

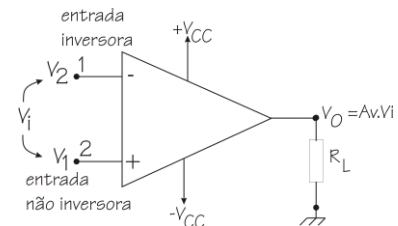
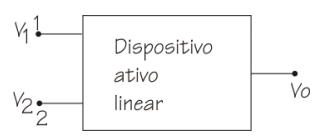
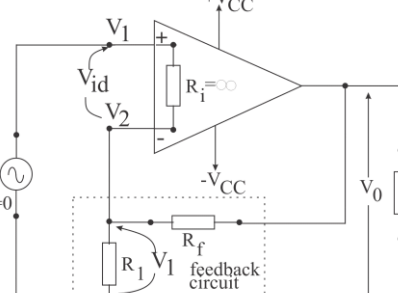
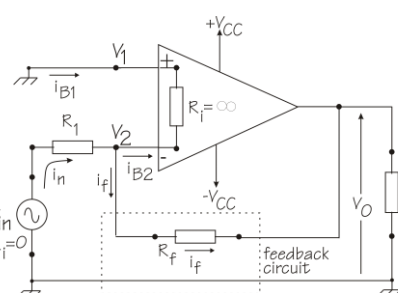
**EXPERIMENTO Nº 07- A – Amplificadores Operacionais****OBJETIVO:****MATERIAIS:***Instrumentos*

Osciloscópio  
Gerador de funções

*Materiais (responsabilidade do aluno)*

2 op amp LM741  
1 op amp TL071 ou TL072 ou TL074  
4 resistores obtidos no projeto  
1 potenciômetros diversos  
3 pares de pontas de provas (banana-jacaré)  
3 cabos BNC – garras tipo jacaré (para osciloscópio e gerador de funções)  
Régua de proto-board, Multímetro digital  
Fonte de alimentação simétrica desenvolvida na aulas anteriores  
"Data Sheets" e Projeto de Polarização DC  
Alguns datasheets podem ser encontrados no [www.cpgei.labiem.cefetpr.br](http://www.cpgei.labiem.cefetpr.br)

**RESUMO TEÓRICO:**

	 $v_o = A_d \cdot (V_1 - V_2)$ <p><math>A_d</math> é o ganho diferencial</p> <p>tensões medidas em relação à massa.</p>
<b>Amplificador não inversor</b>	
	<p>ganho e malha aberta <math>A = \frac{v_o}{v_{id}}</math> (ganho sem realimentação)</p> <p>ganho de malha fechada <math>A_F = \frac{v_o}{v_i}</math> (ganho com realimentação)</p> $A_F = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot v_i$
<b>Amplificador inversor</b>	
	<p>Sendo <math>R_i \approx \infty</math>, as corrente de polarização <math>i_{B1}</math> e <math>i_{B2}</math> (<i>input bias current</i>) são muito pequenas, por ex., para o op amp 741C, <math>R_i \approx 2M\Omega</math> e <math>i_B \approx 0,5\mu A</math>, logo:</p> $i_{in} \approx i_F$ $\frac{v_{in} - v_2}{R_1} = \frac{v_2 - v_o}{R_f}$ $v_o = A(v_1 - v_2) \rightarrow v_1 - v_2 = \frac{v_o}{A}$ <p>Considerando:</p> $v_1 = 0, v_2 = \frac{-v_o}{A}, A_F = \frac{v_o}{v_{in}} \text{ e } A \cdot R_f \gg R_1 + R_f$ <p>chega-se a equação do ganho:</p> $A_F = -\frac{R_f}{R_1}, \text{ onde o sinal negativo indica inversão de 180 graus na fase.}$

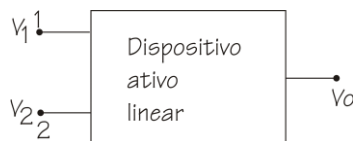
## Resumo dos parâmetros dos amplificadores operacionais

### Common mode rejection ratio-CMRR

A razão de rejeição no modo comum de um amplificador (ou outro dispositivo) mede a tendência do dispositivo de rejeitar sinais comuns nos terminais de entrada. Uma alta CMRR é importante em aplicações onde o sinal de interesse é representado por pequenas variações de tensão sobreposta por (possivelmente grande) tensão de deslocamento ou quando a informação de interesse está contida na diferença entre dois sinais. A CMRR é medida em decibéis e definida pela equação:

$$CMRR \equiv 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

onde  $A_d$  é o ganho diferencial e  $A_c$  é o ganho no modo comum. A tensão de saída de um amplificador ideal pode ser expressa como:



$$v_o = A_1 v_1 + A_2 v_2$$

onde  $A_1$  ( $A_2$ ) é a amplificação de tensão das entradas 1(2) na condição que a entrada 2(1) é aterrada. Lembrando que  $v_o = A \cdot (v_1 - v_2)$  onde  $A$  é o ganho de malha aberta, observa-se que qualquer sinal comum em ambas as entradas não deveriam ter efeito na saída. Contudo, na prática a saída depende não somente da diferença de tensão  $v_d = v_1 - v_2$  mas também do nível médio, chamado “sinal no modo comum” ou *common mode signal* ( $v_c$ ). Sendo:

$$v_c \equiv \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \quad \text{e} \quad v_d = v_1 - v_2.$$

pode-se tirar que  $v_1 = v_c + \frac{v_d}{2}$  e  $v_2 = v_c - \frac{v_d}{2}$ , substituindo em  $v_o = A_1 v_1 + A_2 v_2$ , tem-se que:

$$v_o = v_c (A_1 + A_2) + v_d \left( \frac{A_1 - A_2}{2} \right)$$

onde  $A_c = (A_1 + A_2)$  é o ganho no modo comum e  $A_d = \left( \frac{A_1 - A_2}{2} \right)$  é o ganho no modo diferencial, ou seja,

$$v_o = v_c \cdot A_c + v_d \cdot A_d.$$

### Procedimento para medir o ganho no modo diferencial e no modo comum:

- $A_d$  faz-se  $v_1 = -v_2 = 0,5V$ . Nesse caso  $v_d = 1V$  e  $v_c = 0$ . Assim,  $v_o = v_d \cdot A_d$
- $A_c$  faz-se  $v_1 = v_2 = 1V$ . Nesse caso,  $v_d = 0$  e  $v_c \equiv \frac{1}{2}(v_1 + v_2) = 1V$ ,  $v_o = v_c \cdot A_c = A_c$ .

Idealmente  $A_d$  deve ser grande e  $A_c$  pequeno.

**Tensão de saída em função:**

Sendo  $v_o = v_c \cdot A_c + v_d \cdot A_d$  tem-se a equação da tensão de saída em função da CMRR:

$$v_o = v_d \cdot A_d \left( 1 + \frac{A_c \cdot v_c}{A_d \cdot v_d} \right) = v_d \cdot A_d \cdot \left( 1 + \frac{1}{CMRR} \cdot \frac{v_c}{v_d} \right).$$

A CMRR é um dos parâmetros mais importantes de um op amp, pois indica como um sinal comum nas entradas aparecerá na sua saída. O valor do CMRR depende da frequência do sinal de entrada. A o gráfico abaixo foi retirado do *data sheet* da Texas Instrument Inc.

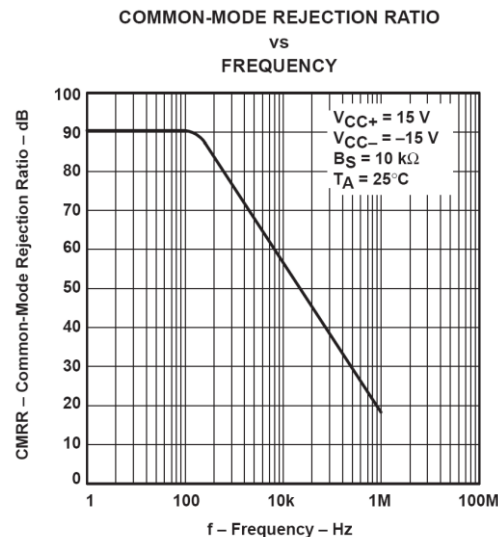
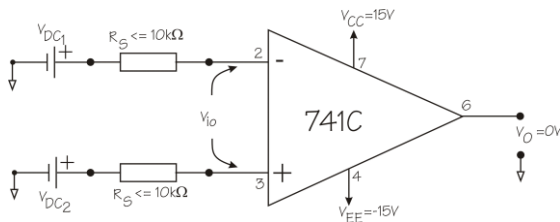


Figure 8

A CMRR é importante na redução de ruído presente ao longo da fiação, por exemplo. Considere o caso da medida da temperatura com um sensor termopar em um ambiente com interferência elétrica. A interferência aparecerá em ambos os terminais como um sinal de tensão no modo comum. A CMRR no op amp ajuda na atenuação do ruído.

No caso de malha aberta (sem realimentação) a tensão de saída do op amp é dada em função do *open-loop gain*  $G$ . No caso ideal a tensão de saída seria dada por  $v_{out} = (v_+ - v_-) \cdot G$ , ou seja, a CMRR seria infinita. Para o 741 a CMRR é de 90dB, valores típicos ficariam em 70dB, podendo-se encontrar op ampos com CMRR de 120dB. Obviamente quanto maior a CMRR melhor é o op amp.

**Input offset voltage (IOV):** é a tensão que deve ser aplicada entre os terminais de entrada para fazer a tensão de saída igual à zero. Na figura as tensões  $V_{DC1}$  e  $V_{DC2}$  são contínuas e  $R_S$  representa a resistência interna da fonte. A IOV é denotada em termos de valor absoluto já que  $V_{io}$  pode ser positiva ou negativa.

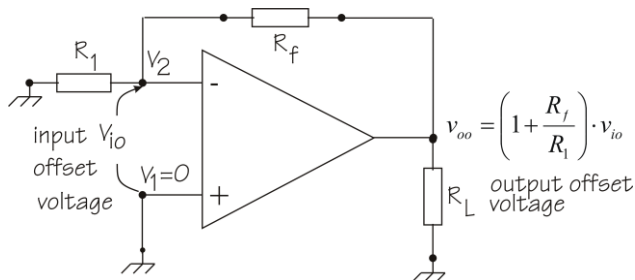


$V_{DC1}$  e  $V_{DC2}$  são tensões contínuas

$R_S$  resistência interna da fonte

$$V_{io} = (V_{DC1} - V_{DC2})$$

A presença do IOV na entrada é o aparecimento de uma tensão de offset na saída  $V_{oo}$ .



$$v_{oo} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot v_{io}$$

$$v_2 = \left(\frac{R_1}{R_f + R_1}\right) \cdot v_{oo}$$

$$v_{io} = |v_1 - v_2| \rightarrow v_1 = 0 \rightarrow v_{io} = v_2$$

$$v_{oo} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot v_{io} = A_{oo} \cdot v_{io}$$

A equação de  $v_{oo}$  permite determinar a máxima tensão de *offset* de saída causada por uma tensão de *offset* ( $v_{io}$ ) de entrada.

Na prática todos os op amps apresentam uma tensão de *offset* na saída. No caso extremo em que  $R_1 \gg R_f$ ,  $A_{oo} \approx 1$  e  $v_{oo} = v_{io}$ .

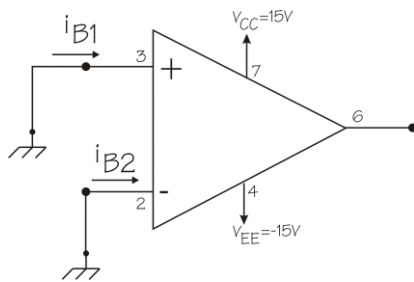
## μA741, μA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

**electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC\pm} = \pm 15$  V (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A^\dagger$	μA741C			μA741I, μA741M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0$	25°C		1	6		1	5	mV
		Full range			7.5			6	

**Input Offset Current:** é a diferença algébrica entre as correntes nas entradas inversoras e não-inversoras.



$$i_{io} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

$I_{B1} \rightarrow$  current into the non inverting input

$I_{B2} \rightarrow$  current into the inverting input

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A^\dagger$	$\mu\text{A}741\text{C}$			$\mu\text{A}741\text{I}, \mu\text{A}741\text{M}$			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0$	25°C		1	6		1	5	mV
		Full range			7.5			6	
$\Delta V_{IO}(\text{adj})$ Offset voltage adjust range	$V_O = 0$	25°C		$\pm 15$			$\pm 15$		mV
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 0$	25°C		20	200		20	200	nA
		Full range			300			500	

**Input bias current:** é definida como a média das correntes que fluem nas entradas

$$i_B = \frac{I_{B1} - I_{B2}}{2}$$

$I_{B1}$  e  $I_{B2}$  são as correntes de na base dos transistores do estágio diferencial do op amp.

**Average temperature coefficient of input offset current or current drift:** é definida como a variação da  $i_{io}$  com a variação da temperatura:

$$i_B = \frac{\Delta i_{io}}{\Delta T} [\mu\text{A}/^\circ\text{C}]$$

**Average temperature coefficient of input offset voltage or voltage drift:** é definida como a variação da  $i_{io}$  com a variação da temperatura:

$$i_B = \frac{\Delta v_{io}}{\Delta T} [\mu\text{V}/^\circ\text{C}]$$

**Differential Input Resistance:** A resistência diferencial de entrada  $R_i$ , frequentemente referida como resistência de entrada, é equivalente medida no terminais inverso e não-inversor, com o outro terminal correspondente aterrado. Para o 741C  $R_i = 2\text{M}\Omega$ . Para op amps que possuem FET no diferencial de entrada a  $R_i$  é da ordem de  $1000\text{ G}\Omega$ .

**Offset voltage adjustment range:** é definida com a tensão presente na saída quando as entradas estão aterradas. Na família dos 741 existe terminais de ajuste de deslocamento de saída (*offset voltage null capability*).

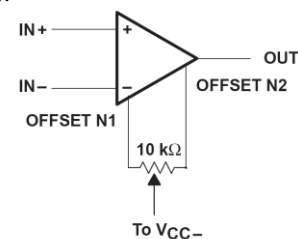
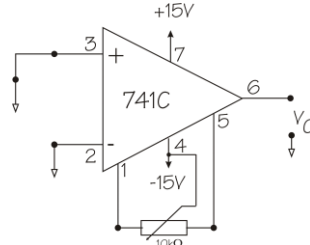
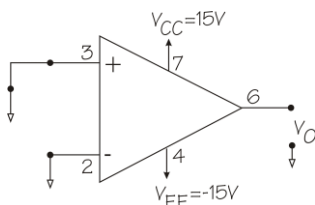
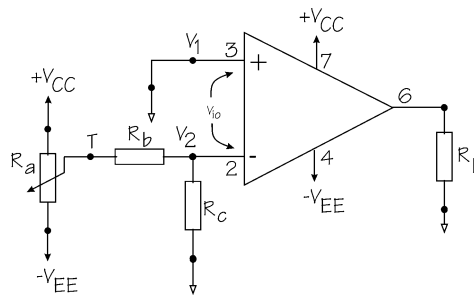


Figure 2. Input Offset Voltage Null Circuit  
[Obs.:modificado datasheet Texas]

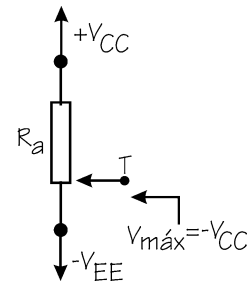
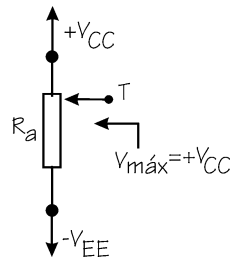
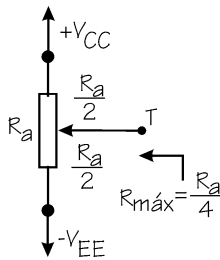
Caso não tenha pinos de compensação de *offset* é necessário uma malha ( $R_a$ ,  $R_b$  e  $R_c$ ) resistiva

#### Offset-Voltage Compensating Network Design:

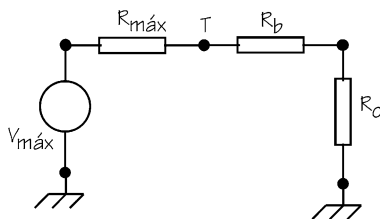
No caso de amplificadores inversores, uma malha de compensação de *offset-voltage* ( $R_a$ ,  $R_b$  e  $R_c$ ) pode ser conectada à entrada não-inversora. Do contrário a malha deve ser conectada à entrada inversora.



Considerando o potenciômetro  $R_a$  a partir de T, a máxima resistência equivalente de Thevenin ocorre com o potenciômetro no centro.



A máxima tensão em T dependerá da posição do potenciômetro ( $+V_{cc}$  ou  $-V_{cc}$ ). Vamos assumir uma tensão  $V$ , onde  $V = V_{máx}$ :



$$V_2 = \frac{R_C}{R_b + R_{máx} + R_C} \cdot V_{máx}$$

onde a máxima tensão  $V_2$  é igual a  $V_{io} = |V_1 - V_2|$ . Como  $V_1 = 0$ , tem-se:

$$V_{io} = \frac{R_C}{R_b + R_{máx} + R_C} \cdot V_{máx}$$

Pode-se assumir as seguintes simplificações:  $R_b > R_{máx} > R_c$  onde  $R_{máx} = \frac{R_a}{4}$ . Justificativas para isso:

- as correntes de polarização do op amp são fixas e muito pequenas (da ordem de nA);
- para anular a tensão de offset a variação de tensão em RC é pequena (da ordem de mV);
- logo a corrente em RC deve ser pequena e RC deve ser pequeno;
- a corrente de polarização na entrada inversora e em Rc, percorre Rb;
- a corrente em Rb é significativamente menor que Ra, logo  $R_b > R_{máx} = \frac{R_a}{4}$ , portanto é correto assumir que

$$R_b > R_{máx} > R_c, \text{ logo pode-se então aproximar } (R_{máx} + R_b + R_c) \approx R_b \text{ e } V_{io} = \frac{R_C \cdot V_{máx}}{R_b}.$$

Projeto:

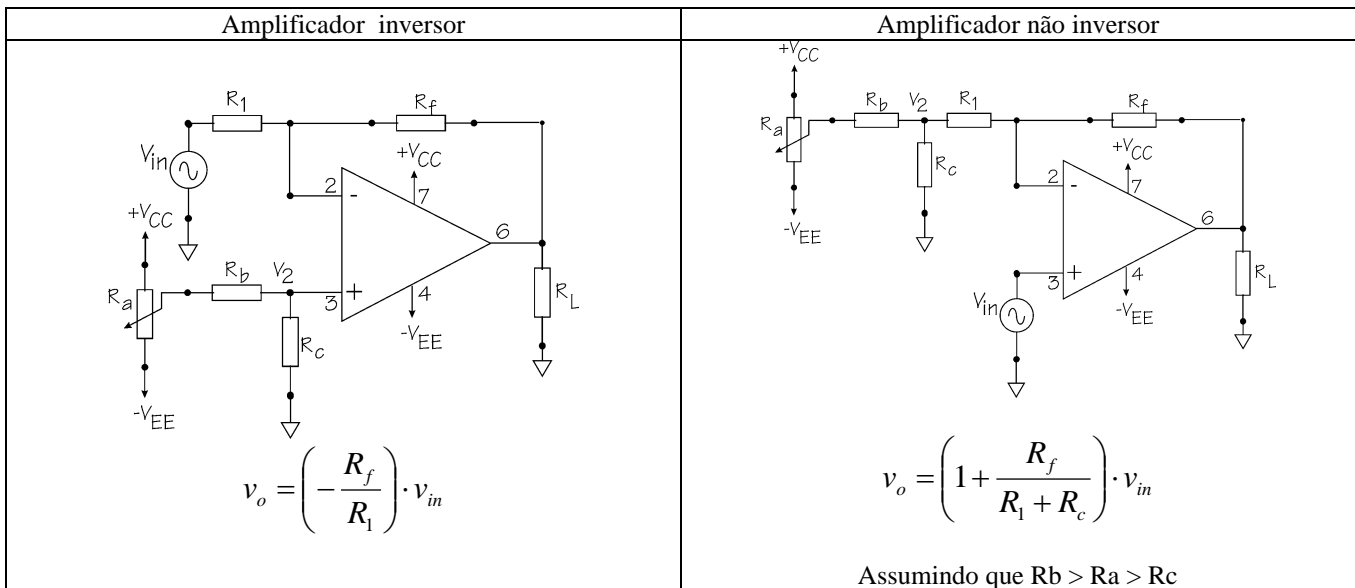
- $v_{io}$  tira-se do *data sheet*;
- $V_{máx} = V = V_{cc} = -V_{cc}$  e obtido de acordo com o projeto;
- Tira-se a relação  $\frac{V_{io}}{V_{máx}} = \frac{R_C}{R_b}$
- Seleciona-se Rc e calcula-se Rb
- Rc deve ser < 100 ohms para que Rb e Rz não sejam muito grandes;
- Monta-se o circuito e ajusta-se Ra até que  $V_o = 0$  para  $V_{in} = 0$ .

**Exemplo:** Projetar uma malha de compensação de *offset* para o op amp LM307 alimentado em  $\pm 10V$ , onde do data sheet do LM307 tira-se que  $V_{io}=10mV$  (máximo).

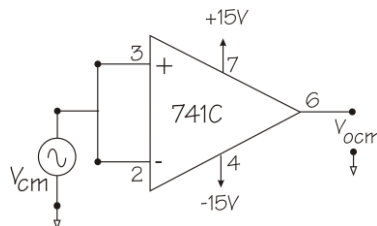
$$V_{io} = \frac{R_c}{R_b} \cdot V_{máx} \quad 10mV = \frac{R_c}{R_b} \cdot 10V \quad R_b = \frac{10V}{10mV} \cdot R_c$$

Selecionando-se  $R_c=10\Omega$ , tira-se  $R_b=10k\Omega$ , como  $R_b > R_{máx}$  e escolhendo-se  $R_b=10R_{máx}$ , onde  $R_{máx}=R_a/4$ , tem-se  $R_b=(10R_a)/4=10k$ , logo  $R_a=4k\Omega$ . Potenciômetro de  $4k\Omega$  não existe, escolhe-se um de  $3k\Omega$ . Assim:

$R_a=3k\Omega$   $R_b=10k\Omega$  e  $R_c=10\Omega$ .



**Input Voltage Range:** Quando a mesma tensão é aplicada a ambas as entradas, esta recebe o nome de tensão no modo comum  $V_{cm}$  (common-mode).



Para o 741C  $V_{cm} \leq \pm 13V$ , tensões acima fazem com que o op amp não trabalhe de forma adequada. O modo comum é somente usado para fins de teste do casamento das entradas inversoras e não-inversoras.

**Supply voltage rejection ratio (SVRR):** é definida como as variações provocadas na  $V_{io}$  devida às variações de tensão de alimentação. Outros denominações são: *power supply rejection ratio (PSRR)* e *power supply sensitivity (PSS)*. Estes valores são expressos em micro volts por volts ou decibéis.

$$SVRR = \frac{\Delta v_{io}}{\Delta V} [\mu V / V] \quad \text{ou} \quad SVRR = 20 \cdot \log \left( \frac{\Delta v_{io}}{\Delta V} \right) [dB]$$

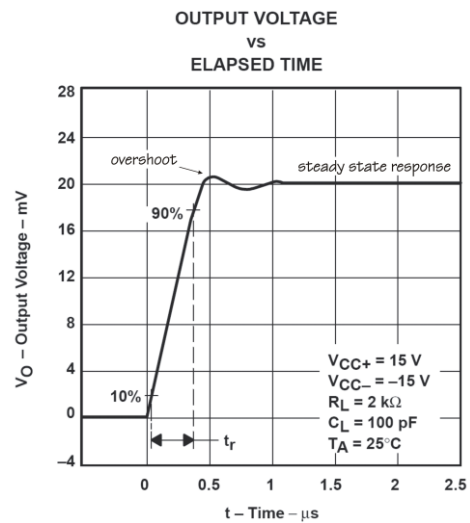
Para o 741  $SVRR=150\mu V/V$ . Outros operacionais como o 741C *high precision*  $SVRR=104dB$  ou  $6,31\mu V/V$ .

O valor da  $SVRR$  é medido para ambas as tensões de alimentação variando simultaneamente, com  $R_s \leq 10k\Omega$ . Contudo, alguns op amps o valor do  $SVRR$  é especificado separadamente em termos da tensão positiva (*positive SVRR*) e tensão negativa (*negative SVRR*).

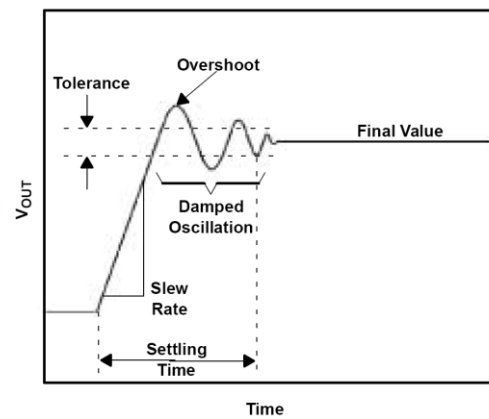
**Transient response e Slew rate**

**Transient response:** A resposta de qualquer circuito a um dado sinal de entrada é composto de duas partes: *transient response* e *steady-state response*. A figura ao lado indica que o 741 possui um tempo de subida, em resposta a um degrau de entrada (*step-in*), de 20V, de aproximadamente de 0,3μs e um *overshoot* da ordem de 5%.

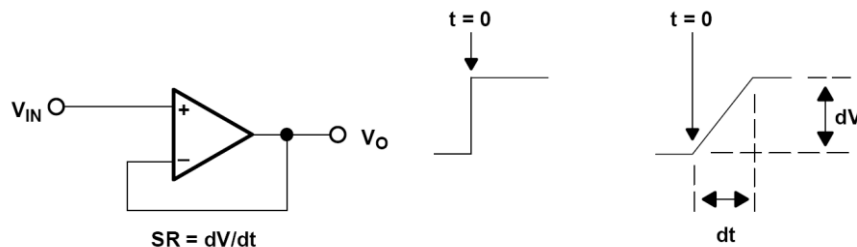
**Settling time ( $t_s$ ):** é o tempo requerido para a tensão de saída alcançar um valor percentual da tensão final para um dado degrau de entrada.



[Obs.: modificada do datasheet da Texas]



$$SR = \left. \frac{dv_o}{dt} \right|_{max} \quad [V / \mu s]$$



operating characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ \text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$\mu\text{A741C}$			$\mu\text{A741I}, \mu\text{A741M}$			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$t_r$ Rise time	$V_I = 20 \text{ mV}$ , $C_L = 100 \text{ pF}$ , $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ , See Figure 1	0.3			0.3			$\mu\text{s}$
Overshoot factor		5%			5%			
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10 \text{ V}$ , $C_L = 100 \text{ pF}$ , $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ , See Figure 1	0.5			0.5			$\text{V}/\mu\text{s}$



**Gain-bandwidth product (GB e Phase margin):**

A relação ganho-largura de banda de um op amp podem estar definidos de duas formas nos *data sheets*: *unity-gain bandwidth* ( $B_1$ ) e *gain bandwidth product* (GBW).

**Unity-gain bandwidth ( $B_1$ ):** especifica a frequência na qual o  $A_{VD}$  (ganho de tensão diferencial em malha aberta) do op amp é igual a 1 (um).

**Gain bandwidth product (GBW):** especifica o produto ganho-largura de banda do op amp na configuração de malha aberta e sem carga ( $GBW = A_{VD} \times f$ ). GBW é constante para amplificadores realimentados por tensão.

**Phase margin at unity gain ( $\phi_m$ ):** especifica a diferença entre o deslocamento de fase sofrido pelo sinal ao percorrer o op amp na frequência correspondente ao ganho unitário ( $\phi @ B_1$ ) e 180 graus ( $\phi_m = 180 - \phi @ B_1$ ).

**Gain margin:** é a diferença entre o ganho unitário e o ganho com deslocamento de fase igual a 180 graus ( $Gain\ margin = 1 - Gain\phi @ 180^\circ\ phase\ shift$ )

Para tornar o op amp estável o fabricante adiciona capacitores de compensação internamente ao *chip*. Este tipo de compensação é denominada “pólo de compensação dominante”. A idéia é fazer com que o ganho em malha aberta do op amp caia até o valor unitário antes que o deslocamento de fase chegue a 180 graus. A Figura 11-11 exemplifica os parâmetros acima (retirado do livro *Op amps for Everyone*, Ron Mancini).

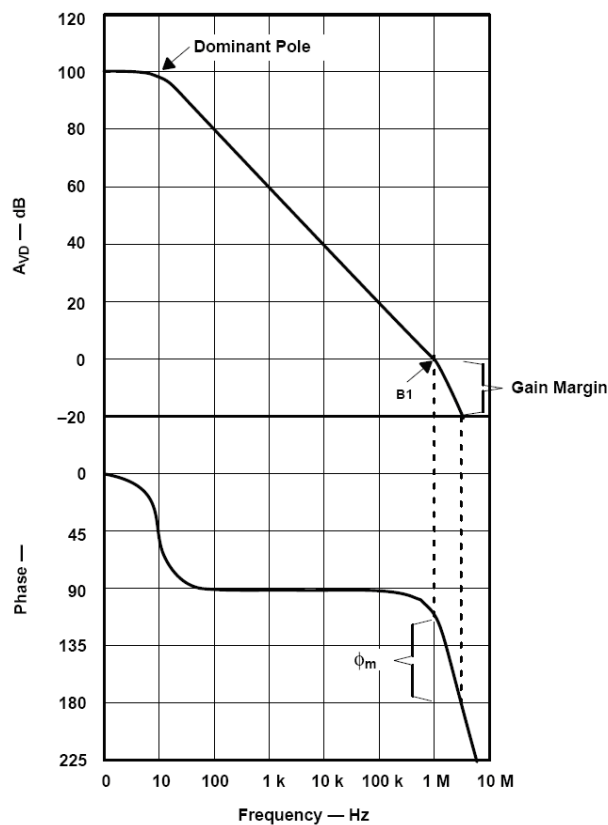
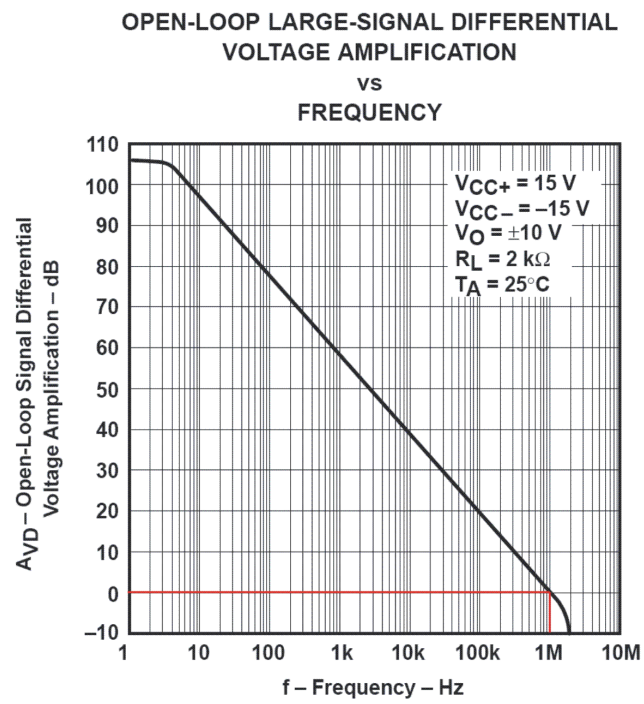
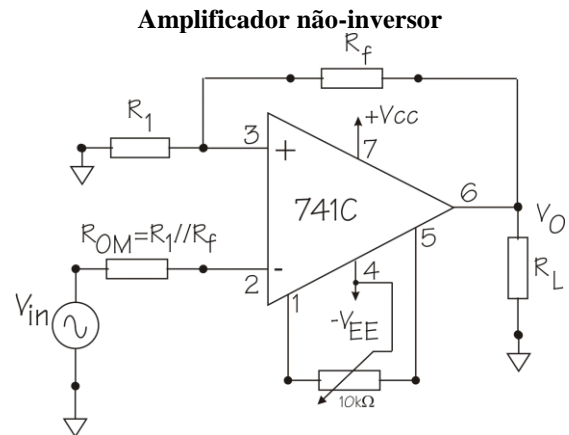
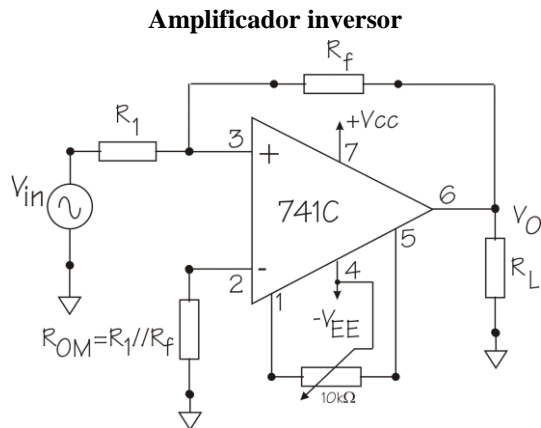


Figure 11–11. Voltage Amplification and Phase Shift vs. Frequency

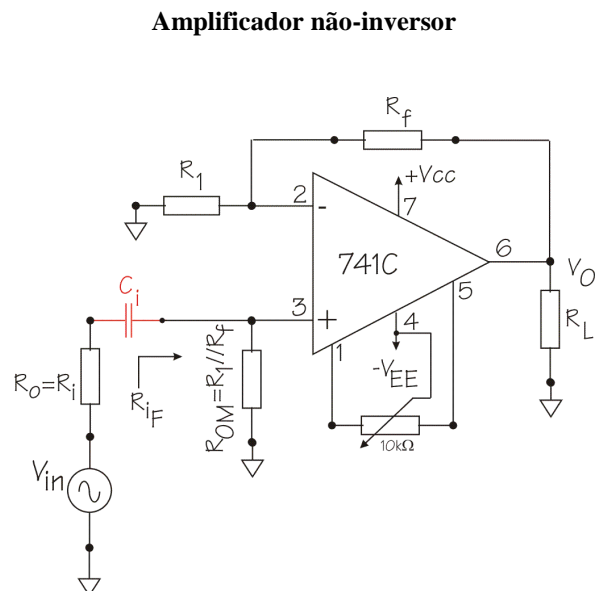
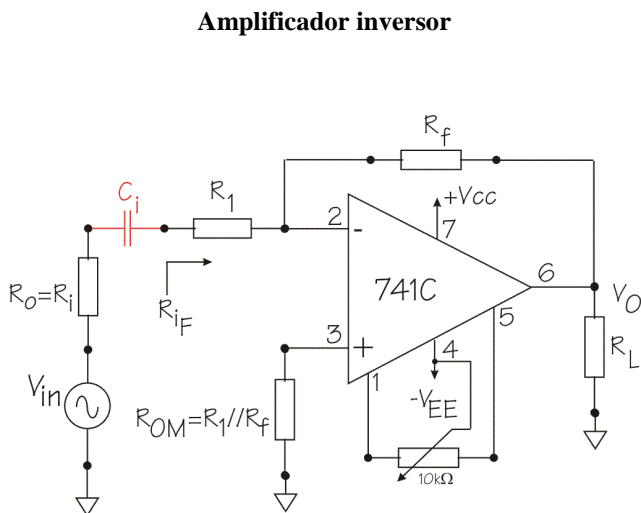
Na medida em que o ganho aumenta a faixa de frequência do sinal de entrada para a qual o ganho é constante diminui. No caso do 741, para um ganho unitário, é possível trabalhar com uma faixa de frequência de 1MHz. No caso de um sinal de áudio, com banda de 20kHz, o máximo ganho permitido para o 741 é de aproximadamente 30. Alguns *data sheets* não especificam diretamente esse valor, no entanto apresentam um gráfico do ganho diferencial em malha aberta ( $A_{VD}$ ) versus frequência.



**Considerações práticas para compensação da tensão de deslocamento da saída.**

Na prática o uso dos resistores  $R_{OM}$  (*minimal offset*) ajuda a compensar as variações no tensão de deslocamento de entrada

**Amplificador AC em vários estágios:** Basicamente são os mesmos amplificadores anteriores. No entanto, se o projetista necessita de vários estágios como em um sistema de áudio, o deslocamento devido a temperatura (*thermal drift*), tolerância dos componentes e variações nos níveis DC de alimentação podem ser críticos. A solução é utilizar capacitores de desacoplamento.



$R_o$  – resistência de saída do estágio anterior

$R_i$  – resistência interna da fonte

Os capacitores bloqueiam o nível DC, mas também limitam a frequência de corte inferior ( $f_L$ ).

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_i (R_{iF} + R_o)}$$

## 2. Prática

**2.1. Consultar o *data sheet* do 741, verificando a sequência, função e numeração de cada um dos pinos do circuito integrado.** Esboce ao lado o esquemático do op amp 741 e indique o nome da função de cada pino e sua correspondente numeração.

**2.2. Projetar, implementar e testar os amplificador inversor e não-inversor com ganho de 100 (utilize resistores abaixo de 200k $\Omega$ ).** Esboce ao lado o esquemático dos amplificadores inversor e não inversor com o 741 (não fazer a compensação de *offset*). Escolha a alimentação de acordo com o *data sheet*.

Amplificador não-inversor:

Ganho teórico:

Ganho medido:

Varie a tensão de entrada e verifique a máxima excursão de saída (pico-a-pico): \_\_\_\_\_ (vi (pico-a-pico)= \_\_\_\_\_)

Frequência de medida: \_\_\_\_\_

Amplificador inversor

Ganho teórico:

Ganho medido:

Varie a tensão de entrada e verifique a máxima excursão de saída (pico-a-pico): \_\_\_\_\_ (vi (pico-a-pico)= \_\_\_\_\_)

Frequência de medida: \_\_\_\_\_

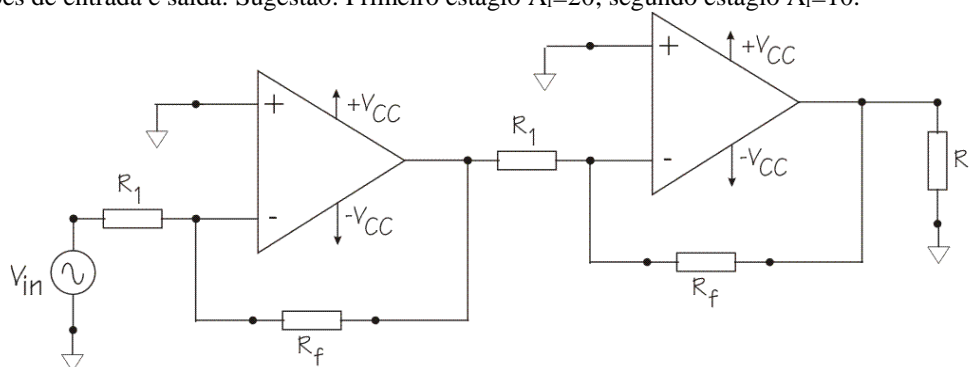


## 2.4. Medida da tensão de deslocamento de entrada (*input offset voltage* $-v_{io}$ ) do 741 e ensaio do circuito de ajuste de *offset*:

Para os amplificadores acima, medir com o osciloscópio a *output offset voltage*  $-v_{oo}$  (observar que a entrada deve ser desligada do gerador de funções e ligada à massa do circuito). Lembrar que  $v_{oo} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot v_{io} = A \cdot v_{io}$ .

Não-inversor	inversor
<i>Output offset voltage</i> $v_{oo}$ =_____	<i>Output offset voltage</i> $v_{oo}$ =_____
Calcule $v_{io}$ =_____	Calcule $v_{io}$ =_____

Para o amplificador não inversor, monte um segundo estágio de amplificação e ligue-os em cascata, verificando o nível médio e eficaz das tensões de entrada e saída. Sugestão: Primeiro estágio  $A_f=20$ ; segundo estágio  $A_f=10$ .



Entrada		Saída	
Médio	Eficaz	Médio	Eficaz

Conforme descrito anteriormente insira nos pinos de *offset* do estágio de saída o potenciômetro para realizar o *Output offset voltage adjustment* e verifique se é possível ajustar o nível médio do sinal de saída no valor zero. Se não for possível insira o ajuste também no primeiro estágio.

Análise e responda: Porque é necessário compensar o *offset* da tensão de saída do op amp ? Existe outra forma de evita a tensão de *offset* ? Como seria possível ajustar o *offset* no caso de um *chip* que possua quatro operacionais encapsulados ?

## 2.5 Medida do slew-rate de operacionais

Monte o um amplificador inversor de ganho 1,  $R_1=R_f=10k\Omega$ . Usando um gerador de sinais, aplique um sinal quadrado (10kHz e 5Vpp) na entrada do circuito. Observe simultaneamente as tensões de entrada e saída no osciloscópio.

Para o LM741

Meça a tensão de saída pico-a-pico ( $\Delta V$ )= \_\_\_\_\_ V.

Meça o tempo necessário ( $\Delta t$ ) para que a tensão de saída passe de seu valor máximo para o mínimo e anote o resultado:

$\Delta t$ = \_\_\_\_\_  $\mu s$ .

Calcule a razão de resposta  $\Delta V/\Delta t$  e anote o resultado:

Razão de resposta = \_\_\_\_\_ V/ $\mu s$

Para o TL071

Meça a tensão de saída pico-a-pico ( $\Delta V$ )= \_\_\_\_\_ V.

Meça o tempo necessário ( $\Delta t$ ) para que a tensão de saída passe de seu valor máximo para o mínimo e anote o resultado:

$\Delta t$ = \_\_\_\_\_  $\mu s$ .

Calcule a razão de resposta  $\Delta V/\Delta t$  e anote o resultado:

Razão de resposta = \_\_\_\_\_ V/ $\mu s$

Leitura Complementar:

Op Amps For Everyone <http://focus.ti.com/lit/an/slod006b/slod006b.pdf>

Ou procure pelo título no site <http://www.ti.com>

Aplicações:

<http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/741/741.html>