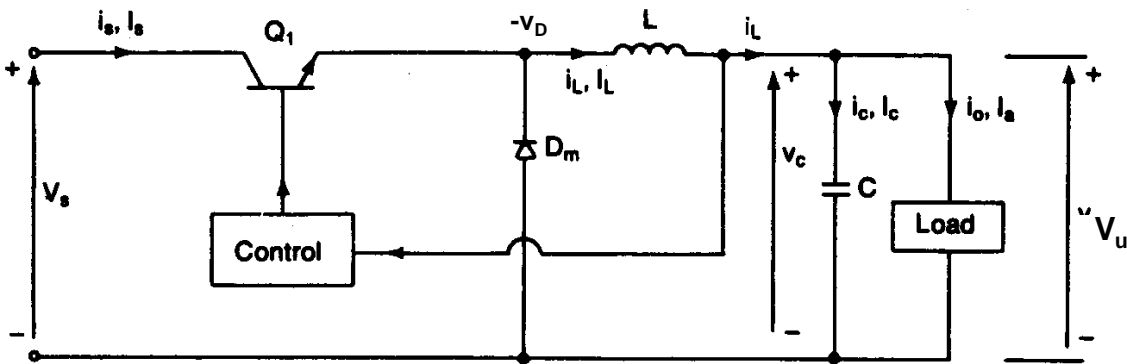


Convertitori di potenza DC/DC

- 1. Convertitore DC/DC in discesa**
- 2. Convertitore DC/DC in salita**
- 3. Convertitore DC/DC salita-discesa**
- 4. Convertitore DC/DC a ponte con PWM**

CONVERTITORE DC/DC IN DISCESA (BUCK)



Il blocco di controllo mantiene l'uscita retroazionata

Modo 1: Q_1 ON

$0 \leq t < \rho T$

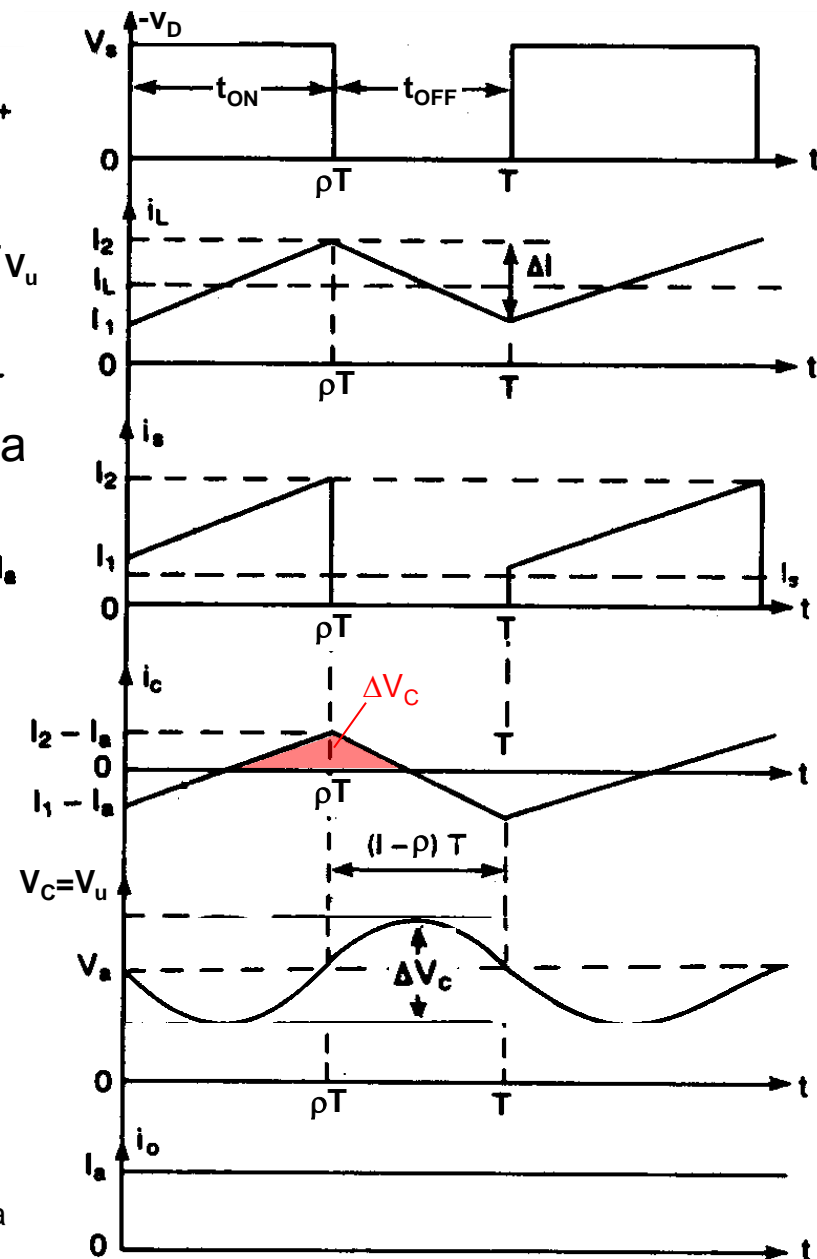
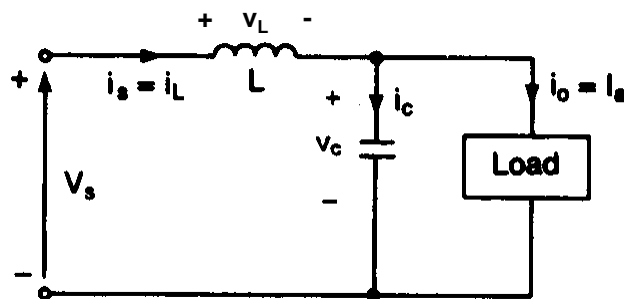
$$L \frac{di_L}{dt} = V_s - V_{u0} > 0$$

$$(\Delta I_L)_1 = \frac{V_s - V_{u0}}{L} t_{ON}$$

$$i_L(0) = I_1 \quad i_L(\rho T) = I_2$$

i_L cresce linearmente e quindi anche i_C :

$$i_C = i_L - I_a \quad i_C \text{ ha valor medio nullo, quindi } I_L = I_a$$

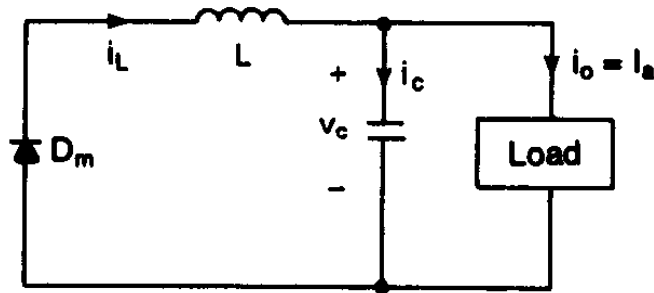


Modo 2: Q_1 OFF

$$\rho T \leq t < T$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{u0} < 0$$

$$(\Delta I_L)_2 = -\frac{V_{u0}}{L} t_{\text{OFF}}$$



L forza la corrente a circolare su D_m

Durante t_{OFF} i_L decresce

Dimostriamo che è in discesa

In regime stazionario dovrà essere: $(\Delta I_L)_1 = -(\Delta I_L)_2$

$$\frac{V_s - V_{u0}}{L} t_{\text{ON}} = \frac{V_{u0}}{L} t_{\text{OFF}} \Rightarrow V_{u0} = \frac{t_{\text{ON}}}{T} V_s = \rho V_s \quad (\text{mediante } \rho \text{ controllo il valore di } V_{u0}, \text{ fra } 0 \text{ e } V_s)$$

Ripple di corrente e di tensione:

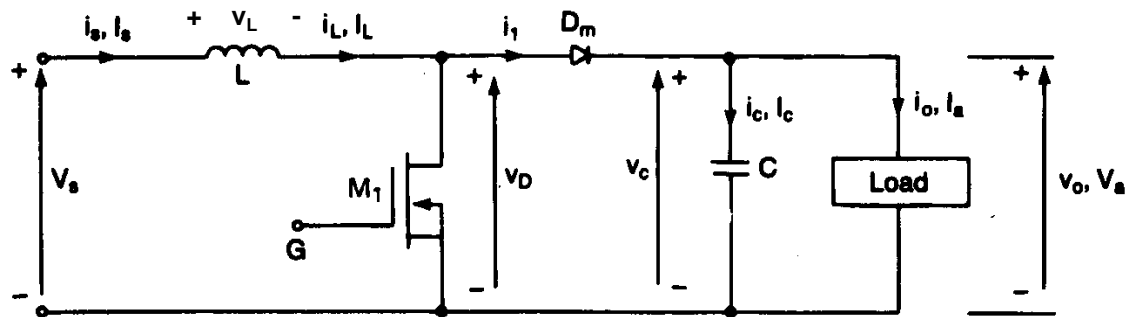
$$\Delta I = \frac{\rho V_s}{L} (T - \rho T) = \frac{\rho(1-\rho)V_s}{fL} \Rightarrow \text{si dimensiona } L \text{ per limitare } \Delta I$$

$$\Delta V_u = \Delta V_C = \frac{1}{C} \int_{\frac{t_{\text{on}}}{2}}^{\frac{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}{2}} i_c(t) dt = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{T}{2} \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{T}{8C} \frac{V_{u0} t_{\text{OFF}}}{L} = \frac{\rho(1-\rho)V_s}{8LCf^2} \Rightarrow \text{per limitare } \Delta V_u \text{ si agisce su } C$$

Caso peggiore (sia per ΔI che per ΔV): $\rho = 0.5$

Un'alta frequenza di switching riduce il ripple sia di V che di I

CONVERTITORE DC/DC IN SALITA (BOOST)



Modo 1: M_1 ON

$0 \leq t < \rho T$

$$(\Delta I_L)_1 = \frac{V_s}{L} t_{ON}$$

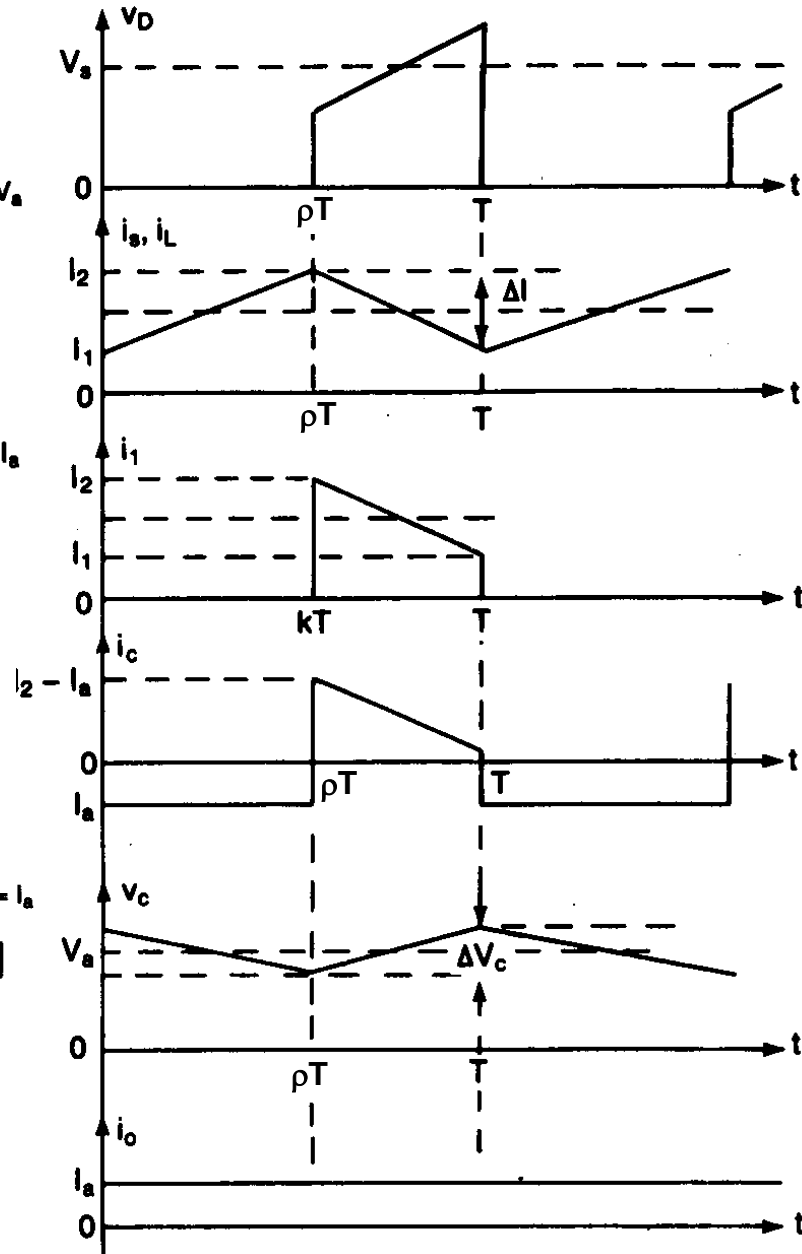
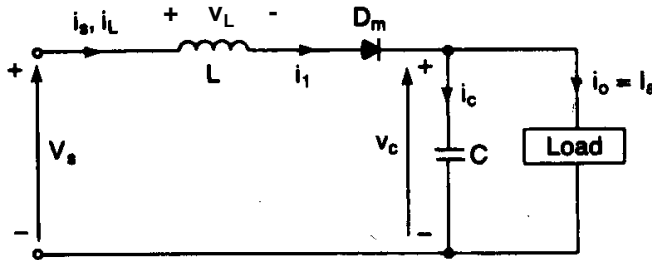
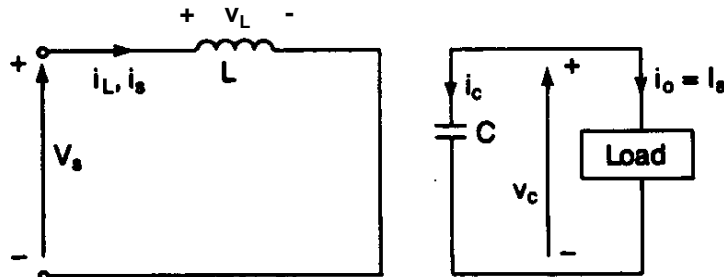
$I_u = \text{cost.} \Rightarrow V_C = V_u$ decresce linearmente

Modo 2: M_1 OFF

$\rho T \leq t < T$

$$(\Delta I_L)_2 = \frac{V_s - V_{u0}}{L} t_{OFF}$$

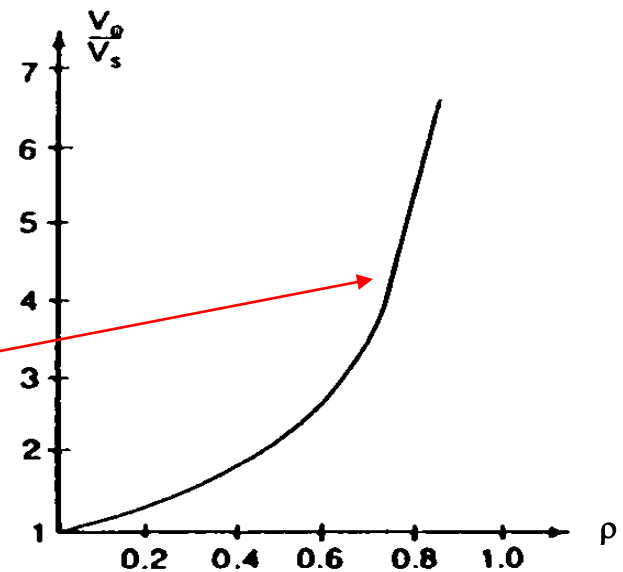
$$\frac{V_s}{L} t_{ON} = -\frac{V_s - V_{u0}}{L} t_{OFF} \Rightarrow V_{u0} = \frac{V_s}{1 - \rho}$$



Limiti all'aumento di ρ

- Aumenta $V_u \Rightarrow$ limiti dei componenti attivi e passivi (V_{BD} del MOS e del diodo).
- Diminuisce $t_{OFF} \Rightarrow$ possono diventare critici i tempi di commutazione del MOS.
- La pendenza di $V_u = f(\rho)$ cresce con ρ , quindi si perde capacità di regolazione.
- Aumenta la corrente in ingresso, infatti, poiché il convertitore è non dissipativo, si ha:

$$V_s I_s = V_{u0} I_{u0} = \frac{V_s}{1-\rho} I_{u0} \Rightarrow I_s = \frac{I_{u0}}{1-\rho}$$



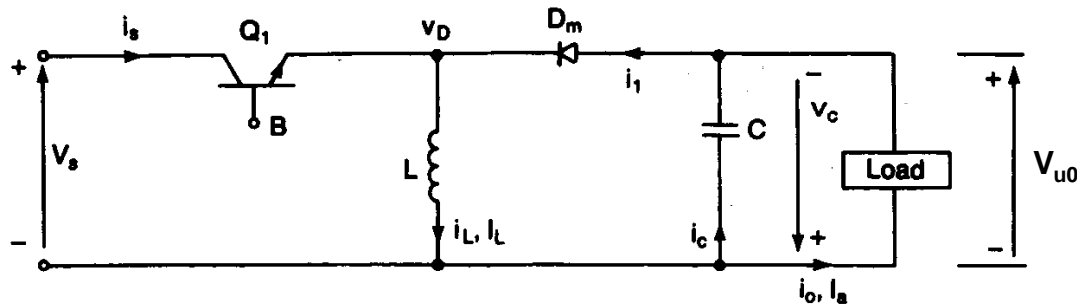
Dimensionamento del filtro

Valgono tutte le considerazioni fatte per il convertitore Buck. Qui si ottiene:

$$\Delta I_L = \frac{t_{ON} V_s}{L} = \frac{\rho V_s}{fL} \Rightarrow \text{si dimensiona } L$$

$$\Delta V_u = \Delta V_C = (\text{dal modo 1}) = \rho T \frac{1}{C} I_{u0} = \frac{\rho I_{u0}}{fC} \Rightarrow \text{si dimensiona } C$$

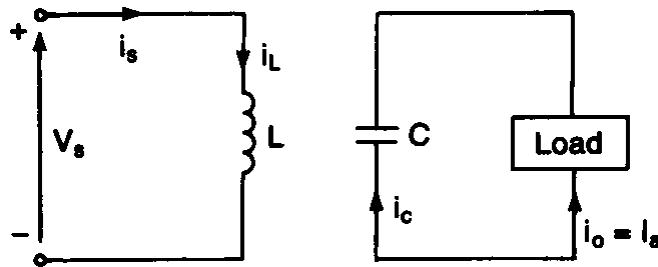
CONVERTITORE DC/DC SALITA-DISCESA (BUCK-BOOST)



Modo 1: Q₁ ON

$$0 \leq t < \rho T$$

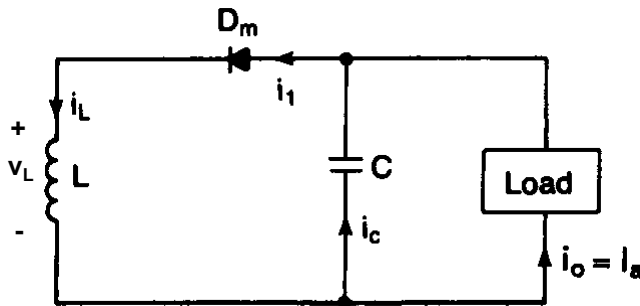
$$(\Delta I_L)_1 = \frac{V_s}{L} t_{ON}$$



Modo 2: Q₁ OFF

$$\rho T \leq t < T$$

$$(\Delta I_L)_2 = \frac{V_{u0}}{L} t_{OFF}$$

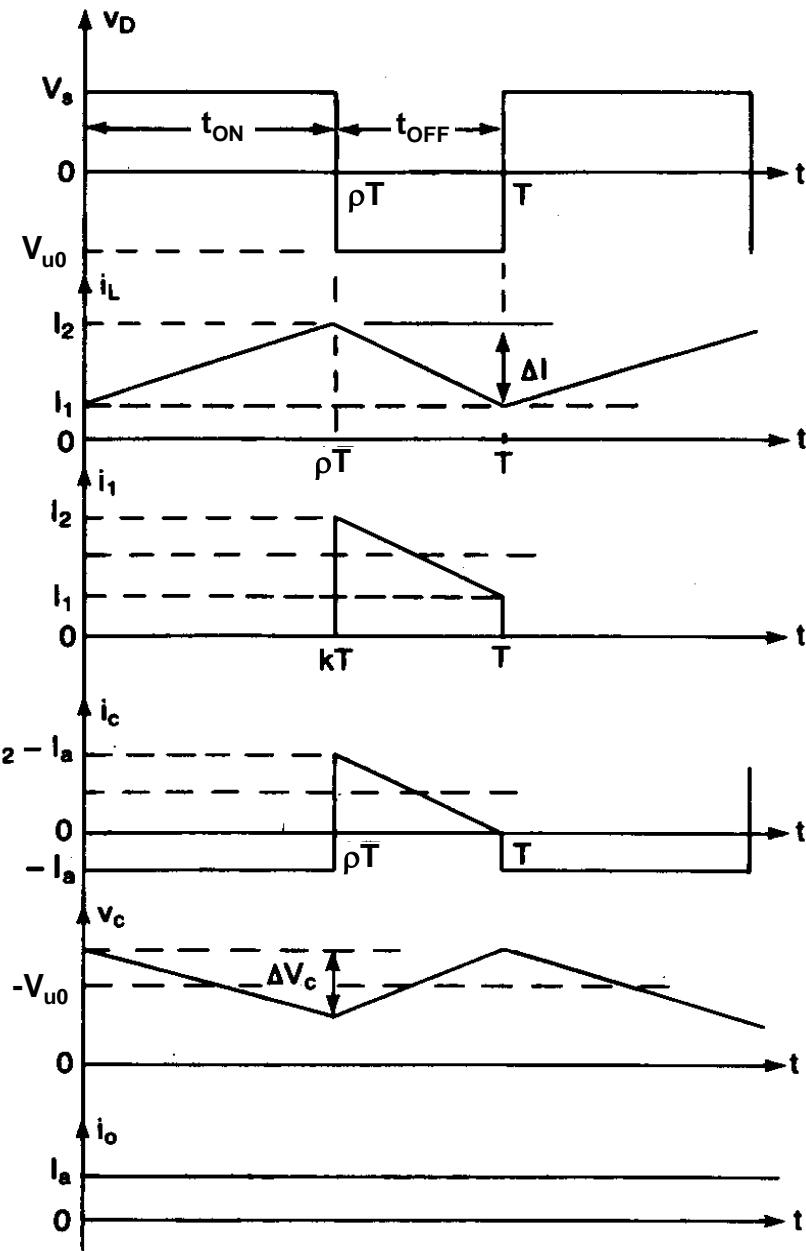


$$V_{u0} = L \frac{(\Delta I_L)_2}{t_{OFF}} = -L \frac{(\Delta I_L)_1}{t_{OFF}} = -V_s \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = -V_s \frac{\rho}{1-\rho}$$

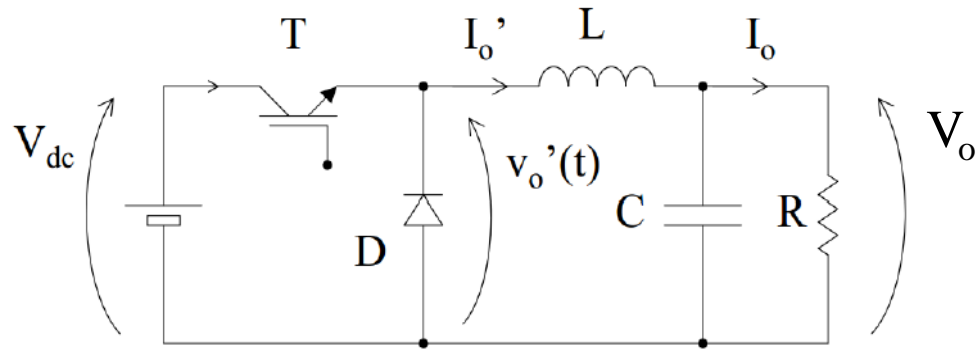
$$\Delta I_L = \frac{\rho V_s}{fL}$$

$$\Delta V_u = \frac{\rho I_{u0}}{fC}$$

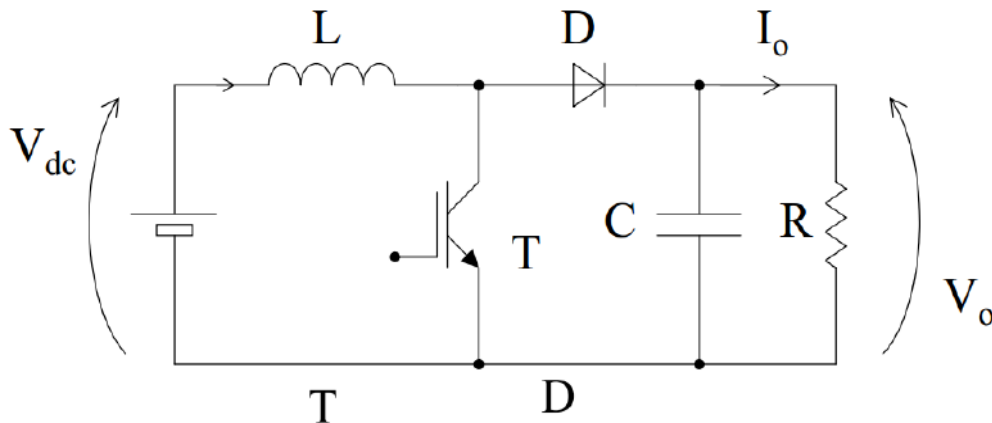
$$-\infty < V_{u0} < 0$$



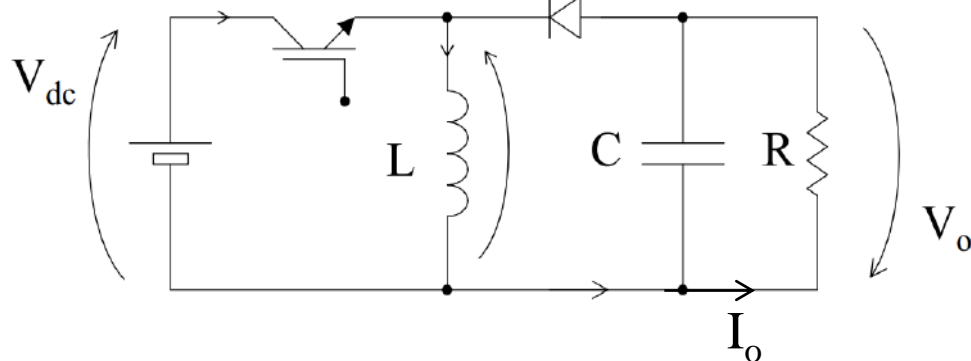
CONVERTITORI DC/DC a singolo transistor (riassunto)



Buck

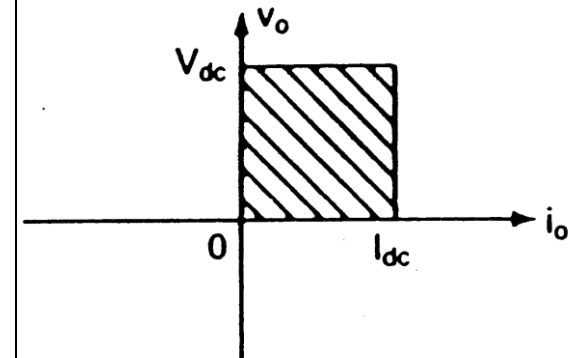


Boost

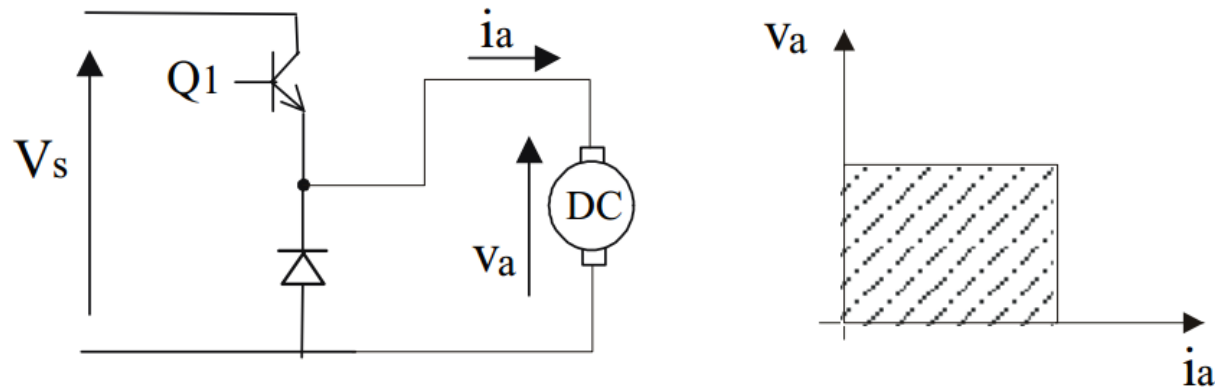


Buck-Boost

Tensione media e corrente media del carico possono essere soltanto positive (funzionamento a un solo quadrante):



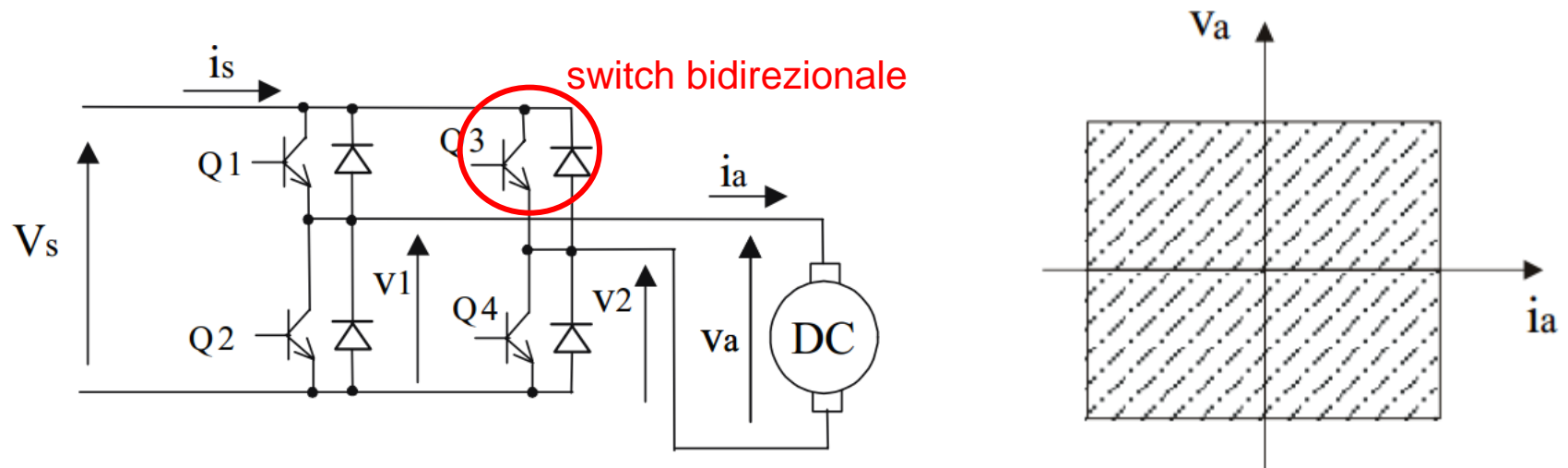
Applicazione: CONTROLLO DI UN MOTORE IN CONTINUA



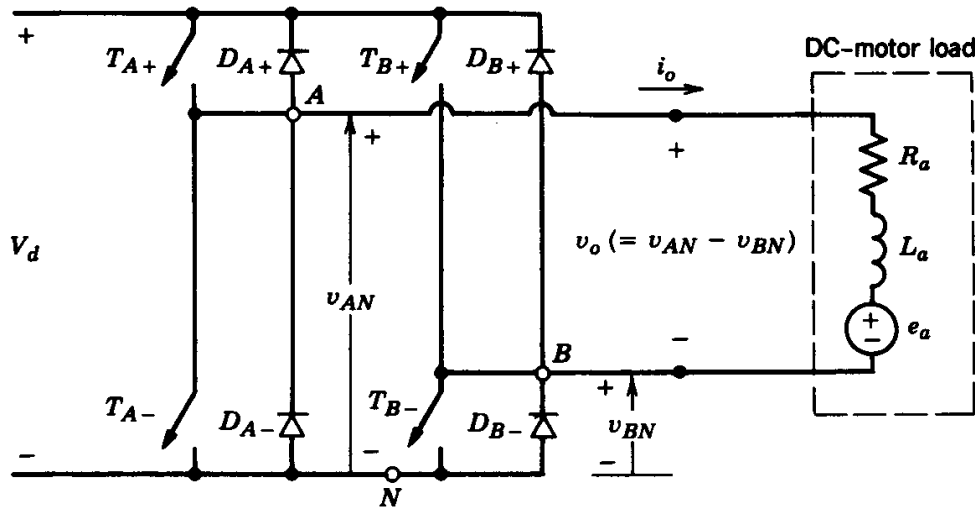
La velocità del motore è proporzionale alla tensione media

La coppia del motore è proporzionale alla corrente media

Con un convertitore a ponte è possibile un controllo completo (4 quadranti):



CONVERTITORE DC/DC A PONTE INTERO



Ogni switch può assumere tre stati:

- OFF (aperto)
- ON (chiuso, ma corrente nel diodo)
- ON-conducting (chiuso, con corrente)

Quando uno switch è chiuso, il verso della corrente determina se questa scorre in esso o nel diodo

In ogni istante in ciascuna gamba (A e B) uno e un solo switch è ON. In realtà: **blanking time** (entrambi OFF) per evitare cortocircuito dell'alimentazione in commutazione

$$T_{A+} \text{ ON, } T_{A-} \text{ OFF: } \Rightarrow v_{AN} = V_d$$

$$T_{A-} \text{ ON, } T_{A+} \text{ OFF: } \Rightarrow v_{AN} = 0$$

$$V_{AN} = \frac{V_d \cdot t_{ON} + 0 \cdot t_{OFF}}{T_s} = \frac{t_{ON}}{T_s} V_d = \rho_A \cdot V_d$$

$$\text{Analogamente: } V_{BN} = \rho_B \cdot V_d$$

$$V_o = V_{AN} - V_{BN}$$

\Rightarrow si controlla V_o (pos/neg) coi duty cycle.

Pulse Width Modulation (PWM:)

- Con switch di tensione bipolare (le due gambe commutano dualmente)
- Con switch di tensione unipolare (le due gambe commutano indipendentemente)

PWM con switching bipolare

T_{A+} e T_{B-} sono simultaneamente ON o OFF.
 T_{A-} e T_{B+} sono ON in coppia dualmente agli altri.

I segnali di controllo sono generati dalla comparazione fra l'onda triangolare v_{tri} (fissa) e la tensione di controllo $v_{control}$ (variabile):

$V_{control} > V_{tri} \Rightarrow T_{A+}, T_{B-} \text{ ON}; T_{A-}, T_{B+} \text{ OFF}$

$V_{control} < V_{tri} \Rightarrow T_{A+}, T_{B-} \text{ OFF}; T_{A-}, T_{B+} \text{ ON}$

$$t_1 = \frac{V_{control}}{\hat{V}_{tri}} \cdot \frac{T_s}{4} \Rightarrow t_{onA+} = 2t_1 + \frac{T_s}{2}$$

$$\rho_{A+} = \frac{t_{onA+}}{T_s} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_{control}}{\hat{V}_{tri}} \right)$$

$$\rho_{B+} = (1 - \rho_{A+})$$

$$\begin{aligned} V_o &= V_{AN} - V_{BN} = \rho_{A+} V_d - \rho_{B+} V_d = \\ &= (2\rho_{A+} - 1)V_d = \frac{V_d}{\hat{V}_{tri}} v_{control} = k \cdot v_{control} \end{aligned}$$

