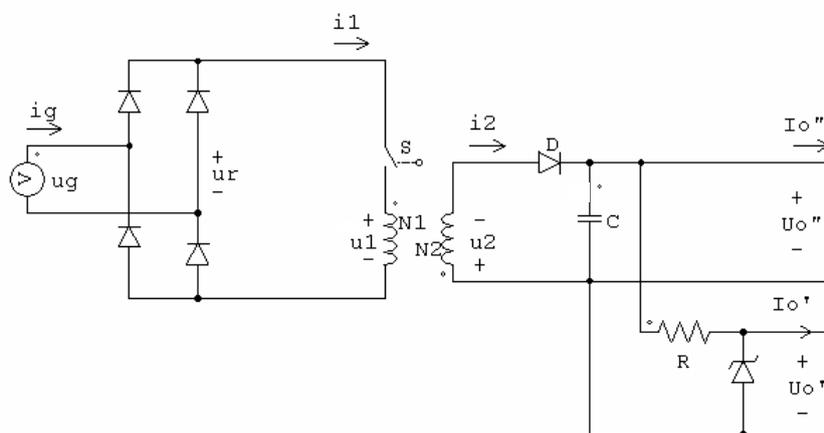


Prova Scritta di ELETTRONICA INDUSTRIALE del 3/09/2007

Dato il PFC flyback di figura con i seguenti dati:



Tensione d'ingresso: $u_g(t) = \sqrt{2} \cdot U_g \cdot \sin(\omega_g t)$, $\omega_g = 2 \cdot \pi \cdot f_g$, $f_g = 400 \text{ Hz}$

Valore efficace della tensione d'ingresso: $U_g = 24 \text{ V} \pm 20\%$

Tensioni d'uscita $U_o' = 5 \text{ V}$ (imposta dal diodo zener), $U_o'' = 12 \text{ V} \pm 2\%$

Correnti d'uscita $I_o' = 0 \div 0.1 \text{ A}$, $I_o'' = 0.1 \div 0.5 \text{ A}$

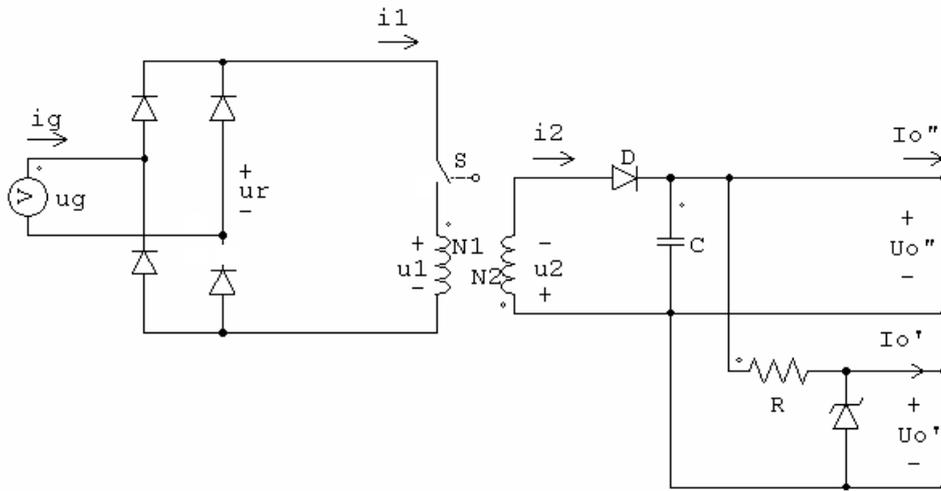
Frequenza di commutazione dello switch S: $f_s = 200 \text{ kHz}$

Rapporto di trasformazione: $n = \frac{N_1}{N_2} = 3$

Determinare:

- 1) il valore efficace della massima corrente alternata assorbita dal convertitore, nell'ipotesi di rendimento unitario del PFC;
- 2) il valore del duty cycle che garantisce il funzionamento limite CCM/DCM in corrispondenza del valore di picco della tensione alternata, assumendo $U_g = 24 \text{ V} + 20\%$;
- 3) il valore dell'induttanza magnetizzante (riportata al primario) che consente la condizione limite CCM/DCM nelle condizioni di cui al punto precedente e in corrispondenza della massima corrente d'uscita.
- 4) il valore di capacità C che garantisce che l'ondulazione di tensione $\Delta U_o''$ rimanga entro il valore specificato quando la potenza di uscita è massima;
- 5) il massimo valore di R che consente il corretto funzionamento dello stabilizzatore a diodo zener e le massime perdite nello stabilizzatore stesso.

Soluzione



1) Calcolo della massima corrente alternata assorbita dal convertitore

La massima corrente in ingresso viene assorbita quando la potenza d'uscita è massima e la tensione d'ingresso è minima.

$$P_{o\max} = U_o'' \cdot (I_o' + I_o'') = 12 \cdot (0.1 + 0.5) = 7.2W$$

$$I_{g\max} = \frac{P_{o\max}}{E_{g\min}} = \frac{7.2}{24 \cdot 0.8} = 375mA$$

2) Calcolo del duty cycle

Il funzionamento limite DCM/CCM nelle condizioni indicate si può esprimere come:

$$\frac{|\hat{U}_g|}{L_1} \cdot t_{on} = \frac{1}{n} \frac{U_o}{L_2} \cdot t_{off} \Rightarrow |\hat{U}_g| \cdot \delta = \frac{1}{n} \frac{L_1}{L_2} \cdot U_o \cdot (1 - \delta)$$

Considerato che $\frac{L_1}{L_2} = n^2$, si ha:

$$\delta \cdot (|\hat{U}_g| + n \cdot U_o) = n \cdot U_o \Rightarrow \delta = \frac{n \cdot U_o}{(|\hat{U}_g| + n \cdot U_o)} = \frac{1}{1 + \frac{|\hat{U}_g|}{n \cdot U_o}} = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2} \cdot 24 \cdot 1.2}{3 \cdot 12}} = 0.47$$

3) Calcolo dell'induttanza magnetizzante (al primario)

Con massima potenza d'uscita e massima tensione d'ingresso, il valore efficace della corrente assorbita dalla rete è il minimo e vale:

$$I_{g\min} = \frac{P_{o\max}}{E_{g\max}} = \frac{7.2}{24 \cdot 1.2} = 250mA$$

La corrente istantanea al primario del trasformatore ha un andamento a dente di sega; al limite CCM/DCM, quando la tensione d'ingresso è attorno al valore massimo, il picco di corrente al primario, negli intervalli di commutazione vale:

$$I_{1max} = \frac{|\hat{U}_g|}{L_1} \cdot t_{on} \text{ e il valor medio: } I_{1avg} = \frac{I_{1max}}{2 \cdot T_s} \cdot t_{on}$$

Se si inserisce un opportuno filtro induttivo a monte del raddrizzatore, la corrente assorbita dalla rete si può assumere sinusoidale, in prima approssimazione, e il suo valore istantaneo sarà pari al valor medio della corrente a dente di sega in ogni periodo di commutazione dello switch; in particolare, nelle condizioni di funzionamento indicate il picco della sinusoide $\hat{I}_{gmin} = I_{1avg}$.

$$\hat{I}_{gmin} = \sqrt{2} \cdot I_{gmin} = \sqrt{2} \cdot 0.25 = 0.35A \text{ e quindi: } I_{1max} = \frac{2 \cdot I_{1avg}}{\delta} = \frac{2 \cdot 0.35}{0.47} \cong 1.5A$$

Il valore dell'induttanza magnetizzante risulta quindi:

$$L_1 = \frac{|\hat{U}_g|}{I_{1max} \cdot f_s} \cdot t_{on} = \frac{\sqrt{2} \cdot 24 \cdot 1.2 \cdot 0.47}{1.5 \cdot 200 \cdot 10^3} = 64 \mu H$$

4) Dimensionamento del condensatore C

L'energia scambiata tra rete e condensatore C genera un'ondulazione di tensione che si impone non superi $\pm 2\%$ della tensione d'uscita. L'energia scambiata vale:

$$W = \frac{P_o}{2 \cdot \pi \cdot f_g} = \frac{7.2}{2 \cdot 3.14 \cdot 400} = 2.86 mJ$$

Si può quindi trovare il valore del condensatore d'uscita come:

$$C = \frac{W}{U_o'' \cdot \Delta U_o''} = \frac{2.86 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 0.48} = 496 \mu F$$

5) Calcolo del valore di R e delle massime perdite nello stabilizzatore

In condizioni di funzionamento corretto, il diodo zener impone la tensione di 5 V, la caduta sulla resistenza R è pari a 7 V.

Il massimo valore di resistenza si ottiene assumendo che sulla resistenza stessa circoli la sola corrente nominale di carico (ciò corrisponde ad avere corrente nulla nello zener quando il carico è quello nominale). Perciò:

$$R = \frac{U_o' - U_o''}{I_o'} = \frac{12 - 5}{0.1} = 70 \Omega$$

Le massime perdite nello stabilizzatore si hanno quando la corrente d'uscita è nulla. In queste condizioni tutta la potenza entrante viene dissipata nello stabilizzatore (resistore e diodo zener).

Essa vale: $U_o'' \cdot I_o' = 12 \cdot 0.1 = 1.2W$