



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA

Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B
Aula 17 – Gradadores

Prof. Amauri Assef
amauriassef@utfpr.edu.br

Eletrônica de Potência - Gradadores

- Introdução:
- Os gradadores são conversores estáticos destinados a variar o valor eficaz de uma tensão alternada
- Caracterizam-se por colocar a carga em contato direto com a fonte, sem tratamento intermediário de energia
- Não alteram a frequência da tensão alternada da fonte
- Não utilizam elementos reativos
- Introduzem harmônicas na tensão de saída e na corrente de entrada

Empregam apenas tiristores

Eletrônica de Potência - Gradadores

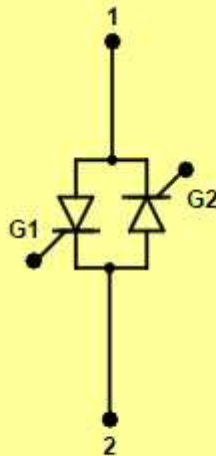
- Principais empregos dos gradadores:
- Controle de intensidade luminosa (*dimmer*)
- Controle de temperatura – chuveiros e fornos
- Controle da velocidade de motores de indução
- Limitação da corrente de partida de motores de indução
 - Sistema de partida suave para motores – soft-starters



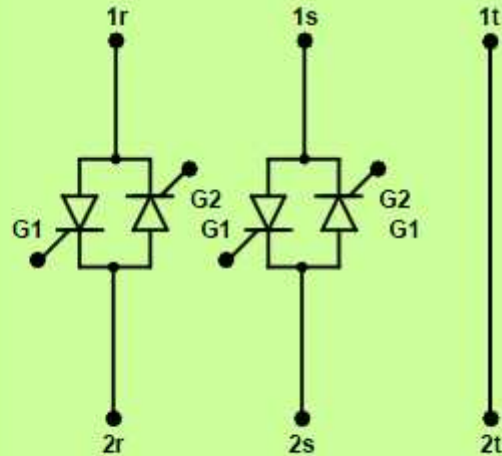
Eletrônica de Potência - Gradadores

- Principais topologias:

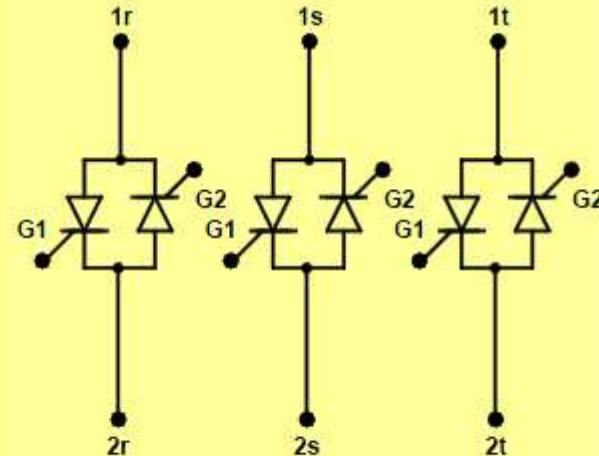
Monofásico



Trifásico a 3 fios

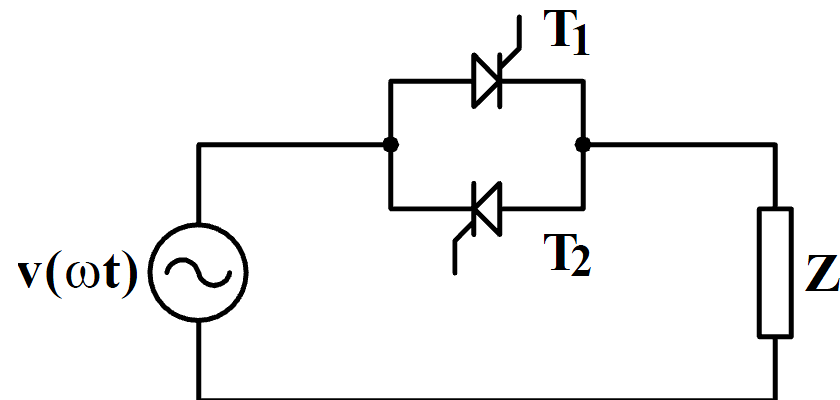
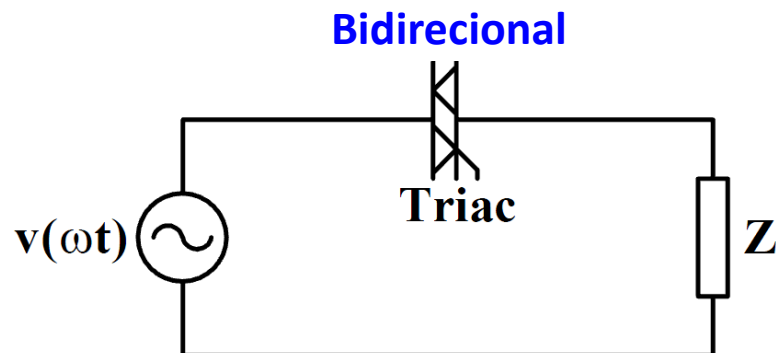


Trifásico a 3 fios ou a 4 fios

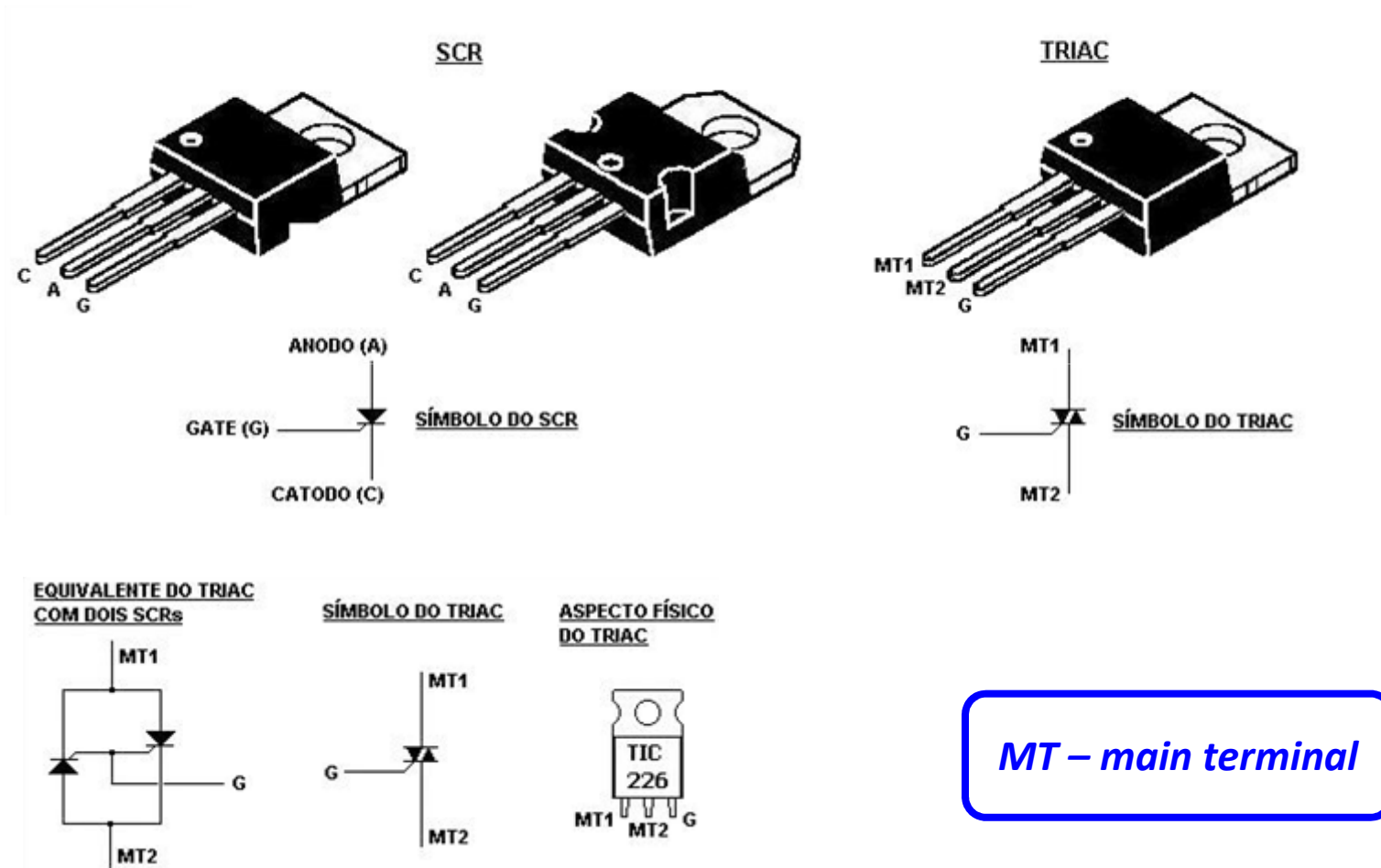


Eletrônica de Potência - Gradadores

- Estrutura do gradador monofásico:
- Cargas de pequena potência → TRIAC
 - Exemplo: **TIC226**
- Potências maiores → Dois tiristores em antiparalelo
 - Exemplo: **TIC106 (SCR)**

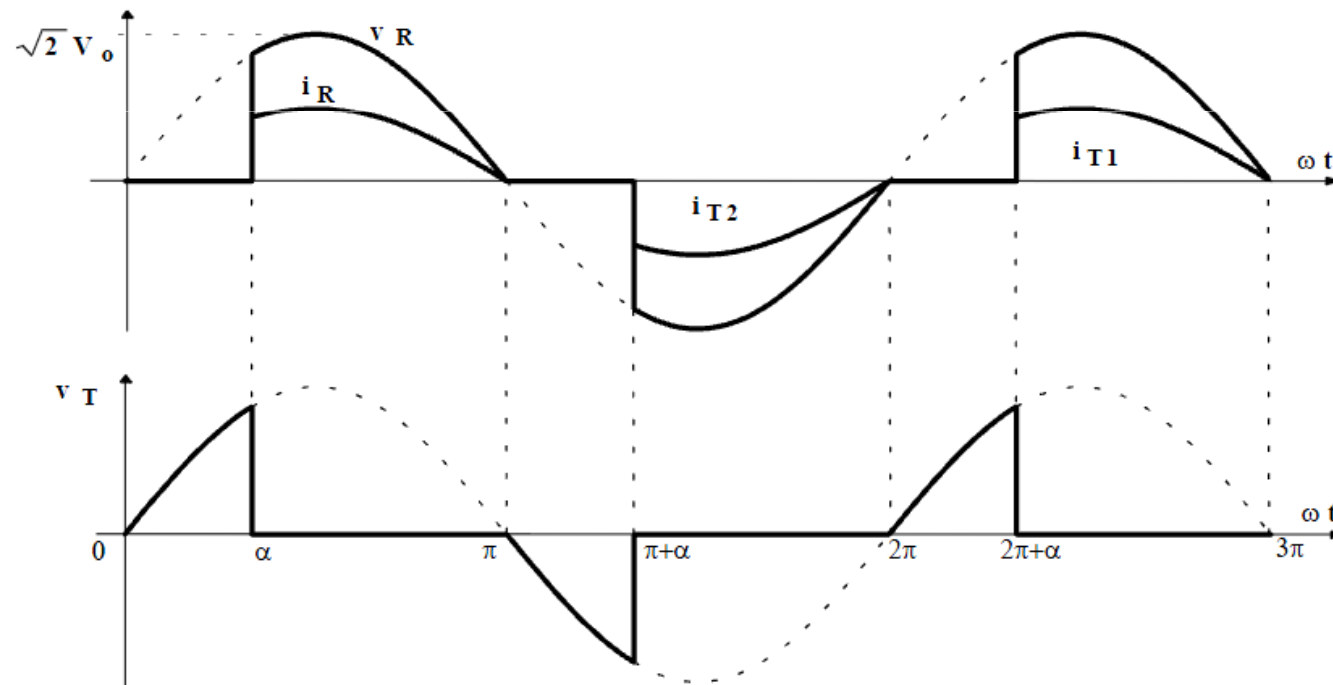
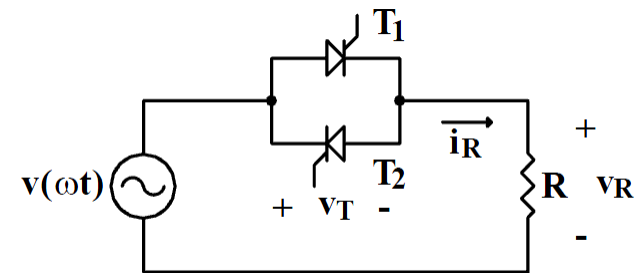


Eletrônica de Potência - Gradadores



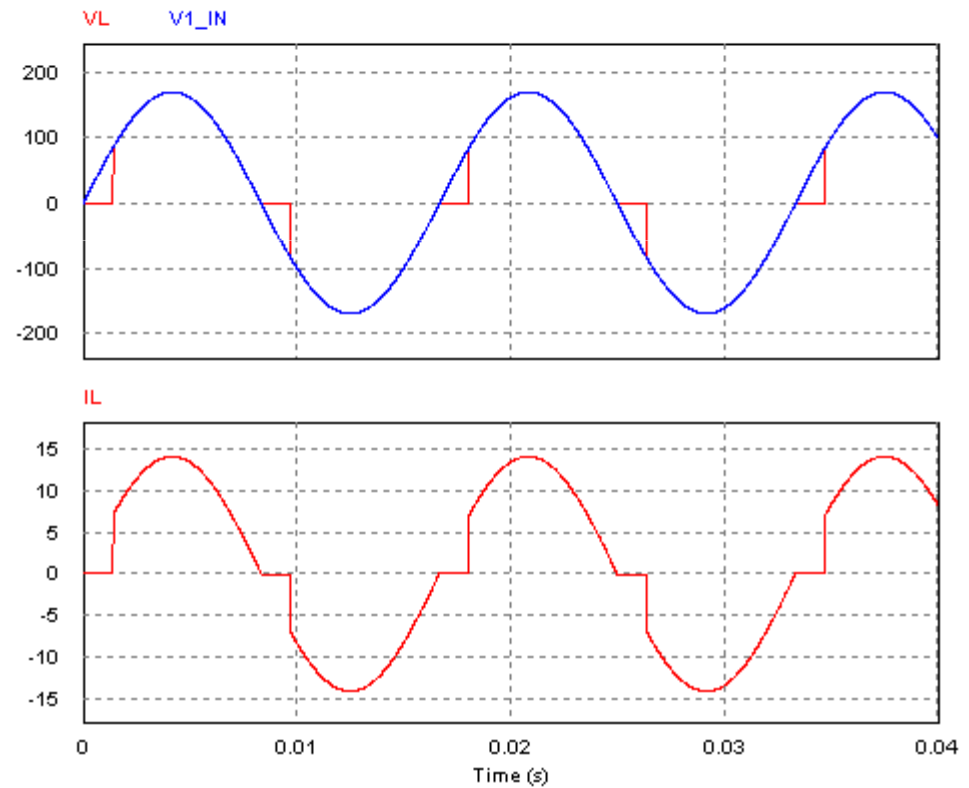
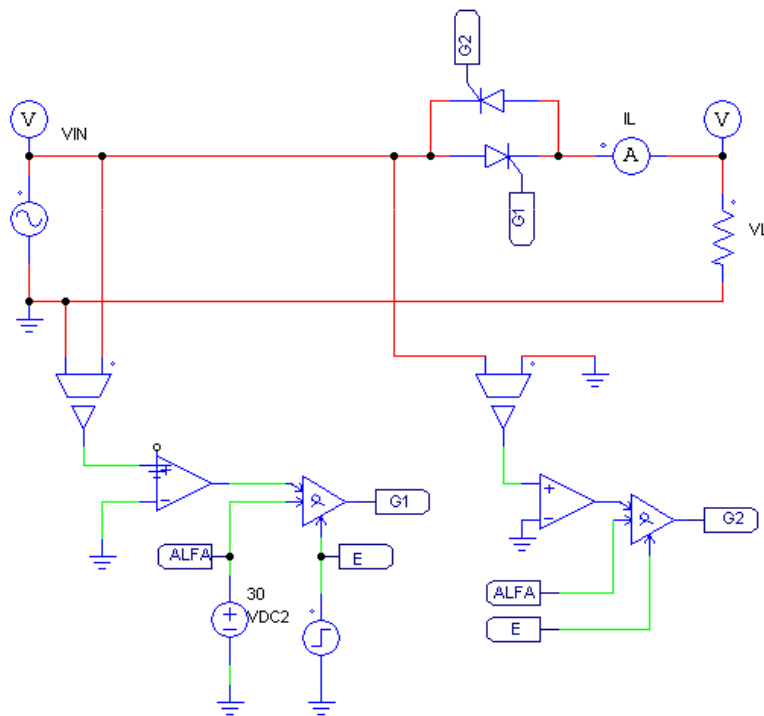
Eletrônica de Potência - Gradadores

- Gradador monofásico – carga R:
- Topologia e formas de onda



Eletrônica de Potência - Gradadores

- Gradador monofásico – carga R:
- Simulação com o PSIM



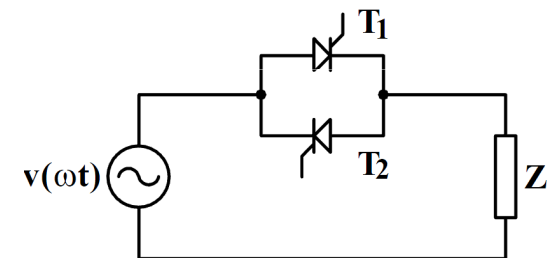
Eletrônica de Potência - Gradadores

- As grandezas envolvidas são representadas pelas expressões:

$$v(\omega t) = \sqrt{2} V_o \text{sen}(\omega t)$$

$$v_R(\omega t) = \sqrt{2} V_o \text{sen}(\omega t) \left| \left(\begin{array}{c} \pi \\ \alpha \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 2\pi \\ \pi + \alpha \end{array} \right) \right.$$

$$i_R(\omega t) = \frac{\sqrt{2} V_o}{R} \text{sen}(\omega t) \left| \left(\begin{array}{c} \pi \\ \alpha \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 2\pi \\ \pi + \alpha \end{array} \right) \right.$$



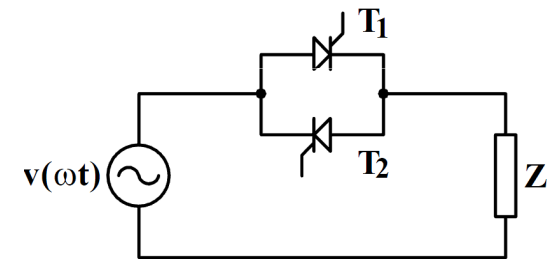
V_{Lmed} e I_{Lmed} nulos

Eletrônica de Potência - Gradadores

- Tensão eficaz no resistor:

$$V_{Lef} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [\sqrt{2}V_o \text{sen } \omega t]^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [\sqrt{2}V_o \text{sen } \omega t]^2 d\omega t}$$

$$V_{Lef} \cong V_o \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2\pi}}$$



- Corrente eficaz no resistor:

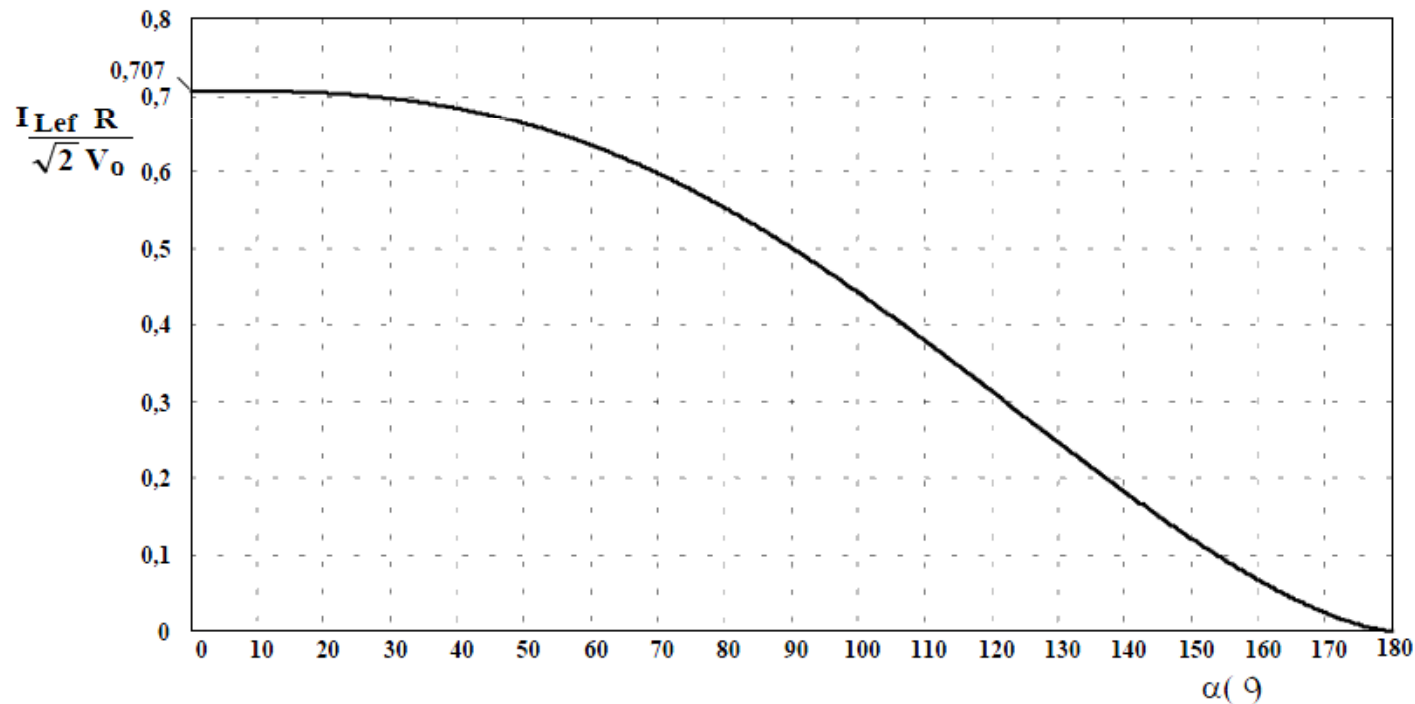
$$I_{Lef} \cong \frac{V_o}{R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2\pi}}$$

$$I_{Lef} = \frac{V_o}{\sqrt{\pi} R} \left((\pi - \alpha) + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)^{1/2}$$

Eletrônica de Potência - Gradadores

- Corrente eficaz parametrizada no resistor:

$$\frac{I_{Lef} R}{\sqrt{2} V_o} = \frac{1}{\sqrt{2} \sqrt{\pi}} \left((\pi - \alpha) + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)^{1/2}$$



Eletrônica de Potência - Gradadores

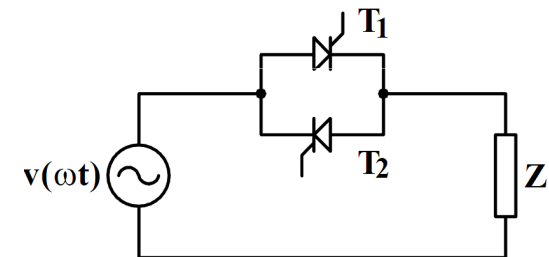
- Tensão média em cada tiristor:

$$V_{Tmed} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_o \sin(\omega t) d\omega t$$

$$V_{Tmed} = \frac{\sqrt{2} V_o}{2\pi} (1 + \cos(\alpha))$$

- Corrente média em cada tiristor:

$$I_{Tmed} = \frac{\sqrt{2} V_o}{2\pi R} (1 + \cos(\alpha))$$



- Corrente eficaz em cada tiristor:

$$I_{Tef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \left[\sqrt{2} \frac{V_o}{R} \sin(\omega t) \right]^2 d\omega t}$$

$$I_{Tef} = \frac{I_{Lef}}{\sqrt{2}}$$

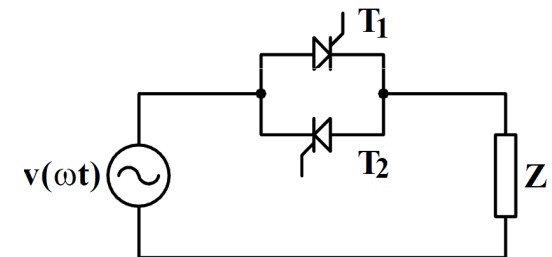
Eletrônica de Potência - Gradadores

- Corrente eficaz parametrizada no tiristor:

$$I_{Tef} = \frac{V_o}{\sqrt{2} \sqrt{\pi} R} \left((\pi - \alpha) + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)^{1/2}$$

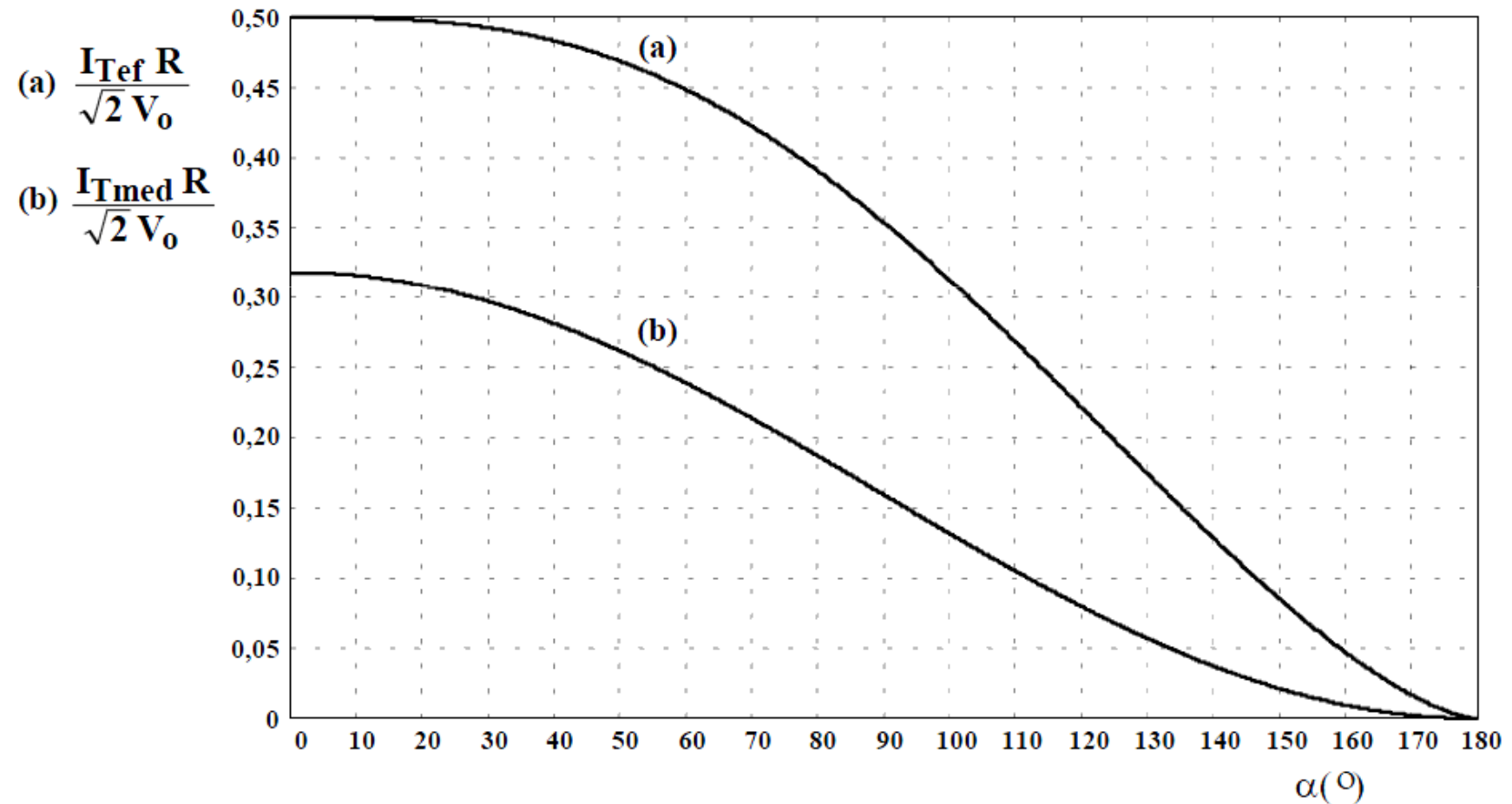
Ou parametrizada:

$$\frac{I_{Tef} R}{\sqrt{2} V_o} = \frac{1}{2 \sqrt{\pi}} \left((\pi - \alpha) + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)^{1/2}$$



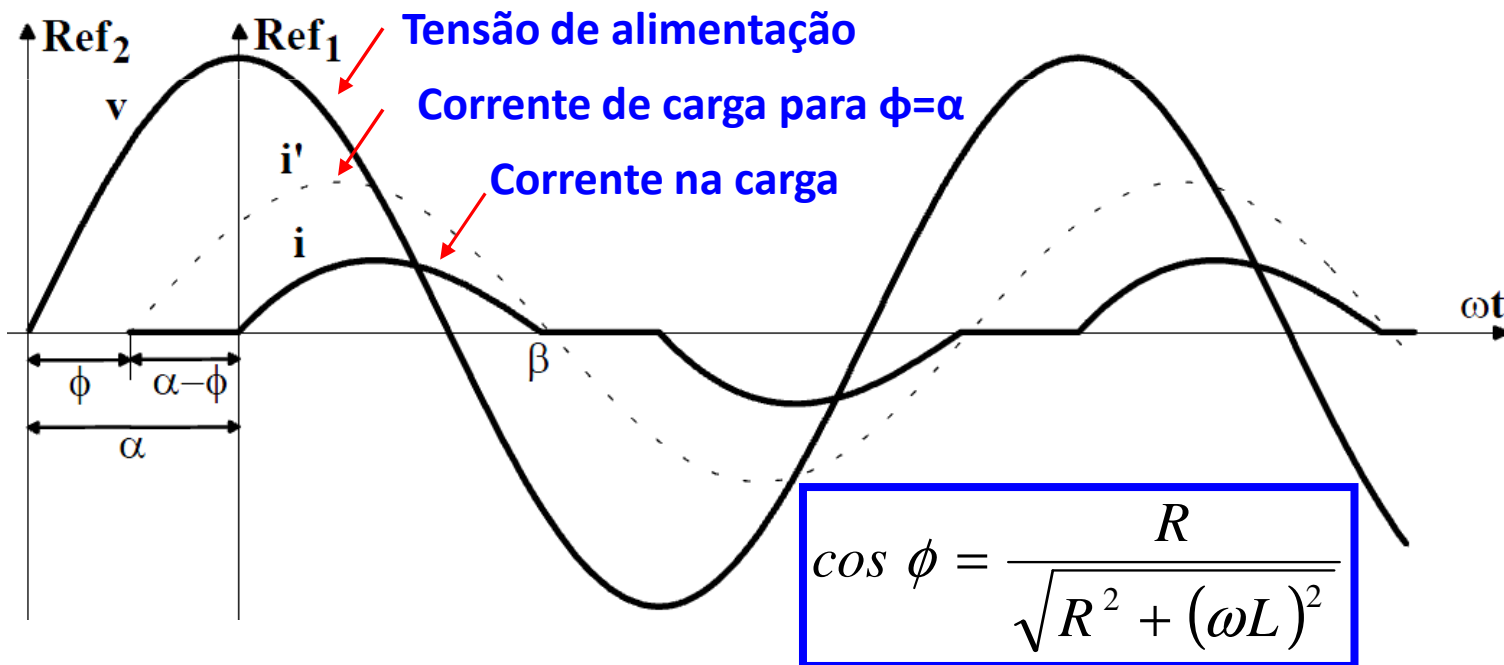
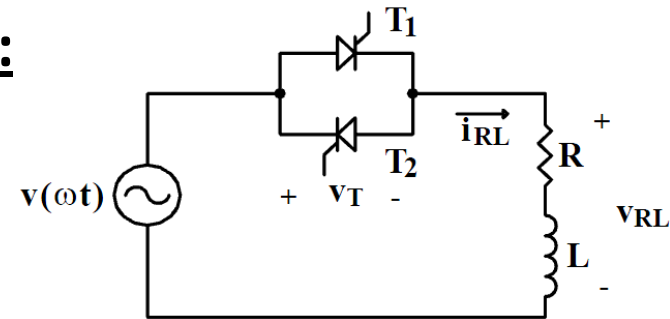
Eletrônica de Potência - Gradadores

- Valores médio e eficaz parametrizados em cada tiristor:



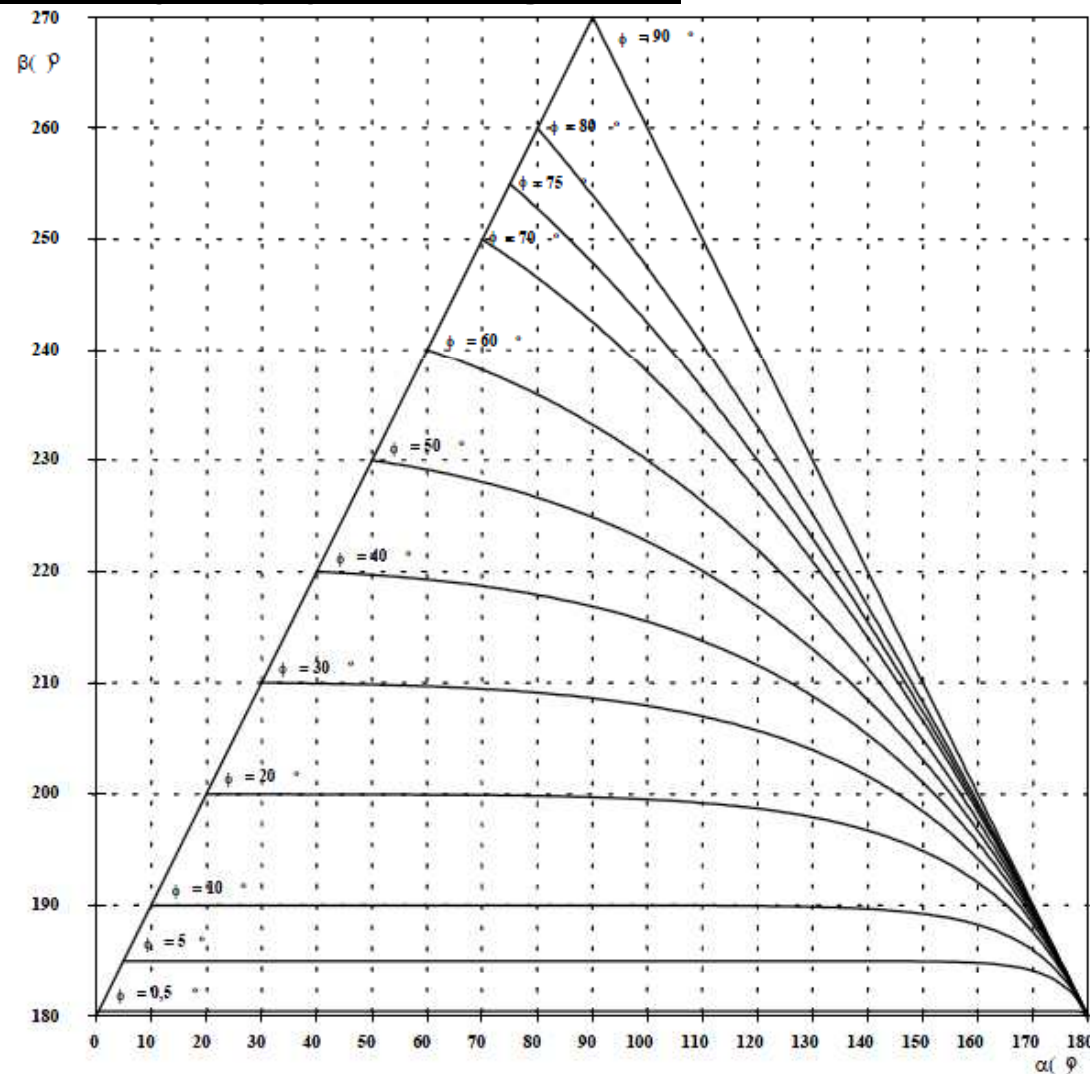
Eletrônica de Potência - Gradadores

- Gradador monofásico – carga RL:
- Topologia e formas de onda



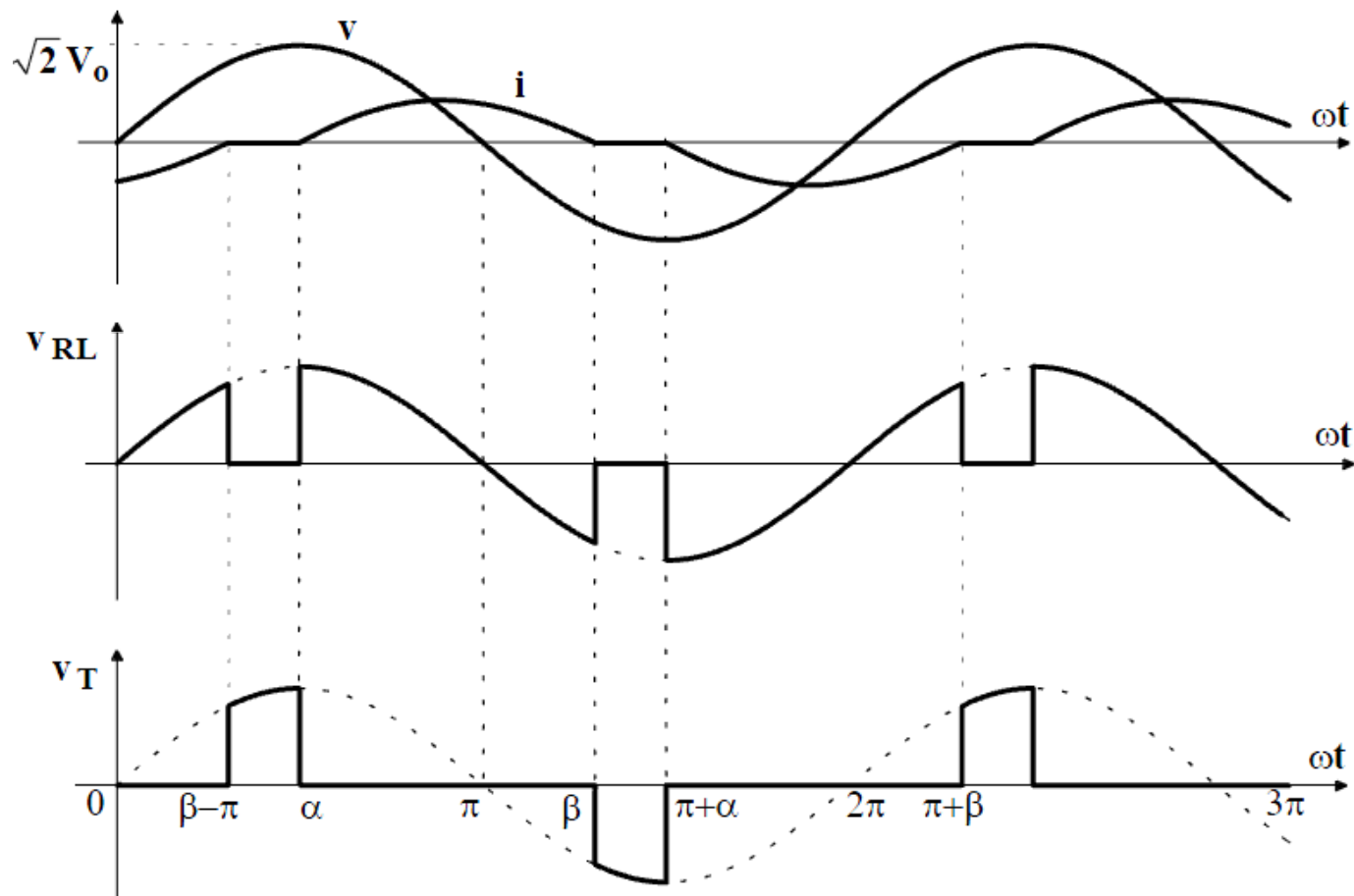
Eletrônica de Potência - Gradadores

■ Ângulo de extinção β para cargas RL



Eletrônica de Potência - Gradadores

■ Formas de onda para cargas RL



Eletrônica de Potência - Gradadores

■ Verificação experimental para gradador monofásico RL

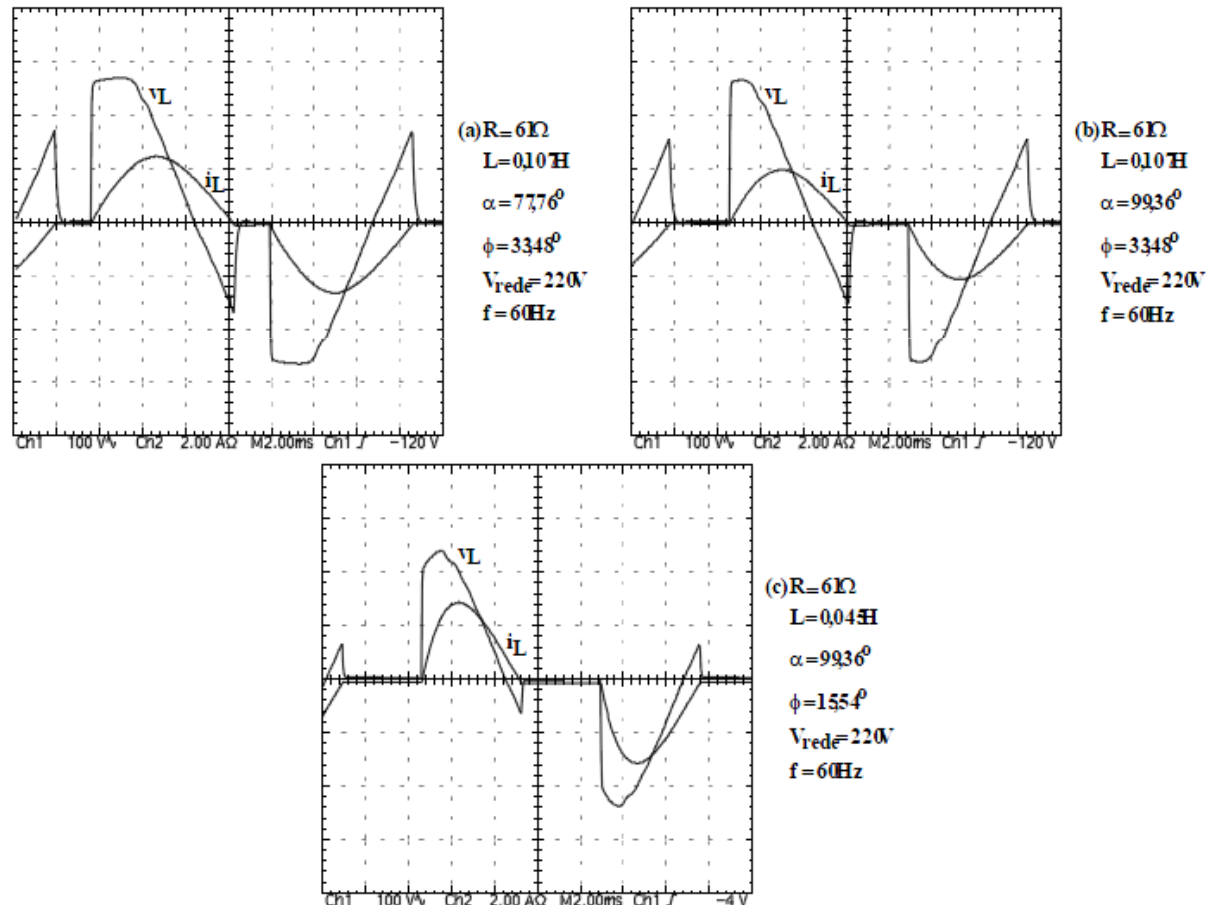
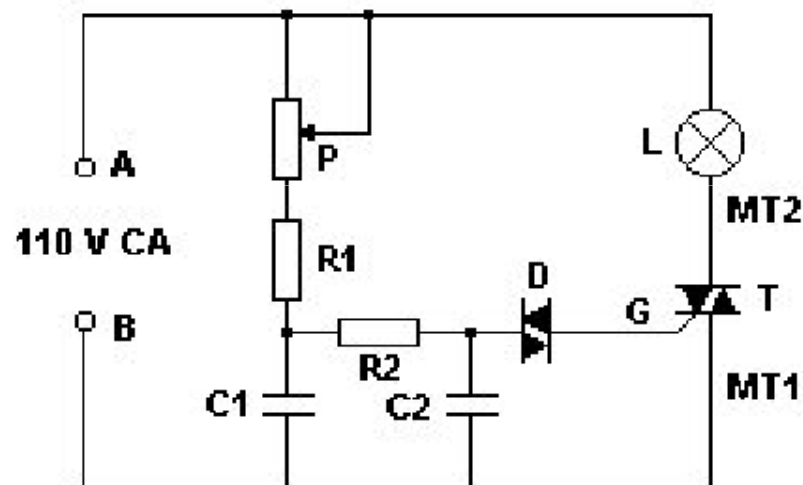


Fig. 7.17 - Escalas das figuras : $V = 100\text{ V/div.}$, $I = 2\text{ A/div.}$, $t = 2\text{ ms/div.}$

Eletrônica de Potência - Gradadores

- Exemplo de aplicação de gradador monofásico:
- Controle de intensidade luminosa (*dimmer*)



COMPONENTES

T = TRIAC TIC226

D = Qualquer DIAC de 30 V

P = Potenciômetro de 100 K

R1 = Resistor de 6K8 x 1,6 W

R2 = Resistor de 3K9 x 1/8 W

C1 = C2 = Capacitores de 100 nF x 250 V poliéster

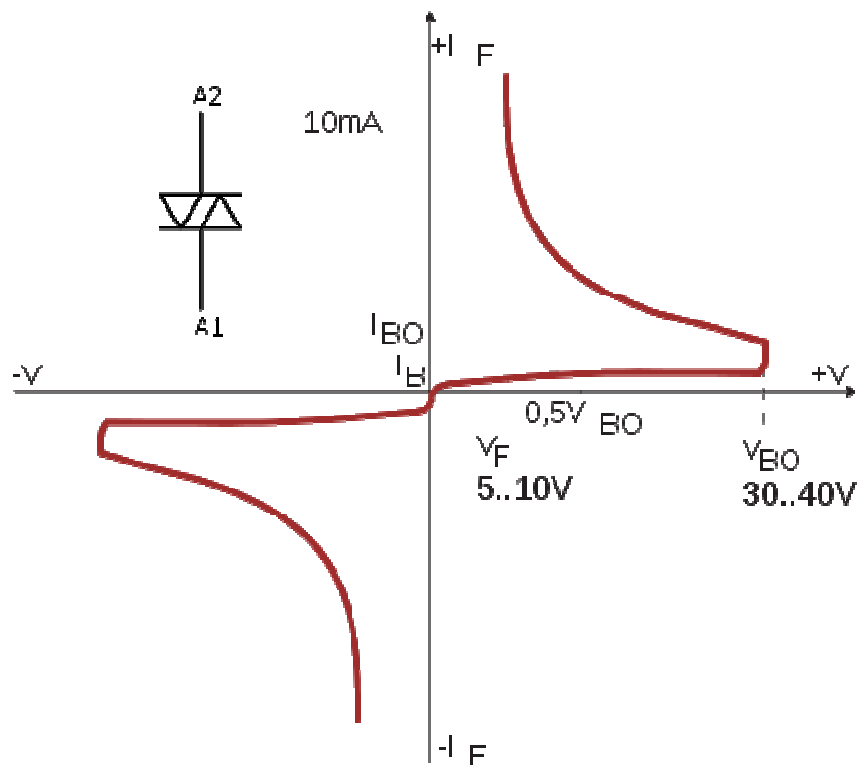
L = Lâmpada de 110 V de 5 até 200 W

Obs: O DIAC não tem polaridade

- TRIAC → equivale a dois SCR em anti-paralelo
- Circuito de disparo mais simples → DIAC (bidirecional)

Eletrônica de Potência - Gradadores

■ Curva característica do DIAC:



DB3 DB4 SMDB3

DIAC

FEATURES

- V_{BO} : 32V and 40V
- LOW BREAKOVER CURRENT

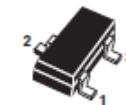
DESCRIPTION

Functioning as a trigger diode with a fixed voltage reference, the DB3/DB4 series can be used in conjunction with triacs for simplified gate control circuits or as a starting element in fluorescent lamp ballasts.

A new surface mount version is now available in SOT-23 package, providing reduced space and compatibility with automatic pick and place equipment.



DO-35
(DB3 and DB4)



SOT-23
(SMDB3)*
Pin 1 and 3 must be shorted together