



Zeno Martini (admin)

VALVOLE ELETTRONICHE

11 December 2005

COMPONENTI ELETTRONICI DI POTENZA

La parte elettronica dell'azionamento che alimenta l'attuatore elettrico, oltre alla logica di funzionamento ed all'acquisizione dei dati per la conoscenza delle variabili di stato, deve fornire la potenza necessaria all'attuatore con le caratteristiche desiderate di tensione, corrente, frequenza. Per la parte di elaborazione dei dati e dell'attuazione della logica di controllo, ormai è comune l'impiego del microprocessore, sia con schede dedicate che con la supervisione di PLC e/o PC, che offrono anche la più flessibile delle interfacce utente. La potenza necessaria è fornita all'attuatore elettrico attraverso il controllo di valvole elettroniche in grado di regolare nel modo voluto il flusso delle cariche elettriche, allo stesso modo in cui un insieme di valvole meccaniche può regolare il flusso d'acqua proveniente da un serbatoio.

Questo articolo elenca, illustrandone le caratteristiche essenziali, i principali componenti elettronici usati come valvole:

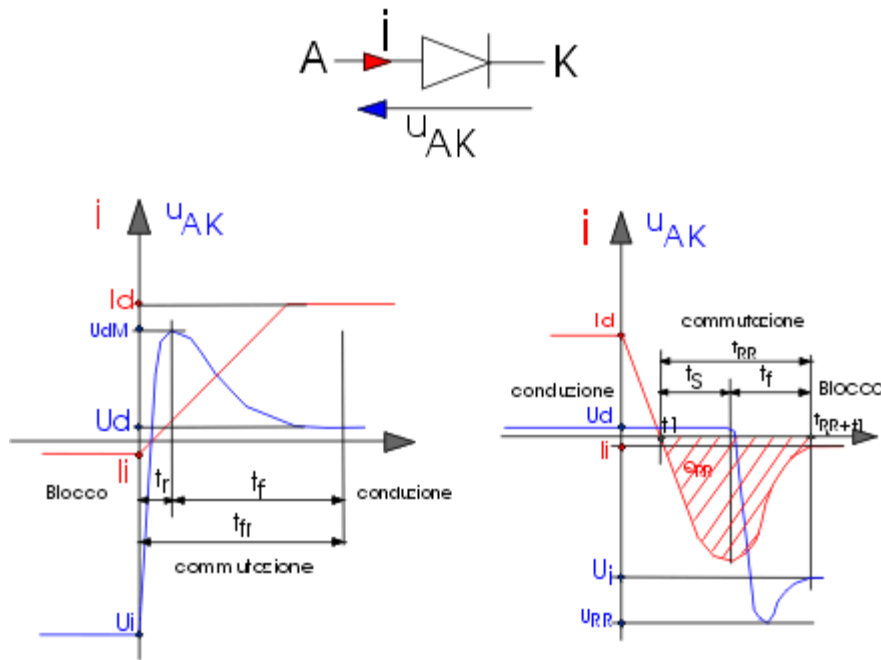
- [Diodo di potenza](#)
- [SCR](#)
- [BJT](#)
- [TRIAC](#)
- [GTO](#)
- [MOSFET](#)
- [IGBT](#)

DIODO DI POTENZA

Il diodo è un componente a semiconduttore che può essere attraversato dalla corrente in un solo verso. Una valvola di non ritorno dunque, che lascia transitare le cariche in un senso e le blocca in senso opposto. Il diodo, illustrato in figura cp.1, conduce quando la tensione tra anodo e catodo è positiva ($U_{AK} > 0$: polarizzazione diretta, conduzione); non conduce quando è negativa ($U_{AK} < 0$: polarizzazione inversa, interdizione). In un diodo reale in conduzione, U_{AK} è molto bassa (circa 1 V) e l'intensità di corrente assume valori elevati; in interdizione, la tensione inversa

può essere elevata ed il diodo è attraversato da una piccola intensità di corrente. Il passaggio dall'uno all'altro stato non è istantaneo. La commutazione dallo stato di blocco alla conduzione avviene in alcuni microsecondi. La tensione inversa U_{AK} inizialmente elevata, raggiunge un picco positivo di una o due decine di volt in meno di un microsecondo (t_r : *rise time*), quindi si assesta sul valore di circa 1 volt (t_f : *fall time*) dopo qualche microsecondo. Anche la commutazione inversa dalla conduzione al blocco richiede alcuni microsecondi. Quando l'intensità che attraversa il diodo si annulla, le cariche nella giunzione PN non sono ancora stabilizzate nella configurazione di blocco ed iniziano un movimento inverso, dando luogo ad una corrente che raggiunge un massimo per assestarsi infine sul piccolo valore che corrisponde alla corrente inversa in situazione di blocco. Il valore massimo della corrente inversa è raggiunto dopo il tempo t_s (*storage time*, di qualche ms) durante il quale la tensione U_{AK} si mantiene bassa; quindi, dopo un ulteriore intervallo t_f (*fall time*, qualche ms), l'intensità assume il debole valore finale; anche la tensione raggiunge il valore finale U_i dopo aver raggiunto un picco inverso U_{RR} . L'area tratteggiata in rosso corrisponde alla carica Q_{RR} messa in gioco dalla corrente nella commutazione conduzione-blocco. Insieme al $t_{RR} = t_s + t_f$, è il parametro per valutare la rapidità della commutazione. L'ordine di grandezza di t_{RR} , il tempo di ripristino della capacità di blocco inverso, è di qualche decina di microsecondi nei diodi normali, il che li rende inadeguati per applicazioni che richiedono frequenze di commutazione elevata. Nei diodi rapidi il t_{RR} è invece di alcune decine di nanosecondi, ma essi hanno, per contro, minori correnti massime dirette e tensioni massime inverse.

Si hanno sul mercato diodi con tensioni inverse dell'ordine di 6 kV e correnti dirette di 5 kA.



cp. 1

SCR (Silicon Controlled Rectifier) o Tiristor

È un dispositivo a quattro strati, quindi con tre giunzioni pn, nel quale la conduzione tra anodo e catodo, che sono gli elettrodi collegati ai due strati esterni, rispettivamente di tipo p e di tipo n, è controllata da un impulso di corrente fornito ad un terzo elettrodo detto Gate connesso allo strato intermedio p. Se la tensione U_{AK} è negativa (polarizzazione inversa), inferiore comunque ad un valore massimo U_{imax} , la conduzione è bloccata: transita solo una corrente di debole intensità, ed un eventuale impulso sul gate non ha effetto. Se invece U_{AK} è positiva (polarizzazione diretta), ed inferiore ad un valore massimo U_{dmax} , che determinerebbe una scarica a valanga come nella polarizzazione inversa, non si ha ancora conduzione, la quale però può essere innescata da un impulso di corrente sul gate. Una volta che il tiristor è in conduzione vi permane, indipendentemente dallo stato del gate che perde perciò il controllo. Il tiristor ritorna in situazione di blocco solo quando l'intensità di corrente tra anodo e catodo per una qualsiasi ragione si annulla, o meglio, si assesta al di sotto di un piccolo valore, I_h , detto corrente di mantenimento.

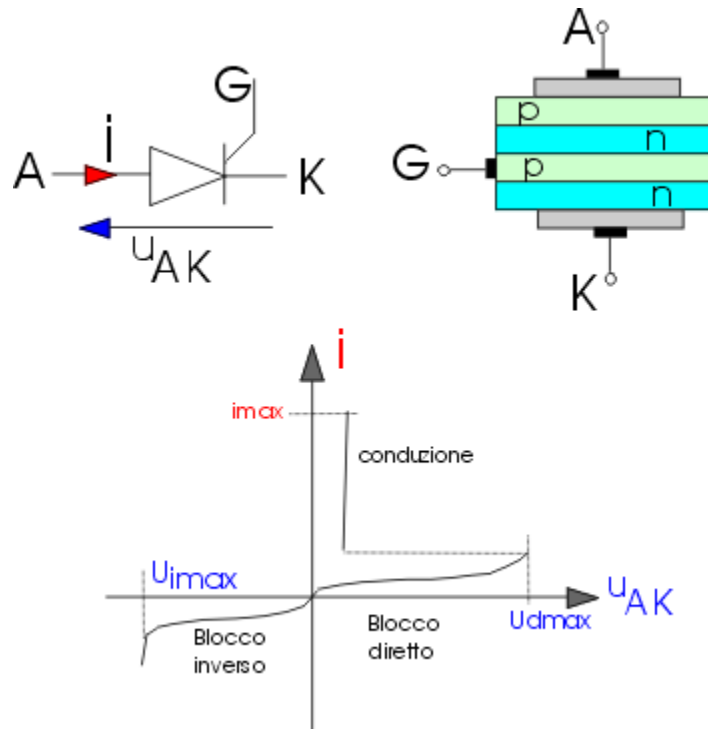
Il tiristor si comporta perciò come un interruttore comandato solo in chiusura e che si deve aprire naturalmente.

Si osservi qui la diversa terminologia usata nella nostra lingua quando parliamo di interruttore o di valvole: interruttore chiuso corrisponde a valvola aperta e, viceversa, valvola chiusa ad interruttore aperto. Più coerente la terminologia inglese: ON per la prima situazione - OFF per la seconda, sia per l'interruttore che per le valvole.

Nella figura cp.2 sono mostrati simbolo, struttura, caratteristica corrente-tensione.

Si costruiscono tiristor per correnti elevate di 6 kA e per tensioni con tensioni di blocco di 8 kV. I tempi di commutazione sono dell'ordine di quelli dei diodi.

Mediante opportuna circuiteria, molto complessa, è possibile spegnere il tiristor quando è in conduzione, ma per questo tipo di applicazioni sono ormai usati i GTO.



cp. 2

BJT

È il Transistor bipolare (Bipolar Junction Transistor) realizzato con due giunzioni PN. Quello più usato come interruttore statico è l' n-p-n che ha commutazioni più rapide rispetto al p-n-p. È illustrato nella figura cp.3

Quando la tensione U_{CE} è positiva e si applica una tensione positiva tra base ed emettitore (U_{BE}), si ha una circolazione di corrente I_C positiva da collettore ad emettitore. In prima approssimazione la corrente di collettore si può ritenere proporzionale alla corrente assorbita dalla base ed il rapporto tra I_C ed I_b è detto guadagno del transistor ($I_C/I_b = h_{fe}$). Se la tensione U_{BE} è positiva ma molto bassa, oppure negativa, la corrente I_C è molto piccola ed il transistor può essere considerato in situazione di blocco (o interdizione). Se U_{BE} è sufficientemente alta, la corrente I_C assume il valore massimo erogabile dall'alimentazione. La tensione U_{CE} diventa allora molto bassa ed il transistor si dice in saturazione; può allora essere considerato in stato di quasi perfetta conduzione, come un interruttore chiuso. Il BJT può dunque essere usato come un interruttore, aperto (OFF) quando U_{BE} è nulla o negativa, quindi $I_b=0$, e chiuso (ON) quando U_{BE} positiva e sufficiente per far assorbire una corrente I_b maggiore del rapporto tra I_C ed il guadagno. Il campo intermedio tra le curve che delimitano la zona di conduzione (la rossa in figura) e quella di blocco (la blu) è la zona di modulazione, non usata in questo tipo di applicazioni per la notevole potenza dissipata.

La transizione da blocco a conduzione e viceversa avviene secondo i diagrammi temporali mostrati in figura cp.3 B)

Il tempo di commutazione OFF->ON si può suddividere in tre intervalli, t_d , t_f , t_q mostrati in figura i cui valori tipici sono $t_d = 0.5 - 1 \mu s$; $t_f = 0.5 - 1 \mu s$; $t_q = 1 - 2 \mu s$

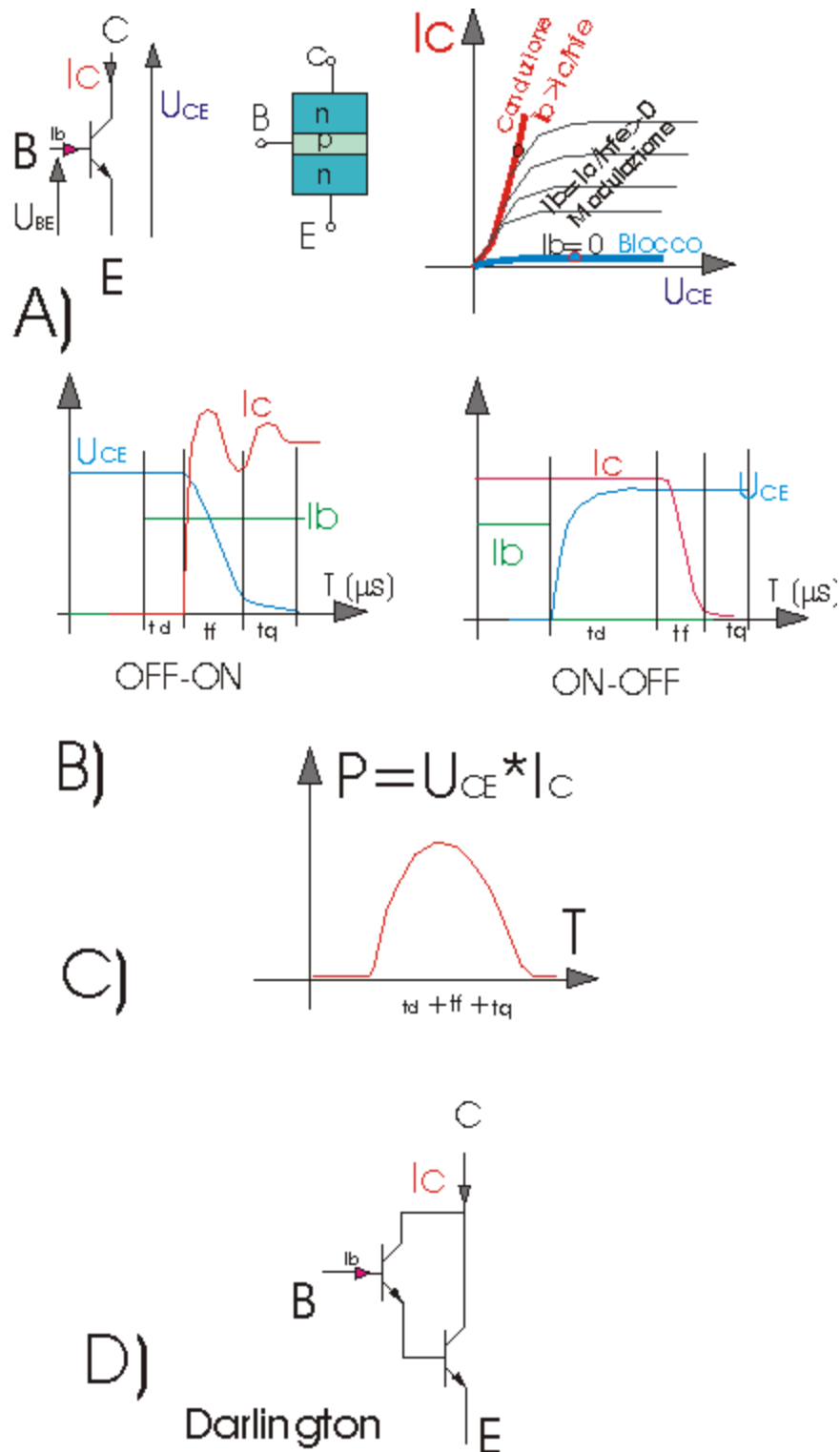
La corrente segue un andamento che dipende dalle caratteristiche del circuito in cui il transistor è inserito. Il tempo totale di commutazione varia dunque da 2 a 4 ms.

Anche nella transizione dallo stato di conduzione a quello di blocco (ON->OFF) la corrente raggiunge il valore finale, quasi nullo, in un tempo totale che si può suddividere nei tempi: $t_d = 2 - 4 \mu s$ (valore che dipende sostanzialmente dal livello di saturazione precedente all'istante di comando allo spegnimento); $t_f = 0.5 - 1 \mu s$; $t_q = 2 - \mu s$. La tensione tra emettitore e collettore segue un andamento che dipende dalle caratteristiche del circuito in cui il transistor è inserito. Il tempo di commutazione ON->OFF varia dunque da 4 a 7 ms. Tenendo conto del tempo necessario alle due transizioni, che supera la decina di microsecondi, la frequenza del comando di commutazione può essere di qualche kHz.

In entrambe le transizioni si ha dissipazione di potenza. L'andamento della potenza $P = U_{CE} \cdot I_C$, è mostrato in figura cp.3 C). Durante la commutazione la potenza raggiunge un picco molto elevato rispetto al valore che si ha nelle fasi di conduzione e di interdizione. L'area sottesa alla curva di potenza rappresenta l'energia dissipata in calore ed è costante. Essa diventa quindi sempre più rilevante, rispetto alla

potenza trasferita nella fase di conduzione, quanto più elevata è la frequenza di commutazione. Il rendimento di conseguenza cala.

Quasi sempre per ridurre la corrente di base si usano due transistor in cascata (connessione Darlington): la corrente di collettore del transistor d'ingresso è la corrente di base del transistor d'uscita. In questo modo il guadagno totale I_c/I_b è il prodotto del guadagno dei singoli transistor.



cp. 3

TRIAC

È un tiristor bidirezionale che svolge la funzione di due tiristor in antiparallelo. L'impulso sul gate commuta nello stato di conduzione con tensione tra gli altri due elettrodi di entrambe le polarità. E' usato per controllare la potenza in corrente alternata

GTO (Gate-Turn-Off thyristor)

E' un tiristor che può essere commutato nello stato di blocco mentre è in conduzione mediante un impulso negativo applicato al gate. Il GTO ha capacità di blocco leggermente inferiori all'SCR con cadute di tensione leggermente superiori.

Si costruiscono GTO per tensioni di 5 kV e correnti superiori ad 1 kA A. Essi si prestano quindi a coprire la gamma delle applicazioni in cui sono richieste tensioni elevate, ove hanno ormai completamente soppiantato i normali tiristori con circuito ausiliario di spegnimento. (ad esempio per la realizzazione di invertitori a tensione impressa per azionamenti ferroviari).

Nel campo delle tensioni inferiori, le prestazioni in tensione, in corrente ed in sovraccarico sono superiori a quelle realizzabili nei transistor e, per ora, negli IGBT, e confrontabili con quelle dei tiristori. I circuiti di comando sono però più complessi e costosi. I tempi di commutazione sono tali da consentire il raggiungimento di frequenze di commutazione dell'ordine di grandezza del kiloHertz. La transizione ON-OFF, specialmente quando le correnti sono elevate, necessita di accorgimenti circuitali per ridurre la tensione di autinduzione che si manifesta ai capi del componente.

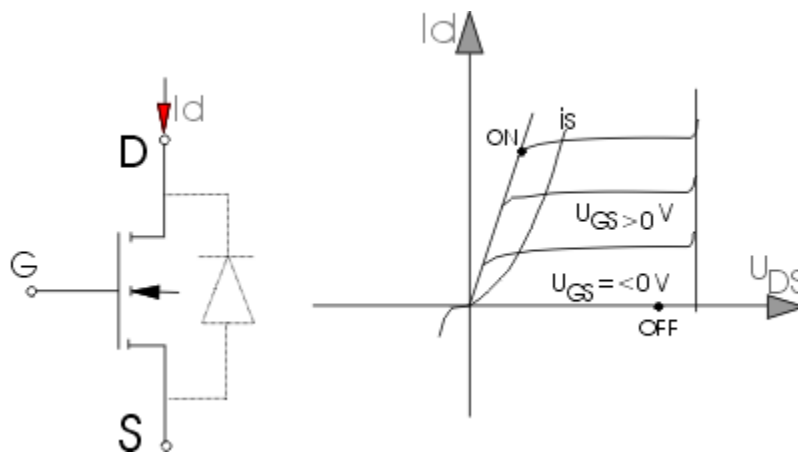
MOSFET

Sono i transistor ad effetto di campo in tecnologia mos con correnti di drain di alcune centinaia di ampere e tensioni di blocco drain-source di qualche centinaio di volt.

Il Drain corrisponde al collettore del BJT, il source all'emettitore, il gate alla base. In pratica è un transistor comandato in tensione con corrente assorbita praticamente nulla. Di conseguenza la potenza di comando è nettamente inferiore a quella necessaria per un BJT

Sono caratterizzati da una commutazione veloce dell'ordine della decina di nanosecondi, molto inferiori a quelle del BJT, quindi in grado di lavorare a frequenze elevate. La figura cp.4 mostra simbolo e caratteristiche $I_D - U_{DS}$ (corrente di drain - tensione drain-source) al variare della tensione di gate U_{GS} . Per ottenere la condizione di conduzione U_{GS} deve assumere un valore minimo compreso tra 0,8

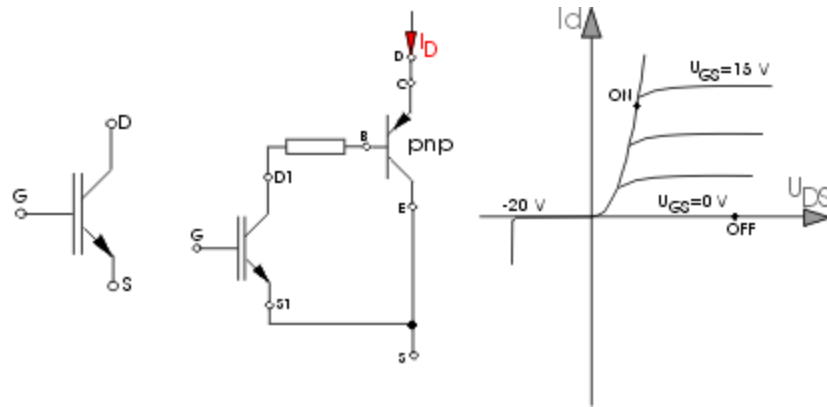
e 2 volt. Generalmente vi si applica una tensione compresa tra 10 e 15 V. Il mosfet non sostiene tensioni inverse ma può condurre correnti inverse in quanto si comporta come un diodo con l'anodo in S ed il catodo in D (a tratteggio in figura). I punti ON e OFF sono di conduzione e di blocco rispettivamente. Il punto ON deve sempre trovarsi a sinistra della linea i_s (zona resistiva) per ridurre al minimo le perdite.



cp. 4

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

È un componente costituito da due transistor in cascata, come nella connessione Darlington. Il transistor di potenza un'uscita è un BJT p-n-p la cui corrente di base è costituita dalla corrente di Drain di un Mosfet. La configurazione è mostrata nella figura cp.5. Le caratteristiche dei Mosfet, pilotaggio in tensione e velocità di commutazione, si accompagnano alla capacità del BJT di condurre correnti elevate. La tensione può essere superiore ai 3 kV e le correnti superare i 3 kA. La tensione inversa, come nel BJT non può superare i 20 V. La fig. mostra il simbolo, lo schema equivalente, le caratteristiche tensione-corrente e, su di esse due punti corrispondenti allo stato di conduzione (ON) e di blocco (OFF)



cp. 5

Alcuni links

Produttori

- <http://www.irf.com/product-info/igbt/>
- <http://www.dynexsemi.com/corporate/company/lang-it.htm>

Didattica

- http://www.etec.polimi.it/IND32/It/ElettronicaIndI/files/Disp_ep_2001_cc.pdf
- http://www.microst.it/Tutorial/igbt_1.html