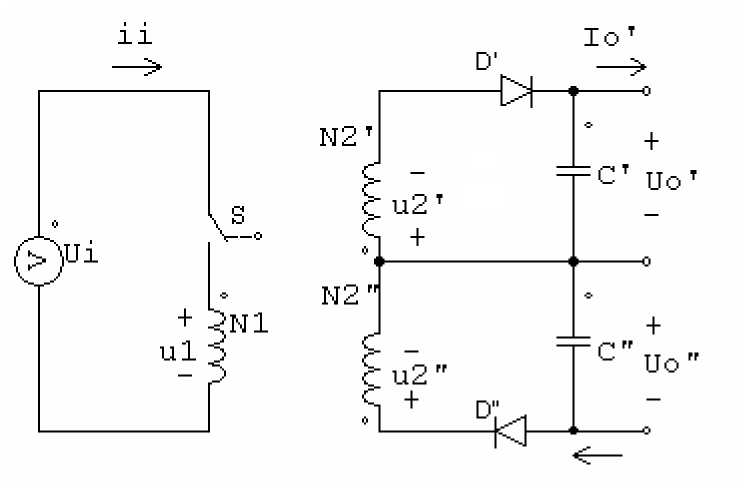
# Prova Scritta di
# ELETTRONICA INDUSTRIALE del 02/04/2007

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




Tensione d’ingresso: $U_i = 12$ V ± 3V

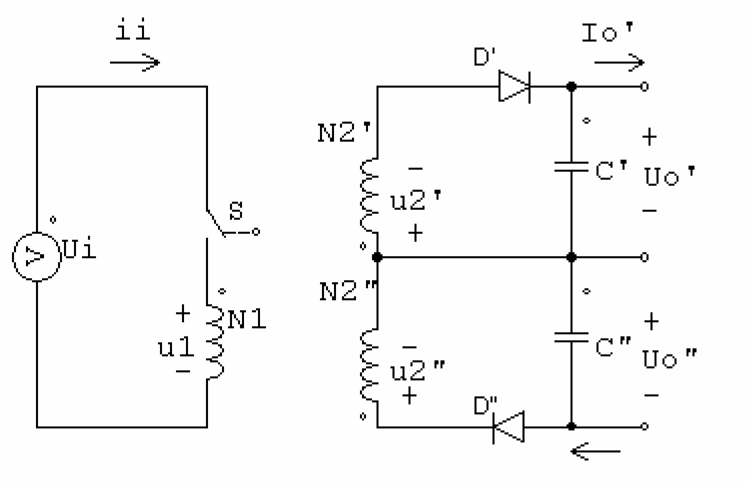
Tensione d’uscita $U'_o = 5$ V, $U''_o = 10$ V,

Corrente d’uscita $I'_o = 1 \div 5$ A, $I''_o = 0 \div 1$ A

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

Determinare:

1) i rapporti spire $n' = \frac{N1}{N'2}$ e $n'' = \frac{N1}{N''2}$ tali per cui la tensione ai capi dell’interruttore non ecceda i 35 V;
2) il valore dell’induttanza magnetizzante, riferita al primario, che garantisca il funzionamento limite CCM/DCM nelle condizioni nominali (Ui=12V, $I'_o = 5$ A, $I''_o = 1$ A);
3) il valore delle tensioni d’uscita in condizioni di minimo carico ($I'_o = 1$ A, $I''_o = 0$ A) e Ui=12V, nell’ipotesi di mantenere lo stesso duty-cycle che si avrebbe in CCM.
4) il valore dei condensatori C’ e C” che garantiscano una sovraelongazione $\Delta U_o \leq 5\%$ in caso di distacco istantaneo dei carichi ($I'_o = I''_o = 0$) a partire dalle condizioni nominali (si suggerisce di scegliere C’ e C” in modo che le rispettive energie siano proporzionali alla potenza di uscita).
5) Le perdite di conduzione dell’interruttore in condizioni nominali nell’ipotesi che si tratti di un mosfet con $R_{ds}$=20mΩ.




1) Calcolo dei rapporti spire

Si definisce innanzitutto con $U_{oeq}$ la tensione secondaria riportata al primario:

$$U_{oeq} = U'_o \frac{N_1}{N'_2} = U''_o \frac{N_1}{N''_2}$$

La specifica dice che la tensione ai capi dell'interruttore spento non deve superare i 35 V, si può scrivere quindi:

$U_S = U_{i\max} + U_{oeq} = 35V$ e si ricava $U_{oeq} = U_S - U_{i\max} = 35 - 15 = 20V$

Si ha pertanto:

$$n' = \frac{N_1}{N'_2} = \frac{U_{oeq}}{U'_o} = \frac{20}{5} = 4 \qquad n'' = \frac{N_1}{N''_2} = \frac{U_{oeq}}{U''_o} = \frac{20}{10} = 2$$

La variazione del duty cycle, è data da:

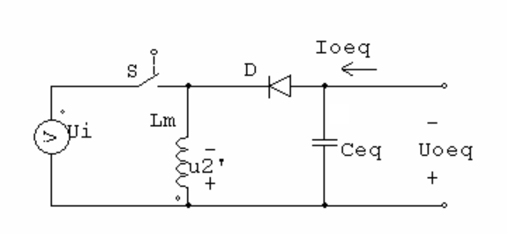
$$\frac{U_{oeq}}{U_i} = \frac{\delta}{(1-\delta)} \quad \Rightarrow \quad \delta = \frac{U_{oeq}}{(U_i + U_{oeq})}$$

$$\delta_{\min} = \frac{U_{oeq}}{(U_{i\max} + U_{oeq})} = 0.57 \qquad \delta_{\max} = \frac{U_{oeq}}{(U_{i\min} + U_{oeq})} = 0.69 \qquad \delta_{nom} = \frac{U_{oeq}}{(U_i + U_{oeq})} = 0.625$$

2) Calcolo dell'induttanza magnetizzante

Secondo la specifica, l'induttanza magnetizzante va riferita al primario e deve garantire il funzionamento limite CCM/DCM nelle condizioni nominali (Ui=12V, $I'_o$ = 5 A, $I''_o$ = 1 A).

Il circuito equivalente al primario è:




dove: $C_{eq} = \frac{C'}{n'^2} + \frac{C''}{n''^2}$ $\quad I_{oeq} = \frac{I_o'}{n'} + \frac{I_o''}{n''} = \frac{5}{4} + \frac{1}{2} = 1.75$ $\quad U_{oeq} = 20V$

Nella condizione limite CCM/DCM si ha:

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

Nelle condizioni nominali il duty cycle, che è stato calcolato sopra, vale $\delta$=0.625, si ottiene quindi:

$$L_m = \frac{U_{oeq}}{f_s \cdot I_{oeq}} \frac{(1-\delta)^2}{2} = \frac{20 \cdot (1-0.625)^2}{200 \cdot 10^3 \cdot 1.75 \cdot 2} \cong 4\mu H$$

3) il valore delle tensioni d’uscita in condizioni di minimo carico ($I'_o$ = 1 A, $I''_o$ = 0 A) e Ui=12V, nell’ipotesi di mantenere lo stesso duty-cycle che si avrebbe in CCM.

In condizioni di minimo carico, il funzionamento è sicuramente DCM, quindi vale la relazione:

$$\frac{U_{oeq}}{U_i} = \delta^2 \cdot \frac{I_N}{I_{oeq}}$$

Nelle condizioni specificate, si ha:

$$I_{oeq} = \frac{1}{4} = 0.25A \qquad I_N = \frac{U_i}{2 \cdot f_S \cdot L_m} = \frac{12}{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 7.5A$$

In CCM, con la tensione di ingresso nominale di 12 V, si avrebbe $\delta$=0.625, si può calcolare quindi l’aumento delle tensioni di uscita in DCM:

$$U_{oeq} = U_i \cdot \delta^2 \cdot \frac{I_N}{I_{oeq}} = 12 \cdot 0.625^2 \cdot \frac{7.5}{0.25} = 140V$$ e quindi:

$$U'_o = \frac{U_{oeq}}{n'} = 35V$$

$$U''_o = \frac{U_{oeq}}{n''} = 70V$$

3) Calcolo dei condensatori

si chiede il valore dei condensatori C’ e C” che garantiscano una sovraelongazione $\Delta U_o \leq 5\%$ in caso di distacco istantaneo dei carichi ($I'_o = I''_o = 0$) a partire dalle condizioni nominali.

Nel circuito equivalente al primario, si può calcolare la massima energia immagazzinata nell’induttanza magnetizzante:

$$\hat{I}_{Lm} = \frac{U_i}{f_s \cdot L_m} \cdot \delta = \frac{12 \cdot 0.625}{200 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 9.4A$$

$$W_{L_{max}} = \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot \hat{I}_{Lm}^{\,2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 9.4^2}{2} \cong 176\ \mu J$$

e con tale valore di energia, si può calcolare il valore della capacità equivalente $C_{eq}$:

$$C_{eq} \cong \frac{W_{L\max}}{U_{oeq} \cdot \Delta U_{o\max}} \cong \frac{176 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 20 \cdot 0.05} \cong 8.8 \mu F$$

Per trovare le capacità dei due stadi, si può considerare che l'energia immagazzinata nei condensatori sia proporzionale alle potenze di uscita, cioè:

$$\frac{W'_C}{W''_C} = \frac{P'_o}{P''_o} \qquad \frac{C' \cdot U'^{\,2}_o}{C'' \cdot U''^{\,2}_o} = \frac{U'_o \cdot I'_o}{U''_o \cdot I''_o} \qquad \frac{C'}{C''} = \frac{U''_o \cdot I'_o}{U'_o \cdot I''_o} = \frac{10 \cdot 5}{5 \cdot 1} = 10$$

Noto il rapporto, si possono calcolare le due capacità da:

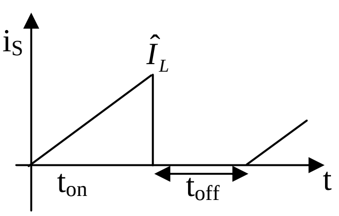
$$C_{eq} = \frac{C'}{n'^2} + \frac{C''}{n''^2} = C'' \cdot \left(\frac{10}{16} + \frac{1}{4}\right) \cong 0.875 \cdot C''$$

$$C'' = \frac{C_{eq}}{0.875} \cong 10 \mu F$$

$$C' = 10 \cdot C_{eq} \cong 100 \mu F$$

5) Le perdite di conduzione dell'interruttore in condizioni nominali nell'ipotesi che si tratti di un mosfet con $R_{ds}$=20mΩ.

In condizioni nominali, la corrente dell'interruttore è quella di figura




$$i_S(t) = \hat{I}_L \cdot \frac{t}{t_{on}} \qquad I^2_{Srms} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{t_{on}} \hat{I}^2_L \cdot \frac{t^2}{t^2_{on}} \cdot dt = \hat{I}^2_L \cdot \frac{t_{on}}{3 \cdot T_S} = \hat{I}^2_L \cdot \frac{\delta}{3} = 9.3^2 \cdot \frac{0.625}{3} = 18A^2$$

Le perdite di conduzione sono:

$$P_{on} = R_{DSon} \cdot I^2_{Srms} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cong 0.36W$$