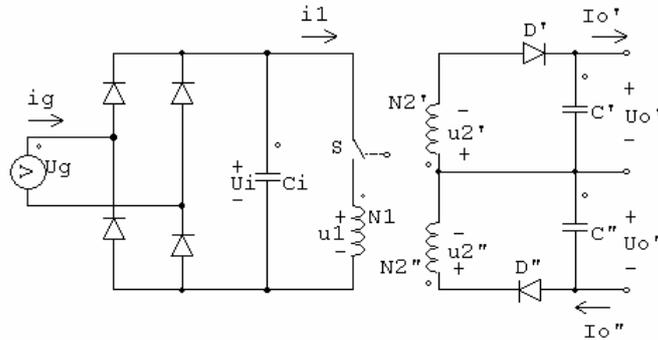


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 20/09/2006

Dato il convertitore composto da un raddrizzatore a doppia semionda con filtro capacitivo ed un convertitore flyback a doppia uscita, con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $U_g = \sqrt{2} U_{grms} \sin(2\pi f_g t)$ con $U_{grms} = 50V \pm 5V$ e $f_g = 50$ Hz

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

Tensione d'uscita $U_o' = 12$ V

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

Tensione d'uscita $U_o'' = 5$ V,

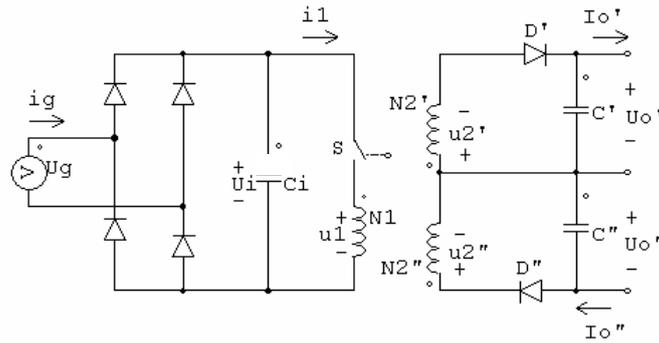
Corrente d'uscita $I_o'' = 0 \div 0.5$ A

$C' = 10\mu\text{F}$, $C'' = 20\mu\text{F}$

Si chiede di calcolare:

- 1) il valore della capacità C_i che, in condizioni di funzionamento nominali ($U_g = 50$ V e I_o', I_o'' massime) e assumendo rendimento unitario, garantisca un'ondulazione picco-picco $\Delta U_i \leq 2\%$ della tensione U_i ;
- 2) l'intervallo di variazione di U_i al variare di U_g , trascurando l'ondulazione;
- 3) il valore di picco della corrente i_g all'avviamento del convertitore ed in situazione di regime nelle condizioni nominali;
- 4) i rapporti spire $n' = \frac{N_1}{N_2'}$ e $n'' = \frac{N_1}{N_2''}$ che consentono al convertitore di operare con duty-cycle $\delta = 0.5$ nelle condizioni nominali (funzionamento CCM; nei calcoli si trascuri l'ondulazione ΔU_i);
- 5) il valore dell'induttanza magnetizzante lato primario (L_μ) che garantisce il funzionamento limite CCM/DCM in corrispondenza di U_i nominale e corrente di carico minima;
- 6) le variazioni delle tensioni di uscita U_o' e U_o'' al distacco di ambo i carichi a partire dalla condizione nominale.

Soluzione



1) Calcolo del valore della capacità d'ingresso

Il valore massimo della tensione U_i è uguale al picco di u_g . Nella condizione nominale si ha:

$$\hat{U}_i = \hat{U}_g = \sqrt{2} * U_g = \sqrt{2} * 50 \cong 71V$$

Inoltre, nelle stesse condizioni $\Delta U_i = 0,02U_i$, dunque: $\hat{U}_i = U_i + \frac{\Delta U_i}{2} = 1,01U_i$

Si ha dunque $U_i = \frac{\hat{U}_i}{1,01} \cong 70V$.

Per dimensionare il condensatore d'ingresso si considera il convertitore flyback a valle come un generatore equivalente di corrente costante, il cui valore è:

$$I_i = \bar{I}_1 = \frac{P'_o + P''_o}{U_i} \approx \frac{12 \cdot 2 + 5 \cdot 0,5}{70} \approx 0,38A$$

Durante la fase in cui i diodi del raddrizzatore non conducono, che in prima approssimazione si assume pari a metà del periodo di rete T_g (essendo il raddrizzatore a doppia semionda), si può considerare che il condensatore C_i si scarichi con corrente costante I_i .

Posto $\Delta U_i = 0,02U_i \approx 1,4V$ si ha:

$$C_i = \frac{\Delta Q_i}{\Delta U_i} = \frac{I_i}{\Delta U_i} \cdot \frac{T_g}{2} = \frac{0,38 \cdot 0,01}{1,4} \approx 2,7mF$$

2) Intervallo di variazione di U_i al variare di U_g

Trascurando l'ondulazione di tensione ΔU_i , si può approssimare il calcolo dei valori medi di U_i tramite le equazioni:

$$U_{i \min} \approx \sqrt{2} \cdot U_{g \min} = \sqrt{2} \cdot 45 \approx 63V$$

$$U_{i \max} \approx \sqrt{2} \cdot U_{g \max} = \sqrt{2} \cdot 55 \approx 78V$$

3) Calcolo del valore di picco di i_g all'avviamento e a regime

All'avviamento si ha:

$$\hat{I}_{gavv} = \omega \cdot C_i \cdot \hat{U}_g = 314 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 71 \approx 60A$$

A regime, l'angolo di conduzione dei diodi nel raddrizzatore si ricava come segue:

$$\cos \vartheta = \frac{\hat{U}_g - \Delta U_i}{\hat{U}_g} = \frac{(1,01 - 0,02)U_i}{1,01U_i} \approx 0,98 \Rightarrow \theta \approx 0,21rad$$

Il corrispondente tempo di conduzione T_c è: $T_c = \frac{\vartheta}{\omega} = \frac{0,21}{314} \approx 670\mu s$

In ciascun semiperiodo di rete la potenza entrante deve eguagliare l'uscente, dunque:

$$P_g = P_o \Rightarrow \frac{1}{T_g/2} \int_0^{T_g/2} u_g i_g dt = P_o' + P_o''$$

Dato che la conduzione è concentrata nell'intervallo T_c , attorno al picco della tensione di rete, l'espressione precedente si può riscrivere:

$$P_o \approx \frac{1}{T_g/2} \int_0^{T_c} u_g i_g dt \approx \frac{\hat{U}_g}{T_g/2} \int_0^{T_c} i_g dt$$

Considerando che la corrente i_g , nell'intervallo di conduzione dei diodi, ha andamento circa

triangolare, si ha $\int_0^{T_c} i_g dt \approx \frac{\hat{i}_g T_c}{2}$, da cui:

$$\hat{i}_g \approx \frac{P_o}{\hat{U}_g} \frac{T_g}{T_c} = \frac{26,5 \cdot 0,01}{71 \cdot 670 \cdot 10^{-6}} \approx 5,6A$$

4) Calcolo dei rapporti spire

In CCM, in condizioni nominali e per $\delta=0.5$ si ha:

$$\frac{U'_o}{U_i} = \frac{N'_2}{N_1} \frac{\delta}{(1-\delta)} = \frac{1}{n'} \frac{0,5}{(1-0,5)} \Rightarrow n' = \frac{U_i}{U'_o} = \frac{70}{12} = 5,83$$

$$n'' = \frac{U_i}{U''_o} = \frac{70}{5} = 14$$

5) Calcolo dell'induttanza magnetizzante

In condizioni nominali e per $\delta=0.5$, la tensione secondaria riflessa al primario risulta:

$$U^*_o = \frac{\delta}{1-\delta} U_i = U_i \approx 70V$$

Riportando anche le correnti di carico al primario si ottiene la corrente di carico equivalente:

$$I_o^* = I_o' \cdot \frac{N_2'}{N_1} + I_o'' \cdot \frac{N_2''}{N_1}$$

Assumendo le minime correnti d'uscita si ha:

$$I_o^* = \frac{0.5}{5.83} \approx 86 \text{ mA}$$

In questa condizione, e con $\delta = 0.5$, si deve avere la condizione limite CCM/DCM.

Dunque:

$$I_o^* = \frac{\hat{I}_L \cdot t_{off}}{2 \cdot T_S} = \frac{\hat{I}_L}{2} \cdot \frac{T_S}{2} = \frac{\hat{I}_L}{4} \quad L_\mu = \frac{U_o^* \cdot t_{off}}{\hat{I}_L} = \frac{U_o^*}{4 \cdot I_o^*} \cdot \frac{T_S}{2} = \frac{70 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 86 \cdot 10^{-3}} \cong 510 \mu H$$

5) Calcolo delle sovratensioni al distacco di carico

Nelle condizioni nominali si ha:

$$I_o^* = I_o' \cdot \frac{N_2'}{N_1} + I_o'' \cdot \frac{N_2''}{N_1} = \frac{2}{5.83} + \frac{0.5}{14} \approx 0.38 A$$

Peraltro $I_o^* = I_L(1 - \delta) = 0.5 I_L$, con I_L corrente media nell'induttore.

Dunque $I_L = 2 I_o^* \approx 0.76 A$. La corrente di picco nell'induttanza vale:

$$\hat{I}_L = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = I_L + \frac{U_o^* \cdot t_{off}}{L_\mu} \cdot \frac{1}{2} \approx 0.93 A$$

L'energia immagazzinata nell'induttanza è quindi:

$$\frac{1}{2} L_\mu \cdot \hat{I}_L^2 = 0.5 \cdot 510 \cdot 10^{-6} \cdot 0.93^2 \cong 0.22 \text{ mJ}$$

I valori di capacità riportati al primario sono:

$$\left. \begin{aligned} C_o' &= C' \left(\frac{N_2'}{N_1} \right)^2 = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{5.83^2} \cong 294 \text{ nF} \\ C_o'' &= C'' \left(\frac{N_2''}{N_1} \right)^2 = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{14^2} \cong 102 \text{ nF} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_o^* = C_o' + C_o'' \approx 0.4 \mu F$$

L'ondulazione di tensione calcolata a primario risulta dunque:

$$\Delta U_o^* = \frac{\frac{1}{2} L_\mu I_{Lmax}^2}{C_o^* U_o^*} = \frac{0.22 \cdot 10^{-3}}{0.4 \cdot 10^{-6} \cdot 70} \approx 7.8 V$$

Essa può infine essere riportata a secondario con le relazioni:

$$\Delta U_o' = \Delta U_o^* \frac{N_2'}{N_1} = \frac{7.8}{5.83} \approx 1.33 V$$

$$\Delta U_o'' = \Delta U_o^* \frac{N_2''}{N_1} = \frac{7.8}{14} \approx 0.56 V$$