Introdução a LTSPICE

WIEB II - Minicurso

Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT - 2017

LTspice HotKeys

	Schematic	Symbol	Waveform	Netlist
Modes	ESC - Exit Mode	ESC - Exit Mode		
Modes	F3 – Draw Wire			
Modes	F5 – Delete	F5 – Delete	F5 – Delete	
Modes	F6 – Duplicate	F6 – Duplicate		
Modes	F7 – Move	F7 – Move		
Modes	F8 – Drag	F8 – Drag		
Modes	F9 – Undo	F9 – Undo	F9 – Undo	F9 – Undo
Modes	Shift+F9 – Redo	Shift+F9 – Redo	Shift+F9 – Redo	Shift+F9 – Redo
View	Ctrl+Z – Zoom Area	Ctrl+Z – Zoom Area	Ctrl+Z – Zoom Area	
View	Ctrl+B – Zoom Back	Ctrl+B – Zoom Back	Ctrl+B – Zoom Back	
View	Space – Zoom Fit		Ctrl+E – Zoom Extents	
View	Ctrl+G – Toggle Grid		Ctrl+G – Toggle Grid	Ctrl+G – Goto Line #
View	U – Mark Unncon. Pins	Ctrl+W – Attribute Window	'0' - Clear	
View	A – Mark Text Anchors	Ctrl+A – Attribute Editor	Ctrl+A – Add Trace	
View	Atl+Click - Power		Ctrl+Y – Vertical Autorange	Ctrl+R – Run Simulation
View	Ctrl+Click - Attr. Edit		Ctrl+Click - Average	
View	Ctrl+H – Halt Simulation		Ctrl+H – Halt Simulation	Ctrl+H – Halt Simulation
Place	R – Resistor	R – Rectangle		
Place	C – Capacitor	C – Circle		
Place	L – Inductor	L – Line		
Place	D – Diode	A – Arc		
Place	G – GND			
Place	S – Spice Directive			
Place	T – Text	T – Text		
Place	F2 – Component			
Place	F4 – Label Net			
Place	Ctrl+E – Mirror	Ctrl+E – Mirror		
Place	Ctrl+R – Rotate	Ctrl+R – Rotate		

Command Line Switches

Flag	Short Description
-ascii	Use ASCII .raw files. (Degrades performance!)
-b	Run in batch mode.
-big or -max	Start as a maximized window.
-encrypt	Encrypt a model library.
-FastAccess	Convert a binary .raw file to Fast Access Format.
-netlist	Convert a schematic to a netlist.
-nowine	Prevent use of WINE(Linux) workarounds.
-PCBnetlist	Convert a schematic to a PCB netlist.
-registry	Store user preferences in the registry.
-Run	Start simulating the schematic on open.
-SOI	Allow MOSFET's to have up to 7 nodes in subcircuit.
-uninstall	Executes one step of the uninstallation process.
-wine	Force use of WINE(Linux) workarounds.

Simulator Directives - Dot Commands

Command	Short Description
.AC	Perform a Small Signal AC Analysis
.BACKANNO	Annotate the Subcircuit Pin Names on Port currents
.DC	Perform a DC Source Sweep Analysis
.END	End of Netlist
.ENDS	End of Subcircuit Definition
.FOUR	Compute a Fourier Component
.FUNC	User Defined Functions
.FERRET	Download a File Given the URL
.GLOBAL	Declare Global Nodes
.IC	Set Initial Conditions
.INCLUDE	Include another File
.LIB	Include a Library
.LOADBIAS	Load a Previously Solved DC Solution
.MEASURE	Evaluate User-Defined Electrical Quantities
.MODEL	Define a SPICE Model
.NET	Compute Network Parameters in a .AC Analysis
.NODESET	Supply Hints for Initial DC Solution
.NOISE	Perform a Noise Analysis
.OP	Find the DC Operating Point
.OPTIONS	Set Simulator Options
.PARAM	User-Defined Parameters
.SAVE	Limit the Quantity of Saved Data
.SAVEBIAS	Save Operating Point to Disk
.STEP	Parameter Sweeps
.SUBCKT	Define a Subcircuit
.TEMP	Temperature Sweeps
.TF	Find the DC Small-Signal Transfer Function
.TRAN	Do a Nonlinear Transient Analysis
.WAVE	Write Selected Nodes to a .WAV file

Suffix	
T	1e12
G	1e9
Meg	1e6
K	1e3

Suffix	
f	1e-15
p	1e-12
n	1e-9
u	1e-6
M	1e-3
Mil	25.4e-6

Constants	
E	2.7182818284590452354
Pi	3.14159265358979323846
K	1.3806503e-23
Q	1.602176462e-19
TRUE	1
FALSE	0

LTspice

See Demo

www.linear.com/LTspice ▪ 1-800-4-LINEAR

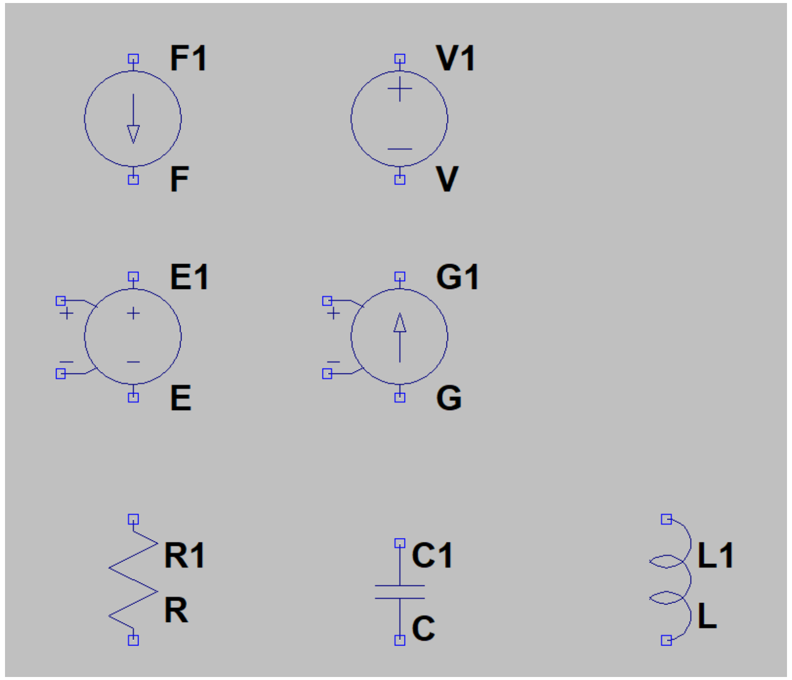
LINEAR TECHNOLOGY

NOW PART OF ANALOG DEVICES

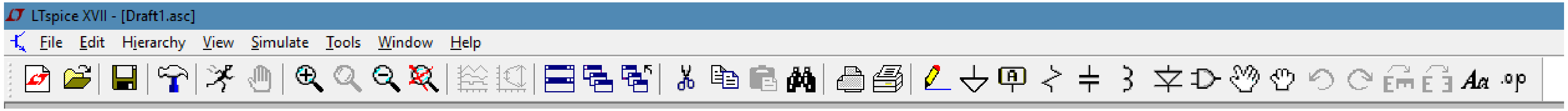
Análise DC

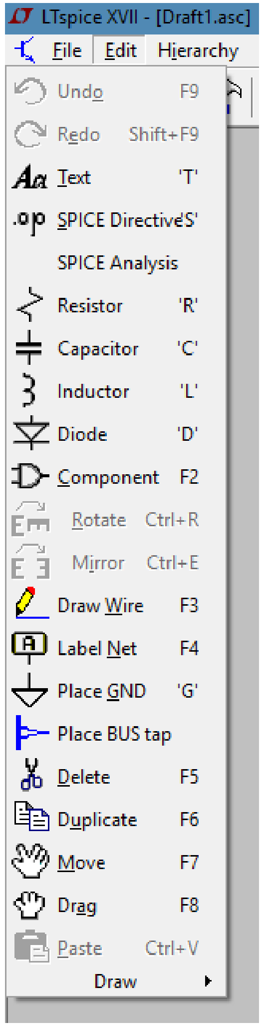
Análise DC ou ponto de operação (.op) é realizada para análises de circuitos cujo parâmetros são invariantes no tempo ou para análises DC em regime permanente.

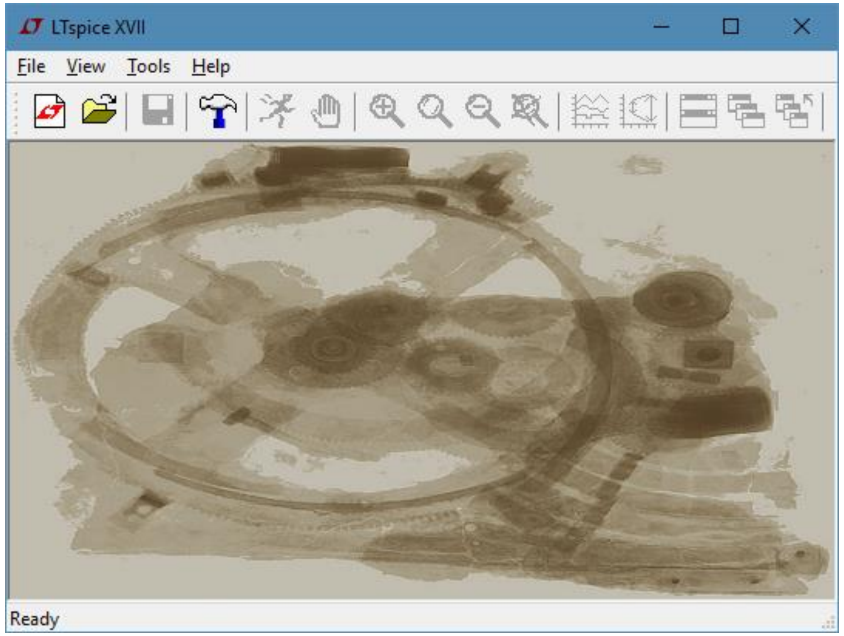
Para esta primeira análise iremos explorar a resposta em regime permanente (DC) dos seguintes elementos de circuito:

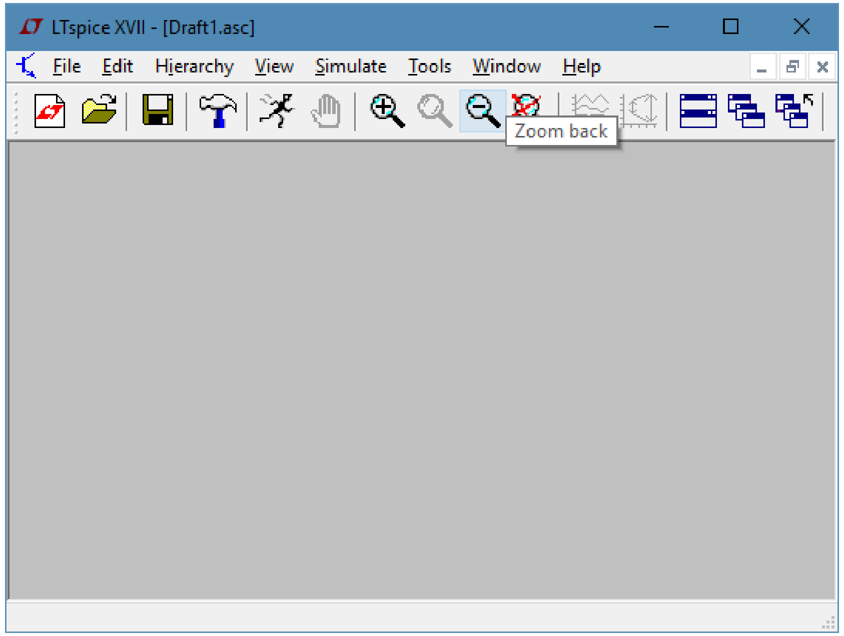


Análise DC


LTspice XVII - [Draft1.asc]
File Edit Hierarchy View Simulate Tools Window Help


LTspice XVII - [Draft1.asc]
File Edit Hierarchy
Undo F9
Redo Shift+F9
Text 'T'
SPICE Directive 'S'
SPICE Analysis
Resistor 'R'
Capacitor 'C'
Inductor 'L'
Diode 'D'
Component F2
Rotate Ctrl+R
Mirror Ctrl+E
Draw Wire F3
Label Net F4
Place GND 'G'
Place BUS tap
Delete F5
Duplicate F6
Move F7
Drag F8
Paste Ctrl+V
Draw


LTspice XVII
File View Tools Help
Ready


LTspice XVII - [Draft1.asc]
File Edit Hierarchy View Simulate Tools Window Help
Zoom back

Chapter 2, Problem 27.

Calculate I_o in the circuit of Fig. 2.91.

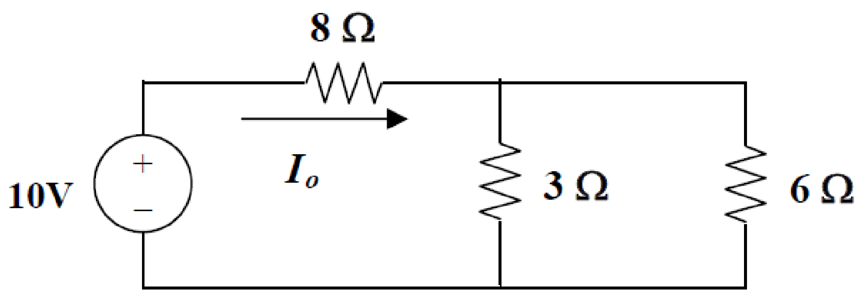


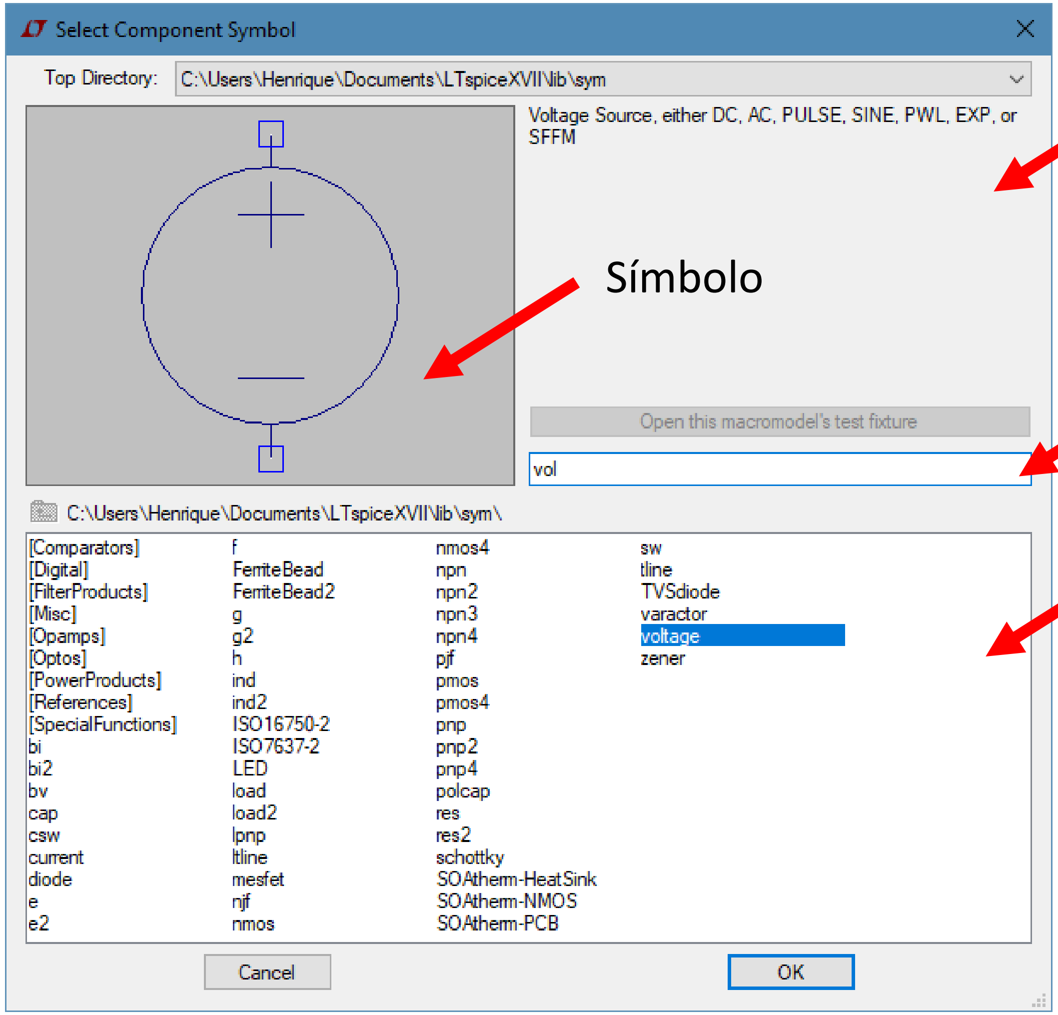
Figure 2.91
For Prob. 2.27.

Solution

The 3-ohm resistor is in parallel with the c-ohm resistor and can be replaced by a [(3x6)/(3+6)] = 2-ohm resistor. Therefore,

$$I_o = 10/(8+2) = \mathbf{1\ A}.$$

Passo 1: Adicione os componentes



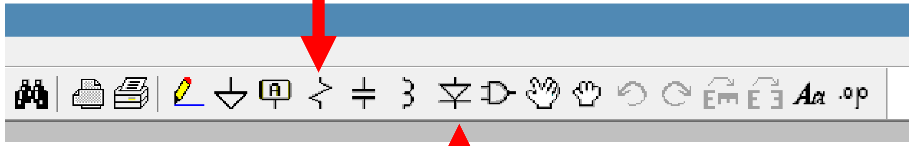
Info

Símbolo

Localizar

Componentes [pasta]

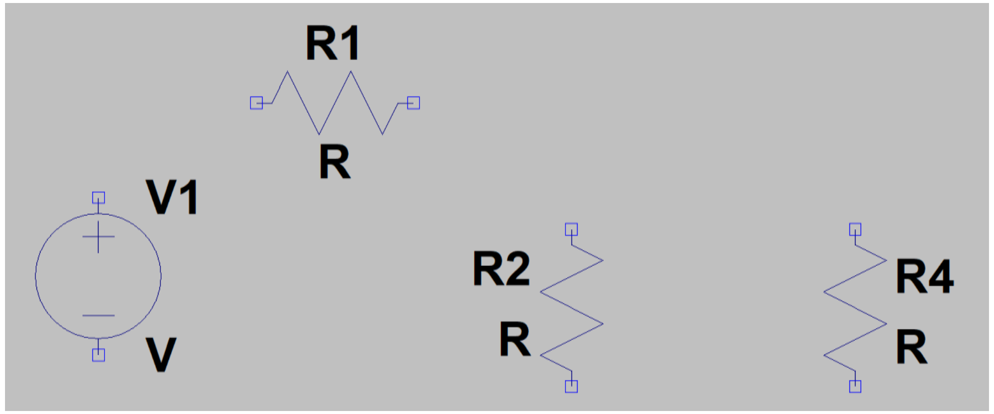
Adicionar Resistor



Abrir lista de componentes (F2)

Análise DC

Passo 2: Organize os componentes (utilize o atalho **Ctrl-R** para rotacionar os elementos)

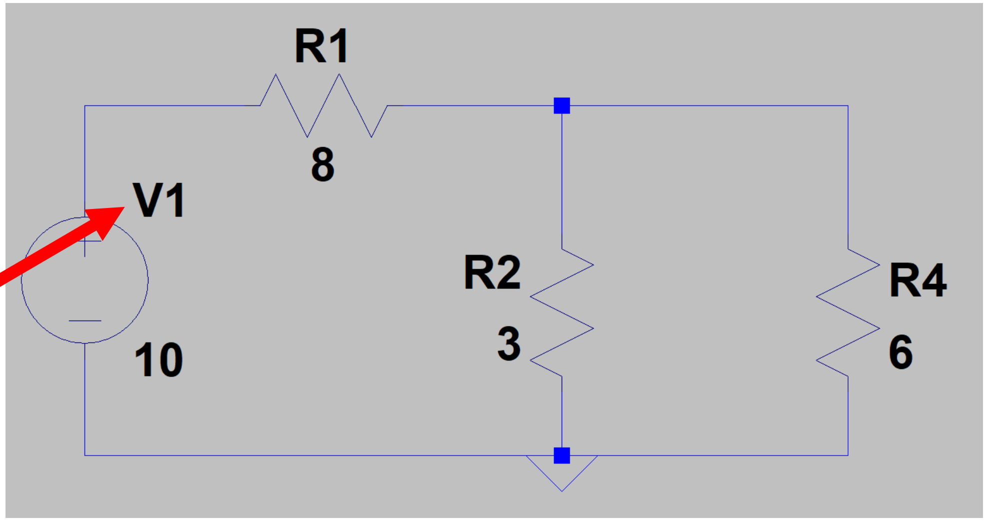


Passo 3: Conecte os elementos (clique no botão "wire" ou o atalho **F3**) 

Passo 4: Posicione o *ground* (clique no botão "Ground" ou o atalho **G**). O *ground* será a referência para as obtermos as tensões 

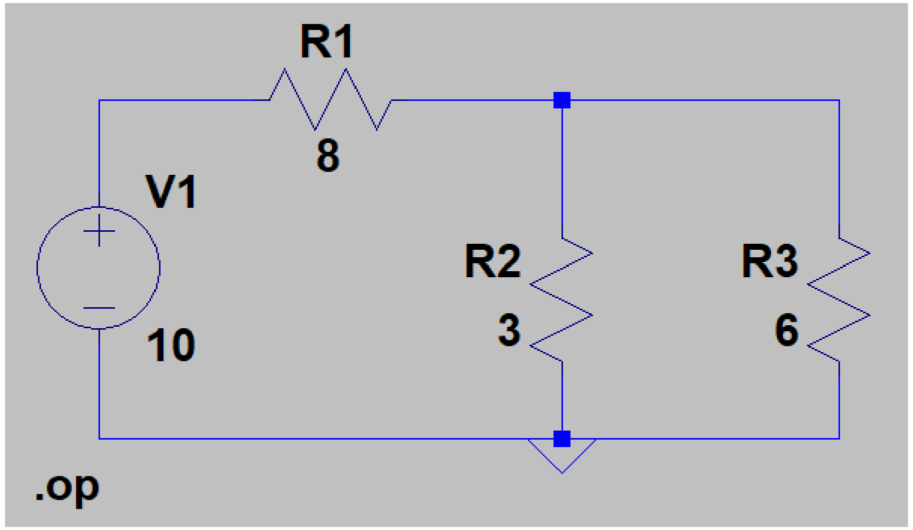
Passo 5: Informe os valores de resistência e tensão. Por *default* as resistências possuem resistência R e a fonte de tensão V. Clique com o botão direito sobre estes parâmetros para altera-los

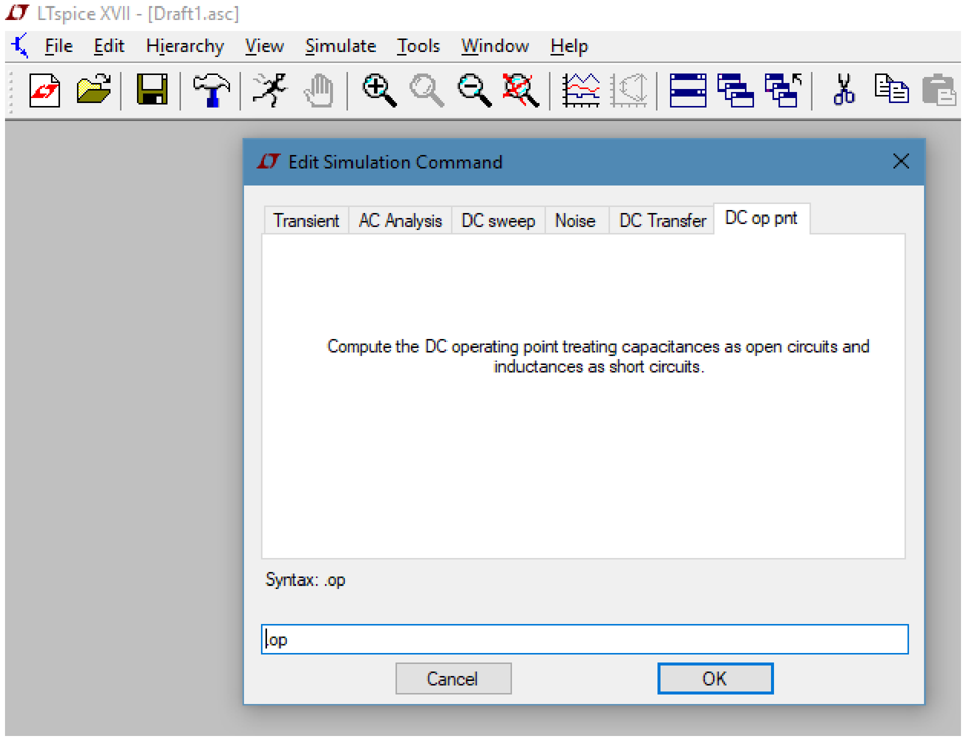
Identificador do elemento

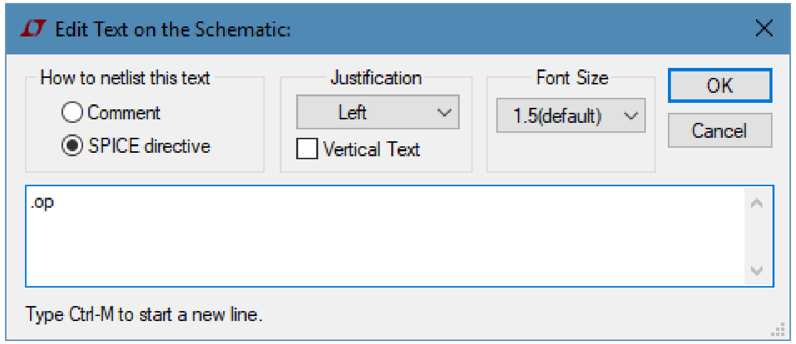


Passo 6: Defina o tipo de simulação (clique em "run" e selecione "DC op pnt") 

Passo 6 (alternativo): Clique em "SPICE Directive", selecione "SPICE directive" e digite ".op" (A opção "SPICE Directive" informa instruções sobre o tipo de simulação, o comportamento dos componentes, formato dos dados carregados, entre muitos outros)



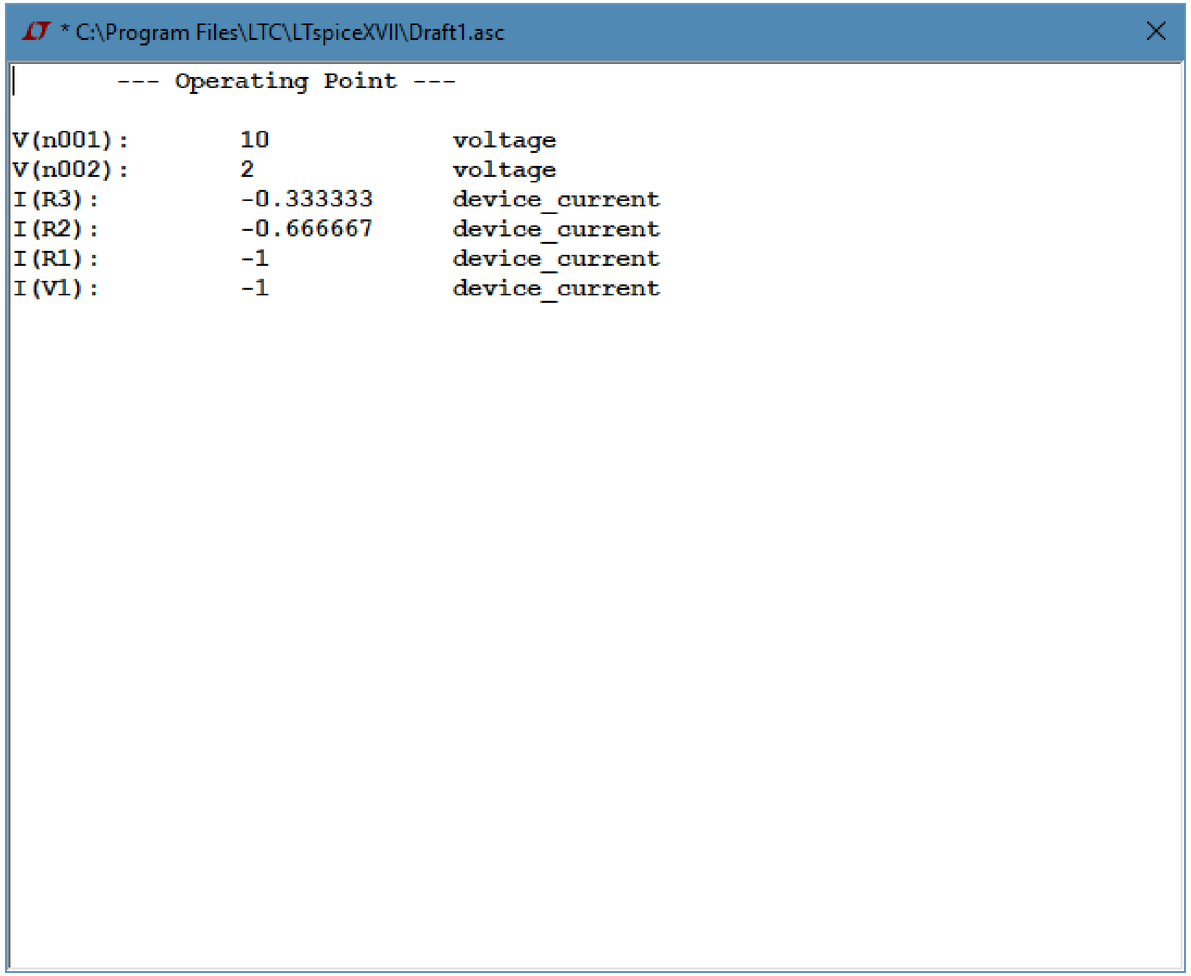




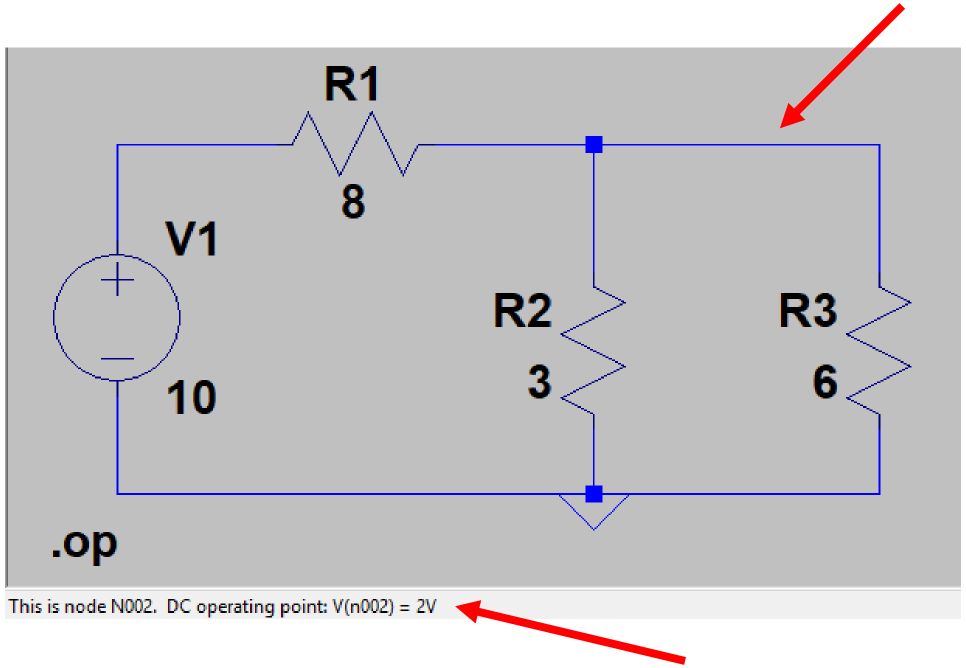
Análise DC

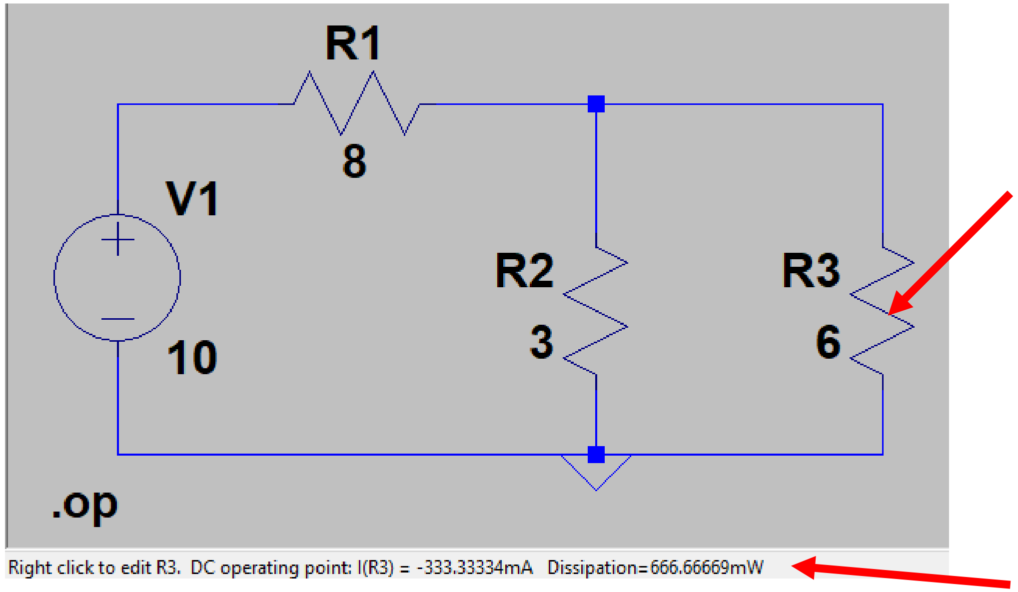
Assim que a simulação for finalizada o programa irá informar a tensão dos nós e as correntes dos elementos

* Este tipo de simulação possui um inconveniente em relação ao sinal da corrente, o sinal é arbitrado de acordo com a posição do elemento. Para verificar qual a direção arbitrada pelo LTSPICE é necessário realizar a simulação transiente e posicionar o cursor sobre o elemento.



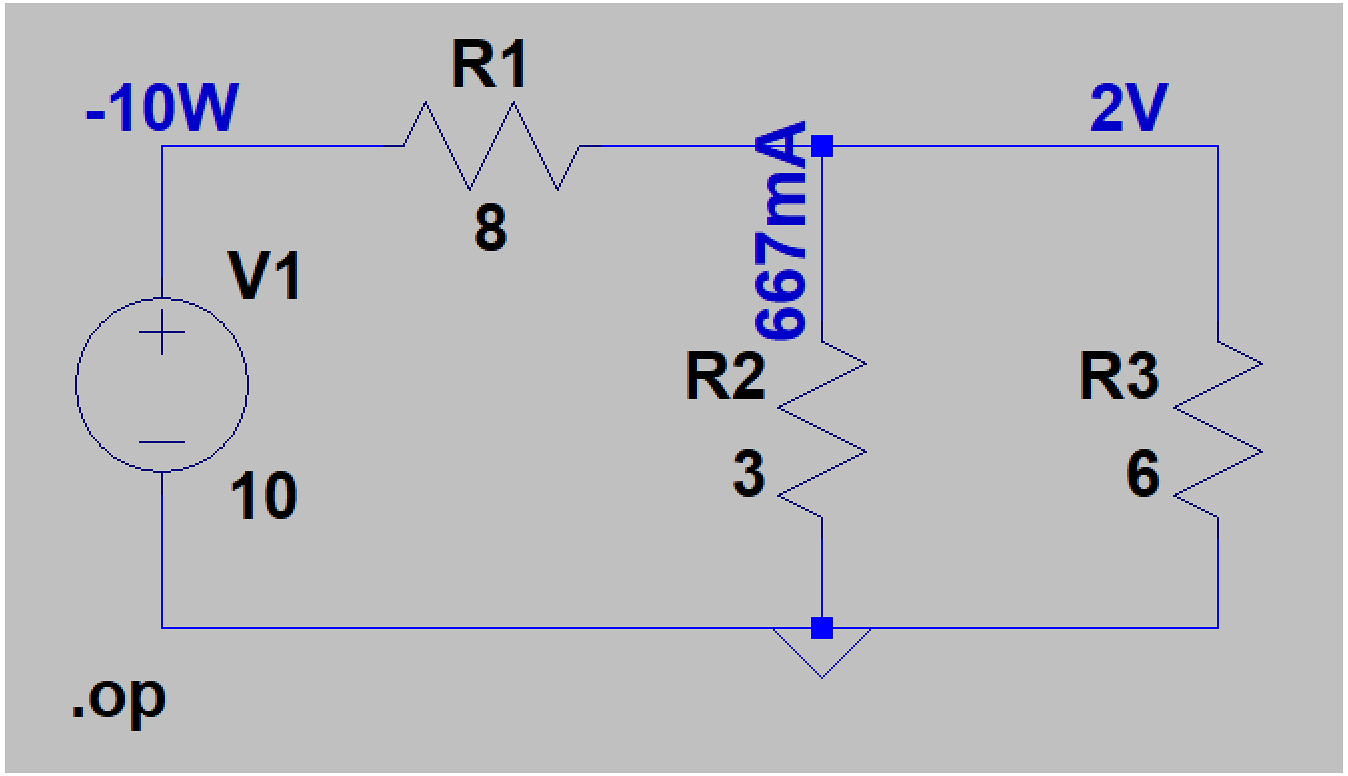
Passo 7: Medir parâmetros de tensão, corrente e potência. Passando o cursor sobre os nós ou sobre os componentes, é possível visualizar os parâmetros na barra de *status.*

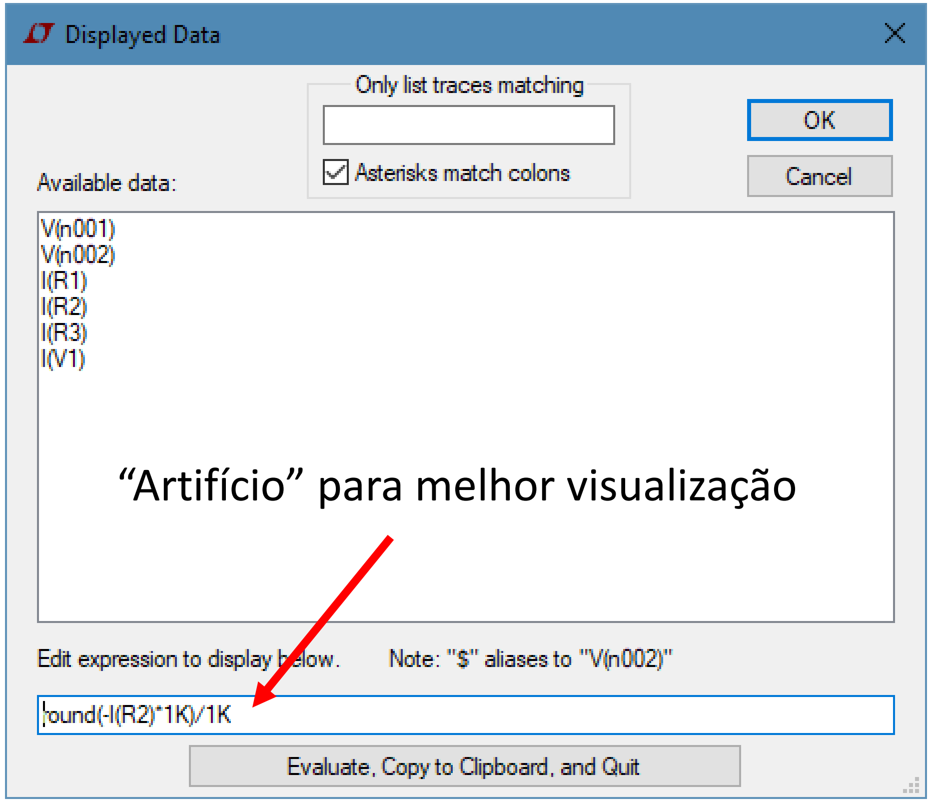




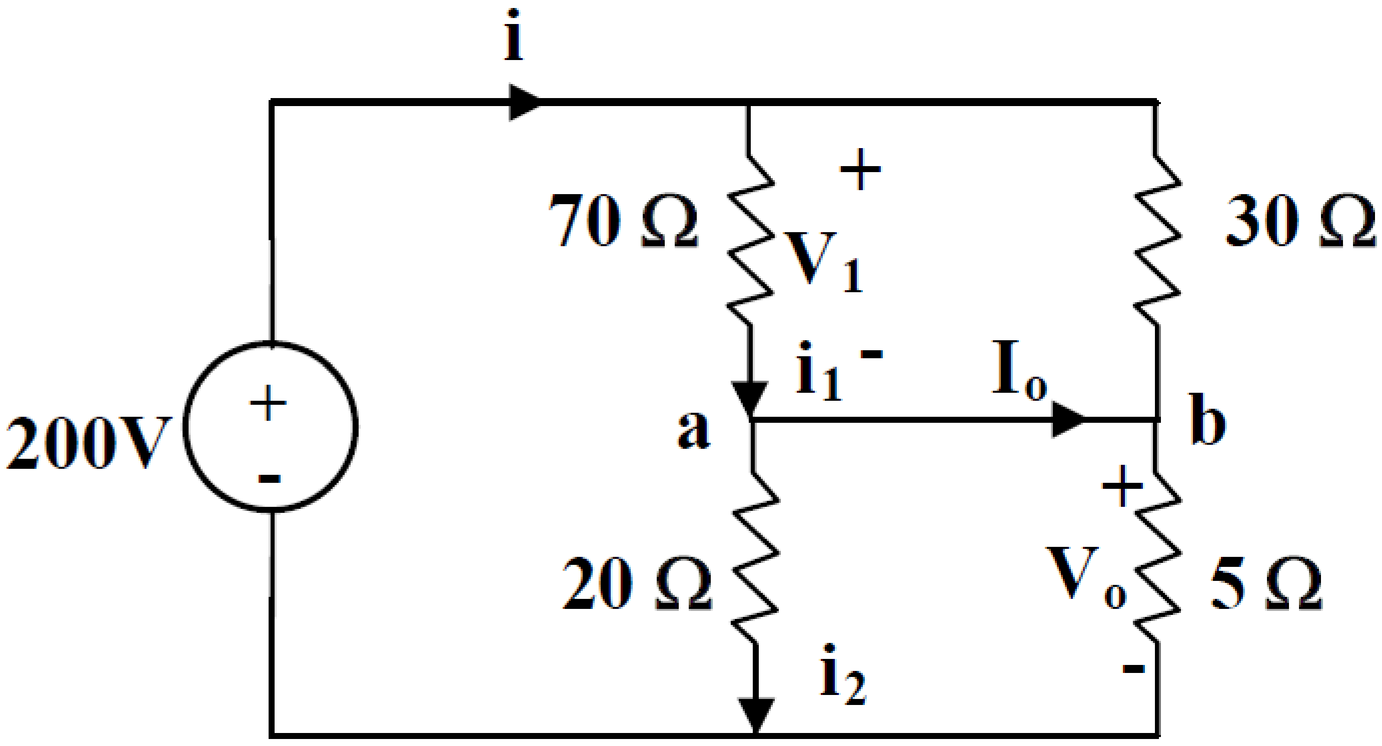
É possível criar marcadores clicando sobre os fios, por *default* o marcador apresenta a tensão do nó, entretanto, é possível alterar a expressão de acordo com o parâmetro desejado.

***O símbolo "$" irá retornar a tensão do nó que foi selecionado**



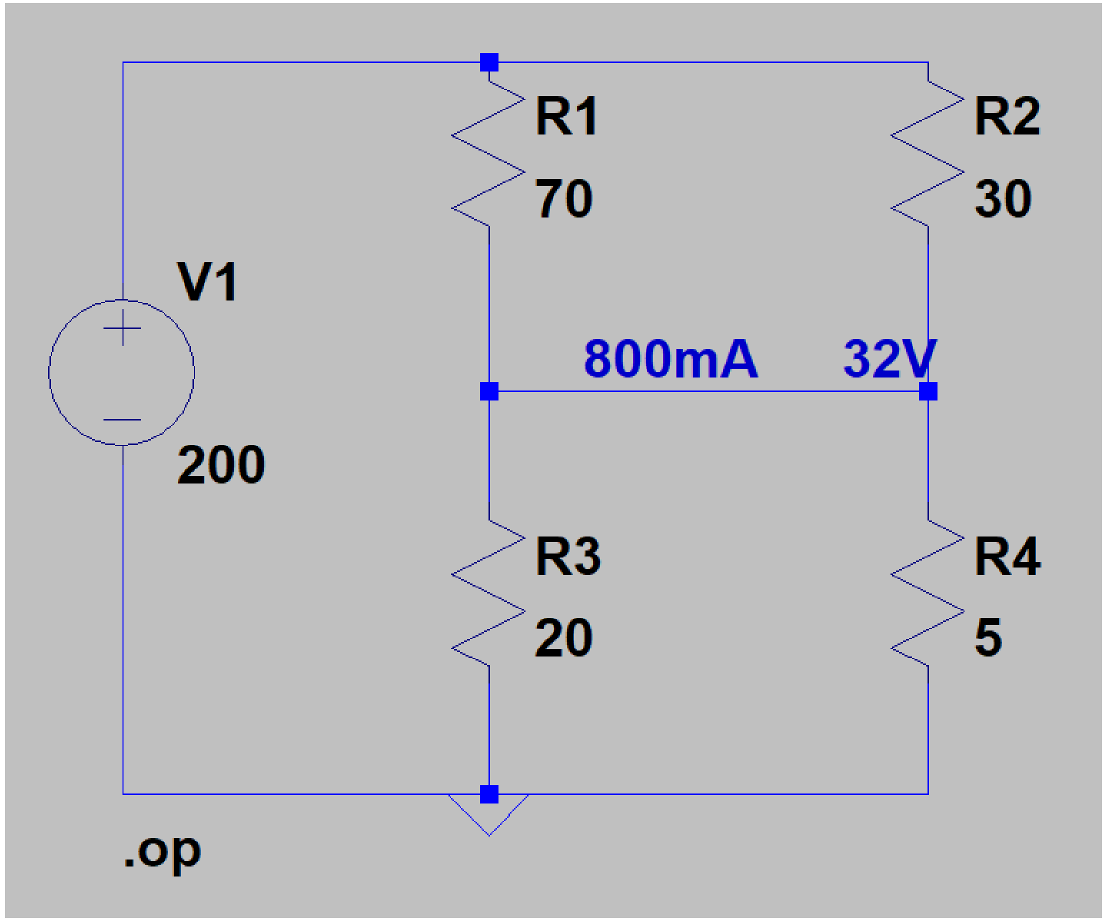


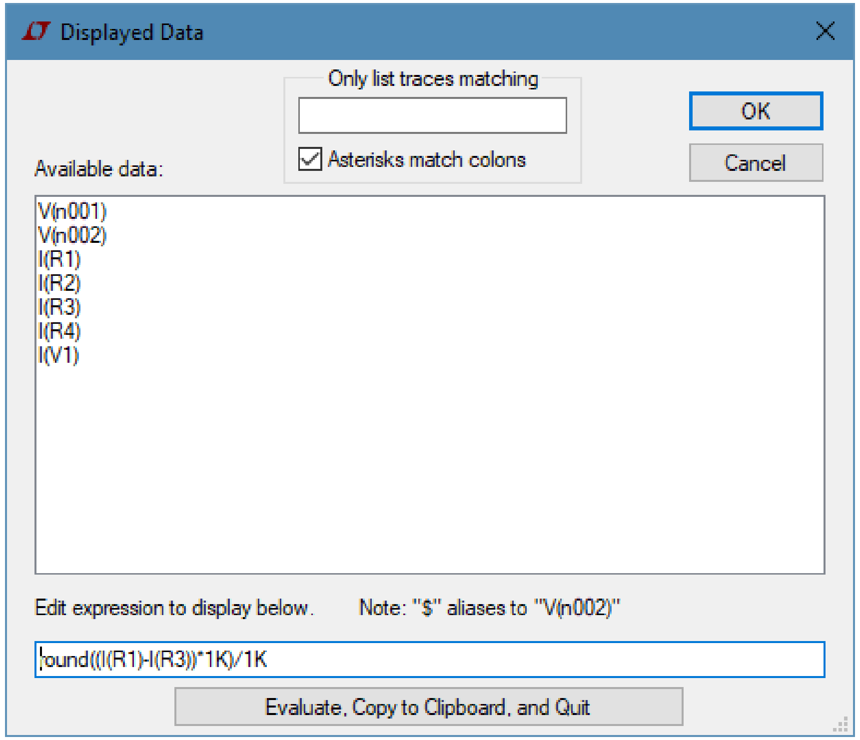
Exercício: Utilize o simulador para encontrar os parâmetros Vo e Io do circuito abaixo.



$v_o = 32$ V and $I_o = 800$ mA

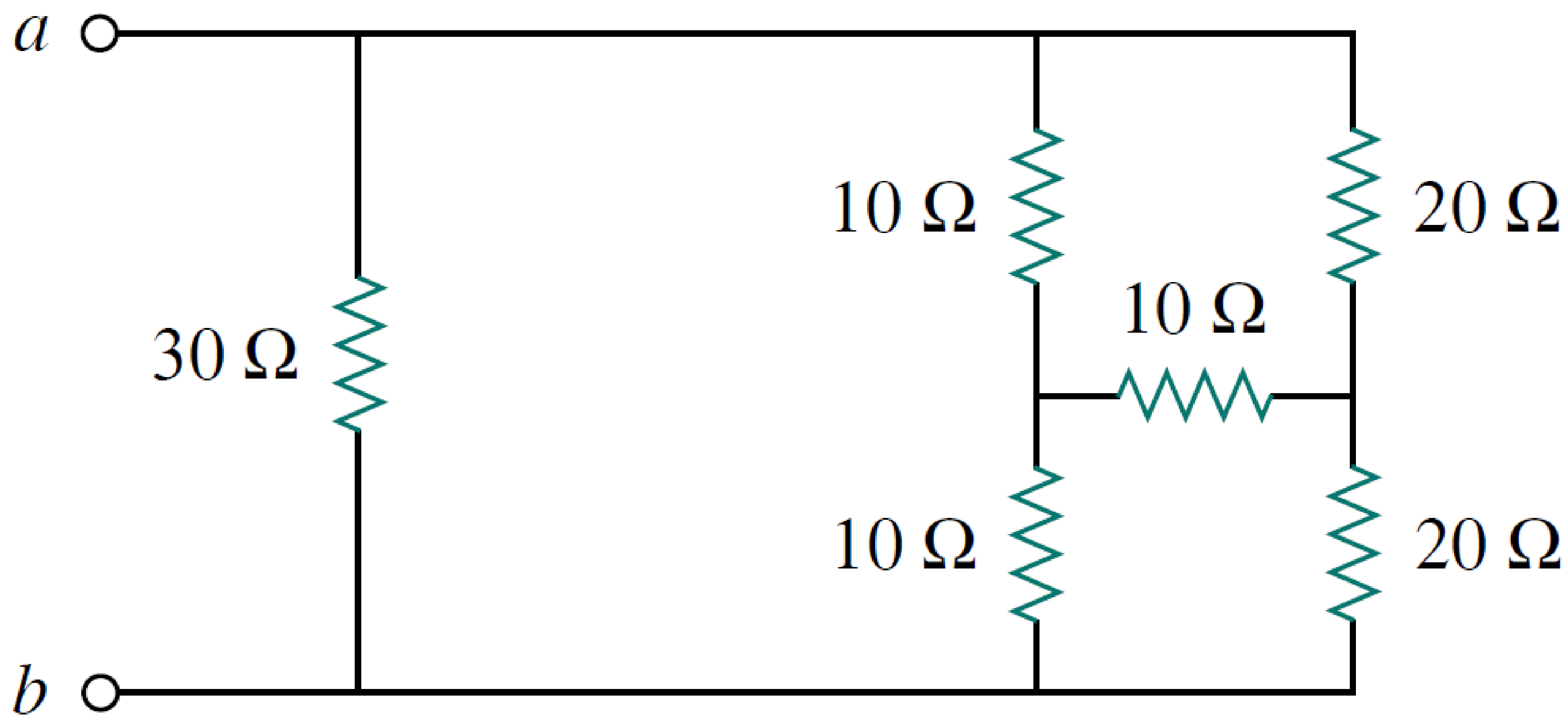
Exercício: Utilize o simulador para encontrar os parâmetros Vo e Io do circuito abaixo.





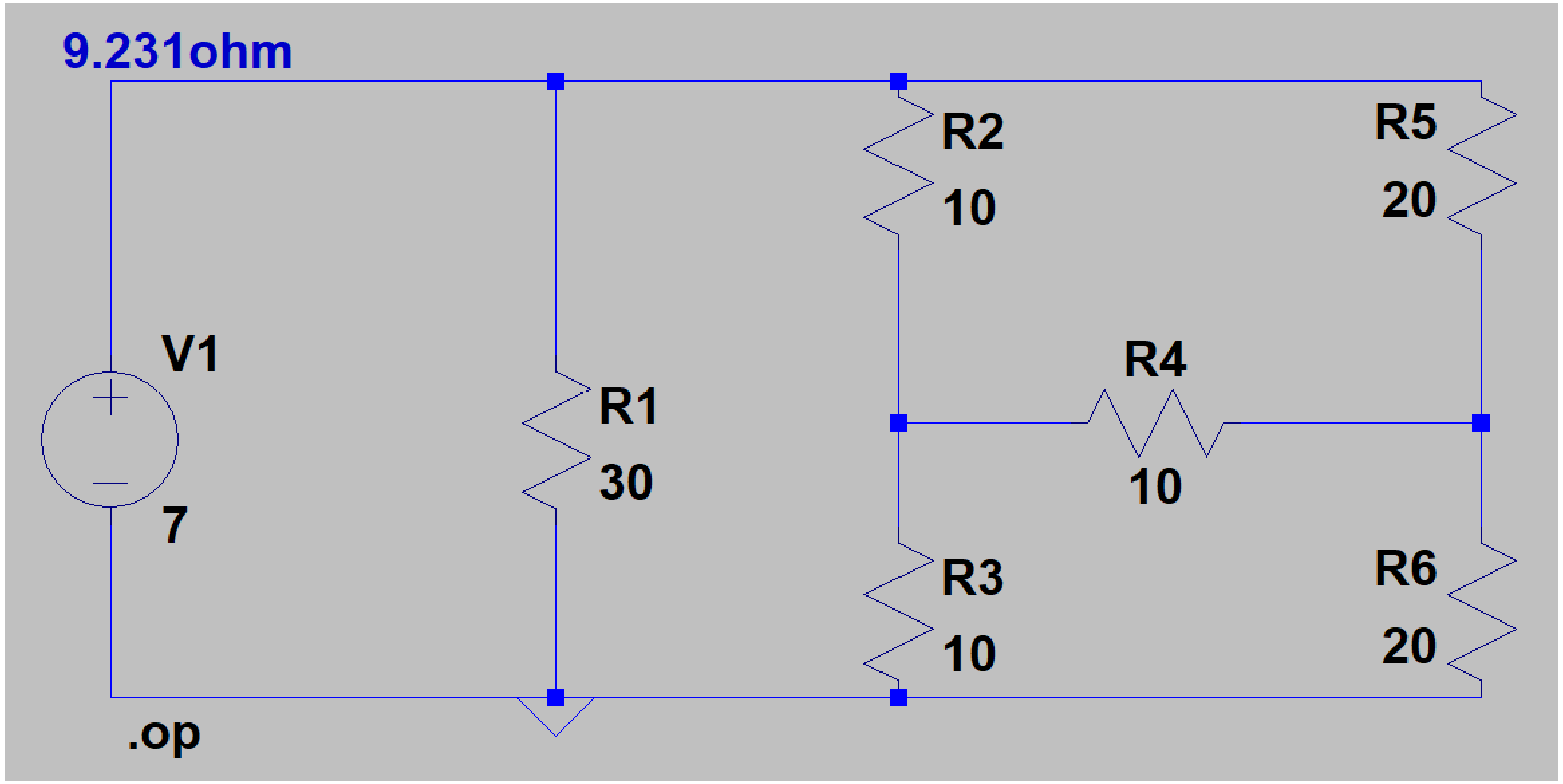
round((I(R1)-I(R3))*1K)/1K

Exercício: Utilize o simulador para obter a resistência equivalente entre os terminais a-b.



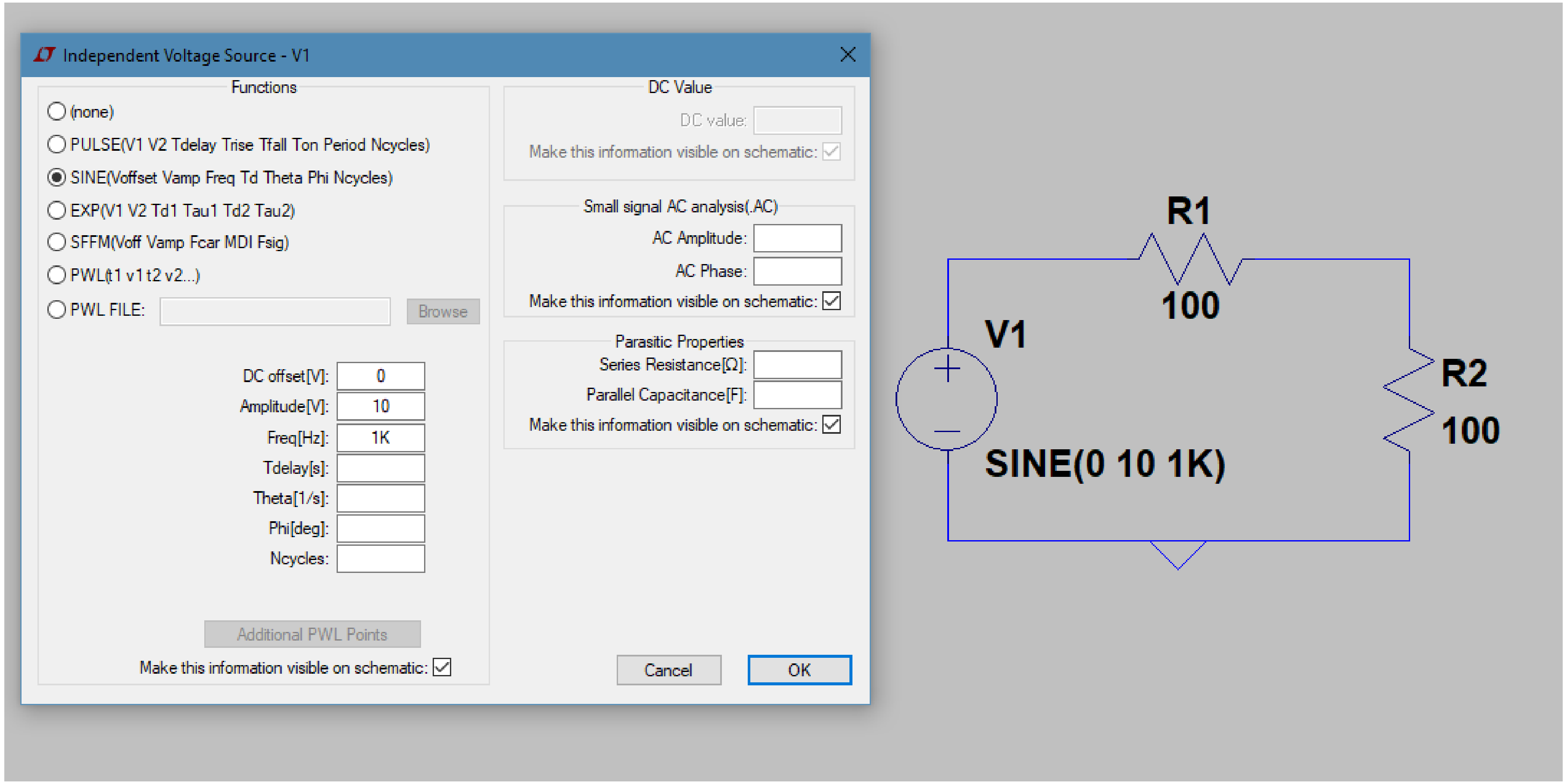
$$R_{ab} = 9{,}23\Omega$$

Exercício: Utilize o simulador para obter a resistência equivalente entre os terminais a-b.

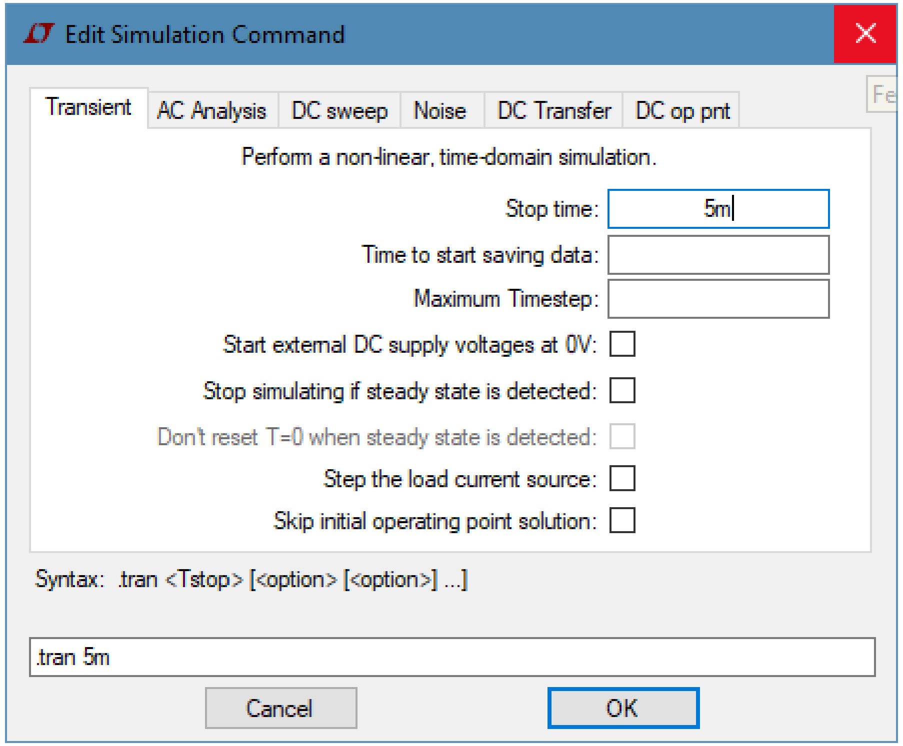


Análise Transiente

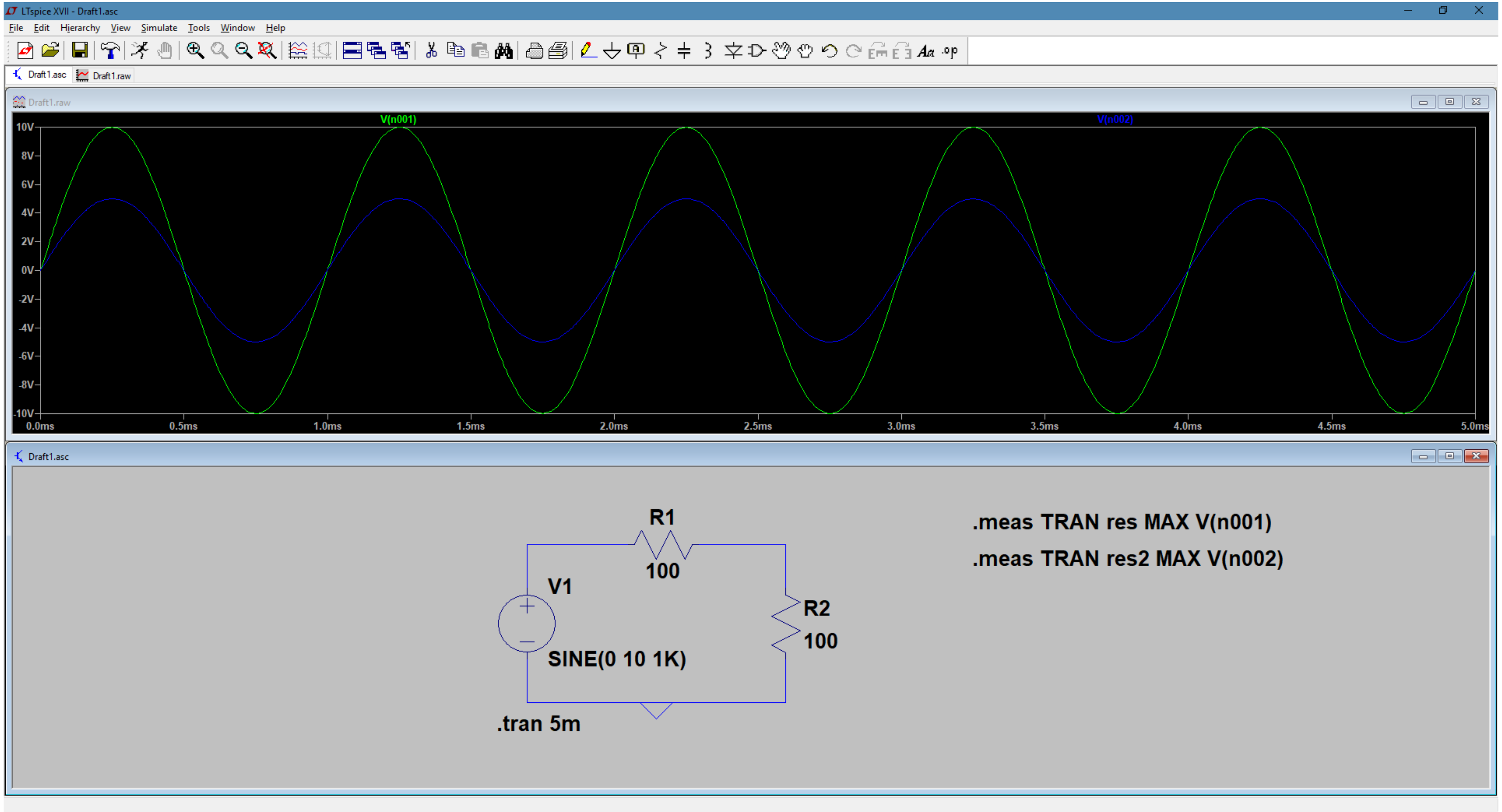
Para iniciarmos o estudo da resposta transiente, iremos analisar a resposta de uma senoide em um circuito resistivo (divisor de tensão).



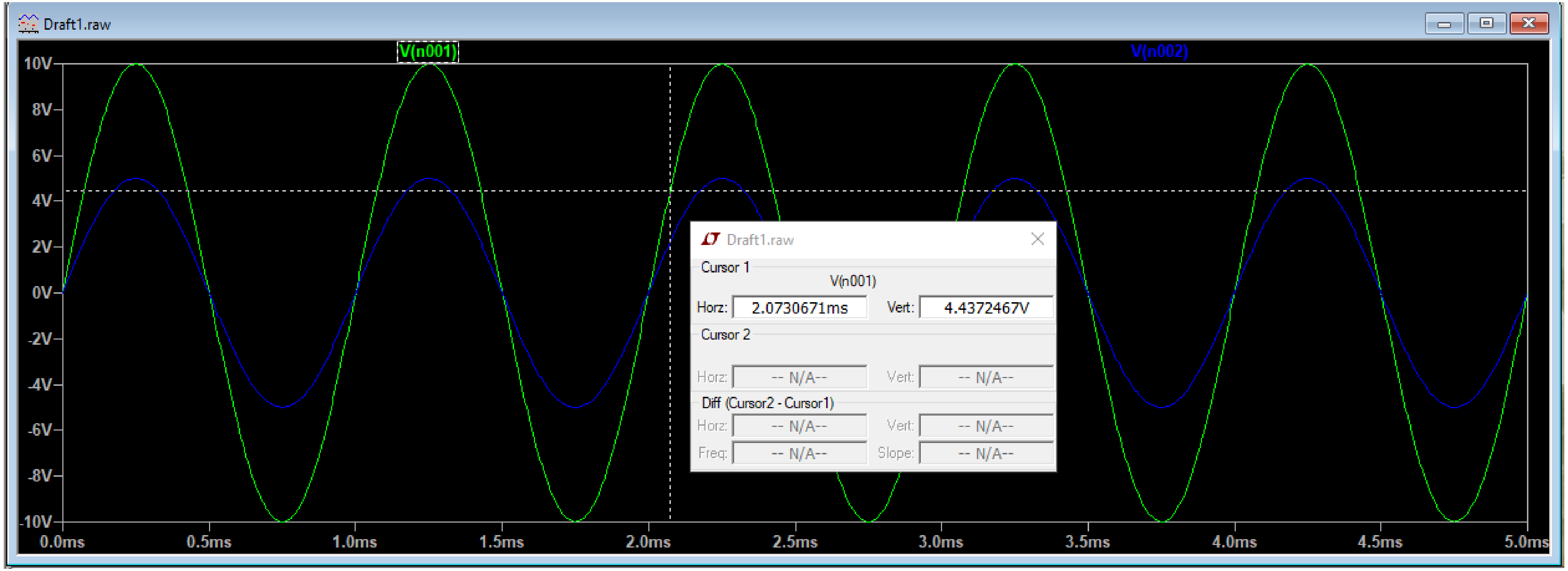
Análise Transiente



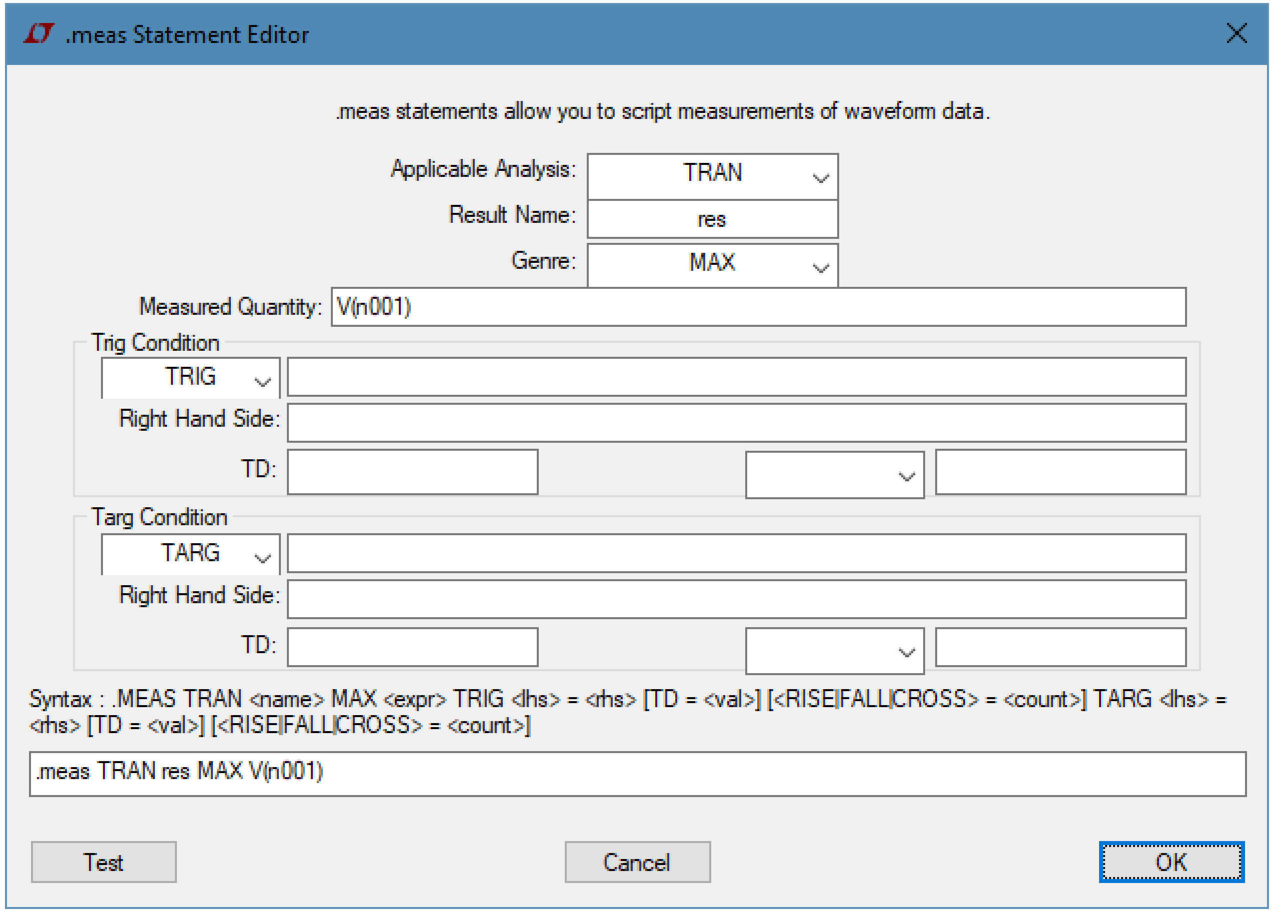
Análise Transiente



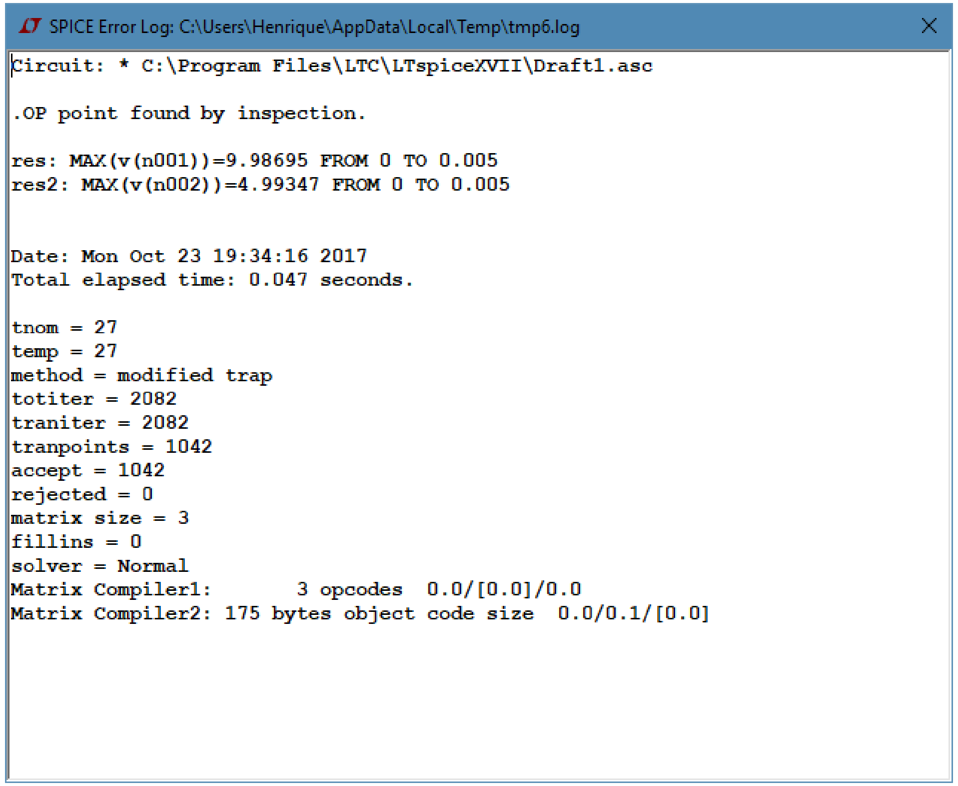
É possível navegar pela saída utilizando o cursor



Análise Transiente

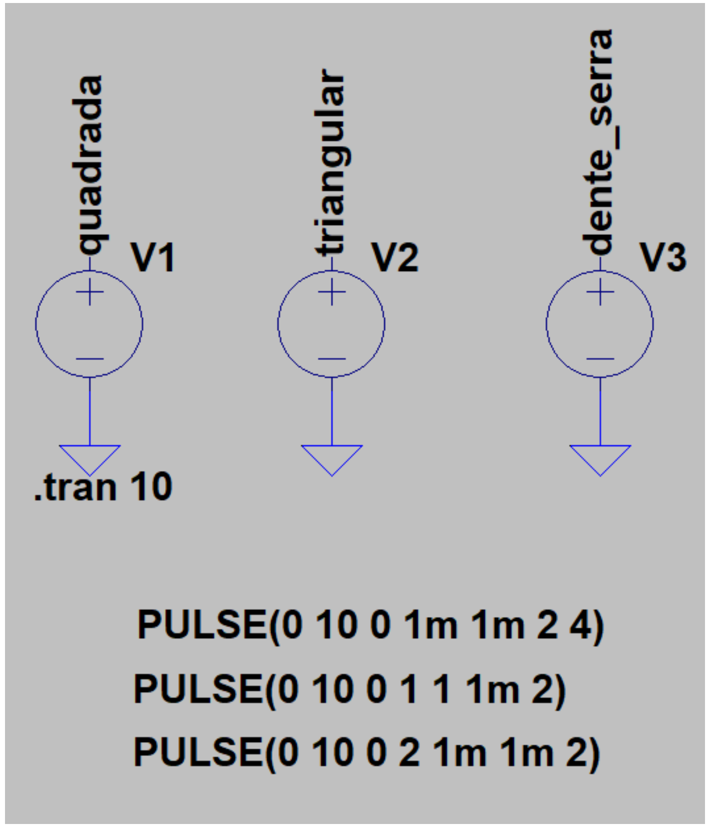


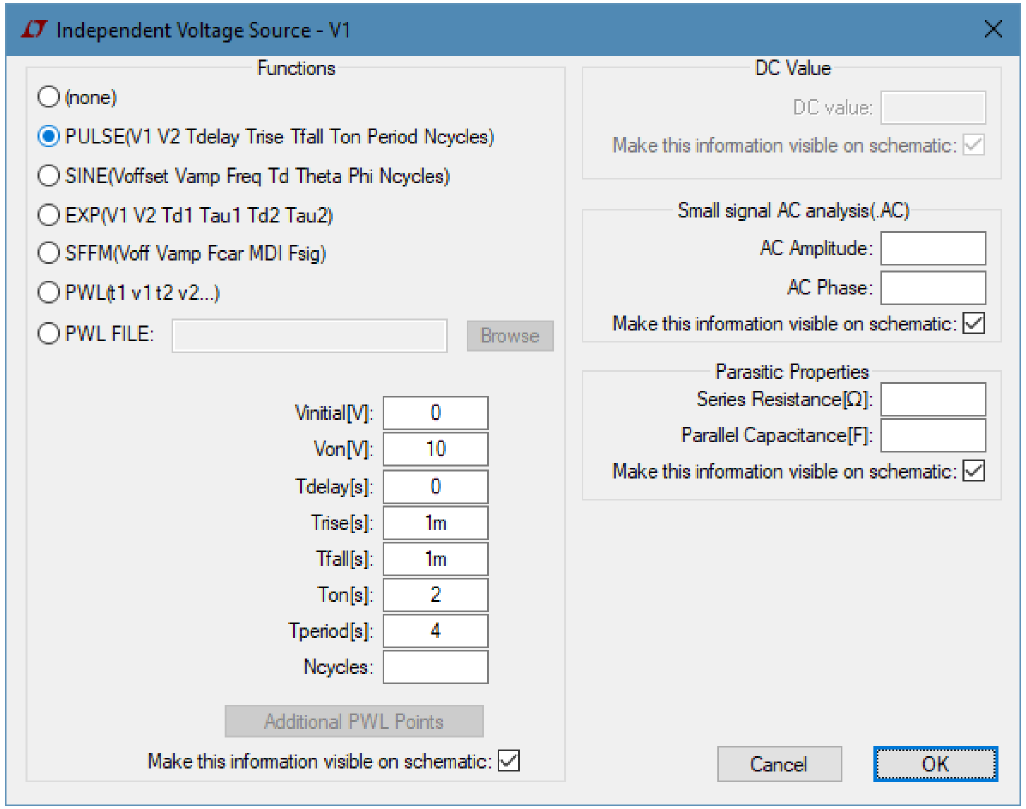
Ctrl - L



Através da opção "PULSE", podemos definir diversas forma de onda para entrada

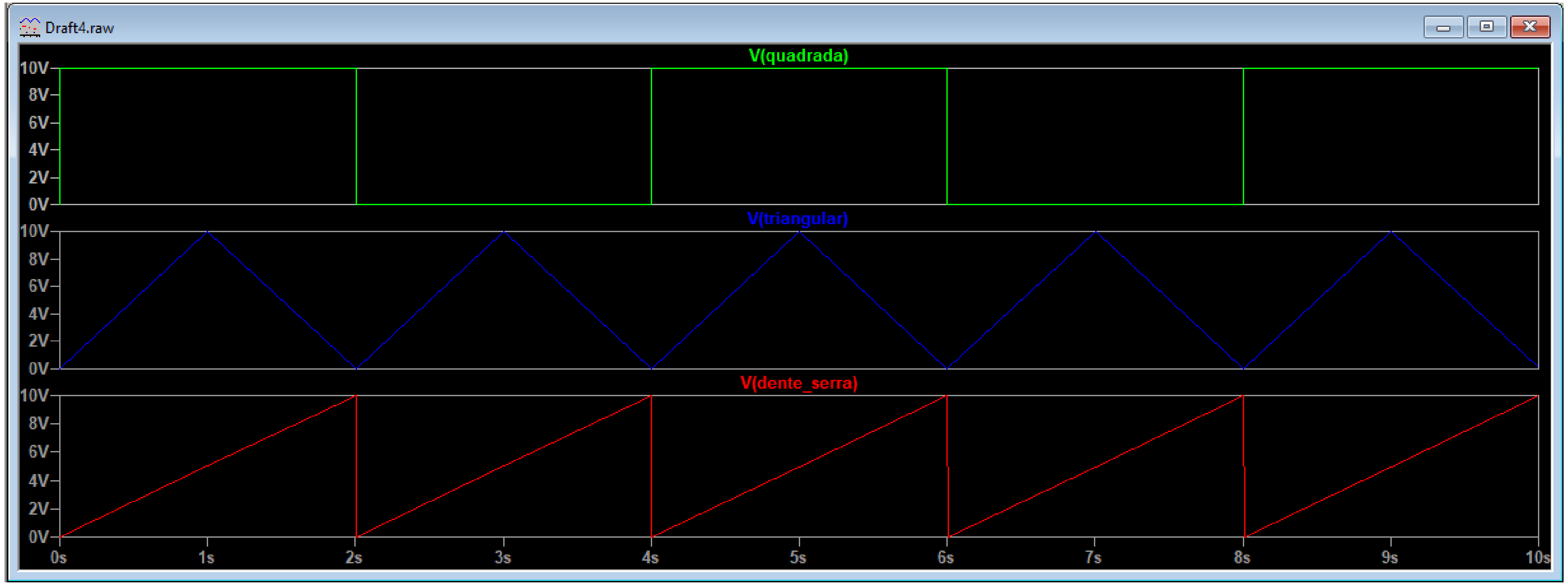
Para criar etiquetas, utilize o atalho F4

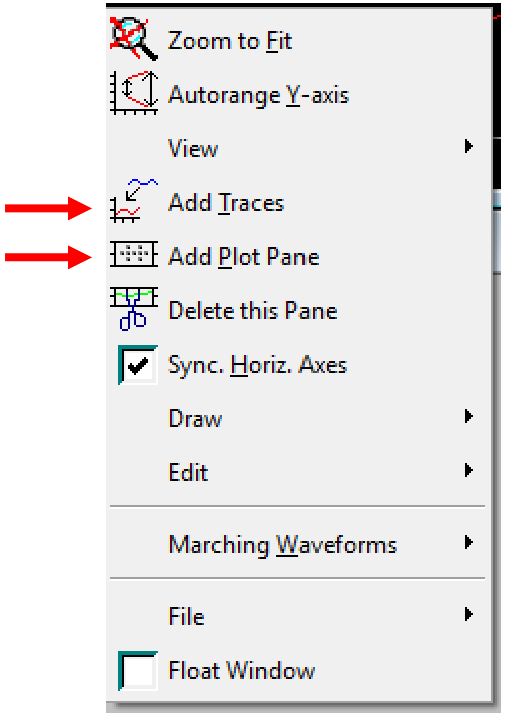




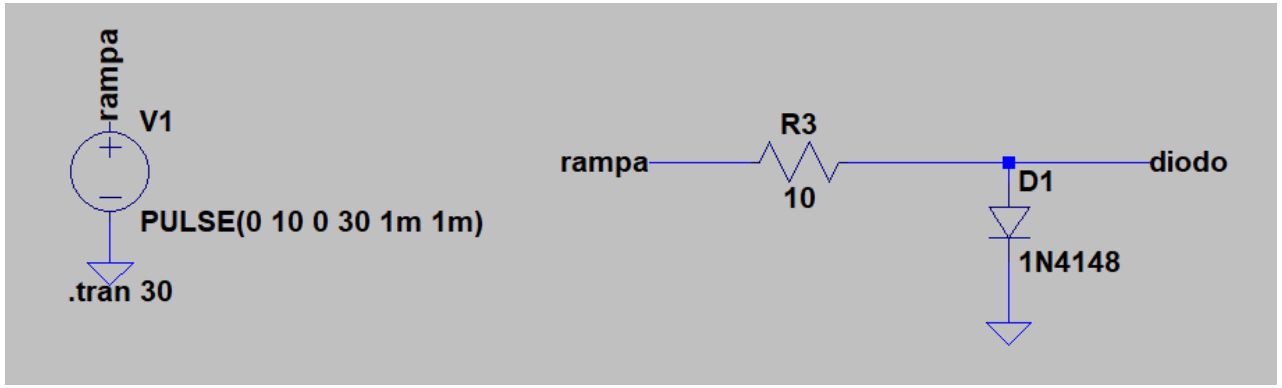
Análise Transiente

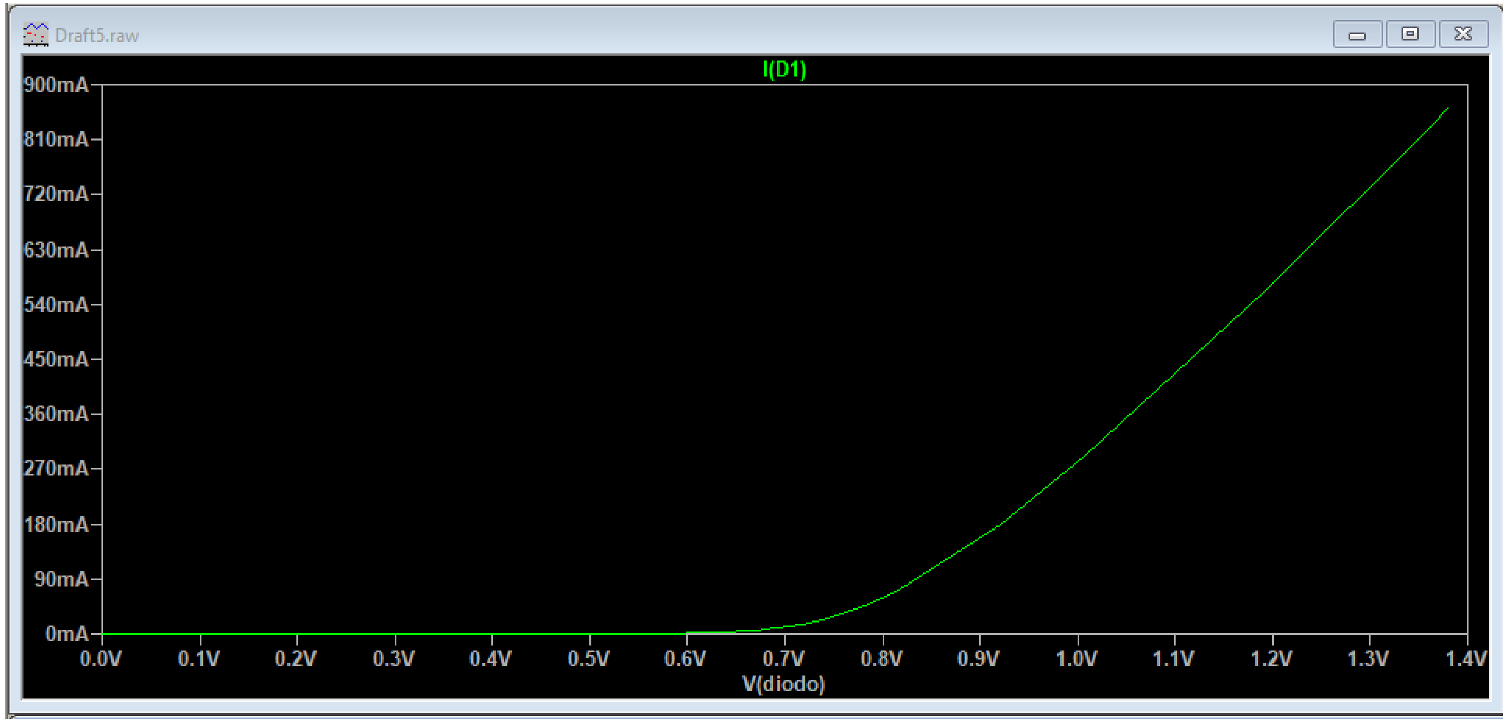
Para visualizar os gráficos separadamente, clique com o botão direito sobre a área do gráfico e então em “Add Plot Plane” e depois em “Add Traces”.

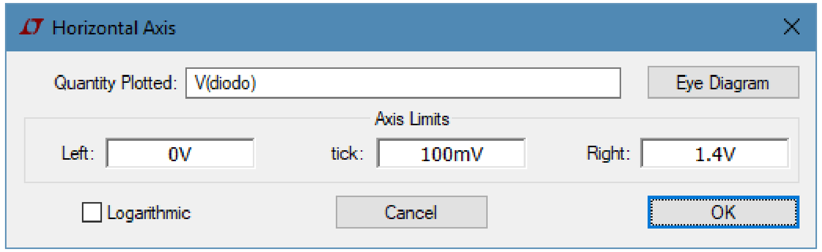


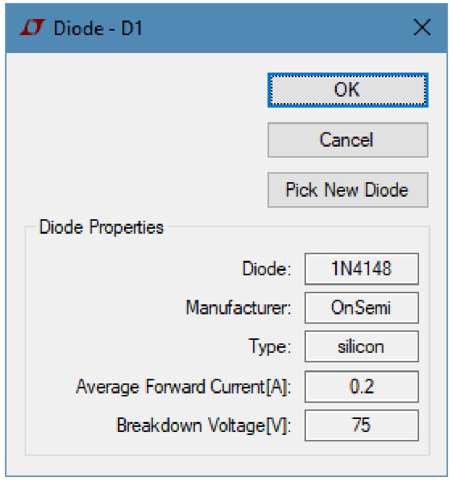


Análise Transiente









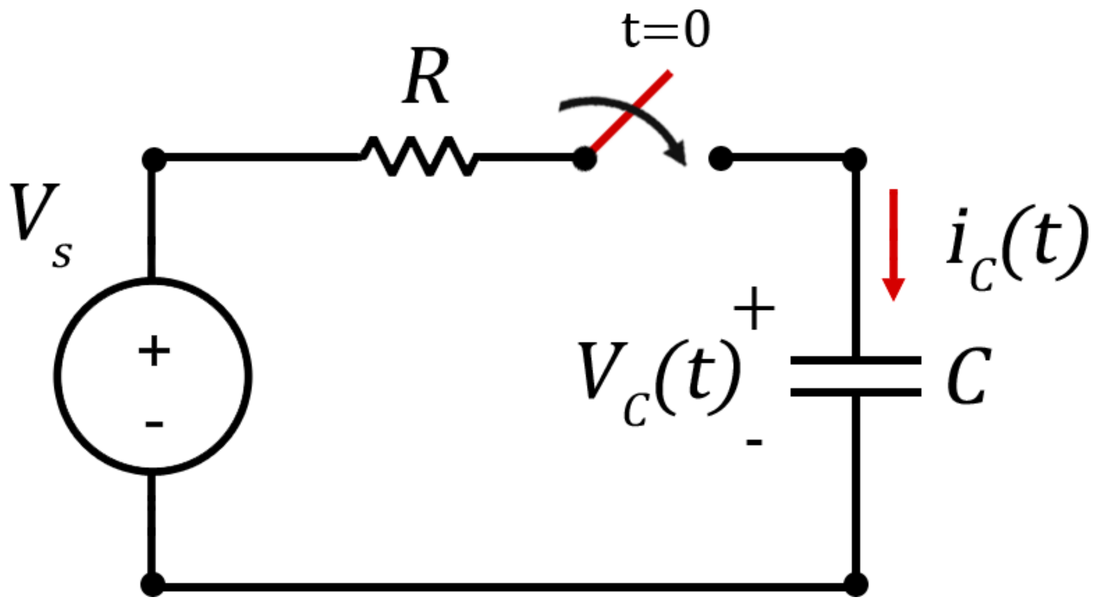
Uso de uma entrada rampa para definir a curva característica do diodo

Escolha um diodo real, trace a corrente e altere o eixo horizontal.

Circuito RC de primeira ordem

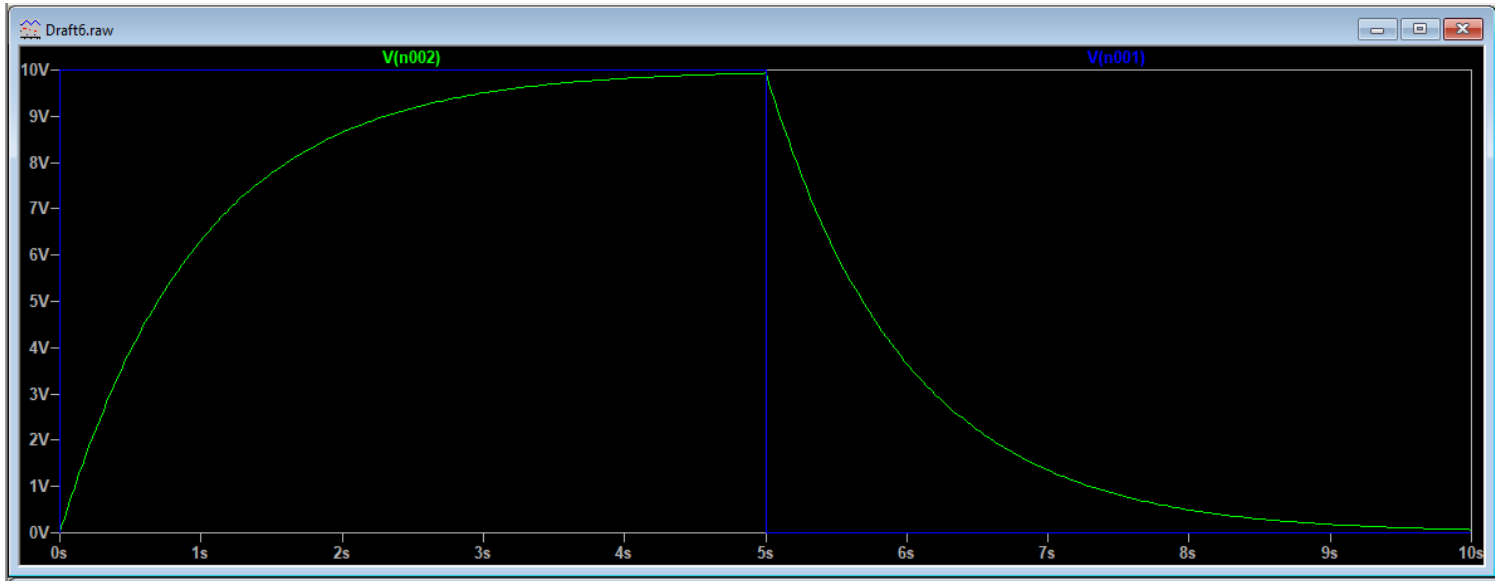
$$\tau = RC$$

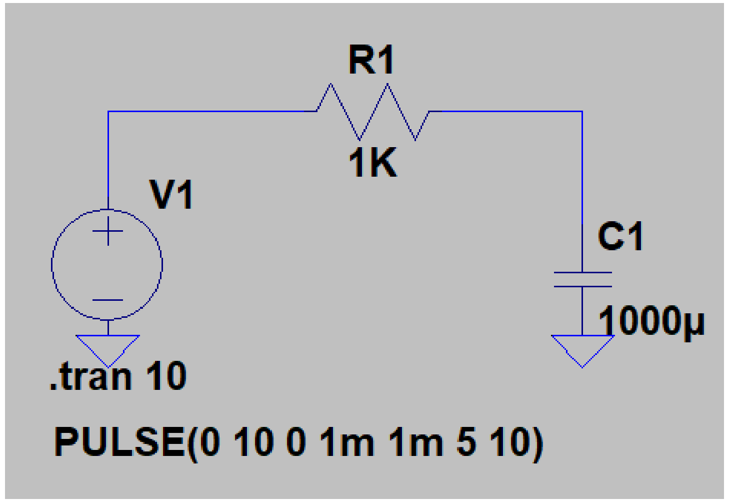
Simule a resposta forçada e a resposta natural de um circuito RC, cuja a constante de tempo seja igual a 1 segundo. Utilize um resistor de $1K\Omega$



Tempo	%
$t = 1\tau$	63,212%
$t = 2\tau$	86,466%
$t = 3\tau$	95,021%
$t = 4\tau$	98,168%
$t = 5\tau$	99,326%

Análise Transiente



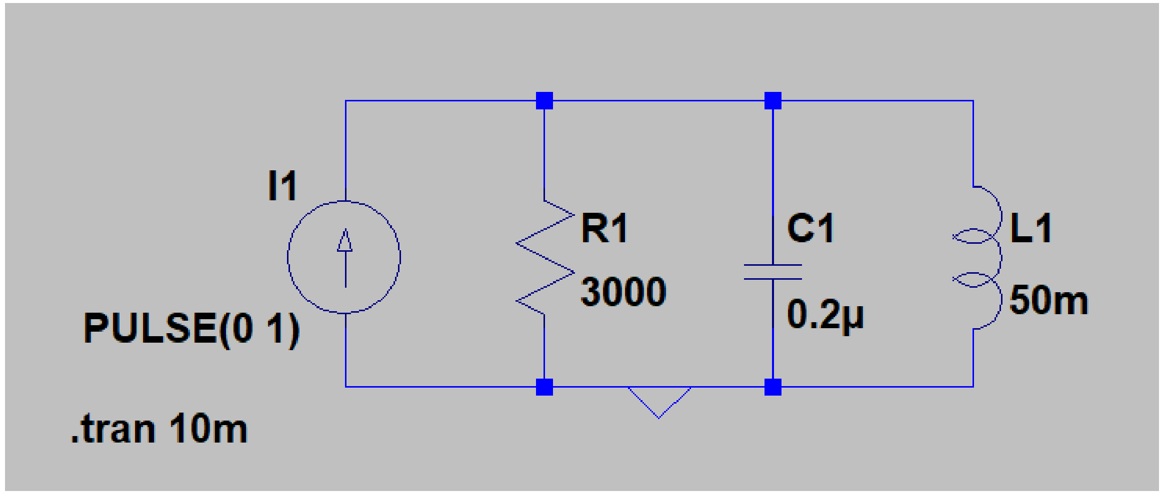


Análise Transiente

Resposta de um circuito RLC paralelo, neste exemplo é possível observar 3 tipos de resposta

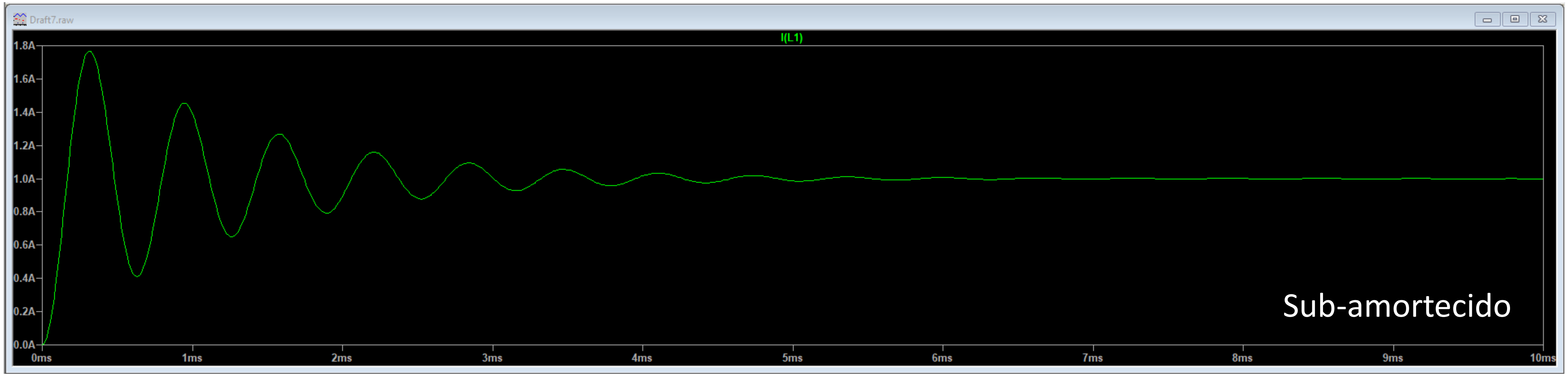
- Super amortecida
- Criticamente amortecida
- Sub-amortecida

Para obter as 3 respostas, varie o valor de da resistência



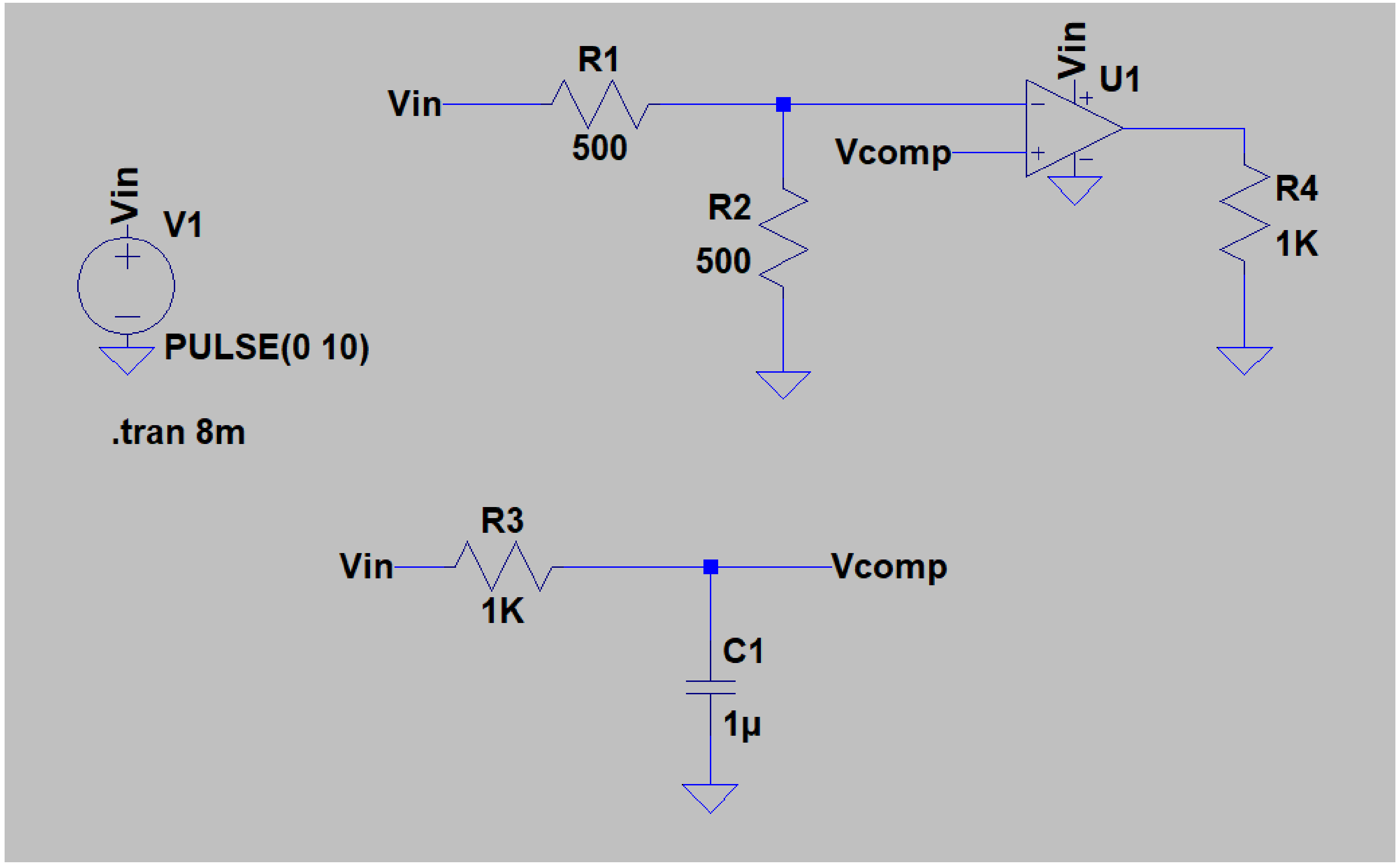
$$R < 250\Omega \ \rightarrow Super\ Amortecida$$
$$R = 250 \ \rightarrow Criticamente\ Amortecida$$
$$R > 250\ Sub - amortecida$$

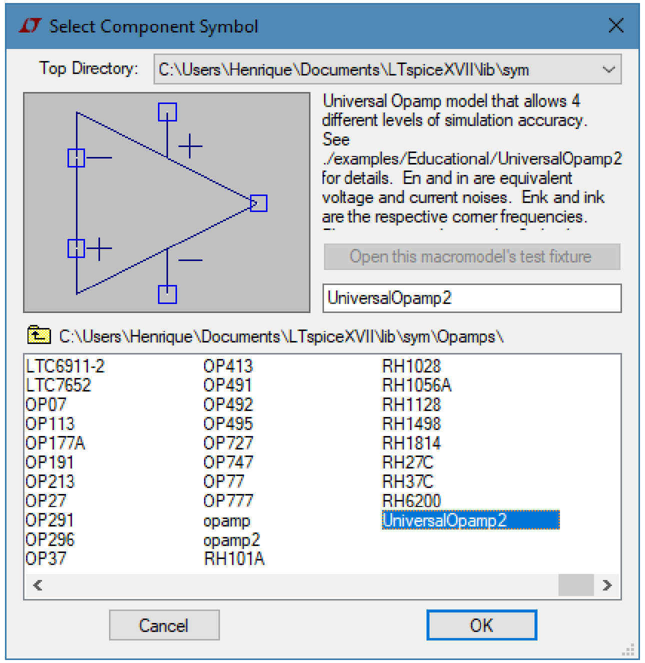
Análise Transiente



Análise Transiente

Circuito temporizador circuito RC e comparador (amplificador operacional em malha aberta)





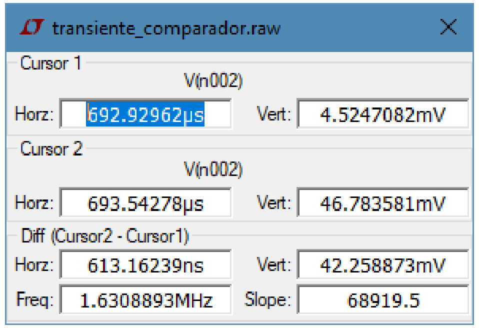
Análise Transiente_

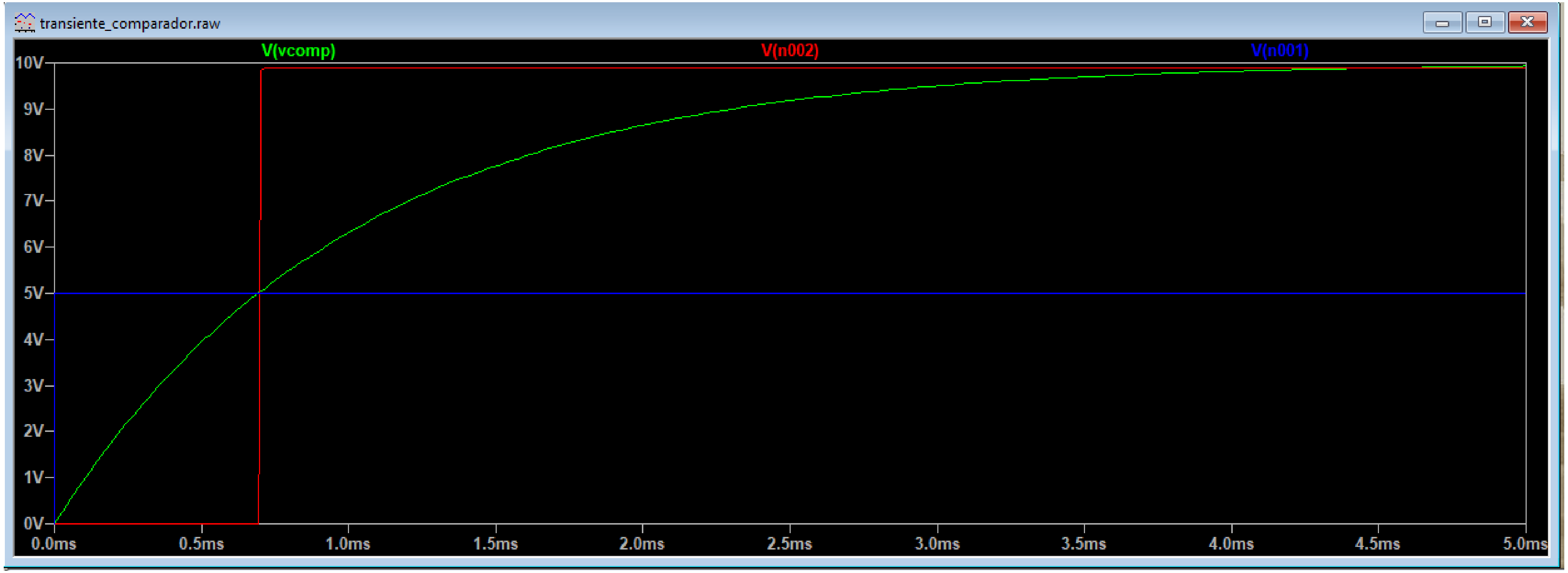
$$v_c(t) = V_s(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$0{,}5 = e^{-1000t}$$

$$5 = 10(1 - e^{-1000t})$$

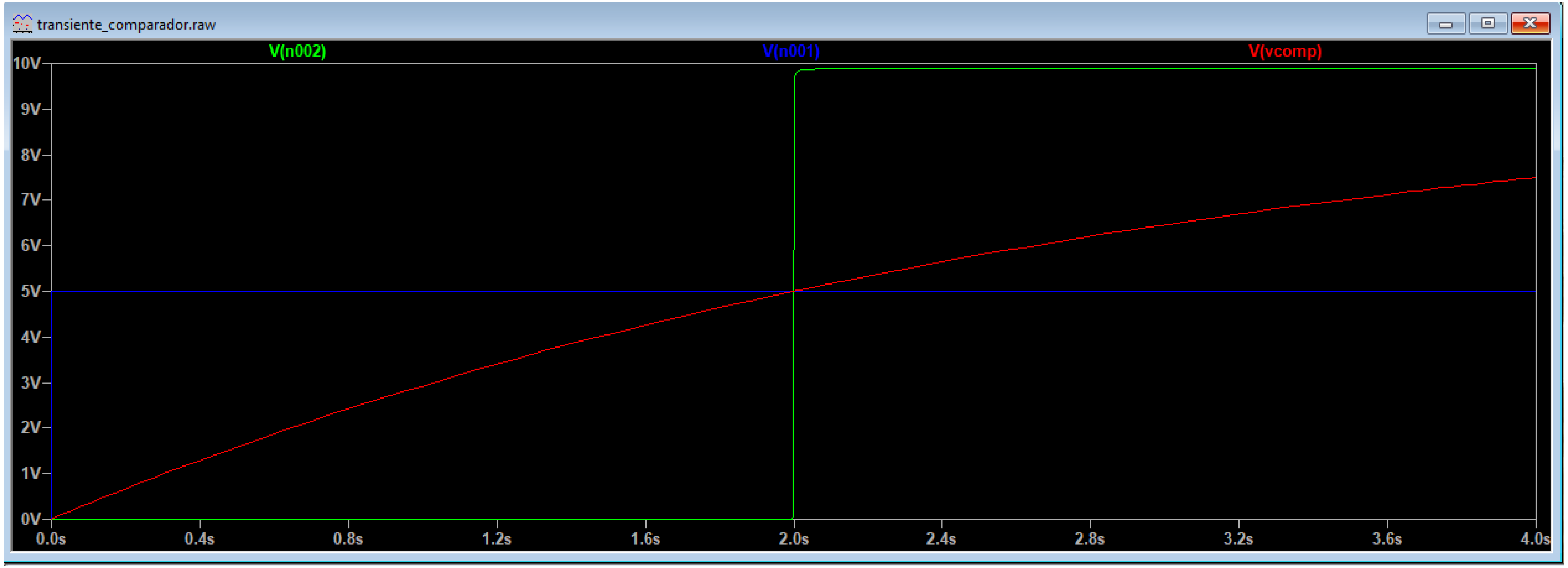
$$t = -\frac{ln(0{,}5)}{1000} = 0{,}693ms$$





Análise Transiente

Considerando o esquema anterior, calcule a resistência R, para que o circuito sofra um atraso de 2 segundos, de acordo com a resposta abaixo. Considere um capacitor de $10uF$

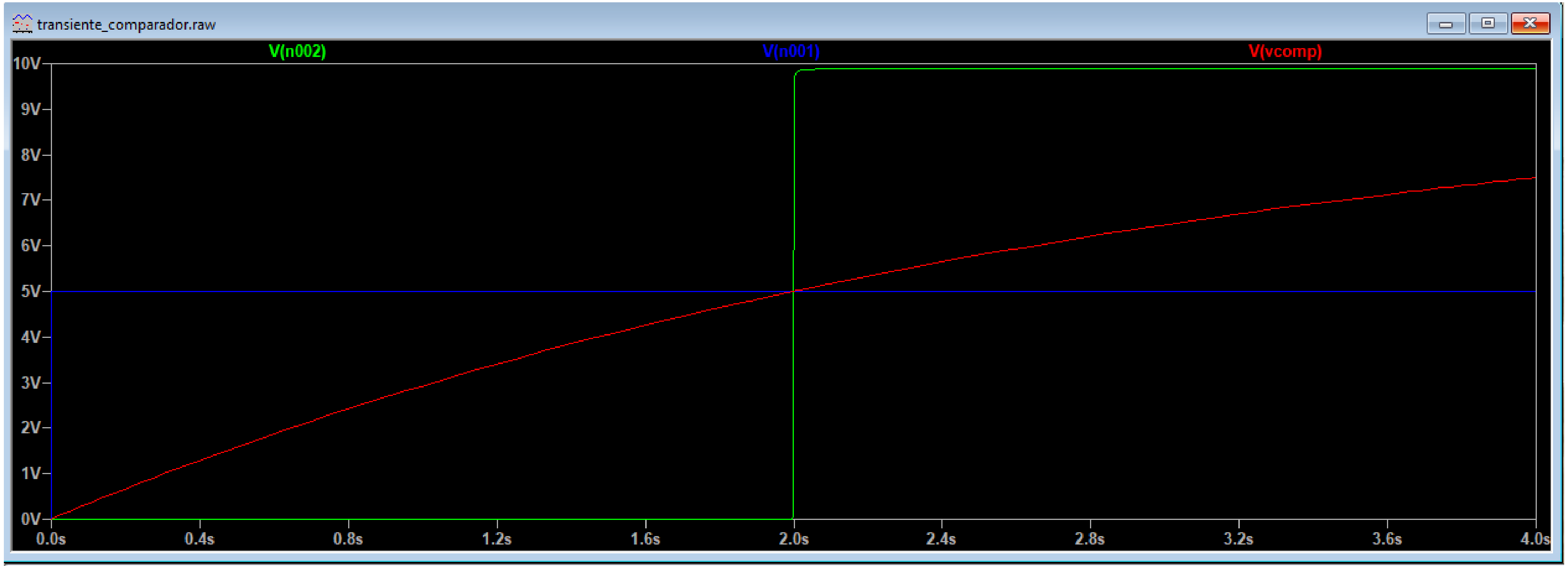


Análise Transiente

Considerando o esquema anterior, calcule a resistência R, para que o circuito sofra um atraso de 2 segundos, de acordo com a resposta abaixo. Considere um capacitor de $10uF$

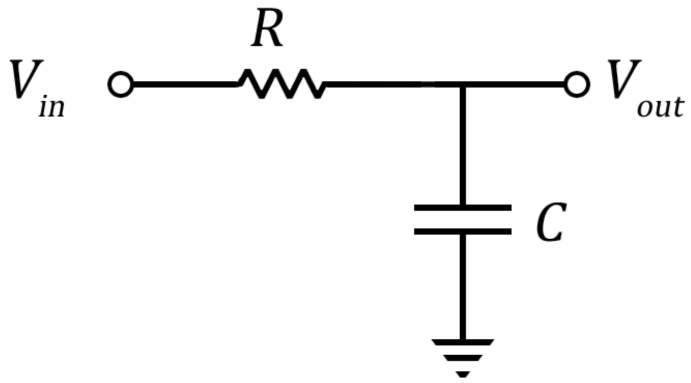
$$2 = -\ln(0{,}5) \cdot \tau \quad \therefore \quad \tau = 2{,}88s$$

$$10\mu \cdot R = 2{,}88 \quad \therefore \quad R = 288{,}539K\Omega$$

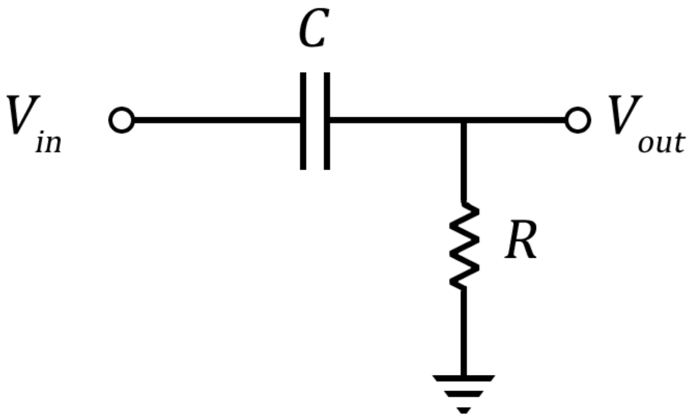


Filtros de primeira ordem RC

Passa Baixa



Passa Alta



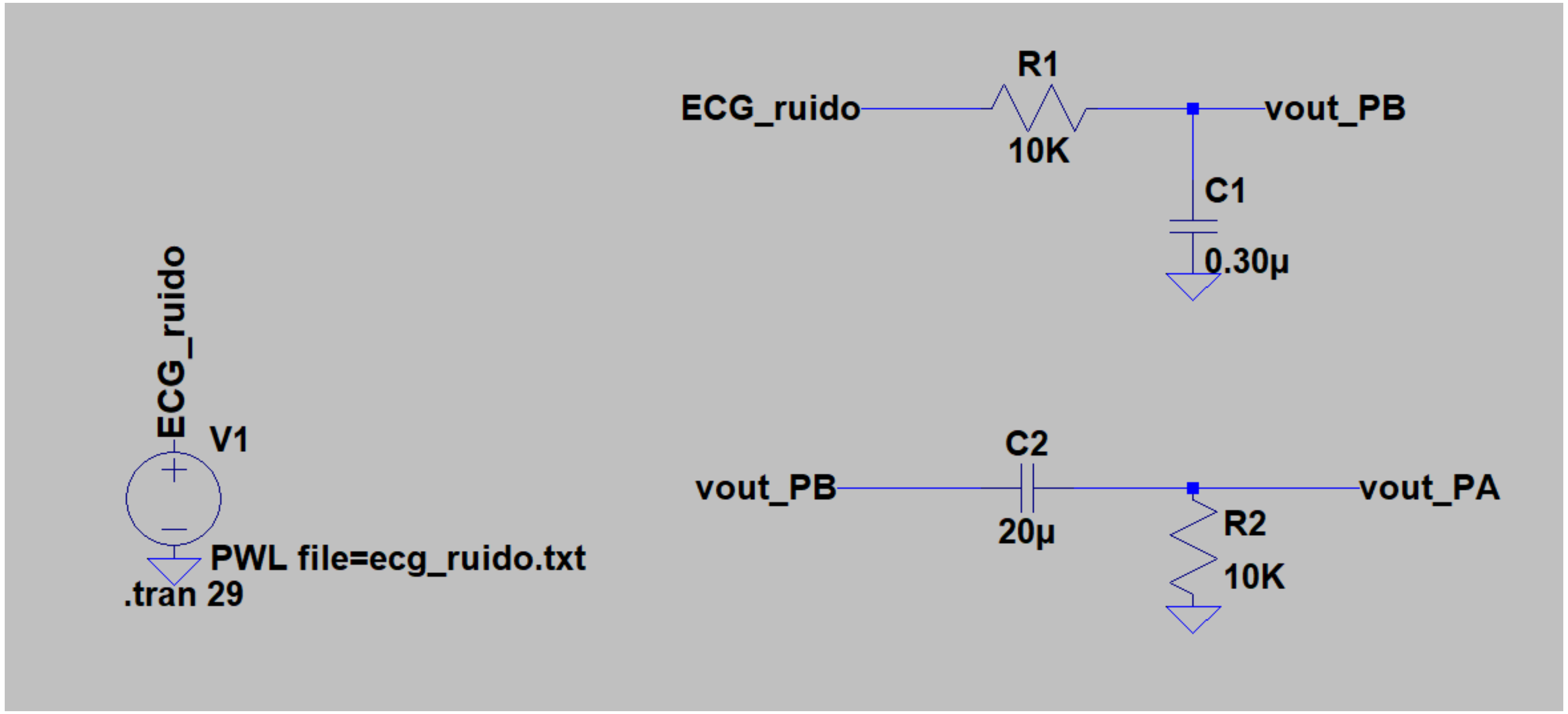
Impedância e admitância de elementos passivos		
Elemento	Impedância	Admitância
R	$\mathbf{Z} = R$	$\mathbf{Y} = \frac{1}{R}$
L	$\mathbf{Z} = j\omega L$	$\mathbf{Y} = \frac{1}{j\omega L}$
C	$\mathbf{Z} = \frac{1}{j\omega C}$	$\mathbf{Y} = j\omega C$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}\ (Hz)$$

Na frequência de corte, a amplitude do sinal de saída representa 70,71% da amplitude do sinal de entrada

Análise de filtros utilizando arquivo externo

Neste exemplo vamos utilizar o arquivo “ecg_ruído.txt” para analisarmos a ação de um filtro Passa altas e de um filtro Passa Baixas (sinal meramente ilustrativo)

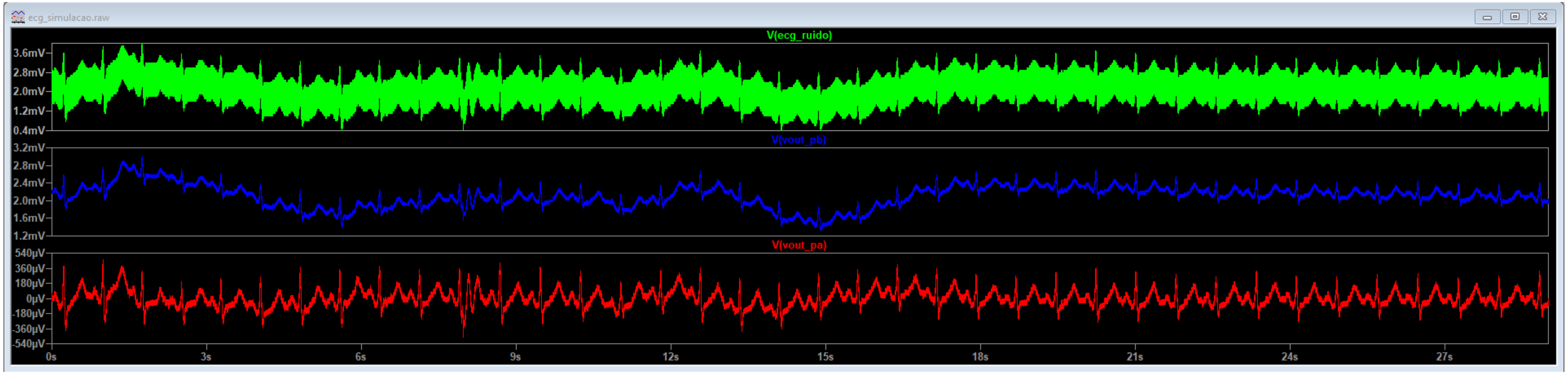


*Apenas para visualizar os efeitos dos filtros, deveria ser anexado um buffer de isolamento entre os estágios

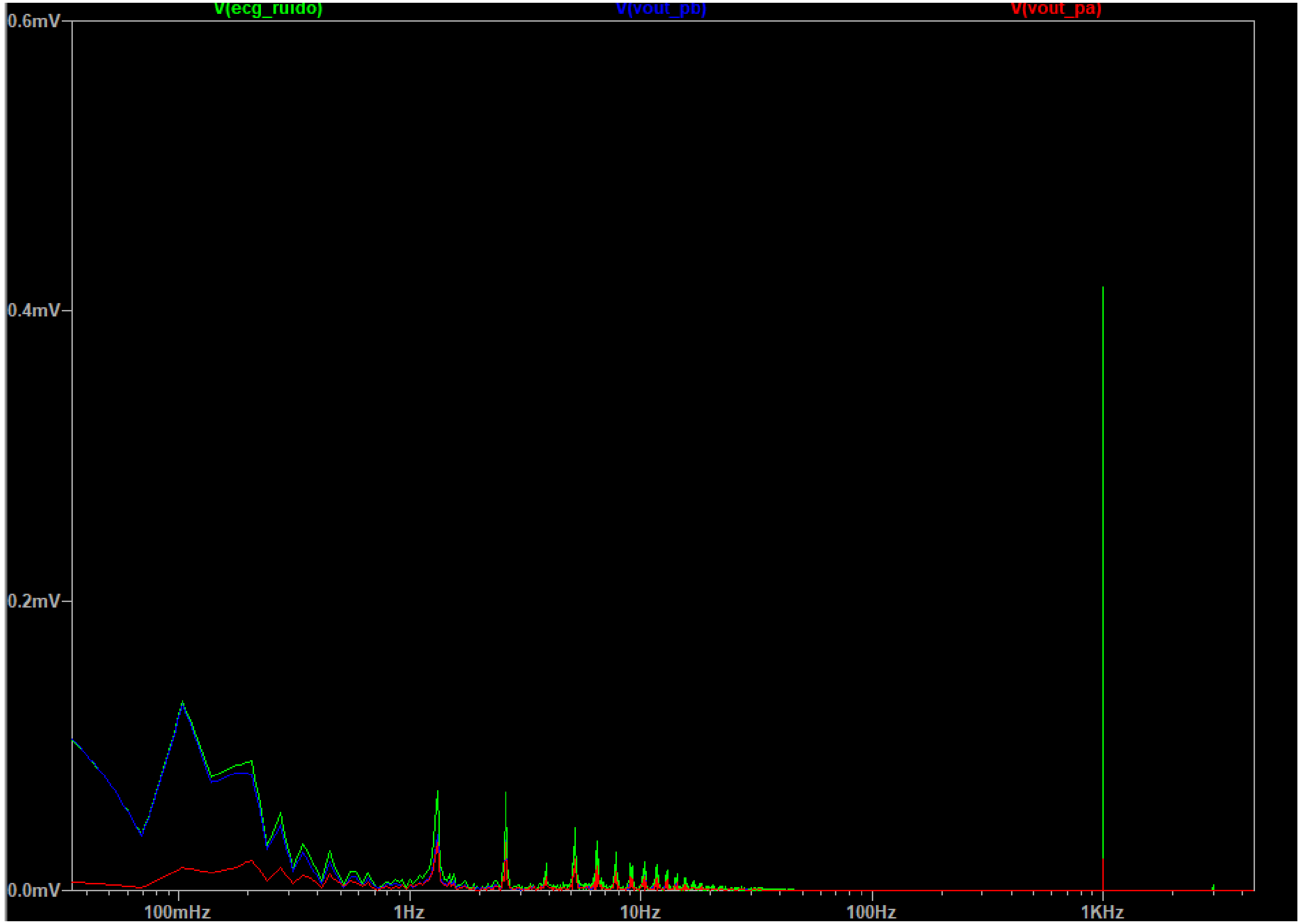
Análise Transiente

Análise de filtros utilizando arquivo externo

Neste exemplo vamos utilizar o arquivo “ecg_ruído.txt” para analisarmos a ação de um filtro Passa altas e de um filtro Passa Baixas

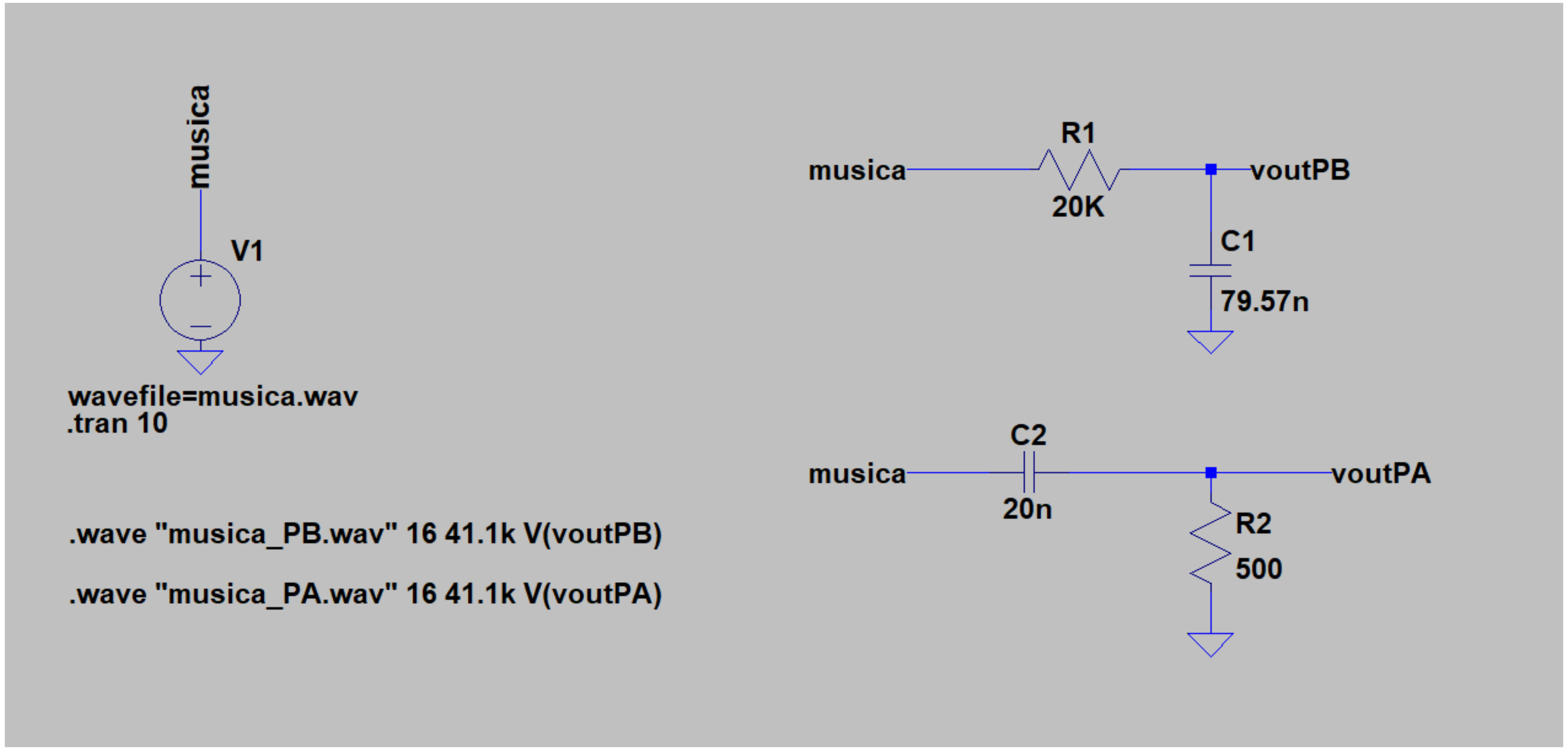


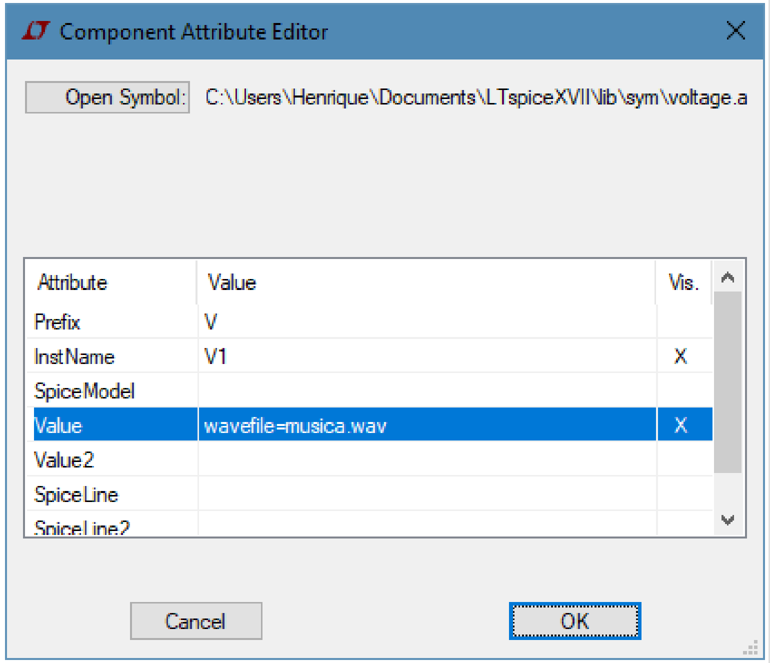
Comparativo do FFT (escala linear) dos 3 sinais



Aplicação de filtros em sinais de som

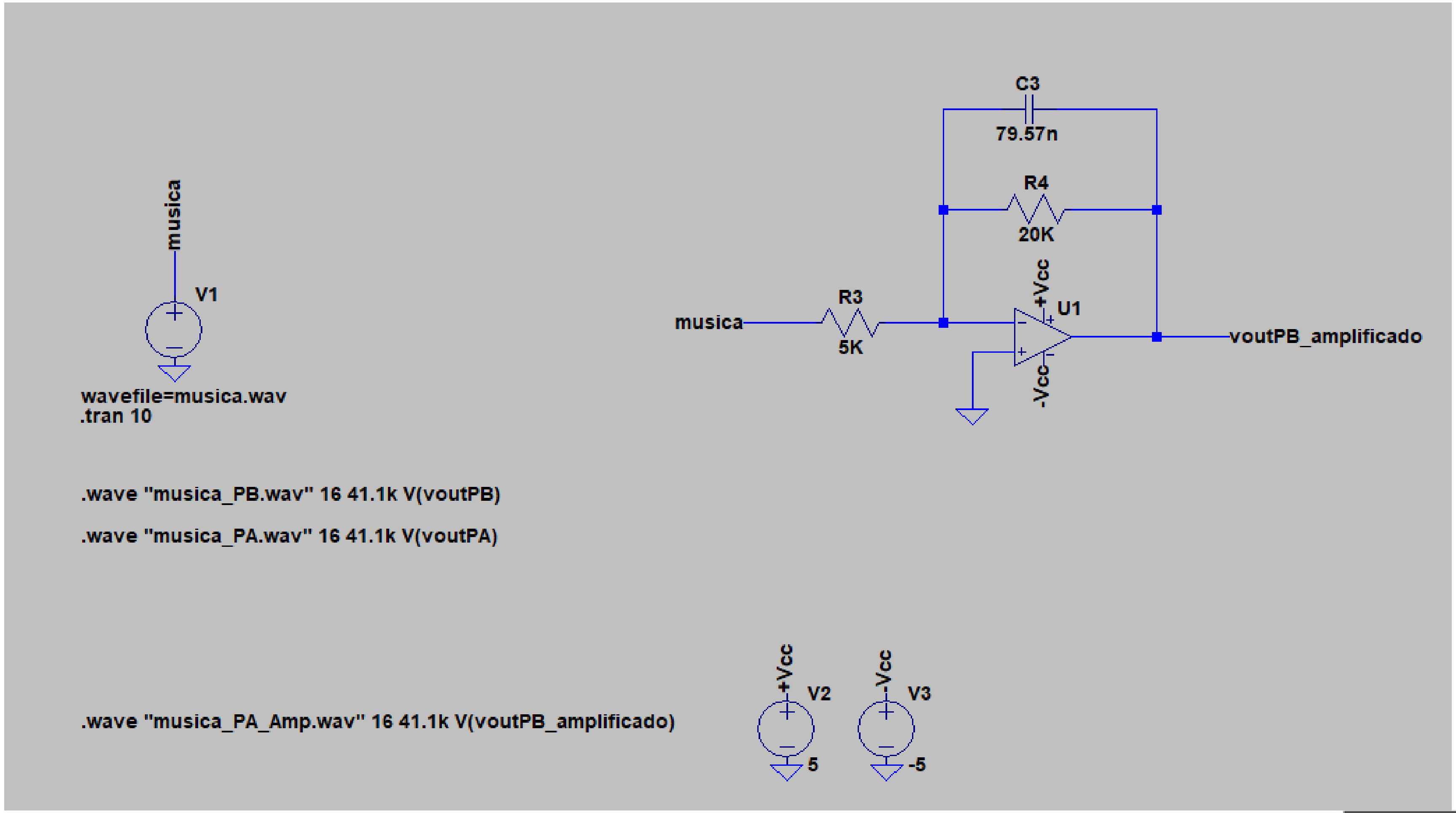
Clique com o botão direito na fonte de tensão e preencha o campo *Value* com o nome do arquivo





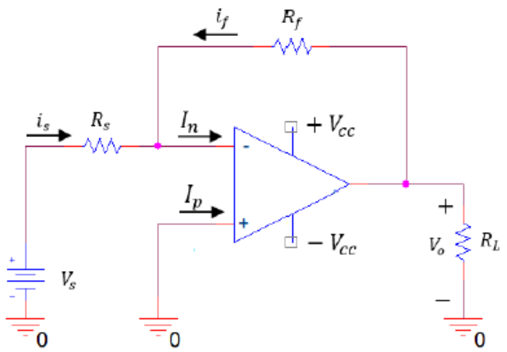
PB → $100Hz$ e PA → 16KHz

Aplicação de filtros em sinais de som (Filtro ativo) *Altere +Vcc e –Vcc para escutar a saturação

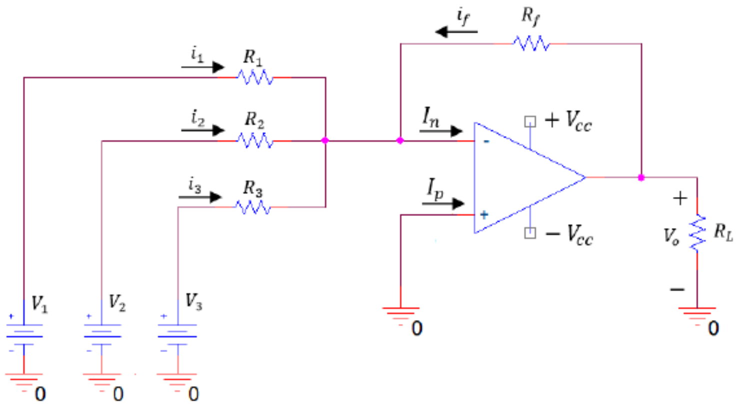


Amplificadores operacionais (configurações básicas)

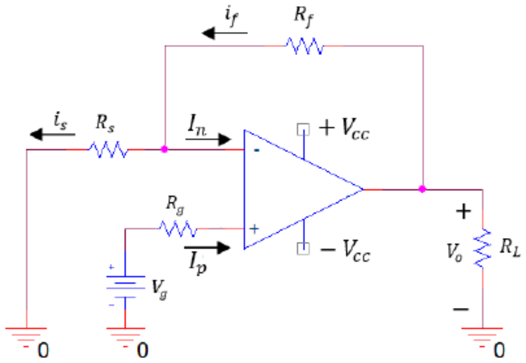
Amplificador inversor



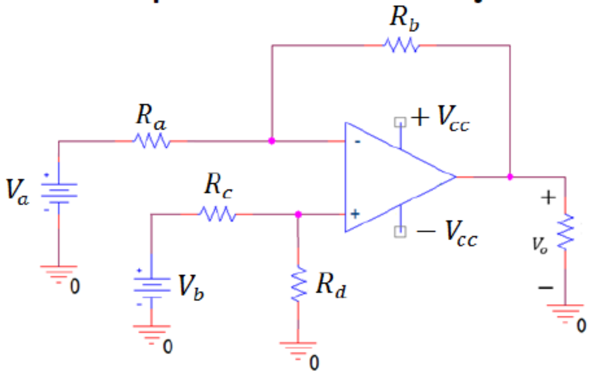
Amplificador somador inversor



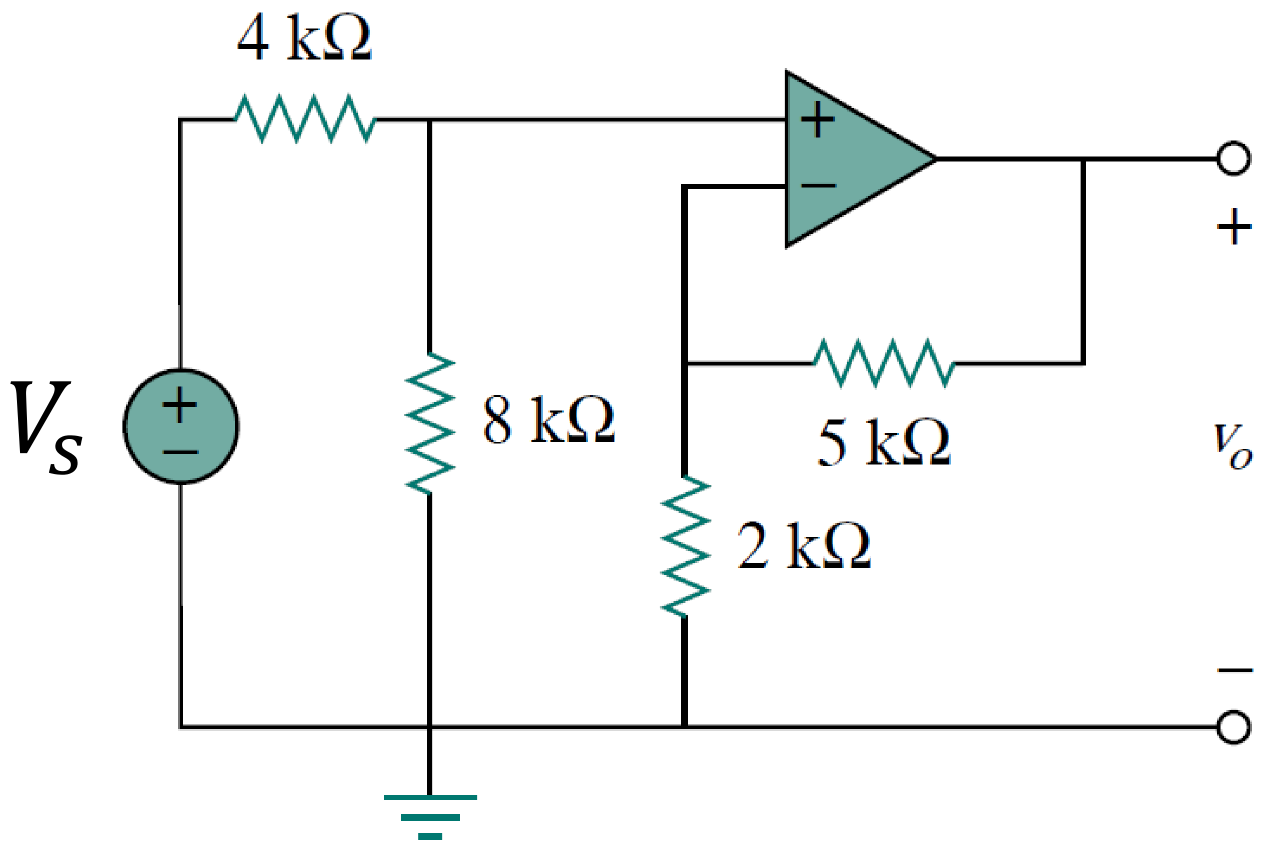
Amplificador não inversor



Amplificador da diferença



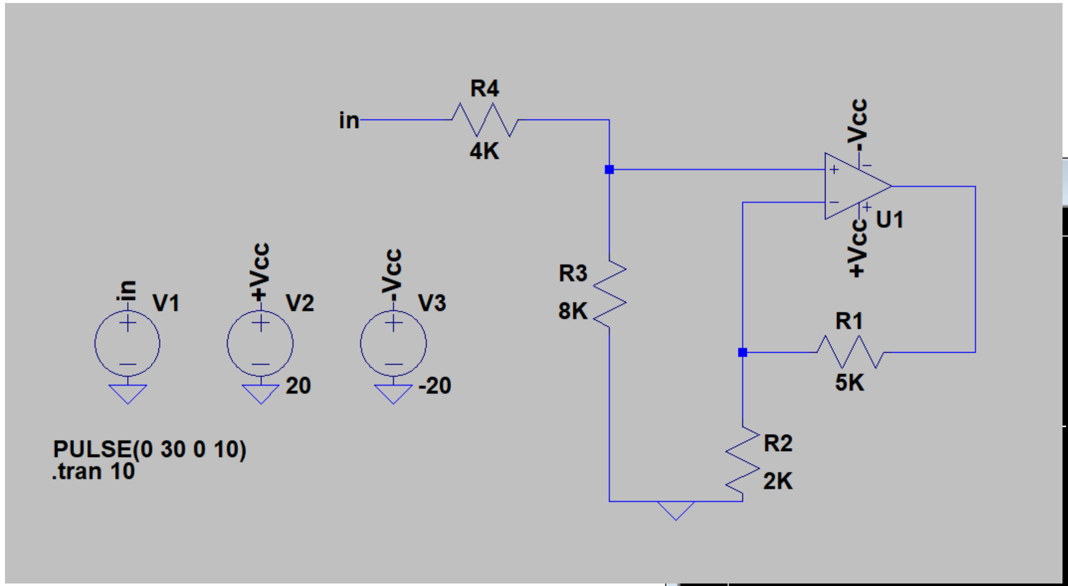
Seja a configuração de amplificador operacional abaixo. Por meio de simulação, defina qual o máximo de V_s para que V_o não sature.



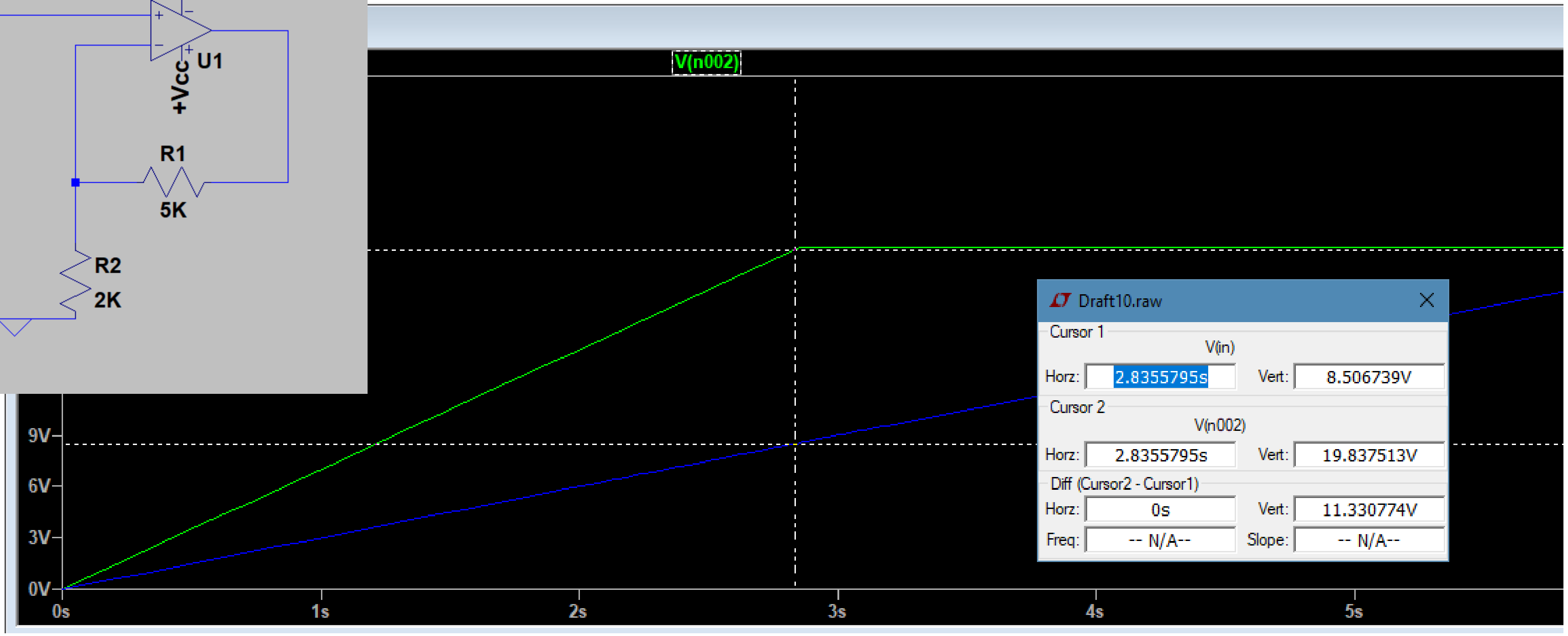
$+V_{cc} = 20V$
$-V_{cc} = -20V$

Análise Transiente

Após simular este circuito, verificar em qual valor de tensão de in vo é igual a saturação.



Vi = 8,5V



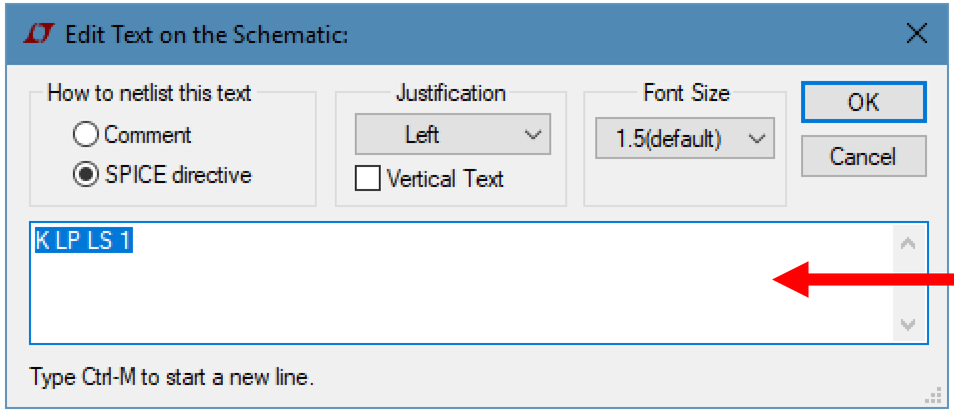
Simulando um transformador ideal.

Um transformador ideal, é definido como um transformador sem perdas, ou seja, com coeficiente de acoplamento igual a “1” (acoplamento ideal). Como vamos analisar um transformador ideal, a relação para redução ou a ampliação de tensão pode ser calculada pelo relação entre espiras do primário e secundário ou pela indutância destes enrolamentos. De acordo com a expressão:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_P}{N_s} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{L_P}{L_s}}$$

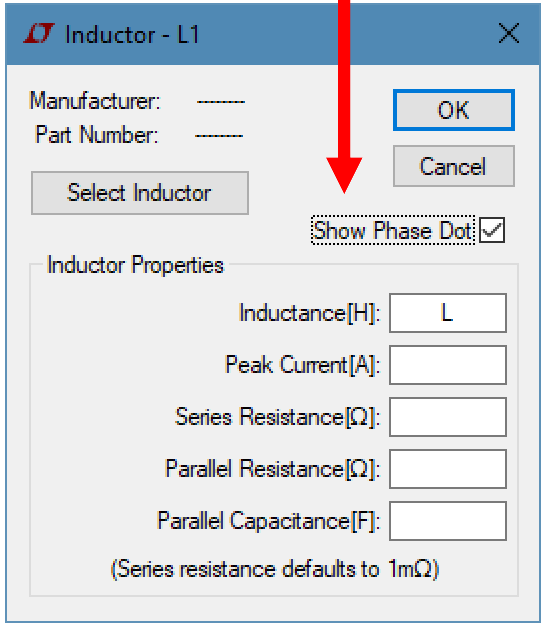
Se LP > LS → Redução de tensão
Se LS > LP → Ampliação de tensão
Se LS = LP → Circuito isolador

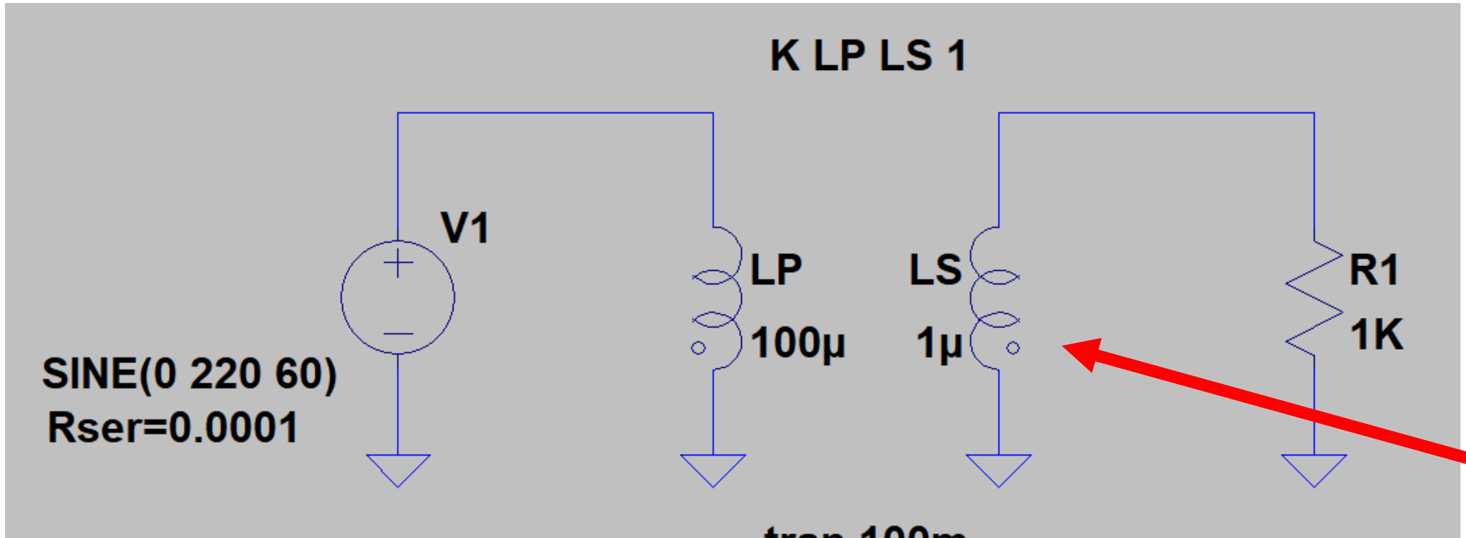
Análise Transiente



Indica instrução acoplamento ideal (OP)

Marcar caixa para apresentação do ponto (indutância mútua)

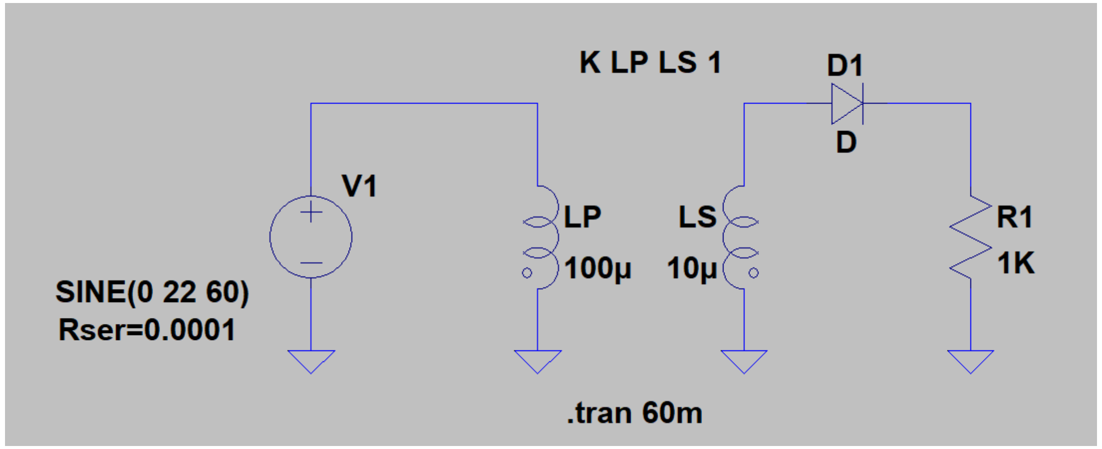




Relação 10:1

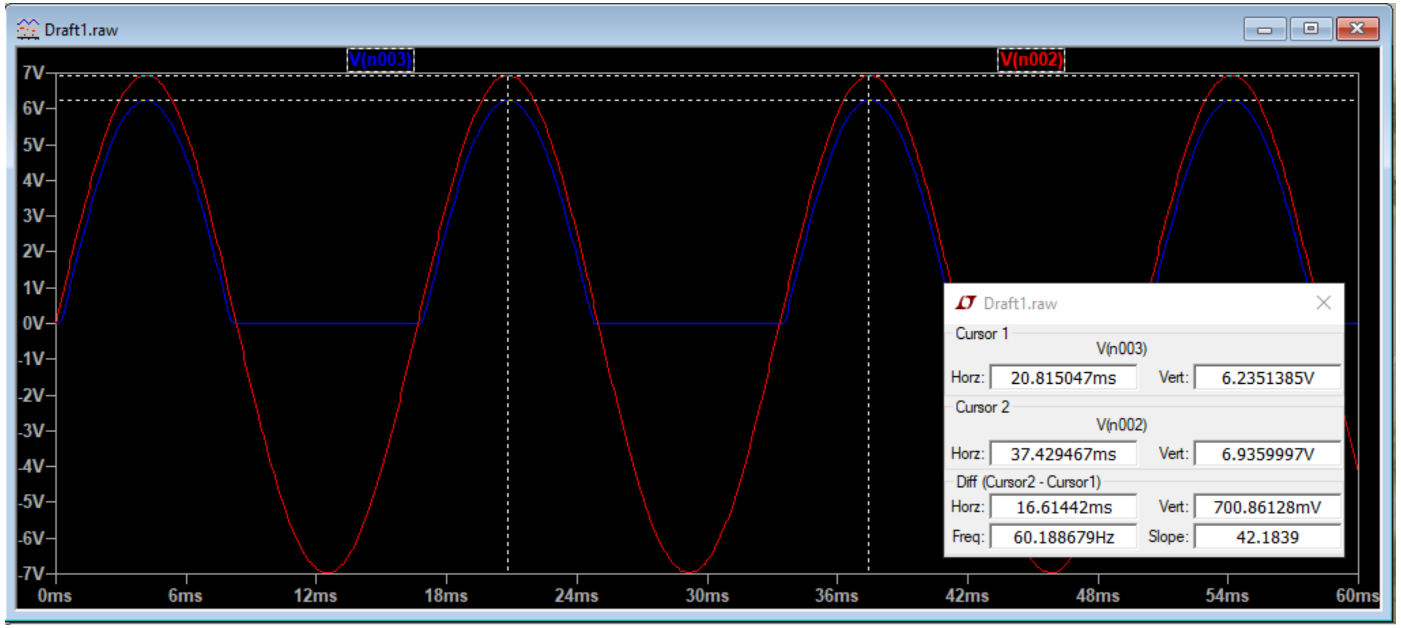
Utilizar *mirror* (Ctrl - E)

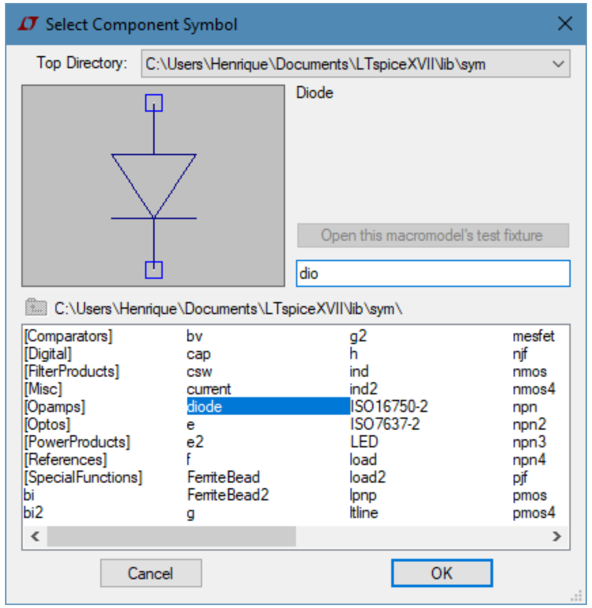
Análise Transiente



Adicione um diodo para visualizar o efeito de um retificador de meia onda.

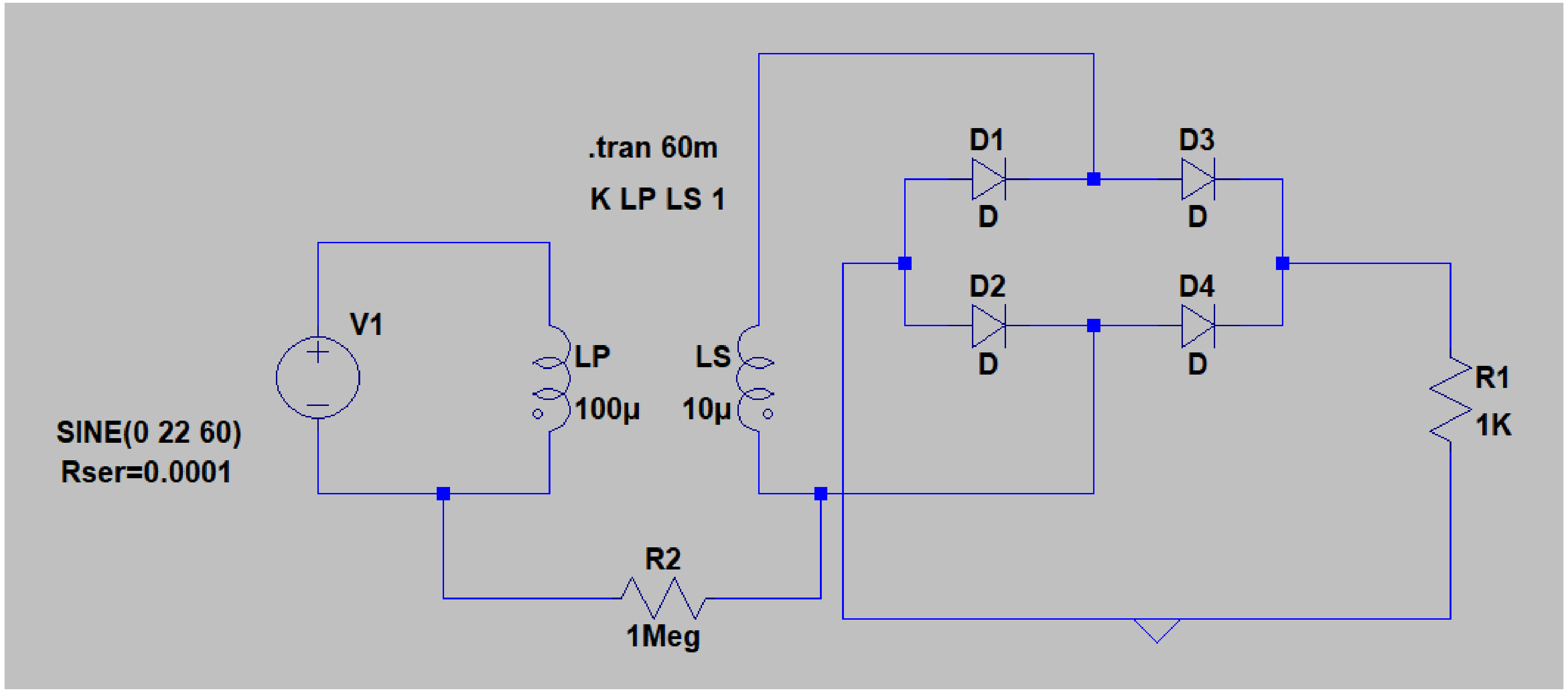
A queda de tensão de 0,7V referente ao diodo





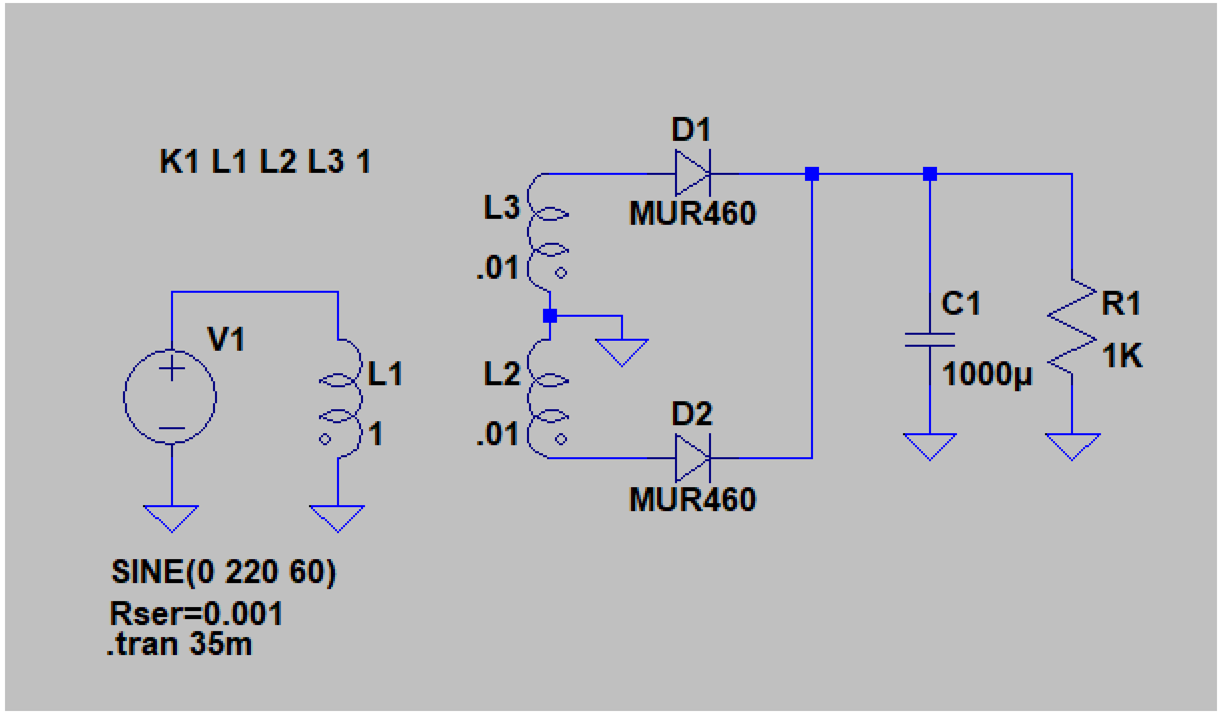
Análise Transiente

Utilize uma ponte retificadora com diodos para visualizar a retificação de onda completa.



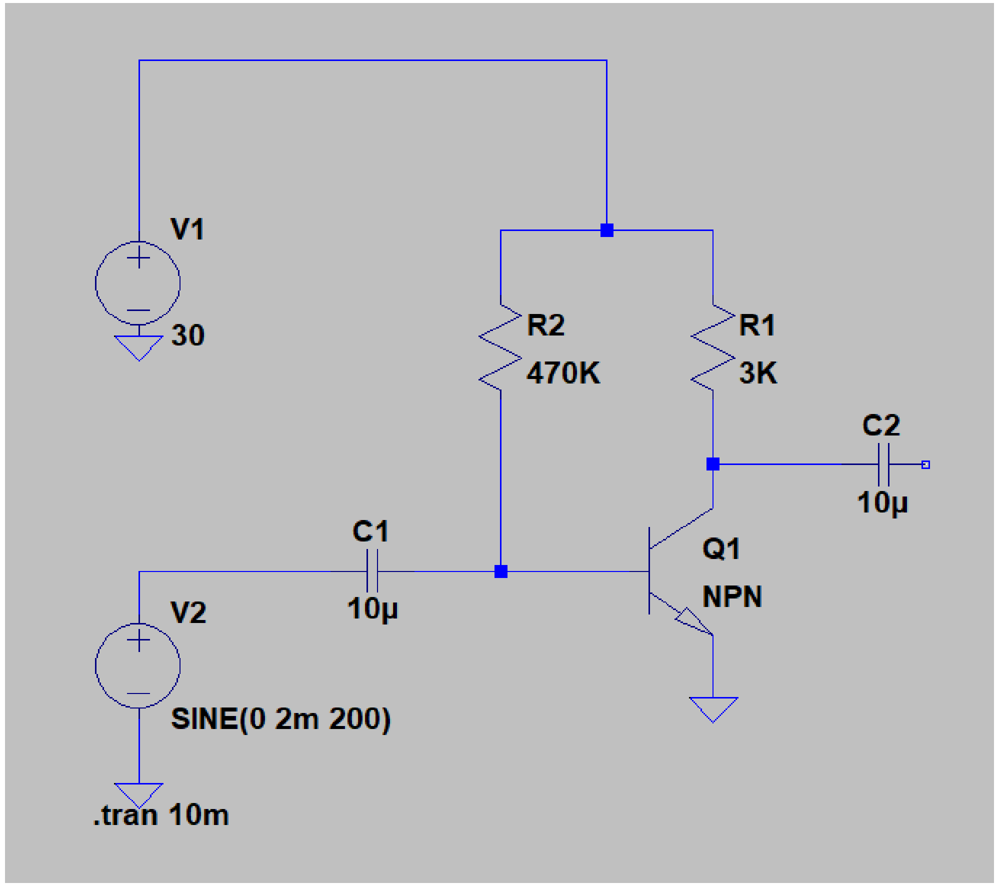
Análise Transiente

Retificador de onda completa e filtro capacitivo com TAP central



Análise Transiente

Simule o circuito transistorado de polarização fixa e verifique a influência de C2 neste circuito



Switch