

SEL-EESC-USP

Conversores *AC* *DC*

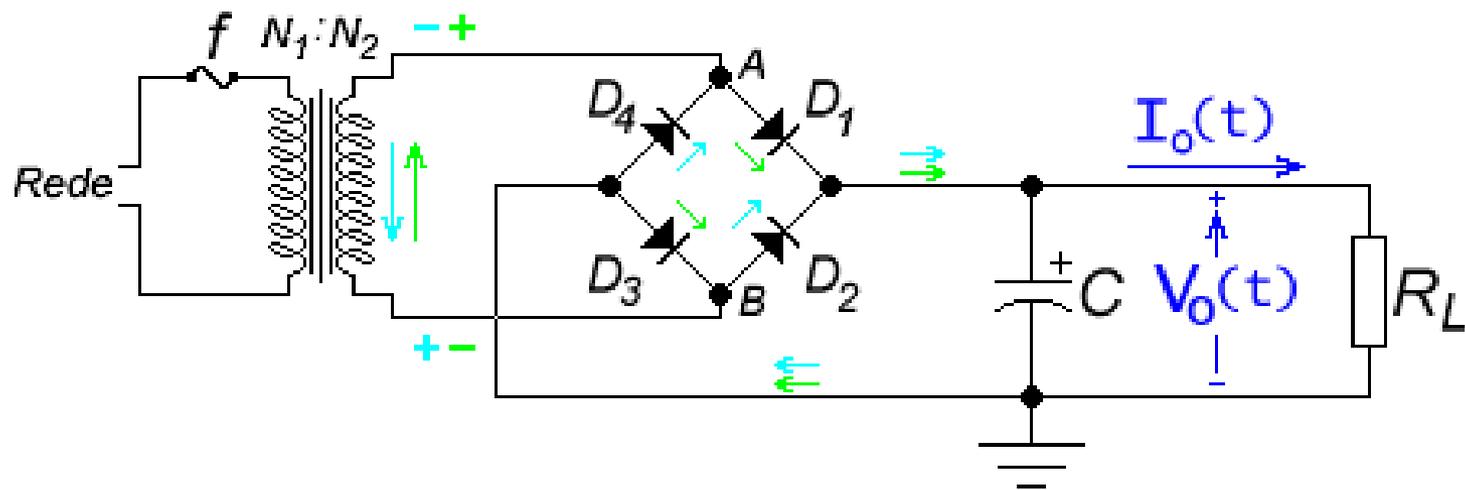
Cálculo de Retificadores

Exercício 1: Projeto (Síntese)

(Na **síntese** são dimensionados os diodos, capacitor, transformador e fusível.)

Síntese

Para ser usada com o estabilizador eletrônico 7812 deve-se construir uma **fonte DC a partir de um retificador em ponte e de um filtro capacitivo**, como mostra a figura abaixo. Essa fonte deverá possuir as seguintes características: $V_{o(DC)} = 16\text{ V}$ e $V_{r(pk-pk)} = 2\text{ V}$ em plena carga com $I_o = 1\text{ A}$. A máxima tensão de pico na saída deve ser: $V_M = 25\text{ V}$. Sabendo-se que o trafo é alimentado pela rede de 60 Hz e que $R_L = 16\ \Omega$, dimensionar todos os componentes do circuito.



1

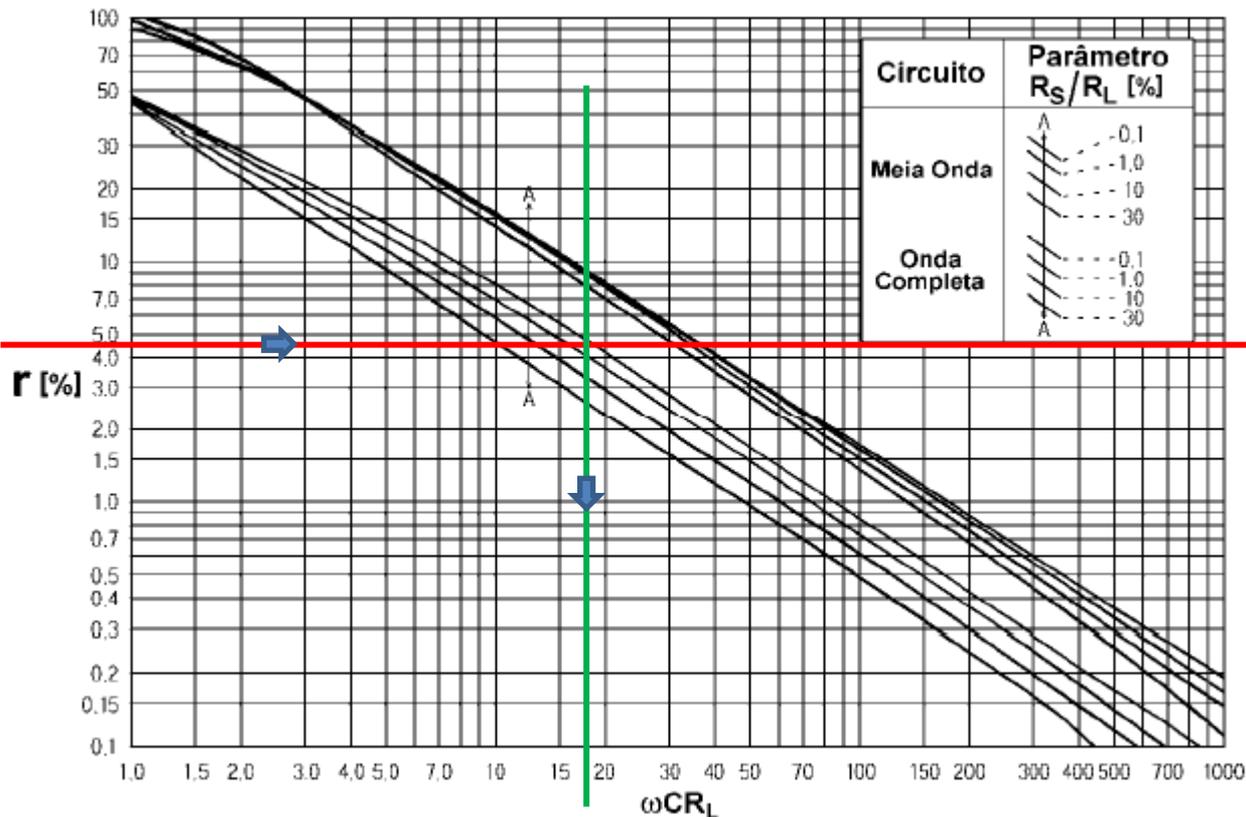
Cálculo do Fator de Regulação (r)

$$r \approx \frac{100 \times V_{r(pk-pk)}}{2\sqrt{2} \times V_{o(DC)}} = \frac{100 \times 2}{2\sqrt{2} \times 16} = 4,42 \quad [\%]$$

2

Cálculo de wCR_L

Como o valor de r e através do gráfico abaixo estima-se $10 \leq wCR_L \leq 20$. O valor escolhido é $wCR_L=10$.



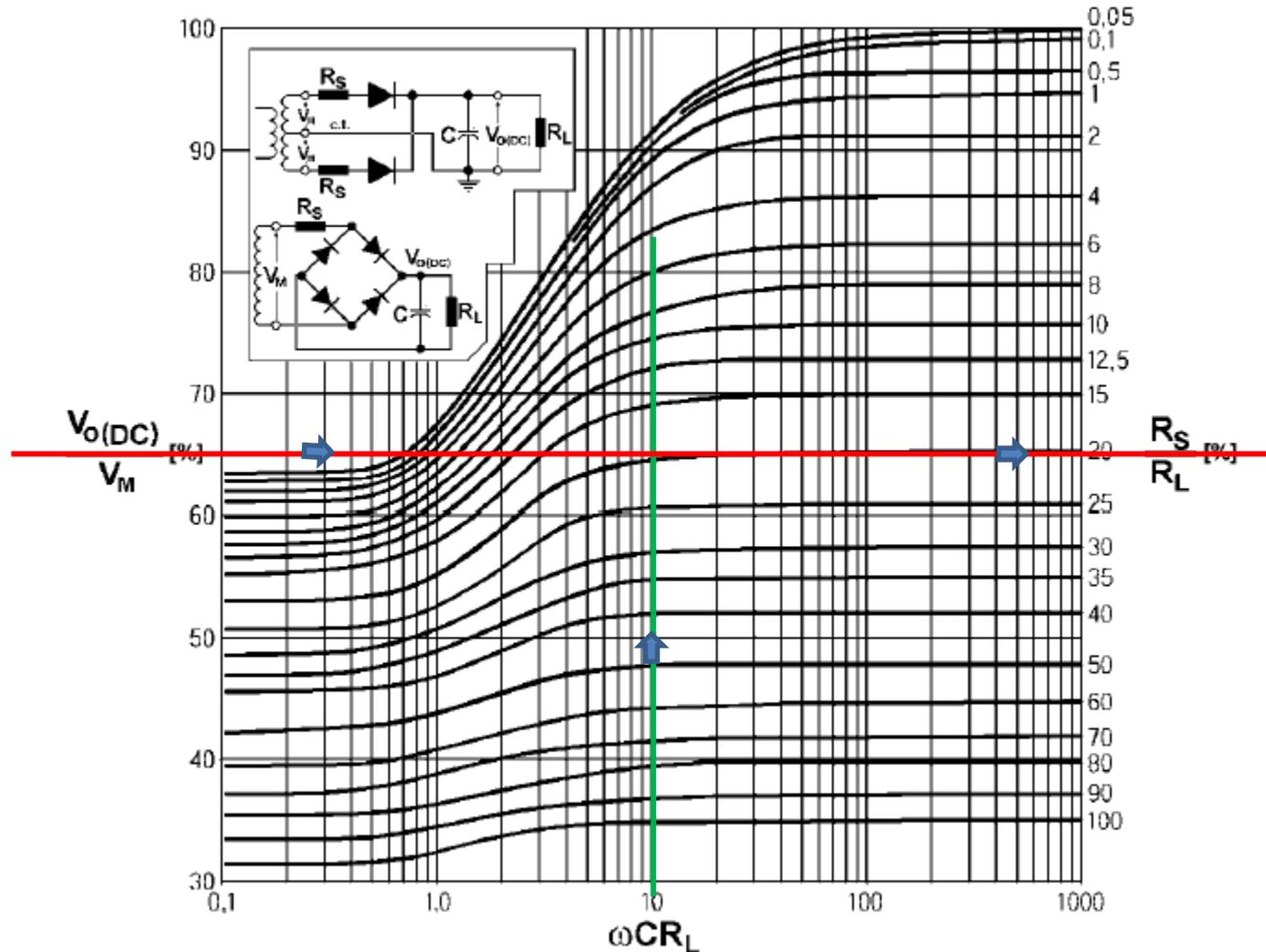
Para que haja uma regulação satisfatória da tensão de saída, deve-se fazer **$wCR_L \geq 10$** para uma regulação superior a 10%. Deve-se fazer também **$R_s/R_L \leq 0,1\%$** .

A escolha $wCR_L=10$, descrita na pg. 11 da apostila "Conversores AC DC ...", deveria ser $wCR_L=18$.

Cálculo de R_s

3

Escolhendo-se $[\omega CR_L] = 10$ e através do gráfico abaixo com $V_{o(DC)}/V_M = 16/25 = 64\%$, calcula-se: $R_s/R_L = 20\%$. Como $R_L = 16\ \Omega$, então $R_s = 3,2\ \Omega$.



Escolha do Capacitor

4

$$C = \frac{[\omega CR_L]}{2\pi f \times \left(\frac{V_{o(DC)}}{I_o}\right)} = \frac{10}{2\pi 60 \times 16} = 1,658 \times 10^{-3} \text{ [F]}$$

Deve-se usar, portanto, $C=1800 \mu\text{F}/35 \text{ V}$, que é o valor comercial mais próximo.

Recalcula-se, então, $[\omega CR_L] = 120\pi \times 0,0018 \times 16 = 10,86$ que está dentro, portanto, da faixa inicial prevista.

Escolha do Diodo

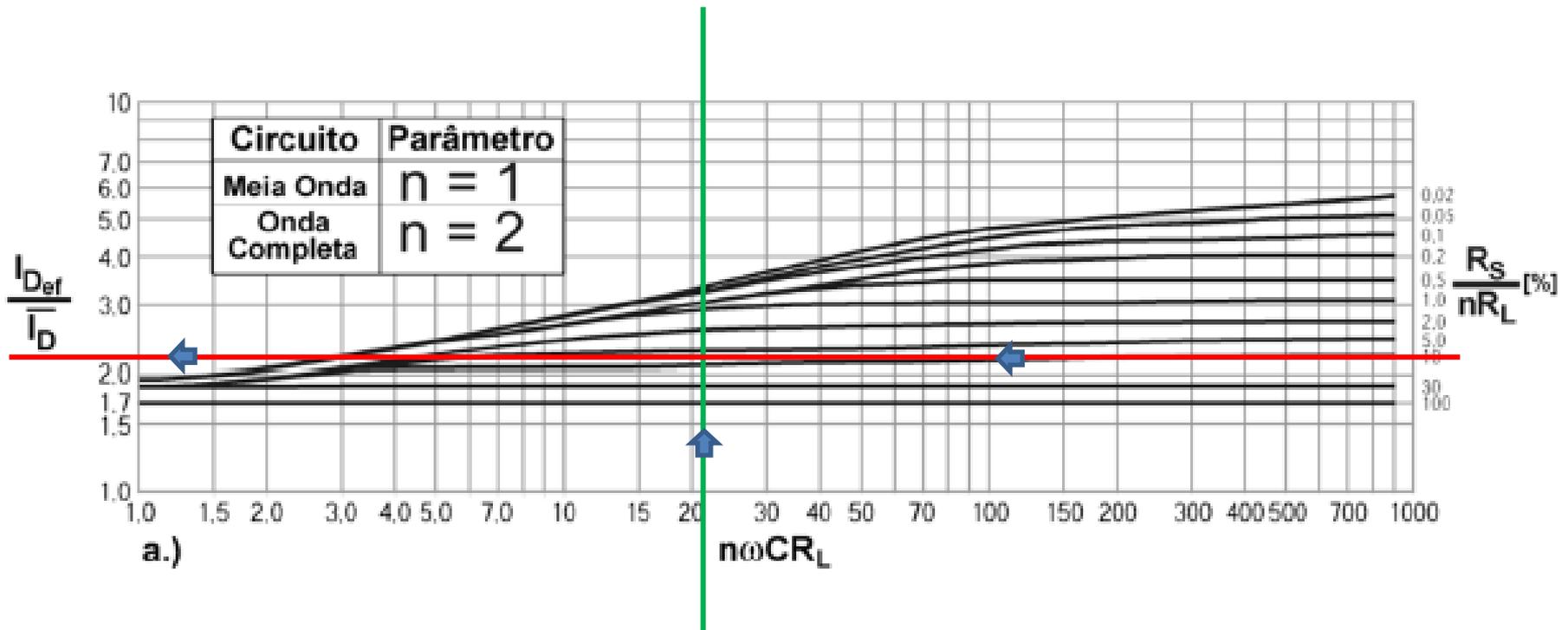
5

Corrente Média nos Diodos:

$$\overline{I_D} = \frac{I_o}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ [A]}$$

6

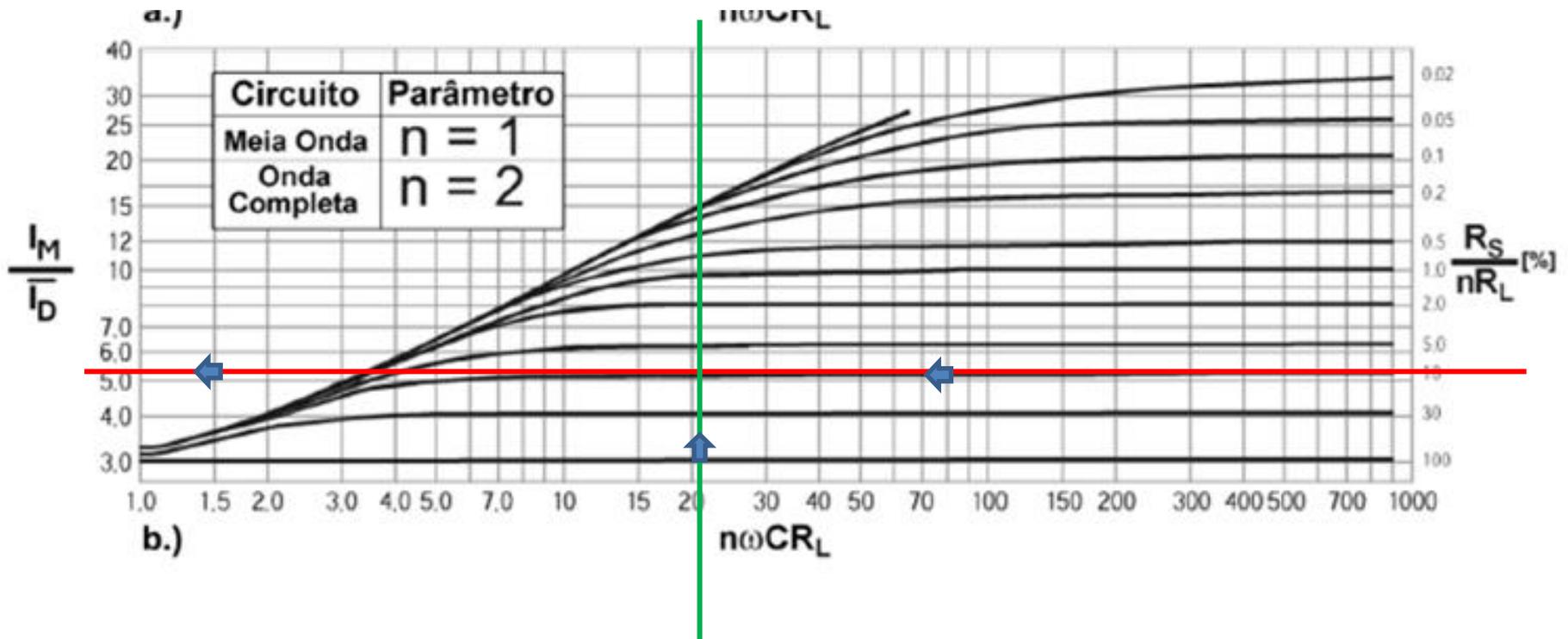
Corrente Eficaz nos Diodos: através do gráfico abaixo e com $R_s / nR_L = 10\%$ e $n[\omega CR_L] = 2 \times 10,86 = 21,72$, obtém-se $I_{\text{def}} / I_D = 2,2$ e calcula-se $I_{\text{def}} = 2,2 \times (I_D)_{\text{avg}} = 1,1 \text{ A}$.



Escolha do Diodo

7

Corrente de Pico Repetitivo no Diodo: através do gráfico da abaixo, com $R_S / nR_L = 10\%$ e $n[\omega CR_L] = 21,72$, calcula-se $I_M = 5,3 \times I_D = 2,65\text{ A}$.



Escolha do Diodo

8

Corrente de Surto Inicial dos Diodos: $I_{surto} = V_M / R_S = 25 / 3,2 = 7,8 \text{ A}$.

9

Máxima tensão reversa sobre os diodos: $PIV = V_M = 25\text{V}$. Então qualquer diodo com $BV \geq 30 \text{ V}$ é adequado.

Diodos do tipo *1N4001*, com $(I_D)_{avg} = 1\text{A}$, $B_v = 50\text{V}$ e $I_{FSM} = 30\text{A}$ podem ser utilizados.

Características do Trafo

10 **Tensão Eficaz do Secundário:**

$$V_{ef(sec)} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} + nV_\gamma = \frac{25}{\sqrt{2}} + 2 \times 0,7 = 19,08 \text{ [V]}$$

11 **Perdas Totais (R_s):** $R_s = 3,2\Omega$

12 **Corrente Eficaz no Secundário ($I_{ef(sec)}$):**

$$I_{ef(sec)} = \sqrt{2} \times I_{Def} = \sqrt{2} \times 1,1 = 1,56 \text{ [A]}$$

13 **Potência do Trafo:**

$$P = V_{ef(sec)} \times I_{ef(sec)} = 19,68 \times 1,56 = 30,61 \text{ [VA]}$$

14 **Fator de Regulação do Trafo:**

$$r_{eg} = \frac{R_s \times I_{ef(sec)}}{V_{ef(vazio)}} \times 100 = \frac{3,2 \times 1,56}{19,68} \times 100 = 25,37 \text{ [%]}$$

Características do Trafo

15 **Relação de Espiras :**

$$\frac{N_1}{N_2} \cong \frac{V_{prim}}{V_{sec}} = \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{127}{19,68} = 6,45$$

16 **Corrente de Fusível:**

$$I_{fusível} = \frac{N_2}{N_1} \times I_{ef(sec)} = I_{fusível} = \frac{1,56}{6,45} = 0,242 \text{ [A]}$$

Pode-se usar um fusível de 250 mA.

17 **Constante de Tempo de Carga do Capacitor :**

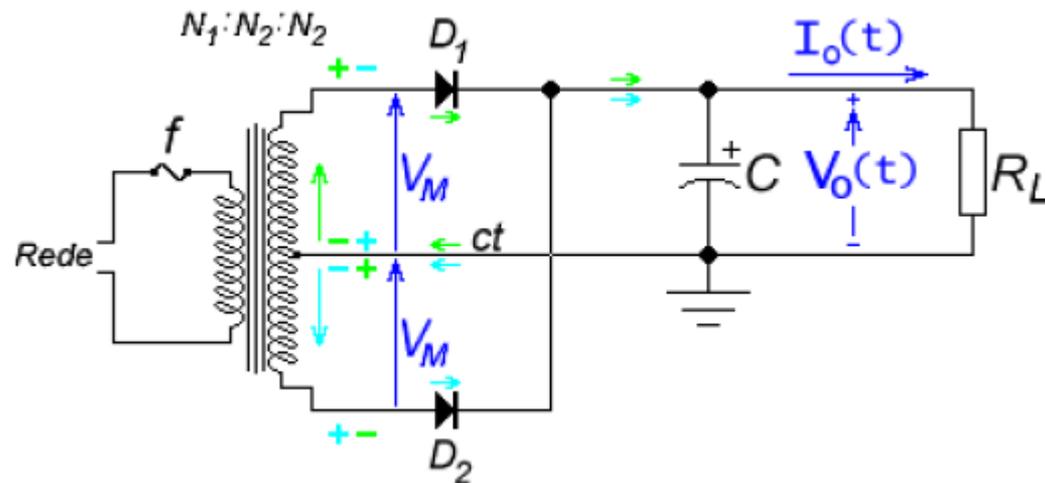
$\zeta \approx R_s C = 3,2 \times 0,0018 = 5,76ms$. Como $\zeta \leq 8,3ms$, os diodos estão protegidos contra excesso de surto inicial.

Exercício 2: Projeto (Análise)

(Na **análise** são conhecidos a capacitância, as características do transformador, do diodo e o valor da carga. Calcula-se as correntes e tensões no circuito.)

Análise

No circuito retificador de onda completa com *center tap* da figura abaixo o trafo possui as seguintes características: $25V_{ef} + 25V_{ef}$ no secundário, $P=125VA$ e $r_{eg} = 25\%$. A capacitância do filtro é $C = 3300\mu F \times 35V$ e a carga máxima da fonte é $R_L(min) = 10\Omega$. Os diodos possuem os seguintes parâmetros: $V_{fwd} = 0,8763 V$ e $R_{on} = 0,085206 \Omega$. Calcular todos os parâmetros da fonte.



1 Capacidade Nominal de Corrente do Trafo:

$$I_{ef(sec)} = 125/50 = 2,5A$$

2 Resistência Total de Perdas do Secundário:

$$R_{S(total)} = \frac{r_{eg} \times V_{ef(vazio)}}{100 \times I_{ef(sec)}} = \frac{25 \times 50}{100 \times 2,5} = 5 \quad [\Omega]$$

A resistência de perdas por enrolamento vale, portanto, $R_S = 2,5\Omega$.

3 Cálculo de wCR_L e $(R_S + R_{on})/R_L$:

$$[\omega CR_L] = [120\pi \times 0,0033 \times 10] = 12,44$$

$$\frac{R_S + R_{on}}{R_L} = \frac{2,5 + 0,85206}{10} = 25,85\%$$

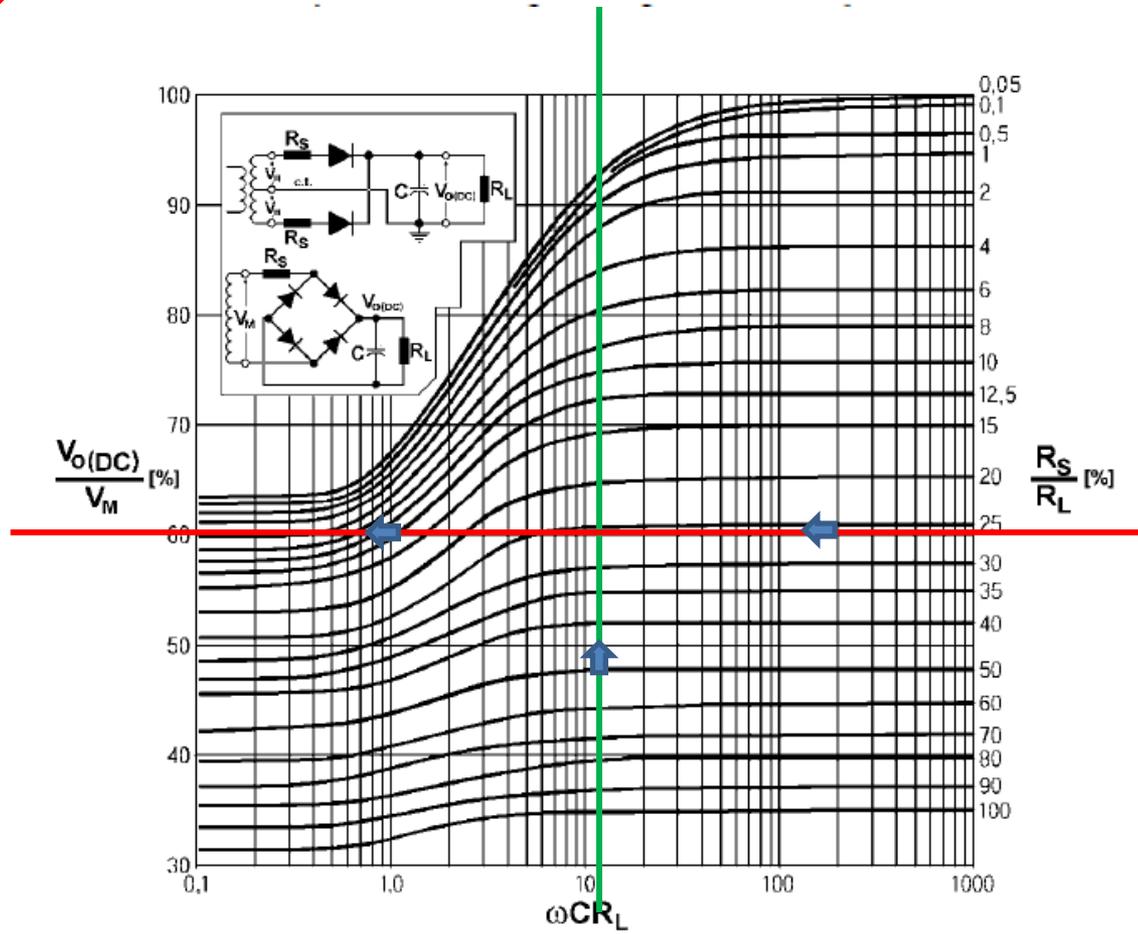
4 **Cálculo de $V_{o(DC)}$ com a fonte em vazio ($R_L \rightarrow \infty$):**

$$V_{o(DC)} = 25 \times \sqrt{2} = 35,36 \text{ V.}$$

5 **Cálculo de $V_{o(DC)}$ com carga máxima:**

No gráfico abaixo conhecendo-se $\omega CR_L = 12,44$ e $R_S/R_L = 25,85\%$ obtem-se $V_{o(DC)}/V_M = 0,6$

➔ $V_{o(DC)} = 0,6 \times (25 \times \sqrt{2} - V_{fvd}) = 0,6 \times (25 \times \sqrt{2} - 0,8763) = 20,337 \text{ V.}$



6

Corrente máxima na fonte (I_o) :

$$I_o = V_{o(DC)} / 10 = 20.337 / 10 = 2.0337 \text{ A}$$

7

Corrente média por diodo :

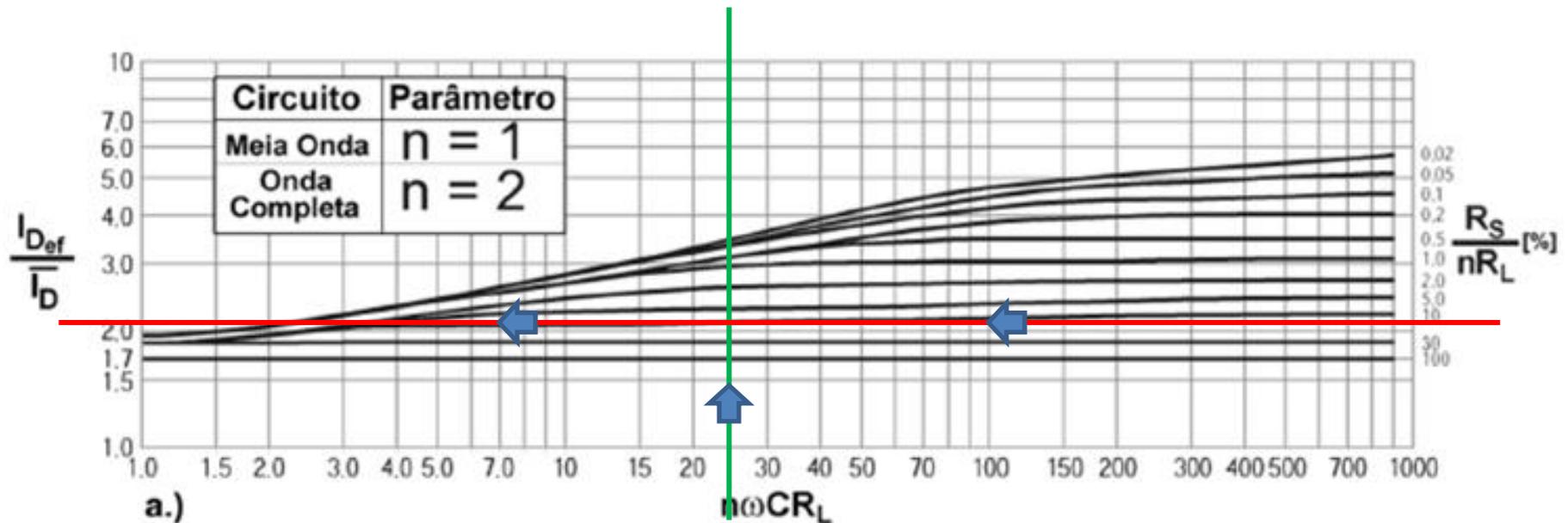
$$(I_D)_{avg} = I_o / 2 = 1.017 \text{ A}$$

8

Corrente eficaz no diodo (I_{Def}) :

Utilizando-se $n[\omega CR_L] = 24,88$ e $R_S / nR_L = 12,925 \%$ no gráfico abaixo, obtém-se:

$$I_{Def} = 2,1 \times \overline{I_D} = 2 \times 1,017 = 2,157 \text{ A}$$

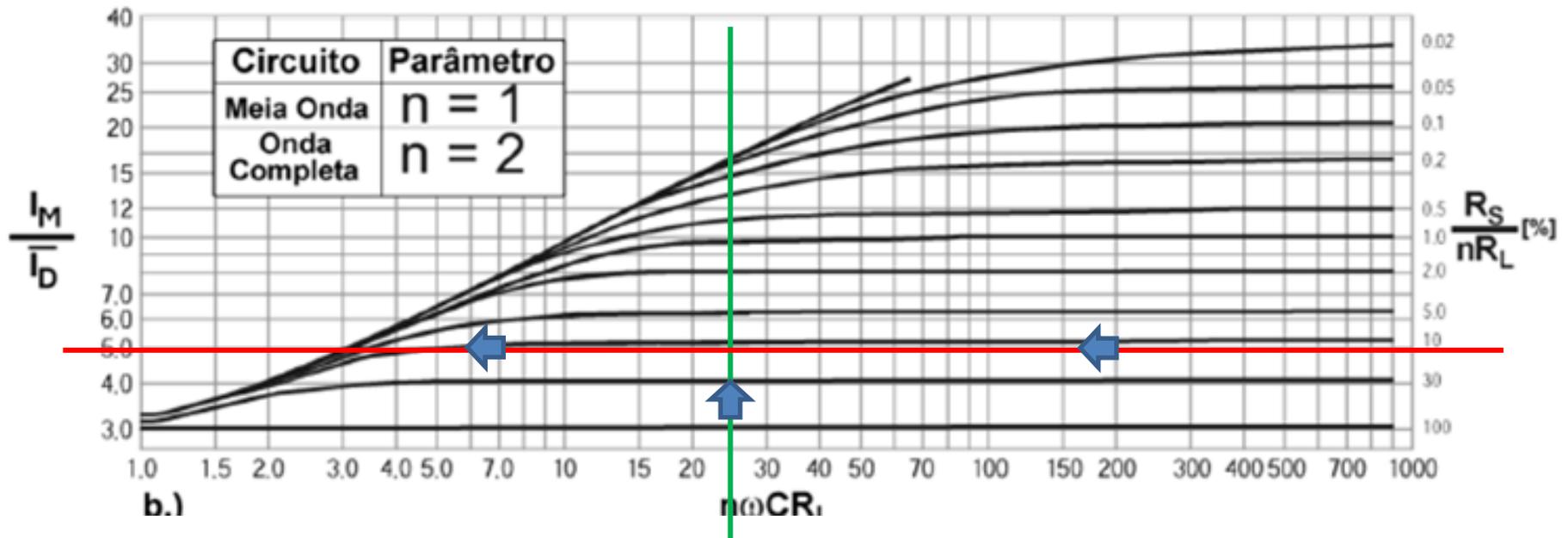


9

Corrente de Pico Repetitivo por (I_M) :

Utilizando-se $n[\omega CR_L] = 24,88$ e $R_S / nR_L = 12,925 \%$ no gráfico abaixo, obtém-se:

$$I_M = 5 \times \overline{I_D} = 5 \times 1,017 = 5,085 \text{ A}$$



10 **Corrente de Surto Inicial nos diodos (I_{surge}) :**

$$I_{surto} = V_M / R_S < I_{FSM}$$

$$I_{surge} = \sqrt{2} \times 25 / 2,5852 = 13,68 \text{ A}$$

Obs: a corrente de surto é muito maior que a corrente de pico no diodo !

11 **Tempo de carga do capacitor (ζ)**

$$\zeta = R_S C = 2,5 \times 0,0033 = 8,53 \text{ ms (levemente acima do máximo permitido)}$$

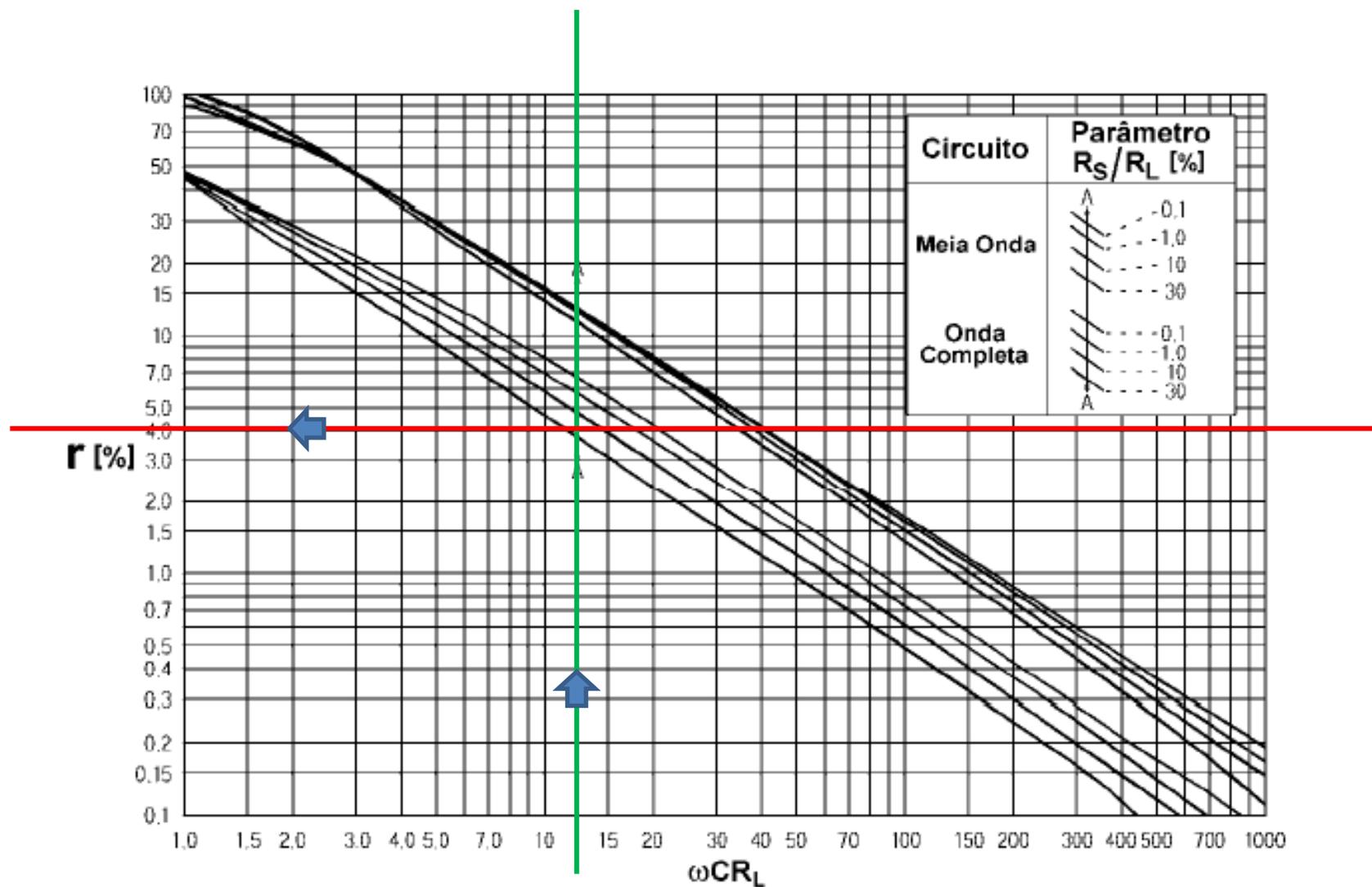
12 **Máxima tensão reversa sobre os diodo (PIV)**

$$PIV = 2 \times V_M = 70,71 \text{ V.}$$

Pode ser usado, portanto, diodos do tipo **1N4002**, que possuem os seguintes parâmetros: $(I_D)_{avg} = 1 \text{ A}$, $B_V = 100\text{V}$ e $I_{FSM} = 30\text{A}$.

13

Fator de Ripple (r) : pelo gráfico com $10 < R_s / R_L < 30$ e $\omega CR_L = 12,44$ obtém-se $r \approx 4\%$



14 **Corrente eficaz do trafo no secundário ($I_{ef(sec)}$) :**

$$I_{ef(sec)} = I_{Def}$$

$$I_{ef(sec)} = I_{Def} = 2,1576 \text{ A.}$$

15 **Corrente no center-tap (I_{CT}) :**

$$I_{CT} = 2,157 \times \sqrt{2} = 3,05 \text{ A}$$

16 **Relação de Espiras no trafo (primário de 127V):**

$$\frac{N_1}{N_2} \cong \frac{V_{prim}}{V_{sec}} = 5,08$$

17 **Corrente do fusível de proteção:**

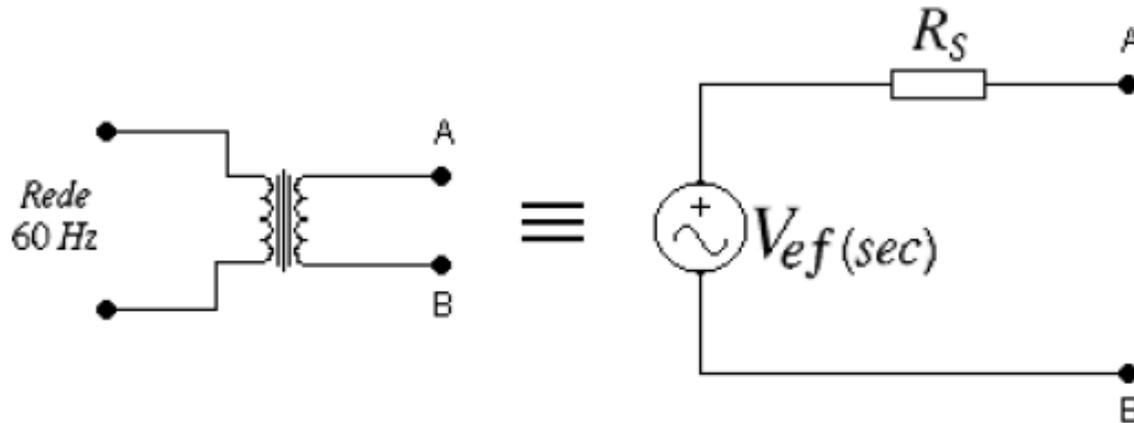
$$I_{fusível} = \frac{N_2}{N_1} \times I_{ef(sec)} \text{ [A]} \quad \text{ou} \quad I_{fusível} = \frac{N_2}{N_1} \times I_{CT}$$

$$I_{fusível} = 3,05 / 5,08 = 0,6005 \text{ A.}$$

Poderá ser usado um fusível de 600 mA.

Exercício 3

Na figura abaixo é esboçado um modelo simples de um Trafo, usado em cálculos manuais, que apresenta as seguintes características: Primário: $127 V_{ef}$, $60 Hz$; Secundário: $12 V_{ef}$, em vazio; Potência: $40 VA$ e $reg=15\%$. Se esse trafo for usado em um circuito retificador com filtro capacitivo, calcular o valor mínimo de I_{FSM} dos diodos e o valor máximo de C de filtro para que os diodos retificadores não sejam danificados.



Circuito Equivalente Simplificado de um Trafo Usado em Conversores AC/DC de 60 Hz.

1 Cálculo da corrente nominal do trafo:

$$I_{nom(sec)} = \frac{P}{V_{ef(sec)}} = \frac{40}{12} = 3,333 \quad [\text{A}]$$

2 Cálculo da tensão de secundário com carga:

$$r_{eg} = \frac{V_{sec(vazio)} - V_{sec(c\ arg\ a)}}{V_{sec(vazio)}} \times 100 \Rightarrow 15 = \frac{12 - V_{sec(c\ arg\ a)}}{12} \times 100 \Rightarrow V_{sec(c\ arg\ a)} = 10,2 \quad [\text{V}]$$

3 Cálculo da resistência do trafo:

$$R_{S(trafo)} = \frac{V_{sec(vazio)} - V_{sec(c\ arg\ a)}}{I_{nom}} = \frac{12 - 10,2}{3,333} = 0,54 \quad [\Omega]$$

4 Cálculo da corrente de surto em diodos retificadores:

$$I_{surge} = \frac{V_M}{R_{S(trafa)}} = \frac{12 \times \sqrt{2}}{0,54} = 31,427 \text{ [A]} \rightarrow I_{surge} \approx 32 \text{ [A]}$$

5 Cálculo da máxima capacitância de filtro:

$$C \leq \frac{\tau_s}{R_{S(trafa)}} = \frac{8,3 \times 10^{-3}}{0,54} = 15370 \text{ [\mu F]} \rightarrow C \leq 15000 \text{ [\mu F]}$$