

Análise da relação do tempo de chaveamento de um inversor em ponte H com a corrente elétrica através de uma bobina para aquecimento por indução.

BRUNO DE SOUZA SANT'ANA¹, JOÃO ROBERTO BROGGIO²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, PIVICT, IFSP, Câmpus Votuporanga, bruno.souza@aluno.ifsp.edu.br

² Professor orientador, Mestre em Bioengenharia, IFSP, Câmpus Votuporanga, jrbroggio@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.03.04-9 Circuitos Magnéticos, Magnetismo, Eletromagnetismo.

RESUMO: O aquecimento por indução oferece uma combinação entre velocidade, consistência, controle e eficiência energética. Podendo ser preparado para aquecimento de materiais com diferentes diâmetros. Com a intenção de dimensionar um banco de capacitores para relacionar a corrente elétrica através do solenoide com o tempo de condução dos Mosfet, responsável este pelo aquecimento indutivo. O presente estudo examinou o comportamento da corrente elétrica quando atingido a frequência de ressonância e quais impactos causariam caso opte por outro tempo de condução. Deste modo houve a necessidade de empregar um software de simulação de circuito elétrico para análise das informações. Nossos experimentos mostram que o tempo de condução do conversor CC-CA implica diretamente na corrente através da carga. Dessa forma, o controle do tempo é algo fundamental para melhor eficiência do sistema, como também não ultrapasse as especificações da fonte empregada no conversor CC-CA.

PALAVRAS-CHAVE: Banco Capacitores; Conversor CC-CA; Frequência Ressonância; Mosfet.

Analysis of the ratio of the switching time of an H-bridge inverter to the electric current through a coil for induction heating.

ABSTRACT: Induction heating offers a combination of speed, consistency, control and energy efficiency. It can be prepared for heating materials with different diameters. With the intention of dimensioning a capacitor bank to relate the electric current through the solenoid to the conduction time of the Mosfet, responsible for the induction heating. The present study examined the behavior of the electric current when the resonance frequency is reached and which impacts would be caused if it opts for another conduction time. Thus, it was necessary to use an electrical circuit simulation software to analyze the information. Our experiments show that the conduction time of the DC-AC converter directly implies the current through the load. Thus, time control is something fundamental for better system efficiency, as well as not exceeding the specifications of the source employed in the DC-AC converter.

KEYWORDS: Capacitor Bank; CC-CA Converter; Resonance Frequency; Mosfet.

INTRODUÇÃO

A fusão de metais depende diretamente de seus graus de fusão. A aplicação do aquecimento eletromagnético poderia contribuir para o controle de temperatura de fusão destes materiais como titânio, aço carbono, alumínio, cobre e cobalto, posteriormente realizar a prototipagem de objetos com maior precisão e qualidade. Esta fusão poderia ser determinada por um circuito de indução eletromagnética, fenômeno que tem a função de induzir correntes parasitas no interior dos metais, que de acordo com sua resistência interna, produzem o aquecimento (ERREDE, 2007).

Entretanto ao adotar uma carga indutiva para aquecimento por indução, a criação de um campo magnético só ocorre devido a circulação de corrente elétrica através de um indutor, gerando deste modo um fluxo magnético variável no tempo onde induz uma força eletromotriz na peça de trabalho, surgindo deste modo corrente parasita responsável pelo aquecimento (FITZGERALD, JR. e UMANS, 2014).

O conceito de inversor em ponte H torna fundamental ao empregar uma fonte de tensão contínua e na seqüência obter corrente elétrica variante no tempo, como demais vantagens empregadas em circuitos de alta potência (BARBI e MARTINS, 2008).

Atualmente ainda não se sabe o comportamento da corrente elétrica por meio da carga indutiva e capacitiva série (LC) adotado uma frequência ressonante e consequentemente controlado a corrente através da carga por meio do tempo de condução dos Mosfet. Portanto nosso objetivo é analisar por meio do software LTSPICE a amplitude da corrente através da carga e posteriormente determinar um tempo de condução para que atenda as especificações da fonte a ser empregada para alimentação.

Sabe-se que a corrente máxima se encontra na frequência ressonante do circuito LC série. Portanto espera-se que por meio do tempo de condução dos mosfet consiga controlar a corrente por meio da carga em altas frequências.

No que tange o assunto de aplicação, a ideia é determinar uma frequência relacionada a fusão do cobre, estanho e demais materiais ferromagnéticos, posteriormente a prototipagem de objetos com maior exatidão e qualidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Ao desenvolver um solenoide para aquecimento de indução de fios ferromagnéticos torna necessário a criação de um banco de capacitores para que desta forma, quando alcançar a frequência ressonante estabelecida o circuito terá uma corrente máxima percorrendo a carga.

Foram realizados experimentos por meio software para avaliar o comportamento e magnitude da corrente elétrica através da carga indutiva(L), já que o mesmo é responsável pela corrente parasita na peça de indução. Já o processo empregado para elaboração das atividades é definido por meio de um fluxograma representado Figura 1.

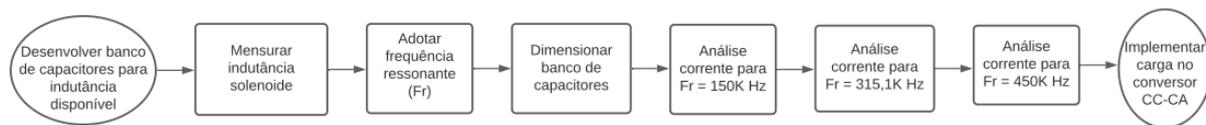


Figura 1 – Fluxograma do processo adotado.

Tais conceitos foram escolhidos para análise pois assim é possível prever qual a corrente máxima contida através da carga, antes mesmo de inserir em um modelo real.

Em primeiro momento verificou-se a indutância (L), na qual constatou o valor de $L = 0,006mH$. Posteriormente, adota-se uma frequência ressonante ($F_r = 315,1K Hz$) e com base neste valor pode-se determinar a capacitância, na qual o banco de capacitores deve possuir. Por meio da equação 1 podemos encontrar a capacitância total.

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} \quad (1)$$

em que,

C – Capacitância, F;

L – Indutância, H;

f – Frequência ressonância, Hz.

O valor a ser encontrado é de suma importância pois na frequência de ressonância há corrente máxima. No que diz respeito as simulações foram executas com o software LTSPICE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O circuito ressonante indutivo e capacitivo (LC) em série é uma configuração onde é composto por um indutor (L) ligado em série com um capacitor (C). Esta configuração permite que quando houver

a frequência de ressonância, a bobina estará com sua corrente máxima devido a baixa impedância (BRAGA, 2014). Desse modo a Figura 1 representa a relação expressa.

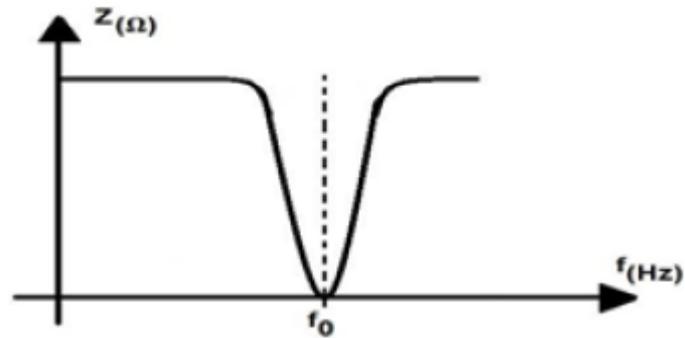


Figura 1 - Relação de impedância por frequência de um circuito ressonante LC.

Para determinar a indutância do solenoide utilizou-se um multímetro, assim tendo conhecimento do valor de nossa frequência de ressonância pode determinar por meio da equação 1 o valor da capacitância, aplicando $f = 315,1K \text{ Hz}$ e $L = 0,006mH$.

$$C = 42,51nF \quad (2)$$

Ao término de ambos os experimentos torna fundamental determinar a quantia de capacitores a ser interligados em série, onde resultem na capacitância encontrada representada na equação 2. Sabe-se que capacitor em série reduz sua capacitância, desse modo emprega-se o uso de capacitores de 680nF e tensão de 250Volts, aplica-se assim o total de dezesseis capacitores, sendo denominado como banco de capacitores.

Desta maneira, conhecendo o valor da indutância e do banco de capacitor podemos inseri-los em um conversor CC-CA e analisar a corrente para frequência distintas. Para compreensão do conversor CC-CA será representado através da Figura 2 a ponte completa na qual se constitui.

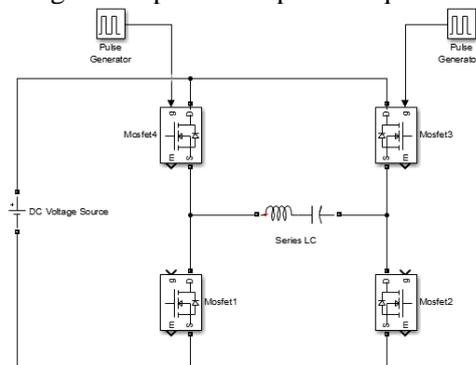


Figura 2 – Conversor CC-CA empregando o valor de indutância e capacitância disponível.

Neste momento observa-se por meio da Figura 2, na qual possui dois Pulse Generator onde ambos apresentam a finalidade de ativar a condução do Mosfet 2 e 4, logo em seguida após um tempo ativará os Mosfet 3 e 5. Dessa maneira a Figura 3 representa as formas de ondas encontradas no gate de cada Mosfet para que torne-o condutor.

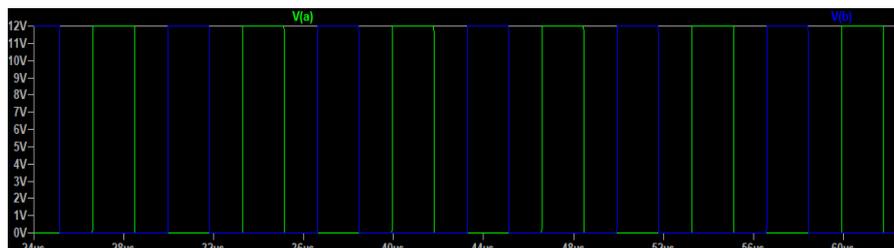


Figura 3 – Forma de onda Pulse Genertor 1 e 2.

A tensão V(a) e V(b) possuem mesma amplitude e período ativo, porém apresenta-se uma defasagem com um determinado tempo, denominado tempo morto. Motivo este para que os Mosfets não passem a conduzir ao mesmo tempo, acarretando desta forma um curto circuito.

Adotado este conceito e visto que a fonte chaveada na qual aplica-se para alimentar o conversor CC-CA possui uma limitação de corrente de 30 amperes, conseqüentemente a necessidade de controlar corrente através da carga é fundamental.

Em primeiro momento a análise é direcionada a frequência de ressonância onde é aplicado um tempo de condução de 45% com relação ao seu período, posteriormente a Figura 4 representa a amplitude de corrente quando adotando as características citadas.

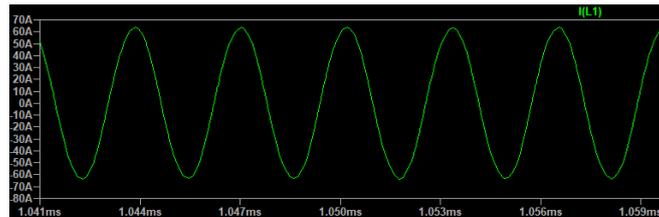


Figura 4 – Corrente elétrica através solenoide com tempo condução 45%

Momento após a estabilização a Figura 4 exibe o valor de corrente próximo a 60 Amperes, tornando deste modo um valor na qual a fonte chaveada não poderá fornecer a carga. Deste modo o ideal é ajustar o tempo de condução entre os chaveamentos para que assim a eficiência do sistema seja aumentada e a fonte chaveada atue dentro de suas especificações.

Para que haja variação da frequência e controle da amplitude, basea-se no circuito apresentado (Broggio et al., 2020) conforme a Figura 4. Em específico nomeado como RV1 o potenciômetro, responsável por alterar o tempo na qual a onda fica em nível lógico alta designando atualmente o chaveamento.

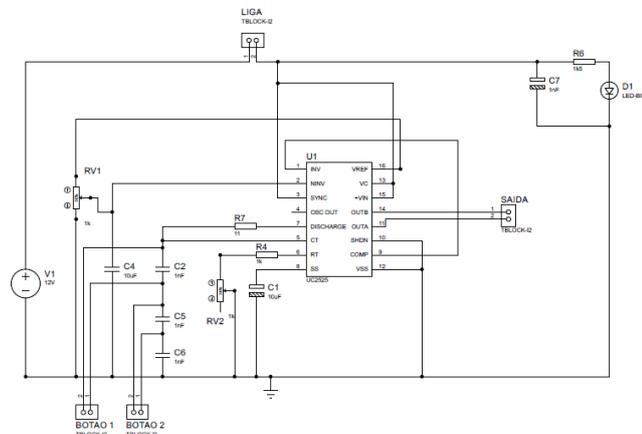


Figura 5 – Circuito para controle de altas frequência e amplitude.

Apresentado as informações, posteriormente adota-se um tempo de condução de 27,5% na qual associa uma redução da corrente através da carga. Com a disposição da Figura 6 nota-se a amplitude de corrente próximo a 27 Amperes.

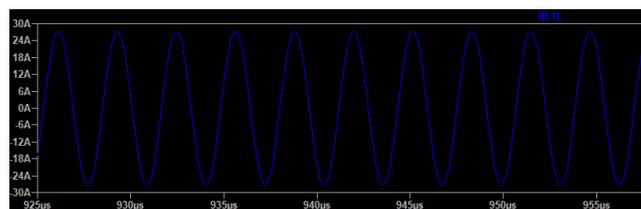


Figura 6 – Corrente elétrica através solenoide com tempo condução 27,5%.

Para o tempo de condução de 27,5% a corrente exigida pela carga é inferior a corrente máxima estabelecida pela fonte chaveada, conseqüentemente os valores a serem adotados para experimentos necessitam ser menor de que 27,5%. Neste instante, a Figura 7 demonstra as amplitudes de corrente através do solenoide de 150K e 400K Hz, empregando como critério o tempo de condução encontrado como ideal.

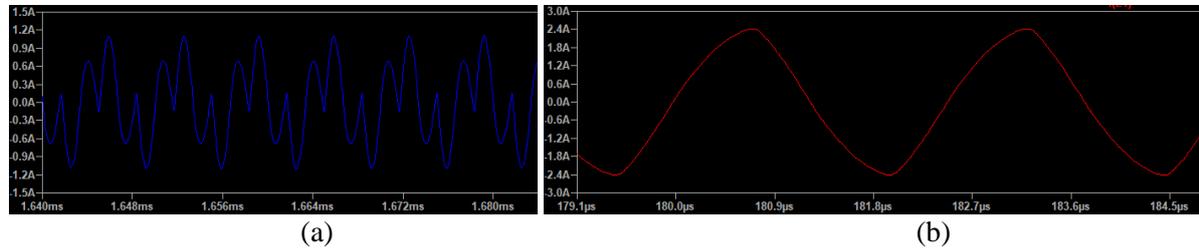


Figura 7 – Análise amplitude da corrente elétrica para frequências; (a) $f = 150K Hz$; (b) $f = 400K Hz$;

Ao observar a Figura 7, as correntes possuem amplitude 1,2 e 2,4 amperes, respectivamente. As correntes encontradas considerando a alteração da frequência e mantendo o tempo de condução 27,5%, de fato segue o padrão estabelecido para uma carga indutiva e capacitiva série, onde em sua frequência de ressonância tem-se o valor máximo e fora os valores de corrente tende a diminuir.

Essa análise torna necessária devido a buscar por informações da magnitude da corrente quando operado com um sistema de alta frequência e valores de indutância e capacitância específica.

CONCLUSÕES

Nossos resultados mostram que o tempo de condução máximo para que não ultrapassem as especificações da fonte de alimentação é de 27,5%, correspondendo dessa forma a uma corrente máxima 27 amperes em sua frequência ressonante. Com os resultados adquiridos e as informações das correntes a produção do circuito para o processo tem-se maior segurança devido a análise preliminar empregando o uso de software LTSPICE, como também pode-se relacionar a frequência de chaveamento com a temperatura de Curie de cada material ferromagnético, contribuindo desse modo para prototipagem de materiais ferromagnéticos com maior precisão. Nossos achados revelam que a modificação do potenciômetro RV1 da Figura 5 impacta diretamente no controle de corrente através da carga, tornando como parâmetro fundamental para controle do tempo de condução dos mosfet.

REFERÊNCIAS

- BARBI, I.; MARTINS, D. C. **Eletrônica de Potência: Conversores CC-CC Básicos Não Isolados**. 2ª. ed. Florianópolis: Edição dos Autores, 2006.
- BRAGA, I. N. Instituto Newton C. Braga. **Site do Instituto Newton C. Braga**, 2014. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br>>. Acesso em: 10 Junho 2014.
- ERREDE, S. A Brief History of Electromagnetism. Universidade de Illinois, 2007.
- FITZGERALD, A. E.; JR., C. K.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas**. 7ª. ed. [S.l.]: Bookman, 2014.
- SANT'ANA, B. S.; BROGGIO, J. R.; Da Silva, R.C. CIRCUITO DE ALTA FREQUÊNCIA PARA PROTÓTIPO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE FIOS FERROMAGNÉTICOS. In: 10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP, 2019, Sorocaba. 10º CONICT, 2019.