

CAPÍTULO 2

Amplificadores Operacionais Aula 1

Prof. Sedra
PSI3321

5

Eletrônica I – PSI3321 Programação para a Primeira Prova

Aula	Matéria	Cap./página
1ª 16/02	Introdução, Revisão de circuitos com Amp. Op. O 1º Amp Op Comercial. Encapsulamento do Amp Op, O Amp Op ideal, Análise de circuitos com Amp Ops ideais. Exemplo 2.2	Listas de Circ. Elét. Cap. 2 - p. 38-46 Apêndice B, p.810-14
2ª 19/02	Somador, Configuração não inversora, seguidor, amplificador de diferenças. Exercício 2.15	Sedra, Cap. 2 p. 46-53
3ª 23/02	Amplificador de instrumentação, Funcionamento dos Amp Ops Não-Ideais. Exemplo 2.3 e 2.4	Sedra, Cap. 2 p. 53-59
4ª 26/02	Operação dos Amp Ops em grande excursão de sinal, imperfeições cc, circuitos integrador e diferenciador. Exemplo 2.6.	Sedra, Cap. 2 p. 59-73
5ª 01/03	Diodo ideal, características do diodo real, equação de corrente do diodo, exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 89-96
6ª 04/03	Análise gráfica (reta de carga), modelos simplificados de diodos, exercícios	Sedra, Cap. 3 p. 96-99
7ª 08/03	Modelo para pequenos sinais, modelos de circuitos equivalentes para pequenas variações (próximas do ponto quiescente), exercícios (exemplos 3.6 e 3.7)	Sedra, Cap. 3 p. 100-103
8ª 11/03	Operação na região de ruptura reversa, diodo zener, Projeto de um regulador Zener, exercícios (exemplo 3.8)	Sedra, Cap. 3 p. 104-106
9ª 15/03	Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação c.c., circuito retificador de meia onda, circuito retificador de onda completa com enrolamento secundário com tomada central, exercícios: 3.22.	Sedra, Cap. 3 p. 106-109
10ª 18/03	Aula de Exercícios	

Semana Santa (21/03 a 25/03/2016)

1ª. Semana de provas (28/03 a 01/04/2016)

Data: xx/xx/2016 (xxxx feira) - Horário: xx:xxh

6

1ª Aula:

Estudo de Amplificadores Operacionais

Encapsulamento e Amp Ops Ideais

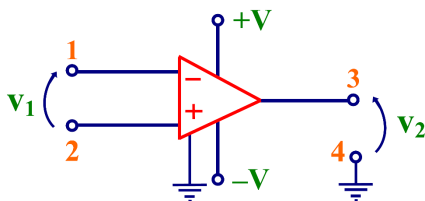
Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Diferenciar o Amp Op ideal de um Amp Op real
- Explicar o princípio de funcionamento do Amp Op do ponto de vista conceitual
- Identificar os terminais do Amp Op em encapsulamentos
- Explicar os procedimentos para análise de circuitos empregando Amp Ops ideais e resistores

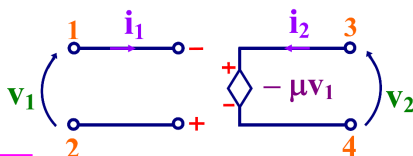
Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Amplificador Operacional



Modelo :



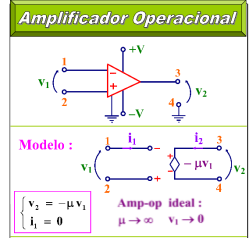
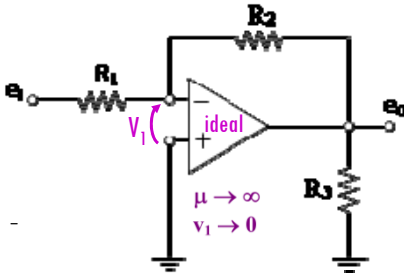
$$\begin{cases} v_2 = -\mu v_1 \\ i_1 = 0 \end{cases}$$

Amp-op ideal :
 $\mu \rightarrow \infty \quad v_1 \rightarrow 0$

Amplificadores Operacionais

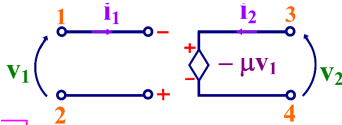
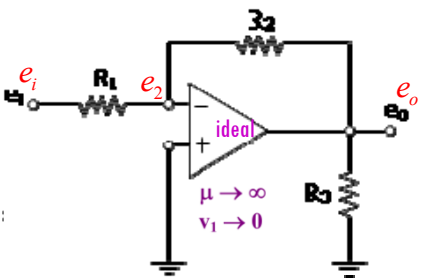
Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?



Amplificadores Operacionais

Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?



Análise nodal:

1ª LK:

$$\text{Nó } e_2: \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

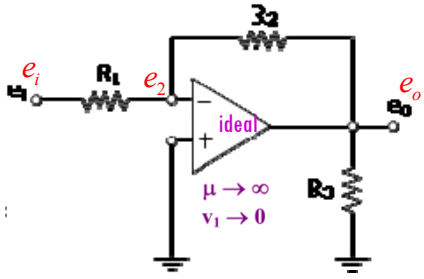
~~$$\text{Nó } e_3: \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + ? \right) e_s - \frac{1}{R_2} e_2 - ? = 0$$~~

$$e_o = -\mu e_2 \quad (\mu \rightarrow \infty)$$

Como e_o é finito e_2 é zero!

Amplificadores Operacionais

Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?



Assim, 1ª LK:

$$\text{Nó } e_2: \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

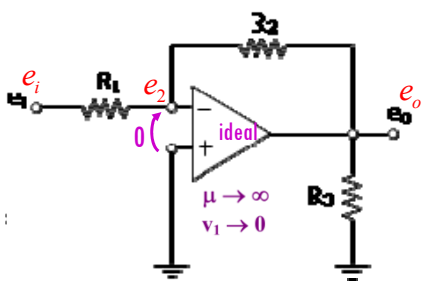
$$\text{E portanto: } -\frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

$$\text{Ou: } -\frac{1}{R_1} e_i = \frac{1}{R_2} e_o$$

$$\boxed{\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

Amplificadores Operacionais

Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?



Amplificadores Operacionais

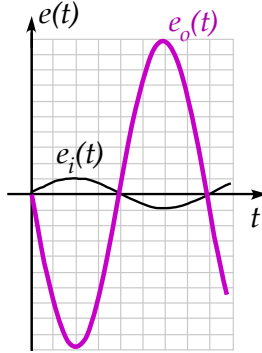
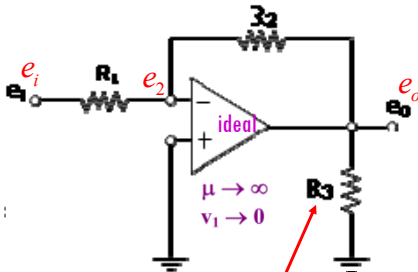
Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

O que isso quer dizer?

Imagine $R_1 = 1k\Omega$ e $R_2 = 10k\Omega$

$$e_o = -\frac{R_2}{R_1} e_i = -10 e_i$$

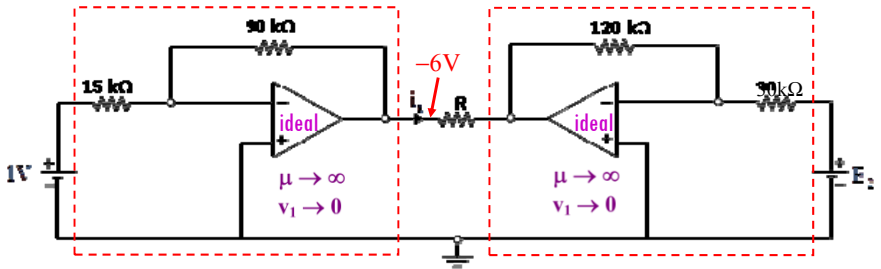
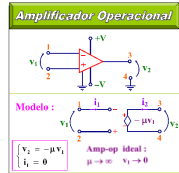


Depende do valor de R_3 ?

Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Exercício 2: Qual o valor de E_2 para $i_3 = 0$?



$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{90k}{15k} = -6$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{120k}{30k} = -4$$

$$e_o = -6e_i = -6 \times 1V = -6V$$

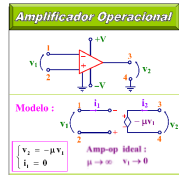
$$e_o = -4e_i = -4E_2$$

$$i_3 = 0 \rightarrow (e_3 - e_4) / R = 0 \rightarrow (-6 - (-4E_2)) = 0$$

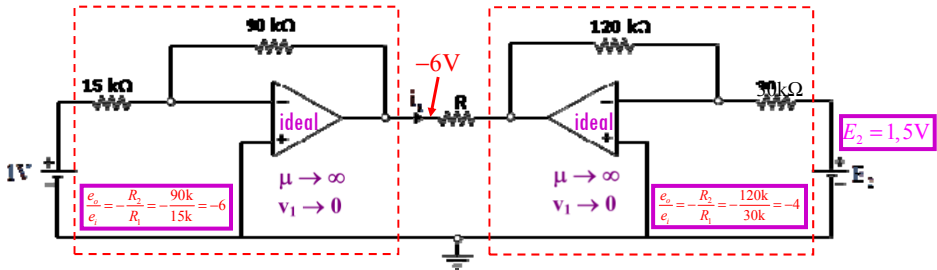
$$6 = 4E_2 \rightarrow E_2 = 1,5V$$

Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)



Exercício 2: Qual o valor de E_2 para $i_3 = 0$?

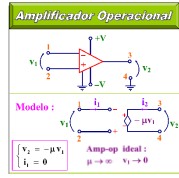


O que aprendemos neste exercício:

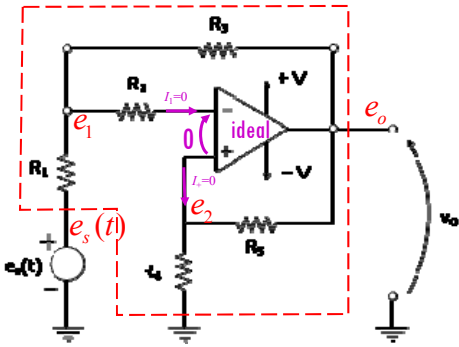
- Que não precisamos aplicar diretamente a análise nodal
- Que podemos identificar relações entre grandezas (“entradas” e “saídas”) e aplicar diretamente essas relações.
- Em circuitos com AOs IDEAIS podemos partir das relações p/ os AOs e aplicar análise nodal de maneira simplificada

Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)



Exercício 3: A tensão de saída v_0 pode ser escrita como $v_0 = B e_5$ onde B é uma constante, cujo valor depende dos R_s . Para $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$ e $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$, determine o valor de B .



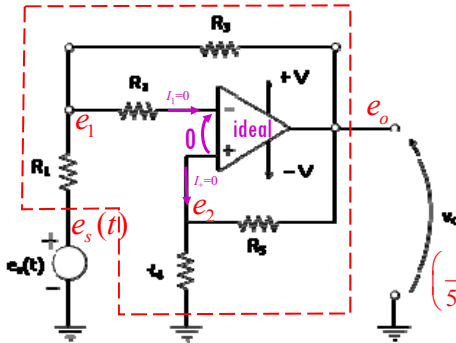
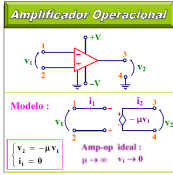
Um possível caminho de análise:

- Usando as propriedades do AO IDEAL
- $I_+ = 0$
- Relação entre e_0 e e_2 ?
- Divisor resistivo pois $I_+ = 0$!!!!
- $e_2 = e_0 \frac{R_4}{R_4 + R_5}$
- 1ª LK em e_1 :
- $$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) e_1 - \frac{1}{R_1} e_5(t) - \frac{1}{R_2} e_2 - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$
- Inspeccionando, $e_1 = e_2$!!!!!
- $$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_5(t) - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$

Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Exercício 3: A tensão de saída v_o pode ser escrita como $v_o = B e_s$ onde B é uma constante, cujo valor depende dos R_s . Para $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 1 k\Omega$, $R_4 = 2 k\Omega$ e $R_5 = 1 k\Omega$, determine o valor de B .



$$e_2 = e_o \frac{R_4}{R_3 + R_5}$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_3} e_o = 0$$

- Logo,

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) e_o \frac{R_4}{R_3 + R_5} - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_3} e_o = 0$$

$$\left(\frac{1}{500} + \frac{1}{1000} \right) e_o \frac{2000}{2000 + 1000} - \frac{1}{500} e_s(t) - \frac{1}{1000} e_o = 0$$

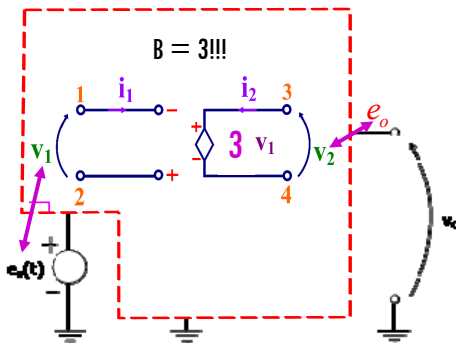
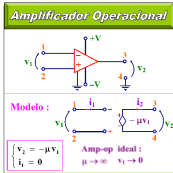
$$\frac{1}{500} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) - \frac{1}{1000} e_o = 0 \quad \frac{1}{1000} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) = 0$$

$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 2$$

Amplificadores Operacionais

Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Exercício 3b: Se $B = 3$ e $V = 10V$, qual o valor máximo de $e_s(t)$ antes da saída e_o saturar?



$$B = 3!!! \quad \frac{e_o}{e_s(t)} = 3$$

$$e_{o_{max}} = +V = +10V$$

$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 3 \rightarrow e_s(t) = \frac{e_{o_{max}}}{3} = \frac{10}{3} = +3,33V$$

$$e_{o_{min}} = -V = -10V$$

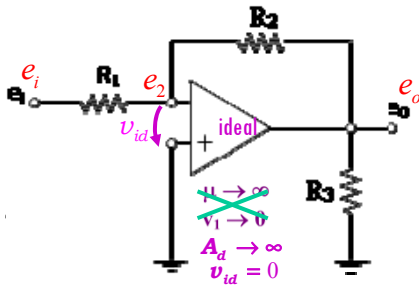
$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 3 \rightarrow e_s(t) = \frac{e_{o_{min}}}{3} = \frac{-10}{3} = -3,33V$$

- Logo,

$$-3,33V < e_s(t) < +3,33V$$

O Amplificador Inversor (A.O. Ideal)

Vimos que:

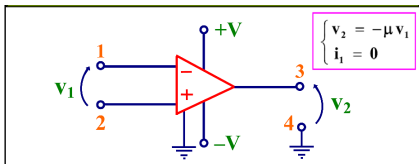


$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

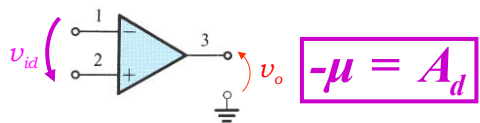
Podemos extrapolar!

Amplificadores Operacionais

Circuitos elétricos



Eletrônica

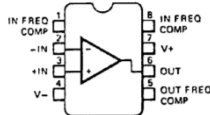


$$v_{id} = v_+ - v_- = v_2 - v_1$$

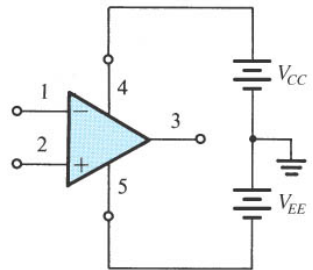
$$v_o = A_d \cdot v_{id} = A_d(v_2 - v_1)$$



8-PIN MINI DIP
(TOP VIEW)
PACKAGE OUTLINE 9T
PACKAGE CODE T



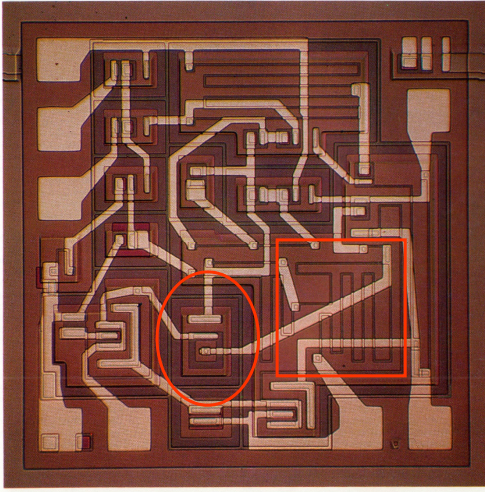
ORDER INFORMATION
TYPE PART NO.
 μ A709C μ A709TC



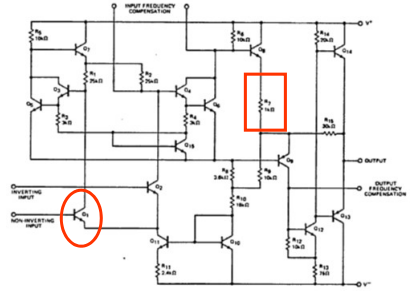
(b)

Amplificadores Operacionais (μA 709)

3mm x 3mm



EQUIVALENT CIRCUIT



Amplificadores Operacionais (μA 709)

EQUIVALENT CIRCUIT

