

AULA PRÁTICA #4 – CONVERSORES DE IMPEDÂNCIA

I) Objetivos:

- Estudar a realização de conversores de impedância
- Estudar o funcionamento e a estabilidade das estruturas de um NIC (*Negative Impedance Converter*)
- Realizar um resistor negativo e montar uma aplicação
- Estudar o funcionamento de um GIC (*Generalized Impedance Converter*)
- Realizar um indutor ativo e montar aplicações

II) Especificações para as montagens:

- Amplificador operacional **TL072**
- Tensão de alimentação, $V_{CC} = \pm 15V$

III) Tarefas

a) NIC (*Negative Impedance Converter*)

Considere o circuito mostrado na Figura 1.

a.1 - Mostre que a impedância Z_{in} é dada pela expressão:

$$Z_{in} = -\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2}$$

a.2 - Apresente as 4 (quatro) estruturas possíveis para a realização do NIC. **Identifique** a topologia (entrada em curto ou entrada em aberto). **Demonstre**, teoricamente, quais são estáveis e quais são instáveis.

a.3 - Escolha Z_1, Z_2 e Z_3 para realizar um resistor negativo entre $-1k\Omega$ e $-10k\Omega$. **Use** resistores comerciais na faixa de $1k\Omega$ a $10k\Omega$.

a.4 - Simule as 4 (quatro) estruturas de um NIC, com os valores que foram escolhidos para Z_1, Z_2 e Z_3 . **Meça** o valor da voltagem no pino de saída V_0 do amplificador operacional de cada uma delas e **compare** com a previsão teórica para a estabilidade da estrutura (item a.2). **Comente**.

a.5 - Ainda com os valores escolhidos, **use** as 2 (duas) estruturas estáveis e **acrescente** um resistor externo, R_{ext} , em paralelo com o NIC, da entrada do amplificador operacional para a terra. **Escolha** o valor de resistência adequado para cada uma, individualmente, de forma a manter as estruturas estáveis.

Simule e determine o valor da associação $R_{ext} || Z_{in}$, em cada uma delas. **Aplique** uma fonte de corrente DC, de 1mA, na entrada, em paralelo com R_{ext} . **Meça** o valor da associação dividindo a voltagem sobre R_{ext} pela corrente da fonte de 1mA. **Extraia** o valor de Z_{in} , algebricamente,

do valor medido para a associação. Monte o circuito e repita as medidas simuladas. **Comente** o resultado que você obteve.

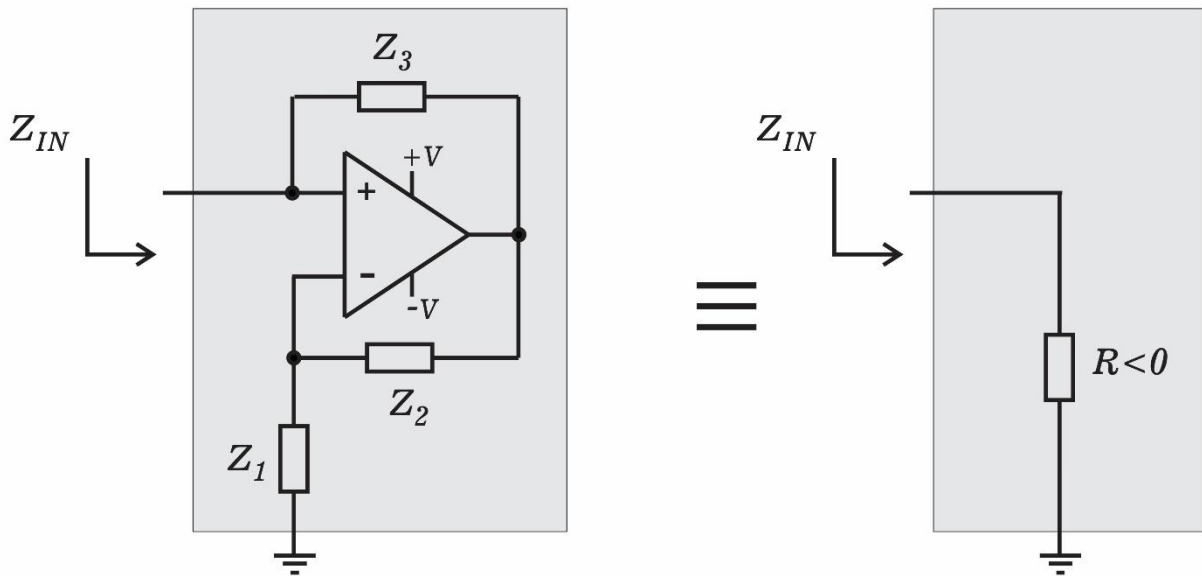


Figura 1 – Conversor de impedância negativa (NIC)

a.6 - Aplicação do NIC como amplificador com divisor resistivo

Considere o circuito mostrado na Figura 2. **Observe** que não está indicada a pinagem das entradas inversora e não-inversora do amplificador operacional.

a.6.1 - Escolha qual estrutura é adequada para manter o circuito estável em valores de R_x menores que R_n e qual estrutura é adequada para manter o circuito estável em valores de R_x maiores que R_n . **Justifique**.

a.6.2 – Monte o circuito e **levante** a curva do módulo do ganho V_0/V_{in} do circuito. **Calcule** os valores de R_x , na faixa menor que R_n e na faixa maior que R_n , para os ganhos de 2.5, 5, 10, 20 e 40. **Observe** que V_0 é tomado da entrada do amplificador operacional para a terra. **Use** um sinal senoidal de entrada com 100mVpico e frequência de 1kHz.

- **Preencha** a tabela com as medidas e **trace** a curva do ganho.

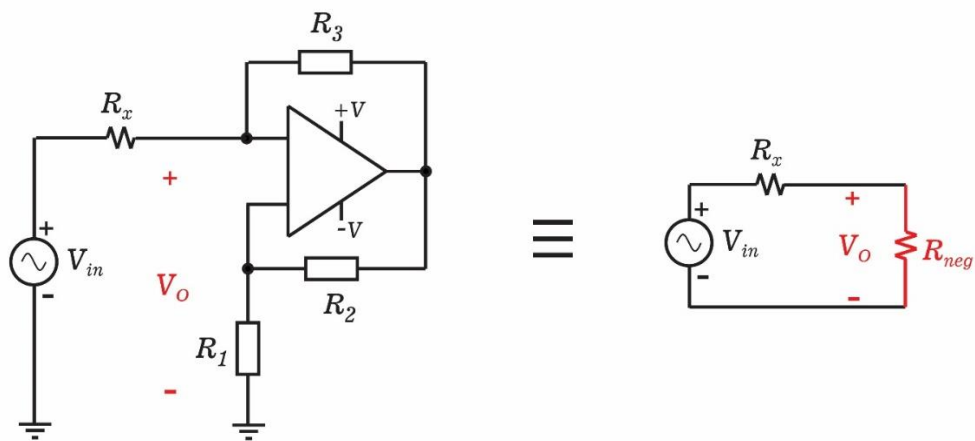
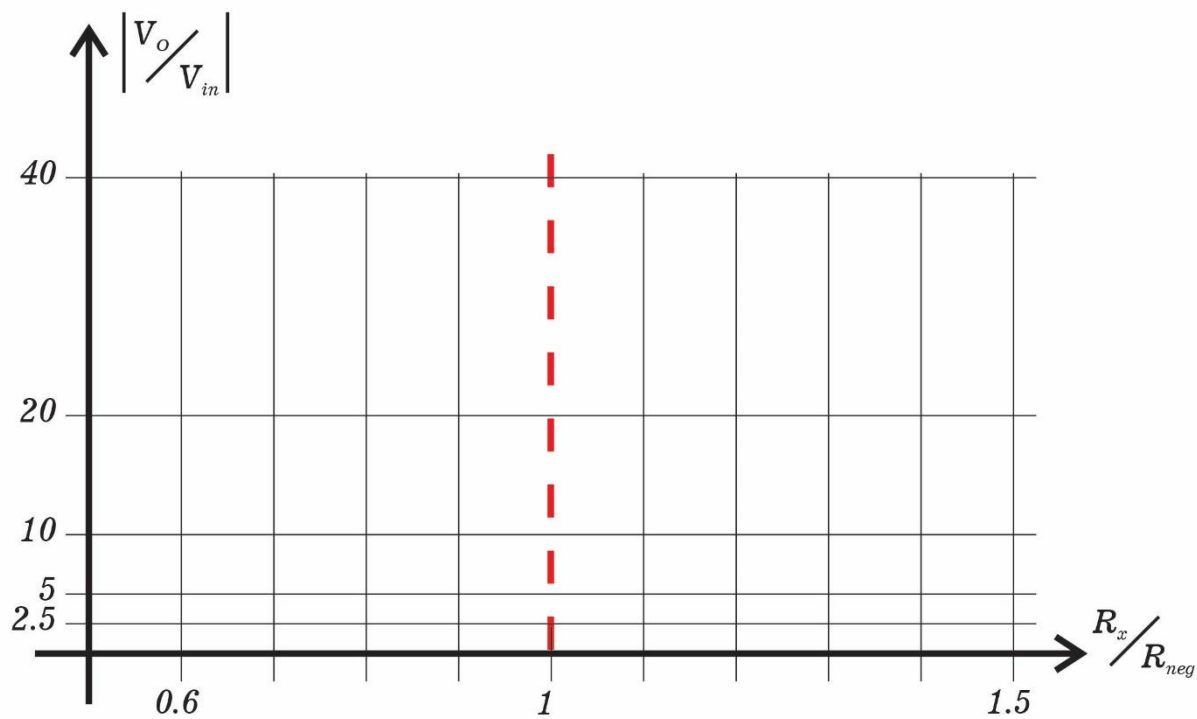


Figura 2 – NIC como amplificador com divisor resistivo

Amplificador com divisor resistivo								
$ V_o/V_{in} $	Fase		Projetado		Simulado		Medido	
			Rx (kΩ)	Rx (kΩ)	Rx (kΩ)	Rx (kΩ)	Rx (kΩ)	Rx (kΩ)
	Estável curto	Estável aberto	Estável curto	Estável aberto	Estável curto	Estável curto	Estável aberto	Estável curto
40								
20								
10								
5								
2.5								



b) GIC (Generalized Impedance Converter)

Considere o circuito mostrado na Figura 3.

b.1 - Mostre que

$$Z_{in} = \frac{Z_1 \cdot Z_3 \cdot Z_5}{Z_2 \cdot Z_4}$$

b.2 - Mostre que é possível realizar um indutor ativo L_{eq} com o GIC, escolhendo Z_2 como uma capacitância C e as outras impedâncias como resistências iguais de valor R , cuja indutância será:

$$L_{eq} = R^2 \cdot C$$

b.3 - Projete o indutor ativo para uma indutância L_{eq} entre 80mH e 120mH. Escolha valores comerciais para R , na faixa de k Ω , e C , na faixa de nF.

As aplicações que serão simuladas, a seguir, irão comprovar a realização correta do indutor ativo.

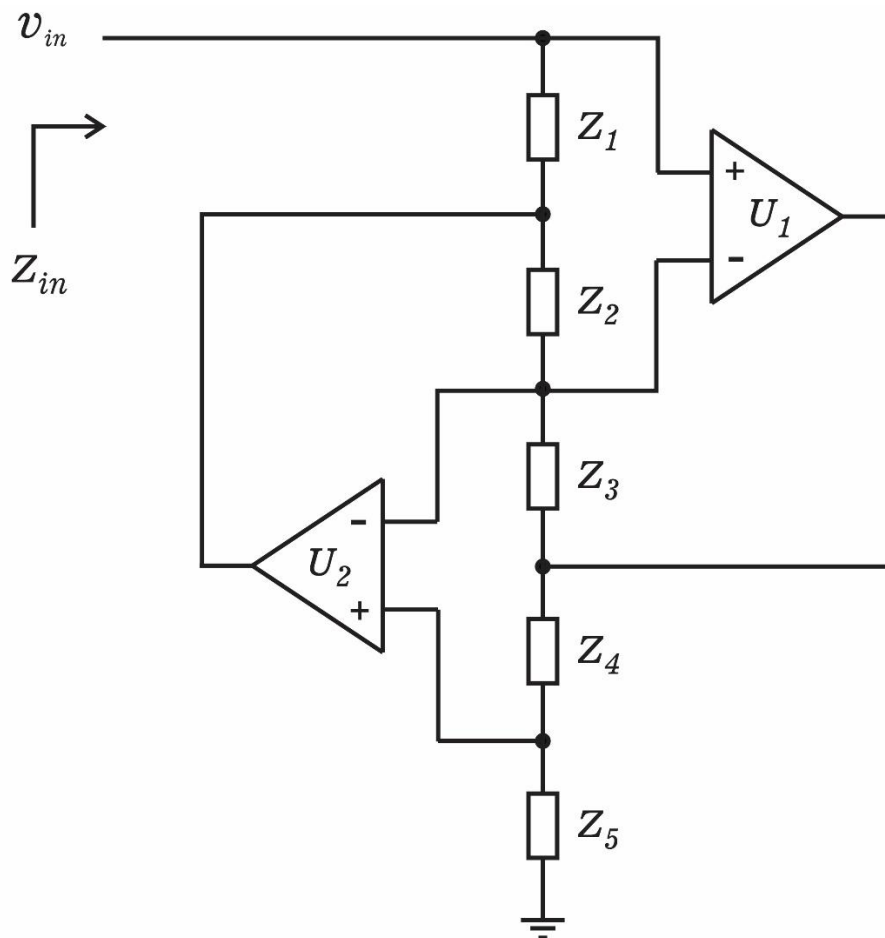


Figura 3 – GIC (Generalized Impedance Converter)

c) Filtro passa-altas com indutor ativo

c.1 - Monte o circuito de um filtro passa-altas RL com um resistor auxiliar, R_{aux} , de 680Ω e o indutor ativo, L_{eq} , projetado com o GIC no item anterior.

c.2 - Simule e meça a resposta em frequência do filtro. Monte o circuito e determine experimentalmente a resposta em frequência. **Confirme** a característica passa-altas e **meça** a frequência de corte. **Obtenha** o valor de L_{eq} , a partir dos valores de R_{aux} e da frequência de corte encontrada, e confirme o valor projetado.

d) Circuito ressonante paralelo com indutor ativo

d.1 - Monte o circuito ressonante RLC, como mostrado na Figura 4. Use um resistor R_g em série com o indutor ativo e um capacitor C_p , em paralelo.

d.2 - Determine a função de transferência $\frac{V_0(s)}{V_{in}(s)} = \frac{N(s)}{D(s)}$.

Compare o polinômio do denominador $D(s)$ com a expressão $s^2 + (\omega_0/Q) \cdot s + \omega_0^2$.

Mostre que

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} \cdot C_p}} \quad Q = R_g \cdot \sqrt{\frac{C_p}{L_{eq}}} \quad Q = \frac{R_g}{X_{L_{eq}}}$$

d.3 - Calcule C_p de modo que a frequência de ressonância fique entre 1kHz e 3kHz.

d.4 - Calcule R_g de modo que o fator de qualidade Q fique entre 20 e 30.

d.5 - Simule e meça o ganho $\frac{V_0}{V_{in}}$, na frequência de ressonância.

d.6 - Na simulação e na medida da curva do ganho $\frac{V_0}{V_{in}}$, determine o valor do Q do circuito medindo $\frac{f_0}{BW}$, na sintonia. Monte o circuito e determine experimentalmente a resposta em frequência. Compare os valores com os valores de projeto.

e) Oscilador LC com indutor ativo

Considere o circuito RLC paralelo, mostrado na Figura 5, com o indutor ativo L_{eq} , o resistor R_p , representando as perdas do indutor ativo, o capacitor externo, em paralelo, C_p , e o resistor negativo equivalente, $-R_x$.

e.1 – Demonstre, teoricamente, que um resistor ôhmico R_x , ligado da saída para a entrada não-inversora do amplificador operacional U_1 , pode ser representado no modelo equivalente como uma resistência negativa de valor $-R_x$, em paralelo com L_{eq} e C_p .

e.2 - Monte o circuito, inicialmente, **sem** o resistor R_x . **Simule e comente**.

e.3 - Use um resistor R_x de valor igual ou um pouco menor que R_p . Se necessário diminua o valor de R_x para produzir uma oscilação senoidal na saída. O valor de R_p no ambiente da simulação é da ordem de $10\text{M}\Omega$.

Use uma fonte de corrente I_{pulse} para acelerar o início da oscilação.

Ajuste o perfil de simulação para análise transiente com “start saving data” a partir de 1000ms e “run time” de 1005ms , de modo que a amplitude de oscilação tenha tempo de estabilizar.

Monte do circuito e **meça** a amplitude e a frequência de oscilação. **Comente** o efeito de R_x no circuito.

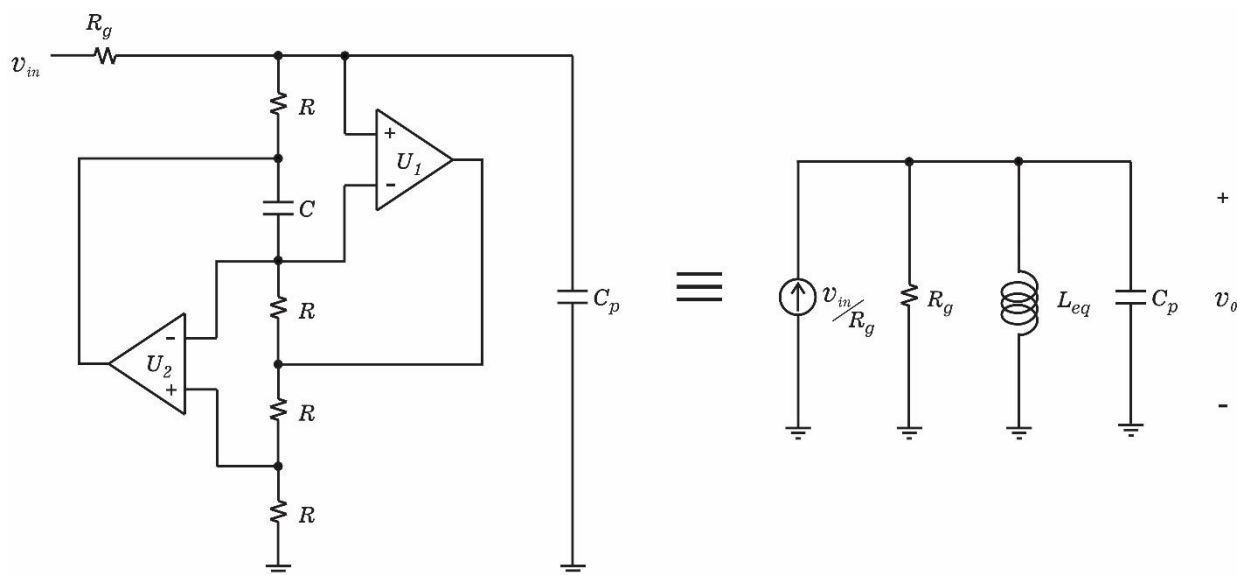


Figura 4 – Circuito ressonante paralelo com indutor ativo

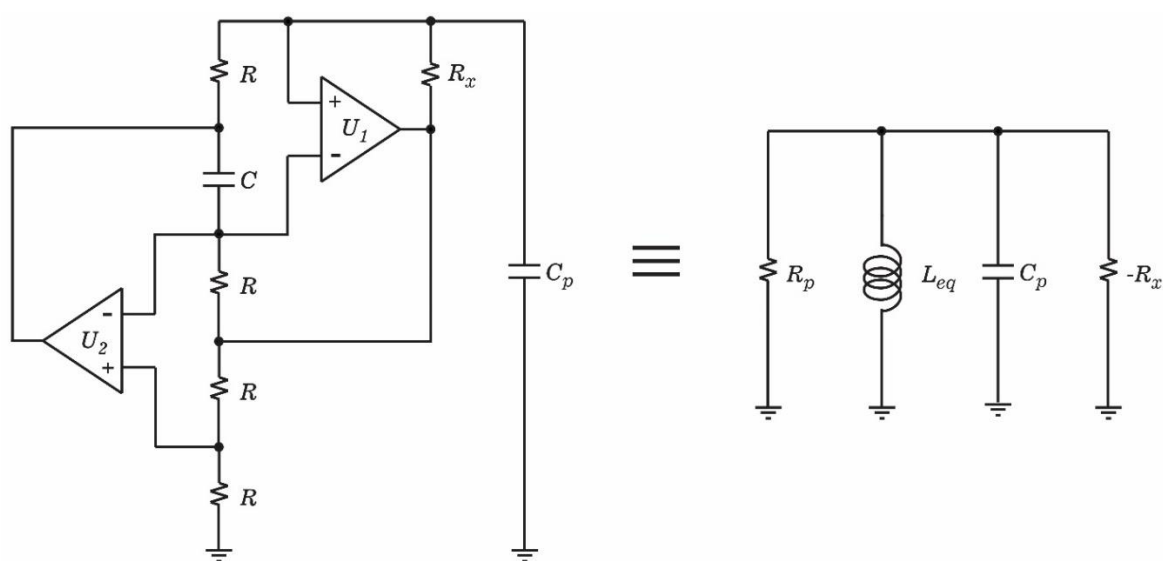


Figura 5 – Circuito oscilador LC com indutor ativo