

ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

História da Eletrônica de Potência (Aula 1)

Prof. Me. Hermom Leal Moreira

E-mail:

hermom.moreira@fatec.sp.gov.br

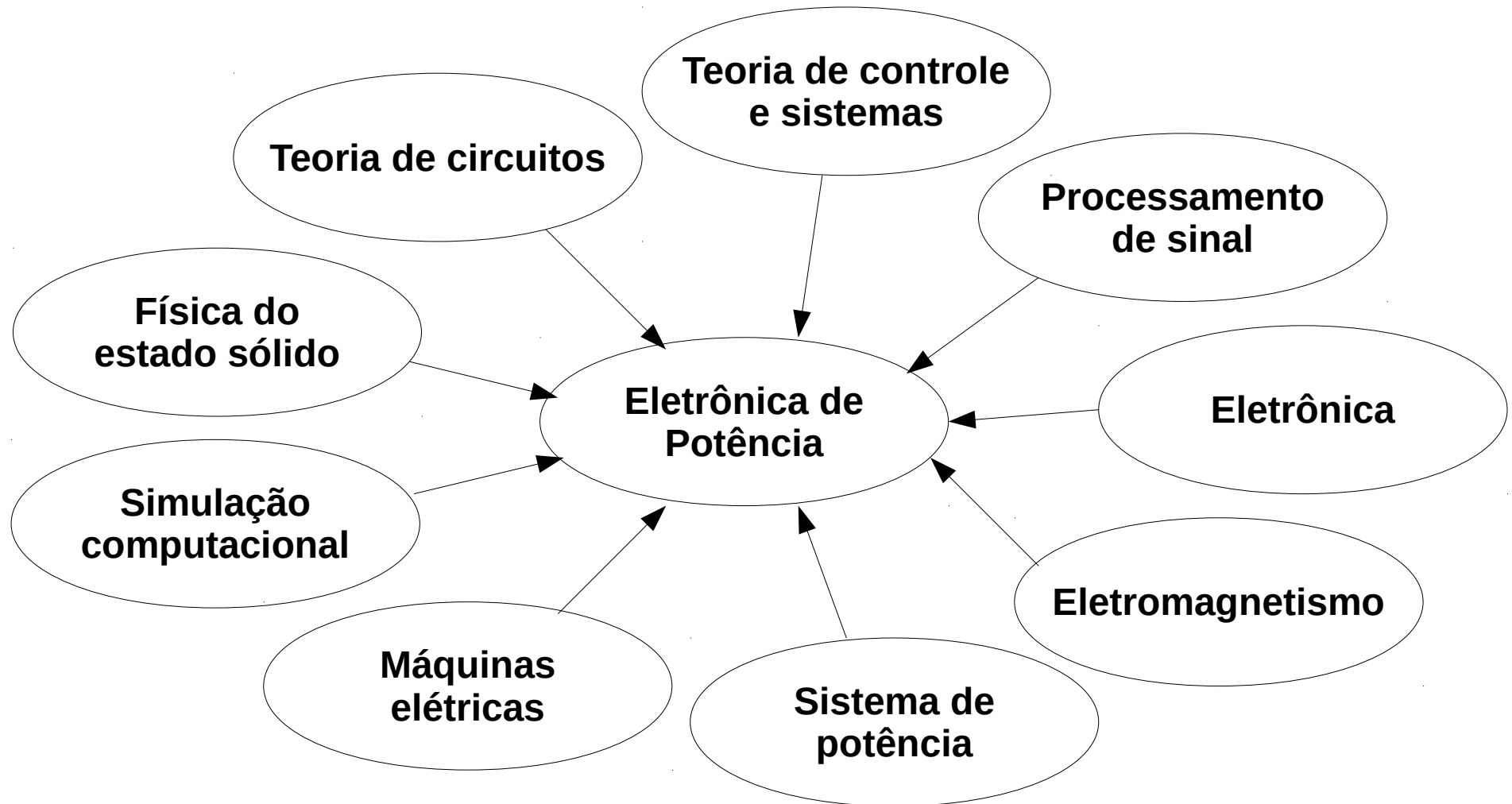
Escopo da Eletrônica de Potência

Potência (Watts)	Sistema
0,1 a 10	Equipamentos operados por baterias Flashes e strobos
10 a 100	Sistema de potência de satélites Conversores flyback offline
100 a 1k	Fontes de computadores Liquidificadores, processadores
1k a 10k	Piscina aquecida
10k a 100k	Carro elétrico Fornos de indução

Escopo da Eletrônica de Potência

Potência (Watts)	Sistema
100k a 1M	Ônibus elétrico Micro-SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)
1M a 10M	SMES
10M a 100M	Lançadores magnéticos de caças Grandes locomotivas
100M a 1G	Usinas em geral
> 1G	Grandes subestações

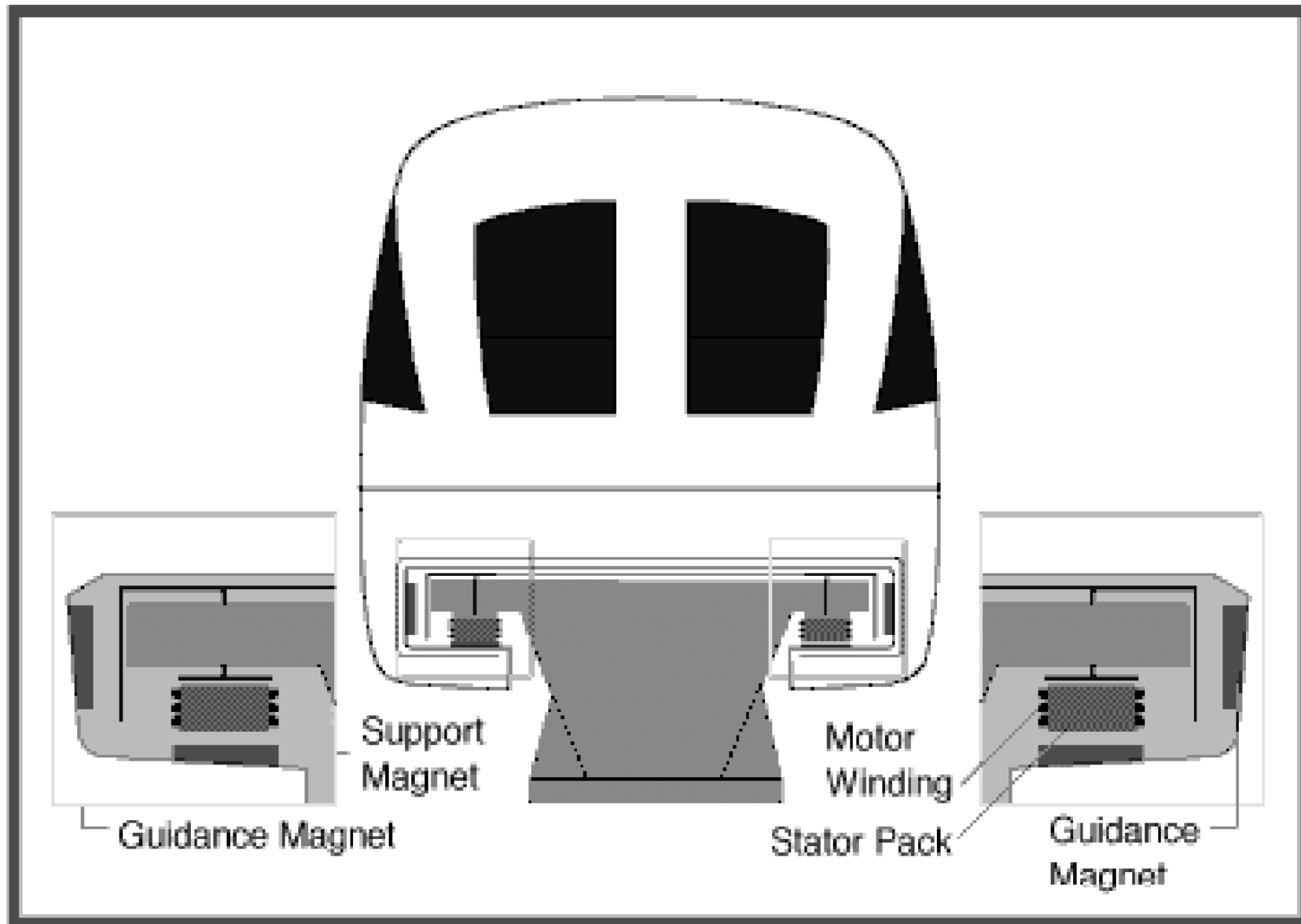
Escopo da Eletrônica de Potência



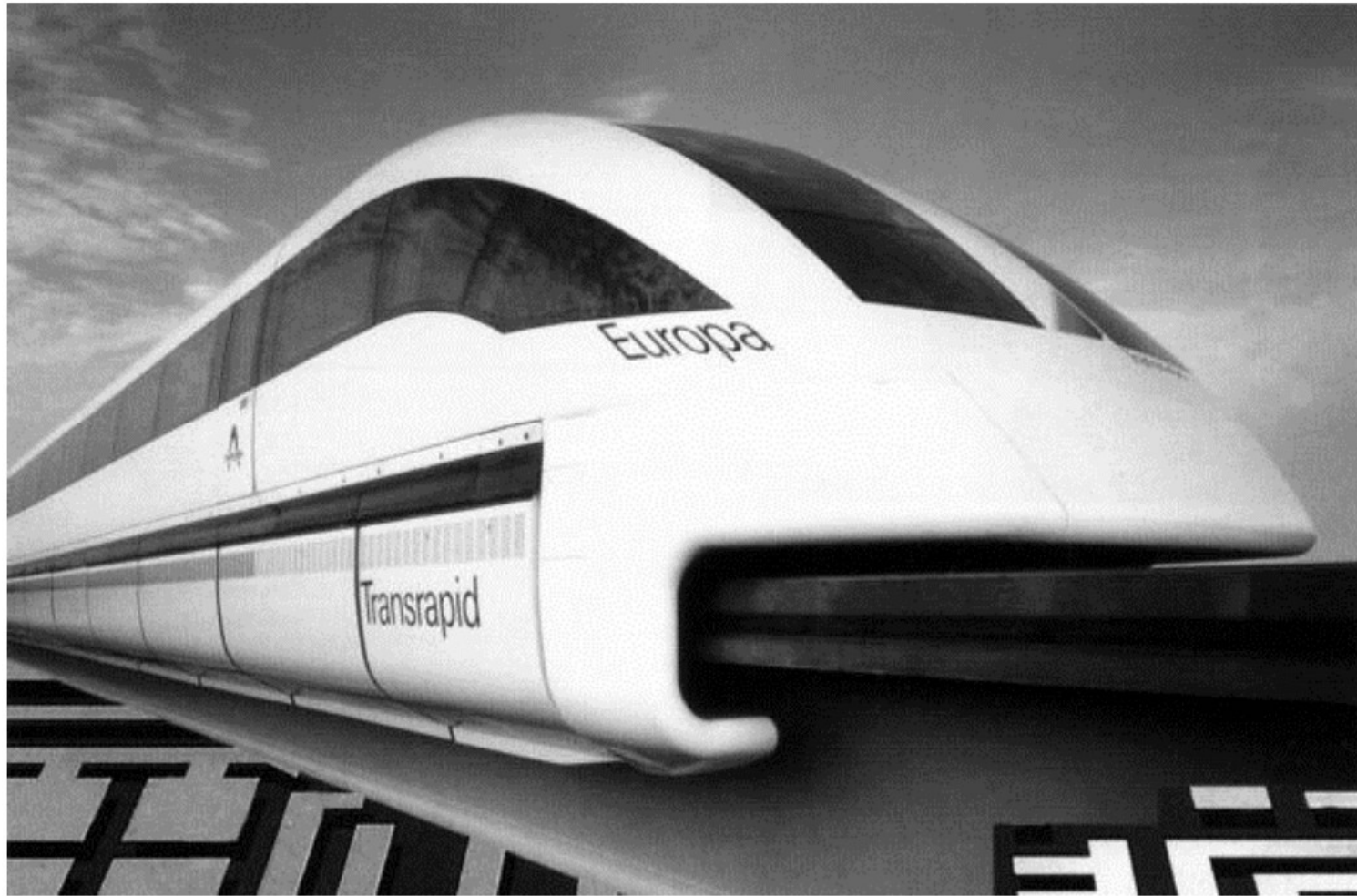
Áreas de Aplicação de Eletrônica de Potência

- ✓ Conversão de alta frequência
- ✓ Conversores CC/CC, inversores
- ✓ Conversão em baixa frequência
- ✓ Sistemas de potência distribuídos
- ✓ Dispositivos de potência
- ✓ Transmissão em alta potência (CA e CC)
- ✓ Power quality (correção de fator de potência, redução de harmônicas, etc.)

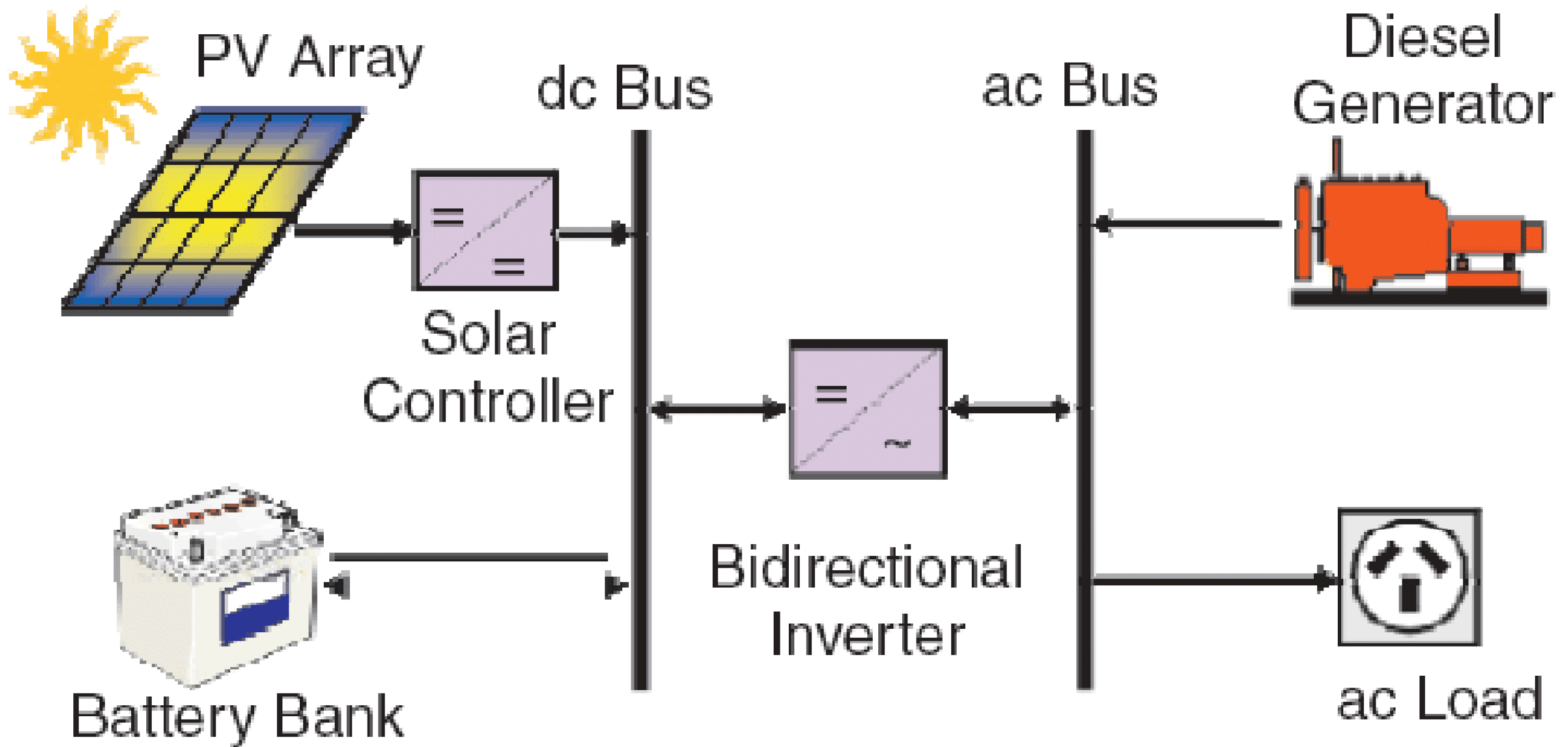
Exemplos de Aplicação



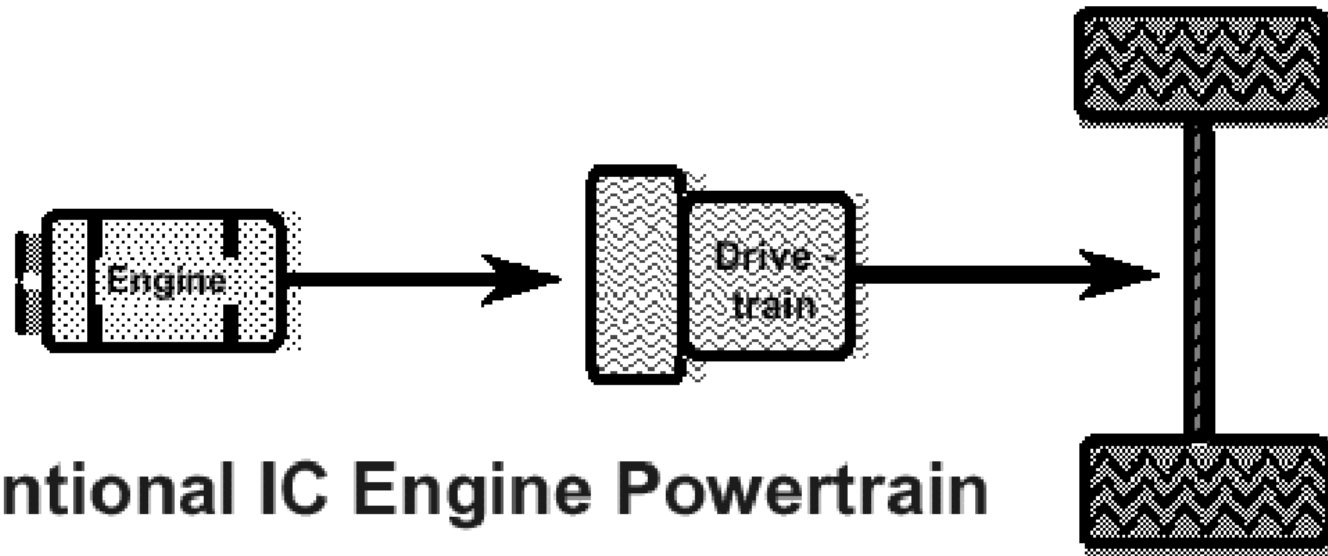
Exemplos de Aplicação



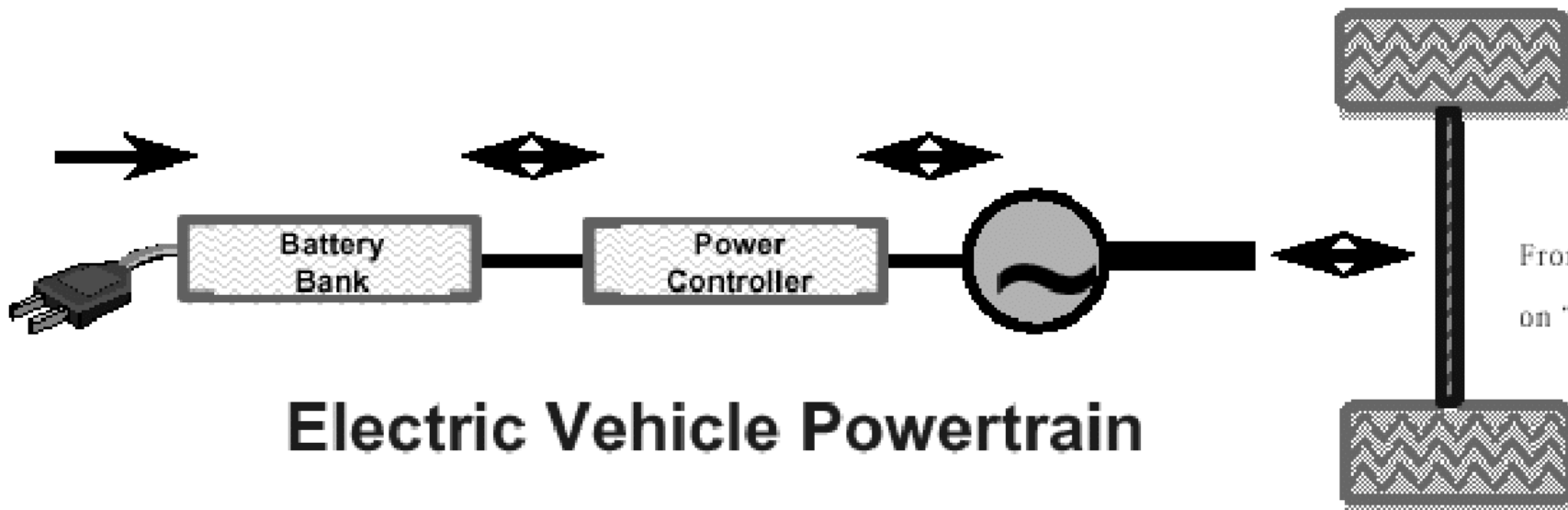
Exemplos de Aplicação



Exemplos de Aplicação



Conventional IC Engine Powertrain



Electric Vehicle Powertrain

From: Chrysler presentation
on "Hybrid Electric Vehicles"

História da Eletrônica de Potência

1831 → Transformador demonstrado por Michael Faraday
1885 (aprox.) → Transformador moderno



Photo of Faraday's original transformer (courtesy MIT Burndy Library).



This Stanley transformer from the first ac power station in Great Barrington, Massachusetts, dates from 1885. The transformer is about a foot long; copper windings wrapped with cotton protrude between wood endpieces at the left. The middle arm of E-shaped iron laminations was slid into the prewound coil in alternating directions. The ends of the other two arms are visible as dense regions at the top and bottom of the laminations.

História da Eletrônica de Potência

1900 (aprox.) → Válvula

1906 → Triodo (Lee DeForest)

1920 a 1940 → Válvula de arco de mercúrio usados em trens elétricos

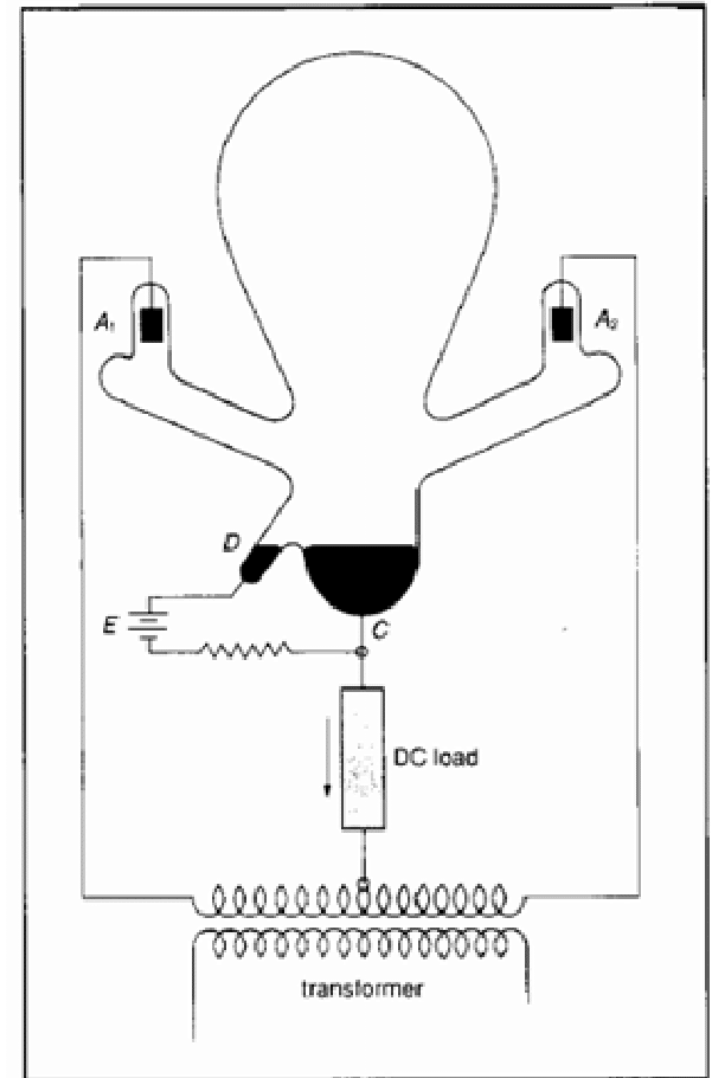


Fig. 1 Single-phase full-wave mercury-arc rectifier, 1910

História da Eletrônica de Potência

1930 (aprox.) → Retificador de selênio

1948 → Transistor de silício (Bell Labs)

1950 (aprox.) → Diodo de potência substituindo válvulas

1956 → Retificador controlado de silício SCR (General Electric)

1960 (aprox.) → Velocidade de chaveamento dos transistores aumenta sendo possível a sua utilização em conversores CC/CC (10kHz a 20kHz)

1960 → MOSFET em circuitos integrados

1976 → Power MOSFET comercial (100kHz)

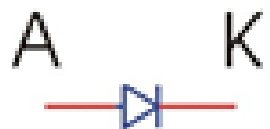
1982 → IGBT

Tipos de Diodos de Potência

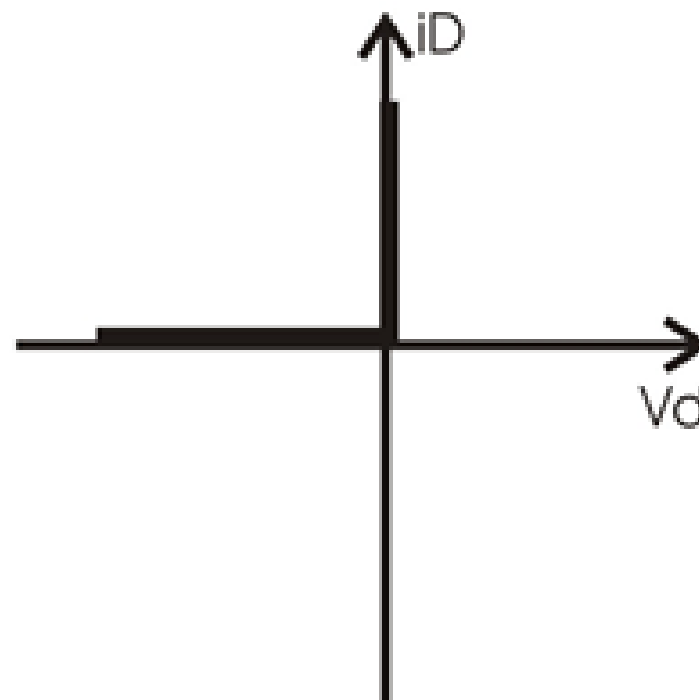
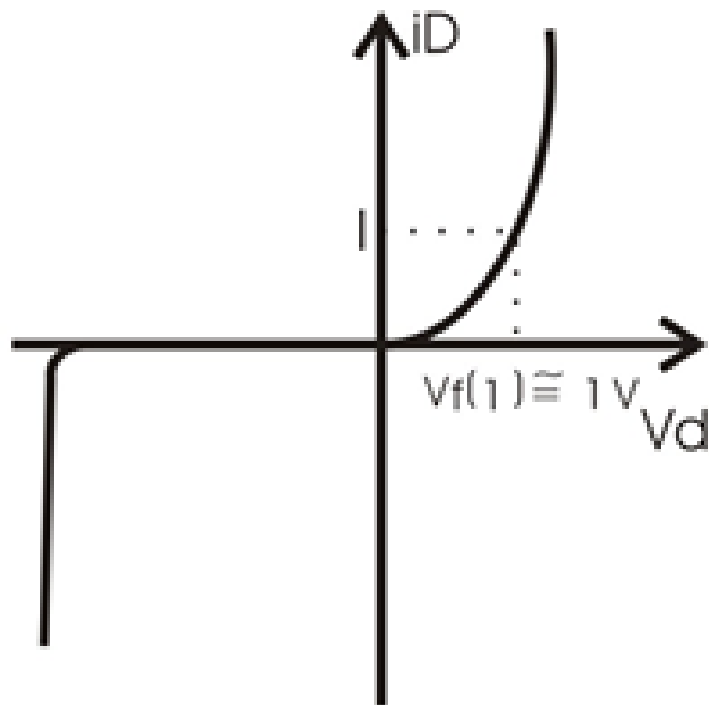
Diodos Genéricos (Comuns)

- ✓ Apresentam tempos de recuperação reversa da ordem de $25\mu\text{s}$. São utilizáveis até frequências de 1 kHz;
- ✓ Suportando correntes de 1 A até milhares de Ampères;
- ✓ Geralmente são fabricados por difusão. Entretanto, tipos de retificadores de junção fundida, utilizados em fontes de alimentação de máquinas de solda, são mais baratos e robustos. 300 A e 1000V.

Diodos Genéricos (Comuns)



(a)



Tipos de Diodos de Potência

Diodos de Recuperação Rápida

- ✓ Apresentam tempos de recuperação reversa menores que $5\mu\text{s}$;
- ✓ Suportando correntes de 1 A até centenas de Ampères e tensões entre 50 e 3000 V;
- ✓ Para tensões abaixo de 400 V utilizam a tecnologia epitaxial aumentando assim a sua velocidade. Porém, para tensões maiores é necessária a utilização da difusão, o que aumenta o tempo de recuperação reversa.

DIODO RETIFICADOR



Dispositivos de Retificação

Os retificadores permitem a circulação de corrente em um único sentido, suportando uma d.d.p. (diferença de potencial) sem circulação no sentido oposto.

Os principais dispositivos de retificação são o diodo, o tiristor convencional, o Triac, o tiristor deligável pelo gatilho (GTO), o transistor bipolar de potência, o MOSFET de potência, e o transistor bipolar de porta isolada (IGBT).

Exceto o diodo, todos os dispositivos retificadores são controláveis.

Tipos de Diodos de Potência

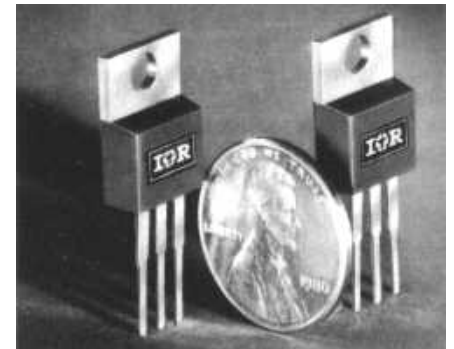
Diodos Schottky

- ✓ O problema do armazenamento de cargas em uma junção PN pode ser minimizado, fazendo-se uma barreira de potencial com um contato entre um metal e um semicondutor. Uma camada de metal é depositada em uma fina camada epitaxial de silício do tipo N. A barreira de potencial simula o comportamento da junção PN. A ação dos portadores depende apenas dos portadores majoritários, e como resultado não há portadores minoritários em excesso para se recombinarem. O efeito de recuperação deve-se unicamente à capacitância própria da junção semicondutora.

Tipos de Diodos de Potência

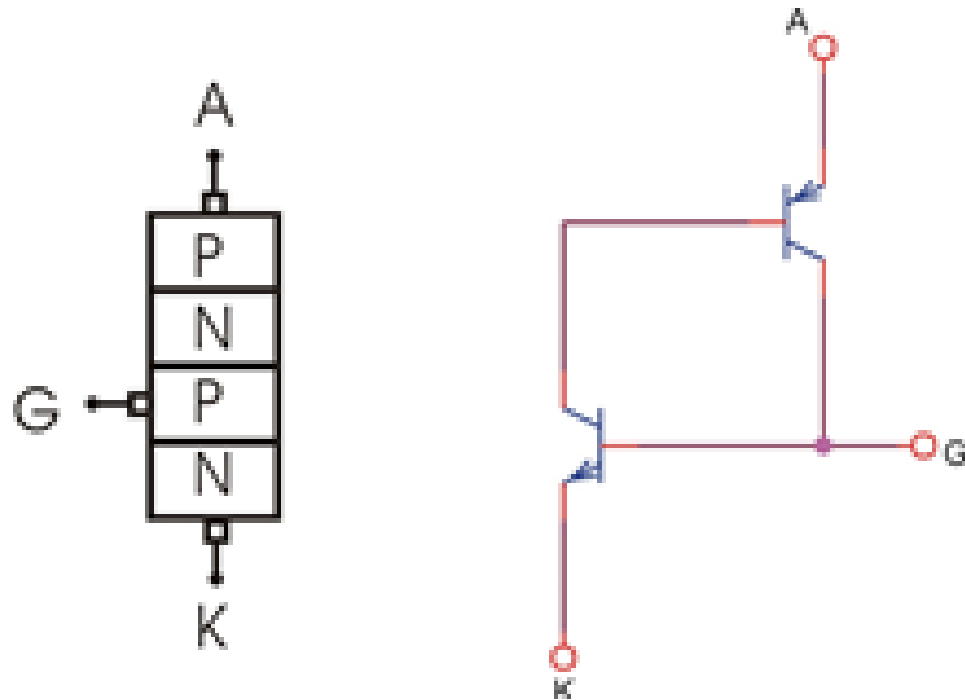
Diodos Schottky

- ✓ A corrente de fuga de um diodo Schottky é maior que a de um diodo de junção PN e é diretamente proporcional ao valor da tensão reversa;
- ✓ Assim, a máxima tensão disponível é geralmente limitada a 100 V;
- ✓ A sua faixa de corrente esta entre 1 a 300 A;
- ✓ São utilizados em fontes de alimentação CC. Altas correntes e baixas tensões;
- ✓ Aumentar eficiência;
- ✓ Pequena queda de tensão.



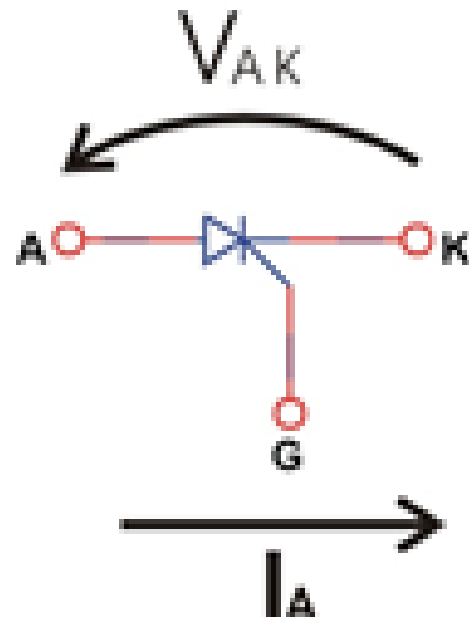
SCR - Silicon Controlled Rectifier

a) Estrutura do SCR



SCR - Silicon Controlled Rectifier

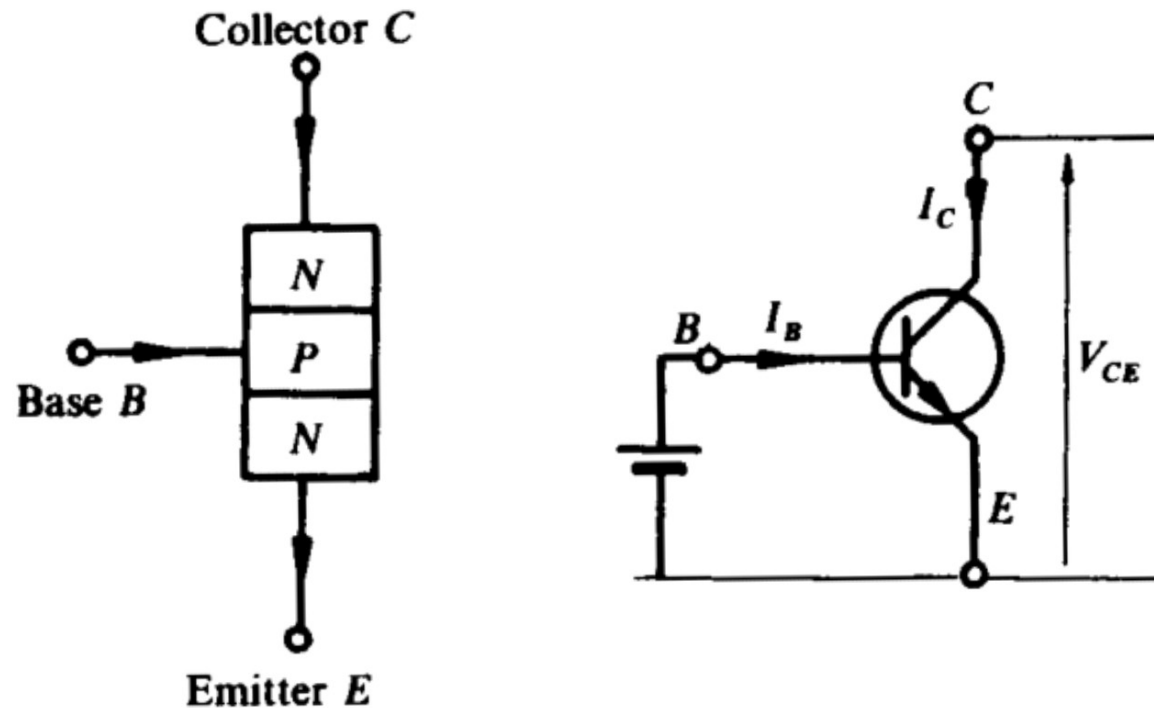
b) Características do SCR



Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)

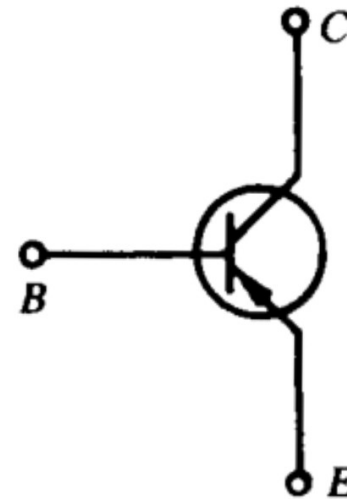
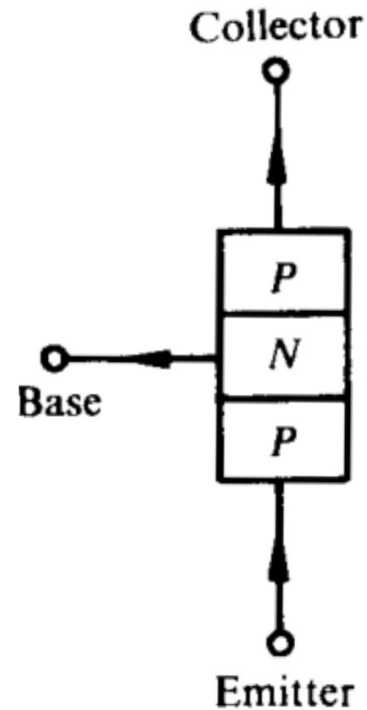
Um transistor bipolar é um dispositivo de três camadas P e N (P-N-P ou N-P-N)



Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)

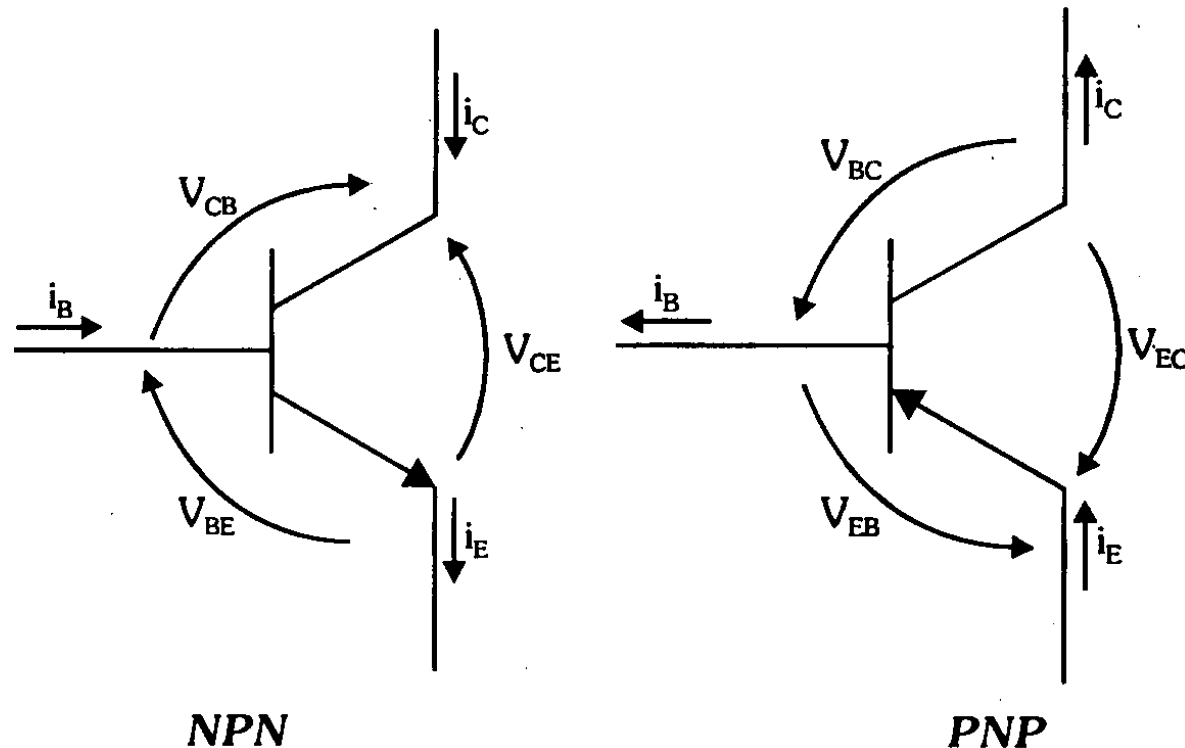
Um transistor bipolar é um dispositivo de três camadas P e N (P-N-P ou N-P-N)



Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)

Correntes e tensões inerentes aos dois tipos de transistores BJT:



Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)

Aplicando-se as leis de Kirchhoff para corrente e tensão, teremos as seguintes equações:

$$\text{NPN ou PNP: } I_E = I_C + I_B$$

$$\text{NPN ou PNP: } I_C = \beta I_B$$

$$\text{NPN: } V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

$$\text{PNP: } V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$$

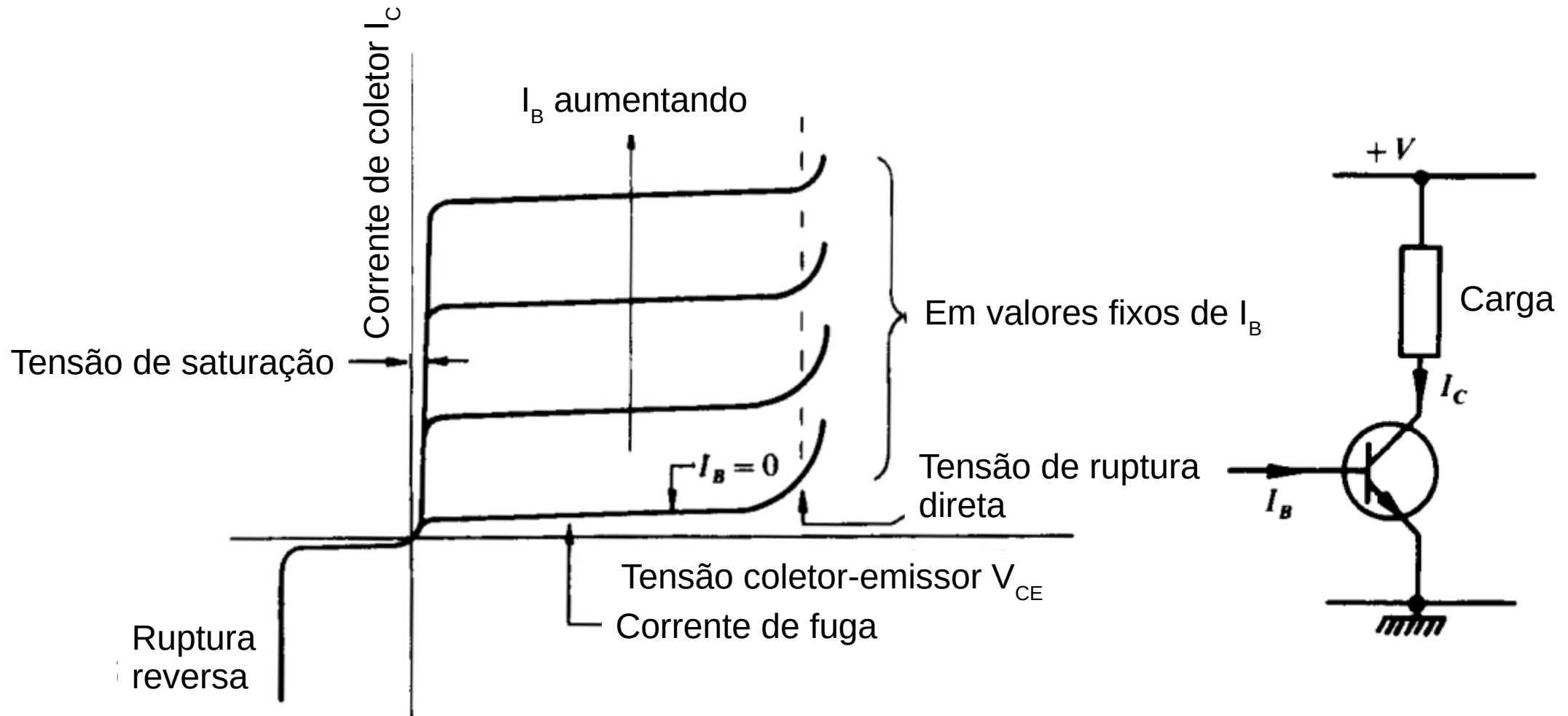
Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)

- ✓ Para o transistor BJT trabalhar como chave eletrônica é preciso polarizá-lo nas regiões de corte e saturação e como amplificador, na região ativa.
- ✓ De modo geral, o transistor BJT de potência segue os mesmos parâmetros do transistor de sinal.

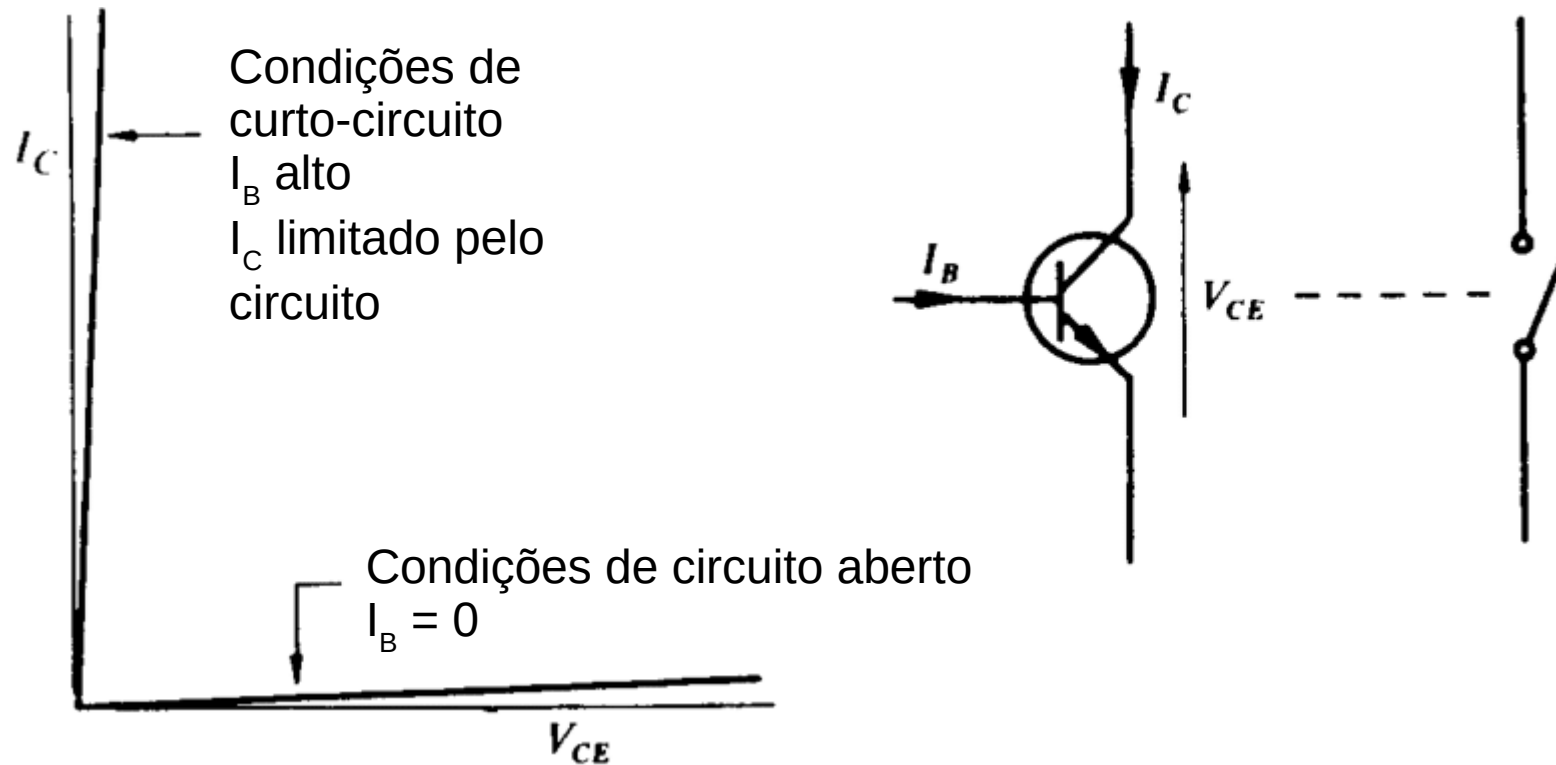
Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)



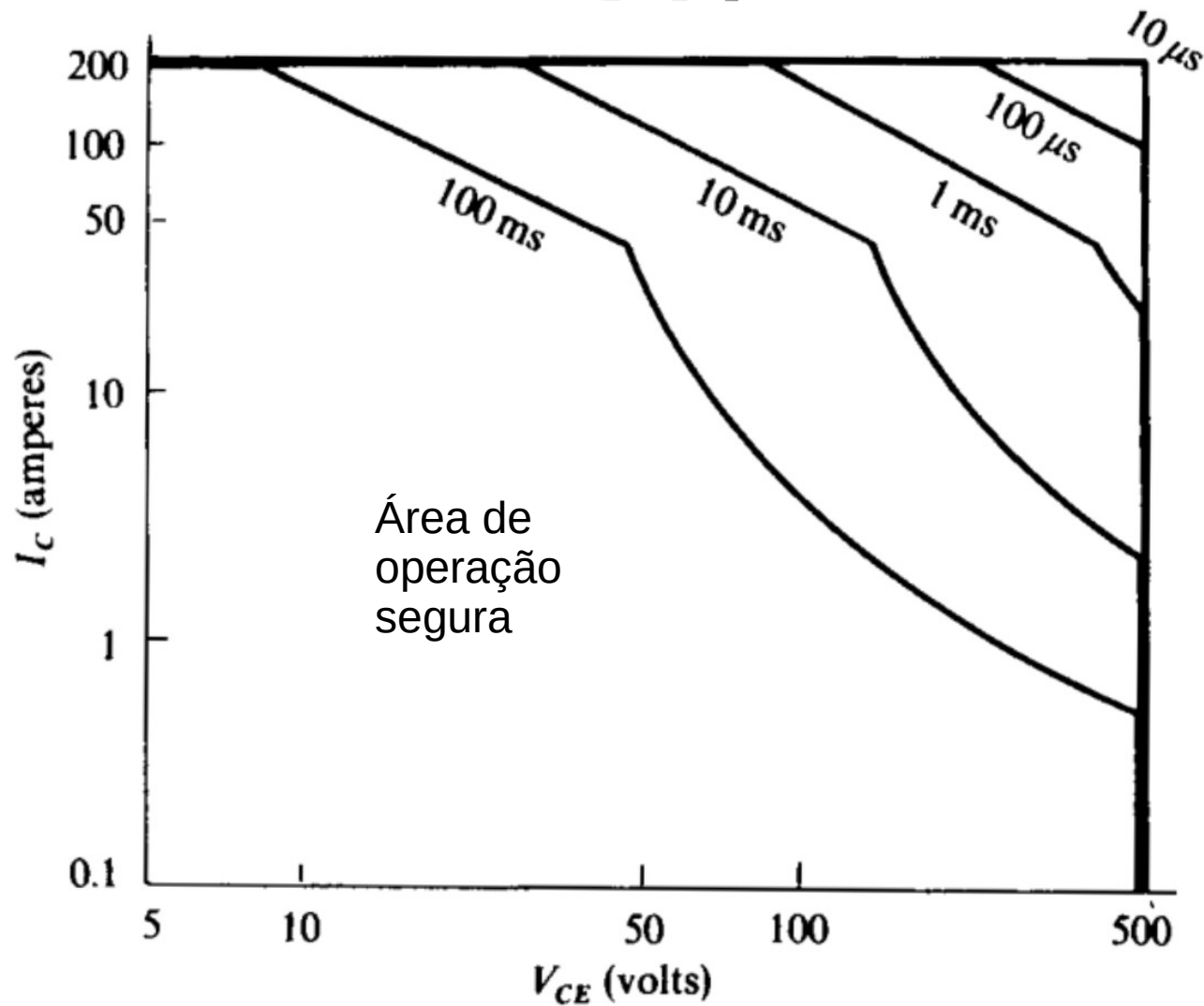
Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)



Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)



Transistores de Potência

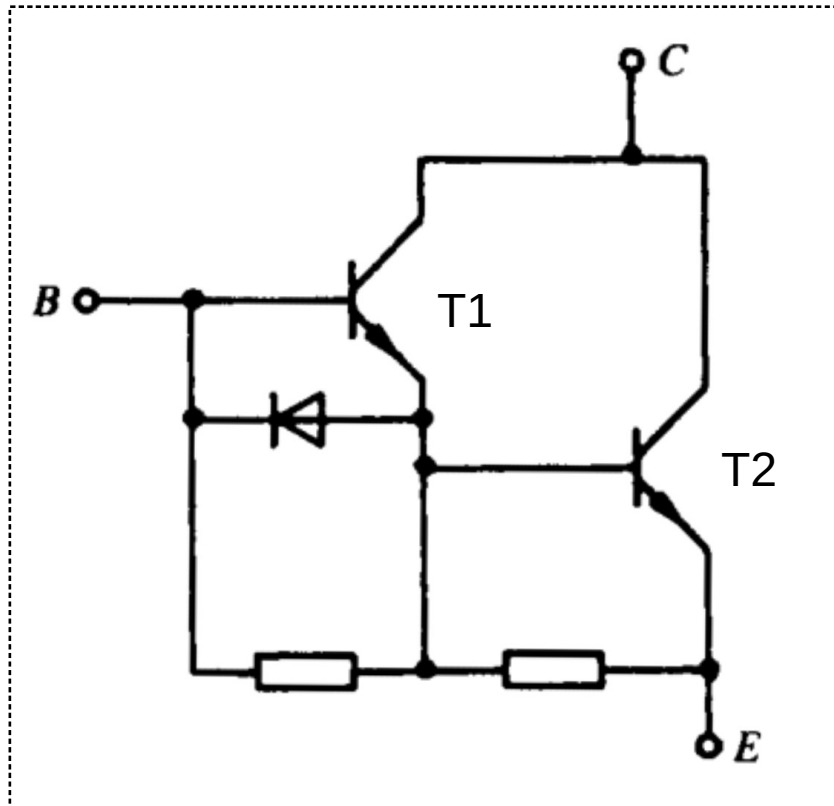
Transistor bipolar de junção (BJT)

Algumas características são próprias devido aos níveis de correntes e tensões que o dispositivo trabalha, por exemplo:

- ✓ O ganho (β) varia entre 15 e 100;
- ✓ Operação como chave, variando entre os estados de corte e saturação;
- ✓ Tensão e corrente máximas de coletor de 700V e 800A, respectivamente;
- ✓ Tensão de saturação é de 1,1V para um transistor de silício;
- ✓ Tensão de bloqueio reverso entre coletor e emissor em torno de 20V, de modo que o impede de trabalhar em AC.

Transistores de Potência

Transistor bipolar de junção (BJT)



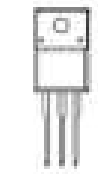
TD

Arranjo Darlington em transistores de potência:

$$\checkmark \beta_{TD} = \beta_{T1} \times \beta_{T2}$$

Transistores de Potência

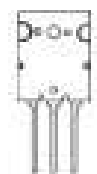
Transistor bipolar de junção (BJT)



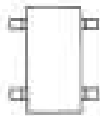
2-10R1A



2-16E3A



2-21F2A



2-2K1A



CAN6



TO18



TO202



TO218



TO218-ISO



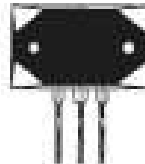
DPAK



ISO82



ISOTOP



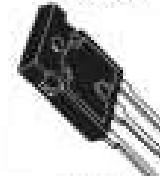
MT200



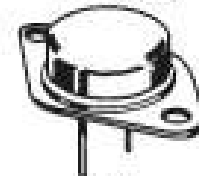
TO220



TO220-ISO



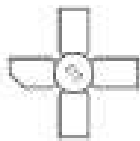
TO247



TO3



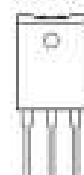
SIP



SOT122A



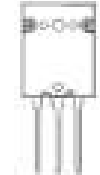
SOT186



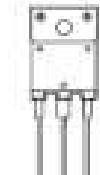
SOT199



TO39



TO3-PBL



TO3-PML



TO5



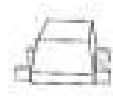
TO50



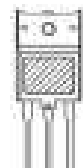
SOT223



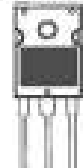
SOT23



SOT343R



SOT399



SOT429



TO66



TO72



TO92



TOP3



SOT430



SOT89



SOT93

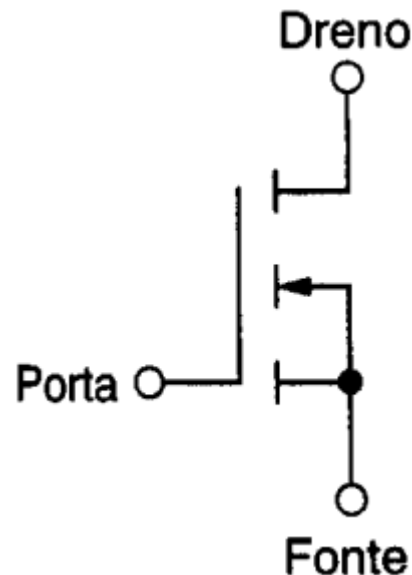


TO126

Transistores de Potência

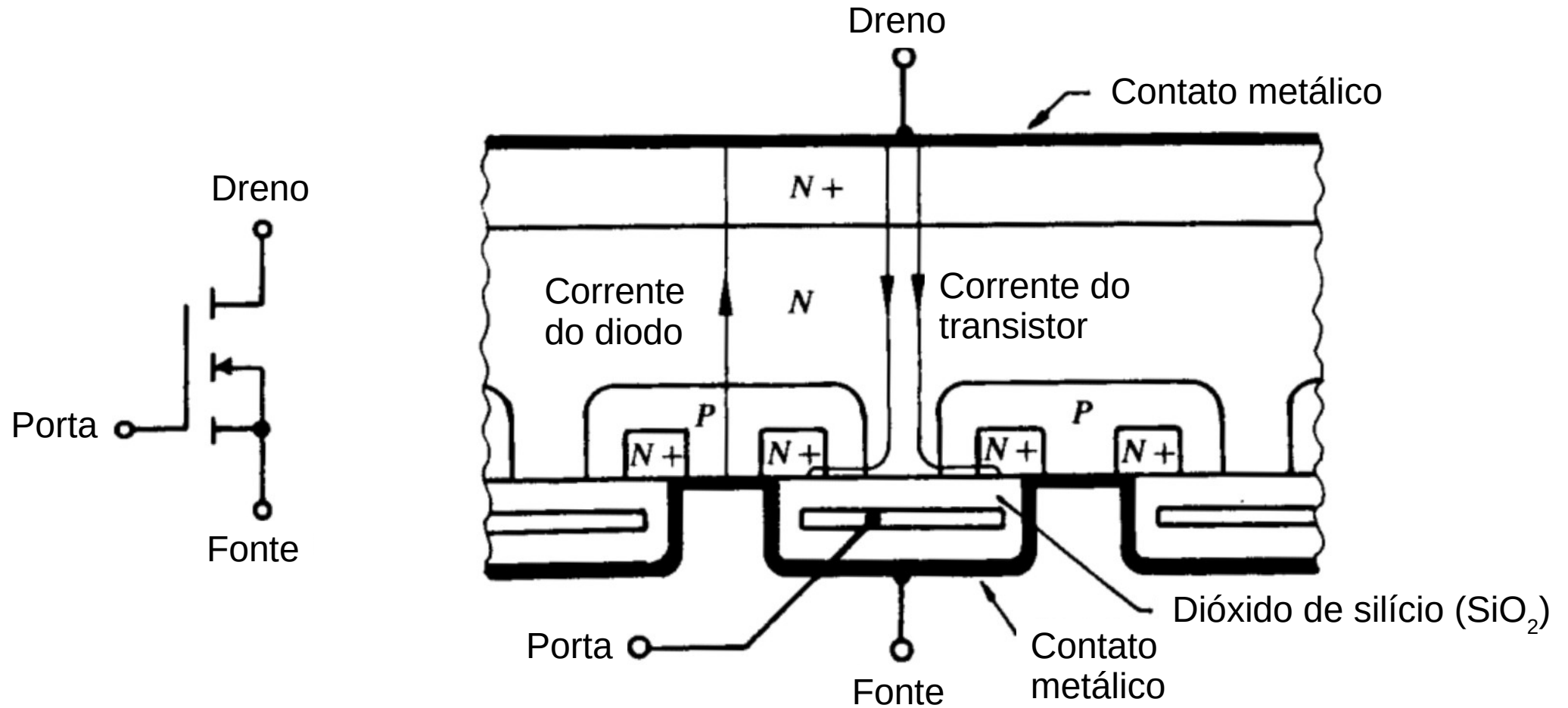
Metal-óxido-semicondutor (MOSFET)

O transistor de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico (MOSFET) de potência é um dispositivo para uso como chave em níveis de potência. Os terminais principais são o dreno e a fonte, com a corrente fluindo do dreno para a fonte e sendo controlada pela tensão entre a porta e a fonte.

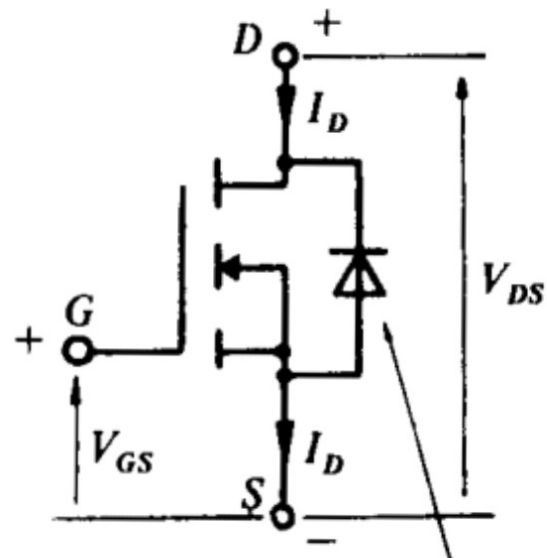


Transistores de Potência

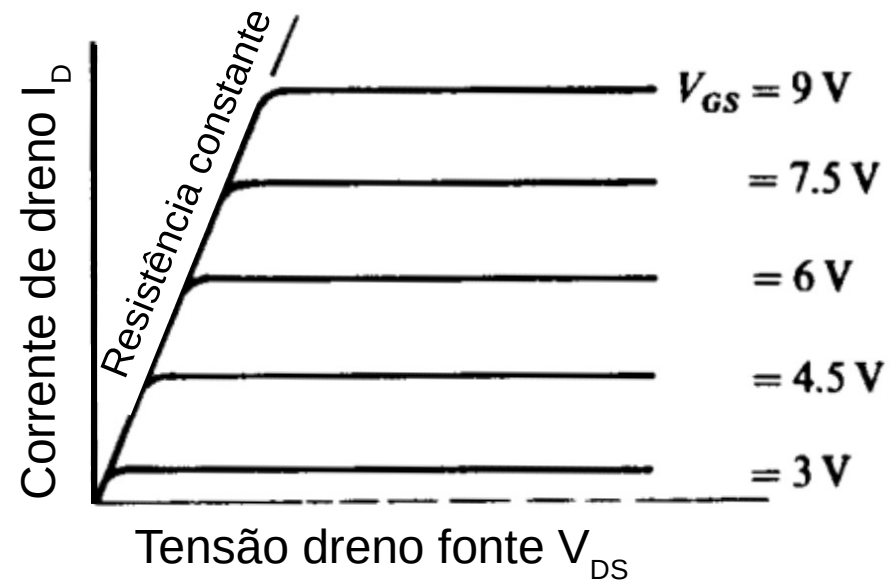
Metal-óxido-semicondutor (MOSFET)



Transistores de Potência Metal-óxido-semicondutor (MOSFET)

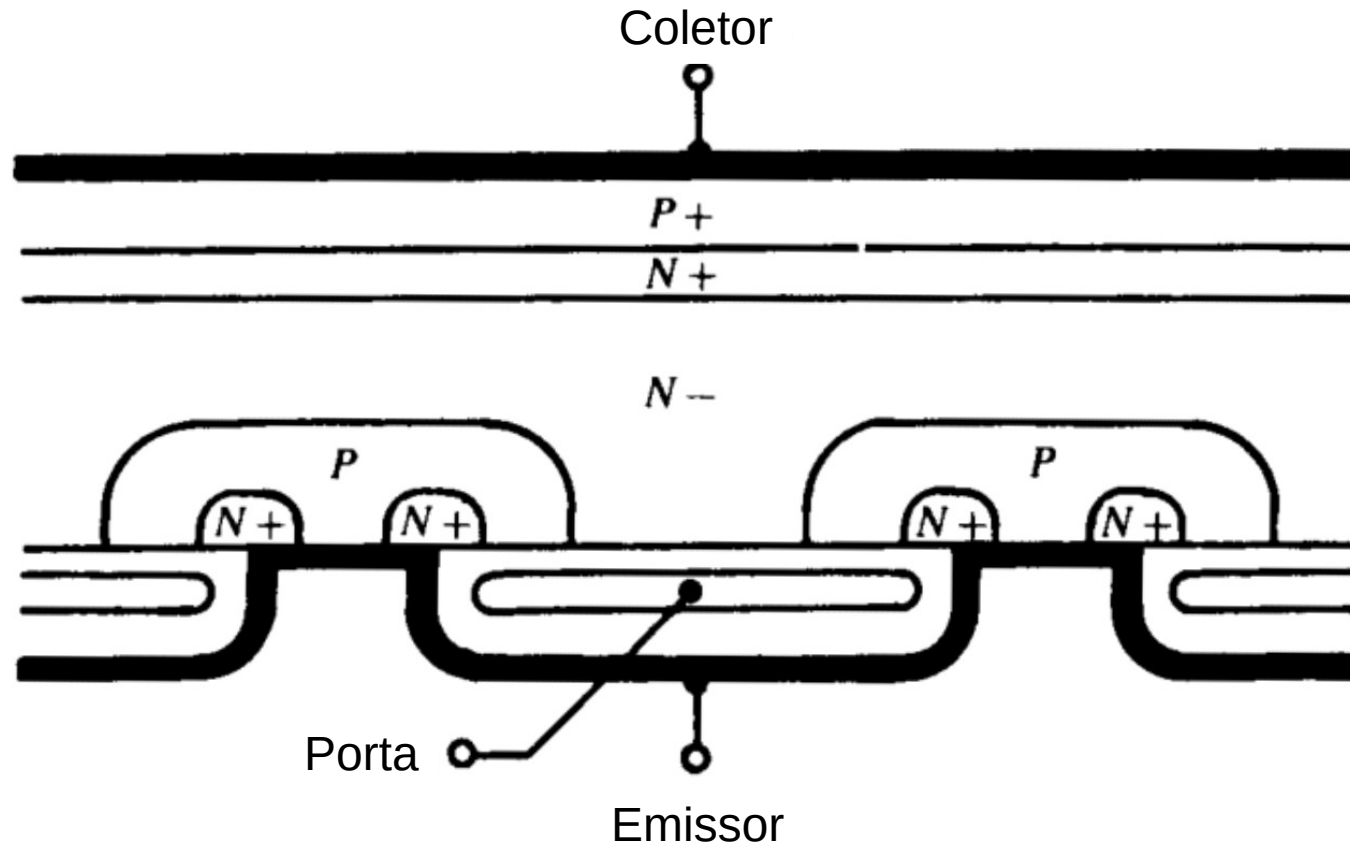


Diodo interno associado



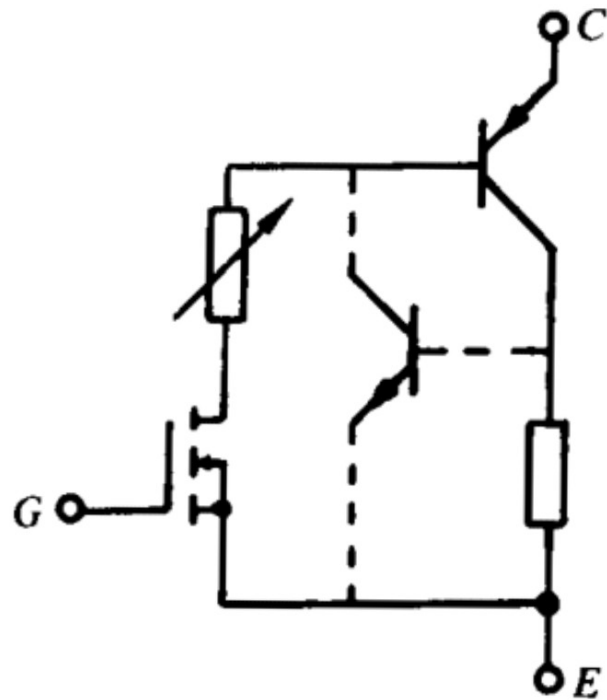
Transistores de Potência

Transistor de Porta Isolada (IGBT)



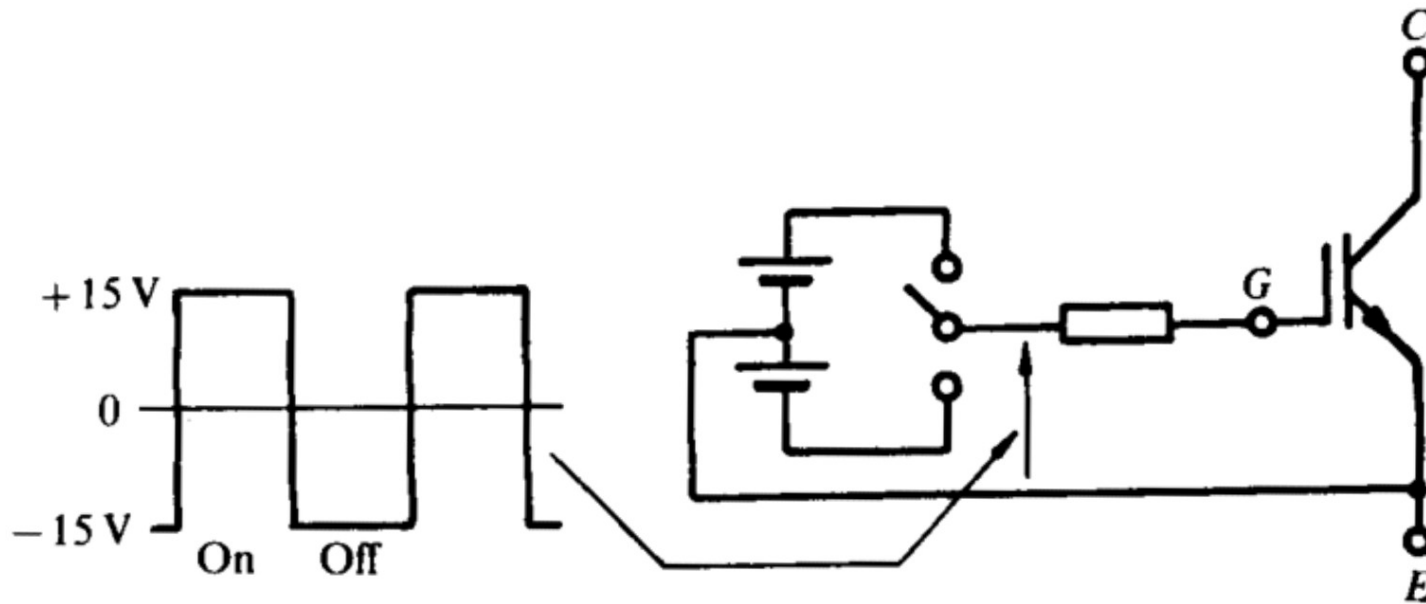
Transistores de Potência

Transistor de Porta Isolada (IGBT)



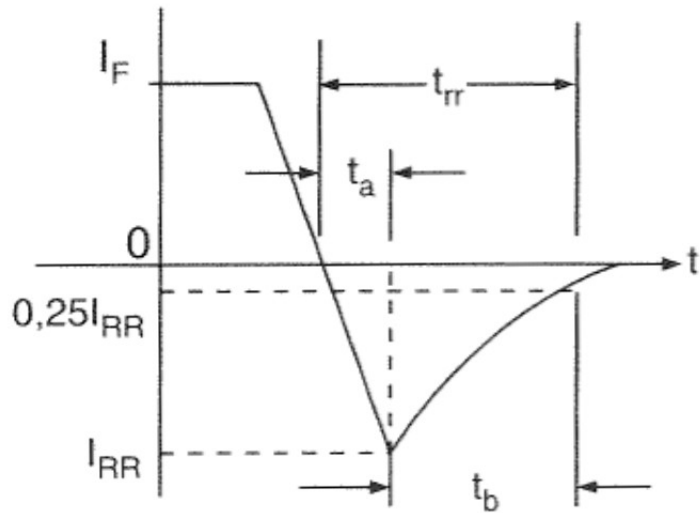
Transistores de Potência

Transistor de Porta Isolada (IGBT)

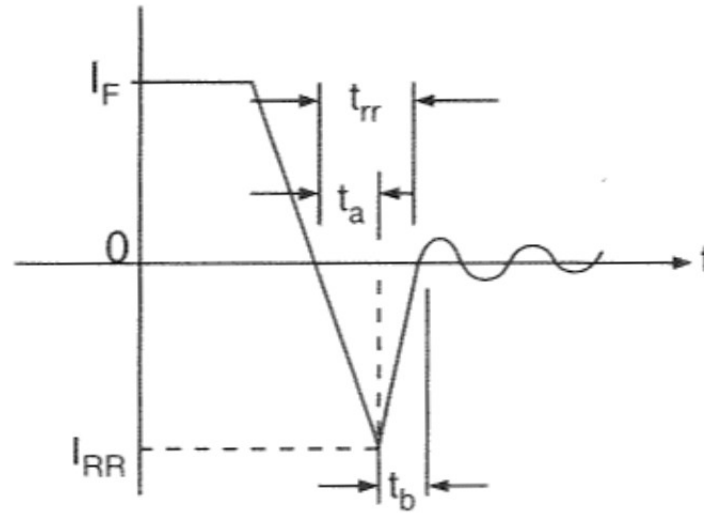


Transistores de Potência

Curva Característica da Recuperação Reversa



(a) Recuperação suave



(b) Recuperação abrupta

$$t_{rr} = t_a + t_b$$

$$I_{RR} = t_a \frac{di}{dt}$$

$$t_{rr} \approx \sqrt{\frac{2Q_{RR}}{di/dt}}$$

$$I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} \frac{di}{dt}}$$

