Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

PSI3211

Circuitos Elétricos I

Bloco 4

Análise Nodal, vinculados e amp-op

Prof ª Denise Consonni

ANÁLISE DE REDES

- *ANÁLISE NODAL* ⇒

  1ª Lei de Kirchhoff em NÓS

- *ANÁLISE DE MALHAS* ⇒

  2ª Lei de Kirchhoff MALHAS

- *ANÁLISE DE CORTES* ⇒

  1ª Lei Kirchhoff CORTES FUNDAMENTAIS

- *ANÁLISE DE LAÇOS* ⇒

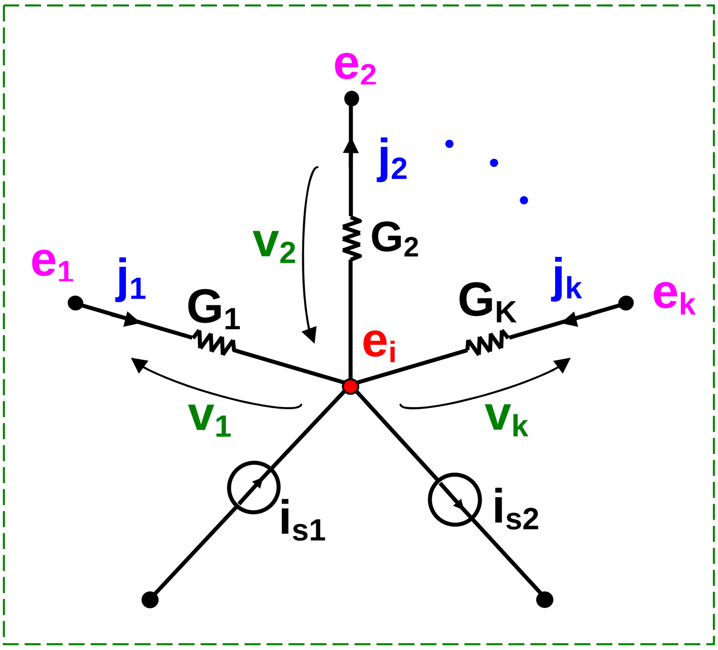
  2ª Lei Kirchhoff LAÇOS FUNDAMENTAIS

Etapas da Análise Nodal

1. Definir ramos e nós
2. Escolher nó de referência **("terra")**
3. Definir tensões nodais
4. Aplicar a 1ª Lei de Kirchhoff a cada nó, exceto o de referência
5. Exprimir as correntes de ramo em função das tensões nodais
6. Ordenar as equações em relação às tensões nodais
7. Compor a equação matricial relacionando tensões nodais e excitações

ANÁLISE NODAL

Nó Genérico i:



1ª Lei de Kirchhoff:

$$-j_1 + j_2 + \cdots - j_k = i_{s1} - i_{s2}$$

Relações Constitutivas **j / v** (Lei de Ohm):

$$-G_1v_1 + G_2v_2 + \cdots - G_kv_k = i_{s1} - i_{s2}$$

Relações tensões de ramo / tensões nodais:

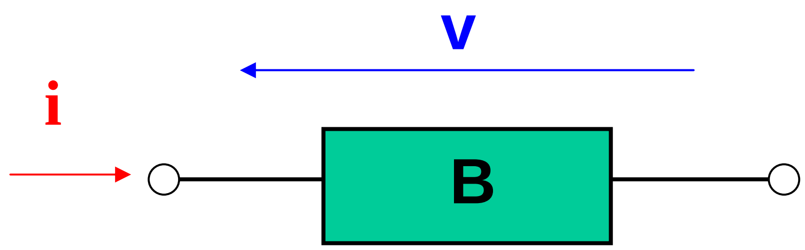
$$-G_1(e_1 - e_i) + G_2(e_i - e_2) + \cdots - G_k(e_k - e_i) = i_{s1} - i_{s2}$$

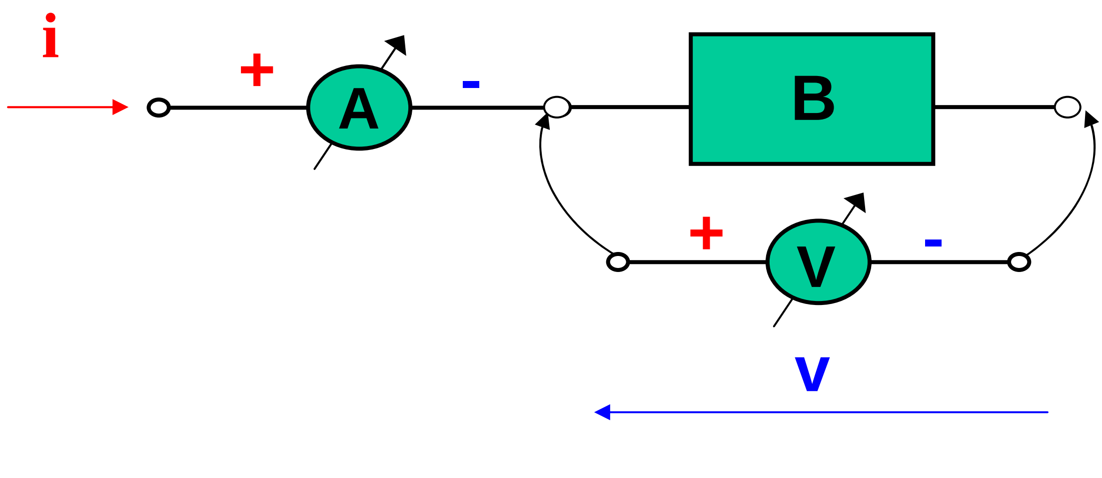
Resultado:

$$-G_1e_1 - G_2e_2 + (G_1 + G_2 + \cdots + G_k)e_i + \cdots - G_ke_k = i_{s1} - i_{s2}$$

Sentidos de Referências (Flechas) de Correntes e Tensões nos Bipolos

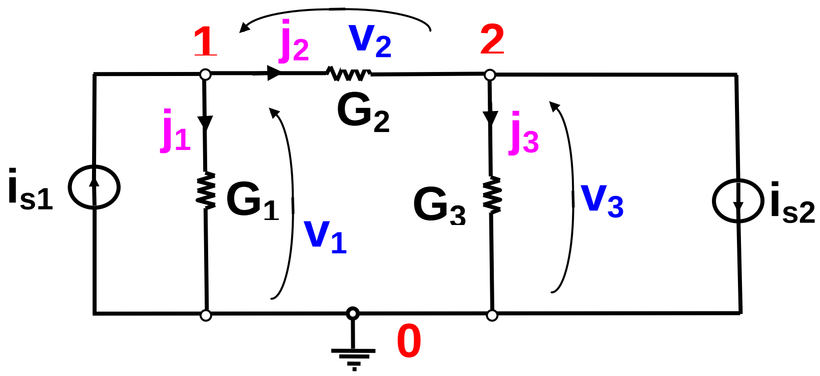
São regras para ligar Amperímetros e Voltímetros:





L.Q.O.

Exemplo de Análise Nodal



1ª Lei de Kirchhoff nos nós:

$$\begin{cases} \text{Nó 1:} \quad j_1 + j_2 - i_{s1} = 0 \\ \text{Nó 2:} \quad -j_2 + j_3 + i_{s2} = 0 \end{cases}$$

Relações Constitutivas **j / v** e
relações tensão de ramo / tensões nodais:

$$\begin{cases} j_1 = G_1 v_1 = G_1 e_1 \\ j_2 = G_2 v_2 = G_2 (e_1 - e_2) \\ j_3 = G_3 v_3 = G_3 e_2 \end{cases}$$

Resultado:

$$\begin{cases} \text{Nó 1:} \quad G_1 e_1 + G_2 e_1 - G_2 e_2 - i_{s1} = 0 \\ \text{Nó 2:} \quad -G_2 e_1 + G_2 e_2 + G_3 e_2 + i_{s2} = 0 \end{cases}$$

Matricialmente:

$$\begin{bmatrix} (G_1 + G_2) & -G_2 \\ -G_2 & (G_2 + G_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \end{bmatrix}$$

$$G_n . \underset{\sim}{e}(t) = \underset{\sim}{i_{sn}}$$

ANÁLISE NODAL DE REDES RESISTIVAS LINEARES

Equação Geral

$$G_n . \underset{\sim}{e}(t) = \underset{\sim}{i_{sn}}(t)$$

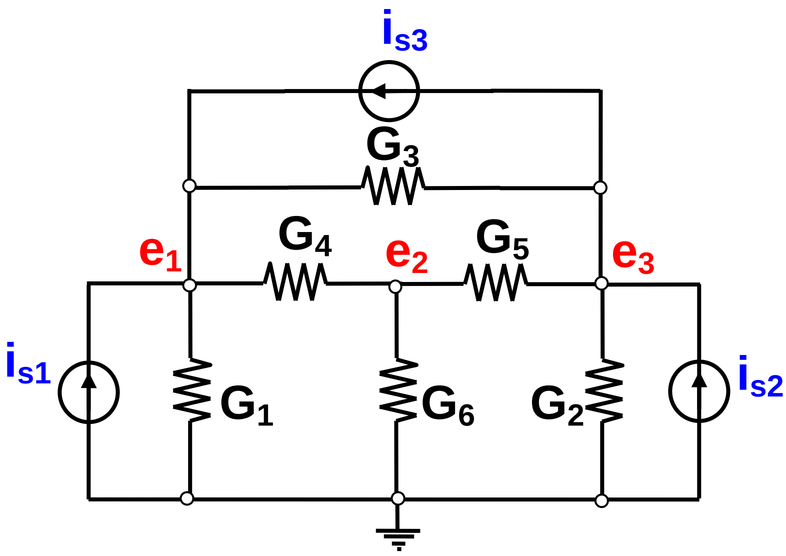
G_n - *Matriz das condutâncias nodais*

$\underset{\sim}{e}(t)$ - *vetor das tensões nodais*

$\underset{\sim}{i_{sn}}(t)$ - *vetor das fontes de corrente*

Sistema Algébrico Linear

Exemplo de Análise Nodal



Equação matricial de análise nodal:

$$\begin{bmatrix} (G_1+G_3+G_4) & -G_4 & -G_3 \\ -G_4 & (G_4+G_5+G_6) & -G_5 \\ -G_3 & -G_5 & (G_2+G_3+G_5) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{s1}+i_{s3} \\ 0 \\ i_{s2}-i_{s3} \end{bmatrix}$$

ANÁLISE NODAL

➢ ***r*** tensões e ***r*** correntes desconhecidas

↓

- Expressar ***r*** tensões de ramos em função das **(n-1)** tensões nodais → 2ª Lei de Kirchhoff

↓

➢ **(n-1)** tensões e ***r*** correntes desconhecidas

↓

- Expressar ***r*** correntes de ramos em função das **(n-1)** tensões nodais → Lei de Ohm

↓

➢ **(n-1)** tensões desconhecidas

↓

- Escrever **(n-1)** equações independentes e resolver → 1ª Lei de Kirchhoff

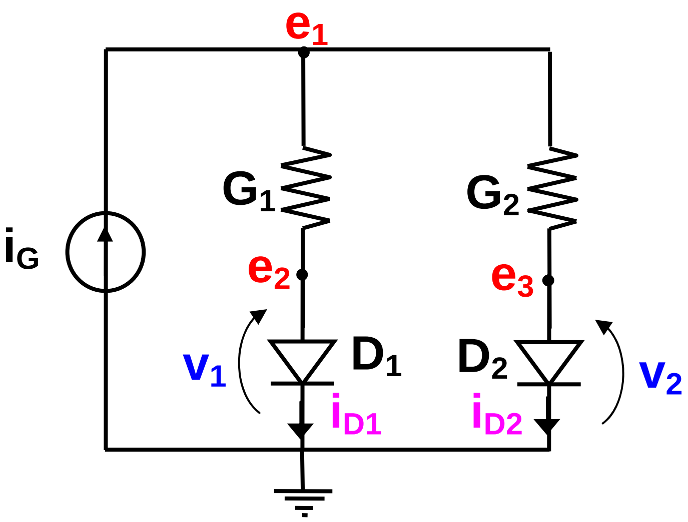
↓

RESPOSTA

Quando 1 ramo = fonte de corrente →

➢ ***r*** tensões e **(*r*-1)** correntes desconhecidas

Análise Nodal em Redes Não Lineares



$$i_{Dk} = I_{sk}\,(e^{\lambda v_k} - 1)$$

Diodos k=1,2

1ª. Lei de Kirchhoff nos três nós:

$$G_1(e_1 - e_2) \;+\; G_2(e_1 - e_3) = i_G$$

$$G_1(e_2 - e_1) \;+\; I_{s1}(e^{\lambda e_2} - 1) = 0$$

$$G_2(e_3 - e_1) \;+\; I_{s2}(e^{\lambda e_3} - 1) = 0$$

ANÁLISE NODAL EM REGIME PERMANENTE SENOIDAL

$$Y_n(j\omega).\underset{\sim}{\hat{E}} = \underset{\sim}{\hat{I}_{sn}}$$

$Y_n(j\omega)$ - *Matriz de admitâncias nodais*

$\underset{\sim}{\hat{E}}$ - *vetor dos fasores das tensões nodais*

$\underset{\sim}{\hat{I}_{sn}}$ - *vetor dos fasores das fontes de corrente nodais*

Sistema de Equações

Algébricas Complexas

Relações Fasoriais $\hat{V} - \hat{I}$

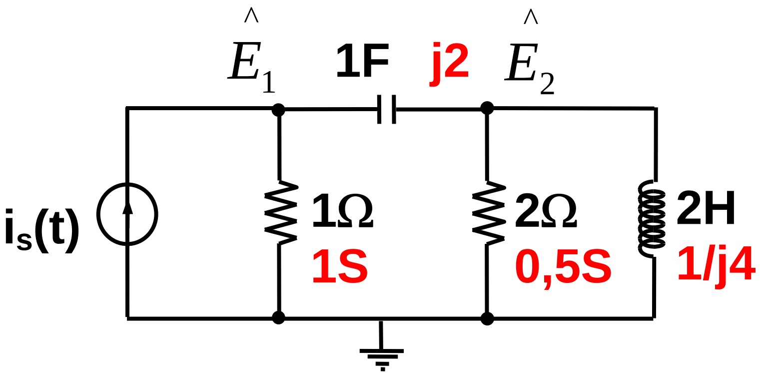
Resistor	$\hat{V} = R\hat{I}$	$\hat{I} = G\hat{V}$
Capacitor	$\hat{V} = -j\dfrac{1}{\omega C}\hat{I}$	$\hat{I} = j\omega C\hat{V}$
Indutor	$\hat{V} = j\omega L\hat{I}$	$\hat{I} = -j\dfrac{1}{\omega L}\hat{V}$

Impedância: $Z = \hat{V}/\hat{I}$

Admitância: $Y = \hat{I}/\hat{V}$

Resistor	$Z = R$	$Y = G$
Capacitor	$Z = \dfrac{1}{j\omega C}$	$Y = j\omega C$
Indutor	$Z = j\omega L$	$Y = \dfrac{1}{j\omega L}$

Exemplo de Análise Nodal em RPS



$$i_s(t) = 10\cos\ (2t + 45^o)$$

$$\hat{I}_s = 10\angle 45^o$$

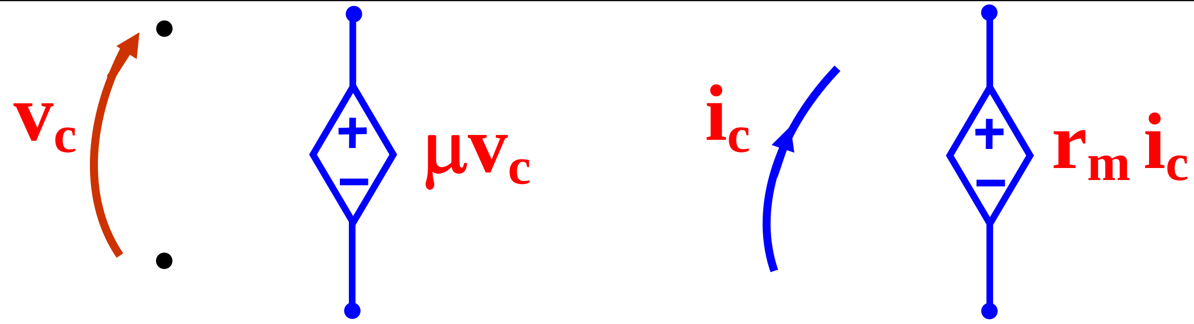
$$\begin{bmatrix} 1 + j2 & -j2 \\ -j2 & 0,5 + j2 - j0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{E}_1 \\ \hat{E}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{I}_s \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{E}_1 = 6,22\ \angle 49^o$$

$$\hat{E}_2 = 6,83\ \angle 65^o$$

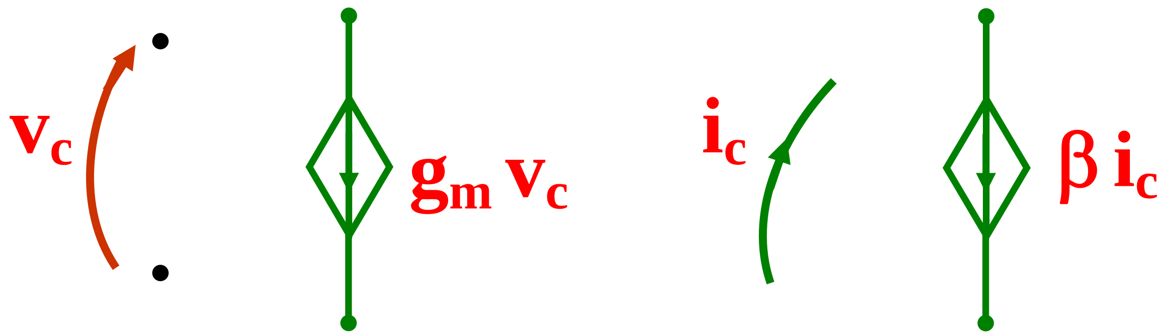
V.H.N

Geradores Vinculados



μ - ganho de tensão r_m - transresistência

Geradores de Tensão

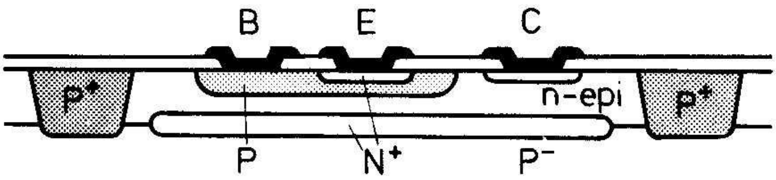


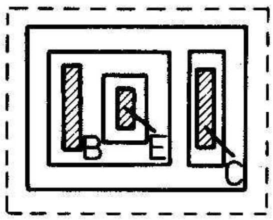
g_m - transcondutância β - ganho de corrente

Geradores de Corrente

Aplicação dos geradores vinculados

Transistor Bipolar

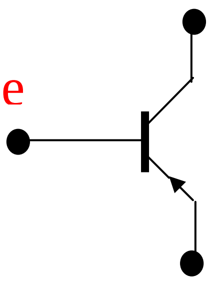




Estrutura Física

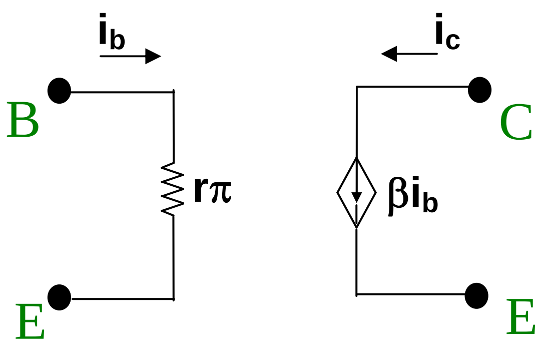
C - Coletor

B - Base



Símbolo

E - Emissor

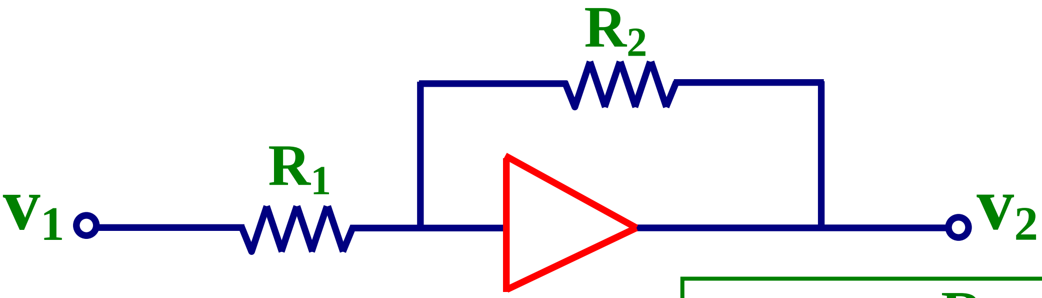


$$i_c = \beta \, i_b$$

Modelo em circuitos (região ativa)

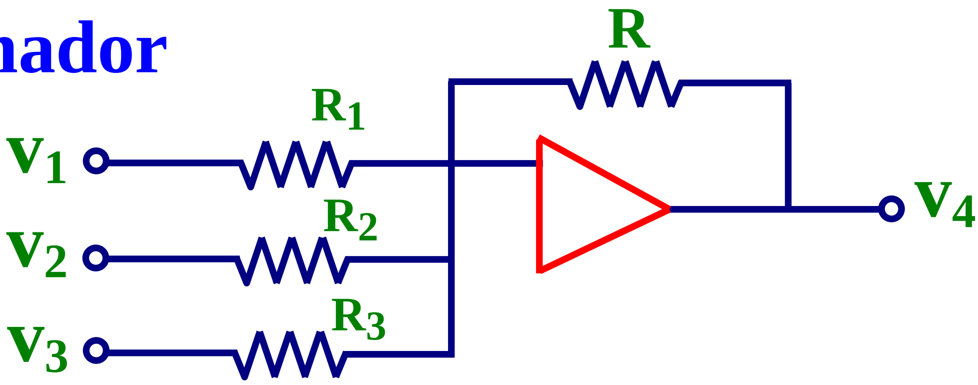
Circuitos com Amp-op

– Multiplicador por constante



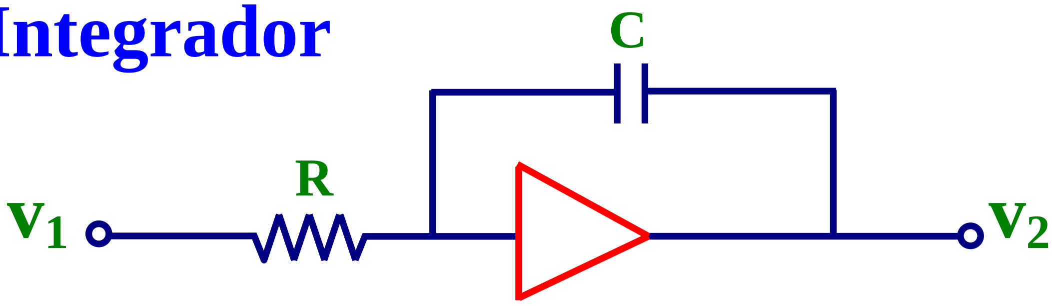
$$v_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_1$$

– Somador



$$v_4 = -\left(\frac{R}{R_1} v_1 + \frac{R}{R_2} v_2 + \frac{R}{R_3} v_3\right)$$

– Integrador



$$v_2 = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_1 \, dt + v(0)$$

AMP-OP 741

National Semiconductor

Operational Amplifiers/Buffers

LM741/LM741A/LM741C/LM741E Operational Amplifier

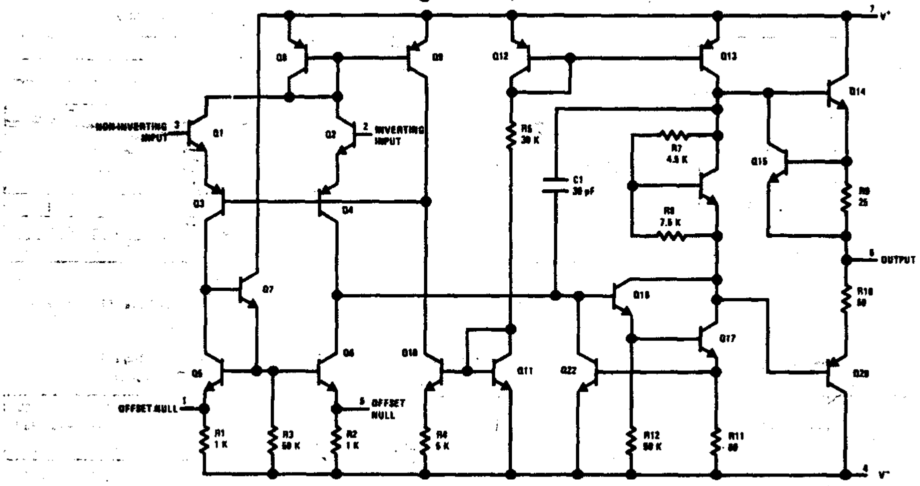
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

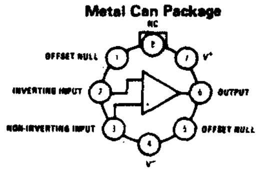
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of −55°C to +125°C.

Schematic and Connection Diagrams (Top Views)



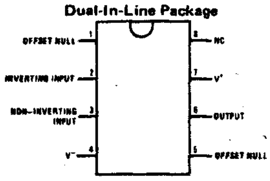
Metal Can Package



Note: Pin 4 connected to case.

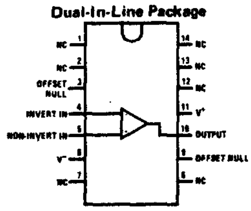
Order Number LM741H, LM741AH, LM741CH or LM741EH
See NS Package H08C

Dual-In-Line Package



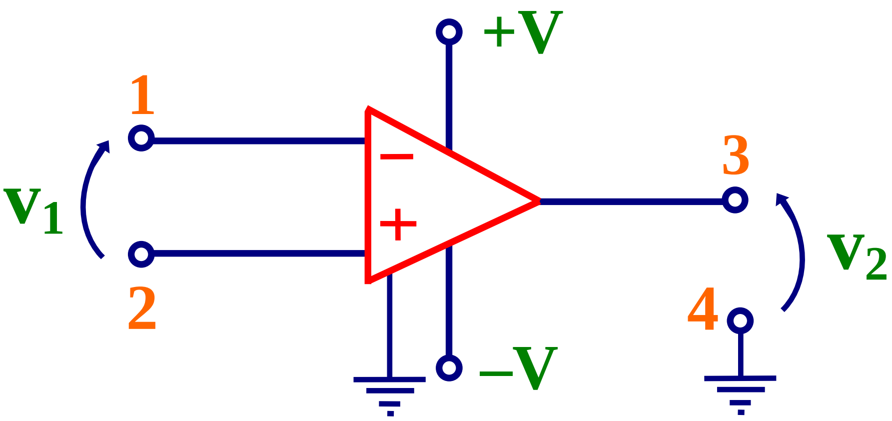
Order Number LM741CN or LM741EN
See NS Package N08B
Order Number LM741CJ
See NS Package J08A

Dual-In-Line Package

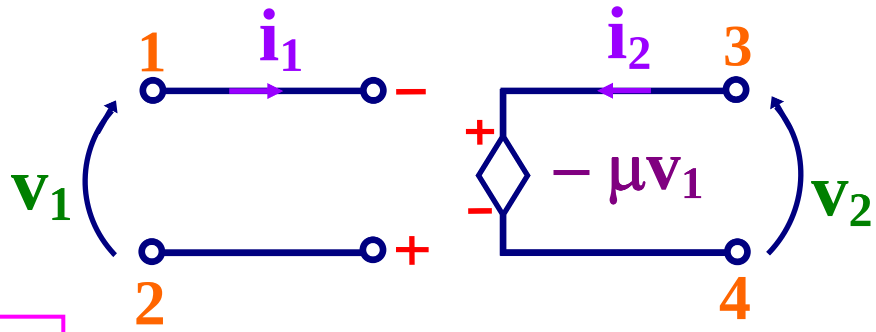


Order Number LM741CN-14
See NS Package N14A
Order Number LM741J-14, LM741AJ-14 or LM741CJ-14
See NS Package J14A

Amplificador Operacional



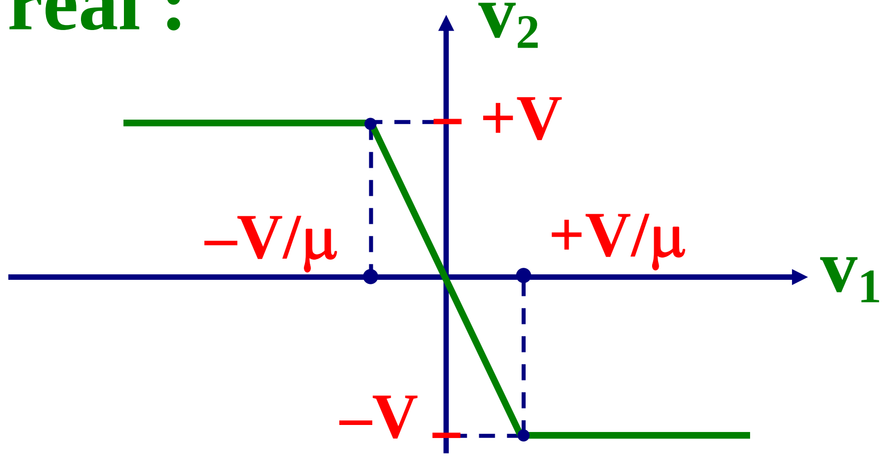
Modelo :



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

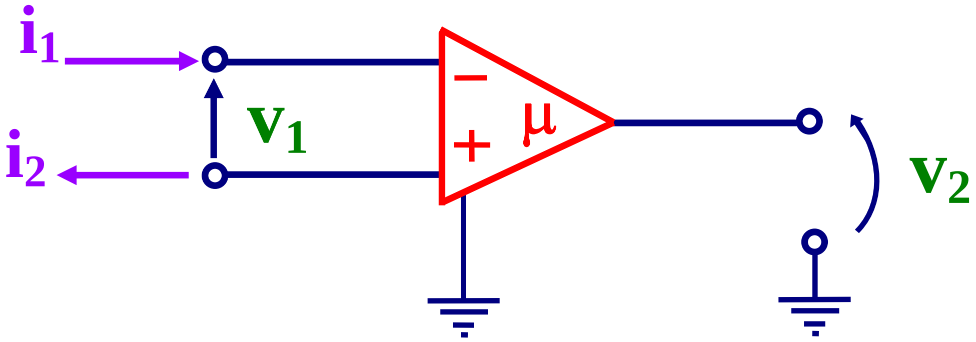
Amp-op ideal : $\mu \rightarrow \infty \qquad v_1 \rightarrow 0$

Amp-op real :

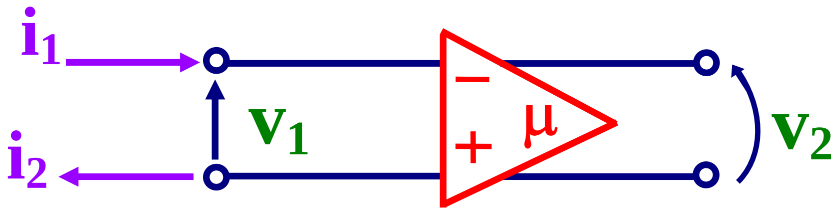


Amplificador Operacional

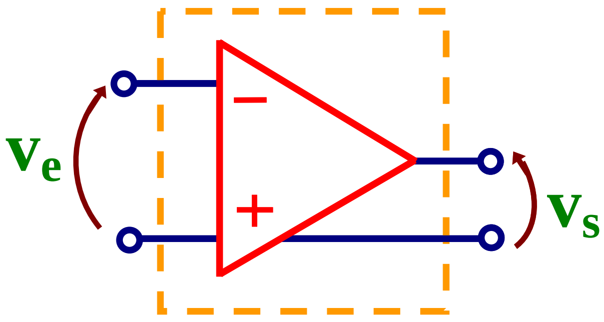
Saída assimétrica :

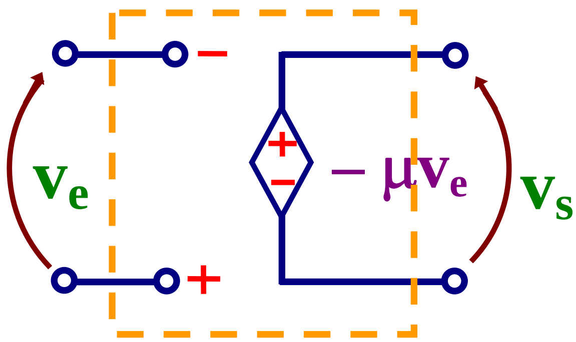


Saída simétrica :



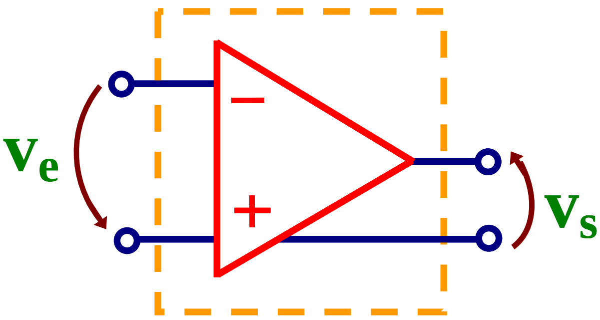
Amplificador Operacional

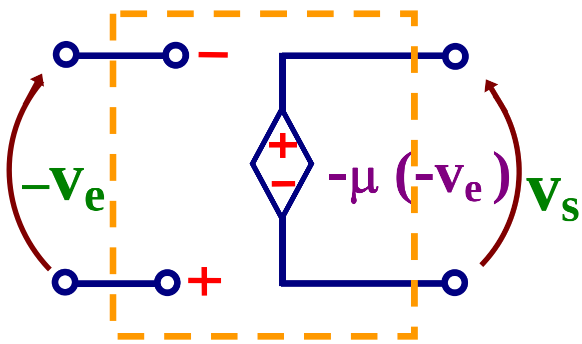




Inversora

$$v_s = -\mu v_e$$





Não inversora

$$v_s = \mu v_e$$