

2-4 O DIODO NÃO POLARIZADO

É possível se produzir um cristal como o da Fig. 2-11a, isto é, metade do tipo- p e metade do tipo- n . A junção é onde as regiões tipo- p e tipo- n se encontram. Um cristal pn como este é comumente conhecido como *diodo*.

A Fig. 2-11a mostra o cristal pn no instante de sua formação. O lado p tem várias lacunas (portadores majoritários) e o lado n possui vários elétrons livres (também portadores majoritários). O diodo da Fig. 2-11a é não polarizado, o que quer dizer que não há nenhuma tensão externa aplicada a ele.

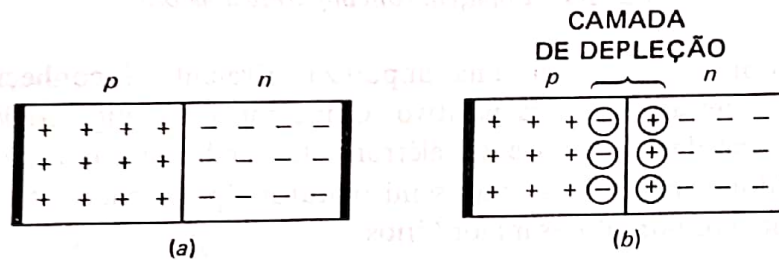


Fig. 2-11 (a) Antes da difusão. (b) Depois da difusão.

CAMADA DE DEPLEÇÃO

Devido a sua repulsão mútua, os elétrons livres no lado n difundem-se ou espalham-se em todas as direções; alguns difundem-se através da junção. Quando um elétron livre sai da região n , a sua saída cria um átomo carregado positivamente (um íon positivo) na região n . Além disso, à medida que ele penetra na região p , o elétron livre torna-se um portador minoritário. Com tantas lacunas em volta dele, este portador minoritário tem um curto tempo de vida; logo depois de entrar na região p , o elétron livre preencherá uma lacuna. Quando isto ocorre, a lacuna desaparece e o átomo associado torna-se carregado negativamente (um íon negativo).

Cada vez que um elétron difunde-se através da junção, ele cria um par de íons. A Fig. 2-11b mostra estes íons de cada lado da junção. Os círculos com sinal mais são os íons positivos, e os círculos com sinal menos são os íons negativos. Os íons estão fixos na estrutura do cristal por causa da ligação covalente e não podem se deslocar livremente como os elétrons livres e as lacunas. À medida que o número de íons aumenta, a região próxima à junção está totalmente deplecionada de elétrons livres e lacunas. Chamamos a esta região *camada de depleção*.

BARREIRA DE POTENCIAL

Além de um certo ponto, a camada de depleção age como uma barreira impedindo a continuação da difusão de elétrons livres através da junção. Por exemplo, imagine um elétron livre na região n difundindo para a esquerda para o interior da camada de depleção (veja a Fig. 2-11b). Aqui

ele encontra uma parede negativa de íons que o repele de volta para a direita. Se o elétron livre tiver energia suficiente, ele pode romper a parede e penetrar na região *p*, onde encontra uma lacuna e cria um outro íon negativo.

A intensidade da camada de depleção continua aumentando com cada elétron que a atravessa até que se atinja um equilíbrio. Neste ponto a repulsão interna da camada de depleção interrompe a difusão dos elétrons livres através da junção.

A diferença de potencial através da camada de depleção é chamada *barreira de potencial*. A 25°C, esta barreira de potencial é aproximadamente igual a 0,7 V para os diodos de silício. (O diodo de germânio tem uma barreira de potencial de 0,3 V.)

2-5 POLARIZAÇÃO DIRETA

A Fig. 2-12a mostra uma fonte cc aplicada através de um diodo. O terminal positivo da fonte está ligado ao material tipo-*p*, e o terminal negativo ao material tipo-*n*. Chamamos uma ligação desse tipo de *polarização direta*. Como um recurso de memória, observe que o + é ligado ao lado *p* e o - ao lado *n*.

CORRENTE DIRETA ALTA

A polarização direta pode produzir uma alta corrente direta. Por quê? O terminal negativo da fonte repele os elétrons livres da região *n* em direção à junção. Estes elétrons com energia adicional podem atravessar a junção e encontrar as lacunas. A recombinação ocorre em distâncias variáveis a partir da junção, dependendo de até onde um elétron livre pode evitar encontrar uma lacuna. As chances de que a recombinação ocorra perto da junção são altas.

À medida que os elétrons encontram as lacunas, eles se tornam elétrons de valência. Então, caminhando como elétrons de valência, continuam a se deslocar para a esquerda através das lacunas no material *p*. Quando os elétrons de valência atingem a extremidade esquerda do cristal, eles abandonam o cristal e escoam para o terminal positivo da fonte.

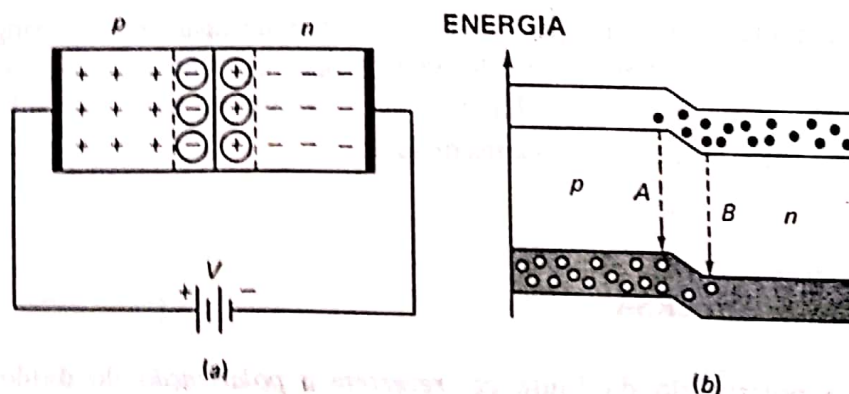


Fig. 2-12 (a) Polarização direta. (b) Bandas.

Aqui está a história da vida de um único elétron na Fig. 2-12a à medida que ele se desloca do terminal negativo da bateria para o terminal positivo:

1. Depois de sair do terminal negativo, ele entra pela extremidade direita do cristal.
2. Percorre a região n como um elétron livre.
3. Próximo à junção recombina-se e torna-se um elétron de valência.
4. Passa pela região p como um elétron de valência.
5. Depois de sair pela extremidade esquerda do cristal, ele segue para o terminal positivo da fonte.

BANDAS DE ENERGIA

A Fig. 2-12b mostra como visualizar o fluxo em termos de bandas de energia. Para começar, a barreira de potencial dá às bandas p um pouco mais de energia do que para as bandas n ; é por isso que as bandas p são mais altas do que as bandas n . A polarização direta empurra os elétrons da banda de condução na região n em direção à junção. Logo depois de entrar na região p , cada elétron encontra uma lacuna (percurso A). Ele continua a sua jornada em direção à extremidade esquerda do cristal como elétron de valência.

Às vezes um elétron da banda de condução pode encontrar uma lacuna antes de atravessar a junção. Na Fig. 2-12b um elétron de valência pode atravessar a junção da direita para a esquerda; isto deixa uma lacuna exatamente à direita da junção. Esta lacuna não dura muito, ela é logo preenchida por um elétron de banda de condução (trajeto B).

Independentemente de onde a recombinação ocorre, o resultado é o mesmo. Um fluxo estável de elétrons de banda de condução desloca-se em direção à junção e preenche as lacunas próximas à junção. Os elétrons capturados (agora elétrons de valência) movem-se para a esquerda formando um fluxo estável através das lacunas da região p . Desta forma, obtemos um fluxo contínuo de elétrons através do diodo.

Conseqüentemente, à medida que os elétrons livres desaparecem ao longo dos trajetos A e B , eles descem de um nível mais alto de energia para um outro mais baixo. À medida que caem, irradiam energia na forma de calor e de luz. Lembre-se disto. Deverá estar à mão mais tarde quando discutirmos os diodos emissores de luz.

2-6 POLARIZAÇÃO REVERSA

Se você reverter a polarização da fonte cc, *reverterá a polarização* do diodo, como mostra a Fig. 2-13a. Agora o + é ligado ao lado n e o - ao lado p . Qual o efeito produzido pela reversão da polarização?

CAMADA DE DEPLEÇÃO

A polarização reversa da Fig. 2-13a força os elétrons livres na região n a se afastarem da junção em direção ao terminal positivo da fonte; as lacunas da região p também se deslocam da junção para o terminal negativo. Os elétrons que saem deixam mais íons positivos próximos à junção, e as lacunas ao se afastarem deixam mais íons negativos. Portanto a camada de depleção fica mais larga. Quanto maior a polarização reversa, maior torna-se a camada de depleção. A camada de depleção pára de aumentar quando a sua diferença de potencial se iguala à tensão da fonte.

A Fig. 2-13b é uma forma alternativa de se visualizar a mesma idéia. Logo que se aplica a polarização reversa, os elétrons da banda de condução e as lacunas deslocam-se afastando-se da junção. A camada de depleção torna-se maior até que a sua diferença de potencial se iguale à tensão da fonte. Quando isto ocorre, os elétrons livres e as lacunas param os seus movimentos.

CORRENTE DE PORTADORES MINORITÁRIOS

Há alguma corrente depois da camada de depleção ter se ajustada à sua nova largura? Sim. Há uma corrente muito pequena. Aqui está o porquê. A energia térmica cria continuamente um número limitado de elétrons livres e de lacunas de ambos os lados da junção. Por causa dos portadores minoritários, aparece uma pequena corrente no circuito.

A corrente reversa produzida pelos portadores minoritários é chamada *corrente de saturação* e designada por I_S . O nome saturação nos lembra de que não podemos ter mais corrente do que a produzida pela energia térmica. Em outras palavras, aumentando-se a tensão reversa, não haverá aumento no número de portadores minoritários criados termicamente, somente um aumento de temperatura pode aumentar I_S . Com base na experiência, uma regra prática para todos os diodos de silício é a seguinte: I_S tem o seu valor aproximadamente dobrado para cada aumento de 10°C na temperatura. Por exemplo, se I_S for de 5 nA (nanoampères) a 25°C, será de aproximadamente 10 nA a 35°C, 20 nA a 45°C, 40 nA a 55°C, e assim por diante.

Um diodo de silício tem um valor de I_S muito menor do que um diodo de germânio. Esta é uma das razões pelas quais o silício domina o campo dos componentes semicondutores.

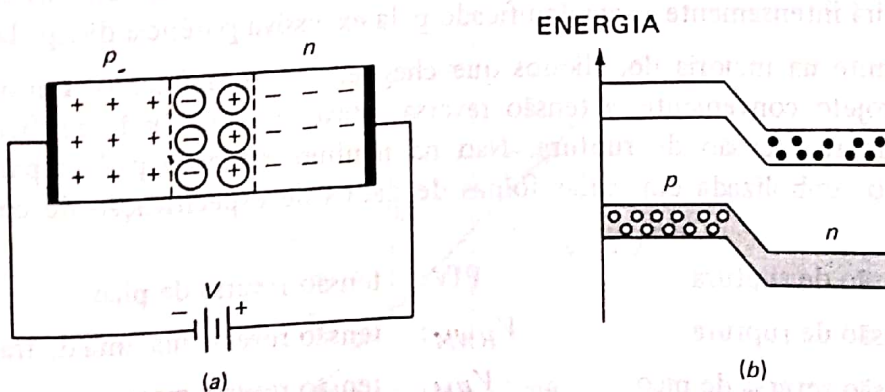


Fig. 2-13 (a) Substituído pela polarização reversa. (b) Substituído pelas bandas de energia.

CORRENTE DE FUGA SUPERFICIAL

Além da corrente reversa através do cristal, há uma corrente pequena na superfície do cristal. Esta outra componente da corrente reversa é chamada *corrente de fuga superficial* que simbolizaremos por I_{FS} . Ela é produzida por impurezas da superfície que criam trajetos ôhmicos para a corrente. Da mesma forma que a corrente produzida termicamente, a corrente de fuga superficial é extremamente pequena.

CORRENTE REVERSA

As folhas de dados informativos sobre os diodos englobam I_S e I_{FS} numa única corrente chamada corrente reversa I_R ; geralmente ela é especificada para um dado valor de tensão reversa V_R e à temperatura ambiente T_A . Como I_S varia com a temperatura e I_{FS} com a tensão, I_R varia com a temperatura e com a tensão. Por exemplo, a I_R de um 1N914 (um diodo muito usado) é de 25 nA para uma tensão reversa V_R de 20 V e à temperatura ambiente de T_A de 25°C. Se aumentar ou a temperatura ou a tensão, a corrente reversa aumenta. Como norma, ao se projetar um circuito, escolhe-se o diodo cuja corrente reversa seja suficientemente pequena para ser desprezada numa aplicação particular.

TENSÃO DE RUPTURA

Se você aumentar a tensão reversa, positivamente atingirá um ponto de ruptura, chamado tensão de *ruptura* do diodo. Para diodos retificadores (aqueles otimizados para conduzir melhor num sentido do que no outro), a tensão de ruptura é geralmente maior do que 50 V. Uma vez atingida a tensão de ruptura, o diodo pode conduzir intensamente. De onde provêm subitamente os portadores? A Fig. 2-14a mostra um elétron livre produzido termicamente, e uma lacuna dentro da camada de depleção. Devido à polarização reversa, o elétron livre é empurrado para a direita. À medida que se desloca, ele ganha velocidade. Quanto maior a polarização reversa, mais rápido desloca-se o elétron (o que equivale a ele ganhar mais energia). Pouco depois o elétron livre pode colidir com um elétron de valência, como mostra a Fig. 2-14b. Se o elétron livre tiver energia suficiente, ele pode desalojar o elétron de valência, de modo a formar dois elétrons livres (veja a Fig. 2-14c). Agora os dois podem se acelerar e desalojar outros elétrons de valência até ocorrer a uma avalanche total. Por causa do grande número de elétrons livres, o diodo da Fig. 2-14a conduzirá intensamente e será danificado pela excessiva potência dissipada.

Não se permite na maioria dos diodos que cheguem ao rompimento. Em outras palavras, através de um projeto conveniente, a tensão reversa através de um diodo retificador é sempre mantida abaixo da sua tensão de ruptura. Não há nenhum símbolo padrão para a tensão de ruptura. Tem sido simbolizada em várias folhas de dados de especificação de componentes da seguinte forma:

$V_{(BR)}$: tensão de ruptura

BV: tensão de ruptura

PRV: tensão reversa de pico

PIV: tensão reversa de pico

V_{RWM} : tensão reversa máxima de trabalho

V_{RM} : tensão reversa máxima

e outras. Algumas delas são especificações cc e outras especificações ca. Você terá de consultar folhas de dados individuais para as condições fixadas nestas especificações de ruptura.

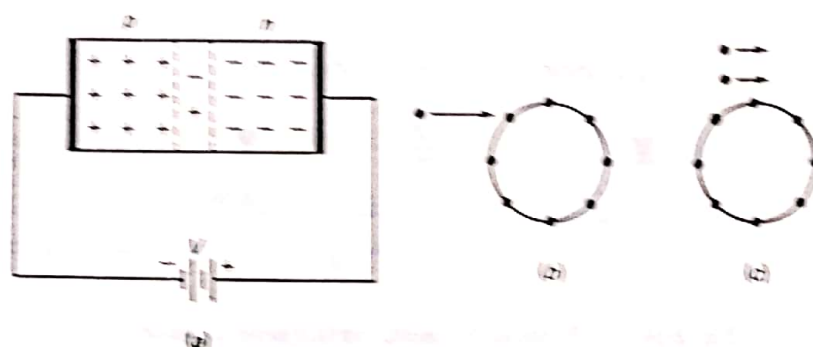


Fig. 2-14 *Raptação.* (a) Portadores minoritários na camada de depleção. (b) O elétron livre atinge o elétron de valência. (c) Dois elétrons livres.

2-7 COMPONENTES LINEARES

A lei de Ohm nos diz que a corrente através de um resistor comum é proporcional à tensão aplicada ao resistor. Isto quer dizer que para um resistor, o gráfico da corrente versus tensão é linear. Por exemplo, dado um resistor de $500\ \Omega$, o seu gráfico $I - V$ se parecerá com o apresentado na Fig. 2-15. Observe os pontos de exemplo. A corrente é de 1 mA para uma tensão de $0,5\text{ V}$ e de 2 mA para 1 V . Em qualquer um dos casos, a razão da tensão pela corrente é igual a $500\ \Omega$. A reversão da tensão não produz nenhum efeito sobre a linearidade do gráfico. Haverá uma corrente reversa de -1 mA para uma tensão reversa de $-0,5\text{ V}$; a corrente aumenta para -2 mA para -1 V .

Um resistor comum é freqüentemente chamado componente *linear* pelo fato da sua característica $I - V$ ser linear. Um resistor é apenas um exemplo de um componente linear. Você verá outros nos capítulos seguintes. Um resistor comum também é chamado componente *passivo* porque tudo o que ele faz é apenas dissipar potência; não é capaz de gerar potência. Uma bateria, por outro lado, é um componente *ativo* porque ela é capaz de gerar potência para um componente passivo como um resistor. O Capítulo 5 apresenta o transistor, um outro componente ativo.

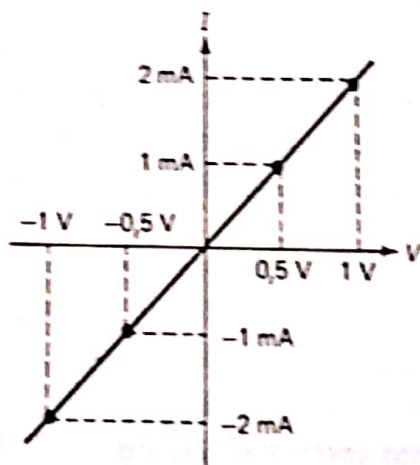


Fig. 2-15 *Corrente versus tensão num resistor linear.*

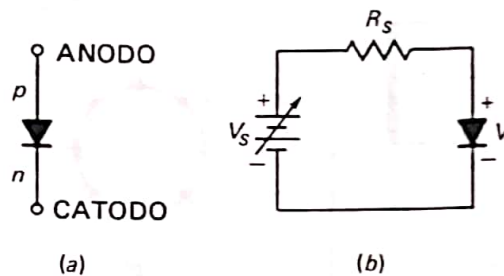


Fig. 2-16 (a) Símbolo do diodo. (b) Circuito do diodo.

2-8 O GRÁFICO DO DIODO

A Fig. 2-16a mostra o símbolo esquemático de um diodo retificador. O lado p é chamado *anodo*, e o lado n é o *catodo*. Como foi discutido anteriormente, a polarização direta pode produzir um grande fluxo de elétrons do lado n para o lado p ; isto equivale a ter um fluxo convencional grande do lado p para o lado n . Só como lembrete, a seta no símbolo do diodo indica o sentido mais fácil para corrente a convencional.

Se você preferir o fluxo de elétrons, terá que empregar um raciocínio inverso; o sentido mais fácil para o fluxo de elétrons é contrário ao da seta. Pode ser útil lembrar que a seta aponta no sentido de onde provêm os elétrons livres.

DADOS EXPERIMENTAIS

A Fig. 2-16b mostra um circuito que você pode montar no laboratório para medir a corrente e a tensão de um diodo. Com a polaridade da fonte como mostra a figura, o diodo está polarizado diretamente. Quanto maior a tensão da fonte, maior a corrente do diodo. Variando-se a tensão da fonte, pode-se medir a corrente do diodo (ligue um amperímetro em série) e a tensão do diodo (ligue um voltímetro em paralelo com o diodo). Fazendo-se um gráfico das correntes e das tensões correspondentes, obtém-se o gráfico da região direta mostrada na Fig. 2-17. Se invertermos a tensão da fonte, obteremos leituras para a região reversa. Estas leituras serão extremamente pequenas abaixo do ponto de ruptura.

A primeira coisa a se observar é a *não-linearidade* do diodo. Não teremos mais uma bela linha reta como a que se obtém para o resistor. Ao contrário, obteremos um gráfico $I - V$ altamente não-linear. Colocando de outra forma, a corrente não é mais proporcional à tensão. Como será discutido mais adiante, esta característica não-linear é o que torna o diodo um componente tão útil.

TENSÃO DE JOELHO

Que informações tiramos do gráfico apresentado na Fig. 2-17? Ao se aplicar a polarização direta, o diodo não conduz intensamente até que se ultrapasse a barreira de potencial. É por essa razão que a corrente é pequena para os primeiros décimos de volt iniciais. À medida que nos aproxi-

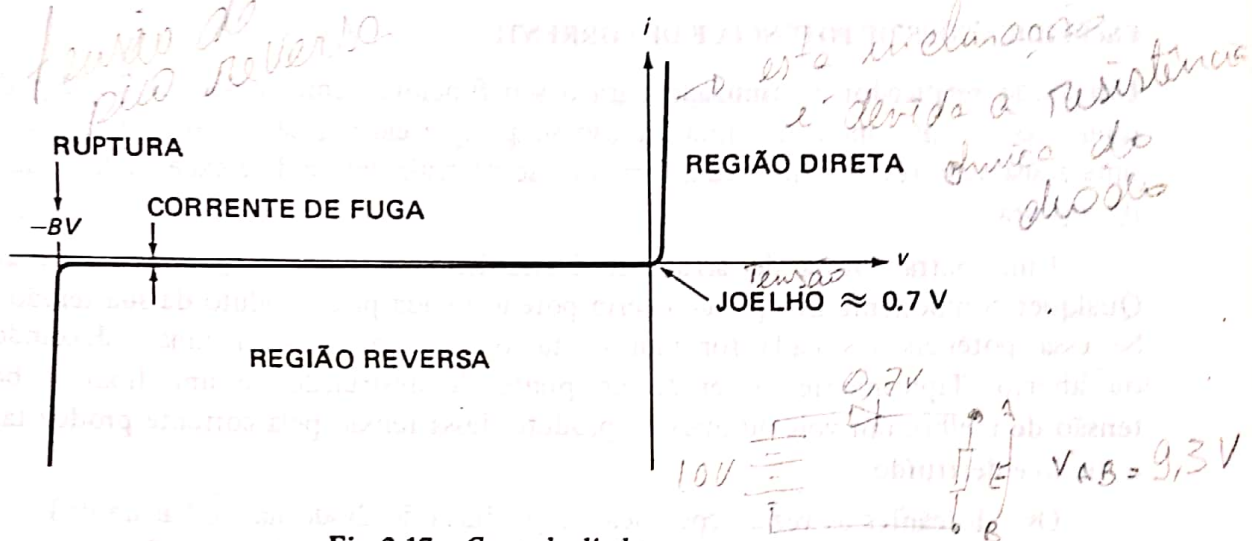


Fig. 2-17 Curva do diodo.

mos do potencial da barreira (por volta de 0,7 V para um diodo de silício), os elétrons livres e as lacunas começam a atravessar a junção em grandes quantidades. É por isso que a partir daí a corrente começa a subir rapidamente. Acima de 0,7 V, pequenos acréscimos na tensão produzem grandes aumentos na corrente.

A tensão para a qual a corrente começa a aumentar rapidamente é chamada tensão de *joelho* ou tensão de *limiar*. Para um diodo de silício, esta tensão é igual ao potencial da barreira, em torno de 0,7 V. (O diodo de germânio tem uma tensão de limiar de 0,3 V.)

RESISTÊNCIA DO CARREGAMENTO

Acima da tensão do joelho, a corrente do diodo aumenta rapidamente; pequenos aumentos na tensão do diodo produzem grandes acréscimos na corrente do diodo. A razão é a seguinte: depois de ultrapassado o potencial da barreira, tudo o que impede a corrente é a resistência de corpo ou a resistência ôhmica das regiões *p* e *n*. Esta resistência é linear. Em outras palavras, um diodo associa uma resistência altamente não-linear (a junção) a uma resistência de corpo que é linear (as regiões *p* e *n* fora da camada de depleção). Abaixo de 0,7 V predomina a não-linearidade da junção, acima de 0,7 V a linearidade da resistência de corpo.

REGIÃO REVERSA

Quando você reverte a polarização do diodo da Fig. 2-12, obtém uma corrente reversa extremamente pequena (às vezes chamada corrente de *fuga*). Se você aumentar a tensão reversa o suficiente, eventualmente atingirá a tensão de ruptura do diodo (alguns diodos têm uma tensão de ruptura de centenas de volts). Como já é de seu conhecimento, um diodo retificador deve funcionar sempre abaixo da tensão de ruptura. Para estar seguro disto, o projetista deliberadamente escolhe o tipo de diodo cuja tensão de ruptura seja maior do que a tensão reversa máxima esperada durante o funcionamento normal.

ESPECIFICAÇÕES DE POTÊNCIA E DE CORRENTE

Um diodo retificador é otimizado para o seu funcionamento unilateral. Você pode pensar num diodo como um condutor numa direção só porque ele apresenta uma baixa resistência direta e uma resistência reversa alta. Uma forma de se destruir um diodo é excedendo a sua tensão reversa de ruptura.

Uma outra forma de arruiná-lo é excedendo a sua *especificação máxima de potência*. Qualquer componente dissipa uma certa potência dada pelo produto da sua tensão pela corrente. Se essa potência dissipada for muito alta, o componente se queimará deixando-o em curto ou aberto. Tipicamente, a tensão no ponto de destruição de um diodo é bem acima da tensão de joelho, um volt ou mais. O produto dessa tensão pela corrente produz tanto calor que o diodo é destruído.

Os fabricantes às vezes especificam a potência do diodo nas folhas de dados. Por exemplo, o 1N914 tem uma especificação máxima de potência de 250 mW. Mais frequentemente, as folhas de dados informam somente a *corrente máxima* que o diodo pode suportar. Isto é mais conveniente para se medir e para se trabalhar.

Como exemplo, a folha de dados do 1N4003 não inclui a especificação máxima de potência, mas ela especifica uma corrente cc direta máxima de 1 A. Na verdade, estamos sendo informados que se permitirmos uma corrente de regime maior do que 1 A através do 1N4003, ele poderá ser destruído ou terá a sua vida reduzida.

Geralmente as folhas de dados definem duas classes de diodos retificadores: diodos para *pequenos sinais* (aqueles com uma especificação de potência menor do que 0,5 W) e *retificadores* (aqueles com uma especificação de potência maior do que 0,5 W). O 1N914 é um diodo de pequeno sinal porque a sua especificação de potência é de 0,25 W; o 1N4003 é um retificador porque a sua potência especificada é de 1 W.

RESISTOR LIMITADOR DE CORRENTE

Isto nos leva a saber porque um resistor quase sempre é usado em série com um diodo. Voltando à Fig. 2-16b, R_S é chamado resistor *limitador de corrente*. Quanto maior for R_S , menor será a corrente do diodo. Em outros circuitos com diodos que serão discutidos, sempre haverá um resistor limitador de corrente em série com o diodo. O projetista escolhe um valor de R_S que mantenha a corrente direta máxima abaixo da especificação da corrente máxima do diodo.

Mesmo em circuitos onde você pode não ver um resistor (como uma caixa preta ligada ao diodo), a resistência Thevenin que se opõe ao diodo pode ser suficiente para manter a corrente abaixo da especificação de corrente máxima do diodo. O caso é que sempre deverá haver resistência suficiente em série com o diodo para limitar a sua corrente a um valor menor do que a corrente máxima especificada.

2-9 LINHAS DE CARGA*

Esta seção apresenta a *linha de carga*, uma ferramenta usada para se determinar o valor exato da corrente e da tensão do diodo. As seções seguintes lhe mostrarão como aplicar o método da linha de carga aos transistores e outros componentes semicondutores.

* N.R. A expressão inglesa "load-line", aqui traduzida por *linha de carga*, pode também ser traduzida por *reta de carga*.

EQUAÇÃO PARA A LINHA DE CARGA

Como podemos determinar a corrente e a tensão exatas do diodo da Fig. 2-18? Neste circuito série uma fonte de tensão V_S polariza diretamente o diodo através de um resistor limitador de corrente R_S . A tensão da extremidade esquerda do resistor ao terra é V_S , a tensão da fonte. A tensão da extremidade direita do resistor ao terra é V , a tensão do diodo. Portanto a diferença de potencial através do resistor é $V_S - V$, e a corrente é

$$I = \frac{V_S - V}{R_S} \quad (2-1)$$

Pelo fato de ser um circuito série, esta corrente é a mesma através de todo o circuito.

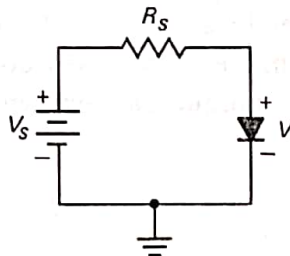


Fig. 2-18 Analisando um circuito com linha de carga.

UM EXEMPLO

Se forem dados a tensão da fonte e a resistência limitadora da corrente, então são desconhecidas somente a corrente e a tensão do diodo. Por exemplo, se a tensão da fonte for de 2 V e a resistência limitadora da corrente for de 100 Ω , então a Eq. (2-1) torna-se

$$I = \frac{2 - V}{100} \quad (2-2)$$

A Eq. (2-2) indica uma relação linear entre a corrente e a tensão. Se fizermos um gráfico desta equação, obteremos uma linha reta. Por exemplo, seja V igual a zero. Então

$$I = \frac{2 \text{ V} - 0 \text{ V}}{100 \Omega} = 20 \text{ mA}$$

A representação deste ponto ($I = 20 \text{ mA}$, $V = 0$) dá o ponto no eixo vertical da Fig. 2-19. Este ponto é chamado *saturação* porque ele representa a corrente máxima.

Como se calcula um outro ponto. Seja V igual a 2 V. Então a Eq. (2-2) dá

$$I = \frac{2 \text{ V} - 2 \text{ V}}{100 \Omega} = 0$$

Quando se representa este ponto no gráfico ($I = 0$, $V = 2 \text{ V}$) obtemos o ponto mostrado no eixo horizontal da Fig. 2-19. Este ponto é chamado *corte* porque ele representa a corrente mínima.

Escolhendo-se outros valores de tensão, podemos calcular e localizar pontos adicionais. Pelo fato da Eq. (2-2) ser linear, todos os pontos se alinharão formando uma linha reta, a que aparece na Fig. 2-19. (Tente localizar outros pontos se você não acredita.) A linha reta é chamada *linha de carga*.

O PONTO Q

A Fig. 2-19 mostra o gráfico da linha de carga e a curva de um diodo. O ponto de interseção representa uma solução simultânea. Em outras palavras, as coordenadas do ponto Q são os valores da corrente e da tensão do diodo para uma fonte de tensão de 2 V e uma resistência limitadora da corrente de 100Ω . Lendo as coordenadas do ponto Q, obtemos uma corrente do diodo de aproximadamente 12,5 mA e uma tensão do diodo de 0,75 V. Referimo-nos ao ponto Q como o *ponto de operação* porque ele representa a corrente através do resistor e do diodo.

OUTRAS LINHAS DE CARGA

A Eq. (2-1) é linear para qualquer fonte de tensão e qualquer resistência em série. Dois pontos determinam uma reta; portanto podemos sempre localizar a linha de carga traçando uma reta através das interseções vertical e horizontal (os pontos onde a linha intercepta os eixos vertical e horizontal).

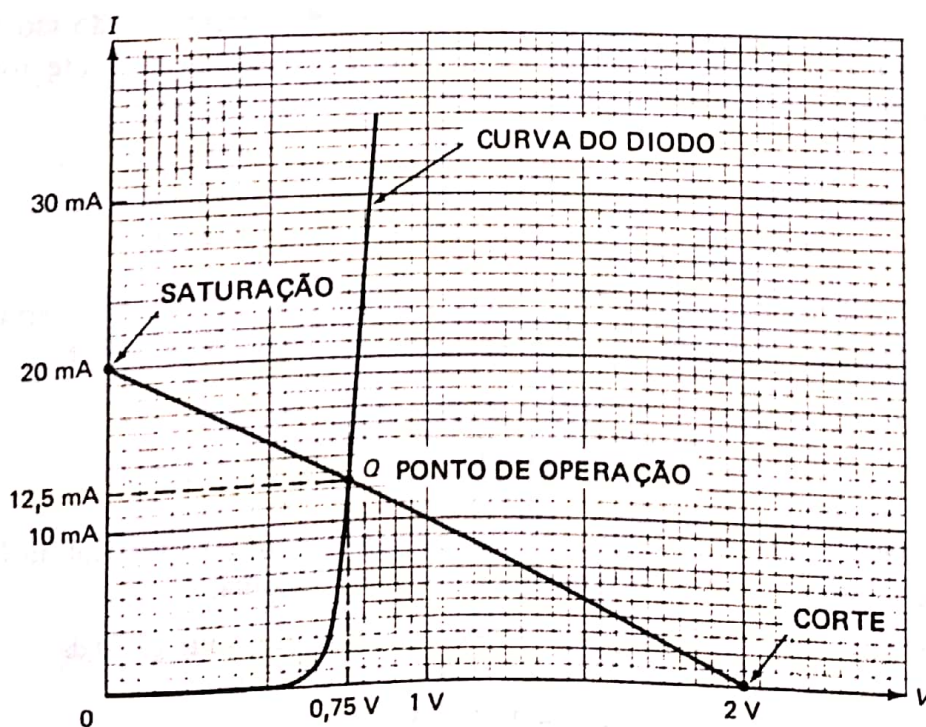


Fig. 2-19 A linha de carga intercepta a curva do diodo no ponto de operação.

Como a tensão é zero na extremidade superior da linha de carga, a Eq. (2-1) dá uma corrente de

$$I = \frac{V_S}{R_S} \quad (\text{saturação}) \quad (2-3)$$

Analogamente, pelo fato da corrente ser zero na extremidade inferior da linha de carga, a Eq. (2-1) leva a

$$V = V_S \quad (\text{corte}) \quad (2-4)$$

RELEMBRANDO AS EXTREMIDADES DA LINHA DE CARGA

Uma forma de se lembrar dos extremos da linha de carga é a apresentada a seguir. Voltemos à Fig. 2-18, onde tudo começou. Fazer V igual a zero equivale a colocar o diodo em curto e perguntar qual a corrente do circuito. Se você estiver raciocinando corretamente, a resposta é V_S/R_S ; esta é a corrente na saturação, o extremo superior da linha de carga. Da mesma forma, fazer I igual a zero equivale a abrir o diodo e perguntar qual a tensão através do diodo. A resposta é V_S ; esta é a tensão de corte, a extremidade inferior da linha de carga.

2-10 APROXIMAÇÕES DO DIODO

Os resistores têm uma tolerância típica de ± 5 por cento; as tensões de joelho do diodo podem ter tolerância de ± 10 por cento; outros componentes que discutiremos têm tolerância de ± 20 até ± 50 por cento, ou mais. Sejam razoáveis e consideremos que as respostas matematicamente exatas dos problemas com circuitos têm pouco valor se as tolerâncias dos componentes forem da ordem de 5, 10, 20 por cento ou mais. O que faz sentido no mundo real da eletrônica cotidiana são respostas aproximadas.

DIODO IDEAL

Façamos portanto, uma aproximação do comportamento do diodo. O que um diodo faz? Ele conduz muito bem no sentido direto e conduz precariamente no sentido reverso. Resuma isto até sua essência e você obterá: um *diodo ideal* age como um condutor perfeito (tensão zero) quando polarizado diretamente e como um isolante perfeito (corrente zero) quando polarizado reversamente como na Fig. 2-20a.

Em termos de circuito, um diodo ideal age como uma chave. Quando o diodo está polarizado diretamente, é como se fosse uma chave fechada (Fig. 2-20b). Se o diodo estiver polarizado reversamente, a chave estará aberta.

Por extrema que possa parecer de início a aproximação de um diodo ideal, ela o inicia na compreensão do funcionamento de circuitos contendo diodos; você não precisa se preocupar com os efeitos da tensão de corte ou com a resistência do corpo. Haverá momentos em que a aproximação se mostrará imprecisa demais; por esta razão, precisaremos de uma segunda e uma terceira aproximações.

SEGUNDA APROXIMAÇÃO

Precisamos de cerca de 0,7 V de tensão de limiar antes que o diodo de silício comece a conduzir realmente bem. Quando a tensão da fonte for grande, estes 0,7 V serão muito pouco para ter importância. Mas quando a fonte de tensão não é muito grande, é preciso levar em conta a tensão de joelho.

A Fig. 2-21a mostra o gráfico para a *segunda aproximação*. O gráfico indica que não flui nenhuma corrente até que apareçam os 0,7 V através do diodo. Neste ponto o diodo se liga. Não importa se a corrente direta é grande ou não, admitimos que a tensão do diodo seja de 0,7 V.

A Fig. 2-21b é o circuito equivalente para a segunda aproximação. A idéia é pensar no diodo como uma chave em série com uma bateria de 0,7 V. Se a tensão da fonte for maior do que 0,7 V, a chave se fechará e a tensão do diodo será de 0,7 V. Se a tensão da fonte for menor do que 0,7 V ou se a tensão da fonte for negativa, a chave se abrirá.

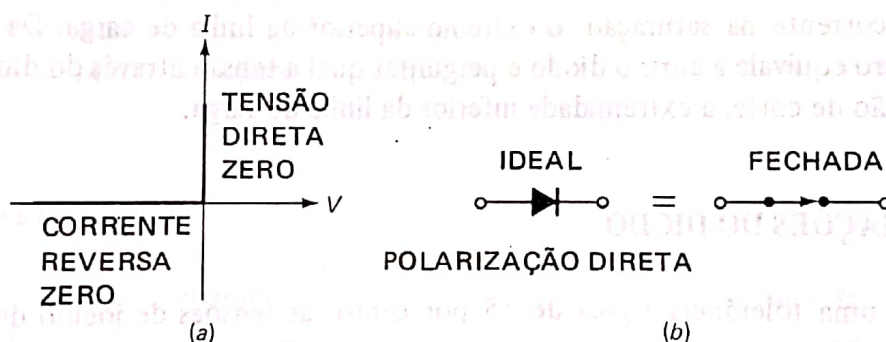


Fig. 2-20 (a) Diodo ideal. (b) Uma chave é equivalente a um diodo ideal.

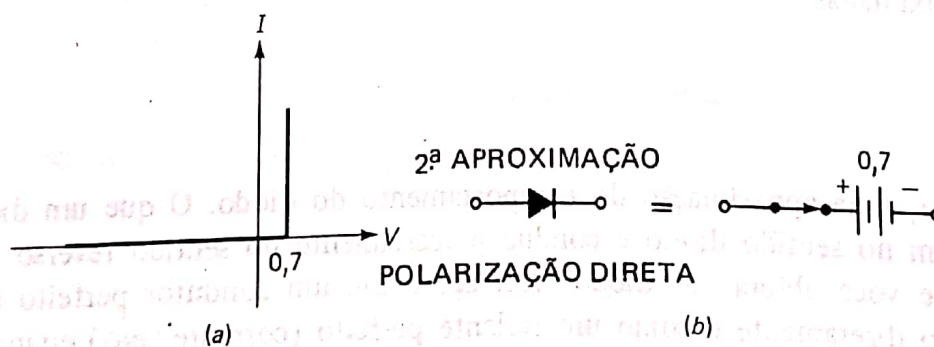


Fig. 2-21 (a) Segunda aproximação. (b) A chave e a bateria formam o circuito equivalente.

TERCEIRA APROXIMAÇÃO

Na *terceira aproximação* de um diodo, incluímos a resistência do corpo r_B . Como foi feito anteriormente, o diodo é ligado em 0,7 V. A seguir aparece uma tensão adicional através da resistência do corpo, de modo que a tensão total do diodo é maior do que 0,7 V. A Fig. 2-22a

mostra os efeitos de r_B . Depois do diodo de silício estar ligado, a corrente produz uma tensão através de r_B . Quanto maior a corrente, maior a tensão. Pelo fato de r_B ser linear, a tensão aumenta linearmente com o incremento da corrente.

O circuito equivalente para a terceira aproximação é constituído por uma chave em série com uma bateria de 0,7 V e uma resistência de r_B (veja a Fig. 2-22b). Depois do circuito externo ter ultrapassado a barreira de potencial, a corrente do diodo produz uma queda $I_F r_B$ através da resistência do corpo. Portanto a tensão total através do diodo de silício é igual a

$$V_F = 0,7 + I_F r_B \quad (2-5)$$

QUAL DELAS USAR

Na maioria dos trabalhos práticos, a segunda aproximação é a mais recomendada; é esta que utilizaremos ao longo de todo este livro, a menos que seja feita alguma indicação em contrário. Além disso, quando você fizer os problemas do fim de cada capítulo, use a segunda aproximação, a menos que seja feita alguma recomendação em contrário.

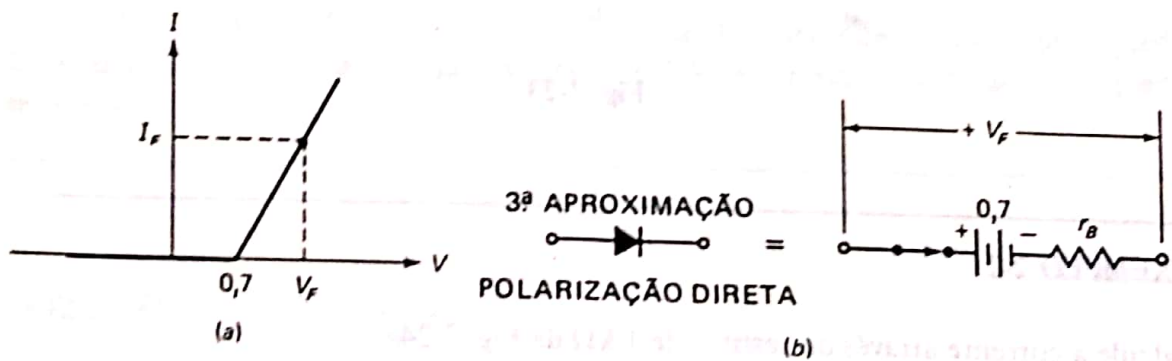


Fig. 2-22 (a) Terceira aproximação. (b) Circuito equivalente.

EXEMPLO 2-1

Utilize a segunda aproximação para determinar a corrente do diodo na Fig. 2-23a.

SOLUÇÃO

O diodo está polarizado diretamente; portanto, há uma queda de 0,7 V. A tensão através do resistor é a diferença entre a tensão da fonte e a tensão do diodo ($10 \text{ V} - 0,7 \text{ V}$), que é igual a 9,3 V. Portanto, a corrente do diodo é

$$I = \frac{9,3 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 1,86 \text{ mA}$$