

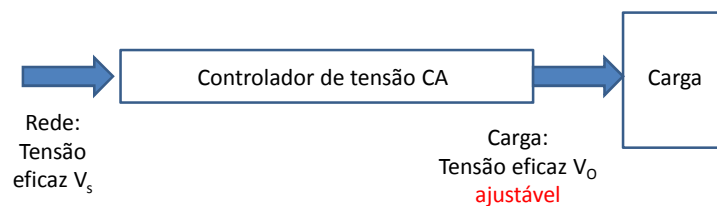
Capítulo 6

Controladores de tensão CA

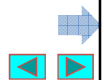
Conversor CA-CA

Controladores de tensão CA

Introdução

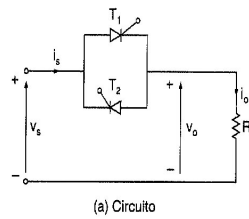


- Aplicações: aquecimento, excitação de motores, iluminação, etc
- Tipos:
 - (a) Com controle liga-desliga
 - (b) controle de ângulo de fase
- **Controle liga-desliga:** Alguns ciclos da tensão de rede são conectados à carga.
- **Controle de ângulo de fase:** Uma certa porção de cada ciclo da tensão de rede é conectada à carga.
- Podem ser monofásicos ou trifásicos

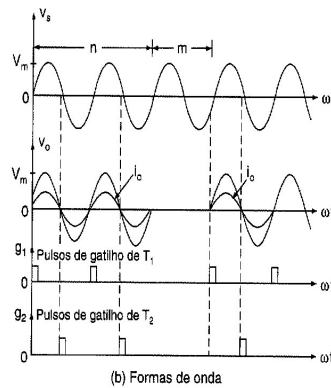


Controladores de tensão CA

Princípios de controle liga-desliga



(a) Circuito



(b) Formas de onda

Figura 6.1

Controle liga-desliga.

OBS. $(m+n)T$ deve ser bem menor que a constante de tempo mecânica ou térmica da carga.

Tensão eficaz de saída:

$$V_o = \left[\frac{n}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} 2V_s^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2} =$$

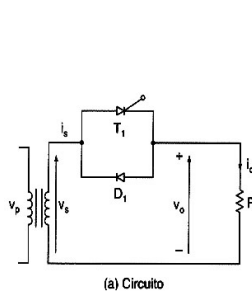
$$= V_s \sqrt{\frac{n}{m+n}} = V_s \sqrt{k}$$

k : ciclo de trabalho do conversor

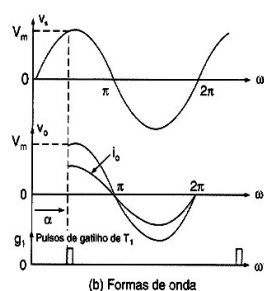
Mantém-se $m+n$ constante
→ frequência constante

Controladores de tensão CA

Princípios do controle de fase



(a) Circuito



(b) Formas de onda

Figura 6.2

Controle do ângulo monofásico.

- Controlador monofásico de meia-onda
- Controlador unidirecional
- Tensão e corrente de saída possuem componentes CC (saturação do trafo)
- Usado em baixas cargas resistivas (aquecimento e iluminação)
- Tensão eficaz de saída variará de 70,7% a 100% de V_s (V_s tensão eficaz do secundário do transformador)

$$V_o = V_s \left[\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas resistivas

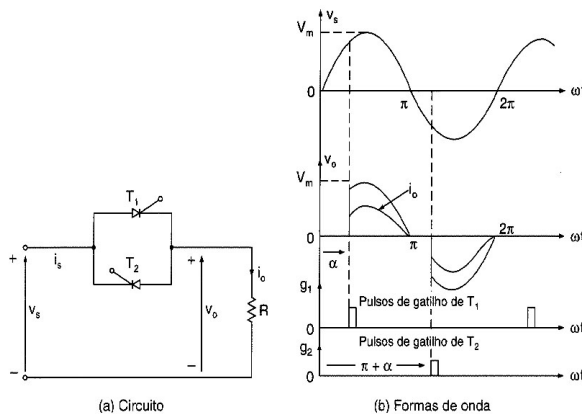


Figura 6.3

Controlador monofásico de onda completa.

$$V_{O_{RMS}} = V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

- Para semiciclo positivo T_1 controla o fluxo de energia
- Para semiciclo negativo T_2 controla o fluxo de energia
- Pulsos de disparo de T_1 e T_2 estão defasados em 180°
- Variando α de 0 a π , V_o (eficaz) varia de V_s a 0.
- Valores médio de tensão e corrente sobre a carga são nulos (evita-se a saturação do trafo)

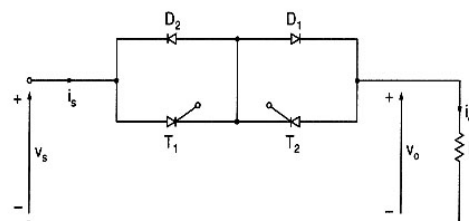
Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas resistivas

Outras topologias:

Figura 6.4

Controlador monofásico de onda completa com catodo comum.



- No circuito da fig 6.3 são necessários dois **circuitos de disparo isolados** entre si e do circuito de potência.
- Na fig 6.4 os circuitos de disparo dos tiristores serão isolados (do circuito de potência), mas com um **nó comum** (não isolados entre si)
- Mais **perdas** de condução na chaves (duas em série: diodo-tiristor).

Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas resistivas

Outras topologias:

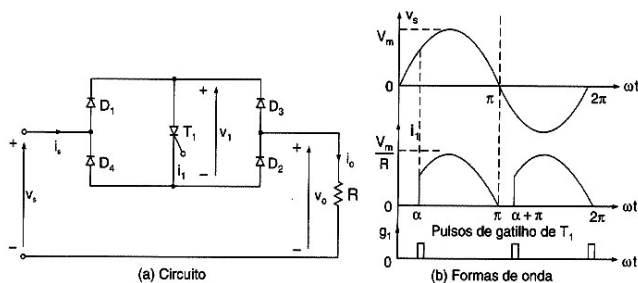


Figura 6.5

Controlador monofásico de onda completa com um tiristor.

- Controle **bidirecional**
- Uma única **chave** controlada (tiristor T1) e **quatro diodos** em ponte
- Tiristor e ponte de diodos corresponde a uma chave bidirecional de corrente.
- Ponte + tiristor: disponível comercialmente como um **único dispositivo**
- Mais **perdas** de condução na chaves (três em série: diodo-tiristor-diodo).

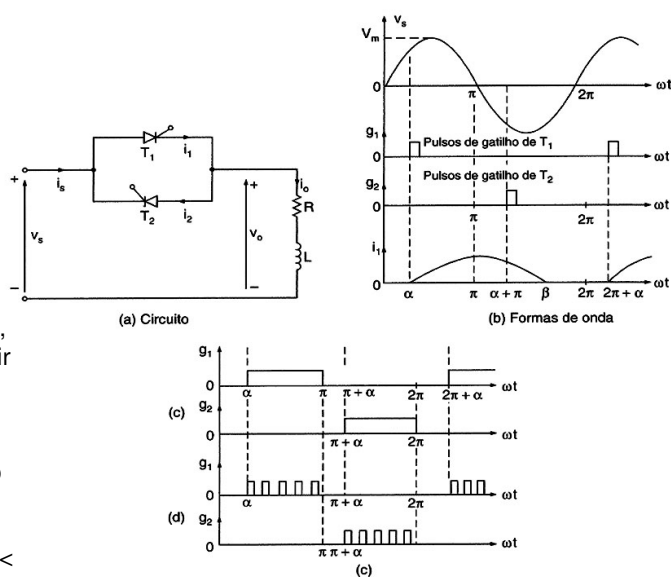


Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas indutivas

Figura 6.6

Controlador monofásico de onda completa com carga RL.



- Enquanto T_1 conduz, T_2 não pode conduzir
- Devido ao atraso da corrente, T_1 conduz até $\omega t = \beta$
- Ângulo de condução de T_1 : $\delta = \beta - \alpha$
- T_2 será disparado se $\beta < \alpha + \pi$



Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas indutivas

Para $\alpha \leq \omega t \leq \beta$

$$L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$$

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}V_s}{|Z|} \sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{-\frac{t}{(L/R)}}$$

Com impedância de carga tendo módulo $|Z|$ e argumento (ângulo) θ

Com $i_1 = 0$ para $\omega t = \alpha$, determina-se $A_1 = -\frac{\sqrt{2}V_s}{|Z|} \sin(\alpha - \theta) e^{(R/L)(\alpha/\omega)}$

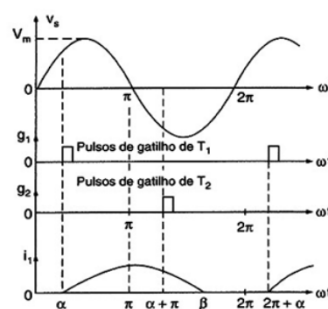
Logo: $i_1 = \frac{\sqrt{2}V_s}{|Z|} [\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)}]$

Para $\omega t = \beta$, também $i_1 = 0$

Assim, $\sin(\beta - \theta) = \sin(\alpha - \theta) e^{(R/L)((\alpha - \beta)/\omega)}$, onde numericamente podemos obter β

Controladores de tensão CA

Controladores monofásicos bidirecionais com cargas indutivas



Se $\beta \leq \alpha + \pi$,

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} 2V_s^2 \sin^2(\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2}$$

Controladores de tensão CA

Controladores trifásicos de meia-onda

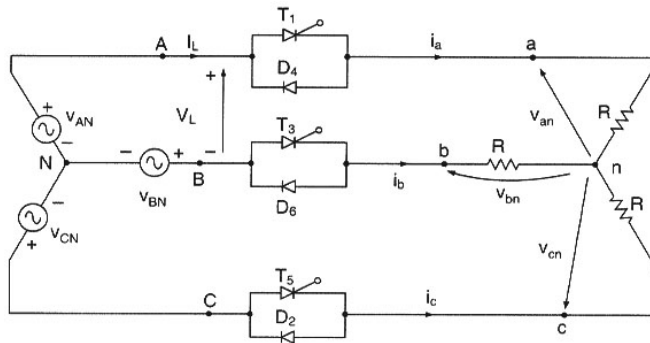
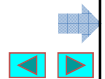


Figura 6.7

Controlador trifásico unidirecional.

Extensão do caso monofásico

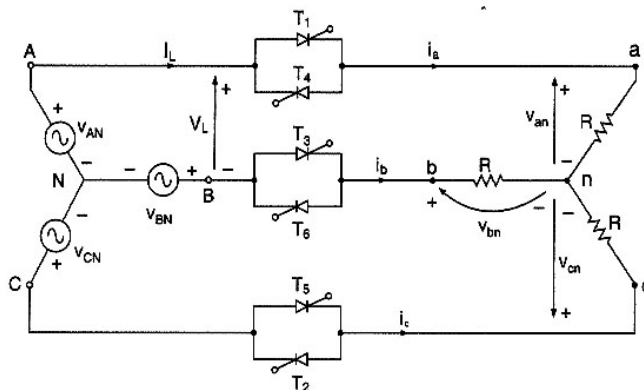


Controladores de tensão CA

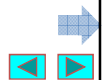
Controladores trifásicos de onda completa

Figura 6.12

Controlador trifásico bidirecional.



Extensão do caso monofásico



Controladores de tensão CA

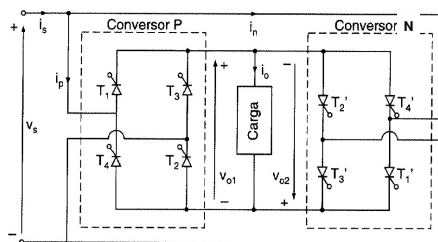
Cicloconversores

- **Controladores de tensão CA:** tensão variável, mas frequência fixa
- **Cicloconversor:** Converte energia CA a uma certa frequência em uma saída CA com outra frequência (também conversão CA-CA)
- Frequência de saída é um **fração** da frequência da rede (alimentação)
- Normalmente a **comutação** dos tiristores é **natural**
- Atualmente utiliza-se mais a conversão CA-CC (controlada) e de CC-CA (*inversor*) para se obter uma saída CA com frequência variável (**dois estágios**).

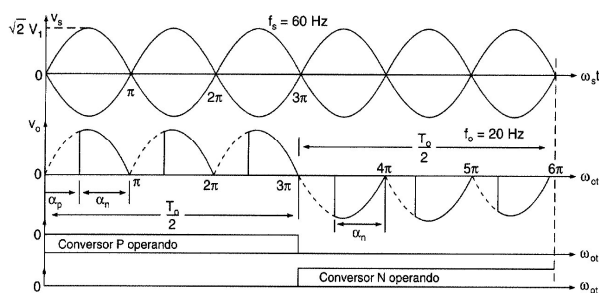


Controladores de tensão CA

Cicloconversores monofásicos



(a) Circuito



(b) Formas de onda para carga resistiva

Figura 6.21

Cicloconversor monofásico/monofásico.

Se apenas o conversor P operar, a tensão média é positiva (V_{medioP})

Se apenas o conversor N operar, a tensão média é negativa (V_{medioN})

Ângulos de disparo tais que: $V_{\text{medioP}} = -V_{\text{medioN}}$

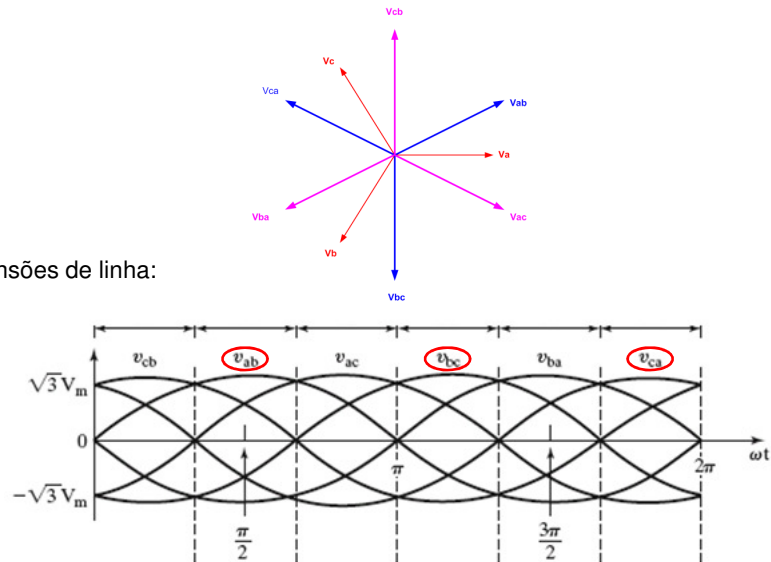
Cada conversor opera por um tempo $T_o/2$, assim a frequência de v_o é dada por: $f_o = 1/T_o$



Controladores de tensão CA

Cicloconversores trifásicos (trifásico/monofásico)

Tensões de linha:



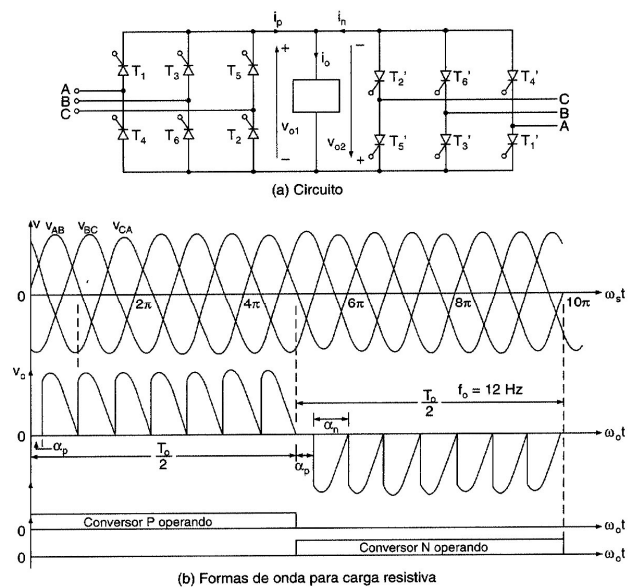
Controladores de tensão CA

Cicloconversores trifásicos (trifásico/monofásico)

Figura 6.23

Cicloconversor trifásico/monofásico.

Retificação de onda completa (ponte)



Controladores de tensão CA

Cicloconvertores trifásicos (trifásico/trifásico)

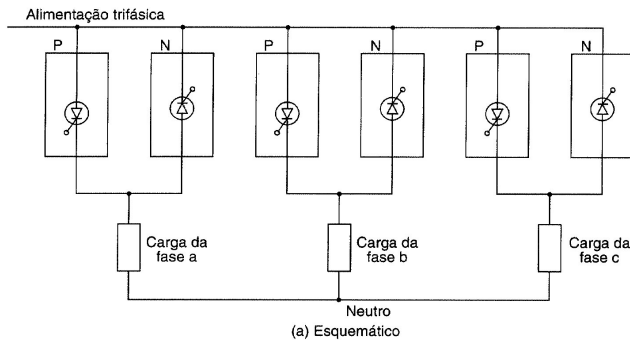
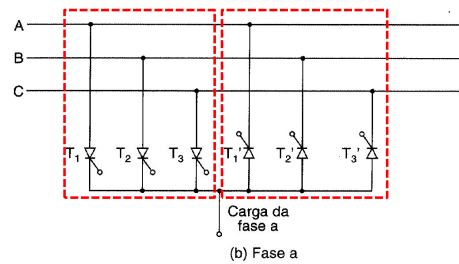


Figura 6.24

Cicloconvertor trifásico.



- Módulos de meia-onda: 18 tiristores
- Se fossem módulos de onda completa: 36 tiristores

