت عایقی ترمینالهای فاز سیم‌پیچ اولیه را می‌توان برابر ۱۲۵ کیلوولت پیک درمقابل صاعقه و ۵۰ کیلوولت مؤثر درمقابل فرکانس شبکه درنظر گرفت.

ولتاژ تحمل فرکانس قدرت ترمینال فشار ضعیف به طور ثابت ۳ کیلوولت خواهد بود.

باتوجه به جدول (۲-۳) استقامت عایقی بوشینگها برابر ۷۰ کیلوولت درمقابل موج فرکانس قدرت و ۱۴۵ کیلوولت پیک درمقابل صاعقه انتخاب می‌گردد.

از آنجائیکه نقطه صفر مستقیماً زمین می‌شود جهت اطمینان کافی می‌توان از ستون دوم جدول (۲-۴) استفاده نمود. بنابراین سطح عایقی نقطه نوترال را برابر ۱۲kV درنظر می‌گیریم.

فاصله خزشی بوشینگها با فرض آلودگی سنگین در محل پروژه نیز بصورت زیر حساب می‌شود:

۲۴×۲۵ (mm/kV) =۶۰۰mm

۲-۱۳-٤- حدود مجاز افزایش درجه حرارت

باتوجه به شرایط محیطی محل نصب، چون حداکثر درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب‌شده، بنابراین افزایش دمای سیم‌پیچ و روغن باید ۱۰ درجه کاهش داده شود. بنابراین باتوجه به جدول (۲-۵) خواهیم داشت:

حداکثر افزایش دمای سیم‌پیچ: ۶۵-۱۰=۵۵ $^{\circ}C$

حداکثر افزایش دمای روغن: $۶۰-۱۰=۵۰\ ^{\circ}C$

ازآنجا که ارتفاع محل نصب بیش از ۱۰۰۰ متر می‌باشد لذا دماهای مجاز بایستی نسبت به این ارتفاع اصلاح شوند:

حداکثر افزایش دمای مجاز سیم‌پیچ: $۵۵ - ۱/۲۵ = ۵۳/۷۵\ ^{\circ}C$

حداکثر افزایش دمای مجاز روغن: $۵۰ - ۱/۲۵ = ۴۸/۷۵\ ^{\circ}C$

فصل ۳

دستورالعملهاي بهره‌برداري و نگهداري ترانسفورماتور زمين - كمكي

مقدمه

در این فصل دستورالعملهای بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور زمین- کمکی ارائه می‌شود. همچنین نحوه بازدیدهای دوره‌ای و انجام سرویس روی ترانسفورماتورهای زمین- کمکی نیز از دیگر مباحث مطرح شده در این فصل خواهد بود.

۳-۱- کلیات

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

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

- عوامل جوی مانند باران، باد، درجه حرارت و ...
- عوامل داخلی شبکه مانند اضافه ولتاژهای ناشی از قطع و وصل کلیدها، تغییرات ناگهانی در پارامترهای سیستم و یا اختلال در سیستم (مانند اتصال کوتاه)
- عوامل ناشی از بهره‌برداری غیراصولی مانند عدم بازدید به موقع و صحیح 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 و ...

سرویس و تعمیرات به موقع و همچنین آزمونهای دوره‌ای و پیشگیرانه تجهیزات پستهای فشارقوی علاوه بر اینکه در سلامتی و طولانی‌شدن عمر آنها مؤثر است، از آسیب دیدن و یا تعمیرات اصلاحی مکرر و گسترش احتمالی عیب در سایر تجهیزات پست که می‌تواند سبب خروج طولانی مدت و یا غیرقابل بهره‌برداری شدن تجهیزات و یا قطع پستهای مهم شود نیز جلوگیری بعمل می‌آورد. لذا باید واحدهای تعمیراتی سرویس دوره‌ای، تعمیرات اساسی و آزمونها را با توجه به دو نوع دستگاه، عملکرد، شرایط محیطی و همچنین دستورالعملهای صادره از سوی سازندگان تجهیزات به اجرا گذارند.

۳-۲- نگهداری

نگهداری از ترانسفورماتور زمین- کمکی و رفع عیبهای احتمالی نیازمند انجام یکسری بازدیدهای دوره‌ای بوده که در زیر به طول دوره و مواردی که در هر بازدید بایستی مورد توجه قرار گیرد اشاره شده است.

۳-۲-۱- سرویسهای دوره‌ای ترانسفورماتور زمین- کمکی

- مراحل انجام کار

- بررسی وضع ظاهری ترانسفورماتور و آچارکشی کلیه تجهیزات جانبی

- کنترل نشتی روغن در قسمتهای فلنج، رادیاتورها، بدنه، بوشینگ‌ها، شیرها و واشرها.
- کنترل بدنه ترانسفورماتور و رادیاتورها از نظر خوردگی یا پریدگی یا پوسته‌شدن رنگ.
- کنترل وضعیت صحیح شیرهای پروانه‌ای و معمولاً باز یا بسته
- تمیزکردن گردوخاک و هواگیری رادیاتورها
- کنترل سطح روغن در کنسرواتور و تمیزنمودن نشان‌دهنده مربوطه
- کنترل رطوبت‌گیر و تمیزنمودن فیلتر سیستم تنفسی (سیلیکاژل) و تعویض رطوبت‌گیر یا احیاء
- کنترل نشان‌دهنده‌های درجه حرارت و عملکرد صحیح کنتاکتهای آلارم‌ها و تریپ
- کنترل سیم اتصال زمین از لحاظ شل‌شدگی و فرسودگی اتصالات و پارگی
- کنترل چرخ‌های ترانس و گریس‌کاری درصورت لزوم و عامل نگهدارنده چرخ‌ها (درصورت وجود)
- کنترل وضعیت ریل و فونداسیون ازنظر ترک و شکستگی یا نشست
- کنترل سطح روغن بوشینگ‌ها و هواگیری درصورت لزوم
- کنترل وضعیت حرارت در سطح بدنه و اتصالات بوسیله دستگاه ترموویژن
- تمیزنمودن مقره و شیشه نشان‌دهنده سطح روغن بوشینگها
- کنترل ترمینالهای بوشینگ‌ها و آچارکشی درصورت لزوم
- کنترل تابلو ازنظر رنگ، قفل و آب‌بندی
- کنترل مدارات روشنایی، هیتر، ترموستات و آچارکشی ترمینالها
- تمیزنمودن داخل تابلو و ترمینال‌ها و اتصالات
- کنترل مکانیزم و عملکرد رله بوخهلتز شامل مدار حفاظتی و کابل‌های اتصال و کنتاکتها و شناورهای آلارم و تریپ
- کنترل و آزمون وجود گاز درون رله بوخهلتس و تمیزنمودن شیشه نشان‌دهنده سطح روغن
- نمونه‌گیری روغن جهت آنالیز گازهای محلول در روغن و آزمایش عایقی
- اندازه‌گیری مقاومت عایقی
- کالیبره‌نمودن ترمومتر روغن

- مهارتهای لازم

- تکنسین برق: یک نفر
- کارگر ماهر: یک نفر

- ابزار و لوازم موردنیاز

جعبه ابزار کامل، دستگاه تست دی‌الکتریک روغن، اهم‌متر، ولت‌متر، آمپرمتر، کنتاکت‌شور، مگر، تلمبه باد، ظرف شیشه‌ای جهت گرفتن نمونه روغن، وسیله گرمکن روغن جهت تست نشان‌دهنده درجه حرارت، سیلیکاژل، دستگاه شستشوی تانک و دستگاه نسبت تبدیل، دستگاه اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی (tgδ)

۳-۲-۲- تعمیرات اساسی ترانسفورماتور زمین- کمکی

- مراحل اجرای کار

- حمل ترانس به کارگاه تعمیرات
- تخلیه روغن ترانس داخل تانک
- دمونتاژ ترانس
- شستشوی هسته و داخل تانک ترانس با روغن (لجن‌زدایی)
- بازدید و بررسی عایقهای سیم‌پیچ‌ها و ترمیم آنها درصورت نیاز
- تعویض قطعات و واشرهای مورد نیاز
- جازدن هسته درموقعیت خود (مونتاژ)
- وکیوم نمودن به مدت مورد نیاز طبق کاتالوگ مربوطه
- تزریق روغن به ترانس و هواگیری
- تصفیه روغن ترانس جهت رطوبت زدایی
- آزمون الکتریکی ترانس
- رنگ‌آمیزی درصورت نیاز
- آماده نمودن جهت بهره‌برداری
- تکمیل و تنظیم فرمهای آزمون مربوطه

- آزمونها

- آزمون مقاومت عایقی سیم‌پیچ‌ها
- آزمون نسبت تبدیل و گروه برداری
- آزمون رله‌های حفاظتی و کنترلی
- آزمون کامل روغن (الکتریکی، شیمیایی و فیزیکی)
- آزمون مقاومت اهمی سیم‌پیچها در تپهای مختلف (DC)
- آزمون مقاومت عایقی (تانژانت دلتا)

- مهارتهای لازم

- کارشناس : یک نفر
- تکنسین : دونفر
- کارگر ماهر: یک نفر

- ابزار و لوازم موردنیاز

دستگاه تست دی‌الکتریک، اهم‌متر، ولت‌متر، آمپرمتر، مگر، دستگاه تست نسبت تبدیل، جعبهٔ ابزار کامل روغن ترانس، خودرو، جرثقال.

۳-۲-۳- دستورالعمل بازدیدهای دوره‌ای ترانسفورماتور زمین- کمکی

فرمهای بازدیدهای روزانه، هفتگی و ماهیانه از ترانسفورماتور زمین_کمکی در پیوست این فصل آمده است.

- بازدید روزانه از ترانس

- وضعیت ظاهری ازنظر نظافت، صدا و لرزش غیرعادی
- عدم وجود نشتی روغن درتانک، کنسرواتور، رادیاتورها، شیرها و رله بوخهلتز
- مطلوب بودن وضعیت ظاهری محفظه سیلیکاژل، رنگ سیلیکاژل و روغن زیر آن
- ترمینالهای اصلی و بوشینگ‌ها ازنظر آلودگی و ترک
- بسته بودن درب فنس و سالم بودن فنس

- بازدید هفتگی از ترانسفورماتور زمین- کمکی

- سالم یا معیوب‌بودن بوشینگها و طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن آن
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن کنسرواتور
- سالم یا معیوب بودن ترمومتر روغن
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن از قسمتهای مختلف ترانسفورماتور و تعیین محل نشتی
- وجود یا عدم وجود لرزش و صدای غیرعادی در ترانسفورماتور
- سالم یا معیوب بودن سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوهای ترانسفورماتور
- برقراربودن یا نبودن برق AC و DC مربوط به مدارات کنترل
- تغییر رنگ $\frac{2}{3}$ سیلیکاژل و نیاز یا عدم نیاز به تعویض آن
- تمیز یا کثیف بودن روغن محفظه سیلیکاژل و پر یا خالی بودن روغن محفظه تا خط نشانه
- کامل یا ناقص بودن اتصال سیم زمین به بدنه ترانسفورماتور در نقاط مختلف
- کامل یا ناقص بودن اتصالات هادی‌های ورودی و خروجی فشارقوی
- سایر اشکالات مشاهده شده

- بازدید ماهیانه از ترانسفورماتور زمین- کمکی

الف- بوشینگها

- کامل یا ناقص‌بودن اتصال هادی متصل به سوزنی فازها
- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن
- تمیز یا کثیف‌بودن بوشینگها و نیاز به شستشوی مقره‌ها
- سالم یا معیوب‌بودن مقره‌ها
- طبیعی و غیرطبیعی بودن وضعیت و فاصله شاخکهای قوسی فازها

ب- کنسرواتور

- طبیعی یا غیرطبیعی بودن سطح روغن بر روی نشان‌دهنده
- تمیز یا کثیف‌بودن نشان‌دهنده سطح روغن و قابل رویت بودن یا نبودن سطح روغن داخل آن
- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در کنسرواتور

ج- محفظه سیلیکاژل

- آبی بودن یا نبودن رنگ بیشتر یا کمتر از $\frac{2}{3}$ سیلیکاژل
- تمیز یا کثیف بودن روغن محفظهٔ سیلیکاژل و خالی یا پربودن روغن محفظه تا خط نشانه
- محکم بودن یا نبودن پیچهای محفظهٔ سیلیکاژل
- مشخص کردن اینکه رنگ سیلیکاژل از بالا به پایین تغییر می‌کند یا برعکس

د- رله بوخهلتس

- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در رله بوخهلتس
- تمیز یا کثیف بودن شیشه نشان‌دهنده روغن رله بوخهلتس و قابل رویت بودن یا نبودن سطح روغن در آن
- وجود یا عدم وجود هوا یا گاز در رله بوخهلتس

هـ - تانک اصلی ترانسفورماتور زمین

- وجود یا عدم وجود نشتی روغن در تانک اصلی
- تمیز یا کثیف بودن تانک اصلی و نیاز یا عدم نیاز به تمیزکردن یا شستشو
- زنگ‌زدگی یا سالم بودن بدنه تانک اصلی و محفظه‌ای زیر بوشینگ
- کامل یا ناقص بودن اتصال سیم زمین به بدنه ترانسفورماتور در نقاط مختلف

و- ترمومتر روغن

- سالم یا معیوب بودن شیشه و ترمومتر روغن
- سالم یا معیوب بودن بدنه ترمومتر روغن
- کارکردن یا نکردن ترمومتر روغن

ز- سایر اشکالات ترانسفورماتور زمین- کمکی

پیوست (۳-۱): فرم بازدید روزانه ترانسفورماتور زمین- کمکی

نام پست ولتاژ: ماه: سال:

ردیف	نام تجهیز یا سیستم معیوب	ولتاژ	شماره تجهیز	وضعیت		ایام ماه																														
						۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
				معیوب																																
				بهره‌برداری	مجاز																															
					غیرمجاز																															
	نام و نام خانوادگی اپراتور بازدیدکننده و امضاء																																			
	نام و نام خانوادگی مسئول پست وامضاء																																			

پیوست (۳-۲) : فرم بازدید هفتگی ترانسفورماتور زمین- کمکی

نام پست: **ولتاژ:** **شماره تجهیز:** **ظرفیت:**

موضوع بازدید و شماره ردیف	وضعیت بوشینگ‌ها و سطح روغن				سطح روغن کنسرواتور		ترمومتر روغن		نشتی روغن		لرزش و صدای غیرعادی		سیستم روشنایی، ترموستات و گرمکن تابلوها		برق AC و DC مدارات کنترل			تغییررنگ و تعویض سیلیکاژل	
	٤-٢-١				٤-٢-٢		٤-٢-٣		٤-٢-٤		٤-٢-٥		٤-٢-٦		٤-٢-٧			٤-٢-٨	
تاریخ بازدید	سالم	معیوب	طبیعی	کم	طبیعی	کم	سالم	معیوب	دارد محل نشتی	ندارد	دارد	ندارد	سالم	معیوب	برقرار	قطع AC	قطع DC	تغییر رنگ دارد	تغییر رنگ ندارد	نیاز به تعویض دارد	نیاز به تعویض ندارد

پیوست (۳-۲) : فرم بازدید هفتگی ترانسفورماتور زمین- کمکی(ادامه)

نام پست: ولتاژ: شماره تجهیز: ظرفیت:

وضعیت روغن محفظه سیلیکاژل				اتصال سیم زمین به بدنه ترانس در نقاط مختلف		اتصالات هادی‌های ورودی و خروجی		سایر اشکالات ترانسفورماتور زمین_کمکی	امضاء اپراتور بازدیدکننده	امضاء مسئول پست
٤-۲-۹				٤-۲-۱۰		٤-۲-۱۱		٤-۲-۱۲		
تمیز	کثیف	خالی	پر	کامل	ناقص	کامل	ناقص			

پیوست (۳-۳) : فرم بازدید ماهانه ترانسفورماتور زمین- کمکی

نام پست: **ولتاژ:** **شماره تجهیز:** **ظرفیت:**

موضوع بازدید و شماره ردیف / تاریخ بازدید	اتصال هادی به سوزنی بوشینگ					سطح روغن بوشینگها					نشتی روغن در بوشینگها					تمیزبودن بوشینگها					سالم بودن بوشینگها				
	٤-٣-١					٤-٣-٢					٤-٣-٣					٤-٣-٤					٤-٣-٥				
	کامل	ناقص				طبیعی	کم				ندارد	دارد				تمیز	نیاز به شستشو				سالم	معیوب			
		A	B	C	N		A	B	C	N		A	B	C	N		A	B	C	N		A	B	C	N

پیوست (۳-۳) : فرم بازدید ماهانه ترانسفورماتور زمین- کمکی(ادامه)

نام پست: ولتاژ: شماره تجهیز: ظرفیت:

وضعیت و فاصله شاخکهای قوسی بوشینگها						سطح روغن تانک اصلی		تمیزبودن نشان‌دهنده روغن تانک اصلی		نشتی روغن کنسرواتور		رنگ $\frac{2}{3}$ سلیکاژل		وضعیت روغن محفظه سیلیکاژل				وضعیت پیچهای محفظه سیلیکاژل		نحوهٔ تغییررنگ سیلیکاژل		نشتی روغن رله بوخهلتس		تمیزبودن شیشهٔ نشان‌دهنده روغن بوخهلتس		وجود گاز یا هوا در بوخهلتس	
٦-٣-٤						٧-٣-٤		٨-٣-٤		٩-٣-٤		١٠-٣-٤		١١-٣-٤				١٢-٣-٤		١٣-٣-٤		١٤-٣-٤		١٥-٣-٤		١٦-٣-٤	
طبیعی	غیرطبیعی					طبیعی	کم	تمیز	کثیف	دارد	ندارد	آبی	غیرآبی	تمیز	کثیف	پر	خالی	محکم	غیر محکم	ازبالا به پائین	از پائین به بالا	دارد	ندارد	تمیز	کثیف	دارد	ندارد
	A	B	C	N																							

پیوست (۳-۳) : فرم بازدید ماهانه ترانسفورماتور زمین- کمکی(ادامه)

نام پست: **ولتاژ:** **شماره تجهیز:** **ظرفیت:**

نشتی روغن در تانک اصلی		تمیزبودن تانک اصلی و نیاز به شستشو		زنگ‌زدگی			اتصال سیم زمین به بدنه ترانس در نقاط مختلف		وضعیت شیشه ترمومتر روغن		وضعیت بدنه ترمومتر روغن		وضعیت کارکردن ترمومتر روغن		سایر اشکالات ترانسفورماتور زمین_کمکی	امضاء اپراتور بازدیدکننده	امضاء مسئول پست
۴-۳-۱۷		۴-۳-۱۸		۴-۳-۱۹			۴-۳-۲۰		۴-۳-۲۱		۴-۳-۲۲		۴-۳-۲۳		۴-۳-۲۴		
دارد	ندارد	ندارد	دارد	ندارد	دارد		کامل	ناقص	سالم	معیوب	سالم	معیوب	سالم	معیوب			
					تانک اصلی	زیر بوشینگ											

منابع و مراجع

[۱] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۰۳: معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور زمین- کمکی، مهندسین مشاورنیرو، ۱۳۷۷.

[۲] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۳۰۳: مشخصات فنی ترانسفورماتور زمین_کمکی، مهندسین مشاور نیرو ۱۳۷۷.

[۳] ترانسفورماتورهای زمین نوع روغنی، قسمت اول: الزامات عمومی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

[۴] ترانسفورماتورهای زمین نوع روغنی، قسمت دوم: راهنمای کاربرد، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

[۵] استاندارد ترانسفورماتورهای مصرف داخلی پستهای فشارقوی و نیروگاهها، نوع روغنی، وزارت نیرو، ۱۳۷۴.

[6] IEC 60289 , "Reactors" , 1988.

[7] IEEE std 32 , "Requirements , Terminology , and Test Procedure for Neutral Grounding Devices" , 1972.

[8] IEC 60076-2 , "Power Transformers : Temperature Rise" , 1993.

[9] IEC 60076-3 , , "Power Transformers: Insulation Levels and Dielectric Tests" , 2000.

[10] IEC 60137 , "Bushing for Alternating Voltage above 1000V" , 1995.

[11] NEMA TR1, "Transformers Regulators and Reactors" , 1993.

[۱۲] راهنمای عمومی نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتورهای قدرت روغنی، دفتر مهندسی انتقال توانیر، ۱۳۶۲.

[۱۳] استاندارد پستهای (۳۲) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۳۲۱: مشخصات و جداول فنی ترانسفورماتور، مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۵.

[۱۴] استاندارد پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت، جلد ۱: مشخصات فنی، مشانیر، ۱۳۷۲.

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 زمین – کمکی در پست های فشار قوی»، جلد دوم از مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث مربوط به ترانسفورماتورهای زمین – کمکی شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی، آزمونهای نوعی، آزمونهای جاری و دستورالعمل های بهره برداری ارائه شده است.