

腾云 *Altium*

电子线路元件及SPICE模型

何宾

2015.07

学习内容与目标

- **基本元件**
- **电压和电流源**
- **传输线**
- **晶体管 and 二极管**
- **从用户数据中创建SPICE模型**

基本元件

--电阻

右图给出电阻的符号，其SPICE模型表示为：

RXXXXXXX N1 N2 VALUE

■ 其中：

□ N1、N2：

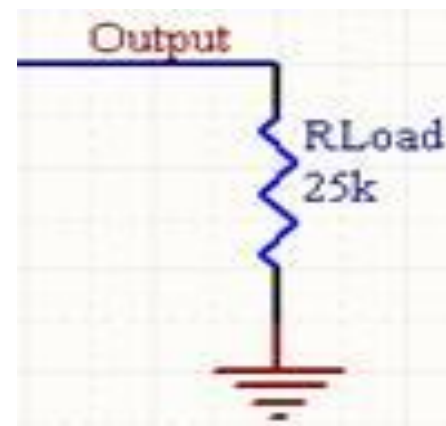
电阻接入电路的节点号，在使用时分配。

□ VALUE：

是电阻值（单位为 Ω ），为正值或者负值，但不能为零。

■ 例如：

□ R1 1 2 100



基本元件

--半导体电阻

下图给出半导体电阻的符号，其SPICE模型表示为：

RXXXX N1 N2 <VALUE> <MNAME> <L=LENGTH> <W=WIDTH> <TEMP=T>

■ 其中：

- N1、N2：电阻接入电路的节点号，在使用时分配。
- VALUE：电阻值。
- MNAME：电阻模型的名字。
- LENGTH：电阻的长度。
- WIDTH：电阻的宽度。
- T：温度值。



■ 例如：

- **RMOD 3 7 RMODEL L=10u W=1u**

基本元件

--电容

右图给出电容的符号，其SPICE模型表示为：

CXXXXXXXX N+ N- VALUE <IC=INCOND>

■ 其中：

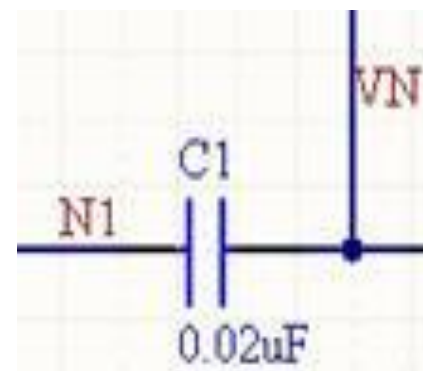
□ N+、N-：电容接入电路的节点号，在使用时分配。

□ VALUE：电容值（单位为F）。

□ <IC=INCOND>：电容的初始电压值。

■ 例如：

□ **COSC 17 23 10U IC=3V**



基本元件

-- 半导体电容

下图给出了半导体电容的符号，其SPICE模型表示为

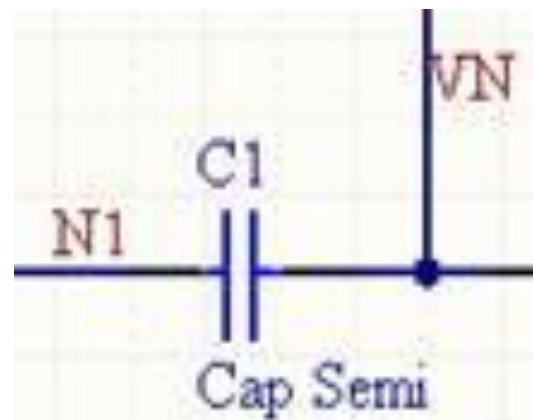
`CXXN1 N2 <VALUE> <MNAME> <L=LENGTH> <W=WIDTH> <IC=VAL>`

■ 其中：

- N1、N2：电容接入电路的节点号，在使用时分配。
- MNAME：电容模型的名字。
- VALUE：是电容值（单位为F）。
- LENGTH：电容的长度。
- WIDTH：电容的宽度。
- <IC=VAL>：瞬态分析的初值。

■ 例如：

- `CMOD 3 7 CMODEL L=10u W=1u`



基本元件

--电感

下图给出了电感的符号，其SPICE模型表示为：

LYYYYYYYY N+ N- VALUE <IC=INCOND>



■其中：

- N+、N-：电感接入电路的节点号，在使用时分配。
- VALUE：电感值（单位为H）。
- <IC=INCOND>：电感的初始电流值。

■例如：

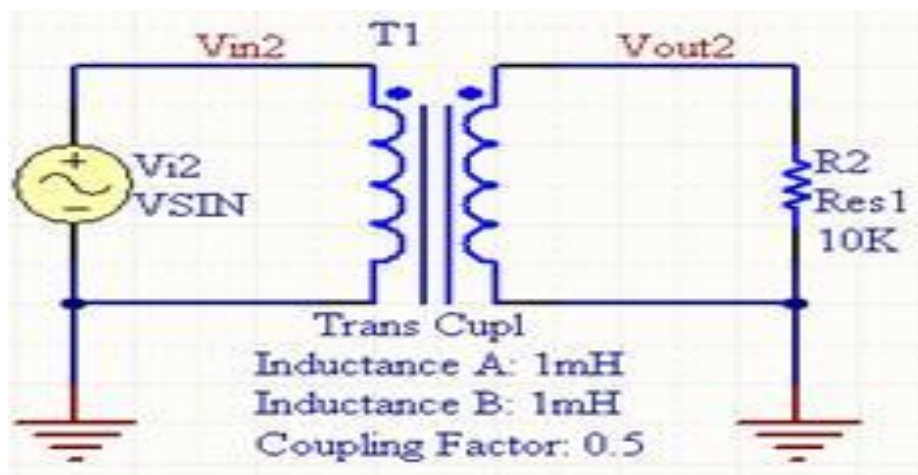
- LLINK 42 69 1UH
- LSHUNT 23 51 10U IC=15.7MA

基本元件

--耦合（互感）电感

耦合（互感）电感的符号，其SPICE模型表示为：

KXXXXXXX LYYYYYYYY LZZZZZZZ VALUE



■ 其中：

□ LYYYYYYYY和LZZZZZZZ：两个耦合电感的名字。

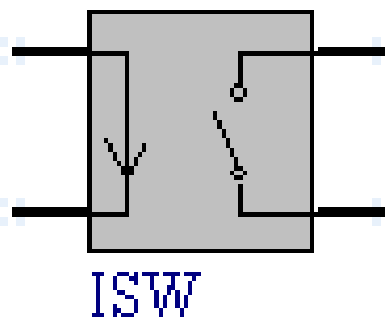
□ VALUE：耦合系数K，其范围 $0 < K \leq 1$ 。

基本元件

--开关

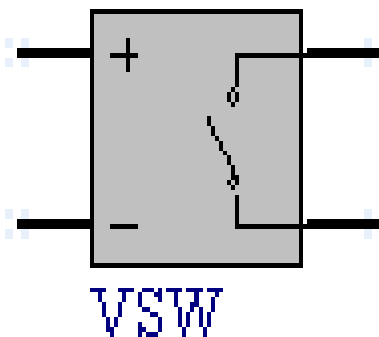
- ISW电流控制的开关符号，其SPICE模型表示为：

WYYYYYYY N+ N- VNAM MODEL <ON><OFF>



- VSW电压控制的开关符号，其SPICE模型表示为：

SXXXXXXX N+ N- NC+ NC- MODEL <ON><OFF>



基本元件

--开关

■ 例如：

- s1 1 2 3 4 switch1 ON
- s2 5 6 3 0 sm2 off
- Switch1 1 2 10 0 smodel1
- w1 1 2 vclock switchmod1
- W2 3 0 vramp sm1 ON
- wreset 5 6 vcclk lossyswitch OFF

■ 其中：

- VNAM：表示指定的电压源。

电压和电流源

--独立源

SPICE模型中的电压和电流源主要分从三大类：

- **独立源**
- **线性受控源**
- **非线性受控源**

电压和电流源

--独立源

常用的独立源主要包括：

- **脉冲源**
- **正弦源**
- **指数源**
- **分段线性源、单频FM源**

注：这里给出的是电压源，对于电流源有类似的模型描述。

电压和电流源

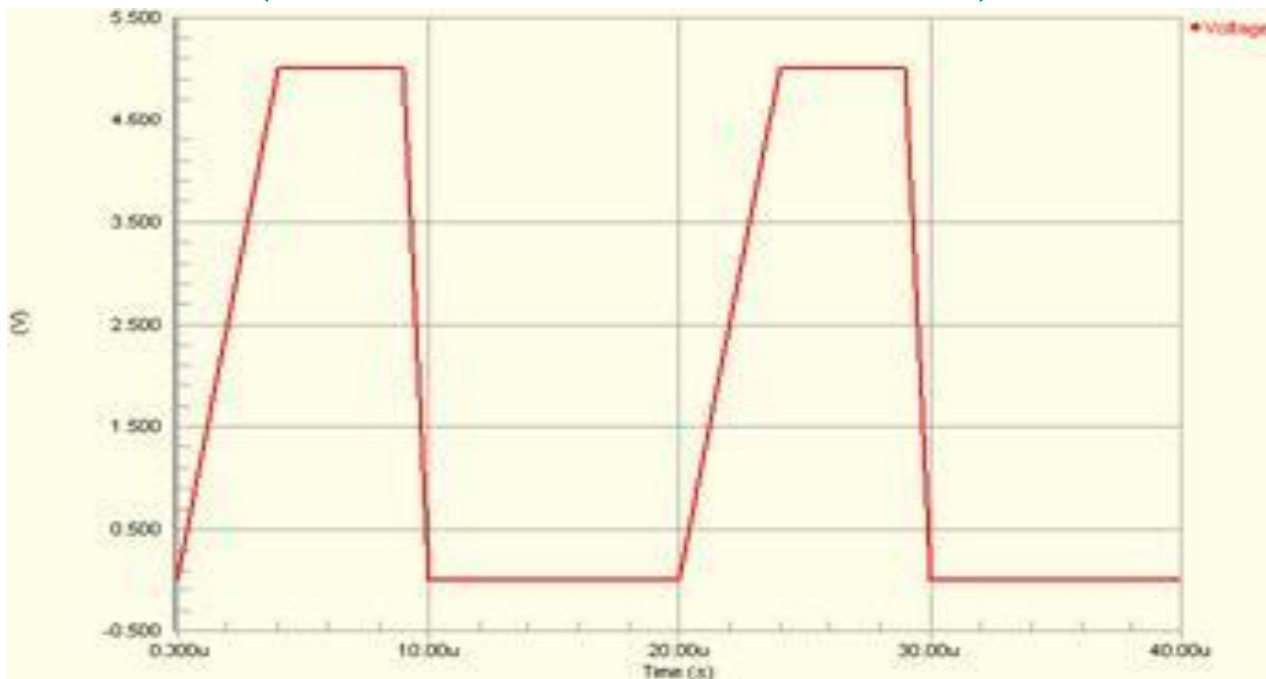
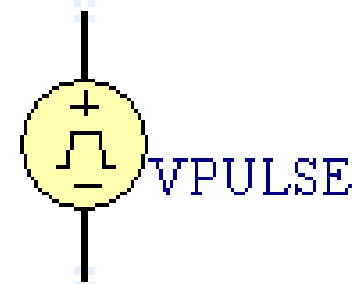
--脉冲源

下图为脉冲源，符号其SPICE模型表示为：

PULSE(V1 V2 TD TR TF PW PER)

■ 例如：

□ VIN 3 0 PULSE(-1 1 2NS 2NS 2NS 50NS 100NS)

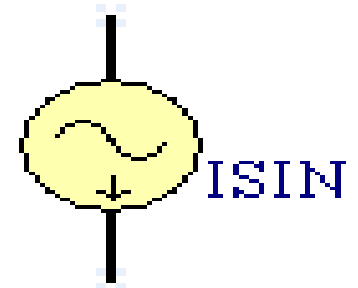


电压和电流源

--正弦源

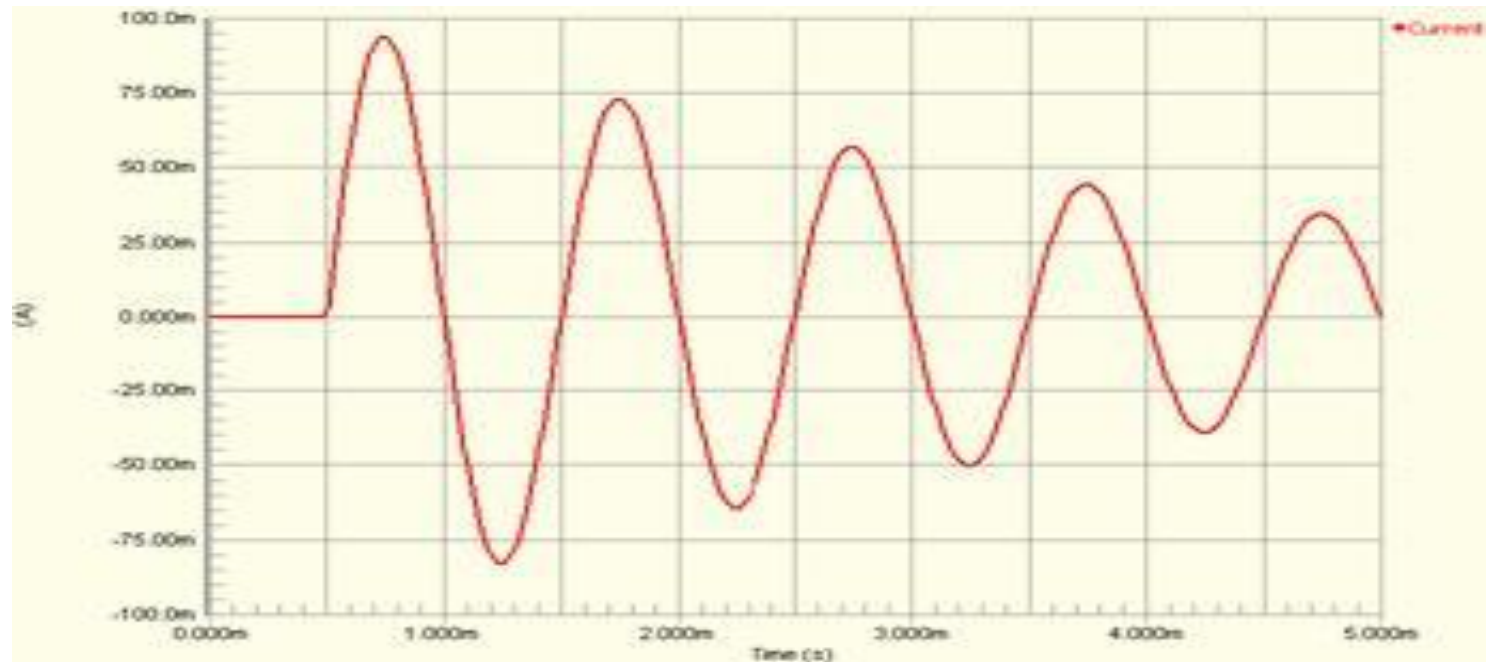
下图给出了正弦源的符号，其SPICE模型表示为：

$\text{SIN}(\text{VO VA FREQ TD THETA})$



■ 例如：

□ $\text{VIN } 3 \ 0 \ \text{SIN}(0 \ 1 \ 100\text{MEG} \ 1\text{NS} \ 1\text{E}10)$

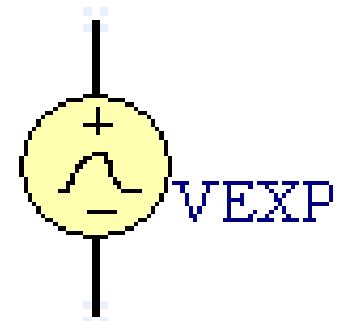


电压和电流源

--指数源

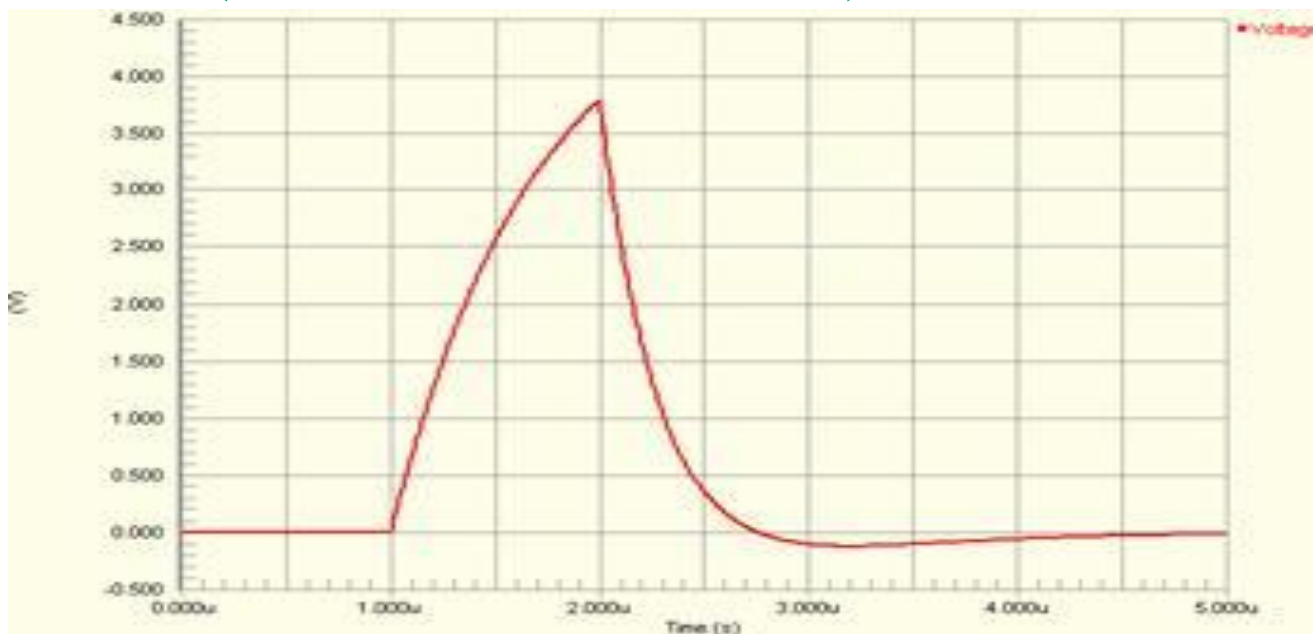
下图给出了指数源的符号，其SPICE模型表示为：

EXP(V1 V2 TD1 TAU1 TD2 TAU2)



■ 例如：

□ **VIN 3 0 EXP(-4 -1 2NS 30NS 60NS 40NS)**



电压和电流源

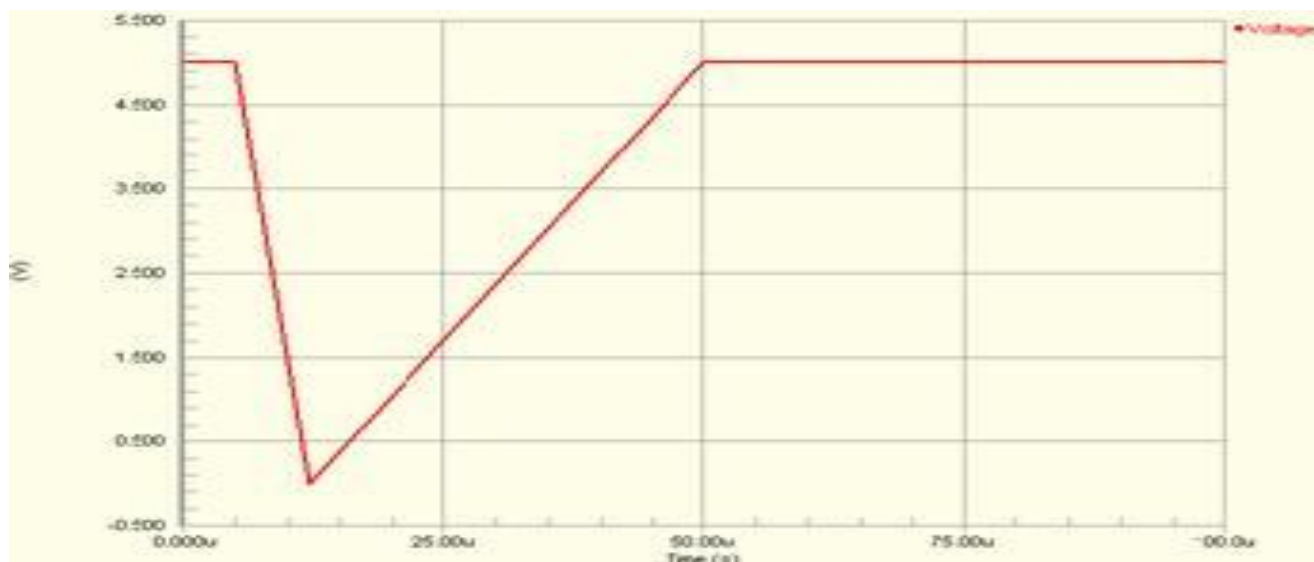
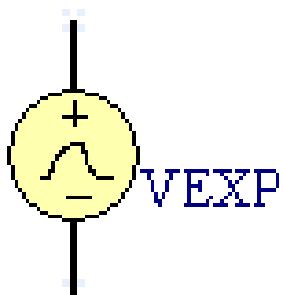
--分段线性源

下图给出了分段线性源的符号，其SPICE模型表示为：

$\text{PWL}(\text{T1 V1} <\text{T2 V2 T3 V3 T4 V4} \dots >)$

■ 例如：

□ $\text{VCLOCK 7 5 PWL}(0 -7 \text{ 10NS} -7 \text{ 11NS} -3 \text{ 17NS} -3 \text{ 18NS} -7 \text{ 50NS} -7)$



电压和电流源

--单频FM源

下图给出了单频FM源的符号，其SPICE模型表示为：

SFFM(VO VA FC MDI FS)

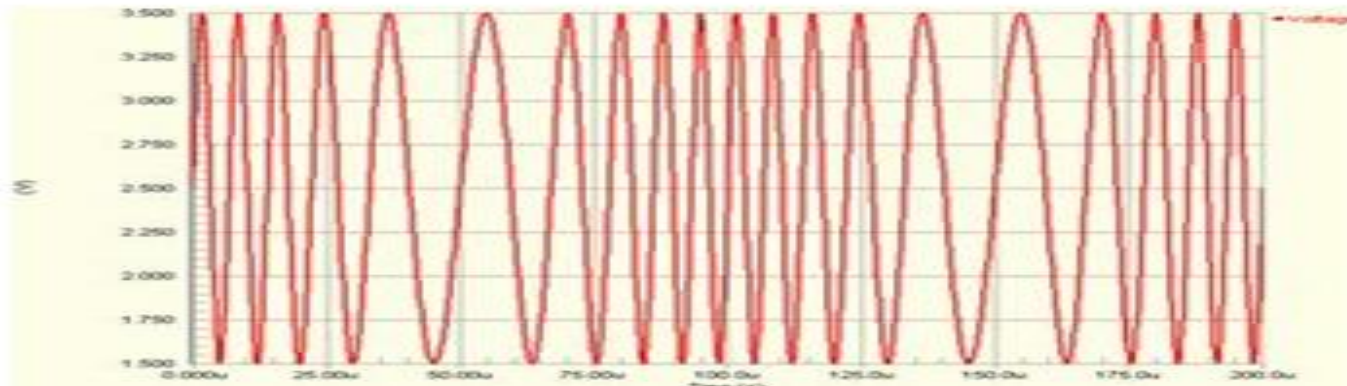


■ 单频FM信号源，可以用下式表示：

$$V(t) = VO + VA * \sin(2\pi * FC * t + MDI * \sin(2\pi * FS * t))$$

■ 例如：

□ V1 12 0 SFFM(0 1M 20K 5 1K)



电压和电流源

--线性受控源

- 电压控制电流源，其控制关系用下式表示为：

$$i = g \times v, \text{ 其中：} g \text{ 表示跨导。}$$

- 电压控制电压源，其控制关系用下式表示为：

$$v_2 = e \times v_1, \text{ 其中：} e \text{ 表示电压增益。}$$

- 电流控制电流源，其控制关系用下式表示为：

$$i_2 = f \times i_1, \text{ 其中：} f \text{ 表示电流增益。}$$

- 电流控制电压源，其控制关系用下式表示为：

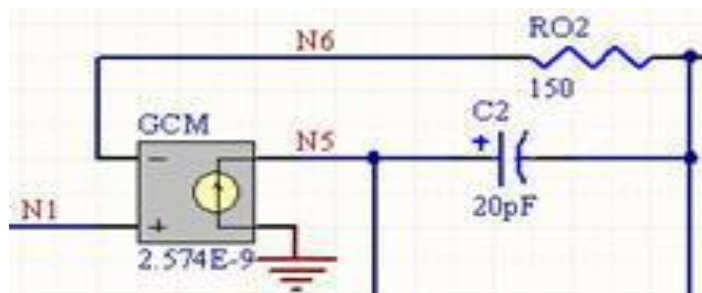
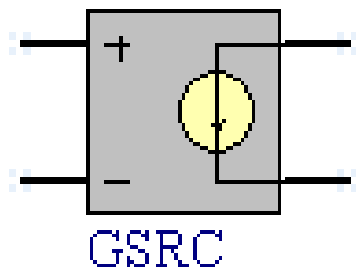
$$v = h \times i, \text{ 其中：} h \text{ 表示互阻。}$$

电压和电流源

--电压控制电流源

下图给出了电压控制电流源的符号，SPICE模型表示为：

GXXXXXXX N+ N- NC+ NC- VALUE



■ 其中：

- N+、N-：电压源的正端和负端。
- NC+、NC-：受控电流源的正端和负端。
- VALUE：跨导。单位为mhos。

■ 例如：

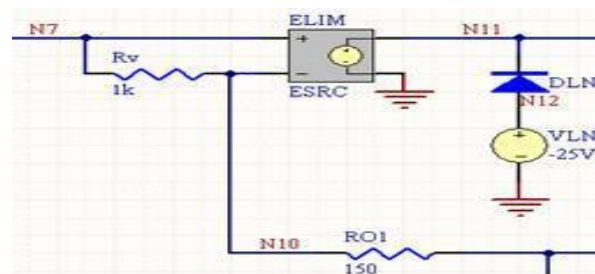
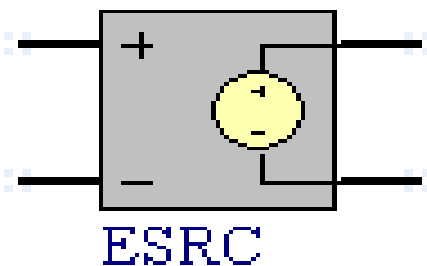
□ G1 2 0 5 0 0.1MMHO

电压和电流源

--电压控制电压源

下图给出了电压控制电压源的符号，SPICE模型表示为

EXXXXXXX N+ N- NC+ NC- VALUE



■ 其中：

- N+、N-：电压源的正端和负端。
- NC+、NC-：受控电压源的正端和负端。
- VALUE：电压增益。

■ 例如：

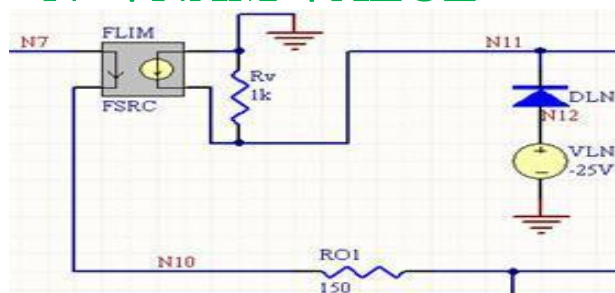
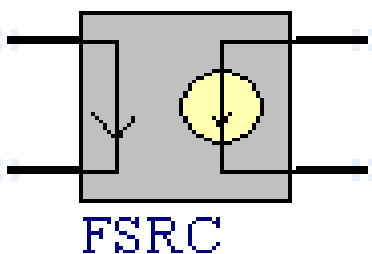
□ E1 2 3 14 1 2.0

电压和电流源

--电流控制电流源

下图给出电流控制电流源的符号，SPICE模型表示为：

FXXXXXXX N+ N- VNAME VALUE



■ 其中：

- N+、N-：电流源的正端和负端。
- VNAME：通过受控电流的电压源的名字。
- VALUE：电流增益。

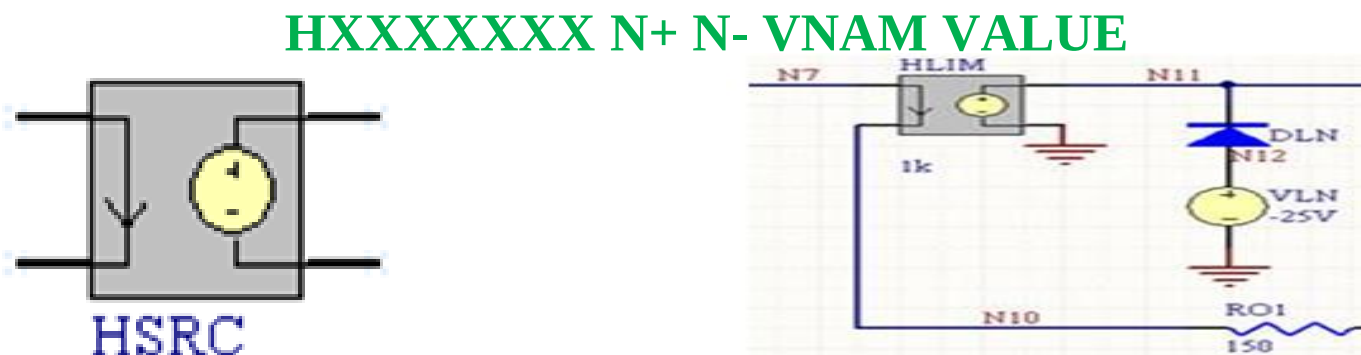
■ 例如：

□ F1 13 5 VSENS 5

电压和电流源

--电流控制电压源

下图给出电流控制电压源的符号，SPICE模型表示为：



■ 其中：

- N+、N-：电流源的正端和负端。
- VNAME：通过受控电流的电压源的名字。
- VALUE：互阻。单位为 Ω 。

■ 例如：

- HX 5 17 VZ 0.5K

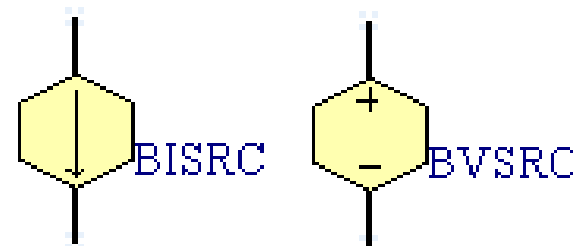
电压和电流源

--非线性独立源

下图给出了非线性独立源的符号，SPICE模型表示为：

BXXXXXXX N+ N- <I=EXPR> <V=EXPR>

■ 其中：



- N+、N-：非线性独立源的正端和负端。
- V参数的值：确定通过设备的电压值，V表示电压源。
- I参数的值：确定通过设备的电流值，表示电流源。

■ 例如：

- B1 0 1 I=cos(v(1))+sin(v(2))
- B1 0 1 V=ln(cos(log(v(1,2)^2)))-v(3)^4+v(2)^v(1)

传输线

许多电子线路中，可以忽略连接各器件的电线长度。当电压的变化和信号沿电线传播下去的时间可以比拟时，导线的长度变得重要了，这时电线就必须作为传输线处理。

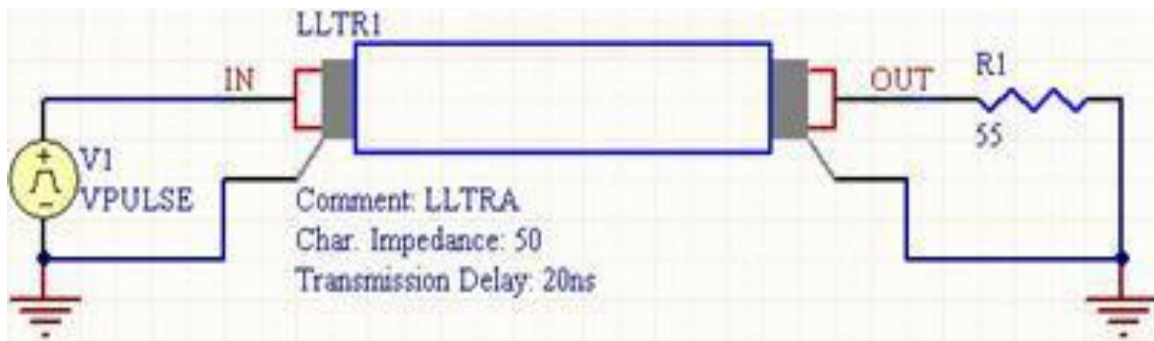
- 即：当信号所包含的频率分量的相应的波长较之电线长度小或二者可以比拟的时候，电线的长度是很重要的。
- 通常，如果电线长度大于波长的 $1/10$ ，当作传输线处理。
- 在这个长度下相位延迟和线中的反射干扰非常显著，如果没有用传输线理论仔细的研究设计过的系统，则会出现一些不可预知行为。

传输线

--无损传输线

下图给出了无损传输线的符号，其SPICE模型表示为：

**TXXXX N1 N2 N3 N4 Z0=VALUE <TD=VALUE> <F=FREQ
<NL=NRMLLEN>> + <IC=V1, I1, V2, I2>**



传输线

--无损传输线

■ 其中：

- $N1$ 、 $N2$ ：是无损传输线的输入端口的正端和负端。
- $N3$ 、 $N4$ ：是无损传输线的输出端口的正端和负端。
- $Z0$ ：是无损传输线的特性阻抗。
- 可选的初始条件：由每个传输线的端口的电压和电流组成。

■ 例如：

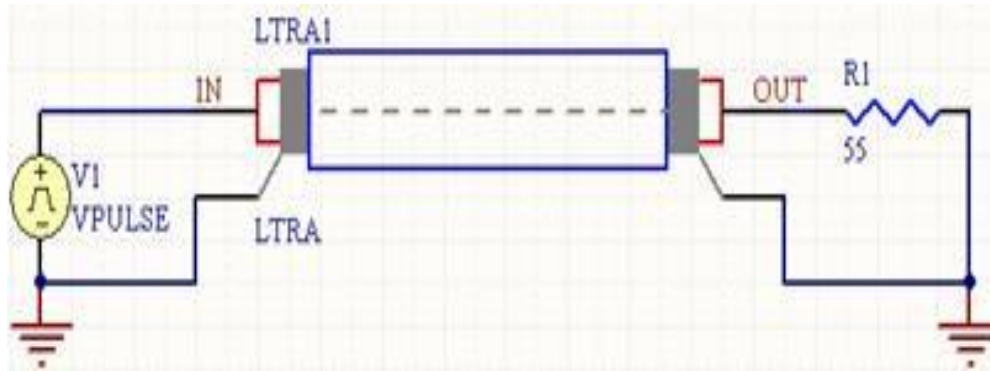
- $T1\ 1\ 0\ 2\ 0\ Z0=50\ TD=10NS$

传输线

--有损传输线

下图给出了有损传输线的符号，这是一个用于单个导体有损传输线的两端口卷积模型。其SPICE模型表示为：

OXXXXXXXXX N1 N2 N3 N4 MNAME



传输线

--有损传输线

■ 其中：

- N1、N2：是有损传输线的输入端口的正端和负端。
- N3、N4：是有损传输线的输出端口的正端和负端。
- 对于带有0损耗的有损传输线能比无损传输线更能精确的表示实现细节

■ 例如：

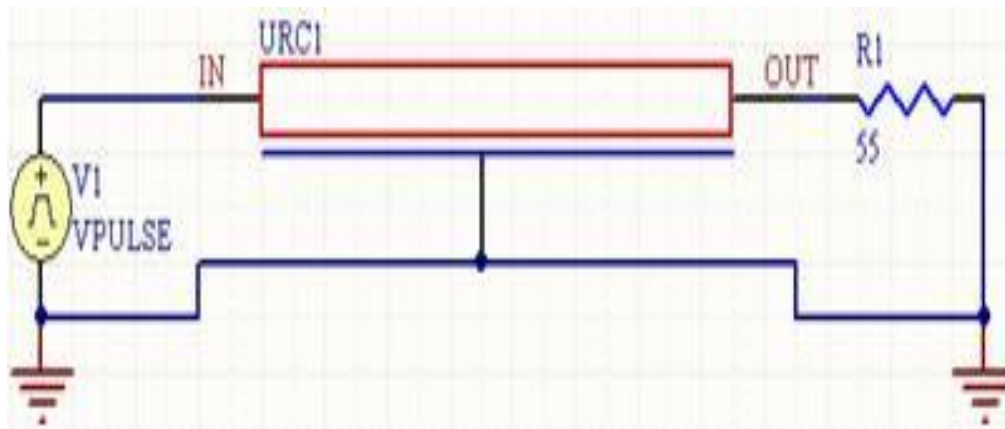
- O23 1 0 2 0 LOSSYMOD
- OCONNECT 10 5 20 5 INTERCONNECT

传输线

--均与分布的RC线

下图给出均匀分布的RC线符号，其SPICE模型表示为：

UXXXXXXX N1 N2 N3 MNAME L=LEN <N=LUMPS>



传输线

--均与分布的RC线

■ 其中：

- N1、N2：连接RC线的两个元素的节点。
- N3：连接电容的节点。
- MNAME：模型的名字。
- LEN：RC线的长度。单位m。
- LUMPS：表示在建模RC线时，集总段的数量。

■ 例如：

- URC2 1 12 2 UMODL l=1MIL N=6

晶体管 and 二极管

晶体管 and 二极管主要包括：

- 结型二极管
- 双极结型二极管
- 结型场效应管
- MOSFET
- MESFET

晶体管和二极管

在SPICE中，二极管、双极型管和结型场效应管的几何尺寸是用一个无量纲的面积因子（area factor）来表示的。

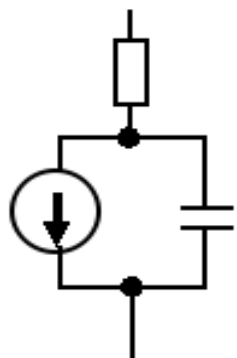
- **模型语句只定义了一个单位面积器件，而面积因子则表示了器件面积和单位面积的比值，与面积有关的模型参数将乘 / 除以这个面积因子。**

晶体管和二极管

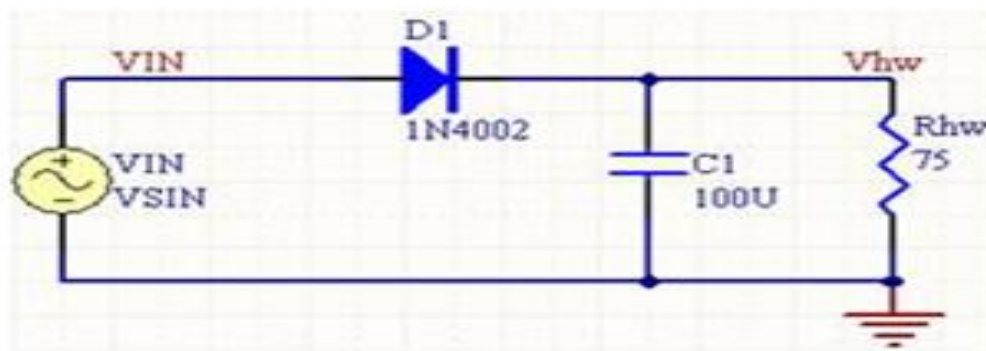
--结型二极管

二极管的SPICE模型表示为：

DXXXXXXX N+ N- MNAME <AREA> <OFF> <IC=VD> <TEMP=T>



二极管的等效模型



二极管的一个典型应用

■ 例如：

■ **DBRIDGE 2 10 DIODE 1**

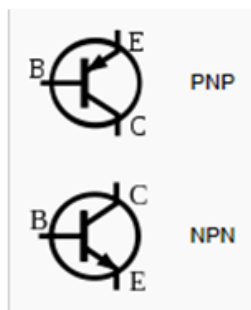
■ **DCLMP 3 7 DMOD 3.0 IC=0.2**

晶体管和二极管

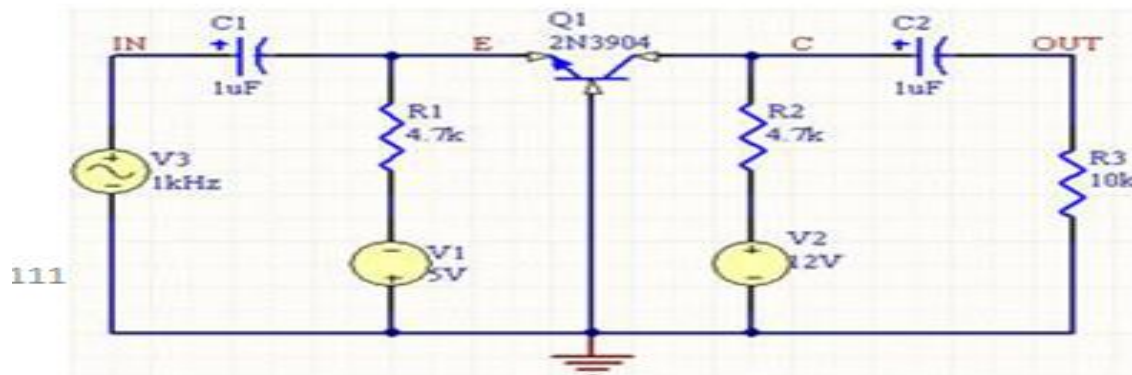
--双极结型晶体管

如下图，双极性结型晶体管有NPN和PNP两种类型。其SPICE模型表示为：

`QXXXXXXX NC NB NE <NS> MNAME <AREA> <OFF> <IC=VBE, VCE>
<TEMP=T>`



BJT 的类型和符号表示



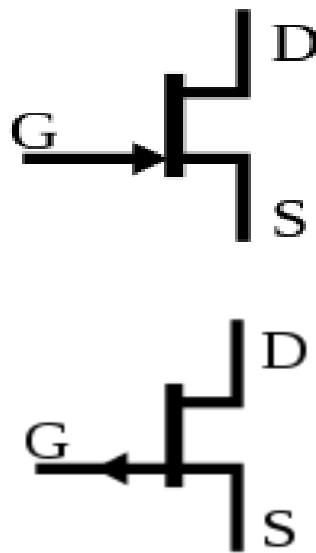
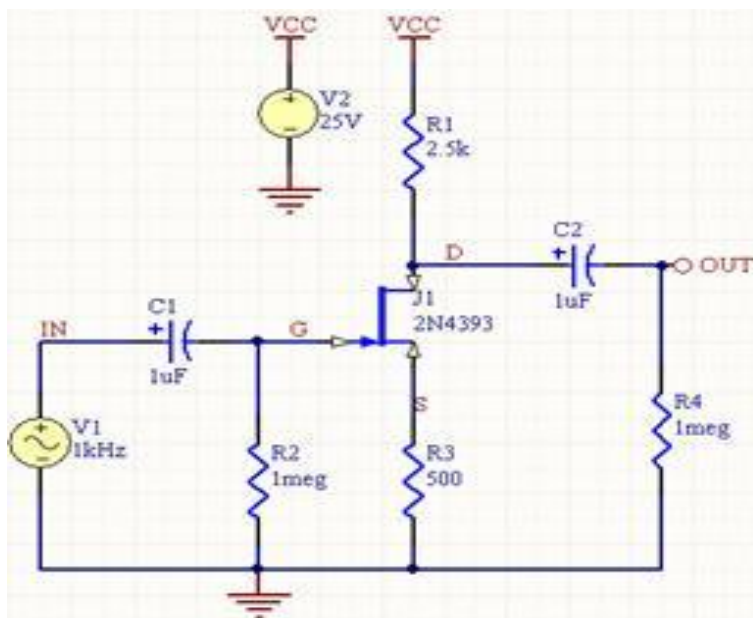
双极结型三极管的一个典型应用

晶体管和二极管

--结型场效应管

下图给出了结型场效应管的一个典型应用结构和N和P沟道JFET结型场效应管的符号。其SPICE模型表示为：

JXXXXXXX ND NG NS MNAME <AREA> <OFF> <IC=VDS, VGS>
<TEMP=T>



晶体管和二极管

--结型场效应管

■ 其中：

- ND：结型场效应管漏极。
- NG：结型场效应管栅极。
- NS：结型场效应管源极。
- MNAME：模型的名字。使用.MODEL语句进行描述。
- AREA：面积因子。
- OFF：可选的用于对器件进行dc分析的初始条件。
- TEMP：可选的工作温度。

■ 例如：

- J1 7 2 3 JM1 OFF

晶体管和二极管

--金属氧化物半导体场效应管

金属氧化物半导体场效应管（Metal Oxide Semiconductor FET，MOSFET）是集成电路中常用的器件，随着集成度的不断提高，MOS管的尺寸在不断缩小，已达到亚微米级。

晶体管和二极管

--金属氧化物半导体场效应管

金氧半场效晶体管（MOSFET）的命名来看，事实上会让人得到错误的印象。因为MOSFET跟英文单字“metal（金属）”的第一个字母M，在当下大部分同类的组件里是不存在的。

- **早期金氧半场效晶体管栅极使用金属作为材料，但随着半导体技术的进步，现代的金氧半场效晶体管栅极已用多晶硅取代了金属。**

晶体管和二极管

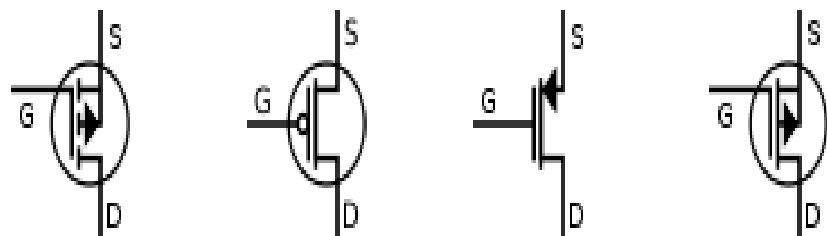
--金属氧化物半导体场效应管

MOS管的模型在SPICE3中有6级。包括：

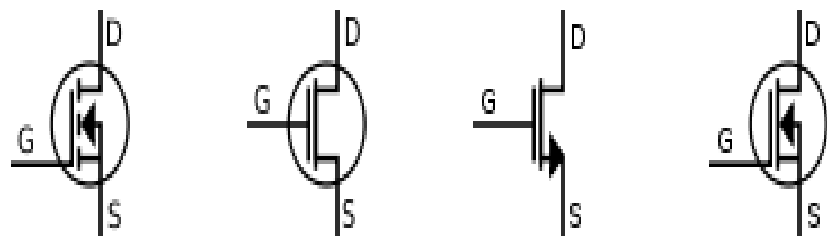
- LEVEL=1 MOS1模型-Shichman-Hodges模型。
- LEVEL=2 MOS2模型-二维解析模型。
- LEVEL=3 MOS3模型-半经验模型。
- LEVEL=4 MOS3模型-BSIM模型。
- LEVEL=5 MOS3模型-BSIM2模型。
- LEVEL=6 MOS6模型-修改的Shichman-Hodges模型。

晶体管和二极管

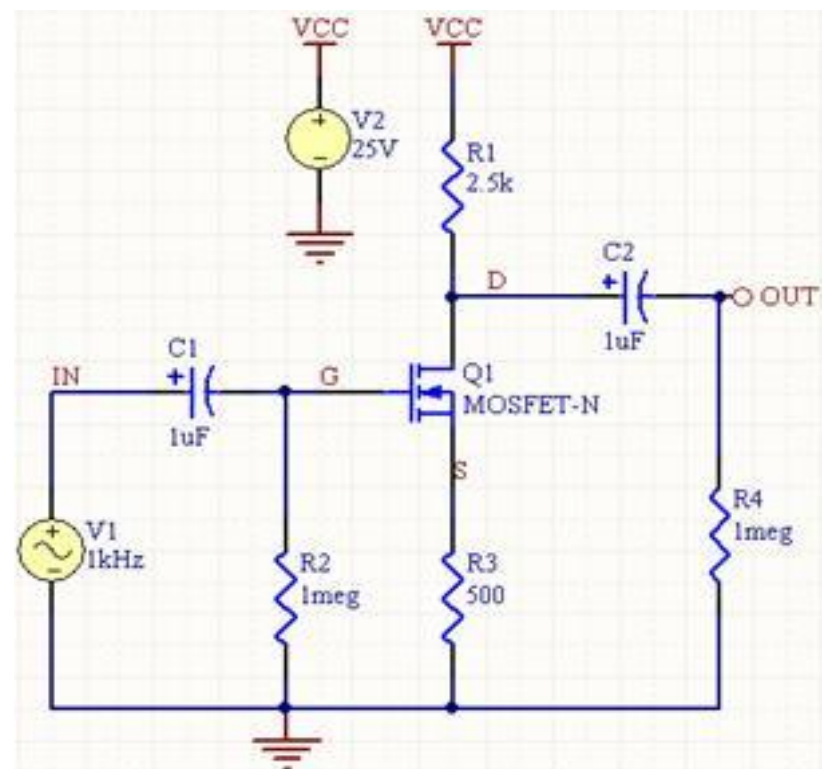
--金属氧化物半导体场效应管



P沟道



N沟道



增强型MOSFET 增强型MOSFET (基极不绘出) 耗尽式MOSFET

晶体管和二极管

--金属氧化物半导体场效应管

MOSFET的SPICE模型表示为：

```
MXXXXXXX ND NG NS NB MNAME <L=VAL> <W=VAL>  
<AD=VAL> <AS=VAL> + <PD=VAL> <PS=VAL> <NRD=VAL>  
<NRS=VAL> <OFF>+ <IC=VDS, VGS, VBS> <TEMP=T>
```

■ 例如：

□ M1 24 2 0 20 TYPE1

□ M31 2 17 6 10 MODM L=5U W=2U

□ M1 2 9 3 0 MOD1 L=10U W=5U AD=100P AS=100P PD=40U

□ PS=40U

晶体管和二极管

--金属半导体场效应管 (MESFET)

简称金半场效应管，是一种在结构上与结型场效应管类似，不过它与后者的区别是这种场效应管并没有使用PN结作为其栅极，而是采用金属、半导体接触结，构成肖特基势垒的方式形成栅极。MESFET管的SPICE模型表示为：

```
ZXXXXXXX ND NG NS MNAME <AREA> <OFF> <IC=VDS, VGS>
```

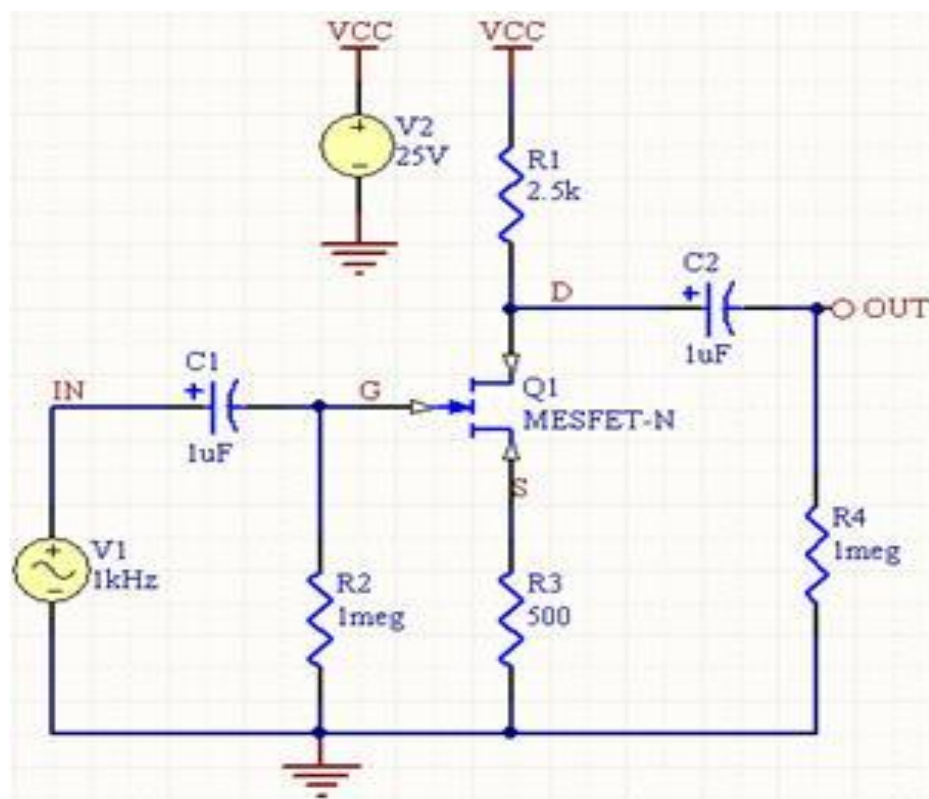
■ 例如：

```
□ Z1 7 2 3 ZM1 OFF
```

晶体管和二极管

--金属半导体场效应管 (MESFET)

下图MESFET管的一个典型应用结构。MESFET模型由GaAs FET模型得到。



从用户数据中创建SPICE模型

--SPICE模型的建立方法

- 很多元器件供应商为它们的器件提供了仿真模型。设计者下载所要求的仿真文件（ SPICE , PSpice ） , 并且将下载的仿真文件和原理图中对应的元件进行映射。
- 一些模型需要用编程语言进行编写 , 例如 : 使用层次的子电路语法创建所要求的子电路模型文件（ .ckt ）。
- 使用Altium Designer提供的SPICE Model Wizard（ SPICE模型向导 ） , 这个过程就不再是一件费力的事情了。

从用户数据中创建SPICE模型

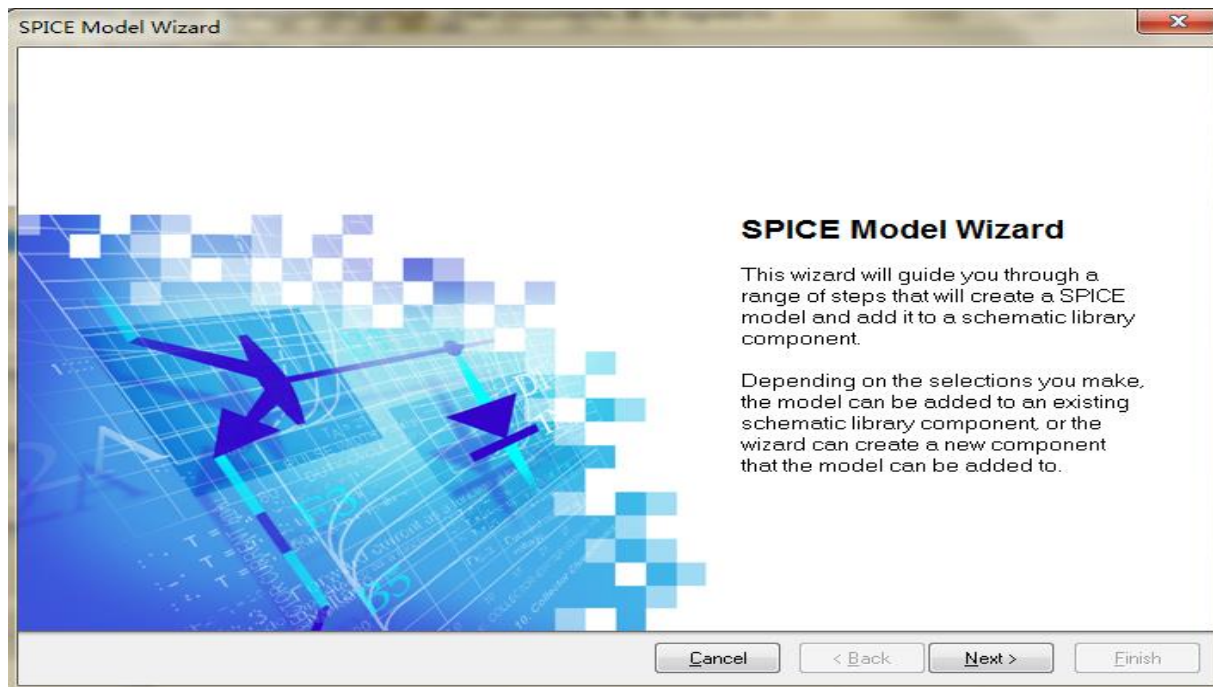
--运行SPICE模型向导

- 在Altium Designer主界面主菜单下，选择File->New->Library->Schematic Library。
- 生成并自动打开Shlib1.SchLib文件。
- 在Altium Designer主界面主菜单下，选择Tools->XSpice Model Wizard。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

- 如下图所示，出现SPICE Model Wizard（SPICE模型向导）对话框界面。

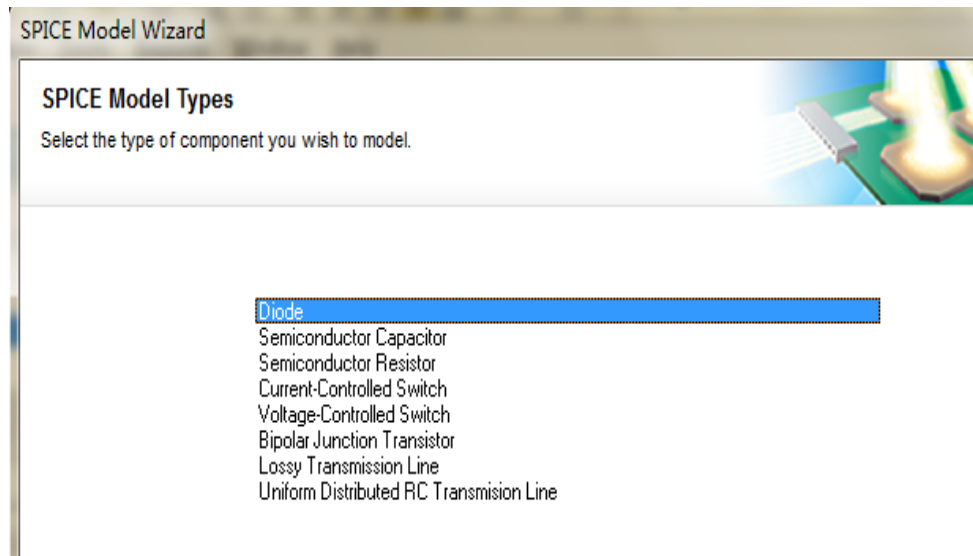


- 单击Next>按钮。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

- 如下图所示，出现SPICE Model Types（SPICE模型类型）选择对话框界面，该界面内提供了可供建模的元件类型，在该例子中，选择Diode。

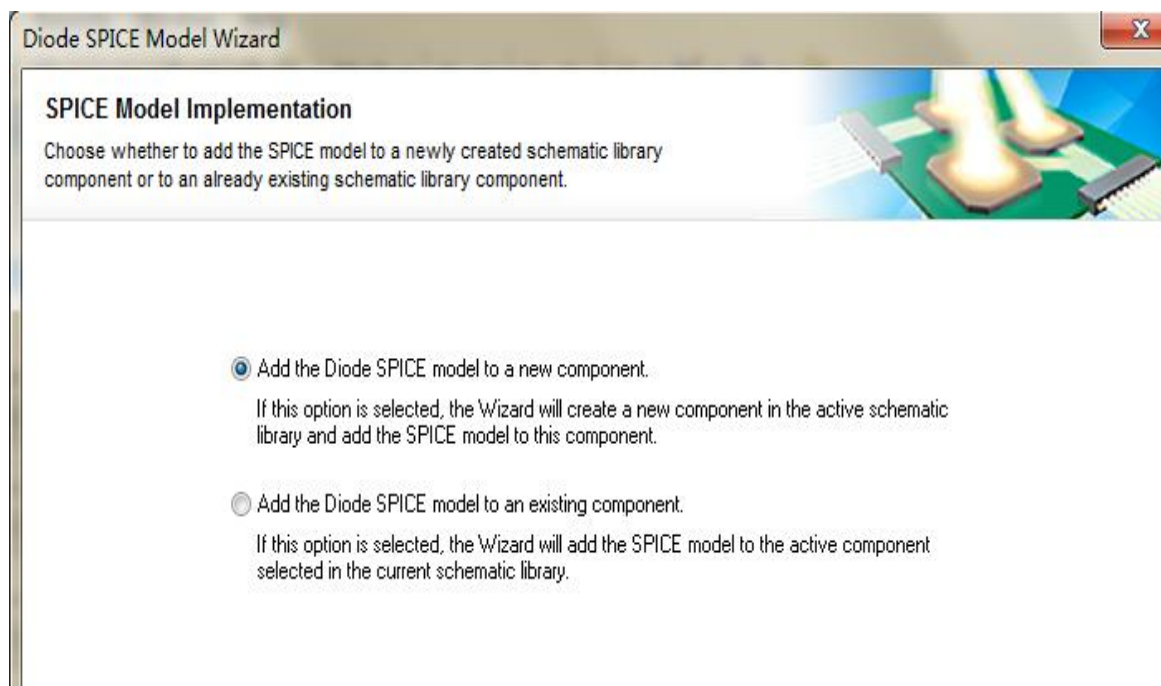


- 单击OK按钮。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

- 如下图所示，出现SPICE Model Implementation（SPICE模型实现）对话框界面在该对话框界面下，提供了两个选项，该设计中，选择第一个选项。



从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

Diode SPICE Model Wizard

Diode Name and Description
Enter the name and a description of the diode.

二极管名字和描述

What name should this diode model have?

Examples: 1N4148 or BAS16_03w
(A value is required for this field.)

BAS16P2T5G

Enter a description of the diode:

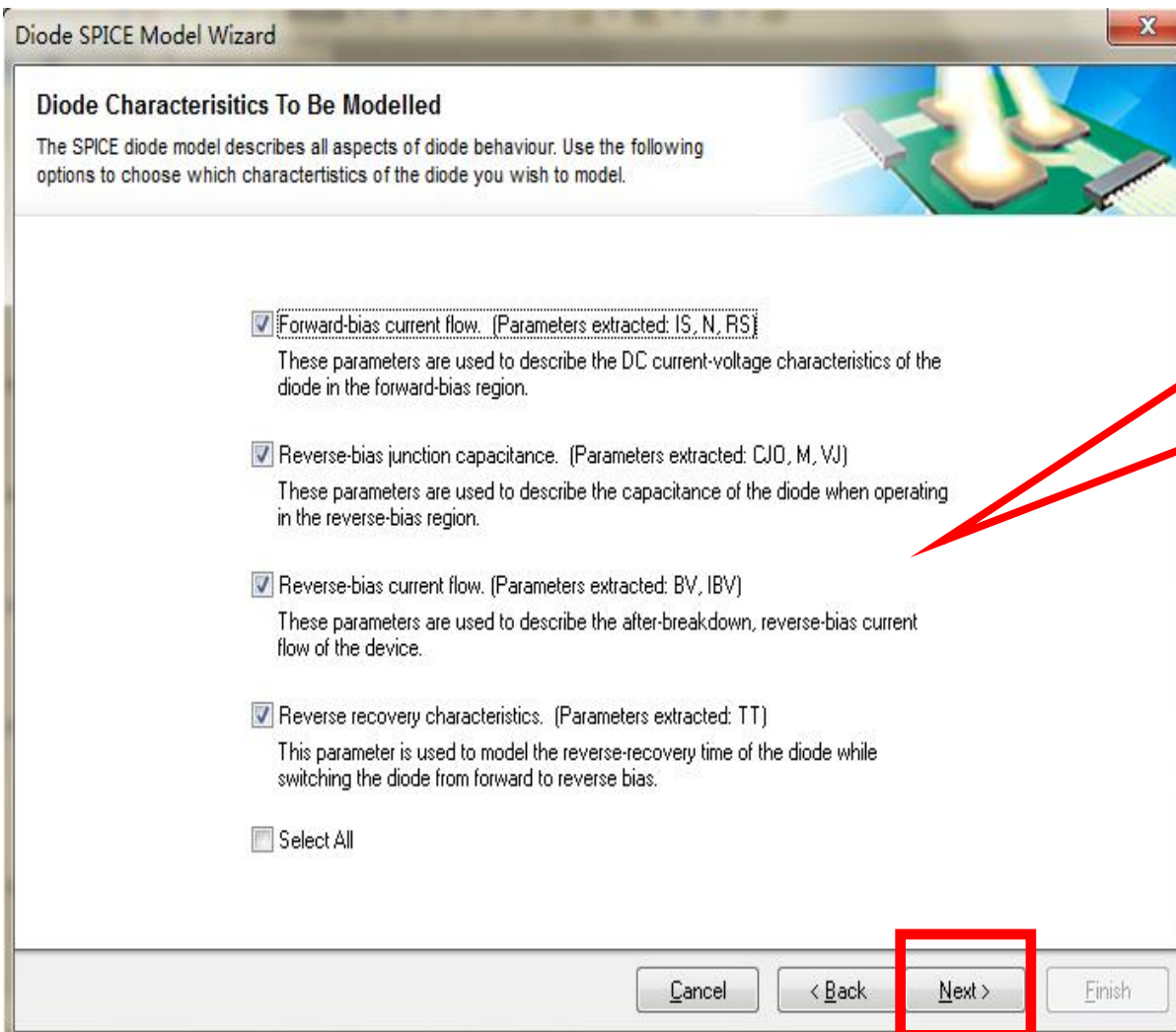
Examples: Manufactured by Renesas. Rated forward current is 10mA.
(This field is optional.)

BAS16P2T5G is Switching Diode Produced by ONSEMI

Cancel < Back Next > Finish

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导



该设计中，选中全部四个选项。可以直接选择**Select All**

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

Diode SPICE Model Wizard

Forward-bias Diode Current

In order to extract the required parameters, two or more values from the forward current vs. voltage characteristics of the diode need to be entered into the table below.

Clear Fields

Import Data

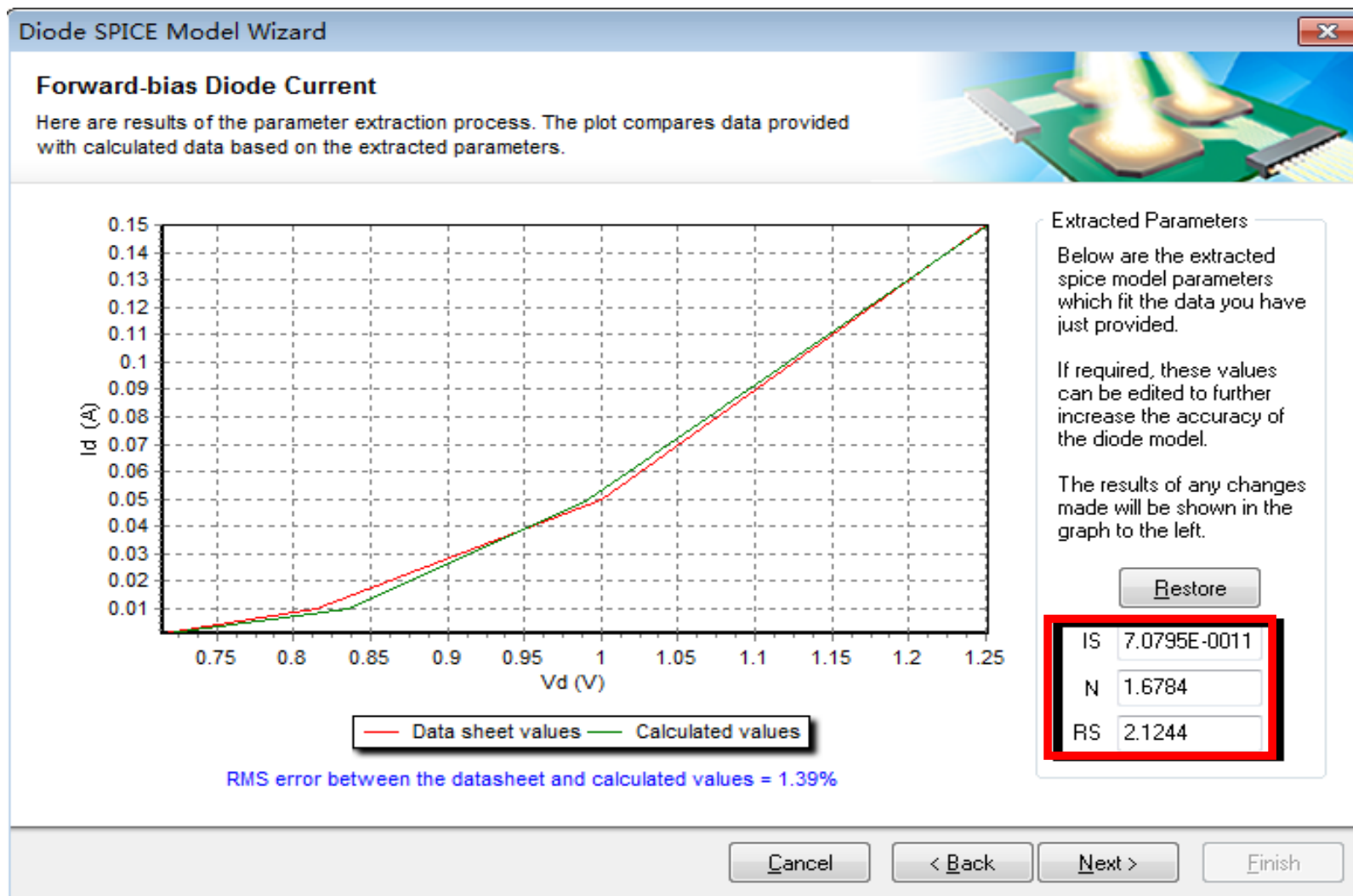
Vd (V)	Id (A)
0.715	0.001
0.815	0.01
1.000	0.05
1.25	0.15

Cancel < Back Next > Finish

设置对话框
界面。按图
输入Vd-Id
的对应关系
。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导



从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

Diode SPICE Model Wizard

Reverse-bias Junction Capacitance

Two or more values from the reverse-biased capacitance vs. voltage characteristics of the diode need to be entered into the table below.

Clear Fields

Import Data

Vd (V)	Cj (F)
0	0.62e-12
2	0.56e-12
5	0.54e-12
8	0.525e-12

Cancel < Back Next > Finish

按照
BAS16P2T
5G手册上图
4所示，输
入Vd-Cj的
关系

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

Diode SPICE Model Wizard

Reverse Recovery

To extract the reverse recovery parameters, a plot of the reverse-recovery time vs the ratio of forward-to-reverse current (I_r/I_f) is required.

Enter the reverse recovery time of the diode at the point where the forward current is equal to the reverse current (i.e. $I_r/I_f = 1$).

Example Values: 3E-9 or 4ns

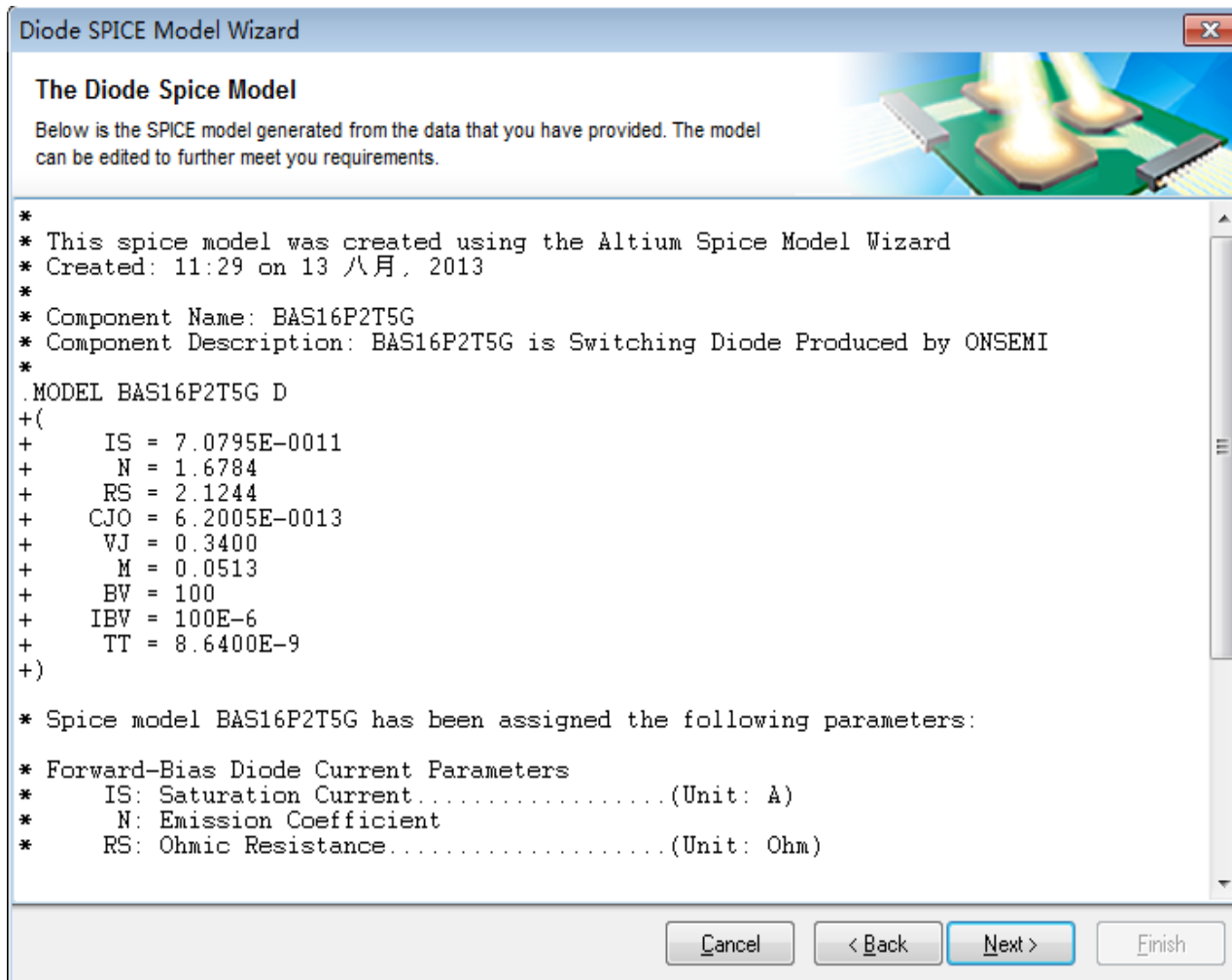
6E-9

Cancel < Back Next > Finish

Reverse Recovery (反向恢复) 对话框界面。按如下参数设置：输入值：**6E-9**。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导

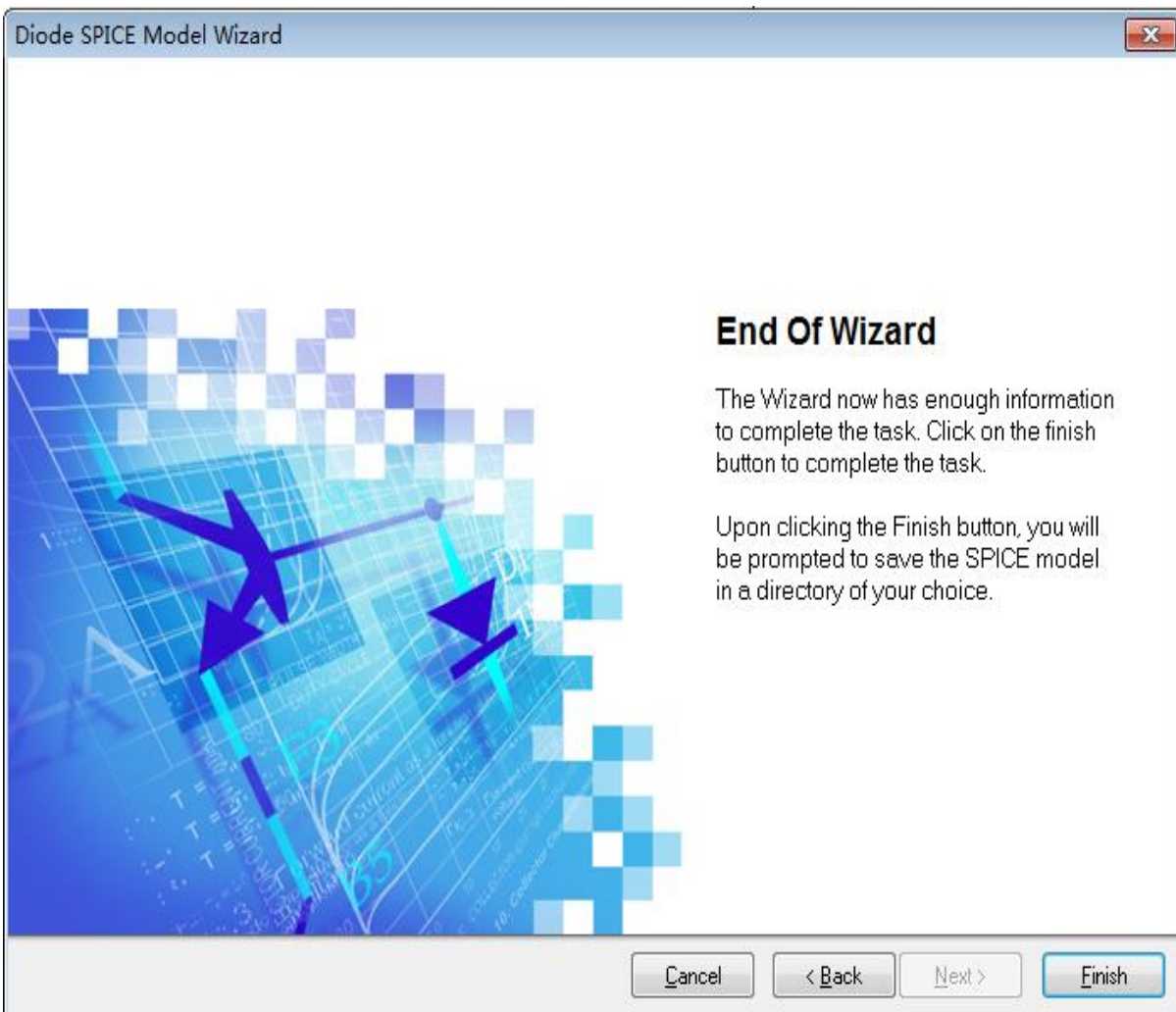


在该界面中，给出了根据设计者输入的参数所生成的Spice的模型参数。

注：更详细的参数含义，请参考前面所介绍的二极管Spice模型参数。

从用户数据中创建SPICE模型

--运行SPICE模型向导



如图表示生成Spice的

过程顺利完成。

点击**Finish**按钮。

出现对话框界面，

提示保存**Spice**模型，

将其保存到

my_spice_model目

录下。

不保存原理图库设计

文件，退出设计。

- 何宾老师出版的《Altium Designer 15.0电路仿真、设计、验证与工艺实现权威指南》一书中所有设计案例源代码、书中所用半导体器件相关参考手册、书中所用PCB制板工艺设计资料、Altium提供的元件库封装等设计资源请通过如下地址进行下载
- <http://www.gpnewtech.com/download/altium>
- 如将本书做为教材需ppt源代码请访问如下地址：
- <http://www.gpnewtech.com/ppt>