



دانشگاه زنجان

موضوع:

صنعتی سازی کوره القایی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر شهرام محمد

دانشجو:

محسن وزیری جاوید

پاییز 1397

| | |
|--------------|---|
| فهرست مطالب: | |
| 1 | چکیده |
| 2 | مقدمه: |
| 4 | فصل اول: آشنایی با کوره های القایی |
| 1-1-1 | مقدمه |
| 1-2 | 1-2 - مروری بر ساختارهای کلی سیستم های حرارتی القایی |
| 1-3 | 1-3 - انواع فرایندهای گرمایشی الکتریکی |
| 1-4 | 1-4 - اصول گرمایش القایی |
| 1-4-1 | 1-4-1 - القای الکترو مغناطیسی |
| 1-4-2 | 1-4-2 - اثر پوستی (skin Effect) |
| 1-5 | 1-5 - توپولوژی سیستم قدرت در یک سیستم گرمایش القایی |
| 1-6 | 1-6 - مبدل های تشدید (Resonant converter) |
| 1-6-1 | 1-6-1 - مدار تشدید سری |
| 1-6-2 | 1-6-2 - مدار تشدید موازی |
| 1-7 | 1-7 - تفاوت کورههای القایی سری و موازی |
| 1-8 | 1-8 - سیستمهای کاربردی گرمایش القایی |
| 1-9 | 1-9 - طرز کار یک سیستم گرمایش القایی (Induction Heating) |
| 1-10 | 1-10 - سیستم قدرت برای یک کوره القایی نمونه |
| | فصل دوم : صنعتی سازی کورههای القایی |
| 1-2 | 1-2 - مقدمه |
| 2-2 | 2-2 - اصول کورههای صنعتی |
| 2-3 | 2-3 - کاربردهای کورههای القایی در صنعت |
| 2-4 | 2-4 - عوامل حرارتی |
| 2-4-1 | 2-4-1 - گرمای ویژه فلز C |
| 2-4-2 | 2-4-2 - تغییرات ضریب مقاومت الکتریکی (مقاومت ویژه) در اثر حرارت |
| 2-5 | 2-5 - مدار معادل کوره القایی |
| 2-6 | 2-6 - کوره های القایی ذوب |
| 2-6-1 | 2-6-1 - کوره های القایی ذوب بدون هسته |
| 2-7 | 2-7 - تقسیم بندی کوره های القایی بر اساس فرکانس |
| 2-7-1 | 2-7-1 - کوره های القایی ذوب فرکانس شبکه |
| 2-7-2 | 2-7-2 - کوره های القایی ذوب فرکانس متوسط |
| 2-7-3 | 2-7-3 - کوره های القایی ذوب فرکانس رادیویی |

| | |
|---|----|
| فهرست اشکال و جداول: | |
| شکل 1-1- اصول گرمایش القایی | 9 |
| شکل 1-2- نمودار چگالی جریان در عمق x از یک ماده | 12 |
| شکل 1-3- نمایش تلفات کلیدزنی در کلیدزنی سخت | 13 |
| شکل 1-4- مدارهای تشدید موازی و سری | 16 |
| شکل 1-5- منحنی مشخصه فرکانسی برای مدار RLC سری | 18 |
| شکل 1-6- منحنی مشخصه فرکانسی برای مدار RLC موازی | 18 |
| شکل 1-7- شمای کلی سیستمهای حرارتی القایی | 21 |
| شکل 1-2-1: نمای کلی بوتله ذوب کوره القایی | 25 |
| شکل 2-2- مدلکردن کوره با یک ترانسفورماتور معمولی | 25 |
| شکل 2-3- رابطه بین فرکانس و عمق نفوذ | 27 |
| شکل 2-4- تغییرات چگالی جریان J نسبت به عمق x | 28 |
| جدول 1-2: عمق نفوذ بر حسب فرکانس و دما | 29 |
| شکل 2-5- یک لایه سطحی از فلز درون بوتله | 30 |
| شکل 2-6- برش افقی کوره القایی می آن گذر | 31 |
| شکل 2-7: منحنی تغییرات انرژی لازم در واحد تن بر حسب درجه حرارت برای فلزات مختلف | 32 |
| شکل 2-8: (a) مسیر شار مغناطیسی (b) دیاگرام برداری یک کویل | 35 |
| شکل 2-9: کورههای القایی ذوب بدون هسته | 37 |
| شکل 2-10: انتخاب فرکانس با توجه به ظرفیت کوره | 40 |
| شکل 2-11- نمای شماتیک کوره ذوب با فرکانس شبکه | 42 |
| شکل 2-12- مقایسه راندمان کوره القایی فرکانس متوسط و فرکانس شبکه | 43 |

مقدمه:

کوره القایی، یک کوره الکتریکی است که گرما را از طریق القای گرمایی به مواد اعمال می‌کند.

در سال 1831 میلادی مایکل فارادی (Faraday) با ارائه این مطلب که اگر از سیم پیچ اولیه‌ای جریان

متغیری عبور کند، در سیم پیچ ثانویه مجاورش نیز جریان القاء می‌شود، تئوری گرمایش القایی را بنا

نهاد. علت اصلی این پدیده القاء، تغییرات شار در مدار بسته ثانویه است که از جریان متناوب اولیه

ناشی می‌شود. در گذشته بیشتر از کوره‌های سوخت فسیلی برای ذوب فلزات استفاده می‌شد. آلودگی

محیط زیست، راندمان پایین، سروصدای زیاد، عدم یکنواختی مذاب، عدم توانایی ذوب فلزات دیرگداز

و مسائلی از این قبیل، مشکلاتی بود که این کوره‌ها به همراه داشتند. تکنولوژی کوره القایی یک

تکنولوژی استراتژیک و پرکاربرد است که از جمله در ذوب فلزات با استفاده از انرژی الکتریکی کاربرد

دارد. زیربنای صنایع سنگین هر کشور، صنایع ذوب فلزات است. زیربنای صنایع ذوب نیز صنایع کوره

سازی است؛ لذا از اینجا اهمیت صنایع کوره سازی به وضوح روشن می‌گردد.

عبور جریان از یک سیم پیچ و استفاده از میدان مغناطیسی برای ایجاد جریان در هسته سیم پیچ،

اساس کار کوره‌های القایی را تشکیل می‌دهد. در این کوره‌ها از حرارت ایجاد شده توسط تلفات فوکو و

هیستریزیس برای ذوب فلزات یا هرگونه عملیات حرارتی استفاده می‌شود. نخستین کوره القایی که

مورد بهره برداری قرار گرفت از شبکه اصلی قدرت تغذیه می‌شد و هیچگونه تبدیل فرکانسی صورت

نمی‌گرفت. با توجه به اینکه افزایش فرکانس تغذیه کوره موجب کاهش ابعاد آن و بالا رفتن توان

(تلفات) می‌شود، برای رسیدن به این هدف، در ابتدا منابع تغذیه موتور ژنراتوری مورد استفاده واقع

گردید. در ابتدا کوره‌های القایی مستقیماً از شبکه قدرت تغذیه می‌شدند که به نوبه خود گام موفق

در استفاده از توان الکتریکی جهت عملیات حرارتی به حساب می‌آمد.

از آنجائیکه تلفات فوکو و هیستریزیس با فرکانس نسبت مستقیم دارند و اینکه ابعاد کوئل کوره با بالا

رفتن فرکانس کاهش می‌یابد، مهندسیین به فکر تغذیه کوره در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس شبکه

رفتند.

1-1- مقدمه

با پیشرفت علم الکترونیک و توسعه فناوری ها در این زمینه، کوره های ذوب به سمت استفاده از

انرژی الکتریکی متمایل شده است. در این فصل به بررسی سیستم هایی که بر اساس القای

الکترومغناطیسی کار می کنند پرداخته و اصول کار آنها را بیان می کنیم. همچنین به بررسی سیستم

الکترومغناطیسی کوره های القایی در حالت کلی می پردازیم.

1-2 - مروری بر ساختارهای کلی سیستم های حرارتی القایی

تمامی سیستم های حرارتی القایی از از پدیده القای الکترومغناطیسی که اولین بار توسط مایکل

فارادی در سال 1831 کشف شد، بهره گیری می کنند. از دید کاربرد در گرمایش القایی اساس نظریه

مایکل فارادی عبارتست از این حقیقت که جریان AC جاری شده در یک مدار بر جنبش های

مغناطیسی مدار ثانویه ای که در نزدیکی مدار اولیه قرار دارد تأثیر می گذارد. نوسانات و تغییرات

جریان در درون مدار اولیه چگونگی تولید جریان القایی در مدار ثانویه را مشخص می کند. این کشف

فارادی به گسترش موتورهای الکتریکی، ژنراتورها، ترانسفورماتورها و وسایل ارتباط بی سیم منتهی

شده، اگرچه این وسایل در عمل بی عیب و نقص نیستند [3]

تلفات گرمایی که در هنگام کار سیستم های حرارتی ایجاد می شود، در اکثر سیستم های الکتریکی

عاملی مخرب و زیان آور است و باعث کاهش راندمان و تضعیف کارایی آنها می شود. به عبارتی دیگر

در غالب سیستم ها تلاش ها در جهت کاهش تلفات حرارتی است، اما در سیستم های حرارتی القایی

تمامی تلاش ها برای افزایش تلفات حرارتی در سیستم است. محققان همواره با بکارگیری تکنیک

های متنوع از جمله ورقه سازی هسته های موتورها و ترانسفورماتورها سعی دارند تلفات حرارتی

را به حداقل مقدار خود برسانند. کشف فارادی منجر به به ارائه مجموعه ای 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 می شود که با تغییرات جریان در مدار اولیه مخالفت کند.

در این فصل به بررسی سیستم های حرارتی القایی در حالت کلی می پردازیم.

در این فصل به بررسی سیستم های حرارتی القایی در حالت کلی می پردازیم.

در این فصل به بررسی سیستم های حرارتی القایی در حالت کلی می پردازیم.

تلفات گرمایی که در طول فرایند گرمایش القایی و القای الکترومغناطیسی رخ می دهد، بر طبق قوانین فوق می تواند به تولید انرژی گرمایی توسط یک سیستم حرارتی القایی منجر شود. بسیاری از صنایع از پیشرفت های چشمگیر در این زمینه در کاربردهایی همچون ذوب کاری، جوشکاری و ... سود می برند. در این کاربردها سیستم حرارتی القایی این امکان را فراهم می کند که پارامترهای حرارتی براحتی تنظیم و کنترل شوند [3].

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

از جمله دیگر مزایای سیستم های حرارتی القایی، گرم شدن ماده مورد نظر بدون هیچ تماس فیزیکی با وسیله تولید گرما انجام می شود که باعث افزایش ایمنی و کاهش اتفاقات ناگوار می شود. مزیت دیگر این سیستم ها تأمین چگالی انرژی بالا در مدت زمان کم می باشد. به عنوان مثال در یک سیستم نمونه می توان دمای یک قطعه فولاد را تا حدود 2000 درجه سانتی گراد در مدت زمان یک ثانیه بالا برد [4].

امروزه تقاضا برای کیفیت بهتر، ایمنی بیشتر، توان مصرفی کمتر و ... برای تولیدات صنعتی رو به افزایش است. سیستم های حرارتی القایی امروزه در بسیاری از صنایع مختلف به خصوص ریخته گری به کار می روند. از جمله کاربردهای دیگر این سیستم ها در مصارف آشپزخانه ای همچون تهیه

غذاهای گرم و ... می باشد. مزایای سیستم حرارت دهی القایی به صورت فهرست وار عبارتند از: [4]

- ✓ عدم تماس فیزیکی با قطعه
- ✓ دور بودن منبع تولید انرژی حرارتی از قطعه

راندمان بالا ✓

6

- ✓ عدم اکسیداسیون به شرایط محیطی تمیز
- ✓ ایجاد گرمایش زیاد به طور یکنواخت و همزمان با سرعت زیاد
- ✓ امکان کنترل دقیق دما
- ✓ امکان ایجاد سیستم اتوماسیون حرارت دهی

برق آزمایشگاه پروژه برق و انشعاب زنجبان و انشعاب مندی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق و انشعاب زنجبان و انشعاب مندی گروه برق

1-3- انواع فرایندهای گرمایشی الکتریکی

قبل از بررسی سیستم های حرارتی القایی، برخی از فرایندهای گرمایشی معرفی می شوند تا ما را در درک نحوه بکار گیری منابع گرما و حرارت یاری کنند. این روش ها عبارتند از:

1. گرمایش مقاومتی
2. گرمایش رسانشی
3. گرمایش تشعشعی مادون قرمز
4. گرمایش القایی
5. گرمایش هیستریزیس دی الکتریک
6. گرمایش قوس الکتریکی
7. گرمایش پلازما
8. گرمایش به وسیله پرتو الکترونی
9. گرمایش به وسیله لیزر

گرمایش مقاومتی رایج ترین 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 می گیرد را به کار می برد 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.

گرمایش تشعشعی مادون قرمز در این روش از انرژی تولید شده در اثر تابش استفاده میشود. در این روش از رابطه بین

ولتاژ و جریان و قانون ژول استفاده میشود. گرمایش تشعشعی مادون قرمز در این روش از انرژی تولید شده در اثر تابش استفاده میشود.

موضوع اصلی این بخش گرمایش القایی است که ترکیبی از القای الکترو مغناطیسی، اثر پوستی و انتقال گرما می باشد. به طور خلاصه سیستم حرارتی القایی به تولید گرما به وسیله جریان و جریان گردابی در سطح یک ماده رسانا تولید می شوند، می پردازد. هنگامی که این شیء در مجاورت یک سیم پیچ حامل جریان AC قرار می گیرد، میدان مغناطیسی ناشی از این سیم پیچ سبب القا و لتاژ در

این شیء می شود. جزئیات و بررسی آنها در قسمت های بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت [4]

1-4- اصول گرمایش القایی

گرمایش القایی از سه عامل اساسی تشکیل می شود: اول القای الکترو مغناطیسی، دوم اثر پوستی و سوم انتقال گرما. اساس تئوری گرمایش القایی شبیه یک ترانسفورماتور است. القای الکترومغناطیسی و اثر پوستی در این قسمت بررسی می شوند. شکل 1-2 یک سیستم کاملا ساده و ابتدایی را نشان

می دهد که شامل سیم پیچ و جریان برای نشان دادن القای الکترو مغناطیسی و اثر پوستی می باشد.

شکل (a) ساده ترین شکل یک ترانسفورماتور را نشان می دهد، طوریکه جریان ثانویه رابطه مستقیم با جریان اولیه بر اساس نسبت تبدیل آنها خواهد داشت. تلفات اولیه و ثانویه در اثر مقاومت سیم پیچها و جریان ناشی در این شکل نادیده گرفته شده اند و در ضمن ضریب اتصال (K) بین دو مدار برابر یک می باشد [1]

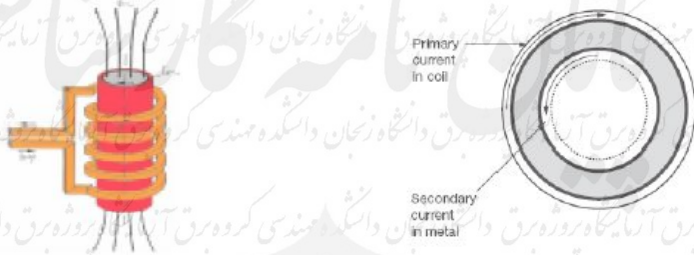
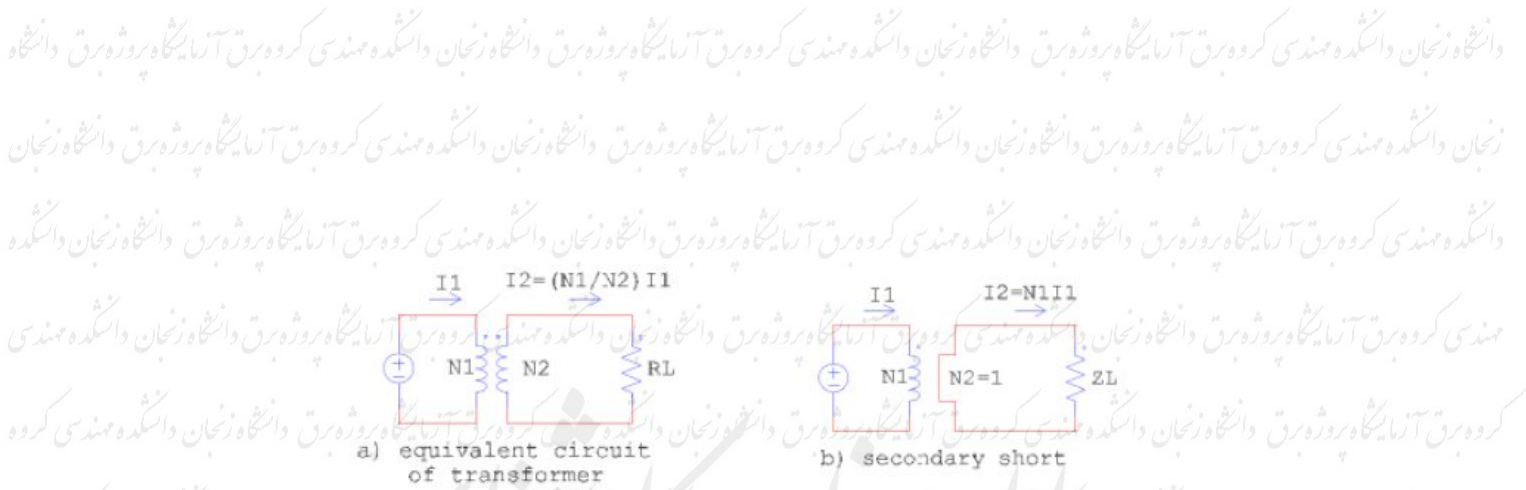
هنگامی که سیم پیچ ثانویه یک دور پیچیده شود و اتصال کوتاه شود، گرمای قابل ملاحظه ای ناشی

از تلفات در اثر افزایش جریان بار (جریان ثانویه) بوجود می آید.. شکل (c) سیستمی را نشان می دهد

که در آن انرژی تامین شده از سوی منبع برابر با مجموع تلفات گرمایی اولیه و ثانویه می باشد. در این

شکل سیم پیچ القایی اولیه تعداد دورهای زیادی دارد، در حالی که تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه برابر یک است [1] سیم پیچ القایی و بار توسط یک شکاف کوچک از یکدیگر جدا شده اند. در ادامه

اثر پوستی را که عموماً تحت شرایط فرکانس بالا اتفاق می افتد را بررسی می کنیم.



شکل 1-1- اصول گرمایش القایی

همانطور که هدف اولیه گرمایش القایی به حداکثر رساندن انرژی گرمایی تولید شده می باشد، فاصله هوایی بین سیم پیچ اولیه و بار تا آنجائی که ممکن است باید کوچک باشد و از سوی دیگر در ثانویه باید ماده ای با مقاومت کم و نفوذپذیری مغناطیسی زیاد قرار گیرد. مواد غیر آهنی و غیر مغناطیسی بازده تولید انرژی گرمایی را به شدت تضعیف می کنند، چرا که این مواد مقاومت زیاد و نفوذپذیری مغناطیسی پایینی دارند [1]

1-4-1- القای الکترو مغناطیسی

همانطور که در شکل 1-2 نشان داده شده است، با اعمال جریان AC به سیم پیچ، میدان مغناطیسی در اطراف آن شکل می گیرد که قدرت آن بر حسب قانون آمپر به دست می آید (3):

$$\oint H dl = Ni \Rightarrow \phi = \mu H A$$

(معادله 1-1)

با قرار گرفتن یک ماده در درون میدان مغناطیسی، سرعت جنبش دو قطبی های مغناطیسی دچار تغییراتی می شود. چگالی میدان مغناطیسی هر چه از سطح ماده به سمت مرکز آن دور می شویم رو به افزایش و کاهش می یابد. چگالی میدان مغناطیسی در درون ماده در درون میدان مغناطیسی، سرعت جنبش دو قطبی های مغناطیسی دچار تغییراتی می شود. چگالی میدان مغناطیسی هر چه از سطح ماده به سمت مرکز آن دور می شویم رو به افزایش و کاهش می یابد.

دانشجویان محترم:

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

مراجع:

[1] مطلبی، ع و رازقندی، م، الکترونیک قدرت، انتشارات دانش و فن

[2] M.H.RASHID, Power electronics circuit, Drives and Applications

[3] J. Davis, P.Simpson, Induction Heating HandBook, McGraw Hill Book company

(UK),

1979.

[4] C.J. Erickson, Handbook of Electrical Heating for Industry, 1995

[5] C.A. Adams, J.C. Hodge, M.H.Mackusick, "High Frequency Induction Furnaces,"

American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the Metallurgical Society, vol.53, no.1, pp.194-205, Jan. 1994.

[6] M.J. Marchbanks, "Coreless induction furnaces," Electrical Engineers - Part II:

Power

Engineering, Journal of the Institution, vol.93, no.36, pp.517-529, December 1946.

[7] W.Komatsu, "A method for control and protection of series resonant induction

furnaces," Industry Applications Conference, 1997. Thirty-Second IAS Annual

Meeting,

IAS '97., Conference Record of the 1997 IEEE , vol.2, no., pp.1661-1666 vol.2, 5-9 Oct 1997.

[8] M.Kay, A.J. Marriage, "Circuit for Power Control of an Induction Heated Furnace,"

Review of Scientific Instruments, vol.33, no.12, pp.1470-1470, Dec 1962.

[9] I. Khan, J.Tapson, I.De Vries, "Automatic frequency control of an induction

furnace,"

AFRICON, 1999 IEEE, vol.2, no., pp.913-916 vol.2, 1999.

[10] Bonert R., Lavers J. D.; "Simple Starting Scheme for a Parallel Resonance Inverter

for Induction Heating", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 9 , No. 3, 1994, pp.

281-

287.

[11] High Frequency Induction Heating, appeared in World Wide, Web:

<http://www.Valve>

advantage. Co. UK, Oct. 2005.

[12] J. Davies, "Conduction and Induction Heating Theory", IEE Press 2000.

[13] آنالوگ، انتشارات دانشگاه تهران، CMOS 1386 رضوی، ب، طراحی مدارهای مجتمع

[14] P.Viriya, S.Sittichok, K.Matsuse, "Analaysis of High-Frequency Induction Cooker

with Variable Frequency Power Control" Power Conversion Conference, 2002. PCC

Osaka 2002. Proceedings of the Volume 3, Issue, 2002 Page(s):1502 – 1507 vol.3

[15] هوشمند، ر، بررسی عملکرد کوره های القایی ذوب بر اساس طراحی بهینه خازن در مدار اینورتر

رزونانس موازی، مجله فنی و مهندسی مدرس، زمستان 1387، صفحه 2

[16] تاروردیان، ع و هدیه لو، م، کنترل حلقه باز کوره های القایی موازی به روش کنترل فرکانس،

پایان نامه

کارشناسی، دانشکده برق، دانشگاه شاهد، 1384

[17] A.L.Shenkman, "A New Simplified Model of the Dynamics of the Current-Fed

Parallel Resonant Inverter", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 47, NO.

2, April 2000.