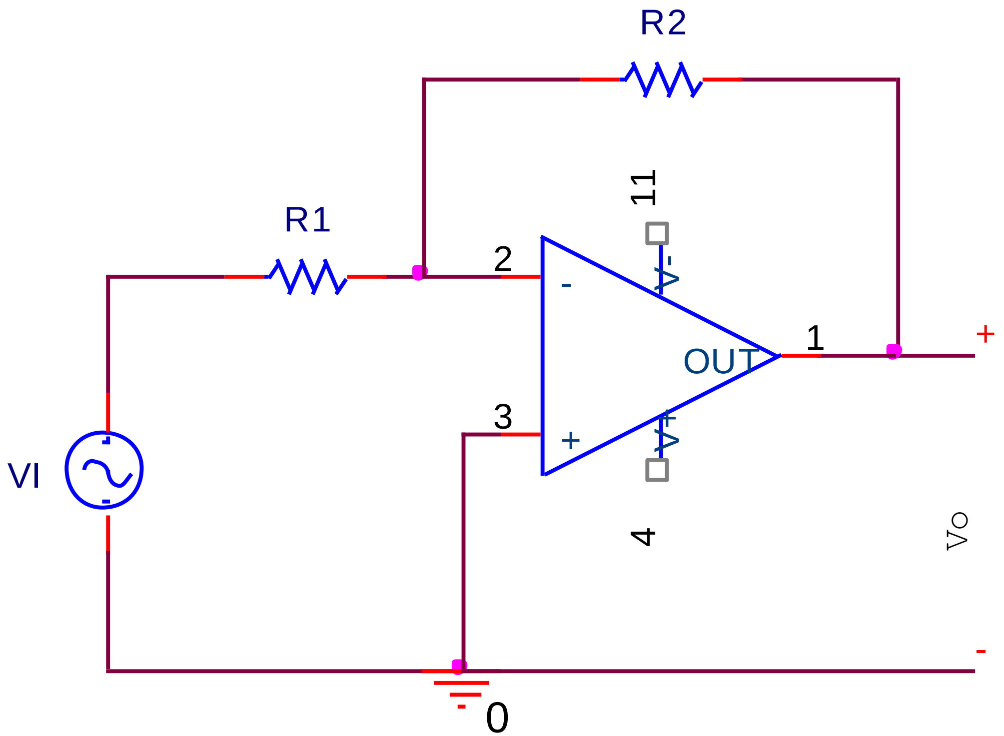
Aplicações com AMP-OP

FABRÍCIO – RONALDO - DORIVAL

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor



Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - O resistor R_2 é um resistor que conecta a saída à entrada do circuito.
  - Caracteriza uma **realimentação**
    - Como conecta a saída a entrada negativa, é chamada de realimentação negativa.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - Considere que o ganho do amp-op (A) seja infinito.
    - Sabemos que:

$$v_{out} = A\,(v_+ - v_-)$$

    - Isso implica em:

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - Considere que o ganho do amp-op (A) seja infinito.
    - Sabemos que:

$$v_{out} = A\,(v_+ - v_-)$$

    - Isso implica em:

$$v_+ - v_- = v_{out}/A = 0$$

$$v_- = v_+$$

  - **Conceito de curto circuito virtual**
    - Como v_- segue v_+, aparece um curto-circuito virtual durante a operação do amp-op ideal.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - Considere que o ganho do amp-op (A) seja infinito.
    - Sabemos que:

$$v_{out} = A\,(v_+ - v_-)$$

    - Isso implica em:

$$v_+ - v_- = v_{out}/A = 0$$

$$v_- = v_+$$

    - Curto circuito virtual

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Conceito de **curto circuito virtual**
    - Como v_- segue v_+, aparece um curto-circuito virtual durante a operação do amp-op ideal.
    - Não existe um fio ligando v_- e v_+.
      - Isso ocorre devido a representação teórica do dispositivo e a suposição do ganho em circuito aberto infinito.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - A corrente de entrada é:

$$i_1 = (v_{in} - v_+)\ R_1 = v_{in} / R_1$$

    - E para onde vai esta corrente?

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - A corrente de entrada é:

$$i_1 = (v_{in} - v_+)\ R_1 = v_{in}\ /\ R_1$$

    - E para onde vai esta corrente?
      - Como a impedância de entrada do ampop ideal é infinita, não há corrente entrando no dispositivo.
      - Logo essa corrente i_1 deve seguir para o resistor R_2.
    - No resistor R_2 temos:

$$v_{out} - v_+ = -\ i_1\ R_2 \ ☞\ v_{out} - 0 = -(\ v_{in}\ /\ R_1\ )\ R_2$$

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - Logo:
      - $v_{out} / v_{in} = - R_2 / R_1 = G$
    - G é o ganho em circuito fechado (com realimentação)
      - É diferente do ganho A (em circuito aberto)
    - A amplificação **depende** apenas da relação entre os resistores R_1 e R_2.
    - O sinal negativo significa que esta configuração de amplificador inverte o sinal de entrada na saída.
      - Daí o termo amplificador **inversor**.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - E se o ganho A fosse finito? Calculem...

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - E se o ganho A fosse finito?

$$v_{out} = A\,(v_+ - v_-) \;☞\; (v_+ - v_-) = v_{out} / A$$

    - Mas como v_+ (entrada positiva do amp-op) está aterrado

$$v_- = -\,v_{out}/A$$

    - A corrente de entrada é:

$$i_1 = (v_{in} - v_-)\;/\;R_1 = (v_{in} + v_{out}/A)\;/\;R_1$$

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito
    - A corrente de entrada é:

$$i_1 = (v_i - v_1)\ R_1 = (v_i + v_o/A)\ /\ R_1$$

    - Com a impedância infinita, a corrente flui para o resistor R_2 (como antes), onde temos:

$v_{out} - v_- = -\, i_1\, R_2$ ☞ $v_{out} + v_{out}/A = -\,(v_{in} + v_{out}/A)\ R_2\ /\ R_1$

    - Reorganizando, temos:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-\,{}^{R_2}\!/_{R_1}}{1 + \left(1 + {}^{R_2}\!/_{R_1}\right)/\,A}$$

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Análise do circuito

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2/R_1}{1+\left(1+R_2/R_1\right)/A}$$

- Se $A >> (1 + R_2/R_1)$, retornamos a $v_{out}/v_{in} = - R_2/R_1$.

Aplicações com Amp-Op

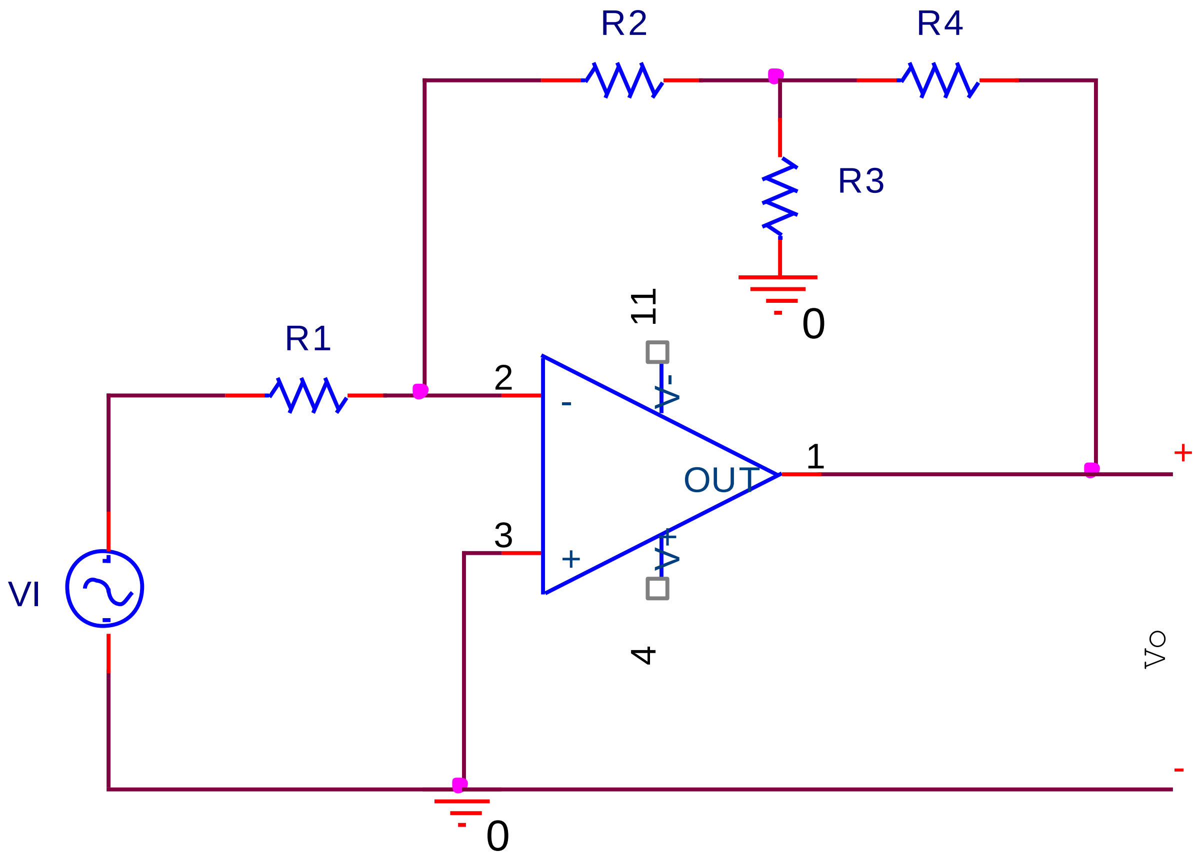
- Amplificador Inversor
  - A impedância de entrada (R_i) no amp-op ideal, na configuração amplificador inversor, é R_1.
  - Para evitar que o amp-op perda de tensão na entrada, $R_i \rightarrow \infty$ ☞ $R_1 \rightarrow \infty$.
  - Assim, ganhos elevados (G) do amplificador inversor significam...

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - A impedância de entrada (R_i) no amp-op ideal, na configuração amplificador inversor, é R_1.
  - Para evitar que o amp-op perda de tensão na entrada, $R_i \to \infty$ ☞ $R_1 \to \infty$.
  - Assim, ganhos elevados (G) do amplificador inversor significam **valores proibitivos de R_2**.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Solução:



Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Solução:
    - A corrente nos resistores R_1 e R_2 é a mesma:

$$i_1 = i_2 = v_{in} / R_1$$

    - No ponto de encontros dos resistores temos:
      - Chamá-lo-emos de ponto x.

$$v_- - v_x = i_1 R_2 \;☞\; v_x = - v_{in} R_2 / R_1$$

    - A corrente no resistor R_3 é

$$0 - v_x = i_3 R_3 \;☞\; i3 = v_{in} R_2 / (R_1 R_3)$$

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Solução:
    - No resistor R4 temos a seguinte ddp:

$$v_x - v_o = i_4 \, R_4 \quad ☞$$

$$v_{out} = v_x - (i_2 + i_3)\, R_4 \quad ☞$$

$$v_{out} = -\,(R_2/R_1)\, v_i - [v_{in}/R_1 + (v_{in}\, R_2)/\,(R_1\, R_3)]\, R_4$$

    - Manipulando, temos:

$$G = v_{out}/v_{in} = -\,(R_2/R_1)[1 + (R_4/R_2) + (R_4/R_3)]$$

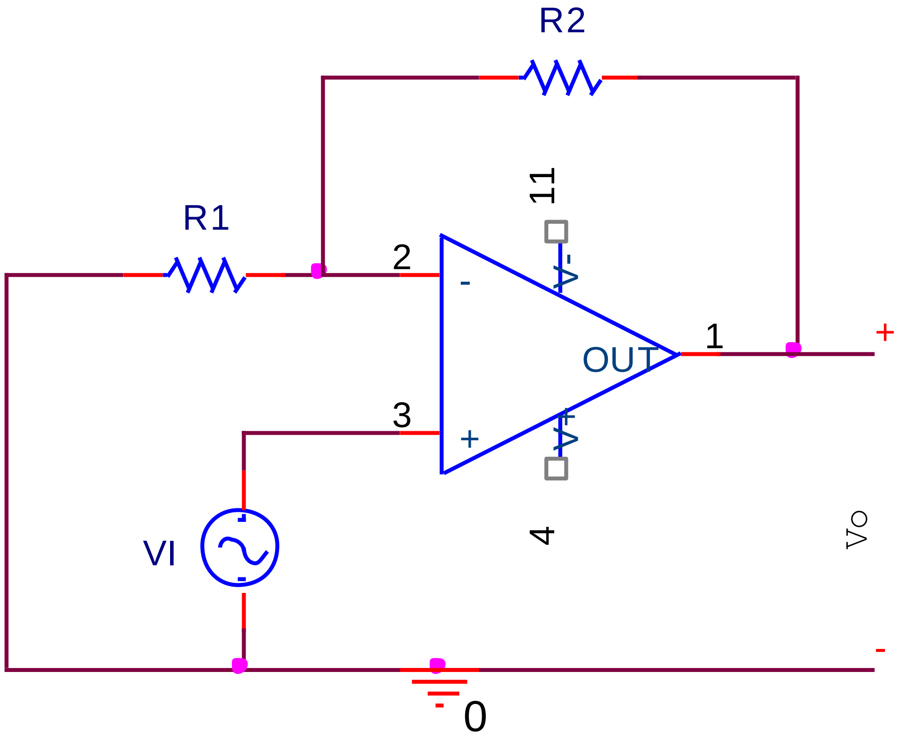
    - Agora temos 3 resistores para manipular (graus de liberdade) para atender uma especificação de G.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Inversor
  - Note que R_2 e R_3 estão em paralelo
    - Por quê?
  - Com isso, um desbalanço desses valores produz diretamente um desbalanço de corrente.
  - Essa corrente adicional "puxada" em R_3 permite uma tensão elevada em v_o com resistores não tão elevados.

Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Não-Inversor



Aplicações com Amp-Op

- Amplificador Não-Inversor
  - Análise do circuito
    - Fazendo as mesmas considerações do amp-op ideal:

$$v_- = v_+$$

    - Calculando a corrente no resistor R_1

$$v_{in} - 0 = i_1 R_1 ☞ i_1 = v_{in} / R_1$$

    - Pela impedância interna do amp-op ser infinita

$$v_{out} - v_{in} = i_2 R_2 = v_{in} (R_2 / R_1)$$

    - Ou seja
      - $G = v_{out} / v_{in} = (1 + R_2/R_1)$

Aplicações com Amp-Op

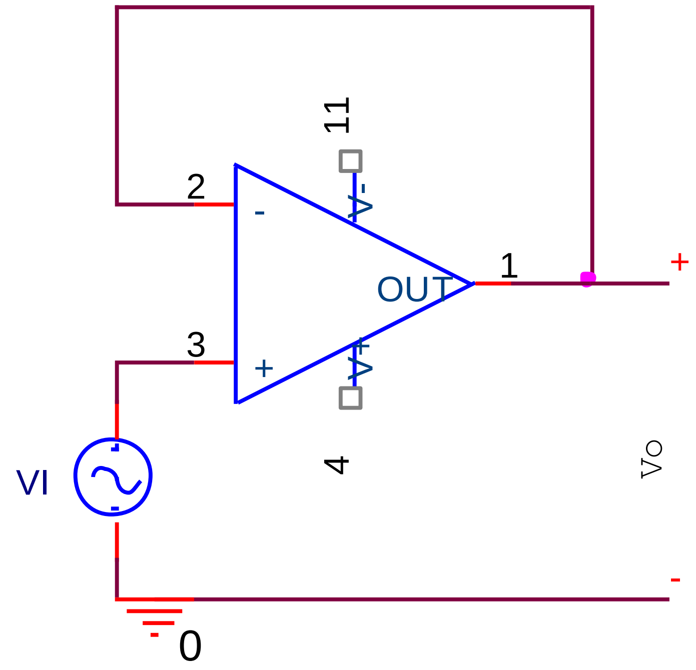
- Amplificador Não-Inversor
  - Análise do circuito
    - Note que uma fração da tensão de saída retorna para a porta inversora do amp-op

$$v_- = v_{in} = v_{out}\,[R_1/(R_1 + R_2)]$$

    - Então, o ganho infinito – e curto circuito virtual – **forçam** a entrada a saída a produzir tensão proporcional a $v_{out} = (1 + R_2/R_1)\,v_{in}$.
      - Tudo para garantir que $v_+ - v_- = 0$.
      - Conceito de **realimentação degenerativa**.

Aplicações com Amp-Op

- Seguidor de fonte



Aplicações com Amp-Op

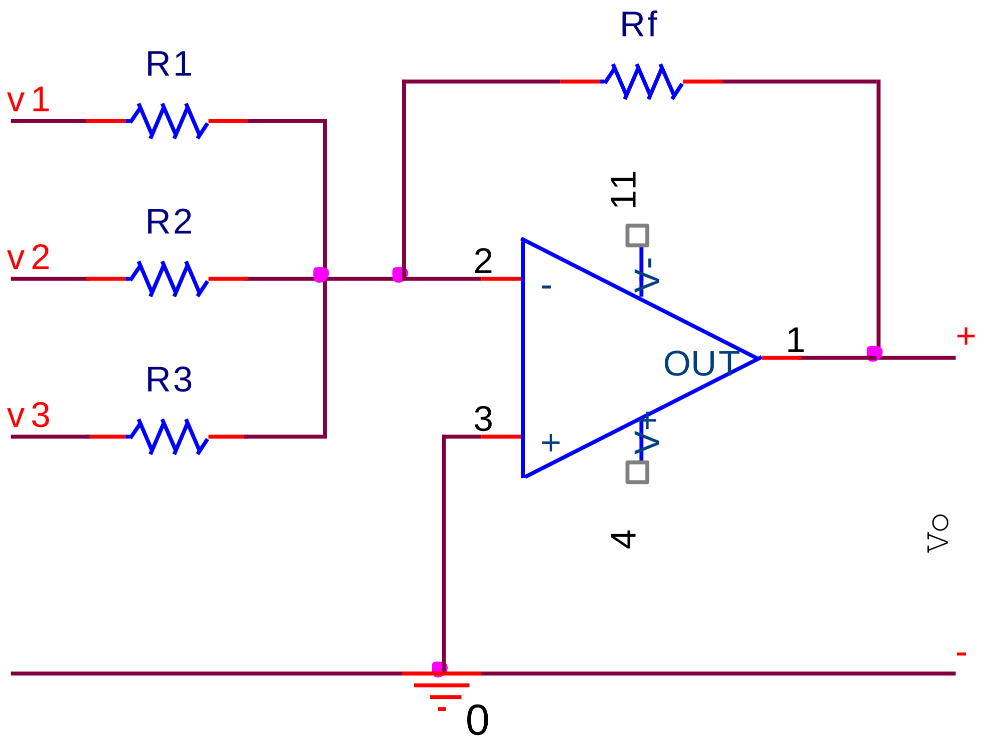
- Seguidor de fonte
  - Do amplificador não-inversor temos:
    - $v_{out} = (1 + R_2/R_1)\ v_{in}$
    - usamos o amplificador não-inversor como referência pois o circuito é estruturalmente o mesmo.
  - Por comparação, temos:
    - R_2 = zero
    - $R_1 = \infty$
  - Logo, $v_{out} = v_{in}$.

Aplicações com Amp-Op

- Seguidor de fonte
  - Qual o uso:
    - Casamento de impedância
      - Conecta circuitos de alta impedância (resistência) com circuitos de baixa impedância.
      - Evita perdas de tensão e corrente nessa conexão.
    - Amp-op tem:
      - alta impedância de entrada.
      - baixa impedância de saída.

Aplicações com Amp-Op

- Somador



Aplicações com Amp-Op

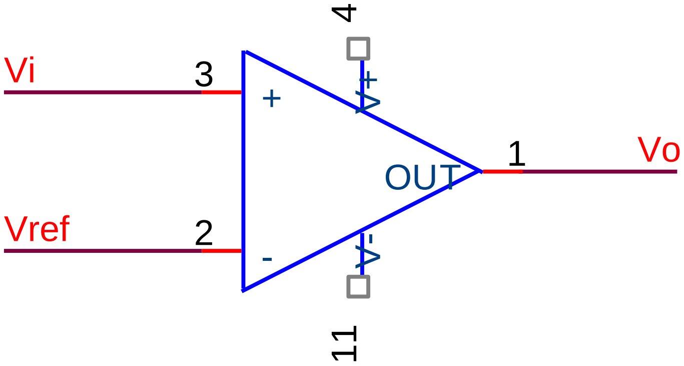
- Somador
  - Configuração estruturalmente simular ao amplificador **inversor**.
  - Por causa do terra virtual, temos:
    - $i_1 = v_1/R_1$
    - $i_2 = v_2/R_2$
    - $i_3 = v_3/R_3$
  - A soma das correntes ($I = i_1 + i_2 + i_3$) segue por R_f.
  - Logo
    - $v_{out} = - i R_f = - [(R_f/R_1) v_1 + (R_f/R_2) v_2 + (R_f/R_3) v_3]$

Aplicações com Amp-Op

- Somador
  - $v_{out} = - i R_f = - [(R_f/R_1) v_1 + (R_f/R_2) v_2 + (R_f/R_3) v_3]$
    - Soma ponderada de v_1, v_2 e v_3.
  - Note que não conseguimos subtrair.
    - Para fazer isto, basta **cascatear** dois somadores:
      - Os coeficientes do 1º somador produzirão termos +coef.
      - Os coeficientes do 2º somador produzirão termos –coef.
        - $coef = R_{realimentação}/R_x$.

Aplicações com Amp-Op

- Comparador



Aplicações com Amp-Op

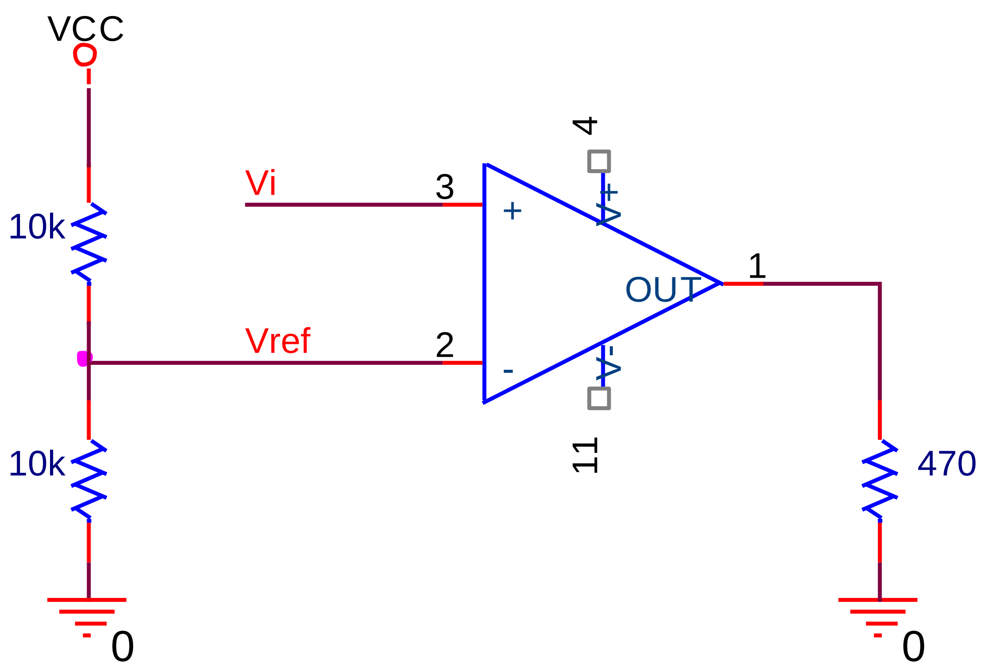
- Comparador
  - Lembre que o Amp-Op possui um **ganho** em malha aberta **muito alto** (ideal = ∞)
  - Assim, qualquer diferença ($V_{in} - V_{ref}$) é amplificada significativamente.
  - Podemos ter $V_{out} = \infty$?

Aplicações com Amp-Op

- Comparador
  - Quando a saída é muito alta, o amp-op **satura**.
    - É um ceifamento a partir de tensões limites
      - Tensão de saturação.
  - Logo
    - $V_{in} > V_{ref}$ ☞ $V_{out} = V_{sat+}$
    - $V_{in} < V_{ref}$ ☞ $V_{out} = V_{sat-}$
    - $V_{in} = V_{ref}$ ☞ $V_{out} = zero$
      - Esta última opção ocorre raramente.

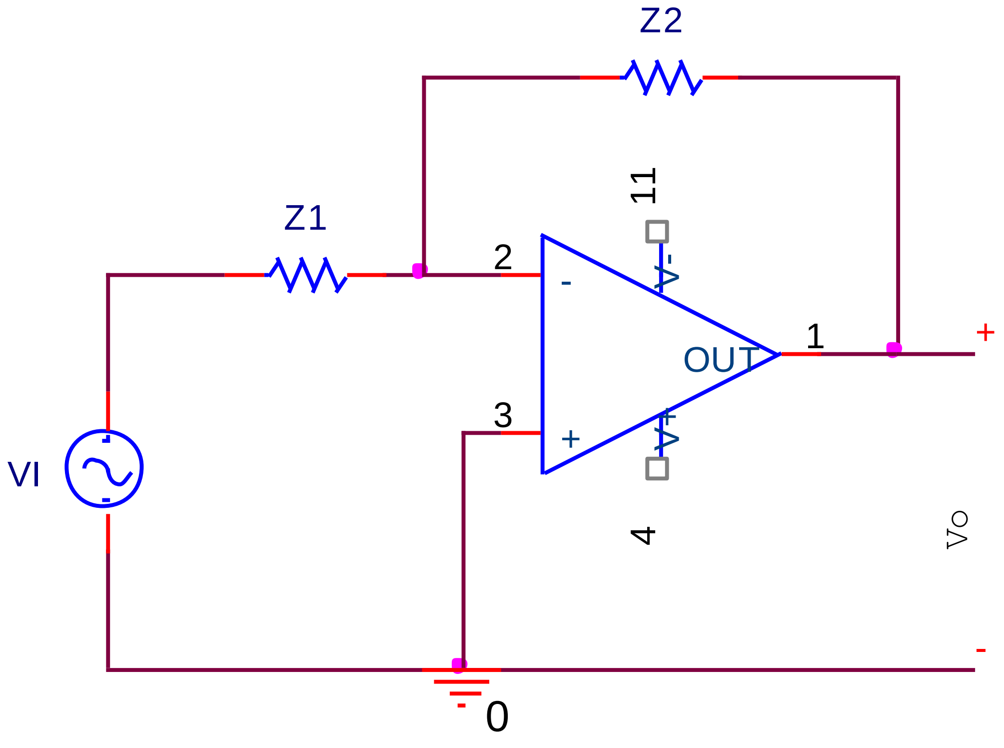
Aplicações com Amp-Op

- Comparador
  - Analise (V_o x V_i) o circuito abaixo para
    - $V_{cc} = 12V$, $V_{in} = 10 \text{ sen}(\omega t)$, $V_{sat} = 12V$



Aplicações com Amp-Op

- Integrador e Diferenciador

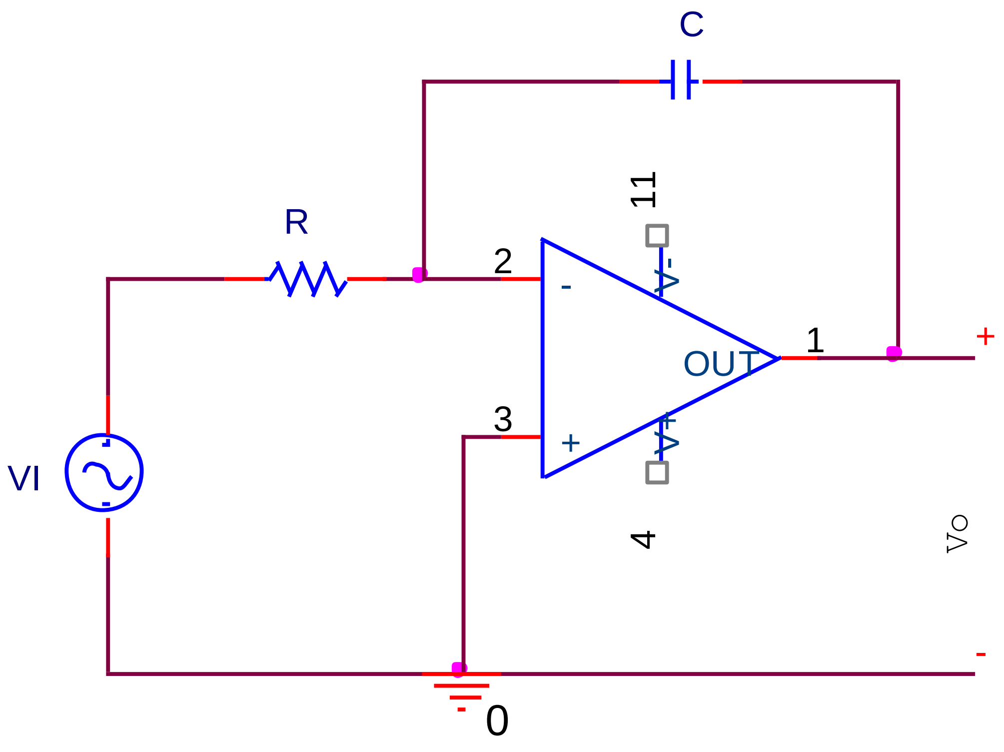


Aplicações com Amp-Op

- Integrador e Diferenciador
  - Generalizando o amplificador inversor:
    - $v_{out}/v_{in} = - z_2/z_1.$
  - z_1 e z_2 podem ser circuitos passivos com:
    - Indutor
    - Capacitor
    - Resistor

Aplicações com Amp-Op

- Integrador
  - *Ou integrador de Miller.*



Aplicações com Amp-Op

- Integrador
  - Suavização de sinais (passa-baixa)
  - Neste caso:
    - $z_1 = R$
    - $z_2 = 1/(sC) = 1/(j\omega C)$
      - Da transformada de Laplace (ou de Fourier).
  - Ou seja:
    - $v_{out} / v_{in} = -1 / (sRC) = -1 / (j\omega RC)$
      - Que é a expressão de uma integral e permite análises no domínio da freqüência.

Aplicações com Amp-Op

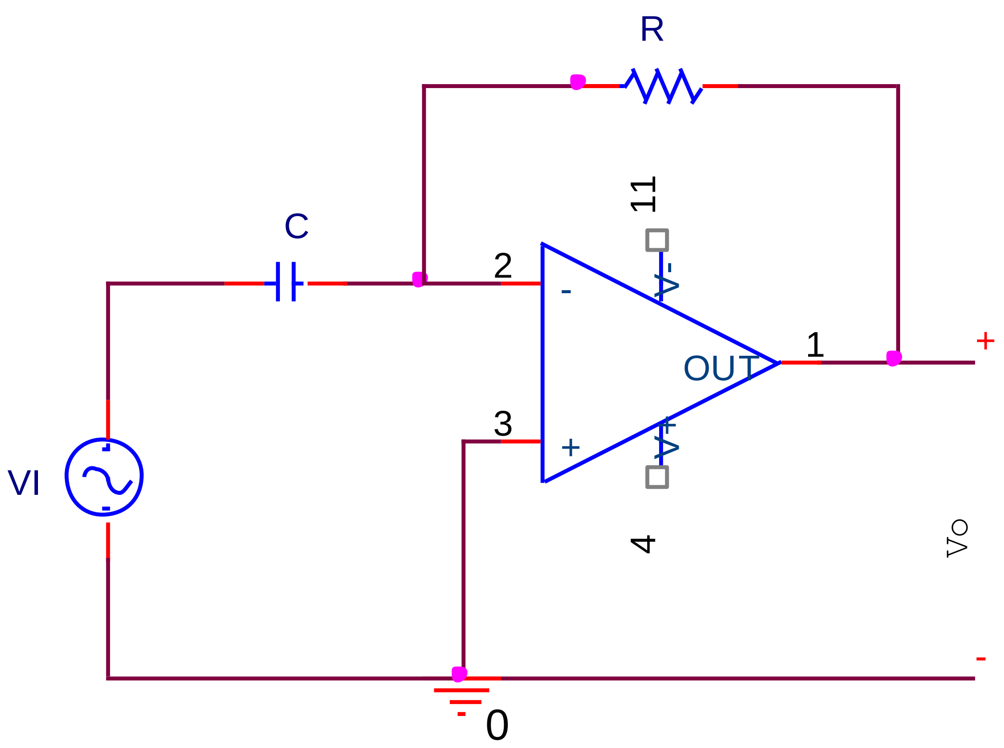
- Integrador
  - No tempo:
    - $i_r(t) = v_{in}(t)/R$
      - Devido ao terra virtual
  - Esta corrente passa totalmente pelo capacitor.
    - $v_c(t) = V_c + (1/C) \int_0^t i_r(\tau)\, d\tau$
      - V_c é carga inicial no capacitor.
  - Naturalmente $v_o(t) = - v_c(t)$
  - Então:
    - $v_{out}(t) = - (1/RC) \int_0^t v_{in}(t)\, dt + V_c$ ☞ $v_{out} = - v_{in} / (sRC)$

Aplicações com Amp-Op

- Integrador
  - O que acontece se um sinal contínuo é aplicado na entrada?

Aplicações com Amp-Op

- Diferenciador



Aplicações com Amp-Op

- Diferenciador
  - Detector de variações (passa-alta)
  - Neste caso:
    - $z_1 = 1/(sC) = 1/(j\omega C)$
    - Da transformada de Laplace (ou de Fourier).
    - $z_2 = R$
  - Ou seja:
    - $v_{out} / v_{in} = - sRC = - j\omega RC.$
      - Que é a expressão de uma derivada e permite análises no domínio da freqüência.

Aplicações com Amp-Op

- Diferenciador
  - No tempo:
    - $i_c(t) = C\, dv_{in}(t)/dt$
      - Devido ao terra virtual
  - Esta corrente passa totalmente pelo capacitor.
    - $v_r(t) = R\, i_r(t) = R\, i_c(t)$
  - Naturalmente $v_{out}(t) = -\, v_c(t)$
  - Então:
    - $v_{out}(t) = -\, RC\, dv_{in}(t)/dt$ ☞ $v_{out} = -\, sRC\, v_{in}$

Aplicações com Amp-Op

- Diferenciador
  - O que acontece se um sinal com variação abrupta é aplicado na entrada?