

Dispositivos Semicondutores

Como o nome indica, os dispositivos semicondutores são fabricados a partir de materiais que não são nem condutores nem isolantes. No seu estado puro, estes materiais possuem uma resistividade maior que os metais em geral, mas, menor que a dos isolantes. Ao longo dos últimos 50 anos, após a invenção do transistor, no fim dos anos '40, dois materiais foram utilizados: **germânio** e **silício**, sendo que este último foi definitivamente, adotado como elemento básico para a fabricação dos **dispositivos semicondutores**, conhecidos também, como dispositivos de "**estado sólido**".

Isto, pelo fato dos cristais de silício apresentar uma melhor resistência às altas temperaturas, um baixo custo e alta disponibilidade, como conseqüência de ser o silício, o componente básico da "areia".

O silício não é utilizado no seu estado puro. Para ter utilidade prática, o silício recebe elementos estranhos à sua estrutura cristalina (impurezas), de forma controlada e que lhe conferem características elétricas bem definidas. A inserção de impurezas é feita através de um processo de "**difusão**" conhecido também, como "**dopagem**".

Dependendo do elemento químico utilizado na dopagem, são obtidos dois tipos de silício semicondutor:

- Difundindo impurezas de fósforo ou antimônio, obtém-se cristais de **silício Tipo N** (negativo).
- Difundindo impurezas de alumínio ou boro, obtém-se cristais de **silício Tipo P** (positivo).

Todos os dispositivos de estado sólido (diodos e transistores) resultam da combinação de cristais de silício **tipo P** e **tipo N**.

O primeiro semicondutor fabricado foi o diodo, que resulta da junção (numa mesma pastilha ou lâmina de cristal semicondutor) de uma camada de silício tipo P com outra do tipo N. (figura ao lado)

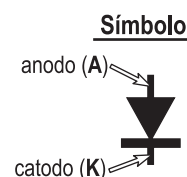
A seguir, foi inventado o transistor, formado pela junção de 3 camadas: 2 do tipo P e 1 do tipo N ou, 2 do tipo N e 1 do tipo P. Estes conceitos serão aprofundados no capítulo 15, "**Dispositivos Semicondutores - Transistor**".

Posteriormente (início dos anos '60), diodos, transistores e resistores foram construídos (difundidos) no seio de pastilhas (lâminas) de silício para formar os denominados "**circuitos integrados**".

Estes tinham funcionalidades diversas, desde **amplificadores de áudio** até **funções lógicas digitais** as quais, devidamente combinadas, permitiram construir os primeiros **microprocessadores** integrados numa pastilha de material semicondutor.

Nos capítulos seguintes serão apresentados conceitos de aplicação do diodo semicondutor e do transistor.

Uma característica muito importante dos materiais semicondutores é a sua sensibilidade a vários tipos de estímulos como: **campo magnético**, **luminosidade**, **temperatura**, **deformação mecânica** ("stress"). A sensibilidade depende do tipo de material e dopagem utilizados e se manifesta, na maior parte dos casos, como uma variação de resistência elétrica. A sensibilidade à deformação mecânica, por exemplo, permite a construção de **dispositivos sensores de pressão**, **de aceleração**, **de movimento**, entre outros.



Diodo Semicondutor Retificador

É um dispositivo eletrônico semicondutor de 2 terminais: "**ânodo**" (A) e "**cátodo**" (K), que permite a passagem de corrente elétrica (***i_d***) num só sentido, de A para K. (ver figura ao lado)

No outro sentido, a corrente é **bloqueada**. Este comportamento deu origem ao nome "**diodo retificador**".

O diodo retificador é constituído de uma pastilha monocristalina de material semicondutor (germânio ou silício), onde são **difundidas** impurezas para formar uma região **tipo P** (ânodo) e uma outra, **tipo N** (cátodo). O conjunto é denominado "**junção PN**". A principal característica do dispositivo assim formado é:

- Quando o **ânodo A** é positivo (está a uma tensão maior) com relação ao **cátodo K**, o diodo se encontra no estado de **polarização direta** e há, portanto, circulação de corrente ***i_{ak}***.
- Quando o **cátodo K** é positivo com relação ao **ânodo A**, o diodo se encontra no estado de **polarização inversa** e não há circulação de corrente.



Capítulo 13 - Dispositivos Semicondutores - Diodo

Por ser constituído de material semicondutor, o diodo apresentará uma certa resistência à passagem da corrente elétrica quando na polarização direta. Portanto, quando circula corrente, pode ser medida uma tensão, entre seus terminais, de 0,3V a 0,9V, dependendo do tipo de diodo considerado: diodo de baixa corrente ou diodo de potência (alta corrente).

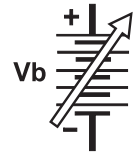
Os diodos são caracterizados, basicamente, por dois parâmetros:

1. Corrente máxima na polarização direta
2. Máxima tensão suportada na polarização inversa

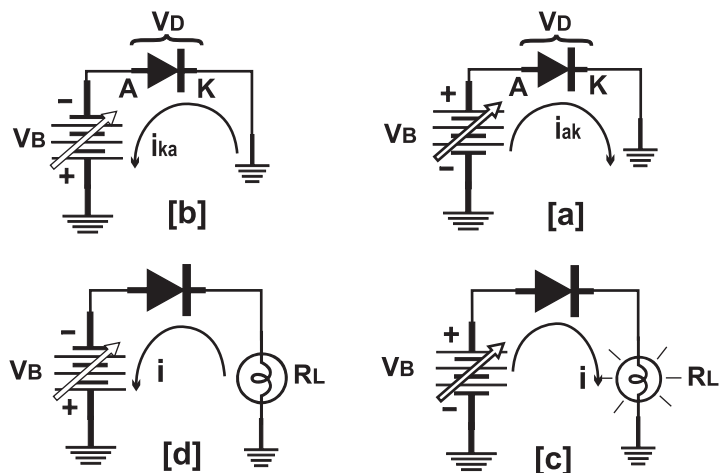
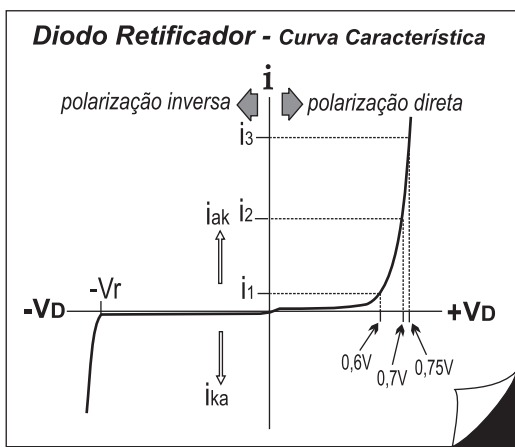
Como auxílio à análise, será utilizado o gráfico, que apresenta a curva característica de um diodo semicondutor.



Com o fim de apresentar o funcionamento do diodo retificador e posteriormente, o do diodo zener, será utilizado o símbolo da figura ao lado, como representação de uma bateria de tensão V_B contínua e variável. Supõe-se que é possível variar a tensão dessa fonte, entre 0V e 20V.



Nas configurações [a], para a análise da polarização direta, e [b] para a análise da polarização inversa, reparar na **polaridade** da **fonte de tensão variável V_B** .



1. Diodo com polarização direta (configuração [a])

Aumentando a tensão do anodo com relação ao catodo, no sentido da polarização direta, (eixo $+V_D$) de 0V até 0,6V, a corrente i_{ak} , com sentido **anodo -> catodo**, é de baixo valor (i_1). No entanto, aumentando o diferencial de tensão para 0,7V e 0,75V, vemos que a corrente i_{ak} aumenta de forma considerável para os valores i_2 e i_3 . O crescimento é exponencial. Neste caso, se não houver no circuito, algum elemento limitador, a corrente pode alcançar valores que provocam a destruição do diodo.

Todo diodo tem, portanto, uma especificação de corrente máxima permitida, que deve ser respeitada.

Assim, na configuração [c], a lâmpada começará a iluminar (com luminosidade muito baixa) com tensão de bateria de 0,7V, momento em que o diodo entra em condução, e alcançará seu máximo brilho, quando a tensão da fonte variável V_B , atinja a tensão de trabalho da lâmpada. Se a lâmpada for de 12V/24W, a corrente, em condições de funcionamento, resulta igual a 2A. O diodo deve ser tal que suporte essa corrente.

2. Diodo com polarização inversa (configuração [b]):

Aumentando a tensão no sentido da polarização inversa (fazendo o catodo K positivo com relação ao anodo A) de 0V até $-V_r$ (eixo $-V_D$) vemos que a corrente inversa i_{ka} (com sentido **catodo -> anodo**) se mantém em níveis muito baixos até atingir a tensão inversa V_r . Neste ponto, e aumentando a tensão inversa, a corrente i_{ka} cresce de forma abrupta, provocando a destruição do diodo se não houver um limitador. A tensão V_r é a **tensão de ruptura inversa** do diodo. Este valor é especificado como um mínimo para cada tipo ou família de diodos, mas, não de forma precisa.

Normalmente, o diodo não é utilizado neste regime de funcionamento, sendo necessário que em momento algum seja submetido a tensões inversas próximas de V_r .

Assim, na configuração [d] a lâmpada não acenderá até a tensão V_B atingir o valor V_r . Ou seja, a lâmpada acenderá com luminosidade máxima quando V_B seja igual a: $12V + V_r$; isto com o anodo ligado ao negativo da bateria.

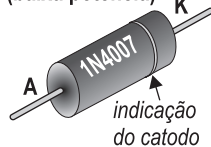
Esta configuração é apresentada somente, a título ilustrativo já que o diodo nunca deve ser utilizado neste regime de funcionamento.

• Tipos de Diodos Semicondutores

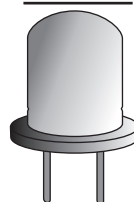
Basicamente, existem três tipos de diodo que aproveitam as características elétricas da “**junção PN**” para atender aplicações específicas:

- **Diodo retificador**: É a primeira aplicação da “junção PN”. O seu princípio de funcionamento é aquele analisado no item anterior.
- **Diodo emissor de luz (LED)**
- **Diodo regulador** (“zener”)
- **Fotodiodo** ou *diodo sensível à luz*: Este é, na realidade, um transistor de 2 terminais (ver, no capítulo 16, o item “Fototransistor”).

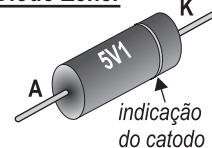
Diodo Retificador
(baixa potência)



Diodo LED



Diodo Zener



Diodo LED

A principal característica deste tipo de diodo é a de que, quando circulado por uma corrente, emite luz. Como, para funcionar, o LED deve estar *polarizado diretamente*, é necessário que sempre exista um resistor limitador no circuito.

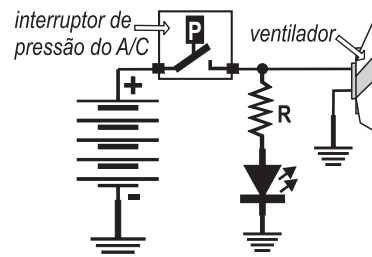
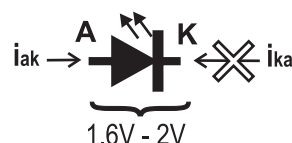
Diferentemente do diodo retificador, o diodo LED permite a circulação de corrente quando a tensão V_{AK} ($V_A - V_K$) entre anodo e catodo é da ordem de 1,6V a 2V.

O circuito apresenta uma aplicação de sinalização. Nela, ao fechar o interruptor de pressão do A/C, entra em funcionamento o ventilador do radiador. O diodo LED é utilizado para sinalizar essa condição.

Para o cálculo do resistor R deve levar-se em consideração que a corrente deve estar na faixa de 5 a 20mA. Isto para LEDs indicadores de baixa potência.

Assim: $R = (12V - 1,6V) / 0,01A = 1040 \text{ ohms}$.

Escolhendo um valor comercial de resistor, resulta $R = 1000 \text{ ohms} = 1K$.



Já existem no mercado LEDs de potência (corrente máxima de 100 mA) utilizados em dispositivos de iluminação veicular.

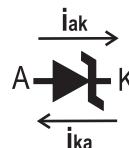
Diodo Zener

Em todos os sistemas de eletrônica embarcada há necessidade de alimentar sensores com uma tensão precisa (regulada) ou tensão de referência, a qual deve ser estável no tempo.

Por exemplo, os sensores do tipo potenciométrico e os sensores de temperatura, requerem este tipo de alimentação.

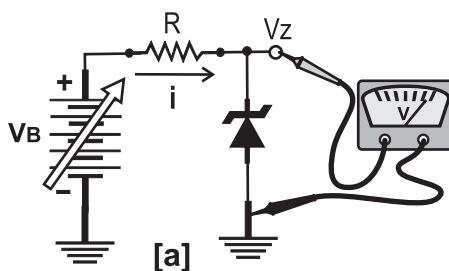
O valor geralmente utilizado para a tensão de referência é 5V e é identificada, na literatura, com a sigla **Vref**. Outros conceitos complementares podem ser encontrados no capítulo 18, “Regulação de Tensão”.

O diodo zener, assim como o diodo retificador, é um dispositivo semicondutor de dois terminais: anodo (A) e catodo (K). (símbolo ao lado)

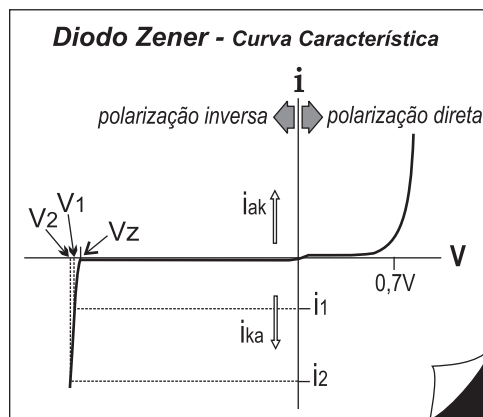


A diferença fundamental é que o diodo zener aproveita a característica de *tensão de ruptura inversa* para conseguir o efeito de regulação de tensão. Neste tipo de dispositivo, a tensão de ruptura (diferentemente do diodo retificador) é assegurada com precisão suficiente, para que possa ser utilizado como regulador.

Observando a curva característica vemos que, para polarizações positivas, o zener se comporta como um diodo retificador convencional. No estado de condução circulará a corrente i_{ak} .



No entanto, o diodo zener é sempre utilizado na configuração inversa (figura [a]).



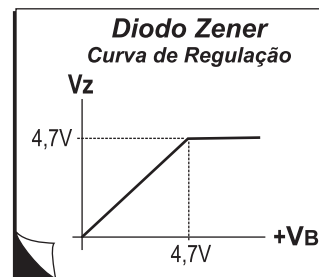
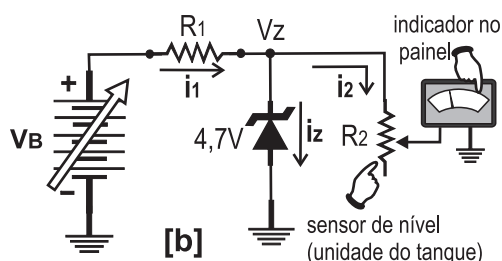
Capítulo 13 - Dispositivos Semicondutores - Diodo

Quando a tensão inversa aumenta (no sentido de $-V_D$), de 0V até V_Z , a corrente que circula pelo diodo é desprezível. Ao atingir a tensão V_Z , se produz a “ruptura” do zener, e começa a circular a corrente i_{ka} .

Verifica-se que, aumentando a tensão V_B , aumenta a corrente i_{ka} (ver curva característica), mas, a tensão V_Z permanece constante. A diferença entre V_2 e V_Z é desprezível.

Portanto, o diodo zener se comporta como “regulador de tensão” para tensões de V_B superiores a V_Z .

Assim, supondo um diodo zener de 4,7V aplicado num circuito como o [b] de regulação da tensão de alimentação do indiciador de nível, obteríamos uma curva de regulação como a da figura [c].



[c]

Considerar que o indicador é um amperímetro calibrado em níveis de combustível. Assim, a indicação do instrumento é função da corrente i_2 (fixada pela posição do reostato R_2 e pela tensão V_Z) a qual deve permanecer constante sempre que não se modifique o nível. Portanto, a tensão de alimentação V_Z deve ser “regulada” e estável.

Do gráfico surge que, incrementando a tensão V_B (a partir de 0V), a tensão em V_Z aumenta linearmente até 4,7V. A partir desse ponto, para qualquer aumento da tensão V_B , a tensão em V_Z permanece constante. Assim, a tensão sobre R_2 e, conseqüentemente, a corrente i_2 , permanecem constantes (enquanto não se modifique o nível do combustível), independentemente das variações que experimente a tensão de bateria. Todo aumento de V_B provocará um aumento de i_1 ; este aumento será absorvido por i_Z .

Desta forma, o diodo zener se comporta como **regulador de tensão** para a carga R_2 , “absorvendo” as variações de i_1 , provocadas pelas variações da tensão de bateria.

Reparar que, para o correto funcionamento do zener como regulador de voltagem, a **tensão regulada** deve ser sempre, inferior à tensão de bateria.



No mercado são encontrados diodos zener de vários valores como por exemplo: 2,7V, 3,1V, 4,7V, 5,1V e assim até 30V, aproximadamente.

• Usos do Diodo Semicondutor

Nos sistemas de eletrônica embarcada, os diodos semicondutores são utilizados, entre outras, nas seguintes funções:

- **Retificação de tensão alterna:** Para esta função são utilizados os **diodos retificadores**.
- **Iluminação e sinalização:** Para esta função são utilizados os **diodos emissores de luz** (LED).
- **Regulação de tensão contínua:** Para esta função são utilizados os **diodos “zener”**.
- **Proteção de circuitos:** Para esta função e dependendo do tipo de proteção desejado, são utilizados **diodos “zener”** especiais ou **diodos retificadores**.
- **Tensão de referência** (V_{ref}): Para esta função são utilizados os **diodos “zener”**.
- **Deteção de níveis de iluminação:** Para esta função são utilizados os **fotodiodos**.