

# DIODO ZENER – Conceitos de Regulação de Tensão, Análise da Curva do Diodo Zener

**OBJETIVOS:** Analisar o funcionamento de um diodo zener; entender o conceito de regulação de tensão.

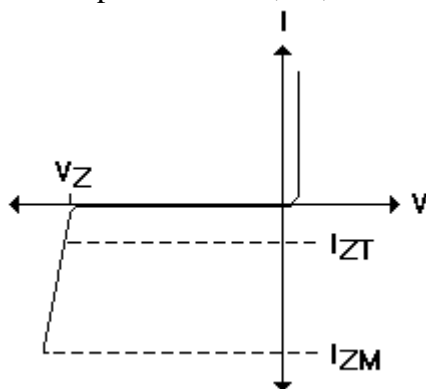
## INTRODUÇÃO TEÓRICA

O diodo zener é equivalente a uma fonte de tensão CC, quando operando na região de ruptura, isto é, podemos considerá-lo como uma fonte CC com uma pequena resistência interna.

Sua principal vantagem é manter a tensão nos seus terminais aproximadamente constante. Seu símbolo é mostrado abaixo:



A figura abaixo mostra a curva característica de um diodo zener (gráfico I-V), onde na região de polarização direta, começa a conduzir por volta de 0,7V, como se fosse um diodo comum.



Na região reversa, observa-se que na ruptura o joelho ( $V_Z$ ) é bastante pronunciado, seguido de um aumento de corrente praticamente vertical. Podemos observar também que a tensão é praticamente constante (aproximadamente igual a  $V_Z$  em quase toda a região de ruptura). O valor de  $V_Z$  é geralmente especificado para uma determinada corrente de teste  $I_{ZT}$ .

A potência dissipada por um diodo zener é dada pela fórmula:

$$P_Z = V_Z I_Z$$

Por exemplo, se  $V_Z = 6,2V$  e  $I_Z = 12mA$ , então:  $P_Z = 6,2V \times 12mA = 74,4mW$ .

Desde que a potência não seja ultrapassada, o diodo zener pode operar dentro da região de ruptura sem ser destruído.

Muitas vezes na especificação do fabricante inclui-se também a corrente máxima que um diodo pode suportar, em função da máxima potência que o mesmo pode suportar. Assim:

$$I_{ZM} = P_{ZM} / V_Z$$

onde:

$$I_{ZM} = \text{máxima corrente de zener especificada}$$

$$P_{ZM} = \text{potência especificada}$$

$$V_Z = \text{tensão de zener}$$

Se quisermos saber a corrente especificada de um diodo zener de 6,2V com uma especificação de potência de 500mW, então:

$$I_{ZM} = 500\text{mW} / 6,2\text{v} = 80,6\text{mA}$$

Isto significa que, se houver uma resistência limitadora de corrente suficiente para manter a corrente de zener abaixo de 80,6mA, o diodo zener pode operar dentro da região de ruptura sem se danificar.

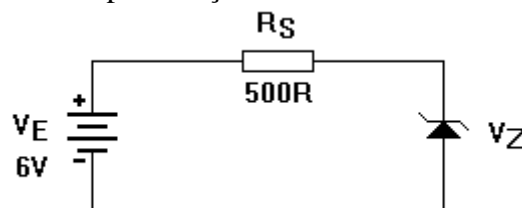
Levando-se em conta uma tolerância de 10% (por exemplo), acima ou abaixo do valor de 6,2V, então é aconselhável para maior segurança recorrer ao procedimento abaixo:

$$I_{ZM} = 500\text{mW} / 6,2\text{V}(x 1,1) = 73,3\text{mA}$$

Quando um diodo zener está operando na região de ruptura, um aumento na corrente produz um ligeiro aumento na tensão. Isto significa que o diodo zener tem uma pequena resistência, que também é denominada *impedância zener* ( $Z_{ZT}$ ), também referenciada à corrente de teste  $I_{ZT}$  para medir  $V_Z$ . Assim por exemplo, para um diodo fictício 1NZX45, com as especificações  $V_{ZT} = 12\text{V}$ ;  $I_{ZT} = 20\text{mA}$  e  $Z_{ZT} = 5\Omega$ , indica que o diodo zener tem uma tensão de 12V e uma resistência de  $5\Omega$  para uma corrente de 20mA.

## REGULAÇÃO DE TENSÃO

Para que ocorra o efeito regulador de tensão é necessário que o diodo zener opere dentro da região de ruptura, respeitando-se as especificações da corrente máxima. Considere o circuito abaixo:



A corrente que circula por  $R_S$  que é a própria corrente que circula pelo diodo zener é dada pela fórmula:

$$I_{RS} = (V_E - V_Z) / R_S$$

Para entender como funciona a regulação de tensão, suponha que a tensão  $V_E$  varie para 9V e 12V respectivamente.

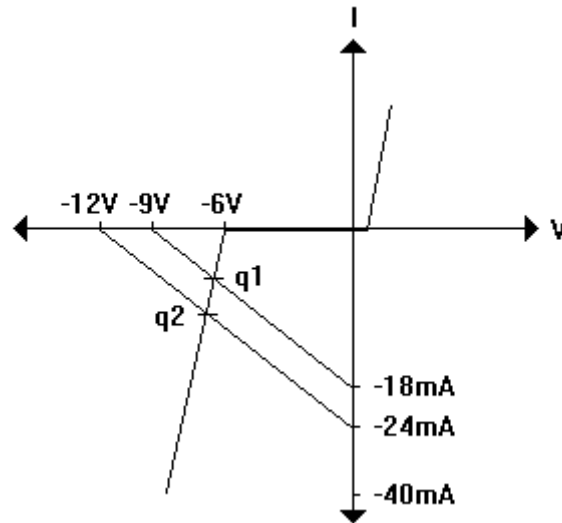
**Devemos então obter o ponto de saturação (interseção vertical), fazendo com que  $V_Z = 0$ .**

- a) obtenção de  $q_1$  ( $V_Z = 0$ ), temos:  $I = 9/500 = 18\text{mA}$
- b) obtenção de  $q_2$  ( $V_Z = 0$ ), temos:  $I = 12/500 = 24\text{mA}$

Para obter o ponto de ruptura (interseção horizontal), fazemos  $I_Z = 0$ .

- a) obtenção de q1 ( $I_Z = 0$ ), temos:  $V_Z = 9V$
- b) obtenção de q2 ( $I_Z = 0$ ), temos:  $V_Z = 12V$

O gráfico então fica com o aspecto a seguir:

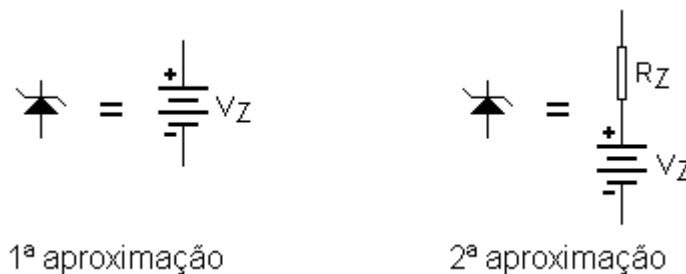


Analisando o gráfico acima, observa-se que embora a tensão  $V_E$  varie para 9V e 12V respectivamente, haverá mais corrente no diodo zener implicando nas interseções q1 e q2.

Portanto embora a tensão  $V_E$  tenha variado de 9 a 12V, a tensão zener ainda é aproximadamente igual a 6V.

Basta para isso comparar a diferença entre q1 e q2, onde observa-se que a tensão de saída permaneceu praticamente constante mesmo que a tensão de entrada tenha variado. Essa é a ideia de regulação de tensão.

### DIODO ZENER IDEAL (1ª aproximação) E DIODO ZENER REAL (2ª aproximação)



Na primeira aproximação, podemos considerar a região de ruptura como uma linha vertical. Isto quer dizer que a tensão de saída será sempre constante, embora ocorra uma grande variação de corrente, o que equivale ignorar a resistência zener.

Isto implica que em um circuito o diodo zener pode ser substituído por uma fonte de tensão com resistência interna nula.

Na segunda aproximação isto não ocorre, pois deve ser levada em consideração a resistência zener. Isto quer dizer que na região de ruptura a linha é ligeiramente inclinada, isto é, ao variar a corrente, haverá uma variação, embora muito pequena, da tensão de saída.

Na segunda aproximação deve ser levada em consideração a resistência zener ( $R_Z$ ) em série com uma bateria ideal. Isto significa que quanto maior for a corrente, esta resistência produzirá uma queda de tensão maior. Retornando ao gráfico anteriormente analisado, teremos então:

a) tensão em q1 será:  $V_1 = I_1 \cdot R_Z + V_Z$

b) tensão em q2 será:  $V_2 = I_2 \cdot R_Z + V_Z$

A variação da tensão de saída será dada por:

$$V_2 - V_1 = (I_2 - I_1) \cdot R_Z \quad \text{ou} \quad \Delta V_Z = \Delta I_Z R_Z$$

Deduz-se então que quanto menor for a resistência zener, menor será a variação da tensão de saída.

## PARTE PRÁTICA

### MATERIAIS NECESSÁRIOS:

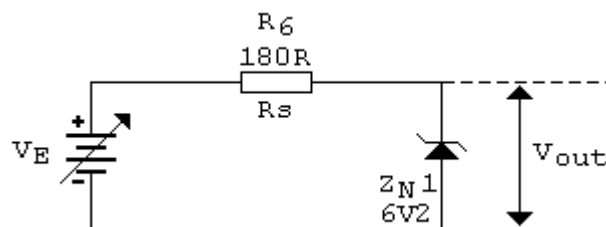
- 1 - Fonte de alimentação 0-20V
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1

### DIODO ZENER

1- Meça as resistências do diodo zener nas polarizações direta e reversa (procure utilizar para leitura o centro da escala do ohmímetro). A relação entre as resistências reversa/direta deve ser de no mínimo 1.000/1.

OBS: O diodo 1N753 tem uma tensão nominal de 6,2V.

2- Monte o circuito abaixo:



3- Calcule e anote a tensão de saída para cada valor de tensão listado na tabela 1.

4- Meça e anote a tensão de saída para cada valor listado na tabela 1.

5- Com os dados da tabela 1, calcule e anote a corrente zener e anote na tabela 2.

6- Com a equação  $\Delta V_Z = \Delta I_Z R_Z$ , calcule a resistência zener para  $V_E = 10V$ . (Use as variações de tensão e corrente entre 8V e 12V); anote na tabela 2.

7- Calcule a resistência zener para  $V_E = 12V$ , e anote na tabela 2.

**TABELA 1**

$V_E$	$V_{out}$ (calculada)	$V_{out}$ (medida)
0V		
2V		
4V		
6V		
8V		
10V		
12V		
14V		

**TABELA 2**

$V_E$	$I_Z$ (calculada)	$R_Z$ (calculada)
0V		s/anotação
2V		s/anotação
4V		s/anotação
6V		s/anotação
8V		s/anotação
10V		
12V		
14V		s/anotação

### VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS

8- Suponha  $V_E = 15V$ . Calcule o valor da tensão de saída para um diodo zener em curto e anote sua resposta na tabela 3.

9- Calcule e anote na mesma tabela a tensão de saída para um diodo zener aberto.

10- Calcule e anote na mesma tabela a tensão de saída para  $R_S$  aberto.

11- Suponha que a polaridade do zener foi invertida. Calcule a tensão de saída e anote na tabela 3.

12- Monte o circuito e simule cada um dos defeitos. Meça e anote a tensão de saída ( $V_{out}$ ), para uma tensão de entrada ( $V_E$ ) = 15V.

**TABELA 3**

$$V_E = 15V - V_{out} = \underline{\hspace{2cm}}$$

DEFEITO	$V_{out}$ (calculada)	$V_{out}$ (medida)
Diodo em curto		
Diodo aberto		
$R_S$ aberto		
Diodo invertido		

**PROJETO:**

13- Projete um resistor para limitar a corrente do zener em 16,5mA para uma tensão de entrada de 14V. Anote o valor projetado na parte superior da tabela 4. Monte o circuito com o valor de  $R_S$  projetado. Meça e anote a tensão de saída para cada valor listado na tabela 4.

14- Calcule e anote a corrente zener para cada tensão de entrada listada na tabela 4. Calcule e anote a resistência zener para cada valor de tensão de entrada ( $V_E$ ).

**TABELA 4**

$$R_s = \underline{\hspace{2cm}}$$

$V_E$	$V_{out}$ (medida)	$I_Z$ (calculada)	$R_Z$ (calculada)
10V			s/anotação
12V			
14V			s/anotação

**QUESTÕES:**

- 1 - No circuito montado, a corrente no zener e no resistor de  $180\Omega$  são:  
a) iguais                      b) quase iguais                      c) muito diferentes
- 2 - O diodo zener começa a conduzir quando a tensão de entrada é aproximadamente:  
a) 4V                      b) 6V                      c) 8V                      d) 10V
- 3 - Quando  $V_E$  é menor do que 6V, a tensão de saída é:  
a) aproximadamente constante  
b) negativa  
c) a mesma da entrada
- 4 - Quando  $V_E$  é maior do que 8V, a tensão de saída é:  
a) aproximadamente constante  
b) negativa  
c) a mesma da entrada
- 5 - A resistência de zener calculada foi próxima de:  
a)  $1\Omega$                       b)  $2\Omega$                       c)  $7\Omega$                       d)  $20\Omega$

6 - Explique porque o diodo zener é também chamado de dispositivo de tensão constante:

---

---

---

---

---

---

---

---

7 - Assinale: para qual das alternativas abaixo você utilizaria um diodo zener?

- a) para regulagem de altas correntes
- b) para regulagem de baixas correntes
- c) para regulagem de potência
- d) para regulagem de tensão
- e) para regulagem de tensão e corrente