

ESTUDO SOBRE TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO USANDO O MÉTODO DE ACOPLAMENTO INDUTIVO RESSONANTE

JULIO CÉSAR ROLOFF PERES¹; MAIQUEL S. CANABARRO²

¹*Universidade Federal de Pelotas – julio.peres@ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – maiquel.canabarro@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Durante a disciplina de Teoria Eletromagnética foi proposto o desenvolvimento de um protótipo, de escolha dos alunos, onde se pudesse verificar os conceitos apresentados no decorrer da disciplina. A primeira escolha foi de um transmissor de energia sem fio, que seria usado para carregamento de dispositivos portáteis, como smartphones.

A transferência de energia sem fio, embora pouco conhecida por leigos, não é algo recente. Desde o século XIX Nikola Tesla realizara experimentos, onde desenvolveu as chamadas bobinas de Tesla que poderiam transferir energia sem fio a longa distância. Embora a transmissão a longa distância nunca tenha sido explorada a nível comercial e industrial, Tesla abriu portas para o desenvolvimento de conceitos de alto nível nos estudos de WPT (*wireless power transfer*), em casos de média e curta distância.

Ao decorrer dos estudos, diversos métodos de acoplamento foram testados. Inicialmente nas décadas de 60 e 70 usava-se o acoplamento indutivo simples, que se dá pelo acoplamento magnético de duas bobinas. Este, ao decorrer do tempo trouxe a necessidade de um método com maior eficiência, uma vez que o IPT (*inductive power transmission*) apresentava baixa eficiência energética que era rapidamente agravada conforme a distância aumentava.

Após esta constatação o IPT foi complementado desta vez usando o fenômeno da ressonância, que comparado ao método anterior foi obtido um significável ganho na eficiência. O fenômeno da ressonância é utilizado afim de maximizar as amplitudes de tensão e corrente para que também se maximize a amplitude do campo variável no tempo, como verifica-se na equação de Faraday-Maxwell.

Diversas aplicações para o uso do WPT são encontradas no mercado, como por exemplo carregador sem fio, o carregamento de baterias de marca-passo sem que haja necessidade de outras cirurgias e também que o carregamento de carros elétricos sem fio, que é um assunto bastante tratado atualmente pois considera o uso de energia renovável.

A transmissão sem fio de energia é dada pelo fenômeno físico dos campos eletromagnéticos descritos pelas equações de Maxwell. Podendo ser para campos distantes ou próximos, o trabalho tem seu escopo voltado para campos próximos, onde a transmissão é dada apenas por campos magnéticos variáveis no tempo.

Uma das principais leis que explicita como é possível a transmissão de energia sem fio é a lei de Faraday-Lenz, onde diz que a variação do fluxo magnético em uma espira induzirá, nesta, uma força eletromotriz. Ou seja, existe uma bobina transmissora submetida a variação de corrente no tempo que por consequência gerará um campo magnético também variante no tempo, e uma outra bobina receptora, quando acopladas magneticamente a receptora apresentará uma força eletromotriz induzida.

É realizada uma análise didática de duas bobinas acopladas, onde a primeira é submetida a uma corrente variável no tempo, utilizando-se da lei de Biot-Savart afim de obter a expressão para a densidade de campo magnético. Esta é usada para encontrar o campo magnético, que é o produto da permeabilidade magnética com a densidade de campo. A integral do campo magnético produto escalar da área em que este atravessa, resulta no fluxo que atravessa a bobina receptora e por fim usada a lei de Faraday-Lenz para determinar a tensão induzida, obtém-se a seguinte expressão

$$v_2 = -N_2 \frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\mu_0 N_1 N_2 R^4 \pi I_1}{2[R^2 + d^2]^{\frac{3}{2}}} \omega \sin(\omega t) \quad (1)$$

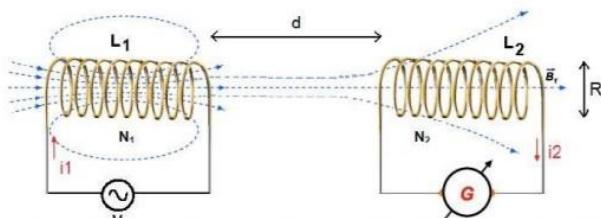


Figura 1 – Acoplamento entre duas bobinas – Fonte: E-Física

A expressão obtida é de grande importância para concretização de alguns conceitos, pode-se ver que a tensão será proporcional a frequência de oscilação ômega e também aos parâmetros físicos da bobina, como número de espiras e raio, porém, decai numa taxa cúbica da distância entre elas. E mais importante ainda, que todos os campos encontrados no processo, estão de acordo com as equações de Maxwell, especificamente a lei de Gauss para o magnetismo e a lei de Ampere.

O conjunto de bobinas é chamado de link indutivo, onde existe um coeficiente de acoplamento (k) que é referente a quão bem as bobinas estão acopladas magneticamente e quanto maior este for, existirá uma melhor eficiência. Este coeficiente é dado pela eq. (2), onde L_1 e L_2 são as indutâncias das bobinas e M é a indutância mútua entre elas, que depende de parâmetros físicos da construção e fortemente da distância entre elas, diminuindo na taxa da distância cúbica.

Outro fator importante que torna este método melhor é o fator de qualidade (Q), atribuído às bobinas, dado por $\omega L/R$, onde ômega representa a frequência angular, L a indutância da bobina e R a resistência da mesma. Como percebe-se, ele aumenta de acordo com a frequência, um fator Q maior faz com que o circuito ressome de melhor forma, assim o fator Q pode ajudar a compensar a queda do fator de acoplamento k sofre conforme o aumento da distância. Vale ressaltar que utilizar frequências muito altas, resistências são adicionadas ao circuito, o que traz perdas no circuito, assim apenas aumentar a frequência infinitamente não trará um melhor fator de qualidade Q . Os fatores comumente aceitáveis no WPT estão entre 10 e 100.

O primeiro passo para a implementação do protótipo é a confecção das bobinas. Após a revisão bibliográfica verifica-se que as bobinas planares destacam-se por proporcionarem um melhor coeficiente de acoplamento, uma vez que as áreas de ambas conseguem ficar a uma distância bastante pequena, ou seja, há o maior contato entre as áreas. Dentre os tipos de bobinas planares existem diferentes formas geométricas para a construção destas. De acordo com

(BOSSHARD et al, 2013) verifica-se que a geometria que possui melhor coeficiente de acoplamento são as circulares.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2)$$

$$M = \frac{\mu_0 \pi a^2 b^2}{2(a^2 + b^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \left(1 + \frac{15}{32} \gamma^2 + \frac{315}{1024} \gamma^4 \right) \quad (3)$$

$$L = \frac{\mu_0 N^2 D_{avg}}{2} \left(\ln \left(\frac{2,46}{\emptyset} \right) + 0,20 \emptyset^2 \right) \quad (4)$$

$$\eta = \frac{(kQ)^2}{\left(1 + \sqrt{1 + (kQ)^2} \right)^2} \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

2. METODOLOGIA

Como se usará o acoplamento ressonante, foi escolhido criar um circuito ressonante com a própria capacitância parasita da bobina, que será relativamente grande por se tratar de uma bobina planar, e o circuito será ainda mais compacto.

Para a confecção do link, usa-se uma aproximação encontrada na revisão, para determinar o raio das bobinas com base na distância entre elas que se deseja alcançar. Usando-a afim de permitir distanciar as bobinas até 30mm, o diâmetro mínimo é de 85mm. As antenas podem ser geradas por softwares de design de PCB, e serão confeccionadas com o uso do método de transferência térmica para circuitos impressos. Através de métodos numéricos é possível estabelecer valores de indutância para as bobinas planares, para comparação dos valores teóricos será usada a ponte RLC para mensurar os valores práticos.

Para o circuito transmissor necessita-se de um oscilador, que permita a variação da corrente na bobina transmissora que será chaveada através de uma etapa de potência de modo a cumprir os princípios citados anteriormente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como abordado anteriormente as bobinas foram desenvolvidas com um diâmetro externo de aproximadamente 100mm, onde foi possível usar a aproximação numérica para o valor da indutância, alcançando 30,91uH prático, contra 31,55uH calculado usando eq. (4). O valor da capacitância média 43,54nF e resistência de 2,74Ω para as bobinas, foram obtidos através do uso da ponte RLC, uma vez que a aproximação teórica destes requer métodos numéricos.

Onde se calculou uma frequência ressonante de oscilação de 150kHz usando a eq. (6), que foi usada no projeto de um oscilador usando CI555, de onda quadrada, que através de um driver *push-pull* aciona um MOSFET, conectado a bobina transmissora. O sinal recebido na receptora é retificado, filtrado e regulado para 5V.

Com o circuito montado, verificou-se que funcionou como o esperado, foi possível a alimentação de um motor CC simples, e também alguns dispositivos 5V. Podendo calcular os valores práticos para indutância mútua, 14,46uH e para o coeficiente de acoplamento k, 0,4785. Estes valores são 73,4% do valor calculado para as condições ideais, conforme equações (3) e (2). Outro parâmetro importante que se pode observar é a eficiência, o valor calculado teoricamente é de 67,11% de eficiência, segundo eq. (5), porém, o experimento realizado com diversas cargas apenas conseguiu-se suprir 26% do valor esperado.

4. CONCLUSÕES

Visando a melhoria da eficiência, uma melhor técnica de oscilação e potência poderia ser aplicada, usando uma oscilação senoidal afim de não criar picos abruptos de tensão/corrente na bobina transmissora (que foram visualizados no osciloscópio nesta implementação), para que também não apresente uma curva de polarização exponencial que também foi verificada no caso implementado.

Em suma o que foi proposto na disciplina pode ser atingindo, uma vez que em todos os passos para obtenção dos campos, foram verificadas as leis de Maxwell para um campo genuíno. E também o conceito que está diretamente aplicado, a lei de Faraday-Lenz, e encontrado mesmo que de forma implícita, por conta das aproximações numéricas, foi possível estimar um vetor de campo magnético, densidade de campo, fluxo magnético, indutância mútua, corrente induzida e alguns outros parâmetros, que foram abordados na disciplina de Teoria Eletromagnética.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

N. MATTHEW; O. SADIQU. **Elementos do eletromagnetismo**. Local de edição: Bookman, 2004.

W. C. Brown, The history of power transmission by radio waves, **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. 32, no. 9, pp. 1230–1242, Sep 1984.

J. Garnica, R. A. Chinga, and J. Lin, Wireless power transmission: From far field to near field, **Proceedings of the IEEE**, vol. 101, no. 6, pp. 1321–1331, June 2013.

D. K. CHENG, **Field and Wave Eletromagnetics**. Local de edição: Tsinghua University Press, 1989.

R. Bosshard, J. Mühlethaler, J. W. Kolar, and I. Stevanović, Optimized magnetic design for inductive power transfer coils, in **2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**, March 2013, pp. 1812–1819.

R. W. Porto, V. J. Brusamarello, I. Muller, F. R. Sousa, and R. Azambuja, Design and optimization of a power inductive link, in **2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings**, May 2014, pp. 648–653.

T. S. MOTTA, **Transmissão de energia sem-fio: Método de acoplamento indutivo ressonante**, 2016. Monografia – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.