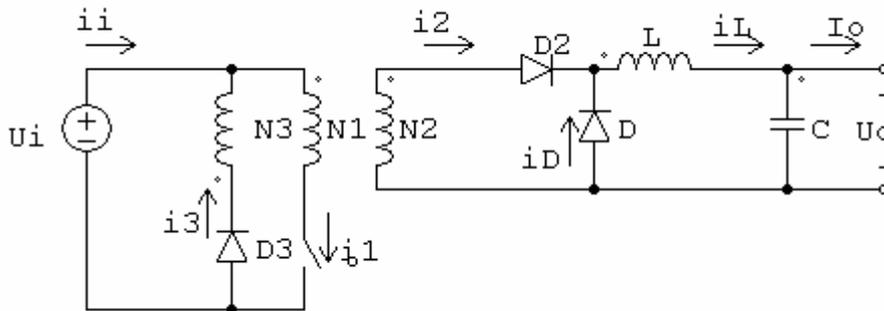


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 4/9/2006

Testo

Dato il convertitore forward di figura con le seguenti specifiche:



Specifiche

Tensione d'uscita $U_o = 10 \text{ V}$, ondulazione $\Delta U_o = 2\%$ statica e dinamica

Corrente d'uscita $I_o = 0 \div 5 \text{ A}$

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

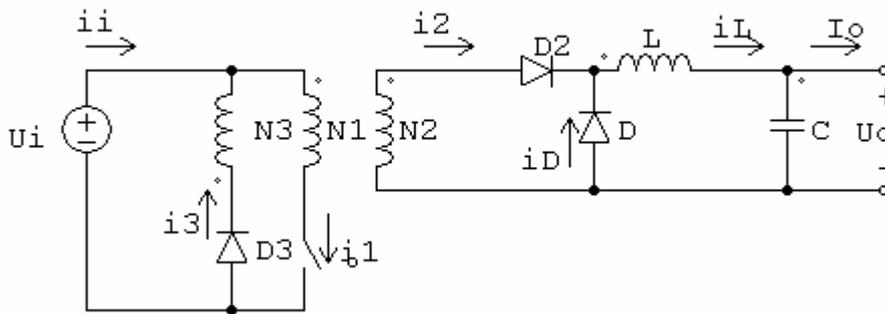
Minimo tempo di "on" e "off" dell'interruttore ($t_{on \min}$, $t_{off \min}$): $1 \mu\text{s}$

Rapporti spire: $\frac{N_1}{N_2} = 2,5$, $\frac{N_1}{N_3} = 0,5$

Si chiede di:

- 1) calcolare i valori minimo e massimo di duty cycle (δ_{\min} , δ_{\max});
- 2) dimensionare L in modo da garantire funzionamento limite CCM/DCM in corrispondenza del minimo valore del duty-cycle e per $I_o=1\text{A}$;
- 3) dimensionare C in modo da garantire l'ondulazione di tensione d'uscita ΔU_o desiderata in ogni condizione di carico;
- 4) dimensionare un resistore bleeder R_B che assorba una potenza pari al 5% della potenza d'uscita massima;
- 5) determinare la minima tensione d'ingresso ($U_{i\min}$) applicabile al convertitore per garantire la tensione d'uscita desiderata in condizioni di massima corrente d'uscita, assumendo un rendimento pari a 0.8 a piena potenza;
- 6) determinare la massima tensione d'ingresso ($U_{i\max}$) applicabile al convertitore per garantire la tensione d'uscita desiderata in condizioni di minima corrente d'uscita (sola corrente di bleeder), trascurando le perdite in questa condizione operativa;
- 7) valutare lo stress di tensione nell'interruttore (valore massimo $U_{S\max}$) e di corrente nel diodo di libera circolazione D (valore medio I_D) in condizioni di $U_{i\max}$ e $I_{o\max}$.

Soluzione



1) valori minimo e massimo di duty cycle ($\delta_{min}, \delta_{max}$);

Dall'assunzione sui valori minimi di t_{on}, t_{off} si può derivare:

$$\delta_{min} = \frac{t_{onmin}}{T_s} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-5}} = 0.1 \qquad \delta_{max} = \frac{T_s - t_{offmin}}{T_s} = \frac{9 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-5}} = 0.9$$

un secondo limite è posto dalla necessità di garantire

$$t_{reset} \leq t_{off} \quad \text{e quindi} \quad \delta_{max} \leq \frac{1}{1 + \frac{N_3}{N_1}} = \frac{1}{1+2} = 0.33$$

Il range di variazione ammissibile del duty cycle risulta quindi: $0.1 \leq \delta \leq 0.33$

2) Dimensionamento di L

Nelle condizioni indicate si ha:

$$\delta = \delta_{min} = 0.1, \text{ quindi } t_{on} = 1\mu\text{s}, t_{off} = 9\mu\text{s} \text{ e } I_{olim} = 1\text{A}$$

$$I_{olim} = \bar{I}_L = \frac{I_{Lmax}}{2} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{2 \cdot L}$$

$$L \cong \frac{U_o \cdot t_{off}}{2 I_{olim}} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 10^{-6}}{2} \approx 45 \mu\text{H}$$

Dimensionamento di C

Statico:

$$\Delta U_o = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_s \cdot C} \qquad \Delta I_{Lmax} = \frac{U_o \cdot t_{offmax}}{L} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 10^{-6}}{45 \cdot 10^{-6}} = 2\text{A}$$

$$C \geq \frac{\Delta I_{Lmax}}{8 \cdot f_s \cdot \Delta U_o} = \frac{2}{8 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 0.2} \approx 12.5 \mu\text{F}$$

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 2% significa soddisfare la condizione:

$$C \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{Lmax}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot 45 \cdot 10^{-6} \cdot (5+1)^2}{10 \cdot 0.2} \cong 400 \mu F$$

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

4) Dimensionamento del resistore bleeder R_B

$$P_B = \frac{U_o^2}{R_B} \qquad R_B = \frac{U_o^2}{P_B} = \frac{100}{50 \cdot 0.05} = 40 \Omega \qquad I_B = \frac{U_o}{R_B} = \frac{10}{40} = 0.25 A$$

5) Calcolo della minima tensione d'ingresso

Il circuito equivalente, lato uscita, a piena potenza è:



R_i rappresenta la resistenza equivalente che rende conto delle perdite del sistema (P_{diss}).

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} \qquad P_{diss} = P_o \cdot \frac{(1-\eta)}{\eta} = 50 \cdot \frac{0.2}{0.8} \approx 12.5 W$$

$$R_i = \frac{P_{diss}}{I_{o max}^2} \approx \frac{12.5}{25} \approx 0.5 \Omega$$

$$U_{oi} = U_o + R_i \cdot I_o = 10 + 0.5 \cdot 5 = 12.5 V$$

U_{oi} rappresenta il valore di tensione necessario per garantire la tensione d'uscita nominale con la massima corrente d'uscita, assumendo un rendimento pari all'80%.

Alla minima tensione d'ingresso corrisponde il massimo valore di duty cycle; si può ricavare quindi:

$$U_{imin} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_{oi}}{\delta_{max}} = \frac{2.5 \cdot 12.5}{0.33} \cong 95 V$$

6) Calcolo della massima tensione d'ingresso

Alla minima corrente d'uscita il funzionamento è DCM (infatti $I_B < I_{olim}$). Si ha pertanto:

$$\frac{U_o}{U'_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + \frac{I_o}{I_N}} \qquad \text{dove} \qquad U'_i = U_i \frac{N_2}{N_1} \qquad I_N = \frac{U'_i}{2 \cdot f_s \cdot L}$$

Considerando che la minima corrente d'uscita è $I_o = I_B = 0.25 A$ e che alla massima tensione d'ingresso corrisponde il minimo valore di duty cycle, si può scrivere:

$$\frac{U_o}{U'_{imax}} = \frac{\delta_{min}^2}{\delta_{min}^2 + \frac{U_o}{U'_{imax}} \cdot \frac{2 \cdot f_s \cdot L \cdot I_B}{U_o}}$$

Posto $k = \frac{2 \cdot f_s \cdot L \cdot I_B}{U_o} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 45 \cdot 10^{-6} \cdot 0.25}{10} = 0.225$

si ha: $\frac{U_o}{U'_{imax}} = \frac{\delta^2_{min}}{\delta^2_{min} + \frac{U_o}{U'_{imax}} \cdot k}$ $(\frac{U_o}{U'_{imax}})^2 \cdot k + \frac{U_o}{U'_{imax}} \cdot \delta^2_{min} - \delta^2_{min} = 0$

$$\frac{U_o}{U'_{imax}} = \frac{-\delta^2_{min} \pm \sqrt{\delta^4_{min} + 4 \cdot \delta^2_{min} \cdot k}}{2k} = \frac{-\delta^2_{min} \pm \delta_{min} \sqrt{\delta^2_{min} + 4 \cdot k}}{2k} = \frac{-0.01 + 0.1 \cdot \sqrt{0.01 + 0.9}}{2 \cdot 0.225} \approx 0.19$$

Dunque:

$$U'_{imax} = \frac{10}{0.19} \cong 53V$$

Infine:

$$U_{imax} = U'_{imax} \cdot \frac{N_1}{N_2} = 53 \cdot 2.5 \approx 132V$$

7) Calcolo stress di tensione sull'interruttore e di corrente nel diodo di libera circolazione D

Switch: $\hat{U}_s = U_{imax} + U_{imax} \cdot \frac{N_1}{N_3} = 132 \cdot 1.5 \approx 200V$

Diodo D: $\bar{I}_D = I_{o max} (1 - \delta_{min}) = 5 \cdot (1 - 0.1) \approx 4.5A$