

# Aplicações de Conversores Estáticos de Potência

---

José L. Azcue Puma, Prof. Dr.

- ✓ *Introdução*
- ✓ *Semicondutores de Potência*

## Ementa Resumida

- Introdução aos conversores estáticos de potência.
- Topologias dos conversores eletrônicos de potência.
- Aplicações de conversores estáticos em sistemas elétricos de potência.
- Requisitos de qualidade da energia elétrica.
- Técnicas de controle e modelagem.

# Bibliografia

- [1]- Yazdani, A.; Iravani, R.: Voltage-Sourced Converters in Power Systems, Wiley, 2010.
- [2]- Erickson, R. W.: Fundamentals of Power Electronics, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [3]- Akagi, H.; Watanabe, E. H.; Aredes, M.: Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning, Wiley, 2007.
- [4]- Mohan, N.; Underland, T. M.; Robbins, W. P.: Power Electronics, Converters, Applications and Design, 3rd edition, Wiley, 2003.
- [5]- Dewan, S. B.; Straughn, A.: Power Semiconductor Circuits, Wiley, 1974.
- [6]- Kassakian, J. G.; Schlecht, M. F.; Verghese, G. C.: Principles of Power Electronics, Addison-Wesley, 1991.
- [7]- Paice, D. A.: Power Electronics Converter Harmonics, Multi-pulse Methods for Clean Power, Wiley, 1999.
- [8]- Kazmierkowski, M. P.; Krishnan, R.; Blaabjerg, F.: Control in Power Electronics, Selected Problems, Academic Press, 2002.
- [9]- Keyhani, A.; Marwali, M. N.; Dai, M.: Integration of Green and Renewable Energy in Electric Power Systems, Wiley, 2009.

## Avaliações

- Média aritmética dos trabalhos (Mt)
- Projeto (Pj): Simulação de uma aplicação (*Relatório e apresentação em sala de aula*)

$$MF = 0,5 * Mt + 0,5 * Pj$$

Site da disciplina:

<http://professor.ufabc.edu.br/~jose.azcue>

E-mail para contato: [jose.azcue@ufabc.edu.br](mailto:jose.azcue@ufabc.edu.br)

Todos os trabalhos deverão ser entregues respeitando os respectivos prazos !

# Introdução

- O que é eletrônica de potência?

A eletrônica de potência pode ser definida como a aplicação da eletrônica de estado sólido para o controle e conversão da energia elétrica.

# Introdução

- Objetivo?

O principal objetivo da eletrônica de potência é **processar e controlar o fluxo da energia elétrica**, proporcionando tensões e correntes de acordo com os requerimentos da carga.

# Introdução

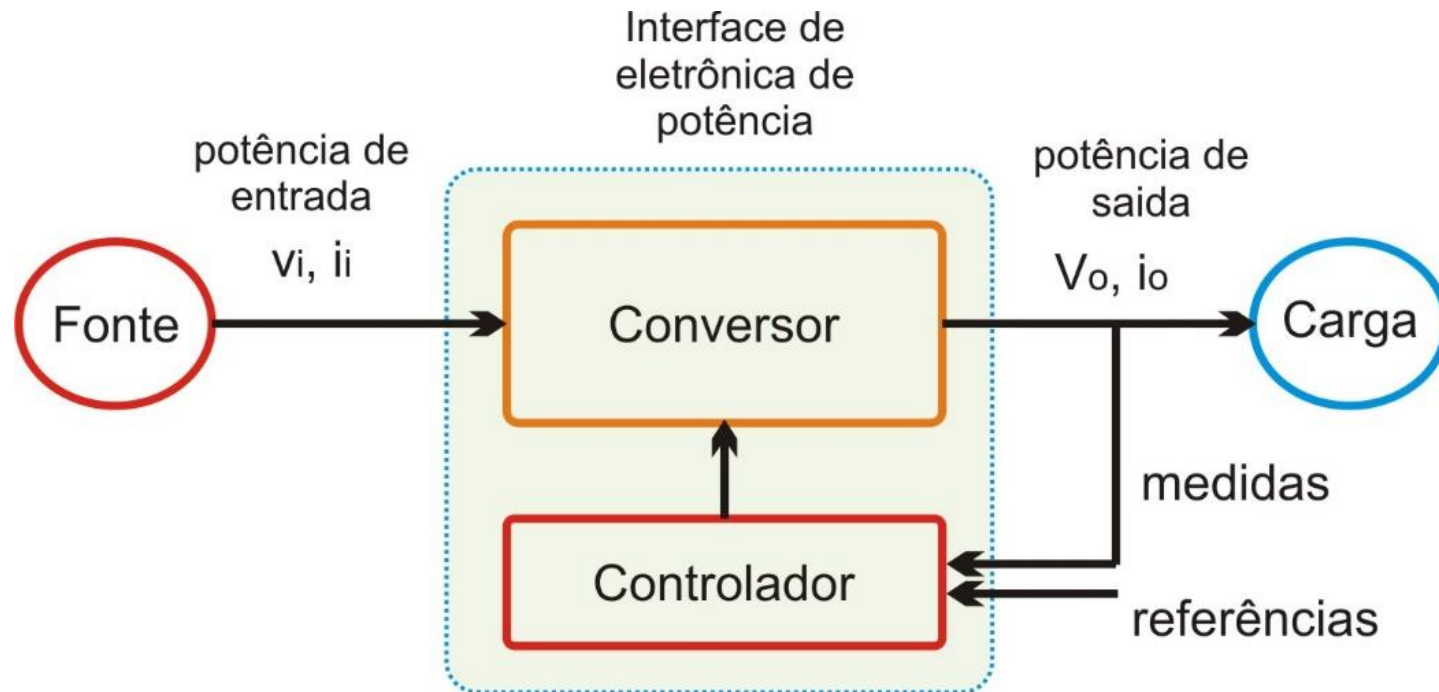
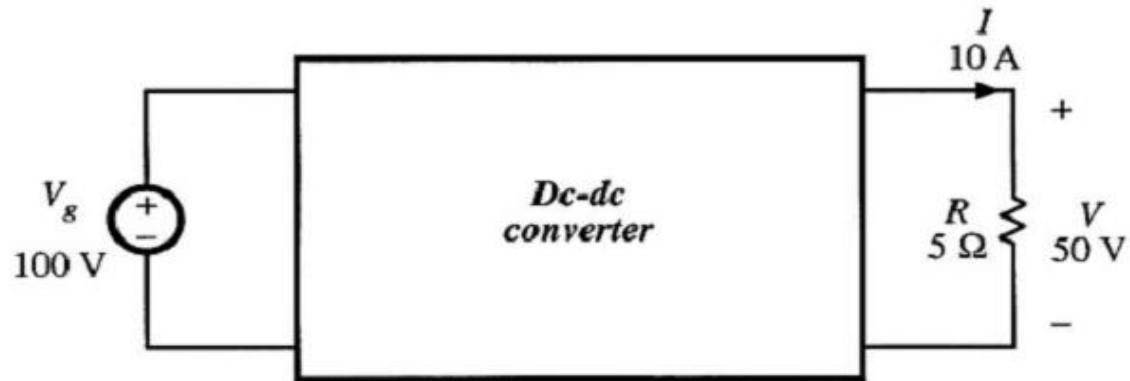


Diagrama de blocos do sistema de eletrônica de potência

## Exemplo: regulador CC

A partir de uma fonte de 100V, deseja-se alimentar uma resistência de  $5\Omega$  com 50V.

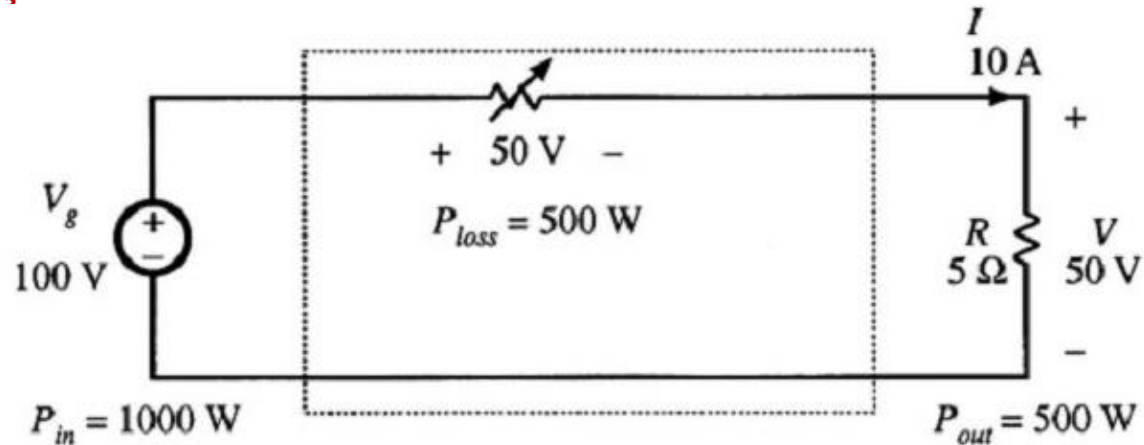


Conversor CC/CC



# Exemplo: regulador CC

**Solução 1:** divisor de tensão

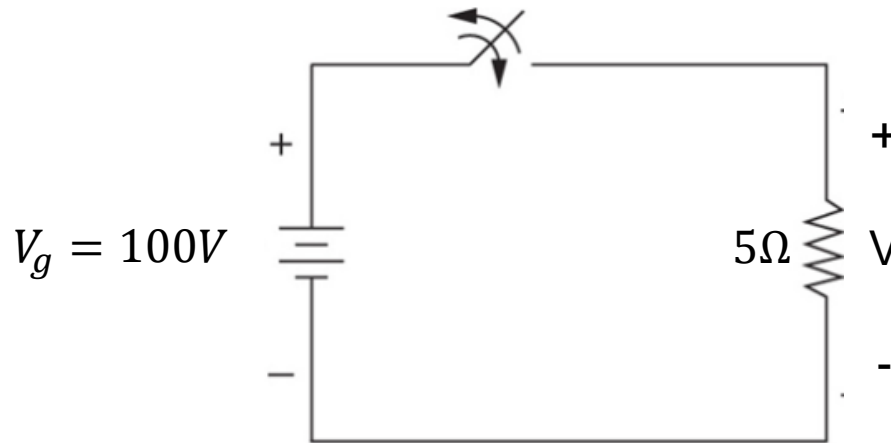


Só a metade da  
potência é  
dissipada na carga.

**Eficiência = 50%**

# Exemplo: regulador CC

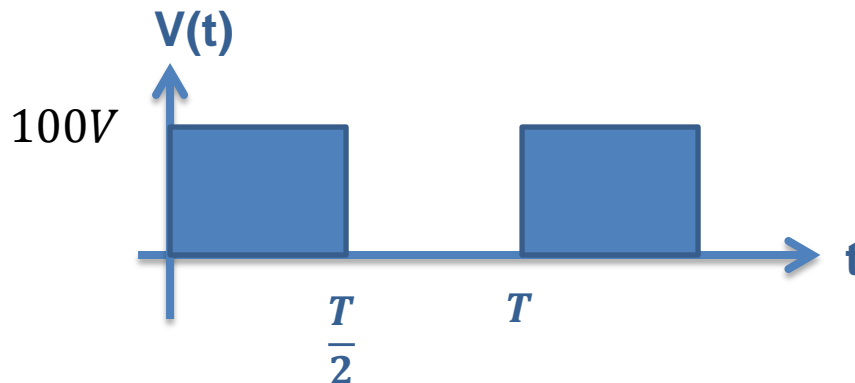
**Solução 2:** regulador CC chaveado



$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} 100 dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T 0 dt$$

$$\bar{V} = 50V$$



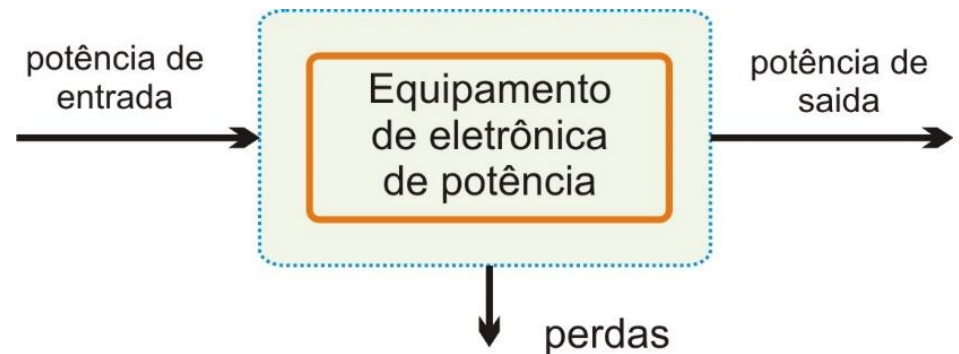
Chave ideal, toda a potência é dissipada na carga.

**Eficiência = 100%**

# Introdução

➤ Os requerimentos para a conversão da energia elétrica de uma forma para outra, desde a fonte de alimentação para a carga são:

- Alta eficiência
- Alta confiabilidade
- Baixo custo
- Tamanho reduzido
- Peso reduzido



# Crescimento da Eletrônica de Potência

- A eletrônica de potência teve um crescimento rápido devido a:
  - Avanços no desenvolvimento de dispositivos de potência.
  - Avanços em microeletrônica (microcontroladores, DSP, FPGA, etc.)
  - Novos algoritmos de controle (controle preditivo, redes neurais artificiais, lógica fuzzy, etc.)
  - Demanda por novas aplicações.

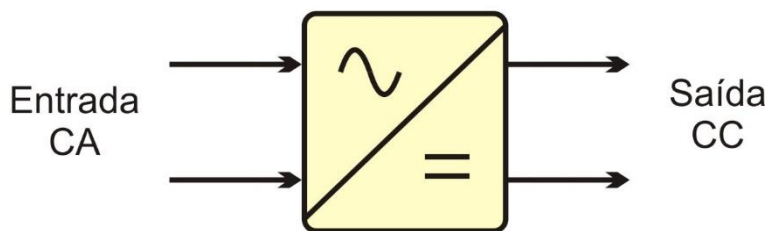
# Crescimento da Eletrônica de Potência

➤ A eletrônica de potência é multidisciplinar:

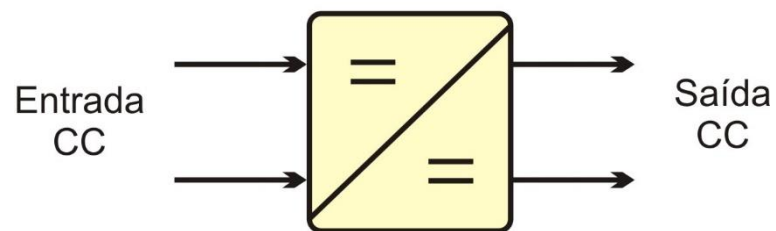
- Eletrônica analógica/digital
- Teoria de circuitos elétricos
- Teoria de controle
- Processamento de sinais
- Microeletrônica
- Programação e simulação
- Eletromagnetismo
- Etc.

# Conversores Eletrônicos de Potência

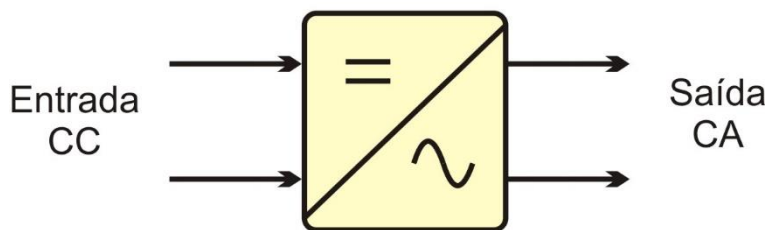
Conversor CA/CC  
(Retificador)



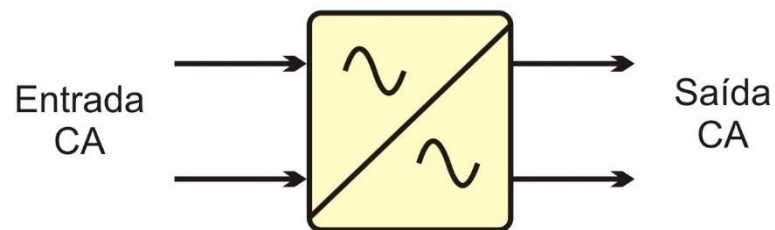
Conversor CC/CC  
(Chopper)



Conversor CC/CA  
(Inversor)



Conversor CA/CA

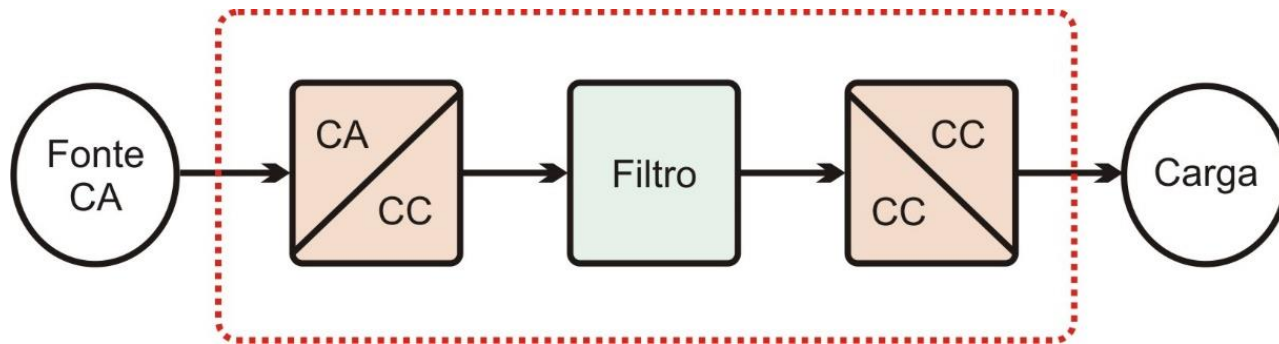


# Aplicações

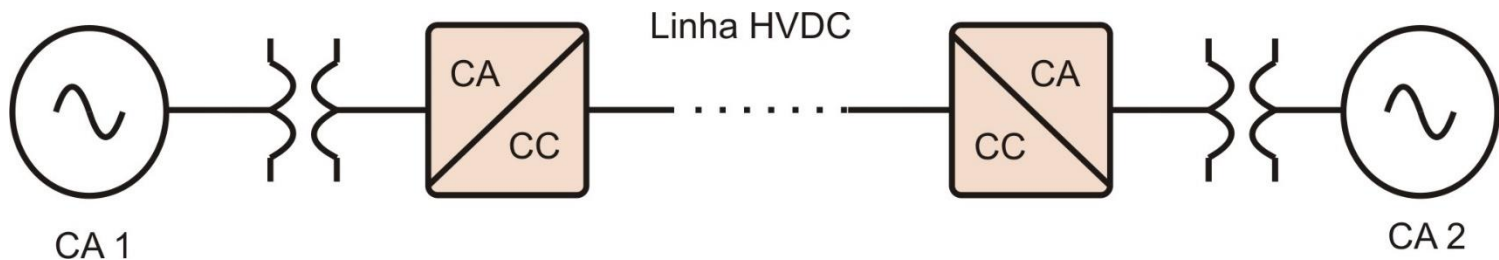
- Fonte de tensão CC.
- UPS (*Uninterrupted power supply*).
- Sistemas de transmissão de CC em alta tensão (HVDC).
- Sistemas Flexíveis de Transmissão CA - FACTS (*Flexible AC transmission system*).
- Veículos elétricos/híbridos.
- Fontes de energia renováveis (energia fotovoltaica, eólica, etc.)

# Exemplos de Aplicação

## ➤ Fonte de tensão CC



## ➤ Sistemas de transmissão HVDC





## Exemplos de Aplicação

- Sistemas Flexíveis de Transmissão CA - FACTS  
(*Flexible AC transmission systems*)

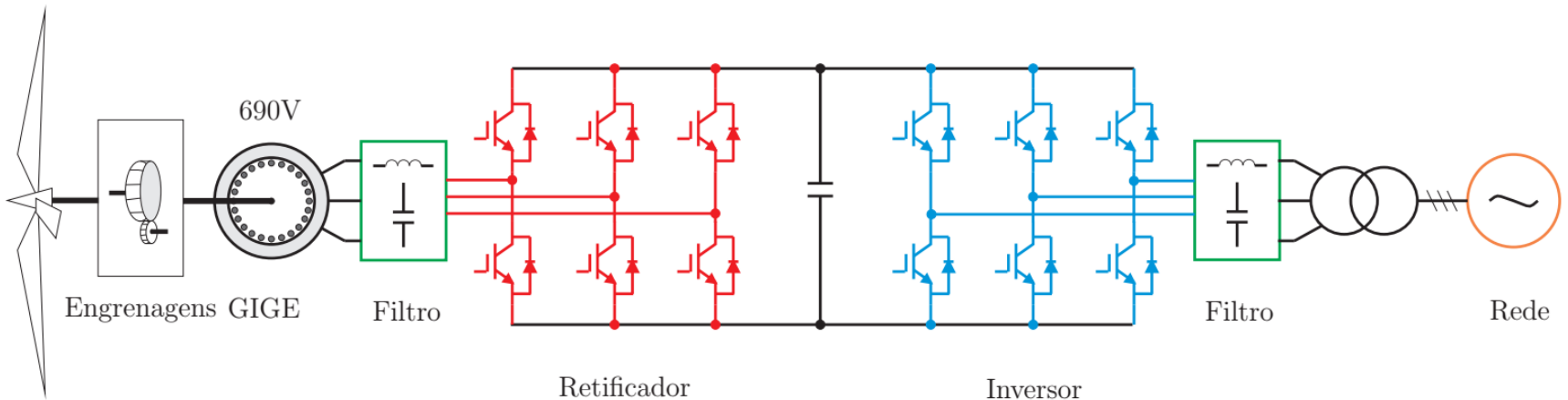
Sistema baseado em eletrônica de potência que possibilita o controle de um ou mais parâmetros do sistema de transmissão CA, para aumentar sua controlabilidade e capacidade de transferir potência.

## Dispositivos FACTS

- Compensador estático de reativos (*Static var compensator* - **SVC**)
- Compensador síncrono estático (*Static Synchronous Compensator* - **STATCOM**)
- Etc.

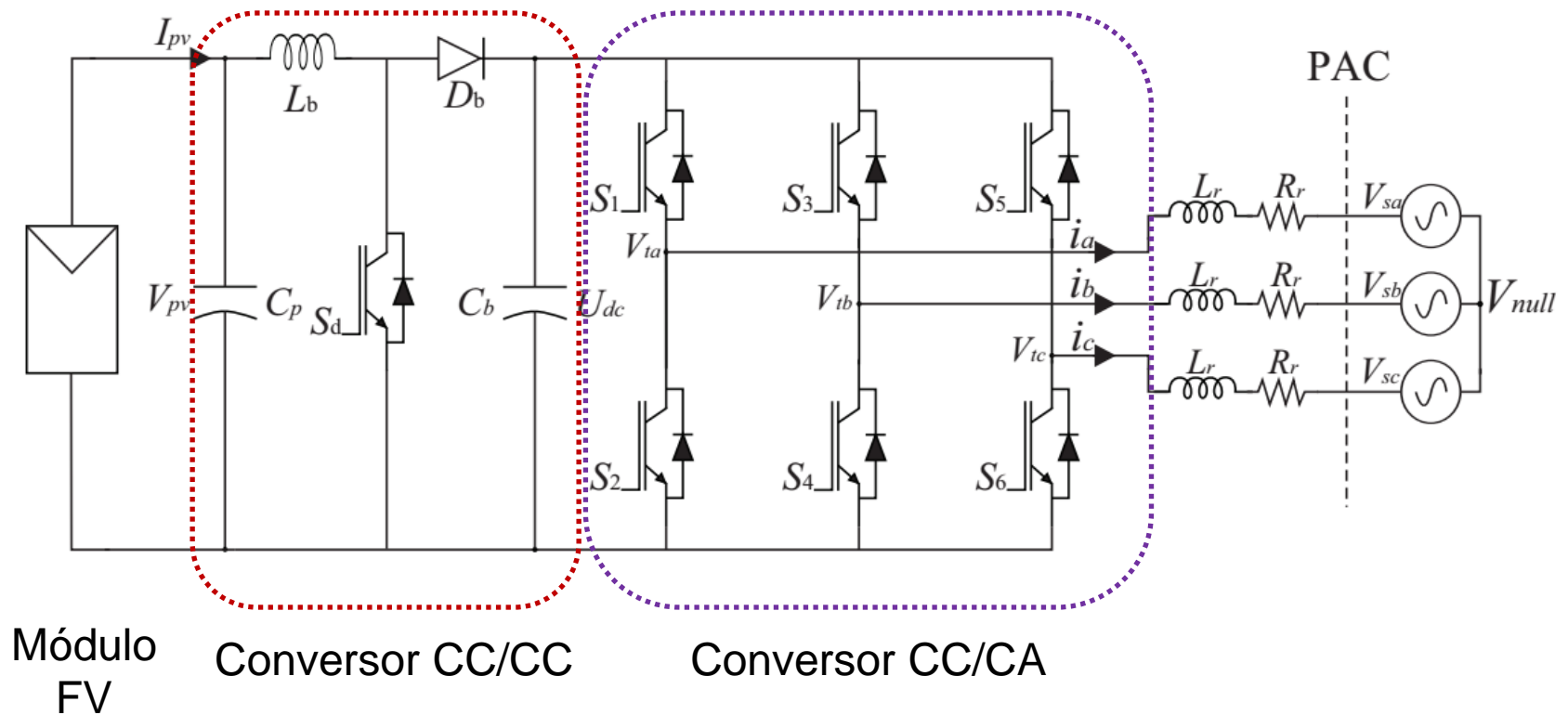
# Exemplos de Aplicação

## ➤ Sistema de Conversão de Energia Eólica



# Exemplos de Aplicação

## ➤ Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica



# Matérias Semicondutores

## ➤ Material

- **Isolante elétrico:** são matérias cujas cargas elétricas não conseguem se mover livremente e oferecem **um nível muito baixo de condutividade** (vidro, borracha, etc.).
- **Condutor elétrico:** são matérias nas quais as cargas elétricas se deslocam de maneira relativamente livre e conseguem **sustentar um grande fluxo de carga** (Cu, Al, Ag).
- **Semicondutores:** são sólidos geralmente cristalinos de **condutividade elétrica intermediária entre isolantes e condutores** (Ge, Si).

# Matérias Semicondutores

## Resistividade de alguns materiais ( $\rho$ )

Cobre (Cu)	$10^{-6}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	(condutor elétrico)
Mica	$10^{12}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	(isolante elétrico)
Germânio (Ge)	50 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	(semicondutor)
Silício (Si)	$50 \times 10^3$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	(semicondutor)

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$R$  = resistência  
 $\rho$  = resistividade  
 $l$  = comprimento  
 $A$  = área

# Matérias Semicondutores

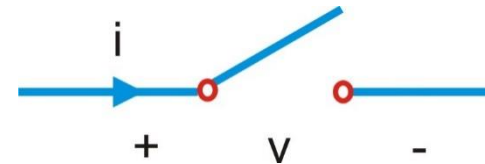
- **Semicondutor Intrínseco:** é aquele encontrado na natureza e sua concentração de portadores de carga positiva (lacunas) é igual à concentração de portadores de carga negativa (elétrons livres).
- **Semicondutor Extrínseco ou dopados:** são semicondutores intrínsecos na qual se introduzem impurezas (tipo P ou N) para controlar as características elétricas do semicondutor.

# Dispositivos de Potência

Basicamente os dispositivos semicondutores de potência devem **permitir** ou **bloquear** a passagem de corrente.

## Interruptor ideal

- Resistência nula em condução
- Resistência infinita quando bloqueado
- Tempos de comutação nulos (entrada em condução e bloqueio nulos)

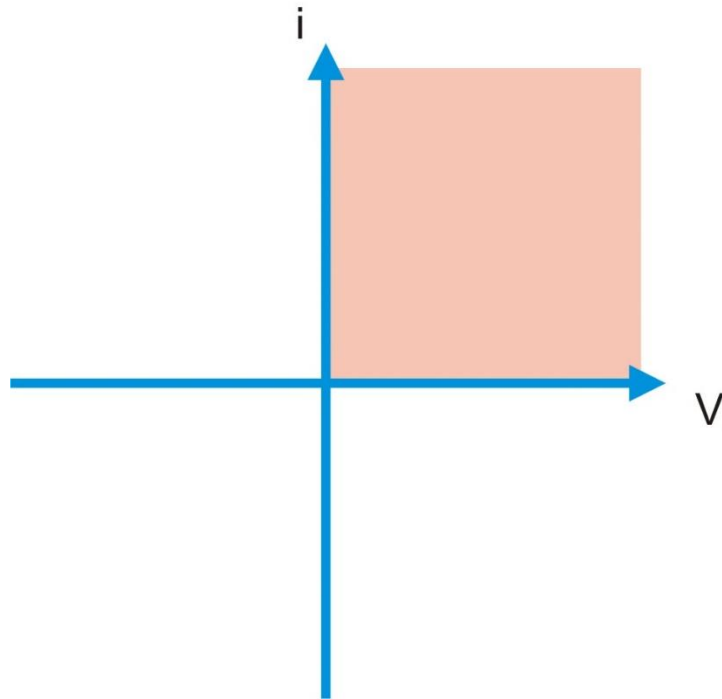




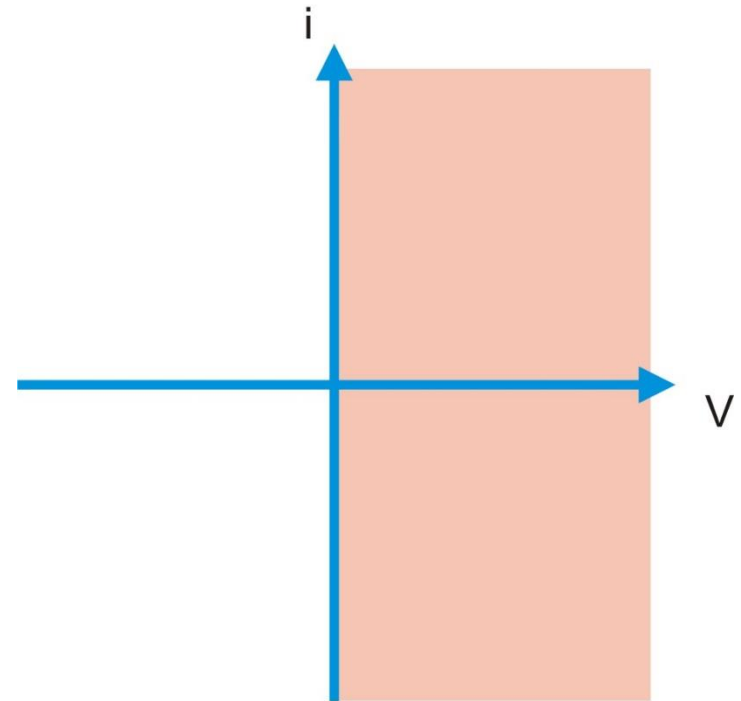
# Dispositivos de Potência

## Operações básicas dos interruptores

Operação em um quadrante



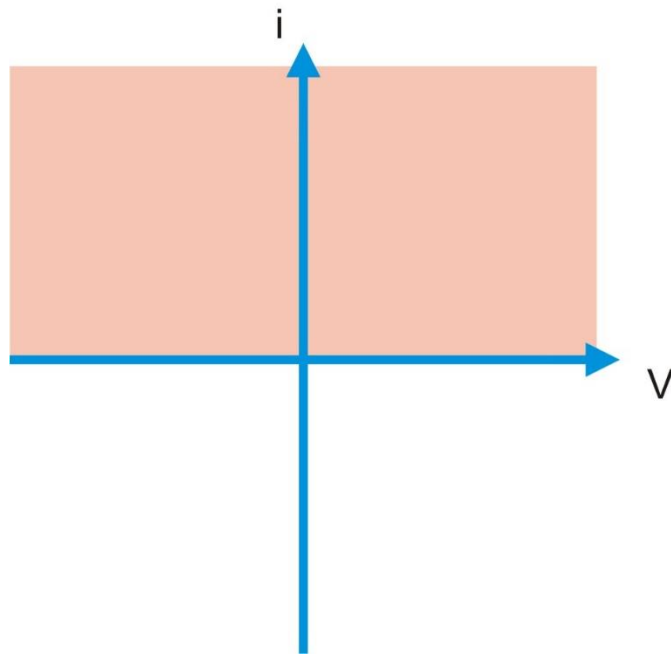
Operação em dois quadrante com corrente bidirecional



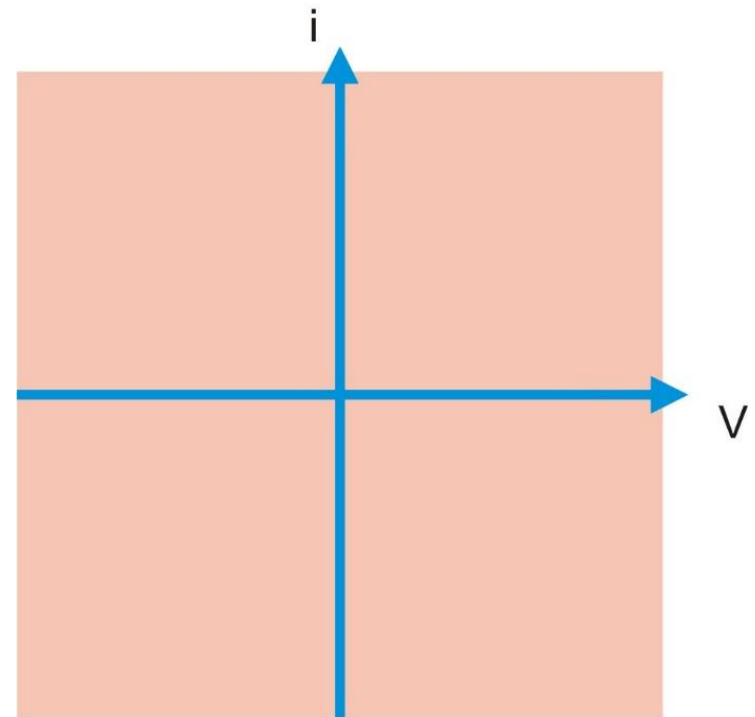
# Dispositivos de Potência

## Operações básicas dos interruptores

Operação em dois quadrante  
com tensão bidirecional

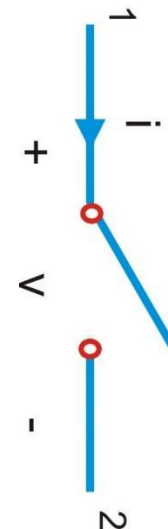


Operação em quatro quadrante



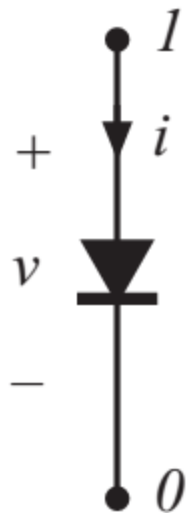
# Interruptor com Operação em 1Q

- **Interruptor ativo:** O interruptor é controlado exclusivamente por um terceiro terminal.
- **Interruptor passivo:** O interruptor é controlado com a aplicação de tensão e/ou corrente nos terminais 1 e 2.
- **SCR:** caso especial, é ligado de forma ativa e desligado de forma passiva.

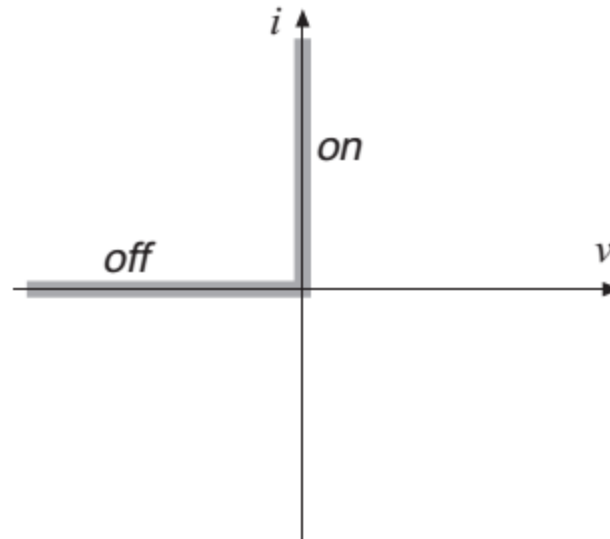


## Exemplo: o diodo

- Interruptor passivo.
- Operação em 1Q.
- Pode conduzir correntes positivas.
- Pode bloquear tensões negativas.



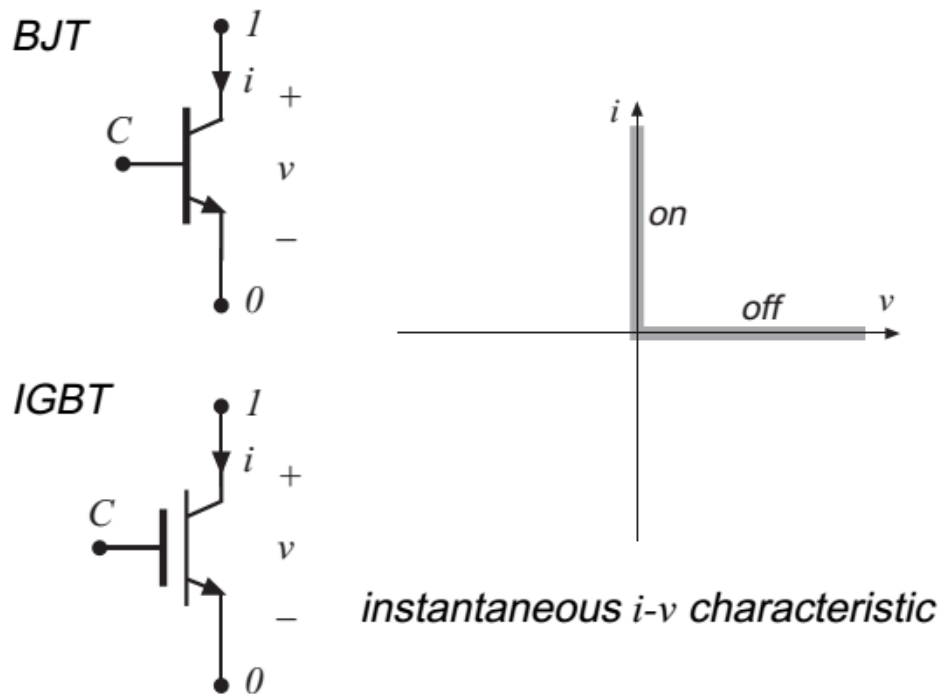
*Symbol*



*instantaneous  $i$ - $v$  characteristic*

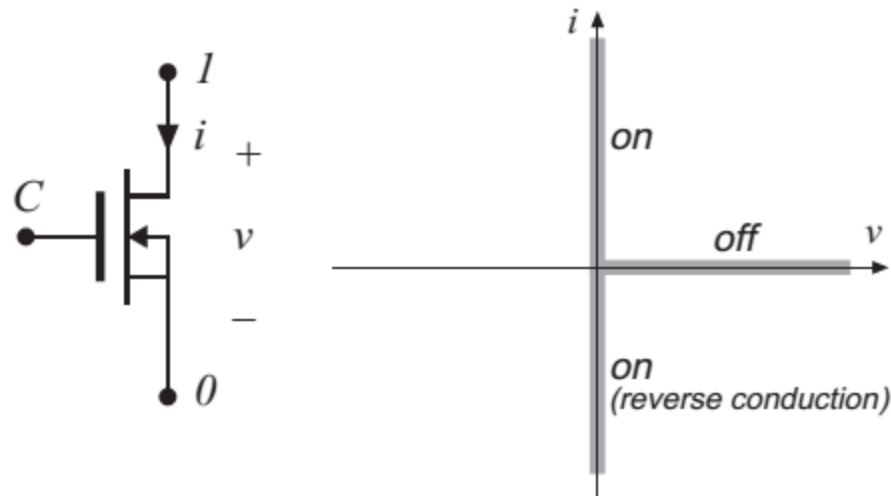
## Exemplo: Transistor BJT e IGBT

- Interruptor ativo controlado pelo terminal C.
- Operação em 1Q.
- Pode conduzir correntes positivas.
- Pode bloquear tensões positivas.



## Exemplo: Transistor MOSFET

- Interruptor ativo controlado pelo terminal C.
- Normalmente opera em 1Q.
- Pode conduzir correntes positivas (como também correntes negativas em algumas circunstâncias).
- Pode bloquear tensões positivas.

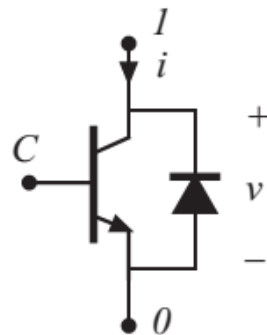


Symbol

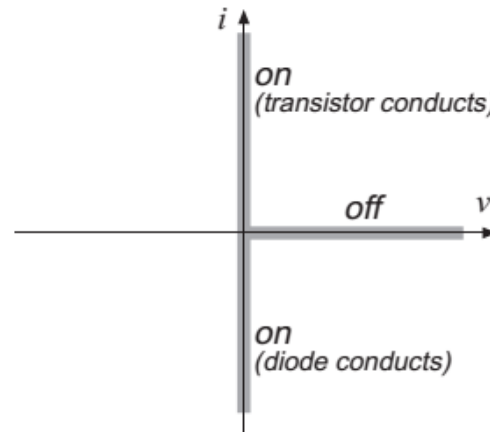
instantaneous  $i-v$  characteristic

# Interruptor com Operação em 2Q

- Interruptor com corrente bidirecional
- Usualmente é um interruptor ativo controlado pelo terminal C.
- Normalmente opera em 2Q.
- Pode conduzir correntes positivas ou negativas.
- Pode bloquear tensões positivas.

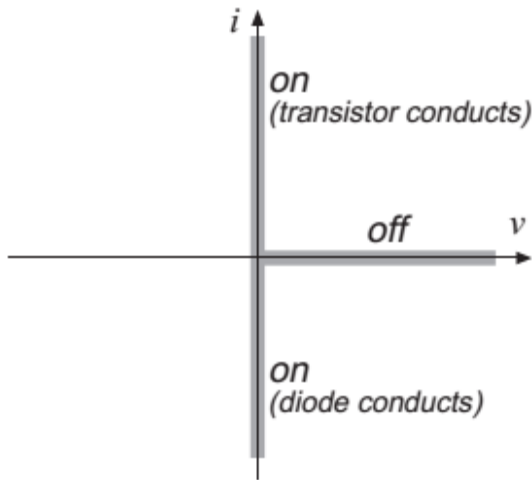


*BJT / anti-parallel  
diode realization*

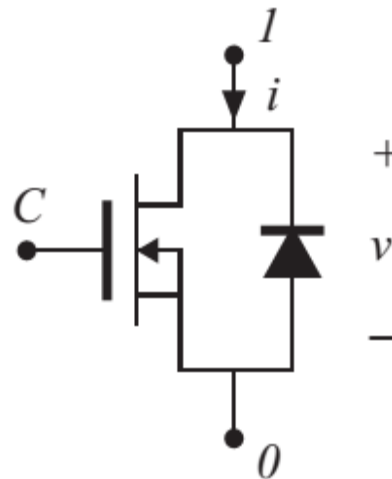


*instantaneous  $i-v$   
characteristic*

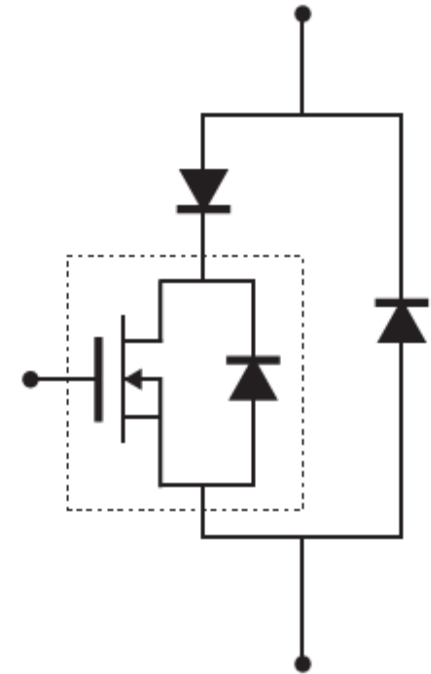
# Diodo interno do MOSFET



*Power MOSFET characteristics*



*Power MOSFET, and its integral body diode*

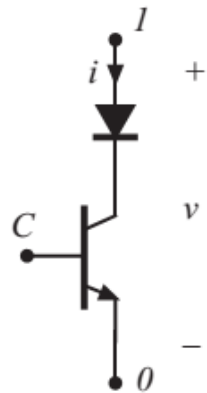


*Use of external diodes to prevent conduction of body diode*

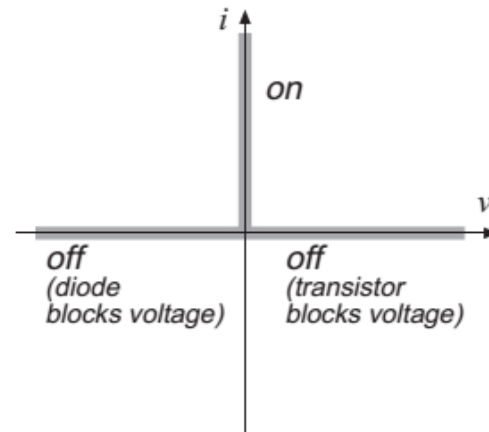


# Interruptor com Operação em 2Q

- Interruptor com tensão bidirecional
- Usualmente é um interruptor ativo controlado pelo terminal C.
- Normalmente opera em 2Q.
- Pode conduzir correntes positivas.
- Pode bloquear tensões positivas ou negativas.



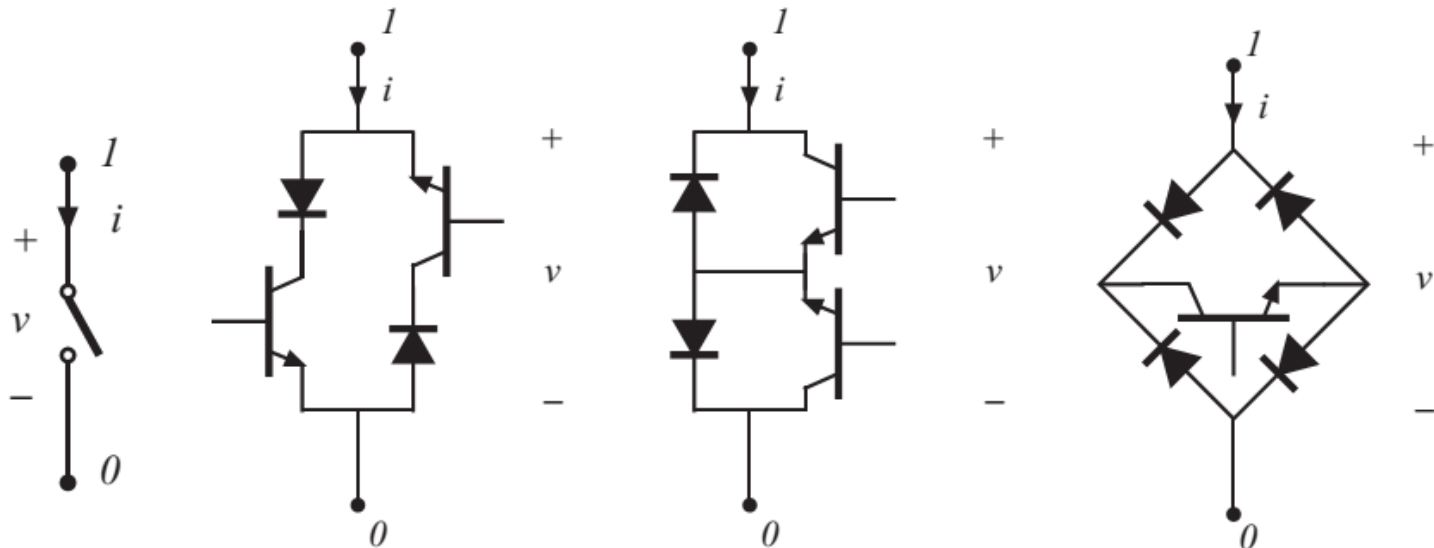
*BJT / series  
diode realization*



*instantaneous  $i-v$   
characteristic*

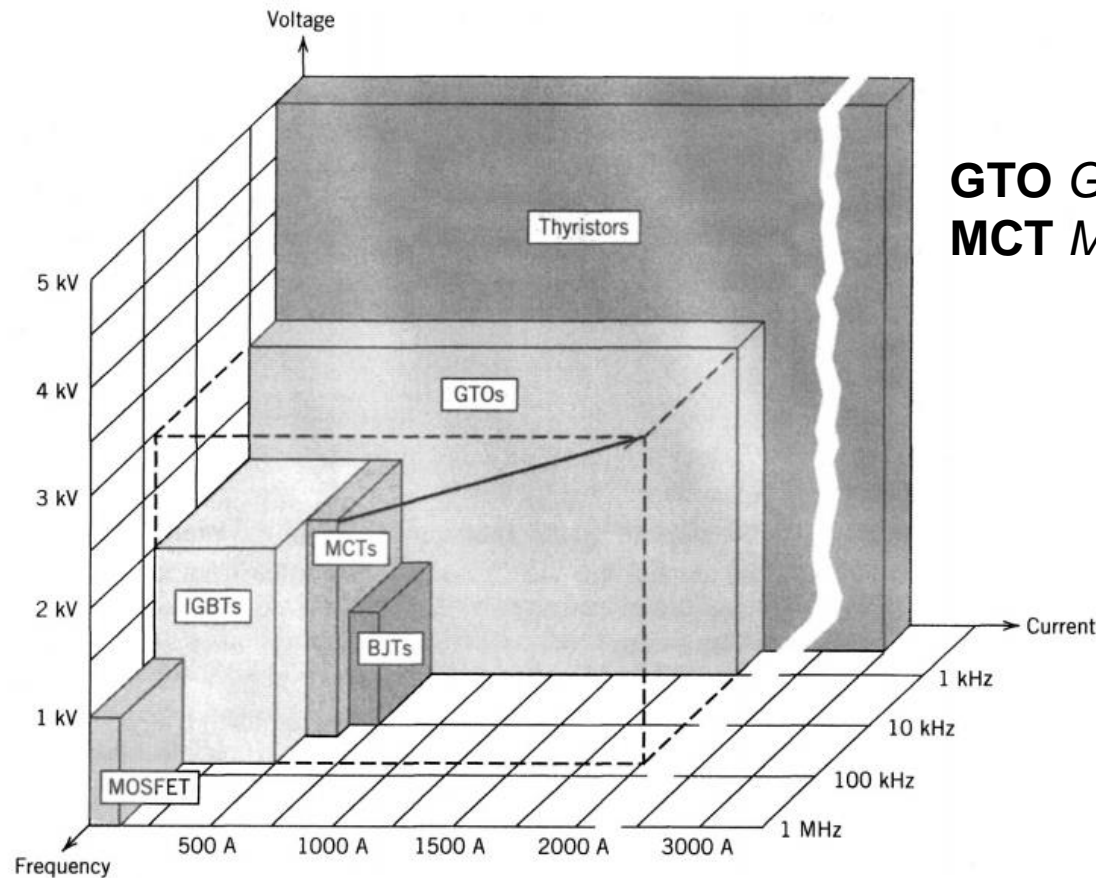
# Interruptor com Operação em 4Q

- Usualmente é um interruptor ativo controlado pelo terminal C.
- Pode conduzir correntes positivas ou negativas.
- Pode bloquear tensões positivas ou negativas.



# Áreas de atuação

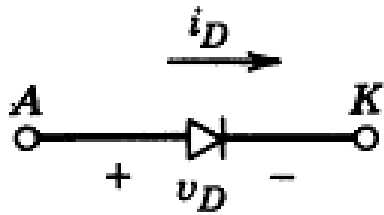
A figura mostra uma distribuição dos componentes semicondutores, indicando limites aproximados para valores de tensão de bloqueio e corrente de condução.



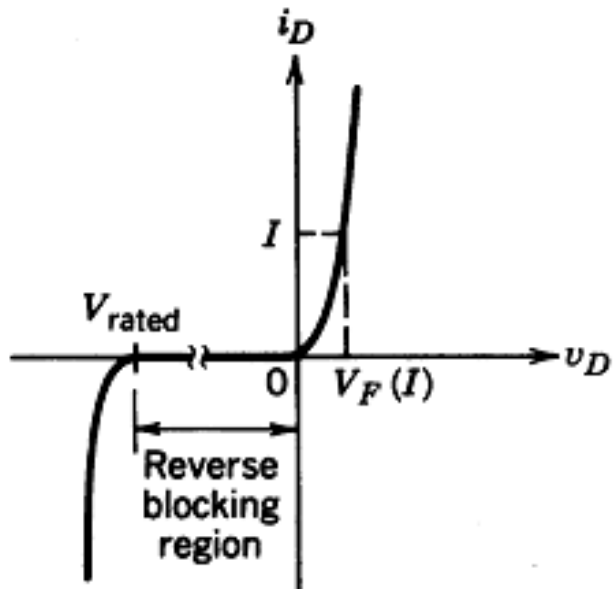
**GTO** *Gate turn-off thyristor*  
**MCT** *MOS-Controlled thyristors*

(MOHAN, 2003)

# Diodos de Potência

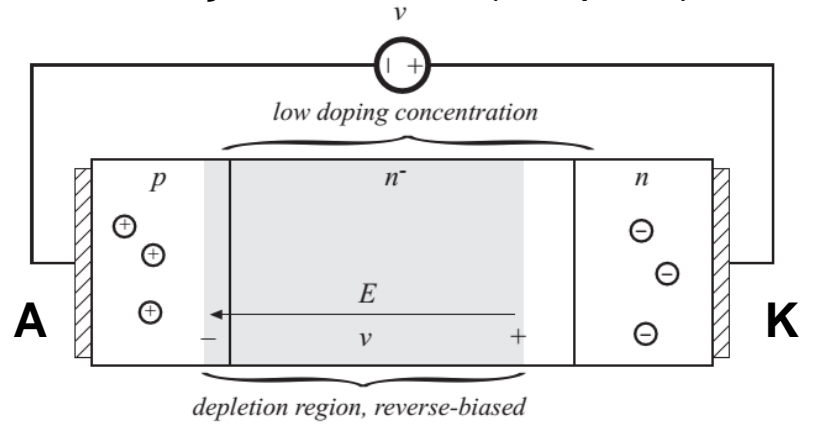


Símbolo



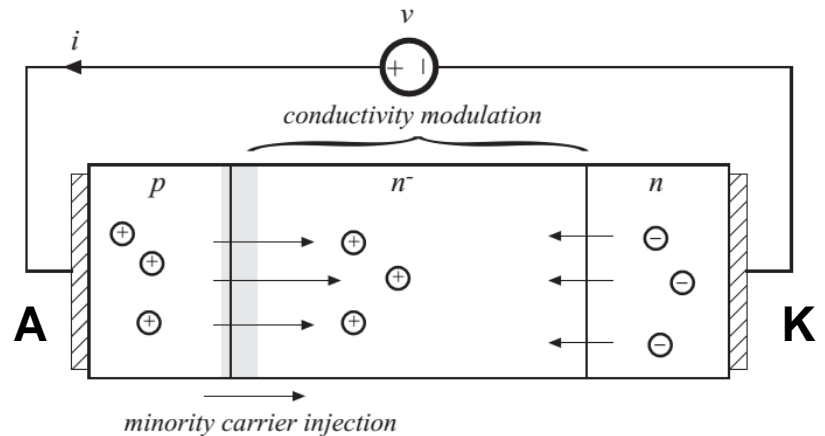
Característica i-v

## Polarização Reversa (bloqueio)



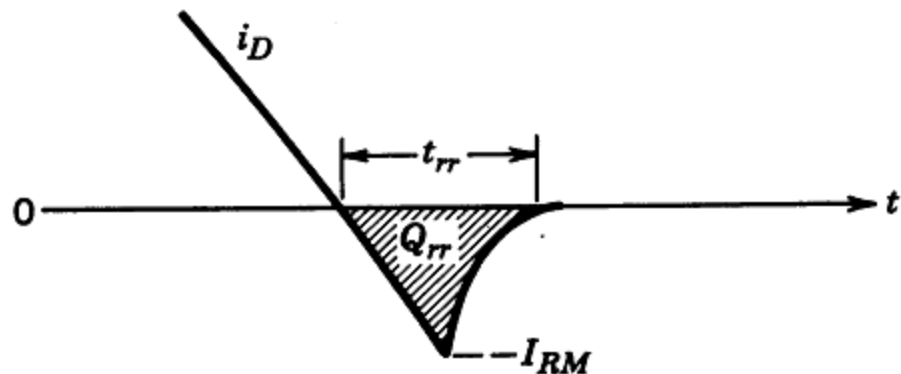
Região de depleção

## Polarização Direta (condução)



# Diodos de Potência

- Quando o diodo passa da **polarização direta** para a **polarização reversa** rapidamente, este continua conduzindo devido a que os portadores minoritários (elétrons) ainda se mantem na junção PN.
- Os portadores minoritários precisam de um tempo finito ( $t_{rr}$ ) para recombinar-se com a carga oposta e neutraliza-la.
- Diodos rápidos têm tempos de recuperação reversa ( $t_{rr}$ ) pequenos, no máximo, poucos microssegundos, enquanto que em diodos normais é de dezenas ou centenas de microssegundos.



# Tipos de Diodos de Potência

- **Diodos convencionais (operam na frequência da rede)**
  - Queda de tensão em polarização direta: ( $< 1V$ )
  - Tempo de recuperação reversa: (em torno de  $25\mu s$ , resposta muito lenta).
  - Correntes nominais de operação muito altas (até  $5kA$ )
  - Tensões nominais de operação muito altas ( $5kV$ )
  - Utilizado em aplicações que operam na frequência da rede ( $50/60 Hz$ )
- **Diodos rápidos**
  - Tempo de recuperação reversa muito baixo ( $<1\mu s$ )
  - Normalmente utilizado em medias e altas frequências.

# Tipos de Diodos de Potência

## ➤ Diodos Schottky

- Queda de tensão em polarização direta muito baixa (tipicamente 0,3 V).
- Praticamente não existe tempo de recuperação reversa (carga armazenada praticamente nula).
- Capacidade de bloqueio limitado (50-100V).
- Utilizado em aplicações de baixa tensão e altas correntes tais como as fontes chaveadas.

.

# Características de Alguns Diodos de Potência

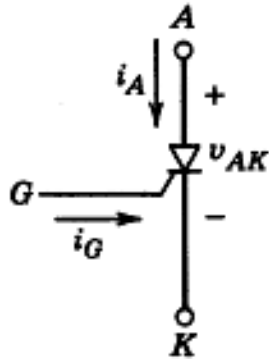
---

<i>Part number</i>	<i>Rated max voltage</i>	<i>Rated avg current</i>	<i>V<sub>F</sub> (typical)</i>	<i>t<sub>r</sub> (max)</i>
<b><i>Fast recovery rectifiers</i></b>				
1N3913	400V	30A	1.1V	400ns
SD453N25S20PC	2500V	400A	2.2V	2μs
<b><i>Ultra-fast recovery rectifiers</i></b>				
MUR815	150V	8A	0.975V	35ns
MUR1560	600V	15A	1.2V	60ns
RHRU100120	1200V	100A	2.6V	60ns
<b><i>Schottky rectifiers</i></b>				
MBR6030L	30V	60A	0.48V	
444CNQ045	45V	440A	0.69V	
30CPQ150	150V	30A	1.19V	

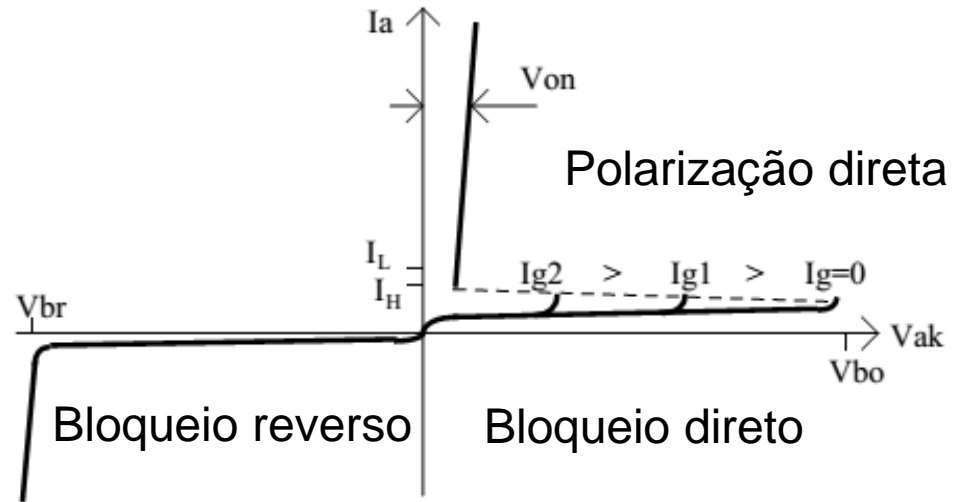
---



# Tiristor (SCR)



Símbolo



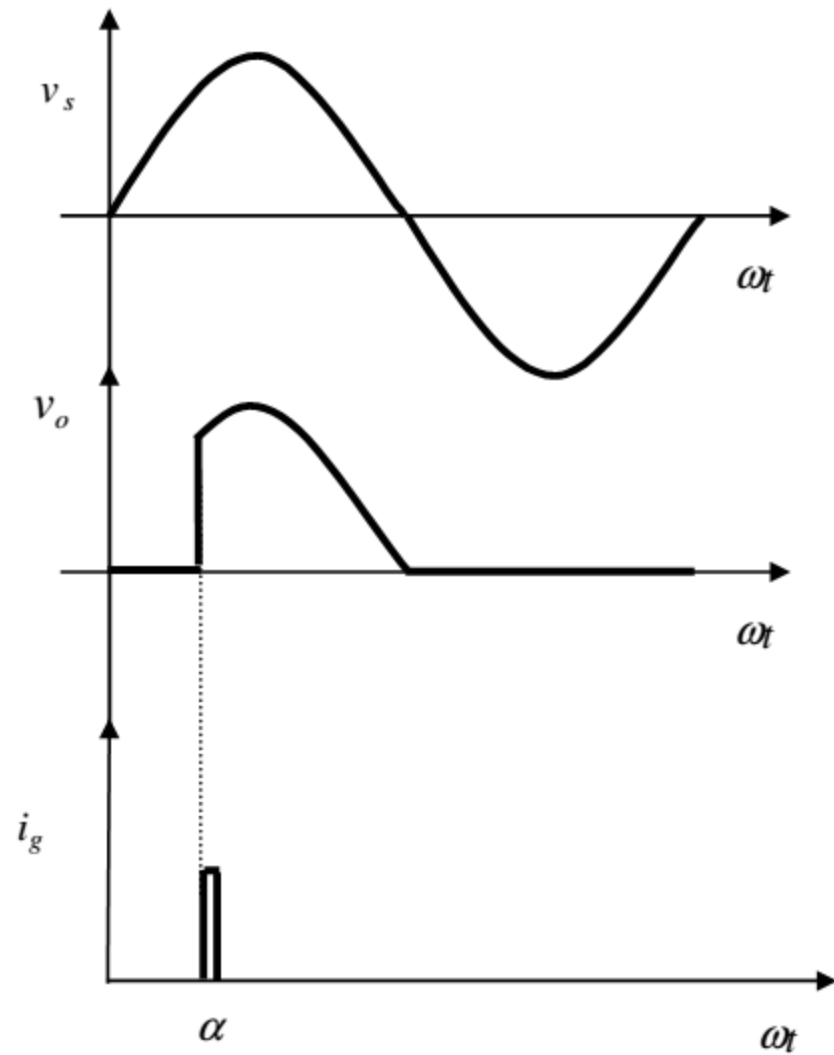
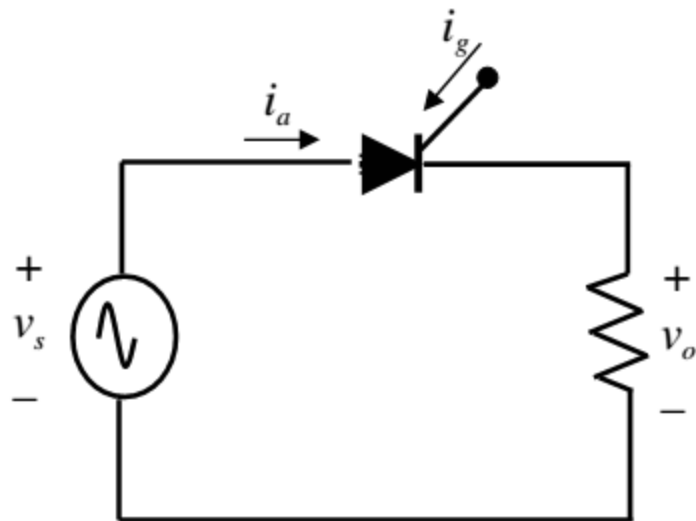
Característica estática i-v

- Se a tensão  $V_{AK}$  é maior que **tensão de ruptura direta** ( $V_{bo}$ ) o tiristor entra em condução.
- A presença de corrente no *gate* diminui a tensão  $V_{bo}$ .

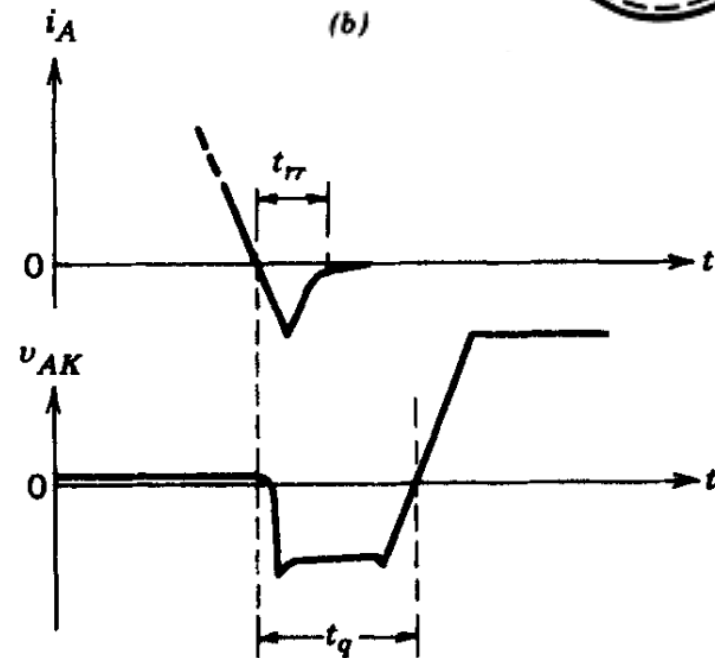
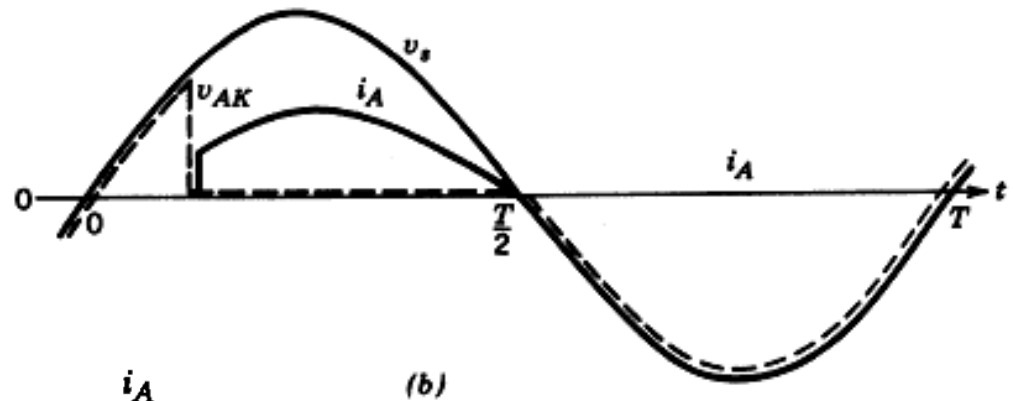
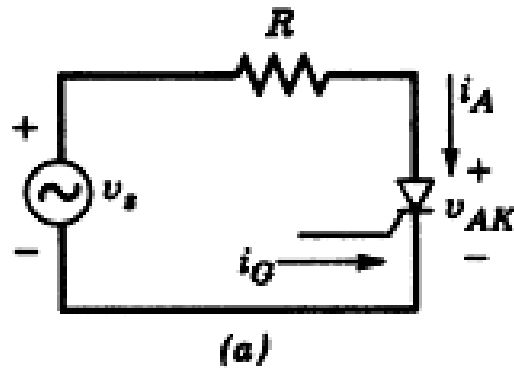
# Tiristor

- Condições normais para a operação do tiristor
  - O dispositivo se encontra no estado de **bloqueio direto** ( $V_{ak}$  é positivo).
  - Uma corrente positiva é aplicada no *gate* ( $I_g$ ).
- Quando a **corrente de travamento** ( $I_L$ ) for atingido o dispositivo se manterá em condução e a queda de tensão  $V_{ak}$  diminuirá drasticamente, tipicamente 1,5-3V.
- Em **bloqueio reverso** o tiristor se comporta como um diodo.
- Bloqueio através da redução da corrente a valores inferiores à **corrente de manutenção** ( $I_H$ ), uma vez que, mesmo com a inversão da corrente de *gate*, não é possível bloquear o tiristor.
- Não existe capacidade de bloqueio pelo terminal do *gate* após a entrada em condução.

# Condução do Tiristor



# Condução do Tiristor



**tq** - tempo de desligamento

# Métodos de Disparo do Tiristor

O tiristor é disparado aumentando a corrente de anodo. Podemos considerar cinco maneiras distintas de conseguir isto:

- **Térmica:** Se a temperatura de um tiristor for elevada, há um aumento no número de pares elétrons-lacunas, o que aumenta as correntes de fuga.
- **Luz:** Se for permitido que a luz atinja as junções de um tiristor, os pares elétrons-lacunas aumentam e o tiristor pode ser ligado.

# Métodos de Disparo do Tiristor

- **Tensão elevada:** Se a tensão direta anodo-catodo for maior do que a tensão direta de ruptura  $V_{BO}$ , haverá um fluxo suficiente de corrente de fuga para iniciar o disparo.
- **$dv/dt$ :** Se um degrau de tensão for aplicado no tiristor, o  $dv/dt$  pode ser elevado o suficiente para disparar o dispositivo, e o dispositivo deve ser protegido contra  *$dv/dt$  elevados*.
- **Corrente de gatilho:** Se um tiristor estiver diretamente polarizado, a injeção de corrente de acionamento pela aplicação de tensão positiva entre os terminais do *gate* e do catodo o ligará.

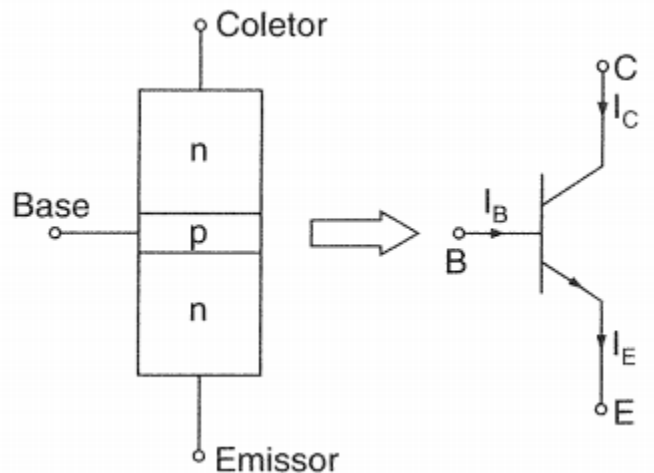
## Transistor Bipolar de Potência (TBP)

1. O TBP é um dispositivo controlado por corrente.
2. Os transistores de potência são operados na região de saturação, resultando em uma baixa queda de tensão em estado de condução.
3. A frequência de chaveamento é muito maior que a dos tiristores.
4. São amplamente utilizados em conversores CC/CC e CC/CA.
5. Operam com tensões e correntes menores que a dos tiristores.
6. Normalmente utilizados em aplicações de baixa para média potência.

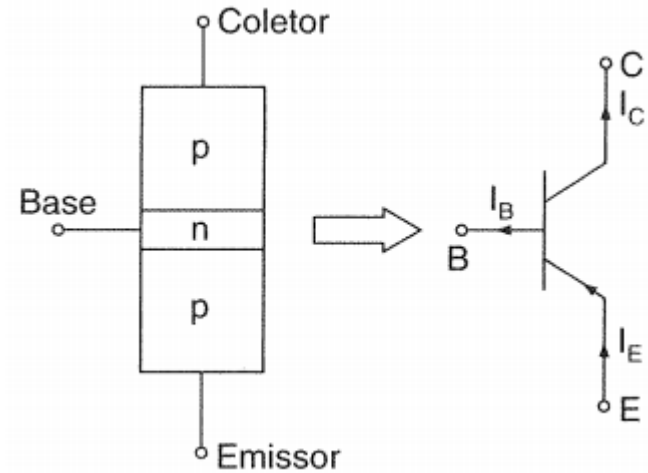
# Transistor Bipolar de Potência (TBP)

Transistor bipolar é formado pela adição de uma segunda região **P** ou **N** a um diodo de junção **PN**.

Os três terminais são denominados de **coletor**, **emissor** e **base**.



Transistor NPN

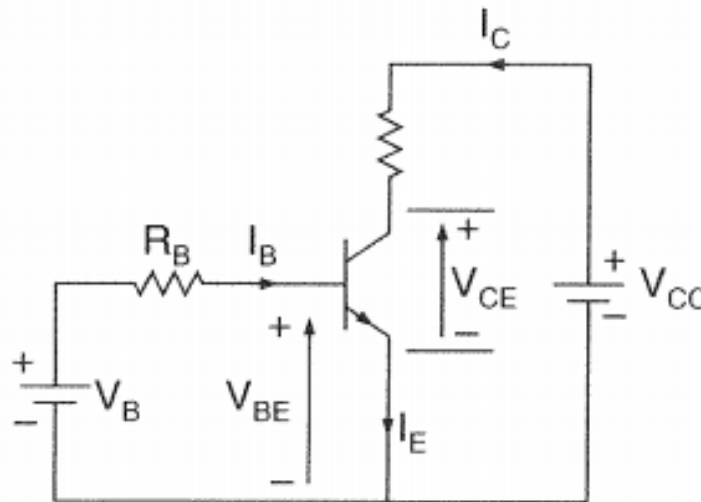


Transistor PNP



# Transistor Bipolar de Potência (TBP)

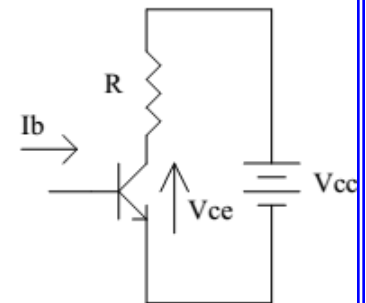
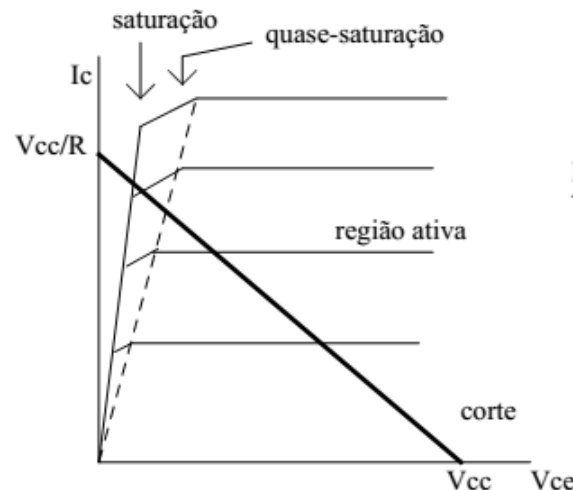
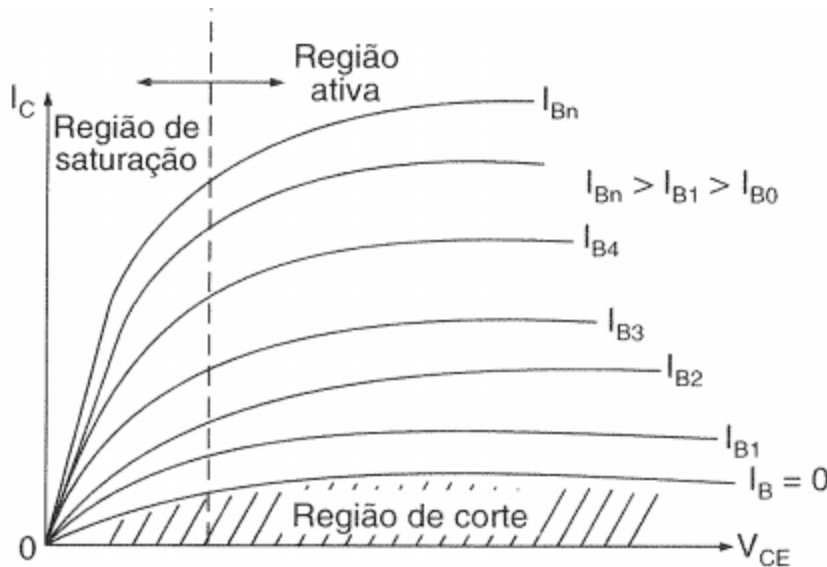
Existem três configurações possíveis de operação: **coletor comum**, **base comum** e **emissor comum**. Em aplicações de chaveamento geralmente é utilizada a configuração emissor comum.



Configuração emissor comum.

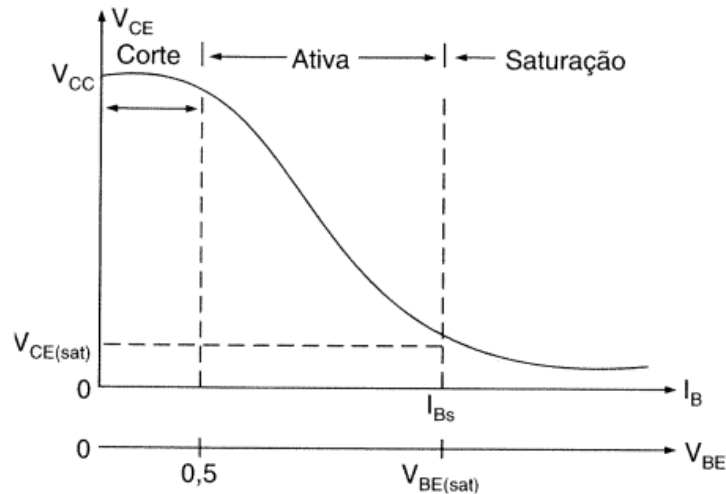
# Regiões de Operação do TBP

- **Corte:** o transistor está desligado ou a corrente de base não é suficiente para ligá-lo.
- **Ativa:** o transistor atua como um amplificador, no qual a corrente de coletor é amplificada por um ganho.
- **Saturação:** a corrente de base é suficientemente elevada para que a tensão coletor emissor seja baixa e o transistor se comporte como uma chave fechada.



Curvas características de saída

# Transistor Bipolar de Potência (TBP)



Curva característica de transferência

Relações importantes:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

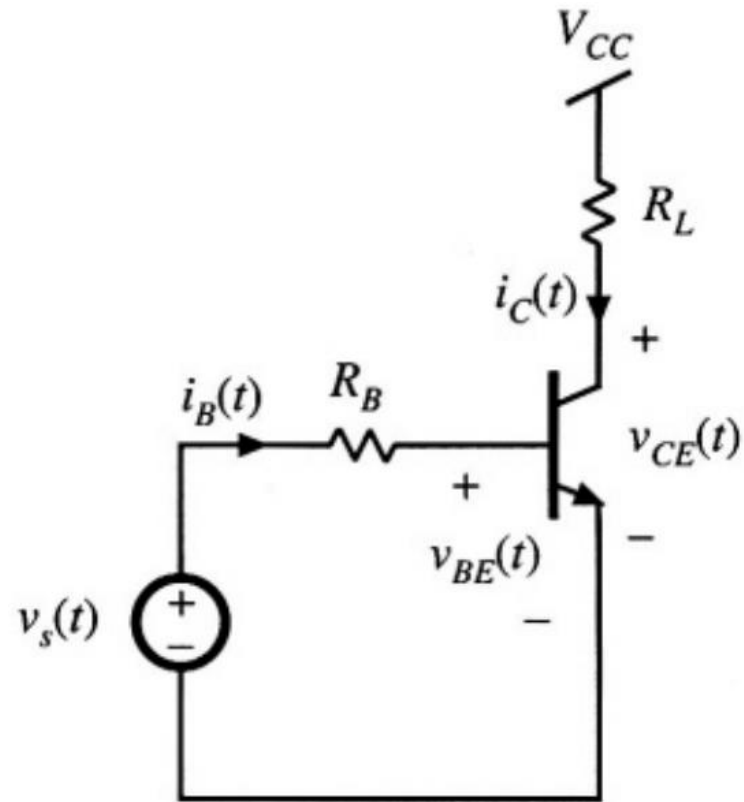
(ganho de corrente)

$$I_C \approx \alpha I_E$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

# Característica Dinâmica do TBP

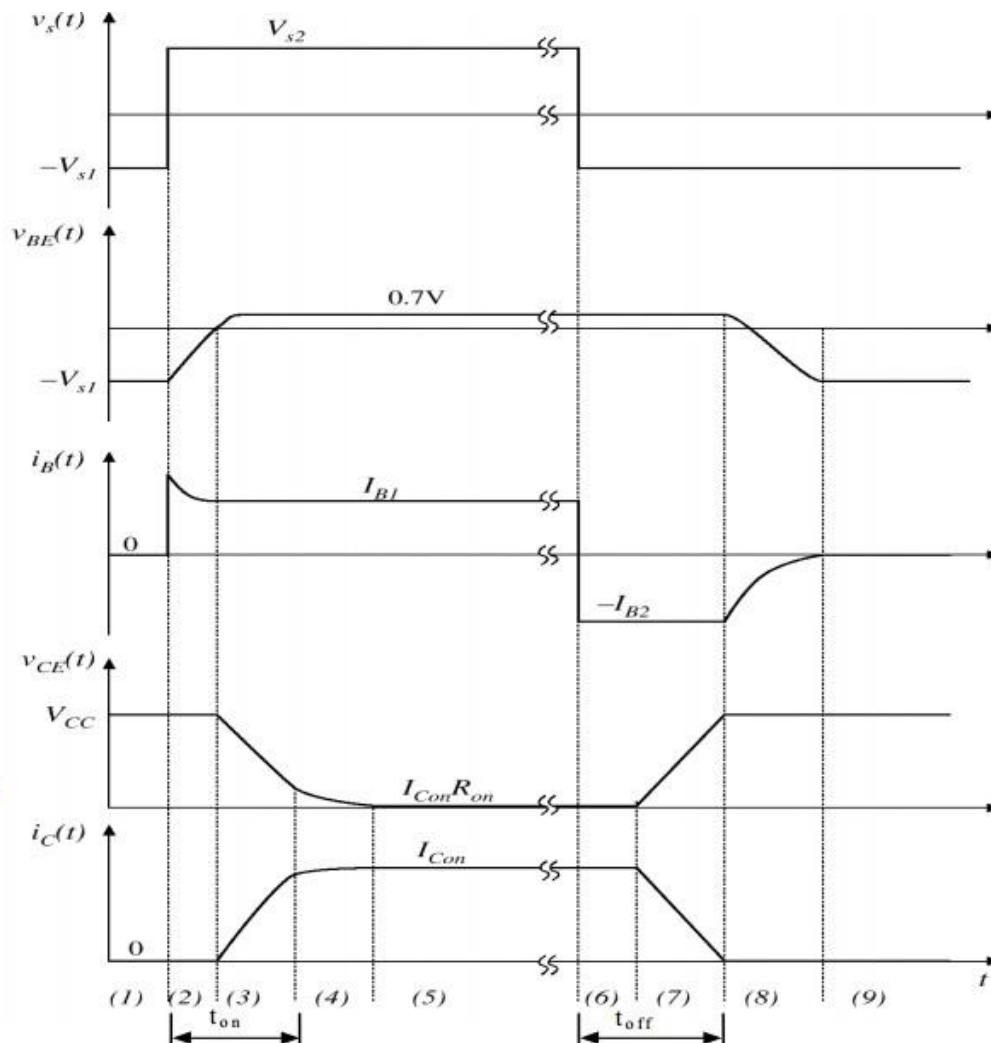
## Carga Resistiva



# Característica Dinâmica do TBP

## Carga Resistiva

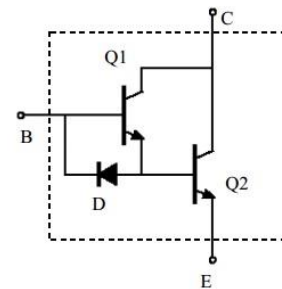
- (1) Bloqueio
- (2) Atraso de entrada em condução (carga capacitor base-emissor) .
- (3) Tempo de subida da corrente  $I_C$ .
- (4-5) Em condução.
- (6) Atraso de bloqueio (descarga do capacitor base-emissor).
- (7) Tempo de descida da corrente.
- (8-9) Bloqueado.



# TBP - conclusões

O TBP tem sido substituído nos últimos anos por interruptores mais eficientes em determinadas faixas de potência.

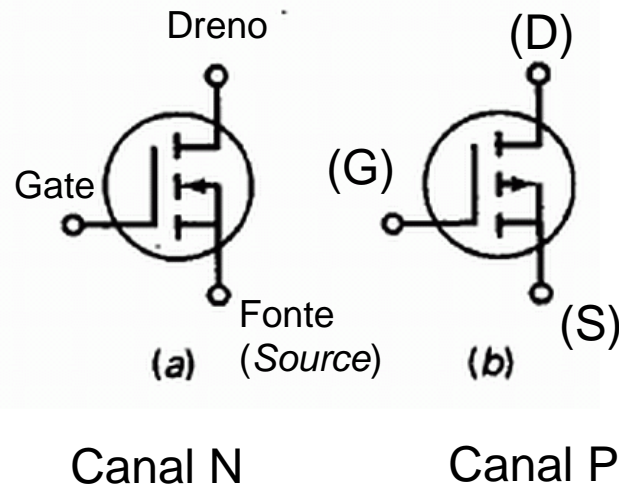
- Para baixas tensões (< 500V) o TBP tem sido substituído pelo MOSFET.
- Para tensões acima de 500V o TBP tem sido substituído pelo IGBT.
  - O TBP apresenta maiores tempos de comutação em relação ao MOSFET (operação em baixas frequências de chaveamento). Porém, o TBP apresenta menores perdas de condução.
  - O TBP apresenta maiores tempos de comutação em relação ao IGBT e menor capacidade de corrente.
- Para aplicações em tensões mais elevadas (>500V), o TBP pode operar em configuração *Darlington* (melhoram o ganho mas tem uma maior queda de tensão quando estão ligados e tendem a chavear lentamente)



Configuração  
*Darlington*

# MOSFET de Potência

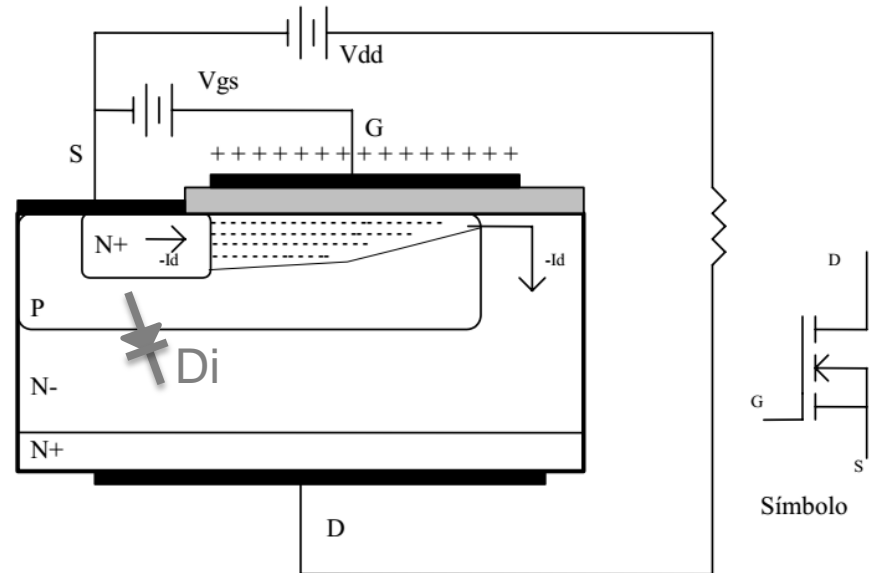
- O MOSFET de potência é um dispositivo controlado por tensão e requer apenas uma pequena corrente de entrada.
- A frequência de chaveamento é relativamente alta.
- São aplicados em conversores de alta frequência de chaveamento e baixa potência.
- MOSFET de potência é tipicamente do tipo **canal N**.



# MOSFET de Potência

**Estado de bloqueio:** junção **PN-** está reversamente polarizada (sem tensão de *gate*). Apresenta uma **resistância elevada** (área grande de depleção)

- Tensão positiva no *gate* induz a condutividade do canal.
- A resistência total em condução é dada pelo somatório das resistências da região N-, do canal, terminais de contato de dreno e fonte.
- A junção PN- resulta num diodo  $D_i$  em antiparalelo com o sentido de condução dreno-fonte.
- Tensão negativa dreno-fonte polariza diretamente o diodo  $D_i$ .



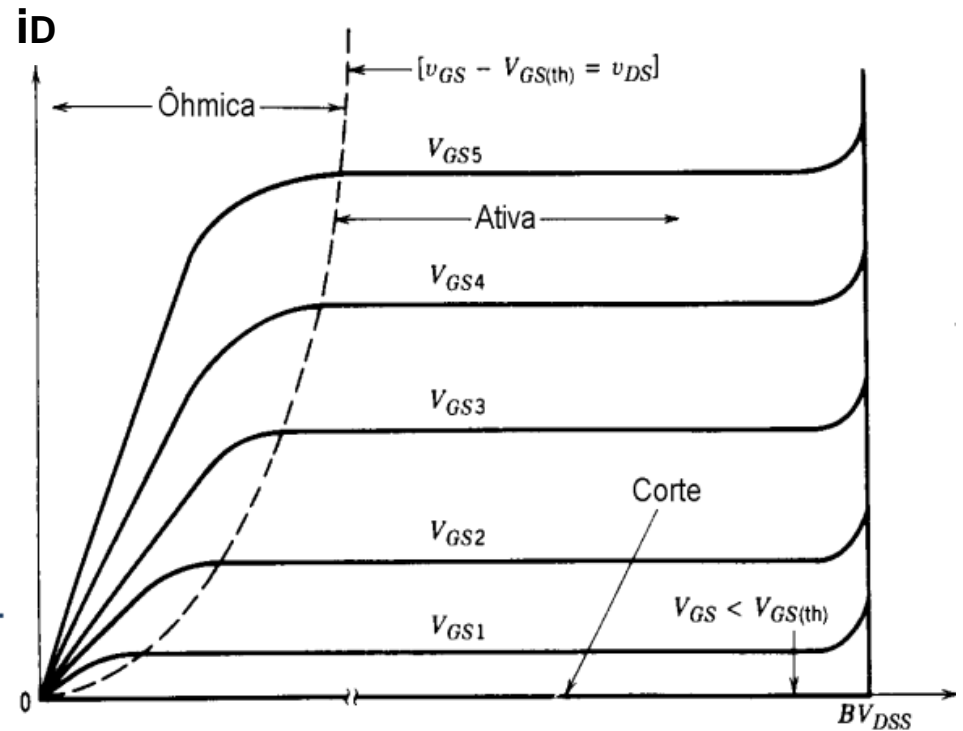
MOSFET em condução

O diodo intrínseco  $D_i$  apesar de suportar tensões e correntes nominais, possui tempos de comutação maiores que o próprio MOSFET.



# Característica Estática do MOSFET

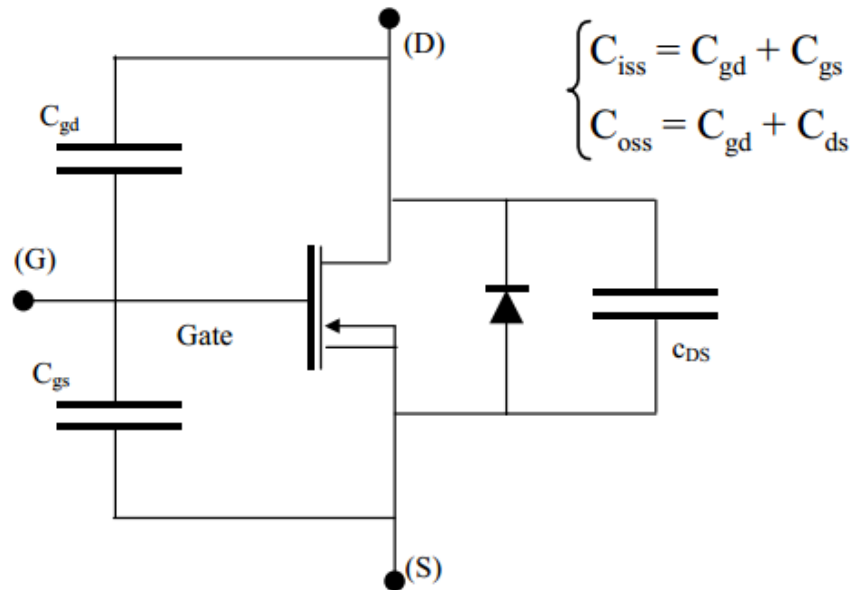
- Regiões de operação:
  - Região ôhmica: região de interesse para operação como interruptor.
  - Região ativa: regulação de corrente.
  - Região de corte:  $V_{GS} < V_{GS(th)}$ . Sendo  $V_{GS(th)}$  a tensão mínima (G-S) para a entrada em condução.
- A resistência quando o MOSFET entra em condução é denominado  $R_{DSon}$ .



Curva característica i-v

# Característica Dinâmica do MOSFET

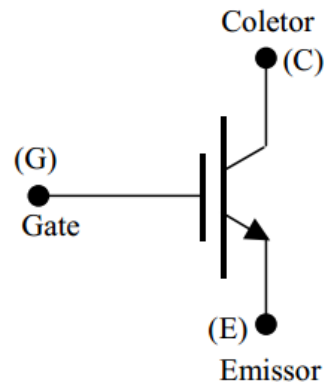
Capacitâncias equivalentes dos MOSFETs:



- $C_{gd} \rightarrow$  Pequena e altamente não linear.
- $C_{gs} \rightarrow$  Elevada e praticamente constante.
- $C_{ds} \rightarrow$  Média e altamente não linear.
- Os tempos de comutação são determinados pelas taxas de carga e descarga de  $C_{gs}$  e  $C_{gd}$  ( $C_{iss}$ ).

# Transistor IGBT

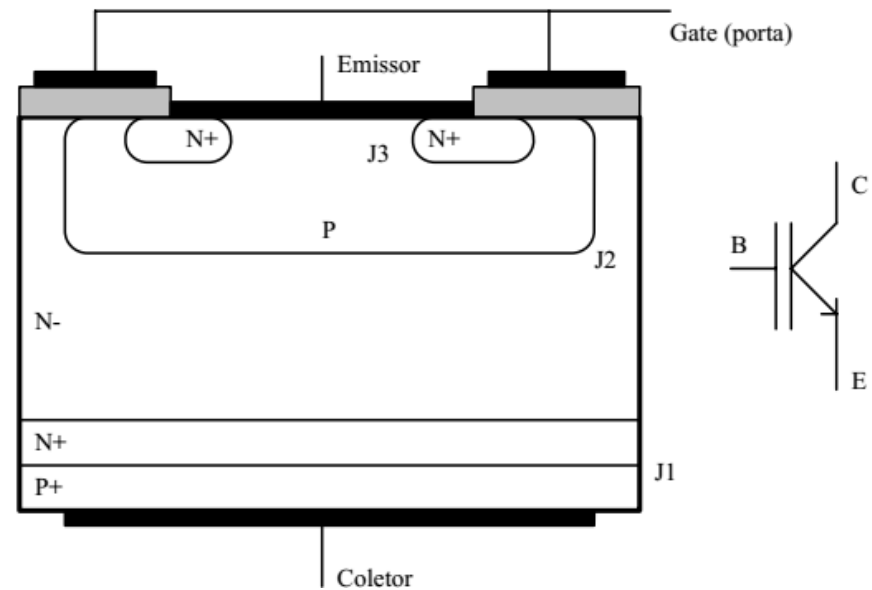
- O IGBT alia a facilidade de acionamento do MOSFET com as pequenas perdas em condução dos TBP.
- Permite frequências de chaveamento em dezenas de kHz, nos componentes para correntes na faixa de algumas dezenas de amperes.



Símbolo

# Transistor IGBT

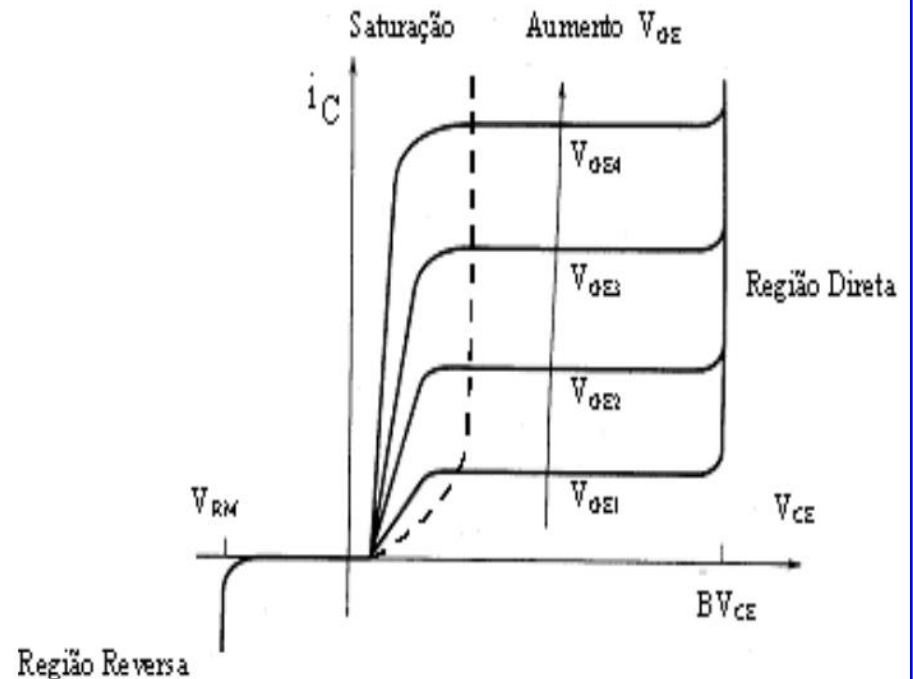
- A estrutura do IGBT é similar à do MOSFET , mas com a inclusão de uma camada P+ que forma o coletor do IGBT.
- Tempos de comutação maiores que a do MOSFET e menores que a dos TBPs.
- Aplicável para quando se deseja elevadas tensões  $V_{CE}$ .



Construção básica

# Característica Estática do IGBT

- Comando com características de fonte de tensão (similar ao MOSFET).
- **Região de trabalho:**  $V_{ge}$  tipicamente entre 12 e 20V, resultando em  $V_{CEon}$  reduzida, portanto com menos perdas em condução quando comparado com o MOSFET.



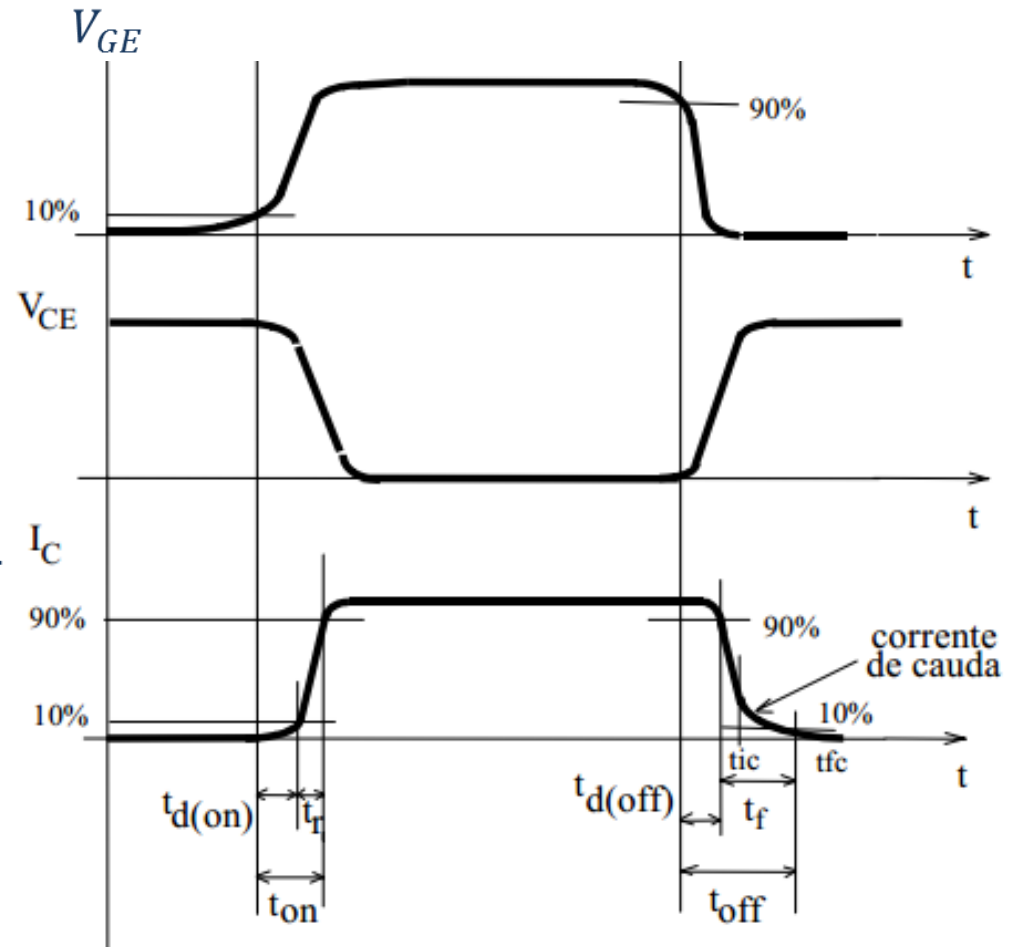
# Característica Dinâmica do IGBT

$t_{d(on)}$  → retardo na entrada em condução.

$t_r$  → tempo subida de  $I_c$ .

$t_{d(off)}$  → retardo no bloqueio.

$t_f$  → tempo de descida de  $I_c$ .



# Característica de alguns IGBTs

Componente	$V_{CEmax}$	Corrente Média	$V_{CE(on)}$	$t_f$
HGTG32N60E2	600 V	32 A	2,4 V	0,62 $\mu$ s
HGTG30N120D2	1200 V	30 A	3,2 A	0,58 $\mu$ s
<b>Módulos</b>				
CM400HA-12E	600 V	400 A	2,7 V	0,3 $\mu$ s
CM300HA-24E	1200 V	300 A	2,7 V	0,3 $\mu$ s

- As aplicações para IGBT normalmente encontra-se para elevados níveis de tensão VCE (500 a 1700V) e elevadas potências (1-1000kW), 1998.
- Circuito de controle simples (similar aos MOSFETs).
- Mais lentos do que os MOSFETs, mais rápidos que TBPs, GTOs e SCRs.

# Atividade

- Proposta de projeto de simulação
- A proposta deverá conter:
  - Título do projeto
  - Nome completo do aluno
  - Descrição: breve descrição do projeto e os resultados esperados
- Uma única folha A4, fonte *Times New Roman*, tamanho 12, espaçamento 1,5
- A proposta deverá ser encaminhada em formato *pdf* para o e-mail: [jose.azcue@ufabc.edu.br](mailto:jose.azcue@ufabc.edu.br), com o assunto “Proposta de projeto EEL101 2Q2019”, até às 14h do dia 19-06-2019



## Referências

1. BARBI, I. Eletrônica de Potência - Florianópolis, 6ta Edição do Autor, 2006.
2. RASHID, M.H. Eletrônica de Potência - Circuitos, Dispositivos e Aplicações. Ed. São Paulo: Makron Books, 1999.
3. Erickson, R.W.; Fundamentals of power electronics, 2 Ed. Kluwer Academic Publisher, 2001.
4. MOHAN, N.; UNDELAND, T.M.; ROBBINS, W.P. Power Electronics: Converters Applications and Design 3<sup>rd</sup> Ed. New York: Editora John Wiley & Sons, 2003.
5. Pomilio, J.A.; Apostilas da disciplina de Eletrônica de Potência, <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/>
6. Gonçalves, F.A.S., Apostilas da disciplina Eletrônica Industrial para Controle e Automação I. <http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/flavioasg/ei/index.php>
7. Charles Schuler, Eletrônica I, 7 Ed., McGrawHill.