١٥٧٦٦٢

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی انتقال گرما در بوبین بشقابی ترانسفورماتور

دانشجوی کارشناسی ارشد :

سحر صمصامی

استاد راهنما :

دکتر شهرام خلیل آریا

اسفند ماه ۱۳۸٦

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
IRANDOC

۱۵۷۶۶۲

۲ /۳/ ۱۳۹۰

پایاننامه خانم ..... در تاریخ ۸۶/۱۲/۲۰ ..... و

شماره ..... با رتبه ..... عالی ..... و نمره ..... ۱۹ ..... نوزده تمام

مورد پذیرش هیئت محترم داوران قرار گرفت.

۱-استاد راهنماي اول و رئيس هيئت داوران دکتر شهرام خلیل آریا

۲-داور خارجي دکتر ایرج میرزائی

۳-داور داخلي دکتر سید مهدی پسندیده

٤-نماينده تحصيلات تكميلي دکتر بهروز طوسی

حق طبع و نشر محتواي پايانناميه براي دانشگاه اروميه محفوظ است.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی اش

از کلمه دوستی-

به پاس عاطفه سرشارش
که در این برهوت بدگمانی و شک
چون شبچراغی می درخشد و روح را از تنهایی و نومیدی رهایی می دهد
و گرمای امید بخش اش
که در این سرد ترین روزگاران
ناباوری را تخطئه می کند-

به پاس قلب بزرگی که فریادرس است
و سرگردانی و ترس
در پناه اش به شجاعت می گراید-

به پاس محبت بی دریغی که فروکش نمی کند
و انسانیتی که در نبرد با ظلمت از پا در نمی آید،

این مجموعه را به
مادر فداکار و همسر مهربانم
تقدیم می کنم.

تقدیر و تشکر:

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر شهرام خلیل آریا، جناب آقای دکتر پسته ،جناب آقای دکتر میرزایی و دوست و استاد عزیز جناب آقای دکتر پیام شریفی، همکاران محترم شرکت ایران ترانسفو، آقای مهندس حسامی، آقای مهندس آبلو، آقای مهندس براتی، آقای مهندس منوچهری، آقای دکتر حسینی و آقای دکتر رحیم پور که با وجود مشغله بسیار در تمامی مراحل انجام پروژه مرا از راهنماییها و حمایتهای علمی خود بهره مند ساختند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

چکیده

در طراحی یک ترانسفورماتور عمر مفید ترانس(که تابعی از میزان توانایی ترانس در دفع تلفات تولیدی با توجه به شرایط محیط میباشد :)بسیار قابل توجه بوده ودر ارتباط مستقیم با مواد مورد استفاده در ساختار ترانس است و انواع مواد با توجه به دمای سیم پیچ و روغن تعیین میشوند.تعیین توزیع دمایی سیم پیچ و روغن و حتی توزیع سرعت و فشار حرکت روغن و مهمتر از همه تعیین مقدار و محل (HOT SPOT) داغترین نقطه سیم پیچ ضروری به نظر میرسد.به این دلیل در کار حاضر یک مدل هیدرولیکی و گرمایی جهت تعیین توزیع دمای بشقابها و روغن خنک کننده در بوبین بشقابی(OD)ارائه شده است.در این پروژه بوبین بشقابی که جریان روغن داخل آنها جهت داده شده است با استفاده از روش شبکه ای جریان روغن مدل گردیده است.دراین مدل ابتدا تلفات تولیدی محاسبه شده سپس با حل سه معادله بقاء جرم ، بقاء انرژی و افت فشار(با در نظر گرفتن انتقال گرمای هدایت وجابجایی از بشقاب به کانالهای افقی و عمودی روغن) دمای بشقابها به دست آمده است.تلفات کل سیم پیچ شامل تلفات اهمی و فوکو می باشد.تلفات فوکو در دو راستای شعاعی و محوری از جمله تلفات تولیدی مؤثر بر میزان کلی تلفات بوده که می تواند میزان جهش دمایی بشقابها را تا چند درجه افزایش دهد که در کارهای قبلی تلفات فوکو در راستای شعاعی ملاحظه نشده است.در این تحقیق تلفات تولیدی (اهمی و فوکو)و مقاومت هیدرولیکی وتوزیع دمایی روغن و بشقابها و نیز جهش دمایی بوبین نسبت به روغن و همچنین مقدار و محل دقیق داغترین نقطه سیم پیچ(HOT SPOT)(که در کارهای قبلی دمای متوسط گرمترین بشقاب، دمای (HOT SPOT) محسوب می شد) محاسبه شده است. همچنین تاثیر پارامترهایی چون مقدار تلفات فوکو تعداد واشرهای راهنما ارتفاع سیستم خنک کاری (رادیاتورها) ،تعداد اسپیسر ها و تیرکها وانتقال گرما از کانالهای عمودی بر جهش گرمای بشقابها مورد بررسی قرار گرفته است.در مدل حاضر خواص روغن مثل دانسیته و ویسکوزیته ، مقاومت الکتریکی سیم پیچ ، ضریب انتقال گرمای جابجایی وضریب اصطکاک بصورت تابعی از دما تغییر می یابند.

مقایسه نتایج مدل با نتایج تجربی یک ترانسفورماتور نمونه تطابق خوبی را نشان می دهد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
تقدیم	
تقدیر و تشکر	
چکیده	*i*
فهرست مطالب	*ii*
فهرست اشکال	*vii*
فهرست جداول	*xi*
علائم و اختصارات	*xii*
فصل اول–مقدمه	۱
۱- ۱مقدمه و هدف تحقیق	۱
۱-۲ ساختار تحقیق	۳
فصل دوم – معرفی ترانسفورماتور و سیستم خنک کاری آن	
۲-۱ مقدمه	۵
۲-۲ معرفی ترانسفورماتور و اجزا اصلی آن	۵
۲-۲-۱ تعریف ترانسفورماتور	۵
۲-۲-۲ انواع ترانسفورماتور	۵
۲-۲-۲-۱ تقسیم بندی بر اساس توان	۵
۲-۲-۲-۲ تقسیم بندی بر اساس نحوه خنک کاری	٦
۲-۲-۳ اجزاء ترانسفور ماتورها	۸

۲-۲-۳-۱ جزء فعال ۸

۲-۲-۳-۲ مخزن ترانس ۹

۲-۲-۳-۳ تجهیزات ترانسفور ماتور ۱۰

۲-۲-۳-٤ سیم پیچها (بوبینها) ۱۱

۲-۲-۳-۵ مبدلهای گرمایی ۱٦

۲-۲-۳-٦ ماده خنک کننده ۱٦

۲-۳ سیستمهای خنک کاری ۱۸

۲-۳-۱ جریان روغن طبیعی(OIL NATURAL) ۱۸

۲-۳-۲ جریان واداشته(اجباری)روغن(OIL FORCED) ۱۹

۲-۳-۳ جریان واداشته-جهت داده شده روغن(OIL DIRECTED) ۲۰

۲-۳-٤ خنک کاری روغن گرم شده ۲۳

فصل سوم-مروری بر مطالعات انجام یافته **۲۵**

۳-۱ مقدمه ۲۵

۳-۲ پژوهشهای انجام یافته ۲۵

۳-۲-۱ مطالعات الیور ووکیو ۲۵

۳-۲-۲ مطالعات پیوزنک و همکاران ۲۷

۳-۲-۳ مطالعات چن و همکارانش ۳۰

۳-۲-٤ مطالعات ساروناک ۳۱

۳-۲-۵ مطالعات مفوتا و بالک ۳۱

۳-۲-٦ مطالعات آبلو و براتی ۳۳

۳-۳جمع بندی ۳۵

فصل چهارم – تعریف موضوع پروژه و ارائه یک مدل ریاضی ۳۶

٤-۱ مقدمه ۳٦

٤-۲ مدل ریاضی ۳٦

٤-۳ معادلات حاکم بر مسئله ٤۰

٤-۳-۱ معادله بقا جرم ٤۱

٤-۳-۲ معادله بقا انرژی ٤۲

٤-۳-۳ معادله افت فشار ٤٥

٤-۳-٤ معادله انتقال گرما ٤۷

٤-۳-٤-۱ انتقال گرمای هدایت ٤۷

٤-۳-٤-۲ انتقال گرمای جابجایی ٤۸

فصل پنجم – تلفات تولیدی در ترانسفورماتور و معادلات لازم ٥۱

٥-۱ مقدمه ٥۱

٥-۲ تلفات تولیدی در ترانسفورماتور ٥۱

٥-۲-۱ تلفات در مخزن، هسته و سایر قسمتهای آهنی ٥۱

٥-۲-۲ تلفات در سیم پیچها ٥۲

٥-۲-۲-۱ تلفات اهمی ٥۲

٥-۲-۲-۲ تلفات فوکو ٥۳

٥-۲-۲-۳ تلفات بارداری ٥۳

٥-۲-۲-۴ سطوح خنک کاری و شار گرمایی بشقابها ٦۱

فصل ششم–مدل شبکه ی جریان و روش حل آن ٦٣

٦–١مقدمه ٦٣

٦–٢ مدل شبکه ای جریان ٦٣

٦–٢–١گره ها ٦٣

٦–٢–٢ شاخه ها ٦٥

٦–٣ مدل سازی گرمایی بوبینهای بشقابی با جریان جهت داده شده روغن ٦٥

٦–٣–١معادله بقا جرم ٦٧

٦–٣–٢ معادله افت فشار ٦٩

٦–٣–٣ معادله بقا انرژی ٧٤

٦–٣–٤ محاسبه دمای بشقابها ٧٦

٦–٤ روش حل معادلات ٨٣

فصل هفتم –بحث و بررسی نتایج مدل ٩١

٧–١ مقدمه ٩١

٧–٢نتایج مدل ٩١

٧–٢–١ مقایسه نتایج مدل حاضر با یک نمونه تجربی و سایر مطالعات ٩١

٧–٢–١–١مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر آزمایشگاهی و نمونه تجربی ٩١

٧–٢–١–٢مقایسه نتایج بدست آمده از مدل حااضر با نتایج اسپیرو و زانگ ٩٣

٧–٢–١–٣مقایسه ننایج بدست آمده از مدل حاضر با نتایج آبلو ٩٤

٧–٢–٢بررسی انتقال گرما از بشقابها به روغن ٩٩

٧–٢–٣نمودار توزیع دمای بشقاب ١٠١

٧–٢–٤نمودار دمای متوسط بشقاب ١٠٣

۷-۲-۵نمودار دمای HOT SPOTدر بشقابها ۱۰٤
۷-۲-٦نمودار سرعت در کانالهای افقی ۱۰٤
۷-۲-۷نمودار سرعت در کانالهای عمودی ۱۰٦
۷-۲-۸نمودارReدر کانالهای افقی ۱۰٦
۷-۲-۹ نمودارReدر کانالهای عمودی ۱۰۷
۷-۲-۱۰ نمودار Nu در کانالهای افقی ۱۰۷
۷-۲-۱۱ نمودار Nu درکانالهای عمودی ۱۰۸
۷-۲-۱۲نمودار دمای روغن در کانالهای افقی ۱۰۸
۷-۲-۱۳ نمودار دمای روغن در کانالهای عمودی ۱۰۹
۷-۲-۱٤بررسی تاثیر تلفات فوکو و نحوه محاسبه آن ۱۰۹

فصل هشتم-نتیجه گیری کلی و پیرای کارهای آتی ۱۱۱

۸-۱مقدمه ۱۱۱
۸-۲نتیجه گیری کلی ۱۱۱
۸-۲-۱ فرضیات حاکم بر مدل ۱۱۱
۸-۲-۲ نتایج مدل گرمایی بوبین بشقابی ۱۱۲
۸-۳ پیشنهاد برای کارهای آتی ۱۱۳

منابع و مراجع ۱۱٤

فهرست اشکال

فصل اول

شکل (۲-۱-الف) بوبین لایه ای ۱٤

شکل(۲-۱-ب) بوبین لایه ای ۱٤

فصل دوم

شکل (۲-۲) بوبین بشقابی ۱٥

شکل (۲-۳) نمای طرحواره جریان طبیعی روغن و هوای خنک کننده. مساحتABCDA ۱۹

با نیروی شناوری جریان روغن متناسب است

شکل(۲-٤) نمای طرحواره جریان طبیعی روغن و جریان واداشته هوای ۲۰

خنک کننده. در ترانسفورماتورهای *ONAF*

شکل (۲-٥) نمای طرحواره جریان وا داشته روغن و هوا در ترانسفورماتورهای *OFAF* ۲۱

شکل (۲-٦) نمای طرحواره جریان جهت داده شده روغن و جریان واداشته ۲۱

هوا در ترانسفورماتورهای *ODAF*

شکل (۲-۷) سطح مقطع برش خورده بوبین بشقابی در ترانسفورماتور OD ۲۲

فصل سوم

شکل(۳-۱) پروفیل سرعت در داخل کانالهای بوبین بشقابی ۳٤

فصل چهارم

شکل (٤-۱) نمای طرحواره بوبین بشقابی OD ۳۷

شکل(٤-۲-الف) سطح مقطع بوبین بشقابی OD(در راستای شعاعی) ۳۸

شکل (٤-٢-ب) سطح مقطع بوبین بشقابی OD(در راستای محوری) ٣٨

شکل(٤-٣) نمای طرحواره اکتیو پارت ٣٩

شکل(٤-٤) مدل شبکه ای جریان در بوبین OD ٤٠

فصل پنجم

شکل(٥-١) تغییرات شار نشتی در بوبین ٥٤

شکل(٥-٢) مقطع بوبین در راستای محوری ٦٠

شکل (٥-٣) سطح مقطع هادی ٦٠

شکل(٥-٤) سطح مقطع بشقاب ٦١

فصل ششم

شکل(٦-١) مدل شبکه ای جریان ٦٥

شکل(٦-٢) پارامترهای مورد نیاز برای مدلسازی بشقابها ٦٧

شکل(٦-٣) طرحواره ای از کانال عبور روغن ٧٠

شکل(٦-٤) ضرایب kc,ke در داخل سطوح موازی ٧١

شکل(٦-٥) ضرایب افت فشار در طول ورودی برای جریان آرام داخل کانالهای مستطیلی ٧٢

شکل(٦-٦) ضرایب اصطکاک برای جریان آرام توسعه یافته داخل کانالهای مستطیلی ٧٣

شکل(٦-٧) طرحواره ای از شاخه ها و گره هابرای استفاده در محاسبه افت فشار در انشعابها ٧٣

شکل(٦-٨) معرفی محورهای مختصات جهت مدل شبکه ای جریان ٧٦

شکل(٦-٩) مدار معادل گرمایی ٨٠

فصل هفتم

شکل (٧-١) نمودار نسبت دبی حجمی روغن در کانال افقی به دبی حجمی متوسط ٩٤

شکل (۷ـ۲) نمودار دمای بشقاب (شامل ۸ قسمت که هر قسمت از ۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۶

شکل (۷ـ۳) نموداردمای بشقاب(آقای آبلو. شامل ۸ قسمت که هر قسمت از۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۶

شکل (۷ـ٤) نمودار سرعت روغن در کانالهای افقی (شامل ۸ قسمت که هر قسمت از ۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۷

شکل (۷ـ۵) نمودار سرعت روغن در کانالهای افقی (آقای آبلو. شامل ۸ قسمت که هر قسمت از ۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۷

شکل (۷ـ٦) نمودار عدد نوسلت در کانالهای افقی (شامل ۸ قسمت که هر قسمت از ۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۸

شکل (۷ـ۷) نمودار عدد نوسلت در کانالهای افقی (آقای آبلو. شامل ۸ قسمت که هر قسمت از ۱۳ بشقاب تشکیل شده است) ۹۸

شکل (۷- ۸) میزان انتقال حرارت هدایت در بشقابهای بوبین *OD* ۹۹

شکل (۷- ۹) میزان انتقال حرارت از کانالهای عمودی نسبت به کل انتقال حرارت در بشقابهای بوبینOD ۱۰۰

شکل (۷- ۱۰) مقایسه تاثیر انواع انتقال گرما در دمای بشقابهای بوبین*OD* ۱۰۱

شکل (۷- ۱۱) شکل توزیع دمای بشقاب آخر در بوبینOD ۱۰۳

شکل (۷- ۱۲) نمودار دمای متوسط بشقابها در بوبینOD ۱۰٤

شکل (۷- ۱۳) نمودار دمای HOTSPOTدر بشقابهای بوبینOD ۱۰٤

شکل (۷- ۱٤) مدل شبکه ای جریان OD ۱۰۵

شکل(۷- ۱۵) نمودار سرعت در کانالهای افقی در بوبین OD ۱۰۵

شکل(۷- ۱٦) نمودار سرعت در کانالهای عمودی در بوبین OD ۱۰٦

شکل (۷- ۱۷) نمودار Re در کانالهای افقی در بوبینOD ۱۰٦

شکل(۷- ۱۸) نمودار Re در کانالهای عمودی در بوبینOD ۱۰۷

شکل (۷- ۱۹) نمودار Nu در کانالهای افقی در بوبینOD ۱۰۷

شکل(۷- ۲۰) نمودار Nu در کانالهای عمودی در بوبینOD ۱۰۸

شکل (۷- ۲۱) نمودار دمای روغن در کانالهای افقی در بوبینOD ۱۰۸

شکل (۷- ۲۲) نمودار دمای روغن در کانالهای عمودی در بوبینOD ۱۰۹

شکل (۷- ۲۳) نمودار تاثیر Z_{mit} در دمای بشقاب ۱۱۰

فهرست جداول

جدول(۱-۱) انواع قطعات عایق در دماهای مختلف ۲

جدول(۲-۱) مشخصات فیزیکی مس وآلومینیوم ۱۲

جدول (۲-۲) حالت های مختلف سیال عامل و سیستم خنک کاری ۲۳

جدول(۲-۳) ترکیب های رایج سیال عامل و سیستم خنک کاری ۲٤

جدول (٦-۱) فرمول تقریبی ضرایب انتقال حرارت در روش های مختلف ۸۳

جدول(۷-۱) .مشخصات هندسی ترانس ABB ۹۲

جدول(۷-۲) مشخصات فیزیکی روغن و ایزوله ABB ۹۲

جدول (۷-۳) مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر آزمایشگاهی ترانس ABB ۹۳

علائم و اختصارات

عدد ثابت	Dg
بیشترین دمای بویین	θ_{hs}
دبی جرمی روغن در گره i ام	m_i
مساحت سطح مقطع کانال i,j	$A_{c,i,j}, A_{i,j}, A_c$
سرعت روغن در کانال i,j	$u_{i,j}$
چگالی روغن در کانال i,j	$\rho_{i,j}$
ماتریس اتصال بین دو گره i,j	$a_{i,j}$
فشار روغن در گره iام	p_i
ضرایب افت فشار در کانال i,j	$\bar{k}_{i,j}, k'_{i,j}, k''_{i,j}, \xi_{i,j}, f_i$
هد پمپ در کانال i,j	$s_{i,j}$
ارتفاع گره iام	h_i
ظرفیت گرمای ویژه روغن	c_p
دمای روغن در گره iام	tb_i, Tf_i
دمای دیواره مجاور کانال i,j بشقاب	$tw_{i,j}$
انرژی گرمایی تولیدی در گره iام در واحد زمان	Q_i
شار گرمایی تولیدی بشقاب	$q_{i,j}$
سطح انتقال گرما در بشقاب	$A_{si,j}$
ضریب انتقال گرما در کانال i,j	$Nu_{i,j}$
ضریب هدایت گرمای روغن	λ

$D_{i,j}$	قطر هیدرولیکی کانال i,j
μ_w	ویسکوزیته سینماتیکی بشقاب
μ_b	ویسکوزیته سینماتیکی روغن
Re	عدد رینولدز
Pr	عدد پرانتل
D	قطر هیدرولیکی کانال
L	طول کانال
υ	ویسکوزیته دینا میکی روغن
t	دمای روغن
H_z	افت هد
A_p	محیط خیس شده سطح مقطع کانال
g	شتاب ثقل
M	دبی روغن
Gr	عدد گراشف
Z,Zmit	نسبت تلفات ادی به تلفات اهمی
$R_\circ$	مقاومت الکتریکی هادی در دمای مرجع
I	جریان الکتریسیته
N_R	تعداد دور سیم پیچ
α	ضریب گرمایی مقاومت الکتریکی هادی
β	ضریب انبساط حجمی
$\Gamma_{i,j}$	مقاومت معادل گرمایی در کانال i,j
$\Gamma'_{i,j}$	ضریب انتقال گرمای کلی در کانال i,j
$T_{C,i}$	دمای بشقاب iام

ضریب انتقال گرمای روغن در کانال i,j	$\Gamma'_{f,ig}$
ضریب انتقال گرمای لایه مرزی در کانال i,j	$\Gamma'_{c,ij}$
ضریب انتقال گرمای جابجایی روغن	h_{ij}
ضریب هدایت گرمای عایق	λ_{ins}
تلفات تولیدی در بشقاب iام	$P_k(i)$
دمای مرجع	$T_\circ$
ضریب هدایت گرمای هادی	λ_C

فصل اول – مقدمه

۱-۱ مقدمه و هدف تحقیق

همانطوریکه نمیتوان زندگی امروزی را بدون انرژی الکتریسیته تصور نمود، تصور یک شبکه برق، بدون عنصری بنام ترانسفورماتور نیز غیرممکن می باشد. ترانسفورماتورها در انواع توزیع و قدرت وظیفه تبدیل انرژی الکتریکی از یک سطح ولتاژ به سطح ولتاژ دیگر را بعهده دارند تا انتقال انرژی الکتریکی در مسافتهای طولانی میسر گردد.

ترانسفورماتورها از آن جهت که با تعداد زیاد و با قدرتهای بالا در شبکه برق حضور دارند و علاوه بر اینکه خودشان پرهزینه اند، در مسیر انتقال انرژی پرهزینه ای نیز قرار دارند. از نظر مهندسین دارای اهمیت فوق العاده ای می باشند. خارج از مدار قرار گرفتن آنها حتی برای چندین ثانیه ممکن است،خسارات جبران ناپذیری را برشبکه برق ،تحمیل نماید. از این رو همواره این عنصر مهم شبکه برق، مورد علاقه و توجه محققین برق، مکانیک، موّاد و ... قرار گرفته تا از نظر عیوب فنی، مسائل طراحی، بهینه سازی اقتصادی، افزایش قدرت خروجی و ... مطالعه و بررسی شود.

از جمله مهمترین فاکتورهای طراحی ترانس ،عمر مفید ترانس می باشد که خود تابعی از توانایی ترانس در میزان دفع تلفات تولیدی با توجه به شرایط محیط است که وابسته به نوع مواد مورد استفاده در ترانس و مقاومت این مواد در مقابل دمای داخل ترانس در گذر زمان است. لذا محاسبه توزیع دمای روغن و اجزاء مهم تولید کننده تلفات گرمایی، جهت انتخاب صحیح مواد مورد استفاده در ترانس ضروری بنظر می رسد.

جزء اصلی ترانسفورماتور که تولید گرما می کند،قسمت فعال میباشد. قسمت فعال خود شامل دو جزء ،هسته و سیم پیچ (بوبین) است. بوبینها منبع اصلی تولید گرما در ترانسفورماتور محسوب می شوند. لذا مواد سازنده بوبینها بیشتر از سایر مواد داخل ترانس، در معرض خطر خرابی ناشی از دماهای بالا می باشند. مواد عایق اطراف بوبینها از جمله این