EXAMEN DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA
20 de febrero de 2019

Problema 2

a)

La carga mínima deberá garantizar que con el consumo mínimo de 0 A se tenga un ciclo de trabajo de al menos 0,05. Se estará en modo de conducción discontinua, ya que si se estuviera en modo de conducción continua, se tendría

$$\frac{U_o}{U_d} = \frac{1}{1-\delta} \quad \Rightarrow \quad \delta = 1 - \frac{U_d}{U_o} = 1 - \frac{48\ \mathrm{V}}{100\ \mathrm{V}} = 0{,}52$$

En modo de conducción discontinua, se tiene que (imponiendo corriente en régimen en bornes de la inductancia L):

$$\frac{U_d}{L}\delta T = \frac{(U_o - U_d)}{L} DT \quad \Rightarrow \quad D = \left(\frac{U_d}{U_o - U_d}\right)\delta$$

Además, la corriente de salida $I_o = \frac{U_o}{R}$ es

$$\frac{U_o}{R} = I_o = \frac{1}{T}\left(\frac{DT}{2}\right)\frac{U_d}{L}\delta T = \frac{U_d}{2Lf}\delta D$$

Reemplazando D, se obtiene

$$\frac{U_o}{R} = \frac{U_d^2 \delta^2}{2Lf(U_o - U_d)}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2LfU_o(U_o - U_d)}{RU_d^2}} \geq \delta_{mín}$$

$$R \leq \frac{2LfU_o(U_o - U_d)}{U_d^2\delta_{mín}^2} = \frac{2(50\ \mu\mathrm{H})(100\ \mathrm{kHz})(100\ \mathrm{V})(100\ \mathrm{V} - 48\ \mathrm{V})}{(48\ \mathrm{V})^2(0{,}05)^2} = 9028\ \Omega$$

b)

El caso más restrictivo se da para carga máxima. Supongamos que para $I_o = 15\ \mathrm{A}$, el convertidor está funcionando en conducción continua. Entonces se tiene que (de la transferencia en MCC) $\delta = 1 - \frac{U_d}{U_o} = 1 - \frac{48\ \mathrm{V}}{100\ \mathrm{V}} = 0{,}52$.

$$\Delta I_L = \frac{U_d}{L}\delta T = \frac{(48\ \mathrm{V})(0{,}52)}{(50\ \mu\mathrm{H})(100\ \mathrm{kHz})} = 4{,}992\ \mathrm{A}$$

$$I_L = \frac{U_o I_o}{U_d} = \frac{(100\ \mathrm{V})(15\ \mathrm{A})}{(48\ \mathrm{V})} = 31{,}25\ \mathrm{A}$$

Se observa que como $I_L > \frac{\Delta I_L}{2}$, entonces se verifica la hipótesis de MCC.

$$I_{Qmín} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 28{,}75\ \mathrm{A}$$

$$I_{Qmáx} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 33{,}75\ \mathrm{A}$$

Pérdidas durante el encendido del MOSFET:

$$P_{on} = \frac{1}{2} U_o I_{Qmín} t_r f = \frac{1}{2}(100\ \mathrm{V})(28{,}75\ \mathrm{A})(99\ \mathrm{ns})(100\ \mathrm{kHz}) = 14{,}23\ \mathrm{W}$$

Pérdidas durante el apagado del MOSFET:

$$P_{off} = \frac{1}{2} U_o I_{Qmáx} t_f f = \frac{1}{2}(100\ \mathrm{V})(33{,}75\ \mathrm{A})(92\ \mathrm{ns})(100\ \mathrm{kHz}) = 15{,}52\ \mathrm{W}$$

Pérdidas durante la conducción del MOSFET:

$$P_{cond} = \frac{1}{T}\int_0^{\delta T} R_{DS(on)} \left(I_{Qmín} + \Delta I_L \frac{t}{\delta T}\right)^2 dt = R_{DS(on)}\delta \left(I_{Qmín}^2 + I_{Qmín}\Delta I_L + \frac{\Delta I_L^2}{3}\right)$$

$$T_{jmáx} = 150\ °\mathrm{C}$$

$$R_{DS(on)@T_{jmáx}} = 2{,}5 \times 0{,}075\ \Omega = 0{,}1875\ \Omega$$

$$P_{cond} = (0{,}1875\ \Omega)(0{,}52)\left((28{,}75\ \mathrm{A})^2 + (28{,}75\ \mathrm{A})(4{,}992\ \mathrm{A}) + \frac{(4{,}992\ \mathrm{A})^2}{3}\right) = 95{,}42\ \mathrm{W}$$

$$P_Q = P_{on} + P_{off} + P_{cond} = 125{,}17\ \mathrm{W}$$

$$T_j - T_a = \left(R_{thJC} + R_{thCS} + R_{thSA}\right)P_Q$$

$$T_j < T_{jmáx} \quad \Rightarrow \quad R_{thSA} < \frac{T_{jmáx} - T_a}{P_Q} - R_{thJC} - R_{thCS}$$

$$R_{thSA} < \frac{(150\ °\mathrm{C} - 40\ °\mathrm{C})}{125{,}17\ \mathrm{W}} - 0{,}45\ °\mathrm{C/W} - 0{,}24\ °\mathrm{C/W} = 0{,}1888\ °\mathrm{C/W}$$

c)

Se busca que $P'_{off} = 15\%\ P_{off} = 15\%(15{,}52\ \mathrm{W}) = 2{,}328\ \mathrm{W}$.

Durante el apagado de la llave (entre $t = 0$ y $t = t_f$), se asume que la corriente cae linealmente:

$$i_Q(t) = I_{Qmáx}\left(1 - \frac{t}{t_f}\right)$$

$$i_C(t) = I_{Qmáx} - i_Q(t) = I_{Qmáx}\frac{t}{t_f}$$

$$u_C(t) = u_Q(t) = \frac{1}{C}\int_0^t I_{Qmáx}\frac{\tau}{t_f} d\tau = \frac{I_{Qmáx} t^2}{2C t_f}$$

Esta expresión de $u_C(t)$ es válida mientras $u_C(t) < U_o$, ya que si $u_C(t) = U_o$ comenzará a conducir el diodo del Boost y la tensión dejará de crecer. Supongamos que $u_C(t) = \frac{I_{Qmáx}t^2}{2Ct_f}$ es válida $\forall\ t \in [0, t_f]$.

$$P'_{off} = \frac{1}{T}\int_0^{t_f} u_Q(t)i_Q(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{t_f} I_{Qmáx}\left(1 - \frac{t}{t_f}\right)\frac{I_{Qmáx}t^2}{2Ct_f}dt = \frac{I_{Qmáx}^2}{2Ct_fT}\left(\frac{t_f^3}{3} - \frac{t_f^3}{4}\right)$$

$$P'_{off} = \frac{I_{Qmáx}^2}{2Ct_fT}\left(\frac{t_f^3}{12}\right) = \frac{I_{Qmáx}^2 t_f^2 f}{24C}$$

$$C = \frac{I_{Qmáx}^2 t_f^2 f}{24P'_{off}} = \frac{(33{,}75\ \mathrm{A})^2(92\ \mathrm{ns})^2(100\ \mathrm{kHz})}{24(2{,}328\ \mathrm{W})} = 17{,}25\ \mathrm{nF}$$

$$u_C(t_f) = \frac{I_{Qmáx}t_f^2}{2Ct_f} = \frac{(33{,}75\ \mathrm{A})(92\ \mathrm{ns})}{2(17{,}25\ \mathrm{nF})} = 90\ \mathrm{V}$$

Como $u_C(t_f) = 90\ \mathrm{V} < 100\ \mathrm{V} = U_o$, se verifica la hipótesis de que la ecuación cuadrática de $u_C(t)$ es válida $\forall\ t \in [0, t_f]$.

Para que el capacitor pueda descargarse:

$$3RC < \delta T$$

$$R = \frac{\delta T}{3C} = \frac{\delta}{3Cf} = \frac{(0{,}52)}{3(17{,}25\ \mathrm{nF})(100\ \mathrm{kHz})} = 100{,}5\ \Omega$$

$$P_R = \frac{1}{2}CU_o^2 f = \frac{1}{2}(17{,}25\ \mathrm{nF})(100\ \mathrm{V})^2(100\ \mathrm{kHz}) = 8{,}625\ \mathrm{W}$$

d)

$$P'_Q = P_{on} + P'_{off} + P_{cond} = 112{,}0\ \mathrm{W}$$

$$T_j = T_a + (R_{thJC} + R_{thCS})P'_Q + R_{thSA}(P'_Q + P_R)$$

$$T_j = (40\ °\mathrm{C}) + (0{,}45\ °\mathrm{C/W} + 0{,}24\ °\mathrm{C/W})(112{,}0\ \mathrm{W}) + (0{,}188\ °\mathrm{C/W})(112{,}0\ \mathrm{W} + 8{,}625\ \mathrm{W}) = 140{,}0\ °\mathrm{C}$$