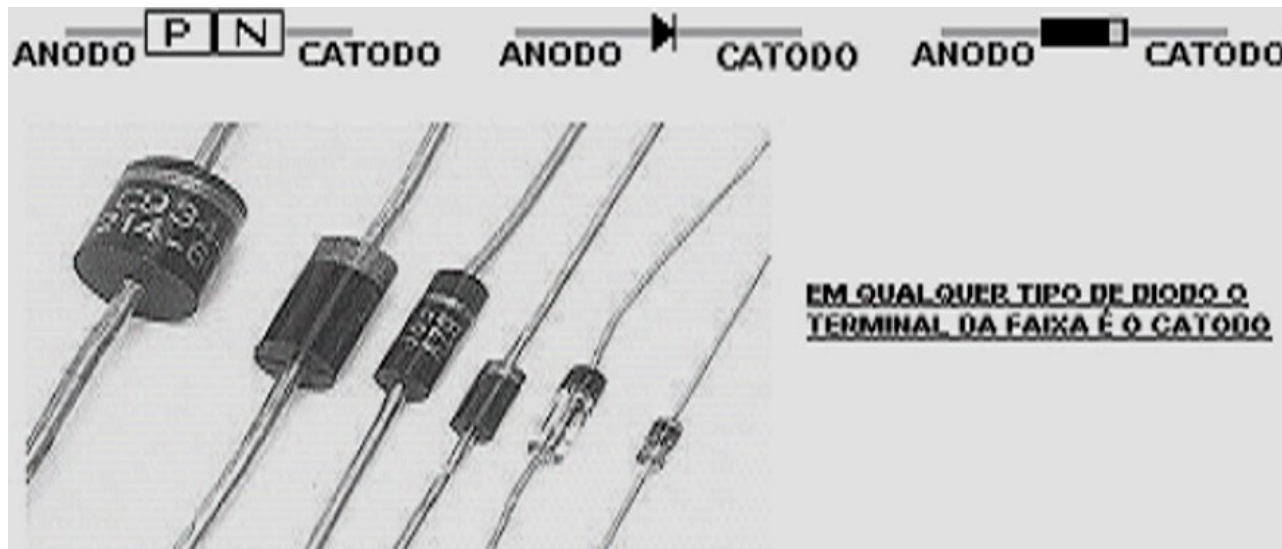


Laboratório de Hardware

Dispositivos Semicondutores

Diodo

O diodo é um componente formado por dois cristais semicondutores de silício ou germânio. Durante a fabricação, os semicondutores recebem a mistura de outras substâncias, formando assim um cristal P e um outro N. O terminal P recebe o nome de anodo e o N recebe o nome de catodo. Abaixo vemos o símbolo e aspecto deste componente:

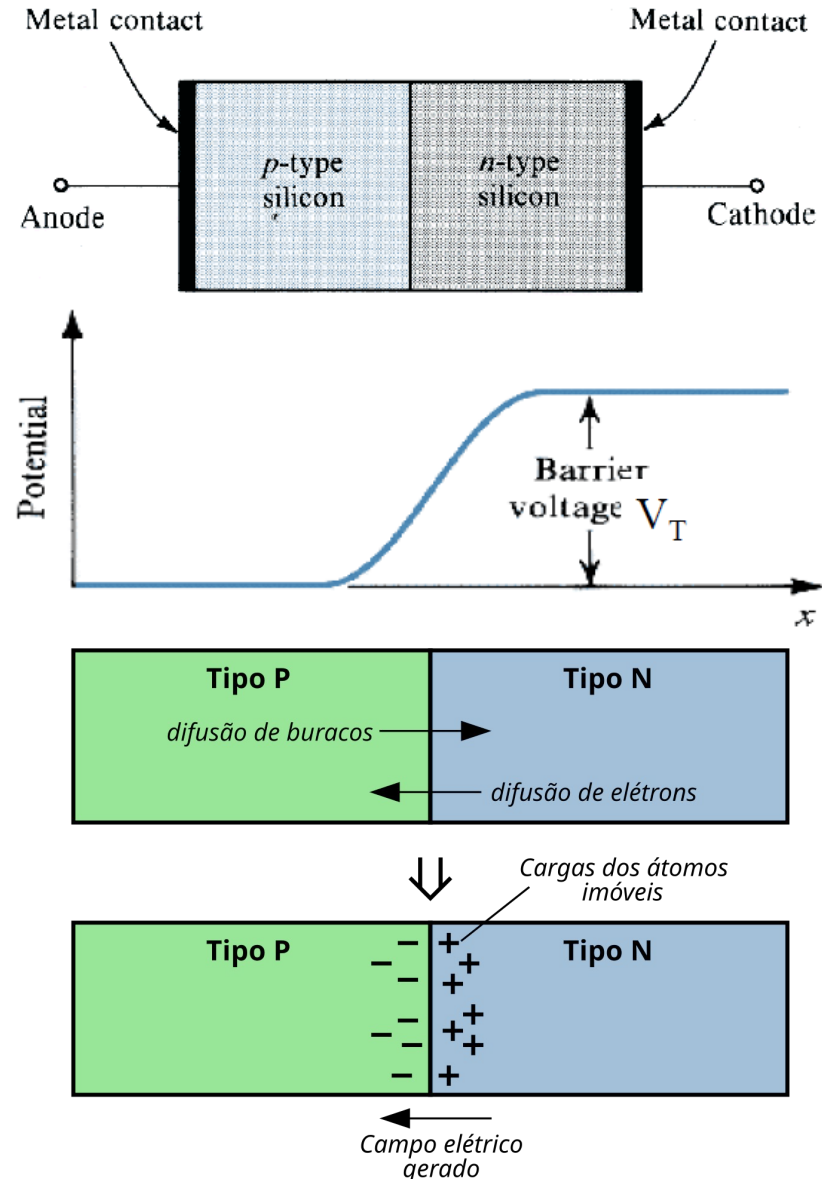


Junção PN

Quando a junção é formada, ocorre uma difusão de elétrons do cristal tipo N ao P e dos buracos (ou lacunas) do cristal tipo P ao N. Portanto, o material do tipo N que era inicialmente neutro, começa a ficar com uma deficiência de elétrons e consequentemente com carga positiva. O mesmo raciocínio vale para o lado P da junção, que começa a ficar com carga negativa. À medida que progride o processo de difusão, a zona de carga espacial vai aumentando sua largura aprofundando-se nos cristais em ambos os lados da junção. A acumulação de íons positivos na zona N e de íons negativos na zona P cria um campo elétrico (E) que atuará sobre os elétrons livres da zona N e sobre os buracos da zona P com uma determinada força que se oporá à corrente de difusão até que um equilíbrio seja atingido.

A região que contém esses átomos ionizados e, portanto, desprovida de cargas livres é chamada de região de depleção.

A tensão associada a esse campo é chamada de barreira de potencial.

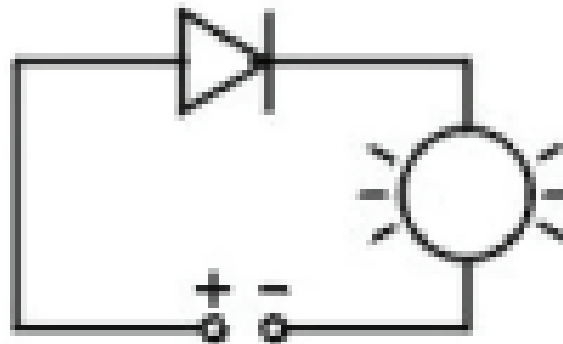


Condução em um Diodo

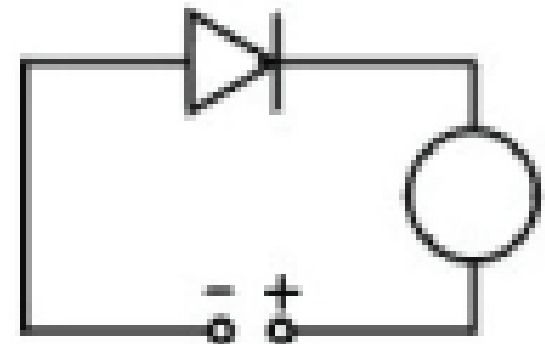
O diodo só conduz corrente elétrica quando a tensão do anodo for maior que a do catodo, portanto eles podem funcionar como chave interruptora. Abaixo vemos o esquema de funcionamento:

Quando a tensão no anodo é maior que a do catodo, o diodo conduz corrente e funciona como chave ligada, acendendo o dispositivo.

Quando a tensão no anodo é menor que a do catodo, o diodo não conduz corrente e funciona como chave desligada, o dispositivo não recebe carga e não acende.



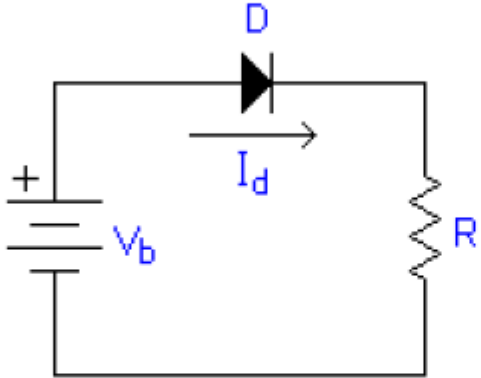
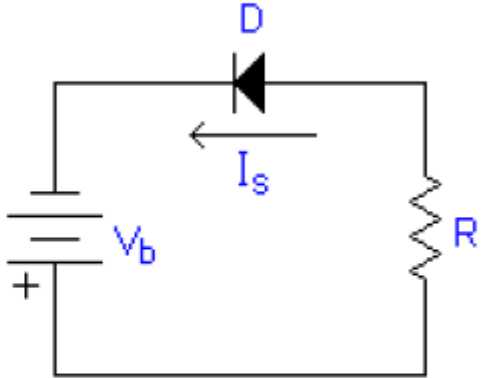
Polarização Direta



Polarização Inversa

Correntes em um Diodo

O diodo é um dispositivo que permite a passagem de corrente em uma única direção, idealmente comportando-se como um curto circuito ou um circuito em aberto.

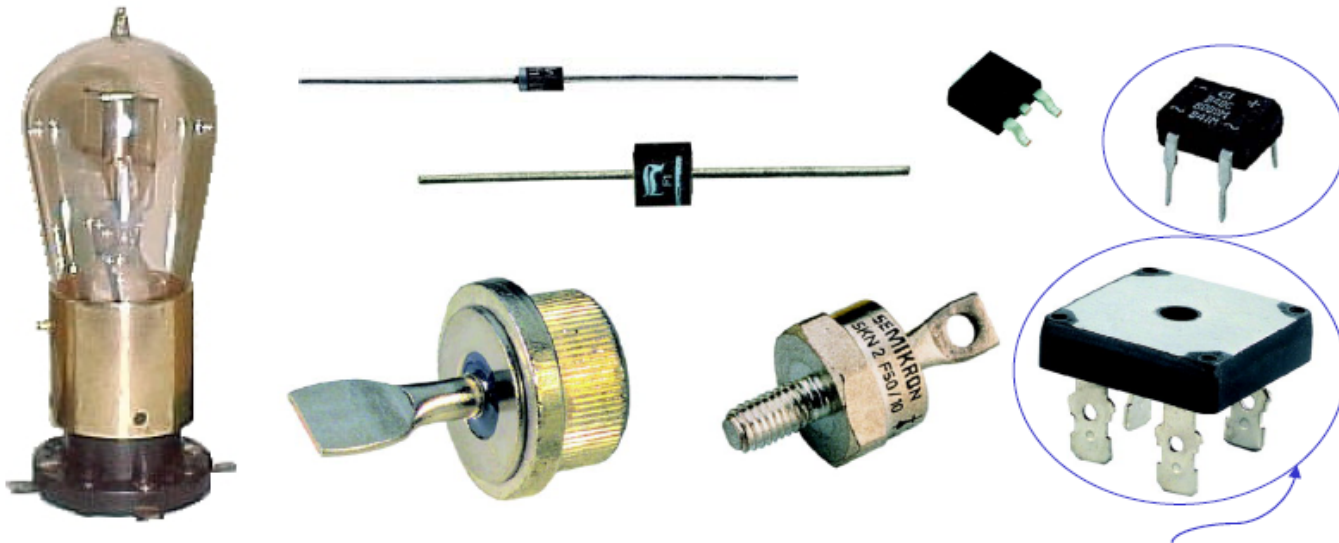
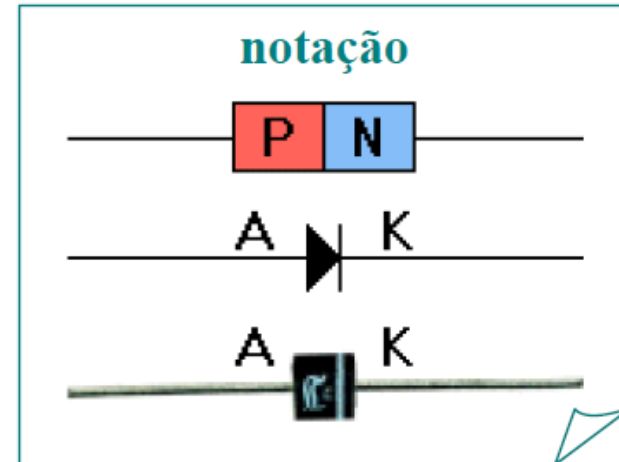
	Polarização Direta	Polarização Reversa
		
Ideal	$I_d = \frac{V_b}{R}$	$I_s = 0$
Real	$I_d = \frac{(V_b - V_d)}{R}$	$I_s > 0$

Apresentações de Diodos

Os diodos podem ser baseados em:

- a. Efeito termoiônico: válvulas eletrônicas.
(atualmente pouco comum)
- b. Semicondutores: diodo de estado solido.
(uso geral e bem difundido)

Estes dispositivos podem se apresentar com diversos aspectos, tais como:

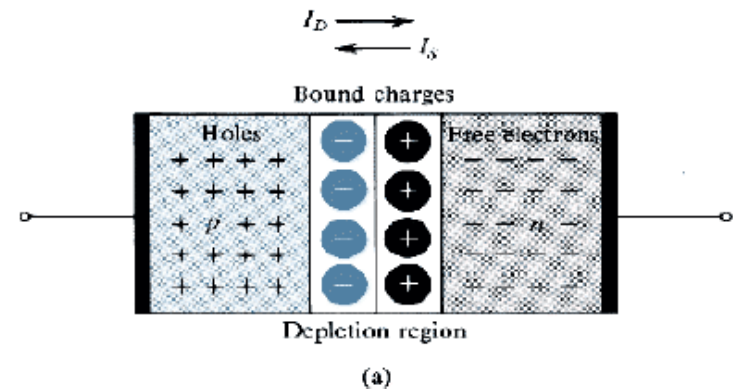


associação de diodos em ponte

Polarizações do Diodo

Polarização da junção PN

- Polarização direta
 - energia necessária para vencer a barreira de potencial (V_T ou V_γ)



- Polarização reversa
 - aumento da região de depleção

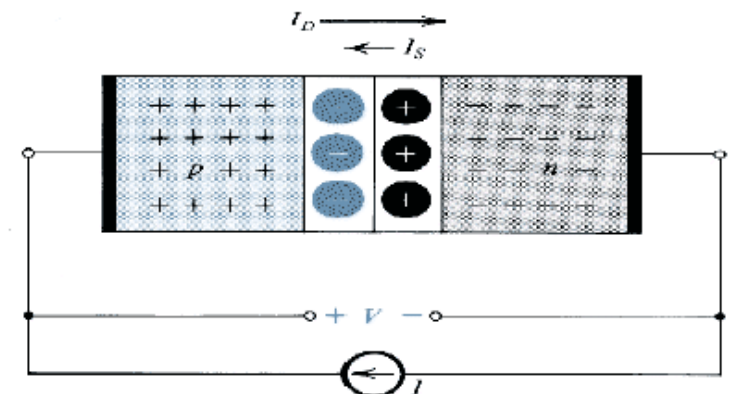


Gráfico de Utilização do Diodo (Curva I-V)

A curva $I \times V$ típica destes dispositivos é:

Características:

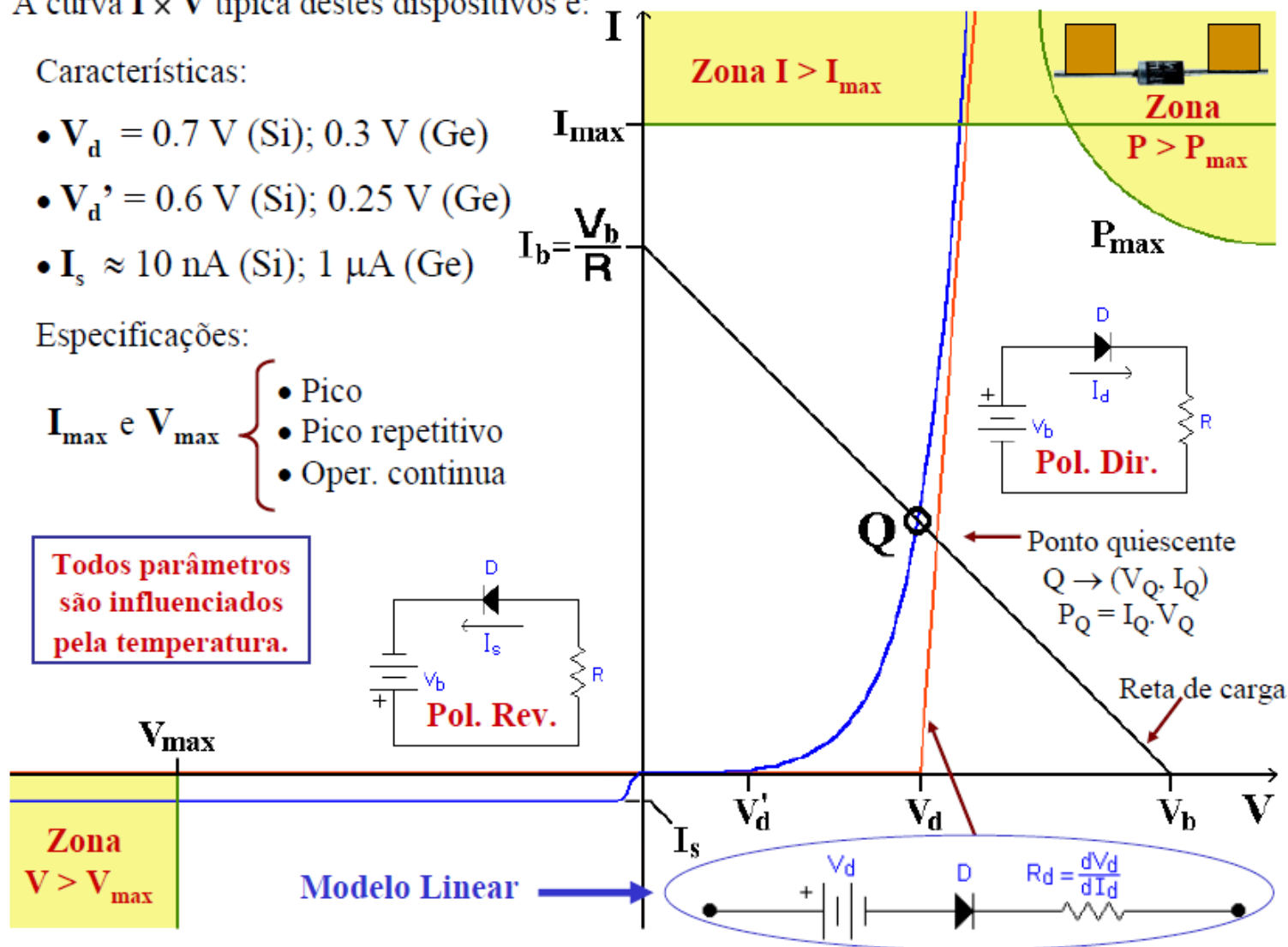
- $V_d = 0.7 \text{ V (Si); } 0.3 \text{ V (Ge)}$
- $V_d' = 0.6 \text{ V (Si); } 0.25 \text{ V (Ge)}$
- $I_s \approx 10 \text{ nA (Si); } 1 \mu\text{A (Ge)}$

Especificações:

$I_{\max}$ e $V_{\max}$

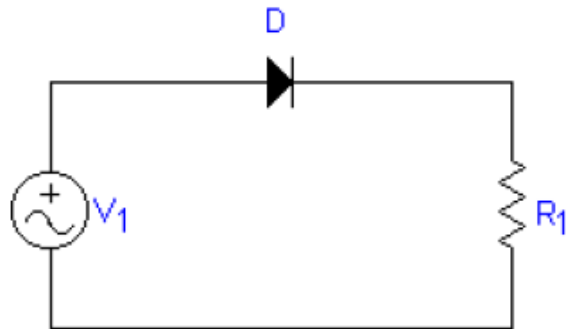
- Pico
- Pico repetitivo
- Oper. continua

Todos parâmetros
são influenciados
pela temperatura.

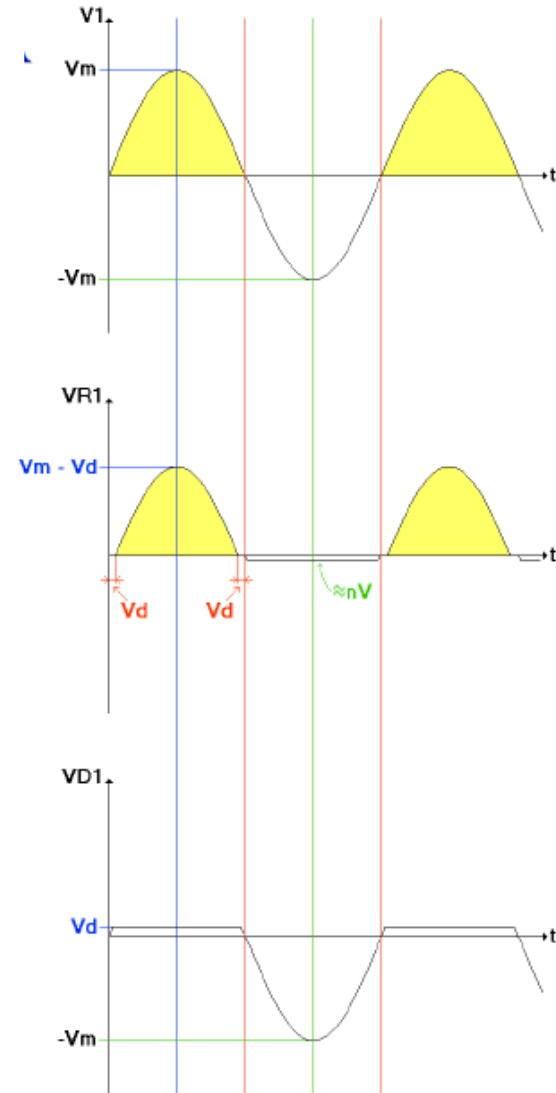


Diodo como Retificador de Meia Onda

Vamos analisar a operação de um diodo em regime alternado, formando um circuito tipicamente chamado de retificador de meia-onda. Nesta primeira análise consideremos um carga puramente resistiva, R_1 , ou seja:



$$\begin{aligned} \text{onde } V_1 &= V_m \text{sen}(\omega t) \\ \text{com } \omega &= 2\pi.f \text{ e } \theta = \omega.t \\ \Rightarrow V_1 &= V_m \text{sen}(\theta) \end{aligned}$$



Diodo como Retificador Onda Completa

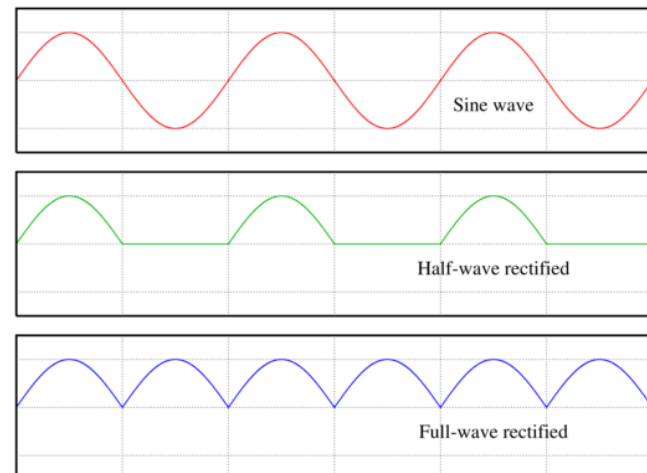
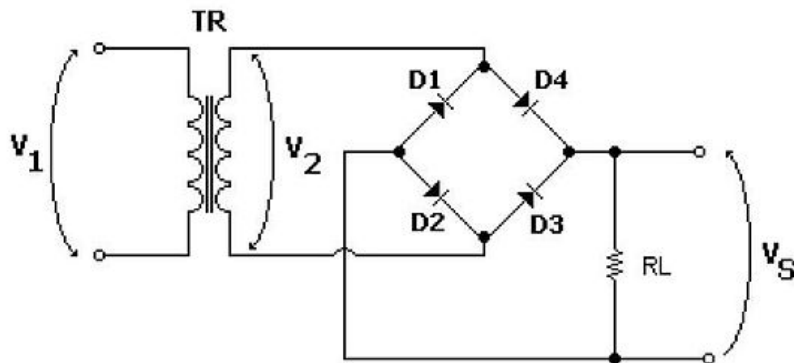
Essa configuração é diferente do retificador de meia onda, que utiliza apenas um diodo. Com a estrutura em ponte, os dois semiciclos (positivo e negativo) conseguem ter sua passagem de corrente

O retificador de onda completa utiliza quatro diodos. A tensão de entrada (V_1) pode ser tanto a tensão da rede como a do secundário de um transformador. Observando a tensão senoidal aplicada na entrada, pode-se perceber que, durante o semiciclo positivo da tensão de entrada, os diodos D2 e D4 estão polarizados diretamente e os diodos D1 e D3 cortados. Isso se inverte durante o semiciclo negativo.

As oscilações que aparecem na tensão sobre a carga, denominam-se “ripple”. Este ripple de tensão pode ser reduzido com a inclusão de um filtro capacitivo, normalmente um capacitor eletrolítico de alto valor em paralelo com a carga.

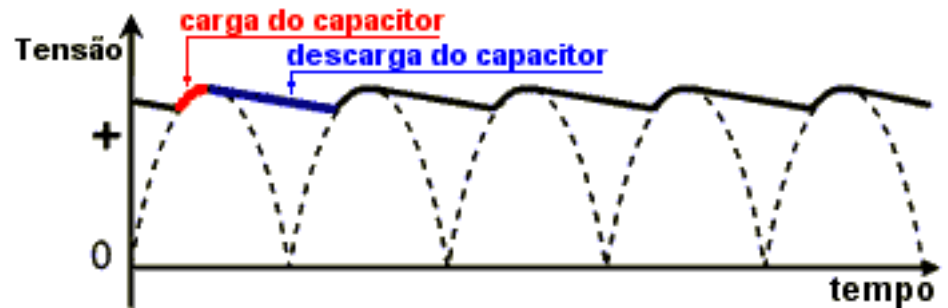
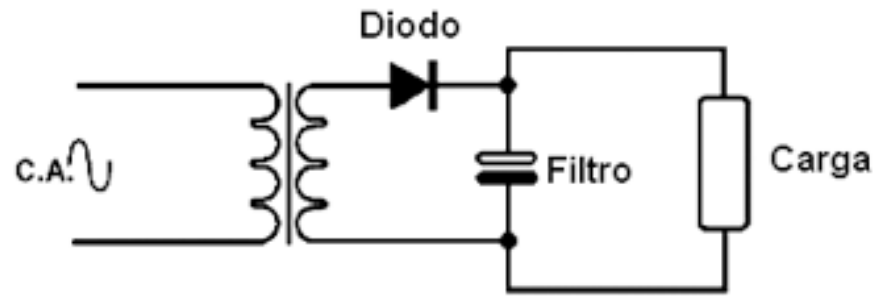
Uma das poucas desvantagens do retificador em ponte é a queda de tensão adicional por causa do uso de mais diodos, pois enquanto o retificador com derivação central perde apenas 0,7 V com relação à onda de entrada, no retificador em ponte os diodos consomem 1,4 V da tensão inicial.

As vantagens do retificador em ponte são saída em onda completa, tensão ideal de pico igual à tensão de pico do secundário e não necessitar do enrolamento secundário com tomada central. Essas vantagens fizeram do retificador em ponte o projeto mais popular de retificador. Muitos equipamentos usam o retificador em ponte para converter a tensão CA da linha em uma tensão CC adequada ao uso dos dispositivos semicondutores.



Conversão para Corrente Contínua

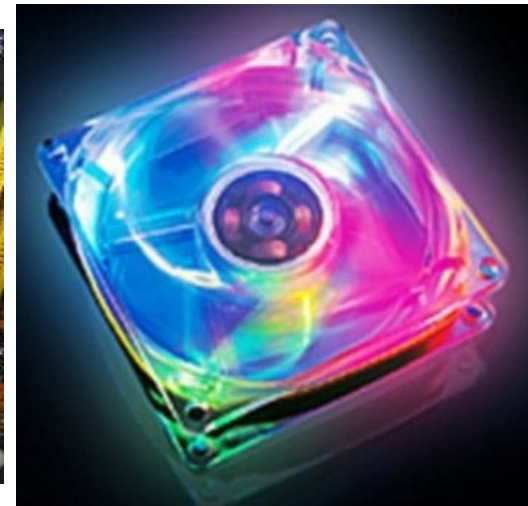
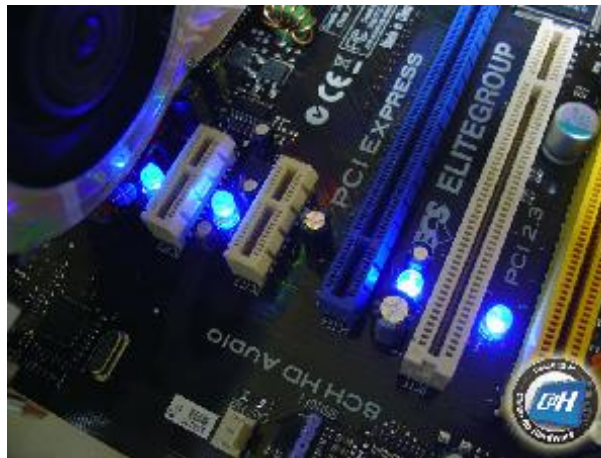
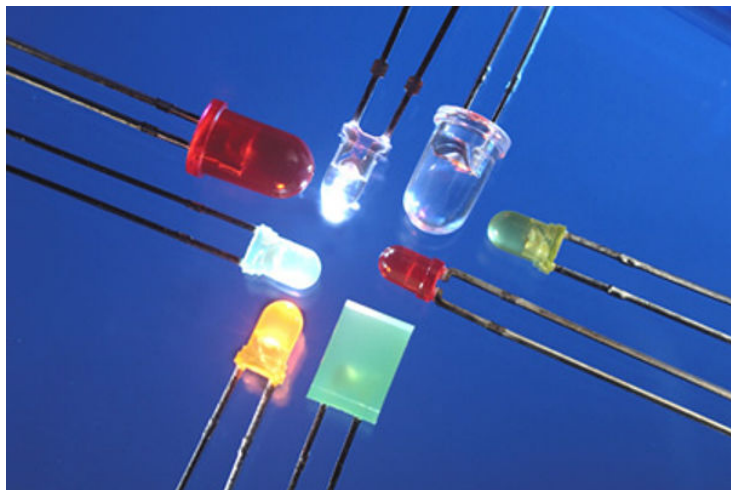
Após a retificação, a onda passa por uma etapa de filtragem, que é composta por um capacitor, e cuja função é deixar a forma de onda de saída o mais próximo de uma tensão contínua pura. Porém, dependendo do valor do capacitor e da corrente consumida pela carga, aparece o chamado *ripple*, que é uma ondulação na tensão fornecida pela fonte. É possível calcular a tensão de *ripple* e, assim, dimensionar o capacitor de filtro da fonte para reduzir o seu *ripple*.



Diodo Emissor de Luz (LED)

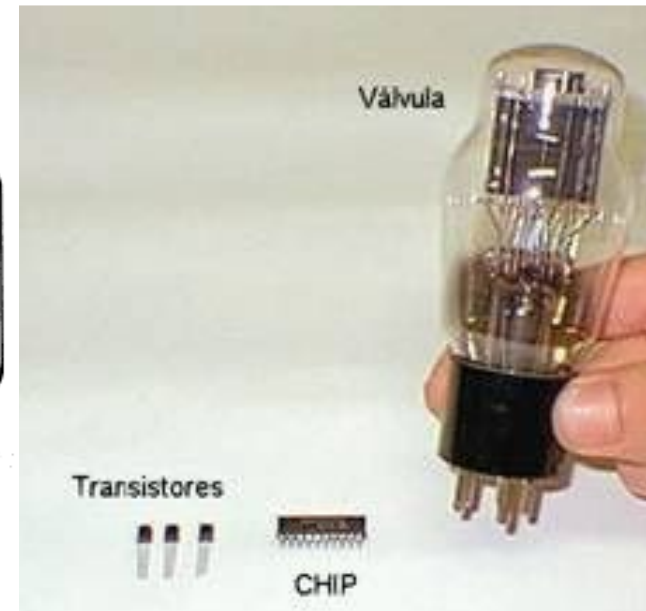
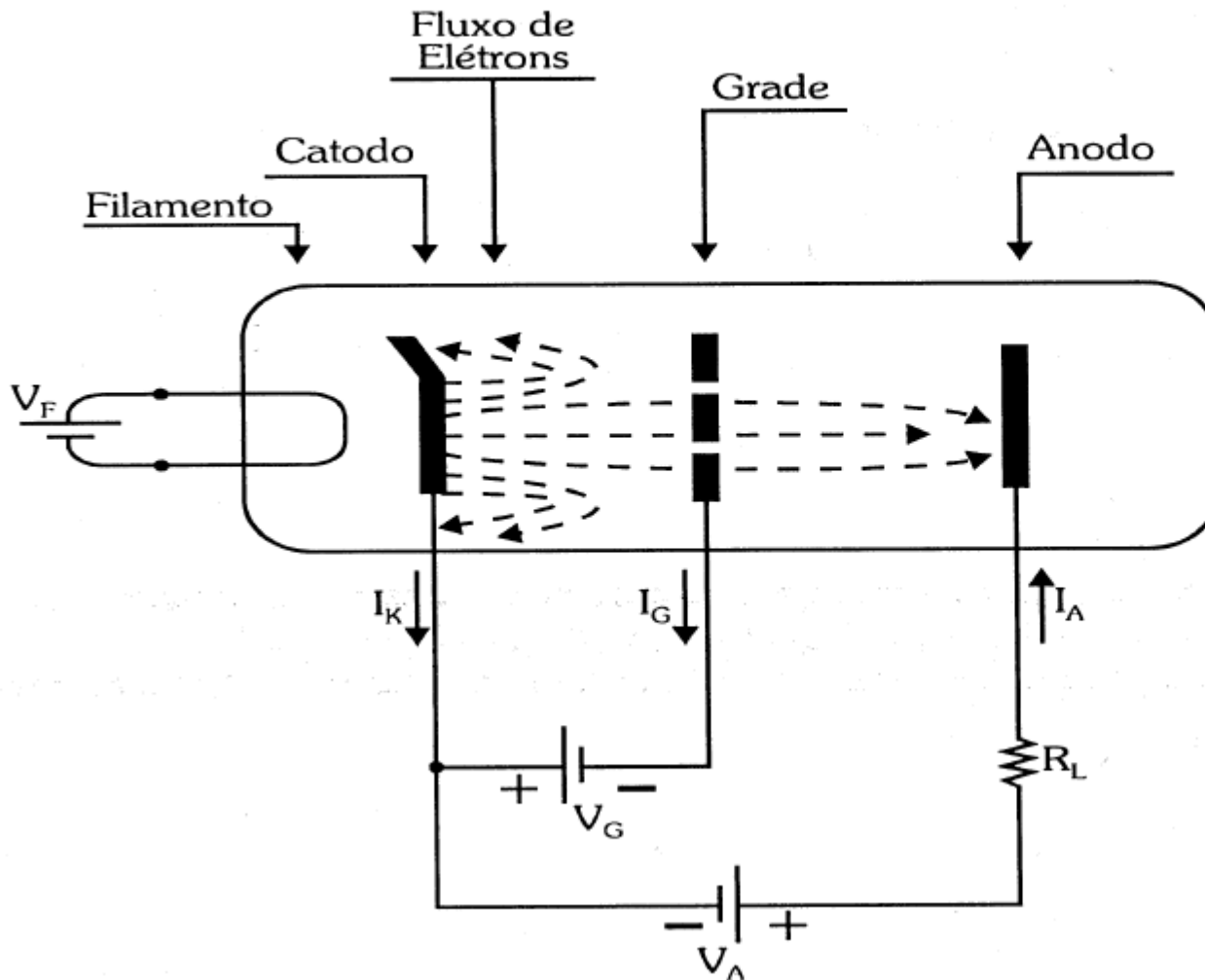
Os diodos emissores de luz (*Light Emmiting Diode* - LED) emitem luz quando são percorridos por uma corrente elétrica. Essa emissão de luz ocorre quando elétrons transitam entre estados diferentes de energia ao passarem na junção entre os 2 tipos (P – N) do material semicondutor de que é feito o diodo, para essa finalidade se criam ligas semicondutoras ao invés de usar o silício ou o germânio. A diferença de energia entre estes estados é uma propriedade do material semicondutor. Em um LED, a emissão de luz só ocorrerá em polarização direta.

Existe uma relação direta entre a tensão aplicada e o trabalho para romper a barreira de potencial, portanto, a quantidade de luz emitida é proporcional ao trabalho aplicado. Parte da energia se perde no processo de romper a barreira de potencial, por isso, nem todo trabalho se torna emissão de luz.



Transistor

Válvula triodo

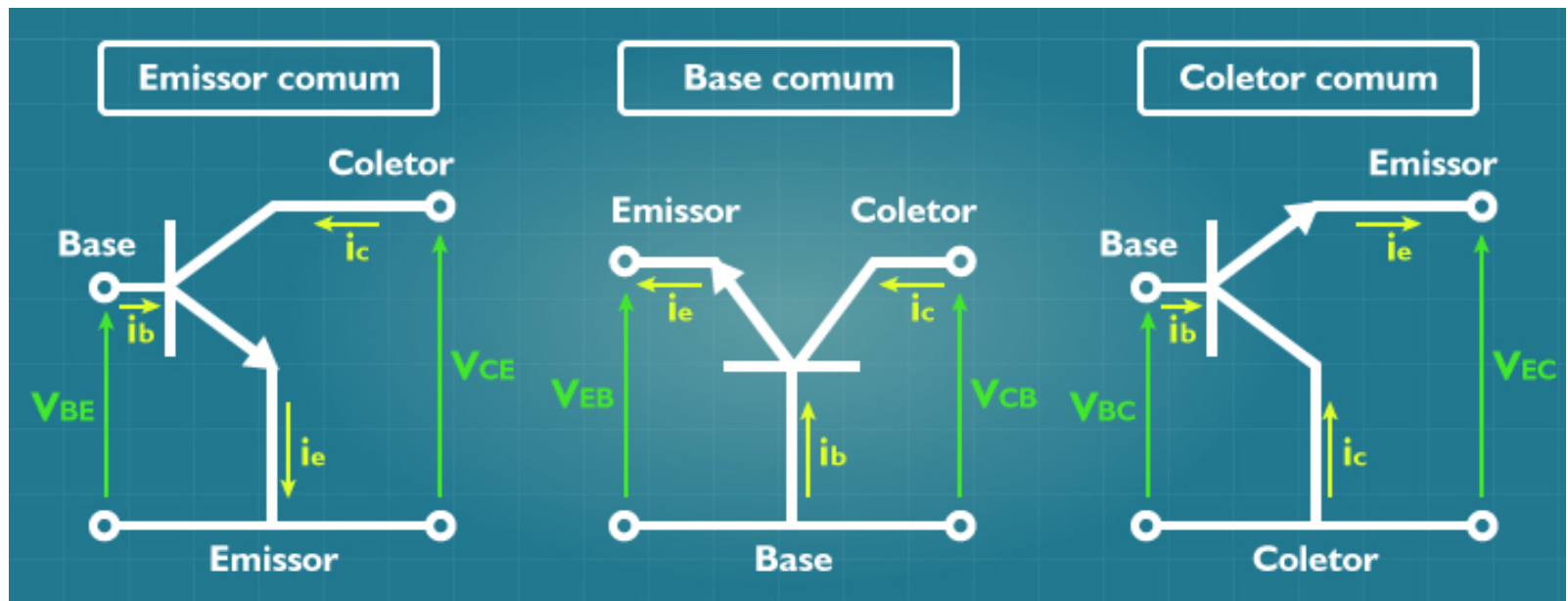


Transistor Bipolar de Junção (TBJ)

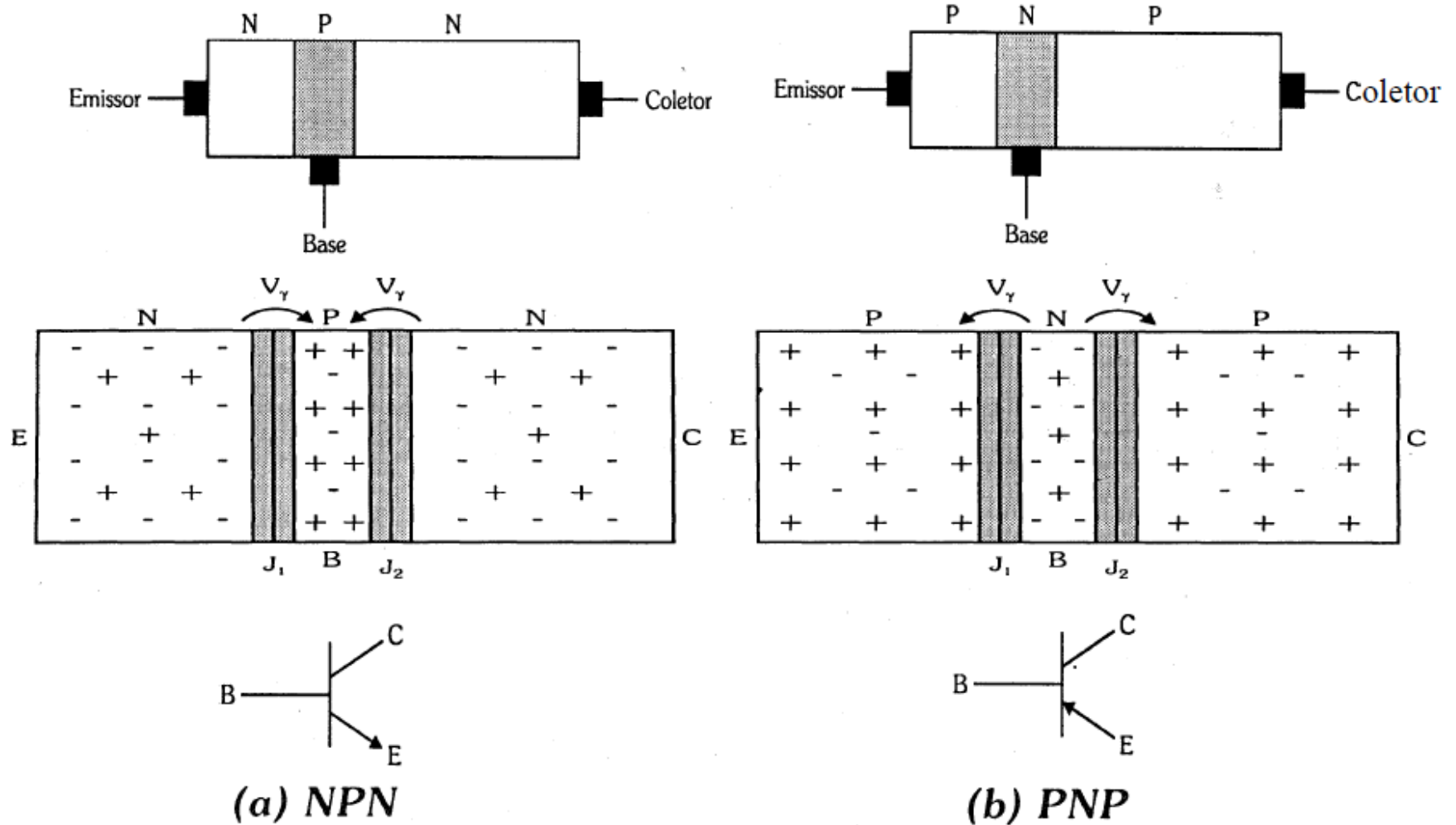
O TBJ é um transistor de potência bem popular por apresentar características como durabilidade e facilidade de polarização. Sua estrutura física é a de um transistor padrão e é exatamente como mostra as Figuras 3 e 4, podendo também ser do tipo PNP ou NPN.

Para polarizar um transistor, ele pode ser ligado em três configurações básicas, base comum, emissor comum ou coletor comum, como mostrado na Figura para o transistor NPN.

Um transistor opera em três situações possíveis: na região de corte, na região ativa ou na região de saturação.



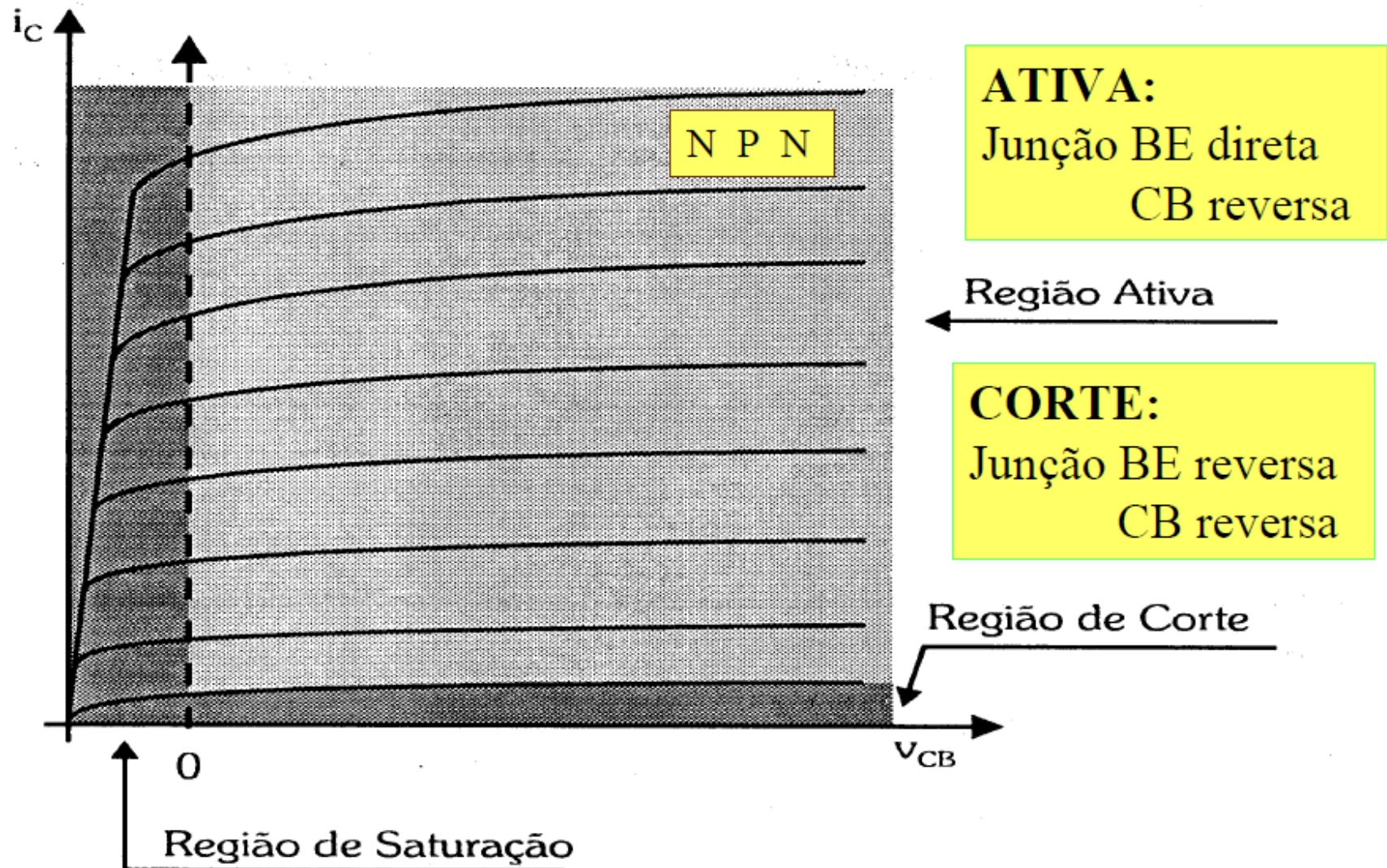
Transistor



Regiões de Operação do Transistor

Região	Situação
Corte	O transistor não conduz corrente, ou por estar desligado ou porque a corrente da base não é suficiente para fazer o transistor entrar em condução.
Ativa	O transistor atua como um amplificador, a corrente no coletor é aumentada por um fator multiplicador em função da corrente da base.
Saturação	O transistor atua como um curto circuito. A corrente da base é elevada a ponto de fazer com que a tensão entre coletor e emissor seja muito pequena.

Regiões de Operação do Transistor

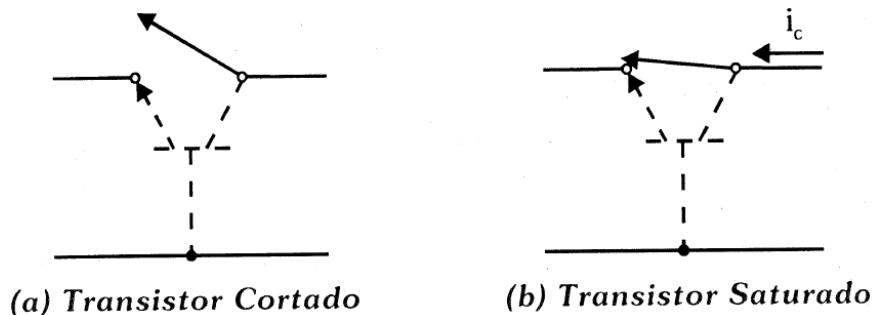


SATURAÇÃO : Junções BE e CB polarizadas diretamente

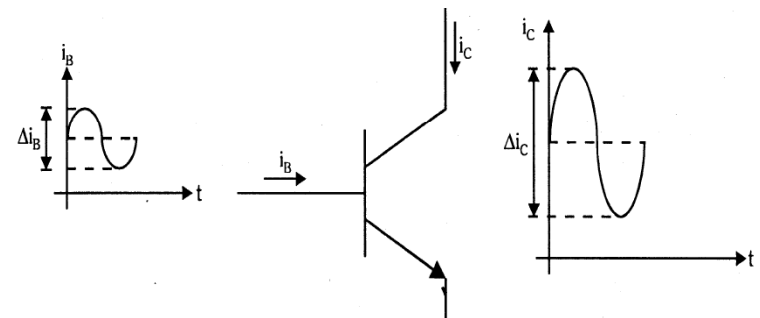
Regiões de Operação do Transistor

O gráfico mostra como a corrente do coletor (I_C) se comporta em relação à tensão entre coletor e base (VCB) e a corrente de base (I_B). Quando a corrente na base é muito pequena, independente de qual seja a tensão entre coletor e emissor, o transistor encontra-se na região de corte. À medida que a corrente I_B aumenta (considere que $I_B=0 < I_{B1} < I_{B2} < I_{B3} < I_{B4} < I_{B5} < I_{Bn}$), dependendo do valor da tensão entre coletor e emissor, o transistor encontra-se na região de saturação ou na região ativa.

Para o funcionamento como chave, as regiões adequadas são as de corte e saturação, pois na região de corte o caminho entre o coletor e emissor está aberto (como uma chave aberta) e na região de saturação esse caminho está fechado, pois há condução de corrente e uma queda de tensão bem pequena, configurando uma chave fechada.

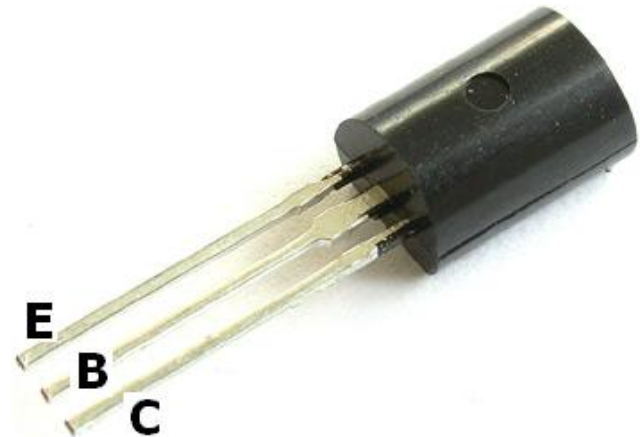


Transistor como chave



Transistor como amplificador

Apresentação do Transistor



Transistores de Efeito de Campo Metal Óxido Semicondutor (MOSFET)

Como no caso do TBJ, a tensão entre dois terminais do FET (*field-effect transistor*) controla a corrente que circula pelo terceiro terminal. Correspondentemente o FET pode ser usado tanto como amplificador quanto como uma chave. O nome do dispositivo origina-se de seu princípio de operação. O controle é baseado no campo elétrico estabelecido pela tensão aplicada no terminal de controle. O transistor MOSFET (acrônimo de *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*, ou transistor de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico), é, de longe, o tipo mais comum de transistores de efeito de campo em circuitos tanto digitais quanto analógicos.

A tensão VGS, em um primeiro momento, faz as lacunas livres da região do substrato sob a porta serem repelidas, deixando uma região de depleção. A tensão positiva sob a porta atrai elétrons das regiões n+ da fonte e do dreno para a região do canal. Quando elétrons suficientes estiverem sob a porta, o canal estará formado ligando a fonte ao dreno. O valor mínimo de VGS para se formar o canal é chamado de tensão de limiar (threshold) ou V_t .

A operação de um MOSFET pode ser dividida em três diferentes regiões, dependendo das tensões aplicadas sobre seus terminais. Para o MOSFET canal n:

- Região de Corte: quando a tensão entre a porta e a fonte é menor que V_t . O transistor permanece desligado, e não há condução entre o dreno e a fonte. Enquanto a corrente entre o dreno e fonte deve idealmente ser zero devido à chave estar desligada, há uma fraca corrente invertida.
- Região de Triodo (ou região linear): O transistor é ligado, e o canal que é criado permite o fluxo de corrente entre o dreno e fonte. O MOSFET opera como um resistor, controlado pela tensão na porta.
- Região de Saturação: O transistor fica ligado, e um canal que é criado permite o fluxo de corrente entre o dreno e a fonte. Como a tensão de dreno é maior do que a tensão na porta, uma parte do canal é desligado. A criação dessa região é chamada de “pinch-off”. A corrente de dreno é agora relativamente independente da tensão de dreno (numa primeira aproximação) e é controlada somente pela tensão da porta.

Transistores MOSFET

