

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

LILIAN FERNANDA FERREIRA DOS SANTOS GOMES

PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

**CARATINGA
2019**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

LILIAN FERNANDA FERREIRA DOS SANTOS GOMES

PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica das Faculdades Doctum de
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração:
Comercialização**

**Orientador: Prof. M.Sc. Bárbara Dutra
da Silva Luz**

**CARATINGA
2019**

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUECEDOR DE ÁGUA POR INDUÇÃO MAGNÉTICA EM CHUVEIROS RESIDENCIAIS, elaborado pelo(s) aluno(s) LILIAN FERNANDA FERREIRA DOS SANTOS GOMES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 11/07/2019



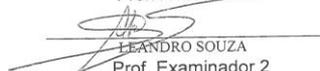
BARBARA DUTRA

Prof. Orientador



VINICIUS MURILO

Prof. Avaliador 1



LEANDRO SOUZA

Prof. Examinador 2

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado força e me guiado neste caminho. Dedico também a minha mãe Maria Helena e minha irmã Joelma Santos por não desistirem de mim, acreditando sempre que no fim, todo esforço vale a pena.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela coragem que ele me concedeu de enfrentar vários medos e também por várias conquistas.

Agradeço aos meus pais Maria Helena e João Batista, pelos esforços que não foram poucos. À minha irmã Joelma que sempre que pode fez o máximo que estava a seu alcance para me ajudar.

E por fim e não menos importante agradeço a minha vizinha, que com suas orações colaborou de uma forma incomparável.

LISTA DE ABREVIATURAS

F.E.M. – Força Eletromotriz

S.I. – Sistema Internacional

SiGe – Silício e Germânio

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comparação de tempos de aquecimento em forno a gás e por indução ...	13
Figura 2: Campo magnético produzido pela corrente numa bobina.	14
Figura 3: O campo magnético criado pelo ímã cria um fluxo magnético no interior da espira	17
Figura 4: Corrente de Foucault.....	17
Figura 5: Circuito indutivo.....	19
Figura 6: Resistores	20
Figura 7: Capacitores	20
Figura 8: Bobina	21
Figura 9: Bateria.....	22
Figura 10: Dissipador de Calor.....	23
Figura 11: MOSFET	23
Figura 12: Gates interligados	24

GOMES, Lilian Fernanda Ferreira dos Santos. **PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO**. Caratinga, 2019. Trabalho de conclusão do Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso superior de Engenharia Elétrica. **FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA. Rede DOCTUM**, Caratinga, 2019.

RESUMO

O aquecimento por indução é um processo que utiliza materiais condutores de eletricidade pela aplicação de variação de um campo magnético cujo as linhas de força penetram a peça a ser aquecida. A forma de aquecimento por indução pode economizar energia e possibilitar maiores taxas de aquecimento do que as obtidas por convecção, radiação, condução ou o processo de aquecimento por chamas. Tal processo tem algumas vantagens, assim como fácil controle e automação e controle, assim o modelo indutivo se torna uma solução mais favorável, onde trata-se de se ter uma economia na energia elétrica.

Palavras-chave: Aquecimento indutivo. Magnetismo. Corrente de Foucault.

SANTOS, Lilian Fernanda Ferreira dos. **PROTÓTIPO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO**. Caratinga, 2019. Trabalho de conclusão do Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso superior de Engenharia Elétrica. **FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA. Rede DOCTUM**, Caratinga, 2019.

ABSTRACT

Induction heating is a process that uses materials conducting electricity by applying a variation of a magnetic field whose lines of force penetrate the part to be heated. The form of induction heating can save energy and enable higher heating rates than those obtained by convection, radiation, conduction or the process of heating by flames. Such a process has some advantages, as well as easy control and automation and control, so the inductive model becomes a more favorable solution, where it is about having a saving in the electric energy.

Keywords: Induction heating. Magnetism. Foucault Current

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1. Objeto de estudo	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo Geral.....	11
1.2.2. Objetivo Específico.....	12
1.3. Justificativa	12
1.1. Metodologia	12
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	13
2.1 Aquecimento por indução eletromagnética	13
2.2 Princípios do aquecimento por indução	14
2.3. Funcionamento da bobina de indução	15
2.4. Características magnéticas	16
2.4.1. Indução eletromagnética.....	16
2.4.2. Lei de Faraday.....	16
2.4.3. Lei de Lenz.....	16
2.4.4. Correntes de Foucault.....	17
2.4.5. Efeito Joule.....	17
2.4.6. Magnetização.....	18
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3.1. Resistor	19
3.2. Capacitor 6.8u/150V	20
3.3. Bobina	21
3.4. Bateria	21
3.5. Dissipador de calor	22
3.6. MOSFET	23
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Em 1831, foi descoberto simultaneamente por dois cientistas, Michel Faraday, na Inglaterra, e Joseph Henry, nos Estados Unidos. No entanto Henry, descobriu primeiro, como não aprofundou nem publicou seu estudo, Faraday o fez primeiro e publicou, ficando assim com a patente para si (FERREIRA, 2019).

Antes do surgimento do aquecimento por indução, as formas de aquecimento mais usadas eram através das resistências elétricas (GH ELECTROTERMIA, 2011).

O funcionamento do aquecimento por indução se dá basicamente pelas correntes de Foucault e histerese. Correntes de Foucault, também são conhecidas como correntes parasitas, aquelas induzidas em um material ferromagnético, quando este fica sujeito a um fluxo magnético variável (GH ELECTROTERMIA, 2011).

A utilização dos processos por aquecimento por indução possui temperaturas tão baixas como 100° e tão altas como 300°, podendo ser aplicado em tempo curto, como questão de segundos, ou longos, referentes a meses, vindo a abranger cozinhas domesticas, industrias e em várias outras aplicações (AMBRELL, 2014).

1.1. Objeto de estudo

O trabalho trata-se da abrangência do desenvolvimento de um protótipo de um conversor de chaveamento de alta frequência, favorecendo as perdas por correntes de Foucault e histerese, que são induzidos pelo campo magnéticos das bobinas.

Este conversor provocará uma variação de tensão, utilizando como semicondutores os MOSFETS IRFZ44N e para seu chaveamento um oscilador LC.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Tem-se como objetivo colocar em prática o conhecimento adquirido ao longo do curso de Engenharia Elétrica, podendo se ter maior visão sobre as disciplinas estudadas na construção do protótipo e elaboração do documento sobre os mesmos.

1.2.2. *Objetivo Específico*

- a) Conhecer melhor os componentes utilizados na eletrônica, assim como seus funcionamentos e controle;
- b) Estudar os conceitos de aquecimento por indução;
- c) .

1.3. **Justificativa**

A variação do fluxo magnético em uma superfície provoca o aparecimento de uma corrente induzida na espira, o que equivale ao aparecimento de uma força eletromotriz (f.e.m.), ou voltagem, induzida na espira (SANTOS, 2019).

O projeto busca representar um sistema por indução, onde tem um objetivo de ratificar a importância do mesmo, buscando incentivar outros alunos a explorarem mais o tema, assim como outros relacionados.

1.1. **Metodologia**

Para o estudo, foi elaborado um circuito com o objetivo de avaliar sua calorimetria. Essa análise visa observar o nível de aquecimento da peça utilizada, pois através deste processo o aquecimento pode ser executado rapidamente e com alta eficiência, considerando que a energia é aplicada somente onde se é necessário (GRUM, 2001).

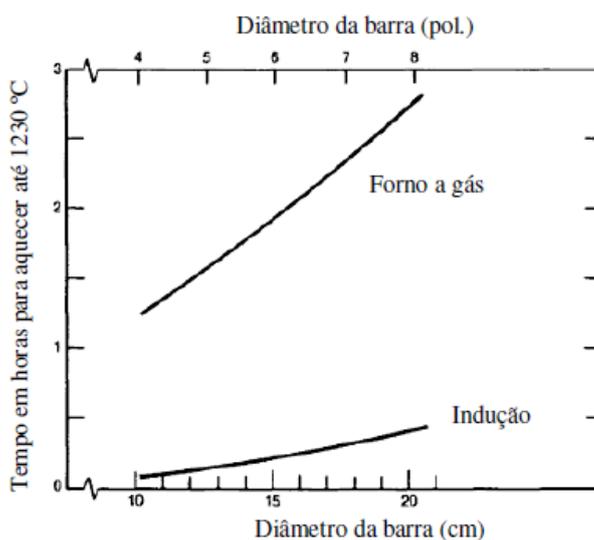
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Aquecimento por indução eletromagnética

O aquecimento por indução é um processo precisamente controlável, independentemente do tamanho de seu lote. A variação da corrente, tensão e frequência resultam em um aquecimento projetado para um ajuste fino. Tal variação do campo magnético induz uma diferença de potencial elétrico que produz uma corrente elétrica, que depende da forma e características elétricas da peça a ser aquecida (DIAVES, 1979).

Comparando com as técnicas de aquecimento utilizadas em forno, o aquecimento por indução possibilita economizar energia e maiores taxas de aquecimento, tal comparação se dá a figura abaixo.

Figura 1: Comparação de tempos de aquecimento em forno a gás e por indução



Fonte: Bastos, 2009

Outras vantagens do tratamento térmico por indução são:

- a) Aquecimento rápido;
- b) Aquecimento preciso e repetível;
- c) Aquecimento eficiente;

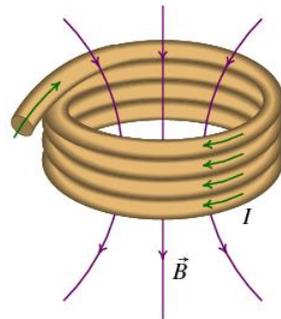
- d) Aquecimento seguro, sem chamas;
- e) Prolongamento da vida útil da fixação.

A frequência de funcionamento do sistema de aquecimento por indução deve ser considerada, com base no tamanho da peça de trabalho a ser aquecida. As peças de trabalho menores requerem uma frequência mais elevada (>50 kHz) para um aquecimento eficiente, e as peças de trabalho maiores beneficiam de uma frequência mais baixa (>10 kHz) e maior penetração do calor produzido.

2.2 Princípios do aquecimento por indução

O calor para aquecer uma peça pode ser gerado na própria peça por indução eletromagnética. Se uma corrente alternada flui através de um indutor ou bobina de trabalho, faz-se estabelecer um campo magnético altamente concentrado que induz um potencial elétrico na peça envolvida pela bobina. Essa peça representa um circuito fechado, a voltagem induzida provoca o fluxo de corrente. A resistência da peça ao fluxo de corrente induzida causa o aquecimento por perdas por correntes parasitas ou correntes de Foucault, mostradas na Figura 2 (RUDNEV et al., 1997).

Figura 2: Campo magnético produzido pela corrente numa bobina.



Fonte: FEUP, 2019

Os componentes básicos de um sistema de aquecimento por indução são a bobina de indução, uma fonte de fornecimento de corrente alternada (AC) e a peça a ser aquecida. A magnitude da corrente depende da resistência eletromagnética, da corrente aplicada e do número de espiras da bobina.

Quando um objeto condutor de eletricidade é colocado dentro da bobina com uma variação de corrente, são geradas as correntes parasitas à partir da variação do campo magnético dentro do objeto. As correntes parasitas são mais concentradas na superfície e decrescem na direção ao centro do objeto.

A velocidade de aquecimento obtida com bobinas de indução depende da intensidade do campo magnético ao qual se expõe a peça, e a velocidade de aquecimento é função das correntes induzidas e da resistência ao seu fluxo. Em resumo, o controle da velocidade e profundidade de aquecimento é conseguido alterando-se as seguintes variáveis:

- a) Forma da bobina;
- b) Distância/espaco entre a bobina de indução e a peça;
- c) Taxa de alimentação de força;
- d) Frequência;
- e) Tempo de aquecimento.

A profundidade de penetração de corrente em determinado objeto metálico é definida pelo limite no qual a densidade de corrente alcança do valor obtido na superfície.

2.3. Funcionamento da bobina de indução

A bobina de Ruhmkorff, também chamada bobina de indução é um dispositivo que nos permite obter alta tensão alternada, utilizando corrente contínua a baixa tensão (EFÍSICA, 2019). Algumas das vezes, são produzidas de um material condutor, o cobre. Elas possuem um núcleo ferromagnético, que aumenta a sua indutância, concentrando as linhas e força do campo magnético que fluem pelo interior das espiras condutoras (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019).

A corrente alternada que circula na bobina gera um campo eletromagnético, que induz uma corrente na peça de trabalho que é uma imagem espelhada da corrente que circula na bobina de indução. Também considerada um componente do sistema de aquecimento por indução que define o grau de eficácia e eficiência do aquecimento da peça de trabalho (AMBRELL, 2019).

2.4. Características magnéticas

Um de seus agravantes é quando falta luz em casa, os usuários tendem a tomar banhos frios, assim como na época do frio o seu consumo aumenta devido a temperatura. Com a modernização foram desenvolvidos dois tipos de chuveiros a partir do comum: o multitemperatura e o eletrônico:

2.4.1. Indução eletromagnética

Fenômeno relacionado ao aparecimento de uma corrente elétrica em um condutor imerso em um campo magnético, quando ocorre variação do fluxo que o atravessa (GOUVEIA, 2019).

Diversas aplicações utilizam a indução eletromagnética para seu funcionamento, destacando-se os transformadores e conversores de energia, como motores elétricos e alternadores.

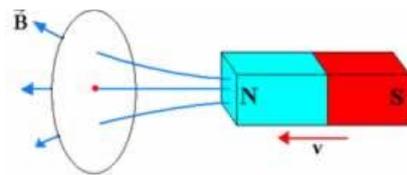
2.4.2. Lei de Faraday

A Lei de Faraday relaciona a força eletromotriz (ϵ) induzida na espira com a taxa de variação do fluxo magnético através desta espira. Assim, enuncia-se que: o valor da força eletromotriz induzida em uma espira de área A é igual à taxa de variação do fluxo magnético através dessa espira. Essa lei é muito utilizada na fabricação de geradores elétricos, responsáveis em transformar energia mecânica em elétrica (SILVA, 2019).

2.4.3. Lei de Lenz

A lei proposta pelo físico russo Heinrich Lenz, a corrente induzida tem sentido oposto ao sentido da variação do campo magnético que a gera. Esta lei evidencia o aparecimento de uma reação contrária a ação provocada pelo ímã. Ou seja, se o norte do ímã se aproxima da espira, o sentido da força eletromotriz é anti-horário. Isto porque, conforme convencionado, o norte é o sentido positivo da indução magnética. Por sua vez, o sentido do movimento das cargas positivas coincide com o sentido da força eletromotriz induzida como mostrado na figura 3 abaixo (KITOR, 2019).

Figura 3: O campo magnético criado pelo ímã cria um fluxo magnético no interior da espira



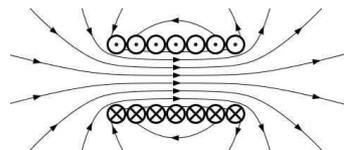
Fonte: Mundo Educação (2019).

2.4.4. Correntes de Foucault

Corrente elétrica induzida no interior de um condutor por meio de um campo magnético variável, ou ainda, por radiação eletromagnética, e que pode formar pequenos vórtices.

As correntes de Foucault são laços fechados de corrente induzida que circulam em planos perpendiculares ao fluxo magnético. Eles normalmente viajam paralelamente ao enrolamento da bobina e o fluxo é limitado à área do campo magnético indutor. Ou seja, é um redemoinho de resistência gerada quando dois campos eletromagnéticos se cruzam. Ele circula em uma direção que se opõe à corrente original (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2019).

Figura 4: Corrente de Foucault



Fonte: Portal São Francisco (2019).

2.4.5. Efeito Joule

Um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica. Este fenômeno é conhecido como Efeito Joule, em homenagem ao Físico Britânico James Prescott Joule (1818-1889) (SILVA, 2019).

O efeito joule, conhecido também como *efeito térmico*, é causado pelo choque dos elétrons livres contra os átomos dos condutores. Quando os átomos recebem essa energia, tendem a vibrar com mais intensidade. Dessa forma, quanto maior for a vibração dos átomos, maior será a temperatura do condutor elétrico (SILVA, 2019).

2.4.6. Magnetização

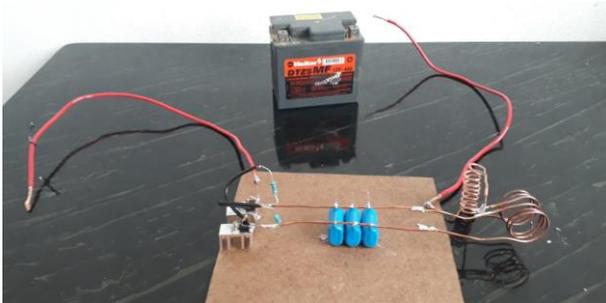
São linhas magnéticas que envolvem um ímã representam a existência de um campo magnético, denominado densidade de campo magnético (ULABY, 2007). Este campo também pode ser criado através de uma corrente elétrica. A densidade de campo magnético é representada pela letra B e sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o Tesla.

Ou seja, refere-se ao fenômeno de resposta da matéria frente a campos magnéticos excitantes, na maioria dos casos frente a campos excitantes externos. Quando se imerge um pedaço de matéria qualquer em uma região onde há um campo magnético preexistente, a estrutura deste material responde ao campo no qual foi imerso mediante a produção de um campo magnético próprio, cuja intensidade e orientação dependem não apenas do campo externo excitante como também das propriedades do material que compõe o objeto em questão (WIKIPÉDIA, 2019).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o circuito montado como mostra a figura 5 abaixo, liga-se o negativo do circuito ao negativo da bateria, e conseqüentemente o positivo do circuito com o positivo da bateria. Ao inserir um material condutor ao centro da bobina já energizada, vemos que o objeto (pode ser uma faca) fica bem quente a ponto de cortar uma tampinha de garrafa. Assim poderemos verificar como ocorre o princípio de aquecimento por indução eletromagnética.

Figura 5: Circuito indutivo



Fonte: Acervo do autor (2019)

Abaixo se dá a apresentação por imagem de cada componente e a explicação dos mesmos.

3.1. Resistor

Os resistores, vistos na figura 6, são componentes de circuitos eletrônicos que possuem a função de limitar os valores da corrente elétrica, viabilizando suas necessidades. Como principal função tem a de resistir a passagem da corrente elétrica, por isso considera-o um isolante elétrico (JÚNIOR, 2019).

Existe alguns que são destinados para a geração de calor por meio do Efeito Joule, são denominadas de resistências elétricas e podem ser encontradas em chuveiros e ferros elétricos. A sua limitação de corrente elétrica ocorre pela transformação de energia elétrica em calor (JÚNIOR, 2019).

Figura 6: Resistores



Fonte: Acervo do autor (2019).

3.2. Capacitor 6.8u/150V

Constituídos basicamente por um material dielétrico e um condutor. O capacitor, como demonstrado abaixo na figura 7, é um corpo eletroeletrônico que serve para armazenar energia elétrica no campo elétrico existente no seu interior (CEFET/SC, 2000).

Tais dispositivos podem ser utilizados em, circuitos alimentados por correntes alternadas, que é quando se deseja formar uma corrente elétrica contínua, como nos casos de eletrodomésticos, como geladeiras, liquidificadores, máquinas de lavar e etc. (HELERBROCK, 2019).

Figura 7: Capacitores



Fonte: Acervo do autor (2019).

3.3. Bobina

A bobina se refere a um fio enrolado em si mesmo ou em uma superfície condutora, como visto na figura 8, empregadas como um indutor, se torna um dispositivo passivo que tem como objetivo armazenar energia em forma de campo magnético (SANTIAGO, 2019)

O seu funcionamento parte do princípio de que gera-se um campo magnético e quando o interrompe, gera-se eletricidade de eletricidade em qualquer enrolamento de fio dentro das linhas de força do campo magnético. Sua potência depende de sua espessura e quantidade de fio utilizado em sua composição (SANTIAGO, 2019).

Figura 8: Bobina



Fonte: Acervo do autor (2019).

3.4. Bateria

São dispositivos eletroquímicos onde ocorre reações de oxirredução, sendo capaz de produzir e armazenar uma certa quantidade de energia, neste caso trata-se de uma associação em série de pilhas, onde o polo positivo de uma está ligado ao negativo de outra (DIAS, 2019).

As baterias, como figura 9, funcionam como as pilhas convencionais, ou seja, quando ocorre a reação de oxidação o material oxidado vai diminuindo, quando ela chega ao fim para de gerar a corrente elétrica, descarrega (DIAS, 2019).

Figura 9: Bateria



Fonte: Acervo do autor (2019).

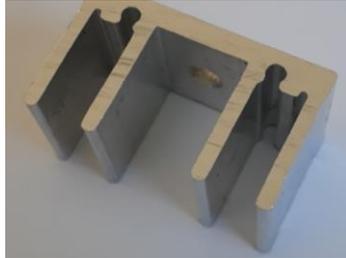
3.5. Dissipador de calor

O dissipador de calor como visto na figura 12 é um elemento de grande importância quando se envolvem dispositivos semicondutores de potência, sendo um objeto de metal geralmente feito de cobre ou alumínio, que, pelo fenômeno da condução térmica, busca maximizar, via presença de uma maior área por onde um fluxo térmico possa ocorrer, a taxa de dissipação (NEWTON C. BRAGA, 2019).

Os principais tipos são: estampados – são dissipadores formados por folhas de cobre ou alumínio, estampados de modo a adquirir o formato desejado, por extrusão – são os mais comuns em aplicações de potência como fontes de alimentação, amplificadores, etc., juntas de tiras pré-fabricadas – a limitação da capacidade de dissipação dos tipos que operam por convecção pode ser contornada se a superfície de contato com o ar for aumentada, fundidos – areia, um cerne e processo de fundição para dissipadores podem ser feitos em alumínio sem a necessidade de vácuo, cobre ou bronze, aletas dobradas – folhas de alumínio ou cobre corrugado são usadas para aumentar a área da superfície em contato com o ar nesse tipo de dissipador (NEWTON BRAGA, 2019).

Comentado [B1]: Lilian, tem que explicar melhor cada componente para que que serve, de qual material é feito.

Figura 10: Dissipador de Calor



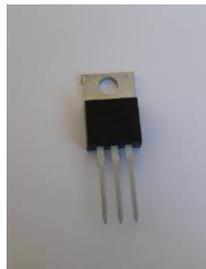
Fonte: Acervo do autor (2019).

3.6. MOSFET

É um resistor de transferência, onde sua função é aumentar e chavear sinais elétricos (SANTOS, 2019). O MOSFET como apresentado na figura 13 é um objeto composto de um canal de material semiconductor de tipo N ou de tipo P. Geralmente o semiconductor escolhido é o silício, mas alguns fabricantes começaram a usar uma mistura de silício e germânio (SiGe) nos canais dos MOSFETs (MATIAS, 2013).

Ele é um componente eletrônico semiconductor com várias funções, nomeadamente: amplificador de sinal, comutador de circuitos e amplificador e regulador de corrente (MATIAS, 2013).

Figura 11: MOSFET



Fonte: Acervo do autor (2019).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O protótipo nos oferece um oscilador LC (indutor, capacitor), no qual sua funcionalidade baseia em armazenar energia, onde ocorrerá todo o processo de aquecimento, determinando assim a frequência de oscilação. A bobina de dez espiras vem para eliminar qualquer sinal de IRF que possa voltar para a alimentação

Assim os sinais que estiverem fora da frequência de ressonância irão encontrar uma impedância alta, e o sinal na frequência de ressonante irá encontrar uma baixa impedância. Ou seja, a frequência tem maior valor de corrente, e o circuito irá permitir apenas a passagem do sinal na frequência de ressonância, bloqueando todos os demais sinais restantes.

O MOSFET vem para chavear as altas frequências, pois possui camadas semicondutoras N e P, e o controle de condução é feito por um terminal isolado *gate*. Sua função é pegar o negativo e chavear de acordo com o sinal que entra no *gate*.

Com a variação dos MOSFETs e o negativo, gera um campo magnético oscilante, que contém também um campo alternado de alta intensidade. Tais terminais estão ligados através de um resistor no *gate* de outro como mostrado na figura 14 abaixo, isso faz com que um acione enquanto outro não, fazendo com que o chaveamento seja alternado. As frequências de chaveamento dos MOSFETs são determinados pelo valor do capacitor e do indutor.

Figura 12: Gates interligados



Fonte: Acervo do autor (2019).

Comentado [B2]: Resultados e discussão devem ser muito bem explicados, o que você observou após montar o protótipo? Como foram os resultados do teste?

Comentado [B3R2]:

Comentado [B4]: Toda figura tem que ser citada no texto.

Quando se introduz um objeto metálico no interior da bobina o mesmo esquenta. No entanto o tempo de aquecimento pode variar de acordo com as variações de temperatura do ambiente.

Ao utilizar um circuito eletrônico, tem de alimentá-lo por corrente contínua, que acionando o circuito o induzirá e provocará seu aquecimento através da corrente de Foucault e também por histerese. Assim por sua vez o trocador irá transferir o calor ao fluído, ou ao corpo no qual queira aquecer.

Os resultados deste trabalho demonstram que o sistema de aquecimento de indutivo pode ser mais eficiente que a resistência elétrica, quando se refere a chuveiros elétricos. Alguns fatos a mais a serem considerados são a segurança do sistema indutivo, pois o elemento aquecedor é isolado eletricamente o que previne choques elétricos.

5 CONCLUSÃO

Na decorrência do trabalho pode-se perceber que o circuito possui algumas limitações, onde uma delas é que o circuito não pode passar de quarenta segundos a um minuto ligado, pois ultrapassando os capacitores esquenta muito e pode vir a interferir no projeto.

Existe assim duas maneiras no qual podemos aplicar no aquecimento indutivo para a passagem de água: por passagem e por recirculação. O aquecimento por passagem não se diz uma boa aplicação, pois sua inércia resistiva é baixa, tendo em vista que sua inércia térmica magnética é bem alta, assim a temperatura da água seria um pouco fraca. Contudo se estabelece o circuito onde a água tem um processo de recirculação sua inércia resistiva aumenta, vindo a obter um resultado mais vantajoso e temperaturas mais favoráveis.

Com o resultado obtido, pudemos ver que pode ser mais elaborado, podendo promover outros projetos e desenvolver mais em relação aos sistemas de indução, vindo poder apresentar resultados melhores e mais favoráveis a população.

O aquecimento indutivo mostrou-se eficiente, em função de proporcionar maior aquecimento, com menor consumo de energia elétrica e potência. Porém, o tema em si pode se considerar um assunto estratégico, onde poderá desenvolver um sistema mais elaborado com materiais melhores e mais avançados.

REFERÊNCIAS

AMBRELL PRECISION INDUCTION HEATING. **Aquecimento por indução Bobinas de indução**. Ambrell. [S.l.], p. 4. 2014.

Corrente de Foucault. [S.l.]: Portal São Francisco, 2019. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/correntes-de-foucault>>. Acesso em: 12 jul. 2019, 17:30.

DAVIES, J. A. **Induction Heating Handbook**. London: McGraw Hill Ltd, 1979.
Definição do Efeito Joule. [S.l.]: Efeito Joule, 2019. Disponível em: <<https://www.efetojoule.com/2008/04/efeito-joule.html>>. Acesso em: 12 jul. 2019, 16:30.

DIAS, Diogo Lopes. **Baterias ou acumuladores**. [S.l.]: Mundo Educação, 2019. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/curiosidades/baterias-ou-acumuladores.htm>>. Acesso em: 04 jun. 2019, 16:36.

FERREIRA, Nathan Augusto. **A Descoberta da Indução Eletromagnética**; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-descoberta-inducao-eletromagnetica.htm>. Acesso em 13 de julho de 2019.

GH ELECTROTERMIA. **Sobre aquecimento por indução**. Site da GH Eletrotérmica, 2011. Disponível em: <<http://www.ghinduction.com>>. Acesso em: 23 mai. 2019, 08:45.

GOUVEIA, R. **Indução Eletromagnética**. Toda Matéria, 2019. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/inducaao-eletromagnetica/>>. Acesso em 14 jul. 2019, 09:00.

GRUM, J. (2001). **A review of the influence of grinding conditions on resulting residual stresses after induction sufrface hardening and grinding**. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001.

HELERBROCK, Rafael. **O que é capacitor?** Brasil Escola, 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm>>. Acesso em 30 de jun. 2019, 16:55.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **Resistores**. [S.l.]: Mundo educação, 2019. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/resistores.htm>>. Acesso em: 04 jun. 2019, 16:35.

KITOR, Glauber L. **Lei de Lenz**. [S.l.]: Info escola, 2019. Disponível em: <<https://infoescola.com/eletromagnetismo/lei-de-lenz/>>. Acesso em: 13 jul. 2019, 09:37.

Magnetismo. [S.l.]: Wikipédia, 2019. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetismo#Magnetiza%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 14 jul. 2019, 18:30.

MATIAS, José. **O que são transistores**, 2013. Disponível em: <<http://www.josematias.pt/eletr/o-que-sao-transistores/>>. Acesso em: 30 jun. 2019, 17:44.

MUSSOI, F. L. R.; VILASSA, M. V. M. Capacitores. Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 4, 2000.

O que é uma bobina elétrica e qual sua aplicação. [S.l.]: Mundo da Elétrica, 2019. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-uma-bobina-eletrica-e-qual-a-sua-aplicacao/>>. Acesso em: 14 jul. 2019, 17:30

RUDNEV, V. I., COOK, R. L., DON, L., & Black, M. R. (1997). *INDUCTOHEAT, Inc.*

SANTIAGO, Emerson. **Bobina**. [S.l.]: InfoEscola, 2019. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/eletricidade/bobina/>>. Acesso em: 04 jun. 2019, 16:17.

SANTOS, José Carlos F. **Indução Eletromagnética**. [S.l.]: Educação, 2019. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/inducacao.html>>. Acesso em: 13 jul. 2019, 15:43.

SANTOS, Marco Aurélio S. **Transistor**. [S.l.]: Mundo Educação, 2019. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/transistor.htm>>. Acesso em: 05 jun. 2019, 09:26.

SILVA, Domiciano C. M. **Ley de Faraday**. [S.l.]: Mundo Educação, 2019.
Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>>.
Acesso em: 13 jul. 2019, 09:26.

SOPPA, E. L.; CASTRO, C. P.; et al. Sistema aquecedor de água de
passagem por indução ecologicamente correto. 2013.

ULABY, Fawwaz. T. **Eletromagnetismo para Engenheiros**. Porto Alegre: