



**WIEB III
2019**

Introdução a LTSPICE

Minicurso

Prof. Henrique Alves de Amorim
UNIFESP-ICT – Engenharia Biomédica

- Software para simulação de circuitos eletrônicos
- Atualmente é simulador de circuitos mais utilizado.
- Integrado ao sistema SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
- Licença gratuita

<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

Google - LTSPICE



Desenvolvido por:




NOW PART OF



- Definições iniciais
- Simulação para Ponto de operação (.op)
- Simulação de circuitos transientes
- Estudo de caso com amplificadores operacionais
- Simulação de circuitos em regime permanente senoidal
- Filtros



LTspice HotKeys																																
	Schematic	Symbol	Waveform	Netlist																												
Modes	ESC - Exit Mode	ESC - Exit Mode																														
	F3 – Draw Wire																															
	F5 – Delete	F5 – Delete	F5 – Delete																													
	F6 – Duplicate	F6 – Duplicate																														
	F7 – Move	F7 – Move																														
	F8 – Drag	F8 – Drag																														
	F9 – Undo	F9 – Undo	F9 – Undo	F9 – Undo																												
	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																													
	Ctrl+B – Zoom Back	Ctrl+B – Zoom Back	Ctrl+B – Zoom Back																													
	Space – Zoom Fit		Ctrl+E – Zoom Extents																													
	Ctrl+G – Toggle Grid		Ctrl+G – Toggle Grid	Ctrl+G – Goto Line #																												
	U – Mark Unncon. Pins	Ctrl+W – Attribute Window	'O' - Clear																													
	A – Mark Text Anchors	Ctrl+A – Attribute Editor	Ctrl+A – Add Trace																													
	Atl+Click - Power		Ctrl+Y – Vertical Autorange	Ctrl+R – Run Simulation																												
	Ctrl+Click - Attr. Edit		Ctrl+Click - Average																													
	Ctrl+H – Halt Simulation		Ctrl+H – Halt Simulation	Ctrl+H – Halt Simulation																												
Place	R – Resistor	R – Rectangle	<div>Command Line Switches</div> <table><tr><th>Flag</th><th>Short Description</th></tr><tr><td>-ascii</td><td>Use ASCII .raw files. (Degrades performance!)</td></tr><tr><td>-b</td><td>Run in batch mode.</td></tr><tr><td>-big or -max</td><td>Start as a maximized window.</td></tr><tr><td>-encrypt</td><td>Encrypt a model library.</td></tr><tr><td>-FastAccess</td><td>Convert a binary .raw file to Fast Access Format.</td></tr><tr><td>-netlist</td><td>Convert a schematic to a netlist.</td></tr><tr><td>-nowine</td><td>Prevent use of WINE(Linux) workarounds.</td></tr><tr><td>-PCBnetlist</td><td>Convert a schematic to a PCB netlist.</td></tr><tr><td>-registry</td><td>Store user preferences in the registry.</td></tr><tr><td>-Run</td><td>Start simulating the schematic on open.</td></tr><tr><td>-SOI</td><td>Allow MOSFET's to have up to 7 nodes in subcircuit.</td></tr><tr><td>-uninstall</td><td>Executes one step of the uninstallation process.</td></tr><tr><td>-wine</td><td>Force use of WINE(Linux) workarounds.</td></tr></table>		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.
	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.																															
C – Capacitor	C – Circle																															
L – Inductor	L – Line																															
D – Diode	A – Arc																															
G – GND																																
S – Spice Directive																																
T – Text	T – Text																															
F2 – Component																																
F4 – Label Net																																
Ctrl+E – Mirror	Ctrl+E – Mirror																															
Ctrl+R – Rotate	Ctrl+R – Rotate																															

LTspice

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	

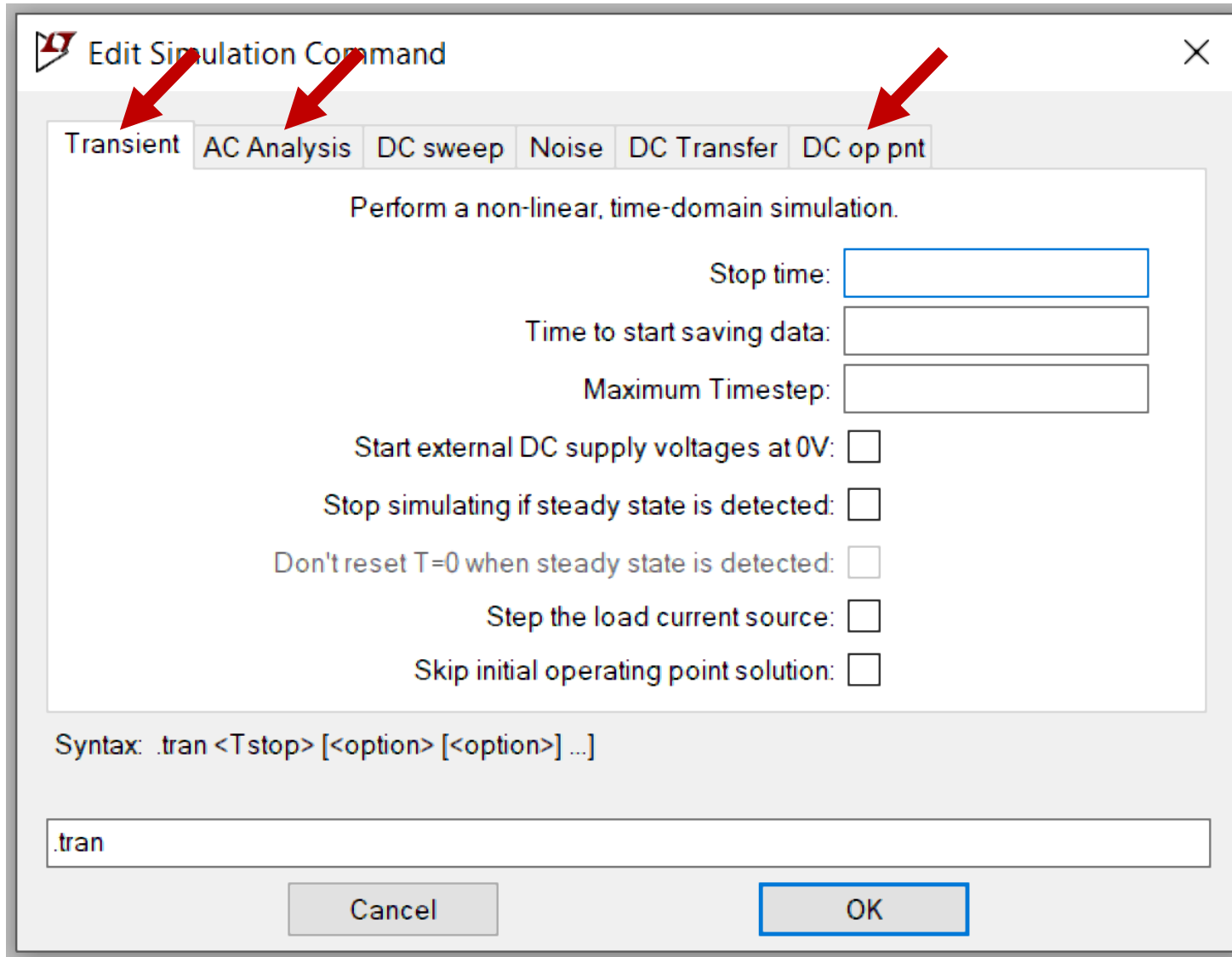
Suffix		Suffix		Constants	
		f	1e-15	E	2.7182818284590452354
T	1e12	p	1e-12	Pi	3.14159265358979323846
G	1e9	n	1e-9	K	1.3806503e-23
Meg	1e6	u	1e-6	Q	1.602176462e-19
K	1e3	M	1e-3	TRUE	1
		Mil	25.4e-6	FALSE	0

LTspice



See Demo

Tópicos do minicurso



Serão abordadas as seguintes simulações

Análise de ponto de operação (.op)

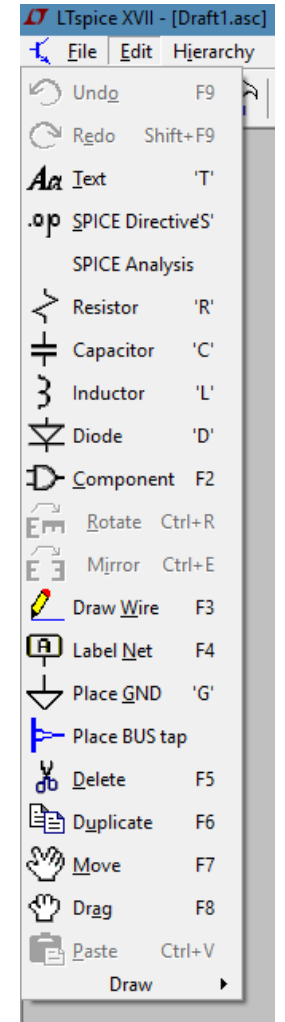
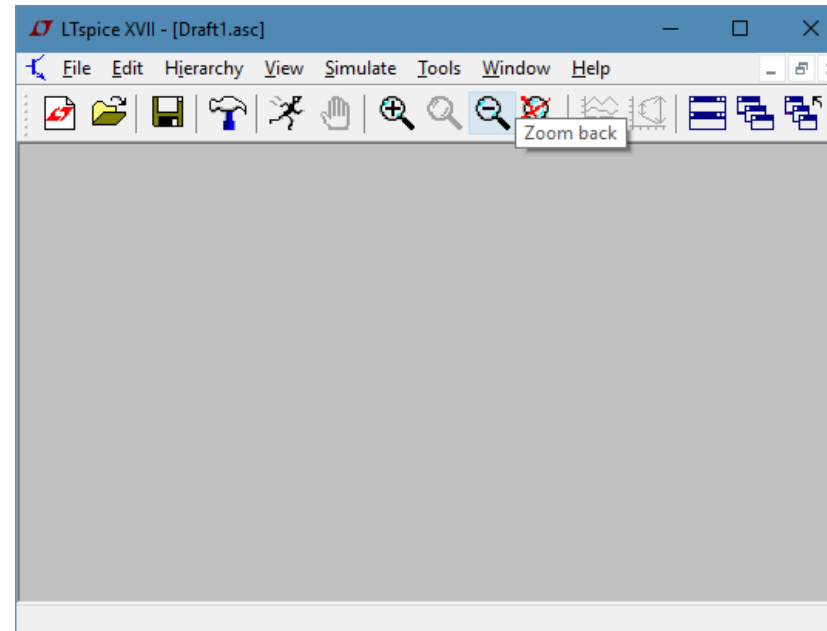
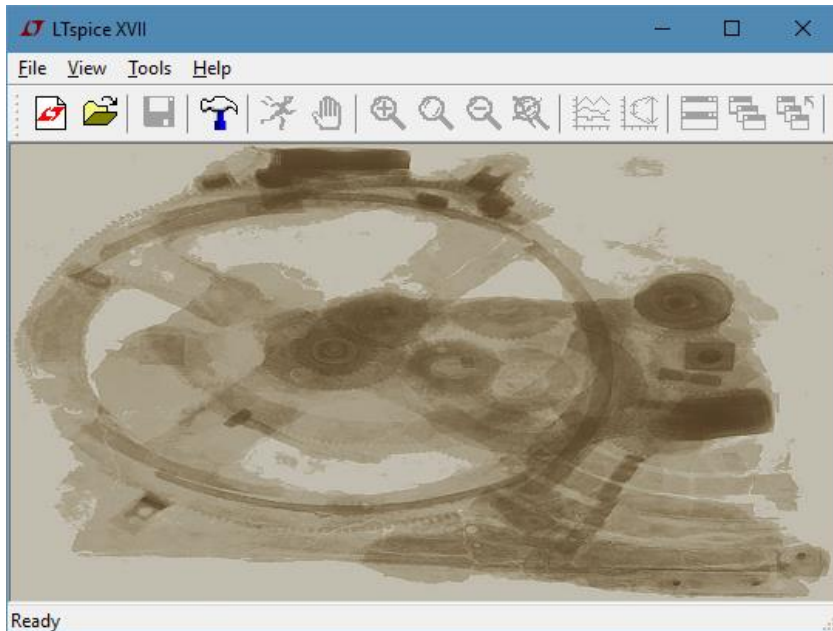
I.E. Circuitos resistivos e análise da resposta permanente

Análise da resposta Transiente (.tran)

I.E. RC, RL, transformadores, controladores

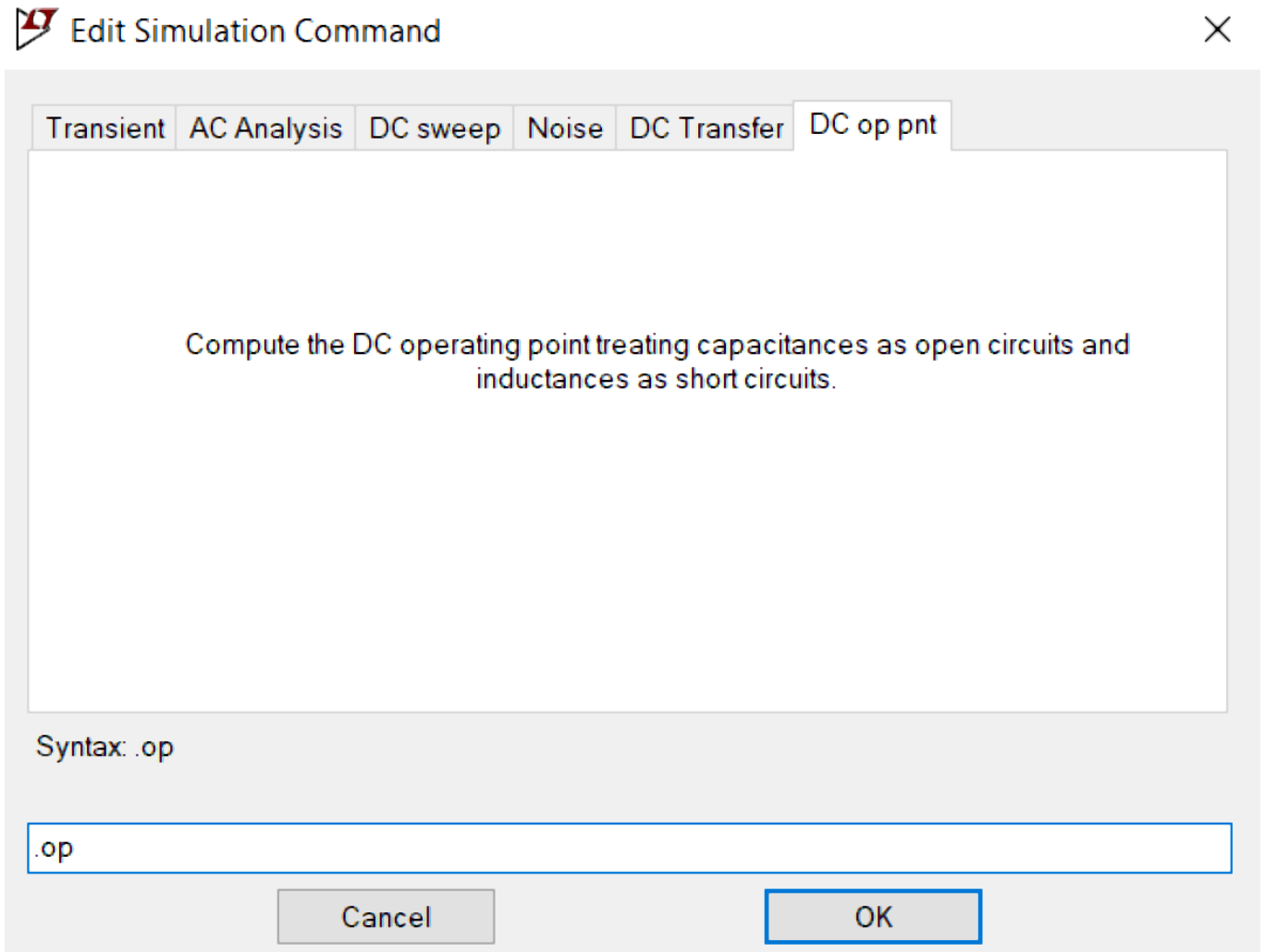
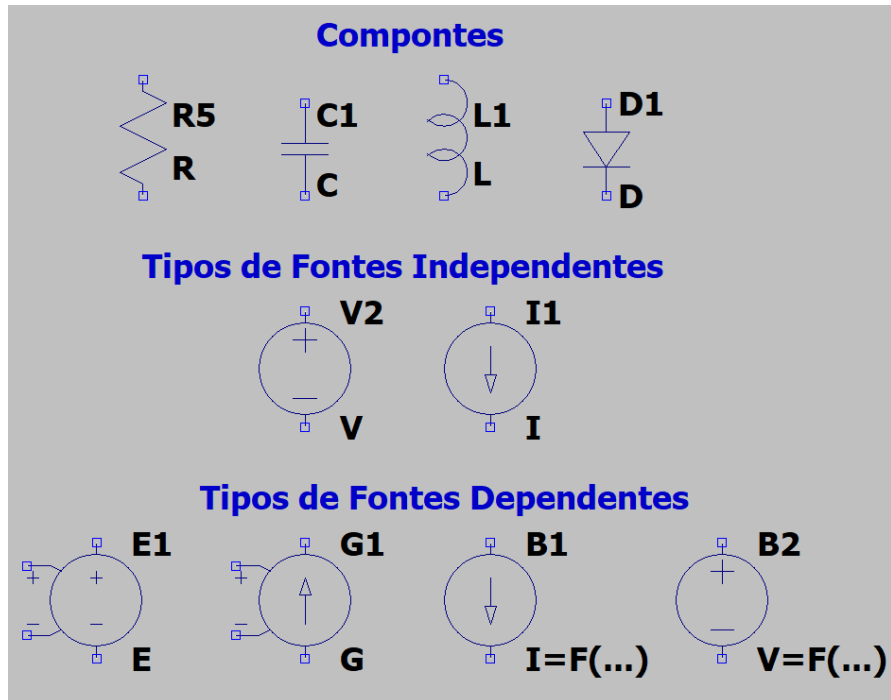
Análise da resposta senoidal para regime permanente (.ac)

I.E. Filtros

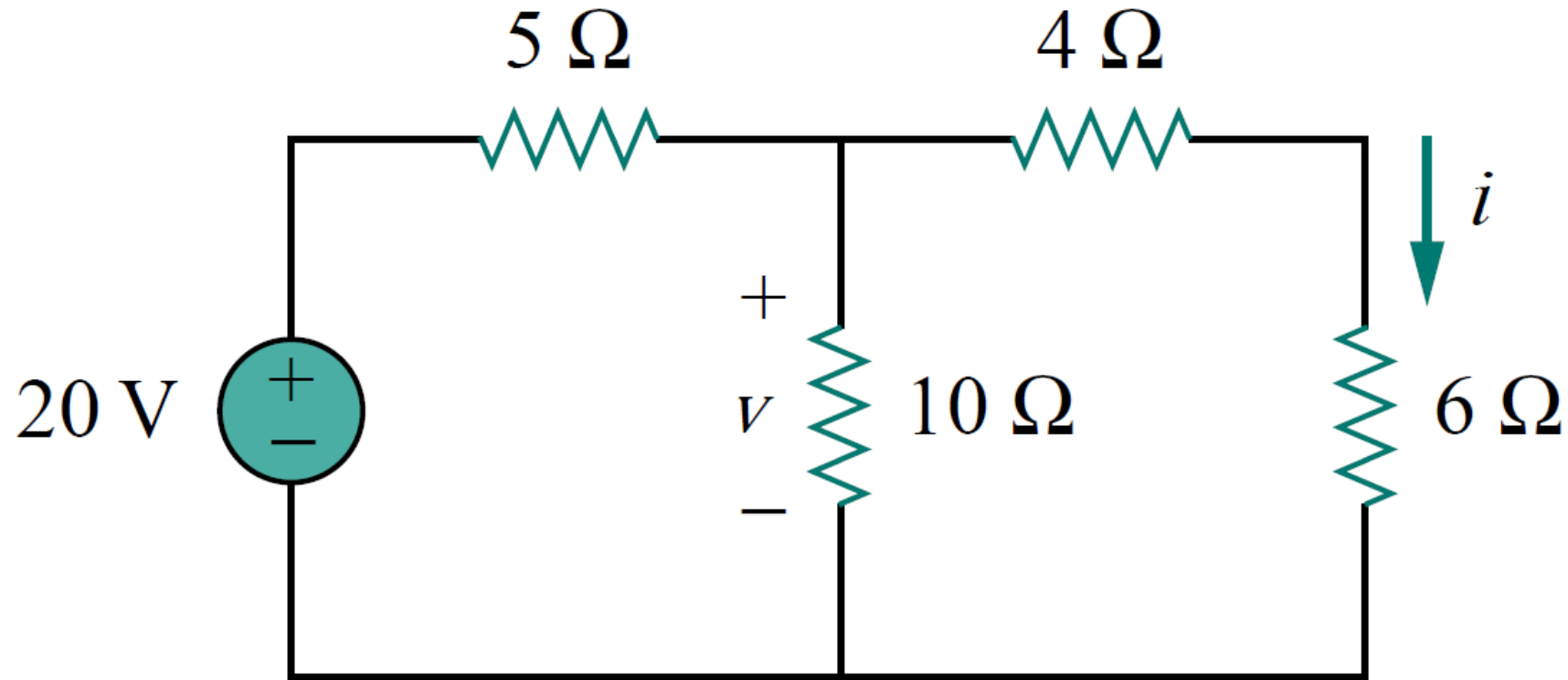


Análise DC (.op)

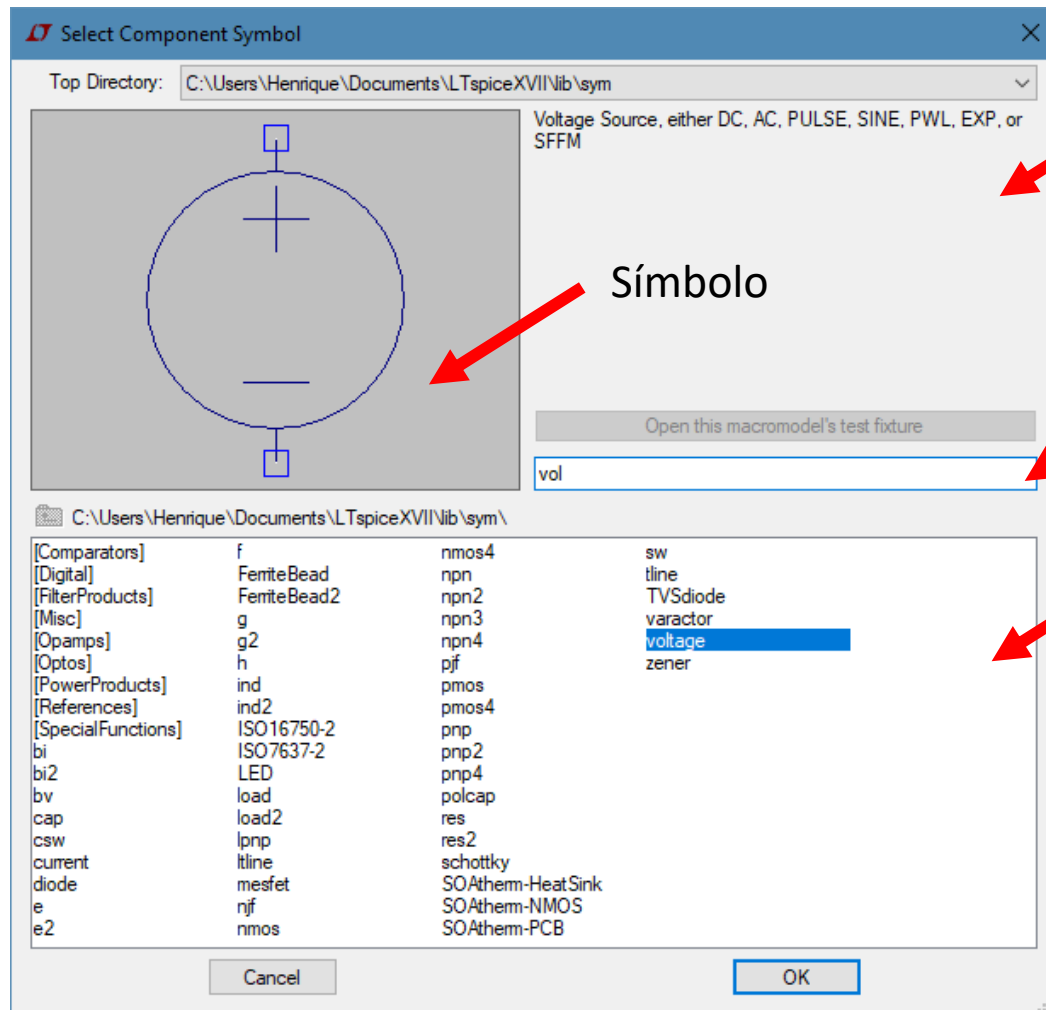
Nesta análise iremos obter as tensões e correntes de interesse considerando apenas a resposta em regime permanente, ou seja, ignorando a resposta transiente.



Exemplo: Prove as leis de Kirchhoff e calcule a potência total.



Passo 1: Adicione os componentes





Adicionar Resistor



Análise DC (.op)

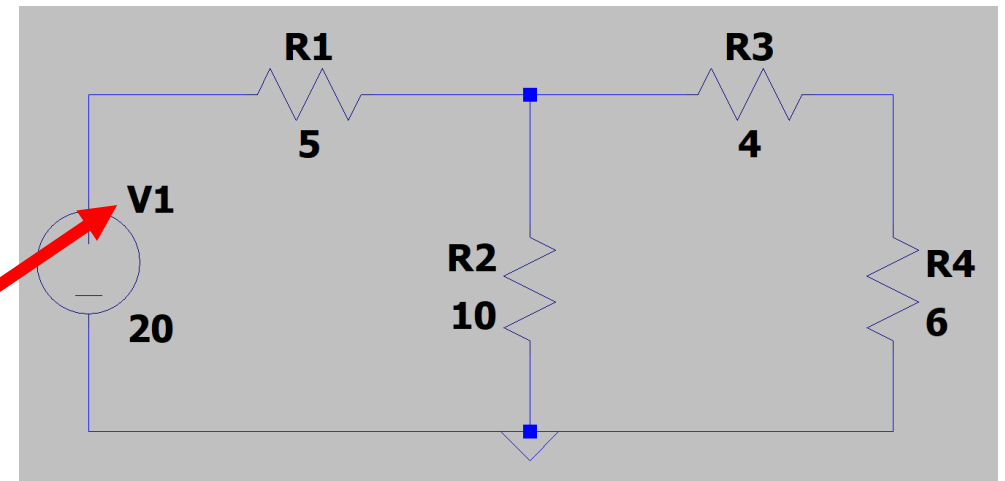
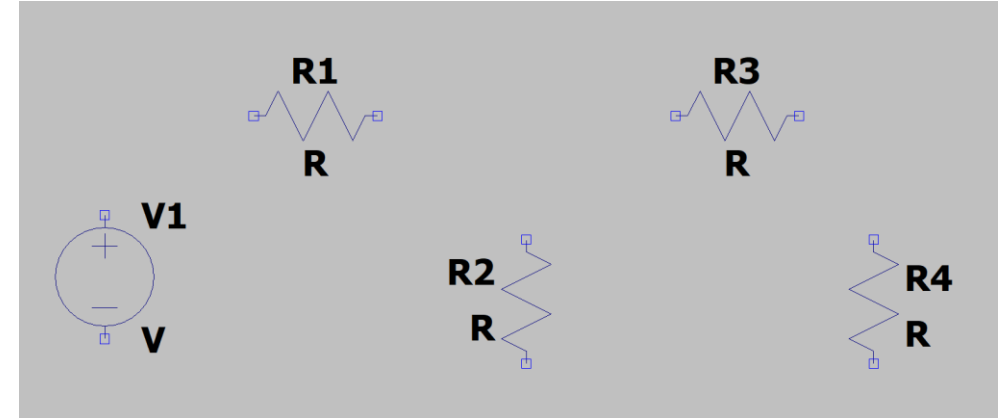
Passo 2: Organize os componentes (utilize o atalho **Ctrl-R** para rotacionar os elementos)

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

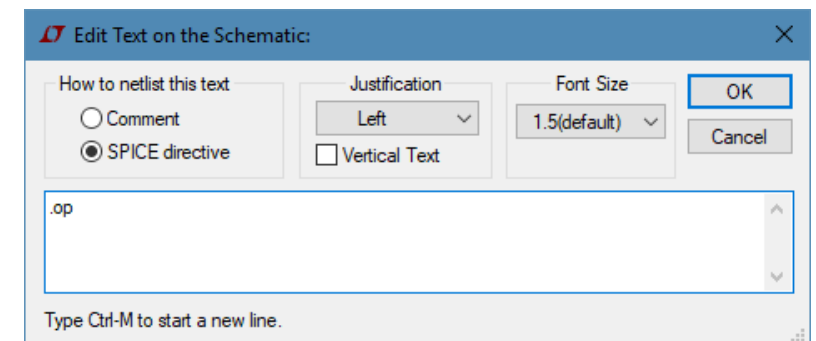
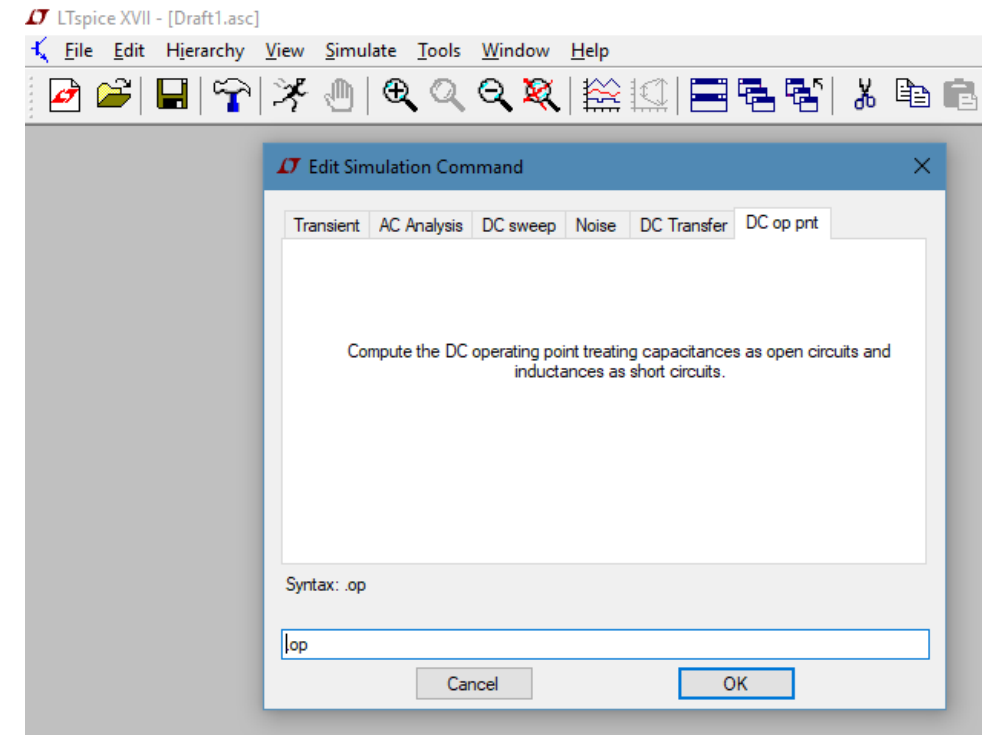
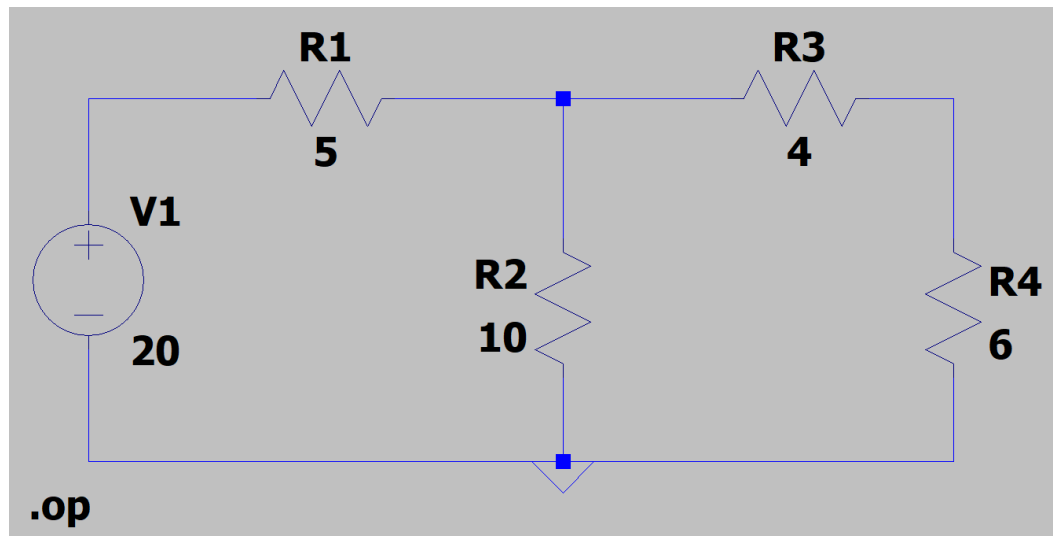
Identificador do elemento



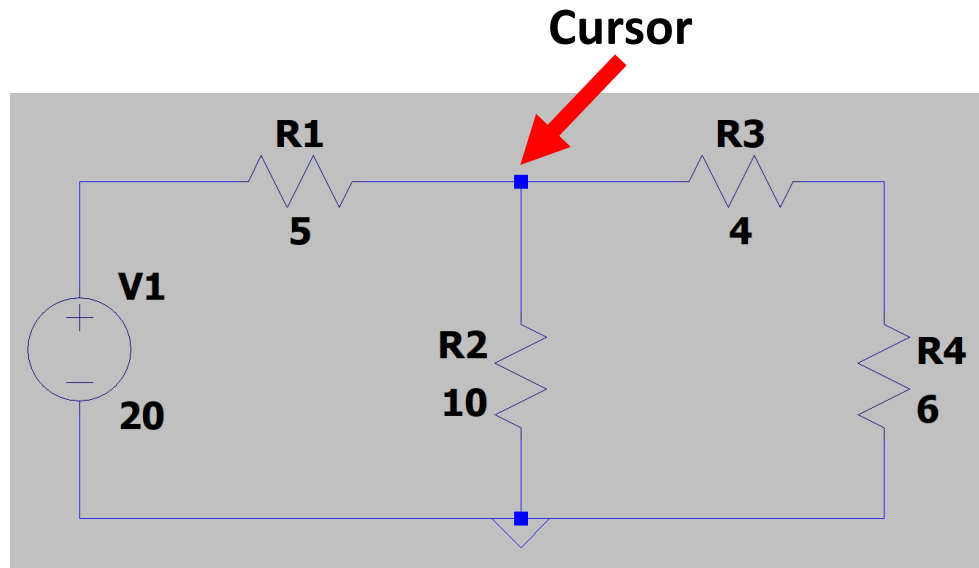
Análise DC (.op)

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)

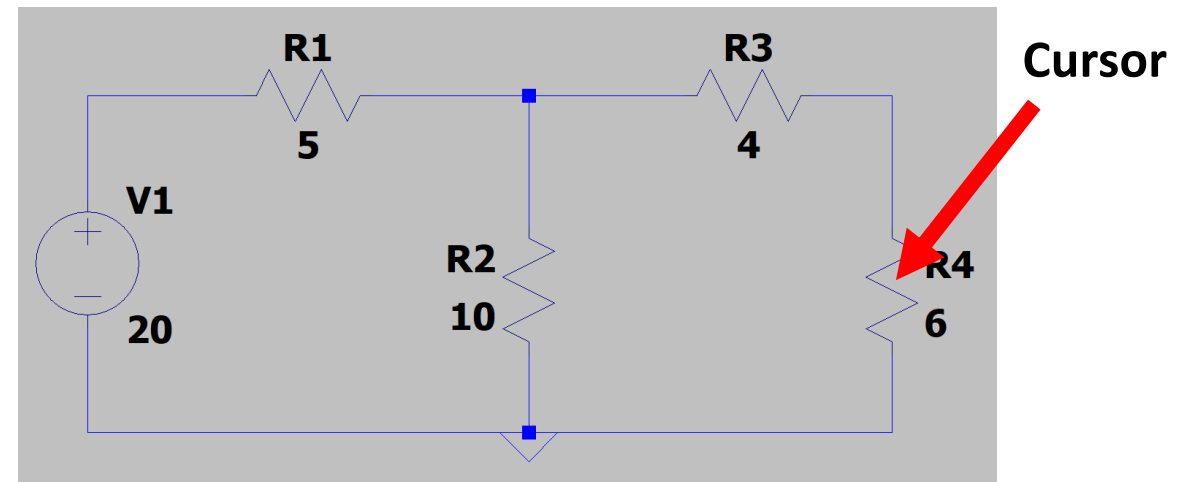


Passo 7: Medir parâmetros de tensão, corrente e potência. Passando o cursor sobre os nós ou sobre os componentes, é possível visualizar os parâmetros na barra de *status*.



This is node N002. DC operating point: $V(n002) = 10V$

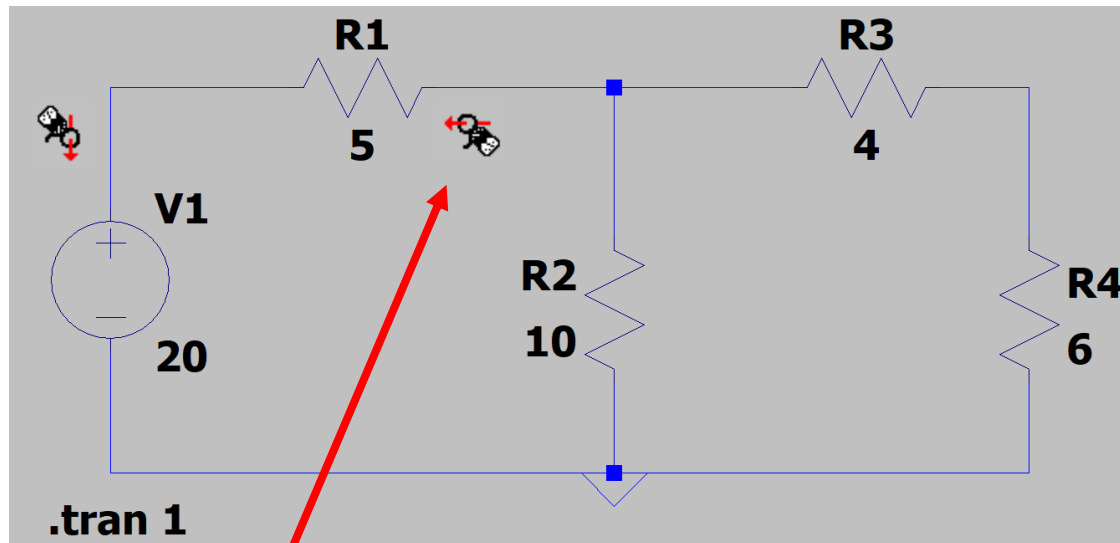
Barra de status



Right click to edit R4. DC operating point: $I(R4) = 1A$ Dissipation=6W

Barra de status

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



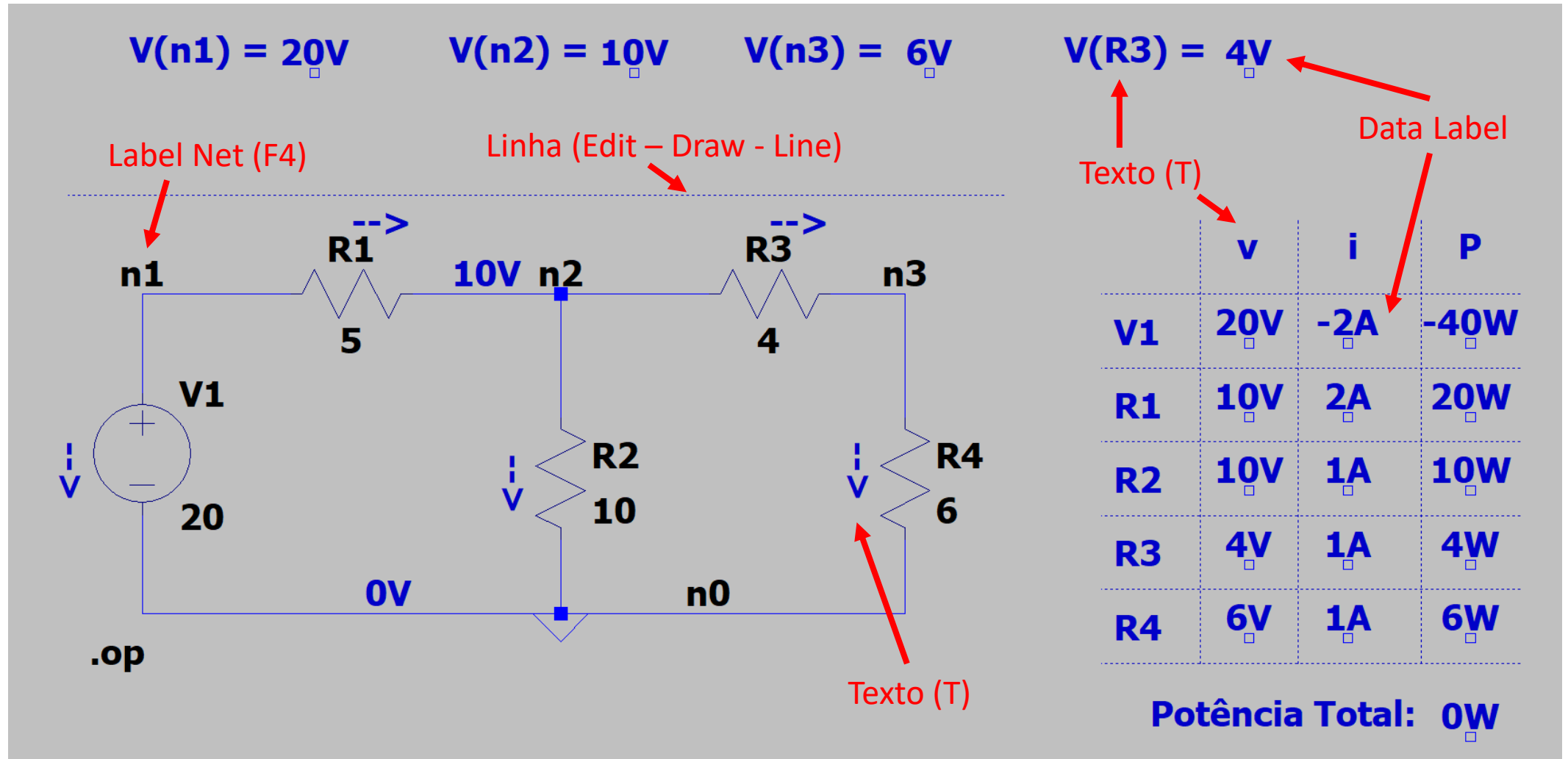
O cursor irá informar o sentido adotado
O tempo não é relevante

Para alterar o sentido de referência de um resistor, basta move-lo e rotacionar 2x (F7 – Ctrl R – Ctrl R)

--- Operating Point ---		
V(n1) :	20	voltage
V(n2) :	10	voltage
V(n3) :	6	voltage
I(R4) :	1	device_current
I(R3) :	1	device_current
I(R2) :	1	device_current
I(R1) :	2	device_current
I(V1) :	-2	device_current

* 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.

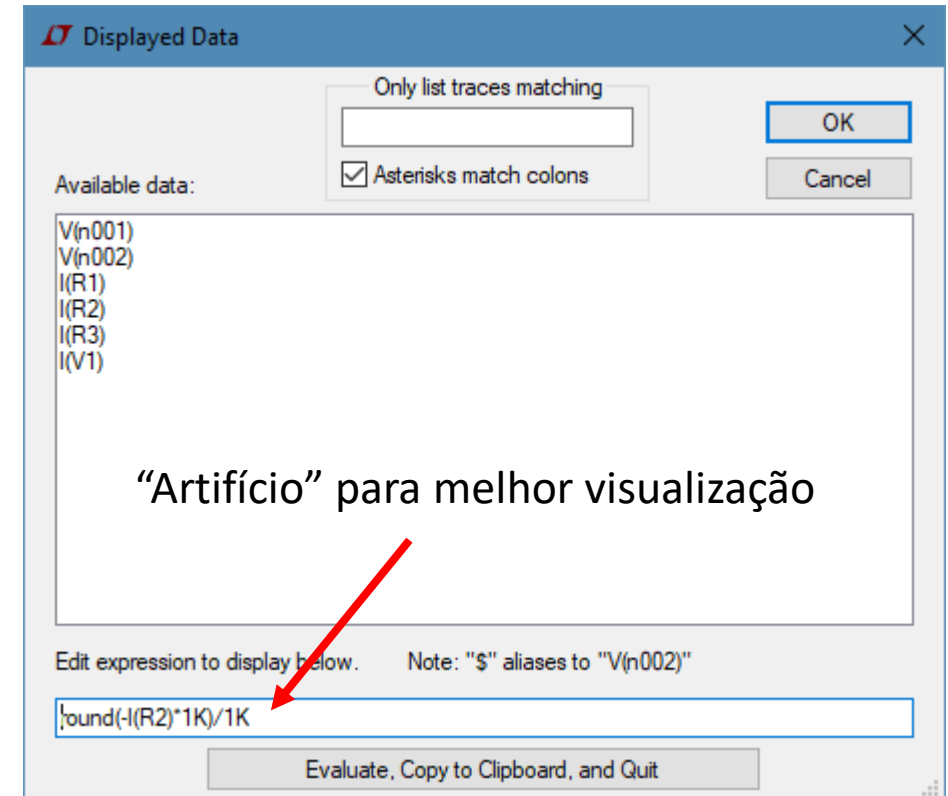
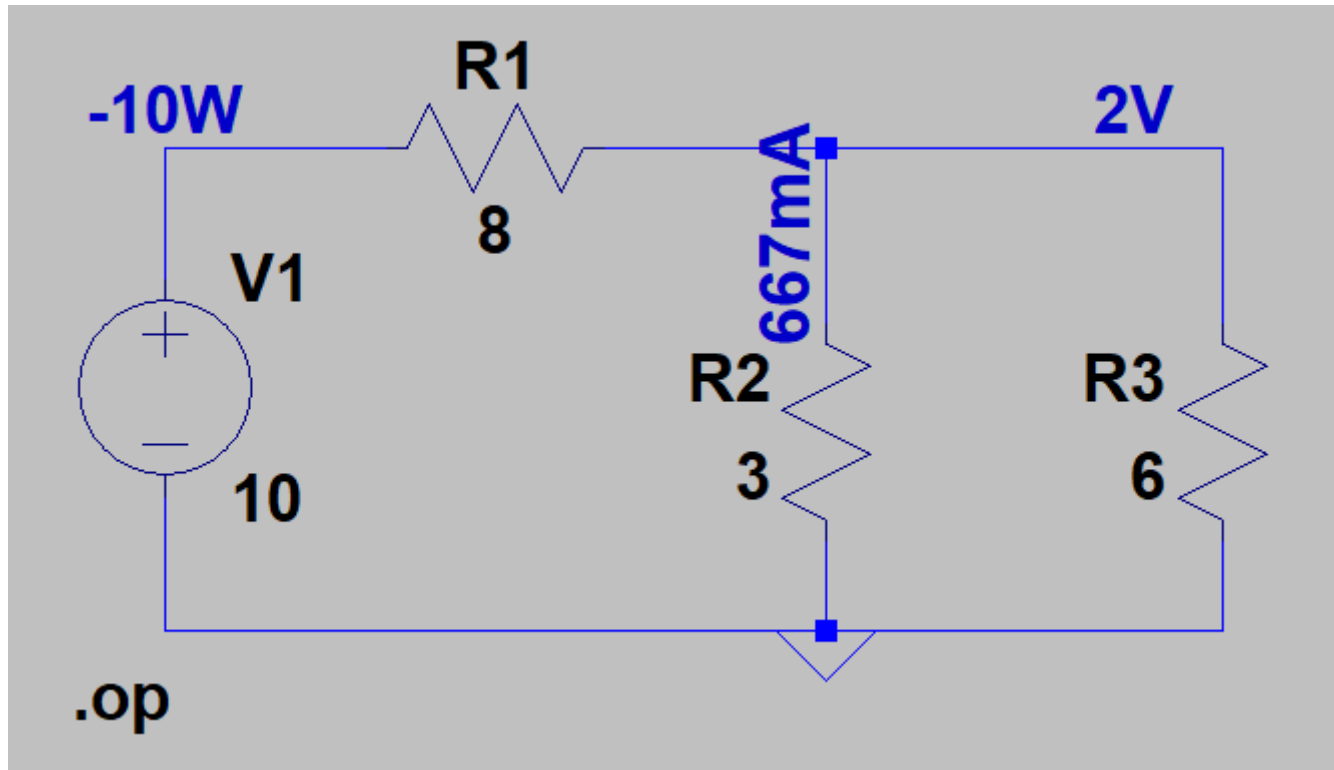
Análise DC (.op) - Organizando resultados



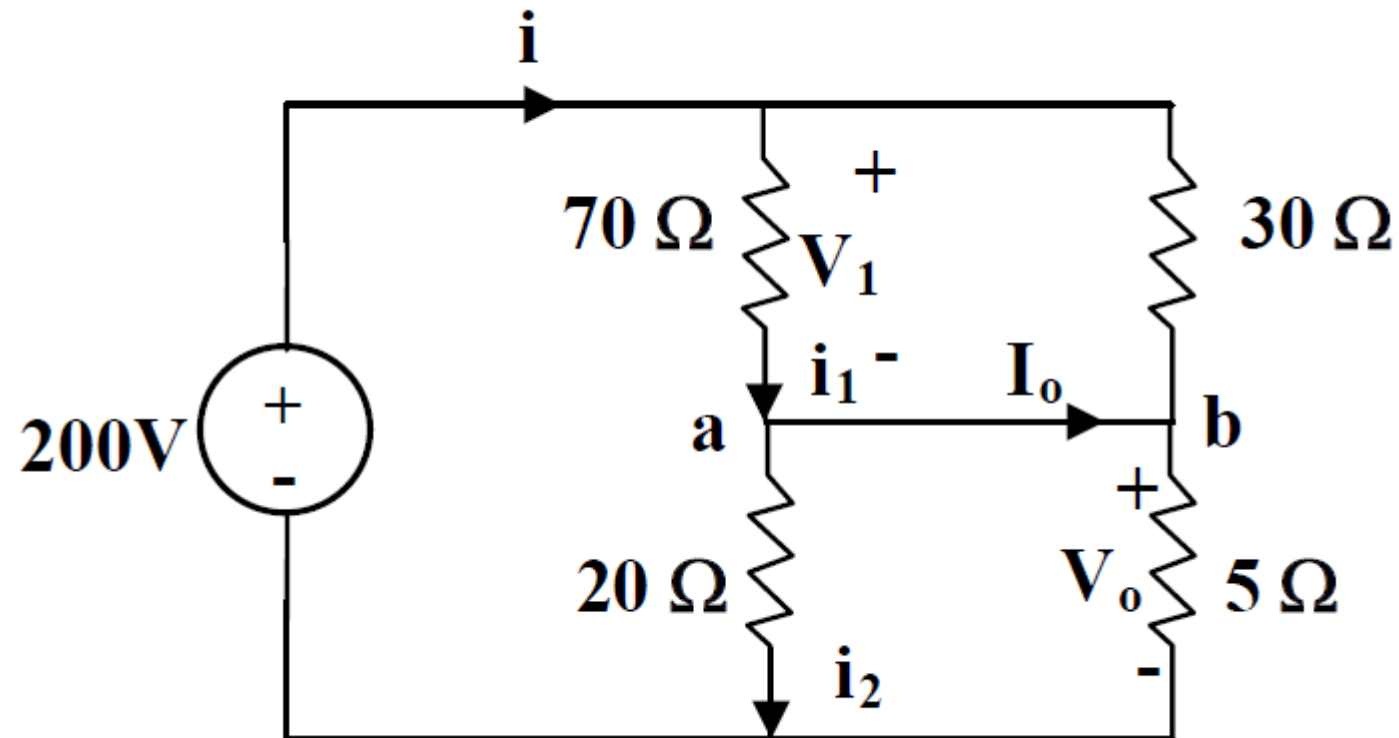
Para adicionar um Data Label basta clicar sobre a linha de conexão.
O símbolo “\$” representa a tensão do nó clicado.

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**

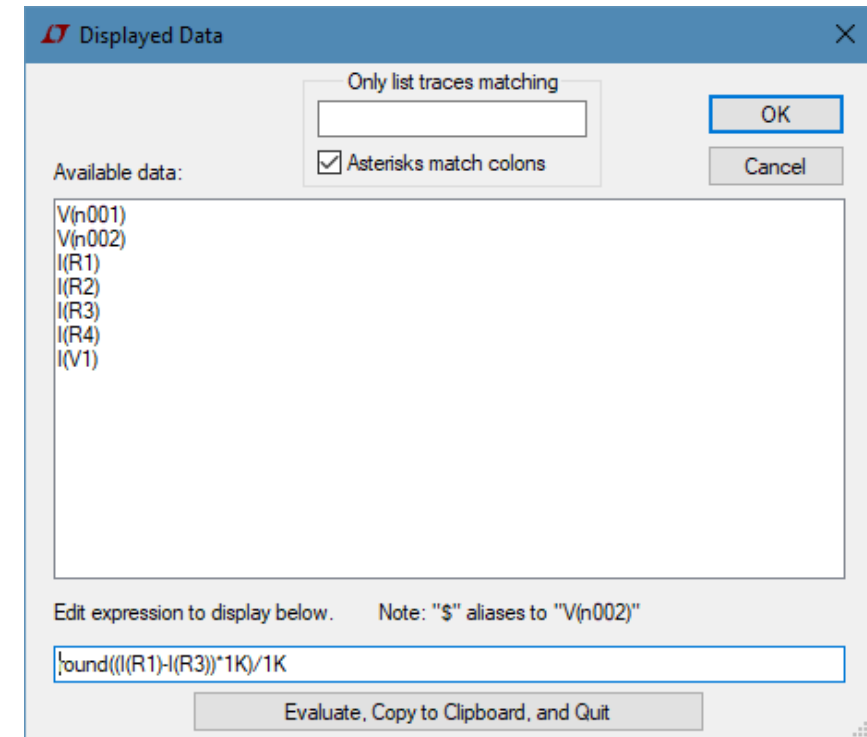
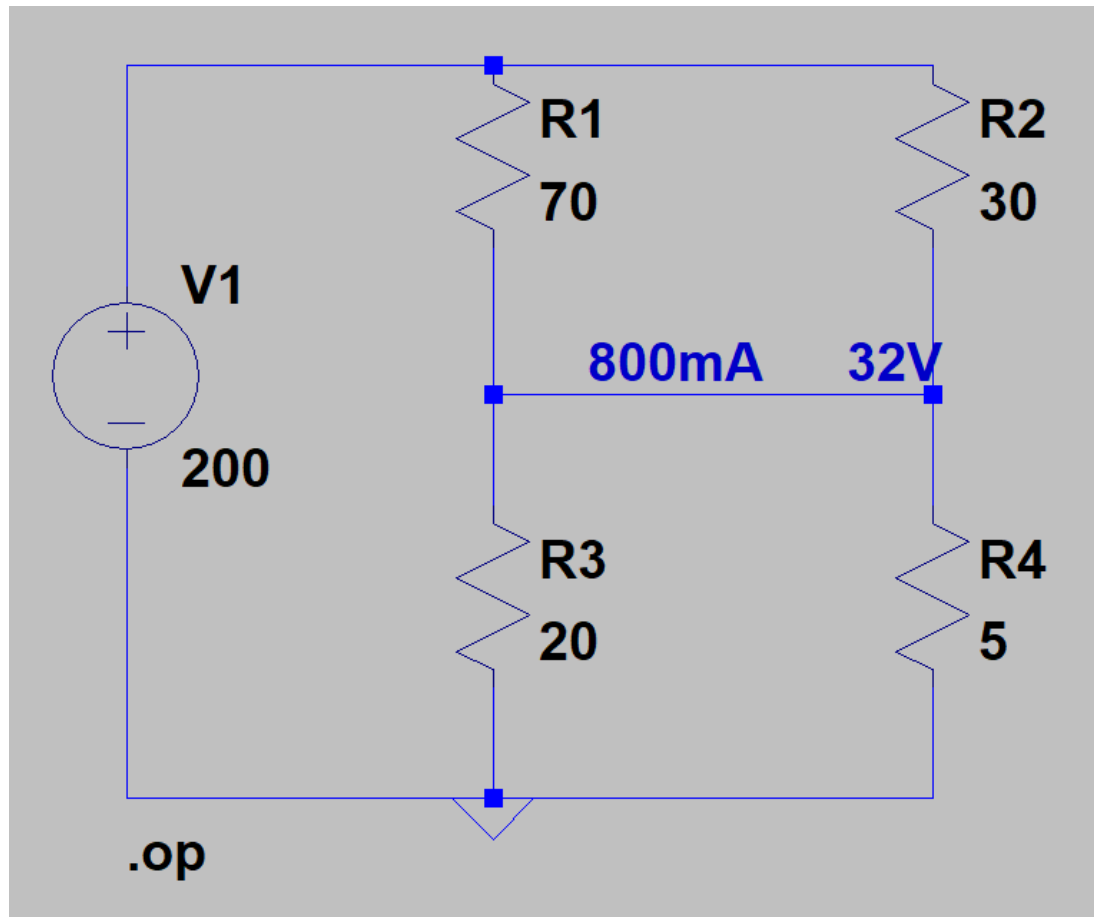


Exercício: Utilize o simulador para encontrar os parâmetros V_o e I_o do circuito abaixo.



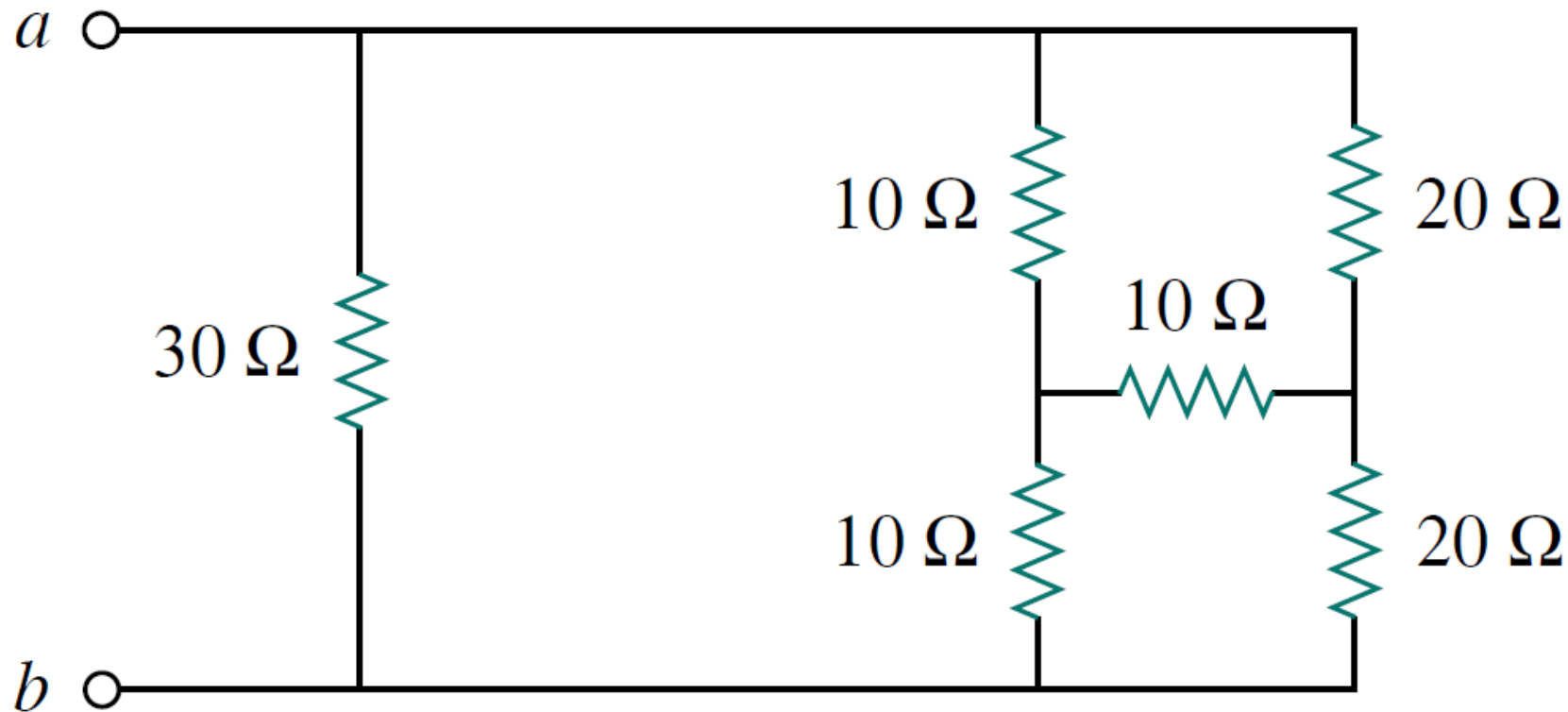
$$V_o = 32\ \text{V and } I_o = 800\ \text{mA}$$

Exercício: Utilize o simulador para encontrar os parâmetros V_o e I_o do circuito abaixo.



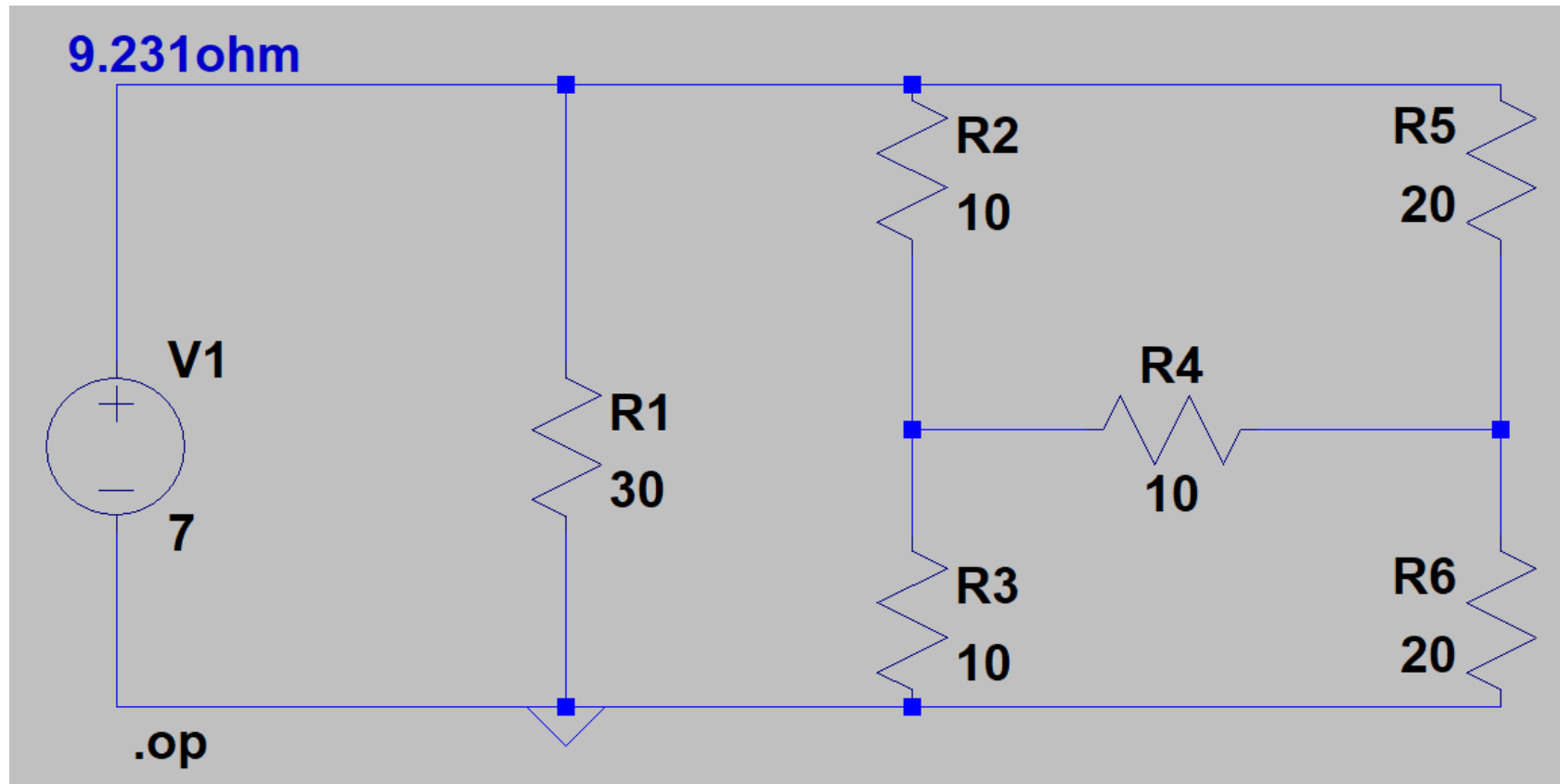
$$\text{round}((I(R1)-I(R3))*1K)/1K$$

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



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

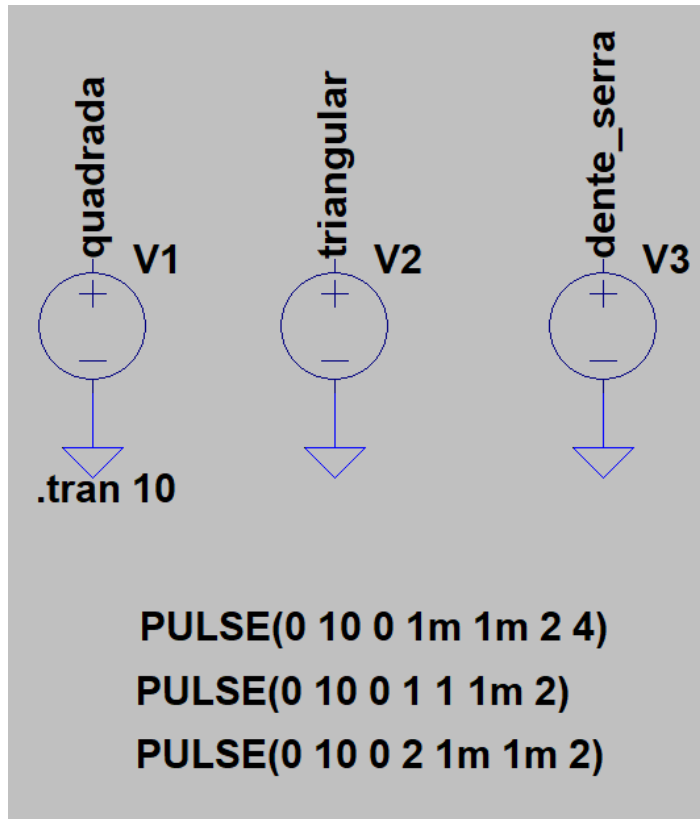
Exercício: Utilize o simulador para obter a resistência equivalente entre os terminais a-b.



Análise Transiente

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

Para criar etiquetas, utilize o atalho F4



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 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: ☒

Additional PWL Points

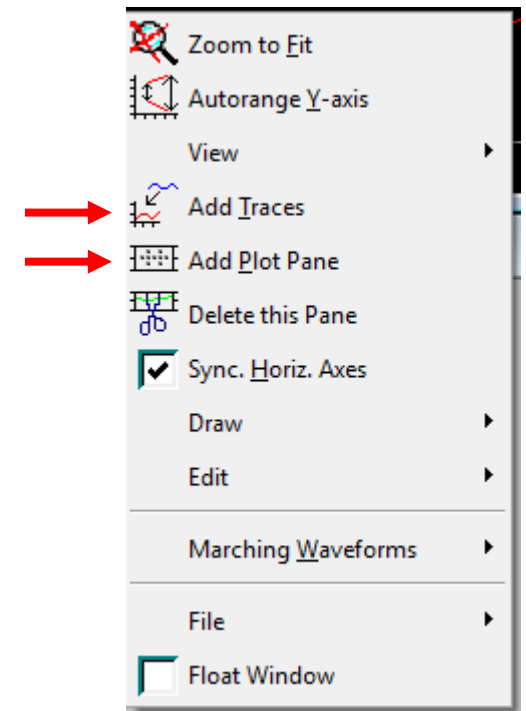
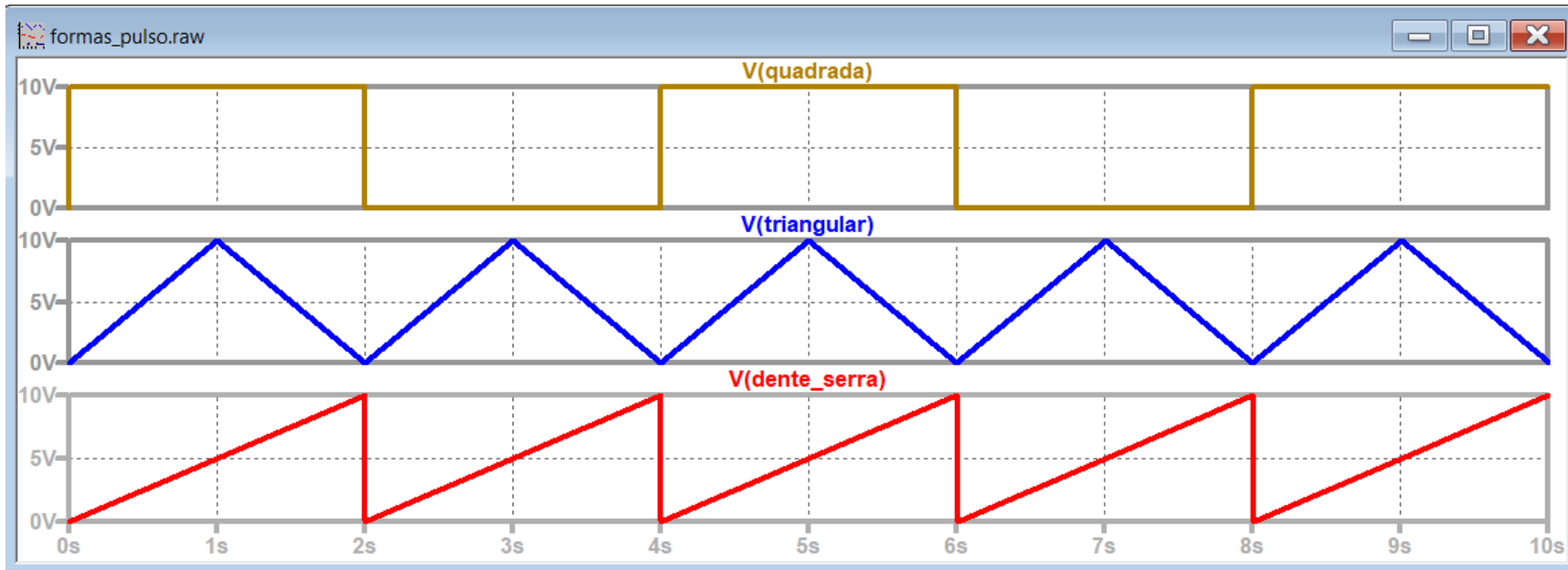
Vinitial[V]:	0
Von[V]:	10
Tdelay[s]:	0
Trise[s]:	1m
Tfall[s]:	1m
Ton[s]:	2
Tperiod[s]:	4
Ncycles:	

Make this information visible on schematic: ☒

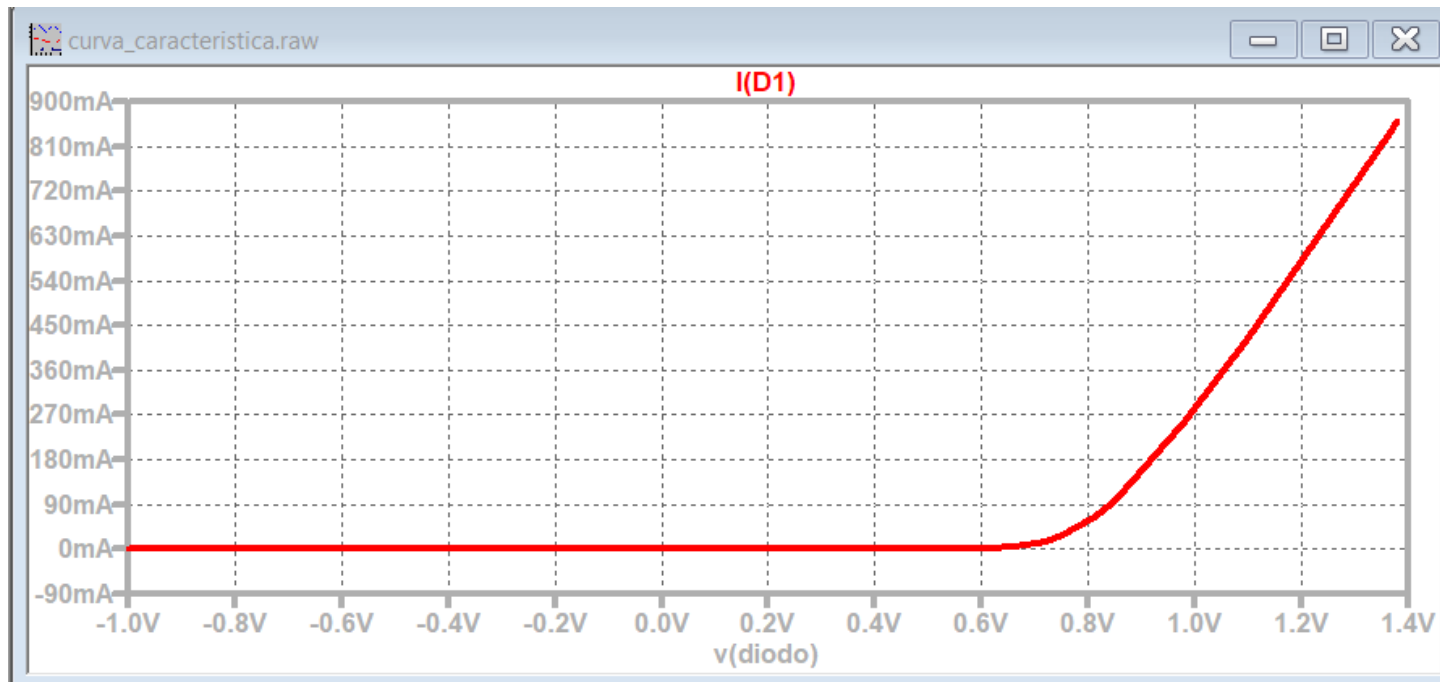
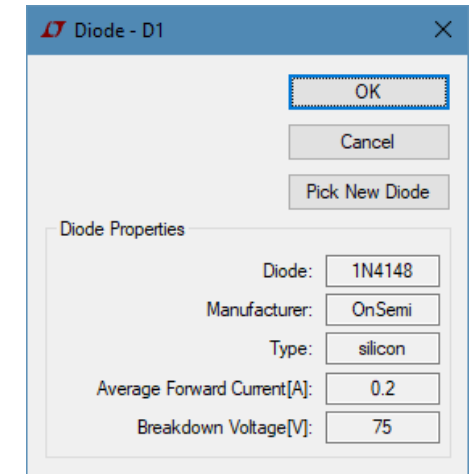
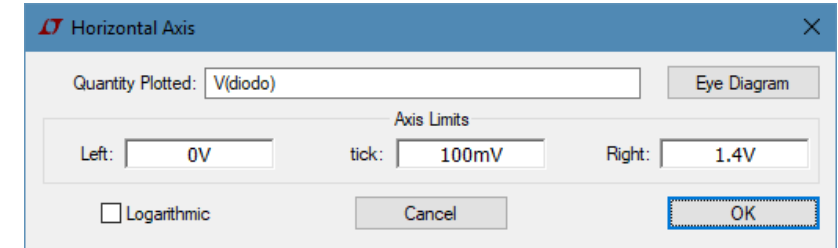
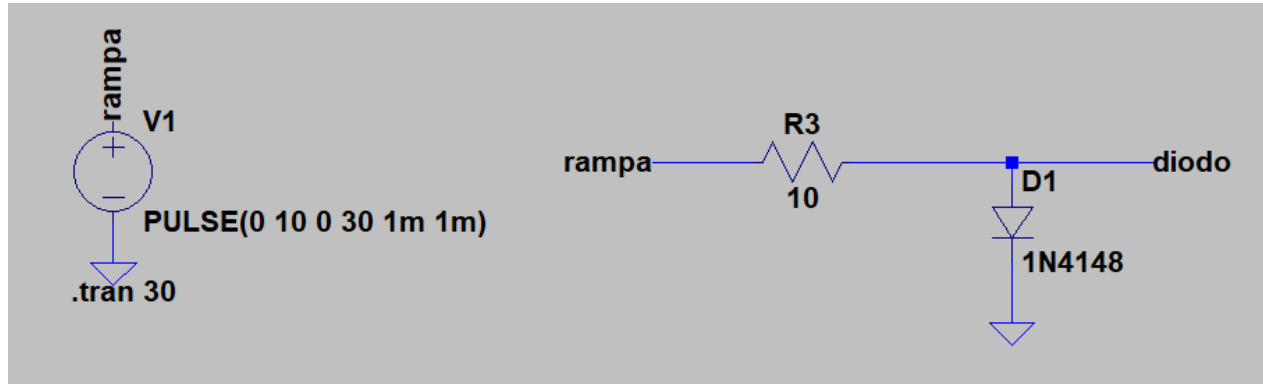
Cancel OK

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

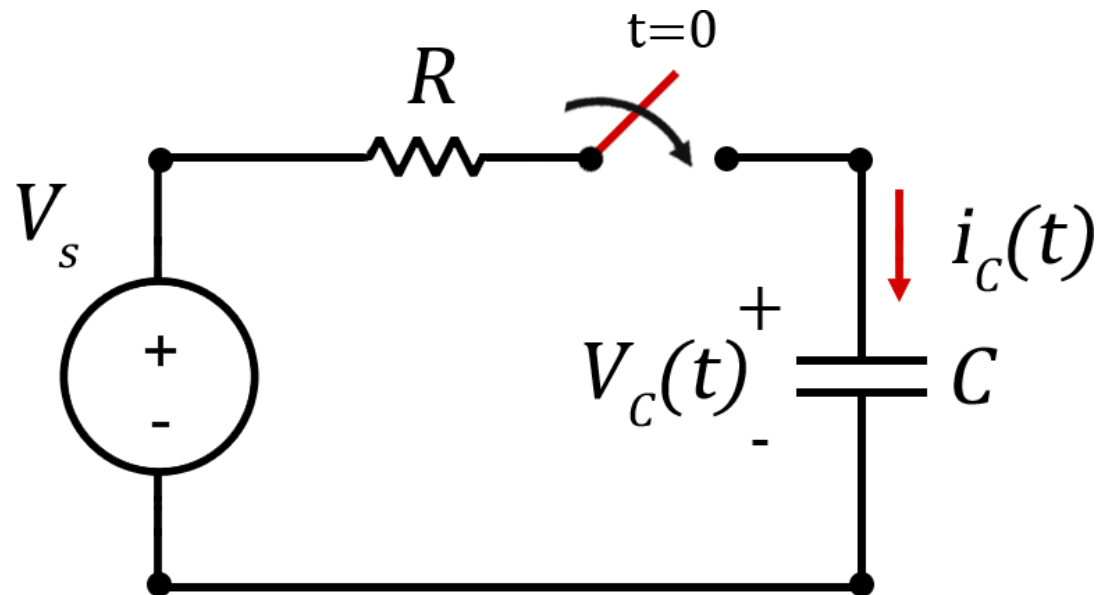


Uso de uma entrada rampa para definir a curva característica do diodo

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

Circuito RC de primeira ordem

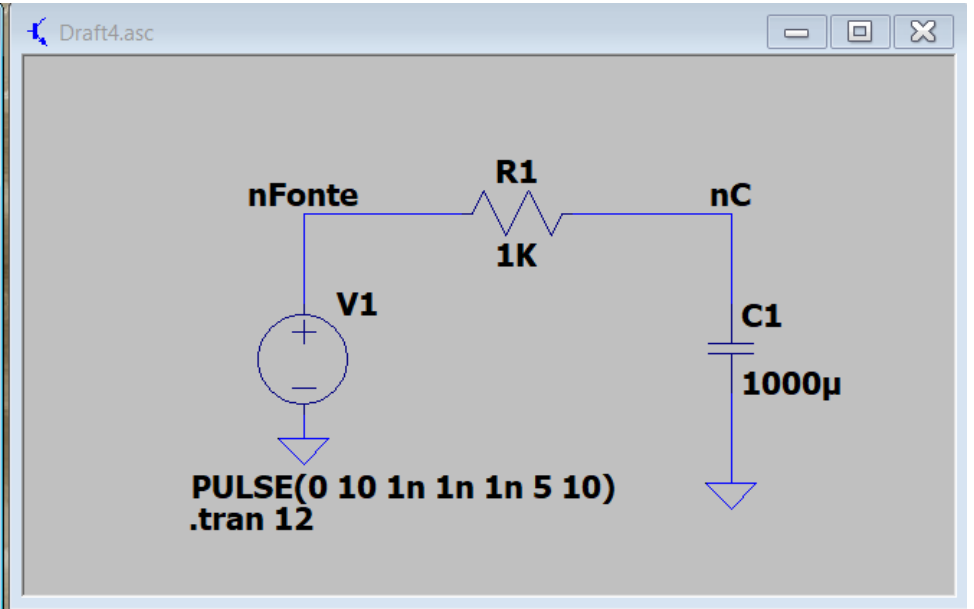
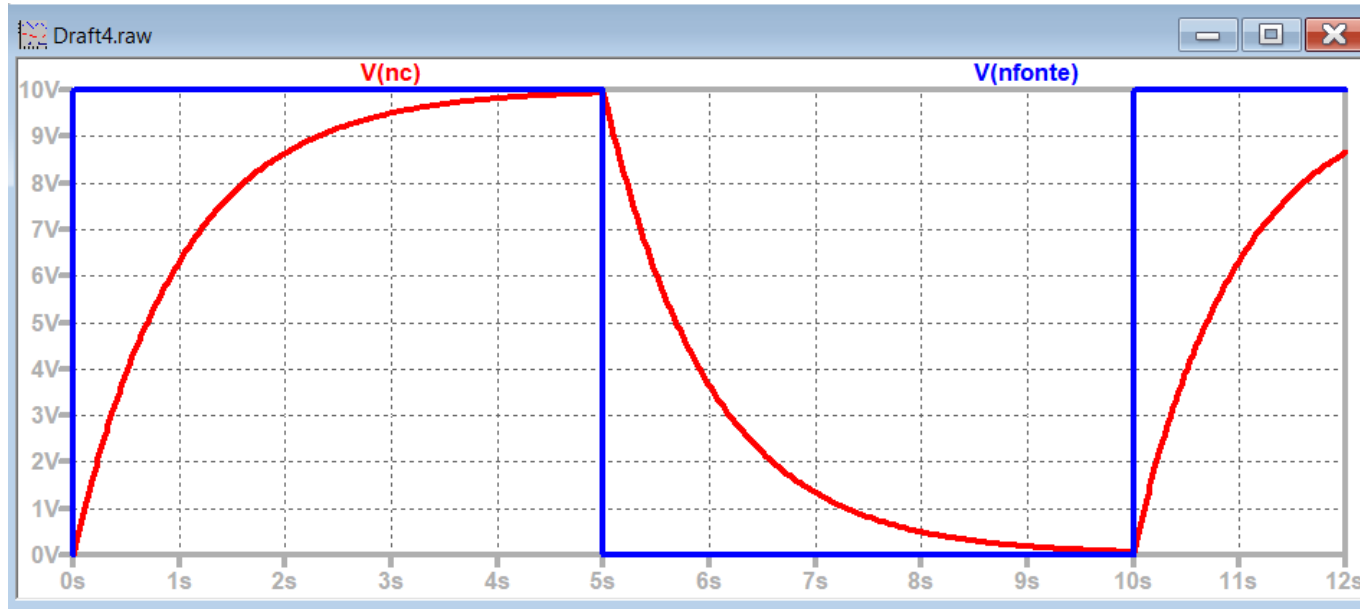
$$\tau = RC$$



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



Sobre a fonte de tensão

Começa em 0V e termina em 10V

Delay inicial, de subida e de descida igual a 1ns

Tempo ligada 5 segundos

Repete tudo após 10 segundos

* Após 5s a fonte volta ao estado inicial (0V) e assim permanece até o recomeço do ciclo (10s)

$$\tau = RC$$

$$1 = 1000 \cdot C$$

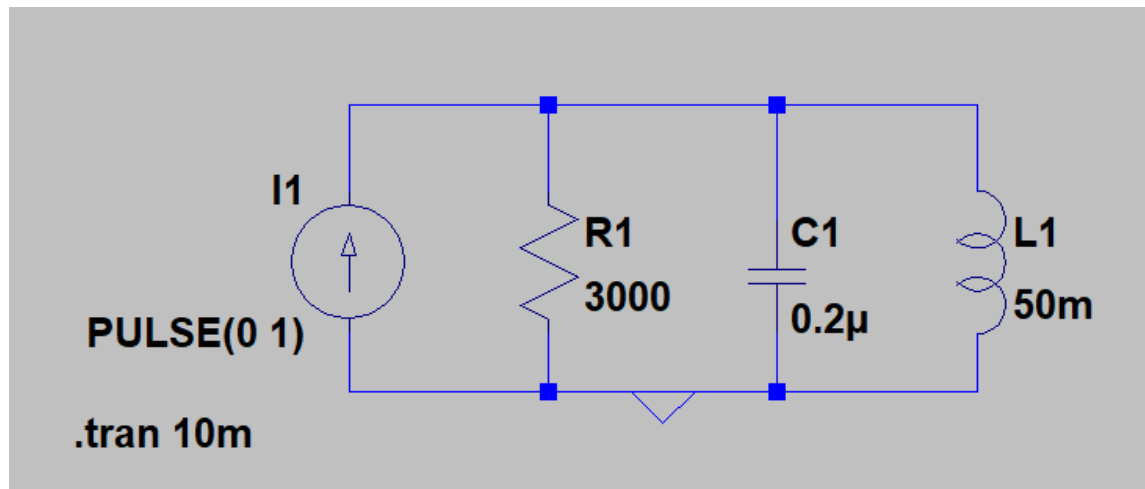
$$C = 1000\mu F$$

$$5\tau = 5s$$

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

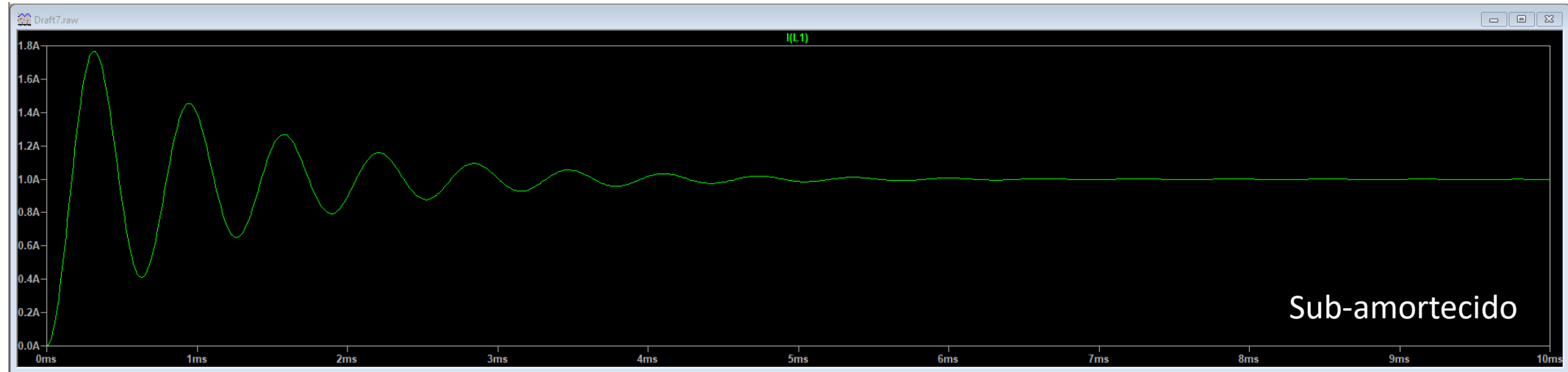
- Super amortecida
- Criticamente amortecida
- Sub-amortecida

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



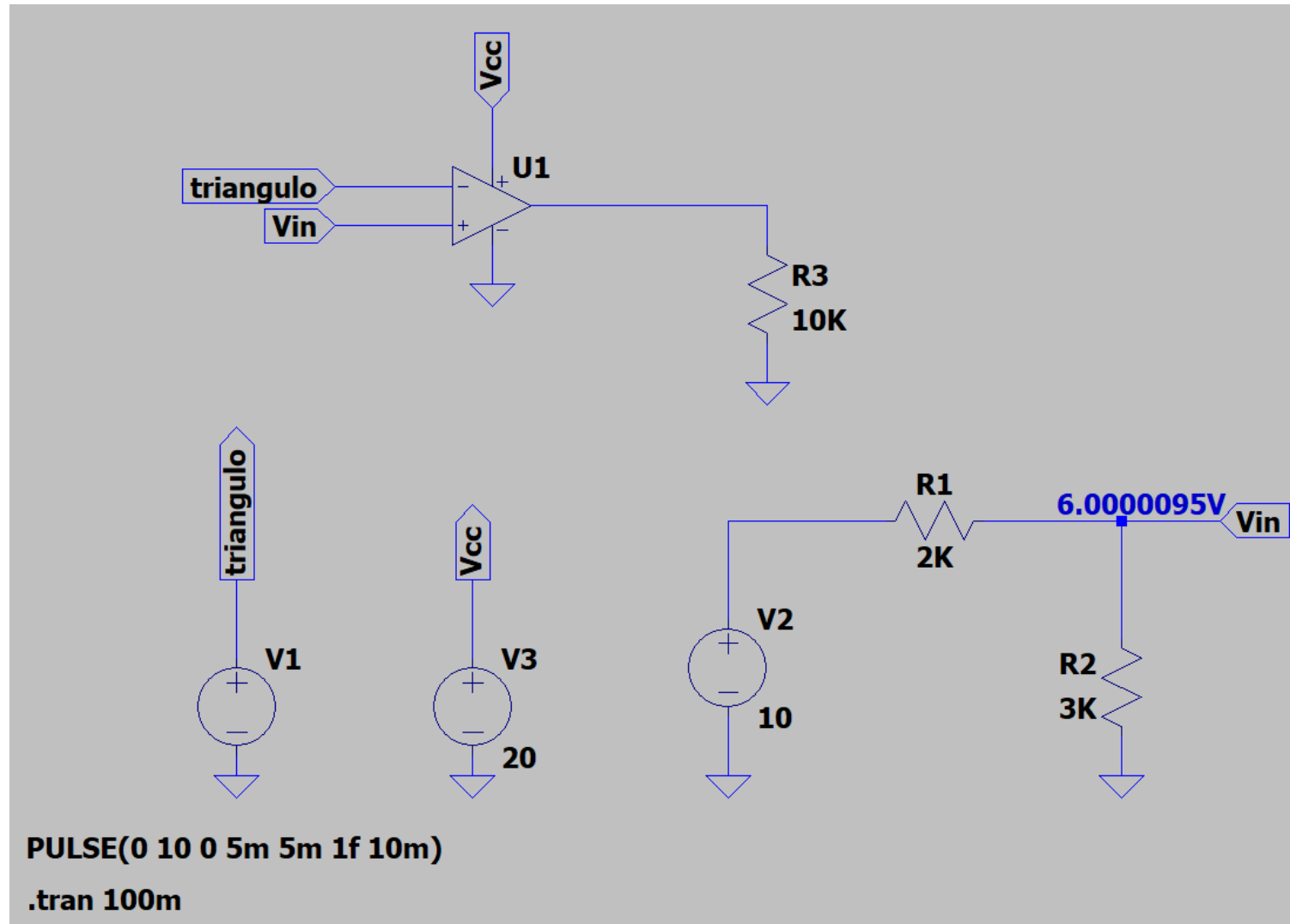
$R < 250\Omega \rightarrow \textit{Super Amortecida}$
 $R = 250 \rightarrow \textit{Criticamente Amortecida}$
 $R > 250 \textit{ Sub - amortecida}$

Análise Transiente



Estudo de Caso 1

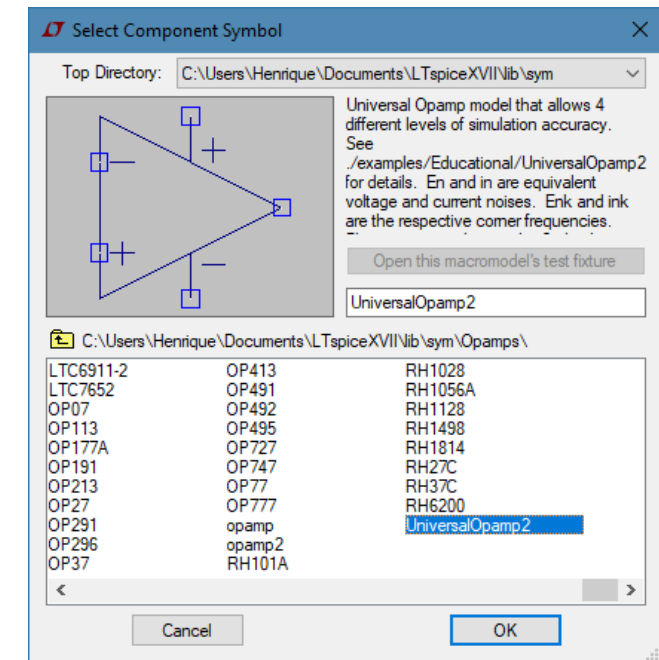
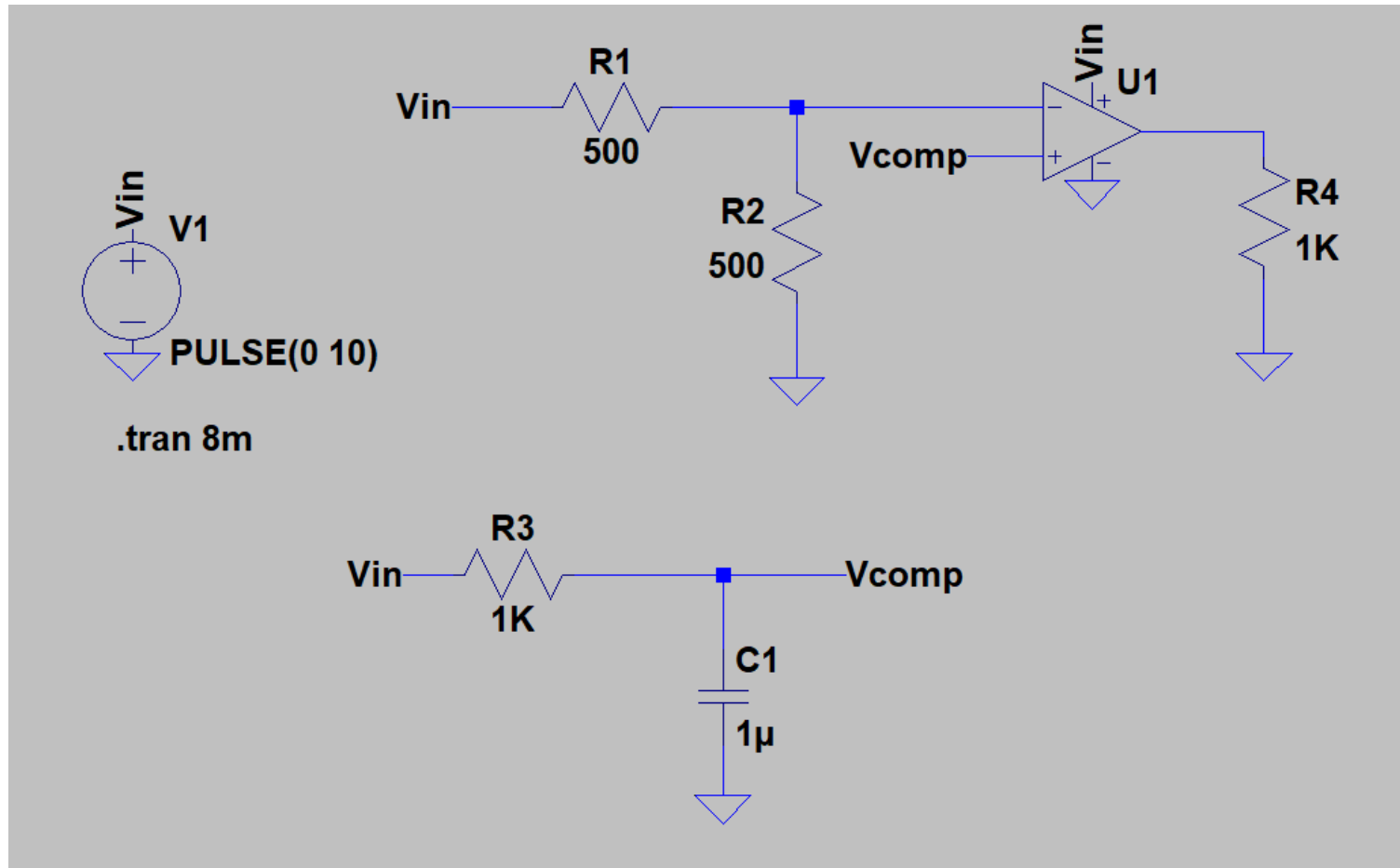
Amplificador operacional Comparador - PWM



Estudo de Caso 2

Amplificador operacional Comparador - Temporizador

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



Estudo de Caso 2

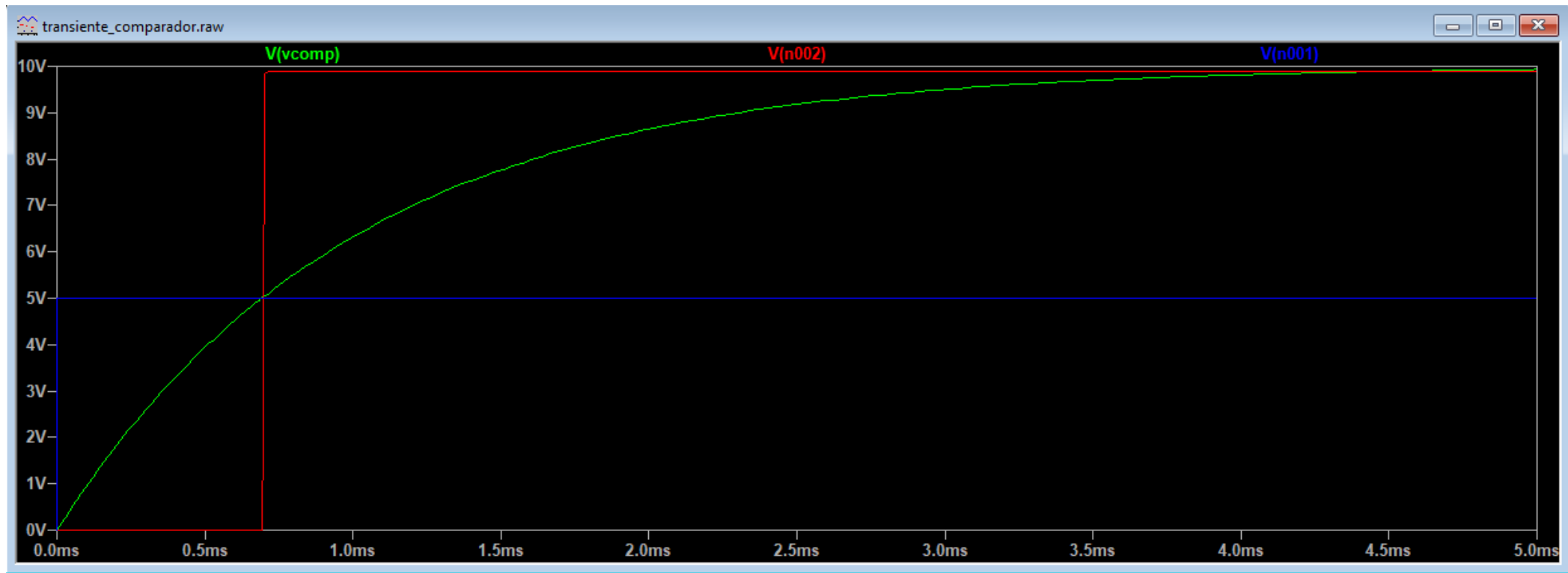
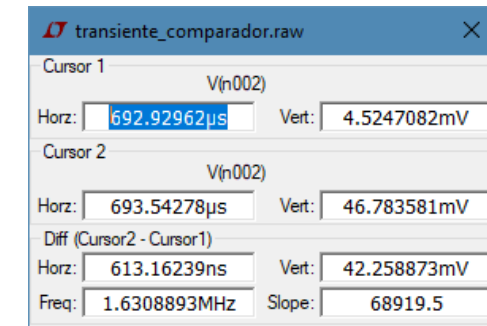
Amplificador operacional Comparador - Temporizador

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

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

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

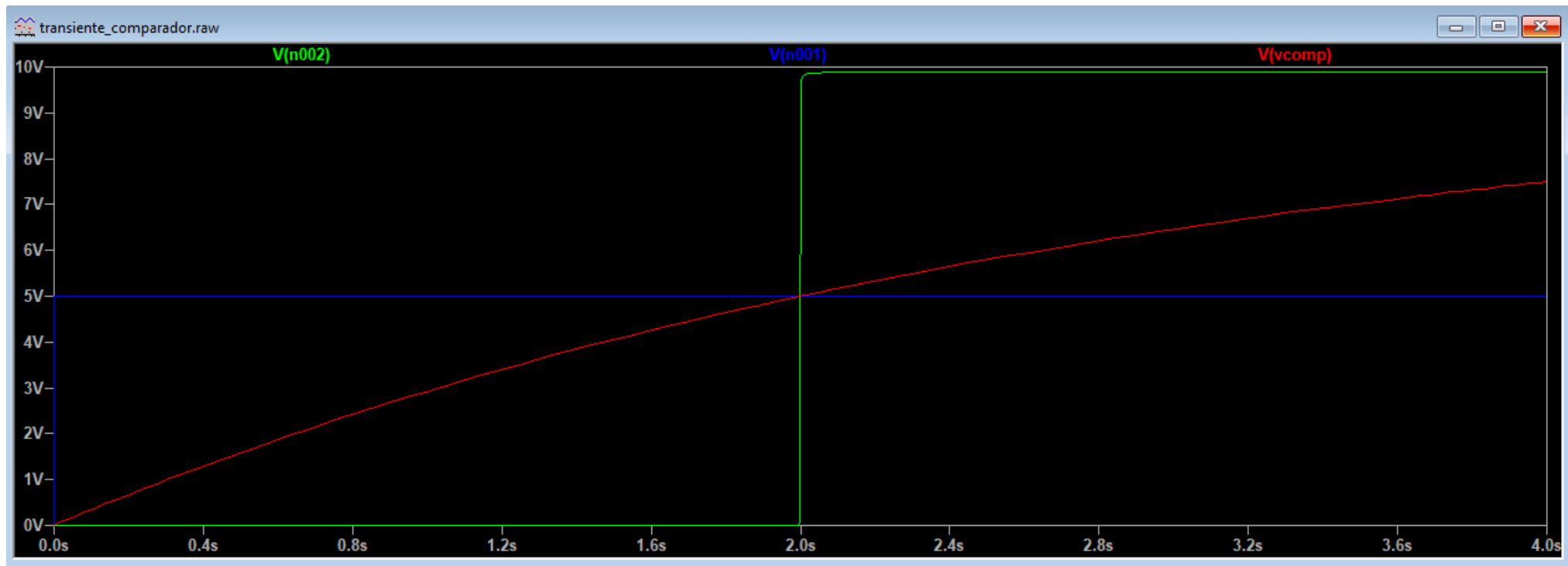
$$t = -\frac{\ln(0,5)}{1000} = 0,693ms$$



Estudo de Caso 2

Amplificador operacional Comparador - Temporizador

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 $10\mu F$



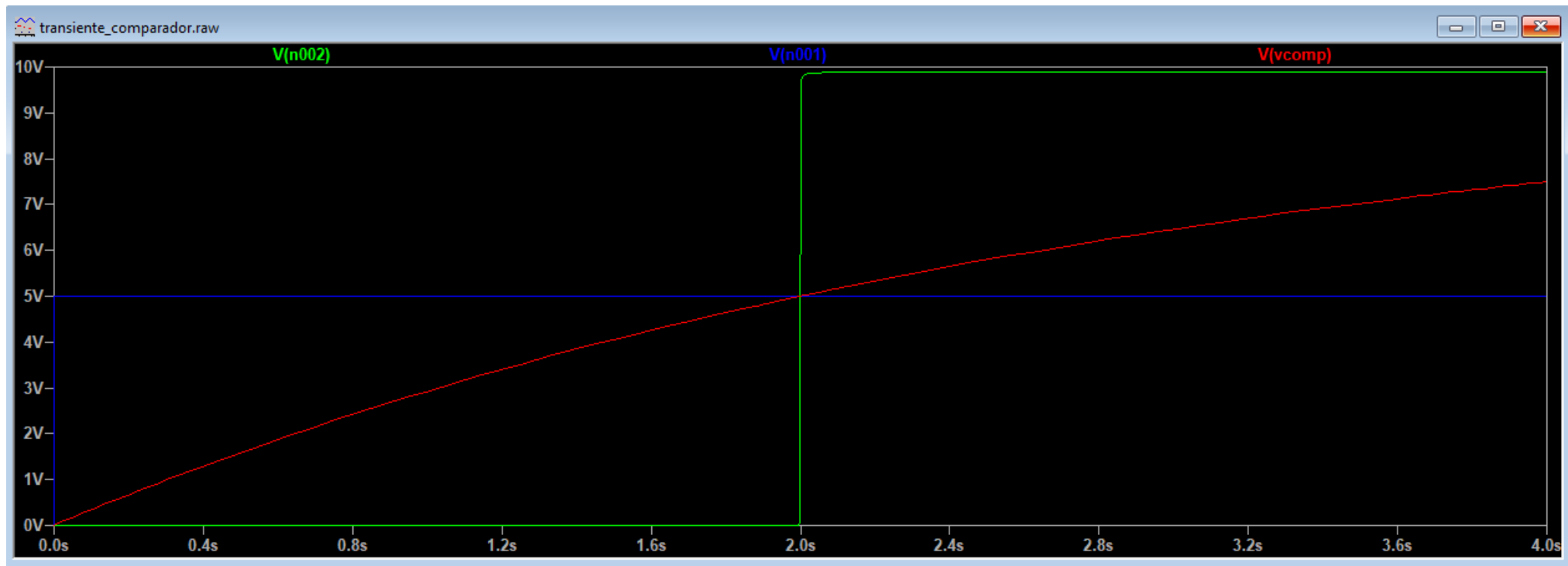
Estudo de Caso 2

Amplificador operacional Comparador - Temporizador

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 $10\mu F$

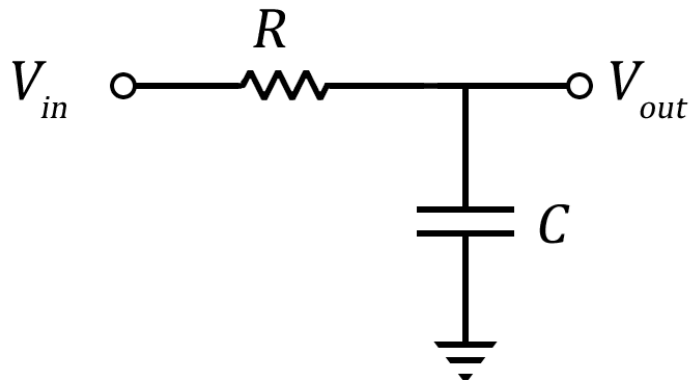
$$2 = -\ln(0,5) \cdot \tau \quad \therefore \quad \tau = 2,88s$$

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



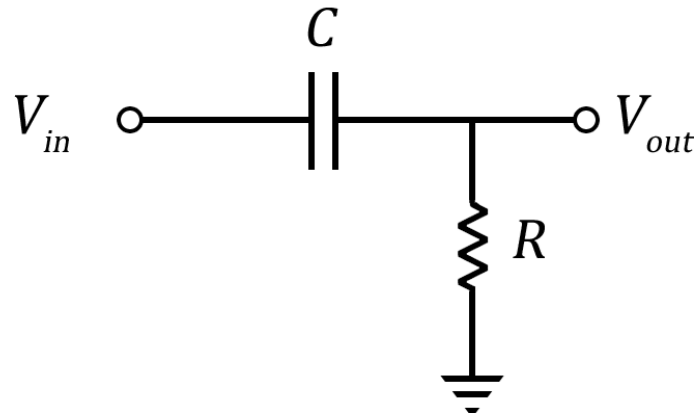
Filtros de primeira ordem RC

Passa Baixa



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

Passa Alta



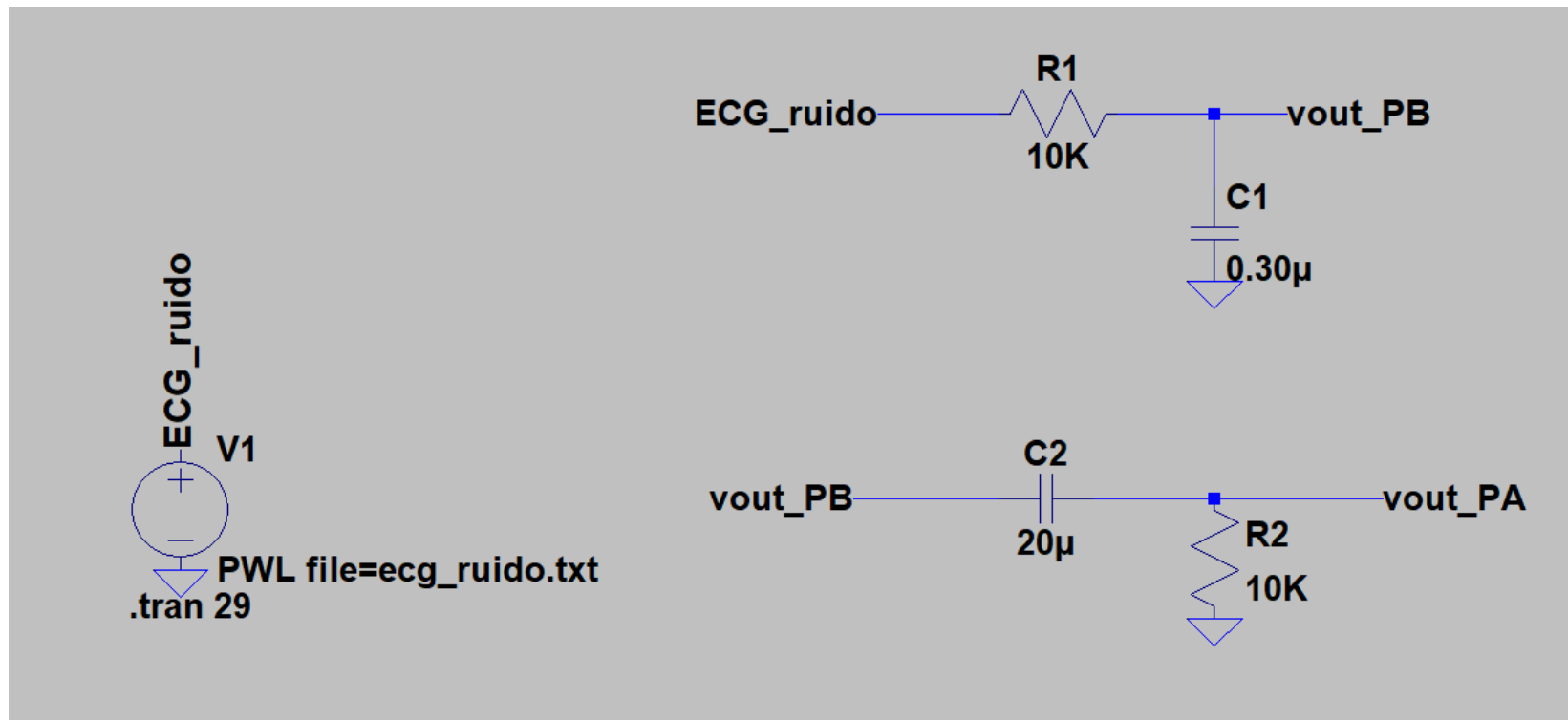
Impedância e admitância
de elementos passivos

Elemento	Impedância	Admitância
R	$Z = R$	$Y = \frac{1}{R}$
L	$Z = j\omega L$	$Y = \frac{1}{j\omega L}$
C	$Z = \frac{1}{j\omega C}$	$Y = j\omega C$

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

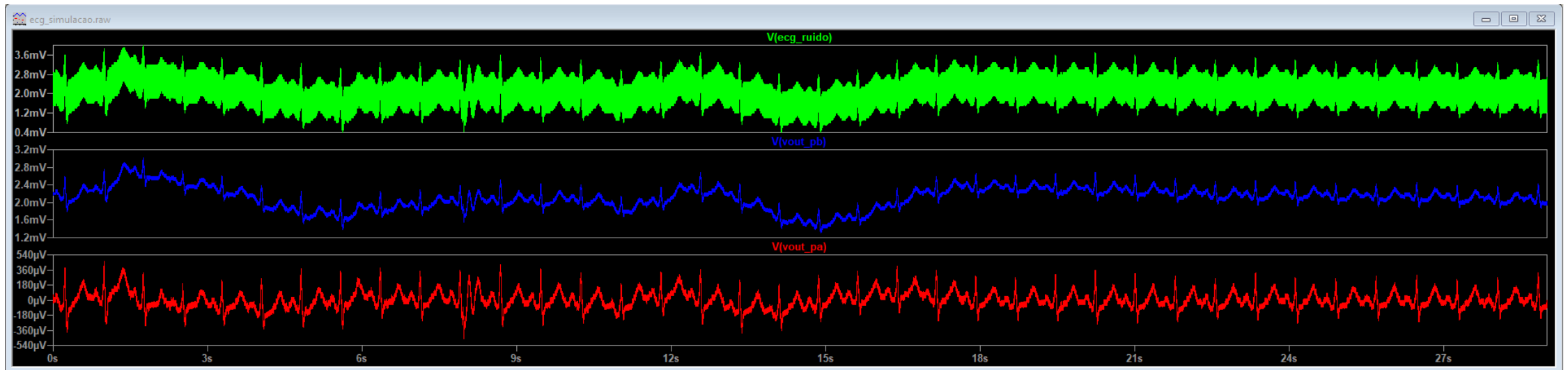
Neste exemplo vamos utilizar o arquivo “ecg_ruído.txt” para analisarmos a ação de um filtro Passa altas e de um filtro Passa Baixas (sinal meramente ilustrativo)



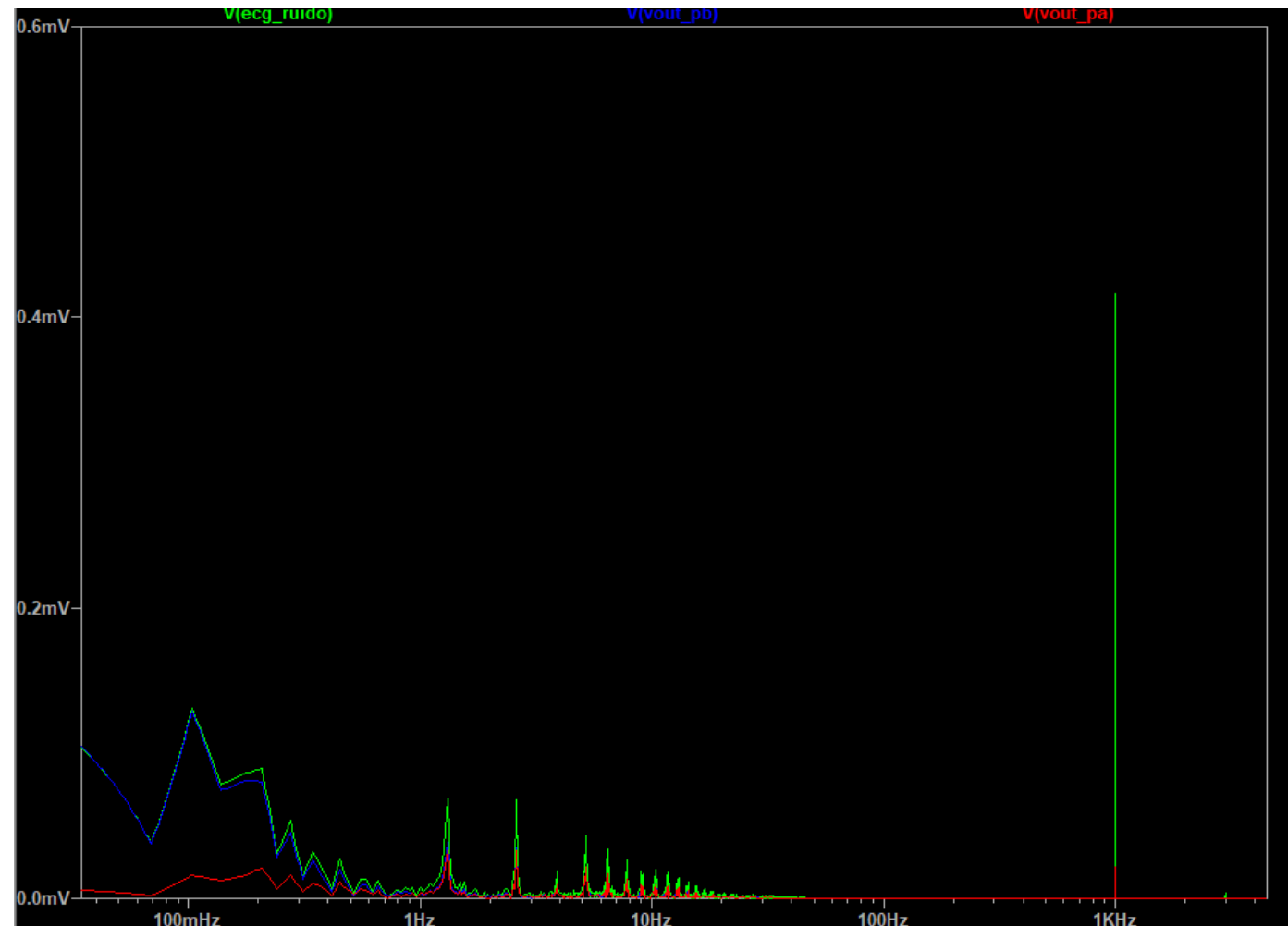
*Apenas para visualizar os efeitos dos filtros, deveria ser anexado um buffer de isolamento entre os estágios

Análise 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



Análise AC e filtros

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

The image shows a screenshot of the 'Independent Voltage Source - V1' dialog box in a circuit simulation software, overlaid on a circuit diagram. The dialog box is configured for a sine wave source.

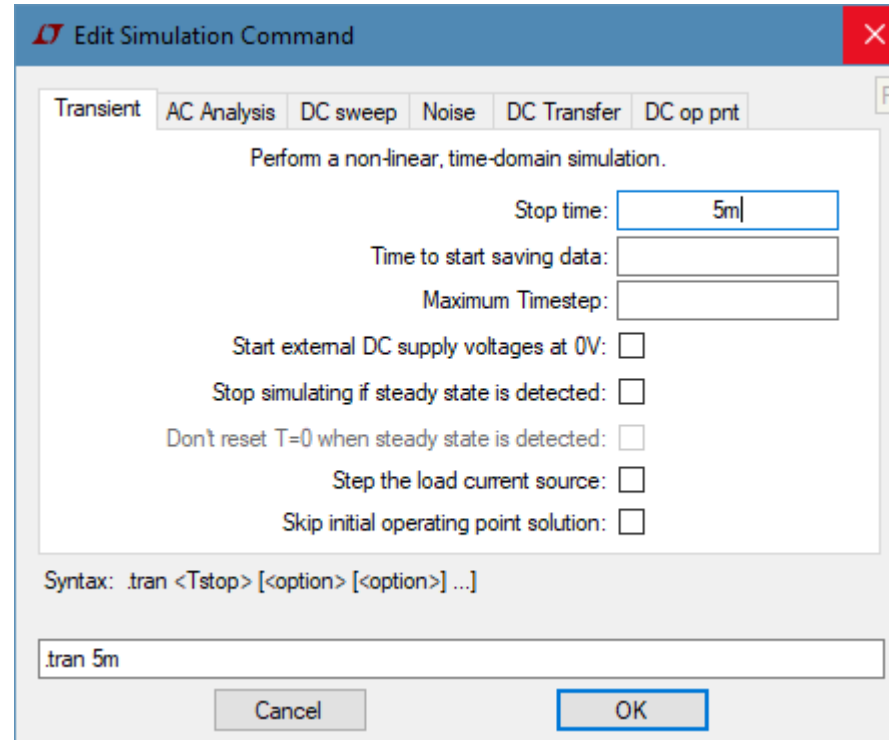
Dialog Box Configuration:

- Functions:** ☒ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)
- 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: ☒
- Additional Parameters:** DC offset[V]: 0, Amplitude[V]: 10, Freq[Hz]: 1K, Tdelay[s]: [], Theta[1/s]: [], Phi[deg]: [], Ncycles: []
- Buttons:** Additional PWL Points, Make this information visible on schematic: ☒, Cancel, OK

Circuit Diagram:

The circuit diagram shows a voltage source V1 connected in series with a resistor R1 (100 Ω) and a resistor R2 (100 Ω). The voltage source is labeled with the sine wave function: SINE(0 10 1K).

Análise Transiente



The image shows a screenshot of the 'Edit Simulation Command' dialog box in a software application. The dialog has a title bar with a red 'X' button. It contains several tabs: 'Transient', 'AC Analysis', 'DC sweep', 'Noise', 'DC Transfer', and 'DC op pnt'. The 'Transient' tab is selected. Below the tabs, there is a text area with the instruction 'Perform a non-linear, time-domain simulation.' followed by several input fields and checkboxes. The 'Stop time' field is set to '5m'. The 'Time to start saving data' and 'Maximum Timestep' fields are empty. There are five checkboxes, all of which are unchecked: 'Start external DC supply voltages at 0V:', 'Stop simulating if steady state is detected:', 'Don't reset T=0 when steady state is detected:', 'Step the load current source:', and 'Skip initial operating point solution:'. Below these fields, there is a syntax example: 'Syntax: .tran <Tstop> [<option> [<option>] ...]'. At the bottom, there is a text input field containing '.tran 5m' and two buttons: 'Cancel' and 'OK'.

Edit Simulation Command

Transient AC Analysis DC sweep Noise DC Transfer DC op pnt

Perform a non-linear, time-domain simulation.

Stop time: 5m

Time to start saving data:

Maximum Timestep:

Start external DC supply voltages at 0V: ☐

Stop simulating if steady state is detected: ☐

Don't reset T=0 when steady state is detected: ☐

Step the load current source: ☐

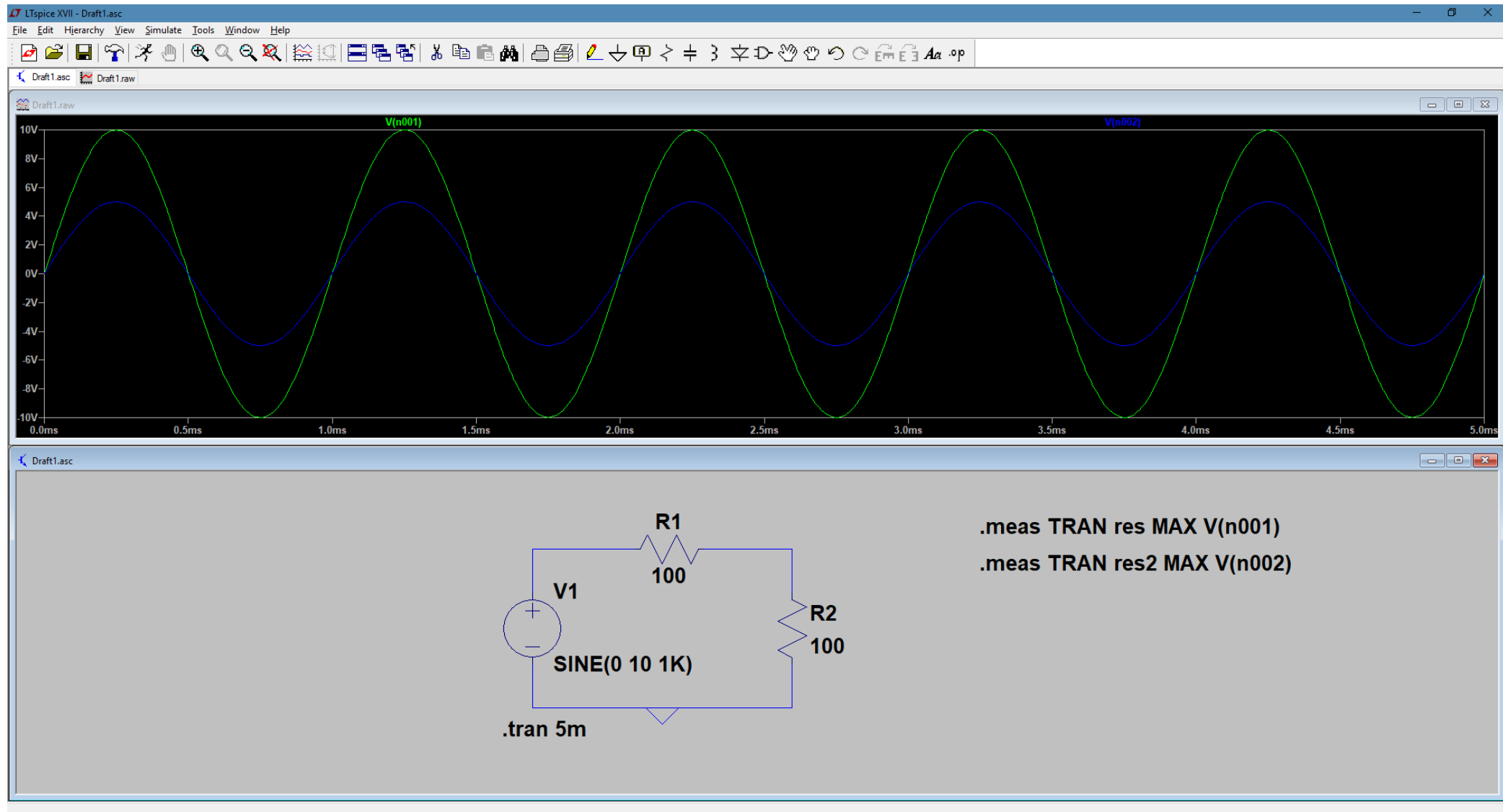
Skip initial operating point solution: ☐

Syntax: .tran <Tstop> [<option> [<option>] ...]

.tran 5m

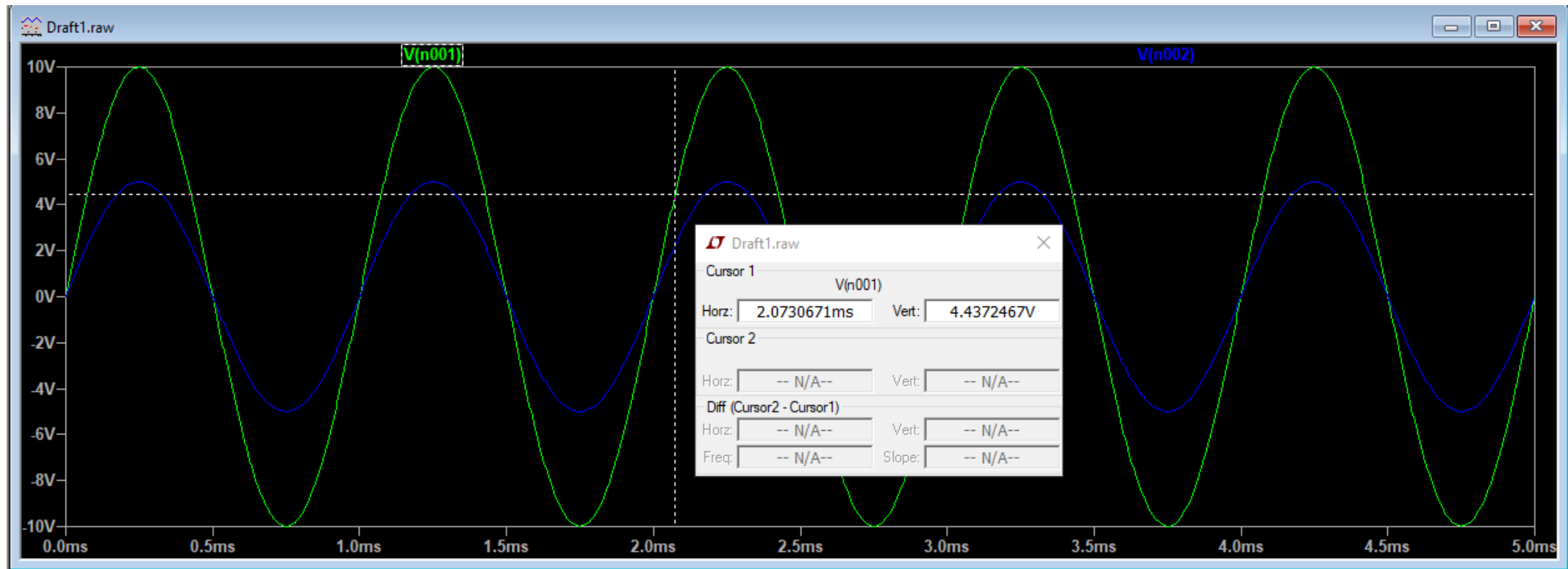
Cancel OK

Análise Transiente



Análise Transiente

É possível navegar pela saída utilizando o cursor



Análise Transiente

.meas Statement Editor

.meas statements allow you to script measurements of waveform data.

Applicable Analysis:

Result Name:

Genre:

Measured Quantity:

Trig Condition

Right Hand Side:

TD:

Targ Condition

Right Hand Side:

TD:

Syntax : .MEAS TRAN <name> MAX <expr> TRIG <lhs> = <rhs> [TD = <val>] [<RISE|FALL|CROSS> = <count>] TARG <lhs> = <rhs> [TD = <val>] [<RISE|FALL|CROSS> = <count>]

Test Cancel OK

Ctrl - L

SPICE Error Log: C:\Users\Henrique\AppData\Local\Temp\tmp6.log

```
Circuit: * C:\Program Files\LTC\LTspiceXVII\Draft1.asc

.OP point found by inspection.

res: MAX(v(n001))=9.98695 FROM 0 TO 0.005
res2: MAX(v(n002))=4.99347 FROM 0 TO 0.005

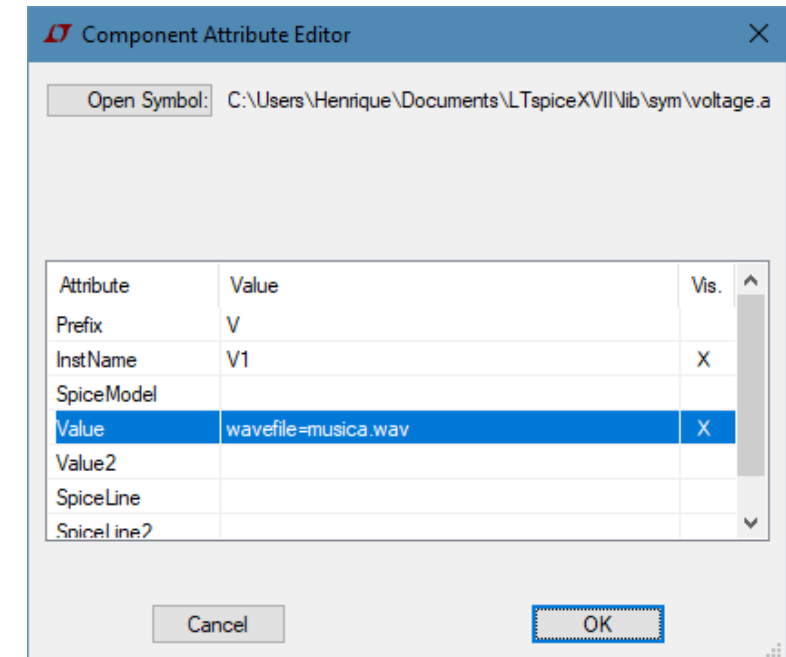
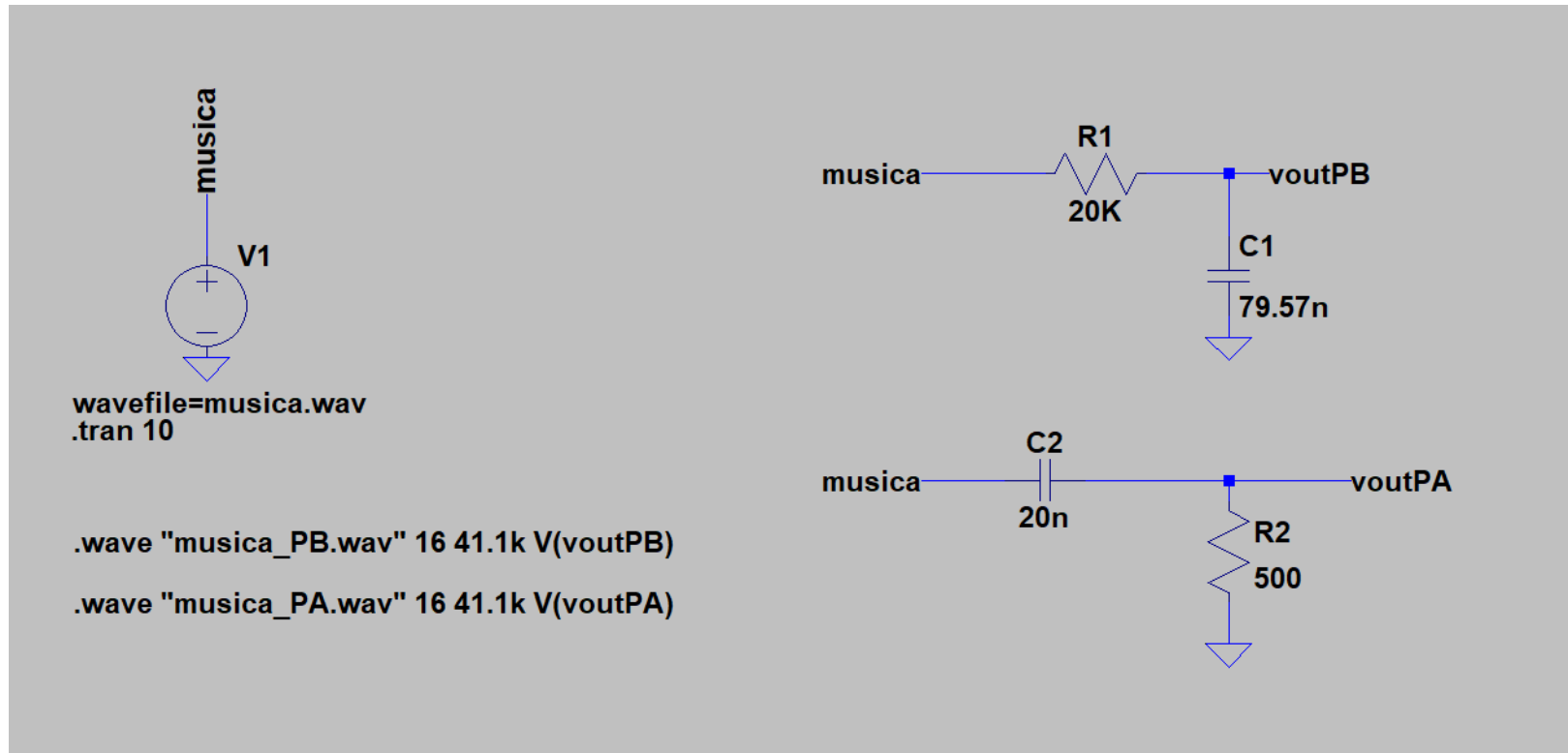
Date: Mon Oct 23 19:34:16 2017
Total elapsed time: 0.047 seconds.

tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
totiter = 2082
traniter = 2082
tranpoints = 1042
accept = 1042
rejected = 0
matrix size = 3
fillins = 0
solver = Normal
Matrix Compiler1:      3 opcodes  0.0/[0.0]/0.0
Matrix Compiler2: 175 bytes object code size  0.0/0.1/[0.0]
```


Análise Transiente

Aplicação de filtros em sinais de som

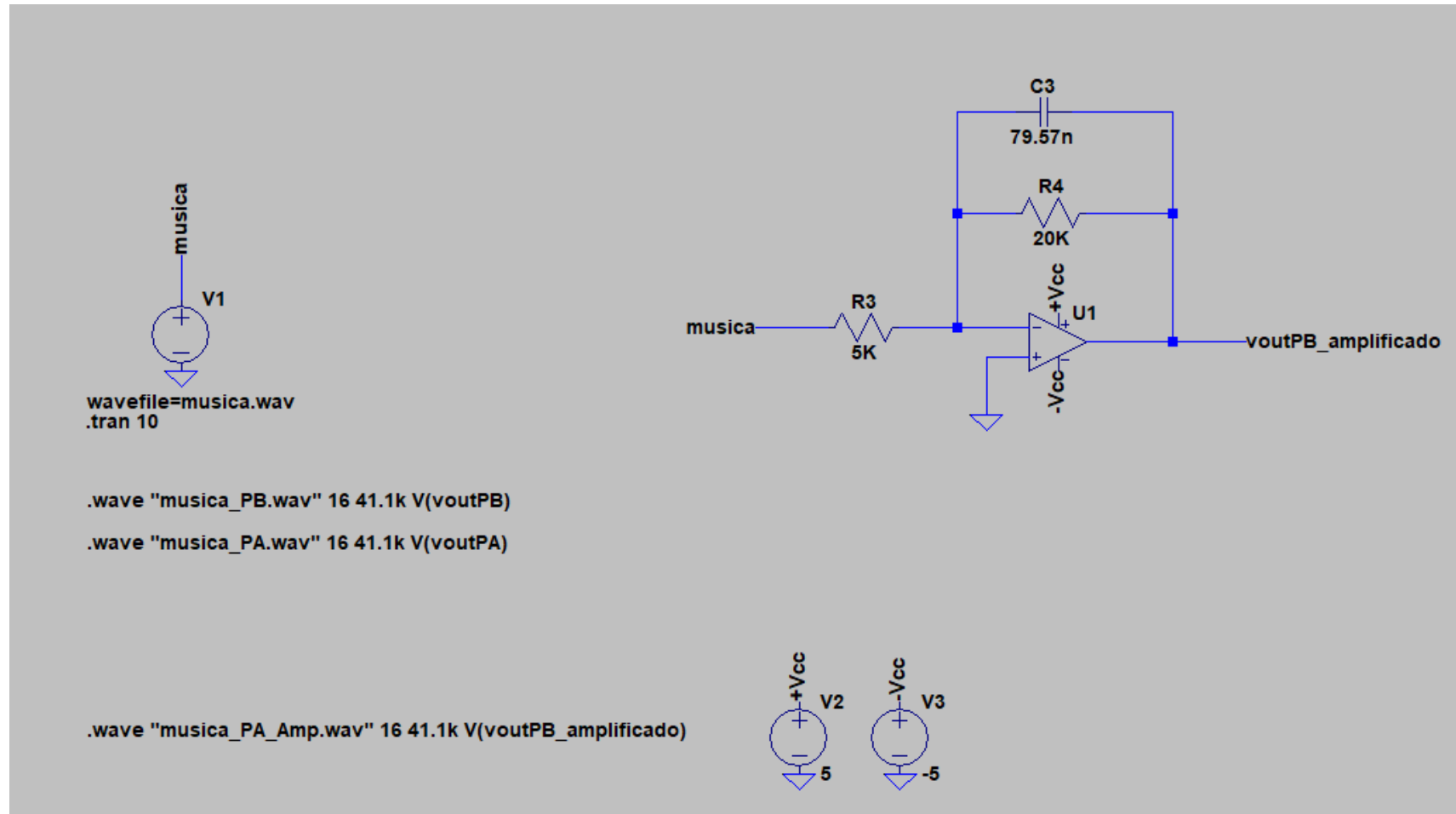
Clique com o botão direito na fonte de tensão e preencha o campo *Value* com o nome do arquivo



PB → 100Hz e PA → 16KHz

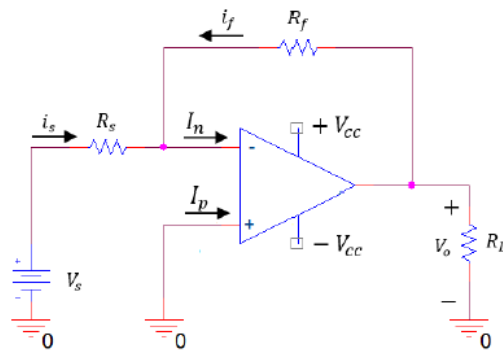
Análise Transiente

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

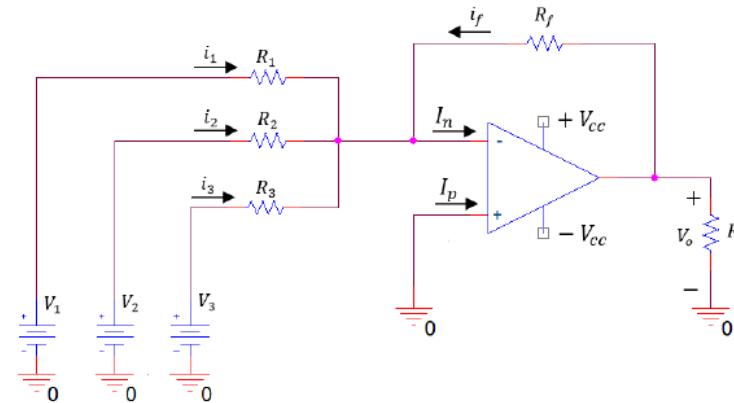


Amplificadores operacionais (configurações básicas)

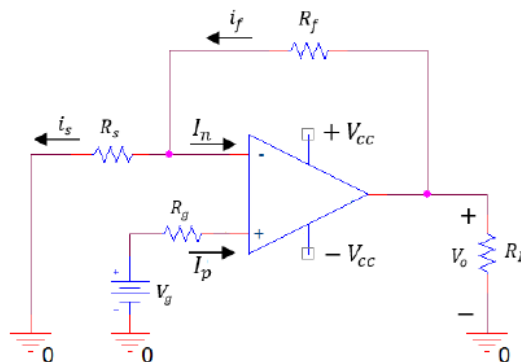
Amplificador inversor



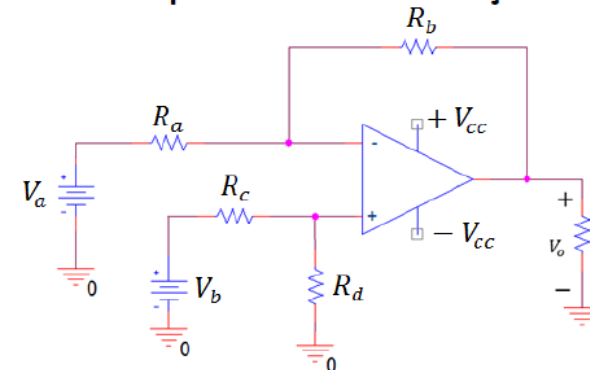
Amplificador somador inversor



Amplificador não inversor

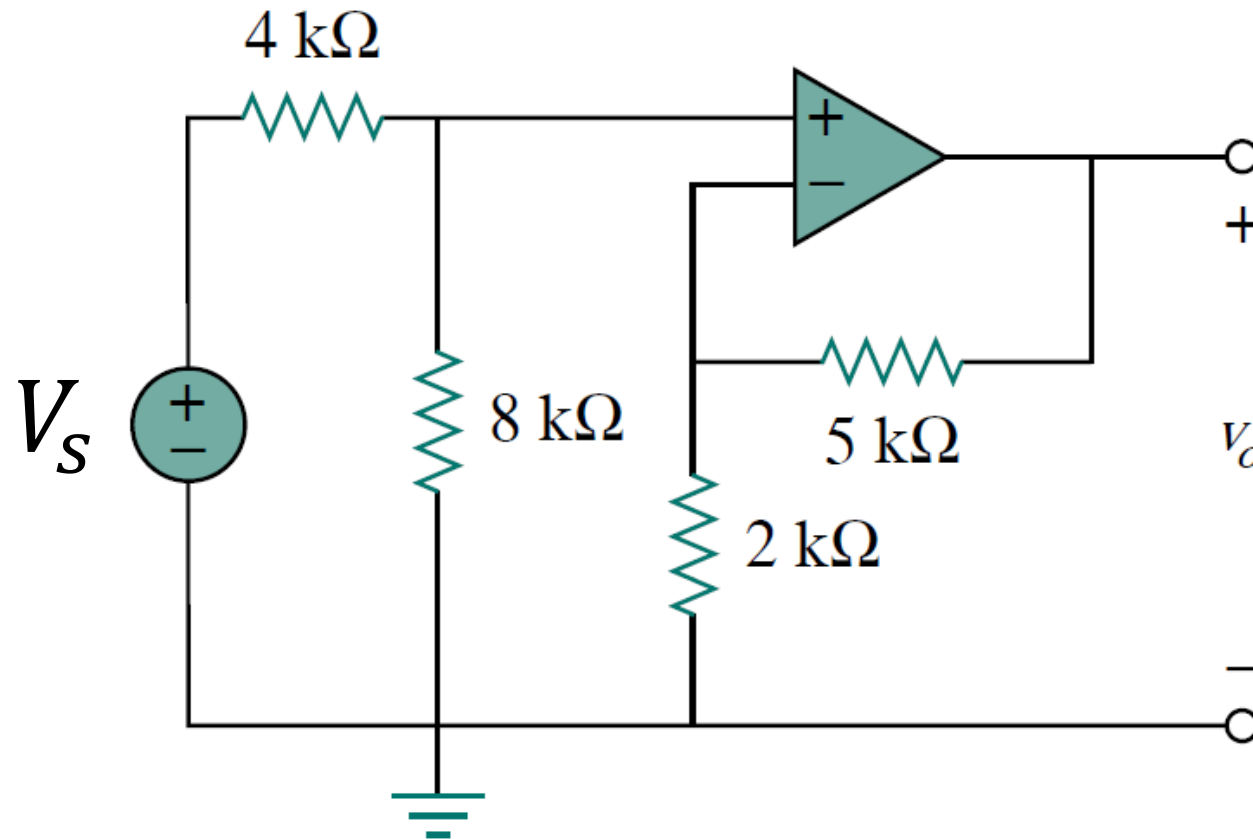


Amplificador da diferença



Análise Transiente

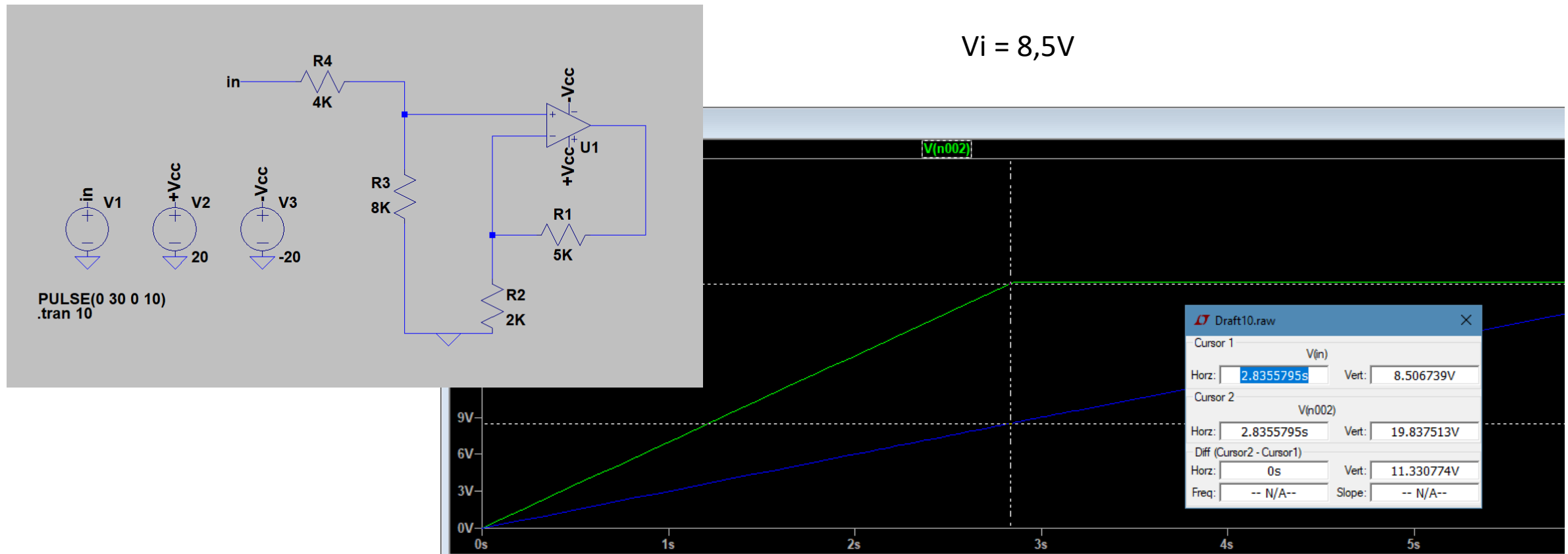
Seja a configuração de amplificador operacional abaixo. Por meio de simulação, defina qual o máximo de V_S para que V_o não sature.



$$\begin{aligned} +V_{cc} &= 20V \\ -V_{cc} &= -20V \end{aligned}$$

Análise Transiente

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



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:

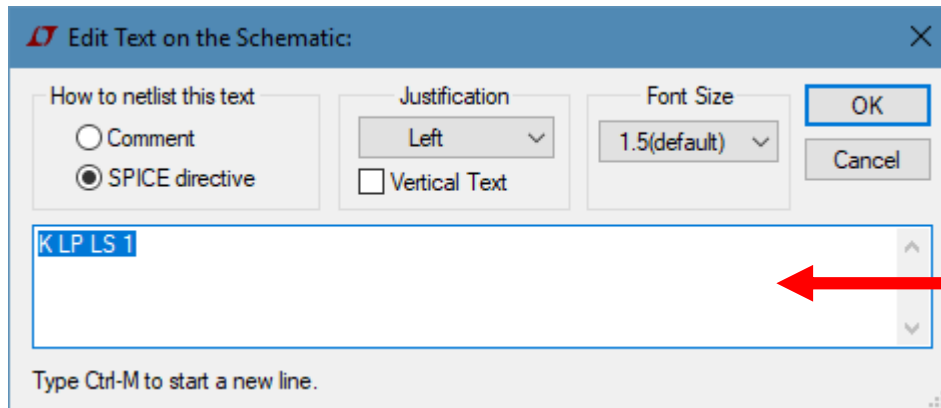
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{L_P}{L_S}}$$

Se $L_P > L_S \rightarrow$ Redução de tensão

Se $L_S > L_P \rightarrow$ Ampliação de tensão

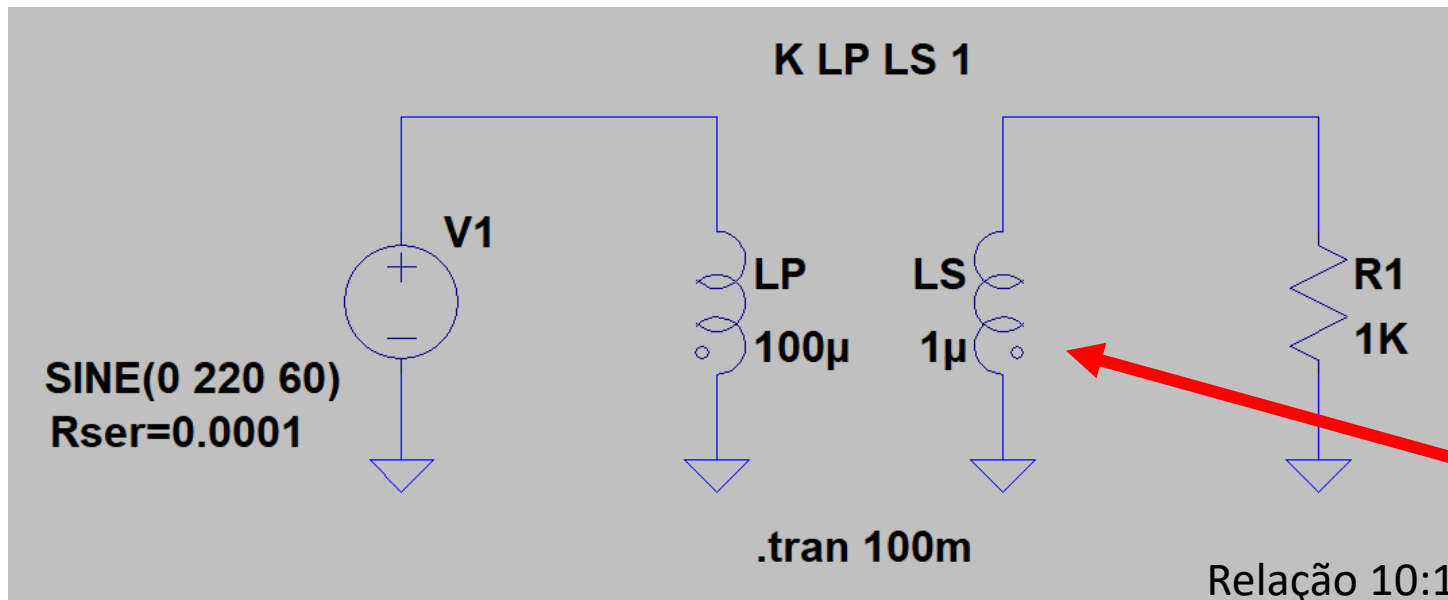
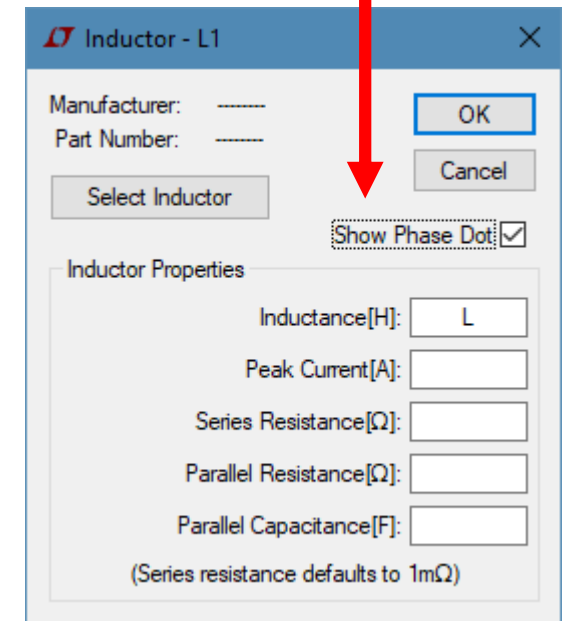
Se $L_S = L_P \rightarrow$ Circuito isolador

Análise Transiente



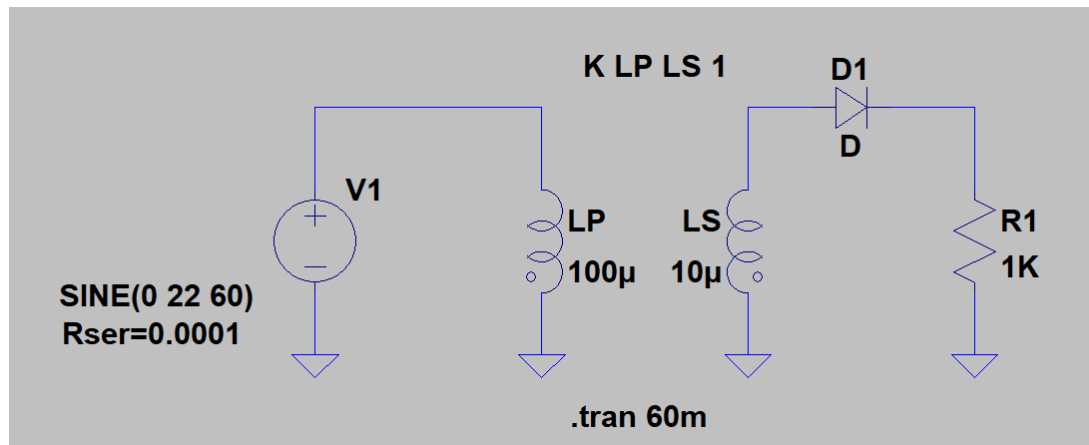
Indica instrução
acoplamento
ideal (OP)

Marcar caixa para apresentação do
ponto (indutância mútua)



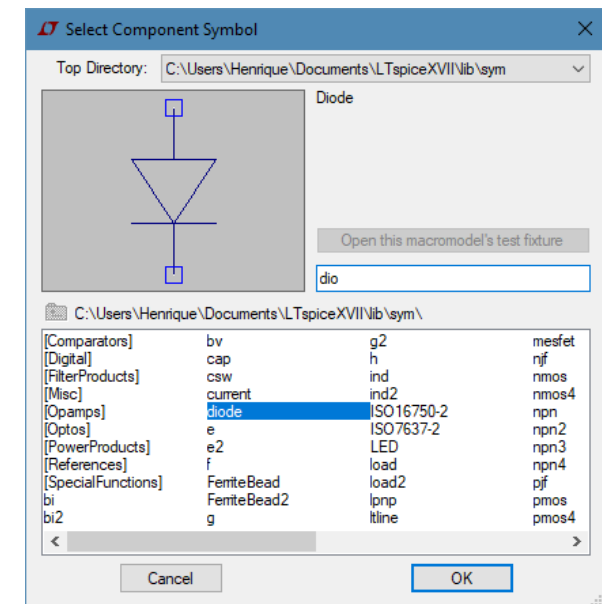
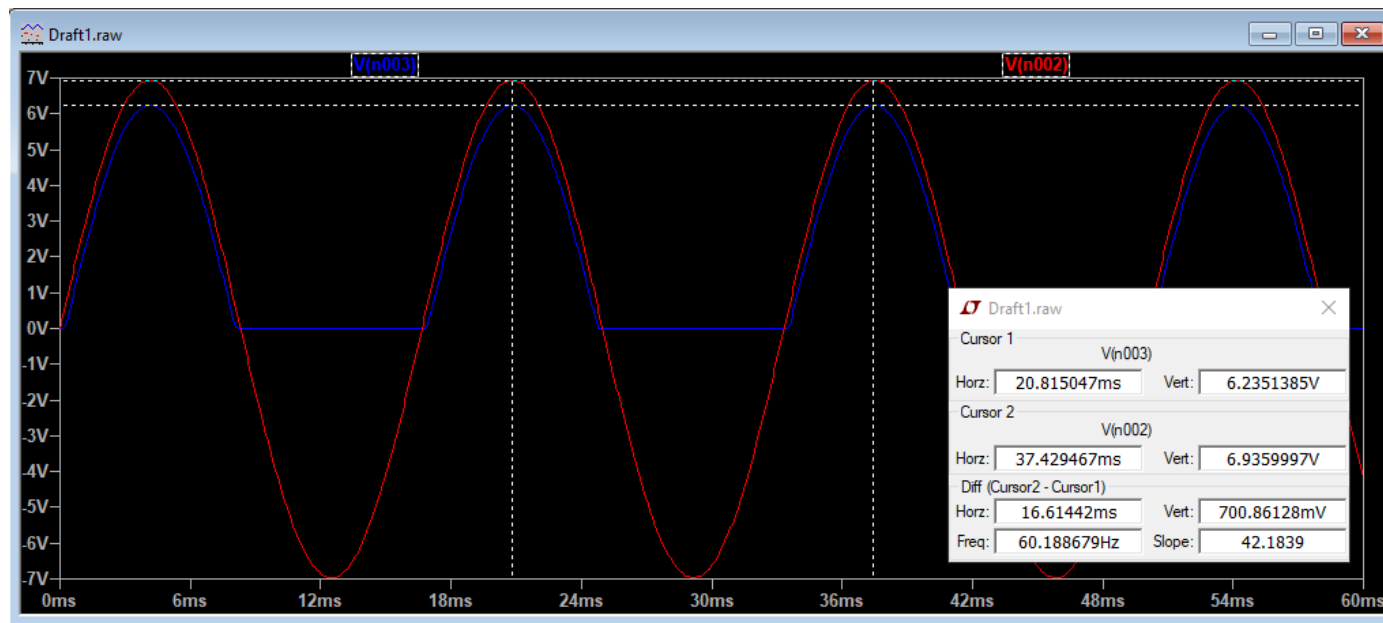
Utilizar *mirror* (Ctrl - E)

Análise Transiente



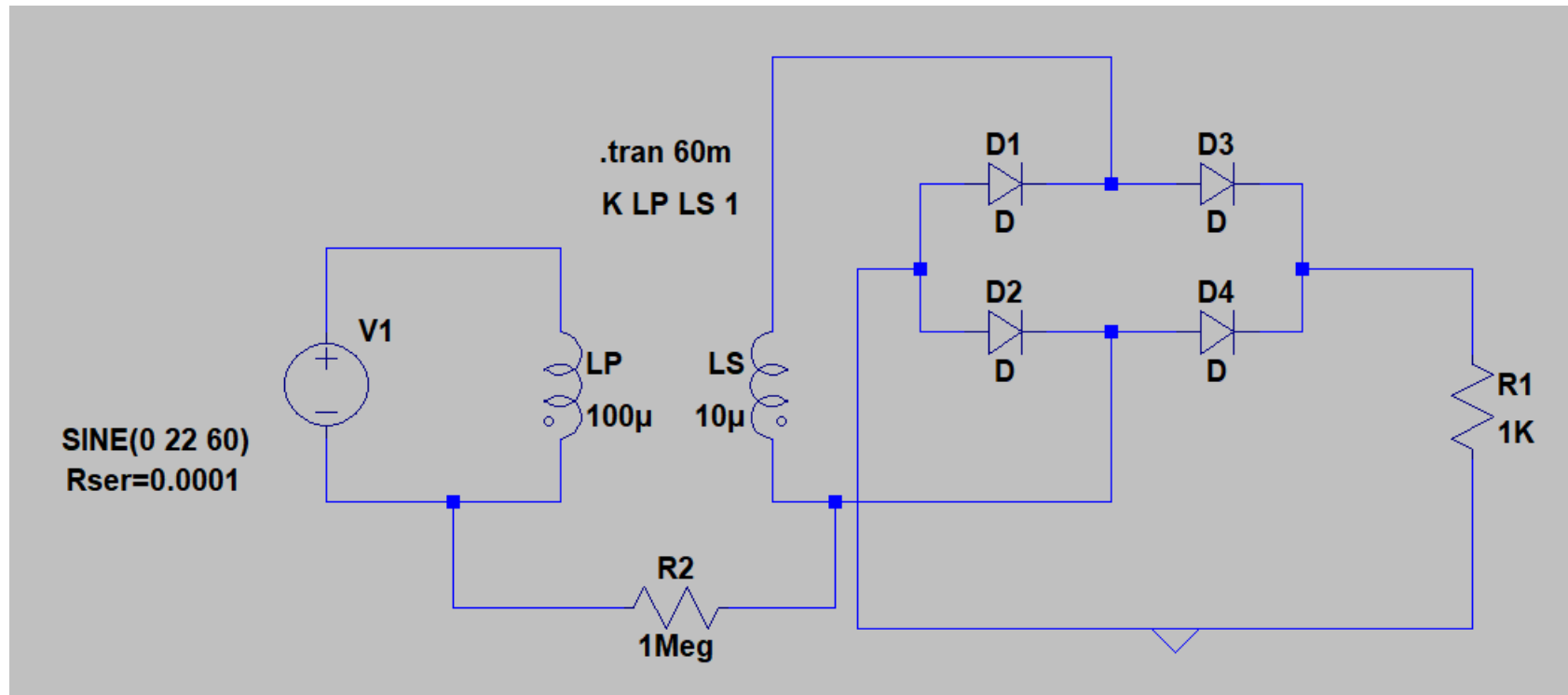
Adicione um diodo para visualizar o efeito de um retificador de meia onda.

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

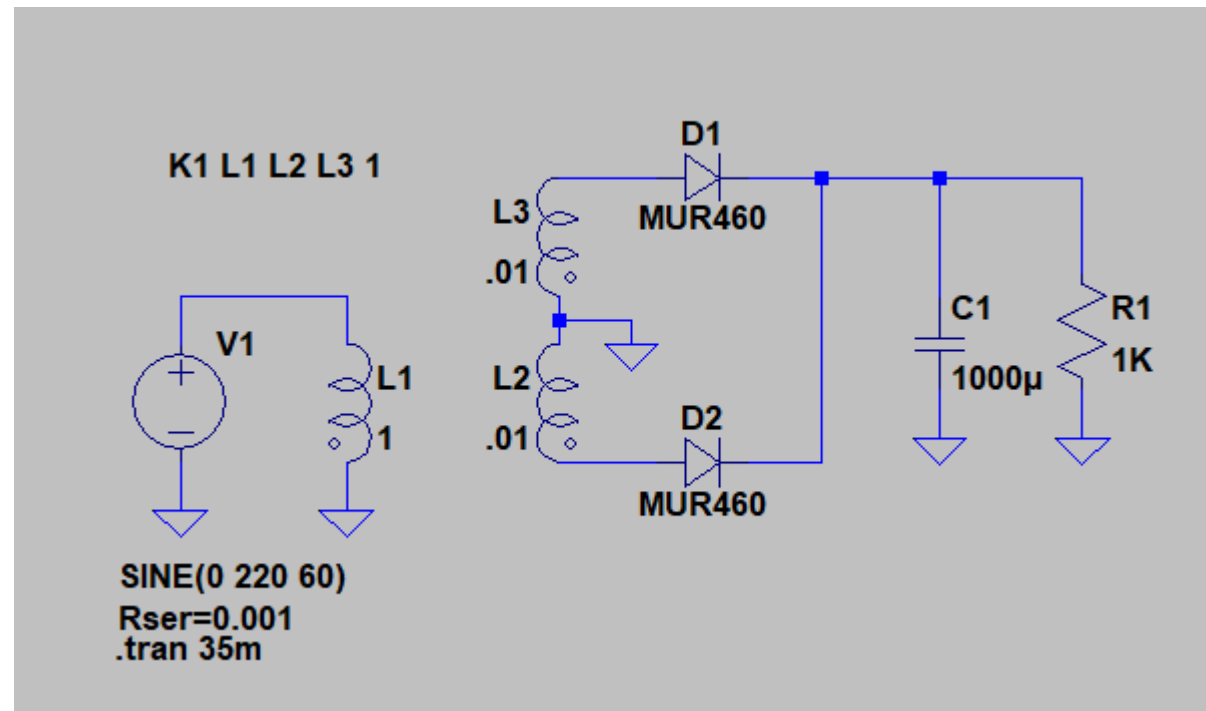


Análise Transiente

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

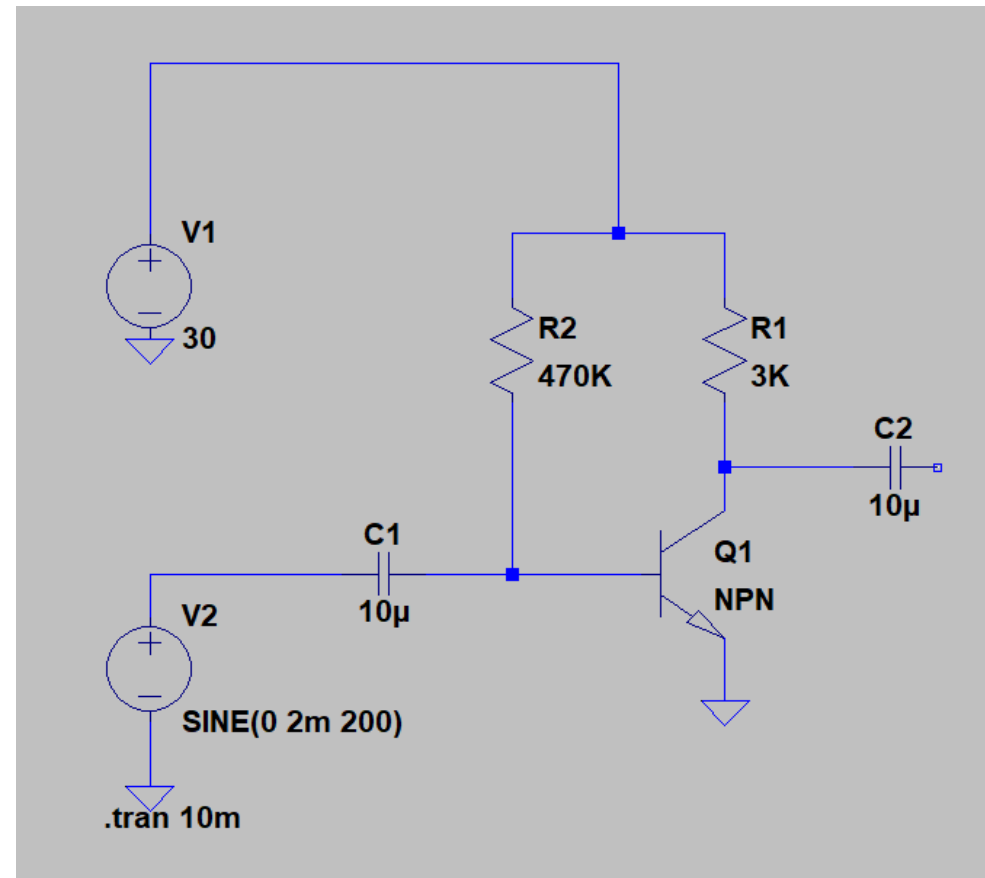


Retificador de onda completa e filtro capacitivo com TAP central



Análise Transiente

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



Switch

