created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

بررسی، تحلیل و شبیه‌سازی کوره‌های القایی سری و موازی بر اساس یک مدل واقعی

پایان نامه کارشناسی ارشد برق-قدرت

مجید غلامپور شهاب‌الدینی

استاد راهنما

دکتر سید مرتضی سقائیان نژاد

۱۳۸۹

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق-قدرت آقای مجید غلامپور شهاب‌الدینی

تحت عنوان

بررسی، تحلیل و شبیه‌سازی کوره‌های القایی سری و موازی بر اساس یک مدل واقعی

در تاریخ ۱۳۸۹/۰۴/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید مرتضی سقائیان نژاد
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر حسین فرزانه فرد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سید محمود مدرس هاشمی

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

تقدیر و تشکر

پروردگار بی‌همتا را به سبب لطف و رحمتش سپاس می‌گویم که اگر نبود فضل و احسان او، بی‌گمان هیچ تلاشی به ثمر نمی‌نشست. آن‌چه که در این پایان نامه از نظرتان می‌گذرد شامل مباحثی پیرامون کوره‌های القایی سری و موازی و شبیه‌سازی کوره‌های القایی بر اساس مدل‌های واقعی می‌باشد. امید است با مطالعه این پایان نامه گامی هرچند کوچک در جهت افزایش دانش و آگاهی خوانندگان برداشته باشم.

در اینجا لازم می‌دانم از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر سقائیان نژاد و جناب آقای دکتر فرزانه‌فرد که بنده را در انجام این پروژه یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

والسلام

مجید غلامپور شهاب‌الدینی

تابستان ۱۳۸۹

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان می‌باشد.

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

تقدیم به روح پدرم

تقدیم به مادرم به خاطر تمام فداکاری‌هایش

تقدیم به برادرانم و خواهرم که همواره یار و یاور من بودند

و

تقدیم به همسر عزیزم که تنها دلیل بودنم بود

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

فهرست مطالب

چکیده: ۱

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱-تاریخچه ۲

۱-۲-مروری بر کارهای انجام شده ۵

۱-۳-روند مطالب ارائه شده ۶

فصل دوم: آشنایی با کوره‌های القایی ۸

۲-۱-مقدمه ۸

۲-۲-مروری بر ساختارهای کلی سیستم‌های حرارتی القایی ۸

۲-۳- انواع فرایندهای گرمایشی الکتریکی ۱۰

۲-۴-اصول گرمایش القایی ۱۱

۲-۴-۱- القای الکترو مغناطیسی ۱۲

۲-۴-۲-اثر پوستی (Skin Effect) ۱۳

۲-۵-توپولوژی سیستم قدرت در یک سیستم گرمایش القایی ۱۴

۲-۶- مبدل‌های تشدید (Resonant Converter) ۱۶

۲-۶-۱-مدار تشدید سری ۱۸

۲-۶-۲-مدار تشدید موازی ۱۸

۲-۶-۳-تفاوت کوره‌های القایی سری و موازی ۱۹

۲-۷-سیستم‌های کاربردی گرمایش القایی ۱۹

۲-۷-۱-طرز کار یک سیستم گرمایش القایی (Induction Heating) ۱۹

۲-۷-۲-سیستم قدرت برای یک کوره القایی نمونه ۲۰

۲-۷-۳-مبدل تشدید سری نیم‌پل ۲۱

۲-۷-۴-تعیین سلف و خازن یک مدار تشدید ۲۵

۲-۸-مبدل شبه تشدید (Quasi Resonant Converter) ۲۷

۲-۸-۱-مدار قدرت مبدل شبه تشدید ۲۸

۲-۹-کنترل آنالوگ یکسیستم حرارتی القایی نمونه ۳۲

فصل سوم: کوره‌های القایی صنعتی ۳۶

۳-۱-مقدمه ۳۶

۳-۲-اصول کوره‌های صنعتی ۳۶

۳-۳-کاربردهای کوره‌های القایی در صنعت ۴۰

۳-۴-عوامل حرارتی ۴۰

۳-۵-مدار معادل کوره القایی ۴۲

۳-۶-کوره‌های القایی ذوب ۴۳

۳-۶-۱-کوره‌های القایی ذوب بدون هسته ۴۴

الف-انتخاب فرکانس مناسب ۴۵

ب-زمان ذوب‌گیری ۴۷

ج-مطالعه روابط الکتریکی ۴۷

د-مطالعه راندمان ۵۱

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

۳-۶-۲-کوره‌های القایی ذوب کانالی ۵۵
۳-۷- تقسیم‌بندی کوره‌های القایی بر اساس فرکانس ۵۸
۳-۷-۱- کوره‌های القایی ذوب فرکانس شبکه ۵۸
۳-۷-۲-کوره‌های القایی ذوب فرکانس متوسط ۵۹
الف-مبدل فرکانس دینامیک ۶۰
ب-مبدل فرکانس استاتیک ۶۰
۳-۷-۳-کوره‌های القایی ذوب فرکانس رادیویی ۶۰
۳-۸-خطاهای کوره القایی ۶۰
فصل چهارم: اجزاء تشکیل دهنده کوره‌های القایی ۶۲
۴-۱-مقدمه ۶۲
۴-۲-سیستم مبدل فرکانس ۶۳
۴-۲-۱-منبع تغذیه ۶۴
۴-۲-۲-رکتیفایر ۶۴
۴-۲-۳-لینک DC ۶۴
۴-۲-۴-اینورتر ۶۴
۴-۲-۵-ترانسفورماتور تطبیق ۶۵
۴-۲-۶-تانک رزونانس ۶۵
الف-کویل ۶۶
ب-بانک خازن ۶۷
۴-۳-سیستم خنک کننده ۶۸
۴-۳-۱-مبدل حرارتی ۷۰
۴-۳-۲-برج خنک‌کن ۷۱
۴-۴-سیستم تشخیص خطای خاک ۷۱
۴-۵-بوته ذوب ۷۳
فصل پنجم: انواع توپولوژی‌های کوره‌های القایی ۷۵
۵-۱-مقدمه ۷۵
۵-۲-کوره‌های القایی سری ۷۵
۵-۳- کوره‌های القایی موازی ۷۶
۵-۴-مقایسه کوره‌های القایی سری و موازی ۷۷
۵-۴-۱-بازده ذوب ۷۷
۵-۴-۲-نحوه اتصال به خطوط شبکه برق ۷۸
۵-۴-۳-ذخیره انرژی DC ۷۸
۵-۴-۴-هزینه نگهداری ۷۸
۵-۴-۵-تعداد قطعات الکترونیکی ۷۹
۵-۴-۶-تلفات حرارتی مدارهای جانبی (حفاظتی) ۷۹
۵-۴-۷-تلفات حرارتی تریستورهای اینورتر ۷۹
۵-۴-۸-مقدار مس مورد نیاز برای کابل کشی برق ۸۰
۵-۴-۹-تعداد قطعات نیمه هادی ۸۰

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

۵-۴-۱۰-کنترل پذیری ذوب ۸۰
۵-۵-کوره‌های IGBT ۸۰
۵-۶-کوره‌های COMPACT ۸۱
۵-۷-کوره‌های TOPMELT ۸۲
فصل ششم: شبیه‌سازی کوره‌های القایی و مطابقت با نتایج عملی ۸۳
۶-۱-مقدمه ۸۳
۶-۲-شبیه‌سازی کوره القایی موازی ۸۴
۶-۲-۱-رکتیفایر ۸۴
۶-۲-۲-اینورتر ۸۵
۶-۲-۳-تانک رزونانس ۸۵
۶-۲-۴-مدار استارت ۸۶
۶-۲-۵-مدار کنترل رکتیفایر ۸۶
۶-۲-۶-مدار کنترل اینورتر ۸۷
۶-۲-۷- شکل موج قسمت‌های مختلف مدار و مقایسه با نتایج عملی ۸۷
۶-۳-شبیه‌سازی کوره القایی سری ۹۷
۶-۳-۱-معرفی قسمت‌های مختلف کوره القایی سری ۹۷
۶-۳-۲-شکل موج قسمت‌های مختلف مدار ۱۰۰
فصل هفتم: نتیجه‌گیری ۱۰۵
مراجع ۱۱۱

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

چکیده:

بیشترین کاربرد سیستم‌های حرارتی القایی در کوره‌های القایی است. امروزه از این کوره‌ها به دلیل داشتن مزایایی از قبیل سرعت بالای آنها در افزایش دمای ماده، نداشتن آلودگی‌های زیست محیطی به علت عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش هزینه‌های نگهداری و... در بسیاری از کارخانجات و کارگاه‌های ریخته‌گری و فلزکاری استفاده می‌شود. کوره‌های القایی علاوه بر ذوب، برای شکل دادن، آهنگری، سخت‌سازی فلزات و ایجاد حرارت سطحی در قطعات فلزی به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از اثر القاء در جوشکاری درز لوله‌های فلزی و پروفیل‌ها دارای کاربرد زیادی در کارخانجات لوله‌سازی می‌باشد. هدف از انجام این پروژه شبیه‌سازی کوره‌های القایی سری و موازی بر اساس مدل‌های واقعی می‌باشد، به گونه‌ای که بتوان نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها را برای کوره‌های واقعی تعمیم داد. بدین منظور ابتدا به معرفی کوره‌های القایی پرداخته و سپس به بررسی اصول عملکرد کوره‌های القایی صنعتی می‌پردازیم. پس از آن به معرفی قسمت‌های مختلف کوره‌های القایی پرداخته و توپولوژی‌های موجود در صنعت را معرفی و به طور اجمالی بررسی می‌کنیم. در نهایت یک کوره القایی سری و یک کوره القایی موازی واقعی را شبیه‌سازی کرده و شکل موج‌های قسمت‌های مختلف مدار را ارائه کرده‌ایم. سپس یک کوره القایی موازی را شبیه‌سازی کرده و نتایج این شبیه‌سازی را با نتایج عملی که از یک کوره واقعی به دست آمده مقایسه نموده و به بررسی و تحلیل شباهت‌ها و تفاوت‌های نتایج عملی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم. در شبیه‌سازی کوره القایی سری تنها از روش کنترل فرکانس استفاده کردیم. در شبیه‌سازی کوره القایی موازی علاوه بر کنترل فرکانس از روش PLL، کنترلی را بر روی رکتیفایر کوره القایی اعمال کردیم تا توان انتقالی به بار را در سطح ماکزیمم قرار دهیم، از این طریق توان اعمالی به بار را در هر لحظه در ماکزیمم مقدار خود قرار داده و با کاهش زمان ذوب، راندمان کوره را افزایش می‌یابد. برای شبیه‌سازی کوره‌ها در این پایان نامه از نرم‌افزار شبیه‌سازی SIMULINK استفاده شده است.

کلمات کلیدی: کوره‌های القایی، کوره‌های القایی موازی، کنترل توان ورودی، کنترل فرکانس سوئیچینگ

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

فصل اول
مقدمه

۱-۱-تاریخچه

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی[1] با ارائه این مطلب که اگر از سیم‌پیچ اولیه‌ای جریان متغیری عبور کند، در سیم‌پیچ ثانویه مجاورش نیز جریان القاء می‌شود، تئوری گرمایش القایی[2] را بنا نهاد. علت اصلی این پدیده القاء، تغییرات شار در مدار بسته ثانویه است که از جریان متناوب اولیه ناشی می‌شود. نزدیک به یکصد سال این اصل در موتورها، ژنراتورها ، ترانسفورماتورها، وسایل ارتباط رادیویی و ... بکار گرفته می‌شد و هر اثر گرمایی در مدارهای مغناطیسی به عنوان یک عنصر نامطلوب شناخته می‌شد. در راستای مقابله با اثرات حرارتی در مدارهای مغناطیسی و الکتریکی از سوی مهندسین گام‌های مؤثری برداشته شد. آنها توانستند با ورقه ورقه نمودن هسته مغناطیسی موتورها و ترانسفورماتورها، جریان فوکو[3] را که عامل تلفات حرارتی بود کاهش دهند.

به دنبال آزمایشات فارادی، قوانین متعددی پیشنهاد شد. قوانین لنز[4] و نیومن[5] نشان دادند که جریان القاء شده با شار القایی مخالفت کرده و به طور مستقیم با فرکانس متناسب می‌باشد. فوکو[6] در سال ۱۸۶۳ در مقاله‌ای تحت عنوان "القاء جریان در هسته" که توسط هویساید[7] منتشر گردید، نظریه‌ای راجع به جریان فوکو ارائه داد و در رابطه با انتقال

---

[1] Faraday
[2] Induction Heating
[3] Eddy Current
[4] Lenz
[5] Neuman
[6] Focault
[7] Heviside

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

انرژی از یک کویل به یک هسته توپر بحث نمود. علاوه بر افراد فوق ، تامسون[1] نیز در ارائه نظریه گرمایش از طریق القاء سهم بسزایی داشت.

در اواخر قرن نوزدهم استفاده از تلفات فوکو و هیسترزیس به عنوان منبع گرمایش القائی از طرف مهندسین مطرح شد. همچنین در اوایل قرن اخیر در کشورهای فرانسه، سوئد و ایتالیا بر اساس استفاده از خازن‌های جبران کننده توان راکتیو پیشنهاداتی برای کوره‌های القایی بدون هسته ارائه شد. در این پیشنهادات بیشتر ذوب فلزات در فرکانس های میانی مورد نظر بود.

دکتر نورث روپ[2] ایده کوره با فرکانس میانی را برای موارد صنعتی گسترش داد. در روزهای نخستین، بر اثر نبود امکانات از جمله خازن های با ظرفیت کافی و قابل اطمینان، توسعه و پیشرفت متوقف شد. بعدها در سال ۱۹۲۷ کمپانی کوره‌های الکتریکی، نخستین کوره الکتریکی با فرکانس میانی را در شفیلد انگلستان و به منظور آهنگری و گرمادهی موضعی فلزات جهت اتصال به یکدیگر، نصب کرد. پس از آن، تعداد و اندازه این کوره‌ها رو به افزایش گذاشته است، به گونه‌ای که هم‌اکنون در اکثر کارخانجات و کارگاه‌هایی که با فلزات سر و کار دارند، می‌توان نمونه‌ای از کوره‌القایی را یافت. لازم به ذکر است که مزیت‌های دیگر کوره های القایی همچون دقت زیاد برای گرم کردن تا عمق مورد نظر و حرارت دادن نواحی سطحی، در طی پیشرفت‌های بعدی (در سال های جنگ جهانی دوم) بیشتر آشکار شد. در گرمایش القایی عدم نیاز به منبع خارجی گرم کننده ، تلفات گرمایی کمتر شده و تمیزی شرایط کار تأمین می گردد. در این روش همچنین نیازی به تماس فیزیکی بار و کویل نبوده و علاوه بر این چگالی توان بالا در مدت زمان گرمایش کم به آسانی قابل دسترس می‌باشد.

در ابتدا کوره های القایی مستقیماً از شبکه قدرت تغذیه می‌شدند که بنوبه خود گام موفقی در استفاده از توان الکتریکی جهت عملیات حرارتی به حساب می‌آمد. از آنجائیکه تلفات فوکو و هیسترزیس با فرکانس نسبت مستقیم دارند و اینکه ابعاد کویل کوره با بالا رفتن فرکانس کاهش می‌یابد، مهندسین به فکر تغذیه کوره در فرکانس های بالاتر از فرکانس شبکه قدرت افتادند. اولین قدم در این راه استفاده از فرکانس‌های دو برابر و سه برابر شبکه که از هارمونیک‌های دوم و سوم به دست می‌آمدند، بود.

این هارمونیک‌ها بر خلاف طبیعت مخرب خود در این نوع کاربرد سودمند تشخیص داده شدند. پائین بودن راندمان در استفاده از هارمونیک‌های فوق موجب گردید طراحان روش دیگری را مورد استفاده قرار دهند در این مرحله سیستم موتور-ژنراتور توسعه یافت که با استفاده از این سیستم توانستند فرکانس تغذیه را تا صدها هرتز افزایش دهند. در کوره‌های القایی افزایش فرکانس باعث کاهش عمق نفوذ جریان القایی می‌گردد، لذا در عملیات حرارتی سطحی که سختکاری سطح فلز، مورد نظر می‌باشد، از کوره‌های القایی با فرکانس بالا استفاده می‌شود. با ورود عناصر نیمه هادی مانند تریستورها، ترانزیستورها و ماسفت‌ها به حیطه صنعت محدودیت فرکانس و عدم تغییر آن در تغذیه کوره‌ها مرتفع شد.

[1] Thomson
[2] Northrup

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

از بهترین روش‌های ذوب فلزات استفاده از کوره القایی فرکانس متوسط (فرکانس بین ۵۰۰ هرتز تا ۵۰ کیلوهرتز) می‌باشد. با این کوره ها می‌توان انواع فلزات از قبیل فولاد، چدن، فلزات رنگین و ... را ذوب و آلیاژسازی نمود. مزایای عمده این کوره‌ها عبارتند از:

- ✓ راندمان بسیار بالاتر نسبت به سایر کوره‌ها
- ✓ امکان استفاده از قراضه جهت ذوب و سادگی عمل تغذیه کوره‌ها
- ✓ اپراتوری بسیار ساده و ایمن
- ✓ شروع کار بسیار سریع و عدم نیاز به پیش‌گرم یا ذوب اولیه
- ✓ قابلیت تهیه آلیاژهای یکنواخت به علت چرخش داخلی مذاب
- ✓ امکان کنترل دقیق درجه حرارت و عدم اکسیداسیون و تغییر آنالیز ذوب
- ✓ اشغال فضای کمتر نسبت به سایر کوره‌ها
- ✓ عدم تأثیر آلودگی محیط زیست

در کوره‌های ذوب القایی، جریان الکتریکی القا شده توسط میدان مغناطیسی، ایجاد حرارت می‌کند و این حرارت باعث ذوب جسم (معمولاً فلزات) می‌شود. فلز درون بوته‌ای قرار می‌گیرد که اطراف آن کلاف‌های مغناطیسی پیچیده شده است و توسط جریان آب خنک می‌شوند. جریان موجود در کلاف های مغناطیسی، جریان‌های گردابی یا فوکو را در فلز القا می‌کند که باعث ایجاد حرارت و ذوب فلزمی‌شود.

مهمترین انواع کوره‌های القایی، کوره القایی بی هسته[1] و کوره القایی کانالی[2] هستند. در کوره القایی بدون هسته فلز درون یک پوشش نسوز که به وسیله کلاف احاطه شده است، نگهداری می‌شود. در این حالت کوره ذوب القایی مشابه یک ترانسفورماتور عمل می‌کند، بدین ترتیب که فلز مانند یک کلاف ثانویه در ترانسفورماتور بوده و با اعمال نیرو به کلاف اولیه احاطه کننده فلز، جریان‌های گردابی القا شده و تولید حرارت می‌کند. پس از ذوب فلز، هم زدن و همگن‌سازی به طور طبیعی و در اثر وجود نیروها و جریان های الکترومغناطیسی اتفاق می‌افتد. با انتخاب دقیق فرکانس و نیرو می‌توان سرعت ذوب و همگن‌سازی را کنترل کرد.

از لحاظ سیستم قدرت می‌توان سیستم‌های القایی را به چهار دسته اساسی تقسیم نمود:

الف) سیستم‌های منبع[3]

در این سیستم‌ها که فرکانس کار آنها بین ۵۰ تا ۶۰ هرتز و ۱۵۰ تا ۵۴۰ هرتز می‌باشد، احتیاجی به تبدیل فرکانس نیست و با توجه به فرکانس کار، عمق نفوذ جریان زیاد بوده و حدود ۱۰ تا ۱۰۰ میلیمتر می‌باشد. همچنین مقدار توان لازم تا حدود چندین صد مگاوات نیز می‌رسد.

[1] Coreless furnace
[2] Channel Furnace
[3] Supply Systems

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

ب) سیستم‌های موتور-ژنراتور[1]

فرکانس این سیستم‌ها از ۵۰۰ هرتز تا ۱۰ کیلو هرتز می‌باشد. در این سیستم‌ها تبدیل فرکانس لازم بوده و این عمل بوسیله ژنراتورهای کوپل شده با موتورهای القایی صورت می‌پذیرد. همچنین در این سیستم‌ها توان به وسیله ماشین‌های ۵۰۰ کیلووات تأمین می‌گردد و برای بدست آوردن توان‌های بالاتر، از سری کردن ماشین‌ها استفاده می‌شود. عمق نفوذ در این سیستم‌ها به خاطر بالاتر بودن فرکانس نسبت به سیستم های منبع، کمتر بوده و در حدود ۱ تا ۱۰ میلیمتر است.

ج) سیستم‌های مبدل نیمه هادی[2]

در این سیستم ها فرکانس در محدوده ۵۰۰ هرتز تا ۱۰۰ کیلوهرتز بوده و تبدیل فرکانس به طرق گوناگونی صورت می‌پذیرد. در این سیستم‌ها از سوئیچ‌های نیمه هادی استفاده می‌شود و توان مبدل بستگی به نوع کاربرد آن می‌تواند تا حدود ۲ مگاوات برسد.

د) سیستم‌های فرکانس رادیویی[3]

فرکانس کار در این سیستم در محدوده ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز می‌باشد. از این سیستم‌ها برای عمق نفوذ جریان بسیار سطحی، در حدود ۰/۱ تا ۲ میلیمتر استفاده می‌گردد و در آن از روش گرمایی متمرکز با سرعت تولید بالا استفاده می‌گردد.

۱-۲-مروری بر کارهای انجام شده

با توجه به نقش غیر قابل انکار کوره‌های القایی در صنعت به خصوص صنایع ریخته‌گری و فلزکاری، تاکنون مطالعات و تحلیل‌های زیادی در زمینه کوره‌های القایی انجام شده و هر یک از این تحلیل‌ها قسمتی از کوره را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند و مقالات بسیار زیادی در این زمینه ارائه شده است.

برخی از این تحلیل‌ها در زمینه طراحی کویل کوره‌های القایی بوده و با در نظر گرفتن ملاحظات مربوطه روشی را برای طراحی کویل پیشنهاد کرده‌اند. در طراحی کویل، پس از محاسبه اندازه اندوکتانس باید نحوه ساخت آن را مورد بررسی قرار داد، اینکه کویل شامل چند حلقه باشد، ارتفاع و قطر کویل چقدر باشد، طراحی‌های مربوط به لوله مسی، نحوه پیچش کویل و... که برای مقاصد مختلف ذوب، سخت‌کاری، پیش‌گرم کردن و... هر یک از این پارامترها طراحی خاص خود را دارد.

ظرفیت بانک خازنی همه عوامل کوره القایی از جمله فرکانس رزونانس، ضریب کیفیت (Q)، راندمان و ضریب قدرت کوره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل تحلیل‌های زیادی برای محاسبه مقدار بهینه خازن در کوره‌های القایی ارائه شده است [۱۵].

در مرجع [۵] و [۱۱] در مورد کوره‌های القایی فرکانس بالا و ملاحظات مربوط به این کوره‌ها صحبت شده است. در مرجع [۶] کوره‌های القایی بدون هسته به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند که ما در این پایان نامه از

---

[1] Motor-Generator Systems
[2] Solid-State Converter Systems
[3] Radio-Frequency System

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

تحلیل‌های این مقاله در قسمت کوره‌های ذوب بدون هسته بهره گرفته‌ایم. در مرجع [۷] نحوه کنترل کوره‌های القایی سری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. در مرجع [۹] از روش کنترل فرکانس برای کنترل کوره و قرار دادن فرکانس سوئیچینگ در فرکانس رزونانس بحث شده است و در مرجع [۱۰] مدار استارت کوره‌های القایی موازی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

در مرجع [۱۳] مدارهای PLL که برای کنترل فرکانس اینورتر از آن استفاده کردیم مورد بررسی و تحلیل قرار داده شده است و در مرجع [۱۴] مدل یک گرم‌کن القایی خانگی[1] معرفی و شبیه‌سازی شده است.

۱-۳-روند مطالب ارائه شده

در فصل دوم این پایان نامه، سعی بر این بوده تا خواننده با کوره‌های القایی آشنایی پیدا کند، بدین صورت که ابتدا مروری بر ساختار کلی سیستم‌های حرارتی القایی شده و سپس اصول گرمایش القایی بررسی شده‌اند. سپس مدار قدرت یک سیستم حرارتی القایی معرفی شده که این سیستم را به سیستم قدرت یک کوره القایی تعمیم داده‌ایم. پس از آن مبدل‌های تشدید و مبدل‌های شبه تشدید معرفی شده و تفاوت‌های این دو مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت کنترل آنالوگ یک سیستم حرارتی القایی نمونه آورده شده است.

در فصل سوم سعی بر این بوده تا خواننده با کوره‌های القایی صنعتی و کاربرد این کوره‌ها در صنعت آشنا شود. بدین صورت که به معرفی کوره‌های القایی بدون هسته و کوره‌های القایی کانالی پرداختیم و برخی از عوامل مؤثر بر انتخاب مقادیر نامی کوره از قبیل توان و فرکانس را مورد بررسی قرار داده‌ایم. سپس راندمان یک کوره القایی را محاسبه کرده و به تأثیر زمان ذوب‌گیری و انتخاب فرکانس بر روی عملکرد کوره پرداختیم. پس از آن به تقسیم‌بندی کوره‌های القایی بر اساس فرکانس اشاره کرده و تفاوت‌های هر یک را مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌ایم و در نهایت خطاهایی که ممکن است در یک کوره القایی رخ دهد را معرفی کرده‌ایم.

در فصل چهارم سعی بر این بوده تا قسمت‌های مختلف یک کوره القایی معرفی شود. خواننده با مطالعه این پایان نامه، دید نسبتاً مناسبی از قسمت‌های مختلف کوره القایی پیدا کرده و با وظائف و محدودیت‌های هر یک از این بخش‌ها آشنا می‌شود. به عنوان مثال به پارامترهایی که بر روی طراحی کویل اثر می‌گذارند اشاره شده و به تأثیر هر یک از این پارامترها نیز اشاره شده است.

در فصل پنجم به توپولوژی‌های پرکاربرد در صنعت اشاره شده است و به تفاوت‌های دو توپولوژی اصلی کوره‌های القایی یعنی کوره‌های القایی سری و موازی پرداخته و مزایا و معایب این کوره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس برخی دیگر از توپولوژی‌های کوره‌های القایی که در واقع زیرشاخه دو توپولوژی اصلی می‌باشند معرفی شده و مدار قدرت این سیستم‌ها ارائه شده است.

در فصل ششم دو نوع اصلی کوره‌های القایی، یعنی کوره‌های القایی سری و موازی بر اساس مدل‌های واقعی شبیه‌سازی شده و شکل موج‌های قسمت‌های مختلف مدار نشان داده شده است. مقادیر المان‌های این شبیه‌سازی‌ها از کوره‌های واقعی استخراج شده است. در این دو شبیه‌سازی از دو نوع کنترل متفاوت استفاده شده است. در شبیه‌سازی

[1] Cooker

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

کوره سری، فقط بر روی مدار اینورتر کنترل اعمال کردیم، اما در شبیه‌سازی کوره موازی، هم بر روی اینورتر کنترل اعمال می‌کنیم و هم بر روی رکتیفایر.

کنترل اینورتر تنها شامل کنترل فرکانس است، به نحوی که فرکانس سوئیچینگ اینورتر با فرکانس رزونانس مدار تانک یکی باشد. این امر سبب می‌شود تا امپدانس بانک خازن و کویل یکدیگر را خنثی نموده و ماکزیمم توان از بار عبور کند. کنترل رکتیفایر در واقع کنترل توان ورودی به اینورتر است، بدین صورت که با افزایش بار که باعث کاهش جریان تانک می‌شود، این کنترل وارد عمل شده و با افزایش ولتاژ ورودی سبب می‌شود همواره توان نامی کوره به بار اعمال شود.

در نهایت یک کوره القایی موازی واقعی را شبیه‌سازی کرده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی این کوره را با نتایج عملی که از یک کوره واقعی به دست آمده مقایسه نموده و به بررسی و تحلیل شباهت‌ها و تفاوت‌های نتایج عملی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم.

در فصل هفتم نیز به ارائه نتیجه‌گیری‌های این پایان نامه پرداخته و مقایسه‌ای بین دو روش کنترل کوره‌های القایی ارائه می‌کنیم.

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

فصل دوم
آشنایی با کوره‌های القایی

۲-۱-مقدمه

با پیشرفت علم الکترونیک و توسعه فناوری‌ها دراین‌زمینه، کوره‌های ذوب به سمت استفاده از انرژی الکتریکی متمایل شده است. در این فصل به بررسی سیستم‌هایی که بر اساس القای الکترومغناطیسی کار می‌کنند پرداخته و اصول کار آنها را بیان می‌کنیم. همچنین به بررسی سیستم الکترومغناطیسی کوره‌های القایی در حالت کلی می‌پردازیم.

۲-۲-مروری بر ساختارهای کلی سیستم‌های حرارتی القایی

تمامی سیستم‌های حرارتی القایی از ازپدیده القای الکترومغناطیسی که اولین بار توسط مایکل فارادی در سال ۱۸۳۱ کشف شد، بهره‌گیری می‌کنند. از دید کاربرد در گرمایش القایی اساس نظریه مایکل فارادی عبارتست ازاین حقیقت که جریان AC جاری شده در یک مدار بر جنبش‌های مغناطیسی مدار ثانویه‌ای که در نزدیکی مدار اولیه قرار دارد تأثیر می‌گذارد. نوسانات و تغییرات جریان در درون مدار اولیه چگونگی تولید جریان القایی در مدار ثانویه را مشخص می‌کند.این کشف فارادی به گسترش موتورهای الکتریکی، ژنراتورها، ترانسفورماتورها و وسایل ارتباط بی‌سیم منتهی شد، اگرچه این وسایل در عمل بی عیب و نقص نیستند [۳].

تلفات گرمایی که در هنگام کار سیستم‌های حرارتی ایجاد می‌شود، در اکثر سیستم‌های الکتریکی عاملی مخرب و زیان‌آور است و باعث کاهش راندمان و تضعیف کارایی آنها می‌شود. به عبارتی دیگر در غالب سیستم‌ها تلاش‌ها در جهت کاهش تلفات حرارتی است، اما در سیستم‌های حرارتی القایی تمامی تلاش‌ها برای افزایش تلفات

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

حرارتی در سیستم است. محققان همواره با بکارگیری تکنیک‌های متنوع از جمله ورقه ورقه سازی[1] هسته‌های موتورها و ترانسفورماتورها سعی دارند تلفات حرارتی را به حداقل مقدار خود برسانند. کشف فارادی منجر به به ارائه مجموعه‌ای دیگر از کشفیات مهم از جمله قانون لنز شد. قانون لنز بیانگر این واقعیت است که جریان القا شده در مدار ثانویه در جهتی جاری می‌شود که با تغییرات جریان در مدار اولیه مخالفت کند.

تلفات گرمایی که در طول فرایند گرمایش القایی و القای الکترومغناطیسی رخ می‌دهد، بر طبق قوانین فوق می‌تواند به تولید انرژی گرمایی توسط یک سیستم حرارتی القایی منجر شود. بسیاری از صنایع از پیشرفت‌های چشمگیر در این زمینه در کاربردهایی همچون ذوب‌کاری، جوشکاری و ... سود می‌برند. در این کاربردها سیستم حرارتی القایی این امکان را فراهم می‌کند که پارامترهای حرارتی براحتی تنظیم و کنترل شوند [۳].

از آنجائی که سیستم‌های حرارتی القایی، گرمای تولیدی خود را فقط به ماده مورد نظر اعمال می‌کنند، لذا دمای محیط کاری را تغییر نداده و شرایط کاری مناسبی را برای ما فراهم می‌کنند. به علاوه انرژی گرمایی تولیدی فقط صرف افزایش دمای ماده مورد نظر شده و این امر راندمان کار را به شدت افزایش می‌دهد.

از جمله دیگر مزایای سیستم‌های حرارتی القایی، گرم شدن ماده مورد نظر بدون هیچ تماس فیزیکی با وسیله تولید گرما انجام می‌شود که باعث افزایش ایمنی و کاهش اتفاقات ناگوار می‌شود. مزیت دیگر این سیستم‌ها تأمین چگالی انرژی بالا در مدت زمان کم می‌باشد. به عنوان مثال در یک سیستم نمونه می‌توان دمای یک قطعه فولاد را تا حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان یک ثانیه بالا برد [۴].

امروزه تقاضا برای کیفیت بهتر، ایمنی بیشتر، توان مصرفی کمتر و ... برای تولیدات صنعتی رو به افزایش است. سیستم‌های حرارتی القایی امروزه در بسیاری از صنایع مختلف به خصوص ریخته‌گری به کار می‌روند. از جمله کاربردهای دیگر این سیستم‌ها در مصارف آشپزخانه‌ای همچون تهیه غذاهای گرم و ... می‌باشد. مزایای سیستم حرارت‌دهی القایی به صورت فهرست‌وار عبارتند از [۴]:

- ✓ عدم تماس فیزیکی با قطعه
- ✓ دور بودن منبع تولید انرژی حرارتی از قطعه
- ✓ راندمان بالا
- ✓ عدم اکسیداسیون
- ✓ شرایط محیطی تمیز
- ✓ ایجاد گرمایش زیاد به طور یکنواخت و همزمان با سرعت زیاد
- ✓ امکان کنترل دقیق دما
- ✓ امکان ایجادسیستم اتوماسیون حرارت‌دهی

در فصل دوم این پایان نامه به بررسی و مرور اصول سیستم‌های حرارتی القایی می‌پردازیم.

[1] Lamination

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional

۲-۳- انواع فرایندهای گرمایشی الکتریکی

قبل از بررسی سیستم‌های حرارتی القایی، برخی از فرایندهای گرمایشی معرفی می‌شوند تا ما را در درک نحوه بکارگیری منابع گرما و حرارت یاری کنند. این روش‌ها عبارتند از:

۱. گرمایش مقاومتی[۱]
۲. گرمایش رسانشی[۲]
۳. گرمایش تشعشعی مادون قرمز[۳]
۴. گرمایش القایی[۴]
۵. گرمایش هیسترزیس دی الکتریک[۵]
۶. گرمایش قوس الکتریکی[۶]
۷. گرمایش پلاسما[۷]
۸. گرمایش به وسیله پرتو الکترونی[۸]
۹. گرمایش به وسیله لیزر[۹]

گرمایش مقاومتی رایج‌ترین نوع تولید گرما با استفاده از الکتریسیته است. در این روش از رابطه بین ولتاژ و جریان و قانون ژول استفاده می‌شود. گرمایش رسانشی انرژی تولید شده هنگامی که یک شیء بین دو قطب الکتریکی قرار می‌گیرد را به کار می‌برد که کاربرد دیگری از قانون ژول است. اگرچه در این روش رابطه دیگری بین ولتاژ و جریان وجود دارد، به ویژه هنگامی که جریان زیاد است، زیرا در این حالت شیء علاوه بر خاصیت مقاومتی، خاصیت سلفی نیز خواهد داشت.

موضوع اصلی این بخش گرمایش القایی است که ترکیبی از القای الکترو مغناطیسی، اثر پوستی و انتقال گرما می‌باشد. به طور خلاصه سیستم حرارتی القایی به تولید گرما به وسیله جریان و جریان گردابی در سطح یک ماده رسانا تولید می‌شوند، می‌پردازد. هنگامی که این شیء در مجاورت یک سیم‌پیچ حامل جریان AC قرار می‌گیرد، میدان مغناطیسی ناشی از این سیم‌پیچ سبب القا ولتاژ در این شیء می‌شود. جزئیات و بررسی آنها در قسمت‌های بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت [۴].

www.persiatavan.com

[1] Resistance Heating
[2] Conduction Heating
[3] Infrared Radiation Heating
[4] Induction Heating
[5] Dielectric Hysteresis Heating
[6] Arc Heating
[7] Plasma Heating
[8] Electron Beam Heating
[9] Laser Heating

created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional