

# CAPÍTULO 3

## O Diodo real na região de ruptura reversa Aula 8

Prof. Sedra  
PSI 01059

### Eletrônica I – PSI3321 Programação para a Primeira Prova

Aula	Matéria	Cap./página
1ª 16/02	Introdução, Revisão de circuitos com Amp. Op. O 1º Amp Op Comercial. Encapsulamento do Amp Op, O Amp Op ideal, Análise de circuitos com Amp Ops ideais. Exemplo 2.2	Listas de Circ. Elét. Cap. 2 - p. 38-46 Apêndice B, p.810-14
2ª 19/02	Somador, Configuração não inversora, seguidor, amplificador de diferenças. Exercício 2.15	Sedra, Cap. 2 p. 46-53
3ª 23/02	Amplificador de instrumentação, Funcionamento dos Amp Ops Não-Ideais. Exemplo 2.3 e 2.4	Sedra, Cap. 2 p. 53-59
4ª 26/02	Operação dos Amp Ops em grande excursão de sinal, imperfeições cc, circuitos integrador e diferenciador. Exemplo 2.6.	Sedra, Cap. 2 p. 59-73
5ª 01/03	Diodo ideal, características do diodo real, equação de corrente do diodo, exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 89-96
6ª 04/03	Análise gráfica (reta de carga), modelos simplificados de diodos, exercícios	Sedra, Cap. 3 p. 96-99
7ª 08/03	Modelo para pequenos sinais, modelos de circuitos equivalentes para pequenas variações (próximas do ponto quiescente), exercícios (exemplos 3.6 e 3.7)	Sedra, Cap. 3 p. 100-103
8ª 11/03	Operação na região de ruptura reversa, diodo zener, Projeto de um regulador Zener, exercícios (exemplo 3.8)	Sedra, Cap. 3 p. 104-106
9ª 15/03	Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação c.c., circuito retificador de meia onda, circuito retificador de onda completa com enrolamento secundário com tomada central, exercícios: 3.22.	Sedra, Cap. 3 p. 106-109
10ª 18/03	Aula de Exercícios	

Semana Santa (21/03 a 25/03/2016)

1ª. Semana de provas (28/03 a 01/04/2016)

Data: xx/xx/2016 (xxxx feira) – Horário: xx:xxh

# 8ª Aula:

- O Modelo para Pequenos Sinais
- O Diodo real na região de ruptura reversa

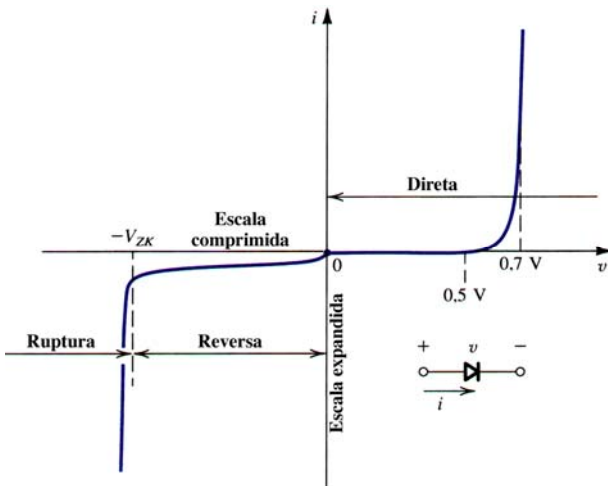
**Ao final desta aula você deverá estar apto a:**

- Explicar e obter os parâmetros de um modelo CC/CA para diodos zener
- Explicar as diferenças entre os modelos para diodos, tanto na região de polarização direta quanto na região de polarização reversa
- Calcular tensões e correntes em circuitos CC/CA com diodos zener
- Empregar diodos zener em circuitos reguladores de tensão

Prof. Sander  
PS/DIUSP

## Diodo Real

### A Região de Ruptura Reversa

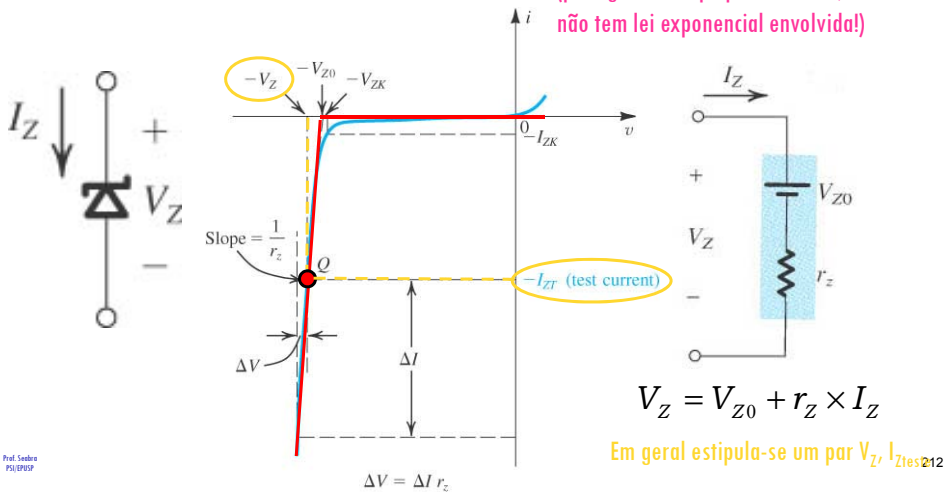


Prof. Sander  
PS/DIUSP

# A região de Ruptura Reversa

## Construindo um modelo

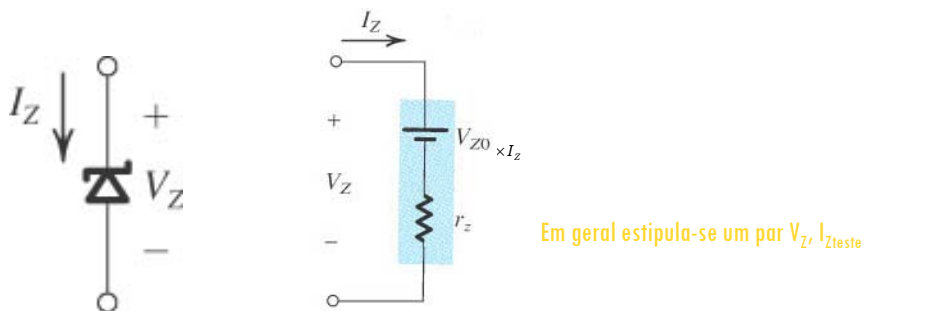
No caso do Zener este é um modelo CC e AC!  
(para grandes e pequenos sinais, não tem lei exponencial envolvida!)



Prof. Sédra PS/DIUSP

# A região de Ruptura Reversa

## Construindo um modelo para o Diodo Zener



No caso do Zener este é um modelo CC e AC!  
(para grandes e pequenos sinais, não tem lei exponencial envolvida!)

Prof. Sédra PS/DIUSP

# A região de Ruptura Reversa



## Uma Família de Diodos Zener Reais

### Zeners

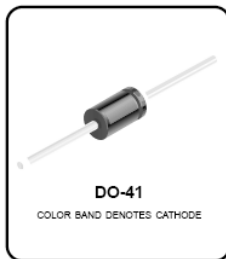
### 1N4728A - 1N4752A

#### Absolute Maximum Ratings\*

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$P_D$	Power Dissipation	1.0	W
	Derate above $50^\circ\text{C}$	6.67	mW/ $^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	-65 to +200	$^\circ\text{C}$
$T_J$	Operating Junction Temperature	+ 200	$^\circ\text{C}$
$R_{\theta JL}$	Thermal resistance Junction to Lead	53.5	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal resistance Junction to Ambient	100	$^\circ\text{C/W}$
	Lead Temperature (1/16" from case for 10 seconds)	+ 230	$^\circ\text{C}$
	Surge Power**	10	W

Tolerance: A = 5%



\*These ratings are limiting values above which the serviceability of the diode may be impaired.

\*\*Non-recurrent square wave PW = 8.3 ms, TA = 55 degrees C.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 200 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

# A região de Ruptura Reversa

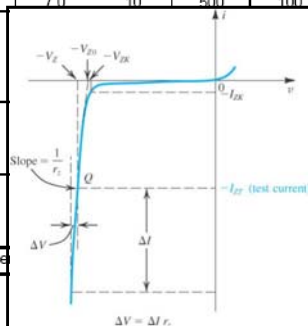
## Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

## Uma Família de Diodos Zener Reais

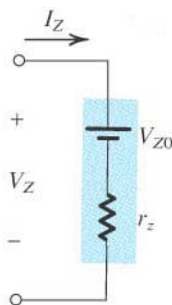
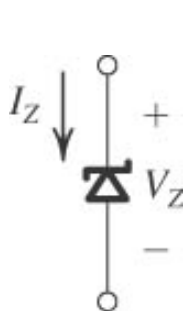
Device	$V_Z$ (V)	$r_Z$ ( $\Omega$ )	$I_{ZK}$ (mA)	$Z_{RZ}$ ( $\Omega$ )	$Z_{RZ}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$I_{ZT}$ ( $\mu\text{A}$ )	$I_{SURGE}$ (mA)	$I_{ZM}$ (mA)
1N4728A	3.3	10	76	400	1.0	1.0	100	1380	276
1N4729A	3.6	10	69	400	1.0	1.0	100	1260	252
1N4730A	3.9	9.0	64	400	1.0	1.0	50	1190	234
1N4731A	4.3	9.0	58	400	1.0	1.0	10	1070	217
1N4732A	4.7	8.0	53	500	1.0	1.0	10	970	193
1N4733A	5.1	7.0	49	550	1.0	1.0	10	890	178
1N4734A	5.6	5.0	45	600	1.0	2.0	10	810	162
1N4735A	6.2	2.0	41	700	1.0	3.0	10	730	146
1N4736A	6.8	3.5	37	700	1.0	4.0	10	660	133
1N4737A	7.5	4.0	34	700	0.5	5.0	10	605	121
1N4738A	8.2	4.5	31	700	0.5	6.0	10	550	110
1N4739A	9.1	5.0	28	700	0.5	7.0	10	500	100
1N4740A	10	7.0	25	700	0.25				
1N4741A	11	8.0	23	700	0.25				
1N4742A	12	9.0	21	700	0.25				
1N4743A	13	10	19	700	0.25				
1N4744A	15	14	17	700	0.25				
1N4745A	16	16	15.5	700	0.25				
1N4746A	18	20	14	750	0.25				
1N4747A	20	22	12.5	750	0.25				
1N4748A	22	23	11.5	750	0.25				
1N4749A	24	25	10.5	750	0.25				
1N4750A	27	35	9.5	750	0.25				
1N4751A	30	40	8.5	1000	0.25				
1N4752A	33	45	7.5	1000	0.25				

$V_F$  Forward Voltage = 1.2 V Maximum @  $I_F = 200$  mA for all 1N4700 series



# A região de Ruptura Reversa

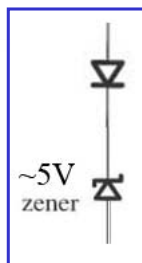
## Construindo um modelo para o Diodo Zener



$$V_Z = V_{Z0} + R_Z \times I_Z$$

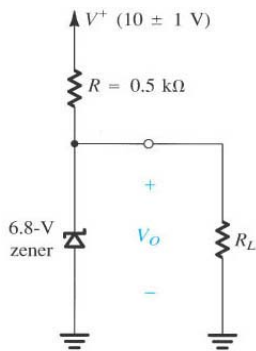
O efeito da temperatura:

- $V_Z < 5V$  o coeficiente de temperatura é negativo
- $V_Z > 5V$  o coeficiente de temperatura é positivo

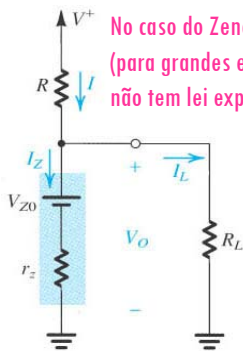


**Exemplo 3.8:** O diodo zener do circuito abaixo é especificado para  $6,8V@5mA$ ,  $r_z = 20\Omega$  e  $I_{ZK} = 0,2mA$ . Veja que  $V^+$  tem uma variação.

- Determine a tensão de saída sem carga;
- Determine a variação na saída para uma variação de  $\pm 1V$  na entrada;
- Qual a variação na tensão de saída quando se coloca uma carga que drena  $1mA$ ?
- Qual a variação na tensão de saída para uma carga de  $2k\Omega$ ;
- Qual a variação na tensão de saída para uma carga de  $0,5k\Omega$ ;
- Qual o valor mínimo de carga para o circuito operar corretamente?



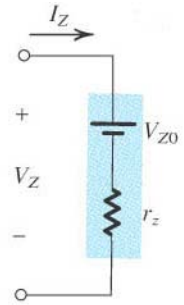
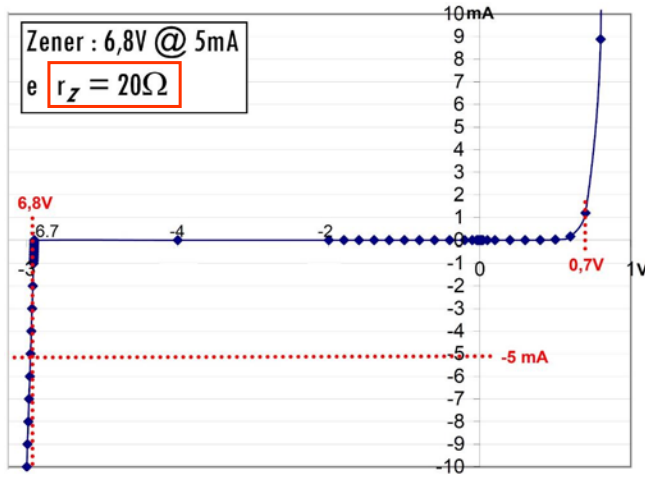
(a)



No caso do Zener este é um modelo CC e AC!  
(para grandes e pequenos sinais,  
não tem lei exponencial envolvida!)

(b)

**Exemplo 3.8:** O diodo zener do circuito abaixo é especificado para  $6,8V@5mA$ ,  $r_z = 20\Omega$  e  $I_{zk} = 0,2mA$ . Veja que  $V^+$  tem uma variação.



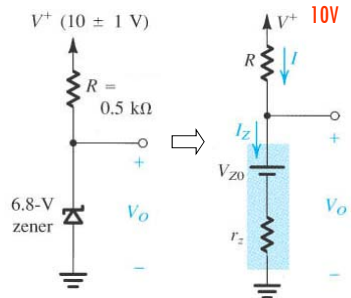
$$V_Z = V_{Z0} + r_z I_Z$$

$$6,8 = V_{Z0} + 20 \cdot 5mA$$

$$V_{Z0} = 6,7V$$

**Exemplo 3.8:**  $6,8V@5mA$ ,  $r_z = 20\Omega$  e  $I_{zk} = 0,2mA$ .

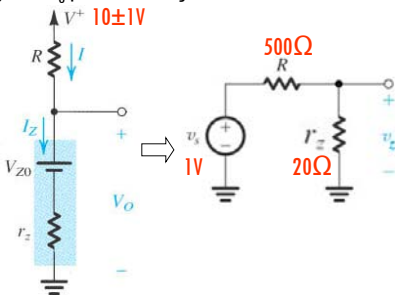
(a)  $V_0$ ? (sem carga)



$$I_Z = \frac{(10V - 6,7V)}{R + r_z (= 500 + 20)} = 6,3mA$$

$$V_0 = V_Z = 6,7 + 20 \cdot 6,3mA = 6,827V$$

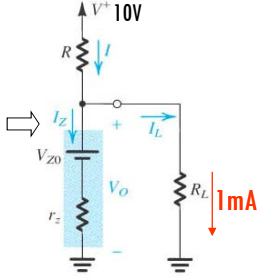
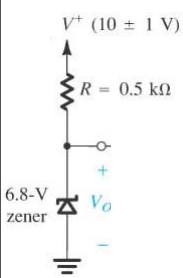
(b) Variação em  $V_0$  para uma variação de  $\pm 1V$  na entrada;



$$v_z = 1V \frac{20}{500 + 20} = 38,5mV$$

**Exemplo 3.8:**  $6,8V @ 5mA$ ,  $r_z = 20\Omega$  e  $I_{ZK} = 0,2mA$ .

(c) Qual a variação na tensão de saída quando se coloca uma carga que drena 1mA?



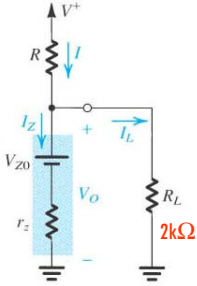
$$I_Z = I_R - I_L = (6,3 - 1,0)mA = 5,3mA$$

$$V_{Zc/carga} = 6,7 + 20 \cdot 5,3m = 6,806V$$

$$\Delta V_Z = V_{Zc/carga} - V_{Zs/carga} = 6,806 - 6,827$$

$$\Delta V_Z = -21mV$$

(d) Qual a variação na tensão de saída para uma carga de  $2k\Omega$ ; Considere inicialmente que  $V_z$  não varia.



$$R_L = 2k\Omega \Rightarrow I_L = 6,827 / 2k = 3,41mA$$

$$I_Z = I_R - I_L = (6,3 - 3,4)mA = 2,9mA$$

$$V_{Zc/carga} = 6,7 + 20 \cdot 2,9m = 6,758V$$

$$\Delta V_Z = V_{Zc/carga} - V_{Zs/carga} = 6,758 - 6,827$$

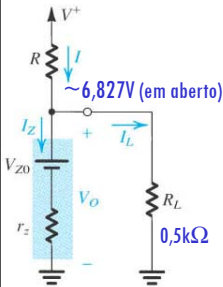
$$\Delta V_Z = -69mV$$

$$V_{Zc/carga} = 6,758V$$

$$\Rightarrow I_L = \frac{6,758}{2k} = 3,38mA$$

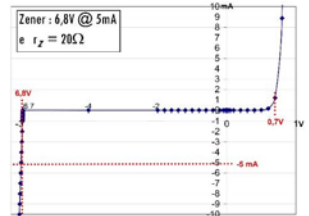
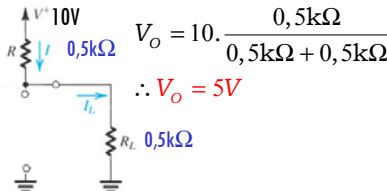
**Exemplo 3.8:**  $6,8V @ 5mA$ ,  $r_z = 20\Omega$  e  $I_{ZK} = 0,2mA$ .

(e) Qual a variação na tensão de saída para uma carga de  $0,5k\Omega$ ; Considere  $V_+ = 10V$ .

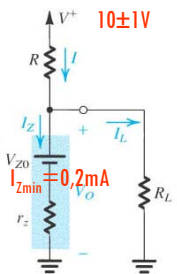


$$R_L = 0,5k\Omega \Rightarrow I_L = 6,827 / 0,5k = 13,65mA$$

$$I_Z = I_R - I_L = (6,3 - 13,65)mA = -7,35mA \text{ (zener em aberto!!!)}$$



(f) Qual o valor mínimo de carga para o circuito operar corretamente? Considere  $V_+ = 10 \pm 1V$ .



Para  $V_+ = 10V$  :

$$I_{Lmax} = I_R - I_{Zmin} = 6,3 - 0,2 = 6,1mA$$

$$R_{min} = \frac{V_Z}{I_{Lmax}} = \frac{6,827}{6,1m} = 1120\Omega$$

Pior caso  $V_+ = 10V - 1V = 9V$   
 e  $V_Z = V_{Zmin} = V_{Z0} = 6,7V$  :

$$I_R = (9V - 6,7) / 0,5k = 4,6mA$$

$$I_{Lmax} = I_R - I_{Zmin} = 4,6 - 0,2 = 4,4mA$$

$$R_{min} = \frac{V_Z}{I_{Lmax}} = \frac{6,7}{4,4m} = 1520\Omega$$