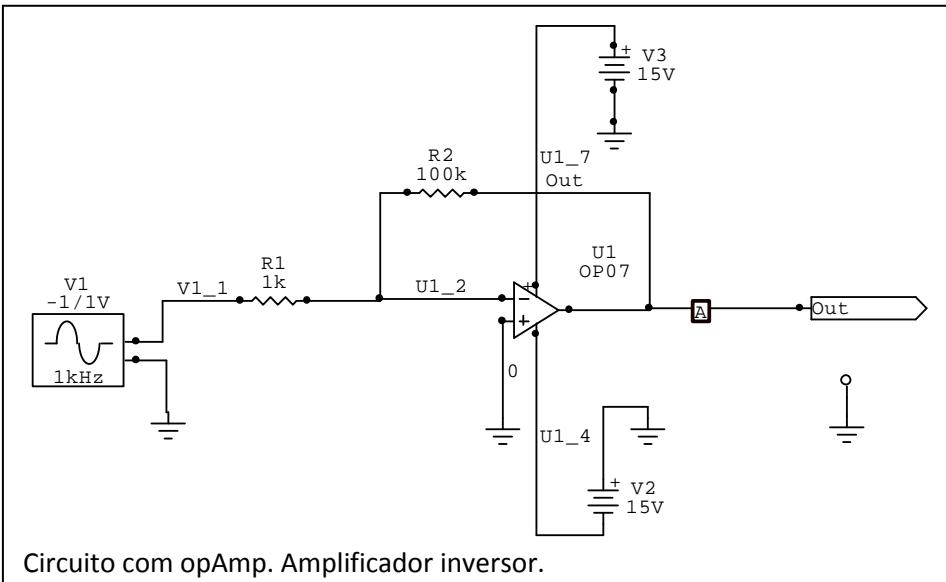


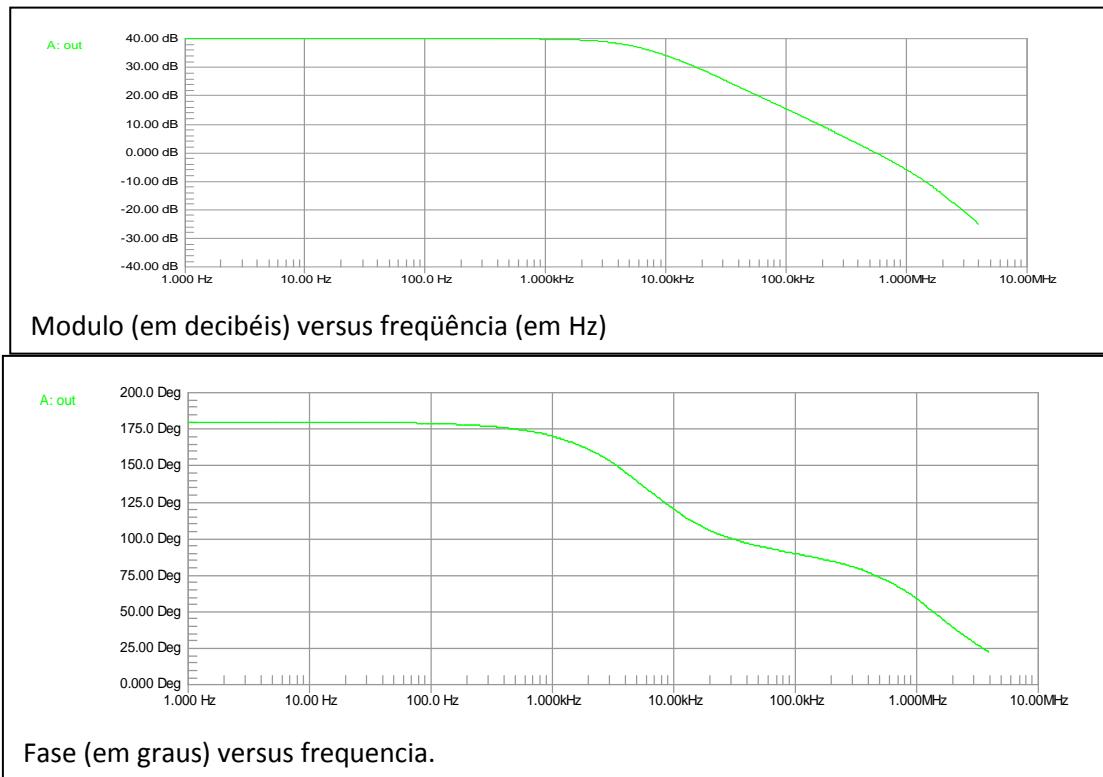
## Aula de F540. Experimento 7

### Circuitos com amplificadores operacionais

O Teorema de Miller torna claro o conceito de “terra virtual” (virtual ground). Baseado neste conceito calcule as expressões para o ganho do circuito amplificadores da Figura ao lado. Desenhe a respectiva curva de Bode teórica. Monte o circuito em um proto-Board. Meça as tensões ac e dc em todos os nós do circuito. Faça a curva de Bode experimental e compare com seus cálculos.



Resultados simulados:

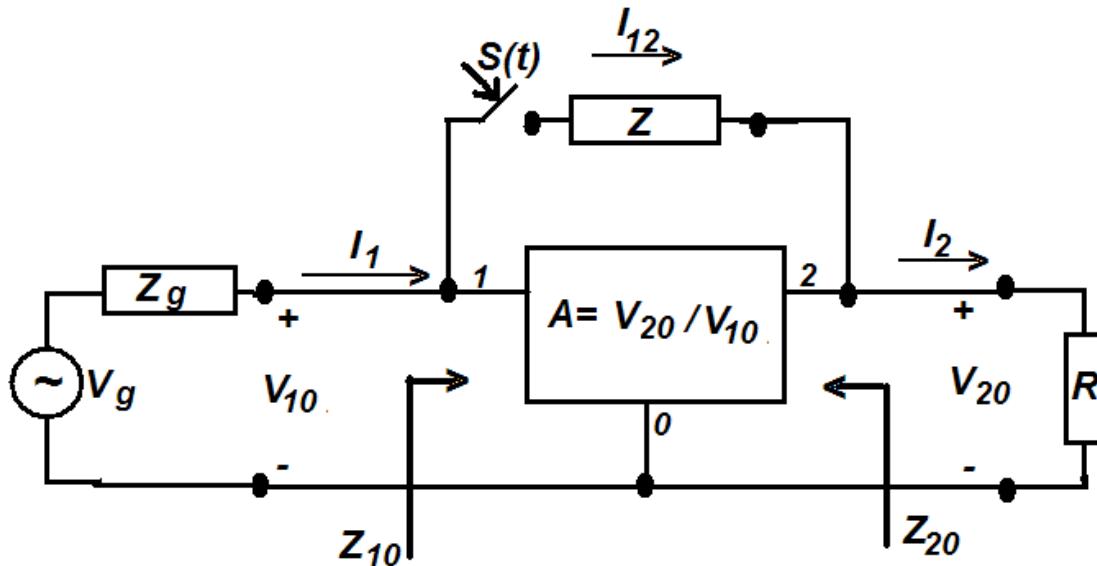


Repita o procedimento adicionando a impedância  $Z=R+1/j\omega C$  em paralelo com a  $R2=100k$ .

$C= 10nF$  e  $R=10k$

## Notas: Theorema de Miller

Nosso objetivo nesta aula é mostrar o que acontece com um amplificador de ganho de tensão  $A$  quando conectamos sua **saída** com sua **entrada** através de um elemento de circuito  $Z$ . Como muda a impedância de entrada e de saída? Como muda o ganho? No circuito abaixo, desenhamos o amplificador de tensão de ganho  $A = V_{20}/V_{10}$ . Todas as variáveis mostradas são complexas (módulo e fase).



Com a chave  $S(t)$  aberta, a impedância de entrada do amplificador sem realimentação será  $Z_{10} = V_{10}/I_1$ , a impedância de saída  $Z_{20} = V_{20}/I_2$ , os valores dependentes do amplificador de ganho  $A$ .

Observemos a entrada do circuito: Ao fechar a chave  $S(t)$ , teremos uma corrente passando por  $Z$  dada por:  $I_{12} = \frac{V_{10}-V_{20}}{Z} = \frac{1-A}{Z} \cdot V_{10}$

Portanto teremos uma impedância de Miller  $Z_M = \frac{V_{10}}{I_{12}} = \frac{Z}{1-A}$  em paralelo com a impedância do amplificador sem realimentação. Se o ganho  $A$  for negativo e muito grande:  $A \rightarrow -\infty$ , então  $Z_{10} = 0$ , ou seja, criou-se um “terra virtual”, portanto

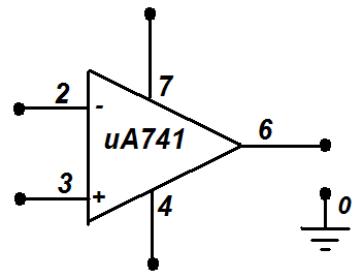
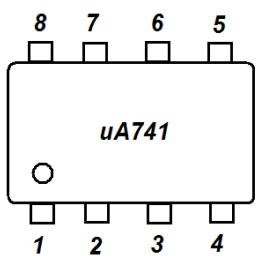
$I_1 = \frac{V_g}{Z_g}$ , e a tensão de saída será  $V_{20} = \frac{Z}{Z_g} \cdot V_g$ . Dependendo do valor de  $Z$  e de  $Z_g$

poderemos selecionar o ganho ou a atenuação desejada, em função da frequência.

A impedância de saída do amplificador realimentado será  $Z$  em paralelo com a impedância de saída do amplificador sem realimentação,  $R$ .

## O amplificador operacional

É um amplificador com um ganho diferencial de tensão tendendo a infinito. A indústria eletrônica desenvolveu os tipos 107, 741 e outros na forma de circuito integrado, IC. Na figura abaixo mostramos uma visão superior do IC e de como é feita a identificação dos terminais de contato, por exemplo para o uA741:



**Pinos:** LM741 1-Offset Null; 2-Inv. Input ; 3-Non-Invert. Input ; 4-V<sub>cc</sub>; 5-Offset Null; 6-Output; 7-V<sub>cc</sub><sup>+</sup>; 8-NC (nao conectado)

A tensão de saída de um OpAmp é dada por:

$$V_{out} = A \cdot (V_+ - V_-)$$

No caso  $V_{out}=V_{60}$ ,  $V_+=V_{30}$ ,  $V_-=V_{20}$ .

Para um OpAmp ideal  $Z_-=Z_+=\infty$ ,  $Z_{out}=Z_{60}\approx 0$  e  $A\approx\infty$