

## INDUTORES DE ALTA FREQUÊNCIA

### 1- Tipos:

- Indutor de Filtro
- Indutor Ressonante

### 2- Especificações:

- Frequência de comutação
- Valor da Indutância
- Corrente no indutor (valor médio, eficaz e de pico)
- Ondulação de corrente
- Temperatura ambiente
- Elevação de temperatura

### 3- Definições no Projeto:

- Tipo de material magnético
- Densidade de corrente (J)
- Densidade de Fluxo (B)

### 4- Resultados do projeto:

- Seção do condutor
- Número de espiras
- Entreferro
- Núcleo Magnético

### 5- PROJETO FÍSICO DE UM INDUTOR DE FILTRO

Para exemplificar o projeto de um indutor de filtro será apresentado o procedimento de projeto do indutor do conversor Boost.

O valor da indutância de entrada pode ser calculado diretamente em função do valor da tensão de entrada, frequência de operação, razão cíclica e ondulação da corrente de entrada.

Considerando-se:

$$P_o=150W$$

$$V_{in_{min}}=24V$$

$$F_s=100kHz$$

$$\text{Ondulação de corrente}=15\%$$

$$I_{Lb} = \frac{P_o}{V_{in_{min}} \cdot \eta} = 6,47A \quad (1)$$

$$\Delta I_{Lb} = I_{Lb} \cdot 0,15 = 6,47 \cdot 0,15 = 0,972A \quad (2)$$

$$L_b = \frac{V_{in_{min}} \cdot D}{\Delta I_{Lb} \cdot F_s} = \frac{26 \cdot 0,48}{0,972 \cdot 100 \cdot 10^3} = 128\mu H \quad (3)$$

No projeto físico do indutor de entrada foram considerados os seguintes parâmetros:

Densidade de fluxo magnético:  $B=0,3T$

Densidade de corrente:  $J=380A/cm^2$

Fator de enrolamento do indutor:  $k=0,7$

A corrente eficaz no indutor é aproximadamente igual a corrente média de entrada.

$$I_{Lb_{RMS}} = I_{Lb} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{\Delta I_{Lb}}{I_{Lb}} \right)^2} = 6,47 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{0,972}{6,47} \right)^2} = 6,5A \quad (4)$$

A corrente de pico no indutor de entrada é igual a corrente média de entrada adicionada da ondulação de corrente.

$$I_{Lb_{pk}} = I_{Lb} + \frac{\Delta I_{Lb}}{2} = 6,47 + \frac{0,972}{2} = 6,964A \quad (5)$$

O núcleo magnético a ser utilizado é definido pelo produto de áreas AP. O fator resultante do produto da área da janela e da área da coluna central do núcleo selecionado deve ser maior ou igual ao fator AP calculado abaixo.

$$AP = \frac{L_{Lb} \cdot I_{Lb_{pk}}^2 \cdot 10^4}{k \cdot B_o \cdot J_o} \cdot cm^4 = \frac{128 \cdot 10^{-6} \cdot 6,964^2 \cdot 10^4}{0,7 \cdot 0,3 \cdot 380} = 0,78cm^4 \quad (6)$$

Portanto, selecionou-se o núcleo EE30/14-IP12 da Thornton que apresenta produto de área igual a  $AP=1,02 cm^4$ .

A área da coluna central deste núcleo é igual a  $Ae=1,2 cm^2$ .

O número de espiras do indutor é definido pela equação 7.

$$N = \frac{L_{Lb} \cdot I_{Lb_{pk}} \cdot 10^4}{B_o \cdot Ae} = \frac{128 \cdot 10^{-6} \cdot 6,964 \cdot 10^4}{0,3 \cdot 1,02} = 25(\text{espiras}) \quad (7)$$

O entreferro do indutor é calculado pela equação 8.

$$\frac{L_g}{2} = \frac{N^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot Ae \cdot 10^{-2}}{2 \cdot L_b} = \frac{25^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,02 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 128 \cdot 10^{-6}} = 0,037cm \quad (8)$$

Considera-se a utilização de condutores elementares 25AWG. O número de condutores elementares em paralelo, para a densidade de corrente especificada, é calculado por:

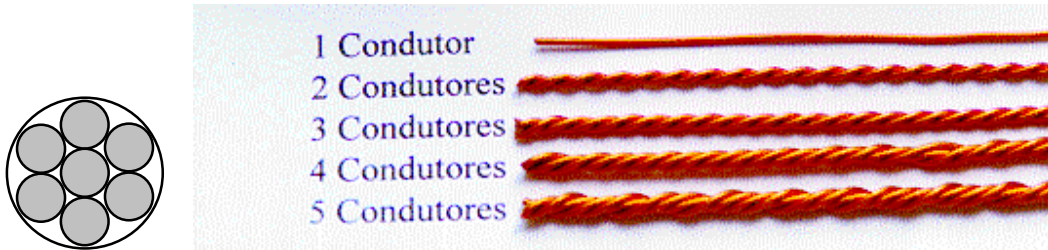
$$N_{cond} = \frac{I_{Lb_{RMS}}}{Sc_{25_{AWG}} \cdot J_o} = \frac{6,5}{0,001624 \cdot 380} = 11(\text{condutores}) \quad (9)$$

## 6- Efeito Pelicular:

Em alta frequência, a corrente tende a circular apenas na periferia do condutor. Para preservar a densidade de corrente do indutor, utiliza-se vários condutores de menor seção em paralelo.

A seção deste condutor elementar que será associado em paralelo é calculado por:

(10)



## 7- Definição dos valores de densidade de fluxo e densidade de corrente

A definição destes parâmetros é baseada na experiência prática do projetista ou utilizam-se programas específicos os quais podem indicar valores ótimos, após algumas iterações.

Valores típicos:

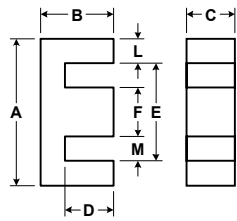
Indutores de filtro:

$B < 0,3$  Tesla  
 $J < 400$  A/cm<sup>2</sup>

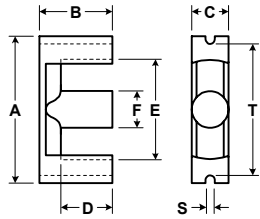
Indutores Ressonante

$B < 0,15$  Tesla ( $F_s < 40$ kHz)  
 $J < 350$  A/cm<sup>2</sup>

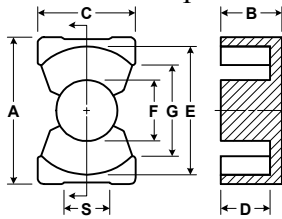
## 8- Alguns Tipos de Núcleos



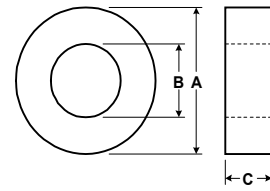
Núcleo tipo "E"



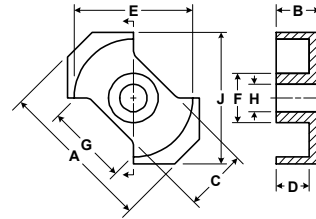
Núcleo tipo ETD



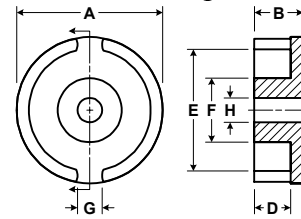
Núcleo tipo PQ



Núcleo toroidal



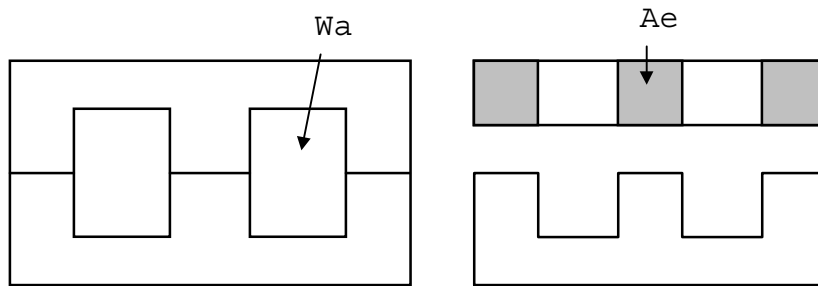
Núcleo tipo RM



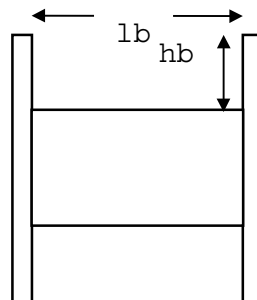
Núcleo tipo POT

## 9- Produto de Áreas ( $A_e W_a$ ) para Núcleos Tipo EE

Núcleo magnético com combinação EE.



Desenho simplificado de um carretel



### 10 - Dados dos núcleos EE disponíveis no laboratório

Núcleo	Ae [cm <sup>2</sup> ]	Aw [cm <sup>2</sup> ]	l <sub>t</sub> [cm]	V <sub>e</sub> [cm <sup>3</sup> ]	AeAw [cm <sup>4</sup> ]
EE-20	0,312	0,26	3,80	1,34	0,08
EE-30/07	0,600	0,80	5,60	4,00	0,48
EE-30/14	1,200	0,85	6,70	8,00	1,02
EE-42/15	1,810	1,57	8,70	17,60	2,84
EE-42/20	2,400	1,57	10,50	23,30	3,76
EE-55	3,540	2,50	11,60	42,50	8,85
EE-65/13	2,660	4,80	12,20	36,40	12,76
EE-65/26	5,320	4,80	14,82	78,20	25,53
EE-65/39	7,980	4,80	17,40	117,30	38,30