

Capítulo 4

DADOS TÉCNICOS DE TIRISTORES

1 - INTRODUÇÃO

Para a escolha do tiristor correto, deve-se observar os dados contidos nos manuais (DATA BOOKS) dos fabricantes.

Os dados geralmente dão valores limites, ou seja, quando ultrapassados deve-se contar com a queima do componente.

As características elétricas dos semicondutores estão bastante ligadas à temperatura e desta forma muitos dados elétricos estão ligados a esta grandeza.

Os dados dos fabricantes deverão ser sempre fornecidos juntamente com as condições as quais eles se aplicam, evitando assim falsas impressões a cerca do dispositivo. Antes de entrarmos no estudo dos dados propriamente dito, vale a pena ressaltar que na tensão da rede existe uma grande variedade de transientes, alguns ocorrendo regularmente e outros apenas ocasionalmente.

Embora alguns transientes de valor elevado possam ser removidos por meio de filtros, os tiristores devem ainda suportar tensões anodo-catodo superiores à tensão nominal da rede.

Na figura 4.1 podemos notar a existência de transientes repetitivos (ocorrem a cada ciclo do sinal) e os transientes não repetitivos (ocorrem ocasionalmente).

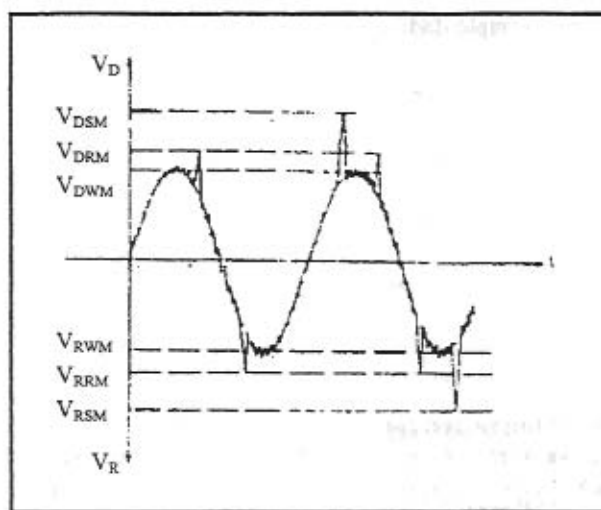


Fig. 4.1 - Sinal da rede com os transientes.

Os transientes repetitivos são ocasionados por elementos presentes no circuito (capacitor e/ou indutor) e os transientes não repetitivos são gerados por causa externa.

2 - DADOS TÉCNICOS DE TENSÃO

Observando a figura 4.1, iremos trabalhar com as tensões indicadas na mesma, buscando entender seu significado.

$V_{RSM} \Rightarrow$ Pico de tensão reversa não repetitivo (surto). Esta capacidade é quotada para transientes com o tempo de duração $t \leq 10\text{ms}$.

$V_{RRM} \Rightarrow$ Pico de tensão reversa repetitivo. É o valor de pico dos transientes que ocorrem em todos os ciclos.

$V_{RWM} \Rightarrow$ Tensão de crista reversa de trabalho.

As especificações de tensões reversas só se aplicam a tiristores com bloqueio no sentido reverso, ou seja, **unidirecionais**.

A seguir são relacionadas as tensões diretas no estado de corte, ou seja, o tiristor deve suportar estes valores de tensões sem entrar em condução, a não ser que receba sinal no gate.

$V_{DSM} \Rightarrow$ Tensão de pico não repetitivo (surto), no estado de corte, aplicada no sentido direto.

$V_{DRM} \Rightarrow$ Tensão de pico repetitivo, no estado de corte, aplicada no sentido direto.

$V_{DWM} \Rightarrow$ Tensão de crista de trabalho, no estado de corte, aplicada no sentido direto.

Quando um tiristor é operado diretamente a partir da rede de energia elétrica, é recomendável que se escolha um dispositivo cujas capacidades de tensão de pico repetitiva V_{RRM} e V_{DRM} sejam pelo menos 1,5 vezes o valor de pico da tensão senoidal de alimentação, ou seja, $V_{DRM} \geq 1,5 V_{DWM}$.

Supondo que a tensão da rede seja $127V_{RMS}$ e você deseja um SCR para ser ligado à mesma, neste caso proceda da seguinte forma:

1. Saber o valor de crista da tensão da rede que no exemplo dado é de:

$$V_{DWM} = \sqrt{2} V_{RMS}$$

$$V_{DWM} = \sqrt{2} \cdot 127$$

$$V_{DWM} = 179V$$

2. O valor do V_{DRM} deve ser 1,5 o valor do V_{DWM} calculado:

$$V_{DRM} \geq 1,5 V_{DWM}$$

$$V_{DRM} \geq 1,5 \cdot 179$$

$$V_{DRM} \geq 268,5V$$

Consultando o DATA BOOK, iremos escolher um tiristor que possua em $V_{DRM} \geq 268,5V$.

Vale apenas ressaltar que V_{RMS} corresponde ao valor eficaz de tensão (RMS = Root Mean Square), ou seja, é o valor de tensão responsável pela dissipação de potência. Este valor de tensão é obtido através dos multímetros no calibre VCA.

Tensão média conhecida como V_{AV} (AV = AVERAGE) ou V_{DC} é o valor do componente continua contida no sinal. O valor da tensão média é medido no calibre V_{DC} dos multímetros.

O osciloscópio, por sua vez, informa o valor de crista do sinal medido, portanto, temos:

Valor $V_{RMS} \Rightarrow$ Leitura no multímetro calibre VCA.

Valor $V_{AV} \Rightarrow$ Leitura no multímetro calibre VDC.

Valor V_{DWM} ou $V_{RWM} \Rightarrow$ Leitura no osciloscópio.

Cuidado, pois $V_{RMS} \neq V_{RSM}$. Observe bem a diferença entre estes dois dados.

$V_T \Rightarrow$ Tensão em funcionamento. É a queda de tensão direta do tiristor entre anodo - catodo.

4.3 - DADOS TÉCNICOS DE CORRENTE

Os seguintes dados de correntes são fornecidos nos Data Books de tiristores. Observe que o sufixo T indica que o tiristor está no estado de condução.

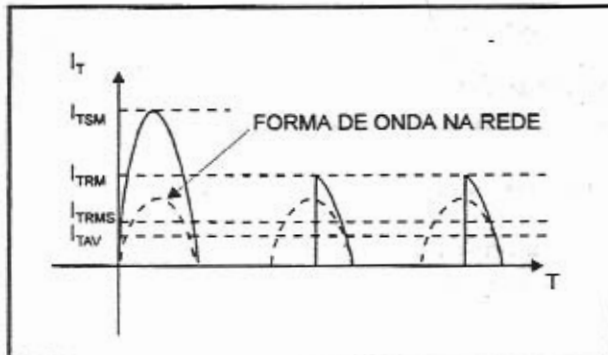


Fig. 4.2 - Corrente do Tiristor.

$I_{TAV} \Rightarrow$ Valor médio da forma de onda ideal da corrente da rede durante um ciclo, supondo-se a condução durante 180° .

$I_{TRMS} \Rightarrow$ Corrente RMS (eficaz) no estado de condução.

$I_{TRM} \Rightarrow$ Corrente de pico repetitiva na condução.

$I_{TSM} \Rightarrow$ Corrente de pico não repetitiva (Surto) na condução. Este dado é estabelecido para um tempo igual a $\frac{1}{2}$ ciclo do sinal da rede. No caso da rede de 50Hz, $T=10ms$ e no caso da rede de 60Hz, $T=8,3ms$.

A capacidade de surto depende das condições sob as quais ela ocorre, ou seja, varia com a temperatura a qual a junção está submetida.

$I_H \Rightarrow$ Corrente de manutenção (Holding current). É o valor de corrente anódica abaixo do qual o SCR para de conduzir.

$I_L \Rightarrow$ Corrente de engatamento (Latching Current). É o mínimo valor de corrente anódica necessário para o engatamento do tiristor.

DADOS TÉCNICOS GATE-CATODO

Os dados referentes à junção gate-catodo se encontram relacionados abaixo:

$V_{GRM} \Rightarrow$ Tensão reversa máxima de gate.

$V_{GD} \Rightarrow$ Tensão máxima aplicada ao gate que não provocará o chaveamento do estado de bloqueio para o estado de condução.

$I_{GTM} \Rightarrow$ Máxima corrente de disparo de gate.

$I_{GT} \Rightarrow$ Mínima corrente de disparo de gate.

$P_{GM} \Rightarrow$ Máxima dissipação de potência no gate.

TAXAS DE INCREMENTO

$dv/dt \Rightarrow$ Taxa de incremento de tensão. É a velocidade máxima de crescimento da tensão, no sentido de condução, para a qual o tiristor não comuta do seu estado de bloqueio para o de condução, ou seja, não ocorre o disparo pelo efeito dv/dt conforme analisado no item 3.14.4.

$di/dt \Rightarrow$ Taxa de incremento de corrente. Taxa permissível de elevação de corrente no estado de condução após o gatilhamento.

Uma taxa excessiva de elevação de corrente causa um aquecimento local (**Hot - Spot**) e conseqüentemente a danificação do dispositivo. A taxa de elevação de corrente pode ser limitada por uma indutância em série no circuito.

4.6 - OUTROS DADOS TÉCNICOS

$I^2T \Rightarrow$ É um dado que mede a capacidade do tiristor de suportar picos de sobrecorrente. É dado pelo produto do quadrado da corrente instantânea pelo tempo que leva à destruição do tiristor. Este valor serve para o dimensionamento do fusível de proteção que deve ter I^2T de fusão inferior ao do tiristor.

$T_J \Rightarrow$ Temperatura da junção. Esta é uma das principais capacidades de um semiconductor, uma vez que ela limita a máxima potência que um dispositivo pode manejar.

$T_{stg} \Rightarrow$ Temperatura de armazenamento. São dados os valores máximo e mínimo de temperatura em que o dispositivo pode ser armazenado.

$T_q \Rightarrow$ Tempo de desligamento ou turn-off. É o tempo necessário para restabelecer a interdição no tiristor, após a corrente anodo-catodo ter-se anulado ou caído abaixo do valor de operação.

4.7 - PROTEÇÕES PARA TIRISTORES

Para proteção de circuitos com tiristores contra solicitações diferentes das nominais que venham provocar defeito ou queima de componentes, devem ser previstos no projeto destes circuitos, dispositivos adequados de proteção como os descritos abaixo:

4.7.1 - Proteção contra Curto-Circuito

A proteção é realizada através de fusíveis ultra-rápidos especificados conforme I^2T .

4.7.2 - Proteção contra Sobretensão

Escolhendo um SCR de um V_{DRM} com um fator de segurança de pelo menos 1,5 o valor da tensão de crista da rede (V_{DWM}).

4.7.3 - Proteção contra alto di/dt

Utilização de bobina em série com o componente, pois a mesma amortece a taxa de crescimento da corrente.

4.7.4 - Proteção contra alto dv/dt

Utilização do circuito SNUBBER em paralelo com o tiristor, conforme explicação realizada no item 3.14.4.

4.8 - ESPECIFICAÇÃO DE SCR PARA CIRCUITOS DE CONTROLE DE POTÊNCIA

No caso de necessitarmos escolher um SCR para alimentar uma carga em um circuito de controle de potência, devemos realizar os cálculos com $\alpha = 0^\circ$, pois é neste caso que irá circular a maior corrente neste componente.

No caso do circuito da figura 3.29, o SCR que deverá ser escolhido para ser colocado neste circuito, deverá ter os seguintes dados:

$$V_{DRM} \geq 1,5V_{DWM}$$

$$V_{DRM} \geq 1,5 \times 127 \times \sqrt{2} =$$

$$V_{DRM} \geq 268,6V$$

Para cálculo, iremos supor uma carga de 60W/127V.

A corrente que circula no SCR deve ser calculada para a pior situação, ou seja, para $\alpha = 0^\circ$, pois é neste caso onde o componente tem circulando por ele a maior intensidade de corrente. Para $\alpha = 0^\circ$ temos:

$$I_{TRMS} = \frac{V_{RMSR}}{R} = \frac{0,5 \cdot V_{MAX}}{268,8} = \frac{0,5 \times 127 \times \sqrt{2}}{268,8}$$

$$I_{TRMS} = 0,33A$$

OBS.: A relação $V_{RMSR} = 0,5 V_{MAX}$ foi encontrada através da expressão:

$$V_{RMSR} = \sqrt{\frac{(V_{MAX})^2}{T} \left(\frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{\text{Sen}2\alpha}{4} \right)}$$

$$I_{TAVR} = \frac{V_{DCR}}{R}$$

$$V_{DCR} = \frac{V_{MAX}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$V_{DCR} = \frac{127 \times \sqrt{2}}{2\pi} \cdot (1 + \cos 0^\circ)$$

$$V_{DCR} = 57,03V$$

$$I_{TAVR} = \frac{V_{DCR}}{R} = \frac{57,03}{268,8} = 0,21A$$

OBS: A corrente que circula pela carga é a mesma que circula pelo tristor.

Notamos, pelos cálculos anteriores, que o SCR que deverá ser colocado no circuito, deverá apresentar os seguintes dados:

$$V_{DRM} > 268,6V$$

$$I_{TRMS} > 0,33A$$

$$I_{TAV} > 0,21A$$

Cabe, agora, consultar o Data Book e escolher um SCR adequado para esta situação.

No caso do circuito da figura 3.30, o procedimento para a especificação do SCR é similar ao caso anterior, ou seja, deverão ser calculados os valores de tensões para $\alpha = 0^\circ$ e com isto encontrados os valores de correntes, supondo a mesma carga anterior.

Para o circuito da figura 3.30 temos:

$$I_{TAVR} = \frac{V_{DCR}}{R}$$

$$V_{DCR} = \frac{V_{MAX}}{\pi} \cdot (1 + \cos 0^\circ)$$

$$V_{DCR} = \frac{127 \times \sqrt{2}}{3,14} \cdot (1 + 1)$$

$$V_{DCR} = 114,05V$$

$$I_{TAVR} = \frac{114,05}{268,8} = 0,42A$$

O valor da tensão eficaz na carga, para o circuito da figura 3.30 e para $\alpha = 0^\circ$ é de 127VRMS, logo a sua corrente eficaz vale:

$$I_{TRMSR} = \frac{V_{RMSR}}{R}$$

$$I_{TRMSR} = \frac{127}{268,8} = 0,47A$$

No caso do circuito da figura 3.30, a corrente em cada SCR não é igual à corrente da carga, pois cada SCR conduz apenas $\frac{1}{2}$ ciclo, logo temos que a corrente média em cada SCR é a metade da corrente média da carga:

$$I_{TAVSCR} = \frac{I_{TAVR}}{2} = \frac{0,42}{2} = 0,21A$$

A corrente eficaz que circula em cada SCR, não é a metade da corrente eficaz da carga, pois a tensão eficaz para a condução em 1 semiciclo, não é a metade da tensão eficaz da condução nos 2 semiciclos.

Podemos calcular a corrente eficaz em cada SCR, sabendo que cada um é responsável pela condução de um dos semiciclos de corrente, logo, podemos concluir que a corrente eficaz em cada SCR, neste caso, é igual a corrente eficaz na carga nos circuitos de $\frac{1}{2}$ onda. No nosso exemplo, a corrente eficaz no SCR vale 0,33A (valor encontrado anteriormente no circuito de $\frac{1}{2}$ onda).

Você, portanto, deverá escolher um SCR para o circuito 3.30 que apresente os seguintes dados:

$$V_{DRM} > 268,6V$$

$$I_{TRMS} > 0,33A$$

$$I_{TAV} > 0,21A.$$