

Sistema de Carregamento Sem Fio de Baixo Custo Utilizando Acoplamento Ressonante Indutivo

Levi Moreira de Albuquerque⁽¹⁾, Sheyla Rodrigues Rabelo⁽²⁾, João Paulo Soares de Sousa⁽³⁾, Paula Mayara Silva de Albuquerque⁽⁴⁾, Pedro Klécio Farias Cardoso, Dr.⁽⁵⁾

Resumo - Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de carregamento sem fio utilizando a técnica de acoplamento ressonante indutivo. O objetivo do sistema é a transmissão de energia elétrica sem fio através de um circuito transmissor inteligente que possa ser acoplado a superfícies diversas, de modo a torná-las capazes de transferir eletricidade. De forma complementar, o sistema idealizado fará uso de um receptor de tamanho reduzido acoplado a dispositivos móveis para que permita seu carregamento quando próximos ao transmissor.

Palavras-chave - Carregamento sem fio, Acoplamento ressonante indutivo, Eletromagnetismo

Abstract - This article describes the development of a wireless charging system using the inductive resonant coupling technique. The main aim of this system is the creation of a smart wireless power transmitter that could be inserted into various kinds of surfaces as to enable them to transmit energy wirelessly. Complementarily, the idealized system should have a receptor of reduced size as to be inserted into mobile devices so they can be charged by the described surfaces.

Keywords - Wireless charging, magnetic resonant coupling, electromagnetism.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de dispositivos móveis tem sofrido grandes avanços nos últimos anos, de um modo geral observou-se um grande crescimento no número desses equipamentos, desde *smartphones* a pequenos *notebooks*. Neste contexto, muitas tecnologias foram desenvolvidas, destacando-se as áreas de transmissão de dados e energia. Em relação à energia, diversas melhorias aplicadas à construção de novas baterias para dispositivos móveis não foram suficientes para mantê-los carregados continuamente, sem o inconveniente de recorrer a carregadores periodicamente.

Graças às descobertas de Tesla a transmissão de energia através do ar vem sendo estudada de maneira intensa, exatamente pela sua aplicabilidade na resolução do problema do carregamento das baterias de equipamentos eletrônicos^[1]. O que mudou desde a época de Tesla foi a massificação e utilização de uma grande gama de aparelhos portáteis como *smartphones*, *tablets* e *notebooks* pela sociedade. Esses equipamentos já utilizam tecnologias que permitem a transmissão de dados sem fio, e, por questões de mobilidade e praticidade, há um grande interesse em torno do desenvolvimento de sistemas sem fio de carregamento de baterias, de forma que estes dispositivos não necessitem mais de fios e cabos como meios físicos para qualquer fim.

Os sistemas de carregamentos podem ter diversas aplicações: comunicação, iluminação, equipamentos domésticos e carros elétricos. A transmissão de eletricidade sem fio pode ter diversas aplicações nas *Casas Inteligentes* e engloba de maneira mais ampla os projetos das atuais *Cidades Inteligentes*, sobretudo em relação ao transporte e iluminação.

Algumas alternativas já estão disponíveis no mercado para diminuir a dependência de carregadores para alimentar baterias de pequenos dispositivos. Alguns padrões e dispositivos já foram desenvolvidos por empresas especializadas em transferência de eletricidade *wireless*^{[2] [3]} e várias pesquisas

acadêmicas^{[4] [5] [6]} foram conduzidas de forma a explorar mais profundamente essa alternativa. Contudo ainda existe a necessidade de um método mais generalizado para a construção desse tipo de sistema. Tendo em vista essa problemática, propõe-se neste artigo o desenvolvimento de um sistema de carregamento inteligente, sem fio, simples e de baixo custo.

Pode-se dividir o desenvolvimento de um sistema de carregamento inteligente e sem fio que utiliza a técnica de acoplamento ressonante indutivo em três etapas:

- Concepção do circuito ressonante;
- Formatação e construção das bobinas;
- Incorporação do sistema de controle.

II. HARDWARE DO SISTEMA

A Fig.1 apresenta uma visão geral da organização física do sistema aqui descrito. O funcionamento se dá em duas etapas. Na etapa de transmissão uma tensão contínua é derivada de uma fonte e condicionada a oscilar na frequência de ressonância do circuito através de um circuito inversor.

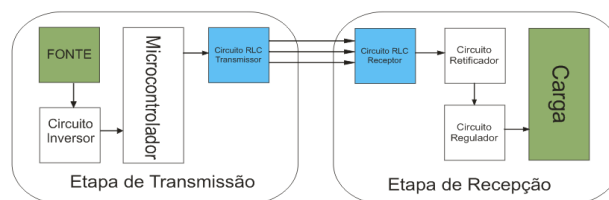


Fig. 1. Diagrama demonstrativo do sistema. Fonte: Própria

A utilização do circuito na frequência de ressonância é o princípio do acoplamento indutivo ressonante e viabiliza o melhor aproveitamento de energia que este estado promove, possibilitando assim um estado de máxima eficiência. A tensão alternada que sairá do circuito inversor será introduzida no arranjo RLC. Um microcontrolador fará o controle de carregamento, detectando os momentos de atividade e inatividade do circuito transmissor e ajustando a tensão de transmissão de acordo com a quantidade de dispositivos que devem ser carregados.

Na etapa de recepção, quando um dispositivo portador do circuito receptor se aproximar da área de transmissão esse segundo circuito será induzido com uma corrente apresentando uma diferença de potencial que será retificada e regulada para ser aplicada a uma carga.

III. CONCEPÇÃO DO CIRCUITO RESSONANTE

Em teoria de circuitos, o arranjo RLC é um tipo de associação de componentes que representa de forma completa o fenômeno do acoplamento indutivo ressonante. Em um circuito RLC série a impedância do arranjo iguala-se à soma das reatâncias de cada um dos componentes no circuito. Escolhendo-se valores iguais de reatância do indutor e do capacitor ($\omega L = 1/\omega C$)^[7], elimina-se a parte do circuito que varia com o tempo, restando apenas a resistência. Isso ocorre exatamente em uma frequência f_0 denominada frequência de ressonância do sistema, que pode ser encontrada utilizando a equação (1).

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \omega^2 = \frac{1}{LC}, \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Analogamente, a admitância no circuito RLC em paralelo, iguala-se à soma dos inversos da impedância de cada componente. A condição para a ocorrência da ressonância é a mesma do circuito em série (1).

A Fig. 2 mostra o modelo do circuito RLC do transmissor e do receptor do sistema de carregamento. Utiliza-se um circuito RLC em paralelo tanto no transmissor como no receptor. Isso é justificado por que no caso do transmissor precisa-se manter a tensão da entrada (V1) constante até a bobina (L1), o que é conseguido pela disposição paralela dos componentes. O mesmo acontece no lado do receptor.

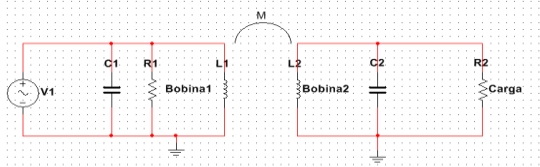


Fig. 2. Circuito RLC do sistema de carregamento

A corrente que circula na bobina L1 induz um campo eletromagnético que gera uma diferença de potencial na bobina L2^[8]. Um modelo equivalente pode ser construído utilizando o valor da indutância mútua do circuito M, que pode ser encontrado utilizando a fórmula (2), e os valores das indutâncias das bobinas envolvidas^[9].

$$M = k\sqrt{L1 * L2} \quad (2)$$

A equação (2) mostra a ligação direta que a indutância mútua tem com o acoplamento das bobinas (coeficiente k) e com a indutância das mesmas. A constante k está intimamente relacionada ao alinhamento das bobinas e a distância entre elas, variando de 0 até 1, sendo 1 o acoplamento perfeito^[4]. A análise da indutância mútua entre os circuitos permite a escolha dos valores dos componentes a serem utilizados. Para melhor eficiência do sistema é necessário que as indutâncias sejam idênticas, assim a transferência de energia de uma bobina para outra depende apenas do coeficiente de acoplamento.

IV. FORMATAÇÃO E CONSTRUÇÃO DAS BOBINAS

As bobinas do projeto constituem os indutores do circuito. Dessa forma é necessário que se calcule bem a indutância das bobinas, que, de acordo com GONDIM^[4], depende muito do formato e de suas dimensões. Foram desenvolvidas duas bobinas, uma grande para representar a bobina transmissora e uma de tamanho reduzido para representar a bobina receptora.

Para o cálculo da indutância das bobinas foi utilizada a fórmula de Wheeler descrita em^[10], pois é a mais adequada para bobinas com relação raio e comprimento menor que 0.8^[4]:

$$L = \frac{r^2 n^2}{9r + 10l} \quad (3)$$

Onde r é o raio interno da bobina, l a sua altura e n o número de espiras. Os valores devem ser convertidos para polegadas antes de serem aplicados na fórmula e o resultado é obtido em micro Henrys.

V. RESULTADOS PARCIAIS

As bobinas de teste foram fabricadas com fios de cobre isolados. A Tabela 1 mostra as medidas adotadas na fabricação das bobinas de teste bem como as indutâncias medidas com uma ponte de medição Chroma e com a utilização da fórmula de Wheeler^[3].

As indutâncias são aproximadamente iguais, requisito necessário para ajustar o circuito à frequência de ressonância adequada. Utilizando-se de capacitores de acoplamento também idênticos, foi montado um circuito para realização de testes de

tensão. Os resultados da influência do acoplamento na tensão induzida na bobina secundária estão resumidos na Tabela 2.

TABELA 1 – INFORMAÇÕES SOBRE AS BOBINAS CONSTRUÍDAS

	Bobina transmissora	Bobina receptora
Raio interno	6 cm	3 cm
Número de espiras	7	12
Altura lateral	0,7 cm	1,2 cm
Indutância Wheeler	11,27µH	13,05µH
Indutância LCR	13,53µH	12,85µH

TABELA 2 – RESULTADOS PARCIAIS DA ANÁLISE DO ACOPLAMENTO

Distância	Tensão V1	Tensão em L1	Tensão em L2
0 cm	15V	15V	12V
2 cm	16V	16V	10V
5 cm	17V	17V	8V
Sem acoplamento	18,2V	18,2V	0V

VI. FIRMWARE DE CONTROLE DO SISTEMA.

Com os resultados obtidos sobre os testes das bobinas foi possível projetar o modo como o microcontrolador irá fazer o controle de carga do sistema. O controle utiliza o fato de que à medida que uma bobina receptora se aproxima do circuito transmissor, a tensão de entrada diminui gradativamente, para determinar quando um dispositivo que requer carregamento foi aproximado da área de transmissão. O microcontrolador do transmissor então ajustará a tensão para sempre mantê-la constante, mesmo com a aproximação de novos dispositivos. Uma tensão mínima é mantida na bobina transmissora quando não existem dispositivos a serem carregados.

VII. TRABALHOS FUTUROS

O sistema aqui descrito está em fase de desenvolvimento. Em breve o sistema de controle de carga estará finalizado em um chip microcontrolador e integrado ao restante do circuito do sistema.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto Sistema de Carregamento Sem Fio Inteligente, processo 468465/20146. À instituição de fomento à pesquisa Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa – FUNCAP.

REFERÊNCIAS

- [1] WEI, X. WANG, Z. DAI, H. "A Critical Review of Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances". 7 July 2014. Energies. p. 4316-4341
- [2] JOHNS, Bill "An introduction to the Wireless Power Consortium standard and TI's compliant solutions". Texas Instruments. Out 2011.
- [3] Wireless Power Consortium - System Description, Wireless Power Transfer, Volume I: Low Power, Version 1.1.2, June 2013
- [4] GONDIM, F.P. "Transmissão de Energia Elétrica sem Fio". Universidade Federal do Ceará – UFC. 2010.53p.
- [5] LAI, J I, LU, X. "Smart Battery Charging System Based on ATMEGA128 Microcontroller" International Journal of Information and Computer Science, July 2012, p. 90-93.
- [6] KURS, André. "Power Transfer Through Strongly Coupled Resonances". MIT. September 2007.
- [7] STOREY, N. "Electrical and Electronic Systems". Edinburgh: Pearson Education. 2004. p. 279-300 e p. 339-369
- [8] MCINTOSH, David "DIY Inductive Charger". Disponível em <https://sites.google.com/site/ddmcintosh2/projects/inductive-charger/> Acesso em: 19 Dez 2014
- [9] "A RFIC designer's notes" IntgCkts. Disponível em <http://analog.intgckts.com/passives/coupled-inductors-as-transformer/> Acesso em: 17 dez. 2014
- [10] [WHEELER, H. A. "Simple Inductance Formulas For Radio Coils". Hazeltine Corporation, Hoboken, N. J. – 1928

¹Graduando do Curso de Engenharia de Computação – IFCE – Fortaleza/CE

²Tecnóloga em Mecatrônica Industrial – IFCE – Fortaleza/CE

³Graduando em Sistemas de Informação – FA7 – Fortaleza/CE

⁴Graduanda do Curso de Eng. de Telecomunicações – IFCE – Fortaleza/CE

⁵Professor Doutor do Departamento de Telemática do IFCE- Fortaleza/CE