



CAPITULO 3

## Aula 15

# O Diodo e a junção pn na condição de polarização reversa e a capacitância de junção (depleção)

# Eletrônica I – PSI3321

## Programação para a Segunda Prova

10 <sup>a</sup>	07/04	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111	
12 <sup>a</sup>	02/05	Retificador de onda completa com capacitor de filtro, superdiodo. Exercícios (exemplo 3.9).	Sedra, Cap. 3 p. 112-115	Teste 06 9h20-9h35
13 <sup>a</sup>	05/05	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118	
14 <sup>a</sup>	09/05	Conceitos básicos de dispositivos semicondutores: silício dopado, mecanismos de condução (difusão e deriva), exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 117-121	Teste 07 9h20-9h35
15 <sup>a</sup>	12/05	Modelos de cargas, junção pn na condição de circuito aberto, potencial interno da junção, junção pn reversamente polarizada, exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 121-126	
16 <sup>a</sup>	16/05	Distribuição de portadores minoritários na junção pn diretamente polarizada. Dedução elementar da equação de corrente na junção pn, exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 127-128	Teste 08 9h20-9h35
17 <sup>a</sup>	19/05	Capacitância de difusão, largura da região de depleção da junção pn polarizada, capacitância de depleção. a junção pn na região de ruptura (efeito zener e efeito avalanche), exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 124-125	
18 <sup>a</sup>	23/05	A junção pn na região de ruptura (efeito zener e efeito avalanche), exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 128-129	Teste 09 9h20-9h35
19 <sup>a</sup>	26/05	Estruturas e símbolos dos transistores bipolares de junção, definição dos modos de operação (corte, ativo, saturação) do TBJ, operação do transistor npn no modo ativo (polarização e distribuição de portadores minoritários).	Sedra, Cap. 5 p. 235-238	
20 <sup>a</sup>	30/05	Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - $\beta$ - e do ganho de corrente em base comum - $\alpha$ ), modelos de circuitos equivalentes para grandes sinais do transistor npn operando no modo ativo, exercícios.	Sedra, Cap. 5 p. 239-243.	Teste 10 9h20-9h35

# Eletrônica I – PSI3321

## Programação para a Segunda Prova (cont.)

21 <sup>a</sup>	02/06	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269	
22 <sup>a</sup>	06/06	O TBJ como amplificador para pequenos sinais (as condições c.c., a corrente de coletor e a transcondutância)	Sedra, Cap. 5, p. 263-264; p. 275-276.	Teste 11 9h20-9h35
23 <sup>a</sup>	09/06	A corrente de base e a resistência de entrada da base, a resistência de entrada do emissor. Ganho de tensão, Exemplo 5.38, modelos equivalentes (modelos $\pi$ -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279	
24 <sup>a</sup>	13/06	Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43	Sedra, Cap. 5 p. 290-293	Teste 12 9h20-9h35
25 <sup>a</sup>	20/06	O amplificador emissor comum com resistência de emissor	Sedra, Cap. 5 p.293-295	Teste 13 9h20-9h35
26 <sup>a</sup>	23/06	O amplificador base comum (BC)	Sedra, Cap. 5 p. 296-297	
27 <sup>a</sup>	27/06	O amplificador coletor comum (CC)	Sedra, Cap. 5 p. 297-302	Teste 14 9h20-9h35
28 <sup>a</sup>	30/06	Aula de Exercícios		

2<sup>a</sup>. Semana de Provas (01/07 a 07/07/2017)

Data: xx/xx/2017 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxhs

# 15<sup>a</sup> Aula:

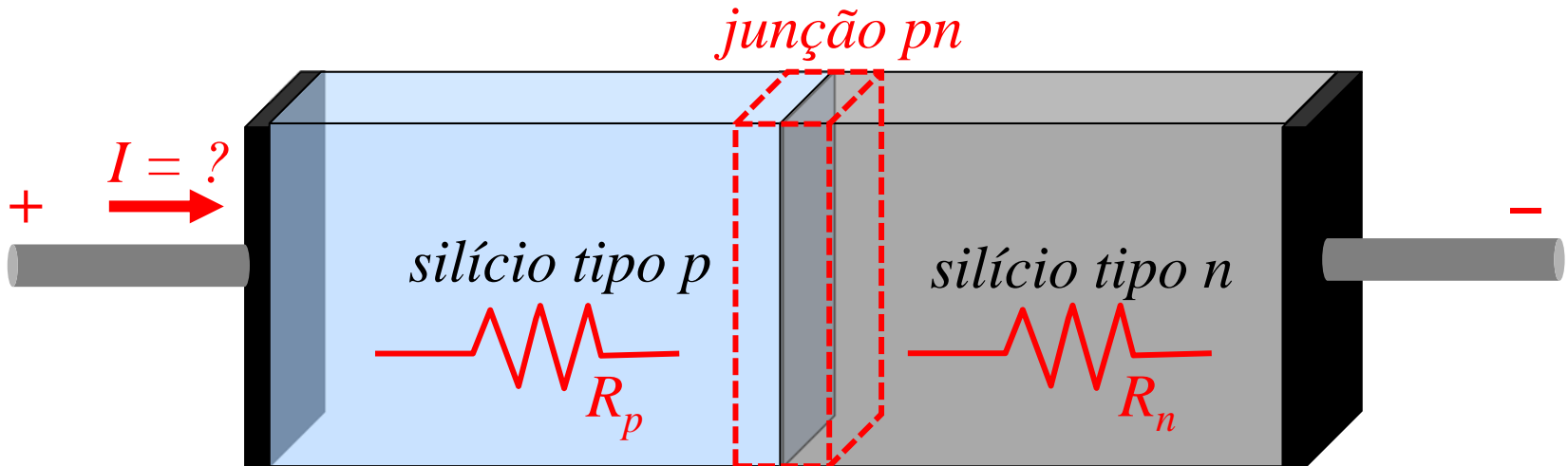
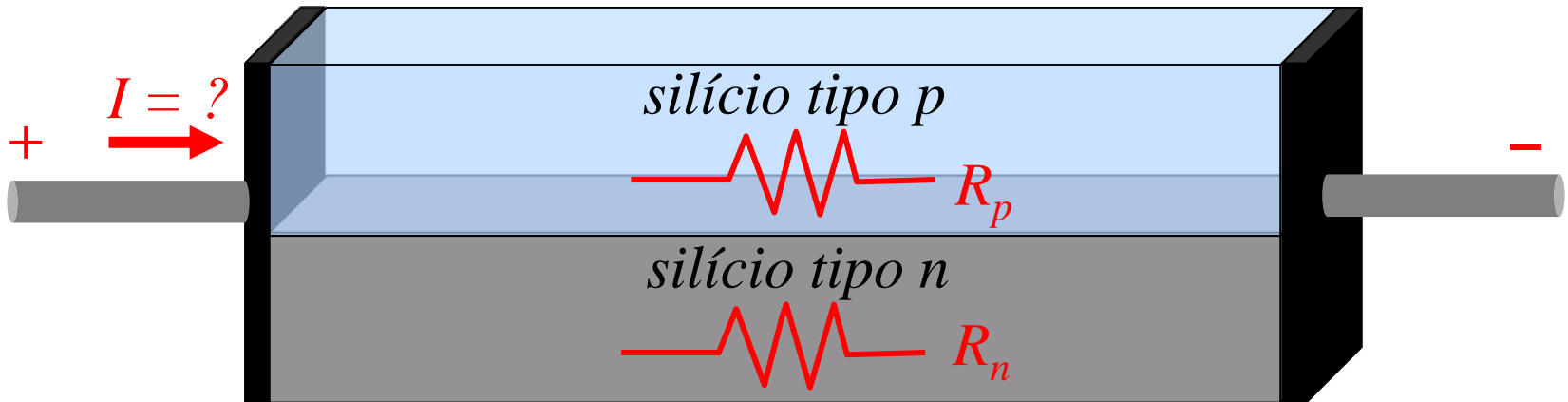
## A junção pn Diretamente polarizada

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Explicar o que ocorre quando se junta um silício tipo  $n$  e um  $p$ , criando um diodo semiconductor
- Explicar a importância das correntes de difusão e de deriva para equacionar o fluxo de cargas na junção pn
- Calcular a barreira de potencial interna e a largura da região de depleção em um diodo semiconductor
- Explicar o que ocorre na junção pn quando ela é polarizada reversamente
- Determinar a capacitância de junção (depleção) em uma junção pn

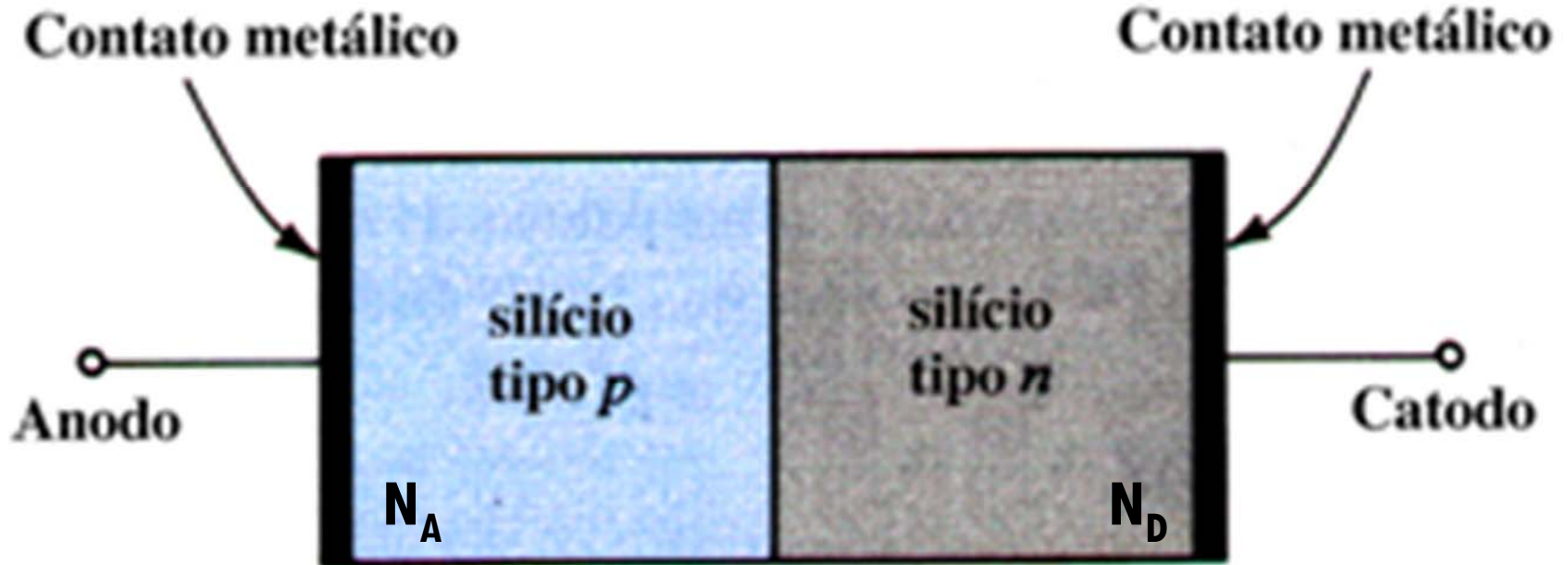
# Juntando silícios p e n

$$\rho = 1/[q(p\mu_p + n\mu_n)]$$

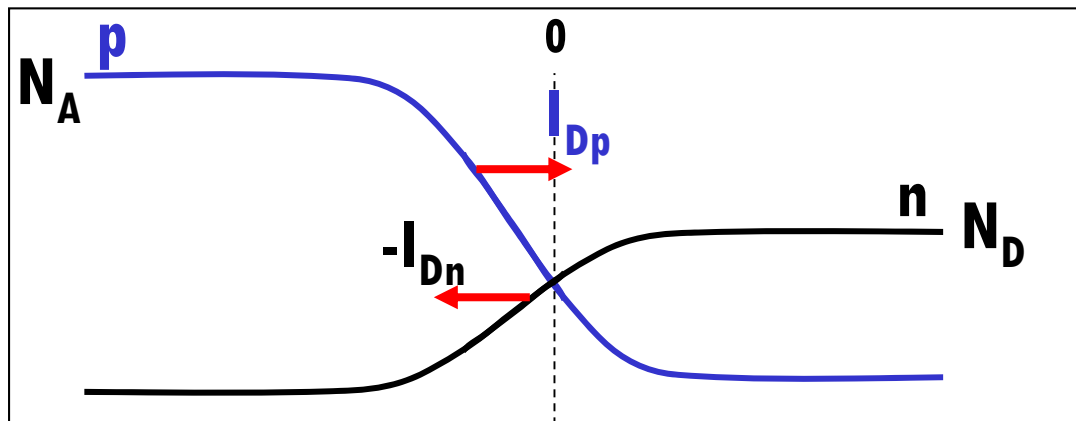
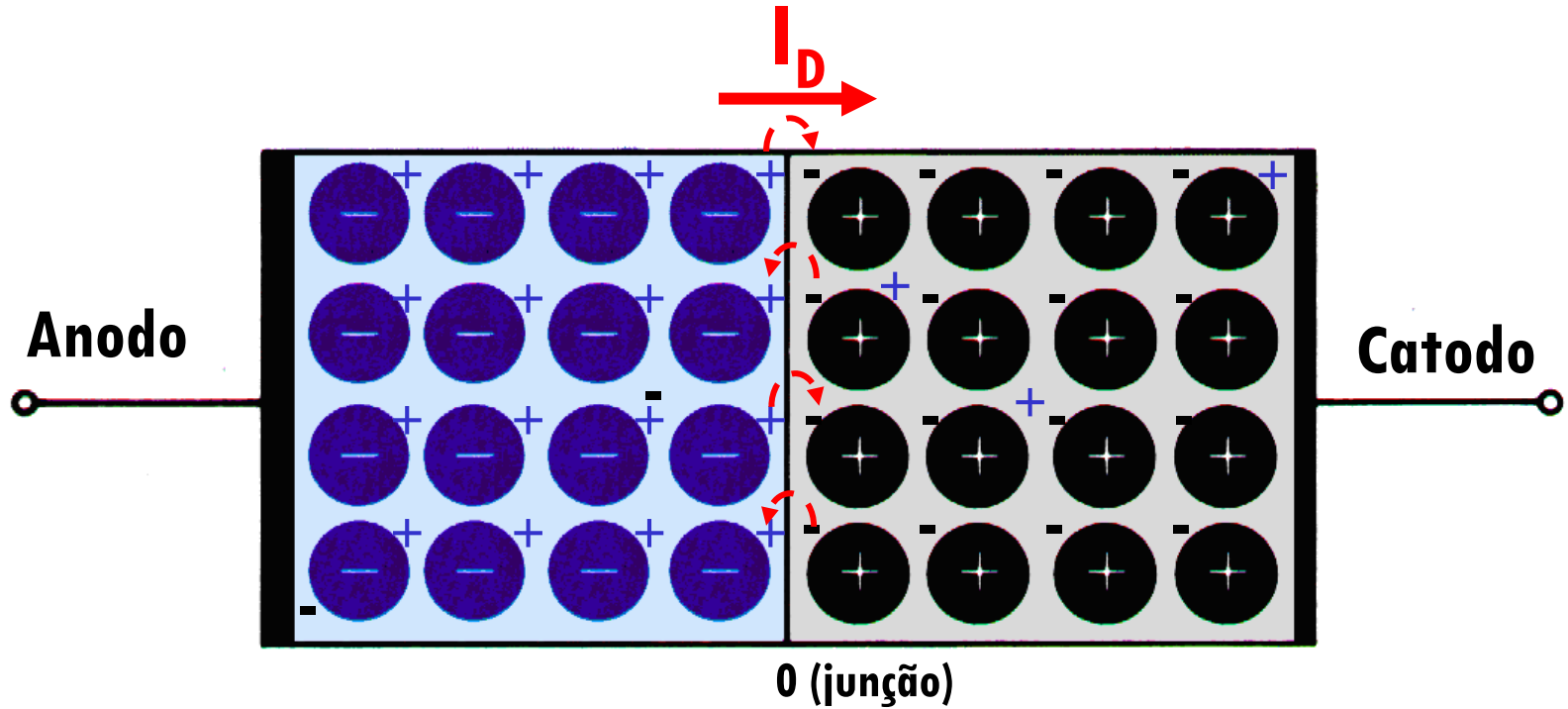


# O Diodo

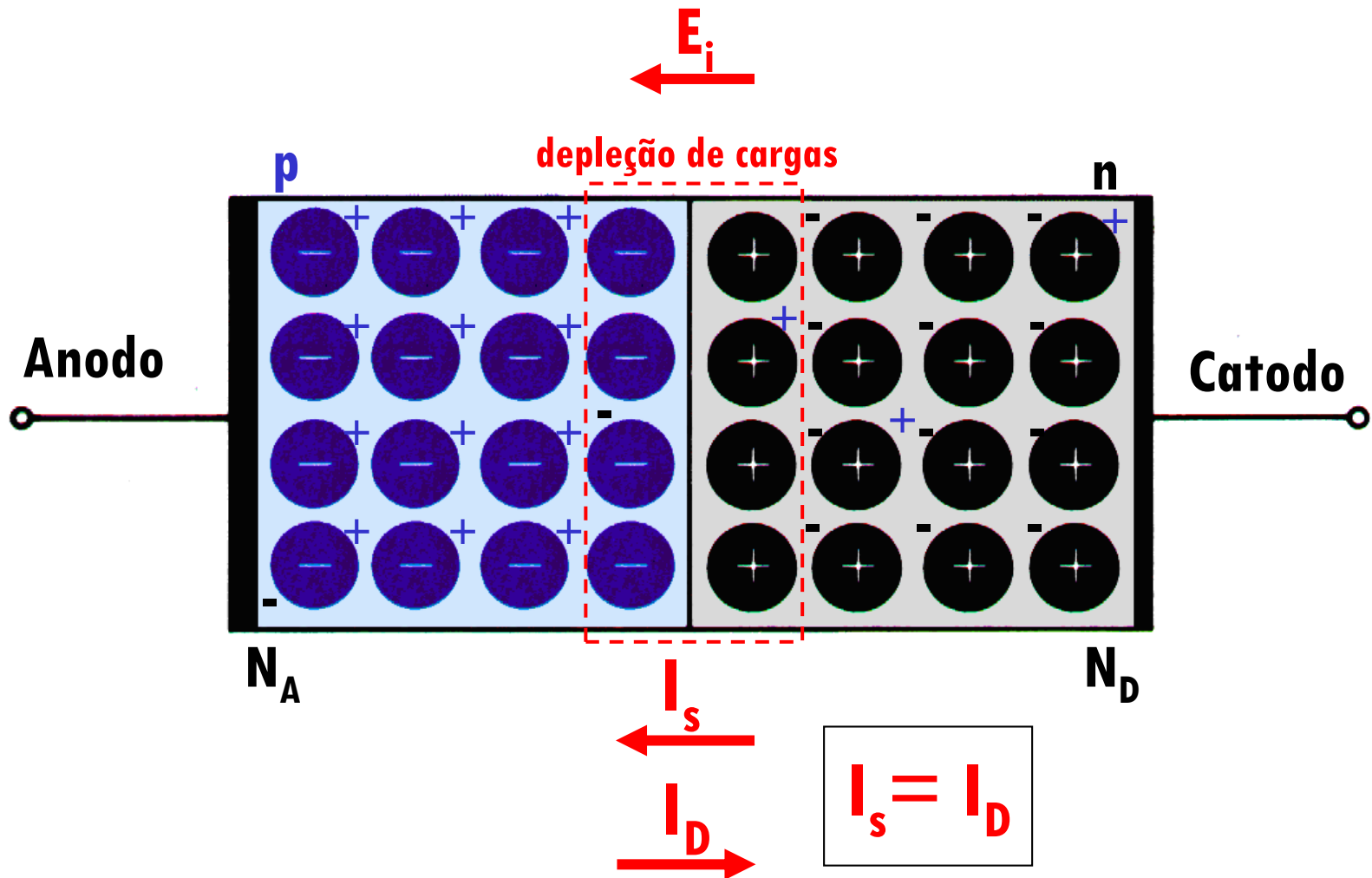
(a junção *pn*)



# O Diodo

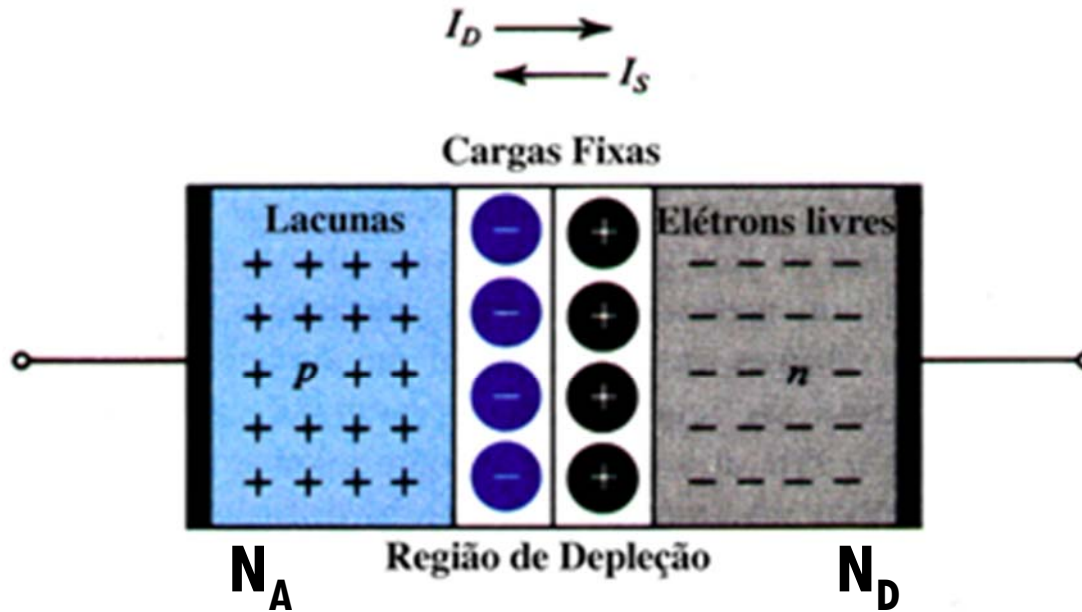


# A dinâmica da junção pn em Aberto





# O Diodo em Aberto



(a)

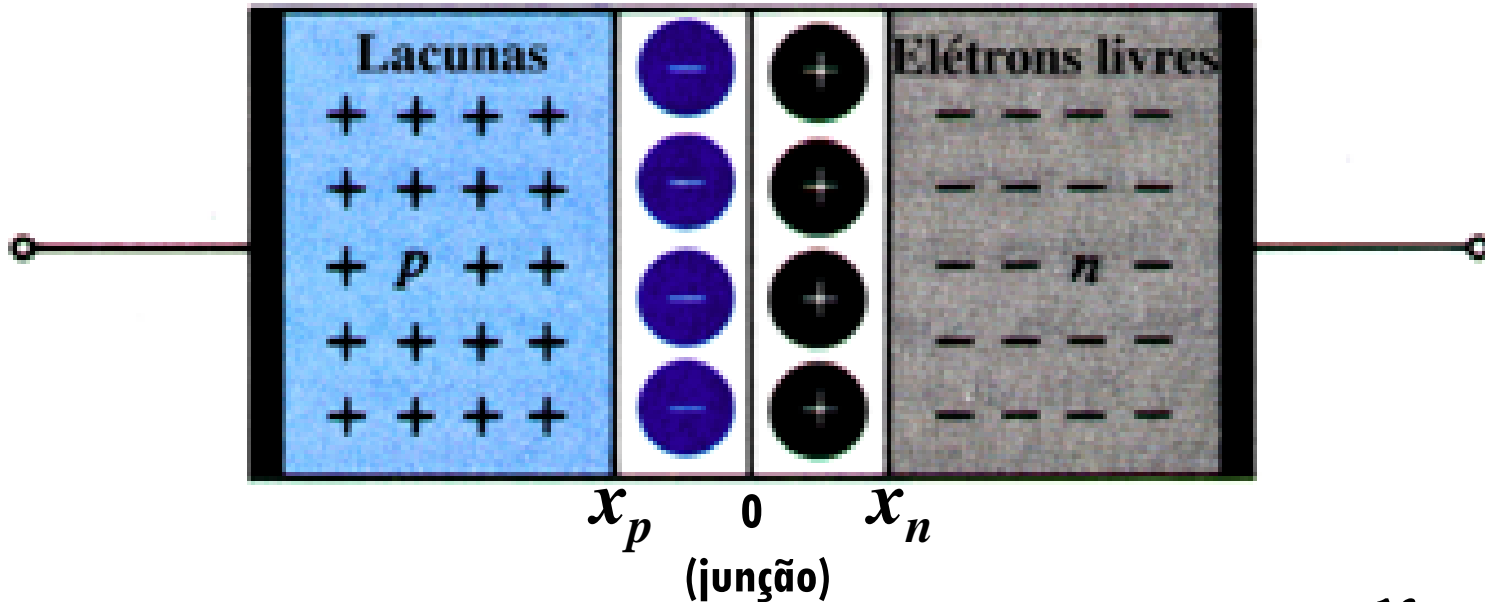


$$V_0 = V_T \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

(b)

# O Diodo em Aberto

Cargas Fixas

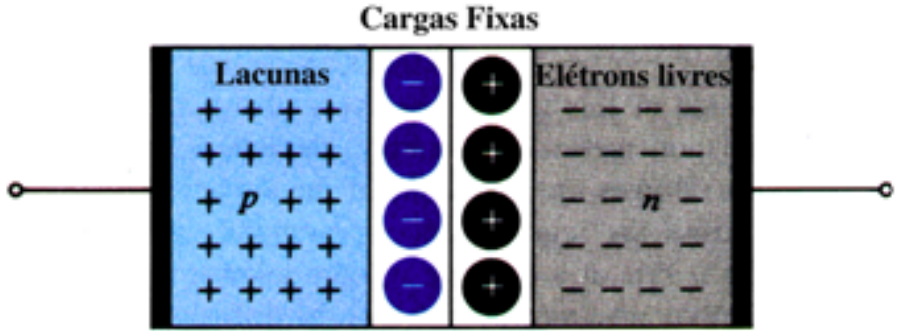


$$qx_p N_A A = qx_n N_D A \quad \text{ou} \quad \frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$

$$W_{\text{dep}} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

# Exercício

3.32 Para uma junção *pn* com  $N_A = 10^{17}/\text{cm}^3$  e  $N_D = 10^{16}/\text{cm}^3$  a  $T = 300\text{ K}$ , determine a tensão interna, a largura da região de depleção e as distâncias que ela se estende no lado *p* e no lado *n*. Utilize  $n_i = 1,5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ .



$$V_0 = V_T \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

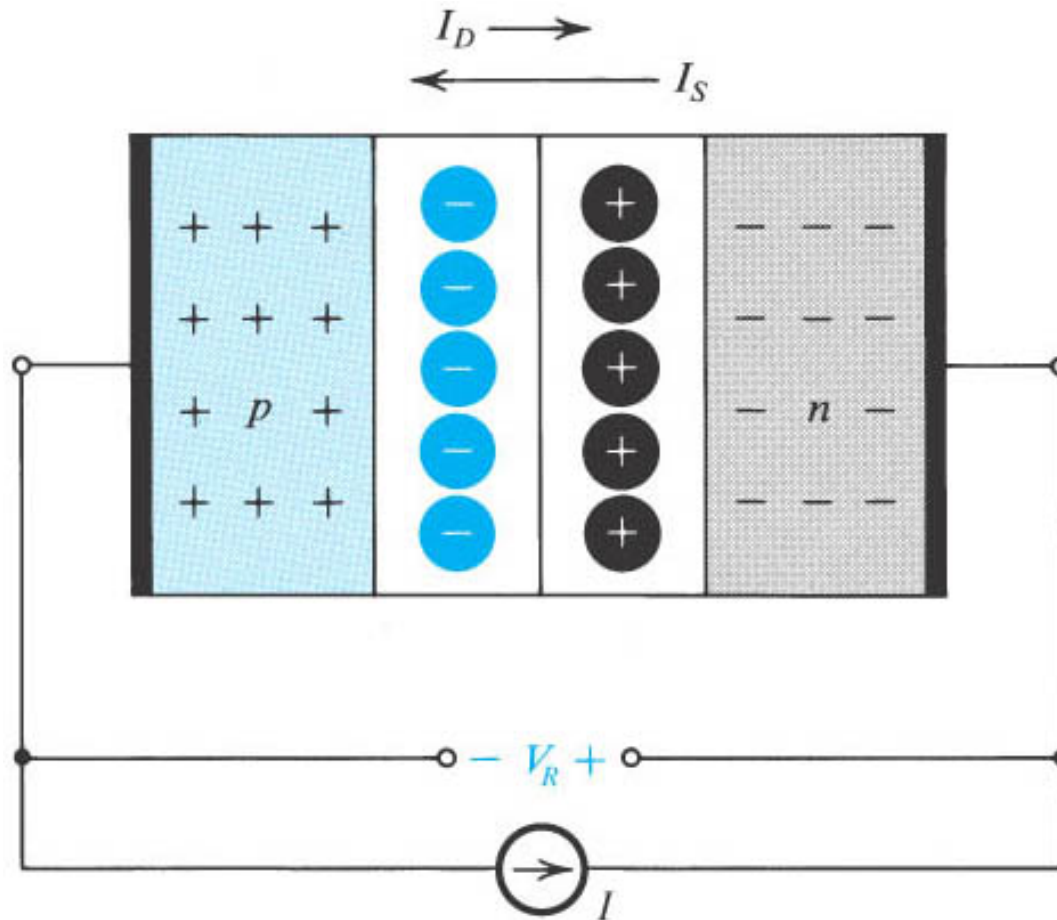
$$W_{\text{dep}} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

$$\frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$

Resp. 728 mV; 0,32 μm; 0,03 μm e 0,29 μm

# O Diodo

## Polarizado Reversamente



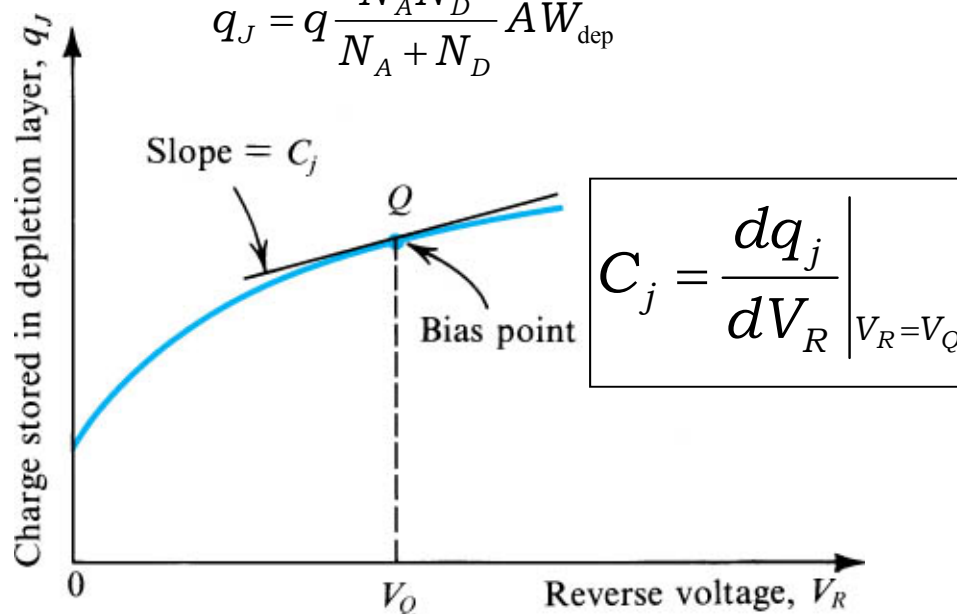
# O Diodo Polarizado Reversamente

## (a capacitância de junção ou de depleção)

$$W_{\text{dep}} = \sqrt{\left(\frac{2\epsilon_s}{q}\right)\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)(V_0 + V_R)}$$

$$q_J = q_N = qN_D x_n A$$

$$q_J = q \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} A W_{\text{dep}}$$



$$q_J = q \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} A \sqrt{\left(\frac{2\epsilon_s}{q}\right)\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)(V_0 + V_R)}$$

# O Diodo Polarizado Reversamente

(a capacitância de junção ou de depleção)

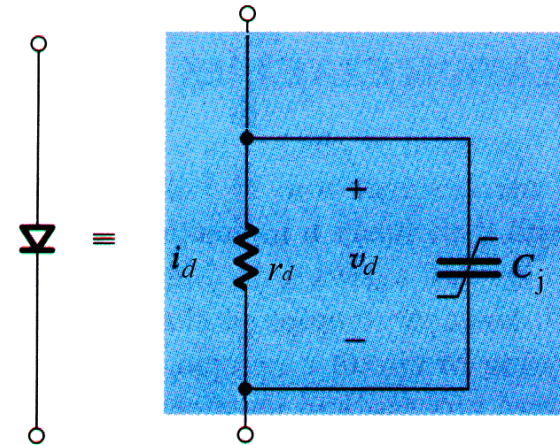
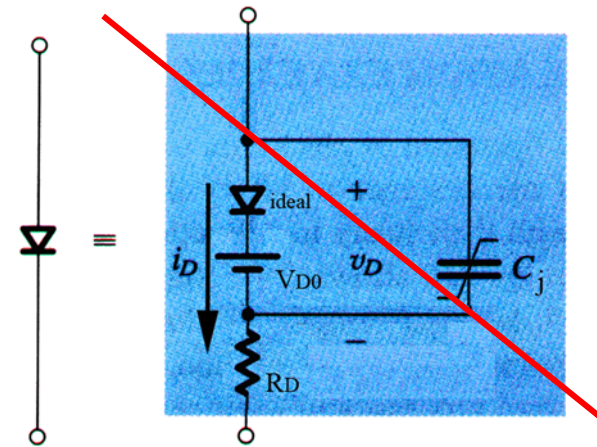
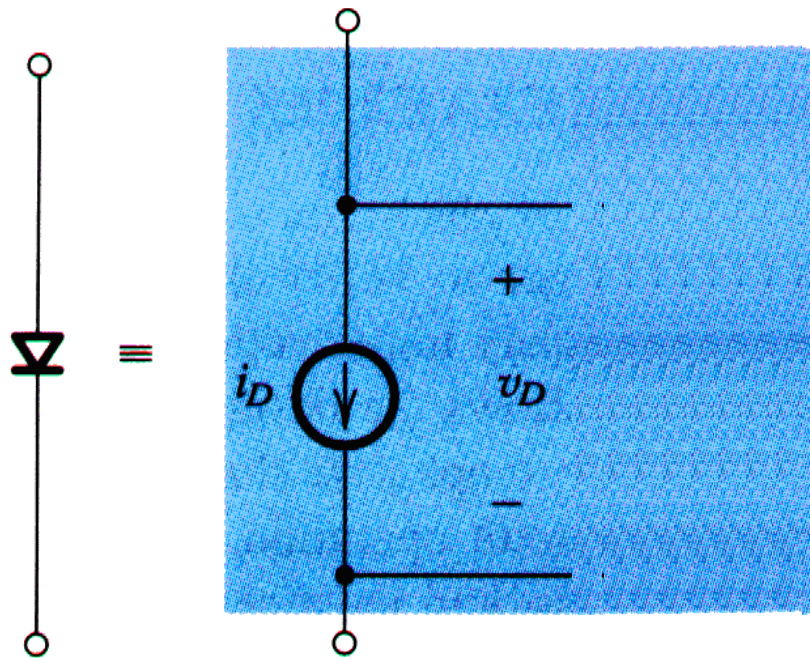
$$C_j = \left. \frac{dq_j}{dV_R} \right|_{V_R=V_Q}$$

$$q_J = q \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} A \sqrt{\left( \frac{2\epsilon_s}{q} \right) \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_0 + V_R)}$$

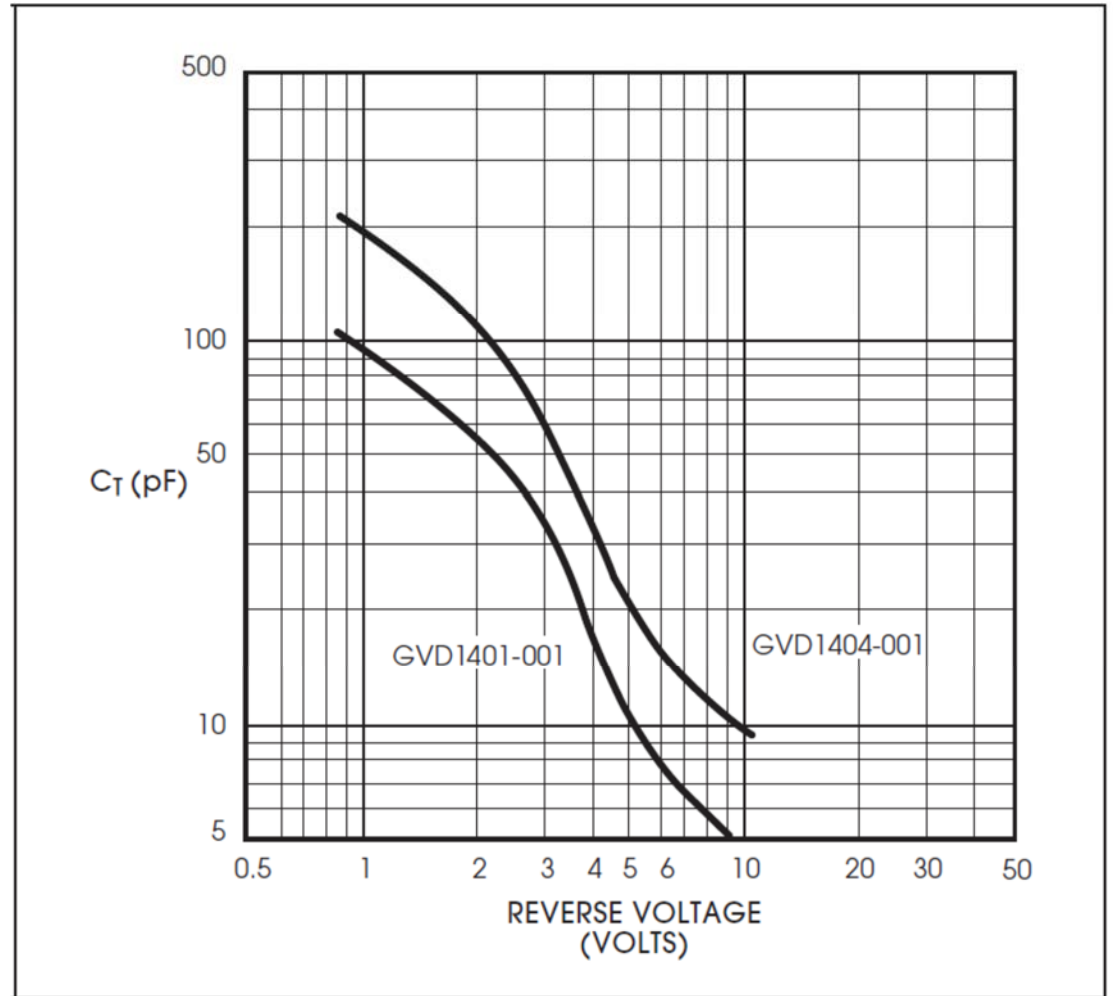
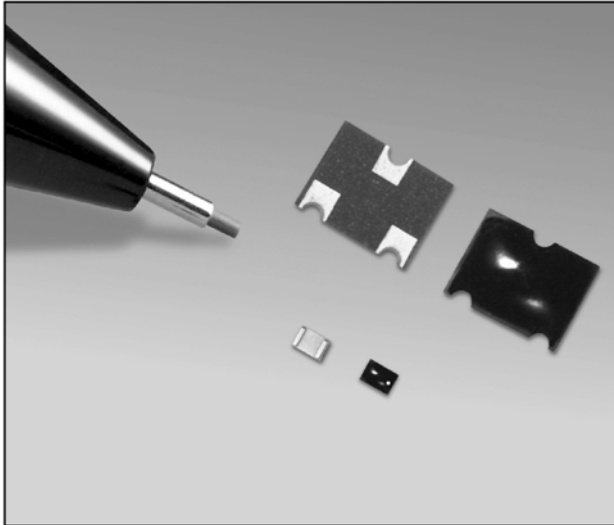
$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 + \frac{V_R}{V_0}}} \quad \text{onde} \quad C_{j0} = A \sqrt{\left( \frac{\epsilon_s q}{2} \right) \left( \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) \left( \frac{1}{V_0} \right)}$$

Na prática  $C_j = \frac{C_{j0}}{\left( 1 + \frac{V_R}{V_0} \right)^m}$  com  $m = 1/3$  a  $1/2$

# O Diodo Polarizado Reversamente

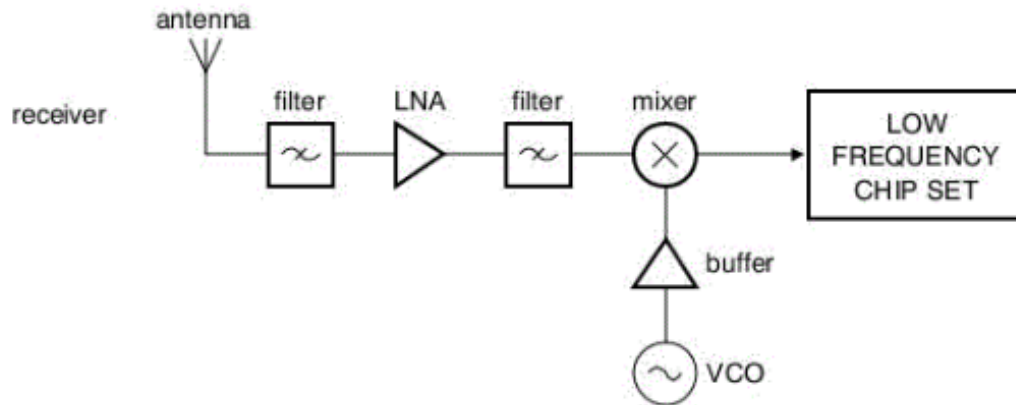
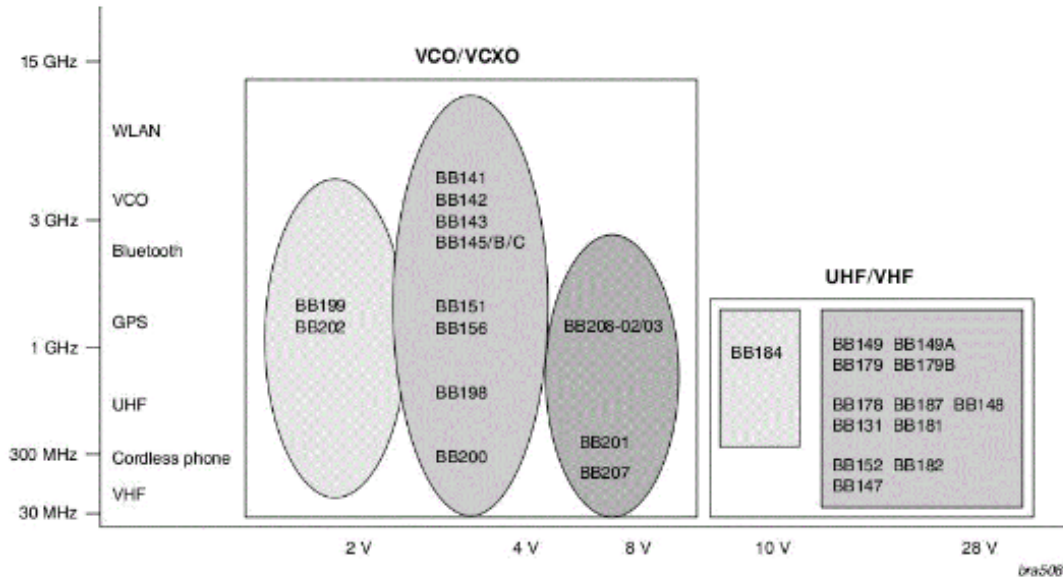


## VARACTOR DIODES





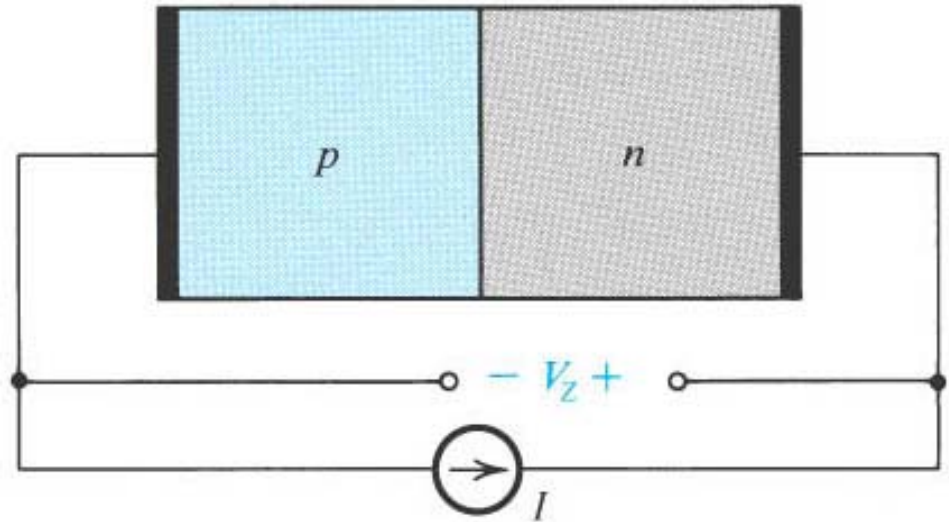
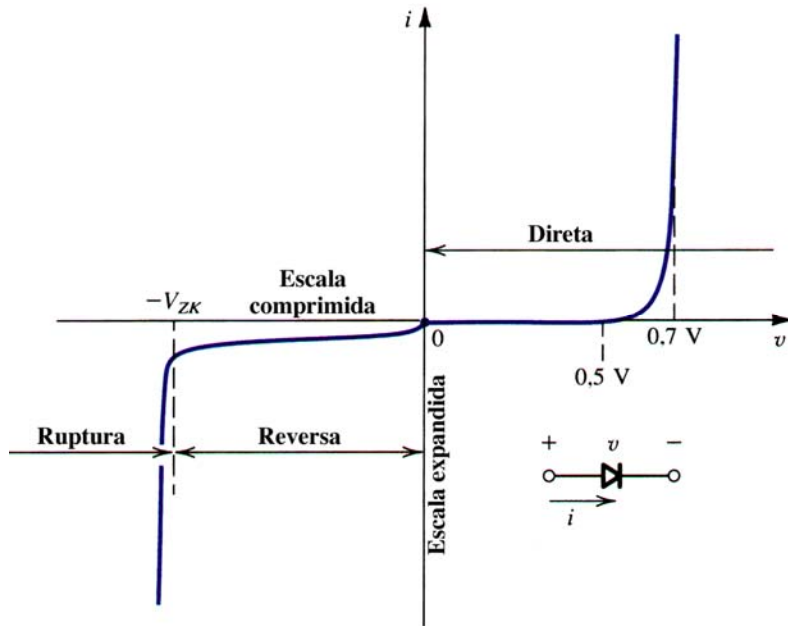
# Diodos Varactores



## Target Applications

- Voltage Controlled Crystal Oscillators / Temperature Controlled Crystal Oscillators (VCXO/TCXO)
- Voltage Controlled Oscillators (VCO)
- Electronic TV tuning \* Satellite and terrestrial Television tuners \* DVD recorders
- CDMA Cellular VCO with the BFG425W, BFG410W and Varactor BB142
- FM radio tuning \* Car radio \* Mobile phones

# O Diodo na Região de Ruptura



Quando  $I > I_s$  a junção se rompe:

**Ruptura por Efeito Zener ( $< 5\text{V}$ ):** ocorre quando o campo elétrico na camada de depleção aumenta até quebrar ligações covalentes (pares n-p)

**Ruptura por Efeito Avalanche ( $> 7\text{V}$ ):** ocorre quando os portadores minoritários que cruzam a região de depleção quebram as ligações covalentes, e podem em seguida quebrar outras ligações