

Zeno Martini (admin)

A.C. -> D.C.

29 April 2005

Come si sa l'energia elettrica è distribuita in corrente alternata. La necessità di una tensione continua richiede un circuito di conversione. Se è necessaria una tensione continua di valore costante è sufficiente un diodo o, per una maggiore efficienza, una configurazione di diodi detta ponte di Graetz. Se però, come nel caso degli azionamenti, è necessaria una tensione continua di cui sia possibile controllarne il valore, si deve ricorrere a diodi controllati, i tiristor o SCR (Silicon Controlled Rectifier).

DIODO DI POTENZA

Il diodo, illustrato in figura 1, è un componente a semiconduttore, costituito da una giunzione PN. In esso la corrente può fluire in un solo senso, dall'anodo, A collegato alla zona P, al catodo, K collegato alla zona N. E' Una valvola dunque, che lascia transitare le cariche in un senso e le blocca in senso opposto. Il diodo conduce quando la tensione tra anodo e catodo è positiva, $U_{AK} > 0$ (polarizzazione diretta); non conduce quando è negativa (polarizzazione inversa). In un diodo reale in conduzione U_{AK} è molto bassa (circa 1 V) e l'intensità di corrente assume valore elevati; 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. Nei diodi rapidi in alcune decine di nanosecondi.

La relazione tra corrente e tensione è illustrata in fig. 1

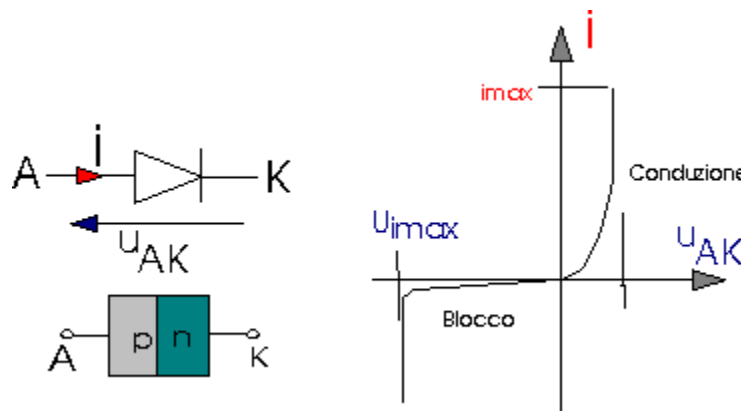


Figura 1

Tiristor (SCR: Silicon Controlled Rectifier)

È un dispositivo a quattro strati, quindi con tre giunzioni PN, nel quale la conduzione tra anodo A e catodo K, collegati agli strati esterni, è controllata da un impulso di corrente fornito ad un terzo elettrodo, detto Gate, collegato allo strato P interno, come illustrato in figura 2. Se la tensione U_{AK} è negativa (polarizzazione inversa), inferiore comunque ad un valore massimo $U_{i,max}$, la conduzione è bloccata: transita solo una debole intensità ed un eventuale impulso sul gate non ha effetto. Anche se U_{AK} è positiva (polarizzazione diretta), ed inferiore ad un valore massimo $U_{d,max}$ analogo a quello che determina la scarica a valanga nella polarizzazione inversa, non si ha conduzione. Questa però può essere innescata da un impulso di corrente sul gate. Una volta che il tiristor è entrato in conduzione permane in questo stato indipendentemente dallo stato del gate, che ne perde 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. Nella figura 2 è mostrata la caratteristica i , U_{AK} .

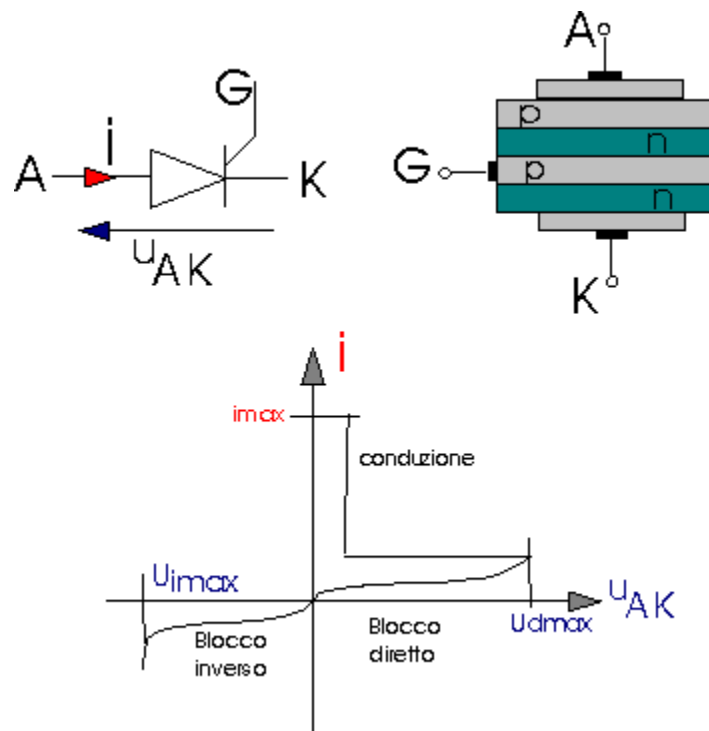


Figura 2

Quando il tiristor è in conduzione esiste una piccola tensione tra anodo e catodo dell'ordine del volt. Si ha quindi una dissipazione di potenza per cui il tiristor richiede un sistema di asportazione del calore. La scelta del tiristor deve tener conto sia del

valore efficace della corrente (I_{rms}) che del valore di picco nonché del valore della tensione di blocco. Il tiristor nonostante lo svantaggio di non poter interrompere una corrente innescata, ha un campo di impiego più vasto per quel che riguarda i valori di tensione e di corrente rispetto al transistor e, a parità di prestazione, è più economico. Inoltre quando lo si usa come rettificatore lo svantaggio di non poter essere spento è irrilevante poiché non esiste questa necessità.

OSSERVAZIONE:

Anche il transistor può svolgere la funzione di interruttore come il tiristor. Inoltre il transistor ha il vantaggio di poter interrompere la corrente in qualsiasi momento. Questa possibilità non ha però alcuna importanza nei circuiti di raddrizzamento (diverso è il discorso per gli inverter: conversione DC->AC). Inoltre i tiristor coprono un più vasto campo di valori di tensione e correnti e, a parità di prestazioni, sono più economici. Ricordiamo comunque brevemente anche il funzionamento del transistor BJT (**Bipolar Junction Transistor**)

E' un componente con tre strati npn o pnp, quindi con due giunzioni PN. I due elettrodi estremi sono denominati emettitore e collettore, quello intermedio base. La corrente convenzionale fluisce dal collettore all'emettitore nel npn e dall'emettitore al collettore nel pnp. Il transistor usato come interruttore statico è l' n-p-n che ha commutazioni più rapide rispetto al p-n-p. La tensione collettore emettitore U_{CE} è positiva ed anche la corrente I_C (da collettore ad emettitore). Oltre alle normali perdite per conduzione ($U_{CE}I_C$). Nella figura 3 oltre al simbolo circuitale ed allo schema costruttivo, sono mostrate le caratteristiche di collettore, cioè il legame esistente tra la corrente I_C e la tensione U_{CE} . Il valore di I_C dipende dal valore della corrente di base. Se $I_b=0$ il transistor è come un interruttore aperto, quando $I_b>0$ il transistor può essere fatto funzionare in modo che la U_{CE} sia molto bassa, per cui si comporta come un interruttore chiuso. Il prodotto $U_{CE}I_C$ corrisponde alle perdite durante la conduzione. Ad esse devono essere aggiunte le perdite che si hanno durante la commutazione tra lo stato di conduzione e quello di blocco. Queste ultime sono tanto più significative quanto più elevata è la frequenza di commutazione.

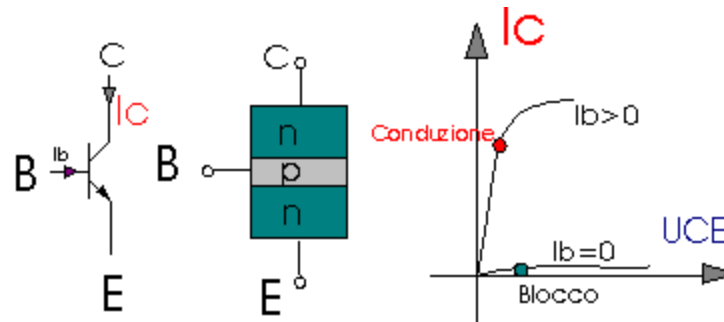


Figura 3
Monofase ad una semionda

Il principio per convertire una corrente alternata in una continua consiste nell'usare una valvola che lascia transitare la corrente in uno solo dei due sensi. Si ottiene in uscita una corrente unidirezionale con fluttuazioni intorno al valore medio, più o meno marcate a seconda della natura del carico.

Il valore medio è costante se la valvola non è comandata (diodo semplice), regolabile se è comandata (tiristore)

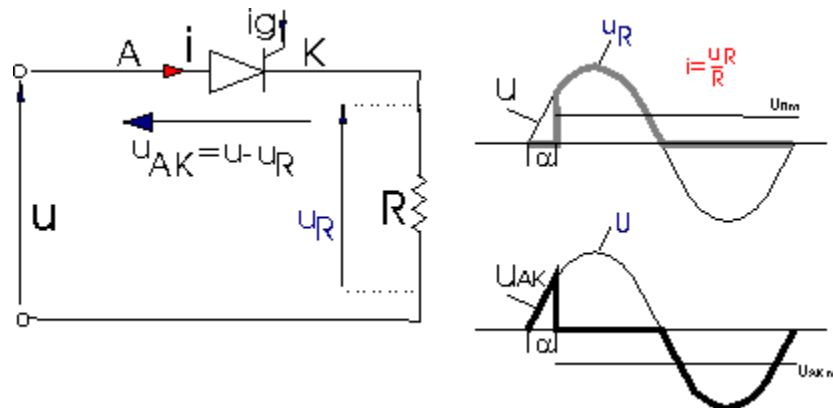


Figura 4

Nella figura 4 è illustrato il principio del raddrizzatore comandato ad una semionda. Il carico tra P ed N è una pura resistenza per cui la forma della corrente è identica a quella della tensione. Per il II pdK si ha $u_{AK} = u - u_R$ con $u_R = R \cdot i$; u_{AK} è positivo per tutta la semionda positiva e negativo per tutta quella negativa in quanto su una resistenza corrente e tensione sono in fase. Un impulso sul gate del tiristor quando $u_{AK} > 0$, lo porta in conduzione e la forma d'onda della tensione sulla resistenza u_R , segnata in grassetto, è identica a quella della corrente. Nell'ipotesi di diodo ideale durante la conduzione si ha $u_{AK} = 0$.

Si ha, come si vede, lo sfruttamento di un solo semiperiodo, per cui nella pratica si usa la configurazione a ponte di Graetz o a doppia semionda, illustrata nella figura 5.

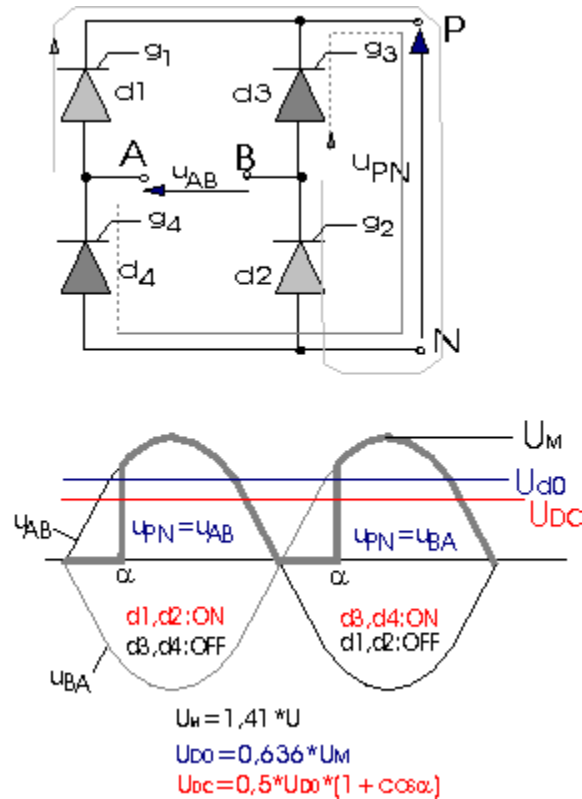


Fig. 5

I quattro tiristor formano i lati di un quadrilatero alimentato tra i vertici A e B dalla tensione alternata. Per semplicità pensiamo ad un carico puramente resistivo applicato tra i punti P ed N. Quando u_{AB} è positiva d_1 e d_2 sono polarizzati direttamente, ed un impulso sul loro gate li manda in conduzione mentre d_3 e d_4 , polarizzati inversamente, non conducono. La tensione tra P ed N coincide con la u_{AB} . Quando u_{AB} è negativa (u_{BA} positiva) sono d_3 e d_4 ad essere polarizzati direttamente per cui un impulso sul loro gate li manda in conduzione mentre d_1 e d_2 sono polarizzati inversamente e non conducono. La tensione tra P ed N coincide ora con la u_{BA} : P è perciò sempre positivo rispetto ad N e la tensione sul carico è unidirezionale, con valore medio, U_{DC} , regolabile variando l'istante in cui si dà l'impulso di conduzione definito dall'angolo α .

Indicando con $\mathbf{U}$ il valore efficace della tensione (valore detto anche rms), $\mathbf{U_M}$ il valore di picco, $\mathbf{U_{DC}}$ l'effettivo valore medio, $\mathbf{U_{D0}}$ il valore medio massimo possibile,

che si ottiene quando l'impulso di accensione del tiristor è dato all'inizio del periodo, quindi per $\alpha=0$, si hanno le relazioni riportate anche in figura:

- $U_M = 1,41 \cdot U$
- $U_{D0} = 0,637 \cdot U_M = 0,9 \cdot U$
- $U_{DC} = 0,5 \cdot U_{D0} \cdot (1 + \cos \alpha)$

La figura 6 mostra le forme d'onda di tensioni e correnti quando il carico è ohmico-induttivo, quale l'avvolgimento di un motore. E' considerato il caso di un raddrizzatore a semionda, ma le considerazioni sono valide anche per il raddrizzatore a ponte.

La figura 7 mostra i grafici della corrente e delle tensioni di un circuito ohmico-induttivo all'inserzione di una fem sinusoidale u quando essa è a metà del valore massimo (angolo di fase = 30°). Si ricorda che la corrente nel transitorio che ne consegue è la somma della componente a regime permanente i_p e di una transitoria smorzata i_t : $i = i_p + i_t$. La tensione $u_R = R \cdot i$ mentre la tensione sull'induttanza è $u_L = L \cdot di/dt = u - u_R$. All'istante di inserzione, dovendo essere $i=0$ è $i_t = -i_p$. Osserviamo che la corrente parte da zero e si annulla quando l'area tratteggiata a destra eguaglia quella di sinistra. Le due aree rappresentano l'incremento ed il decremento di flusso magnetico dovuto alla corrente che dapprima cresce e poi cala, portando l'energia immagazzinata nel campo magnetico ad un massimo, richiedendola al generatore di alimentazione, e poi restituendola integralmente. Le due aree sono date dalla differenza $u - u_R = u_L$, quindi all'area sottesa dalla curva di u_L .

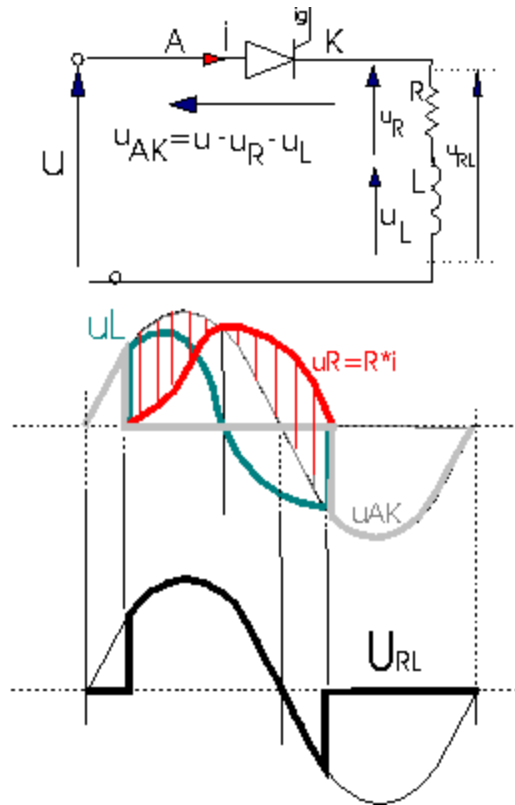


Figura 6

carico R-L

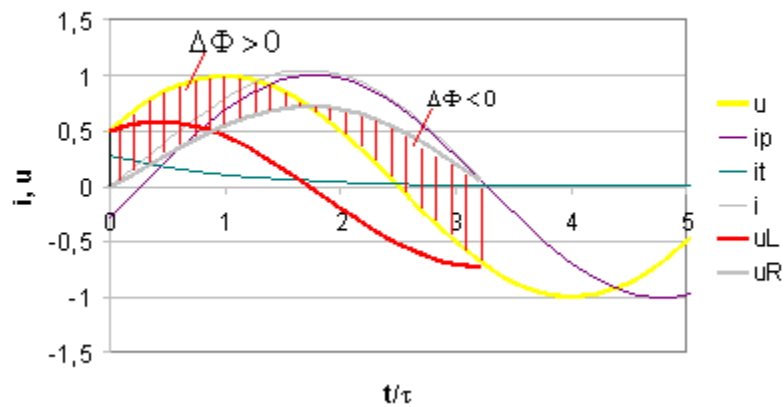


Figura 7

Finché non si dà l'impulso sul gate, il tiristor non conduce, u_R ed u_L , quindi anche $u_{RL} = u_R + u_L$, sono nulle ed $u_{AK} = u - u_{RL}$, coincide con u . All'impulso con $u_{AK} > 0$, si sviluppa una corrente, (positiva da A verso K), quindi diventano diverse da zero e positive le tensioni u_R ed u_L . La corrente cresce, raggiunge il massimo positivo,

quindi comincia a decrescere. Il flusso magnetico e l'energia magnetica evolvono nello stesso modo. Nella prima fase dunque l'induttanza immagazzina l'energia che poi restituisce integralmente nella seconda fase, quindi l'incremento di flusso della prima fase è identico al decremento della seconda, come già messo del resto in evidenza nella figura 7. Quando l'energia magnetica decresce, u_L diventa negativa. Quando anche u diventa negativa la corrente non è ancora nulla, quindi l'energia magnetica immagazzinata non è stata ancora restituita integralmente. La corrente fluisce ancora nel senso indicato come positivo continuando a diminuire. Quando la corrente si annulla si annulla u_R , ed in quell'istante $u_L = u$. L'energia magnetica è stata completamente restituita. Il tiristor a questo punto non conduce più, la tensione u_L si annulla ed il tiristor è polarizzato inversamente: $u_{AK} = u < 0$.

Dall'istante in cui il tiristor aveva iniziato a condurre fino a quello in cui la conduzione cessa, al bipolo R-L è applicata la tensione u . Quando la corrente si annulla si annulla anche la tensione sul carico R-L. Esiste dunque una frazione di periodo in cui la tensione ai capi del carico è negativa mentre la corrente è ancora positiva. E' l'intervallo compreso tra l'istante in cui u diventa negativa e l'istante in cui u_L diventa uguale ad u , mentre u_{AK} è nulla, cioè l'istante in cui i , quindi u_R si annullano. In questa frazione di periodo il carico restituisce energia al generatore.

Il valore medio della tensione applicata al carico, che è dato dalla somma algebrica delle aree sottese dalla curva u_{RL} diviso il periodo, diminuisce rispetto al caso di R pura.

Se una fem E agisce in serie al bipolo R-L, come nel caso dell'avvolgimento d'armatura di un motore a corrente continua a regime, tutto avviene come descritto nel caso precedente, con i valori di u_R ed u_L ridotti poiché invece di u va considerata la differenza $u - E$. La figura 8 mostra le forme d'onda.

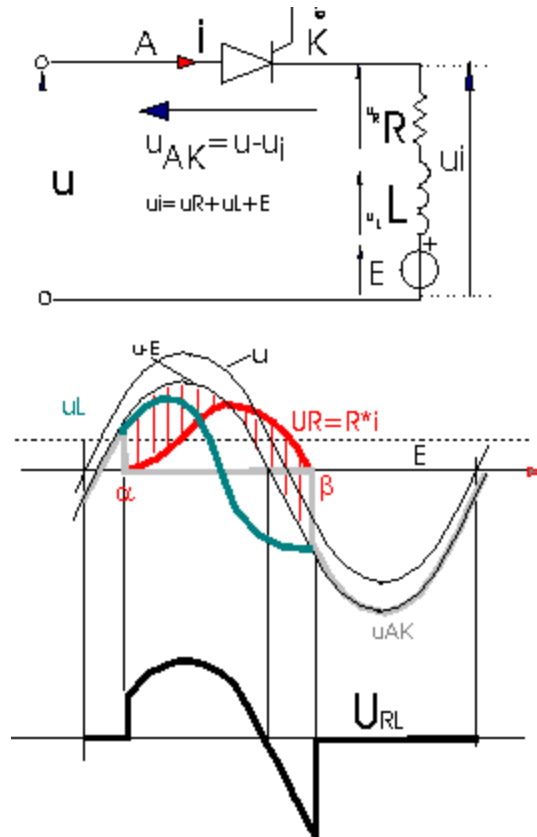


Figura 8

Si noti a questo proposito che l'impulso di conduzione va dato quando la differenza $u-E$ è positiva, perché è in questo caso che il tiristor è polarizzato direttamente. Man mano che la velocità del motore cresce si restringe l'intervallo di conduzione $g=a-b$. La velocità massima si ha quando E è uguale al valore medio massimo $U_{do}=0,637 \cdot U_M$. Alla velocità cui corrisponde tale E , l'angolo per l'impulso di conduzione è tra 39,5 e 140,5 gradi.

La fig. 8 presuppone una E costante che corrisponde ad una velocità costante del motore. C'è a questo proposito da osservare che questa la E del motore in realtà non è costante poiché non è costante la velocità del motore. Quando il tiristor va in conduzione il motore accelera, quindi aumenta la sua energia cinetica mentre l'energia magnetica dapprima cresce e poi decresce della stessa quantità. Quando la corrente si annulla il motore decelera a spese della sua energia cinetica. La velocità quindi oscilla attorno ad un valore medio e con essa la forza contro elettromotrice E .

L'oscillazione ha un'escursione tanto maggiore quanto maggiore è il carico resistente; a parità di coppia resistente l'oscillazione dipende dall'inerzia (momento di inerzia) del sistema motore-carico ed è tanto maggiore quanto essa è minore.

Bibliografia

- *Austin Hughes*
- ***Electric motor and driver***
- *Newnes edition*
- *Fitzgerald-Kingsley-Kusko*
- ***Macchine Elettriche***
- *Ed. FrancoAngeli*