EL 6420 - Eletrônica II

Prof: Ricardo Germano Stolf
email: rstolf@fei.edu.br
skype: rstolf
cel: 98578-6966

Objetivos

- Estudo de Amplificadores operacionais
- Estudo de transistores de efeito de campo (FET's)

Ementa

12 Aulas Amp Ops -> Sedra CAP 2 -> pg 38 a 62
CAP 9 -> 572 a 573
CAP 15 -> 742 a 750

12 Aulas transistores de efeito de campo -> Sedra CAP 4 -> pg 141 - 198

Laboratório

1 - Aula teórica
3 Exp De Fonte Regulada
3 Exp. Amp. Op's
2 Exp. FET's
3 Aulas Projeto Prático

Avaliação

$MF = (0{,}4P1 + 0{,}6P2)\,FT.FL$

- Fator de teoria — Lista de Ex $\begin{cases} 2 \text{ até } P1 \\ 2 \text{ até } P2 \end{cases}$

$0{,}8 \leq FT \leq 1{,}00$

- Fator de laboratório : $FT = (K.\,PP.\,0{,}03 + 0{,}7)$ $\begin{cases} 0 \leq K \leq 1{,}4 \\ 0 \leq PP \leq 10 \end{cases}$

Bibliografia

- Material Moodle :
  - Ap. Lab
  - Exercícios
  - Simulações Multisim
- Livro: Sedra

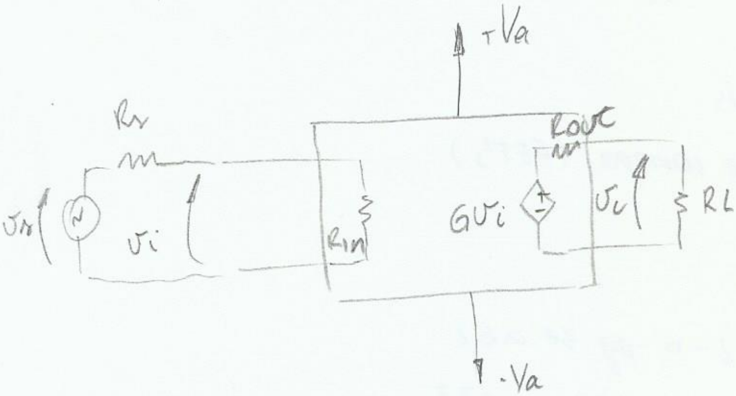
Observações:

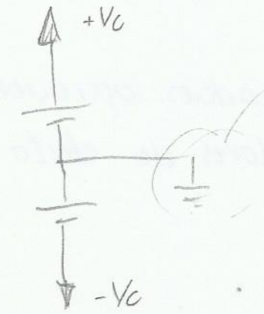
- Exercícios - (Após cada tópico)
- Exemplos - (Ex Resolvidos)
- Problemas - (Final capítulo)
- Desafios - Não estão no sedra

Introdução

Circuito Ativo : Contem alimentação
Passivo : Não " "

Amplificador de tensão





$v_i = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_s} \cdot v_s$ $\quad R_{in} \uparrow \to v_I = v_s$

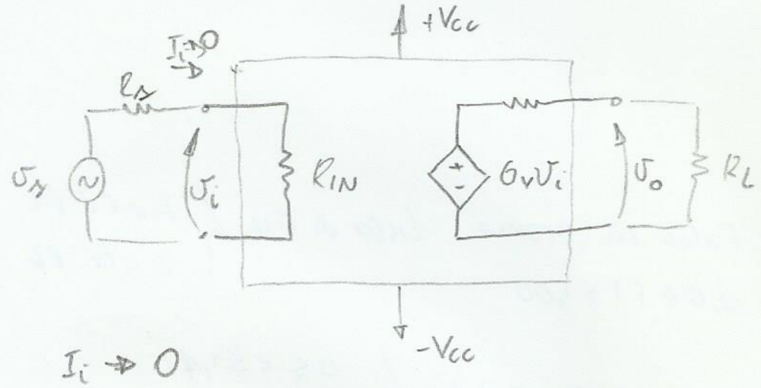
$v_L = \frac{R_L}{R_L + R_{out}} (G.v_i)$ $\quad R_{out} \downarrow = v_L = G v_I$

e $v_L = \pm V_{cc}$

$v_I = ?$ } (Verificar em casa).
F. Passagem }

O Amplificador de tensão Ideal

Modelo Matemático



$I_i \to 0$

- $R_{in} \to \infty \cdot G_v$ · Limites de v_o e v_i → Sem distorção
- $R_{out} \to 0 \cdot v_o = G_v . v_I$ · Faixa de passagem

Justificativa para $R_{in} \to \infty$

$v_i = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_s} v_s$ $\quad \therefore R_{in} \gg R_s$: $v_I = v_s$ $\quad \therefore R_{in} \to \infty$ e $I_I = 0$

$v_o = \frac{R_L}{R_L + R_{out}} \cdot G_v . v_i$ $\quad \therefore R_{out} \ll R_L$ $\quad v_o = G_v . v_i$ $\quad R_{out} \to 0$

Alimentação → limites de v_o $\quad |G| > 1 \quad v_o \to \pm V_{cc} \to v_I = \frac{v_o}{G}$
→ limites de v_i $\quad |G| < 1 \quad v_I = \pm V_{cc} \to v_o = G . v_i$

→ $R_{in} = \infty$ → $i^+ = 0$; $i^- = 0$

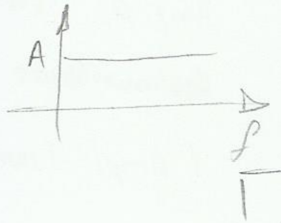
→ $R_{out} = 0$ → Para o AmpOp fornecer ou drenar a corrente que a carga necessitar

→ $v^+ = v^-$ { $v_o = A \cdot (v^+ - v^-) = \cancel{\infty \cdot 0}$
$v_o = 0$ → Rejeição em modo comum

→ Ganho de rejeição em modo comum → ∞ (*)

→ Dispositivo diretamente acoplado (d.a)
Amplifica sinais (DC, AC, AC+DC)

→ Faixa de passagem = ∞



Obs.:

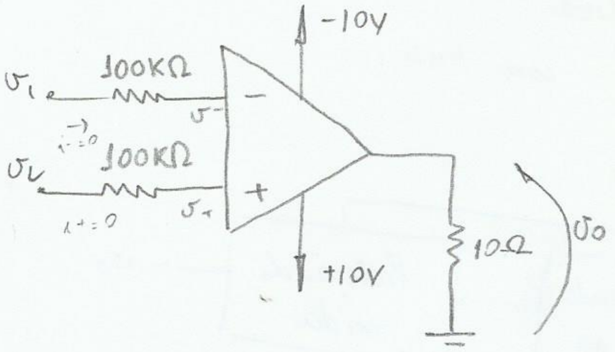
→ $-V_a \le v_o \le +V_{cc}$ ⇒
Prática $L^- \le v_o < L^+$

→ $-V_a \le v^{-+}, v^- \le +V_{cc}$

→ L^+, L^- → Tensão nominal de saída

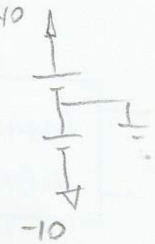
Exercícios

1-) Determinar o valor de v_o



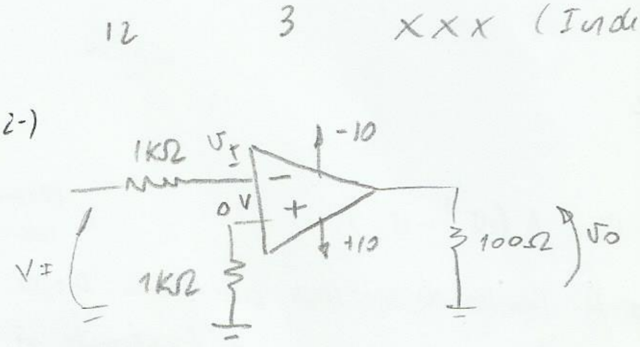
– Malha aberta

$v_o = A(v^+ - v^-)$



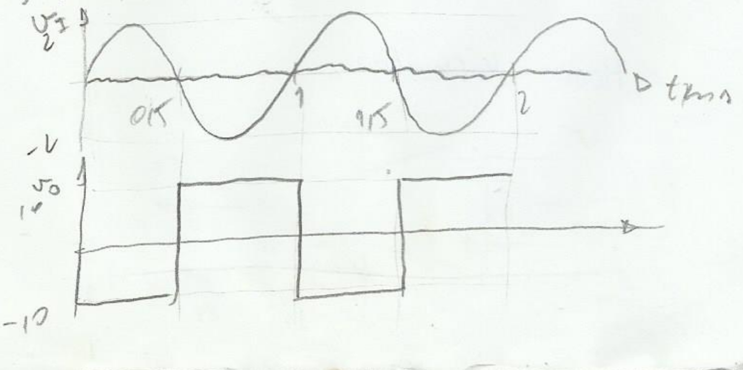
(v^-) v_1	(v^+) v_2	v_o
1	3	$v_o = A(3-1) = 2A = +\infty$ → +10 V
0	-0,5	$v_o = A(-0{,}5-0) = -0{,}5A = -\infty$ → -10 V
-0,01	-0,01	$v_o = A(-0{,}01-(-0{,}01)) = 0A = 0$ V (Rejeição em modo comum)
-4	4	$v_o = A(4-(-4)) = 8A = \infty$ → 10 V
12	3	XXX (Indeterminado)

2-)



$v_I = 2 \sin 2\pi \cdot 10^3 t$

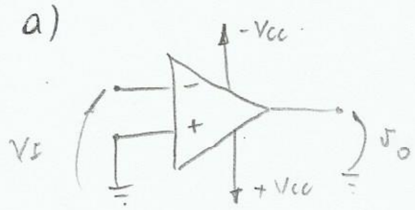
a) Desenhar v_o sincronizado com v_I



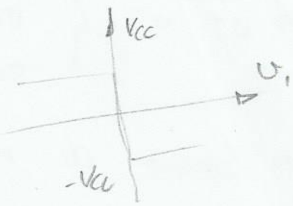
Amplificador Operacional

Exemplos de Circuitos com Amp Op.

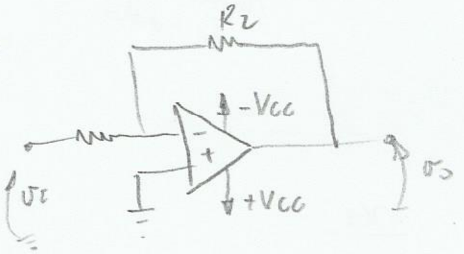
a)



→ Amp Op em malha aberta
→ Comparador simples
(Comparador simples

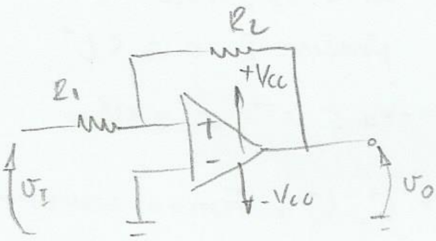


b)



Amp Op Em malha fechada
Realimentação negativa
(Ampl. Inversor)

c)



Amp Op Malha fechada
Real. Positiva
Comparador com histerese

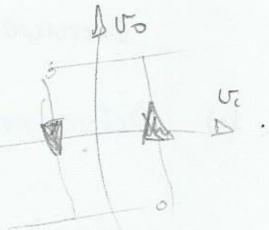
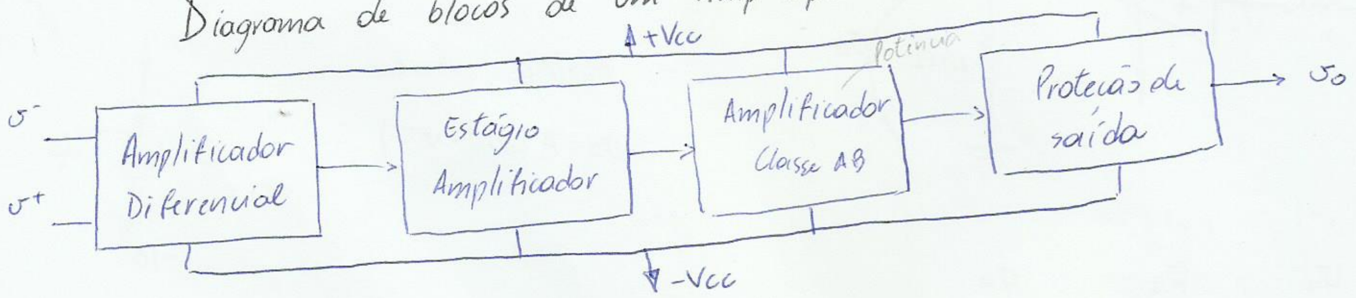


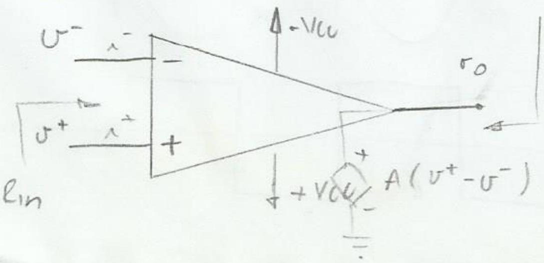
Diagrama de blocos de um Amp Op.



→ Pesquisar no moodle
→ Sedra pg 555 Fig. 9.13 → Circuito Interno do 741
- Desafio:
  - a) Diagrama de blocos com comentários.
  - b) Circuito → Identificar cada bloco.

Caracteristicas de um Amp Op Ideal

- Modelo Matemático

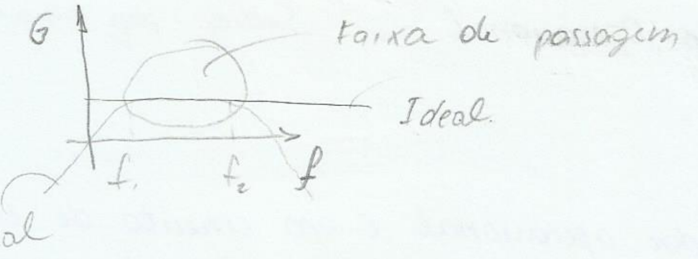


$v_o = A(v^+ - v^-)$ (termos ideais)

→ A: Ganho de malha aberta → $A \to \infty$

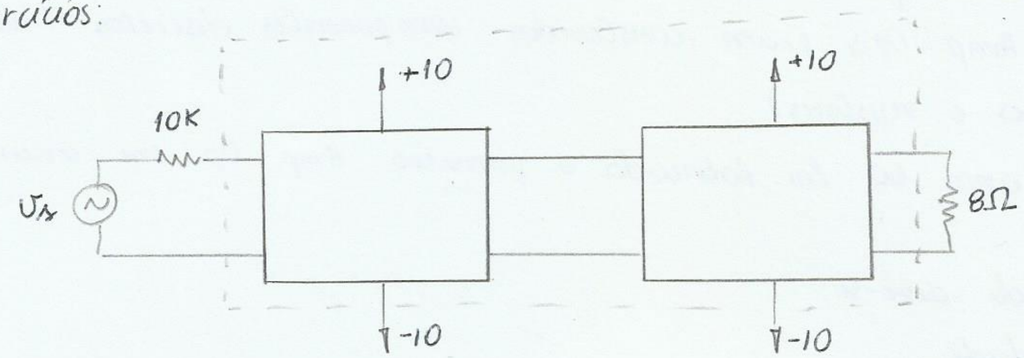
→ v_o { Em fase com v^+ (Entrada ñ In.) ; Defasada em 180° com relação a v^- (Entrada Inv) }

Faixa de passagem



Exercícios:

1-)

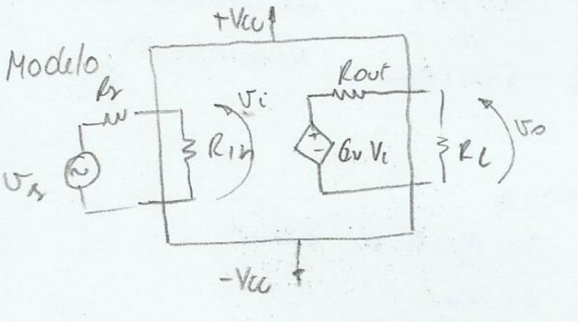


a) Para $G_v = 10\frac{V}{V}$; $R_{in} = \infty$; $R_{out} = 0$. Determine as características do amplificador

b) Para $G_v = 10\frac{V}{V}$; $R_{in} = 10K$ $R_{out} = 10\Omega$. Determine as características do amplificador.

a) Dados: $G_v = 10\frac{V}{V}$ $R_{in} = \infty$ $R_{out} = 0$

Modelo



$v_i = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_s} \cdot v_s$; $R_{in} = \infty$ $\therefore v_i = v_s$

$v_o = \frac{R_L}{R_L + R_{out}} \cdot G_v v_i$; $R_{out} = 0$ $v_o = G_v \cdot V_i$

Como $v_i = v_s$ então $v_o = 10\, v_1$ (Para o 1º bloco)

$v_o = 10\, v_s$

$R_{in} = \infty$; $R_{out} = 0$

$v_o = \pm 10V$

$v_i = \frac{v_o}{G} = \pm 0{,}1 V$ ou $100 mV$

(Para o 2º bloco) $v_o = 10.10\, v_s$ $\therefore$ $v_o = 100\, v_s$ $\therefore$ $G_T = 100\frac{V}{V}$

b) Dados: $G_v = 10\frac{V}{V}$; $R_{in} = 10K$; $R_{out} = 10\Omega$

$v_{i_1} = \frac{10K}{10K + 10K} \cdot v_s = \frac{v_s}{2}$; $v_{o_1} = 10 \cdot v_{i_1}$ $v_{o_1} = 5\, v_{i_1} = v_{i_2}$

$v_o = 10.5.v_s$ $v_o = 50\, v_s$

$G_T = 50\frac{V}{V}$; $R_{in} = 10K$; $R_{out} = 10\Omega$; $v_o = \pm 10V$ $v_i = \pm 0{,}2 V$ ou $200 mV$

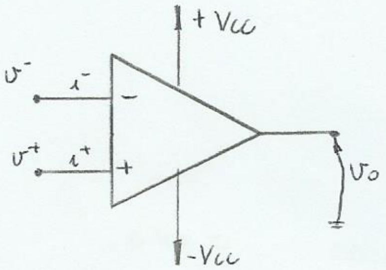
Amplificador Operacional Sedra pag. 38 a 41

Introdução

O amplificador operacional é um circuito de estado solido que usa a realimentação externa para controlar as suas funções.

- No início os Amp. Op's eram construídos componentes discretos (Válvulas e depois transistores e resistores).
- Por volta dos anos 60 foi fabricado o primeiro Amp. Op. em circuito integrado.
- Sua popularidade deve-se
  - → Versatilidade
  - → Caracteristicas reais muito próximas as caracteristicas ideais do componente

- Simbologia; Diagrama de blocos e Circuito de um Amp Op

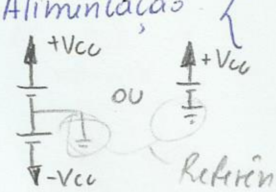


v^-: Entrada Inversora

v^+: Entrada não Inversora

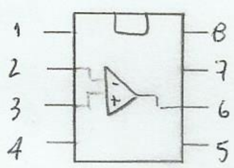
v_o: Saída

Alimentação { Simples ou Simétrica



Obs: A referência do circuito vem da alimentação.

Exemplo LM 741



1- Ajuste de Offset

2- v^-

3- v^+

4- $-v_{cc}$

5- Ajuste de offset

6- v_o

7- $+v_{cc}$

8- Não conectado

- Aplicações

Eletrônica Analógica {
- Amplificar sinais
- Subtrair Sinais
- Somar Sinais
- Integrar Sinais
- Diferenciar Sinais

- Conversor A/D e D/A
- Controle e Automação
- Instrumentação

Homework

- Verificar um circuito com realimentação. Alimentação positiva

O que é malha aberta.

O que é alimentação positiva

" " é negativa.

(Entrar no moodle)

Eletrônica II

20/02/2013

Curva de transferência $v_o \times v_I$

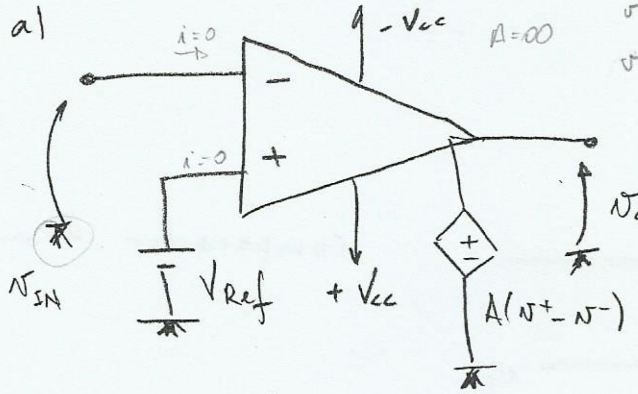
Amp. Op. em malha aberta:

a)

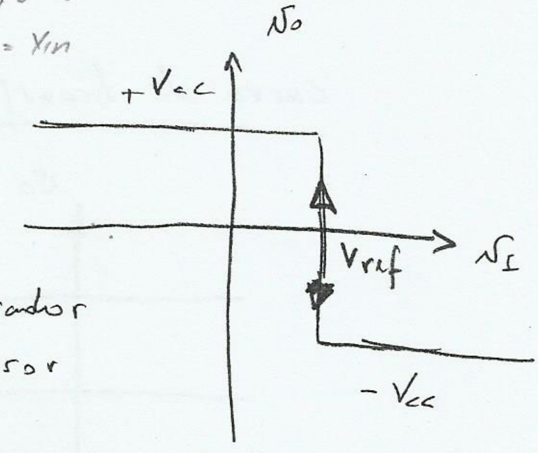
$v_o = A(v^+ - v^-)\,;\ v^+ = 0$

$v_o = -v^- A\,;\ v^- = V_{in}$

$v_o = -V_{in} A$

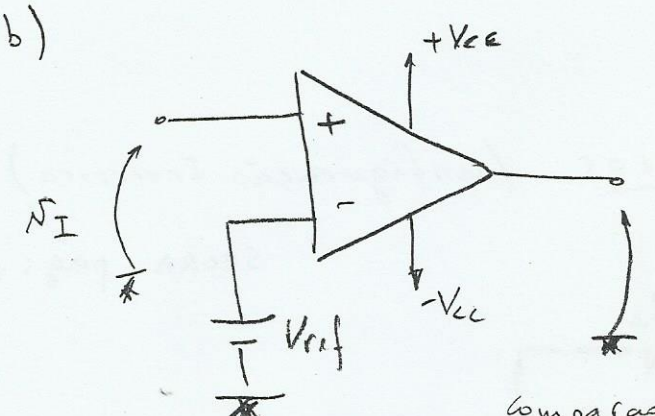


comparador inversor

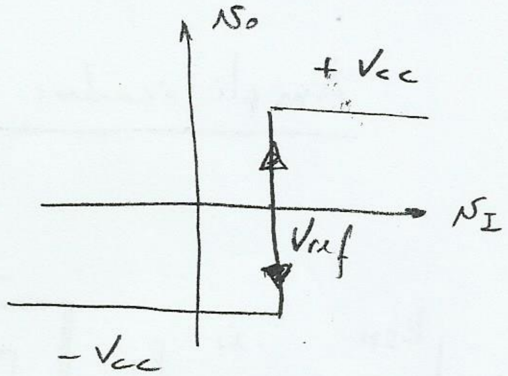


curva de transferência

b)

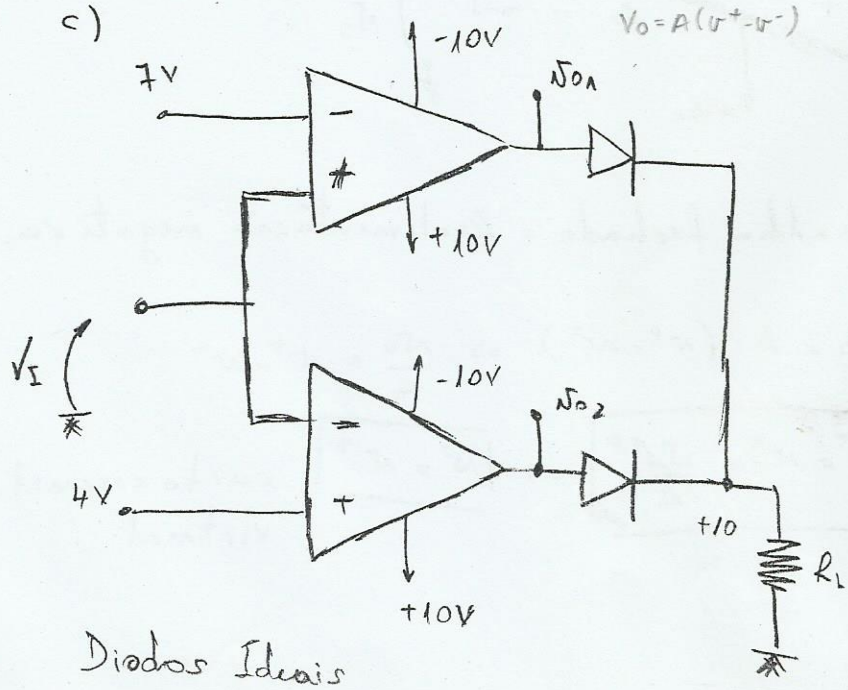


comparador não inversor

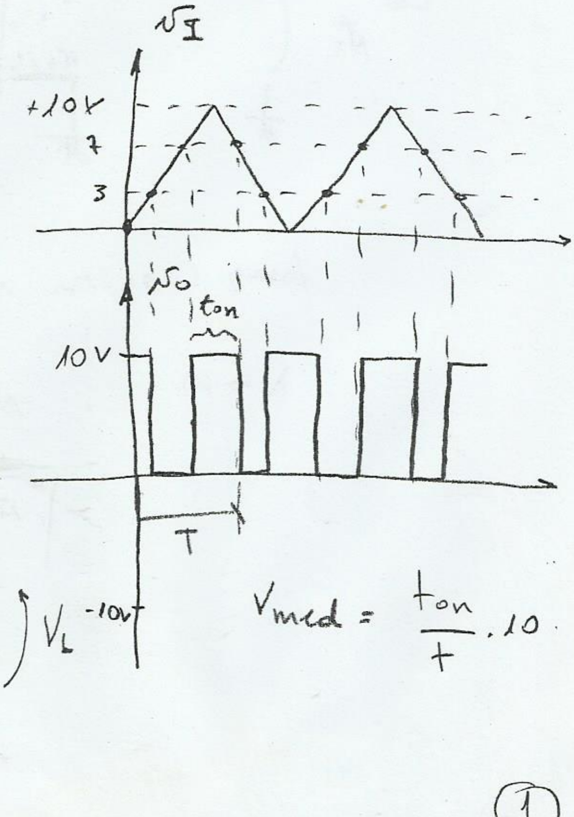


c)

$V_o = A(v^+ - v^-)$



Diodos Ideais



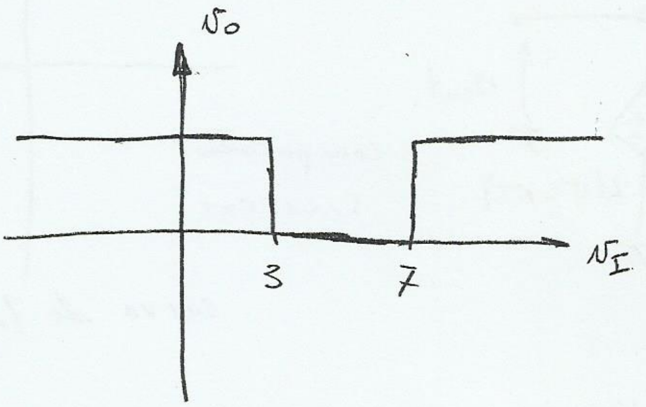
$$V_{med} = \frac{t_{on}}{T} \cdot 10$$

$v_{o1} = A \cdot (v_I - 7)$

$v_{o2} = A \cdot (4 - v_I)$

v_I	v_{o1}	v_{o2}	v_L
3	-10	+10	+10
5	-10	-10	0
8	+10	-10	+10

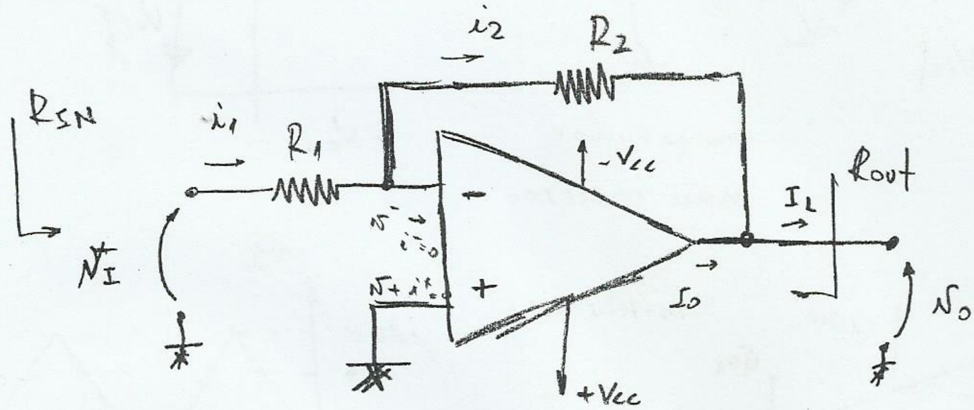
Curva de transferência:



Comparador Janela

Amplificador Inversor (configuração Inversora)

SEDRA pág: 38 e 40



Amp. Op. em malha fechada - Realimentação negativa

$A \to \infty$; $v_o = A \cdot (v^+ - v^-) \Rightarrow \frac{v_o}{A} = v^+ - v^-$

$\boxed{v^- = v^+ - \frac{v_o}{A}}$ $\Rightarrow$ $\boxed{v^- = v^+}$ curto circuito virtual

- Ganho em malha fechada:

$$G = \frac{v_o}{v_I} \quad ; \quad i_1 = i_2 \quad ; \quad \boxed{\frac{v_I - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_o}{R_2}}$$

$$v^- = v^+ \Rightarrow v^+ = 0 \; ; \; v^- = 0$$

$$\frac{v_I - 0}{R_1} = \frac{0 - v_o}{R_2} \Rightarrow \boxed{G = \frac{v_o}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

- Calculo de R_{IN} e R_{OUT}:

$$R_{IN} = \frac{v_I}{i_1} = \frac{v_I}{\frac{v_I - v^-}{R_1}} = \frac{v_I}{\frac{v_I}{R_1}} = R_1 \quad ; \quad \boxed{R_{IN} = R_1}$$

$R_{out} = 0$; pois, $v_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_I$, então não depende da saída.

O amplificador irá fornecer a corrente que a carga necessita.

- Limites de v_o e v_I:

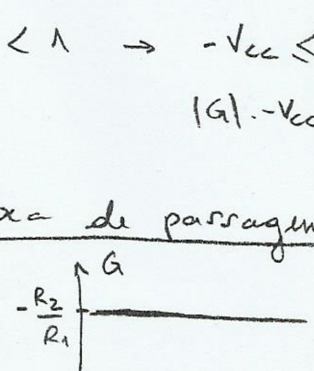
$$|G| > 1 \rightarrow -V_{cc} \leq v_o \leq +V_{cc}$$
$$\frac{-V_{cc}}{G} \leq v_I \leq \frac{+V_{cc}}{G}$$

Io não tem Restrição

condição Ideal

$$0 \leq |G| < 1 \rightarrow -V_{cc} \leq v_I \leq +V_{cc}$$
$$|G| \cdot -V_{cc} \leq v_o \leq |G| \cdot +V_{cc}$$

- Faixa de passagem:



$\boxed{FP = \infty}$ Condição Ideal

A influencia de A finito no ganho de malha fechada:

→ Real → Negativa

→ A → finito

$$\boxed{v^- = v^+ - \frac{v_o}{A}}$$ (equação 1)

$v_o = A \cdot (v^+ - v^-)$; $i_1 = i_2$; $$\boxed{\frac{v_I - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_o}{R_2}}$$ (eq 2)

$\boxed{v^+ = 0}$ (eq. 3)

Substituindo eq. 1 em eq. 2:

$$\boxed{G_R = \frac{-R_2/R_1}{1 + \left(\frac{1 + R_2/R_1}{A}\right)}} \Rightarrow \boxed{G_R = \frac{G_{ideal}}{1 + \left(\frac{1 + R_2/R_1}{A}\right)}}$$

$1 \gg \frac{1 + R_2/R_1}{A}$; $\boxed{A \gg 1 + \frac{R_2}{R_1}}$

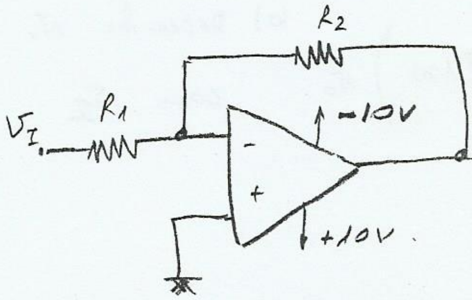
$$G_{real} \simeq G_{ideal} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Exemplo 2.1 SEDRA Pag 44

Eletrônica II

22/02/2013

Efeito de A finito no ganho em malha fechada:



$$\begin{cases} v^- = v^+ - \frac{v_o}{A} \\ v^+ = 0 \end{cases}$$

$$\frac{v_1 - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_o}{R_2}$$

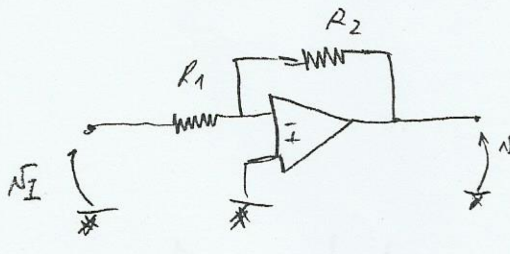
$$G_R = \frac{-R_2/R_1}{1 + \frac{R_2/R_1 + 1}{A}} = \frac{G_i}{1 + \frac{R_2/R_1 + 1}{A}}$$

$$1 \gg \frac{1 + R_2/R_1}{A} \Rightarrow A \gg 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow A \geq \underline{?} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\boxed{A \geq 10^3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$ para condição ideal

Exercício:

1) LM741 $\Rightarrow A_o = 10^5 \, V/V$

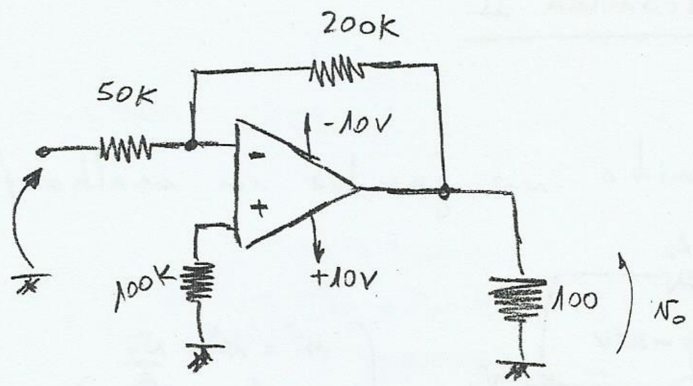


$G = -\frac{R_2}{R_1}$ $\qquad \frac{R_2}{R_1} = ? \rightarrow$ Amp. Ideal

$$A \geq 10^3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow 10^5 \geq 10^3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\boxed{\frac{R_2}{R_1} \leq 99}$$

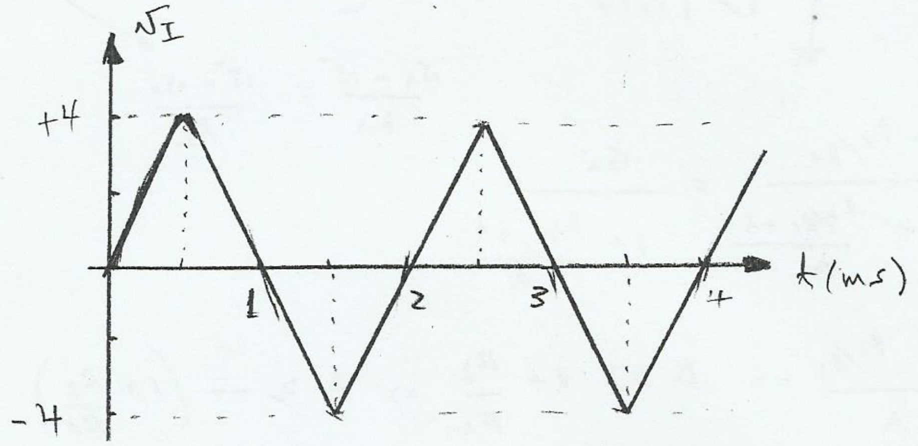
2



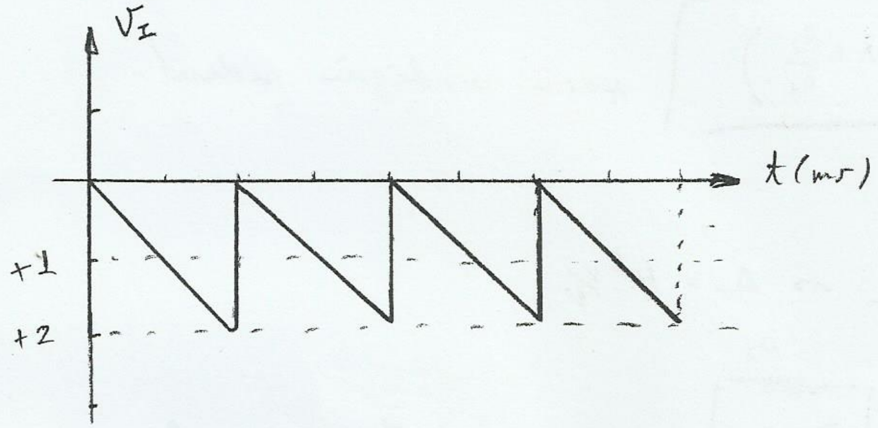
a) calcule o ganho do Amplificador

b) Desenhe v_o sincronizado com v_I

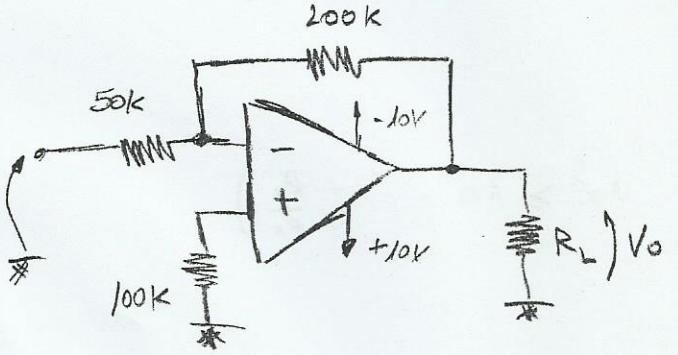
a)



b)



3



Calcular as tensões e correntes Indicadas para $V_I = -2V$ e

$R_L = 100\Omega$; $R_L = 200k\Omega$; $R_L = \infty$

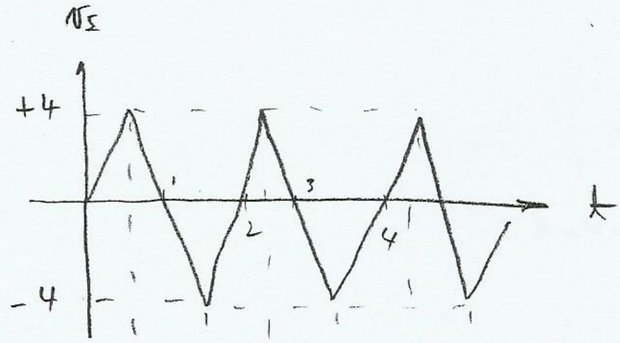
22/02/2013

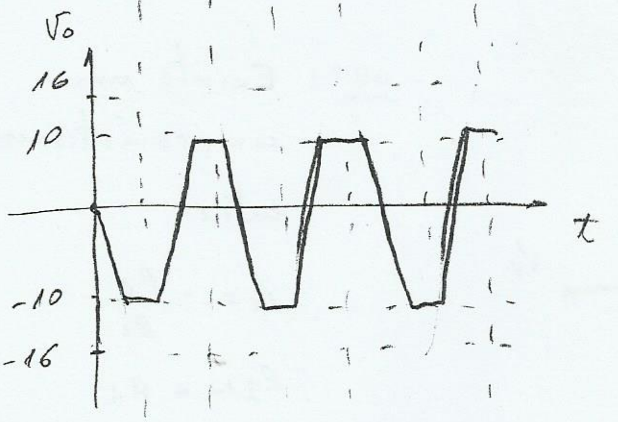
2º) a) Realimentação Negativa e $A = \infty$;

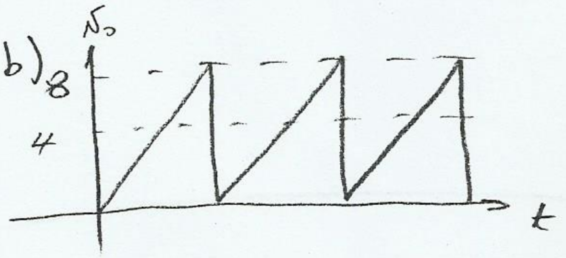
$v^- = v^+$

$v^+ = 0$; $v^- = 0$; $G = -\frac{R_2}{R_1}$; $i_1 = i_2$

$G = -\frac{200k}{50k} = -4\ V/V$





b) 

3º) $v^+ = 0$; $v^- = 0$; $v_L = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_I = +8V$; $i^+ = 0$ e $i^- = 0$

$i_1 = -\frac{2-0}{50k} = -0{,}04mA$; $i_2 = \frac{0-8}{200k} = -0{,}04mA$

$i_2 + i_0 = i_L$; $i_0 = i_L - i_2$ ∴ $i_L = \frac{8-0}{R_L}$; $R_L = 100 \rightarrow I_L = 80mA$

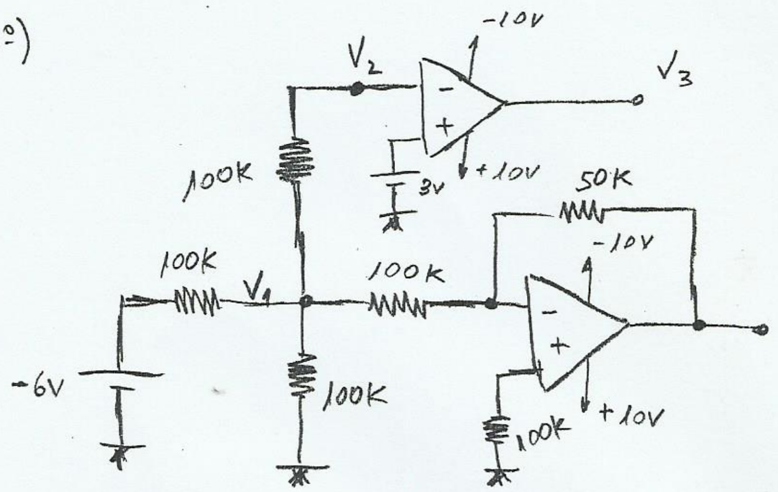
$i_0 = 80m - (-0{,}04) \Rightarrow i_0 = 80{,}04mA$

$R_L = 200k \rightarrow i_L = 0{,}04m$

$i_0 = 0{,}04 + 0{,}04 = 0{,}04mA$

$R_L = \infty \rightarrow i_L = 0$ ∴ $i_0 = -i_2 = +0{,}04mA$

4º)



OBS: Existe um comprometimento entre

$G = -\frac{R_2}{R_1}$

$R_{IN} = R_1$

Resp: $V_1 = -2V$ $V_3 = +10V$

$V_2 = -2V$ $V_4 = +1V$

Exemplo 2.2 - SEDRA

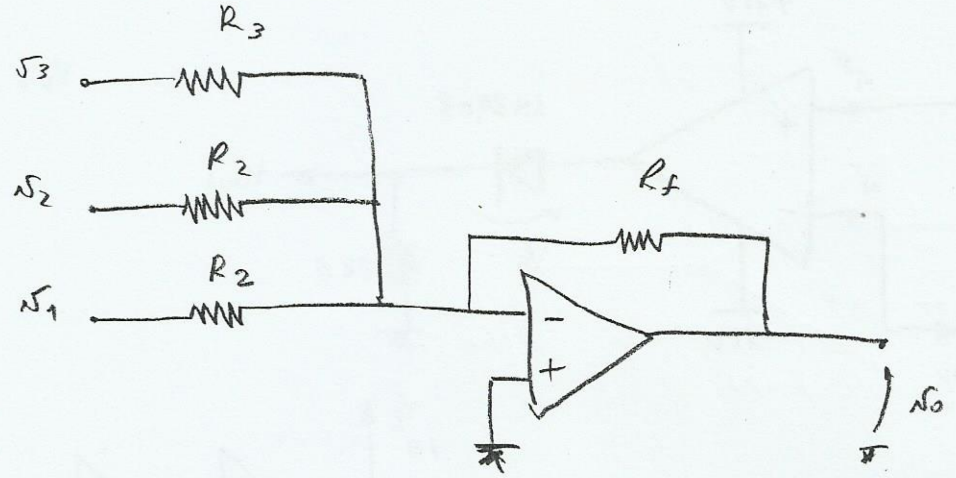
- Projetar um amplificador

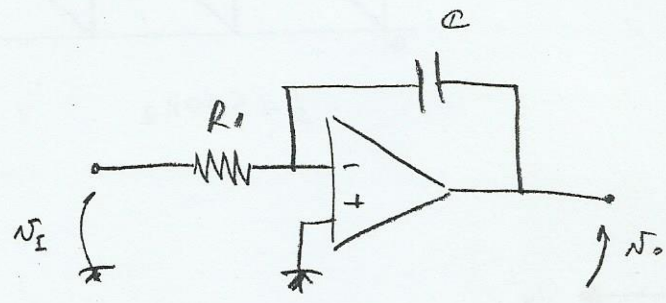
$G = 100 V/V$ e $R_{IN} = 1M\Omega$

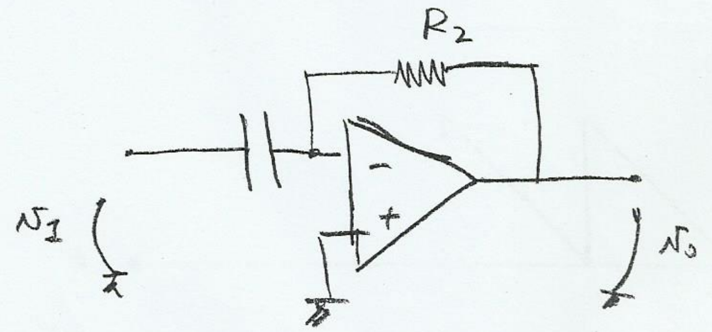
Restrição → Resistência $\leq 1M\Omega$

22/02/2013

Exercícios:

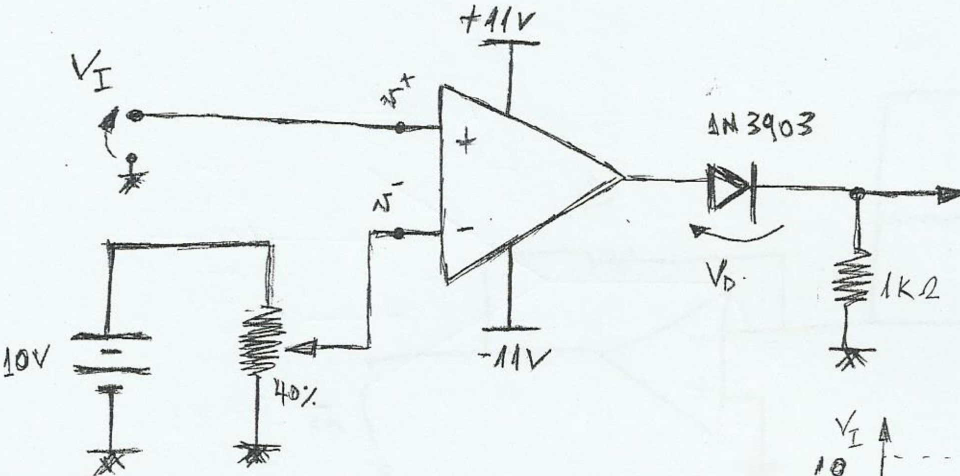




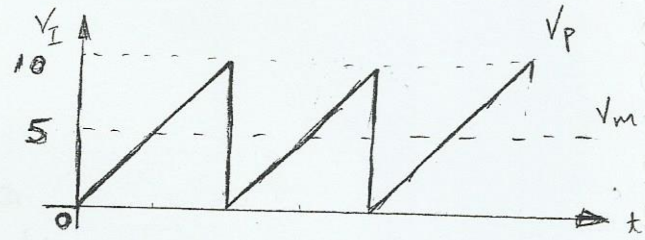


Eletrônica II → Lista 01 :

tensão nominal de saída $\mp 10V$



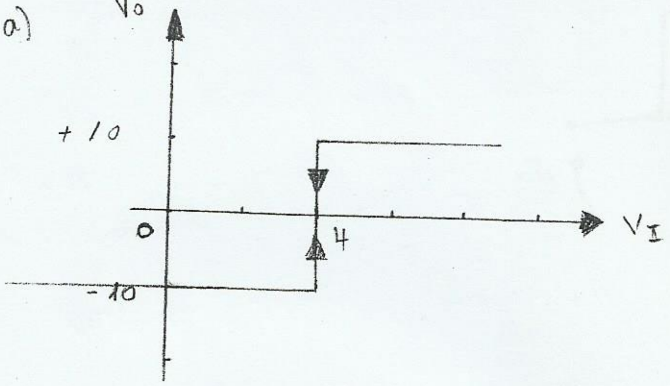
$V_D = 1V$



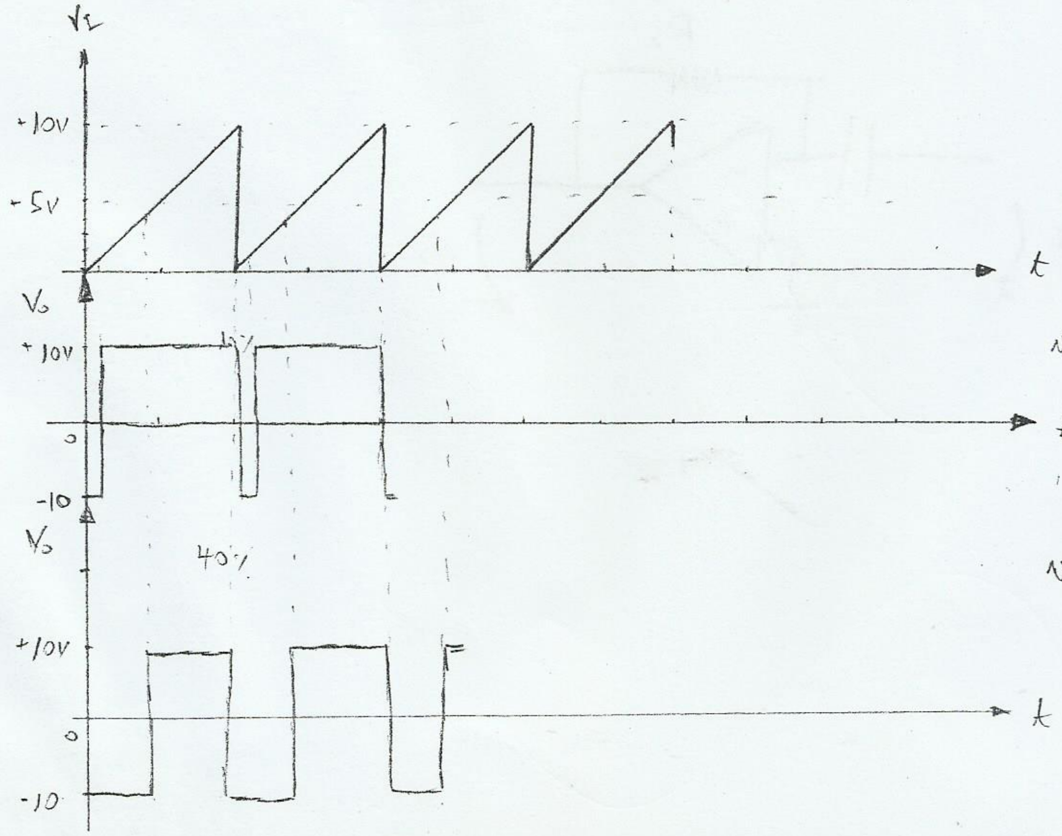
$v^- = 0,4 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{v^- = 4V}$

$f = 500Hz$

a)



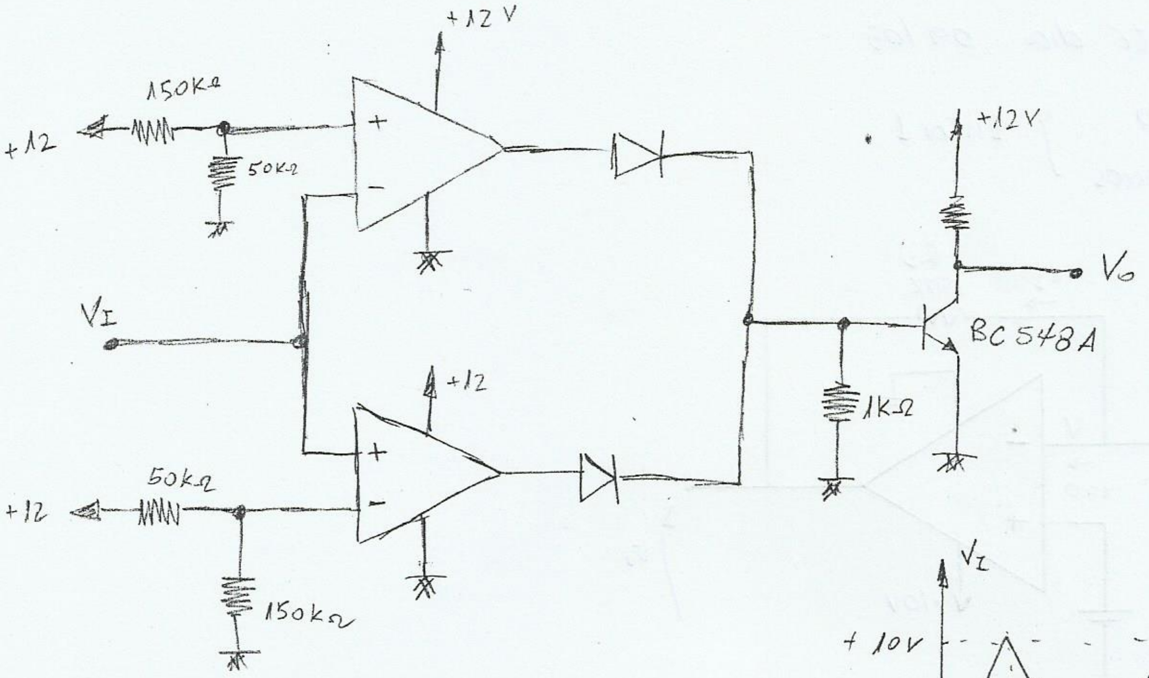
b)

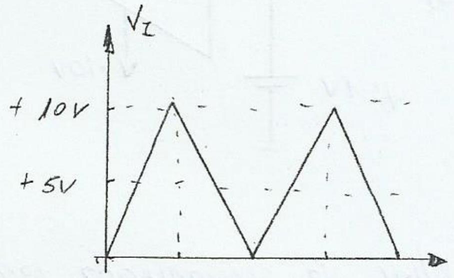


$v^- = 0,1 \cdot 10 = 1$

$v^- = 0,4 \cdot 10 = 4V$

tensão nominal de saída = 1V

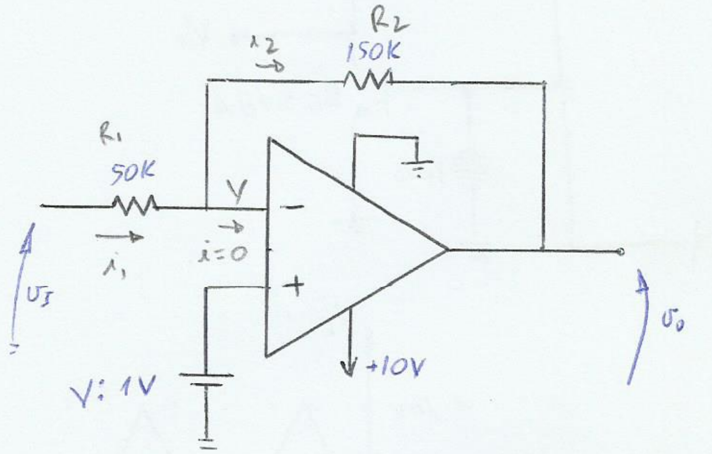




Lista de exercícios

Entrega até dia 09/03

→ 1 Desafio } Lista 1
→ 3 Exercícios



a) Desenhar v_0 sincronizado com v_i e $v_0 = f(v_I, R_1, R_2, V)$

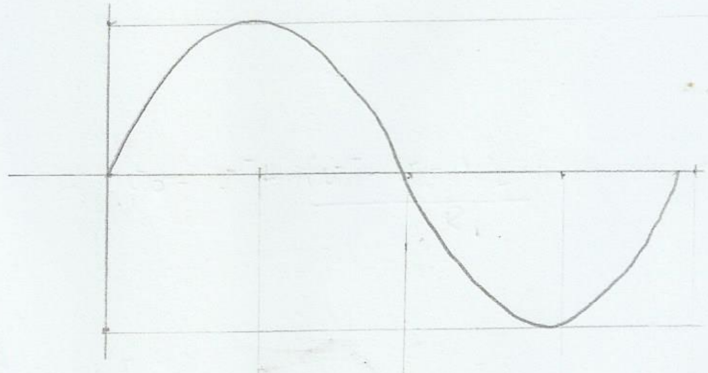
b) $v_I = V_p \sin 2\pi 10^3 t$ → Determine V_p maximo para que não ocorra distorção

- Esta trabalhando como amplificador, pois realimentação negativa
- $A \to \infty$
- Logo, ocorre o curto virtual.

$$\therefore \quad v_0 = A(v^+ - v^-) \quad ; \quad v^+ = v^- = V$$

Como $i_1 = i_2$, temos $\quad i = \dfrac{v_I - V}{R_1} = \dfrac{V - v_0}{R_2}$

$$(v_I - V)\frac{R_2}{R_1} = V - v_0$$



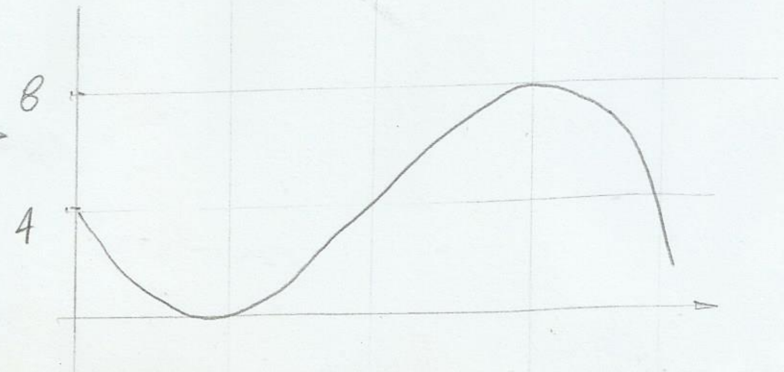
$$v_0 = V - (v_I - V)\frac{R_2}{R_1}$$

$$v_0 = 1 - (v_I - 1)\,3$$

$$v_0 = 1 - 3v_I + 3$$

$$\therefore \boxed{v_0 = 4 - 3v_I}$$

b) $v_0 = 4 - 4\sin 2\pi . 10^3 t$ →



$-3\,v_I = -4 \sin \omega t$

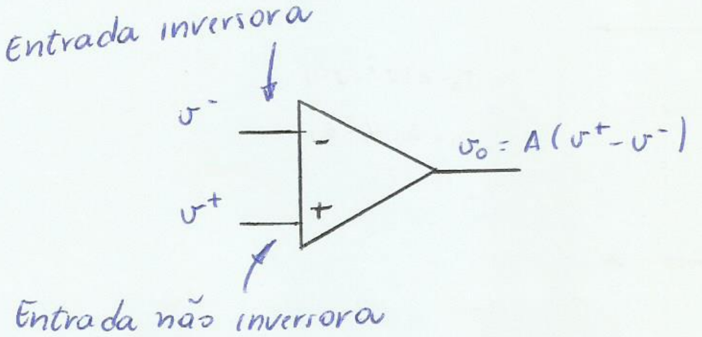
$-3 . V_p \sin \omega t = -4 \sin \omega t$

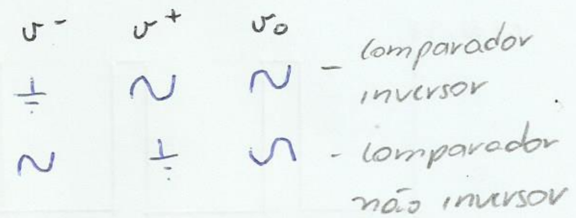
$$\therefore V_p = \frac{4}{3} = 1{,}33 \text{ Vpico}$$

Amplificador Operacional Ideal (Amp Op Ideal)

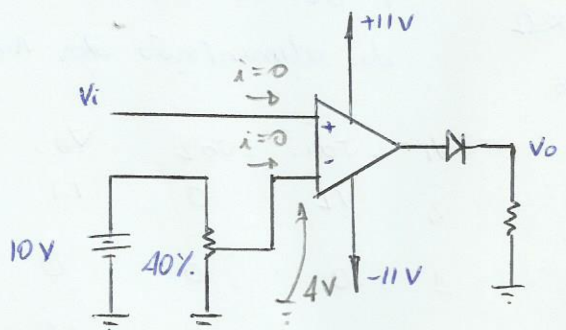
~~Exercício 2.1)~~ Características do Amp Op Ideal:

- Impedancia de entrada infinita: $R_{in} = \infty$
- Impedancia de saída nula: $R_{out} = 0$
- Ganho de modo comum nulo, ou equivalente, rejeição de modo comum infinito $v^+ = v^-$; Resultando teoricamente em $V_0 = 0$
- Ganho de malha aberta A infinito: $A = \infty$
- largura de faixa de resposta em frequência infinita





Exercício 1) (Lista 1)



tensão nominal de saída = ∓10 V

v_i : Onda dente de serra

$A = 5V$ $\hat{v}_i = 5V$ $f = 500Hz$

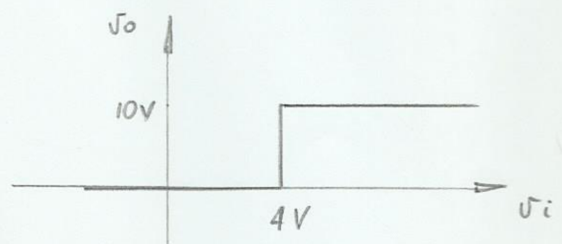
a) Desenhar função de transferência do comparador ($v_o \times v_i$)

$V_o = A(v^+ - v^-)$

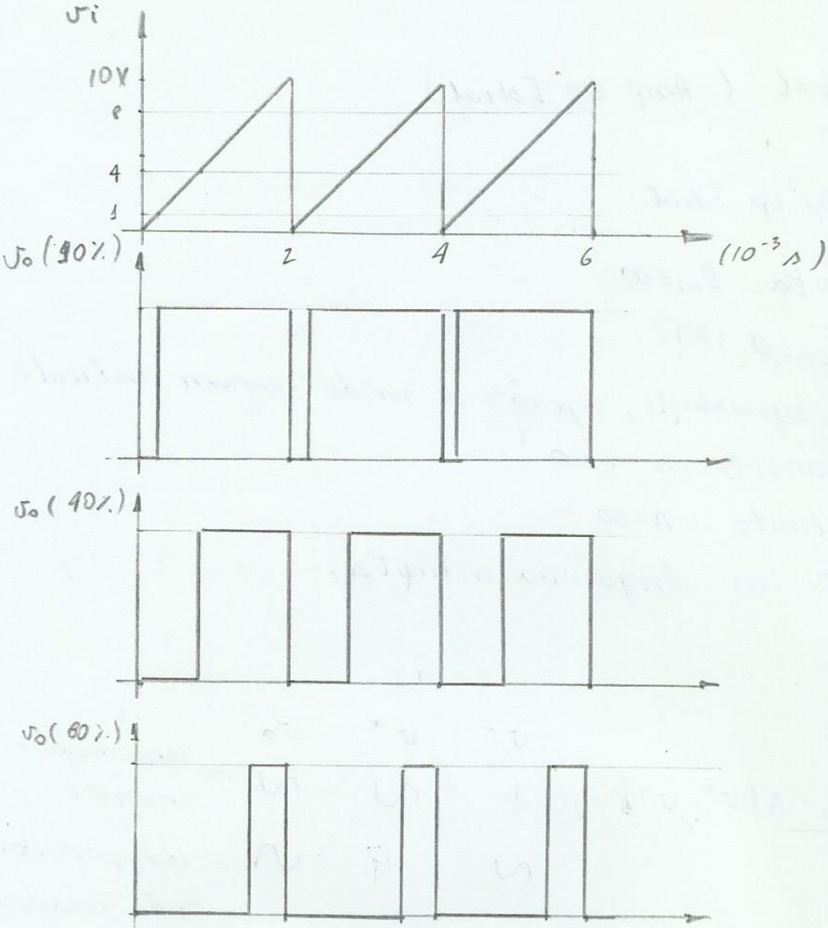
$V_o = A(V_i - 4)$

Para $V_i > 4 \rightarrow V_o = 10V$

$V_i < 4 \rightarrow V_o = 0V$



b) Desenhar as formas de onda sincronizada no tempo de v_i; v_o (10%, 90%, 60%)



$v_o = A(v^+ - v^-)$

$v_o = A(V_i - 1)$

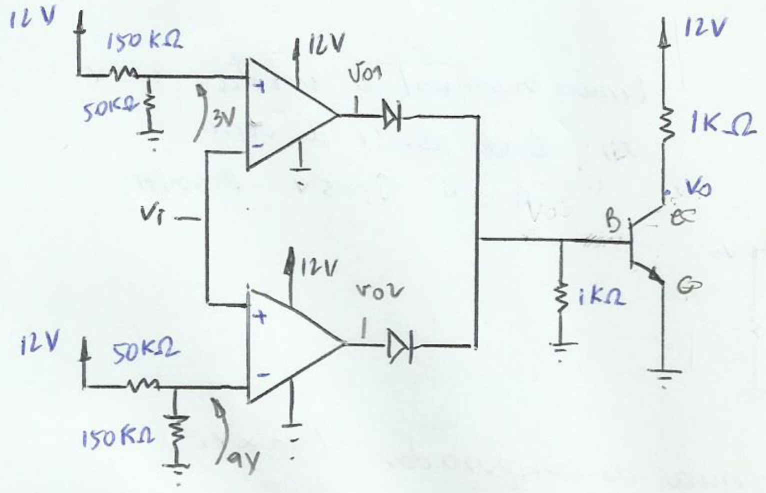
$v_o = A(v^+ - v^-)$

$v_o = A(V_i - 4)$

$v_o = A(v^+ - v^-)$

$v_o = A(V_i - 6)$

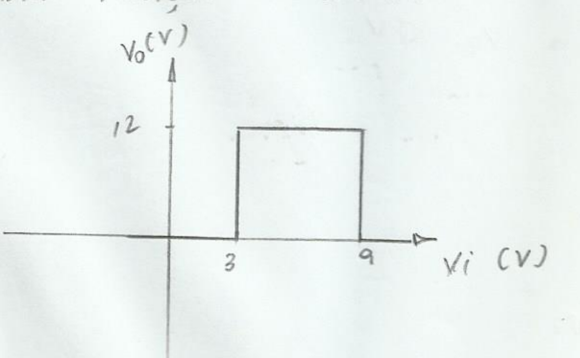
Exercício 2) (Lista 1)



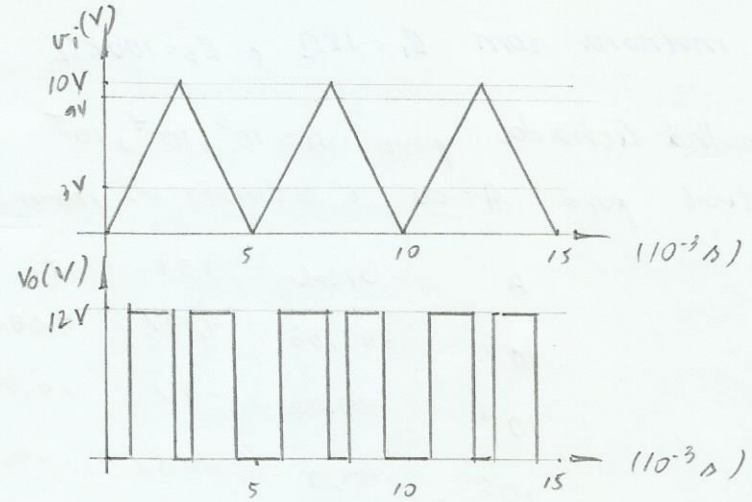
A tensão nominal de saída é de 1V menor em módulo da alimentação dos Amp Ops

V_i	v_{o1}	v_{o2}	V_B	V_o
2	11	0	11	0
4	0	0	0	12
10	0	11	11	0

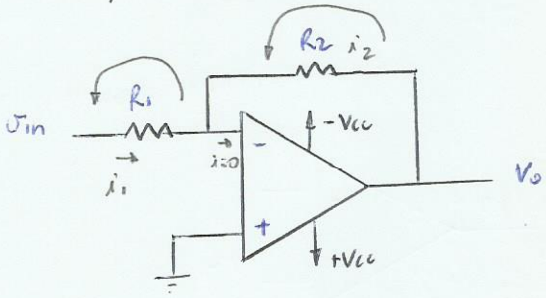
a) Desenhar função de transferência



b) Desenhar vo, considerando vi: onda triangular ; Amp = 5V ; $\hat{v}_i = 5V$ f = 200 Hz



Amplificador Inversor



(Para A infinito)

$i_1 = i_2$

$$\frac{v_i - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_o}{R_2}$$

$$V_o = A(v^+ - v^-)$$

$$v^+ - v^- = \cancel{\frac{v_o}{A}}^{\,0} \quad ; \quad A = \infty \quad \text{logo} \quad v^+ = v^- = 0$$

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{-v_o}{R_2} \quad \therefore \quad \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1} = G$$ (Ganho em malha fechada com $A = \infty$)

Se $|G| > 1$: $v_o > v_i$ $\therefore$ $-V_{cc} \leq v_o \leq +V_{cc}$

$$v_i = \frac{v_o}{G} \qquad \frac{-V_{cc}}{G} \leq v_i \leq +\frac{V_{cc}}{G}$$

Se $|G| < 1$: $v_i > v_o$ $\therefore$ $-V_{cc} \leq v_i \leq +V_{cc}$

$$v_o = |G| \cdot v_i \qquad |G| \cdot -V_{cc} \leq v_o \leq |G| \cdot +V_{cc}$$

(Para A finito)

$$\frac{v_i - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_o}{R_2} \qquad V_o = A(v^+ - v^-) \; ; \; v^+ = 0$$

$$V_o = -A v^- \; ; \; v^- = -\frac{V_o}{A}$$

$$G_r = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \left(\frac{1 + R_2/R_1}{A}\right)} \Rightarrow G_r = \frac{G_{ideal}}{1 + \left(\frac{1 + R_2/R_1}{A}\right)}$$

Exemplo 2.1 (Sedra)

Considere a configuração inversora com $R_1 = 1K\Omega$ e $R_2 = 100K\Omega$

(a) Determine G para malha fechada para $A = 10^3, 10^4, 10^5$

Estipule o erro percentual para $A = \infty$ e a tensão v_i, com $v_i = 0{,}1V$

$$G_{real} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \left(\frac{1 + R_2/R_1}{A}\right)}$$

$$E = \left| \frac{G_{real} - G_{ideal}}{G_{ideal}} \right| \times 100$$

A	Greal	$\lvert E \rvert$	v_i
10^3	-90,83	9,17%	-9,08mV
10^4	-99,00	-1%	-0,99mV
10^5	99,9	-0,1%	-0,1mV

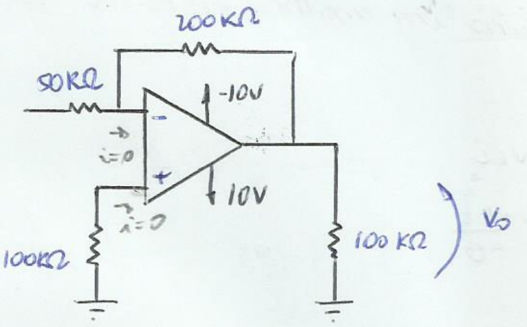
$v_o = A(v^+ - v^-)$ $\quad G = \frac{v_o}{v_i}$

$v_o = -A v^-$ $\quad v_o = G v_i$

$v_o = -A v^- = G v_i$

$v^- = \frac{-G v_i}{A}$

Exercício (Caderno)



- Calcule o ganho do amplificador
- Desenhe v_o e v_i sincronizados

x Calculando o ganho do amplificador

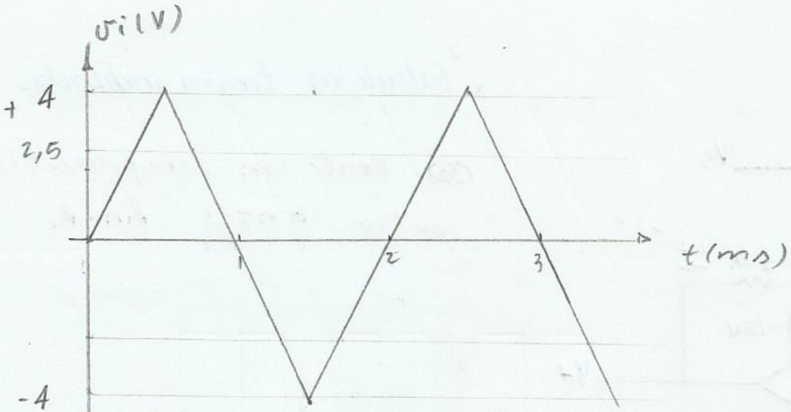
Sabendo que: - malha fechada com realimentação negativa
- $A = \infty$

$v_o = A(v^+ - v^-)$

$\frac{v_o}{A} = v^+ - v^- \quad \therefore \quad v^- = v^+ = 0 \;;\quad G = \frac{-R_2}{R_1}$ pois $i_1 = i_2$

$$G = \frac{-200}{50} = -4\,\frac{V}{V}$$

a)

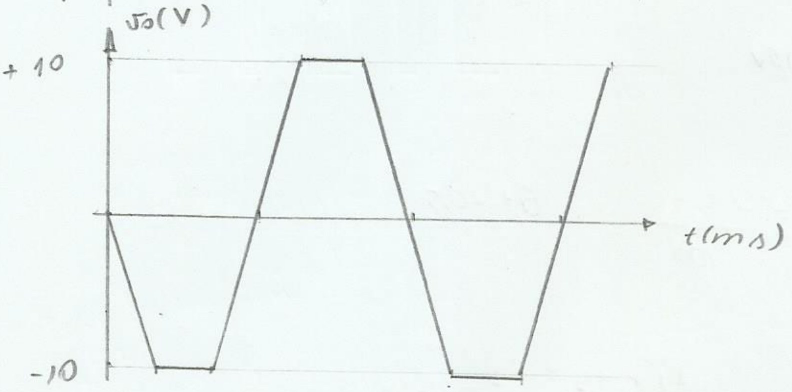


$$\frac{v_o}{v_i} = G \quad \therefore \quad v_o = G \cdot v_i$$

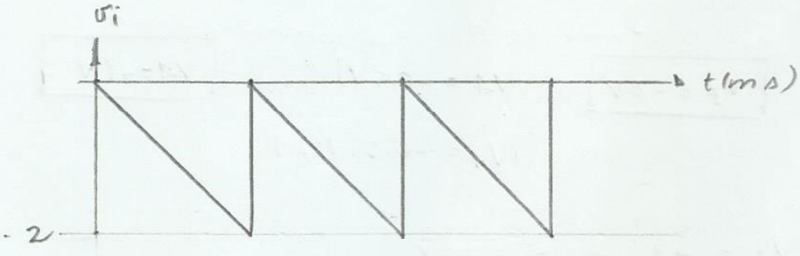
Como $|G| > 1$

$$-V_{cc} \leq v_o \leq +V_{cc}$$

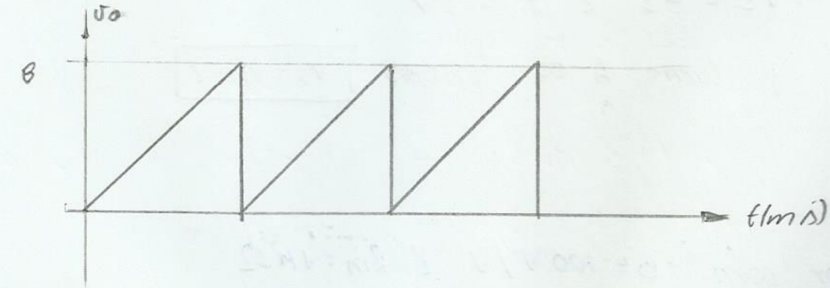
$$v_o = -4 \cdot v_i$$



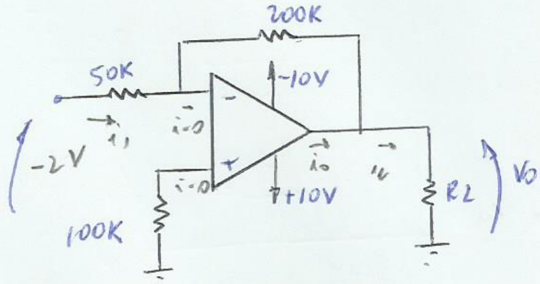
b)



$$v_o = -4\, v_i$$



Exercício 1 (Caderno)



Calcular as tensões e as correntes indicadas para $V_i = -2V$, $R_L = 100\,\Omega$; $R_L = 200\,k\Omega$; $R_L = \infty$

- Malha fechada com realimentação negativa

$$G = \frac{-200}{50} = -4\,\frac{V}{V} \qquad G = \frac{v_o}{v_i}$$

$$v_o = A(v^+ - v^-)$$

$$\frac{v_o}{A} = v^+ - v^- = 0 \; ; \; A = \infty \; ; \; v^+ = v^- = 0V$$

$$i_1 = \frac{-2 - v^-}{50K} = -0{,}04\,mA$$

$$i_2 = \frac{0 - 8}{200K} = -0{,}04\,mA$$

$$i_L = i_o + i_2$$

$$i_o = i_L - i_2$$

$$i_o = \frac{V_o}{R_L} - i_2$$

$$i_o(R_L) = \frac{V_o}{R_L} - i_2$$

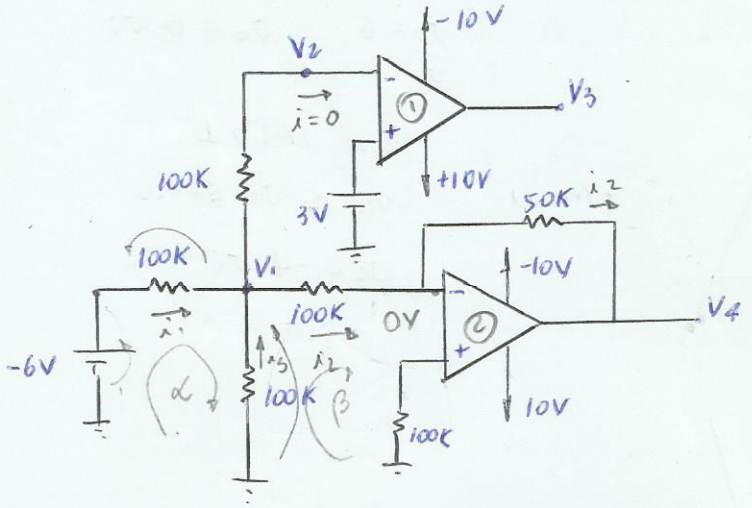
$$i_o(100) = \frac{8}{100} - (-0{,}04m) = 80{,}04\,mA$$

$$i_L(100) = 80\,mA$$

$i_o(200K) = 0{,}08\,mA$ e $I_L = 0{,}04\,mA$

$i_o(\infty) = 0{,}04\,mA$ $\quad I_L = 0\,A$

Exercício) (Caderno)



× Calcule as tensão indicadas

OBS: Existe um comprometimento entre $G = -\frac{R_2}{R_1}$ $R_{in} = R_1$

No Amp Op 2: $G = \frac{-R_2}{R_1} = -\frac{50}{100}$ $\therefore$ $G = -0,5$

logo. $V_4 = -0,5\, V_1$

$i_2 = \frac{V_1 - 0}{100K} = \frac{V_1}{100K}$

$i_1 + i_3 = i_2$

$\frac{-6 - V_1}{100K} - \frac{V_1}{100K} = \frac{V_1}{100K}$

$-6 - V_1 - V_1 = V_1$

$-6 = 3V_1$ $\therefore$ $\boxed{V_1 = -2\ V}$ $\boxed{V_2 = -2V}$

$V_4 = -0,5\, V_1$ $\therefore$ $\boxed{V_4 = +1V}$

$V_4 = -0,5 \cdot (-2)$

$v_3 = A(v^+ - v^-)$; $v^- = V_2 = -2$ e $v^+ = 3V$

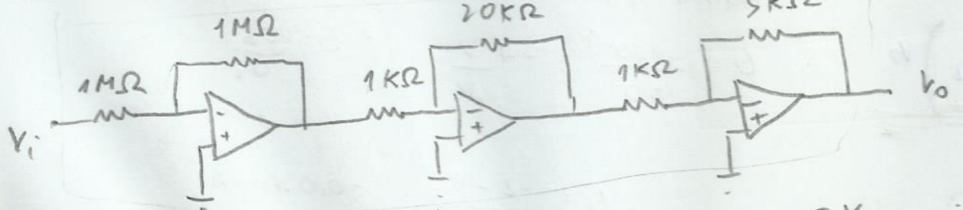
$v_3 = A(3 - (-2)) = +5A$; como $A = \infty$ então $\boxed{V_3 = +10\ V}$

Exemplo 2.2) (Sedra)

Projetar um amplificador com $G = 100\ V/V$ e $R_{in} = 1M\Omega$

Restrição: Resistencias $\leq 1M\Omega$

1ª Alternativa)



$G = 1\frac{V}{V}$ $G = 20\frac{V}{V}$ $G = 5\frac{V}{V}$ $\therefore$ $G = 100\frac{V}{V}$

Aplicação do amplificador inversor - Somador ponderado

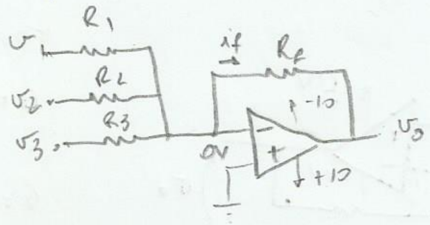
Projetar um amplificador com um único Amp. Op. onde

$v_O = -2v_1 - v_2 - 4v_3$

Para $v_o = 10V$ a corrente que passa pelo resistor de alimentação é de 0,1mA

Alimentação : ±12V

tensão nominal de saída : ±10V



$$i_f = \frac{0 - v_o}{R_f} \therefore v_o = -i_f \cdot R_f$$

$$R_f = \frac{10}{0{,}1m} = 100K\Omega$$

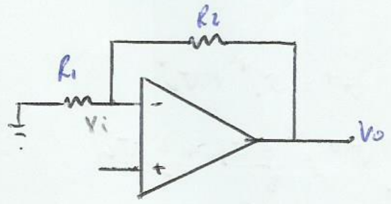
$$i_f = i_1 + i_2 + i_3 \quad ; \quad v_o = -i_f \cdot R_f$$

$$i_f = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}$$

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3\right)$$

$$\boxed{R_1 = 50K\Omega \quad R_2 = 100K\Omega \quad R_3 = 25K\Omega}$$

Amplificador não inversor



$v_O = A(v^+ - v^-)$

$v^+ - v^- = \frac{v_o}{A} \to 0 \; ; \; A = \infty$

$v^- = v^+$

$$V_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_o \quad \therefore \quad \boxed{G = \frac{v_o}{v_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}}$$

(Para A infinito)

(Para A finito)

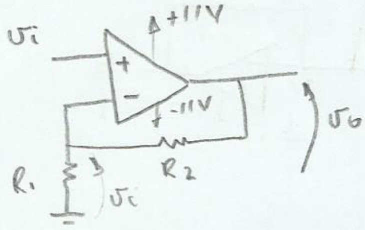
$$G_{real} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{A}\right)}$$

Projetar um amplificador com ganho de $5 \frac{V}{V}$ usando um único Amp Op

Para $V_o = 10V$ e a corrente que passa pelo divisor de tensão é de 1mA

Alimentação $\pm 11V$, tensão nominal de saída: $\pm 10V$

$$v_O = A(v^+ - v^-) \; ; \; A = \infty \; \therefore \; v^+ = v^-$$

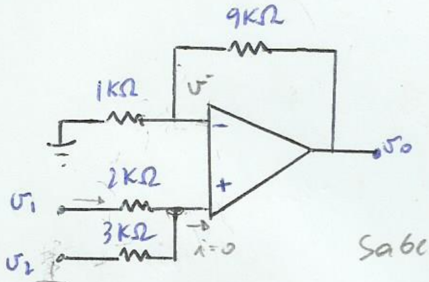


$$G = \frac{v_O}{v_i} \; ; \; v_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o$$

$$G = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \; ; \; v_o = G \cdot v_i$$

$$v_i = \frac{10}{5} = 2V \quad \therefore \quad R_1 = \frac{2}{1m} = 2K\Omega \quad e \quad R_2 = \frac{10-2}{1m} = 8K\Omega$$

Exercício 2.9) (Sedra) Calcular a tensão de saída do circuito

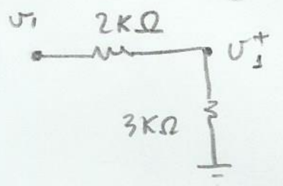


- Amplificador não inversor

$$v^- = \frac{1}{1+9} v_O \quad \therefore \quad v^- = \frac{v_O}{10}$$

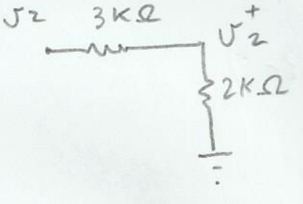
Sabendo que: $v^- = v^+$

Analisando através da superposição, temos:



$$\therefore \; v_1^+ = \frac{3}{5} \times v_1$$

$$\therefore \; v^+ = v_1^+ + v_2^+$$



$$\therefore \; v_2^+ = \frac{2}{5} \times v_2$$

$$v^+ = \frac{3}{5} v_1 + \frac{2}{5} v_2$$

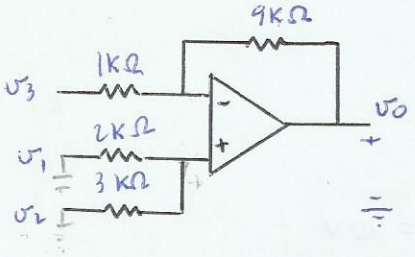
Como $v^- = v^+$

$$v_O = 10 v^-$$

$$= 10 \cdot \left(\frac{3}{5} v_1 + \frac{2}{5} v_2 \right)$$

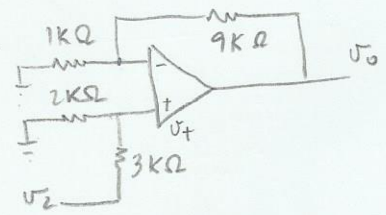
$$\boxed{v_O = 6 v_1 + 4 v_2}$$

Exercício 2.10) (Sedra)



Através da superposição, temos:

Analisando v_2



$v_1^+ = \frac{2}{5} v_2$ $\qquad G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{9}{1} \therefore G = 10$

$v_0 = G \cdot v_1^+ = 4 v_2$

Analisando v_1: $v_2^+ = \frac{3}{5} v_1$

$\frac{3}{5} v_1 = \frac{1}{1+9} \cdot v_0 \therefore v_0 = 6 v_1$

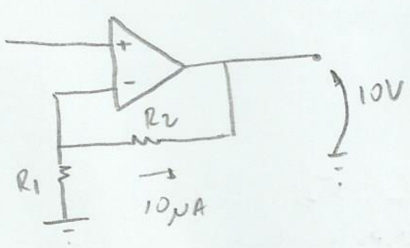
Analisando v_3: (Amplificador Inversor)

$G = -\frac{9}{1} = -9 \therefore v_0 = -9 v_3$

$$\boxed{v_0 = 6 v_1 + 4 v_2 - 9 v_3}$$

Exercício P2.11) (Sedra) Projete um amplificador não inversor com um ganho de 2 com uma tensão máxima de saída de 10V e a corrente no divisor de tensão deve ser de 10µA

$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{v_0}{v_i} \therefore v_1 = \frac{10}{2} = 5V$



Sabendo que $v_i = v^+ = v^-$

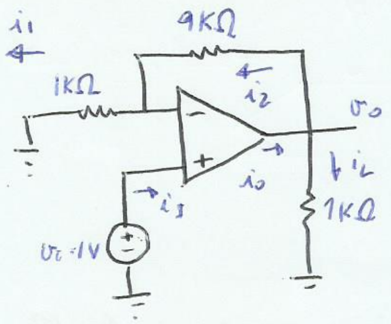
$v_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot 10 = 5$

$\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{1}{2} \rightarrow 2R_1 = R_1 + R_2$

$R_1 = R_2 = R$

$2R = \frac{10}{10\mu} \therefore \boxed{R = 0{,}5 M\Omega}$

Exercício 2.13) (Sedra)



$\boxed{i_I = 0}$

$v^+ = 1V \therefore v^- = 1V$

$v^- = \frac{1}{1+9} \cdot v_O \therefore \boxed{v_O = 10V}$

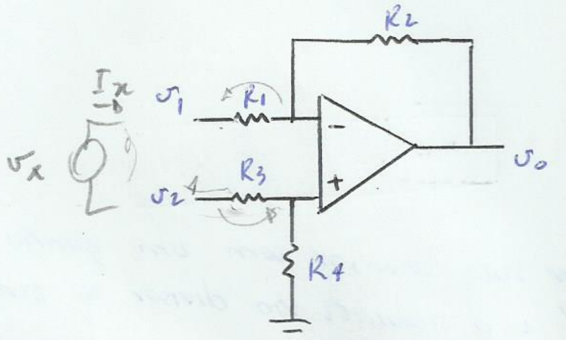
$i_1 = \frac{0-1}{1K} \therefore \boxed{i_1 = 1mA} \therefore \boxed{i_2 = 1mA}$

$i_L = \frac{10}{1K} = 10mA \therefore \boxed{i_L = 10mA}$

$i_O = i_L + i_2 = 10 + 1 \therefore \boxed{i_O = 11mA}$

$\frac{v_O}{v_I} = 10\ V/V \qquad \frac{i_L}{i_I} = \frac{10}{0} = \infty$

Amplificador de diferenças



Através da superposição temos:

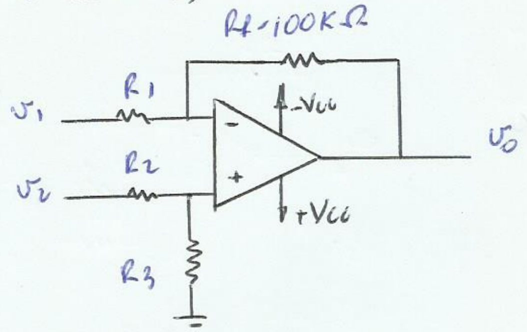
· Efeito de v_1 em v_O : $v_{O1} = \frac{-R_2}{R_1} v_1$

· Efeito de v_2 em v_O

$v^+ = \frac{R_4}{R_4+R_3} v_2 \therefore v_{O2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_4+R_3} \cdot v_2$

$\therefore v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_4+R_3} \cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$

Exercício 1) (caderno)



x Projetar um amplificador onde

$v_0 = 2v_2 - 3v_1$

Efeito de v_1 em v_0:

$G = -\frac{R_f}{R_1} = -3 \quad \therefore \quad R_1 = \frac{100K\Omega}{3} \quad \therefore \quad \boxed{R_1 = 33,3\,K\Omega}$

Efeito de v_2 em v_0:

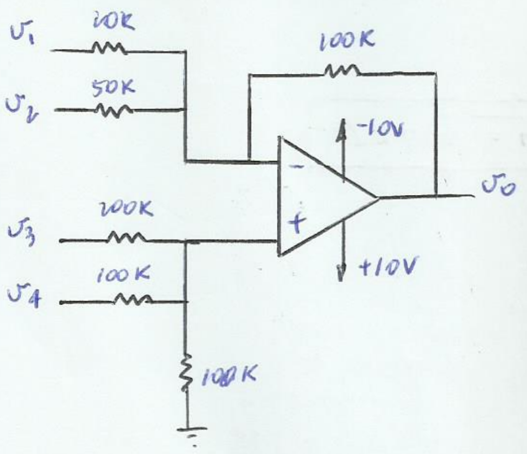
$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_f} \cdot v_0 \quad \therefore \quad v_0 = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \cdot v^+$

$v^+ = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot v_2 \quad \therefore \quad v_0 = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot v_2$

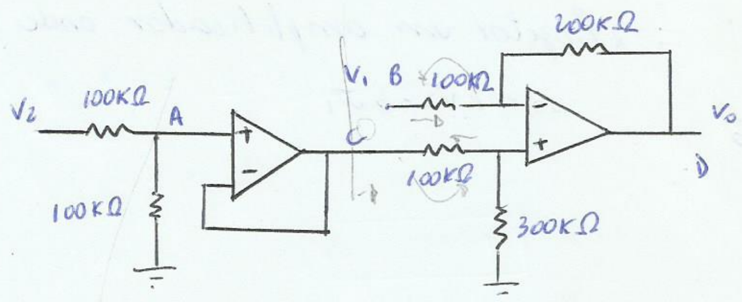
$v_0 = \frac{33,33K + 100K}{33,3K} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot v_2 = 2$

$\frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1}{2} \quad 2R_3 = R_2 + R_3 \quad \therefore \quad \boxed{R_3 = R_2}$

Exercício 2) (Desafio caderno)



Exercício 1) (Lista do Base)



a) Determinar Vo em função de V_1 e V_2

$V_A = \frac{100}{100+100} \cdot V_2 \therefore V_A = \frac{V_2}{2} \therefore V_C = V_A = \frac{V_2}{2}$

Efeito de Vc em Vo

$V^+ = \frac{300}{300+100} \cdot V_C \therefore V^+ = \frac{300}{400} \cdot \frac{V_2}{2} \therefore V^+ = \frac{3}{8} V_2$

$\frac{3}{8} V_2 = \frac{100}{100+200} \cdot V_o \therefore \frac{3}{8} V_2 = \frac{1}{3} V_o \therefore V_o = \frac{9}{8} V_2$

Efeito de V_1 em Vo

$G = \frac{-200}{100} = -2 \therefore V_o = -2V_1$

$\therefore \boxed{V_o = 1{,}125\, V_2 - 2V_1}$

b) R_{in_1} (entre A e terra) $\therefore \boxed{R_{in} = 100\,K\Omega}$

c) R_{in_2} (entre B e C)

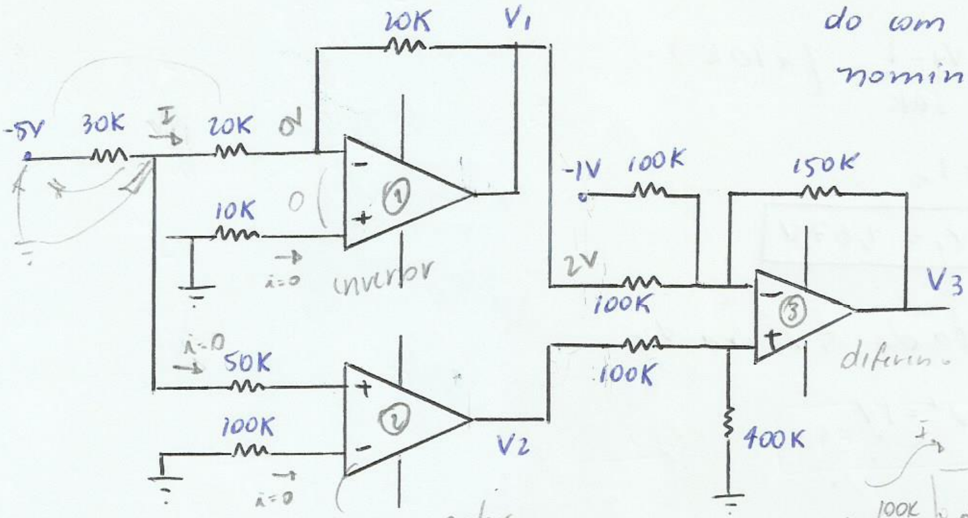
$R_{in} = \frac{V_x}{I_x}$, $V_x = 200K \cdot I_x$ $\boxed{R_{in} = 200\,K\Omega}$

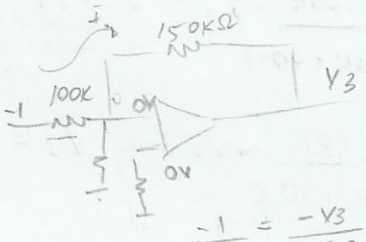
d) $R_{out} = 0\Omega$

Exercício 3) (Lista Base)

- Todos os amp ops é alimentado com ±12V e a tensão nominal de saída é 2V menor que a alimentação

+ Determinar V_1, V_2 e V_3





$$\frac{-1}{100} = \frac{-V_3}{150}$$

$V_2 = A(v^+ - v^-)$ ∴ $V_2 = Av^+$

$I = \frac{-5-0}{30+20K}$ ∴ $I = -0{,}1mA$

$V_{in_1} = -5 - 30K.(-0{,}1m)$ ∴ $V_{in} = -2V$

$G = \frac{-20}{20} = -1\ \frac{V}{V}$ ∴ $V_1 = G.V_{in_1}$ ∴ $V_1 = -2.(-1)$ ∴ $\boxed{V_1 = 2V}$

— // —

$v_2 = A(v^+ - v^-)$; $v^- = 0$ e $v^+ = -2V$

$v_2 = A(-2-0)$ ∴ $\boxed{v_2 = -10V}$

— // —

Efeito de $V_2 = -10V$ em V_3

$v^+ = \frac{400}{400+100}.(-10)$ ∴ $v^+ = -8V$

$-8 = \frac{50}{50+150}.V_3$ ∴ $V_3' = -32V$

Efeito de $-1V$ e $2V$ em V_3

$i_f = \frac{V_3}{R_f}$; $i_e = \frac{-1}{100K} + \frac{2}{100K}$

∴ $V_3 = \left(\frac{-1}{100K} + \frac{2}{100K}\right) \times 150K$ ∴ $V_3'' = 1{,}5V$ ∴ $V_3 = -32 + 1{,}5 = -30{,}5$

∴ $\boxed{V_3 = -10V}$

Exercício 5) (Lista do Base)

$$\frac{4-V_1}{10K} = \frac{V_1}{10K} + \frac{V_1-1}{10K} \quad (\times 10K)$$

$$4 - V_1 = V_1 + V_1 - 1$$

$$3V_1 = 5 \quad \therefore \boxed{V_1 = 1{,}67V}$$

Analisando o efeito de 5V em V_2

$$V^+ = \frac{100K}{100K+400K} \times 5 \quad \therefore V^+ = 1V$$

$$1 = \frac{10K}{10K+30K} \times V_2 \quad \therefore V_2' = 4V$$

Analisando o efeito de V_1 em V_2

$$V_2 = G.V_1 \; ; \quad G = -\frac{30}{10} \quad \therefore G = -3 \; V/V$$

$$\therefore V_2 = 1{,}67 \times (-3) \quad \therefore V_2'' = -5$$

$$\therefore V_2 = V' + V'' \quad \therefore \boxed{V_2 = -1V} \; e \; \boxed{V_4 = -1V}$$

$$\therefore i_4 = \frac{-1}{10} \quad \therefore \boxed{i_4 = -0{,}1A}$$

$$V_B = V_4 - V_{BE} = -1 - 0{,}7 = -1{,}7$$

$$i_C = \beta . I_B \quad \therefore I_B = \frac{I_e}{1+\beta} = \frac{0{,}1m}{1+100} \quad \therefore I_B = 1mA \quad \therefore \boxed{I_3 = -1mA}$$

$$I_e = I_B + I_C$$

$$I_e = I_B + \beta I_B$$

$$I_e = (1+\beta) I_B$$

$$i_3 = \frac{V_3 - (-1{,}7)}{100} \; ; \; I_3 = -1mA \quad \boxed{V_3 = -1{,}8 V}$$

Exercício 6)(Lista Base)

$V_2^+ = \frac{100}{100+400} \times 4 \therefore V_2^+ = 0,8\,V \quad \therefore \boxed{V_2 = 0,8\,V}$

$V_1 = V_1^- \quad \boxed{V_1 = 2V}$

$V_3 - V_4 = I_1\,(5K + 10K + 1K) \quad ; \quad I_1 = \frac{V_1 - V_2}{10K} = \frac{2 - 0,8}{10K} \therefore I_1 = 0,12\,mA$

$V_3 - V_4 = 0,12m\,(5K + 10K + 1K)$

$\therefore V_3 - V_4 = 1,92\,V$

$\frac{V_2 - V_4}{1K} = I_1 \therefore V_4 = -1K \cdot 0,12m + 0,8 \therefore \boxed{V_4 = 0,68\,V}$

$\frac{V_3 - V_1}{5K} = I_1 \therefore V_3 = 0,12m \times 5K + 2 \therefore \boxed{V_3 = 2,6\,V}$

Efeito de V4 em V5

$V^+ = \frac{15}{15+10} \times 0,68 \therefore V^+ = 0,408\,V$

$0,408 = \frac{5}{5+15} \cdot V_5' \qquad V_5' = 1,632\,V$

Efeito de V_3 e $2V$ em V_5

$R_f = \frac{0 - V_3''}{I_f} \qquad I_f = \frac{2}{10K} + \frac{2,6}{10K}$

$V_3'' = -15K\left(\frac{2}{10K} + \frac{2,6}{10K}\right) \therefore V_3'' = -6,9\,V$

$\therefore V_3 = V_5' + V_5'' \therefore \boxed{V_3 = -5,27\,V}$

Exercício 7) (Lista Base)

$$\frac{10 - V^+}{30K} = \frac{V^+ - 0}{10K}$$

$$(10 - V^+)\,10K = 30K \cdot V^+$$

$$10 \cdot 10K - 10K \cdot V^+ = 30K\,V^+$$

$$40K \cdot V^+ = 100K \quad \therefore \quad V^+ = 2{,}5$$

$$V_2 = A(v^+ - v^-)$$

$$V_2 = A(2{,}5 - 3)$$

$$\therefore \boxed{V_2 = -10V}$$

$$V_1 = G \cdot V^+ \quad ; \quad G = \frac{-20}{10} = -2\,\frac{V}{V}$$

$$\boxed{V_1 = -5V}$$

Efeito de V_2 em V_3

$$V^+ = \frac{100}{400+100} \times (-10) = -2V$$

$$-2 = \frac{50}{50+200} \times V_3' \quad \therefore \quad V_3' = -10V$$

Efeito de -1 e V_1 em V_3

$$I_f = \frac{0 - V_3}{R_f} \quad ; \quad I_f = \frac{-1-0}{100K} - \frac{5 \cdot 0}{100K}$$

$$\therefore V_3'' = -\left(-1 - 5\right) \cdot \frac{200K}{100K} \quad \therefore \quad V_3'' = 12V$$

$$\therefore V_3 = V_3' + V_3'' \quad \therefore \boxed{V_3 = 2V}$$

Exercício 8) (Lista Base)

$V_i(t) = V_i \, sen(wt)$

a)

Influência de 12V em Vo

$V^+ = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot 12$

$V^+ = \frac{50}{50+200} V_o' \quad \therefore \quad V_o' = 5V^+ \quad \therefore \quad V_o' = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times 60$

Influência de Vi em Vo

$V^+ = 0\,V \qquad G = \frac{-200}{50} = -4 \frac{V}{V}$

$\therefore V_o'' = -4 V_i$

$V_o = V_o' + V_o'' = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times 60 - 4V_i$

nível médio

$\frac{R_2}{R_1+R_2} \times 60 = 5$

$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{5}{60} \qquad 60R_2 = 5R_1 + 5R_2$

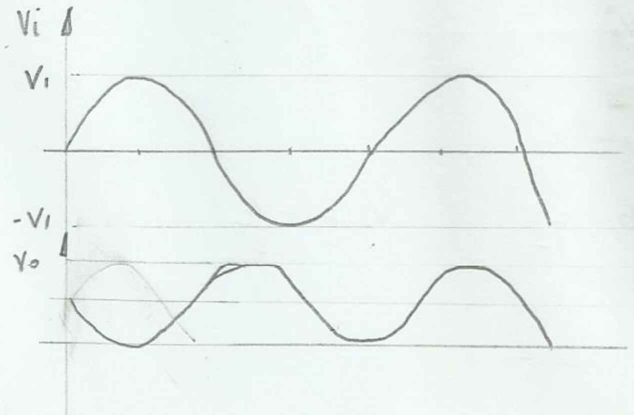
$\frac{55R_2 = 5R_1}{5} \qquad \therefore \boxed{R_1 = 11 R_2}$

b) $\boxed{V_o = 5V}$ $\quad L^- \leq V_o \leq L^+ \quad \frac{L^-}{6} \leq V_i \leq \frac{L^+}{6}$

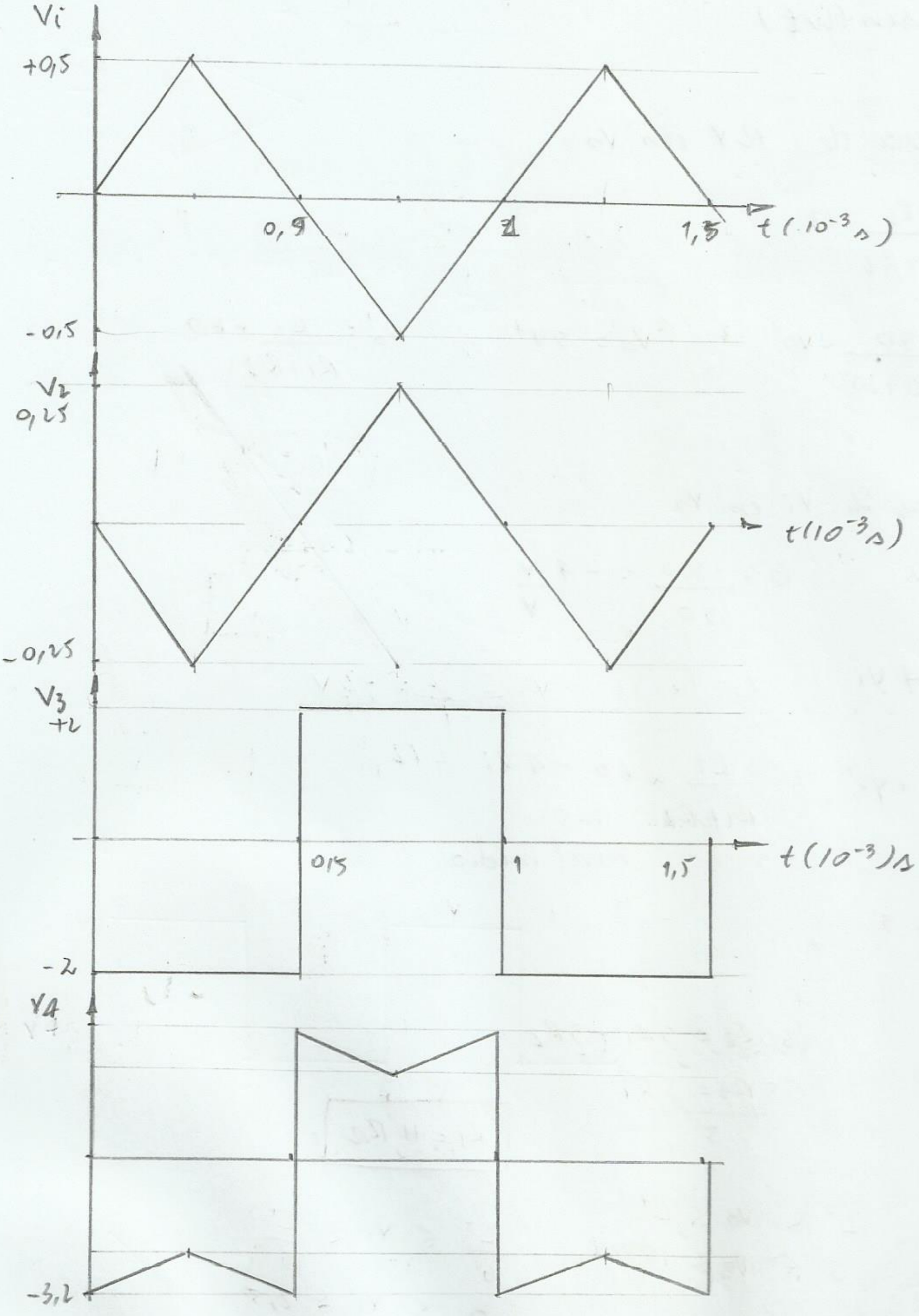
$0 \leq V_o \leq 10V \qquad 0 \leq V_i \leq 2,5$

$\boxed{V_i = 1,25\,V}$

c)



Exercício 14) (Lista do Base)



$V_3' = A(v^+ - v^-)$; $v^+ = 0$

$V_3' = -A v^-$

$V_3 = \dfrac{0,2 . 1K}{0,2 . 1K + 0,8K} . v_3'$ ∴ $V_3 = 0,2 V_3'$

Para $V_1 > 0$ $\quad v_3 = -10 \times 0,2 = -2V$

$V_1 < 0$ $\quad v_3 = 10 \times 0,2 = 2V$

— // —

$V_2 = G . V_1$; $G = \dfrac{-500}{1K}$ ∴ $G = \dfrac{-1}{2}$ ∴ $V_2 = \dfrac{-V_1}{2}$

— // —

Influência de v_3 em v_0

$v^+ = \frac{10}{30} \times v_3'$; $\frac{v_3^*}{3} = \frac{10}{30} v_0'$ ∴ $v_3^* = v_0'$

Influência de v_2 em v_0

$v_0' = G \times v_2$; $G = -\frac{20}{10}$ ∴ $v_0 = v_3 - 2v_2$

∴ $v_0'' = -2v_2$

— // —

$I = \frac{V_2 - V_3}{50K}$; $v_3 = V_3 - 10K \cdot I$

$v_2 = V_2 + 10K\, I$

$v_3 = V_3 - \frac{(V_2 - V_3)}{5} = \frac{5V_3 - V_2 + V_3}{5}$ ∴ $v_3 = \frac{6V_3 - V_2}{5}$

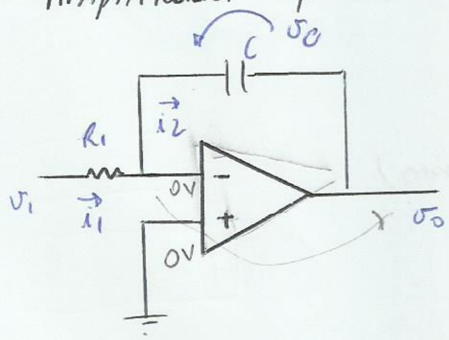
$v_2 = V_2 + \frac{(V_2 - V_3)}{5} = \frac{5V_2 + V_2 - V_3}{5}$ ∴ $v_2 = \frac{6V_2 - V_3}{5}$

$v_0 = \frac{6V_3 - V_2}{5} - 2 \times \frac{(6V_2 - V_3)}{5}$

$v_0 = \frac{6V_3 - V_2 - 12V_2 + 2V_3}{5}$

$v_0 = \frac{8V_3 - 13V_2}{5}$

Amplificador operacional Inversor



- Realimentação negativa
- Curto circuito virtual
- $A \to \infty$

$i_1 = i_2$ ∴ $v_0 = -v_C$

+ Regime senoidal permanente

$\dot{V}_0 = G \cdot V_I$; $G = \frac{-X_C}{R_1}$; $X_C = \frac{1}{jwC}$

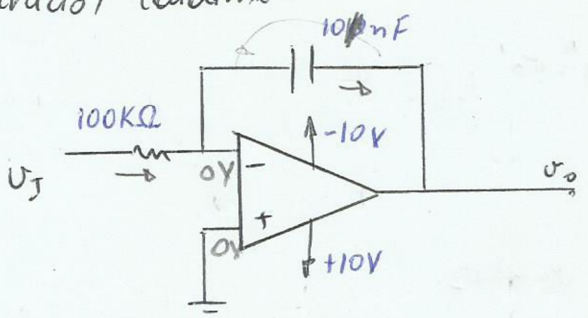
$= -\frac{\frac{1}{jwC}}{R_1} \cdot \dot{V}_1 = -\frac{1}{jwC \cdot R_1} \cdot \dot{V}_1$ $\quad \dot{V}_0 = \left| \frac{1}{jwCR_1} \right| \cdot |V_1| \angle -90$

Como $i_1 = i_2$

$\frac{v_1(t) - 0}{R_1} = \frac{C\, dv_C(t)}{dt}$ $\quad \int_{V_C}^{v_C(t)} dv_C(t) = \int_0^t \frac{1}{R_1 C} v_I(t)\, dt$

∴ $\boxed{v_0(t) = -v_C(t) = -V_C - \frac{1}{R_1 C} \int_0^t v_I(t)\, dt}$

Exercício) (caderno)



× Desenhe v_o sincronizado com v_I

Obs.: Em $t_0^+ \Rightarrow V_C = 0$

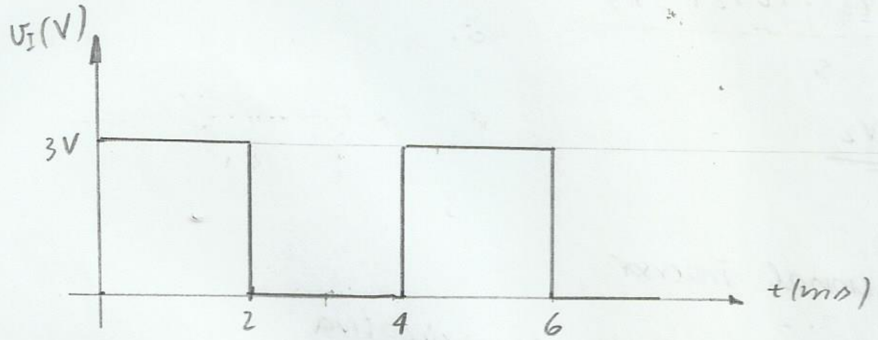
$$\frac{v_I - 0}{R_1} = \frac{C\,dv(t)}{dt} \qquad \int_{v_C(0)}^{V_C(t)} dv(t) = \int_0^t \frac{v_I}{R_1 C}\,dt$$

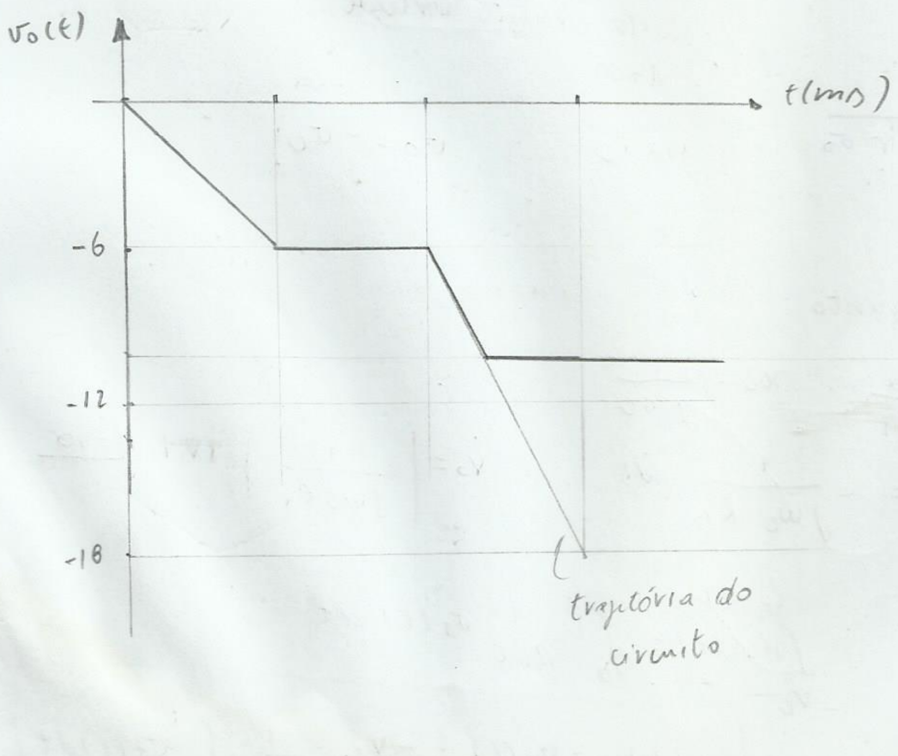
$$v \Big|_{v_C(0)}^{v_C(t)} = \frac{v_I}{R_1 C} \Big|_0^T$$

$$v_C(t) - v_C(0) = \frac{v_I}{R_1 C} \cdot t \quad \therefore \quad v_C(t) = \cancel{v_C(0)}^{\,0} + \frac{v_I}{R_1 C} \cdot t$$

Como $v_O = -v_C \quad \therefore \quad v_o = -\frac{v_I}{R_1 C} \cdot t \; ; \; R_1 C = 0{,}001$

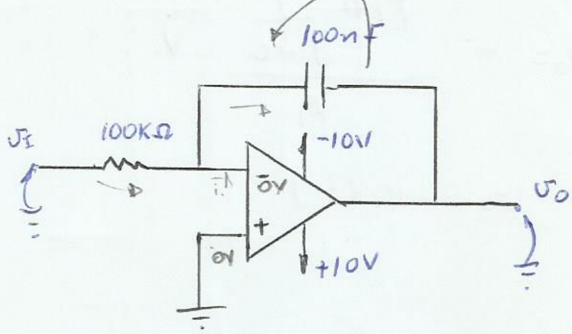
$v_O = -1000 v_I . t$

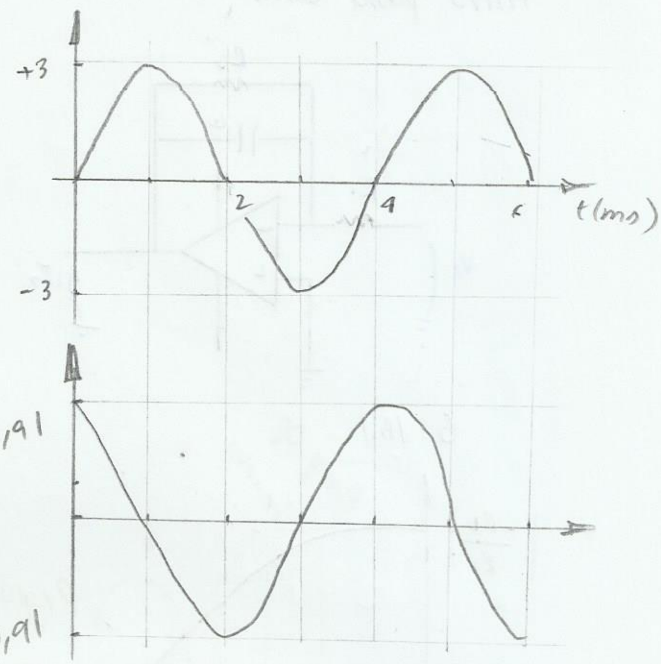




Exercício) (caderno)

$v_C = -v_O$





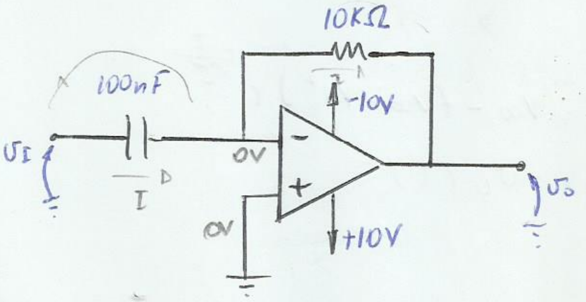
$T = 4ms$; $f = 250Hz$; $v_I = 3 sen(2\pi 250 t)$

$v_O = G \cdot v_I$

$= -\frac{X_C}{R} \cdot v_I$; $X_C = \frac{1}{j\omega C}$

$\dot{v}_O = \left| -\frac{1}{j\omega C \cdot R} \right| |\dot{v}_I| \angle +90$

$= \frac{1}{2\pi \cdot 250 \cdot 100K \cdot 10n} \angle 90 \times 3$ ∴ $v_O = 1{,}91 \angle 90$ (V)

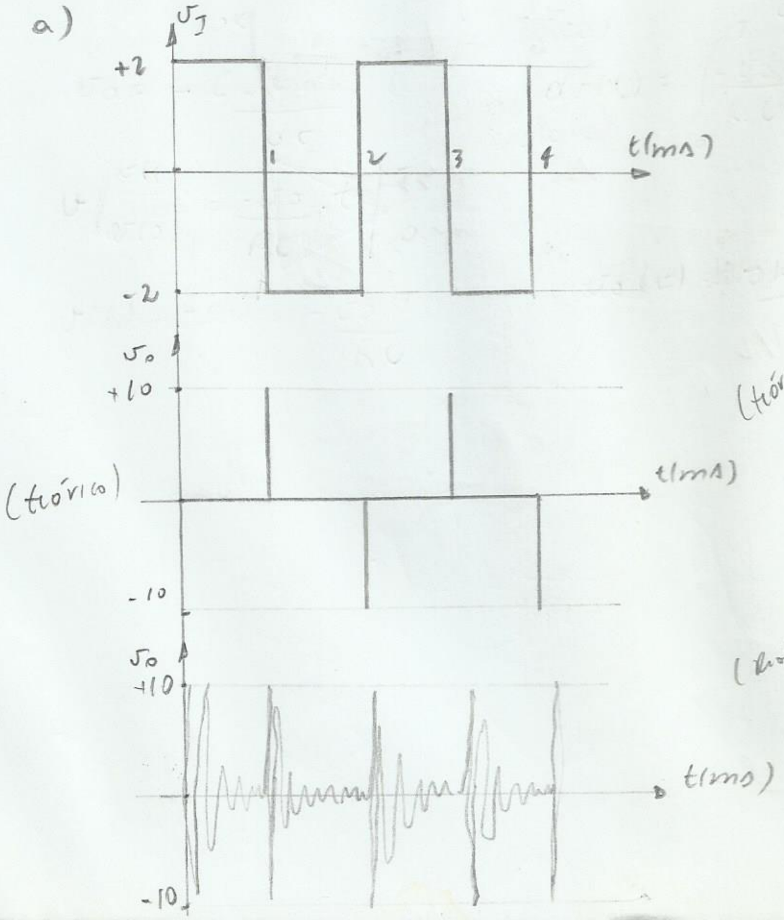


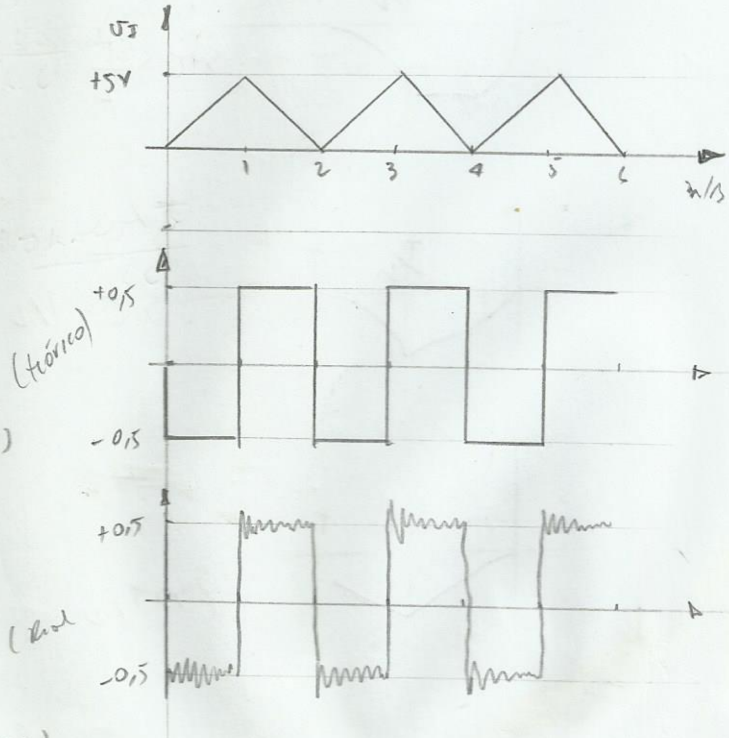
$i = C\frac{dv(t)}{dt} = \frac{0 - v_O}{R}$

∴ $v_O = -R.C\frac{dv(t)}{dt}$; $RC = 10^{-3}$

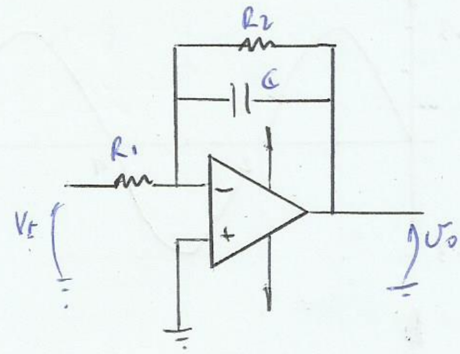
$v_O = -10^{-3}\frac{dv_I(t)}{dt}$ $V_C = V_{00} - (V_{00} - V_0^+)c$

a)



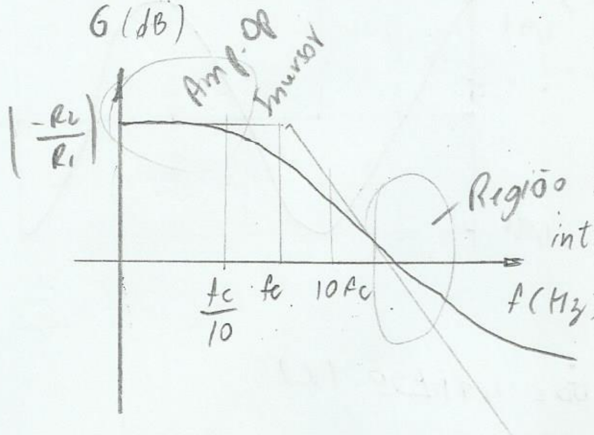


Filtro passa baixa



$$\dot{V}_o = - \frac{R_2 \parallel \frac{1}{jwC}}{R_1} \cdot \dot{V}_i$$

$$v_o = -v_C(t)$$



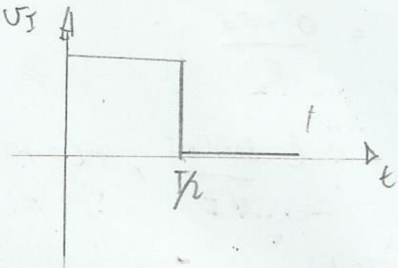
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 \cdot C}$$

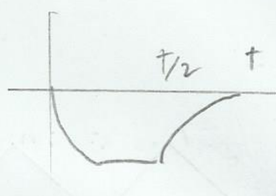
$$R_2 \gg \frac{1}{wC} \quad \boxed{R_2 \geq 10 \frac{1}{wC}}$$

tensão no capacitor após 5τ, $\tau = RC$

$$v_C(t) = V_\infty - (V_\infty - V_0^+)\, e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$v_o = -v_C(t)$$



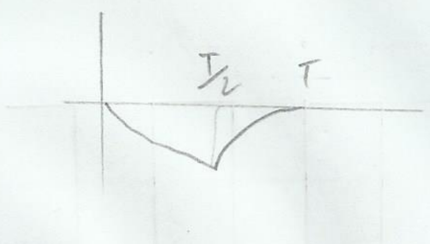


$5\tau < \frac{T}{2}$

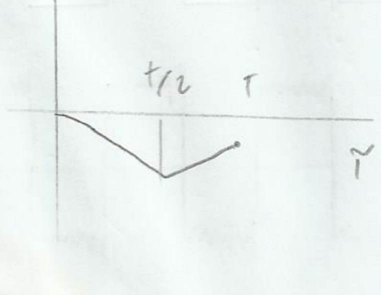
$$e^{\frac{-T}{\tau}} = \left(1 - \frac{T}{\tau}\right)$$

se $\tau \gg T$

$\tau \gg \frac{T}{2}$

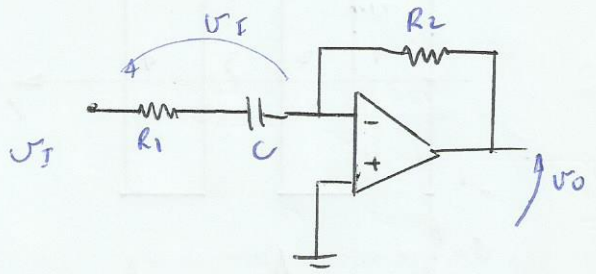


$5\tau = T/2$

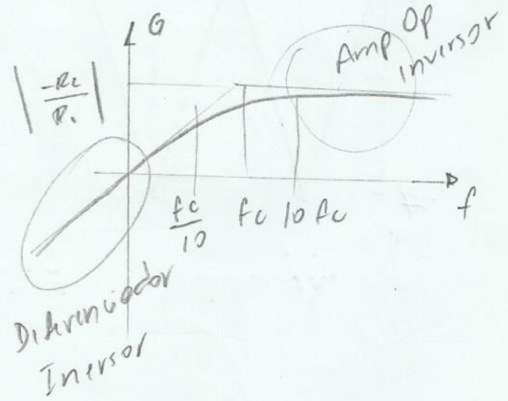


$\tau \gg T/2$

Filtro passa alta ativo



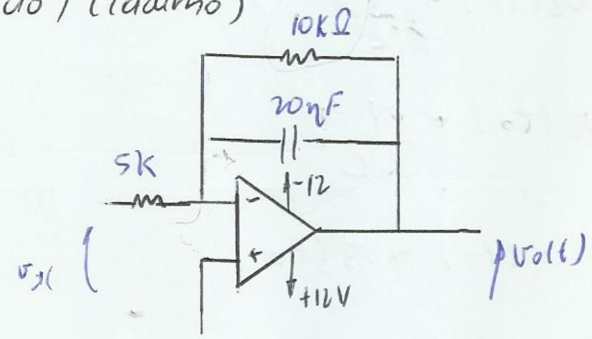
$$\dot{V}_0 = \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \dot{V}_0$$



$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

$$\frac{1}{\omega C} \geq 10 R_1$$

Exercício) (caderno)



$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi . f . C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi . 500 . 20.10^{-9}} = 15,9\ K\Omega$$

$R_1 = X_C$ $\quad R_1 = \frac{1}{2\pi . f . C}$ $\quad \therefore f_c = \frac{1}{2\pi . R_1 . C} = \frac{1}{2\pi . 10K . 20\eta} \quad \therefore f_c = 795,8\ Hz$

$R_1 = \frac{1}{\omega C}$

Como $f = 500$ e $f_c = 795,8\ Hz$ Não se conhece o modo de trabalho.

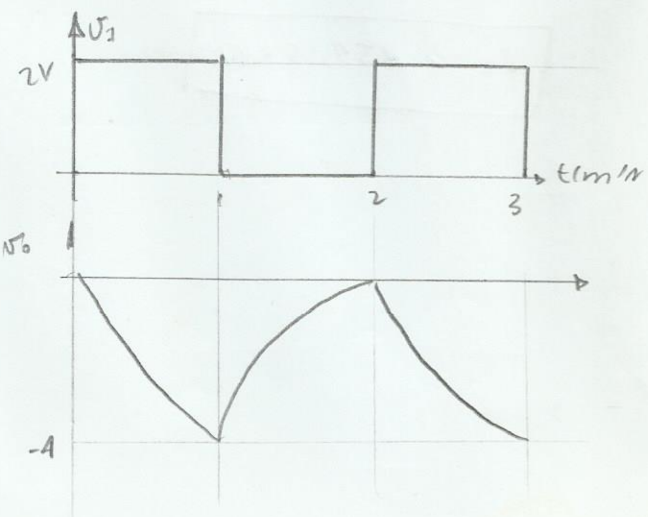
$\tau = R_2 . C = 10K . 20\eta \quad \therefore \tau = 0,2\ ms$

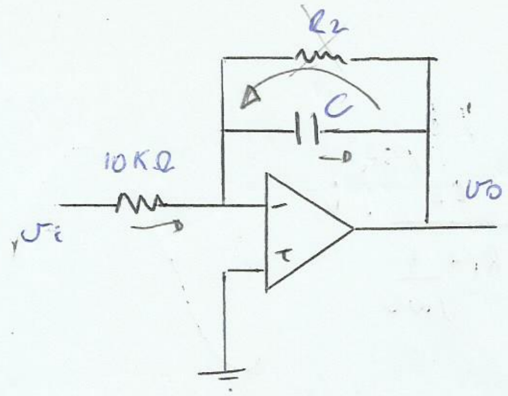
$5\tau = 1ms$

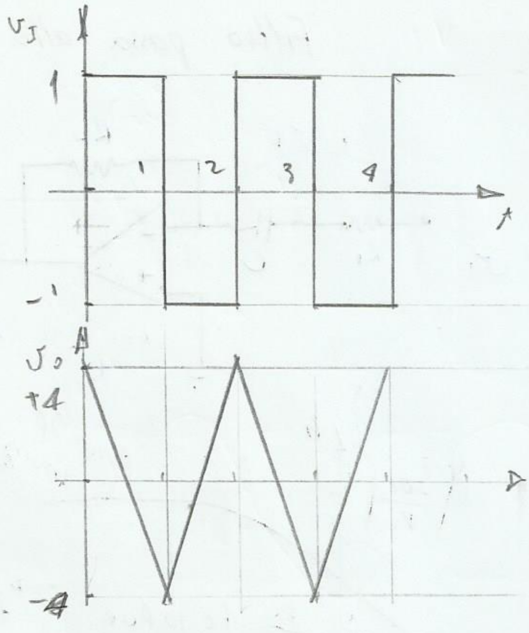
$$v_0(t) = -\frac{R_2}{R_1} . v_I = -2 . v_I$$

$\therefore V_{0(max)} = -4V$

$$v_0 = -v_C = -\left(v_\infty - (v_\infty - \cancel{v_0^+}^{\,0})\, e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$







$R_2 \geq 10 \cdot X_C$

$R_2 \geq 10 \cdot \frac{1}{2\pi f \cdot C}$

$v_O = -v_C(t)$

$\frac{v_i}{R_1} = \frac{C\,dv(t)}{dt}$ $\quad \int_{v_C(t_0)}^{v_C(t)} d\,v_C(t) = \int_0^T \frac{v_i}{R_1 C}\,dt$

$v_C(t) - v_C(t_0) = \frac{v_i}{R_1 C}\,T$ $\quad \therefore \quad v_C(t) = v_C(t_0) + \frac{v_i}{R_1 C}\,t$

$v_O(t) = -v_C(t)$ $\quad \therefore \quad v_O(t) = -v_C(t_0) - \frac{v_i}{R_1 C}\,t$

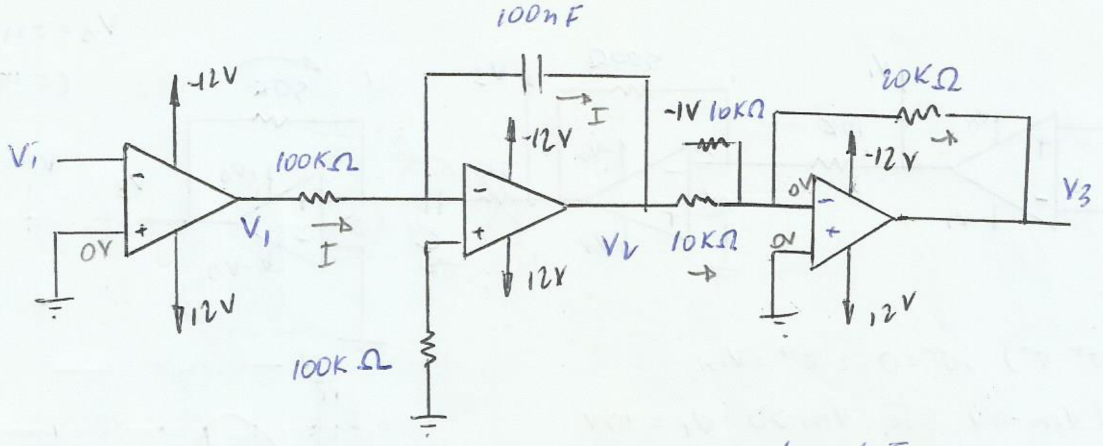
$v_O(t) + v_C(t_0) = \frac{-v_i}{R_1 C}\cdot t$ $\quad ; \quad v_C(t_0) = -v_O(t_0)$

$v_O(t) - v_O(t_0) = \frac{-v_i}{R_1 C}\,t$

$\Delta v_O = \frac{-v_i\,t}{R_1 C}$

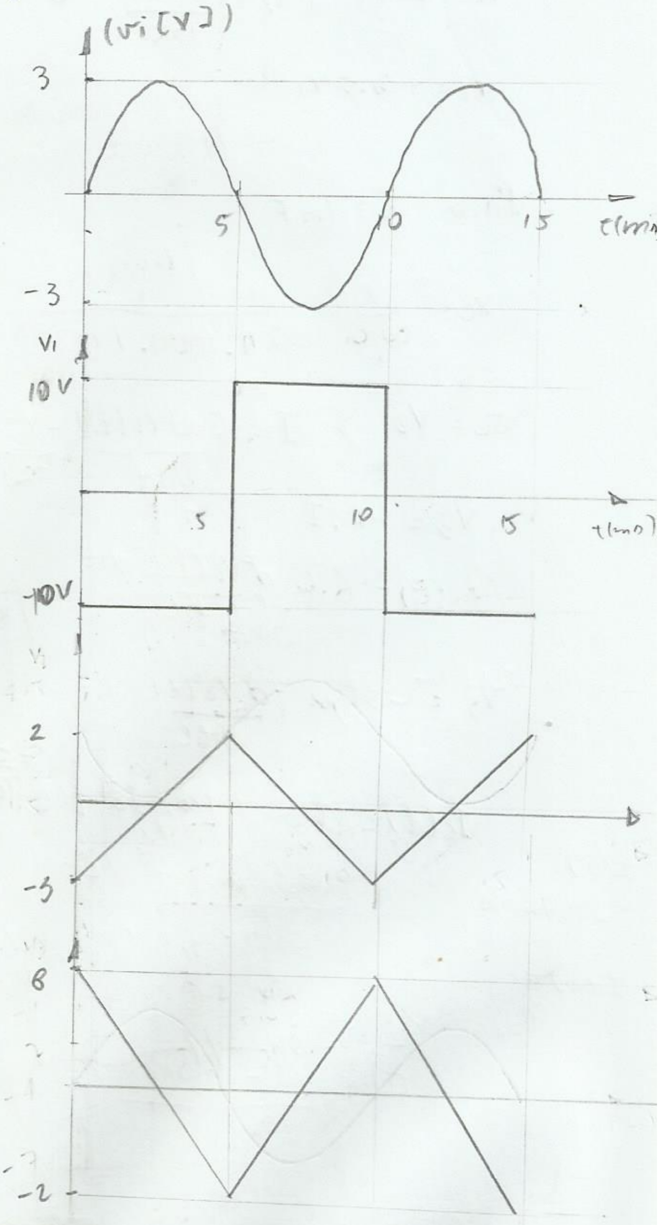
$-8 = \frac{-1 \cdot 1m}{10K \cdot C}$ $\quad \therefore \quad \boxed{C = 12{,}5\,\eta F}$

$R_2 \geq 10\,\frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot 12{,}5 \cdot 10^{-9}}$ $\quad \boxed{R_2 \geq 254{,}55\,K\Omega}$



- Tensão de saída nominal: 2V menor que a alimentação

$v_i = 3\sin(2\pi \cdot 100\, t)$ em $t = 0^+$; $V_c = 3V$



$V_1 = A(v^+ - v^-)$; $v^+ = 0$; $v^- = V_i$

$V_1 = -A V_i$; se $V_i > 0 \Rightarrow V_1 = -12V$

$V_i < 0 \Rightarrow V_1 = 12V$

$\frac{V_1}{R_1} = C\frac{dv_c(t)}{dt}$ $\int_{v_c(t_0)}^{v_c(t)} dv_c(t) = \int_{t_0}^{T} \frac{V_1}{R_1 C}\, dt$

$v_c(t) = v_c(t_0) + \frac{V_1}{R_1 C} \Big|_{t_0}^{t}$

$v_c(t) = 3 + 100 V_1 (t - t_0)$

$v_0 = -v_c(t)$

$v_0 = -3 - 100 V_1 (t - t_0)$

Para $0 < t < 5$: $v_0(0) = -3$ $v_0(5) = 2$

Para $5 < t < 10$:

$v_0 = 2 - 100 V_1 (t - t_0)$

$v_0(5) = -3$

— // —

$i_{Rf} = \frac{0 - V_3}{R_f}$; $i_f = \frac{-1}{10K} + \frac{V_2}{10K}$

$\therefore V_3 = -\left(\frac{-1}{10K} + \frac{V_2}{10K}\right) \cdot 20K$

$V_3 = 2 - 2V_2$

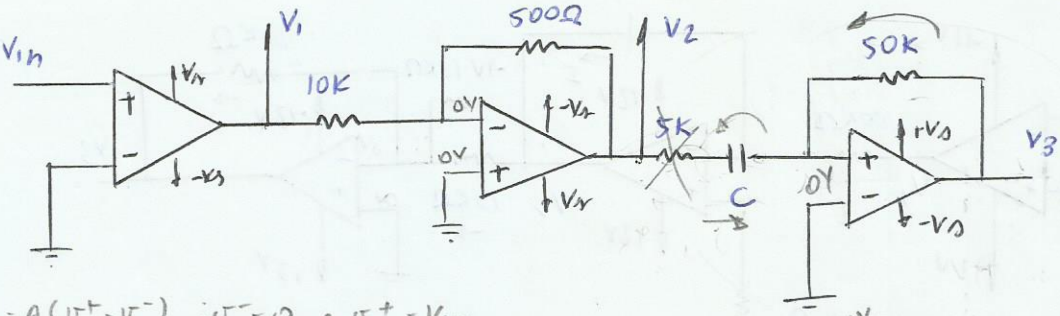
Para $V_2 = 2$ $V_3 = -2$

Para $V_2 = -3$ $V_3 = 8$

$V_A = \pm 11\ V$

$C = 1nF$ e $10nF$

$V_i = 3 \sin(2\pi 1000 t)$



$V_1 = A(v^+ - v^-)$; $v^- = 0$ e $v^+ = V_{in}$

$V_1 = A(V_{in} - 0)$ Se $V_{in} > 0$ $V_1 = 10V$

— // —

$V_2 = G \cdot V_1$; $G = -\frac{500}{10K}$ ∴ $G = -0{,}05$

$V_2 = -0{,}05\, V_1$

— // —

Para $C = 1nF$

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}$ ∴ $X_C = 159{,}15 K\Omega$

$v_C = V_2$; $I = C \frac{dV_2(t)}{dt}$

$V_3 = -R \cdot I$

$= -R \cdot C \frac{dV_2(t)}{dt}$

5τ

$\boxed{5 \cdot R \cdot C}$

$V_3 = -50\mu \frac{dV_2(t)}{dt}$

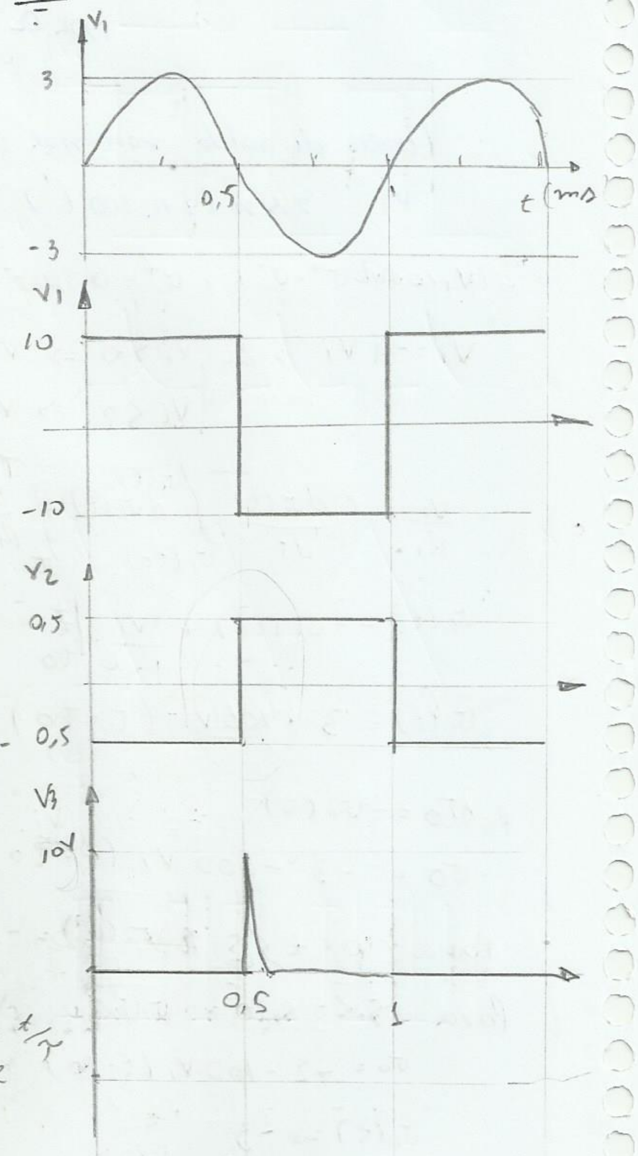
$I_C(t) = I_\infty - (I_\infty - I_0^+)\, e^{-\frac{t}{\tau}}$

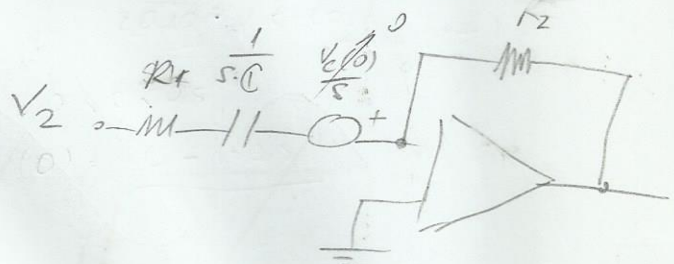
$-\frac{R_2}{R_1} \cdot \Delta V \cdot e^{-t/\tau}$

$I(0)$

$-0{,}1 mA$

$I(\infty) =$





$V_3(t) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot e^{-\frac{t}{R_1 \cdot C}}\, u(t - 0{,}5)$

$1\, u(t - 0{,}5)$

$\frac{1}{s} \cdot e^{-0{,}5 s}$

$V_3 = -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot V_2 \Rightarrow V_3(s) = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} \cdot V_2(s)$

$V_3(s) = -\frac{R_2 \cdot s \cdot C}{s \cdot R_1 \cdot C + 1} \cdot V_2(s) = -\frac{R_2 \cdot \cancel{s} \cdot C \cdot \frac{1}{\cancel{s}} \cdot e^{-0{,}5 s}}{s \cdot R_1 \cdot C + 1}$

$-\frac{R_2 \cdot \cancel{C} \cdot 1 \cdot e^{-0{,}5 s}}{R_1 \cdot \cancel{C} \cdot \left(s + \frac{1}{R_1 \cdot C}\right)}$

$-\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{s + 1/R_1 C} \cdot e^{-0{,}5 s}$

Exercício 16) (Lista Base)

$V_1 = -I_2 R$; $I_2 = C\frac{dV(t)}{dt}$

$V_1 = -R \cdot C \frac{dV_c(t)}{dt}$; $V_1 = -1K \cdot 100n \cdot \frac{dV_i(t)}{dt}$; $V_c(t) = V_i(t)$

$V_1 = -0{,}1m \frac{dV_i(t)}{dt}$

$V_1' = -0{,}1m \cdot \frac{(5-(-5))}{1{,}5m} = -0{,}67V$

$V_1'' = -0{,}1m \frac{(-5-5)}{1{,}5} = 0{,}67V$

— // —

Amp Op 1:

$v_{11} = A(v^+ - v^-)$; $v^+ = 0$

$v_{11} = -Av^-$; $v^- > 0$

— // —

Amp Op 3:

$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{1}{3m} \times 10 \cdot 10^{-9}}$ ∴ $X_C = 47{,}75K\Omega$

$\tau = RC = 0{,}2ms$

$5\tau = 1ms$

① $t > 5\tau$: $V2 = -\frac{R2}{R1} \times V_{12}$

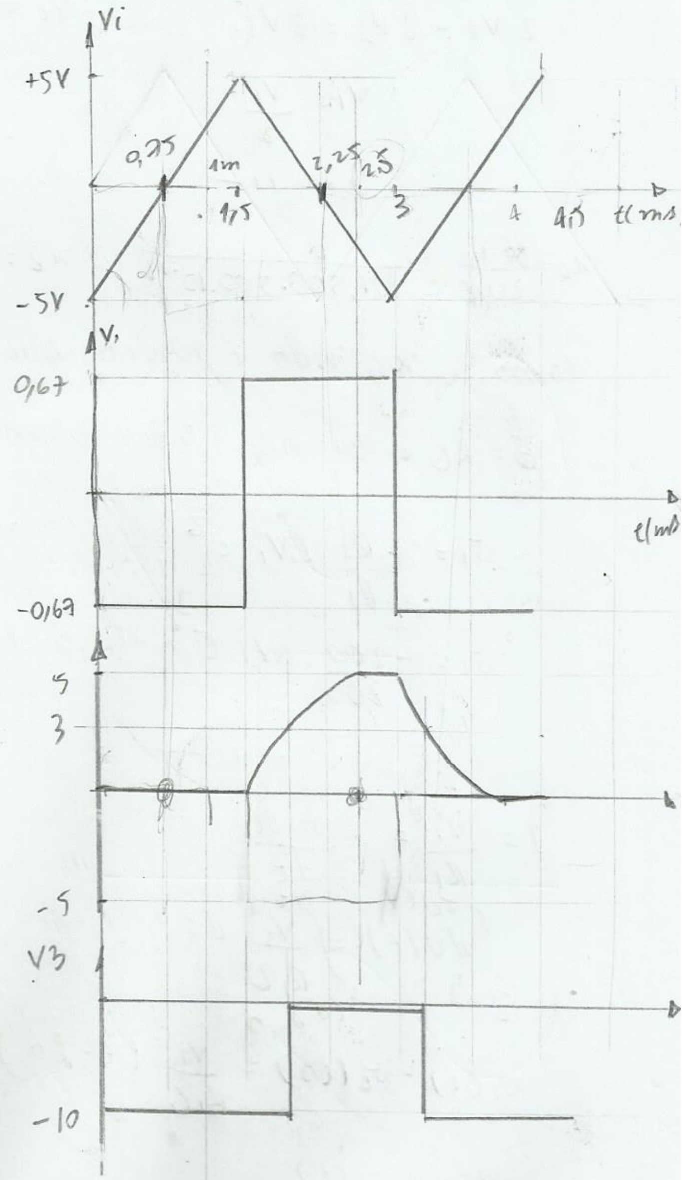
② $t < 5\tau$: $V_2 = -[V_\infty - (V_\infty - \cancel{V_0}^{\,0})e^{\frac{-t}{\tau}}]$

① $V_2 = -\frac{20}{40} \times (-10) = 5V$

② $V_2 = -(5-5) \cdot e = 0$

— // —

V_2	v_{21}	v_{22}	V_3
2	10	-10	-10
5	10	10	0
8	-10	10	-10



Exercício 9) (lista Base)

$$\frac{V_i - V_1}{100K} = \frac{V_1}{200K} + \frac{V_1}{200K} \quad (\times 200K)$$

$2(V_i - V_1) = V_1 + V_1$

$2V_i - 2V_1 = 2V_1$ $\therefore V_i = 2V_1$

$$V_1 = \frac{V_i}{2}$$

— // —

$$x_c = \frac{1}{\omega . C} = \frac{1}{2\pi . 500 . 500 . 10^{-12}} \therefore x_c = 636{,}62K\Omega$$

Como x_c não é 10 vezes que R

$\tau = RC = 0{,}1ms$ $5\tau = 0{,}5ms$

$$v_1 = \frac{-R_2}{R_1} \Delta V_1 e^{\frac{T}{\tau}}$$

$$v_1 = -\frac{200}{200} . \Delta V_1 . e^{\frac{T}{\tau}}$$

— // —

$$I = \frac{V_1}{R_1} = C\frac{dv(t)}{dt}$$

$$\int_{v_c(0)}^{v_c(t)} dv(t) = \int_{t_0}^{t} \frac{V_1}{R_1 C} dt$$

$$v_c(t) - v_c(t_0) = \frac{V_1}{R_1 C}(t - t_0)$$

$V3 = -v_c(t)$

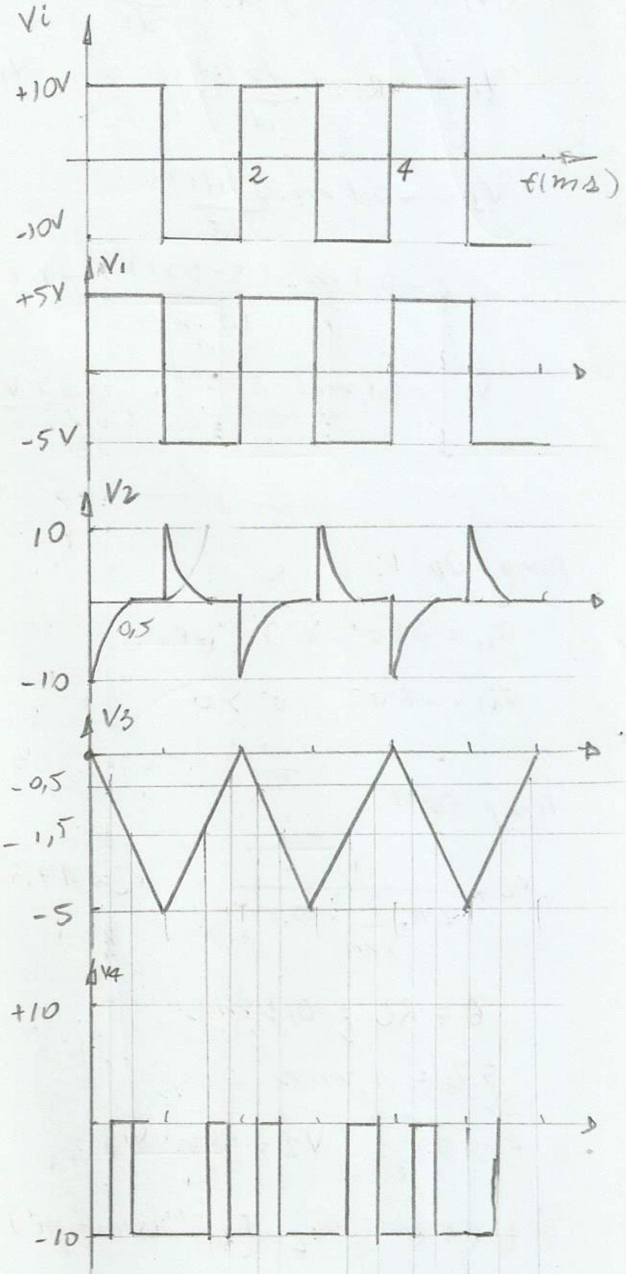
$$V3 = -\frac{V_1}{R_1 C}(t - t_0) = v_c(t_0)$$

1m

— // —

$V = A(v^+ - v^-)$

V3	v_{31}	v_{32}	V4
0	-10	10	-10
-0,5 -1	10	10	0
-1,5 -2	10	-10	-10



Exercício 11)

$$I = \frac{C\,dv}{dt} = \frac{C\,dVi(t)}{dt} \quad ; \quad V_1 = -R_2 . I$$

$$V_1 = -R_2 C \frac{dV_i(t)}{dt}$$

— 11 —

$$X_C = \frac{1}{2\pi . \frac{1}{2.10^{-3}} . 10.10^{-9}} \quad \therefore X_C = 31{,}83\ K\Omega$$

$\tau = RC = 0{,}1ms$ e $5\tau = 0{,}5ms$

Para $T > 5\tau$: $V_2' = \frac{-R_2}{R_1} \times V_i$ Para $V_1 > 0$

$T < 5\tau$: $V_C = V_\infty - (V_\infty - V_0^+)\, e^{\frac{T}{\tau}}$

$V_C = V_2' - (V_2' - 0)\, e$

$V_2' = -\frac{1}{2} \times V_1$, se $V_1 > 0$

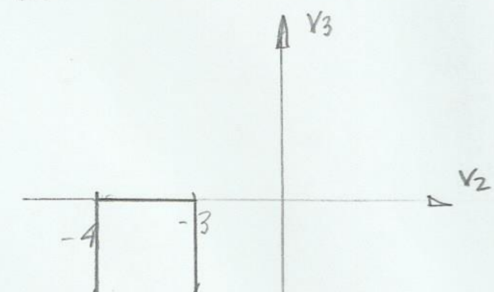
$$V_2 = -V_2' + (V_2' - V_0^+)\, e^{\frac{T}{\tau}}$$

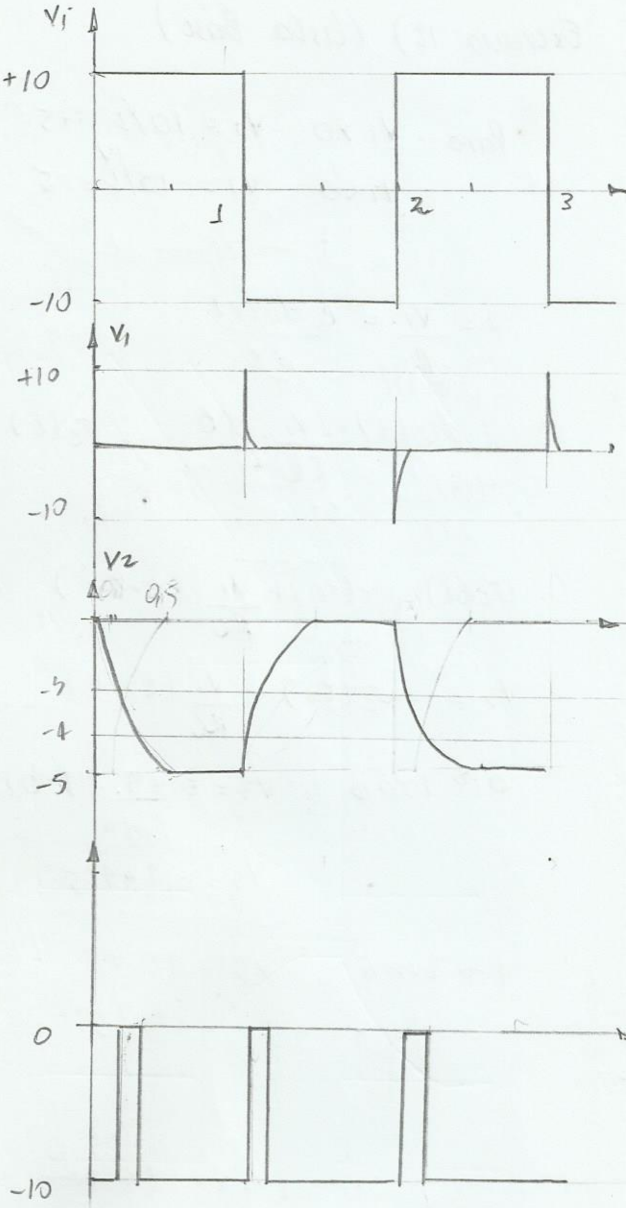
$$= \cancel{\frac{1}{2} V_1 - \frac{1}{2} V_1 - V_0^+ . e^{\frac{T}{\tau}}}$$

— 11 —

V_2	V_{Z1}	V_{Z2}	V_3
-2	-10	10	-10
-3,5	10	10	0
-5	10	-10	-10

b) $V_3 \times V_2$





-5

Exercício 12) (Lista Base)

Para $V_i > 0$ $V_1 = 10/2 = +5$

$V_i < 0$ $V_1 = -10/2 = -5$

— // —

$$i = \frac{V_1}{R_i} = \frac{C\,dv(t)}{dt}$$

$$\int_{v(t_0)}^{v_c(t)} dv(t) = \int_{t_0}^{T} \frac{V_1}{RC}\,dt \quad \therefore \; v_c(t) = v(t_0) + \frac{V}{RC}(T - t_0)$$

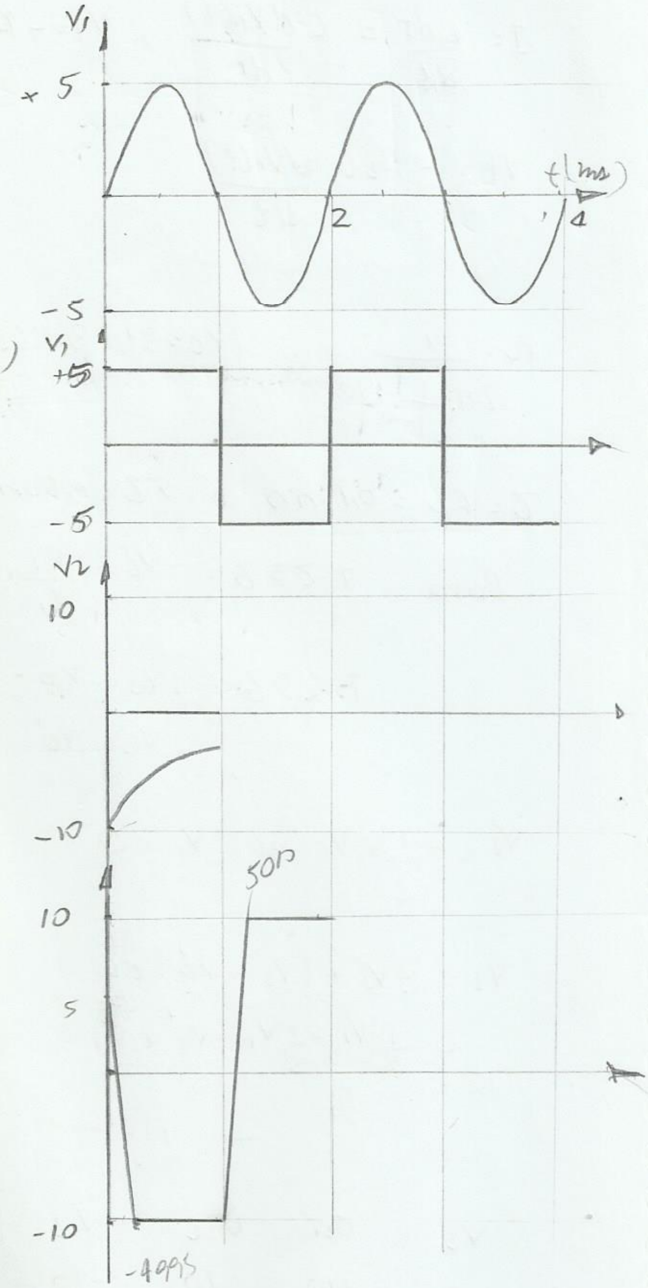
$$v_c(t) = v(t_0) + \frac{V_1}{RC}(t - t_0) \quad , \quad V_3 = -v_c(t)$$

$$V_3 = -v_c(t_0) - \frac{V_1}{RC}(t - t_0) \qquad t = 0 \rightarrow 5V$$

$0 \rightarrow 1ms$: $V_3 = 5 \frac{-5.}{1.10^{-6}} (1-0).10^{-3}$

$V_3 = -4995$

$1 \rightarrow 2ms$ $V_3 = 10 \frac{+5}{1.10^{-6}} (2-1).10^{-3}$



— // —

$$X_C = \frac{1}{2\pi.500.10.10^{-9}} = 31{,}83\,K\Omega$$

$\tau = RC = 2ms$ $5\tau = 0{,}01\,s$

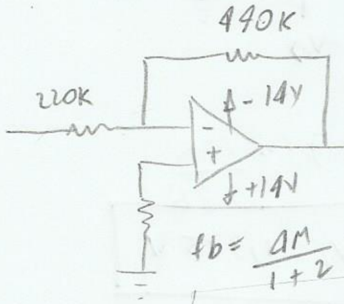
$$V_2 = \frac{-R_2}{R_1} . \Delta V_1 . e^{\frac{T}{\tau}}$$

Exercício / Prova (EL6420) Data: 15/04

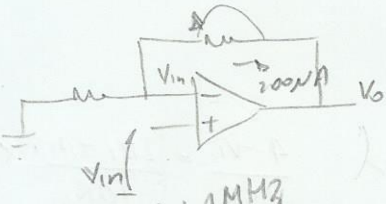
2 estágios: 1 estágio = $-2\frac{V}{V}$ Rin = 220 KΩ Rin Alta

2 estágio. $4\frac{V}{V}$ Saída 4V

$I_f = 200\mu A$



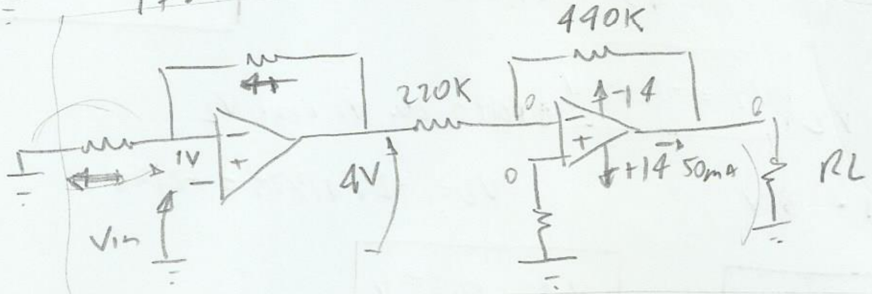
$fb = \frac{4M}{1+2} = 1{,}33MHz$



Fb 1MHz

$Vin = \frac{R_1}{R_1+R_2} \times Vo$

$\therefore G = \frac{Vo}{Vin} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



$Vo = G.V_1$

$\therefore Vin = \frac{4}{4} = 1\ V$

$\therefore R_1 = \frac{1}{200\mu} = 5K$

$R_2 = \frac{4-1}{200\mu}$ $\therefore R_2 = 15K\Omega$

$Ao = 120dB$

$Ao = 10^6 \frac{V}{V}$

$fc = 4Hz$

$ft = Ao . fc$

$= 10^6 . 4 = 4MHz$

$fb = \frac{f_t}{1+\frac{R_2}{R_1}}$

Ficha técnica

Alimentação: ±14V

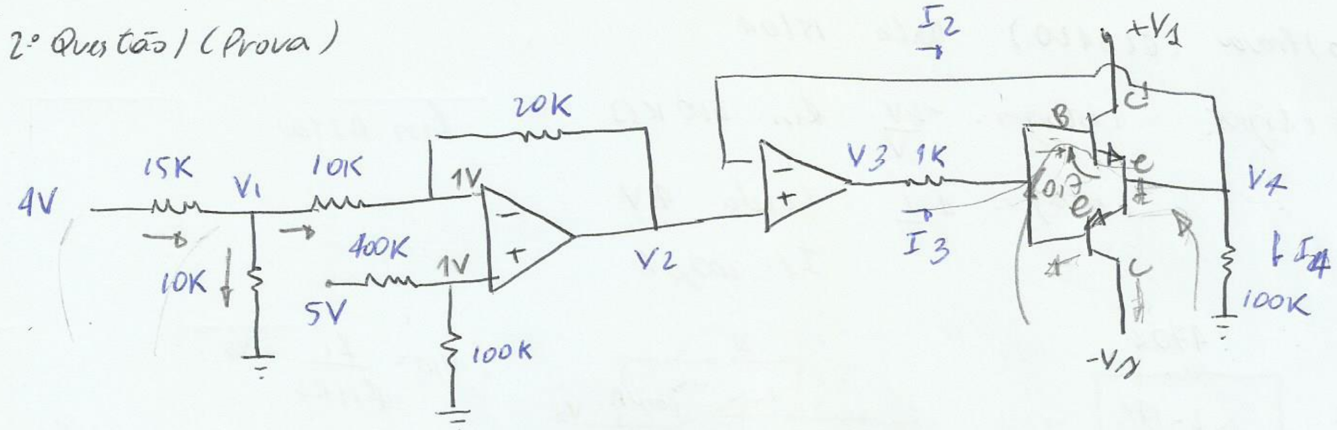
$G = -8\frac{V}{V}$

Rin = ∞

ft = frequência de ganho unitário

fb = freq. de corte

2° Questão / (Prova)



$$\frac{4 - V_1}{15K} = \frac{V_1 - 1}{10K} + \frac{V_1}{10K} \rightarrow \frac{4 - V_1}{15K} = \frac{2V_1 - 1}{10K} \times (150K)$$

$$40 - 10V_1 = 30V_1 - 15 \quad \therefore \boxed{V_1 = 1,375\ V}$$

Efeito de 1V em V2

$$V_2' = \left(1 + \frac{20}{10}\right) \cdot 1 = 3\ V$$

Efeito de V1 em V2

$$V_2 = -2 \times 1,375 = -2,75$$

$$\therefore \boxed{V_2 = +0,25\ V} \qquad \boxed{V4 = 0,25\ V}$$

$$I_4 = \frac{0,25}{100K} \quad \therefore \boxed{I4 = 2,5\mu\ A}$$

$$V_B = V_{Be} + V_4 = 0,7 + 0,25 \quad \therefore V_B = 0,95\ V$$

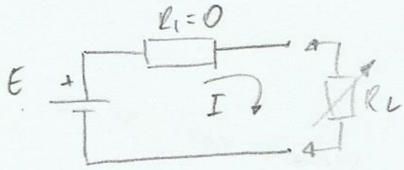
$$i_e = i_c + i_B \ ; \quad i_B = \frac{i_c}{\beta}$$

$$i_e = i_B \cdot \beta + i_B$$

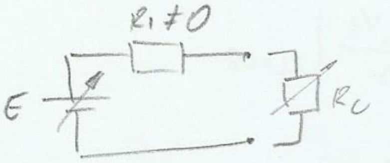
$$\therefore i_B = \frac{i_c}{\beta + 1} \quad i_3 = \frac{2,5\mu}{101} \quad \therefore i_3 = 24,75\ mA$$

Fontes reguladas de tensão

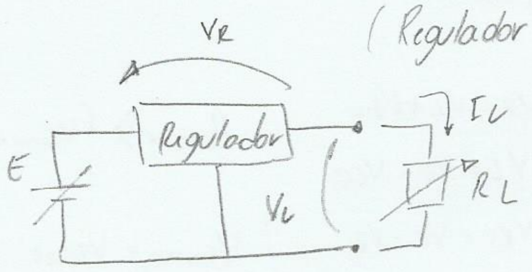
Fonte de tensão ideal



Fonte de tensão real



(Regulador de Tensão)



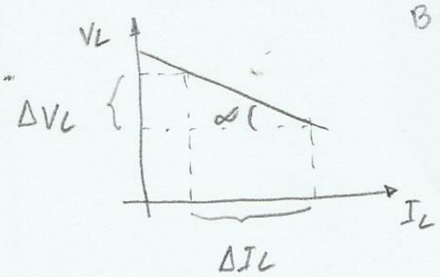
tipos de regulador:

- Regulador de carga
- " de linha
- " de temperatura

+ Fatores de regulação

$$\Delta V_L = \frac{\partial V_L}{\partial I_L} \cdot \Delta I_L + \frac{\partial V_L}{\partial V_E} \cdot \Delta V_E + \frac{\partial V_L}{\partial T} \cdot \Delta T$$

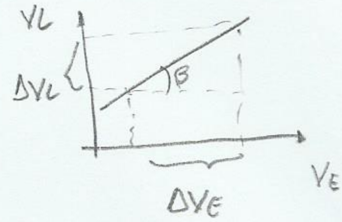
Regulação de carga (B)



$$B = \left| \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} \right|_{V_E = cte,\ T = cte} = |\,tg\,\alpha\,|$$

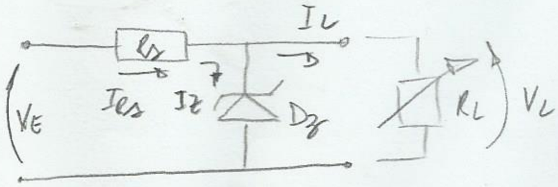
logo: $\Delta V_L = A \cdot \Delta I_L + B \cdot \Delta V_E + \dots$

Regulação de linha (A)

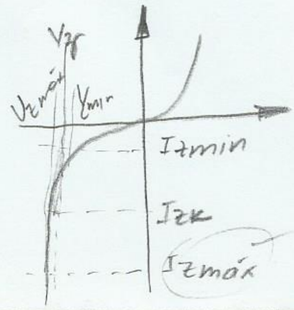


$$A = \left| \frac{\Delta V_L}{\Delta V_E} \right|_{R_L = cte,\ T_{amb} = cte} = |\,tg\,\beta\,|$$

Reguladores de tensão



Diodo zener



É determinado apartir da potência do diodo

$I_{RS} = I_Z + I_L$

$V_L = V_Z$

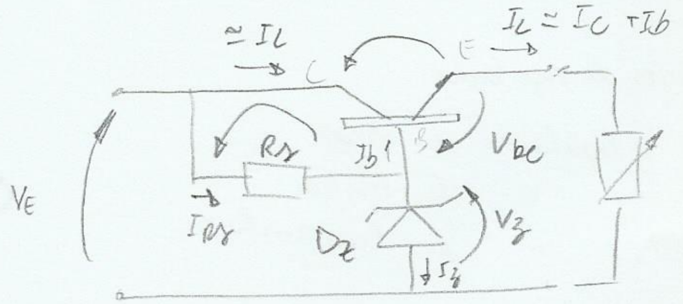
$V_{RS} = V_E - V_Z$

$I_{Zmax} \geq \frac{V_{E_{max}} - V_Z}{R_S}\Big|_{R_L=\infty}$

$I_{RS} - \underbrace{I_{Lmax}}_{\frac{V_L}{R_{Lmin}}} > I_{Zmin}$

Lembrar que: $P_{Zmax} = V_Z \cdot I_{Zmax}$

Regulador de tensão em série



$\begin{cases} V_Z = V_L + V_{BE} \\ V_L = V_E - V_{CE} \end{cases}$

$V_{RS} = V_E - V_Z$

$I_{RS} = I_Z + I_B$

$R_S \cong \frac{V_E - V_Z}{I_Z + \frac{I_L}{\beta}}$

$P_{Cmax} \geq (V_{Emax} - V_L) I_{Cmax}$

$V_{Emin} = V_{CEsat} + V_L$

$V_{Emin} \geq R_S \cdot I_{Zmin} + V_Z$

$R_S \geq \frac{V_E - V_Z}{I_{Zmax}}\Big|_{R_L=\infty}$ (zener)

$I_{RS} \geq I_{Zmin} + I_{Bmax}\Big|_{R_{L\,minim}}$

$R_{Lmin} = \frac{V_L}{I_{Lmax}}$