

## Diseño de elementos magnéticos para alta frecuencia en convertidores de tipo CC-CC

### Design of magnetic elements for high frequency in DC-CC type converters

RAYMUNDO-SANTOYO, Jesús†, CABAL-VELARDE, Gustavo Javier y JUÁREZ-BALDERAS, Mario Alberto\*

*Instituto Tecnológico Superior de Irapuato; Carretera Irapuato - Silao km 12.5, Irapuato, Guanajuato.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Jesús, Raymundo-Santoyo*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Gustavo Javier, Cabal-Velarde*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Mario Alberto, Juárez-Balderas*

Recibido 20 de Abril, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

#### Resumen

*Objetivos:* Estudio del comportamiento de elementos magnéticos en alta frecuencia enfocado al diseño de elementos magnéticos para convertidores cc-cc. Así como el estudio de los fenómenos en alta frecuencia: efecto piel, efecto proximidad, parásitos, inductancias de dispersión. Así como el obtener algunos de estos parámetros que debemos de tener en consideración para ciertas aplicaciones. *Metodología:* Dado que el problema fue el estudio de los fenómenos en el diseño de elementos magnéticos en alta frecuencia para convertidores cc-cc, se siguió la siguiente metodología a fin de comprenderlos mejor y estudiar las soluciones propuestas en la bibliografía para tomarlos en cuenta en el diseño y optimizarlos, Estudio de la teoría electromagnética, Materiales magnéticos, Estudio de los fenómenos en alta frecuencia, Fenómenos asociados a la mala construcción de elementos magnéticos, Validación del método. *Contribución:* Este trabajo proporcionara una correcta metodología para el diseño de elementos magnéticos en alta frecuencia para convertidores cc-cc, así como la implementación de esta metodología para la construcción de un transformador flyback. Con este trabajo se espera aportar esta metodología para el área de Electrónica de potencia.

**Flujo magnético, Alta frecuencia Elementos magnéticos**

#### Abstract

*Objectives:* Study of the behavior of magnetic elements in high frequency focused on the design of magnetic elements for DC-DC converters. As well as the study of high frequency phenomena: skin effect, proximity effect, parasites, dispersion inductances. As well as obtaining some of these parameters that we must take into consideration for certain applications. *Methodology:* Given that the problem was the study of the phenomena in the design of high frequency magnetic elements for DC-DC converters, the following methodology was followed in order to understand them better and study the solutions proposed in the bibliography to take them into account in the design and optimize them, Study of the electromagnetic theory, Magnetic materials, Study of the phenomena in high frequency, Phenomena associated to the bad construction of magnetic elements, Validation of the method. *Contribution:* This work will provide a correct methodology for the design of high frequency magnetic elements for DC-DC converters, as well as the implementation of this methodology for the construction of a flyback transformer. With this work it is expected to provide this methodology for the area of Power Electronics.

**Magnetic flux, High frequency Magnetic elements**

**Citación:** RAYMUNDO-SANTOYO, Jesús, CABAL-VELARDE, Gustavo Javier y JUÁREZ-BALDERAS, Mario Alberto. Diseño de elementos magnéticos para alta frecuencia en convertidores de tipo CC-CC. Revista de Sistemas Experimentales 2018, 5-15: 1-4.

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mario.juarez@itesi.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

En la actualidad, existe la tendencia a disminuir el costo y tamaño en los convertidores cc-cc. Sin embargo, los elementos magnéticos que se utilizan para convertidores de cc-cc son muy específicos, voluminosos y de costo alto, por lo que muchos trabajos se enfocan en la correcta construcción de estos elementos. Teniendo en cuenta que los elementos magnéticos presentes en los convertidores cc-cc operan cada vez a frecuencias más altas, por lo que los fenómenos que surgen por este incremento hacen que el diseño de los elementos magnéticos se vuelva muy crítico.

Esto, ocasiona nuevos problemas en el diseño, ya que aparecen fenómenos que deben ser tomados en cuenta como el efecto piel, proximidad, distribución del campo magnético, incremento de las inductancias de dispersión, la que en conjunto a los elementos semiconductores puede llegar a ocasionar problemas de sobre voltajes.

Existen muchos trabajos sobre el diseño magnético en alta frecuencia; cada uno se enfoca en algún problema en particular: forma de los devanados, corrientes parásitas, resistencia, etc.; pero no existe uno que abarque todos estos fenómenos, ni que establezca un método para la obtención del valor de las inductancias de dispersión que son las principales responsables de algunos fenómenos de sobre voltajes en los periodos de conmutación en los convertidores cc-cc.

Conociendo una correcta metodología de construcción para los elementos magnéticos presentes en los convertidores cc-cc de alta frecuencia se pretende disminuir las corrientes parásitas y las inductancias de dispersión, además de poder medir estas inductancias de manera experimental para poderlas tener en cuenta en el diseño de los convertidores cc-cc.

## Metodología a desarrollar

El problema básico para el diseño de un elemento magnético con núcleo para los convertidores cc-cc puede describirse:

- Obtención de los datos para la topología seleccionada.
- Selección del material y forma geométrica del núcleo.

Es importante entender el funcionamiento exacto del elemento magnético en la aplicación. Obteniendo algunos parámetros del fabricante se puede establecer mejor la metodología y obtener menores valores de inductancia de dispersión.

El primer paso es establecer la aplicación en la cual se encuentra presente el elemento magnético.

Seguido de esto será el seleccionar el núcleo, una vez seleccionado el núcleo, conociendo las dimensiones físicas, el diseño se basa en ecuaciones generales.

## Construcción del elemento magnético

Los datos que ofrece el fabricante sobre los materiales y núcleos permiten seleccionar de manera práctica, con gráficas y tablas, el material y la forma geométrica, de acuerdo a los parámetros de la aplicación.

## Restricciones de diseño

- a. Uno de los criterios principales del tamaño del núcleo, puede empezar primero por determinar las restricciones físicas que se tienen en el circuito. El espacio y disposición que va a ocupar en el circuito y establecer las dimensiones.
- b. Núcleos disponibles. En algunos casos solo se cuenta con tamaños específicos que deben ser usados, ya sea por costo o disponibilidad.

## Selección de tamaño aproximado del núcleo

El método más sencillo para obtener un valor aproximado de tamaño de núcleo es utilizar el producto de áreas.

Para el inductor

$$Ap = \frac{(2 * (\frac{1}{2} Li^2) * 10^4)}{B_m K_u K_j} \quad (1)$$

Donde:  $B_m$  es la densidad de flujo máximo,  $K_u$  es el factor de llenado,  $K_j$  es la constante relacionada al crecimiento de temperatura. Con el dato de producto de áreas, se selecciona el núcleo con el valor inmediato mayor en los datos del fabricante del núcleo, y se anotan los datos de las dimensiones físicas.

Los cuales permitirán calcular los valores restantes del diseño, como el número de vueltas, entrehierro, conductor, etc. La inductancia máxima puede establecerse como la relación entre el número de vueltas máxima.

$$L_{max} = \frac{N_{max} * B_r * A_c}{I_{max}} \quad (2)$$

Para determinar el valor de número de vueltas máximo  $N_{max}$  es:

$$N_{max} = \frac{(A_w * K_u)}{A_b} \quad (3)$$

Donde:  $A_w$  es el área de la ventana,  $A_c$  es el área transversal del núcleo,  $A_b$  área de conductor parámetro que nosotros podemos establecer,  $B_r$  es densidad de flujo.

### Número de vueltas

Con los datos del núcleo tomados con anterioridad, densidad de flujo seleccionada, inductancia deseada y corriente de trabajo se calcula el número de vueltas en un transformador o en un inductor con la siguiente ecuación:

Para el inductor

$$N = \frac{L * i_{max}}{A_c * B_{sat}} \quad (4)$$

Para el caso del transformador

$$N_p = \frac{L_p * i_{max}}{A_c * B_{sat}} \quad (5)$$

Para el inductor secundario

$$N_s = \frac{L_s * i_{max}}{A_c * B_{sat}} \quad (6)$$

Donde  $B_{sat}$  es el flujo de saturación.

### Entrehierro

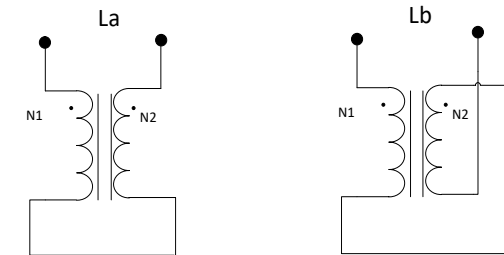
El entrehierro es la región situada en el aire entre los dos polos del núcleo. En caso de ser necesario, se puede establecer su dimensión física con la siguiente ecuación el cual se da en  $cm^2$

$$l_g = \frac{(\mu_0 N^2 A_c)}{L} * 10^{-4} \quad (7)$$

El valor de  $\mu_0$  es de  $4\pi * 10^{-7}$ .

### Métodos de obtención de inductancia parasitas

En los transformadores ocurre un fenómeno el cual podemos medir de manera experimental para considerar en los cálculos de los transformadores. De manera experimental se puede obtener estos valores realizando la medición.



**Figura 1** Cálculo de inductancia a) serie ( $L_a$ ), b) paralelo ( $L_b$ )

$$L_a = L_{d1} + L_{d2} + 2L_m \quad (8)$$

$$L_b = L_{d1} + L_{d2} - 2L_m \quad (9)$$

Con lo anterior se puede determinar el valor de la inductancia magnetizante:

$$L_m = \frac{L_a - L_b}{4} \quad (10)$$

Para los valores de las inductancias de dispersión es necesario el realizar los siguientes cálculos:

$$L_{d1} = L_a - L_m \quad (11)$$

$$L_{d2} = L_b - L_m \quad (12)$$

Con estos valores se puede determinar las pérdidas para evaluar los fenómenos.

### Manufactura del elemento magnético

Con los datos obtenidos, solo resta realizar la manufactura del elemento magnético el cual estará presente en el convertidor cc-cc para nuestro caso estudiaremos el del transformador flyback, medición de parámetros como son la inductancia, inductancia de dispersión, inductancia en serie e inductancia en paralelo del transformador.

### Parametros de construcción

Prototipo transformador flyback

Con unos valores de inductancia de

$$L_p = 1.05mH, L_s = 333uH$$

$$Ac = 1.23e - 5 m^2, B_{sat} = 100mT$$

Con esos valores se realizarán las pruebas del método y se analizan las inductancias de dispersión, así como el comprobar la efectividad de este método para realizar la construcción del elemento magnético. Con el método anteriormente descrito pasamos a realizar la construcción del transformador.

Siendo los valores de  $N_p = 16$  y  $N_s = 7$

## Resultados

Con los valores de construcción se determina la construcción de los inductores y se analizarán las ventajas de los diferentes tipos de materiales, para su aplicación en convertidores de cd-cd. Los resultados finales se mostraran en el poster.

## Referencias

Colonel Wm. T. MacLyman. Transformer and Inductor Design Handbook, Método del producto de áreas.

Juan Manuel Lopera Ronda. Tesis doctoral: "Elementos magnéticos en alta frecuencia: estudio, modelado y criterios de diseño". Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, de Computadores y de Sistemas de la Universidad de Oviedo, España. Diciembre de 1993.

Mohammadjafari.Mehdi,Iesan.Saeed,Ghadami. Mostafa,"Optimum Desing of Transformer Model on contactless Energy Transmission System(CET) with Series Resonant Converter", Journal of Middle East Applied Science and Technology,2014.

W.G.Hurley, E. Gath, and 3.6. Brelin. "Optimizing the AC resistance of multilayer transformer windings with arbitrary wave forms". IEEE PECC 1999.