

CAPÍTULO 2

Amplificadores Operacionais

Aula 1

Prof. Sédra
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

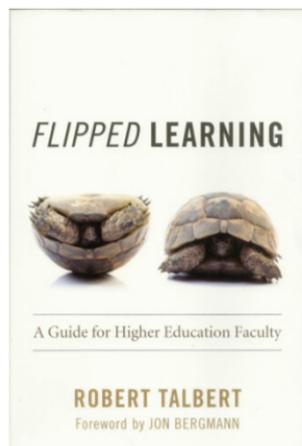
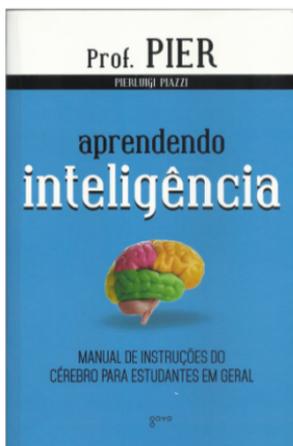
6

Proposta de Aprendizagem:

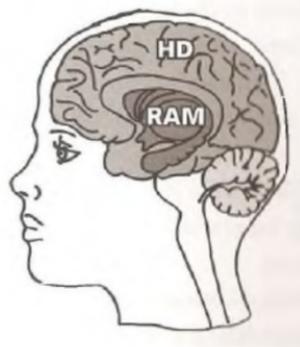
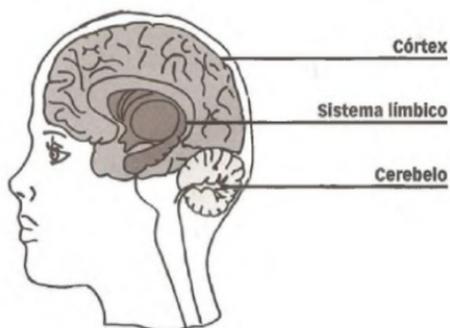
- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumenta tempo para atividades pessoais.

Será que isto é possível ???

Referências



Cérebro humano (simplificado)

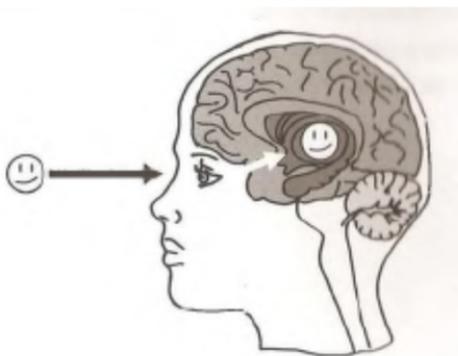


Sistema límbico: Memória de **CURTO PRAZO (RAM)**

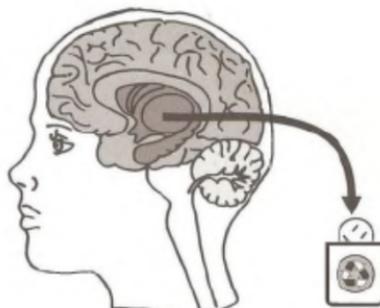
Córtex: Memória de **LONGO PRAZO (HD)**

Cérebro humano (simplificado)

“Escrever”



“Apagar”

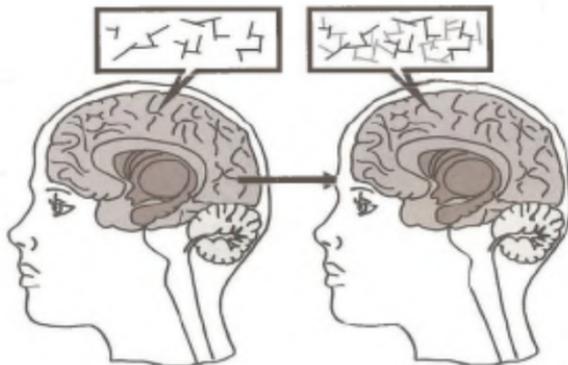


“Escrever” nesta RAM é muito fácil (visão, audição...)

“Apagar” é mais fácil ainda... (ex. número telefone...)

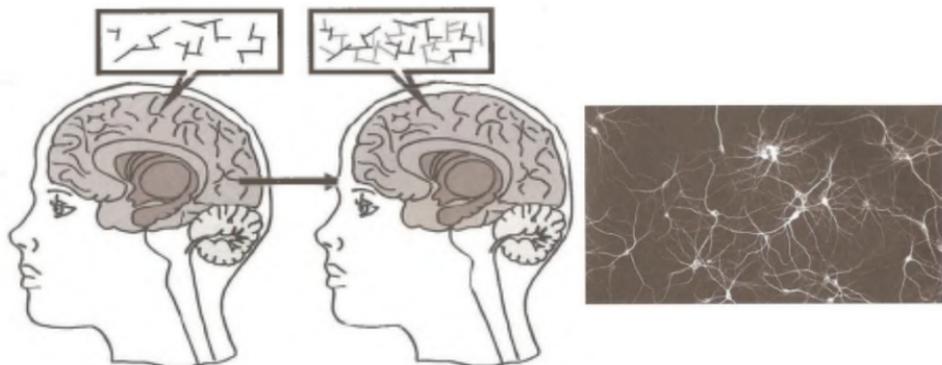
(cabe apenas algumas horas de informação e as informações dificilmente sobrevivem a uma noite de sono)

Cérebro humano (simplificado)



No HD (Córtex) cabe uma quantidade gigantesca de dados. Se alguém estudasse como louco 10 horas por dia todos os dias da sua vida, esgotaria a capacidade de processamento e armazenamento em 400 anos...)

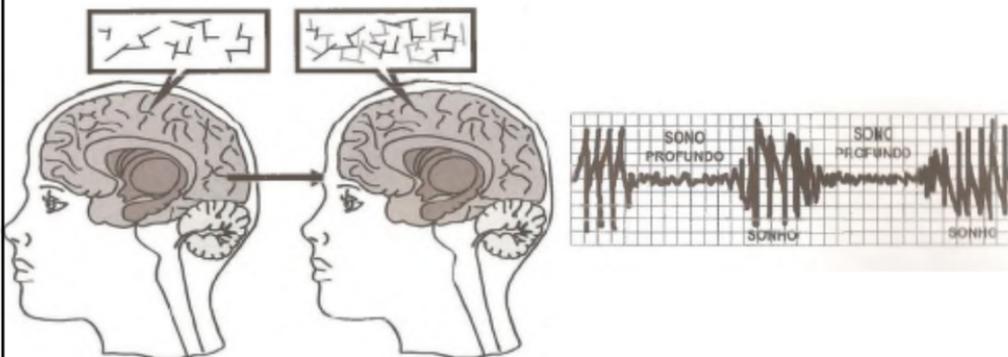
Cérebro humano (simplificado)



Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex) requer alteração do circuito cerebral (alteração da ligação entre neurônios. Um conjunto de centenas ou milhares de neurônios forma uma rede neural)

Cérebro humano (simplificado)

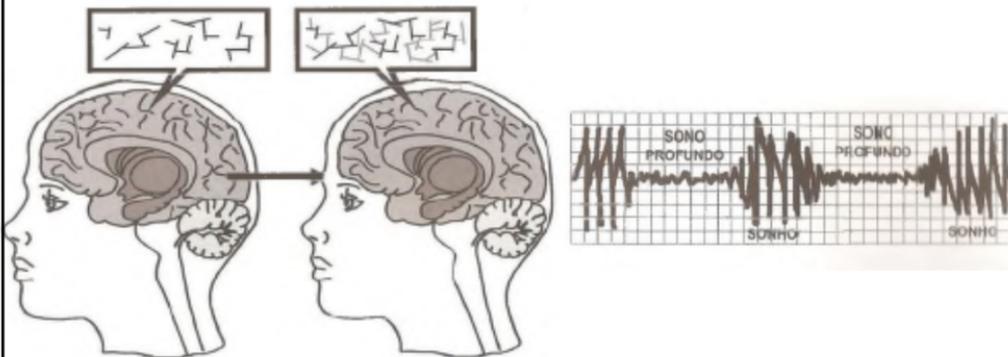
Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex)



Este armazenamento de parte dos dados da RAM para o HD do cérebro **ocorre durante o sono profundo**

Cérebro humano (simplificado)

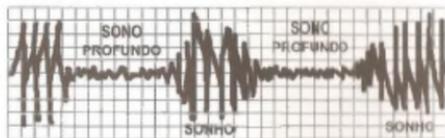
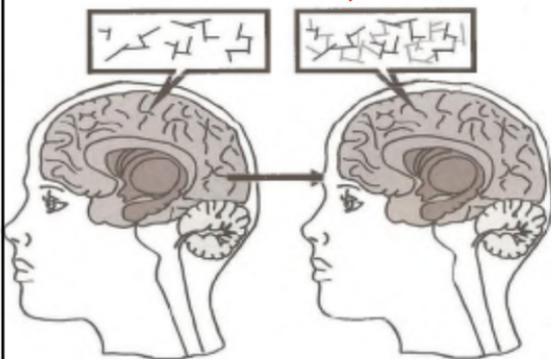
Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?



Resposta: Aquela informação adquirida durante o dia, que fez de maneira alegre, prazerosa ou até muito triste, trágica, a **emoção associada** fará com que durante o sono noturno, ela seja gravada de **forma permanente**.

Cérebro humano (simplificado)

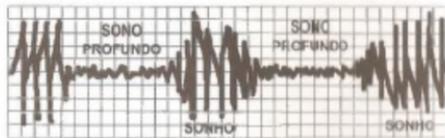
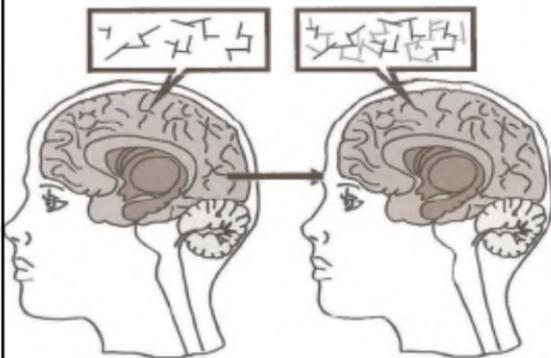
Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?



Entretanto, se a informação foi recebida com indiferença, tédio, de maneira a não abala-lo nem positiva e nem negativamente, com certeza a informação será descartada durante a noite.

Cérebro humano (simplificado)

Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?



Existe alguma forma de dizermos a nossa memória que parte ela deve reter sem recorrermos diretamente às emoções?

SIMMM! Basta darmos mais atenção às informações que o nosso cérebro deve reter.

De que maneira? Repetindo-a ao longo do dia, estudando antes ou depois da aula!

Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumentar tempo para atividades pessoais.

1. **ENTENDER** antes da aula, no menor tempo possível, o tema da aula.
2. **APRENDER** na sala de aulas junto com o professor e colegas.

Abordagens Tradicional e Ativas

E como fazer isso?

- Da forma tradicional, assistindo à aula e depois estudando (estudando, estudando, estudando...)
- Da forma ativa, estudando um pouco (bem pouco) antes da aula, de forma dirigida, e participando da aula em atividades não expositivas (e estudando muito menos depois).

O que é melhor?

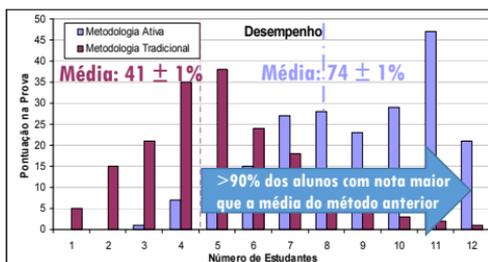
- As evidências científicas dizem o que é melhor:

Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class

SCIENCE VOL 332 13 MAY 2011

Louis Deslauriers,^{1*} Ellen Schelew,² Carl Wieman^{1†‡}

We compared the amounts of learning achieved using two different instructional approaches under controlled conditions. We measured the learning of a specific set of topics and objectives when taught by 3 hours of traditional lecture given by an experienced highly rated instructor and 3 hours of instruction given by a trained but inexperienced instructor using instruction based on research in cognitive psychology and physics education. The comparison was made between two large sections ($N = 267$ and $N = 271$) of an introductory undergraduate physics course. We found increased student attendance, higher engagement, and more than twice the learning in the section taught using research-based instruction.



Objetivos Educacionais



Abordagens Ativas

- Aproveita de forma muito mais eficiente o tempo de estudo fora e dentro da sala de aula

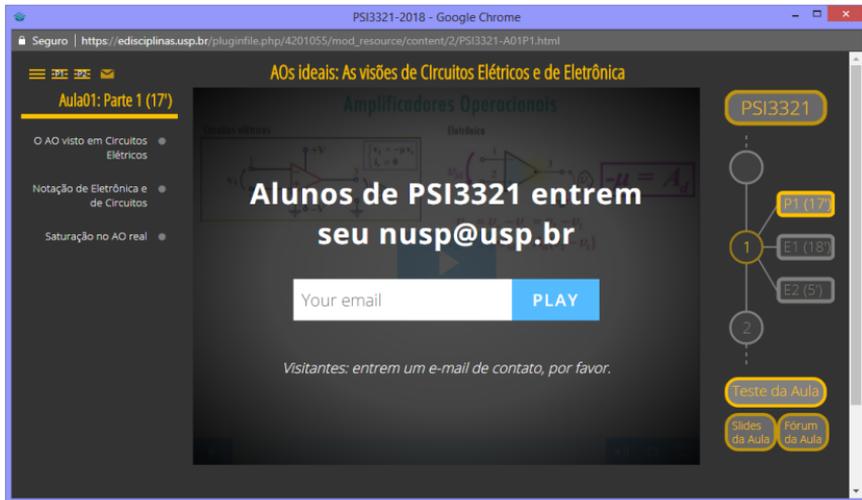


- Mas exige um compromisso mais forte do professor e dos alunos:
 - Professor: tem que preparar e disponibilizar o material com antecedência e tem que verificar antes da aula o que os alunos fizeram
 - Alunos: têm que se comprometer a ver o material (em média 25 minutos) antes da aula e fazer um questionário de 10 minutos

- Porquê?

	Media	Passaram	Não Pass	%Pass	%NPass
PSI3321	4.9	107	62	63	37

- O que está feito
 - Todo material até a P1 já está disponibilizado no eDisciplinas
 - Dashboard disponível



Seguro | https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4201055/mod_resource/content/2/PSI3321-A01P1.html

PSI3321-2018 - Google Chrome

AOs Ideais: As visões de Circuitos Elétricos e de Eletrônica

Amplificadores Operacionais

Alunos de PSI3321 entrem seu nusp@usp.br

Your email **PLAY**

Visitantes: entrem um e-mail de contato, por favor.

PSI3321

P1 (17)

1 E1 (18) E2 (5)

2

Teste da Aula

Slides da Aula Forum da Aula

- O que vocês devem fazer antes da aula
 - Assistir os vídeos Px (não precisa assistir os Ex)

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13
Px	17	41	62	41	13	13	31	21	38	18	16	39	49
Q	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tot	27	51	72	51	23	23	41	31	48	28	26	49	59
Média	41 min antes de cada aula												

- E na aula o que faremos?
 - Começaremos discutindo as respostas dos questionários
 - Farei pequenas exposições dos pontos que não ficaram claros
 - Faremos os exercícios das aulas semanais e outras atividades



- Fazer os testinhos (3 exercícios – 10 minutos)



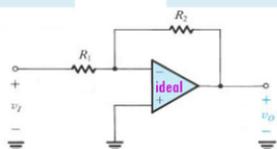
Qual o valor de μ em um amplificador operacional (AO) ideal? E de A?

Escolha uma:

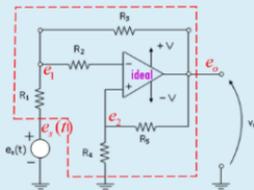
- a. -100 e +100
- b. +100 e -100
- c. $-\infty$ e $+\infty$
- d. $+\infty$ e $-\infty$

Verificar

Questão twitter (280 caracteres): O que podemos dizer a respeito da corrente no terminal de saída de um AO no circuito inversor abaixo? Ela é zero? Infinita? Se não, como calcular?



No caso deste exercício da figura abaixo pudemos usar a "lei" do divisor de tensão entre eo e e2. Porque?



Escolha uma ou mais:

- a. Porque temos dois resistores (R4 e R5) em série
- b. Porque o ramo V+ não é uma carga para o divisor resistivo R4, R5
- c. Porque a corrente i+ (ou iV+) é zero

Verificar

O velho ditado chinês

Para saber o que fazer, basta lembrar um antigo provérbio chinês:



Se eu escuto...
esqueço!



Se eu vejo...
entendo!



Se eu FAÇO...
aprendo!

Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumentar tempo para atividades pessoais.

1ª Aula:

Estudo de Amplificadores Operacionais

Encapsulamento e Amp Ops Ideais

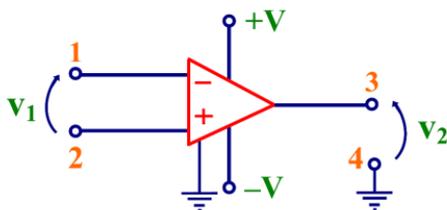
Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- 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

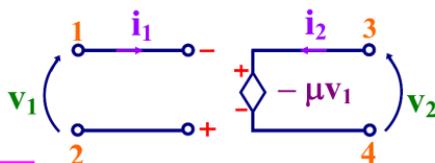
Amplificadores Operacionais

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

Amplificador Operacional



Modelo :



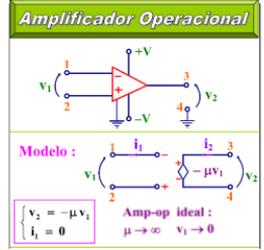
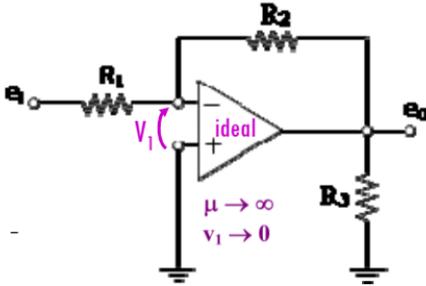
$$\begin{cases} v_2 = -\mu v_1 \\ i_1 = 0 \end{cases}$$

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

Amplificadores Operacionais

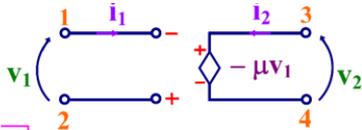
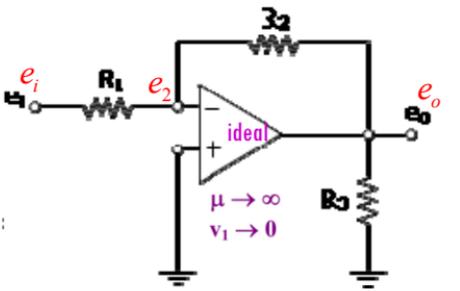
Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

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:

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

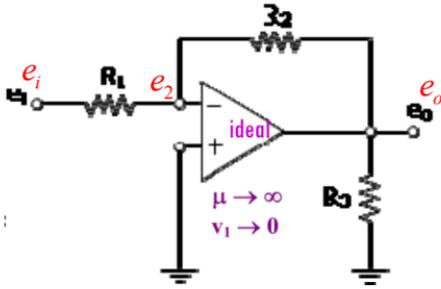
Nó e_3 : ~~$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + ? \right) e_s - \frac{1}{R_2} e_2 - ? = 0$$~~

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

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:

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

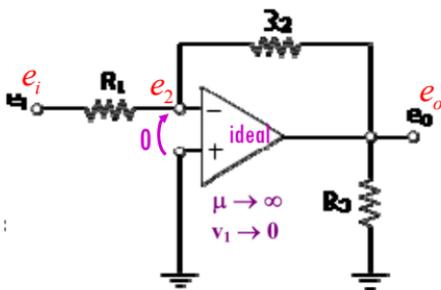
$$\text{E portanto: } -\frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

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

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

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

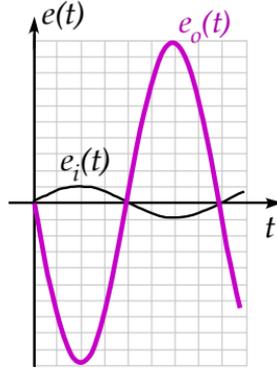
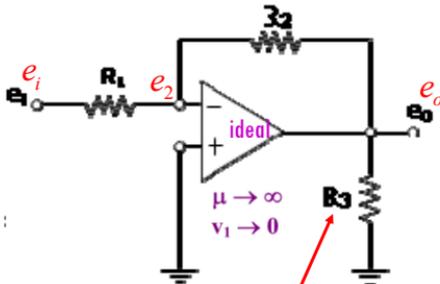
Exercício 1: (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação e_o/e_i no circuito da Figura abaixo?

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

O que isso quer dizer?

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

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

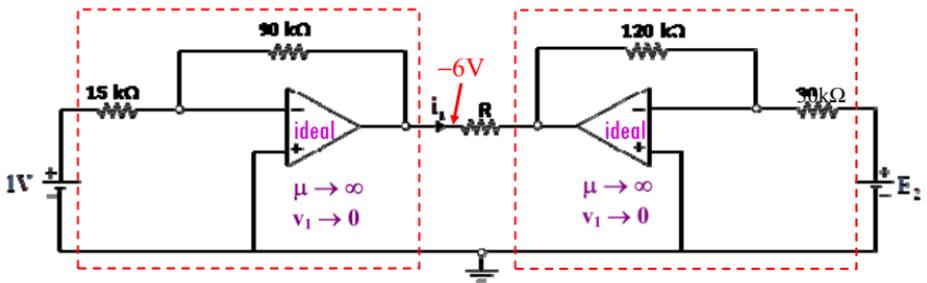
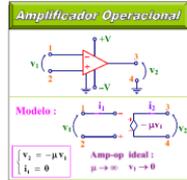


Depende do valor de R_3 ?

Amplificadores Operacionais

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

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



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

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

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

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

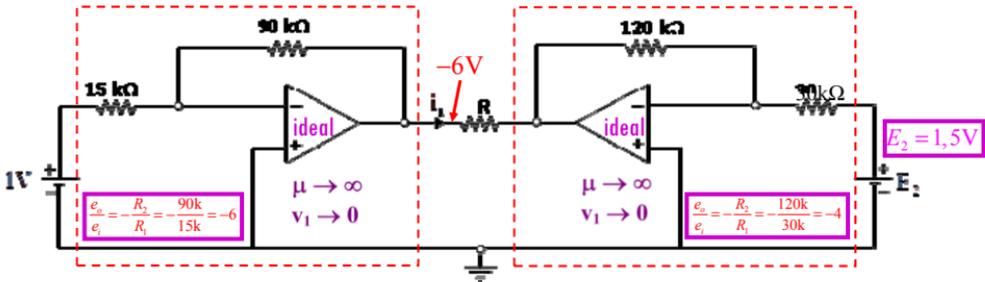
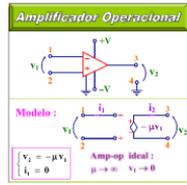
$$i_3 = 0 \rightarrow (e_3 - e_4) / R = 0 \rightarrow (-6 - (-4E_2)) = 0$$

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

Amplificadores Operacionais

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

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



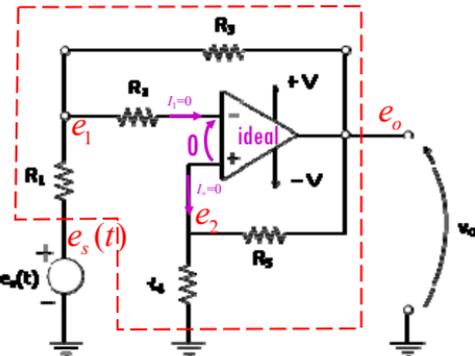
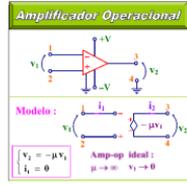
O que aprendemos neste exercício:

- 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 .



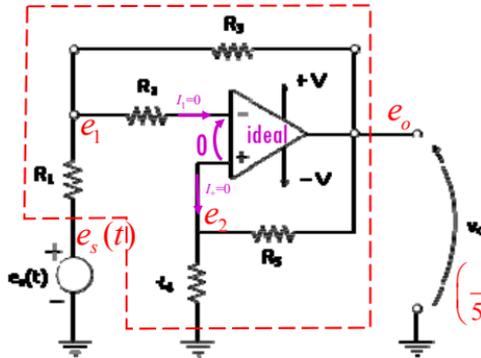
Um possível caminho de análise:

- 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 :
$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) e_1 - \frac{1}{R_1} e_3(t) - \frac{1}{R_2} e_2 - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$
- Inspeccionando, $e_1 = e_2$!!!!!
- $$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_3(t) - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$

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,

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

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

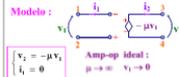
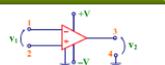
$$\frac{1}{500} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) - \frac{1}{1000} e_o = 0 \quad \frac{1}{1000} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) = 0$$

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

Prof. Sédson
PAC0009

17

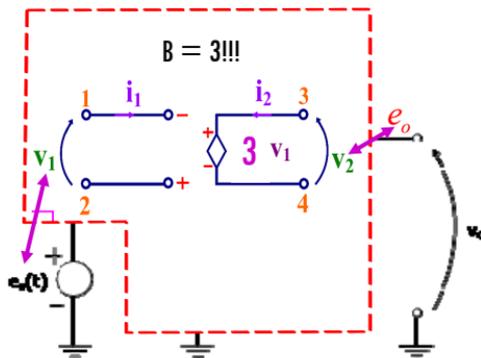
Amplificador Operacional



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,

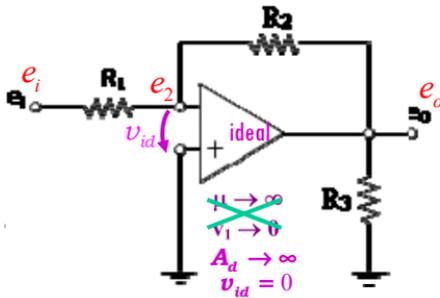
$$-3,33V < e_s(t) < +3,33V$$

Prof. Sédson
PAC0009

18

O Amplificador Inversor (A.O. Ideal)

Vimos que:

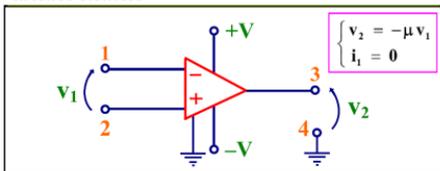


$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

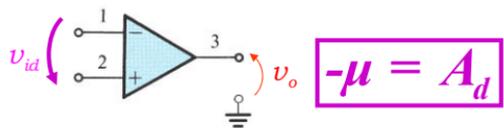
Podemos extrapolar!

Amplificadores Operacionais

Circuitos elétricos



Eletrônica

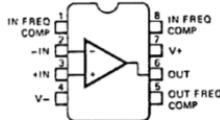


$$v_{id} = v_+ - v_- = v_2 - v_1$$

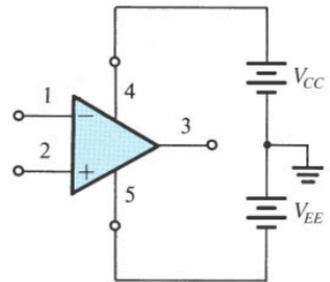
$$v_o = A_d \cdot v_{id} = A_d(v_2 - v_1)$$



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



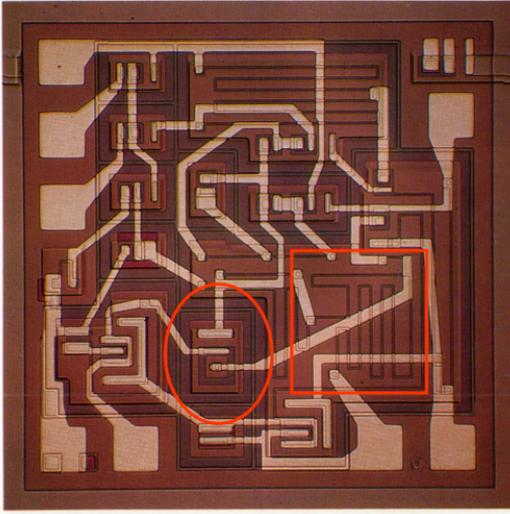
ORDER INFORMATION
TYPE PART NO.
 μ A709C μ A709TC



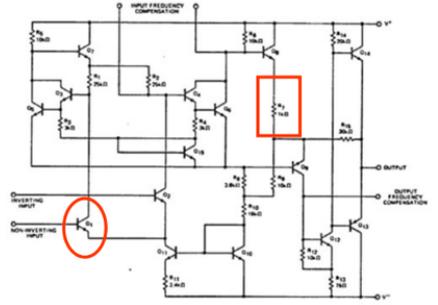
(b)

Amplificadores Operacionais (μA 709)

3mm x 3mm



EQUIVALENT CIRCUIT



Amplificadores Operacionais (μA 709)

EQUIVALENT CIRCUIT

