



Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia
Elétrica e Eletrônica

EEL7278 – Eletrônica Industrial
Aula 06 – Retificador Trifásico de Onda Completa a
Tiristor

Prof. Adriano Ruseler, M. Eng.

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica

7 de maio de 2015



Nota:

Retificador trifásico de onda completa a tiristor também é denominado de ponte de Graetz a tiristor

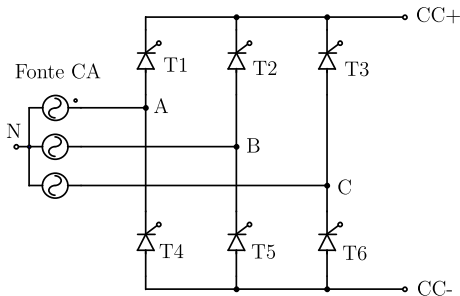


Figura: Nomenclatura utilizada na Disciplina.

Metodologia empregada para entender a estrutura

Aula 06 - Retificador Trifásico de ponte completa a Tiristor



Entender cada componente

Antes de entender a estrutura com um todo, é necessário verificar e se certificar de como cada componente se comporta.

Simplificações utilizadas

Ter em mente as simplificações adotadas e quais fenômenos serão considerados para a análise.

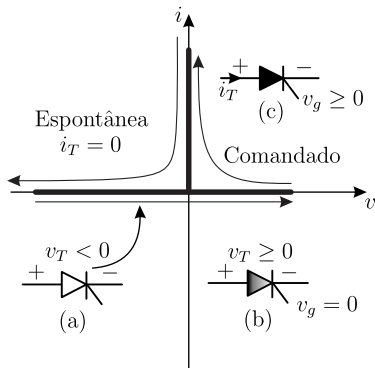
Cuidar da nomenclatura utilizada

Ser consistente na nomenclatura utilizada para descrever a estrutura.

Como colocar a estrutura em operação

Na disciplina o foco estará na implementação via simulador.

Característica estática do tiristor ideal



- (a): O tiristor se encontra reversamente polarizado;
- (b): O tiristor se encontra diretamente polarizado;
- (c): O tiristor está conduzindo;

Figura: Característica estática do tiristor ideal

Nomenclatura utilizada na Disciplina

Utilizada no livro do Prof. Ivo



Nomenclatura

Antes de entender o funcionamento da estrutura é preciso estabelecer corretamente a nomenclatura utilizada.

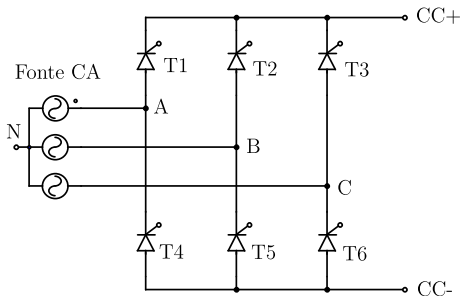


Figura: Nomenclatura utilizada na Disciplina.



O PSIM utiliza uma nomenclatura diferente

Caso seja utilizado o bloco contendo a ponte retificadora a tiristor, preste atenção na nomenclatura utilizada.

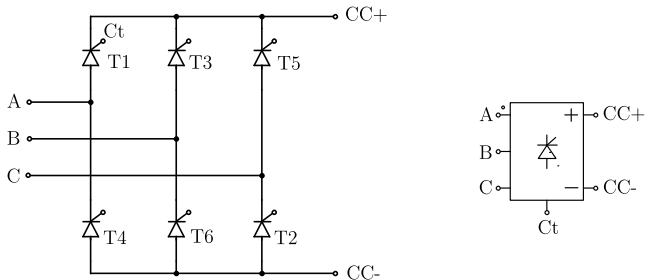


Figura: Nomenclatura utilizada no PSIM para a ponte de Graetz a tiristor.

Como comandar o Tiristor?

Exemplo prático.

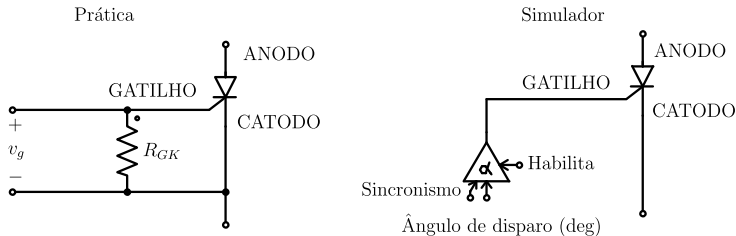


Figura: Acionamento do tiristor

O sinal de gate do tiristor pode apenas ligá-lo, mas não desligá-lo.

Sincronismo: Transição entre reversamente polarizado para diretamente polarizado.

Ângulo de disparo: Ângulo de disparo α do tiristor em graus (deg).

Caso particular da ponte de Graetz a tiristor

Obtenção do sinal de sincronismo



Para ângulo de disparo igual a zero ($\alpha = 0$)

A ponte retificadora a diodo é uma caso particular da ponte retificadora a tiristor.

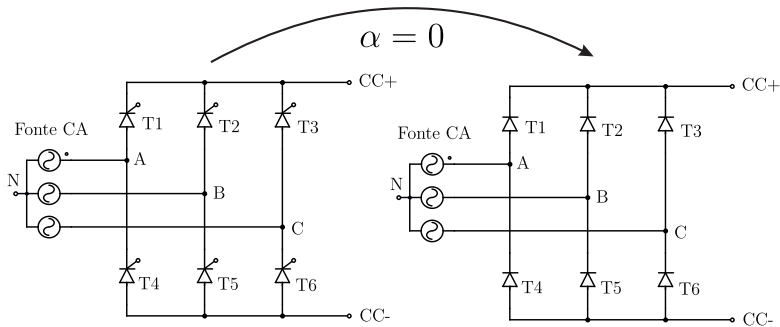


Figura: Caso particular da ponte de Graetz a tiristor com $\alpha = 0$.



Sistema trifásico utilizado

Determinada a topologia retificadora, o próximo passo é saber o comportamento da fonte de entrada CA.

$$v_{an} = V_{ll,rms} \sqrt{\frac{2}{3}} \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$v_{bn} = V_{ll,rms} \sqrt{\frac{2}{3}} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2)$$

$$v_{cn} = V_{ll,rms} \sqrt{\frac{2}{3}} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3)$$

Tensão senoidal de entrada do retificador

Tensões trifásicas aplicadas ao retificador

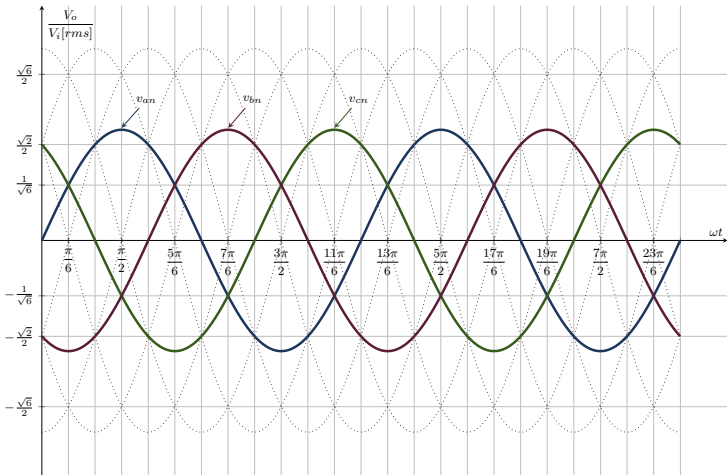


Figura: Tensão de entrada do retificador trifásico a tiristor

Tensão senoidal de linha na entrada do retificador

Tensões trifásicas de linha aplicadas ao retificador

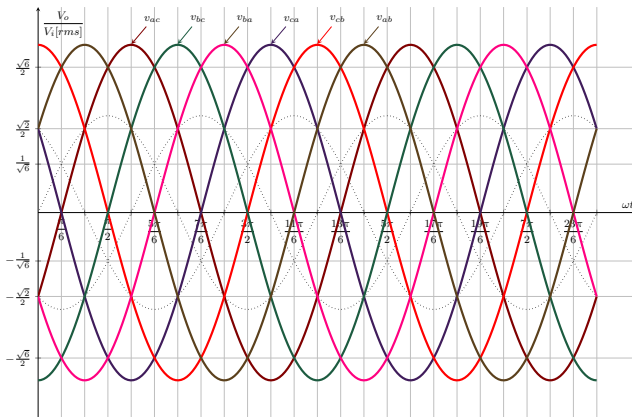


Figura: Tensões de linha entrada do retificador trifásico a tiristor.

Polarização do tiristor T1

A inversão de fase se aplica ao tiristor T4

O primeiro braço esta conectada a fonte v_{an} , assim sendo devemos observar as tensões v_{ab} e v_{ac} .

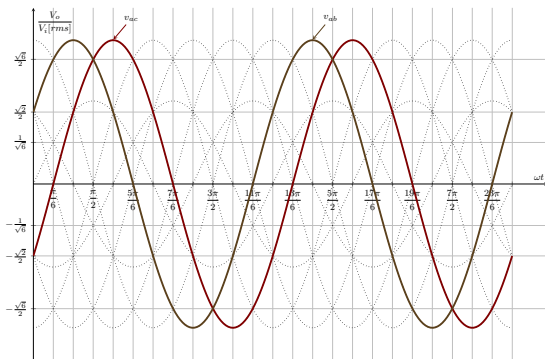


Figura: Tensões v_{ab} e v_{ac}

Configurações possíveis para polarização do tiristor T1



Sem roda livre

Condição:
 $v_{ac} \geq$ demais tensões.

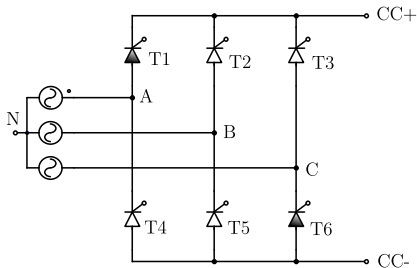


Figura: Tiristores T1 e T6 estão diretamente polarizados.

Condição:
 $v_{ab} \geq$ demais tensões.

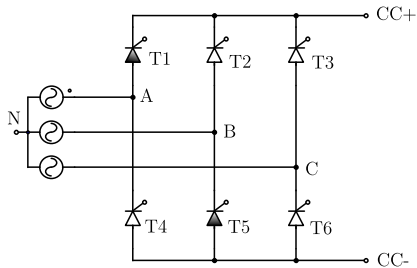


Figura: Tiristores T1 e T5 estão diretamente polarizados.



Polarização do tiristor T2

A inversão de fase se aplica ao tiristor T5

O segundo braço está conectada a fonte v_{bn} , assim sendo devemos observar as tensões v_{ba} e v_{bc}

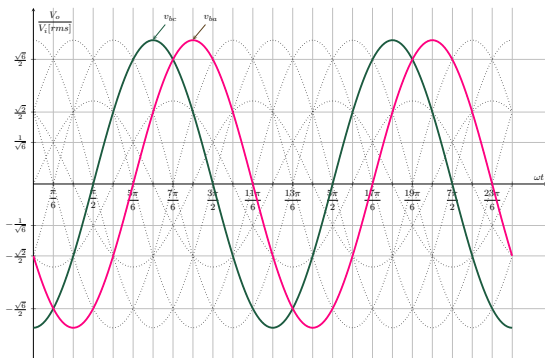


Figura: Tensões v_{ba} e v_{bc}

Configurações possíveis para polarização do tiristor T2



Sem roda livre

Condição:
 $v_{ba} \geq$ demais tensões.

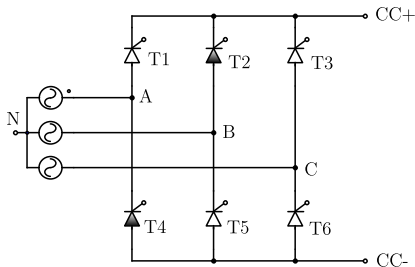


Figura: Tiristores T2 e T4 estão diretamente polarizados.

Condição:
 $v_{bc} \geq$ demais tensões.

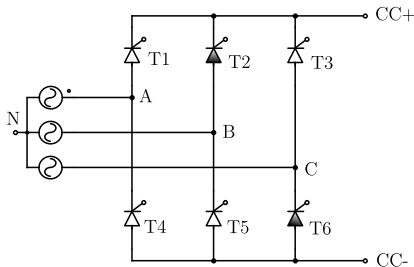


Figura: Tiristores T2 e T6 estão diretamente polarizados.

Polarização do tiristor T3

A inversão de fase se aplica ao tiristor T6

O terceiro braço está conectada a fonte v_{cn} , assim sendo devemos observar as tensões v_{ca} e v_{cb}

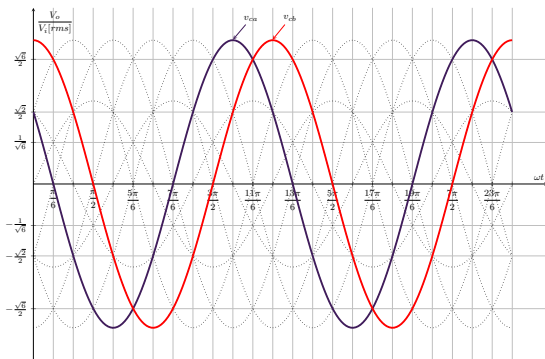


Figura: Tensões v_{ca} e v_{cb}

Configurações possíveis para polarização do tiristor T3



Sem roda livre

Condição:
 $v_{ca} \geq$ demais tensões.

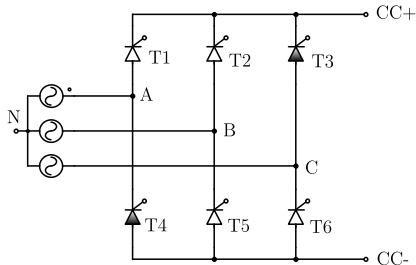


Figura: Tiristores T3 e T4 estão diretamente polarizados.

Condição:
 $v_{cb} \geq$ demais tensões.

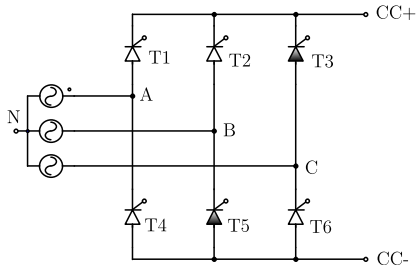


Figura: Tiristores T3 e T5 estão diretamente polarizados.

Operação com ângulo de disparo nulo ($\alpha = 0$)

Operação similar ao retificado trifásico a diodo

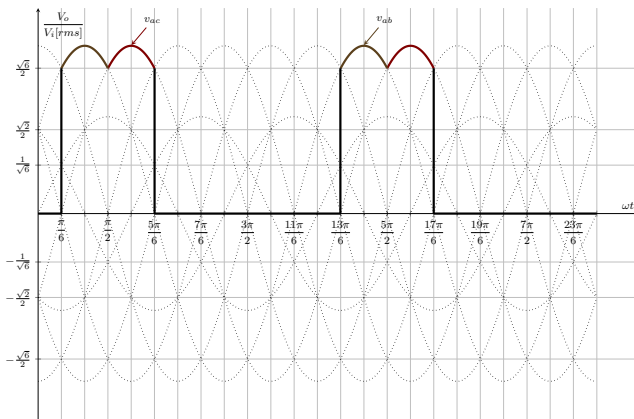


Figura: Caso particular com ângulo de disparo nulo.

Operação com ângulo de disparo ($\alpha = 30^\circ$)

Corrente no tiristor T1, operação com carga resistiva

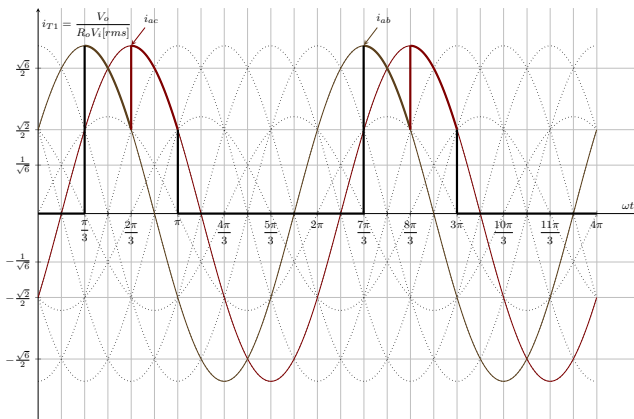


Figura: Caso particular com ângulo de disparo $\alpha = 30$ graus

Operação com ângulo de disparo ($\alpha = 60^\circ$)

Corrente no tiristor T1, operação com carga resistiva

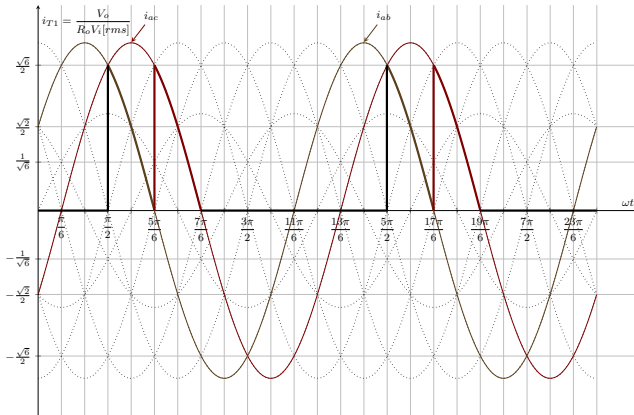


Figura: Caso particular com ângulo de disparo $\alpha = 60$ graus



21 / 29

Regiões de operação com carga resistiva

Definida pelas condições de continuidade.



Condução contínua

Para $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$ ou $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ a condução é contínua.

Condução descontínua

Para $\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$ ou $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ a condução é descontínua.

Operação com ângulo de disparo ($\alpha = 90^\circ$)

Corrente no tiristor T1, operação com carga resistiva indutiva

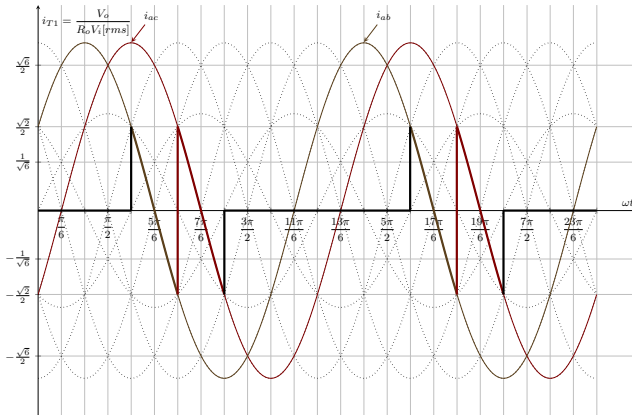


Figura: Caso particular com ângulo de disparo $\alpha = 90$ graus

Regiões de operação com carga resistiva

Definida pela tensão média na carga.



Operação como retificador

Para $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ ou $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ a tensão média na carga é positiva.

Operação como inversor não autônomo

Para $\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$ ou $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ a tensão média na carga é negativa.

Dúvidas??



Retificador trifásico de onda completa a tiristor.

Qual tal simularmos a estrutura para verificar a validade do que foi apresentado?

O software utilizado será o PSIM, que pode ser encontrado no link:
<<http://powersimtech.com/products/psim/>>

Valores médios das tensões

Definida pelas condições de continuidade.



Ângulo de disparo nulo $\alpha = 0$

Operando como retificador a diodo.

$$V_{Lmed} = 2,34 V_o \quad (4)$$

Condução contínua

Para $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$ ou $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ a condução é contínua.

$$V_{Lmed} = 2,34 V_o \cos \alpha \quad (5)$$

Valores médios das tensões com carga resistiva

Definida pelas condições de continuidade.

Condução descontínua com carga resistiva


$$V_{Lmed} = 2,34 V_o \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right] \quad (6)$$


Valores médios das tensões com carga resistiva indutiva


Definida pelas condições de continuidade.


Condução descontínua com carga resistiva indutiva

$$V_{Lmed} = 2,34 V_o \cos \alpha \quad (7)$$

 I. Barbi, “Eletrônica de Potência”. Edição do Autor, 6a Edição Florianópolis, 2006.

 Pelly, B. R.. Thyristor Phase-controlled Converters and Cycloconverters - Ed. John Wiley & Sons, New York, 1971.

 Semiconductors, On. "Thyristor Theory and Design Considerations."HBD855/D (2005): 11.

 Mourant, R. R. "PSIM User's Manual."Micro Simulation, Boston, MA (1983).