



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 ^a	06/04	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111	
11 ^a	10/04	Retificador de onda completa com capacitor de filtro, superdiodo. Exercícios (exemplo 3.9).	Sedra, Cap. 3 p. 112-115	Teste 06 9h20-9h35
12 ^a	13/04	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118	
13 ^a	17/04	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 ^a	04/05	Modelos de cargas, junção pn na condição de circuito aberto, potencial interno da junção, junção pn polarizada, exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 121-126	
16 ^a	08/05	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 ^a	11/05	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 ^a	15/05	A junção pn na região de ruptura (efeito zener e efeito avalanche), exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 128-129	Teste 09 9h20-9h35
19 ^a	18/05	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 ^a	22/05	Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - β - e do ganho de corrente em base comum - α), 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

15^a Aula:

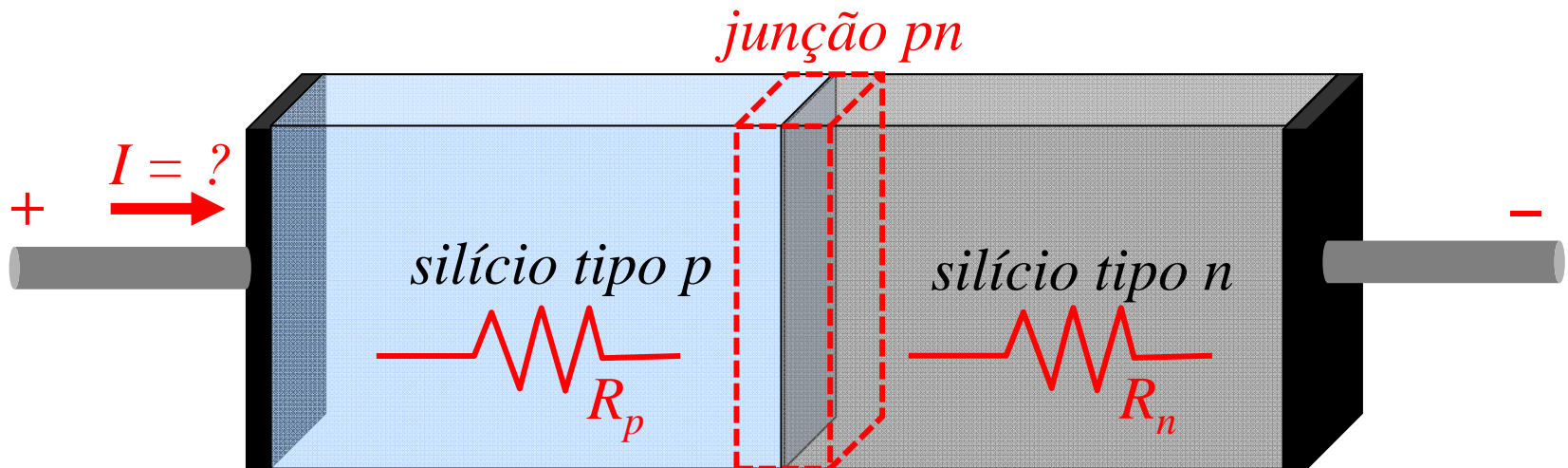
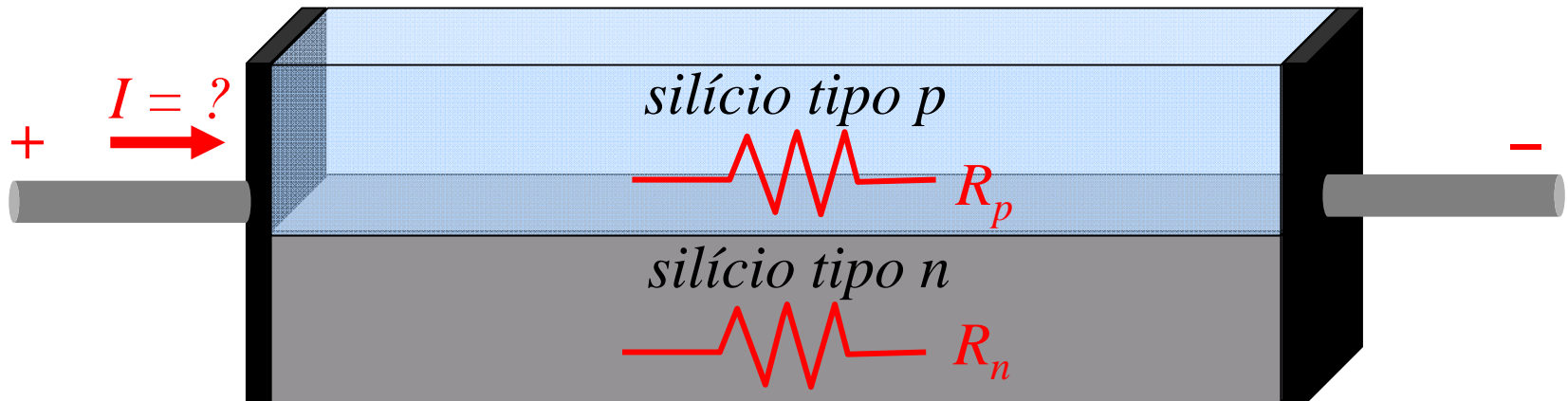
A junção pn Diretamente polarizada

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

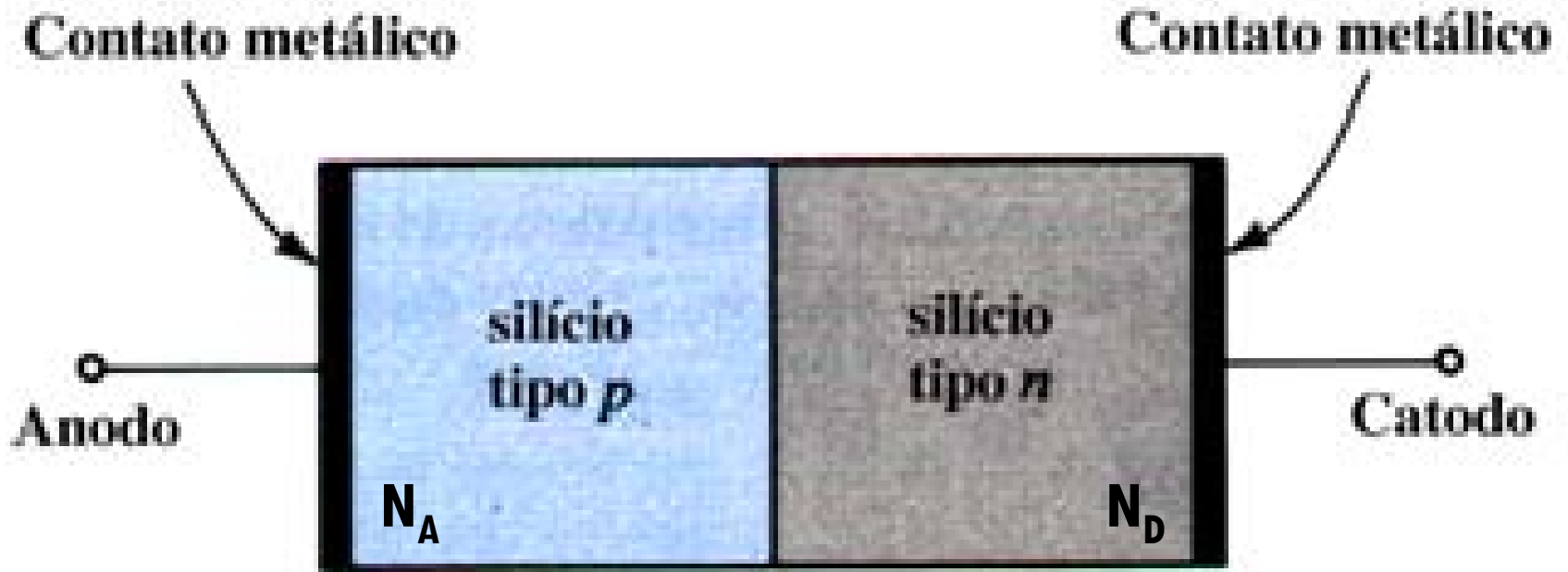
Juntando silícios p e n

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

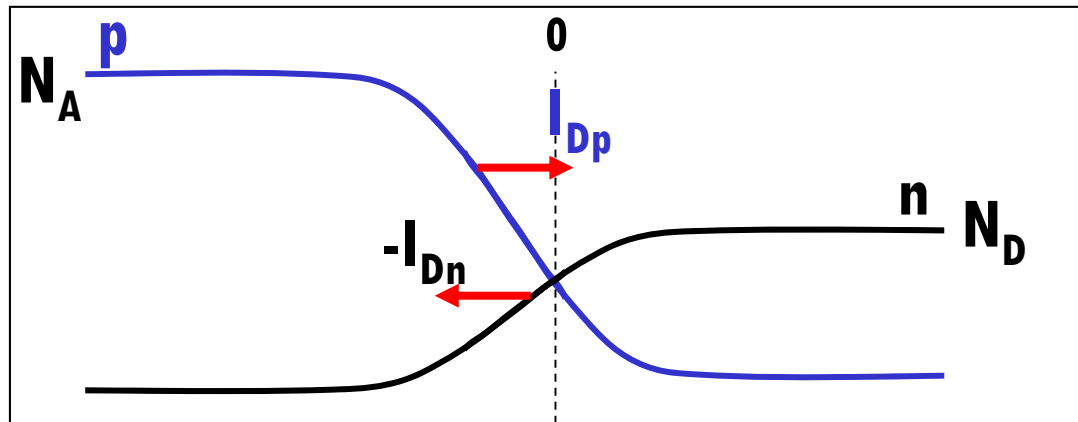
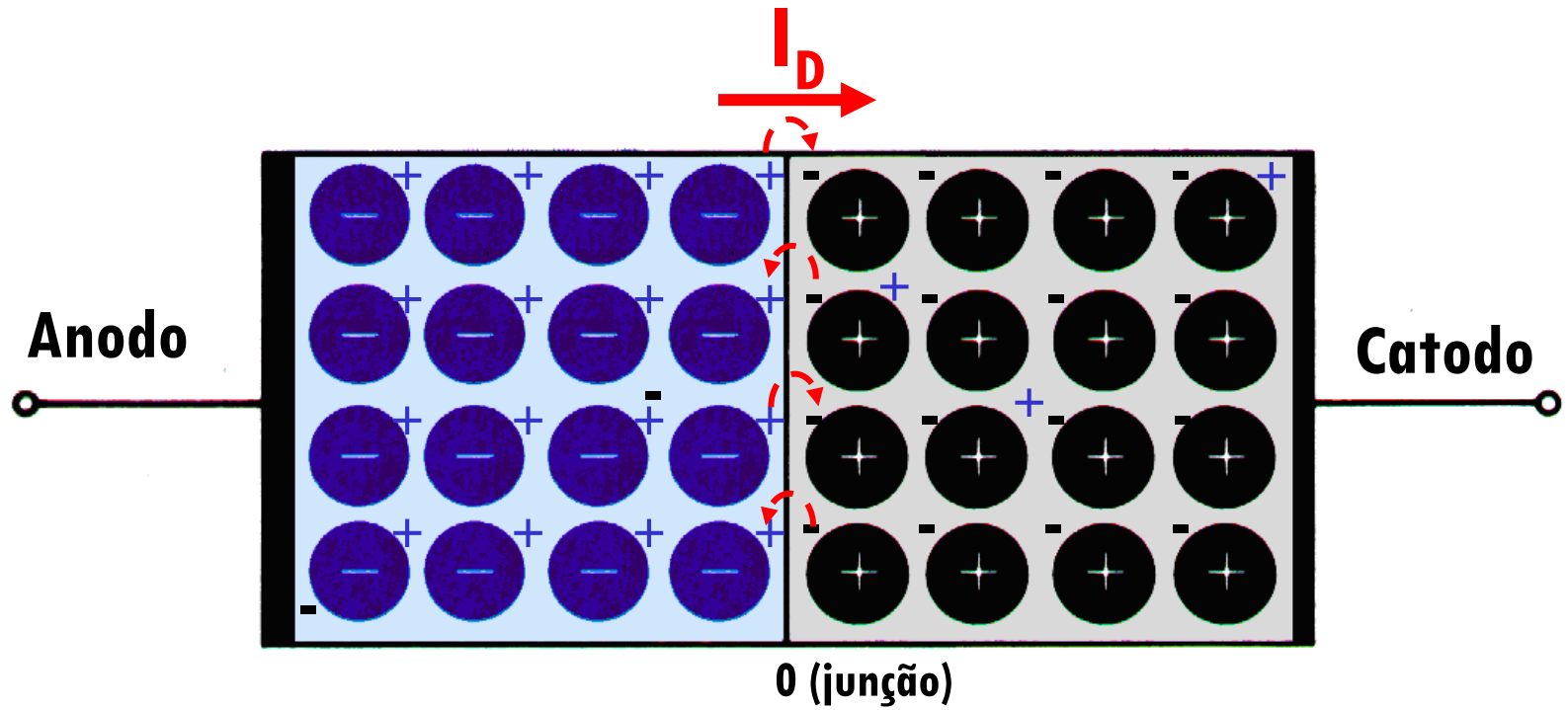


O Diodo

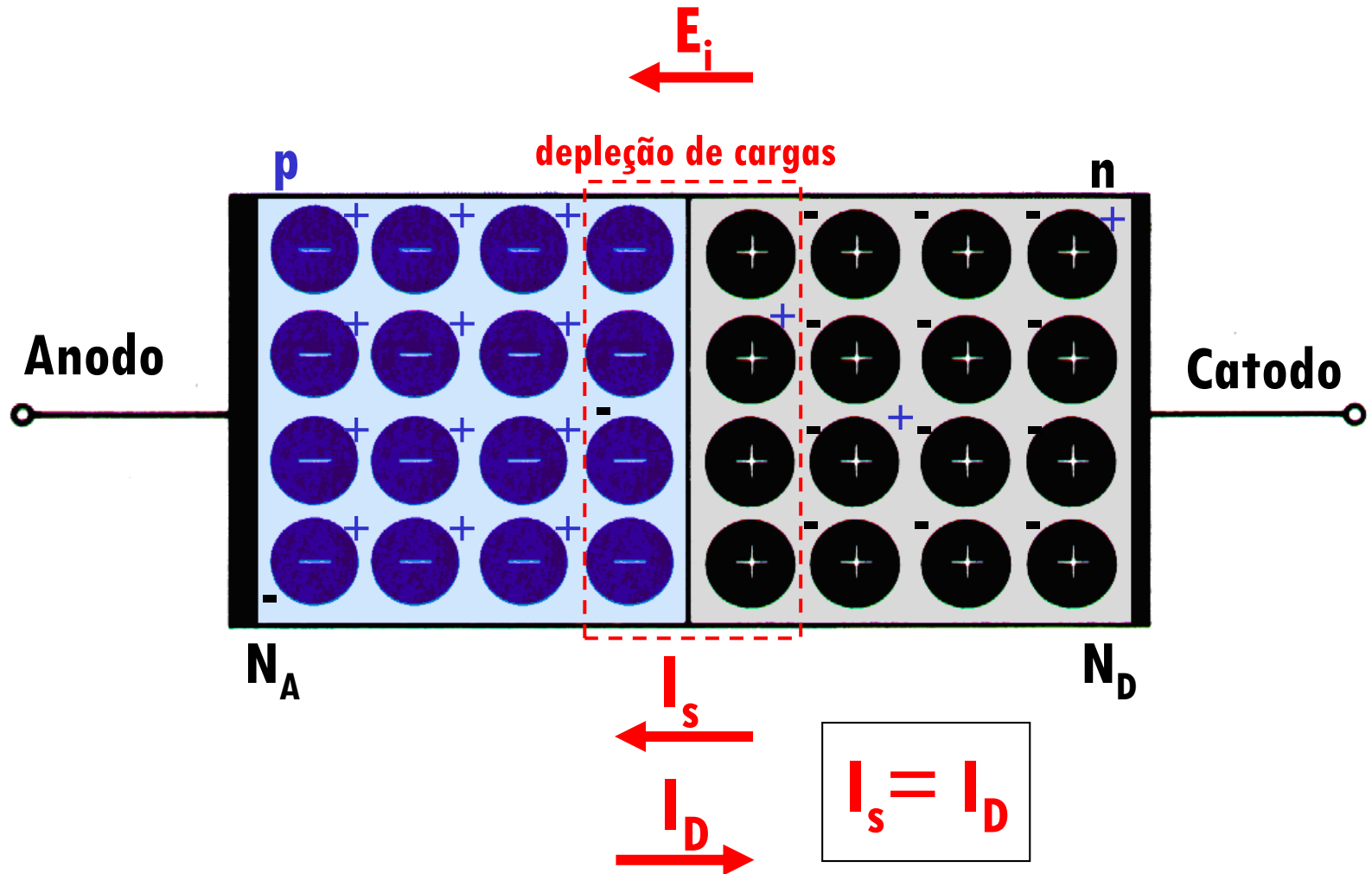
(a junção *pn*)



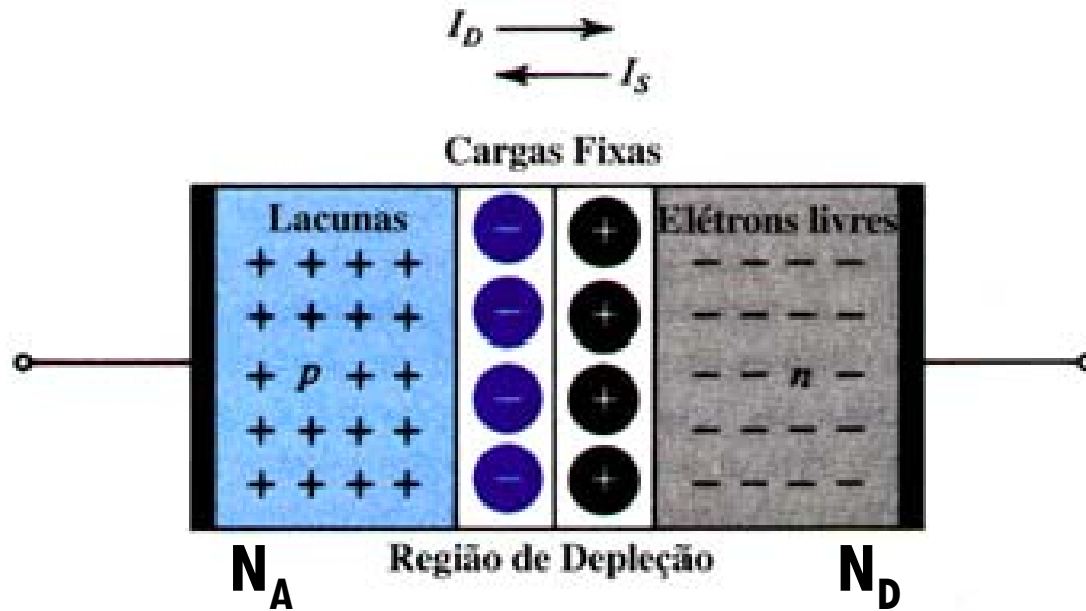
O Diodo



A dinâmica da junção pn em Aberto



O Diodo em Aberto



(a)

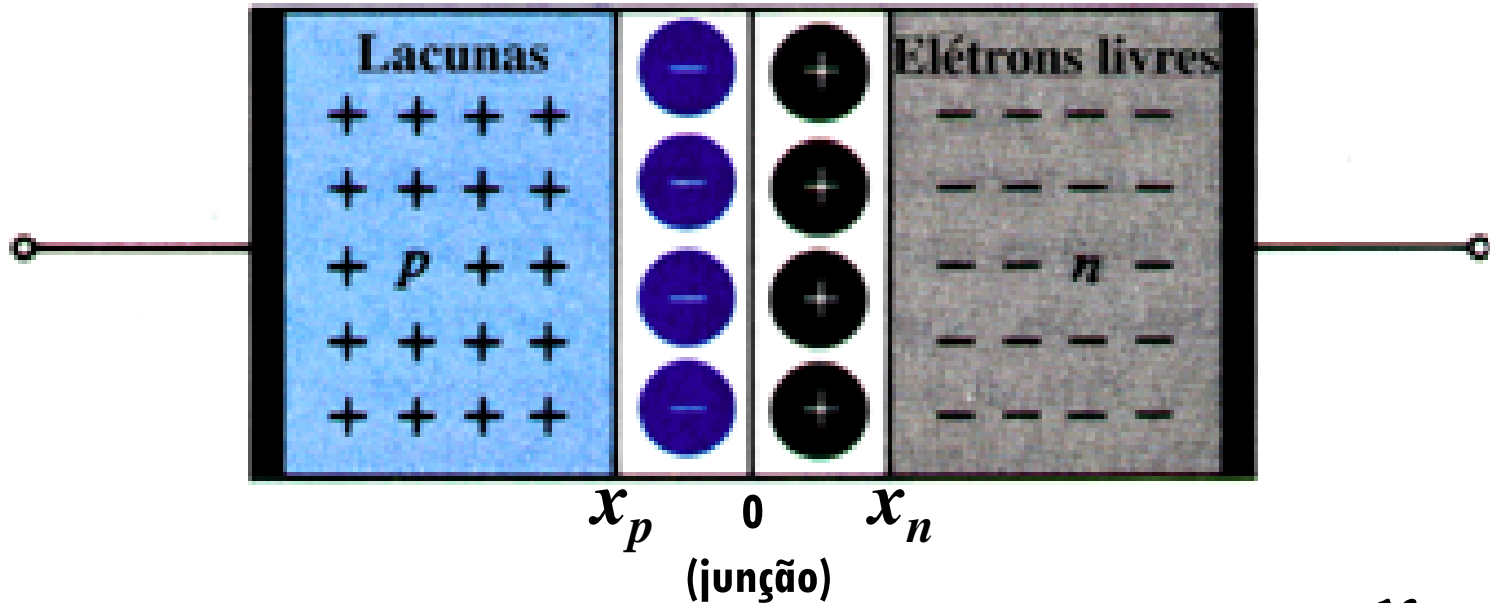


(b)

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

O Diodo em Aberto

Cargas Fixas

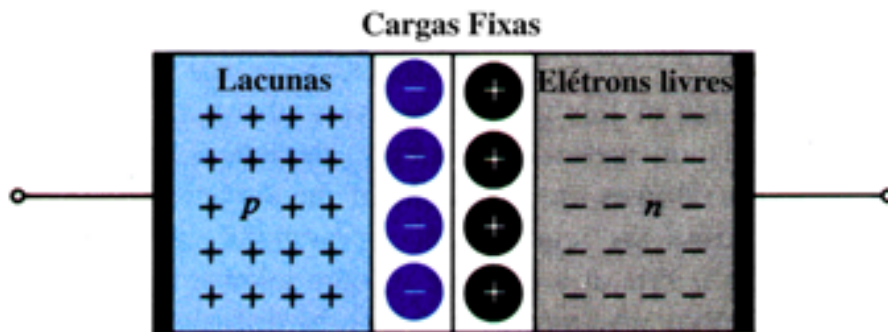


$$qx_p N_A A = qx_n N_D A \quad \text{ou} \quad \frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$

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

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 $n_i = 1,5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$.



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

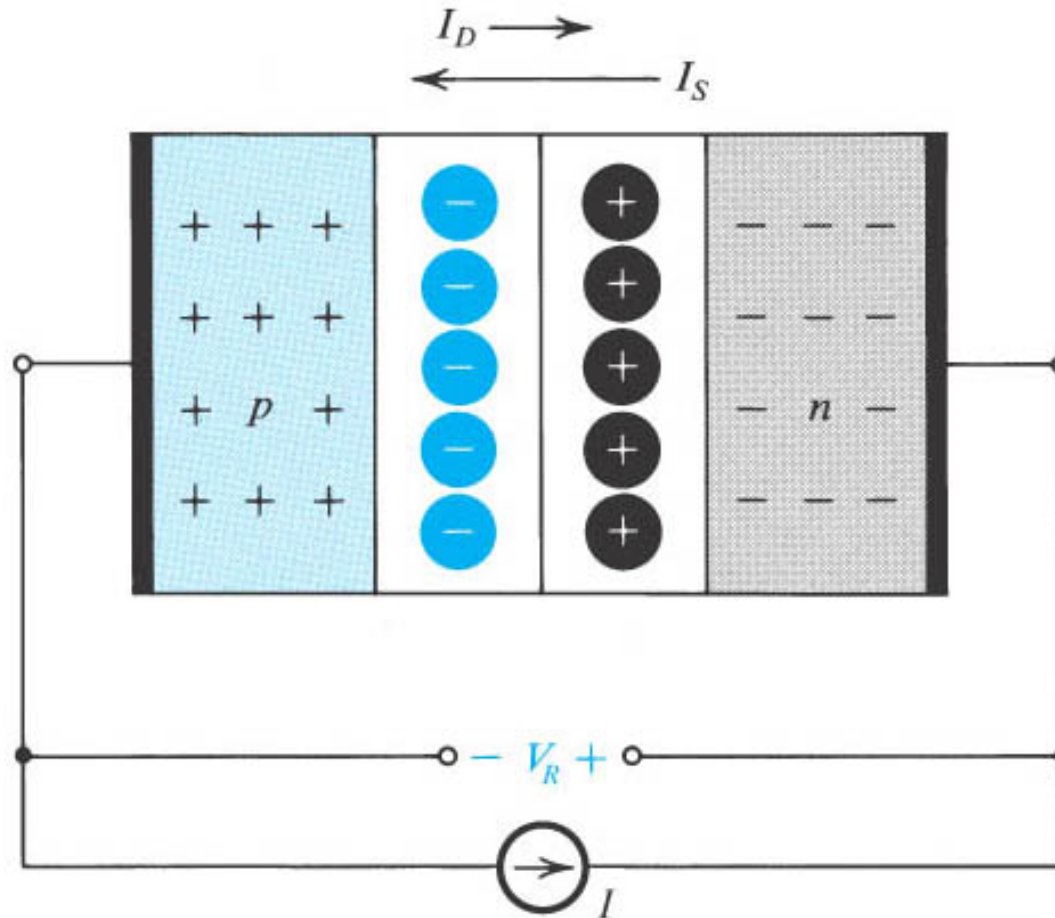
$$W_{\text{dep}} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

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

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

O Diodo

Polarizado Reversamente



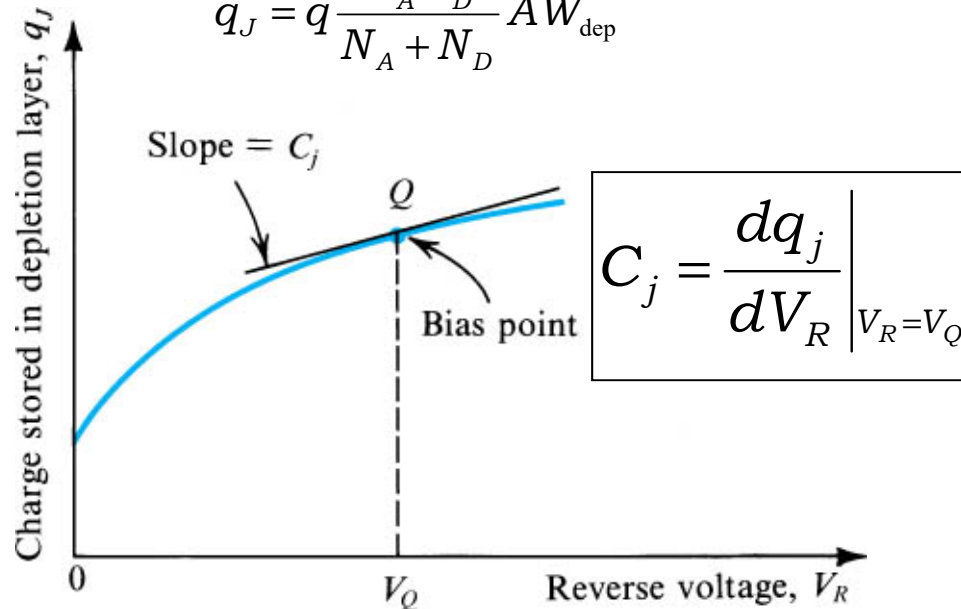
O Diodo Polarizado Reversamente

(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)

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

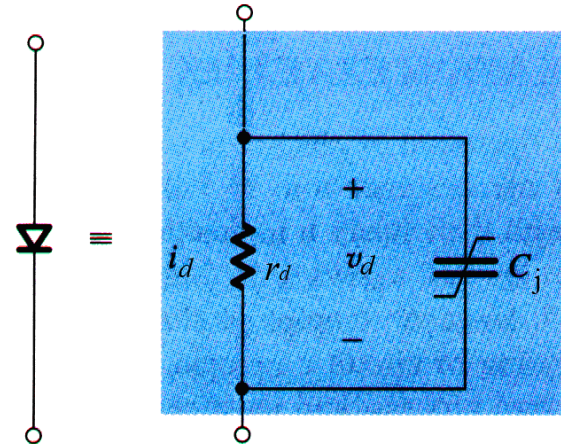
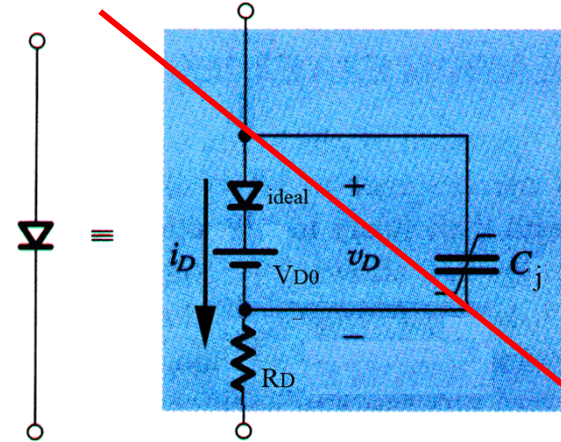
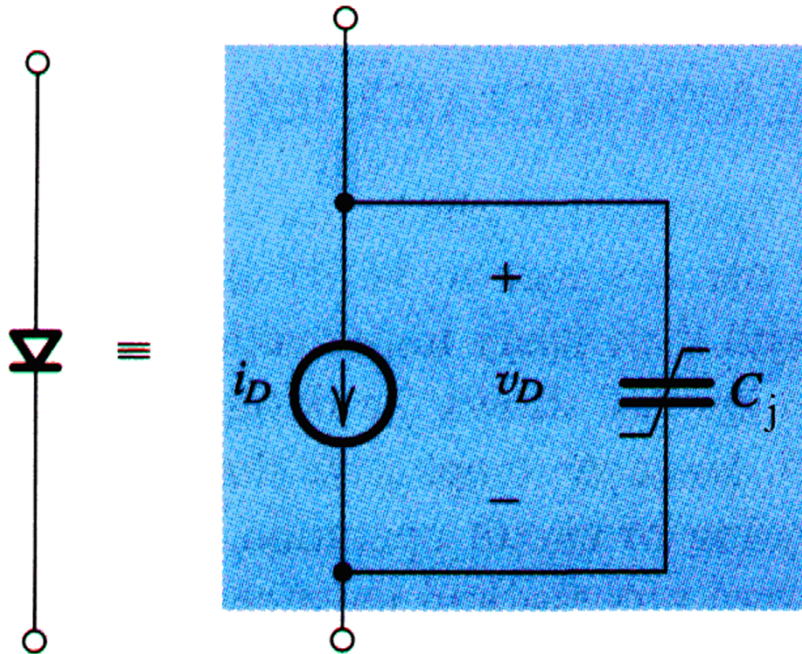
$$q_J = q \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} A \sqrt{\left(\frac{2\epsilon_s}{q} \right) \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_0 + V_R)}$$

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

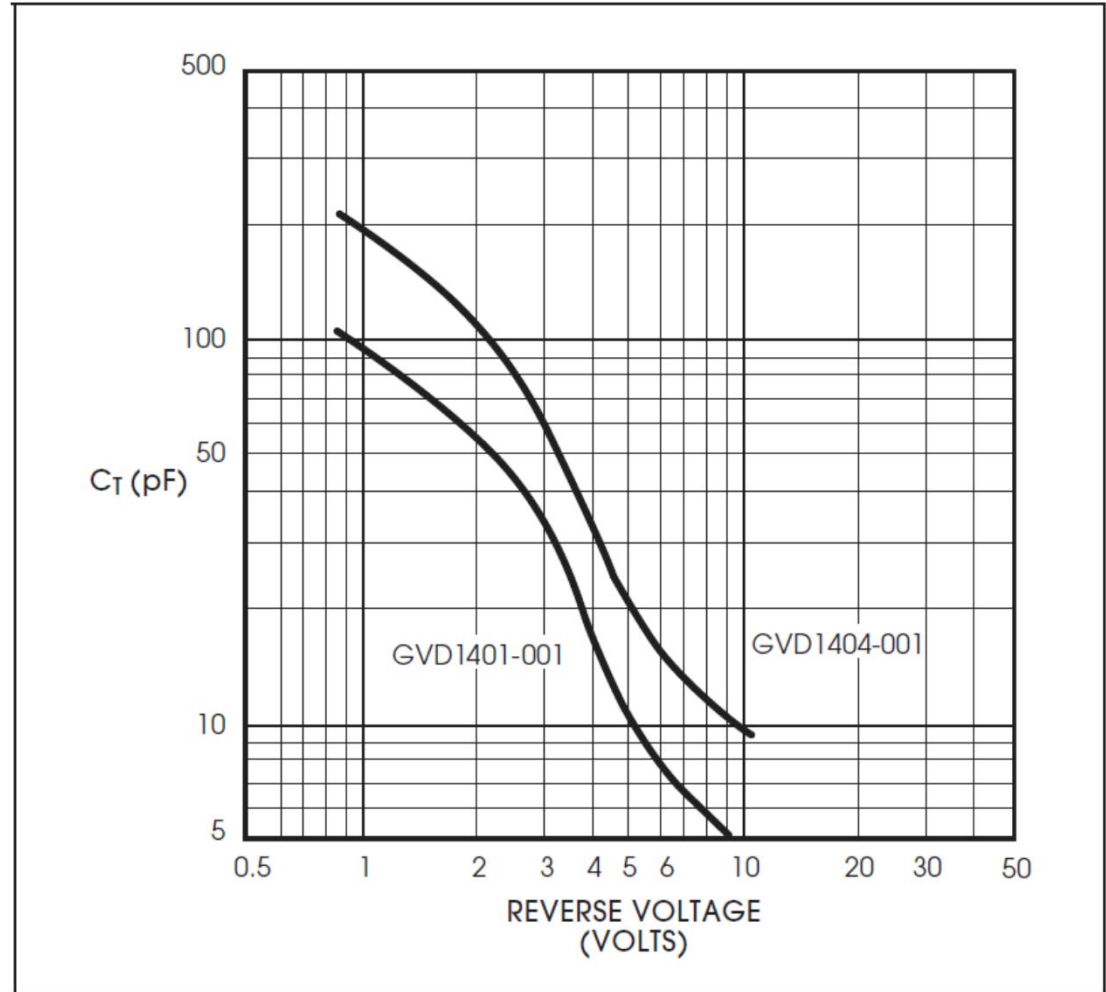
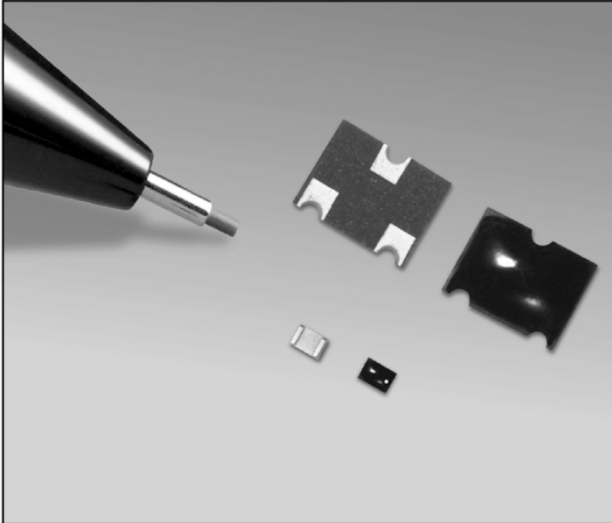
Na prática $C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{V_R}{V_0} \right)^m}$ com $m = 1/3$ a $1/2$

O Diodo Polarizado Reversamente

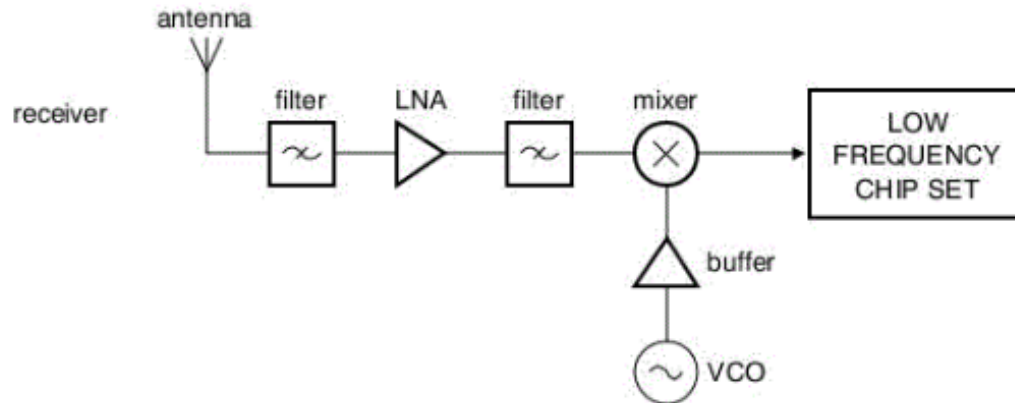
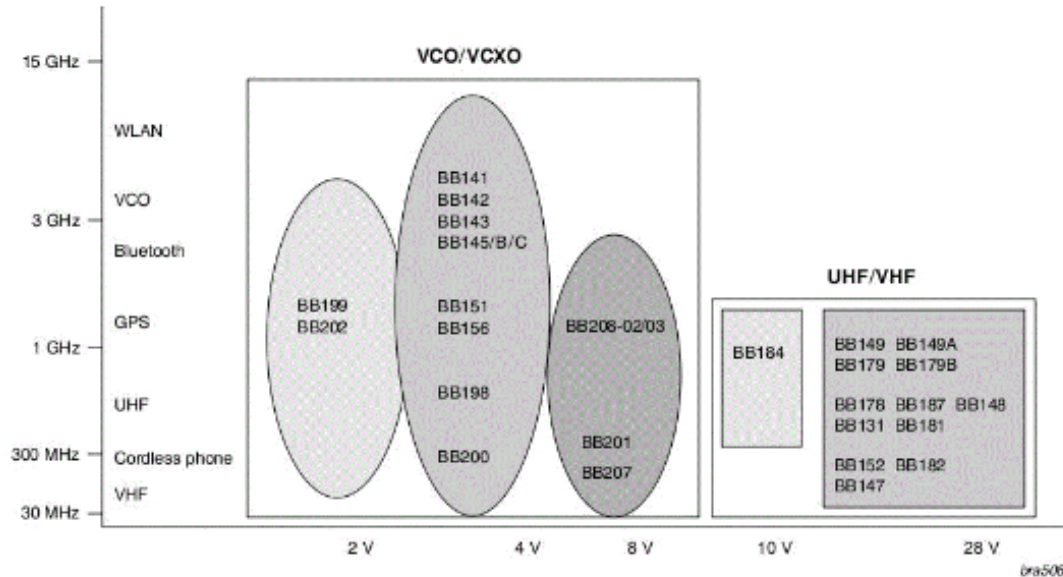
Capacitor = aberto em CC!



VARACTOR DIODES



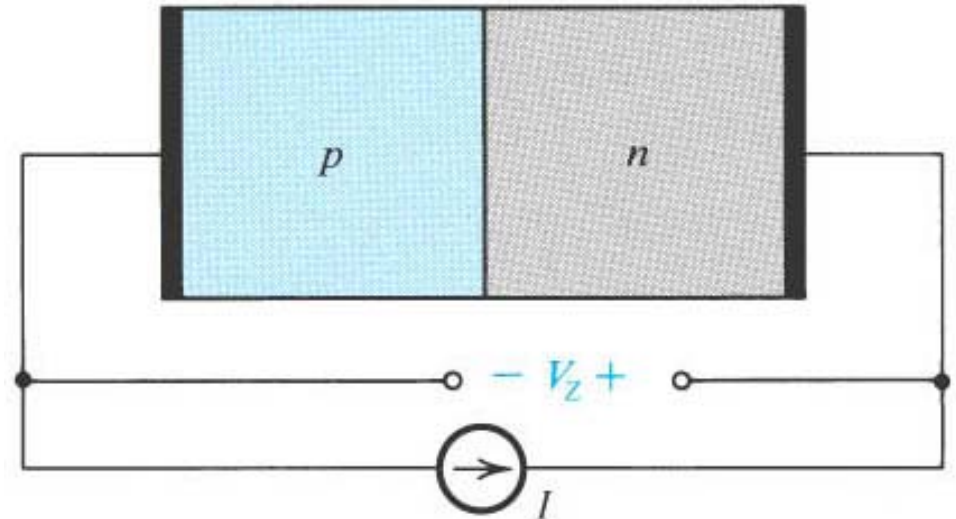
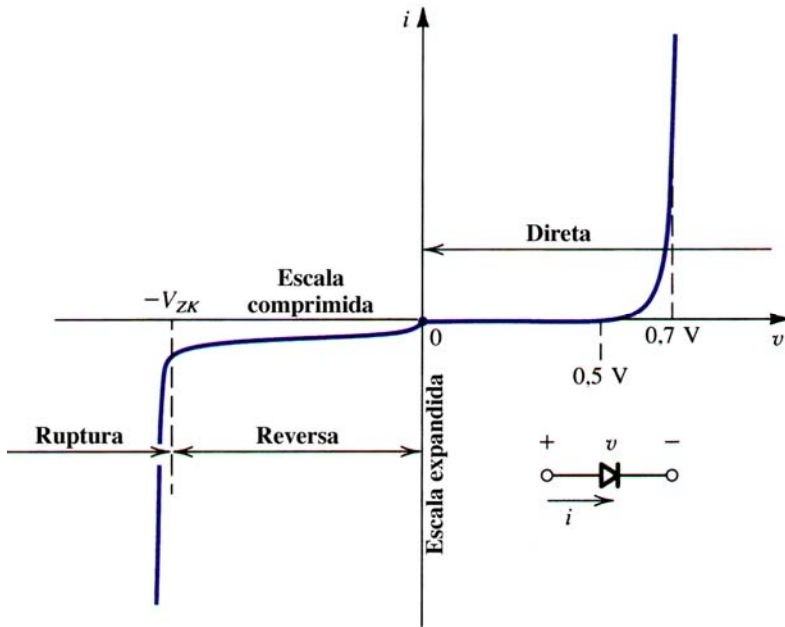
Diodos Varactores



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 ($< 5V$): ocorre quando o campo elétrico na camada de depleção aumenta até quebrar ligações covalentes (pares n-p)

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