

119148 – Prática de Circuitos Eletrônicos 1

Experimento 09: Circuitos com Amplificador Operacional

1. Objetivos

Neste experimento, serão investigados circuitos com resistores e amplificadores operacionais constituindo as seguintes funções: amplificador inversor, amplificador inversor somador de três entradas e amplificador subtrator. Adicionalmente, serão abordados estudos pré-laboratoriais relacionados à impedância de entrada e de saída de circuitos construídos com amplificadores operacionais. Também serão avaliados alguns comportamentos não-lineares e a resposta em frequência desses circuitos.

2. Estudo pré-laboratorial

Considere os circuitos com amplificador operacional mostrados na Figura 2.1.

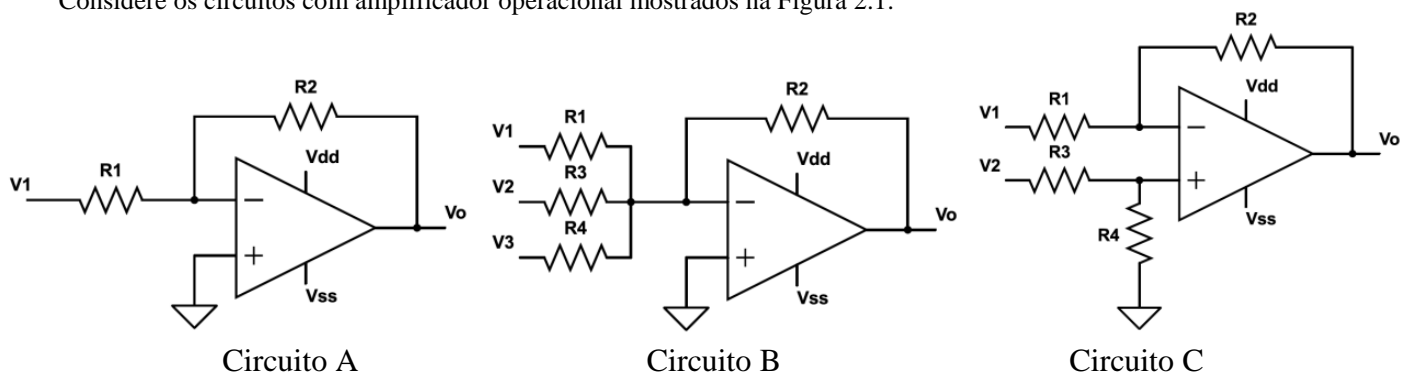


Figura 2.1 – Circuitos com Amplificador Operacional

2.1 – Expressões Matemáticas

Obtenha as expressões matemáticas da saída $V_o(t)$ em função das entradas e dos valores (literais) dos resistores para os circuitos A, B e C da Figura 2.1. Quais os nomes dados a cada uma destas configurações de Amp Op?

2.2 – Circuitos Integrados de Amplificadores Operacionais

Pesquise sobre o uso de CIs amplificadores operacionais e consulte o datasheet do uA741, do LM358 e do LM324. Responda:

- Quantos amplificadores operacionais estão presentes em cada um dos CIs citados?
- Como é feita a alimentação de cada um destes CIs (apresente a pinagem e a voltagem aplicada)?

2.3 – Explique o efeito das principais limitações dos amplificadores operacionais reais

- Ganho finito;
- Impedância de entrada finita;
- Tensão de *offset* de entrada;
- Largura de banda finita;
- Capacitância de entrada;
- Saturação;
- Slew-rate* (ou taxa de subida)

2.4 – Impedâncias

Obtenha as expressões matemáticas para os valores das impedâncias de entrada e de saída dos circuitos A, B e C.

2.5 – Simulações

Para senóides com $f=100$ Hz e resistores (em Ohms), respectivamente, $R1 = 100$, $R2 = 560$, $R3 = 220$ e $R4 = 330$, simule os circuitos A, B e C para todas as combinações de $V1$, $V2$ e $V3$ apresentadas na Tabela 1 da Folha de Dados.

3) Experimento:

3.1 – Caracterização de circuitos com resistores e Amplificador Operacional

Monte cada um dos circuitos da Figura 2.1 (A, B e C), com tensões de alimentação $V_{ss} = -10V$ e $V_{dd} = +10V$. Utilize os valores definidos pelo professor para R_1 , R_2 , R_3 e R_4 . Estabeleça experimentalmente a relação entre as amplitudes pico-a-pico dos sinais de entrada $V_1(t)$, $V_2(t)$ e $V_3(t)$ e a amplitude pico-a-pico do sinal de saída $V_o(t)$ observados no osciloscópio. Use o gerador de funções nas entradas, com sinais senoidais de amplitudes definidas segundo a Tabela 1 da Folha de Dados, e com a frequência arbitrada pelo professor.

Meça com precisão os valores das resistências R_1 , R_2 , R_3 e R_4 com um multímetro e substitua estes valores nas expressões obtidas no item 2.1. Compare os resultados experimentais com os valores teóricos para o ganho de tensão de cada circuito e de cada configuração mostrada na Tabela 1 da Folha de Dados.

3.2 – Efeitos não-lineares

- Slew-rate:** Determine a maior taxa de variação da tensão por unidade de tempo ($\delta V(t)/dt$) na saída do circuito A. Utilize uma entrada quadrada com grande amplitude e frequência.
- Saturação:** Verifique qual é a amplitude máxima de excursão da tensão de saída $V_o(t)$ do circuito A. Que fatores limitam na prática a excursão da tensão de saída? Use uma grande amplitude de entrada, em baixa-frequência ($f < 1\text{ kHz}$).

3.3 – Resposta em frequência

Usando a configuração do circuito A, aumente gradativamente a frequência do sinal de entrada até o limite do gerador (circuito A) e anote os valores correspondentes de ganho. Explique o comportamento do ganho em função da frequência. Use uma entrada com pequena amplitude, para que não ocorra influência significativa do *slew-rate*.

4. Relatório

Em seu relatório, não se esqueça de comparar as respostas do amplificador operacional obtidas experimentalmente com aquelas esperadas segundo seus cálculos teóricos. Discuta e justifique eventuais discrepâncias observadas.

Discuta a respeito das limitações dos amplificadores operacionais e seus efeitos ao usá-los em alguma **aplicação real**. Compare os valores obtidos experimentalmente com os valores disponibilizados pelo fabricante do componente.

Além disso, compare os resultados experimentais com os valores teóricos para o ganho de tensão de cada circuito e de cada configuração mostrada na Tabela 1.

Comente a respeito da maior taxa de variação da tensão por unidade de tempo ($\delta V(t)/dt$) na saída do circuito A (item 3.2 a).

Discuta a respeito dos fatores que limitam, na prática, a excursão da tensão de saída (item 3.2 b).

Por fim, explique o comportamento do ganho em função da frequência (item 3.3).

**119148 – Prática de Circuitos Eletrônicos 1 – Folha de Dados**

Turma: _____

Data: ____/____/____

Aluno: _____

Matrícula: _____

Experimento 09: Circuitos com Amplificador Operacional

Resistores usados:

 $R_1 = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$ $R_2 = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$ $R_3 = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$ $R_4 = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$

Procedimento 3.1: Caracterização - Tabela 1

Tabela 1 – Avaliação das características de circuitos com amplificador operacional.

Circuito	Configuração das Entradas Senoide com $f = \text{_____}$ Hz	Saída V_{opp}	Ganho Experimental.	Ganho Teórico	Ganho % de Erro
A	$V_1 = 0,5V_{pp}$				
B	$V_1 = V_2 = V_3 = 0,5V_{pp}$				
	$V_1 = V_2 = 0,5V_{pp}$ e $V_3 = 0V_{pp}$				
	$V_1 = 0,5V_{pp}$ e $V_2 = V_3 = 0V_{pp}$				
C	$V_1 = V_2 = 0,5V_{pp}$				
	$V_1 = 0,5V_{pp}$ e $V_2 = 0V_{pp}$				
	$V_1 = 0V_{pp}$ e $V_2 = 0,5V_{pp}$				

Procedimento 3.2 a): *Slew-rate*Entrada: Onda quadrada com amplitude $V = \text{_____}$ V_{pp} e $f = \text{_____}$ Hz

$$\frac{\delta V(t)}{dt} = \text{_____} \frac{V}{\mu s} = \text{_____} V/\mu s$$

Procedimento 3.2 b): Saturação

Entrada: Onda senoidal com amplitude $V = \text{_____}$ V_{pp} e $f = \text{_____}$ Hz

$$V_o(t)_{máx} = \text{_____} V_{pp}$$

$$V_o(t)_{mín} = \text{_____} V_{pp}$$

Procedimento 3.3): Resposta em frequência - Tabela 2

Tabela 2 – Resposta em frequência do amplificador operacional.

Senoide com $V_1(t) = \underline{\hspace{2cm}} V_{pp}$	Saída V_{opp}	Ganho Experimental
10 Hz		
100 Hz		
500 Hz		
1 kHz		
10 kHz		
20 kHz		
30 kHz		
40 kHz		
50 kHz		
75 kHz		
100 kHz		
500 kHz		
1 MHz		
5 MHz		
10 MHz		
20 MHz		