دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

بهینه سازی ساختار عایقی مربوط به خروجی سیم پیچ فشار قوی ترانسفورماتور تا مقره عبوری با تحلیل میدان الکتریکی

نگارش

مسعود روح اللهی

استاد راهنما

دکتر اصغر اکبری ازیرانی

پاییز ۱۳۹۱

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: مسعود روح اللهی

را با عنوان : بهینه سازی ساختار عایقی مربوط به خروجی سیم پیچ فشار قوی ترانسفورماتور تا مقره عبوری با تحلیل میدان الکتریکی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ – استاد راهنما	دکتر اصغر اکبری ازیرانی	دانشیار	
۲ – استاد ممتحن	دکتر کریم عباس‌زاده	دانشیار	
۳ – استاد ممتحن	دکتر مهدی وکیلیان	استاد	
٤ – نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر کریم عباس‌زاده	دانشیار	

اظهارنامه ی دانشجو

موضوع پایان نامه : بهینه سازی ساختار عایقی مربوط به خروجی سیم پیچ فشار قوی ترانسفورماتور تا مقره عبوری با تحلیل میدان الکتریکی

استاد راهنما: **دکتر اصغر اکبری ازیرانی**

نام دانشجو: **مسعود روح اللهی**

شماره دانشجویی: **۸۹۰۳۵۵۴**

اینجانب **مسعود روح‌اللهی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی برق قدرت** گرایش سیستم و فشار قوی دانشکده‌ی **برق** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان، به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه، چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تشکر و قدردانی

با حمد و ستایش پروردگار متعال که توفیق اتمام این پایان نامه را به بنده اعطا فرمود؛ بر خود لازم می دانم از زحمات استاد گرانقدرم، جناب آقای **دکتر اصغر اکبری ازیرانی**، که در طول این پایان نامه با راهنمایی‌ها و همکاری‌های همه جانبه خود گره‌گشای مسیر اینجانب بودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از جناب آقای مهندس چکلو و جناب آقای مهندس کلانتری از دفتر فنی مجموعه ایران‌ترانسفو که خالصانه از هیچ‌گونه همکاری و راهنمایی‌های فنی دریغ ننمودند و سخاوتمندانه تجربیات صنعتی خویش را در اختیار اینجانب قرار دادند و همچنین جناب آقای مهندس علامتی مدیریت محترم واحد تحقیق و توسعه شرکت عایق‌های الکتریکی پارس که منابع و اطلاعات لازم برای پیشبرد پروژه را در اختیارم قرار دادند صمیمانه تشکر می‌نمایم. در نهایت از اساتید محترم، جناب آقای**دکتر مهدی وکیلیان و** جناب آقای **دکتر کریم عباس‌زاده** که برای داوری این پروژه قبول زحمت فرمودند، نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

چکیده

سیستم های خروجی فشارقوی در ترانسفورماتورهای قدرت، متشکل از لایه های سلولزی تو در تو می‌باشند که با ساختارهای هندسی مختلف در ناحیه های مختلف خروجی فشارقوی قرار دارند. وظیفه این بخش های سلولزی لایه ای ایجاد مسیر عایقی برای هدایت هادی سر فاز در ترانسفورماتور هایی با خروجی سر از وسط، به دم بوشینگ در برج مقره، با فراهم نمودن حاشیه اطمینان تعیین شده از سوی طراح عایقی ترانسفورماتوردر داخل فضای ترانسفورماتور می‌باشد. این ساختار عایقی حول یک بدنه فلزی که علاوه بر وظایف مکانیکی وظیفه تعدیل میدان الکتریکی را نیز برعهده دارد، قرار دارد، به همین علت به این ساختار عایقی "سیستم عایقی مرکب" اطلاق می گردد.

این سیستم ها به عنوان جزئی از سیستم عایقی بخش فعال[1] ترانسفورماتور دائما در معرض تنش‌های الکتریکی موجود در شبکه قرار دارد، از طرف دیگر رقابت میان تولیدکنندگان ترانسفورماتورهای قدرت بر سر تولید ترانسفورماتورهایی که به لحاظ قیمت و ابعاد محصولی بهینه باشد طراحان را بر آن داشته تا با عبور از مرحله استفاده از مواد با کیفیت به طراحی عایقی بهینه متناسب با قابلیت های تولید بیاندیشند. یکی از بخش های مهم سیستم عایقی ترانسفورماتور، خروجی‌های فشارقوی می‌باشند که بسته به ساختار داخلی ترانسفورماتور طراحی عایقی آنها میتواند منجر به کاهش حجم ترانسفورماتور و همچنین کمتر شدن قطعات عایقی ویژه به کار رفته در خود این سیستم‌ها گردد که در نهایت کاهش قیمت ترانسفورماتور را در پی خواهد داشت، لذا در این پایان نامه با استفاده از شبیه سازی این ساختار با استفاده از روش المان محدود پارامترهای تاثیر گذار برمیدان الکتریکی در ساختار خروجی فشارقوی به منظور طراحی عایقی بهینه به همراه پارامترهای موثر بر تولید یک طرح بهینه در یک ترانسفورماتور نیروگاهی مپنا مورد بررسی قرار گرفته و سپس با ارائه روش تحلیل تنش‌های الکتریکی و متد بهینه سازی بر مبنای حاشیه اطمینان، ساختارهای بهینه ای که حاشیه اطمینان تعیین شده از سوی طراح عایقی را برآورده می‌سازند ارائه شده اند.

واژگان کلیدی : سیستم خروجی فشارقوی[2] ، سیستم حائلی[3]، ضریب اطمینان استقامت عایقی، استقامت عایقی، منحی های طراحی وایدمن[4]

[1] Active part
[2] Lead exit system
[3] Barrier system
[4] Weidmann design curve

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول

سیستم عایقی ترانسفورماتور قدرت ۲

۱-۱ مقدمه..... ۳

۱-۲ مواد عایقی مورد استفاده در ترانسفورماتور ۳

۱-۲-۱ عایق مایع..... ۳

۱-۲-۲ عایق جامد..... ۴

۱-۲-۲-۱ ایجاد استحکامات مکانیکی..... ۴

۱-۲-۲-۲ ایجاد استقامت عایقی..... ۵

۱-۳ تقسیم بندی قطعات عایقی به لحاظ کاربرد در ترانسفورماتور قدرت..... ۶

۱-۳-۱ قطعات عایقی بوبین..... ۶

۱-۳-۲ قطعات عایقی مونتاژ..... ۶

۱-۴ تقسیم بندی مواد عایقی به لحاظ ساخت..... ۷

۱-۴-۱ قطعات ماشین کاری شده..... ۷

۱-۴-۲ قطعات شکل داده شده..... ۷

۱-۵ خشک سازی بخش فعال ترانسفورماتور در مرحله تولید..... ۸

۱-۵-۱ شرح فرایند خشک سازی..... ۸

۱-۵-۲ فاز آماده سازی (فاز فرعی)- فاز اول..... ۹

۱-۵-۳ فاز گرمایش با بخار کاروزین(فاز اصلی)- فاز دوم..... ۹

۱-۵-۴ فاز تقلیل فشار و گرمایش با دیواره های گرم کوره(فاز اصلی)- فاز سوم..... ۹

۱-۵-۵ فاز هوا دهی(فاز فرعی)- فاز چهارم..... ۱۰

۱-۵-۶ عملیات تقطیر..... ۱۰

فصل دوم

اصول و معیار های طراحی عایقی فشارقوی ترانسفورماتور های قدرت ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲رفتار عایقی روغن ۱۲

۲-۲-۱ تئوری شکست روغن ۱۲

۲-۲-۲ استقامت عایقی روغن ۱۵

۲-۳ سیستم حائلی ۱۵

۲-۴ معیار تحلیل میدان الکتریکی ۱۷

۲-۴-۱استقامت الکتریکی سیستم روغن/پرسبورد ۱۷

۲-۴-۲ استقامت عایقی مرز روغن/پرس بورد ۲۰

۲-۴-۳ محاسبه ضریب اطمینان در کانال ها ۲۱

۲-۴-۴ محاسبه ضریب اطمینان در سطح مشترک روغن/سلولز ۲۵

۲-۵ انواع تنش های الکتریکی اعمالی بر سیستم عایقی ترانسفورماتور ۲۷

۲-۵-۱ اضافه ولتاژ با فرکانس نامی با مدت زمانی در حدود چند ثانیه ۲۷

۲-۵-۲ اضافه ولتاژ کلید زنی با مدت زمانی در حدود کسری از ثانیه ۲۷

۲-۵-۳ اضافه ولتاژ صاعقه با مدت زمانی در حدود چند میکرو ثانیه ۲۸

۲-۵-۴ تابعیت استقامت الکتریکی از زمان ۲۸

فصل سوم

سیستم عایقی خروجی فشارقوی ترانسفورماتور قدرت ۳۰

۳-۱ سیستم خروجی فشار قوی ترانسفورماتور قدرت ۳۱

۳-۲ انواع خروجی های فشارقوی ۳۲

۳-۳ ساختار عایقی خروجی فشار قوی مدولار ۳۴

۳-۳-۱ بدنه فلزی ۳۵

۳-۳-۲ طراحی سیستم حائلی خروجی فشارقوی ۳۵

۳-۳-۳ کلاهک خروجی فشارقوی ۳۸

۳-۴ فرایند ساخت و تست ۳۹

۳-۵ خروجی آکاردئونی ۴۱

فصل چهارم

مدل سازی خروجی فشارقوی در تست های الکتریکی..... ۴۳

۴-۱ مقدمه ۴۴

۴-۲ اصول مدلسازی..... ۴۴

۴-۲-۱ اصول مدلسازی و تحلیل ساختارهای فشارقوی با روش المان محدود..... ۴۴

۴-۲-۲ اصول مدلسازی خروجی فشار قوی ۴۸

۴-۳ مدل سازی دو بعدی ۵۰

۴-۴ مدل سازی سه بعدی ۵۲

۴-۶ تاثیر شرایط ولتاژ اعمالی بر استقامت عایقی ۵۶

۴-۶-۱ تستACSD..... ۵۷

۴-۶-۲ تست ACLd..... ۶۱

۴-۶-۳ تست ولتاژضربه سوئیچ زنی ۶۵

۴-۶-۴ تست ولتاژ ضربه صاعقه..... ۶۹

۴-۶-۵ تحلیل استقامت خزشی ۷۳

۴-۷ نتیجه گیری ۷۵

فصل پنجم

بهینه سازی خروجی فشارقوی ۷۶

۵- ۱هدف از بهینه سازی خروجی فشارقوی..... ۷۷

۵-۲ عوامل موثر بر بهینه سازی ساختار های عایقی ۷۷

۵-۲-۱ طراحی عایقی ۷۷

۵-۲-۲ خط تولید مناسب..... ۷۸

۵-۲-۳ مواد عایقی با کیفیت ۷۸

۵-۳ پارامترهای تاثیر گذار بر بهینه سازی خروجی فشارقوی ۷۸

۵-۳-۱ رابطه میدان الکتریکی با شعاع ۷۸

۵-۳-۲ رابطه میدان با تعداد و فاصله کانال ها ۷۹

۵-۳-۳ ضخامت روکش ۷۹

۵-۳-۴ شکل بدنه و فاصله آن از خروجی فشارقوی ۷۹

۵-۳-۵ ساختار داخلی ترانسفورماتور قدرت ۷۹

۵-۴ ارائه روش بهینه سازی ۸۰

۵-۴-۱ تاثیر شعاع بدنه فلزی بر میدان الکتریکی در بازوهای خروجی فشار قوی ۸۱

۵ -۴-۲ رابطه میدان الکتریکی بر حسب فاصله از بدنه ۸۲

۵-۵ روش و قیود بهینه سازی خروجی فشار قوی ۸۶

۵-۶ نتایج بهینه سازی در بازوهای خروجی فشار قوی ۸۸

۵-۶-۱ ساختار بدون حائل ۸۸

۵-۶-۲ ساختار با یک حائل ۹۰

۵-۶-۳ بهینه سازی کلاهک خروجی فشار قوی ۹۴

۵-۶-۳-۱ساختار اول ۹۴

۵-۶-۳-۲ ساختار دوم ۹۷

۵-۶-۳-۴ مقایسه بیشینه میدان الکتریکی در دو ساختار بهینه و اولیه ۱۰۰

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۵

مراجع ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل ۱- ۱: فاصله انداز ۷
شکل ۱- ۲:خروجی خرطومی شکل ۸

شکل۲- ۱: شمایی سیستم حائلی در بخش فوقانی اکتیوپارت ۱۶
شکل۲- ۲ : نمودارهای رخداد شکست با احتمال یک درصد برای روغن با کیفیت های متفاوت در فواصل روغنی را نشان میدهد[۲] ۱۸
شکل۲- ۳: ساختار عایقی روغن/سلولز[۲] ۲۰
شکل۲- ۴: منحنی استقامت خزشی(با ۱٪ احتمال رخداد تخلیه های خزشی)[۱] ۲۱
شکل۲- ۵: منحنی های طراحی واید من ۲۳
شکل۲- ۶: تعیین تنش در راستای مسیر مشخص شده(خط A-B) در انتهای بوبین فشارقوی ۲۴
شکل۲- ۷: مقایسه منحنی استقامت ارائه شده در رابطه(۲-۲) با تنش الکتریکی در مسیر A-B در ولتاژ آزمایش ۲۳۰کیلوولت با حاشیه اطمینان ۴۰٪ ۲۴
شکل۲- ۸: تعیین تنش در راستای مسیر مشخص شده(خط A-B) ۲۵
شکل۲- ۹: مقدار موضعی تنش های خزشی در مرز مشترک روغن/سلولز راستای مسیر A-B ۲۶
شکل۲- ۱۰: مقایسه منحنی تنش خزشی مرتب شده به صورت کاهشی در مسیر A-B با منحنی استقامت ارائه شده در رابطه(۲-۳) در ولتاژ آزمایش ۲۳۰کیلوولت با حاشیه اطمینان ۶۰٪ ۲۶
شکل۲- ۱۱: مشخصه های دامنه و زمانی اضافه ولتاژهای موجود در شبکه ۲۸

شکل ۳- ۱: کاربرد تیپ مدولار در ترانسفورماتور۴۰۰/۲۳۰ kv ۳۱
شکل ۳- ۲: HVDC lead exit ۳۲
شکل ۳- ۳: Tailor made lead exit ۳۲
شکل ۳- ۴ : Econom lead exit ۳۳
شکل ۳- ۵: Modular lead exit ۳۳
شکل ۳- ۶: ساختار خروجی فشارقوی مدولار که شامل بدنه فلزی و سیستم حائلی است ۳۵
شکل ۳- ۷: مقایسه اثر سیستم حائلی بر حجم ساختار عایقی، در یک ولتاژ شکست معین ۳۷
شکل ۳- ۸:شمای کلاهک خروجی فشارقوی از زوایای مختلف ۳۸
شکل ۳- ۹ : تست های اشعه x بر قطعات عایقی ۴۰
شکل ۳- ۱۰: خروجی آکاردئونی از نماهای مختلف ۴۱

شکل ۴- ۱ :شمایی از قرار گیری خروجی فشارقوی در ترانسفورماتور و ابعاد ساختارهای مجاور ۴۹
شکل ۴- ۲: مدلسازی خروجی فشارقوی و ساختار داخلی ترانسفورماتور ۵۰
شکل ۴- ۳: مدلسازی خروجی فشارقوی و ساختار داخلی ترانسفورماتور با در نظر گرفتن تقارن محوری ۵۱

شکل۴- ۴ : شمایی از مدل سازی سه بعدی در مخزن ترانسفورماتور که با توجه به فاصله زیاد از فاز های دیگر و بی تاثیر بودن در تحلیل به مدل سازی یک فاز با کمینه فاصله ها اکتفا شده است.....۵۲

شکل۴- ۵: نمای از نزدیک سیم‌پیچ تنظیم ولتاژ و سیم‌پیچ فشارقوی در مجاورت خروجی فشارقوی.....۵۲

شکل۴- ۶: مدلسازی سه بعدی با صرف نظر کردن از قسمت هایی از سیم پیچ که در مقایسه با کمینه فاصله الکترود های زمین شده تا خروجی فشارقوی، اثری بسیار ناچیز در دقت تحلیل داشته و فرایند شبیه سازی را طولانی میکنند.....۵۳

شکل۴- ۷: نمایی از مش بندی که در آن، ابعاد مش ها توسط کاربر در مرز ها و قسمت های مختلف تعیین شده است.....۵۳

شکل ۴- ۸: الف) شکل سمت راست :تحلیل سه بعدی با تقارن محوری ب) شکل سمت چپ: تحلیل دو بعدی.....۵۴

شکل ۴- ۹ :الف)نتایج تحلیل تنش ها در فضای دوبعدی.....۵۵

شکل ۴- ۱۰: مسیر تحلیل تنش در کلاهک خروجی فشارقوی در تست ACSD.....۵۸

شکل ۴- ۱۱: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل (۴-۱۰)در تست ACSD.....۵۸

شکل ۴- ۱۲: مسیر تحلیل تنش در کلاهک خروجی فشارقوی در تست ACSD.....۵۹

شکل ۴- ۱۳ : تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۱۲) در تست ACSD ۵۹

شکل ۴- ۱۴: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در کلاهک خروجی فشارقوی در تست ACSD ۶۰

شکل ۴- ۱۵ : تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۱۴) در تست ACSD ۶۰

شکل ۴- ۱۶: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در کلاهک خروجی فشارقوی در تست AcLd.....۶۲

شکل ۴- ۱۷ : تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۱۶) در تست AcLd.....۶۲

شکل ۴- ۱۸: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در کلاهک خروجی فشارقوی در تست AcLd.....۶۳

شکل ۴- ۱۹: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل (۴-۱۸) در تست AcLd.....۶۳

شکل ۴- ۲۰: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت بازو خروجی فشارقوی در تست AcLd ۶۴

شکل ۴- ۲۱: :تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۲۰) در تست AcLd.....۶۴

شکل ۴- ۲۲ : مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت کلاهک خروجی فشارقوی در تست SI ۶۶

شکل ۴- ۲۳: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۲۲) در تست SI.....۶۶

شکل ۴- ۲۴: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت کلاهک خروجی فشارقوی در تست SI.....۶۷

شکل ۴- ۲۵ : تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۲۴) در تست SI ۶۷

شکل ۴- ۲۶: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت بازو خروجی فشارقوی در تست SI.....۶۸

شکل ۴- ۲۷: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۲۶) در تستSI ۶۸

شکل ۴- ۲۸: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت کلاهک خروجی فشارقوی در تست LI ۷۰

شکل ۴- ۲۹: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۲۸) در تستLI ۷۰

شکل ۴- ۳۰: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت کلاهک خروجی فشارقوی در تست LI ۷۱

شکل ۴- ۳۱: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۳۰) در تستLI ۷۱

شکل ۴- ۳۲: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت بازو خروجی فشارقوی در تست LI ۷۲

شکل ۴- ۳۳: تحلیل تنش و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۳۲) در تستLI ۷۲

شکل ۴- ۳۴: مسیر تحلیل تنش الکتریکی در قسمت کلاهک خروجی فشارقوی در تست **LI** ۷۳
شکل ۴- ۳۵ :نمودار تنش خزشی در مسیر A-B در شکل ۴-۳۴ ..... ۷۴
شکل ۴- ۳۶: تحلیل تنش خزشی مرتب شده به صورت کاهشی و محاسبه ضرائب اطمینان درمسیر A-B در شکل(۴-۳۵) در تست LI ۷۴

شکل ۵- ۱: مدل و ابعاد به کار رفته واقعی بدون بهینه سازی ۸۰
شکل ۵- ۲: تاثیر شعاع قسمت های فلزی در بازو و کلاهک بر شدت میدان اکتریکی ۸۱
شکل ۵- ۳: نمودار تغییرات شدت میدان الکتریکی در سطح الکترود با افزایش شعاع بدنه فلزی ۸۲
شکل ۵- ۴: تقریب پروفایل میدان الکتریکی بین بدنه فلزی خروجی فشارقوی و بدنه ترانسفورماتور با رابطه (۵-۳)با استفاده از ابزار cftool ۸۳
شکل ۵- ۵: بررسی تاثیر شعاع بدنه فلزی خروجی فشارقوی بر پروفایل میدان الکتریکی نسبت به فاصله از بدنه ترانسفورماتور ۸۴
شکل ۵- ۶ : بررسی تاثیر تعدد و ضخامت حائل ها بر شدت میدان الکتریکی در بازوی خروجی فشارقوی ۸۵
شکل ۵- ۷ : پروفایل شدت میدان الکتریکی در مسیر A-B در شکل (۵-۶) ۸۵
شکل ۵- ۸ شمایی از سیستم حائلی در خروجی فشارقوی ۸۶
شکل ۵- ۹: نمودار تغییرات ضخامت روکش سلولزی بدنه فلزی در حالتی که حائل ها حذف شوند ۸۹
شکل ۵- ۱۰: حالات ممکن برای ضخامت ایزوله و پهنای کانال در شعاع ۳۱ میلیمتری بدنه فلزی ۹۰
شکل ۵- ۱۱:شمای ساختار تک حائلی در قسمت بازو ها ی خروجی فشارقوی ۹۱
شکل ۵- ۱۲: حالت های ممکن برای ضخامت روکش سلولزی و پهنای کانال در ساختار با یک کانال روغنی برای شعاعهای مختلف بدنه فلزی ۹۲
شکل ۵- ۱۳ : نمودار فوق حالتی را که بین دو ساختار بدون حائل و با وجود یک حائل مشترک می‌باشد،نشان میدهد. ۹۳
شکل ۵- ۱۴: شدت میدان الکتریکی در حالت بدون حائل برای بازو ها ۹۳
شکل ۵- ۱۵: پروفایل شدت میدان الکتریکی در حالت بدون حائل برای بازو ها در مسیر A-B نشان داده شده در شکل ۵-۱۴ ..... ۹۴
شکل ۵- ۱۶: نمایی از ساختار کلاهک خروجی فشارقوی در ساختار تک حائلی در بازو ها ۹۵
شکل ۵- ۱۷: شدت میدان الکتریکی ساختار کلاهک خروجی فشارقوی در ساختار تک حائلی در بازو ها ۹۵
شکل ۵- ۱۸: تحلیل تنش الکتریکی به همراه ضرایب اطمینان در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۱۷ ..... ۹۶
شکل ۵- ۱۹: شدت میدان الکتریکی ساختار کلاهک خروجی فشارقوی در ساختار تک حائلی در بازو ها ۹۶
شکل ۵- ۲۰: تحلیل تنش الکتریکی به همراه ضرایب اطمینان در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۱۹ ..... ۹۷
شکل ۵- ۲۱: شدت میدان الکتریکی در ساختار جدید کلاهک خروجی فشارقوی با تنش کمتر الکتریکی ۹۸
شکل ۵- ۲۲: شدت میدان الکتریکی در ساختار اولیه کلاهک خروجی فشارقوی با تنش بیشتر الکتریکی ۹۸
شکل ۵- ۲۳ : پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۱ ..... ۹۹
شکل ۵- ۲۴ : پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۲ ..... ۹۹

شکل ۵-۲۵ :مسیر A-B جهت محاسبه شدت میدان الکتریکی بیشنه، در ساختار بهینه..... ۱۰۰
شکل ۵-۲۶ : پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۵..... ۱۰۰
شکل ۵-۲۷ : مسیر A-B جهت محاسبه شدت میدان الکتریکی بیشنه، در ساختار اولیه..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۸ : پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۷..... ۱۰۱
شکل ۵- ۲۹: خطوط و شدت میدان الکتریکی در ساختار بهینه کلاهک خروجی فشارقوی با تنش کمتر الکتریکی به منظور بررسی میدان های مماسی ۱۰۲
شکل ۵- ۳۰: پروفایل شدت میدان الکتریکی مماسی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۹ ..... ۱۰۲
شکل ۵- ۳۱ : تعیین مسیر برای سنجش شدت میدان الکتریکی بین لایه خارجی کلاهک و بدنه با توجه به همین مسیر در شکل ۵-۲۱ ..... ۱۰۳
شکل ۵- ۳۲ : نمودار (الف) پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۳۱ و نمودار(ب)پروفایل تنش الکتریکی در مسیر مشخص شده در شکل ۵-۲۱ را نشان میدهند ۱۰۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱ :پارامترهای استقامت روغن.....۱۹

جدول ۲-۲: فاکتور طراحی عایقی برای تست های مختلف.....۲۹

جدول ۳-۱: رده ولتاژی و درجه آزادی به عنوان تابعی از مواد،ساختار هندسی و ابعاد در تیپ های مختلف خروجی فشارقوی.....۳۴

جدول ۴-۱: فاکتور طراحی عایقی برای تست های مختلف.....۵۶

جدول ۵-۱ : ضرائب اطمینان عایقی کانال دوم روغنی در بخش های مختلف در تست های اعمالی به منظور مقایسه و شناسایی حساس ترین تست از لحاظ ضریب اطمینان عایقی.....۷۵

مقدمه

قابلیت اطمینان و دسترسی دائم به انرژی الکتریکی عمدتا" وابسته به کارکرد مطلوب و مطمئن سیستم عایقی ترانسفورماتور به عنوان منتقل کننده توان الکتریکی از یک سطح ولتاژ به سطح دیگر در شبکه های قدرت است. از این رو داشتن یک سیستم عایقی مطلوب و مطمئن که به لحاظ قیمت و حجم یک ساختار بهینه را ارائه نماید، یک الزام است که برای نیل به آن، شناخت و تسلط بر دو موضوع در سیستم عایقی ترانسفورماتور که در برگیرنده تمام بخش های عایقی بخش فعال ترانسفورماتور از جمله خروجی های فشار قوی ضروری به نظر میرسد.

۱- موضوع اول آگاهی کامل از کیفیت، جنس و ویژگی های مواد عایقی مورد استفاده در ترانسفورماتورمی باشد. در فصل اول پایان نامه به معرفی کلی مواد و سیستم عایقی ترانسفورماتور پرداخته ایم و در فصل دوم اصول طراحی عایقی توضیح داده شده است. با استفاده از مفاهیم بیان شده در فصول یک و دو در فصل سوم به معرفی ساختار خروجی های فشارقوی به عنوان یک سیستم عایقی مرکب متشکل از قطعات ویژه، پرداخته شده است.

۲- موضوع دوم طراحی عایقی بهینه و مطمئن بر اساس تحلیل دقیق میدان در فضای مورد نظر می باشد. این طراحیها بر اساس ویژگی های الکتریکی عایق های مایع و جامد مورد استفاده در ترانسفورماتور و محدودیت های موجود در تکنولوژی برای ایجاد ساختارها و اشکال گوناگون صورت می گیرد. با توجه به این نکات فصل چهارم به مدل سازی انجام شده در پایان نامه و نحوه تحلیل میدان الکتریکی در تست های متنوع برای نواحی مختلف ساختار عایق خروجی فشارقوی، و فصل پنجم به اصول بهینه سازی و ارائه ساختارهای جدید برای این سیستم عایقی بر اساس اصول ارائه شده در فصل چهارم اختصاص داده شده است.

فصل اول

سیستم عایقی ترانسفورماتور قدرت

۱-۱ مقدمه

شناخت ویژگی های خروجی فشارقوی به عنوان یک سیستم عایقی در ترانسفورماتور مستلزم دانش در مورد جنس و ویژگی عایق های مورد استفاده ، همچنین کاربرد و نحوه ساخت این قطعات است لذا در این بخش اطلاعات و تعاریف کلی راجع به این مفاهیم ارائه خواهد شد.

۱-۲ مواد عایقی مورد استفاده در ترانسفورماتور

عایق های مورد استفاده در ترانسفورماتور به دو بخش عایق های مایع و جامد، تقسیم می شوند.

۱-۲-۱ عایق مایع

اساسا عایق مایع با نفوذ در کل حجم تحت تنش الکتریکی و پر کردن آن استقامت الکتریکی را ایجاد می کند. مضاف بر اینکه عایق مایع در نقش یک واسط انتقال حرارت وظیفه خنک کنندگی را نیز بر عهده دارد.

عایق های مایع مورد استفاده در ترانسفورماتور عموما شامل سه دسته زیر می شوند :

۱- روغن معدنی مطابق با استاندارد IEC 600296 چاپ سوم که بر خی از ویژگی های آن عبارت است از:
- نقطه اشتعال ۱۶۵درجه سانتیگراد.
- استقامت الکتریکی ۷۰ kv/mm.
- قابلیت اشباع کامل عایق های سلولزی که افزایش استقامت کلی و استقامت فصل مشترک روغن/سلولز را در پی خواهد داشت.

۲- روغن سیلیکونی مطابق با استاندارد IEC 60836 که برخی از ویژگی های آن عبارتند از :
- نقطه اشتعال ۳۴۰ درجه سانتیگراد، که مقدار بسیار بالاتری نسبت به روغن معدنی دارد.
- استقامت الکتریکی پایین تری نسبت به روغن معدنی در فواصل بزرگتر، از خود نشان میدهد.
- ضعف استقامت عایقی فصل مشترک روغن/سلولز در سیستم هایی با روغن سیلیکونی منجر به محدود شدن استفاده از آن به ترانسفورماتورهای توزیع و فوق توزیع شده است.

۳- استر مطابق با استاندارد IEC 61099
- روغن‌های با پایه گیاهی نظیر روغن استر که از گیاه سویا استخراج می‌شود، قابلیت بازیافت طی کمتر از سی سال در طبیعت را دارد. این روغن در حال باز کردن جای پا در صنعت ترانسفورماتور سازی است.

شرکت آلستوم تاکنون بیش از ۱۱۰ دستگاه ترانسفورماتور و راکتور شنت با این عایق مایع، تا سطح ولتاژ ۲۴۵کیلوولت تولید نموده است. روغن استر با توجه به نقطه اشتعال ۳۵۰ درجه سانتیگراد در مناطق شهری که پیشگیری از آتش سوزی اهمیت ویژه ای دارد و نیز در مواردی که ترانسفورماتور در دریا نصب می‌شود که نشت روغن تبعات زیست محیطی شدیدتری می‌تواند داشته باشد، بر روغن معدنی برتری می‌یابد.[۱۶]

به طور کلی روغن معدنی به دلیل کاربرد اثبات شده ای که در طولانی مدت در صنعت ترانسفورماتور داشته است درحال حاضر به عنوان روغن انواع ترانسفورماتورها و سوئیچگیرها در دنیا معمول میباشد.

۱-۲-۲ عایق جامد

استفاده از عایق های جامد دو هدف عمده را دنبال میکند :

۱-۲-۲-۱ ایجاد استحکامات مکانیکی

عایق هایی که برای این منظور به کار می روند، استقامت الکتریکی بالایی ندارند و بیشتر نقش نگهدارنده داشته همچنین در اعمال نیروهای پرسی به منظور فراهم نمودن استقامت مکانیکی لازم برای قسمت فعال ترانسفورماتور حین تنش های مکانیکی نظیر نیروهای ناشی ازاتصال کوتاه استفاده می شوند. چند نمونه از این عایق های جامد عبارتند از :

چوب فشرده لایه ای اشباع نشده:

چوب لایه ای بوسیله چسباندن لایه های روکش چوب تحت شرایط دمایی و فشار کنترل شده، با استفاده از چسب رزینی ترموست مصنوعی ساخته می شود. کنده کمانی یکی از قطعات ساخته شده از این مواد میباشد که وظیفه اعمال نیرو های پرسی از بالا و پایین به بوبین ها را برای مهار و مستهلک کردن نیروهای (عظیم) اتصال کوتاه ترانسفورماتور بر عهده دارد.

Hp : هر جا که نیاز به استحکام مکانیکی بالا باشد، که عموما به صورت لوله ای هستند.

HGW : برای ساختن پیچ ومهره های عایقی که در سیم بندی ترانسفورماتورو در بدنه کلید ها استفاده می شوند.