

## TP3 – Experiência 4: Transístor como amplificador

A92839 - Beatriz Sousa Demétrio | A92846 - Carlos Miguel Passos Ferreira  
Alunos do Mestrado Integrado em Engenharia Física

Na experiência 4, procedeu-se à montagem de um circuito que representa um amplificador com emissor comum e uma resistência no emissor de forma a entender o seu funcionamento como amplificador de corrente e verificar também qual o seu comportamento quando se varia parâmetros como a tensão de base e a tensão do coletor.

### Preparação para o trabalho

Com auxílio do programa *Tina-Ti*, elaboramos o seguinte circuito, cuja entrada é uma onda sinusoidal com 0,2V de amplitude e uma frequência de 1 KHz. No guião, a resistência de 2k $\Omega$  corresponde a um potenciômetro em 20% do seu valor, porém esta foi utilizada de forma a condizer com o circuito montado experimentalmente. Além disso, foi utilizada uma resistência de 3,9 k $\Omega$  ao invés de uma resistência de 4k $\Omega$ , para maior aproximação com os dados do laboratório.

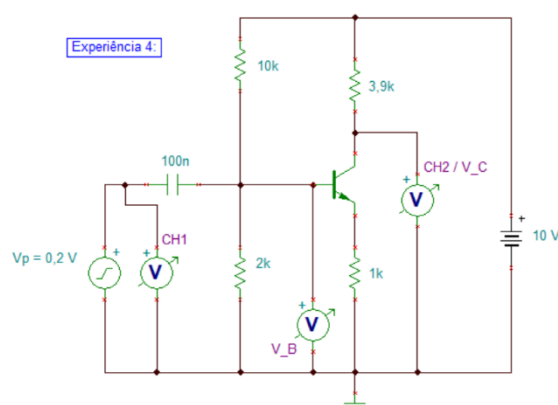


Figura i. Montagem do circuito através do Tina-Ti

### 4.1.

Com auxílio do Osciloscópio Virtual do *Tina-Ti*, foram registadas as formas de onda à entrada (CH1) e à saída (CH2):

**CH1 = 0,2 V/div**

**CH2 = 2 V/div**

**B. TEMPO = 0,2 ms/div**

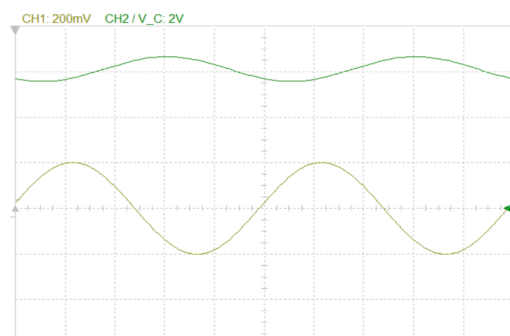


Figura ii. Representação no osciloscópio virtual das ondas de entrada e saída para a alínea 4.1

Como podemos visualizar, a onda do sinal de saída encontra-se aproximadamente 6V acima do referencial, proveniente da CC presente no coletor do transístor, enquanto que a onda de



entrada se encontra centrada no referencial por ser um sinal alternado sem valor contínuo atribuído.

#### 4.2.

Uma vez que a onda de entrada tem uma frequência de 1 kHz, podemos obter o seu período:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \text{ kHz}} = 1 \text{ ms}$$

Através das propriedades do osciloscópio, obtemos o desfasamento entre o máximo de uma onda e o máximo da outra onda, como demonstra a figura ao lado:

De seguida, basta realizar a regra dos três simples, sendo que 1 ms corresponde a 360°:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ms} - 360^\circ \\ 0,375 \text{ ms} - x \end{array} \right\} x = 135^\circ = \frac{3\pi}{4} \text{ rad}$$

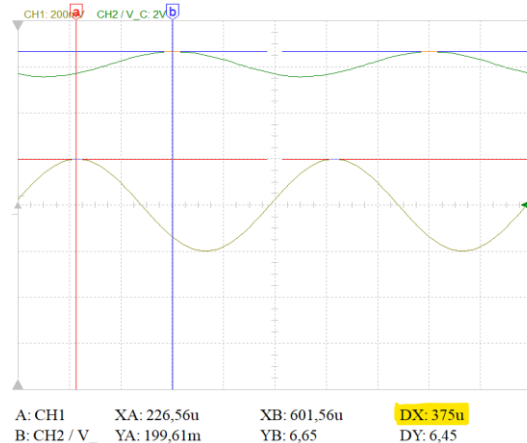


Figura iii. Obtenção do Desfasamento temporal através da análise das ondas de entrada e saída representadas no Osciloscópio Virtual

Assim, pode-se concluir que a onda de saída se encontra aproximadamente atrasada cerca de  $\frac{3\pi}{4}$  rad atrasada em relação à onda de entrada.

O facto do valor não corresponder ao valor ideal  $\pi \text{ rad}$  ( $180^\circ$ ) provém da impedância (e por sua vez da fase) do condensador, o qual deve ser considerado usando o *Tina* e somado aos  $180^\circ$  impostos pelo transístor.

#### 4.3.

Sendo que pretendemos o valor médio de  $V_B$  e  $V_C$ , iremos analisar o circuito apresentado em corrente contínua.

Ora, sabemos que os condensadores em corrente contínua funcionam como um circuito aberto, ou seja, iremos ficar com um circuito que contém apenas um transístor com uma polarização por divisor de tensão (como vemos na imagem ao lado). Devido às características do transístor usado, iremos considerar que  $\beta = 100$ .

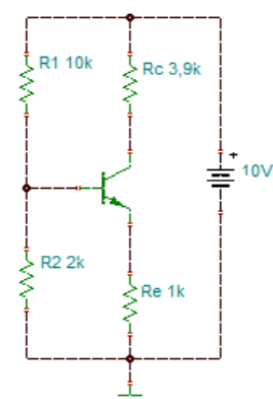


Figura iv. Análise em CC do circuito

Para descobrir  $V_B$  e  $V_C$ , iremos usar o *Teorema de Thevenin*, onde teremos que:

$$R_{Th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \text{ e } V_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Portanto, o circuito irá ficar da seguinte maneira:

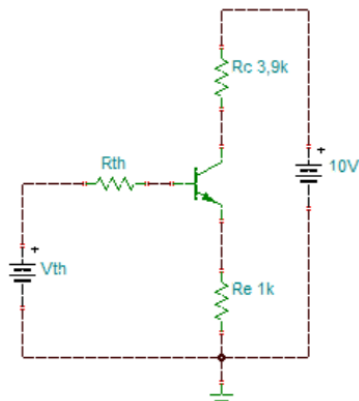


Figura v. Circuito equivalente de Thevenin

Onde teremos que os valores de  $R_{Th}$  e  $V_{Th}$  são os seguintes:

- $R_{Th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \Leftrightarrow R_{Th} = \frac{10 \times 2}{10 + 2} \Leftrightarrow R_{Th} = 1,67k\Omega$
- $V_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Leftrightarrow V_{Th} = 10 \frac{2}{10 + 2} \Leftrightarrow V_{Th} = 1,67V$

Com isto já sabemos o valor de  $V_B$ , que é igual ao valor de  $V_{Th}$ . Por isso, temos que:

$$V_B = V_{Th} = 1,67V$$

Agora, para podermos calcular o valor de  $I_B$ , iremos aplicar a 2ª lei de Kirchhoff, a lei das malhas, que nos diz que a soma das tensões ao longo de uma malha é igual a zero. Assim, aplicando esta lei teremos que:

$$-V_{Th} + R_{Th}I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

Como iremos considerar que  $I_E \approx I_C$  e também que  $I_C = \beta I_B$  vamos ter que:

$$\begin{aligned} -V_{Th} + R_{Th}I_B + V_{BE} + R_E \beta I_B &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow -1,67 + 1,67kI_B + 0,6 + 1k \times 100I_B &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow I_B &\approx 10,5 \mu A \end{aligned}$$

Logo, como  $I_C = \beta I_B$  então vamos ter que:

$$I_C = 1,05 mA$$

Designemos por  $V$  a queda de tensão que passa na resistência  $R_C$ . Consequentemente, o valor de  $V$  será igual a:

$$R_C = \frac{V}{I_C} \Leftrightarrow V = R_C \times I_C \Leftrightarrow V = 3,9k \times 1,05m \Leftrightarrow V = 4,095V$$

Deste modo, teremos que o  $V_C$  é igual a:

$$V_C = 10 - V \Leftrightarrow V_C = 10 - 4,095 \Leftrightarrow V_C = 5,905V$$

Em suma, temos que os valores médios teóricos de  $V_B$  e  $V_C$  são:  $V_B = 1,67V$  e  $V_C = 5,905V$ .



Com auxílio do Multímetro Virtual do *Tina-Ti* em DC, conseguimos registar também os seguintes valores médios para as suas respetivas amplitudes do sinal aplicado à entrada:

Amplitude (V)	$V_B$ (V)	$V_C$ (V)
0,2	1,65	6,11
0,5	1,65	6,11
1,0	1,65	6,11
2,5	1,65	6,11

Tabela 1. Valores de  $V_C$  e  $V_B$  obtidos para diferentes amplitudes do sinal de entrada recorrendo ao multímetro virtual

Como medimos estes valores com o multímetro em DC, então mais uma vez os condensadores irão estar em circuito aberto, o que irá fazer com que a parte da fonte do sinal de entrada não “funcione”. Por isso, mesmo variando a amplitude do sinal de entrada, não irá alterar os valores médios pedidos, como aqui verificamos.

A diferença dos valores obtidos teoricamente e dos valores obtidos na *Tina-Ti* pode ser explicado pelo facto de que o  $I_E$  não é igual a  $I_C$ , e sim igual à soma de  $I_B$  com  $I_C$ . Mas essa aproximação pode ser feita pois, em comparação com o valor de  $I_C$ , o valor de  $I_B$  é muito reduzido, sendo por isso muito próximo de zero.

#### 4.4.

Como estamos a tratar de um amplificador emissor comum com uma resistência no emissor, neste caso é  $R_E$ , vamos ter que o ganho  $A$  é dado por:

$$A = -\beta \frac{R_C}{r'_b + \beta R_E} = -\frac{R_C}{r'_e + R_E}$$

onde  $r'_e \approx \frac{25 \text{ mV}}{I_E}$  e  $r'_b \approx \frac{25 \text{ mV}}{I_E/(\beta+1)} \approx \beta r'_e$ . Mas visto que  $r'_e$  é um valor muito pequeno, ou seja, muito próximo de zero, então, por consequência, teremos que:

$$(1) \quad A \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

Outra equação que iremos utilizar é a seguinte:

$$(2) \quad A = \frac{V_o(p)}{V_i}$$

onde  $V_o(p)$  é o valor da amplitude de saída de  $V_o$  e  $V_i$  é o módulo da amplitude da onda de entrada.

Repare que se seguirmos a equação (1) em cima apresentada, iremos considerar que o ganho se mantém sempre constante independentemente do valor das amplitudes da onda de entrada. Ora, isto não é verdade pois existe um certo valor de  $V_i$  limite na qual o transístor vai começar a “cortar” o sinal de entrada. Neste caso, esse limite que nós poderemos obter no coletor são os 10V. Mas na alínea anterior, descobrimos que em CC o valor de  $V_C$  é igual a 5,905V.



Portanto, podemos dizer que iremos atingir o limite quando houver, no coletor do transístor, um sinal com valor pico maior ou igual que  $10 - 5,905 = 4,095 \text{ V}$ .

Em resumo, quando  $V_i = 2,5 \text{ V}$  teremos que o  $V_0$  correspondente será de  $4,095 \text{ V}$  e que por isso o ganho será de 1,64. Se fizéssemos da mesma maneira que fizemos para os outros valores de  $V_i$ , teríamos que  $V_0$  seria igual a  $9,75 \text{ V}$ , que é muito superior ao limite, sendo assim um absurdo.

Por isso, calculando os valores temos que:

$V_i (\text{V})$	$V_0 (\text{V})$	$A = V_0/V_i$ ou $A \approx R_c/R_E$
0,2	0,780	3,9
0,5	1,950	3,9
1,0	3,900	3,9
2,5	4,095	1,6

Tabela 2. Valor de  $V_0$ (pico) e respetivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através de cálculos

Recorrendo ao Osciloscópio Virtual e recolhendo o valor da tensão de saída pico em AC, obtemos a seguinte tabela:

$V_i (\text{V})$	$V_0 (\text{V})$	$A = V_0/V_i$
0,2	0,54	2,7
0,5	1,36	2,7
1,0	2,70	2,7
2,5	3,94	1,6

Tabela 3. Valor de  $V_0$ (pico) e respetivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através do Osciloscópio Virtual

Em conclusão, os valores de  $V_0$  e  $A$  nas duas tabelas para o mesmo  $V_i$  são diferentes e isso pode ser explicado pelo facto de que nos cálculos teóricos não estamos a considerar que  $r'_e$ , a resistência do emissor, que apesar de ser muito pequena e muito próxima de zero, ela existe e faz com que o ganho seja menor. Além disso, consideramos que  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$  para os valores calculados, sendo que esse poderá não corresponder com o valor real. De facto, recorrendo ao Tina e ao multímetro virtual em DC,  $V_{BE} = 0,65 \text{ V}$ , o que poderá justificar a diferença entre os valores das duas tabelas acima. Tais variações poderão ser observadas na alínea 4.6, por motivos similares.

Apesar disso, podemos afirmar que se variarmos o valor de  $V_i$  até  $1,0 \text{ V}$  (inclusive), o ganho se mantém constante. Mas quando  $V_i = 2,5 \text{ V}$ , verificamos que o ganho diminui. Tal é confirmado a partir do momento em que no coletor do transístor é atingido um certo limite (que no caso da teoria é de  $4,095 \text{ V}$ ), toda a tensão no coletor que seja superior a isso terá um ganho diferente e menor.



#### 4.5.

Através do Osciloscópio Virtual, foram registradas as formas de onda à entrada (CH1) e à saída (CH2), em AC, quando  $V_i = 2,5 V_p$ .

Encontram-se representadas no mesmo as três situações do transistor.

**CH1 = 2 V/div**

**CH2 = 2 V/div**

**B. TEMPO = 0,2 ms/div**

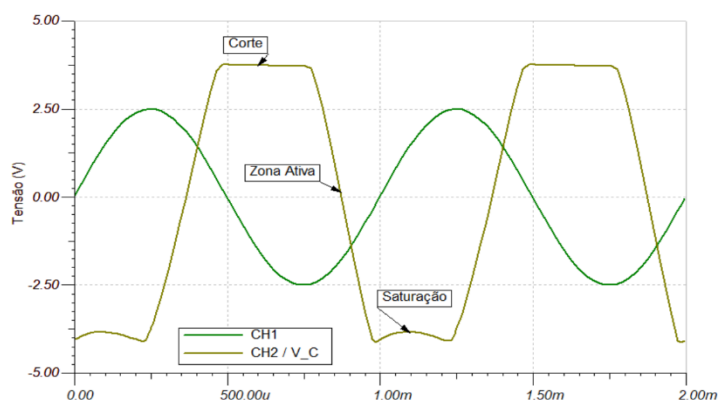


Figura vi. Representação Virtual dos sinais de entrada e saída quando  $V_i = 2,5 V_p$  e identificação das situações de funcionamento do transistor

#### 4.6.

Nesta alínea, mudamos a resistência  $R_E$  para  $470\Omega$  e mudamos também o  $V_{CC}$  para  $5V$ . O circuito apresentará desta forma, o aspeto da figura ao lado.

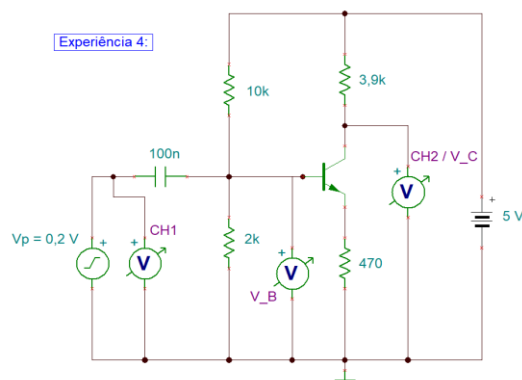


Figura vii. Montagem do Circuito no software Tina-TI tendo em conta a alteração de  $R_E$  e de  $V_{CC}$ .

Iremos, então, analisá-lo em CC de forma a obter os resultados de  $V_C$  e  $V_B$  seguintes:

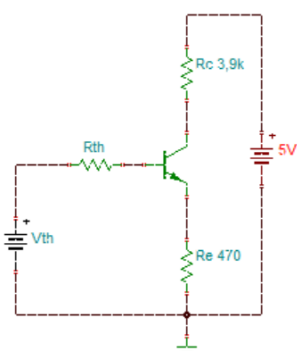


Figura viii. Novo circuito equivalente de Thevenin

$$\bullet R_{Th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \Leftrightarrow R_{Th} = \frac{10 \times 2}{10 + 2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow R_{Th} = 1,67k\Omega$$

$$\bullet V_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Leftrightarrow V_{Th} = 5 \frac{2}{10 + 2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_{Th} \approx 0,83 V$$

$$\text{Logo, } V_B = V_{Th} = 0,83V$$

Aplicando a lei das malhas, terei que:

$$-V_{Th} + R_{Th}I_B + V_{BE} + R_EI_E = 0$$



Como iremos considerar que  $I_E \approx I_C$  e também que  $I_C = \beta I_B$  vamos ter que:

$$\begin{aligned} -V_{Th} + R_{Th}I_B + V_{BE} + R_E\beta I_B &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow -0,83 + 1,67kI_B + 0,6 + 470 \times 100I_B &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow I_B &\approx 4,73 \mu A \end{aligned}$$

Logo, como  $I_C = \beta I_B$  então vamos ter que:

$$I_C = 0,473 \text{ mA}$$

Designemos por  $V$  a queda de tensão que passa na resistência  $R_C$  :

$$R_C = \frac{V}{I_C} \Leftrightarrow V = R_C \times I_C \Leftrightarrow V = 3,9k \times 0,473m \Leftrightarrow V = 1,845V$$

Deste modo, teremos que o  $V_C$  é igual a:

$$V_C = 5 - V \Leftrightarrow V_C = 5 - 1,845 \Leftrightarrow V_C = 3,155V$$

Portanto, neste alínea o limite da tensão será de  $5 - 3,947 = 1,845V$ . Logo, utilizando os métodos aplicados na alínea 4.4 teremos que a tabela seja da seguinte forma:

$V_i(V)$	$V_0(V)$	$A = V_0/V_i$ ou $A \approx R_C/R_E$
0,2	1,660	8,3
0,5	1,845	3,7
1,0	1,845	1,8
2,5	1,845	0,7

Tabela 4. Valor de  $V_0$ (pico) e respetivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através de cálculos para o novo circuito

Através da análise pelo Osciloscópio Virtual, recolheu-se os seguintes dados:

$V_i(V)$	$V_0(V)$	$V_0/V_i$
0,2	1,02	5,1
0,5	1,87	3,7
1	1,93	1,9
2,5	1,83	0,7

Tabela 5. Valor de  $V_0$ (pico) e respetivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através do Osciloscópio Virtual para o novo circuito

#### **4.7. e 4.8.**

Com a realização das duas montagens verifica-se que ao aumentarmos o valor da amplitude da onda de entrada, a amplitude da onda de saída irá aumentar e ,por consequência, o ganho irá diminuir. Na alínea 4.4, a onda de saída é apenas “cortada” no valor de  $2,5V$  de amplitude da onda de entrada, ou seja, o transistor é levado ao corte apenas no valor de  $V_i = 2,5V$ .

Já na alínea 4.6, a onda de saída é cortada para valores mais pequenos de amplitude (para valores de  $V_i$  superiores ou iguais a  $0,5V$ ), isto é, o transistor é levado ao corte muito mais rapidamente (o valor da tensão de saída vai ter o valor que é provocado pela fonte de tensão contínua de  $5V$ ).



## Trabalho realizado no laboratório

Feita toda a preparação, realizou-se o trabalho experimental em laboratório, do qual recolhemos os resultados que se seguem.

Para as alíneas 4.1. até 4.5. foi utilizada a seguinte montagem do circuito:

Foram utilizados os seguintes aparelhos e componentes eletrónicos:

- Osciloscópio Analógico, acompanhado com 2 pontas de prova para a leitura dos sinais do circuito
- Multímetro
- 1 Condensador com código numérico 104 (100 nF)
- Digital-lab (gerador de sinais contínuos e alternados)
- 1 resistência 10 k $\Omega$
- 1 resistência 2 k $\Omega$
- 1 resistência 3,9 k $\Omega$
- 1 resistência 1 k $\Omega$
- fios de ligação

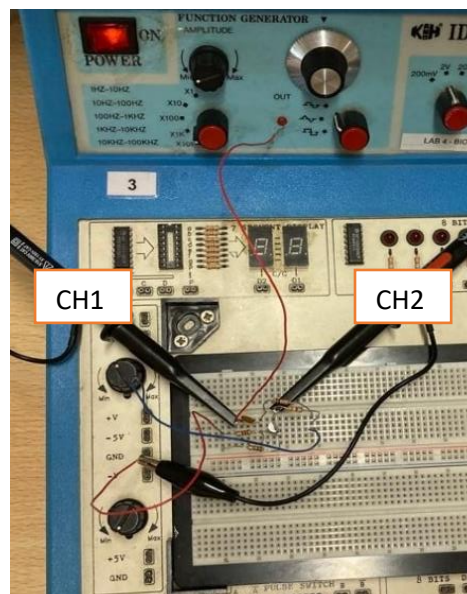


Figura ix. Montagem em laboratório do primeiro circuito

O *Digital-Lab* foi utilizado para criar um sinal alternado composto por uma onda sinusoidal com 0,2 V de amplitude e uma frequência de 1KHz utilizado como entrada e um sinal contínuo de 10 V correspondente a  $V_1$ .

### 4.1.

Com o apoio do Osciloscópio Analógico, fomos capazes de representar as formas de onda de entrada e de saída:

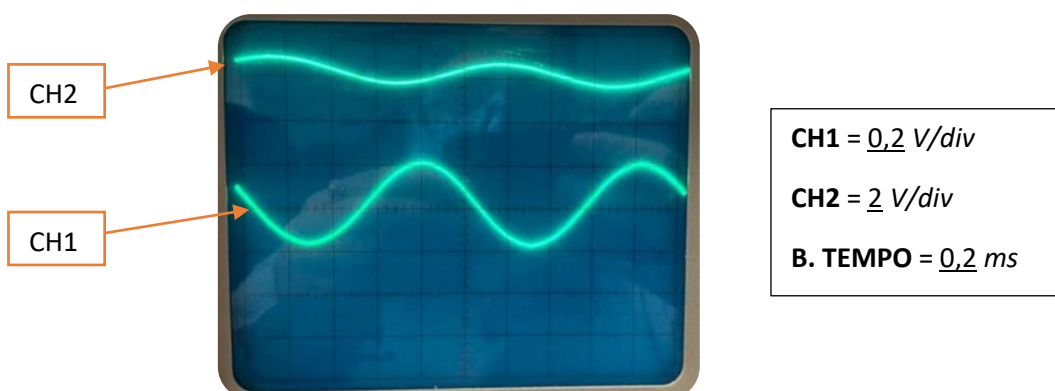


Figura x. Representação no osciloscópio analógico das ondas de entrada e saída para a alínea 4.1





Comprova-se que a onda de saída se encontra aproximadamente 6V acima do referencial, enquanto que a onda de entrada se encontra centrada em relação a este, tal como obtido na preparação da atividade.

#### 4.2.

O modo de obtenção da relação entre as fases de onda de saída e entrada é similar à utilizada na preparação, diferindo apenas na forma de obtenção do desfasamento temporal entre dois máximos, um de cada canal, a qual demonstra ser menos precisa presencialmente.

Ora, tal como previsto, o período é de 1 ms.

O desfasamento temporal pretendido ronda os 0,360 ms, aproximadamente.

De seguida, basta realizar a regra dos três simples:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ms} - 360^\circ \\ 0,360 \text{ ms} - x \end{array} \right\} x \approx 130^\circ \approx \frac{13\pi}{18} \text{ rad}$$

Assim sendo, a fase do canal 2 está atrasada  $\frac{13\pi}{18} \text{ rad}$  (ou  $130^\circ$ ) em relação à fase do canal 1, valor este próximo do obtido previamente.

#### 4.3.

Os valores médios de  $V_B$  e  $V_C$  para cada amplitude do sinal aplicado à entrada encontram-se organizados na seguinte tabela:

Amplitude (V)	$V_B$ (V)	$V_C$ (V)
0,2	1,651	6,01
0,5	1,651	6,01
1	1,651	6,00
2,5	1,532	6,18

Tabela 6. Valores de  $V_C$  e  $V_B$  obtidos para diferentes amplitudes do sinal de entrada recorrendo ao multímetro em DC

Analisando esta tabela, verificamos que mesmo variando a amplitude do sinal de entrada, não existe uma grande variação nos valores médios medido pelo multímetro em DC. Se compararmos os valores experimentais com os valores obtidos tanto pelo *Tina* como pela teoria, percebemos que existe uma pequena variação, mas isso pode ser explicado pelo facto de que os componentes usados na experiência não são ideais, e por isso introduzem alguns erros que podem afetar os resultados.



#### 4.4.

Variando a amplitude do sinal aplicando à entrada  $V_i$ , na seguinte tabela teremos os valores medidos da amplitude de saída  $V_o$  e o calculo do ganho em tensão:

$V_i$ (V)	$V_o$ (V)	$A = V_o/V_i$
0,2	0,46	2,3
0,5	1,15	2,3
1	2,4	2,4
2,5	3,9	1,6

Tabela 7. Valor de  $V_o$  a(pico) e respetivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através do Osciloscópio Analógico

Tal como era esperado pelo o que vimos na preparação, observamos nesta alínea que o transístor entra em corte para  $V_i = 2,5V$ , pois existe um corte da amplitude da onda de entrada.

#### 4.5.

Registadas as formas de onda à entrada (CH1) e à saída (CH2) quando  $V_i = 2,5V_p$ , com o Osciloscópio em AC, sinalizou-se as diferentes situações em que o transístor se encontra face à variação da onda de entrada.

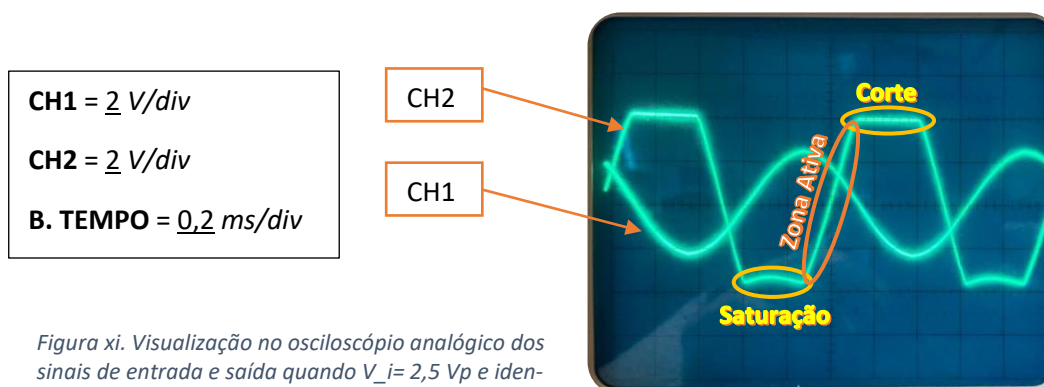


Figura xi. Visualização no osciloscópio analógico dos sinais de entrada e saída quando  $V_i = 2,5 V_p$  e identificação das situações de funcionamento do transístor

#### 4.6.

A partir deste momento, o circuito sofreu alterações, devido à substituição da resistência  $R_E = 1 k\Omega$  por uma resistência  $R'_E = 470 \Omega$  e à alteração da fonte de tensão contínua de 10V por uma fonte de tensão contínua de 5 V. A montagem passou a ser a seguinte:

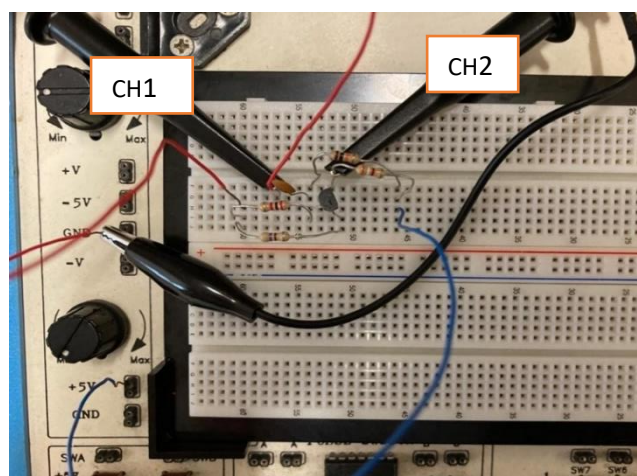


Figura xii. Montagem do Circuito com a alteração de  $R_E$  e de  $V_{CC}$ .



Variando a amplitude do sinal aplicando à entrada  $V_i$ , na seguinte tabela teremos os valores medidos da amplitude de saída  $V_0$  e o calculo do ganho em tensão:

$V_i$ (V)	$V_0$ (V)	$A = V_0/V_i$
0,2	0,88	4,4
0,5	2,0	4
1	2,1	2,1
2,5	2,15	0,9

Tabela 8. Valor de  $V_0$ (pico) e respectivo ganho  $A$  para diferentes valores  $V_i$  do sinal de entrada através do Osciloscópio Analógico para o novo circuito

Tal como era esperado pelo o que vimos na preparação e ao contrário do que acontece na alínea 4.4, temos que nesta alínea o transistor é levado ao corte muito mais rapidamente, ou seja, é levado ao corte para valores de  $V_i$  iguais ou superiores a  $0,5V$ .

#### 4.7. e 4.8

Ao contrário do sucedido na 4.4, na qual apenas presenciamos um corte da onda de saída para  $V_i = 2,5Vp$ , neste caso esse corte presenciou-se logo a partir de  $V_i = 0,5Vp$ , como demonstra a imagem que se segue.

CH1 = 0,5 V/div  
CH2 = 1 V/div  
B. TEMPO = 0,2 ms/div

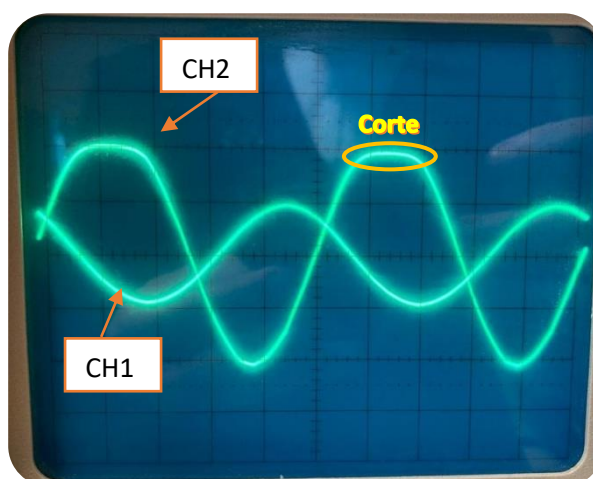


Figura xiii. Visualização no osciloscópio analógico dos sinais de entrada e saída quando  $V_i = 0,5 Vp$  e identificação do corte do transistor

Portanto, verificamos que nas duas alíneas se aumentarmos a amplitude da onda de entrada,  $V_i$ , a amplitude da onda de saída também irá aumentar, e como consequência o ganho irá diminuir.

Na alínea 4.4, tal como era esperado, é alcançado o corte quando  $V_i = 2,5V$ , isto é, apenas para a maior amplitude de entrada se deu um corte na onda de saída.

Também como era esperado na alínea 4.6, o transistor é levado ao corte quando temos valores de  $V_i$  iguais ou superiores a  $0,5V$ , ou seja, quando o valor da tensão de saída toma o valor provocado pela fonte de tensão contínua de  $5V$ .



### **Discussão de resultados e conclusão**

Com esta experiência, ficamos a saber que ao compararmos estas duas montagens realizadas, temos que a primeira montagem (quando  $R_E = 1k\Omega$  e  $V_i = 10V$ ), em relação à segunda (quando  $R_E = 470\Omega$  e  $V_{CC} = 5V$ ), tem um menor ganho, mas tem um limite de tensão superior. Assim, podemos afirmar que :

- na primeira montagem, ou seja, quando  $R_E = 1k\Omega$  e  $V_i = 10V$ , existe uma menor amplificação do sinal, apesar de que contém um número maior de valores de  $V_i$ , nos quais o transistor não irá cortar o sinal;
- já na segunda montagem, ou seja, quando  $R_E = 470\Omega$  e  $V_{CC} = 5V$ , pelo contrário, irá ter uma maior amplificação do sinal, mas têm um menor número de valores de  $V_i$  nos quais o transistor não corta o sinal.

Como observamos na realização deste relatório, os valores experimentais apresentam variações em relação aos valores teóricos e aos valores obtidos pela *Tina*. Ora, isto deve-se ao facto de que na realização da experiência, não usamos os componentes mais ideais, isto é, os componentes utilizados poderiam conter várias deficiências e também pode ser explicado devido à introdução de uma componente DC desconhecida do *Digital-Lab*. Da mesma forma, deve-se ao facto de que fizemos várias aproximações feitas no cálculo dos valores teóricos. Porém, apesar destas variações nos valores, foi possível concluir e entender os objetivos desta experiência.