



Aplicação de Diferentes Orientações do Arranjo Halbach em um Gerador Linear de Ímãs Permanentes para um Sistema de Conversão de Energia das Ondas Oceânicas

Ana Carolina Crespo Alves Tavares^{1*}; Victor Pinheiro Galvão Guimarães¹, Diego Fernando Garcia¹, Marcos Antonio Cruz Moreira¹

¹Instituto Federal Fluminense

*ana.carolinacrespo@hotmail.com

Resumo

A energia proveniente das ondas oceânicas representa uma energia limpa de grande potencial energético, porém ainda pouco utilizada. Neste trabalho, apresenta-se um gerador linear de ímãs permanentes para ser aplicado a um sistema de conversão de energia das ondas. Com o auxílio de simulações computacionais, realiza-se uma análise comparativa entre diferentes arranjos do tipo Halbach. Por fim, determina-se a sequência de orientação de ímãs que fornece maiores valores de pico de tensão induzida.

Palavras-chave: Energia das Ondas, Gerador Linear, Arranjo Halbach, Ímã Permanente

1. Introdução

Nas últimas décadas, o incentivo a utilização de energias limpas foi intensificado como consequência a uma preocupação ambiental crescente ao redor do mundo. A energia proveniente das ondas oceânicas possui um grande potencial energético, uma vez que os oceanos representam cerca de 70% da superfície terrestre^[1]. Entretanto, essa fonte renovável ainda é pouco explorada. Quando comparada a outras fontes limpas, ondas oceânicas oferecem maior constância e densidade energética, além de provocar menor impacto ambiental em sua implementação^[2].

Nos últimos 30 anos, diversas pesquisas foram feitas com o objetivo de desenvolver dispositivos capazes de converter energia das ondas em eletricidade^[2]. Os dispositivos que utilizam geradores lineares para realizar o aproveitamento de energia se destacam por exibir menor complexidade que os sistemas mais convencionais, nos quais turbinas e mecanismos hidráulicos são usados^[3]. Em sistemas com geradores, uma boia é acoplada diretamente ao translador da máquina. A oscilação da boia provoca um movimento vertical do translador e, dessa forma, surge tensão induzida nos enrolamentos das bobinas que estão no estator^[3].

Um gerador monofásico do tipo linear com ímãs permanentes foi desenvolvido para ser aplicado a um sistema de aproveitamento de energia das ondas. O gerador em questão possui geometria tubular, com translador e estator feitos de aço SAE 1010. O estator possui duas bobinas de cobre em seu interior, cada bobina possui 400 espiras. Anéis de ímã permanente envolvem o translador e são feitos a partir de uma combinação de neodímio, ferro e boro (Nd₂Fe₁₄B). A Figura 1 mostra a geometria do gerador linear.

A proposta deste trabalho é aplicar configurações do tipo Halbach no gerador linear apresentado. Esse é um recurso empregado para maximizar o campo magnético em regiões específicas. O arranjo Halbach foi inicialmente proposto por Klaus Halbach^[4] e consiste em magnetizar ímãs permanentes em diferentes direções, de forma que o fluxo magnético é maximizado de um lado e reduzido do outro^[5]. Comumente, o arranjo é composto por quatro blocos de ímã por conjunto. O eixo de magnetização sofre rotação de 90° ou -90° a cada bloco subsequente^[6].

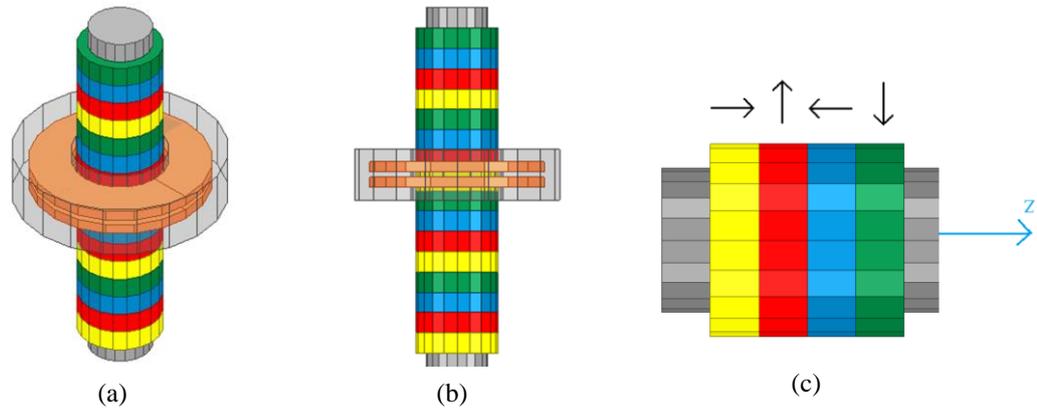


Figura 1. (a) Vista Isométrica. (b) Vista Frontal. (c) Orientação de Magnetização.

Realiza-se uma análise da aplicação de *Halbach Arrays* em um gerador linear de geometria tubular. Diferentes combinações de orientação de ímãs são avaliadas, em acordo com o conceito proposto por Klaus Halbach. A Figura 1(c) mostra uma das sequências investigadas. Na imagem, as setas representam a orientação de magnetização de cada ímã. Nesta análise, utiliza-se esse padrão de setas para ilustrar as orientações dos ímãs das sequências. O estudo é feito com auxílio de simulações computacionais baseadas no Método dos Elementos Finitos. Os valores máximos de tensão induzida são verificados com o propósito de determinar o arranjo mais adequado.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Para realizar as simulações computacionais, utiliza-se o software ANSYS Maxwell instalado em um computador Intel i5, 1.60GHz, 4 GB de RAM.

2.2. Metodologia

Neste trabalho, realiza-se um estudo analisando as configurações possíveis do arranjo Halbach, considerando um conjunto com quatro ímãs. Para isso, os ímãs devem ficar organizados de modo que a orientação faça um ângulo de 90° ou -90° em relação ao ímã anterior. Foram avaliadas 32 possibilidades de arranjos e estas foram simuladas através de um software que usa o Método dos Elementos Finitos. As combinações foram aplicadas ao gerador linear tubular, visando determinar qual conjunto gera uma maior variação de fluxo magnético entre o translador e a bobina, e conseqüentemente, maior tensão induzida. Na Tabela 1 estão listados os arranjos de ímãs. As setas representam a orientação dos ímãs, considerando que o primeiro ímã da sequência é o ímã mais abaixo no translador.

Tabela 1. Sequências de Orientação dos Ímãs.

I	←↑←↑	IX	→↑←↑	XVII	↑←↑←	XXV	↓←↑←
II	←↑←↓	X	→↑←↓	XVIII	↑←↑→	XXVI	↓←↑→
III	←↑→↓	XI	→↑→↓	XIX	↑←↓←	XXVII	↓←↓←
IV	←↑→↑	XII	→↑→↑	XX	↑←↓→	XXVIII	↓←↓→
V	←↓←↑	XIII	→↓←↑	XXI	↑→↑←	XXIX	↓→↑←
VI	←↓←↓	XIV	→↓←↓	XXII	↑→↑→	XXX	↓→↑→
VII	←↓→↑	XV	→↓→↑	XXIII	↑→↓←	XXXI	↓→↓←
VIII	←↓→↓	XVI	→↓→↓	XXIV	↑→↓→	XXXII	↓→↓→

3. Resultados e Discussão

A partir de simulações computacionais, verifica-se o funcionamento do gerador linear ao aplicar cada uma das seqüências de orientação. A análise é feita em regime transiente, no qual o campo magnético varia em função do tempo. Adota-se a velocidade de translação de 0,8 m/s no sentido positivo do eixo z, simulando o movimento de subida da onda. Considera-se o valor de 100 Ω de carga.

Os gráficos ilustrados nas figuras abaixo mostram as curvas de tensão induzida para todas as seqüências analisadas. Os menores valores de tensão são obtidos nas seqüências I, VI, XII, XVI, XVII, XXII, XXVII e XXXII. Nesses conjuntos apenas se alternam duas orientações, o que causa redução na variação de fluxo magnético. Verificam-se, também, leves deformações nos picos das curvas de tensão induzida dos arranjos III, XIII, XXIII e XXVI.

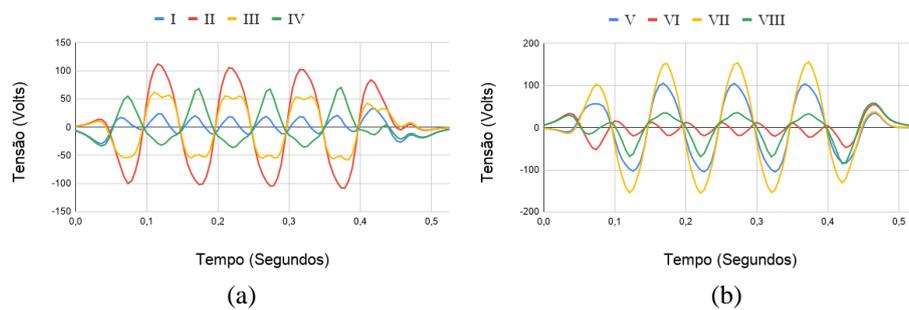


Figura 2. (a) Sequências I, II, III e IV. (b) Sequências V, VI, VII e VIII.

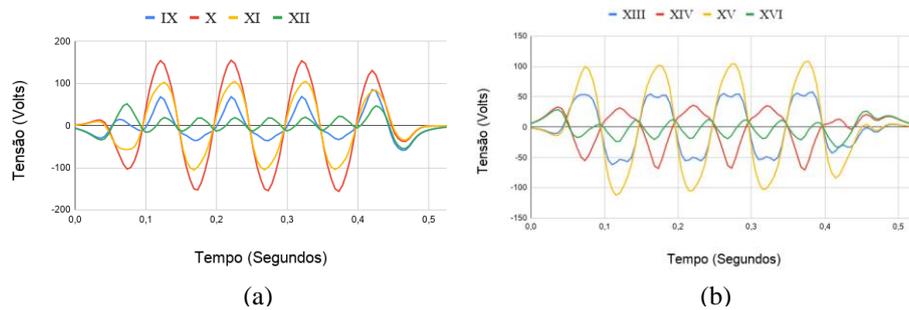


Figura 3. (a) Sequências IX, X, XI e XII. (b) Sequências XIII, XIV, XV e XVI.

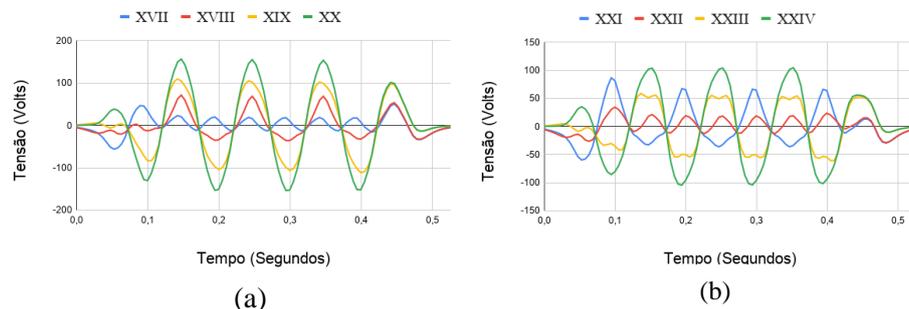


Figura 4. (a) Sequências XVII, XVIII, XIX e XX. (b) Sequências XXI, XXII, XXIII e XXIV.

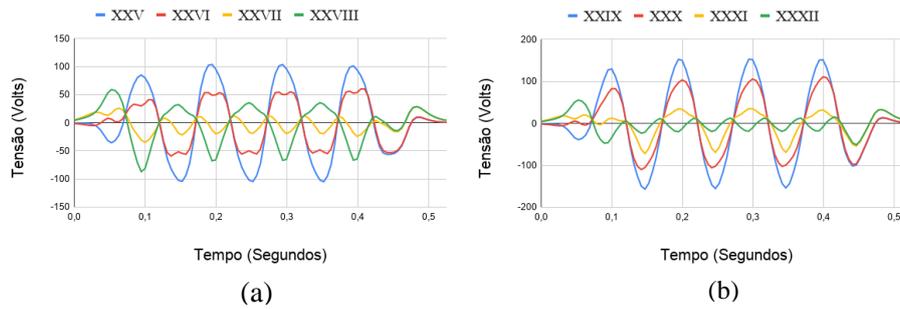


Figura 5. (a) Sequências XXV, XXVI, XXVII e XXVIII. (b) Sequências XXIX, XXX, XXXI e XXXII.

Na análise, os arranjos VII, X, XX e XXIX destacaram-se por alcançar valores mais altos e semelhantes de tensão de pico. Nota-se que esses arranjos possuem mesma sequência de ímãs, porém o primeiro ímã de cada conjunto é diferente. A Figura 6 exhibe os resultados obtidos por essas sequências. Analisando os gráficos, verificou-se uma defasagem na curva desses quatro conjuntos citados. O valor máximo de tensão induzida é de 156 V.

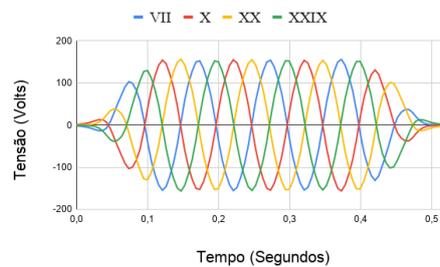


Figura 6. Sequências VII, X, XX e XXIX.

4. Conclusões

Por meio de simulações computacionais, diferentes configurações do tipo Halbach foram testadas e aplicadas a um gerador linear de ímãs permanentes desenvolvido para aplicação em sistemas de aproveitamento de energia das ondas. Os maiores valores de tensão, próximos a 160 V, foram verificados ao empregar as sequências de orientação VII, X, XX e XXIX. Portanto, esses arranjos são considerados adequados para serem aplicados ao gerador linear.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro do Instituto Federal Fluminense.

Referências

- [1] OZKOP, E.; ALTAS, I. H. Control, power and electrical components in wave energy conversion systems: A review of the technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 106-115, Jan. 2017.
- [2] CZECH, B.; BAUER, P. Wave Energy Concepts, Design and Classification. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 6, n. 2, p. 4-16, Jun. 2012.
- [3] DREW, B.; PLUMMER, A. R.; SAHINKAYA, M. N. A review of wave energy converter technology. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v. 223, p. 887-902, Ago. 2016.
- [4] HALBACH, K. Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt materials. **Nuclear Instruments and Methods**, v. 169, p. 1-10, Fev. 1980.
- [5] LEE, M. G.; LEE, S. Q.; GWEON, D. Analysis of Halbach magnet array and its application to linear motor. **Mechatronics**, v. 14, p. 115-128, Fev. 2004.
- [6] JANG, S. M.; JEONG, S. S.; CHA, S. D. The application of linear Halbach array to eddy current rail brake system. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 37, n. 4, p. 2627-2629, Jul. 2001.