ANEXO A

Como ya se ha indicado a lo largo de este trabajo, la presente Tesis Doctoral se completa con el desarrollo de ficheros Mathcad *(versión 6.0) con los que se pretende suministrar un posible proceso de diseño de componentes magnéticos integrados mediante tecnología de capa gruesa. Es necesario hacer notar, no obstante, que los criterios que se siguen en dichos ficheros para conseguir cumplir las especificaciones indicadas no tienen porqué resultar siempre adecuados: será misión del diseñador determinar qué estrategia debe seguir para resolver las ecuaciones implicadas en el diseño del componente en cuestión de modo que el resultado obtenido se acerque lo más posible al deseado.*

En cualquier caso, y con la intención de ilustrar el manejo de las citadas ecuaciones, sirvan como ejemplo los siguientes ficheros en los que se aborda el diseño de bobinas y transformadores integrados mediante tecnología de capa gruesa.

El primero de estos ficheros se recoge en el Anexo A y corresponde al diseño de bobinas integradas, tal y como se anticipaba en el Capítulo 4.

DISEÑO DE BOBINAS INTEGRADAS

Especificaciones

Se trata de conseguir una bobina con la inductancia indicada a continuación, presentando una resistencia serie (a baja frecuencia) R_{obj}, y siendo capaz de manejar corrientes iguales a I_{max} sin entrar en saturación.

--- (introducir) ---> $L_{obj} := 2.5 \cdot 10^{-6}$ H

--- (introducir) ---> $I_{max} := 2$ A

--- (introducir) ---> $R_{obj} := 60 \cdot 10^{-3}$ Ω

Parámetros del proceso

--- (dato) ---> $t_{cond} := 15 \cdot 10^{-6}$ Espesor de las capas (m)

--- (dato) ---> $t_{fer} := 50 \cdot 10^{-6}$ Espesor de la ferrita entre conductores (m)

--- (dato) ---> $R_{sq} := 1200 \cdot 10^{-6}$ Resistencia por cuadro (Ω/cuadro)

--- (dato) ---> $\mu := 150 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Permeabilidad (H/m)

--- (dato) ---> $B_{max} := 0.3$ Densidad de flujo máxima (T)

--- (dato) ---> $cond_{max} := 25$ Máximo número permitido de capas conductoras

--- (dato) ---> $capas := 100$ Máximo número aceptable de capas depositadas

$grosor_{max} := capas \cdot t_{cond}$

$grosor_{max} \cdot 1000 = 1.5$ Máximo grosor del componente final (mm)

Ecuaciones de diseño

Para llevar a cabo el cálculo del componente especificado, se hará uso de tres ecuaciones, a saber, las que determinan el valor de la inductancia, la resistencia serie y la corriente máxima en estructuras integradas mediante tecnología de capa gruesa como las consideradas en este trabajo.

$$L(w,n,g,N,long) := \int_0^g \frac{\mu \cdot N^2 \cdot long}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{w}{2}+x\right)^2 + \left[\frac{\left[N \cdot n \cdot t_{cond} + (N \cdot n - 1) \cdot t_{fer}\right]}{2} + x\right]^2}{2}}} \, dx$$

$$R_{dc}(w,n,N,long) := R_{sq} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-6}}{t_{cond}} \cdot \frac{N \cdot long}{n \cdot w}$$

$$I_M(g,N,long) := \frac{N \cdot B_{max} \cdot g \cdot long}{L_{obj}}$$

Por otra parte, durante el cálculo de dicho componente, se hará uso de la subrutina que se define a continuación, y que devuelve el número entero para el que la función *f* (que tiene cinco parámetros, de los cuales es necesario conocer los tres primeros) toma un valor mayor o igual que *result*.

Esta subrutina se ha definido considerando que la función *f* que se va a utilizar es la ecuación que determina la inductancia de la estructura.

```
RaizEnt(f1, par1, par2, par3, f2, res) := | for N ∈ 1..26
                                          |   break if f1(par1, par2, par3, N, f2(par1, par2, N)) ≥ res
                                          | N
```

Cálculos

Se calculará una tabla en la que se recojan, para cada valor de w indicado y para el barrido de *n* especificado, los valores del resto de las incógnitas (*N*, *g* y *long*), así como información del volumen total de la estructura y de la máxima corriente que puede manejar la misma.

$$par5(w,n,N) := \frac{R_{obj} \cdot t_{cond} \cdot w \cdot n}{R_{sq} \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot N}$$

$$
\begin{aligned}
Tabla(w,no,nf) := \;& i \leftarrow 0 \\
& \text{for } n \in no..nf \\
& \quad Matriz_{i,0} \leftarrow 1000 \cdot w \\
& \quad Matriz_{i,3} \leftarrow n \\
& \quad N \leftarrow RaizEnt\left(L, w, n, \frac{I_{max} \cdot L_{obj} \cdot R_{sq} \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{B_{max} \cdot R_{obj} \cdot t_{cond} \cdot w \cdot n}, par5, L_{obj}\right) \\
& \quad Matriz_{i,1} \leftarrow N \\
& \quad K \leftarrow \frac{I_{max} \cdot L_{obj}}{N \cdot B_{max}} \\
& \quad lg \leftarrow \frac{R_{obj} \cdot t_{cond} \cdot w \cdot n}{R_{sq} \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot N \cdot 10} \\
& \quad long \leftarrow root\left[\left(L_{obj} - L\left(w, n, \frac{K}{lg}, N, lg\right)\right) \cdot 10^{6}, lg\right] \\
& \quad Matriz_{i,5} \leftarrow 1000 \cdot long \\
& \quad g \leftarrow \frac{K}{long} \\
& \quad Matriz_{i,4} \leftarrow 1000 \cdot g \\
& \quad esp \leftarrow N \cdot n \cdot t_{cond} + (N \cdot n - 1) \cdot t_{fer} \\
& \quad Vol \leftarrow (2 \cdot g + esp) \cdot (w + 2 \cdot g) \cdot long \\
& \quad Matriz_{i,2} \leftarrow 10^{9} \cdot Vol \\
& \quad Matriz_{i,6} \leftarrow 10^{6} \cdot L(w, n, g, N, long) \\
& \quad Matriz_{i,7} \leftarrow 1000 \cdot R_{dc}(w, n, N, long) \\
& \quad Matriz_{i,8} \leftarrow I_{M}(g, N, long) \\
& \quad i \leftarrow i + 1 \\
& Matriz
\end{aligned}
$$

La estructura de la tabla obtenida será tal que se dispondrá de 9 columnas, en cada una de las cuales se recogerá la siguiente información:

0	1	2	3	4	5	6	7	8
w	*N*	*Vol*	*n*	*g*	*long*	*L*	R_{dc}	$I_{máx}$

Ahora sólo resta elegir unos valores de w , seleccionar un rango de posibles valores para *n* y representar el contenido de las tablas que se obtengan a partir de esta información. De este modo, se dispondrá de suficiente información para elegir la estructura más adecuada.

El rango de valores de n debe elegirse de modo tal que siempre se obtenga convergencia a la hora de calcular la tabla.

$n1 := 1 \quad n2 := 8 \quad W_1 := \mathrm{Tabla}(0.2\cdot 10^{-3}, n1, n2) \quad i1 := 0..n2 - n1$

$n1 := 1 \quad n2 := 8 \quad W_2 := \mathrm{Tabla}(0.6\cdot 10^{-3}, n1, n2) \quad i2 := 0..n2 - n1$

$n1 := 1 \quad n2 := 8 \quad W_3 := \mathrm{Tabla}(1.0\cdot 10^{-3}, n1, n2) \quad i3 := 0..n2 - n1$

$n1 := 1 \quad n2 := 8 \quad W_4 := \mathrm{Tabla}(1.4\cdot 10^{-3}, n1, n2) \quad i4 := 0..n2 - n1$

$n1 := 1 \quad n2 := 8 \quad W_5 := \mathrm{Tabla}(1.8\cdot 10^{-3}, n1, n2) \quad i5 := 0..n2 - n1$

Eliminación de estructuras no válidas

A continuación se detecta si alguna de las estructuras obtenidas supera alguna de las limitaciones impuestas por el proceso tecnológico. Si es así, dicha estructura se rechazará.

En concreto, se determinarár si el número de capas conductoras ($N \cdot n$) supera el límite impuesto y si la estructura necesitaría un número total de capas mayor que el permitido por la tecnología.

```
Mover(Q, filas, columnas) := | k ← 0
                             | while k<filas
                             |   | grosor ← 2·Q[k,4] + [Q[k,1]·Q[k,3]·t_cond + (Q[k,1]·Q[k,3] − 1)·t_fer]·1000
                             |   | if [(grosor > grosor_max·1000) + (Q[k,1]·Q[k,3] > 25)]
                             |   |   | for c ∈ 0.. columnas − 1  if k = filas − 1
                             |   |   |   Q[k,c] ← 0
                             |   |   | for c ∈ 0.. columnas − 1  otherwise
                             |   |   |   | for f ∈ k.. filas − 2
                             |   |   |   |   Q[f,c] ← Q[f+1,c]
                             |   |   |   | Q[filas−1,c] ← 0
                             |   |   | k ← k − 1
                             |   | k ← k + 1
                             | Q
```

Una vez que en la matriz ya sólo quedan filas correspondientes a estructuras válidas, se determina cuántas son las estructuras válidas que compone cada matriz. La siguiente rutina cuenta este número.

```
numf(Q, tot) := | filas ← 0
                | for j ∈ 0.. tot − 1
                |   filas ← filas + 1  if Q[j,0] ≠ 0
                | filas
```

A continuación se hace uso de las rutinas anteriores para

a) Eliminar las estructuras no válidas (rutina *Mover*)

b) Determinar el número de filas con información de estructuras válidas (rutina *numf*).

$v1_{i1} := i1$ $\quad$ $filas_{tot} := max(v1) + 1$

$wm_1 := Mover(W_1, filas_{tot}, 9)$ $\quad$ $j1 := 0 .. if(numf(wm_1, filas_{tot}) > 0, numf(wm_1, filas_{tot}) - 1, 0)$

$v2_{i2} := i2$ $\quad$ $filas_{tot} := max(v2) + 1$

$wm_2 := Mover(W_2, filas_{tot}, 9)$ $\quad$ $j2 := 0 .. if(numf(wm_2, filas_{tot}) > 0, numf(wm_2, filas_{tot}) - 1, 0)$

$v3_{i3} := i3$ $\quad$ $filas_{tot} := max(v3) + 1$

$wm_3 := Mover(W_3, filas_{tot}, 9)$ $\quad$ $j3 := 0 .. if(numf(wm_3, filas_{tot}) > 0, numf(wm_3, filas_{tot}) - 1, 0)$

$v4_{i4} := i4$ $\quad$ $filas_{tot} := max(v4) + 1$

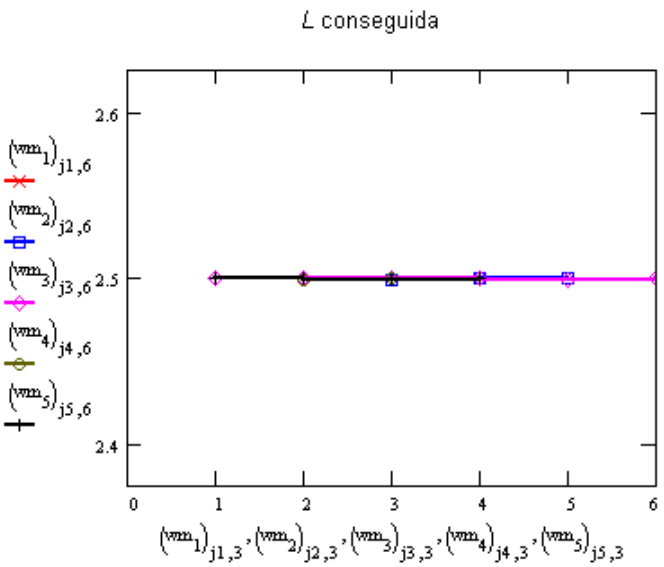
$wm_4 := Mover(W_4, filas_{tot}, 9)$ $\quad$ $j4 := 0 .. if(numf(wm_4, filas_{tot}) > 0, numf(wm_4, filas_{tot}) - 1, 0)$

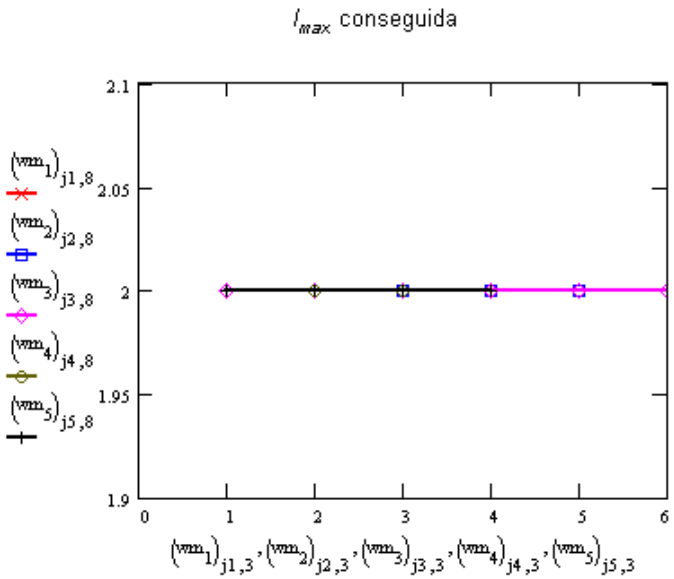
$v5_{i5} := i5$ $\quad$ $filas_{tot} := max(v5) + 1$

$wm_5 := Mover(W_5, filas_{tot}, 9)$ $\quad$ $j5 := 0 .. if(numf(wm_5, filas_{tot}) > 0, numf(wm_5, filas_{tot}) - 1, 0)$

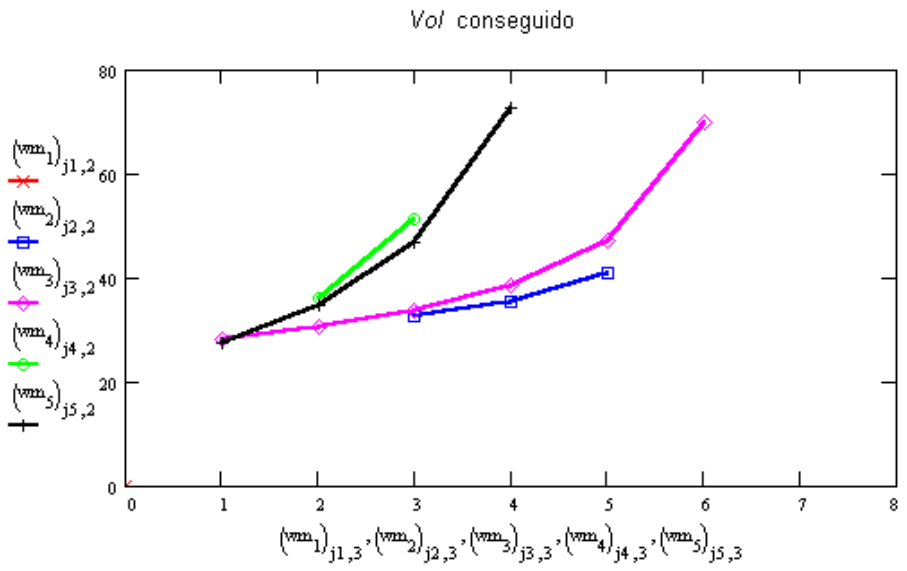
Representación de los resultados

En las matrices obtenidas para los distintos valores de w se recoge la información necesaria para elegir la estructura más adecuada. En primer lugar se representan los valores de inductancia y corriente máxima admisible para comprobar que se han alcanzado los valores especificados.



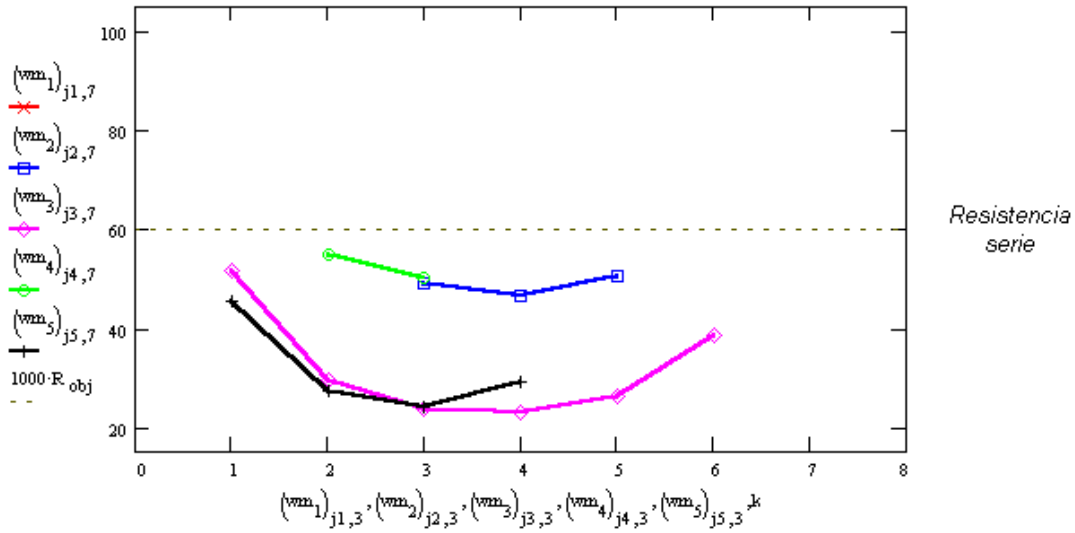


A continuación se representa el volumen de las distintas estructuras, con el objetivo de poder elegir aquélla que defina el mínimo volumen.



Por último, como elemento adicional de decisión, se representa la resistencia serie de todas las posibles estructuras. Debido a la necesidad de que el número de capas conductoras presentase fuese finito, este valor no ha podido hacerse coincidir con el valor especificado, por ello debe tomarse como un elemento adicional a la hora de elegir una de las estructuras.

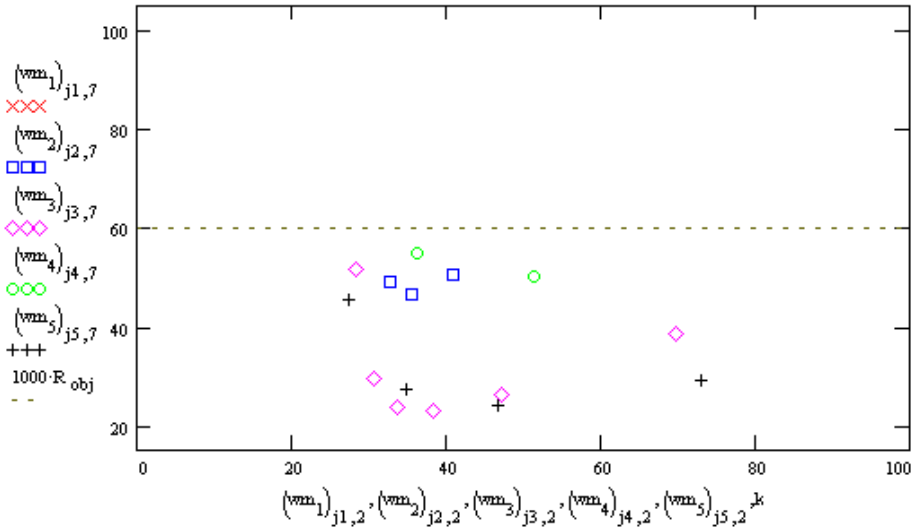
$k := 0..8$



La siguiente figura representa en forma de pares (volumen, resistencia serie) las posibles estructuras que dan lugar a una bobina con las especificaciones señaladas.

Este gráfico da una idea más clara de las distintas posibilidades de que se dispone a la hora de construir la bobina, dejando ver cómo se penaliza una de las variables de elección al fijar la otra.

$k := 0..100$



Elección de la estructura

A la vista de las figuras anteriores, se elegirá de entre las que permitan manejar una corriente igual o superior a la especificada, la que menos volumen presente. En las ecuaciones que siguen, *eleg* representa el subíndice de la familia de curvas elegida (W_{eleg}), mientras que *num* indica el número de capas conductoras por vuelta en la estructura elegida.

$eleg := 5$

$num := 1$ --> Volumen: $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,2} = 27.415$ mm³

--------> Ancho de pista, *w* : $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,0} = 1.8$ mm

Nº de vueltas, *N* : $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,1} = 4$

Nº capas por vuelta, *n* : $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,3} = 1$

Espesor de ferrita, *g* : $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,4} = 0.409$ mm

Longitud de conductor, *long* : $\left(W_{eleg}\right)_{num-1,5} = 10.197$ mm

$$I_M\left[\left(W_{eleg}\right)_{num-1,4}\cdot 10^{-3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,1}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,5}\cdot 10^{-3}\right] = 2$$

$$L\left[\left(W_{eleg}\right)_{num-1,0}\cdot 10^{-3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,4}\cdot 10^{-3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,1}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,5}\cdot 10^{-3}\right] = 2.5\cdot 10^{-6}$$

$$R_{dc}\left[\left(W_{eleg}\right)_{num-1,0}\cdot 10^{-3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,3}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,1}, \left(W_{eleg}\right)_{num-1,5}\cdot 10^{-3}\right] = 0.045$$

Representación gráfica de la estructura

Con la intención de dar una idea del aspecto final del componente elegido, se representa a continuación el aspecto exterior del mismo.

$$w := \left(W_{eleg}\right)_{num-1,0} \qquad g := \left(W_{eleg}\right)_{num-1,4} \qquad long := \left(W_{eleg}\right)_{num-1,5}$$

$$N := \left(W_{eleg}\right)_{num-1,1} \qquad n := \left(W_{eleg}\right)_{num-1,3}$$

$$esp := N \cdot n \cdot t_{cond} \cdot 1000 + (N \cdot n - 1) \cdot t_{fer} \cdot 1000$$

$$Cont_S := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad Cond_S := \begin{bmatrix} g & g \\ g & g + esp \\ g + w & g + esp \\ g + w & g \\ g & g \end{bmatrix}$$

$$Borde_S := \begin{bmatrix} 0 & 2 \cdot g + esp \\ \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w & 0 \\ 2 \cdot g + w & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

En algunos casos puede ser conveniente "*doblar*" la estructura para hacerla más consistente y manejable. Si se considera oportuno emplear esta estrategia, el aspecto final de la bobina sería el indicado a continuación.

Se va a considerar que la estructura debe reducirse hasta que su longitud sea menor que su anchura. Para ello se le deberá dar un número de dobleces *dob* que verifique

$$dob \cdot w + (dob+1) \cdot g = long \,/\, dob$$

Como el valor de *dob* que verifique esta ecuación será presumiblemente no entero, se tomará el valor entero más próximo por encima.

$$dob := \mathrm{ceil}\left[\frac{-g+\sqrt{g^2+4\cdot long\cdot(w+g)}}{2\cdot(w+g)}\right] \qquad dob = 3 \qquad desp := \frac{long}{\sqrt{2}}$$

Desplazamiento en la representación gráfica

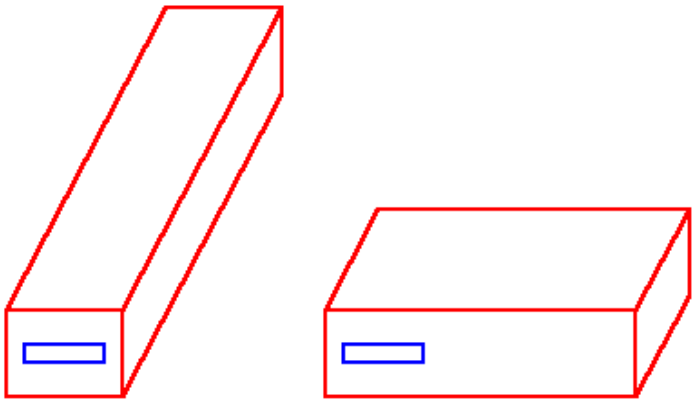
$$Cont_C := \begin{bmatrix} desp & 0 \\ desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 0 \\ desp & 0 \end{bmatrix}$$

$$Cond1_C := \begin{bmatrix} g+desp & g \\ g+desp & g+esp \\ g+w+desp & g+esp \\ g+w+desp & g \\ g+desp & g \end{bmatrix} \qquad Cond2_C := \begin{bmatrix} desp+\mathrm{if}(\mathrm{mod}(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g \\ desp+\mathrm{if}(\mathrm{mod}(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g+esp \\ desp+\mathrm{if}(\mathrm{mod}(dob,2)=1,g+w,dob\cdot(g+w)) & g+esp \\ desp+\mathrm{if}(\mathrm{mod}(dob,2)=1,g+w,dob\cdot(g+w)) & g \\ desp+\mathrm{if}(\mathrm{mod}(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g \end{bmatrix}$$

$$Borde_C := \begin{bmatrix} desp & 2\cdot g+esp \\ \frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & \frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 0 \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \end{bmatrix}$$

$i := 0..4 \qquad j := 0..6$

ESTRUCTURA ELEGIDA (sin y con dobleces)



La obtención de tablas donde se recoge toda la información de las estructuras obtenidas se consigue volcando a fichero las matrices wm_i. Se generan así los documentos *ficheroX.prn* en el directorio de trabajo, donde *X* coincide con el subíndice de la matriz wm_x considerada.

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero1}) := wm_1 \qquad \text{WRITEPRN}(\text{fichero2}) := wm_2$

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero3}) := wm_3 \qquad \text{WRITEPRN}(\text{fichero4}) := wm_4$

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero5}) := wm_5$

ANEXO B

Utilizando criterios similares a los empleados para resolver las ecuaciones de diseño de las bobinas integradas, se procede a resolver las correspondientes a transformadores integrados. De nuevo se establecen unos criterios más o menos generales para resolver dichas ecuaciones, pero se deja libertad al diseñador para elegir otros criterios que pudieran resultarle más convenientes.

El presente Anexo B recoge un fichero de Mathcad *(versión 6.0) en el que se lleva a cabo el diseño de transformadores integrados mediante tecnología de capa gruesa, tal y como se había anunciado al final del Capítulo 5 de este trabajo.*

DISEÑO DE TRANSFORMADORES INTEGRADOS

Especificaciones

Se trata de conseguir un transformador del que se conoce la relación de transformación, r_t (expresada como n:1), el valor mínimo de su inductancia magnetizante, L_{M_min}, la relación deseada entre la inductancia de dispersión y la magnetizante, k, y la resistencia serie que se estima adecuada para el devanado primario, R_{obj1}. A esto hay que añadirle, además, el conocimiento de la tensión que se le va a aplicar en primario, V_1, para asegurar que el transformador no se satura.

--- (introducir) ---> $r_t := 2$

--- (introducir) ---> $L_{M_min} := 7 \cdot 10^{-6}$ H

--- (introducir) ---> $k := 0.1$ (L_{disp}/L_M)

--- (introducir) ---> $R_{obj1} := 100 \cdot 10^{-3}$ Ω

--- (introducir) ---> $T := 2 \cdot 10^{-6}$ s

$d := 0.5$

$V_1(t) := \text{if}\left(t < d \cdot T, 5, -5 \cdot \frac{d}{1-d}\right)$ V

Parámetros del proceso

--- (dato) ---> $t_{cond} := 15 \cdot 10^{-6}$ Espesor de las capas (m)

--- (dato) ---> $t_{fer} := 50 \cdot 10^{-6}$ Espesor de la ferrita entre conductores (m)

--- (dato) ---> $R_{sq} := 1200 \cdot 10^{-6}$ Resistencia por cuadro (Ω/cuadro)

--- (dato) ---> $\mu := 150 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Permeabilidad (H/m)

--- (dato) ---> $B_{max} := 0.3$ Densidad de flujo máxima (T)

--- (dato) ---> $cond_{max} := 25$ Máximo número permitido de capas conductoras

--- (dato) ---> $capas := 100$ Máximo número aceptable de capas depositadas

$grosor_{max} := capas \cdot t_{cond}$

$grosor_{max} \cdot 1000 =$ Máximo grosor del componente final (mm)

Ecuaciones de diseño

Para llevar a cabo el cálculo del componente especificado, se hará uso de cuatro ecuaciones, a saber, las que determinan el valor de las inductancias magnetizante y de dispersión, la resistencia serie y el máximo valor de densidad de flujo en estructuras integradas mediante tecnología de capa gruesa como las consideradas en este trabajo.

* Inductancia magnetizante

$$L_M(w, n1, g, N1, long, n2, N2) := \int_0^g \frac{\frac{\mu \cdot N1^2 \cdot long}{2 \cdot \pi}}{\sqrt{\frac{\left(\frac{w}{2} + x\right)^2 + \left[\frac{\left[(N1 \cdot n1 + N2 \cdot n2) \cdot t_{cond} + (N1 \cdot n1 + N2 \cdot n2 - 1) \cdot t_{fer}\right]}{2} + x\right]^2}{2}}} dx$$

* Resistencia serie (devanado primario)

$$R_{dc1}(w, n1, N1, long) := R_{sq} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-6}}{t_{cond}} \cdot \frac{N1 \cdot long}{n1 \cdot w}$$

* Inductancia de dispersión

$$L_{int}(w) := 2 \cdot \int_0^{t_{fer}} \frac{\mu}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{w}{2} + x\right)^2 + \left(\frac{t_{cond}}{2} + x\right)^2}{2}}} dx \qquad L_{ext}(w, g) := 2 \cdot \int_0^g \frac{\mu}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{w}{2} + x\right)^2 + \left(\frac{t_{cond}}{2} + x\right)^2}{2}}} dx$$

$$I(w, n1, g, N1) := -\frac{N1 \cdot n1 \cdot L_{int}(w)}{2 \cdot L_{ext}(w, g) + (2 \cdot N1 \cdot n1 - 1) \cdot L_{int}(w)}$$

$$W_{disp}(w, n1, g, N1) := \left(L_{ext}(w, g) + \frac{N1 \cdot n1 - 1}{2} \cdot L_{int}(w)\right) \cdot I(w, n1, g, N1)^2 + \frac{N1 \cdot n1}{2} \cdot L_{int}(w) \cdot (I(w, n1, g, N1) + 1)^2$$

$$L_{disp}(w, n1, g, N1, long) := \frac{2 \cdot W_{disp}(w, n1, g, N1)}{n1^2} \cdot long$$

* Saturación del núcleo

$ptos := 10$

$i := 0 .. ptos \qquad time_i := \frac{T}{ptos} \cdot i \qquad V1_i := \int_0^{time_i} V_1(t)\, dt \qquad B_M(g, N1, long) := \frac{\max(V1)}{N1 \cdot g \cdot long}$

Cálculos

Se calculará una tabla en la que se recojan, para cada valor de *w* indicado, los valores del resto de las incógnitas (*n1*, *g*, *N1*, *long*, *n2* y *N2*), así como información de las características de la estructura.

$$
\begin{aligned}
\mathrm{Tabla}(w) := \;& i \leftarrow 0 \\
& \text{for } N1 \in 1..\mathrm{floor}\left(0.5\cdot \mathrm{cond}_{max}\right) \\
& \quad \text{for } n1 \in 1..\mathrm{floor}\left(\frac{\mathrm{floor}\left(0.5\cdot \mathrm{cond}_{max}\right)}{N1}\right) \\
& \quad\quad N2 \leftarrow \mathrm{ceil}\left(\frac{N1}{r_t}\right) \\
& \quad\quad n2 \leftarrow \mathrm{ceil}\left(\frac{N1\cdot n1}{N2}\right) \\
& \quad\quad esp \leftarrow (N1\cdot n1 + N2\cdot n2)\cdot t_{cond} + (N1\cdot n1 + N2\cdot n2 - 1)\cdot t_{fer} \\
& \quad\quad \text{if } \left[\left(esp < grosor_{max}\right)\cdot\left[\left(grosor_{max} - esp\right)\cdot 0.5 \ge t_{cond}\right]\cdot\left(N1 = r_t\cdot N2\right)\right] \\
& \quad\quad\quad g_{max} \leftarrow \left(grosor_{max} - esp\right)\cdot 0.5 \\
& \quad\quad\quad \text{for } g \in t_{cond}, t_{cond} + \frac{g_{max} - t_{cond}}{4} .. g_{max} \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,0} \leftarrow w\cdot 1000 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,1} \leftarrow N1 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,2} \leftarrow n1 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,3} \leftarrow g\cdot 1000 \\
& \quad\quad\quad\quad long \leftarrow \frac{\max(V1)}{N1\cdot g\cdot B_{max}} \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,4} \leftarrow long\cdot 1000 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,5} \leftarrow N2 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,6} \leftarrow n2 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,7} \leftarrow R_{dc1}(w, n1, N1, long)\cdot 1000 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,8} \leftarrow L_M(w, n1, g, N1, long, n2, N2)\cdot 10^6 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,9} \leftarrow L_{disp}(w, n1, g, N1, long)\cdot 10^6 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,10} \leftarrow \frac{Matriz_{i,9}}{Matriz_{i,8}} \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,11} \leftarrow (2\cdot g + esp)\cdot(2\cdot g + w)\cdot long\cdot 10^9 \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,12} \leftarrow \frac{N1}{N2} \\
& \quad\quad\quad\quad Matriz_{i,13} \leftarrow B_M(g, N1, long) \\
& \quad\quad\quad\quad i \leftarrow i + 1 \\
& Matriz
\end{aligned}
$$

La estructura de la tabla obtenida será tal que se dispondrá de 14 columnas, en cada una de las cuales se recogerá la siguiente información:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
w	$N1$	$n1$	g	$long$	$N2$	$n2$	R_{dc}	L_M	L_{disp}	L_{disp}/L_M	Vol	r_t	$B_{máx}$

Ahora sólo resta elegir unos valores de w y representar el contenido de las tablas que se obtengan a partir de esta información. De este modo, se dispondrá de suficiente información para elegir la estructura más adecuada.

$W_1 := \mathrm{Tabla}(0.2\cdot 10^{-3})$ $\quad W_2 := \mathrm{Tabla}(0.8\cdot 10^{-3})$ $\quad W_3 := \mathrm{Tabla}(1.4\cdot 10^{-3})$

$W_4 := \mathrm{Tabla}(2.0\cdot 10^{-3})$ $\quad W_5 := \mathrm{Tabla}(2.6\cdot 10^{-3})$ $\quad W_6 := \mathrm{Tabla}(3.2\cdot 10^{-3})$

$W_6 =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	3.2	1	1	0.015	$1.333\cdot 10^{3}$	1	1	833.333	0.528	1.314	2.491	473.733	1	0.3
1	3.2	1	1	0.189	105.96	1	1	66.225	0.5	0.243	0.486	173.426	1	0.3
2	3.2	1	1	0.362	55.172	1	1	34.483	0.474	0.134	0.282	174.324	1	0.3
3	3.2	1	1	0.536	37.296	1	1	23.31	0.451	0.092	0.205	183.648	1	0.3
4	3.2	1	1	0.71	28.169	1	1	17.606	0.43	0.071	0.164	195.211	1	0.3
5	3.2	1	2	0.015	$1.333\cdot 10^{3}$	1	2	416.667	0.527	0.775	1.472	$1.034\cdot 10^{3}$	1	0.3
6	3.2	1	2	0.172	115.942	1	2	36.232	0.5	0.12	0.24	228.113	1	0.3
7	3.2	1	2	0.33	60.606	1	2	18.939	0.477	0.069	0.144	203.527	1	0.3
8	3.2	1	2	0.487	41.026	1	2	12.821	0.455	0.048	0.106	202.969	1	0.3
9	3.2	1	2	0.645	31.008	1	2	9.69	0.435	0.037	0.085	208.837	1	0.3
10	3.2	1	3	0.015	$1.333\cdot 10^{3}$	1	3	277.778	0.525	0.539	1.028	$1.593\cdot 10^{3}$	1	0.3
11	3.2	1	3	0.156	128	1	3	26.667	0.501	0.081	0.162	293.364	1	0.3
12	3.2	1	3	0.297	67.227	1	3	14.006	0.478	0.048	0.099	238.543	1	0.3

Se puede comprobar que, el proceso seguido hasta aquí, ha generado distintas estructuras cuya obtención es físicamente factible (teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas señaladas más arriba), que presentan exactamente la relación de transformación especificada y que no se saturan al aplicarles la tensión de primario indicada. De entre estas estructuras habrá que seleccionar las que, además, cumplan las especificaciones.

Eliminación de estructuras no válidas

El siguiente paso consiste en detectar si alguna de las estructuras obtenidas supera alguna de las limitaciones impuestas por el proceso tecnológico o por las especificaciones. Si es así, dicha estructura se rechazará.

En primer lugar, se define la función *Mover*, cuyo objetivo es eliminar la fila indicada en una matriz. Para conseguir esto, se necesita pasar como parámetros la matriz en cuestión, su número total de filas y columnas y la posición que ocupa la fila a eliminar.

```
Mover(Q, filas, columnas, fila_a_eliminar) := | k ← fila_a_eliminar
                                              | for c ∈ 0.. columnas − 1  if k = filas − 1
                                              |   Q_{k,c} ← 0
                                              | for c ∈ 0.. columnas − 1  otherwise
                                              |   | for f ∈ k.. filas − 2
                                              |   |   Q_{f,c} ← Q_{f+1,c}
                                              |   | Q_{filas−1,c} ← 0
                                              | Q
```

Esta función se utilizará para eliminar las filas que contengan la descripción de estructuras que no cumplan alguna de las exigencias impuestas. Los elementos de decisión, que hacen de *filtro* entre todas las posibles estructuras y las que pueden resultar elegidas son los siguientes:

Resistencia serie (de primario) menor o igual que la especificada.
Inductancia magnetizante mayor que el valor especificado.
Relación L_{disp} / L_M menor o igual que la especificada.

La inclusión de otros *filtros* que pudieran resultar de especial interés al diseñador también sería posible.

A continuación se incluye la función *Filtros*, que se encarga de eliminar todas las estructuras que no se ajusten a lo especificado.

```
Filtros(M, fil, col) := | Q ← M
                        | f ← 0
                        | while f ≤ fil − 1
                        |   | if Q_{f,0} ≠ 0
                        |   |   | flt1 ← Q_{f,7}/Q_{f,8} > R_obj1·1000 / (L_M_min·10^6)
                        |   |   | flt2 ← (Q_{f,10} > k)
                        |   |   | if (flt1 + flt2)
                        |   |   |   | Q ← Mover(Q, fil, col, f)
                        |   |   |   | f ← f − 1
                        |   |   | if Q_{f,8} < L_M_min·10^6                                   otherwise
                        |   |   |   | lg ← (L_M_min·10^6 / Q_{f,8}) · Q_{f,4}
                        |   |   |   | new_R ← R_dc1(Q_{f,0}·10^-3, Q_{f,2}, Q_{f,1}, lg·10^-3)
                        |   |   |   | if new_R > R_obj1
                        |   |   |   |   | Q ← Mover(Q, fil, col, f)
                        |   |   |   |   | f ← f − 1
                        |   |   |   | otherwise
                        |   |   |   |   | Q_{f,7} ← new_R·1000
                        |   |   |   |   | Q_{f,8} ← L_M(Q_{f,0}·10^-3, Q_{f,2}, Q_{f,3}·10^-3, Q_{f,1}, lg·10^-3, Q_{f,6}, Q_{f,5})·10^6
                        |   |   |   |   | Q_{f,9} ← L_disp(Q_{f,0}·10^-3, Q_{f,2}, Q_{f,3}·10^-3, Q_{f,1}, lg·10^-3)·10^6
                        |   |   |   |   | Vol ← (lg / Q_{f,4}) · Q_{f,11}
                        |   |   |   |   | Q_{f,11} ← Vol
                        |   |   |   |   | B ← (Q_{f,4} / lg) · Q_{f,13}
                        |   |   |   |   | Q_{f,13} ← B
                        |   |   |   |   | Q_{f,4} ← lg
                        |   | f ← f + 1
                        | Q
```

Una vez que en la matriz ya sólo quedan filas correspondientes a estructuras válidas, se hace necesario determinar cuántas son las filas de cada matriz que contienen informacion de estructuras, es decir, que no están formadas por ceros. La siguiente rutina cuenta este número.

$$\text{num_estr}(Q, tot) := \left| \begin{array}{l} \text{filas} \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..tot-1 \\ \quad \text{filas} \leftarrow \text{filas} + 1 \ \text{ if } Q_{j,0} \neq 0 \\ \text{filas} \end{array} \right.$$

A continuación se hace uso de las rutinas anteriores según el siguiente procedimiento:

a) Se parte de las matrices W_i que contienen la información de todas las estructuras que se pueden obtener con los parámetros de proceso indicados.

b) En primer lugar se cuentan cuántas estructuras se han conseguido para cada valor de w. Esto se consigue mediante la función de Mathcad *rows*, y permite conocer el número de filas totales de estas matrices.

c) Conocido el número de filas totales de las matrices a estudiar (y sabiendo que todas ellas tienen 14 columnas), se procede a eliminar aquellas estructuras que, aun cumpliendo los requisitos tecnológicos, no satisfacen las especificaciones de funcionamiento. Para ello se hace uso de la función *Filtros*.

d) Al final de la etapa anterior, sólo quedarán estructuras cuya obtención es tecnológicamente posible y que, además, cumplen las especificaciones indicadas. Se procederá entonces a contar cuántas estructuras válidas quedan en cada matriz haciendo uso de la función *num_estr*. Esto facilitará la posterior representación gráfica de resultados.

Número total de filas

$$i := 1..6 \qquad \text{Filas}_i := \text{rows}(W_i)$$

Eliminación de las estructuras no válidas

$$wm_i := \text{Filtros}(W_i, \text{Filas}_i, 14)$$

Cuenta del número de estructuras válidas

$$\text{num}_i := \text{num_estr}(wm_i, \text{Filas}_i)$$

Definición de contadores

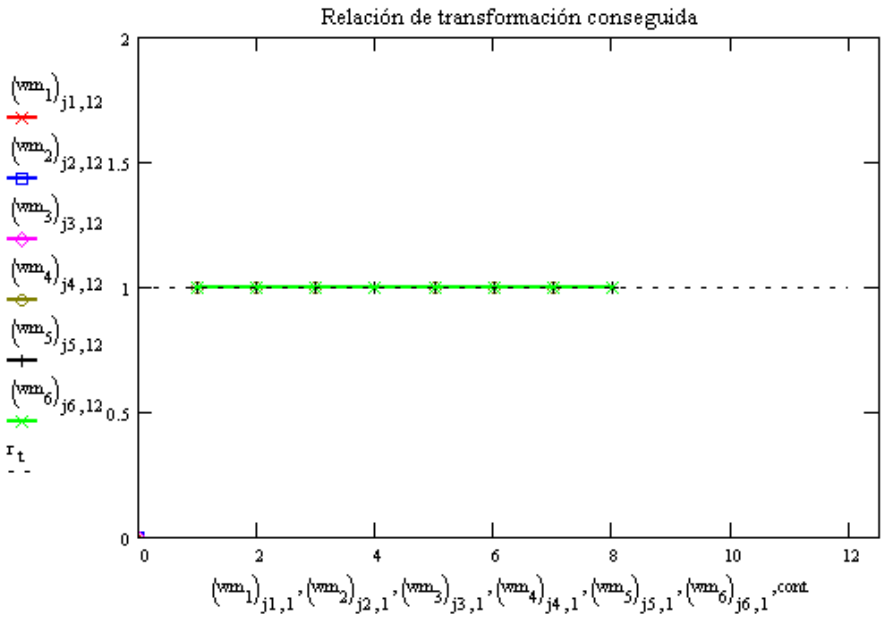
$$j1 := 0..\text{if}(\text{num}_1 = 0, 0, \text{num}_1 - 1) \qquad j2 := 0..\text{if}(\text{num}_2 = 0, 0, \text{num}_2 - 1) \qquad j3 := 0..\text{if}(\text{num}_3 = 0, 0, \text{num}_3 - 1)$$

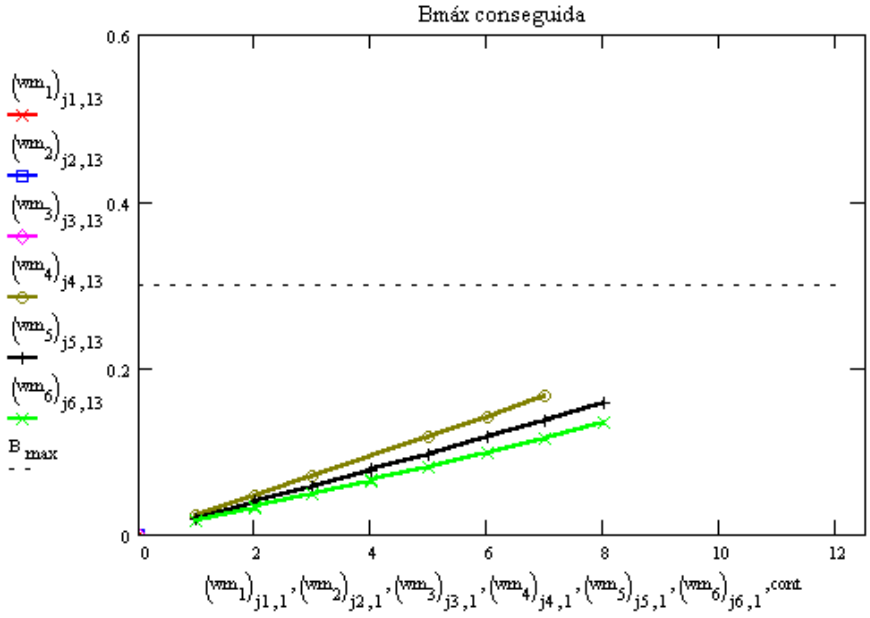
$$j4 := 0..\text{if}(\text{num}_4 = 0, 0, \text{num}_4 - 1) \qquad j5 := 0..\text{if}(\text{num}_5 = 0, 0, \text{num}_5 - 1) \qquad j6 := 0..\text{if}(\text{num}_6 = 0, 0, \text{num}_6 - 1)$$

Representación de los resultados

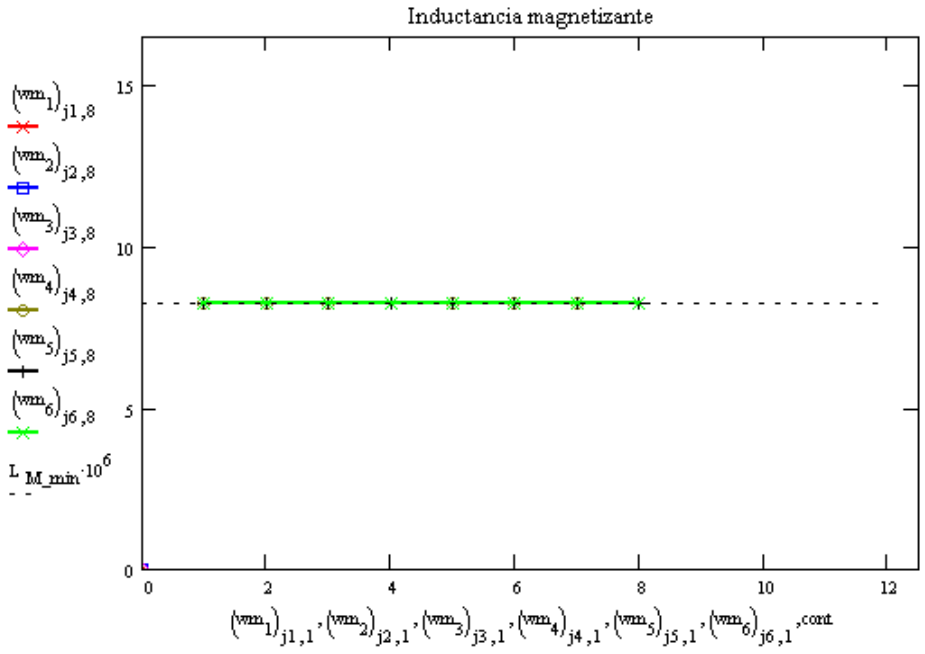
En las matrices obtenidas para los distintos valores de w se recoge la información necesaria para elegir la estructura más adecuada. En primer lugar se representan los valores de relación de transformación y máxima densidad de flujo para comprobar que se han alcanzado los valores especificados.

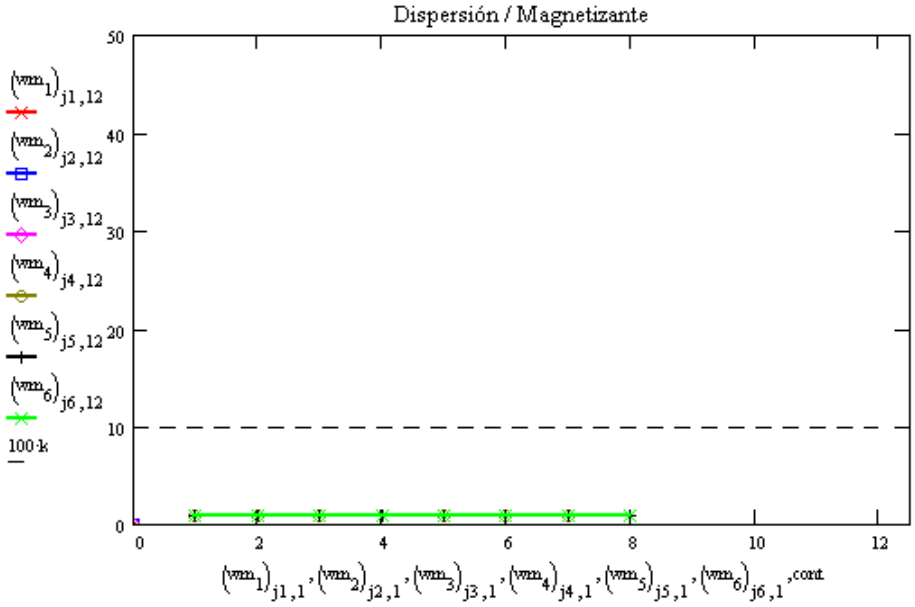
$cont := 0 .. \frac{cond_{max}}{2}$ (Contador)

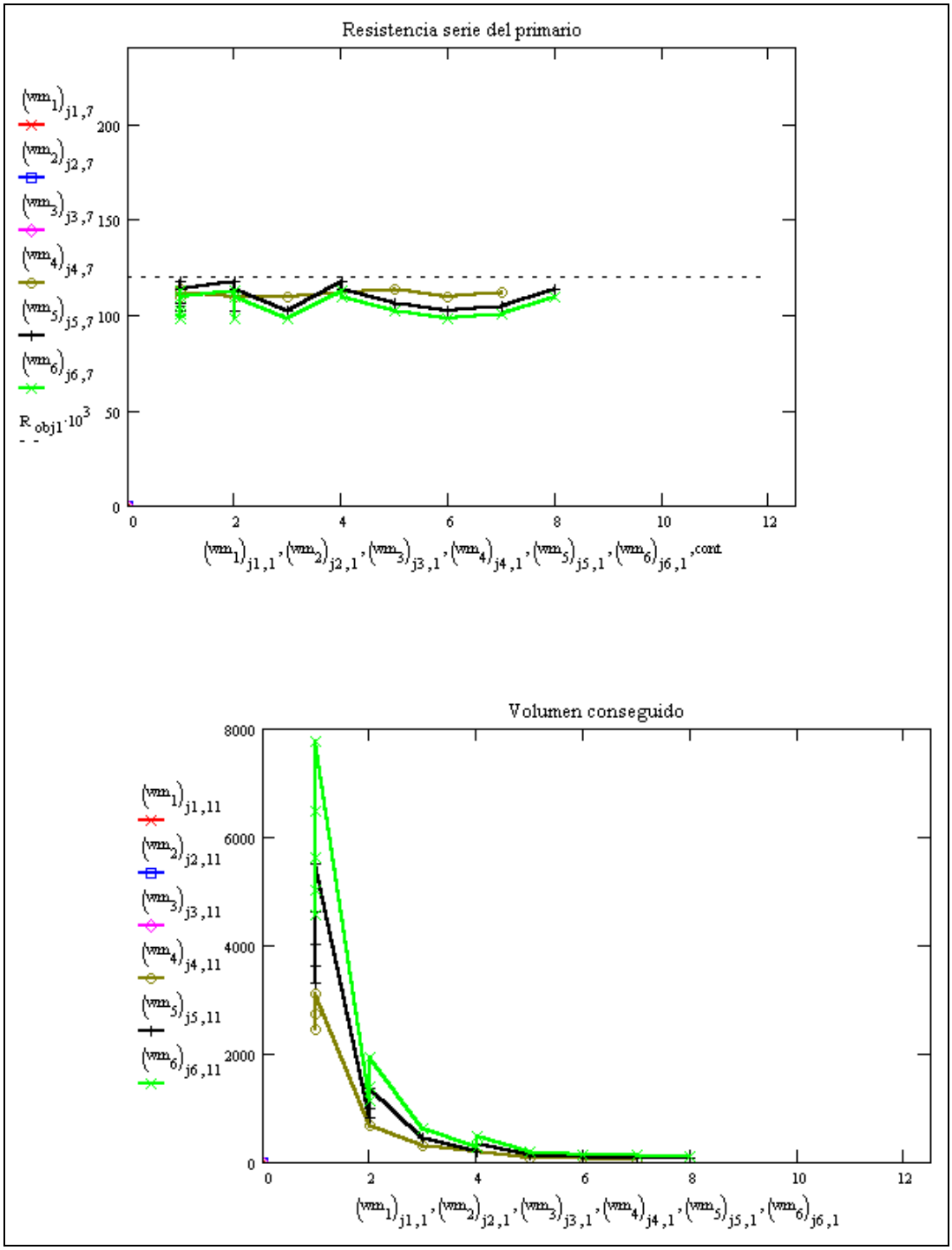




Como elementos de decisión, se representan a continuación parámetros tales como la inductancia magnetizante referida al primario, el cociente inductancia de dispersión / inductancia magnetizante alcanzado, la resistencia serie del primario y el volumen total de la estructura.






Resistencia serie del primario
$(wm_1)_{j1,7}$
$(wm_2)_{j2,7}$
$(wm_3)_{j3,7}$
$(wm_4)_{j4,7}$
$(wm_5)_{j5,7}$
$(wm_6)_{j6,7}$
$R_{obj1} \cdot 10^3$
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
10
12
$(wm_1)_{j1,1}, (wm_2)_{j2,1}, (wm_3)_{j3,1}, (wm_4)_{j4,1}, (wm_5)_{j5,1}, (wm_6)_{j6,1}, cont$
Volumen conseguido
$(wm_1)_{j1,11}$
$(wm_2)_{j2,11}$
$(wm_3)_{j3,11}$
$(wm_4)_{j4,11}$
$(wm_5)_{j5,11}$
$(wm_6)_{j6,11}$
8000
6000
4000
2000
0
0
2
4
6
8
10
12
$(wm_1)_{j1,1}, (wm_2)_{j2,1}, (wm_3)_{j3,1}, (wm_4)_{j4,1}, (wm_5)_{j5,1}, (wm_6)_{j6,1}$

Elección de la estructura

A la vista de las figuras anteriores, y según los criterios particulares a cada caso, se elegirá la estructura más adecuada (habitualmente la que menos volumen ocupe de entre las que cumplan las especificaciones).

En las ecuaciones que siguen, *eleg* representa el subíndice de la familia de curvas elegida (wm_{eleg}), mientras que *pos* indica la posición que ocupa la estructura en cuestión dentro de la familia considerada (nótese que las posiciones empiezan a numerarse desde "0").

$eleg := 6$ $\qquad$ $pos := 12$

Los parámetros de diseño de la estructura elegida, pues, serán:

Volumen: $(wm_{eleg})_{pos,11} = 156.095$ mm^3

|

--------> Ancho de pista, *w* : $(wm_{eleg})_{pos,0} = 3.2$ mm

Nº de vueltas primario, *N1* : $(wm_{eleg})_{pos,1} = 6$

Nº capas por vuelta primario, *n1* : $(wm_{eleg})_{pos,2} = 1$

Nº de vueltas secundario, *N2* : $(wm_{eleg})_{pos,5} = 6$

Nº capas por vuelta secundario, *n2* : $(wm_{eleg})_{pos,6} = 1$

Espesor de ferrita, *g* : $(wm_{eleg})_{pos,3} = 0.385$ mm

Longitud de conductor, *long* : $(wm_{eleg})_{pos,4} = 26.212$ mm

A continuación se recogen las principales características del transformador diseñado para comprobar si se han alcanzado las especificaciones iniciales.

$N1_d := (wm_{eleg})_{pos,1}$ $n1_d := (wm_{eleg})_{pos,2}$ $N2_d := (wm_{eleg})_{pos,5}$ $n2_d := (wm_{eleg})_{pos,6}$

$w_d := (wm_{eleg})_{pos,0} \cdot 10^{-3}$ $g_d := (wm_{eleg})_{pos,3} \cdot 10^{-3}$ $long_d := (wm_{eleg})_{pos,4} \cdot 10^{-3}$

* Máxima densidad de flujo magnético

$B_M(g_d, N1_d, long_d) \cdot 1000 = 99.09$ mT

* Resistencia serie del devanado primario

$R_{dc1}(w_d, n1_d, N1_d, long_d) \cdot 10^3 = 98.297$ mΩ

* Inductancia de dispersión

$L_{disp}(w_d, n1_d, g_d, N1_d, long_d) \cdot 10^6 = 0.312$ μH

* Inductancia magnetizante

$L_M(w_d, n1_d, g_d, N1_d, long_d, n2_d, N2_d) \cdot 10^6 = 8.25$ μH

* Dispersión/Magnetizante

$(wm_{eleg})_{pos,10} \cdot 100 = 3.778$ %

Representación gráfica de la estructura

Con la intención de dar una idea del aspecto final del componente elegido, se representa a continuación el aspecto exterior del mismo.

$$w := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,0} \qquad g := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,3} \qquad long := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,4}$$

$$N1 := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,1} \qquad n1 := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,2}$$

$$N2 := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,5} \qquad n2 := \left(wm_{eleg}\right)_{pos,6}$$

$$esp := (N1 \cdot n1 + N2 \cdot n2) \cdot t_{cond} \cdot 1000 + (N1 \cdot n1 + N2 \cdot n2 - 1) \cdot t_{fer} \cdot 1000$$

$$Cont_S := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad Cond_S := \begin{bmatrix} g & g \\ g & g + esp \\ g + w & g + esp \\ g + w & g \\ g & g \end{bmatrix}$$

$$Borde_S := \begin{bmatrix} 0 & 2 \cdot g + esp \\ \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \\ 2 \cdot g + w & 0 \\ 2 \cdot g + w & 2 \cdot g + esp \\ 2 \cdot g + w + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} & 2 \cdot g + esp + \frac{long}{2 \cdot \sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

En algunos casos puede ser conveniente "*doblar*" la estructura para hacerla más consistente y manejable. Si se considera oportuno emplear esta estrategia, el aspecto final de la bobina sería el indicado a continuación.

Se va a considerar que la estructura debe reducirse hasta que su longitud sea menor que su anchura. Para ello se le deberá dar un número de dobleces *dob* que verifique

$$dob \cdot w + (dob+1) \cdot g = long \,/\, dob$$

Como el valor de *dob* que verifique esta ecuación será presumiblemente no entero, se tomará el valor entero más próximo por encima.

$$dob := ceil\left[\frac{-g+\sqrt{g^2+4\cdot long\cdot(w+g)}}{2\cdot(w+g)}\right] \qquad dob = 3 \qquad desp := \frac{long}{2\cdot\sqrt{2}}$$

Desplazamiento en la representación gráfica

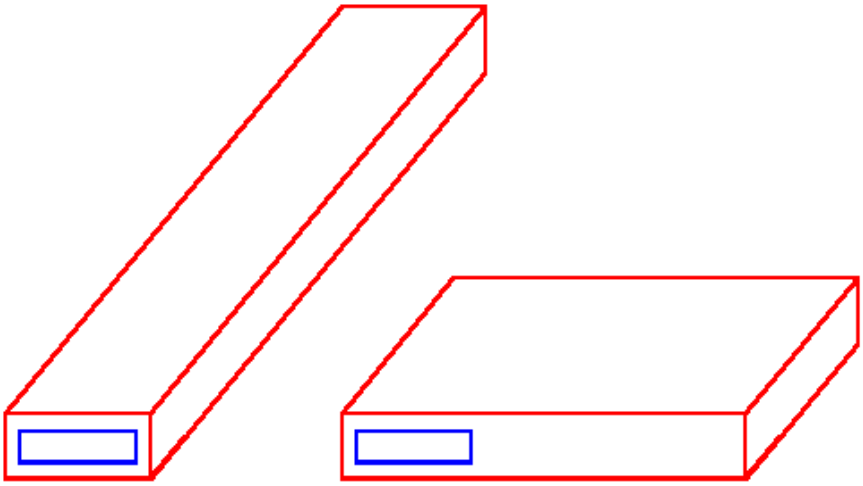
$$Cont_C := \begin{bmatrix} desp & 0 \\ desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 0 \\ desp & 0 \end{bmatrix}$$

$$Cond1_C := \begin{bmatrix} g+desp & g \\ g+desp & g+esp \\ g+w+desp & g+esp \\ g+w+desp & g \\ g+desp & g \end{bmatrix} \qquad Cond2_C := \begin{bmatrix} desp+if(mod(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g \\ desp+if(mod(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g+esp \\ desp+if(mod(dob,2)=1,g+w,dob\cdot(g+w)) & g+esp \\ desp+if(mod(dob,2)=1,g+w,dob\cdot(g+w)) & g \\ desp+if(mod(dob,2)=1,g,dob\cdot g+(dob-1)\cdot w) & g \end{bmatrix}$$

$$Borde_C := \begin{bmatrix} desp & 2\cdot g+esp \\ \frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & \frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 0 \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+desp & 2\cdot g+esp \\ (dob+1)\cdot g+dob\cdot w+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob}+desp & 2\cdot g+esp+\frac{long}{2\cdot\sqrt{2}\cdot dob} \end{bmatrix}$$

$i := 0..4 \qquad j := 0..6$

ESTRUCTURA ELEGIDA (sin y con dobleces)



La obtención de tablas donde se recoge toda la información de las estructuras obtenidas pasa por el volcado a fichero de las matrices wm_i. Se generan así los documentos *ficheroX.prn* en el directorio de trabajo, donde *X* coincide con el subíndice de la matriz wm_x considerada.

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero1}) := wm_1$ $\qquad$ $\text{WRITEPRN}(\text{fichero2}) := wm_2$

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero3}) := wm_3$ $\qquad$ $\text{WRITEPRN}(\text{fichero4}) := wm_4$

$\text{WRITEPRN}(\text{fichero5}) := wm_5$ $\qquad$ $\text{WRITEPRN}(\text{fichero6}) := wm_6$

A

ACOPLAMIENTO 17
En estructuras apiladas 83, 162
En estructuras planas 79, 159
ALCATEL
Estructuras diversas 56
ALPS ELECTRIC
Estructuras planas tipo sandwich 41
ANALOGÍA MAGNÉTICO-ELÉCTRICA 7, 10, 95
ANSYS 79, 83, 92, 158, 175

B

BOBINAS 8
Con núcleo abierto 14
Energía almacenada 9, 15
Entrehierro 11, 12, 16
- abombamiento 13
- energía almacenada 16
Factor de inductancia 11
Inductancia 8
Integradas
- ecuaciones de diseño 111
- geometría 86
- inductancia 96
- resistencia serie 97

C

CIRCUITOS MAGNÉTICOS 5
CORRIENTE MAGNETIZANTE 19, 20

D

DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO 2, 14, 80
DEVANADOS
Disposición 86, 102
Número de meandros 110
Separación entre conductores 103
DISPERSIÓN 21
Energía de 23, 135, 138, 140
Flujo de 10, 13, 19, 22, 125
Inductancia de 129

E

ECUACIONES DE DISEÑO
Para bobinas integradas 111
Para transformadores integrados 141
ELEMENTOS FINITOS 79, 83, 92, 101, 158, 175
ENERGÍA
De dispersión 23, 135, 138, 140
En bobinas 9, 15
En el campo magnético 4
En el entrehierro 16
ENSAYO DE TRANSFORMADORES
De cortocircuito 135, 176
De vacío 175
ENTREHIERRO 11, 12, 16
Abombamiento 13
Energía almacenada 16
ESTADO DEL ARTE 25
Alcatel
- estructuras diversas 56
Alps Electric
- estructuras planas tipo sandwich 41
Inst. de Tecnología de Georgia
- estructuras diversas 54
- estructuras planas con núcleo cerrado 48
Inst. de Tecnología de Hachinoche
- estructuras diversas 52
- estructuras planas con núcleo cerrado 45
- estructuras tela 30
Korenivski y van Dover
- estructuras planas con núcleo cerrado 50
Lab. de Amorfos de Sendai
- estructuras diversas 52
- estructuras planas con núcleo cerrado 45
- estructuras tela 30

Lab. KIST
- estructuras planas con núcleo cerrado 47
NTT
- estructuras planas con núcleo cerrado 46
Philips
- componentes miniaturizados 26
- estructuras diversas.....56
SECRE
- componentes miniaturizados 26
Toshiba Corp.
- estructuras planas tipo sandwich.....37, 38
UNITIKA
- estructuras tela.....28
Univ. de Cincinnati
- estructuras planas con núcleo cerrado 47
Univ. de Osaka
- estructuras planas sobre substrato magnético 35
- estructuras planas tipo sandwich.....42
Univ. de Oviedo
- estructuras diversas.....56
Univ. de Shinshu
- estructuras planas tipo sandwich.....37, 41
Univ. de Tohoku
- estructuras diversas.....52
- estructuras planas con núcleo cerrado 45, 50
- estructuras planas sobre substrato magnético33, 104
- estructuras tela.....28, 30
Waseem A. Roshen
- estructuras planas sobre substrato magnético 33
- estructuras planas tipo sandwich.....37
ESTRUCTURAS MAGNÉTICAS 124
Apiladas 67, 72
- acoplamiento 83
- corriente máxima 74
- resistencia serie 74
- volumen 73
Componentes miniaturizados.....26
Estructuras diversas 52
Estructuras planas
- con núcleo cerrado.....45
- sobre substrato magnético 32
- tipo sandwich 37
Estructuras tipo tela 27
Planas.....67, 68
- acoplamiento 79
- corriente máxima 70
- resistencia serie 69
- volumen 69
Problemas de fabricación 189

F

FLUJO DE DISPERSIÓN..... 10, 13, 19, 22, 125
FLUJO TOTAL DE ENLACE 4, 8
FUERZA ELECTROMOTRIZ.....4, 7
FUERZA MAGNETOMOTRIZ.....7, 18, 19, 131

I

IMPASS 76, 158, 188
INDUCTANCIA.....8
De dispersión..... 20, 22, 129
Magnetizante 19, 126
INST. DE TECNOLOGÍA DE GEORGIA
Estructuras diversas 54
Estructuras planas con núcleo cerrado.....48
INST. DE TECNOLOGÍA DE HACHINOCHE
Estructuras diversas 52
Estructuras planas con núcleo cerrado.....45
Estructuras tela 30
INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO 3, 81

K

KORENIVSKI Y VAN DOVER
Estructuras planas con núcleo cerrado.....50

L

LAB. DE AMORFOS DE SENDAI
Estructuras diversas 52
Estructuras planas con núcleo cerrado.....45
Estructuras tela 30
LAB. KIST
Estructuras planas con núcleo cerrado.....47

LEY
De Ampère 3, 6, 7, 18
De Biot-Savart 2, 14
De Faraday 4, 143
De la divergencia 5
De Lenz 4
De Ohm 7

M

MATHCAD.....119, 154, 211
MODELO DE RELUCTANCIAS 130, 131
MODELO DE TRANSFORMADOR 20, 125, 174

N

NTT
Estructuras planas con núcleo cerrado..... 46

P

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA..... 5
Variación con el quemado 165
PERMEANCIA 10, 94, 95
PHILIPS
Componentes miniaturizados..... 26
Estructuras diversas 56

R

RELUCTANCIA 6, 10, 64
Modelo de 130, 131
RESISTENCIA POR CUADRO..... 98
RESISTENCIA SERIE 168
En bobinas..... 97
En transformadores 127
Reducción de su valor 162

S

SATURACIÓN.....171
SECRE
Componentes miniaturizados..... 26

T

TECNOLOGÍA DE CAPA FINA 66
TECNOLOGÍA DE CAPA GRUESA.....64, 66
Estructuras.....78, 88
Fabricación de magnéticos 77
Limitaciones 76
Parámetros del proceso..... 77
TOSHIBA CORP.
Estructuras planas tipo sandwich 37, 38
TRANSFORMADORES..... 17
Apilados
- criterios de diseño 128
- inductancia de dispersión 129
devanados agrupados 137, 139
devanados entrelazados 139, 141
- inductancia magnetizante 126
- resistencia serie.....127
Corriente magnetizante 19
Ideales 17, 19, 135
Inductancia de dispersión 20, 22, 129
Inductancia magnetizante 19, 126
- corriente magnetizante 20
Modelo clásico..... 20, 125, 174
Reales..... 19
TRAYECTORIAS ELÍPTICAS
Método de 94, 131

U

UNITIKA
Estructuras tela 28
UNIV. DE CINCINNATI
Estructuras planas con núcleo cerrado..... 47
UNIV. DE OSAKA
Estructuras planas sobre substrato magnético 35
Estructuras planas tipo sandwich 42
UNIV. DE OVIEDO
Estructuras diversas 56
UNIV. DE SHINSHU
Estructuras planas tipo sandwich 37, 41

UNIV. DE TOHOKU
Estructuras diversas 52
Estructuras planas con núcleo cerrado.....45, 50
Estructuras planas sobre substrato magnético33, 104
Estructuras tela 28, 30

V

VARIABLES DE DISEÑO
Para bobinas integradas.....100

W

WASEEM A. ROSHEN
Estructuras planas sobre substrato magnético . 33, 64
Estructuras planas tipo sandwich 37