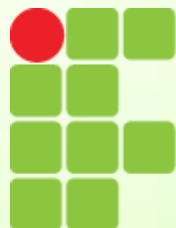


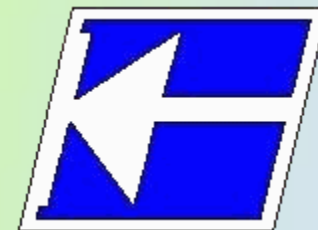
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**

**Departamento Acadêmico de Eletrônica**

**Projeto de Fontes Chaveadas**



**INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA**



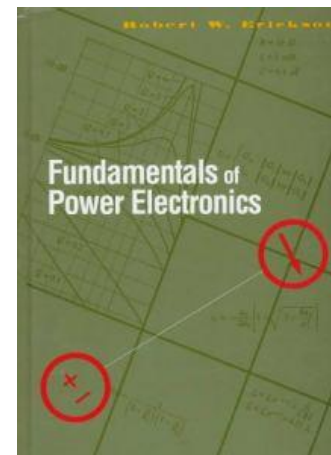
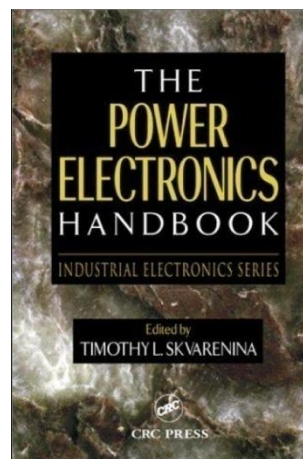
## **Parte 3 – Fontes Chaveadas**

**Projeto de Magnéticos**

**Prof. Clóvis Antônio Petry.**

**Florianópolis, maio de 2009.**

# Bibliografia para esta aula

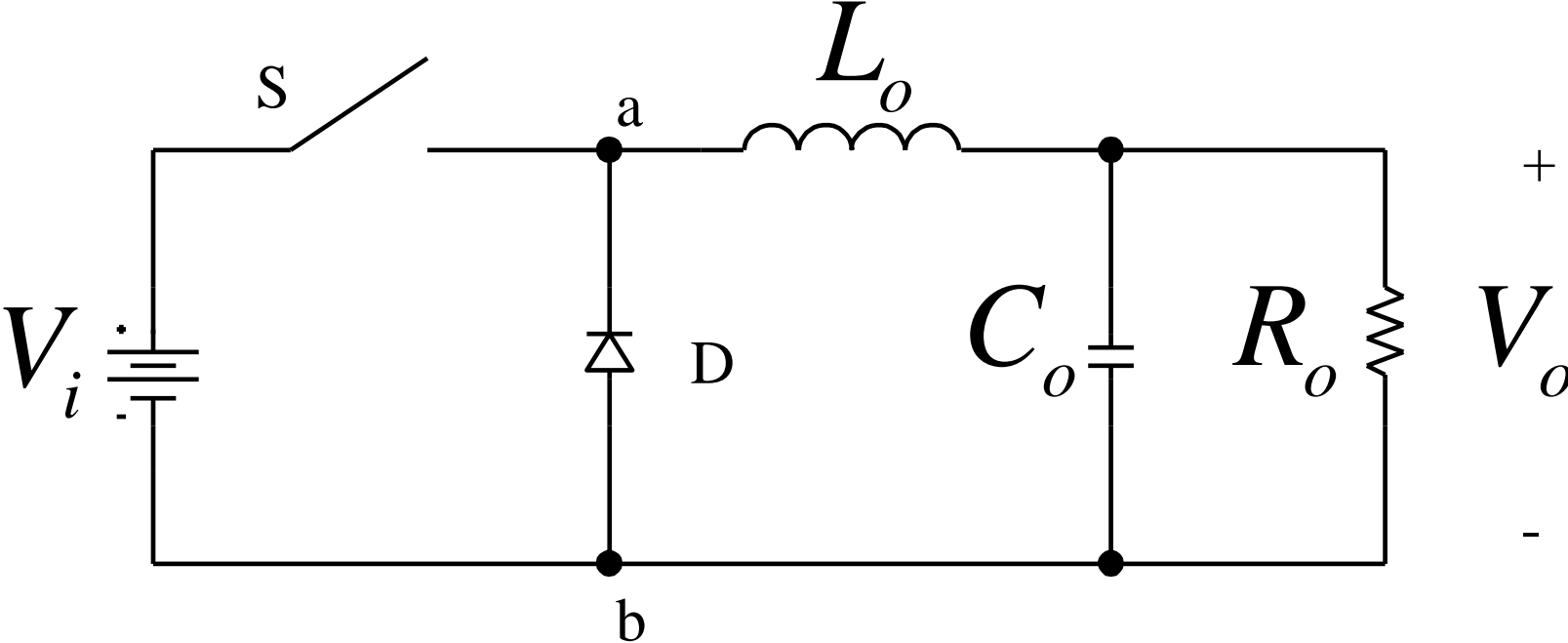


# Nesta aula

## **Parte 3 – Fontes chaveadas:**

1. Projeto de indutores em alta frequência;
2. Projeto de transformadores em alta frequência.

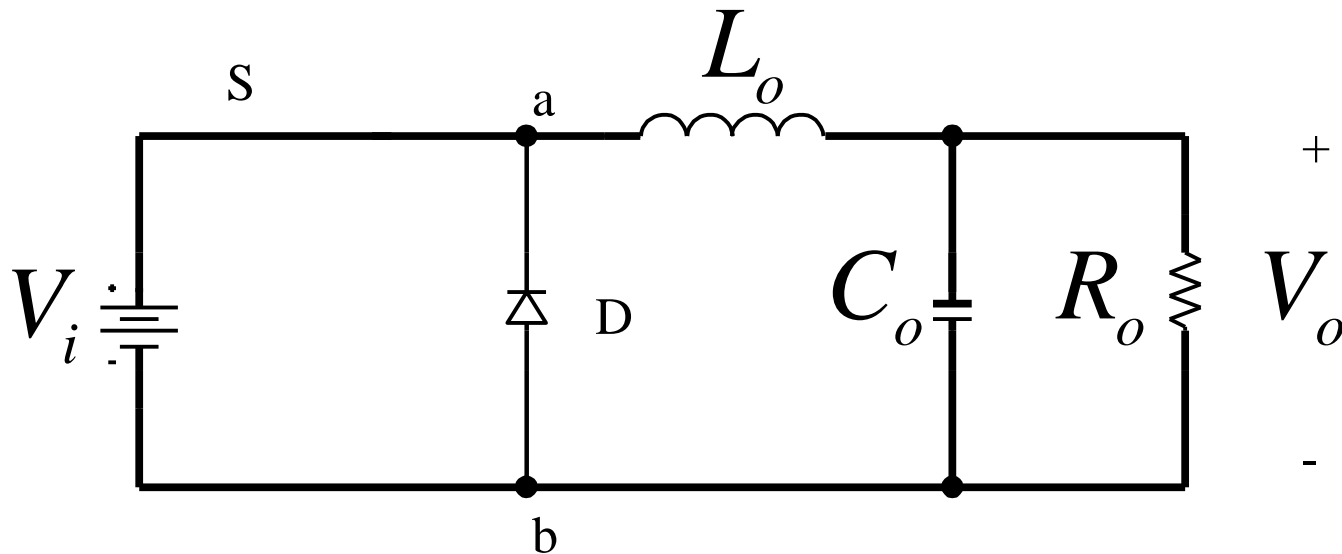
# Conversor Buck



# Conversor Buck

## Primeira etapa de funcionamento:

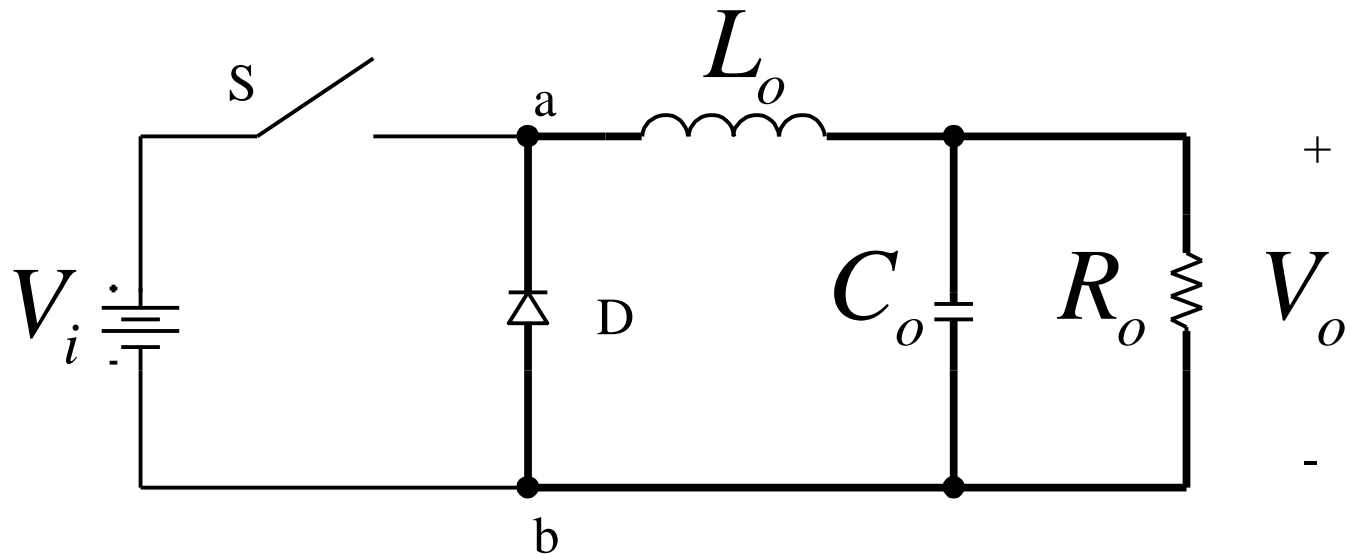
- Interruptor conduzindo;
- Diodo bloqueado;
- Energia sendo armazenada no indutor.



# Conversor Buck

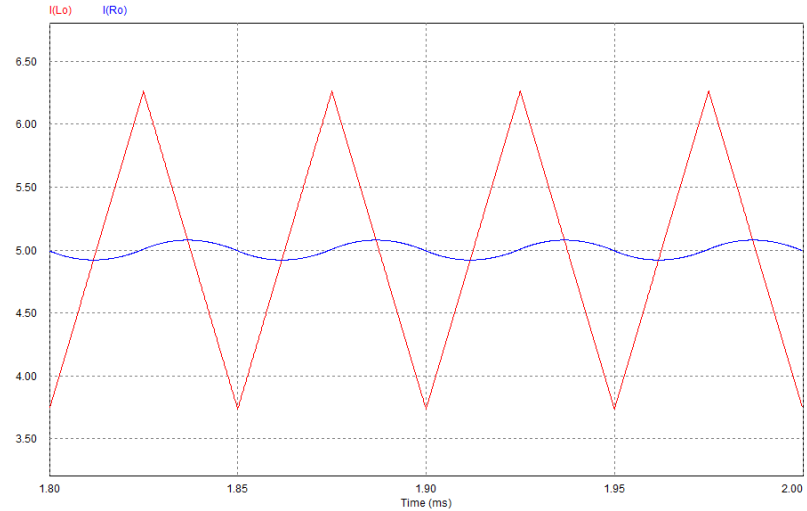
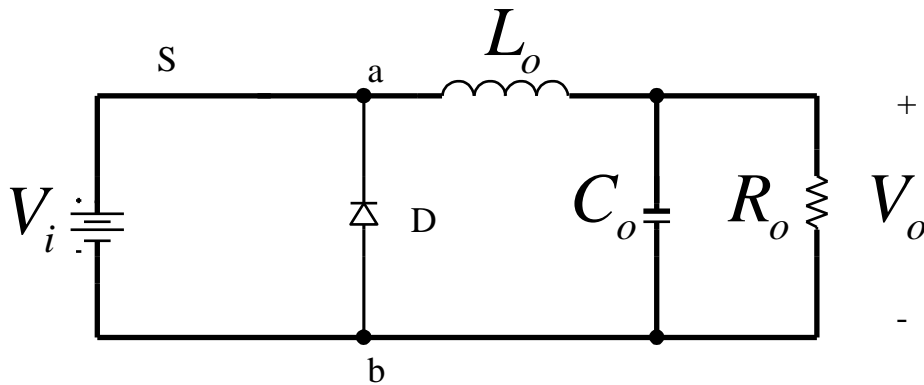
## Segunda etapa de funcionamento:

- Interruptor bloqueado;
- Diodo conduzindo;
- Energia armazenada no indutor sendo transferida para saída.



# Conversor Buck

Ondulação de corrente em  $L_o$ :



$$V_{Lo} = L_o \frac{di_{Lo}}{dt} \approx L_o \frac{\Delta I_{Lo}}{\Delta T}$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{(V_i - V_o) \cdot D \cdot T_s}{L_o}$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo} \cdot \Delta T}{L_o}$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{(V_i - D \cdot V_i) \cdot D}{L_o \cdot F_s} = \frac{V_i}{L_o \cdot F_s} D \cdot (1 - D)$$

$$\Delta I_{Lo\_max} = \frac{V_i}{4 \cdot L_o \cdot F_s}$$

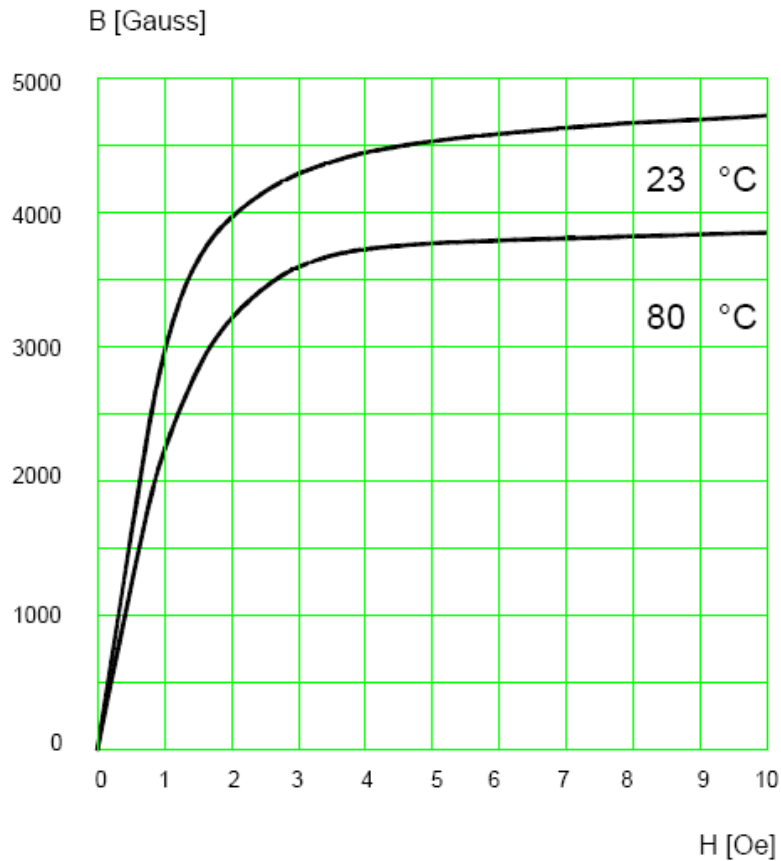
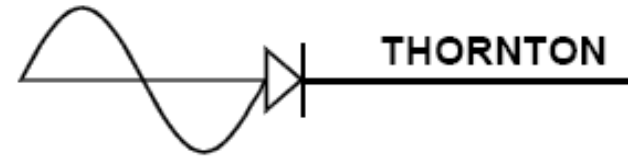
# Projeto de indutores

## **O projeto de um indutor depende:**

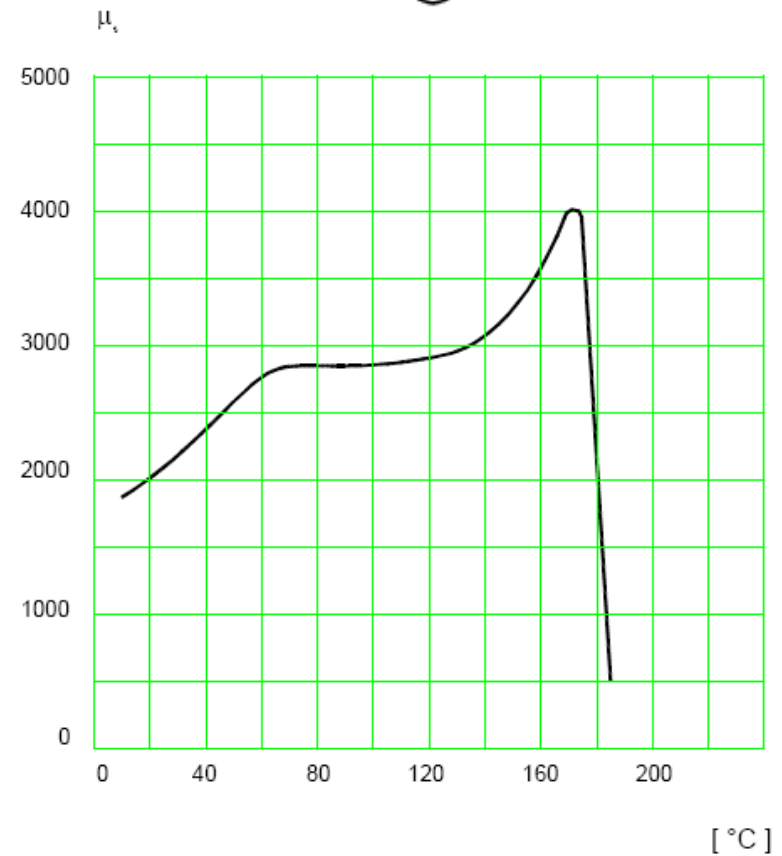
- Da frequência de operação;
- Da corrente no mesmo;
- Do regime de trabalho;
- Do material utilizado para o núcleo;
- Entre outros....

# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## Características do núcleo:



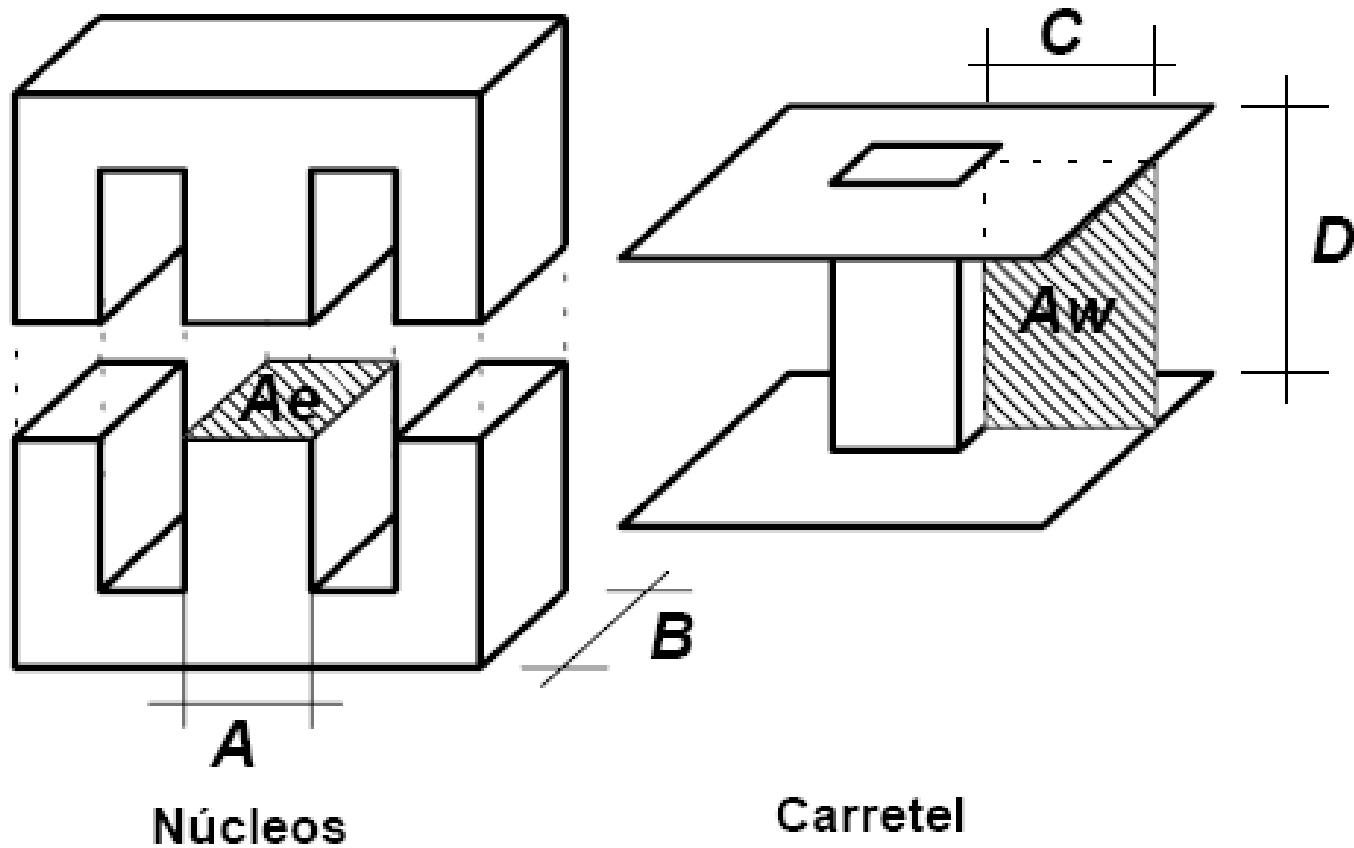
Típico  $B \times H$



$\mu \times$  Temperatura

# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

Montagem do núcleo (com entreferro):



# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$L_o = 100 \mu H$$

$$F_s = 20 kHz$$

$$I_{Lop} = 10 A$$

$$I_{Loef} = 6 A$$

$$\Delta I_{Lo} = 1 A$$

$$k = 0,7$$

$$J = 450 A / cm^2$$

$$B = 0,35 T$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} Wb / A / m$$

Indutância do indutor;

Frequência de operação;

Corrente de pico;

Corrente eficaz;

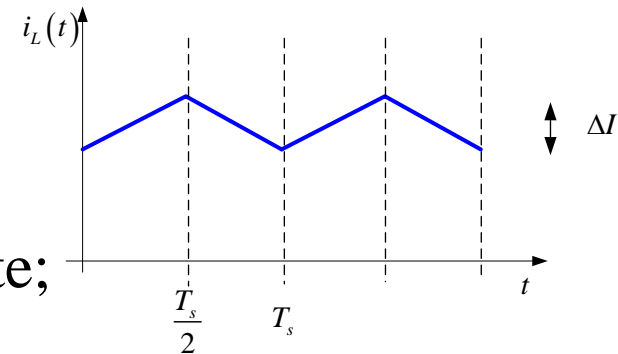
Ondulação de corrente;

Fator de enrolamento;

Densidade de corrente;

Densidade de fluxo máximo;

Permeabilidade no vácuo.



# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 2) Escolha do núcleo:

$$\Delta B = B \frac{\Delta I_{Lo}}{I_{Lop}} = 0,35 \frac{1}{10} = 0,035 T$$

$$A_e A_w = \frac{L_o \cdot I_{Lop} \cdot I_{Loef} \cdot 10^4}{k \cdot B \cdot J} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^4}{0,7 \cdot 0,35 \cdot 450} = 0,544 \text{ cm}^4$$

| Núcleo  | $A_e$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_w$ (cm <sup>2</sup> ) | $l_e$ (cm) | $l_t$ (cm) | $v_e$ (cm <sup>3</sup> ) | $A_e A_w$ (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| E-20    | 0,312                    | 0,26                     | 4,28       | 3,8        | 1,34                     | 0,08                         |
| E-30/7  | 0,60                     | 0,80                     | 6,7        | 5,6        | 4,00                     | 0,48                         |
| E-30/14 | 1,20                     | 0,85                     | 6,7        | 6,7        | 8,00                     | 1,02                         |
| E-42/15 | 1,81                     | 1,57                     | 9,7        | 8,7        | 17,10                    | 2,84                         |
| E-42/20 | 2,40                     | 1,57                     | 9,7        | 10,5       | 23,30                    | 3,77                         |
| E-55    | 3,54                     | 2,50                     | 1,2        | 11,6       | 42,50                    | 8,85                         |



# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 3) Cálculo do número de espiras:

$$N = \frac{L_o \cdot I_{Lop} \cdot 10^4}{B \cdot A_e} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^4}{0,35 \cdot 1,20} = 24 \text{ espiras}$$

## 4) Cálculo do entreferro:

$$lg = \frac{N^2 \cdot \mu_o \cdot A_e \cdot 10^{-2}}{L_o} = \frac{24^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2}}{100 \cdot 10^{-6}} = 0,087 \text{ cm}$$

# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 5) Perdas no núcleo:

$$K_H = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$K_E = 4 \cdot 10^{-10}$$

$$P_{nucleo} = \Delta B^{2,4} \cdot (K_H \cdot F_s + K_E \cdot F_s^2) \cdot V_e$$

$$P_{nucleo} = 0,035^{2,4} \cdot (4 \cdot 10^{-5} \cdot 20000 + 4 \cdot 10^{-10} \cdot 20000^2) \cdot 8$$

$$P_{nucleo} = 2,46mW$$



# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 6) Profundidade de penetração:

$$\Delta = \frac{7,5}{\sqrt{F_s}} = \frac{7,5}{\sqrt{20000}} = 0,053 \text{ cm}$$

$$D_{\text{fio}_{max}} = 2 \cdot \Delta = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ cm}$$

Não poderá ser utilizado condutor com diâmetro maior que 0,106 cm. Portanto, podem ser utilizados condutores mais finos que o fio 18 AWG. Escolheu-se o condutor 22 AWG.

$$A_{cu22} = 0,003255 \text{ cm}^2 \quad S_{22} = 0,004013 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{22} = 0,000530 \Omega / \text{cm}$$

# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 7) Escolha da seção dos condutores:

$$S = \frac{I_{Loef}}{J} = \frac{6}{450} = 0,013 \text{ cm}^2 \quad \text{Maior que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{fios} = \frac{S}{A_{cu22}} = \frac{0,013}{0,003255} = 4 \text{ fios} \rightarrow 5 \text{ fios}$$

## 8) Cálculo da resistência do fio:

$$R_{fio} = N \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios}} \cdot lt = 24 \cdot \frac{0,000530}{5} \cdot 6,7 = 0,017 \Omega$$

# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 9) Perdas no cobre:

$$P_{cobre} = R_{fio} \cdot I_{Loef}^2 = 0,017 \cdot 6^2 = 0,614W$$

## 10) Perdas totais:

$$P_{totalis} = P_{nucleo} + P_{cobre} = 2,46m + 0,614 = 0,616W$$

## 11) Elevação de temperatura:

$$Rt = 23 \cdot (AeAw)^{-0,37} = 23 \cdot (1,02)^{-0,37} = 22,832 \text{ } ^\circ C / W$$

$$\Delta T = Rt \cdot P_{total} = 22,832 \cdot 0,616 = 14,066 \text{ } ^\circ C$$

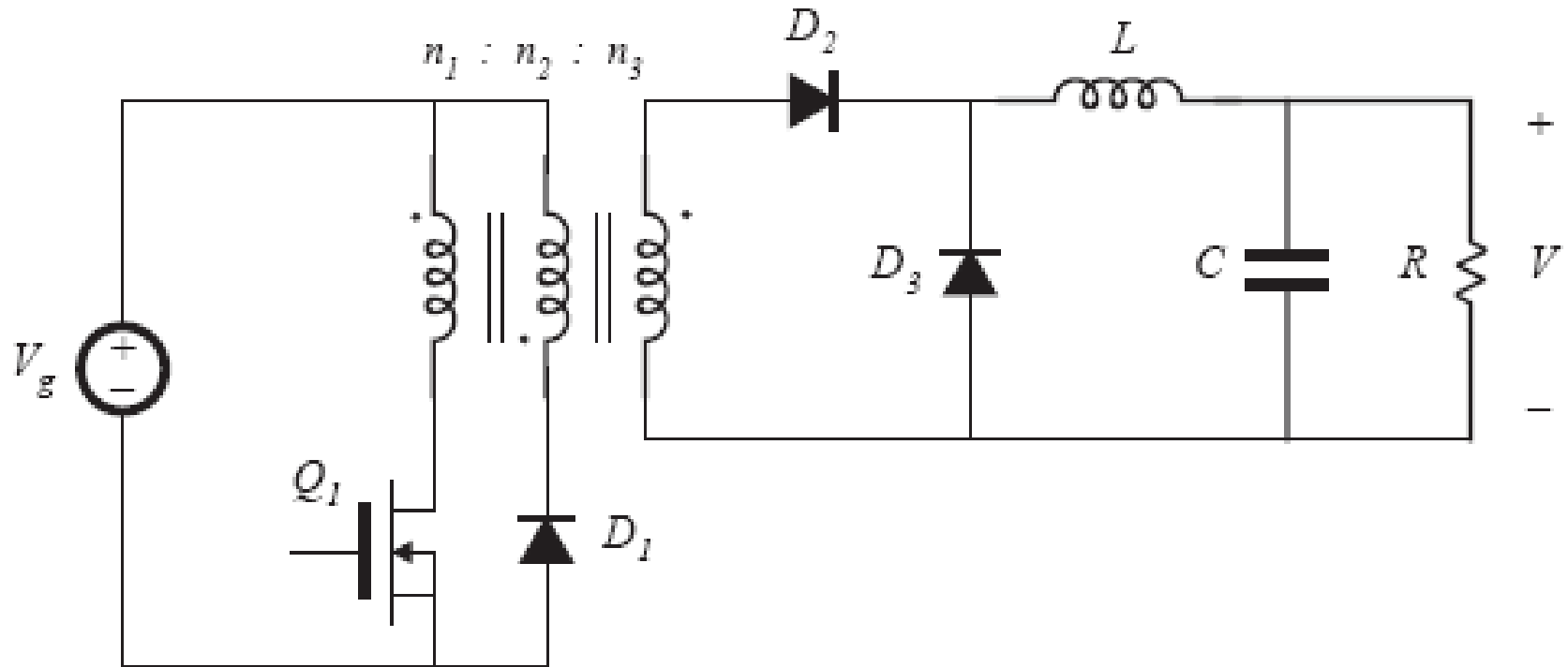
# Projeto de indutores com núcleo de ferrite

## 12) Cálculo do fator de ocupação:

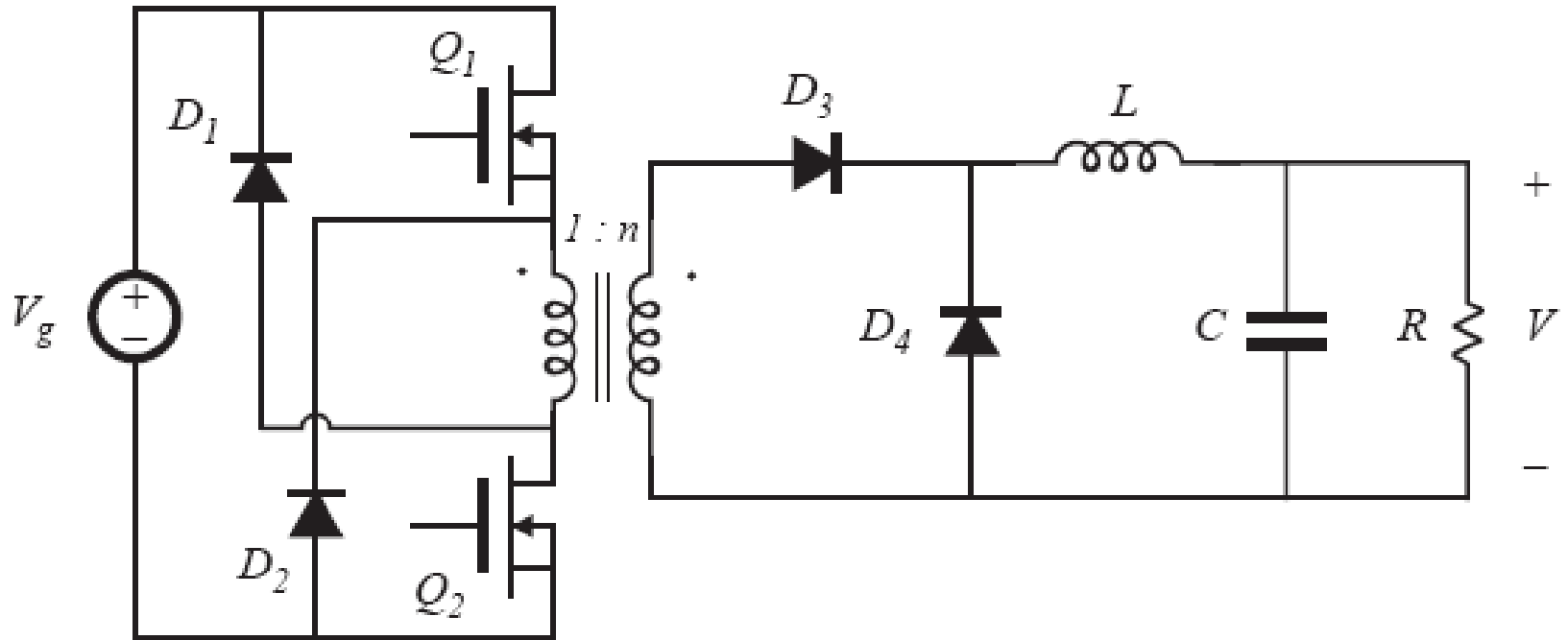
$$Aw_{neces} = \frac{N \cdot N_{fios} \cdot S_{22}}{0,7} = \frac{24 \cdot 5 \cdot 0,004013}{0,7} = 0,688 cm^2$$

$$K_{ocup} = \frac{Aw_{neces}}{Aw} = \frac{0,688}{0,85} = 0,809$$

# Converter Forward



# Converter Forward



# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$F_s = 20\text{kHz}$$

Frequência de operação;

$$P_{out} = 120\text{W}$$

Potência na saída;

$$V_{out} = 12\text{V}$$

Tensão na saída;

$$V_{in} = 311 \pm 20\% \text{V}$$

Tensão na entrada;

$$V_{in\min} = 249\text{V}$$

Tensão mínima na entrada;

$$J = 450 \text{ A} / \text{cm}^2$$

Densidade de corrente;

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$B=0,3T$$

Densidade de fluxo máximo;

$$k_p=0,5$$

Fator de ocupação do primário;

$$k_w=0,4$$

Fator de ocupação do primário;

$$\eta=75\%$$

Rendimento da estrutura;

$$V_F=1V$$

Queda de tensão dos diodos;

$$D_{\max} = 0,4$$

Razão cíclica máxima;

$$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A} / \text{m}$$

Permeabilidade no vácuo.

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 2) Escolha do núcleo:

$$A_e A_w = \frac{2 \cdot P_{out} \cdot 10^4}{k_w \cdot k_p \cdot J \cdot F_s \cdot \Delta B \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 10^4}{0,4 \cdot 0,5 \cdot 450 \cdot 20k \cdot 0,3 \cdot 0,75} = 5,9 \text{ cm}^4$$

| Núcleo  | $A_e$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_w$ (cm <sup>2</sup> ) | $l_e$ (cm) | $l_t$ (cm) | $v_e$ (cm <sup>3</sup> ) | $A_e A_w$ (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| E-20    | 0,312                    | 0,26                     | 4,28       | 3,8        | 1,34                     | 0,08                         |
| E-30/7  | 0,60                     | 0,80                     | 6,7        | 5,6        | 4,00                     | 0,48                         |
| E-30/14 | 1,20                     | 0,85                     | 6,7        | 6,7        | 8,00                     | 1,02                         |
| E-42/15 | 1,81                     | 1,57                     | 9,7        | 8,7        | 17,10                    | 2,84                         |
| E-42/20 | 2,40                     | 1,57                     | 9,7        | 10,5       | 23,30                    | 3,77                         |
| E-55    | 3,54                     | 2,50                     | 1,2        | 11,6       | 42,50                    | 8,85                         |



# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 3) Cálculo do número de espiras:

$$N_p = \frac{V_{in\ min}}{2 \cdot A_e \cdot \Delta B \cdot F_s} = \frac{249}{2 \cdot 3,54 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 \cdot 20k} = 59 \text{ espiras}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = n = 1,1 \cdot \frac{V_{out} + V_F \cdot D_{\max}}{V_{in\ min} \cdot D_{\max}} = 1,1 \cdot \frac{12 + 1 \cdot 0,4}{249 \cdot 0,4} = 0,137$$

$$N_s = n \cdot N_p = 0,137 \cdot 59 = 8 \text{ espiras}$$

$$N_t = N_p = 59 \text{ espiras}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 4) Perdas no núcleo:

$$K_H = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$K_E = 4 \cdot 10^{-10}$$

$$P_{nucleo} = \Delta B^{2,4} \cdot (K_H \cdot F_s + K_E \cdot F_s^2) \cdot V_e$$

$$P_{nucleo} = 0,3^{2,4} \cdot (4 \cdot 10^{-5} \cdot 20000 + 4 \cdot 10^{-10} \cdot 20000^2) \cdot 42,5$$

$$P_{nucleo} = 2,26W$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 5) Profundidade de penetração:

$$\Delta = \frac{7,5}{\sqrt{F_s}} = \frac{7,5}{\sqrt{20000}} = 0,053 \text{ cm}$$

$$D_{\text{fio}_{max}} = 2 \cdot \Delta = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ cm}$$

Não poderá ser utilizado condutor com diâmetro maior que 0,106 cm. Portanto, podem ser utilizados condutores mais finos que o fio 18 AWG. Escolheu-se o condutor 22 AWG.

$$A_{cu22} = 0,003255 \text{ cm}^2 \quad S_{22} = 0,004013 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{22} = 0,000530 \Omega / \text{cm}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 7) Escolha da seção dos condutores (secundário):

$$I_{sef} = \frac{I_{out}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,1 A$$

$$S_s = \frac{I_{sef}}{J} = \frac{7,1}{450} = 0,016 cm^2 \quad \text{Maior que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{fios\_s} = \frac{S_s}{A_{cu22}} = \frac{0,016}{0,003255} = 5 \text{ fios}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 7) Escolha da seção dos condutores (primário):

$$I_{pef} = \frac{4 \cdot P_{out}}{V_{i\min}} = \frac{4 \cdot 120}{249} = 1,93 \text{ A}$$

$$S_p = \frac{I_{pef}}{J} = \frac{1,93}{450} = 0,0043 \text{ cm}^2 \quad \text{Maior que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{fios-p} = \frac{S_p}{A_{cu22}} = \frac{0,0043}{0,003255} = 2 \text{ fios}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 7) Escolha da seção dos condutores (terciário):

$$I_{tef} = 0,2 \cdot I_{pef} = 0,2 \cdot 1,93 = 0,4 \text{ A}$$

$$S_t = \frac{I_{tef}}{J} = \frac{0,4}{450} = 0,00086 \text{ cm}^2 \quad \text{Menor que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{\text{fios}_t} = \frac{S_t}{A_{cu22}} = \frac{0,00086}{0,003255} = 0,26 = 1 \text{ fio}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 8) Cálculo da resistência do fio:

$$R_{fio_p} = N_p \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios\_p}} \cdot lt = 59 \cdot \frac{0,000530}{2} \cdot 11,6 = 0,18\Omega$$

$$R_{fios} = N_s \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios\_s}} \cdot lt = 8 \cdot \frac{0,000530}{5} \cdot 11,6 = 0,0098\Omega$$

$$R_{fio_t} = N_t \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios\_t}} \cdot lt = 59 \cdot \frac{0,000530}{1} \cdot 11,6 = 0,36\Omega$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 9) Perdas no cobre:

$$P_{cobre} = R_{fiop} \cdot I_{pef}^2 + R_{fios} \cdot I_{sef}^2 + R_{fiot} \cdot I_{tef}^2$$

$$P_{cobre} = 0,18 \cdot 1,93^2 + 0,0098 \cdot 7,1^2 + 0,36 \cdot 0,38^2 = 1,22W$$

## 10) Perdas totais:

$$P_{totais} = P_{nucleo} + P_{cobre} = 2,26 + 1,22 = 3,48W$$

## 11) Elevação de temperatura:

$$Rt = 23 \cdot (AeAw)^{-0,37} = 23 \cdot (8,85)^{-0,37} = 10,26 \text{ } ^\circ C / W$$

$$\Delta T = Rt \cdot P_{total} = 10,26 \cdot 3,48 = 35,7 \text{ } ^\circ C$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

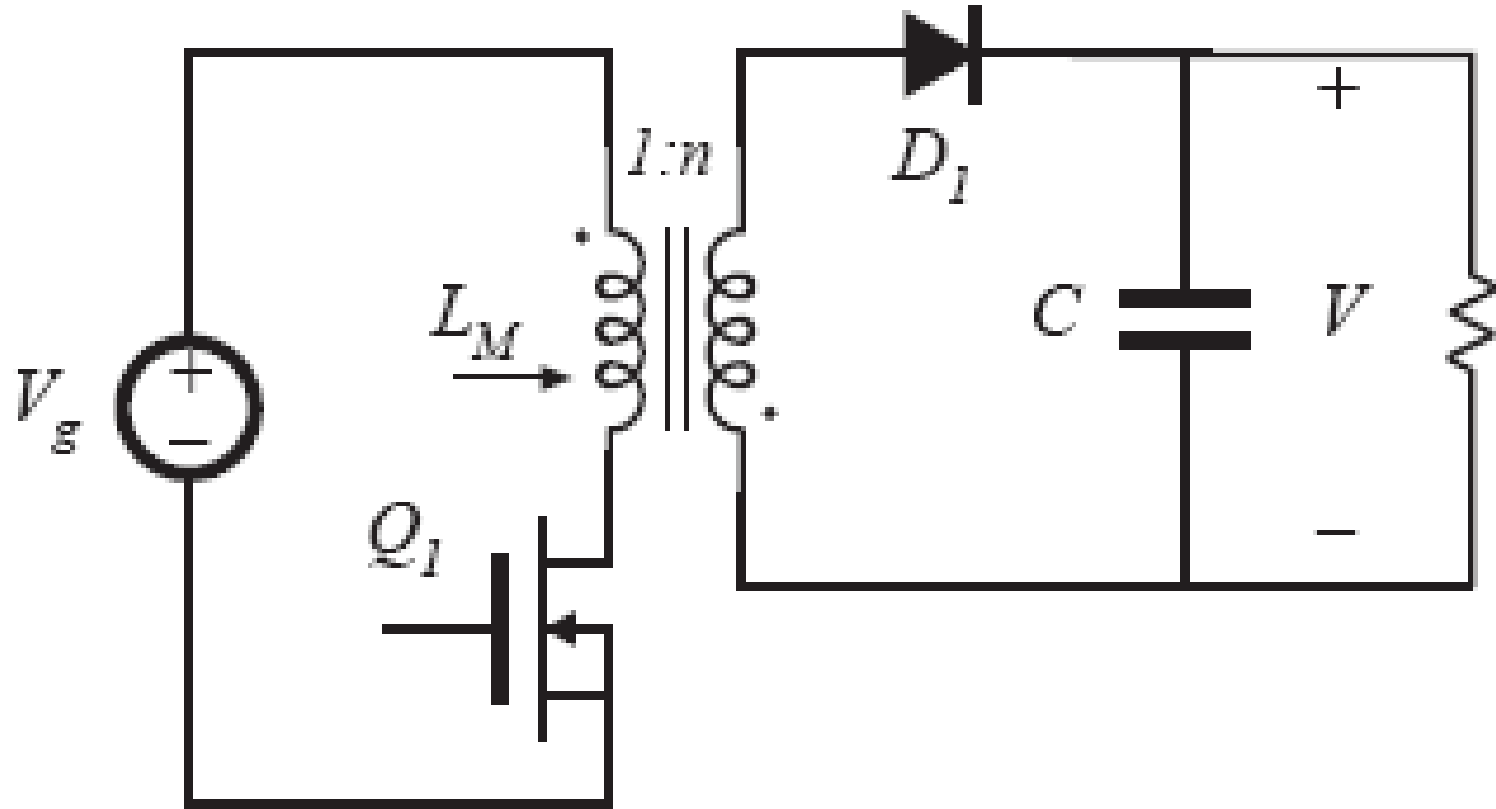
## 12) Cálculo do fator de ocupação:

$$Aw_{neces} = \frac{(Np \cdot N_{fios\_s} + Ns \cdot N_{fios\_s} + Nt \cdot N_{fios\_t}) \cdot S_{22}}{0,7}$$

$$Aw_{neces} = \frac{(59 \cdot 2 + 8 \cdot 5 + 59 \cdot 1) \cdot 0,004013}{0,7} = 1,244 \text{ cm}^2$$

$$K_{ocup} = \frac{Aw_{neces}}{Aw} = \frac{1,244}{2,5} = 0,5$$

# Converter Flyback



# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$F_s = 20\text{kHz}$$

Frequência de operação;

$$P_{out} = 120\text{W}$$

Potência na saída;

$$V_{out} = 12\text{V}$$

Tensão na saída;

$$V_{in} = 311 \pm 20\% \text{V}$$

Tensão na entrada;

$$V_{in\min} = 249\text{V}$$

Tensão mínima na entrada;

$$J = 450 \text{ A} / \text{cm}^2$$

Densidade de corrente;

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 1) Dados de entrada:

$$B=0,3T$$

Densidade de fluxo máximo;

$$k_p=0,5$$

Fator de ocupação do primário;

$$k_w=0,4$$

Fator de utilização da área da janela;

$$\eta=75\%$$

Rendimento da estrutura;

$$V_F=1V$$

Queda de tensão dos diodos;

$$D_{\max} = 0,4$$

Razão cíclica máxima;

$$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb} / \text{A} / \text{m} \quad \text{Permeabilidade no vácuo.}$$

## 2) Cálculo da corrente de pico no primário:

$$I_p = \frac{2 \cdot P_{out}}{\eta \cdot V_{in \min} \cdot D_{\max}} = \frac{2 \cdot 120}{0,75 \cdot 249 \cdot 0,4} = 3,213 \text{ A}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 3) Escolha do núcleo:

$$A_e A_w = \frac{1,1 \cdot P_{out} \cdot 10^4}{k_w \cdot k_p \cdot J \cdot F_s \cdot \Delta B} = \frac{1,1 \cdot 120 \cdot 10^4}{0,4 \cdot 0,5 \cdot 450 \cdot 20k \cdot 0,3} = 4,0 \text{ cm}^4$$

| Núcleo  | $A_e$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_w$ (cm <sup>2</sup> ) | $l_e$ (cm) | $l_t$ (cm) | $v_e$ (cm <sup>3</sup> ) | $A_e A_w$ (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| E-20    | 0,312                    | 0,26                     | 4,28       | 3,8        | 1,34                     | 0,08                         |
| E-30/7  | 0,60                     | 0,80                     | 6,7        | 5,6        | 4,00                     | 0,48                         |
| E-30/14 | 1,20                     | 0,85                     | 6,7        | 6,7        | 8,00                     | 1,02                         |
| E-42/15 | 1,81                     | 1,57                     | 9,7        | 8,7        | 17,10                    | 2,84                         |
| E-42/20 | 2,40                     | 1,57                     | 9,7        | 10,5       | 23,30                    | 3,77                         |
| E-55    | 3,54                     | 2,50                     | 1,2        | 11,6       | 42,50                    | 8,85                         |



# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 4) Cálculo do entreferro:

$$\Delta W = \frac{P_{out}}{\eta \cdot F_s} = \frac{120}{0,75 \cdot 20k} = 8mJ$$

$$\delta = \frac{2 \cdot \mu_o \cdot \Delta W}{\Delta B^2 \cdot A_e} = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8m}{0,3^2 \cdot 3,54 \cdot 10^{-4}} = 0,631mm$$

$$lg = \frac{\delta}{2} = \frac{0,631mm}{1} = 0,316mm$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 5) Cálculo do número de espiras:

$$N_p = \frac{\Delta B \cdot \delta}{\mu_o \cdot I_p} = \frac{0,3 \cdot 0,631 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,213} = 47 \text{ espiras}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = n = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in \min}} \cdot \frac{1 - D_{\max}}{D_{\max}} = \frac{12 + 1}{249} \cdot \frac{1 - 0,4}{0,4} = 0,078$$

$$N_s = n \cdot N_p = 0,078 \cdot 47 \cong 4 \text{ espiras}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 6) Perdas no núcleo:

$$K_H = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$K_E = 4 \cdot 10^{-10}$$

$$P_{nucleo} = \Delta B^{2,4} \cdot (K_H \cdot F_s + K_E \cdot F_s^2) \cdot V_e$$

$$P_{nucleo} = 0,3^{2,4} \cdot (4 \cdot 10^{-5} \cdot 20000 + 4 \cdot 10^{-10} \cdot 20000^2) \cdot 42,5$$

$$P_{nucleo} = 2,26W$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 7) Profundidade de penetração:

$$\Delta = \frac{7,5}{\sqrt{F_s}} = \frac{7,5}{\sqrt{20000}} = 0,053 \text{ cm}$$

$$D_{\text{fio}_{max}} = 2 \cdot \Delta = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ cm}$$

Não poderá ser utilizado condutor com diâmetro maior que 0,106 cm. Portanto, podem ser utilizados condutores mais finos que o fio 18 AWG. Escolheu-se o condutor 22 AWG.

$$A_{cu22} = 0,003255 \text{ cm}^2 \qquad S_{22} = 0,004013 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{22} = 0,000530 \Omega / \text{cm}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 8) Escolha da seção dos condutores (primário):

$$I_{pef} = I_p \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} = 3,213 \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} = 1,173 A$$

$$S_p = \frac{I_{pef}}{J} = \frac{1,173}{450} = 0,0026 cm^2 \quad \text{Pode ser usado o fio 23 AWG.}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 9) Escolha da seção dos condutores (secundário):

$$I_s = I_p \cdot \frac{N_p}{N_2} = 3,213 \cdot \frac{47}{4} = 37,75 A$$

$$I_{sef} = I_s \cdot \sqrt{\frac{1 - D_{\max}}{3}} = 37,75 \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,4}{3}} = 16,9 A$$

$$S_s = \frac{I_{sef}}{J} = \frac{16,9}{450} = 0,037 \text{ cm}^2 \quad \text{Maior que a área do fio 22 AWG.}$$

$$N_{\text{fios}_s} = \frac{S_s}{A_{cu22}} = \frac{0,037}{0,003255} = 12 \text{ fios}$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 10) Cálculo da resistência do fio:

$$R_{fio_p} = N_p \cdot \frac{\rho_{23}}{N_{fios\_p}} \cdot lt = 47 \cdot \frac{0,000668}{1} \cdot 11,6 = 0,36\Omega$$

$$R_{fios} = N_s \cdot \frac{\rho_{22}}{N_{fios\_s}} \cdot lt = 4 \cdot \frac{0,000530}{12} \cdot 11,6 = 0,00205\Omega$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 11) Perdas no cobre:

$$P_{cobre} = R_{fio\text{p}} \cdot I_{pef}^2 + R_{fios} \cdot I_{sef}^2$$

$$P_{cobre} = 0,36 \cdot 1,173^2 + 0,00205 \cdot 16,9^2 = 1,08W$$

## 12) Perdas totais:

$$P_{totais} = P_{nucleo} + P_{cobre} = 2,26 + 1,08 = 3,34W$$

## 13) Elevação de temperatura:

$$Rt = 23 \cdot (AeAw)^{-0,37} = 23 \cdot (8,85)^{-0,37} = 10,26 \text{ } ^\circ C / W$$

$$\Delta T = Rt \cdot P_{total} = 10,26 \cdot 3,34 = 34,28 \text{ } ^\circ C$$

# Projeto de transformadores com núcleo de ferrite

## 14) Cálculo do fator de ocupação:

$$Aw_{neces} = \frac{Np \cdot N_{fios\_s} \cdot S_{23} + Ns \cdot N_{fios\_s} \cdot S_{22}}{0,7}$$

$$Aw_{neces} = \frac{47 \cdot 1 \cdot 0,003221 + 4 \cdot 12 \cdot 0,004013}{0,7} = 0,49 \text{ cm}^2$$

$$K_{ocup} = \frac{Aw_{neces}}{Aw} = \frac{0,49}{2,5} = 0,2$$

# Próxima aula

## Parte 3 – Fontes chaveadas:

1. Snubber;
2. Soft-starter;
3. Alimentação auxiliar;
4. Proteções.
5. PCB;
6. Layout.