

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE
COMPUTADORES
UC CIRCUITOS ELETRÓNICOS

**Relatório Laboratorial
Amplificador com Transístores
Bipolares**

Gonçalo BERNARDINO FRAZÃO, nº 99945
João BARREIROS C. RODRIGUES, nº 99968
José LOPES, nº 100001

Maio 2022

Índice

1 Questão 4	2
1.1 Modelo e Questão 4.1	2
1.2 Questão 4.2	2
1.3 Questão 4.3	3
1.4 Questão 4.4	4
1.5 Questão 4.5	4
1.6 Questão 4.6	5
2 Questão 5	6
2.1 Montagem e Questão 5.2	6
2.2 Questão 5.4	7
2.3 Questão 5.5	7
2.4 Questão 5.6	8
2.5 Questão 5.7	8
3 Análise de Resultados e Conclusões	9

1 Questão 4

1.1 Modelo e Questão 4.1

Através da análise nodal e de malha do circuito introduzido no *LTS spice* obtém-se os seguintes valores:

VB1	1.7457 V
VBE1	0.6354 V
VCE1	1.9190 V
VO1	3.0293 V
VBE2	0.63796 V
VCE2	2.6086 V
Ic1	0.89 mA
Ic2	0.99 mA

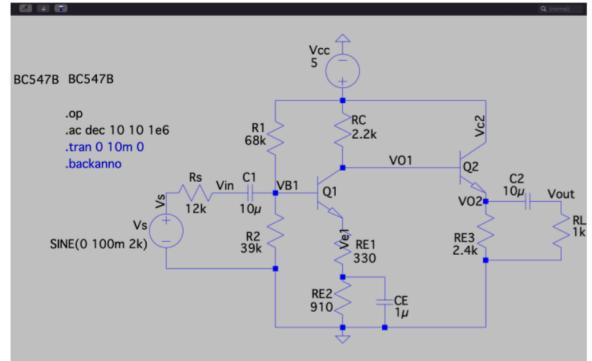


Figura 1: Simulação do amplificador de dois andares, com transístores BJT, BC547B.

1.2 Questão 4.2

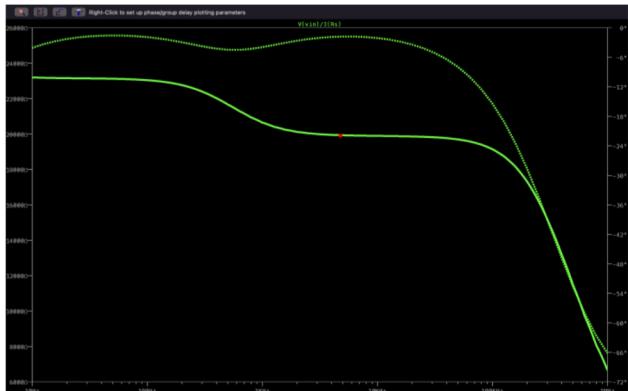


Figura 2: Impedância R_{I1} em função da frequência de entrada, obtida através do quociente entre valores simulados V_{B1} e Ib_{Q1} . A vermelho a Impedância $R_{I1}(5\text{KHz})=19.9 \text{ k}\Omega$

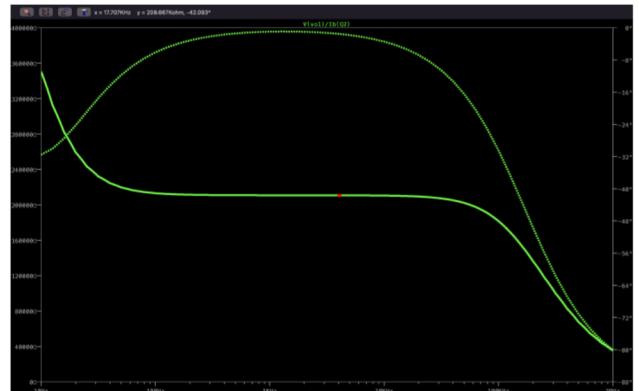


Figura 3: Impedância R_{I2} em função da frequência de entrada, obtida através do quociente entre valores simulados V_{B2} e Ib_{Q2} . A vermelho a Impedância $R_{I2}(5\text{KHz})=210 \text{ k}\Omega$

1.3 Questão 4.3

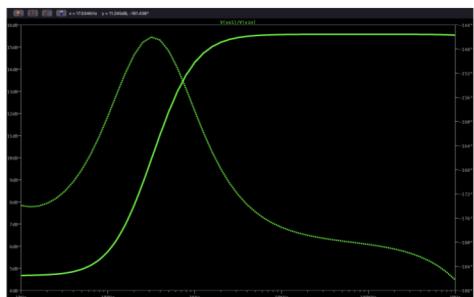


Figura 4: Representação gráfica do ganho A_{1L} em função da frequência de entrada. $A_{1L}=15.452$ dB, para 50 kHz

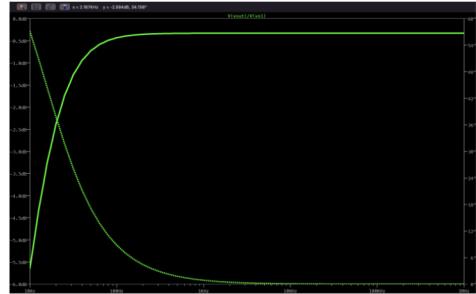


Figura 5: Representação gráfica do ganho A_{2L} em função da frequência de entrada. $A_{2L}=-0.62329$ dB, para 50 kHz

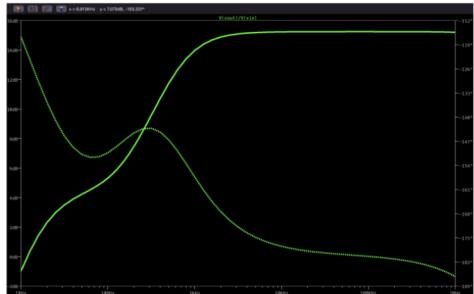


Figura 6: Representação gráfica do ganho A_v em função da frequência de entrada. $A_v=15.178$ dB, para 50 kHz

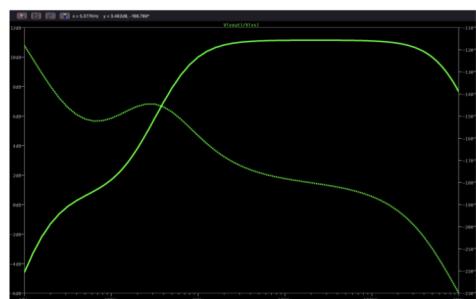


Figura 7: Representação gráfica do ganho A_v em função da frequência de entrada. $A_v=10.856$ dB, para 50 kHz

1.4 Questão 4.4

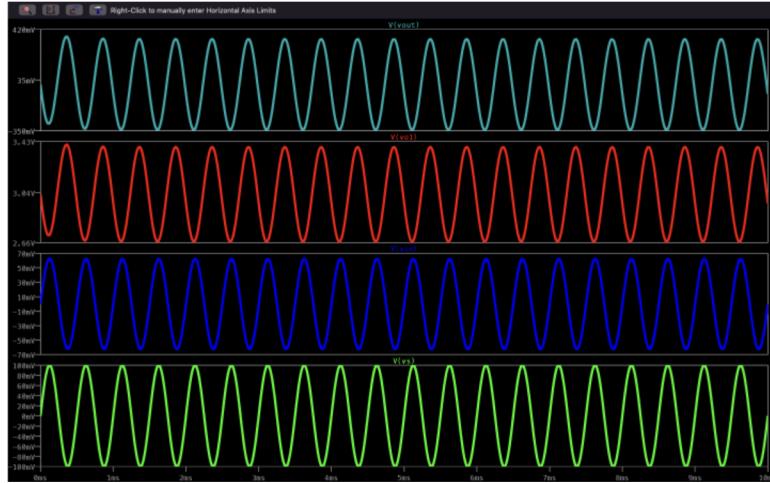


Figura 8: V_{out} , V_{o1} , V_{in} e V_S respectivamente a ciano, laranja, azul e verde. De notar a aproximação entre os valores de V_{out} e V_{o1} , resultantes de um granho aproximadamente unitário no segundo andar do amplificador

1.5 Questão 4.5

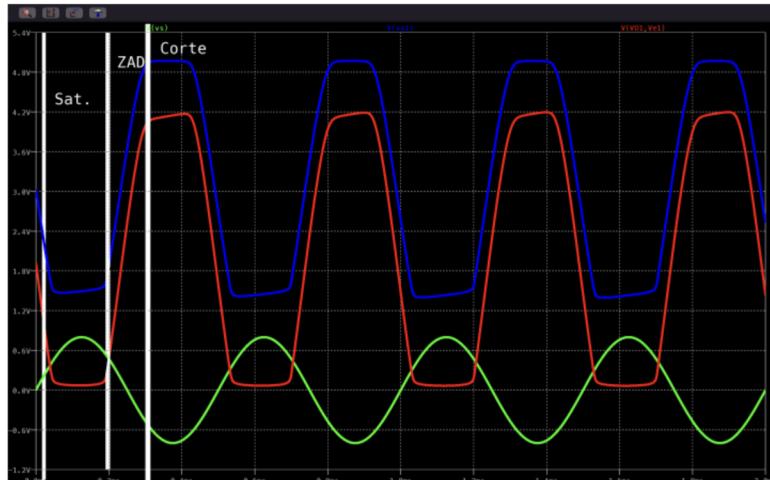


Figura 9: Representação gráfica dos diferentes regimes de operação do transístor Q1. Em resumo a identificação das zonas de trabalho pode ser feita pelo seguinte método: Na zona de corte a corrente que passa pelo transístor é nula, sendo $V_{o1} = V_{Vcc}$, aproximadamente 5 V. A zona de saturação é atingida quando a diferença de potencial entre o coletor e o emissor é igual à tensão de saturação especificada pelo fabricante (0.6V).

1.6 Questão 4.6

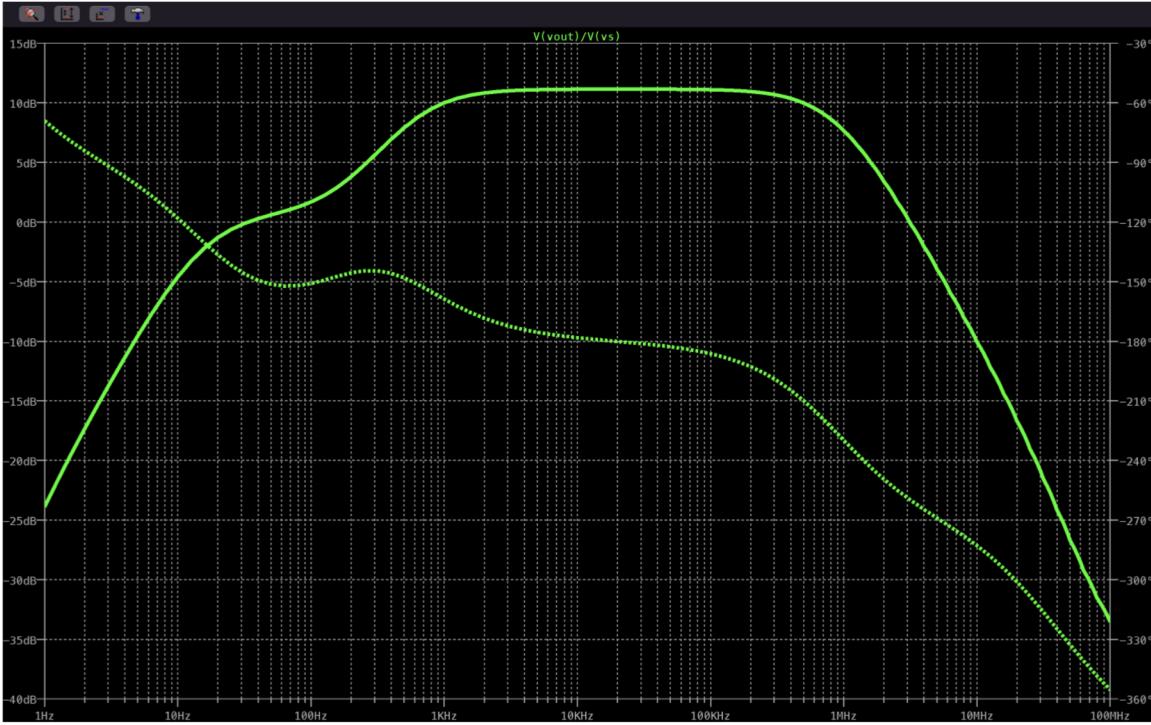


Figura 10: Representação gráfica da resposta em frequência do amplificador. Com base nesta é possível determinar a largura de banda baseado nos pontos correspondentes a uma queda de 3 dB do ganho da frequência central (de controlo-50 kHz). Assim por observação do gráfico identifica-se o limite inferior cerca de 500 Hz e o limite superior cerca de 919 kHz, obtendo um valor de largura de banda de 918.5 KHz. É importante notar que este factor é determinado pelos condensadores C1 e C2.

2 Questão 5

2.1 Montagem e Questão 5.2

VCC	5 V
VB1	1.7137 V
VC1	3.011 V
VE1	1.1059 V
VE2	2.560 V
VC2	4.897 V

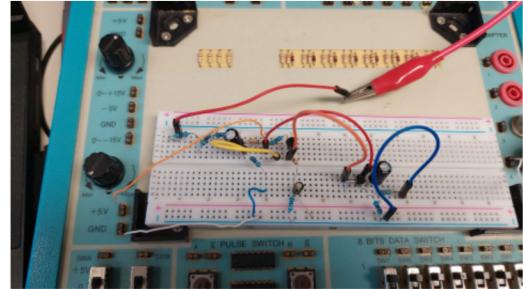


Figura 11: Montagem do amplificado
r de dois andares, com transístores
BJT, BC547B.

É possível então determinar pela Lei de Ohm:

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - VC1}{R_C} = 0.9041mA \quad (1)$$

$$I_{C2} = \frac{VE2 - VGND}{RE3} = 1.0667mA \quad (2)$$

2.2 Questão 5.4

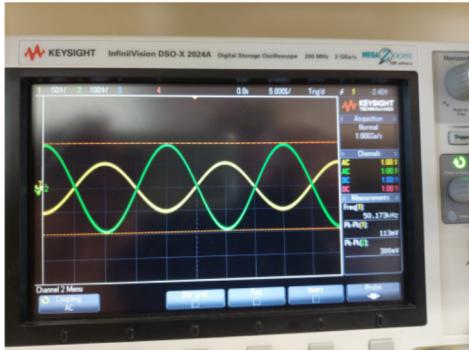


Figura 12: Representação gráfica de V_{out} para 110 mV de tensão de entrada (V_S , 50 kHz). V_{out} pico a pico = 386 mV

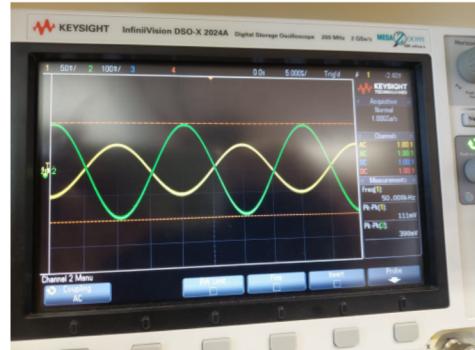


Figura 13: Representação gráfica de V_{o1} para 110 mV de tensão de entrada (V_S , 50 kHz). V_{o1} pico a pico = 398 mV

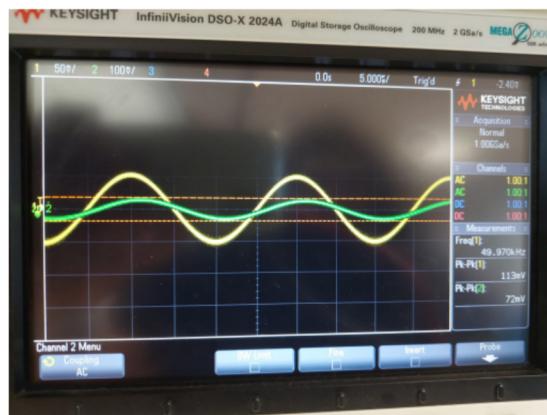


Figura 14: Representação gráfica de V_{in} para 110 mV de tensão de entrada (V_S , 50 kHz). V_{in} pico a pico = 72 mV

2.3 Questão 5.5

Utilizando os valores obtidos na Questão 5.4:

$$A_{1L} = 20 \times \log \frac{V_{o1}}{V_{in}} = 14.85dB \quad (3)$$

$$A_{2L} = 20 \times \log \frac{V_{out}}{V_{o1}} = -0.266dB \quad (4)$$

$$A_v = 20 \times \log \frac{V_{out}}{V_{in}} = 14.585dB \quad (5)$$

$$A_v = 20 \times \log \frac{V_{out}}{V_S} = 10.903dB \quad (6)$$

2.4 Questão 5.6

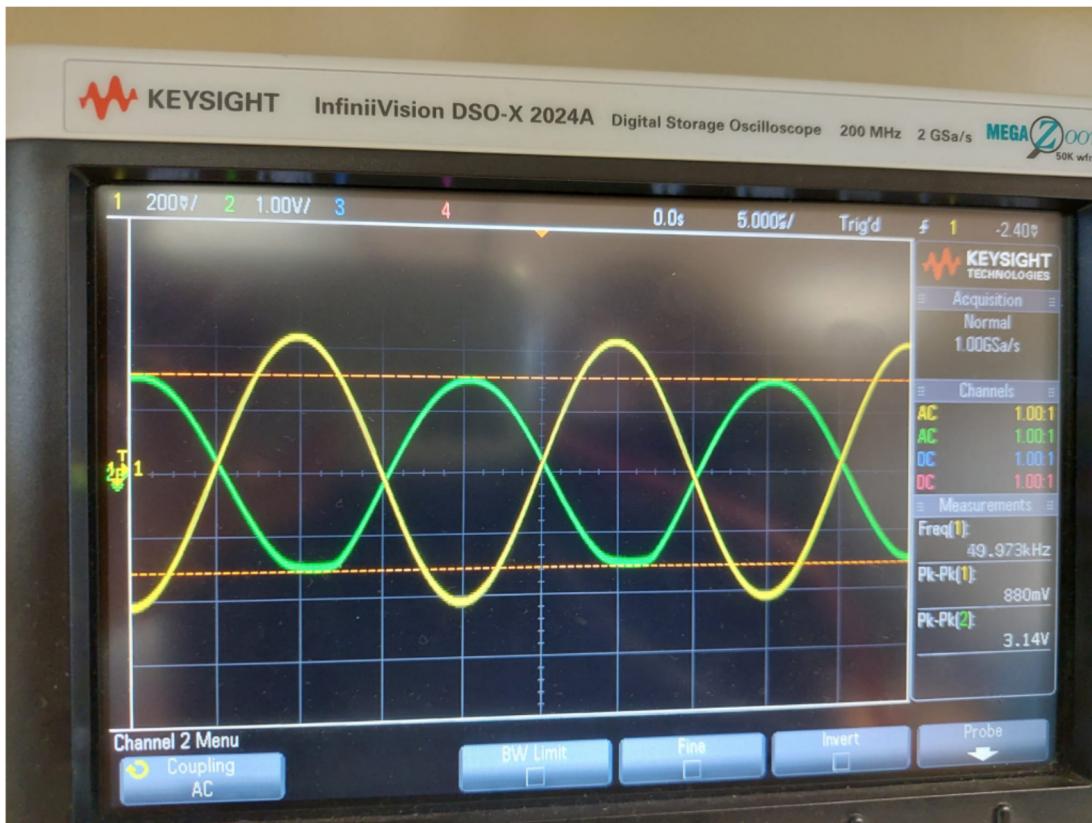


Figura 15: Representação gráfica de V_{o1} para 880 mV de tensão de entrada (V_S , 50 kHz). De notar a forma sinusoidal de V_S , em oposição à clara sinusoide distorcida representativa de V_{o1} .

2.5 Questão 5.7

Tensão de controlo	386 mV
Limite _{inferior}	502.6 Hz
Limite _{superior}	579.4 KHz
Largura de Banda	578.9 KHz

3 Análise de Resultados e Conclusões

De forma geral os valores obtidos laboratorialmente encontram-se de acordo com os simulados.

A principal justificação para as discrepâncias entre os valores teóricos e práticos (nomeadamente a diferença entre as larguras de banda obtidas e os ganhos A_{2L} determinados) advêm de três géneses principais.

Em primeiro lugar os métodos de obtenção dos valores teóricos a partir do software *LTSlice* não são os mais precisos, sendo suscetíveis a erros de medição humano.

Em segundo lugar, na prática, o circuito não é perfeito sendo sensível a ruído resultante de maus contactos, nomeadamente entre a breadboard e a estação de trabalho digital.

Por fim é importante não desconsiderar a presença de capacidades parasitas, tanto nos cabo coaxiais como nos transístores. Embora o *LTSlice* faça uma aproximação das capacidades parasitas dos transístores utilizados estas são distintas das reais.