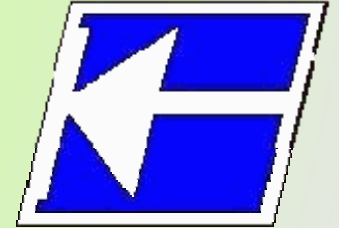


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**  
**Departamento Acadêmico de Eletrônica**  
**Conversores Estáticos**



# **Conversores CA-CC Trifásicos**

## **Controlados**



**Prof. Clóvis Antônio Petry.**

**Florianópolis, agosto de 2008.**

# Bibliografia para esta aula

## Capítulo 8: Retificadores trifásicos controlados

1. Retificador trifásico de ponto médio:
  - A estrutura;
  - Funcionamento com carga resistiva;
  - Funcionamento com carga indutiva.
2. Retificador trifásico de onda completa:
  - A estrutura;
  - Funcionamento com carga resistiva;
  - Funcionamento com carga indutiva.
3. Ponte trifásica mista
4. O problema da comutação



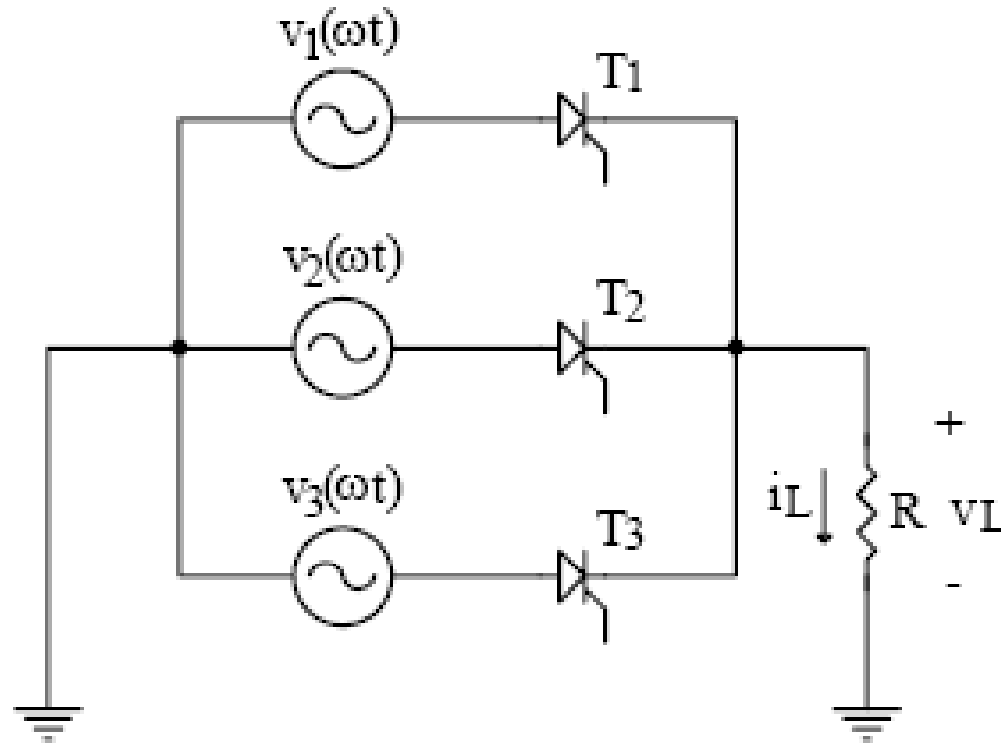
# Nesta aula

## **Conversores CA-CC trifásicos controlados:**

1. Retificador trifásico de ponto médio:
  - A estrutura;
  - Funcionamento com carga resistiva;
  - Funcionamento com carga indutiva.
2. Retificador trifásico de onda completa:
  - A estrutura;
  - Funcionamento com carga resistiva;
  - Funcionamento com carga indutiva.
3. Ponte trifásica mista
4. O problema da comutação

# Retificador trifásico de ponto médio

A estrutura:



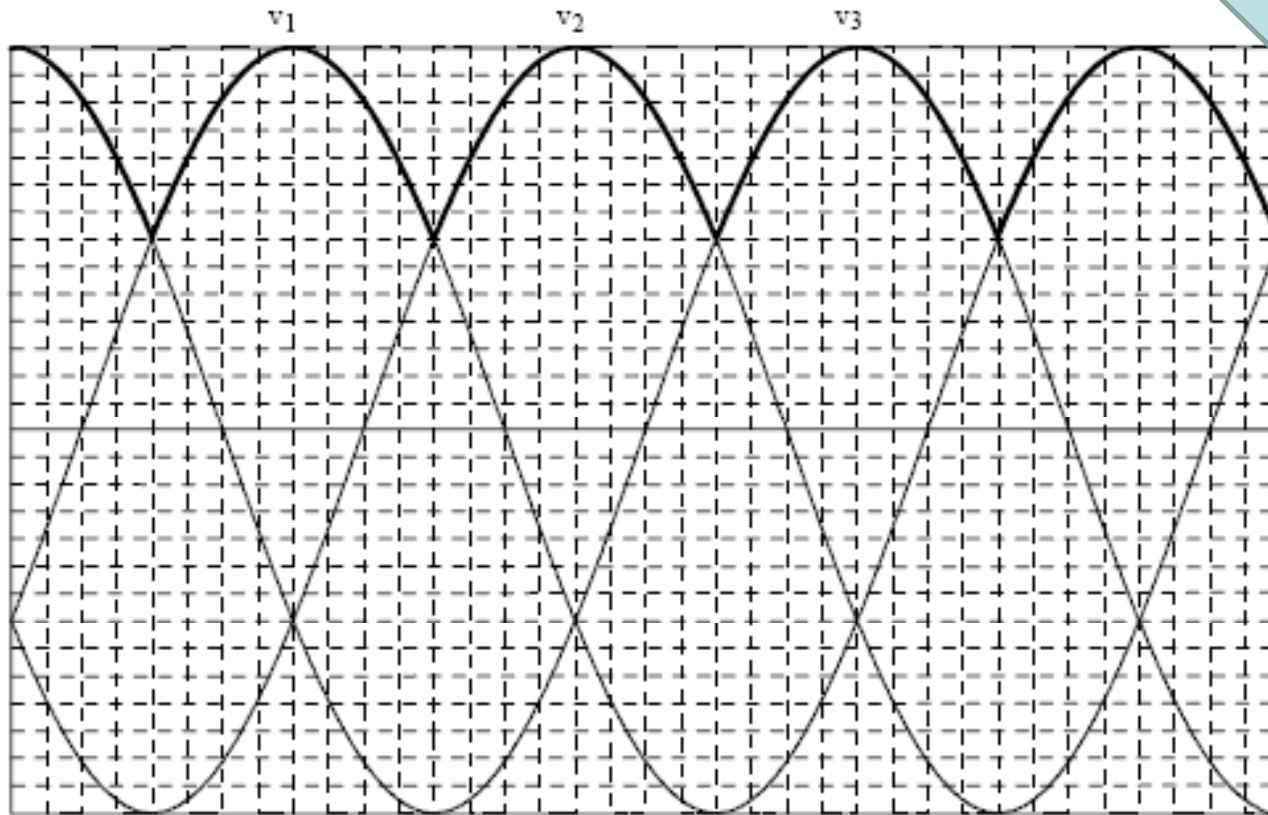
$$v_1(\omega t) = V_o \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$v_2(\omega t) = V_o \cdot \text{sen}(\omega t - 120^\circ)$$

$$v_3(\omega t) = V_o \cdot \text{sen}(\omega t + 120^\circ)$$

# Retificador trifásico de ponto médio

Carga resistiva pura:



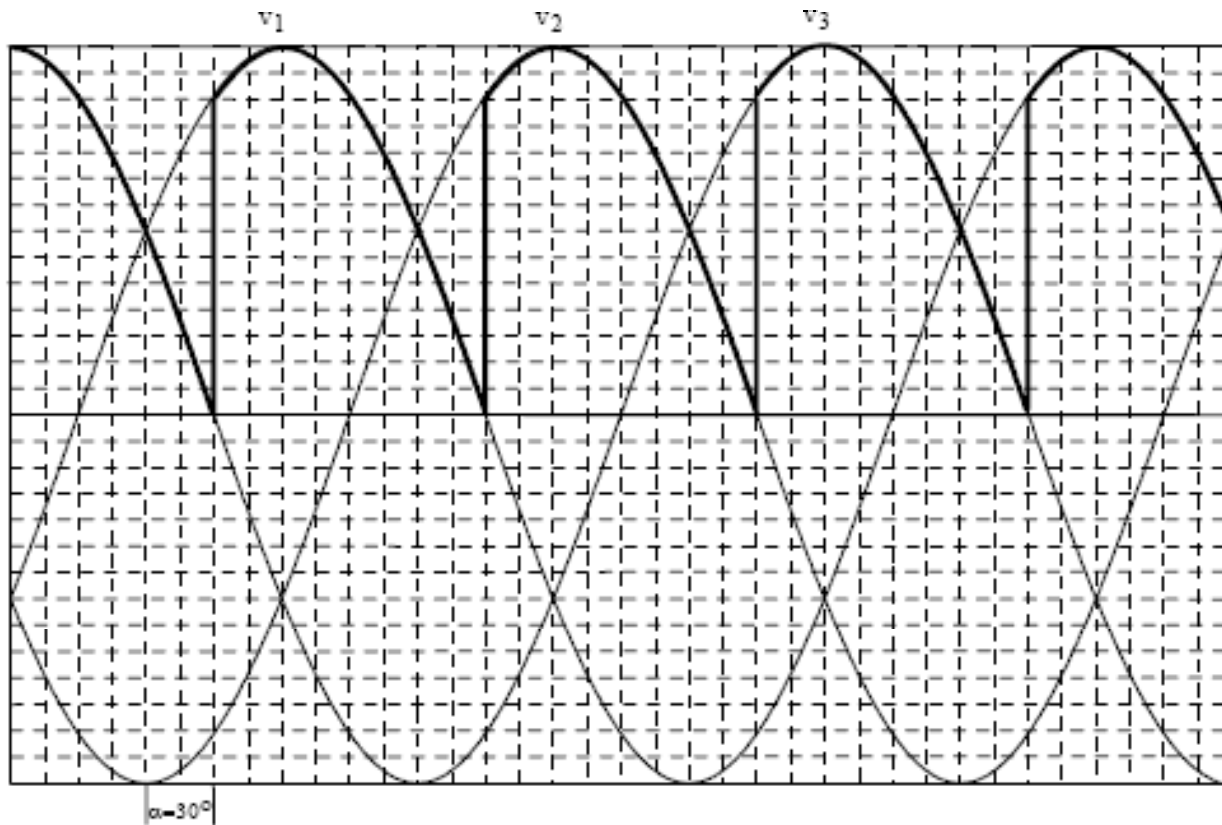
3 pulsos

$$\alpha = 0^\circ$$

Condução contínua

# Retificador trifásico de ponto médio

Carga resistiva pura:

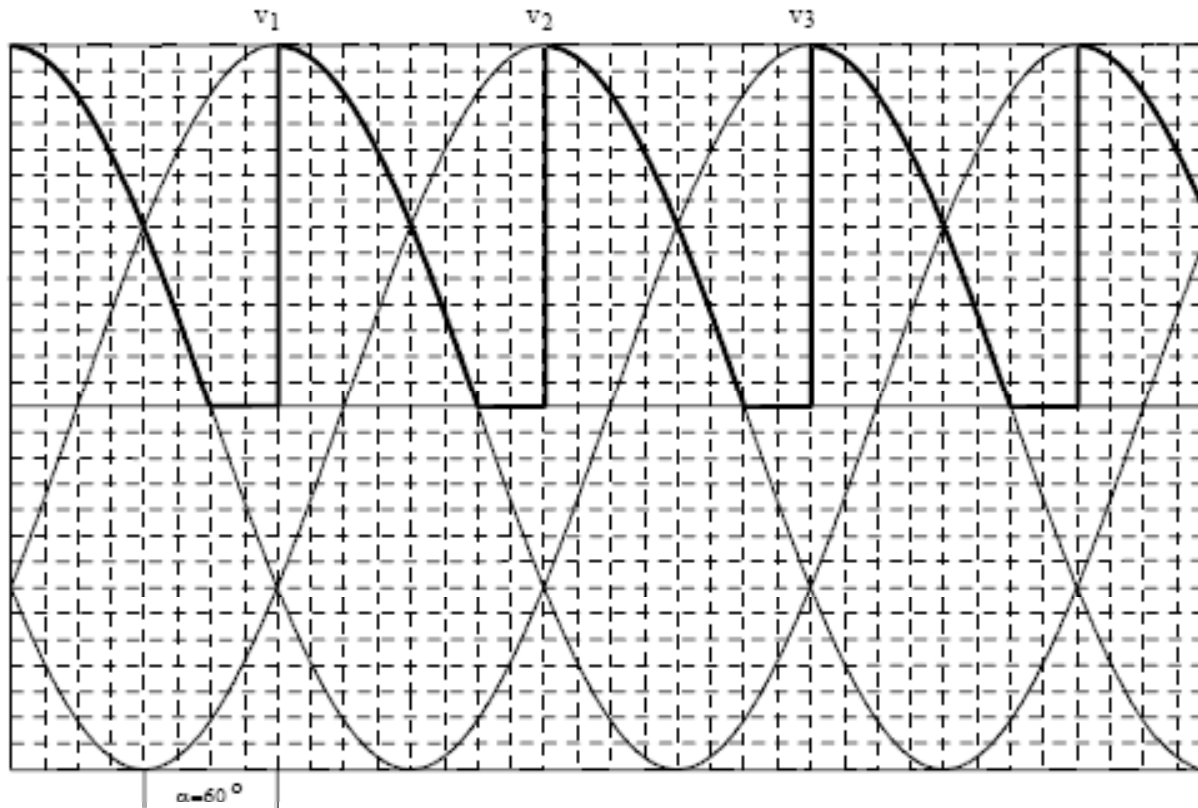


$$\alpha = 30^\circ$$

Condução crítica

# Retificador trifásico de ponto médio

Carga resistiva pura:



$$\alpha = 60^\circ$$

**Condução descontínua**

# Retificador trifásico de ponto médio

## Carga resistiva pura:

Tensão média na carga:

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

$$V_{Lmed} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} \sqrt{2} \cdot V_o \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{Lmed} = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V_o}{2\pi} \cos(\alpha) \cong 1,17 \cdot V_o \cdot \cos(\alpha)$$

## Condução contínua

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{6}$$

# Retificador trifásico de ponto médio

## Carga resistiva pura:

Tensão média na carga:

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

$$V_{Lmed} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} \sqrt{2} \cdot V_o \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{Lmed} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot V_o}{2\pi} \left[ 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right]$$

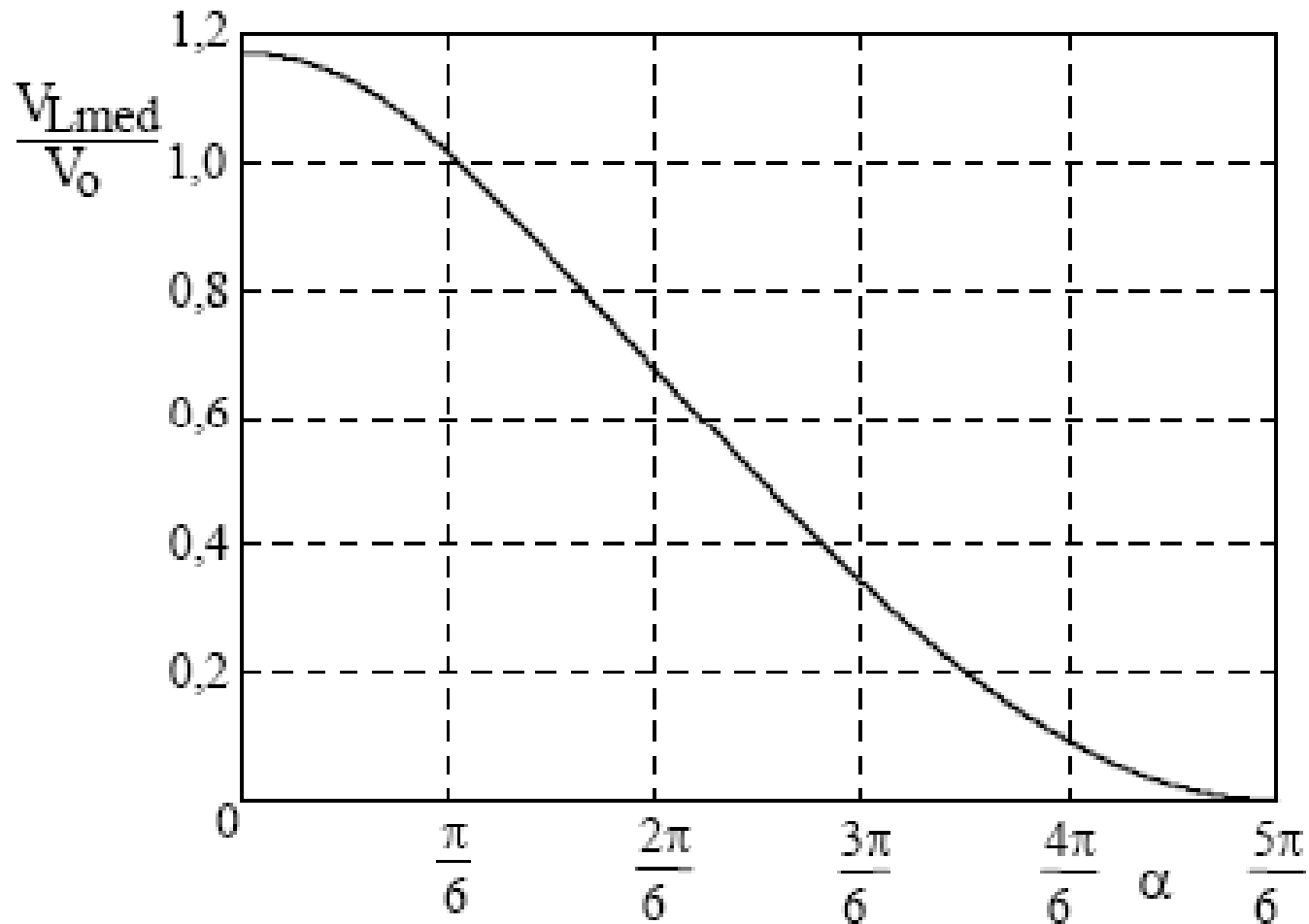
$$V_{Lmed} \cong 0,675 \cdot V_o \cdot \left[ 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right]$$

## Condução descontínua

$$\frac{\pi}{6} < \alpha < \frac{5\pi}{6}$$

# Retificador trifásico de ponto médio

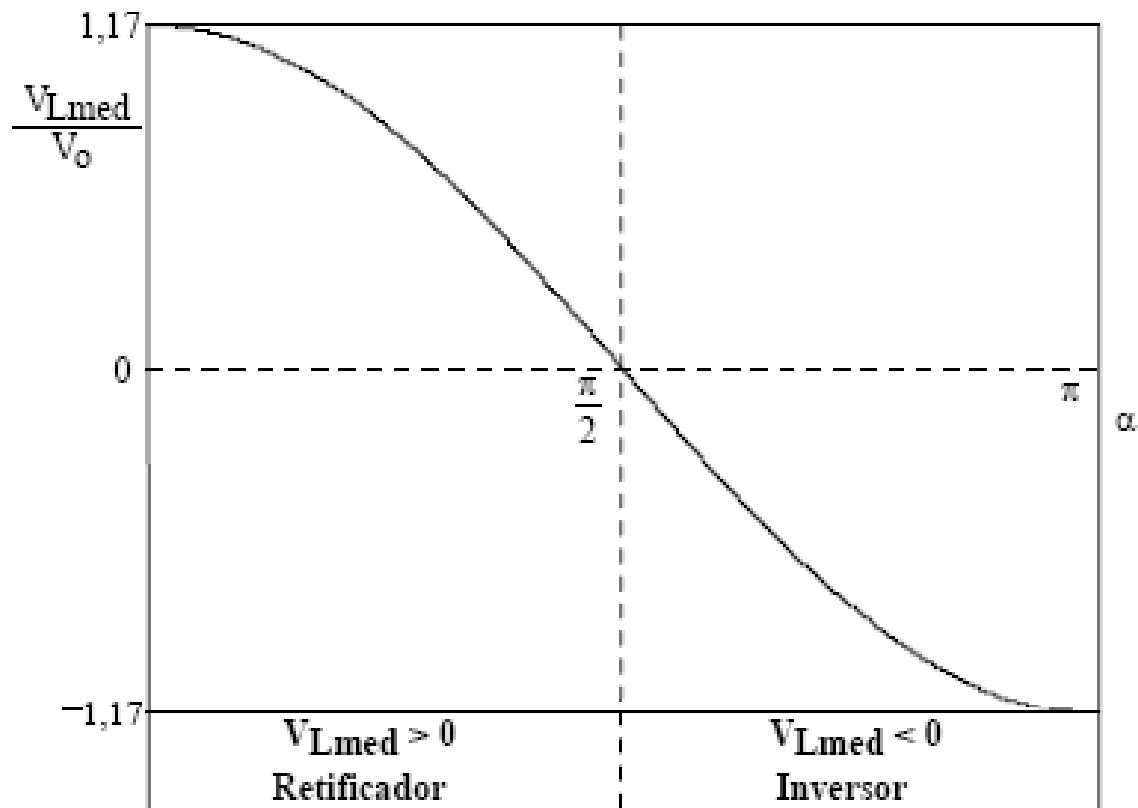
Carga resistiva pura:



# Retificador trifásico de ponto médio

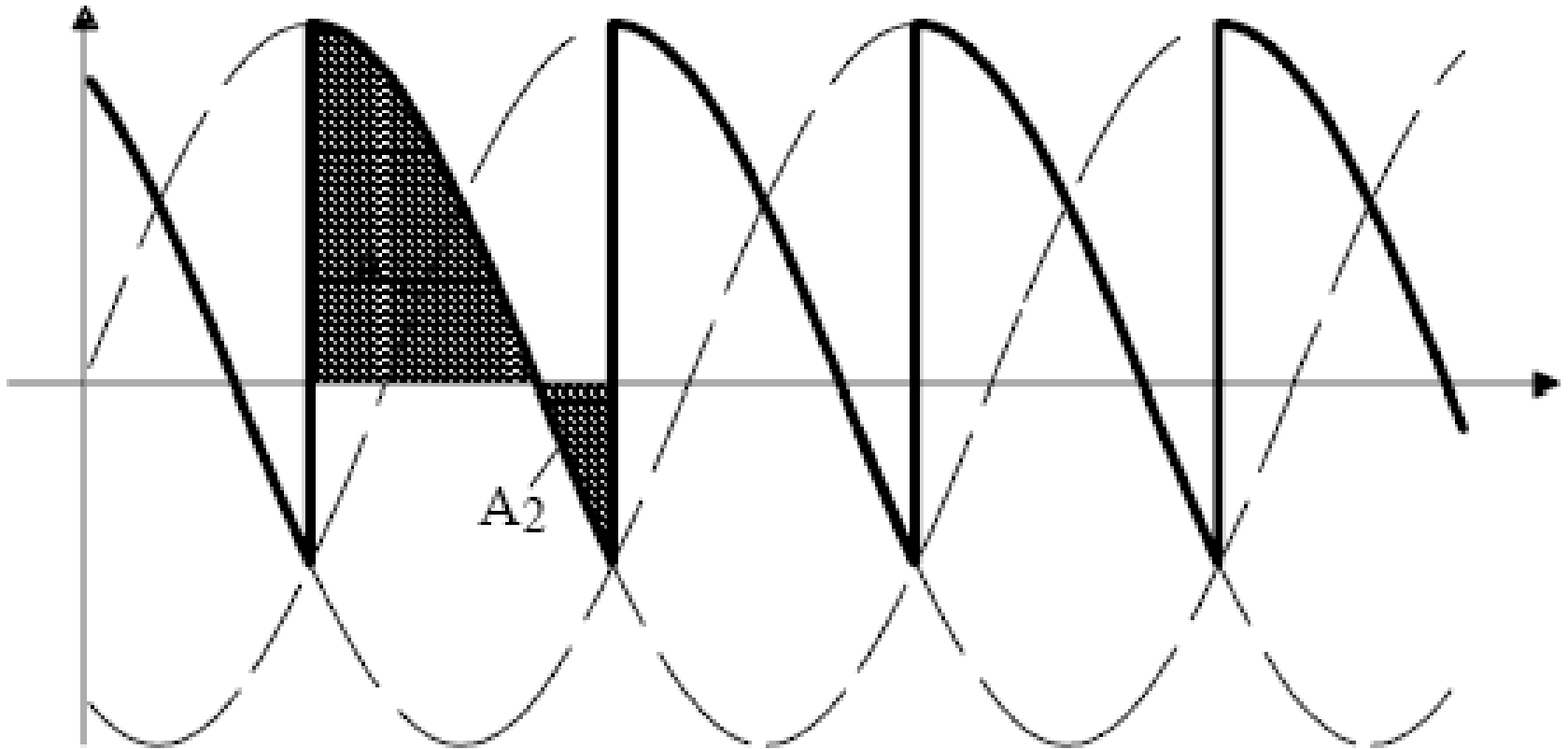
Carga RL:

$$V_{Lmed} \cong 1,17 \cdot V_o \cdot \cos(\alpha)$$



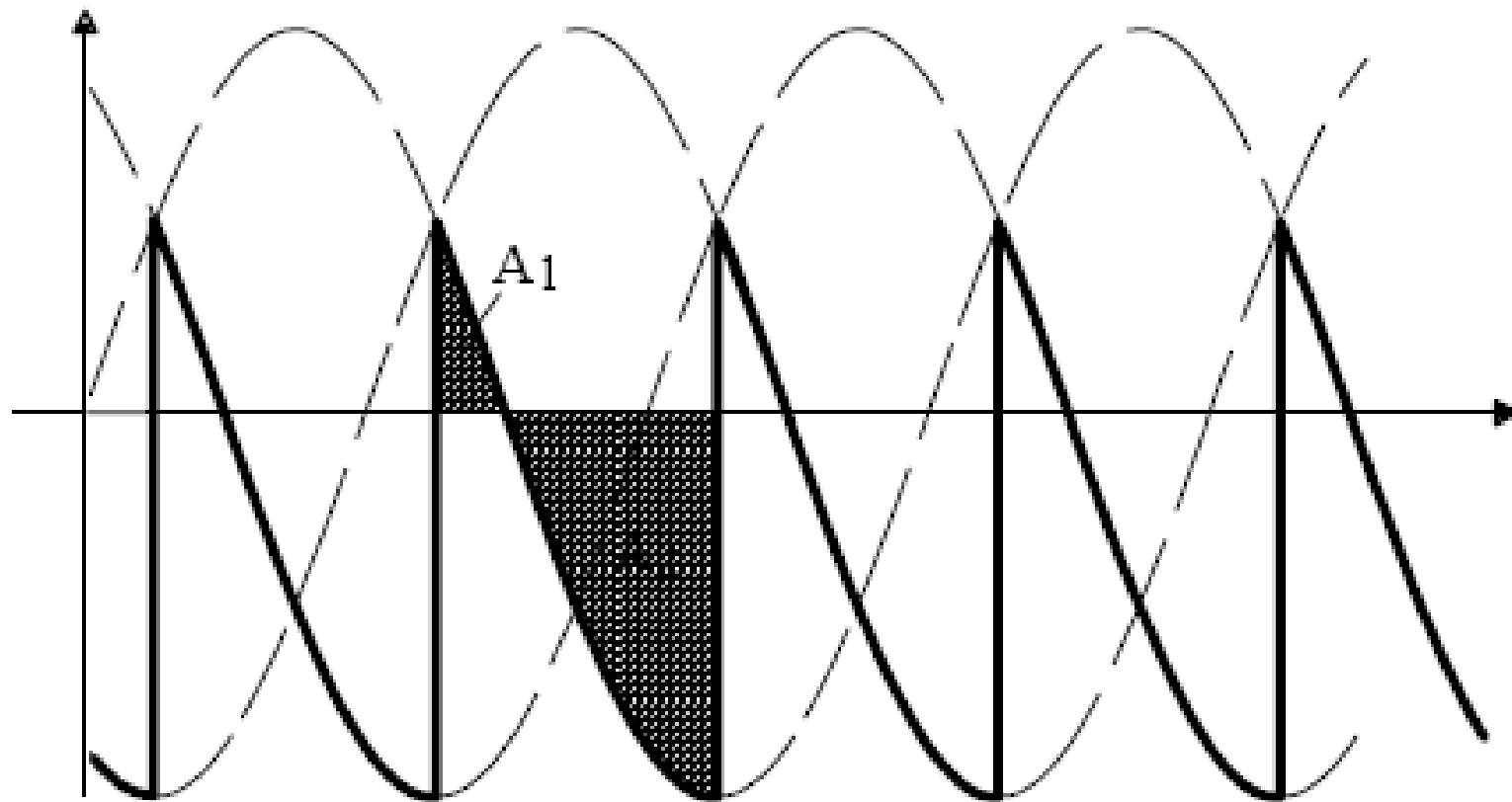
# Retificador trifásico de ponto médio

Carga RL:



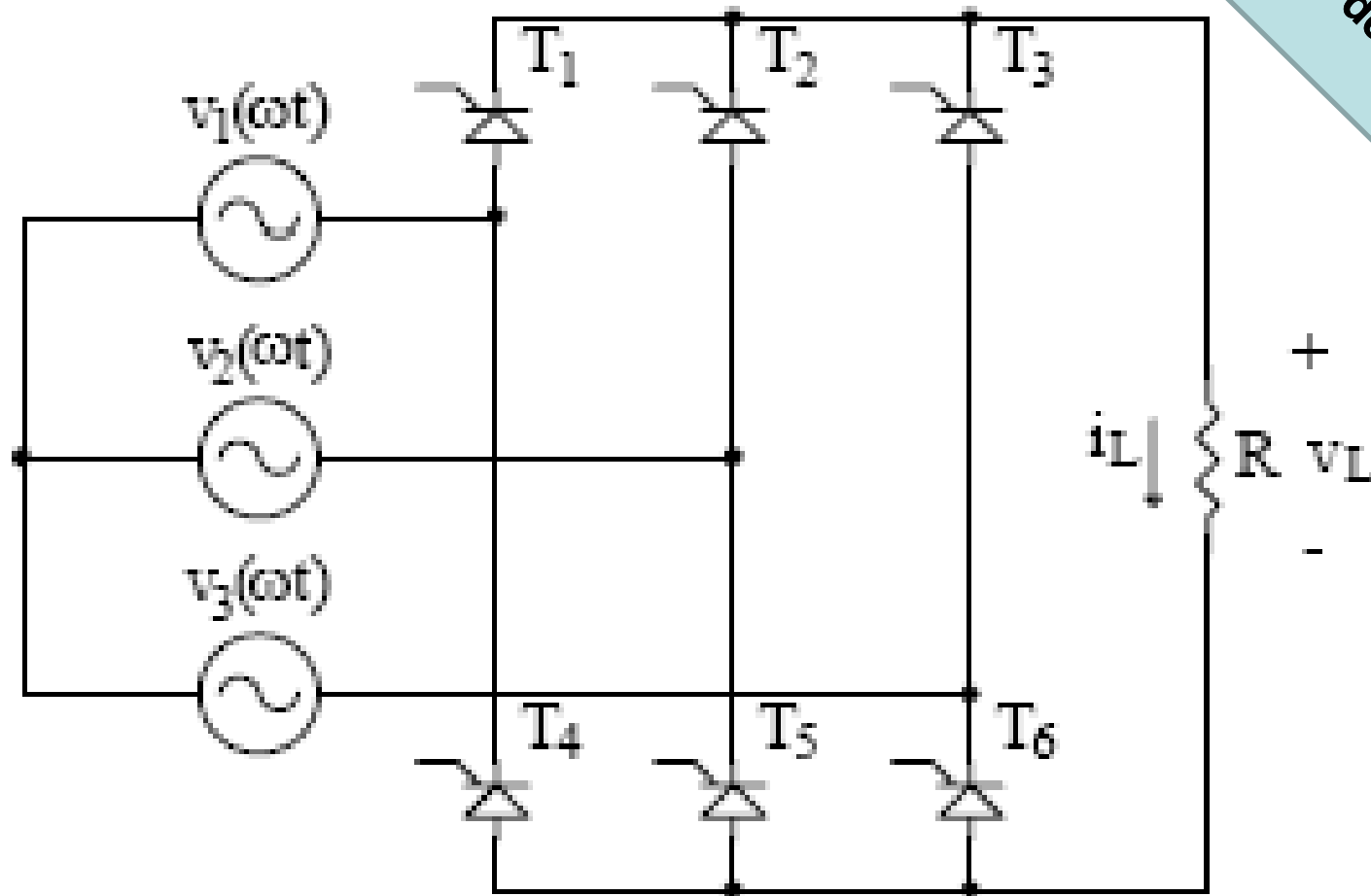
# Retificador trifásico de ponto médio

Carga RL:



# Retificador trifásico de onda completa

A estrutura:



Ponte de Graetz

# Retificador trifásico de onda completa

## Carga resistiva pura:

Tensão média na carga:

$$V_{Lmed} \cong 2,34 \cdot V_o$$

$$V_{Lmed} = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\frac{2\pi}{3} + \alpha} \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V_o \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{Lmed} \cong 2,34 \cdot V_o \cdot \cos(\alpha)$$

$$V_{Lmed} = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\pi} \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V_o \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{Lmed} \cong 2,34 \cdot V_o \cdot \left[ 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \right]$$

**Condução contínua**

$$\alpha = 0^\circ$$

**Condução contínua**

$$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$$

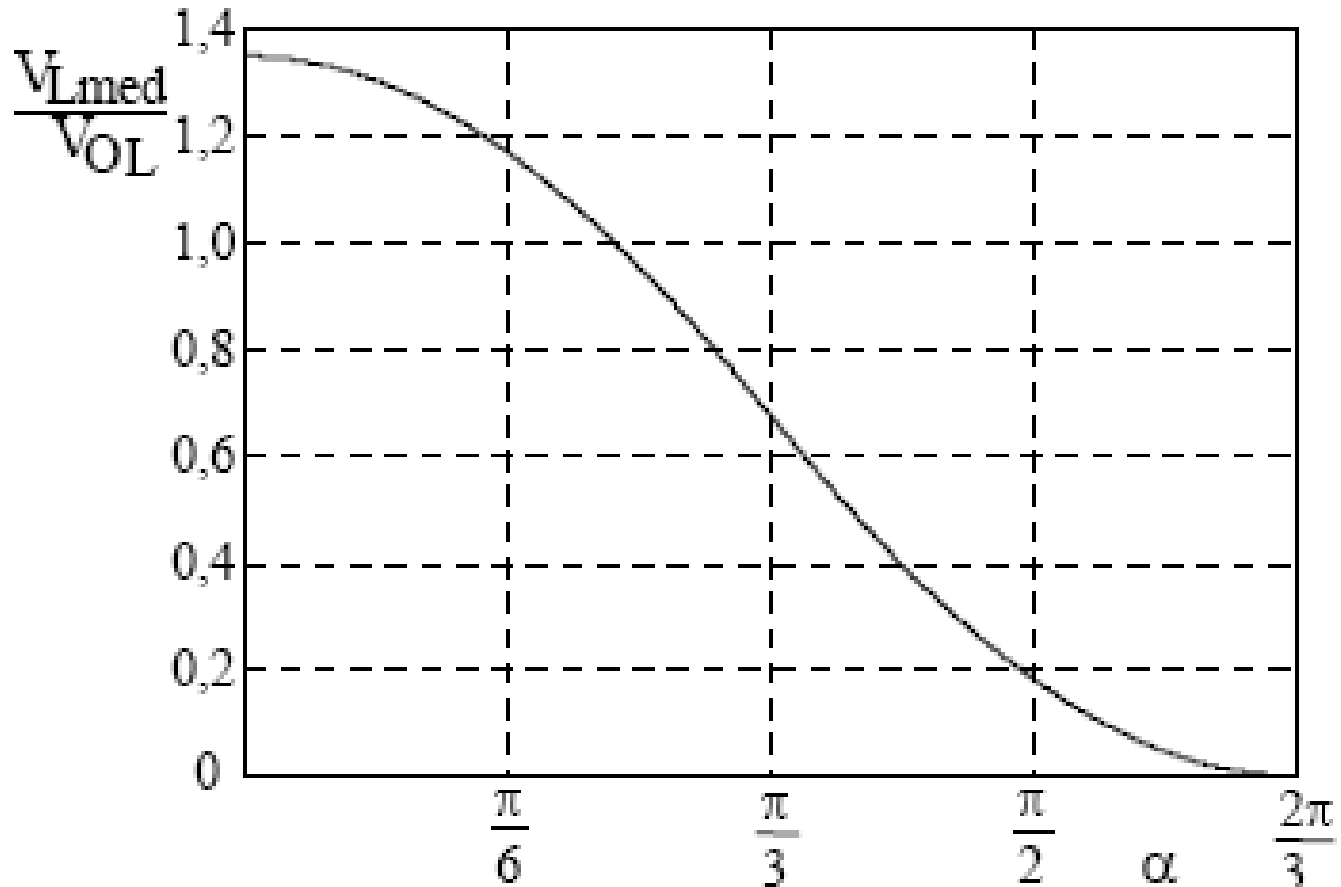
**Condução descontínua**

$$\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$$

# Retificador trifásico de onda completa

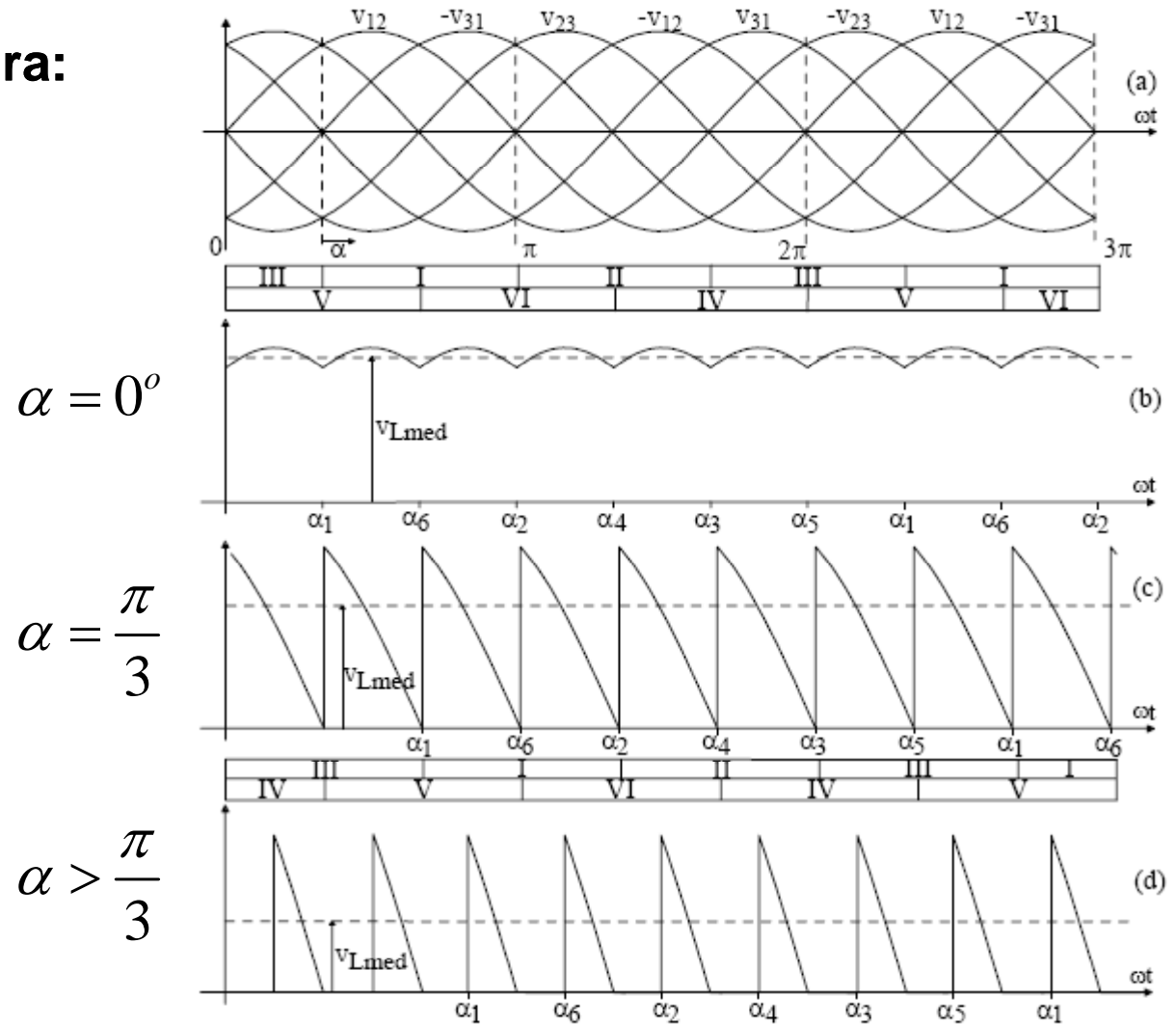
Carga resistiva pura:

$$V_{oL} = \sqrt{3} \cdot V_o$$



# Retificador trifásico de onda completa

Carga resistiva pura:



# Retificador trifásico de onda completa

## Carga RL:

Tensão média na carga:

$$V_{Lmed} \cong 2,34 \cdot V_o \cdot \cos(\alpha)$$

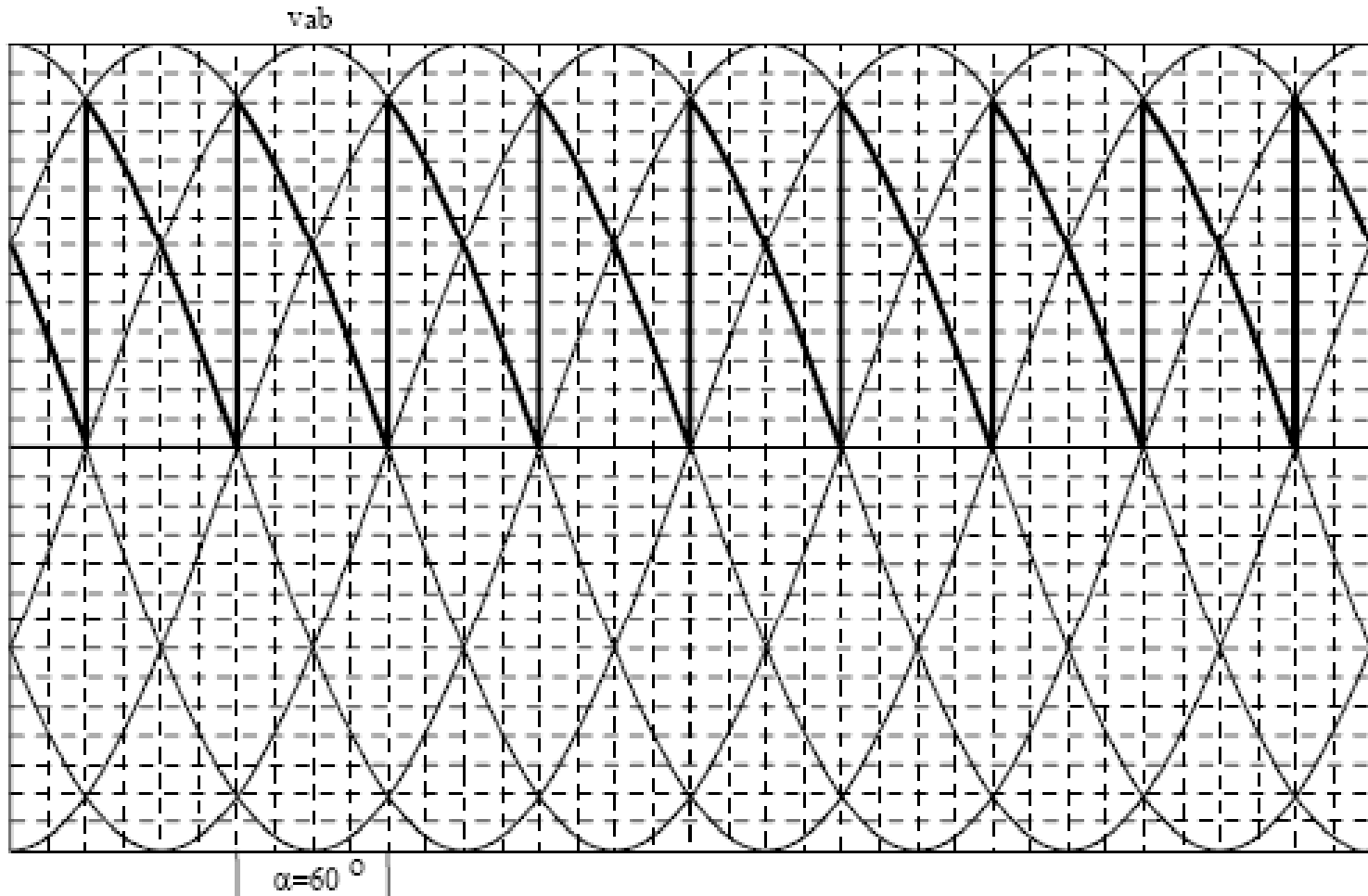
a)  $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2} \Rightarrow V_{Lmed} > 0 \Rightarrow$  Operação como retificador

b)  $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi \Rightarrow V_{Lmed} < 0 \Rightarrow$  Operação como inversor

c)  $0 = \frac{\pi}{2} \Rightarrow V_{Lmed} = 0$

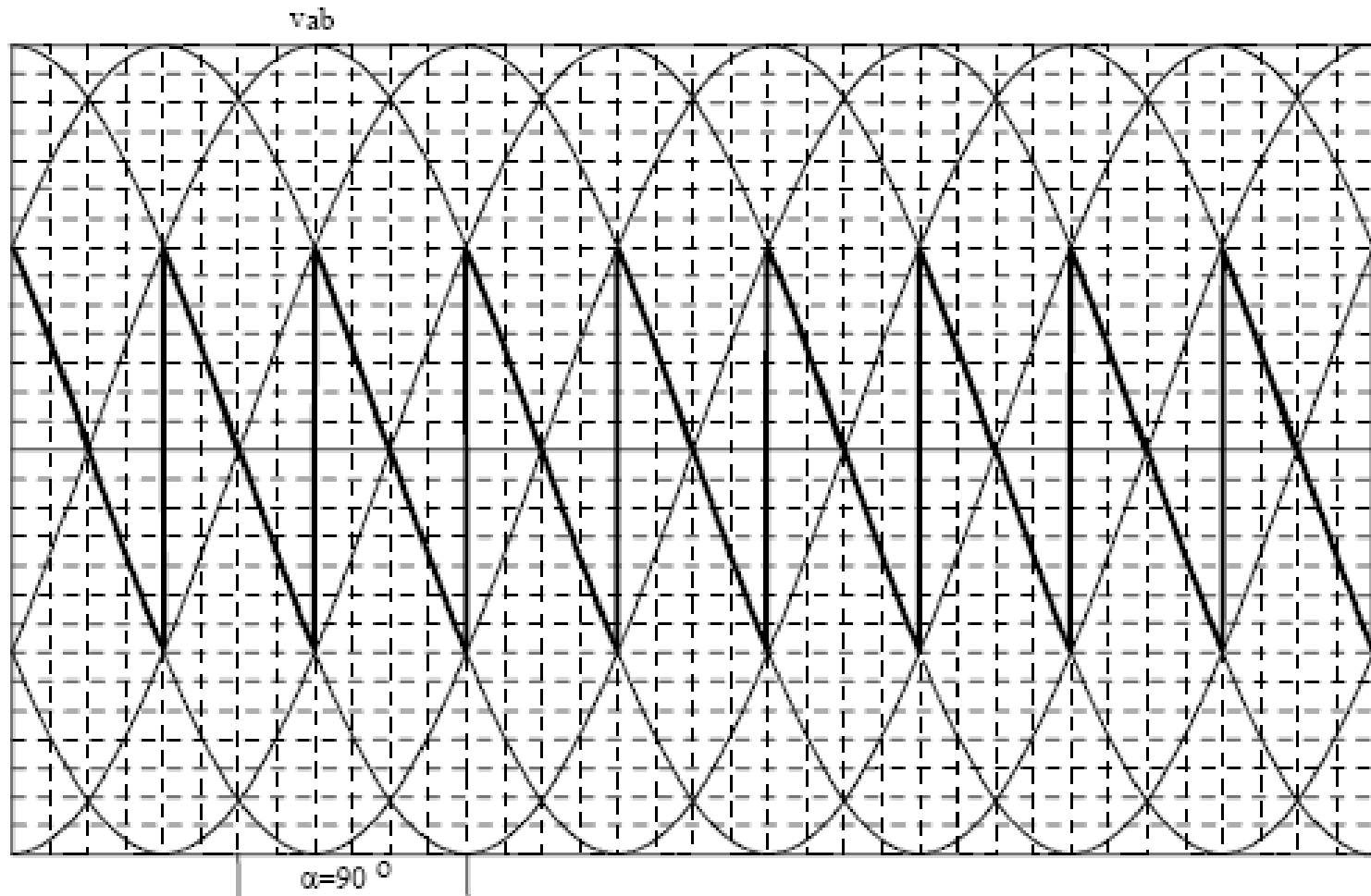
# Retificador trifásico de onda completa

Carga RL:



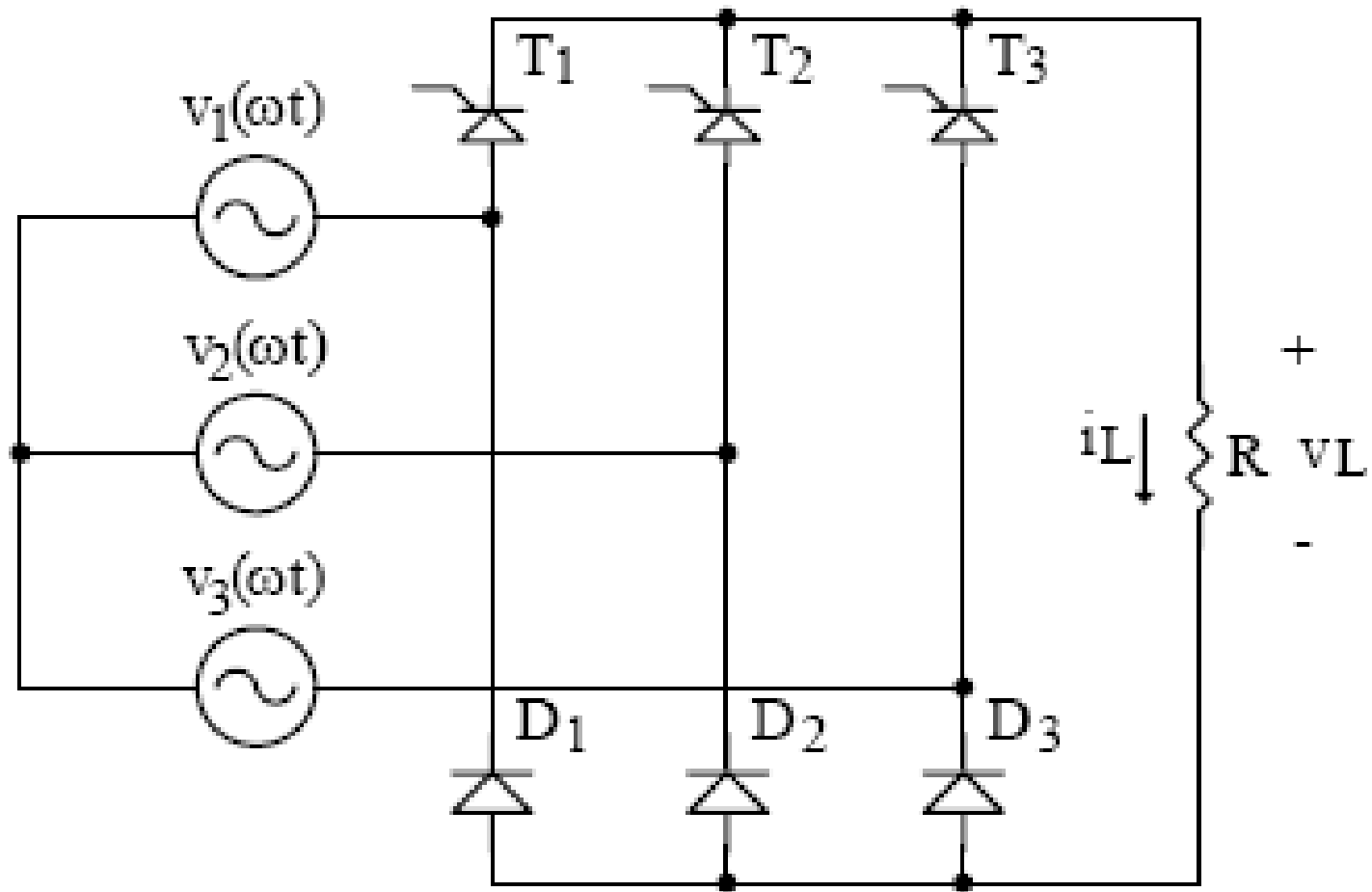
# Retificador trifásico de onda completa

Carga RL:



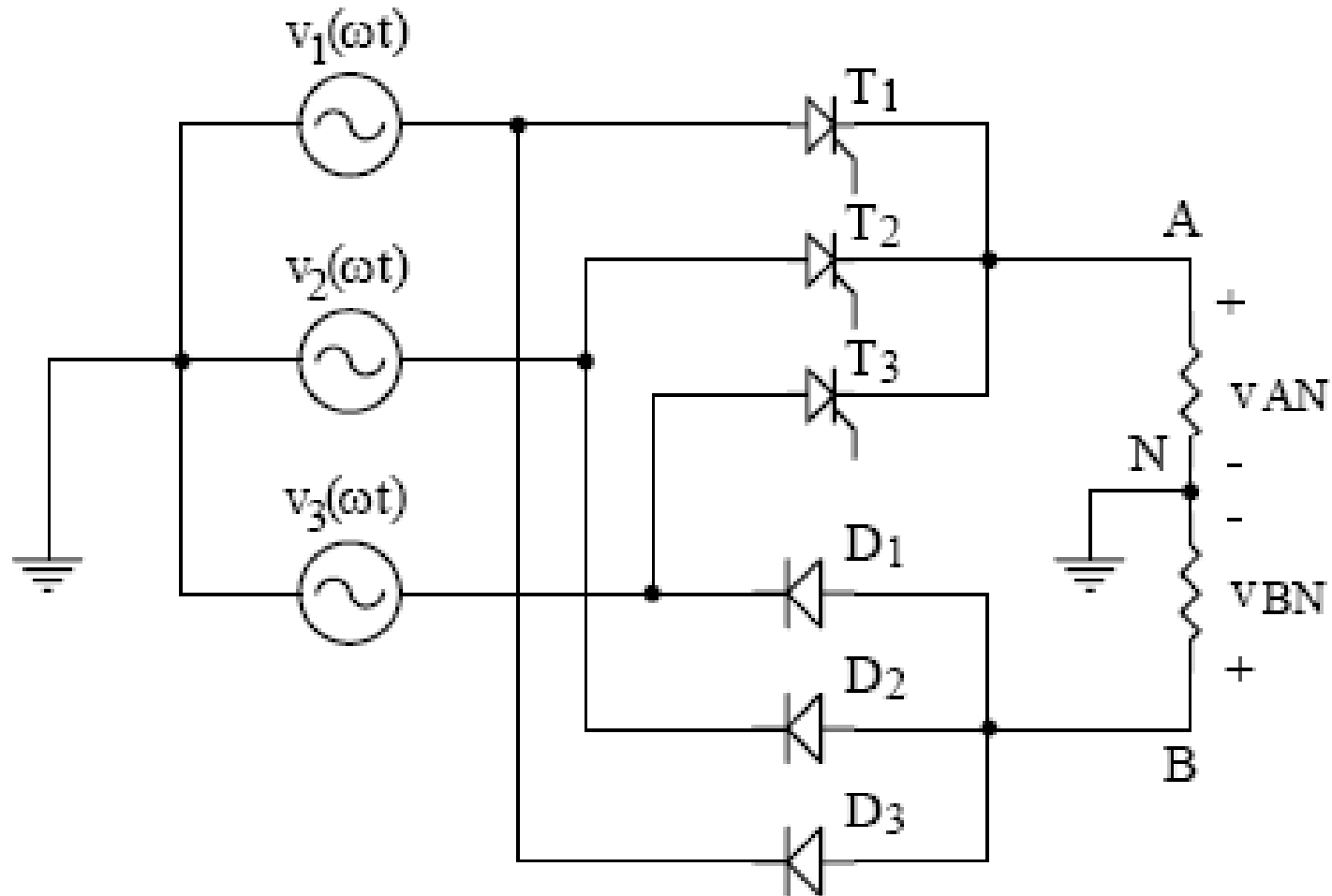
# Retificador trifásico de onda completa misto

Para aplicações que requerem operação em 1 quadrante:



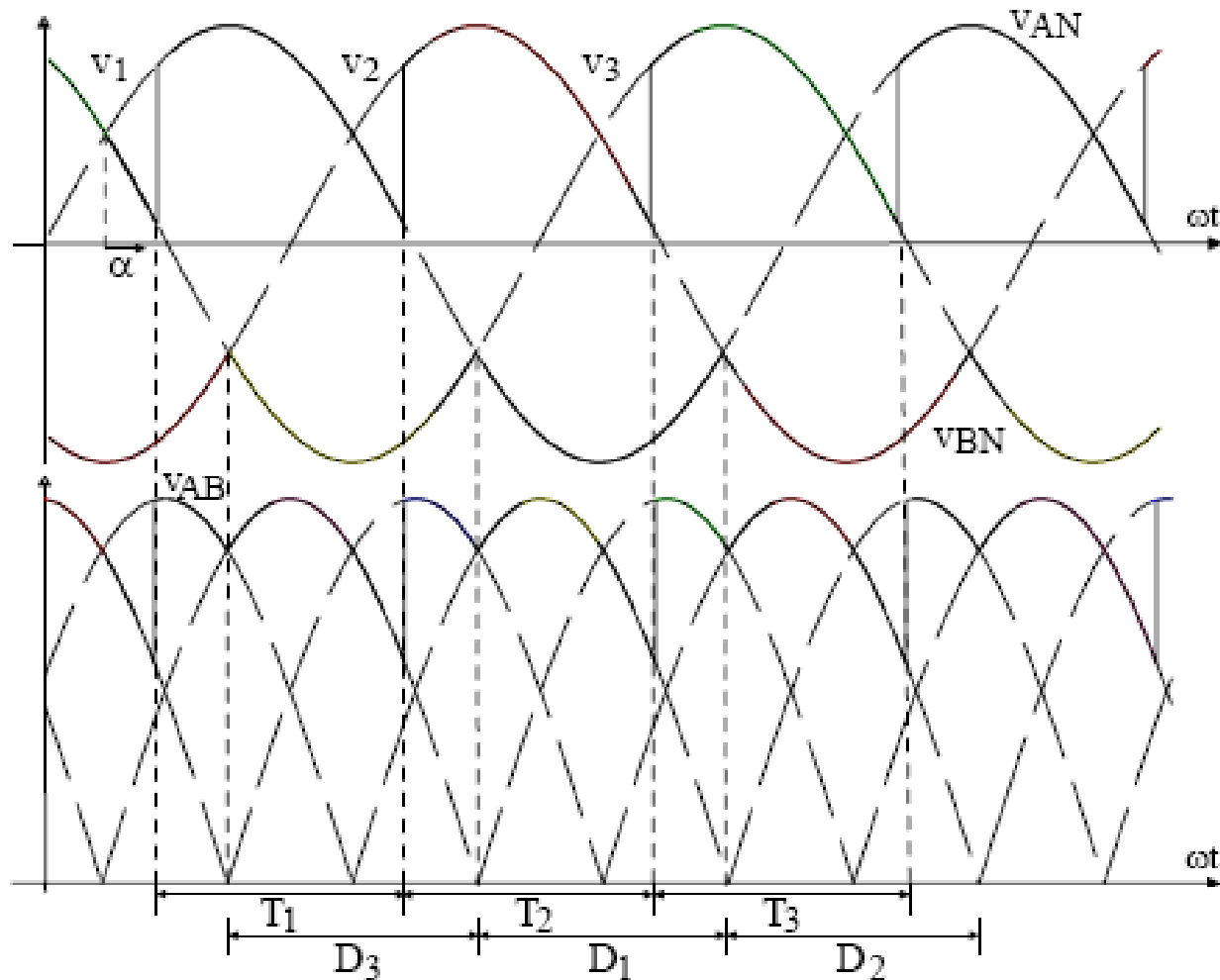
# Retificador trifásico de onda completa misto

Funcionamento da estrutura:



# Retificador trifásico de onda completa misto

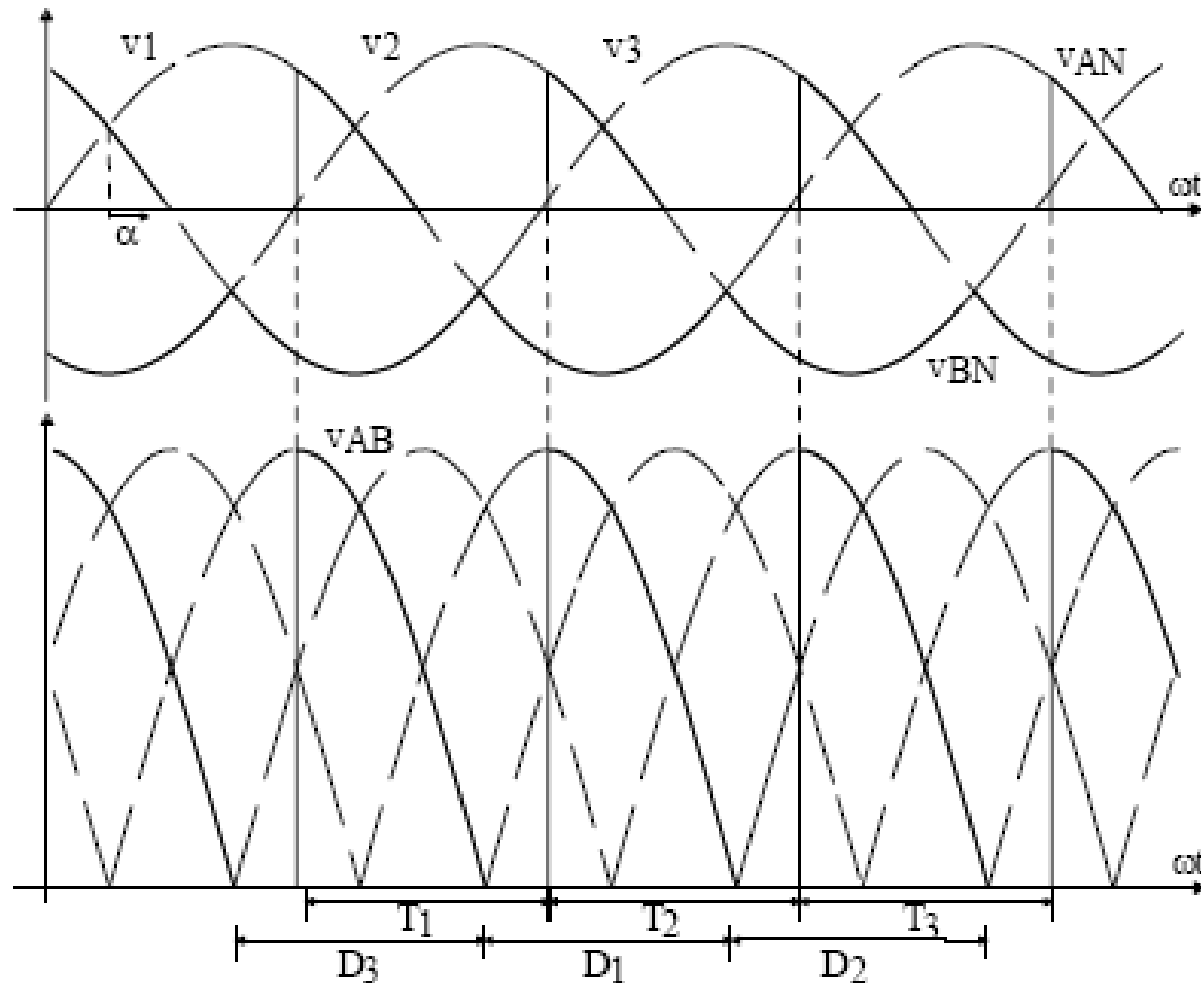
Funcionamento da estrutura:



Condução contínua

# Retificador trifásico de onda completa misto

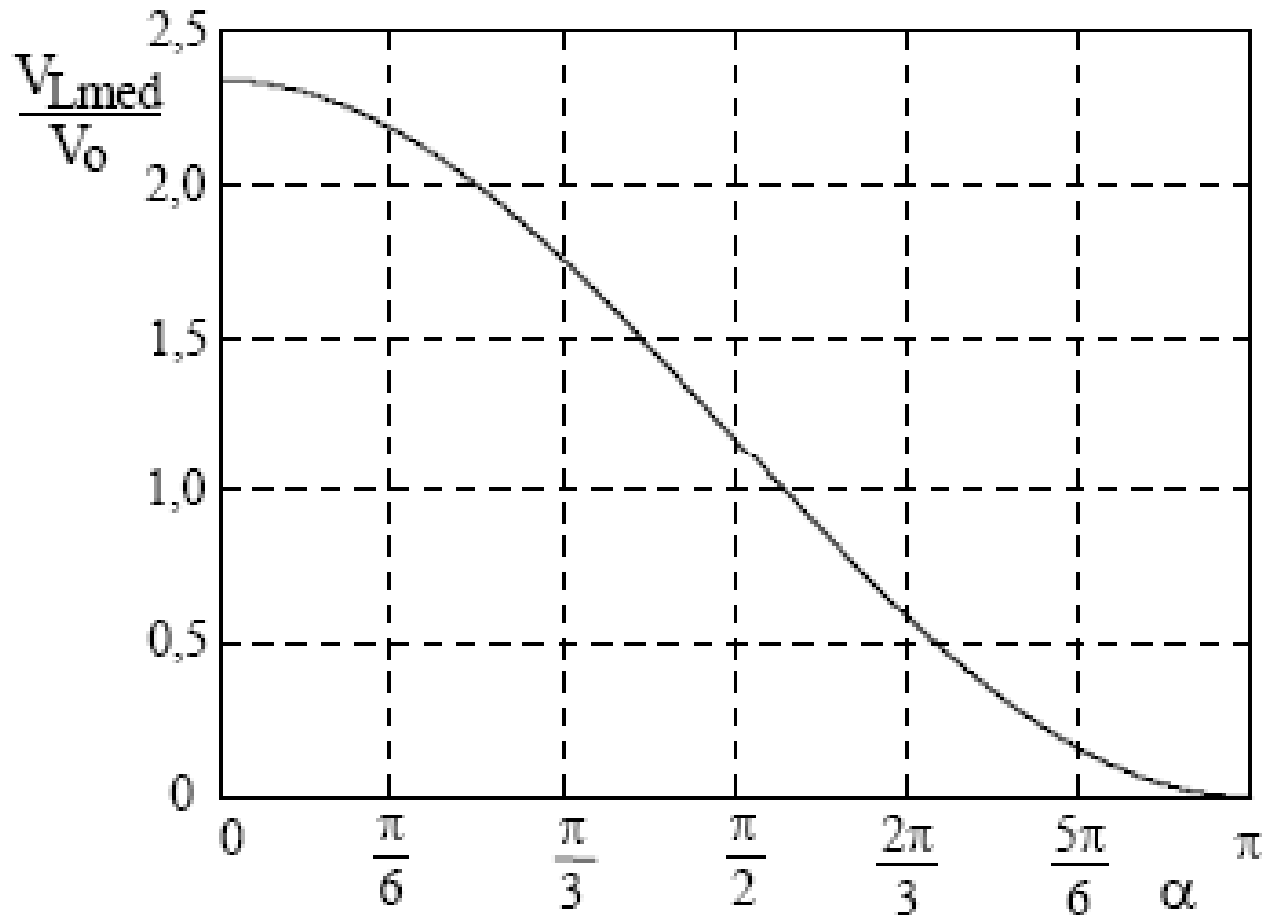
Funcionamento da estrutura:



**Condução descontínua**

# Retificador trifásico de onda completa misto

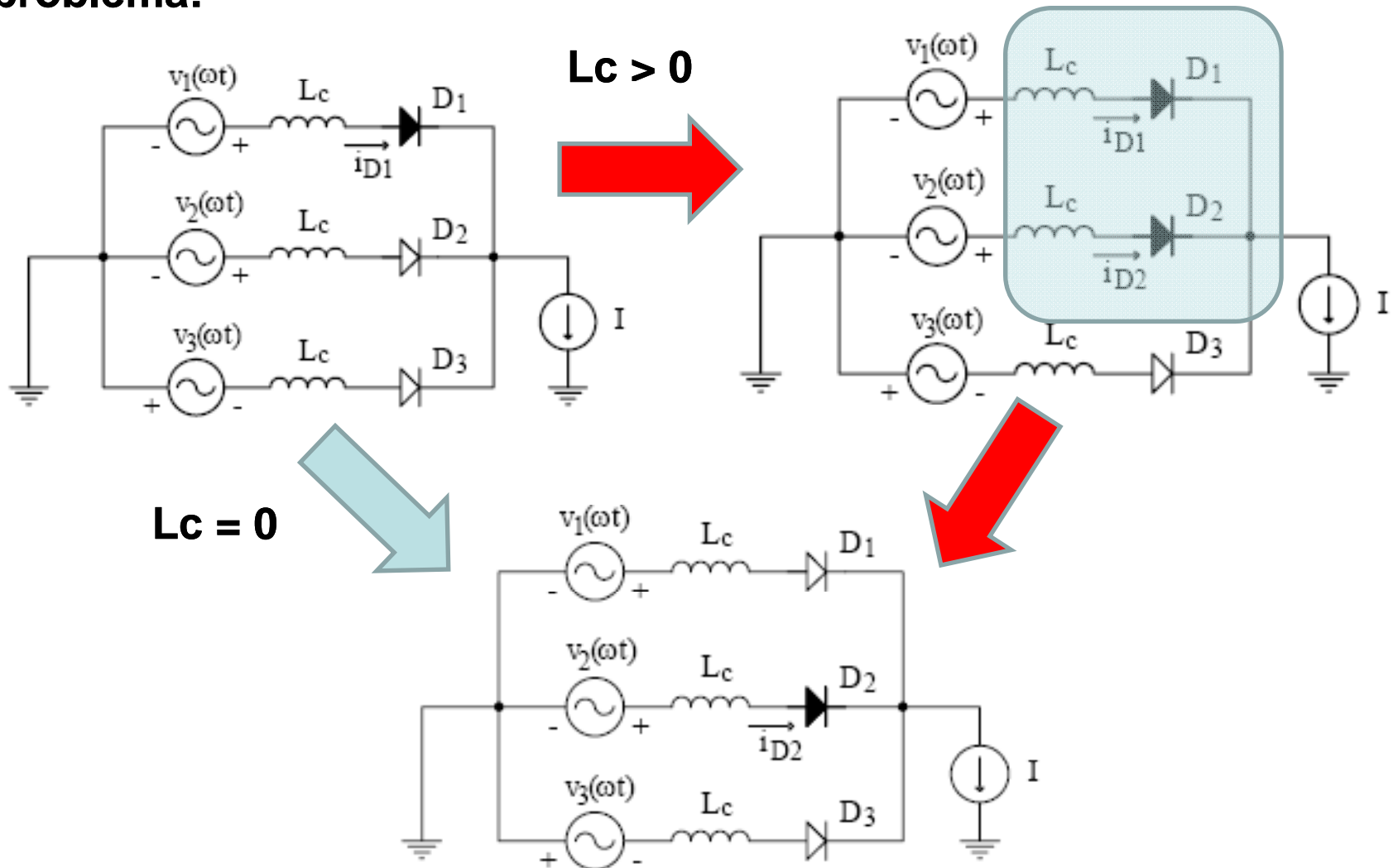
Funcionamento da estrutura:



$$V_{Lmed} \cong 1,17 \cdot V_o \cdot [1 + \cos(\alpha)]$$

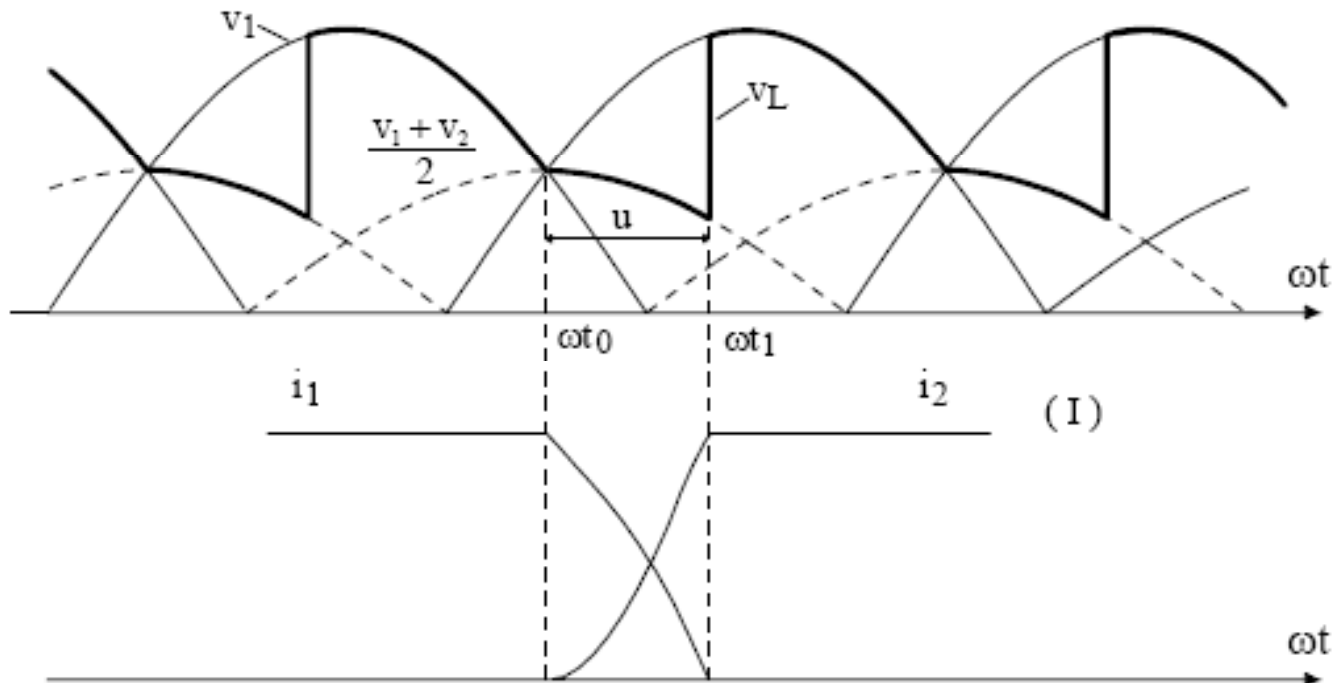
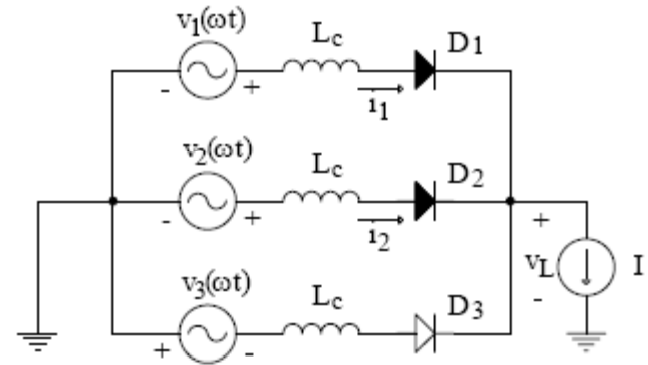
# Estudo da comutação

O problema:



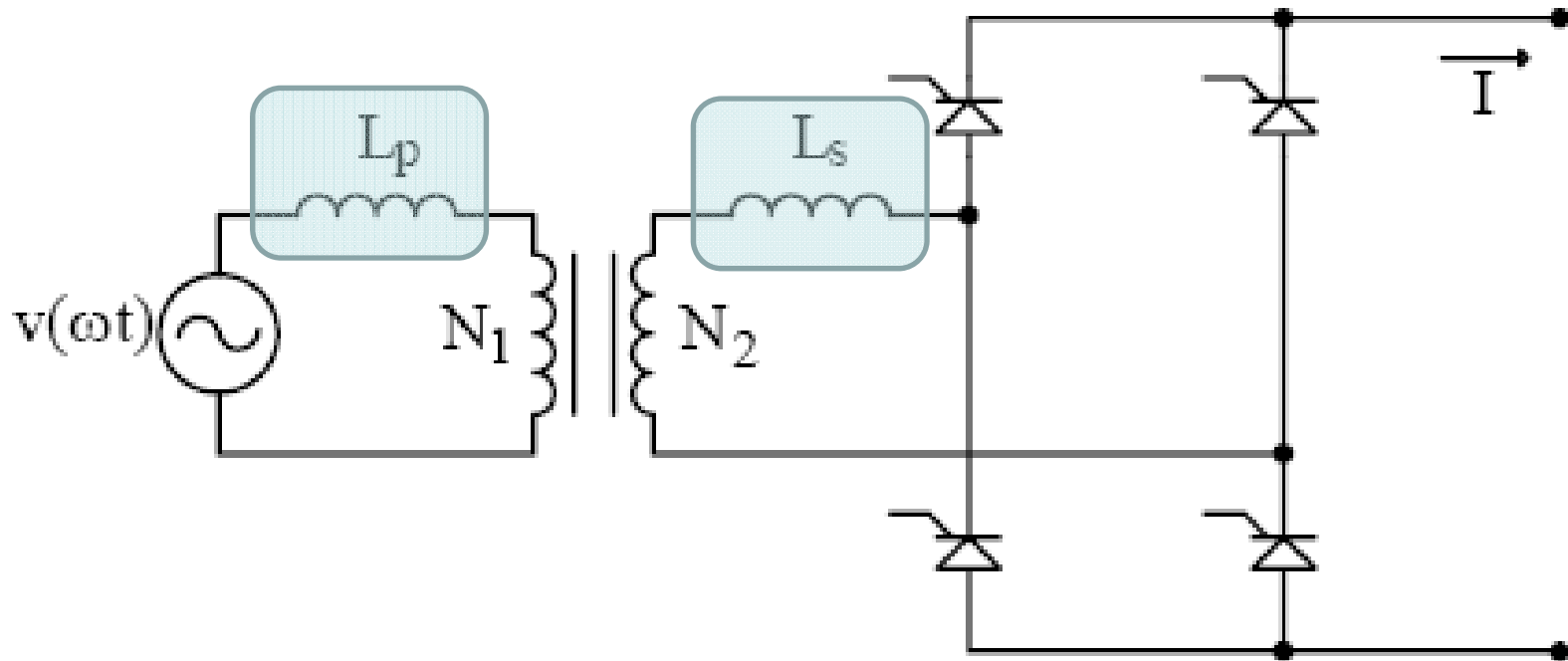
# Estudo da comutação

Queda na tensão de saída:



# Estudo da comutação

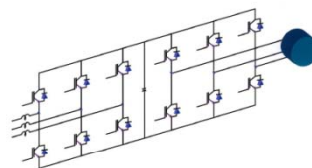
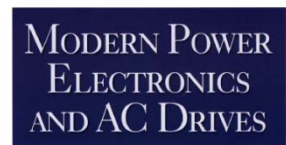
Influência do transformador:



# Próxima aula

## Conversores CA-CC:

1. Filtros capacitivos para conversores CA-CC.



BIMAL K. BOSE