

## TRANSFORMADORES DE POTENCIA MEDIANTE TÉCNICAS PLANARES

J.A. CORTAJARENA<sup>1</sup>, J.de MARCOS<sup>1</sup>, F.J. VICANDI<sup>2</sup> P.ALVAREZ<sup>2</sup> E I. OLEAGORDIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Electrónica. y Telecomunicaciones.UPV/EHU EUITI EIBAR .

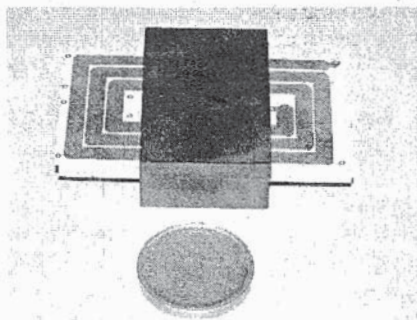
<sup>2</sup>Departamento de Ing de Sistemas y Automática.UPV/EHU EUITI EIBAR

<sup>3</sup>Departamento de Electrónica. y Telecomunicaciones.UPV/EHU EUITI BILBAO

*Los componentes magnéticos son parte integral de las fuentes de alimentación conmutadas. Aunque su potencia total está limitada por un incremento de temperatura prescrito, generalmente no se les suministran medios adicionales de refrigeración. Sus características térmicas, por lo tanto, juegan un papel importante en su comportamiento eléctrico. Así, para optimizar el funcionamiento de un transformador o bobina (especialmente si el espacio que ocupa es importante) se requiere de una buena relación entre sus características térmica y efectividad electromagnética (Volumen efectivo).*

### 1. Introducción

Los transformadores y bobinas planares ofrecen una alternativa atractiva a las formas convencionales de núcleos cuando se necesitan elementos magnéticos de perfil bajo (poca altura). Básicamente este es un método de construcción de componentes inductivos con bobinados realizados por pistas de circuito impreso o por cobre estampado separadas por el propio dieléctrico del circuito impreso y formando estructuras multicapa. Estos bobinados están situados entre núcleos de ferrita de perfil bajo como se ve en la figura 1.



**Figura 1:** Transformador planar para una fuente Flyback de 150W

Los dispositivos planares se pueden fabricar de diferentes modos.

- **Stand-alone.** Es el diseño más similar al componente convencional y se emplea para reemplazar componentes en los circuitos monocapa o cualquier otro tipo de placa (fig. 2a). La altura de un componente stand-alone puede reducirse introduciendo el núcleo en un hueco realizado en el circuito impreso hasta que sus bobinas se posan en el resto de la placa base (fig. 2b).

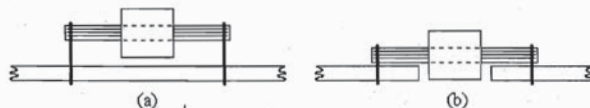


Figura 2: Diseños stand-alone (a) y stand-alone empotrado (b)

- **Híbrido.** Se da una mejor integración en el circuito que con el stand-alone, donde parte del bobinado se encuentra en la placa base y el resto en un circuito multicapa. La placa base debe tener el hueco adecuado para aceptar el núcleo de ferrita. Esta opción es interesante si no existen suficientes capas en la placa base (fig. 3a).
- **Integrado.** Todas las bobinas que forman el componente magnético se hallan en la placa de circuito impreso base, en la cual habrá que realizar cortes para introducir el núcleo magnético (fig. 3b). El hecho de integrar las bobinas imposibilita realizar pruebas con la opción integrada si esta necesita más de dos capas. No obstante es posible realizar prototipos similares antes de la fabricación del circuito y emplear el diseño stand-alone para pruebas.



Figura 3: Diseños híbrido (a) e integrado (b)

## 2. Ventajas fundamentales de los elementos planares

- Realizar los bobinados en circuito impreso supone que la repetitividad de las propiedades parásitas de los componentes magnéticos entre dos elementos es muy buena, cosa que no sucede con los componentes convencionales. Esto es importante para las topologías que usan los elementos parásitos como parte del circuito, posibilitando frecuencias de conmutación elevadas (en la región del Mhz) y topologías resonantes.
- La inductancia de dispersión es bastante baja. Si realizamos interleaving (intercalar entre secciones simétricas del primario el secundario), se consiguen obtener inductancias de dispersión menores del 1% lo cual reduce los picos de tensión y oscilaciones que podrían dañar el MOSFET e incrementar las emisiones de interferencias. Los inconvenientes por otro lado del interleaving fundamentalmente son dos: la complicación de la fabricación y el incremento de capacidades parásitas que en topologías resonantes pueden ser aprovechadas.
- Se reduce el efecto superficial (corrientes circulando sólo por la superficie del conductor) y el efecto proximidad por que el espesor del cobre es pequeño comparado con el hilo, reduciéndose por tanto las pérdidas en el cobre y mejorando así el rendimiento.
- Las geometrías planares en comparación de las normales tienen una relación área superficial-volumen mayor, lo cual favorece la situación térmica del núcleo. Esta mejor

capacidad térmica (superficie por unidad de volumen para radiar calor) de los elementos planares permite que las pérdidas de potencia puedan ser hasta dos veces las de un diseño convencional para el mismo volumen magnético, por tanto la densidad de flujo máxima a emplear será mayor que para un diseño convencional.

- Un diseño planar será económicamente rentable en volúmenes relativamente elevados de producción. La fabricación de circuitos impresos está más automatizada que la de los bobinados tradicionales y el hecho de que las bobinas estén fabricadas en el propio circuito impreso elimina el proceso de montaje y estañado. A la vez nos asegura que el número de espiras y polaridad serán siempre las mismas, evitándonos así la necesidad de testeado del transformador.

Para aprovechar todas las ventajas que ofrece la tecnología planar a la hora del diseño hay que tener en cuenta ciertos aspectos, entre los cuales habrá que destacar los siguientes:

### Elección del núcleo

- Densidad de flujo

Cualquier diseño magnético supone un compromiso entre las pérdidas en el cobre y en el núcleo. Por tanto si se emplean más espiras de cobre necesitaremos una menor densidad de flujo con lo que las pérdidas en el núcleo disminuirán. Por el contrario una disminución de espiras incrementará la densidad de flujo y por tanto las pérdidas en el núcleo. Esto se puede observar en la Ley de Faraday de la inducción:

$$V = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = N \cdot A_c \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

V = Tensión aplicada; N = Número de espiras del bobinado;  $A_c$  = Área efectiva del núcleo;  $\phi$  = Flujo magnético; B = Densidad de flujo; t = tiempo.

En los elementos planares no se tiene la flexibilidad de bobinado que se tiene en los diseños convencionales. Si en un diseño convencional observamos que la excursión de flujo es demasiado elevada, añadiendo algunas espiras lograremos reducir dicha excursión, en los diseños planares esto no es tan sencillo ya que el espacio para las espiras es bastante reducido. La solución en los planares a este problema pasa por un incremento de la frecuencia como se observa en la ecuación 2.

$$\text{Pérdidas - núcleo} = K \cdot f^X \cdot B^Y \quad (2)$$

Donde:

K = Constante para una temperatura dada; f = frecuencia; X e Y son valores constantes donde  $X < Y$ .

Para un bobinado, tensión y núcleo dados un incremento en la frecuencia de trabajo (depende del material la máxima frecuencia aceptable) redundará en una disminución de las pérdidas en el núcleo ya que:

$f \cdot B$  es constante en un rango de frecuencias grande (rango que depende del material).

- Entrehierro

Los entrehierros grandes no son aconsejables en diseños planares debido al flujo de dispersión. El factor de flujo periférico depende de la relación entre la altura de la ventana a

bobinar y la longitud del entrehierro, dicha relación es menor para un núcleo planar. Si la altura de la ventana es sólo unas veces mayor que la longitud del entrehierro y el ancho de la ventana es varias veces el ancho del poste central, una cantidad considerable de flujo de dispersión pasará entre el núcleo superior e inferior. Cuando el flujo atraviesa las bobinas de cobre se generan corrientes parásitas o de Eddy (disminuyendo la sección efectiva del conductor), que incrementan las pérdidas en el cobre. Si el bobinado en lugar de ser el clásico (hilo alrededor del componente magnético), está formado por finas pistas de cobre perpendiculares a la dirección del flujo, el efecto de las corrientes parásitas es aún mayor. La solución a este problema pasa por emplear pequeños entrehierros, mantener los conductores fuera del área cercana al entrehierro y emplear núcleos E/I (medio núcleo en forma de E y el otro medio una plancha), con lo que se consigue que el entrehierro no esté centrado con los bobinados. Todas estas soluciones tienen inconvenientes (incremento de tamaño, incremento de la inductancia de dispersión) que deben ser sopesadas a la hora del diseño.

### Diseño de las bobinas

- Resistencia en continua. Los espesores más comunes de las pistas empleadas son de 35 y 70  $\mu\text{m}$ . Si la sección del cobre no es suficiente para una resistencia aceptable en continua, se pueden conectar pistas en paralelo para todas las espiras.
- Resistencia en alterna. Las pérdidas en el cobre debido al efecto proximidad y al efecto superficial incrementan con la frecuencia. Las corrientes parásitas inducidas en la proximidad del entrehierro se pueden reducir si quitamos algunas espiras allí donde la densidad de flujo es máxima y perpendicular al plano de las bobinas. La combinación de núcleos E/I tiene menos flujo de dispersión que la combinación de núcleos E/E debido a la posición del entrehierro.
- Inductancia de dispersión. Si las bobinas están apiladas verticalmente, el acoplamiento magnético será muy fuerte lográndose factores de acoplamiento próximos al 100% (figura 4 a).
- Capacidades parásitas. Las capacidades parásitas entre bobinados se podrán reducir si se diseñan las pistas de una bobina entre las pistas de la otra como se observa en la figura 4 b. Si lo que se desea es obtener una mayor capacidad porque se va a emplear en una topología resonante podemos colocar las pistas de las bobinas adyacentes cara a cara como se observa en la figura 4 c.

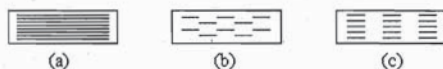


Figura 4: Diferentes diseños de bobinados

### Referencias

- Stef A. Mulder. Notas de aplicación de Philips Magnetic Products. Diseño de transformadores de alta frecuencia de bajo perfil.
- Notas de aplicación de Philips Magnetic Products. Diseño de transformadores planares de potencia.
- Notas de aplicación de Philips Magnetic Products. Núcleos planares E.
- Mark A. Swihart, "Ferritas planares" PCIM, Julio 1999, pag 12-30.