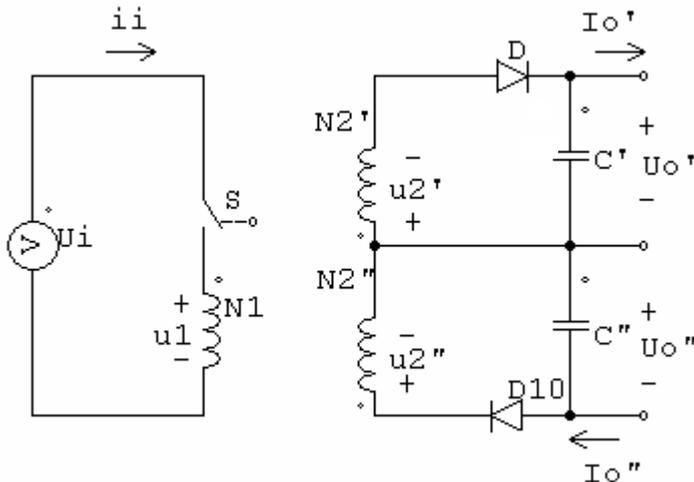


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 19/9/2005

Dato il convertitore flyback a doppia uscita di figura, con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $U_i = 12 \text{ V} \pm 20\%$

Tensione d'uscita $U'_o = 12 \text{ V}$, $U''_o = 5 \text{ V}$,

Corrente d'uscita $I'_o = 0 \div 1 \text{ A}$, $I''_o = 0.5 \div 2 \text{ A}$

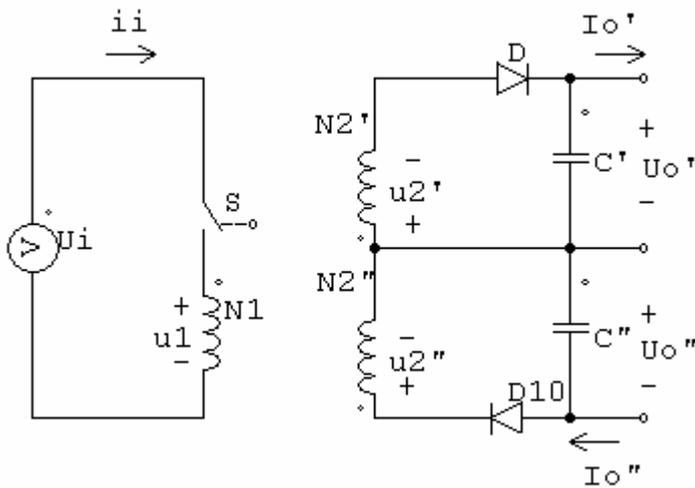
Ondulazione delle tensioni d'uscita in condizioni statiche (valori picco-picco):

$$\frac{\Delta U'_o}{U'_o} \leq 5\% \quad \frac{\Delta U''_o}{U''_o} \leq 2\%$$

Frequenza di commutazione dello switch S: $f_s = 50 \text{ kHz}$

Determinare:

- 1) i rapporti spire $n' = \frac{N1}{N'2}$ e $n'' = \frac{N1}{N''2}$ e l'intervallo di variazione del duty cycle, nell'ipotesi di funzionamento continuo in ogni condizione operativa;
- 2) il valore dell'induttanza magnetizzante del trasformatore (mutuo induttore) L che garantisca il funzionamento continuo (CCM) in ogni condizione operativa;
- 3) il valore dei condensatori C' e C'' che garantiscano le ondulazioni di tensione specificate;
- 4) il valore della sovraelongazione di tensione d'uscita nel caso di distacco istantaneo dei carichi ($I'_o = I''_o = 0$).



1) Calcolo dei rapporti spire

In CCM e assumendo che in condizioni nominali ($U_i=12\text{ V}$) $\delta=0.5$, corrispondente al miglior utilizzo del convertitore, si ha:

$$\frac{U'_o}{U_i} = \frac{N'_2}{N_1} \frac{\delta}{(1-\delta)} = \frac{1}{n'} \frac{0.5}{(1-0.5)} \Rightarrow n' = \frac{U_i}{U'_o} = \frac{12}{12} = 1$$

$$n'' = \frac{U_i}{U''_o} = \frac{12}{5} = 2.4$$

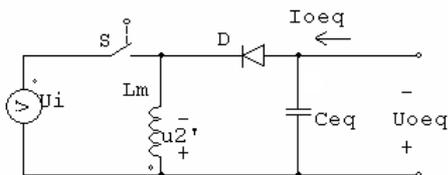
La variazione del duty cycle, facendo riferimento alla prima uscita, è data da:

$$\frac{U'_o}{U_i} = \frac{\delta}{(1-\delta)} \quad \Rightarrow \quad \delta = \frac{U'_o}{(U_i + U'_o)}$$

$$\delta_{\min} = \frac{U'_o}{(U_{i\max} + U'_o)} = 0.45 \quad \delta_{\max} = \frac{U'_o}{(U_{i\min} + U'_o)} = 0.56$$

2) Calcolo dell'induttanza magnetizzante

Circuito equivalente al primario:



$$C_{eq} = \frac{C'}{n'^2} + \frac{C''}{n''^2}$$

$$I_{oeq} = \frac{I'_o}{n'} + \frac{I''_o}{n''} = \frac{0 \div 1}{1} + \frac{0.5 \div 2}{2.4} = 0.21 \div 1.84$$

$$U_{oeq} = 12\text{V}$$

Nella condizione limite CCM/DCM si ha:

$$I_{oeq} = \frac{\hat{I}_L \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L_\mu} \frac{t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{U_o}{f_s \cdot L_\mu} \frac{(1-\delta)^2}{2}$$

Assumendo che tale condizione si verifichi per la minima corrente di uscita ($I_{oeq} = I_{oeq \min}$) e osservando che il valore più elevato della funzione $(1-\delta)$ si ha per $\delta = \delta_{\min}$, si ottiene:

$$L_\mu = \frac{U_o}{f_s \cdot I_{oeq \min}} \frac{(1-\delta_{\min})^2}{2} = \frac{12 \cdot (1-0.45)^2}{50 \cdot 10^3 \cdot 0.21 \cdot 2} \cong 170 \mu H$$

3) Calcolo dei condensatori

Con qualche approssimazione, si può scrivere:

$$\Delta Q' = C' \cdot \Delta U'_o = I'_o \cdot t_{on}$$

il caso peggiore corrisponde a $I'_o = I_{o \max}$ e $t_{on} = t_{on \max}$, quindi

$$C' \geq \frac{I'_{o \max} \cdot t_{on \max}}{\Delta U'_o} = \frac{1 \cdot 0.56 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{0.05 \cdot 12} = 18.7 \mu F$$

$$C'' \geq \frac{I''_{o \max} \cdot t_{on \max}}{\Delta U''_o} = \frac{2 \cdot 0.56 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{0.02 \cdot 5} = 224 \mu F$$

4) Calcolo di ΔU_o in caso di distacco istantaneo del carico

Nel caso limite di distacco di carico, tutta l'energia immagazzinata nell'induttore viene scaricata nel condensatore, sempre facendo riferimento al circuito equivalente visto al primario:

$$C_{eq} = \frac{C'}{n^2} + \frac{C''}{n'^2} = \frac{18.7 \cdot 10^{-6}}{1^2} + \frac{224 \cdot 10^{-6}}{2.4^2} \cong 58 \mu F$$

Il massimo valor medio di corrente nell'induttore, e quindi la massima energia, sono dati da:

$$I_{oeq} = \frac{\bar{I}_L \cdot t_{off}}{T_s} \quad \bar{I}_{L \max} = \frac{I_{oeq \max}}{(1-\delta_{\max})} = \frac{1.84}{1-0.56} = 4.18 A$$

$$W_{L \max} = \frac{1}{2} \cdot L_\mu \cdot \bar{I}_{L \max}^2 = \frac{170 \cdot 10^{-6} \cdot 4.18^2}{2} \cong 1.49 mJ$$

Si noti che, per semplicità, si è trascurato il contributo dell'ondulazione di corrente.

$$\Delta U_{o \max} \cong \frac{W_{L \max}}{U_{oeq} \cdot C_{eq}} \cong \frac{1.49 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 58 \cdot 10^{-6}} \cong 2.13 V$$

in termini percentuali:

$$\frac{\Delta U_{oeq}}{U_{oeq}} \cong \frac{2.13}{12} \cong 17.7 \%$$

riportando al secondario:

$$\Delta U'_o = 0.177 \cdot 12 \cong 2.13V$$

$$\Delta U''_o = 0.177 \cdot 5 \cong 0.88V$$