



Flyback MCD

72V -> 48V; 50W; 40kHz

Disciplina: Conversores Estáticos e Fonte Chaveadas

Professor: Clóvis Antônio Petry
Joabel Moia

Florianópolis - Abril 2014

Referências:

Projetos de Fontes Chaveadas, pág. 285 à 302. e pág. 311

Especificações:

$V_i := 72$	V	Tensão de entrada
$V_o := 48$	V	Tensão de saída
$P_o := 50$	W	Potência do conversor
$f_s := 40000$	Hz	Frequência de comutação
$\Delta V_{Co} := 0.01 \cdot V_o = 0.48$		Ondulação de tensão na carga (saída)
$\eta := 0.85$		Rendimento do conversor

☒ Cálculos preliminares

Cálculos preliminares

$$R_o := \frac{V_o^2}{P_o} = 46.08 \quad \Omega \quad T_s := \frac{1}{f_s} = 2.5 \times 10^{-5} \quad s$$

$$I_o := \frac{P_o}{V_o} = 1.042 \quad A \quad \text{Corrente média de saída}$$

A razão de operação máxima é estabelecida em 50%.

$$D_{\max} := 0.45 \quad \text{Razão máxima do ciclica do conversor.}$$

$$a := \frac{V_o}{V_i} = 0.667 \quad \text{Ganho total do conversor}$$

$$I_{p_{\max}} := \frac{2 \cdot P_o}{\eta \cdot V_i \cdot D_{\max}} = 3.631 \quad A \quad \text{Corrente de pico no primário}$$

Projeto do Indutor acoplado:

Especificação do Material

Densidade máxima de Fluxo

$$B_{\max} := 0.3 \quad T$$

Densidade de Fluxo

$$\Delta B := 0.25 \quad T$$

Densidade de Corrente

$$J_{\max} := 450 \quad \frac{A}{cm^2}$$

Fator de utilização da área do enrolamento

$$k_w := 0.4 \quad k_w \text{ e } k_p \Rightarrow \text{valores definidos pág. 323}$$

Fator de ocupação do primário

$$k_p := 0.5 \quad \text{livro Projeto de Fonte Chaveadas}$$

Rendimento do conversor:

$$\eta = 0.85$$

Cálculo do Transformador

$$A_e A_w := \frac{1.1 \cdot P_o \cdot 10^4}{\Delta B \cdot k_w \cdot k_p \cdot J_{\max} \cdot f_s} \quad A_e A_w = 0.611 \quad cm^4$$

Núcleo escolhido:

NEE30/14 da Thornton

O $A_e A_w$ do núcleo escolhido é de 1,02 cm²

Dados do núcleo:

Área da secção transversal do núcleo:

$$A_e := 1.2 \quad cm^2$$

Área da janela:

$$A_w := 0.85 \quad cm^2$$

Volume do núcleo:

$$V_{\text{nucleo}} := 8.0 \quad cm^3$$

Coefficiente de perdas por correntes Parasitas:

$$K_f := 4 \cdot 10^{-10} \quad k_f \text{ e } k_h \Rightarrow \text{valores definidos pág. 311}$$

Coefficiente de perdas por Histerese:

$$K_h := 4 \cdot 10^{-5} \quad \text{livro Projeto de Fonte Chaveadas}$$

Comprimento médio de uma espira:

$$MLT := 6.0 \quad cm$$

Valor baseado nos dimensionais do núcleo NEE 30/14 da Thornton

Entreferro:

$$\mu := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

$$\delta_N := \frac{2 \cdot \mu \cdot P_O}{\Delta B^2 \cdot A_e \cdot \eta \cdot f_s \cdot 10^{-4}} \quad \delta_N = 4.928 \times 10^{-4} \text{ m} \quad \text{ou } 4,928 \text{ mm}$$

$$l_{\text{entreferro}} := \frac{\delta_N}{2} \quad l_{\text{entreferro}} = 2.464 \times 10^{-4} \text{ m} \quad \text{ou } 2,464 \text{ mm}$$

Numero de espiras:

$$N_p := \text{ceil} \left(\frac{\Delta B \cdot \delta_N}{I_{p_{\max}} \cdot \mu} \right) = 28$$

$$N_s := \text{ceil} \left[N_p \cdot \frac{V_o \cdot (1 - D_{\max})}{V_i \cdot D_{\max}} \right] = 23$$

$$n := \frac{N_s}{N_p} = 0.821 \quad \text{Relação de transformação}$$

Cálculo das Correntes Envolvidas:

$$I_{p_{\text{ef}}} := I_{p_{\max}} \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} \quad I_{p_{\text{ef}}} = 1.406 \text{ A} \quad \text{Corrente Eficaz no Primário}$$

$$I_{s_{\max}} := \frac{2 \cdot P_O}{\eta \cdot V_o \cdot (1 - D_{\max})} \quad I_{s_{\max}} = 4.456 \text{ A} \quad \text{Corrente de Pico do Secundário}$$

$$I_{s_{\text{ef}}} := I_{s_{\max}} \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} \quad I_{s_{\text{ef}}} = 1.726 \text{ A} \quad \text{Corrente Eficaz do Secundário}$$

Cálculo da bitola dos condutores:

Penetração máxima:

$$\Delta := \frac{7.5}{\sqrt{f_s}} \quad D_{\text{cond}} := 2 \cdot \Delta = 0.075$$

Área do cobre:

$$A_{\text{cobrep}} := \frac{I_{p_{\text{ef}}}}{J_{\max}} \quad A_{\text{cobrep}} = 3.125 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad \text{ou } A_{\text{cobrep}} = 0,003125 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{cobres}} := \frac{I_{\text{sef}}}{J_{\text{max}}} \quad A_{\text{cobres}} = 3.835 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad \text{ou } A_{\text{cobres}} = 0,003835 \text{ cm}^2$$

A bitola do condutor primario é:

AWG22

Seção do condutor nu:

$$S_{\text{condutor_nup}} := 0.003055 \text{ cm}^2$$

Seção do condutor Isolado:

$$S_{\text{condutor_isoladop}} := 0.004013 \text{ cm}^2$$

Resistividade do Condutor:

$$\rho_{\text{pfio}} := 0.000708 \frac{\Omega}{\text{cm}}$$

A bitola do condutor secundario é:

AWG21

Seção do condutor nu:

$$S_{\text{condutor_nus}} := 0.004105 \text{ cm}^2$$

Seção do condutor Isolado:

$$S_{\text{condutor_isolados}} := 0.005004 \text{ cm}^2$$

Resistividade do Condutor:

$$\rho_{\text{sfio}} := 0.0005061 \frac{\Omega}{\text{cm}}$$

Número de condutores:

$$N_{\text{condp}} := \text{round} \left(\frac{A_{\text{cobrep}}}{S_{\text{condutor_nup}}} \right)$$

$$N_{\text{condp}} = 1$$

$$N_{\text{conds}} := \text{round} \left(\frac{A_{\text{cobres}}}{S_{\text{condutor_nus}}} \right)$$

$$N_{\text{conds}} = 1$$

Possibilidade de Execução:

$$A_{\text{wminp}} := \left(\frac{N_p \cdot N_{\text{condp}} \cdot S_{\text{condutor_isoladop}}}{k_w} \right)$$

$$A_{\text{wminp}} = 0.281 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{wmins}} := \left(\frac{N_s \cdot N_{\text{conds}} \cdot S_{\text{condutor_isolados}}}{k_w} \right)$$

$$A_{\text{wmins}} = 0.288 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{wminp} + A_{wmins}}{A_w} = 0.669$$

Ok!, Pode ser executado: $(A_{wmin}/A_w < 1)$

Comprimento do chicote:

$$L_{pchicote} := MLT \cdot N_p$$

$$L_{pchicote} = 168 \quad \text{cm}$$

$$L_{schicote} := MLT \cdot N_s$$

$$L_{schicote} = 138 \quad \text{cm}$$

Cálculo térmico:

Resistência de condução:

$$R_{pcobre} := \frac{\rho_{pfio} \cdot L_{pchicote}}{N_{condp}}$$

$$R_{pcobre} = 0.119 \quad \Omega$$

$$R_{scobre} := \frac{\rho_{sfio} \cdot L_{schicote}}{N_{conds}}$$

$$R_{scobre} = 0.07 \quad \Omega$$

Potência Dissipada no cobre:

$$P_{pcobre} := R_{pcobre} \cdot (I_{p_{ef}})^2$$

$$P_{pcobre} = 0.235 \quad \text{W}$$

$$P_{scobre} := R_{scobre} \cdot (I_{s_{ef}})^2$$

$$P_{scobre} = 0.208 \quad \text{W}$$

$$P_{cobre} := P_{pcobre} + P_{scobre} = 0.443 \quad \text{W}$$

Perdas Núcleo:

$$P_{nucleo} := \Delta B^{2.4} \cdot (K_h \cdot f_s + K_f \cdot f_s^2) \cdot V_{nucleo}$$

$$P_{nucleo} = 0.643 \quad \text{W}$$

Resistencia térmica do nucleo:

$$AeAw_{lo} := Ae \cdot Aw$$

$$AeAw_{lo} = 1.02$$

$$R_{nucleo} := 23AeAw_{lo}^{-0.37}$$

$$R_{nucleo} = 22.832 \quad \frac{\Delta^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Elevação de temperatura:

$$\Delta T := (P_{cobre} + P_{nucleo}) \cdot R_{nucleo}$$

$$\Delta T = 24.808 \quad ^\circ\text{C}$$

Calculo das Indutâncias de magnetizante do transformador:

$$L_p := \frac{V_i \cdot D_{\max}}{I_{p_{\max}} \cdot f_s} \quad L_p = 2.231 \times 10^{-4} \text{ H} \quad \text{Indutância magnetizante do primário}$$

$L_p = 0.2231\text{mH}$

ou

$$L_{mp} := \frac{N_p \cdot \Delta B \cdot A_e \cdot 10^{-4}}{I_{p_{\max}}} \quad L_{mp} = 2.313 \times 10^{-4} \text{ H}$$

$$L_s := L_p \cdot n^2 \quad L_s = 1.505 \times 10^{-4} \text{ H} \quad \text{Indutância do secundário}$$

$L_s = 0.151\text{mH}$

▲ Projeto dos Indutores

▼ Parametros de Projeto

Cálculo do Capacitor:

$$C_o := \frac{D_{\max} \cdot V_o}{f_s \cdot R_o \cdot \Delta V_{Co}} = 2.441 \times 10^{-5} \quad C_o = 27,13\mu\text{F}$$

Capacitor escolhido de 33uF/65V

Escolha do Transistor e do Diodo:

Transistor:

$$I_{\text{tran_max}} := I_{p_{\max}} \quad I_{\text{tran_max}} = 3.631 \text{ A} \quad \text{Corrente de Pico no Transistor}$$

$$I_{\text{tran_ef}} := \frac{V_i}{f_s \cdot L_{mp}} \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} \quad I_{\text{tran_ef}} = 3.014 \text{ A} \quad \text{Corrente eficaz no Transistor}$$

$$I_{\text{tran_med}} := \frac{V_i \cdot D_{\max}^2}{2 \cdot f_s \cdot L_{mp}} \quad I_{\text{tran_med}} = 0.788 \text{ A} \quad \text{Corrente média no Transistor}$$

$$V_{\text{tran_max}} := V_i + \frac{V_o}{n} = 130.435 \text{ V} \quad \text{Tensão máxima sobre o Transistor}$$

$$V_{DS} := 400\text{V} \quad \text{Tensão Drain-Gate}$$

$$V_{GS} := 15\text{V} \quad \text{Tensão Gate-Source}$$

MOSFET escolhido: **IRF740A**

$$R_{DS} := 0.43 \text{ } \Omega \quad \text{Resistência Drain-Source}$$

$$T_{j\max.Mos} := 150 + 273.15 = 423.15 \text{ K} \quad \text{Temperatura máxima de operação}$$

$$R_{thj_case.Mos} := 1 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad \text{Resistência térmica entre junção e cápsula}$$

$$R_{thc_sink.Mos} := 0.5 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad \text{Resistência térmica entre cápsula e dissipador}$$

$$t_r := 35 \cdot 10^{-9} \text{ s} \quad \text{Tempo de subida do Mosfet (rise time)}$$

$$t_f := 22 \cdot 10^{-9} \quad \text{Tempo de descida do Mosfet (fall time)}$$

Diodo:

$$I_{diodo_max} := I_{s\max} \quad I_{diodo_max} = 4.456 \text{ A} \quad \text{Corrente de pico do diodo}$$

$$I_{diodo_ef} := I_{s\max} \cdot \sqrt{\frac{D_{\max}}{3}} \quad I_{diodo_ef} = 1.726 \text{ A} \quad \text{Corrente eficaz no diodo}$$

$$I_{diodo_med} := \frac{I_{s\max} \cdot D_{\max}}{2} \quad I_{diodo_med} = 1.003 \text{ A} \quad \text{Corrente média no diodo}$$

$$V_{diodo_max} := V_o + V_i \cdot n \quad V_{diodo_max} = 107 \text{ V} \quad \text{Tensão Máxima sobre o diodo}$$

Diodo escolhido: **MUR820**

$$R_{thj_case.D} := 3 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad \text{Resistência térmica junção cápsula}$$

$$T_{j\max.D} := 175 + 273.15 = 448.15 \text{ K} \quad \text{Temperatura máxima de operação}$$

Cálculo do Dissipador:

$$T_a := 25 + 273.15 = 298.15 \text{ K} \quad \text{Temperatura ambiente}$$

$$P_{MOSFET.cond} := R_{DS} \cdot I_{tran_ef}^2 = 3.905 \text{ W} \quad \text{Perdas por condução no Mosfet}$$

$$P_{MOSFET.cmt} := \frac{f_s}{2} (t_r + t_f) \cdot I_{tran_max} \cdot V_{tran_max} = 0.54 \text{ W} \quad \text{Perdas por comutação no Mosfet}$$

$$P_{MOSFET} := P_{MOSFET.cmt} + P_{MOSFET.cond} = 4.445 \text{ W} \quad \text{Perdas totais no Mosfet}$$

$$R_{thj_a.MOS.max} := \frac{T_{j\max.Mos} - T_a}{P_{MOSFET}} = 28.122 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad \text{Resistência térmica máxima permitida entre junção e ambiente}$$

Há a necessidade de Dissipador

$v_f := 0.65 \text{ V}$ Queda de tensão do diodo em condução, segundo datasheet

$$P_{\text{Diodo}} := I_{\text{diodo_med}} \cdot v_f = 0.652 \text{ W}$$

Perdas por condução no diodo. Não há perdas de comutação no diodo, pois a corrente vai a zero.

$$R_{\text{thj_a.D.max}} := \frac{T_{\text{jmax.D}} - T_a}{P_{\text{Diodo}}} = 230.154 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Não precisa de dissipador, pois R_{thja} do Diodo é 73 K/W, ou seja, menor que a resistência térmica máxima permitida

Parametros de Projeto

Grampeador

Parametros das Indutancias:

$$R_{dp} := R_{\text{pcobre}} \quad R_{dp} = 0.119 \Omega$$

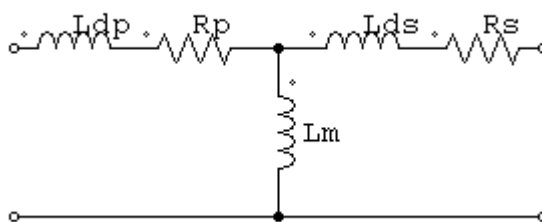
$$R_{ds} := R_{\text{scobre}} \quad R_{ds} = 0.07 \Omega$$

$$L_{dp} := 35 \times 10^{-6} \text{ H} \quad \text{Valor estimado. Necessita ser medido após a construção do transformador.}$$

$$L_{ds} := L_{dp} \cdot n^2 \quad L_{ds} = 2.362 \times 10^{-5}$$

Transformador:

Modelo real:



Circuito equivalente do transformador

Indutância de Dispersão Real do Transformador:

$$L_{dp} = 35 \frac{1}{\text{H}} \cdot \mu\text{H}$$

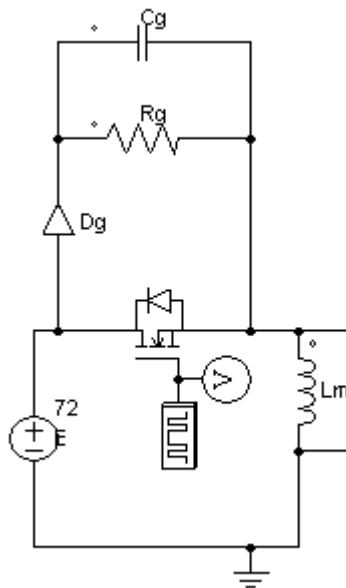
Referida ao primário

$$L_{ds} = 23.616 \frac{1}{\text{H}} \cdot \mu\text{H}$$

Referida ao secundário

Projeto do Grampeador:

Circuido do Grampeador:



Indutância de dispersão equivalente:

$$L_{eq} := 2 \cdot L_{dp} = 7 \times 10^{-5} \text{ H}$$

Corrente no primário:

$$I_{p_{max}} = 3.631 \text{ A}$$

Tensão de grampeamento:

$$V_g := 350 \text{ V}$$

$$V_{tran_max} = 130.435 \text{ V}$$

Apostila Professor Ivo:

$$V_{o_pri} := \frac{V_o}{n} = 58.4 \text{ V}$$

$$\Delta V_g := 0.05 \cdot V_g = 17.5 \text{ V}$$

$$\Delta t := \frac{L_{eq} \cdot I_{p_{max}}}{V_g - V_i - V_{o_pri}} = 1.158 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Duração do grampeamento

$$\frac{\Delta t}{T_s} \cdot 100 = 4.631$$

$$P_g := \frac{L_{eq} \cdot I_{p_{max}}^2 \cdot f_s}{2} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{V_i + V_{o_pri}}{V_g}\right)} = 29.424 \text{ W}$$

Potência dissipada no circuito grampeador

Resistor:

$$R_g := \frac{V_g^2}{P_g} = 4.163 \times 10^3 \text{ } \Omega$$

Resistência do circuito grampeador

Rg = 4.8kΩ/25W

$$C_g := \frac{P_g}{f_s \cdot V_g \cdot \Delta V_g}$$

$$C_g = 1.201 \times 10^{-7} \text{ F}$$

Capacitor do circuito grampeador

$$C_g = 120\text{nF}/630\text{V}$$

 Grampeador
