UFRJ / DEL / Departamento de Eletrônica e Computação – Primeiro Período de 2022
EEL315 – Eletrônica I – Prova Parcial #1 – 30 de maio de 2022 - Gabarito

Questão 1:

$$\mu = \frac{1350}{1 + \dfrac{1350}{10^7} \times 10^4} = 574.5 \text{ cm}^2/(\text{V.s})$$

$0.1\ \mu\text{m} \times 0.1\ \mu\text{m} = 10^{-10}\ \text{cm}^2$

$I = 10^{-10} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 574.5 \times 5 \times 10^{16} \times 10^4 = 1.6 \times 574.5 \times 5 \times 10^{-9} = 4596 \times 10^{-9} = 4.6\ \mu\text{A}$

Questão 2:

$n(x) = 10^{17}(1 - x/(1\mu m))\ (\text{cm}^{-3})$

$p(x) = 5 \times 10^{16} x/(1\mu m)\ (\text{cm}^{-3})$

$dn/dx = -10^{17}/(1\mu m)\ (\text{cm}^{-3}) = -10^{17}/(10^{-4} cm)\ (\text{cm}^{-3}) = -10^{21}\ \text{cm}^{-4}$

$dp/dx = 5 \times 10^{16}/(1\mu m)\ (\text{cm}^{-3}) = 5 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-4}$

$J_{\text{tot}} = 1.6 \times 10^{-19} \times (-34 \times 10^{21} - 12 \times 5 \times 10^{20}) = -64 \times 10^2 = \text{-6400 A/cm}^2$

$I_{\text{diff}} = J_{\text{tot}}.A = -6400 \times (200 \times 10^{-7})^2 = -6400 \times 4 \times 10^{-10} = -2.56 \times 10^{-6} = -2.56\ \mu\text{A}$

Questão 3:

a) $n_i = 5.2 \times 10^{15} \times (350)^{1.5} \times \exp(\dfrac{-1.12 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 350}) = 5.2 \times 10^{15} \times 6.548 \times 10^3 \times \exp(-0.1855 \times 10^2)$

($\exp(-18.55) = 8.787 \times 10^{-9}$)

$n_i = 5.2 \times 6.548 \times 8.787 \times 10^9 = 299 \times 10^9 = 2.99 \times 10^{11}\ \text{cm}^{-3}$

$n_p = n_i^2/p_p = 9 \times 10^{22}/(5 \times 10^{16}) = 1.8 \times 10^6\ \text{cm}^{-3}$

$p_n = n_i^2/n_n = 9 \times 10^{22}/(2 \times 10^{17}) = 4.5 \times 10^5\ \text{cm}^{-3}$

b) $V_0 = (350/300) \times 26 \times \ln(\dfrac{10^{34}}{2.99^2 \times 10^{22}}) = 30.33 \times 25.44 = 771.6\ \text{mV}$

($\ln(1.1186 \times 10^{11}) = 25.44$)

Questão 4:

a) $(10 - V_{\text{out}})/1000 = V_{\text{out}}/1000 + I_D \longrightarrow I_D = (10 - 2V_{\text{out}})/1000 \longrightarrow I_D = (10 - 4V_D)/1000$

$V_D = 0.7$ V (chute inicial)

$I_D = (10 - 4 \times 0.7)/1000 = 7.2\ \text{mA} \longrightarrow V_D = 1.98 \times 26 \times \ln(\dfrac{7.2 \times 10^{-3}}{1.41 \times 10^{-8}}) = 676.6\ \text{mV}$

$I_D = (10 - 4 \times 0.6766)/1000 = 7.29\ \text{mA} \longrightarrow V_D = 1.98 \times 26 \times \ln(\dfrac{7.29 \times 10^{-3}}{1.41 \times 10^{-8}}) = 677.3\ \text{mV}$

Então: $I_D = 7.29$ mA e $V_{\text{out}} = 1.354$ V.

b) $(1 - V_{\text{out}})/1000 = V_{\text{out}}/1000 + I_D \longrightarrow (1 - 2V_{\text{out}})/1000 = I_D \longrightarrow V_{\text{out}} = (1 - 1000 I_D)/2 \longrightarrow V_D = (1 - 1000 I_D)/4$

$V_D = 0.3$ V (chute inicial)

$I_D = 1.41 \times 10^{-8} \exp(\dfrac{0.3}{1.98 \times 0.026}) = 4.787 \times 10{-}6\ \text{A} \longrightarrow V_D = \dfrac{1 - 4.787 \times 10^{-3}}{4} = 0.9952/4 = 0.2488\ \text{V}$

$$I_D = 1.41 \times 10^{-8} \exp(\frac{0.2488}{1.98 \times 0.026}) = 1.771 \times 10{-6}\ \text{A} \longrightarrow V_D = \frac{1 - 1.771 \times 10^{-3}}{4} = 0.2496\ \text{V}$$
$$I_D = 1.41 \times 10^{-8} \exp(\frac{0.2496}{1.98 \times 0.026}) = 1.798 \times 10{-6}\ \text{A} \longrightarrow V_D = \frac{1 - 1.798 \times 10^{-3}}{4} = 0.2496\ \text{V}$$

Então: $I_D = 1.8\ \mu$A e $V_{\text{out}} = 499.2$ mV.

Questão 5:

a) Considere que I_1 é a corrente no resistor ligado à entrada e que I_2 é a corrente no outro resistor. Assumindo, para começar, que a tensão no diodo Zener é 8.2 V (modelo de bateria):

$V_{\text{in}} = 20$ V $\longrightarrow I_1 = 11.8/220 = 53.6$ mA e $I_2 = 8.2/220 = 37.3$ mA $\longrightarrow I_Z = 16.3$ mA.

$V_{\text{in}} = 15$ V $\longrightarrow I_1 = 6.8/220 = 30.9$ mA e $I_2 = 8.2/220 = 37.3$ mA $\longrightarrow I_Z = -6.4$ mA. Para $V_{in} = 15$ V, o diodo Zener deverá estar desligado.

Modelo linear por partes: $V_Z = 8.105$ V $\longrightarrow I_Z = 1$ mA. E $V_Z = 8.2$ V $\longrightarrow I_Z = 20$ mA. Então $r_Z = (95$ mV$)/(19$ mA$) = 5\ \Omega$. E $V_{Z0} = 8.2 - 5 \times 20 \times 10^{-3} = 8.1$ V.

Usando o modelo linear por partes, temos:

$(20 - V_{\text{out}})/220 = (V_{\text{out}} - 8.1)/5 + V_{\text{out}}/220 \longrightarrow (20 - V_{\text{out}}) \times 5 = (V_{\text{out}} - 8.1) \times 220 + 5V_{\text{out}}$

$V_{\text{out}} = (20 \times 5 + 220 \times 8.1)/(220 + 5 + 5) = 1882/230 = 8.183$ V.

Obs.: $I_Z = (20 - 8.183)/220 - 8.183/220 = 16.5$ mA.

b) Com $V_{\text{in}} = 15$ V, o modelo linear por partes do item (a) nos dá:

$(15 - V_{\text{out}})/220 = (V_{\text{out}} - 8.1)/5 + V_{\text{out}}/220 \longrightarrow V_{\text{out}} = (15 \times 5 + 220 \times 8.1)/(220 + 5 + 5) = 1857/230 = 8.07$ V. Este valor de V_{out} é inferior a V_{Z0}, então o diodo Zener está desligado e deve ser substituído por um circuito aberto. Então: $V_{\text{out}} = V_{\text{in}}/2 = 7.5$ V.

Questão 6:

a) $V_m = V_1 = 17 - 1.4 = 15.6$ V $\longrightarrow (1 + \sqrt{3} \times 0.1)V_{DC} = 15.6 \longrightarrow V_{DC} = 13.3$ V $\longrightarrow I = 13.3$ mA.

$C = 13.3 \times 10^{-3}/(4 \times 1.7 \times 60 \times 15.6 \times 0.1) = 13.3/0.648 \times 10^{-6} = 20.5\ \mu$F

Então escolhemos $C = 22\ \mu$F (valor comercial).

Verificando: $r = 13.3 \times 10^{-3}/(4 \times 1.7 \times 60 \times 15.6 \times 22 \times 10^{-3} \times 10^{-3}) = 13.3/1427 = 9.3\%$

$V_{DC} = 15.6/(1 + \sqrt{3} \times 0.093) = 13.4$ V $\longrightarrow r = 13.4/1427 = 9.4\% \longrightarrow V_{DC} = 15.6/(1 + \sqrt{3} \times 0.094) = 13.4$ V.

b) $V_{\text{out}}(t)$ é uma onda com forma dente-de-serra, $V_1 = 15.6$ V, $V_{DC} = 13.4$ V e $V_2 = 11.2$ V. Além disso, $V_{\text{AC,RMS}} = 4.4/(2\sqrt{3}) = 1.27$ V e portanto $V_{\text{RMS}}^2 = 13.4^2 + 1.27^2 \longrightarrow V_{\text{RMS}} = 13.46$ V. A diferença entre V_{RMS} e V_{DC} é 13.46 - 13.4 = 0.06 V.