



Eletrônica de Potência

Aula 01 – Introdução

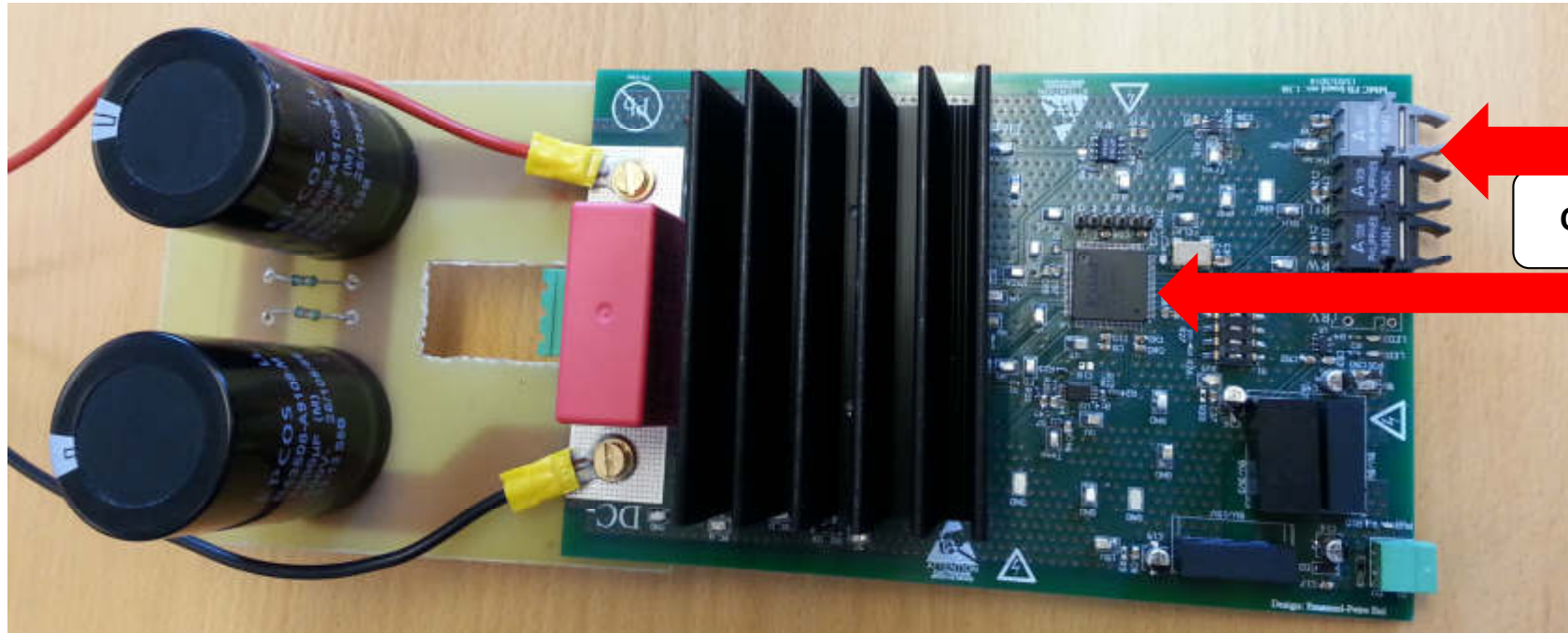
Parte 2 - Introdução à eletrônica de potência



Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br



Introdução



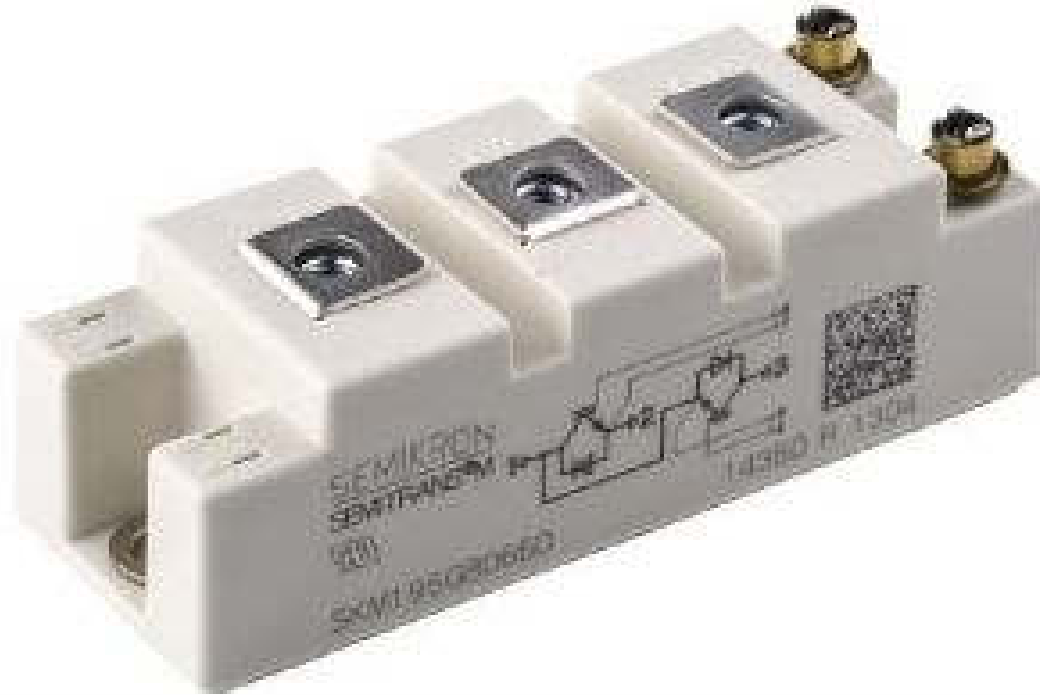
Controle

Potência

Eletrônica

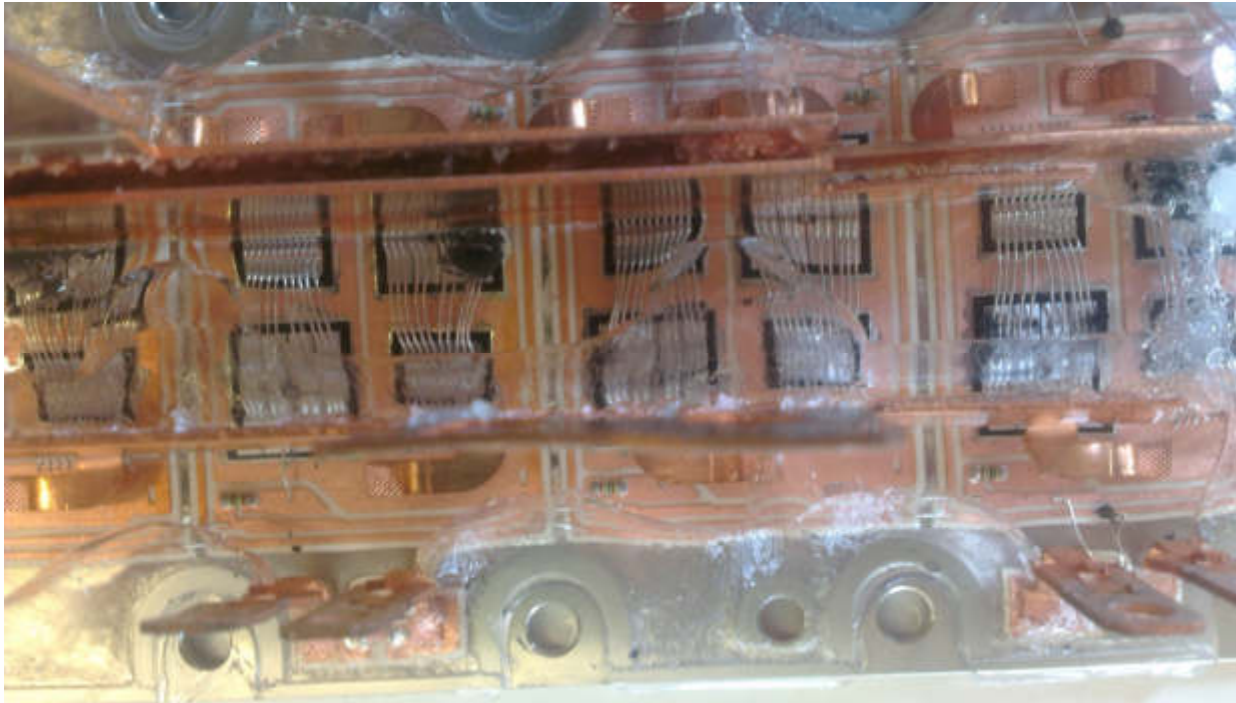
Introdução

- Dispositivos de estado solido
- A eletrônica de potência baseia-se no chaveamento de dispositivos semicondutores de potência;



Introdução

- Dispositivos de estado solido
- A eletrônica de potência baseia-se no chaveamento de dispositivos semicondutores de potência;



Aplicações

- Aquecimento
- Iluminação
- Motores
- Fontes de alimentação
- Sistemas de propulsão de veículos
- Sistemas de transmissão em corrente contínua e alternada



Histórico

- 1900
 - Retificador a arco de mercúrio**
 - Retificador de tanque metálico
 - Retificador a válvula com grade de controle
 - Ignitron**
 - Fanotron
 - Tiratron



<http://www.r-type.org/pics/aagoo10.jpg>

Histórico

Jagadis Chandra Bose



Also around 1906, American engineer [Greenleaf W. Pickard](#) invented a new type of diode. Pickard based his design on the earlier discovery that electricity can flow in only one direction through certain types of mineral crystals, such as silicon. By placing a silicon crystal between a metal base and a carefully placed fine wire, Pickard created a valve that could also be used to detect radio waves. This type of “cat’s whisker” diode (so-named because of the fine wire used in it) became more popular after American H. C. Dunwoody patented a version of it that used a material called carborundum.

https://ethw.org/Diode?gclid=Ci0KCQjw_ez2BRCyARIsAJfg-ktBaGBjXNGOMVsGOYLneFqgwoJkxkOAhgGPuqJU3-Lsy1xkKh95YkaAhHpEALw_wcB

<https://www.computerhistory.org/siliconengine/semiconductor-rectifiers-patented-as-cats-whisker-detectors/>

Histórico

made them valuable during World War II when they were used in radar receivers. During the war years, thousands were manufactured, and in the course of research on semiconductors, Bell Laboratories scientists stumbled on a new type of diode. Russell Ohl, a Bell Labs metallurgist working with silicon samples discovered that one of his samples acted like a diode and—even more remarkable—produced electricity in response to light. He had invented a new type of diode that was also an efficient solar energy converter or “cell.” The reason it worked either as a diode or as a solar cell was a mystery to the researchers. Eventually, however, they determined that the sample, which had been cut from a larger piece of silicon, had a region that contained high levels of a certain kind of impurity. The area where this region joined the rest of the silicon formed a “junction.” This junction had something to do with the diode action of the device. The junction and the different regions of impurity also allowed it to respond to light. It would be many years before physicists explained why this worked, but in the meantime, semiconductor junction diodes went into production, first as solar cells and eventually as ordinary diodes.

Histórico

- 1948
Transistor de silício (Bell Telephone)

John Bardeen, William Bradford Shockley, e
Walter Houser Brattain

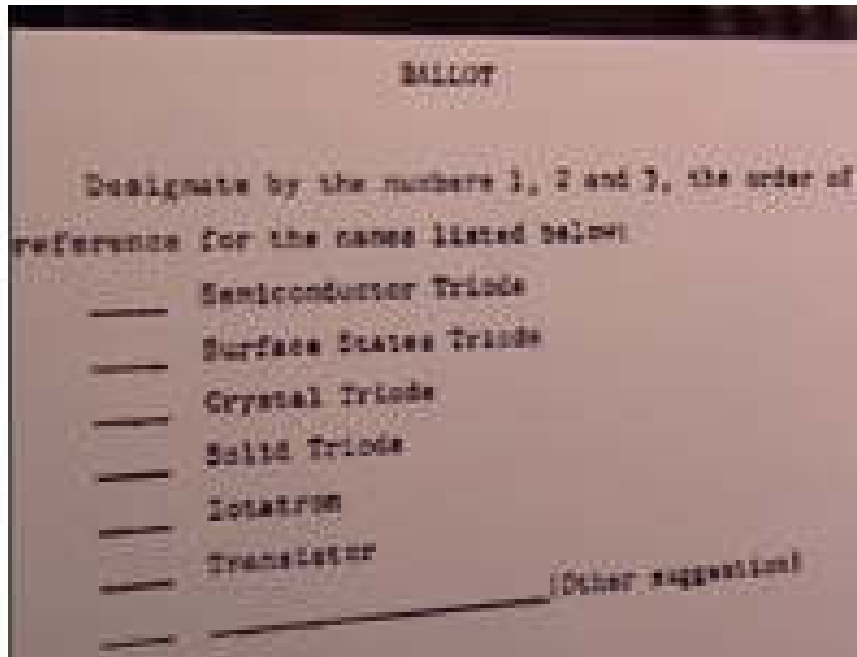
Prémio Nobel da Física em 1956

- 1956
Transistor PNP com disparo
(tiristor ou retificador controlado de silício SCR)

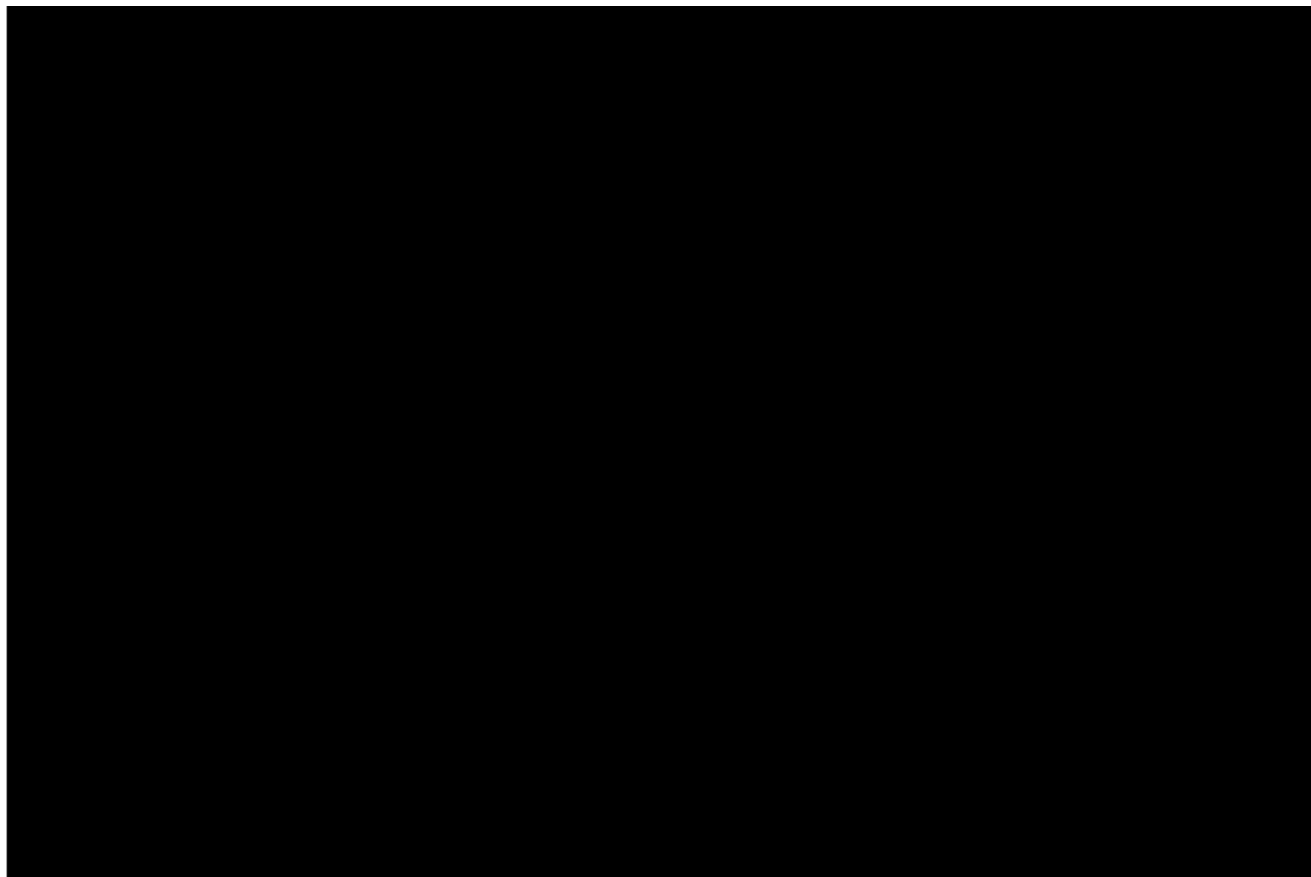
- 1958
Tiristor comercial (General Electric)



Histórico



<https://www.youtube.com/watch?v=LRJZtuqCoMw>



Considerações parciais

- Aplicações: energia renovável, transmissão de energia, carro elétrico



Considerações parciais

- Aplicações: energia renovável, transmissão de energia, carro elétrico



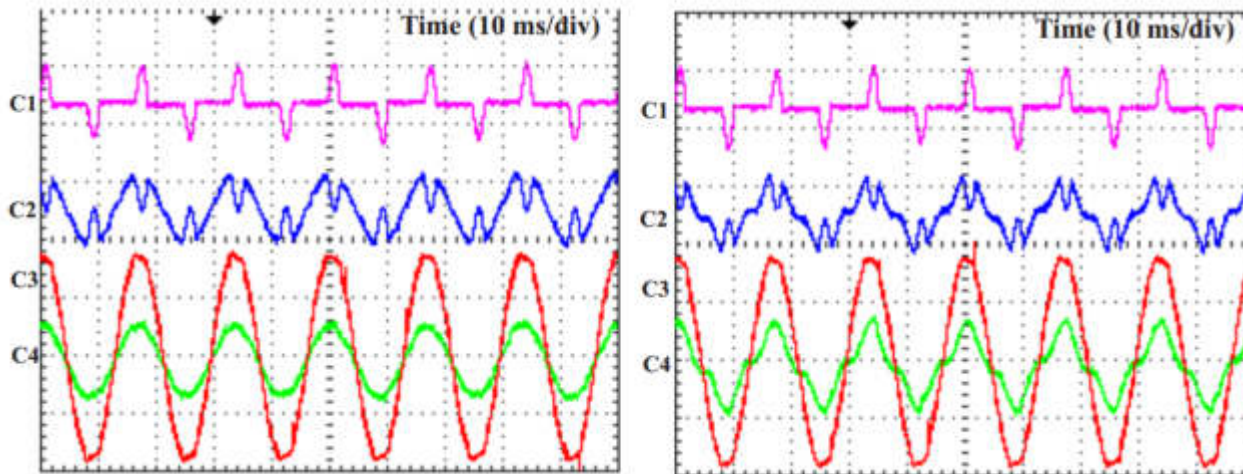
2x14 IGBTs in parallel is one leg of inverter—All packaged in discrete TO247 – From Tesla Roadster and Model S inverter

Considerações parciais

- Aplicações: energia renovável, transmissão de energia, carro elétrico
- Limitação da capacidade de dispositivos baseados em silício (níveis de potência e frequência de chaveamento)
- Novos dispositivos baseados em carbeto de silício (3ª revolução)
- Outras tecnologias como nitreto de Gálio

Pontos negativos

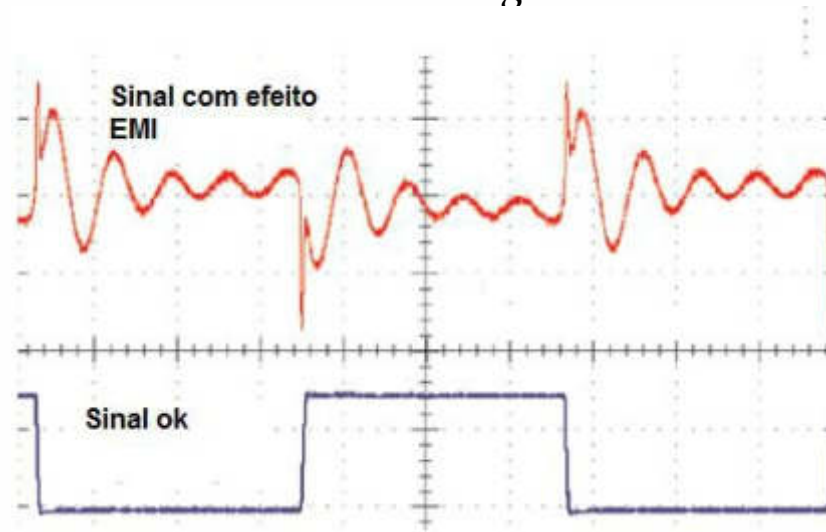
- Qualidade da energia
- Introdução de harmônicos no sistema elétricos de potência
- Filtros passivos adicionais para reduzir as harmônicas
- Filtros passivos inserem pontos de ressonância



XAVIER, LUCAS S. ; CUPERTINO, ALLAN F. ; DE RESENDE, JOSÉ T. ; MENDES, VICTOR F. ; PEREIRA, HEVERTON A. . Adaptive current control strategy for harmonic compensation in single-phase solar inverters. *Electric Power Systems Research (Print)*, v. 142, p. 84-95, 2017.

Pontos negativos

- Interferência eletromagnética
- Conversores de potência podem causar interferência em radiofrequência por causa da radiação eletromagnética
- Isso pode afetar o circuito de comando
- Necessidade de aterramento ou blindagem



Tipos de Circuitos

- Retificadores a diodo
 - Exemplo: Máquina de solda
- Conversores CC-CC
 - Controlador de carga
- Conversores CC-CA
 - Inversor fotovoltaico
- Conversores CA-CC
 - Carregador de carro elétrico
- Conversores CA-CA
 - Guindastes



PV+ PV- Bat+ Bat- Load+ Load-



Especificação das chaves

- Quando ligada

Capacidade de conduzir uma grande quantidade de corrente

Uma baixa queda de tensão

Uma baixa resistência de condução

- Quando desligada

Capacidade de suportar uma alta tensão direta ou reversa

Uma baixa corrente de fuga no estado desligado

Uma alta resistência

- Durante a comutação

Capacidade de ligar e desligar instantaneamente

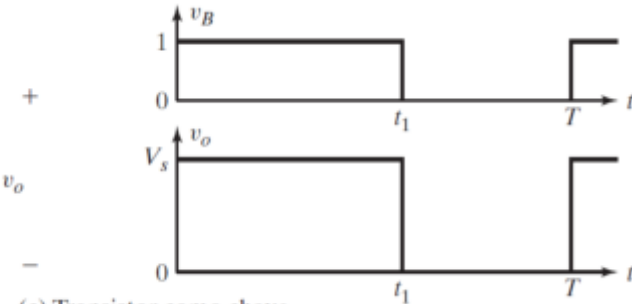
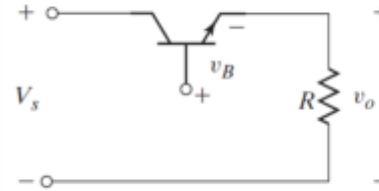
Permitir chaveamento em altas frequências

Pouco tempo de atraso

Pequeno tempo de subida

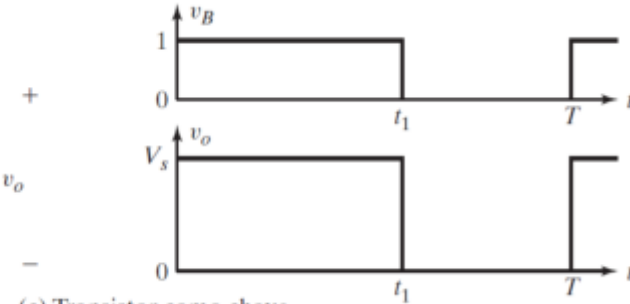
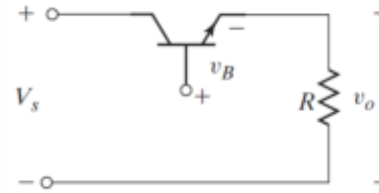
Pequeno tempo de armazenamento

Pequeno tempo de descida



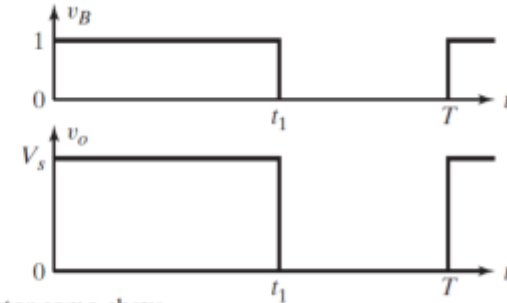
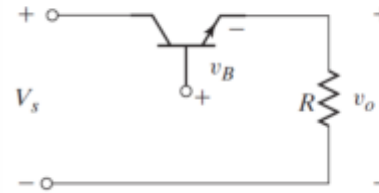
Especificação das chaves

- Para ligar e desligar
 - Baixa potência do sinal de comando
 - Baixa tensão de comando
 - Baixa corrente de comando
- Abertura e fechamento
 - Devem ser controláveis através de sinais de comando
 - Requerer apenas um sinal de pulso
- Elevado dv/dt
- Elevada di/dt
- Impedância térmica baixa
- Suportar corrente de falha



Especificação das chaves

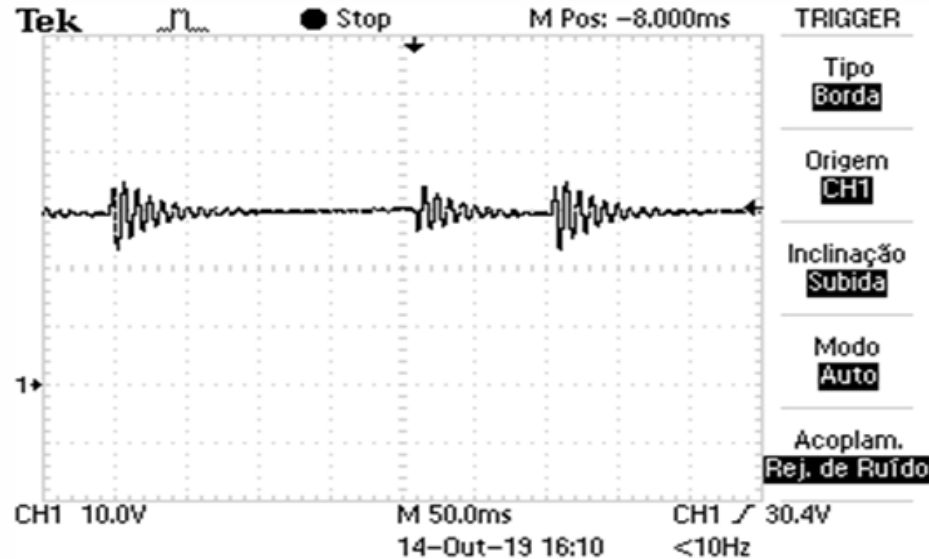
- Coeficiente de temperatura positivo
Favorece operação em paralelo de chaves
- Preço baixo



(c) Transistor como chave

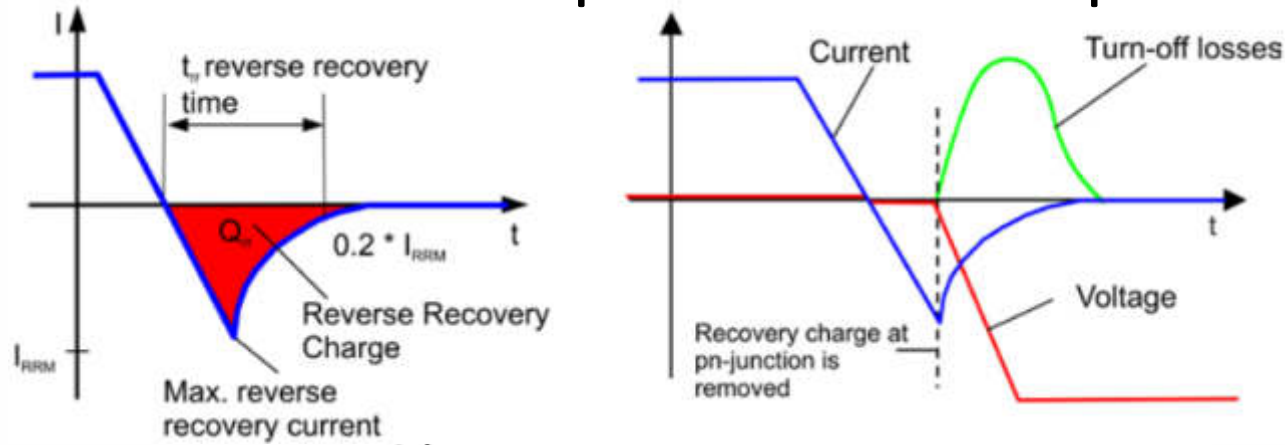
Especificação das chaves - Realidade

- Atraso de subida
- Atraso de armazenamento
- Atraso de descida
- Energia dissipada na condução
- Energia dissipada na comutação
- Tensão em condução – mínimo 1V
- Frequência de chaveamento limitada
- Acionamento consome energia

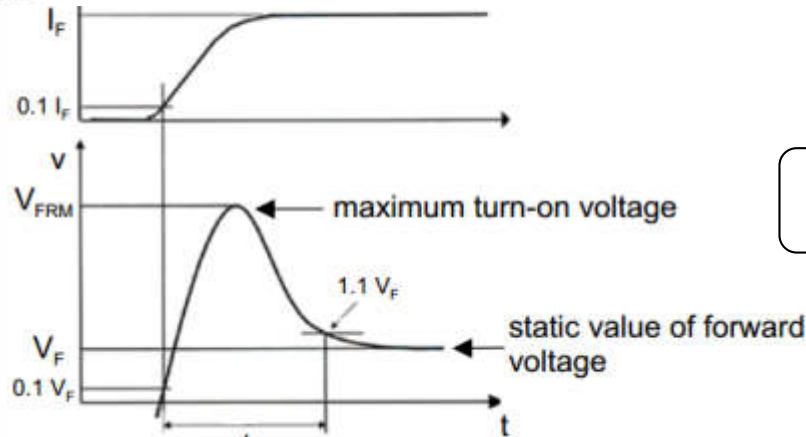


- Geralmente as perdas de comutação são as mais altas!

Exemplo: Diodo de potência

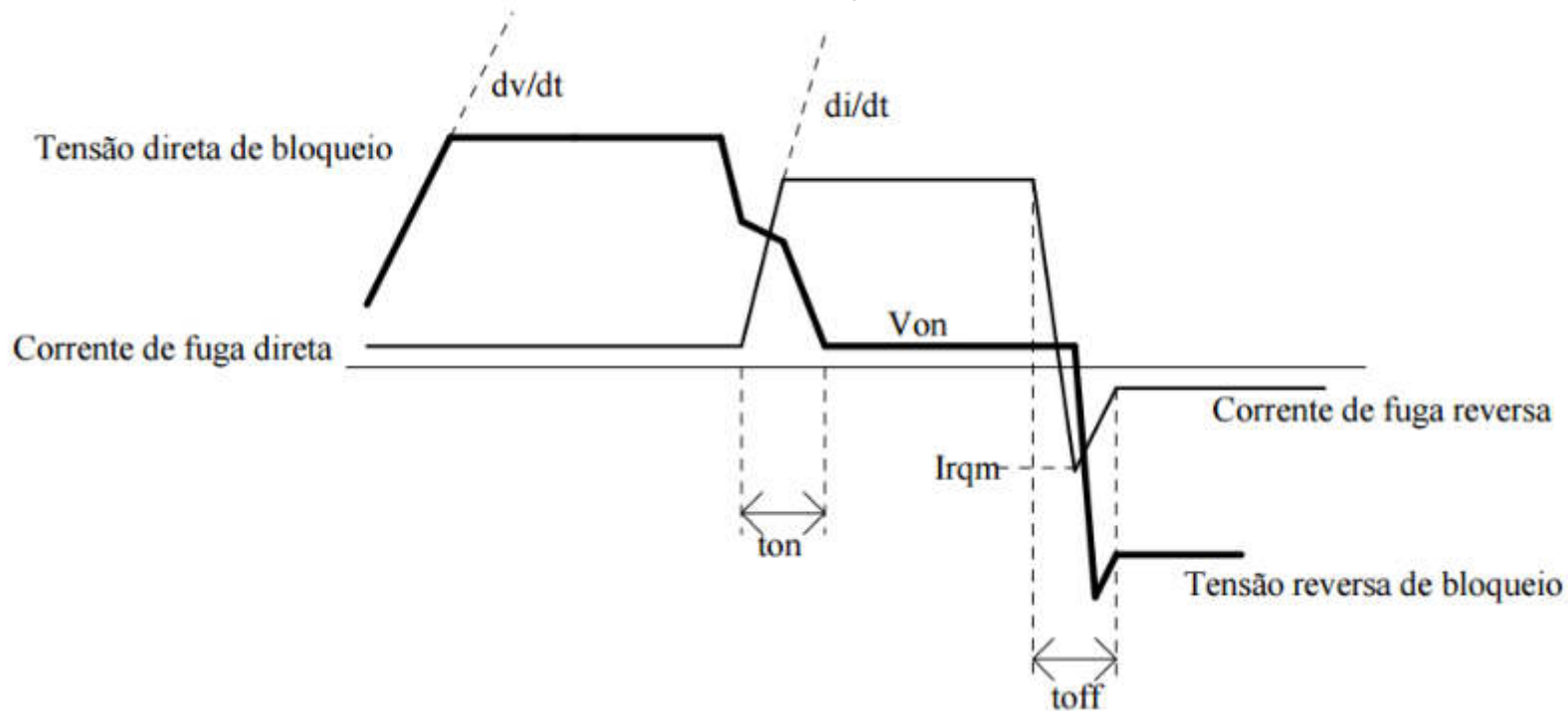


Desligar




Ligar

Exemplo: Tiristor







Como escolher a chave de potência?

- Precisamos sempre de um *datasheet*
- Tensão
 - Tensão de pico
 - Tensão reversa
 - Queda de tensão durante a condução
- Corrente
 - Corrente média, RMS
 - Corrente de pico
 - Corrente de fuga
- Frequência de chaveamento
- Capacidade di/dt
- Capacidade dv/dt


IDW100E60

Fast Switching Emitter Controlled Diode

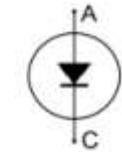




Green


Features:

- 600V Emitter Controlled technology
- Fast recovery
- Soft switching
- Low reverse recovery charge
- Low forward voltage
- 175°C junction operating temperature
- Easy paralleling
- Pb-free lead plating; RoHS compliant
- Complete product spectrum and PSpice Models: <http://www.infineon.com>

Applications:

- Welding
- Motor drives





Type	V _{RRM}	I _F	V _{F, Tj=25°C}	T _{J,MAX}	Marking	Package
IDW100E60	600V	100A	1.65V	175°C	D100E60	PG-TO247-3

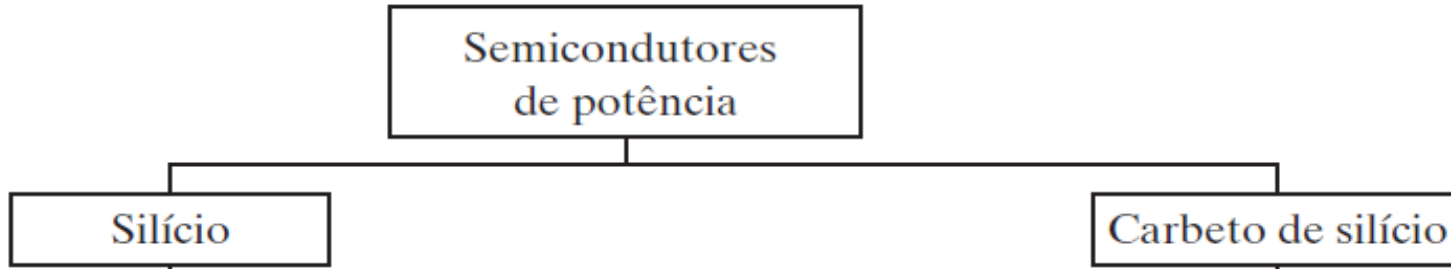
Como escolher a chave de potência?

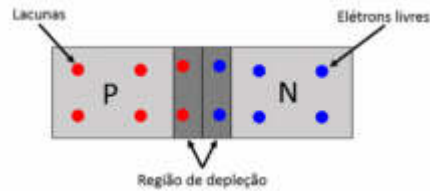
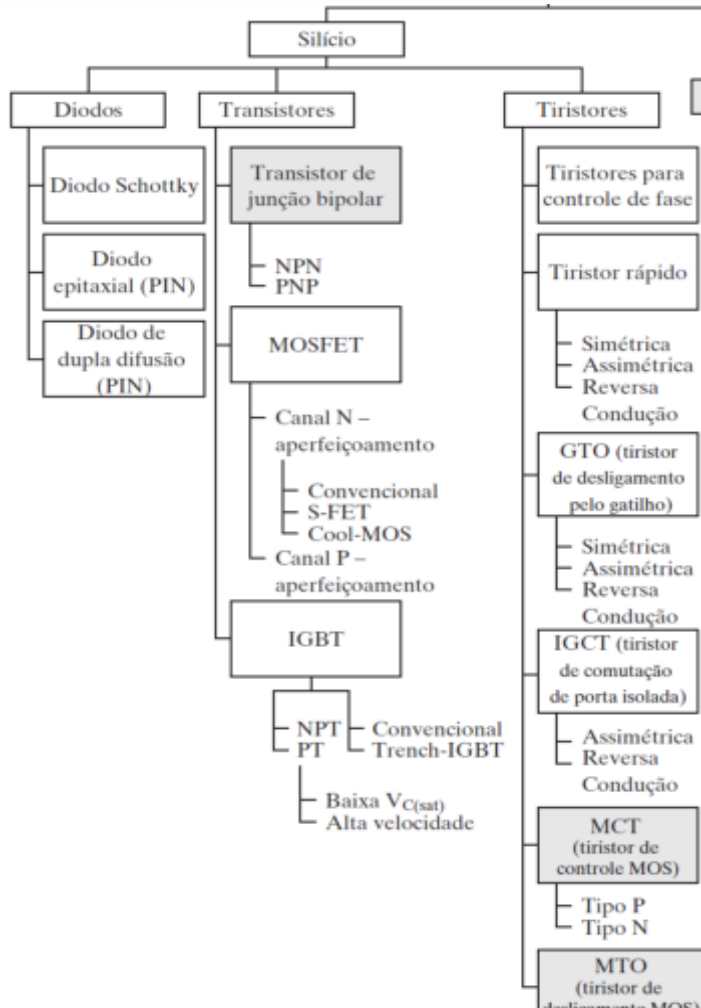
- Temperatura de operação
- Resistência térmica da junção até o encapsulamento

Maximum Ratings

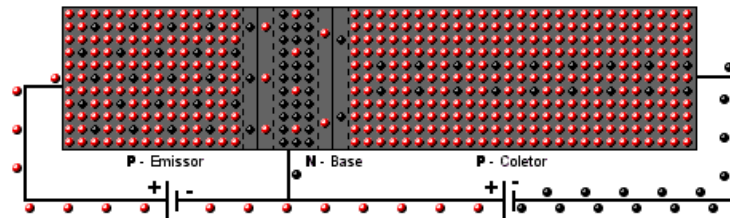
Parameter	Symbol	Value	Unit
Repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	600	V
Continuous forward current	I_F	$T_C = 25^\circ\text{C}$ 150	A
$T_C = 90^\circ\text{C}$		104	
$T_C = 100^\circ\text{C}$		96	
Surge non repetitive forward current	I_{FSM}	400	A
$T_C = 25^\circ\text{C}$, $t_p = 10$ ms, sine halfwave			
Maximum repetitive forward current	I_{FRM}	300	A
$T_C = 25^\circ\text{C}$, t_r limited by t_{max} , $D = 0.5$			
Power dissipation	P_{tot}	375 212 198	W
$T_C = 25^\circ\text{C}$			
$T_C = 90^\circ\text{C}$			
$T_C = 100^\circ\text{C}$			
Operating junction temperature	T_j	-40...+175	
Storage temperature	T_{stg}	-55...+150	°C
Soldering temperature 1.6mm (0.063 in.) from case for 10 s	T_s	260	

Dispositivos semicondutores de potência



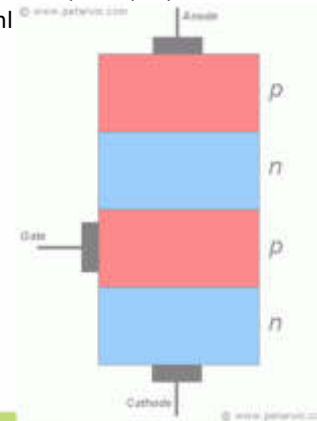


<http://www.vandertronic.com/index.php/diodos/?print=print>

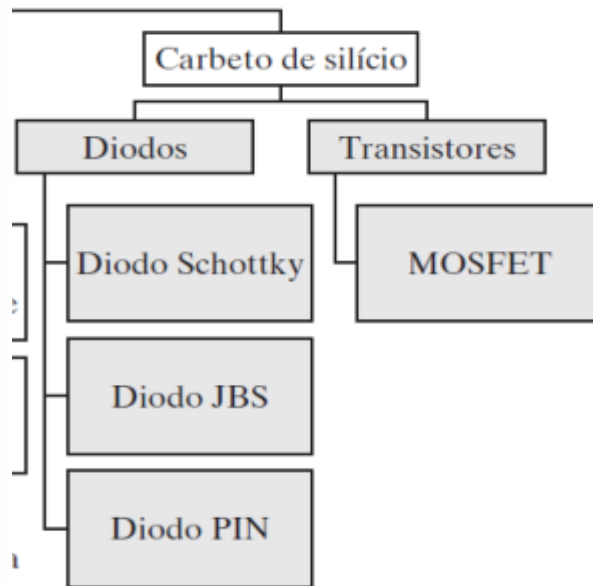


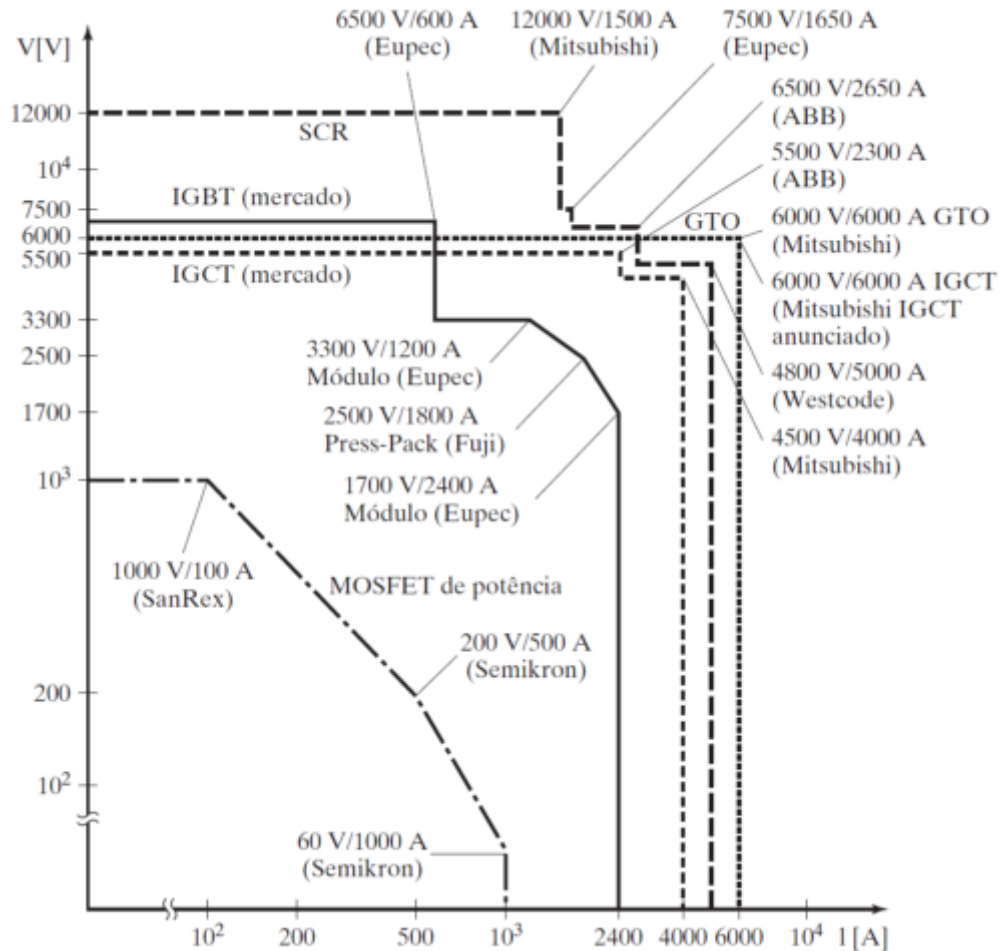
<http://eletronicaemcasa.blogspot.com.br/2013/04/como-funciona-um-transistor-bipolar.html>

http://www.petervis.com/GCSE_Design_and_Technology_Electronic_Products/GCSE_Electronics_Circuit_Symbols/thyristor/thyristor.html



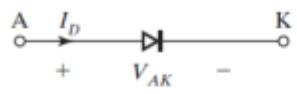
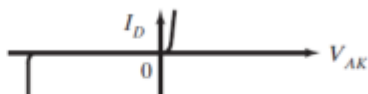
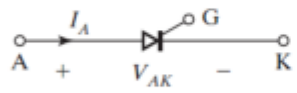
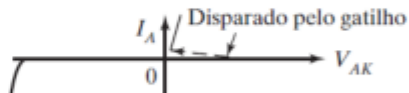
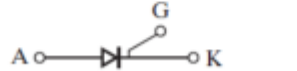
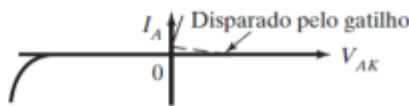
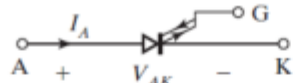
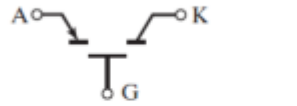
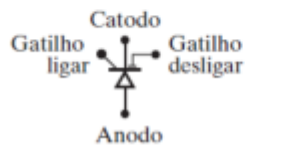
Dispositivos semicondutores de potência





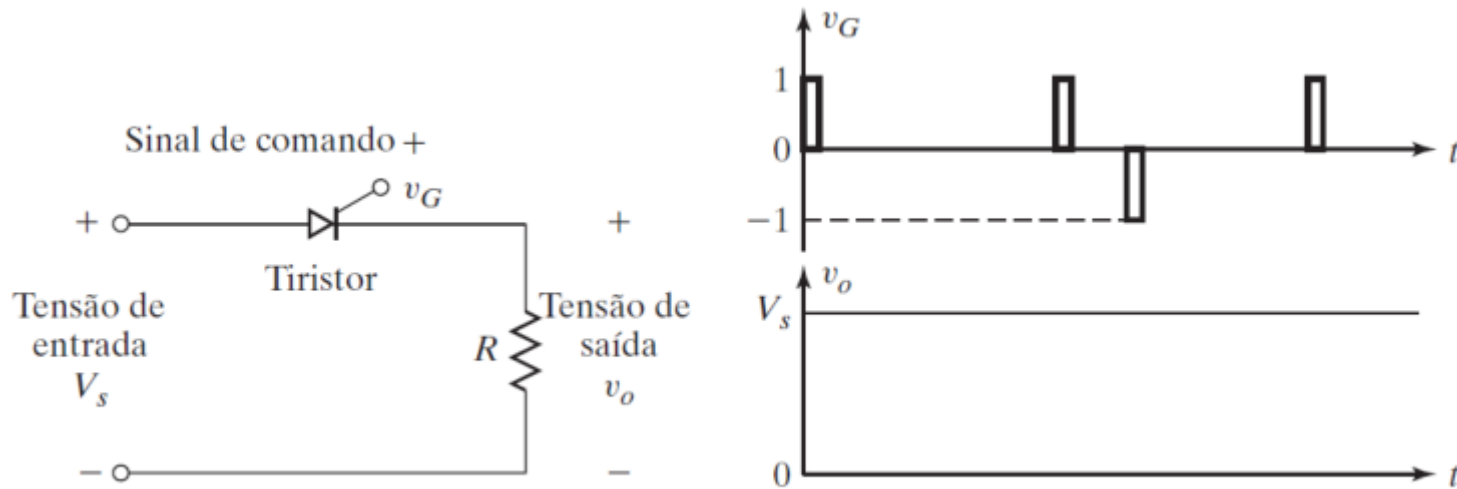
Tipo de dispositivo	Dispositivo		Especificação de tensão/corrente	Frequência máxima (Hz)	Tempo de chaveamento (μ s)	Resistência em condução (Ω)	
Diodos de potência	Diodos de potência	Uso geral	4000 V/4500 A	1 k	50–100	0,32 m	
			6000 V/3500 A	1 k	50–100	0,6 m	
			600 V/9570 A	1 k	50–100	0,1 m	
		Alta velocidade	2800 V/1700 A	20 k	5–10	0,4 m	
			4500 V/1950 A	20 k	5–10	1,2 m	
			6000 V/1100 A	20 k	5–10	1,96 m	
			600 V/17 A	30 k	0,2	0,14	
			Schottky	150 V/80 A	30 k	0,2	8,63 m
			Transistores de potência	Transistores bipolares	Discreto	400 V/250 A	25 k
400 V/40 A	30 k	6				31 m	
630 V/50 A	35 k	2				15 m	
Darlington	1200 V/400 A	20 k			30	10 m	
MOSFETs	Discreto	800 V/7,5 A		100 k	1,6	1	
COOLMOS	Discreto	800 V/7,8 A		125 k	2	1,2 m	
		600 V/40 A		125 k	1	0,12 m	
		1000 V/6,1 A		125 k	1,5	2	

Características Elétricas

Dispositivos	Símbolos	Características	
Diodo			Diodo
Tiristor			Tiristores
SITH			
GTO			
MCT			
MTO			

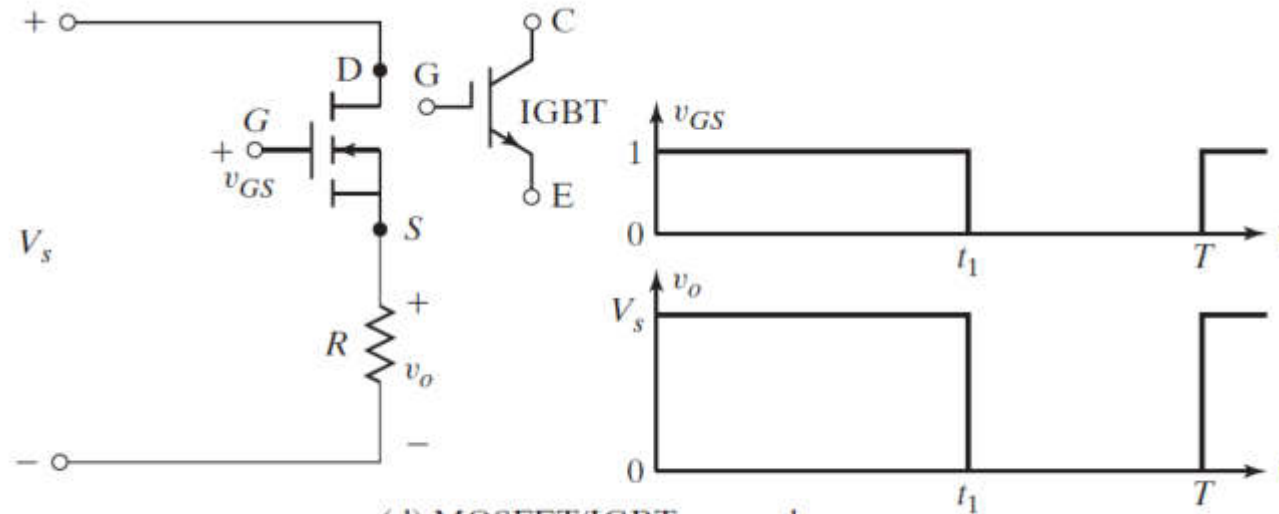
S. Bernet, "Recent developments of high power converters for industry and traction applications," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 15, no. 6, pp. 1102-1117, Nov 2000.

Características de Controle



(a) Tiristor como chave

Características de Controle



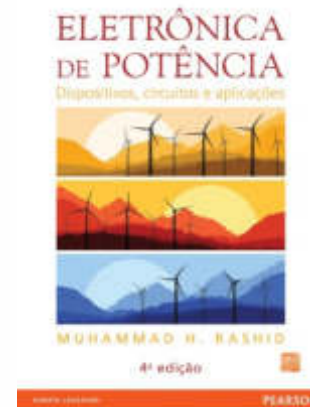
(d) MOSFET/IGBT como chave

Agora é com vocês!



Capítulo 1 do Livro

M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014





Obrigado!

Heverton Augusto Pereira

Prof. Departamento de Engenharia Elétrica | UFV

Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência | Gesep

Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG

E-mail: heverton.pereira@ufv.br