

SOMMARIO

<i>DIODI CONTROLLATI AL SILICIO S.C.R.</i>	2
<i>Osservazione</i>	3
<i>Corrente di Holding I_H e di Latching I_L</i>	3
<i>Corrente di Accensione I_{GT}</i>	4
<i>Tempi di commutazione</i>	4
<i>Osservazione</i>	4
<i>CAUSE CHE PRODUCONO L'INNESCO DI UN SCR</i>	5
<i>Aumento di V_{ak}</i>	5
<i>Invio di corrente nel gate dell'SCR</i>	5
<i>Aumento della temperatura</i>	5
<i>Invio di un fascio di luce su J_2</i>	5
<i>DISINNESCO DI UN SCR</i>	6
<i>DERIVATA DI TENSIONE E DI CORRENTE</i>	6
<i>IL CONTROLLO DI FASE</i>	7
<i>MODULATORE DI POTENZA A CONTROLLO DI FASE IMPIEGANTE UJT</i>	7
<i>DIAC (DIODE ALTERNATE CURRENT)</i>	8
<i>TRIAC</i>	8
<i>CARATTERISTICA DEL TRIAC:</i>	9
<i>LIGHT DIMMER</i>	9
<i>Problematiche del circuito di trigger (alimentazione del gate)</i>	10
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	10

DIODI CONTROLLATI AL SILICIO

prof. Cleto Azzani
IPSIA Moretto Brescia
1996

DIODI CONTROLLATI AL SILICIO S.C.R.

Alla famiglia dei diodi controllati appartengono:

- SCR (Silicon Controlled Rectifier) o Tiristore
- TRIAC
- DIAC

L'SCR è un dispositivo a semiconduttore a quattro zone drogate alternativamente PNP; in esso si individuano tre giunzioni J1, J2, J3 e tre elettrodi A, K, G (A=Anodo, K=Catodo, G=Gate). Le modalità di funzionamento dell'SCR possono essere spiegate ricorrendo al circuito equivalente di fig. 2 che comprende due BJT complementari connessi in modo da realizzare un sistema retroazionato positivamente.

Il primo principio di Kirchhoff al tiristore diviene:

$$I_A + I_G = I_K \quad 1.1$$

d'altro canto si sa che:

$$I_{C1} = a_1 I_{E1} + I_{CBO1} \quad 1.2$$

ma

$$I_{B1} = I_{E1} - I_{C1} = I_{E1} - a_1 I_{E1} - I_{CBO1} \quad 1.3$$

$$I_{B1} = I_{E1}(1 - a_1) - I_{CBO1}$$

dal canto suo

$$I_{C2} = I_{E2} - I_{CBO2} \quad 1.4$$

ma

$$I_{B1} = I_{C2} \quad 1.6$$

dunque

$$I_{E1} = I_A \quad 1.7$$

$$I_{E2} = I_K = I_A + I_G \quad 1.8$$

$$I_A(1 - a_1) - I_{CBO1} = a_2(I_A + I_G) + I_{CBO2} \quad 1.9$$

ricavando dalla 1.9 la corrente I_A si ottiene:

$$I_A = \frac{a_2 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (a_1 + a_2)} = \frac{a_2 I_G}{1 - (a_1 + a_2)} + \frac{I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (a_1 + a_2)} \quad 1.10$$

se $I_G=0$ I_A assume il valore

$$I_A = \frac{I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (a_1 + a_2)} \cong 0 \quad 1.11$$

il Tiristore si dice disinnescato. Riportando su un piano IV la caratteristica corrente tensione di un SCR si ottiene la curva di fig. 4. Con I_G nulla applicando una tensione V_{AK} positiva via via crescente si nota inizialmente un debole passaggio di corrente dato dalla 1.11; ad un certo punto, raggiunta la V_{BO} , (tensione di break-over o di rottura diretta) che è la tensione che produce la rottura dei legami nella giunzione intermedia J2 polarizzata inversamente, la tensione ai capi dell'SCR diminuisce bruscamente in quanto la corrente prodotta dall'effetto valanga circola nella base del BJT T1 da quest'ultimo viene amplificata e

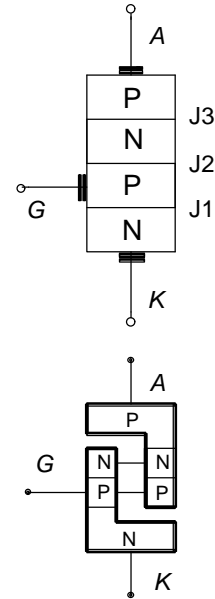


fig. 1 Struttura dell'SCR

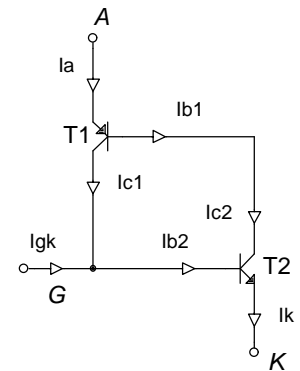


fig. 2 Schema equivalente dell'SCR

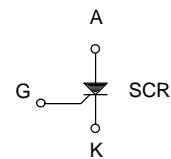


fig. 3 Simbolo elettrico dell'SCR

iniettata in base di T2 che fornisce corrente alla base di T1 mantenendo così l'SCR innescato. Ciò in definitiva produce la saturazione sia di T1 che di T2 per cui la tensione fra A e K dell'SCR scende a valori molto bassi (1-2V).

Osservazione

Per via matematica è possibile dare una spiegazione all'innescò di un SCR. Si consideri infatti l'espressione 1.11 al numeratore è presente la somma delle correnti di saturazione inversa delle due giunzioni BC dei due BJT, al denominatore la somma dei guadagni di corrente statici a base comune dei due BJT. Si osservi il grafico di fig. 5 che esprime la dipendenza del guadagno di corrente α di un BJT al variare della corrente di emettitore.

Se l'SCR è correttamente polarizzato, e si verifica la condizione :

$$a_1 + a_2 = 1 \tag{1.12}$$

I_a tende ad infinito; ciò fisicamente non è possibile (non esistono generatori capaci di fornire corrente infinita); l'SCR passa nello stato ON, i due BJT saturano e la d.d.p. fra anodo e catodo scende a valori bassi. Si tenga presente che le relazioni 1.10 e 1.11 sono valide solamente con i BJT funzionanti in zona lineare ossia con l'SCR interdetto.

Corrente di Holding I_H e di Latching I_L

Si chiama corrente di Holding o di mantenimento la minima corrente anodica che mantiene in conduzione l'SCR. Se risulta soddisfatta la condizione 1.13:

$$I_A > I_H \rightarrow a_1 + a_2 > 1 \tag{1.13}$$

allora l'SCR conduce e la retroazione positiva mantiene ON il sistema. Qualora la corrente anodica I_a scendesse al di sotto del valore di Holding e perciò risulta soddisfatta la relazione 1.14:

$$I_A < I_H \rightarrow a_1 + a_2 < 1 \tag{1.14}$$

allora l'SCR si disinnesca.

Più correttamente esiste distinzione fra corrente di latching I_L (minima corrente anodica che consente all'SCR di rimanere innescato nel passaggio da OFF a ON) e corrente di holding I_H (minima corrente anodica che consente all'SCR di rimanere innescato nel passaggio da ON a OFF). Per i fenomeni di isteresi connessi con sistemi che operano in reazione positiva risulta sempre:

$$I_H < I_L \tag{1.15}$$

In condizioni di polarizzazione inversa applicata fra Anodo e Catodo ($V_{AK} < 0$), la giunzione J2 risulta polarizzata direttamente, J1 e J3 risultano polarizzate inversamente. Se risulta :

$$|V_{AK}| < |V_{DRM}| \tag{1.16}$$

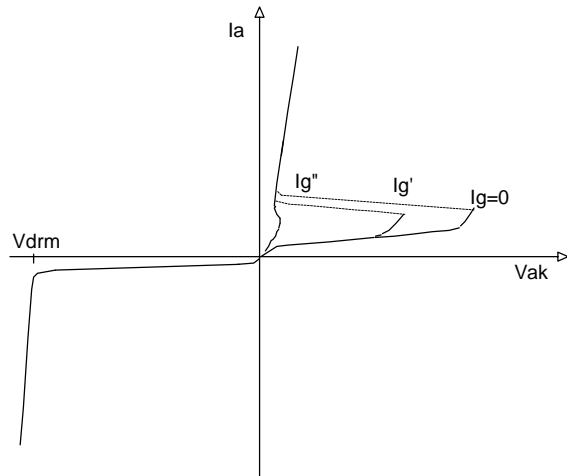


fig. 4 Caratteristica $I=f(V)$ di un SCR

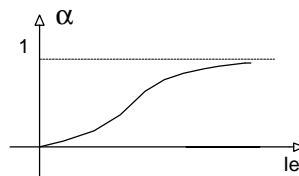


fig. 5 Andamento di alfa in funzione di I_e

attraverso l'SCR non si ha circolazione di corrente apprezzabile (flusso di cariche minoritarie). Il valore VDRM prende il nome di Massima tensione inversa di picco che non deve in alcun modo essere superata (se si vuole evitare il Breakdown).

Facendo circolare corrente nel Gate dell'SCR si nota che via via che tale corrente aumenta, la tensione di rottura diretta nel passaggio da OFF a ON diminuisce finché la I_g raggiunge il valore I_{gt} detta corrente di accensione.

Corrente di Accensione I_{GT}

Se facciamo circolare nel gate di un SCR una corrente pari alla corrente di accensione l'SCR si comporta come un normale diodo ossia non appena esso viene polarizzato direttamente conduce.

Tempi di commutazione

-Tempo di "turn-ON"

è il tempo impiegato dall'SCR per passare dallo stato di interdizione a quello di conduzione; si aggira solitamente attorno ad alcuni micro secondi.

$$t_{ON} \approx 2 \div 5 \mu s$$

- Tempo di "turn-OFF"

è il tempo impiegato dall'SCR per passare dallo stato di conduzione a quello di interdizione; assume valori che vanno da alcune decine ad alcune centinaia di micro secondi.

$$t_{OFF} \approx 50 \div 200 \mu s$$

Osservazione

Gli SCR oggi più diffusi hanno una tensione V_{bo} compresa fra 30 V e 1200 V con correnti medie dirette comprese fra 1 A e 350 A.

Cause che producono l'innesco di un SCR

Analizziamo ora le diverse modalità con cui si può produrre l'innesco di un SCR :

- 1) Aumento di V_{ak}
- 2) Invio di corrente I_g nel "gate" dell'SCR
- 3) Aumento della velocità di variazione di V_{ak} nel tempo
- 4) Aumento della temperatura delle giunzioni
- 5) Invio di un fascio di luce sulle giunzioni dell'SCR

Tutte questi metodi pur agendo secondo principi fisici differenti, producono il verificarsi della condizione:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \quad 1.17$$

che è appunto la condizione sotto cui si verifica il passaggio da OFF a ON dell'SCR. Esaminiamo cosa succede nei vari casi:

Aumento di V_{ak}

Aumentando la tensione V_{ak} , aumenta la polarizzazione inversa della giunzione J2 di conseguenza aumenta l'energia dei portatori minoritari che attraversano J2 e che liberano altre coppie elettrone-lacuna per urto. L'aumento di corrente nelle giunzioni produce l'aumento del coefficiente α (fig. 5) e può provocare il verificarsi della condizione di innesco indicata nella 1.17.

Invio di corrente nel gate dell'SCR

Iniettando corrente nel "gate" crescono i livelli di corrente nei due BJT; aumentano quindi i coefficienti α e ci si avvicina alla condizione indicata nella 1.17.

Aumento della derivata di tensione

Aumentando la velocità di variazione della tensione V_{ak} , aumentano le correnti assorbite dalle capacità parassite delle giunzioni, in particolare dalla capacità parassita anodo-gate C_{ag} (vedi in proposito la fig. 6). Aumentando i livelli di corrente che percorrono i BJT ci si avvicina alla condizione indicata nella 1.7.

$$i_{cp} = C_{ag} \frac{dV_{ag}}{dt} \cong C_{ag} \frac{dV_{ak}}{dt} \quad 1.18$$

Aumento della temperatura

Aumentando la temperatura delle giunzioni, aumentano i portatori minoritari nei due BJT; con conseguente crescita delle correnti di saturazione inversa delle giunzioni; questa situazione rende più probabile la condizione di innesco 1.17.

Invio di un fascio di luce su J2

Colpendo con radiazioni luminose di opportuna lunghezza d'onda, la giunzione J2 si liberano portatori minoritari che elevano i livelli di corrente nei BJT e ci avvicinano alla condizione di innesco 1.17. Prende il nome di LASCR (Light Activated SCR) un tiristore che viene attivato dalla luce.

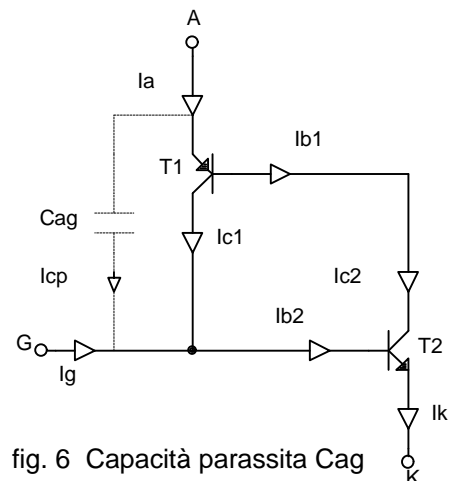


fig. 6 Capacità parassita C_{ag}

Disinnesco di un SCR

È importante notare che l'SCR, una volta innescato, mantiene il suo stato ON fintantoché la corrente anodica I_a non va al di sotto del valore di mantenimento I_H anche se la corrente di gate cessa di circolare. Solitamente viene impiegato in circuiti alimentati in corrente alternata nei quali al termine del semi periodo positivo si ha il disinnesco poiché riducendosi la tensione si ridurrà conseguentemente la corrente al di sotto del valore I_H . Nei circuiti in corrente continua ove si impieghi l'SCR si dovranno adottare tecniche circuitali nelle quali si provoca l'inversione di polarità della tensione V_{AK} . Nel funzionamento in c.a., i diodi controllati si disinnescono automaticamente allorché la tensione alternata di alimentazione passa per lo zero. Se il carico che i diodi stanno alimentando è di natura induttiva, si origina uno sfasamento tra tensione e corrente, che ha come conseguenza il mantenimento della conduzione anche con tensione di alimentazione negativa (l'induttanza deve smaltire l'energia accumulata).

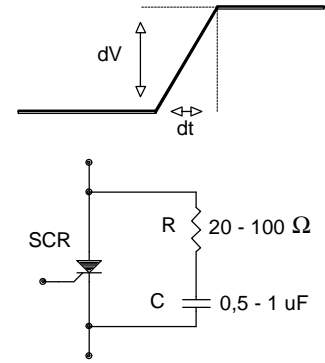


fig. 7 Rete "snubber" per ridurre dV/dt

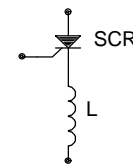


fig. 8 Circuito per ridurre la dI/dt

Derivata di tensione e di corrente

Per il corretto funzionamento dell'SCR si devono prendere precauzioni per contenere entro valori accettabili le *derivate della tensione V_{AK} e della corrente I_a* :

$$\frac{dV_{AK}}{dt} \quad \frac{dI_A}{dt} \quad 1.19$$

denominate pure velocità di variazione della tensione ai capi dell'SCR e della corrente che lo attraversa. Infatti le derivate hanno dei limiti per evitare la distruzione del dispositivo. Le derivate di tensione e di corrente devono essere contenute entro i valori indicati.

$$\frac{dV_{AK}}{dt} \leq 300 \frac{V}{\text{ms}} \quad \frac{dI_A}{dt} \leq 100 \frac{A}{\text{ms}} \quad 1.20$$

Quando si hanno gradienti superiori a questi, si deve ricorrere a delle protezioni:

1) per quanto riguarda dV/dt si ricorre ponendo in parallelo all'SCR una rete RC "snubber" come in fig. 7. Il gruppo RC posto in parallelo all'SCR infatti si oppone alle brusche variazioni di V_{AK} (assorbendo corrente); ciò provoca una consistente riduzione della derivata dV_{AK}/dt e quindi impedisce inneschi indesiderati soprattutto in presenza di carichi induttivi. Tali ordini di valori dipendono dal tipo di SCR.

2) per il dI/dt si pone in serie all'SCR una induttanza come in fig. 8. Essa si oppone infatti a brusche variazioni di corrente che percorre l'SCR. L'induttanza deve saturare in un tempo di 10÷20 μsec . dopo il quale la corrente è a regime e l'effetto prodotto dall'induttanza scompare. Perciò riassumendo il circuito completo per la protezione contro i gradienti di V e di I. è quello di fig. 9.

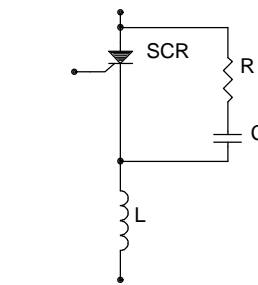


fig. 9 Circuito completo

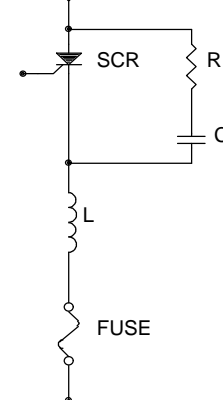


fig. 10 Protezioni RC, L, fuse

L'SCR non è tuttavia protetto completamente dalle sovracorrenti, serve infatti in serie all'induttanza un fusibile extra rapido. Esso è d'obbligo quando si tratta di impieghi nel campo di controlli di elevata potenza. La grandezza che caratterizza le proprietà di interruzione del circuito è il prodotto I^2t che rappresenta l'energia specifica di fusione (del fusibile o dell'SCR). Affinchè l'SCR non si distrugga dovrà essere verificata la seguente relazione:

$$I^2 \cdot t_{fus.} < I^2 \cdot t_{SCR} \quad 1.21$$

Il controllo di fase

Immaginiamo che un carico ohmico per semplicità, venga alimentato utilizzando il circuito di fig. 11. Supponiamo di disporre di un generatore di impulsi, sincronizzato sulla rete (passaggio per lo zero attraverso un circuito zero-crossing) e supponiamo che in tale circuito sia possibile modificare il ritardo con cui tale impulso capita a partire dall'istante in cui la sinusoide passa per lo zero. Se introduco un ritardo nullo sul carico avrò l'intero segnale unidirezionale in uscita dal ponte di Graetz; se introduco un ritardo temporale corrispondente a 60° il grafico della tensione sul carico sarà quello di fig. 12b. Si noti che la forma d'onda sul carico è una parzializzazione del segnale pulsante di fig. 13a. Più cresce il ritardo introdotto, maggiore è l'angolo di parzializzazione e minore è la potenza che viene trasferita dal generatore al carico; minore è pure il valore medio presente sul carico. In fig. 13 sono riportati altri grafici dell'andamento della tensione sul carico per distinti valori dell'angolo di ritardo (fra 0° e 150°).

Modulatore di potenza a controllo di fase impiegante UJT

Un esempio di modulatore di potenza a controllo di fase ad UJT è riportato in fig. 15. Si tratta di un VCO con UJT ampiamente trattato nella dispensa VCO PWM che presenta una particolarità: è sincronizzato sul passaggio per lo zero della tensione di rete; in effetti si noti che l'UJT non viene alimentato da una sorgente continua stabilizzata ma dalla tensione V_z del diodo Zener DZ (15 V) che è di forma d'onda trapezoidale in quanto ricavata dalla rete alternata (220V 50Hz). L'onda trapezoidale di alimentazione (vedi fig. 16) assicura che all'inizio di ogni ciclo, il condensatore C1 dello schema di fig 15 sia scarico e quindi che il primo impulso giunga al diodo controllato ritardato sempre della stessa entità rispetto all'inizio del ciclo dell'alternata di rete.

Il trasformatore ad impulsi assicura isolamento fra il circuito dell'UJT e il circuito catodo gate dell'SCR. Se nel circuito di fig. 15 cresce V_i , Q3 assorbe maggior corrente da R3 (generatore di corrente sink); Q2 aumenta la corrente erogata su C1 che quindi si carica più rapidamente e perciò il ritardo diminuisce.

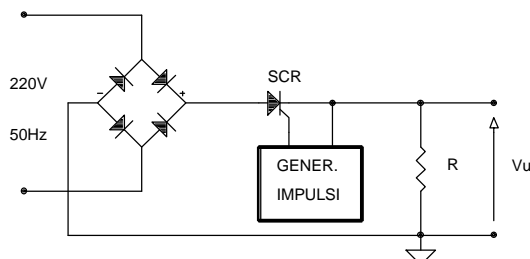


fig. 11 Circuito per il controllo di fase

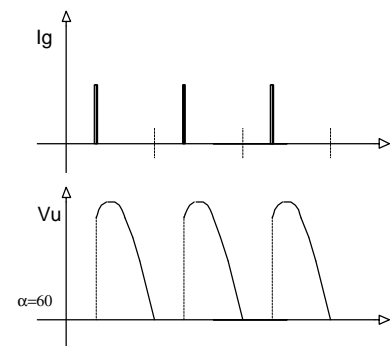


fig. 12 Parzializzazione con SCR

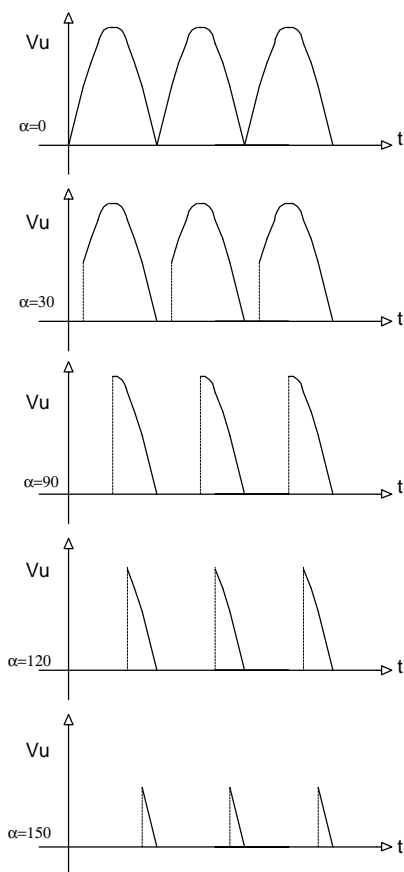


fig. 13 Forme d'onda sul carico con diversi angoli di parzializzazione

ESEMPIO DI MODULATORE DI POTENZA

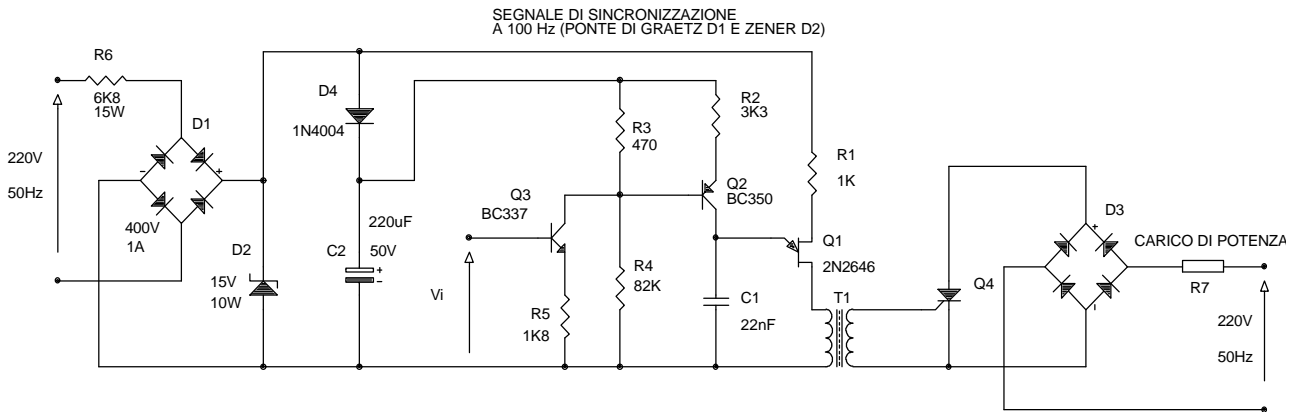


fig. 15 Modulatore di Potenza a controllo di fase ad UJT sincronizzato

Viceversa se V_i diminuisce, Q3 assorbe minor corrente, Q2 eroga meno corrente a C1 che perciò impiega maggior tempo a raggiungere la V_p .

Dato che l'impulso che determina il livello di parzializzazione della tensione sul carico è il primo che giunge all'SCR, sincronizzando il generatore con il passaggio per lo zero dell'alternata di rete, si ottiene una regolarità nel dosaggio della potenza al carico. È evidente che gli impulsi che giungono successivamente al primo, non determineranno alcun effetto sulla situazione di conduzione dell'SCR. Nel circuito di fig. 15 R7 rappresenta il carico in corrente alternata su cui agisce la regolazione di potenza; il ponte raddrizzatore di potenza consente di usare un SCR come elemento regolatore.

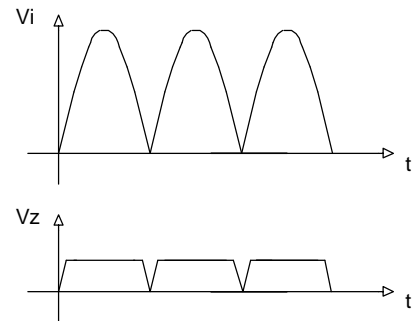


fig. 16 Tensione ai capi di DZ (circuito di fig. 15)

DIAC (Diode Alternate Current)

È un dispositivo a semiconduttore realizzato mediante cinque zone di drogaggio di tipo NPNPN. All'esterno esso presenta solamente due elettrodi, che ne giustificano il nome (DIAC = diode alternate current = diodo per corrente alternata). Il comportamento del DIAC si può comprendere dall'esame della caratteristica di figura 17a. Da questa si trae che il DIAC può essere posto in conduzione sia applicandogli una d.d.p positiva che negativa. La tensione deve superare la tensione di rottura V_{B0} . Una volta avvenuto l'innesco, la tensione che si stabilisce ai capi del DIAC è minore di V_{B0} (come si può vedere dalle caratteristiche). Valori tipici di funzionamento di un DIAC, con riferimento alle grandezze indicate in figura 17a sono:

- $-V_{B0}$ (tensione di innesco) ~ 30 V;
- $-I_B$ (corrente di innesco) ~ centinaia di mA.

La corrente di innesco non è possibile definirla corrente di mantenimento, in quanto, raggiunto il valore di rottura, il dispositivo presenta una zona di caratteristica a resistenza differenziale negativa. Il campo di applicazione del DIAC è normalmente ristretto ai circuiti di comando dei TRIAC.

TRIAC

È un dispositivo che fa parte della famiglia dei TIRISTORI, che consente la regolazione di potenza su carichi che funzionano normalmente in corrente alternata. Il TRIAC presenta una struttura analoga a quella

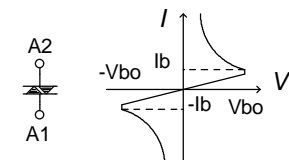


fig.17a simbolo e caratteristica del DIAC

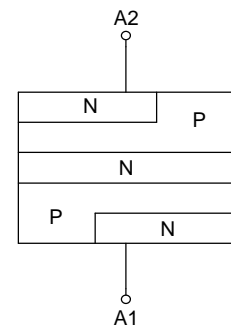


fig.17b struttura interna del DIAC

del DIAC ma in esso è stata ricavata, rispetto al precedente, una ulteriore giunzione, cui è applicato l'elettrodo di gate (Fig. 18). I terminali del TRIAC hanno la seguente denominazione: A2 (anodo 2; corrisponde all'Anodo di un SCR), A1 (anodo 1; corrisponde al Catodo di un SCR), G (gate). Il TRIAC equivale a due SCR connessi in anti-parallelo perciò conduce sia polarizzando A1 positivamente rispetto ad A2 sia polarizzando A2 positivamente rispetto ad A1; l'istante di conduzione può essere determinato da un impulso di corrente inviato in Gate.

Si osservi che gli impulsi forniti al gate per innescare la conduzione hanno normalmente la stessa polarità dell'anodo 2. In altri termini, se A2 è positivo rispetto ad A1, si ottiene la conduzione del TRIAC portando il gate a potenziale positivo rispetto ad A1; viceversa, se A1 è positivo rispetto ad A2, si ottiene la conduzione di corrente attraverso il dispositivo, fornendo al gate un impulso di verso opposto al precedente. L'interdizione del TRIAC si ottiene annullando la d.d.p ai suoi capi e in generale facendo sì che la corrente che lo percorre scenda al di sotto del valore di mantenimento I_H .

Caratteristica del TRIAC:

Il TRIAC, equivale a due SCR in antiparallelo perciò due saranno i quadranti di possibile funzionamento (vedi fig. 20):

1. -il quadrante I in cui sia la corrente anodica che la tensione anodica risultano positive assieme alla corrente di gate;
2. -il quadrante III in cui la corrente anodica, la tensione anodica e la corrente di gate risultano essere negative.

La tensione V_{bo} (di break over) è la massima ddp applicabile ai capi del diodo controllato. Il TRIAC conduce solo se viene fatta circolare in gate una corrente opportuna (magari maggiore a quella di accensione) positiva o negativa a seconda del quadrante in cui il dispositivo si trova a funzionare.

LIGHT DIMMER

Una delle applicazioni più classiche del TRIAC è il circuito "light-dimmer" (fig. 21) largamente impiegato in ambito civile nelle abitazioni per regolare la luminosità di lampade ad incandescenza della illuminazione domestica. Agendo su R1 si modifica il ritardo di innesco di DIAC e TRIAC e di conseguenza la potenza che viene assorbita da LP1: aumentando R1 la luminosità di LP1 diminuisce in quanto diminuisce la potenza dissipata; diminuendo R1 aumenta la luminosità di LP1. Un circuito analogo al "light dimmer" viene usato per regolare la velocità di motori

Cleto Azzani

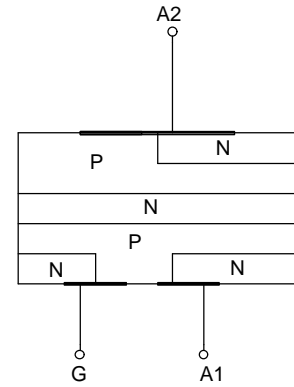


fig. 18 Struttura del Triac

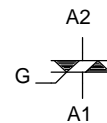


fig. 19 Simbolo elettrico del Triac

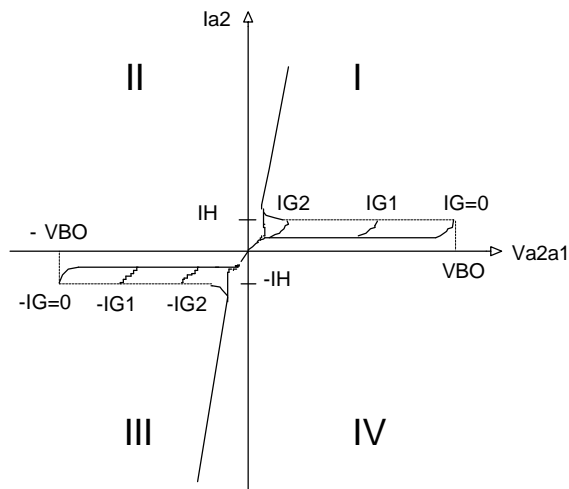


fig. 20 Caratteristica I=f(V) di un Triac

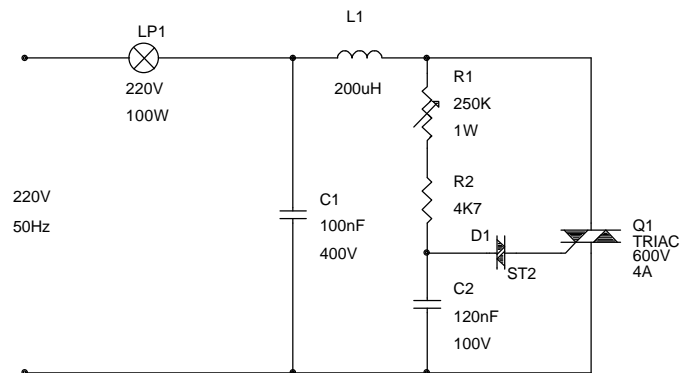


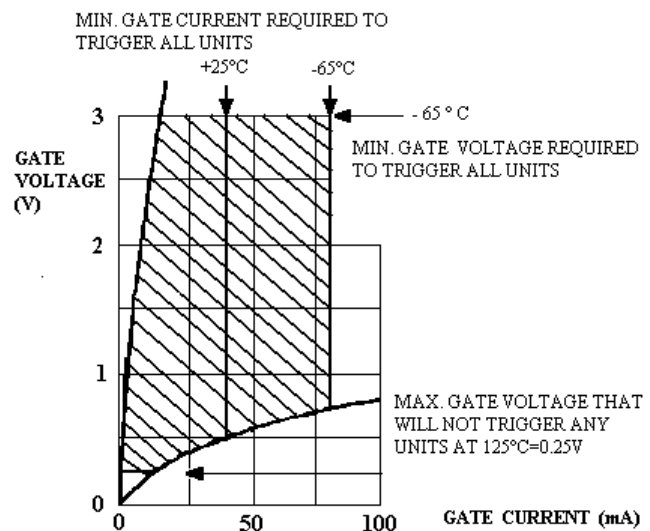
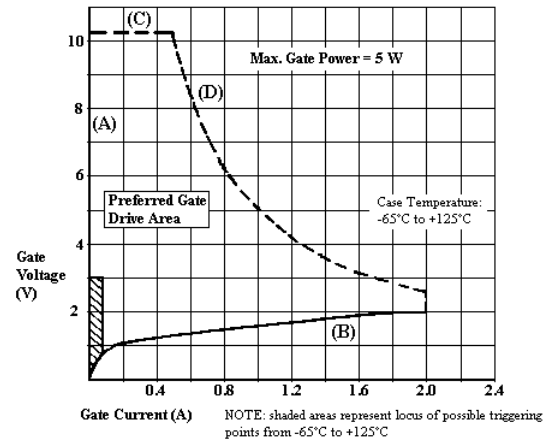
fig. 21 Esempio di light dimmer

universali (usati negli elettrodomestici). La coppia L1 e C1 costituisce un filtro passa basso che blocca i disturbi a radio frequenza generati dal TRIAC (fronti di innesco molto ripidi) e che verrebbero irradiati sulla linea di distribuzione dell'energia elettrica.

Problematiche del circuito di trigger (alimentazione del gate)

In fig. 22 (in alto nella pagina) sono riportate, le curve limite che definiscono l'area di dispersione delle caratteristiche di gate per un determinato diodo controllato (contrassegnato da una determinata sigla). Tali caratteristiche esprimono l'andamento della tensione di gate V_g al variare della corrente di gate I_g con corrente anodica nulla. Le curve limite sono la curva (A) (molto prossima all'asse y) e la curva (B). La funzione del circuito di trigger è appunto quella di fornire un adeguato valore di tensione di gate e di corrente di gate in modo da assicurare il sicuro passaggio dallo stato OFF di interdizione a quello ON di conduzione, sempre e indipendentemente dallo specifico diodo controllato inserito nel circuito. L'area tratteggiata riportata in fig. 22 collocata in prossimità dell'origine del sistema di assi cartesiani, rappresenta una area all'interno della quale non è assicurato un corretto funzionamento del diodo in quanto

tensione di gate V_g e la corrente di gate I_g possono risultare insufficienti a garantire l'innesco del diodo controllato; tale area risulta meglio rappresentata nella grafico di fig. 23 che rappresenta l'ingrandimento in prossimità dell'origine della fig. 22. La curva (D) rappresenta l'iperbole di massima dissipazione ossia il massimo valore consentito al prodotto $V_g I_g$ in quello specifico diodo controllato. La curva (C) rappresenta il valore di picco massimo consentito alla tensione gate V_g . La curva (E) rappresenta il valore di picco massimo consentito alla corrente di gate I_g . L'area di lavoro corretta denominata "preferred gate drive area" è perciò contenuta all'interno delle curve (A), (B), (C), (D), (E) ad eccezione dell'area tratteggiata.



BIBLIOGRAFIA

■ Pizziola	Electronica Industriale e Servomeccanismi	ISEAT
■ Giometti Frascari	Elettrotecnica, elettronica, radiotecnica	Calderini
■ Figini	Azionamenti a velocità variabile	Editoriale Delfino
■ General Electric	SCR manual	General Electric