

DIODO SEMICONDUTOR

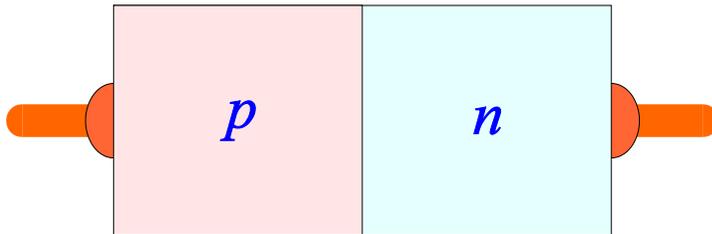
Prof. Marcelo Wendling
Ago/2011

Conceitos Básicos

O **diodo semicondutor** é um componente que pode comportar-se como condutor ou isolante elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais. Essa característica permite que o diodo semicondutor possa ser utilizado em diversas aplicações, como, por exemplo, na transformação de corrente alternada em corrente contínua.

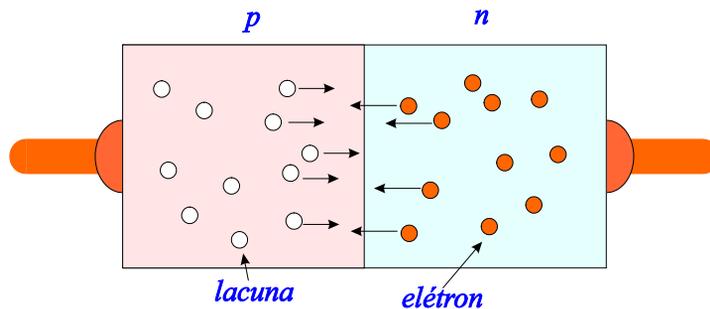
Formação do Diodo: Junção PN

Um **diodo semicondutor** é formado a partir da junção entre um semicondutor **tipo p** e um semicondutor **tipo n** :



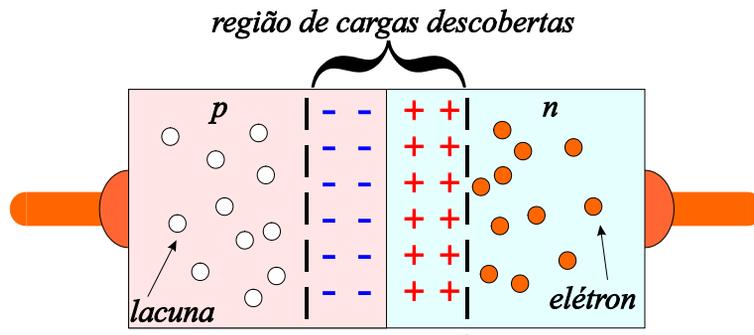
Formação do Diodo: Junção PN

Logo após a formação da junção pn , alguns elétrons livres se difundem do semicondutor tipo n para o semicondutor tipo p . O mesmo processo ocorre com algumas lacunas existentes no semicondutor tipo p que difundem para o semicondutor tipo n .



Formação do Diodo: Junção PN

Conforme ilustrado abaixo, as cargas produzidas nas proximidades da junção são cargas fixas à rede cristalina. Essa região de cargas próxima à junção é denominada **região de cargas descobertas** ou **região de depleção**.



Formação do Diodo: Junção PN

Com o aparecimento da região de depleção, o transporte de elétrons para o lado *p* é bloqueado, pois estes são repelidos da região negativamente carregada do lado *p*. O mesmo efeito se aplica para lacunas cujo transporte para o lado *n* é repelido pelas cargas positivas existentes no lado *n* da junção.

Portanto, imediatamente após a formação da junção, uma diferença de potencial positiva é gerada entre os lados *n* e *p*. Essa **barreira de potencial** previne a continuação do transporte de portadores através da junção *pn* não polarizada.

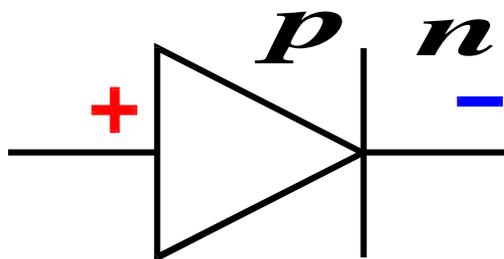
Formação do Diodo: Junção PN

A tensão V_y proporcionada pela barreira de potencial no interior do diodo, depende do material utilizado na sua fabricação. Valores aproximados para os diodos de germânio e silício são $V_y = 0,3$ [V] e $V_y = 0,7$ [V], respectivamente.

Não é possível medir diretamente o valor de V_y aplicando um voltímetro conectado aos terminais do diodo, porque essa tensão existe apenas em uma pequena região próxima à junção. No todo, o **componente é eletricamente neutro**, uma vez que não foram acrescentados nem retirados portadores do cristal.

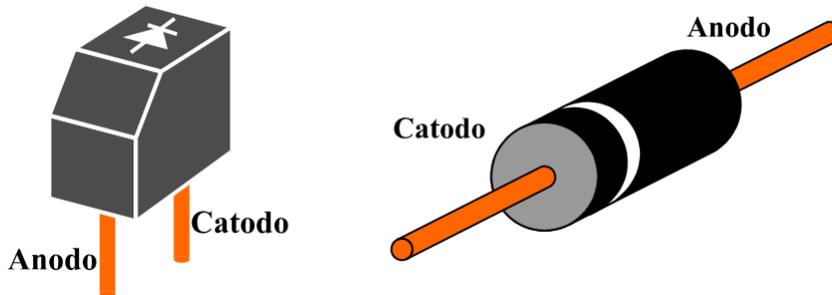
Aspecto e Representação do Diodo

O diodo semicondutor é representado em diagramas de circuitos eletrônicos pelo símbolo ilustrado abaixo. O terminal da seta representa o material p , denominado de **anodo** do diodo, enquanto o terminal da barra representa o material n , denominado de **catodo** do diodo.



Aspecto e Representação do Diodo

A identificação dos terminais do componente real pode aparecer na forma de um símbolo impresso sobre o corpo do componente ou ainda o catodo do diodo pode ser identificado através de um anel impresso na superfície do componente:



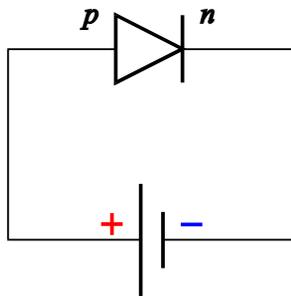
Aplicação de tensão sobre o Diodo

A aplicação de tensão sobre o diodo estabelece a forma como o componente se comporta eletricamente. A tensão pode ser aplicada ao diodo pela **polarização direta** ou pela **polarização inversa** do componente

Polarização Direta

Polarização direta é uma condição que ocorre quando o lado p é submetido a um potencial positivo relativo ao lado n do diodo.

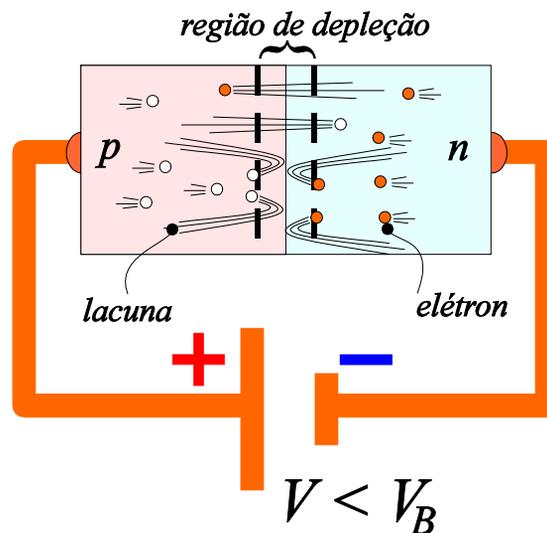
Nessa situação, o polo positivo da fonte repele as lacunas do material p em direção ao polo negativo, enquanto os elétrons livres do lado n são repelidos do polo negativo em direção ao polo positivo.



Polarização Direta

Na situação ilustrada ao lado, o valor da tensão aplicada ao diodo é inferior ao valor V_B da barreira de potencial. **Nessa condição, a maior parte dos elétrons e lacunas não têm energia suficiente para atravessar a junção.**

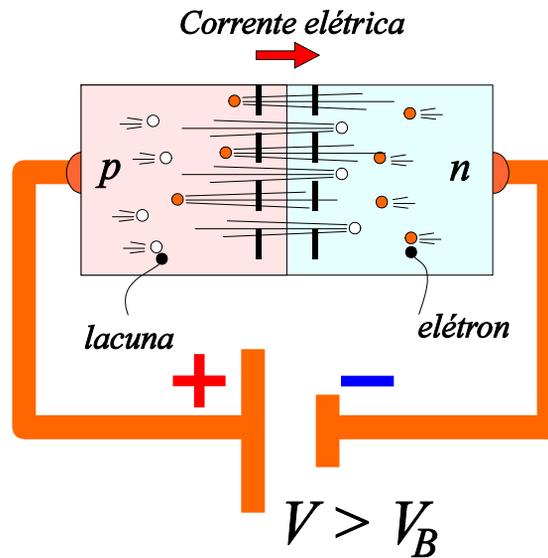
Como resultado, apenas alguns elétrons e lacunas têm energia suficiente para penetrar a barreira de potencial, produzindo uma pequena corrente elétrica através do diodo.



Polarização Direta

Se a tensão aplicada aos terminais do diodo excede o valor da barreira de potencial, lacunas do lado p e elétrons do lado n adquirem energia superior àquela necessária para superar a barreira de potencial, produzindo como resultado **um grande aumento da corrente elétrica através do diodo.**

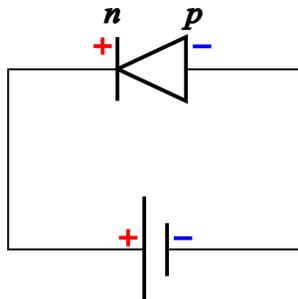
Quando o diodo está polarizado diretamente, conduzindo corrente elétrica sob a condição $V > V_B$, diz-se que **o diodo está em condução.**



Polarização Inversa

A polarização inversa de um diodo ocorre quando o lado n fica submetido a um potencial positivo relativo ao lado p do componente.

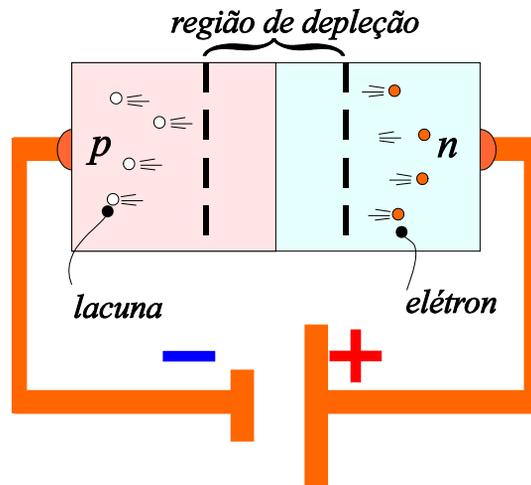
Nessa situação, os polos da fonte externa atraem os portadores livres majoritários em cada lado da junção; ou seja, elétrons do lado n e lacunas do lado p são afastados das proximidades da junção.



Polarização Reversa

Com o afastamento dos portadores majoritários, aumenta não só a extensão da região de cargas descobertas, como também o valor da barreira de potencial através da junção.

Com o aumento da barreira de potencial, torna-se mais difícil o fluxo, através da junção, de elétrons injetados pela fonte no lado p e de lacunas no lado n . **Como resultado, a corrente através do diodo tende praticamente a um valor nulo.**



Quando o diodo está sob polarização inversa, impedindo o fluxo de corrente através de seus terminais, diz-se que **o diodo está em bloqueio ou na condição de corte.**

Características Elétricas

É sempre conveniente modelar um determinado componente eletrônico através de seu **circuito equivalente**. O circuito equivalente é uma ferramenta largamente utilizada em eletrônica para representar um componente com características não comuns, por um circuito consistindo de componentes mais simples, tais como interruptores, resistores, capacitores etc.

No caso do diodo semiconductor, em nível técnico, utilizam-se duas modelagens: **o diodo ideal** e **o diodo semi-ideal**.

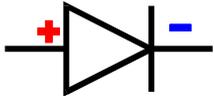
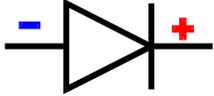
Modelo I: Diodo Ideal

Por diodo ideal entende-se um dispositivo que apresenta características ideais de condução e bloqueio.

Um diodo ideal, polarizado diretamente, deve conduzir corrente elétrica sem apresentar resistência, comportando-se como um interruptor fechado. **O interruptor fechado é, portanto, o circuito equivalente para o diodo ideal em condução.**

Polarizado inversamente, o diodo semiconductor ideal deve comportar-se como um isolante perfeito, impedindo completamente o fluxo de corrente. **O interruptor aberto é, portanto, o circuito equivalente para o diodo ideal na condição de corte.**

Modelo I: Diodo Ideal

Estado	Polarização	Circuito equivalente
Condução		
Bloqueio		

Modelo II: Diodo Semi-Ideal

Polarização Direta

Com respeito às características de condução do diodo semicondutor, deve-se levar em conta que o diodo entra em condução efetiva apenas **a partir do momento em que a tensão da fonte externa atinge um valor ligeiramente superior ao valor V_y da barreira de potencial.**

Deve-se também considerar a existência de uma resistência elétrica através da junção quando o diodo está sob polarização direta. Essa resistência existe em qualquer semicondutor, devido a colisões dos portadores com a rede cristalina do material. O valor da resistência interna dos diodos em estado de condução é normalmente inferior a 1 $[\Omega]$.

Modelo II: Diodo Semi-Ideal

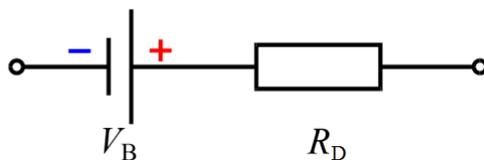
Polarização Direta

Assim, um modelo mais aprimorado para o circuito equivalente do diodo em condução pode ser obtido pela associação série de um resistor R_D , representativo da resistência direta de condução, com uma fonte de tensão V_y correspondente ao valor da barreira de potencial na junção:

diodo em condução

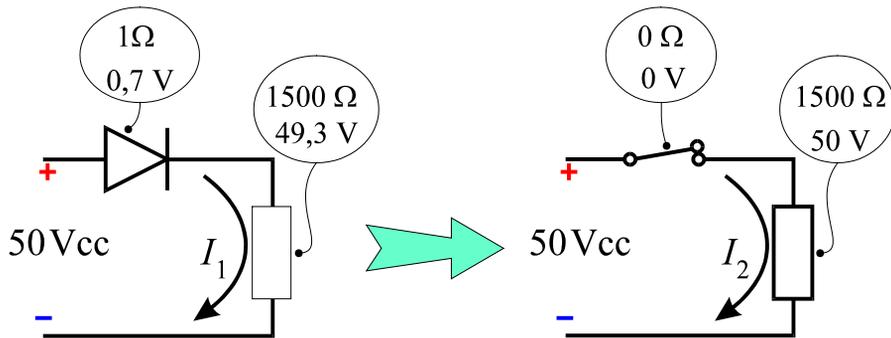


circuito equivalente



Modelo II: Diodo Semi-Ideal

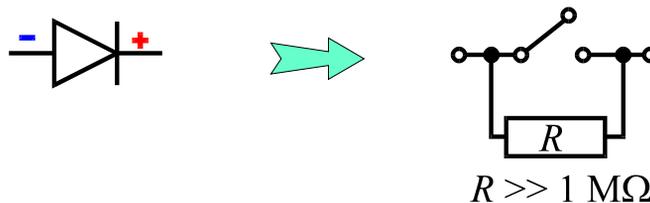
Em situações em que o diodo é utilizado em série com componentes que exibem resistências muito superiores à sua resistência de condução, esta pode ser desprezada e o diodo pode ser considerado como ideal, sem que se incorra em um erro significativo:



Modelo II: Diodo Semi-Ideal

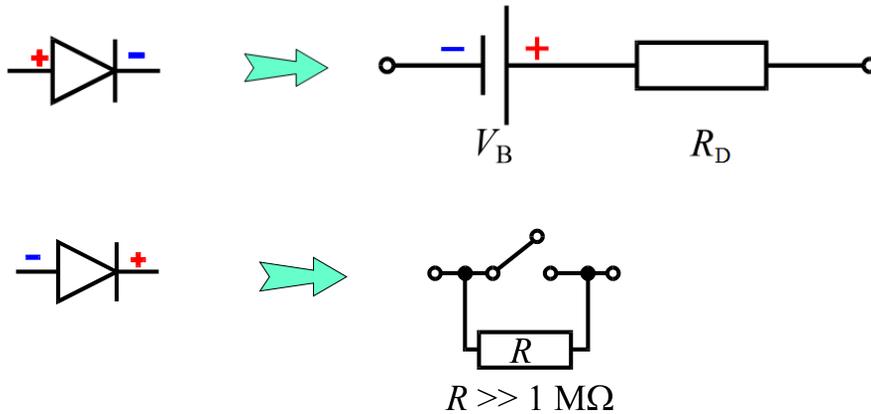
Polarização Reversa

Sempre existe uma **corrente de fuga**, quando o diodo é inversamente polarizado, correspondendo à passagem de portadores minoritários através da junção. Essa corrente de fuga é geralmente da ordem de alguns [μA], o que indica que a resistência da junção inversamente polarizada pode chegar a vários [$\text{M}\Omega$], podendo ser modelado como apresentado abaixo:



Modelo II: Diodo Semi-Ideal

Resumindo:



Questionário

- O que é a dopagem de um semicondutor?
- O que são um semicondutores tipo n e tipo p ?
- De que forma a temperatura altera a condutividade elétrica de um semicondutor?
- O que ocorre imediatamente após a formação de uma junção pn ?
- Sob que condições um diodo entra em condução ou em bloqueio?
- Qual o valor típico de tensão que deve ser aplicada a um diodo de germânio para que ele conduza? E para o diodo de silício?

Curva Característica

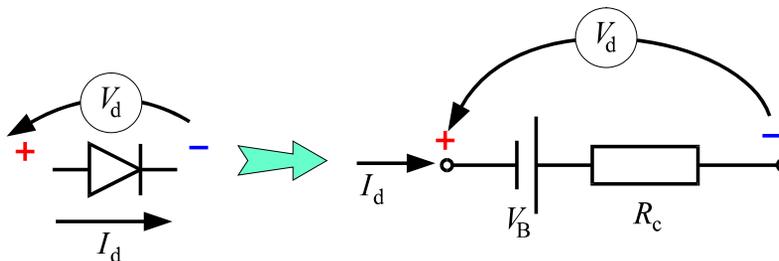
O comportamento de qualquer componente eletrônico pode ser expresso através de uma **curva característica** ou **curva VI** que representa a relação entre tensão e corrente através dos terminais do componente.

Dessa forma, para cada valor da tensão aplicada, pode-se, a partir dos dados da curva característica, obter o valor da corrente que flui no dispositivo e vice-versa. A curva característica do diodo serve para determinar seu comportamento real qualquer que seja o seu estado de polarização, conforme examinado a seguir.

Curva Característica

Região de Condução

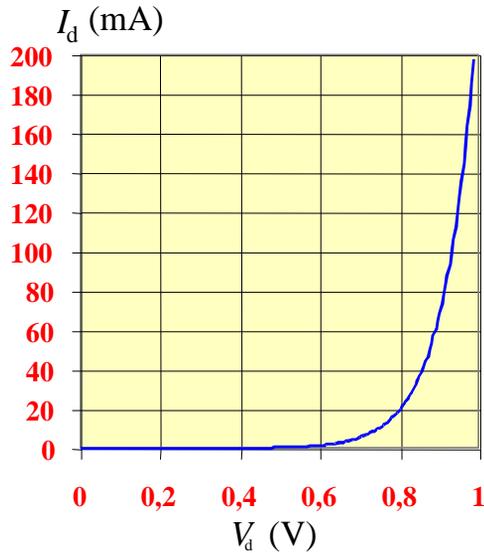
Durante a condução, uma corrente I_d flui através do diodo, conforme ilustrado abaixo. A medida que aumenta a corrente injetada I_d , a queda de tensão V_d , observada através dos terminais do diodo, aumenta muito pouco em relação ao valor V_v , como consequência do baixíssimo valor da resistência de condução do diodo.



Curva Característica - Condução

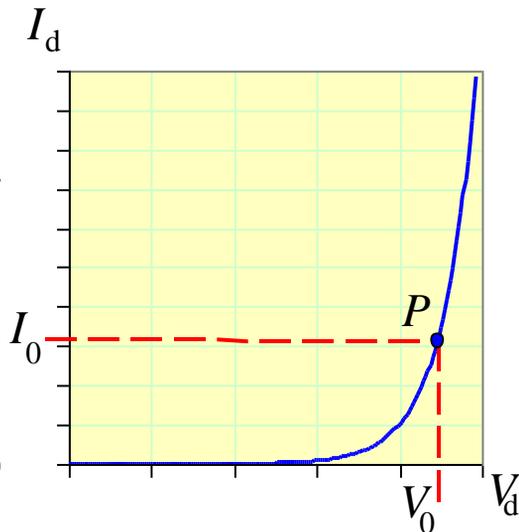
Uma representação gráfica dessa relação *tensão* \times *corrente* para o caso do diodo de silício é mostrada ao lado.

Nessa representação, a curva característica do diodo é obtida simplesmente pela união de todos os pontos representativos dos pares de valores possíveis de corrente I_d e tensão V_d , através do diodo no regime de condução.



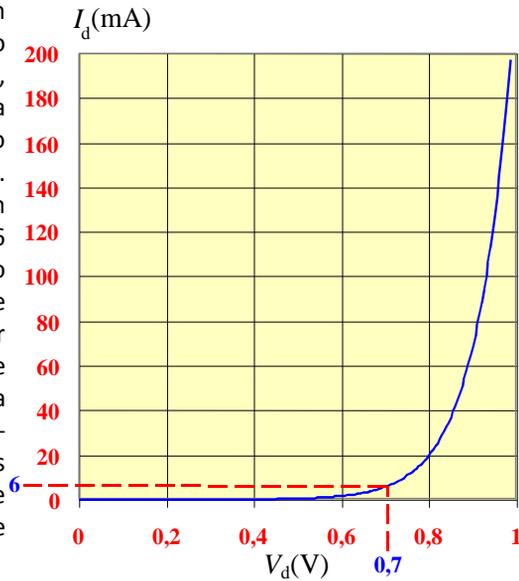
Curva Característica - Condução

A obtenção do valor de tensão V_0 que corresponde a um dado valor de corrente I_0 , é feita traçando-se inicialmente uma linha horizontal a partir do ponto sobre o eixo vertical correspondente ao valor I_0 . Essa linha intercepta a curva no ponto P . Traçando-se a partir de P uma linha vertical, obtém-se a interseção com o eixo horizontal no ponto V_0 que é o valor desejado da queda de tensão nos terminais do diodo.



Curva Característica - Condução

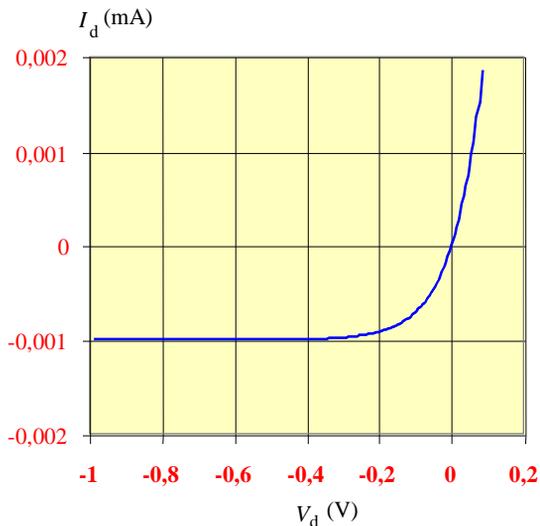
Através da curva verifica-se também que, enquanto a tensão sobre o diodo não ultrapassa um valor limite, que corresponde ao potencial da barreira V_B , a corrente através do diodo permanece muito pequena. Essa condição é indicada para um tipo de diodo de silício, onde $I_d < 6$ [mA] para $V_d < 0,7$ [V]. A partir do valor limite $V_v = 0,7$ [V], a corrente através do diodo pode aumentar substancialmente sem que isso cause um aumento significativo na queda de tensão através do diodo. Verifica-se, portanto, que na faixa de valores $V_d > 0,7$ [V], o diodo comporta-se praticamente como um resistor de baixíssima resistência.



Curva Característica

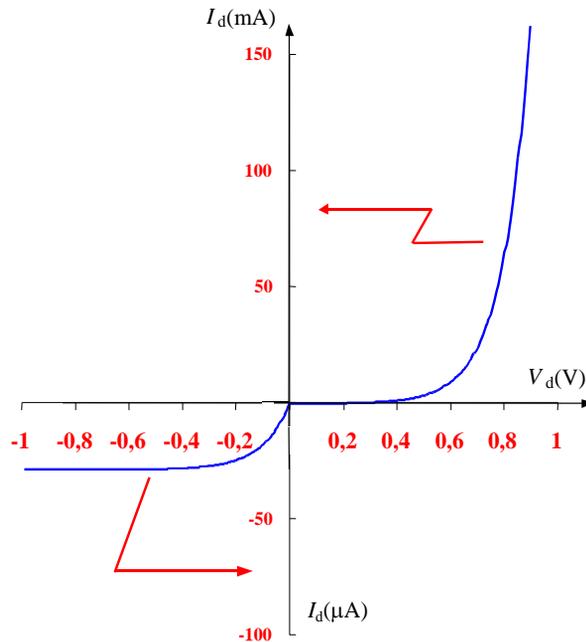
Região de Bloqueio

Existe uma corrente de fuga quando o diodo é inversamente polarizado, que aumenta gradativamente com o aumento da tensão inversa nos terminais do diodo. Esse comportamento pode ser observado na região de tensões e correntes negativas do gráfico, notando que, para este tipo de diodo de silício, a corrente de fuga **satura** no valor de 1 [μA] negativo.



Curva Característica - Bloqueio

Como em polarização direta a corrente é tipicamente mais de 1.000 vezes superior ao valor da corrente de polarização inversa, a representação das duas regiões de operação em um mesmo gráfico é geralmente feita utilizando-se a escala de [mA] na região de tensões positivas, e a escala de [μ A] na região de tensões negativas.



Limites de Operação

Os limites de operação do diodo em cc estabelecem os **valores máximos de tensão e corrente** que podem ser aplicados ao componente em circuitos de corrente contínua, sem provocar danos a sua estrutura.

Analisando o comportamento do diodo no regime de condução, verifica-se que a **corrente de condução** é o fator diretamente influenciado pelo circuito de alimentação do diodo. **A queda de tensão nos terminais do diodo no regime de condução é praticamente independente do circuito**, mantendo-se em um valor próximo ao valor do potencial da barreira do dispositivo, ou seja, 0,7 [V] para o silício e 0,3 [V] para o germânio.

Limites de Operação

No regime de polarização inversa, a **tensão através do diodo** é o parâmetro diretamente influenciado pelo circuito de alimentação. A corrente de fuga não é muito influenciada pelo circuito externo pois depende apenas das propriedades materiais do diodo.

Dessa forma, os limites de operação do diodo são definidos pela **corrente de condução máxima** e **tensão inversa, ou reversa, máxima** descritas a seguir.

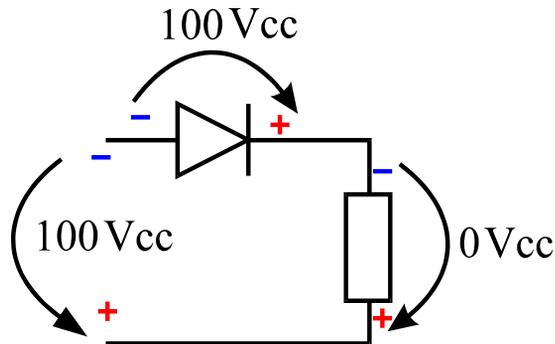
Corrente Direta Máxima - I_{DM}

A corrente máxima de condução de um diodo é fornecida pelo fabricante em um folheto de especificações técnicas. Nesses folhetos, a corrente máxima de condução aparece designada pela sigla I_F , com a abreviação F simbolizando a palavra inglesa *forward* que significa *para a frente, direto(a)* etc. Na tabela abaixo são especificados valores de I_F para dois tipos comerciais de diodos.

TIPO	I_F
SKE 1/12	1,0 A
1n4004	1,0 A

Tensão Reversa Máxima - V_{BR}

Sob polarização inversa, o diodo opera no regime de bloqueio. Nessa condição, praticamente toda tensão externamente aplicada atua diretamente entre os terminais do diodo:



Tensão Reversa Máxima - V_{BR}

Cada diodo tem a estrutura preparada para suportar um determinado valor máximo da tensão inversa. A aplicação de um valor de tensão inversa **superior** àquele especificado pelo fabricante, provoca um aumento significativo da corrente de fuga suficiente para danificar o componente.

Os fabricantes de diodos fornecem nos folhetos de especificação o valor da tensão inversa máxima que o diodo suporta sem sofrer ruptura. Esse valor é designado por V_R . Na tabela a seguir estão listadas as especificações de alguns diodos comerciais com os respectivos valores do parâmetro V_R .

Tensão Reversa Máxima - V_{BR}

TIPO	V_R
1N4001	50 V
BY127	800 V
BYX13	50 V
SKE1/12	1.200 V

Bibliografia

Retirado da apostila **Série Eletrônica**, desenvolvido pelo Sistema SENAI.



SENAI

The logo consists of the word "SENAI" in a bold, blue, italicized sans-serif font. It is centered between two horizontal red lines. There are two more horizontal red lines, one above and one below the central text, creating a rectangular frame around the logo.