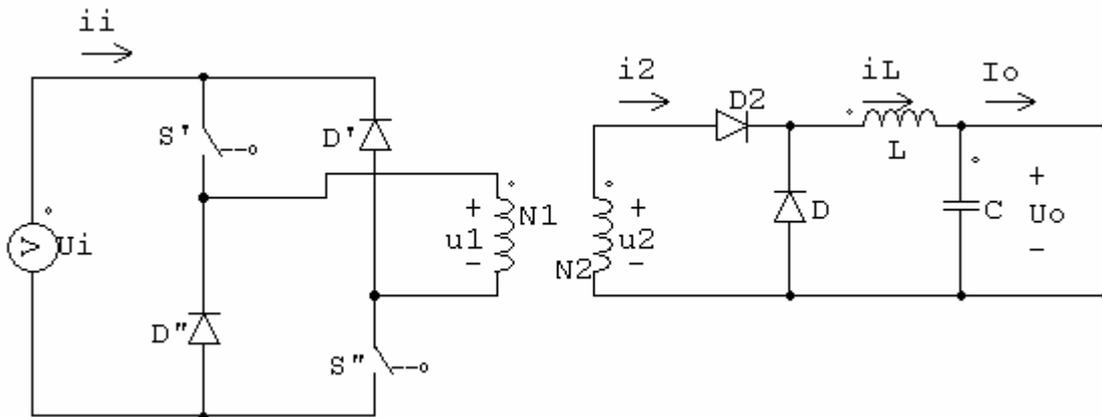


**Prova Scritta di  
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 15/12/2005  
TEMA A**

Dato il convertitore cc/cc dual-forward di figura con le seguenti specifiche:



Specifiche

Tensione d'ingresso:  $U_i = 36 \text{ V} - 72 \text{ V}$

Tensione d'uscita  $U_o = 12 \text{ V}$ ,  $\Delta U_o = 5\%$  statico e dinamico (valore picco-picco)

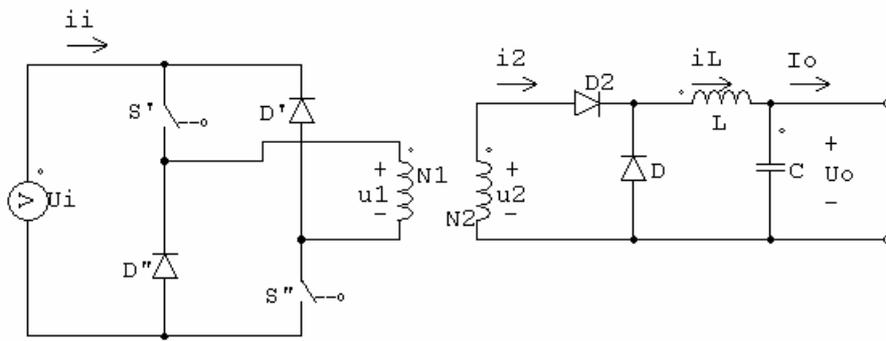
Corrente d'uscita  $I_o = 1 \div 10 \text{ A}$

Frequenza di switching:  $f_s = 100 \text{ kHz}$

Assumendo che il rendimento del circuito sia pari a 0.8 in condizioni nominali, si chiede:

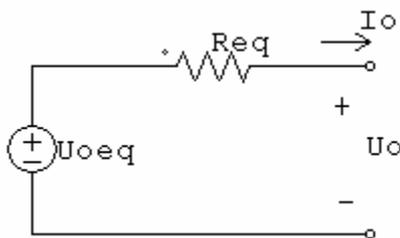
- 1) Di dimensionare il rapporto spire  $\frac{N_1}{N_2}$  ed i parametri del filtro d'uscita L e C in modo da garantire il funzionamento CCM per ogni valore di corrente d'uscita.
- 2) Stimare il valore di  $N_1$  (ed  $N_2$ ) in modo che il valore di picco della corrente magnetizzante non ecceda il 30% della massima corrente di carico, assumendo un nucleo magnetico di permeanza  $A_L = 3 \mu\text{H}$ .
- 3) Stimare gli stress di corrente (di picco e media) e di tensione e negli interruttori e nei diodi del circuito.

## Soluzione tema A



### Calcolo del rapporto spire

Schema equivalente del circuito all'uscita



Essendo il rendimento del circuito  $\eta=0.8$ , si può scrivere:

$$\eta = 0.8 = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} \quad \eta \cdot P_{diss} = P_o(1 - \eta) \quad P_{diss} = P_o \cdot \frac{1 - \eta}{\eta} = 120 \cdot \frac{1 - 0.8}{0.8} = 30W$$

$$P_{diss} = R_{eq} \cdot I_o^2 \quad R_{eq} = \frac{P_{diss}}{I_o^2} = \frac{30}{100} = 0.3\Omega$$

$$U_{oeq} = U_o + R_{eq} \cdot I_o = 12 + 0.3 \cdot 10 = 15V$$

In funzionamento continuo valgono le relazioni:

$$u_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot u_1 = \begin{cases} U_2 = U_i \frac{N_2}{N_1} & \text{per } t \in t_{on} \\ 0 & \text{per } t \in t_{off} \end{cases} \quad \text{Dunque: } U_{2min} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{imin}$$

Assumendo  $\delta_{max}=0.5$  e ponendo:

$$U_{2min} \delta_{max} \geq U_{oeq} \quad \text{si trova}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{oeq}}{U_{imin} \cdot \delta_{max}} = \frac{15}{36 \cdot 0.5} = 0.8\bar{3} = \frac{5}{6} \quad \frac{N_1}{N_2} = 1.2$$

### Calcolo di L

Se il funzionamento deve essere continuo in ogni condizione operativa, l'ondulazione di corrente nell'induttore L deve essere inferiore a:

$$\Delta I_{L\max} \leq 2I_{o\min} = 2A$$

Trascurando l'effetto delle cadute di tensione al minimo valore di corrente ( $U_o + R_{eq} \cdot I_{o\min} \cong U_o$ ), si può scrivere:

$$\Delta I_L \cong \frac{u_2 - U_o}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta I_{L\max} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off\max} = \frac{U_o}{L} \cdot (1 - \delta_{\min}) \cdot T_s$$

con  $T_s$  periodo di commutazione degli switch

$$\text{Essendo } \delta_{\min} = \frac{U_o}{U_{i\max}} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{12}{72} \cdot 1.2 = 0.2 \quad \text{si ricava:}$$

$$L \cong \frac{U_o}{f_s \cdot 2I_{o\min}} \cdot (1 - \delta_{\min}) = \frac{12 \cdot (1 - 0.2)}{100 \cdot 10^3 \cdot 2} \approx 48 \mu H$$

### Calcolo di C

Soddisfacimento della specifica sull'ondulazione statica:

$$\Delta U_o = \frac{\Delta I_{L\max}}{8 \cdot f_s \cdot C} \quad C \geq \frac{\Delta I_{L\max}}{8 \cdot f_s \cdot \Delta U_o} = \frac{2}{8 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0.05 \cdot 12} \approx 4.2 \mu F$$

Nel caso limite di distacco di carico, tutta l'energia immagazzinata nell'induttore viene scaricata nel condensatore; mantenere l'errore della tensione d'uscita entro il 5% significa soddisfare la condizione:

$$C \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{L\max}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 48 \cdot 10^{-6} \cdot (10+1)^2}{12 \cdot 0.05 \cdot 12} \cong 400 \mu F$$

Si deve scegliere quest'ultimo valore per rispettare entrambe le specifiche.

Nota: la pulsazione di risonanza del filtro è pari a:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{48 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^{-6}}} \cong 7200 \text{ rad / sec}$$

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

Secondo le specifiche, il valore di picco della corrente di magnetizzazione lato secondario deve rimanere entro:

$$\hat{I}''_{\mu} = 0.3 \cdot I_{o\max} = 0.3 \cdot 10 = 3A$$

$$\hat{I}''_{\mu} = \frac{u_2}{L_{\mu}} \cdot t_{on} \quad \text{Poiché però: } (u_2 - U_{oeq}) \cdot t_{on} = U_{oeq} \cdot t_{off} \quad \Rightarrow \quad u_2 t_{on} = U_{oeq} T_s$$

si ha:

$$L_{\mu} = \frac{U_{oeq}}{\hat{I}''_{\mu} \cdot f_s} = \frac{15}{3 \cdot 100 \cdot 10^3} = 50 \mu H$$

$$L'_\mu = L''_\mu \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 50\mu H \cdot 1.44 = 72\mu H$$

Ricordando che la permeanza  $A_L$  è l'inverso della riluttanza magnetica, si può scrivere

$$L'_\mu = N_1^2 \cdot A_L \quad N_1 = \sqrt{\frac{L'_\mu}{A_L}} = \sqrt{\frac{72 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{24} \cong 5 \quad N_2 = \frac{N_1}{1.2} = 4.1\bar{6} \cong 4$$

### 3) Stress di tensione e corrente di switch e diodi

Diodi D e D2

Tensione massima D e D2: 
$$U_{2\max} = U_{i\max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 72 \cdot 0.8\bar{3} = 60V$$

Corrente di picco D2, D: 
$$I_{L\max} = I_{o\max} + \frac{\Delta I_{L\max}}{2} = 10 + 1 \approx 11A$$

Val. Max. corrente media D: 
$$\bar{I}_L \cdot (1 - \delta_{\min}) = I_{o\max} \cdot (1 - \delta_{\min}) = 10 \cdot 0.8 = 8A$$

Val. Max. corrente media D2: 
$$\bar{I}_L \cdot \delta_{\max} = I_{o\max} \cdot \delta_{\max} = 10 \cdot 0.5 \approx 5A$$

Diodi D' e D''

Tensione massima: 
$$U_{2\max} = U_{i\max} = 72V$$

Val. picco corrente D', D'': 
$$\hat{I}'_\mu = \hat{I}''_\mu \cdot \frac{N_2}{N_1} = 3 \cdot 0.833 \approx 2.5A$$

Val. Max. corrente media D', D'': 
$$\bar{I}'_\mu = \hat{I}'_\mu \cdot \frac{t_{reset\max}}{2 \cdot T_S} = \frac{2.5 \cdot (1 - 0.5)}{2} \approx 0.63A$$

Switch S' e S''

Tensione massima: 
$$U_{2\max} = U_{i\max} = 72V$$

Corrente di picco S', S'': 
$$(I_{o\max} + \frac{\Delta I_{L\max}}{2} + \hat{I}''_\mu) \cdot \frac{N_2}{N_1} = (10 + 1 + 3) \cdot 0.833 \approx 11.7A$$

Val. Max. corrente media S', S'': 
$$(I_{o\max} + \frac{\hat{I}''_\mu}{2}) \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \delta_{\max} = 11.5 \cdot 0.833 \cdot 0.5 \approx 4.8A$$