El Principio de Equivalencia Aplicado a la Ley del Transformador

Albert Serra[1, 1*], Carles Paul[2, 2*] , Ricard Bosch[3, 3*]

[1]*Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Venezuela.*
[2]*Departamento de Mecatrónica, Sección de Física, ESUP, 08302, Mataró, España.*
[3]*Departamento Ingenieria Eléctrica Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.*

Abstract

La ley de relación del transformador es una ley propiamente electromagnética, que surge como consecuencia de la aplicación de la inducción electromagnética entre el circuito eléctrico primario y el circuito eléctrico secundario. En este articulo proponemos una nueva demostración de la relación del transformador sin necesidad de recurrir a la inducción electromagnética e incluso sin recurrir a principios electromagnéticos. Deducimos la ley a partir de principios mecánicos fundamentales, como es la ley de conservación del momento angular. Con todo esto demostramos que la ley del transformador es consecuencia de un fenómeno inercial.

keywords: transformador, conservación momento angular, principio de equivalencia, masa, inercia, carga.

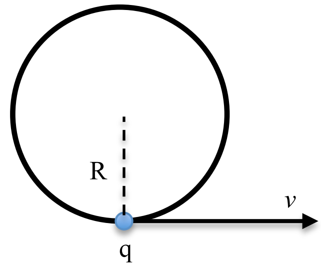
1. Introducción

El principio de equivalencia entre masa y energia enunciado por Einstein en 1905 establece que todo cuanto existe posee energia, masa e inercia en reposo, que aumenta a medida que aumenta la velocidad. Consecuentemente una carga eléctrica posee energia, masa e inercia. A los efectos electrodinámicos la masa y la inercia de los electrones se considera despreciable al igual que se consideraba despreciable la pequeña velocidad de los electrones de conducción a los efectos relativistas. Cuando ya sabemos que esta pequeña velocidad de los electrones respecto los iones en un conductor son el origen del magnetismo.

Al tener en cuenta la inercia de los electrones de una corriente eléctrica aparecen efectos de la mecánica, que explican de forma elemental, la ley del funcionamiento de los transformadores. En este caso la ley de inducción electromagnética resulta de la ley de conservación del momento angular de la corriente.

Es por ello que utilizamos la ley de conservación del momento angular de la masa de los electrones para deducir la ley del transformador electromagnético de corriente alterna.

Consideramos una carga eléctrica que se esta moviendo dentro de una trayectoria circular de radio R a velocidad tangencial v a modo de ilustrar el comportamiento de una bobina en el transformador.



1 * Albert Serra Valls. e-mail: alberto@ula.ve

2 * Carles Paul Recarens. e-mail: paul@tecnocampus.cat

3 * Ricard Bosch. e-mail: bosch@ee.upc.edu

2. Momento angular de la masa de la carga

De la misma manera que se define el momento angular de una massa L_m, nosotros establecemos la definición del momento angular de la masa de la carga eléctrica $\mathscr{L}$ que esta relacionado con el momento de Inercia de la masa de la carga eléctrica $\mathscr{I}$.

La relación entre $\mathscr{L}$ y $\mathscr{I}$ viene indicada por la siguiente expresión, donde ω es la velocidad angular de la carga,.

$$\mathscr{L} = \mathscr{I}\omega$$

donde la velocidad angular ω es la relación entre la velocidad tangencial v y el radio R de la trayectoria.

$$\omega = v/R$$

Hay que tener en cuenta que en un sólido en rotación, todos los puntos materiales giran a la misma velocidad angular y su velocidad tangencial crece con el radio. Contrariamente, las cargas de una corriente constante (Intensidad constante) su velocidad tangencial de rotación es constante, pero su velocidad angular disminuye con el radio. Es por eso que el movimiento angular de una corriente en un circuito es constante y solo depende de su intensidad.

De la misma manera hay que tener en cuenta que la velocidad de las cargas puede variar con la sección del conductor, pero la intensidad se mantiene constante y por tanto el momento lineal se conserva.

Teniendo en cuenta que la inercia de la corriente tiene que ser proporcional a la masa de las cargas, es también proporcional a la cantidad de cargas eléctricas $\mathscr{Q}_n$. De esta manera obtenemos la siguiente relación de proporcionalidad indicada mediante la letra griega alpha α

$$\mathscr{I} = \alpha\, \mathscr{Q}_n$$

Debido a que las cargas estan agrupadas y moviéndose dentro de un circulo de radio R, la cantidad de cargas eléctricas $\mathscr{Q}_n$ vendrà dada por la expresión siguiente, donde ρ_e es la densidad de carga eléctrica.

$$\mathscr{Q}_n = 2\pi R\, \rho_e$$

obteniendo para el momento de Inercia de la masa de la carga eléctrica $\mathscr{I}$

$$\mathscr{I} = \alpha\, 2\pi R\, \rho_e$$

A partir de las definiciones anteriores podemos calcular el momento angular de la masa de la carga $\mathscr{L}$.

$$\mathscr{L} = \mathscr{I}\omega = (\alpha\, 2\pi R\, \rho_e)\ (v/R) = 2\pi\alpha v\, \rho_e$$

Observamos que el momento angular de la masa de la carga eléctrica $\mathscr{L}$ no depende del radio R de la bobina.

La densidad de carga eléctrica ρ_e y la densidad de corriente j estan relacionadas mediante la ecuación

$$j = \rho_e\, v$$

y así el momento angular $\mathscr{L}$ adquiere la expresión siguiente

$$\mathscr{L} = \mathscr{I}\omega = 2\pi\alpha v(j/v) = 2\pi\alpha j$$

La densidad de corriente j observada esta relacionada con la intensidad total I_T que circula por el conductor.

$$j = kI_T$$

y la intensidad total es la suma de totas las intensidades de cada vuelta. Suponiendo N vueltas tenemos que $I_T = NI$.

El momento angular de la masa de la carga eléctrica adquiere la forma siguiente

$$\mathscr{L} = 2\pi\alpha k I_T = 2\pi\alpha k N I$$

3. Ley del Transformador

La ley de conservación del momento angular nos indica que podemos aplicar a continuación la conservación del momento angular de la masa de la carga eléctrica. Teniendo en cuenta que en el transformador no hay masas de cargas eléctricas circulando en circuito abierto, el momento angular de la masa eléctrica total $\mathscr{L}_T$ será cero antes de conectar el transformador a la corriente eléctrica.

$$\mathscr{L}_T = 0$$

Así pues, el momento angular total de la masa de la carga eléctrica en el transformador una vez conectado, en circuito cerrado, también tiene que ser nulo e igual a la suma del momento angular de la masa de la carga eléctrica del primario $\mathscr{L}_1$ y el secundario $\mathscr{L}_2$.

$$\mathscr{L}_T = 0 = \mathscr{L}_1 + \mathscr{L}_2$$

Con todo esto podemos asegurar que el momento angular de la masa de las cargas eléctricas del circuito primario del transformador $\mathscr{L}_1$ y el momento angular de la masa de las cargas eléctricas del circuito del secundario del transformador $\mathscr{L}_2$, cumplen la condición siguiente

$$\mathscr{L}_1 = -\mathscr{L}_2$$

que conduce al siguiente resultado

$$2\pi\alpha k N_1 I_1 = -2\pi\alpha k N_2 I_2$$
$$N_1 I_1 = -N_2 I_2$$

Obteniendo la ley del transformador, justificando el cambio de signo de la corriente por la conservación del momento angular de la masa de la carga eléctrica y además el porque es independiente del radio de la bobina.

$$\boxed{N_1 I_1 = -N_2 I_2}$$

4. Conclusiones

La demostración de la ley del transformador mediante principios mecánicos establece una relación entre la mecánica y el electromagnétismo. La cual tiene que manifestarse entre la ley de Newton y las ecuaciones de Maxwell. Así pues, el principio de conservación del momento angular y el principio de equivalencia aparecen como principios universales extendidos por encima de la mecánica y del electromagnétismo, siendo aspectos esenciales para cualquier ley de unificación de la física.

Glosario de términos:

$\mathscr{L}$: Momento angular de la masa de la carga eléctrica.
$\mathscr{L}_1$: Momento angular de la masa de la carga eléctrica en el circuito primari.
$\mathscr{L}_2$: Momento angular de la masa de la carga eléctrica en el circuito secundario.
$\mathscr{I}$: Momento de inercia de la masa de la carga eléctrica.
ω : Velocidad angular de la carga eléctrica.
$\mathscr{Q}_e$: Cantidad de cargas eléctricas.
ρ_e : Densidad de cargas eléctricas.
j : Densidad de corriente.
I : Intensidad de la corriente.
N_1 : Número de vueltas del transformador en el circuito primario.
N_2 : Número de vueltas del transformador en el circuito secundario.