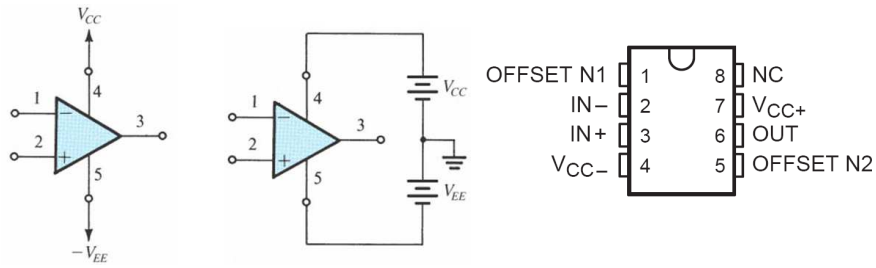
1. INTRODUÇÃO AO AMPOP

Os amplificadores operacionais são dispositivos extremamente versáteis com uma imensa gama de aplicações em toda a eletrônica.
Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho,que usam realimentação para controle de suas características. Eles são hoje encarados como um componente, um bloco fundamental na construção de circuitos analógicos. Internamente,
são constituídos de amplificadores transistorizados em conexão série.



CARACTERÍSTICAS

Origens: amplificadores à válvula na década de 40.
Função primária: operações matemáticas.
Integração: amplificadores a transistores na década de 50.
Aplicação geral: transdução de sinais com níveis de milivolts e microvolts.
Vantagem: linearidade com réplica fidedigna do sinal original, sem a adição de nenhuma informação.

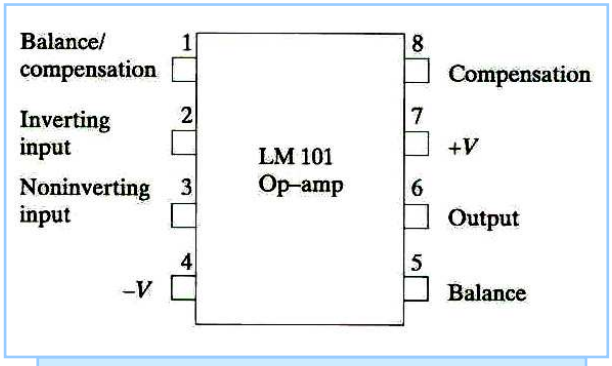
Porque usar AMPOP?
Preço;
Tamanho;
Consumo;
Confiabilidade.

CIRCUITOS COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

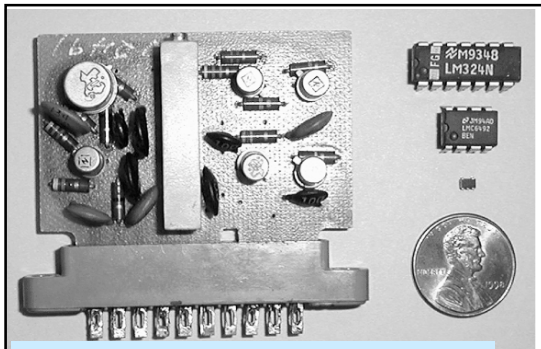
1. OpAmps são utilizados como componente eletrônico

2. Analise de circuitos práticos usando Ampops

3. O modelo linear do Ampops inclui fonte dependente

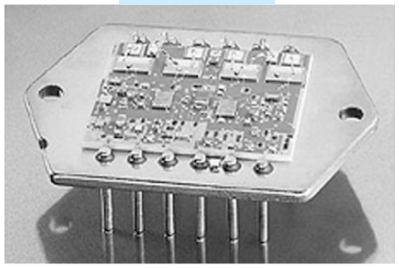


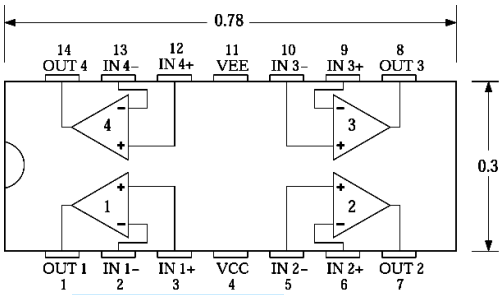
ENCAPSULAMENTO COMERCIAL TÍPICO DO AMPOP



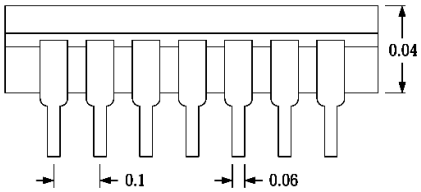
OP-AMP ASSEMBLED ON PRINTED CIRCUIT BOARD

LMC 6294 DIP





PIN OUT FOR LM324

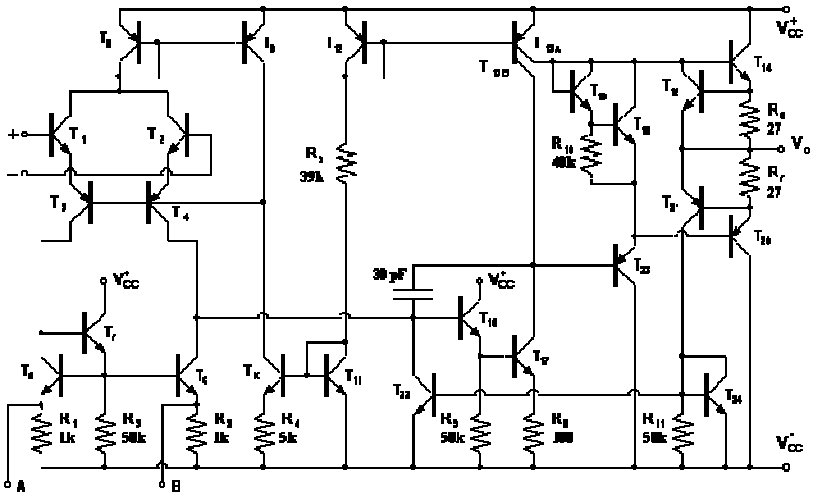


DIMENSIONAL DIAGRAM LM 324

UDESC Joinville

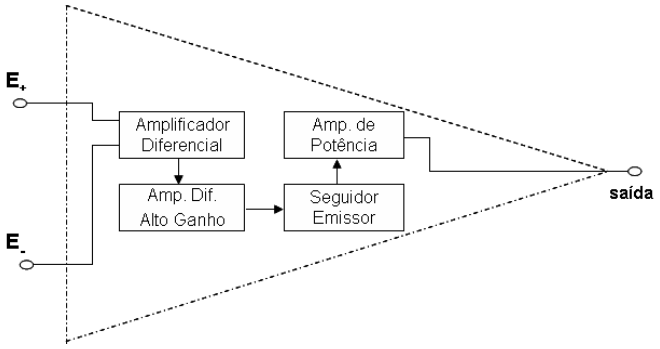
Estrutura Interna

Esquema interno do AmpOp µA741



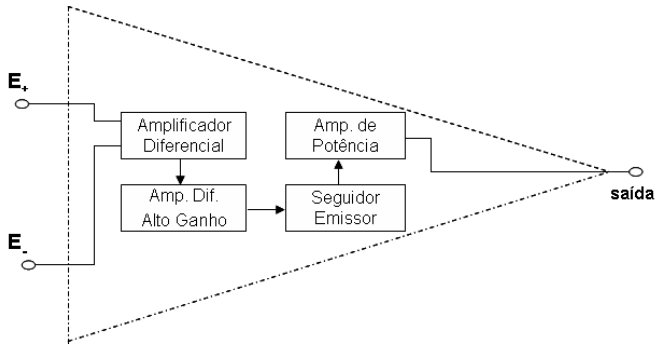
UDESC Joinville

ESTRUTURA INTERNA



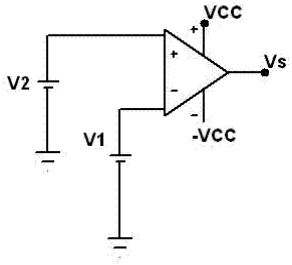
<u>Amplificador Diferencial</u>: Alta impedância de entrada: aproximadamente 2 MΩ para o 741 (montagem Darlington) ou com FET de entrada (0,1 a 10 GΩ) para o OPA657.

ESTRUTURA INTERNA



Amplificador Diferencial de Alto Ganho: Ganho controlado e compensação de freqüência e fase. Nesta etapa o ampop possui um capacitor de compensação interna com a finalidade de evitar oscilações.
Seguidor Emissor: Redução do efeito de carga;
Amplificador de Potência: Classe B, ganho e resposta em freqÜência independente da carga.

CARACTERÍSTICAS IDEAIS



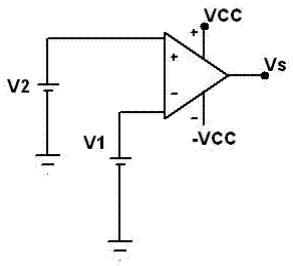
1 - Av = ∞
2 - Ri = ∞
3 - Ro = 0
4 - Vs = 0 (V1 = V2)

5 - Bw = ∞
6 - Simetria na Tensão de Alimentação
7 - Imunidade ao Ruído
8 - Corrente de Polarização Zero (I- =I+ = 0)

Vs = Av.Vi = Av.(V1-V2) Vs = Av.Vi

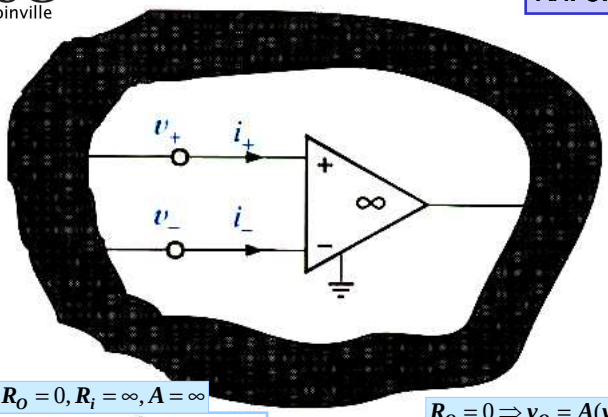
Obs.: Vi = Vd

CARACTERÍSTICAS REAIS

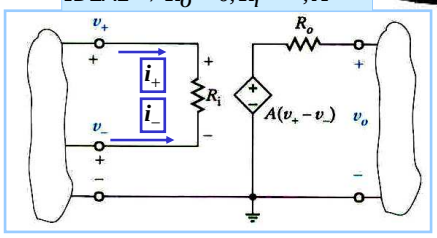


Ganho de tensão - A ou Av_0 ganho de malha aberta, medido em C.C. é o ganho de tensão diferencial.
Ganho de modo comum é, em condições normais, extremamente pequeno.
Tensão de "offset" - a saída do Ampop pode ser diferente de zero quando ambas entradas estão no potencial zero, ou seja,há uma tensão C.C. equivalente, na entrada. Faixa de 1 a 100 mV. Entradas para ajuste da tensão de "offset".
Corrente de "offset" - impedância de entrada finita, logo,apresentam correntes C.C. de polarização em suas entradas.
Faixas de passagem - "Unit-Gain Crossover Frequency" - esta freqüência pode estar na faixa de 1 kHz até 100 MHz.
"Slew Rate" - está ligado à faixa de passagem à plena potência. Entrada um sinal senoidal de alta freq. de amplitude superior, observa-se a sua saída uma onda triangular. A inclinação desta forma de onda triangular é o "slew rate".Origem: construção do dispositivo - capacitor de compensação de fase e à máxima taxa com que este pode ser carregado.

AMPOP IDEAL



IDEAL $\Rightarrow R_O = 0, R_i = \infty, A = \infty$



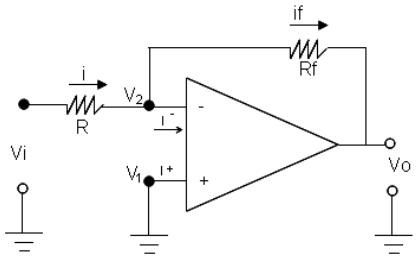
$R_O = 0 \Rightarrow v_O = A(v_+ - v_-)$

$R_i = \infty \Rightarrow i_+ = i_- = 0$

$A = \infty \Rightarrow v_+ = v_-$

CIRCUITOS LINEARES COM AMPOPS: AMPLIFICADOR INVERSOR

TERRA VIRTUAL: $V_0 = A.(V_1 - V_2)$
ENTÃO: $V_1 = V_2$
$A \rightarrow \infty$



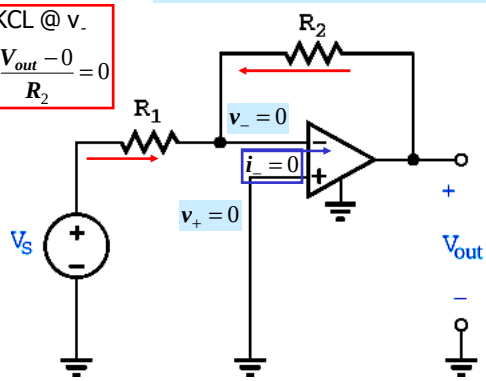
OUTRAS CARACTERÍRTICAS:
$R_{IN} = R$
$R_0 = 0$
$G_V = - R_f/R$

EXEMPLO

DETERMINE THE GAIN $G = \frac{V_{out}}{V_s}$

APPLY KCL @ v_-

$$\frac{V_s - 0}{R_1} + \frac{V_{out} - 0}{R_2} = 0$$

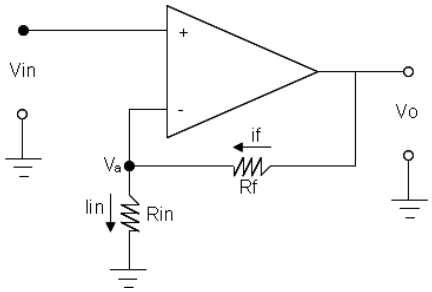


$$G = \frac{V_{out}}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$A_o = \infty \Rightarrow v_+ = v_- \quad \therefore v_- = 0$$

$$R_i = \infty \Rightarrow i_- = i_+ = 0$$

CIRCUITOS LINEARES COM AMPOPS: AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR



Va = Vin
if = Iin

$$\frac{Vo - Va}{Rf} := \frac{Va - 0}{Rin}$$

$$\frac{Vo - Vin}{Rf} := \frac{Vin}{Rin}$$

$$Vo - Vin := \frac{Rf}{Rin} Vin$$

$$Vo := \left(1 + \frac{Rf}{Rin}\right) Vin$$

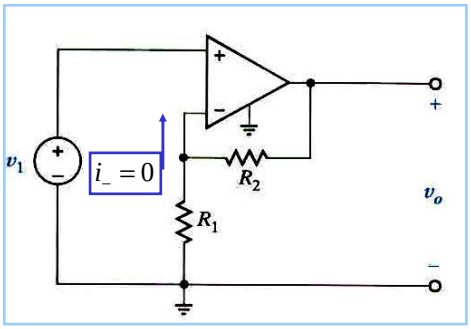
$$\frac{Vo}{Vin} := \left(1 + \frac{Rf}{Rin}\right)$$

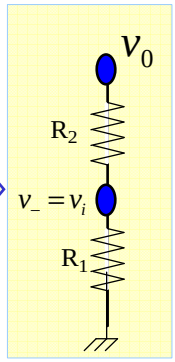
CARACTERÍRTICAS IDEAIS:

$R_{IN} = \infty$
$R_0 = 0$
$G_V = V_o/V_{in}$

AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR- AMPOP IDEAL

SIMPLIFICAÇÃO





VOLTAGE $v_+ = v_1$

$$v_+ = v_1 \Rightarrow v_- = v_1$$

ASSUMINDO GANHO INFINITO

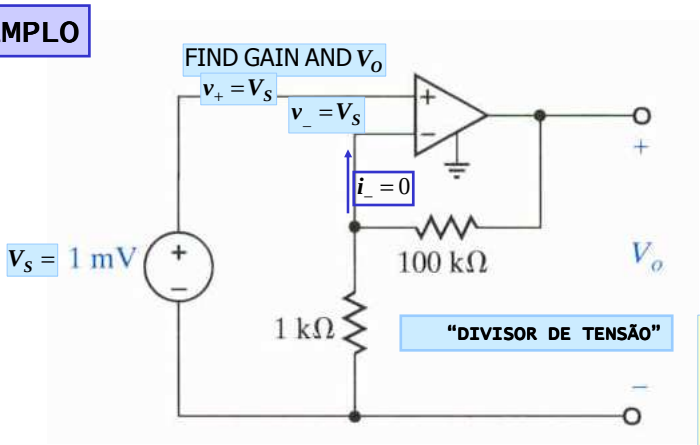
E RESISTÊNCIA DE ENTRADA INFINITA

"DIVIDOR DE TENSÃO"

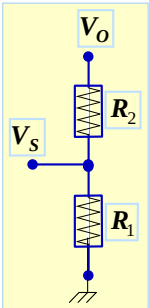
$$v_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_0 \Rightarrow v_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_i$$

EXEMPLO

FIND GAIN AND V_O



"DIVISOR DE TENSÃO"



$$V_O = \frac{100k + 1k}{1k} V_S$$

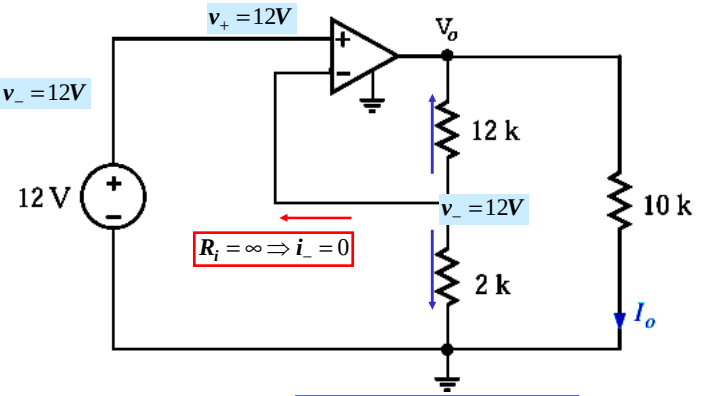
$$G = \frac{V_O}{V_S} = 101$$

$$V_S = 1mV \Rightarrow V_O = 0.101V$$

EXEMPLO

FIND I_O. ASSUME IDEAL OP-AMP

$A_O = \infty \Rightarrow v_- = 12V$



KCL@ v_- : $\frac{12 - V_o}{12k} + \frac{12}{2k} = 0$ $\Rightarrow V_o = 84V$

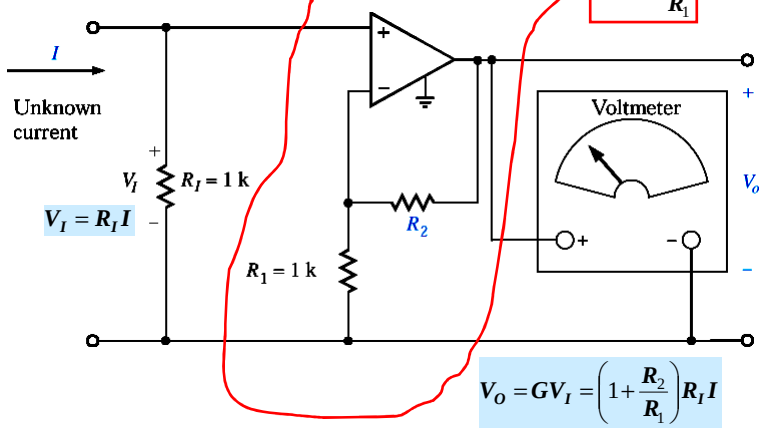
$$\therefore I_O = \frac{V_o}{10k} = 8.4mA$$

LEARNING BY APPLICATION

OP-AMP BASED AMMETER

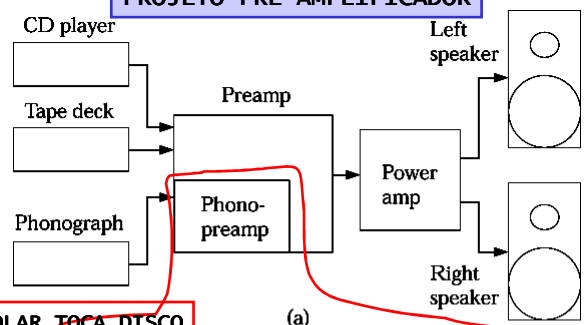
NON-INVERTING AMPLIFIER

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



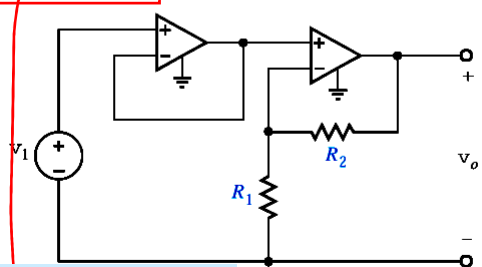
$$V_O = GV_I = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) R_I I$$

PROJETO PRÉ-AMPLIFICADOR



P/ ISOLAR TOCA DISCO

(a)

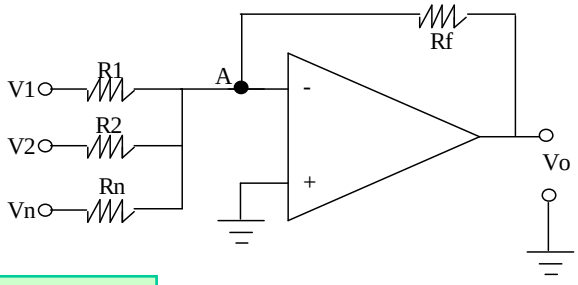


DETERMINE R_2, R_1 SO THAT
IT PROVIDES AN AMPLIFICATION OF 1000

(b)

$$\frac{V_O}{V_1} = (1)(1 + \frac{R_2}{R_1})$$

CIRCUITOS LINEARES COM AMPOPS: AMPLIFICADOR SOMADOR INVERSOR - AMPOP IDEAL

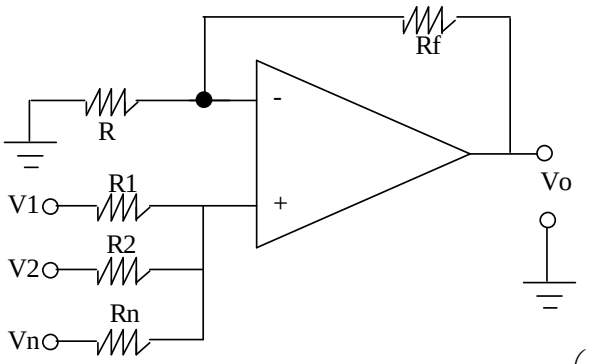


NÓ A: $\frac{V1 - VA}{R1} + \frac{V2 - VA}{R2} + \frac{Vn - VA}{Rn} := \frac{VA - Vo}{Rf}$

$$Vo := -Rf\left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} + \frac{Vn}{Rn}\right)$$

EXEMPLO: CONSIDERANDO R = R_1 = R_2 = R_n, OBTER A TENSÃO DE SAÍDA V_0

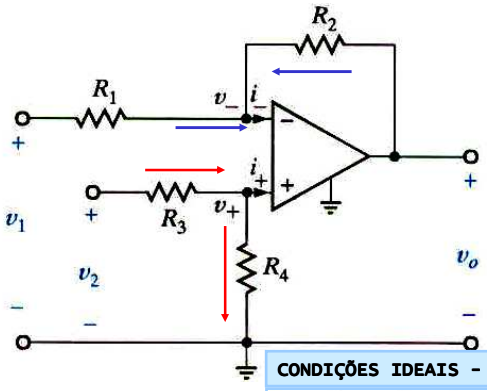
AMPLIFICADOR SOMADOR NÃO INVERSOR



AMPOP IDEAL

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \times \frac{(V_1 + V_2 + V_n)}{3}$$

CIRCUITOS LINEARES COM AMPOP: AMPLIFICADOR DIFERENCIAL OU SUBTRATOR



CONDIÇÕES IDEAIS - AMPOP

$$i_+ = i_- = 0 \qquad v_+ = v_-.$$

KCL @ TERMINAL INVERSOR

$$\frac{v_1 - v_-}{R_1} + \frac{v_o - v_-}{R_2} = i_-$$

KCL @ TERMINAL NÃO INVERSOR

$$\frac{v_2 - v_+}{R_3} = \frac{v_+}{R_4} + i_+$$

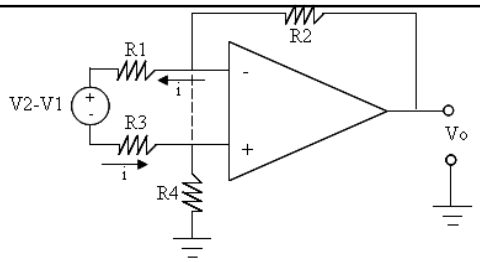
$$i_+ = 0 \Rightarrow v_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 \Rightarrow v_- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_- - \frac{R_2}{R_1} v_1 = \frac{R_2}{R_1}\left(\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_- - v_1\right)$$

$$R_4 = R_2, R_3 = R_1 \Rightarrow v_O = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)$$

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL OU SUBTRATOR: IMPEDÂNCIA DE ENTRADA



POR DEFINIÇÃO - Rin

$$\text{Rin} = \frac{\text{V2} - \text{V1}}{\text{i}}$$

CONDIÇÕES IDEAIS - AMPOP

$$i_+ = i_- = 0 \qquad v_+ = v_-.$$

KCL @ NOS TERMINAIS

$$-(\text{V2} - \text{V1}) + \text{R3}\cdot\text{i} + 0 + \text{R1}\cdot\text{i} = 0$$

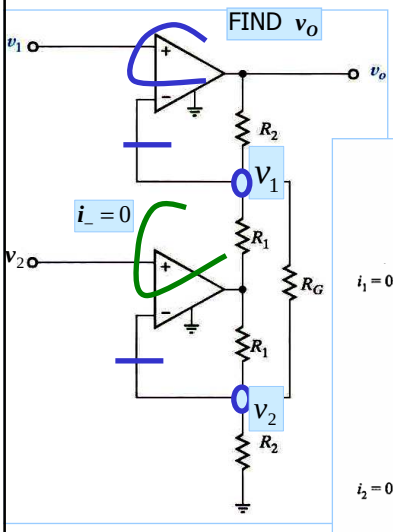
$$\frac{\text{V2} - \text{V1}}{\text{i}} = \text{Rin} = \text{R1} + \text{R3}$$

Cancelamento de ruídos idênticos induzidos ao mesmo tempo em V1 e V2;
Amplificação diferencial somente do sinal de interesse;
Baixa impedância de saída;

Impedância de entrada limitada a R1+R3;
CMRR limitado pela tolerância dos resistores.

EXAMPLO: AMPOP IDEAL

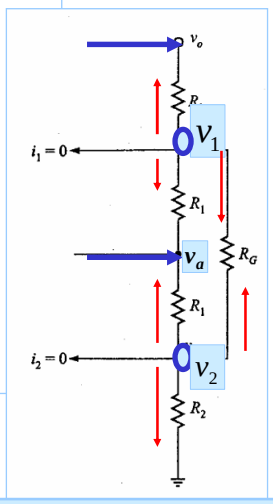
FIND v_O



Quais as tensões? $v_{+1} = v_1, v_{+2} = v_2$

Qual tensão é conhecida devido ao Ganho de M.A. infinito?

Assumindo que a Resistência é infinita



SIMPLIFICAÇÃO DO CIRCUITO

KCL@v1

$$\frac{v_1 - v_o}{R_2} + \frac{v_1 - v_a}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_G} = 0$$

KCL@v2

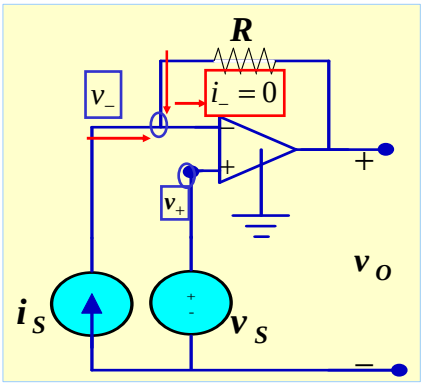
$$\frac{v_2 - v_a}{R_1} + \frac{v_2 - v_1}{R_G} + \frac{v_2}{R_2} = 0$$

Isolando vo

$$v_o = (v_1 - v_2)\left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G}\right)$$

v_O, v_a to be determined

EXEMPLO



Tensões: $v_+ = v_S$

Assumindo ganho MA infinito $v_- = v_S$

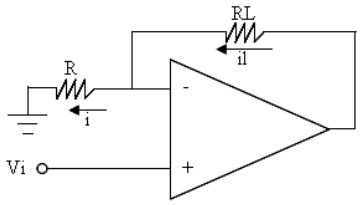
Assumindo resistência de entrada infinita e aplicando KCL a partir da entrada inversora

$$i_S + \frac{v_o - v_-}{R} = 0$$

$$v_o = v_S - Ri_S$$

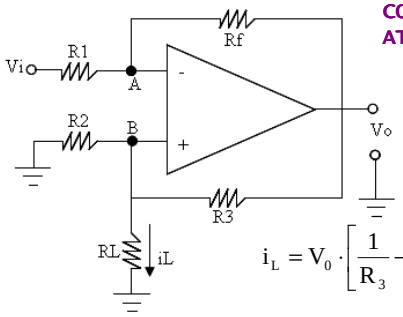
Encontrar a expressão para Vo. Indicar onde e as condições resultantes para o uso do Ampop ideal.

AMPLIFICADOR CONVERSOR DE TENSÃO/CORRENTE



CONVERSOR V/I COM CARGA FLUTUANTE – AMPOP DE TRANSCONDUTÂNCIA.

$$il = i \qquad il = \frac{Vi}{R}$$



CONVERSOR V/I INVERSOR COM CARGA ATERRADA – FONTE HOWLAND

$$\frac{Vi - VA}{R1} = \frac{VA - Vo}{Rf} \qquad \frac{Vo - VB}{R3} = \frac{VB}{R2} + iL$$

COMO $V_A = V_B$:

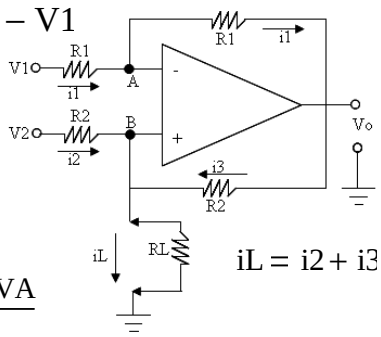
$$i_L = V_0 \cdot \left[\frac{1}{R_3} - \frac{R_f \cdot (R_2 + R_3)}{R_2 \cdot R_3 \cdot (R_f + R_1)}\right] - V_i \cdot \left[\frac{R_f \cdot (R_2 + R_3)}{R_2 \cdot R_3 \cdot (R_f + R_1)}\right]$$

COND. BALANCEAMENTO: $R_3/R_2 = R_f/R_1$

$i_L = - Vi/R_2$

CONVERSOR V/I DIFERENCIAL COM CARGA ATERRADA (CIRCUITO MONOPOLAR)

$$\frac{Vi - VA}{R1} = \frac{VA - Vo}{R1} \qquad Vo = 2VA - V1$$



$$iL = \frac{V2 - VB}{R2} + \frac{Vo - VB}{R2}$$

$$iL = i2 + i3$$

Como VA=VB, logo temos que:

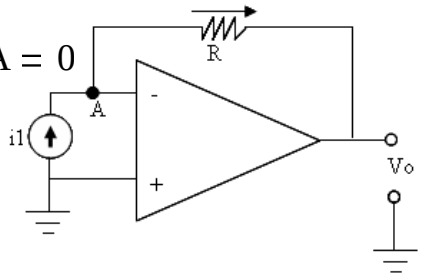
$$iL = \frac{V2 - VA}{R2} + \frac{2VA - V1 - VA}{R2}$$

$$iL = \frac{V2 - V1}{R2}$$

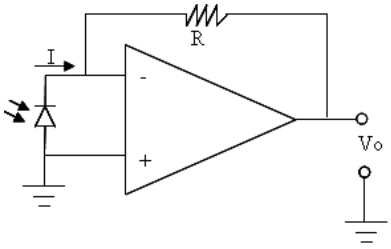
Se V_1, V_2 e R_2 são constantes, logo iL é constante e independe da carga RL.

AMPLIFICADOR CONVERSOR DE CORRENTE/TENSÃO

$$VA = 0$$



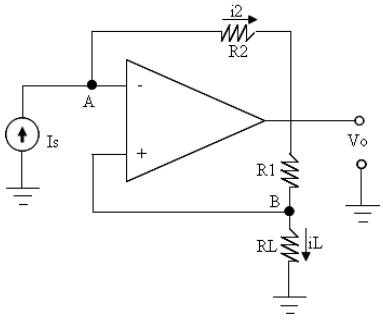
$$i1 = \frac{VA - Vo}{R} \qquad V_0 = -i_1 \cdot R$$



Determine o valor da resistência R no circuito da figura abaixo (fotodetector), sabendo que o sensor tem uma sensibilidade de 80 nA/Lux e que o circuito apresenta uma sensibilidade de 0,5 V/Lux.

$$R = \frac{0.5V}{80nA} \qquad R = 6.25M\Omega$$

AMPLIFICADOR DE CORRENTE (CONVERSOR CORRENTE/CORRENTE)



Configuração inversora

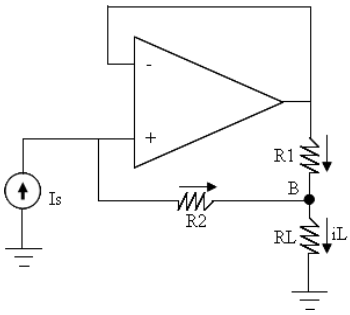
$$VA - Vo = Is \cdot R2 \qquad Vo - VB = iL \cdot R1$$

Como VA=VB, temos que:

$$\frac{iL}{Is} = -\frac{R2}{R1}$$

Configuração não inversora

$$\frac{iL}{Is} = 1 + \frac{R2}{R1}$$



Por hoje.....é só!

FAAALA ZÉ... SUMIU DO BOTECO, HEIN?
ABRI UM MOTO-TÁXI!
WWW.EDIBAR.COM.BR
PENA QUE NÃO TÁ DANDO CERTO. NÃO CONSIGO ARRANJAR UM CLIENTE SEQUER!
COMO NÃO? E ESSE CARA AÍ NA SUA GARUPA?
AH, ELE? É O COBRADOR, UÉ?