



Protótipo de aquecedor indutivo para aplicação didática em processos industriais

João Lucas Pereira dos Santos de Paula¹, joaolucassantospaula@gmail.com

Felipe de Oliveira Rossi², felipeoli28@gmail.com

Carlos Henrique da Silva Fonseca³, carloshenriquefonseca01@gmail.com

Julio Estéfano Augusto Rosa(Orientador)⁴, julio.estefano@ifpr.edu.br

Resumo: Os aquecedores indutivos atualmente, são de grande importância na indústria. Eles detêm de uma grande eficiência, sendo mais rápido e seguro para o aquecimento industrial, porém de um custo elevado. Diante disso, teve-se a ideia de desenvolver um aquecedor indutivo mais acessível, ou seja, sendo de fácil reprodução possuindo aplicação didática e que outras pessoas possam o desenvolver para a matéria de eletrônica de potência. Os indutores e capacitores são de grande importância para o circuito, eles determinam a frequência de oscilação do circuito. Além disso, para que ocorra um campo magnético oscilante no indutor, os MOSFETs devem ter capacidade de corrente adequada para fazer o chaveamento da corrente, mantendo assim o campo magnético oscilante. O aquecimento acontece com as correntes de Foucault ou correntes parasitas que são induzidas no material condutor, isso faz com que essas correntes se depare com a resistência desse material e assim o aquecendo.

Palavras-chaves: Aquecedor Indutivo; Indutores; Capacitores; Correntes Parasitas.

1 Introdução

Os aquecedores indutivos são circuitos que apresentam basicamente dois componentes principais, os indutores e os capacitores.

O indutor é um fio condutor enrolado em hélice, de espiras muito próximas, em

torno de um eixo. Assim que uma determinada corrente passa pelo indutor, o mesmo gera um campo magnético interno ao seu raio (HALLIDAY, 2009).

Os capacitores são componentes usados para armazenar energia elétrica em forma de campo elétrico. É formado por duas placas de condutores separadas por material isolante (HALLIDAY, 2009).

Os circuitos LC, são denominados circuitos ressonadores, diante das suas características elétricas, o circuito produz oscilação natural, produzindo assim, uma frequência, chamada de frequência de ressonância, que ocorre quando a amplitude de tensão do capacitor e o indutor entram em “sintonia” (SEARS, 2015).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de aquecedor aplicando os conceitos de eletromagnetismo, eletrônica de potência e circuitos ressonantes assim buscando o aprimoramento para aplicar nas indústrias ou laboratórios.

Portanto, a utilização da frequência de ressonância é indispensável para o aquecedor indutivo, sendo aplicada para produzir a corrente de Foucault, responsável por aquecer os materiais com ferro em sua composição.

As correntes de Foucault ou correntes parasitas são basicamente correntes induzidas que percorrem o volume de um material metálico ao ser exposto a um campo magnético. Essas correntes produzidas dissipam energia térmica com uma taxa $I^2 \cdot R$

1 - Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

(SEARS, 2015).

Existem os materiais magnéticos, o ferromagnético, o diamagnético e o paramagnético. As propriedades dos materiais ferromagnéticos, são excepcionais para o funcionamento do aquecedor indutivo, por ter uma interação maior com o campo externo (SEARS, 2015).

Assim, os materiais ferromagnéticos por terem uma interação mais intensa com o campo externo são aquecidos facilmente, por histerese, que é a interação de energia no interior do material como resultado da alternância na polaridade magnética do material, onde é forçada pelo campo eletromagnético criado pela bobina. Este aquecimento ocorre na peça até à temperatura de Curie, onde as propriedades dos materiais ferromagnéticos são perdidas (Ambrell, 2018).

A partir destes conceitos sobre o eletromagnetismo foi possível desenvolver um protótipo de aquecedor indutivo para materiais ferromagnéticos.

2 Materiais e métodos

Para a produção desse protótipo, foi utilizado, transistor de efeito de campo (mosfet), resistores, capacitores, uma bateria de 12 volts e fio rígido tanto para a confecção do circuito, como para realizar a montagem dos indutores.

O transistor de efeito de campo (do tipo mosfet), é muito utilizado em circuitos de potência e chaveamento de altas correntes.

Ele funciona diferentemente dos transistores TBJ (transistor de junção bipolar), em que são ativados por corrente em sua base, os mosfets trabalham com tensão no terminal gate.

Foram utilizados dois mosfets do modelo IRFZ44N, que possui encapsulamento TO-220, temperatura de

funcionamento entre -55°C e $+175^{\circ}\text{C}$, VDSS de 55 V, Rds(on) de 0,022 ohms, I(d) de 49 A e Vgs(to) de 3 V.

Os Mosfets fazem o chaveamento do negativo, para que ocorra um campo magnético oscilante no indutor.

Resistores são componentes passivos que interagem no circuito absorvendo energia.

Foram usados dois resistores de 2W de potência e 150 ohms para o chaveamento dos mosfets, dois resistores de $\frac{1}{4}\text{W}$ de potência e 1k ohms, com a finalidade de limitar a corrente no gate dos mosfets.

Para que os mosfets não ultrapassa-se 175°C que é a temperatura máxima de operação, foi usado dois dissipadores de calor,

Um cooler de computador modelo DFC601012M, de 12V de entrada, potência de 2W e raio da ventoinha de 120mm, foi utilizado para ajudar no resfriamento dos mosfets, acompanhado de dissipadores de calor.

Para realizar a montagem do circuito tank ou LC, utilizamos 3 capacitores de poliéster de 6,8 $\mu\text{F}/250\text{V}$.

Os indutores são componentes passivos, que absorvem energia e armazenam está energia em forma de campo magnético.

Para o circuito, foram usados três indutores, um deles, utilizado para não permitir que a frequência de ressonância volte para a fonte, o qual possui 0,75 cm de raio, 10 espiras, comprimento de 4,3 cm, área de seção 0,00017671 m^2 e indutância de aproximadamente 0,612uH.

Os outros dois indutores, foram aplicados para concentrar o campo magnético oscilante. Cada um possui raio de 1,5 cm, 3 espiras, comprimento de 2,8 cm, área de seção de 0,0007068 m^2 e indutância de aproximadamente 1.1025uH.

Para a alimentação do circuito, foi empregue uma fonte de corrente contínua de

12V e 70Ah.

Os gastos com o trabalho estão listados na Tabela 1.

Tabela 1- Gastos com o aquecedor

Componentes	Quantidade	Preço	TOTAL
Capacitor 6,8uF / 250 V	3	R\$ 3,80	R\$ 11,40
Resistor de 150 Ohm / 2 W	2	R\$ 1,50	R\$ 3,00
Mosfet IRFZ44N	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
Dissipador de calor	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00
Total			R\$ 31,40

Fonte: elaboração própria(2019).

3 Resultados

Para se obter os parâmetros do circuito LC, algumas equações e instrumentos de medições foram utilizados.

Como a corrente que circula pelo aquecedor indutivo é alta, utilizamos fios rígidos contendo um diâmetro específico para fazer a ligação do circuito, sem saturar os fios.

Para calcular a indutância de cada um dos indutores, foi utilizada a equação (1) dada por (Knight; 2009):

$$L = ((4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}) \cdot N^2 \cdot A) / l \quad (1)$$

Onde N é o número de espiras, A área de seção transversal do indutor dado em metros quadrados e l o comprimento do

indutor em metros.

A indutância equivalente ao ligar componentes indutivos em série, é a soma das indutâncias como mostra a equação (2) Knight (2009) temos:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n. \quad (2)$$

Assim, utilizando a equação (2), para determinar a indutância dos dois indutores menores, foi obtido uma impedância equivalente de $L_{eq} = 2,205 \text{ uH}$.

A partir da fórmula da capacitância equivalente em paralelo, aplicada para definir a capacitância equivalente usada no circuito LC, como mostra a equação (3), de acordo com Halliday (2009), temos:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n. \quad (3)$$

Assim, os três capacitores ligados em paralelo de 6,8 uF, é possível conseguir uma capacitância equivalente de $C_{eq} = 20,4 \text{ uF}$.

Os capacitores ideais para esse protótipo, deveriam ser 5 capacitores do tipo MKP de 0,33uF/250V, sendo os MKP, capacitores que detêm um isolamento dielétrico maior que o convencional, podendo trabalhar com altas tensões, frequências e temperaturas. Como é um modelo de capacitor difícil de se encontrar no mercado, foi utilizado capacitores convencionais.

A troca dos capacitores foi baseada em função da frequência de ressonância, sendo em média 30kHz para um desempenho satisfatório do aquecedor.

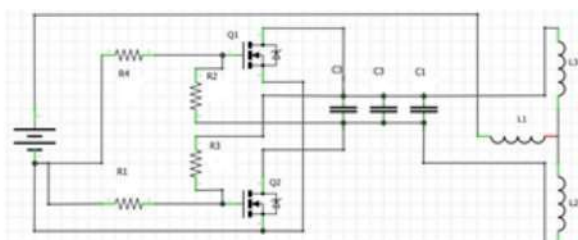
Para o cálculo da frequência de ressonância, são utilizados os valores de capacitância e indutância como mostrada na equação (4), de acordo com Nilsson(2016) temos:

$$\omega = \frac{1}{(LC)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

Com isso, é possível obter uma frequência de ressonância $\omega = 149.101,02$ rads/s. Convertendo rads/s para hertz, foi obtido $f = 23,730\text{kHz}$.

A baixo podemos ver o esquemático do projeto, mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Esquemático do aquecedor.



Fonte: elaboração própria(2019).

As temperaturas obtidas com o aquecedor indutivo chegaram a variar entre 70°C e 120°C aproximadamente, medidas com auxílio de um termômetro a laser.

4 Considerações finais

O circuito projetado, exibiu resultados positivos, mesmo com as devidas dificuldades ao reduzir o custo do projeto sem alterar sua composição. Contudo, os aspectos de aprendizagem de campo magnético, corrente induzida e aquecimento de materiais foram aplicados com êxito. Para a melhoria do circuito, é indicado utilizar capacitores que suportam uma temperatura elevada (MKPs) e fio de cobre esmaltado utilizado na construção dos indutores para uma melhor segurança do protótipo. Este equipamento pode ser utilizado para fazer a limpeza de ferramentas de material ferromagnético eliminando microrganismos e

bactérias.

REFERÊNCIAS

Ambrell. **Aquecimento por indução de precisão.** Disponível em: <http://cdn2.hubspot.net/hubfs/508263/Ambr ell_PDFs/411-0169-18.pdf>. Acesso em 16 de Setembro de 2019.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J . Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo. **Halliday, Resnick, Jearl Walker: Tradução e revisão técnica, Ronaldo Sérgio de Biasi–Rio de janeiro: LTC, p. 105-263, 2009.**

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica, Eletricidade e Magnetismo vol. 3, p.1065, 2009.**

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Circuitos Elétricos, 10a. Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, p. 202-295, 2016.**

SEARS, Z. **Física–Eletromagnetismo. 14ª Edição, Vol. 3, p. 322-351, 2015.**