

Estimación del factor de acoplamiento en sistemas IPT mediante las relaciones dimensionales de transmisor y receptor

Alexis Narváez, Claudio Carretero, Jesús Acero

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

Resumen

En relación con la creciente implantación de los sistemas de alimentación inductiva en dispositivos de gama alta, en este trabajo se presenta un análisis mediante modelos de elementos finitos para establecer una relación entre el coeficiente de acoplamiento, la geometría de los bobinados, y la distancia fijada entre ellos. También, se han validado los resultados de simulación con medidas experimentales de dos bobinados de pequeñas dimensiones enfrentados a varias distancias.

Introducción

En la actualidad, los sistemas de transferencia de energía inductiva, IPT, han evolucionado a pasos agigantados, principalmente por la inminente electrificación del transporte, [1]. Los dispositivos electrónicos que implementan esta tecnología brindan al usuario una mayor sensación de libertad y autonomía reduciendo el uso de cables de carga, [2].

La transmisión inalámbrica de energía a corta distancia se ha hecho muy popular entre los dispositivos portátiles de alta gama, y se realiza mediante un bobinado transmisor y otro receptor que atrapa las líneas de flujo magnético variable que crea el transmisor, [3]. Es por ello que los bobinados son el elemento clave a optimizar, pues su rendimiento se ve directamente reflejado en la eficiencia global del sistema. Entre las figuras de mérito más importantes se encuentran el factor de calidad, Q , que es la relación entre la impedancia reactiva y la resistencia del bobinado y el coeficiente de acoplamiento, k , que proporciona una referencia del grado de acoplamiento entre ambos bobinados para efectuar la transferencia de energía, además, es muy dependiente de la distancia entre los bobinados y geometría del sistema, [4].

En este documento se presenta la metodología usada para estimar la relación entre el factor de acoplamiento y la geometría del sistema de dos bobinados iguales enfrentados. También, se presenta una validación experimental aplicada a dos

bobinados de pequeñas dimensiones, y, finalmente, algunas conclusiones extraídas del análisis realizado.

Metodología

Para estimar la relación entre el coeficiente de acoplamiento y la distancia entre los bobinados y su geometría, se plantea realizar un barrido paramétrico de dichas relaciones mediante modelos de elementos finitos. Sin pérdida de aplicabilidad ni generalidad, ambos bobinados son exactamente iguales y con desalineamiento nulo. La geometría definida se presenta en la Fig. 1 y la metodología de parametrización y simulación en la Fig. 2. Para realizar un contraste experimental se usaron dos bobinados con las siguientes características: número de espiras $n = 9$, radio interno $r_{\text{int}} = 12.3$ mm y radio externo $r_{\text{ext}} = 30$ mm. El factor de acoplamiento se calcula con la bien conocida fórmula: $k = M / \sqrt{L_{\text{TX}} L_{\text{RX}}}$. En la Tabla 1 se muestran los demás parámetros de simulación en la que las que varias relaciones de radios y distancia entre bobinados se han especificado. Con respecto al concentrador de flujo, éste se ha definido de forma cuadrada y depende del radio exterior del bobinado. Los modelos son construidos sistemáticamente mediante Comsol – Matlab, y el mallado se ha definido como controlado por la física del sistema.

Resultados

La caracterización en pequeña señal de los bobinados escogidos se realiza a $f_c = 100$ kHz, que se encuentra dentro del rango de frecuencias de trabajo habituales en sistemas IPT. En la Fig. 3 se muestra la comparativa entre la caracterización experimental en pequeña señal de ambos bobinados a varias distancias y su correspondiente modelo de elementos finitos. Se observa una correcta concordancia en la comparación de resultados.

Por otro lado, la Fig. 4 muestra la gráfica de contorno adimensional del coeficiente de acoplamiento obtenida a partir de la simulación paramétrica anteriormente planteada. También, se han incluido

los resultados anteriormente mostrados. Para estimar el valor del factor de acoplamiento es necesario moverse en el eje de la relación d_{TX-RX}/r_{int} , ya que la relación de radios de los prototipos se mantienen constante, es decir, $r_{ext}/r_{int} = 2,43$.

Conclusiones

En sistemas inductivos, el valor del factor de acoplamiento, k , así como el factor de calidad, Q , constituyen las figuras de mérito clave que deben ser optimizadas para que los sistemas puedan tener un desempeño más eficaz y eficiente. En este documento se muestra una buena estimación del valor del coeficiente de acoplamiento entre dos bobinados iguales y enfrentados, tomando en cuenta la distancia entre ellos y la relación de sus radios. A la vista de los resultados, se puede señalar que los mayores y mejores valores del factor de acoplamiento se consiguen a cortas distancias y con bobinados grandes, pero en cambio estos bobinados poseen

Tabla 1. Parámetros de simulación

Numero de espiras, n	9
Radio interno, r_{int}	12,3 mm
Distancia bobinados, d_{TX-RX}	$d_{TX-RX}/r_{int} = [0,5 \dots 2]$ mm
Radio externo, r_{ext}	$r_{ext}/r_{int} = [1,5 \dots 4]$ mm
Lado ferrita, l_f	$2 r_{ext} + 1$ mm
Espesor ferrita, t_f	2,5 mm

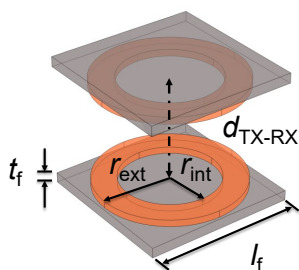


Fig. 1. Geometría de los dos bobinados iguales enfrentados.

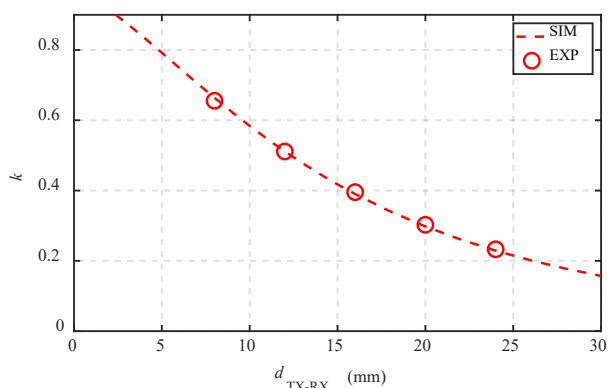


Fig. 3. Comparativa entre resultados de simulación y medidas experimentales, prototipos con $r_{ext} = 30$ mm, y $r_{int} = 12.3$ mm.

contornos con una pendiente más pronunciada, lo cual los hace más sensible al incremento de distancia. En bobinados con una relación de radios pequeña, el valor del factor de acoplamiento no decrece tan rápidamente como en el caso anterior, debido a contornos con pendientes menos pronunciadas. La gráfica adimensional puede ayudar en fases tempranas de diseño de bobinados planos, si hay requerimientos precisos de acoplamiento o geometría ya definidas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos PID2019-103939RB-I00, PDC2021-120898-I00, TED2021-129274B-I00, CPP2021-008938 y ISCIII PI21/00440, cofinanciado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la EU a través de los programas FEDER y NextGenerationEU/PRTR, por la DGA-FSE, y por BSH Home Appliances Group.

REFERENCIAS

- [1] A. Ahmad, M. S. Alam, and R. Chabaan, "A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles," *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 4, no. 1, pp. 38–63, 2017, doi: 10.1109/TTE.2017.2771619.
- [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] 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.
- [4] J. Acero, I. Lope, C. Carretero, and J. M. Burdio, "Analysis of Winding Loss and optimization of Inductive Power Transfer Coils," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2020-June, pp. 1435–1441, 2020.

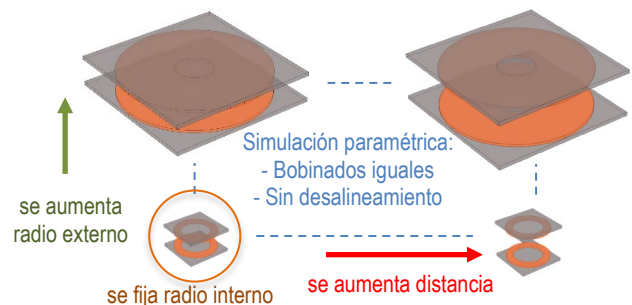


Fig. 2. Metodología de parametrización y simulación.

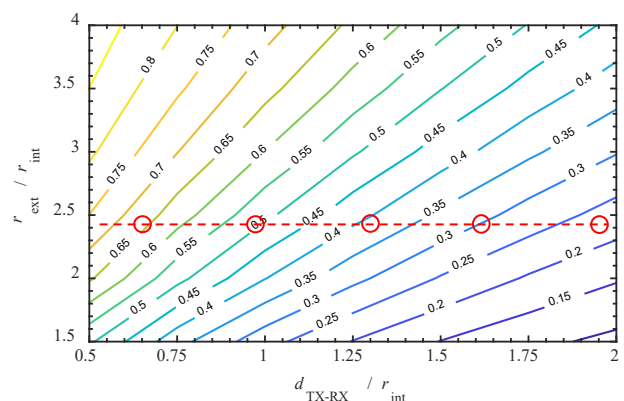


Fig. 4. Gráfica de contorno adimensional del coeficiente de acoplamiento y medidas experimentales de prototipos.