

Esercitazione convertitori di potenza

Automotive Electronics and Powertrain Electrification

Prof. Ing. Sergio Saponara

Esercitazione convertitori di potenza

Agenda

Convertitore 48V-12V Buck dimensionamento A ($F_{sw}=100$ kHz)

Scelta componenti

Charge Pump per High side driver

Convertitore 48V-12V Buck dimensionamento B ($F_{sw}=1$ kHz)

Dimensionamento convertitore 48V-12V con regolatore lineare

Dimensionamento convertitore 12V-48V Boost

Esempio dimensionamento convertitori bidirezionali

Buck-converter

esempio di dimensionamento A

Specifiche: V_i sia 48V DC e V_u 12V DC, con I_u 100 A

Ne segue che $P_u=1.2$ kW (P_{in} sarà poco più di 1.2kW se efficienza è alta)
e $R_L=0.12$ Ohm

Duty cycle $D=V_u/V_i=1/4$

A) Se scelgo componenti di potenza pilotati con frequenza di switch $F_{sw}=100$ kHz
(periodo $T_{sw}=10$ μ s) $\rightarrow T_{on}=2.5$ μ s, $T_{off}=7.5$ μ s

Imponendo che $I_a=0 \rightarrow$

$L=R_L*(1-D)/2F_{sw}= 0.12 *0.75/200k$ H=0.45 μ H e

$I_b=I_{max}=2*I_u=200$ A

C in uscita è tale che $1/\sqrt{LC} \ll 2*3.14*F_{sw}=628k$ rad/s

Es con $C= 1.1$ mF si ha $1/\sqrt{LC}=44.72k$ rad/s

Buck-converter

esempio di dimensionamento A

Basta dunque selezionare 2 MOS o (1 MOS e 1 diodo) con:

I_{max} di almeno 200A, V_{max} di almeno V_{in} (48V)

T_{on} di MOS1 è la T_{off} di MOS2 e viceversa

A) Tempi di accensione/spegnimento e rise/fall inferiori ai 2.5 μs (bastano 1 ordine di grandezza meno ovvero sui 250 ns)

Fattibile → es. XK1R9F10QB by Toshiba

L da 0.45 μH con correnti tra 0 e 200 A (100A in media)

C_u da 1.1 mF con correnti tra -100A e 100 A (0 in media)

Fattibile

Buck-converter

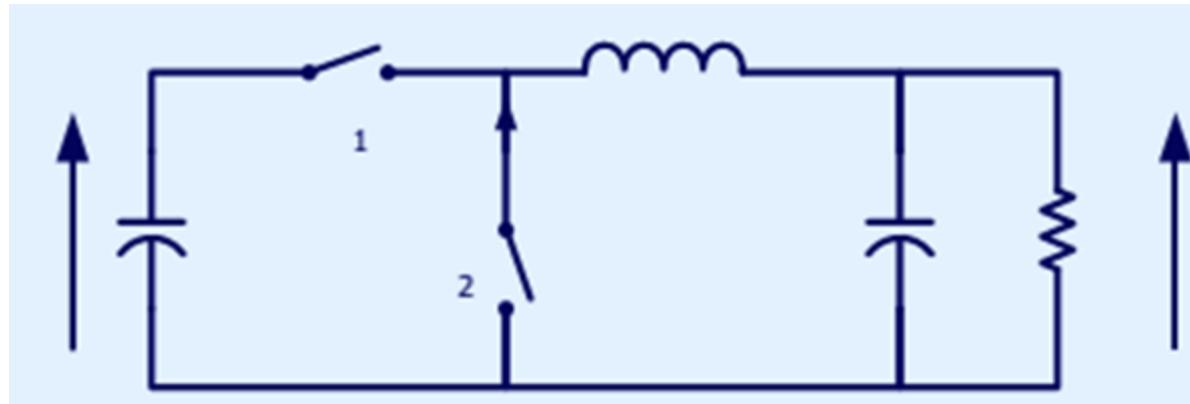
esempio di dimensionamento A

Ingresso ha corrente lin media pari a quella dello switch S1 che è in media 100A durante T1 (come L) e 0 durante T2 e dunque vale in media $100A \cdot T1 / (T1 + T2) = 25A$ (e varia tra 0 e 200 A)

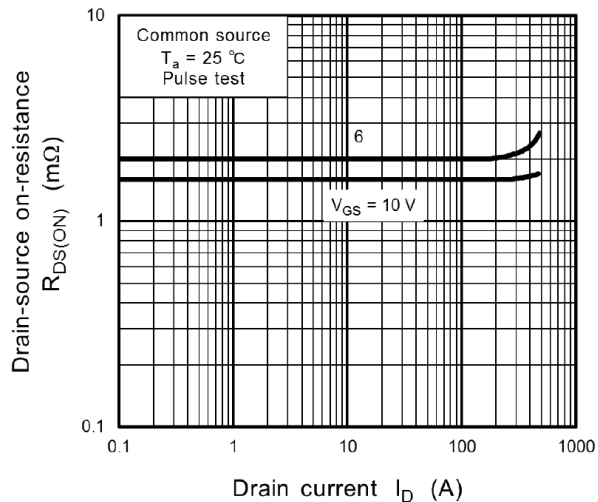
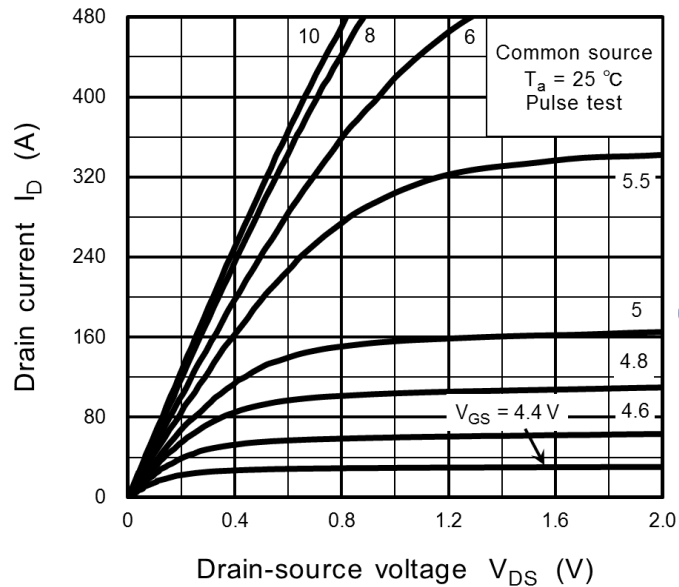
Del resto lato in $25A \cdot 48V = 100A \cdot 12V$ lato out

La Cin ha una corrente come quella di S1 abbassata dei 25A di media ovvero varia tra -25A e 175A con Imedia nulla.

Cin va dimensionata tale che $1/2\pi R_{sorgente} \cdot C_{in} \ll F_{sw}$



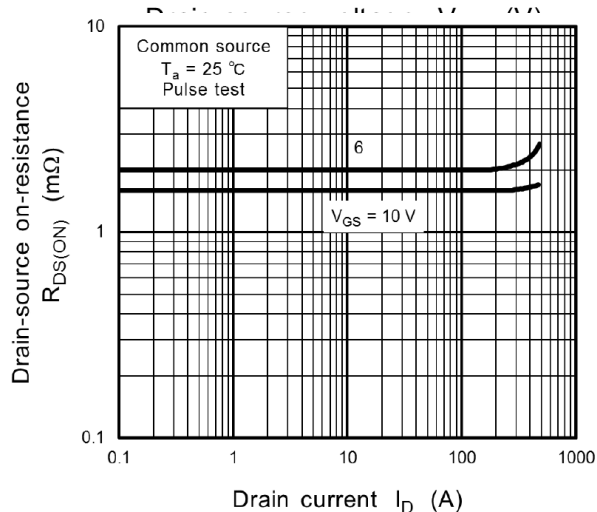
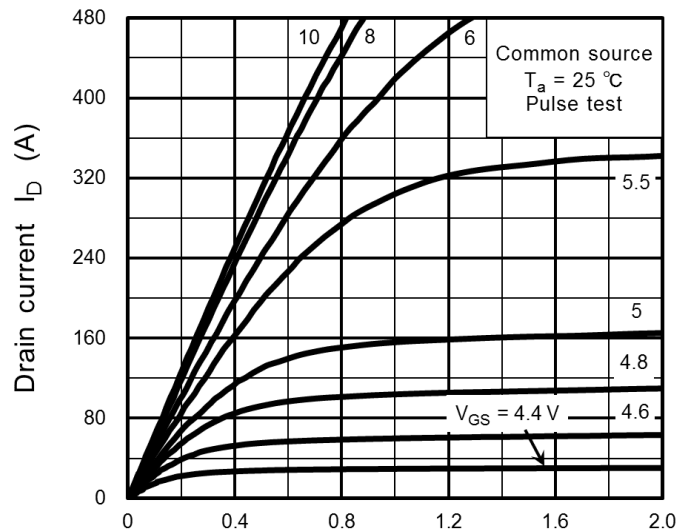
XK1R9F10QB by Toshiba, V_{DS} max 100V



N-Channel MOS

Con $V_{GS}=6\text{V}$ regge I_D di picco di 200A con caduta limitata a 0.4V e $R_{dson}=2\text{ m}\Omega$
(Con I media di 100A la R_{dson} di 2 m Ω comporta in media una caduta di 0.2V e una dissipazione di potenza di 20W, fattibile visto che PowerMOS Toshiba regge 375W di potenza continua dissipata)

XK1R9F10QB by Toshiba, VDS max 100V



$$P_{Gdr} = Q_G \cdot (V_{GE(on)} - V_{GE(off)}) \cdot f_{sw}$$

Gatecharge $Q = 184\text{ nC}$

$P_{gate} = V_{gate} \cdot I_{gate} = 184\text{ nC} \cdot 6\text{ V} \cdot 100\text{ kHz} = 110.4\text{ mW}$
(su 2 switch sono $P_{dissgate} = 0.22\text{ W}$ trascurabili rispetto ai 20W di $P_{disspata}$ in conduzione, in ogni caso con $P_{out} = 1200\text{ W}$ sprecare 20W ho sempre una efficienza del 98%)

Siccome $Q = C \cdot V$ e $P = V \cdot I \rightarrow$

$I_{gate} = 184\text{ nC} \cdot 100\text{ kHz} = 18.4\text{ mA}$
(PIC-MCU regge fino a 25 mA)

$T_r + T_{on} = 170\text{ ns}$, $t_f + T_{off} = 274\text{ ns}$ (al limite)

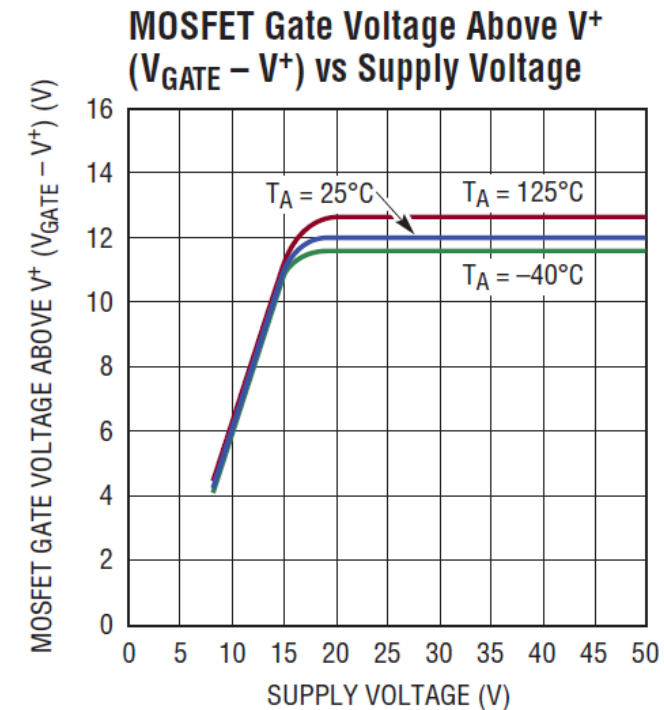
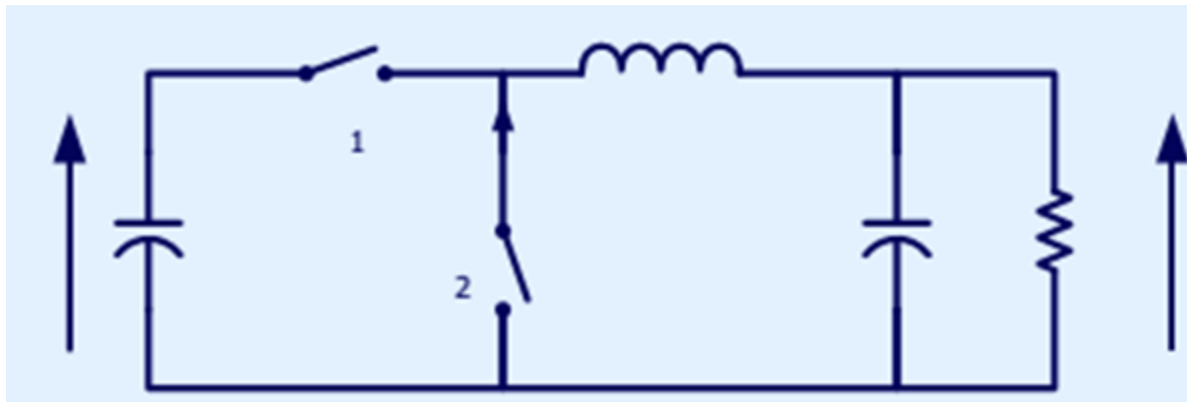
Charge Pump per High Side Driver

N-channel MOS

Se deve lavorare con V_{gs} di 6 V e lo uso sia come switch 1 che al posto del diodo come switch 2

allora in switch 1 (High Side) quando conduce $V_{s1}=48V$ e V_{g1} deve raggiungere $38V+6V=54V \rightarrow$ se Gate Driver è alimentato al max da 48V serve gate driver con charge pump

Es. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/1910fc.pdf>



High-side con MOS N-channel o P channel

Dunque per Low-side no problem usare N-Channel MOS.

Per High side se uso N-channel MOS deve usare anche Gate Driver con Charge pump oppure se no devo usare MOS P-channel che richiederebbe livelli di $V_g=48V$ se spento ($V_s=48V$ e quindi $V_{sg}=0V$) e $V_g=42V$ se acceso ($V_s=48V$ e quindi $V_{sg}=6V$).

In ogni caso MCU non è in grado di erogare direttamente 42V e 48V e dunque anche se non charge pump qualche traslatore di livello serve comunque.

Ricordarsi infine che P channel MOS sono a parità di costruzione 2.5-3 volte peggiori (es. R_{on} più alta, corrente ma C più bassa) di N-Channel

Buck-converter

esempio di dimensionamento B

Specifiche: V_i sia 48V DC e V_u 12V DC, con I_u 100 A
Ne segue che $P_{out}=1.2$ kW e $R_L=0.12$ Ohm

$$\text{Duty cycle } D = V_u / V_{in} = 1/4$$

B) Se scelgo componenti di potenza pilotati con frequenza di switch $F_{sw}=1$ kHz
(periodo $T_{sw}=1$ ms) $\rightarrow T_1=250 \mu s, T_2=750 \mu s$

$$\begin{aligned} \text{Imponendo che } I_a &= 0 \rightarrow \\ L &= R_L * (1-D) / 2F_{sw} = 0.12 * 0.75 / 2k \text{ H} = 45 \mu\text{H} \text{ e} \\ I_b &= I_{max} = 2 * I_u = 200\text{A} \end{aligned}$$

C in uscita è tale che $1/\sqrt{LC} \ll 2 * 3.14 * F_{sw} = 6.28k$ rad/s
Es con $C = 90\text{mF}$ si ha $1/\sqrt{LC} = 0.5k$ rad/s

Buck-converter

esempio di dimensionamento B

Basta dunque selezionare 2 MOS o (1 MOS e 1 diodo) con:

I_{max} di almeno 200A

V_{max} di almeno V_{in} (48V)

B) Tempi di accensione/spegnimento e rise/fall inferiori ai 250 μs (bastano 1 ordine di grandezza meno ovvero 25 μs)

Fattibile

L da 45 μH con correnti tra 0 e 200 A (100A in media)

C_u da 90 mF con correnti tra -100A e 100 A (0 in media)

Valori critici

Ingresso ha corrente media pari a quella dello switch S che è in media 100A durante T_1 e 0 durante T_2 e dunque vale in media $100A \cdot T_1 / (T_1 + T_2) = 25A$ (e varia tra 0 e 200 A)

esempio di dimensionamento regolatore lineare (Non fattibile)

Specifiche: V_i sia 48V DC e V_u 12V DC, con I_u 100 A
Ne segue che $P_{out}=1.2$ kW e $R_L=0.12$ Ohm

Transistor non switch ma lavora in zona attica con $V_{DS}=36V$ ($V_D=48V$ e $V_S=12V$) e
 $I_D=100A$ ovvero deve dissipare 3.6kW

Critico trovare transistor che regge 3.6 kW $P_{dissipata}$.

Inoltre con $P_u=1.2$ kW efficienza crolla al 25%

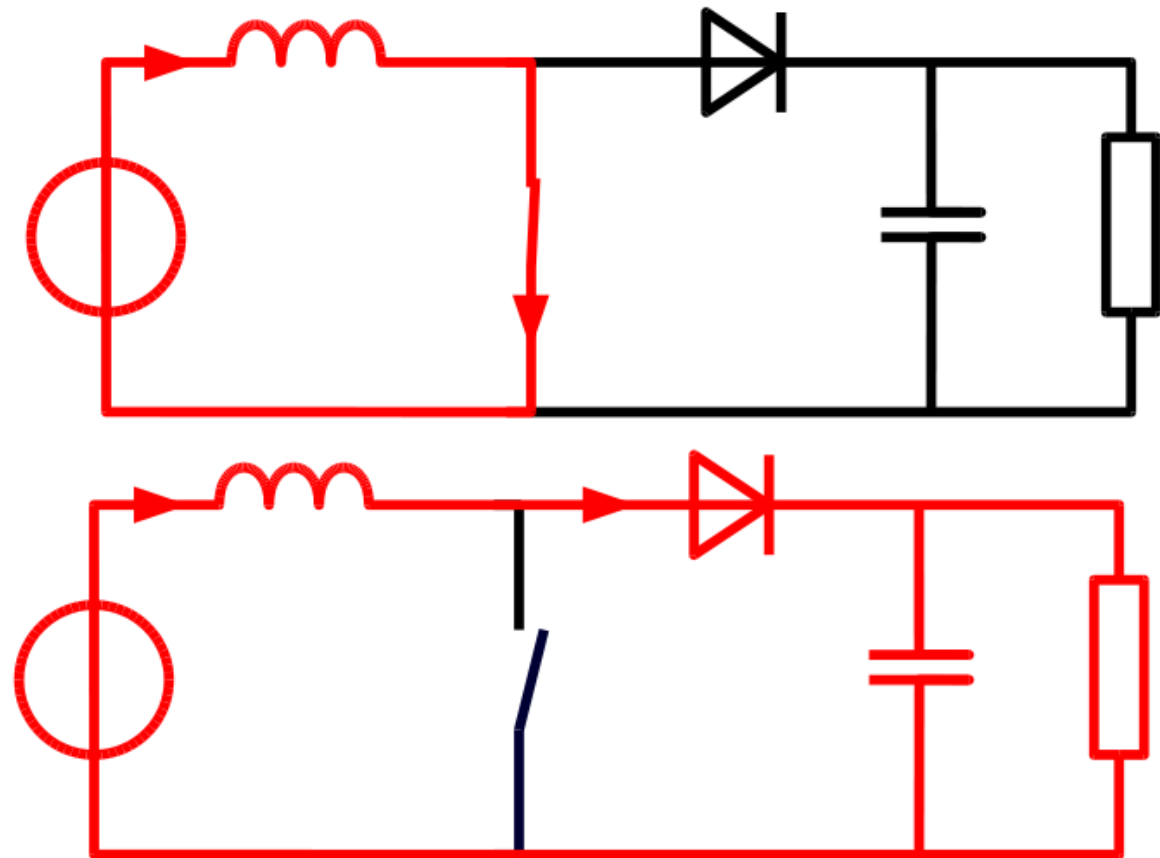
(4.8 kW assorbiti per avere 3.6 kW dissipati e solo 1.2 kW P_{utile} in uscita)

Boost-converter

esempio di dimensionamento

Specifiche: V_i sia 12V DC e V_u 48V DC, con I_u 25 A

Ne segue che $P_{out}=1.2$ kW (P_{in} sarà poco più di 1.2 kW se efficienza è alta)
e $R_L=1.92$ Ohm



Durante T_{on} , la L vede $V_i=12V$

Durante T_{off} , la L vede $V_i - V_{out} = -36V$

A regime $T_{on} \cdot 12V = T_{off} \cdot 36V \rightarrow T_{on} = 3T_{off}$
ovvero $D=0.75$

Se $F_{sw}=100$ kHz allora $T_{SW}=10$ us, $T_{on}=7.5$ us, $T_{off}=2.5$ us

(invece di 1 MOS e 1 diodo posso usare anche qui 2 MOS la cui V_{DS} max è 48V)

Boost-converter

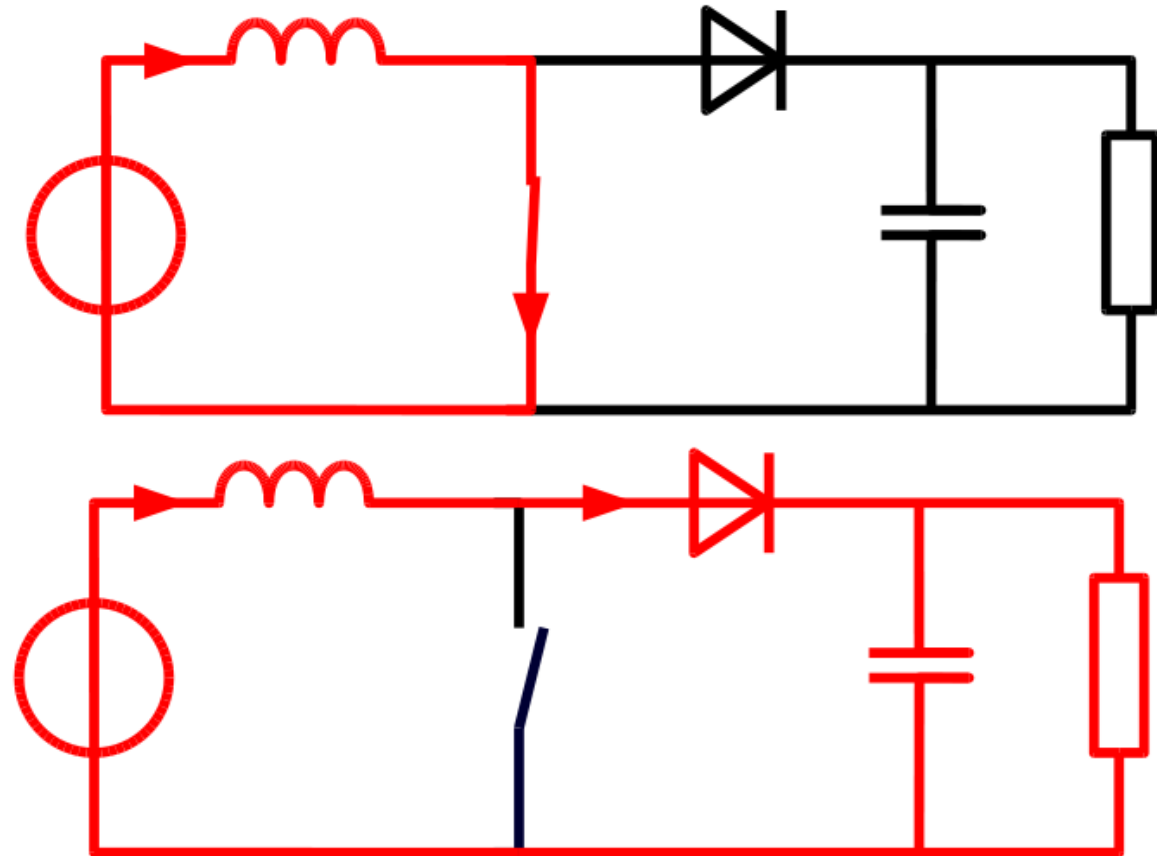
esempio di dimensionamento

Corrente media di induttanza è corrente media di ingresso on Boost che è circa (se $P_u = P_i = 1.2 \text{ kW}$ allora I_{in} sarà sui $100\text{A} = I_u / (1-D) \rightarrow$ se induttanza è dimensionata a 100kHz per avere I media di 100A e I_{min} di 0A allora $I_{max} = 200\text{A}$)

L è tale che durante T_{on} di $7.5 \text{ }\mu\text{s}$,
 $T_{on} \cdot V_i / L = I_{max} \rightarrow L = 7.5 \text{ }\mu\text{s} \cdot 12\text{V} / 200\text{A} = 0.45 \text{ }\mu\text{H}$

Cu da dimensionare tale che
 $1/RL \cdot C \ll 2 \cdot 3.14 \cdot f_{sw} = 628 \text{ kRad/s}$
(essendo primo ordine consideriamo 2 ordini di grandezza)

Con $RL = 1.92 \text{ Ohm}$ basta es $C = 0.1 \text{ mF}$ si ha
 $5\text{kRad/s} \ll 628 \text{ krad/s}$
(ovviamente se usavo $C = 1.1 \text{ mF}$ vista prima andava ancora meglio)



Boost-converter

esempio di dimensionamento

Da notare che per L e i 2 MOS nel Boost Converter 12 V to 48V da 1.2 kW e $F_{sw}=100$ kHz posso usare gli stessi L e MOS usati in Buck Converter 48V to 12 V sempre per 1.2 kW e $F_{SW}=100$ kHz

Se in Buck e Boost li dimensiono per stessi livelli di potenza e tenendo conto che negli switching essendo rendimento vicino a 100% potenza lato ingresso e uscita sono simili di fatti dato il Buck scambiando ruolo di ingresso e uscita ottengo il Boost con stessi MOS e stessa L (si scambiano il ruolo invece C_{in} e C_{out}) e viceversa→

Se sorgente è in grado di accettare potenza e carico può anche dare potenza dimensionando C_{in} e C_{out} sulla più grande delle 2 posso ottenere bidirectional buck-boost converter cioè $48V \rightarrow 12V$ e $12 \rightarrow 48V$