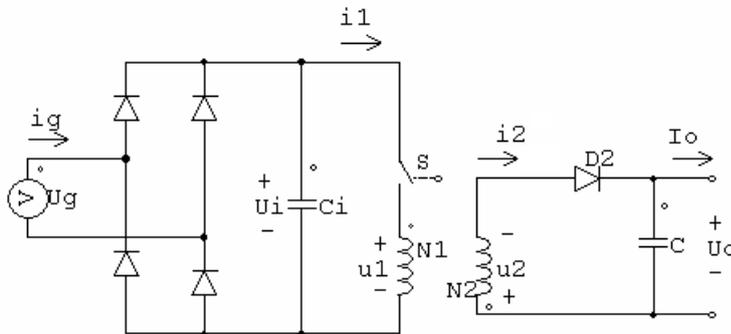


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 19/07/2007

Dato il sistema raddrizzatore - convertitore flyback di figura, con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $U_g = \sqrt{2} \cdot U_{grms} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot t)$ con $U_{grms} = 220V \pm 20V$ e $f_g = 50$ Hz

Valore nominale $U_{grms_n} = 220V$

Tensione d'uscita $U_o = 12 V \pm 5\%$, Valore nominale $U_{on} = 12V$

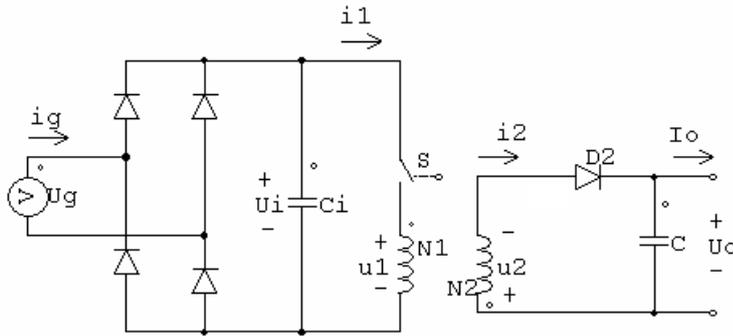
Corrente d'uscita $I_o = 0.5 \div 1$ A, Valore nominale $I_{on} = 1$ A

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

Assumendo che il rendimento del convertitore flyback sia pari a 0.8 nelle condizioni nominali (U_{grms_n} , I_{on} , U_{on}), si chiede di determinare:

- 1) il valore della capacità C_i che garantisca un'ondulazione di tensione $\Delta U_i \leq 10V$ picco picco, nelle condizioni nominali;
- 2) il rapporto spire $n = \frac{N1}{N2}$ che garantisca $\delta = 0.5$ nelle condizioni nominali;
- 3) il valore dell'induttanza magnetizzante lato primario, che causi il funzionamento limite CCM/DCM in corrispondenza di U_{gmax} e I_{omin} ;
- 4) il valore di capacità C_o che garantisca di mantenere l'ondulazione di tensione entro i valori specificati sia in condizioni statiche che dinamiche, a partire dalle condizioni nominali
- 5) Il valore della massima corrente e della massima tensione applicata all'interruttore S e al diodo D.

Soluzione



2) Calcolo del valore della capacità d'ingresso

Per il dimensionamento del condensatore d'ingresso, si approssima il valore massimo di tensione U_i con il valore di picco della tensione U_g e si considera il convertitore flyback a valle come un generatore di corrente equivalente, il cui valore è pari alla corrente media assorbita in ingresso \bar{I}_1 .

Considerando che la massima ondulazione della tensione U_i specificata è di 10 V nelle condizioni nominali ($U_{grms_n}=220V$), la tensione ai capi di C_i varierà dal valore massimo di:

$$U_{i_{max}} = \hat{U}_g = \sqrt{2} * 220 = 311V \text{ al valore minimo:}$$

$$U_{i_{min}} = \sqrt{2} * 220 - 10 = 301V \text{ ed il valore medio sarà } U_{imed} = \frac{311 * 301}{2} = 306V$$

Nelle condizioni nominali ($I_{on}=1A$, $U_{on}=12V$) e con un rendimento dell'80%, la corrente media assorbita in ingresso e' data da

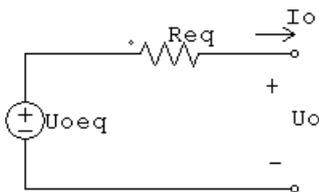
$$\bar{I}_i = \frac{U_{on} \cdot I_{on}}{U_{i_{med}} \cdot \eta} = \frac{12 \cdot 1}{306 \cdot 0.8} = 49mA$$

Durante la fase in cui i diodi del raddrizzatore non conducono, che in prima approssimazione si assume pari a meta del periodo T_g , essendo il raddrizzatore a doppia semionda, si può considerare che il condensatore C_i si scarichi con corrente costante \bar{I}_1 . Il corrispondente calo di tensione sarà quindi dato da:

$$\Delta U_i = \frac{\bar{I}_i \cdot T_g}{C_i \cdot 2} \text{ e quindi } C_i = \frac{0.049 \cdot 0.02}{10 \cdot 2} \cong 49\mu F$$

2) Calcolo del rapporto spire

Una schematizzazione equivalente del convertitore lato uscita è illustrata in figura:



Si assume che la resistenza Req renda conto di tutte le perdite nei componenti del circuito. Effettuando il calcolo nelle condizioni nominali, si ottiene:

$$P_o = 12 * 1 = 12 W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} \quad P_{diss} = \frac{P_o \cdot (1 - \eta)}{\eta} = \frac{12 \cdot (1 - 0.8)}{0.8} = 3W$$

$$P_{diss} = R_{eq} \cdot I_o^2 \quad R_{eq} = \frac{P_{diss}}{I_o^2} = \frac{3}{1} = 3\Omega$$

$$U_{oeq} = U_o + R_{eq} \cdot I_o = 12 + 3 \cdot 1 = 15V$$

Assumendo $\delta=0.5$ nelle condizioni nominali, si ottiene:

$$\frac{U_{oeq}}{U_{imed}} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{(1-\delta)} = \frac{N_2}{N_1} \frac{0.5}{(1-0.5)} \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{oeq}}{U_{imed}} = \frac{15}{306} \cong 0.049 \quad \frac{N_1}{N_2} = 20.4$$

3) Al limite CCM/DCM che si ottiene in corrispondenza di U_{gmax} e I_{omin} si può scrivere la seguente relazione tra corrente di carico e picco di corrente \hat{I}_2 :

$$I_{omin} = \frac{\hat{I}_2 \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s} \quad \hat{I}_2 = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L_{\mu 2}} \quad \text{e quindi} \quad L_{\mu 2} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{\hat{I}_2} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s \cdot I_{omin}} \cdot t_{off}$$

Per il calcolo di δ in questo punto di funzionamento, si consideri che con $I_{omin}=0.5$ A, si ha

$$U_{oeq} = U_o + R_{eq} \cdot I_{omin} = 12 + 3 \cdot 0.5 = 13.5V$$

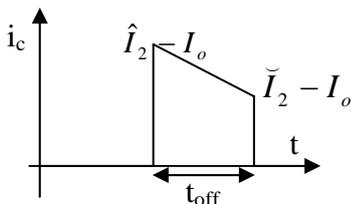
$$\delta = \frac{\frac{U_{oeq}}{U_{imed}}}{\frac{N_2}{N_1} + \frac{U_{oeq}}{U_{imed}}} = \frac{U_{oeq}}{U_{oeq} + \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{imed}} \quad \delta = \frac{13.5}{13.5 + 0.049 \cdot 340} = 0.448$$

si ottiene: $L_{\mu 2} = \frac{U_o \cdot (1 - \delta)^2}{2 \cdot f_s \cdot I_{omin}} = \frac{12 \cdot (1 - 0.448)^2}{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0.5} = 18.3 \mu H$ e quindi

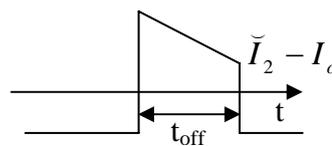
$$L_{\mu 1} = n^2 \cdot L_{\mu 2} = 20.4^2 \cdot 18.3 \cdot 10^{-6} = 7.6mH$$

4) Dimensionamento del condensatore C

Nel convertitore flyback, la corrente nel diodo D ha andamento di tipo trapezoidale in funzionamento CCM e triangolare in DCM; la corrente nel condensatore d'uscita è la componente alternata della corrente nel diodo ed ha l'andamento di figura se il valore $I_{2min} > I_o$.



Corrente nel diodo D



Corrente nel condensatore d'uscita

In condizioni nominali il funzionamento è sempre CCM e il $\delta=0.5$, il ripple di corrente è quindi:

$$\Delta I_2 = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L_{\mu 2}} = \frac{12 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{18.3 \cdot 10^{-6}} = 1.64 A$$

$$I_o = \frac{\hat{I}_2 + I_{2min}}{2} \cdot \frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\hat{I}_2 + I_{2min}}{4} \quad \hat{I}_2 = I_{2min} + \Delta I_2 \quad \text{quindi}$$

$$I_o = \frac{I_{2min} + \Delta I_2 + I_{2min}}{4} = \frac{I_{2min}}{2} + \frac{\Delta I_2}{4} \quad I_{2min} = 2 \cdot I_o - \frac{\Delta I_2}{2} = 2 - 0.82 = 1.18 A$$

Si conclude quindi che il minimo valore di corrente sul diodo è maggiore della corrente di uscita e la forma d'onda di corrente sul condensatore è pertanto trapezoidale.

Il valore della capacità C che garantisce l'ondulazione specificata è:

$$\Delta Q = I_o \cdot t_{on} = 1 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} = 2.5 \mu C \quad \text{e la corrispondente variazione di tensione picco-picco:}$$

$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q}{C} \Rightarrow C \geq \frac{\Delta Q}{\Delta U_o} = \frac{2.5 \cdot 10^{-6}}{1.2} = 2.1 \mu F$$

Per la verifica dell'ondulazione di tensione in condizioni dinamiche si considera il caso limite di distacco di carico. Se si assume che esso avvenga nell'istante in cui vi è la massima energia immagazzinata nell'induttanza (picco di i_2), si ottiene:

$$\hat{I}_{2max} = \bar{I}_{2min} + \Delta I_2 = 1.18 + 1.64 = 2.82 A$$

$$C \geq \frac{\frac{1}{2} \cdot L_{\mu 2} \cdot \hat{I}_2^2}{U_o \cdot \Delta U_o} \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot 18.3 \cdot 10^{-6} \cdot 2.82^2}{12 \cdot 0.6} \cong 10 \mu F$$

Si sceglie questo valore per il dimensionamento del condensatore.

5)_ Sollecitazione di corrente e tensione ai capi dell'interruttore del diodo:

Massima tensione ai capi dell'interruttore:

$$\hat{U}_S = U_{i_{max}} + n \cdot U_{eq} = \sqrt{2} \cdot 240 + 20.4 \cdot 15 \cong 645 V$$

Massima tensione ai capi del diodo

$$\hat{U}_D = U_{2max} + U_o = \frac{U_{i_{max}}}{n} + U_o = \frac{339}{20.4} + 12 \cong 28.7 V$$

Massima corrente nel diodo si ha n funzionamento DCM:

$$\hat{I}_2 = \frac{I_o \cdot 2 \cdot T_s}{t_{off}} = \frac{I_o \cdot 2}{(1 - \delta_{max})} = \frac{2}{0.52} \quad \hat{I}_D = \hat{I}_2 = 3.85 A$$

Massima corrente nell'interruttore:

$$\hat{I}_s = \hat{I}_1 = \frac{\hat{I}_2}{n} = \frac{3.85}{20.4} = 190 mA$$