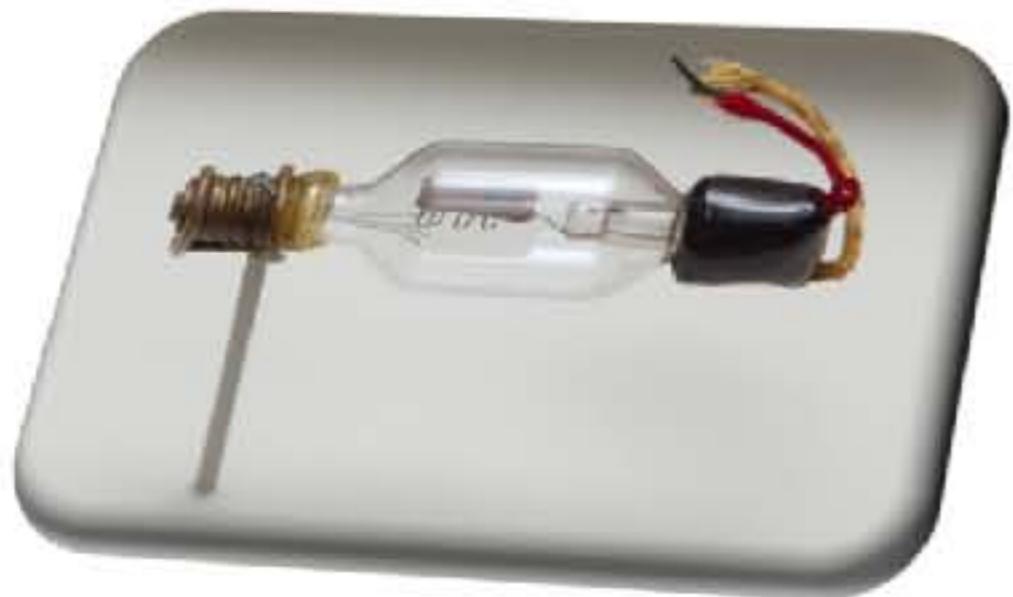


TRIAC - Triodo de corrente alternada

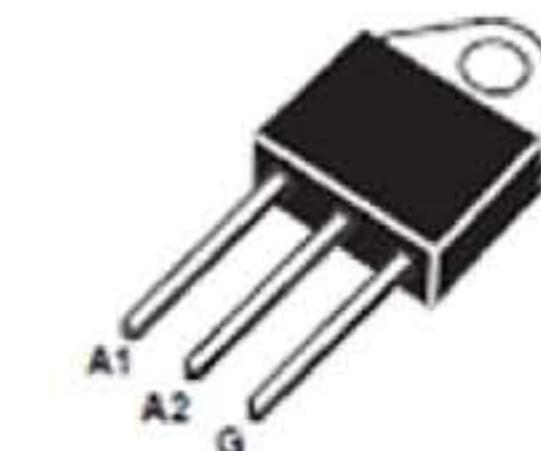
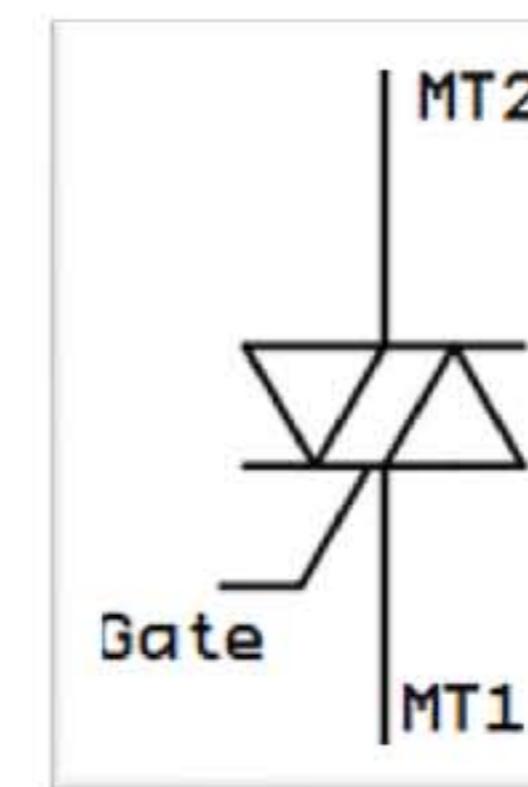
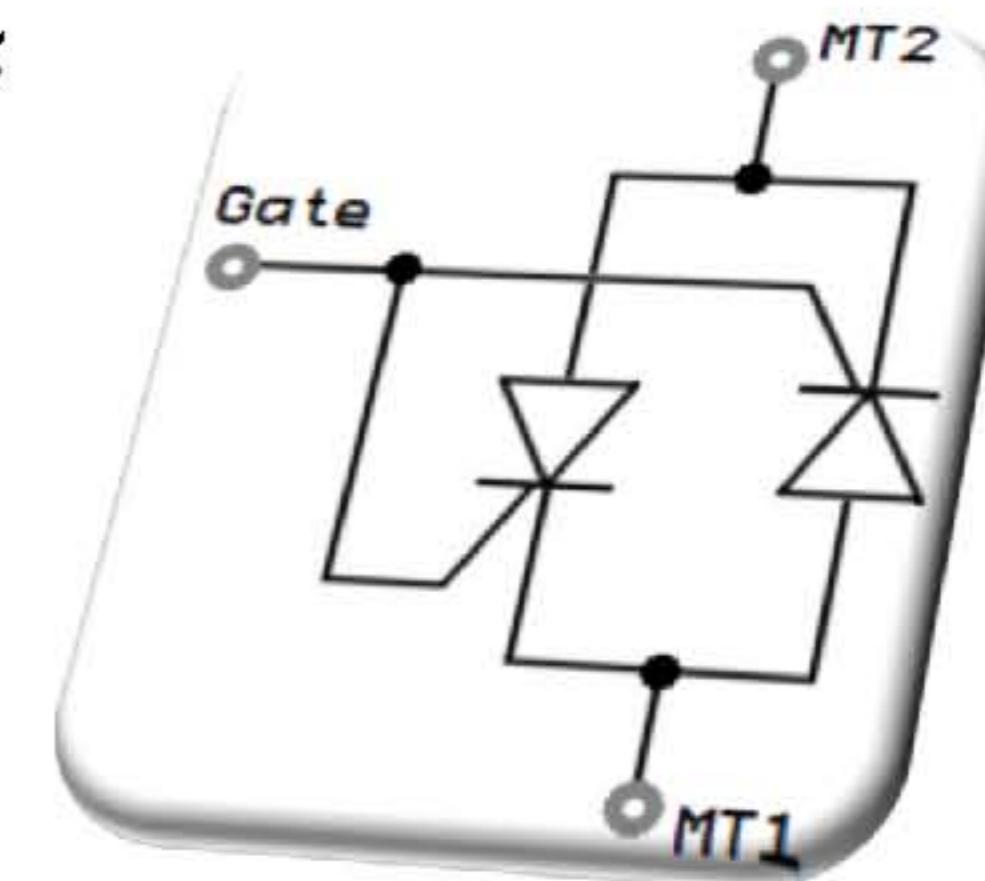


Prof. Eng° esp Luiz Antonio Vargas Pinto
Rev. abr 2023

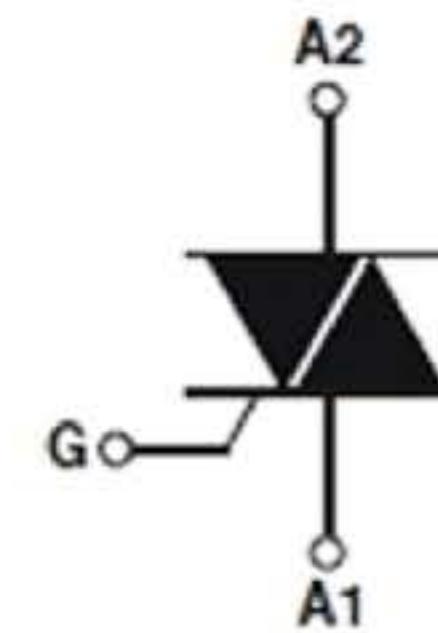
O TRIAC

- 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:

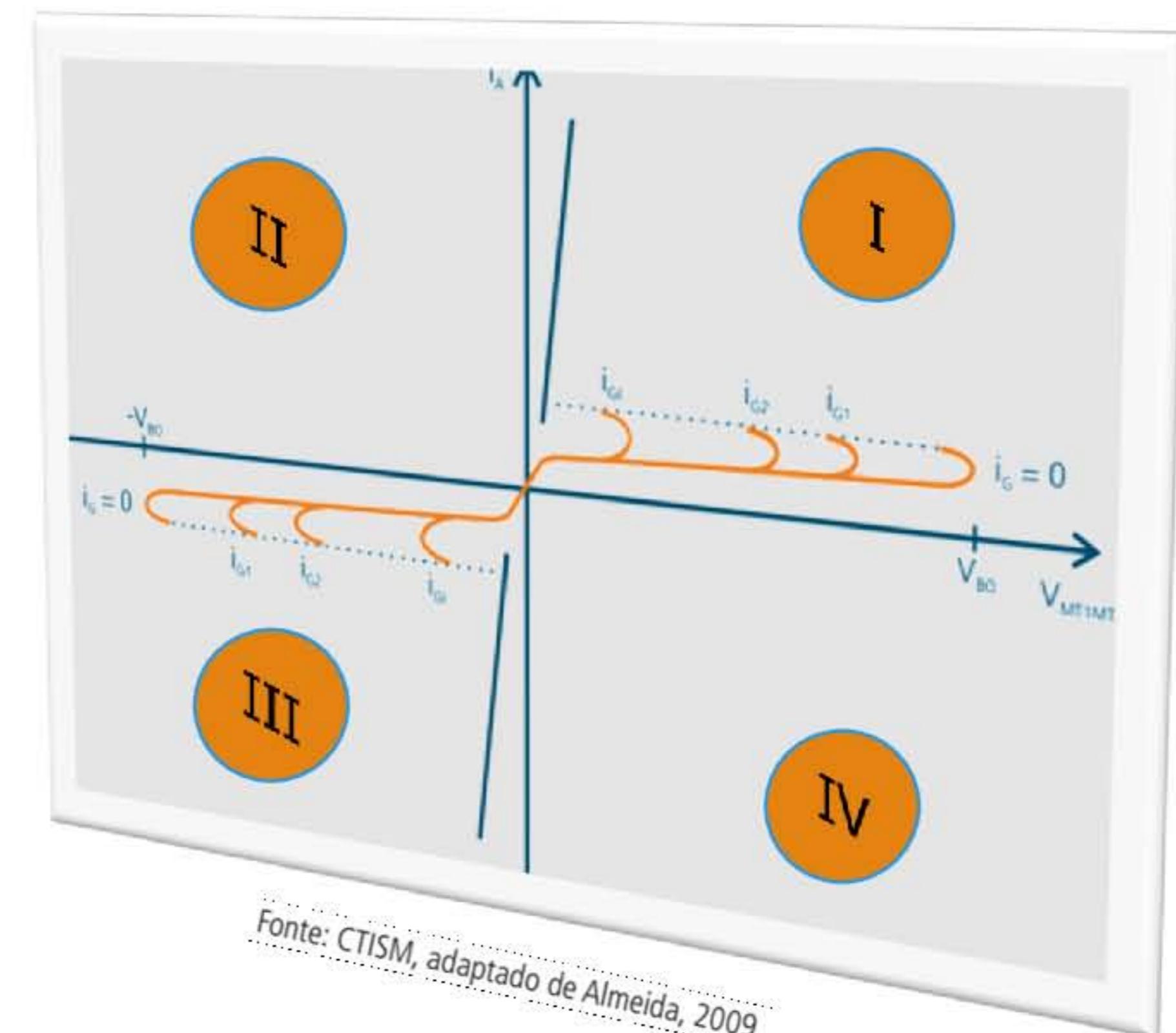
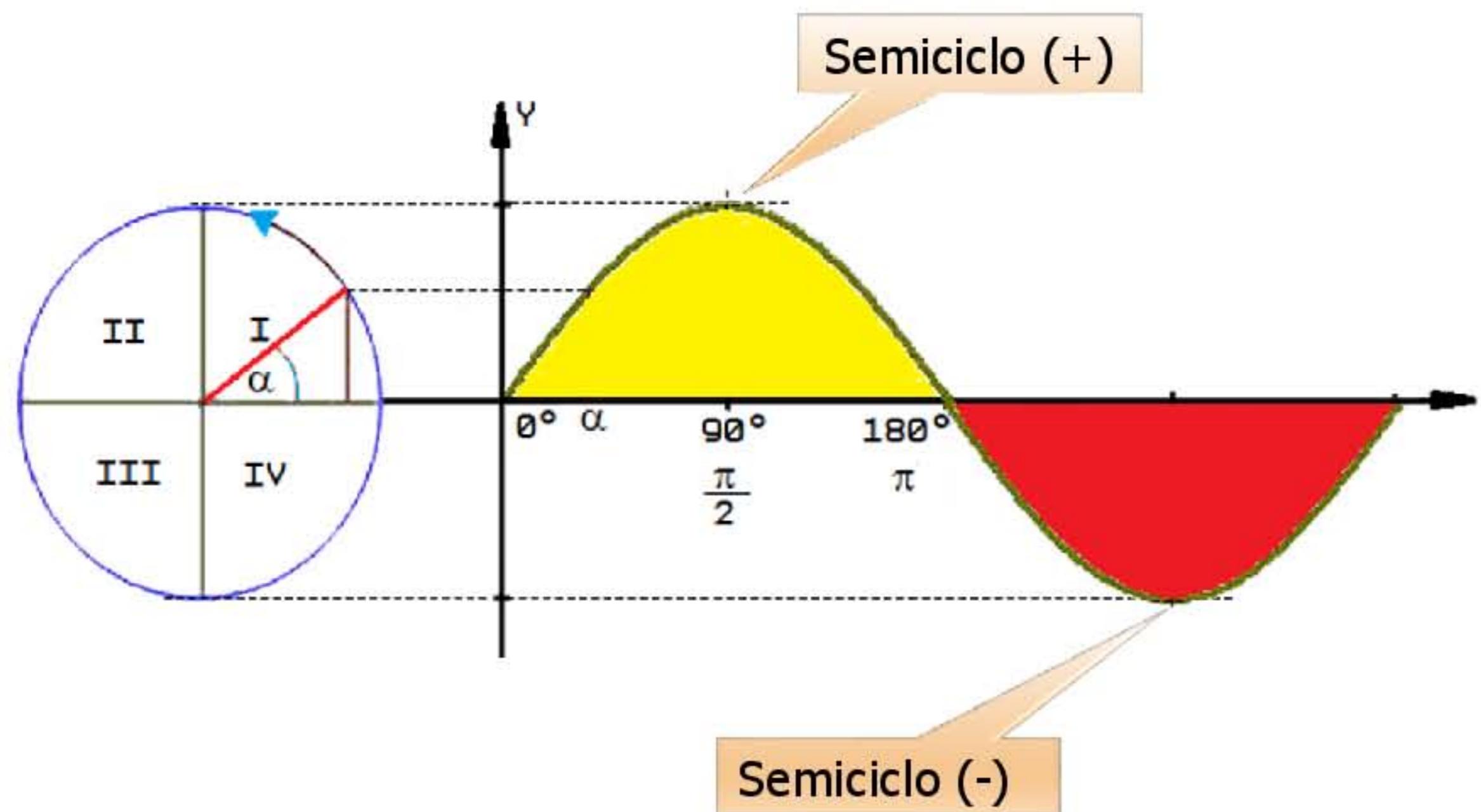


TOP3 Insulated
(BTA41)



Curva característica

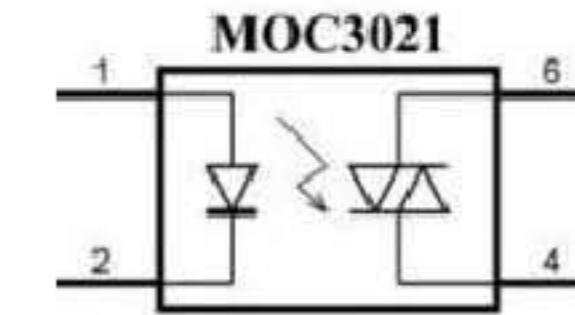
- Observe a ação nos quadrantes **I** e **III**



Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

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).



Modos de disparo do TRIAC

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

☐ Disparo no 1º quadrante:

- Terminais MT2 e gate (G) estão (+) em relação a MT1

☐ Disparo no 2º quadrante:

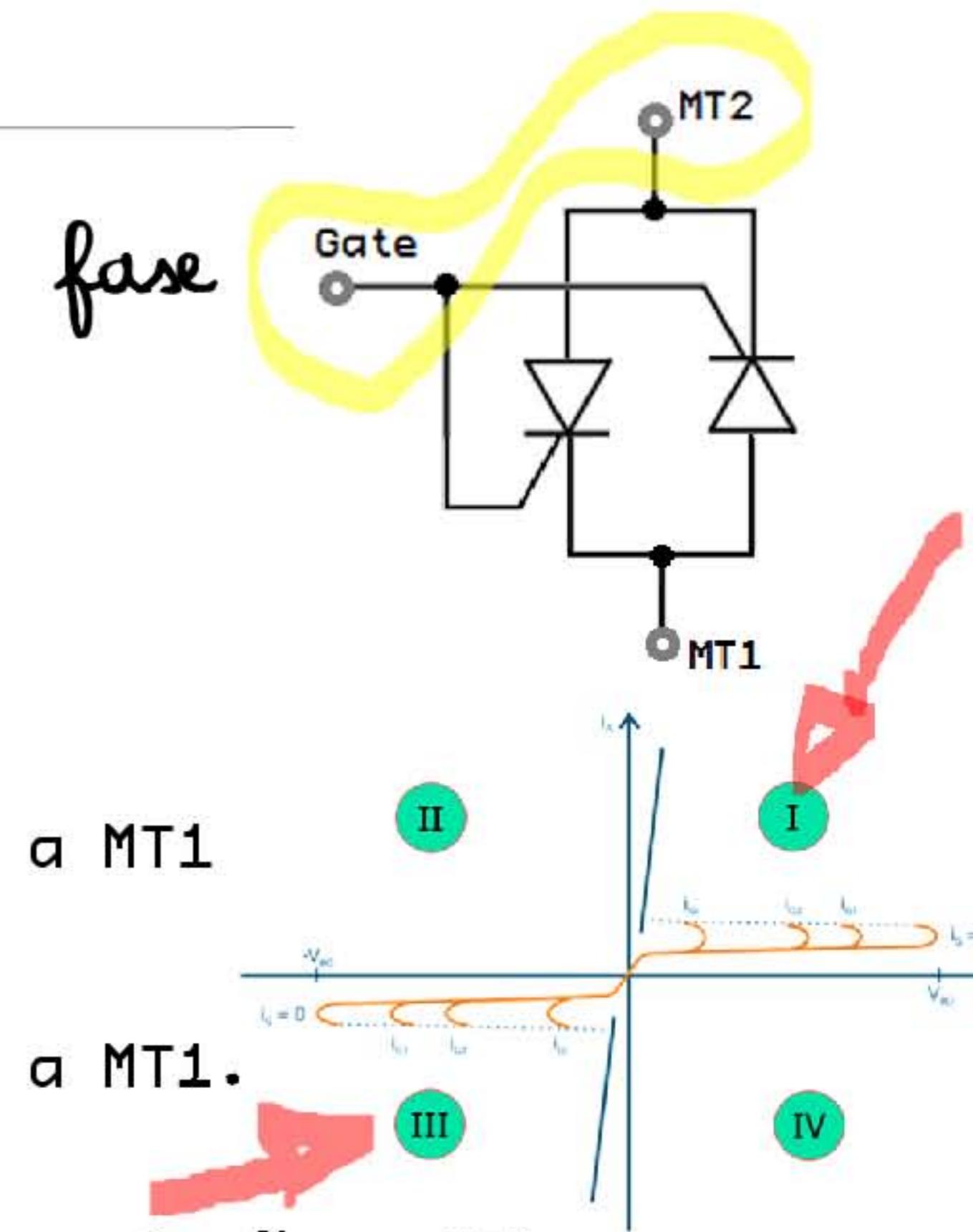
- Terminal MT2 está (+) e o G está (-), ambos em relação a MT1

☐ Disparo no 3º quadrante:

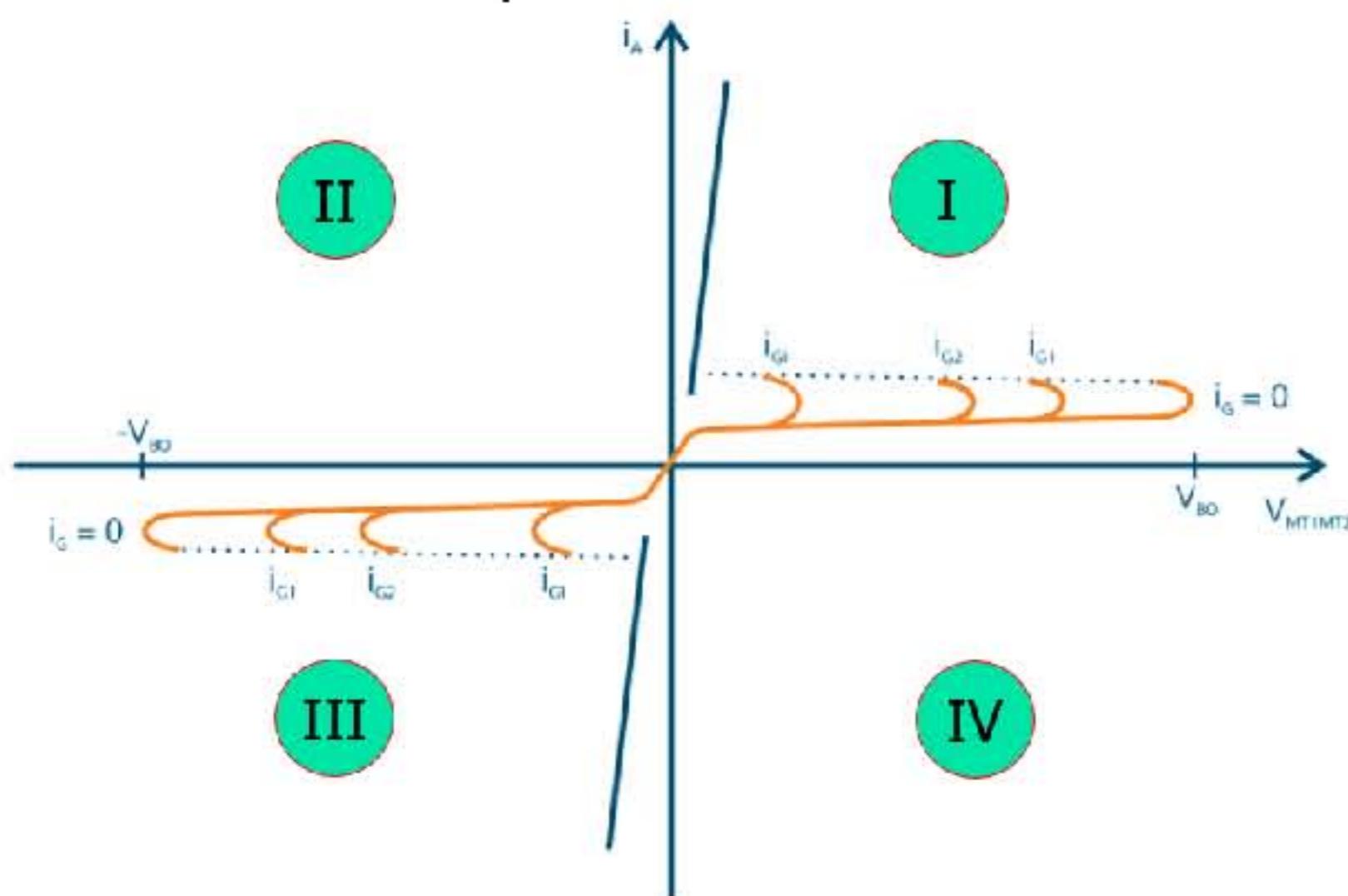
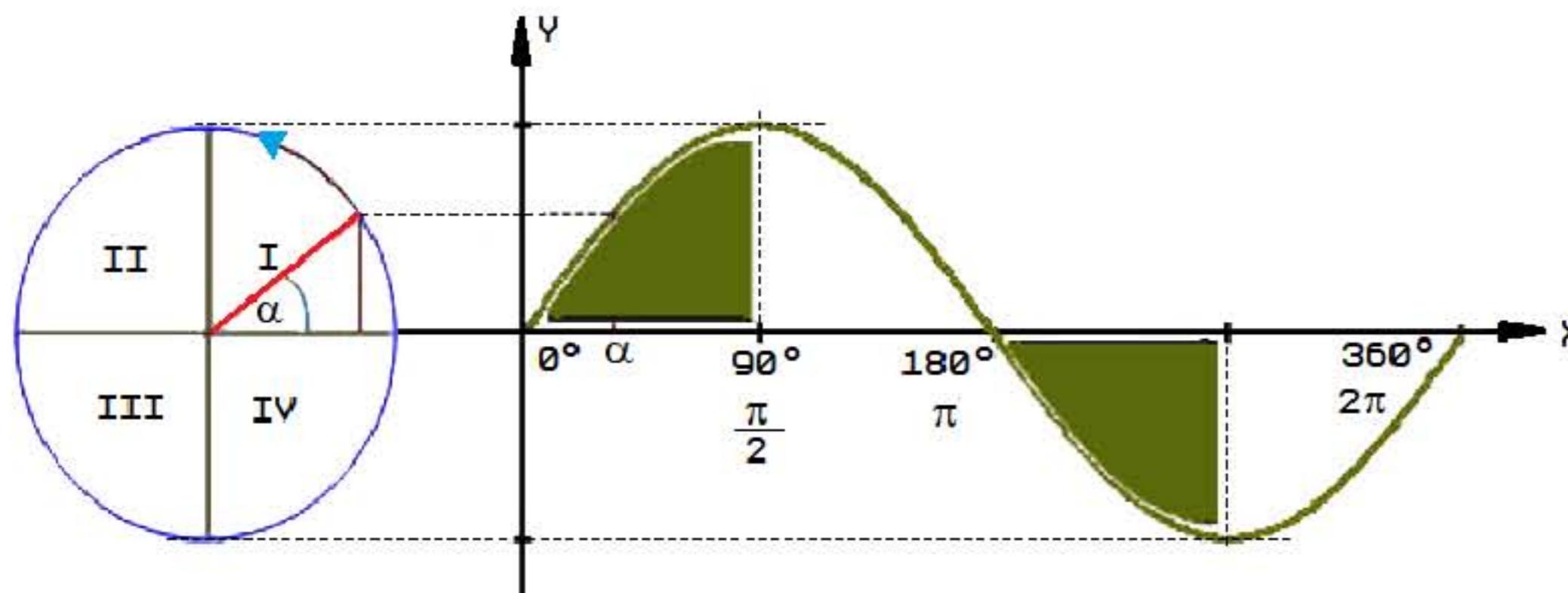
- Terminal MT2 está (-) e o G está (-), ambos em relação a MT1.

► Disparo no 4º quadrante:

- Terminal MT2 está (-) e o terminal G está (+), ambos em relação a MT1.



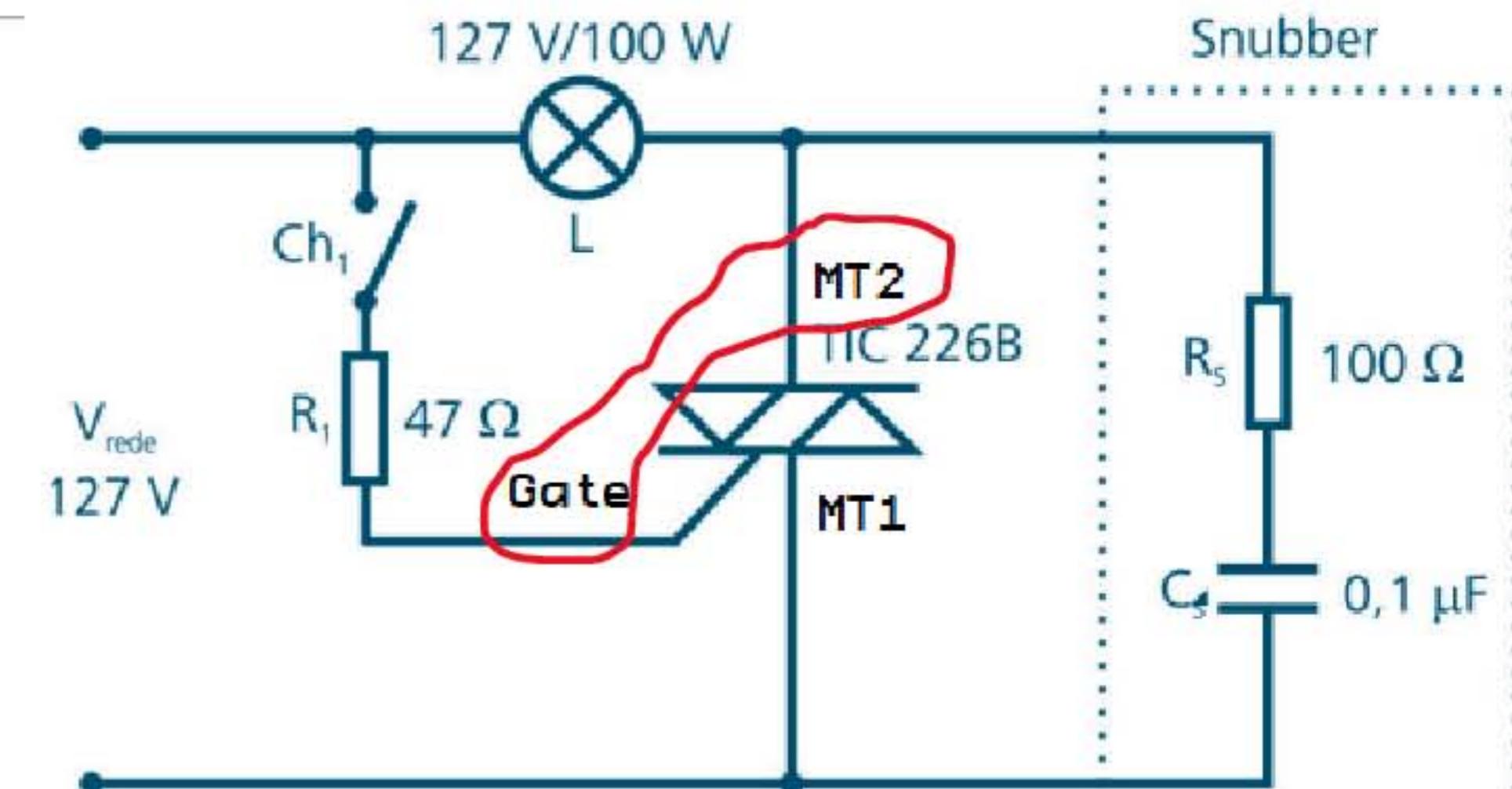
Considerações



- Da curva característica vê-se que o disparo no 1º e 3º quadrantes é mais funcional para o TRIAC em relação às outras possibilidades.
E observando a senóide ao lado, vemos que o ângulo α fica :
 - $0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ (I)
 - $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ (II)
 - $180^\circ < \alpha \leq 270^\circ$ (III)
 - $270^\circ < \alpha \leq 360^\circ$ (IV)
- No 2º quadrante, é ainda mais reduzida, devendo ser utilizada somente em TRIACs concebidos especialmente para este fim
- No 4º quadrante, a sensibilidade é pequena e não é usada.

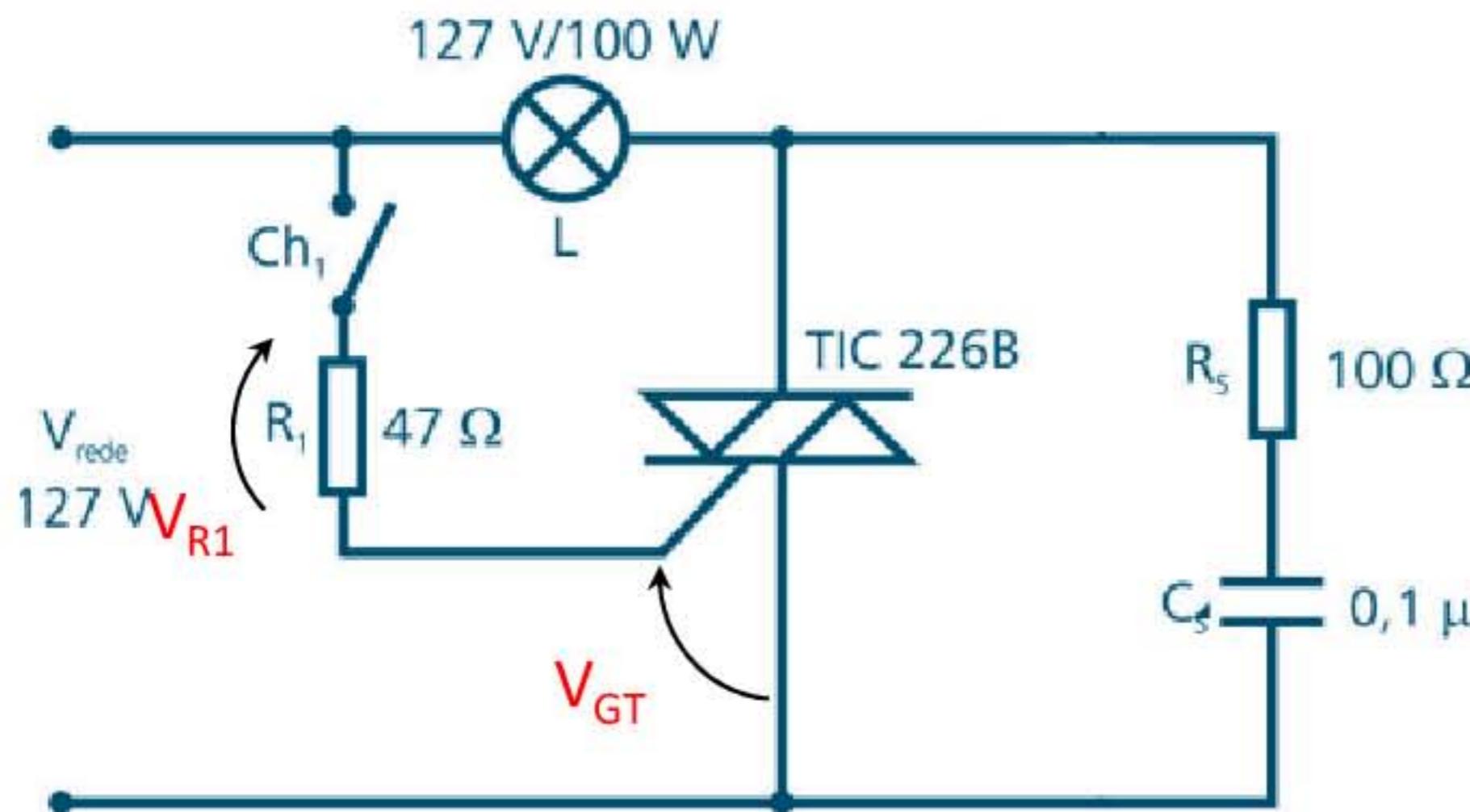
Controle de onda completa

- Este circuito efetua disparos no 1º e 3º quadrantes (observe a conexão de G e MT2).
- Com $i_{GT} = 50 \text{ mA}$ para o 1º e o 3º 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 $V_{GT} = 1.2 \text{ V}$
- 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



Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

Calculando...



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

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

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

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

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

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

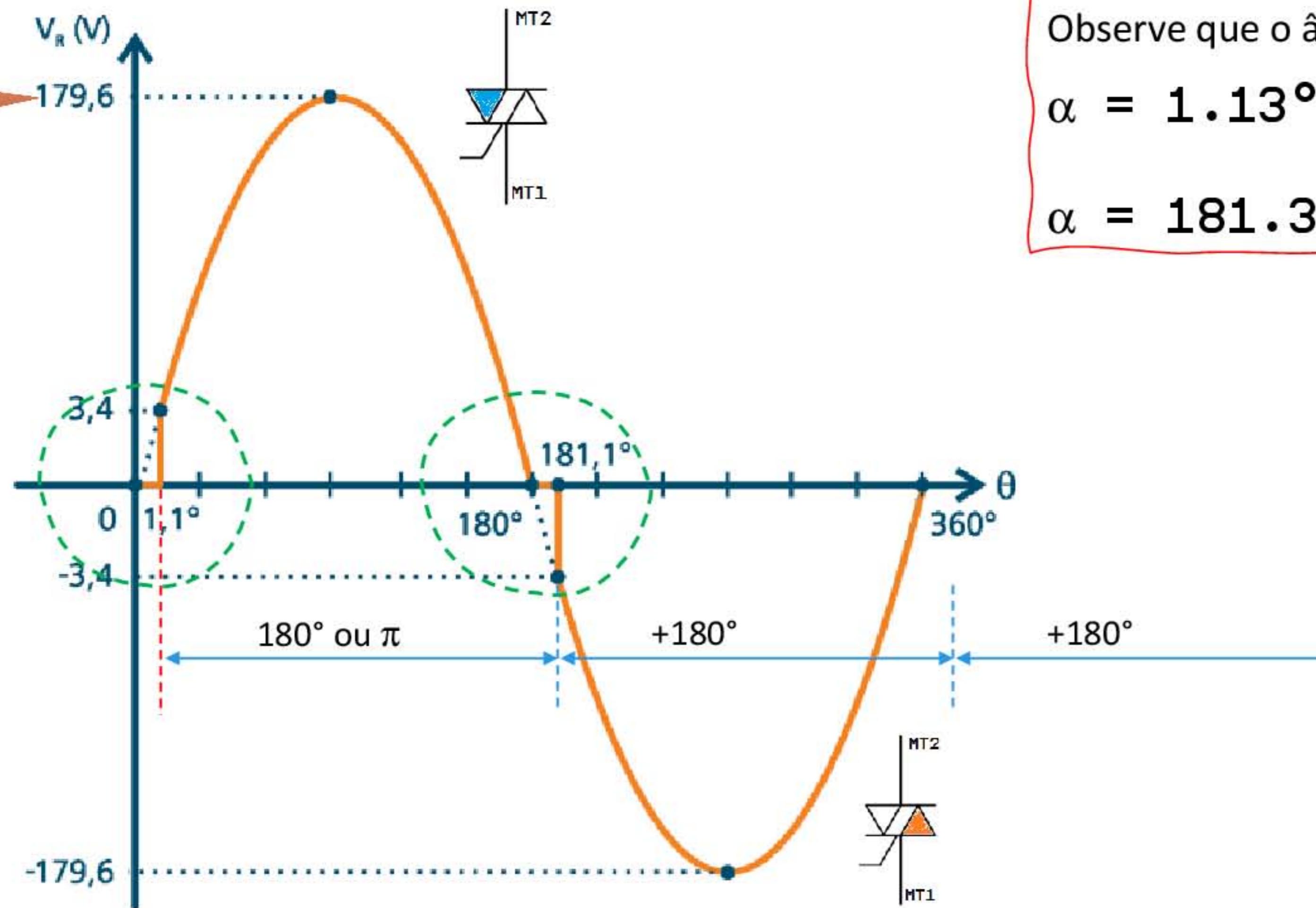
$$\sin(\alpha) = 0.0198$$

$$\alpha = 1.13^\circ$$

- O TRIAC irá disparar em 1.13° (I^oQ), em 181.13° (III^oQ) e assim por diante.

Momentos de disparo

Tensão
eficaz



Observe que o ângulo α fica :

$\alpha = 1.13^\circ$ fica no IºQ

e

$\alpha = 181.3^\circ$ fica no IIIºQ

Caso 1

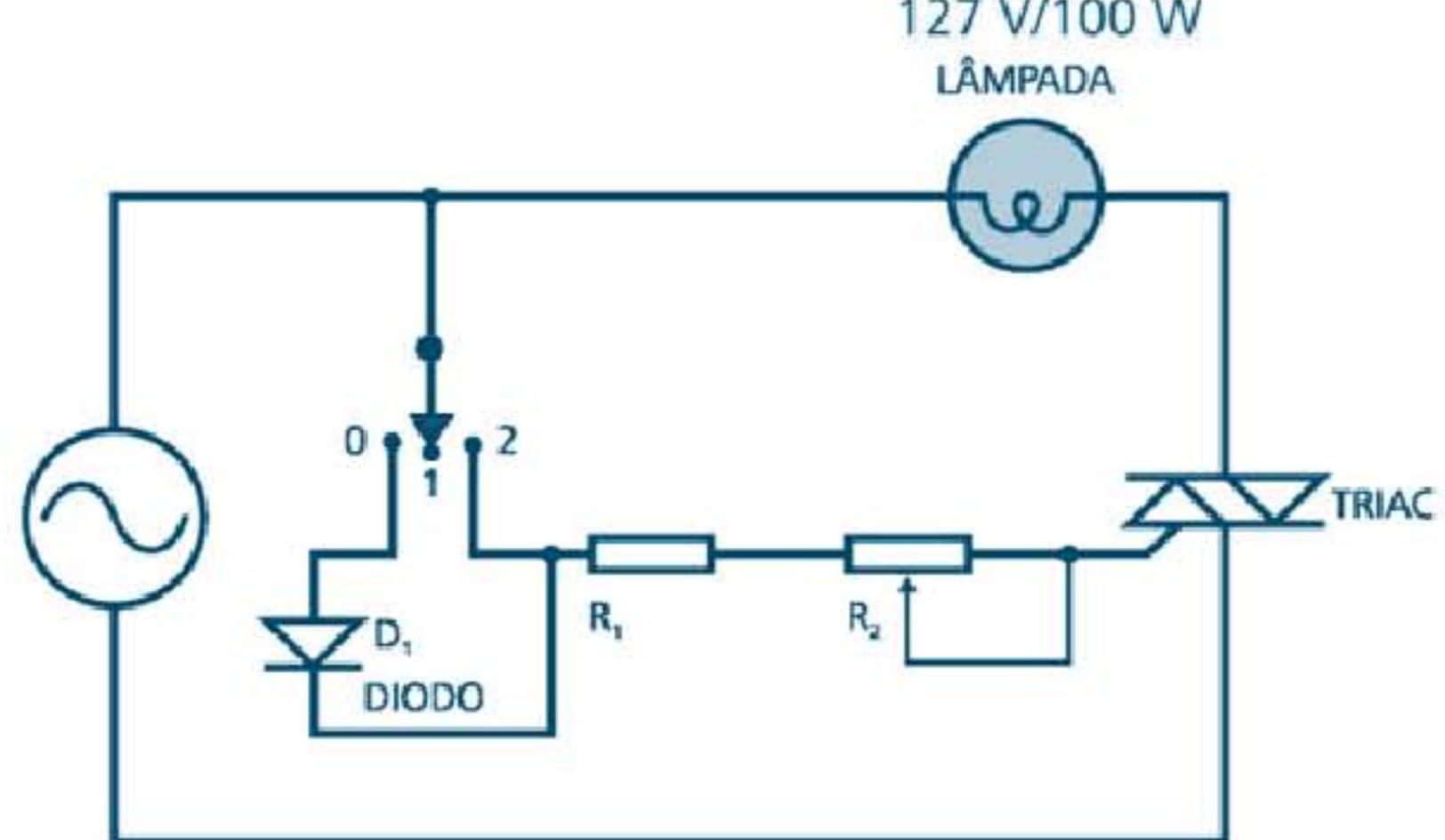
► $i_{GT} = 50 \text{ mA}$, $V_{GT} = 2.5 \text{ V}$, $i_{T\max} = 8 \text{ A}$

► $V_{RRM} = 200\text{V}$

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

$V_{REDE} = 127 \text{ V}_{CA}$ 60 Hz

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



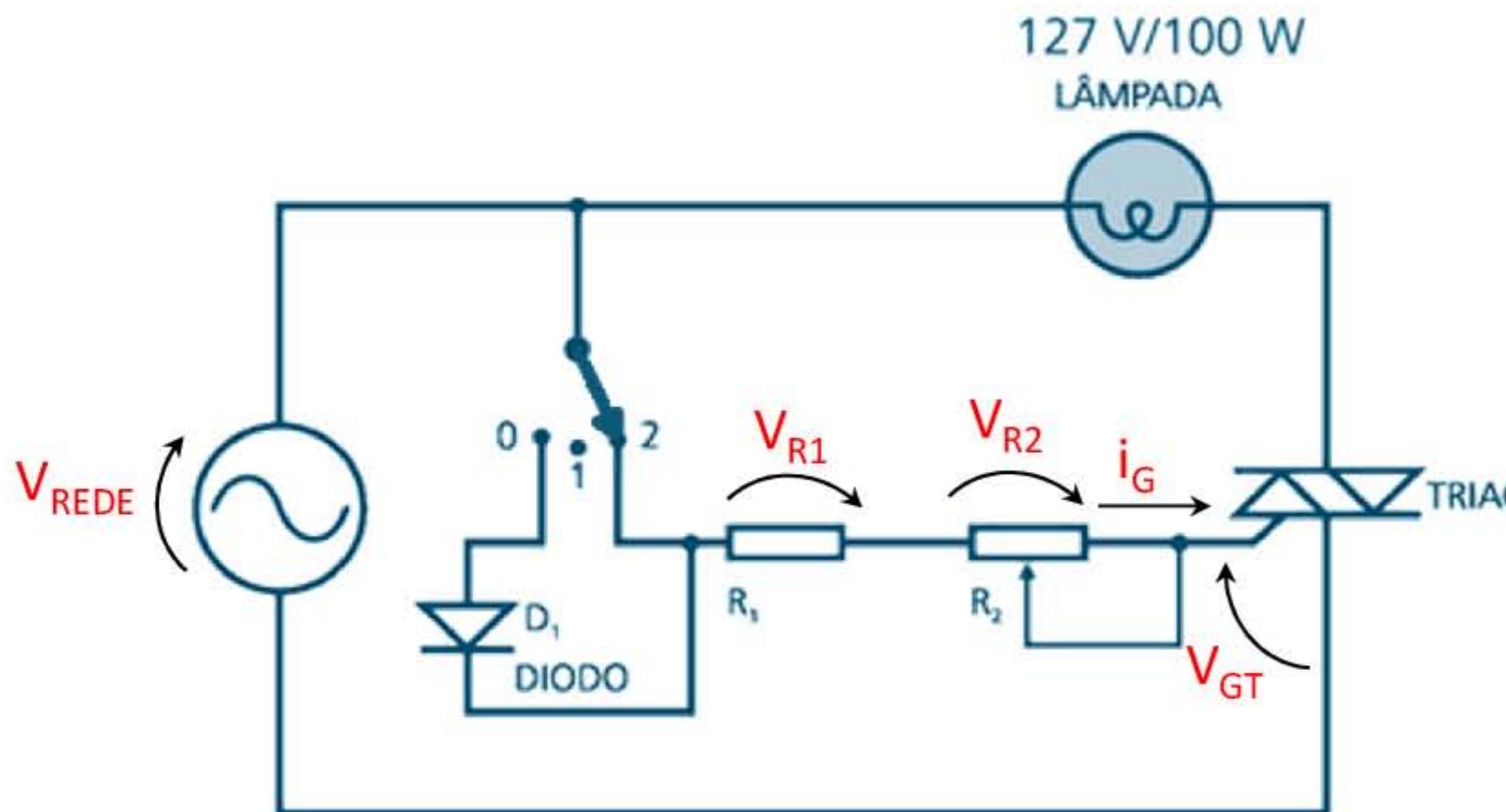
Fonte: CTISM

► 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.



Determinando α



Fonte: CTISM

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

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

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

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

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

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

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

$$\sin(\alpha) = 0.4788$$

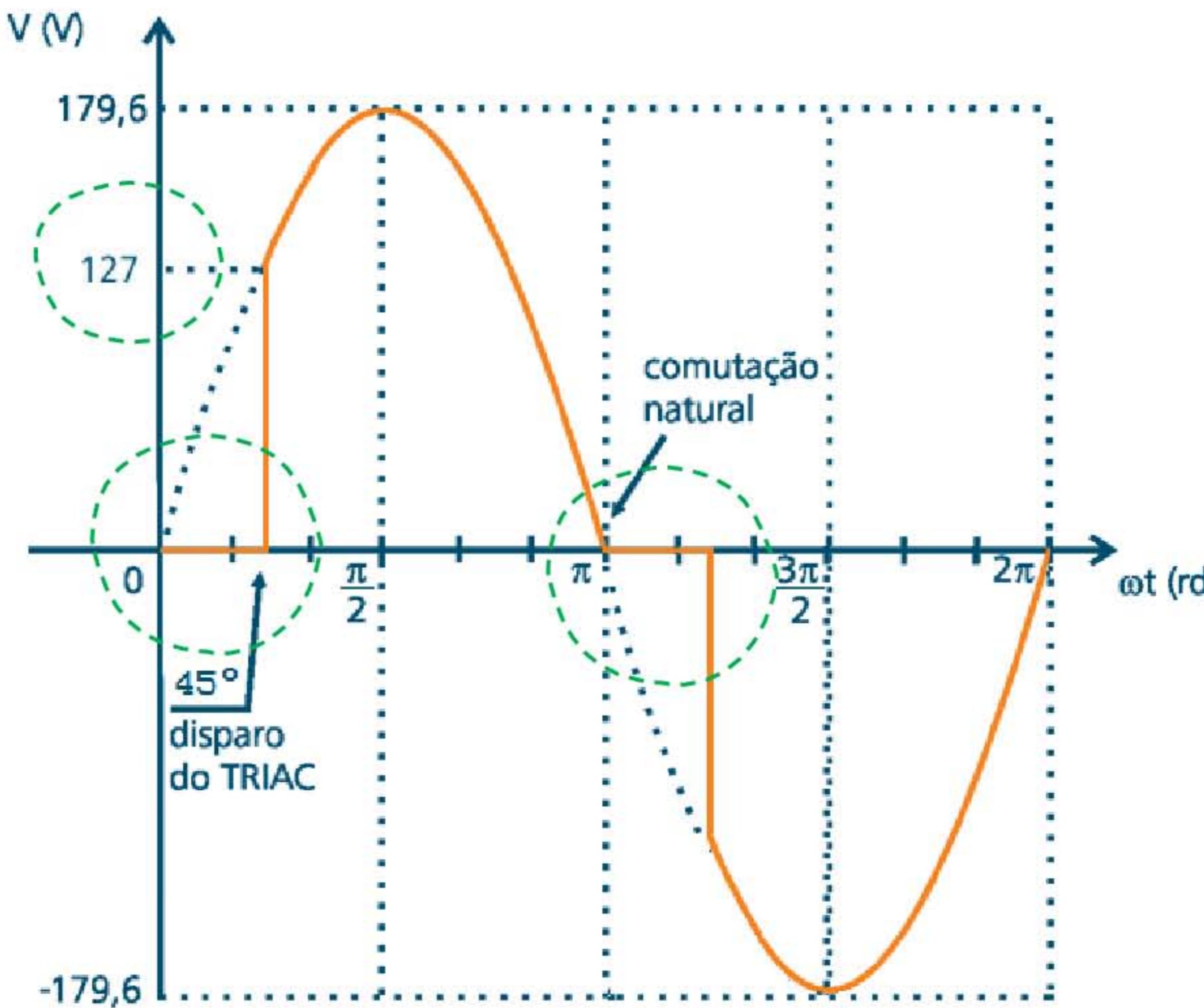
$$\alpha = 28.61^\circ$$

- Cuja tensão da rede corresponde a:

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

$$V_{rede} = 86 V$$

Graficamente



Caso 2

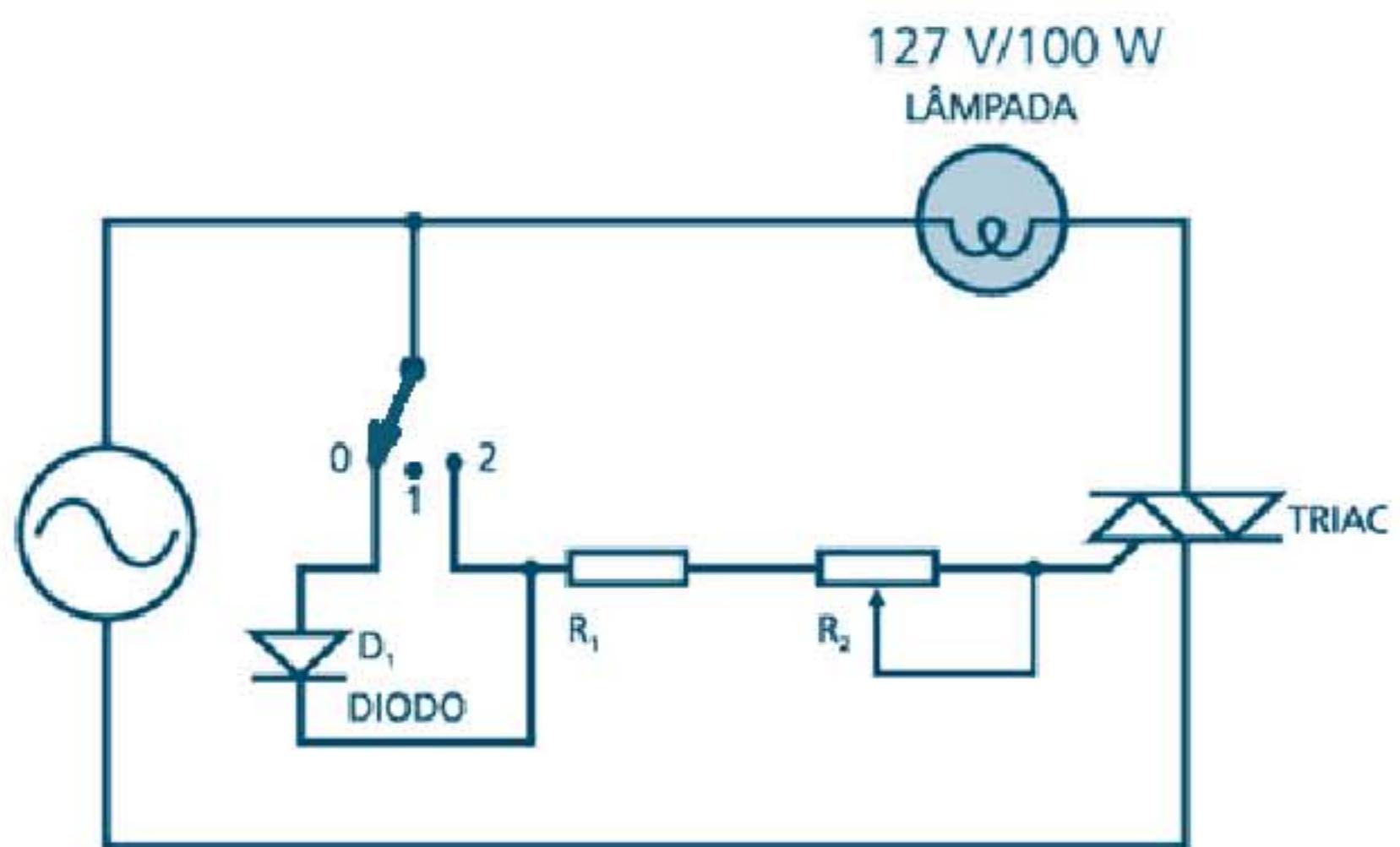
► $i_{GT} = 50 \text{ mA}$, $V_{GT} = 2.5 \text{ V}$, $i_{T\max} = 8 \text{ A}$

► $V_{RRM} = 200\text{V}$

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

$V_{REDE} = 127 \text{ V}_{CA}$ 60 Hz

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



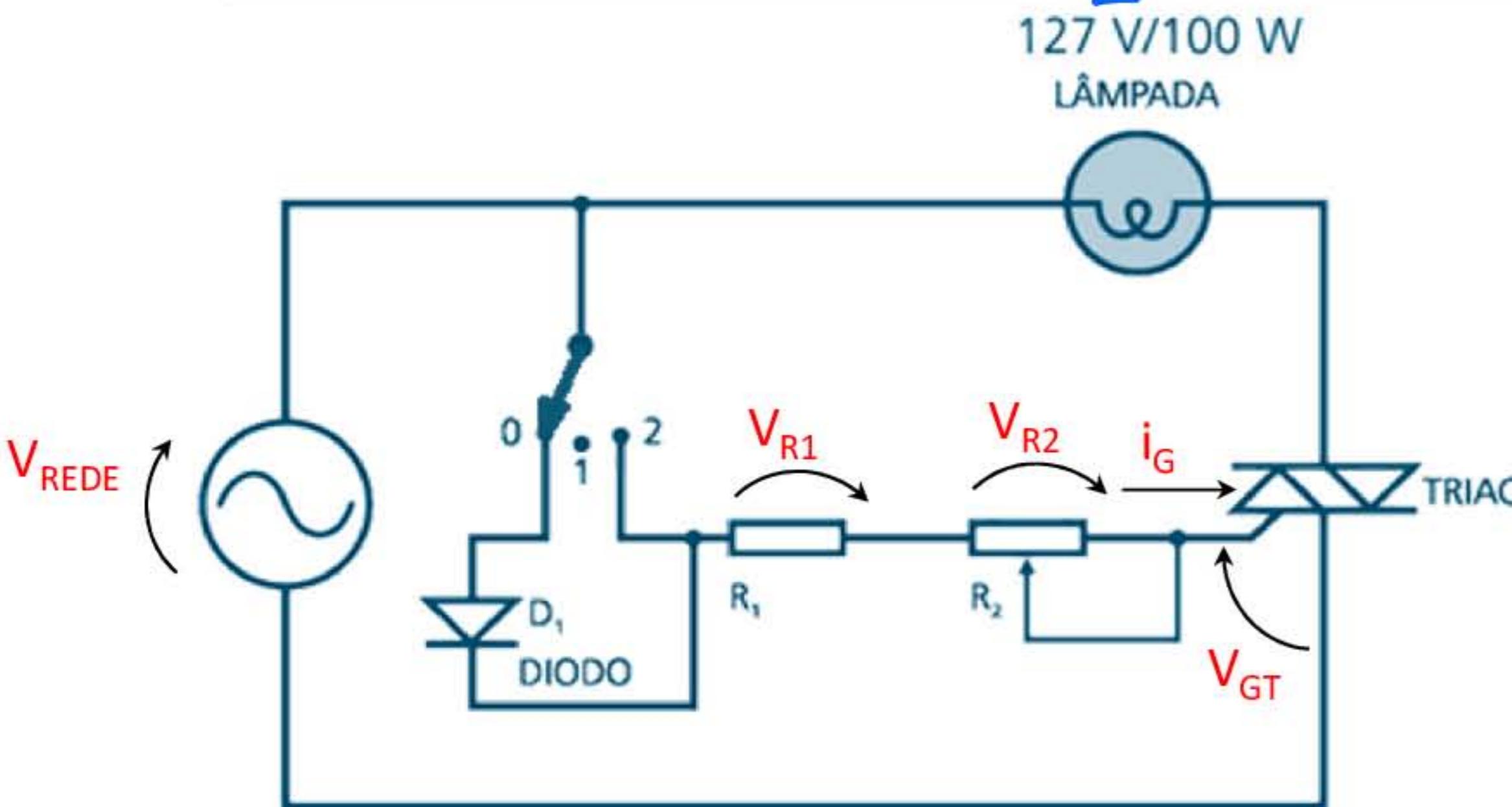
Fonte: CTISM



► 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.

Determinando R_2



Fonte: CTISM

□ Por kirchoff:

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

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

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

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

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

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

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

$$2470 = 470 + R_2$$

$$2470 - 470 = R_2$$

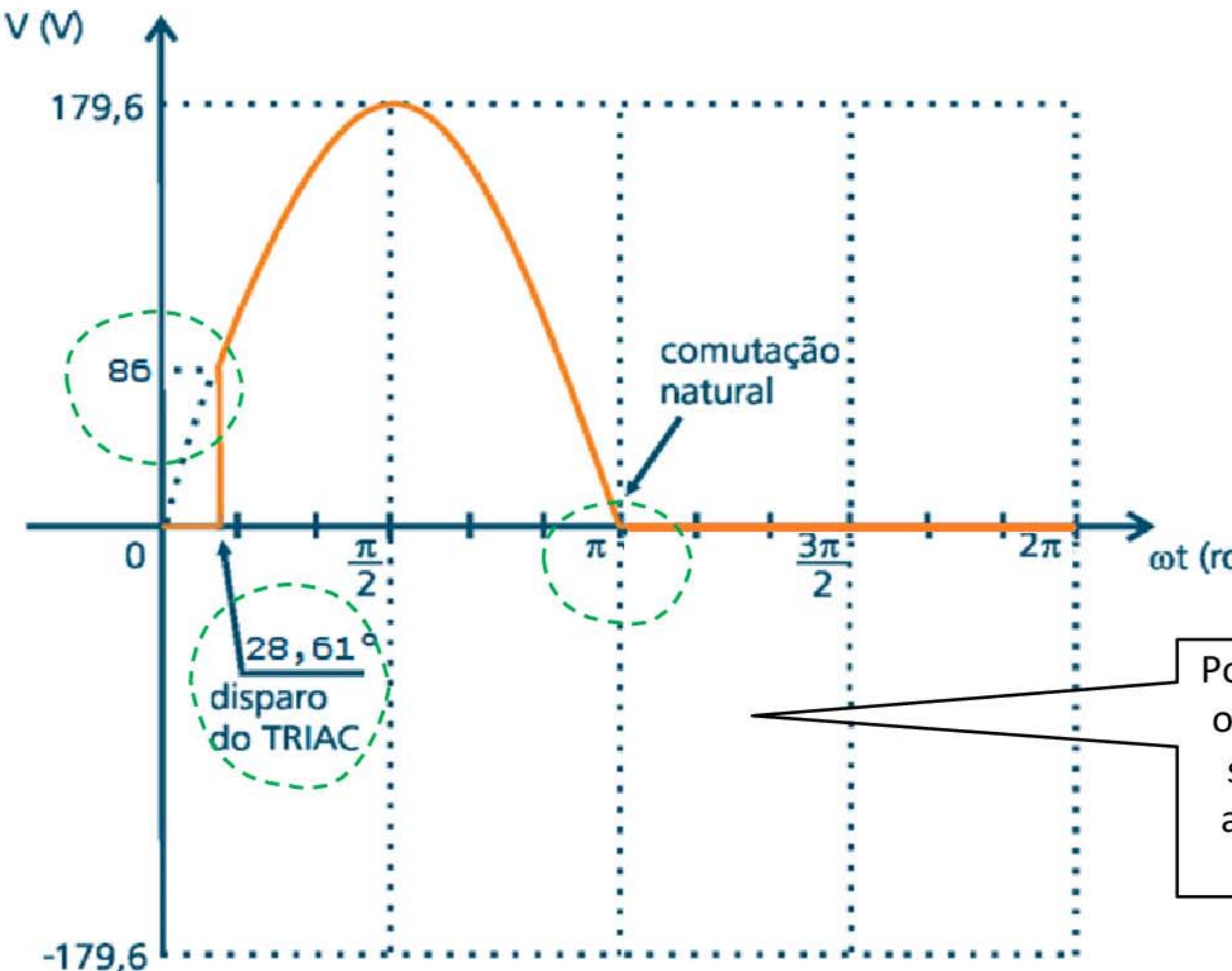
$$R_2 = 2000 \Omega$$

► Cujá tensão da rede corresponde a:

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

$$V_{rede} = 127 V$$

Graficamente



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

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

- A Potência será calculada por:

TENSÃO E POTÊNCIA

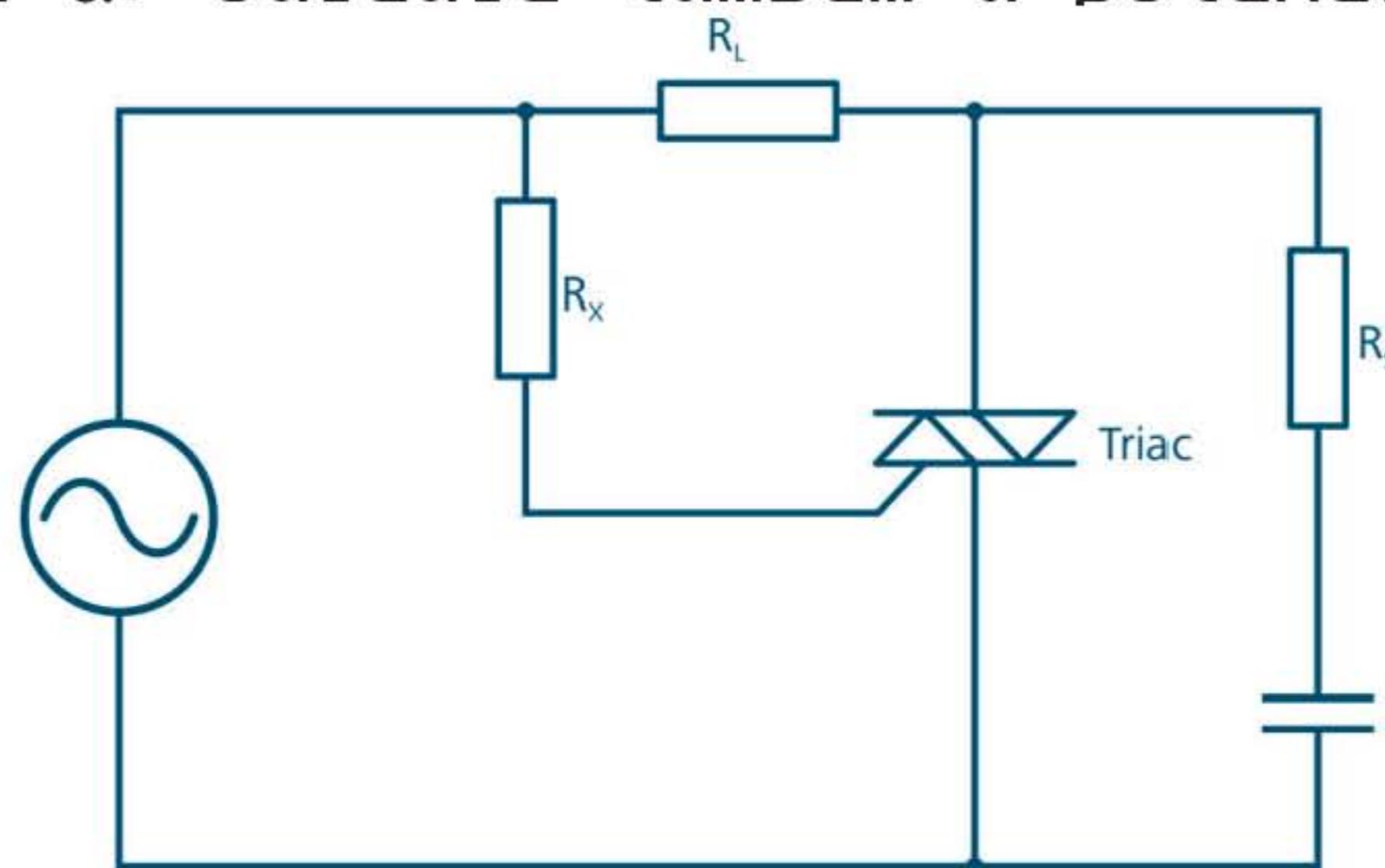
$$P_L = \frac{V_{RMS}^2}{R_L}$$

Considerações

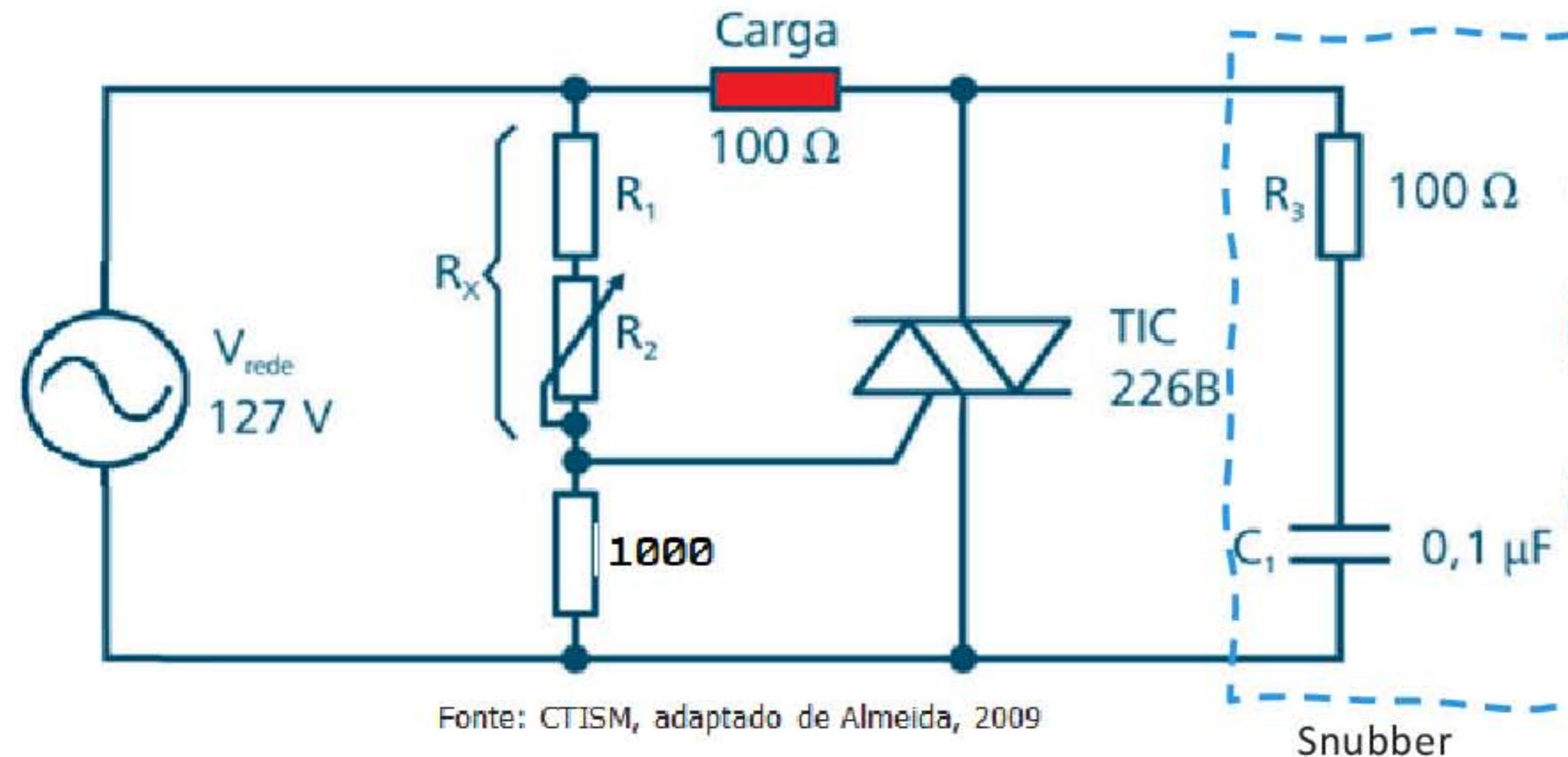
- A máxima corrente de gatilho precisa ser limitada por um resistor que estabelece i_{GT} . Se for fixo, ele limita a corrente mas define o ângulo de disparo, então R_1 deve ser suficiente para delimitar a corrente i_{GT} garantindo o limiar do disparo, quando V_{GT} torna-se 2.5V, e mesmo assim deixar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

Atividade

- O circuito abaixo é alimentado por uma fonte CA de $127 \text{ V}_{\text{RMS}} 60\text{Hz}$. 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 100Ω . Calcule o valor médio e eficaz da tensão na carga para os valores de α . Calcule também a potência dissipada.



Disparo com divisor de tensão



Fonte: CTISM, adaptado de Almeida, 2009

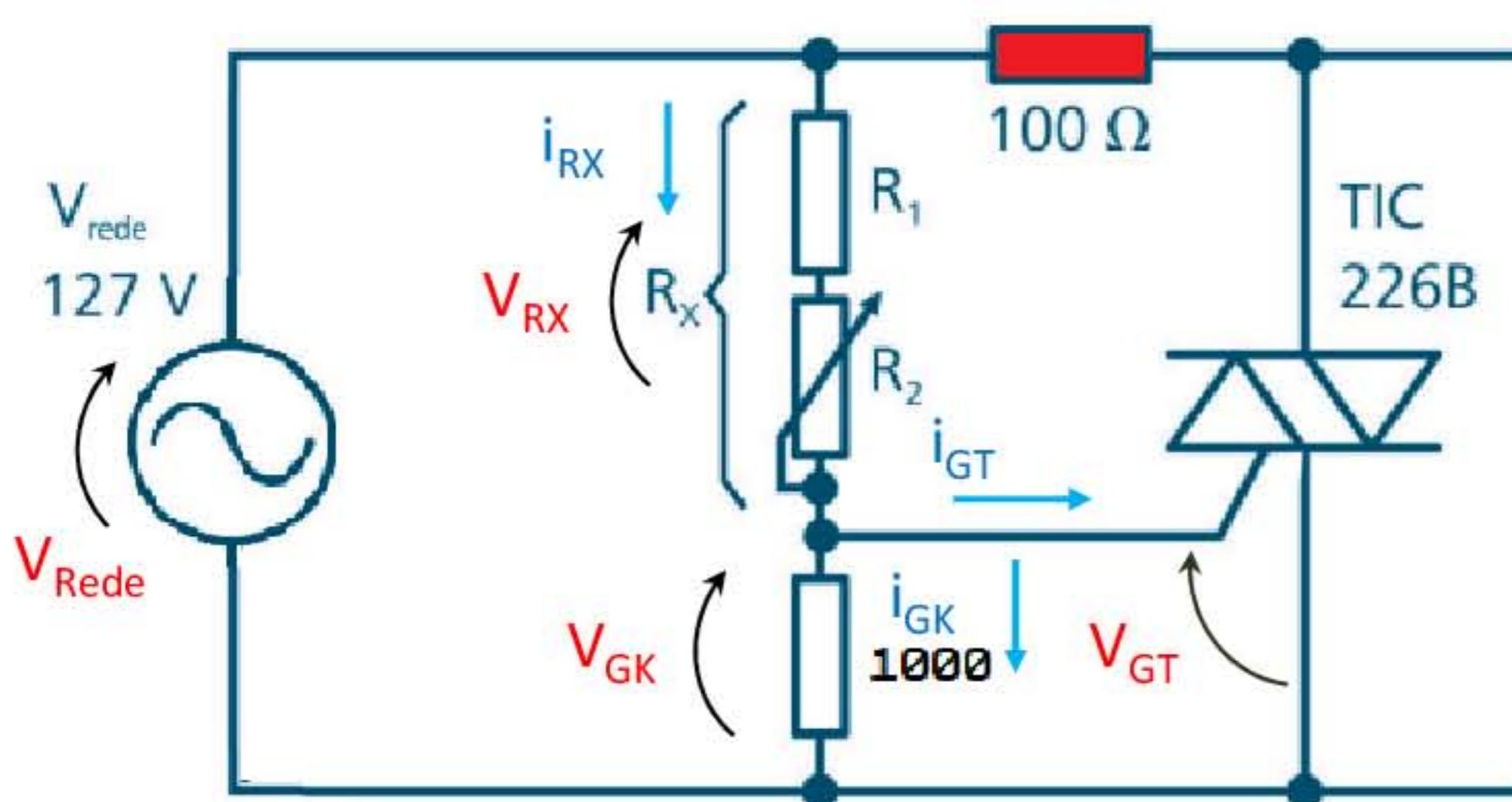
Dados Datasheet

$I_{GT} = 50 \text{ mA (MAX)}$

$V_{GT} = 2.0 \text{ V}$

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

Analisando...



A partir de Kirchoff temos:

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

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

Considerando a condução:

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

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

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

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

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

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

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

Mas:

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

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

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

Concluindo

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

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

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 $5613 \times \sin(\alpha)$ 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:

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

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

E quanto ao máximo α ?

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

$$\alpha > 0,63^\circ$$

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

$$R_X = 5613 \times \operatorname{sen}(2^\circ) - 62.5$$

$$R_X = 133 \Omega$$

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

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

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

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

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

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

$$R_2 = 5613 \times \operatorname{sen}(90^\circ) - 195.5$$

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

$$R_2 = 5613 - 195.5$$

$$R_2 = 5417 \Omega$$

Potenciômetro

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

Referências



*Até breve,
Obrigado*