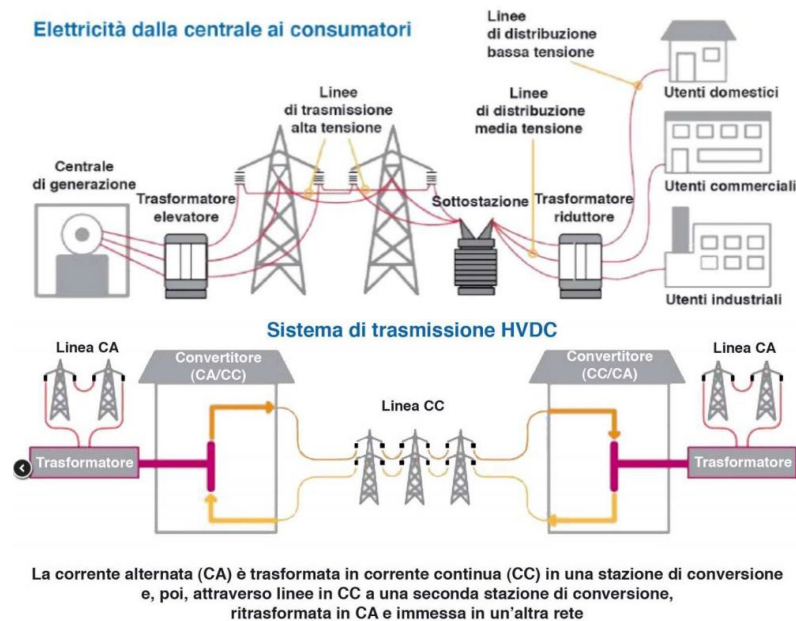


CONVERTITORI

Diversi utilizzatori richiedono un'alimentazione con tensione a polarità costante nel tempo (anche se l'ampiezza può variare) e assorbono una corrente unidirezionale (con ampiezza che può essere variabile).

Dato che la maggior parte dei sistemi di produzione, trasmissione e distribuzione funzionano in regime sinusoidale (monofase o trifase), risulta necessario interporre tra rete di alimentazione ed utilizzatore un dispositivo chiamato convertitore o raddrizzatore, in grado di effettuare la conversione da corrente alternata a corrente continua, che spesso viene indicata con la sigla AC/DC.

In molti altri casi è necessario effettuare il processo opposto e convertire una tensione continua in una tensione alternata (approssimativamente sinusoidale tri o monofase) in modo da alimentare un utilizzatore funzionante in corrente alternata. In questo caso viene interposto tra rete di alimentazione ed utilizzatore un dispositivo (chiamato invertitore o più spesso inverter), in grado di effettuare la conversione da continua ad alternata che spesso viene indicata con la sigla DC/AC.



In altri casi è necessario produrre una tensione o un sistema di tensioni con ampiezza e frequenza diverse da quelle della rete di alimentazione: ciò si ottiene con un dispositivo chiamato convertitore alternata - alternata o convertitore di frequenza.

Esistono infine dispositivi, chiamati convertitori continua - continua o più spesso chopper, che consentono di eseguire la conversione da una tensione continua di ingresso ad una tensione continua di diverso valore.

Queste funzioni vengono normalmente **svolte mediante convertitori statici**, che sono **dispositivi basati su componenti che**, pur privi di organi in movimento, **si comportano come interruttori** elettrici, **consentendo o impedendo**, in determinate condizioni, **il passaggio di corrente nel circuito**.

A tale scopo si utilizzano componenti elettronici di potenza a semiconduttore quali Diodi, Transistor, Tiristori. Nel loro utilizzo ricadono applicazioni del tipo azionamento di motori elettrici in corrente continua, che siano essi sincroni e asincroni, eccitazione di alternatori, elettrolisi in impianti chimici, in gruppi di continuità statici, in stabilizzatori di reti trifase, in linee di trasmissione.

DIODO

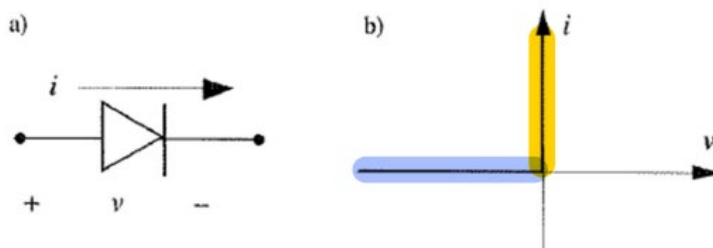
Il componente più semplice è il diodo ideale, questo è un bipolo non lineare.

È bene conoscere che esistono componenti più complessi del diodo, dotati di un terzo terminale di comando oltre ai due terminali principali, essi si comportano come degli interruttori nei quali la commutazione dipende non solo dal segno di tensione e corrente ai terminali principali, ma anche dalla corrente del terminale di comando o dalla tensione rispetto agli altri due.

In analogia idrodinamica, un diodo è come se fosse una valvola di non ritorno, all'interno di un condotto, che permette lo scorrimento dell'acqua in una sola direzione.

I diodi reali sono componenti elettronici che hanno due terminali, un corpo in cui una bandina determina il terminale negativo o anodo, e fanno sì che la corrente, in un circuito, scorra in una sola direzione. Questo viene reso possibile da una giunzione PN creata accostando due metalli semiconduttori uno "più positivo" e l'altro "più negativo" in questo modo si crea una barriera al flusso ordinato di elettroni, e la corrente scorrerà in un senso piuttosto che in un altro.

Il diodo ideale ha la seguente caratteristica:



In cui la tensione e la resistenza allo scorrimento della corrente sono nulle quando questa assume qualsiasi valore positivo, mentre la corrente che scorre è nulla non appena la tensione assume qualsiasi valore negativo.

Il diodo ideale si comporta come un interruttore che commuta spontaneamente le seguenti condizioni:

- Si chiude non appena la tensione da valori negativi si annulla, lasciando scorrere corrente;
- Si apre non appena la corrente da valori positivi si annulla, impedendo lo scorrimento della stessa.

Un diodo reale ha invece una caratteristica meno accentuata, presentando un ginocchio addolcito che prende il via intorno agli 0.5V, in questo modo, non appena la corrente attraversa il diodo nel verso giusto, si può misurare una caduta di tensione.

Appena la corrente circolerà nel senso inverso la tensione ai capi del diodo sarà inevitabilmente molto alta (tensione di breakdown 10 ÷ 100 V).

I diodi possono essere utilizzati per proteggere i circuito da inversioni di polarità; a cavallo di relè, bobine, motori per assorbire le correnti inverse che andrebbero a danneggiare i circuito di pilotaggio e in tutti quei casi in cui sia necessario raddrizzare la corrente, ovvero farla passare solo in un senso, come accade per esempio negli alimentatori.

SEMICONDUTTORI

I semiconduttori (silicio, germanio) sono materiali che possono assumere una resistività intermedia tra quella dei conduttori e quella degli isolanti. La resistività diminuisce all'aumentare della temperatura.

La conduttività dei semiconduttori può essere modificata con l'aggiunta di impurità (**drogaggio**), con l'azione di un campo elettrico, con l'esposizione alla luce o con altri mezzi.

DROGAGGIO

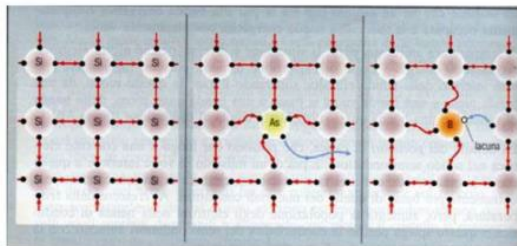
Con il termine drogaggio si intende l'aggiunta al semiconduttore puro di piccole percentuali di atomi non facenti parte del semiconduttore stesso, allo scopo di modificare le proprietà elettroniche del materiale. Il drogaggio in genere aumenta la conducibilità del semiconduttore.

Il drogaggio può essere di due tipi:

- **N**: l'atomo drogante ha un elettrone in più di quelli che servono per soddisfare i legami del reticolo cristallino. Tale elettrone acquista libertà di movimento all'interno del semiconduttore.
- **P**: l'atomo drogante ha un elettrone in meno e tale mancanza, vacanza di elettrone - lacuna - si comporta come una particella carica positivamente e si può spostare all'interno del semiconduttore.

Si ponga l'esempio di un cristallo di silicio drogato con arsenico, donatore; avendo il silicio 4 elettroni negli orbitali atomici più esterni forma 4 legami covalenti con gli atomi vicini. L'arsenico ha 5 elettroni esterni e se viene sostituito al silicio rimane un elettrone libero, che aumenta la conducibilità: si è in questo modo visto un **semiconduttore di tipo N, negativo**.

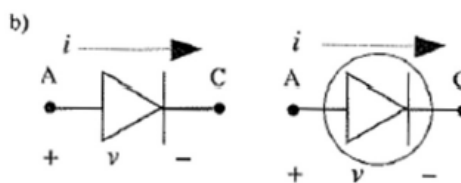
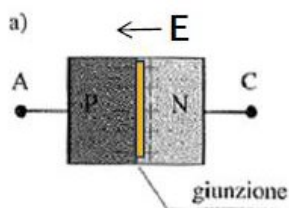
Si osservi adesso un cristallo di silicio drogato con boro, accettore; avendo il boro 3 elettroni esterni, se viene sostituito al silicio, rimane un posto libero, una lacuna che si comporta proprio come un portatore di carica positiva, appena una lacuna viene occupata da un elettrone vicino che lascia inevitabilmente dietro di sé un posto vuoto, la lacuna si è spostata in senso opposto all'elettrone: si è in questo modo visto un **semiconduttore di tipo P, positivo**.



DIODO REALE, A GIUNZIONE, A SEMICONDUTTORE

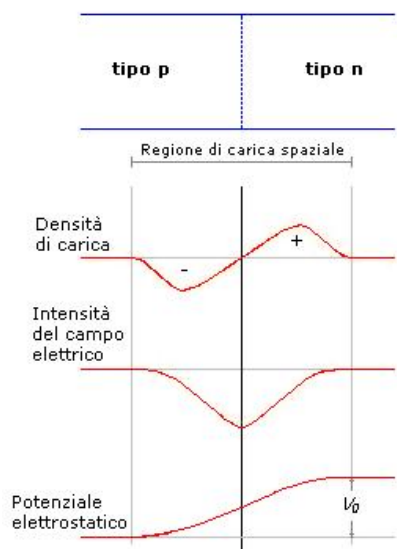
Il diodo a semiconduttore è costituito da un semiconduttore tetravalente (generalmente silicio) modificato inserendo atomi di elementi trivalenti o pentavalenti in due zone contigue, tale processo è rispettivamente chiamato drogaggio a P o N.

Queste due zone sono accessibili tramite due terminali indicati con A di anodo e C di catodo:



Il drogaggio non modifica la naturalità elettrica del materiale, ma provoca nella zona di tipo N un addensamento di elettroni liberi dato da un esubero di elettroni di legame, e nella zona P una carenza di elettroni liberi che equivale ad un esubero di cariche positive fittizie in forma di lacune.

Elettroni liberi e lacune si sposano verso la regione di confine tra zona P ed N - detta giunzione - e tendono a diffondere reciprocamente nella zona adiacente, in questo modo si formano due concentrazioni di cariche di segno opposto ai due lati della giunzione le quali genereranno un campo elettrico che tenderà a muoverle in verso opposto a quello di diffusione, quello che si raggiunge è così uno stato di equilibrio dinamico in cui un uguale numero di cariche dello stesso segno attraversa la giunzione in direzioni opposte.



Come si vede dalla figura, il diodo a giunzione tipo P-N crea intorno alla regione di carica spaziale un gradiente di carica in cui, per diffusione, le lacune dalla zona tipo P tenderanno a spostarsi verso la zona N e, viceversa, gli elettroni tenderanno a spostarsi verso la zona tipo P.

Nel punto di giunzione avviene il fenomeno della ricombinazione: le lacune e gli elettroni si ricombinano dando luogo ad una piccola regione di svuotamento (o di transizione o regione di carica spaziale) dello spessore di $\sim 0.5 \mu\text{m}$ in cui si nota a destra e a sinistra di questa un accumulo di cariche.

Il secondo diagramma mostra **il campo elettrico** in modulo che si crea nella regione di carica spaziale: esso è dovuto al doppio strato che si viene a formare per la presenza delle densità di carica positive e negative accumulate in vicinanza del punto di giunzione. Questo campo elettrico ha direzione da $N \rightarrow P$ ed è negativo in modulo. Esso **si oppone ad un ulteriore passaggio di cariche tra le zone bloccando la diffusione di carica: si ha equilibrio:**

$$E = \int_{x_0}^x \frac{\rho}{\epsilon} dx$$

dove ρ è la densità di carica ed ϵ la costante dielettrica assoluta del materiale.

Nel terzo diagramma della figura, si vede l'andamento del **potenziale elettrostatico nella regione di carica spaziale:**

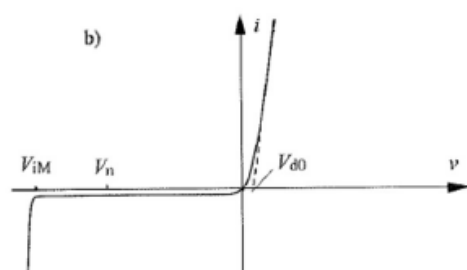
$$V = - \int E dx$$

che **crea una barriera di potenziale che si oppone alla diffusione di cariche entro la giunzione.**

Applicando così una tensione positiva, ovvero ordinando le cariche, **il campo coulombiano all'interno della giunzione si riduce:** le cariche addensate ai lati di questa vengono attratte verso i terminali e altre cariche possono **finalmente attraversare la giunzione,** dando così luogo ad un flusso di cariche che varia esponenzialmente con la tensione applicata. Quando la tensione applicata eguaglia quella generata dalle cariche fisse (atomi di drogante ionizzati), i portatori sono liberi di muoversi e la caratteristica tensione-corrente è lineare, cioè **il materiale si comporta da conduttore ohmico.**

Se si applica invece una tensione negativa, questa porterà ad aumentare il campo coulombiano all'interno della giunzione portando un maggior allontanamento delle cariche bloccate ai lati della giunzione, si creerà in questo modo un nuovo equilibrio dinamico nel quale le cariche di ciascun segno, pur attraversando la giunzione in entrambi i versi, si bilanciano in una maniera tale da non comportare alcuno scorrimento di cariche: **la corrente complessiva sarà nulla.**

Poiché la regione di tipo P è connessa al terminale negativo dell'alimentazione, le lacune nella regione di tipo P verranno spinte lontano dalla giunzione facendo così crescere l'ampiezza della zona svuotata. Lo stesso succede nella zona di tipo N, dove gli elettroni vengono spinti lontano dalla giunzione a causa dell'azione del terminale positivo dell'alimentazione. Questo **aumenta l'ampiezza della zona svuotata** e la tensione negativa applicata al dispositivo si concentra quasi completamente ai capi della zona di carica spaziale **alzando la barriera di potenziale.** Anche qui la risultante è un **flusso di cariche che varia esponenzialmente con la tensione applicata.** Tuttavia, il risultato è molto diverso perché **l'esponenziale è negativo e quindi la corrente inversa risultante è molto piccola.** Si arriva in questo modo a descrivere **LA CARATTERISTICA DEL DIODO REALE:**



$$v = V_{d0} + R_d \cdot i$$

Dove tipicamente $V_{d0} = 0.3 \div 0.5$ ed è chiamata **tensione di polarizzazione**, mentre la $R_d = [m\Omega]$ è la **resistenza differenziale del diodo**, dipendente dalle sue dimensioni.

La caratteristica si legge entrando dalla corrente: quando il diodo è polarizzato direttamente ad una specifica corrente è associato un valore di tensione al diodo localizzato sull'asse delle ascisse.

La corrente nominale I_n nei diodi di potenza può arrivare agli ordini dei KA.

Un diodo molto diffuso appartiene alla serie 1N, 4004, 4005, 4007 e cambia solo la corrente diretta I_f che possono sopportare: da qualche ampere a qualche decina di ampere.

RIASSUMENDO

→ Con **tensione positiva non nulla (tensione diretta)** e con **corrente positiva (corrente diretta)**, ovvero postisi nel primo quadrante, **si dice il bipolo essere in conduzione: polarizzazione diretta**.

Nella trattazione circuitale un diodo in polarizzazione diretta viene sostituito da un generatore di tensione pari a V_{d0} (nella stessa direzione) in serie ad una resistenza R_d .

→ Con **tensione negativa (tensione inversa)** si ha una **debole corrente negativa (corrente inversa)**, tipicamente nell'ordine degli $10^{-6} \div 10^{-7}$ volte la corrente nominale, in questo caso **si pone il diodo essere in interdizione: polarizzazione inversa**.

Nella trattazione circuitale un diodo in polarizzazione inversa viene sostituito da un tratto di circuito aperto.

Se la tensione inversa supera un dato valore massimo V_{iM} costituente la tensione di rottura del diodo, si ha una scarica, un brusco aumento di corrente inversa che porta ad una distruzione del componente.

La tensione nominale del diodo dev'essere sempre tale che $V_n < V_{iM}$.

Esiste perciò un intervallo di tensioni e correnti entro il quale il dispositivo si comporta quasi come un diodo ideale, avendo la caratteristica che si discosta poco da quella ideale.

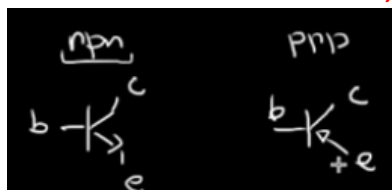
TRANSISTOR

I transistor sono dispositivi che servono ad amplificare o controllare correnti e tensioni.

Attraverso un parallelo idrodinamico si può immaginare un transistor come un rubinetto un cui la valvola è controllata da un altro condotto in cui scorre lo stesso tipo di fluido, valvola capace di variare la quantità di flusso in uscita.

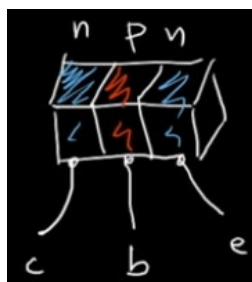
Sia i **BJT Bipolar Junction Transistor** che gli **SCR Silicon Controlled Rectifier** sono **dispositivi realizzati con semiconduttori caratterizzati da un pin di ingresso in cui entrerà una corrente, un pin di uscita dal quale uscirà la corrente e un pin di controllo a cui è applicata una corrente o una tensione con la quale si potrà modificare il flusso di corrente che lo attraversa.**

I più diffusi sono i transistor bipolari NPN o PNP caratterizzati da una **base, un collettore ed un emettitore**:

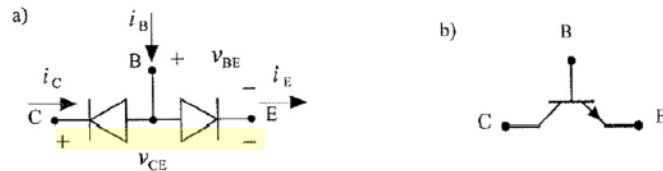


Il transistor bipolare è un dispositivo che funziona in corrente, questa circola all'interno del dispositivo dal collettore all'emettitore e può essere controllata intervenendo con una piccola corrente sulla base.

Questi dispositivi vengono realizzati con dei semiconduttori P ed N combinati a sandwich, in cui **una zona a debole drogaggio N fa da collettore**, **un piccolissimo spessore di drogaggio P fa da base** e un'altra zona con **forte drogaggio N fa da emettitore**.



Queste giunzioni si comportano come se fossero dei diodi in serie: visualizzandole così si riconosceranno sia la regione di svuotamento e che le caratteristiche di polarizzazione diretta e indiretta.



→ Quando si applica tra collettore ed emettitore una tensione tenendo la base aperta, mantenendo quindi $i_B = 0$ o collegando la base a terra, il diodo di sinistra presenterà un'ampia regione di svuotamento: risulterà così polarizzato inversamente e quindi interdetto.

Il circuito risulterà in questo modo globalmente aperto e le correnti di collettore ed emettitore saranno entrambe nulle, il transistor sarà schematizzabile con un circuito aperto e il dispositivo sarà in interdizione.

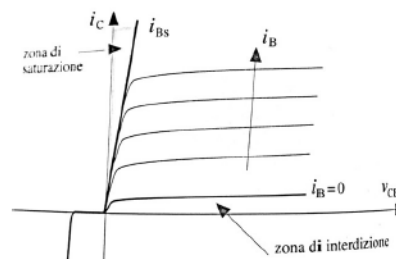
→ Quando, sempre con una tensione tra collettore ed emettitore positiva, appena si applica tra la base e l'emettitore una tensione positiva o una corrente equiversa capace di superare il potenziale di barriera, avendo la zona P uno spessore inferiore al libero cammino medio degli elettroni, questi è come se venissero risucchiati creando un forte forte flusso tra emettitore e collettore: dal lato N gli elettroni occuperanno così le lacune del lato P, ma essendo questo di spessore molto più piccolo degli strati N, le lacune verranno riempite e liberate molto più velocemente.

Il transistor può così condurre corrente tra C ed E con $i_E = i_C + i_B > 0$.

In questo caso il transistor sarà schematizzabile come un amplificatore e il dispositivo sarà in zona attiva.

→ Se al contrario la tensione tra collettore ed emettitore è negativa, il transistor rimane in interdizione per qualsiasi valore di i_B purché $|V_{CE}|$ non sia maggiore di alcuni volt, altrimenti sarà inevitabile una scarica di corrente $i_C < 0$ intensa e distruttiva.

Il transistor sarà schematizzabile con un cortocircuito e si troverà in saturazione.



INTERESSANTE È L'UTILIZZO DEL TRANSISTOR NELLE ZONE DI SATURAZIONE E DI INTERDIZIONE:

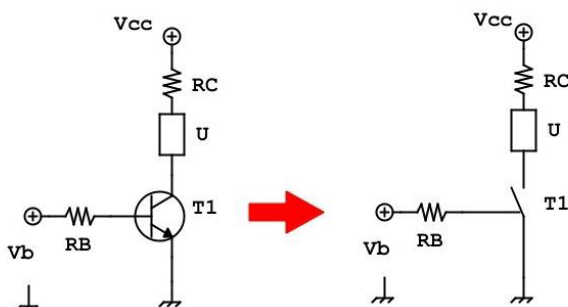
Nel grafico, a partire dallo stato di interdizione, con $V_{CE} > 0$, appena si applica $i_B = i_{BS}$ il transistor si porta in saturazione, ossia commuta in conduzione diventando attivo, essendo $i_C > 0$, non appena i_B ritorna a zero il transistor commuta nuovamente, tornando allo stato di interdizione in maniera controllata.

Pertanto il dispositivo tra C ed E si comporta come un interruttore unidirezionale che può essere chiuso o aperto agendo sulle grandezze di controllo V_{BE} e i_B , tipicamente molto minori dei valori nominali di V_{CE} diretta in interdizione e $i_C \sim i_E$ diretta in conduzione.

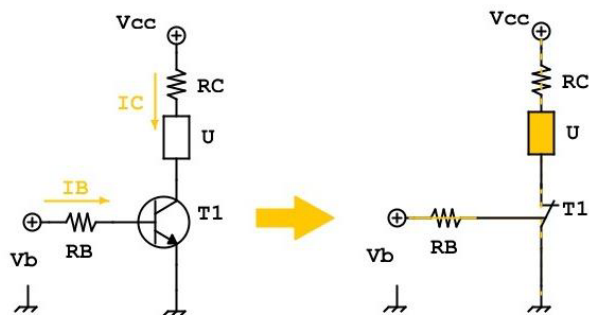
CASO $i_B = i_C = 0$

il transistor generalmente utilizzato in questo tipo di applicazione è di tipo NPN ed il generico carico è inserito in serie alla giunzione collettore - emettitore lato collettore.

Il funzionamento è semplice: quando alla base non è applicata nessuna tensione ($v_B = 0$) la corrente è nulla ($i_B = 0$) e questo si ripercuoterà anche nella giunzione dove è collegato l'utilizzatore nella quale non scorrerà alcuna corrente: la giunzione collettore - emettitore si comporterà proprio come un circuito aperto.



CASO $i_B > \frac{i_C}{\beta_F}$



Quando invece viene **applicata una tensione di polarizzazione alla base ($v_B \neq 0$)**, si avrà una **corrente di base con un valore sufficiente ad istituire una corrente collettore – emettitore (i_C questa funzione della tensione di alimentazione del carico) che interesserà lo stesso carico**: la giunzione collettore – emettitore equivarrà ad un **interruttore chiuso**.

Nel BJT la corrente i_C è controllata da una piccola corrente di base i_B , questa proprietà è sfruttata per progettare amplificatori o interruttori.

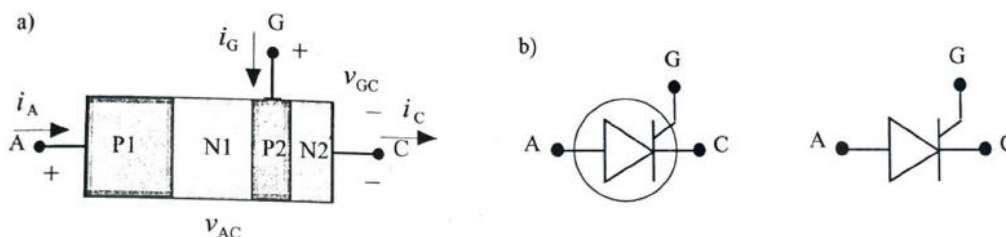
L'IGBT Insulated Gat Bipolar Transistor è un dispositivo che alle proprietà del BJT unisce:

- Una **bassissima corrente al terminale di controllo**, facendo sì che la **commutazione avvenga con la sola applicazione di tensione tra la base e l'emettitore**: il dispositivo in questo caso sarà controllato in tensione;
- **Elevata velocità di commutazione**, che ne consente l'utilizzo fino a frequenze dell'ordine dei **KHz**.

Viene realizzato per potenze nominali ($P_n = V_{ni} I_{nC}$) che vanno dal KVA alle centinaia di KVA.

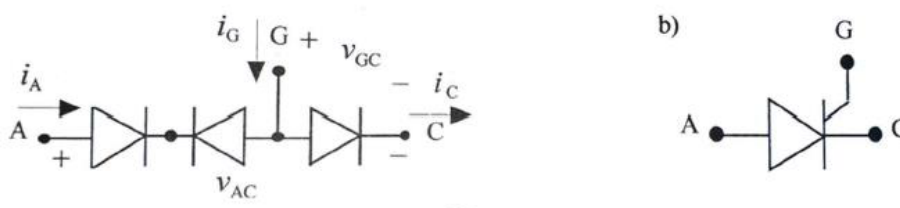
TIRISTORE SCR

Il tiristore o Silicon Controlled Rectifier è un **dispositivo a quattro zone conduttore drogaggio**:



Le zone P1 ed N1 sono di spessore maggiore e presentano drogaggio più debole di P2 ed N2, che hanno spessori inferiori al libero cammino medio delle cariche libere. Le tre zone sono rese accessibili per mezzo di terminali indicati da A anodo, C catodo, G gate.

Il comportamento può essere descritto per mezzo dello schema equivalente:



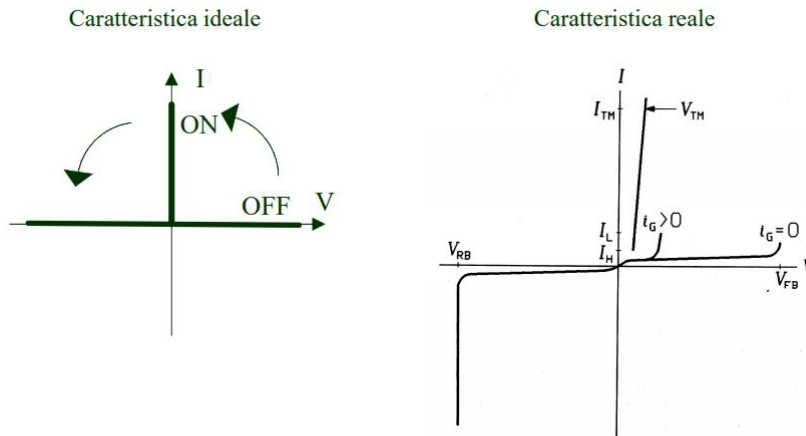
➔ Si assuma il **gate aperto**: $i_G = 0$.

1. In questa condizione, se tra **A e C** è applicata una **tensione inversa $V_{AC} < 0$** i due **diodi estremi sono interdetti** e l'SCR non è in condizione di condurre: $i_A = i_C = 0$.
2. Quando invece è applicata una **tensione diretta $V_{AC} > 0$** è il **diodo centrale ad essere interdetto**, ma la situazione non cambia, l'SCR **non è ancora in condizione di condurre**.

➔ **Applicando invece un breve impulso di corrente al gate** (una corrente di latching $\approx 100 \text{ mA}$) e **mantenendo una tensione diretta $V_{AC} > 0$** , il **diodo centrale commuterà in conduzione** (come nel BJT) e **rimarrà in tale stato anche se i_G si dovesse annullare purché i_A rimanga nell'ordine delle 100 mA** , altrimenti commutando, ritornerà allo stato di interdizione.

- Se l'**impulso di corrente** al gate viene applicato **ma la tensione ai capi dello stesso è negativa**, l'SCR rimane **interdetto**.

Anche questo è un dispositivo elettronico di potenza comandato in corrente in cui la transizione OFF -> ON avviene tramite l'innesco di un effetto valanga.



Il dispositivo tra anodo e catodo si comporta come un interruttore unidirezionale ($i_C = i_A > 0$) che può essere chiuso applicando impulsi di grandezze di controllo v_{GC}, i_G . Con ampiezze tipicamente molto minori dei valori nominali di V_{AC} in interdizione e $i_A \approx i_C$ in conduzione. L'apertura avviene solo quando la corrente $i_A \approx i_C = 0$. In altre parole, l'SCR si comporta come un diodo in cui è possibile ritardare l'istante di entrata in conduzione, per questo viene chiamato anche diodo controllato; l'SCR agisce conducendo quando viene fornito un impulso al gate: funziona in stato ON o OFF.

Quando il gate viene attivato con un impulso il tiristore passa allo stato ON e continua a condurre fino a quando la corrente diretta diventa inferiore al valore di soglia noto come "mantenimento corrente".

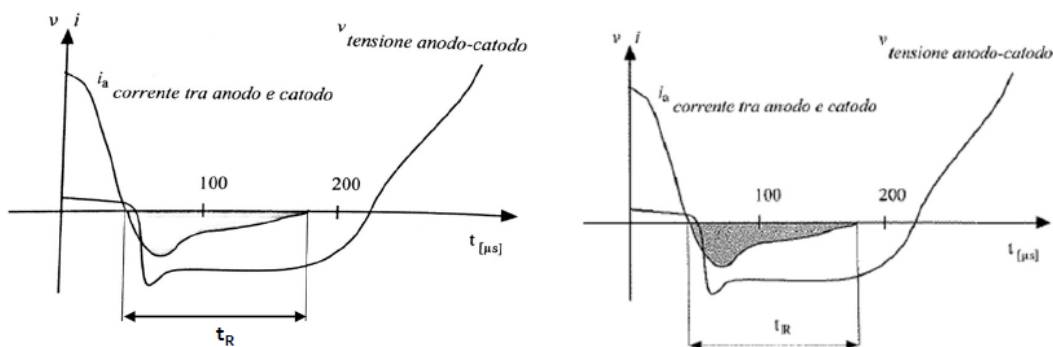
Il SCR viene utilizzato in applicazioni in cui sono presenti alte correnti e tensioni. L'applicazione più utilizzata avviene controllando e rettificando correnti alternate.

SCR può essere visto come una coppia di transistor strettamente accoppiata.

Il diodo a giunzione, BJT e l'SCR possono essere usati come interruttori elettronici ognuno con diversa specificità.

Si devono tuttavia tenere presenti particolari fenomeni che avvengono durante la commutazione, cioè nel passaggio da conduzione a interdizione e viceversa.

Ad esempio, l'entrata in conduzione di un triristore richiede circa $10\mu s$ e alla fine della fase di conduzione l'andamento della corrente è quello in figura:



Si noti come l'annullamento della corrente non sia sufficiente per lo spegnimento del componente: la carica in eccesso presente nelle varie zone del componente e legata alla conduzione, deve essere rimossa purché il componente possa sopportare una riapplicazione di una tensione diretta. Questo avviene mediante il passaggio di una corrente inversa.

Il componente viene portato in interdizione solo dopo che la carica $Q_R = \int_{t_R} i_A dt$ ha superato la carica in eccesso da rimuovere.

Il tempo necessario perché questo fenomeno abbia luogo è di alcune centinaia di microsecondi. L'area tratteggiata è proporzionale al valore di Q_R .

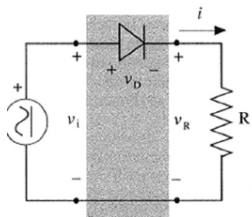
RADDRIZZATORI

La conversione alternata/continua consiste nel trasformare tensioni e correnti alternate in tensioni e correnti unidirezionali.

- ➔ I circuiti più semplici che riescono ad operare una conversione AC/DC o raddrizzamento, impiegano soltanto diodi e consentono di ottenere tensioni e correnti unidirezionali di valore non regolabile.
- ➔ Circuiti più complessi, che utilizzano i tiristori, permettono di ottenere tensioni e correnti di valore regolabile entro un certo campo, in questo caso si parla di conversione controllata AC/DC o raddrizzamento controllato.

Per la trattazione dei raddrizzatori, si assumerà, per semplicità:

- Che la rete di alimentazione sia rappresentabile con un generatore ideale di tensione sinusoidale;
- Che il circuito utilizzatore, ossia il carico, sia rappresentabile con un resistore di resistenza R , anche se esistono applicazioni in cui il carico è di tipo induttivo od ohmico induttivo.

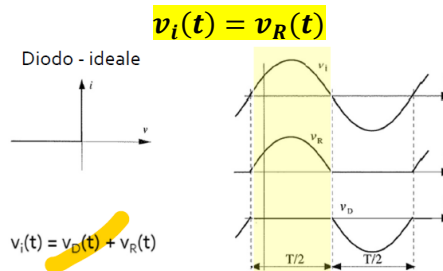


Il più semplice circuito che permette di ottenere una corrente unidirezionale in un resistore R a partire da una tensione sinusoidale è mostrato qui a fianco in figura.

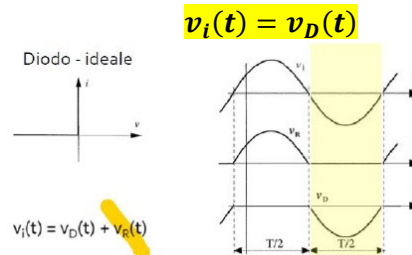
$v_D(t)$ è la tensione applicata ai terminali del diodo supposto ideale, $v_R(t)$ è la tensione applicata sul resistore R , $i(t)$ è la corrente di maglia e $v_i(t)$ è la tensione del generatore.

$$LKT: v_i(t) = v_D(t) + v_R(t)$$

- ➔ Con $v_i(t)$ positiva il diodo - ideale - è in conduzione e $v_D(t) = 0$:



- ➔ Con $v_i(t)$ negativa il diodo - ideale - è in interdizione: $i(t) = 0 \Rightarrow v_R = R \cdot i(t) = 0$:



Indicando con V il valore efficace della tensione $v_i(t)$ del generatore, il valore medio della $v_R(t)$ risulta pari alla metà del valore medio di una semionda:

$$V_M = \frac{1}{2} \left[\frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \right] = 0.45V$$

La differenza δ_{V_M} tra valore minimo e massimo della $v_R(t)$ della ampiezza dell'ondulazione vale:

$$\delta_{V_M} = V_M = \sqrt{2}V$$

Il **fattore di ondulazione K_0** è definito come:

$$K_0 = \frac{1}{2} \frac{\delta_{V_M}}{V_M}$$

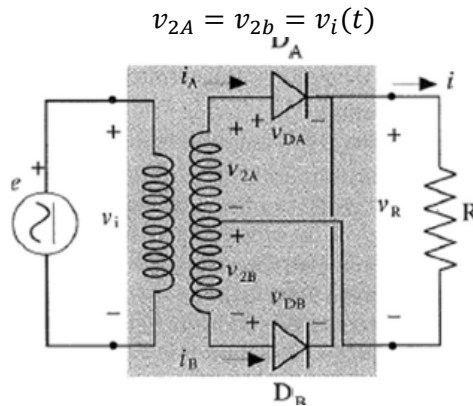
E viene usato per indicare la qualità del raddrizzamento, tanto migliore quanto più basso risulta K_0 .

Nel caso in esame esso è dato da:

$$K_0 = \frac{\pi}{2}$$

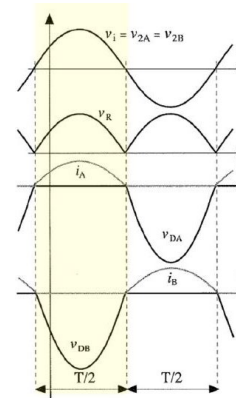
RADDRIZZATORE A DUE SEMIONDE

Il circuito di funzionamento comprende due diodi uguali e un trasformatore con secondario a presa centrale: il terzo terminale (presa centrale) rende disponibili due tensioni secondarie uguali alla primaria.

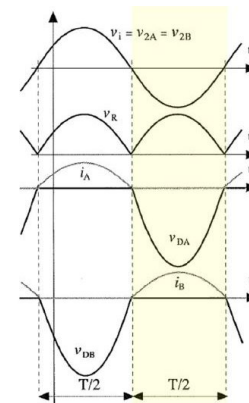


$$LKT: \begin{cases} v_i(t) - v_{DA}(t) - v_R(t) = 0 \\ v_i(t) + v_{DB}(t) + v_R(t) = 0 \end{cases}$$

➔ $v_i(t) > 0 \rightarrow D_A \text{ conduce}, D_B \text{ interdetto} \rightarrow v_{DA}(t) = 0, i_B(t) = 0$
 $\begin{cases} v_i(t) = v_R(t) \\ v_{DB}(t) = -2v_i(t) \end{cases}$



➔ $v_i(t) < 0 \rightarrow D_A \text{ interdetto}, D_B \text{ conduce} \rightarrow v_{DB}(t) = 0, i_A(t) = 0$
 $\begin{cases} v_{DA}(t) = v_i(t) \\ -v_i(t) = v_R(t) \end{cases}$

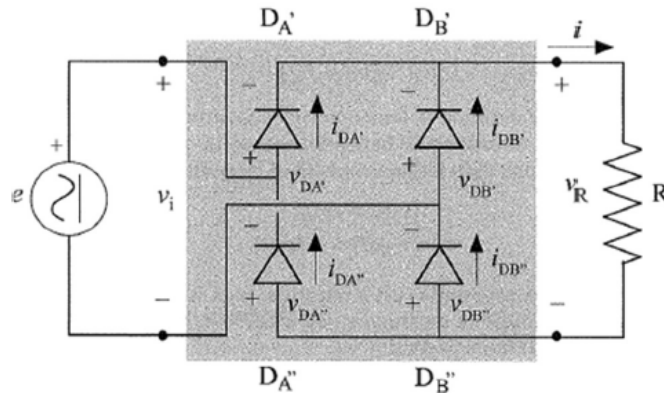


La tensione media sul resistore è data da $V_M = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V = 0.9V$, valore doppio rispetto al caso precedente, si osservi che i due diodi vanno dimensionati per una tensione doppia rispetto a quella che si ottiene ai terminali del resistore.

$$K_0 = \frac{\pi}{4}$$

RADDRIZZATORE CON PONTE DI GRAETZ

Le stesse forme d'onda di tensione e corrente nel resistore R si possono ottenere con il circuito in figura, che comprende 4 diodi connessi nella configurazione nota come ponte di Graetz monofase:



All'alternarsi della polarità della tensione al generatore entrano in conduzione le coppie di diodi $DA' - DB''$ e $DB' - DA''$, consentendo così il passaggio di una corrente unidirezionale nel resistore R .

→ Quando $v_i(t)$ è positiva, le tensioni sui diodi $DA' - DB''$ sono nulle insieme alle correnti $i_{DA'}, i_{DB''}$:

$$v_i(t) = v_R(t)$$

→ Quando $v_i(t)$ è negativa, le tensioni sui diodi $DB' - DA''$, sono nulle insieme alle correnti $i_{DB'}, i_{DA''}$:

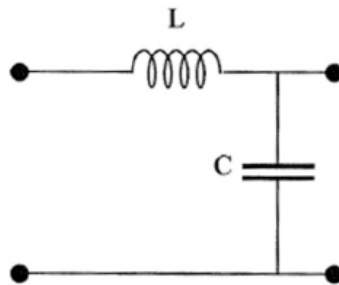
$$-v_i(t) = v_R(t)$$

Le espressioni del valore medio V_M e del fattore di ondulazione K_0 non cambiano.

Questo circuito richiede 4 diodi con tensioni nominali pari alla metà di quelle dei due diodi del circuito con trasformatore, e non richiede l'utilizzo di un trasformatore.

FILTRAGGIO

I filtri sono doppi bipoli interposti tra l'uscita del convertitore e il carico, caratterizzati dalla seguente struttura elementare:



La funzione dell'induttore è quella di limitare le ondulazioni di corrente mentre quella del condensatore è quella di limitare le ondulazioni della tensione. Qualora siano necessari per applicazioni particolarmente sofisticate vengono anche usati componenti non lineari e attivi.