

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
JOÃO VITOR SPECHT KOGUT

CIRCUITOS ELETRÔNICA APLICADA  
M1

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M1 da disciplina de Eletrônica Aplicada do curso de Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí  
2022

## **1. OBJETIVO**

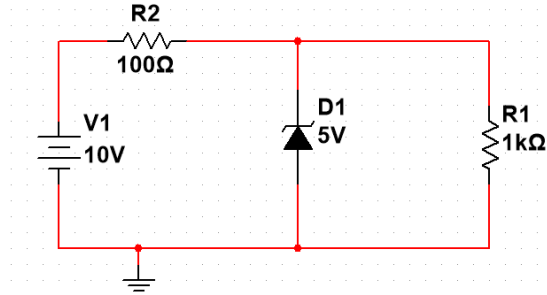
O objetivo deste trabalho é aplicar os conhecimentos obtidos durante as aulas presenciais, através de cálculos teóricos e simulações para termos uma melhor compreensão do funcionamento e operação dos componentes a serem apresentados, assim como quais suas aplicações e limites.

Através do simulador MultiSim serão implementados os mais diversos tipos de reguladores e amplificadores e terão seus resultados validados através do método teórico.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Fonte de tensão

Considerando  $V_z = 5v$ ,  $P_z = \frac{1}{2}w$ ,  $V_i = 10 <> 12v$ ,  $R_s = 100\Omega$ ,  $R_l = 1K\Omega$



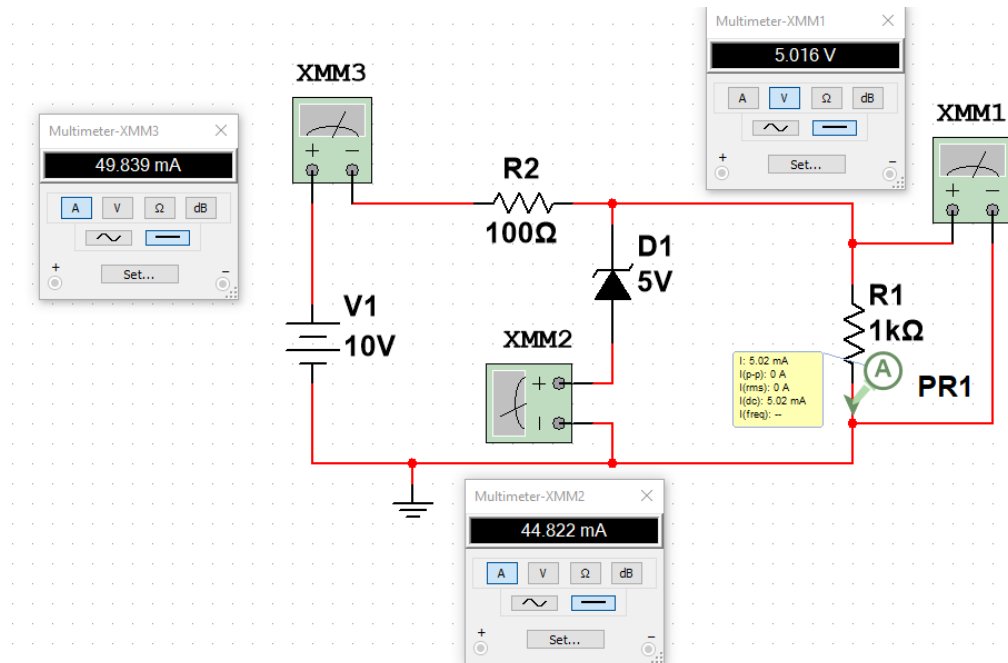
$V_i = 10v$ )

$$V_o = V_z = 5v$$

$$I_t = \frac{10-5}{100} = 50mA$$

$$I_{rl} = \frac{V_o=V_z=5v}{1000} = 5mA$$

$$I_z = I_t - I_{rl} = 45mA$$



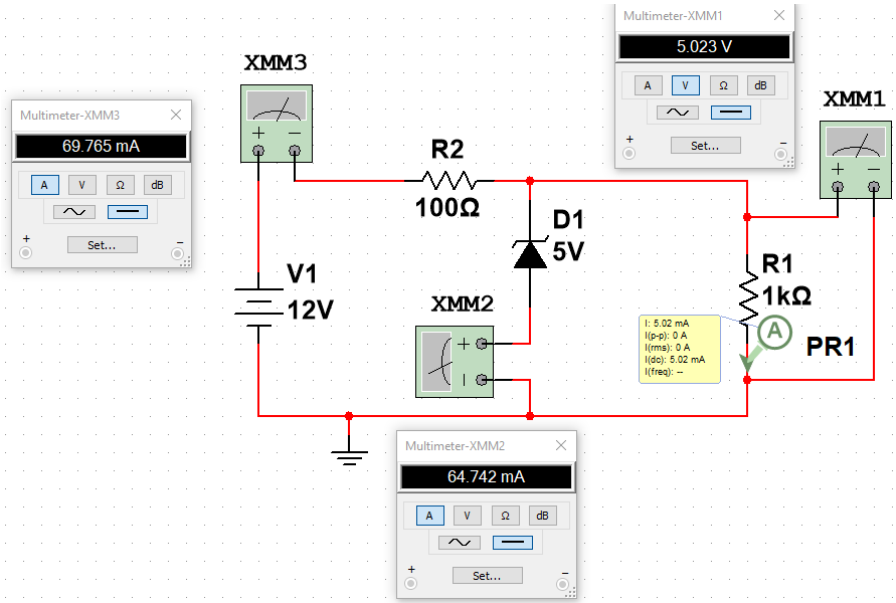
$V_i = 12v$

$V_o = V_z = 5v$

$I_t = \frac{12-5}{100} = 70mA$

$I_{rl} = \frac{V_o=V_z=5v}{1000} = 5mA$

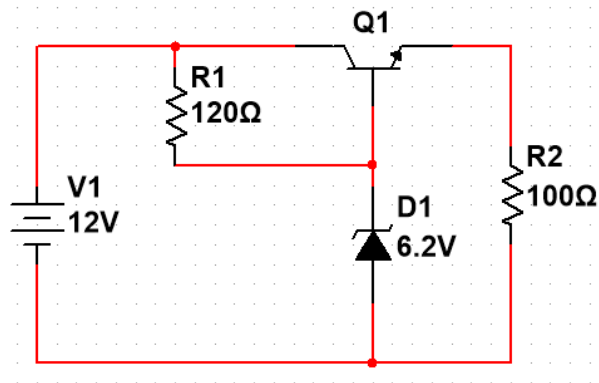
$I_z = I_t - I_{rl} = 65mA$



	10 V		12 V	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
<b>I<sub>t</sub></b>	50mA	49,8mA	70mA	69,76mA
<b>I<sub>z</sub></b>	45mA	44,8mA	65mA	64,74mA

## 2.2. Regulador série (fonte de tensão)

Sendo  $V_Z = 6,2V$   $P_Z = \frac{1}{2}W$



$$I_{rs} = \frac{V_{rs}}{R_s} = \frac{V_i - V_Z}{R_s} = \frac{12 - 6,2}{120} = 48mA$$

$$V_o = V_Z - V_{oe} = 5,5V$$

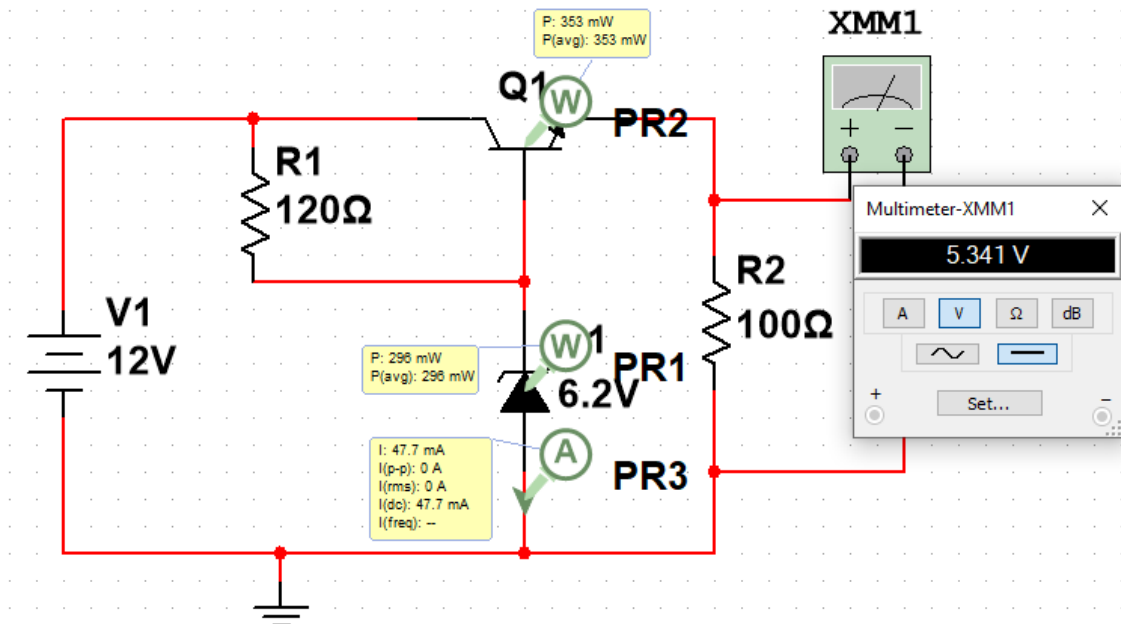
$$I_e = I_{rl} = (V_o)/R_l = 5,5/100 = 55mA$$

$$I_b = I_e/(\beta + 1) = 55/50 = 1,1mA$$

$$I_z = I_{rs} - I_b = 48 - 1,1 = 46,9mA$$

$$P_{tr} = V_{ce} * I_c = (V_c - V_e) * I_c = (V_i - V_o) * \beta * I_b = (12 - 5,5) * (49 * 1,1m) = 0,35W$$

$$P_Z = V_Z * I_z = 6,2 * 46,9m = 0,29W$$



Para  $V_i=13,2$   $R_l = 100$   $V_z = 6,2V$   $P_z = \frac{1}{2}W$

$$I_{rs} = \frac{V_{rs}}{R_s} = \frac{V_i - V_z}{R_s} = \frac{13,2 - 6,2}{120} = 58mA$$

$$V_o = V_z - V_{oe} = 5,5V$$

$$I_e = I_{rl} = (V_o)/R_l = 5,5/100 = 55mA$$

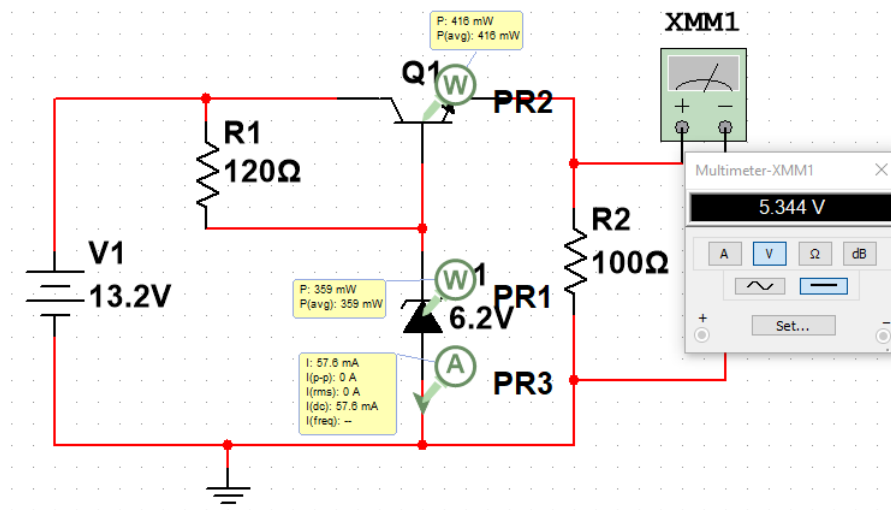
$$I_b = I_e/(\beta + 1) = 55/50 = 1,1mA$$

$$I_z = I_{rs} - I_b = 58 - 1,1 = 56,9mA$$

$$P_{tr} = V_{ce} * I_c = (V_c - V_e) * I_c = (V_i - V_o) * \beta$$

$$*I_b = (13,2 - 5,5) * (49 * 1,1m) = 0,41W$$

$$P_z = V_z * I_z = 6,2 * 56,9m = 0,35W$$



	12 V		13,2 V	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
<b>I<sub>z</sub></b>	46,9 mA	47.7 mA	56,9 mA	57,6 mA
<b>V<sub>o</sub></b>	5,5 V	5.3 V	5,5V	5,3V
<b>P<sub>tr</sub></b>	0,35 W	0,35 W	0,41 W	416 mW
<b>P<sub>z</sub></b>	0,29 W	0,29 W	0,35 W	356 mA

### 2.3. Regulador série (Modelo linear)

Considerando  $V_Z = 7,5V$ ,  $I_{ZT} = 34\text{ mA}$ ,  $R_Z = 4\text{ Ohm}$ ,  $R_S = 120\text{ Ohm}$ ,  $R_L = 100\text{ Ohm}$ ,  $V_i = 12V$  e utilizando o Zener **1N4737A**

$$V_{zo} = 7,5 - (34\text{mA} * 4) = 7,36\text{ V}$$

$$I_{rs} = I_Z + I_b$$

$$(V_i - V_Z)/R_S = (V_Z - V_Z)/R_Z + ((V_Z - V_{be})/R_L)/(\beta + 1)$$

$$(12 - V_Z)/120 = (V_Z - 7,5)/4 + ((V_Z - 0,7))/(5000)$$

$$(12 - V_Z) * 15000/120 = (V_Z - 7,5) * 15000/4 + ((V_Z - 0,7)) * 15000/(5000)$$

$$(12 - V_Z) * 125 = (V_Z - 7,5) * 3750 + ((V_Z - 0,7)) * 3$$

$$3878 * V_Z = 29627$$

$$V_Z = 7,63V$$

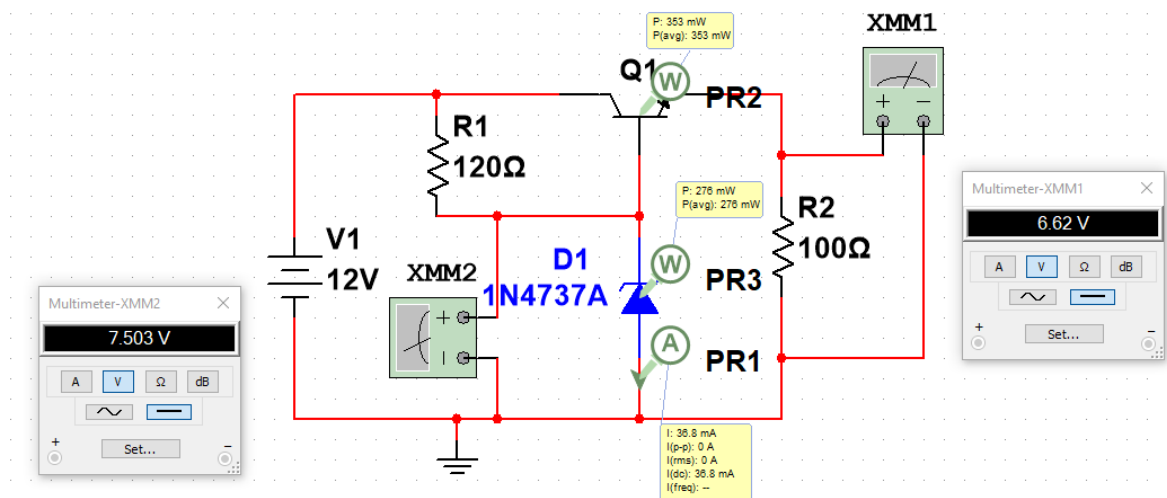
$$V_o = 7,63 - 0,7 = 6,93V$$

$$I_b = (6,93)/5000 = 1,39\text{ mA}$$

$$I_Z = (V_Z - V_{zo})/4 = 35\text{mA}$$

$$P_{tr} = V_{CE} * I_C = V_i - V_o * (\beta * I_B) = 0,34W$$

$$P_Z = 7,5 * 35\text{mA} = 0,26W$$



	Simulado	Calculado
Ptr	353 mW	340 mW
Pz	276 mW	260 mW
Vz	7,5 V	7,63 V
Vo	6,62 V	6,93 V
Iz	36,8 mA	35 mA

Considerando  $V_z = 7,5V$ ,  $I_{zt} = 34\text{ mA}$ ,  $R_z = 4\text{ Ohm}$ ,  $R_s = 120\text{ Ohm}$ ,  $R_l = 40\text{ Ohm}$ ,  $V_i = 13,2V$  e utilizando o Zener **1N4737A** :

$$V_{zo} = 7,5 - (34\text{mA} * 4) = 7,36\text{ V}$$

$$I_{rs} = I_z + I_b$$

$$(V_i - V_z)/R_s = (V_z - V_{zo})/R_z + ((V_z - V_{be})/R_l)/(\beta + 1)$$

$$(13,2 - V_z)/120 = (V_z - 7,36)/4 + ((V_z - 0,7))/(2000)$$

$$m_{mc} = 6000$$

$$(13,2 - V_z) * 50 = (V_z - 7,36) * 1500 + (V_z - 0,7) * 3$$

$$660 - 50V_z = 1500V_z - 11040 + 3V_z - 2,1$$

$$1553V_z = 11702,1$$

$$V_z = 7,53\text{ V}$$

$$V_o = 7,53 - 0,7 = 6,83V$$

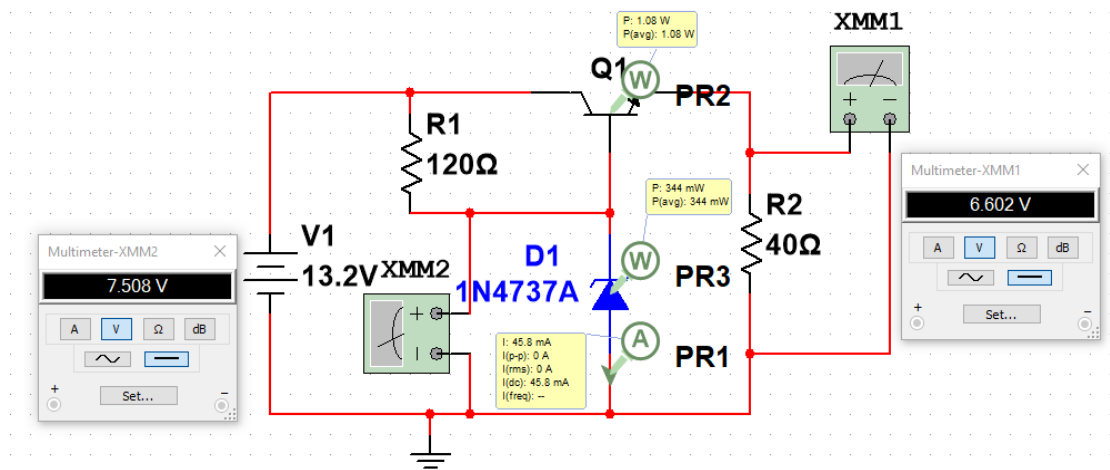
$$I_b = (6,83)/5000 = 3,41\text{ mA}$$

$$I_z = (V_z - V_{zo})/4 = 42\text{mA}$$

$$P_{tr} = V_{CE} * I_C = V_i - V_o * (\beta * I_B) = 1,04W$$

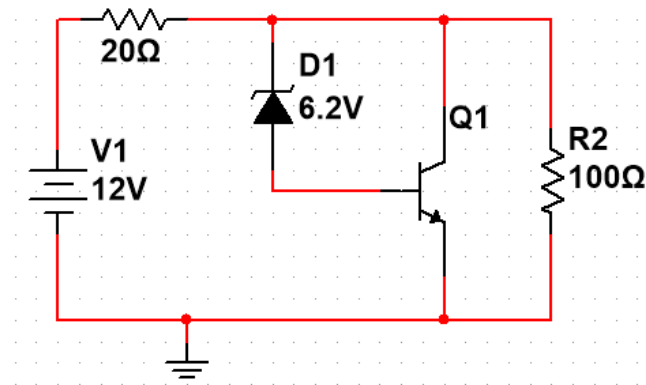
$$P_z = 7,53 * 42\text{mA} = 0,31W$$





	Simulado	Calculado
Ptr	1,08 W	1,04 W
Pz	344 mW	310 mW
Vz	7,5 V	7,53 V
Vo	6,6 V	6,83 V
Iz	45,8 mA	42 mA

## 2.4.) Regulador paralelo (fonte de tensão)



$$V_o = V_z + V_{be} = 6,9V$$

$$V_{ce} = V_o = 6,9V$$

$$I_{rl} = V_o / R_l = 69\text{ mA}$$

$$I_t = (V_i - V_o) / R_s = (12 - 6,9) / 20 = 255\text{ mA}$$

$$255\text{ mA} = I_z + \beta I_z + 69\text{ mA}$$

$$I_z = 186 / 50 = 3,72\text{ mA}$$

$$I_C = 3,72\text{ mA} * 49$$

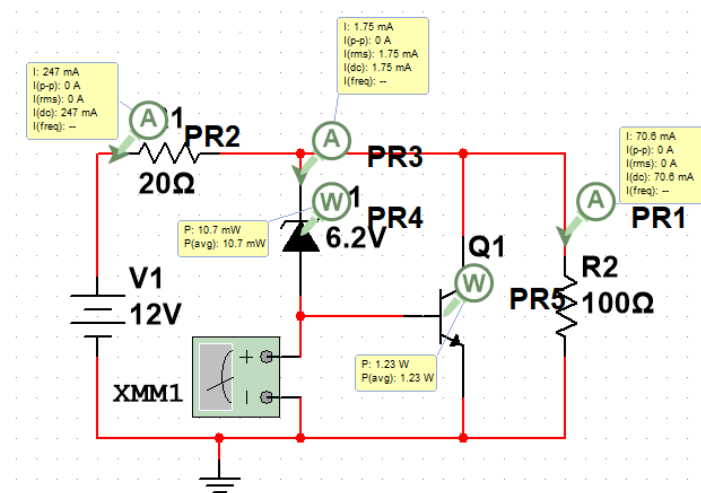
$$I_C = 183\text{ mA}$$

$$P_{tr} = V_{CE} * I_C$$

$$P_{tr} = 1,23\text{ W}$$

$$P_z = I_Z * V_z$$

$$P_z = 3,72\text{ mA} * 6,2 = 23\text{ mW}$$



	Simulado	Calculado
Ptr	1,23 W	1,23 W
Pz	10,7 mW	23 mW
Irl	70,5 mA	69 mA
Vo	7 V	6,9 V
Iz	1,75 mA	3,7 mA

## 2.5.) Regulador paralelo (modelo linear)

Considerando  $V_Z = 7,5V$ ,  $I_{ZT} = 34\text{ mA}$ ,  $R_Z = 4\text{ Ohm}$ ,  $R_S = 20\text{ Ohm}$ ,  $R_L = 100\text{ Ohm}$ ,  $V_i = 12V$  e utilizando o Zener **1N4737A** :

$$V_{ZO} = 7,5 - (34\text{mA} * 4) = 7,36\text{ V}$$

$$(12 - V_O)/20 = (V_O - 8,06)/4 + \beta * (V_O - 6,5)/4 + V_O/100$$

$$5 * (12 - V_O) = 25 * (V_O - 6,5) + 25 * (V_O - 6,5) + V_O$$

$$30,65 * V_O = 253144$$

$$V_O = 8,26\text{ V}$$

$$I_E = (V_O - (V_{ZO} + V_{BE}))/R_S = (8,26 - 7,36)/20 = 5\text{ mA}$$

$$P_Z = V_Z * I_Z$$

$$P_Z = 7,5 * 5\text{mA} = 0,37\text{ mW}$$

$$I_C = \beta * I_Z$$

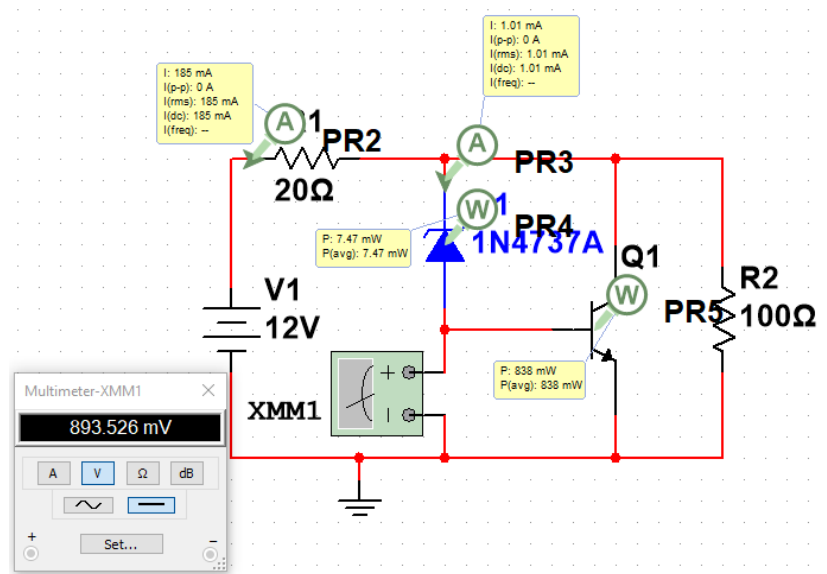
$$I_C = 0,245\text{ A}$$

$$P_{TR} = V_{CE} * I_C$$

$$P_{TR} = V_O * I_C = 8,26 * I_C$$

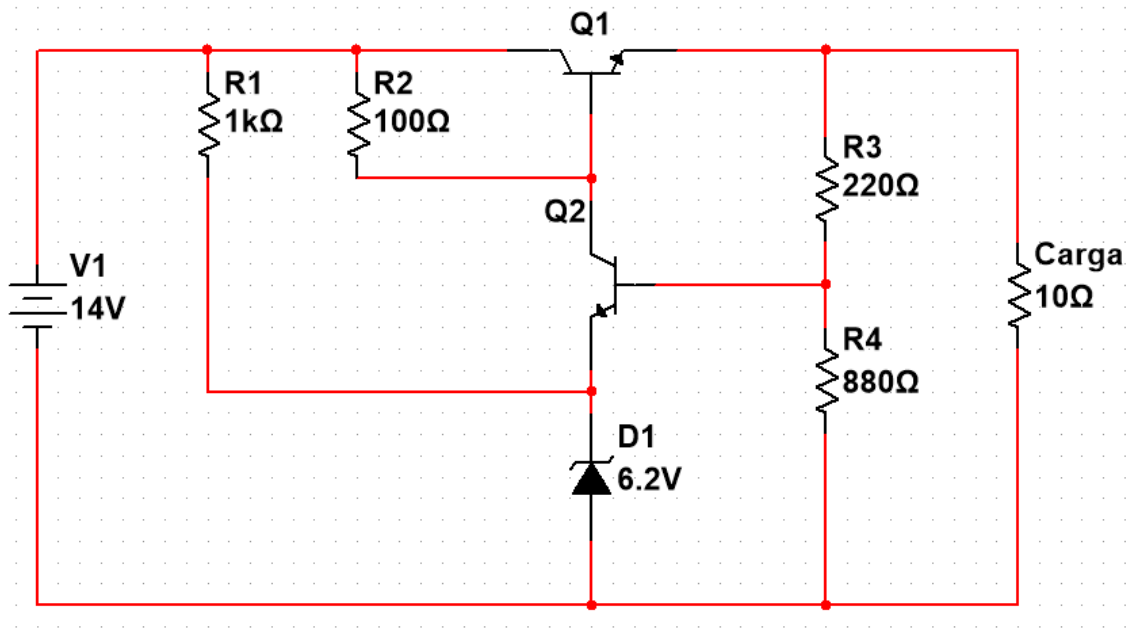
$$P_{TR} = 2,02\text{ W}$$

$$I_Z = \frac{V_O - (V_{ZO} + V_{BE})}{R_Z} = \frac{8,26 - (7,36 + 0,7)}{4} = 5\text{ mA}$$



	Simulado	Calculado
Ptr	838 mW	2,02 W
Pz	7,47 mW	0,37 mW
Vo	8,3 V	8,26 V
Iz	1,01 mA	5 mA

## 2.6.)Regulador completo (Ex 8 da lista)



$$V_o = ((R_x + R_y)/R_y) * R_y = ((220 + 880)/880) * (6,2 + 0,7) = 8,6V$$

$$V_f = ((R_y)/R_x + R_y) * V_o = 6,9V$$

$$I_{rl} = V_{rl}/R_l = 8,6/10 = 860mA$$

$$I_{rs2} = (V_i - V_2)/R_{s2} = (14 - 6,2)/1000 = 7,8mA$$

$$I_{rs1} = V_{rs1}/R_{s1} = (V_i - V_o')/R_{s1} = (14 - (V_o + 0,7))/100 = 47mA$$

$$I_r = V_o/(R_x + R_y) = 8,6/1100 = 7,8mA$$

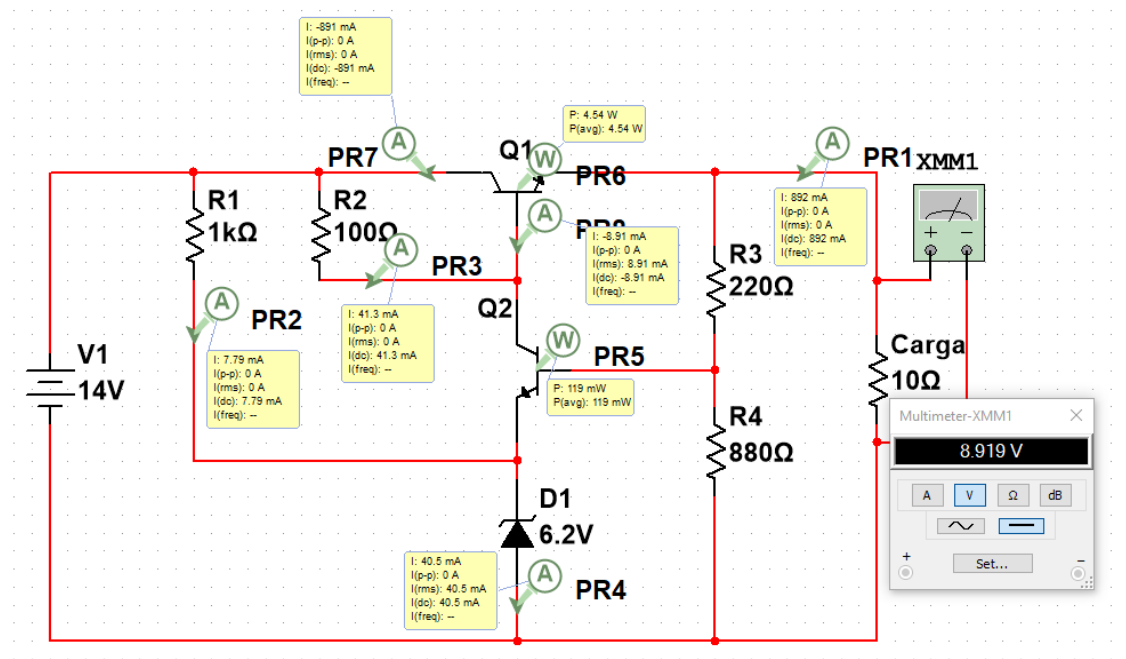
$$I_{et1} = I_r + I_{rl} = 7,8 + 860 = 868mA$$

$$I_{bt1} = I_e/(B + 1) = 867/50 = 17mA$$

$$I_z = I_{rs2} + I_{ct2} = 7,8 + 30 = 37,8mA$$

$$P_{t1} = V_{cet1} * I_{ct1} = (14 - 8,6) * 851mA = 4,6W$$

$$P_{t2} = V_{cet2} * I_{ct2} = (V_{ct2} - V_{et2}) * I_{ct2} = (9,3 - 6,2) * 30mA = 93mW$$



	14 V	
	Calculado	Simulado
<b>Vo</b>	8,6 V	8,9 V
<b>Vf</b>	6,9 V	7,2 V
<b>IRL</b>	860 mA	892 mA
<b>IRS1</b>	47 mA	41,3 mA
<b>IRS2</b>	7,8 mA	7,79 mA
<b>IE</b>	867 mA	891 mA
<b>IBt1</b>	17 mA	8,91 mA
<b>Iz</b>	37,8 mA	40,5 mA
<b>Pt1</b>	4,6 W	4,54 W
<b>Pt2</b>	93 mW	119 mW

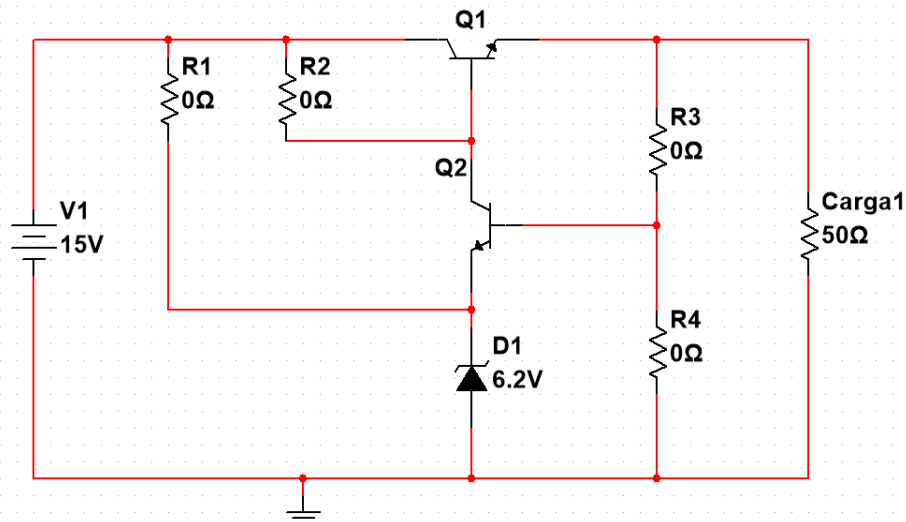
## 2.7.) Projeto (Ex 6 da lista )

Projete o circuito dando valor aos resistores com base nos seguintes dados:

$$V_i = 15V, V_z = 6,2V, V_o = 10V, R_L = 50\Omega$$

$I_Z \rightarrow$  Precisa somar  $40mA$ ,  $\beta_a = 50$ ,  $\beta T2 = 100$

$$I_{RL} = 200mA$$



Sendo assim foram definidos os valores:

20 mA para  $I_{r1}$ ,  $I_{r2}$  e  $I_{ct2}$

$$R_1 = V_{r1}/I_{r1} = (V_i - V_z)/I_{r1} = (15 - 6,2)/20\text{ mA} = 440\Omega$$

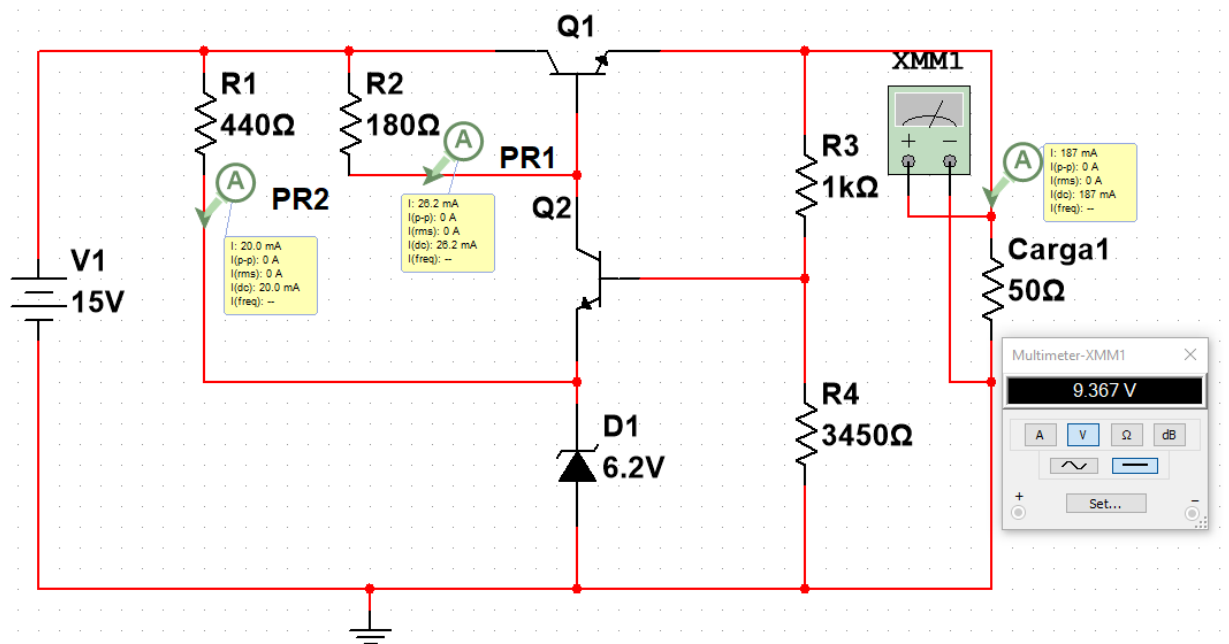
$$I_r = 1\% I_{rl} = 2\text{ mA}$$

$$R_2 = V_{r2}/I_{r2} = (V_i - V_o)/I_{r2} = (15 - (V_o + 0,7))/I_{r2} = 180\Omega$$

$$I_{r2} = I_{ct2} + I_{bt1} = 20\text{ mA} + (202\text{ mA})/51 = 24\text{ mA}$$

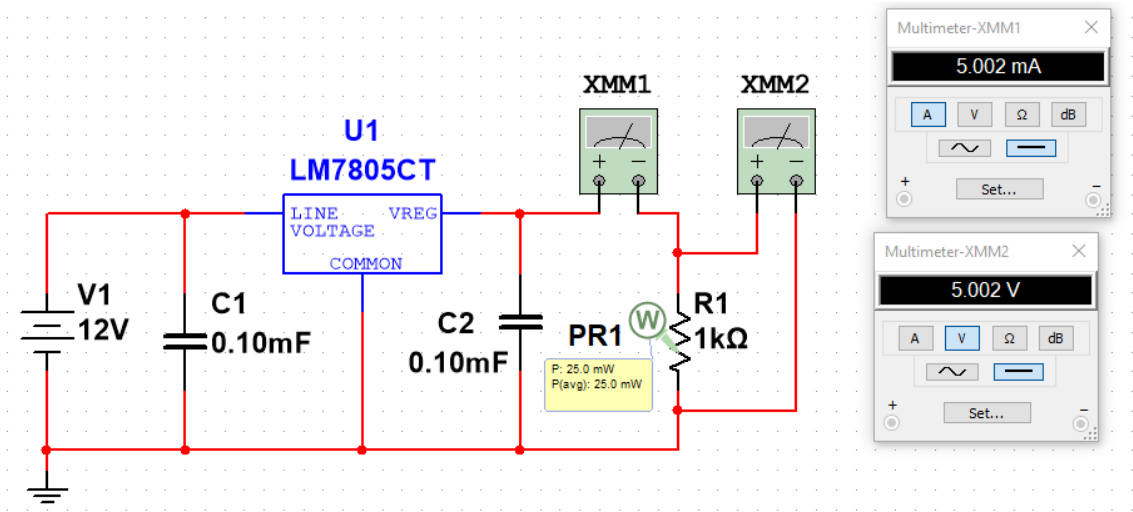
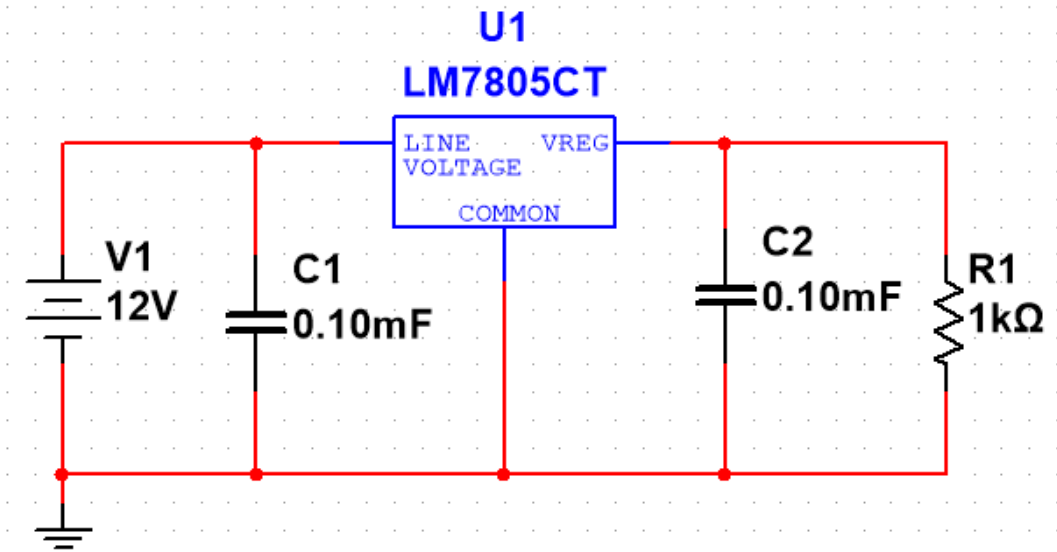
$$R_b = V_t/I_r = 6,9/2\text{ mA} = 3450\Omega$$

$$R_a = V_{ra}/I_r = (10 - 6,9)/2\text{ mA} = 1\text{ k}\Omega$$



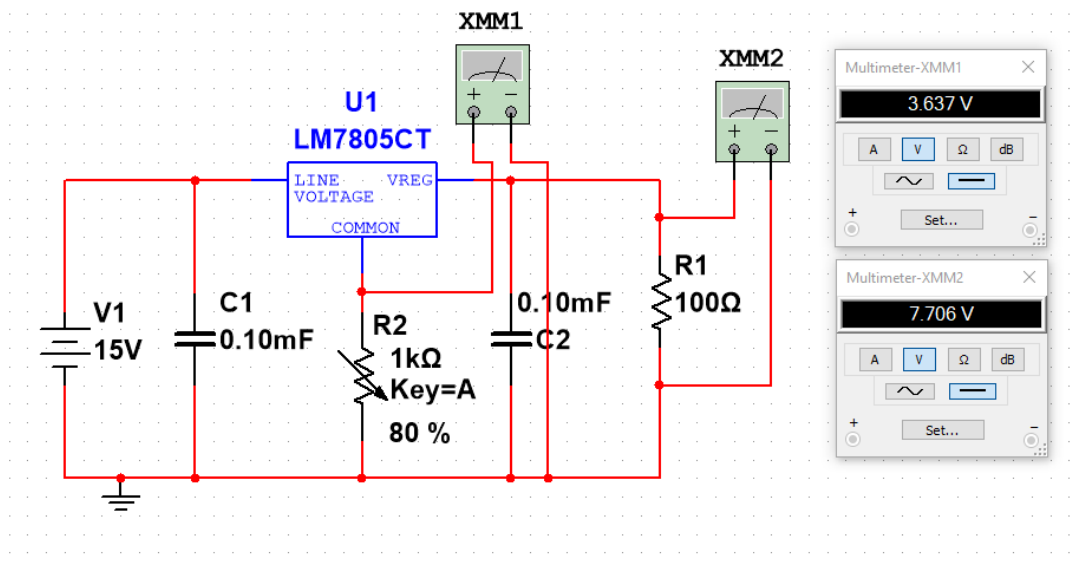
2.8.) Conversor de tensao com CI (Exemplo 1)

12V -> 5V

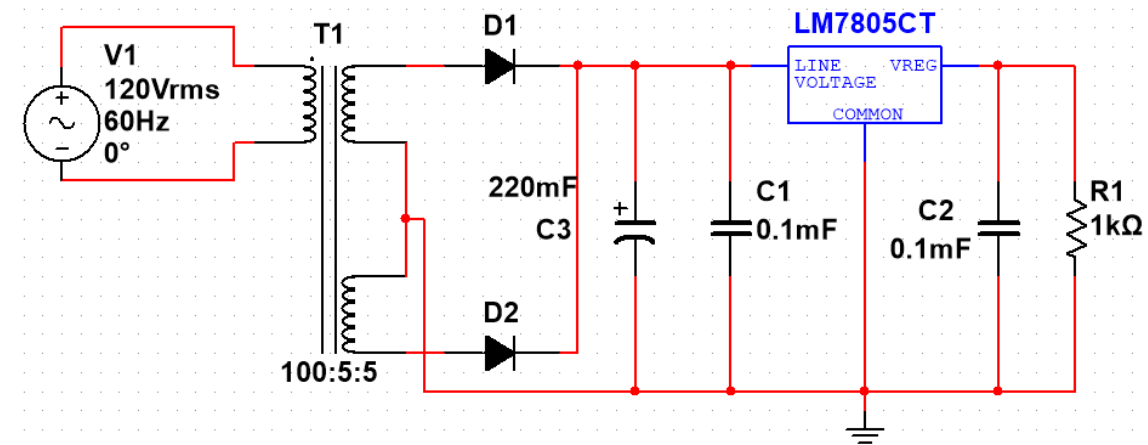




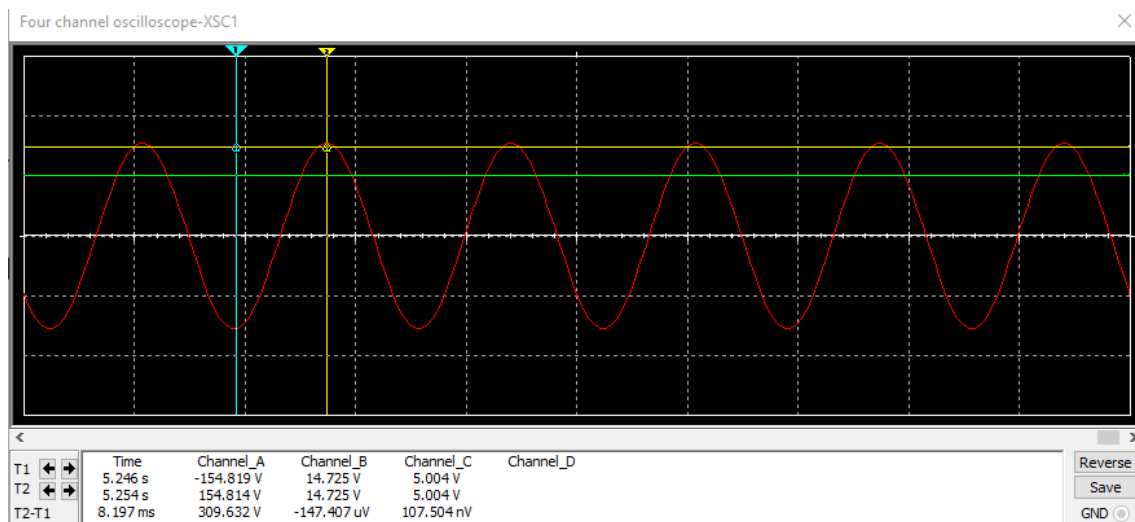
## 2.9.) Fonte regulada com CI (Exemplo 2)



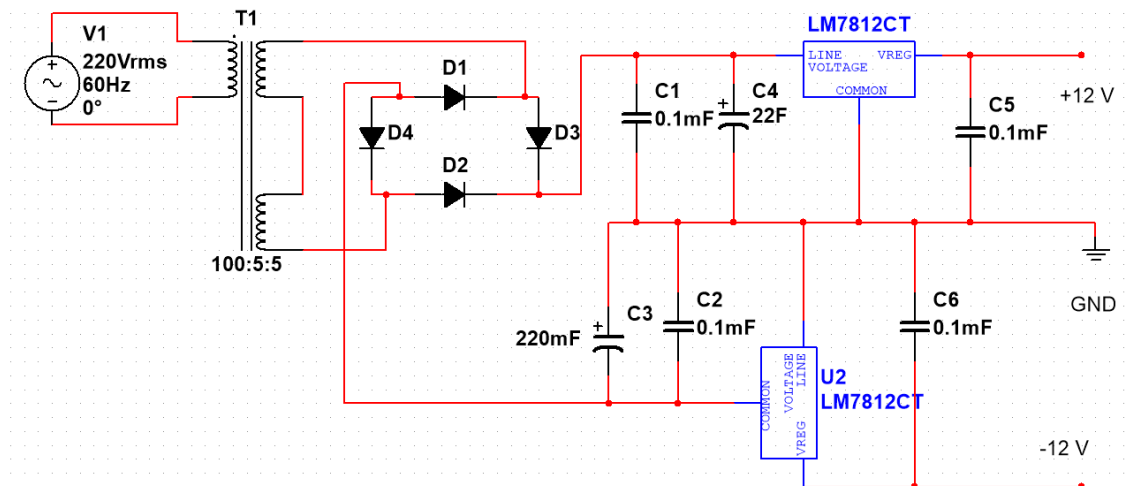
## 2.10.) Fonte regulada completa (AC -> DC) 5V com CI



Sendo a linha vermelha (canal A) a entrada AC, linha amarela (canal B) a saída após o transformador e a linha verde (canal C) a saída do CI regulador, temos as seguintes formas de onda e valores:

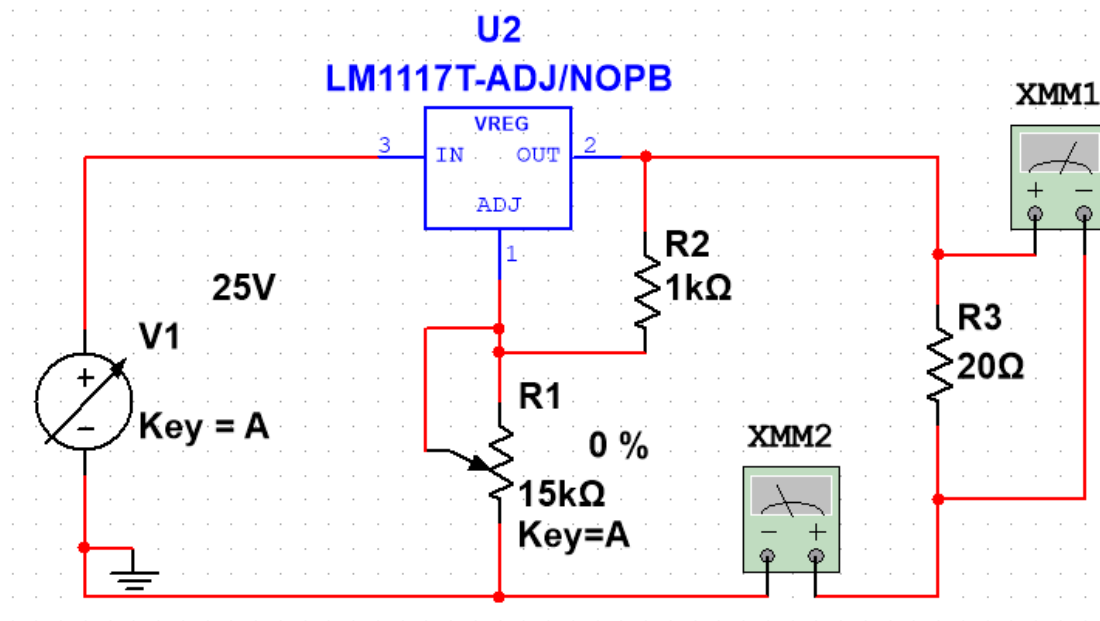


## 2.11.) Fonte regulada Simétrica (AC -> DC) 12V com CI

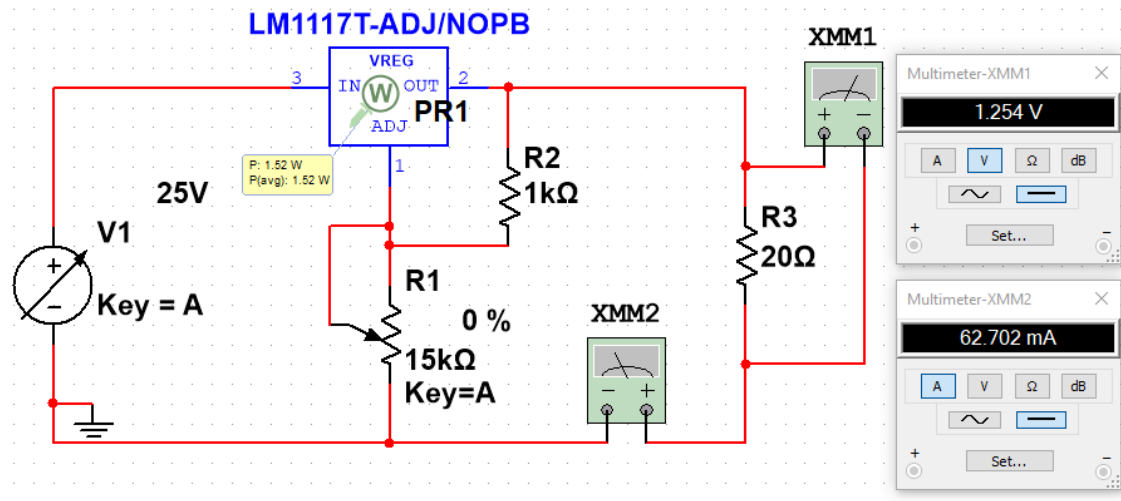


## 2.12.) LM317

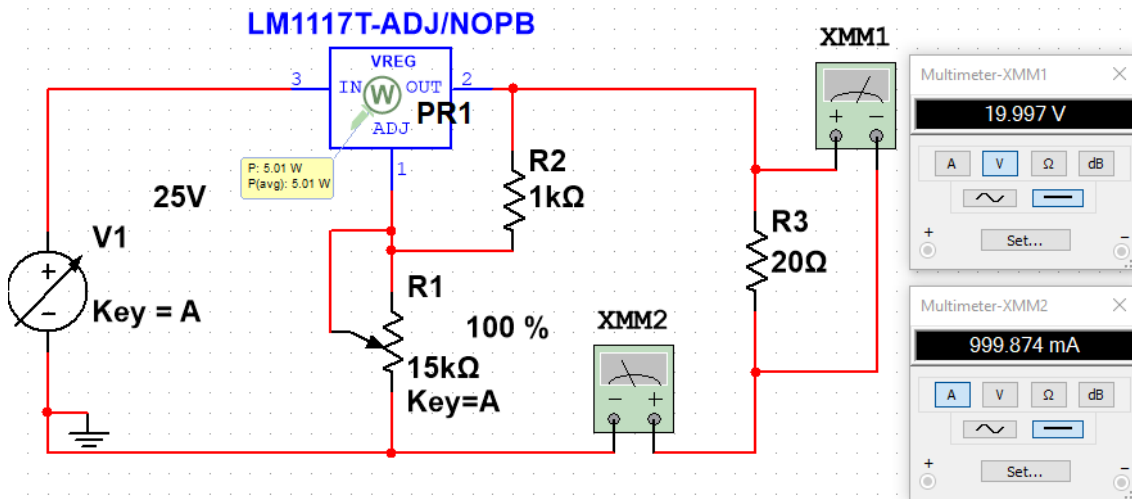
No multisim 14.2 não está presente o LM317, será usado um componente equivalente, o LM1117T-ADJ/NOPB



Com a resistência zerada:



Com a resistência em 15K:



$$I = \frac{1,25}{1k} = 1,25mA$$

$$V_o = 1,25 + \left(\frac{1,25}{R_A} * 1000\right)$$

$$V_o = 1,25 + 1,25 = 2,5 V$$

$$R_B = 15k \Rightarrow V_o = 1,25 * \left(1 + \frac{15k}{1k}\right)$$

$$V_o = 20 V$$

$$V_{Min} = 1,25 V$$

$$V_{Max} = 20V$$

$$I_{Min} = \frac{1,25}{20} = 62,5 mA$$

$$I_{Max} = \frac{15k}{20} = 1A$$

$$R_B = 0 \text{ e } V_o = 1,25$$

$$P_{Reg} = (25 - 1,25) * 62,5mA$$

$$Pot_{Min} = 1,49W$$

$$R_B = 15k \text{ e } V_o = 20$$

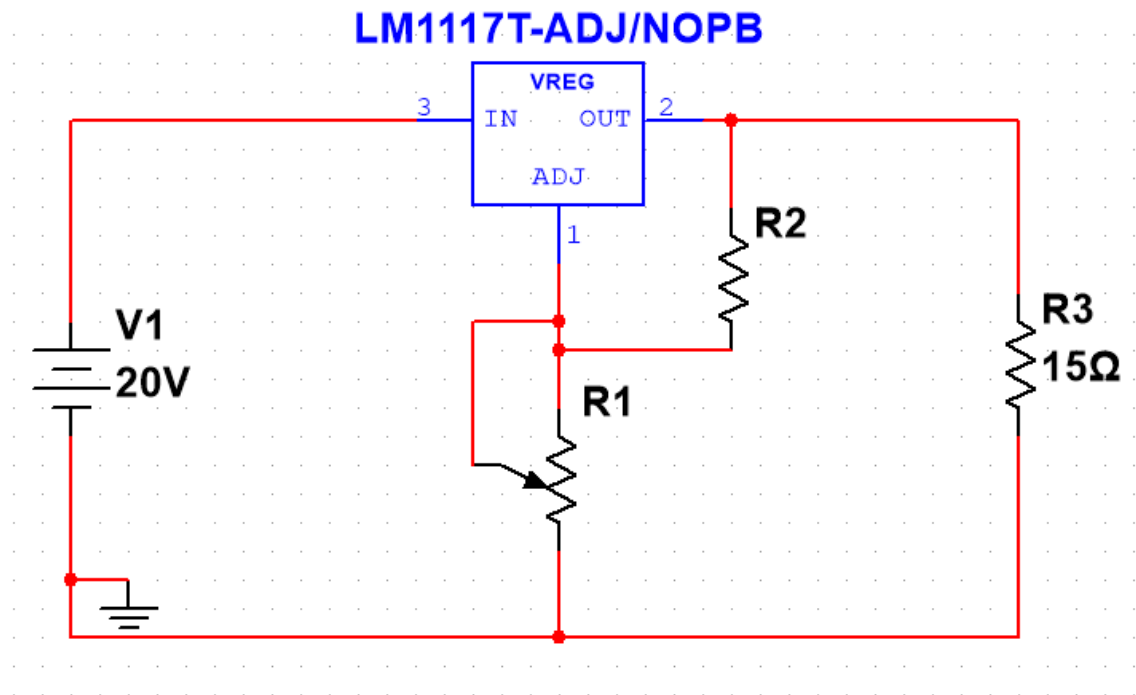
$$P_{Reg} = (25 - 20) * 1A$$

$$Pot_{Min} = 5W$$

### TABELA COMPARATIVA

Teórico			Simulação		
Vo	IRL	PReg	Vo	IRL	PReg
1,25 V	62,5mA	1,49W	1,254 V	62,7mA	1,52 W
20 V	1A	5W	19,99 V	999.8 mA	5,01 W

2.13) Projete um circuito usando o LM317 onde a saída varie de 1,25 V a 16,5 V



$$\begin{aligned}
 V_o &= 1,25 * (1 + R_a/R_b) \\
 16,5 &= 1,25 * (1 + R_a/R_b) \\
 13,2 &= 1 + R_b/R_a \\
 12,2 &= R_b/R_a \\
 \mathbf{R_a} &= \mathbf{1K} \\
 12,2 &= R_b/1000 \\
 R_b &= 12,2K
 \end{aligned}$$

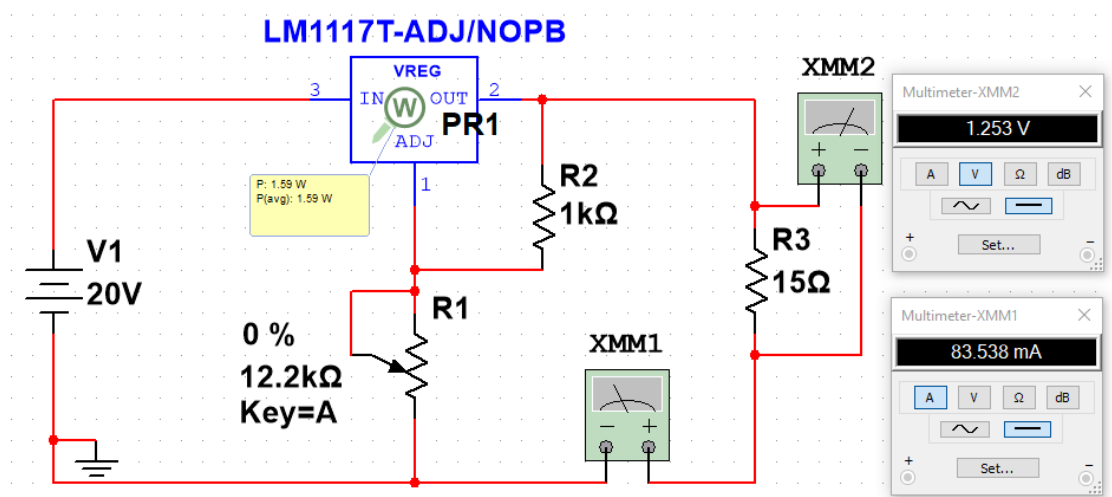
**Para  $V_o = 1,25V$**

$$\begin{aligned}
 I_{rl} &= V_o/R_l = 83 \text{ mA} \\
 P_{regMin} &= (20 - 1,25) * 83 \text{ mA} = 1,56 \text{ W} \\
 P_{regMax} &= (22 - 1,25) * 83 \text{ mA} = 1,72 \text{ W}
 \end{aligned}$$

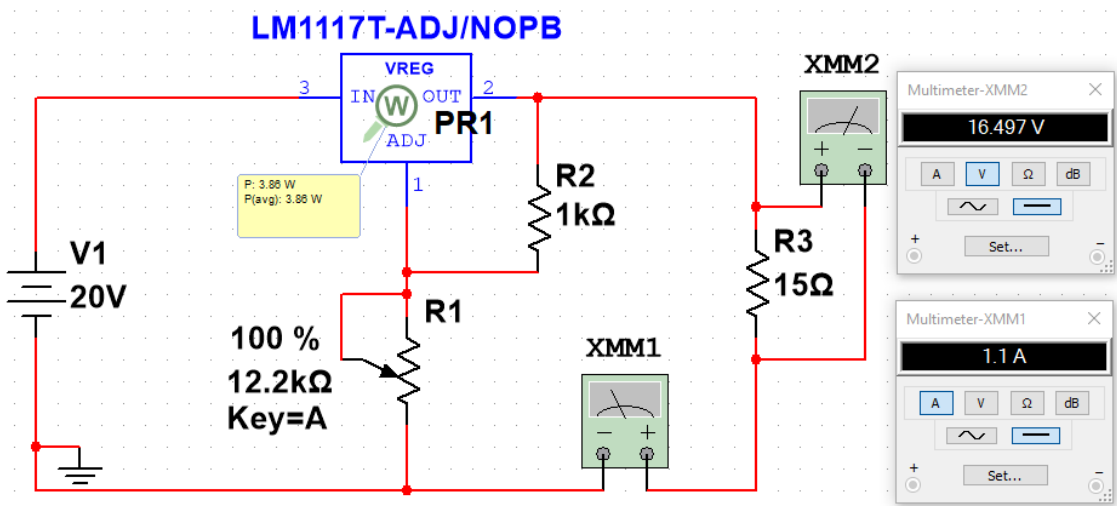
**Para  $V_o = 16,5V$**

$$\begin{aligned}
 I_{rl} &= V_o/R_l = 1,1 \text{ A} \\
 P_{regMin} &= (20 - 16,5) * 1,1 \text{ A} = 3,85 \text{ W} \\
 P_{regMax} &= (22 - 16,5) * 1,1 \text{ A} = 6,05 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Com Rb em 0%

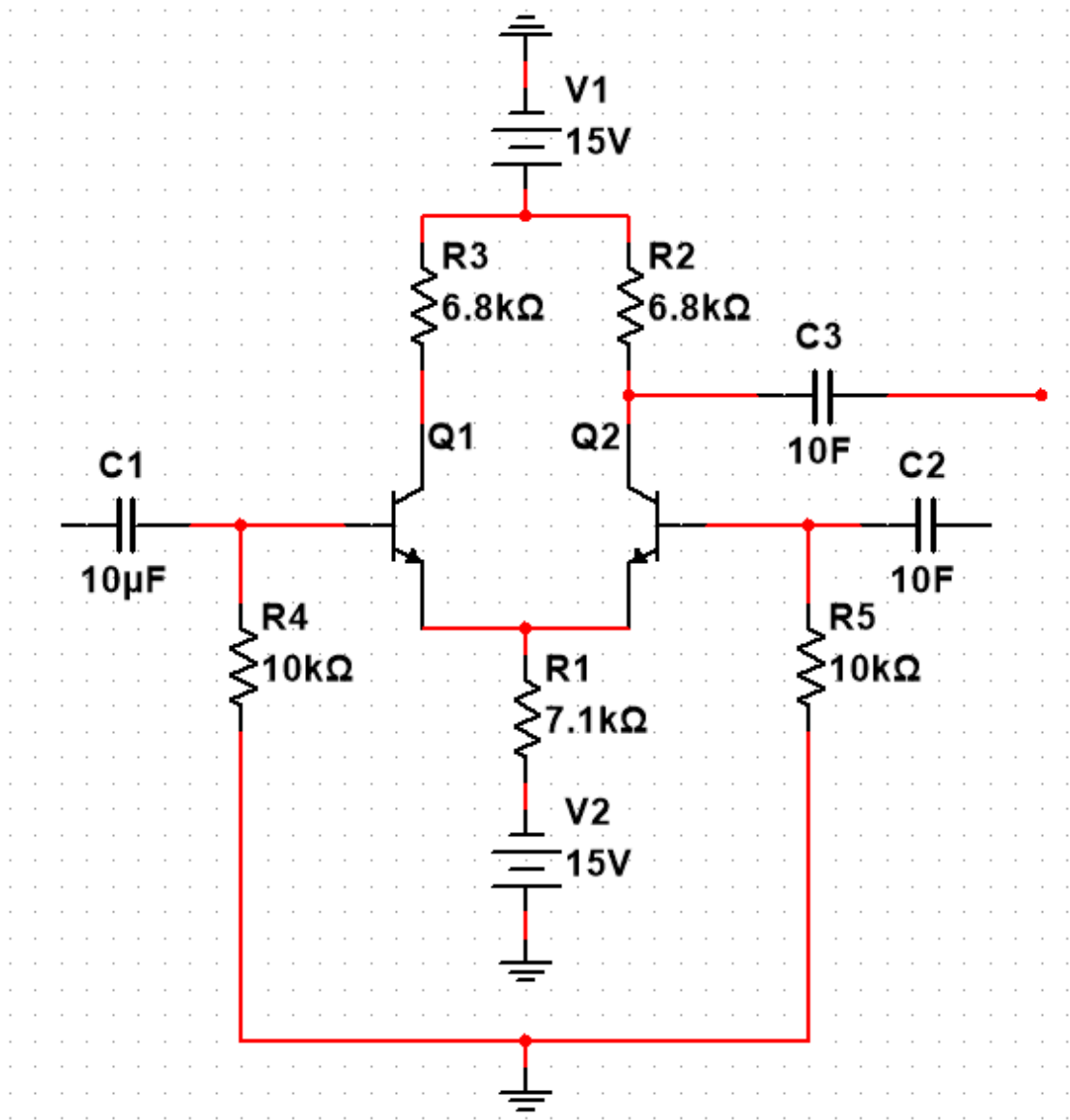


Com Rb em 100%



Teórico			Simulação		
Vo	IRL	PReg	Vo	IRL	PReg
1,25 V	83 mA	1,56 W	1,253 V	83,5 mA	1,56 W
16,5 V	1,1A	3,85 W	16,497 V	1,1 A	3,85 W

## 2.14.) Amplificador diferencial TBJ Ex1



### Análise DC)

$$-I_b \cdot R_b - V_{be} - 2I_e \cdot R_f + V_{ee} = 0$$

$$I_b = (V_{ee} - V_{be}) / (R_b + 2(B + 1) \cdot R_f) = (15 - 0,7) / 10k + 102 \cdot 71k = 0,019 \text{ mA}$$

$$I_c = B \cdot I_b = 0,97 \text{ mA}$$

$$I_e = (B + 1) \cdot I_b = 0,99 \text{ mA}$$

$$V_c = V_{cc} - I_c \cdot R_c$$

$$V_c = 15 - 0,97 \cdot 6,8 = 8,4 \text{ V}$$

$$V_b = -I_b \cdot R_b = -0,19 \text{ V}$$

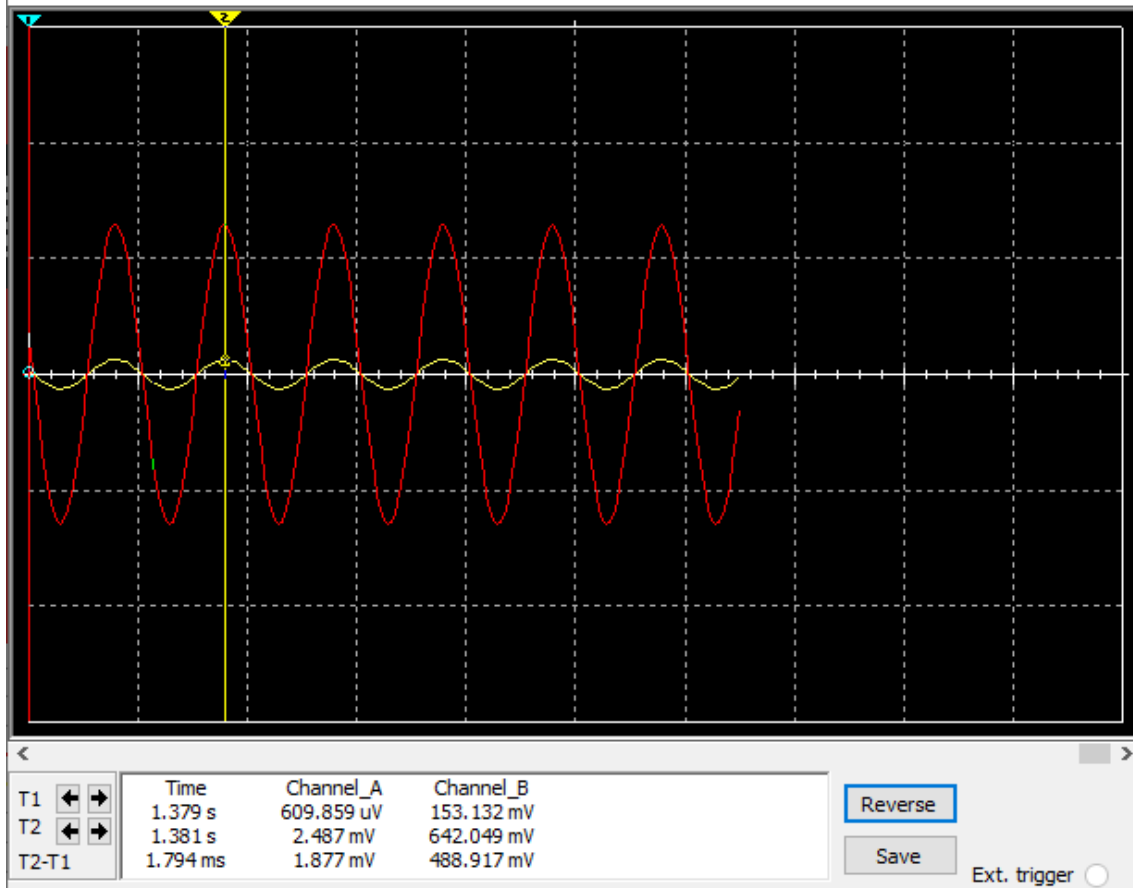
$$V_{be} = V_b - V_e = 0,7$$

$$R'e = 26 \text{ mV} / 0,99 \text{ mA} = 26 \text{ Ohm}$$

Análise AC)

$$A = R_c / 2 * R'e = 131$$

Adicionando um gerador de sinal AC com pico de 5 mV foi obtido o seguinte diagrama de ondas: (amarelo=entrada AC, vermelho=Vo)



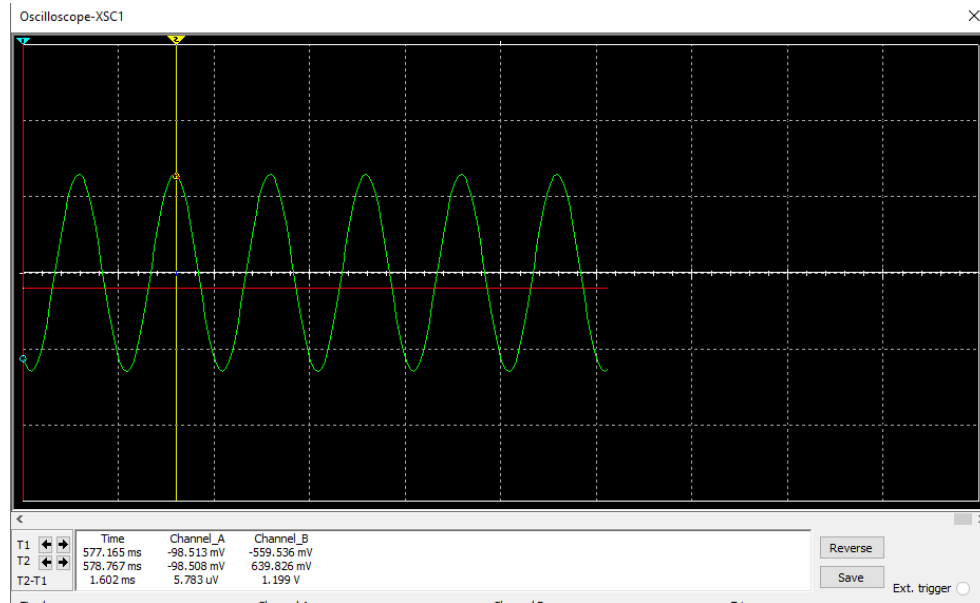
$$A_v = 642 / 2,48 * 2 = 129,43$$

Valor	Calculado	Simulado
IB	0,019 mA	0,019 mA
IC	0,97 mA	0,985 mA
IE	0,99 mA	0,995 mA
VB	-0,19 V	-0,19V
VC	8,4 V	8,3V
VE	-0,9 V	-0,87V
Ganho	131	129,43



**2.15.) Amplificador diferencial TBJ Ex2, utilizar V1 aterrado e V2 um gerador frequência de 5mV e 1 KHz.**

Ao inserir os componentes configurados no circuito anterior e analisar as ondas respectivas:



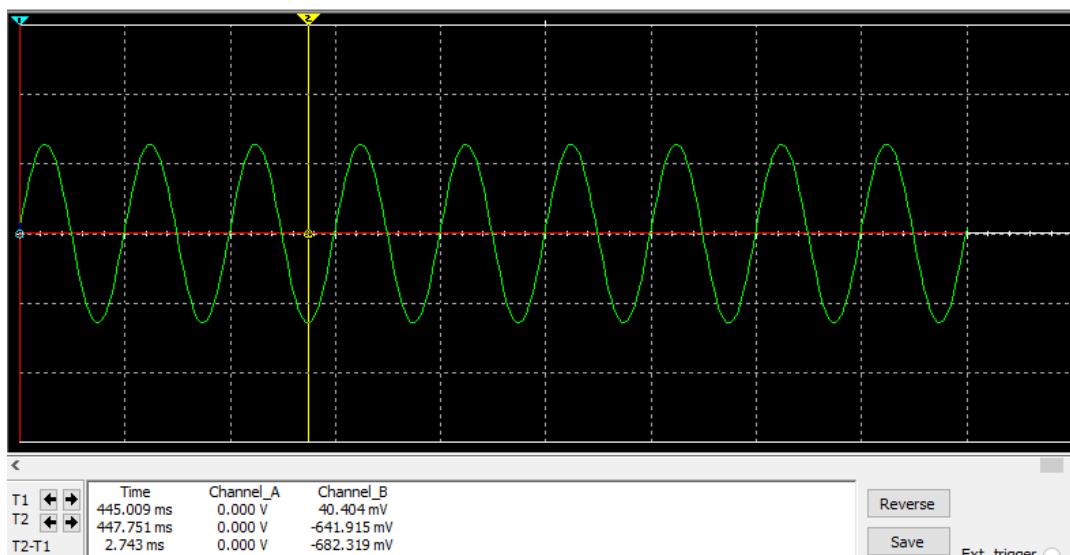
$$A * (V2 - V1) = V0$$

$$129,43 * (5mV - 0) = V0$$

$$V0 = 647 mV$$

Valor próximo a simulação de 640 mV.

Ao inverter o lado dos componentes para V1:



$$A * (V2 - V1) = V0$$

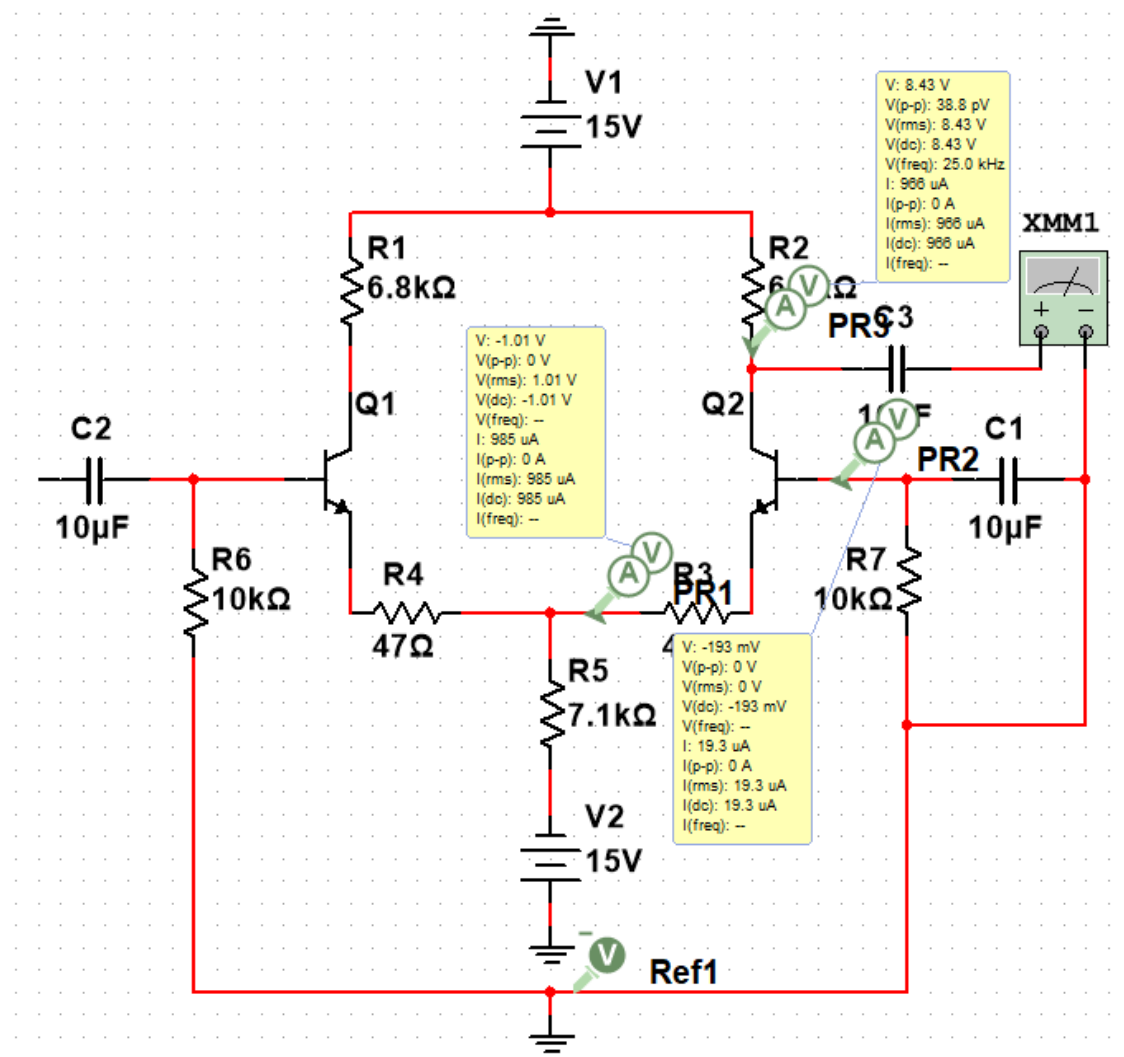
$$129,43 * (-5mV) = V0$$

$$V0 = -647 mV$$

Valor próximo a simulação de -642 mV.

### 2.16.) EX3

Adicione um resistor de 47 ohms no emissor:



$$IB = \frac{VEE - VBE}{RB + IERE + 2 * IE * RF} = \frac{15 - 0,7}{10k + (\beta + 1) * 47 + 2 * (\beta + 1) * 7100} = 19,41 \mu A$$

$$I_c = B * I_b = 0,97 \text{ mA}$$

$$I_e = (B + 1) * I_b = 0,99 \text{ mA}$$

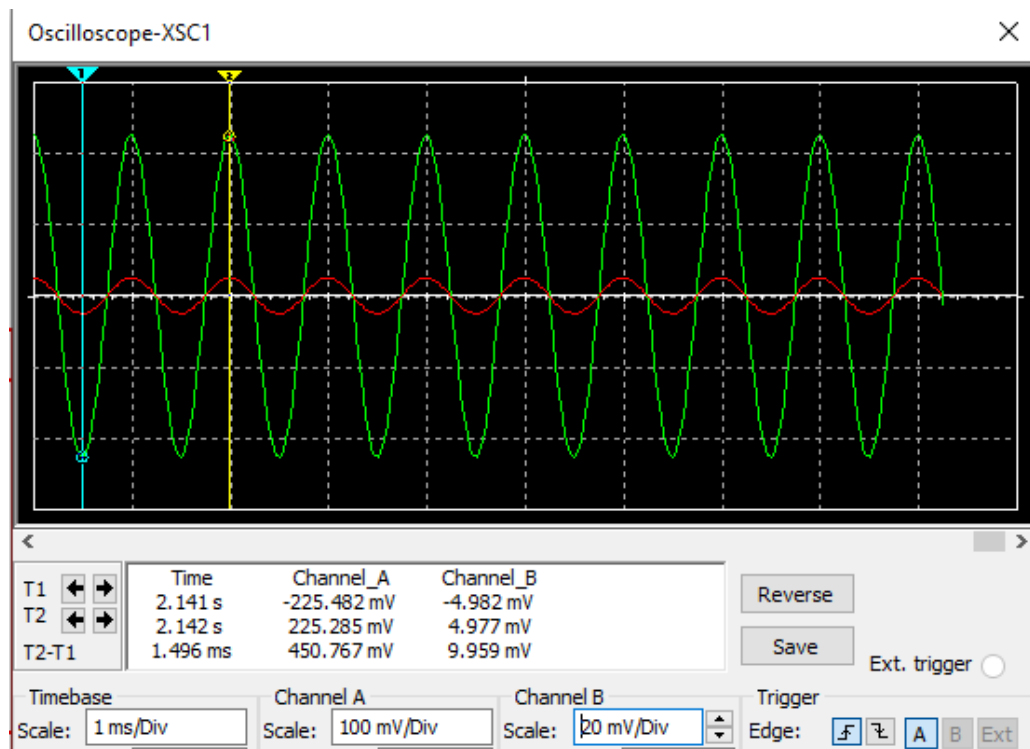
$$V_b = - I_b * R_b = - 19,41 * 10000 = - 0,2V$$

$$V_e = - (V_{be} + V_b) = - 0,9V$$

$$V_c = V_{cc} - I_e * R_e = 8,2V$$

**Utilizando modelo AC para calcular o ganho e adicionando um gerador de 5mv para simular:**

$$A = Rc/2 * (R'e + RE) = 6800/2 * (26 + 47) = 46,57$$

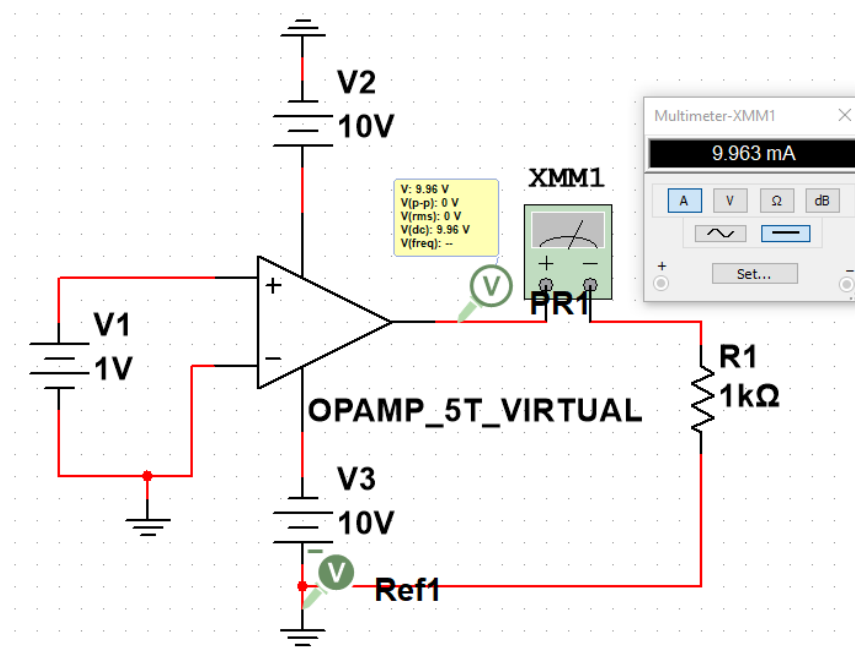


$$A = 225 / 4,977 = 45,20$$

Valor	Teórico	Simulação
IB	19,41μA	19,3μA
IC	0,97 mA	0,966 mA
IE	0,990 mA	0,985 mA
VB	-0,2 V	-0,193V
VC	8,2 V	8,43V
VE	-0,9 V	-0,966 V
Ganho	46,57	45,20

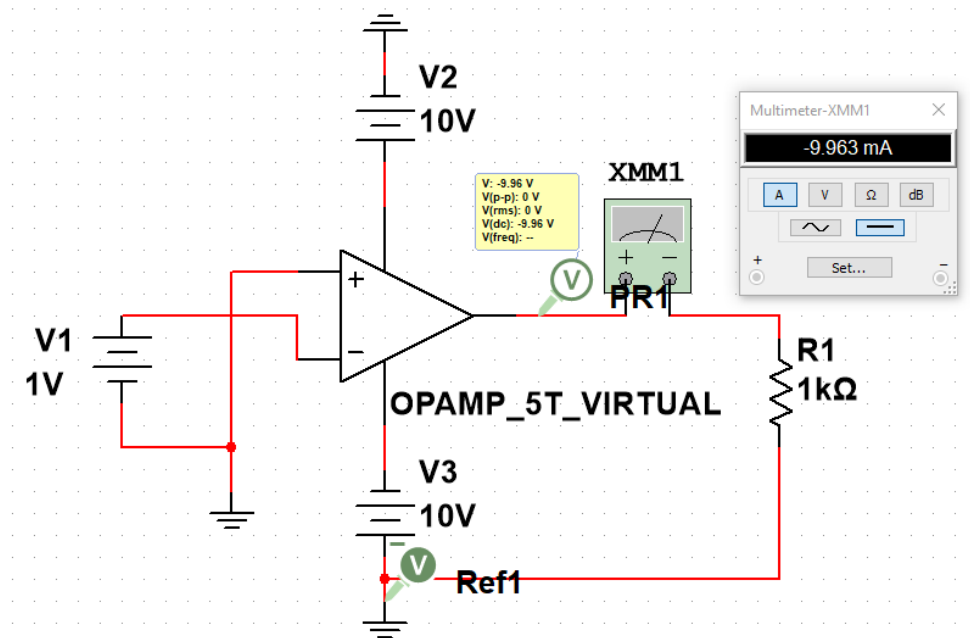
## 2.17.) OP-AMP

A)



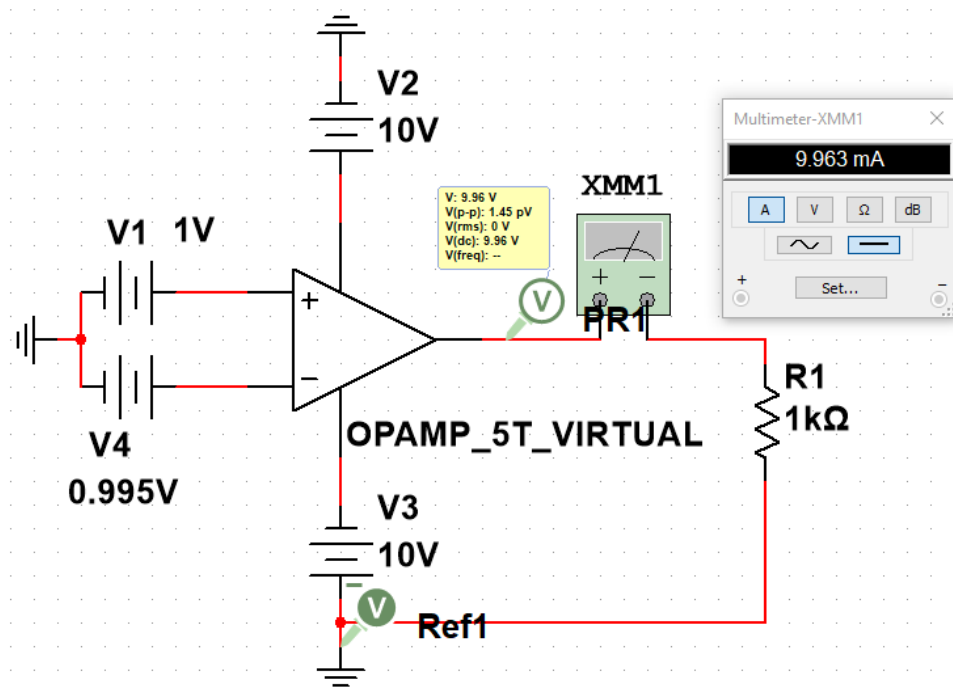
$$V_o = 10$$
$$I_f = 10/1k = 10 \text{ mA}$$

B)



$$V_o = -10$$
$$I_f = -10/1k = -10 \text{ mA}$$

C)



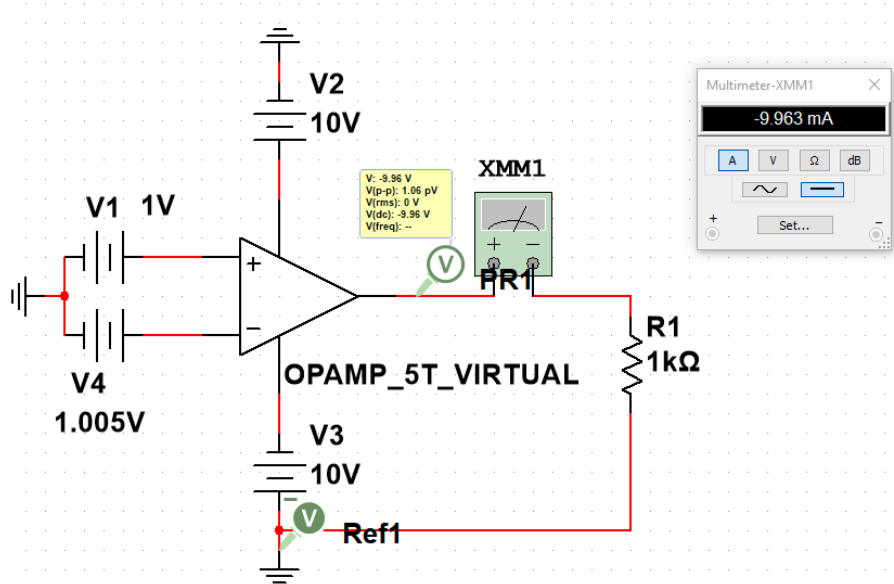
$$V2 = 1 \text{ V}$$

$$V1 = 0,995 \text{ V}$$

$$A \cdot (1 - 0,995)$$

$$V_o = 500 = 10 \text{ V}$$

D)



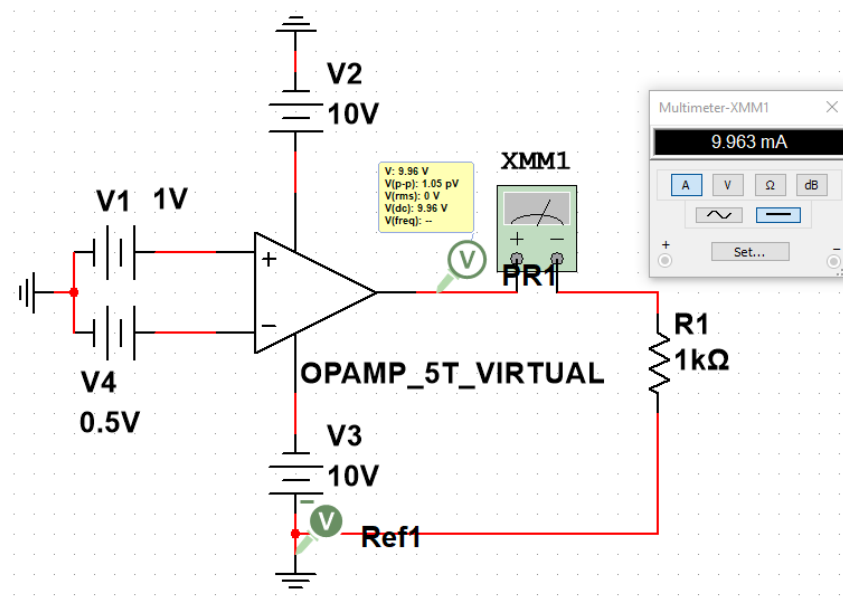
$$V2 = 1 \text{ V}$$

$$V1 = 1.005 \text{ V}$$

$$A \cdot (1 - 1.005)$$

$$V_o = -10 \text{ V}$$

E)



### 2.18.)

Considerando ganho infinito,  $R_1=1K$  e  $R_f=2K$

$$A_f = V_o/V_i = R_f/R_1 = -2K/1K = -2$$

**Para  $A = 100000$**

$$V_o/V_i = (1/((1/100000 - 1)/2000 + (1/100000)/1000))/1000 = -2,002$$

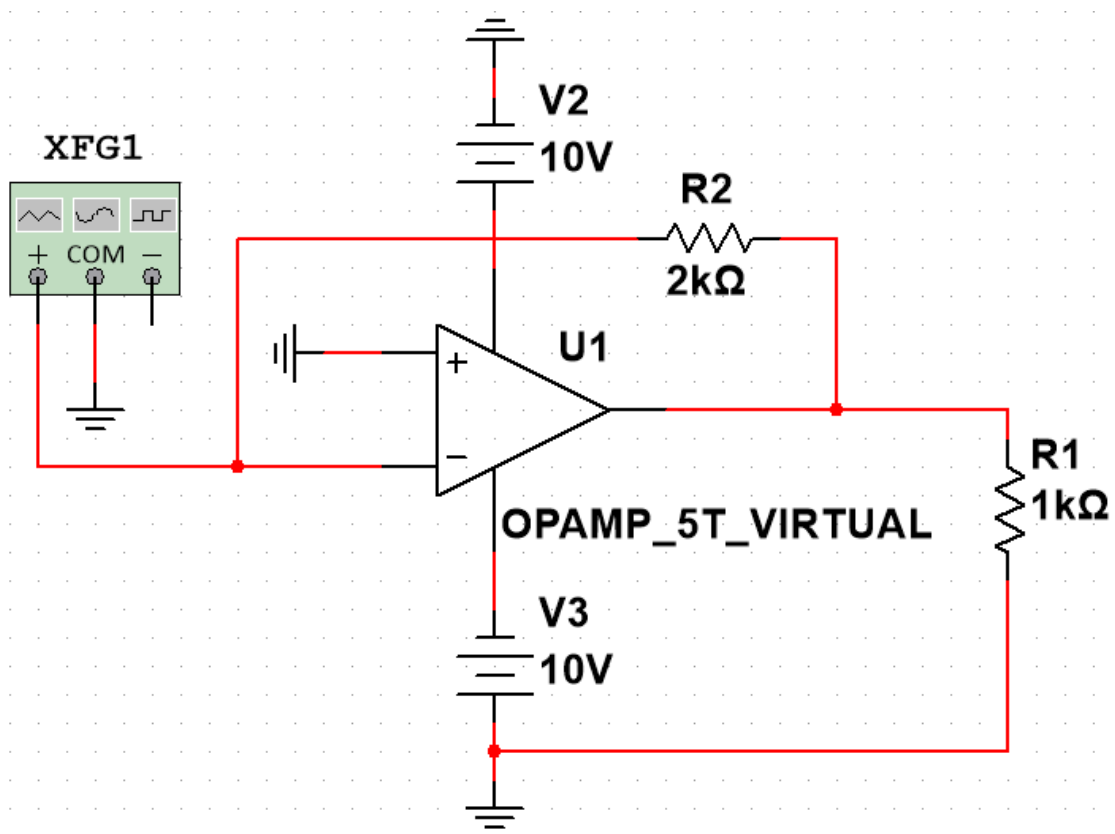
**Para  $A = 10000$**

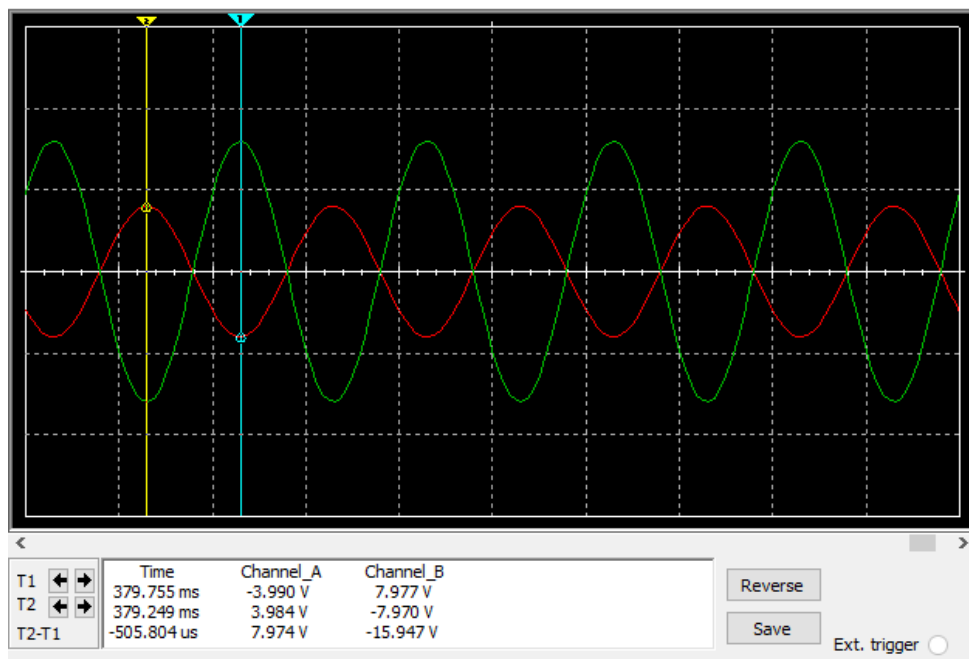
$$V_o/V_i = (1/((1/10000 - 1)/2000 + (1/10000)/1000))/1000 = -2,002$$

**Para  $A = 1000$**

$$V_o/V_i = (1/((1/1000 - 1)/2000 + (1/1000)/1000))/1000 = -2,002$$

Para simular foi usada uma entrada de 4V numa frequência de 1Khz







#### **4) CONCLUSÃO**

Com este trabalho foi possível reforçar todos os conhecimentos obtidos em sala de aula e realmente poder experimentar com componentes e circuitos estudados. Sendo possível analisar as grandes mudanças que pequenas alterações podem ocasionar e entender como melhor desenvolver um circuito, tendo em vista as propriedades e comportamentos de componentes específicos.