

# Minicurso LTSpice IV Parte I

XXXVIII Semana de Engenharia – UFJF

Dias 20/01 e 22/01/2016

Prof. Estêvão Coelho Teixeira

# Conteúdo

1. LTSpice IV – Visão geral
2. Material de apoio
3. Plataformas SPICE
4. LTSpice IV – Ambiente de trabalho
5. LTSpice IV – Barra de ferramentas
6. Desenhando um novo esquemático
7. Simulando o circuito
8. Interpretando os resultados
9. Uso de cursores e outros recursos
10. Aperfeiçoando a análise
11. Um outro exemplo

# 1. LTSpice IV – Visão geral

- Originalmente chamado SwitcherCAD III
- Simulador SPICE estável e gratuito
- Número ilimitado de nós
- Instalação simples e leve
- Possui editor de esquemáticos e símbolos
- Possui interface para visualização de formas de onda
- Recursos especiais para simulação dos componentes da Linear Technologies
- Suporta modelos SPICE de diferentes fabricantes

## 2. Material de apoio

- No site da Linear Technologies, além dos links para download do LTSpice IV, pode ser encontrado um material de apoio, dos quais citamos:
- *LTSpice Getting Started Guide*
- *LTSpice Information Flyer and Shortcuts*
- Link para o blog do LTSpice IV
- Link para download de circuitos demonstração

## 2. Material de apoio

- Devido ao uso crescente da ferramenta, diversos tutoriais e exemplos podem ser encontrados na Internet.
- Dentre eles, cita-se o grupo de discussão do LTSpice IV no Yahoo. Segue o link:

<https://groups.yahoo.com/neo/groups/LTspice/info>

### 3. Plataformas SPICE

- SPICE – *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*.
- Origem: University of California at Berkeley, 1972.
- Tem sido, por muitos anos, a ferramenta básica de simulação computacional dos projetistas de circuitos eletrônicos, tanto integrados como discretos.
- Diversas versões comerciais surgiram após o “SPICE de Berkeley”.
- Existem versões pagas, *evaluation* (versão limitada do software pago) e *freeware*.

### 3. Plataformas SPICE

- Exemplos: HSPICE (Synopsys), PSpice (da OrCad, agora da Cadence), Spectre (Cadence), Eldo (Mentor), LTSpice IV (Linear Technologies), TinaTI (Texas Instruments), T-Spice (Tanner), Smash (Dolphin), etc.
- Uma lista mais completa pode ser obtida em <http://www.semiwiki.com/forum/showwiki.php?title=Semi+Wiki:SPICE+and+FastSPICE+Vendors+Wiki>

### 3. Plataformas SPICE

- A entrada de um simulador SPICE é um arquivo texto contendo as ligações do circuito (*Netlist*).
- Exemplo de Netlist:

Que  
circuito é  
esse???

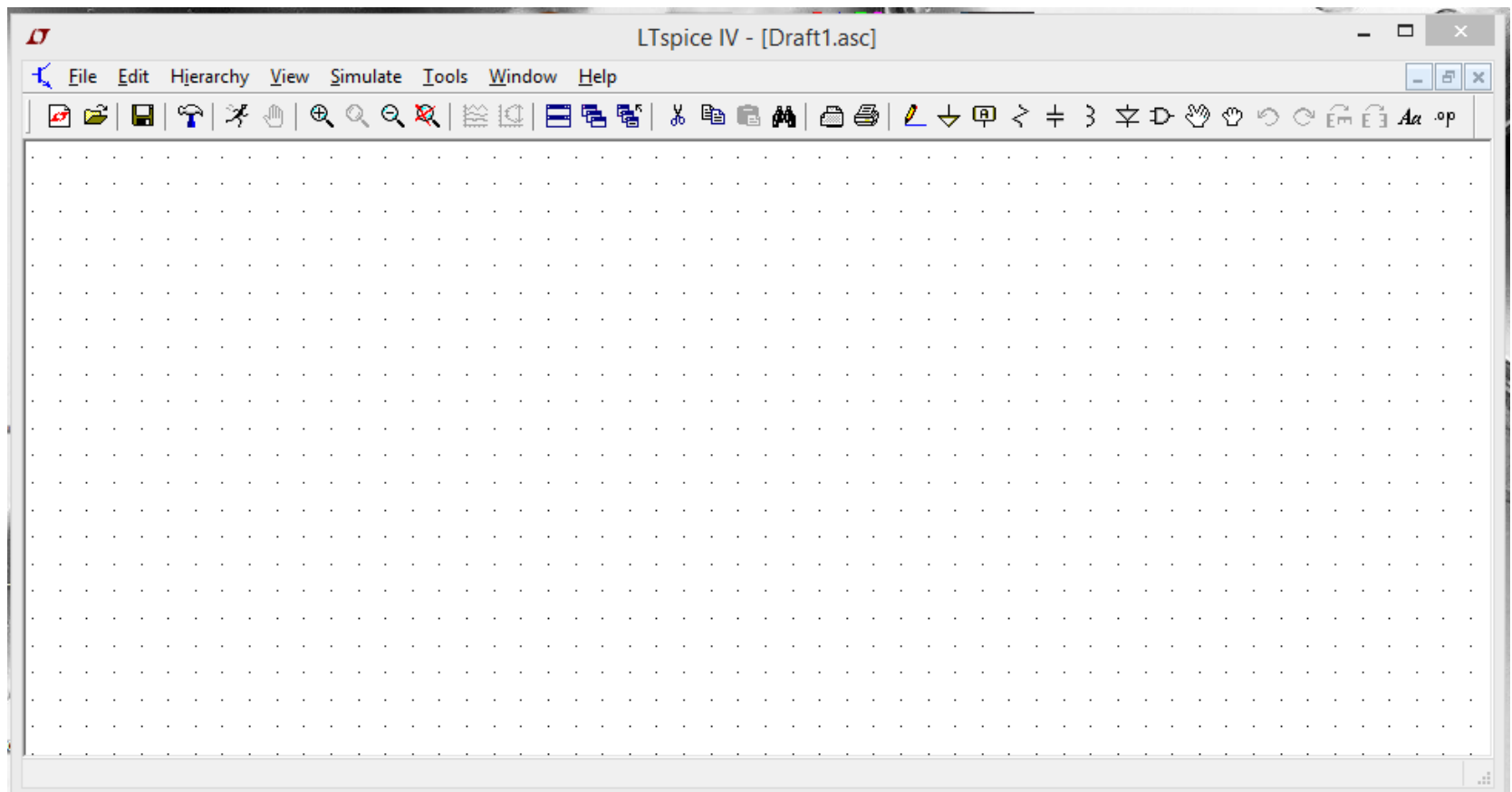
```
R1 N003 0 1k
V1 N001 0 SINE(0 10 1e3 0 0 0)
L1 N002 N003 1m
C1 N002 N001 100µ
.tran 0 100m 0 10u
.backanno
.end
```



## 3. Plataformas SPICE

- Alguns simuladores possuem a interface para captura de esquemáticos, que permite a criação automatizada da Netlist.
- Neste curso, nosso modo de entrada do circuito será sempre através do diagrama esquemático.
- A maioria dos simuladores SPICE também inclui uma interface para visualização das formas de onda resultantes da simulação.

## 4. LTSpice IV - Ambiente de trabalho



## 4. LTSpice IV – Ambiente de trabalho

### Menus:

- *File* – menu de arquivos típico
- *Edit* – contém os comandos básicos de edição de esquemáticos, como inserção de elementos de circuito e fios, colar/copiar/recortar/deletar, etc. Vários destes comandos são mais facilmente chamados através da barra de ferramentas.

Atenção: os atalhos para copiar/colar/recortar do LTSpice são diferentes dos atalhos típicos de aplicativos para Windows.

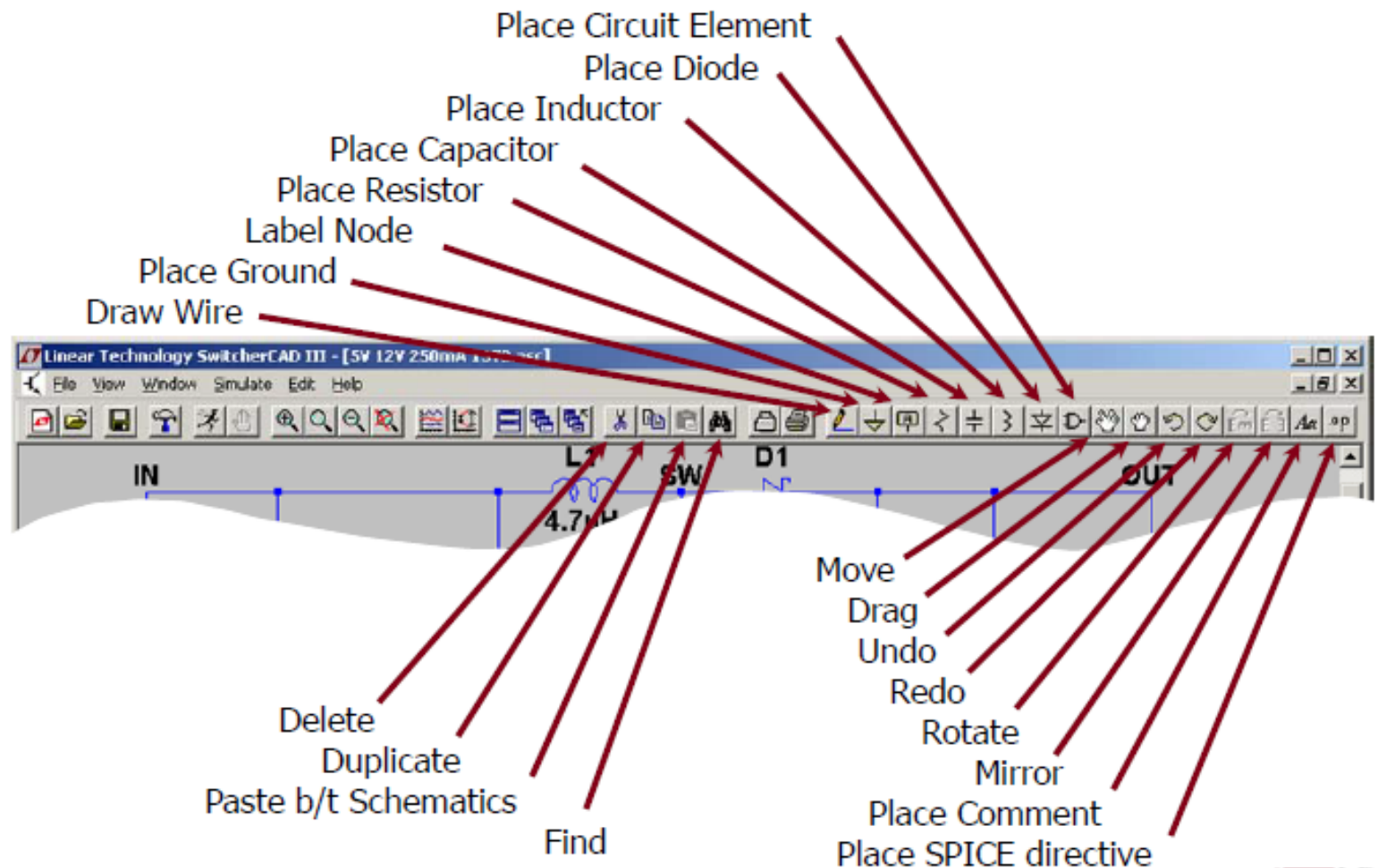
- *Hierarchy* – este menu será discutido quando tratarmos de edição e uso de símbolos.

## 4. LTSpice IV – Ambiente de trabalho

### Menus:

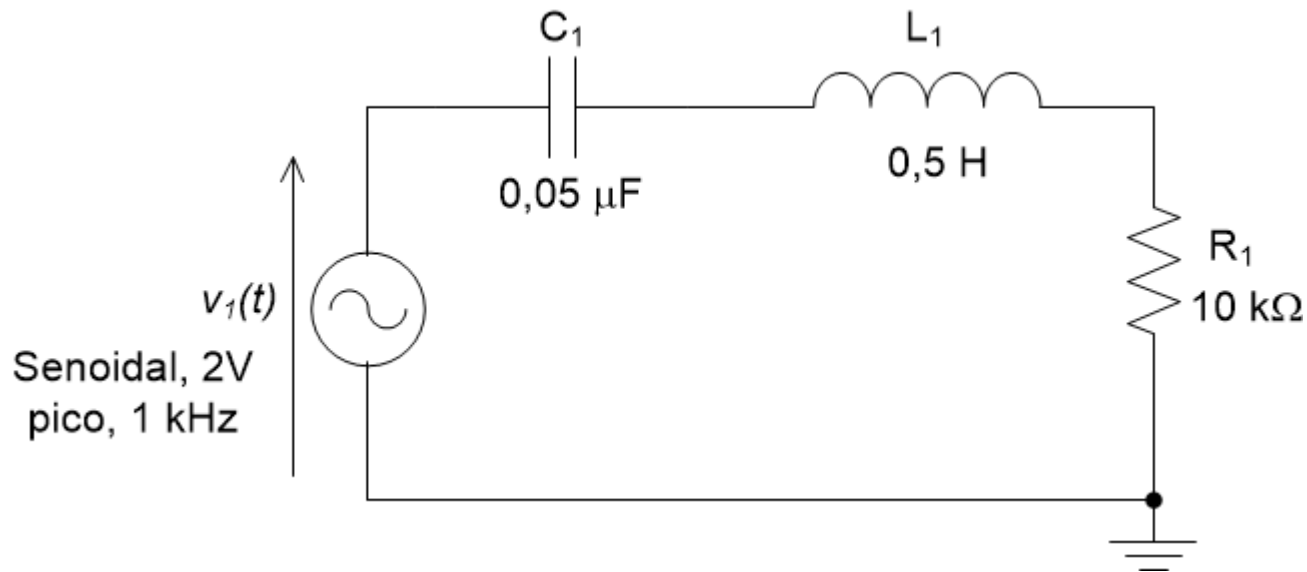
- *View* – permite aplicar diferentes tipos de zoom, além de habilitar/desabilitar os grids na tela, dentre outras funções. Um comando interessante deste menu é a visualização da netlist do circuito.
- *Simulate* – contém os comandos de simulação, além de abrir as caixas de diálogo para configuração dos parâmetros de simulação.
- *Tools* – contém funções interessantes, como a alteração nas cores do ambiente de trabalho, totalmente configuráveis pelo usuário.
- *Window* – gerenciamento das janelas abertas no LTSpice IV.
- *Help* – contém tópicos de ajuda do LTSpice IV.

## 5. LTSpice IV - Barra de ferramentas



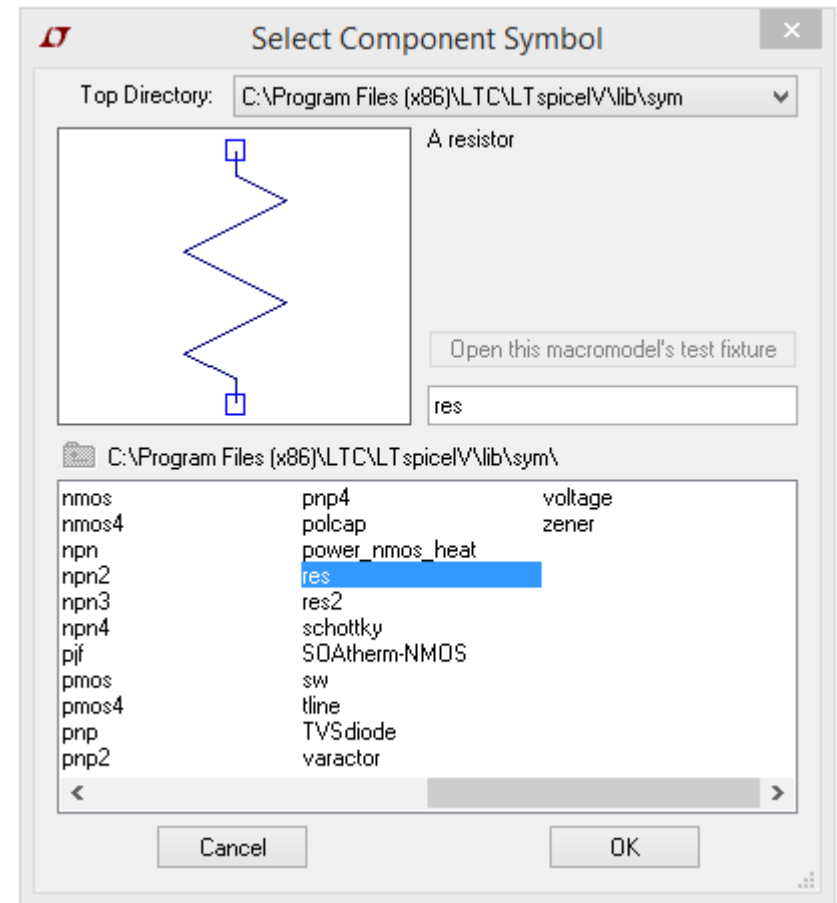
## 6. Desenhando um novo esquemático

- Iremos desenhar e posteriormente simular, como exemplo, um circuito RLC série, excitado por uma fonte senoidal, conforme ilustrado na figura a seguir.



## 6. Desenhando um novo esquemático

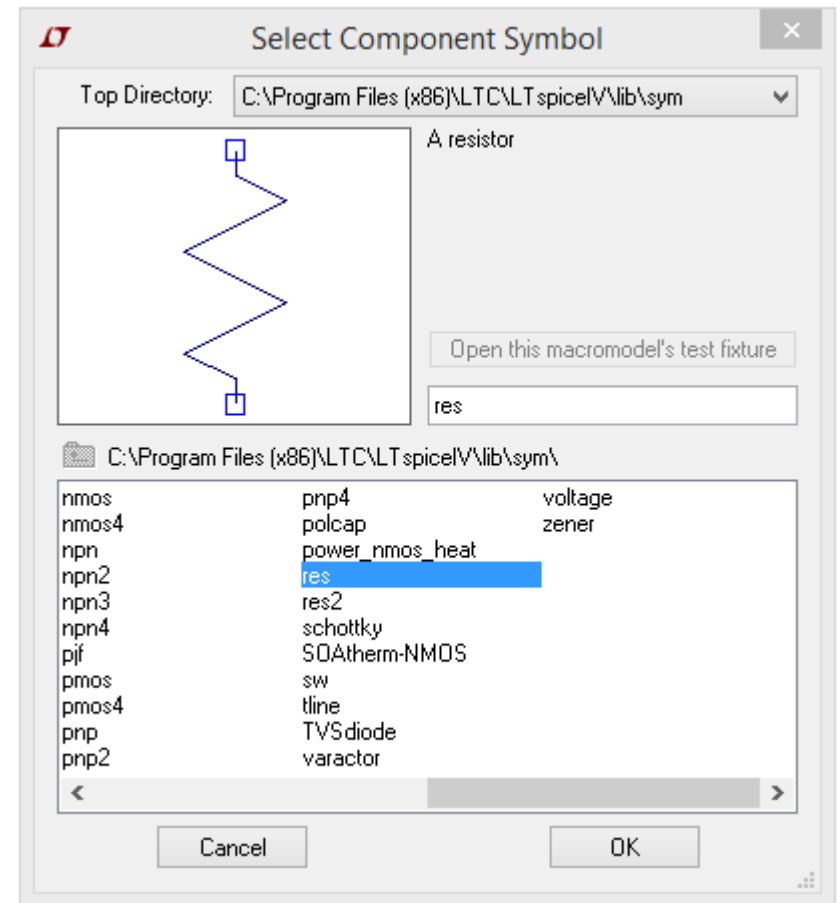
1. Crie um novo esquemático, em File/New Schematic, ou clicando no ícone correspondente na barra de ferramentas.
2. Insira os componentes, em Edit/Component (F2), ou clicando no ícone correspondente na barra de ferramentas. Rotacione os componentes na área de trabalho (CTRL+R), se necessário.



## 6. Desenhando um novo esquemático

OBS:

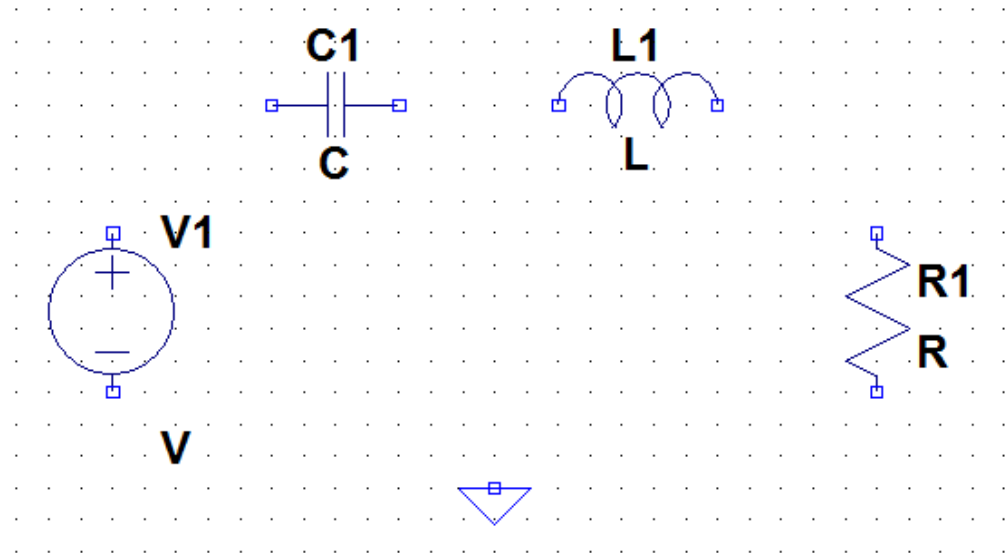
A caixa de seleção de componentes contém todos os elementos disponíveis na biblioteca do LTSpice, dos quais selecionaremos os elementos resistor (res), indutor (ind), capacitor (cap) e fonte de tensão (voltage).





## 6. Desenhando um novo esquemático

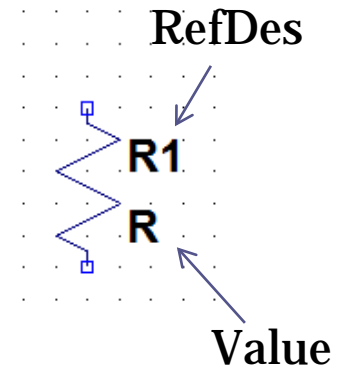
3. Insira o terra no circuito, clicando no ícone da barra de ferramentas. O nó terra (GND ou nó 0) é indispensável no esquemático!



## 6. Desenhando um novo esquemático

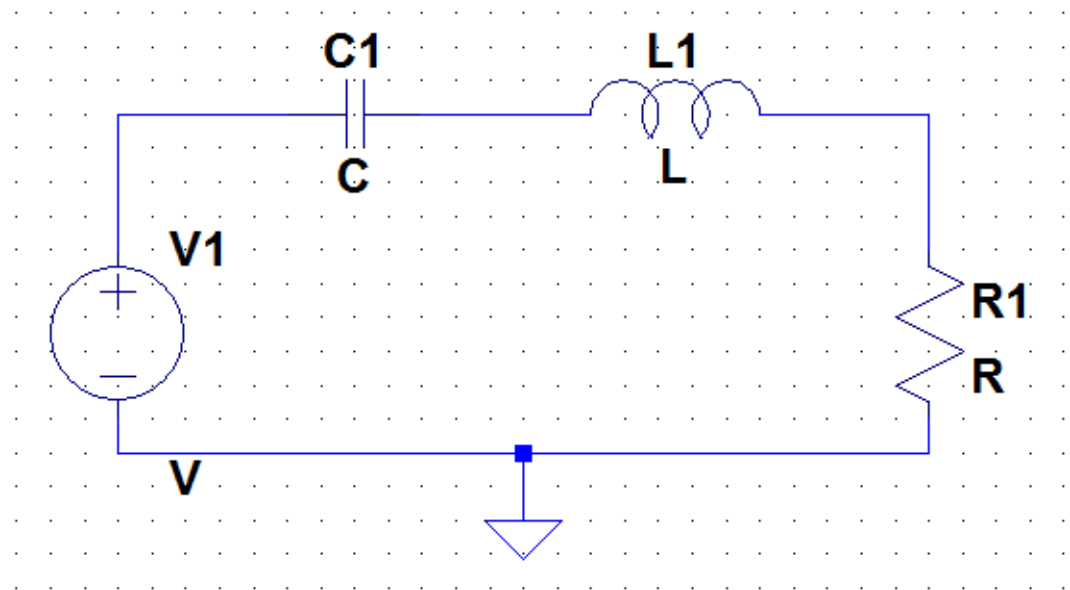
OBS:

- Todo elemento do LTSpice IV vem com um *Reference Designator* e um *Value*.
- O *Reference Designator* (RefDes) é o “nome” do componente no circuito, e deve obrigatoriamente ser único.
- Para cada tipo de elemento, o RefDes se inicia com uma letra (R para resistor, por exemplo). Esta não pode ser alterada. Mas os caracteres seguintes não necessitam obrigatoriamente serem numéricos. Um resistor pode, por exemplo, se chamar “Rserie”, “Rshunt”, “R\_flor\_de\_liz”, etc.
- O *Value* é o valor do componente, quando aplicável. Mas pode também identificar o modelo de um componente, como acontece quando se usa semicondutores.



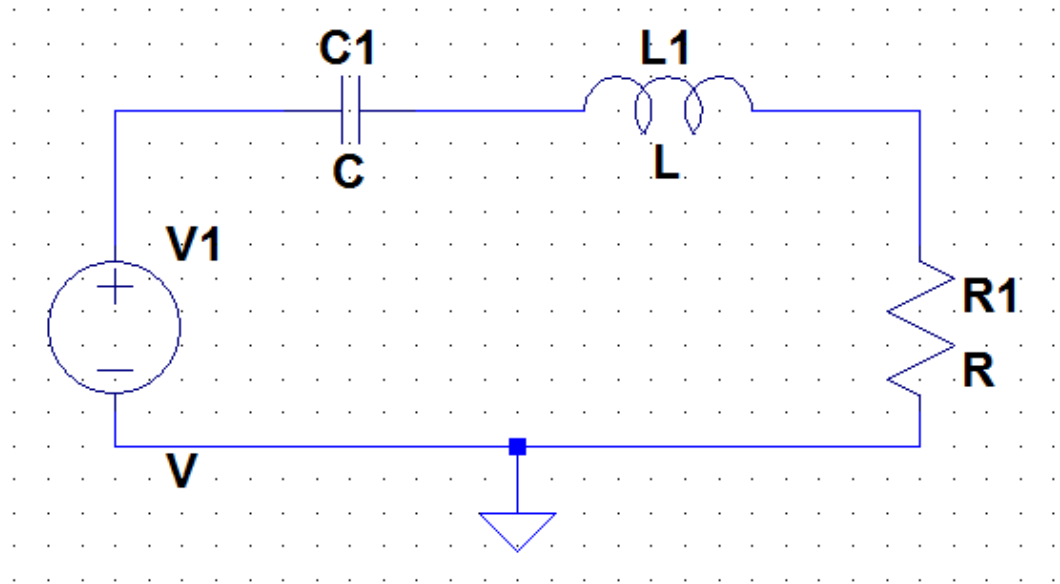
## 6. Desenhando um novo esquemático

4. Ligue os componentes, usando o comando *Edit/Draw Wire* (F3) ou clicando no ícone da barra de ferramentas.



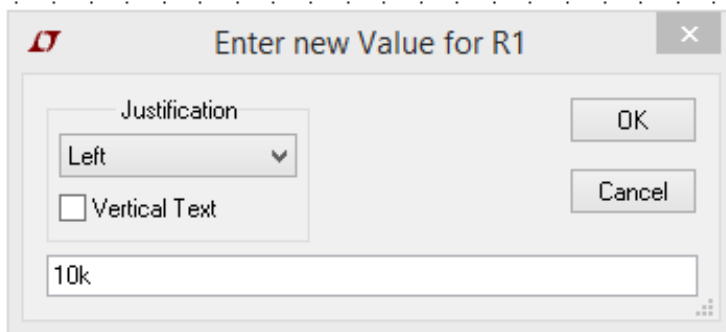
## 6. Desenhando um novo esquemático

5. Salve o esquemático, na sua pasta de interesse.



## 6. Desenhando um novo esquemático

6. Altere os valores dos elementos R, L e C, clicando com o botão direito do mouse no valor de cada elemento.

A dialog box titled "Enter new Value for R1" with a close button (X) in the top right corner. It contains a "Justification" section with a dropdown menu set to "Left" and an unchecked checkbox for "Vertical Text". To the right of this section are "OK" and "Cancel" buttons. At the bottom is a text input field containing the value "10k".

Enter new Value for R1

Justification

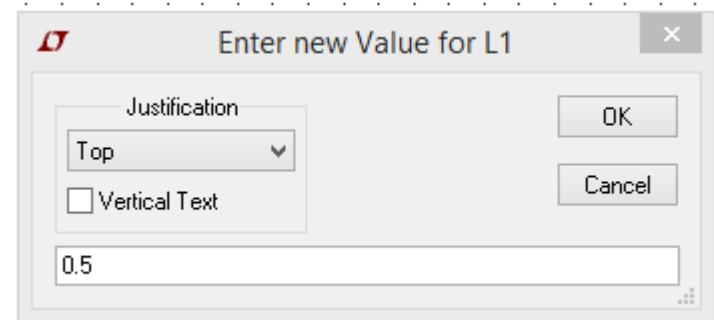
Left

☐ Vertical Text

OK

Cancel

10k

A dialog box titled "Enter new Value for L1" with a close button (X) in the top right corner. It contains a "Justification" section with a dropdown menu set to "Top" and an unchecked checkbox for "Vertical Text". To the right of this section are "OK" and "Cancel" buttons. At the bottom is a text input field containing the value "0.5".

Enter new Value for L1

Justification

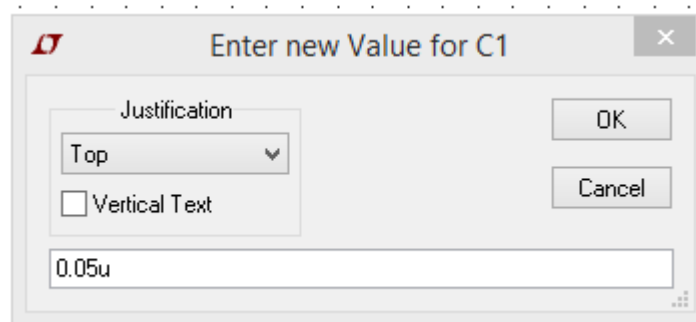
Top

☐ Vertical Text

OK

Cancel

0.5

A dialog box titled "Enter new Value for C1" with a close button (X) in the top right corner. It contains a "Justification" section with a dropdown menu set to "Top" and an unchecked checkbox for "Vertical Text". To the right of this section are "OK" and "Cancel" buttons. At the bottom is a text input field containing the value "0.05u".

Enter new Value for C1

Justification

Top

☐ Vertical Text

OK

Cancel

0.05u

## 6. Desenhando um novo esquemático

OBS: múltiplos e submúltiplos no Spice

A, a – atto ( $10^{-18}$ )

F, f – femto ( $10^{-15}$ )

P, p – pico ( $10^{-12}$ )

N, n – nano ( $10^{-9}$ )

U, u – micro ( $10^{-6}$ )

M, m – mili ( $10^{-3}$ )

K, k – kilo ( $10^3$ )

MEG, Meg, meg – mega ( $10^6$ )

G, g – giga ( $10^9$ )

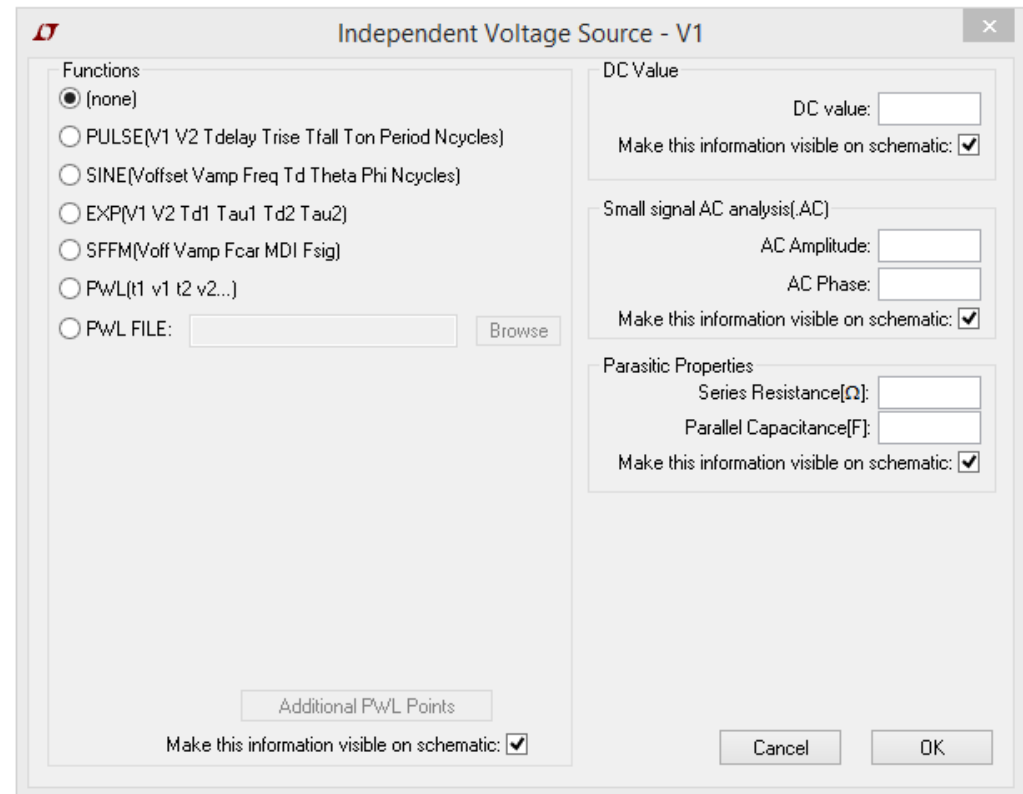
T, t – tera ( $10^{12}$ )

O Spice não é *case sensitive*, ou seja,  $1\text{m} = 1\text{M} = 0,001$ .

Alternativamente, você pode usar o formato exponencial, ou seja,  $1\text{E}-3 = 0,001$ .

## 6. Desenhando um novo esquemático

7. Configure a fonte de tensão, clicando na fonte V1 com o botão direito do mouse. Ao abrir a janela, clique em *Advanced*. Uma caixa de diálogo como a mostrada irá aparecer.



## 6. Desenhando um novo esquemático

### 8. Selecione a fonte SINE, inserindo os seguintes valores:

- DC Offset (V): 0
- Amplitude (V): 2
- Freq (Hz): 1k

Os demais parâmetros são opcionais, e podem ser verificados mais tarde.

Independent Voltage Source - V1

Functions

- ☐ (none)
- ☐ PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)
- ☒ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)
- ☐ EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)
- ☐ SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)
- ☐ PWL(t1 v1 t2 v2...)
- ☐ PWL FILE:  Browse

DC offset[V]:

Amplitude[V]:

Freq[Hz]:

Tdelay[s]:

Theta[1/s]:

Phi[deg]:

Ncycles:

Additional PwL Points

Make this information visible on schematic: ☒

DC Value

DC value:

Make this information visible on schematic: ☒

Small signal AC analysis(AC)

AC Amplitude:

AC Phase:

Make this information visible on schematic: ☒

Parasitic Properties

Series Resistance[Ω]:

Parallel Capacitance[F]:

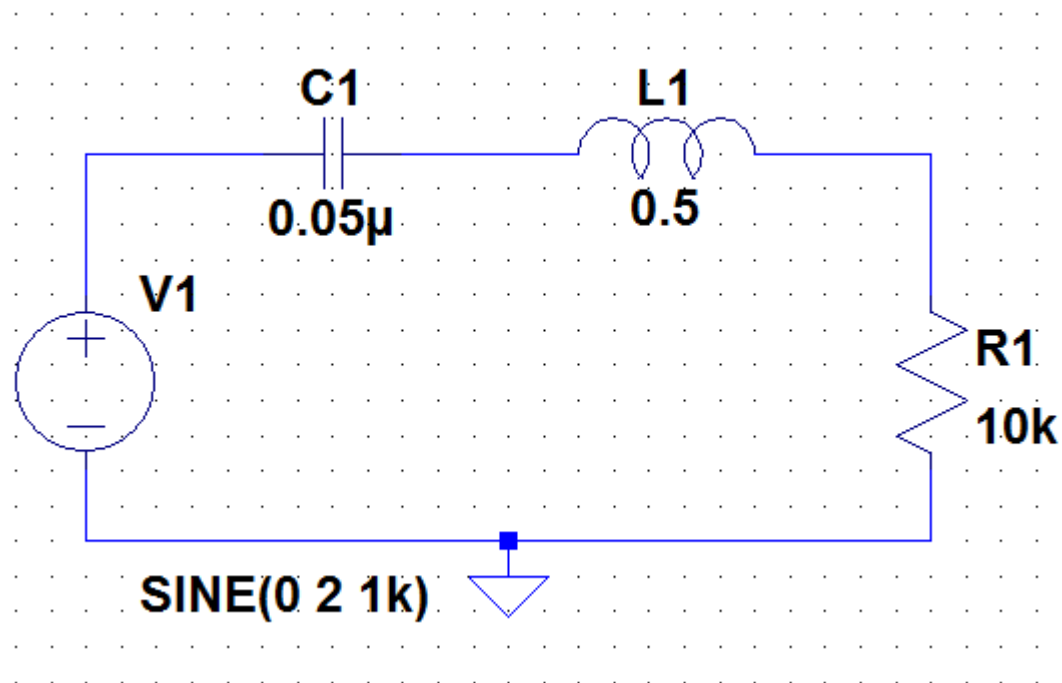
Make this information visible on schematic: ☒

Cancel OK



## 6. Desenhando um novo esquemático

Verifique se o circuito ficou como apresentado a seguir.  
Se sim, estamos prontos para a etapa seguinte: simular o circuito.

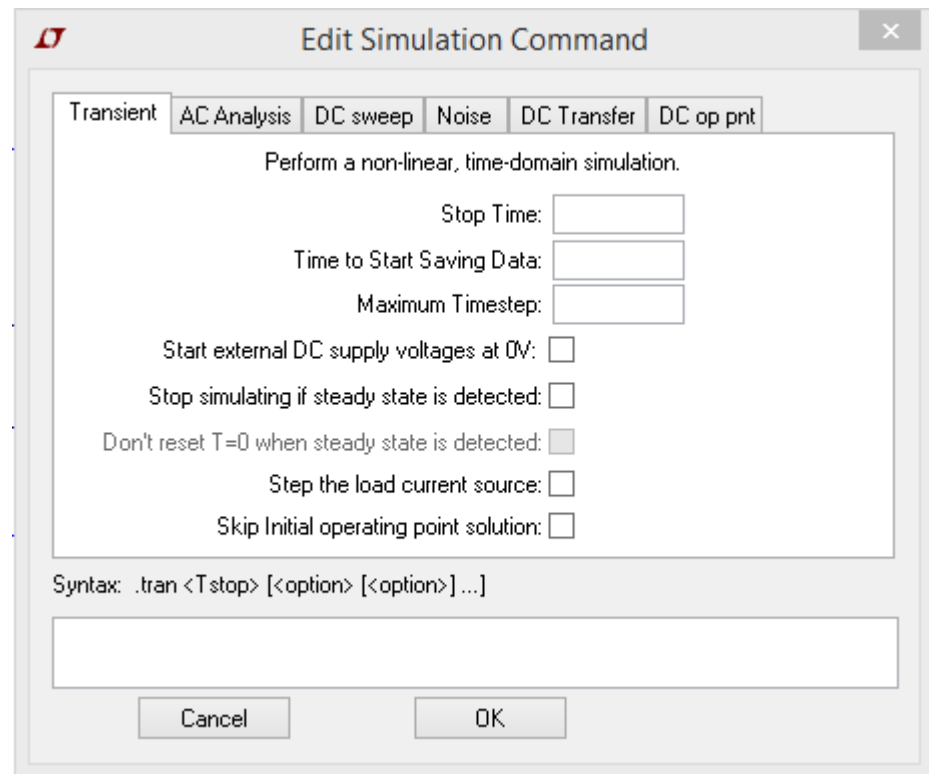


## 7. Simulando o circuito

- Para este circuito exemplo, iremos efetuar uma análise transiente.
- Denomina-se *análise transiente* a simulação do circuito no tempo. É o tipo de análise mais frequente.
- Outros tipos de análise serão abordados em outros exemplos.

## 7. Simulando o circuito

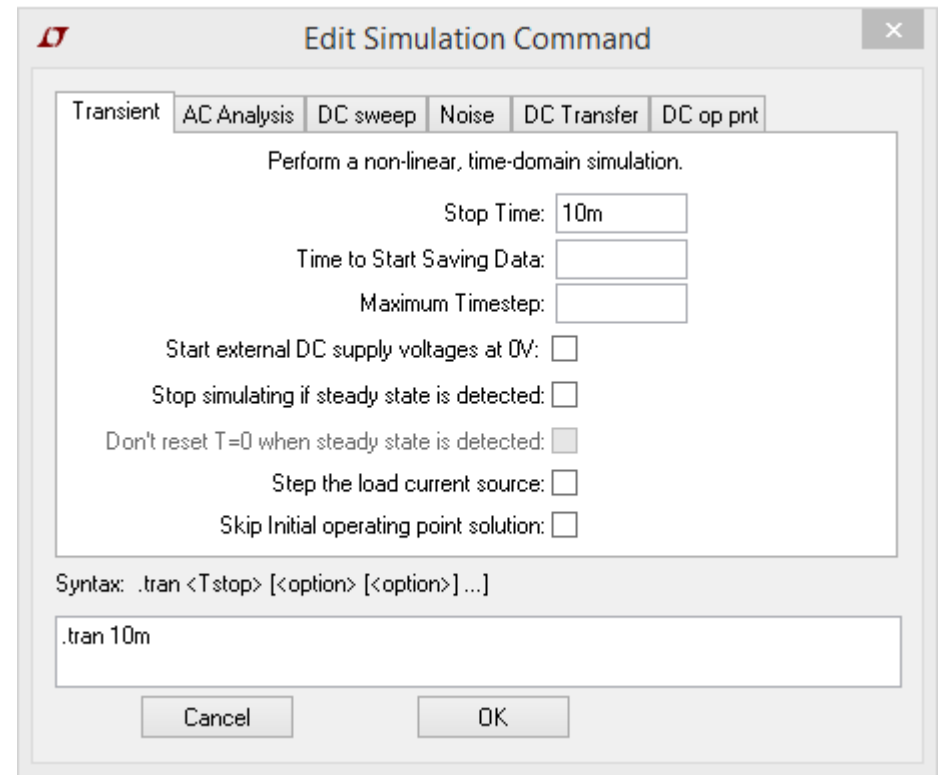
1. Clique em *Simulate/Edit Simulation Cmd.* Irá aparecer a janela a seguir.



## 7. Simulando o circuito

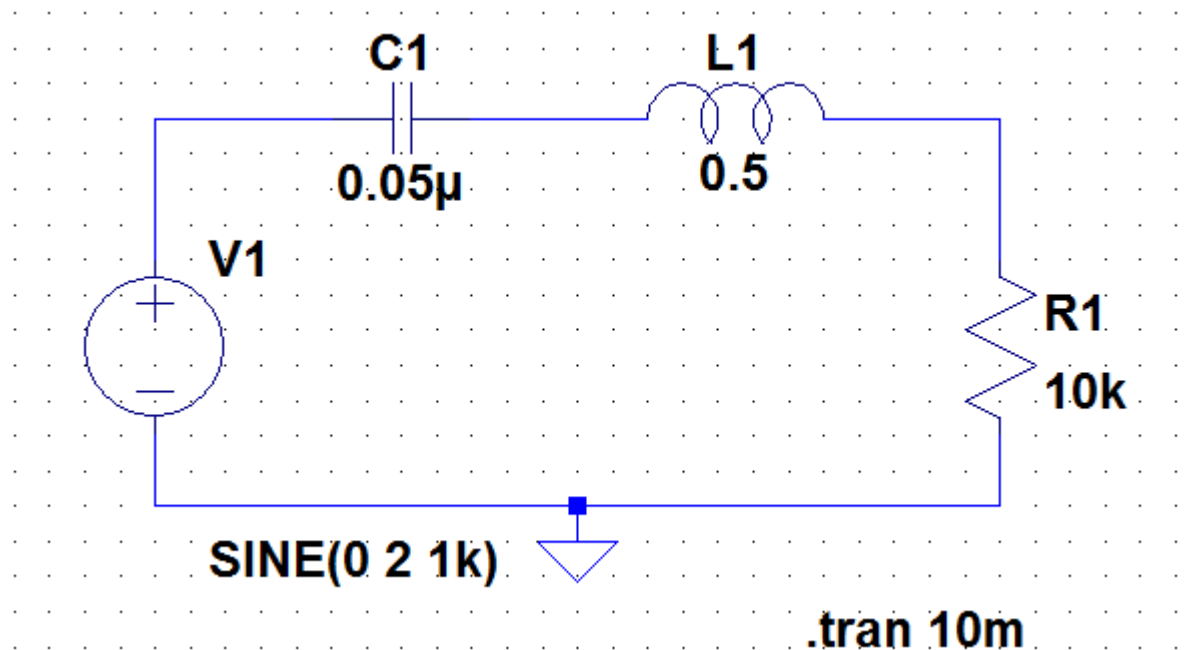
2. Da análise transiente, apenas o tempo final de simulação (Stop Time) é mandatório. Veremos a utilidade dos outros parâmetros posteriormente.

Iremos fazer Stop Time = 10m (10 milissegundos)



## 7. Simulando o circuito

3. Ao clicar em OK, a diretiva de simulação transiente estará presa ao cursor do mouse. Clique em qualquer lugar da tela para fixar esta diretiva no seu esquemático.



## 7. Simulando o circuito

OBS: o tempo de simulação (Stop Time) é uma decisão do usuário, baseada nos seguintes critérios:

- Frequência do sinal de estímulo e/ou constante de tempo do circuito.
- Tempo *real* de simulação aceitável, relacionado ao esforço computacional da máquina.
- Tamanho do arquivo de saída.

Um Stop Time muito grande leva a uma simulação mais longa e maior arquivo de simulação. Um Stop Time muito pequeno pode levar a uma interpretação insuficiente dos resultados.

## 7. Simulando o circuito

4. Clique em *Simulation/Run*, ou no ícone correspondente na barra de ferramentas. Uma outra janela irá se abrir, onde pode se visualizar os resultados da simulação.
5. Para se visualizar a tensão no resistor R1, aproxime o cursor do terminal do resistor até que ele se transforme em uma “ponta de prova”. Ao clicar, a forma de onda estará na janela de resultados.

Este procedimento é usado para se verificar a tensão em um determinado nó, referenciado ao terra.

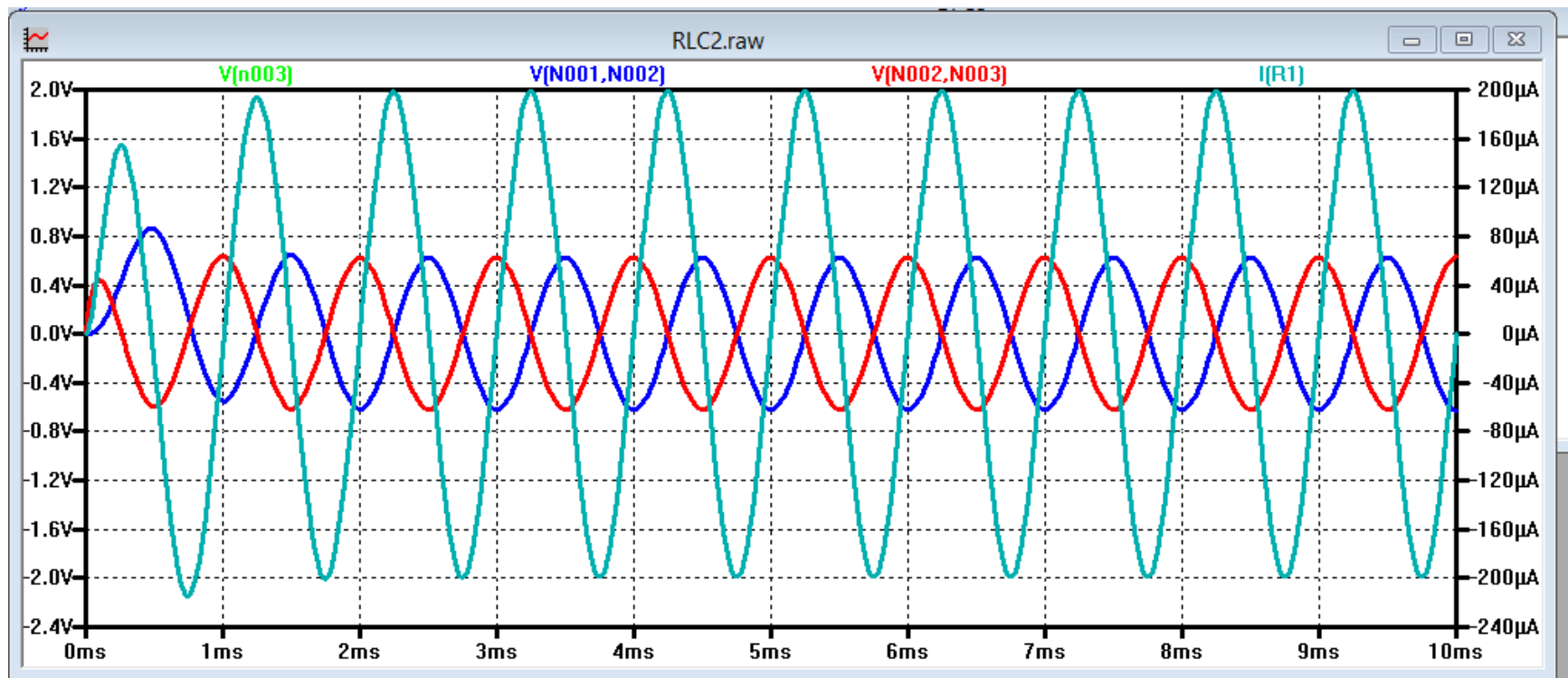
## 7. Simulando o circuito

6. Para verificar a tensão sobre o capacitor, é necessário verificar tensões diferenciais entre dois nós. Clique com o botão esquerdo do mouse em um dos nós e segure. Vá com o cursor até o outro nó e só então solte o botão do mouse. A tensão entre os dois nós será mostrada na tela. Repita o mesmo procedimento para o indutor.
7. Para visualizar correntes, aproxime o cursor do mouse um pouco mais para dentro do terminal do componente, até que ele se transforme em um “alicate amperímetro”. Ao clicar, a corrente irá aparecer na tela de simulação.



## 7. Simulando o circuito

A tela de simulação se apresentará como segue:



## 8. Interpretando os resultados

Na tela de visualização dos resultados, alguns menus são diferentes dos apresentados na tela de edição de esquemáticos. Contém comandos específicos para facilitar a interpretação dos resultados obtidos.

Serão mostradas as funções mais importantes, sendo as demais deixadas para serem discutidas em exercícios aplicados.

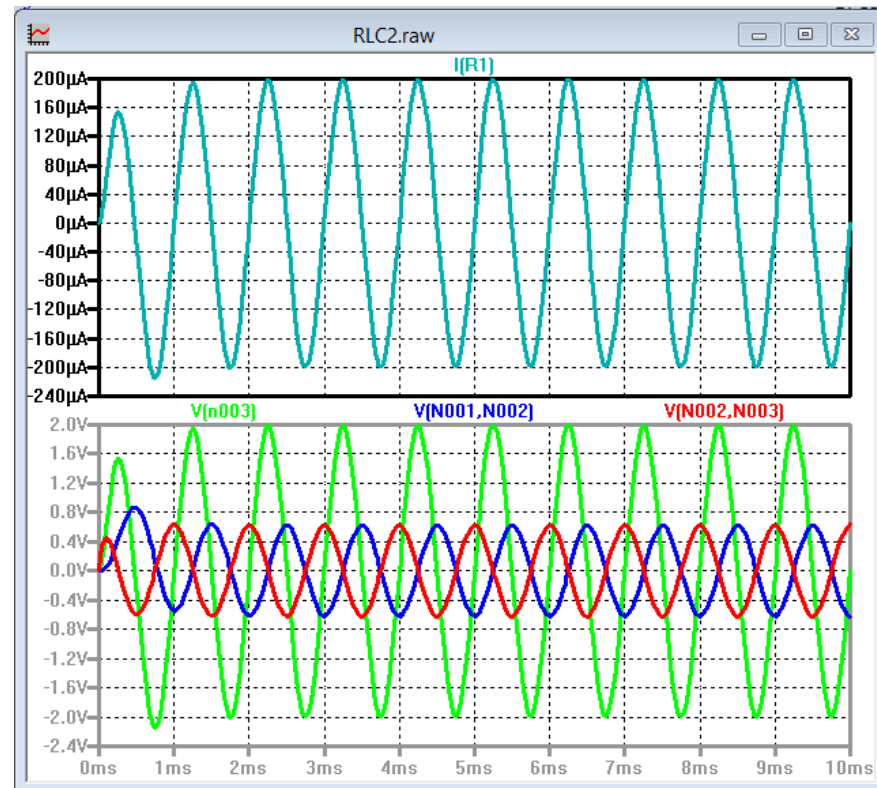
## 8. Interpretando os resultados

- No menu *View*, estão os comandos para aplicação de diferentes tipos de zoom, além de visualização de um log de erros e aplicação da FFT (a ser verificada posteriormente).
- No menu *Plot Settings*, é possível inserir ou retirar formas de onda (traces), além de inserir mais de um gráfico (*Add Plot Pane*) na tela. Esta função é muito importante para a organização dos resultados, visto que pode ser inconveniente várias formas de onda em um único gráfico.
- Além disso, neste menu é possível habilitar/desabilitar grids e definir os limites dos gráficos.

## 8. Interpretando os resultados

- Como exemplo, vamos separar as tensões em R1, L1 e C1 da corrente em R1.

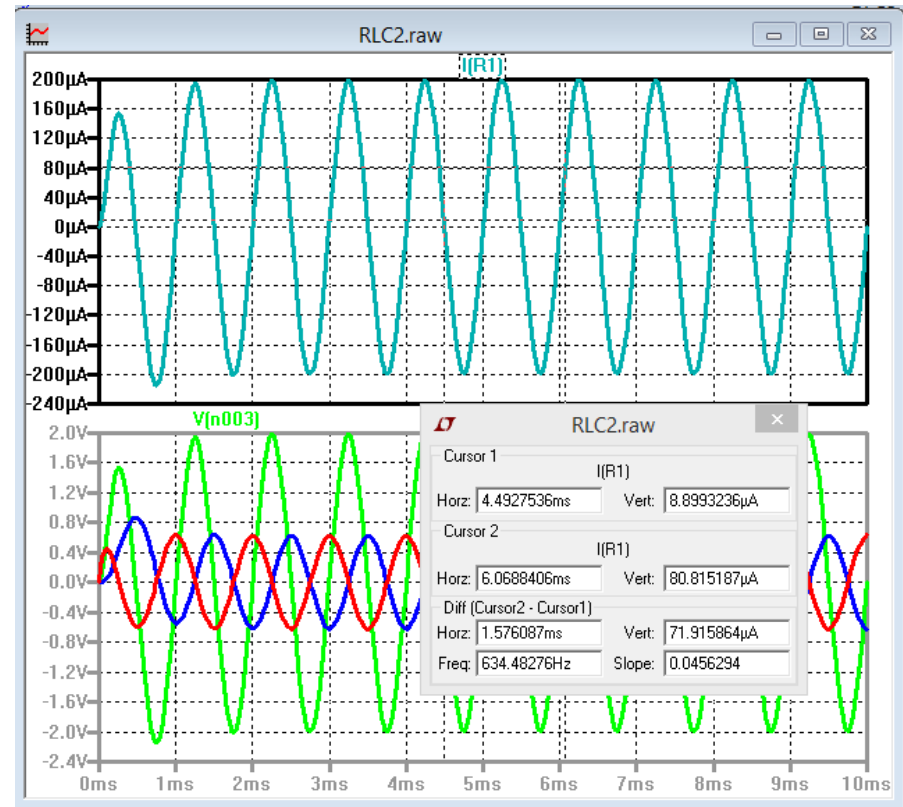
1. Clique em *Plot Settings/Add Plot Pane*. Um novo gráfico irá ser inserido.
2. Clique em *I(R1)* e arraste para o gráfico superior.



## 9. Uso de cursores e outros recursos

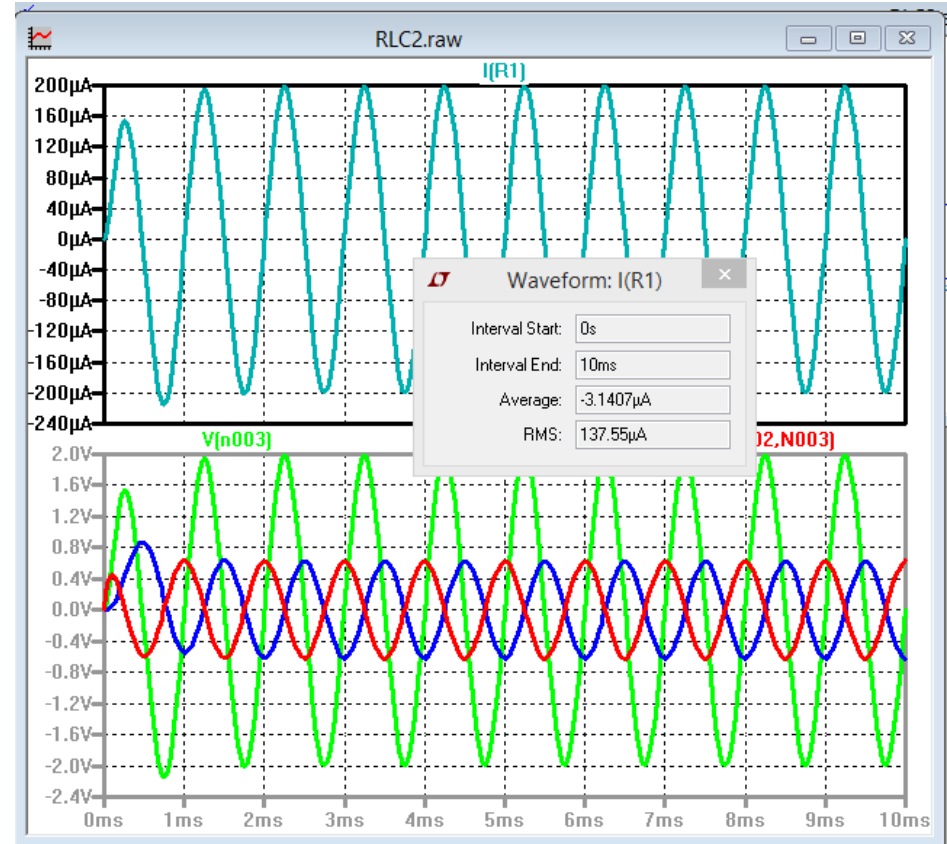
### Uso de cursores:

- Ao se clicar sobre o nome do sinal, um cursor será habilitado, permitindo ao usuário verificar o valor do sinal em um instante específico de tempo.
- Ao se clicar uma segunda vez, um segundo cursor será habilitado, permitindo desta vez que o usuário verifique diferenças entre dois instantes específicos.



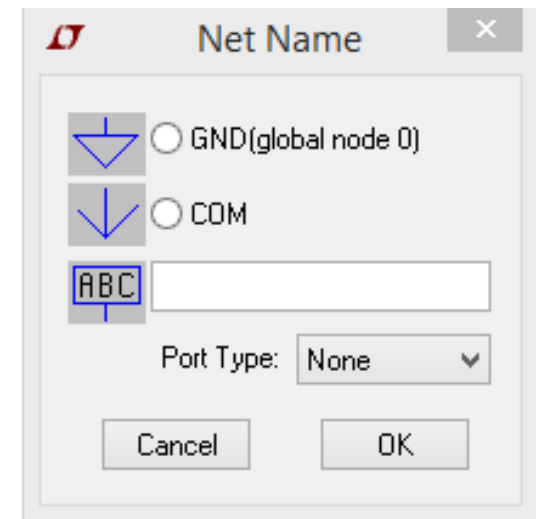
## 9. Uso de cursores e outros recursos

- Ao se pressionar CTRL e clicar sobre o nome de um determinado sinal, o LTSpice IV mostra o valor médio e o valor eficaz (RMS) do sinal.



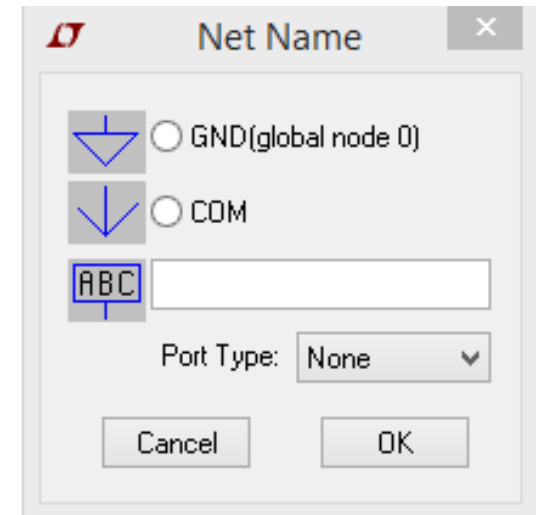
## 10. Aperfeiçoando a análise

- Você observou que as tensões nos nós se apresentam como V(n001), V(n002), etc.
- Muitas vezes é interessante que você nomeie um determinado nó com um rótulo (*label*) que facilite sua identificação.
- Isso é feito clicando em *Edit/Label net* (F4), ou no ícone correspondente na barra de ferramentas. A seguinte caixa de diálogo irá aparecer.



## 10. Aperfeiçoando a análise

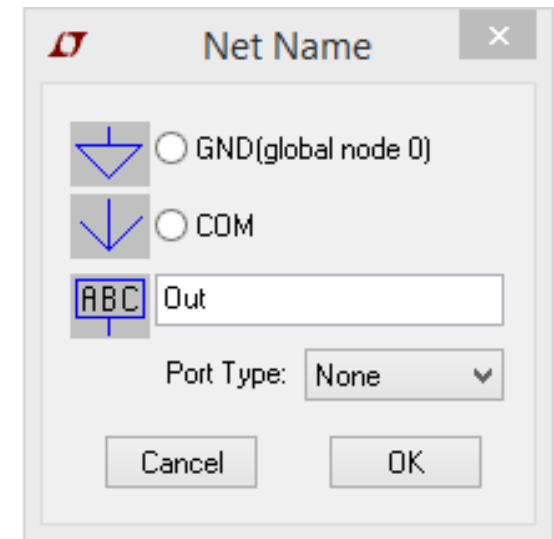
- Três tipos de *label* são oferecidos:
- GND, para o nó 0, terra ou referência. Este nó é global (?), e obrigatório no circuito.
- COM: não é um nó global, nem tem função específica. Pode ser útil para designar um nó usado em diferentes pontos, mas diferente do nó GND.
- Nó genérico: este pode receber qualquer nome. Você pode especificar se este é um nó de entrada, saída, bidirecional ou sem qualquer atribuição. Esta seleção será importante apenas ao se lidar com subcircuitos.





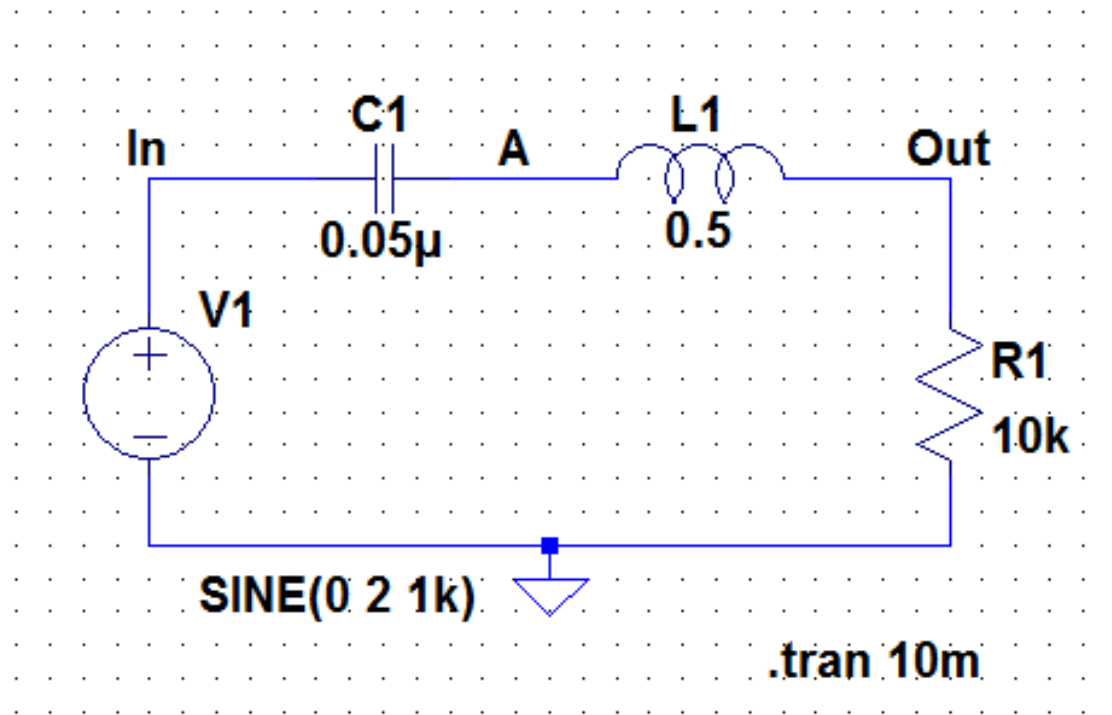
## 10. Aperfeiçoando a análise

- No campo do nó genérico, atribua o nome conforme o desejado. O label irá aparecer preso ao cursor do mouse. Clique no nó a ser nomeado. Repita o procedimento para os outros nós.
- Alternativamente, você pode copiar (F6) o label para os outros nós e renomeá-los posteriormente.
- Mas atenção: Se você esquecer de renomear os nós, o LTSpice irá considera-los conectados! E às vezes pode ser de interesse usar esta propriedade.



## 10. Aperfeiçoando a análise

- Optamos por nomear os nós conforme a figura.



## 10. Aperfeiçoando a análise

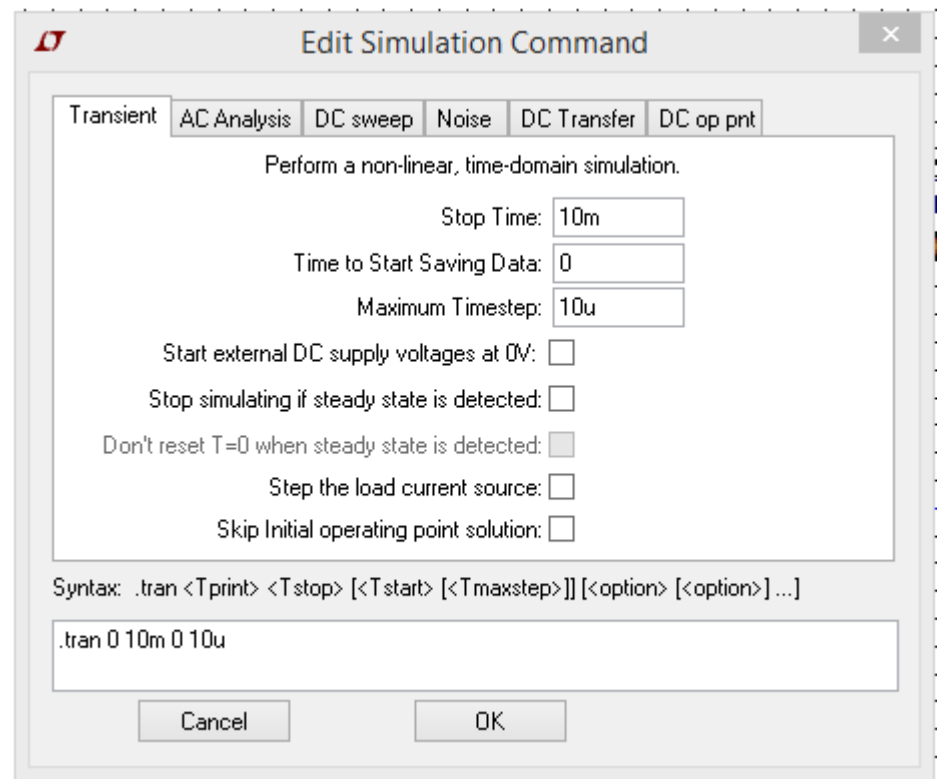
- Antes de simular novamente, vejamos algumas configurações da análise transiente que podem melhorar a visualização dos resultados. Se nada mudar agora, poderá fazer diferença depois...
- *Stop Time*: o tempo final de simulação (já visto).
- *Time to Start Saving Data*: tempo a partir do qual o resultado é exibido na tela. O que ocorre antes deste tempo é computado, mas não exibido. A única vantagem é a redução no tamanho do arquivo de saída. Normalmente, fazemos este valor igual a 0.

## 10. Aperfeiçoando a análise

- *Maximum Timestep*: passo máximo de simulação, ou o intervalo máximo de plotagem da forma de onda. Se deixado em branco, o LTSpice IV ajusta o parâmetro para um desempenho otimizado.
- Entretanto, as formas de onda de saída podem se apresentar com “pontas”, resultando em gráfico de baixa qualidade. Isso se torna mais evidente quando se usa elementos não-lineares.
- Não existe valor exato a ser usado para este parâmetro. Um bom critério é usar um valor cerca de 100 vezes menor que o período do sinal de maior frequência.
- Mas há um compromisso entre o valor do Maximum Timestep e o tempo (real) de simulação/tamanho do arquivo de saída.

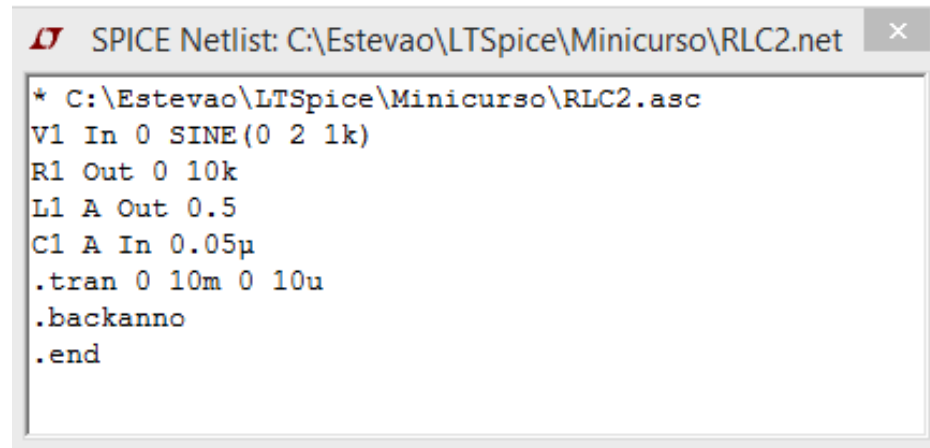
## 10. Aperfeiçoando a análise

- As outras opções (checkboxes) são usadas em análises específicas, e não serão consideradas no momento.
- Configuramos a análise transiente conforme ilustra a figura.
- Dê OK, clique na tela para inserir a diretiva e mande rodar a simulação.



## 10. Aperfeiçoando a análise

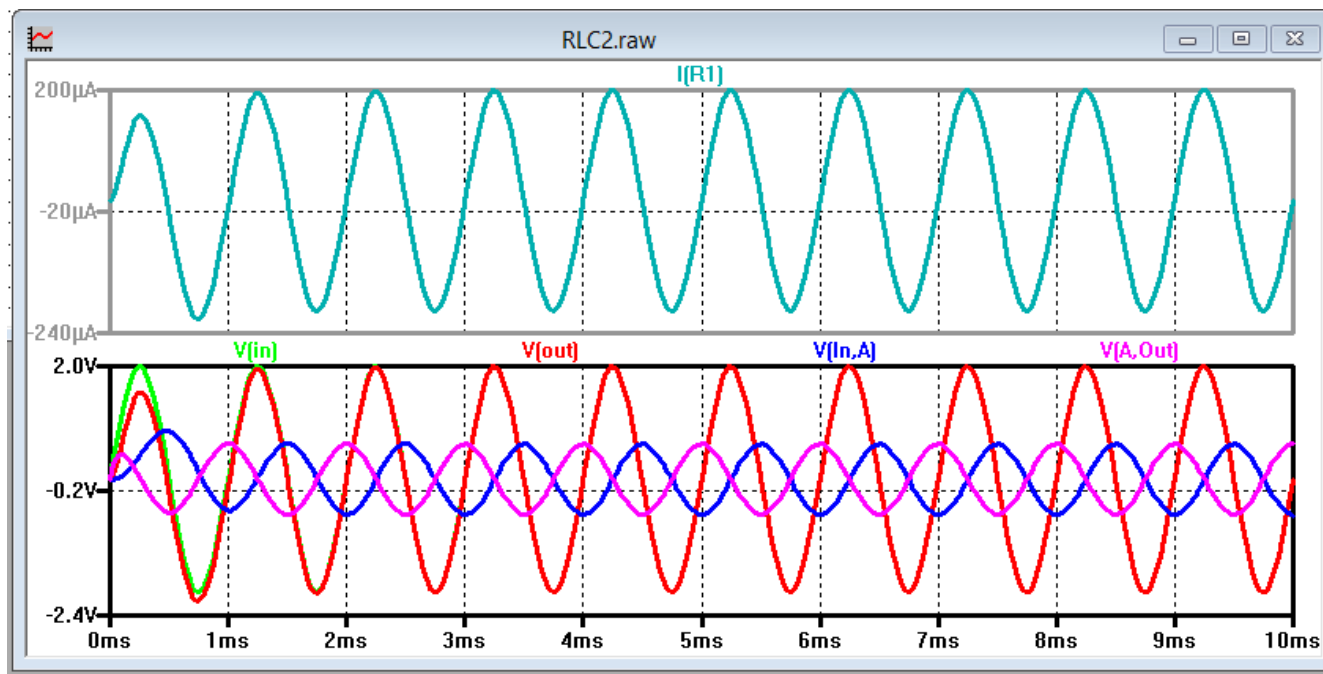
- Uma curiosidade: clique em *View/Spice Netlist* para visualizar a netlist deste circuito.
- A netlist continua a ser o arquivo de entrada para o simulador. O editor de esquemático apenas facilita a confecção da *netlist*.
- Se você desejar salvar a netlist, deve copiar o texto para outro arquivo, e salvá-lo, com as extensões *.sp* ou *.spi*.  
O LTSpice IV elimina o arquivo de netlist (*.net*) ao se fechar o esquemático.



```
* C:\Estevao\LTSpice\Minicurso\RLC2.asc
V1 In 0 SINE(0 2 1k)
R1 Out 0 10k
L1 A Out 0.5
C1 A In 0.05p
.tran 0 10m 0 10u
.backanno
.end
```

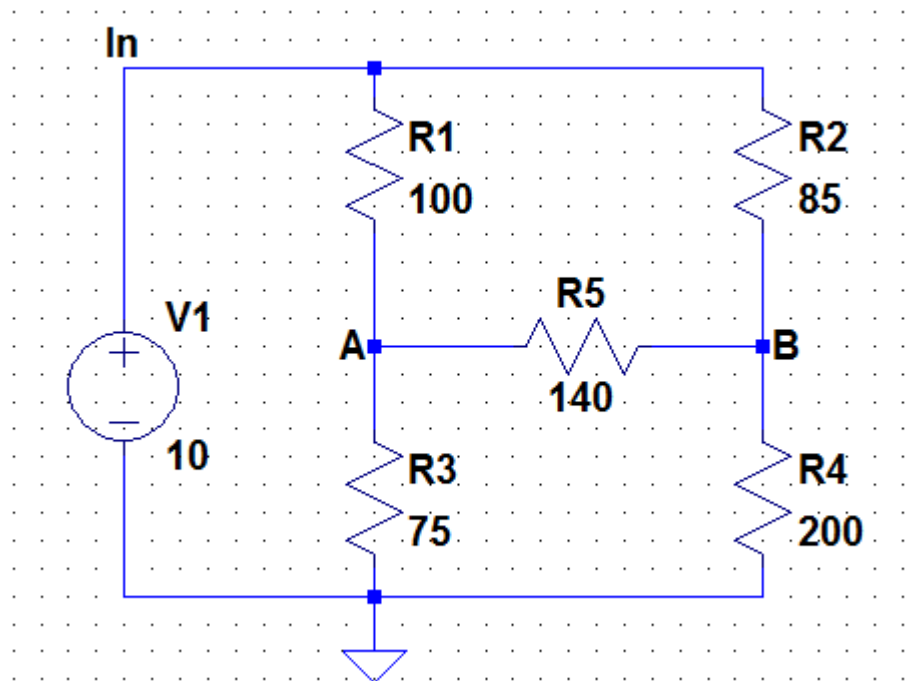
## 10. Aperfeiçoando a análise

- As formas de onda da corrente do circuito, tensão da fonte e tensões nos elementos são apresentadas como segue, já após a inclusão de um gráfico (pane) pelo usuário.
- OBS: você também pode trocar as cores dos plots, bem como aumentar a espessura da linha.



## 11. Um outro exemplo

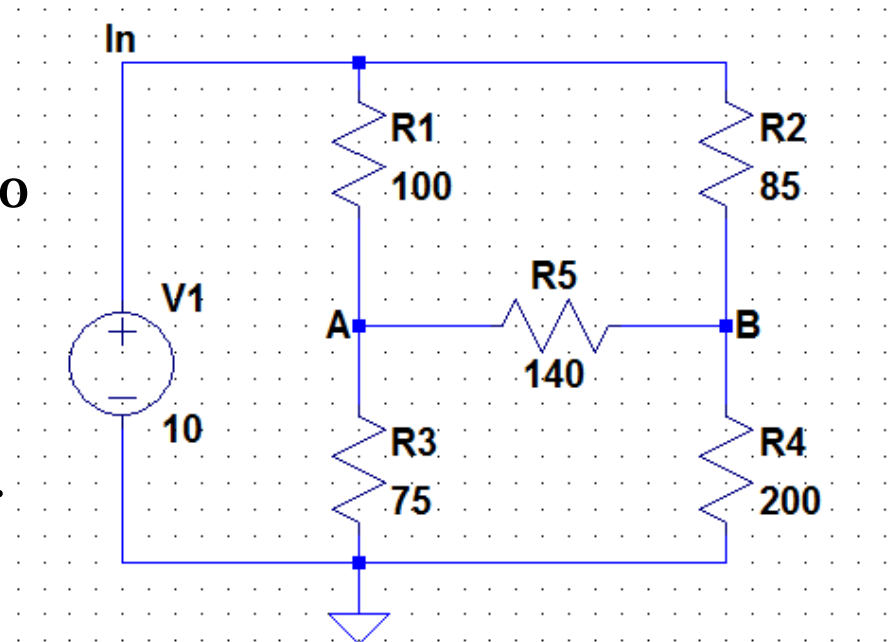
- Este exemplo contém apenas fonte de tensão DC e resistores. Determine a tensão sobre o resistor R5.





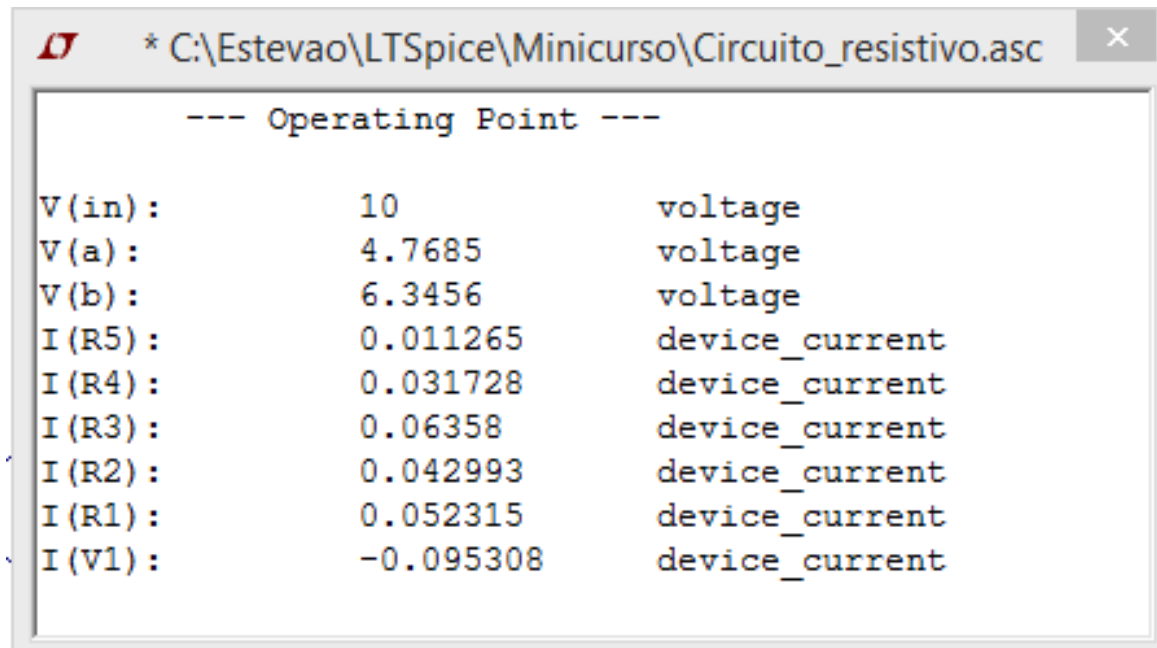
# 11. Um outro exemplo

- Uma análise transiente pode ser usada. No entanto, como o circuito é exclusivamente em corrente contínua, uma análise mais simples pode ser feita.
- Escolheremos, em *Simulate/Edit Simulation Cmd*, a aba DC op pnt (ponto de operação DC).
- Note que não é necessário configurar qualquer parâmetro para esta análise.
- Dê OK e rode a simulação.



# 11. Um outro exemplo

- Esta simulação não retorna uma forma de onda, mas sim uma janela de texto, contendo os valores DC de todas as tensões e correntes no circuito.

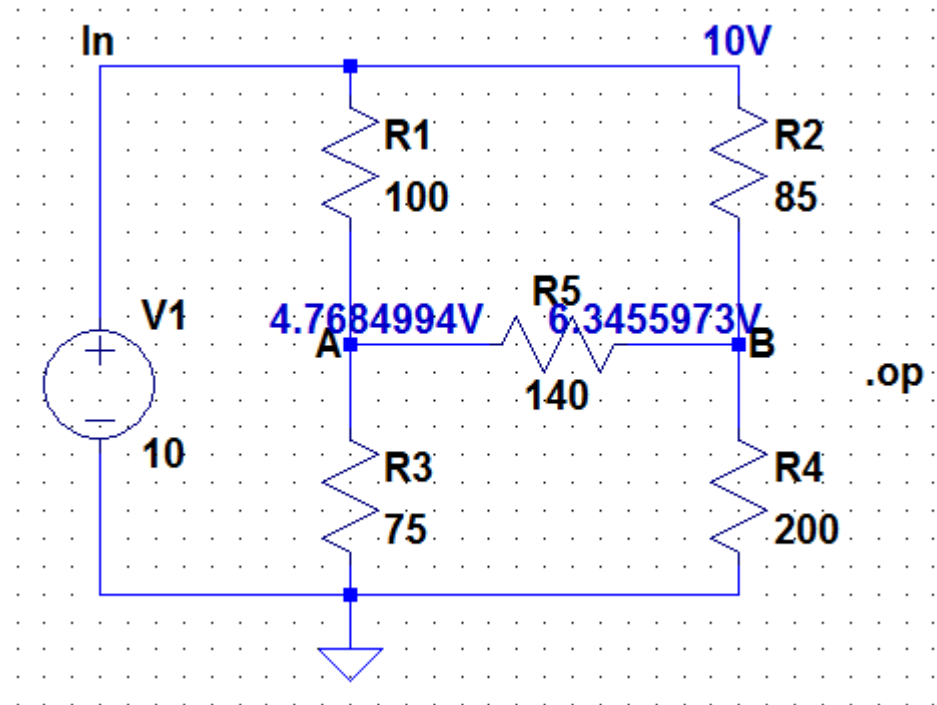


The screenshot shows a window titled "C:\Estevao\LTSpice\Minicurso\Circuito\_resistivo.asc". The window contains a text area with the following text:

```
--- Operating Point ---  
  
V(in):      10          voltage  
V(a):       4.7685      voltage  
V(b):       6.3456      voltage  
I(R5):      0.011265    device_current  
I(R4):      0.031728    device_current  
I(R3):      0.06358     device_current  
I(R2):      0.042993    device_current  
I(R1):      0.052315    device_current  
I(V1):      -0.095308   device_current
```

## 11. Um outro exemplo

- Alternativamente, se você clicar sobre o nó, irá aparecer, no esquemático, o valor da tensão. Isso, é claro, após mandar simular o ponto de operação.



## 11. Um outro exemplo

- OBS: por que a corrente na fonte de tensão V1 é negativa?
- RESP: porque o SPICE computa como positiva a corrente *entrando* no nó “+” de um elemento. Como em uma fonte de tensão a corrente usualmente *sai* do nó “+”, esta irá aparecer com valor negativo.

# Conclusão da Parte I

- Este material apresentou a forma de operação básica do LTSpice IV, mostrando que, apesar de associado à simulação de circuitos eletrônicos, o LTSpice IV, bem como todas as plataformas SPICE, é extremamente útil na análise de circuitos lineares.
- O próximo material irá lidar com os outros tipos de circuito, envolvendo dispositivos lineares e/ou não-lineares, bem como outros tipos de análise.