

Introdução à simulação de circuitos com o *LTspice IV*

Renan Birck Pinheiro

Universidade Federal de Santa Maria

16 de Outubro de 2012

Introdução

- Por que simular circuitos?

Introdução

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

Introdução

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

Introdução

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

Introdução

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

SPICE

- **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

SPICE

- **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.

Desenhando um circuito

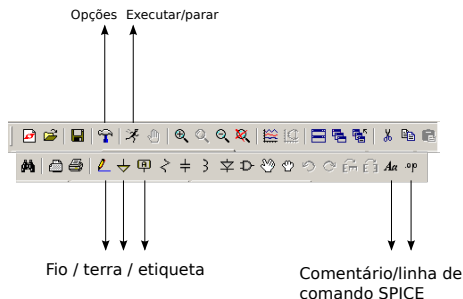


Figura: Botões da barra

(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...).

Tecclas de atalho

- F3: Desenhar fio
- F4: Etiquetar
- F9: Desfazer
- Ctrl-R: Rotacionar componente
- G: Colocar terra

Componentes

- 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))

Parâmetros: fontes de tensão/corrente

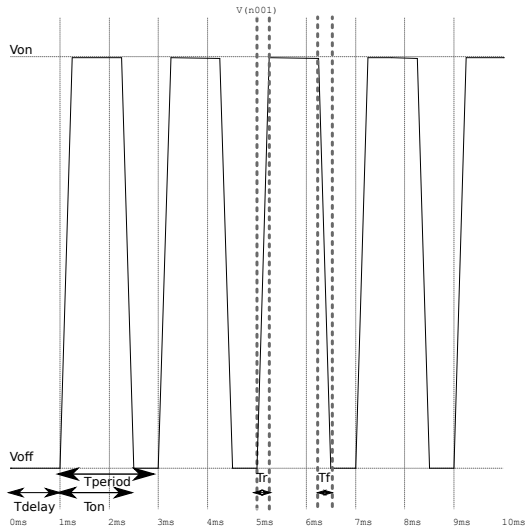
Clique com o botão direito na fonte e após clique em Advanced. Aparecerá uma janela com diversas configurações possíveis para a fonte.

The screenshot shows the 'Advanced' dialog box for a voltage source in LTspice. The 'Functions' section on the left has several radio buttons: 'None', 'PULSE(V1 V2 Tdelay T1rise T1fall T1on Period Ncycles)' (which is selected), 'SINE(Voltset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)', 'EXP(V1 V2 Td1 T1au1 Td2 T1au2)', 'SFFM(Volt Vamp Fcar MDI Fsig)', 'PWL(L11 v1 L2 v2...)', and 'PWL FILE:'. Below these are input fields for 'Vinit[V]', 'Von[V]', 'Tdelay[s]', 'T1rise[s]', 'T1fall[s]', 'T1on[s]', 'Tperiod[s]', and 'Ncycles:'. There is an 'Additional PWL Points' button and a checkbox 'Make this information visible on schematic:'. The right side of the dialog has three sections: 'DC Value' with a 'DC value:' field and a checkbox; 'Small signal AC analysis(AC)' with 'AC Amplitude:' and 'AC Phase:' fields and a checkbox; and 'Parasitic Properties' with 'Series Resistance[oh]' and 'Parallel Capacitance[F]' fields and a checkbox. 'Cancel' and 'OK' buttons are at the bottom right.

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

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

- DC Offset: Valor DC da fonte (V_{DC})
- Amplitude: Valor pico-a-pico (A)
- 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.

Parâmetros: resistores, capacitores e indutores

- Para capacitores e indutores, podemos definir **condições iniciais** de tensão e corrente, respectivamente...
- ... 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

- 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.

Análise transiente

- 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

Exemplo 2: Transformador

Usamos o elemento K para definir um acoplamento magnético entre dois indutores.

Exemplo 3: Circuito a transistor

Análise AC

- 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
 - IMPORTANTÍSSIMO: **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).

Exemplo 4: Circuito com amplificador operacional

- 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.

Análise de varredura DC

Exemplo 5: Curvas do diodo

Exemplo 6: Amplificador *common source*

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

Análise de Fourier

- Permite visualizar o conteúdo harmônico de um sinal, isto é, as frequências que formam esse sinal.
- **Sempre** especificar o parâmetro *plotwinsize=0*, para desativar a compactação (que pode resultar na perda de componentes do sinal).

Exemplo 7: Modulador AM a transistor

Resultados

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.

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*

Links de interesse

- <http://tech.groups.yahoo.com/group/LTspice/> - grupo de usuários do LTspice

OBRIGADO!

Contatos: renan.ee.ufsm@gmail.com

<http://facebook.com/renanbirck>

<http://twitter.com/renan2112>

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>