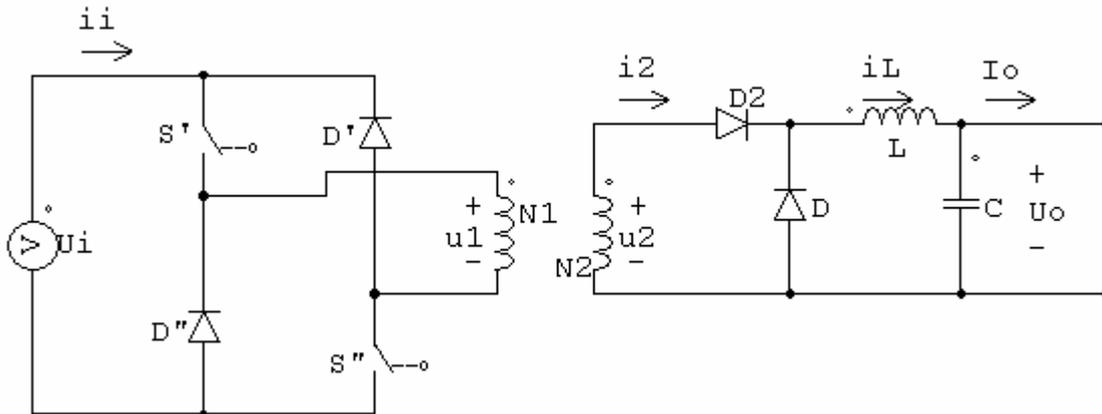


**Prova Scritta di
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 29/8/2005
Testo e Soluzione**

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



Specifiche

Tensione d'ingresso: $U_i = 36 \text{ V} \pm 20\%$

Tensione d'uscita $U_o = 12 \text{ V}$, $\Delta U_o = 2\%$ statico, $\Delta U_o = 5\%$ dinamico

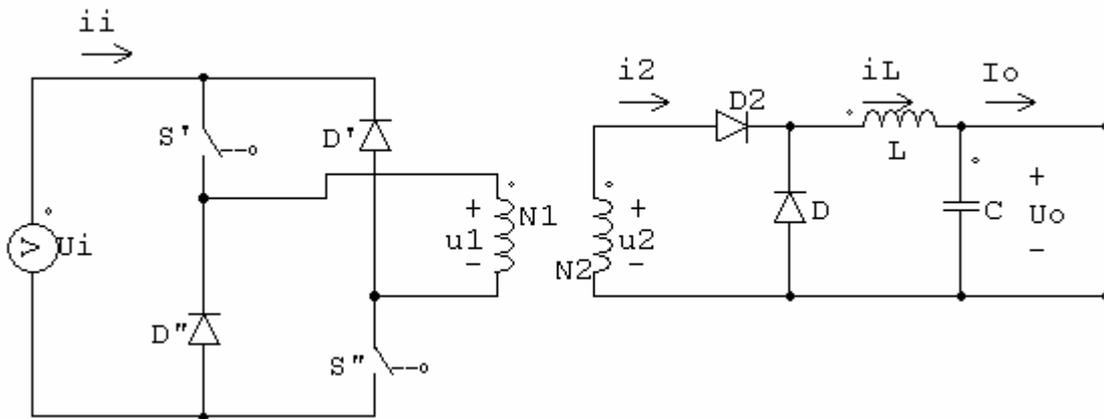
Corrente d'uscita $I_o = 1 \div 10 \text{ A}$

Frequenza di switching: $f_s = 20 \text{ kHz}$

Si chiede:

- 1) Di dimensionare L , C e il rapporto spire $\frac{N1}{N2}$ in modo da garantire funzionamento CCM in ogni condizione operativa assumendo, in prima approssimazione, che il rendimento del circuito sia unitario.
- 2) Di valutare il valore dell'induttanza magnetizzante assumendo che il valore di picco della corrente magnetizzante (lato secondario) sia circa pari al 30% della massima corrente di uscita.
- 3) Di valutare gli stress di tensione e corrente negli interruttori e nei diodi del circuito.
- 4) Di calcolare la frequenza di risonanza del circuito di potenza e conseguentemente, stimare la banda passante ottenibile con controllo diretto di tensione a retroazione.

Soluzione



1)

Calcolo del rapporto spire

Nell'ipotesi di rendimento unitario le cadute di tensione sul circuito sono nulle; in funzionamento CCM valgono quindi le relazioni:

$$u_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot u_1 = \begin{cases} U_i \frac{N_2}{N_1} & \text{per } t \in t_{on} \\ -U_i \frac{N_2}{N_1} & \text{per } t \in t_{off} \end{cases} \quad \text{e} \quad u_D = \begin{cases} u_2 & \text{per } t \in t_{on} \\ 0 & \text{per } t \in t_{off} \end{cases}$$

Dunque: $U_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_i \cdot \delta$ e quindi: $\delta_{\max} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_o}{U_{i\min}}$

Assumendo $\delta_{\max} = 0.5$ si ottiene quindi:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{i\min}}{U_o} \cdot \delta_{\max} = \frac{28.8}{12} \cdot 0.5 = 1.2 \quad \frac{N_2}{N_1} = 0.833$$

Calcolo di L

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

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

Peraltro l'ondulazione vale:

$$\Delta I_L = \frac{U_2 - U_o}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta I_{L\max} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off\max} = \frac{U_o}{L} \cdot (1 - \delta_{\min}) \cdot T_S$$

con T_S periodo di commutazione degli switch

Essendo $\delta_{\min} = \frac{U_o}{U_{i\max}} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{12}{43.2} \cdot 1.2 = 0.333$ si ricava:

$$L \cong \frac{U_o}{f_s \cdot 2I_{o\min}} \cdot (1 - \delta_{\min}) = \frac{12 \cdot (1 - 0.33)}{20 \cdot 10^3 \cdot 2} \approx 200 \mu H$$

Calcolo di C

Soddisfacimento della specifica sull'ondulazione statica:

$$\Delta U_o = \frac{\Delta I_{L\max}}{8 \cdot f_s \cdot C} \quad C \geq \frac{\Delta I_{L\max}}{8 \cdot f_s \cdot \Delta U_o} = \frac{2}{8 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.02 \cdot 12} \approx 52 \mu F$$

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:

$$C \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{o\max}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{12 \cdot 0.05 \cdot 12} \cong 1.4 mF$$

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

2) Calcolo dell'induttanza di magnetizzazione

Secondo le specifiche, il valore di picco della corrente di magnetizzazione lato secondario è:

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

$$\hat{I}''_{\mu} = \frac{U_2}{L_{\mu}} \cdot t_{on} \quad \text{Poiché però: } (U_2 - U_o) \cdot t_{on} = U_o \cdot t_{off} \Rightarrow U_2 t_{on} = U_o T_s$$

si ha:

$$L''_{\mu} = \frac{U_o}{\hat{I}''_{\mu} \cdot f_s} = \frac{12}{3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 200 \mu H$$

$$L_{\mu} = L''_{\mu} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 200 \mu H \cdot 1.44 = 288 \mu H$$

3) Stress di tensione e corrente su switch e diodi

Tensione massima su D', D'', S', S'': $U_{i\max} = 43.2V$

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

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

Val. Max. corrente media D', D'': $\hat{I}''_{\mu} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{t_{reset\max}}{2 \cdot T_s} = \frac{3 \cdot 0.833}{4} \approx 0.63A$

Tensione massima su D2, D: $U_{2\max} = U_{i\max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 36V$

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

Val. Max. corrente media D: $\bar{I}_L \cdot (1 - \delta_{\min}) = I_{o\max} \cdot (1 - \delta_{\min}) = 10 \cdot 0.67 \approx 6.7A$

4) Stima della banda passante

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{1.4 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6}}} \cong 1900 \text{ rad/s} \quad \text{e quindi:} \quad f_r = 300\text{Hz}$$

Assumendo un controllo a retroazione di tensione:

- non si può scegliere un regolatore solo proporzionale, perché il sistema oscillerebbe, data la presenza del doppio polo del filtro;
- scegliendo un regolatore di tipo PI, la banda passante ottenibile risulta inferiore a 300 Hz;
- scegliendo un regolatore di tipo PID si può aumentare la banda passante fino a valori di un ordine di grandezza inferiori rispetto alla frequenza di commutazione e quindi a circa 2 KHz.