

OPTIMIZACION DE UN ROTOR DE MOTOR DE FLUJO AXIAL

Bravo García, José Marín (1), González Parada, Adrian (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jm.bravogarcia@ugto.mx]

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

Resumen

El Motor De Flujo Axial de Imanes Permanentes, es conocido como motor tipo disco por sus características, y ofrece una alternativa más compacta a motores eléctricos convencionales, actualmente se ha desarrollado un prototipo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato, dentro de este trabajo se realiza la optimización de este mediante el rediseño del rotor utilizando el análisis computarizado por el método de elemento finito de la distribución del campo magnético en el motor, considerando criterios de diseño para minimizar la oscilación del par y utilizando componentes ferromagnéticos para optimizar la distribución de la densidad de campo magnético en el motor.

Abstract

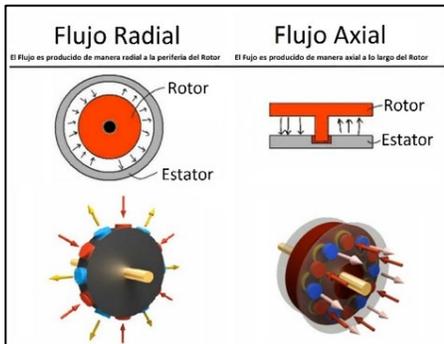
The permanent magnet Axial Flux Motor, is known as a disc motor due to its characteristics, and offers a more compact alternative to conventional electric motors, currently a prototype has been developed in the Electrical Engineering Department of the University of Guanajuato, in this work, an optimization process has been development, redesigning the rotor using computerized analysis by the finite element method of the magnetic field redistribution in the motor, seeing basic design criteria in order to minimize torque oscillation and using ferromagnetic components to redistribute the magnetic field density.

Palabras clave

Oscilación de par; Densidad de Campo Magnético; Motor de flujo axial, optimización de geometría simulación por elemento finito.

EL MOTOR ELÉCTRICO DE FLUJO AXIAL

El Motor de Flujo Axial de Imanes Permanentes o AFPM (Axial Flux Permanente Magnet), por sus siglas en inglés, es un tipo de motor eléctrico plano y sin escobillas, también es conocido como motor tipo disco, por su geometría característica [1]. en la Figura 1 se muestran ambas configuraciones de motor.



Los AFPM, son una alternativa a los motores eléctricos convencionales, cuyo flujo magnético es radial. debido a su mayor densidad de potencia con respecto a su reducido volumen, son ideales para aplicaciones a baja velocidad y gran torque mecánico, por ejemplo: vehículos eléctricos, bombas, válvulas, elevadores, robótica, generadores eólicos, así como herramientas y equipo industrial.

Algunos inconvenientes ante las máquinas de flujo axial son: su complejo diseño magnético, su análisis térmico, su preciso proceso de ensamble. así como el uso de tierras-raras para la fabricación de sus imanes, lo cual resulta costoso.

Figura 1: Comparativo entre Motores de Flujo Radial y Axial [2]

Principio de operación

Su rotor establece el campo magnético, mediante un arreglo alternante de imanes permanentes. A su vez, el estator establece un campo magnético rotatorio mediante la conmutación secuencial de sus devanados, ya sea en forma individual o en grupos; de esta manera la interacción entre el campo magnético rotatorio y el campo de excitación generan un par mecánico sobre la flecha.

Un efecto no deseado que afecta a todas las maquinas eléctricas con imanes permanentes es la oscilación del par o cogging torque en inglés. El cual es una componente menor al par desarrollado por la máquina, pero en una dirección distinta a este, lo cual se ve reflejado en un par no uniforme, reconocido por una especie golpeteo sobre el giro de la flecha.

Este problema, es causado por la no uniformidad de la densidad del campo magnético a lo largo de la trayectoria de este. Se ve reflejado más a medio recorrido del paso polar, donde la densidad del campo cae drásticamente, y la inercia magnética trata de retornar el mecanismo al punto anterior de mayor densidad.

Optimizar un motor de flujo axial resulta una tarea compleja pero prioritaria, al reducir la oscilación de par y el flujo de dispersión se logra un motor más eficiente y de movimiento más uniforme. Dentro del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Guanajuato se viene trabajando recientemente en el diseño y fabricación de esta tecnológica, actualmente se opera un prototipo funcional, como banco de pruebas.

El objetivo de realizar la optimización al rotor del motor de flujo axial desarrollado en DICIS UG es reducir el efecto de oscilación del par, uniformizando el campo magnético a lo largo de la trayectoria efectiva del mismo. Todo esto con un rediseño del rotor de bajo costo y cumpliendo con los parámetros de diseño originales.

MOTOR DESARROLLADO EN DICIS-UG Y MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN

El motor de flujo axial de imanes permanentes que se va a optimizar es un motor de alimentación a 12 volts de DC, cuya potencia es 1/24hp y torque es de 0,719 n-m a 423rpm, operado mediante conmutación electrónica.

El estator consta de 12 pares de bobinas tipo u en alineación radial formando 24 polos magnéticos de orientación axial, el rotor está conformado de 16 pares de imanes permanentes de neodimio tipo n35, obteniendo 32 polos magnéticos permanentes de orientación axial. En la Figura 2 se muestran los diagramas esquemáticos del rotor y del estator, con acotaciones de diámetro exterior y radios de trayectoria de recorrido polar.

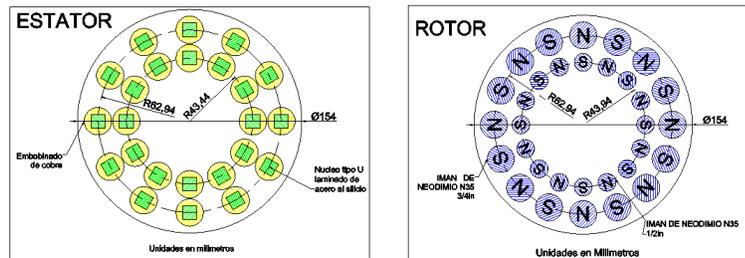


Figura 2: Diagramas esquemáticos del Estator y Rotor.

A través de la simulación por el método de elemento finito en el software FEMM 4.2, se puede analizar el comportamiento estimado del campo magnético que se genera en el rotor, que de otra manera sería imposible de visualizar de manera puntual. Para la simulación solo se consideró la interacción magnética entre los imanes permanentes, sin considerar ningún otro material estructural del motor, así como una profundidad de 1/8 o 0.125 in, equivalente a 3.175mm, profundidad comercial de los imanes seleccionados. En la Figura 3 se muestran los resultados de la simulación del diseño original del rotor, así como una gráfica de la magnitud del campo magnético IBI a lo largo de una trayectoria equidistante a las trayectorias de recorrido de los polos magnéticos.

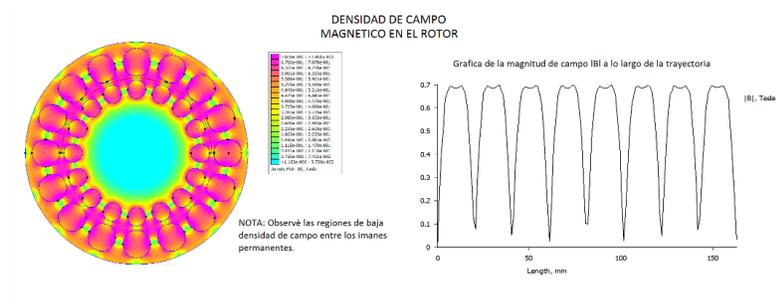


Figura 3: Simulación del Campo Magnético del Rotor.

De esta manera se tiene una idea más clara de la problemática en el motor, comprobando que la variación en la densidad del campo magnético genera una oscilación y reducción del par sobre la flecha, debido a la incidencia de regiones de baja densidad entre los polos y sus interacciones con los polos del estator.

Partiendo del diseño inicial y tomando en cuenta las regiones de baja densidad magnética, se propone una geometría nueva para alargar el polo magnético dominante y desplazar su centro hacia el área de más baja densidad, la manera más sencilla de hacerlo es reemplazar los imanes de 3/4in por dos imanes, de 1/4in y 1/2in respectivamente.

Una variante es utilizar, a manera de montura, una placa de un material ferromagnético en conjunto con los imanes propuestos, dando una forma completamente definida al polo magnético, así reduciendo las perdidas por efecto de dispersión de flujo magnético entre los polos y concentrando la densidad de flujo magnético a los polos solamente.

En la Figura 4 se muestran los diagramas esquemáticos de los rotores propuestos, con acotaciones de diámetro exterior y radios de trayectoria de recorrido polar, así como una ampliación esquemática acotada de las monturas de acero del rotor propuesto 2.

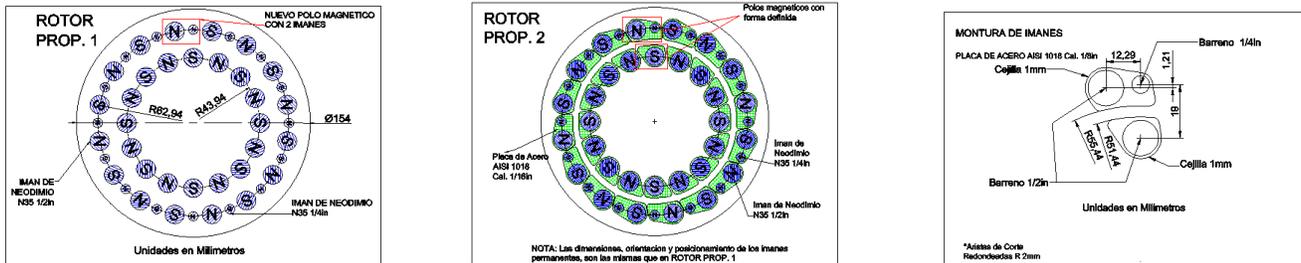


Figura 4: Propuestas de Geometría Optimizadas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al igual que con el rotor original, se realiza el análisis por el método de elemento finito mediante el software FEMM 4.2, teniendo en cuenta las mismas condiciones iniciales y puntos de medición, a fin de poder realizar una comparativa válida entre las propuestas de mejora y el comportamiento del rotor actual. En la Figura 5 se presentan los resultados de la simulación de los rotores propuestos.

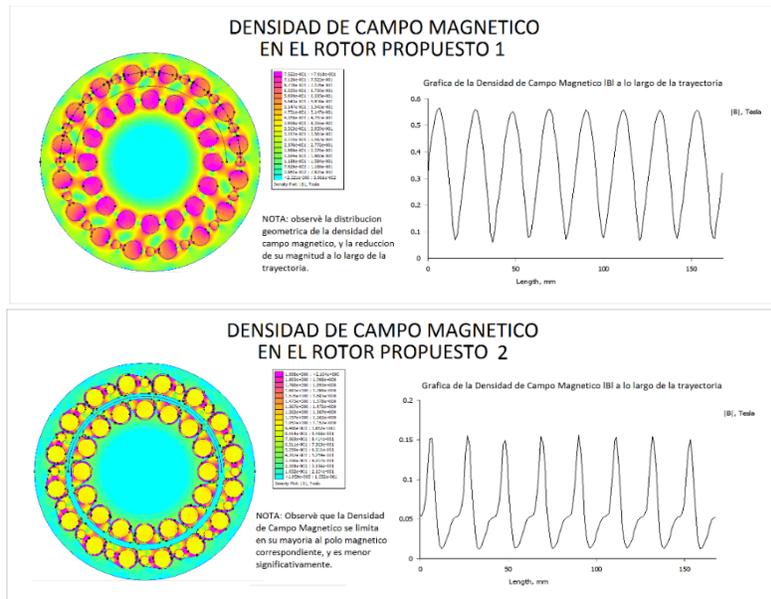


Figura 5: Simulación de la densidad de campo magnético de los rotores propuestos

Un análisis comparativo del comportamiento de la distribución de la densidad de flujo magnético en las tres configuraciones se observa que existe una menor oscilación de la densidad de flujo magnético en el rotor.

En la Grafica de la Figura 6 podemos observar un comparativo entre los tres rotores, siendo evidente una reducción en la densidad de campo magnético en ambas propuestas, en especial en el rotor propuesto 2, el cual incluye las placas de metal.

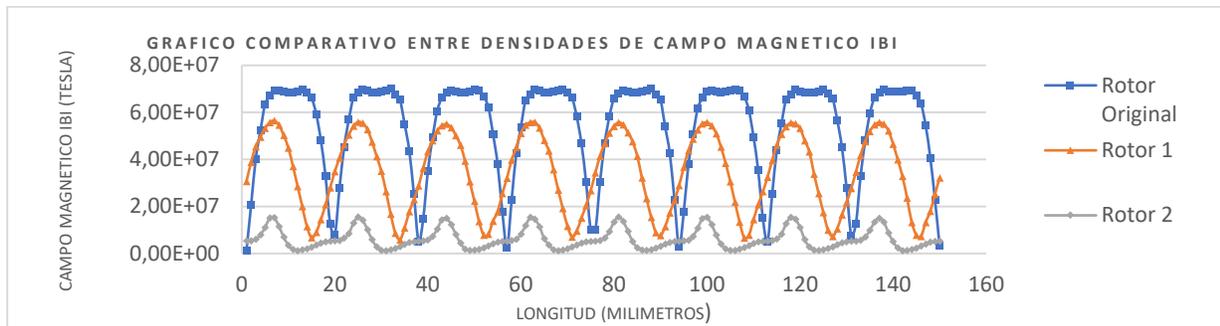


Figura 6: Grafico Comparativo entre las Densidades de Campo magnético de los Rotores.

CONCLUSIONES

Se puede determinar, que ambas propuestas minimizan la magnitud de la densidad del campo magnético, lo cual significa que de manera directa se reduce la magnitud de la oscilación del par, quedando ambas como opciones viables para un desarrollo a futuro, dependiendo de un estudio de costo-beneficio y de la complejidad en su manufactura para su implementación.

La inclusión de elementos ferromagnéticos para definir el polo magnético, mejoran significativamente la distribución del flujo magnético, reduciendo considerablemente la magnitud original del rotor.

Así como un análisis complementario de las interacciones de los campos magnéticos entre Estator y Rotor para la obtención teórica del Par efectivo, el cual va más allá del alcance de este artículo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la DICIS UG, por las facilidades prestadas dentro de sus Laboratorios. De igual manera Agradezco a los Asistentes del Laboratorio de Superconductividad Aplicada y mis Compañeros del Verano por su constante Motivación. Y de manera especial Agradezco al Alumno de M.I. Abraham Omar Frias Chagoya quien trabajo en el diseño inicial del Motor de Flujo Axial y me facilito datos del diseño y operación de este para su optimización.

REFERENCIAS

- [1] Gieras, Jacek F. Wang, Rong-Yie. Kamper, Marteen J. (2004). Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, ISBN: 1-4020-2661-7
- [2] Moreels, Daan. Leijnen, Peter (2018). White Paper of High Efficiency Axial Flux Machines v1.7, www.magnax.com: MAGNAX