

Todos os itens da prova têm o mesmo valor: 1.0 ponto cada (total de 10 pontos). Tempo de prova: 2 horas.

1. (*Transporte de Portadoras*) Uma barra de silício intrínseco, sujeita a campo elétrico E entre as suas extremidades, apresenta corrente I a 300 K. Se a temperatura for aumentada para 400 K, quantas vezes a corrente aumenta? Assuma que, a 400 K, as constantes de mobilidade de elétrons e lacunas são reduzidas para $700 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ e $250 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$, respectivamente. As respectivas constantes que aparecem no formulário são para 300 K.
2. (*Polarização Reversa*) Um circuito para a geração de sinais alternados requer um diodo reversamente polarizado cuja capacitância por área de seção transversal seja $C_j = 0.125 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ quando a voltagem reversa for $V_R = 2.1 \text{ V}$, e seja $C_j = 0.1 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ quando a voltagem reversa for $V_R = 3.7 \text{ V}$. Determine as concentrações de átomos dopantes N_A e N_D com as quais este diodo deve ser fabricado.
3. (*Polarização Direta*) Uma junção pn de silício é fabricada com $N_D = N_A = 10^{17} \text{ átomos}/\text{cm}^3$, e com área de seção transversal igual a $50 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$. Assumindo comprimentos de difusão $L_n = 20 \text{ nm}$ e $L_p = 30 \text{ nm}$, e considerando que o processo de fabricação consegue fator de não-idealidade $n = 1$, calcule a corrente I_D obtida quando $V_D = 0.8 \text{ V}$.
4. (*Modelos de Diodos*) Considere um retificador de meia onda, utilizando diodo D1N4001, no qual a resistência do resistor de carga vale $1 \text{ k}\Omega$, e um outro retificador de meia onda, utilizando também o diodo D1N4001, mas com resistência de 5Ω no resistor de carga. Considere que a amplitude da onda senoidal de entrada é 5 volts. Calcule a diferença entre os valores de pico das senóides retificadas em meia onda.
5. (*Fator de Ripple*) Considerando que, na Figura 1, a entrada $v_{in}(t)$ é senoidal com nível médio igual a 10 V e com amplitude de pico igual a 2 V, calcule o fator de ripple da onda $v_{RL}(t)$.
6. (*Fonte DC Regulada a Zener*) Uma fonte DC regulada a Zener é construída com um transformador de 127:12+12 volts (60 Hz), dois diodos D1N4001, $C = 100 \mu\text{F}$, $R_S = 120 \Omega$ e diodo Zener D1N756. Assumindo que a menor resistência a ser alimentada por esta fonte é $R_L = 470 \Omega$, calcule o fator de regulação da mesma.
7. (*Limitador*) Desenhe um limitador de tensão com as seguintes características: $V_{out} = 5 \text{ volts}$ se $V_{in} > 10 \text{ volts}$, $V_{out} = -0.7 \text{ volts}$ se $V_{in} < -1.4 \text{ volts}$, e $V_{out} = V_{in}/2$ se $V_{in} \in [-1.4, 10] \text{ volts}$.
8. (*Grampeador*) Desenhe um circuito que recebe como entrada uma forma de onda AC (ou seja, com nível médio igual a zero), e com amplitude de 10 V de pico a pico, e gera como saída a mesma forma de onda, só que com nível médio igual a -3 V.
9. (*Multiplicador*) Explique o funcionamento do circuito da Figura 2 e diga quanto vale V_{out} , considerando $v(t) = 10 \sin(2\pi \times 60 \times t) \text{ V}$.
10. (*Amp Op*) Calcule V_{out} para o circuito da Figura 3, assumindo amplificador operacional com ganho finito, igual a 100, e com resistência de saída igual a 100Ω .

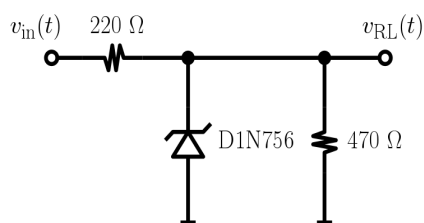


Figura 1

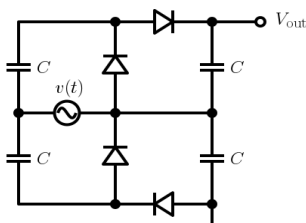


Figura 2

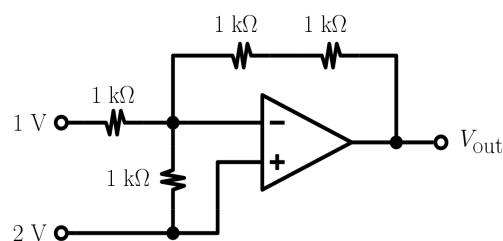


Figura 3

Boa prova!

(Filtro RC) $r = I_{DC}/(4\sqrt{3}fCV_m) = V_{AC,RMS}/V_{DC}$; $(1 + r\sqrt{3})V_{DC} = V_m$; $V_{AC,RMS} = V_{R,P}/\sqrt{3} = (V_2 - V_1)/(2\sqrt{3})$;

(Fonte Regulada a Zener) $r_{RL} = r_{capacitor} \frac{r_z}{R_s + r_z} \frac{V_{DC, capacitor}}{V_z}$; fator de regulação = $\frac{V_{DC,NL} - V_{DC,FL}}{V_{DC,NL}} \times 100\%$;

$(V_1 - V_z)/R_{smax} = I_{zmax} + I_{Lmin}$ (use esta fórmula com moderação e com cuidado!)

$(V_2 - V_z)/R_{smin} = I_{zmin} + I_{Lmax}$ (use esta fórmula com moderação e com cuidado!)

Alguns valores de resistores comerciais (Ω): 33, 47, 68, 82, 100, 120, 150, 180, 220, 270;

Alguns valores de capacitores comerciais (μF): 47, 68, 100, 220, 330, 470, 680.

Dados e Lista de Equações

1 eV = 1.6×10^{-19} J; silício: $E_g = 1.12$ eV; diamante: $E_g = 2.5$ eV; germânio: $E_g = 0.66$ eV;

Silício: $n_i = 5.2 \times 10^{15} T^{3/2} \exp \frac{-E_g}{2kT}$ elétrons/cm³; germânio: $n_i = 1.66 \times 10^{15} T^{3/2} \exp \frac{-E_g}{2kT}$ elétrons/cm³;

Silício a 300 K: $n_i = 1.08 \times 10^{10}$ cm⁻³;

Constante de Boltzmann: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K; densidade do silício intrínseco: 5×10^{22} átomos/cm³;

Semicondutor intrínseco e dopagem: $np = n_i^2$; fósforo e arsênio são “doadores”; boro e gálio são “aceitadores”;

Vetor velocidade, elétrons e lacunas: $v_e = -\mu_n E$ e $v_h = \mu_p E$. No silício: $\mu_n = 1350$ cm²/(Vs) e $\mu_p = 480$ cm²/(Vs);

No germânio: $\mu_n = 3900$ cm²/(Vs) e $\mu_p = 1900$ cm²/(Vs);

Densidade de corrente (deriva): $J_{tot} = q(\mu_n n + \mu_p p) E$, proveniente de $I = -vWhnq$; $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C;

Saturação de velocidade: $v = \frac{\mu_0}{1 + \frac{\mu_0}{v_{sat}} E} E$

Dens. de corrente (difusão): $J_{tot} = q \left(D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx} \right)$, prov. de $I = AqD_n \frac{dn}{dx}$; $D_n = 34$ cm²/s e $D_p = 12$ cm²/s;

Concentração exponencial de elétrons ao longo do eixo x : $n(x) = N e^{-x/L_d}$;

Relação de Einstein: $D/\mu = kT/q$; observação: $kT/q \approx 26$ mV @ $T = 300$ K;

Barreira de potencial: $V(x_2) - V(x_1) = \frac{-D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_p}{p_n} \Rightarrow |V_0| = \frac{kT}{q} \ln \frac{p_p}{p_n} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$, prov. de $q\mu_p p E = qD_p \frac{dp}{dx}$;

Junção pn em polarização reversa: $C_j = C_{j0} / \sqrt{1 - \frac{V_R}{V_0}}$; $C_{j0} = \sqrt{\frac{\epsilon_{Si} q}{2} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \frac{1}{V_0}}$; $\epsilon_{Si} = 11.7 \times 8.85 \times 10^{-14}$ F/cm;

Polarização direta: $p_{n,f} = \frac{p_{p,f}}{\exp \frac{V_0 - V_F}{V_T}}$, e também $\Delta p_n = p_{n,f} - p_{n,e} = \frac{N_A}{\exp(V_0/V_T)} \left(\exp \left(\frac{V_F}{V_T} \right) - 1 \right)$;

$I_D = I_S (e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$, onde $I_S = Aq n_i^2 \left(\frac{D_n}{N_A L_n} + \frac{D_p}{N_D L_p} \right)$; n = fator de não-idealidade do diodo;

Aproximação com $V_{D0} = 0.6$ V e $r_d = 10$ Ω : $V_D = 0.6 + 10 I_D$;

Polarização reversa: $|\Delta T| = 10 \log_2 \frac{I_{D,f}}{I_{D,i}}$; diodo Zener em polarização reversa: $I_Z = I_S \exp \frac{V_Z - V_{ZK}}{nV_T}$;

Tabela 1. Alguns dados sobre o diodo D1N4001. $I_S = 14.1$ nA e $n = 1.98$.

I_D (A)	2 μ	5 μ	10 μ	20 μ	50 μ	0.1 m	0.2 m	0.5 m	1 m	2 m	5 m	10 m	20 m
V_D (mV)	255	301	337	372	419	455	490	538	573	609	656	692	727

Tabela 2. Alguns dados sobre o diodo D1N756 em polarização direta.

I_D (A)	2 μ	5 μ	10 μ	20 μ	50 μ	0.1 m	0.2 m	0.5 m	1 m	2 m	5 m	10 m	20 m
V_D (mV)	378	429	467	505	554	589	621	658	683	708	743	777	825

Tabela 3. Alguns dados sobre o diodo D1N756 em polarização reversa (considere $V_{ZK} = 8.0$ V).

I_Z (A)	2 μ	5 μ	10 μ	20 μ	50 μ	0.1 m	0.2 m	0.5 m	1 m	2 m	5 m	10 m	20 m
$V_Z - V_{ZK}$ (mV)	020	032	041	050	063	072	081	094	105	117	138	161	200

$V_{DC} = (1/T) \int_0^T v(t) dt$; $V_{RMS}^2 = (1/T) \int_0^T v^2(t) dt$; $V_{AC,RMS}^2 = V_{RMS}^2 - V_{DC}^2$;

Senóide retificada (meia onda): $V_{DC} = A/\pi$ e $V_{RMS} = A/2$; senóide retificada (onda completa): $V_{DC} = 2A/\pi$ e $V_{RMS} = A/\sqrt{2}$; onda “dente-de-serra”: $V_{DC} = (V_1 + V_2)/2$ e $V_{AC,RMS} = V_{R,P}/\sqrt{3}$, onde $V_{R,P} = (V_1 - V_2)/2$;

$P_{AVG} = (1/T) \int_0^T v(t)i(t) dt = V_{RMS}^2/R$.