

Introduzione agli UPS il Current Crowding

Sempre più spesso si parla di unità di emergenza (UPS); in molti casi se ne descrivono le caratteristiche generali e le prestazioni ottenute. Quanti, però, conoscono le problematiche elettroniche che le caratterizzano?

Flavio Criseo - 1ª parte

Recentemente si è parlato di come sia composto un gruppo di continuità UPS e cosa si deve conoscere per avere un'idea delle prestazioni alle quali esso è chiamato a rispondere.

Vi sono delle problematiche che un tecnico deve conoscere in modo approfondito.

Un fenomeno importante

Su qualsiasi circuito di potenza Medio-Alta è presente, oserei dire in modo latente, il Current Crowding.

Su un gruppo UPS, un gruppo elettrogeno, un circuito di controllo per un motore elettrico in continua o in alternata, un'elettrosaldatrice

ad arco e altro ancora si deve tener conto di questo importante fenomeno.

Il fenomeno del Current Crowding si presenta quindi in tutti quei dispositivi di potenza dove è richiesta una forte corrente di picco e un'alta velocità di commutazione.

I vecchi lettori de *Il Cinescopio* potrebbero dire: "ma a che serve conoscere il Current Crowding se sono alle prese con la riparazione di un TVC"?

Sicuramente, riparando un TVC, molti di voi avranno sostituito più volte delle parti importanti negli stadi SMPS o Fly-back perché "è bene sostituirli"...

Questo è vero, molti però ignorano che è bene sostituirli perché i componenti in questione fanno

parte del circuito di correzione del Current Crowding.

Il problema della conoscenza del Current Crowding non è, quindi, di secondaria importanza per un tecnico in TVC e VCR.

Chiaramente, le correnti in gioco in un TVC non saranno forti come quelle di un gruppo elettrogeno o di una Power-UPS, ma anche i BJT di potenza impiegati per i piccoli UPS e per i TVC, devono essere protetti da questo "inconveniente".

In queste pagine vedremo in cosa consiste il Current Crowding, vedremo come si può fare per controllarlo e, infine, vedremo alcuni schemi di TVC esistenti in commercio che, non a caso, impiegano i circuiti studiati.

Il tutto "iniziò" con la legge di Lenz

Sappiamo che quando un induttore "L" è percorso da una corrente "I" fortemente variabile nel tempo, la differenza di potenziale che si localizza ai capi dell'induttore stesso diviene molto elevata.

Questo, nella pratica, vuol dire che:

$$V(t) = L \frac{di}{dt}$$

Dove con il termine $V(t)$ si intende la tensione variabile nel tempo causata dalle variazioni della corrente.

Se abbiamo un induttore e ai suoi capi la corrente varia molto velocemente nel tempo, la tensione $V(t)$ sarà tanto maggiore quanto più piccolo è il termine "dt".

Pensiamo a un qualsiasi alimentatore a commutazione (Switching): il transistor commuta con una frequenza elevata (frequenza di commutazione) che, per un TVC, può superare alcune decine di kHz.

Questo vuol dire che il transistor sarà acceso e (conseguentemente spento) per brevissimi istanti di tempo. I brevissimi istanti di tempo sono, per l'appunto, il nostro "dt".

Come avviene il Current Crowding

Guardiamo la **Fig. 1** e vediamo cosa accade in un Thyristor.

Questo componente (spesso chiamato anche SCR) è un particolare diodo capace di accendersi quando arriva un impulso di gate e capace di spegnersi se si verifica una delle seguenti condizioni:

- la tensione anodo-catodo viene a mancare;
- il gate è cortocircuitato con il catodo;
- la polarizzazione del Thyristor è inversa;
- la corrente che vi fluisce si interrompe.

Guardiamo lo schema a sinistra nella Fig. 1; come si può notare, le parti che compongono un SCR

sono riconducibili a una coppia di transistori Q1 e Q2.

Una prima particolarità che non deve sfuggire è che i transistori sono rispettivamente PNP e NPN.

È importante altresì notare che il collettore di un transistor è connesso alla base dell'altro transistor.

Il transistor PNP è connesso alla tensione di alimentazione, mentre il transistor NPN è connesso verso massa.

Siccome la base di un transistor è connessa direttamente al collettore dell'altro, è come se tali giunzioni P-N fossero un unico "corpo" (la base di un BJT è quindi il collettore dell'altro BJT).

Come si può notare, i rettangoli che delimitano i transistori nella parte destra della figura presentano una giunzione P-N in comune. Questa giunzione corrisponde alle connessioni dirette fra base-collettore dei due transistori.

Nel PNP la corrente entra dall'emettitore ed esce dalla base e dal collettore, mentre nell'NPN la corrente entra nel collettore e nella base ed esce dall'emettitore.

Se colleghiamo i due transistori con la base e il collettore in comune, le correnti possono liberamente fluire partendo dall'emettitore del PNP per convogliarsi successivamente sull'emettitore dell'NPN.

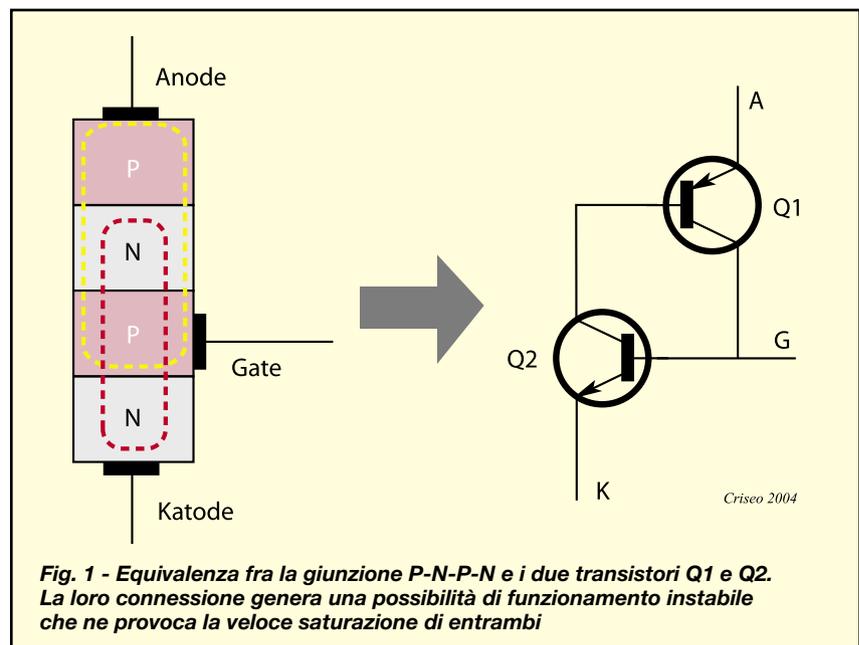
Ammettiamo che l'emettitore del

PNP riceva una tensione positiva di qualche volt e che l'emettitore dell'NPN sia a massa.

Se alla base dell'NPN non è presente nessuna tensione, questi è spento; se questo è vero, allora non fluisce corrente nel suo collettore. Siccome la corrente di collettore dell'NPN è anche la corrente di base del PNP, se non c'è corrente di collettore dell'NPN, allora non c'è corrente in base al PNP ma, se questo è vero, allora anche il PNP è spento e quindi non c'è corrente sul suo emettitore. Se la corrente di emettitore del PNP è assente, allora anche la corrente del suo collettore è nulla, questo è confermato anche dal fatto che se, come appena detto, la corrente sul collettore del PNP è nulla, allora anche la corrente sulla base dell'NPN sarà nulla (ciò conferma che, se il transistor NPN è spento rimane sicuramente spento anche se è presente tensione positiva all'emettitore del PNP).

Se, a questo punto, dovesse arrivare una piccolissima corrente sulla base del transistor NPN, tale corrente entrerebbe nel transistor accendendolo debolmente; la piccola accensione provoca un'altrettanto piccola corrente di collettore dello stesso.

La corrente di collettore, però, è la corrente di base del PNP, quindi, se comincia a fluire corrente di base





dal PNP, allora anche quest'ultimo si accende debolmente.

Se il PNP si accende leggermente, oltre alla sua corrente di base sarà presente anche una piccola corrente sul suo collettore, anche questa corrente di collettore entra nuovamente nella base dell'NPN.

A tutti gli effetti, si tratta di un "cane che si morde la coda"!

Sappiamo che, quando un transistor conduce, la corrente di collettore è hfe volte più grande della sua corrente di base.

Per quanto piccola possa essere la corrente presente sul collettore del PNP, sarà sicuramente più grande della corrente inizialmente presente sulla base dell'NPN.

La corrente di collettore del PNP è anche la corrente di base dell'NPN, quindi, a questo punto, la base avrà una corrente maggiore rispetto a quella presente al momento dell'accensione dell'NPN stesso.

Se questo è vero, l'NPN si accende con maggiore intensità, ma allora anche la corrente di base del PNP (ovvero la corrente di collettore dell'NPN) sarà maggiore.

Se questa corrente è maggiore, allora anche la corrente di collettore del PNP sarà a sua volta sempre più grande!

Questo effetto (noto anche come "Effetto Valanga") produce

un sostanziale risultato: se non è presente corrente di base sul transistor NPN, allora entrambi i transistori sono spenti, se è presente una piccolissima corrente di base sull'NPN, in brevissimo tempo i due transistori si accenderanno fortemente raggiungendo la profonda saturazione a causa dell'effetto valanga.

È importante notare che, quando è avviato l'innesco tramite una piccolissima corrente di base, i transistori si accendono sempre più, anche se la corrente iniziale non dovesse essere più presente!

Sarà la corrente del collettore del PNP ad alimentare la base dell'NPN (da questo punto in poi sarà quindi superflua la presenza di un'eventuale piccola corrente esterna sulla base dell'NPN stesso).

Questo comportamento è a tutti gli effetti lo stesso comportamento che si verifica in un diodo controllato al silicio (Thyristor).

Abbiamo visto che un SCR impiega un tempo brevissimo ad accendersi e, se opportunamente pilotato, può impiegare un tempo breve anche in fase di spegnimento.

Se il tempo che passa fra quanto è acceso e quanto rimane spento è molto piccolo, ecco che abbiamo un "tempuscolo" che possiamo chiamare "dt".

Problemi che causano l'innesco indesiderato

1. La temperatura può innescare l'accensione indesiderata. È generata da una coppia elettrone-lacuna per agitazione termica.
2. Quando polarizzo A-K con una tensione diretta, le Vbc dei due BJT sono polarizzate in inversa (a tal riguardo si veda la Fig. 1).

Maggiore è la V_{A-K} , maggiori saranno le Vbc in Q1 e Q2. Un diodo, se polarizzato in inversa, presenta una corrente (detta di saturazione inversa) che è tanto grande quanto maggiore è la tensione di polarizzazione inversa. Questa piccola corrente si inietta nelle basi dei transistori provocandone l'innesco.

Accensione e spegnimento

Abbiamo già detto che, quando si verifica l'accensione dell'SCR, questa è molto veloce e i due transistori sono in profonda saturazione.

Più profonda è la saturazione, più tempo impiegano i BJT a desaturare prima e a spegnersi poi.

Un SCR è quindi veloce all'accensione, ma lento a spegnersi.

Quando un SCR viene spento, dobbiamo attendere un certo tempo "t" prima di poterlo nuovamente polarizzare in diretta. Se così non fosse, data la sua lentezza nello spegnersi, questi potrebbe riaccendersi senza nessun impulso di gate. La "riaccensione" è data proprio dal fatto che lo spegnimento non è avvenuto in modo totale e sicuro.

Per poter spegnere il Q2, visibile in Fig. 1, è necessario dare una corrente di base negativa. Dato che le correnti si ripartiscono in modo equo su entrambi i BJT, la I_{c1} sarà circa la metà della I_{A-K} . La corrente I_{c1} allora sarà molto grande!

La nostra corrente di gate dovrà quindi essere $I_g < -I_{c1}$; in questo modo, Q2 riuscirà a spegnersi correttamente.

La corrente I_g passa attraverso la V_{be} di Q1, così come visto in Fig. 1.

Il transistor dissiperà sul diodo B-E una potenza pari a $P = I_g \cdot V_{be}$.

È facile intuire come tale potenza sia molto grande e pericolosa.

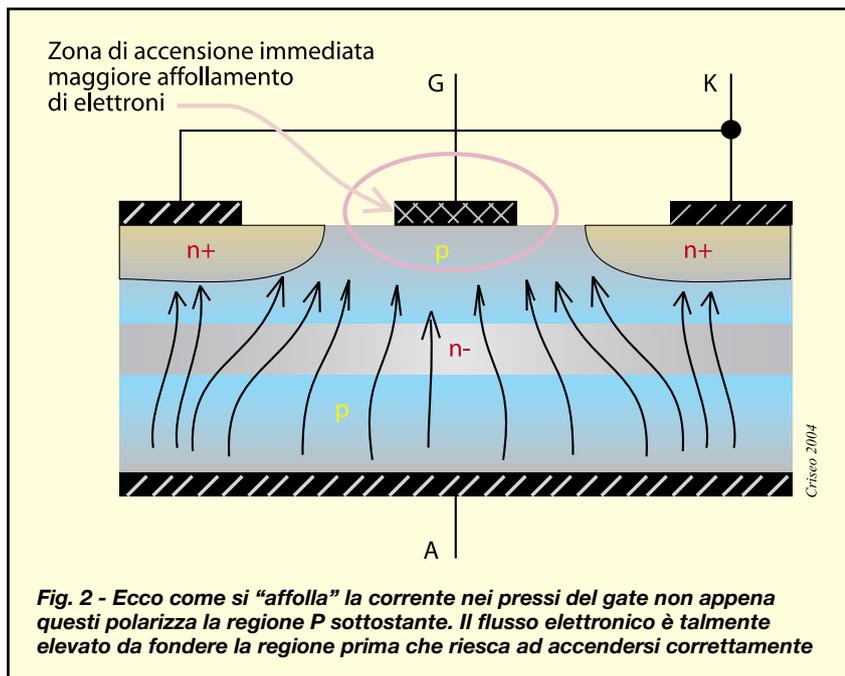


Fig. 2 - Ecco come si "affolla" la corrente nei pressi del gate non appena questi polarizza la regione P sottostante. Il flusso elettronico è talmente elevato da fondere la regione prima che riesca ad accendersi correttamente

L'SCR prima si spegne e poi si distrugge. Vediamo perché

Ammettiamo di polarizzare con $I_g < -I_{c1}$ in modo da tentare lo spegnimento del nostro SCR.

Appena la I_g arriva sul gate, si spengono immediatamente le regioni più prossime al gate; successivamente si spegneranno le regioni più lontane.

Vediamo insieme la Fig. 2: le frecce orientate dal basso verso l'alto indicano la direzione di migrazione da parte degli elettroni (sono i portatori di carica trascinati dal campo elettrico imposto dall'esterno). Dalla zona P dell'anodo "A" partono le cariche negative che migrano verso il catodo "K".

Appena la corrente di gate è negativa il diodo P-N, che fa capo al gate stesso, tenta uno svuotamento della regione di carica spaziale. Tutte le lacune sono spinte all'interfaccia del gate, mentre tutti gli elettroni sono "schiacciati" nella zona di drogaggio n.

Il flusso di elettroni che migrano dal basso verso l'alto non può quindi arrivare nella zona del gate perché è presente una polarizzazione inversa. La parte di drogaggio P vicina alle regione n+ non è ancora spenta del tutto perché più lontana dal gate.

Questo vuol dire che la regione di carica spaziale non è ancora completamente svuotata dalle cariche elettriche.

Il forte flusso, allora, migra in modo massiccio intorno alle regioni n+; la sezione di semiconduttore acceso, man mano che lo spegnimento continua, è sempre più piccola, mentre la corrente (richiesta dal carico esterno al nostro SCR) è sempre la stessa. In parole povere, è come se facessimo scorrere una forte corrente su un resistore da 10 W e, a parità di corrente, ne diminuissimo la sua potenza.

L'effetto sarebbe un surriscaldamento e una successiva distruzione del componente.

Una corrente $I_g < -I_{c1}$ è quindi possibile se la I_{A-K} , richiesta dal carico, è molto piccola, oppure se, prima dell'invio della I_g di spegnimento, la I_{A-K} è stata ridotta fortemente.

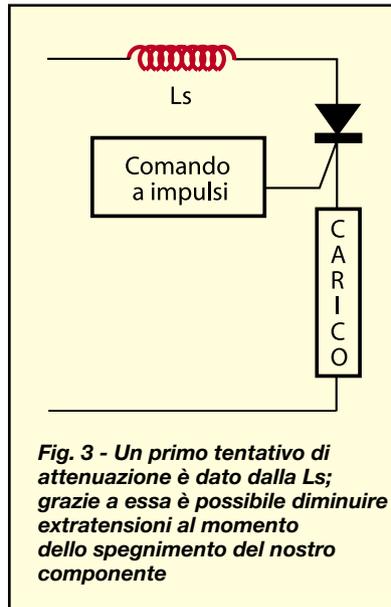


Fig. 3 - Un primo tentativo di attenuazione è dato dalla Ls; grazie a essa è possibile diminuire extratensioni al momento dello spegnimento del nostro componente

Il Current Crowding non si verifica solo allo spegnimento

Se accendiamo l'SCR con una $I_g > 0$, prima si accenderanno le zone vicine al gate (vedere Fig. 2) poi, man mano, tutte le altre.

Le più lontane saranno le ultime ad accendersi correttamente.

Se, come spesso accade, al momento dell'accensione, il carico richiedesse forte corrente I_{A-K} , tutti i portatori di carica si affollerebbero nei pressi del gate mentre vicino le zone n+ nessun flusso sarebbe presente.

Le zone del gate, essendo già accese, dovranno sopportare una corrente molto forte surriscaldandosi fortemente. Tutta la corrente si affollerà in una ristretta zona per poi, man mano che l'accensione si propaga nelle altre regioni, distribuirsi in modo corretto.

Dato che la I_{A-K} è forte, la zona vicina al gate può non sopportare il flusso di elettroni.

Le conseguenze sono quindi facilmente immaginabili. Alcune parti dell'SCR si bruceranno prima che le altre zone siano accese.

Man mano che le altre zone si accenderanno, finiranno per bruciarsi anch'esse perché la superficie conduttiva è sempre ridotta rispetto al flusso di corrente. In definitiva, se I_{A-K} è molto forte, anche al momento dell'accensione, l'SCR può distruggersi.

All'accensione

Vediamo come sia possibile porre rimedio agli inconvenienti appena descritti.

Per evitare la distruzione al momento dell'accensione, non deve essere superato il valore limite ammesso dal componente.

Tale valore consiste nella variazione massima della corrente nel tempo infinitesimo d'accensione.

Indicata con

$$\frac{di_A}{dt}$$

la variazione di corrente ammessa, questa deve rispettare il massimo

$$\frac{di_{Amax}}{dt}$$

segnalato dal costruttore. È possibile limitare la variazione di corrente inserendo in serie all'SCR un induttore Ls.

Guardiamo la Fig. 3 e vediamone il comportamento sul circuito.

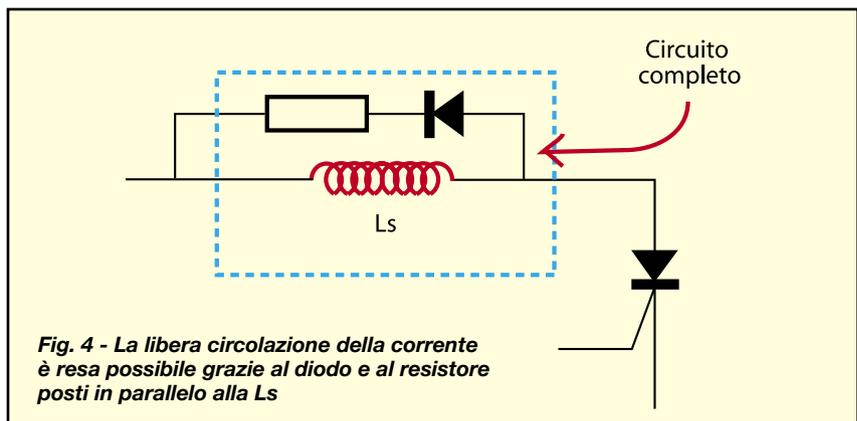


Fig. 4 - La libera circolazione della corrente è resa possibile grazie al diodo e al resistore posti in parallelo alla Ls

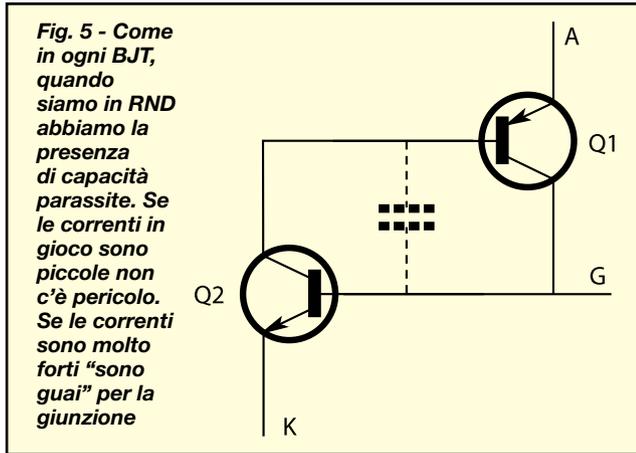


Fig. 5 - Come in ogni BJT, quando siamo in RND abbiamo la presenza di capacità parassite. Se le correnti in gioco sono piccole non c'è pericolo. Se le correnti sono molto forti "sono guai" per la giunzione

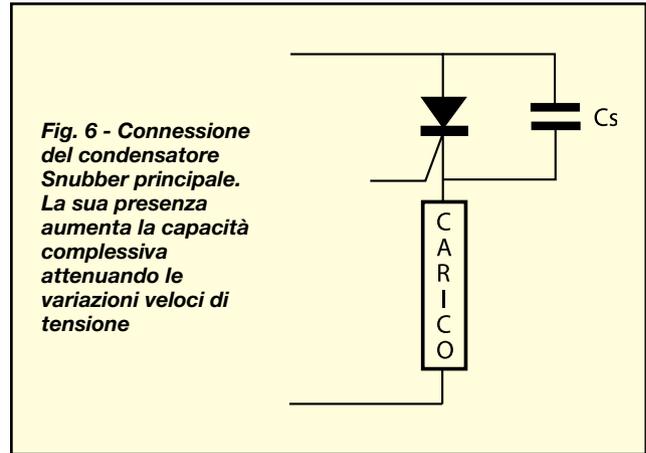


Fig. 6 - Connessione del condensatore Snubber principale. La sua presenza aumenta la capacità complessiva attenuando le variazioni veloci di tensione

Subito un primo problema

Dato che, come abbiamo detto all'inizio, per un induttore vale:

$$v(t) = Ls \frac{di}{dt}$$

esiste il pericolo che la $v(t)$ raggiunga valori elevati. La $v(t)$ in oggetto non è altro che una sovratensione che si localizzerebbe sul nostro SCR bruciandolo al momento del successivo spegnimento.

Per smorzare la $v(t)$, è necessario utilizzare un circuito di "libera circolazione" composto come rappresentato in **Fig. 4**.

Si noti come, grazie alla presenza del diodo posto in senso inverso rispetto al nostro SCR, l'induttore Ls può fare circolare corrente nella maglia elettrica chiusa su se stesso, attraverso il resistore R , solamente quando il diodo è polarizzato in diretta.

Se in alcuni istanti il diodo in parallelo a Ls , è polarizzato in diretta, la corrente sull'SCR tende a smorzarsi fino a cessare. A questo punto, il campo magnetico sviluppatosi sulle spire di Ls ha scaricato tutta la sua energia attraverso il gruppo "diodo resistore".

Allo spegnimento

Guardiamo adesso la Fig. 5: abbiamo detto precedentemente che, quando un transistor è polarizzato in Regione Normale Diretta (RND) presenta la giunzione base-emettitore polarizzata

direttamente, mentre la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente (spesso si è soliti omettere il termine "polarizzata" perché lo si ritiene sottinteso, in tal caso si parla di diodo in diretta, oppure diodo in inversa).

La giunzione in inversa presenta due densità di cariche elettriche uguali e opposte fra loro, localizzate all'interfaccia della giunzione P-N.

Sappiamo benissimo che, quando abbiamo due densità di cariche uguali e opposte in segno, è come se avessimo un condensatore a facce piane parallele con le armature caricate con carica elettrica $Q+$ e $Q-$.

La **Fig. 5**, infatti, mostra come la giunzione base-collettore di $Q1$ possa presentare un condensatore caricato in modo invertito.

Il dielettrico, in questo caso, è rappresentato dalla regione di carica spaziale fortemente svuotata da elettroni e lacune proprio perché la giunzione è in inversa.

La capacità raffigurata in modo tratteggiato rappresenta quindi un condensatore "parassita" C .

Se la tensione V_{A-K} cresce molto rapidamente, abbiamo un:

$$\frac{dV_{A-K}}{dt}$$

abbastanza elevato.

La corrente sul condensatore parassita è quindi:

$$i(t) = C \frac{dV_{A-K}}{dt}$$

così come abbiamo visto più volte nella discussione fatta sui circuiti a costanti di tempo (vedere articolo "Costanti di tempo e circuiti di carica" apparso su Il Cinescopio di aprile 2004 a pag. 66, e maggio a pag. 60).

Il termine massimo:

$$\frac{dV_{A-K}}{dt}$$

ammesso dall'SCR è segnalato dal costruttore.

Spesso, il costruttore ci dà il tempo, tq , che stabilisce quanto tempo (almeno) deve passare affinché l'SCR rimanga spento se applichiamo (dopo lo spegnimento) una tensione diretta fra A-K.

Per diminuire il:

$$\frac{dV_{A-K}}{dt}$$

è necessario inserire una capacità esterna posta in parallelo all'SCR.

La **Fig. 6** mostra come debba essere connessa la capacità Cs in modo da rallentare il:

$$\frac{dV_{A-K}}{dt}$$

al momento dello spegnimento del nostro SCR.

- continua -