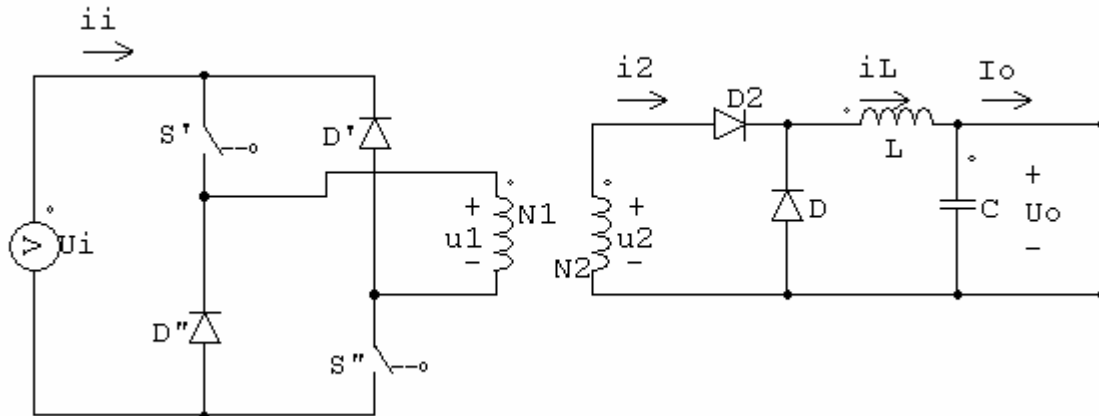


## Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 19/3/2007

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



con le seguenti specifiche:

Tensione d'ingresso:  $U_i = 100 - 300 \text{ V}$

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

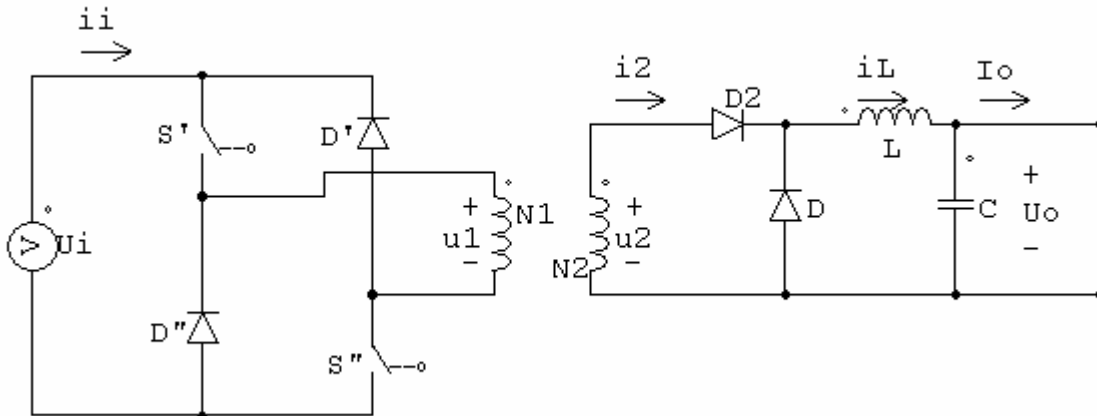
Corrente d'uscita  $I_o = 2 \div 10 \text{ A}$

Frequenza di switching:  $f_s = 200 \text{ kHz}$

Si chiede di determinare:

- 1) il rapporto spire  $\frac{N1}{N2}$  del trasformatore;
- 2) l'intervallo di variazione del duty cycle nell'ipotesi di funzionamento CCM.
- 3) il valore dell'induttanza  $L$  che garantisca il funzionamento continuo in ogni condizione operativa;
- 4) il valore di  $C$  che, in condizioni dinamiche, garantisca che l'ondulazione  $\Delta U_o$  rimanga entro i limiti prefissati;
- 5) il valore dell'induttanza magnetizzante che garantisca che il valore di picco della corrente nell'interruttore non superi i  $3.5\text{A}$ ;
- 6) La forma d'onda della corrente  $i_i$  assorbita dal generatore nel caso di  $U_i = 300 \text{ V}$ .

## Soluzione



### 1) Calcolo del rapporto spire

Nell'ipotesi di rendimento unitario le cadute di tensione sul circuito sono nulle; in funzionamento CCM vale la relazione:

$$U_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_i \cdot \delta$$

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

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{i \min}}{U_o} \cdot \delta_{\max} = \frac{100}{12} \cdot 0.5 \cong 4.2 \quad \frac{N_2}{N_1} = 0.24$$

### 2) Calcolo del range di variazione del duty cycle

$$\delta_{\min} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_o}{U_{i \max}} = \frac{12}{300} \cdot 4.2 \cong 0.17$$

$$0.85 \mu s \leq t_{on} \leq 2.5 \mu s$$

$$2.5 \mu s \leq t_{off} \leq 4.15 \mu s$$

### 3) Calcolo di L

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

$$\Delta I_{L \max} \leq 2I_{o \min} = 4A$$

Peraltro l'ondulazione vale:

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

ove  $T_s$  è il periodo di commutazione degli switch

$$L \cong \frac{U_o}{f_s \cdot 2I_{o\min}} \cdot (1 - \delta_{\min}) = \frac{12 \cdot (1 - 0.17)}{200 \cdot 10^3 \cdot 4} \approx 12.5 \mu H$$

#### 4) Calcolo di C

Nel caso limite di distacco di carico, tutta l'energia immagazzinata nell'induttore viene scaricata nel condensatore. L'energia immagazzinata è massima quando è massima la corrente:

$$\hat{I}_{L\max} = I_{o\max} + \frac{\Delta I_{L\max}}{2} = 10 + 2 = 12 A$$

Per mantenere l'errore della tensione d'uscita entro il 5% occorre scegliere il condensatore secondo la relazione:

$$C \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot \hat{I}_{L\max}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 12.45 \cdot 10^{-6} \cdot 144}{12 \cdot 0.05 \cdot 12} \cong 125 \mu F$$

#### 5) Calcolo dell'induttanza di magnetizzazione

Il valore di picco della corrente  $i_L$  vale:

$$\hat{I}_{L\max} = 12 A$$

Tale valore di corrente, riportato al primario, vale:

$$\hat{I}'_{L\max} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_{L\max} = \frac{12}{4.2} = 2.9 A$$

Il valore di corrente magnetizzante che garantisce un picco di corrente sullo switch non superiore a 3.5 A è quindi dato da:

$$\hat{I}_{1\mu} = 3.5 - 2.9 = 0.6 A$$

Poiché:

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

e considerando che il prodotto  $U_i \cdot t_{on}$  resta costante in ogni situazione, si ha:

$$L'_\mu = \frac{U_{i\min} \cdot t_{on\max}}{\hat{I}_{1\mu}} = \frac{100 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{0.6} \approx 400 \mu H$$

#### 6) Forma d'onda della corrente assorbita dall'alimentazione

La condizione  $U_i = 300 V$  corrisponde a  $t_{on\min}$ , ovvero a  $t_{off\max}$ , quindi vale il calcolo di  $\Delta I_L$  fatto al punto 3). Assumendo  $I_o = I_{o\max}$  si osserva inoltre che:

- il valore di corrente  $i_L$  all'inizio della fase di *on* vale:  $\tilde{I}_{L\max} = I_{L\max} - \frac{\Delta I_L}{2} = 10 - 2 = 8 A$

che, riportata a primario dà:  $i_i = \frac{8}{4.2} = 1.9 A$

- il valore di  $i_i$  alla fine dell'intervallo di *on* vale 3,5 A
- il valore di  $i_i$  all'inizio della fase di *off* vale -0,62 A

Ne risulta il diagramma di figura.

