UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Eletrônica de Potência

Aula 06 – 19/10/2023

Retificadores Monofásicos Controlados

1. Introdução;
2. Retificador monofásico de meia onda;
3. Retificadores monofásicos de onda completa;
4. Retificador monofásico de onda completa em ponte;

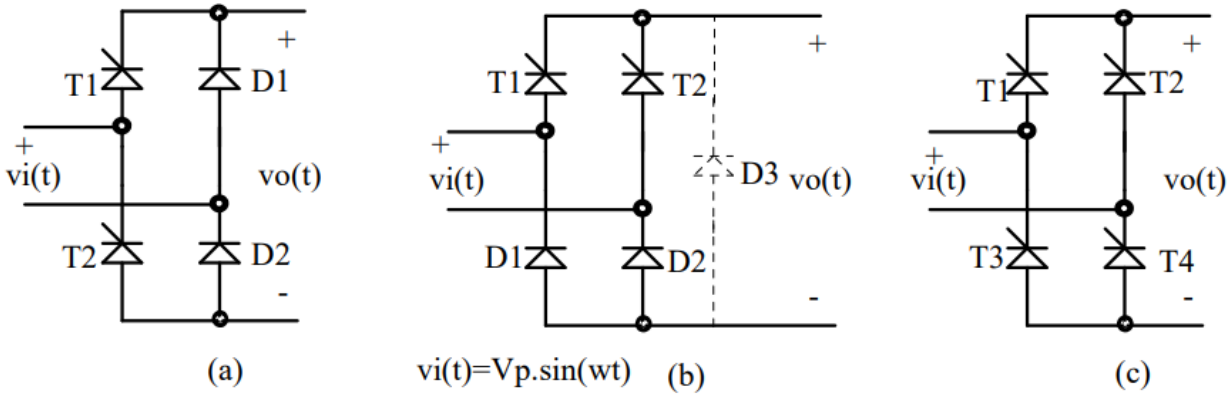
Retificadores Monofásicos Controlados

1. Introdução;

Os circuitos retificadores controlados constituem a principal aplicação dos tiristores em conversores estáticos. Possuem vasta aplicação industrial, no acionamento de motores de corrente contínua, em estações retificadoras para alimentação de redes de transmissão CC, no acionamento de locomotivas, etc.

Retificadores Monofásicos Controlados

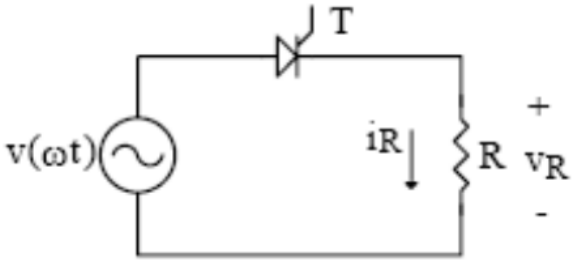
Analisaremos brevemente pontes retificadoras monofásicas, embora o estudo das pontes trifásicas não seja substancialmente diferente. Para potência superior a alguns kVA geralmente se usam pontes trifásicas (ou mesmo hexafásicas). A figura abaixo mostra 3 estruturas de pontes retificadores monofásicas.

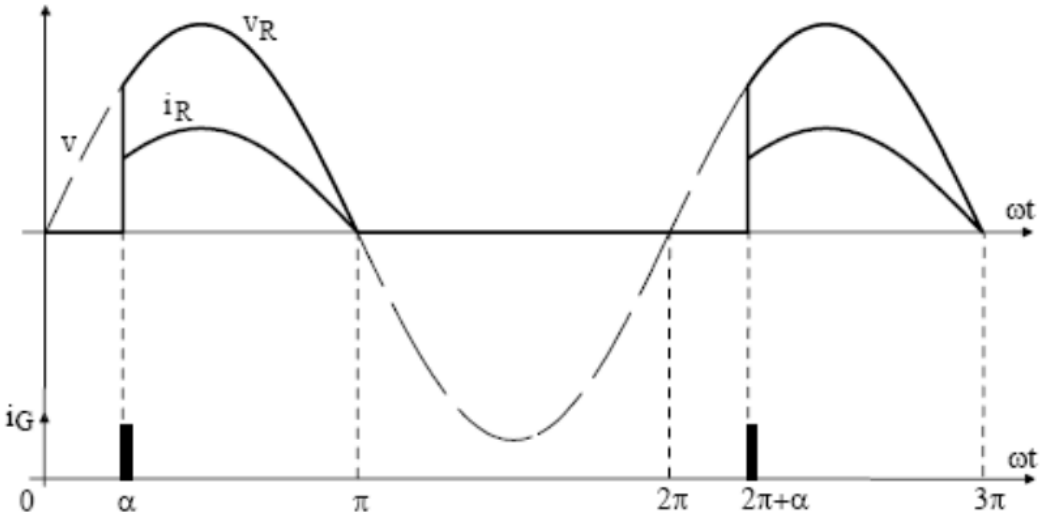


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga resistiva pura:





Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga resistiva pura:

Tensão média na carga:

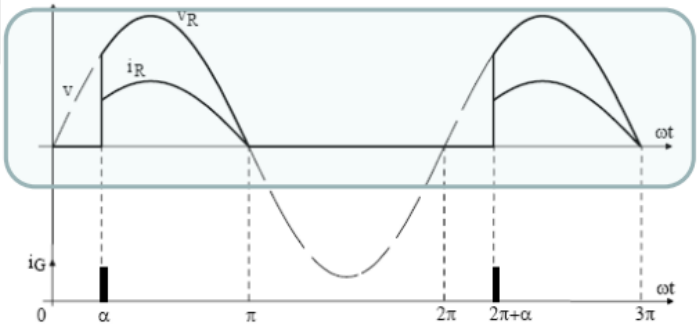
$$v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot V_o \cdot sen(\omega t)$$

$$V_{Lmed} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_o}{2\pi}\left[1 + \cos(\alpha)\right]$$

$$V_{Lmed} = 0,225 \cdot V_o\left[1 + \cos(\alpha)\right]$$

$$o\alpha = 0 \Rightarrow V_{Lmed} = 0,45 \cdot V_o$$

$$o\alpha = 180^o \Rightarrow V_{Lmed} = 0$$



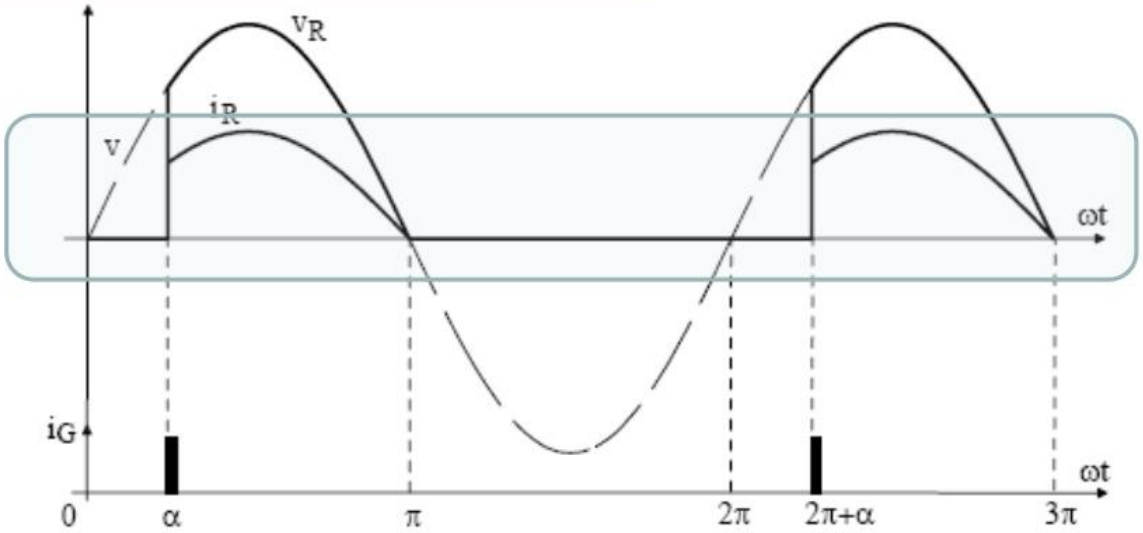
Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga resistiva pura:

Corrente média na carga:

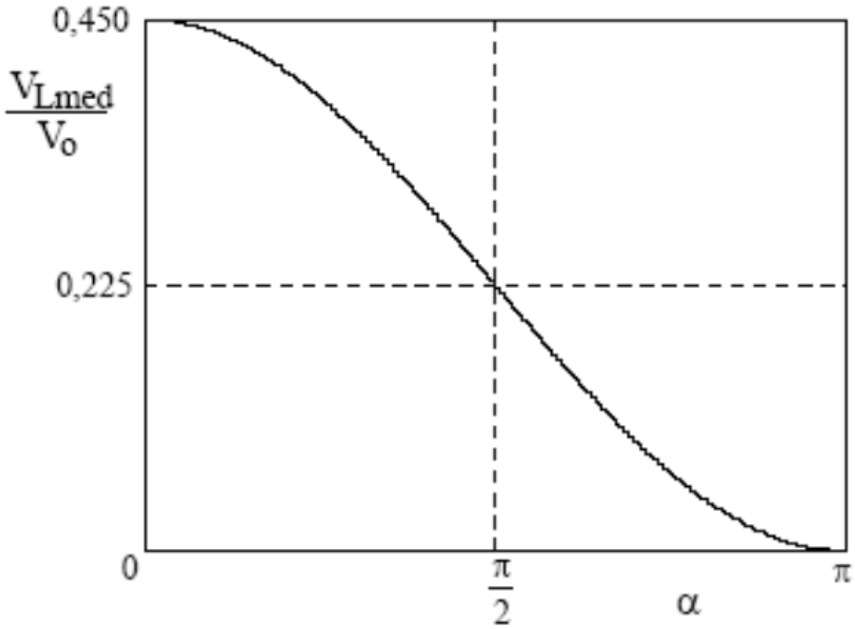
$$I_{Lmed} = \frac{0,225 \cdot V_o}{R}\left[1+\cos(\alpha)\right] = \frac{V_{Lmed}}{R}$$



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga resistiva pura:



Característica de saída

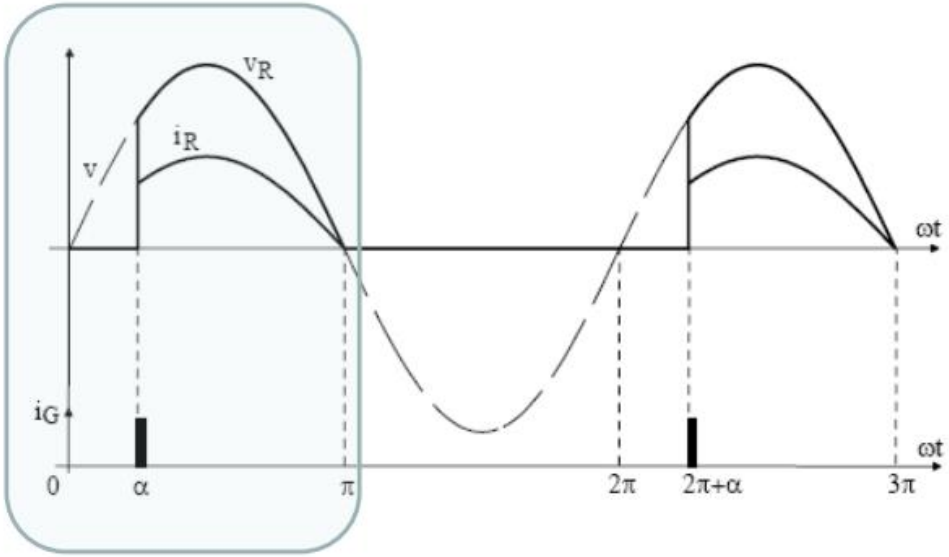
Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga resistiva pura:

Ângulo de condução do tiristor:

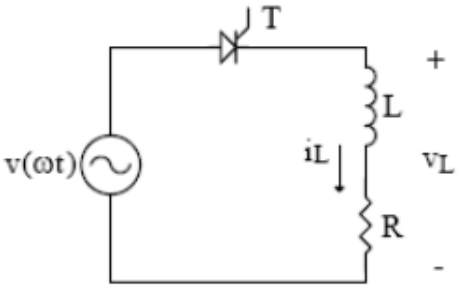
$$\alpha \leq \beta \leq 180^o$$

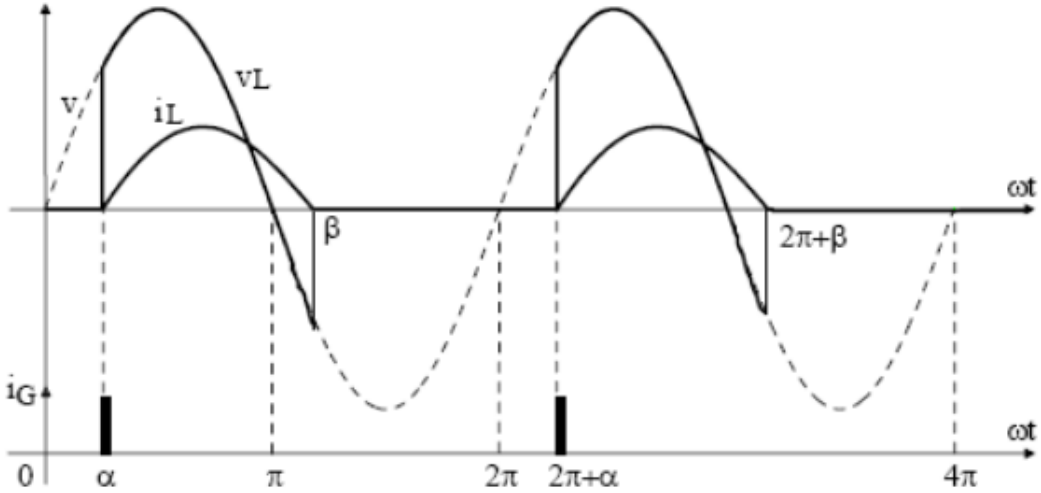


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga RL:





Retificadores Monofásicos Controlados

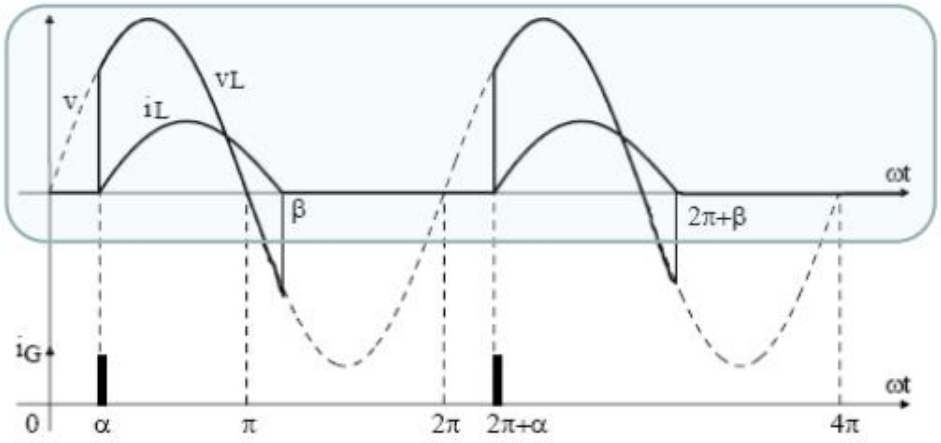
Retificador monofásico de meia onda

Carga RL:

Tensão média na carga:

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

$$\boxed{V_{Lmed} = 0,225 \cdot V_o \left[\cos(\alpha) - \cos(\beta)\right]}$$



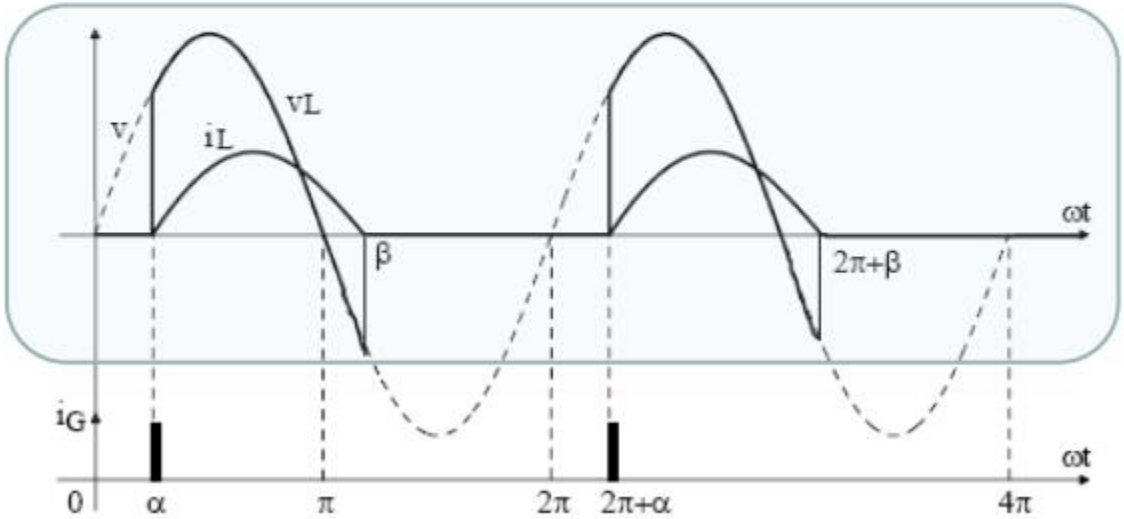
Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga RL:

Corrente média na carga:

$$I_{Lmed} = \frac{0,225 \cdot V_o}{R}\left(\cos(\alpha) - \cos(\beta)\right) = \frac{V_{Lmed}}{R}$$



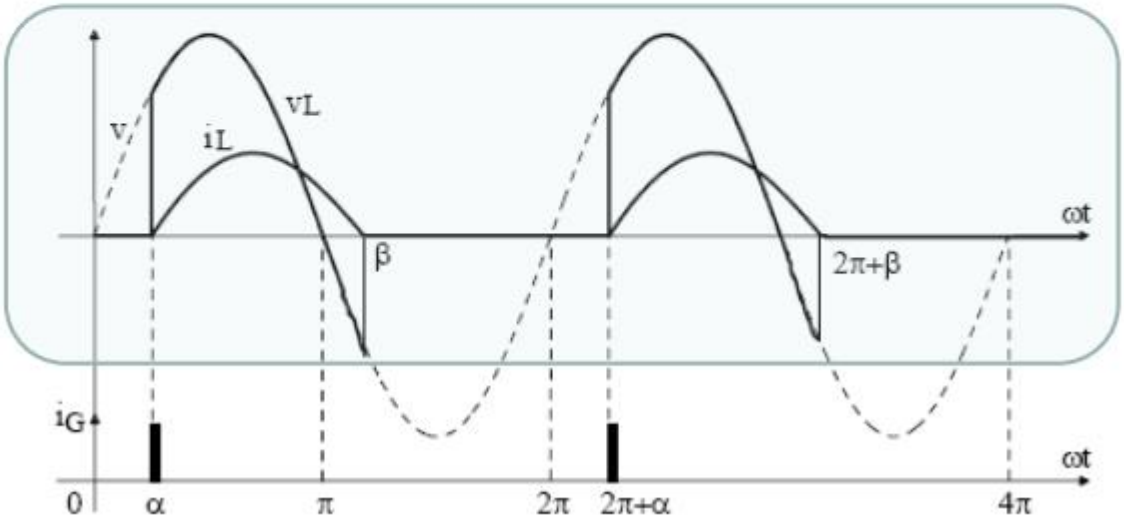
Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga RL:

Ângulo de condução do tiristor:

$$\alpha \leq \gamma \leq \beta$$

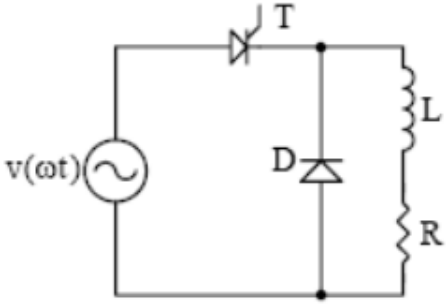


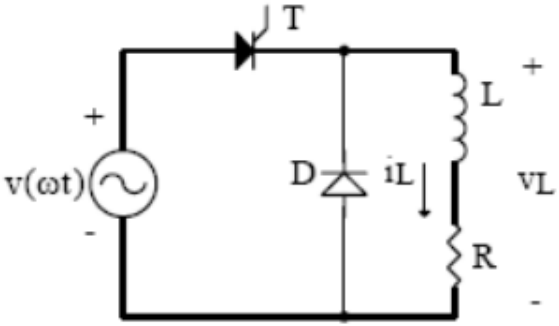
Retificadores Monofásicos Controlados

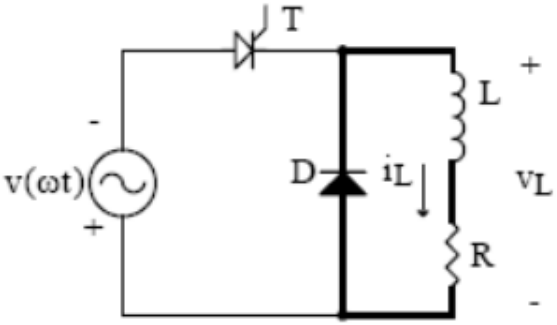
Retificador monofásico de meia onda

Carga RL com diodo de roda-livre:

Circuito do retificador:





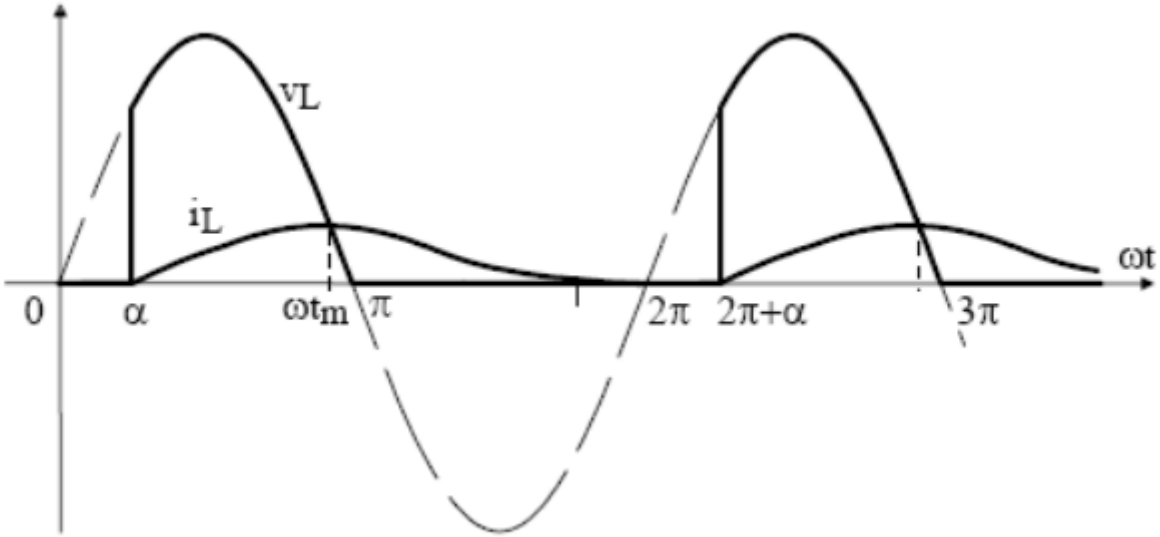


Etapas de funcionamento

Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga RL com diodo de roda-livre:



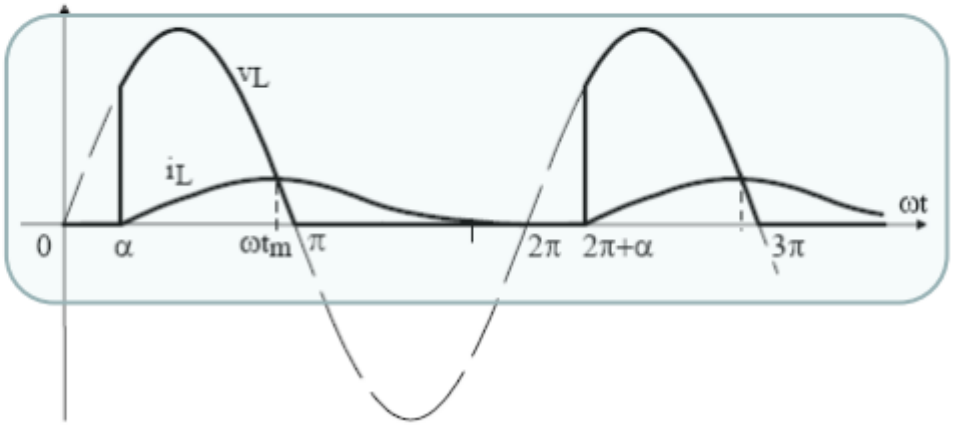
Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de meia onda

Carga RL com diodo de roda-livre:

Tensão média na carga:

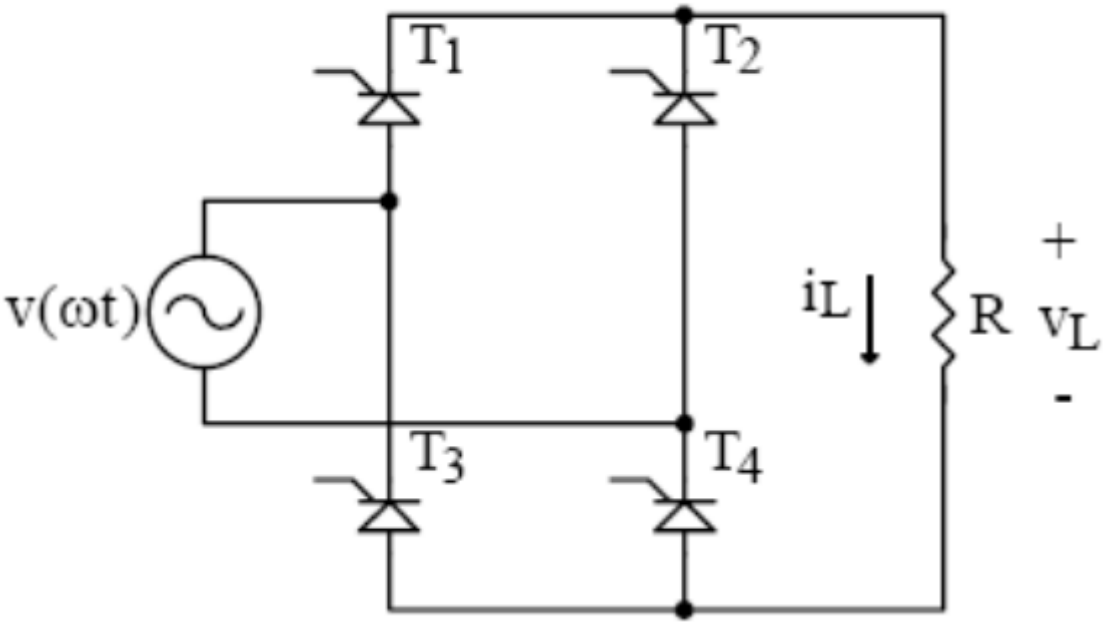
$$V_{Lmed} = 0,225 \cdot V_o \left[1 + \cos(\alpha)\right]$$



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

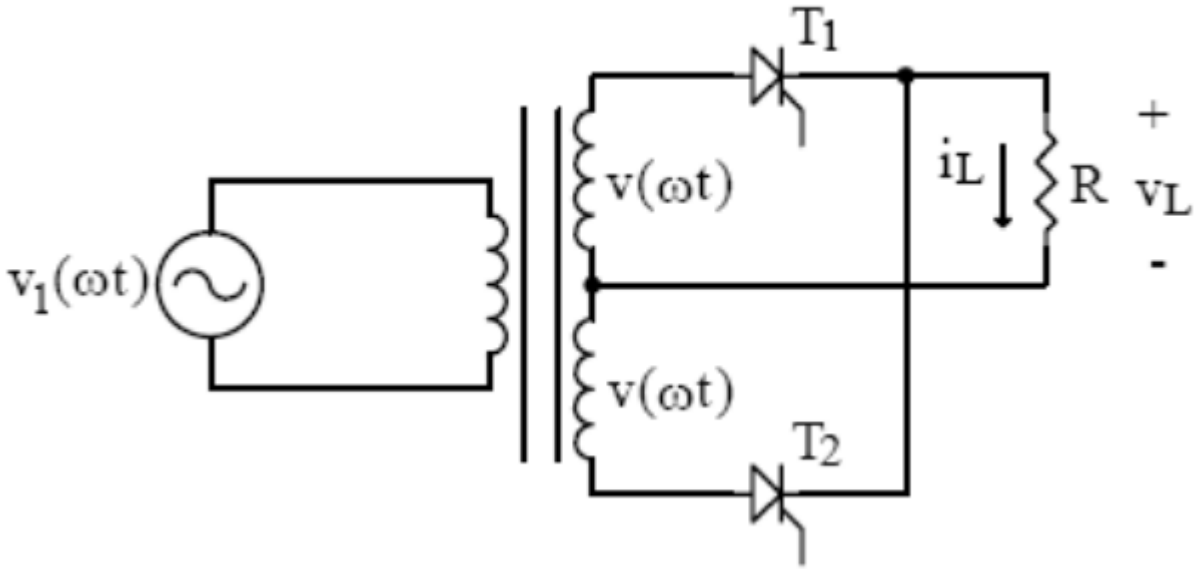
Ponte completa:



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

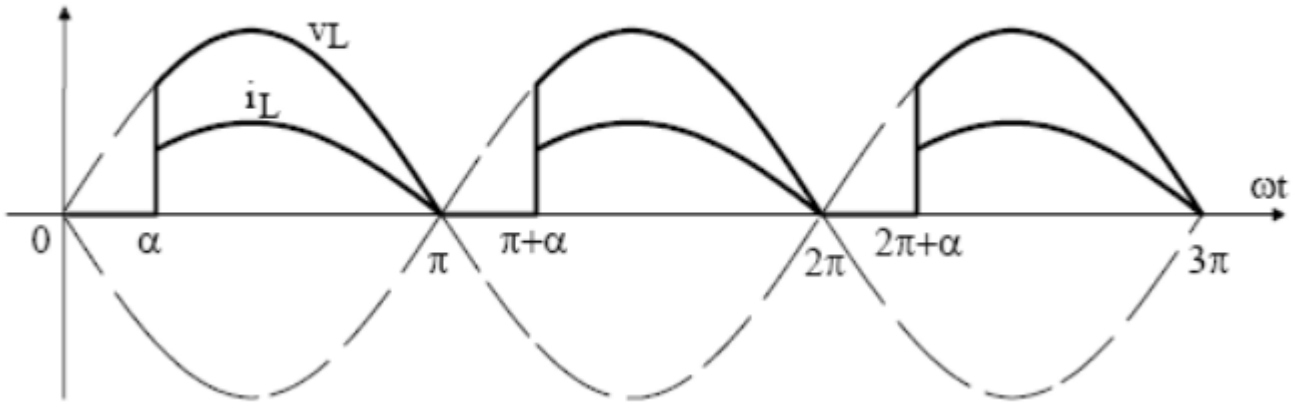
Ponto médio:



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Carga resistiva pura (para todas as estruturas):



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Carga resistiva pura (para todas as estruturas):

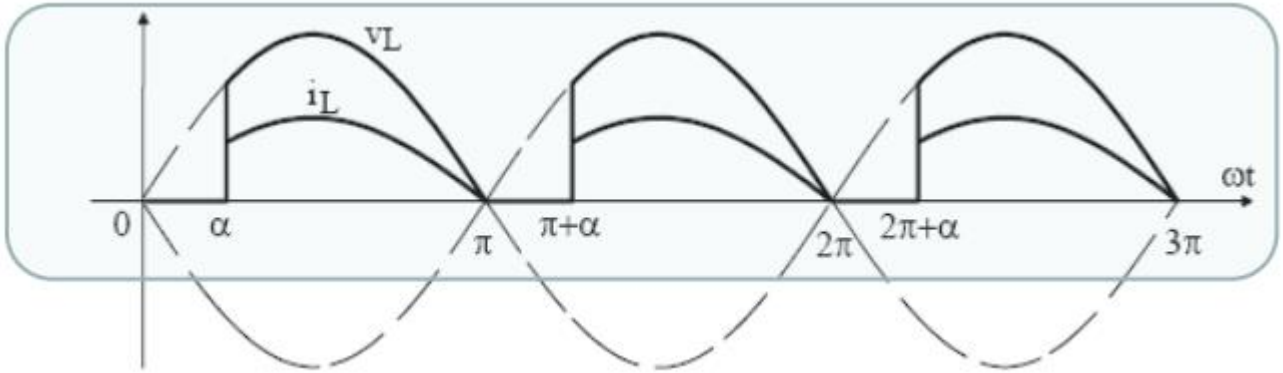
Tensão média na carga:

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

$$\boxed{V_{Lmed} = 0,45 \cdot V_o \left[1 + \cos(\alpha)\right]}$$

$$o\alpha = 0 \Rightarrow V_{Lmed} = 0,9 \cdot V_o$$

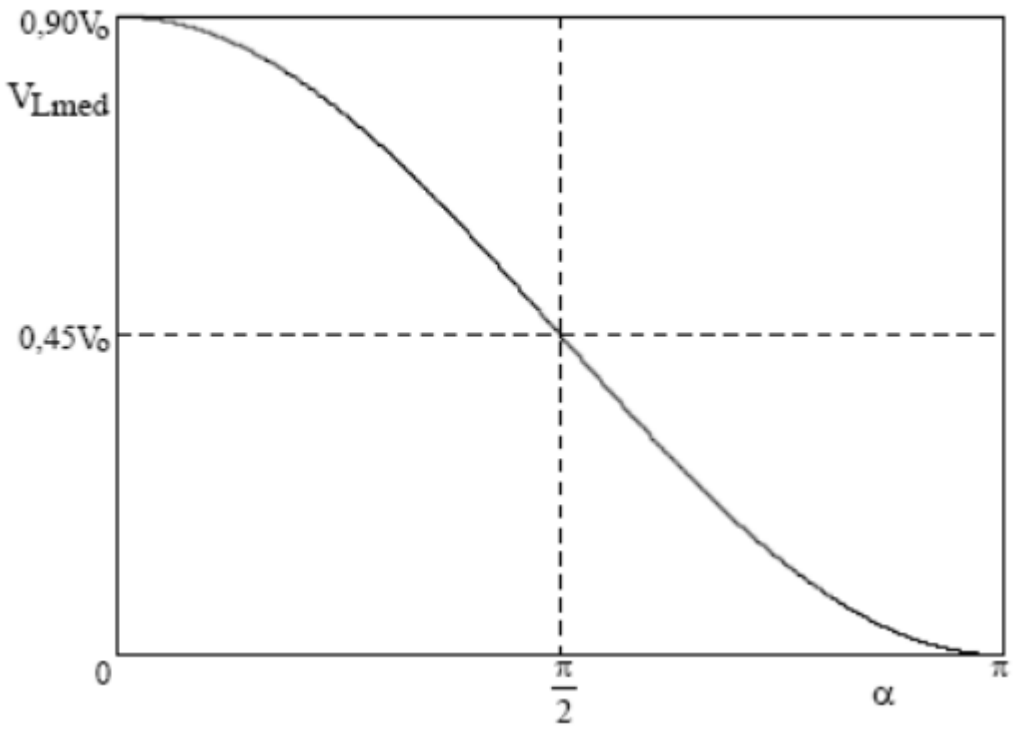
$$o\alpha = 180^o \Rightarrow V_{Lmed} = 0$$



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

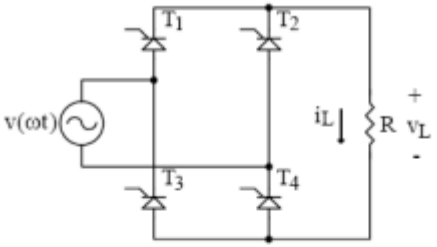
Carga resistiva pura (para todas as estruturas):

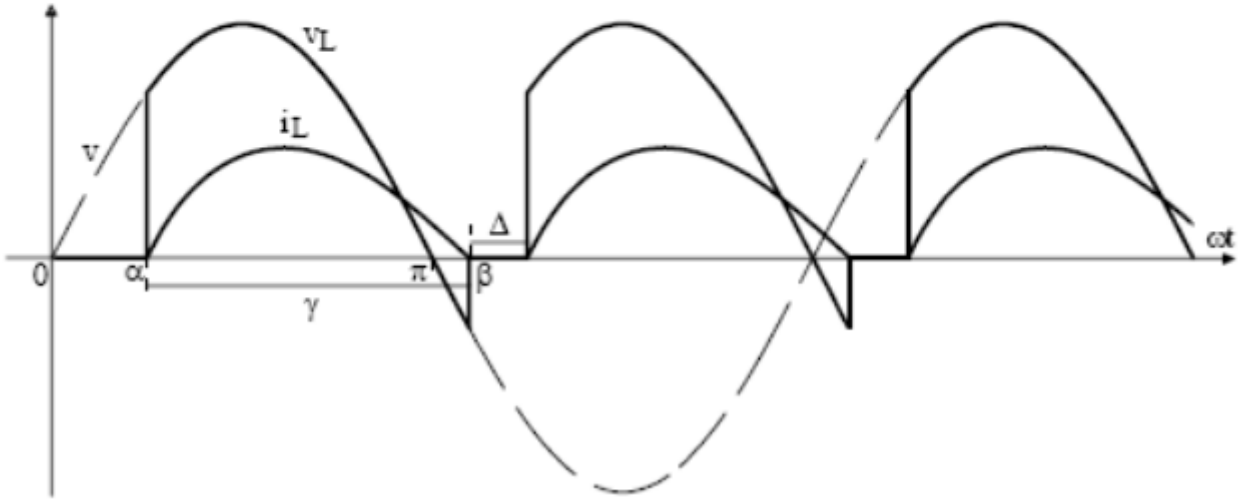


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Carga RL (ponte completa):





Retificadores Monofásicos Controlados

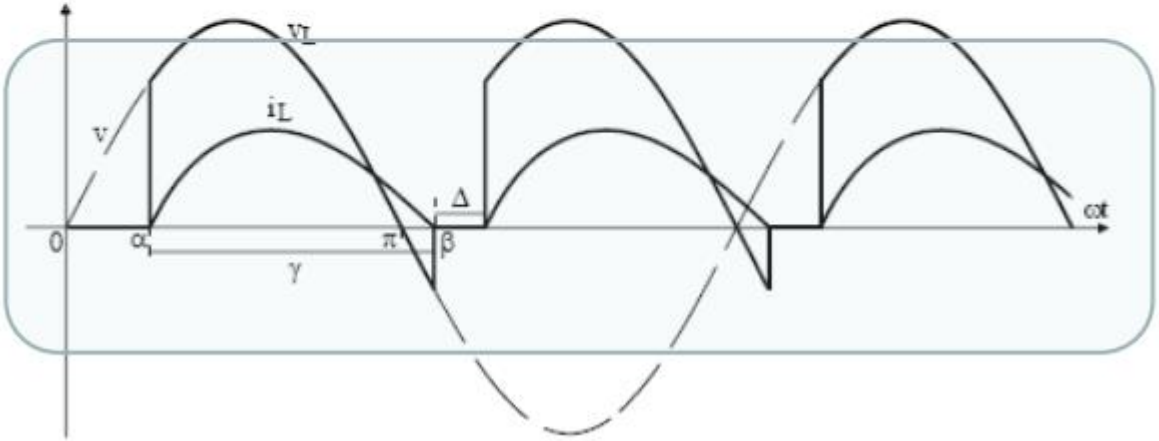
Retificador monofásico de onda completa

Carga RL (ponte completa):

Tensão média na carga:

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

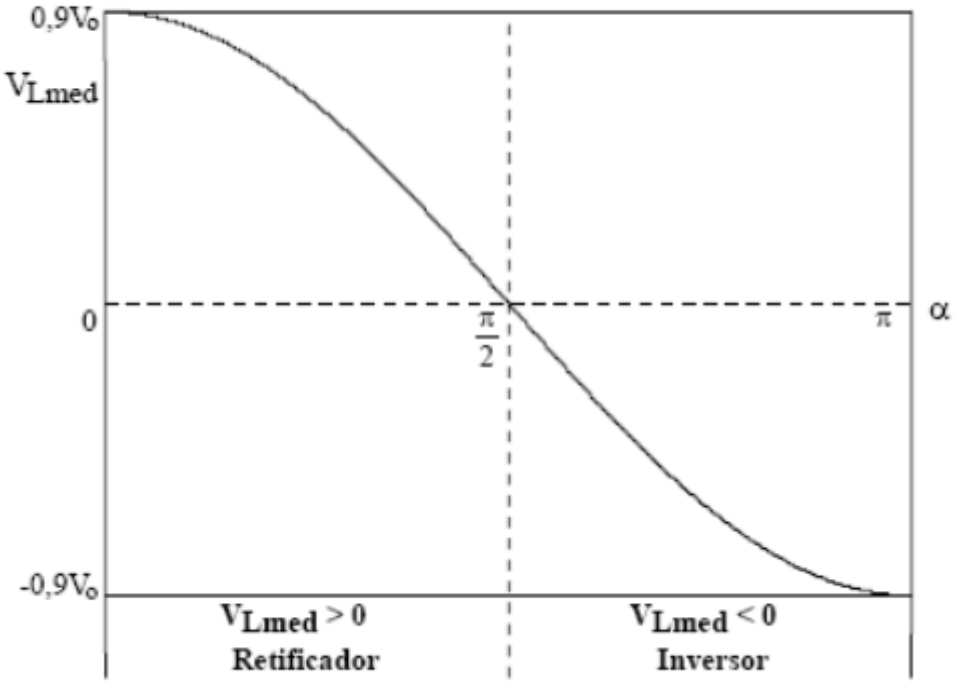
$$\boxed{V_{Lmed} = 0,45 \cdot V_o \left[\cos(\alpha) - \cos(\beta)\right]}$$



Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

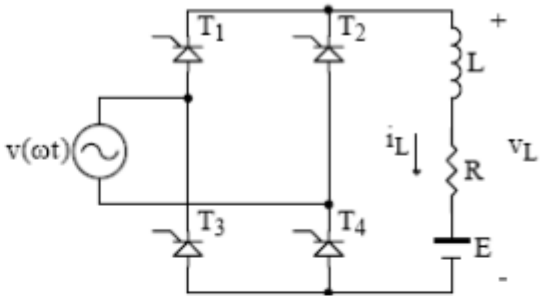
Carga RL (ponte completa):

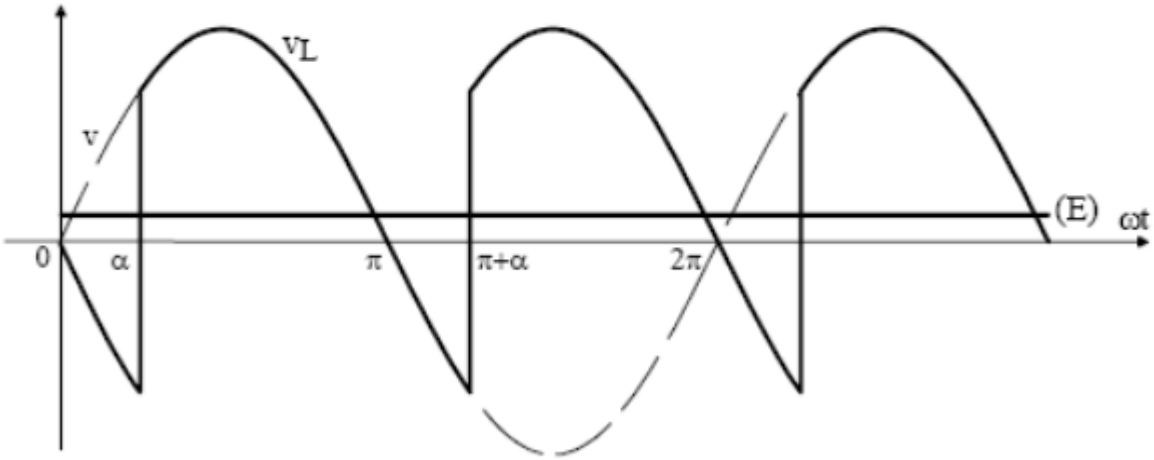


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Carga RLE (ponte completa):



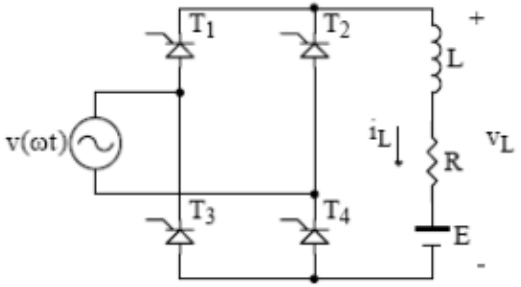


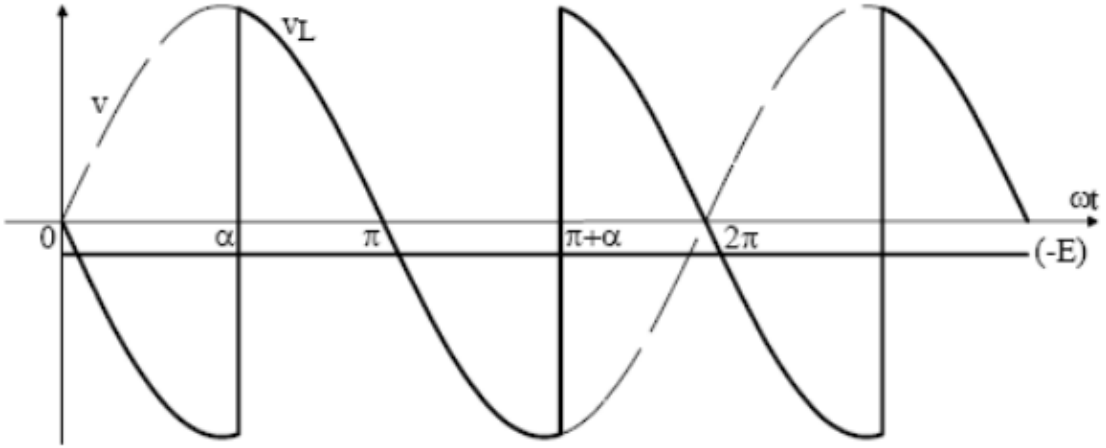
Retificador: 0<α<90º

Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Carga RLE (ponte completa):





Inversor: 90º<α<180º

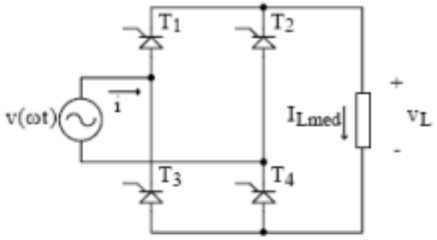
Retificadores Monofásicos Controlados

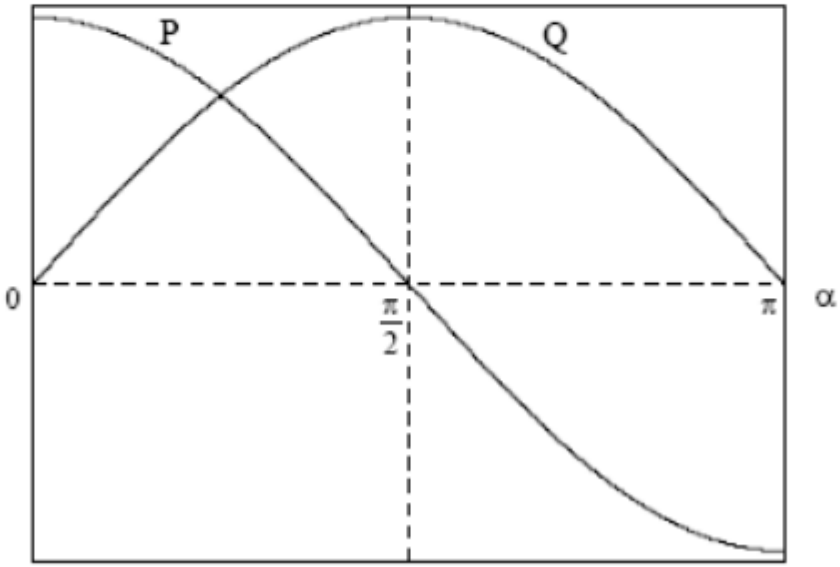
Retificador monofásico de onda completa

Carga RLE (ponte completa):

Fator de potência:

$$FP = 0{,}9 \cdot \cos(\alpha)$$

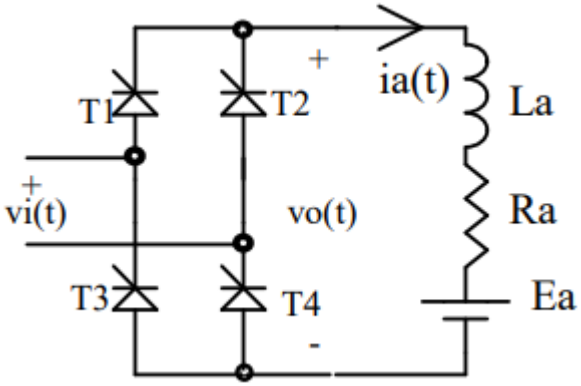


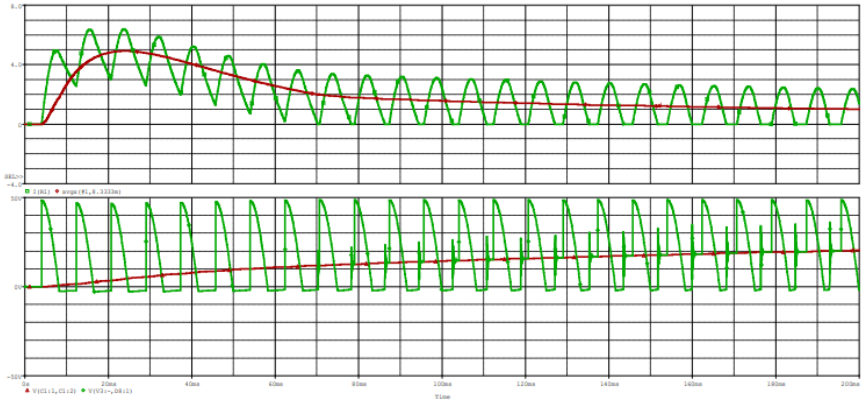


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

A corrente de entrada apresenta-se como uma onda quadrada, com sua componente fundamental defasada de um ângulo α em relação à tensão. Quando se faz o acionamento de um motor CC, a carga comporta-se como um circuito RL ao qual se adiciona uma fonte de tensão CC, que representa a força contra-eletromotriz de armadura, como mostrado na figura abaixo.

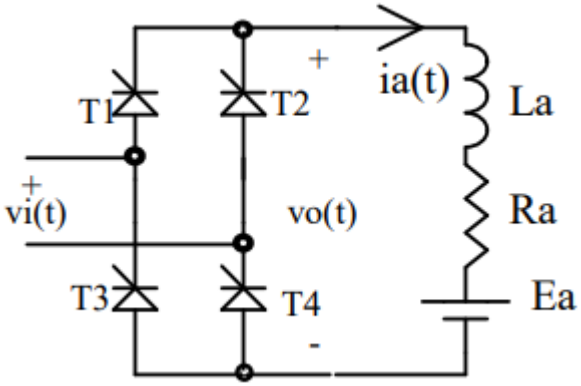


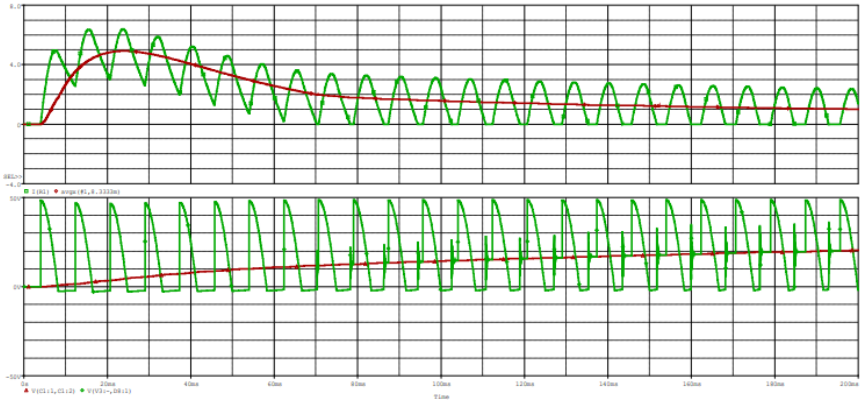


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

Em situações em que a constante de tempo é pequena, ou então a tensão Ea é elevada, é possível que a corrente se anule, fazendo com que os tiristores comutem dentro de um semi-ciclo da rede. Em tal situação, como não há corrente, a tensão vista nos terminais da máquina, vo(t), será a própria tensão de armadura.

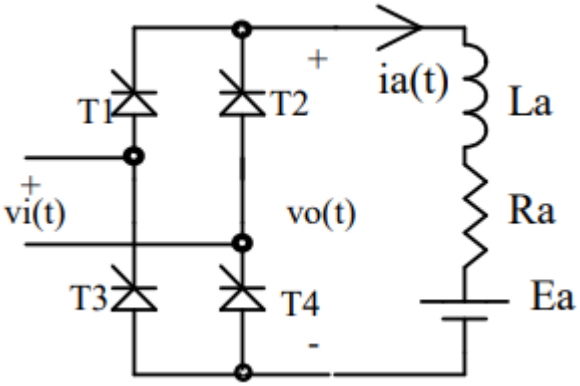


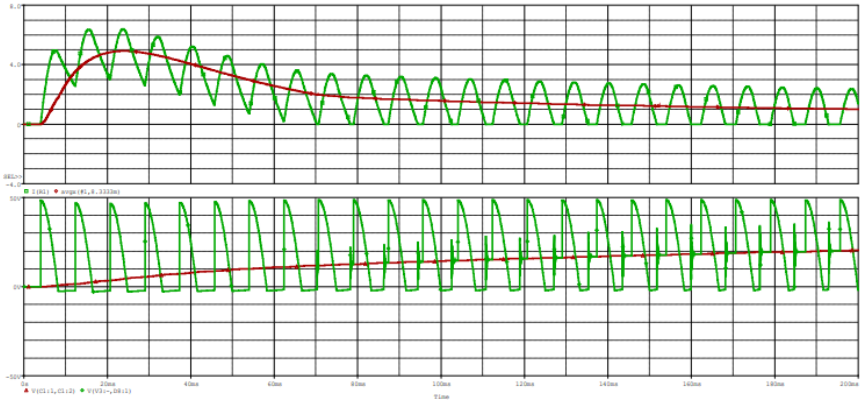


Retificadores Monofásicos Controlados

Retificador monofásico de onda completa

A tensão vo(t) será igual à tensão de entrada (retificada) apenas enquanto os tiristores conduzirem, como ilustram as formas de onda. A oscilação que se nota quando o circuito entra no modo descontínuo se deve a ressonâncias entre as capacitâncias dos semicondutores e a carga.





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.