

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تکنیک‌های پایش وضعیت و نگهداری پیشگیرانه
ترانسفورماتورهای قدرت

مؤلفین:

دکتر زهرا مروج - دانشیار دانشگاه سمنان

سجاد باقری - دانشجوی دکتری مهندسی برق دانشگاه سمنان



مروج زهرا	سرشناسه
تکنیک‌های پایش وضعیت و نگهداری پیشگیرانه براسفورماتورهای قدرت	عنوان و نام تدوین
نویسندگان: مروج، سجاد باقری	مشخصات نشر
اراک: دانش کیان، ۱۳۹۳	مشخصات ظاهری
۲۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار	شابک
۹۷۸-۶۰۰-۷۱۰۴-۱۰-۱	وضعیت فهرست نویسی
فیبا	یادداشت
کتابنامه	موضوع
مبدل‌ها	موضوع
مبدل‌ها - عیب‌یابی - آزمایش‌ها	شناسه افزوده
باقری سجاد	رده‌بندی کنگره
TK۲۵۵۱:م۴ ۸۱۳۹۳	رده‌بندی دیویی
۶۲۱.۳۱۴	شماره کتابشناسی ملی
۳۵۵۰۸۷۲	

تکنیک‌های پایش وضعیت و نگهداری پیشگیرانه ترانسفورماتورهای قدرت	نام کتاب
زهرا مروج - سجاد باقری	مؤلفین
دانش کیان	ناشر
اول - ۱۳۹۳	نوبت و سال چاپ
۱۰۰۰ نسخه	شمارگان
زمزم	چاپ و صحافی
۱۸۰۰۰ تومان	قیمت
ISBN: 978-600-7104-10-1	شابک
۹۷۸-۶۰۰-۷۱۰۴-۱۰-۱	

فهرست مطالب

پیش‌گفتار:	۱
فصل اول	۳
مقدمه	۳
فصل دوم	۵
ساختمان ترانسفورماتورهای قدرت	۵
۱.۲. مقدمه	۵
۲.۲. قسمت‌های اصلی و ملحقات ترانسفورماتورهای قدرت	۵
۱.۲.۲. هسته	۷
۲.۲.۲. سیم‌پیچ‌ها	۸
۳.۲.۲. تانک ترانسفورماتور	۹
۴.۲.۲. منبع انبساط روغن (کسرواتور)	۱۰
۵.۲.۲. سیم پیچ سوم	۱۱
فصل سوم	۱۳
روش‌های ارزیابی و پایش وضعیت ترانسفورماتورهای قدرت	۱۳
اهداف کلی مانیتورینگ و ارزیابی شرایط ترانسفورماتورها	۱۳
تعریف پایش وضعیت (مانیتورینگ):	۱۵
تعریف ارزیابی شرایط:	۱۵
۳. پارامترهای پایش وضعیت ترانسفورماتور قدرت:	۱۶
۱.۳. پایش وضعیت ترانسفورماتور بوسیله‌ی آنالیز حرارتی	۱۶
۱.۱.۳. روش آنالیز حرارتی از طریق گرماسنجی	۱۷
۲.۳. پایش وضعیت بوسیله‌ی آنالیز ارتعاشی ترانسفورماتور	۲۲
۱.۲.۳. آنالیز ارتعاشی از طریق تحلیل سیگنال انتشار صوتی	۲۲
۳.۳. خواص و اهمیت روغن ترانسفورماتورهای قدرت	۲۳
۱.۳.۳. خواص و وظایف روغن ترانسفورماتورها	۲۴
۲.۳.۳. ساختار روغن‌های عایقی و آسیب‌پذیری آن‌ها	۲۵
۳.۳.۳. گازهای محلول در روغن	۲۶

۴.۳.۳	تجزیه روغن	۲۷
۵.۳.۳	تجزیه مواد عایقی و سلولزی در اثر گرما	۲۸
۶.۳.۳	نحوه توزیع گاز در روغن	۲۹
۷.۳.۳	مواد افزودنی روغن ترانسفورماتور	۳۰
۴.۳	پایش وضعیت ترانسفورماتورهای قدرت بوسیله ی آنالیز روغن	۳۲
۱.۴.۳	آنالیز روغن ترانسفورماتورهای قدرت از طریق طیف سنجی نوری فرابنفش	۳۳
۲.۴.۳	آنالیز روغن ترانسفورماتورهای قدرت از طریق آزمایش ویسکوزیته یا گرانیروی روغن	۳۶
۳.۴.۳	روش های کلاسیک آنالیز روغن ترانسفورماتورهای قدرت	۳۷
۱.۳.۴.۳	روش گازهای کلیدی	۳۷
۲.۳.۴.۳	روش نسبت دورنشرگ	۳۸
۳.۳.۴.۳	روش نسبت راجرز	۳۹
۴.۳.۴.۳	روش گازهای محلول قابل اشتعال (DCG)	۴۲
۴.۴.۳	طبقه بندی نوع گاز محلول در روغن ترانسفورماتور	۴۴
۱.۴.۴.۳	گاز کروماتوگرافی	۴۶
۲.۴.۴.۳	فیبرنوری سایشی براگ	۴۶
۳.۴.۴.۳	آنالیز ترکیبات فوران	۴۸
۵.۳	پایش وضعیت ترانسفورماتور بوسیله ی تغییرات حالت سیم پیچ	۵۱
۱.۵.۳	تابع انتقال ترانسفورماتورهای قدرت	۵۶
۱.۱.۵.۳	آنالیز پاسخ فرکانسی شناور (جاروی فرکانسی)	۶۰
۲.۱.۵.۳	آنالیز پاسخ فرکانسی از طریق آزمون ضربه ولتاژ پایین	۶۳
۲.۵.۳	تحلیل تعدادی از نتایج عملی گرفته شده مبتنی بر ساختار ترانسفورماتورها	۶۵
۳.۵.۳	تحلیل نتایج عملی مبتنی بر طراحی یکسان	۷۱
۴.۵.۳	مدل فرکانس بالای سیم پیچ ترانسفورماتور	۷۳
۱.۴.۵.۳	مدل ترانسفورماتور بر پایه ساختار فیزیکی سیم پیچ	۷۴
۵.۵.۳	روش شاخص های عددی و آماری در تحلیل منحنی فرکانسی	۹۱
۱.۵.۵.۳	ضریب همبستگی	۹۲
۲.۵.۵.۳	ضریب ASLE	۹۲
۳.۵.۵.۳	ضریب DABS	۹۳
۴.۵.۵.۳	ضریب MM	۹۳

۹۳	 MSE ضریب
۹۴	 RMSE ضریب
۹۴	 ۶.۳ پایش وضعیت ترانسفورماتور بوسیله‌ی آنالیز تخلیه جزئی
۹۶	 ۱۶.۳ آنالیز تخلیه جزئی از طریق تداخل بسامد رادیویی
۹۷	 ۲۶.۳ آنالیز تخلیه جزئی از طریق سیگنال‌های فرکانس بالا
۹۷	 ۳۶.۳ آنالیز تخلیه جزئی از طریق انتشار امواج صوتی پیزو الکتریک
۱۰۰	 ۴۶.۳ آنالیز تخلیه جزئی از طریق سیستم سیم‌پیچی روگوفسکی
۱۰۱	 ۵۶.۳ آنالیز تخلیه جزئی از طریق سنسور فیبر نوری
۱۰۲	 ۷.۳ پایش وضعیت ترانسفورماتور از طریق بررسی وضعیت تپ چنجر تحت بار
۱۰۵	 ۸.۳ پایش وضعیت ترانسفورماتور از طریق مانیتورینگ بوشینگ
۱۰۶	 ۱۸.۳ آزمایش تانژانت دلتا
۱۰۷	 ۲۸.۳ آزمایش مقاومت عایقی
۱۰۷	 ۳۸.۳ آزمایش روغن درون بوشینگ
۱۰۸	 ۴۸.۳ اندازه‌گیری خازن بوشینگ به صورت پیوسته
۱۰۹	 ۵۸.۳ استفاده از سنسور خازنی مجزا قابل نصب بر روی بدنه بوشینگ ترانسفورماتور
۱۱۱	 فصل چهارم
۱۱۱	 اجرای طرح‌های تعمیر و نگهداری
۱۱۲	 ۱.۴ تعمیر و نگهداری اصلاحی
۱۱۳	 ۲.۴ تعمیر و نگهداری پیشگیرانه
۱۱۳	 ۱.۲.۴ نگهداری پیشگیرانه بر اساس شرایط
۱۱۴	 ۲.۲.۴ نگهداری پیشگیرانه بر اساس زمان
۱۱۵	 ۳.۴ نگهداری بر اساس قابلیت اطمینان متمرکز
۱۱۷	 فصل پنجم
۱۱۷	 ارزیابی پایان عمر و مکانیسم پیری ترانسفورماتورهای قدرت
۱۱۸	 ۱.۵ مکانیسم عمر فیزیکی ترانسفورماتور
۱۱۸	 ۱.۱.۵ عوامل لازمه طول عمر ترانسفورماتور
۱۱۸	 ۱.۱.۱.۵ درجه پلیمریزاسیون
۱۱۹	 الف - اسپکتروسکوپی عایق در حوزه زمان

۱۲۲.....	ب- اسپکتروسکپی عایق در حوزه فرکانس (FDS)
۱۲۳.....	۲.۱.۱.۵ مقاومت کششی القا شده
۱۲۳.....	۳.۱.۱.۵ ترکیبات فورانیک
۱۲۳.....	۴.۱.۱.۵ اندازه گیری ولتاژ برگشتی
۱۲۵.....	۲.۱.۵ عوامل تسریع پیری ترانسفورماتور
۱۲۶.....	۲.۵ مکانیزم و مدل سازی عمر اقتصادی
۱۲۶.....	۱.۲.۵ روش استهلاک یا افت در خط مستقیم
۱۲۶.....	۲.۲.۵ روش استهلاک شتاب یافته
۱۲۸.....	۳.۵ هزینه طول عمر
۱۲۹.....	فصل ششم
۱۲۹.....	روش های هوشمند استفاده شده در زمینه پایش وضعیت ترانسفورماتورهای قدرت
۱۳۰.....	۶. طبقه بندی کلیه روش های هوشمند کاربردی در زمینه مانیتورینگ
۱۳۰.....	۱.۶ روش الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در آنالیز گاز محلول در روغن ترانسفورماتورها
۱۳۴.....	۱.۱.۶ محاسبات هوشمند از طریق ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات
۱۳۶.....	۲.۱.۶ محاسبات هوشمند از طریق عملگر بافر تضعیف کننده در آنالیز گاز محلول در روغن ترانسفورماتورها
۱۳۷.....	۲.۶ محاسبات هوشمند از طریق الگوریتم بهینه سازی گروهی ذرات
۱۴۳.....	۳.۶ محاسبات هوشمند از طریق شبکه عصبی مصنوعی [۹۵-۱۰۲]
۱۴۶.....	۱.۳.۶ محاسبات هوشمند از طریق الگوریتم شبکه عصبی چند جمله ای چند متغیره ساده شده
۱۴۵.....	۲.۳.۶ محاسبات هوشمند از طریق شبکه عصبی خود تجمعی یا خود رمزگذار
۱۴۶.....	۴.۶ محاسبات هوشمند از طریق شبکه فازی
۱۴۷.....	۵.۶ محاسبات هوشمند از طریق برنامه ریزی بیان ژنی
۱۵۰.....	۶.۶ محاسبات هوشمند از طریق الگوریتم بسته تبدیل موجک
۱۵۰.....	۷.۶ محاسبات هوشمند از طریق الگوریتم جستجوگر باکتریایی
۱۵۲.....	۱.۷.۶ الگوریتم ازدحام باکتریایی:
۱۵۶.....	۱.۱.۷.۶ رویکرد شناسایی مدلگرا
۱۵۷.....	۲.۷.۶ مقایسه الگوریتم جستجوگر باکتریایی با الگوریتم ژنتیک

۸.۶ الگوریتم شبیه سازی تبرید.....	۱۵۸
۱.۸.۶ مراحل روند الگوریتم شبیه سازی تبرید.....	۱۵۹
فصل هفتم.....	۱۶۱
نمونه‌ای از شبیه‌سازی‌های انجام شده در زمینه آنالیز پاسخ فرکانسی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای قدرت.....	۱۶۱
۱.۷ تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل مشروح ترانسفورماتور.....	۱۶۲
۲.۷ نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل موج عبوری.....	۱۶۵
۱.۲.۷ مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل مشروح و مدل موج عبوری.....	۱۶۷
۳.۷ بررسی خطاهای رایج در ترانسفورماتورهای قدرت بر اساس مدل مشروح.....	۱۶۸
۱.۳.۷ بررسی دفورمه شدگی سیم‌پیچ.....	۱۶۹
۲.۳.۷ بررسی وضعیت عایقی سیم‌پیچ.....	۱۷۱
۳.۳.۷ بررسی از هم پاشیده شدن انسجام یوبین ترانسفورماتور.....	۱۷۲
۴.۳.۷ بررسی قبل و بعد از روغن زدن تانک ترانسفورماتور.....	۱۷۴
۴.۷ بررسی شبیه‌سازی‌های حاصل از شاخص‌های عددی و آماری.....	۱۷۶
۵.۷ تخمین پارامترهای مدل موج عبوری سیم‌پیچ ترانسفورماتور با استفاده از روش‌های هوشمند.....	۱۷۹
۱.۵.۷ استفاده از تبدیل موجک جهت تفکیک پاسخ فرکانسی ترانسفورماتورها.....	۱۸۰
۱.۱.۵.۷ استفاده از تبدیل موجک پیوسته جهت تفکیک پاسخ فرکانسی ترانسفورماتورها.....	۱۸۱
۲.۱.۵.۷ استفاده از تبدیل موجک گسسته جهت تفکیک پاسخ فرکانسی ترانسفورماتورها.....	۱۸۱
الف ۲: دلیل و نحوه استفاده از تبدیل موجک هار در شبیه‌سازی صورت گرفته.....	۱۸۳
۲.۵.۷ نتایج بدست آمده از روش هوشمند الگوریتم جستجوگر باکتریایی.....	۱۸۳
۳.۵.۶ نتایج بدست آمده از روش هوشمند الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات.....	۱۸۹
۴.۵.۷ مقایسه نتایج حاصل از روش‌های کاربردی برای تخمین پارامترهای سیم‌پیچ ترانسفورماتور.....	۱۹۲
فصل هشتم.....	۱۹۵
نتیجه‌گیری.....	۱۹۵
منابع.....	۱۹۹

پیش گفتار:

امروزه افزایش علاقه در به کارگیری تکنیک‌های پایش¹ (CM) وضعیت تجهیزات الکتریکی، از جمله ترانسفورماتورهای قدرت، دیده می‌شود. دلیل استفاده از این تکنیک‌ها، پتانسیل بسیار قوی CM به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش قابلیت اطمینان و بهبود منابع تغذیه و خدمات به مشتریان می‌باشد.

ترانسفورماتورهای قدرت، برای مقاومت در برابر ناهنجاری‌ها و شرایط غیرنرمال سیستم، که می‌توان به اضافه ولتاژ، خطاهای اتصال کوتاه و... اشاره کرد، طراحی شده‌اند. پایش وارزیابی ترانسفورماتورها، تکنیک مؤثری در جلوگیری از شکست احتمالی و کمک به اطمینان از قابل اعتماد بودن طرح می‌باشد.

امروزه تمرکز بر روی عملکرد سیستم‌های قدرت تغییر کرده است و در حال تلاش برای بررسی و پیدا کردن تکنیک‌های جدید نظارت، تشخیص، ارزیابی، تعمیر و نگهداری، تخمین طول عمر و احتمال گسترش آن از دارایی‌های موجود می‌باشد، به طوری که در شرایط بازار جهانی، رقابت منجر به بهینه‌سازی بیشتر تجهیزات قدرت و طراحی‌ها شده است که بوسیله استفاده از تکنیک‌های تحلیلی پیشرفته طمی ساخت و تولید همراه شده است. در این شرایط نیاز است که روی کار عملیاتی ترانسفورماتورهای قدرت تمرکز کنیم و روش‌های جدیدی برای ارزیابی شرایط ترانسفورماتورها در تشخیص خطای اولیه و محل آن ارائه دهیم.

این کتاب قابل استفاده مهندسین، دانشجویان دوره کارشناسی ارشد و دکترای رشته مهندسی برق، اساتید محترم دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی، شرکت‌های مرتبط با صنعت ترانسفورماتورسازی و سایر شرکت‌های مرتبط با برق بوده و می‌تواند در راستای ارتقای دانش فنی این عزیزان نقش بسزایی داشته باشد.

تألیف این کتاب نیز مانند سایر کارها بدون خواست و مدد خدای بزرگ و لطف و کمک‌های اساتید از جمله جناب آقای دکتر رضا عفت‌نژاد عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد کرج، جناب آقای دکتر ابوالفضل سلامی عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اراک و جناب آقای مهندس حرمت‌اله فیروزی شرکت ایران ترانسفو زنجان که از راهنمایی‌های ارزنده این عزیزان استفاده زیادی شده است، امکان‌پذیر نبوده و صمیمانه تشکر و سپاسگذاری می‌کنیم.

همچنین از نیروگاه حرارتی شازند (اراک) که حمایت خود را جهت چاپ و نشر این کتاب مبذول نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

همچون سایر کارهای علمی و تحقیقاتی، خانواده نقش بسزایی در همراهی، تشویق، تحمل کردن مشکلات و ایجاد محیطی آرام دارد که موجب کمال امتنان، تشکر و قدردانی می‌باشد.

"امید است که مجموعه حاضر برای دانشجویان عزیز و صنعت برق کشور مفید و مورد استفاده قرار گیرد و چنانکه نواقصی نیز وجود دارد، یادآوری شود تا در چاپ‌های بعدی این نواقص برطرف گردد."

تیر ۱۳۹۳

سجاد باقری

دانشجوی دکتری مهندسی برق دانشگاه سمنان

زهرا مروج

دانشیار دانشگاه سمنان