

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
FABIO IVO PEREIRA DE OLIVEIRA JUNIOR

CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M3

Relatório apresentado como requisito parcial  
para a obtenção da M3 da disciplina de  
Eletrônica básica 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 relatório tem como objetivo a simulação, representação e cálculos dos circuitos apresentados em sala durante a M3 da disciplina de eletrônica básica do curso de Engenharia de computação.

Serão demonstrados cálculos relativos aos conteúdos e as simulações realizadas no software NI Multisim e a comparação dos valores entre a teoria e a simulação, para que assim seja possível ver o quão correto estão os cálculos realizados em sala.

## **2. INTRODUÇÃO**

Transistores são dispositivos semicondutores, feitos com silício ou germânio e usados para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos. Eles são um bloco fundamental na construção de circuitos eletrônicos, como chips de computadores e smartphones.

Uma vez que esses dispositivos se comportam como chave, é necessária apenas uma análise DC de seu comportamento, porém quando é necessário seu uso para a implementação de um amplificador de sinais, torna-se necessária a sua interpretação de maneira AC. Para a análise AC é desconsiderada a influência dos capacitores de acoplamento e de passagem, transformando-os em curto-circuito, diferente da análise AC onde eles se tornam parte de um circuito aberto.

### 3. CIRCUITOS

#### 3.1 - EXERCÍCIOS

Considere o circuito apresentado. Determine a polarização DC e a análise AC.

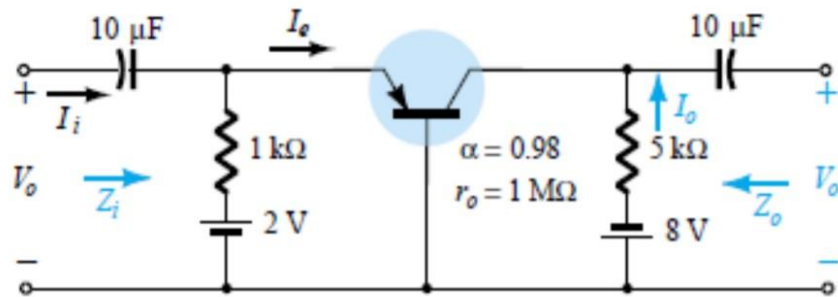


Figura 1 - Circuito proposto

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0,98}{1 - 0,98} = 49$$

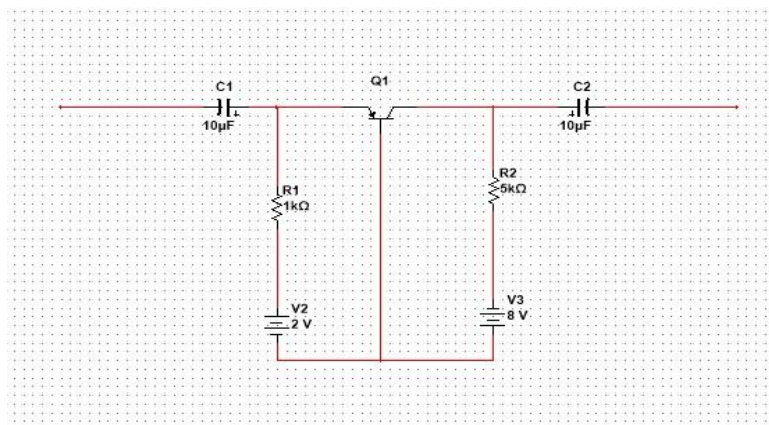
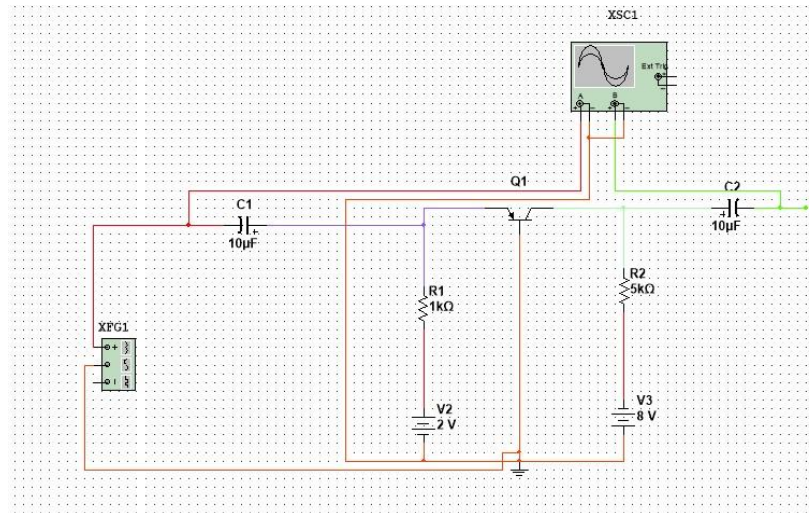
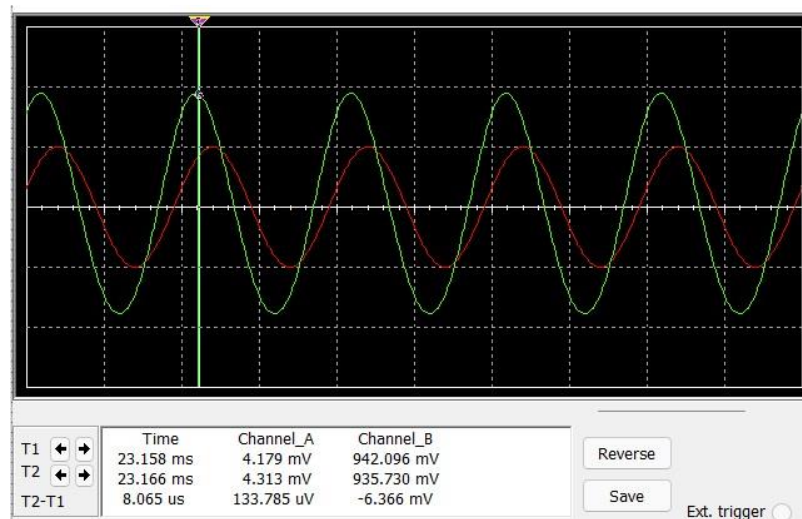


Figura 2 - Simulação



*Figura 3 - Circuito simulado conforme as especificações*



*Figura 4 - Forma de onda*

$$A_v = \left( \frac{V_o}{V_i} \right) = \frac{942,096mV}{4,179mV} = 225 V$$

Uma vez que o transistor em questão opera como um transistor PNP, Positivo-Negativo-Positivo, ele funciona como um amplificador de sinal de tensão, algo que é possível de se observar no ganho de tensão do circuito.

## ANÁLISE DC

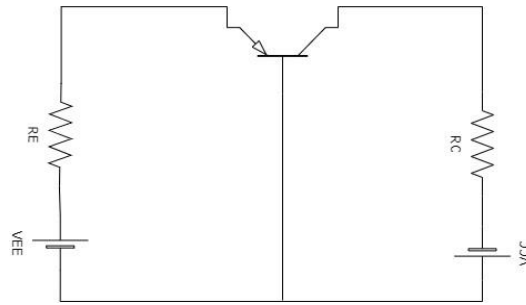


Figura 5 - Análise DC

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 - 0,7}{1k} = 1,3mA$$

$$I_C = \alpha * I_E = 0,98 * 1,3mA = 1,274mA$$

$$V_B = 0V$$

$$V_E = 0,7V$$

$$V_C = -V_{CC} + I_C * R_C = -8 + 1,274 * 4 = -2,9$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = 20 \Omega$$

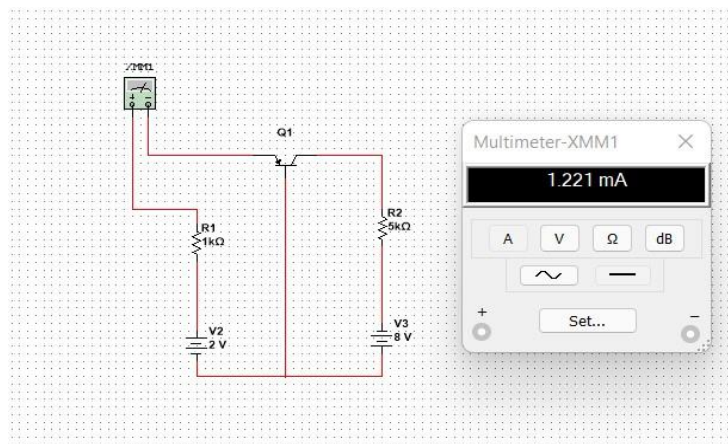


Figura 6 - Simulação DC com mensuração de  $I_E$

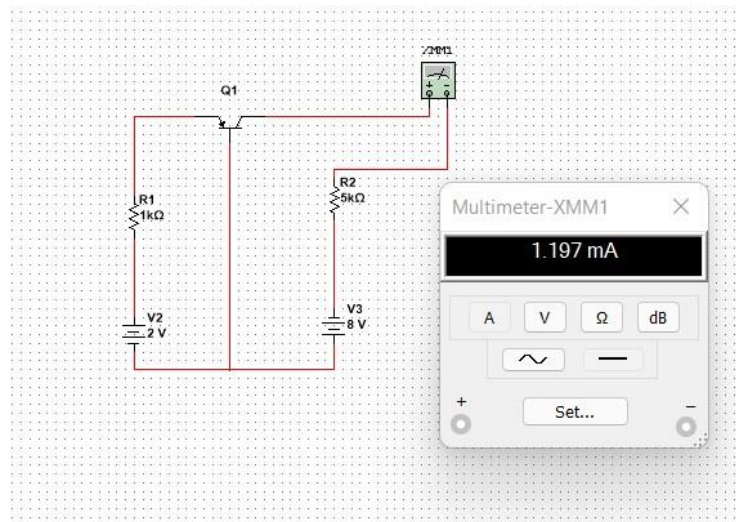
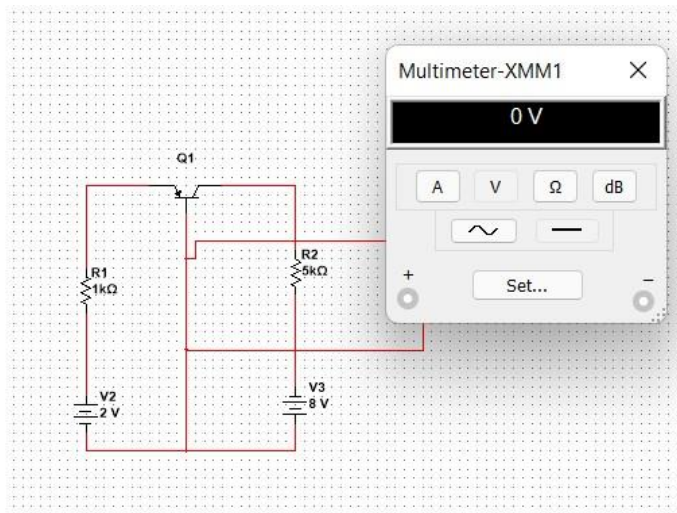
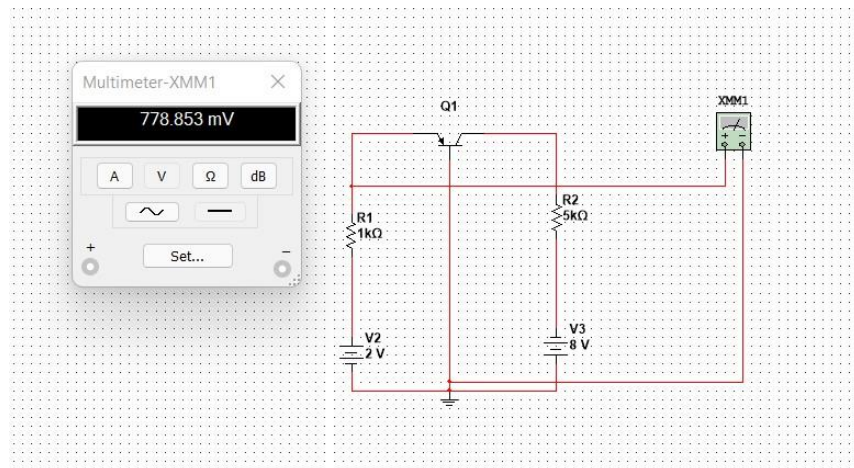


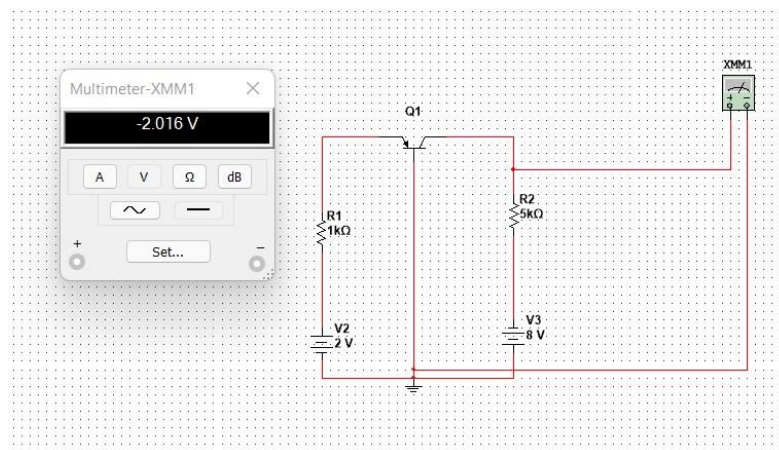
Figura 7 - Simulação DC com mensuração de  $I_C$



*Figura 8 - Simulação DC com mensuração de VB*



*Figura 9 - Simulação DC com mensuração de VE*

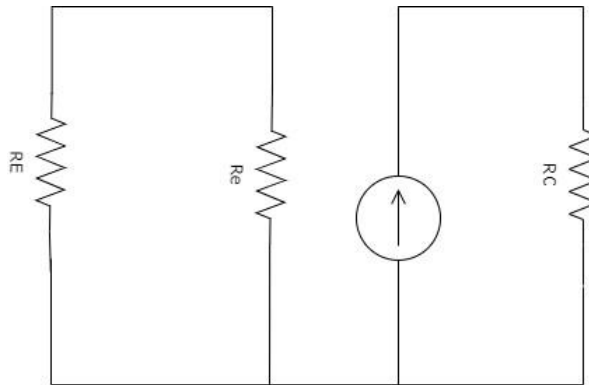


*Figura 10 - Simulação DC com mensuração de VC*

**TABELA COMPARATIVA**

Componente	Cálculo	Simulação
IE	1,3 mA	1,221 mA
IC	1,274 mA	1,197 mA
VB	0 V	0 V
VE	0,7 V	0,77 V
VC	-2,9 V	-2,016 V

## ANÁLISE AC



*Figura 11 - Análise AC*

$$Z_i = R_E // r_e = 19,6\Omega$$

$$Z_O = R_C = 5k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_c}{r_e} = 250$$

$$I_1 = \alpha * I_E = 1,3 * 0,98 = 1,274 A$$



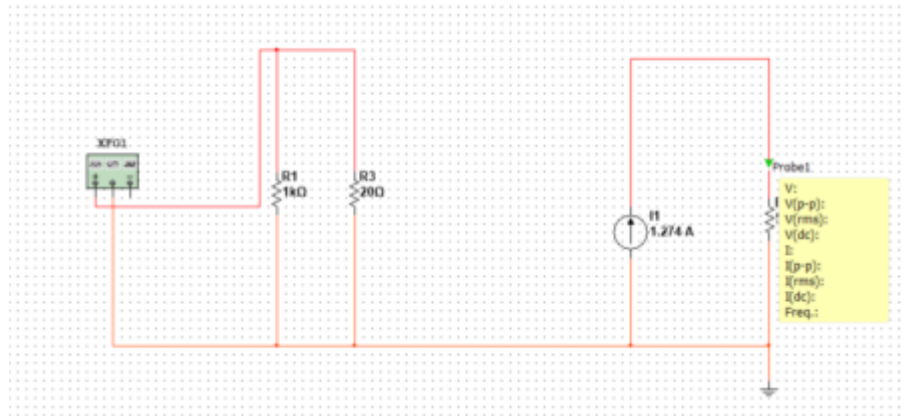


Figura 12 - Circuito AC

Para obtenção dos valores de impedância de entrada e saída, foi adicionada uma ponta de prova em cada um dos pontos e adicionada a expressão que divide a tensão da ponta de prova naquele ponto, pela corrente no mesmo ponto a ferramenta do Multisim AC Single Analysis, sendo assim foi possível a visualização de valores semelhantes aos calculados (figuras 13 e 14).

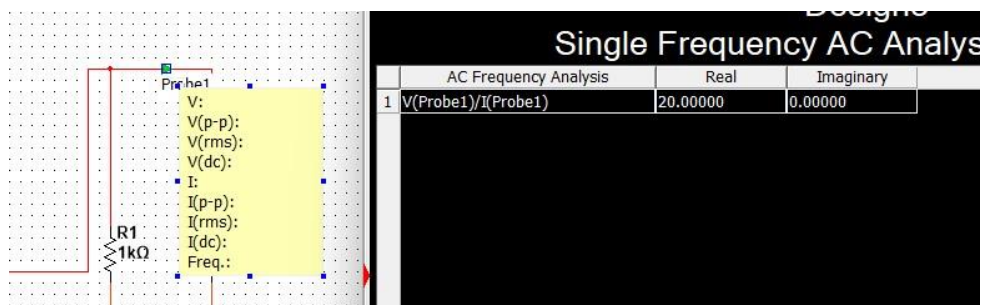


Figura 13 - Impedância Zi

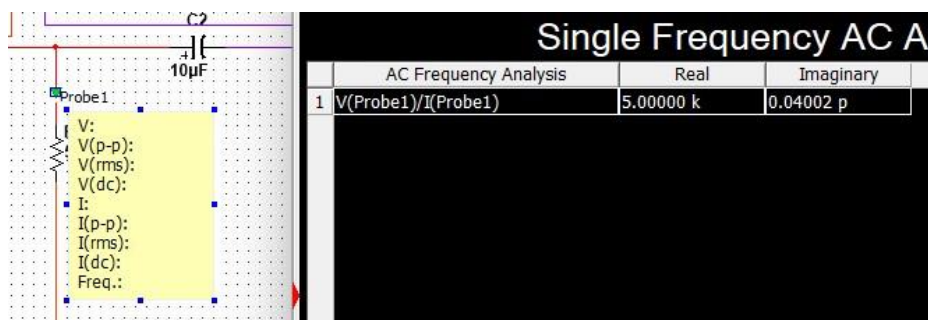


Figura 14 - Impedância Zo

Componente	Cálculo	Simulação
$Z_i$	$19,6 \Omega$	$20 \Omega$
$Z_o$	$5k$	$5k$
$A_v$	$250\Omega$	$225\Omega$

### 3.1-2 - POLARIZAÇÃO FIXA

Determine:

a)  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$ ,  $V_{CE}$

b)  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$

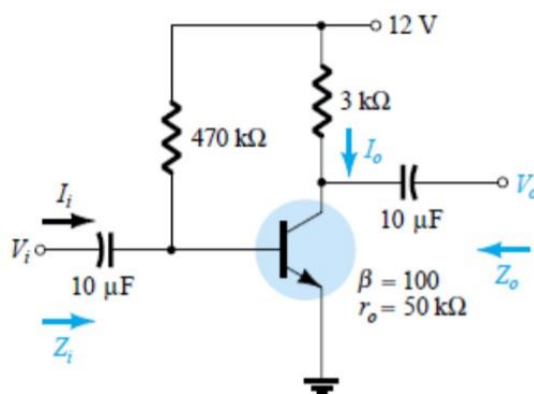


Figura 15 - Circuito proposto

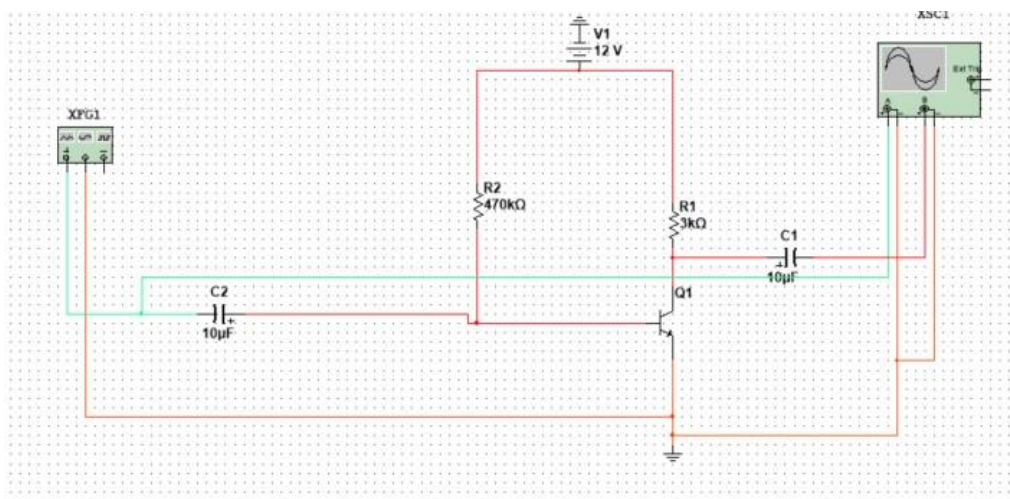


Figura 16 - Circuito simulado

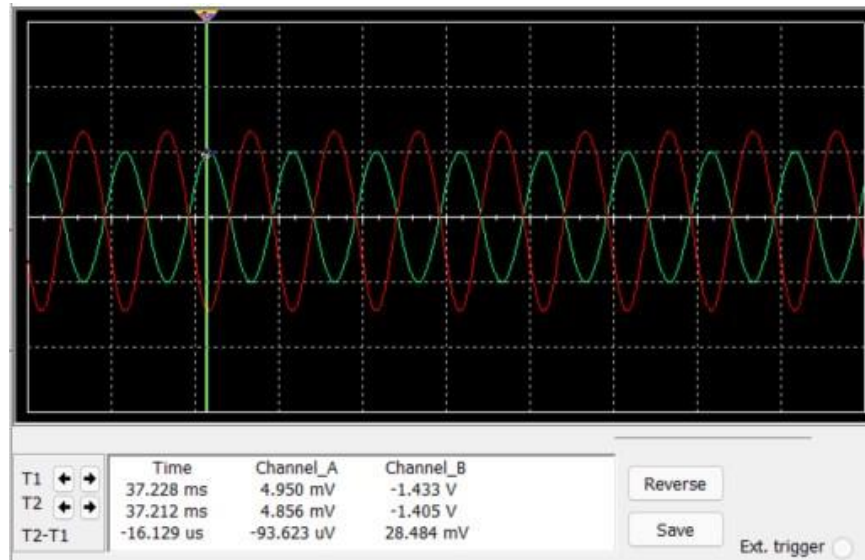


Figura 17 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = -\frac{1,433}{4,950\text{mV}} = -289$$

Para a visualização no osciloscópio de valores de ganho de tensão ao nível do resultado obtido, foram necessárias escalas diferentes para cada um dos canais, tendo  $V_i$  uma escala de visualização muito menor.

## ANÁLISE DC

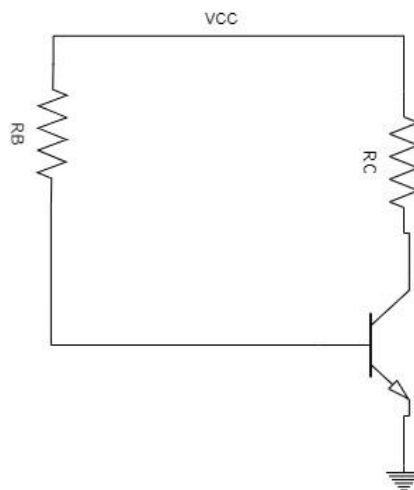


Figura 18 - Análise DC

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0,7}{470k} = 24,04 \mu A$$

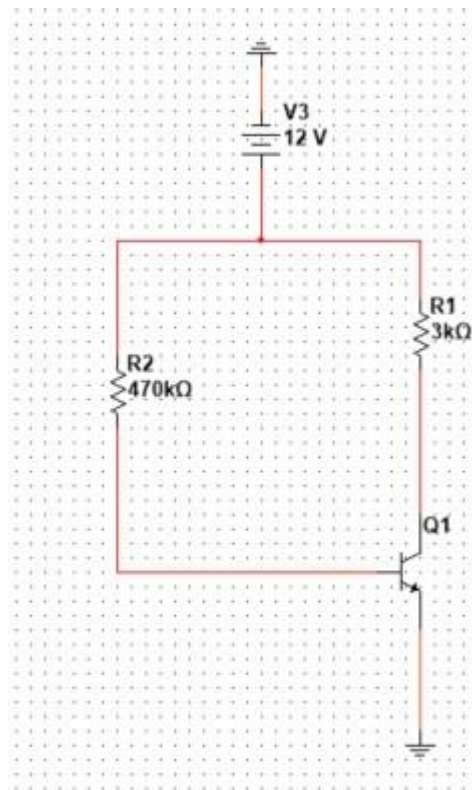
$$I_C = 100 * 24,04 \mu A = 2,4mA$$

$$I_E = (100 + 1) * 24,04 \mu A = 2,43mA$$

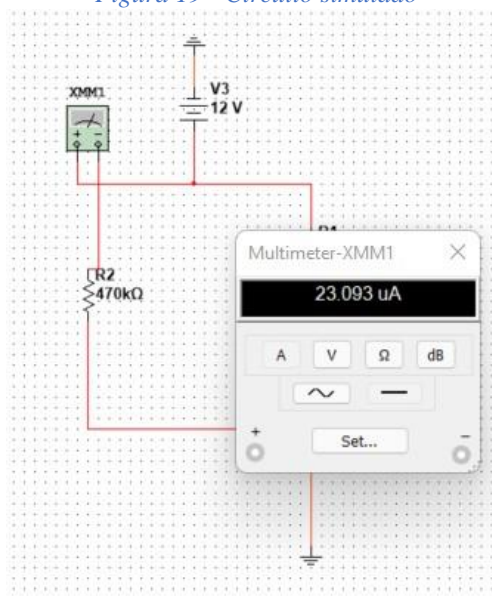
$$V_B = V_{CC} - I_B * R_B = 12 - 24,04 \mu A * 470k = 0,7012$$

$$V_{CE} = V_C = V_{CC} - I_C * R_C = 12 - 2,4mA * 3k = 4,8V$$

$$I_{csat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{3000} = 4mA$$



*Figura 19 - Circuito simulado*



*Figura 20 - Mensuração de IB*

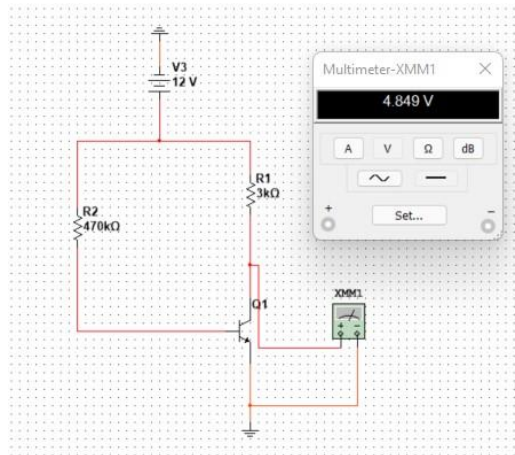


Figura 21 - Mensuração de VCE

### TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
IB	24,04 $\mu A$	23,093 $\mu A$
IC	2,4 mA	2,384 mA
IE	2,43 mA	2,408 mA
VB	0,7 V	0,667 V
VC	4,8 V	4,849 V
VCE	4,8 V	4,849 V

### ANÁLISE AC

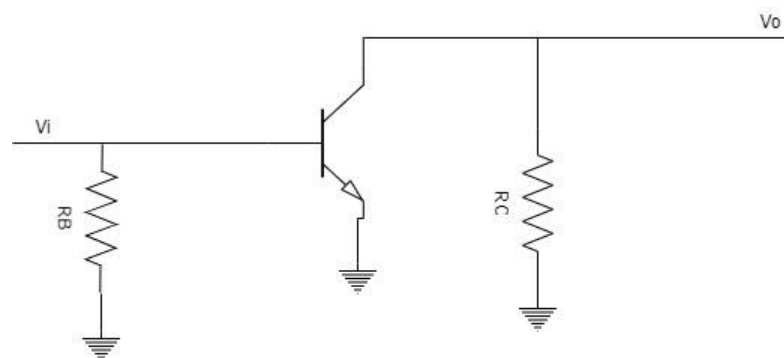


Figura 21 - Análise AC

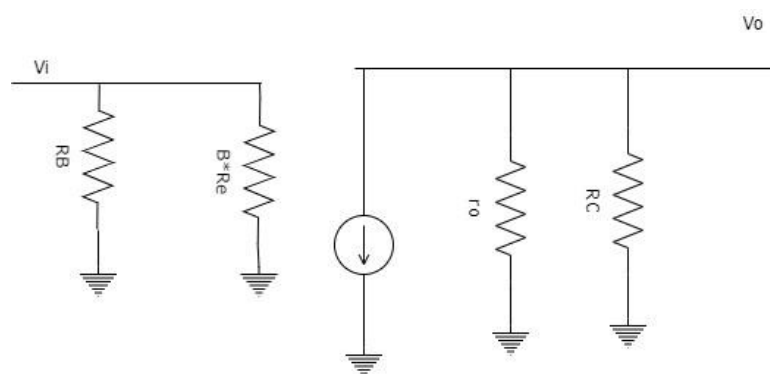


Figura 22 - Análise AC

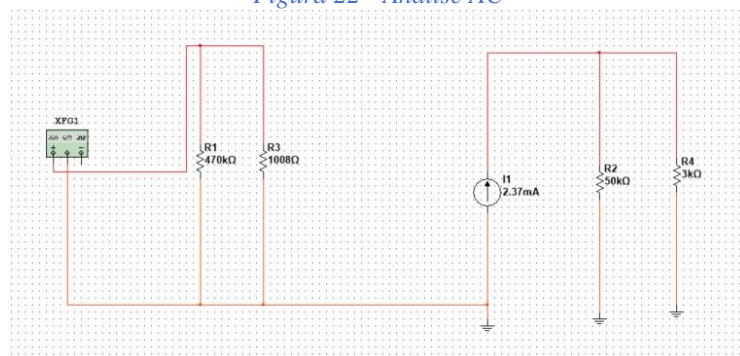


Figura 23 - Simulação AC

$$Re = \frac{26mV}{IE} = \frac{26mV}{2,4mA} = 10,083$$

$$Zi = RB // \beta * re = 47000k // 100 * 10,083 = 1.006,14\Omega$$

$$Z0 = RC // ro = 50k // 3k = 2.830\Omega$$

$$Av = \frac{vo}{vi} = \frac{-RC}{re} = \frac{-3000}{10,83} = -277$$

$$I1 = \alpha * IE = 2,4mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 2,37mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	1.006,14	1.080
Z0	2830 $\Omega$	1278 $\Omega$
Av	- 277 $\Omega$	-289 $\Omega$



## 3.2 - ANÁLISE AC - EMISSOR COMUM

### 3.2-1 - DIVISOR DE TENSÃO

Determine:

a)  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$ ,  $V_{CE}$

b)  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_V$

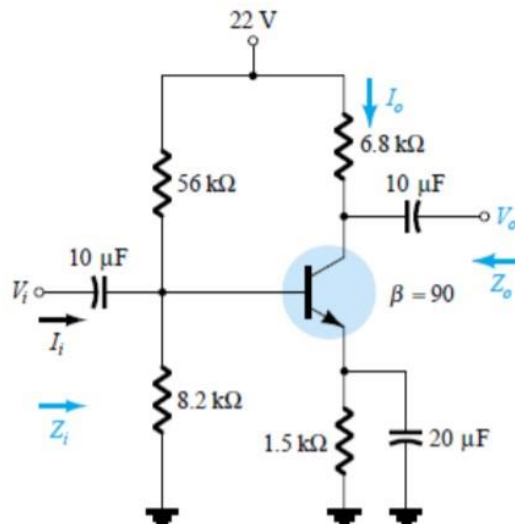


Figura 24 - Circuito proposto

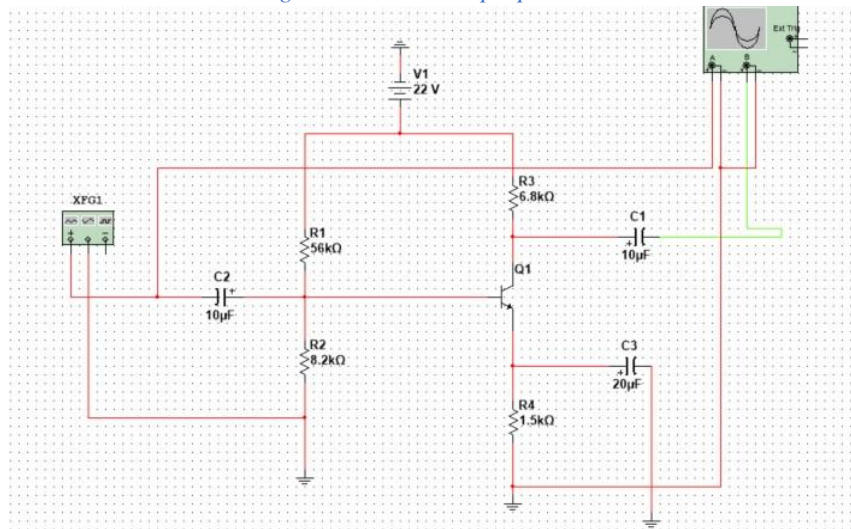


Figura 25 - Simulação

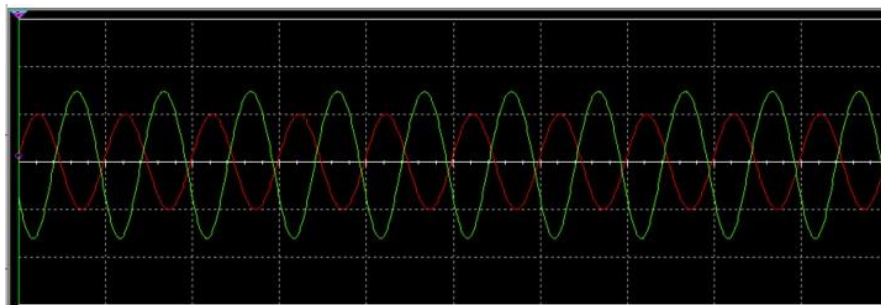


Figura 26 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1,470\text{ V}}{-4,491\text{ mV}} = -327,32$$

O circuito divisor de tensão possui como característica a obtenção de tensões menores do que as geradas pelo gerador de tensão, desta forma, no circuito com um transistor TBJ ele possui dois resistores ligados em paralelo, os quais devem ser calculados utilizando o teorema de Thévenin.

## ANÁLISE DC

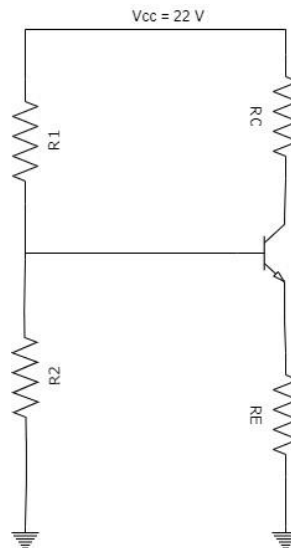


Figura 27 - Análise DC

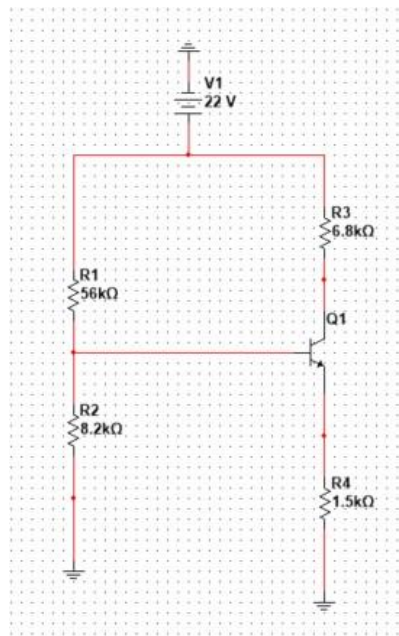


Figura 28 - Simulação DC



$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{8,2k * 22}{8,2k + 56k} = 2,81 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,81 - 0,7 = 2,11 V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2,11}{1,5k} = 1,41 mA$$

$$I_C = I_E = 1,41 mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C = 22 - 1,41 mA * 6,8k = 12,41 V$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E) = 22 - 1,41 mA * (6,8k + 1,5k) = 10,3 V$$

#### TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
VB	2,81 V	2,71 V
VE	2,11 V	1,93 V
IC	1,41 mA	1,27 mA
IE	1,41 mA	1,27 mA
VC	12,41 V	13,53 V
VCE	10,3 V	11,42 V

#### ANÁLISE AC

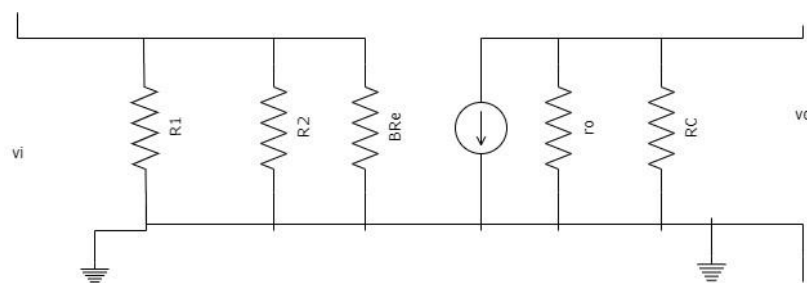


Figura 29 - Análise DC

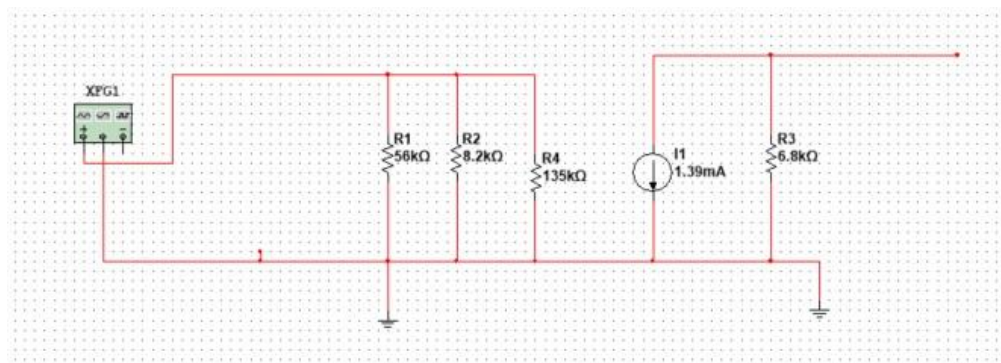


Figura 30 - Simulação análise DC

$$\begin{aligned}\beta_{re} &> 10 * R_2 \\ 90 * 1,5k &> 10 * 8,2k \\ 135k &> 82k \\ V_B &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{8,2k * 22}{56k + 8,2k} = 2,81 V \\ V_E &= V_B - V_{BE} = 2,81 V - 0,7 V = 2,11 V \\ R_{th} &= R_1 // R_2 = 56k // 8,2k = 7,15k\Omega \\ Z_i &= R_{th} * \beta_{re} = 7,15k // 135k = 6,79k\Omega \\ Z_o &= R_C = 6,8k\Omega \\ A_v &= \frac{-R_C}{r_e} = - \frac{6,8k}{18,44} = - 368,76\end{aligned}$$

$$I_1 = \alpha * I_E = I_1 = 1,41mA * (\frac{\beta}{\beta+1}) = 1,39 mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	6,79k	6,79k
Z0	6,8k $\Omega$	6,8k $\Omega$
Av	- 277 $\Omega$	-289 $\Omega$

### 3.2-2 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Considere sem o capacitor CE Determine:

- IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE
- Zi, Zo, AV

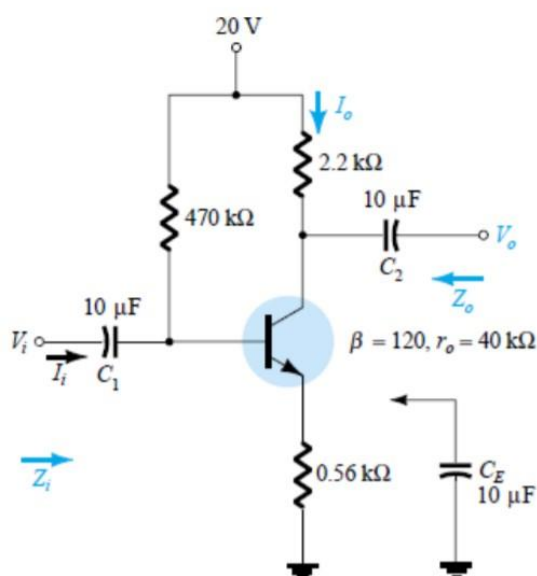


Figura 31 - Circuito proposto

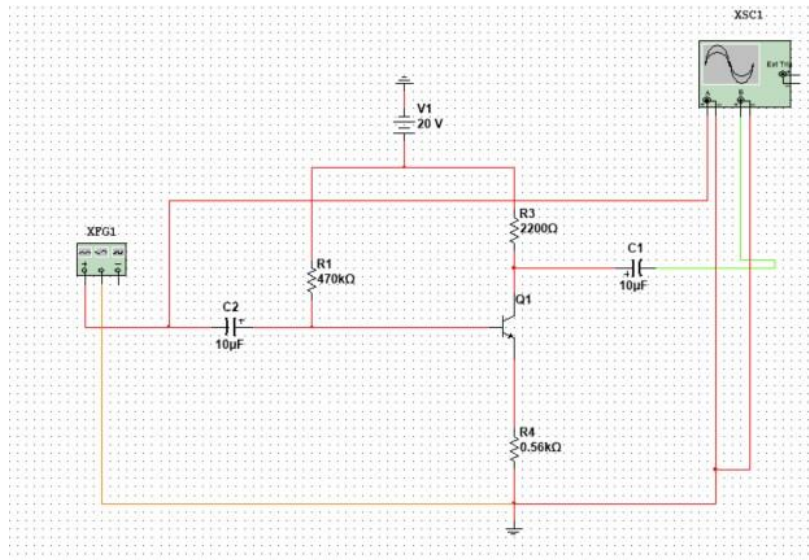


Figura 32 - Simulação

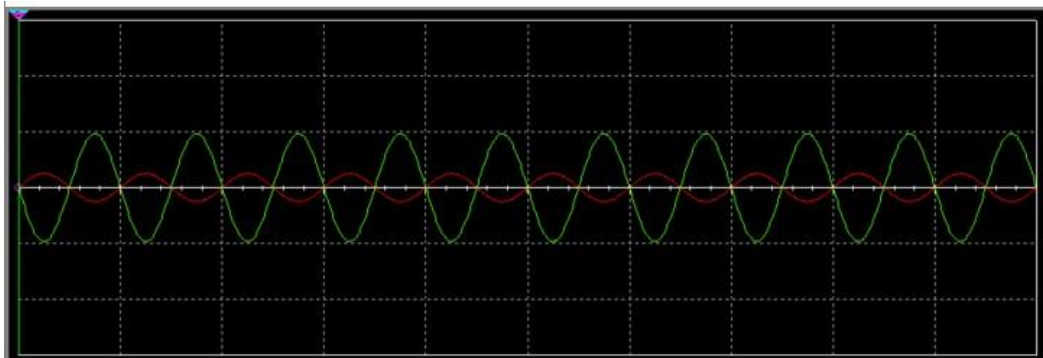


Figura 33 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{18,79mV}{-4,998mV} = -3.75$$

## ANÁLISE DC

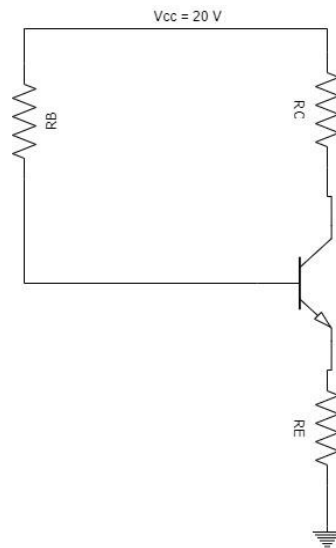


Figura 34 - Análise DC

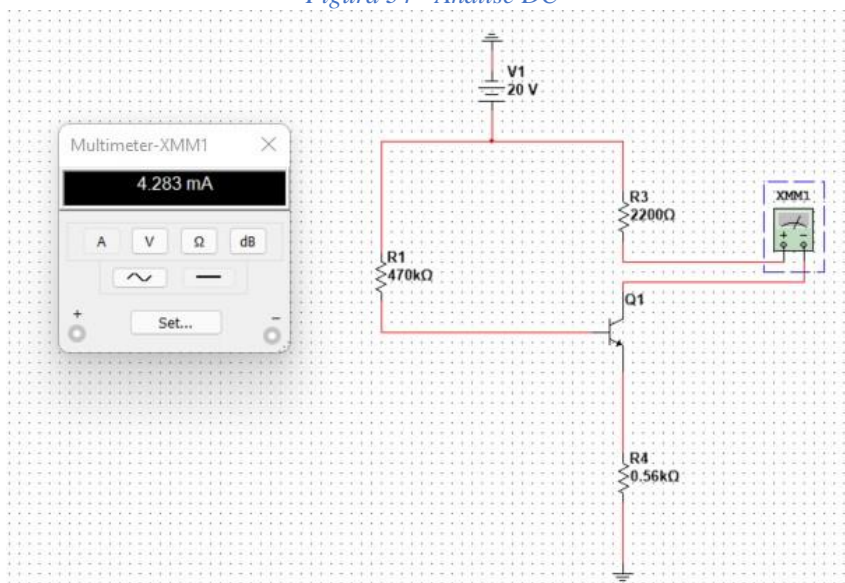


Figura 35 - Simulação DC e mensuração de IC

$$V_{cc} - I_B * R_B - V_{BE} - (\beta + 1) * I_B * R_E$$

$$I_B = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) * R_E} = \frac{20 - 0,7}{470k + (120 + 1) * 560} = 35,89 \mu A$$

$$I_E = (\beta + 1) * I_B = 121 * 35,89 \mu A = 4,34 mA$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$V_B = V_{cc} - I_B * R_B = 20 - 35,89 \mu A * 470000 = 3,13 V$$

$$V_C = V_{cc} - I_C * R_C = 20 - 4,34 mA * 2200 = 10,452 V$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C * (R_C + R_E) = 20 - 4,34 mA * (2200 + 560) = 8,02 V$$

Componente	Cálculo	Simulação
IB	35,9μA	35, 89 μA
IC	4,28 mA	4, 34 mA
IE	4,29 mA	4, 34 mA
VB	3,23 V	3, 13 V
VC	10,58 V	10, 452 V
VCE	8,16 V	8, 02 V

ANÁLISE AC

8, 02 V

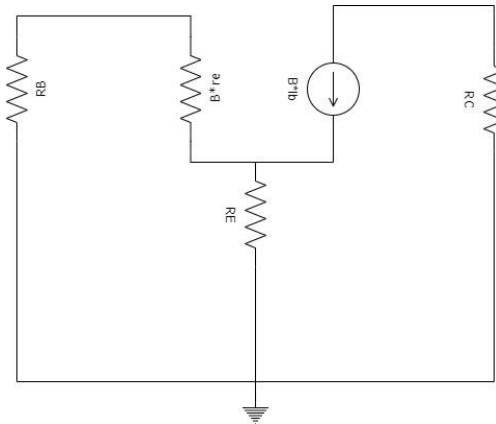


Figura 36 - Análise AC

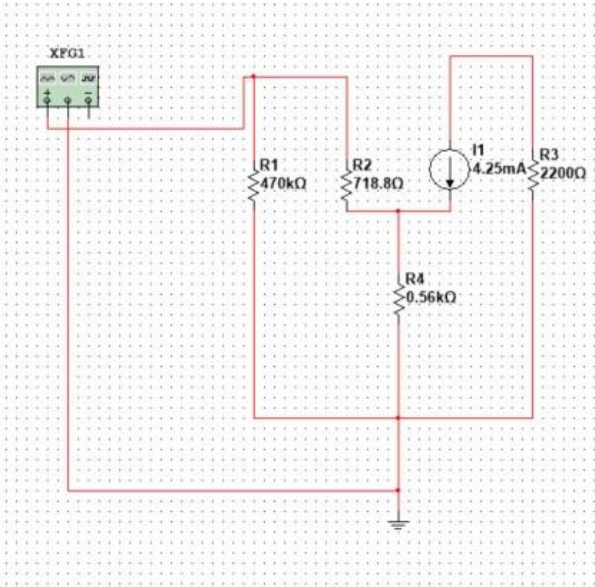


Figura 37 - Simulação AC

ANÁLISE AC

$$Zb = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * RE$$

$$Z_b \simeq \beta(re + RE)$$

$$re = \frac{26mv}{IE} = \frac{26mv}{4,34mA} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = RB // Z_b = 470000 // 120 * (5,99 + 560) = 470000 // 67918,80$$

$$Z_i = 59.343,22$$

$$Z_o = RC // r_o = 2200 // 40000 = 2,085k\Omega$$

$$Av = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta RC}{Z_b} = \frac{-120 * 2200}{67918,8} = -3,89$$

$$I_1 = \alpha * IE = I_1 = 4,29mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 4,25mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	59,34k	59,77k
Z0	2,085kΩ	3,3k Ω
Av	- 3,89Ω	-3,75Ω

### 3.2-3 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Repita o exercício anterior – Acrescente o capacitor CE

Determine: a) IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE

b) Zi, Zo, AV

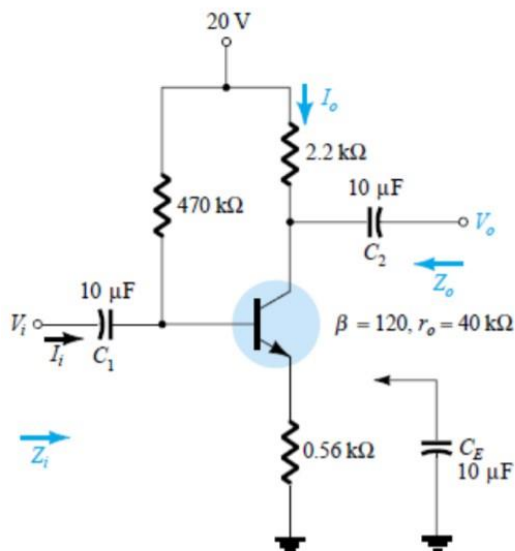


Figura 38 - Circuito proposto

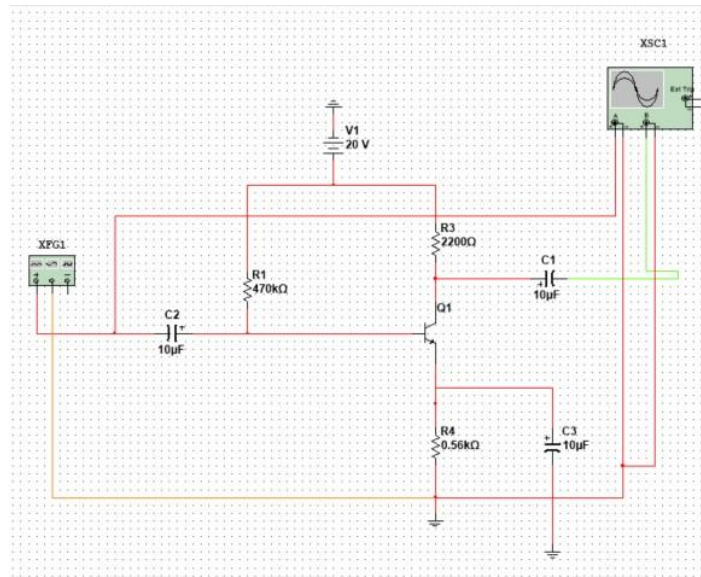


Figura 39 - Circuito simulado

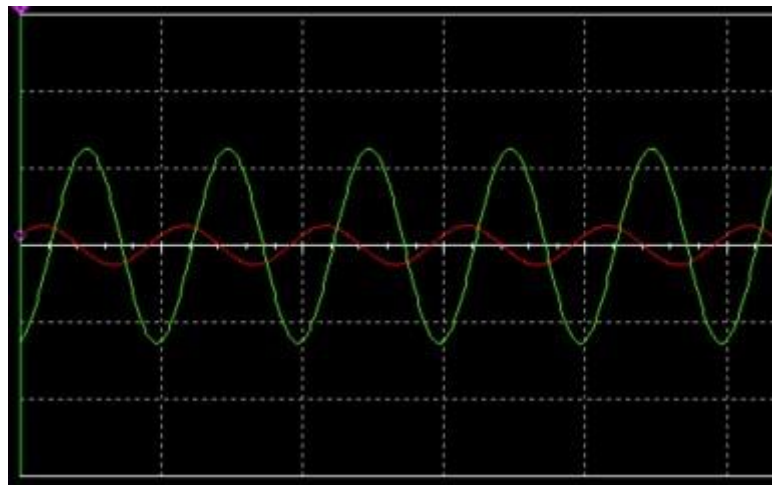


Figura 40 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{626,59mV}{-1,753mV} = -357,43$$

## ANÁLISE DC

A análise DC permanece inalterada para o circuito DC, uma vez que são retirados os capacitores para esta análise.

## ANÁLISE AC

Devido a ação do capacitor ao lado do resistor RE, ele entra em curto e é retirado, sendo assim, a análise AC torna-se a mesma que em um circuito de emissor-comum.



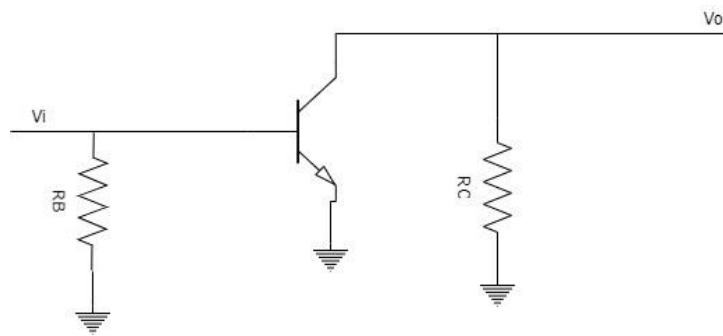


Figura 41 - Análise AC

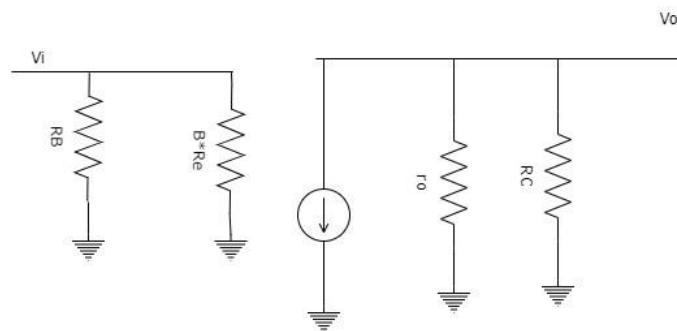


Figura 42 - Análise AC

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * R_E$$

$$Z_b \approx \beta(r_e)$$

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{mV}}{4,34\text{mA}} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = R_B // Z_b = 470000 // 120 * (5,99) = 470000 // 718,80$$

$$Z_i = 717,7\Omega$$

$$Z_o = R_C = 2200\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_C}{r_e} = \frac{-2200}{5,99} = -372,8$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	717,7k	717,7k $\Omega$
Z0	2,2k $\Omega$	3,3k $\Omega$
Av	-372,8	-357,43 $\Omega$



## **CONCLUSÃO**

Com o presente relatório foram consolidados os conhecimentos adquiridos ao das duas aulas de Eletrônica Básicas equivalentes a M3.

Através dos cálculos e comparações com as simulações foram vistos resultados semelhantes e positivos, indicando que o uso dos componentes e das fórmulas estavam corretos e contribuindo ainda mais para a aprendizagem.