



CAPITULO 3

Aula 17

As Capacitâncias de Difusão e de Depleção na junção pn

Eletrônica I – PSI3321

Programação para a Segunda Prova

10 ^a	07/04	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111	
12 ^a	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 ^a	05/05	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118	
14 ^a	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 ^a	12/05	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	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 ^a	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 ^a	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 ^a	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 ^a	30/05	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

Eletrônica I – PSI3321

Programação para a Segunda Prova (cont.)

21 ^a	02/06	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269	
22 ^a	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 ^a	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 π -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279	
24 ^a	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 ^a	20/06	O amplificador emissor comum com resistência de emissor	Sedra, Cap. 5 p.293-295	Teste 13 9h20-9h35
26 ^a	23/06	O amplificador base comum (BC)	Sedra, Cap. 5 p. 296-297	
27 ^a	27/06	O amplificador coletor comum (CC)	Sedra, Cap. 5 p. 297-302	Teste 14 9h20-9h35
28 ^a	30/06	Aula de Exercícios		
2 ^a . Semana de Provas (01/07 a 07/07/2017)				
Data: xx/xx/2017 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxhs				

17^a Aula:

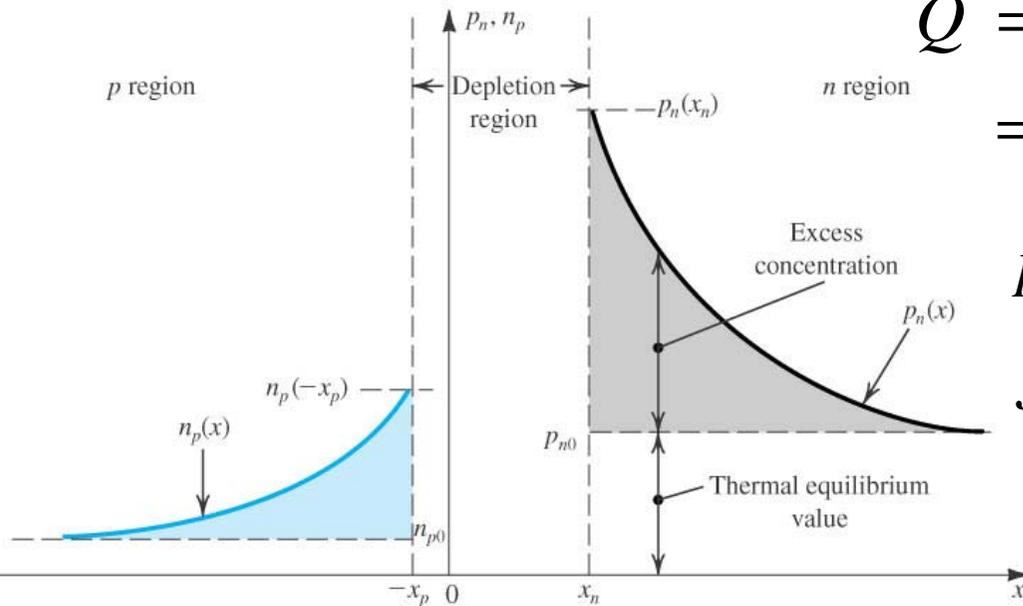
As capacitâncias de Difusão e de Depleção na junção pn

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Explicar o origem da capacitância de Difusão
- Determinar o valor da capacitância de difusão
- Incluir essas capacitâncias no modelo do diodo

O Diodo Polarizado Diretamente

A Capacitância de Difusão



$$Q = Aq \times \text{área embaixo da exponencial } p_n(x)$$

$$= Aq \times [p_n(x_n) - p_{n0}]L_p$$

$$p_n(x_n) = p_{n0}e^{V/V_T}$$

$$J_p = q \frac{D_p}{L_p} p_{n0}(e^{V/V_T} - 1)$$

$$Q_p = \frac{L_p^2}{D_p} I_p$$

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

$$Q_p = \tau_p I_p$$

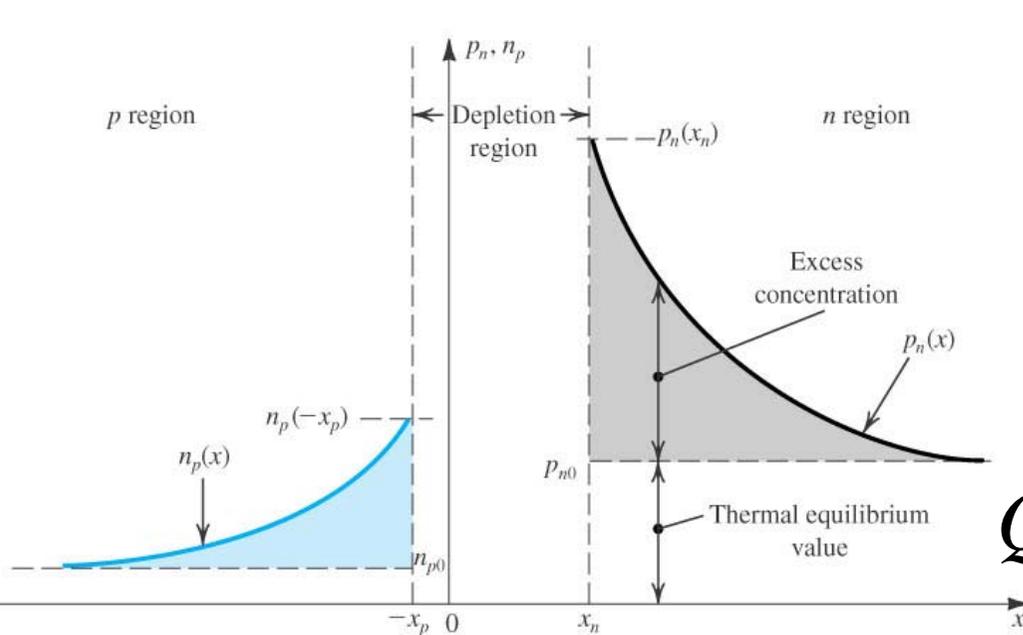
$$Q_n = \tau_n I_n$$

$$Q = \tau_p I_p + \tau_n I_n$$

$$Q = \tau_T I_D$$

O Diodo Polarizado Diretamente

A Capacitância de Difusão



$$Q_p = \frac{L_p^2}{D_p} I_p$$

$$Q_p = \tau_p I_p$$

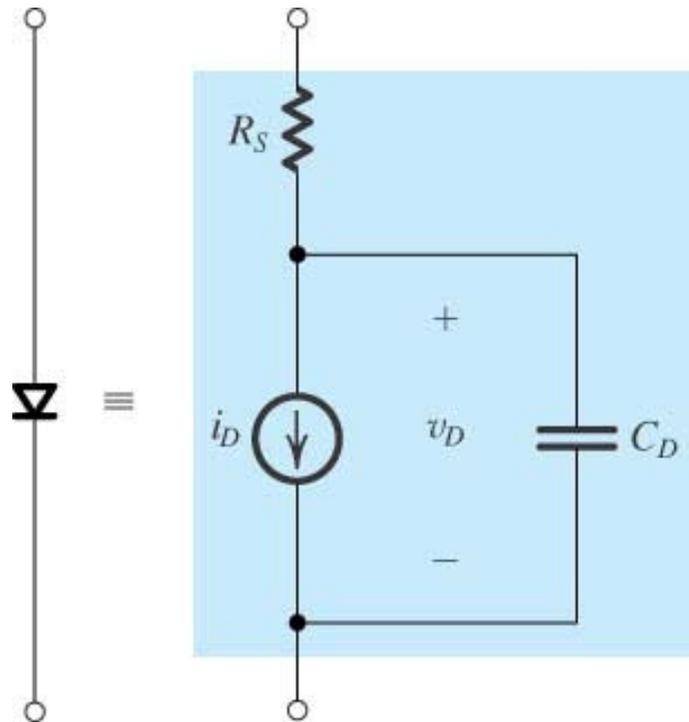
$$Q_n = \tau_n I_n$$

$$Q = \tau_p I_p + \tau_n I_n$$

$$C_d = \frac{dQ}{dV}$$

$$C_d = \left(\frac{\tau_T}{V_T} \right) I$$

O Modelo para o Diodo

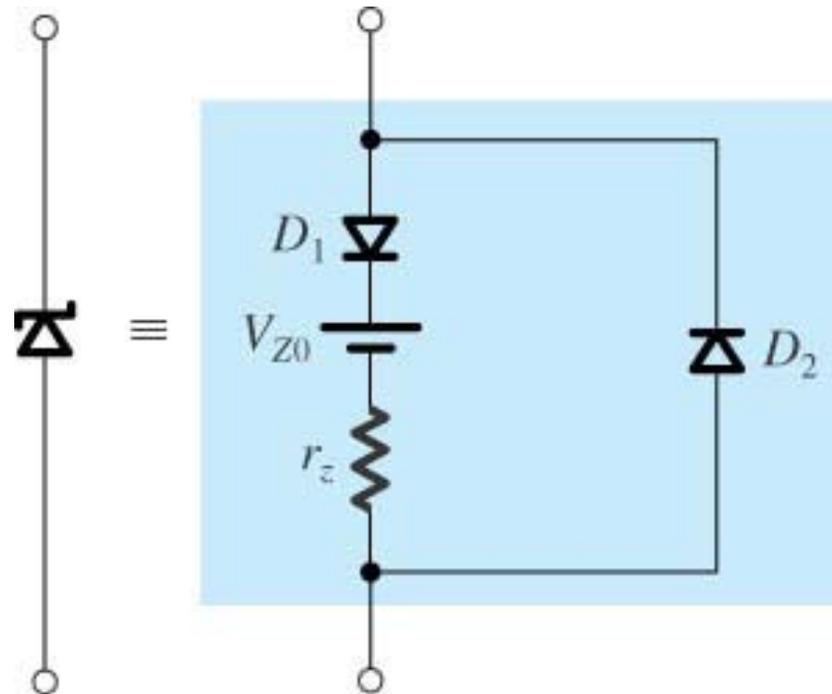


$$i_D = I_S (e^{v_D/nV_T} - 1)$$

$$C_D = C_d + C_j = \frac{\tau_T}{V_T} I_S e^{v_D/nV_T} + C_{j0} \left/ \left(1 - \frac{v_D}{V_0} \right)^m \right.$$

Figura 3.51 The SPICE diode model.

E para o Zener?



Exercício 3.34 (pg 128)

3.34 Um diodo tem $N_A = 10^{17}/\text{cm}^3$, $N_D = 10^{16}/\text{cm}^3$, $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}/\text{cm}^3$, $L_p = 5 \mu\text{m}$, $L_n = 10 \mu\text{m}$, $A = 2500 \mu\text{m}^2$, D_p (na região n) = $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, e D_n (na região p) = $18 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

O diodo está diretamente polarizado e conduzindo uma corrente $I = 0,1 \text{ mA}$.

Calcule:

- (a) I_S
- (b) A tensão de polarização direta V
- (c) A componente da corrente devida à injeção de lacunas e aquela devida à injeção de elétrons através da junção
- (d) τ_p e τ_n
- (e) a carga Q_p do excesso de lacunas na região n e a carga Q_n do excesso de elétrons na região p ; e a carga total Q de portadores minoritários armazenada, e o tempo de trânsito τ_T
- (f) A capacitância de difusão.

Resp. (a) $2 \cdot 10^{-15} \text{ A}$; (b) $0,616 \text{ V}$; (c) $91,7 \mu\text{A}$, $8,3 \mu\text{A}$; (d) 25 ns , $55,6 \text{ ns}$; (e) $2,29 \text{ pC}$, $0,46 \text{ pC}$, $2,75 \text{ pC}$, $27,5 \text{ pC}$; (f) 110 pF

Tabela 3.1 RESUMO DAS EQUAÇÕES IMPORTANTES PARA OPERAÇÃO DA JUNÇÃO pn.

Grandeza	Relação	Valores de Constantes e Parâmetros (para Si intrínseco a $T = 300 \text{ K}$)
Concentração de portadores no silício intrínseco ($/\text{cm}^3$)	$n_i^2 = BT^3 e^{-E_G/kT}$	$B = 5,4 \times 10^{31}/(\text{K}^3 \text{cm}^6)$ $E_G = 1,12 \text{ eV}$ $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{kg/K} \cdot \text{s}^2$ $n_i = 1,5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$
Densidade da corrente de difusão (A/cm^2)	$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$ $J_n = +qD_n \frac{dn}{dx}$	$q = 1,60 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$ $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$ $D_n = 34 \text{ cm}^2/\text{s}$
Densidade da corrente de deriva (A/cm^2)	$J_{\text{deriva}} = q(p\mu_p + n\mu_n)E$	$\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Resistividade ($\Omega \text{ cm}$)	$\rho = 1/[q(p\mu_p + n\mu_n)]$	μ_p e μ_n diminuem com o aumento na concentração de dopantes
Relação entre mobilidade e difusividade	$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = V_T$	$V_T = kT/q$ $\cong 25 \text{ mV (300K)}$
Concentração de portadores no silício tipo n ($/\text{cm}^3$)	$n_{n0} \cong N_D$ $p_{n0} = n_i^2/N_D$	
Concentração de portadores no silício tipo p ($/\text{cm}^3$)	$p_{p0} \cong N_A$ $n_{p0} = n_i^2/N_A$	
Tensão interna da junção (V)	$V_0 = V_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$	
Largura da região de depleção (cm)	$x_n = \frac{N_D}{N_A}$ $x_p = \frac{N_A}{N_D}$ $W_{\text{dep}} = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) (V_0 + V_R)}$	$\epsilon_{Si} = \epsilon_s = 11,7\epsilon_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$ $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$
Carga armazenada na região de depleção (Coulomb)	$q_j = q \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} A W_{\text{dep}}$	
Capacitância de depleção (F)	$C_j = \frac{\epsilon_s A}{W_{\text{dep}}} \cdot C_{j0} = \frac{\epsilon_s A}{W_{\text{dep}} V_{R=0} ^m}$ $C_j = C_{j0} \left(1 + \frac{V_R}{V_0}\right)^m$ $C_j \cong 2C_{j0}$ (para polarização direta)	$m = \frac{1}{3} \text{ a } \frac{1}{2}$
Corrente direta (A)	$I = I_p + I_n$ $I_p = Aq n_i^2 \frac{D_p}{L_p N_D} (e^{V/V_T} - 1)$ $I_n = Aq n_i^2 \frac{D_n}{L_n N_A} (e^{V/V_T} - 1)$	
Corrente de saturação (A)	$I_S = Aq n_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A}\right)$	
Tempo de vida dos portadores minoritários (s)	$\tau_p = L_p^2/D_p$ $\tau_n = L_n^2/D_n$	$L_p, L_n = 1 \text{ a } 100 \mu\text{m}$ $\tau_p, \tau_n = 1 \text{ a } 10^4 \text{ ns}$
Carga armazenada devido aos portadores minoritários (C)	$Q_p = \tau_p I_p$ $Q_n = \tau_n I_n$ $Q = Q_p + Q_n = \tau_T I_D$	
Capacitância de difusão (F)	$C_d = (\tau_T / V_T) I_D$	