

Capitolo 10

I Convertitori CC/CC

Avendo a disposizione interruttori statici quali le valvole a semiconduttore è possibile realizzare generatori pilotati di tensione (o di corrente) in grado di convertire l'energia con un ottimo rendimento. Un esempio estremamente efficace di convertitore in grado di regolare una tensione continua è rappresentato nello schema di fig.1, nel quale un resistore viene collegato periodicamente ad una linea in corrente continua mediante un "interruttore statico ideale" IS , ottenendo la possibilità di variare con continuità il rapporto tra valore medio della tensione applicata al carico e la tensione di alimentazione in c.c., semplicemente variando il rapporto tra tempo di chiusura (T_{ON}) e tempo di ciclo (T).

Si noti che, se l'"interruttore statico" è ideale (cioè possiede: caduta di tensione nulla nello stato di conduzione, corrente nulla nello stato di blocco e passaggio istantaneo tra i due stati), un dispositivo di questo tipo realizza la regolazione della tensione sul carico senza perdite di energia.

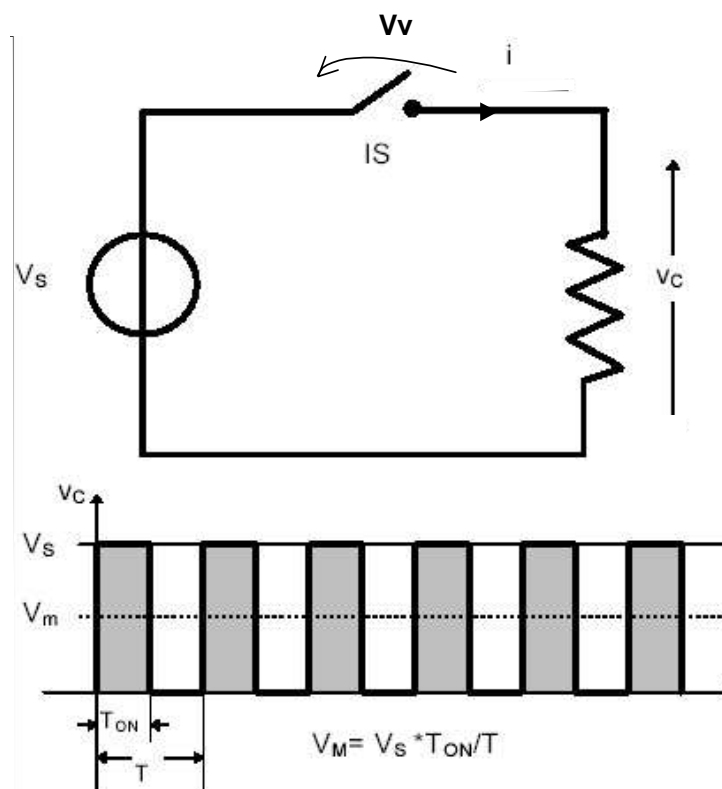


Fig. 1 Chopper Ideale su carico Resistivo.

Infatti nella fase di blocco la potenza dissipata ($V_v \cdot I$) è nulla perché è nulla la corrente, mentre nella fase di conduzione la potenza dissipata ($V_{Valv} \cdot I$) è nulla perché è nulla la caduta di tensione; con l'uso di valvole reali questa perdita non è nulla, ma (tenuto conto dei bassi valori della c.d.t. in stato di conduzione e della corrente in stato di blocco) essa costituisce in generale una frazione modesta della energia trasmessa.

Si noti inoltre che la tensione di uscita in c.c., pur avendo un valore medio regolabile a volontà, si discosta dal (desiderato) andamento costante e può essere considerata come la somma di un valore costante V_m più una componente alternativa distorta ad onda quadra.

I convertitori c.c.-c.c.

4.2.1 Il frazionatore (chopper) semplice

Il circuito illustrato in fig. 1 non potrebbe funzionare con carico induttivo perché l'induttanza, opponendosi ad una rapida variazione della corrente, impedirebbe la rapida apertura del circuito generando una elevata f.e.m. tale da guastare l'interruttore statico Valv al momento della sua apertura.

La fig. 2a illustra un circuito che, ovviando a questo inconveniente, è adatto a funzionare su carico induttivo. Esso differisce da quello precedente per la presenza del diodo D, che costituisce una via di conduzione alla corrente induttiva durante gli intervalli di apertura di Valv. Il diodo D si comporta in effetti come un interruttore che opera in opposizione rispetto a Valv: chiuso quando Valv è aperto, ed aperto quando Valv è chiuso.

Questo circuito detto "frazionatore" o "chopper" consente di ottenere in uscita una tensione con valore medio regolabile tra 0 e V_1 in proporzione al rapporto $\delta = T_{ON} / T$; la tensione di uscita oscilla attorno al valore medio con frequenza $f = 1/T$; l'ondulazione di corrente è tanto minore quanto maggiore è la induttanza del carico e la frequenza f .

La figura mostra anche l'andamento delle varie tensioni e correnti agenti nel circuito.

Le relazioni che legano i valori medi delle correnti e delle tensioni sono riportati nelle 10.1

$$10.1 \quad V_2 = \delta \cdot V_1 \quad \text{ove} \quad \delta = \frac{T_{ON}}{T} \quad I_2 = \frac{V_2}{R} = \frac{\delta \cdot V_1}{R}$$

L'andamento della corrente è costituito dal succedersi dei transitori che seguono alle chiusure e aperture della valvola. Il calcolo dell'ampiezza dell'ondulazione di corrente può essere effettuato facilmente se si considera che, a regime, la corrente nel carico può essere considerata come la somma di un valore costante pari a V_m/R ed una corrente alternativa conseguente all'applicazione di un'onda quadra (generalmente dissimmetrica) di tensione, di ampiezza pari a $(1-\delta) \cdot V_1$ in senso positivo di durata T_{on} , e $\delta \cdot V_1$ in senso negativo di durata T_{off} . Se il carico è ohmico-induttivo (come in figura), l'andamento è dato dal succedersi di curve esponenziali in salita e in discesa con costante di tempo pari a L/R .

Se $L/R \gg T$, tali curve possono essere approssimate, nell'ambito di un periodo, come rette, e in tal caso è immediato dimostrare che esistono i legami delle 10.2 tra i valori medi della correnti e che l'oscillazione di corrente ΔI_2 intorno al valor medio si può esprimere come indicato nella 10.3.

$$10.2 \quad I_1 = \delta \cdot I_2 \quad I_D = I_2 - I_1 = (1 - \delta) I_2$$

$$10.3 \quad \Delta I_2 = \frac{V \delta (1 - \delta) T}{L}$$

Il valore medio della tensione dipende dal rapporto δ e può assumere qualunque valore positivo compreso tra 0 e V_1 ; il valore della corrente dipende dal carico; essa comunque deve fluire dall'alimentazione verso l'uscita, e non può invertirsi, data la natura unidirezionale della valvola Valv e del diodo D. Perciò questo circuito consente il funzionamento solo sul primo quadrante del piano $V_2 - I_2$. Il valore della tensione media di uscita (V_2) inoltre è sempre minore o al massimo uguale di quella in ingresso V_1 , per tale motivo questo tipo di chopper è anche detto “abbassatore”.

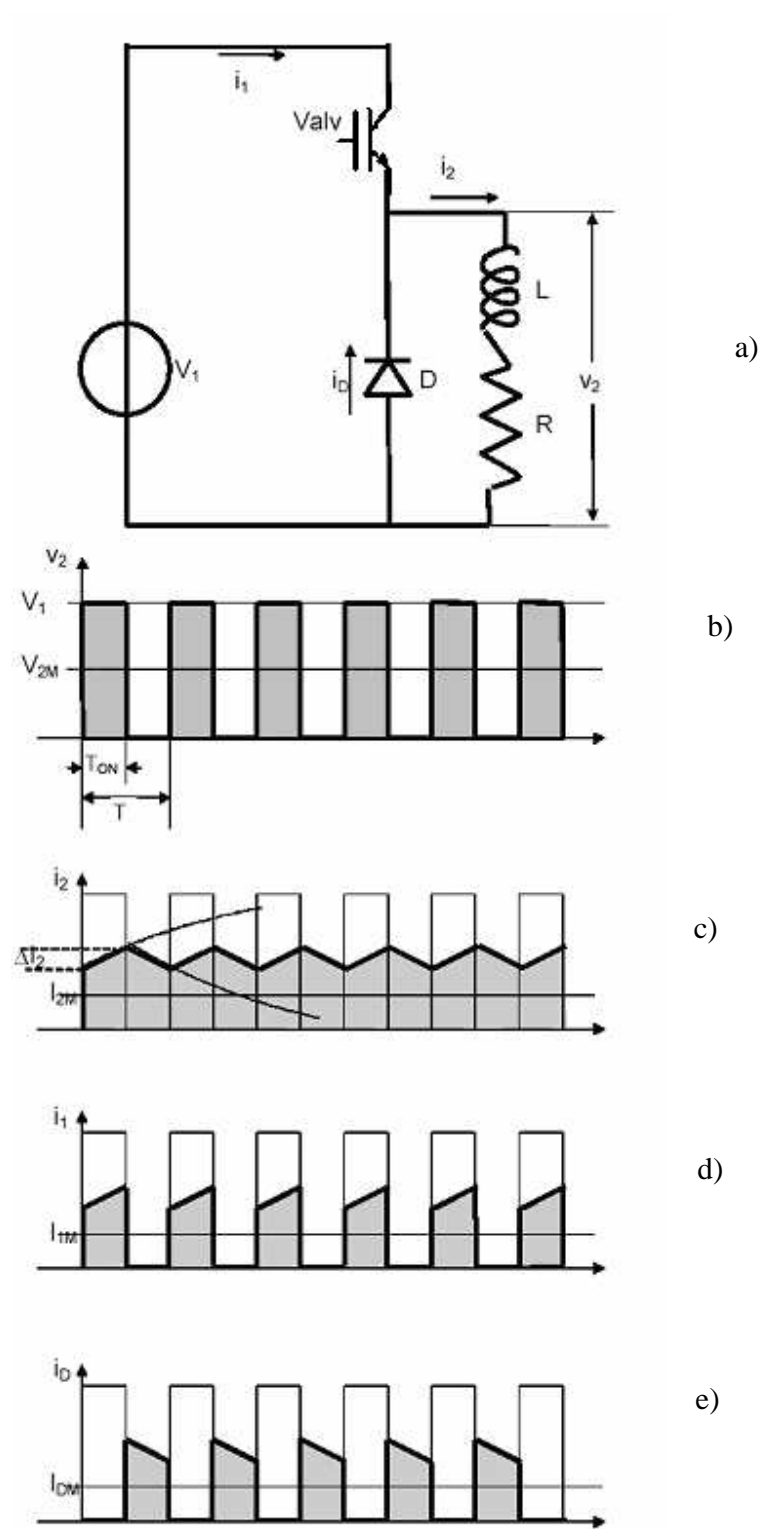


Fig. 2 Chopper Reale su carico ohmico induttivo

Il chopper a 2 e 4 quadranti

Affinché il frazionatore possa gestire situazioni in cui la corrente i_2 assume valori negativi, ad esempio quando il carico è rappresentato da un motore in condizioni di frenatura, è necessario rimuovere il vincolo di unidirezionalità della corrente corredando lo schema di fig. 2a di due ulteriori valvole (un diodo e una valvola a commutazione forzata).

E' chiaro che questa situazione si può presentare solamente se il carico può essere "attivo" cioè contenere un generatore di tensione (situazione che si incontra con il motore elettrico) così come rappresentato in fig. 3

Nel caso di funzionamento con corrente positiva saranno coinvolte le valvole Valv_2 e D_1 viceversa Valv_1 e D_2 nel caso di corrente negativa.

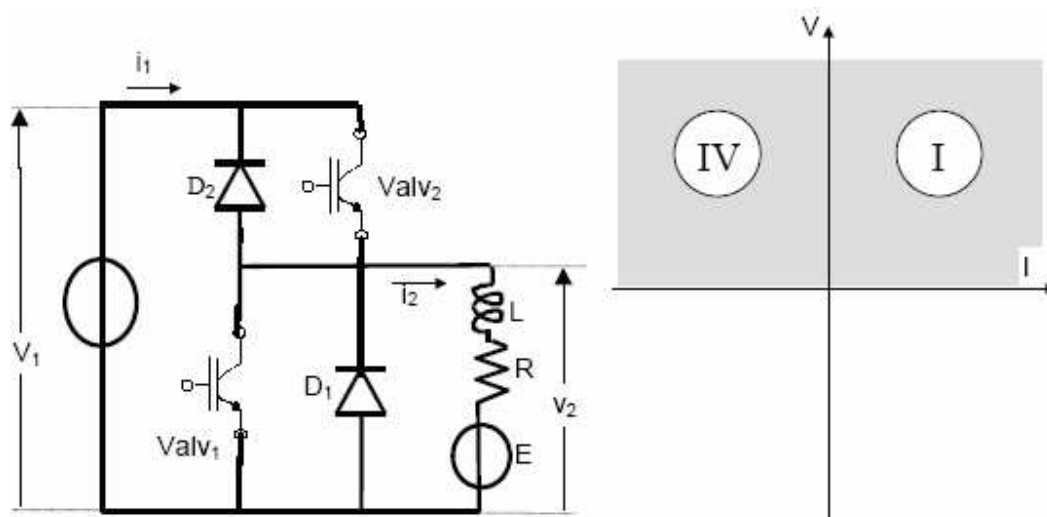


Fig. 3 Chopper a 2 quadranti su motore a C.C.

Con un sistema di questo tipo è possibile pilotare motori con frenatura a recupero di energia.

Analizziamone il comportamento in presenza di un cambiamento della direzione delle correnti e quindi di inversione del flusso di energia. In questo caso occorre che il dispositivo permetta il fluire della corrente da una sorgente a tensione più bassa (il motore) ad una con tensione più alta (la sorgente di alimentazione V_1), quindi il chopper funziona nella configurazione di "elevatore". In Figura 4 viene riportato lo schema del chopper quando funziona in questa condizione trascurando la presenza delle valvole inattive (Valv_2 e D_1) e la resistenza R del motore.

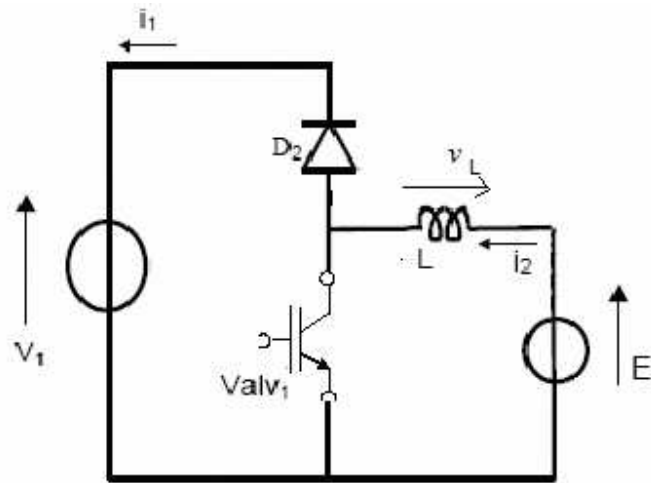


Fig. 4 – Schema del chopper per il recupero di energia o frenatura.

Come si può notare dalla Fig. 4, lo schema del chopper nella condizione di “elevatore” o frenatura rispetto al chopper “abbassatore” (si veda fig. 2a), la valvola pilotata ed il diodo sono esattamente scambiati.

Riferendosi nuovamente al pilotaggio della valvola $Valv_1$ durante il funzionamento, le equazioni seguenti corrispondono quindi rispettivamente alle equazioni del sistema nella fase di accensione 1) e nella fase di spegnimento 2) di essa:

$$\begin{array}{lll}
 1) & E = L \frac{di_2}{dt}; & \frac{di_2}{dt} = \frac{E}{L} \quad i_1=0; \quad i_2 \text{ crescente} \\
 2) & E - L \frac{di_2}{dt} = V_1 & \frac{di_2}{dt} = \frac{E - V_1}{L} \quad i_1=i_2; \quad i_2 \text{ decrescente}
 \end{array}$$

Il passaggio dell’energia in direzione inversa è, quindi, reso possibile dall’elemento induttivo, che nella fase di accensione della valvola viene caricato dalla tensione E relativa alla f.e.m. del motore, e nella successiva fase di spegnimento contribuisce ad innalzare la tensione E ad un valore prossimo a V_1 (leggermente maggiore) consentendo la polarizzazione del diodo D_2 .

Infatti nella fase di accensione la corrente I_2 aumenta poiché il circuito si chiude attraverso la $Valv_1$ e si accumula energia nella induttanza L ($E_L = LI^2/2$), la tensione v_L sull’induttanza è quindi positiva. Quando si “spegne” la $Valv_1$ affinché venga rispettata la legge di Kirchhoff delle tensioni v_L dovrà essere negativa e la corrente I_2 quindi deve diminuire.

Ovviamente in un chopper a 2 quadranti sono presenti entrambe le configurazioni, riunite in un unico dispositivo (come già indicato in fig. 3). Il cambio di configurazione e funzionamento avviene in modo elettronico attraverso i comandi delle valvole $Valv_1$ e $Valv_2$.

Volendo ora ottenere un funzionamento reversibile sia in corrente che in tensione (cioè il funzionamento a 4 quadranti), si può utilizzare la configurazione di fig. 4.

Chiudendo infatti la valvola 4 e facendo funzionare le valvole 1 e 2 come illustrato nel circuito precedente, si ottiene sul carico una tensione positiva con corrente bidirezionale; chiudendo invece la valvola 1 e facendo funzionare alternativamente le valvole 3 e 4 si ottiene sul carico una tensione negativa.

Tale convertitore è applicato al comando di motori in cui si desidera avere frenatura a recupero di energia e funzionamento con velocità di rotazione in entrambi i versi.

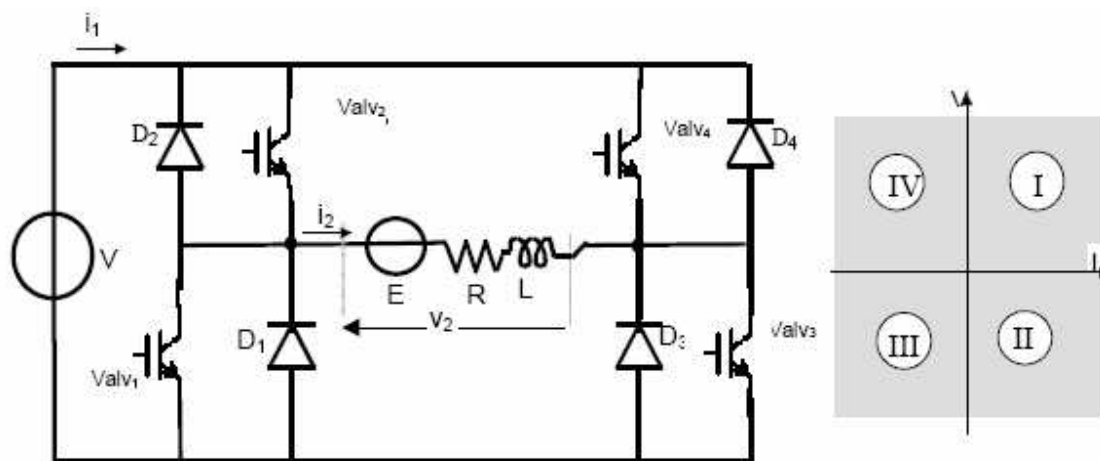


Fig. 4 Chopper a 4 quadranti