

**腾云 Altium**

# SPICE混合电路仿真介绍

何宾

2015.07

# 学习内容和目标

- Altium Designer软件SPICE仿真功能导论
- SPICE电子线路SPICE描述

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## Altium Designer软件SPICE构成

- Altium Designer的混合电路信号仿真工具，使得在电路原理图设计阶段，实现对数模混合信号电路的功能设计仿真。
- 同时，配合简单易用的参数配置窗口，完成基于时序、离散度、信噪比等多种数据的分析。
- Altium Designer可以在原理图中提供完善的混合信号电路仿真功能，除了对XSPICE标准的支持之外，还支持对SPICE模型和电路的仿真。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## SPICE3f5模拟器件模型，包括：

- 电阻
- 电容
- 电感
- 电压和电流源
- 传输线
- 开关

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## 五类主要的通用半导体器件模型，包括：

- 二极管
- BJT
- JFET
- MESFET
- MOSFET

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

**XSPICE模拟器件模型是针对一些可能会影响到仿真效率的冗长的、而无需开发的局部电路，而设计的复杂的、非线性器件特性模型代码。**

- **包括：特殊功能函数，比如：增益、磁滞效应、限电压及限电流、s域传输函数精确度等。**
- **局部电路模型是指更复杂的器件，比如：用局部电路语法描述的操作运放、时钟、晶体等。**
  - **每个局部电路都保存在\*.ckt文件中，并在模型名称的前面加上大写的X**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

**数字器件模型是使用数字SimCode语言所编写生成的。**

- **数字器件模型是由事件驱动型XSPICE模型扩展而来的。**
- **专门用于仿真数字器件的特殊的描述语言，是一种类C语言。**
- **SimCode语言可以实现对数字器件的行为及特征的描述，参数包括：传输时延、负载特性等信息；**
- **行为可以通过真值表、数学函数和条件控制参数进行描述等。它来源于标准的XSPICE代码模型。**
- **在SimCode中，仿真文件采用ASCII码字符并且保存成.TXT后缀的文件，编译后生成\*.scb模型文件。可以将多个数字器件模型写在同一个文件中。**

## 仿真电路建立及与仿真模型的连接

- 在Altium Designer 软件中，采用了集成库技术，即：原理图符号中包含了对应的仿真模型。因此，原理图可直接用来作为仿真电路。

**注：99SE中的仿真电路则需要另行建立并单独加载各元器件的仿真模型。**



## 外部仿真模型的加入

- 在Altium Designer软件中，提供了大量的仿真模型。但是，在实际电路设计中仍然需要补充、完善仿真模型集。
- 设计者可编辑系统自带的仿真模型文件来满足仿真需求或直接将外部标准的仿真模型导入系统中。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## 仿真功能及参数设置

- Altium Designer的仿真程序可以完成各种形式的信号分析。
- 在仿真程序的分析设置对话框中，通过全局设置页面，允许设计者指定仿真的范围以及自动显示仿真的信号。
- 每一项分析类型可以在独立的设置页面内完成。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## Altium Designer中允许的分析类型包括：

- 直流工作点分析
- 瞬态分析和傅立叶分析
- 交流小信号分析
- 阻抗特性分析
- 噪声分析
- Pole-Zero分析
- 传递函数分析
- 蒙特卡罗分析
- 参数扫描
- 温度扫描等

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --直流工作点分析

直流工作点分析用在测量带有短路电感和开路电容电路的直流工作点。

- 在测定瞬态初始化条件时，除了已经在瞬态或者傅里叶分析设置中使能了Use Initial Conditions参数的情况外，直流工作点分析将优先于瞬态分析。
- 同时，直流工作点分析优先于交流小信号、噪声和Pole-Zero分析。为了保证测量的线性化，电路中使用非线性的小信号模型。
- 在直流工作点分析中将不考虑任何交流源的干扰因素。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --直流扫描分析

**直流扫描分析就是直流转移特性。**

- **当输入在一定范围内变化时，输出一个曲线轨迹。**
- **通过执行一系列直流工作点分析，设计者可以修改所选定信号源的电压。从而，可以得到一个直流传输曲线。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --传递函数分析

**传递函数分析也称为直流小信号分析将计算每个电压节点上的直流输入电阻、直流输出电阻和直流增益值。**

- **作为参考指定计算每个特定电压节点的电路节点。默认，设置为0。**
- **利用传递函数分析可以计算整个电路中直流输入、输出电阻和直流增益三个小信号的值。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --交流小信号分析

**交流分析是在一定的频率范围内计算电路和响应。**

- **如果电路中包含非线性器件或元件，在计算频率响应之前，就应该得到此元器件的交流小信号参数。**
- **在进行交流分析之前，必须保证电路中至少有一个交流信号源，即：在激励源中的AC属性域中设置一个大于零的值。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --瞬态分析

**瞬态分析在时域中描述瞬态输出变量的值。**

- **在未使能Use Initial Conditions参数时，对于固定偏置点，在计算偏置点和非线性元件的小信号参数时，节点初始值也应考虑在内。因此，对于有初始值的电容和电感，也被看作是电路的一部分。**



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --傅里叶分析

一个设计的傅立叶分析是基于瞬态分析中最后一个周期的数据完成的。参数设置包括：

- **Enable Fourier**

- 在仿真中执行傅立叶分析，默认设置为Disable。

- **Fourier Fundamental Frequency**

- 由正弦曲线波叠加近似而来的信号频率值。

- **Fourier Number of Harmonics**

- 在分析中应注意的谐波数；每一个谐波均为基频的整数倍。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --阻抗特性分析

将分析和显示显示电路中任意两个终端源之间的阻抗特征。

- 该分析没有独立的设置页面，通常只作为交流小信号分析中的一个部分。
- 阻抗测量将通过输入电源电压值除以输出电流值得到。
- 要获得一个电路输出阻抗的阻抗特征图，须满足下面的条件：
  - 从输入端删除信号源。
  - 输入电源与地短接。
  - 删除任意连入电路的负载。
  - 连接输出两端的源，即正电源连接到输出端，负端接地。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --噪声分析

**利用噪声谱密度，测量由电阻和半导体器件的噪声影响。**

- **通常，由 $V^2/Hz$ 表征测量噪声值。**
- **电阻和半导体器件等都能产生噪声，噪声电平取决于频率。**
- **电阻和半导体器件产生不同类型的噪声。**

**注：在噪声分析中，电容、电感和受控源视为无噪声元器件。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --Pole-Zero（零极点）分析

在单输入/输出的线性系统中，利用电路的小信号交流传输函数，通过对极点/零点的计算，用零点-极点进行稳定性分析。

- 将电路的直流工作点线性化，以及对所有非线性器件匹配小信号模型。
- 传输函数可以是电压增益（输出与输入电压之比）或阻抗（输出电压与输入电流之比）中的任意一个。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## -蒙特卡洛分析

**它是一种统计模拟方法。**

- **它是在给定电路元器件参数容差为统计分布规律的情况下，用一组组伪随机数求得元器件参数的随机抽样序列，然后对这些随机抽样的电路进行直流扫描、直流工作点、传递函数、噪声、交流小信号和瞬态分析。**
- **通过多次分析结果估算出电路性能的统计分布规律。**
- **蒙特卡罗分析可以进行最坏情况分析，Altium Designer的蒙特卡罗分析在进行最坏情况分析时有着强大且完备的功能。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --温度扫描

温度扫描是指在一定的温度范围内进行电路参数计算，用以确定电路的温度漂移等性能指标。

### ■ 参数设置包括：

□ Start Temperature

起始温度。单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

□ Stop Temperature

截止温度。单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

□ Step Temperature

在温度变化区间内，递增变化的温度大小。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --参数扫描

它可以与直流、交流或瞬态分析等分析类型配合使用，对电路所执行的分析进行参数扫描，对于研究电路参数变化对电路特性的影响提供了很大的方便。

- 在分析功能上与蒙特卡罗分析和温度分析类似，它是按扫描变量对电路的所有分析参数扫描。
- 分析结果产生一个数据列表或一组曲线图。
- 同时，设计者还可以设置第二个参数扫描分析，但参数扫描分析所收集的数据不包括子电路中的器件。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE仿真流程

**SPICE包含下面的基本程序模块组成：**

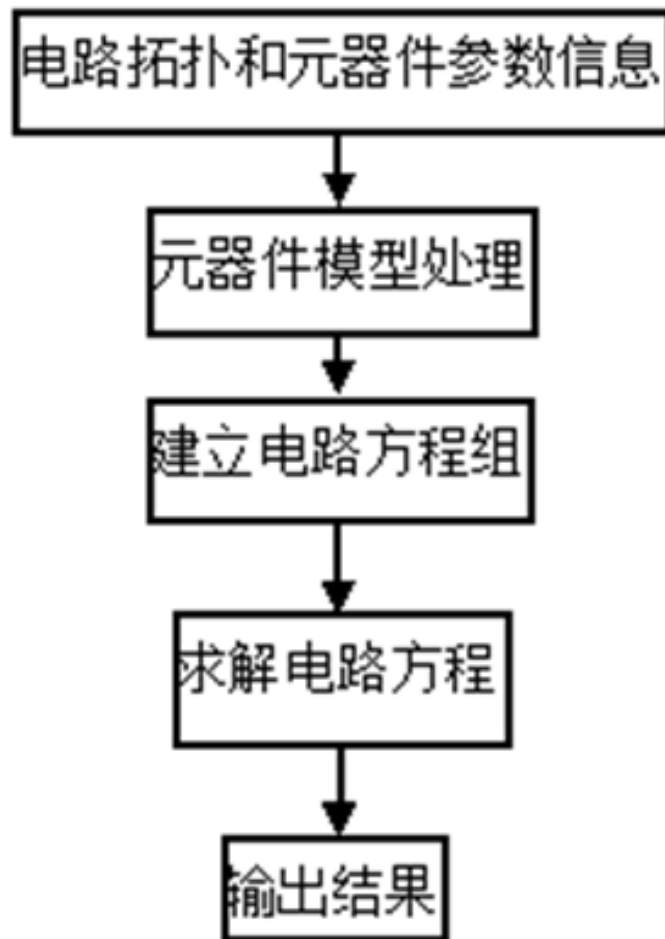
- **电原理图输入程序。**
- **激励源编辑程序。**
- **电路仿真程序SPICE。**
- **输出结果绘图程序。**
- **模型参数提取程序。**
- **带有SPICE元器件模型参数库。**



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE仿真流程

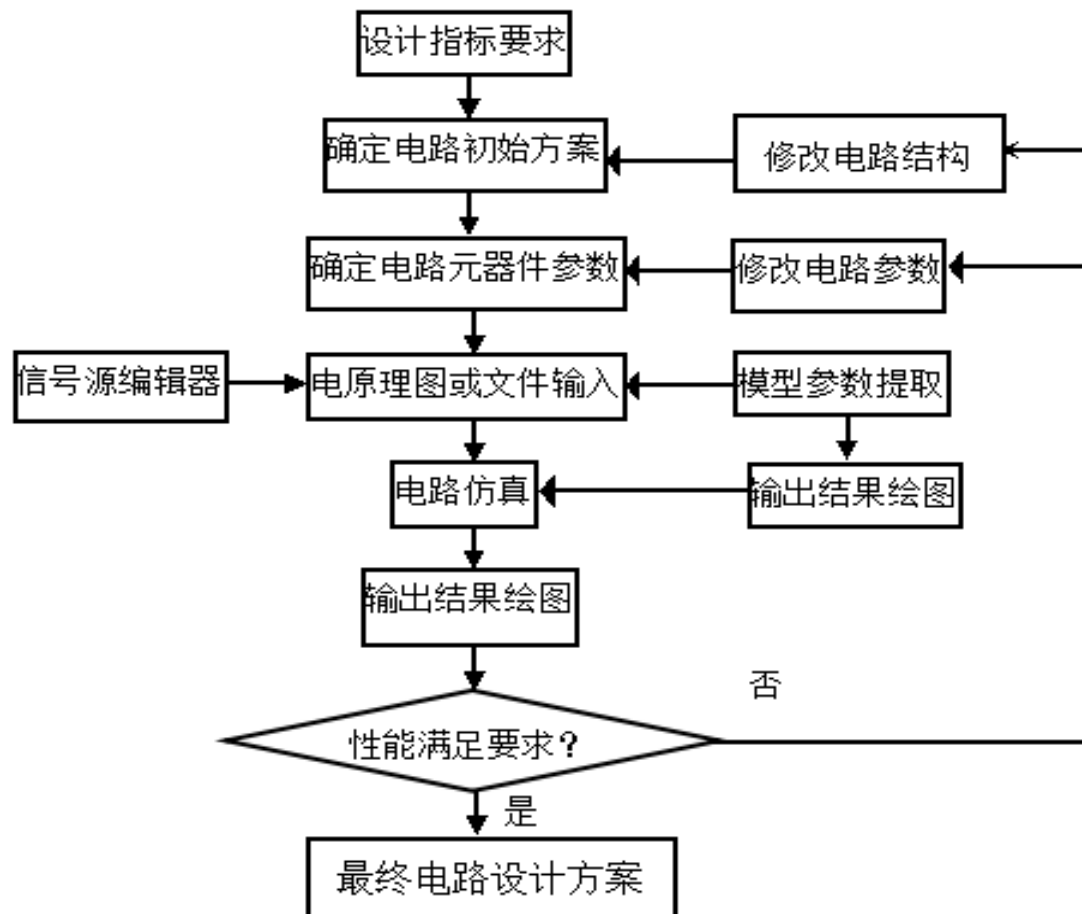
### ■ SPICE仿真处理流程。



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE仿真流程

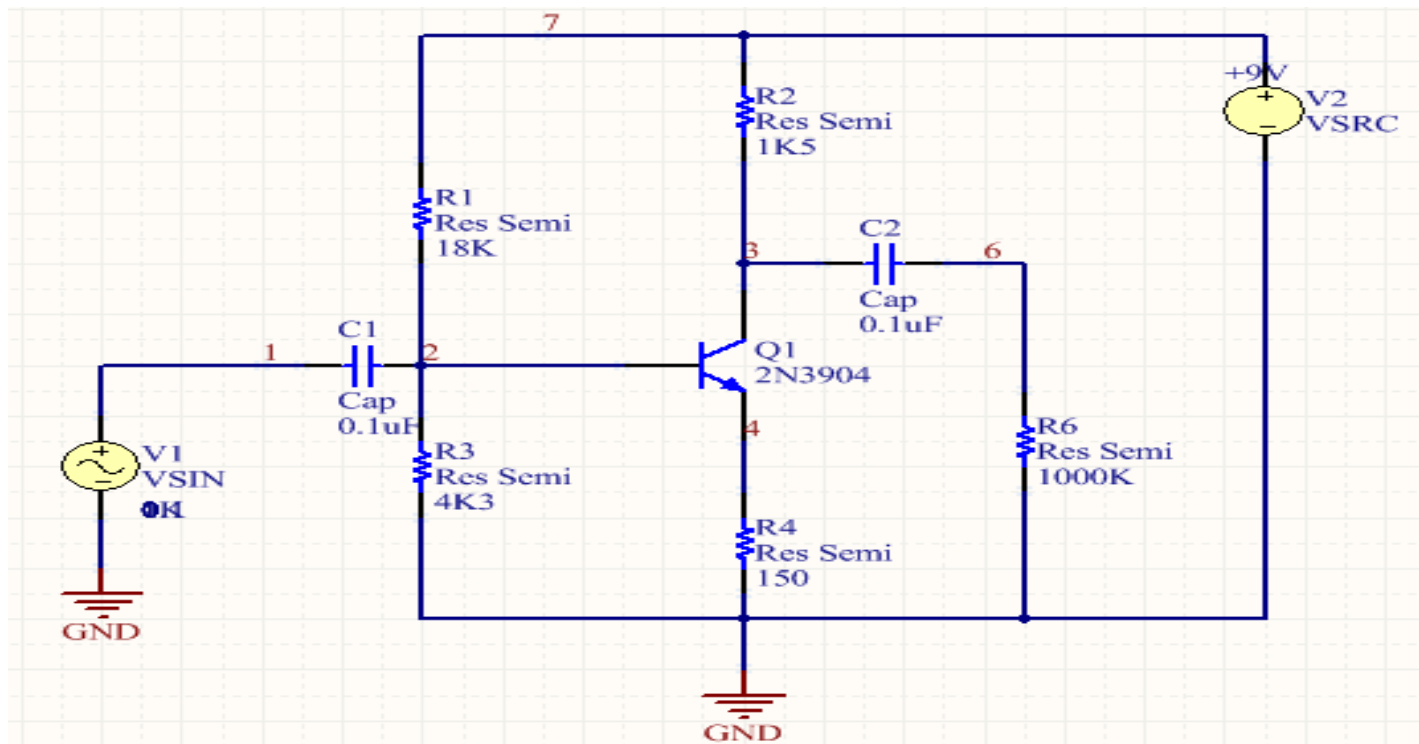
### ■ 基于Altium Designer软件SPICE电路分析和设计流程。



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

一个SPICE分析程序依赖于一个完整的电路描述结构。



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

- 一个电路的完整结构，应该包含电子元器件和用于连接电子元器件的电路结构。
- 在图上可以看到名字为1、2、3、4、5、6和7的网络标号，这些标号从电子设计角度来说，称之为网络。
- 网络用来标识电子线路中，每个元件的位置。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

```
PCB_Project1
*SPICE Netlist generated by Advanced Sim server on 2013/3/7 23:19:58

*Schematic Netlist:
C1 1 2 0.1uF
C2 3 6 0.1uF
Q1 3 2 4 2N3904
R1 2 7 18K RES
R2 3 7 1K5 RES
R3 0 2 4K3 RES
R4 0 4 150 RES
R6 0 6 1000K RES
V1 1 0 DC 0 SIN(0 0.1 1K 0 0 0) AC 1 0
V2 7 0 +9V

.SAVE 0 1 2 3 4 6 7 V1#branch V2#branch @V1[z] @V2[z] @C1[i] @C2[i] @Q1[ib]
.SAVE @Q1[ic] @Q1[ie] @R1[i] @R2[i] @R3[i] @R4[i] @R6[i]

*PLOT TRAN -1 1 A=1 A=6
*PLOT OP -1 1 A=1 A=6

*Selected Circuit Analyses:
.TRAN 2E-5 0.005 0 2E-5
.OP

*Models and Subcircuits:
.MODEL 2N3904 NPN(IS=1.4E-14 BF=300 VAF=100 IKF=0.025 ISE=3E-13 BR=7.5 RC=2.4
+ CJE=4.5E-12 TF=4E-10 CJC=3.5E-12 TR=2.1E-8 XTB=1.5 KF=9E-16 )

.MODEL RES R()

.END
```

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

### 标题行

- 该行必须是输入文件的第一行。例如：PCB\_Project1。

### 注释行

- 注释行以'\*'符号开始。例如：

\*SPICE Netlist generated by Advanced Sim server on 2013/3/7 23:19:58

\*Schematic Netlist:

### 结束行

- .END用于标识输入文件的结束，它是输入文件的最后一行。

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

### 器件模型描述

#### ■ 器件模型的通用格式为：

`.MODEL MNAME TYPE(PNAME1=PVAL1 PNAME2=PVAL2 ... )`

#### ■ 例如：

```
.MODEL 2N3904 NPN(IS=1.4E-14 BF=300 VAF=100 IKF=0.025 ISE=3E-13 BR=7.5  
RC=2.4  
+ CJE=4.5E-12 TF=4E-10 CJC=3.5E-12 TR=2.1E-8 XTB=1.5 KF=9E-16 )
```

**注：（1）对于一些参数较多的电子元器件使用单独的.MODEL行进行说明，并且分配一个唯一的模型名字。**

**（2）MNAME表示模型的名字。**

**（3）TYPE表示模型的类型，如下表所示。**

# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

类型名字	说明
R	半导体电阻模型
C	半导体电容模型
SW	电压控制的开关
CSW	电流控制的开关
URC	均匀分布的RC模型
LTRA	有损传输线模型
D	二极管模型
NPN	NPN BJT模型
PNP	PNP BJT模型
NJF	N-沟道JFET模型
PJF	P-沟道JFET模型
NMOS	N-沟道MOSFET模型
PMOS	P-沟道MOSFET模型
NMF	N-沟道MESFET模型
PMF	P-沟道MESFET模型



# Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --电子线路SPICE描述

### 子电路描述

- 可以定义由SPICE元件构成的子电路，可以通过类似于调用器件模型的方法进行引用。
- 在输入文件中，通过一组元件行定义子电路。然后，程序自动的在引用子电路的地方插入该组元件。
- 对子电路的大小和复杂度没有限制，并且子电路还可以包含其它的子电路。

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### .AC

#### ■ 小信号AC分析，常用的格式如下：

- .AC DEC ND FSTART FSTOP
- .AC OCT NO FSTART FSTOP
- .AC LIN NP FSTART FSTOP

#### ■ 例如：

- .AC DEC 10 1 10K
- .AC DEC 10 1K 100MEG
- .AC LIN 100 1 100HZ

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### .DC

#### ■ DC传输函数分析，常用的格式如下：

**.DC SRCNAM VSTART VSTOP VINCR [SRC2 START2 STOP2 INCR2]**

#### ■ 其中：

##### □ SRCNAM

为独立电压源或者独立电流源的名字。

##### □ VSTART、VSTOP、VINCR

表示开始值、停止值和递增的值。

#### ■ 例如：

□ **.DC VIN 0.25 5.0 0.25**

□ **.DC VDS 0 10 .5 VGS 0 5 1**

□ **.DC VCE 0 10 .25 IB 0 10U 1U**

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### **.NOISE**

■ 对电路执行噪声分析，常用格式如下：

```
.NOISE V(OUTPUT <,REF>) SRC ( DEC | LIN | OCT ) PTS FSTART FSTOP+  
<PTS_PER_SUMMARY>
```

■ 例如：

```
□ .NOISE V(5) VIN DEC 10 1kHz 100Mhz
```

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### **.PZ**

- 执行零极点分析，常用格式如下：

**.PZ NODE1 NODE2 NODE3 NODE4 CUR POL**

- 例如：

- **.PZ 1 0 3 0 CUR POL**

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### **.SENS**

- 执行DC或者小信号AC灵敏度分析，常用格式如下：

**.SENS OUTVAR**

- 例如：

- **.SENS V(1,OUT)**

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### **.TF**

■ TF定义了用于DC小信号分析时，小信号的输出和输入，常用格式如下：

```
.TF OUTVAR INSRC
```

■ 例如：

```
□ .TF V(5, 3) VIN
```

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### .TRAN

- 执行瞬态分析，常用的格式如下：

```
.TRAN TSTEP TSTOP <TSTART <TMAX>>
```

- 例如：

- .TRAN 1NS 100NS



# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序分析命令

### .MC

■ 执行蒙特卡罗分析，常用格式如下：

`.MC runs <option>`

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序输出命令

### .SAVE行

- .SAVE行用于在原始文件中记录指定的向量，常用格式如下：

`.SAVE vector vector vector ...`

- 例如：

- `.SAVE i(vin) input output`
- `.SAVE @m1[id]`

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序相关命令

### .PRINT行

- .PRINT行定义了表格中所列出的1~8个变量的内容，常用格式如下：

**.PRINT PRTYPE OV1 <OV2 ... OV8>**

- 例如：

- **PRINT DC V(2) I(VSRC) V(23, 17)**
- **.PRINT AC VM(4, 2) VR(7) VP(8, 3)**

# 电子Altium Designer软件SPICE仿真导论

## --SPICE程序相关命令

### .PLOT行

- .PLOT行定义一个绘图的内容（1-8个变量），常用格式如下：

```
.PLOT PLTYPE OV1 <(PLO1, PHI1)> <OV2 <(PLO2, PHI2)> ... OV8>
```

- 例如：

- .PLOT DC V(4) V(5) V(1)

- .PLOT TRAN V(17, 5) (2, 5) I(VIN) V(17) (1, 9)

- 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>