

Tema B

1 settembre 2004

Si chiede di dimensionare i componenti passivi fondamentali (induttanza L e condensatore di uscita C) di un convertitore buck_boost con le seguenti caratteristiche:

Specifiche

Tensione d'ingresso: $U_i = 12 \text{ V} \pm 20\%$

Tensione d'uscita $U_o = 5 \text{ V} \pm 5\%$ (max errore ammesso, statico e dinamico)

Corrente d'uscita $I_o = 0.1 \div 1 \text{ A}$

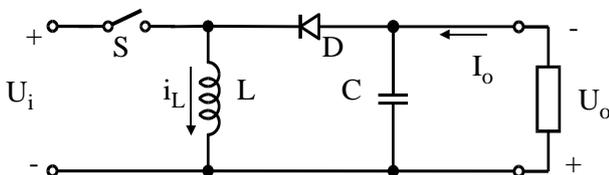
Frequenza di switching: $f_s = 250 \text{ kHz}$

Interruttore: Mosfet ($V_{DS} = 50 \text{ V}$, $R_{DSon} = 100 \text{ m}\Omega$, $t_{rise} = 10 \text{ ns}$, $t_{fall} = 50 \text{ ns}$)

Diodo: Schottky ($V_{RRM} = 50 \text{ V}$, $V_{on} = 0.2 \text{ V}$, $t_{recovery} = \text{trascurabile}$)

Il dimensionamento va effettuato in modo da ottenere la situazione limite CCM/DCM in corrispondenza alla massima corrente d'uscita ed alla minima tensione d'ingresso. Si richiede inoltre di stimare le perdite di conduzione e commutazione nell'interruttore e nel diodo e di scegliere il condensatore di un circuito di snubber allo spegnimento (RCD) in grado di ridurre le perdite di commutazione dell'interruttore almeno del 50%.

Soluzione



$$U_i = 9.6 \pm 14.4 \text{ V}$$

In funzionamento continuo, fino alla condizione limite CCM/DCM, valgono le relazioni:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{\delta}{(1-\delta)} \quad \text{e} \quad I_o = \frac{\Delta I_L \cdot t_{off}}{2 \cdot T_s}$$

vale anche:

$$\Delta I_L = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L} \quad \text{quindi} \quad I_o = \frac{U_o \cdot t_{off}}{L} \cdot \frac{t_{off}}{2 \cdot T_s} = \frac{U_o}{L} \cdot \frac{(1-\delta)^2}{2 \cdot f_s}$$

Imponendo la condizione limite tra il funzionamento continuo e discontinuo in corrispondenza alla massima corrente d'uscita ed alla minima tensione d'ingresso si ha:

$$\frac{\delta_{max}}{(1-\delta_{max})} = \frac{U_o}{U_{i min}} = \frac{5}{9.6} = 0.52 \quad \delta_{max} = 0.52 \cdot (1-\delta_{max}) \quad \delta_{max} = \frac{0.52}{1.52} \cong 0.34$$

$$\frac{\delta_{min}}{(1-\delta_{min})} = \frac{U_o}{U_{i_{max}}} = \frac{5}{14.4} = 0.347 \quad \delta_{min} = \frac{0.347}{1.347} \cong 0.26$$

$$L = \frac{U_o}{2 \cdot f_s \cdot I_{o_{max}}} \cdot (1-\delta_{max})^2 = \frac{5 \cdot (1-0.34)^2}{2 \cdot 250 \cdot 10^3 \cdot 1} = 4.3 \mu H$$

Si può ora ricavare anche il valore del picco di corrente sull'induttanza al limite CCM/DCM nelle condizioni di δ_{max} e δ_{min} :

$$I_{L_{max}} = \Delta I_L = \frac{2 \cdot I_{o_{max}}}{(1-\delta_{max})} = \frac{2}{0.66} \cong 3A \quad I_{L_{max}} = \Delta I_L = \frac{2 \cdot I_{o_{max}}}{(1-\delta_{min})} = \frac{2}{0.74} \cong 2.7A$$

La condizione più onerosa è quella del caso limite di distacco di carico, in cui tutta l'energia immagazzinata nell'induttore viene scaricata nel condensatore; mantenere l'errore della tensione d'uscita entro il 5% significa:

$$C \geq \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{L_{max}}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot 4.3 \cdot 10^{-6} \cdot 9}{5 \cdot 0.25} \cong 15 \mu F$$

Perdite nell'interruttore

Perdite in conduzione:

$$P_{on} = R_{DSon} \cdot I_{rms}^2 = R_{DSon} \cdot \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} \left(\frac{U_i t}{L}\right)^2 \cdot dt = \frac{R_{DSon}}{T_s} \cdot \left(\frac{U_i}{L}\right)^2 \frac{t_{on}^3}{3} = \frac{0.1 \cdot 9.6^2 \cdot 0.34^3}{(250 \cdot 10^3 \cdot 4.3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 3} \cong 0.1W$$

Non vi sono perdite in accensione perché il Mosfet si accende con corrente nulla, nel punto di lavoro che si sta considerando per il dimensionamento.

Perdite allo spegnimento: la corrente di picco dipende dal valore di δ ; la potenza di picco dissipata in commutazione vale, nei casi di δ_{max} e δ_{min} :

$$(U_{i_{min}} + U_o) \cdot I_{L_{max}} = (9.6 + 5) \cdot 3 \cong 44W$$

$$(U_{i_{max}} + U_o) \cdot I_{L_{max}} = (14.4 + 5) \cdot 2.7 \cong 52W$$

Le massime perdite di commutazione si hanno quindi con $U_{i_{max}}$ e δ_{min} , cui corrisponde un picco di corrente di 2.7 A.

$$P_{swoff} \leq \frac{1}{2} (U_{i_{max}} + U_o) \cdot I_{L_{max}} \cdot t_{fall} \cdot f_s \leq \frac{1}{2} 19.4 \cdot 2.7 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 250 \cdot 10^3 \leq 327mW$$

Perdite nel diodo

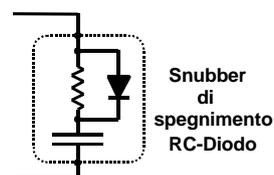
$$P_{on} \leq V_{on} \cdot I_L (1-\delta_{max}) \leq 0.2 \cdot 1.5 \cdot 0.66 \cong 0.2W$$

Le perdite di commutazione sono trascurabili

Snubber

Le perdite ammesse sono pari al 50%

di quelle in assenza di snubber. $P_{swoff} \leq 163mW$



Assumendo un valore di capacità tale che, al termine dell'intervallo t_f , il condensatore sia carico alla massima tensione applicata allo switch quando non conduce, si ottiene:

$$C_s = \frac{I_0 \cdot t_f}{2 \cdot (U_{i_{max}} + U_o)} = \frac{3 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 19.4} \cong 4nF$$

La potenza dissipata allo spegnimento risulta:

$$P_{swoff} = \frac{1}{12} \cdot I_{s_{max}} \cdot (U_{i_{max}} + U_o) \cdot t_{fall} \cdot f_s = \frac{1}{12} \cdot 2.7 \cdot 19.4 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 250 \cdot 10^3 \cong 55mW$$

ed è quindi ridotta nella misura desiderata.