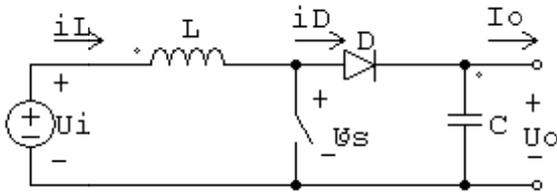


Dato il convertitore boost di figura con le seguenti specifiche:



### Specifiche

Tensione d'ingresso:  $U_i = 48 \text{ V} \pm 20\%$

Tensione d'uscita  $U_o = 100 \text{ V}$ ,  $\Delta U_o = 2\%$  statico,  $\Delta U_o = 5\%$  dinamico

Corrente d'uscita  $I_o = 0.5 \div 5 \text{ A}$

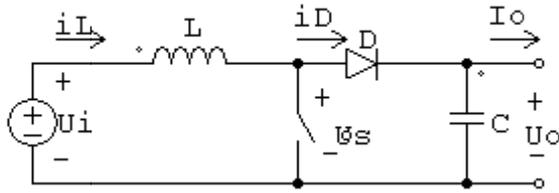
Frequenza di switching:  $f_s = 50 \text{ kHz}$

Si chiede:

- 1) Di dimensionare  $L$  e  $C$  in modo da garantire funzionamento CCM nell'intervallo di variazione della corrente d'uscita da 1 a 5 A (assumendo rendimento unitario).
- 2) Di valutare gli stress di tensione e corrente (valore medio e di picco) in S e D.
- 3) Di valutare il valore della corrente di picco nel condensatore.
- 4) Di stimare il rendimento del convertitore considerando che:
  - l'interruttore sia un Mosfet ( $R_{DSon} = 100 \text{ m}\Omega$ ,  $t_{rise} = t_{fall} = 100 \text{ ns}$ );
  - il diodo ( $V_{on} = 1 \text{ V}$ ,  $W = 100 \mu\text{J}$  energia dissipata ad ogni commutazione di spegnimento);
  - l'induttanza abbia fattore di merito  $Q = \frac{\omega \cdot L}{R_L} = 500$  alla frequenza di commutazione ( $R_L$  è la resistenza equivalente serie dell'induttanza);
  - il condensatore sia privo di perdite.

Ai fini del calcolo delle perdite, si assuma che la tensione d'ingresso abbia il valore nominale e si trascuri l'ondulazione di corrente.

## Soluzione



### 1) Calcolo del valore d'induttanza e di capacità

$$U_i = 48 \pm 9.6 \text{ V} = 38.4 \div 57.6$$

In funzionamento continuo CCM valgono le relazioni:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{1-\delta} \quad (1-\delta) = \frac{U_i}{U_o} \quad 1 - \frac{U_{i\max}}{U_o} \leq \delta \leq 1 - \frac{U_{i\min}}{U_o} \quad 0.42 \leq \delta \leq 0.62$$

$$I_o = I_L \cdot (1-\delta) \quad I_L = \frac{I_o}{1-\delta}$$

il massimo valor medio di  $I_L$  è 
$$I_{L\max} = \frac{I_{o\max}}{1-\delta_{\max}} = \frac{5}{1-0.62} \approx 13 \text{ A}$$

$$\Delta I_L = \frac{U_i \cdot t_{on}}{L} = \frac{U_i \cdot \delta}{L \cdot f_s} = \frac{U_i}{L \cdot f_s} \cdot \left(1 - \frac{U_i}{U_o}\right)$$

Dovendo garantire funzionamento CCM nell'intervallo di variazione della corrente d'uscita da 1 a 5A, si pone la condizione limite CCM/DCM con  $I_o=1\text{A}$  e massimo ripple. In tale situazione l'ondulazione  $\Delta I_{L\max}$  coincide con il valore massimo di corrente nell'induttanza .

Assumendo per le seguenti considerazioni rendimento unitario, la corrente media nell'induttanza si può calcolare come:

$$I_L = \frac{I_o \cdot U_o}{U_i}$$

al limite CCM/DCM ( $I_o = 1 \text{ A}$ ), vale:  $I_L = \frac{\Delta I_L}{2}$  . Si può quindi scrivere la relazione:

$$\Delta I_L = \frac{U_i \cdot t_{on}}{L} = \frac{U_i \cdot \delta}{L \cdot f_s} = \frac{U_i}{L \cdot f_s} \cdot \left(1 - \frac{U_i}{U_o}\right) = 2 \cdot \frac{I_o \cdot U_o}{U_i}$$

$$\text{quindi: } L > \frac{U_i}{f_s} \cdot \left(1 - \frac{U_i}{U_o}\right) \cdot \frac{U_i}{2 \cdot I_o \cdot U_o} = \frac{U_i^2}{2 \cdot f_s \cdot I_o \cdot U_o} \cdot \left(1 - \frac{U_i}{U_o}\right)$$

Il termine al secondo membro, dipendente dalle variazioni di  $U_i$  è massimo per:

$$2 \cdot U_i - 3 \cdot \frac{U_i^2}{U_o} = 0 \quad 3 \cdot U_i - 2 \cdot U_o = 0 \quad U_i = \frac{2}{3} \cdot U_o \quad (\delta=0.333)$$

Questo valore è esterno all'intervallo calcolato per questo caso, si assume quindi  $\delta=0.42$ , cioè

$U_i \cong 0.57 \cdot U_o$ . Si ha dunque:

$$L \geq \frac{(0.57 \cdot U_o)^2}{2 \cdot f_s \cdot I_o \cdot U_o} \cdot \left(1 - \frac{0.57 \cdot U_o}{U_o}\right) = \frac{32.5}{2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 1} \cdot 0.43 \cong 140 \mu H$$

Il massimo valore di corrente sull'induttanza è  $\hat{I}_{L \max} = I_{L \max} + \frac{\Delta I_L}{2} = 13 + \frac{3.4}{2} \cong 15 A$

### Calcolo del valore di capacità

In condizioni statiche (con la massima corrente di carico la forma d'onda di corrente sul condensatore è trapezoidale nel tempo  $t_{off}$ ):

$$\Delta Q = I_o \cdot t_{on} \leq \frac{I_{o \max} \cdot \delta_{\max}}{f_s} = \frac{5 \cdot 0.62}{50 \cdot 10^3} = 62 \mu C \quad C \geq \frac{\Delta Q}{\Delta U_o} = \frac{62 \cdot 10^{-6}}{2} = 31 \mu F$$

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:

$$C \geq \frac{\frac{1}{2} \cdot L \cdot \hat{I}_{L \max}^2}{U_o \cdot \Delta U_o} \cong \frac{\frac{1}{2} \cdot 125 \cdot 10^{-6} \cdot 15^2}{100 \cdot 5} \cong 28 \mu F \quad \text{si sceglie il valore di } 31 \mu F$$

### 2) Stress di tensione e corrente su S e D

Switch:  $\hat{U}_s = U_o = 100V$

$$\bar{I}_s = \bar{I}_L \cdot \delta_{\max} = 13 \cdot 0.62 \approx 8 A$$

$$\hat{I}_s = \hat{I}_L = \bar{I}_L + \frac{\Delta I_L}{2} \cong 13 + 2 = 15 A$$

Diodo:  $\hat{U}_D = U_o = 100V$

$$\bar{I}_D = I_{o \max} = 5 A$$

$$\hat{I}_D = \hat{I}_s = 15 A$$

3) Calcolo della corrente di picco nel condensatore:

$$\hat{I}_C = \hat{I}_L - I_o = 15 - 5 = 10 A$$

### 4) Stima del rendimento

(considerando il valore nominale della tensione d'ingresso  $\delta_{nom} = \left(1 - \frac{U_i}{U_o}\right) = 0.52$  e trascurando  $\Delta I$ )

Perdite nello switch:  
conduzione

$$P_{on} = R_{DSon} \cdot I_{rms}^2 = R_{DSon} \cdot \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} (\bar{I}_s)^2 \cdot dt = R_{DSon} \cdot \bar{I}_L^2 \cdot \delta_{nom} = 0.1 \cdot 13^2 \cdot 0.52 \cong 9 W$$

Perdite all'accensione ed allo spegnimento:

$$P_{sw(on+off)} \leq \frac{1}{2} U_o \cdot I_o \cdot (t_{rise} + t_{fall}) \cdot f_s = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 13 \cdot 200 \cdot 10^{-9} \cdot 50 \cdot 10^3 \approx 7W$$

### Perdite nel diodo

$$P_{on} = V_{on} \cdot \bar{I}_D \leq V_{on} \cdot I_{o\max} = 1 \cdot 5 = 5W$$

Perdite allo spegnimento:

$$P_{swoff} = W \cdot f_s = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^3 = 5W$$

### Perdite nell'induttore

$$R_L = \frac{\omega_s \cdot L}{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{500} = 0.157\Omega$$

$$P_L = R_L \cdot I_L^2 = 0.157 \cdot 13^2 \approx 27W$$

### Rendimento

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{diss}} = \frac{500}{500 + 9 + 7 + 5 + 5 + 27} = \frac{500}{553} \approx 90.5\%$$