

# Ajuste de la autoinductancia de bobinados espirales en PCB de doble capa para sistemas IPT de baja potencia

Alexis Narváez, Claudio Carretero, Jesús Acero

Afiliación: Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM)  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail: [alexisna@unizar.es](mailto:alexisna@unizar.es)

## Resumen

Establecida ya como una de las tecnologías más populares de la última década, la transferencia inalámbrica de energía (WPT) ha llegado para quedarse. La transferencia por métodos inductivos (IPT) que se realiza a través de los bobinados transmisor y receptor, acoplados a una cierta distancia, es la más extendida en dispositivos de alta gama. En este documento se presenta el análisis a partir de un modelo de elementos finitos (FEA) de bobina 2D, que puede servir como punto de partida para el ajuste de los parámetros eléctricos de una bobina construida directamente sobre la propia PCB, para su uso en sistemas IPT de baja potencia.

## Introducción

Debido a la gran evolución que han sufrido los sistemas electrónicos, y su tendencia ascendente de demanda energética, los dispositivos electrónicos portátiles de la siguiente generación deben ser capaces de cumplir con ciertos requerimientos para brindar al usuario la mayor autonomía posible y ofrecer esa percepción de libertad deseada por el usuario, [1].

En la actualidad, la transmisión inalámbrica de energía a corta distancia se ha hecho muy popular entre los dispositivos portátiles de alta gama para su carga, y los sistemas IPT, Fig. 1, son una solución viable para que los dispositivos puedan ser construidos herméticamente y así evitar el uso de cables o conectores que se degradan con el uso, [2].

Los elementos clave en los sistemas IPT son los bobinados transmisor y receptor, que en dispositivos portátiles conviene que posean un perfil bajo. Esto se puede conseguir usando bobinados construidos sobre la propia placa PCB, [3]. La autoinductancia de dichos bobinados es un parámetro de crucial importancia ya que la transferencia de energía depende la frecuencia de resonancia del sistema, la frecuencia de trabajo, la carga a la salida del sistema y del coeficiente de acoplamiento,[4], [5]. Por esta razón, este documento se presenta el ajuste de los

parámetros eléctricos de una bobina construida en la propia placa PCB, tomando en cuenta las limitaciones de tamaño, realizando un análisis por elementos finitos de la geometría, previo a su diseño y prototipado.

## Metodología

La Fig. 2 presenta el modelo 2D FEA con simetría de revolución, el cual no posee una estructura interna definida. Este modelo considera el bobinado solo en la dirección radial, es decir, en una dimensión, y para el análisis en COMSOL® se le aplica una densidad de corriente superficial.

Si se establece como punto de partida el estándar de carga inalámbrica Qi, [6], para una frecuencia de resonancia en torno a 100 kHz, el valor de autoinductancia de los bobinados se encuentra entre 6  $\mu\text{H}$  y 24  $\mu\text{H}$ . Tomando en cuenta algunos diseños de referencia del estándar, se ha definido un radio externo,  $r_{\text{ext}} = 30 \text{ mm}$  y 10 espiras, el radio interno se ajustará según el valor de autoinductancia obtenido.

El cálculo de la tensión inducida en los terminales del bobinado ideal se realiza de la siguiente manera, [7]:

$$V_{\text{coil}} = \frac{1}{l_{\text{turn}}} \int_{l_{\text{coil}}} 2\pi r E_{\phi} dl \quad (1)$$

con  $l_{\text{coil}} = r_{\text{ext}} - r_{\text{int}}$  la diferencia de radios de la bobina,  $l_{\text{turn}} = \frac{l_{\text{coil}}}{n}$  el ancho ocupado por cada espira, y  $E_{\phi}$  el campo eléctrico integrado sobre la revolución.

Por otro lado, el valor de autoinductancia se calcula:

$$L_{\text{coil}} = im \left( \frac{Z_{\text{coil}}}{\omega} \right) \quad (2)$$

con  $Z_{\text{coil}} = \frac{V_{\text{coil}}}{I_{\text{coil}}}$  y  $\omega$  que está dada por:  $\omega = 2\pi f$ .

## Resultados de simulación

Actualmente, para la construcción de placas PCB la oferta del espesor de cobre es del orden de hasta centenas de micras. En el cálculo de la autoinductancia se comprobó que, fijando un espesor

de cobre en el modelo FEA, los resultados obtenidos no son prácticamente diferenciables a los obtenidos con el modelo sin estructura interna. Esto es debido a la relación que hay entre el espesor de cobre en la dirección  $z$ , que es del orden de centenas de micra, y la longitud del bobinado en la dirección  $r$ , que es del orden de decenas de milímetros.

En la Fig. 3 y Fig. 4 se muestra los resultados obtenidos de variar el radio interno y externo, respectivamente. Se presentan los resultados de un bobinado al aire y sobre un plano de ferrita. A la vista de los resultados, con  $r_{ext} = 30$  mm y 10 espiras, a partir de  $r_{int} > 10$  mm se consigue una autoinductancia  $L_{coil} > 6 \mu H$ . Si fijamos un radio interno  $r_{int} = 10$  mm y varía  $r_{ext}$ , se puede observar que a partir de  $r_{ext} > 26$  mm se obtienen valores de autoinductancia  $L_{coil} > 6 \mu H$ . Se puede señalar que al parecer es más determinante el ajuste del radio interno del bobinado pues tiene un mayor impacto en la variabilidad de la autoinductancia del bobinado que el radio externo.

## Conclusiones

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se puede corroborar que la metodología de diseño planteada puede ser un buen punto de partida para el diseño de inductores construidos en la placa PCB.

Cuando varía la geometría de los bobinados, en lo que respecta a sus radios, se puede llegar a ajustar de manera sencilla el valor de la autoinductancia necesaria para cada caso en concreto. También se puede comprobar que el espesor del cobre no juega un papel determinante en el cálculo de la

autoinductancia, pero sí en el cálculo de la resistencia serie del bobinado y en el factor de calidad.

El modelo de elementos finitos propuesto es conveniente para el estudio de bobinados con simetría de revolución y no tiene un excesivo coste computacional, por lo que puede ser implementado de manera sencilla en modelos 3D que podrían ofrecer una perspectiva más amplia al realizar la optimización de los bobinados.

## REFERENCIAS

- [1] Y. Yao, P. Sun, X. Liu, Y. Wang, and Di. Xu, "Simultaneous Wireless Power and Data Transfer: A Comprehensive Review," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 37, no. 3, pp. 3650–3667, 2022.
- [2] T. Campi, S. Cruciani, F. Maradei, A. Montalto, F. Musumeci, and M. Feliziani, "Centralized High Power Supply System for Implanted Medical Devices Using Wireless Power Transfer Technology," *IEEE Trans. Med. Robot. Bionics*, vol. 3, no. 4, pp. 992–1001, 2021.
- [3] X. Du, C. Li, and D. Dujic, "Design and Characterization of PCB Spiral Coils for Inductive Power Transfer in Medium-Voltage Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 37, no. 5, pp. 6168–6180, 2022.
- [4] C. Carretero, "Coupling Power Losses in Inductive Power Transfer Systems With Litz-Wire Coils," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 6, pp. 4474–4482, 2017.
- [5] A. Ahmad, M. S. Alam, and R. Chabaan, "A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles," *IEEE Trans. Transp. Electrif.*, vol. 4, no. 1, pp. 38–63, 2017.
- [6] W. P. Consortium, "WIRELESS POWER Qi Power Transmitter Reference Designs," no. January, pp. 1–20, 2021.
- [7] J. Acero, I. Lope, C. Carretero, and J. M. Burdío, "Analysis of Winding Loss and optimization of Inductive Power Transfer Coils," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2020-June, pp. 1435–1441, 2020.

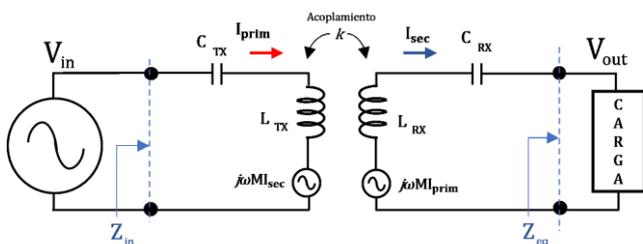


Fig. 1. Sistema IPT simplificado

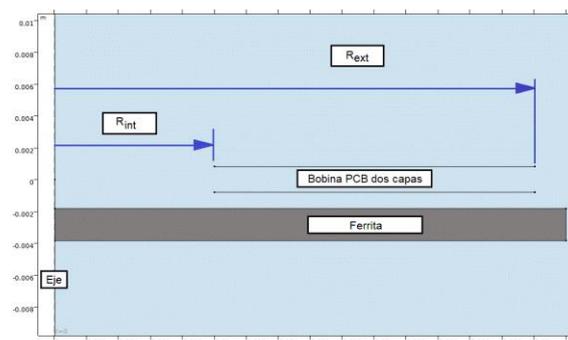


Fig. 2. Modelo de bobina con simetría de revolución y sin estructura interna

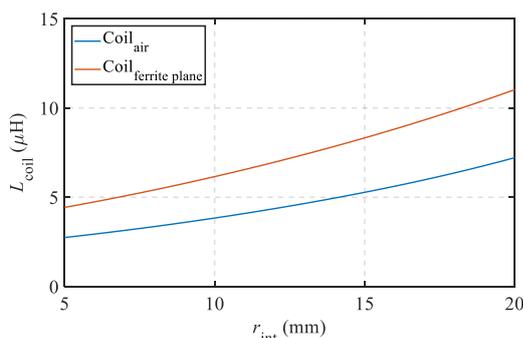


Fig. 3. Variación de la autoinductancia con respecto a  $r_{int}$

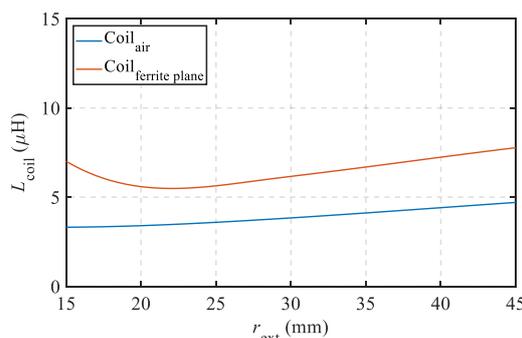


Fig. 4. Variación de la autoinductancia con respecto a  $r_{ext}$