

CONVERTITORI

CONVERTITORE: DISPOSITIVO CAPACE DI VARIARE GRANDEZZE ELETTRICHE UTILIZZANDO COMPONENTI ELETTRONICI DI POTENZA.

Il trasformatore non usa componenti elettronici e lascia invariata la frequenza

CLASSIFICAZIONE CONVERTITORI

Si classificano in base alla tipologia di grandezze in ingresso e in uscita:

RADDRIZZATORI



INVERTER



CHOPPER



CONVERTITORI AC/AC



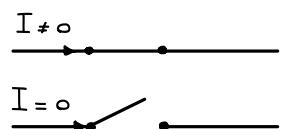
DISPOSITIVI A SEMICONDUTTORE

La costruzione dei convertitori si basa sul funzionamento di componenti a base di Silicio, detti "componenti elettronici di potenza".

Sebbene abbiano caratteristiche nel piano $i-V$ non lineari possono essere assimilati a interruttori ideali con brevissimo tempo di intervento in apertura / chiusura.

Si possono suddividere in:

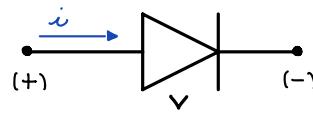
- COMPONENTI NON CONTROLLATI \rightarrow non posso controllare se e quando passa corrente
- CONTROLLATI IN CHIUSURA \rightarrow Posso controllare solo quando passa corrente
- CONTROLLATI (TRANSISTOR) \rightarrow Posso controllare sia apertura che chiusura



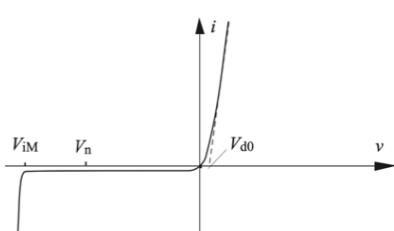
DIODO

E' un dispositivo capace di condurre in un solo verso (UNIDIREZIONALE) e non puo' essere controllato. In particolare quando la V ai suoi capi e' $(+)$, il diodo presta RESISTENZA NULLA (CIRCUITO CHIUSO), mentre per $V < 0$, il diodo apre i suoi terminali (CIRCUITO APERTO).

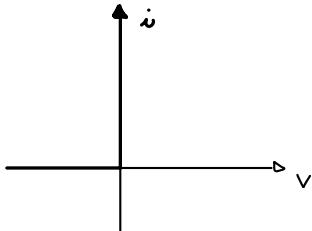
- ANODO (+) e CATODO (-)
- SIMBOLO CIRUITALE:
- Se attraversato da una corrente elevata (I_A), puo' arrivare a tensioni di valori problematici (TENSIONI DI ROTTURA), $V_{IM} = V_{D,0} + R_{D,0} \cdot i_{max} \approx kV$
- 1. Se $V < V_{max}$ \rightarrow ROTTURA
- 2. $V_{max} < V < V_{D,0}$ \rightarrow CORRENTE INVERSA ($\approx 10^{-6} A$)



DIODO REALE



DIODO IDEALE

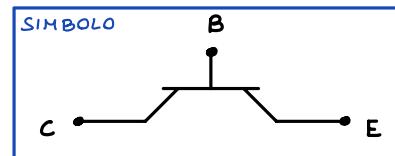
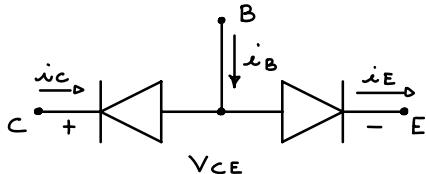


BJT (BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR)

Il "TRANSISTOR A GIUNZIONE" è un elemento di silicio che si comporta come un **INTERRUTTORE UNIDIREZIONALE CONTROLLATO**, in cui è posto un terminale di controllo B che controlla la tensione in modo da aprire / chiudere l'interruttore quando si vuole.

Si schematizza come due diodi in serie contrapposta, notare che:

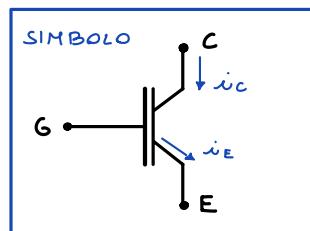
- $i_B = 0 \rightarrow i_C = 0$ (APERTO)
- $V_{BE} > 0 \rightarrow i_B > 0$, quindi se $V_{CE} > 0 \rightarrow i_C \approx i_E > 0$ (CHIUSO)
- $V_{CE} < 0 \rightarrow i_C = 0 \neq i_B$



Resiste a frequenze di accensione / spegnimento di $f \approx 1-10$ KHz e $I_N \approx (500 - 700)$ A; inoltre i_B (**CORRENTE DI CONTROLLO**) $\ll i_C$ (**CORRENTE DI POTENZA**)

IGBT (INSULATED GATE BIPOLAR JUNCTION)

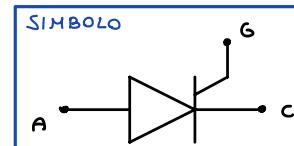
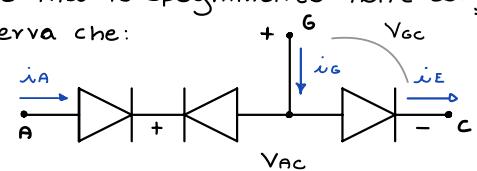
Simile al BJT, ma ha **VELOCITA' DI COMMUTAZIONE** fino a 10 KHz e correnti ai terminali di controllo molto basse, infatti il dispositivo è **CONTROLLATO IN TENSIONE (VGE)**. È usato per potenze elevate poiché sopporta $I_N >$ del BJT.



SCR (SILICON CONTROLLED RECTIFIER)

È un dispositivo **SEMI CONTROLLATO**, poiché è possibile da accendere ma lo spegnimento non è controllato. È analogo a 3 diodi come in figura, con un gate; si osserva che:

- $i_G = 0 \rightarrow$ APERTO O INTERDETTO
- $V_{AC} > 0$, da un piccolo impulso di i_G (**CORRENTE DI LATCHING**, ≈ 100 mA), il diodo centrale commuta in conduzione e per V_{AC} non inferiore a 1V e $i_A > 0$, rimane chiuso anche se spegno i_G ($V_{AC} > 0$, $i_G \approx 100$ mA, $V_{AC} \approx 1$ V, $i_A > 0 \rightarrow$ CHIUSO)
- $i_G > 0$, $V_{AC} < 0 \rightarrow$ SCR **INTERDETTO PERMANENTE**
- $f \approx 500$ Hz, $I_N \approx 5$ KA . È chiamato anche **DIODO CONTROLLATO** (in chiusura) o **TRISISTORE**.



RADDISSIONATORI AC/DC

Sono dispositivi che "tagliano" la funzione sinusoidale in ingresso approssimandola il più possibile a una retta.

PARAMETRI DI BONTÀ'

Valutano quanto è "diritta" l'onda raddrizzata.

$$\delta_{VM} \triangleq (\Delta \text{ valor max e min della tensione})$$

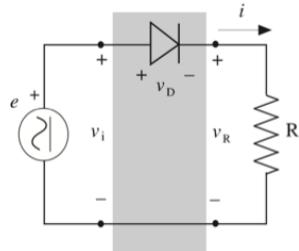
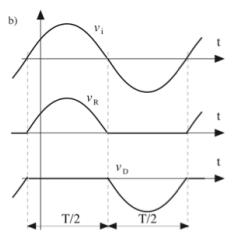
$$K_o \triangleq \frac{1}{2} \frac{\delta_{VM}}{V_M} \quad (\text{FATTORE DI ONDULAZIONE o di RIPPLE})$$

BONTÀ' CRESCE SE $K_o \downarrow$ E $V_M \uparrow$

MONOFASE A SINGOLA SEMIONDA

Composti da un diodo con ingresso in AC come in figura:

- KIRCHHOFF $\rightarrow V_i(t) = V_D(t) + V_R(t)$, se $V_i < 0 \rightarrow i=0$ quindi viene "tagliata" l'onda negativa
- VALOR MEDIO $= V_M = \frac{1}{T} \int_T V_R(t) dt = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E \approx 0.45 E_{eff}$
- $\delta_{VM} = \sqrt{2} E$
- $K_o = \pi/2$



Il circuito di controllo c'è ma non è rappresentato

MONOFASE A DOPPIA SEMIONDA CON TRASFORMATORE

Composti da due diodi come in figura, che selezionano solo i valori positivi di tensione e sono alternativi, ossia se uno è interdetto l'altro è in conduzione.

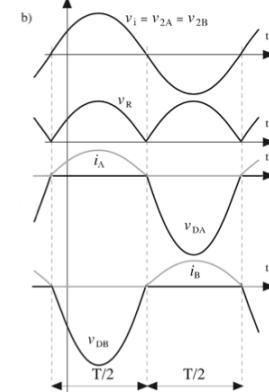
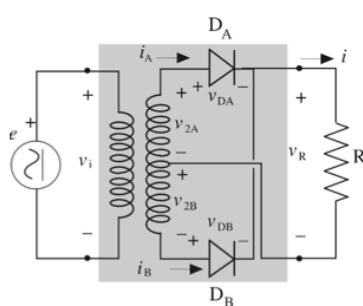
- $V_{2A} = V_{2B} = V_i(t) \rightarrow$ TRASFORMATORE A PRESA CENTRALE CON OPPORTUNO Z

• KIRKHOFF:

$$\begin{cases} V_i(t) = V_{DA}(t) + V_R(t) \\ V_i(t) = V_{DB}(t) - V_R(t) \end{cases}$$

• I DIODI SONO ALTERNATIVI

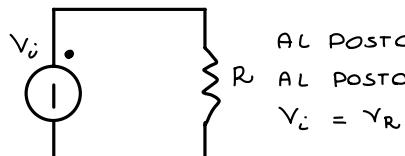
- $V_M = 0.9 E$, $K_o = \pi/4$
(MEGLIO DI SINGOLA SEMIONDA)



RADDISSIONATORI A DOPPIA SEMIONDA A PONTE DI GRAETZ

Il circuito è composto da 4 diodi polarizzati nello stesso modo a COPPIE OPPOSTE. Nel momento in cui collego il generatore vanno in conduzione alternativamente le coppie di diodi "ALTERNATIVAMENTE":

1. $V_i(t) > 0 \rightarrow D_A'$ e D_B'' sono chiusi e D_A'' , D_B' sono aperti
e il circuito in cui passa corrente è il seguente

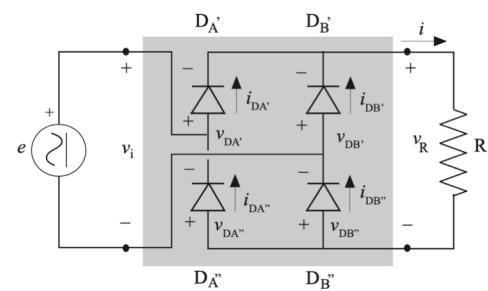


AL POSTO DI D_A' e D_B'' METTO DEI CORTI

$V_i = V_R$

2. $V_i(t) < 0 \rightarrow$ ACCADE IL CONTRARIO ($V_i = -V_R$)

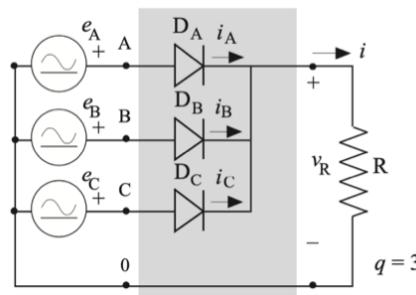
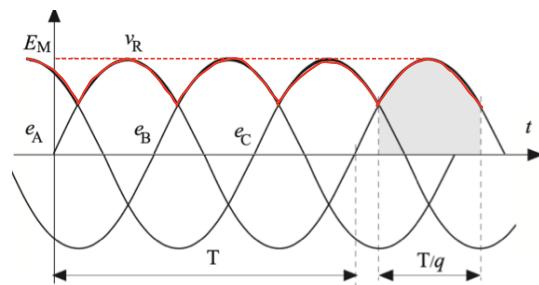
$$\bullet V_M = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E = 0.9 E \quad K_o = \pi/4 \quad \rightarrow \text{UGUALE AL PRECEDENTE (ma costa di meno perche' non c'e' il trasformatore)}$$



RADDISSIONE TRIFASE A GRUPPI DI COMMUTAZIONE

Serve per avere approssimazioni a DC più precise, infatti all'aumentare delle fasi aumenta l'efficienza del raddrizzatore.

Consideriamo il seguente circuito, dato che le tensioni sono sfasate di $\frac{2}{3}\pi$, ogni $\frac{2}{3}\pi$ avrà una commutazione, graficamente si osserva che:



$$\begin{cases} V_{DA} = e_A - v_R \\ V_{DB} = e_B - v_R \\ V_{DC} = e_C - v_R \end{cases}$$

• $V_M = E_M \cdot \frac{3}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} =$

PARAMETRI PER RADDISSIONATORI POLIFASE

$$T_{COMMUTA.} = \frac{T}{N^{\circ}F}$$

$$V_M = E_M \cdot \frac{N^{\circ}F}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{N^{\circ}F} \right)$$

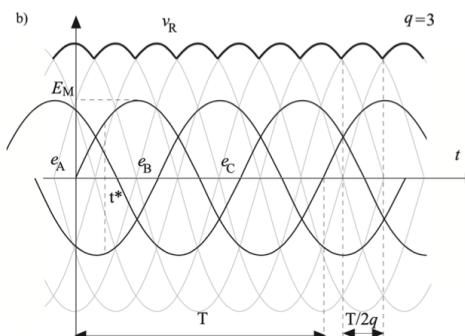
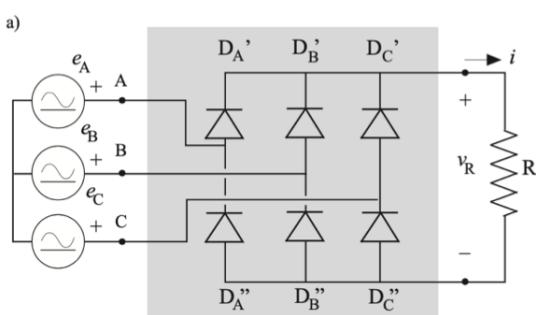
$$K_0 = \frac{\pi}{2N^{\circ}F} \cdot \tan \left(\frac{\pi}{2N^{\circ}F} \right)$$

$$\delta V_M = E_M (1 - \cos \pi / N^{\circ}F)$$

TRIFASE A PONTE DI GRAETZ (A 12 IMPULSI)

Come nel monofase, sono polarizzati a coppie; in ogni istante la "TENSIONE DI USCITA E' LA DIFFERENZA TRA LA V* PIU' ALTA E QUELLA PIU' BASSA".

- OGNI $\frac{\pi}{3}$ HO UNA COMMUTAZIONE
- $K_0 \approx 0.07$ (MOLTO BUONA)



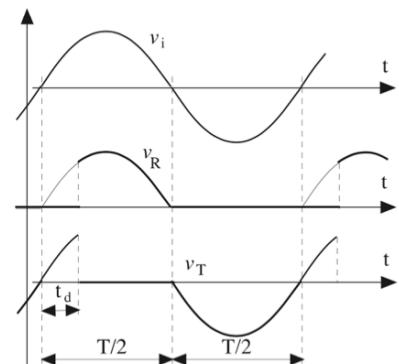
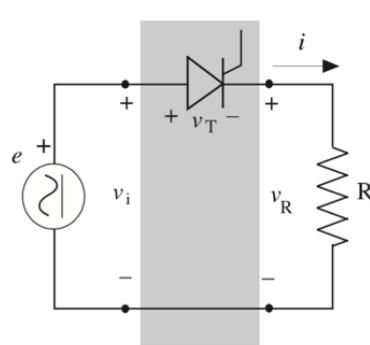
RADDISSIONE CONTROLLATO

Consideriamo un raddrizzatore a singola semionda, ma al posto del diodo mettiamo un TRISISTORE, ossia un diodo controllato. Ritardando l'accensione del trisistore di un angolo α (ossia $\alpha = \omega t_{RITARDO}$) si va a "tagliare" un pezzo di onda positiva $\Rightarrow V_M$ DIMINUISCE (cioè significa che è possibile regolare il V_M della tensione raddizzata).

$$V_M = V_m \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

V_m = V media ottenuta con un diodo al posto del trisistore

⚠ Per un circuito di fasi $q \geq 3$ la
 $V_M = V_m \cdot \cos \alpha$



CONSIDERAZIONI SU AC/DC

- **COMMUTAZIONE NON Istantanea**: Significa che più di un dispositivo può trovarsi in conduzione in certi istanti; ciò può provocare il cortocircuito dell'alimentazione. In tal caso non si possono trascurare i valori delle R_{on}t dei dispositivi.
 - In molti casi è comune piazzare a valle dell' AC/DC e a monte del carico **SISTEMI DI FILTRAGGIO**, ossia circuiti che lasciano passare solo la componente continua (Tagliano le oscillazioni)

COMMUTAZIONE E POTENZA

Durante lo spegnimento del componente, ossia passaggio da conduzione a interdizione si sviluppa una **CORRENTE INVERSA** che rimuove le cariche in eccesso. La I_{inv} scorre per poco ($t_R \sim 10\mu s$), ma abbastanza per dissipare un bel po' di potenza (non trascurabile).

Inoltre a causa di ciò il componente si scalda (serve una dissipazione per raffreddarlo).

INVERTITORI DC/AC

Si ottiene una corrente alternata a partire da una continua.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Consideriamo un circuito composto da 4 Interruttori S_A' , S_A'' , S_B' , S_B'' , si possono verificare le seguenti combinazioni:

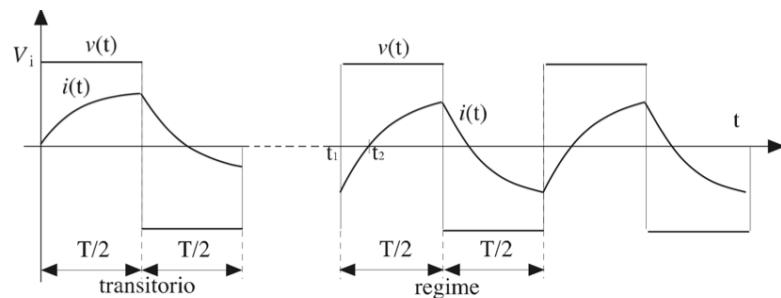
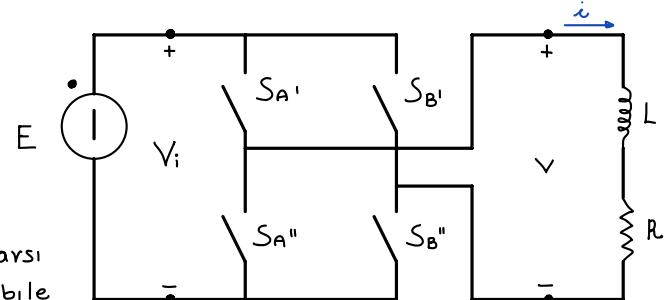
1. S_A' , S_B'' CHIUSI $\rightarrow \vee = \vee_i$
 2. S_B' , S_A'' CHIUSI $\rightarrow \vee = -\vee$

La **CORRENTE** (i) ha andamento esponenziale (dovuto alla carica e scarica dell'induttore).

Consideriamo che dopo un tempo $T_{1/2}$ i primi due si aprono e i secondi si chiudono.

Dopo un certo tempo in cui l'onda cerca di stabilizzarsi (**TRANSITORIO**) si raggiunge un andamento periodico stabile detto **DI REGIME**.

- Regolando i tempi di apertura e chiusura si puo' CONTROLLARE L'AMPIEZZA DELLA CORRENTE.
 - L'ampiezza di V invece non e' regolabile, poiche' dipende da V_i .
 - Un carico OHMICO - INDUTTIVO produce una onda come quella a destra, mentre uno solo OHMICO produce un' Onda QUADRA (啭啭啭啭)



CIRCUITO REALE DI UN INVERTER

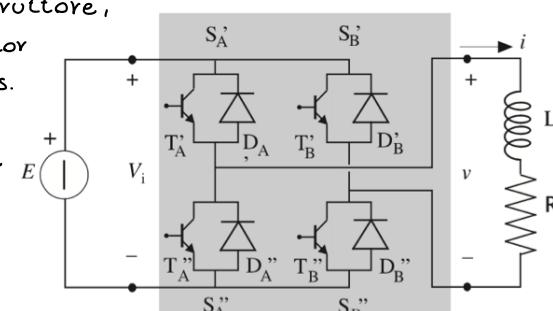
Si basano sull'utilizzo di transistor, dato che possono sia aprirsi che chiudersi in modo controllato.

Dato che *i* cambia verso durante la chiusura di un interruttore,

e' necessario inserire un **DIODO DI RICIRCOLO** in // al transistor che lasci passare i nell'altro verso (si ricorda che il TRANSISTOR E' UNIDIREZIONALE).

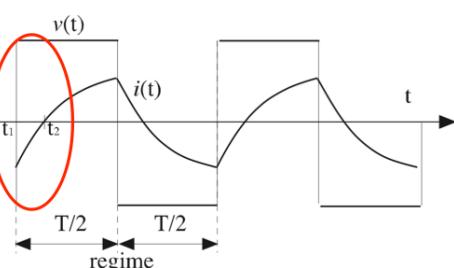
Il circuito di controllo (non illustrato) porta in conduzione o interdizione a coppie (S_A' / S_B'' e S_B' / S_A'') a intervallo $T/2$.

$$\vee = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} . E$$

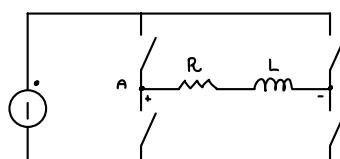


D_A' , D_A'' , D_B' , D_B'' = FREE WHEELING DIODI

IN $[t_1, t_2]$ LA CORRENTE
PASSA DAL DIODO DI \leftarrow
FREE WHEELING



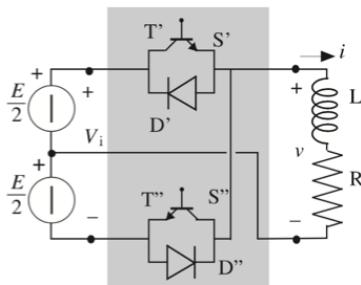
▼ | IL CIRCUITO SOPRA SI PUO' SCRIVERE ANCHE COME:



INVERTER A MEZZO PONTE

Impiega solo due interruttori S' e S'' con un PUNTO MEDIO ACCESSIBILE e due generatori in split. (TENSIONE IN USCITA DIMINUITA)

- S' CHIUSO $\rightarrow V = \frac{V_i}{2}$
- S'' CHIUSO $\rightarrow V = -\frac{V_i}{2}$

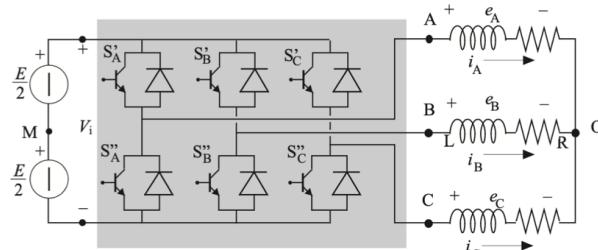


INVERTER TRIFASE

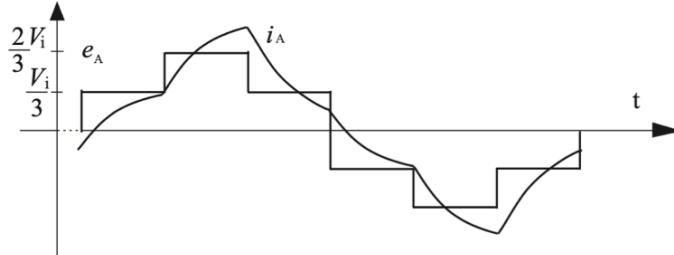
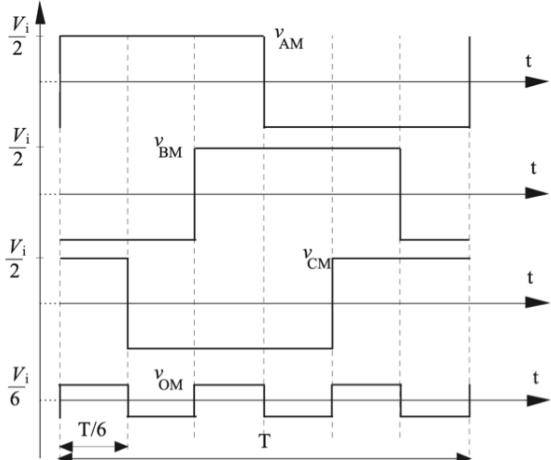
Si utilizzano 3 coppie di interruttori, sfasate tra loro di $\frac{2}{3}\pi$. Gli interruttori di ciascuna coppia sono alternativamente in conduzione con periodo di commutazione di $T/6$.

$$\left\{ \begin{array}{l} e_A = R_{iA} + L \frac{di_A}{dt} = V_{AM} - V_{OM} \\ e_B = R_{iB} + L \frac{di_B}{dt} = V_{BM} - V_{OM} \\ e_C = R_{iC} + L \frac{di_C}{dt} = V_{CM} - V_{OM} \end{array} \right.$$

$$V_{OM} = \frac{V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}}{3}$$



Chiaramente l'andamento della corrente dipende dalla natura del carico. I grafici che seguono mostrano l'andamento delle tensioni V_{AM} , V_{BM} , V_{CM} e V_{OM} e l'andamento della corrente i_A rispetto a V_A in un carico resistivo (onde \square)



Anche in questo caso, l'utilizzo di un filtro di frequenza interposto fra l'inverter e il carico, fa sì che si possa selezionare la frequenza desiderata, in modo da rendere le forme d'onda più simili possibile a quelle sinusoidali

CONSIDERAZIONI SU DC/AC

- FILTRI TRA INV E CARICO \rightarrow Modulazione della f delle grandezza in uscita (ossia non necessariamente ho uguali semiperiodi)
- VARIAZIONE DEI TEMPI DI COMMUTAZIONE (sequenze di transistor complesse) si puo' variare anche la V in uscita.
- PULSE WIDTH MODULATION \rightarrow Inverter con approssimazione a onde \sim piu' precisa
- STESSA CONSIDERAZIONE SU AC/DC (PERDITE DI POTENZA durante la commutazione)

CHOPPER (DC / DC)

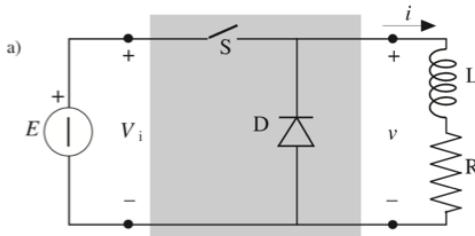
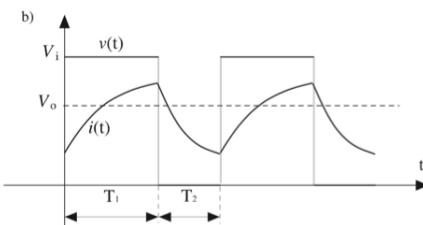
Consente di regolare l'alimentazione di un'alimentazione a regime continuo. Si realizza con un circuito composto da un interruttore elettronico (transistor o triistore) ed un diodo di ricircolo D.

1. S CHIUSO $\rightarrow V(t) = V_i$

2. S APERTO $\rightarrow V(t) = 0$ ma $i(t)$ circola sempre nel diodo (SCARICA DELL'INDUTTORE)

Il funzionamento è ripetuto ciclicamente:

$$T = T_1 + T_2 \quad (T_1 = \text{INTERVALLO CONDUZIONE}, T_2 = \text{INTERDIZIONE}).$$



Il dispositivo sostanzialmente produce una tensione fissa V_o ma una corrente variabile dovuta alle commutazioni dell'interruttore

VALORE MEDIO TENSIONE SUL CARICO

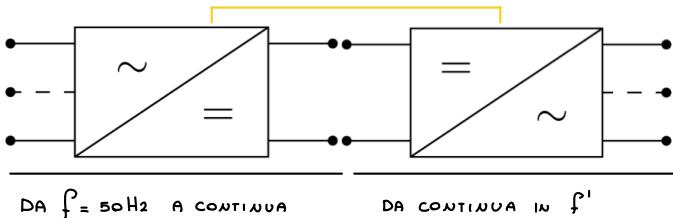
$$V_o = V_i \frac{T_1}{T_1 + T_2} = V_i \delta$$

▽ δ = DUTY CYCLE CHOPPER ($\delta \leq 1$)

▽ Anche nei chopper sono presenti sistemi di filtraggio che "appiattiscono" la forma d'onda in uscita.

DISPOSITIVI AC / AC

E' concettualmente composto da un AC / DC e DC / AC IN CASCATA



▽ DC BUS = E' il pezzo in DC (GIALLO)