

Introdução à simulação de circuitos com o *LTspice* *IV*

Renan Birck Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria

26 de Novembro de 2012

- Por que simular circuitos?

- Por que simular circuitos?
 - Complexidade do projeto de novos circuitos

- Por que simular circuitos?
 - Complexidade do projeto de novos circuitos
 - Reduzir custos de prototipagem

- Por que simular circuitos?
 - Complexidade do projeto de novos circuitos
 - Reduzir custos de prototipagem
 - Simplificar o processo de projeto

- Por que simular circuitos?
 - Complexidade do projeto de novos circuitos
 - Reduzir custos de prototipagem
 - Simplificar o processo de projeto
 - entre outros.

- **Simulation Program With Integrated Circuit Emphasis** - Programa de Simulação com Ênfase em Circuitos Integrados
- **Primeiras versões:** FORTRAN, anos 70, grandes computadores, modo texto
- **SPICE 2:** linguagem C, anos 80/90, computadores de pequeno/médio porte, interface gráfica simples
- **Versões atuais:** C/C++, computadores pessoais, interface gráfica avançada, desenho de circuitos

- **Simulation Program With Integrated Circuit Emphasis** - Programa de Simulação com Ênfase em Circuitos Integrados
- **Primeiras versões:** FORTRAN, anos 70, grandes computadores, modo texto
- **SPICE 2:** linguagem C, anos 80/90, computadores de pequeno/médio porte, interface gráfica simples
- **Versões atuais:** C/C++, computadores pessoais, interface gráfica avançada, desenho de circuitos
- **Vários fabricantes** pegaram o código e fizeram suas próprias versões adicionando recursos
 - **Motivação:** atender interesses específicos de indústrias: microeletrônica, RF etc...
 - Assim, temos hoje diversos simuladores: PSpice, HSpice, LTspice, Spectre, Proteus entre outros

Vantagens:

- **Projeto** mais rápido, podem-se testar diversos valores de componentes.
- Realizar **medidas** que muitas vezes são difíceis de fazer na bancada.
- **Projeto iterativo**, usando métodos de otimização para atender requisitos.

Desvantagens:

- **Não substitui prototipagem:** os modelos são aproximados, não levam efeitos térmicos ou as componentes parasitas da placa
- **Necessidade** de modelos para os componentes
- O simulador deverá **suportar** as tecnologias usadas
- Em geral: **lixo entra, lixo sai**. Os resultados das simulações são tão bons quanto os modelos e o projeto do circuito forem.



Figura : O simulador é uma " máquina ignorante" que só faz o que ele é mandado. Pena que ele não faz café

Obtendo e instalando o LTspice

- <http://www.linear.com/ltspice> → *Download LTspice IV*
- Proceder com a instalação, será criado um ícone na área de trabalho.
- Ele também pode ser instalado em um pen-drive, basta especificar o local adequado na hora de instalar.

Desenhando um circuito

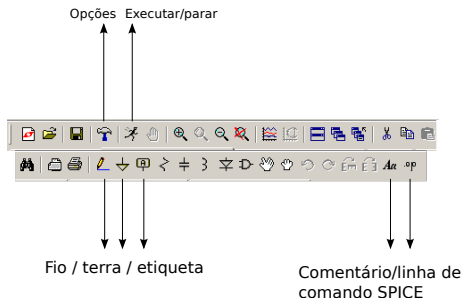


Figura : Botões da barra

(A maioria dos botões é auto-explicativa, então simplesmente coloquei os que podem causar mais dificuldade)

Todo circuito deve ter ao menos:

- Um terra (GND);
- Uma fonte de tensão ou de corrente;
- Um elemento qualquer (resistor, indutor, capacitor etc...).

Teclas de atalho

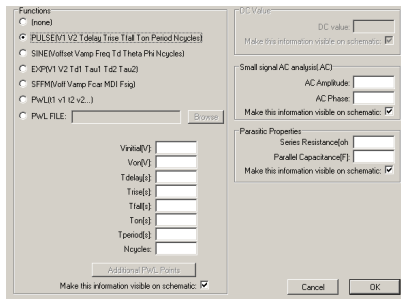
- F3: Desenhar fio
- F4: Etiquetar
- F7: Mover um componente
- F9: Desfazer
- Ctrl-R: Rotacionar componente
- G: Colocar terra
 - É conveniente colocar etiquetas nos pontos onde queremos medir valores.

- Acessíveis pelo teclado: Resistor (R), capacitor (C), indutor (L), diodo (D)
- No menu de componentes (aperte F2): Fonte de tensão (*Voltage*) e de corrente (*Current*), transistores (*nnp/pnp*, *njf/pjf* (FET), *nmos/pmos* (MOSFET)), entre outros

Parâmetros: fontes de tensão/corrente

- DC Value: Valor DC da fonte.
- Series Resistance: Resistência em série com a fonte.

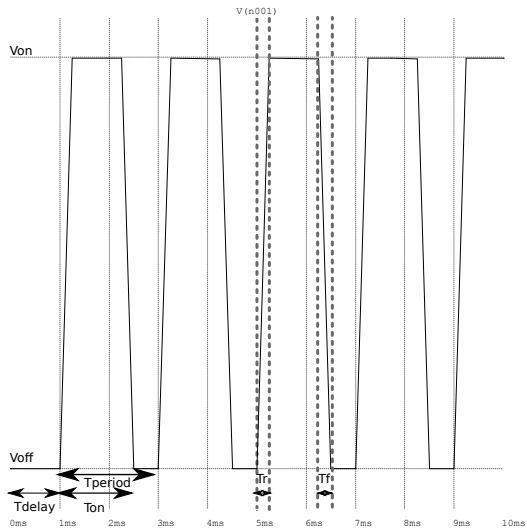
Para definir parâmetros AC, clique com o botão direito na fonte e após clique em *Advanced*. Aparecerá uma janela com diversas configurações possíveis para a fonte.



Fonte de tensão: pulso

- V_{off} : Valor inicial
- V_{on} : Valor do pulso
- T_{delay} : Atraso (contado a partir do 0 segundo)
- T_r : Tempo de subida
- T_f : Tempo de descida
- T_{on} : Tempo ligado
- T_{period} : Período (1/frequência)
- N_{cycles} : Número de repetições (0 = infinitas)

Para T_r e T_f , se omitidos o LTspice assume que eles são 10% de T_{period} . Isso visa evitar problemas numéricos (onda trocando imediatamente de estado $\rightarrow dV/dt = \infty$).



Fonte de tensão: seno

Uma fonte senoidal descrita por

$$V_{DC} + V_p \sin(2\pi ft + \phi) \exp(-\theta t) \quad (1)$$

- DC Offset: Valor DC da fonte (V_{DC})
- Amplitude: Valor pico-a-pico (V_p)
- Freq (Hz): Frequência (f)
- T_{delay} : Atraso (contado a partir do 0 segundo)
- θ (1/s): Amortecimento da onda
- ϕ (deg): Fase (em graus)
- N_{cycles} : Número de ciclos

O valor inicial da onda é dado pela fase.

Fonte de tensão: PWL

Uma fonte descrita por pares tempo-valor, interpolando entre os pontos definidos na tabela.

Parâmetros: resistores, capacitores e indutores

- Para capacitores e indutores, podemos definir **condições iniciais** de tensão e corrente, respectivamente (digitando IC=valor)...
- ... mas elas só serão respeitadas se marcarmos *Use initial Conditions* nos parâmetros de simulação
- Por padrão, os indutores têm uma resistência em série de $1\text{ m}\Omega$. Se for desejado removê-la, clique com o botão direito nele e coloque 0 no campo *Series Resistance*

Parâmetros: semicondutores

- Para selecionar o diodo/transistor a ser usado: clique com o botão direito e selecione *Pick New [Diode/Transistor]*; escolha o modelo na lista
- Modelos de semicondutores contêm os parâmetros que serão usados pelas equações de dispositivos.
- Normalmente esses modelos são fornecidos pelos fabricantes.
- Componentes mais complexos estão disponíveis na forma de subcircuitos.
 - Subcircuito: arquivo que contém as linhas de código necessárias para descrever um componente. Conceito similar ao de bibliotecas em linguagens de programação.

- Após desenharmos o circuito, clicar no botão *Run* (o do bonequinho correndo) ou apertar F9
- Surgirá a caixa de diálogo para escolhermos o tipo de simulação:
 - Transiente (*Transient*)
 - AC (domínio da frequência)
 - DC
 - Varredura *sweep*
 - Ruído e função de transferência (não usaremos)

- Após simularmos o circuito, surgirá uma janela preta: a janela de gráficos.
- Basta clicar em cima de um fio para medir a tensão nele, ou em cima de um componente para medir a corrente circulando por ele.
- Pressionando CTRL-ALT e clicando em cima de um componente será plotada a dissipação de energia deste.
- Pressionando CTRL e clicando sobre a legenda de um dos gráficos, será feita uma série de medições.

- Após simularmos o circuito, surgirá uma janela preta: a janela de gráficos.
- Basta clicar em cima de um fio para medir a tensão nele, ou em cima de um componente para medir a corrente circulando por ele.
- Pressionando CTRL-ALT e clicando em cima de um componente será plotada a dissipação de energia deste.
- Pressionando CTRL e clicando sobre a legenda de um dos gráficos, será feita uma série de medições.
- Clicando sobre a legenda de um dos gráficos, abrirá a janela do cursor para medições.
- Clicando sobre o botão direito na legenda, aparecerá a janela para entrada de expressões matemáticas.
- Clicando duas vezes nos eixos, aparecerá a janela para definir começo/fim deles.

- Após simularmos o circuito, surgirá uma janela preta: a janela de gráficos.
- Basta clicar em cima de um fio para medir a tensão nele, ou em cima de um componente para medir a corrente circulando por ele.
- Pressionando CTRL-ALT e clicando em cima de um componente será plotada a dissipação de energia deste.
- Pressionando CTRL e clicando sobre a legenda de um dos gráficos, será feita uma série de medições.
- Clicando sobre a legenda de um dos gráficos, abrirá a janela do cursor para medições.
- Clicando sobre o botão direito na legenda, aparecerá a janela para entrada de expressões matemáticas.
- Clicando duas vezes nos eixos, aparecerá a janela para definir começo/fim deles.
- Apertando DELETE, o cursor vira uma tesoura - clique na legenda para apagar o gráfico.

Análise transiente (*Transient*)

- Simulação no domínio do tempo, para circuitos lineares ou não, empregando as equações de dispositivos e as técnicas de análise de circuitos

Análise transiente - opções de configuração

- *Stop Time*: por quanto tempo executar a simulação
- *Time to Start Saving Data*: quando começar a salvar dados?
- *Start external DC supplies at 0V*: iniciar as fontes DC em 0V; após 20 μs elas subirão ao nível especificado. O famoso impulso unitário.
- *Skip Initial Operating Point Solution*: usar as condições iniciais especificadas anteriormente (se não tiver nenhuma, ele usa 0 V), caso contrário ele tenta calcular um ponto de operação DC.

Exemplo 1: Circuitos RC e RLC

Arquivo: `ex1_rc_rlc.asc`

- Execute a simulação e meça a tensão nos pontos V1 e V2.
- Dê zoom em um dos períodos da onda (arraste e solte ou use a lupa na barra de ferramentas).
- Tente alterar o valor de um dos componentes e reexecutar a simulação.

Exemplo 2: Transformador

Arquivo: `ex2_transformador.asc` Usamos o elemento K para definir um acoplamento magnético entre dois indutores. A relação entre os indutores é dada por $\frac{L_1}{L_2} = \frac{V_1}{V_2}^2$

- Execute a simulação e meça a tensão no ponto "saída". CTRL-Clique na legenda do gráfico para medir o valor RMS desta.
- Aperte CTRL-ALT e clique no resistor de carga (R1) para medir a potência dissipada

Configurações: gráfico

- Clique com o botão direito na legenda.
- *Attached Cursors*: permite seleccionar qual dos cursores queremos usar para fazer as medições - podemos medir dois pontos ao mesmo tempo
- *Default color*: define a cor do gráfico seleccionado

Exemplo 3: Circuito amplificador a transistor

Arquivo: `ex3_mic_preamp.asc`

- Análise de pequenos sinais no **domínio da frequência**
- Circuitos não-lineares são **linearizados** ao redor do ponto de operação
- As fontes são definidas como fasores com módulo e fase
- Por exemplo: Fonte definida como AC 1 0 = $1\angle 0$

Análise AC - Opções de configuração

- *Type of Sweep*: seleciona se a varredura é feita por oitavas, por décadas, de forma linear ou para pontos especificados.
 - Oitava: faixa de frequências de f a $2f$
 - Década: faixa de frequências de f a $10f$
- *Number of Points*: número de pontos.
- *Start Frequency/Stop Frequency*: frequências de início e de fim.

Usando o mesmo circuito do exemplo anterior...

Clique com o botão direito na análise (.tran 25m), mude para a aba *AC Analysis* e preencha:

- Type of Sweep: Octave
- Number of Points: 1000
- Start Frequency: 1
- Stop Frequency: 1Meg
 - **Importante:** **m** é **mili** (10^{-3}), se quisermos **mega** (10^6) temos que digitar **Meg**!

Execute a simulação e clique no nó de saída (marcado com OUT).
No eixo **esquerdo**: magnitude; no eixo **direito**: fase.

Exemplo 4: Circuito com amplificador operacional

Arquivo: ex4_opamp.asc

- O símbolo opamp fornece um opamp genérico. Porém, precisamos incluir o arquivo opamp.sub.
- Para isso, clique em *SPICE Directive* e digite .lib opamp.sub.
- Mas cuidado: esse opamp genérico é **ideal** e não tem limites de frequência ou de tensão.

- Permite variar uma fonte e verificar a resposta dos outros componentes a esta variação.
- Capacitores são tratados como curtos e indutores como circuito aberto.

Exemplo 5: Regulador com diodo zener

Arquivo: `ex5_diodo.asc`

Exemplo 6: Amplificador *common source*

Arquivos: `ex6_cs.asc` e `scn05.mod` (arquivo que contém o modelo do nosso transistor)

Para este exemplo, excepcionalmente usamos o símbolo *nmos4*, já que nos interessa especificar as dimensões do transistor.

Análise de ponto de operação

- Determina os valores das tensões/correntes em todos os pontos de um circuito excitado com uma fonte DC.

Análise de Fourier

- Permite visualizar o conteúdo harmônico de um sinal, isto é, as frequências que formam esse sinal.
- Fazer uma simulação transiente; após, clicar com o botão direito na janela de gráfico e escolher *view*→*FFT*.
- *Use extent of simulation data*: Usar todos os dados da simulação.
- *Use current zoom extent*: Usar a faixa de tempo que estiver visível na tela.
- *Specify a time range*: Especificar uma faixa de tempo.
- **Sempre** especificar o parâmetro *plotwinsize=0*, para desativar a compactação (que pode resultar na perda de componentes do sinal).

Exemplo 7: Modulador AM

Arquivo: `ex7_modulador.asc`

Da teoria de Fourier, sabemos que ao multiplicarmos um sinal de frequência F_s por uma portadora de frequência F_c (modulação em amplitude), obtemos as harmônicas $F_s + F_c$ e $F_s - F_c$. E isso fica visível no gráfico.

Para melhorar a visualização (usando V em vez de dB): clique com o botão esquerdo no eixo Y e selecione a escala linear.

Medição de THD com Fourier

- Excita-se o circuito com um sinal senoidal na entrada, e determina-se o conteúdo harmônico da saída.
 - Sintaxe: `.four freq-fundamental V(out)`
 - Obs.: **definir uma análise transiente antes**

Exemplo 8: Amplificador *push-pull*

Arquivo: ex8_amp1.asc

- O modelo do op-amp *TL084* encontra-se no arquivo TL084.301.

Opções de configuração

- *Tools* → *Color Preferences*: mudar as cores da interface gráfica.
- *Tools* → *Control Panel*: configurações internas do LTspice (normalmente não é necessário mexer nelas).

- <http://tech.groups.yahoo.com/group/LTspice/> - grupo de usuários do LTspice
- http://ltwiki.org/index.php5?title=Main_Page - wiki não-oficial

OBRIGADO!

Contatos: renan.ee.ufsm@gmail.com

<http://facebook.com/renanbirck>

O código-fonte desses slides e os circuitos empregados estão disponíveis em

<https://github.com/renanbirck/minicurso-2012> ou com o autor.

Crédito das tirinhas: Vida de Programador

<http://www.vidadeprogramador.com.br>