UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Eletrônica de Potência

Aula 09 – 16/11/2023

Gradadores – Variadores CA-CA

Gradadores – Variadores CA-CA

Gradadores:

1. Introdução;
2. Gradadores monofásicos:
   - Carga resistiva;
   - Carga RL.
3. Gradadores trifásicos;
4. Controle por ciclos inteiros;
5. R, L e C controlados por tiristores;
6. Compensador estático de potência reativa.

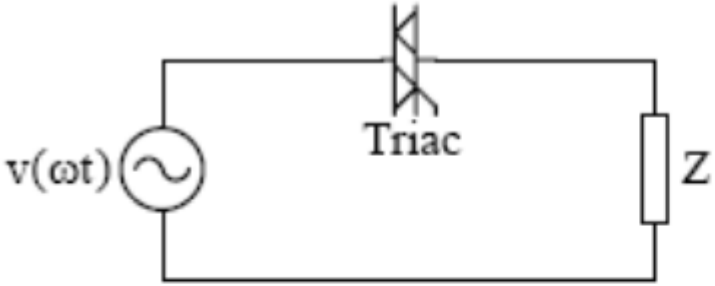
Propósito dos gradadores

- Possibilitar a variação do valor eficaz da tensão alternada que alimenta determinada carga
- Não alteram a freqüência da tensão alternada da fonte
- Não utilizam elementos reativos
- Introduzem harmônicas na tensão de saída e na corrente de entrada

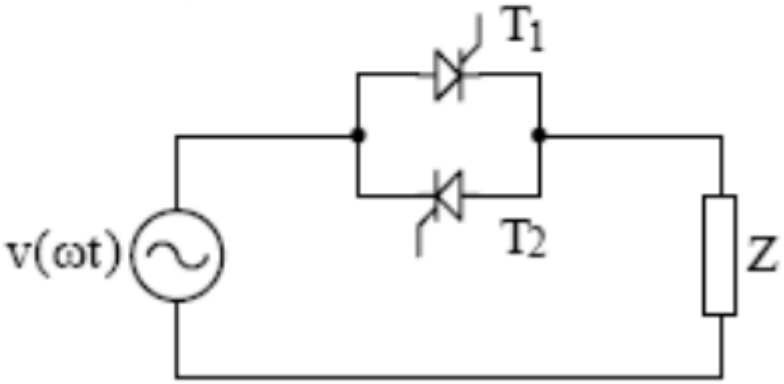
Aplicações práticas

- Controle da intensidade luminosa (dimmer para iluminação incandescente)
- Controle da temperatura em chuveiros com acionamento eletrônico
- Controle da temperatura em fornos
- Limitação da corrente de partida de motores de indução (soft-starters)
- Compensadores estáticos de reativos (SVR)

Gradadores Monofásicos



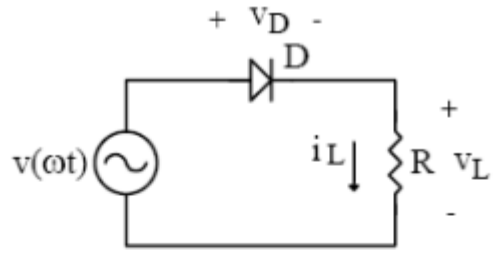
Gradador usando triac

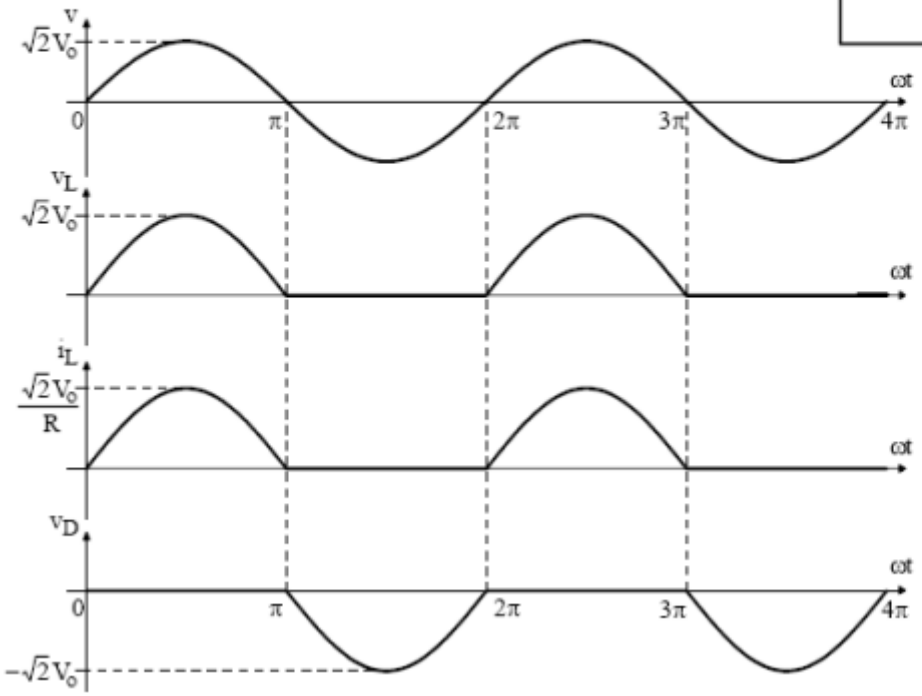


Gradador usando tiristores

Gradadores Monofásicos

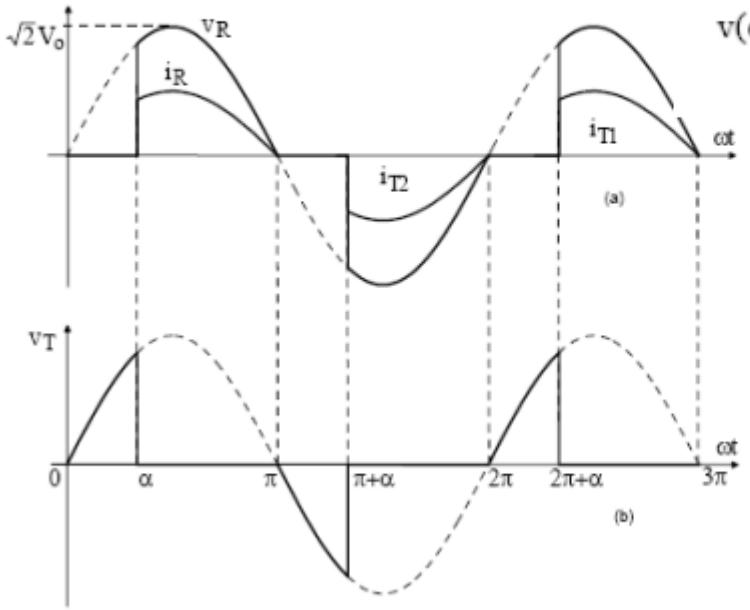
Retificador com carga resistiva pura:

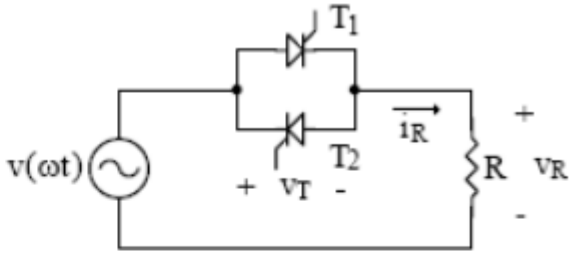




Gradadores Monofásicos

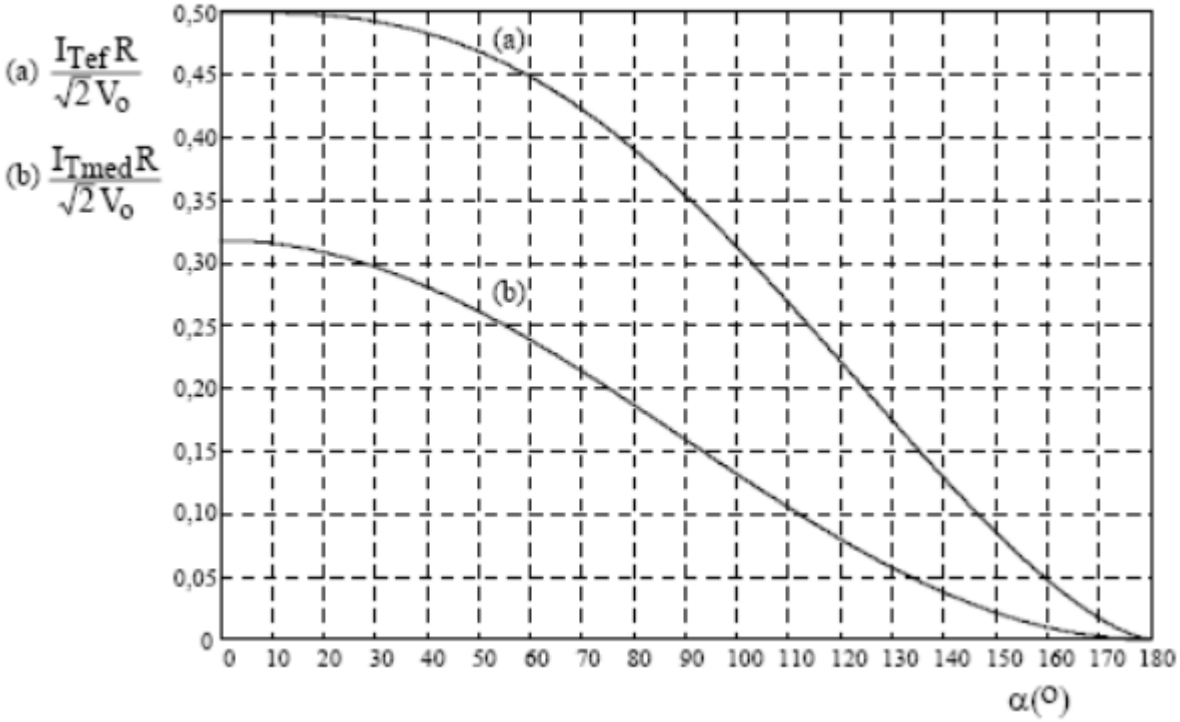
Gradador com carga resistiva pura:





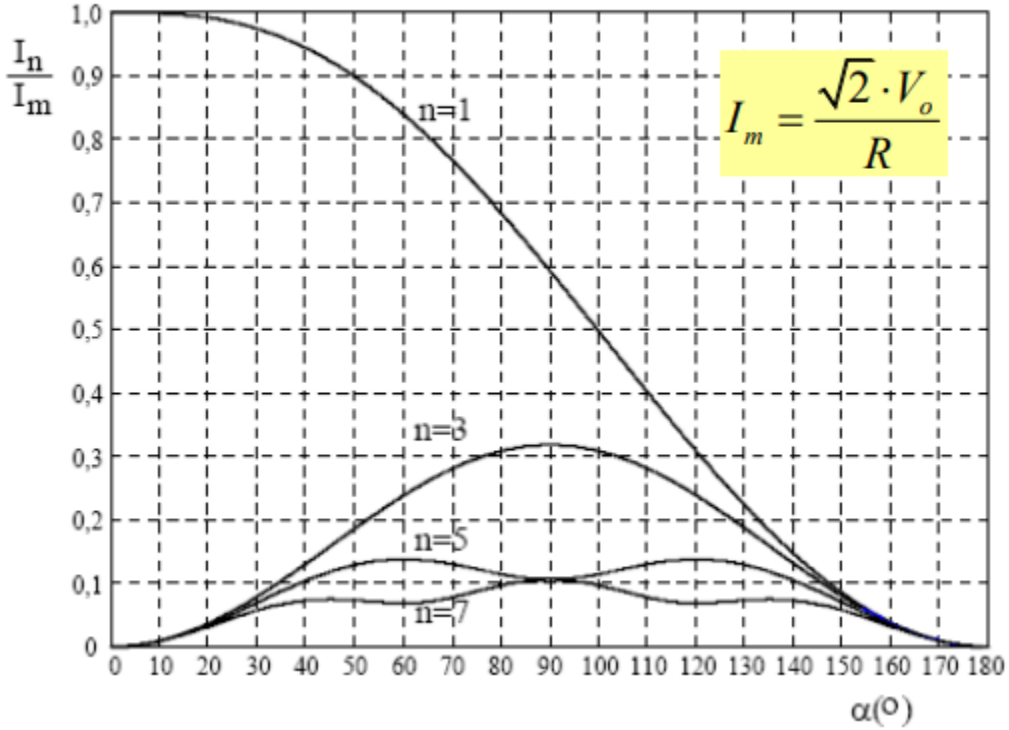
Gradadores Monofásicos

Correntes média e eficaz na carga:



Gradadores Monofásicos

Harmônicas da corrente de carga:



$$I_m = \frac{\sqrt{2} \cdot V_o}{R}$$

Gradadores Monofásicos

Harmônicas da corrente de carga, exemplo:

$$V_o = 220V$$

$$Po = 4800W$$

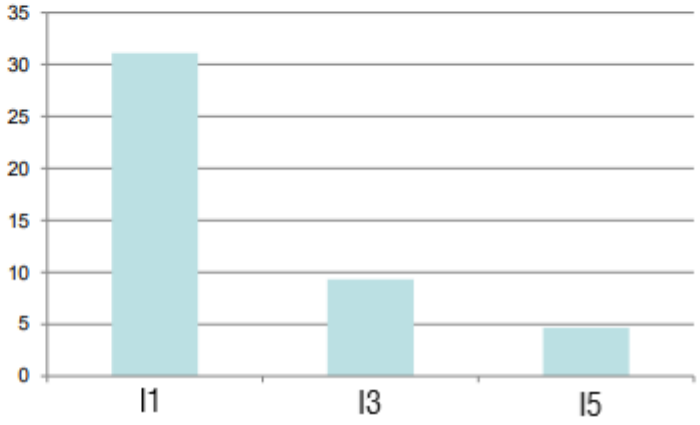
$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{220^2}{4800} = 10\Omega$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2} \cdot V_o}{R} = \frac{311}{10} = 31{,}1A$$

$$I_1 = 1 \cdot I_m = 31{,}1A$$

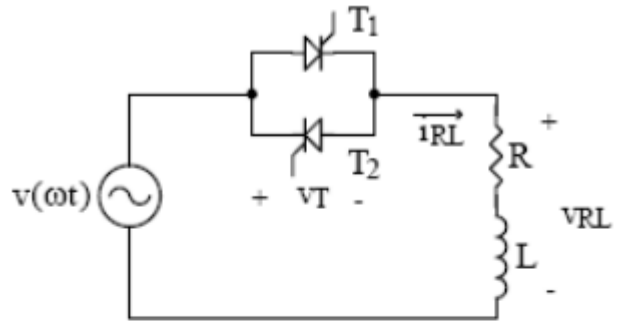
$$I_3 = 0{,}3 \cdot I_m = 9{,}33A$$

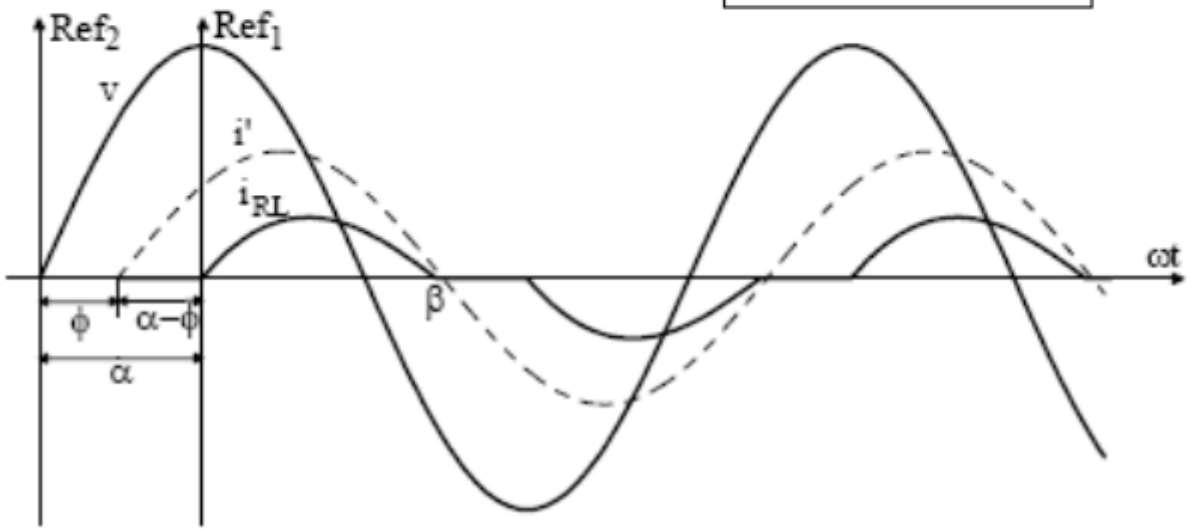
$$I_5 = 0{,}15 \cdot I_m = 4{,}66A$$



Gradadores Monofásicos

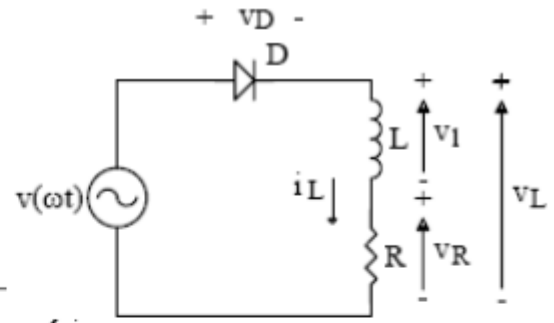
Retificador com carga RL:

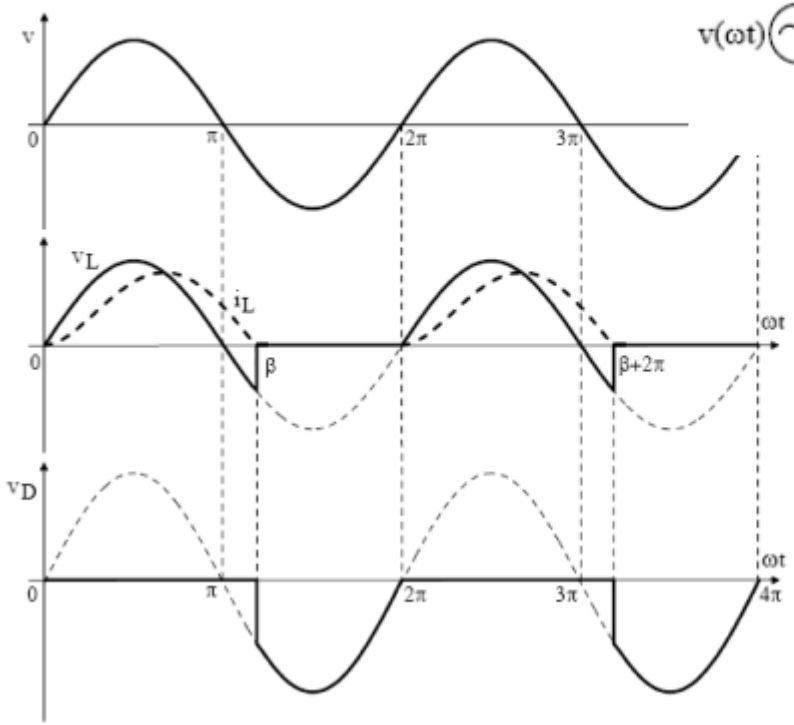




Gradadores Monofásicos

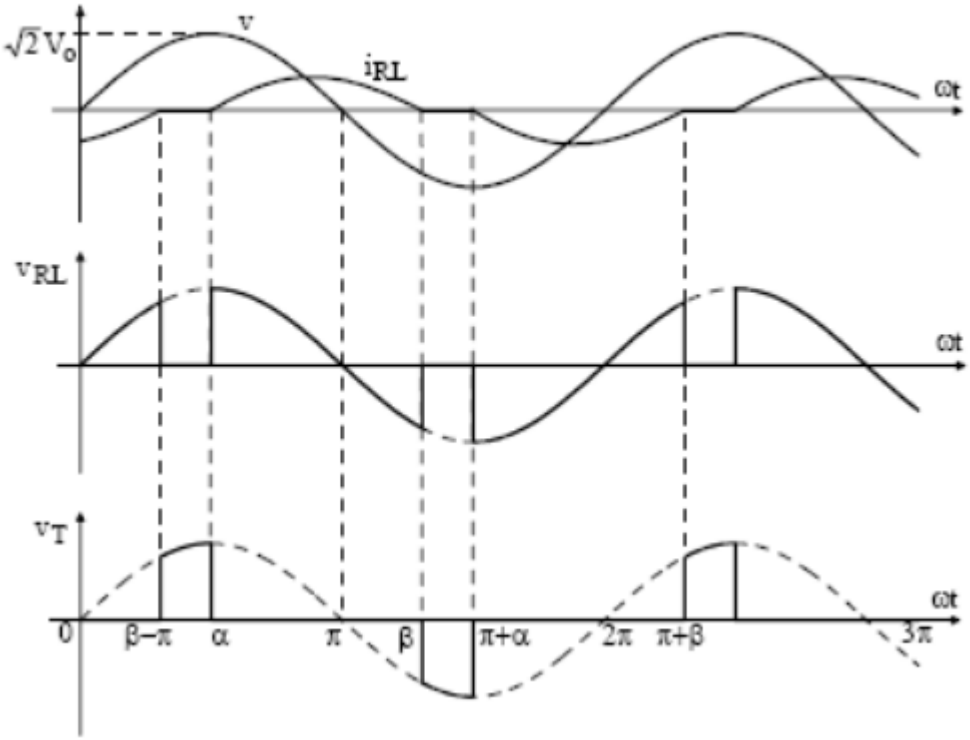
Retificador com carga RL:



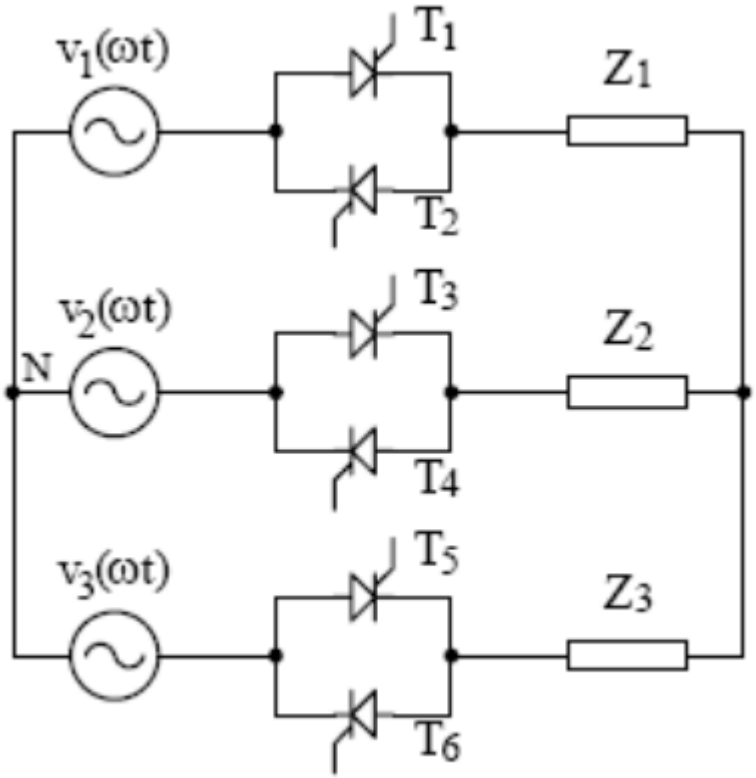


Gradadores Monofásicos

Retificador com carga RL:

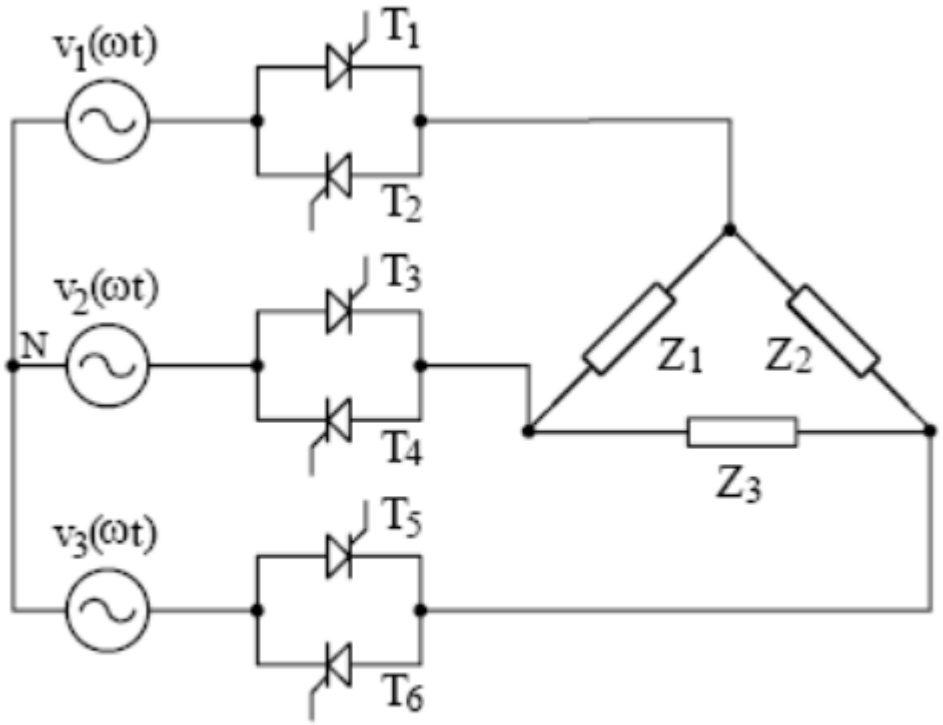


Gradadores Trifásicos



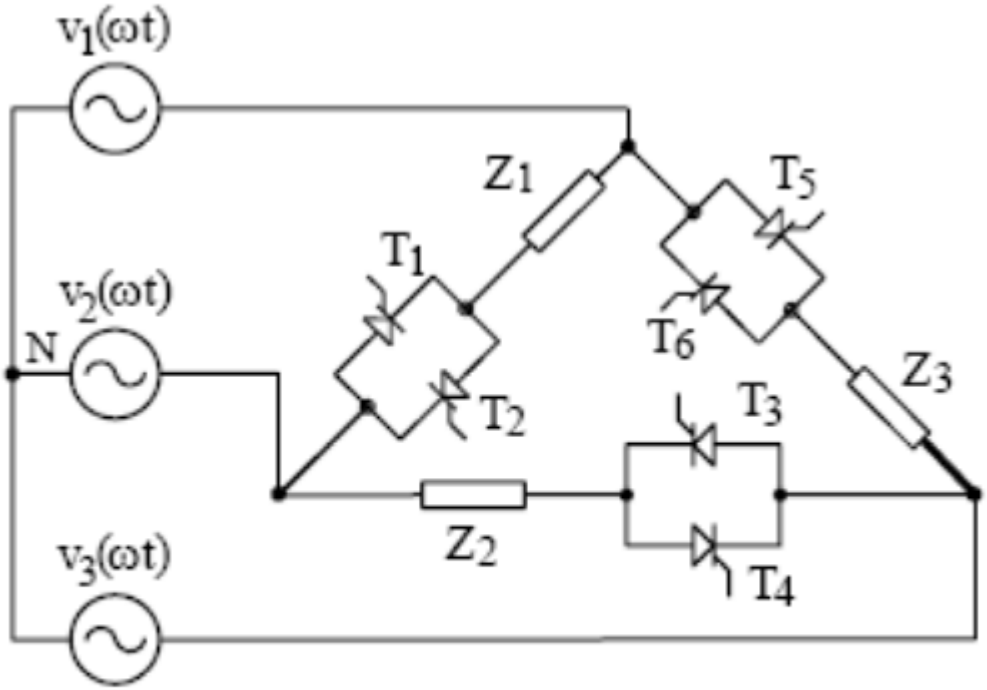
Carga conectada em estrela (Y)

Gradadores Trifásicos



Carga conectada em delta (Δ)

Gradadores Trifásicos



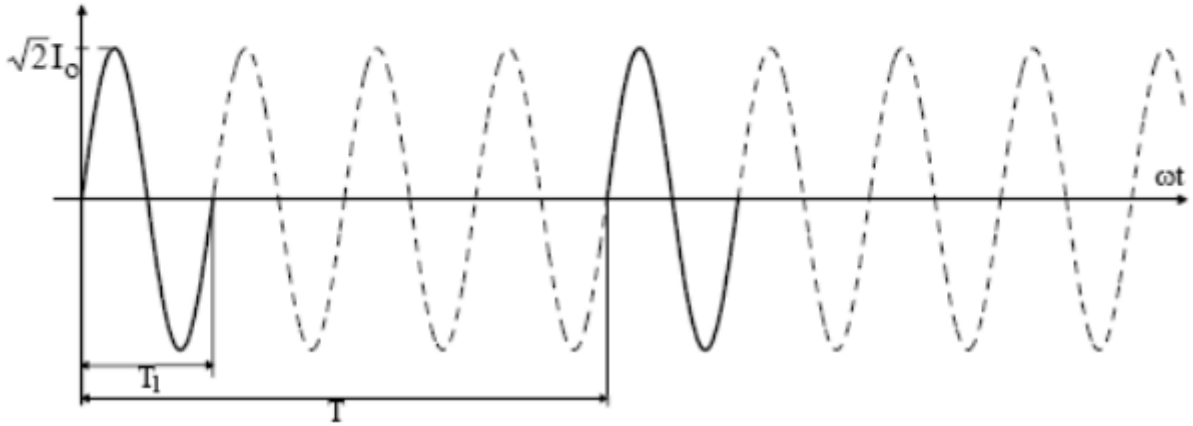
Carga conectada em delta (Δ)

Controle por ciclos inteiros

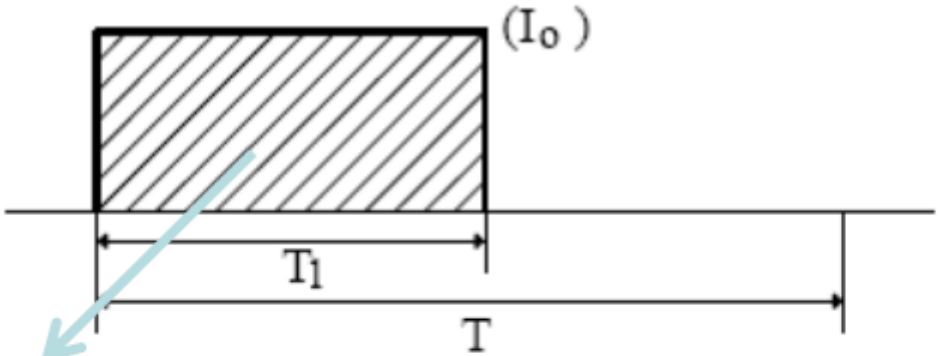
Deficiências dos gradadores:

1. Introduzem harmônicas significativas de corrente na rede;
2. Para ângulos de disparo (α) elevados o fator de potência é baixo.

Controle por ciclos inteiros:



Controle por ciclos inteiros



$$W_1 = R \cdot I_o^{\,2} \cdot T_1$$

$$W_2 = R \cdot I^2 \cdot T$$

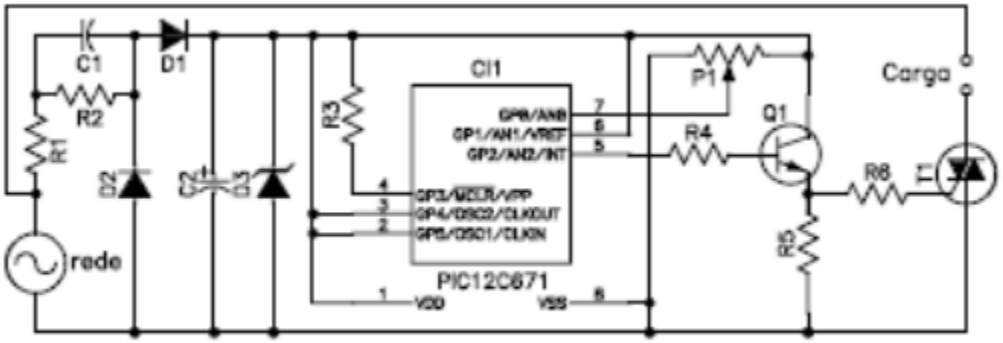
m = número de ciclos aplicados à carga;
M = número de ciclos da rede.

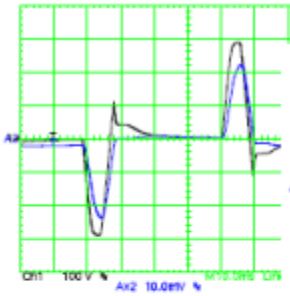
$$W_1 = W_2$$

$$R \cdot I_o^{\,2} \cdot T_1 = R \cdot I^2 \cdot T$$

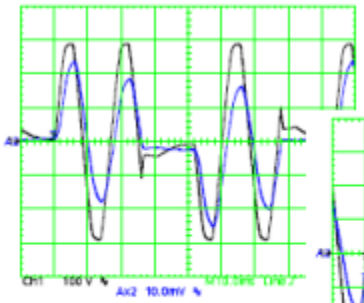
$$I = \sqrt{\frac{T_1}{T}} \cdot I_o = \sqrt{\frac{m}{M}} \cdot I_o$$

Controle por ciclos inteiros



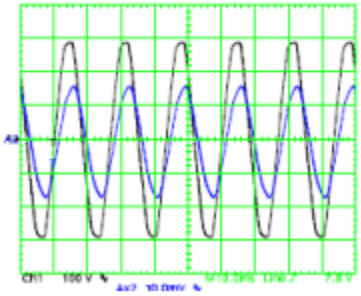


$$\frac{m}{M} = \frac{1}{5}$$

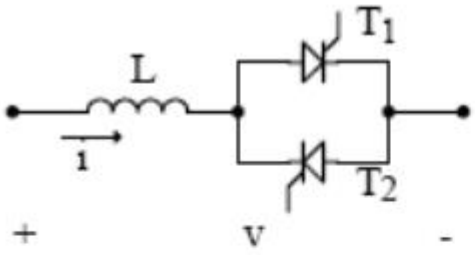


$$\frac{m}{M} = \frac{3}{5}$$

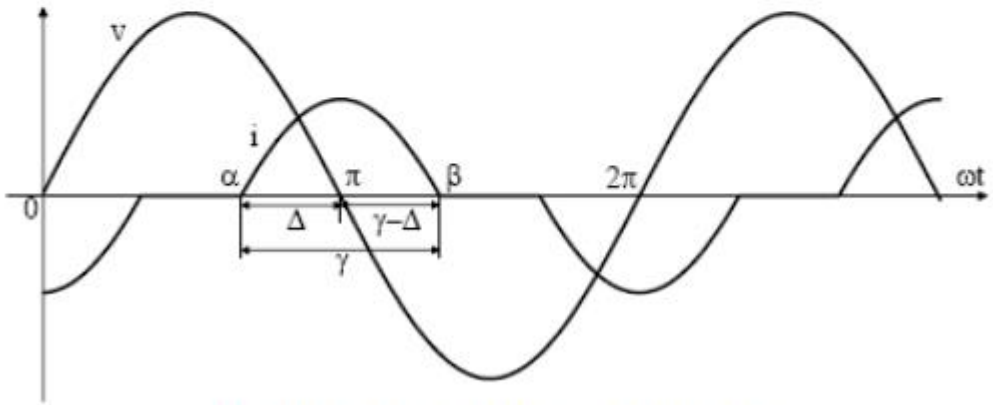
$$\frac{m}{M} = \frac{5}{5}$$



Indutor controlado por tiristores

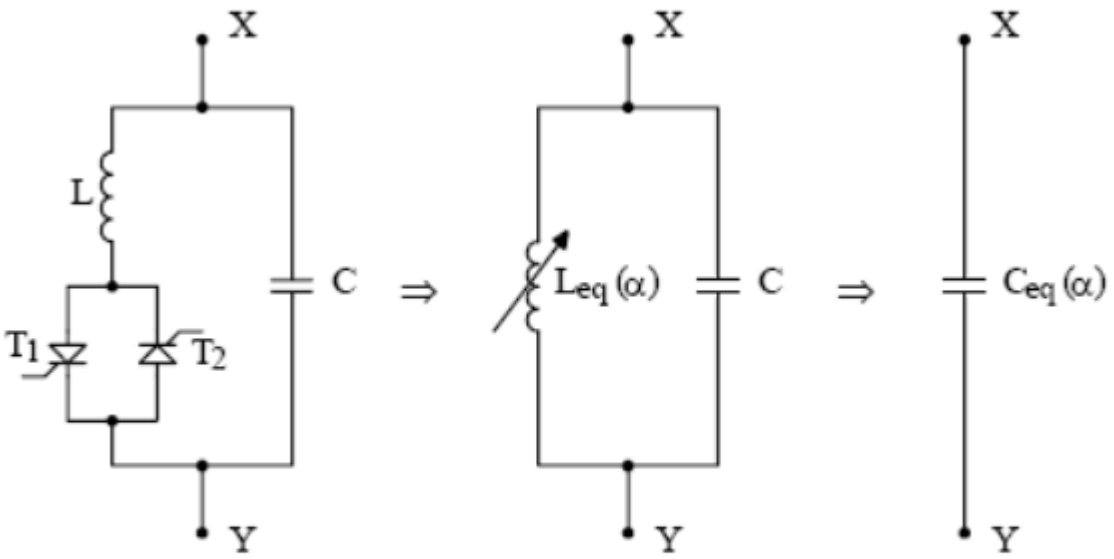


$$L_{eq} = \frac{\pi \cdot L}{2(\pi - \alpha) - sen(2 \cdot (\pi - \alpha))}$$



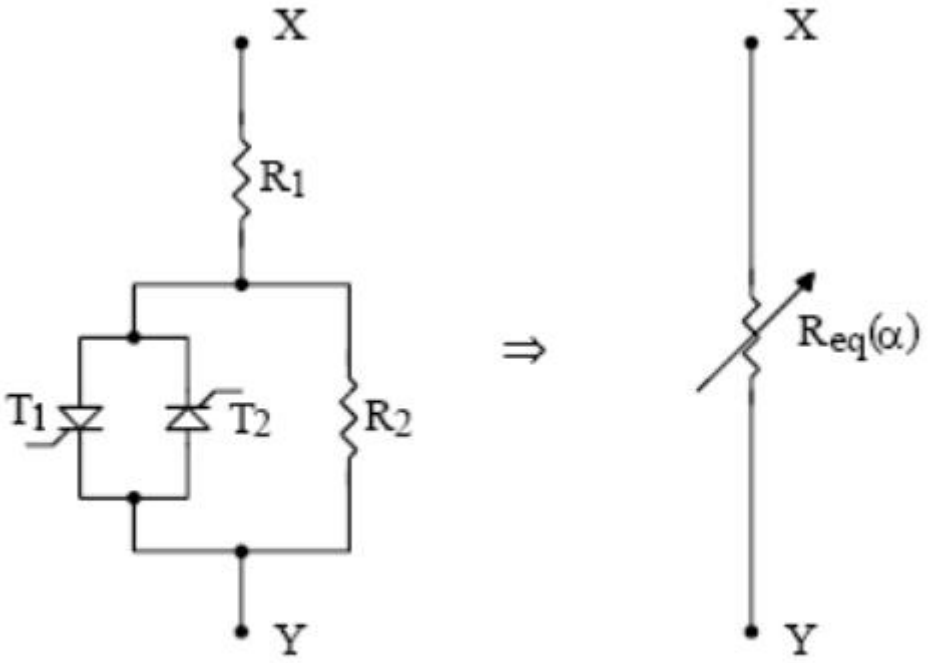
Indutor controlado por tiristores

Capacitor controlado por tiristores



Capacitor controlado por tiristores

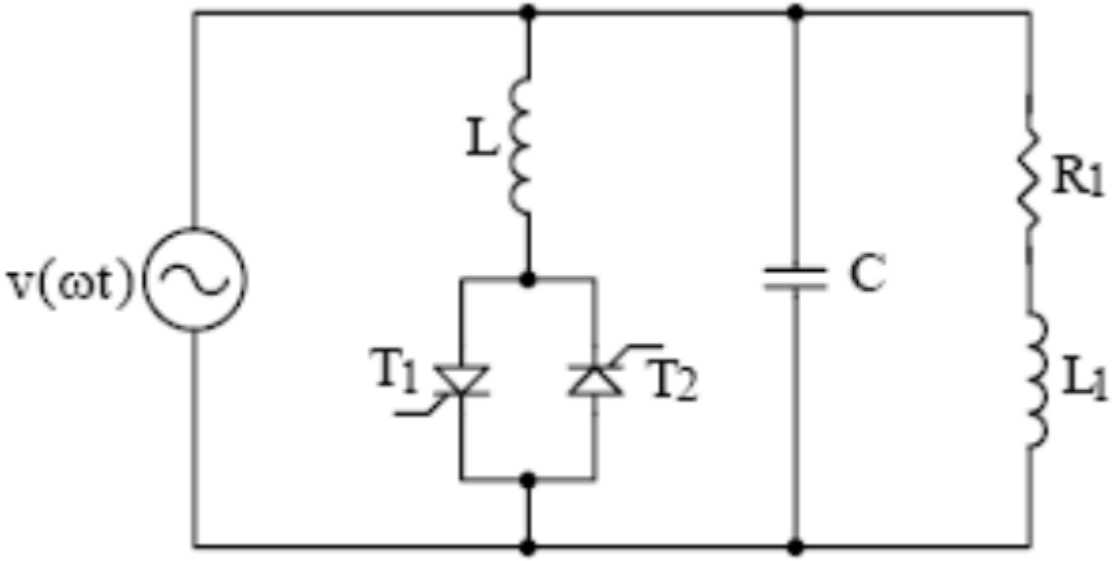
Resistor controlado por tiristores



Resistor controlado por tiristores

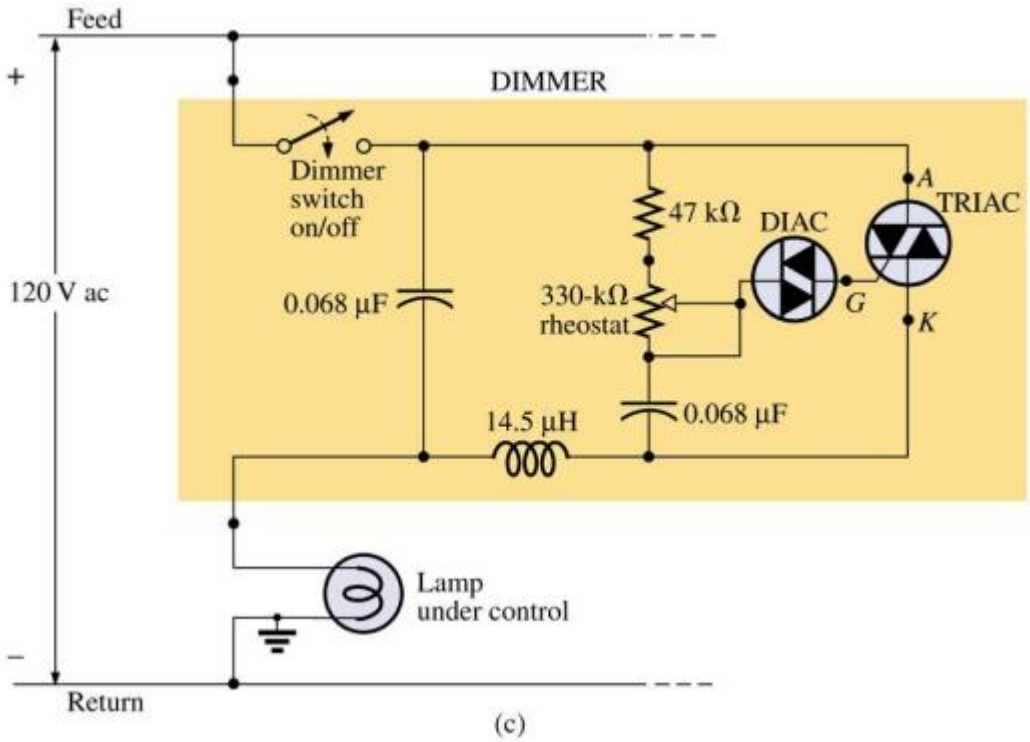
Compensador Estático de Potência Reativa

$$Z_{eq} = |Z| \angle \theta_Z = f(\alpha, L, C, R_1, L_1)$$



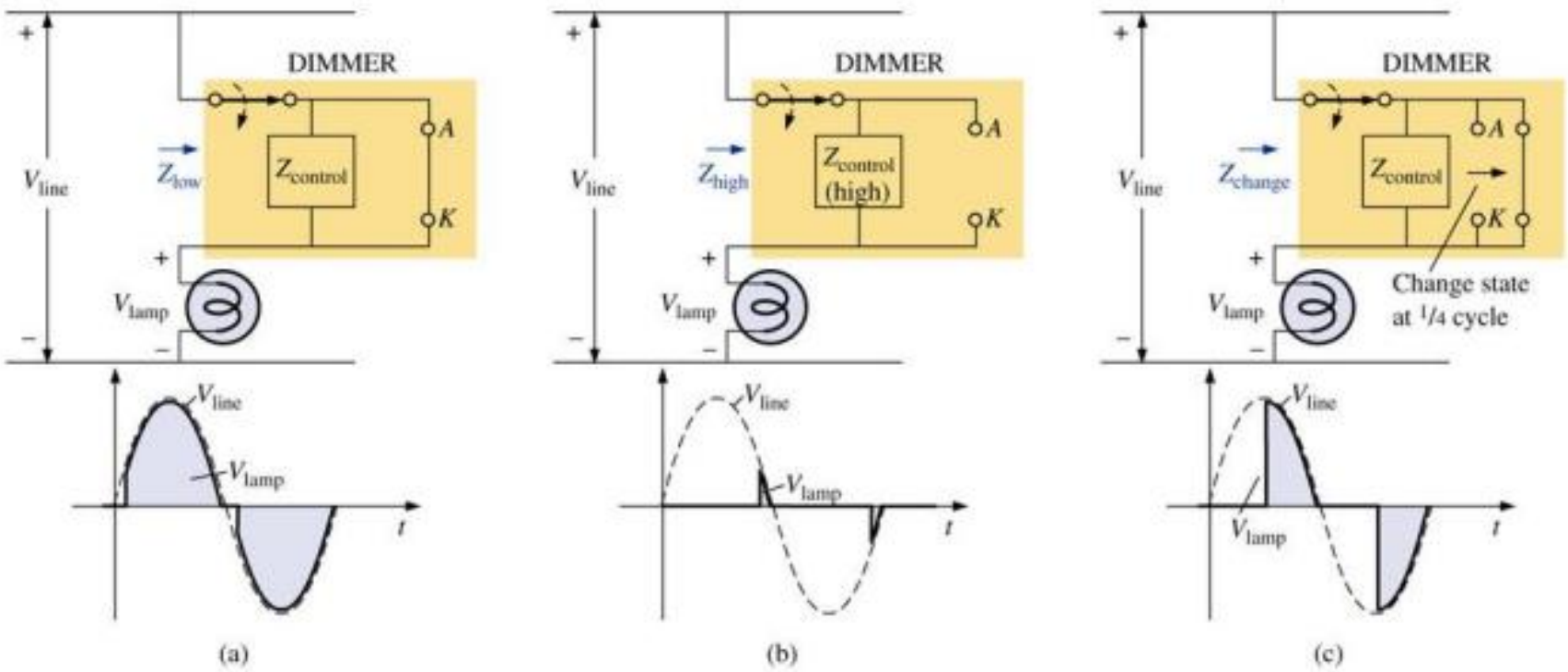
Controle do fator de potência do circuito pelos tiristores

Implementação do gradador monofásico (dimmer)

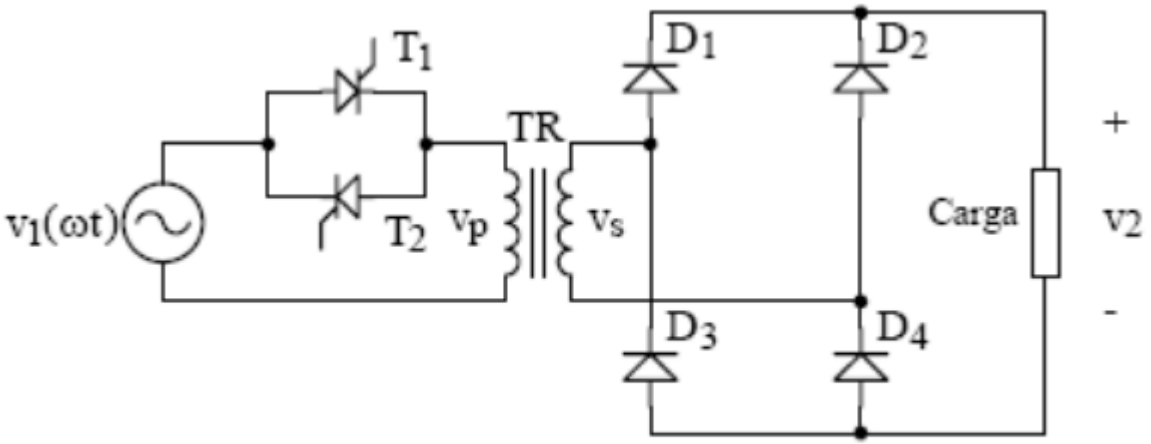


(c)

Implementação do gradador monofásico (dimmer)



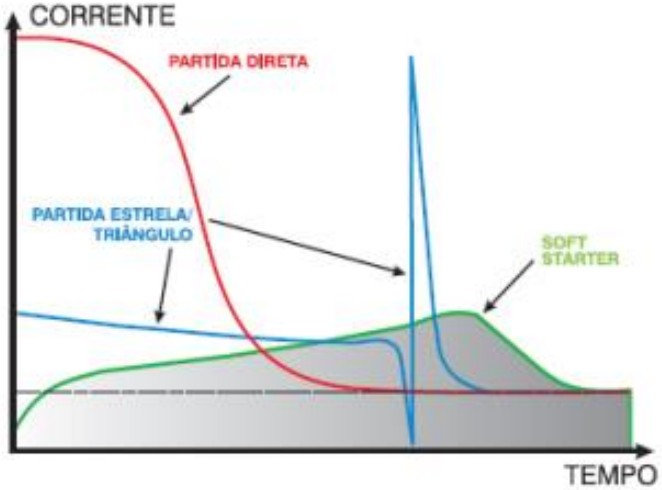
Partida de cargas com gradadores



Controle da tensão de saída do retificador pelo gradador

Partida de cargas com gradadores

www.weg.com.br



Controle da corrente de partida de motores usando gradadores

Bibliografia Básica

1 - LANDER, C. W. Eletrônica Industrial – Teoria e Aplicações. São Paulo: McGraw Hill,1988.
2 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência – Circuitos, dispositivos e aplicações. Makron Books, 1999.
3 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência. Pearson, 1999.

Bibliografia Complementar

1 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.
2 - AHMED, A. Eletrônica de Potência. Pearson, 2000.
3 - GIMENEZ, S. P.; ARRABAÇA, D. A. Eletrônica de Potência. Conversores de Energia CA/CC. Teoria, Prática e Simulação. Érica/ Saraiva, 2015.
4 - HART, D. W. Eletrônica de Potência - Análise e Projetos de Circuitos. Mc Graw Hill. Amgh Editora.
5 - ERICSON, R. W.; MAKSIMOVIC, Dragan. Fundamentals of Power Electronics. 2nd Edition, eBook
6 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.