دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش : قدرت

عنوان : تدوین نرم افزار برای محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچهای ترانسفورماتور

استاد راهنما : آقای دکتر سید هادی حسینی

نگارش : احد میرلو

تدوین : شهریور ۸۸

چکیده:

امروزه باتوجه به قیمت انرژی و معایب و مشکلاتی که تلفات، برای ماشین‌های الکتریکی ایجاد می‌کند، ضرورت شناخت و کاهش تلفات در ماشین‌های الکتریکی مشهود است. در این پروژه، روشی برای محاسبه تلفات فوکو[1] در سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور با استفاده از روش رابین[2] معرفی شده است.

تلفات فوکو در سیم‌پیچی‌ها و تلفات فوکوی هسته به علت وجود شار پراکندگی در سیم‌پیچی‌ها و هسته ترانسفورماتور، پدید می‌آید. به این صورت که قطع شدن هادی‌ها توسط این شارهای پراکندگی موجب القای ولتاژ در هادی می‌شود. با توجه به مقاومت کم هادی جریان شدیدی درون هادی جاری شده و تلفات ایجاد می‌کند

روش معرفی شده بر روی یک ترانسفورماتور نمونه، اعمال شده است. ترانسفورماتور نمونه یک ترانسفورماتور فوق توزیع، دارای ردیف ولتاژ ۱۳۲ به ۲۰ کیلو ولت و ظرفیت نامی ۳۰ مگا ولت آمپر می‌باشد. که شرح مفصلی از مشخصات آن در فصل پنجم آمده است. روش رابین، با حل معادلات ماکسول در، چگالی شار مغناطیسی را برای محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور، به دست می‌آورد. و با استفاده از این چگالی شار تلفات فوکو محاسبه می‌شود.

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل بوده که در اینجا شرح مختصری بر آن داده می‌شود:

در فصل اول مقدمه ای بر کاربرد ترانسفورماتور و اهمیت آن در شبکه، و همچنین مقدمه‌ای بر ضرورت محاسبه تلفات گردابی در سیم پیچ های ترانسفورماتور آمده است.

در فصل دوم که با عنوان تلفات گردابی آمده است به طور اجمالی به معرفی تلفات در ترانسفورماتور پرداخته است.

فصل سوم، دو روش برای معرفی تلفات فوکو در سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور را بیان کرده است.

فصل چهارم روش رابین را معرفی می‌کند.

در فصل پنجم مشخصات ترانسفورماتور نمونه و نتایج بدست آمده از نرم افزار نوشته شده برای محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور آمده است.

و در فصل پایانی روش‌های کاهش تلفات آمده است.

1. Eddy Losses
2. Rabin's Method

فهرست مطالب

فصل اول ضرورت محاسبه تلفات گردابی در سیم پیچ های ترانسفورماتور ۱

۱-۱-مقدمه ای بر کاربرد ترانسفورماتور و اهمیت آن در شبکه ۲

۱-۲-مقدمه‌ای بر ضرورت محاسبه تلفات گردابی در سیم پیچ های ترانسفورماتور ۳

فصل دوم تلفات گردابی ٦

۲-۱-مقدمه: ۷

۲-۲-تلفات در بخش های مختلف ترانسفورماتور ۷

۲-۲-۱-تلفات هسته ۸

۲-۲-۱-۱-تلفات هیسترزیس در هسته ۸

۲-۲-۱-۲- تلفات فوکو در هسته ۸

۲-۲-۲-تلفات بار ۹

۲-۲-۲-۱ — تلفات مس ۹

۲-۲-۲-۲ — تلفات جریان فوکو در سیم‌پیچ‌ها ۱۰

۲-۲-۲-۳-تلفات جریان گردابی در هادیها ۱۱

۲-۲-۲-٤- تلفات مخزن ترانسفورماتور ۱۲

۲-۲-۲-۵- تلفات پراکنده در نگهدارنده‌های هسته ۱۳

فصل سوم **روشهای محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچ‌ها** ۱٤

۳-۱ مقدمه ۱۵

۳-۲-تلفات فوکو در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور ۱۵

۳-۳-روش تقریبی محاسبه تلفات فوکو(Z_{mitt}) ۲۵

فصل چهارم روش رابین برای تعیین چکالی شار مغناطیسی ۲۸

٤-۱-۱- مقدمه ۲۹

٤-۱-۲- تئوری روش رابین ۳۰

٤-۱-۳- تعیین بردار چگالی شار مغناطیسی ٤٦

فصل پنجم محاسبات تلفات فوکو در یک ترانسفورماتور نمونه ٤۷

۵-۱ مقدمه ٤۸

۵-۲ محاسبه تلفات فوکو در یک ترانسفورماتور ۴۸
۵-۲-۱ مشخصات ترانسفورماتور نمونه ۴۸
۵-۲-۲: اعمال روش معرفی شده به ترانسفورماتور نمونه ۴۹
فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات ۵۱
۶-۱ نتیجه‌گیری ۵۲
۶-۲ روشهای پیشنهادی برای کاهش تلفات ۵۲
مراجع ۵۴

فصل اول

ضرورت محاسبه تلفات گردابی در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور

۱-۱-مقدمه ای بر کاربرد ترانسفورماتور و اهمیت آن در شبکه:

یکی از کاربردهای بسیار مهم ترانسفورماتورهای کاهش جریان پیش از خطوط انتقال انرژی الکتریکی است. دلیل استفاده از ترانسفورماتور در ابتدای خطوط این است که همه هادی‌های الکتریکی دارای میزان مشخصی مقاومت الکتریکی هستند، این مقاومت می‌تواند موجب اتلاف انرژی در طول مسیر انتقال انرژی الکتریکی شود. میزان تلفات در یک هادی با مجذور جریان عبوری از هادی رابطه مستقیم دارد و بنابراین با کاهش جریان می‌توان تلفات را به شدت کاهش داد. با افزایش ولتاژ در خطوط انتقال به همان نسبت جریان خطوط کاهش می‌یابد و به این ترتیب هزینه‌های انتقال انرژی نیز کاهش می‌یابد، البته با نزدیک شدن خطوط انتقال به مراکز مصرف برای بالا بردن ایمنی ولتاژ خطوط در چند مرحله و باز به وسیله ترانسفورماتورها کاهش می‌یابد تا به میزان استاندارد مصرف برسد. به این ترتیب بدون استفاده از ترانسفورماتورها امکان استفاده از منابع دوردست انرژی به راحتی فراهم نمی‌آمد.

امروزه از ترانسفورماتورها در اندازه‌ها و توان‌های مختلفی استفاده می‌شود از یک ترانسفورماتور بند انگشتی که در یک میکروفن قرار دارد تا ترانسفورماتورهای غول‌پیکر چند صد مگا ولت-آمپری. همه این ترانسفورماتورها اصول کار یکسانی دارند اما در طراحی و ساخت متفاوت هستند. ترانسفورماتورها یکی از پربازده‌ترین ماشین‌های الکتریکی هستند به طوری که در برخی ترانسفورماتورهای بزرگ راندمان به بیش از ۹۸٪ نیز می‌رسد. اما به دلیل توان بالای ترانسفورماتورهای قدرت حتی درصد ناچیز آن، مقدار قابل توجهی می‌شود و به دلیل همین مقادیر زیاد، مبحث تلفات در ترانسفورماتور از اهمیت خاصی برخوردار است.

۱-۲-مقدمه‌ای بر ضرورت محاسبه تلفات گردابی در سیم پیچ های ترانسفورماتور:

یکی از مشخصه های هر دستگاه الکتریکی تلفات آن می‌باشد، چرا که این مشخصه نه تنها در طول عمر تجهیزات الکتریکی موثر است بلکه با اشغال کردن بخشی از توان، باعث کاهش راندمان و در نتیجه افزایش هزینه می‌شود. تلفات یک ترانسفورماتور را می‌توان به دو بخش تلفات بار و تلفات بی باری، تقسیم بندی کرد. تلفات بی باری که به آن تلفات هسته نیز گفته می‌شود، که این تلفات خود به دو نوع هیسترزیس و فوکو تقسیم میشود و در فصل دوم شرح مختصری از آنها آمده است.

مواد فرومغناطیس معمولا هادی‌های الکتریکی خوبی نیز هستند و بنابراین هسته ترانسفورماتورمی‌تواند مانند یک مدار اتصال کوتاه شده عمل کند. و حتی با القای میزان کمی ولتاژ، میزان جریان فوکو[۱] (گردابی) در هسته به شدت بالا می‌رود. این جریان جاری در هسته، گذشته از به وجود آوردن تلفات الکتریکی موجب به وجود آمدن حرارت در هسته نیز می‌شود. جریان گردابی در هسته با مجذور فرکانس منبع رابطه مستقیم و با مجذور ضخامت ورق هسته رابطه معکوس دارد. برای کاهش تلفات گردابی در هسته، هسته‌ها را ورقه ورقه کرده و آنها را نسبت به یکدیگر عایق می‌کنند.

تلفات بارداری یا اهمی نیز در زمانی که روی ترانسفورماتور بار الکتریکی قرار می‌گیرد به وجود می‌آید. تلفات بار داری مجموع تلفات ایجاد شده توسط مقاومت سیم‌پیچ[۲] و جریان گردابی ایجاد شده در سیم‌پیچ و سایر جریان های گردابی ایجاد شده در بدنه اصلی در داخل ترانسفورماتورمی‌باشد .که در فصل بعدی به طور مفصل‌تری به آن پرداخته می‌شود[۳].

---

۱ eddy current

۲ RI^2

۳ تلفات بار داری در دمای در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد تبدیل و محاسبه می شود .

در هنگام طراحی ترانسفورماتور تلفات گردابی[1] سیم‌پیچ می‌تواند به ۳۳٪ تلفات مسی برسد ولی در طراح‌های مناسب این مقدار از ۲۵٪ تلفات مسی تجاوز نمی‌کند. در جداول ذیل نمونه‌هایی از ترانسفورماتورهای مختلف آمده است.

۱-ترانسفورماتور ۶.۳KV / ۲۰ با توان ۵ مگا ولت آمپر تلفات بارداری در بوبین های مختلف در تپ نامی به صورت زیر است

جدول ۱ : مشخصات تلفاتی ترانسفورماتور معرفی شده

$\frac{\text{تلفات فوکو}}{\text{تلفات مقاومتی}} \times 100$	مجموع تلفات در دمای $75^{\circ}c$	تلفات فوکو در سیم‌پیچ در دمای $75^{\circ}c$	تلفات مفاومتی در دمای $20^{\circ}c$	
۱۳/۱۸۹	۳۵۲۷٤	٤۱۱۰	۲۵٦۸۰	فشار ضعیف
۲۸/٤۱	٦۱٦۲۵	۱۳٦۳٤	۳۹۵٤٦	فشار قوی
–	–	–	–	تنظیم ولتاژ درشت
۵.۵٦۹	۳۵۵۷	۱۵٦	۲۸۰۱	تنظیم ولتاژ ریز

[1] Eddy Loss

۲- ترانسفورماتور ٦٦/٢٠ KV با توان ٢٠ MVA تلفات بارداری در بین بوبین های مختلف در تپ نامی به صورت زیر است

جدرل ۲ : مشخصات تلفاتی ترانسفورماتور معرفی شده

	مجموع تلفات در دمای ۷۵ درجه سانتیگرداد	تلفات فوکو در سیم‌پیچ در دمای ۲۰ درجه سانتیگرداد	تلفات مفاومتی در دمای ۲۰درجه سانتیگرداد	
۳.۳۵	۲۸۲۹۳	۷۵۷	۲۲٦۸۹	فشار ضعیف
٦.۱۸	۲۸۳۹۷	۱۳۷۵	۲۲۲۵۳	فشار قوی
۳.۲٤	۹۷۹۹	۲۵۵	۷۸٦۲	تنظیم ولتاژ درشت

۳-ترانسفورماتور ۱۳۲/۲۰ KV با توان ۳۰ MVA

جدرل ۳ : مشخصات تلفاتی ترانسفورماتور معرفی شده

	مجموع تلفات در دمای ۷۵ درجه سانتیگرداد	تلفات فوکو در سیم‌پیچ در دمای ۲۰ درجه سانتیگرداد	تلفات مفاومتی در دمای ۲۰درجه سانتیگرداد	
۹.۸۱	۵۰۲٦۳	۳۷۵٦	۳۸۲۸۵	فشار ضعیف
۱۷.۹۵	۵۰٦٤۸	٦۵۱٤	۳٦۲۹۹	فشار قوی
٤.۳۵	۱۳۵۸۱	٤٦۹	۱۰۸۰۰	تنظیم ولتاژ درشت

با توجه مقادیر فوق که تلفات گردابی در ۳ ترانسفورماتور نمونه بالا بین ۳ تا ۲۸ درصد تلفات مس است لزوم شناخت و راههای کاهش این تلفات احساس می‌شود.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

٦-١ نتیجه‌گیری

دقت محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچی های یک ترانسفورماتور به دقت محاسبه میزان چگالی شار مغناطیسی که آن را قطع می‌کند وابسته می‌باشد. امروزه نرم‌افزارهایی قوی مبتنی بر روش های عددی جهت محاسبه این میدان ها وجود دارند که می‌توانند مقدار چگالی شار مغناطیسی در فضای مورد نیاز را با دقت بسیار بالایی در اختیار قرار دهند، اما پیچیدگی کار با آنها مانع از آن می‌شود که بتوان از آنها در فرآیندهای معمول طراحی ترانسفورماتور بهره برد. در روش های معمول طراحی برای محاسبه تلفات فوکو در سیم‌پیچی ها از روابط تقریبی استفاده می‌شود که از محاسبه تقریبی چگالی شار پراکندگی حاصل شده‌اند.

٦-٢ روشهای پیشنهادی برای کاهش تلفات:

روش های عملی و مهندسی زیادی برای بهبود بخشیدن بازده ترانسفورماتورها وجود دارد. در طراحی‌های مختلف می‌توان با بهبود مواد ساختمان ترانسفورماتور (ارتقا کیفیت مواد هسته یا سیم‌پیچ ترانسفورماتور) و تغییر شکل هندسی هسته و مجموعه سیم‌پیچ‌ها، بازده ترانسفورماتور را بالاتر برد. تلفات هسته و سیم‌پیچ‌های ترانس مستقل از پارامترهای طراحی ترانس نیستند. هریک از آنها با تولید گرما و اشغال فضای فیزیکی ترانس به هم پیوند دارند. ترانس ها با توجه به گرمای ناشی از تلفات برای یک افزایش دمای معین طراحی می‌شوند. دماهای بالا برای طراحی ترانس یک محدودیت محسوب شده و معمولاً مطابق با استانداردها تعیین می‌شود (IEEE C57.12.00،C57.12.01).

تجاوز دمای کاری ترانس از حد تعیین شده باعث کاهش عمر ترانس خواهد شد. در جدول(٦) روش‌های مختلف کاهش تلفات ترانسفورماتور به طور کلی ذکر شده است. همان طور که مشاهده می‌شود بسیاری از روش های کاهش تلفات هسته ترانس و سیم پیچی ها با هم در تضاد هستند یعنی برخی از روش هایی که برای کاهش تلفات اهمی (ناشی از سیم‌پیچ‌ها) به کار می‌روند، تلفات آهنی (ناشی از هسته) را زیاد می‌کنند و بالعکس.

جدول (۶) روش های مختلف کاهش تلفات ترانسفورماتور				
تاثیر در قیمت	**تاثیر در تلفات بار**	**تاثیر در تلفات بی باری**	**راههای کاهش تلفات**	
زیاد	بدون تغییر	کم	استفاده از هسته هایی با تلفات کم	کاهش تلفات هسته
زیاد	زیاد	کم	کاهش چگالی شار با افزایش سطح مقطع عرضی هسته	
زیاد	زیاد	کم	کاهش چگالی شار با کاهش ولت بر دور	
کم	زیاد	کم	کاهش طول مسیر شار با کاهش سطح مقطع عرضی هادی	
زیاد	کم	بدون تغییر	استفاده از هادی هایی با تلفات کم	کاهش تلفات سیم پیچ
زیاد	کم	زیاد	کاهش چگالی جریان با افزایش سطح مقطع عرضی هادی	
کم	کم	زیاد	کاهش مسیر عبور جریان با کاهش سطح مقطع هسته	
کم	کم	زیاد	کاهش مسیر عبور جریان با افزایش ولت بر دور	

مراجع

[۱] علی نصیری " *آنالیز مغناطیسی ترانسفورماتور و محاسبه تلفات هسته با استفاده از روش المان محدود*" سمینار کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشکده فنی، دانشگاه تبریز،مهر ۱۳۸۰

[2] http://www.waukeshaelectric.com

[3] S.V.Kulkarni, S.A.Khaparde "*Transformer Engineering Design and Practice*" Indian Institute of Technology, Bombay, Mumbai, India, © 2004 by Marcel Dekker, Inc.

[4] Robert M.Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T.Feghali, Dilipkumar M.Shah, Rajendra Ahuja. " *Transformer Design Principles*" © 2002 by CRC Press

[5] M. J. Heathcote," *The J&P Transformer Book, Twelfth Edition*," Apractical Technology Of The Power Transformer, Planta Tree, 1998.

[6] G.J.Pavkov، and S.S.Milovancev "*Additional losses in massive copper conductor due to eddy-currents*," Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, 2001, page(s): 1408-1412 vol.3

[7] Dong-Hun Kim ,Sang-Young Kim , Song-Yop Hahn ,"*Improved design of cover plates of power transformers for lower eddy current losses*", Magnetics Conference, 1999. Digest of INTERMAG 99. 1999 IEEE International.18-21 May 1999 page(s): AS11-AS11

[۸] پ. س. سن " ماشین‌های الکتریکی، تحلیل، بهره‌برداری، کنترل" ترجمه مهرداد عابدی، محمد تقی نبوی، تهران، کارآفرینان بصیر، ۱۳۷۳

[9] M.Abramowitz and I.A.Stegun, Editors, "*Handbook of Mathematical Functions*", Dover Publications, Inc., New York, 1972.

[10] L.Rabins, "*Transformer Reactance Calculations with Digital Computers*", AIEE Trans., Vol. 75 Pt. I, July 1956, pp. 261–267.