

Sumário

Introdução	5
Diodo Zener	6
Comportamento do diodo Zener	6
Polarização direta	6
Polarização inversa	7
Características do diodo Zener	9
Tensão Zener	9
Potência máxima de dissipação	9
Coefficiente de temperatura	11
Tolerância	12
Diodo Zener ideal versus real	13
Apêndice	15
Questionário	15
Bibliografia	15



Espaço SENAI

Missão do Sistema *SENAI*

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

Introdução

A partir do descobrimento das propriedades eletrônicas da junção semicondutora pn e da fabricação de diodos e outros componentes, muitos estudos têm sido realizados com os materiais semicondutores, em busca de fenômenos que possibilitassem a construção de novos dispositivos. Um destes fenômenos se refere ao efeito de **ruptura** de uma junção semicondutora inversamente polarizada, que é utilizado na fabricação de diodos que funcionam como reguladores de tensão em circuitos eletrônicos. O diodo semicondutor que opera utilizando esse efeito é denominado de **diodo Zener**.

Este fascículo tratará das características principais do diodo Zener, fornecendo informações indispensáveis para que o leitor adquira o conhecimento necessário à utilização daquele componente em aplicações de eletrônica como, por exemplo, na obtenção de regulagem de tensão em fontes de alimentação.



Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:

- Diodo semicondutor.
- Curvas características do diodo semicondutor.

Diodo Zener

O diodo Zener é um tipo especial de diodo utilizado como regulador de tensão. A sua capacidade de regulação de tensão é empregada principalmente nas fontes de alimentação, para obtenção de uma tensão de saída praticamente constante.

A **Fig.1** mostra o símbolo geralmente utilizado para representação do diodo Zener nos diagramas de circuito.

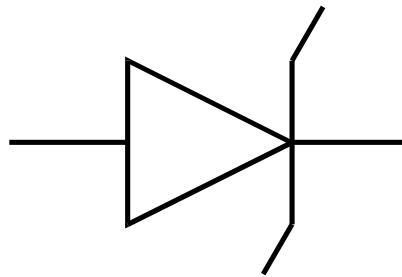


Fig.1 Símbolo de representação do diodo Zener.

COMPORTAMENTO DO DIODO ZENER

O comportamento do diodo Zener depende fundamentalmente da forma como é polarizado, conforme discutido a seguir.

POLARIZAÇÃO DIRETA

Quando polarizado diretamente, o diodo Zener se comporta como um diodo convencional; ou seja, operando no regime de condução com uma queda de tensão típica através de seus terminais.

A **Fig.2** mostra um circuito utilizado para polarizar diretamente um diodo Zener de silício, juntamente com a porção da curva característica representativa da região de condução do diodo.

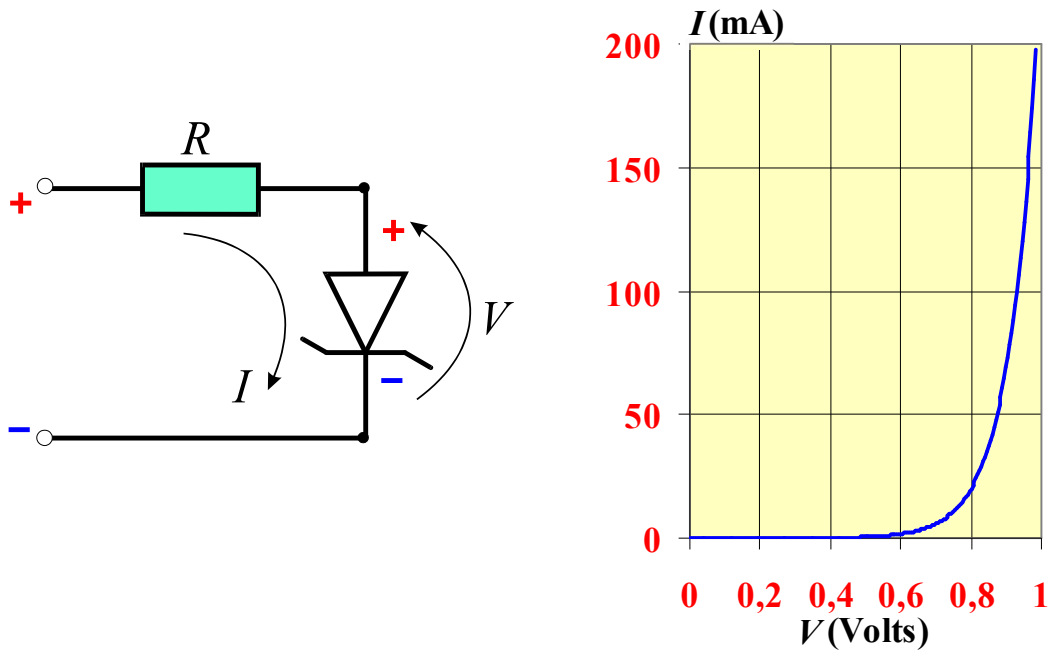


Fig.2 Diodo Zener polarizado diretamente e curva característica correspondente.

Normalmente o diodo Zener não é utilizado com polarização direta nos circuitos eletrônicos.

POLARIZAÇÃO INVERSA

Até um determinado valor da tensão inversamente aplicada, o diodo Zener comporta-se como um diodo comum, ou seja, operando no regime de bloqueio. Neste regime, circula através do diodo uma pequena corrente de fuga, conforme ilustrado no gráfico da **Fig.3**.

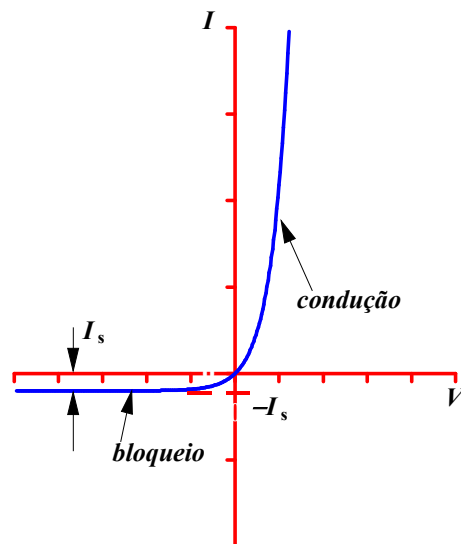


Fig.3 Regiões de condução e bloqueio na curva característica do diodo Zener.

Na **Fig.3**, o sinal negativo associado à corrente de fuga ou de saturação ($-I_s$) indica que, no regime de bloqueio, a corrente flui no sentido inverso através do diodo.

A partir de um determinado valor da tensão inversa aplicada ao diodo, ocorre o efeito de **ruptura**, que faz com que o diodo entre subitamente em condução, mesmo estando submetido a uma polarização inversa, conforme ilustrado na **Fig.4**. A partir dessa condição, a corrente inversa aumenta rapidamente e a queda de tensão através do diodo se mantém praticamente constante.

O valor V_Z da tensão inversa a partir da qual o diodo Zener entra no regime de condução é denominado de **tensão Zener**.

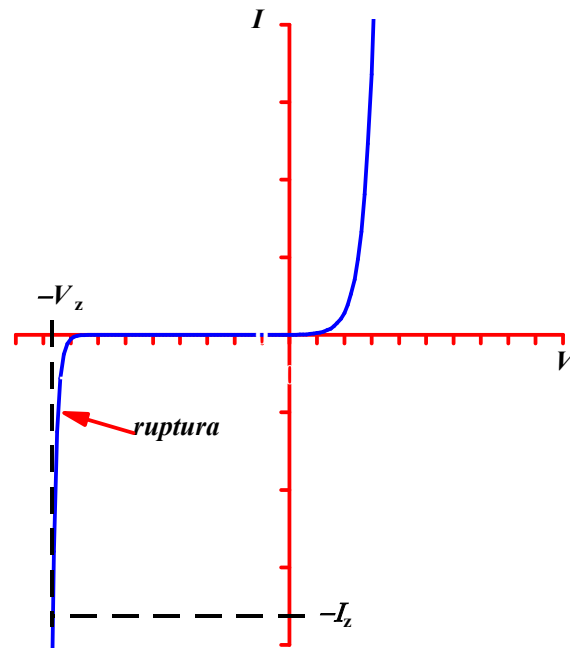


Fig.4 Efeito de ruptura em um diodo Zener.



O valor V_Z da tensão inversa que coloca o diodo Zener em regime de condução é denominado de tensão Zener.

Enquanto houver corrente inversa fluindo através do diodo Zener, a tensão entre os seus terminais mantém-se praticamente fixada no valor V_Z .



O funcionamento típico do diodo Zener é com corrente inversa, o que estabelece uma tensão constante entre os seus terminais.

É importante observar que quando polarizado inversamente, qualquer junção semicondutora pode sofrer o efeito de ruptura. A diferença fundamental entre um diodo Zener e aquele aqui denominado de diodo comum ou convencional, reside no fato de o diodo Zener ser fabricado com materiais semicondutores condicionados a resistir ao valor intenso da corrente inversa presente no regime de ruptura, ao passo que um diodo convencional seria danificado permanentemente se submetido às mesmas condições de operação.

CARACTERÍSTICAS DO DIODO ZENER

São os seguintes os parâmetros utilizados na caracterização do diodo Zener:

- Tensão Zener.
- Potência máxima de dissipação.
- Coeficiente de temperatura.
- Tolerância.

TENSÃO ZENER

O valor da tensão Zener, ou tensão de ruptura de um diodo é controlada durante o processo de fabricação e depende da resistividade da junção semicondutora. A escolha adequada das dimensões, tipo de material e grau de dopagem, possibilitam a operação normal do diodo mesmo quando submetido a alto valor de corrente inversa.

Os diodos Zener são fabricados com valores do parâmetro V_z que variam de 2 V até algumas dezenas de volts. O valor da tensão Zener é fornecido pelo fabricante nos folhetos técnicos do componente.

POTÊNCIA MÁXIMA DE DISSIPACÃO

O diodo Zener operando com uma tensão fixa V_z na região de ruptura, é percorrido por uma alta corrente inversa, dissipando, portanto, potência na forma de calor. A potência dissipada P_z pode ser obtida do produto

$$P_z = V_z I_z \quad (1)$$

onde I_z é a corrente inversa de operação definida na **Fig.4**.

Cada diodo Zener pode operar até um valor máximo da potência de dissipação, valor este que assegura a operação normal do componente. Esse limite de potência é fornecido pelo fabricante no folheto de especificações do diodo.

Utilizando as especificações do parâmetro V_z e da potência máxima de dissipação $P_{z,máx}$, a corrente inversa máxima de operação do diodo $I_{z,máx}$, pode ser calculada com o auxílio da **Eq.(1)**, resultando em

$$I_{z,máx} = \frac{P_{z,máx}}{V_z} \quad (2)$$

O valor da corrente, calculado através da **Eq.(2)**, não pode ser excedido sob pena de danificação do diodo Zener por excesso de aquecimento.

Diodos Zener com potência máxima de dissipação de cerca de 1 Watt podem ser encontrados com encapsulamentos de vidro ou plástico. Para operação a níveis mais altos de potência, o componente é geralmente fabricado com um encapsulamento metálico, do tipo mostrado na **Fig.5** para facilitar a retirada de calor do material semiconductor, minimizando, assim, o aquecimento.

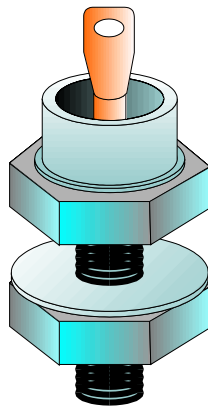


Fig.5 Encapsulamento de um diodo Zener de alta potência.

A faixa de valores de corrente de operação do diodo Zener ilustrada na **Fig.6**, é determinada por dois valores limite, assim definidos:

- $I_{z,máx}$ = valor máximo da corrente de operação.
- $I_{z,mín}$ = valor mínimo da corrente de operação.

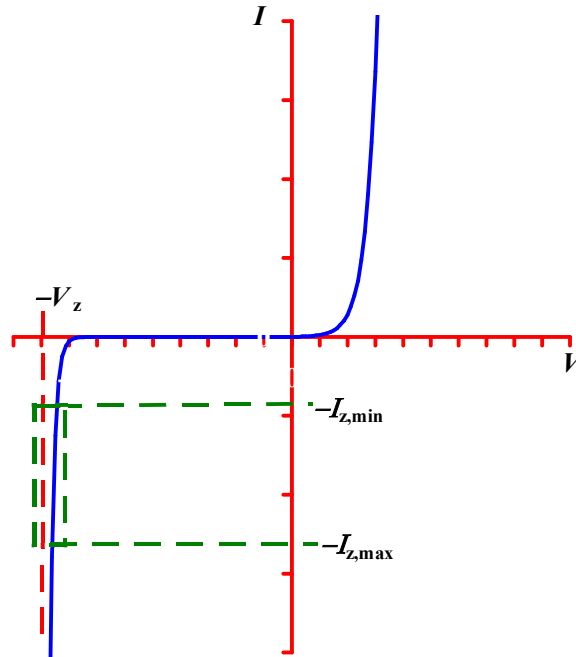


Fig.6 Limites de operação do diodo Zener na curva característica.

O valor máximo é calculado com o uso da **Eq.(2)**, e o valor mínimo é definido como 10% do valor máximo; ou seja,

$$I_{z,\min} = \frac{I_{z,\max}}{10} \quad (3)$$

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Os diodos Zener são fabricados com materiais semicondutores, que sofrem influência da temperatura. Esta influência se traduz em variações no valor da tensão Zener, a partir de variações na temperatura de operação.


Esse efeito é pré-especificado pelo fabricante, sendo caracterizado na forma de um **coeficiente de temperatura** que permite determinar de quantos milivolts varia o valor V_z para cada grau centígrado de variação da temperatura.

Devido a uma diferença existente entre os dois mecanismos responsáveis pela produção da corrente de ruptura em um diodo Zener, o coeficiente de temperatura pode ser positivo ou negativo. Essa diferença permite classificar dois grupos distintos de componente conforme discriminado na **Tabela 1**.

Tabela 1 Divisão de componentes em dois grupos de acordo com o sinal do coeficiente de temperatura.

Tensão Zener	Coeficiente de temperatura (mV/°C)	Observação
$V_z \leq 6V$	Negativo	A tensão Zener diminui com o aumento da temperatura
$V_z > 6V$	Positivo	A tensão Zener aumenta com o aumento da temperatura.

A curva característica da Fig.7 ilustra a dependência térmica da tensão Zener para um componente com coeficiente de temperatura positivo.

 Os valores da tensão Zener constantes nos folhetos técnicos são definidos para uma temperatura de operação de 25°C.

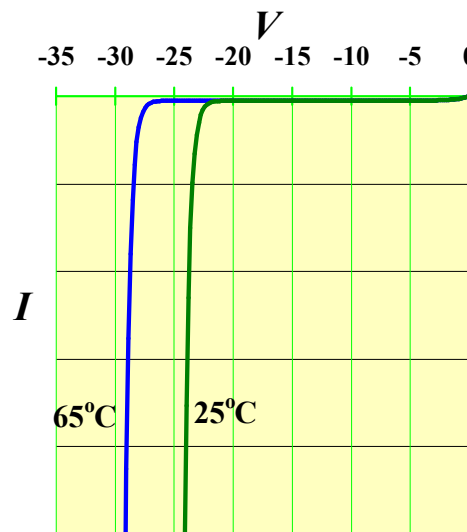


Fig.7 Variação da curva característica de um diodo Zener com coeficiente de temperatura positivo.

TOLERÂNCIA

A tolerância do componente especifica a variação que pode existir entre o **valor especificado** e o valor real da tensão inversa de operação do diodo Zener. Isso significa que um diodo Zener de 12 V pode ter uma tensão inversa real, por exemplo, de 11,5 V.

A tolerância juntamente com os parâmetros de operação são especificados pelos fabricantes por um código de identificação do componente, conforme descrito na **Tabela 2**.

Tabela 2 Formas de especificação da tolerância de diodos Zener a partir dos códigos de identificação.

Tolerância	Especificação da tolerância	Exemplo
5%	O último elemento do código de identificação é a letra <i>A</i>	Cód. de ident.: 1N4742 A Caracteriza um diodo Zener de 12V, 1W, com tolerância de 5%
10%	O último elemento do código de identificação é um numeral	Cód. de ident.: 1N4733 Caracteriza um diodo Zener de 5,1V, 1W, com tolerância de 10%

A tolerância de 5% do componente 1N4742A especificado na **Tabela 2**, indica que a tensão Zener pode variar no intervalo $11,4 \text{ V} \leq V_z \leq 12,6 \text{ V}$. Já o componente 1N4733, de 10% de tolerância, teria uma tensão Zener situada no intervalo $4,6 \text{ V} \leq V_z \leq 5,6 \text{ V}$.

DIODO ZENER IDEAL VERSUS REAL

O diodo Zener ideal é definido como aquele que, operando no regime de ruptura, mantém a tensão absolutamente constante independente da corrente inversa fluindo através de seus terminais.

A **Fig.8** mostra a região de ruptura da curva característica de um diodo Zener considerado ideal. Como pode ser aí observado, tal dispositivo seria capaz de manter a tensão fixada em um valor constante V_z para valores distintos da corrente inversa através do diodo.

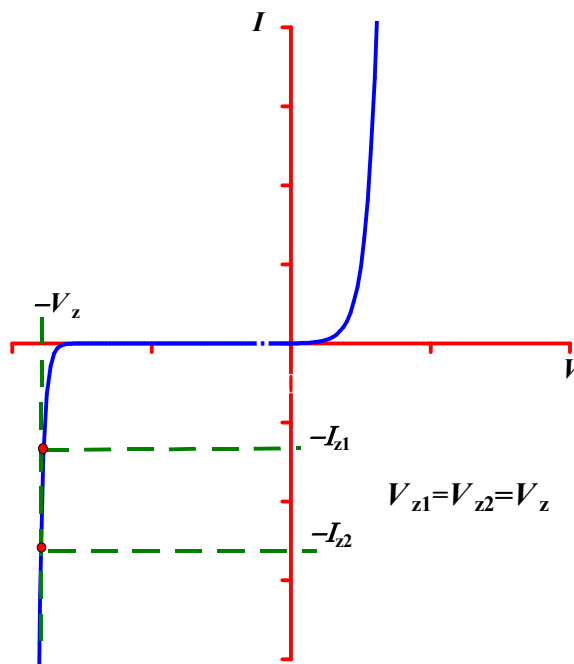


Fig.8 Região de ruptura na curva característica de um diodo Zener ideal.

A região de ruptura de um diodo Zener real é caracterizada por uma pequena variação da tensão Zener quando a corrente inversa é alterada, conforme ilustra o gráfico da **Fig.9**. Porém, considerando que a variação em V_z seja muito pequena, o diodo Zener pode ser considerado ideal na maioria das aplicações de interesse prático.

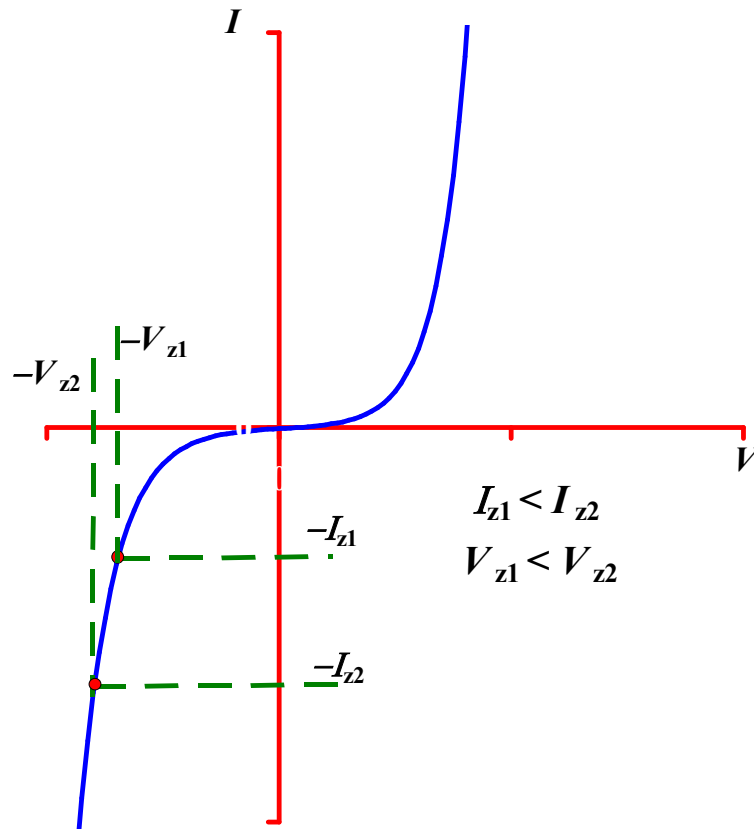


Fig.9 Região de ruptura na curva característica de um diodo Zener real.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Qual a forma adequada de polarização de um diodo Zener e qual a sua principal aplicação em eletrônica?
2. Descreva o fenômeno que ocorre a partir da aplicação de uma tensão inversa em um diodo Zener.
3. Que parâmetros são utilizados na caracterização de um diodo Zener?
4. O que é coeficiente de temperatura de um diodo Zener?

BIBLIOGRAFIA

CIPELLI, Anto Marco Vicare & SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuito eletrônicos. 7.^a ed., São Paulo, Erica, 1983, 580pp.

SENAI/DN. Reparador de circuitos eletrônicos; Eletrônica básica II. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, c1979 (Coleção Básica Senai, Módulo 1).

TUCCI, Wilson José. Introdução à eletrônica. 7.^a ed., São Paulo, Nobel 1983, 349pp.

MILLMAN, Jacob & HALKIAS, Christos C., Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems, pp. 73-77 (McGraw-Hill, Inc., International Student Edition, 1972).

SINGH, J., Semiconductor Optoelectronics: Physics and Technology, New York, McGraw-Hill, Inc., 1995.