

DESARROLLO DE UN GENERADOR MAREOMOTRIZ CON MATERIALES SUPERCONDUCTORES

Vázquez García Melissa Ivonne (1), González Parada Adrián (2)

1 [Lic. En Ingeniería Eléctrica, DICIS] | Dirección de correo electrónico: [mivazquez@outlook.es]

2 [Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, DICIS] | Dirección de correo electrónico: [gonzaleza@ugto.mx]

Resumen

Con el constante avance en energías renovables los generadores lineales de imanes permanentes se han vuelto una oportunidad importante para aprovechar estas formas de generación más aún la energía undimotriz es una de las más estudiadas actualmente pues presenta enormes ventajas frente a otras tecnologías. En este trabajo se analiza la bobina de un generador lineal convencional construida con conductor de cobre contra una construida con material superconductor para mejorar el aprovechamiento de esta energía, Se propone una nueva geometría para la bobina de material superconductor dicha geometría aprovecha de mejor manera el campo incidente en bobina y así la generación de energía se vuelve constante.

Abstract

With the constant advance in renewable energies the linear magnets of permanent magnets have become an important opportunity to take advantage of these forms of generation, even more the wave energy is one of the most studied at present because it presents enormous advantages over other technologies. In this work we analyze the coil of a conventional linear generator built with copper conductor against one built with superconducting material to improve the use of this energy. A new geometry is proposed for the coil of superconducting material. This geometry takes advantage of the field better incident in coil and thus the generation of energy becomes constant.

Palabras Clave

Undimotriz; Bobina; Constante; Energía; Optimización.

INTRODUCCIÓN

Con el constante avance en las nuevas tecnologías para la producción de energía, los generadores lineales de imanes permanentes presentan una importante oportunidad de aprovechar energías a las que antes no se les daba tanta utilidad, una de ellas es la energía mareomotriz, la energía undimotriz u olamotriz, es la energía que permite la obtención de electricidad a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas. Es un tipo de energía renovable muy estudiado actualmente, pues presenta enormes ventajas debido a que en ella se encuentra una mayor facilidad para detectar condiciones óptimas que permitan la mayor eficiencia en sus procesos. Es más fácil llegar a predecir condiciones óptimas de oleaje, que condiciones óptimas en vientos para obtener energía eólica, ya que su variabilidad es menor [1].

Gracias al avance en generadores lineales y con la ayuda de nuevas tecnologías, se construyó un generador lineal con una bobina de material superconductor que fue comparado teórica y prácticamente con una bobina convencional de cobre.

Como parte de los resultados obtenidos, en este trabajo se propone una geometría de optimización de la bobina superconductor, este nuevo diseño mejorara el aprovechamiento del campo magnético incidente.

De acuerdo a la ley de inducción Faraday, la fuerza electromagnética inducida en cualquier circuito cerrado es igual al negativo de la velocidad del tiempo del flujo magnético encerrado en el circuito; esta ley predice cómo interaccionarán los campos magnéticos con los circuitos eléctricos para producir fuerzas electromagnéticas, o tensión generada en el circuito y se expresa de la siguiente manera [2]:

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Φ_B Es el flujo magnético a través de la espira

\vec{B} Es el campo en Teslas

\vec{A} Es el área de la espira

Si una bobina construida por N espiras, con la misma área, y Φ_B a través de una espira, se induce una fem en todas las espiras. Las espiras están en serie, por lo que sus fem se suman; debido a esto, la fem total inducida en la bobina se conoce por la expresión [2]

$$\mathcal{E} = (N)(d)^2 \left(\frac{\Delta B}{\Delta t} \right) \quad \text{Ec. 3}$$

A partir de esta expresión observe que una fem puede ser inducida en el circuito de varias formas:

- La magnitud de \vec{B} cambia con el tiempo
- El área encerrada por la espira cambia con el tiempo
- El ángulo θ existente entre \vec{B} y la normal a la espira puede cambiar con el tiempo
- Cualquier combinación puede presentarse de lo anterior

El material superconductor forma parte fundamental de este trabajo, como es conocido a muy bajas temperaturas algunos materiales cambian radicalmente sus propiedades eléctricas y magnéticas. No poseen resistencia eléctrica por lo que el superconductor es un conductor perfecto y la conducción de los electrones se realiza casi sin pérdidas de energía. Se deben tener en cuenta sus parámetros críticos que son [3]:

- Temperatura crítica: La temperatura crítica es la temperatura por debajo de la cual el material es superconductor.

- Corriente crítica: La corriente en un superconductor puede circular indefinidamente sin pérdidas de energía. Sin embargo, la corriente crítica depende de la temperatura. Cuanto más cerca estemos de la temperatura crítica más pequeña es la corriente crítica.
- Campo Magnético crítico: Los superconductores expulsan el campo magnético (efecto Meissner) hasta un campo crítico H_c donde el campo magnético atraviesa al material y la superconductividad se destruye [3].

Para la bobina convencional de cobre se tiene un bobinado que consta de 180 vueltas, en nuestra bobina superconductora tenemos las mismas 180 vueltas distribuidas en 20 capas de 9 vueltas cada una por lo que este diseño resultaría en una geometría paralela a los imanes del generador, sin embargo se desaprovecha parte de la energía producida, con la nueva geometría se busca tener una generación y una distribución de energía constante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El nuevo diseño de la nueva bobina se basa principalmente en obtener una generación uniforme teniendo la misma tensión generada en cada capa del bobinado, aprovechando al máximo el campo inducido en la bobina, se busca también que los imanes no salgan del devanado pues se perdería la parte de la optimización.

Con ayuda del software FEMM (Finite Element Method Magnetics), se modeló la bobina convencional de cobre y la bobina superconductora tomando en cuenta muchas variables como lo son la velocidad constante, y sobre todo las características del material superconductor en este caso tratándose de cinta BSSCO. Dando como resultado lo que me muestra a continuación:

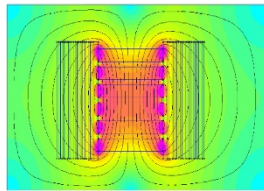
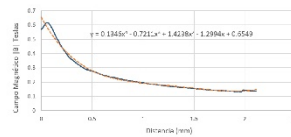


FIGURA 1: Distribución del campo en superconductor bobinado



GRAFICA 1: Distribución del campo bobina superconductora

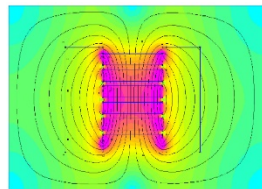
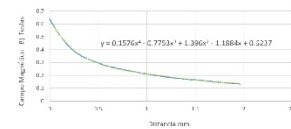


FIGURA 2: Distribución del campo en el bobinado de cobre



GRAFICA 2: Distribución del campo en el bobinado de cobre

Como se puede observar en la gráfica 1 y 2 el campo cae considerablemente de manera más rápida en la bobina de cobre que en la de material superconductor, además en las pruebas de laboratorio que se muestran en las figuras 3 y 4 se observó que la generación en la bobina de material superconductor es del doble que en la bobina de cobre como se muestra a continuación en la gráfica 4 donde se compara la bobina de cobre, y la de material superconductor con el efecto de magnetización y sin el efecto de magnetización como se mencionó anteriormente la manera en la que el campo incide en la bobina afecta el modo de operación. En la gráfica 3 se puede observar cómo afecta el campo a la bobina de cobre con una incidencia a 45 grados, podría notarse que la bobina sufre caídas de corriente conforme el campo aumenta.



FIGURA 3: Bobina superconductora.

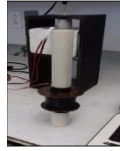
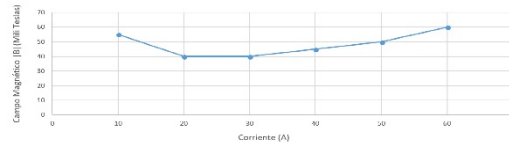
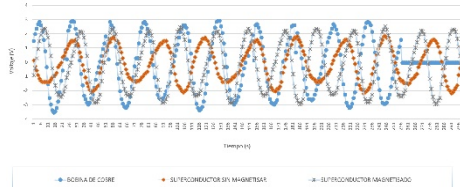


FIGURA 4: Bobina de cobre.



GRAFICA 3: Incidencia del capo a 45° respecto a la corriente en la Bobina de cobre.



GRAFICA 4: Generación de voltaje de las dos bobinas respecto al tiempo.

Para poder crear esta nueva geometría de la bobina fue necesario obtener el número específico de vueltas por cada capa así como también el voltaje esperado por cada capa del bobinado propuesto. Tomando en cuenta la Ec. 3 se obtiene: **Tabla 1:**

CAPA	N° de vueltas teórico	N° de vueltas real	Voltaje esperado	Voltaje real
1.	9	9	0.096	0.096
2.	15	18	0.1	0.192
3.	18	22	0.096	0.146
4.	24	26	0.096	0.069
5.	24	31	0.096	0.0496
6.	36	35	0.096	0.037
7.	54	39	0.144	0.0208

Dados los resultados de las pruebas de laboratorio y las simulaciones se diseñó la nueva geometría de optimización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del análisis de ambas bobinas y como se mencionó anteriormente buscando una generación lineal la nueva geometría sería la siguiente:

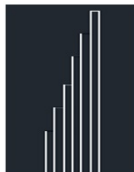


FIGURA 5: Nueva geometría.

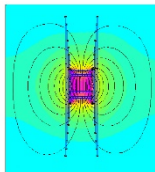
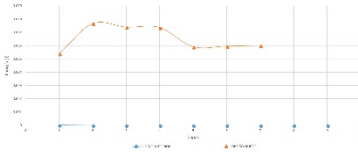


FIGURA 6: Distribución de energía

En el bobinado anterior teníamos 20 capas con la propuesta nueva son solamente 7 capas sin embargo cada capa varía en número de vueltas y longitud, como se muestra en la primer tabla se calculó un número sin embargo hubo modificaciones necesarias para el mayor aprovechamiento posible se tomaron en cuenta todos los parámetros críticos que afectan a un superconductor igualmente se realizó una simulación donde a continuación se muestran los resultados.

La grafica 5 muestran la energía generada por cada capa en la bobina superconductora en el bobinado normal y el nuevo diseño, como se puede observar hay un aumento bastante considerable de energía además con el

diseño anterior la energía cae de la primera capa a la última con la configuración nueva la energía se mantiene constante.



GRAFICA 5: Distribución de energía configuración nueva vs anterior

CONCLUSIONES

El número de vueltas calculado para el diseño difiere principalmente en la última capa esto se debe a que lo que se busca principalmente es que los imanes no salgan del devanado y con una capa 54 vueltas se excede esa distancia por lo tanto se busca distribuir en cada capa el número de vueltas manteniendo siempre la geometría escalonada que nos permite tener un mayor aprovechamiento del campo, igualmente por esta razón se puede observar que el voltaje esperado varía y cae considerablemente esto pudiera deberse a la modificación en cada capa. Sin embargo no deja de ser evidente que con el material superconductor podemos generar el doble que con una bobina convencional de cobre. También se obtuvo una distribución de energía por cada capa prácticamente constante lo que es bueno pues no existen pérdidas que se reflejen significativamente.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer principalmente al Dr. Adrián quien me da la oportunidad de participar en esta actividad tan significativa para mi formación académica, a mi excelente compañero Oswaldo Anaya a quien sin sus valiosas aportaciones este documento no sería posible. A Ricardo López y Diana García por sus valiosos comentarios y el apoyo constante para la redacción de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.monografias.com/trabajos93/energia-undimotriz-i/energia-undimotriz-i.shtml> []
- [2] Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna Volumen 2 Séptima edición, 2008, editorial Cengage Learning, Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr.
- [3] <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/aplicaciones/material-electrico/>
- [4] <http://www.monografias.com/trabajos93/energia-mareomotriz/energia-mareomotriz.shtml>
- [5] <https://espaciociencia.com/ley-de-faraday-induccion-electromagnetica/>
- [6] Ivan A. Hernandez-Robles, Adrián González-Parada, Member IEEE, Juan C. Olivares-Galvan, Senior Member IEEE and Xiomara González-Ramirez. (2018) Comparison Of The Energy Potential Of Copper And Superconducting Linear Electric Generators
- [7] S. Noguchi and A. (1996) Ishiyama An Optimal Desing Method for Highly Homogeneous and High-field Superconducting Magnets
- [8] So Noguchi, Makoto Yamashita, Hideo Yamashita and Atsushi Ishiyama Member IEEE (2001) An Optimal Desing Method for Superconducting Magnets Using HTS Tape