

Conversão de Energia II

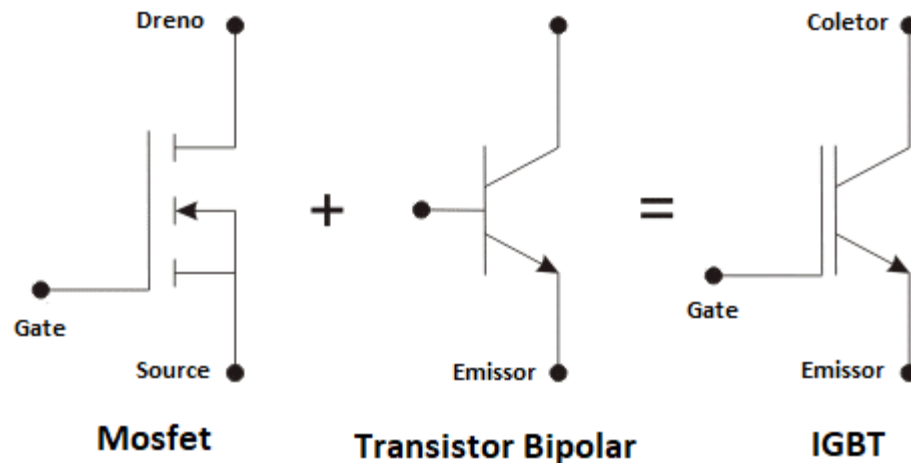
CONV2[N6]

Prof. Dr. Cesar da Costa

11.a Aula: Revisão Eletrônica de Potência (Parte 2)

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

- Um dos componentes que contribuíram para o avanço da eletrônica de potência é o IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) – Transistor Bipolar de Porta Isolada. Sendo um dispositivo híbrido, ele possui características de dois transistores muito conhecidos, a saber o **transistor bipolar** e o **transistor de efeito de campo**, mais especificamente o MOSFET.



IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

- ❑ O **IGBT** é um semicondutor de potência que alia as características de chaveamento dos transistores bipolares com a alta impedância dos MOSFETs apresentando baixa tensão de saturação e alta capacidade de corrente. O **IGBT** destaca-se por possuir alta eficiência e rápido chaveamento.

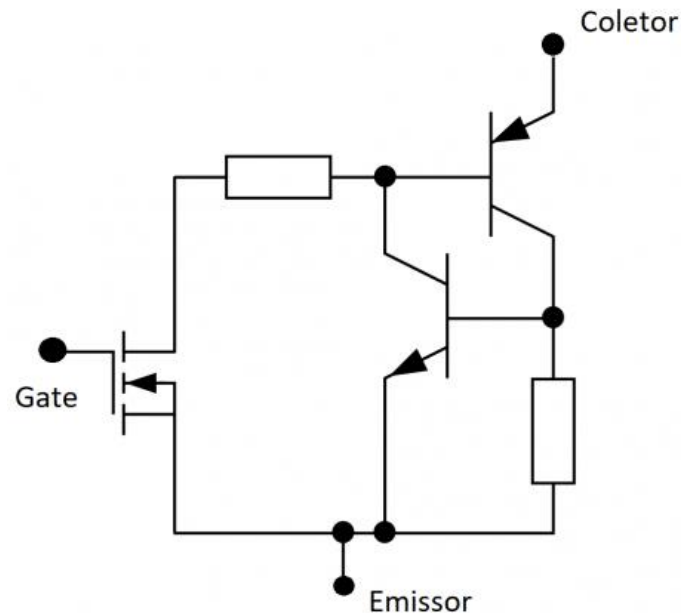


Figura 2: Circuito equivalente ao IGBT.

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

- O transistor bipolar de porta isolada (IGBT) mescla as características de baixa queda de tensão de saturação do transistor TJB, com as excelentes características de chaveamento e simplicidade dos circuitos de controle da porta do transistor MOSFET.

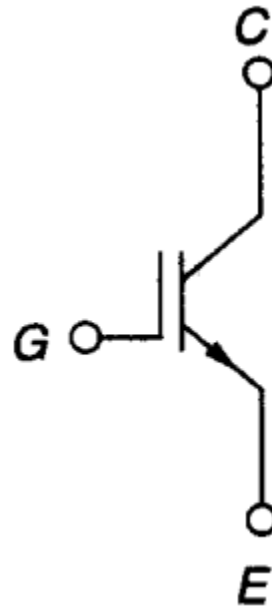


Figura 11 – Símbolo do IGBT

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*



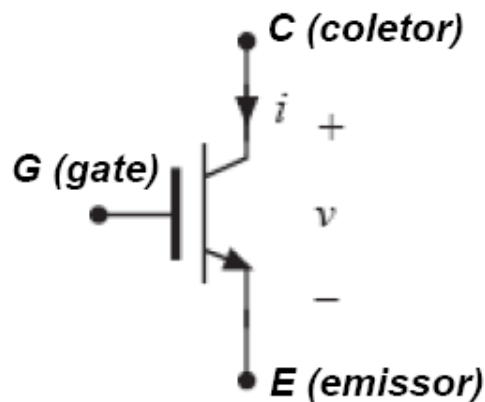
IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

- ❑ O IGBT é frequentemente utilizado como uma chave, alternando os estados de condução (*On-state*) e corte (*Off-state*) os quais são controlados pela tensão de porta, assim como em um MOSFET.

- ❑ Os IGBT's são componentes usados principalmente como comutadores em conversores de frequência, inversores etc. Nestas aplicações, normalmente uma carga indutiva é ligada e desligada, podendo com isso aparecer tensões inversas elevadas, contra as quais o dispositivo deve ser protegido.

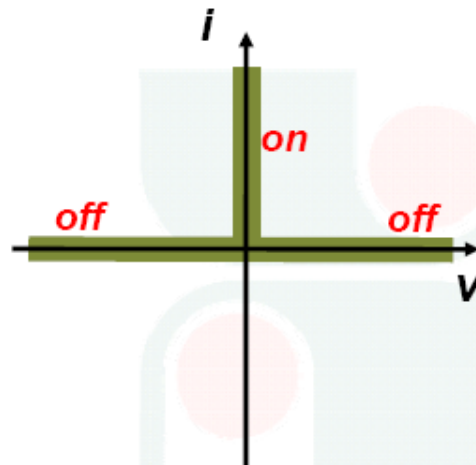
Características Estáticas do IGBT

Símbolo



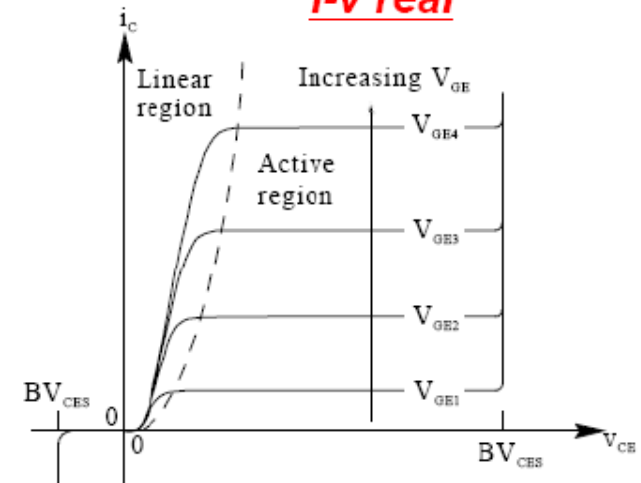
Característica

i-v ideal



Característica

i-v real



- Quando uma tensão v_{ge} adequada é aplicada, o IGBT entra em condução, conduzindo correntes positivas ($i > 0$)
- Quando a tensão v_{ge} é removida, o IGBT bloqueia, podendo suportar tensões negativas
- Tempos de comutação maiores do que os MOSFETs
- Aplicável onde se desejam elevadas tensões entre o coletor e o emissor
- Dispositivo com características de coeficiente de temperatura positivo, facilitando o paralelismo (também existem com coeficiente negativo)

Evolução do IGBT

1985

1990

1995

2000

2005

1st Gen

2nd Gen.
E series

3rd Gen.
H series

4th Gen.
F series

5th Gen.
NF series

Device using
new material

Power losses in
inverter application

Simulated Conditions

Device Ratings = 75A, 600V

Application : VVVF Inverter Circuit

Inverter Output Current, $I_o = 45\text{Ar.m.s.}$

Control Scheme = PWM, Sinusoidal

Carrier frequency, $f_c = 15\text{kHz}$

Power factor, $\phi = 0.8$

Overall power loss reduced to 1/3

Power Loss (W)

100W

IGBT
turn-off
loss

IGBT
conduction
loss

IGBT
turn-on
loss

75W

50W



33W **CSTBT™**

1st Gen.

2nd Gen.

3rd Gen.

4th Gen.

5th Gen.

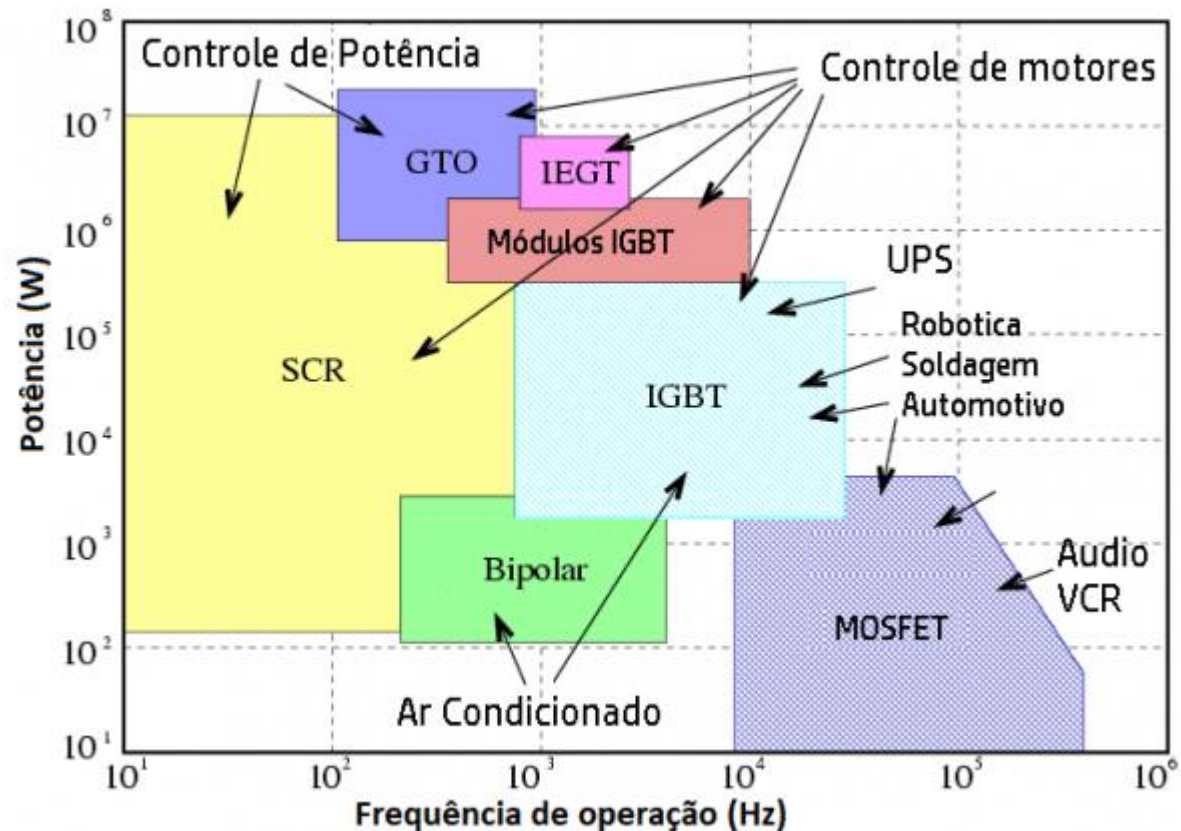
Planar gate

Trench gate

Fonte: Powerex

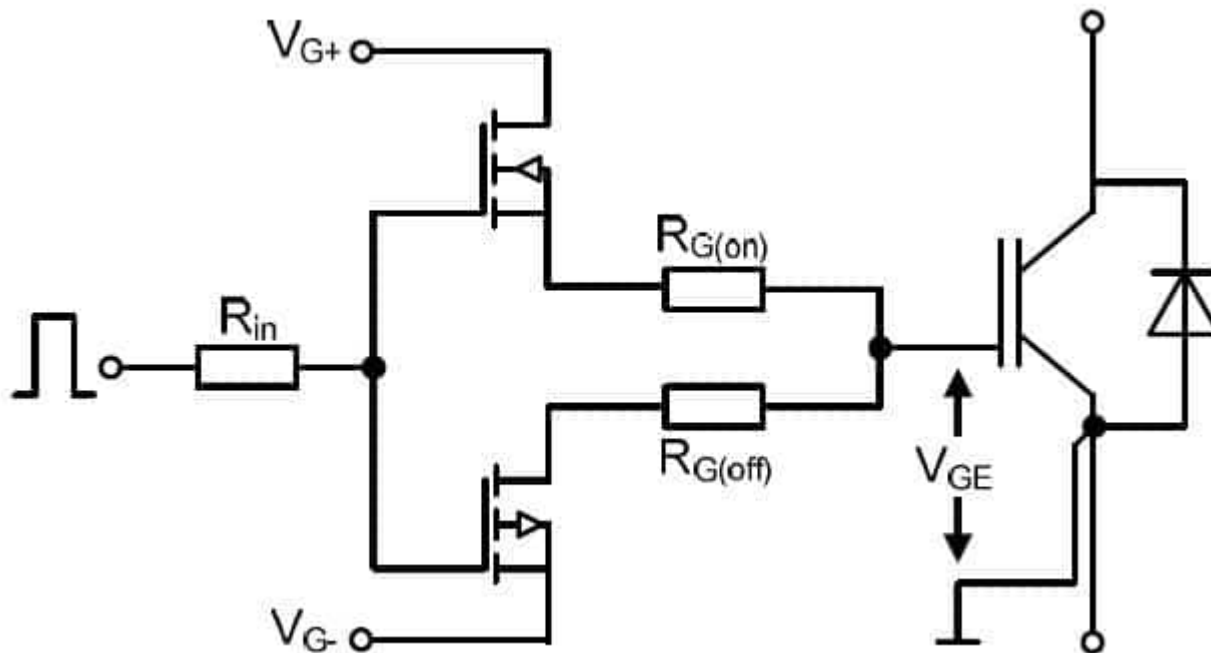
Aplicação do IGBT

- No gráfico da figura pode-se observar a classificação dos diversos dispositivos utilizados na eletrônica de potência para chaveamento. Graças às suas características o IGBT possui larga escala de aplicação em diversas indústrias, como robótica, soldagem e automotivo.



Circuito de Driver de um IGBT

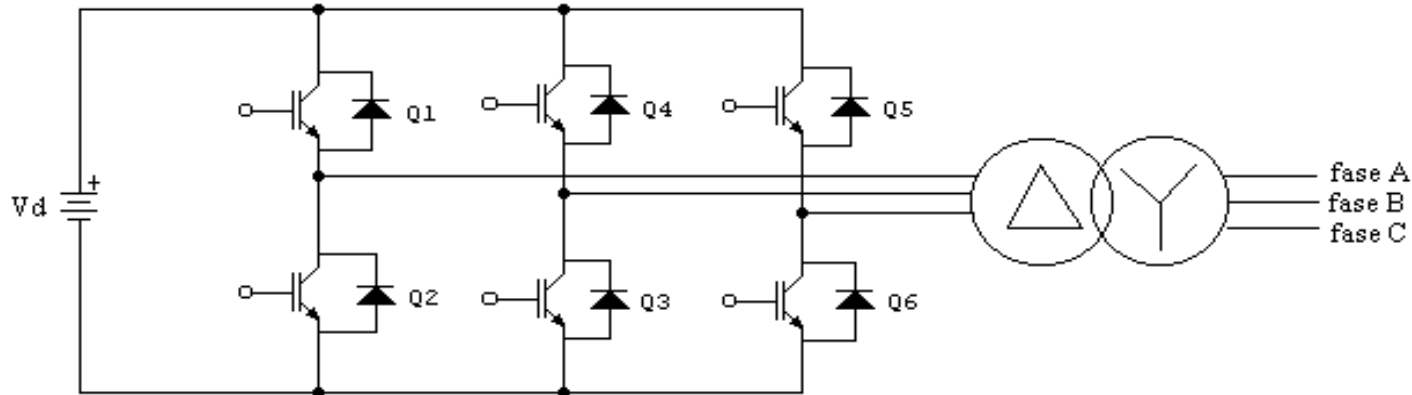
- ❑ O IGBT deve ser acionado por um circuito dedicado que deve fornecer os níveis de tensão adequados para realizar o acionamento, sem risco de danificar o dispositivo ou mesmo de ocasionar um disparo acidental. Um exemplo de circuito driver se encontra na figura.



Aplicação do IGBT como Inversor de Tensão

- Tal processo é muito utilizado na construção de filtros ativos de potência e em sistemas de transmissão HVDC (High Voltage Direct Current) de energia elétrica.
- No caso de inversores de tensão que serão aplicados na construção de filtros ativos de potência dá-se preferência ao emprego de IGBT's devido à sua possibilidade de operar em elevadas frequências.

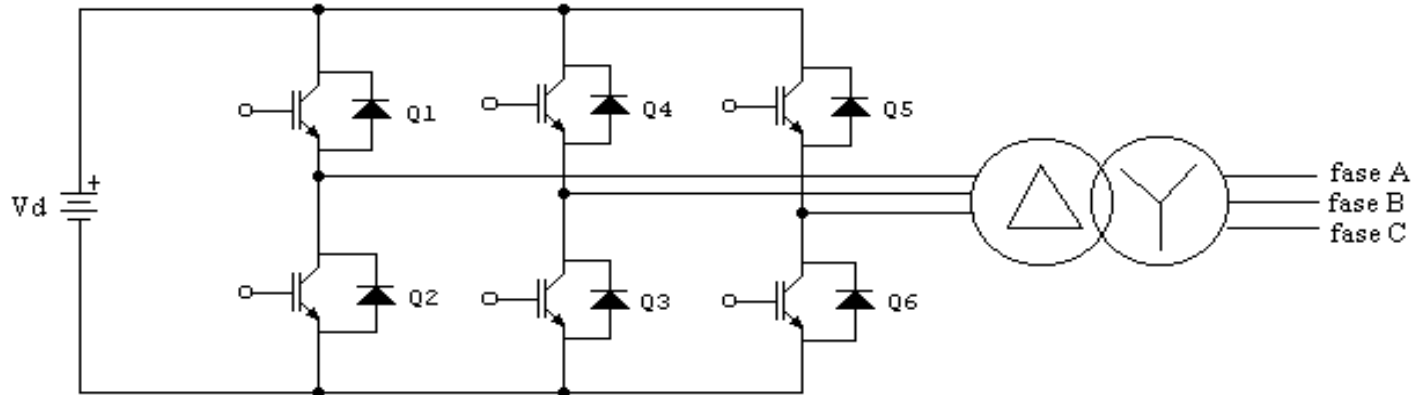
Inversor de Tensão – 6 pulsos



Bloco funcional de um Inversor de 6 pulsos.

- As tensões de porta de cada um dos IGBT's são controladas a partir de uma Máquina de Estados Finitos, onde cada estado corresponde ao chaveamento de apenas três IGBT's (cada um em uma associação em série diferente com um na parte de cima e outro na parte de baixo).

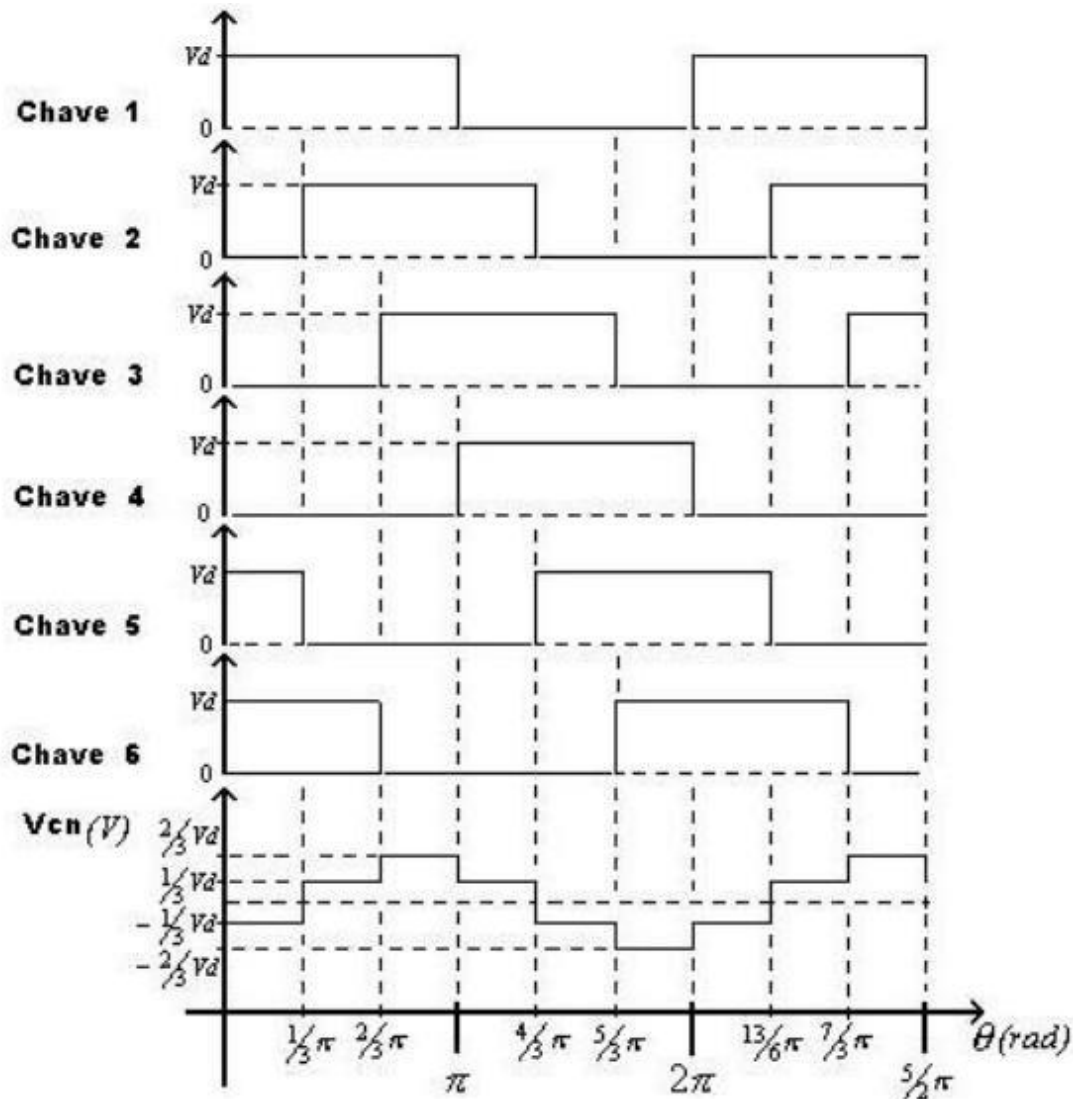
Inversor de Tensão – 6 pulsos



Bloco funcional de um Inversor de 6 pulsos.

- A ordem de chaveamento é mostrada nos gráficos apresentados a seguir, onde temos as tensões em cada uma das chaves com o tempo e a tensão total entre a fase C e o neutro da associação em Y na saída do transformador apresentado na figura acima.

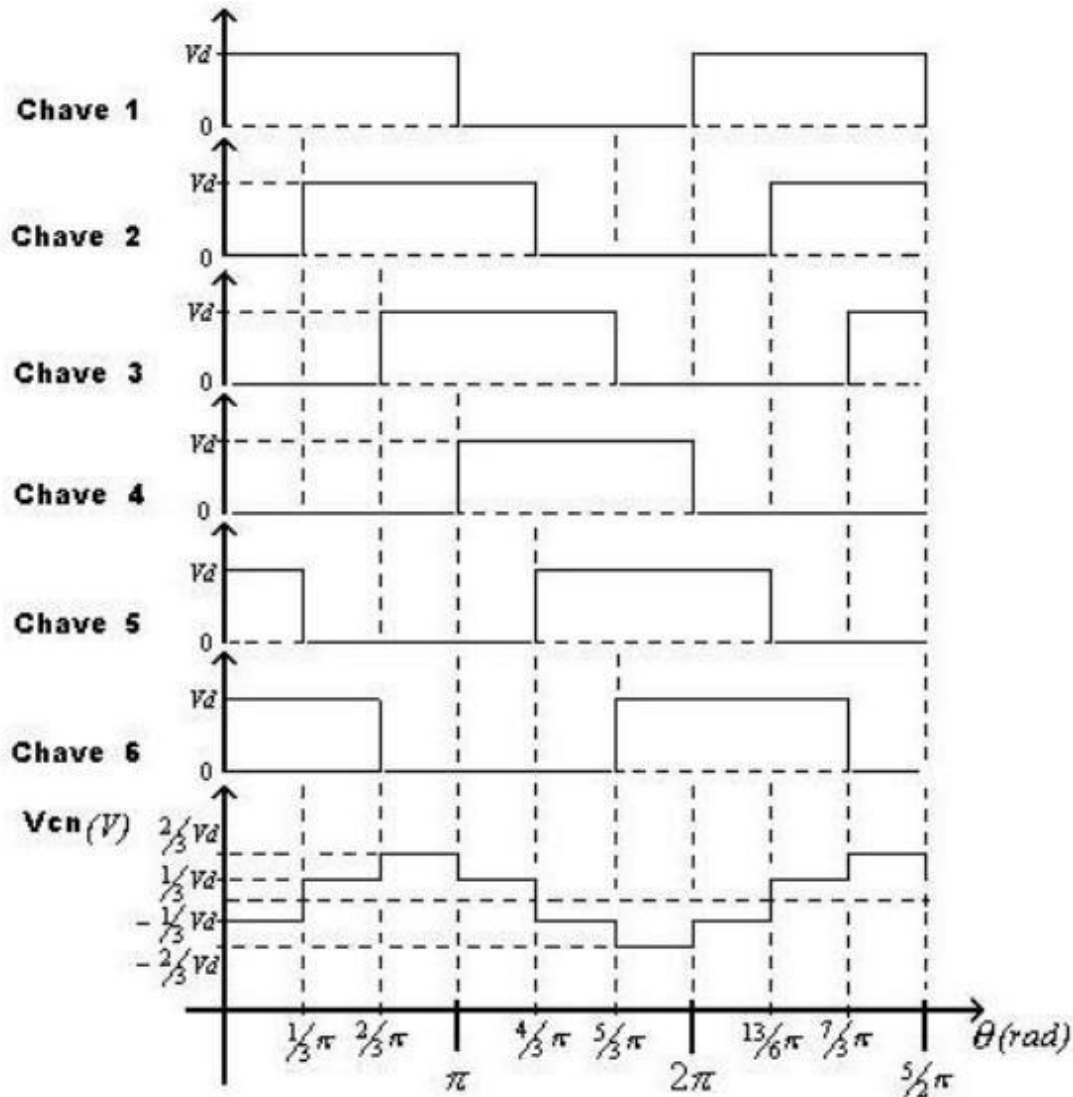
Inversor de Tensão – 6 pulsos



Tensões em cada um dos IGBT's (chaves) e a forma de onda da tensão na fase C com relação ao neutro.

- Vemos que a forma de onda da tensão na fase C com respeito ao neutro é formada por seis segmentos idealmente retos, como mostrado na figura.
- Por isso, este bloco funcional é denominado de um inversor de 6 segmentos. As formas de onda nas demais fases apresentam a mesma forma de onda que a da fase C, com apenas uma diferença de fase de 120° de uma em relação à outra.

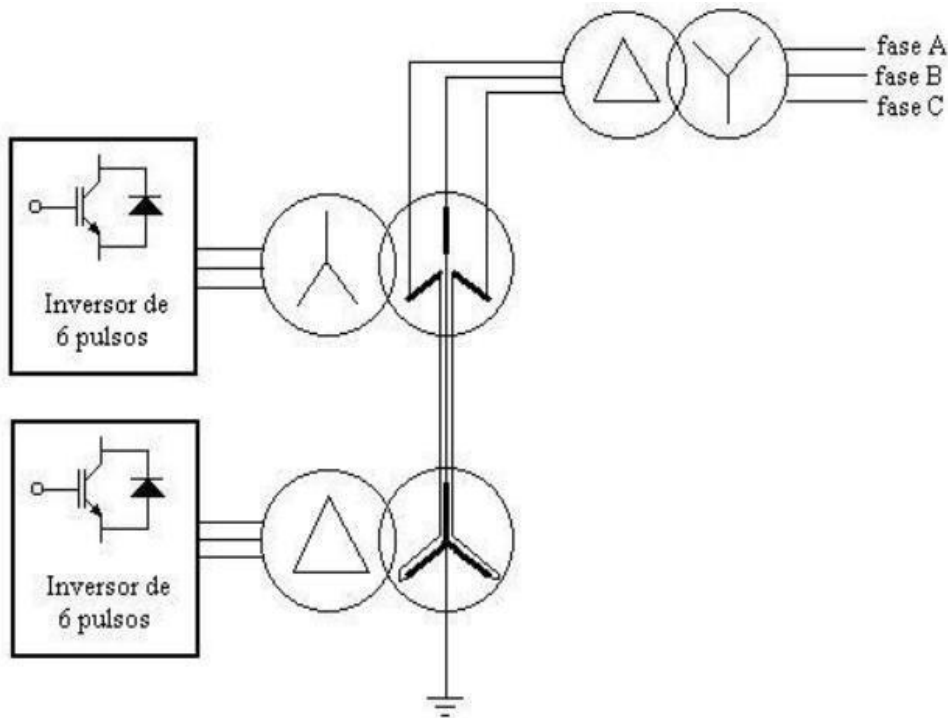
Inversor de Tensão – 6 pulsos



Tensões em cada um dos IGBT's (chaves) e a forma de onda da tensão na fase C com relação ao neutro.

- Esta forma de onda na saída é semelhante a uma forma de onda senoidal, embora ainda possua muita distorção harmônica (possui componentes harmônicos de frequências mais altas).
- Para melhorar o desempenho do inversor, geralmente o que se usa é a associação de mais blocos de inversores de 6 segmentos como o mostrado anteriormente em série, da seguinte forma apresentada na figura a seguir:

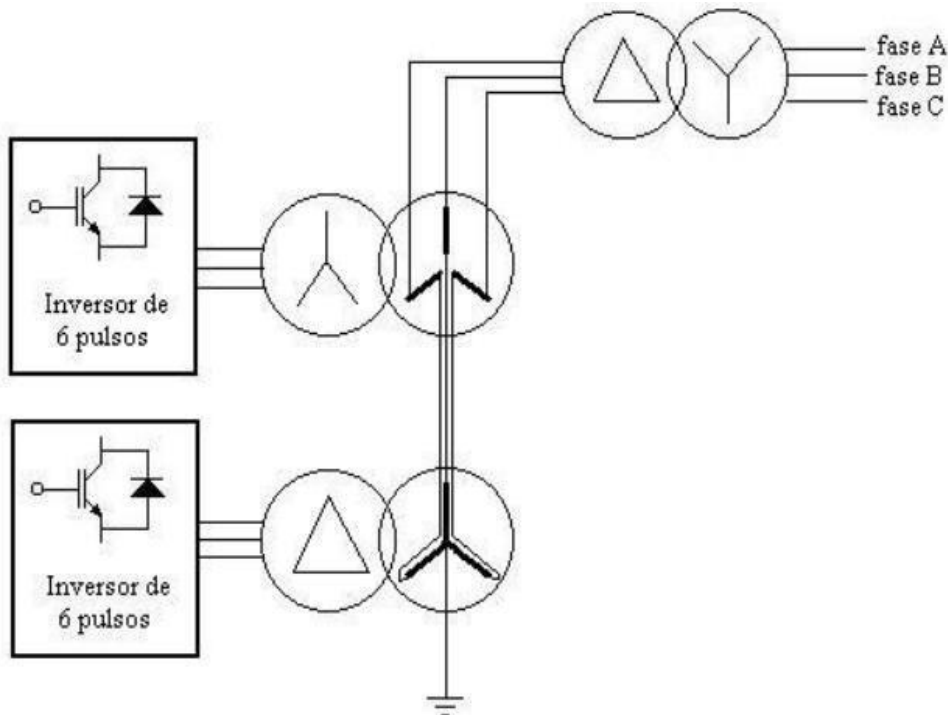
Inversor de Tensão – 12 pulsos



Esquema de um Inversor de 12 segmentos com dois blocos de inversores de 6 segmentos.

- Cada um dos inversores mostrados na figura anterior é idêntico ao inversor de 6 segmentos do esquema anterior e geram as mesmas formas de onda.
- No entanto, o primeiro transformador é do tipo Y-Y, fazendo com que a forma de onda na saída não apresente nenhuma defasagem com relação ao sinal original; já no caso do segundo transformador do tipo D-Y, temos que a saída será defasada em 30° com relação à forma de onda original.

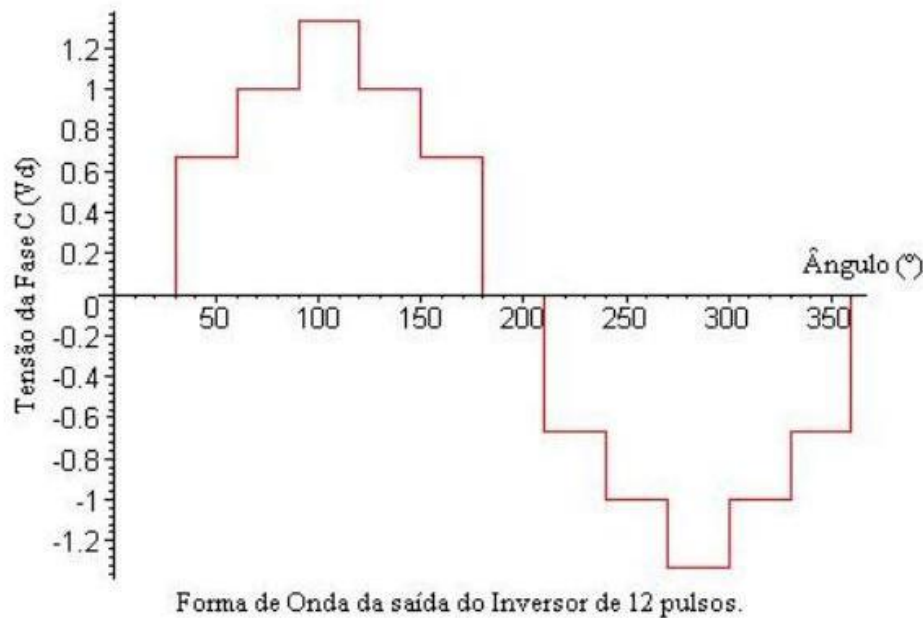
Inversor de Tensão – 12 pulsos



Esquema de um Inversor de 12 segmentos com dois blocos de inversores de 6 segmentos.

- Assim, a saída deste inversor será formada pela forma de onda de 6 segmentos normal somada a esta mesma forma de onda deslocada de 30° , o que irá gerar uma forma de onda na saída de 12 segmentos como mostrado a seguir.

Forma de Onda do Inversor de Tensão



- Como podemos ver, essa forma de onda se aproxima mais de uma senoide do que a forma de onda anterior.
- Para suavizar esta forma de onda de forma que se aproxime mais de uma senoide, bastando para isso utilizar um filtro passa-baixas para eliminar as componentes de altas frequências que são responsáveis pelas transições abruptas dessa forma de onda e causam um elevado fator de distorção harmônica.

Diagrama em Bloco de um Inversor

Variable Frequency Drive

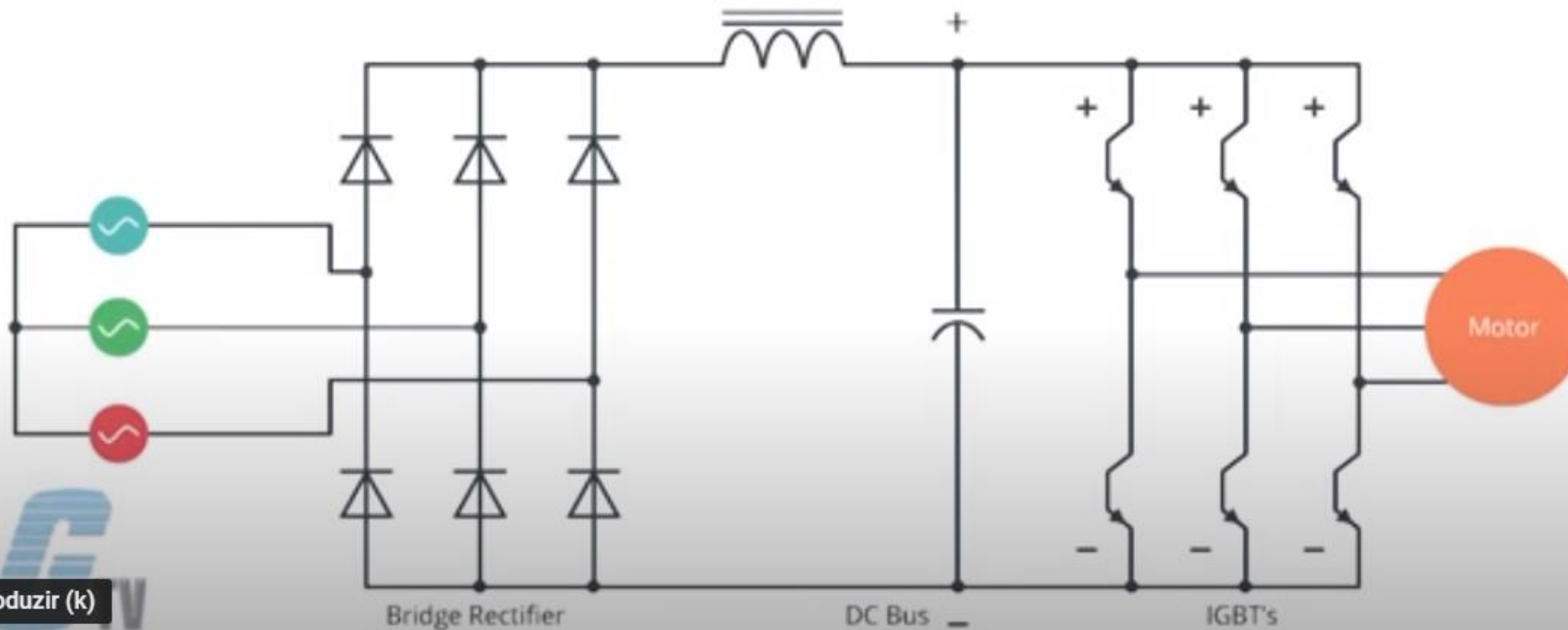
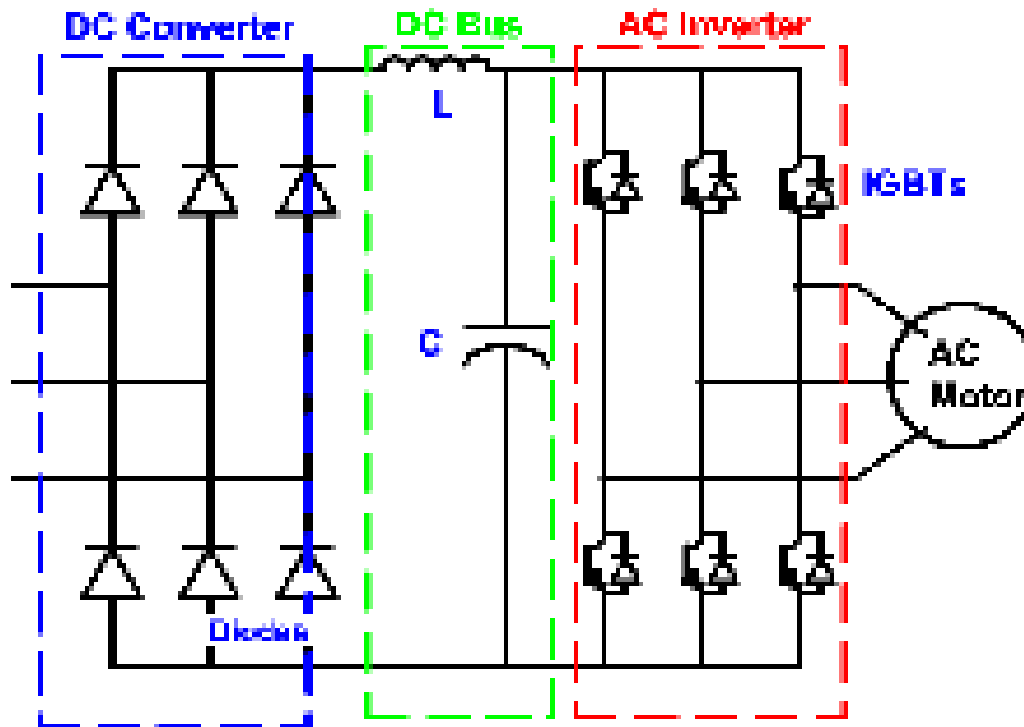


Diagrama em Bloco de um Inversor



Referências

- **RASHID, Muhammad Harunur.** *Power Electronics – Circuits, devices and applications.* 2^a ed. Prentice Hall, New Jersey: 1993;

<https://www.embarcados.com.br/principios-basicos-do-igbt/>