



Estudo de Variações de Geometria de um Gerador Linear

Cristian Vitor Ribeiro de Souza^{1*}; Ana Carolina Crespo Alves Tavares¹,

Diego Fernando Garcia¹, Marcos Antonio Cruz Moreira¹

¹Instituto Federal Fluminense

*cristianvitorribeirodesouza@gmail.com

Resumo

Com grande potencial energético, as ondas oceânicas apresentam uma fonte de energia limpa e renovável em um cenário de problemas ambientais e crescente demanda mundial por energia. A fim de realizar a conversão da energia cinética dos oceanos, este trabalho propõe a utilização de um gerador linear com ímãs permanentes. Com o auxílio de simulações computacionais, são avaliados os parâmetros da máquina, incluindo a proposta de aplicação do arranjo de ímãs do tipo Halbach para alcançar maiores picos de tensão no gerador em estudo.

Palavras-chave: Gerador Linear, Halbach, Ondas Oceânicas.

1. Introdução

Embora pouco utilizada ao redor do mundo, as ondas oceânicas têm recebido considerável atenção durante os últimos 30 anos, devido a seu alto potencial energético, maior que 1 TW^[1, 2]. Potencial capaz de solucionar os problemas de mudança climática, aquecimento global e a alta demanda mundial por energia, já que se trata de uma fonte limpa e renovável.

A fim de realizar a conversão da energia cinética dos oceanos, este trabalho propõe a utilização de um gerador linear com ímãs permanentes baseado na topologia da máquina híbrida de vernier^[3]. Através de uma boia acoplada diretamente ao translador, o movimento das ondas oscila verticalmente o mesmo, que por sua vez varia o campo magnético produzido pelos ímãs permanentes, induzindo tensão nas espiras que formam as bobinas.

O projeto do gerador em questão possui geometria tubular, com translador e estator compostos de aço SAE 1010. O estator possui três bobinas de cobre em seu interior, cada bobina possui 400 espiras. Anéis de ímã permanente de Nd₂Fe₁₄B são fixados no estator, em um tipo de suporte. A Figura 1 apresenta a geometria do gerador linear.

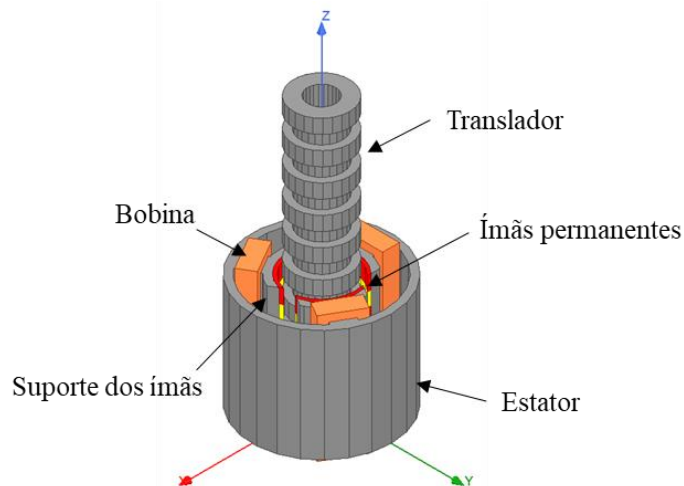


Figura 1. Vista isométrica.



Objetivando maior eficiência do gerador e com o auxílio de simulações computacionais, são avaliados os parâmetros da máquina, incluindo a proposta de aplicação do arranjo de ímãs do tipo Halbach ^[4]. Proposto por Klaus Halbach em 1980, o arranjo, de mesmo nome, através da variação angular das posições dos polos de cada ímã, maximiza a densidade de campo magnético em um dos seus lados, enquanto cancela do outro.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

As simulações computacionais são realizadas através do *software* ANSYS Maxwell instalado em um computador Intel i5, 2.40GHz, 8 GB de RAM que utiliza uma licença remota em servidor no Instituto Federal Fluminense *Campus* Macaé.

2.2. Metodologia

Com base em estudos e pesquisas, alguns parâmetros são modificados e avaliados através das simulações computacionais. Essas simulações se baseiam nas equações de Maxwell para o eletromagnetismo e usam o método de elementos finitos ^[5]. Esse método divide a geometria em pequenas partes, chamados de elementos, ligados uns aos outros através de nós formando malhas, o *software* realiza os cálculos de maneira aproximada, onde o grau de eficiência é proporcional a quantidade de elementos.

O movimento da onda é aplicado ao gerador com velocidade de 0,8 m/s ^[6] em um movimento de translação no eixo Z. Considera-se o valor de 100 Ω de carga.

Após as simulações com a geometria original, foi proposto o aumento da área da bobina, no entanto, essa modificação requeria a redução do suporte do estator. Foi decidido a redução de sua espessura em 1 cm, seguidos de um aumento de área de cada uma das três bobinas de 210 cm² para 306 cm², através de acréscimos em largura e comprimento, que podem ser visualizados na figura 2, correspondendo a uma área total das bobinas de 630 cm² e 918 cm², respectivamente.

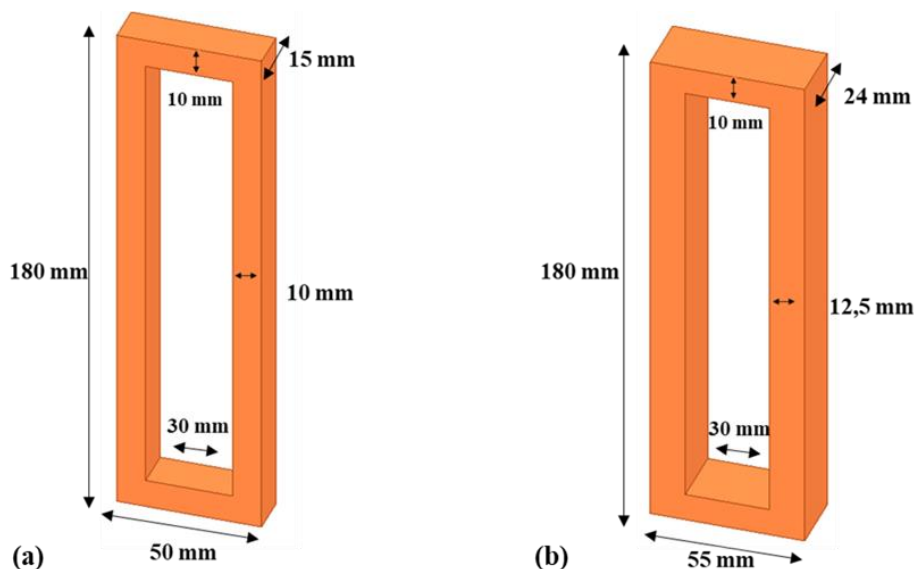


Figura 2. Dimensões das bobinas original (a) e modificada (b).



3. Resultados e Discussão

Inicialmente, com a área das bobinas igual a 630 cm^2 e a do estator igual a, aproximadamente, $3027,8 \text{ cm}^2$, os resultados indicavam maior tensão ao iniciar o movimento para o arranjo Halbach, porém maior constância para o arranjo convencional ao longo do movimento, conforme o gráfico da figura 3 (a). A tensão induzida (V_{RMS} - *root mean square*) do arranjo convencional foi de $3,73 \text{ V}$ e o valor do Arranjo Halbach foi de $1,95 \text{ V}$.

Avaliando de forma isolada os resultados da, anteriormente comentada, redução do estator, como esperado, nas simulações com o arranjo convencional houve uma queda da tensão para $3,34 \text{ V}$, devido a menor concentração do fluxo magnético, já que o aço de alta permeabilidade magnética teve sua espessura reduzida em 1 cm . No entanto, para o arranjo Halbach o RMS aumentou para $2,05 \text{ V}$. Dados extraídos do gráfico apresentado na figura 3 (b).

Em sequência, o aumento na área das bobinas de 630 cm^2 para 918 cm^2 , elevou a tensão induzida em ambos os arranjos, constatados pelo aumento do valor V_{RMS} , $4,28 \text{ V}$ para o arranjo convencional e $2,74 \text{ V}$ para o Halbach, de acordo com o gráfico da figura 3 (c).

Esse aumento de área das bobinas está relacionado com o aumento do número de espiras, que nas simulações realizadas corresponderam a maiores resultados de tensão induzida, porém esses parâmetros podem ser melhor avaliados e discutidos durante a montagem do protótipo.

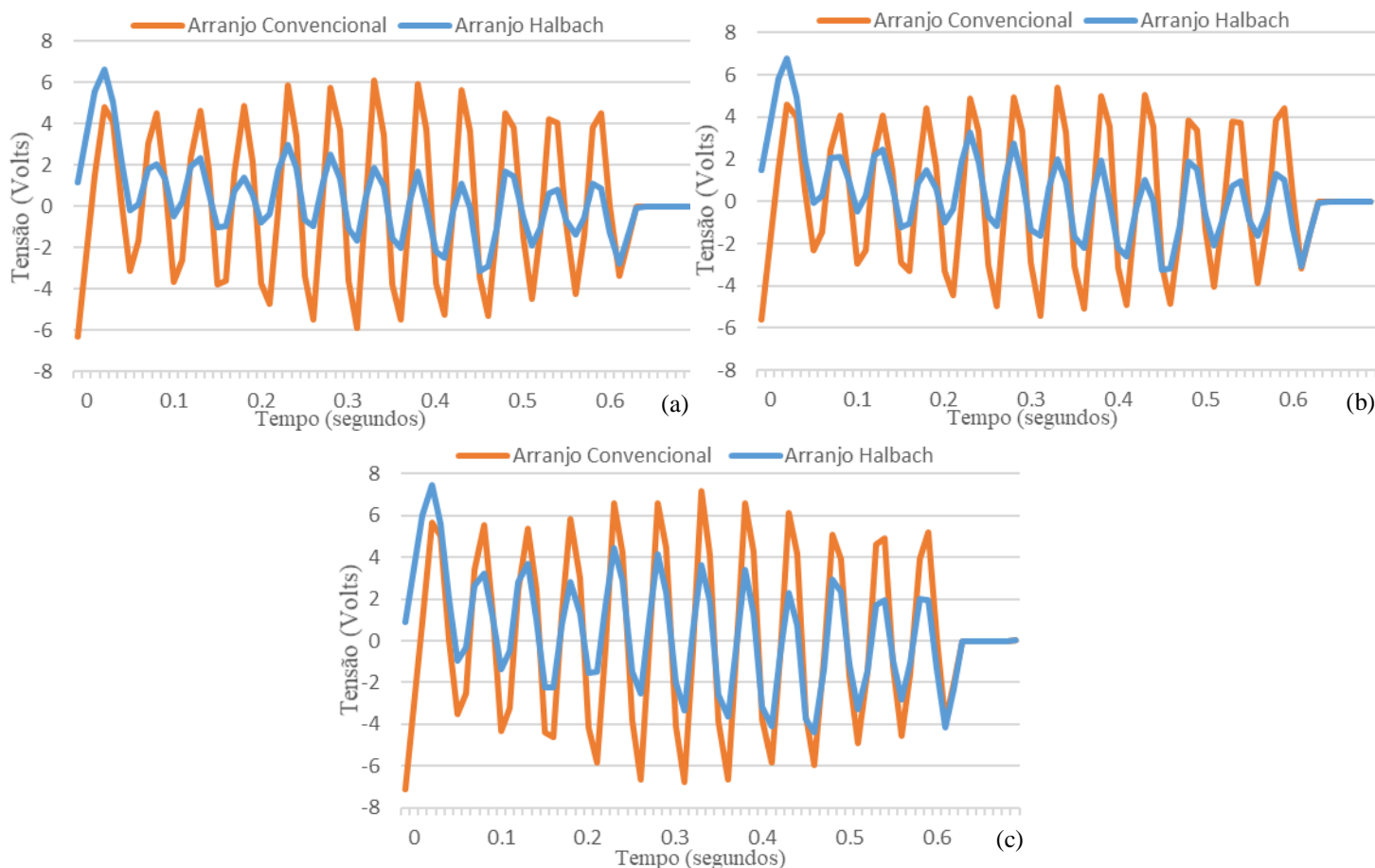


Figura 3. Gráficos referentes: à geometria original (a), à redução dos suportes dos ímãs (b), e ao aumento da área das bobinas (c).



Os resultados apresentados demonstram que as diferenças de direção e densidade do campo magnético, que podem ser visualizados na figura 4, gerados pelos arranjos de ímãs permanentes estudados, influenciam diretamente nos níveis de tensão induzida.

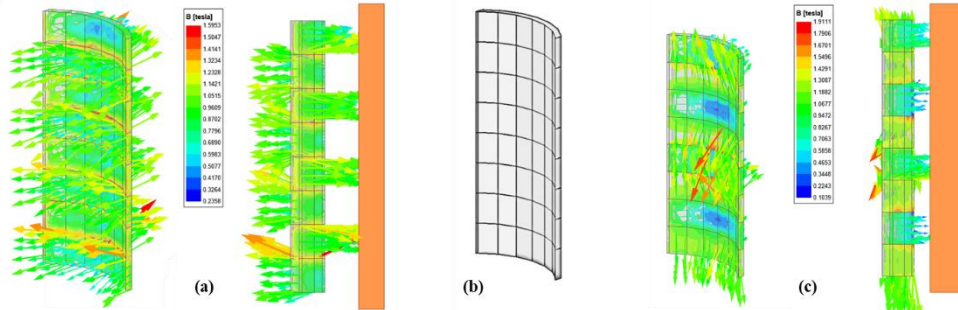


Figura 4. Formato geométrico do arranjo de ímãs (b). Campo magnético dos ímãs permanentes dos arranjos convencional (a) e Halbach (c). Bobina representada em laranja.

4. Conclusões

Considerando os resultados obtidos através da variação de parâmetros, o arranjo Halbach, que na geometria original apresentava tensão induzida, ao iniciar o movimento do translador, cerca de 9,2% maior que o arranjo convencional, teve essa diferença reduzida para 4,2%, mesmo com o aumento de 0,81 V. Comparando os valores de RMS obtidos, com área de bobina igual a 630 cm², o arranjo convencional apresentou inicialmente um resultado 91,28% maior que o arranjo Halbach. Com as modificações na área da bobina da máquina para 918 cm², os resultados não apenas melhoraram nominalmente em ambos os arranjos como também a diferença de tensão RMS foi reduzida para 56,28%. Ainda há muito a ser explorado acerca dessa tecnologia, através das modificações de parâmetros, além de apenas a área das bobinas. Pôde-se observar semelhanças e diferenças entre os arranjos que podem tornar a conversão de energia das ondas mais eficientes.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro do Instituto Federal Fluminense em parceria com a FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), número do processo: *E-26/201.440/2020 - BOLSA*.

Referências

- [1] CZECH, B.; BAUER, P. Wave Energy Concepts, Design and Classification. IEEE Industrial Electronics - Magazine, v. 6, n. 2, p. 4-16, Jun. 2012.
- [2] LÓPEZ, I.; ANDREU, J.; CEBALLOS, S.; DE ALEGRÍA, I. M.; KORTABARRIA, I. Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 27, p. 413-434, Nov. 2013.
- [3] BAKER, N. J.; RAIHAN, A. H. M.; ALMORAYA, A. A. A Cylindrical Linear Permanent Magnet Vernier Hybrid Machine for Wave Energy. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 34, p. 691 - 700, Jun. 2019.
- [4] 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.
- [5] MIRLISENNA, G. Método dos Elementos Finitos: o que é? ESSS, 2016. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acesso em 01 de outubro de 2021.
- [6] MARTINS, E. B. S. Desenvolvimento de um Protótipo de Gerador Linear de Fluxo Transversal para aplicação em Conversor de Energia das Ondas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Macaé – RJ, p. 98. Jul. 2019.