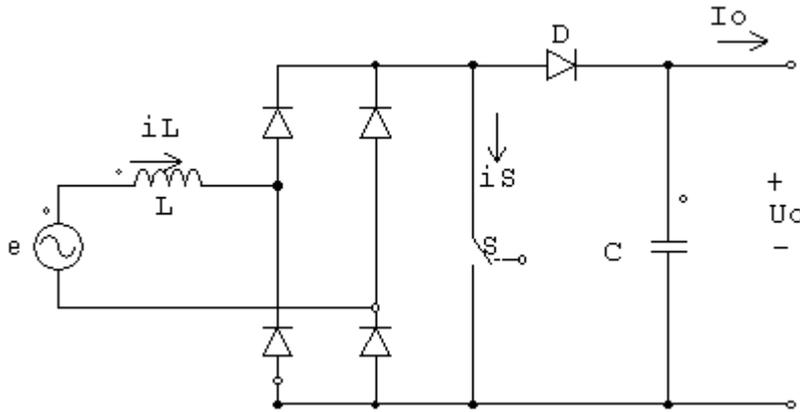


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 26/01/2009

Dato il convertitore PFC boost di figura, con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $e = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ $E = 48 \text{ V}_{\text{rms}} \pm 20\%$ $f = 50 \text{ Hz}$

Tensione d'uscita $U_o = 120 \text{ V}$, $\Delta U_o = \pm 5 \text{ V}$

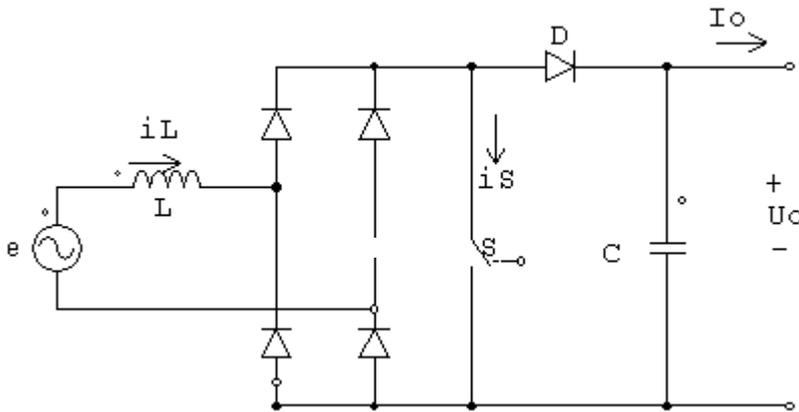
Corrente d'uscita $I_o = 0.5 \div 2 \text{ A}$

Frequenza di commutazione dello switch S: $f_s = 100 \text{ kHz}$

Si chiede di:

- 1) Dimensionare l'induttanza L in modo che l'ondulazione della corrente i_L non superi il 5% del valore di picco nelle condizioni di funzionamento nominali ($E=48 \text{ V}$, $I_o=2 \text{ A}$). Si assuma un rendimento pari al 95%.
- 2) Dimensionare il condensatore C in modo tale che l'ondulazione di tensione ΔU_o rimanga entro il valore specificato.
- 3) Calcolare le sollecitazioni di tensione ai capi dell'interruttore S e del diodo D
- 4) Calcolare il massimo stress di corrente nello switch S (valori di picco e medio nel periodo di rete)
- 5) Dimensionare il numero di spire e il traferro dell'induttanza L nell'ipotesi che si utilizzi un nucleo magnetico con una sezione utile di 15 cm^2 e che l'induzione magnetica non superi 150 mT . Si trascuri la riluttanza del materiale ferromagnetico.

Soluzione



1) Dimensionamento dell'induttanza d'ingresso

La potenza fornita al carico in condizioni nominali è pari a $P_o = U_o \cdot I_o = 120 \cdot 2 = 240 \text{ W}$

$$\text{Se il rendimento } \eta = 95\% \quad P_i = E \cdot I_{L_{\text{rms}}} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{240}{0.95} = 253 \text{ W}$$

$$\text{da cui } I_L = \frac{P_i}{E} = \frac{253}{48} \cong 5.26 \text{ A} \quad (\text{valore efficace})$$

$$\hat{I}_L = \sqrt{2} \cdot I_L = \sqrt{2} \cdot 5.26 \cong 7.44 \text{ A}$$

Il ripple di corrente deve restare entro il 5% di \hat{I}_L : $\Delta I_L = 0.05 \cdot 7.44 = 372 \text{ mA}$

L'andamento del ripple varia lungo il periodo di rete, e in valore assoluto si ripete di semiperiodo in semiperiodo. Nel semiperiodo positivo si può esprimere come:

$$\Delta I_L = \frac{e(t) \cdot t_{\text{on}}}{L} = \frac{e(t) \cdot \delta(t)}{L \cdot f_s}$$

Nell'ipotesi di funzionamento continuo del convertitore boost e sempre esaminando un semiperiodo, si può scrivere:

$$\frac{U_o}{e(t)} = \frac{1}{1 - \delta(t)} \quad \text{e quindi} \quad \delta(t) = 1 - \frac{e(t)}{U_o} \quad \Delta I_L = \frac{e(t)}{L \cdot f_s} \cdot \left(1 - \frac{e(t)}{U_o}\right)$$

che assume valore massimo per:

$$\frac{\partial \Delta I_L}{\partial e} = \frac{1}{L \cdot f_s} - \frac{2 \cdot e(t)}{U_o \cdot L \cdot f_s} = 0 \quad \frac{\partial \Delta I_L}{\partial e} = 0 \quad \text{per } U_o - 2 \cdot e(t) = 0 \quad \text{cioè per } \delta = \frac{1}{2}$$

$$\text{sostituendo } \delta = \frac{1}{2} \quad \text{si ottiene} \quad \Delta I_L = \frac{U_o \cdot (1 - 0.5) \cdot 0.5}{L \cdot f_s} = \frac{U_o}{4 \cdot L \cdot f_s}$$

Posto che il valore massimo del ripple non superi il 5% della corrente di picco, si ottiene per L

$$L \geq \frac{U_o}{4 \cdot \Delta I_{L_{\text{max}}} \cdot f_s} = \frac{120}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.372} \cong 800 \mu\text{H}$$

2) Dimensionamento del condensatore C

L'energia scambiata tra rete e condensatore C_i genera un'ondulazione di tensione che si impone non superi $\pm 5V$.

$$W = P_o / 2\pi f = 240 / 314 \approx 764 \text{ mJ}$$

si può quindi trovare il valore del condensatore d'uscita come:

$$C = \frac{W}{U_o \cdot \Delta U_o} = \frac{764 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 10} \cong 637 \mu F$$

3) Tensione massima sullo switch S e sul diodo D

La massima tensione sia sullo switch che sul diodo coincide con il massimo valore di picco della tensione di rete sommato alla tensione d'uscita

$$\hat{V}_S = \hat{V}_D = U_o + \Delta U_o = 125V$$

4) Corrente massima e media nel periodo di rete dello switch

La corrente di picco nell'interruttore (trascurando l'ondulazione di corrente, che in corrispondenza al picco di corrente è piccola) vale:

$$I_{L \max} = \frac{P_o}{\eta \cdot E_{\min}} = \frac{240}{0.95 \cdot 48 \cdot 0.9} = 5.85 A \text{ (valore efficace)}$$

$$I_{S \max} = \hat{I}_{L \max} = \sqrt{2} \cdot 5.85 = 8.3 A$$

Valori medi: in un generico periodo di commutazione il valore medio della corrente nell'interruttore $\bar{I}_S(t)$ vale $i_L(t) \cdot \delta(t)$. Per ottenere il valore medio complessivo occorre integrare questa grandezza nel semiperiodo di rete $T/2$.

$$\bar{I}_S = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{\pi} i_L(t) \cdot \delta(t) dt$$

considerando che: $i_L(t) = \hat{I}_L \cdot \sin(\omega \cdot t)$ $\delta(t) = 1 - \frac{e(t)}{U_o}$ si ottiene:

$$\bar{I}_S = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{\pi} \hat{I}_L \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2} \cdot E \cdot \sin(\omega \cdot t)}{U_o}\right) dt$$

$$\bar{I}_S = \frac{2}{T} \cdot \hat{I}_L \int_0^{\pi} \sin(\omega \cdot t) \cdot dt - \frac{2}{T} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot E \cdot \hat{I}_L}{U_o} \int_0^{\pi} \sin^2(\omega \cdot t) \cdot dt = \frac{2}{T} \cdot \hat{I}_L \cdot \frac{2}{2 \cdot \pi \cdot f} - \frac{2}{T} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot E}{U_o} \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos(2\omega \cdot t)}{2} \cdot dt$$

$$\bar{I}_S = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{I}_{L \max} - \frac{2}{T} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot E_{\min}}{U_o} \cdot \frac{\pi}{2} = 5.26 - \frac{1.41 \cdot 48 \cdot 0.9}{120 \cdot 2} \cong 5A$$

4) Calcolo del numero di spire e traferro dell'induttore L

$$\Phi_{\max} = B_{\max} \cdot S = 150 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-4} = 225 \cdot 10^{-6} Wb$$

Il massimo valore del flusso si ha in corrispondenza della massima corrente, dunque:

$$L \cdot \hat{I}_{L \max} = N \cdot \Phi_{\max} \quad N = \frac{L \cdot \hat{I}_{L \max}}{\Phi_{\max}} = \frac{806 \cdot 10^{-6} \cdot 8.27}{225 \cdot 10^{-6}} \cong 30 \text{spire}$$

La riluttanza vale:

$$R = \frac{N \cdot I}{\Phi} = \frac{30 \cdot 8.27}{225 \cdot 10^{-6}} = 1.1 \cdot 10^6 A/Wb$$

trascurando la riluttanza del materiale ferromagnetico, il valore trovato corrisponde alla riluttanza del traferro e si puo' esprimere come:

$$R = \frac{t}{\mu_o \cdot S} \text{ e quindi lo spessore del traferro } e': t = \mu_o \cdot S \cdot R = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 15 \cdot 10^{-4} \cdot 1.1 \cdot 10^6 \cong 2mm$$