

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Secção de Sistemas e Controlo

# Teoria dos Circuitos

## 2º Trabalho de Laboratório

Setembro de 2001

Elaborado por:

António Serralheiro

Aluno nº \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, Turma \_\_\_\_\_, Turno \_\_\_\_

Aluno nº \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, Turma \_\_\_\_\_, Turno \_\_\_\_

Aluno nº \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, Turma \_\_\_\_\_, Turno \_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

# INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

## NOTAS:

Este Guia de Laboratório contém espaços para as respostas: não usar quaisquer folhas adicionais.

Os parágrafos assinalados com **T** , **E** e **S** representam, respectivamente, tópicos que requerem análise/trabalho teórico, experimental ou de simulação.

## 1. O AMPOP 741 COMO EXEMPLO DE UM AMPOP IDEAL

### 1.1 INTRODUÇÃO

Como já sabe, na figura 1a indica-se o símbolo eléctrico de um dispositivo denominado **amplificador operacional** (ampop). O seu funcionamento, em certas condições, pode ser aproximado pelo circuito da figura 1b. O ampop ideal corresponde, no circuito da figura 1b, a fazer  $R_i = \infty \Omega$ ,  $R_o = 0 \Omega$  e  $A = \infty$ .

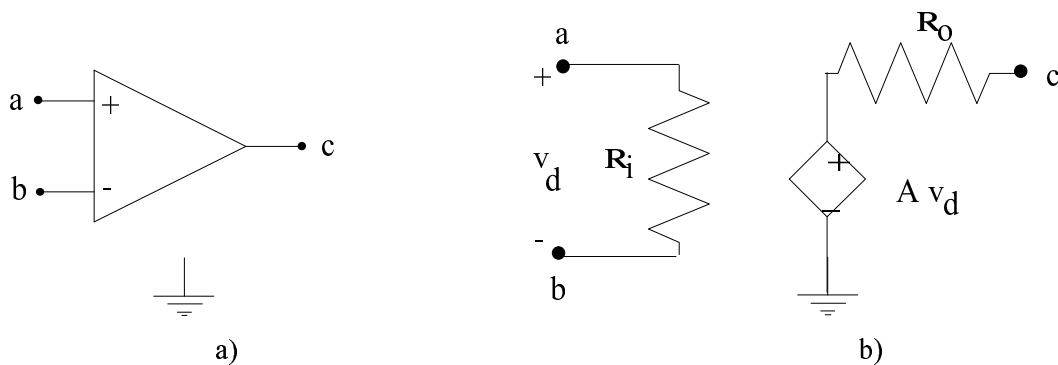


Figura 1: a) símbolo eléctrico do ampop. b) esquema eléctrico equivalente do ampop.

### 1.2 AMPLIFICADOR INVERSOR

**T**

Comece por analisar o circuito da figura 2, determinando o quociente entre as tensões de saída e de entrada,  $G = \frac{v_o}{v_s}$ , denominado ganho de tensão. Considere que o ampop é ideal.

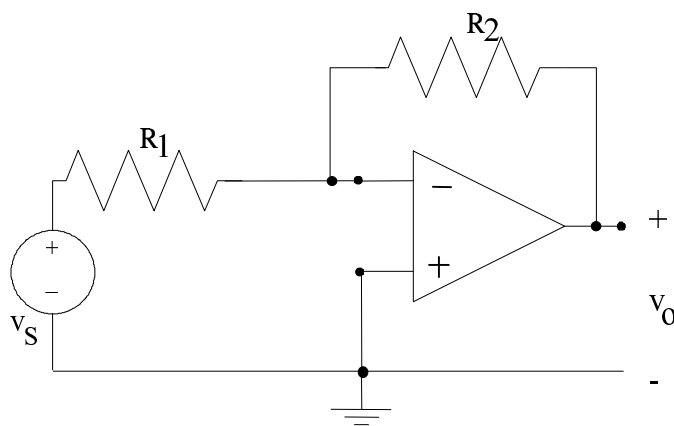


Figura 2. Amplificador inversor.



**E**

- Aumente gradualmente a amplitude do sinal de entrada. A partir de certa altura, a tensão de saída deixa de ser uma réplica (escalada) da tensão de entrada. Para que valores de tensão de entrada se observa este facto?
- Qual a tensão máxima de saída, sem que ocorra distorção visível da forma de onda?
- Como se denomina a distorção que observou?

**S**

Utilize o programa de simulação PSPICE para confirmar os resultados experimentais a que chegou:

- amplitude máxima do sinal de saída sem que ocorra distorção de saturação, com uma entrada sinusoidal de 1kHz de frequência: \_\_\_\_\_

**E**

- Coloque uma tensão de 3V na entrada. Coloque o osciloscópio no modo XY, use o canal 1 para observar a tensão de entrada e o canal 2 para a de saída. Represente graficamente a curva obtida:
- Tente explicar a curva anterior. Entre que valores do sinal de entrada poderemos considerar o funcionamento do ampop linear?

### 1.3 AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR

Deve ter reparado que o circuito anterior amplificava a tensão de entrada (desde que  $R_2 > R_1$ ), mas provocava-lhe uma desfasagem de  $-180^\circ$ . De seguida ir-se-á analisar uma outra montagem que permite ter ganhos de tensão  $\geq 1$  e que, além disso, mantém a saída em fase com a entrada.

**T**

- Mostre que, considerando o ampop ideal, a relação entre as tensões de saída e de entrada  $G = \frac{V_O}{V_S}$  é

dada pela equação  $G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  para o circuito da figura 4:

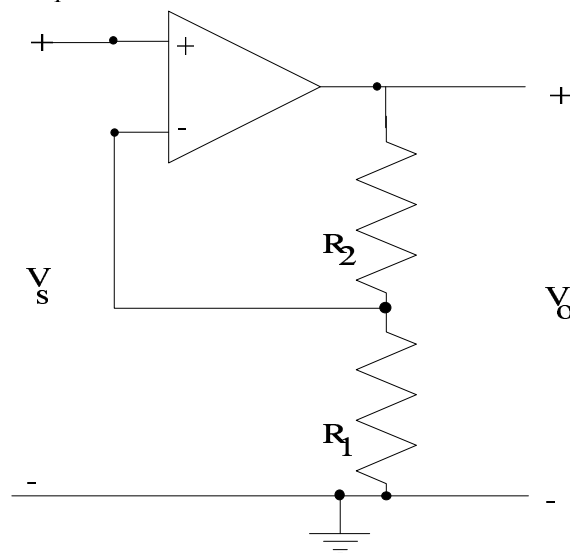


Figura 4. Amplificador não-inversor.

**E**

- Verifique experimentalmente a equação anterior; coloque na entrada uma tensão sinusoidal de 0,4V e de 1kHz de frequência e meça a tensão de saída.

- Qual a desfasagem entre as tensões de entrada e de saída?

**S**

Utilize o programa de simulação PSPICE para confirmar os resultados experimentais a que chegou:

- amplitude do sinal de saída, com uma entrada sinusoidal de 1kHz de frequência e 0,4V de amplitude: \_\_\_\_\_
- amplitude máxima do sinal de saída sem que ocorra distorção de saturação: \_\_\_\_\_
- compare esta amplitude com a da montagem amplificador inversor: \_\_\_\_\_

## 2 ESTUDO EXPERIMENTAL DE ALGUMAS LIMITAÇÕES DO AMPOP

### 2.1 VARIAÇÃO DO GANHO COM A FREQUÊNCIA

Ao considerarmos o ampop como ideal estávamos a considerar que a constante de ganho  $A$  era  $\infty$ . Na prática teremos para  $A$  aproximadamente  $10^6$ , mas apenas para frequências até cerca dos 10Hz. Assim, com o aumento da frequência do sinal de entrada, o ganho  $A$  vai diminuindo até se tornar unitário para uma frequência próxima de 1 MHz. Naturalmente que, nestas condições, as equações que foram obtidas para os ganhos de tensão dos amplificadores inversor e não-inversor deixam de ser válidas.

**E**

- Pretende-se, neste trabalho, verificar esta variação com a frequência: usando o circuito da figura 4, determine experimentalmente as amplitudes do sinal de saída, completando a seguinte tabela:

Frequência	Tensão de saída	Ganho da montagem (G)
1kHz		
10 kHz		
100 kHz		
400 kHz		
1 MHz		

Tabela 1. Variação do ganho da montagem amplificador não-inversor com a frequência.

*Tenha, para realizar o ensaio anterior, o cuidado de não saturar a saída do ampop.*

- Poderá continuar a considerar o ampop como um circuito linear? Justifique cuidadosamente a sua resposta.



### 3. ALGUMAS APLICAÇÕES DE AMPOPS.

#### 3.1 AMPLIFICADOR DE ISOLAMENTO (BUFFER)

Uma das aplicações possíveis para o ampop 741 é o de amplificador de ganho unitário, ou seguidor de tensão.

##### 3.1.1 Medições num circuito resistivo simples

Considere o circuito da figura 5, composto por 4 resistências e uma fonte independente de tensão.

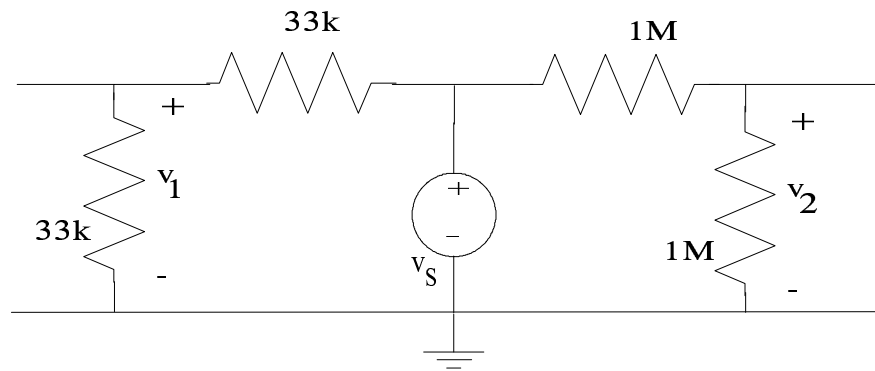


Figura 5

**T**

- Determine, as tensões assinaladas,  $V_1$  e  $V_2$ , quando a fonte de tensão é uma fonte sinusoidal de 3V de amplitude e com uma frequência de 1kHz.

**E**

- Meça, usando o osciloscópio, as tensões indicadas, preenchendo a tabela seguinte:

	Valor Teórico	Valor Medido	Valores Teórico - Medido
$v_1$			
$v_2$			

- Como pode verificar, existe uma diferença importante entre os valores medidos e os calculados, que os erros de leitura não podem justificar. Assim, tente explicar o sucedido:
- Que característica deveria ter a entrada do osciloscópio para que não se verificasse a diferença anterior?

**S**

Utilize o programa de simulação PSPICE para confirmar os resultados da tabela anterior, simulando a entrada do osciloscópio através de uma resistência de  $R_{in}$  à massa:

	$R_{in} = \infty$	$R_{in} = 1M\Omega$	Diferença das colunas anteriores
$v_1$			
$v_2$			

- Comente os resultados da simulação para  $R_{in} = 1M\Omega$  com os valores medidos no circuito da figura 5:

### 3.1.2 Utilização de um amplificador seguidor como auxiliar de medida

Monte, ao lado do circuito da figura 5, o circuito da figura 6.

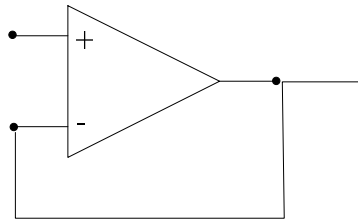


Figura 6

**E**

- Determine experimentalmente as tensões  $V_1$  e  $V_2$  e complete a tabela seguinte (os valores teóricos já foram determinados em 3.1.1). Neste caso, para medir  $V_1$ , ligue a entrada não-inversora do ampop ao terminal mais positivo da resistência de 33k, e para medir  $V_2$ , ligue agora a entrada não-inversora do ampop ao terminal mais positivo da resistência de 1M.

	Teórico	Medido	Teórico - Medido
$v_1$			
$v_2$			

- Comente os resultados obtidos:

**T**

- Explique teoricamente porque é que a tensão à saída do circuito da figura 6 é igual à tensão do terminal não-inversor.

**S**

Utilize o programa de simulação PSPICE para confirmar os resultados da tabela anterior, simulando a entrada do osciloscópio através de uma resistência de  $R_{in} = 1M\Omega$  à massa. Deverá considerar, primeiramente, a entrada não-inversora do ampop ligada às resistências de  $33k\Omega$  e depois ligada às resistências de  $1M\Omega$ . Apresente os resultados das simulações na tabela seguinte:

	<b>Valor Experimental</b>	<b>Valor de Simulação</b>	<b>Experimental - Simulado</b>
$v_1$			
$v_2$			

- Comente os resultados obtidos: