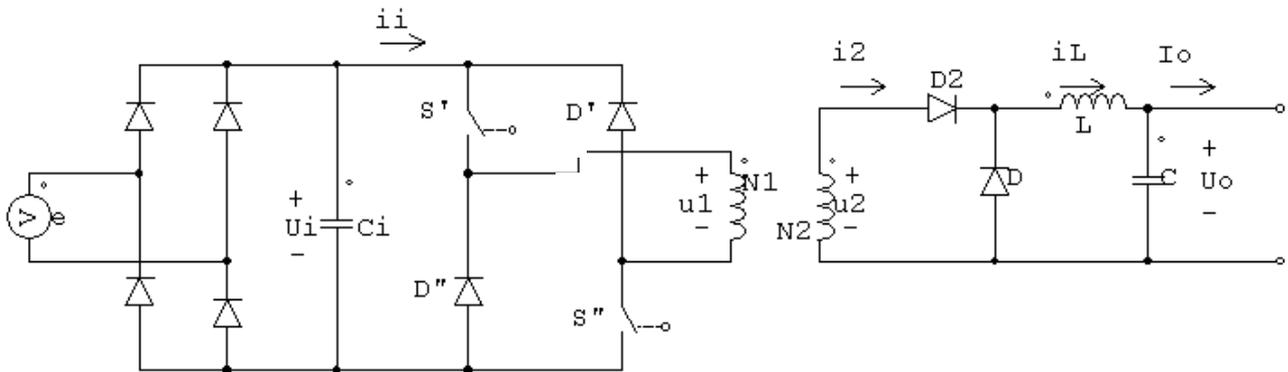


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 3/9/2008

Dato il circuito di figura con le seguenti specifiche:



Tensione d'ingresso: $e(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin(\omega t)$ $E = 230 \text{ V}_{\text{rms}} \pm 10\%$ $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ $f = 50 \text{ Hz}$

Tensione d'uscita: $U_o = 24 \text{ V}$, $\Delta U_o \leq 2\%$ ($\Delta U_{opp} \leq 4\%$)

Corrente d'uscita: $I_o = 1 \div 5 \text{ A}$

Frequenza di commutazione degli switch S' e S'' : $f_s = 200 \text{ kHz}$

Si chiede di calcolare, assumendo che il rendimento del circuito sia unitario:

- 1) il valore della capacità C_i che garantisca un'ondulazione picco-picco $\Delta U_i \leq 10 \text{ V}$;
- 2) il campo di variazione della tensione U_i ;
- 3) il minimo valore del rapporto spire N_2/N_1 che consenta di ottenere la tensione d'uscita specificata in tutte le condizioni operative;
- 4) l'intervallo di variazione del duty cycle degli interruttori al variare delle condizioni operative in funzionamento CCM;
- 5) il minimo valore di induttanza L che garantisca il funzionamento continuo (CCM) in ogni condizione operativa;
- 6) il minimo valore di C che garantisca l'ondulazione ΔU_o specificata (statica e dinamica) in ogni condizione operativa;
- 7) il valore dell'induttanza magnetizzante del trasformatore che garantisca un valore di picco della corrente magnetizzante pari al 30% della corrente di carico.

**Prova Scritta di
ELETTRONICA INDUSTRIALE del 3/9/2008
Soluzione**

1) Calcolo del valore della capacità d'ingresso

La carica del condensatore C_i avviene attorno al picco di tensione d'ingresso.

Per calcolare il valore del condensatore che consenta di non superare un'ondulazione di 10V, si approssima il valore massimo U_i con il picco di $e(t)$ e si considera il convertitore a valle come un generatore di corrente equivalente, il cui valore è pari alla corrente media assorbita in ingresso.

$$\bar{I}_1 = \frac{U_o \cdot I_o}{U_i} \quad \text{Il massimo valore medio di corrente si otterrà per il minimo valore di picco } U_{i\min}$$

$$U_{i\min} = \sqrt{2} \cdot E_{\min} = \sqrt{2} \cdot 230 \cdot 0.9 \approx 292V$$

$$\bar{I}_{1\max} = \frac{U_o \cdot I_o}{U_{i\min}} = \frac{24 \cdot 5}{292} = 0.41A$$

Durante la fase in cui i diodi del raddrizzatore non conducono, che in prima approssimazione si assume pari a metà del periodo di rete $T=20ms$, si può considerare che il condensatore C_i si scarichi con corrente costante $\bar{I}_{1\max}$ e quindi che l'ondulazione di tensione valga:

$$\Delta U_i = \frac{\bar{I}_{1\max} \cdot T}{C_i} \quad \text{e quindi} \quad C_i = \frac{0.41}{10} \cdot 0.01 \cong 410\mu F$$

2) Campo di variazione della tensione U_i (valore medio)

$$U_{i\max} = \sqrt{2} \cdot E_{\max} = \sqrt{2} \cdot 230 \cdot 1.1 \approx 358V$$

$$U_{i\min} = \sqrt{2} \cdot E_{\min} - \frac{\Delta U_i}{2} = \sqrt{2} \cdot 230 \cdot 0.9 - 10 \approx 282V$$

3) Minimo valore del rapporto spire $\frac{N_2}{N_1}$

Se il funzionamento è continuo, vale $U_o = U_i \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \delta$ ed il minimo valore di rapporto spire si calcola

per il massimo valore di δ . In funzionamento discontinuo, la tensione d'uscita è maggiore, pertanto si esegue il calcolo in CCM.

Il massimo valore di δ è 0.5 si avrà in corrispondenza del valore minimo della tensione d'ingresso.

$$\text{quindi } U_{i\min} \cdot \delta_{\max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = U_o$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_o}{U_{i\min} \cdot \delta_{\max}} = \frac{24}{282 \cdot 0.5} = 0.17 \quad \frac{N_1}{N_2} = 5.87 \cong 6$$

4) Intervallo di variazione del duty cycle in funzionamento CCM

$$\delta_{\max} = 0.5 \quad U_{i\min} \delta_{\max} = U_{i\max} \delta_{\min} \quad \delta_{\min} = \frac{U_{i\min} \cdot \delta_{\max}}{U_{i\max}} = \frac{282 \cdot 0.5}{358} = 0.39$$

5) Calcolo di L

Se il funzionamento deve essere continuo per ogni valore di I_o :

$$\Delta I_{L\max} \leq 2I_{o\min} = 2A \quad \Delta I_{L\max} = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L} = \frac{U_o}{f_s \cdot L} \cdot (1 - \delta_{\min})$$

$$L \geq \frac{U_o}{f_s \cdot 2I_{o\min}} \cdot (1 - \delta_{\min}) = \frac{24 \cdot (1 - 0.39)}{200 \cdot 10^3 \cdot 2} \approx 36 \mu H$$

6) Calcolo di C

$$\text{statico: } \Delta U_o = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_s \cdot C} \quad C \geq \frac{\Delta I_{L\max}}{8 \cdot f_s \cdot \Delta U_{opp}} = \frac{2}{8 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0.96} \approx 1.3 \mu F$$

dinamico

$$W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{L\max}^2 = \frac{36 \cdot 10^{-6} \cdot (5+1)^2}{2} \approx 650 \mu J$$

$$C \approx \frac{W_L}{U_o \cdot \Delta U_{opp}} \approx \frac{650 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 0.96} \approx 28 \mu F$$

7) Valore dell'induttanza magnetizzante del trasformatore che garantisca un valore della corrente magnetizzante pari al 30% della corrente di carico

Secondo le specifiche, il valore di picco della corrente di magnetizzazione lato secondario è:

$$\hat{I}''_{\mu} = 0.3 \cdot I_{o\max} = 0.3 \cdot 5 = 1.5 A$$

$$\hat{I}''_{\mu} = \frac{U_2}{L_{\mu}} \cdot t_{on} \quad \text{Poiché però: } (U_2 - U_o) \cdot t_{on} = U_o \cdot t_{off} \Rightarrow U_2 t_{on} = U_o T_s$$

si ha:

$$L_{\mu}'' = \frac{U_o}{\hat{I}''_{\mu} \cdot f_s} = \frac{24}{1.5 \cdot 200 \cdot 10^3} = 80 \mu H$$

$$L_{\mu}' = L_{\mu}'' \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 80 \mu H \cdot 36 = 2.9 mH$$