

# SESSIONE 2007 SOLUZIONE

Dati Noti:

Il convertitore DC/DC con

$V_i=18-22V$  e due tensioni di uscita:

Uscita 1:  $V_{out1}=15V$  e  $I_{1Max}=2,5$

Uscita 2:  $V_{out2}=28V$  e  $I_{2Max}=7^{\circ}$

Ripple  $V_{out}=3\%$

Ripple  $V_{out}<7\%$

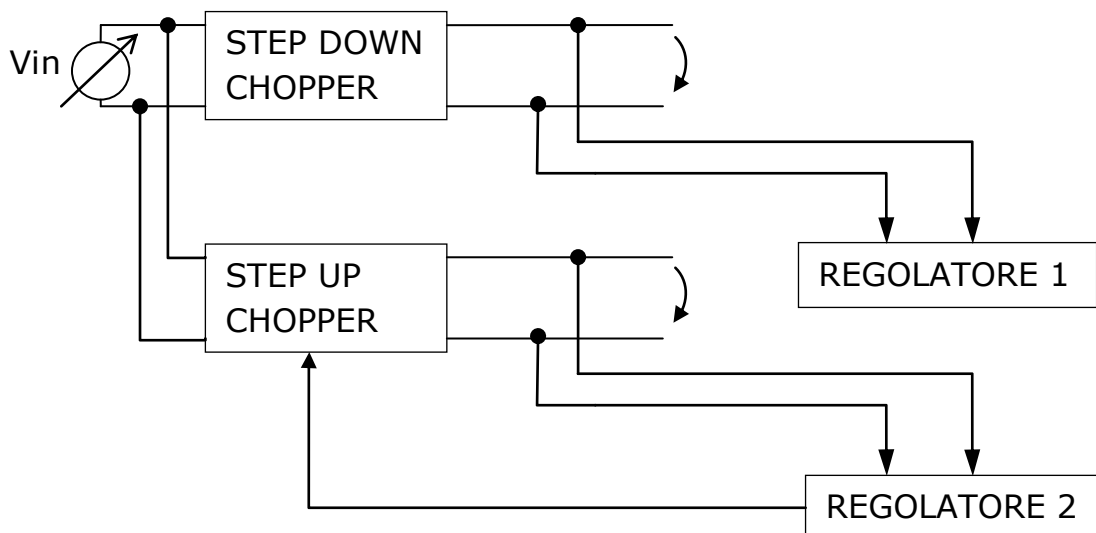
Si fanno le seguenti ipotesi aggiuntive:

Si utilizzano in parallelo 2 convertitori DC/DC e vengono dimensionati entrambi per operare nel modo di funzionamento continuo CCM (Continuous Current Mode) e non discontinuo DCM (Discontinuous Current Mode).

Per l'uscita 1 viene utilizzato un convertitore DC/DC di tipo Buck (Step Down) i quanto la tensione di uscita è  $V_{out}<V_{in_{min}}$ .

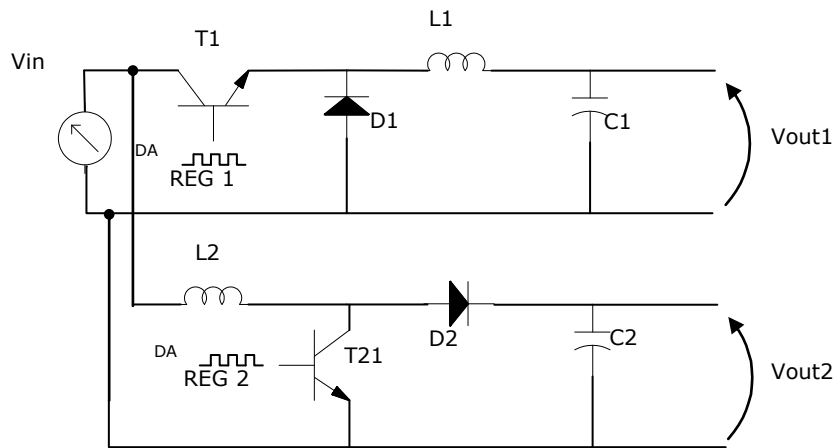
Per l'uscita 2 viene utilizzato un convertitore DC/DC di tipo Booster (Step up) in quanto la tensione di uscita è  $V_{out2}>V_{in_{max}}$ .

Uno schema a blocchi di principio del convertitore DC/DC a 2 uscite è il seguente:



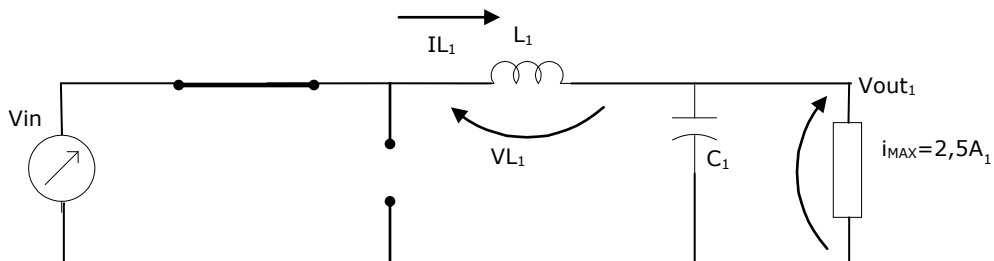
Ognuno dei Chopper deve avere un sistema di controllo in catena chiusa denominata REGOLATORE 1 e REGOLATORE 2 che devono avere come variabile di retroazione la tensione misurata in uscita.

Lo schema elettrico del convertitore risulta:

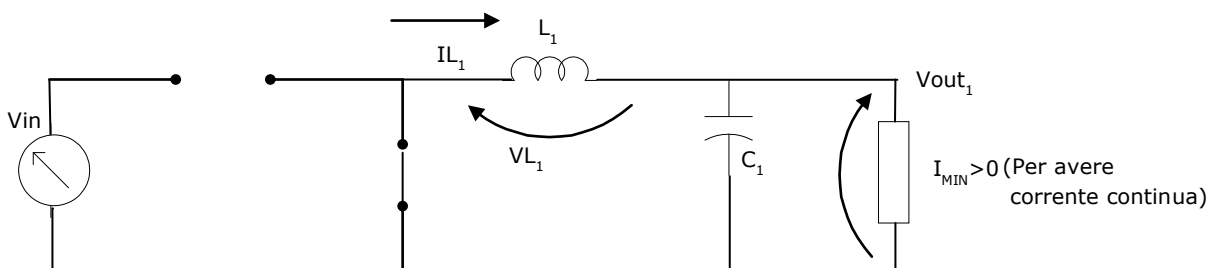


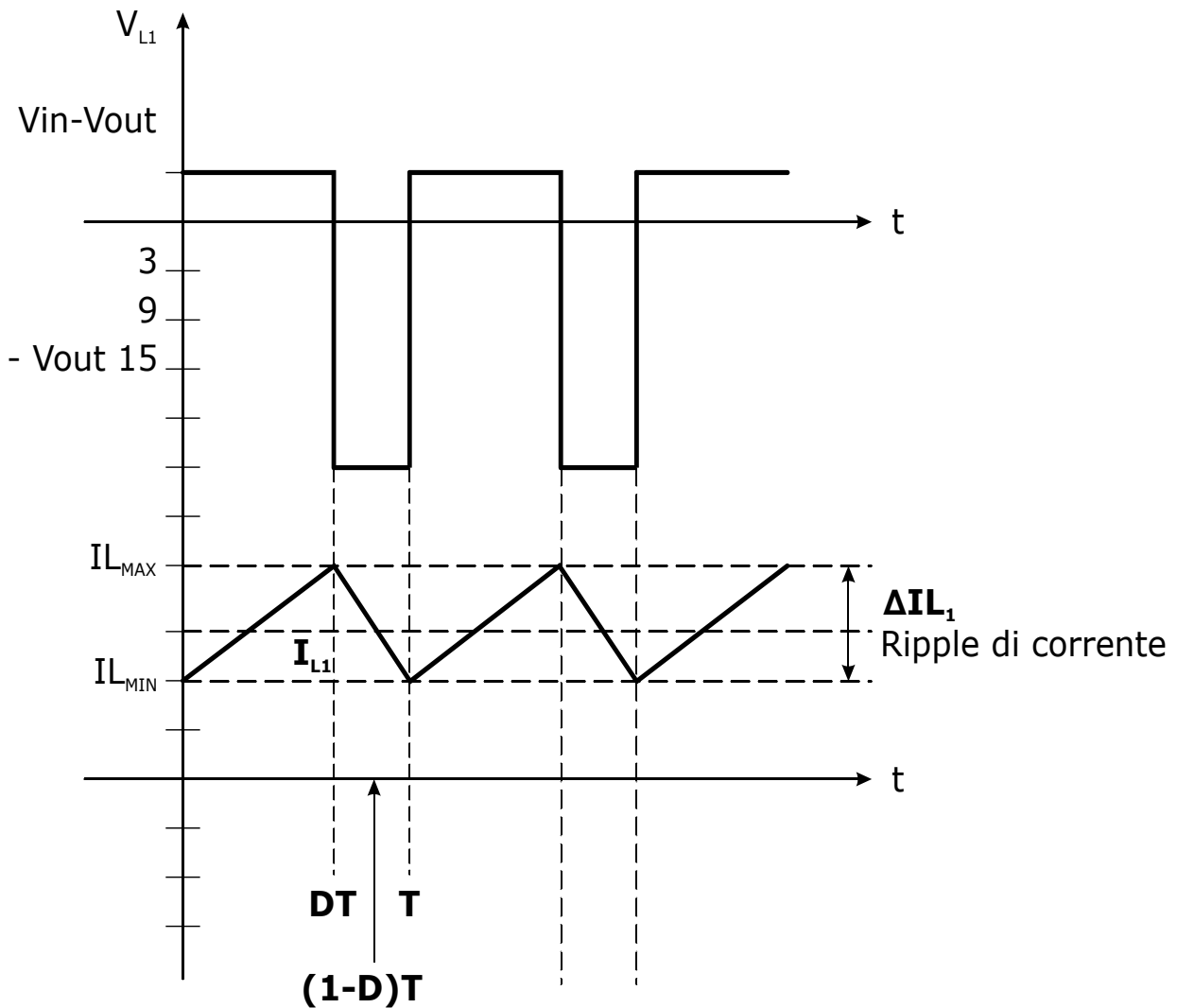
Si spiega ora brevemente il funzionamento del 1° circuito e se ne dimensionano i componenti:

Quando il transistor T1 è in saturazione il circuito elettrico risulta il seguente:



Quando il transistor è interdetto il circuito elettrico risulta essere il seguente:





$$\frac{dI_{L1}}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out1}}{L1} \quad \text{quando T1 è in saturazione}$$

$$\Delta I_{L1} = \left( \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \right) \cdot DT \quad \text{quando T1 è interdetto}$$

Duty Cycle

$$\Delta I_{L1} = \frac{-V_{out1}}{L} \cdot (1 - D) \cdot T$$

$$\Delta I_{L1 SAT} + \Delta I_{L1 INT} = 0 \quad \text{Per avere una } I_{L1} \text{ costante}$$

$$\left( \frac{V_{in} - V_{out1}}{L1} \right) \cdot DT - \left( \frac{-V_{out1}}{L1} \right) \cdot (1 - D) \cdot T = 0 \Rightarrow \boxed{V_{out1} = D \cdot V_{in}}$$

Sapendo che:  $I_{L1} = I_{CARICO1} = \frac{V_{OUT1}}{R}$

Nel nostro caso:  $I_{L1} = I_{RMAX} = 2,5A \Rightarrow R_{MAX} = \frac{V_{OUT1}}{2,5} = \frac{15}{2,5} = 6\Omega$

$I_{RMIN}$  per avere funzionamento continuo è

$$I_{MIN} = I_{L1} - \frac{\Delta I_{L1}}{2} = V_{OUT1} \cdot \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2 \cdot L1 \cdot f} \right] \geq 0 \Rightarrow$$

$$V_{OUT1} \cdot \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2 \cdot f} \right] \geq 0 \quad L1 \geq L_{MIN} = \frac{(1-D)}{2 \cdot f} \cdot R$$

Scegliamo  $f > 20K_{hz}$  onde evitare rumore acustico  $f = 25K_{hz}$

Duty cycle nel caso di  $V_{in} = 18v$  è:

$$V_{OUT} = D \cdot V_{IN} \quad 15 = D \cdot 22 \quad D = \frac{15}{22} = 0,68$$

$$\text{Scelgo } L1 = 10 \text{ } L_{MIN} \quad L1 = 10 \cdot \frac{1-0,68}{2 \cdot 25 \cdot 10^3} \cdot 6 = 0,038 \cdot 10^{-2} H = 380 \mu H$$

Determinato  $L1$  occorre valutare  $C1$  in funzione del ripple richiesto.

$$\text{Essendo: } \Delta V_{OUT1} = \frac{\Delta Q1}{C1} \Rightarrow \Delta Q1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{T}{2} \right) \cdot \left( \frac{\Delta I_{L1}}{2} \right) = \frac{T \cdot \Delta I_{L1}}{8}$$

$$\Delta V_{OUT1} = \frac{T \cdot \Delta I_{L1}}{8 \cdot C1} = \frac{(1-D)}{8 \cdot L1 \cdot C1 \cdot f^2} \quad \text{da cui:}$$

$$r = \frac{\Delta V_{OUT1}}{V_{OUT1}} \cdot 100 = 3 = \frac{(1-D)}{8 \cdot L1 \cdot C1 \cdot f^2}$$

$$C1 = \frac{(1-0,68) \cdot 100}{8 \cdot 3 \cdot 380 \cdot 10^{-6} \cdot 25^2 \cdot 10^6} = 5,614 \mu F$$

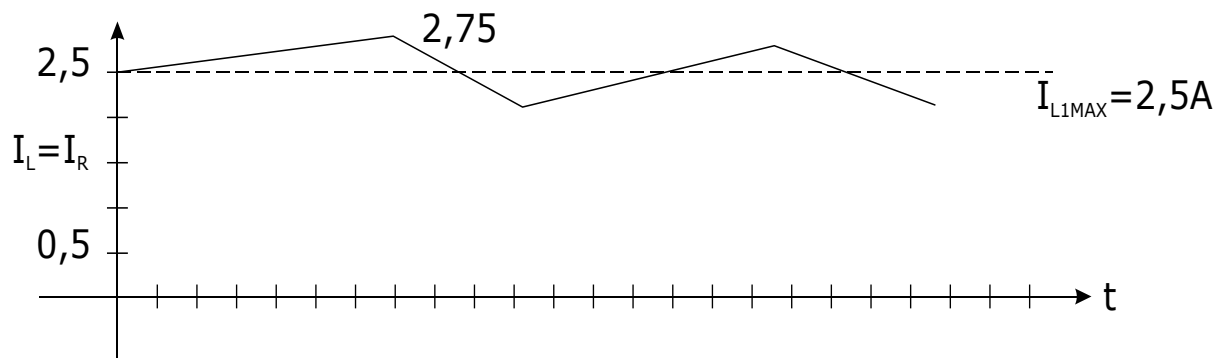
Volendo calcolare la  $I_{MAX}$  con il ripple di corrente si ottiene:

$$I_{L1MAX} = \frac{V_{OUT1}}{R} + \frac{V_{OUT1} \cdot (1-D)}{2 \cdot L1 \cdot f} =$$

$$= 2,5 + \frac{15 \cdot 0,32}{2 \cdot 380 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 10^3} = 2,5 + 0,25 = 2,75A$$

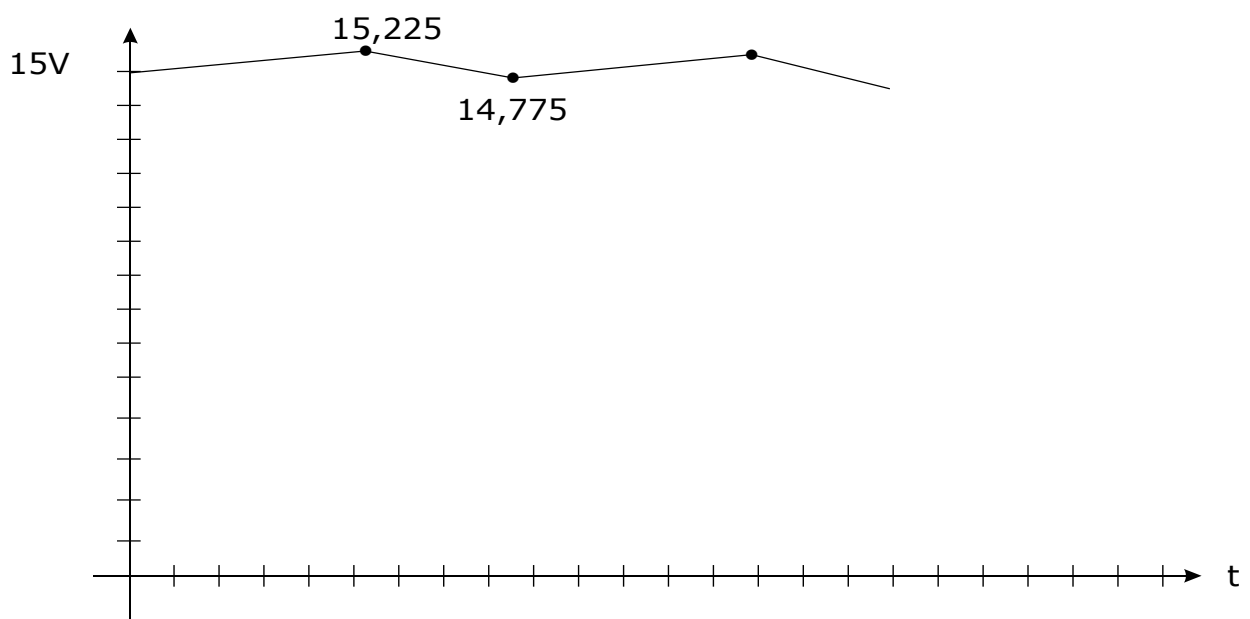
(RIPPLE DI CORRENTE)

Pertanto in condizione di corrente di uscita massima 2,5° la forma della corrente sarà:

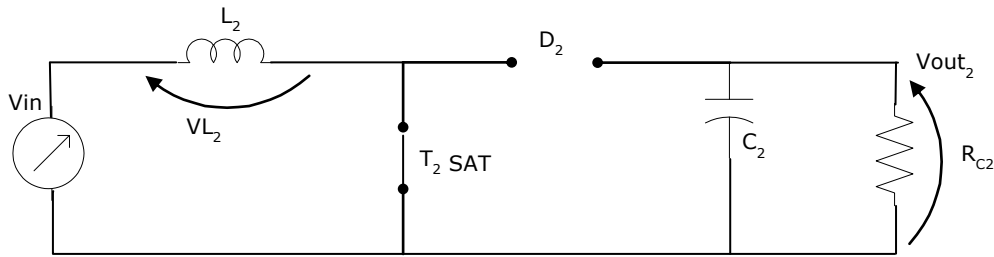


Qualora tale ripple di corrente non sia accettabile è possibile aumentare  $L_1$  o la frequenza effettuando manualmente i calcoli relativi a  $C_1$ .

La tensione di uscita sarà comunque nei limiti del 3% come richiesto e avrà pertanto la seguente forma:



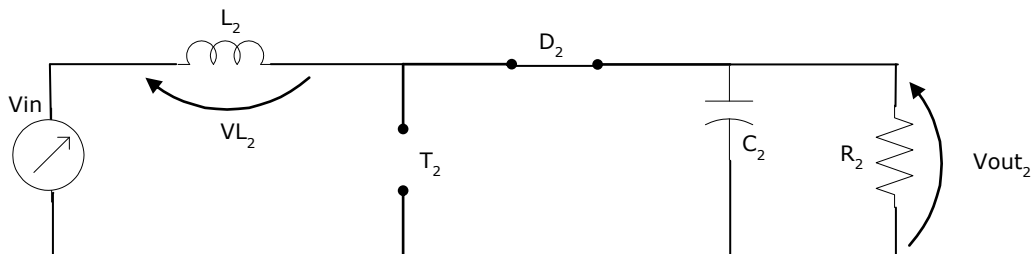
Il secondo circuito (convertitore DC/DC STEP UP o elevatore) funziona nel seguente modo:



Quando  $T_2$  in SAT  $D_2$  è aperto e la tensione  $V_{L2}=V_{in}$  da cui  $V_{IN} = L_2 \cdot \frac{di_{L2}}{dt}$

$$\Rightarrow \frac{di_{L2}}{dt} = \frac{V_{IN}}{L_2} \Rightarrow \Delta I_{L2} = \frac{V_{IN}}{L_2} \cdot DT \leftarrow \text{(DUTY CYCLE)}$$

Quando  $T_2$  è in interdizione la configurazione circuitale diventa la seguente:



$$V_{L2} = V_{IN} - V_{OUT2} = L_2 \cdot \frac{\Delta I_{L2}}{\Delta t}$$

$$dI_{L2} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT2})}{L_2} \cdot \Delta t = \frac{V_{IN} - V_{OUT2}}{L_2} \cdot (1 - D)T$$

Per le condizioni di regime le  $\Delta I_{L2}$  devono sommare a zero nei 2 frazionamenti del transistor per cui:

$$\frac{V_{IN} \cdot DT}{L_2} - \frac{(V_{IN} - V_{OUT2})}{L_2} \cdot (1 - D)T = 0 \Rightarrow V_{OUT2} = \frac{V_{IN}}{1-D}$$

Nello STEP UP quando  $T_2$  è in saturazione (della base) il diodo  $D_2$  non è attraversato da corrente, quindi l'ingresso  $V_{in}$  fornisce energia alla bobina  $L_2$ . Quando  $T_2$  è interdetto l'uscita  $V_{out2}$  riceve energia da ingresso + bobina e per questo  $V_{out2} > V_{in}$ .

La tensione di uscita  $V_{out2}$  è mantenuta costante dal condensatore  $C_2$  in parallelo.

Per dimensionare  $L_2$  e  $C_2$  occorre effettuare le seguenti operazioni, tenuto conto che si vuole far lavorare il convertitore in condizione CCM (Continuous Current Mode).

$$L_2 = 10L_{2min} = 10 \cdot \frac{D(1-D)^2 \cdot R_{c2}}{2f}$$

$$\text{Poiché } R_{c2} \text{ è } R_{c2} = \frac{V_{out2}}{I_{max2}} = \frac{28}{7} = 4\Omega$$

Si sceglie  $f=25\text{KHz}$  come nel caso precedente è oltre udibile.

Il calcolo di  $D$  si ottiene considerando  $V_{in\ min}=18\text{V}$

$$V_{out2} = 28 = \frac{18}{1-D} \rightarrow 28 \cdot (1 - D) = 18 \rightarrow D = \frac{28-18}{28} = \frac{10}{28} = 0,357$$

$$\text{Da cui: } L_2 = 10 \cdot \frac{0,357 \cdot (1-0,357)^2 \cdot 4}{2 \cdot 25 \cdot 10^3} = 118\mu\text{H}$$

In tal caso il ripple di corrente risulta:

$$\Delta I_{L2} = \frac{V_{in} \cdot D}{2L_2 f} = \frac{18 \cdot 0,357}{2 \cdot 118 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 10^3} = \frac{6,426}{5,9} = 1,089\text{A}$$

$$r_{I\%} = \frac{\Delta I_{L2}}{\Delta I_{2\ max}} = 0,15$$

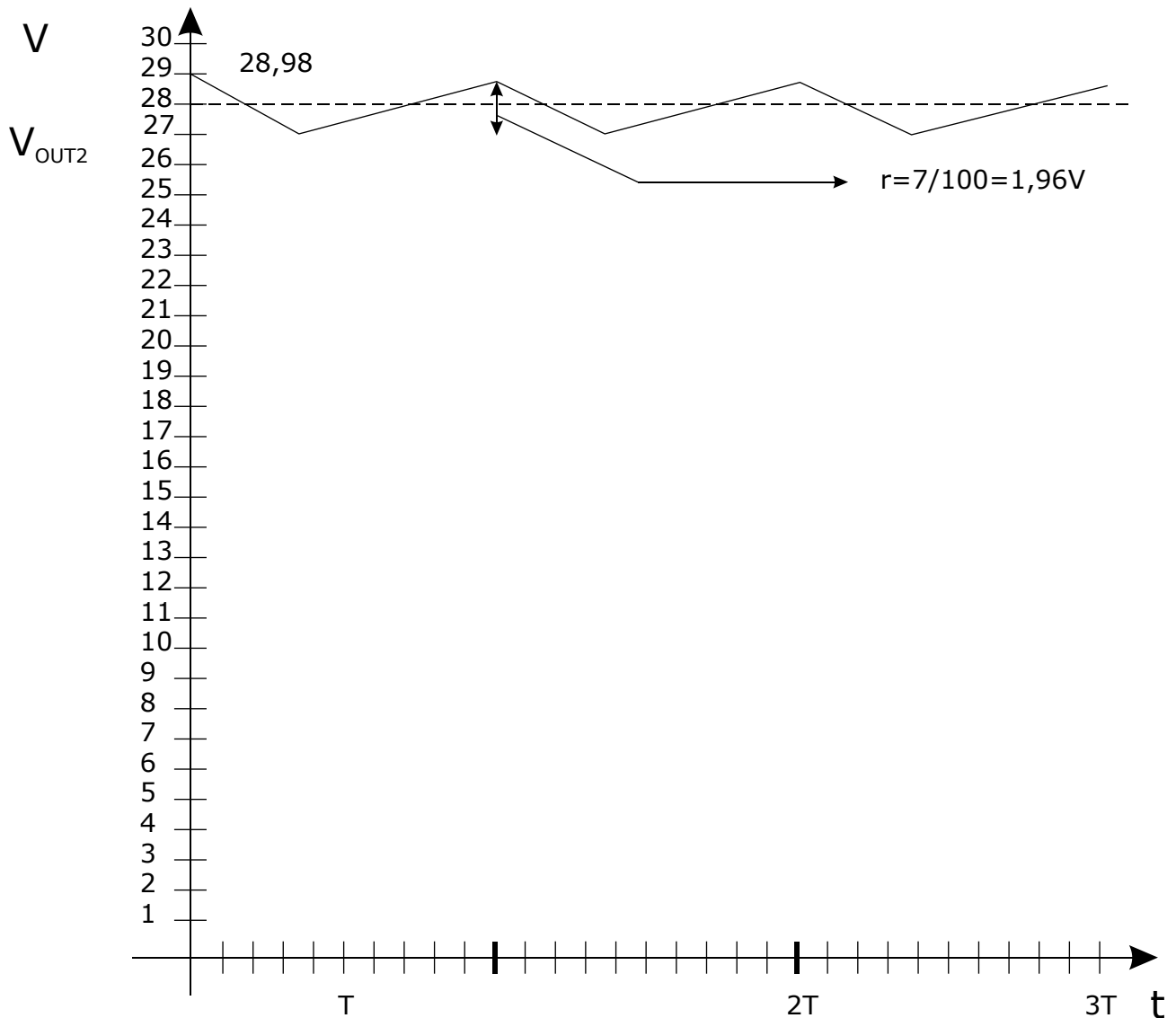
Per quanto riguarda il ripple di tensione richiesto inferiore al 7%, si calcola  $C_{2min}$  pari a:

$$r_{0\%} = 7 = \frac{\Delta V_{out2}}{V_{out2}} \cdot 100 = \frac{D}{R_2 \cdot C_{2min} \cdot f} \cdot 100$$

$$C_{2min} = \frac{D}{7 \cdot R_2 \cdot f} \cdot 100 = \frac{0,357 \cdot 100}{7 \cdot 4 \cdot 25 \cdot 10^3} = \frac{0,357 \cdot 100}{7 \cdot 100 \cdot 10^3} = 51 \mu F$$

è sufficiente scegliere  $C_2 > 51 \mu F$  come per esempio  $60 \mu F$  per ottenere il ripple inferiore al limite imposto.

Pertanto la tensione di uscita avrà la seguente forma scegliendo una  $C_2 \geq C_{2min}$ .



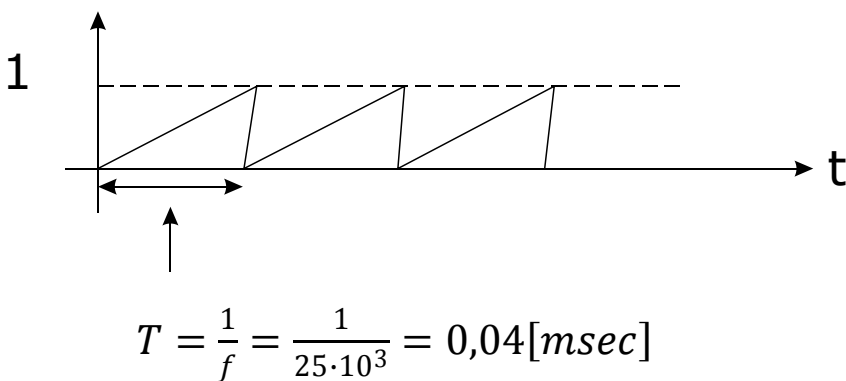
Lo schema di controllo sarà doppio qualora si abbiano 2 uscite  $V_{out1}$  e  $V_{out2}$  disponibili contemporaneamente. Il primo schema di controllo e il secondo schema avranno in comune il blocco che funziona come il generatore di segnale del tipo dente di sega a frequenza  $25 K_{hz}$ , che verrà di seguito meglio dettagliato.



Il controllo opera nel seguente modo: per entrambi i convertitori, la tensione viene misurata in uscita ossia vengono prelevate con opportuno partitore R le tensioni  $V_{out1\ mis}$  e  $V_{out2\ mis}$ .

Tali segnali (proporzionalmente ridotti per esempio di un fattore 10) vengono inviati a un nodo sottrattore, dove all'ingresso positivo viene applicata opportunamente ridotta la tensione di riferimento, nel primo caso abbiamo che:  $V_{REF1} = \frac{15}{10} = 1,5V$ , nel secondo caso  $V_{REF2} = \frac{28}{10} = 2,8V$ .

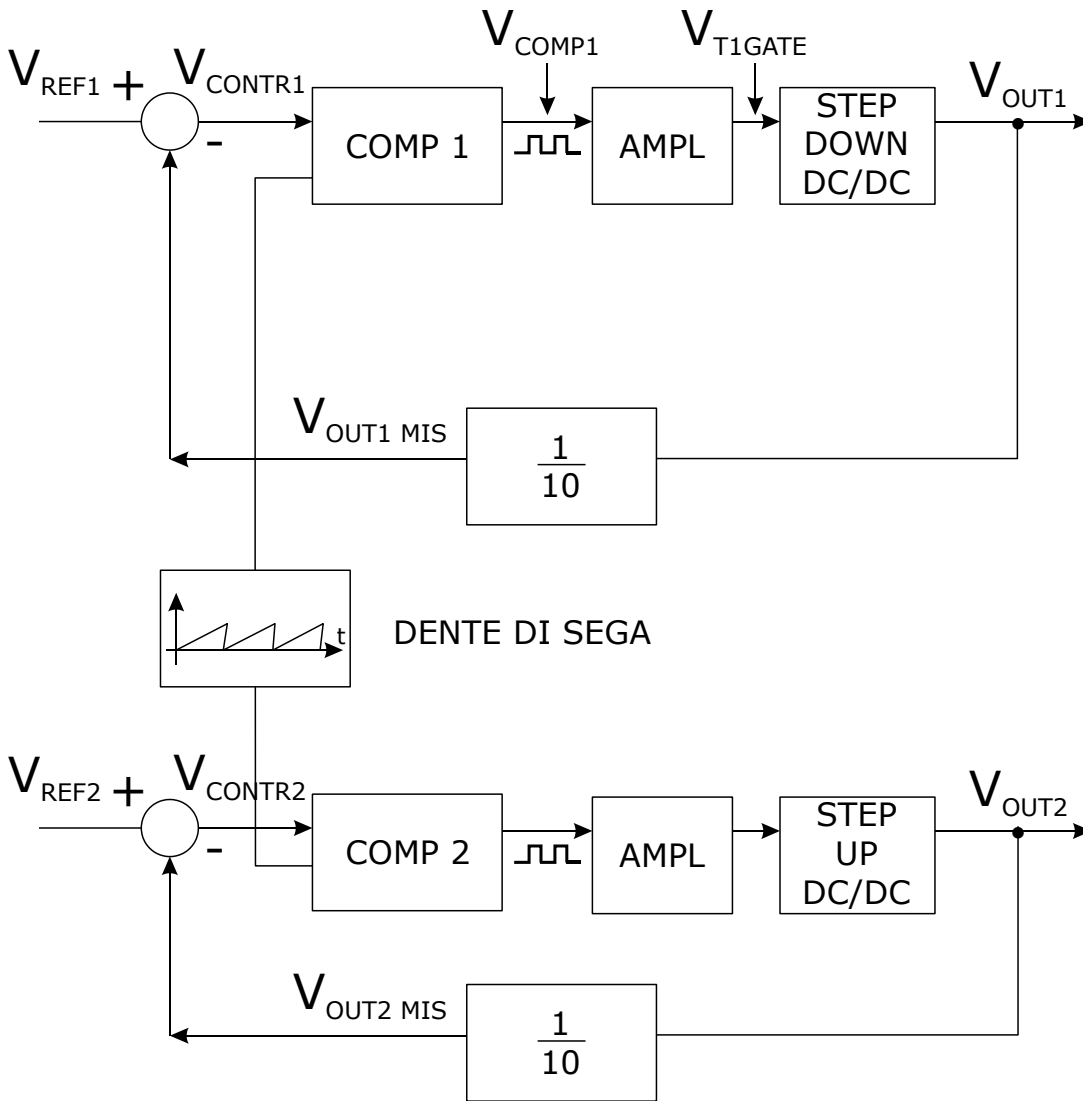
Le differenze, denominate  $V_{CONTR1}$  e  $V_{CONTR2}$  rispettivamente vengono applicate ciascuna a un comparatore COMP1 e COMP2 a cui è applicato un segnale del tipo dente di sega come il seguente:



L'uscita del comparatore costituisce il segnale utile al comando dei transistor  $T_1$  e  $T_2$  per portarli in saturazione o in interdizione creando il D (duty Cycle) adeguato a produrre in uscita la tensione richiesta. Il Duty Cycle non è fisso in quanto la tensione di ingresso  $V_{in}$  è soggetta a variazioni tra 18 e 22V.

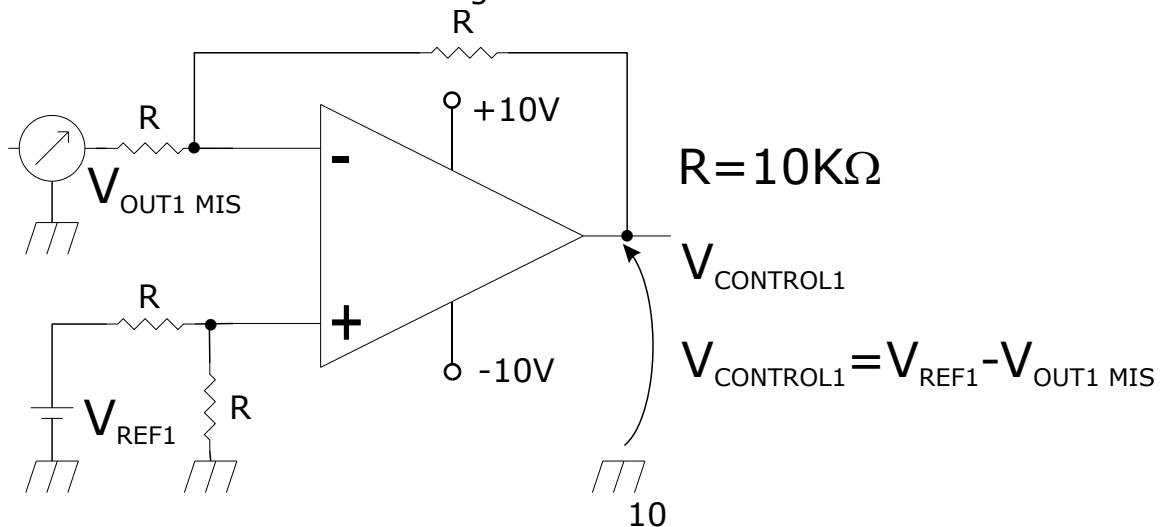
I valori calcolati precedentemente per il dimensionamento si riferiscono alle condizioni peggiori per i 2 convertitori (22V per lo STEP DOWN BUCK e 18V per lo STEP UP BUSTER).

Ecco di seguito lo schema di controllo e alcune indicazioni sui circuiti elettronici da realizzare:



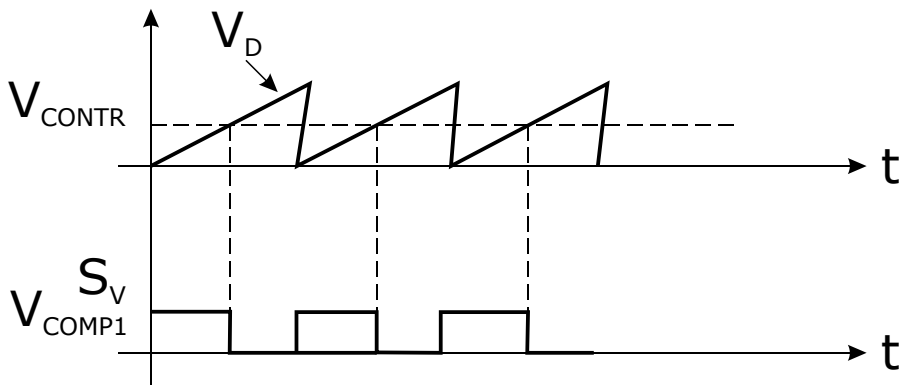
Il nodo sottrattore può essere realizzato mediante Operazionale amplificatore  $\mu A741$  in configurazione differenziale.

Con  $V_{REF1}$  (o  $V_{REF2}$ ) al morsetto non invertente e  $V_{OUT1 MIS}$  (o  $V_{OUT MIS2}$ ) al morsetto invertente come segue:



Il comparatore COMP1 (o COMP2) è realizzato mediante normale comparatore, possibilmente alimentato a 0 e 5V.

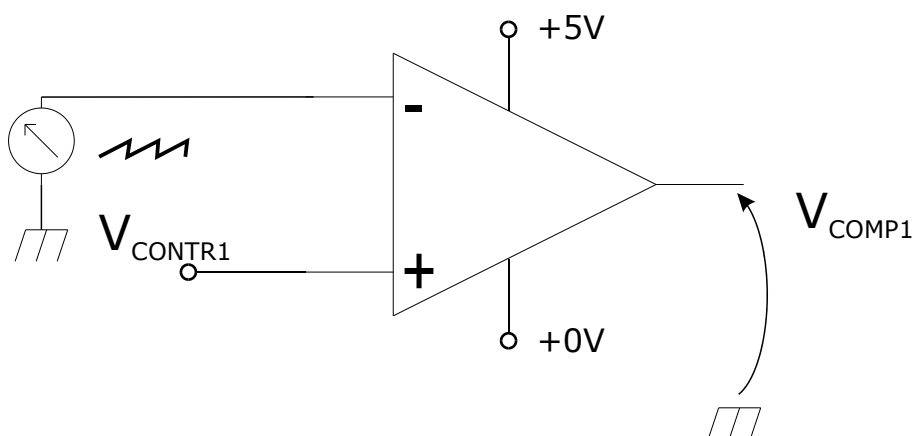
Pertanto il segnale di ingresso  $V_{CONTR1}$  viene confrontato con un dente di sega di ampiezza 1 producendo il seguente segnale di uscita:



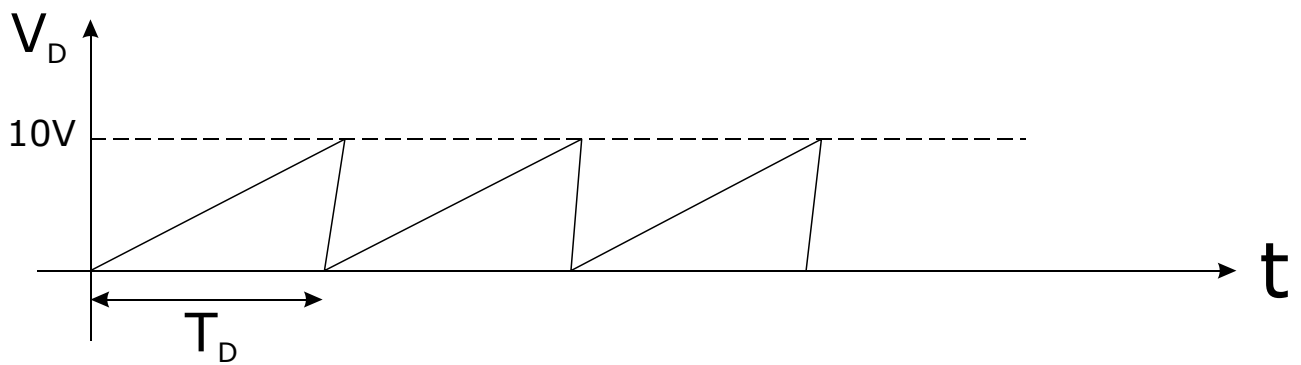
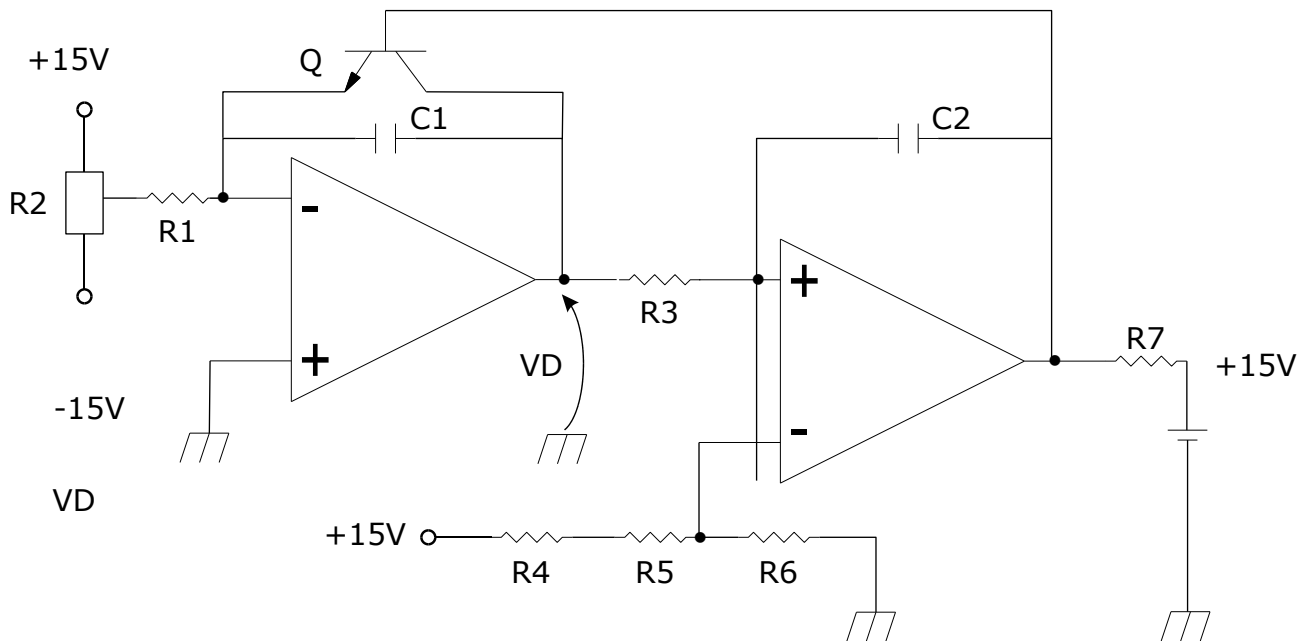
Tanto maggiore è l'errore e quindi  $V_{out1\ mis}$  inferiore a quella di riferimento e tanto maggiore è la durata della parte positiva e quindi maggiore è il D (Duty Cycle).

Il segnale  $V_{COMP1}$  deve essere ancora amplificato per diventare il segnale di pilotaggio per la base o Gate del transistor  $T_1$ .

Il comparatore è realizzato nel seguente modo:



Generatore a Dente di Sega:



$T_D$  nel nostro caso deve essere 25 K<sub>hz</sub> :

$$T_D = \frac{R_1 \cdot C_1 \cdot 10}{V_i \text{ del potenziometro } R_2} = \frac{10^5 \cdot C_1}{V_i} = 0,04 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Scegliendo } R_1=10\text{K}\Omega \text{ } V_i=4\text{V} \rightarrow C_1 = \frac{0,04 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{10^5} = 0,12 \cdot 10^{-8} = 1,2\text{nF}$$

$$R_2=0 \div 10\text{K}\Omega \quad C_2=2,20\text{pF} \quad R_3=22\text{K}\Omega$$

Per quanto riguarda il transistor si può pensare di utilizzare un BJT (NPN) 2N3055 o (PNP) MJ2955 o passare a Mosfet di potenza.

Nel caso si scelga BJT occorre prendere le seguenti protezioni:

- protezione sovraccarico e  $\frac{di}{dt}$  elevati
- protezione cortocircuito
- circuitodi raffreddamento
- circuitodi SNUBBER in parallelo onde evitare effetto di breakdown secondario.

Occorre comunque tenere presente che la frequenza è 25 K<sub>hz</sub> onde evitare rumore, da cui potrebbe risultare più conveniente un mosfet e in talcaso potrebbe essere facile considerare la connessione di 2 Mosfet in parallelo.