

Prototipo de motor de inducción magnética

Jhon Alexander Piedrahita Arellano; código: 9725523.

Director del proyecto: Ph.D Antonio H Escobar Zuluaga
 Universidad Tecnológica de Pereira
 Escuela de Tecnología Eléctrica
 Pereira - Risaralda
 2016

Resumen: Este trabajo presenta el proceso de construcción de un prototipo de motor de inducción magnética basado en la creación de un flujo magnético giratorio obtenido al utilizar dos bobinas que se encuentran separadas 90 grados mecánicos y 90 grados eléctricos. Se construye el prototipo sobre una base acrílica y sobre ella se implementan dos bobinas rectangulares y un rotor cilíndrico de aluminio o un rotor formado por láminas de cobre. El prototipo permite intercambiar los rotores. También se explicara como es el funcionamiento de un motor de inducción y los fenómenos que aparecen en dicho motor.

Palabras clave: Motor de inducción, prototipo, inducción electromagnética, bobinas, rotor.

I. INTRODUCCION

Los motores eléctricos son elementos fundamentales en el funcionamiento de una gran cantidad de dispositivos que se utilizan tanto en las aplicaciones residenciales de la electricidad como en sus aplicaciones industriales. Dentro de los motores eléctricos, el de inducción es uno de los más utilizados debido a que no requiere el uso de escobillas lo que lo hace muy interesante desde el punto de vista del mantenimiento preventivo y correctivo.

El funcionamiento de un motor de inducción magnética está asociado a la ley de inducción de Faraday, en mayor medida, aunque intervienen otras ecuaciones de Maxwell.

Los principios de inducción magnética fueron observados y estudiados inicialmente por Michael Faraday; que mediante procesos experimentales pudo observar que las líneas de campo magnético producidas de los imanes tenían la propiedad de transportar energía en forma de energía magnética y que esta energía podía ser transferida a un circuito eléctrico sin necesidad de una conexión física directa. Es decir, a través de un efecto a distancia. Los campos magnéticos también pueden ser producidos por las corrientes eléctricas. Por lo tanto podemos utilizar corrientes circulantes en una bobina como fuente de campo magnético. Para que el fenómeno de inducción surja es necesario que el campo magnético sea variable con el tiempo. La geometría de los conductores con corriente determina la forma y la magnitud del campo magnético resultante.

Toda la fase experimental del físico londinense Michael Faraday carecía de un adecuado sustento matemático que respaldara sus descubrimientos, sustento matemático que reclamaba la comunidad científica, es por esta razón que su trabajo fue desestimado.

Posterior a los descubrimientos de Michael Faraday, el físico-matemático escocés James Clerk Maxwell mostro interés por el trabajo de Faraday y demostró matemáticamente las relaciones existentes entre el campo magnético y las corrientes inducidas. También encontró las relaciones entre la corriente eléctrica y el campo magnético que produce. Las cuatro leyes de Maxwell resumen las interrelaciones entre electricidad y magnetismo.

Maxwell tomo las teorías de gauss, Faraday y ampere, y las escribió en cuatro leyes.

$$\text{Ley de Gauss: } \oint_S D \cdot ds = Q$$

$$\text{Ley de Faraday: } \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial}{\partial t} \iint B \cdot ds$$

$$\text{Ley de flujo del campo magnético: } \oint_S B \cdot ds = 0$$

$$\text{Ley de Ampere: } \oint_C H \cdot d\vec{l} = I + \frac{\partial}{\partial t} \iint D \cdot ds$$

Un motor de inducción magnética es una máquina que utiliza la ley de inducción de Faraday (ley de inducción), para producir un movimiento, a través de la producción de un torque, aplicando la inducción electromagnética. Sobre el rotor, que es una masa sólida conductora, se inducen corrientes que dan origen a campos magnéticos que reaccionan con el campo magnético principal que las induce y, como consecuencia de esta reacción, produce torque y movimiento rotativo, si el torque es suficiente para arrastrar la carga.

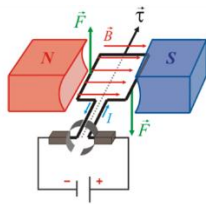
Análisis de las teorías presentes en los motores de inducción

En el magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Por convención, las líneas de inducción son líneas orientadas que van del polo norte magnético al polo sur magnético.

Un motor funciona aprovechando las fuerzas de atracción y repulsión existentes entre los polos. En la figura 1, aparece un torque magnético como consecuencia de las fuerzas magnéticas que surgen sobre las corrientes de la espira. En la producción de movimiento se requiere de polos norte y polos sur magnéticos colocados de forma alternada. El motor de la

figura 1 es un motor de corriente directa que requiere de escobillas para conducir una corriente hasta el interior de la espira y también necesita de un polo norte y un polo sur magnético.

Figura 1: esquema de un motor eléctrico



Fuente: acer.forestales.upm.es

Los motores eléctricos utilizan la inducción electromagnética que produce la electricidad para producir movimiento, según sea la constitución del motor: núcleo con cable arrollado, sin cable arrollado (figura 2), monofásico, trifásico, con imanes permanentes o sin ellos.

Figura 2: motor eléctrico



Fuente: vertigo2040.wordpress.com

La fuerza electromotriz (FEM) es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Es una característica de cada generador eléctrico.

Se define como el trabajo que el generador realiza para pasar por su interior la unidad de carga positiva del polo negativo al positivo, dividido por el valor en columbios de dicha carga. Esto se justifica en el hecho de que cuando circula esta unidad de carga por el circuito exterior al generador, desde el polo positivo al negativo, es necesario realizar un trabajo o consumo de energía para transportarla por el interior desde un punto de menor potencial a otro de mayor potencial.

La fuerza electromotriz de inducción (o inducida) en un circuito cerrado es proporcional a la variación del flujo de inducción ϕ del campo magnético que lo atraviesa en la unidad de tiempo, lo que se expresa por la fórmula $\xi = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ (ley de Faraday).

El signo negativo (ley de Lenz) indica que el sentido de la FEM es tal que se opone a la causa que la produce. (Gray, 2015)

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, dicho cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje.

Ahora bien, la propiedad de la fuerza aplicada para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque

o momento de fuerza. Entonces, se llama torque o momento de fuerza a la capacidad de dicha fuerza para producir un giro o una rotación alrededor de un punto.

El torque se expresa en unidades de fuerza-distancia, se mide comúnmente en Newton-metro (Nm). (Valcarce, 2014)

La inducción magnética es la producción de una fuerza electromotriz a través de un conductor cuando se expone a un campo magnético variable. Se describe matemáticamente por la ley de inducción de Faraday, en nombre de Michael Faraday, que generalmente se le atribuye el descubrimiento de la inducción en 1831.

La densidad de flujo magnético, cuyo símbolo es B, se mide en el Sistema Internacional de Unidades en teslas y está dada por:

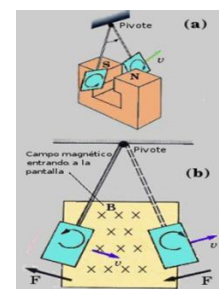
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{(I d\vec{l}) \times \hat{u}_r}{r^3}$$

Donde B es la densidad del flujo magnético generado por un conductor por el cual pasa una corriente I, a una distancia r. La fórmula de esta definición se llama ley de Biot-Savart. (Serrano, 2012)

En la ley de inducción de Faraday se trata el tema de las corrientes en el movimiento de alambres dentro de un campo magnético, pero en la práctica también se pueden mover grandes piezas metálicas dentro estos campos.

El origen físico de las corrientes inducidas por movimiento en los alambres sugiere que aquí también se debe inducir tales corrientes con la diferencia de que deben estar distribuidas por todo el conductor. En la figura 3 se muestran las corrientes de Foucault que se producen en una placa metálica que oscila en una región limitada de un campo magnético. Durante el movimiento de la placa entrando en el campo en el campo magnético el cambio en el flujo genera una FEM en la placa, la que a su vez causa que los electrones libres del material se muevan produciendo las corrientes de remolino de Foucault.

Figura 3: corrientes inducidas sobre placas metálicas



Fuente: www.sabelotodo.org/fisica/corrientefoucault.jpg

De acuerdo a la ley de LENZ, la dirección de las corrientes debe producir un campo magnético que se opone a aquel que indujo las corrientes. Estas corrientes en círculos en el metal son equivalentes a espiras de solenoide, de modo que produce polos magnéticos efectivos en la placa que son repelidos por los polos del imán, esto produce fuerzas repulsivas que se

oponen al movimiento oscilatorio de la placa. (Bravo y Quezada, 2007)

Las corrientes de Foucault son un fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor (metal) atraviesa un campo magnético variable.

El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. Estas corrientes circulares de Foucault crean electroimanes con campos magnéticos que se oponen al efecto del campo magnético aplicado.

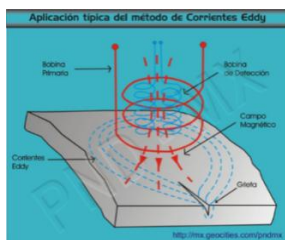
Las corrientes de Foucault y los campos contrarios generados serán más fuertes cuanto:

- Más fuerte sea el campo magnético aplicado;
- Mayor la conductividad del conductor;
- Mayor la velocidad relativa de movimiento.

En la figura 4, se muestra la equivalencia entre corrientes (espiras o solenoides) e imanes, de modo que la corriente inducida por delante del polo Norte equivale a un imán de polaridad opuesta, por lo que se repelen. Sin embargo, la corriente inducida por detrás del imán tiene la misma polaridad por lo que se atraen. Ambas corrientes generan una fuerza (f) que frena el movimiento de caída del imán.

Las corrientes de Foucault son las que se generan por inducción en las piezas metálicas que cruzan el tambor inductor de un Separador de Metales No Férricos por Corrientes de Foucault. Se provoca así una fuerza de repulsión opuesta al efecto del tambor inductor y se logra así un movimiento hacia adelante, separándose del resto de materiales que no tienen influencia y que caen siguiendo una trayectoria natural parabólica. (Coury, 2013)

Figura 4: corriente inducida sobre cilindros metálicos



Fuente:

blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/01/000534123.jp

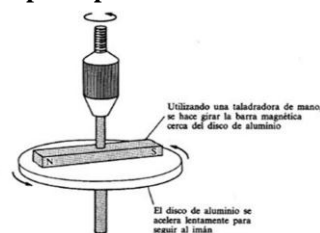
En la práctica, para disminuir al máximo las pérdidas por histéresis magnética se recurre al uso de núcleos de materiales capaces de imanarse y desimanarse fácil y rápidamente, tal como el hierro de silicio. En cuanto a las pérdidas por corrientes de Foucault o corrientes parasitas, podemos tener una idea más precisa al respecto si consideramos, la figura # 4, en la cual apreciamos un supuesto núcleo magnético macizo.

- **Aplicaciones de las corrientes de Foucault en motores de inducción.**

La figura 5, explica el fundamento de los motores de inducción de corriente alterna, que son probablemente los más utilizados en ingeniería.

El campo magnético que se mueve induce una FEM en el disco, generándose corrientes de Foucault que se oponen al movimiento del campo (es decir, el disco intenta alcanzar al campo es arrastrado por el)

Figura 5: principio de motor de inducción

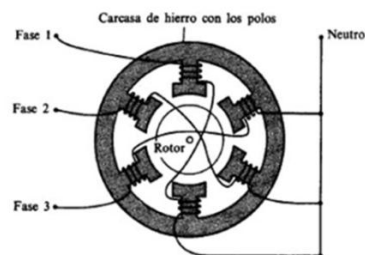


Fuente:

www.sapiensman.com/electrotecnia/motordeinduccin.jpg

Una aplicación más sofisticada consiste en construir motores de inducción en los cuales hay un campo magnético rotatorio que arrastra a un rotor central. (Figura 6)

Figura 6: motor de inducción trifásico



Fuente:

www.sapiensman.com/electrotecnia/motorinducciontrifasi.co.jpg

El campo giratorio se genera utilizando una fuente de tensión alterna monofásica, resultando dos pares de polos, siendo necesario un condensador para desfazar la tensión, o bien utilizando una fuente de tensión trifásica, resultando tres pares de polos; esta última forma es la más utilizada sobre todo en motores grandes.

La ventaja principal de los motores de inducción es que no tienen contactos eléctricos unidos a partes móviles (escobillas). (Fernández, 2014)

El motor de inducción es el tipo más popular de los motores de CA debido a su simplicidad y su facilidad de operación. El motor de inducción no tiene un circuito de 3 campos separados; en cambio, depende de la acción transformadora para inducir voltajes y corrientes en su circuito de campo.

Su circuito equivalente es similar al de un transformador, excepto en las variaciones de velocidad. (RAE, 2003)

Figura 7: prototipo de motor de inducción magnética



Fuente: encryptedtbn1.gstatic.com/

II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Lo primero que se procede a hacer es organizar una lista de materiales y herramientas, los cuales constan de un acrílico negro de las siguientes dimensiones 40 cm x 50 cm x 3 mm, 1.2 kilogramos de alambre esmaltado calibre # 23 ($\frac{1}{2}$ mm), acrílico de 6 mm, tornillos, balineras, cilindros de aluminio, tubo de cobre, prensa, taladro, pulidora, brocas, lija, madera, fresas para taladro, amarras plásticas, cinta de enmascarar.

En la etapa constructiva lo primero que se debe hacer es construir las bobinas, se construye primero la bobina interna, que es la más pequeña de las dos bobinas, y está construida con 490 vueltas, ya teniendo la primera bobina construida, procedemos a construir la segunda bobina con las dimensiones externas de la primera bobina, y esta bobina está construida con 400 vueltas, esto es para garantizar que las bobinas quedaran una dentro de la otra, para no permitir que las bobinas se desarmen se utiliza cinta de papel (enmascarar).



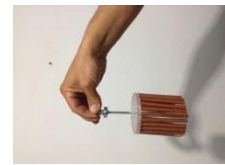
Lo segundo que se debe hacer es construir la base donde reposara nuestro prototipo, para este propósito utilizamos una base acrílica negra, con cintas acrílicas transparentes para sujetar las bobinas, la base debe tener la facilidad de desplazar una de las bobinas por un recorrido de 45° hacia la otra bobina, esto es para mostrar como el efecto del campo magnético se reduce a medida que la bobina se acerca a los 0° respecto de la otra bobina, esta base tiene unas dimensiones de 25 cm de ancho, 36.5 cm de largo y 4 cm de alto, estas dimensiones son para instalar los elementos para nuestro prototipo, como son los condensadores y el transformador.



El paso siguiente son los rotores, se construyeron siete rotores, tres con cilindros de aluminio el primero tiene unas dimensiones de (8 cm de altura y 7,5 cm de diámetro), el segundo es de la misma altura pero la mitad del diámetro que el anterior, y el siguiente es de la misma altura que los dos anteriores pero de la mitad del diámetro del último.

Los otros tres rotores son de jaula de ardilla que comparten las mismas dimensiones que los anteriores pero los diferencian que los conforman tubos de cobre formando una especie de jaula como en las que entrenan a los hámster de allí su nombre, los tubos están unidos eléctricamente y mecánicamente mediante un alambre de cobre para permitir la circulación de la corriente.

El último cilindro es como los primeros con un cilindro de aluminio pero con la diferencia que tiene un tubo plástico alrededor del cilindro con un balón dentro este balón es para poder observar como el balón sigue el campo magnético producido por las bobinas.



Lo siguiente a realizar es el montaje del prototipo en la base acrílica utilizando todos los elementos que tuvimos en cuenta a la hora de hacer la lista de materiales.

Lo primero es asegurar las bobinas con los acrílicos transparentes a la base negra utilizando unos tornillos asegurándonos de que queden a 90° mecánicos, entre las bobinas colocamos los dos condensadores, los condensadores pueden ser de 100 V, 50 V o 36 V, pero lo importante es que deben ser de 1000 μf , los condensadores deben estar unidos por los polos negativos del condensador, esto es con el fin de garantizar el desfase de la corriente 90° , entre las bobinas. instalamos uno de los cilindros, Después se instala un transformador, este transformador puede tener una salida de 12 V, 24 V, 36V, 50 V, o más, para este prototipo se utilizó un transformador de 24 VAC, la entrada del transformador se conecta a la red eléctrica (110 VAC), y las dos puntas restantes de las bobinas se conectan a la salida de 24 VAC del transformador, en este prototipo también tenemos la posibilidad de conectar las bobinas directamente a la red eléctrica, es decir sin necesidad de usar el transformador, para esto utilizamos dos condensadores de 100 V a 1000 μf , para este propósito utilizamos dos codillos de tres posiciones en el centro se conectan las dos líneas de las bobinas y en extremo del codillo se conecta el transformador y en el otro se conecta la red eléctrica, y dependiendo de la posición del codillo el prototipo trabajara con la red eléctrica o con el transformador.



FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Al conectar el prototipo a la red eléctrica se hace pasar una corriente por las bobinas, que mediante la ley de la mano derecha genera un campo magnético que es inducido en el rotor, haciendo que la mayor parte de los dipolos de material se orienten en sentido del campo magnético, haciendo que solo por medio de la inducción se genere un movimiento.

Los condensadores juegan un papel muy importante en mantener la rotación, ya que son los encargados de desfazar la corriente que pasa de una bobina a otra 90° , esto hace que hallan dos campos magnéticos induciéndose sobre el rotor en dos momentos distintos.

El espacio de aire que hay entre las bobinas y el rotor se denomina entrehierro, la mayor parte de la energía producida por el campo magnético es utilizada para vencer este entrehierro, ósea que a menor entrehierro tendremos más revolución del rotor en el prototipo, y a más entrehierro tendremos menos revolución el rotor.

Otro aspecto que afecta la revolución del rotor en el prototipo es el desfase mecánico de las bobinas, dicho desfase debe ser de 90° mecánicos entre bobinas, si dicho desfase cambia también lo hará las revoluciones del rotor mostrando que cada vez se hace más lento hasta que se detenga al tiempo que las bobinas llegan a 0° una respecto de la otra.

Al intercambiar los rotores se aumenta el entrehierro haciendo que el rotor gire más lento, se puede observar como el entrehierro es un factor muy importante en la inducción del campo magnético sobre el rotor.

III. CONCLUSIONES

- Cuando se tienen partes intercambiables en el prototipo se hace muy dispendioso la puesta a punto del prototipo, ya que en cada cambio de rotor se varían las características del prototipo.
- Se pueden observar los cambios en la velocidad de los rotores cada vez que se modifica un parámetro, ya sea cambio de rotor o cambio de desfase mecánico. Siempre se observa un cambio de velocidad.
- La circulación de corriente por las bobinas genera un calentamiento excesivo, que hace muy complicado la manipulación del prototipo.
 - Cada uno de los rotores tiene un punto diferente donde se induce la mayor cantidad de flujo magnético, es por esto que siempre hay que estar cambiando la disposición física de las bobinas.

REFERENCIAS

- [1] https://www.youtube.com/watch?v=CFcK_OEGm9M
- [2] https://www.ecured.cu/Ecuaciones_de_Maxwell#Ley_de_Faraday_sobre_la_fuerza_electromotriz_inducida
- [3] Gray, Alexander y Wallace. Ecu Red . [En línea] 2015. [Citado el: 17 de 10 de 2015.] http://www.ecured.cu/index.php/Fuerza_Electromotriz.
- [4] Valcarce, Aldo. Física: Torque y Momento de Torsión. [En línea] 2014. [Citado el: 22 de 10 de 2015.] http://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109A/16_Torque.pdf.
- [5] Blas, Teresa Martín y Serrano Fernández, Ana . Magnetismo. [En línea] Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 2012. [Citado el: 22 de 10 de 2012.] <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/induccin.html>.
- [6] BRAVO, Luis; MOGROVEJO, Wilson; QUEZADA, Fausto; RODRÍGUEZ, René. Levitador Electromagnético, Teoría de Control. [Universidad de Cuenca] Cuenca, Ecuador, Ecuador : Facultad de Ingeniería Eléctrica, 2007.
- [7] Coury, J-M. Xataka Ciencia . [En línea] 2013. [Citado el: 20 de 10 de 2015.] <http://www.regulator-cetrisa.com/esp/magnetism.php?section=foucault>.
- [8] FERNANDEZ, Juan Pedro. <http://www.ecured.cu/index.php/Electrotecnia>. [En línea] 2014. [Citado el: 05 de 10 de 2015.] <http://www.ecured.cu/index.php/Electrotecnia>.
- [9] española, real academia. Definiciones de ingeniería. [En línea] 2003. [Citado el: 12 de 10 de 2015.] <http://fluidos.eia.edu.co/lecturas/ingenieria.html>.