Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

DATA: 15/7/2019

GRAUS

1	
2	
3	
4	
5	

Aluno: Gabarito da Prova de Segunda Chamada

Disciplina: Eletrônica I

Turma: 2019/1

Professor: José Gabriel

Questão 1

$I = 1.6\times10^{-19}\times(1350+480)\times1.08\times10^{10}\times E.A = 3.162\times10^{-6}\, E.A$ @ 300 K

A 400 K, temos $n_i = 5.2\times10^{15}\times400^{1.5}\times\exp(-1.12\times1.6\times10^{-19}/(2\times1.38\times10^{-23}\times400))$

$n_i = 4.16\times10^{19}\times8.924\times10^{-8} = 3.71\times10^{12}\ cm^{-3}$

$I_{400K} = 1.6\times10^{-19}\times(700+250)\times3.71\times10^{12}\times E.A = 5.639\times10^{-4}\, E.A = 178\, I$

Questão 2

$\Delta V/\Delta T = (0.529-0.7)/(400-300) = -0.171/100$

$0.7 + \Delta T(-0.171/100) = 0.6 \longrightarrow \Delta T = +10/0.171 = 58\ K \longrightarrow T = 358\ K$

Verificando:

$n_i = \underbrace{5.2\times10^{15}\times358^{1.5}}_{(3.522\times10^{19})}\times\underbrace{\exp(-1.12\times1.6\times10^{-19}/(2\times1.38\times10^{-23}\times358))}_{(1.329\times10^{-8})} = 4.681\times10^{11}\ cm^{-3}$

$KT/q = 0.026\times358/300 = 0.031\ V$

$N_AN_D = (1.08)^2\times10^{20}\times\exp(0.7/0.026) = 5.746\times10^{31}\ cm^{-6}$

$V_0 = 0.031\times\ln(5.746\times10^{31}/(4.681^2\times10^{22})) = 0.031\times19.38 = 0.601\ V$ (ok)

Questão 3

$0.125\sqrt{1+2.1/V_0} = 0.1\sqrt{1+3.7/V_0} \longrightarrow V_0+2.1 = 0.64V_0+2.368 \longrightarrow V_0 = 0.74\ V$

$C_{j0} = 0.125\sqrt{1+2.1/0.74} = 0.245\ fF/\mu m^2 = 2.45\times10^{-8}\ F/cm^2$

$N_AN_D = (1.08)^2\times10^{20}\times\exp(0.74/0.026) = 2.68\times10^{32}\ cm^{-6}$

$C_{j0}^2 = \varepsilon_{Si}\cdot q\cdot N_AN_D/(2V_0(N_A+N_D))$, então:

$2.45^2\times10^{-16} = 11.7\times8.85\times10^{-14}\times1.6\times10^{-19}\times2.68\times10^{32}/(2\times0.74\times(N_A+N_D))$

$N_A+N_D = 30/(2.45^2\times10^{-16}) \longrightarrow N_A+N_D = 5\times10^{16}\ cm^{-3}$

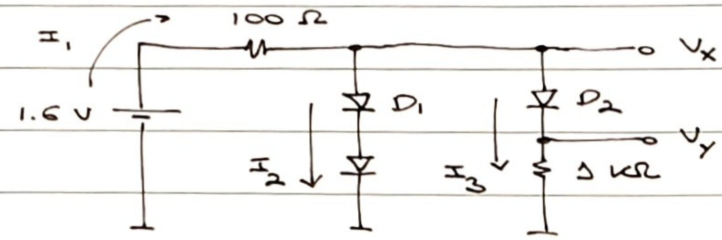
$N_A + 2.68\times10^{32}/N_A = 5\times10^{16} \longrightarrow N_A^2 - 5\times10^{16}N_A + 2.68\times10^{32} = 0$

$N_A = n_A \cdot 10^{16} \longrightarrow n_A^2 - 5n_A + 2.68 = 0 \longrightarrow n_A = \left(5 \pm \sqrt{25 - 4 \times 2.68}\right)/2$

$n_A = 4.39$ ou $n_A = 0.61$

Então: $N_A = 0.61 \times 10^{16}\ cm^{-3}$ e $N_D = 4.39 \times 10^{16}\ cm^{-3}$, ou vice-versa.

Questão 4



D1N4001:

$V_D = 0.026 \times 1.98 \times \ln\left(\frac{I_D}{14.1 \times 10^{-9}}\right)$

Chutes iniciais: $V_X = 1.4\ V$ e $V_Y = 0.7\ V$

Então: $I_1 = (1.6 - 1.4)/100 = 2\ mA$; $I_3 = 0.7\ mA$; $I_2 = 1.3\ mA$

1) $V_{D1} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(1.3 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.5885\ V$

$V_{D2} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(0.7 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.5566\ V$

$I_1 = (1.6 - 1.177)/100 = 4.2\ mA$; $I_3 = 0.62\ mA$; $I_2 = 3.58\ mA$

2) $V_{D1} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(3.58 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.6407\ V$

$V_{D2} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(0.62 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.5504\ V$

$I_1 = (1.6 - 1.2814)/100 = 3.2\ mA$; $I_3 = 0.73\ mA$; $I_2 = 2.47\ mA$

3) $V_{D1} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(2.47 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.6215\ V \longrightarrow V_X = 1.24\ V$

$V_{D2} = 1.98 \times 0.026 \times \ln(0.73 \times 10^{-3}/(14.1 \times 10^{-9})) = 0.5588\ V$

$I_1 = (1.6 - 1.2430)/100 = 3.6\ mA$; $I_3 = 0.68\ mA$; $I_2 = 2.92\ mA$

Obs.: com mais iterações, obtemos $V_{D1} = 0.6261\ V$ ($V_X = 1.2522\ V$),

$V_{D2} = 0.5566\ V$, $I_1 = 3.5\ mA$, $I_3 = 0.7\ mA$ e $I_2 = 2.8\ mA$.

Questão 5

Fator de ripple na entrada: $V_{DC} = 20\ V$; $V_{AC,rms} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1.41\ V$; $r = 7.05\ \%$

$I_{DC} = (20 - 8.2)/220 = 53\ mA$

Modelo para o diodo Zener: $8.161\ V$ — $10\ mA$ $\quad r_Z = \Delta V/\Delta I = 39/10 = 3.9\ \Omega$

$8.2\ V$ — $20\ mA$

$V_{Z0} + 3.9 \times 0.02 = 8.2 \longrightarrow V_{Z0} = 8.12\ V$

(maiores valores de corrente disponíveis no formulário)

$V_{in} = V_1 = 22\ V \longrightarrow I_Z = I_1 = (22 - 8.12)/(220 + 3.9) = 62\ mA$

$v(t)\Big|_{V_{in}=V_1} = 8.12 + 3.9 \times 0.062 = 8.362\ V$

$V_{in} = V_2 = 18\ V \longrightarrow I_Z = I_2 = (18 - 8.12)/(220 + 3.9) = 44\ mA$

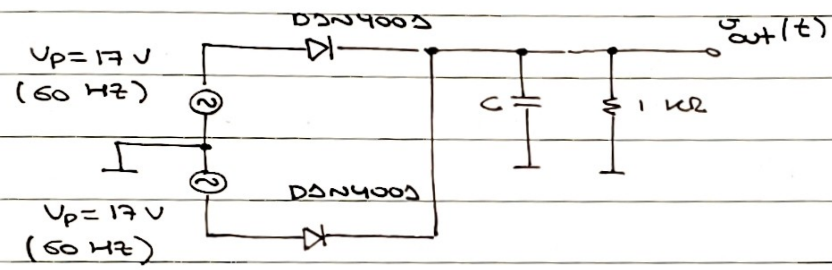
$v(t)\Big|_{V_{in}=V_2} = 8.12 + 3.9 \times 0.044 = 8.292\ V$

Então, na saída, temos: $V_{DC} = 8.327\ V$ e $V_{AC,rms} = 0.035/\sqrt{2} = 0.025\ V$

$r = 0.025/8.327 \longrightarrow r = 0.3\%$ //

Obs.: com I_{DC} acima de 20 mA, a resistência dinâmica r_z é menor que 3.9 Ω e portanto o fator de ripple é inferior a 0.3 %, mas a estimativa de 0.3 % é feita com os dados disponíveis no formulário.

Questão 6



Assumindo $V_{rms}^2 \simeq V_{DC}^2$ (ou seja, $V_{AC,rms} << V_{DC}$), temos:

$\frac{V_{DC}^2}{1000} = 0.225 \longrightarrow V_{DC} = 15\ V$

$(1 + \sqrt{3} \times r) \times 15 = 16.3 \longrightarrow r = 5\%$; $I_{DC} = 15/1000 = 15\ mA$

$C = 0.015/(4 \times 1.732 \times 60 \times 0.05 \times 16.3) = 0.015/339 = 44\ \mu F$

Menor valor comercial possível: $C = 47\ \mu F$ //

(Obs.: usando $C = 47\ \mu F$, temos $r = 4.7\%$, $V_{DC} = 15.1\ V$, $V_{AC,rms} = 0.71\ V$, $V_{rms} = 15.1\ V$ e $P = 228\ mW$.)

Questão 7

Assumindo $r = 10\%$, temos $(1 + \sqrt{3} \times 0.1) V_{DC} = 16.3 \longrightarrow V_{DC} = 13.9\ V$ e portanto $I_{DC} = (13.9 - 8.2)/120 = 47.5\ mA \longrightarrow r = 47.5/678 = 7\%$.

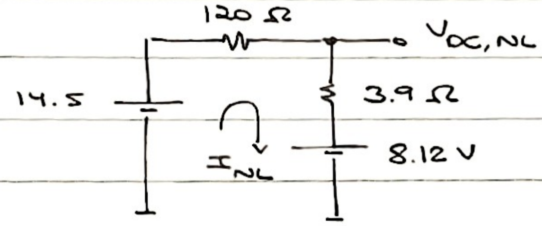
Com $r = 7\%$, temos $(1 + \sqrt{3} \times 0.07) V_{DC} = 16.3 \longrightarrow V_{DC} = 14.5\ V \longrightarrow I_{DC} = 53\ mA$

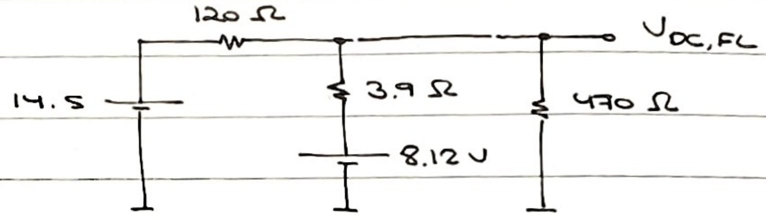
Corrente DC máxima no diodo zener: $I_Z \simeq 53\ mA$ ($R_L \to \infty$)

Corrente DC mínima no diodo zener: $R_L = 470\ \Omega \longrightarrow I_{L\,max} = 8.2/470 = 17\ mA \rightarrow I_Z \simeq 36\ mA$

Correntes DC acima de 20 mA: assumimos mesmo modelo da Questão 5: ?

(conforme já observado, r_z deve ser inferior a 3.9 Ω) $V_{Z0} = 8.12\ V$ e $r_z = 3.9\ \Omega$





$I_{NL} = (14.5 - 8.12)/123.9 = 51.5\ mA \longrightarrow V_{DC,NL} = 8.12 + 3.9 \times 0.0515 = 8.32\ V$

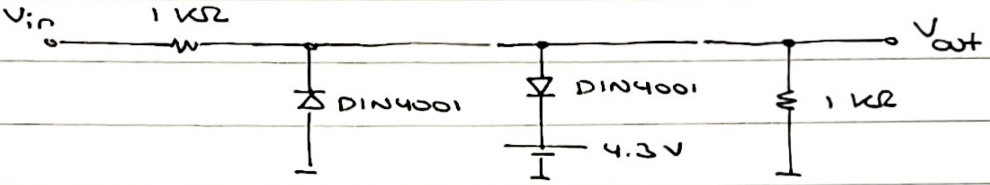
E também $(14.5 - V_{DC,FL})/120 = (V_{DC,FL} - 8.12)/3.9 + V_{DC,FL}/470$

$V_{DC,FL}(120 \times 470 + 120 \times 3.9 + 3.9 \times 470) = 14.5 \times 3.9 \times 470 + 8.12 \times 120 \times 470$

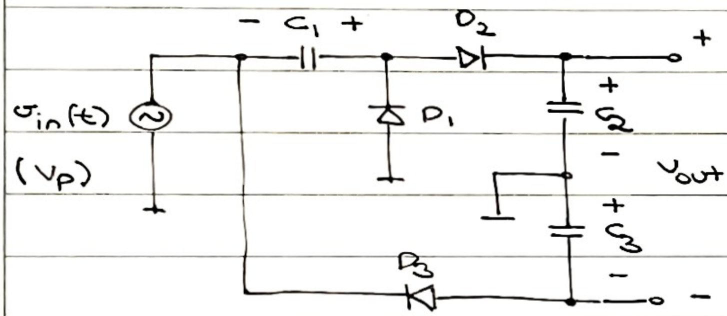
$V_{DC,FL} = 484547/58701 = 8.25\ V$

Fator de regulação: $(8.32 - 8.25)/8.32 \times 100\% = 0.84\%$

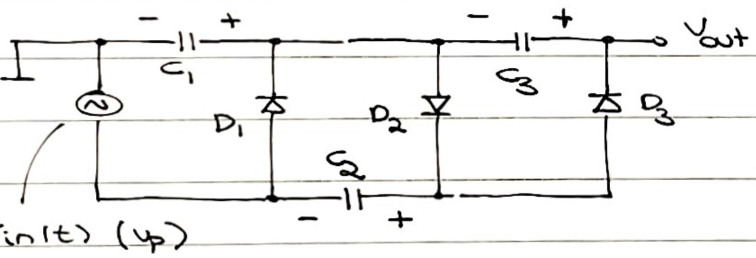
Questão (8)



Questão (9)

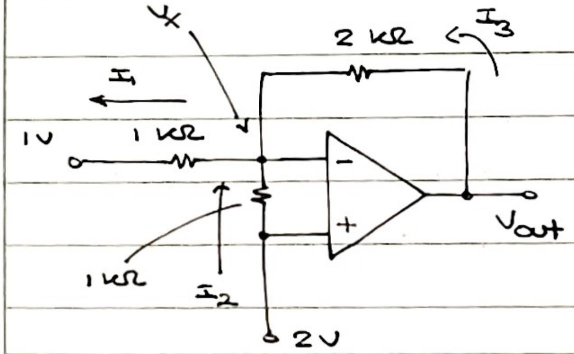


C_1 e D_1 deslocam $v_{in}(t)$ V_p volts para cima, gerando uma onda entre 0 e $2V_p$. O valor de pico $2V_p$ é detectado por C_2. O pico inferior de $v_{in}(t)$ $(= -V_p)$ é detectado por C_3. A diferença de potencial entre o terminal "+" de C_2 e o terminal "−" de C_3 é $2V_p - (-V_p) = 3V_p$.



C_1, D_1, C_2 e D_2 deslocam $v_{in}(t)$ $2V_p$ volts para cima, gerando uma onda entre V_p e $3V_p$. O valor de pico $(3V_p)$ é fixado no terminal "+" de C_3.

Questão (10)



- $V_x = 2 - (V_{out}/100) \longrightarrow I_2 = V_{out}/10^5$

  $\hookrightarrow I_1 = (2 - (V_{out}/100) - 1)/10^3 = (1/10^3) - (V_{out}/10^5)$
- $I_3 = I_1 - I_2 = (1/10^3) - V_{out}/10^5 - V_{out}/10^5$
- $V_{out} = V_x + 2000\ I_3$

  $V_{out} = 2 - (V_{out}/100) + 2 - (V_{out}/50) - (V_{out}/50)$

  $V_{out}(1 + 0.01 + 0.02 + 0.02) = 4$

  $V_{out} = 3.81\ V$ (obs.: ao invés de 4 V, que seria a saída obtida se $A \longrightarrow \infty$)