

EE833 - Turmas B e U - 2010/II

Doc.#1: Lista de Exercícios 1

1. Ponte retificadora monofásica com carga resistiva e filtro capacitivo (veja circuito na figura A1-1 do anexo 1. Neste circuito, como nos demais cinco, a tensão indicada por v_0 corresponde à tensão que temos representado por v_d). A tensão de alimentação é senoidal com frequência igual a 60 Hz e com 220 V de tensão eficaz (rms). A medida da resistência equivalente da carga fornece 278 ohms.

a) Estime o valor da capacitância, C , que garante uma ondulação na tensão de saída inferior a 5% do seu valor máximo. Use a aproximação

$$\frac{v_{d\max} - v_{d\min}}{v_{d\max}} \cong \frac{1}{2fRC}, \quad v_{d\max} = V_p$$

b) Assumindo (neste e em todos os outros itens a seguir) que o valor de C é o calculado em (a), calcule a ondulação na tensão de saída, em percentagem e em valor absoluto. Use as expressões deduzidas em aula:

$$\frac{v_{d\max} - v_{d\min}}{v_{d\max}} = \frac{V_p - v_{d\min}}{V_p} = \frac{\Delta v}{V_p} = 1 - \cos\phi_2$$

em que ϕ_2 satisfaz

$$\phi_2 = F(\phi_2), \quad F(\phi_2) = \cos^{-1} \left[\cos\phi_1 \exp\left(\frac{\phi_1 - \pi}{\omega RC}\right) \exp(\phi_2/\omega RC) \right]$$
$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega RC} \right)$$

c) Calcule a corrente de entrada máxima (em módulo, que coincide com a corrente máxima através de cada diodo, e do máximo de i_d). Use a expressão, deduzida em aula,

$$i_e = i_d = \frac{V_p}{R} (\omega RC \cos\theta + \sin\theta), \quad \theta = \omega t$$

válida para o intervalo do primeiro semiciclo em que $i_d > 0$, ou seja, o intervalo definido por

$$\theta_1 = \pi/2 - \phi_2 < \theta < \pi/2 + \phi_1 = \theta_2$$

d) Calcule o valor eficaz (ou rms) da corrente de entrada, i_e (que coincide com o valor eficaz de i_d).

e) Calcule o valor médio da corrente i_d .

f) Estime, aproximadamente, a média da corrente i_d , assumindo que os pulsos de corrente tenham forma triangular.

g) Calcule a potência média na entrada (que coincide com a da carga)

h) Determine o fator de potência na entrada.

2. Considere o circuito da fig. A1-2, que é o circuito da fig. A1-1 modificado pela inserção do indutor L . Considere a fonte de tensão e a carga resistiva idênticas às do exercício 1. Assuma que indutância L seja suficientemente alta para que, no regime, a corrente nunca se interrompa, ou seja, $i_d > 0$ todo o tempo (esta condição é chamada de modo de condução contínua).

a) Determine a tensão e corrente médias na carga.

b) Assumindo por simplicidade que a ondulação da tensão na saída possa ser desprezada (o

que em princípio pode ser conseguido fazendo a capacitância C suficientemente alta) determine a expressão da corrente i_d .

c) Com as mesmas restrições assumidas em (b), determine o menor valor de L que assegura modo de condução contínua, ou seja, $i_d > 0$ todo tempo.

d) Determine o fator de potência no limite $L \rightarrow \infty$ (na prática, fazer a indutância suficientemente alta, de modo a poder desprezar a ondulação na corrente i_d)

3. Este exercício se refere à ponte retificadora trifásica mostrada na fig. A1-3. As tensões de fase são dadas por

$$v_a = V_p \cos(\omega t) \quad v_b = V_p \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad v_c = V_p \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right).$$

Supondo que a carga possa ser modelada por uma fonte de corrente constante, I_0 , como indica o diagrama (na prática esta condição pode ser assumida se a ondulação na corrente de saída pode ser ignorada, como no caso de a corrente i_d atravessar um indutor de indutância suficientemente alta),

a) esboce os gráficos das correntes i_a , i_b e i_c de cada fase em função do tempo, indicando os diodos que conduzem em cada intervalo.

b) determine, FP , FD , FF_i e DHT (ver anexo 2), como vistos dos terminais da fonte v_a .

4. Para o retificador controlado simétrico da fig. A1-4, assumindo corrente constante na carga,

a) esboce as formas de onda da tensão de saída e corrente de entrada (use um ângulo de disparo, α , contado a partir do início do semi-ciclo, de 60°);

b) determine o valor eficaz da corrente de entrada, FP e DHT em função do ângulo de disparo α ;

c) repita o item a trocando a fonte de corrente na saída por um resistor de resistência R .

5. Para o retificador semi-controlado assimétrico da fig. A1-5, repita o que é pedido no exercício 4. Acrescente as formas de onda das correntes em T1 e D1.

6. Para o retificador totalmente controlado da figura A1-6, repita o que é pedido no exercício 4

7. Uma ponte retificadora totalmente controlada (como a da figura A1-6) é utilizada para carregar baterias a partir da tensão da rede (60 Hz, 127 V de tensão eficaz). Em série com a tensão de alimentação (lado AC) existe um indutor com indutância $L_e = 8$ mH. Em série com a bateria sendo carregada, temos um indutor com indutância muito elevada, de modo a praticamente suprimir a ondulação da corrente no lado DC.

a) Assumindo que a bateria possa ser modelada por uma fonte de tensão DC ideal (com polaridade tal que, durante o processo de carga a corrente $i_d \cong I_d = cte$ entre pelo terminal positivo) com tensão igual a 72 V, determine a corrente $I_d = \langle i_d \rangle \cong i_d$ em função do ângulo de disparo α .

b) O mesmo que em (a) com o modelo da bateria modificado para incluir uma resistência série de 260 m Ω .

8. Considere uma ponte monofásica totalmente controlada (como a da figura A1-6). A ponte fornece corrente aos terminais do enrolamento de um grande eletroímã, cujo circuito equivalente é uma associação L-R série, com $L = 400$ mH e $R = 3.2 \Omega$.

$$V_p = 220\text{V}$$
$$f = 60\text{Hz}$$

$$\langle i_D \rangle = \langle i_L + i_D R \rangle = 0 = R \langle i_D \rangle$$

$$\frac{V_p \cos \alpha}{\pi} = i_D \Rightarrow i_D = 0$$

$$500 \text{ A} = i_D \left[\frac{V_p \cos \alpha}{\pi} \right]$$

a) Calcule o ângulo de atraso α que mantém uma corrente (essencialmente constante) i_d com $\langle i_d \rangle = 500 \text{ A}$.

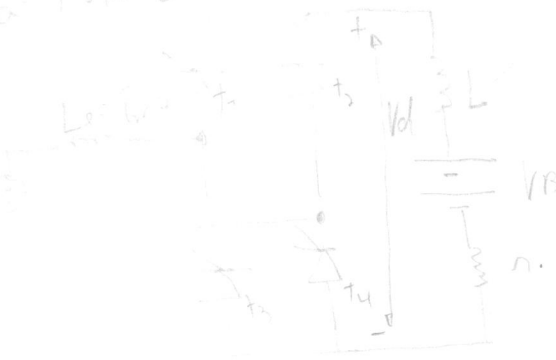
b) Qual é a maneira mais rápida, controlando apenas a fase α , de desmagnetizar o eletroímã? Qual é o tempo mínimo de desmagnetização?

$$E = \frac{L}{\tau} = 1.5 \text{ mH}$$

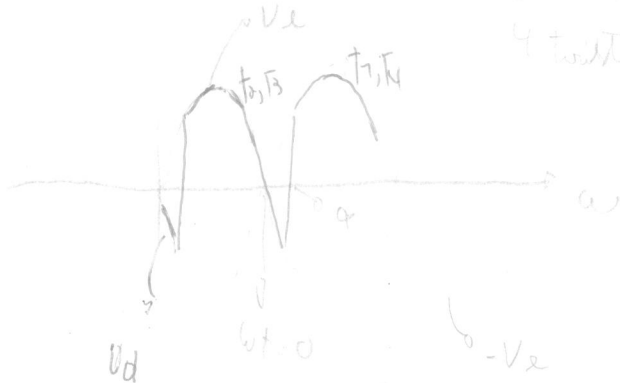
$$I = \frac{E}{R} = 9.35 \text{ mA} \quad \text{e } C/(H/d) = 75$$

$$H = \frac{I}{C} = \frac{9.35 \text{ mA}}{75} = 0.125 \text{ A/m}$$

2) a) $n=0$



$$V_B = 220 \text{ V}$$



$$0 \leq \theta = \omega t < \alpha$$

$$\alpha \leq \theta < \alpha + \phi$$

$$\alpha + \phi \leq \theta \leq 2\pi$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_p \sin \theta$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_p \sin \theta$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_p \sin \theta$$

$$\frac{1}{\omega L} = \frac{V_p \sin \theta}{\omega L}$$

$$C = \frac{V_p \cos \theta}{\omega L}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta = \alpha \quad i_L = -I_0 = -C \frac{V_p \cos \alpha}{\omega L} \quad (1) \\ \theta = \alpha + \phi \quad i_L = I_0 = C \frac{V_p \cos(\alpha + \phi)}{\omega L} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow C = \frac{V_p \cos \alpha - I_0}{\omega L} \quad (2)$$

$$\text{Substitua em (1)}$$

$$I_0 = \frac{V_p \cos \alpha - I_0}{\omega L} - \frac{V_p \cos(\alpha + \phi)}{\omega L}$$

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \phi) = \frac{\omega L I_0}{V_p}$$

$$\cos(\alpha + \phi) = \cos \alpha - \frac{\omega L I_0}{V_p}$$

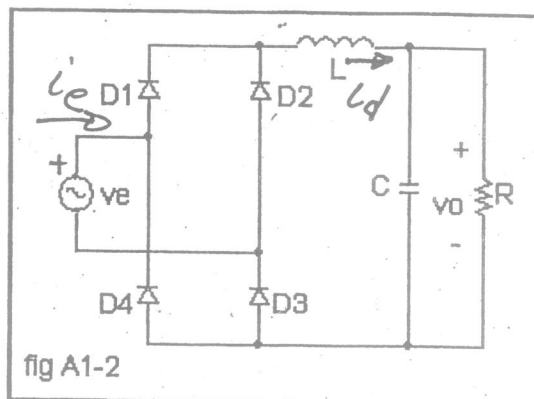
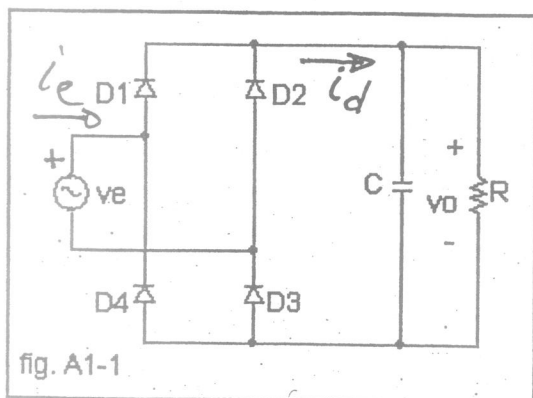
$$\phi = \omega^{-1} \left[\cos \phi - \frac{\partial \omega L_o J_o}{V_p} \right]$$

$$\langle v_d \rangle = \langle V_L + V_B + n i_d \rangle = \langle V_L \rangle + \langle V_B \rangle + \langle n i_d \rangle$$

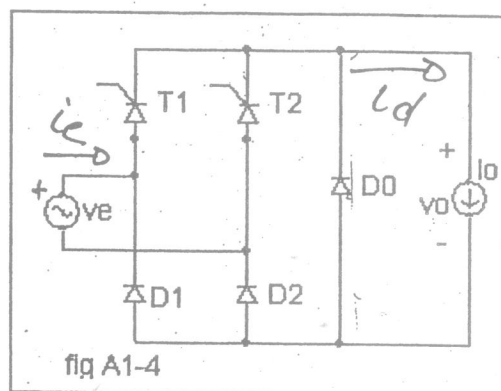
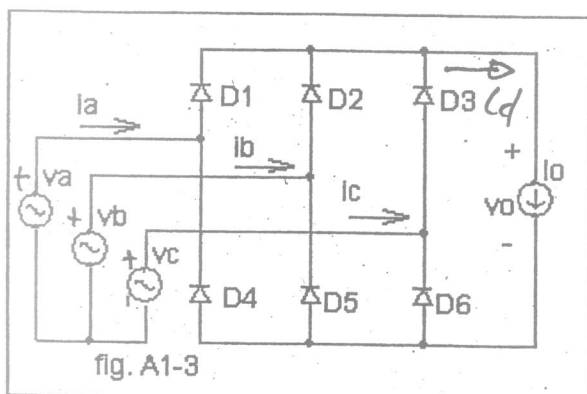
$L_o V_B$ $L_o n i_d$

Anexo 1: Diagramas dos Circuitos

$$a^{-1} n = 0 \rightarrow \langle v_d \rangle = V_B$$

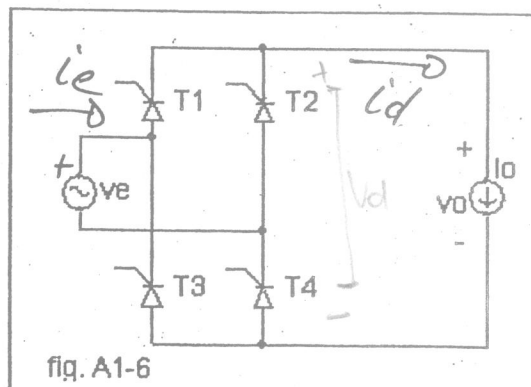
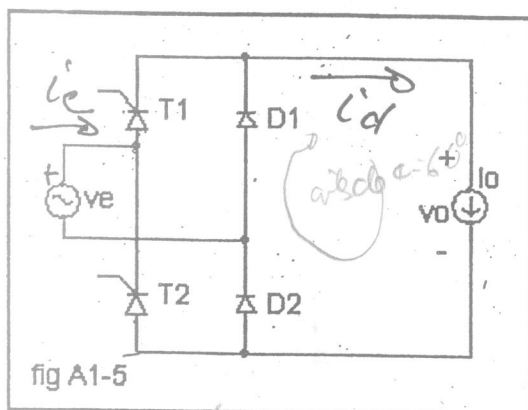


$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} v_d d\theta + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d\theta + \int_{2\pi}^{3\pi} v_d d\theta = \int_0^{\pi} v_e d\theta + \int_{2\pi}^{3\pi} v_e d\theta = \omega_p \phi - \omega_p 0 + [-\omega_p \gamma - (-\omega_p(a+\theta))]$$



$$= \frac{V_p}{\pi} (\cos \phi + \cos(\phi + \theta)) = V_B$$

$$V_p \left[\frac{2\omega_p \phi - \partial \omega L_o J_o}{V_p} \right] = V_B$$



$$I_o = \frac{V_p}{\pi} \left[\frac{2\omega_p \phi - \partial \omega L_o J_o}{V_p} \right]$$

OBS:

$$V_o = V_d$$

• nos circuitos das figuras A1-3 a A1-6 $i_d = I_o = cte$

• A numeração dos diodos ou tiristores pode diferir da utilizada em aula

Anexo 2: Alguns Parâmetros de Desempenho

Consideraremos apenas o caso em que a tensão de entrada é senoidal:

$$v_e = V_p \sin \omega t$$

Abaixo temos uma lista dos símbolos utilizados

V_e : valor eficaz da tensão de entrada

$$\sum_{n=1}^{\infty} i_{en} = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{en} \sin(\omega t + \phi_n) = i_e: \text{ série de Fourier da corrente (instantânea) de entrada,}$$

assumindo componente dc nula

I_e : valor eficaz da corrente de entrada

I_{e1} : valor eficaz da componente fundamental da corrente de entrada

I_{en} : valor eficaz da harmônica de ordem n da corrente de entrada

ϕ_1 : diferença de fase entre a componente fundamental da corrente de entrada e a tensão de entrada

Definições:

$$\text{fator de deslocamento: } FD = \cos \phi_1$$

$$\text{fator de forma da corrente de entrada: } FF_e = \frac{I_{e1}}{I_e}$$

$$\text{distorção harmônica total: } DHT = \frac{\sqrt{\langle (\sum_{n=2}^{\infty} i_{en})^2 \rangle}}{I_{e1}}$$

$$\text{fator de potência : } FP = \frac{P_{\text{média}}}{P_{\text{aparente}}} = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v_e i_e dt}{V_e I_e}$$

Relações:

$$I_e^2 = \sum_{n=1}^{\infty} I_{en}^2; \quad \langle (\sum_{n=2}^{\infty} i_{en})^2 \rangle = \sum_{n=2}^{\infty} I_{en}^2 \Rightarrow DHT = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_{en}^2}{I_{e1}^2}} = \sqrt{\frac{I_e^2}{I_{e1}^2} - 1}$$

$$\left(\frac{1}{FF_e}\right)^2 = 1 + (DHT)^2 \quad FP = (FF_e)(FD) = \frac{FD}{\sqrt{1 + (DHT)^2}}$$