

## CURSO DE MODELADO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA CON UNA HERRAMIENTA CAD POR ELEMENTOS FINITOS

R. GARCÍA<sup>(1)</sup>, V. AUCEJO<sup>(2)</sup>, E. NAVARRO<sup>(1)</sup>, J. BTA. EJE<sup>(1)</sup>, S. CASANS<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratorio de Electrónica Industrial e Instrumentación (L.E.I.I.).  
Departamento de Ingeniería Electrónica. Universitat de València. 46100  
Burjassot - Spain

<sup>(2)</sup>INDIELEC - Ingeniería de Diseño Electrotécnico. 46116 Moncada - Valencia.  
<http://www.indielec.es>

*Los procesos electromagnéticos involucrados en dispositivos utilizados en Electrónica de Potencia tales como contactores, transformadores, motores eléctricos, dinamos, etc. tiene una fácil comprensión y visualización con FLUX2D. Se pretende familiarizar al alumno con el uso de esta potente herramienta de CAD, así como el mejor entendimiento de los procesos físicos que entran en juego en este tipo de dispositivos. Para ello se presenta un curso eminentemente práctico en el que en el que se desarrollarán problemas industriales mediante un ordenador.*

### 1. Introducción

Se pretende dar a conocer la experiencia del curso "Modelado de dispositivos electrónicos de potencia mediante una herramienta CAD de elementos finitos" impartido durante el mes de Marzo en la Universidad de Valencia dentro del marco de cursos de formación extracurricular que oferta el "Servei de Formació Permanent" de dicha universidad.

La propuesta de este curso nace con la finalidad de complementar los conocimientos que el alumno posee en el campo del magnetismo aplicado a la electrónica de potencia: diseño de transformadores e inductores y su comportamiento en frecuencia, el modelado de motores, y el cálculo térmico de radiadores para semiconductores.

Si bien estos conceptos forman parte del curriculum del alumno de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (S.E) de la Universidad de Valencia, no siempre son bien entendidos desde un punto de vista práctico por la complejidad que supondría montar un laboratorio con estas características, además de la complejidad para la realización de las medidas o la dificultad para calcular analíticamente las magnitudes físicas que describen estos fenómenos (intensidad de campo magnético, densidad de flujo magnético, energía, fuerza, etc.).

Con la finalidad de superar esta barrera y gracias a la incorporación en el mercado de programas de simulación de los procesos electromagnéticos, se pretende que el alumno asimile mejor estos procesos, además de introducirlos en una herramienta que se va a ir imponiendo en el mercado. Se utilizará FLUX2D, que es una herramienta de elementos

finitos que resuelve las ecuaciones de Maxwell para la geometría concreta a tratar; en régimen estático, dinámico y transitorio, con la posibilidad de acoplar circuitos eléctricos exteriores y considerar el movimiento lineal y rotatorio.

Como experiencia inicial, se ha resumido el curso en 20 horas convalidables por créditos de libre opción, aunque se pretende extender a un total de 40 horas. Dicho curso fue impartido conjuntamente por un profesor del Dpto. de Ingeniería Electrónica y un Ingeniero de la firma INDIELEC. El curso va dirigido a alumnos y profesionales de la ingeniería, con conocimientos en electricidad, electrónica y electromagnetismo, que necesiten para el desarrollo de su actividad, de una herramienta de diseño y simulación electromagnética. No siendo necesario ningún conocimiento específico sobre la teoría de elementos finitos.

## 2. Metodología del curso.

El curso se ha dividido en los siguientes apartados:

- 1 Breve introducción a la teoría electromagnética.
  - a Fundamentos para el uso de una herramienta de diseño por Elementos Finitos:
  - b El proceso de simulación.
  - c Construcción de la geometría.
  - d Definición del banco de materiales.
  - e Asignación de las propiedades físicas
  - f Resolución
  - g Tratamiento de los resultados
- 2 Análisis de un hilo conductor de cobre recorrido por corrientes de baja y alta frecuencia. Estudio de los efectos pelicular y proximidad.
- 3 Estudio estático y dinámico de un relé.
- 4 Imán en circuito magnético
- 5 Modelado de un transformador de potencia. Estudio en abierto y en cortocircuito: Cálculo de la inductancia magnetizante y de dispersión. Cálculo de la capacidad parásita primario – secundario.
- 6 Cálculo térmico de un radiador para semiconductores.
- 7 Modelado de un motor de corriente continua.
- 8 Modelado de una dinamo.

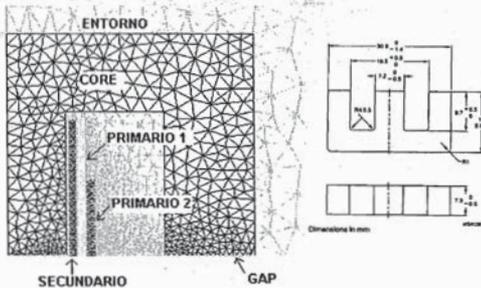


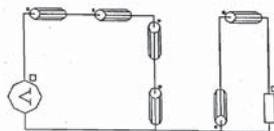
Figura 1: Bloque GEOMETRY núcleo EE30 (simetría 1/4).

El software FLUX2D que se describe en este curso es una herramienta CAD basada en el método de los elementos finitos, capaz de calcular en secciones planas (problemas con simetría de revolución o de translación) los estados magnéticos, eléctricos o térmicos de dispositivos electro-técnicos. Estos estados permiten el acceso a numerosas magnitudes físicas locales o

globales: campo, potencial, flujo, energía, fuerza, densidades de corriente, etc.

Las magnitudes físicas obtenidas de esta forma, resultarían difíciles de obtener, e incluso imposibles en algunos casos, por otros métodos tales como medidas y ensayos, prototipos o por cálculos matemáticos.

La resolución de los problemas que implican los dispositivos electromagnéticos vienen descritas por las ecuaciones de Maxwell, ecuación del calor y las leyes de comportamiento de los materiales. La resolución simultánea de estas ecuaciones es difícilmente realizable a causa de su complejidad y de la cantidad de cálculos a realizar. Por esta razón FLUX2D dispone de distintos módulos que permiten resolver, cada uno de ellos, un tipo de problema, descrito por unas ecuaciones e hipótesis determinados. Así, por ejemplo, un transformador puede ser estudiado bajo al menos dos aspectos diferentes: aspecto magnético (por ejemplo para determinar las pérdidas por efecto Joule), utilizando el módulo magnetodinámico y el aspecto eléctrico (por ejemplo para conocer el riesgo de cebado del arco eléctrico, o rigidez dieléctrica del material aislante), utilizando el módulo electrostático.

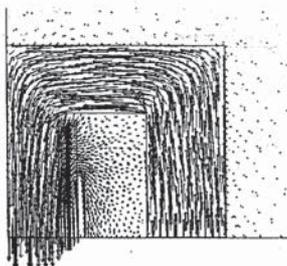


**Figura 2:** CIRFLU (Acoplo del problema magnético al circuito eléctrico).

### 3. Resultados

Durante el curso se propone la realización de los problemas indicados en los puntos del 3 al 9 del apartado anterior. Para ello, cada grupo de alumnos dispone de una licencia de FLUX2D en su puesto de laboratorio. La realización del problema será tutelada por el profesor responsable, de tal forma que el alumno pueda seguir paso a paso la resolución del problema.

El enunciado del problema lleva implícita la geometría a simular, con sus condiciones de contorno; las propiedades físicas de los materiales utilizados y que el alumno deberá introducir dentro del bloque CSLMAT y las fuentes de excitación a introducir en el módulo CIRFLU.



**Figura 3:** Vector densidad de flujo magnético (densidad de flujo máx 210 mT)

A modo de ejemplo, presentamos en este apartado el problema que hemos titulado "Modelado de un transformador de potencia". Se trata de una ferrita del tipo 3C8 y núcleo EE30, con 56 vueltas de primario y 36 vueltas de secundario y un entrehierro de 0.1 mm. La geometría a resolver es la que se especifica en la figura 1.

La geometría es de sección plana y los resultados se calculan para una determinada profundidad. Tal y como se observa en la figura 1, se ha tomado simetría  $1/4$ , que deberá ser tenido en cuenta a la hora de definir el circuito eléctrico y las condiciones de contorno del problema. El dominio se ha establecido lo suficientemente alejado, como para suponer que la

variable potencial vector es nula en el contorno de dicho dominio. En la figura 2 se especifica el circuito eléctrico a definir dentro del módulo CIRFLU y en la figura 3 se representa el vector densidad de flujo magnético para el caso de una carga resistiva pura (tensión de alimentación 50 V<sub>eff</sub>, R<sub>LOAD</sub> = 40 R)

Adicionalmente se han realizado simulaciones en circuito abierto en secundario y en cortocircuito, tanto para primario como para secundario, con la finalidad de determinar el circuito equivalente del transformador: inductancia magnetizante ( $L_m$ ) y de dispersión de primario y de secundario ( $L_{d1}$ ,  $L_{d2}$ , respectivamente). Los resultados de la simulación se comparan con los valores medidos por el método de la resonancia. En la tabla I se resumen los valores obtenidos.

**TABLA I:** Comparación resultados simulados y medidos.

	FLUX2D	MEDIDO
$L_m$	1.11	1.03
$L_{d1}$	4.48	4.19
$L_{d2}$	1.72	1.71

#### 4. Conclusiones

Se consigue, de una forma visual, que el alumno se familiarice con los conceptos más complejos del electromagnetismo que afectan a la electrónica de potencia. Además de introducirle en el manejo de una herramienta que permite la simulación de componentes magnéticos antes de su implementación, lo que permitirá una optimización simple sin coste adicional. Esto supone un ahorro importante en el prototipo final, si se tiene en cuenta que los componentes magnéticos son caros, ya que en la mayoría de aplicaciones hay que montarlos manualmente.

El curso ha tenido una gran aceptación por parte del alumnado, quien destaca la ventaja de poder observar de forma muy simple magnitudes físicas conceptualmente más complejas (por ejemplo, distribuciones de densidad de flujo magnético en los materiales ferromagnéticos, estado de saturación, distribuciones de corrientes, etc.).

#### Referencias

- [1] FLUX2D v 7.30 User's Guide (1998)
- [2] PHILIPS, "Data handbook. Soft Ferrites"
- [3] R. García, V. Aucejo. "Curso: Modelado de dispositivos electrónicos de potencia con una herramienta CAD por Elementos finitos". Dossier del curso.