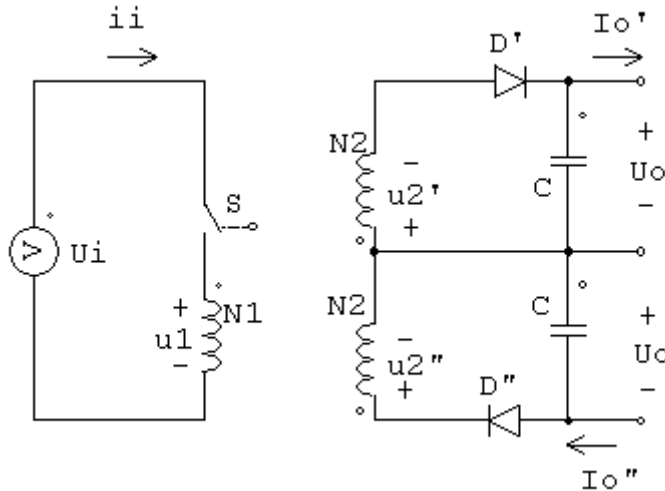


**Prova Scritta di
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 17/03/2008
TEMA B**

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



Tensione d'ingresso: $U_i = 300 \text{ V} \pm 10\%$

Tensione d'uscita $U_o = 5 \div 12 \text{ V}$,

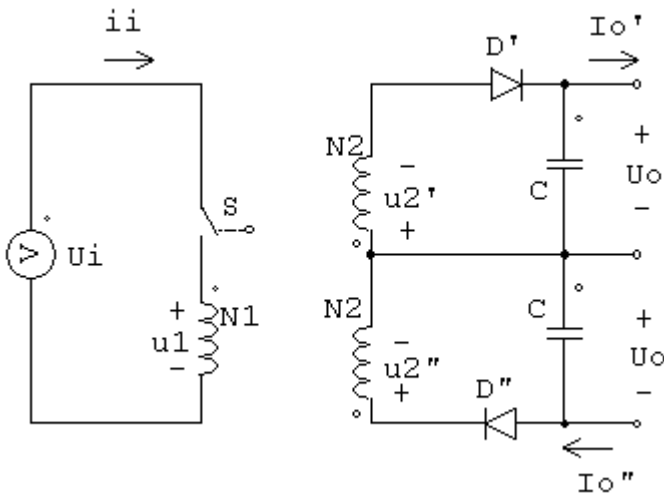
Corrente d'uscita $I_o' = 0 \div 0.5 \text{ A}$, $I_o'' = 0.2 \div 0.5 \text{ A}$

Frequenza di commutazione dello switch S: $f_s = 200 \text{ kHz}$

Determinare:

- 1) il rapporto spire $n = \frac{N1}{N2}$ in modo che, in funzionamento CCM, la massima tensione d'uscita si abbia per $\delta = 0.7$, quando la tensione d'ingresso è minima;
- 2) il valore dell'induttanza magnetizzante, riferita al primario, in modo che la condizione limite CCM/DCM sia nelle condizioni di cui al punto precedente e con la massima corrente d'uscita;
- 3) il minimo valore del duty cycle;
- 4) le sollecitazioni in tensione e corrente massime nell'interruttore e nel diodo nelle condizioni di massima corrente e tensione d'uscita.
- 5) il valore del condensatore d'uscita che garantisca una sovraelongazione $\Delta U_o \leq 5\%$ di U_o in caso di distacco istantaneo del carico

Prova Scritta di
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 17/03/2008
TEMA B
Soluzione



1) Calcolo del rapporto spire

In CCM la relazione ingresso uscita vale:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1-\delta} = \frac{1}{n} \frac{\delta}{1-\delta} \Rightarrow n = \frac{U_i}{U_o} \frac{\delta}{1-\delta}$$

ponendo, come indica la specifica,

$$U_i = 0.9 \cdot 300 = 270 \text{ V}, \quad U_o = 12 \text{ V}, \quad \delta = 0.7$$

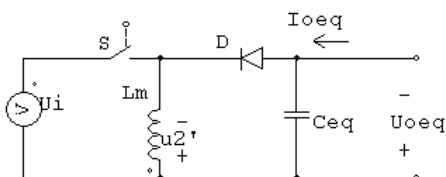
si ha:

$$n = \frac{270}{12} \cdot \frac{0.7}{0.3} = 52.5$$

2) Calcolo dell'induttanza magnetizzante

Il valore dell'induttanza magnetizzante deve essere tale da garantire il funzionamento limite CCM/DCM nelle condizioni di cui al punto precedente ($U_i=270 \text{ V}$, $U_o=12 \text{ V}$, $\delta = 0.7$).

Considerando il circuito equivalente al primario:



$$\text{dove: } C_p = \frac{2 \cdot C}{n^2} \quad I_{oeq} = \frac{I_o'}{n} + \frac{I_o''}{n} = \frac{0.5 + 0.5}{52.5} = 19 \text{mA} \quad U_{oeq} = 12 \cdot 52.5 = 630 \text{V}$$

(i due condensatori sono visti in parallelo al primario)

Nella condizione limite CCM/DCM si ha:

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

$$L_\mu = \frac{U_{oeq}}{f_s \cdot I_{oeq}} \cdot \frac{(1-\delta)^2}{2} = \frac{630 \cdot (1-0.7)^2}{200 \cdot 10^3 \cdot 0.019 \cdot 2} \cong 7.5 \text{mH}$$

3) Il minimo valore del duty cycle si ha quando la tensione d'uscita è minima, quella d'ingresso è massima e in condizioni di massima discontinuità di funzionamento, quindi per la minima corrente d'uscita. La caratteristica ingresso uscita in funzionamento DCM vale:

$$\frac{U_{oeq \min}}{U_{i \max}} = \delta^2 \cdot \frac{I_N}{I_{oeq \min}} = \frac{\delta^2}{I_{oeq \min}} \cdot \frac{U_i}{2 \cdot f_s \cdot L_\mu}$$

Assumendo quindi:

$$U_{oeq \min} = U_{o \min} \cdot n = 5 \cdot 52.5 = 262.5 \text{V} :$$

$$I_{oeq \min} = \frac{I_{o \min}'}{n} + \frac{I_{o \min}''}{n} = \frac{0.2}{52.5} = 3.8 \text{mA} \quad U_{i \max} = 330 \text{V}$$

Si ha:

$$\delta^2 = \frac{2 \cdot f_s \cdot L_\mu \cdot I_{oeq \min} \cdot U_{oeq \min}}{U_{i \max}^2} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 7.5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.8 \cdot 10^{-3} \cdot 262.5}{330^2} \cong 0.027$$

$$\delta \cong 0.16$$

Nota: In funzionamento CCM, il duty cycle minimo sarebbe:

$$\delta_{\min} = \frac{U_{oeq \min}}{(U_{i \max} + U_{oeq \min})} = 0.44$$

4) Sollecitazioni nell'interruttore e nei diodi

Come specificato, le condizioni per il calcolo sono quelle con massima tensione d'uscita e massima corrente d'uscita. Nel circuito equivalente al primario, si può calcolare la massima corrente nell'induttanza magnetizzante come:

$$\hat{I}_\mu = \frac{U_{oeq \max}}{f_s \cdot L_\mu} \cdot (1 - \delta_{\min})$$

Alla massima corrente d'uscita si è al limite CCM/DCM, quindi il minimo duty cycle (che massimizza il numeratore) è quello relativo al funzionamento CCM.

$$\hat{I}_{\mu} = \frac{U_{oeq\max}}{f_s \cdot L_{\mu}} \cdot (1 - \delta_{\min}) = \frac{630 \cdot 0.56}{200 \cdot 10^3 \cdot 7.5 \cdot 10^{-3}} = 235 \text{mA}$$

Il valore massimo di corrente magnetizzante al primario rappresenta anche la massima corrente nello switch.

$$\text{Nei diodi si ha } \hat{I}_D = \frac{\hat{I}_{\mu} \cdot n}{2} = \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 52.5}{2} = 6.2 \text{A}$$

(la corrente su ciascun secondario è metà della complessiva).

La massima tensione ai capi dello switch e dei diodi valgono rispettivamente:

$$U_s = U_{i\max} + n \cdot U_{o\max} = 330 + 12 \cdot 52.5 = 960 \text{V}$$

$$U_D = U_{o\max} + \frac{U_{i\max}}{n} = 12 + \frac{330}{52.5} = 18.3 \text{V}$$

3) Calcolo del condensatore C

La massima energia immagazzinata nell'induttanza magnetizzante vale:

$$W_{L_{\max}} = \frac{1}{2} \cdot L_{\mu} \cdot \hat{I}_{\mu}^2 = \frac{7.5 \cdot 10^{-3} \cdot (126 \cdot 10^{-3})^2}{2} \cong 60 \mu\text{J}$$

con questo valore di energia, si può calcolare il valore della capacità equivalente C_{eq} tale da garantire la massima ondulazione specificata:

$$C_{eq} \cong \frac{W_{L_{\max}}}{U_{oeq\max} \cdot \Delta U_{o\max}} \cong \frac{60 \cdot 10^{-6}}{630 \cdot 31.5} \cong 3 \text{nF}$$

il valore di capacità al secondario è:

$$C = n^2 \cdot \frac{C_{eq}}{2} \cong 4.2 \mu\text{F}$$