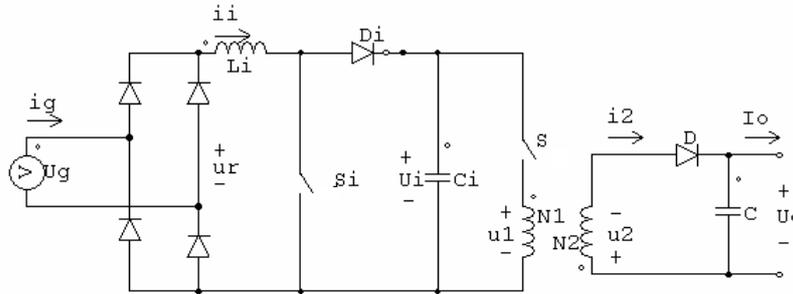


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 11/1/2005 Tema B

Dato il sistema di figura con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $U_g = 230 \text{ V}_{\text{rms}} \pm 10\%$

$U_i = 400 \text{ V}$, $\Delta U_i = 5\% U_i$

Tensione d'uscita $U_o = 100 \text{ V}$, $\Delta U_o = 1\% U_o$ a regime permanente

Frequenza di commutazione dello switch S_i $f_{S_i} = 50 \text{ kHz}$

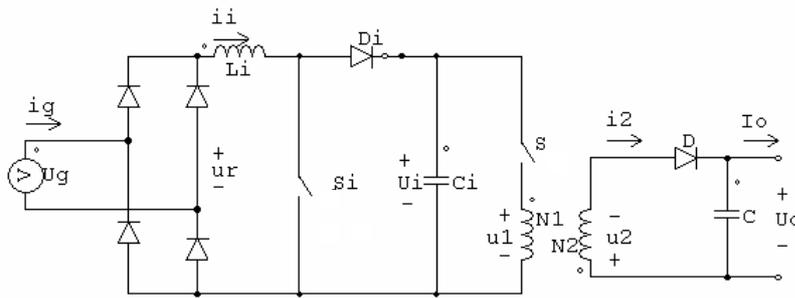
Corrente d'uscita $I_o = 0.2 \div 1 \text{ A}$

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

Nell'ipotesi di rendimento unitario del circuito, si chiede di calcolare:

- 1) il valore di induttanza L_i che garantisca un'ondulazione ad alta frequenza della corrente i_g inferiore al 10% di \hat{I}_g (valore di picco di i_g) nelle condizioni nominali ($U_g = 230 \text{ V}$, $I_o = 1 \text{ A}$) e nell'ipotesi di funzionamento continuo (CCM) del PFC boost;
- 2) il valore di C_i che garantisca che l'ondulazione di tensione ΔU_i rimanga entro il valore specificato;
- 3) la sollecitazione in tensione e in corrente (valore di picco) dell'interruttore S_i ;
- 4) il rapporto spire $\frac{N1}{N2}$ che garantisca la tensione d'uscita desiderata nella condizione di funzionamento limite CCM/DCM del convertitore flyback, con l'interruttore S controllato con un duty cycle $\delta = 0.5$ e la tensione U_i pari al valore nominale di 400 V ;
- 5) il valore dell'induttanza primaria L_1 del mutuo induttore che garantisca il funzionamento limite CCM/DCM del convertitore flyback per il valore di corrente nominale $I_o = 1 \text{ A}$;
- 6) il valore della capacità d'uscita C che garantisca l'ondulazione ΔU_o richiesta, in condizioni di regime permanente;
- 7) il valore della sovraelongazione di tensione d'uscita ΔU_o nel caso di distacco istantaneo del carico.

Soluzione tema B



1) Dimensionamento dell'induttanza d'ingresso

La potenza fornita al carico in condizioni nominali è pari a $P_o = U_o \cdot I_o = 100 \text{ W}$

Se il rendimento è unitario $P_i = U_{grms} \cdot I_{grms} = P_o$ da cui $I_{grms} = \frac{P_o}{U_{grms}} = \frac{100}{230} \cong 0.44 \text{ A}$

$$\hat{I}_g = \sqrt{2} \cdot I_{grms} = \sqrt{2} \cdot 0.44 \cong 0.62 \text{ A}$$

Il ripple di corrente deve restare entro il 10% di \hat{I}_g : $\Delta I_g = 0.1 \cdot 0.62 = 62 \text{ mA}$

L'andamento del ripple, che varia lungo il periodo di rete, si può esprimere come:

$$\Delta I_g = \frac{u_r(t) \cdot t_{on}}{L_i} = \frac{u_r(t) \cdot \delta(t)}{L_i \cdot f_{Si}}$$

dove $u_r(t)$ è la tensione raddrizzata, che rappresenta la tensione d'ingresso del PFC boost.

Nell'ipotesi di funzionamento continuo del convertitore boost, si può scrivere:

$$\frac{U_i}{u_r(t)} = \frac{1}{1 - \delta(t)} \quad \text{e quindi} \quad \delta(t) = 1 - \frac{u_r(t)}{U_i} \quad \Delta I_g = \frac{u_r(t)}{L_i \cdot f_{Si}} \cdot \left(1 - \frac{u_r(t)}{U_i}\right)$$

che assume valore massimo per:

$$\frac{\partial \Delta I_g}{\partial u_r} = \frac{1}{L_i \cdot f_{Si}} - \frac{2 \cdot u_r(t)}{U_i \cdot L_i \cdot f_{Si}} = 0 \quad \frac{\partial \Delta I_g}{\partial u_r} = 0 \quad \text{per} \quad U_i - 2 \cdot u_r(t) = 0 \quad \text{cioè per} \quad \delta = \frac{1}{2}$$

$$\text{sostituendo } \delta = \frac{1}{2} \text{ si ottiene } \Delta I_g = \frac{U_i \cdot (1 - 0.5) \cdot 0.5}{L_i \cdot f_{Si}} = \frac{U_i}{4 \cdot L_i \cdot f_{Si}}$$

Posto che il valore massimo del ripple non superi il 10% della corrente di picco, si ottiene per L_i

$$L_i \geq \frac{U_i}{4 \cdot \Delta I_{g \max} \cdot f_{Si}} = \frac{400}{4 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 62 \cdot 10^{-3}} \cong 33 \text{ mH}$$

2) Dimensionamento del condensatore C_i

L'energia scambiata tra rete e condensatore C_i genera un'ondulazione di tensione che si impone non superi il 5% della tensione d'uscita

$$\Delta U_i = 5\% U_i = 20 \text{ V} \quad W = P_o / 2\pi f_g = 100 / 314 \approx 320 \text{ mJ}$$

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

$$C = \frac{W}{U_i \cdot \Delta U_i} = \frac{320 \cdot 10^{-3}}{400 \cdot 20} = 40 \mu F$$

3) Corrente e tensione massime sullo switch S_i

$$\hat{I}_{Si} = \hat{I}_g = 0.62 A$$

$$\hat{U}_{Si} = U_i = 400 V$$

4) Calcolo del rapporto spire del mutuo induttore

Al limite CCM/DCM, nel punto di lavoro indicato per il dimensionamento, valgono le seguenti relazioni:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{(1-\delta)} = \frac{N_2}{N_1} \frac{0.5}{(1-0.5)} \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{100}{400} = 0.25 \quad \frac{N_1}{N_2} = 4$$

5) Calcolo del valore dell'induttanza primaria L_1

$$I_o = \frac{\hat{I}_2 \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{N_1 \hat{I}_1 \cdot t_{off}}{N_2 \cdot 2 \cdot T_s} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i \cdot t_{on}}{L_1} \frac{t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i}{f_s \cdot L_1} \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2}$$

da cui si ricava:

$$L_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_i}{f_s \cdot I_o} \frac{\delta \cdot (1-\delta)}{2} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{10^5 \cdot 1 \cdot 2} \cong 2 mH$$

si possono ricavare inoltre

$$\hat{I}_2 = \frac{2 \cdot I_o}{1-\delta} = 4 A \quad \hat{I}_1 = \frac{U_i \cdot t_{on}}{L_1} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_2 = 1 A \quad L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot L_1 \cong 125 \mu H$$

5) Calcolo del valore della capacità C

Il valore di capacità deve essere tale da garantire un'ondulazione di tensione pari all'1% del valore nominale in condizioni di regime permanente

$$\Delta Q = I_o \cdot t_{on} = 1 \cdot 5 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q}{C} \Rightarrow C \geq \frac{\Delta Q}{\Delta U_o} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{1} = 5 \mu F$$

5) Calcolo dell'ondulazione di tensione nel caso di distacco del carico

$$\Delta U_o = \frac{\frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot \hat{I}_1^2}{U_o \cdot C} \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{100 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \cong 2 V$$