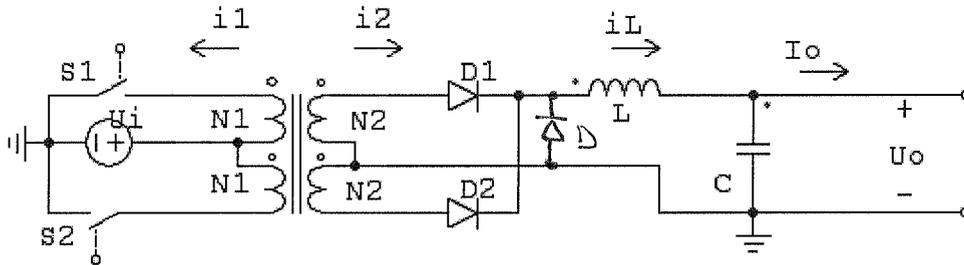


Prova Scritta di
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 09/01/2006
TEMA A

Dato il convertitore cc/cc push-pull di figura con le seguenti specifiche:



Specifiche

Tensione d'ingresso: $U_i = 48 \text{ V} \pm 10\%$

Tensione d'uscita $U_o = 12 \text{ V}$, $\Delta U_o = 0.2 \text{ V}$ statico (valore picco-picco)

Corrente d'uscita $I_o = 10 \div 25 \text{ A}$

S1, S2 Mosfet con $R_{DSon} = 0.1 \Omega$, Frequenza di switching: $f_s = 100 \text{ kHz}$

Si chiede di calcolare:

- 1) Il rapporto spire $\frac{N_1}{N_2}$ nell'ipotesi che il rendimento del circuito, funzionante a pieno carico, sia pari a 0.8.
- 2) Il valore d'induttanza L che garantisca un'ondulazione di corrente picco-picco ΔI_L inferiore a 1 A.
- 3) Il valore di capacità C che garantisca un'ondulazione di tensione ΔU_o non superiore a quella specificata, in ogni condizione di carico.
- 4) Il valore dell'induttanza di magnetizzazione del trasformatore, riportata al secondario, tale che il picco di corrente magnetizzante possa essere al massimo pari alla minima corrente d'uscita, così da garantire il funzionamento *heavy-load* in ogni condizione di alimentazione e di carico.
- 5) Il valore delle perdite di conduzione di ciascuno dei due mosfet in condizioni di funzionamento nominale ($U_i = 48 \text{ V}$, $I_o = 25 \text{ A}$).

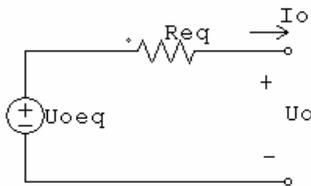
Soluzione Tema A

1) Calcolo del rapporto spire

$$P_o = 12 \cdot 25 = 300 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} \quad P_{diss} = \frac{P_o \cdot (1 - \eta)}{\eta} = \frac{300 \cdot (1 - 0.8)}{0.8} = 75 \text{ W}$$

Lo schema equivalente all'uscita è:



$$P_{diss} = R_{eq} \cdot I_o^2 \quad R_{eq} = \frac{P_{diss}}{I_o^2} = \frac{75}{625} = 0.12 \Omega$$

$$U_{oeq} = U_o + R_{eq} \cdot I_o = 12 + 0.12 \cdot 25 = 15 \text{ V}$$

Assumendo che, con la minima tensione d'ingresso, il duty-cycle di ciascuno switch coincida con il valore massimo teorico $\delta_{S_{max}} = 0.5$ e, corrispondentemente, il duty-cycle visto ai capi del diodo di libera circolazione D (duty-cycle lato uscita) sia $\delta_{o_{max}} = 1$, si ha:

$$U_{2min} = \frac{U_{oeq}}{\delta_{o_{max}}} = 15 \text{ V} \quad n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{i_{min}}}{U_{2min}} = \frac{43.2}{15} = 2.88$$

Si può calcolare anche il minimo valore del duty cycle δ_o :

$$U_{2max} = \frac{U_{i_{max}}}{n} = \frac{48 \cdot 1.1}{2.88} = 18.\bar{3} \text{ e quindi}$$

$$\delta_{o_{min}} = \frac{U_o + R_{eq} \cdot I_{o_{min}}}{U_{2max}} = \frac{12 + 0.12 \cdot 10}{18.\bar{3}} = 0.72$$

2) Induttanza di filtro L

Il valore di induttanza che garantisce un'ondulazione di corrente massima pari ad 1 A si ottiene ricordando che:

$$\Delta I_L = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L}$$

Quindi:

$$L \geq \frac{U_o \cdot t_{off \max}}{\Delta I_L} = \frac{U_o \cdot (1 - \delta_{o \min})}{f_o \cdot \Delta I_L} = \frac{12 \cdot (1 - 0.72)}{2 \cdot 10^5 \cdot 1} = 16.8 \mu H$$

3) Condensatore d'uscita C

L'ondulazione di tensione in condizioni statiche vale:

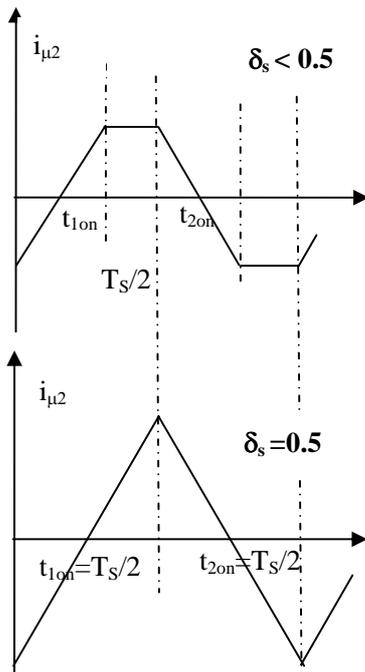
$$\Delta U_o = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_o \cdot C}$$

Dunque:

$$C \geq \frac{\Delta I_{L \max}}{8 \cdot f_o \cdot \Delta U_o} = \frac{1}{8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0.2} = 3.12 \mu F$$

3) Induttanza magnetizzante a secondario $L_{\mu 2}$:

A regime permanente, l'andamento della corrente magnetizzante è:



Assumendo che il valore di picco della corrente magnetizzante sia al più pari alla minima corrente di carico, si può scrivere:

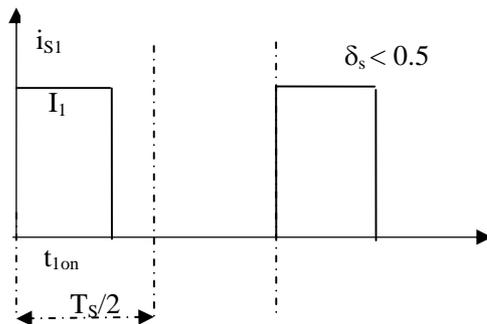
$$I_{\mu 2 \max} = \frac{U_{2 \max} \cdot t_{on \min}}{2 L_{\mu 2}} = \frac{U_{2 \min} \cdot t_{on \max}}{2 L_{\mu 2}} = \frac{U_{2 \min} T_S}{2 L_{\mu 2}}$$

Quindi:

$$L_{\mu 2} \geq \frac{U_{2 \min} \cdot t_{on \max}}{2 \cdot I_{\mu 2 \max}} = \frac{15 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10} = 3.75 \mu H$$

5) Perdite di conduzione dei mosfet

L'andamento della corrente in uno switch, trascurando l'ondulazione, ha la forma d'onda di figura:



e la sua ampiezza massima è pari a:

$$I_1 = \frac{I_{2 \max}}{n} = \frac{25}{2.88} = 8.68 A$$

Nelle condizioni nominali, il valor medio della corrente assorbita dall'alimentazione è:

$$I_i = \frac{U_{o eq} \cdot I_o}{U_i} = \frac{15 \cdot 25}{48} = 7.81 A$$

Dall'esame della figura precedente si ricava la relazione tra il valor medio I_i e la massima ampiezza di corrente I_1 è:

$$I_i = 2 \cdot I_1 \cdot \delta_s = I_1 \cdot \delta_o$$

$$\text{e quindi: } \delta_o = \delta_{onom} = \frac{I_i}{I_1} = \frac{7.81}{8.68} = 0.9 \quad \text{e} \quad \delta_{Snom} = \frac{\delta_{onom}}{2} = \frac{0.9}{2} = 0.45$$

Il valore efficace della corrente di ciascuno switch è:

$$I_{Srms} = I_1 \cdot \sqrt{\delta_s} = 8.68 \cdot \sqrt{0.45} = 5.82 A$$

e le perdite di conduzione risultano:

$$P_{Son} = R_{DSon} \cdot I_{Srms}^2 = 0.1 \cdot 5.82^2 = 3.4 W$$