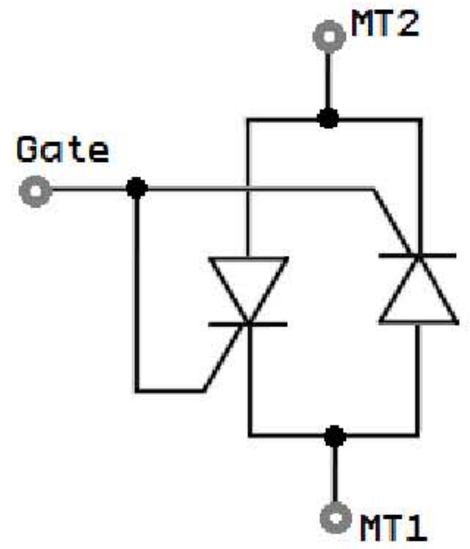
TRIAC

Triodo de Corrente Alternada

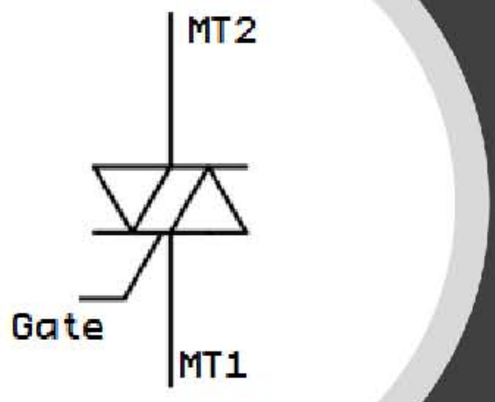
© Prof. Engº esp Luiz Antonio Vargas Pinto
www.vargasp.com

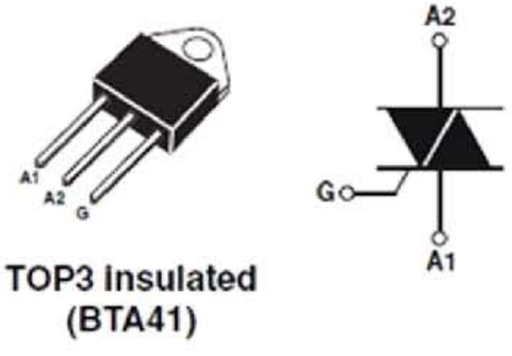
O TRIAC

- O TRIAC apresenta as mesmas características funcionais de um SCR com a vantagem de conduzir nos dois sentidos de polarização



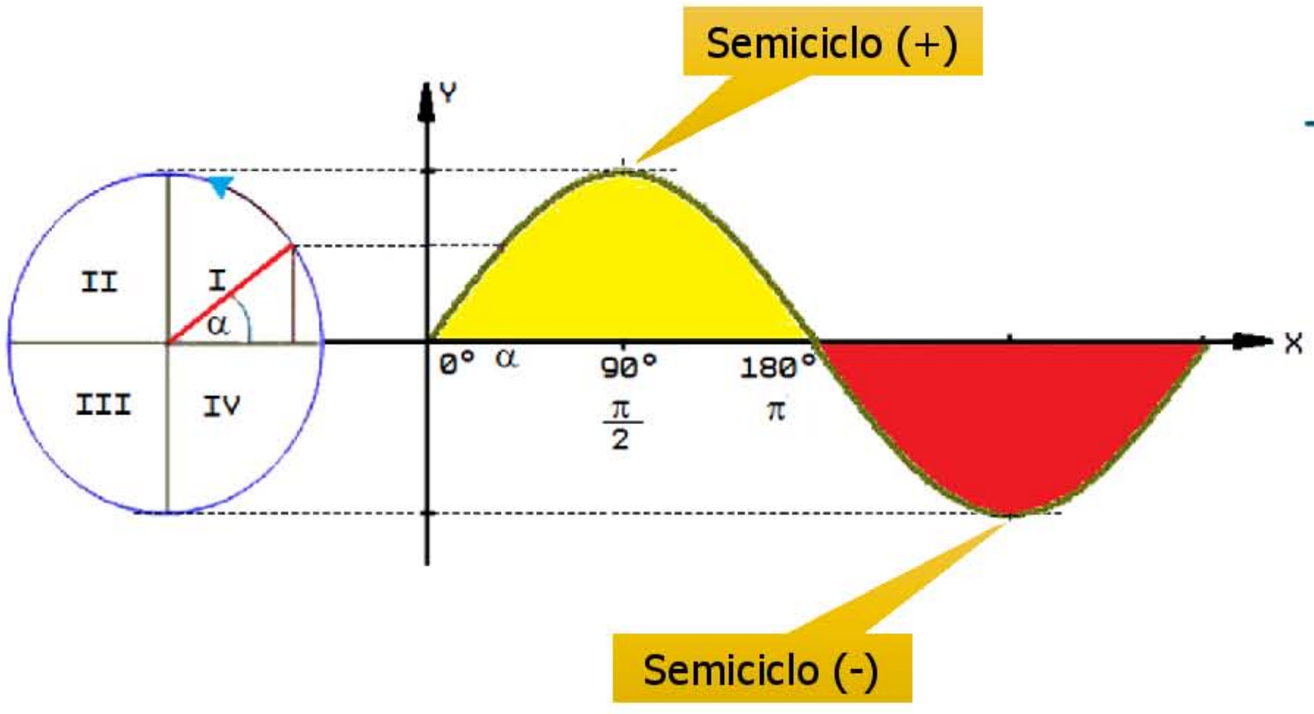
- Este equivale ao modelo com 2 SCRs:

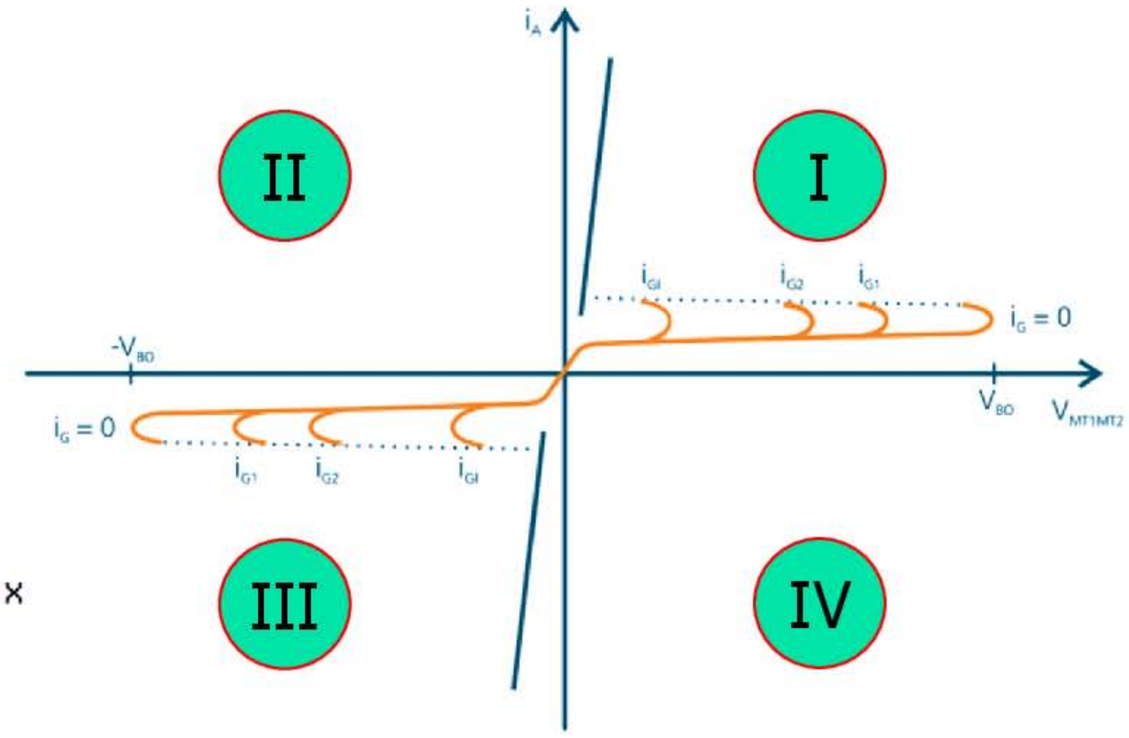




Curva característica

- Observe a ação nos quadrantes I e III



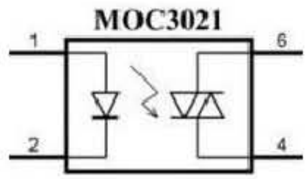


Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

© Prof. Vargas

Condições de disparo

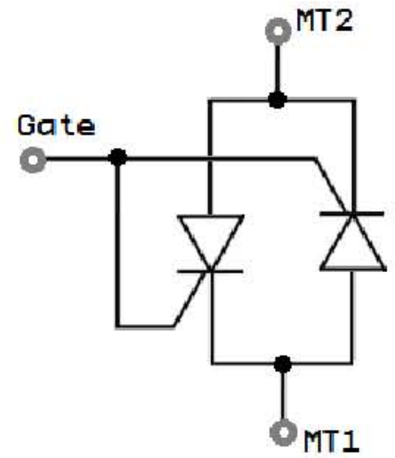
- Disparo por corrente de gatilho;
- Disparo por sobretensão quando V_{AK} ultrapassa a tensão de break-over mesmo sem pulso no gatilho;
- Disparo por variação de tensão (dV/dt);
- Disparo por aumento de temperatura;
- Disparo por luz ou radiação - caso dos optotriacs.



- O TRIAC pode ser disparado tanto por sinal (+) quanto por sinal (-).
- O SCR só é disparado por pulso (+) em relação ao seu catodo
- Em condução, V_{AK} (entre MT1 e MT2) é 1 a 2V (salvo dado fornecido pelo fabricante).

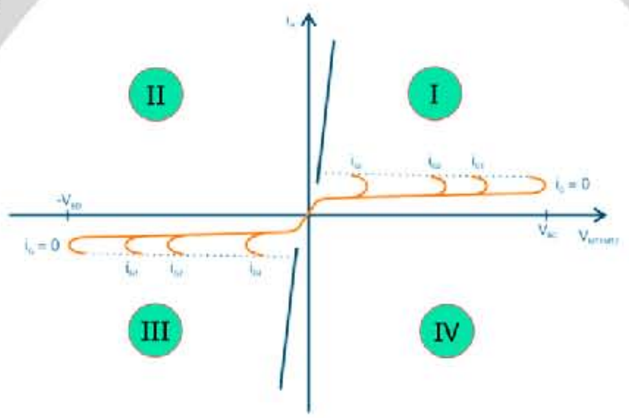
© Prof. Vargas

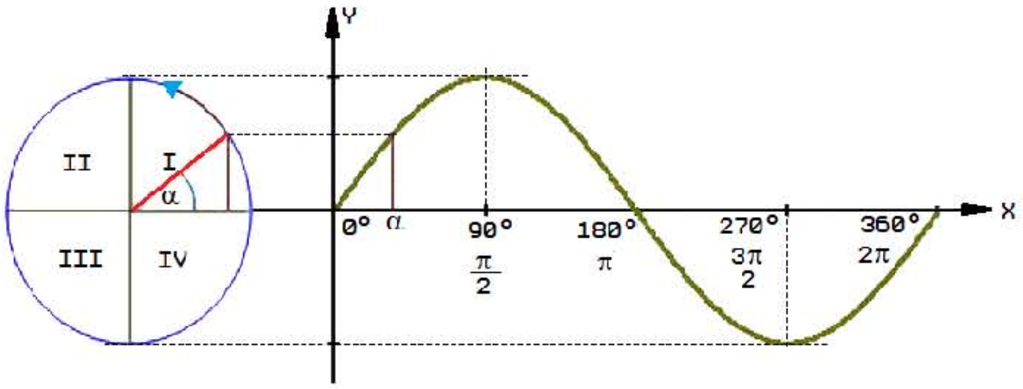
Modos de disparo do TRIAC

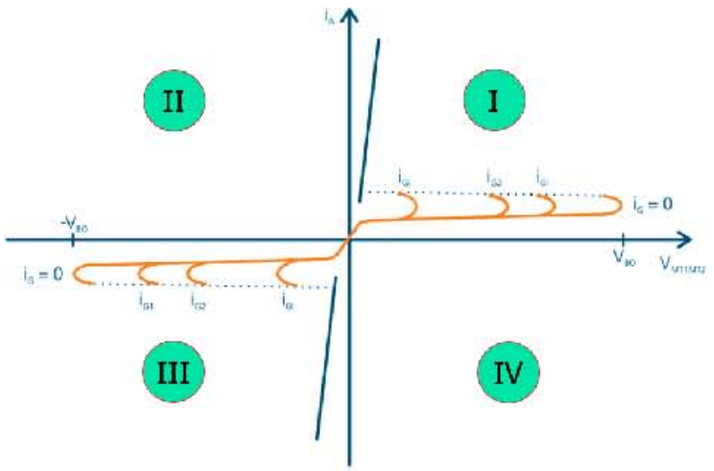


Existem 4 modos diferentes para disparo de um TRIAC, operando em 4 quadrantes.

- **Disparo no 1° quadrante:**
  - Terminais MT2 e gate (G) estão (+) em relação a MT1
- **Disparo no 2° quadrante:**
  - Terminal MT2 está (+) e o G está (-), ambos em relação a MT1
- **Disparo no 3° quadrante:**
  - Terminal MT2 está (-) e o G está (-), ambos em relação a MT1.
- **Disparo no 4° quadrante:**
  - Terminal MT2 está (-) e o terminal G está (+), ambos em relação a MT1.







Considerações

- Da curva característica vê-se que o disparo no 1° e 3° quadrantes é mais funcional para o TRIAC em relação às outras possibilidades.

E observando a senóide ao lado, vemos que o ângulo α fica :

a) $0° \leq \alpha \leq 180°$ (I e II)

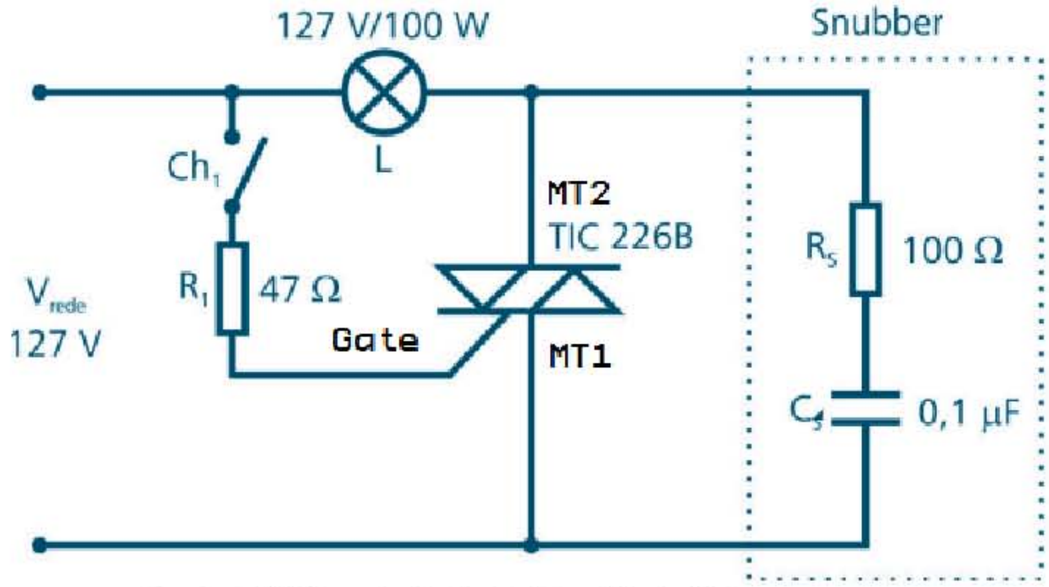
b) $180° < \alpha \leq 360°$ (III e IV)

- No 2° quadrante, é ainda mais reduzida, devendo ser utilizada somente em TRIACs concebidos especialmente para este fim
- No 4° quadrante, a sensibilidade é pequena

© Prof. Vargas

Controle de onda completa

- Este circuito efetua disparos no 1° e 3° quadrantes (observe a conexão de G e MT2).
- Com i_{GT} = 50 mA para o 1° e o 3° quadrantes, podemos calcular em quais ângulos serão efetuados os disparos. Para isso, vamos considerar que a queda de tensão típica entre G e MT1 que é V_{GT} = 1.2 V

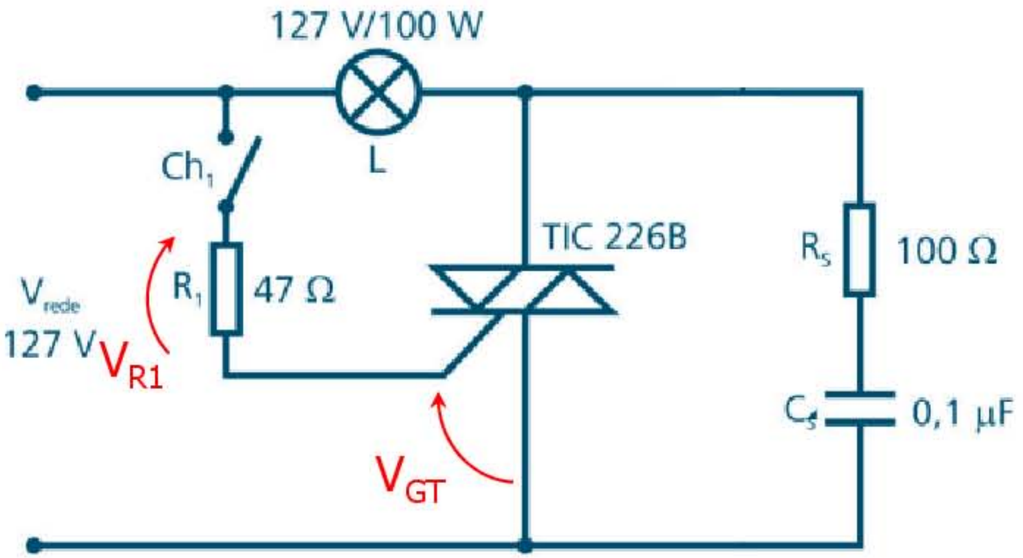


Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

- Importante lembrar que o TRIAC corta ao passar pelo zero da senóide. No nosso caso como a carga é puramente resistiva, a tensão passa por zero no mesmo instante da corrente, ou seja, a tensão e a corrente estão em fase. Neste circuito a lâmpada receberá praticamente todo o ciclo de onda

© Prof. Vargas

Calculando...



$$V_{rede} - V_{R1} - V_{GT} = 0$$

$$V_{rede} = V_{R1} + V_{GT}$$

$$V_{rede} \times \sqrt{2} \times sen(\alpha) = R_1 \times i_{GT} + V_{GT}$$

$$sen(\alpha) = \frac{R_1 \times i_{GT} + V_{GT}}{V_{rede} \times \sqrt{2}}$$

- i_{GT} = 50 mA
- V_{GT} = 1.2 V.

$$sen(\alpha) = \frac{47 \times 50 \times 10^{-3} + 1.2}{127 \times \sqrt{2}}$$

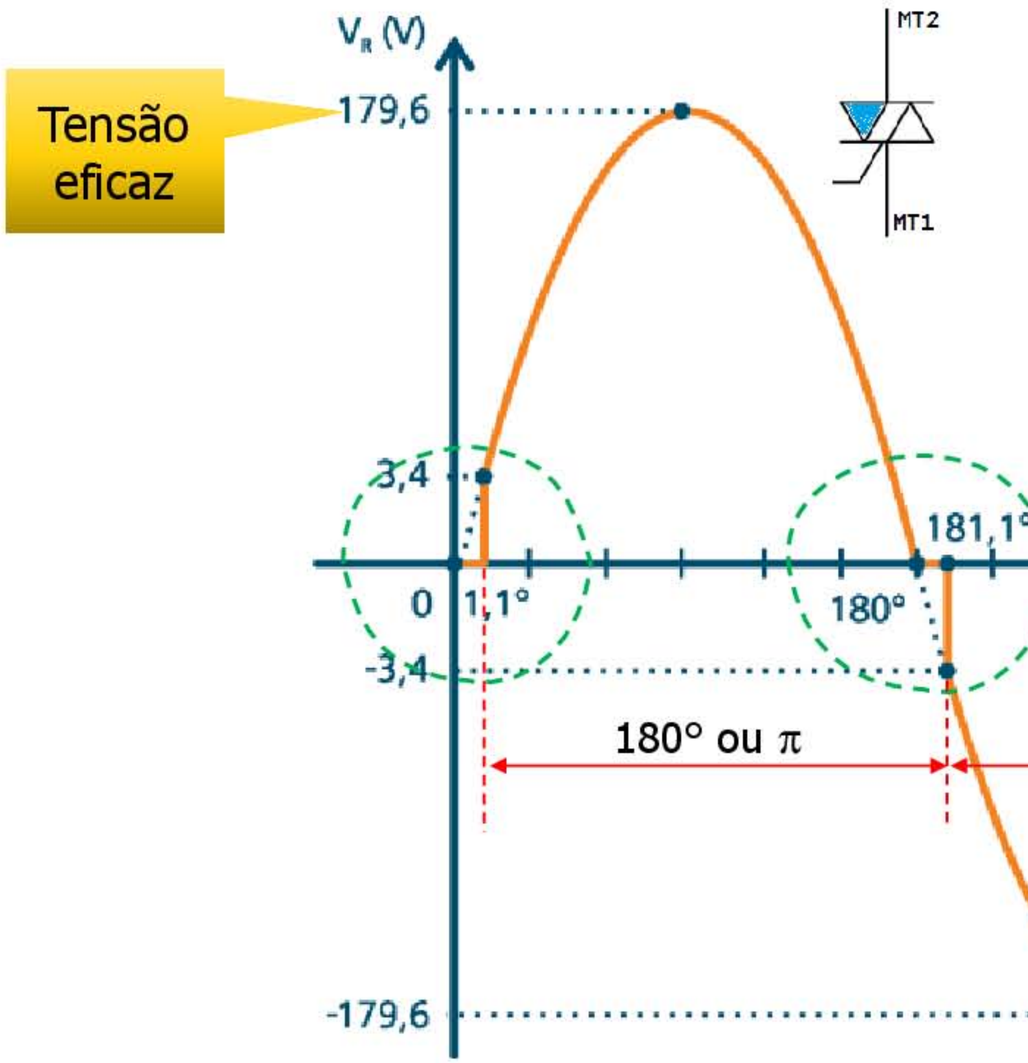
$$sen(\alpha) = 0.0198$$

$$\alpha = 1.13°$$

- O TRIAC irá disparar em 1.13° (I^{o}Q) e em 181.13° (III^{o}Q).

© Prof. Vargas

Momentos de disparo



Observe que o ângulo α fica :

α = 1.13° fica no I^{o}Q

e

α = 181.3° fica no III^{o}Q

© Prof. Vargas

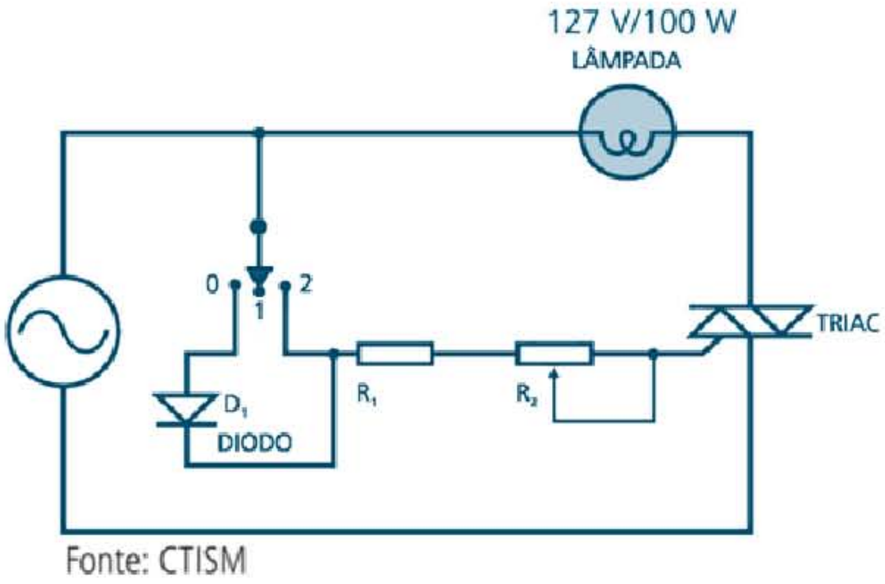
Caso 1

- i_{GT} = 50 mA, V_{GT} = 2.5 V, i_{Tmax} = 8 A
- V_{RRM} = 200V

Maximum Repetitive Reverse Voltage) Máxima tensão reversa que o diodo suporta

V_{REDE} = 127 V_{CA} 60 Hz

R_1 = 470 Ω e R_2 = 1200 Ω
(Potenciômetro de 5K na posição 1K2)

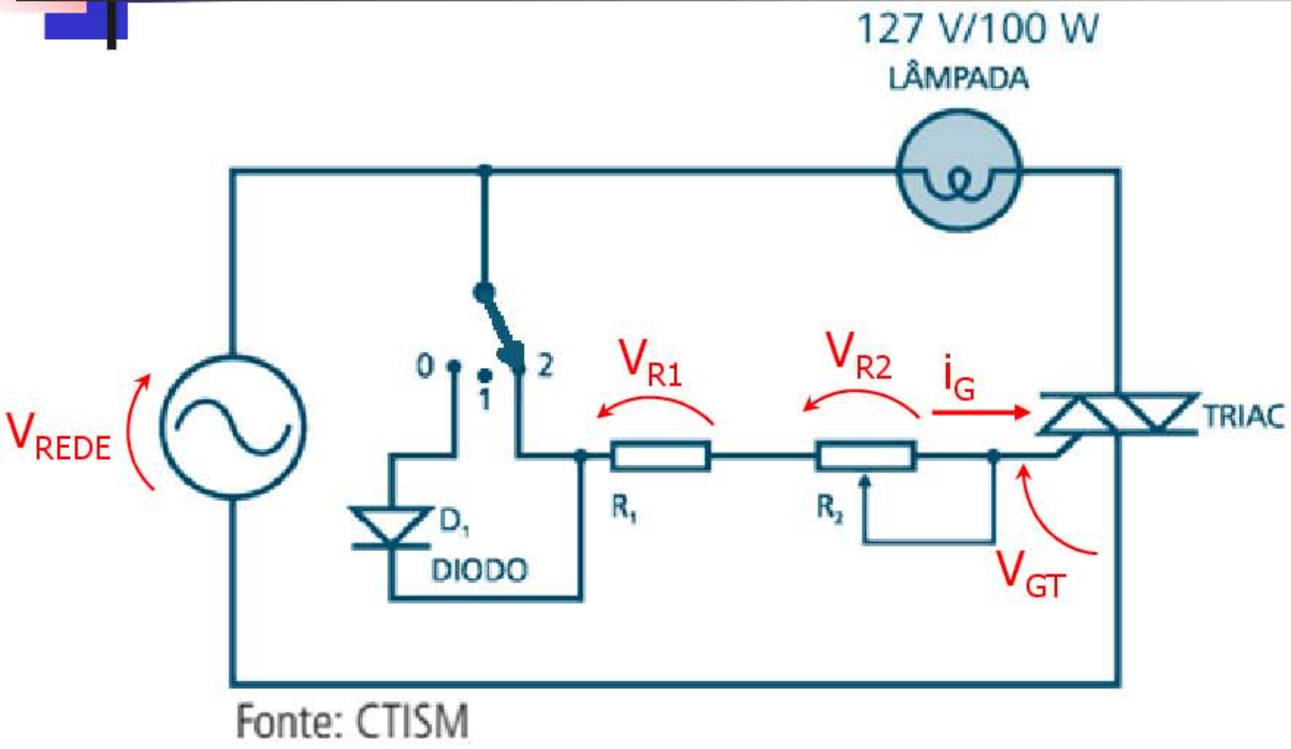


Fonte: CTISM

- Com a chave na posição 2, determinaremos o ângulo de disparo α do TRIAC, sabendo-se que, enquanto o TRIAC não estiver conduzindo a tensão sobre a lâmpada é nula.
- Desprezaremos a queda de tensão sobre o TRIAC quando em condução.

© Prof. Vargas

Determinando α



Fonte: CTISM

- Observe que a condição tira D_1 da análise
- Por kirchoff:

$$V_{rede} = V_{R1} + V_{R2} + V_{GT}$$

$$127 \times \sqrt{2} \times sin(\alpha) = R_1 \times i_G + R_2 \times i_G + V_{GT}$$

$$127 \times \sqrt{2} \times sin(\alpha) = (R_1 + R_2) \times i_G + 2.5$$

$$\sin(\alpha) = \frac{(R_1 + R_2) \times i_G + 2.5}{127 \times \sqrt{2}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{(470 + 1200) \times 0.050 + 2.5}{127 \times \sqrt{2}}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{83.5 + 2.5}{179.61}$$

$$\sin(\alpha) = 0.4788 \qquad \alpha = 28.61°$$

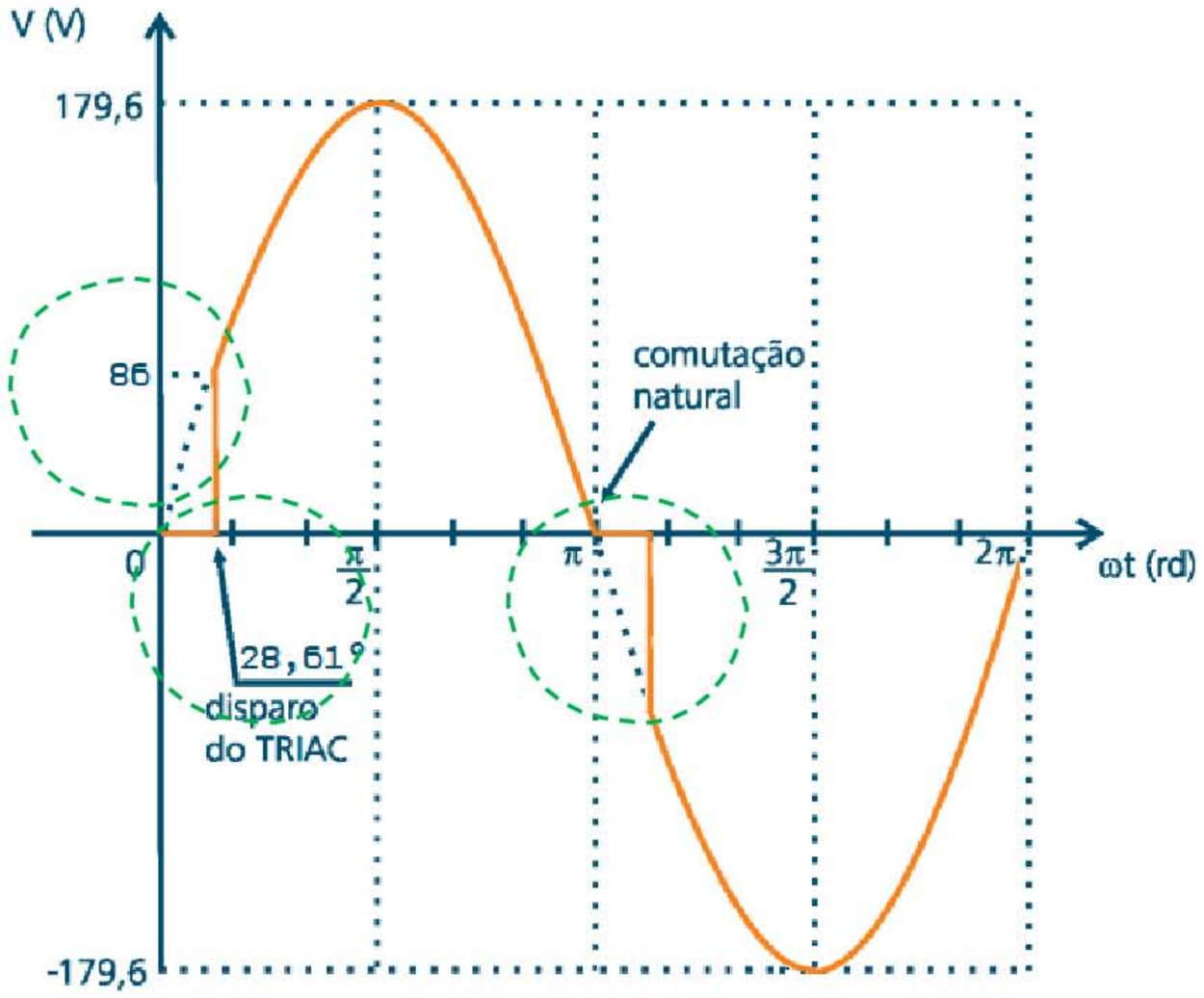
- Cuja tensão da rede corresponde a:

$$V_{rede} = 127 \times \sqrt{2} \times sin(28.61°)$$

$$V_{rede} = 86\ V$$

© Prof. Vargas

Graficamente



© Prof. Vargas

Caso 2

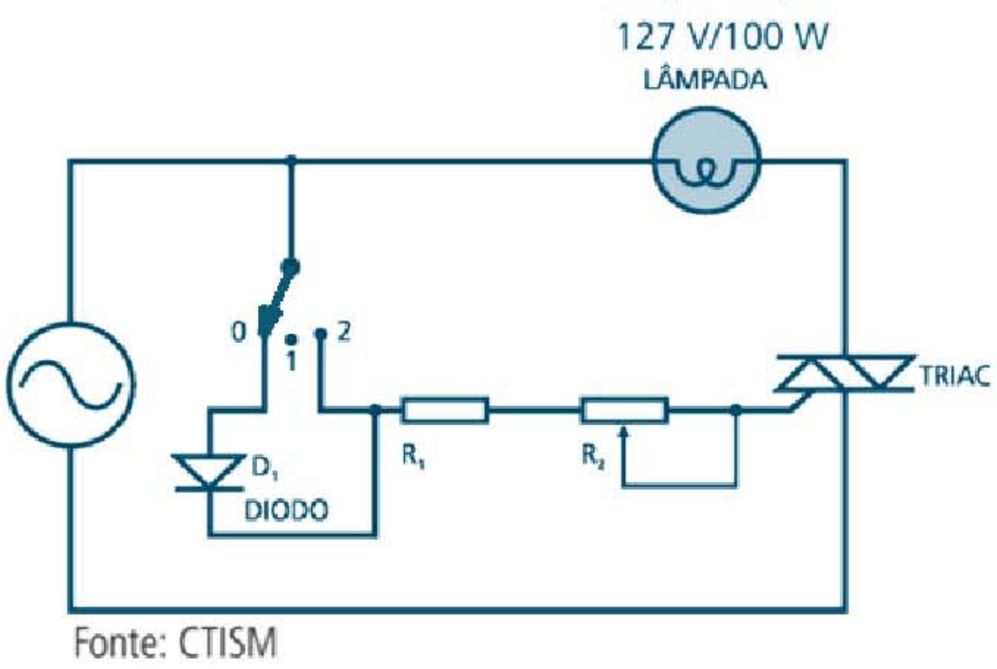
- i_{GT} = 50 mA, V_{GT} = 2.5 V, i_{Tmax} = 8 A
- V_{RRM} = 200V

(Maximum Repetitive Reverse Voltage) Máxima tensão reversa que o diodo suporta

V_{REDE} = 127 V_{CA} 60 Hz

R_1 = 470 Ω e R_2 = 1200 Ω

(Potenciômetro de 5K na posição 1K2)

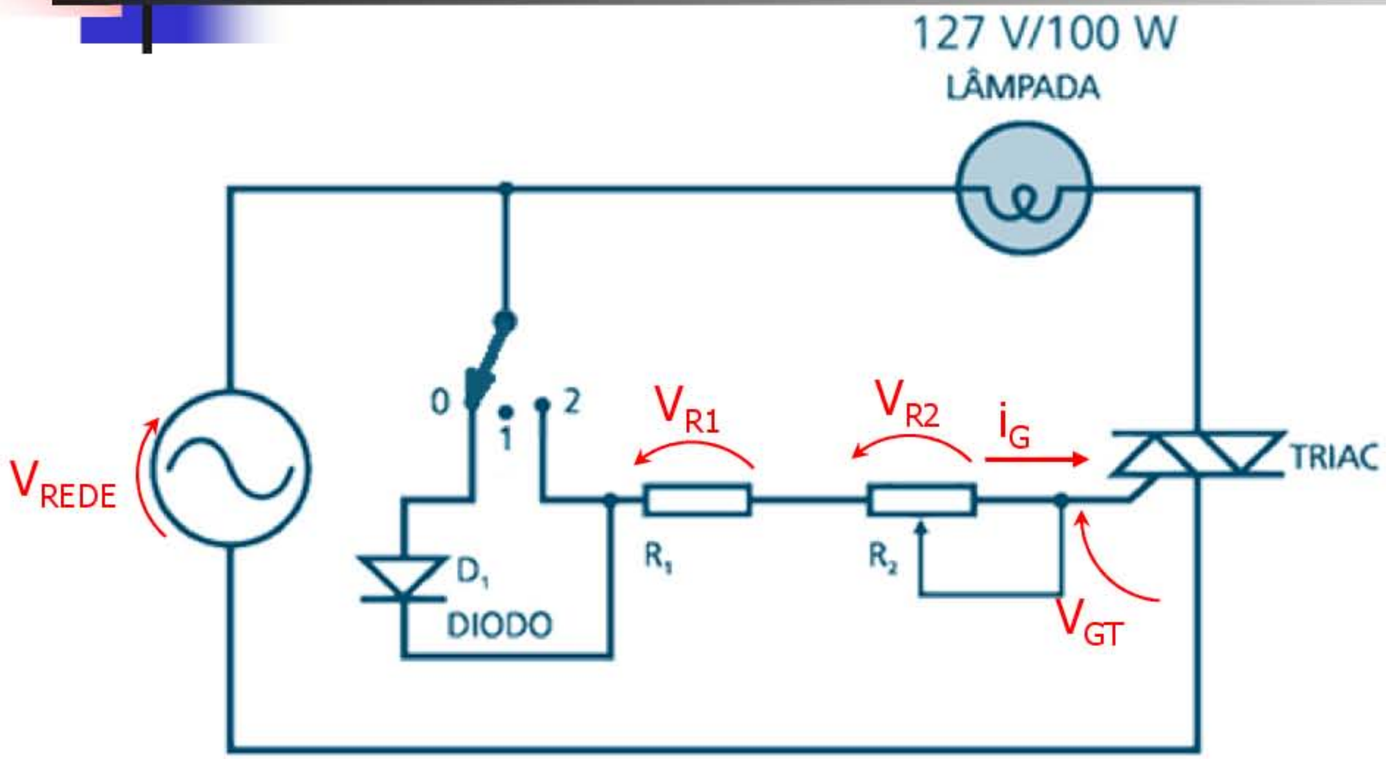


Fonte: CTISM

- Com a chave na posição 0, determinaremos o novo valor de R_2 que proporciona um ângulo de disparo do TRIAC em 45° da tensão da rede, e considerando uma queda de 0.7 V sobre o diodo.
- Desprezaremos a queda de tensão sobre o TRIAC, quando em condução.

© Prof. Vargas

Determinando R_2



Fonte: CTISM

- Por kirchoff:

$$V_{rede} = V_{D1} + V_{R1} + V_{R2} + V_{GT}$$

$$127 \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha) = V_{D1} + R_1 \times i_G + R_2 \times i_G + V_{GT}$$

$$127 \times \sqrt{2} \times \sin(45°) = V_{D1} + (R_1 + R_2) \times i_G + 2.5$$

$$127 = 0.7 + (470 + R_2) \times 0.05 + 2.5$$

$$127 - 2.5 - 0.7 = (470 + R_2) \times 0.05$$

$$123.5 = (470 + R_2) \times 0.05$$

$$\frac{123.5}{0.05} = 470 + R_2$$

$$2470 = 470 + R_2$$

$$2470 - 470 = R_2$$

$$\boxed{R_2 = 2000\ \Omega}$$

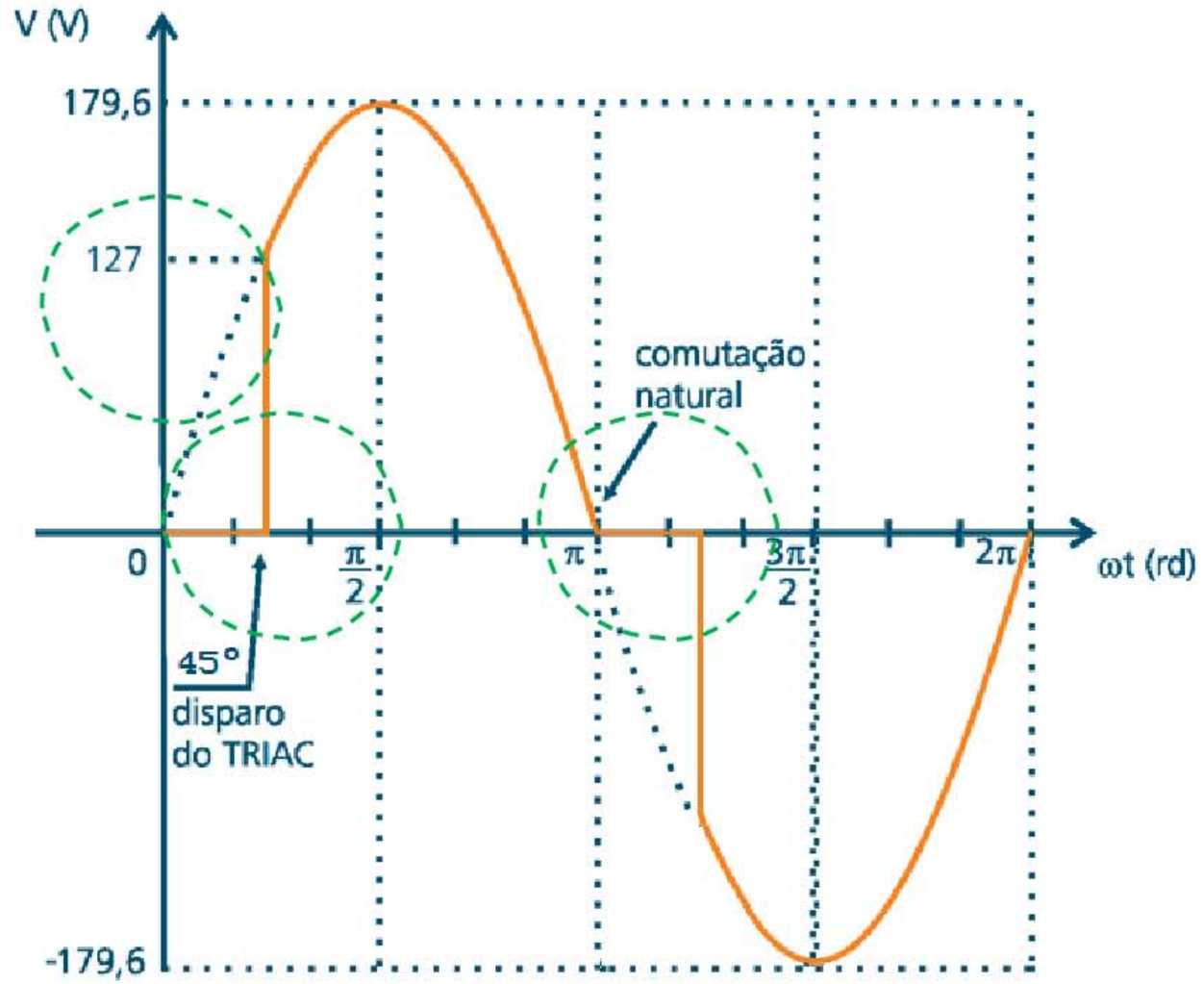
- Cuja tensão da rede corresponde a:

$$V_{rede} = 127 \times \sqrt{2} \times sin(45°)$$

$$\boxed{V_{rede} = 127\ V}$$

© Prof. Vargas

Graficamente



© Prof. Vargas

Tensão e potência

- A tensão média sobre a carga no circuito resistivo será calculada por:

$$V_{RMS} = V_P \times \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{360} + \frac{sen(2\alpha)}{4\pi}}$$

- A Potencia será calculada por:

$$P_L = \frac{V_{RMS}^2}{R_L}$$

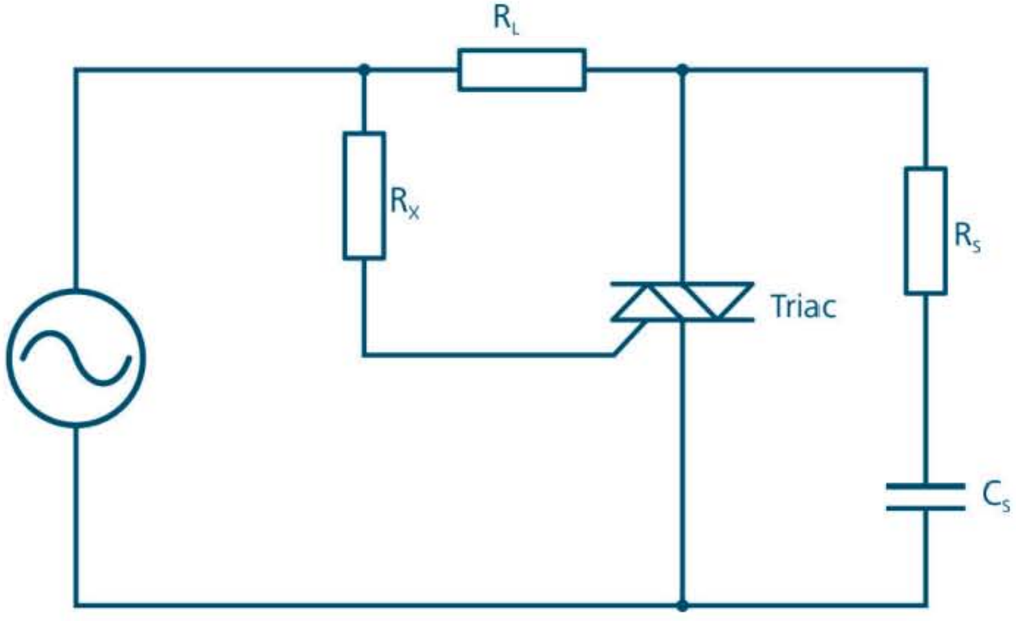
Considerações

- A máxima corrente de gatilho precisa ser limitada por um resistor que estabelece i_{GT}. Se for fixo, ele limita a corrente mas define o ângulo de disparo, então R_1 deve ser suficiente para delimitar a corrente i_{GT} garantindo o limiar do disparo, quando V_{GT} torna-se 2.5V, e mesmo assim deixar a possibilidade do controle do ângulo de disparo. Anexando um potenciômetro R_2 em série com R_1, temos o controle do ângulo de disparo.

© Prof. Vargas

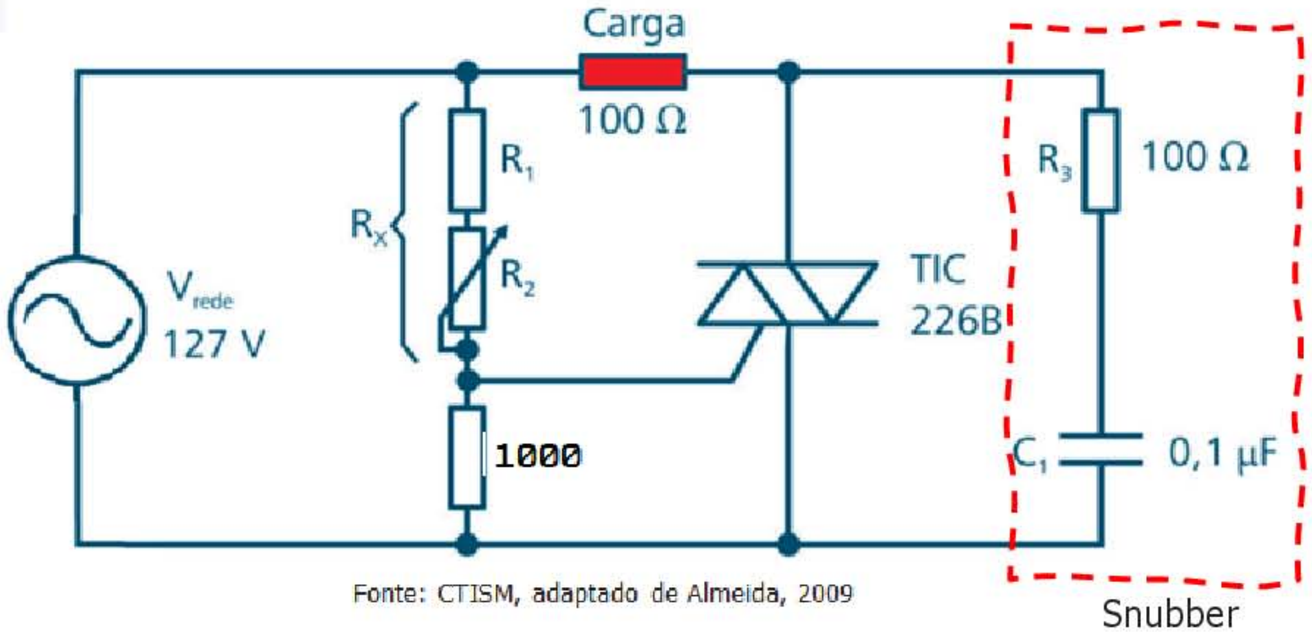
Atividade

- O circuito abaixo é alimentado por uma fonte CA de 127 V_{RMS} 60Hz. Calcule os valores do resistor R_X para disparo do TRIAC em 2°, 30°, 60° e 90° (ângulo de disparo em relação à tensão da rede) e desenhe as formas de onda da tensão na carga R_L de 100 Ω. Calcule o valor médio e eficaz da tensão na carga para os valores de α. Calcule também a potência dissipada.



© Prof. Vargas

Disparo com divisor de tensão



Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

Dados Datasheet

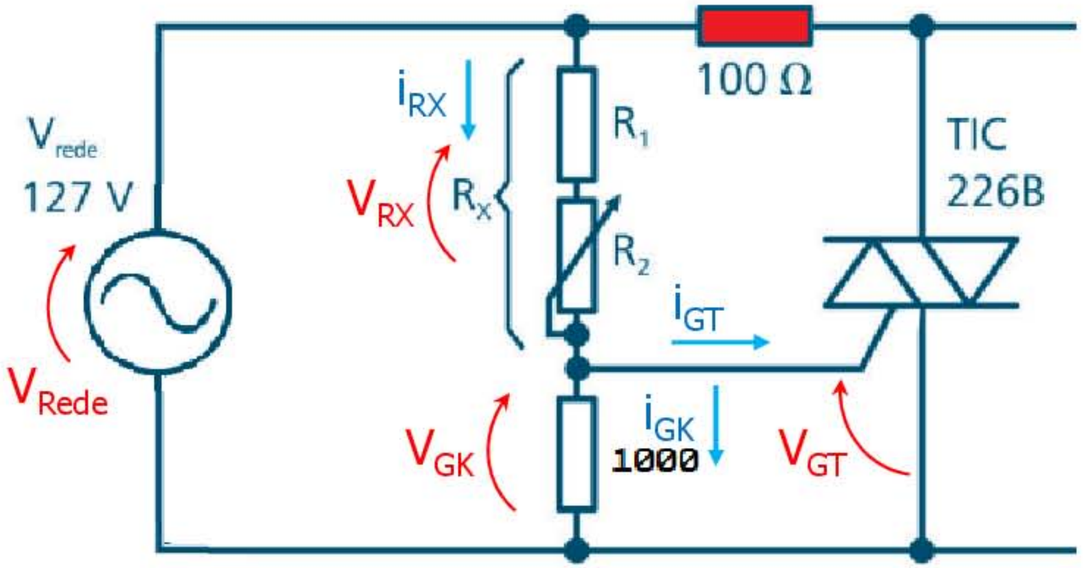
I_{GT} = 50 mA (MAX)

V_{GT} = 2.0 V

Ache a expressão para calcular R_X, em função da corrente de disparo (I_{GT}) do TRIAC, a qual depende do ângulo α

© Prof. Vargas

Analisando...



$$V_{GT} = 1000 \times i_{GK}$$

$$2 = 1000 \times i_{GK}$$

$$i_{GK} = 2\ mA$$

$$V_{REDE} = V_{RX} + V_{GK}$$

$$V_{RX} = V_{REDE} - V_{GK}$$

$$V_{RX} = 127 \times \sqrt{2} \times sen(\alpha) - 2$$

A partir de Kirchoff temos:

$$V_{Rede} = V_{RX} + V_{GK}$$

$$i_{RX} = i_{GT} + i_{GK}$$

Considerando a condução:

$$V_{GT} = V_{GK}$$

Optamos por usar 30 mA porque 50 mA é a corrente máxima de Gate

Mas:

$$i_{RX} = 30 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-3}$$

$$i_{RX} = 32 \times 10^{-3}\ A$$

© Prof. Vargas

Concluindo

$$R_X = \frac{V_{RX}}{i_{RX}} = \frac{127 \times \sqrt{2} \times sen(\alpha) \ - 2}{32 \ \times \ 10^{-3}}$$

$$R_X = 5613 \times sen(\alpha) \ - 62.5$$

O que temos aqui é (evidente) que R_x depende do ângulo de disparo, ou o oposto. Algo semelhante a dizer R_x determina α ou α escolhido define R_x.

Como consideração sobre R_x, este é resultado da associação de um potenciômetro em série com um resistor.

Por esta razão, R_1 é fixo e cabe a ele o ângulo α mínimo quando $R_2 = 0$

O valor de R_1 vai depender da necessidade do projeto para o ângulo α mínimo.

E é claro, podemos definir o valor de α. Veja, como 5613 x sen(α) subtrai 62.5, se $\alpha = 0$ $R_x = -62.5$ (o que não é possível)

Assim, considerando $R_2 = 0$ (mínimo do potenciômetro) é R_1 que fixa α.

Afim de satisfazer a situação:

$$5613 \times sen(\alpha) > 62.5$$

$$sen(\alpha) > \frac{62.5}{5613}$$

© Prof. Vargas

E quanto ao máximo α ?

$$sen(\alpha) > 0{,}0111348655$$

$$\alpha > 0{,}63°$$

De forma prática, consideraremos para este tipo de hardware, $\alpha_{min} = 2°$. E dessa maneira:

$$R_X = 5613 \times sen(2°) - 62.5$$

$$\boxed{R_X = 133\ \Omega}$$

Pode parecer estranho, mas lembre-se que $R_{2mín} = 0$ e $R_X = R_1 + R_2$ e portanto $R_X = \boxed{R_1 = 133\ \Omega}$

A partir daqui, se definirmos que o máximo ângulo de disparo é 90°, teremos:

$$R_X = 5613 \times sen(\alpha) - 62.5$$

$$R_1 + R_2 = 5613 \times sen(\alpha) - 62.5$$

$$133 + R_2 = 5613 \times sen(\alpha) - 62.5$$

$$R_2 = 5613 \times sen(\alpha) - 62.5 - 133$$

$$R_2 = 5613 \times sen(90°) - 195.5$$

$$R_2 = 5613 \times 1 - 195.5$$

$$R_2 = 5613 - 195.5$$

$\boxed{R_2 = 5417\ \Omega}$ Potenciômetro

© Prof. Vargas

Referências

- e-tec Brasil - Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos