

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

# Simulação de Circuitos com MULTISIM

Eletrónica I

Cândido Duarte  
candidoduarte@fe.up.pt

Vítor Grade Tavares  
vgt@fe.up.pt

Hélio Mendonça  
hsm@fe.up.pt

Versão 1.0

Fevereiro, 2016



## Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>5</b>
1.1	Estrutura básica . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Análise do Ponto de Operação DC</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Análise Transitória</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Análise em Frequência</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Análise Paramétrica</b>	<b>21</b>



## 1. Introdução

O MULTISIM é um software destinado à simulação de circuitos elétricos, originalmente pensado para fins académicos. Era anteriormente conhecido como *Electronics Workbench* (EWB), criado em meados de 1995 por uma empresa canadiana, a *Interactive Image Technologies*. Mais tarde, com processos de fusão da empresa, o software EWB começou a desenvolver-se e a ganhar alguma notoriedade, o que levou à *National Instruments* a adquirir a empresa EWB em 2005. Hoje em dia, com a *National Instruments*, reúne a vertente didática e profissional, sendo gerida pelo grupo *NI Workbench Group*, que tem como objetivo integrar várias tecnologias de simulação de teste e projeto (MULTISIM, LABVIEW, etc.).

O MULTISIM, comercializado ainda nos dias de hoje pela *National Instruments*, é uma ferramenta de simulação de circuitos elétricos que, à semelhança de muitos outros programas do mesmo tipo, tem como base SPICE<sup>1</sup>. A primeira versão de SPICE foi criada na década de 1970, posteriormente tornada pública e desenvolvida por várias empresas, nos seus produtos comerciais (Ultrasim, TINA, HSPice, etc.).

O MULTISIM diferencia-se por fornecer ao utilizador uma interface gráfica para a edição de esquemas (*schematic capture*), ao contrário de muitos outros simuladores em que se faz a descrição dos circuitos diretamente num ficheiro de texto, segundo a sintaxe SPICE – ficheiro este que se denomina por *netlist*. O que o MULTISIM faz na realidade é traduzir os esquemas e os parâmetros de simulação para uma *netlist*. No entanto, pela forma simples como apresenta graficamente os componentes e os instrumentos de medição num formato de laboratório virtual, facilita bastante a aprendizagem.

Para familiarização com o MULTISIM serão aqui apresentados alguns exemplos de simulação e análise. Para melhor acompanhar esta introdução, recomenda-se que o(a) estudante faça a replicação dos circuitos, e que os tente simular para obter os mesmos resultados. Os exemplos ilustrados foram simulados na versão 11.0.

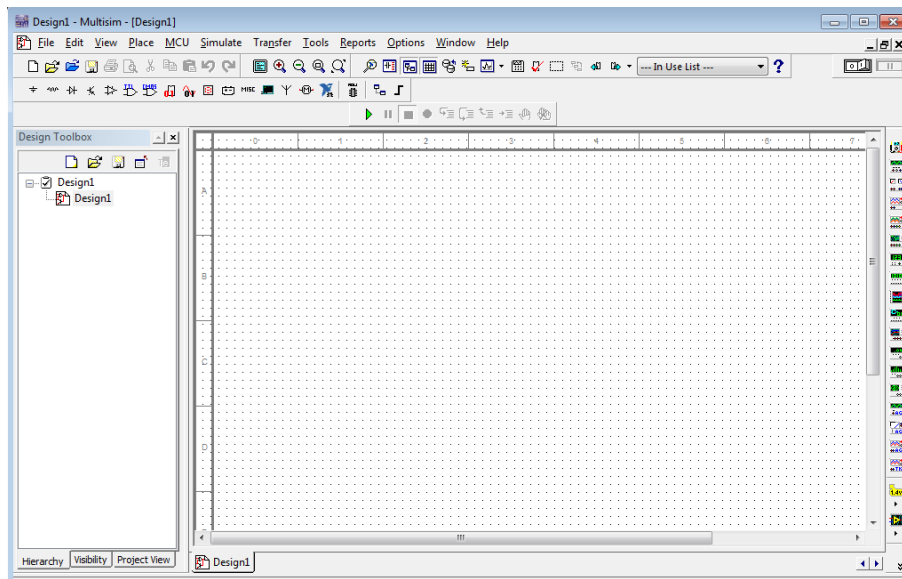
### 1.1. Estrutura básica

Em Microsoft Windows, o MULTISIM é frequentemente incluído numa diretoria denominada por *Circuit Design Suite*. Inicie-se a aplicação com um projeto novo do MULTISIM. A janela principal do simulador é apresentada na Figura 1a.

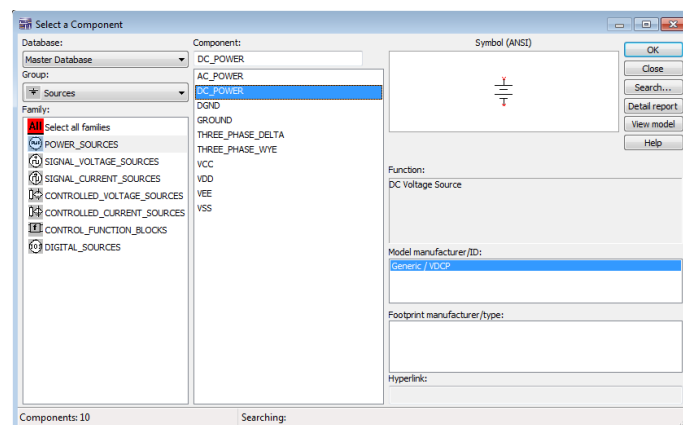
Todos os componentes elétricos são divididos em bases de dados. Na base de dados principal (*Master Database*) pode encontrar vários grupos, e dentro destes encontra famílias de componentes – ver Figura 1b. Alguns exemplos de grupos de uso mais comum são os que se seguem.

---

<sup>1</sup>SPICE = “Simulated Program with Integrated Circuits Emphasis”.



(a)



(b)

Figura 1: Janelas do MULTISIM – (a) janela principal e (b) menu dos componentes.

- **Sources**: fontes DC, de sinal, fontes controladas, etc.
- **Basic**: resistências, condensadores, potenciômetros, etc.
- **Diodes**: díodos de sinal, zeners, leds, etc.
- **Transistors**: BJT, MOSFET, JFET, etc.
- **Analog**: opamps (como por exemplo o 741), comparadores, etc.
- etc.

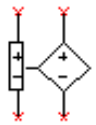
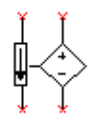
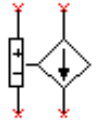
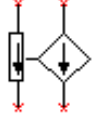
A título de exemplo, pode encontrar várias fontes controladas em **Sources**, dependendo do controlo que se pretende. Por exemplo, fontes controladas por

tensão estarão na subsecção `CONTROLLED_VOLTAGE_SOURCES`, enquanto que se o controlo for por corrente, seja uma fonte de tensão ou corrente, encontram-se em `CONTROLLED_CURRENT_SOURCES`. Na tabela 1 encontra-se um sumário das fontes dependentes mais típicas.

Para a grandeza de controlo atuar na fonte, os terminais do controlo devem ser devidamente ligados (os dois terminais mais à esquerda nos símbolos da tabela). Assim, se o controlo for uma corrente, deverá fazer passar essa corrente pelos terminais da fonte dependente (no lado do controlo). Se o controlo for uma tensão, deverá ligar os dois contactos de controlo à respetiva tensão. Deve-se configurar a fonte com o ganho que se pretende. Se for uma fonte de corrente  $i_o$  controlada por uma dada tensão  $v_{ctr}$  com um ganho  $10\text{ Mho}$ , então  $i_o = 10v_{ctr}$ .

Note-se que quanto no exemplo acima o ganho é em  $\text{Mho}$ , ou em Siemens (S) ou  $\text{A/V}$  por causa das grandezas de entrada e saída. No caso em que a saída é uma tensão e a entrada é uma corrente, ou seja um fonte de tensão controlada por corrente, então o ganho será em Ohm, portanto  $\text{V/A}$ .

Tabela 1: Fontes dependentes.

	fonte de tensão controlo por tensão <code>Sources</code> → <code>CONTROLLED_VOLTAGE_SOURCES:</code> <code>VOLTAGE_CONTROLLED_VOLTAGE_SOURCES</code>
	fonte de tensão controlo por corrente <code>Sources</code> → <code>CONTROLLED_VOLTAGE_SOURCES:</code> <code>CURRENT_CONTROLLED_VOLTAGE_SOURCES</code>
	fonte de corrente controlo por tensão <code>Sources</code> → <code>CONTROLLED_CURRENT_SOURCES:</code> <code>VOLTAGE_CONTROLLED_CURRENT_SOURCES</code>
	fonte de corrente controlo por corrente <code>Sources</code> → <code>CONTROLLED_CURRENT_SOURCES:</code> <code>CURRENT_CONTROLLED_CURRENT_SOURCES</code>

Outros componentes podem ser obtidos da mesma base de dados em secções diferentes. A interligação é feita unindo os terminais com fios, originando assim nós. Estes nós podem ter nomes, basta para isso *clicar* no fio correspondente e atribuir nome e possivelmente uma cor também. Nas próximas secções discutiremos análises diferentes usando para tal diferentes circuitos e introduzindo a instrumentação adequada também para cada exemplo.





## 2. Análise do Ponto de Operação DC

Considere-se o circuito da Figura 2a. A sua implementação em MULTISIM é apresentada na Figura 2b. Uma vez construído este circuito, no MULTISIM pode-se simplesmente premir o interruptor no canto superior direito, que dá início à simulação. Na realidade, esta acção arranca uma simulação no tempo, mas se o utilizador quiser saber de valores DC no circuito, pode usar uma *Probe*, seleccionada na janela de instrumentação. Encontra uma *Probe* do lado direito (*Measurement Probe*), no bloco com uma seta como símbolo, neste inscrito "1.4v". Deve seleccionar o nó a que pretende associar a medição. Para o caso presente, conforme na Figura 2b, o resultado dado pela *Probe* é -960 mV. Para a maioria dos circuitos esta abordagem simples é suficiente. Contudo, veremos mais em detalhe a análise DC com outro exemplo.

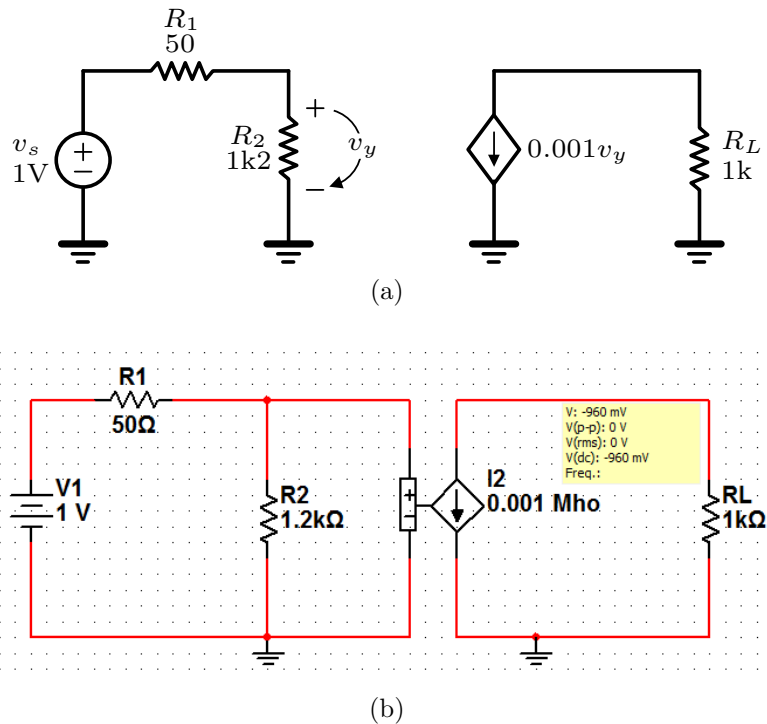


Figura 2: Circuito exemplo para análise DC.

Passemos agora ao circuito da Figura 3. A análise do ponto de operação diz respeito ao ponto de operação estático, ou seja, quando as fontes de sinal independentes são anuladas. A fonte AC será interpretada como sendo nula. Para fazer esta análise, partir de **Simulate** → **Analyses** → **DC Operating Point**.

No menu que lhe aparecerá (Figura 4) deve seleccionar as variáveis de interesse do circuito (e.g. tensões DC, correntes DC, ...).

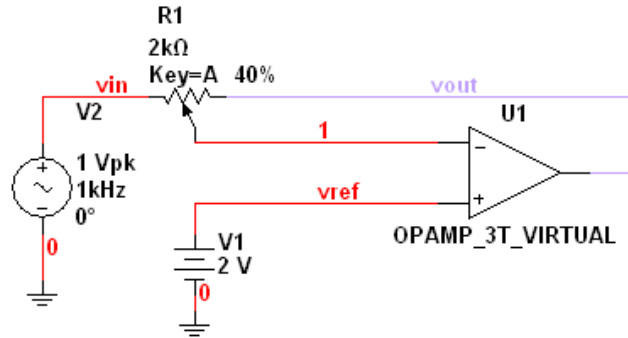


Figura 3: Outro circuito exemplo para análise DC.

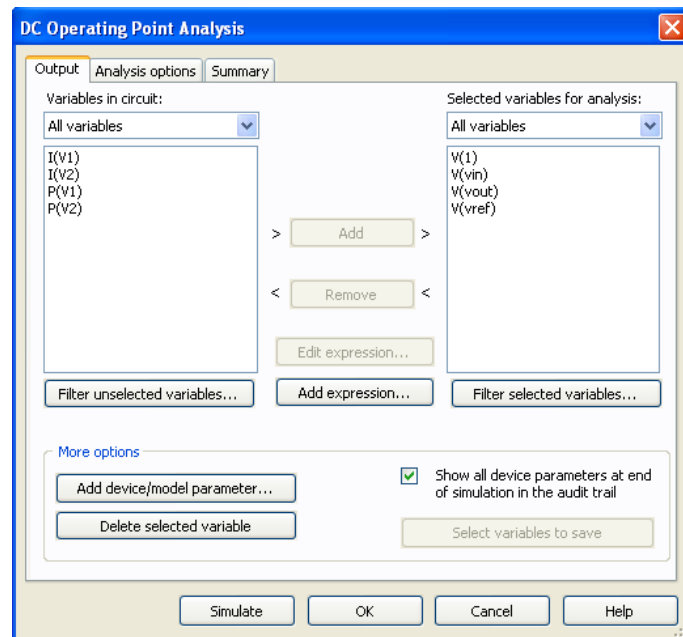


Figura 4: Menu de configuração do ponto DC.

Depois de selecionadas as variáveis de interesse, e adicionadas para que estas constem no bloco do lado direito, prima **Simulate**. Os resultados, para a presente configuração, são apresentados na Figura 5.

Estes resultados dizem respeito às tensões DC nos nós do circuito. Note que nesta fase o nome dos nós atribuídos ajuda à interpretação dos resultados. Pode também carregar no botão de simulação (presente no canto superior direito da janela principal; não se esqueça de o desligar quando pretender fazer alterações). Este interruptor faz correr uma simulação no tempo. Esta, parte (por defeito) de um ponto de operação DC, pelo que no presente exemplo linear, as tensões DC mantêm-se. Na análise no tempo, os valores DC podem ser visualizados a partir das *Probes*. Contudo, as *Probes* também mostram os valores que variam no tempo. Na Figura 6 seguinte mostra a medição com uma *Probe*.

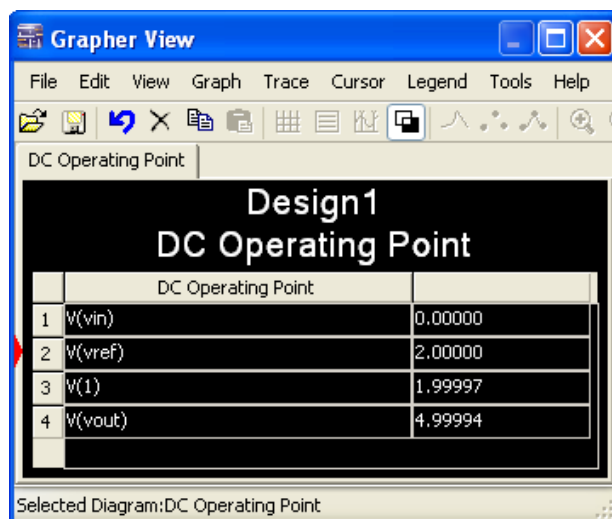
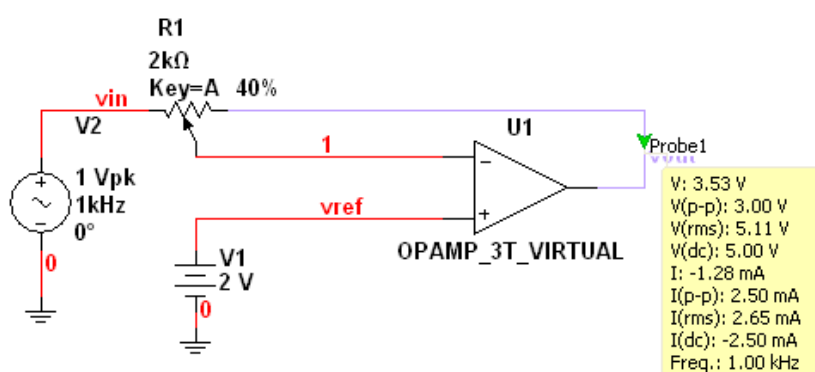


Figura 5: Resultados do ponto de operação.

Figura 6: Resultados da simulação do circuito acedidos com uma *Probe*.



### 3. Análise Transitória

Após a análise DC, i.e. estática, procede-se normalmente a uma análise da operação ao longo do tempo. Monte o circuito seguinte (nota: os circuitos apresentados neste documento têm apenas fins ilustrativos).

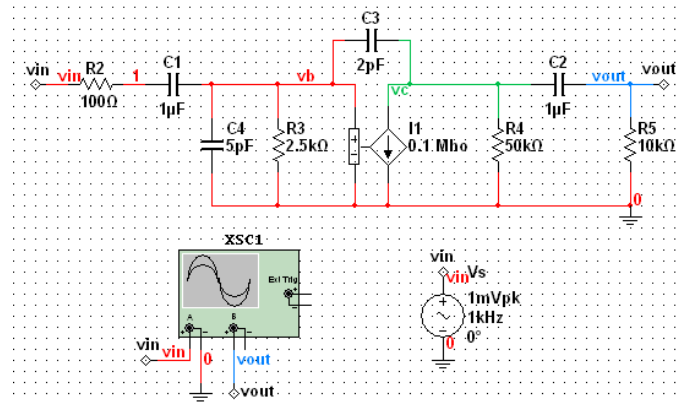


Figura 7: Circuito para análise transitória.

Outra boa prática em esquemas é a utilização de conectores em pontos de acesso mais frequentes, isto é, para que as ligações não se tornem demasiado confusas. Dada a simplicidade do circuito não seria aqui necessário, mas mais a título de exemplo, note nos nós designados como **vin** e **vout**. Estes foram inseridos como conectores. Para fazer igual, faça **Place** → **Connectors** → **On-Page Connector**, ou como teclas de atalho **Ctrl-Alt-0**. Não se esqueça de ligar o conector ao fio pretendido.

A ligação dos conectores é útil para ter instrumentos de medição no esquema, por exemplo um osciloscópio. Insira (a partir da lista de símbolos do lado direito) os blocos que se seguem, e efetue as devidas ligações.

Como referido, pode proceder à simulação no tempo premindo o interruptor de simulação no canto superior direito, e interromper a simulação usando o mesmo botão ou o botão Pausa ao lado. Com este método pode visualizar o que acontece nas tensões e correntes circuito ao longo do tempo. Pode inclusivamente visualizar os sinais no osciloscópio, que possui as mesmas funcionalidades básicas de um instrumento real (acoplamentos AC e DC, escalas horizontais e verticais, etc.). Pode fazer medições com um cursor em cada canal (A e B) e mesmo gravar os sinais. Sugere-se que inicie a simulação no botão e passado algum tempo pare. Após isto pode abrir o bloco osciloscópio que toda a informação dos sinais se encontra registada. Basta mover a barra *scroll* do tempo para a visualizar.

**Nota:** até a ligação à massa se assemelha à situação real, i.e. apenas uma conexão à massa num dos canais é necessária (ver esquema).

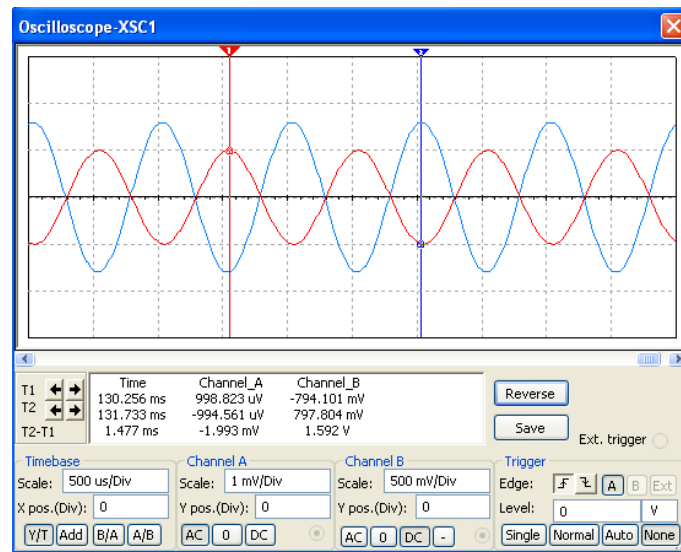


Figura 8: Resultados da análise transitória a partir de um osciloscópio virtual.

Uma outra forma (equivalente), mais comum noutros softwares, de fazer a análise transitória é através do seguinte procedimento: **Simulate** → **Transient Analysis**.

Depois de definir o que pretende visualizar (em **Output**) prima **Simulate**. Os resultados de simulação serão apresentados no visualizador gráfico do MULTISIM. Pode exportar os dados para MS Excel, ou sobrepor resultados de simulações anteriores se necessário (**Graph** → **Overlay Traces**). Este visualizador gráfico registará todos os seus resultados de simulação a menos que os apague.

**Nota:** a presente abordagem é preferível ao botão de simulação para obter melhor controlo sobre a simulação (e.g. passo de simulação, tempo final, condições iniciais, etc.) de maior utilidade quando as simulações não convergem para um resultado (o que não será esperado para estes circuitos).

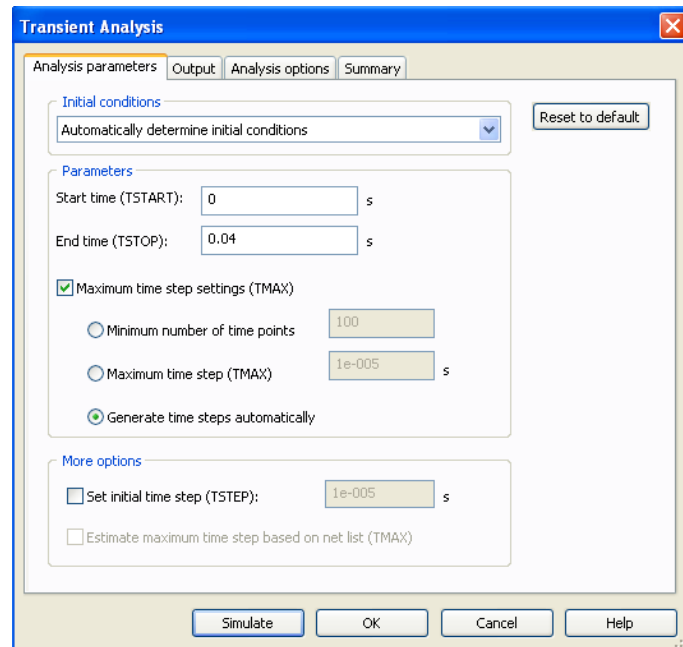


Figura 9: Configuração da análise transitória.

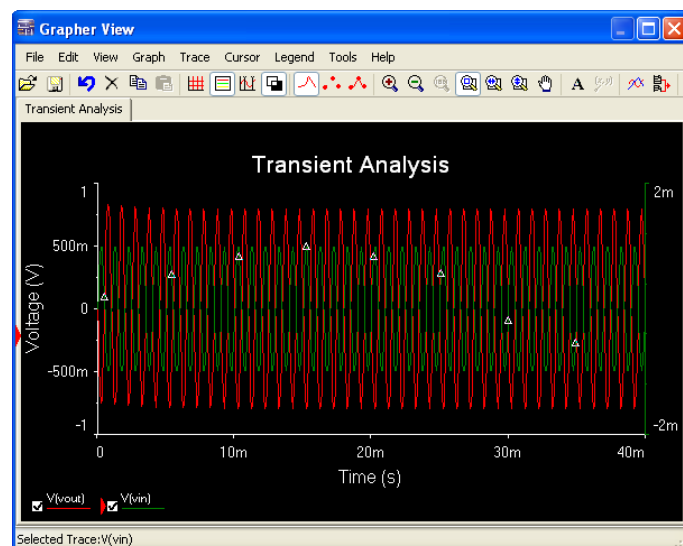


Figura 10: Gráfico dos sinais da análise transitória.





## 4. Análise em Frequência

O instrumento *Bode Plotter* é de grande utilidade para obter a resposta em frequência dos circuitos. Apenas requer a ligação aos terminais de entrada e de saída. Após correr alguns instantes de simulação pode-se carregar duas vezes com o botão esquerdo do rato sobre o instrumento de medição, e obtém-se a resposta AC. Considere o circuito seguinte (trata-se de um circuito passa-baixo de ordem 2) que servirá de exemplo para obter o seu traçado de frequência.

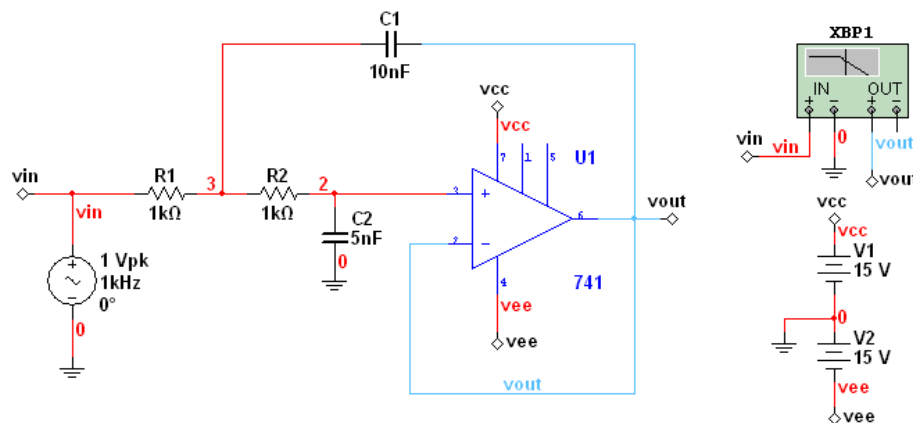


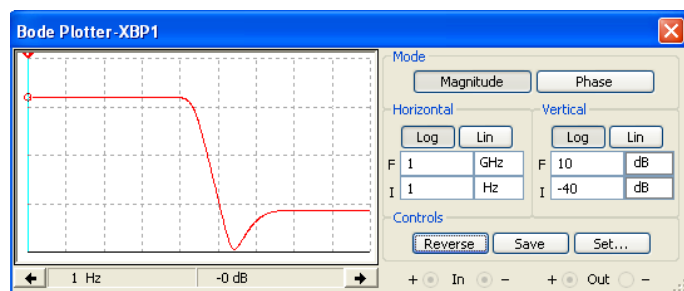
Figura 11: Circuito de análise em frequência.

Os resultados de uma simulação AC a partir do *Bode Plotter* são apresentados de seguida para a magnitude e fase.

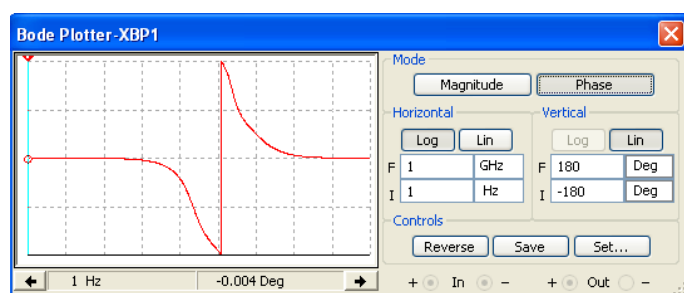
Da mesma forma que anteriormente, os mesmos resultados podem ser obtidos pelo menu **Simulate** → **Analyses**, agora em **AC Analysis**.

Escolha **vout** como terminal de saída, e depois de **Simulate** obterá o resultado seguinte. Para a escala vertical, se clicar duas vezes sobre o eixo pode escolher dB (escala mais usual para filtros).

Há outras análises possíveis, desde distorção, Fourier, sensibilidade, etc. mas que deverão ser cuidadosamente contextualizadas para que sejam válidas. Segue-se uma última análise a que se recorre frequentemente em projeto para dimensionamento de componentes, a análise paramétrica.



(a)



(b)

Figura 12: Resultados no *Bode Plotter*.

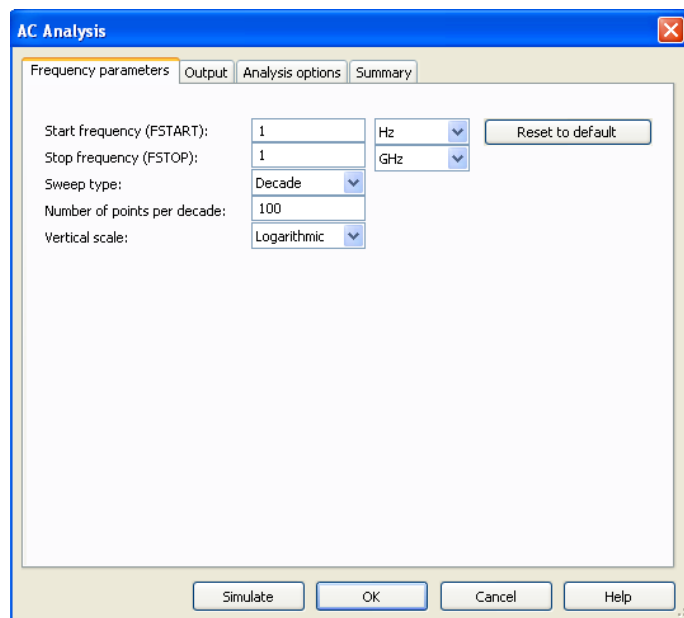


Figura 13: Configuração da análise AC.

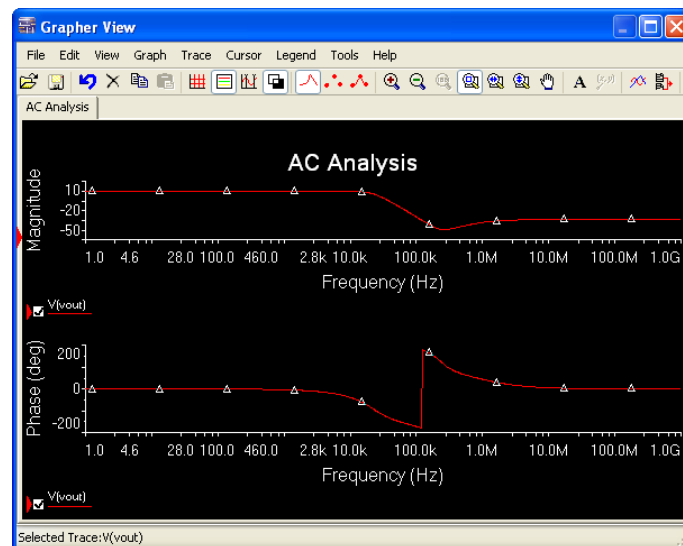


Figura 14: Resultados da análise AC.



## 5. Análise Paramétrica

Uma análise que por vezes dá bastante informação em termos de dimensionamento é a análise paramétrica na qual um determinado parâmetro do circuito pode ser alterado numa determinada gama, para perceber a sua influência geral no circuito (uma análise semelhante é o varrimento de uma tensão DC mas essa limita-se à operação estática do circuito).

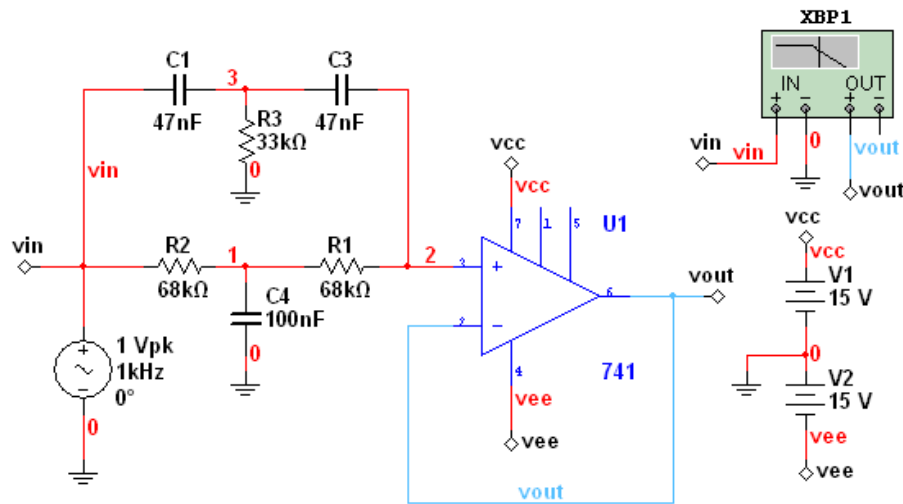


Figura 15: Circuito exemplo para a análise paramétrica

No presente exemplo (agora um outro tipo de filtro para fins ilustrativos), fez-se um varrimento do valor da resistência  $R_3$  para perceber a sua influência na resposta em frequência. Outros parâmetros e/ou análises poderiam ter sido selecionadas. Inclusive, a configuração da análise pode ser feita na mesma caixa de diálogo (e.g. número de pontos para uma análise AC e gama de frequências). Para efetuar uma análise paramétrica deve-se escolher **Simulate** → **Analyses** → **Parameter Sweep**.

Ficam de seguida os resultados da parametrização de  $R_3$ .

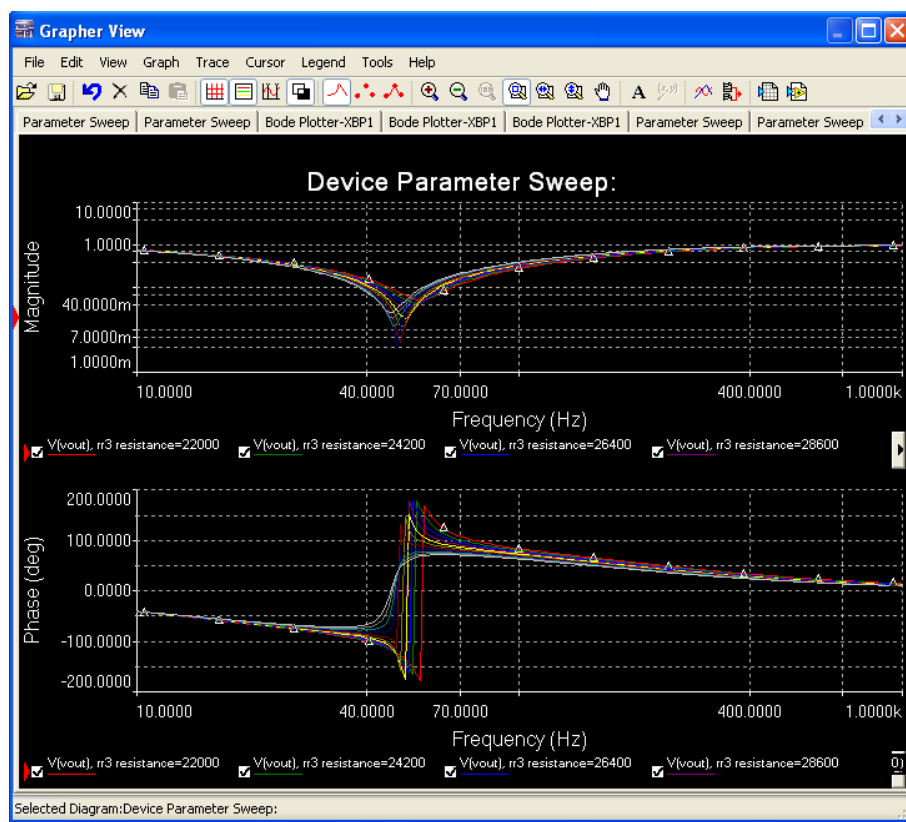


Figura 16: Resultados de análise paramétrica.