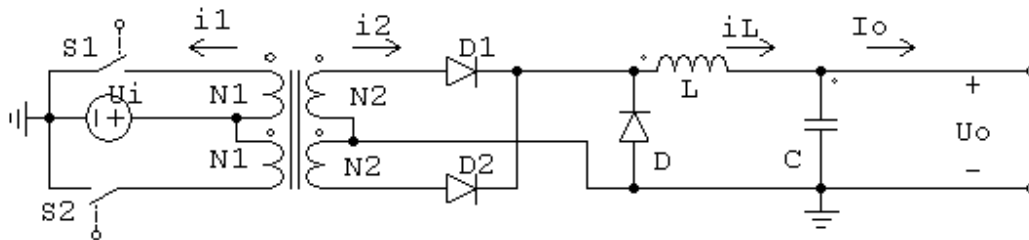


# Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 28/03/2008

## TEMA A

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



### Specifiche

Tensione d'ingresso:  $U_i = 48 \text{ V} \div 72 \text{ V}$

Tensione d'uscita  $U_o = 24 \text{ V}$

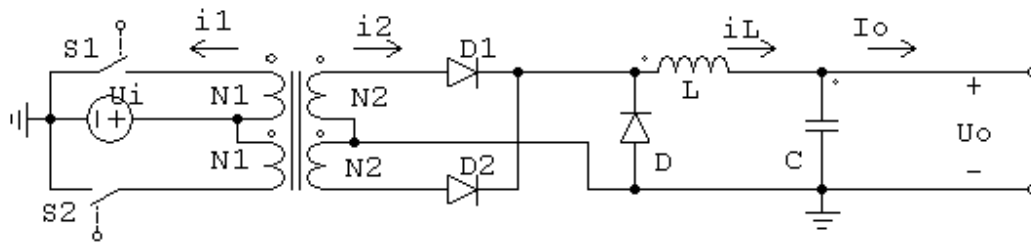
Corrente d'uscita  $I_o = 2 \div 10 \text{ A}$

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

Determinare:

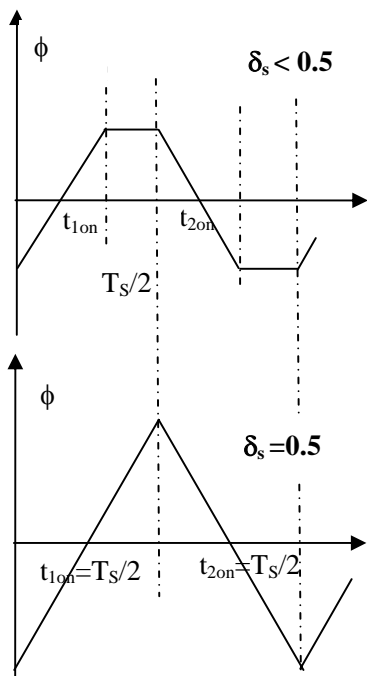
- 1) il numero di spire  $N_1$  al primario del trasformatore in modo che il flusso nel nucleo magnetico, a regime permanente, non superi il valore di  $25 \mu\text{Wb}$ ;
- 2) il numero di spire dell'avvolgimento secondario ed il rapporto spire  $\frac{N_1}{N_2}$ , assumendo un rendimento globale del circuito pari al 90%, a piena potenza
- 3) il campo di variazione del duty cycle, assumendo funzionamento CCM
- 4) Il valore d'induttanza  $L$  che garantisca il funzionamento continuo in ogni condizione operativa.
- 5) Gli stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) degli switch  $S_1$  ed  $S_2$ , trascurando la corrente magnetizzante.
- 6) Gli stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) dei diodi  $D_1$  e  $D_2$ .
- 7) Gli stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) del diodo di libera circolazione  $D$ .

## Soluzione Tema A



### 1) Calcolo del numero di spire dell'avvolgimento primario del trasformatore

L'andamento del flusso a regime permanente è quello illustrato in figura, per valori del duty-cycle  $\delta$  minore o uguale a 0.5.



Il massimo valore del totale flusso concatenato vale:

$$N1 \cdot \hat{\phi} = \frac{U_{i\min} \cdot t_{on\max}}{2}$$

il calcolo si può fare con minima tensione d'ingresso e massimo  $\delta$  (o dualmente con massima tensione d'ingresso e minimo  $\delta$ ) e si ottiene:

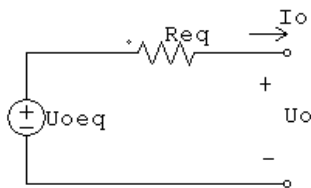
$$N1 \cdot \hat{\phi} = \frac{U_i \cdot t_{on}}{2} = \frac{48 \cdot 0.5}{2 \cdot f_s} = \frac{24}{200 \cdot 10^3} = 120 \mu Wb$$

Assumendo, come da specifica,  $\hat{\phi} = 25 \mu Wb$

$$\text{Si ricava } N1 = \frac{120}{25} = 4.8 \cong 5$$

### 2) Calcolo del numero di spire dell'avvolgimento secondario del trasformatore

Assumendo lo schema equivalente di figura per rappresentare il convertitore lato uscita, tenendo conto del rendimento del 90% alla piena potenza:



$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} = \frac{U_o \cdot I_o}{U_{oeq} \cdot I_o} = \frac{U_o}{U_{oeq}}$$

$$U_{oeq} = \frac{U_o}{\eta} = \frac{24}{0.9} = 26.7V$$

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 switch è  $\delta_s=0.5$ , mentre lato uscita è  $\delta_o=1$ , si può scrivere:

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

Di conseguenza,  $N_2 = \frac{N_1}{n} = \frac{5}{1.8} = 2.78$

Scegliendo di approssimare all'intero superiore, per garantire sempre l'erogazione della tensione d'uscita richiesta, si ottiene:

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{5}{3} \cong 1.67$$

### 3) Campo di variazione del duty cycle

$$\delta_{o\min} = \frac{U_o}{U_{imax}} \cdot n = \frac{24}{72} \cdot 1.67 \cong 0.55 \qquad \delta_{\min} = \frac{\delta_{o\min}}{2} \cong 0.275$$

$$\delta_{o\max} = \frac{U_{oeq}}{U_{imin}} \cdot n = \frac{26.67}{48} \cdot 1.67 \cong 0.93 \qquad \delta_{\max} = \frac{\delta_{o\max}}{2} \cong 0.46$$

Nota: la scelta sul numero di spire dell'avvolgimento secondario consente di garantire la tensione d'uscita con la minima tensione d'ingresso con un duty cycle inferiore a 0.5.

### 4) Valore di L che garantisce funzionamento CCM in ogni condizione operativa.

La situazione limite CCM/DCM si ha quando  $\Delta I_L = I_{omin} \cdot 2 = 4A$ , ma  $\Delta I_L = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L}$

La massima ondulazione di corrente si ha per  $\delta_{omin}$ , quindi:

$$L \geq \frac{U_o \cdot t_{off\max}}{\Delta I_L} = \frac{U_o \cdot (1 - \delta_{omin})}{f_o \cdot 2 \cdot I_{omin}} = \frac{24 \cdot (1 - 0.55)}{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 2} \cong 13.5 \mu H$$

$$\hat{I}_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 10 + \frac{4}{2} = 12A$$

### 5) Stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) degli switch S1 ed S2, trascurando la corrente magnetizzante.

Tensione massima su S1, S2:  $\hat{U}_s = 2 \cdot U_{imax} = 144V$

Corrente di picco S1, S2:  $\hat{I}_L \cdot \frac{N_2}{N_1} = \frac{12}{1.67} = 7.2A$

Val. Max. corrente media S1, S2:  $\frac{\bar{I}_{L\max}}{n} \cdot \delta_{\max} = \frac{I_{o\max}}{n} \cdot \delta_{\max} = \frac{10}{1.67} \cdot 0.46 \approx 2.75A$

5) Stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) dei diodi D1 e D2

Tensione massima su D1, D2:  $U_{D1\max} = U_{D2\max} = 2 \cdot U_{i\max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 2 \cdot 72 \cdot 0.6 = 86V$

Corrente di picco D1, D2:  $\hat{I}_{D1} = \hat{I}_{D2} = \hat{I}_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 10 + \frac{4}{2} = 12A$

Val. Max. corrente media D1, D2:  $\bar{I}_L \cdot \delta_{\max} = I_{o\max} \cdot \delta_{\max} = 10 \cdot 0.46 \approx 4.6A$

6) Stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) del diodo D

Tensione massima su D:  $U_{D\max} = U_{i\max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 72 \cdot 0.6 = 43V$

Corrente di picco D:  $\hat{I}_D = \hat{I}_{D1} = \hat{I}_{D2} = \hat{I}_L = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} = 10 + \frac{4}{2} = 12A$

Val. Max. corrente media D:  $\bar{I}_L \cdot (1 - \delta_{\min}) = I_{o\max} \cdot (1 - \delta_{o\min}) = 10 \cdot (1 - 0.55) \approx 4.5A$