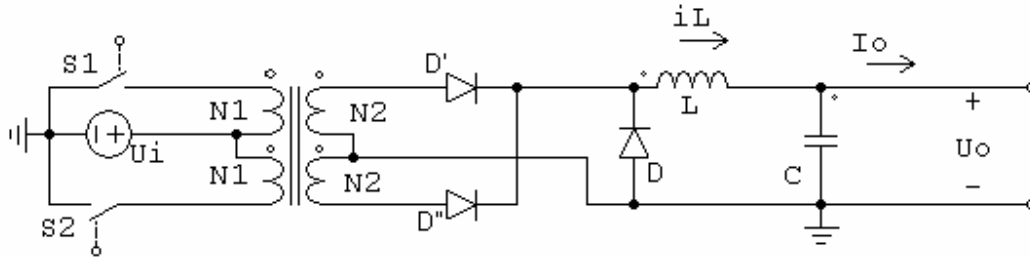


# Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 02/04/2007

## TEMA B

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



### Specifiche

Tensione d'ingresso:  $U_i = 48 \text{ V} \div 72 \text{ V}$  ( $60 \text{ V} \pm 20\%$ )

Tensione d'uscita  $U_o = 24 \text{ V}$ ,  $\Delta U_o = 1 \text{ V}$  dinamico

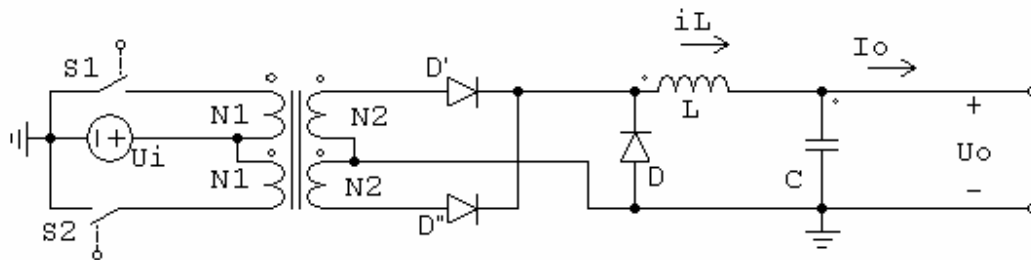
Corrente d'uscita  $I_o = 2 \div 10 \text{ A}$

Frequenza di commutazione degli interruttori:  $f_s = 100 \text{ kHz}$

Determinare:

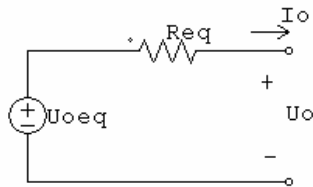
- 1) Il rapporto spire  $\frac{N_1}{N_2}$  nell'ipotesi che il rendimento globale del circuito sia pari al 90%, nelle condizioni nominali ( $I_o = 10 \text{ A}$ ,  $U_i = 60 \text{ V}$ ).
- 2) Il valore d'induttanza  $L$  che garantisce il funzionamento continuo in ogni condizione operativa.
- 3) Il valore di capacità  $C$  che garantisce un'ondulazione di tensione  $\Delta U_o \leq 1 \text{ V}$  al distacco di carico, in qualunque condizione operativa.
- 4) Il valore dell'induttanza magnetizzante del trasformatore, riferita al primario, che garantisce, a regime, che il picco di corrente magnetizzante sia inferiore al valore di picco della corrente nell'induttanza  $L$  (funzionamento *heavy-load*) in ogni condizione operativa.
- 5) Le massime perdite di conduzione nei diodi  $D'$  e  $D''$ , assumendo una caduta di tensione diretta di  $0.8 \text{ V}$ .

## Soluzione Tema B



1) Calcolo del rapporto spire nell'ipotesi che il rendimento globale del circuito sia pari al 90%, nelle condizioni nominali ( $I_o=10$  A,  $U_i=60$  V).

Si consideri lo schema equivalente all'uscita che rende conto delle perdite:



Il rendimento è espresso da:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} = \frac{U_o \cdot I_o}{U_{oeq} \cdot I_o} = \frac{U_o}{U_{oeq}} \quad U_{oeq} = \frac{U_o}{\eta} = \frac{24}{0.9} = 26.7V$$

La tensione  $U_{eq}$  in uscita deve essere garantita anche con il minimo valore della tensione d'ingresso. Considerando che il duty cycle massimo degli switches è  $\delta_s=0.5$  e lato uscita è  $\delta_o=1$ , si può scrivere:

$$U_{oeq} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{i\min} \cdot \delta_{o\max} \quad n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{i\min}}{U_{oeq}} \cdot \delta_{o\max} = \frac{48}{26.7} \cdot 1 \cong 1.8$$

Si può calcolare anche il minimo valore del duty cycle, assumendo la massima tensione d'ingresso (e trascurando le perdite corrispondenti alla minima corrente d'uscita):

$$\delta_{o\min} = \frac{U_o}{U_{i\max}} \cdot n = \frac{24}{72} \cdot 1.8 \cong 0.6$$

2) Il valore d'induttanza L che garantisce il funzionamento continuo in ogni condizione operativa.

La situazione limite CCM/DCM si ha quando  $I_o = \frac{\Delta I_L}{2}$ ; inoltre  $\Delta I_L = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L}$  quindi:

$$L \geq \frac{U_o \cdot t_{off\ max}}{\Delta I_L} = \frac{U_o \cdot (1 - \delta_{o\ min})}{f_o \cdot 2 \cdot I_{o\ min}} = \frac{24 \cdot (1 - 0.6)}{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 2} \cong 12 \mu H$$

3) Il valore di capacità C che garantisce un'ondulazione di tensione  $\Delta U_o \leq 1V$  al distacco di carico, in qualunque condizione operativa.

Il massimo valore di corrente nell'induttanza vale:

$$\hat{I}_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 10 + 2 = 12 A$$

$$W_{L\ max} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \hat{I}_L^2 = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2}{2} \cong 0,86\ mJ$$

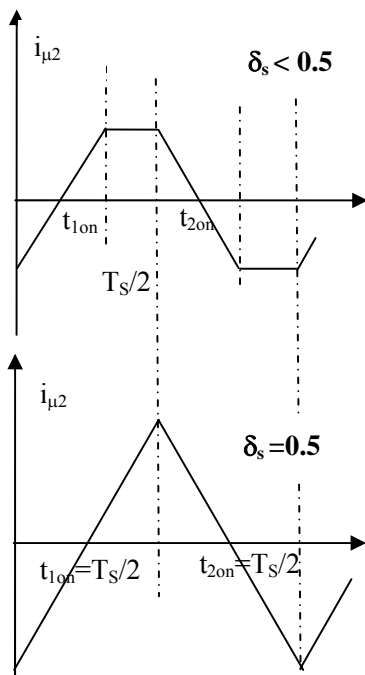
Al distacco di carico, questa energia si trasferisce nel condensatore, causando una sovraelongazione che deve restare inferiore a 1 V:

$$C \cong \frac{W_{L\ max}}{U_{oeq} \cdot \Delta U_{o\ max}} \cong \frac{0,86 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 1} \cong 36\ \mu F$$

3) Induttanza magnetizzante riferita al primario che garantisce il funzionamento heavy load a regime permanente

Il funzionamento heavy load si ha se la corrente magnetizzante (riferita al secondario), al momento di apertura dell'interruttore, è inferiore alla corrente dell'induttanza.

A regime permanente l'andamento del flusso è quello di figura:



La corrente magnetizzante è proporzionale al flusso; il suo valore di picco vale:

$$\hat{I}_{\mu 1} = \frac{U_i \cdot t_{on}}{2 \cdot L_{\mu 1}} \quad \hat{I}_{\mu 2} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \hat{I}_{\mu 1} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i \cdot t_{on}}{2 \cdot L_{\mu 1}}$$

La condizione heavy load richiede che  $\hat{I}_{\mu 2} \leq \hat{I}_L$

$$\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i \cdot t_{on}}{2 \cdot L_{\mu 1}} \leq \hat{I}_L \quad L_{\mu 1} \geq \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i \cdot \delta \cdot T_o}{2 \cdot \hat{I}_L} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot \frac{U_{oeq} \cdot T_o}{2 \cdot \hat{I}_L}$$

$$\hat{I}_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = I_o + \frac{U_o \cdot t_{off}}{2 \cdot L}$$

La condizione più gravosa per il dimensionamento di  $L_{\mu 1}$  si ha quando  $\hat{I}_L$  assume il minimo valore, cioè per  $I_o = I_{o \min}$  e  $\delta_o = \delta_{o \max}$  (per  $\delta_{o \max}$  il valore di  $t_{off}$  è nullo). Per  $I_{o \min}$  le perdite sono trascurabili, quindi si usa il valore  $U_{oeq} = 24V$ . Si ha dunque:

$$L_{\mu 1} \geq \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot \frac{U_{oeq} \cdot T_o}{2 \cdot I_{o \min}} = 1.8^2 \cdot \frac{24 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2} \cong 100 \mu H$$

5) Le massime perdite di conduzione nei diodi  $D'$  e  $D''$ , assumendo una caduta di tensione diretta di 0.8V.

$$P_{D'} = P_{D''} = V_{on} \cdot \bar{I}_{D \max} = V_{on} \cdot \frac{\bar{I}_{L \max}}{2} = \frac{0.8 \cdot 10}{2} = 4W$$