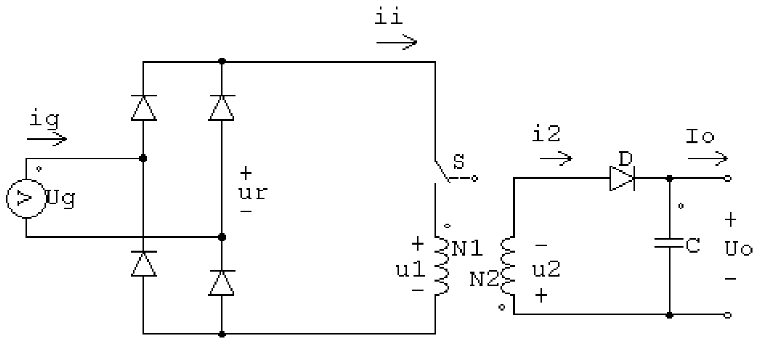
# Prova Scritta di
# ELETTRONICA INDUSTRIALE del 23/09/2008

Dato il PFC flyback di figura, operante in DCM e con le seguenti specifiche:




Tensione d'ingresso: $u_g(t) = \sqrt{2} \cdot U_g \cdot \sin(\omega t)$

$U_g = 230\ V_{rms} \pm 20\%$ , $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , f=50 Hz

Tensione d'uscita $U_o = 12$ V

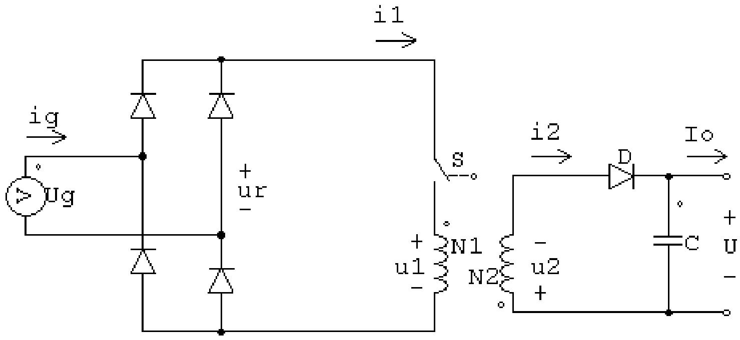
Corrente d'uscita $I_o = 0.2 \div 2$ A

Frequenza di commutazione dello switch S: $f_S = 200$ kHz

Assumendo che il convertitore abbia rendimento unitario, si chiede di:

1) Scegliere il valore dell'induttanza di magnetizzazione del mutuo induttore in modo che il convertitore funzioni con δ=0.5 nelle condizioni nominali (Ug=230V, Io=2A);
2) Valutare il campo di variazione del duty cycle nelle diverse condizioni operative;
3) Scegliere il rapporto spire del mutuo induttore in modo che il funzionamento DCM sia garantito in ogni condizione operativa;
4) Dimensionare il condensatore di uscita C in modo che l'ondulazione della tensione d'uscita $\Delta U_o$ (valore picco-picco) sia inferiore al 5% di Uo.
5) Calcolare gli stress di tensione e corrente (valore di picco) dell'interruttore S nelle condizioni nominali.

Soluzione




1) Calcolo dell'induttanza magnetizzante $L_1$

La potenza fornita al carico in condizioni nominali è pari a $P_o = U_o * I_o = 12*2=24$ W



Se il rendimento è unitario $P_g = U_{grms} * I_{grms} = P_o$

Il PFC in funzionamento DCM appare alla rete di alimentazione come una resistenza equivalente, il cui valore si può ricavare dal bilancio di potenze:

$$P_o = P_g = \frac{U_{grms}^{\ 2}}{R_{eq}}$$

da cui: $R_{eq} = \frac{U_{grms}^{\ 2}}{P_g} = \frac{230^2}{24} = 2.2\ k\Omega$

Ad ogni intervallo di commutazione $T_s$, assumendo funzionamento DCM, e assumendo che la tensione di alimentazione $u_g$ sia costante in $T_s$, si può scrivere:

$$\hat{i}_1 = \frac{|u_g(t)|}{L_1}\cdot t_{on} = \frac{|u_g(t)|}{L_1\cdot f_s}\cdot\delta \qquad \bar{i}_1(t) = \frac{\hat{i}_1\cdot t_{on}}{2\cdot T_s} = \frac{|u_g(t)|}{L_1\cdot f_s}\cdot\delta\cdot\frac{t_{on}}{2\cdot T_s} = \frac{|u_g(t)|}{2\cdot L_1\cdot f_s}\cdot\delta^2$$

Considerando che $\bar{i}_1(t) = |\bar{i}_g(t)| = \frac{|u_g(t)|}{R_{eq}} = \frac{|u_g(t)|}{2\cdot f_s\cdot L_1}\cdot\delta^2$ si ha: $R_{eq} = \frac{2\cdot f_s\cdot L_1}{\delta^2}$

Posto $\delta$=0.5, si può ricavare $L_1$ come:

$$L_1 = \frac{R_{eq}}{2\cdot f_s}\cdot\delta^2 = \frac{2200}{2\cdot 200\cdot 10^3}\cdot 0.25 = 1.38mH$$

2) Campo di variazione del duty cycle

Una volta trovato il valore dell'induttanza di magnetizzazione al primario, si può esprimere il duty cycle come:

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \cdot f_s \cdot L_1}{R_{eq}}}$$

Al variare della corrente d'uscita, varierà anche il valore di $R_{eq}$

$$R_{eqmi\min} = \frac{U_{grms\_\min}{}^2}{P_{o\max}} = \frac{(230 \cdot 0.8)^2}{24} = \frac{(184)^2}{24} = 1.4k\Omega$$

$$R_{eqmi\max} = \frac{U_{grms\_\max}{}^2}{P_{o\min}} = \frac{(230 \cdot 1.2)^2}{2.4} = \frac{(276)^2}{2.4} = 31.7k\Omega$$

Pertanto:

$$\delta_{\min} = \sqrt{\frac{2 \cdot f_s \cdot L_1}{R_{eq\max}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-3}}{31700}} = 0.13$$

$$\delta_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot f_s \cdot L_1}{R_{eq\min}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-3}}{1400}} = 0.63$$

3) Calcolo del rapporto spire

Per garantire che il funzionamento sia sempre DCM, occorre scegliere l'induttanza di magnetizzazione $L_2$ (scegliendo di riferirla al secondario) di valore tale per cui la condizione limite si abbia in corrispondenza alla massima corrente d'uscita e con il minimo valore dell'ondulazione di corrente $\Delta I_L$, cioè con il minimo valore di $(1-\delta)$, che si ha per $\delta_{max}$. In DCM infatti

$$\Delta I_{L2} = \hat{I}_{\mu 2} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L_2} = \frac{U_o \cdot (1-\delta)}{f_s \cdot L_2}$$

Considerando che la corrente di carico si può esprimere come

$$I_o = \frac{\hat{I}_{\mu 2} \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L_2} \cdot \frac{t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{U_o \cdot (1-\delta)^2}{2 \cdot f_s \cdot L_2}$$

si può ricavare:

$$L_2 = \frac{U_o \cdot (1-\delta_{\max})^2}{2 \cdot f_s \cdot I_{o\max}} = \frac{12 \cdot (1-0.63)^2}{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 2} \cong 2\mu H$$

e infine il rapporto spire:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{1.38 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}}} \cong 26.3$$

4) Dimensionamento del condensatore C

L'energia scambiata tra rete e condensatore C si può esprimere come:

$$W = \frac{P_o}{2 \cdot \pi \cdot f_g} = \frac{24}{314} \cong 76mJ$$

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

$$C = \frac{W}{U_o \cdot \Delta U_o} = \frac{76 \cdot 10^{-3}}{12 * 0.6} \cong 10mF$$

5) Tensione e Corrente di picco sullo switch S

Il valore di picco della corrente nell'interruttore si ha quando la tensione è massima. Nelle condizioni nominali esso vale:

$$\hat{I}_S = \frac{\hat{U}_g \cdot \delta}{f_s \cdot L_1} = \frac{230 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.5}{2 \cdot 10^5 \cdot 1.38 \cdot 10^{-3}} \cong 0.6A$$

$$\hat{U}_S = \hat{U}_g + \frac{N_1}{N_2} \cdot U_o = 230 \cdot \sqrt{2} + 26.3 \cdot 12 \cong 640V$$