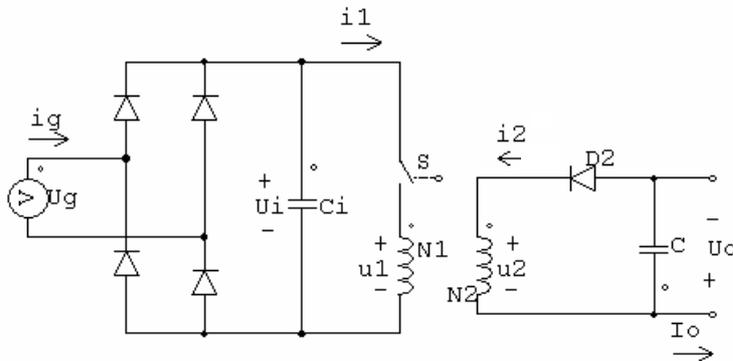


**Prova Scritta di  
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 09/01/2006  
TEMA B**

Dato il convertitore a due stadi di figura, costituito da un raddrizzatore di picco ed un convertitore flyback, con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso:  $u_g = \sqrt{2} \cdot U_{grms} \cdot \sin(2\pi f_g t)$  con  $U_{grms} = 24V$  e  $f_g = 50$  Hz

Tensione d'uscita  $U_o = 12$  V,  $\Delta U_o = \pm 1V$

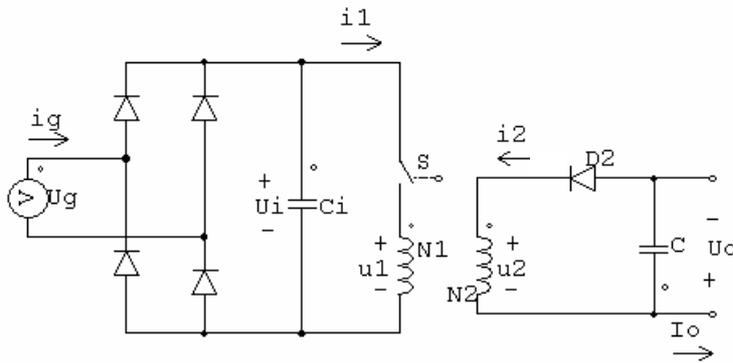
Corrente d'uscita  $I_o = 0.2 \div 1$  A

Frequenza di commutazione dello switch S:  $f_s = 100$  kHz

Assumendo che il rendimento del circuito sia unitario si chiede di calcolare:

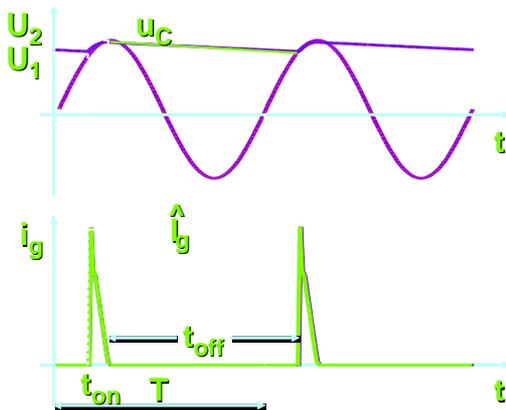
- 1) il valore della capacità d'ingresso  $C_i$  che garantisca un'ondulazione picco-picco inferiore all'1% della tensione  $U_i$  ( $\Delta U_i \leq 1\%$ );
- 2) il rapporto spire  $\frac{N1}{N2}$  nell'ipotesi che il convertitore flyback operi nella condizione di funzionamento limite CCM/DCM con un duty cycle  $\delta = 0.5$ ;
- 3) il valore del coefficiente di autoinduzione del mutuo induttore, lato secondario, che garantisca le condizioni di cui al punto 2) alla piena corrente d'uscita;
- 4) l'escursione dei valori del duty cycle al variare della corrente di carico;
- 5) il valore della capacità  $C$  che garantisca l'ondulazione specificata della tensione d'uscita in corrispondenza del funzionamento limite CCM/DCM alla massima corrente di carico.

## Soluzione tema B



### 1) Calcolo del valore della capacità d'ingresso $C_i$

La tensione del condensatore  $C_i$  si stabilizza attorno al valore di picco della tensione d'ingresso, con un'ondulazione pari a  $\Delta U_i$ . I tipici andamenti delle tensioni d'ingresso e d'uscita del raddrizzatore sono mostrati nella figura seguente, assieme a quello della corrente d'ingresso.



Per calcolare l'ondulazione di tensione  $\Delta U_i$  si osserva innanzi tutto che il valore massimo della tensione raddrizzata  $u_i$  corrisponde al valore di picco della tensione alternata:

$$U_{g \max} = \sqrt{2} \cdot U_{grms} = \sqrt{2} \cdot 24 \approx 34V$$

Per calcolare il valore minimo di  $u_i$  si assimila il convertitore flyback ad un generatore di corrente costante, di ampiezza pari al valore medio della sua corrente d'ingresso  $i_1$ . Infatti il condensatore  $C_i$  viene dimensionato per assorbire le fluttuazioni della tensione raddrizzata (a 100 Hz), sicchè gli effetti delle ondulazioni della corrente  $i_1$  alla frequenza di switching sono trascurabili.

Assumendo che il rendimento del circuito sia unitario, il bilanciamento delle potenze d'ingresso e d'uscita fornisce:

$$\bar{I}_1 = \frac{U_o \cdot I_o}{U_i} \approx \frac{U_o \cdot I_o}{U_{g \max}} = \frac{12 \cdot 1}{34} = 0.35A$$

Durante la fase in cui i diodi del raddrizzatore non conducono, che in prima approssimazione si assume pari a metà del periodo  $T_g$ , si può considerare che il condensatore  $C_i$  si scarichi con corrente costante  $\bar{I}_i$  e quindi che l'ondulazione di tensione valga:

$$\Delta U_i = \frac{\bar{I}_i \cdot T_g}{C_i \cdot 2} \quad \text{e quindi} \quad C_i = \frac{\bar{I}_i \cdot T_g}{\Delta U_i \cdot 2} = \frac{0.35}{0.34} \cdot 0.01 \cong 10mF$$

## 2) Calcolo del rapporto spire

Al limite CCM/DCM e con duty cycle pari a 0.5, si può scrivere:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{(1-\delta)} = \frac{N_2}{N_1} \frac{0.5}{(1-0.5)} \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{12}{34} \cong 0.35$$

per cui il rapporto spire vale: 
$$n = \frac{N_1}{N_2} = 2.8\bar{3}$$

## 3) Calcolo del coefficiente di autoinduzione secondario $L_2$ :

Al limite CCM/DCM e con la massima corrente d'uscita, si può scrivere la seguente relazione tra corrente di carico e picco di corrente  $\hat{I}_2$ :

$$I_o = \frac{\hat{I}_2 t_{off}}{2T_s}; \quad \text{peraltro:} \quad \hat{I}_2 = \frac{U_o t_{off}}{L_2}, \quad \text{quindi:} \quad L_2 = \frac{U_o t_{off}}{\hat{I}_2} = \frac{U_o t_{off}}{2T_s I_o} t_{off}$$

Posto ora:  $I_o = 1A$  e  $\delta = 0.5$

si ottiene: 
$$L_2 = \frac{U_o (1-\delta)^2 \cdot T_s^2}{2 \cdot T_s \cdot I_o} = \frac{12 \cdot 0.25 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 1} = 15\mu H$$

da cui: 
$$\hat{I}_2 = \frac{U_o (1-\delta)}{f_s L_2} = \frac{12 \cdot 0.5}{10^5 \cdot 15 \cdot 10^{-6}} = 4A$$

## 4) Escursione del duty cycle

In condizioni di funzionamento DCM vale la relazione:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{\delta^2}{I_o / I_N}, \quad \text{dove:} \quad I_N = \frac{U_i}{2 \cdot f_s \cdot L_1} \quad \text{e:} \quad L_1 = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 L_2 = 120\mu H$$

Si ha allora:

$$I_N = \frac{U_i}{2 \cdot f_s \cdot L_1} \approx \frac{34}{2 \cdot 10^5 \cdot 120 \cdot 10^{-6}} \cong 1.41\bar{6}$$

Alla massima corrente di carico  $I_o=1A$ , si ha:

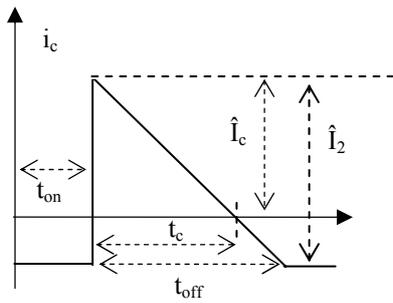
$$\delta^2 = \frac{U_o}{U_i} \frac{I_o}{I_N} = \frac{12}{34} \cdot \frac{1}{1.41\bar{6}} = 0.25 \quad \text{e quindi} \quad \delta_{\max} = 0.5 \quad (\text{come da specifica})$$

Con la minima corrente di carico si ottiene invece:

$$\delta^2 = \frac{U_o}{U_i} \frac{I_o}{I_N} = \frac{12}{34} \cdot \frac{0.2}{1.41\bar{6}} \cong 0.5 \quad \text{e quindi} \quad \delta_{\min} \approx 0.22$$

## 5) Calcolo della capacità C

La forma d'onda della corrente nel condensatore C è mostrata nella figura sottostante.



Al limite CCM/DCM, con la massima corrente d'uscita, si può scrivere:

$$\hat{I}_c = \hat{I}_2 - I_o = 4 - 1 = 3A$$

In base alla similitudine tra i due triangoli di base  $t_c$  e  $t_{off}$  rispettivamente, si può ricavare:

$$t_c = t_{off} \cdot \frac{\hat{I}_c}{\hat{I}_2} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3}{4} = 3.75 \mu s$$

$$\Delta Q = \frac{\hat{I}_c \cdot t_c}{2} = \frac{3 \cdot 3.75 \cdot 10^{-6}}{2} = 5.6 \mu C$$

$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q}{C} \Rightarrow C \geq \frac{\Delta Q}{\Delta U_o} = \frac{5.6 \cdot 10^{-6}}{2} = 2.8 \mu F$$