

راهنمای روغن ترانسفورماتور

تألیف : رضا صمدی

برای انتشار : احمد رضائی نیا

- تشریح استانداردها و مقاله‌های معتبر
- تحلیل آزمون‌های روغن
- استفاده از تجربیات کارشناسان فنی



دفتر مکتوب

پاییز ۱۳۹۷

سرشناسه:	صمدی، رضا، ۱۳۷۰ -
عنوان و نام پدیدآور:	راهنمای روغن ترانسفورماتور: تشریح استانداردها و مقاله‌های معتبر، تحلیل آزمونهای روغن .../ تألیف رضا صمدی؛ ویراستار احمد رضائی‌نیا.
مشخصات نشر:	سمنان: خلاق، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری:	۱۵۳ ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک:	978-600-5920-89-5
وضعیت فهرست نویسی:	فیفا
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	عایق‌ها و عایق‌سازی برقی -- روغن‌ها
موضوع:	Electric insulators and insulation -- Oils
موضوع:	عایق‌ها و عایق‌سازی برقی -- روغن‌ها -- آزمایش‌ها
موضوع:	Electric insulators and insulation -- Oils -- Testing
شناسه افزوده:	رضائی‌نیا، احمد، ویراستار
رده بندی کنگره:	TK۳۴۴۱ / ۹۸۱۱.۷
رده بندی دیویی:	۶۲۱/۳۱۹۳۷
شماره کتابشناسی ملی:	۵۴۱۰۸۸۰



نشر خلاق

• راهنمای روغن ترانسفورماتور

- تألیف: رضا صمدی
- ویراستار: احمد رضائی‌نیا
- ناشر: خلاق
- چاپ: نگارین
- نوبت و سال چاپ: چاپ اول، پاییز ۱۳۹۷
- شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
- قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال
- شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۲۰-۸۹-۵

مراکز پخش کتاب:

۱- انتشارات خلاق: سمنان، بلوار سعدی، جنب اداره کل آموزش و پرورش. تلفن ۰۲۳-۳۳۳۴۴۷۶۲

۲- Reza77sa@yahoo.com - ۰۹۱۹۶۶۹۱۸۰۹

پیشگفتار

« به نام خدا »

صنعت برق که امروزه زندگی بشر را شکل داده است و برای گرداندن چرخ‌های صنایع، حمل‌ونقل و انتقال اطلاعات و ایجاد ارتباط‌ها نقش اساسی بازی می‌کند از دو نوع ماده استفاده می‌نماید. یکی هادی که جریان الکتریکی را در جهت موردنظر هدایت می‌کند و یکی عایق که از انتشار آن در جهت‌های دیگر مانع می‌گردد. یکی از مواد عایق که نقش مهمی در صنعت برق بازی می‌کند، روغن عایق است. روغن عایق از طرفی به‌عنوان عایق الکتریکی و از طرفی به‌عنوان سیال خنک‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بسیار از یاد، چه هادی و چه عایق، در طول عمر، کمتر دچار تغییر می‌شوند. پس از تکمیل دستگاه و گاه تا انتهای عمر مفید آن، نیازی نیست که این مواد موردتوجه خاص قرار گیرد. ولی روغن عایق در طول عمر خود تغییر می‌کند. این تغییر ناشی از گرما و وجود اکسیژن و دیگر عوامل شیمیایی است که روغن را به اصطلاح پیر می‌کند. وجود رطوبت و ذرات معلق در روغن از قابلیت عایقی آن می‌کاهد.

قیمت بالای تجهیزات هادی، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و زمان بری جایگزینی آن‌ها از طرفی و اهمیت برق‌رسانی دائم و مطمئن از طرف دیگر، توجه به تغییر خواص روغن و روش اصلاح آن، یکی از دل‌مشغولی‌های مهم بهره‌برداری از این تجهیزات می‌باشد.

در مقایسه با تعویض روغن در موتور اتومبیل، گاهی تصور می‌شود که این روش برای تجهیزات الکتریکی نیز راه چاره مناسبی می‌باشد. درحالی‌که نکات مهم دیگری در رابطه با روغن عایق وجود دارد که باید به آن توجه شود. گذشته از آن‌که نظر به هزینه بالای تعویض روغن، این روش مناسب‌ترین روش‌ها نیست. روغن موتور اتومبیل در درجه حرارت بسیار بالا تا چند صد درجه سانتی‌گراد البته نسبتاً سریع پیر می‌شود. روغن عایق با درجه حرارت کمتر از صد درجه سانتی‌گراد می‌تواند عمری برابر تمام عمر تجهیز داشته باشد. البته اگر به آن توجه شود و اقدام لازم در صورت نیاز انجام گیرد.

لازمه‌ی توجه به روغن عایق، شناخت عمیق علمی و تجربه طولانی کاری است. جناب آقای مهندس رضا صمدی از شرکت برق منطقه‌ای سمنان زحمت‌کشیده‌اند و به‌منظور آشنایی نمودن کارشناسان صنعت به این شناخت علمی، انتقال تجربه کاری، توجه به نکات مهم در طول کارکرد روغن عایق و انجام اقدام‌های لازم، این نوشتار ارزنده را تألیف کرده‌اند. امید که موردتوجه و استفاده کارشناسان قرار گیرد.

پروفسور حسین محسنی

استاد دانشگاه تهران

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱۹
فصل ۲: مشخصات عمومی روغن عایقی	۲۱
۲-۱- استانداردهای روغن عایقی	۲۱
۲-۲- خصوصیات روغن عایقی	۲۱
۲-۳- وظایف و نقش ترانسفورماتور	۲۲
۲-۴- شرایط کار روغن عایقی	۲۲
۲-۵- عوامل تخریب روغن عایقی	۲۳
۲-۶- ویژگی‌های روغن عایقی خوب	۲۳
۲-۷- منابع و مأخذ فصل ۲	۲۴
فصل ۳: خواص و مواد افزودنی روغن ترانسفورماتور	۲۵
۳-۱- خواص فیزیکی روغن ترانسفورماتور	۲۵
۳-۲- خواص الکتریکی روغن ترانسفورماتور	۲۵
۳-۳- خواص شیمیایی روغن ترانسفورماتور	۲۵
۳-۴- خواص، ویژگی‌ها و مفاهیم روغن عایقی	۲۶
۳-۴-۱- گرانروی روغن عایقی (ویسکوزیته)	۲۶
۳-۴-۲- نقطه ریزش	۲۷
۳-۴-۳- نقطه اشتعال در محیط بسته	۲۷
۳-۴-۴- چگالی (یا دانسیته) روغن	۲۸

- ۳-۴-۵- ولتاژ شکست ۲۸
- ۳-۴-۶- فاکتور اتلاف دی الکتریک (DDF) ۲۸
- ۳-۴-۷- ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا) ۲۹
- ۳-۴-۸- مقدار آب ۲۹
- ۳-۴-۹- کشش بین سطحی (IFT) ۲۹
- ۳-۴-۱۰- پدیده اکسایشی ۲۹
- ۳-۴-۱۱- انسداد ۲۹
- ۳-۴-۱۲- مقدار گوگرد ۳۰
- ۳-۴-۱۳- گوگرد خورنده و خوردگی پتانسیل خوردگی ۳۰
- ۳-۴-۱۴- مواد افزودنی ۳۰
- ۳-۴-۱۴-۱- مواد افزودنی ضد اکسایش ۳۰
- ۳-۴-۱۴-۲- غیرفعال کننده های فلزات ۳۱
- ۳-۴-۱۴-۳- مواد کاهش دهنده نقطه ریزش ۳۲
- ۳-۴-۱۵- تمایل به جذب گاز ۳۲
- ۳-۴-۱۶- تمایل به شارژ الکتروستاتیکی (ECT) (تولید الکتریسته ساکن) ۳۲
- ۳-۴-۱۷- مقدار آروماتیک های چند حلقه ای (PCA) ۳۲
- ۳-۴-۱۸- مقدار بی فیل های چند کلره (PCB) ۳۳
- ۳-۴-۱۹- مقدار ۲- فورفورال (FAL-2) و ترکیبات مربوطه ۳۳
- ۳-۴-۲۰- مقدار ذرات موجود در روغن ۳۳
- ۳-۴-۲۱- مقدار دی بنزیل دی سولفید (DBDS) ۳۳
- ۳-۴-۲۲- گازهای موجود در روغن ۳۳

۳۴	۳-۴-۲۳- امتزاج پذیری
۳۴	۳-۵- منابع و مأخذ فصل ۳:
۳۵	فصل ۴: انواع روغن عایقی ترانسفورماتور
۳۵	۴-۱- مقدمه:
۳۶	۴-۲- روغن آسکارل
۳۷	۴-۳- روغن های سیلیکونی
۳۷	۴-۳-۱- خواص روغن سیلیکونی
۳۸	۴-۴- روغن استر
۳۹	۴-۵- علت استفاده از روغن معدنی به عنوان عایق
۴۰	۴-۶- انواع روغن های معدنی
۴۱	۴-۷- ساختار شیمیایی روغن های معدنی
۴۱	۴-۷-۱- هیدروکربن های پارافینیک
۴۱	۴-۷-۲- هیدروکربن های نفتیک
۴۲	۴-۷-۳- حلقه های هیدروکربن آروماتیک
۴۲	۴-۸- مهم ترین خواص ترکیبات پلی آروماتیک
۴۳	۴-۹- روغن های معدنی در صنعت برق
۴۳	۴-۱۰- تفاوت عمده روغن های نفتیک و پارافینیک
۴۵	۴-۱۱- رنگ روغن های معدنی
۴۶	۴-۱۲- خواص روغن معدنی نو یا توجه به استاندارد IEC60296
۴۹	۴-۱۳- نکات برداشت شده از جدول استاندارد روغن معدنی نو

۵۱	۴-۱۴- نتیجه‌گیری
۵۱	۴-۱۵- منابع و مأخذ فصل ۴
۵۳	فصل ۵: سرویس و نگهداری روغن
۵۳	۵-۱- روغن‌های نو
۵۳	۵-۲- روغن‌های در حال بهره‌برداری
۵۴	۵-۳- مخلوط کردن انواع مختلف روغن
۵۵	۵-۴- آزمون‌های کنترل کیفیت روغن در حال بهره‌برداری ترانسفورماتور
۵۷	۵-۴-۱- آزمون‌های روتین و غیره‌های عایق معدنی
	۵-۴-۲- گروه‌بندی تجهیزات و ارزیابی وضعیت روغن عایقی معدنی در تجهیزات کارنکرده (پیش از برق‌دار نمودن)
۵۸	
۶۰	۵-۵- ارزیابی وضعیت روغن در حال بهره‌برداری
۶۱	۵-۵-۱- زمان‌بندی نمونه‌برداری و آزمون روغن‌های در حال بهره‌برداری
۶۳	۵-۵-۲- طبقه‌بندی وضعیت روغن‌های در حال بهره‌برداری
۶۴	۵-۵-۳- نمونه‌برداری روغن از تجهیزات
۶۴	۵-۶- تحلیل آزمون‌های روتین روغن‌های عایق معدنی
۶۴	۵-۶-۱- آزمون اول: ولتاژ شکست روغن
۶۷	۵-۶-۱-۱- ذرات معلق
۶۸	۵-۶-۱-۲- پدیده Bubbling
۶۹	۵-۶-۲- آزمون دوم: آب محلول در روغن و رطوبت عایق کاغذی
۷۱	۵-۶-۲-۱- منابع تشکیل آب در ترانسفورماتور

- ۷۲..... ۵-۶-۲-۲- تعادل ترمودینامیکی آب بین کاغذ و روغن
- ۷۴..... ۵-۶-۲-۳- آب در سیستم عایق کاغذی ترانسفورماتور
- ۷۴..... ۵-۶-۲-۴- آب موجود در سیستم عایقی (روغن / کاغذ)
- ۷۵..... ۵-۶-۲-۵- آزمون‌های شناسایی مقدار رطوبت عایق کاغذی
- ۷۸..... ۵-۶-۲-۶- خشک‌سازی ترانسفورماتور و جذب رطوبت کاغذ ترانس
- ۸۲..... ۵-۶-۲-۷- نتیجه‌گیری
- ۸۲..... ۵-۶-۳- آب رطوبت در روغن ترانسفورماتور
- ۸۲..... ۵-۶-۲-۱- تصفیه فیزیکی یا سیرکوله روغن ترانسفورماتور
- ۸۳..... ۵-۶-۳-۱- تعریف تصفیه فیزیکی
- ۸۴..... ۵-۶-۳-۲- اصول و دستورات تصفیه فیزیکی ترانسفورماتور
- ۸۵..... ۵-۶-۳-۳- اجزاء دستگاه تصفیه فیزیکی
- ۸۶..... ۵-۶-۳-۴- دیاگرام شماتیک دستگاه تصفیه فیزیکی روغن (سیرکوله)
- ۸۷..... ۵-۶-۳-۵- معرفی برخی از تجهیزات تصفیه فیزیکی
- ۸۸..... ۵-۶-۳-۶- پارامترهای موثر در سرعت و رانندگی تصفیه فیزیکی روغن
- ۸۸..... ۵-۶-۳-۲- تصفیه فیزیکی و شیمیایی
- ۸۹..... ۵-۶-۳-۱- تصفیه شیمیایی به روش تراوش
- ۹۰..... ۵-۶-۳-۲- تصفیه شیمیایی به روش تماس
- ۹۱..... ۵-۶-۳-۲- علت افزودن مواد بازدارنده به روغن بعد از تصفیه شیمیایی
- ۹۳..... ۵-۶-۳-۴- دیاگرام شماتیک دستگاه تصفیه فیزیکی شیمیایی روغن
- ۹۴..... ۵-۶-۳-۵- دستورالعمل توانیر در زمینه تصفیه شیمیایی روغن ترانس
- ۹۵..... ۵-۶-۳-۳- نتیجه‌گیری مبحث رطوبت در سیستم عایقی ترانسفورماتور روغن

- ۹۶-۴-۶-۵- آزمون سوم: اسیدیته ۹۶
- ۹۸-۵-۶-۵- آزمون چهارم: ضریب تلفات عایقی (تائزانت دلتا) ۹۸
- ۹۸-۱-۵-۶-۵- مفهوم ضریب تلفات عایقی (تائزانت دلتا) در عایق ۹۸
- ۱۰۱-۶-۶-۵- آزمون پنجم: کشش سطحی ۱۰۱
- ۱۰۳-۷-۶-۵- آزمون ششم: اندازه گیری مواد بازدارنده و تست پایداری در برابر اکسیداسیون روغن .. ۱۰۳
- ۱۰۴-۱-۷-۶-۵- پایش روغن های بدون مواد بازدارنده ۱۰۴
- ۱۰۵-۲-۷-۶-۵- پایش روغن های حاوی مواد بازدارنده ۱۰۵
- ۱۰۸-۳-۷-۶-۵- رسوب و آبش ۱۰۸
- ۱۰۸-۱-۳-۷-۶-۵- آزمون تست مقدار رسوب ۱۰۸
- ۱۰۹-۲-۳-۷-۶-۵- آزمون تعیین مقدار آب ۱۰۹
- ۱۰۹-۸-۶-۵- آزمون هفتم: گوگرد خورنده ۱۰۹
- ۱۱۰-۱-۸-۶-۵- دی سولفید دی بنزیل (DBDS) ۱۱۰
- ۱۱۲-۲-۸-۶-۵- بیسواتور ۱۱۲
- ۱۱۳-۹-۶-۵- آزمون هشتم: اندازه گیری مقدار PCB در روغن ترانسفورماتور ۱۱۳
- ۱۱۴-۱-۹-۶-۵- روش های تشخیص روغن آسکارل بدون آزمایش ۱۱۴
- ۱۱۵-۲-۹-۶-۵- پاکسازی روغنهای آلوده به PCBs ۱۱۵
- ۱۱۵-۳-۹-۶-۵- فرآیندهای هالوژن زدائی با استفاده از مشتقات سدیم و لیتیم ۱۱۵
- ۱۱۵-۴-۹-۶-۵- فرآیندهای هالوژن زدائی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول و هیدروکسید پتاسیم
- ۱۱۵-.....(KPEG) ۱۱۵
- ۱۱۶-۵-۹-۶-۵- هالوژن زدائی بصورت پیوسته با استفاده از فرآیندهای مدار بسته ۱۱۶
- ۱۱۷-۱۰-۶-۵- آزمون نهم: گازکروماتوگرافی یا آنالیز گازهای محلول در روغن ۱۱۷

- ۱۱۷..... ۵-۶-۱۰-۱- اصطلاحات و تعاریف
- ۱۱۷..... ۵-۶-۱۰-۱- تخلیه جزئی
- ۱۱۸..... ۵-۶-۱۰-۲- تخلیه جرقه ای (مخرب)
- ۱۱۸..... ۵-۶-۱۰-۳- خطای حرارتی
- ۱۱۸..... ۵-۶-۱۰-۴- مقادیر نرمال غلظت گاز
- ۱۱۹..... ۵-۶-۱۰-۵- علائم اختصاری عمومی
- ۱۱۹..... ۵-۶-۱۰-۶- فرمول ها و نام های شیمیایی
- ۱۲۰..... ۵-۶-۱۰-۲- مکانیسم تشکیل گاز در روغن
- ۱۲۰..... ۵-۶-۱۰-۱- تجزیه روغن
- ۱۲۱..... ۵-۶-۱۰-۲- تخریب بایق ولژی
- ۱۲۲..... ۵-۶-۱۰-۳- سایر منابع تولید گاز
- ۱۲۳..... ۵-۶-۱۰-۳- شناسایی خطا
- ۱۲۳..... ۵-۶-۱۰-۴- ترکیبات گازهای محلول
- ۱۲۴..... ۵-۶-۱۰-۵- انواع خطاهای ترانسفورماتور قابل شناسایی با تست گاز کروماتوگرافی
- ۱۲۵..... ۵-۶-۱۰-۶- ترتیب نمونه گیری از ترانس قدرت (400kV) (در زمان راه اندازی)
- ۱۲۵..... ۵-۶-۱۰-۷- شرایط معتبر بودن نتایج تست GC
- ۱۲۶..... ۵-۶-۱۰-۸- نسبتهای اساسی گاز
- ۱۲۸..... ۵-۶-۱۰-۹- تحلیل عیوب ترانسفورماتور با استفاده از نسبت گازها
- ۱۳۰..... ۵-۶-۱۰-۱۰- گازهای تولیدی خطاهای ترانسفورماتور (تحلیل به روش گازهای کلیدی)
- ۱۳۳..... ۵-۶-۱۰-۱۱- نمایش گرافیکی
- ۱۳۴..... ۵-۶-۱۰-۱۱- بررسی مقادیر گازهای محلول در روغن

- ۵-۶-۱۰-۱۱-۲- شرایط عدم قطعیت در نسبت گازها ۱۳۷
- ۵-۶-۱۰-۱۲- نحوه تحلیل گازهای آزاد موجود در رله بوخهلتز ۱۳۷
- ۵-۶-۱۰-۱۳- روش تحلیل مقادیر گازهای محلول در روغن ۱۳۹
- ۵-۶-۱۰-۱۴- فرمت گزارش نتایج ۱۳۹
- ۵-۶-۱۰-۱۵- چند نمونه عیب یابی گاز کروماتوگرافی زیمنس ۱۴۱
- ۵-۶-۱۰-۱۶- جمع بندی ۱۴۲
- ۵-۶-۱۱- آزمون دهم تخمین عمر باقیمانده ترانسفورماتور با استفاده از آزمونهای گاز کروماتوگرافی و فورفورال ۱۴۳
- ۵-۶-۱۱-۱- لزوم اطلاع داشتن درباره ی عمر ترانسفورماتور ۱۴۴
- ۵-۶-۱۱-۲- عوامل کاهش عمر ترانسفورماتور ۱۴۵
- ۵-۶-۱۱-۳- روش تخمین عمر ترانسفورماتور وسیله DP کاغذ ۱۴۶
- ۵-۶-۱۱-۴- تخمین عمر ترانسفورماتور با توجه به استاندارد IEC62874 ۱۴۷
- ۵-۶-۱۱-۴-۱- مقادیر نرمال دو-فورفورال و دی اکسید کربن ۱۴۷
- ۵-۶-۱۱-۴-۲- نحوه تحلیل نتایج ۱۵۱
- ۵-۶-۱۱-۵- نتیجه گیری ۱۵۲
- ۵-۷- منابع و مأخذ فصل ۵ ۱۵۳