Informe Final:

“Diseño de Dispositivo Electromagnético: Movimiento lineal oscilatorio - Jumping ring”

Silva Varela, Diego Felipe., Rodriguez Ricaurte, Cristian David., y Urbano Vallejo, Oscar Andrés.

{dfsilvav, oaurvanov, crdrodriguezri}@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia.

***Resumen******:* En este documento se presenta la propuesta para el proyecto final de la asignatura de “Conversión electromagnética”. El proyecto tiene el nombre de “Jumping Ring” o “Anillo de Thompson”. La ley de Lenz se usa a veces para explicar el comportamiento de los saltos, o levitación del anillo, pero esta por sí sola se muestra incompleta, por eso se plantea una explicación alternativa que utiliza las leyes de Faraday y análisis de circuitos el anillo.**

***Índice de Términos —*** *Corriente Eléctrica, Campo Magnético, Inducción electromagnética, Solenoide.*

# Objetivo

* Aplicando la teoría aprendida en cursos como campos electromagnéticos, conversión electromagnética, entre otros. Realizar el análisis teórico del experimento del “Jumping Ring”. Haciendo un modelamiento matemático del problema (para lo cual se utilizara Matlab), y utilizando la modelación por elementos finitos para simular su comportamiento.

# Introducción

Una demostración popular relacionada con corrientes inducidas es el experimento del Anillo de Thomson. Aquí, un anillo no magnético conductor se coloca sobre un núcleo Vertical prolongado de un solenoide o de un transformador desmontable. Cuando la alimentación de CA es aplicada al solenoide, el anillo es expulsado o se mantiene en un estado de levitación.

## Análisis Cualitativo

El uso exclusivo de la ley de Lenz para explicar este fenómeno es una explicación incompleta. En la figura 1, en el núcleo el flujo en el núcleo se muestra el aumento en la dirección vertical y que sale de la parte superior del núcleo. La ley de Lenz establece que el campo producido por la corriente en el anillo debe ser tal como para oponerse a la cambiante campo generado en el núcleo. En el caso mostrado, la corriente en el anillo producirá un campo magnético opuesto y por lo tanto una fuerza hacia arriba en el anillo. Sin embargo, como el ciclo pasa a través de su pico, la corriente inducida (y por lo tanto el campo magnético) cambia de dirección. El efecto de la inversión del campo magnético inducido será para tirar del anillo de vuelta hacia abajo. Esto da lugar a ninguna fuerza neta sobre el anillo cuando se integra sobre todo un ciclo, por lo que sugiere que el anillo debe permanecer descansando, es decir, inmóvil, suspendido en el aire sobre el cuerpo de bobina.

Esto se puede ver en el esquema de la figura 2.

Ahora es obvio que a medida que el anillo forma una sola vuelta secundario de un transformador no tendrá tendencia a moverse en cualquier dirección. Entonces, ¿por qué vuela el anillo cuando el circuito magnético está incompleta? ¿Y por qué se mueven hacia arriba, no hacia abajo? Parte de la respuesta es que cuando el circuito magnético se rompe hay una cantidad significativa de pérdida de flujo, dando lugar a una componente horizontal del flujo (véase la figura 3 de [2]).

La componente vertical del flujo cambiante da lugar a la corriente que circula en el anillo por la acción normal del transformador. Esta corriente circulante interactúa con el componente vertical del campo para generar una fuerza sobre el anillo perpendicular a la corriente y el flujo, según lo predicho por la regla de la mano izquierda de Faraday. Sin embargo, esta fuerza actúa radialmente en el anillo y no tiene ningúna componente vertical.

Asuma una sinusoidal del flujo magnético v.sin (wt) que varía verticalmente. Entonces, de la ley de Faraday la fem inducida en el anillo será -v.cos (wt), resultando en un flujo de corriente en el anillo, el voltaje inducido en una sola espira es igual a la tasa de cambio del flujo que une el anillo. Si el anillo es puramente resistivo entonces la corriente en el anillo es -v.cos(wt)/R, donde R es la resistencia de una sola vuelta. La fuerza vertical Fv en el anillo es entonces el producto de la componente horizontal del flujo, la corriente y la longitud del conductor:

Fv =-Bh sin(wt) \* v.w.cos(wt)/r \* circunferencia de la bobina

donde Bh sin(wt) es la componente horizontal de intensidad de campo en el anillo.

Así pues,

Fv es proporcional a Bh.v.w.sin(2wt)/r.

[sin 2teta =2sin.teta.cos.teta]

La integración de todo un ciclo da un resultado de cero, lo que implica ninguna fuerza neta hacia arriba y lo que no hay movimiento neto del anillo! Pero vibrará a una frecuencia de dos veces el campo aplicado.

Sin embargo, este resultado supone que el anillo es puramente resistiva, el cual no lo es. Como tiene algo de auto-inductancia, esto provoca una corriente en el anillo en atraso con respecto al campo aplicado. El resultado de esto es una fuerza neta hacia arriba suficiente para levitar el anillo.

Si la corriente en el anillo se retrasa respecto al campo aplicado en un angulo d, entonces la fuerza hacia arriba es proporcional a:

-w.sin(wt) \* cos(wt +d),

i.e.

1/2 [w.sin(2wt) \* cos(d)] + w.sin^2(wt) \* sin(d)

[cos(A+B) = cosA.cosB - sinA.sin B]

El primer término integrado en un ciclo es cero, pero el segundo término es siempre positivo, dando una fuerza neta hacia arriba en el anillo y por lo tanto el elevación que se observa.

Esto conduce a las siguientes conclusiones:

(1) la ley de Lenz no se puede utilizar para explicar la movimiento del anillo.

(2) las leyes de Faraday de la inducción, así como un reconocimiento de que el anillo tiene auto-inductancia (la que que conduce a un cambio de fase de la corriente inducida), es la explicación correcta del comportamiento observado.

## Análisis cuantitativo

Lo que sigue es un análisis cuantitativo que conduce a la mejor elección del material para el anillo y sus dimensiones óptimas.

Supongamos que el anillo tiene las siguientes propiedades.

tao = resistivity (ohm\*m)

p=density (kg m^-3)

n =number of turns

D =diameter of ring

d =diameter of wire forming ring

l =inductance of a single turn

r =resistance of a single turn

From Faraday’s law, the induced voltage in a

single turn is given by

De la ley de Faraday, el voltaje inducido en una espira está dado por:

v =-d(flux)/dt.

# Referencias

1. Fitzgerald A. E., Kingsley Ch., Umans S. D. “Máquinas Eléctricas”. McGraw-Hill, México, 1992.
2. Chapman S. J. “Máquinas eléctricas”, tercera edición, McGraw-Hill, Bogotá, 2000
3. Hall J. "Forces on the Jumping Ring" Division of Science, Penn State Erie-The Behrend College. 1997.
4. Tawapong J., Thamaphat K., Limsuwan S. "Jumping Ring Experiment: Effect of the temperature, non-magnetic material and applied current en the jump height" Departament of Physics, University of Technology Thonburi, Bangkok. 2011.
5. Barry N., Casey R. "Elihu Thomson’s Jumping Ring in a Levitated Closed-Loop Control Experiment". IEEE. 1999.
6. Baylie M., Ford P. J., Mathlin G. P., Palmer, C. "The jumping ring experiment".2009.
7. Universidad de los Andes. "Experimentos demostrativos". Departamento de física. 2012. [En línea] Disponible en: fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co/AnillosDeThomson.html.
8. Manju S., "Australian Multimedia for Physics Students". 2010. [En línea] Disponible en: http://www.hscphysics.edu.au/resource/JumpingExplained.flv
9. Helman A., "Physics lecture demonstration catalog". 2009. [En línea] Disponible en: http://sirius.ucsc.edu/demoweb/cgi-bin/?e\_m-electmag-jumping\_ring
10. Ramírez-Neria M., García-Antonio J. L., Sira-Ramírez H., Velasco-Villa M., Castro-Linares R. "On the Linear Active Rejection Control of Thomson’s Jumping Ring". American Control Conference. 2013.
11. CEDRAT. "CAD Package for Electromagnetic and Thermal Analysis using Finite Elements". 2006 [En línea] Disponible en: http://www.softwave.cn/pdf/F2D\_920\_Generic\_tutorial.pdf
12. Waschke F., Strunz A., Meyn J. P. "A safe and effective modification of Thomson’s jumping ring experiment". European Journal of Physics. 2012.
13. Bostock-Smith J. M. "The jumping ring and Lenz’s Law -an analysis". Kesgrave High School, UK. 2008.
14. Sadiku, M. “Elementos de Electromagnetismo”. Ed. Alfaomega. Tercera edición. 2003.