

Comandos Avançados LTSpice

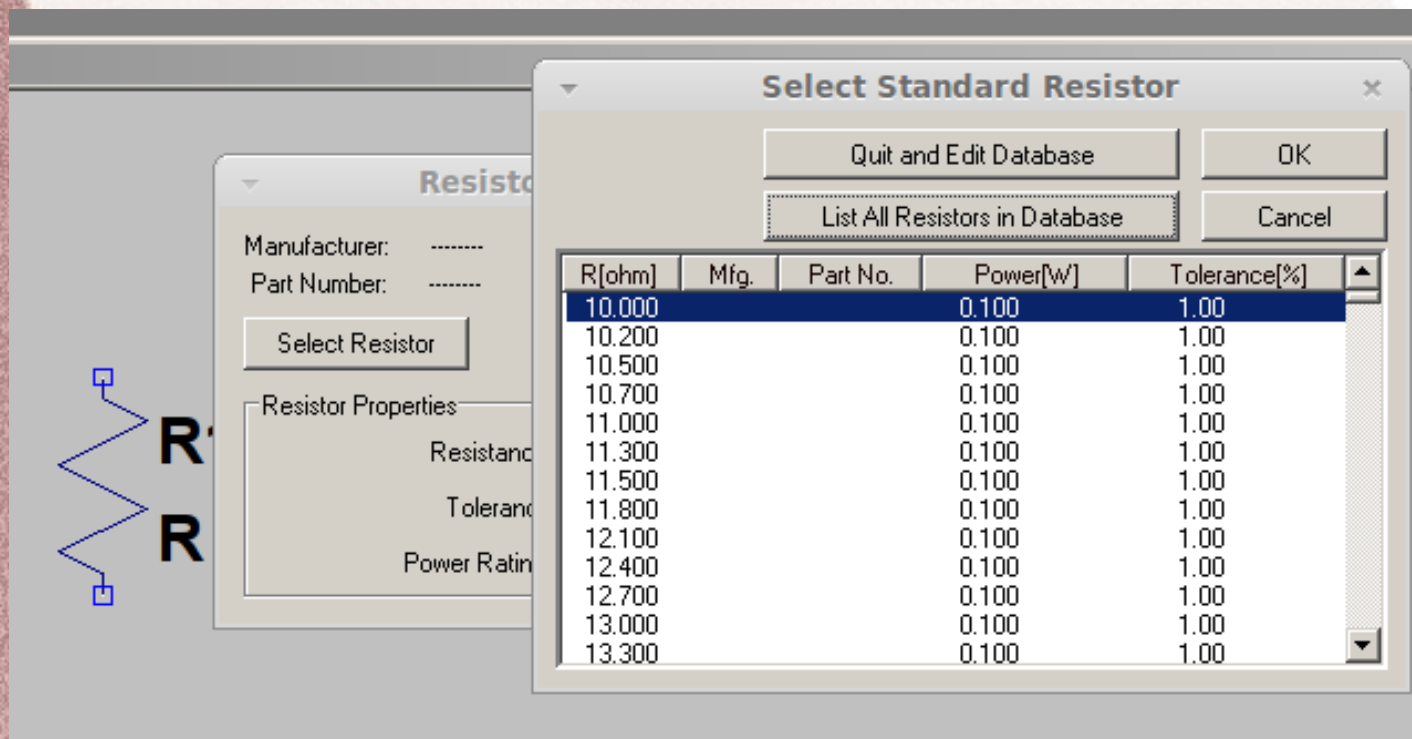
- Serão apresentados comandos avançados de simulação no LTSpice.
- Verificaremos
 - Modelos de dispositivos passivos, resistores, capacitores e indutores.
 - Modelos de dispositivos ativos, diodos e transistores
 - Análise em temperatura
 - Análise paramétrica
 - Funções de gráficos e pós-processamento

Comandos Avançados LTSpice

- Os simuladores do tipo Spice utilizam um arquivo com os parâmetros dos modelos.
- Isto é definido com o comando “.model”
- No LTSpice podemos utilizar os modelos dos componentes de duas formas diferentes.
 - Utilizar o arquivo (biblioteca) com os modelos dos componentes. É possível incluir novos dispositivos neste arquivo
 - Utilizar o modelo diretamente no esquemático

Comandos Avançados LTSpice

- A seguir veremos as bibliotecas disponíveis para alguns componentes mais simples
- Para os resistores temos:



- Resistência
- Potência
- Tolerância

Comandos Avançados LTSpice

- Biblioteca para os capacitores

The image shows two dialog boxes from LTSpice. The left dialog, 'Select Stock Capacitor', contains a table of capacitor specifications. The right dialog, 'Capacitor - C1', shows the configuration options for a capacitor component.

C[μF]	Mfg.	type	Part No.	Voltage[V]	Rser[ohm]
1.0	AVX	Tantalum	TAJA105K016	16.0	11.000
10.0	AVX	Tantalum	TAJA106M006	6.3	4.000
1.5	AVX	Tantalum	TAJA155K016	16.0	8.000
2.2	AVX	Tantalum	TAJA225K016	16.0	6.500
2.2	AVX	Tantalum	TAJA225M006	6.3	9.000
2.2	AVX	Tantalum	TAJA225M010	10.0	7.000
22.0	AVX	Tantalum	TAJA226M004	4.0	3.500
3.3	AVX	Tantalum	TAJA335M016	16.0	5.000
4.7	AVX	Tantalum	TAJA475K004	4.0	7.500

The 'Capacitor - C1' dialog box includes the following fields:

- Manufacturer:
- Part Number:
- Type:
- Capacitance[F]: C
- Voltage Rating[V]:
- RMS Current Rating[A]:
- Equiv. Series Resistance[oh]:
- Equiv. Series Inductance[H]:
- Equiv. Parallel Resistance[oh]:
- Equiv. Parallel Capacitance[F]:

A schematic diagram of a capacitor is shown in the center, with the label 'C1' above it and 'C' below it.

- Capacitância, tensão de trabalho, corrente, resistência e indutância parasita

Comandos Avançados LTSpice

- Biblioteca para os indutores

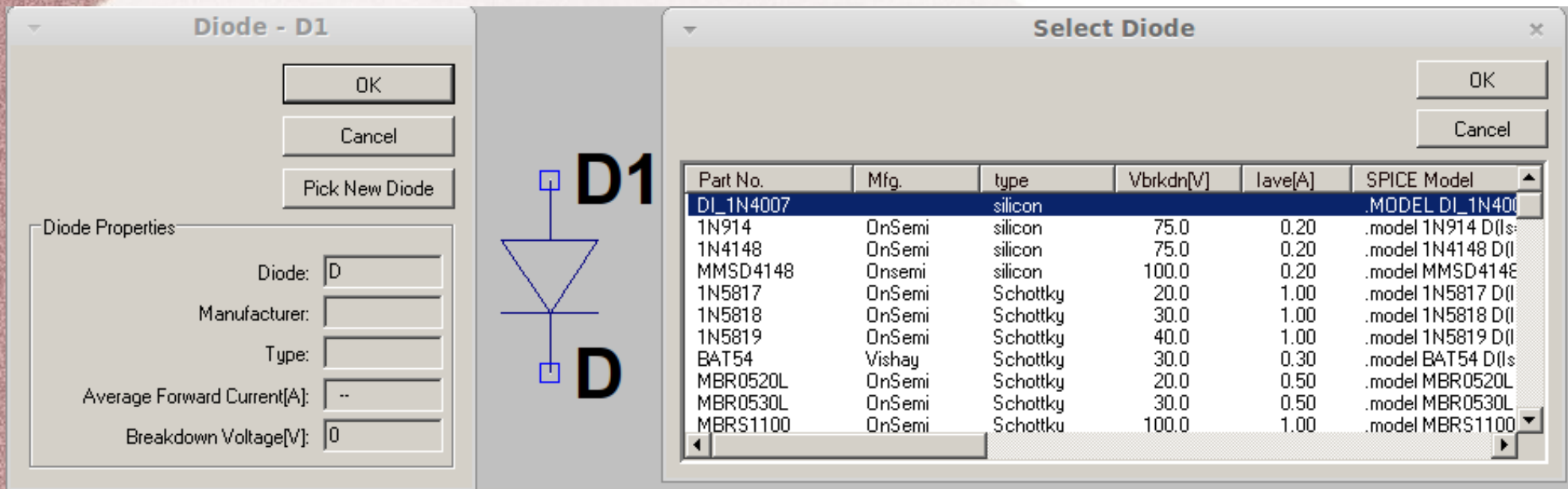
The image shows two windows from the LTSpice software. The left window is titled "Inductor - L1" and contains fields for "Manufacturer:", "Part Number:", "Inductance[H]:", "Peak Current[A]:", "Series Resistance[ohm]", "Parallel Resistance[ohm]", and "Parallel Capacitance[F]". It also has "OK", "Cancel", and "Select Inductor" buttons, and a "Show Phase Dot" checkbox. The right window is titled "Select Stock Inductor" and contains a table of inductor specifications. The table has columns for "L[μH]", "Mfg.", "Part No.", "Ipk[A]", and "Rser[ohm]". The first row is highlighted in blue.

L[μH]	Mfg.	Part No.	Ipk[A]	Rser[ohm]
10.0	Coilcraft	0603PS-103K	0.210	1.390
1.8	Coilcraft	0603PS-182K	0.390	0.470
2.2	Coilcraft	0603PS-222K	0.330	0.652
2.7	Coilcraft	0603PS-272K	0.330	0.652
3.3	Coilcraft	0603PS-332K	0.320	0.765
3.9	Coilcraft	0603PS-392K	0.270	0.870
4.7	Coilcraft	0603PS-472K	0.260	0.870
5.6	Coilcraft	0603PS-562K	0.230	1.030
6.8	Coilcraft	0603PS-682K	0.230	1.070
8.2	Coilcraft	0603PS-822K	0.220	1.240
10.0	Coilcraft	0805PS-103K	0.270	1.260
1.5	Coilcraft	0805PS-152K	0.850	0.157
15.0	Coilcraft	0805PS-152K	0.330	1.450

- Indutância, corrente, resistência e capacitância parasita

Comandos Avançados LTSpice

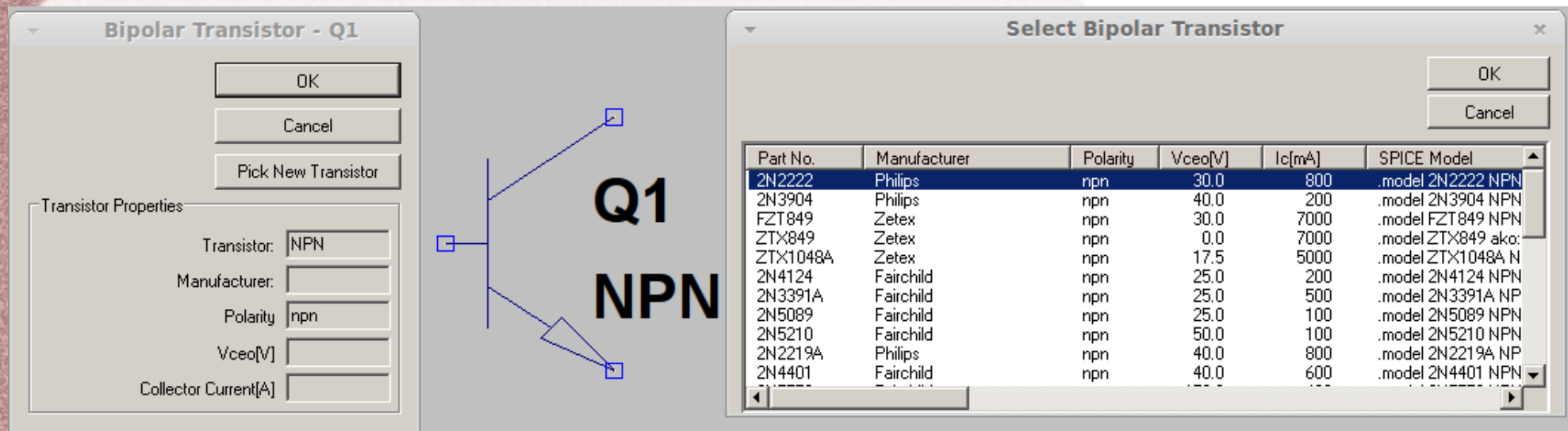
- Biblioteca de diodos



- Os parâmetros descrevem o funcionamento do diodo, modelo spice do diodo

Comandos Avançados LTSpice

- Biblioteca de Transistor bipolar, TBJ



- Os parâmetros descrevem o funcionamento do transistor, modelo spice do transistor bipolares

Comandos Avançados LTSpice

- Biblioteca Transistor MOSFET, canal N

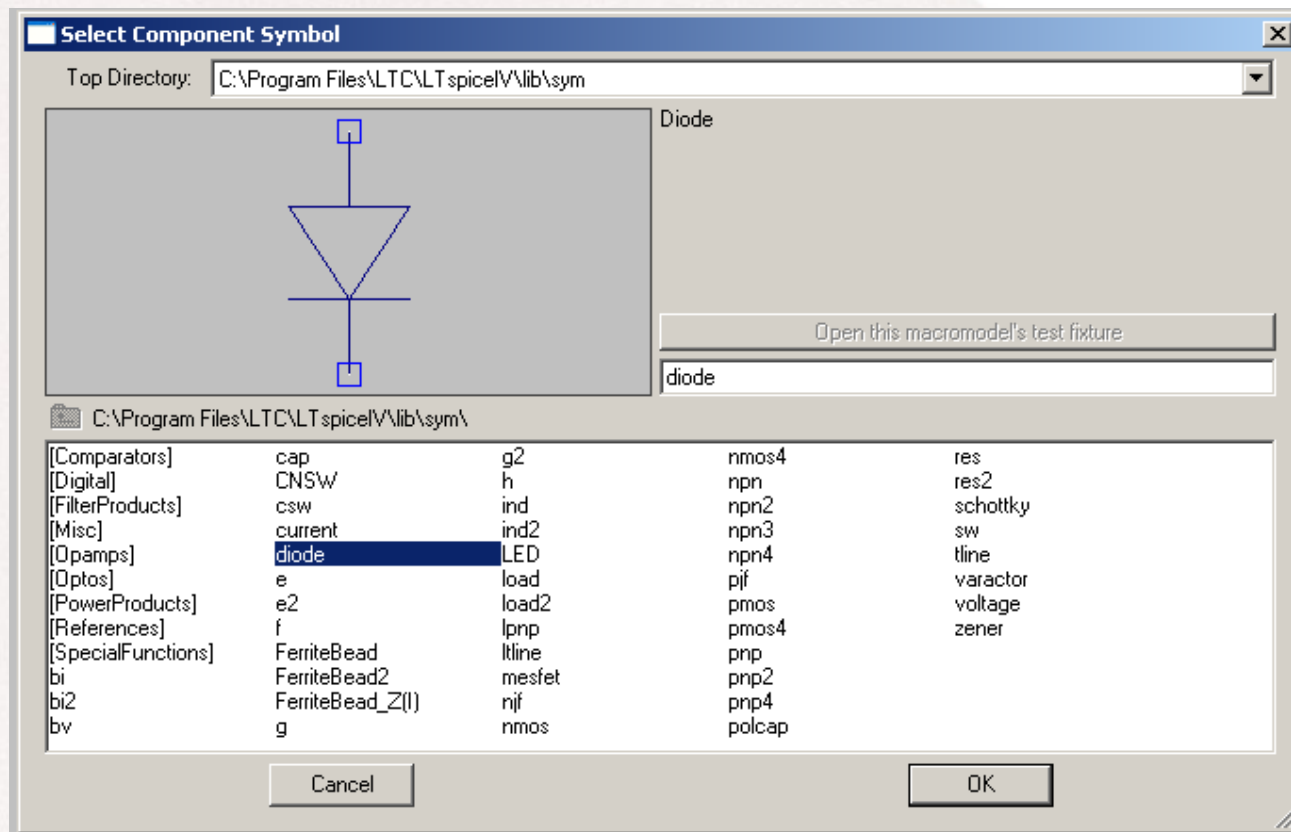
The image shows two windows from the LTSpice software. The left window, titled 'MOSFET - M1', displays the configuration for a MOSFET component. It includes buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Pick New MOSFET'. Below these, the 'MOSFET Properties' section shows: MOSFET: NMOS, Manufacturer: (empty), Polarity: nmos, Vds[V]: (empty), Rds(on)[oh]: (empty), and Qgate[C]: (empty). In the center, a schematic diagram shows an NMOS transistor symbol with the label 'M1' and 'NMOS' next to it. The right window, titled 'Select MOSFET', is a list box showing various MOSFET models. The table below is a representation of the data in this window.

Part No.	Manufacturer	Polarity	Vds[V]	Ron[mohm]	Gate Chg
AD6408	Alpha & Omega	N-chan	20.0	12	18
AP9465GEM	Advanced Power Electronic	N-chan	40.0	25	9
BSB012N03LX	Infineon	N-chan	30.0	1	62
BSB012N03MX	Infineon	N-chan	30.0	1	82
BSB012NE2LX	Infineon	N-chan	25.0	1	33
BSB013NE2LX	Infineon	N-chan	25.0	1	30
BSB014N04LX	Infineon	N-chan	40.0	1	71
BSB015N04NX	Infineon	N-chan	40.0	2	114
BSB017N03LX	Infineon	N-chan	30.0	2	34
BSB017N03MX	Infineon	N-chan	30.0	2	45
BSC010NE2LS	Infineon	N-chan	25.0	1	31
BSC010NE2LS	Infineon	N-chan	25.0	1	29

- Os parâmetros descrevem o funcionamento do transistor, modelo spice do transistor MOS

Comandos Avançados LTSpice

- A lista com a biblioteca de componentes básicos está a seguir.



Comandos Avançados LTSpice

- Os arquivos com os modelos se encontram no diretório
 - /Program Files/LTC/LtspiceXVII/lib/cmp
 - Standard.tbj. Para transistores bipolares
 - Standard.dio. Para diodos semicondutores
 - Standard.jft. Para transistores JFET
 - Standard.mos. Para transistores MOSFET.
 - Os arquivos de resistores, capacitores e indutores são binários, não editáveis
- É possível incluir novos componentes nestes arquivos

Comandos Avançados LTSpice

- Por exemplo podemos incluir o modelo do diodo 1N4007.

```
.MODEL DI_1N4007 D( IS=76.9p RS=42.0m BV=1.00k IBV=5.00u  
CJO=26.5p M=0.333 N=1.45 TT=4.32u type=silicon)
```

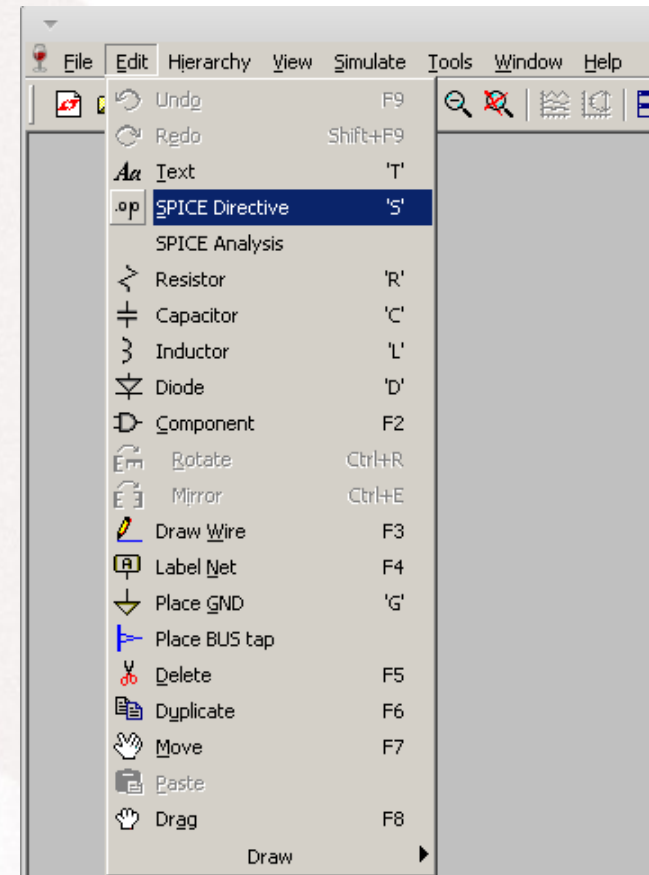
- Para isto basta abrir o arquivo standard.dio e incluir o texto acima. Depois salvar o arquivo.
 - O nome do diodo é DI_1N4007
- Assim podemos incluir novos componentes no arquivo da biblioteca

Comandos Avançados LTSpice

- A outra forma é incluir o modelo no próprio arquivo esquemático de simulação.

- Utilizando o Edit e Spice Directive
- Incluindo o conteúdo a seguir

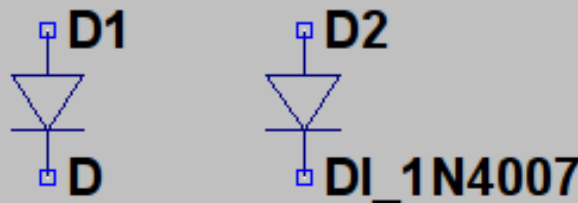
```
.MODEL DI_1N4007 D( IS=76.9p RS=42.0m  
BV=1.00k IBV=5.00u CJO=26.5p M=0.333  
N=1.45 TT=4.32u type=silicon)
```



Comandos Avançados LTSpice

- Depois é necessário renomear o diodo com o nome dado no modelo incluído
 - Propriedades do componente para alterar o nome, opção direita no mouse

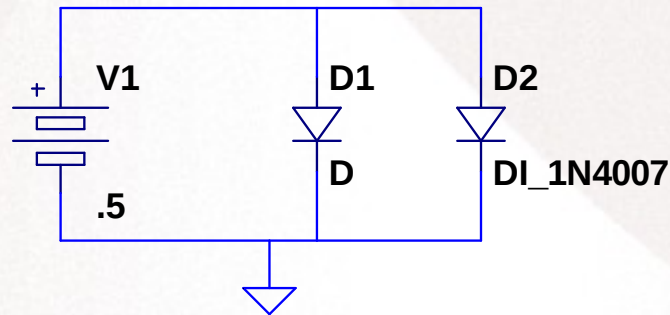
```
.MODEL DI_1N4007 D( IS=76.9p RS=42.0m BV=1.00k IBV=5.00u CJO=26.5p M=0.333 N=1.45 TT=4.32u type=silicon)
```



Comandos Avançados LTSpice

- **Exercícios 1.** Implemente o arquivo de simulação a seguir e verifique os parâmetros IS e N default do diodo no LTSpice
 - Obtenha Is e n do diodo D1, sem modelo definido, considere $V_t=25,86$ mV

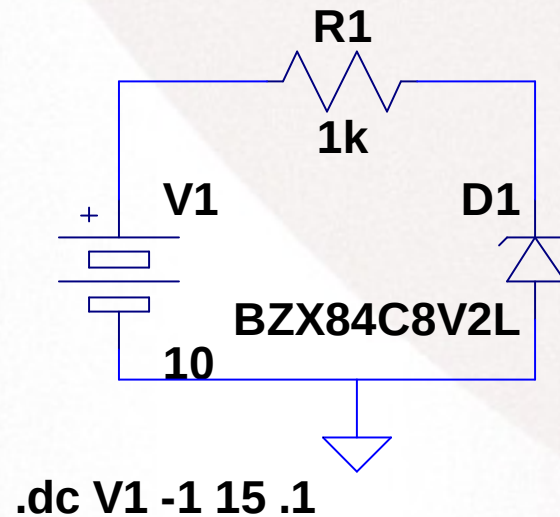
```
.MODEL DI_1N4007 D( IS=76.9p RS=42.0m BV=1.00k IBV=5.00u CJO=26.5p M=0.333 N=1.45 TT=4.32u type=silicon)
```



```
.dc V1 .5 .7 .02
```


Comandos Avançados LTSpice

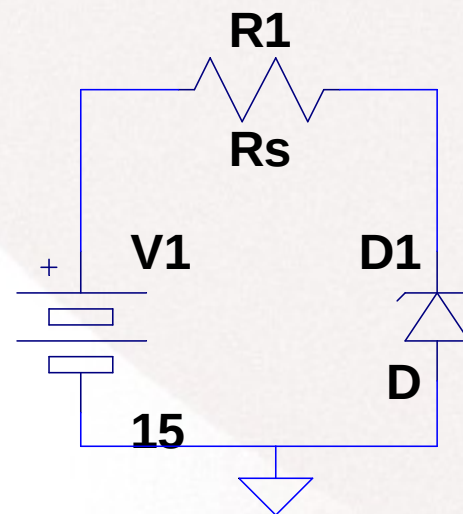
- **Exercícios 2.** Característica do diodo zener
 - a) Verifique o comportamento da tensão e corrente no diodo zener.
 - b) Obtenha a curva característica do diodo zener. (R=0)



Comandos Avançados LTSpice

- **Exercícios 3.** No circuito a seguir zener inclui o modelo no esquemático com os seguintes parâmetros.
 - a) Obtenha a curva característica do diodo zener. ($R=0$)
 - b) Obtenha R_s para $I_{zmax}=50\text{mA}$

$I_s=6\text{n}$ $R_s=5$ $C_{jo}=150\text{p}$
 $nbv=5$ $bv=10$ $I_{bv}=1\text{m}$
 $V_{pk}=10$



Comandos Avançados LTSpice

- Para o diodo os parâmetros default do Spice são:

	name	parameter	units	default	example
1	IS	saturation current	A	1.0e-14	1.0e-14
2	RS	ohmic resistance	Z	0	10
3	N	emission coefficient	-	1	1.0
4	TT	transit-time	sec	0	0.1ns
5	CJO	zero-bias junction capacitance	F	0	2pF
6	VJ	junction potential	V	1	0.6
7	M	grading coefficient	-	0.5	0.5
8	EG	activation energy	eV	1.11	1.11 Si 0.69 Sbd 0.67 Ge
9	XTI	saturation-current temp. exp	-	3.0	3.0 jn 2.0 Sbd
10	KF	flicker noise coefficient	-	0	
11	AF	flicker noise exponent	-	1	
12	FC	coefficient for forward-bias depletion capacitance formula	-	0.5	
13	BV	reverse breakdown voltage	V	infinite	40.0
14	IBV	current at breakdown voltage	A	1.0e-3	
15	TNOM	parameter measurement temperature	o C	27	50

Comandos Avançados LTSpice

- Os nomes dos modelos para os outros dispositivos semicondutores são:

Nome	Descrição
NPN	Transistor bipolar tipo npn
PNP	Transistor bipolar tipo pnp
NMOS	Transistor MOSFET canal N
PMOS	Transistor MOSFET canal P
NJF	Transistor FET de junção canal N
PJF	Transistor FET de junção canal P
GASFET	Transistor MESFET de GaAs

Comandos Avançados LTSpice

- O LTSpice não suporta os modelos dos componentes passivos que o spice utiliza
 - Os nomes para o spice são
 - CAP para os capacitores
 - IND, para os indutores
 - RES, para os resistores
- **Estes modelos não podem ser utilizados no LTSpice.**

Comandos Avançados LTSpice

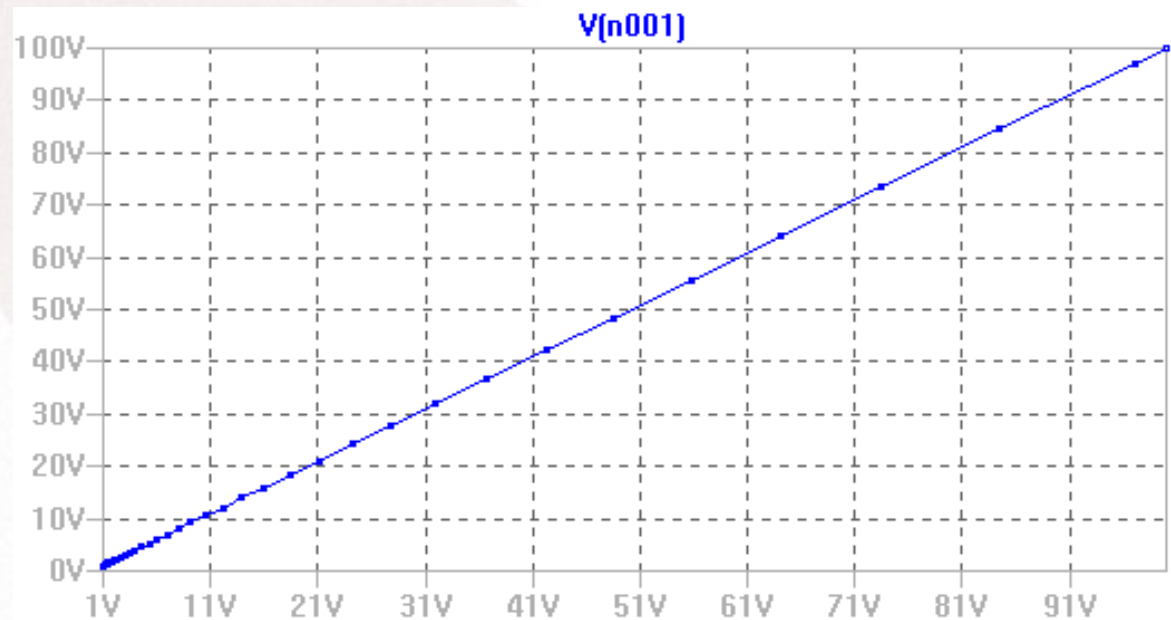
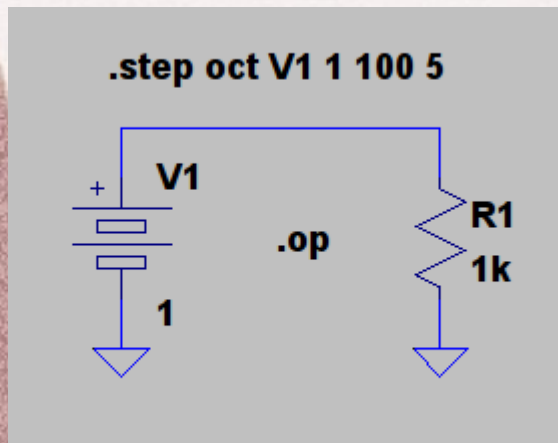
- No **LTSpice** é possível realizar variação do valor de um componente utilizando o comando para análise paramétrica
- Para isto é necessário utilizar os comandos
 - **.Step param e .op**
- O comando **step** permite repetir uma análise várias vezes
 - Pode ser temperatura, um parâmetro de modelo, um parâmetro global, ou uma fonte independente.

Comandos Avançados LTSpice

- O comando **Step** permite repetir uma análise várias vezes
 - As variáveis podem ser lineares, logarítmica, ou especificados como uma lista de valores.
- **Alguns exemplos são:**
- `.step oct v1 1 20 5`
 - Variação do gerador V1 de forma logarítmica de 1 a 20 com 5 pontos por década

Comandos Avançados LTSpice

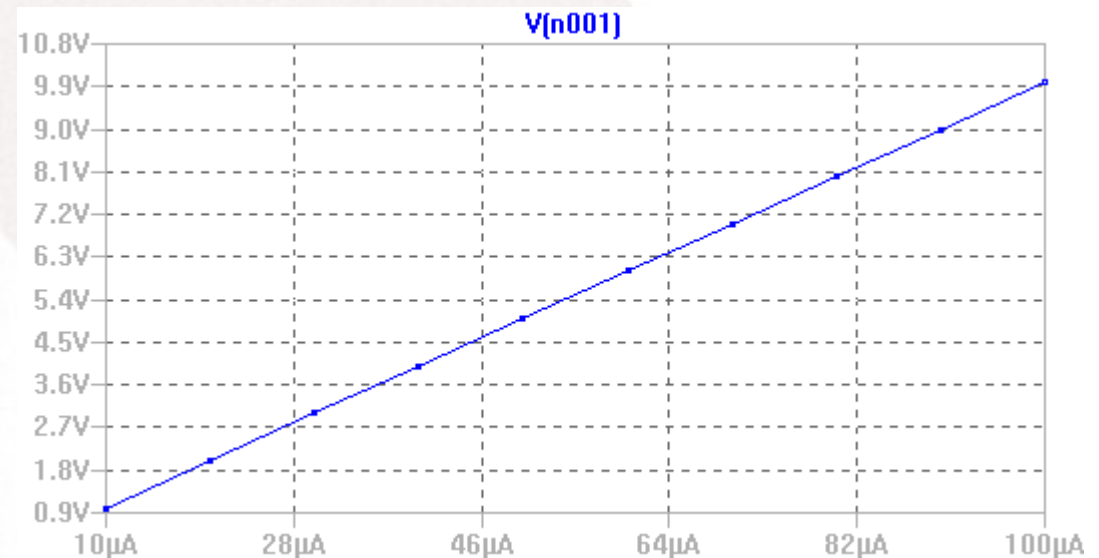
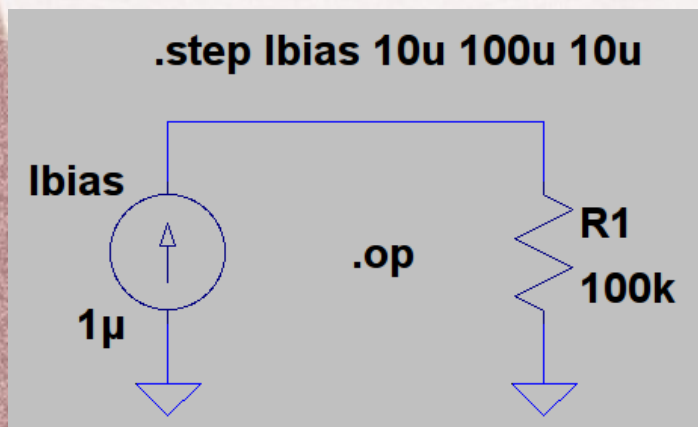
- Exemplo comandos .step



- **Exercícios:** Altere os parâmetros de tensões inicial, final de número de pontos

Comandos Avançados LTSpice

- Exemplo comandos .step
 - .step Ibias 10u 100u 10u
 - Variação em passos da fonte Ibias de 10u a 100u em incrementos de 10U.



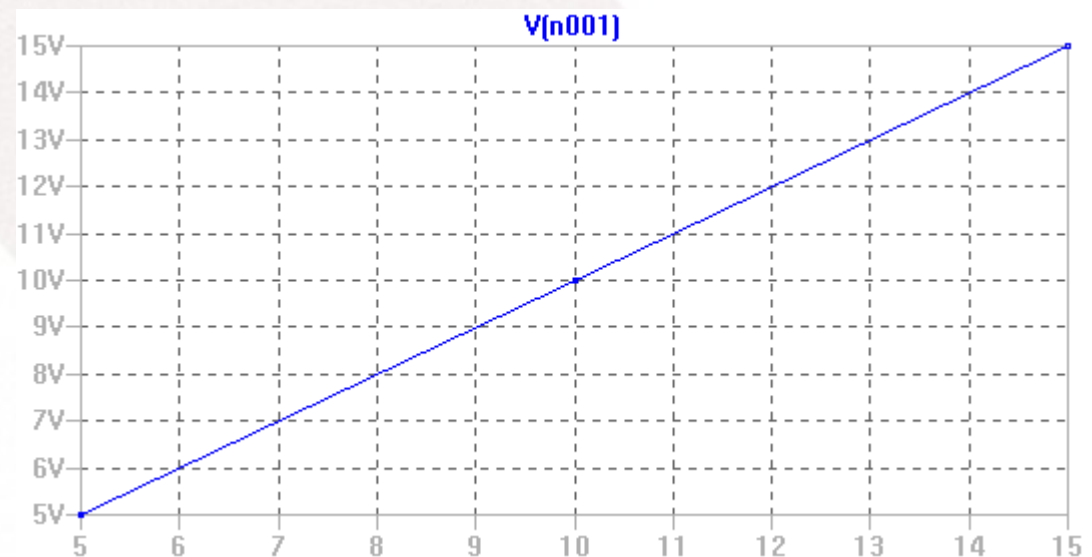
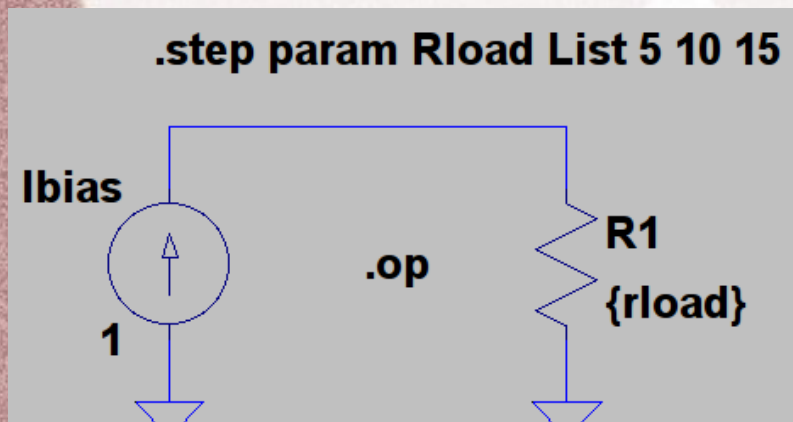
- **Exercícios:** Altere os valores de corrente inicial, final e passo

Comandos Avançados LTSpice

- **Exemplo comandos .step**
 - .step param RLOAD LIST 5 10 15
 - Observe que foi incluído a opção **param**. Esta opção pode ser utilizando para alterar os parâmetros de outros componentes
 - Variação da resistência **RLOAD** com somente três valores (**list**) **5, 10 e 15**
 - É necessário alterar o nome no resistor e incluir os símbolos chaves **{Rload}**

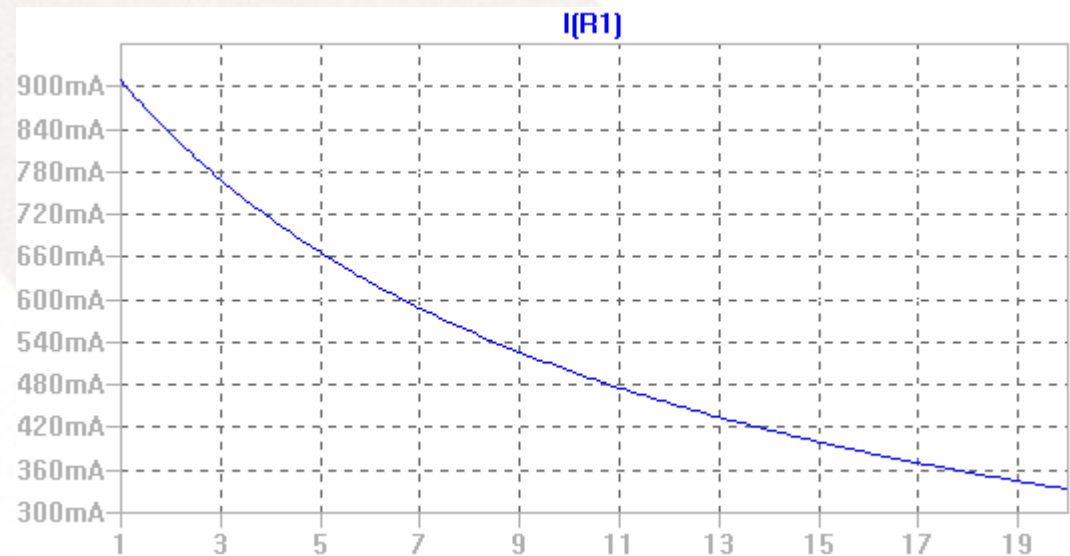
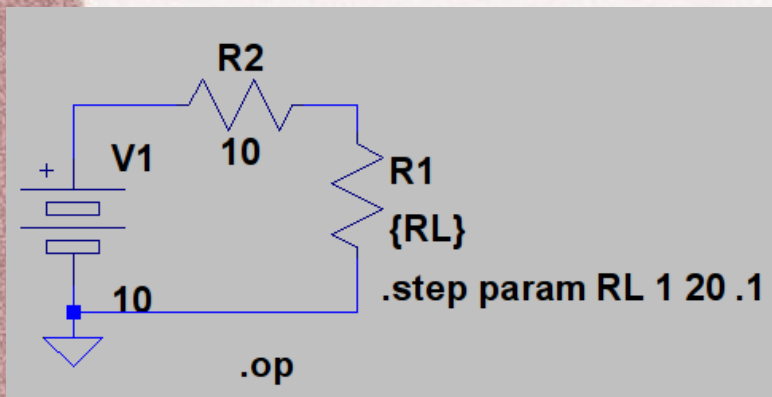
Comandos Avançados LTSpice

- Exemplo comandos .step
 - .step param RLOAD LIST 5 10 15
 - Variação da resistência RLOAD com três valores (list) 5, 10 e 15



Comandos Avançados LTSpice

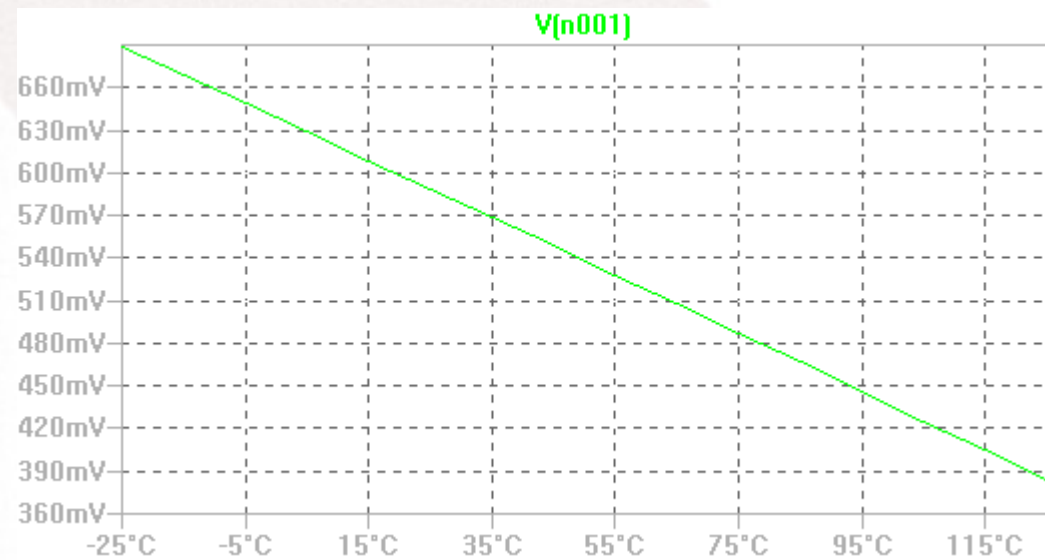
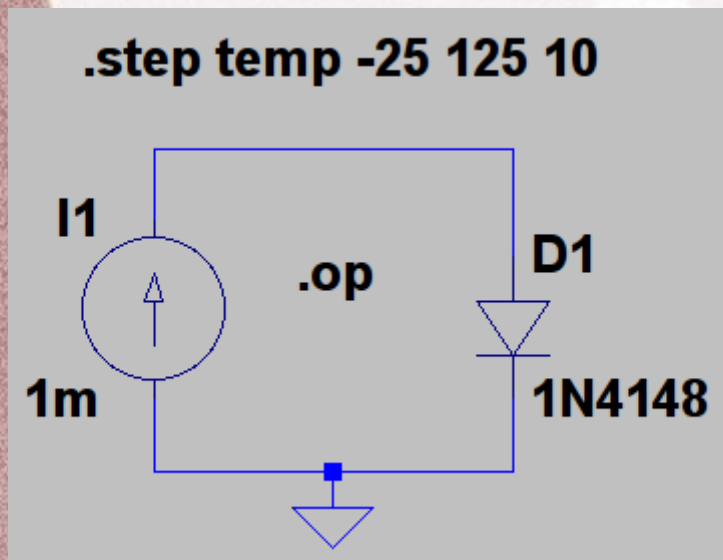
- Exemplo comandos `.step` e `param`
 - `.step param RL 1 20 .1`
 - Variação da resistência RL de 1 a 20 ohm com passos de .1



- **Exercícios:** Altere o nome do resistor, e efetue uma varredura de resistência entre 1k a 50k passos 1k

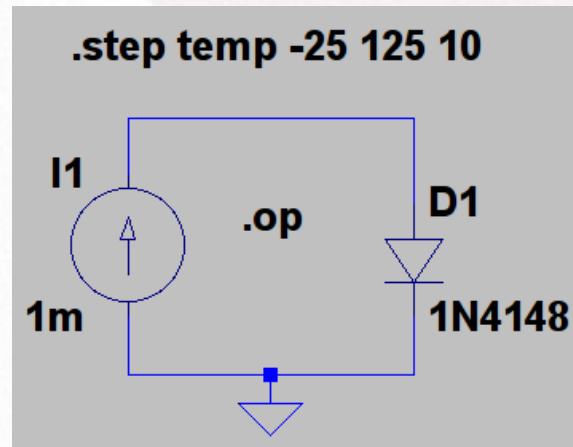
Comandos Avançados LTSpice

- Exemplo comandos `.step temp`
 - `.step temp -55 125 10`
 - Variação da temperatura de simulação, neste caso de -55 a 125 com passos de 10 °C



Comandos Avançados LTSpice

- Exemplo comandos `.step temp`
 - **Exercício:** Inclua um outro diodo e polarize ele com uma corrente de `.1mA`. Verifique o comportamento da tensão direta em função da temperatura para os diodos polarizados com correntes diferentes.



Comandos Avançados LTSpice

- É possível incluir equações que alteram o valor do componente em função da temperatura. Os exemplos a seguir ilustram isto.
 - Variação das resistências dos resistores em função da temperatura.

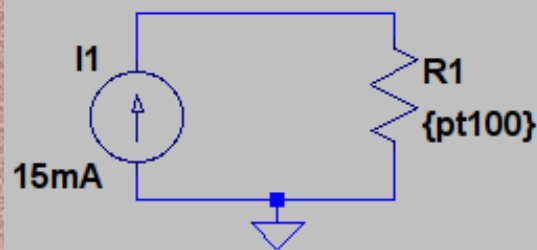
Modelo PT100, $R=100(1+aT)$, $a=3.85\text{mohm}/\text{oC}$

Para 1m $R_0=0.363$; 5 metros $R_0=1.81$

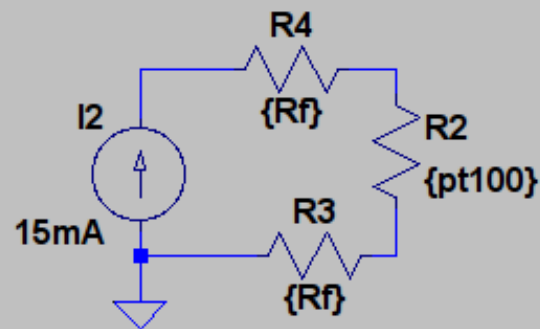
fio AWG 30 0,34 ohm/m a 20 oC

`.param Rf {0.363*(1 + 3.5e-3*temp)}`

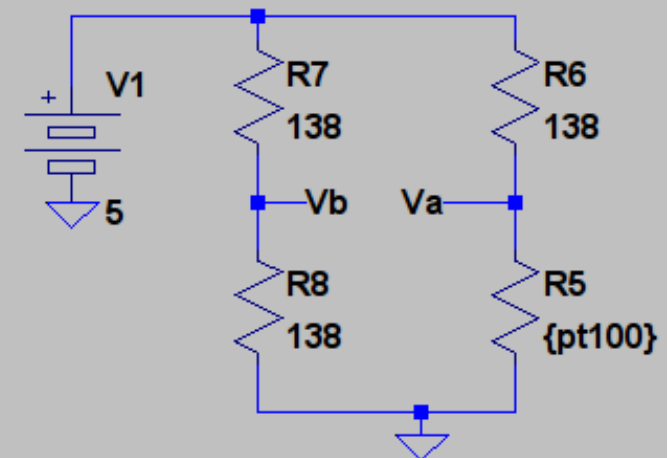
`.PARAM pt100 { 100*(1+3.85e-3*TEMP)}`



`.step temp -100 300 5`

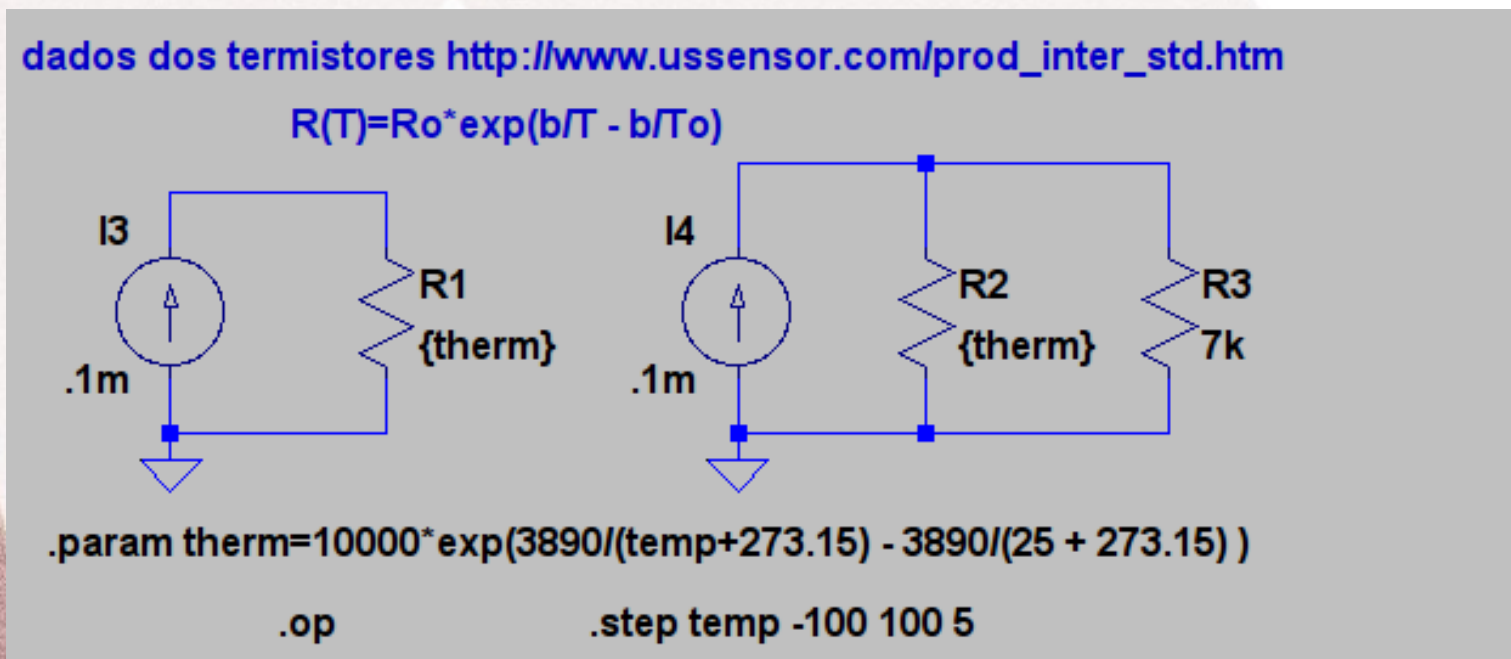


`.op`



Comandos Avançados LTSpice

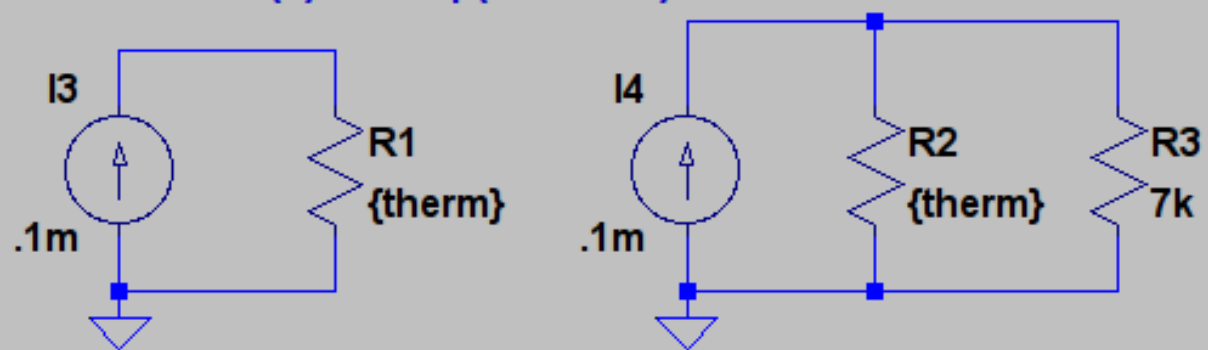
- É possível incluir equações que alteram o valor do componente em função da temperatura. Os exemplos a seguir ilustram isto.
 - No exemplo a seguir a variação é exponencial



Comandos Avançados LTSpice

- Exercício: Altere os parâmetros do termistor (therm) para: $B=5000$, $T_0=300$ e $R_0=6,8k$
 - Verifique o funcionamento do dispositivo therm para temperaturas de 0 a 100 oC.

dados dos termistores http://www.ussensor.com/prod_inter_std.htm

$$R(T)=R_0 \cdot \exp(b/T - b/T_0)$$


```
.param therm=10000*exp(3890/(temp+273.15) - 3890/(25 + 273.15) )  
.op  
.step temp -100 100 5
```

Comandos Avançados LTSpice

- É possível alterar um parâmetro de um modelo de um componente semicondutor.
 - No exemplo a seguir é realizada a variação de I_s do diodo 1N4148

