

第三章 基本电路特性分析

联系方式:

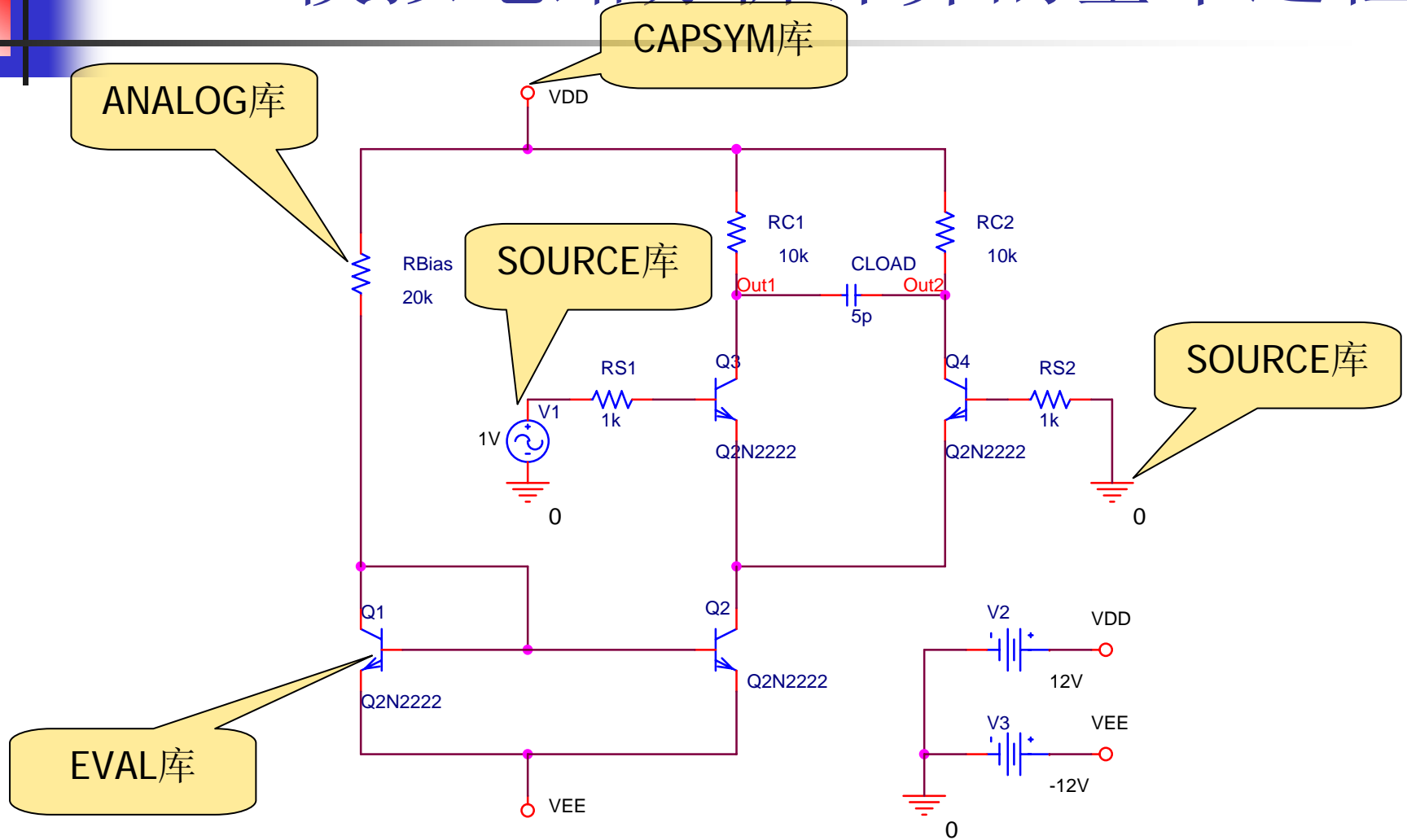
董安明

E-mail: anmingdong@163.com

Tel: 13689325117

欢迎大家交流、讨论

3.1 模拟电路分析计算的基本过程





3.1 模拟电路分析计算的基本过程

- 可以在OrCAD Capture绘图程序中启动PSpice进行模拟分析。
- 模拟分析的基本过程包括：
 - 绘制电路图
 - 特性分析类型确定和参数设置
 - 模拟分析计算
 - 模拟结果分析



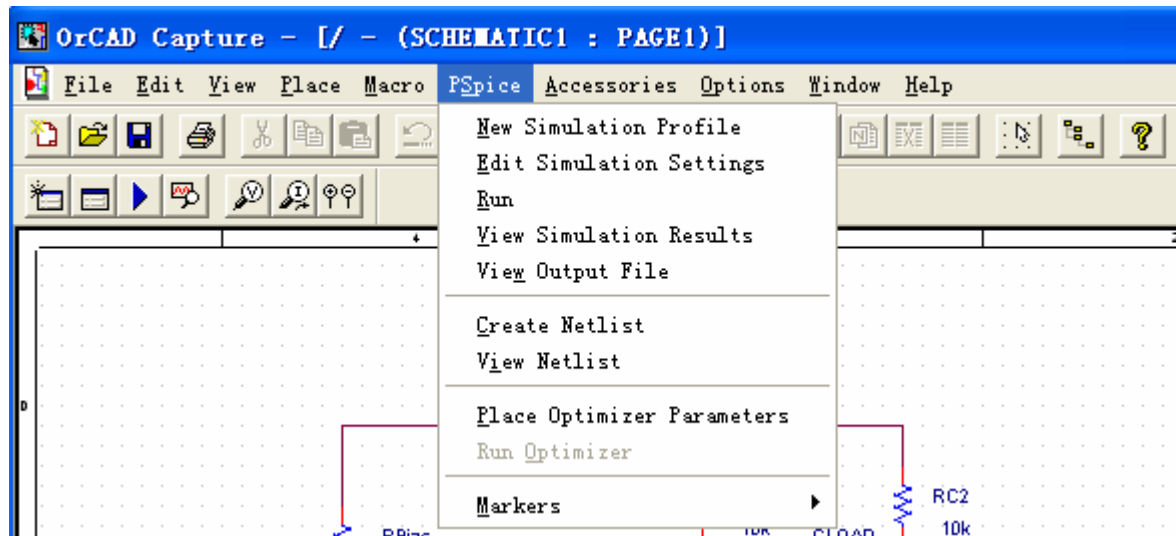
3.1 模拟电路分析计算的基本过程

- 3.1.1 绘制电路图
 - 首先绘制好电路图，作为模拟分析的输入。
- 3.1.2 特性分析类型确定和参数设置
 - Orcad/PSpic A/D版本9有四种基本的分析类型：
 - 基本直流分析
 - 直流DC扫描
 - 交流信号AC分析
 - 瞬态TRAN分析
 - 在电路模拟中，根据分析要求，建立模拟类型分组（Simulation Profile），以确定分析类型和设置分析参数。
 - 每一种电路的一个模拟类型分组中只能包括上述4种基本分析类型中的一种，但可以同时包括温度特性分析、参数扫描、蒙特卡罗分析和直流工作点的存取等。

3.1 模拟电路分析计算的基本过程

3.1.2 特性分析类型确定和参数设置

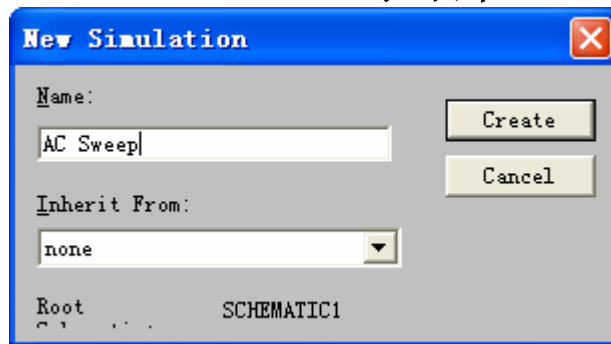
- 1. 调出PSpice命令菜单
 - 在OrCAD Capture中调用PSpice主命令。



3.1 模拟电路分析计算的基本过程

3.1.2 特性分析类型确定和参数设置

- 2. 建立模拟类型分组
 - 执行Pspice/New Simulation Profile，出现New Simulation 对话框。

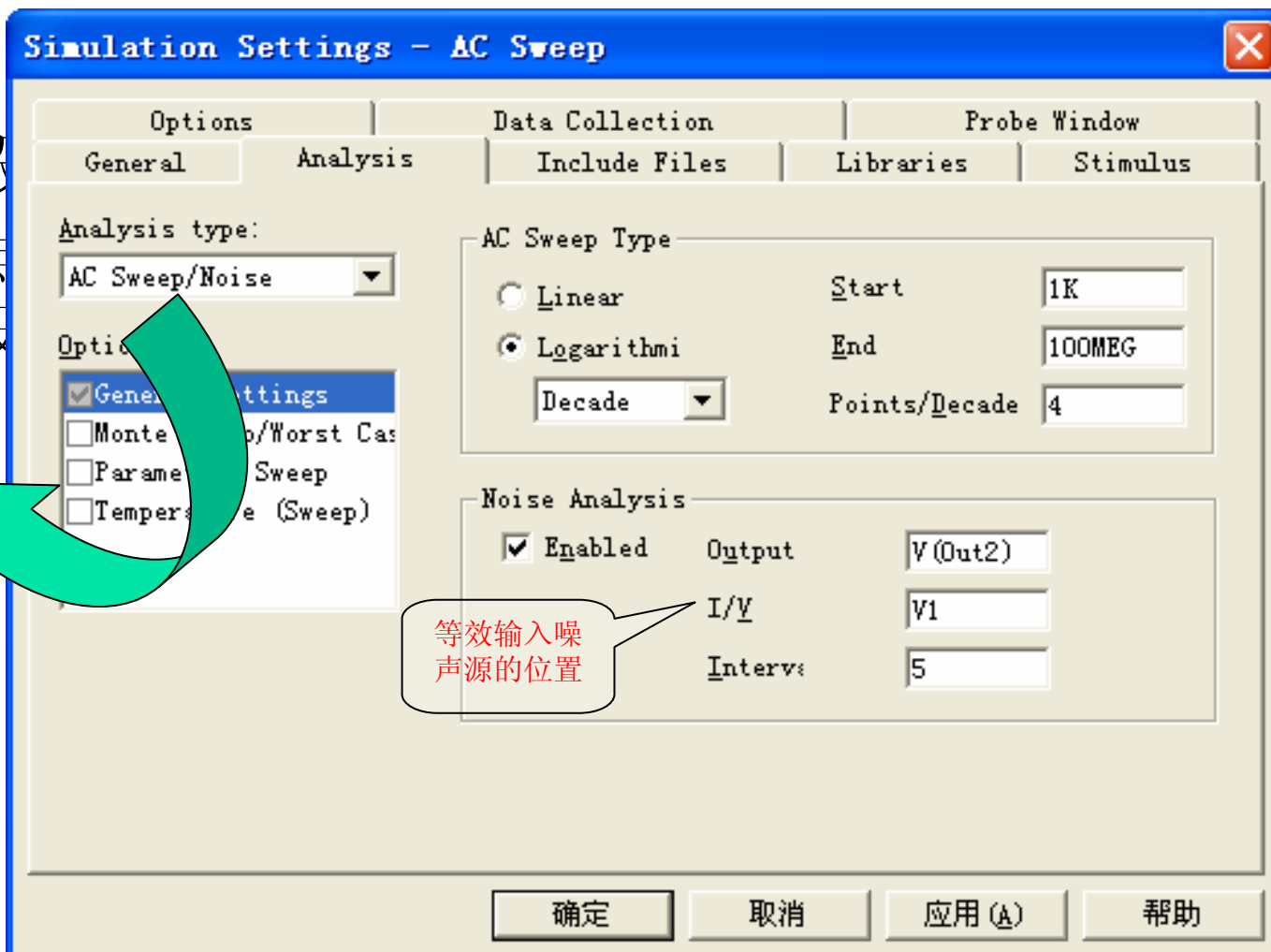
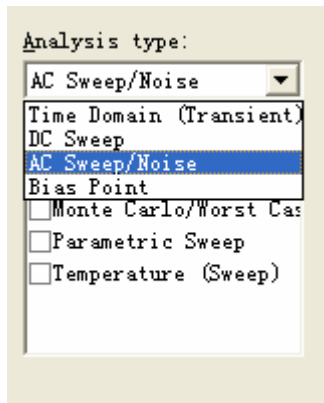


- 在Name栏键入模拟类型组的名称，我们用AC sweep。

3.1 模拟电路分析计算的基本过程

3.1.2

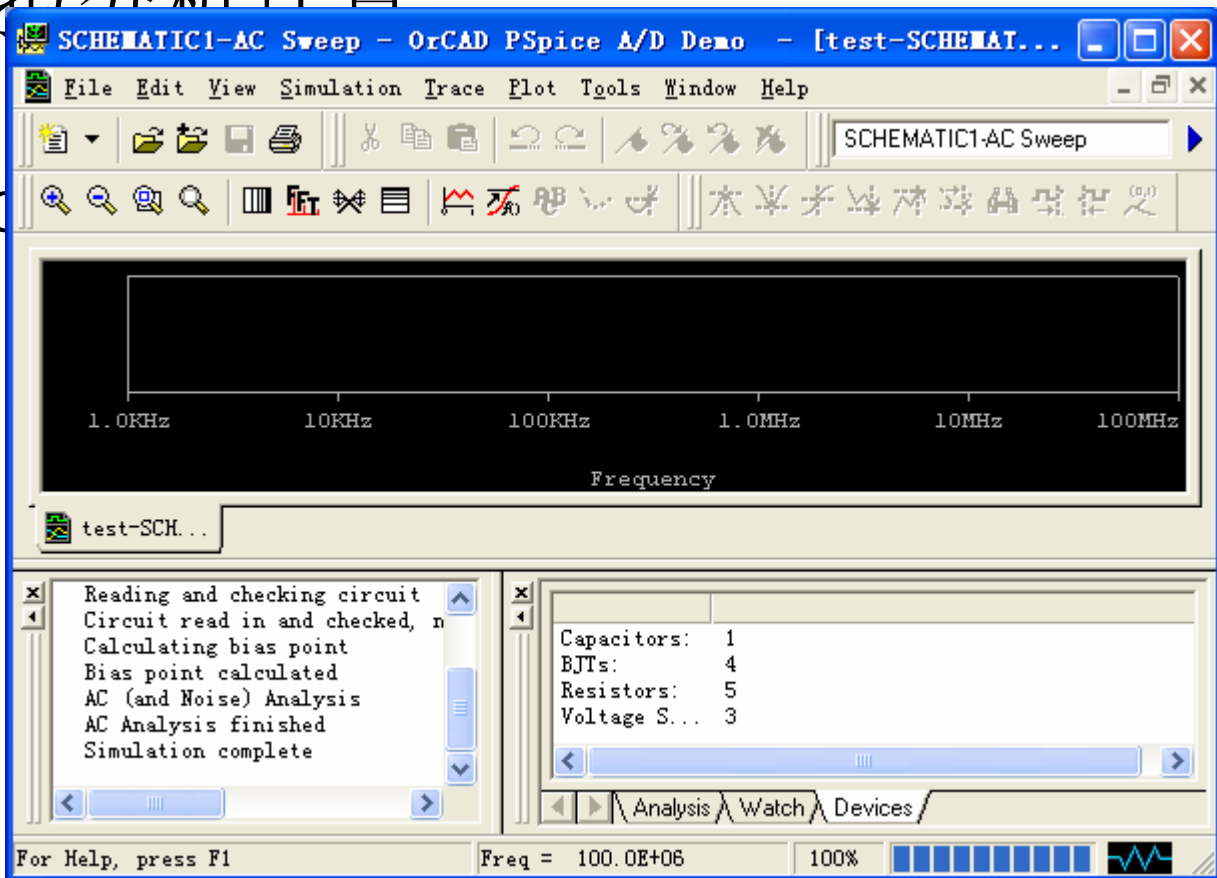
3. 设计点设计



3.1 模拟电路分析计算的基本过程

■ 3.1.3 模拟分析计算

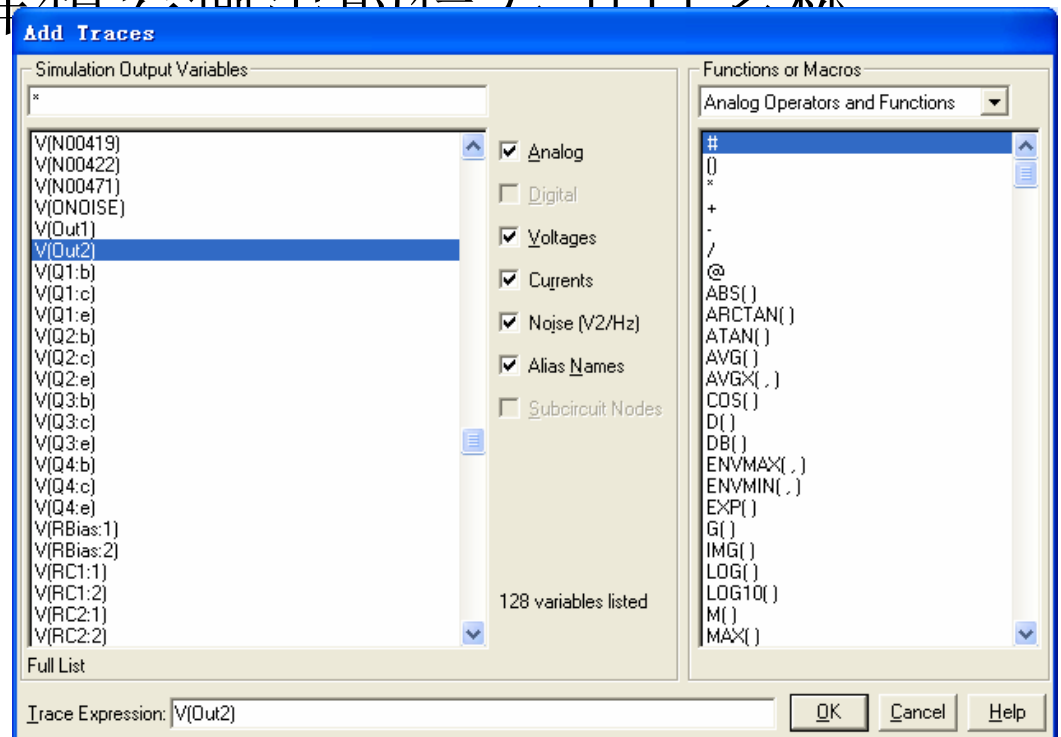
- 设置好
行PSpic
析。



3.1 模拟电路分析计算的基本过程

■ 3.1.3 模拟分析计算

- 在弹出的PSpice窗口中执行Trace/Add Trace，选择想要输出的信号节点名称

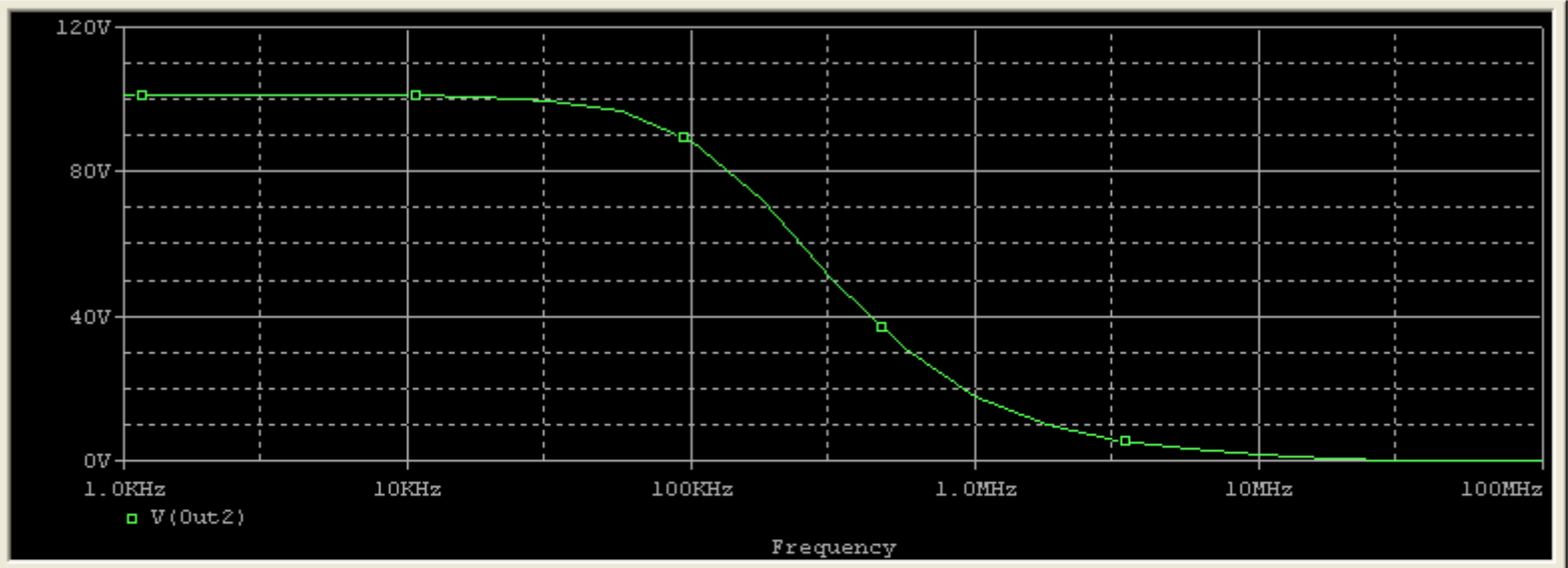


SCHEMATIC1-AC Sweep - OrCAD PSpice A/D Demo - [test-SCHEMATIC1-AC Sweep.dat (active)]

File Edit View Simulation Trace Plot Tools Window Help

SCHEMATIC1-AC Sweep

Navigation icons and Chinese text: 本 章 考 试 考 试 考 试 考 试



test-SCH...

```
No recognized product configuration selected
** circuit file for profile: AC Sweep
Reading and checking circuit
Circuit read in and checked, no errors
Calculating bias point
Bias point calculated
AC (and Noise) Analysis
AC Analysis finished
```

Capacitors:	1
BJTs:	4
Resistors:	5
Voltage S...	3

Analysis Watch Devices

Freq = 100.0E+06 100%



3.1 模拟电路分析计算的基本过程

■ 3.1.4 电路模拟结果分析

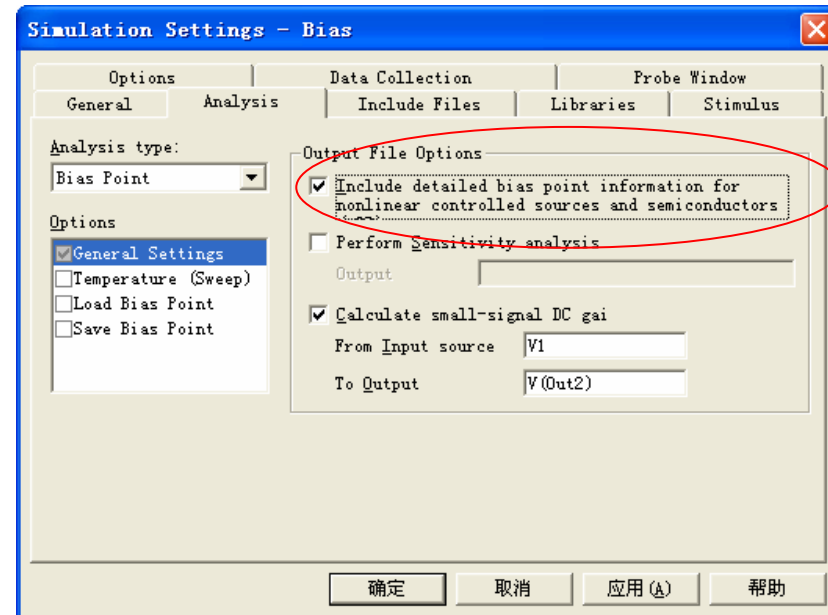
电路模拟结束后，应根据不同情况，采用不同的方式分析模拟结果。

- 1. 模拟结果信号波形分析
 - 基本的电路特性分析结果存放在以DAT为扩展名的数据文件中。
 - 如果模拟分析过程正常结束，就可调用波形显示和分析模块Probe，采用人机交互方式，以DAT结果数据文件为输入分析模拟结果。
- 2. 出错信息显示分析
- 3. 模拟结果输出文件查阅

3.2 直流工作点分析 (Bias Point Detail)

3.2.1 功能

- 在模拟参数设置窗口中的Analysis type栏中选择Bias Point，出现设置对话框：
- 选中“Include detailed bias point information for nonlinear controlled sources and semiconductors”，完成直流工作点分析设置。
- 然后运行PSpice，即可完成直流工作点分析。
- 在分析的过程中，PSpice将电路中的**电容开路**，**电感短路**，对各个信号源取其直流电平值，然后用迭代的方法计算电路的直流偏置状态。
- 图中的Perform Sensitivity analysis和Calculate small-signal DC gain两项分别用于直流灵敏度分析和直流传输特性分析





3.2 直流工作点分析（Bias Point Detail）

■ 3.2.2 结果输出

- 完成直流工作点分析后，PSpice将结果自动存入OUT输出文件：包括
 - 各个节点电压
 - 流过各个电压源的电流
 - 总功耗
 - 以及所有非线性受控源和半导体器件的小信号（线性化）参数
- 需要指出的是，即使用户未选择进行“Bias Point”分析，PSpice程序运行时，实际上也首先要进行直流工作点分析，只是存入输出文件中的信息比较简单，没有小信号线性化参数值。

3.2 直流工作点分析 (Bias Point)

SCHEMATIC1-Bias - OrCAD PSpice A/D Demo - [test-SCHEMATIC1-Bias.out (active)]

File Edit View Simulation Trace Plot Tools Window Help

SCHEMATIC1-Bias

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

NAME	Q_Q4	Q_Q3	Q_Q2	Q_Q1
MODEL	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222
IB	4.34E-06	4.34E-06	7.69E-06	7.69E-06
IC	6.55E-04	6.55E-04	1.32E-03	1.15E-03
VBE	6.33E-01	6.33E-01	6.50E-01	6.50E-01
VBC	-5.45E+00	-5.45E+00	-1.07E+01	0.00E+00
VCE	6.09E+00	6.09E+00	1.14E+01	6.50E-01
BETADC	1.51E+02	1.51E+02	1.71E+02	1.50E+02
GM	2.53E-02	2.53E-02	5.08E-02	4.44E-02
RPI	6.67E+03	6.67E+03	3.72E+03	3.72E+03
RX	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01
RO	1.21E+05	1.21E+05	6.43E+04	6.43E+04
CBE	4.64E-11	4.64E-11	5.74E-11	5.47E-11

test-SCH... test-SCH...

Simulation Profile: SCHEMA
Simulation running...
No recognized product configuration selected
** circuit file for profile: Bias
Reading and checking circuit
Circuit read in and checked, no errors
Calculating bias point
Bias point calculated

Capacitors: 1
BJTs: 4
Resistors: 5
Voltage S... 3

Analysis Watch Devices

For Help, press F1

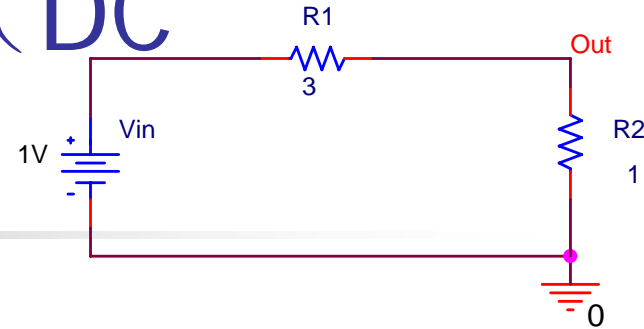
100%

3.3 直流灵敏度分析 (DC Sensitivity)

■ 3.3.1 灵敏度分析的含义

- 虽然电路特性完全取决于电路中的元器件取值，但是对电路中不同的元器件，即使元器件值变化的幅度相同，引起电路特性的变化也不会完全相同。
- **灵敏度分析**就是定量分析、比较电路特性对每个电路元器件参数的敏感程度。
- PSpice中直流灵敏度分析是分析指定的**节点电压**对电路中**电阻**、**独立电压源**和**独立电流源**、**电压控制开关**和**电流控制开关**、**二极管**、**双极晶体管**共5类元器件参数的敏感度，并将计算结果自动存入OUT输出文件中。

3.3 直流灵敏度分析 (DC Sensitivity)



3.3.2 灵敏度的定量表示

PSpice中采用了两种不同的方式定量表示直流灵敏度。

1. 元件灵敏度S

- S指电路特性参数T对元器件值X绝对变化的灵敏度。

$$\text{即 } S(T, X) = \partial T / \partial X$$

- 例如：对图中的简单电阻分压电路，输出电压对电阻R1和R2的元件灵敏度分别为：

$$S(V_o, R_1) = \partial V_o / \partial R_1 = -V_i R_2 / (R_1 + R_2)^2 = -1/16$$

$$S(V_o, R_2) = \partial V_o / \partial R_2 = V_i R_1 / (R_1 + R_2)^2 = 3/16$$

2. 相对灵敏度 S_N

- S_N 指电路特性T对元器件值X相对变化1%情况下的灵敏度。即

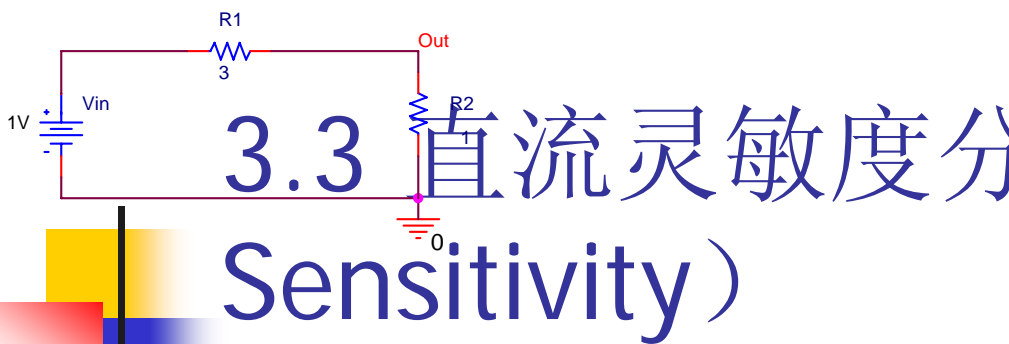
$$S_N(T, X) = S(T, X) / (X/100)$$

- 对上图所示分压电路：

$$S_N(V_o, R_1) = S(V_o, R_1) / (R_1/100) = -V_i R_1 R_2 / [100 (R_1 + R_2)^2] = -3/1600$$

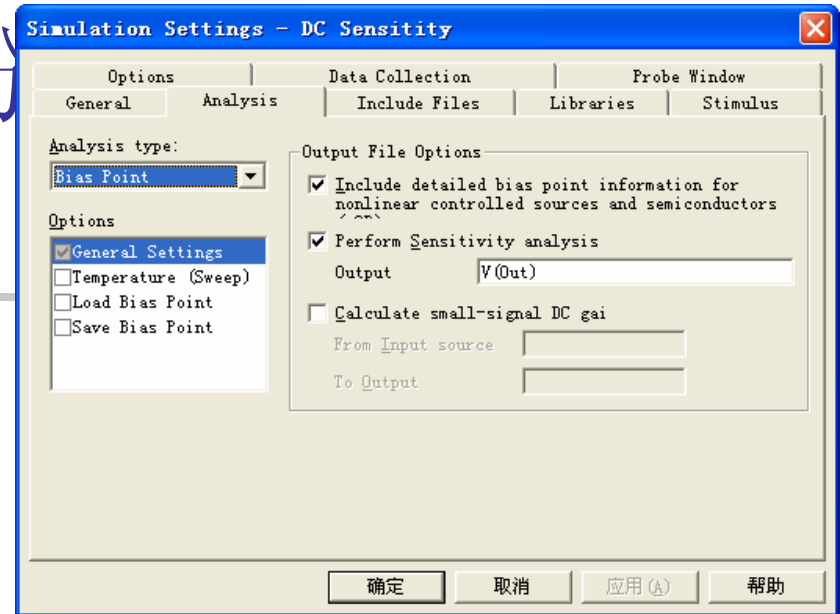
$$S_N(V_o, R_2) = S(V_o, R_2) / (R_2/100) = V_i R_1 R_2 / [100 (R_1 + R_2)^2] = 3/1600$$

- 由上分析可见，对图中所示的简单的分压电路，输出电压对两个电阻元件的灵敏度值并不相同，但对这两个电阻的绝对灵敏度的绝对值则一样。



3.3.3 参数设置

- 进行直流灵敏度分析时只需要指定节点电压一个参数。
- 在电路特性分析类型设置框中选中Perform Sensitivity analysis，并在其下方的Output栏键入节点电压参数名，即完成直流灵敏度分析设置。
- Out输出结果为：



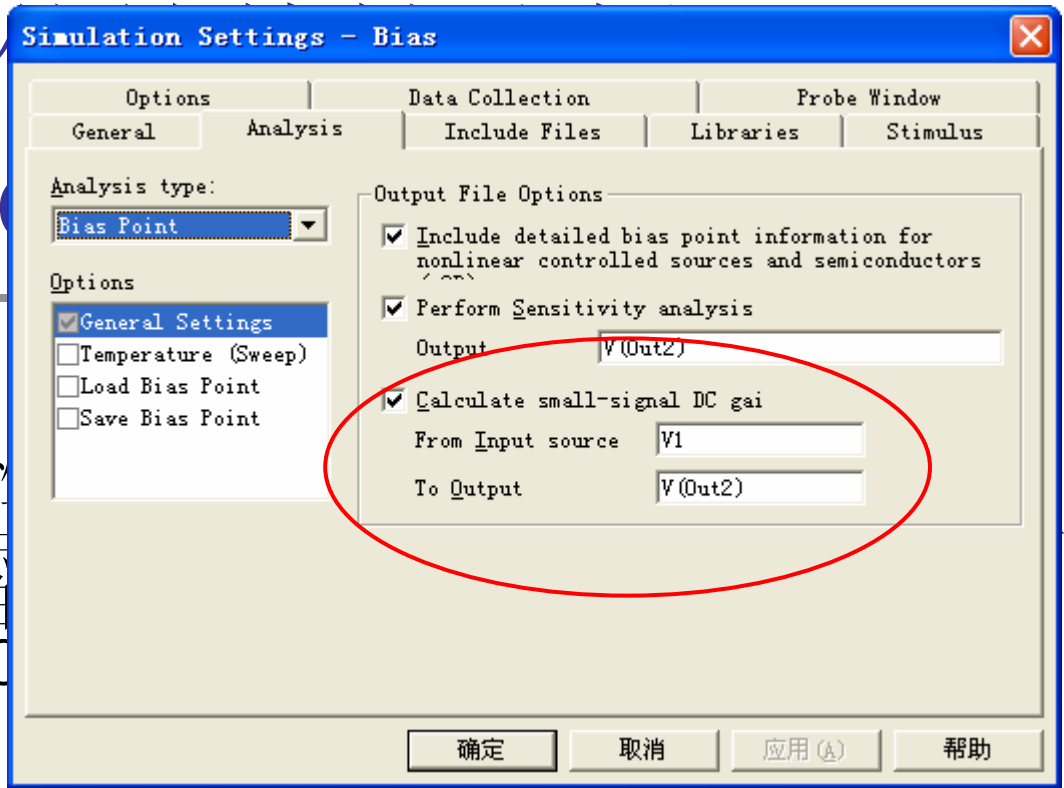
DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(OUT)

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
R_R2	1.000E+00	1.875E-01	1.875E-03
R_R1	3.000E+00	-6.250E-02	-1.875E-03
V_Vin	1.000E+00	2.500E-01	2.500E-03

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .02

3.4 直流传输特性分析 (Transfer Function)



流
计
并

3.4.1 功能

- 进行直流传输特性分析，并在工作点处计算出线性化电路的传输函数，将结果自动存入CSV文件。

3.4.2 参数设置

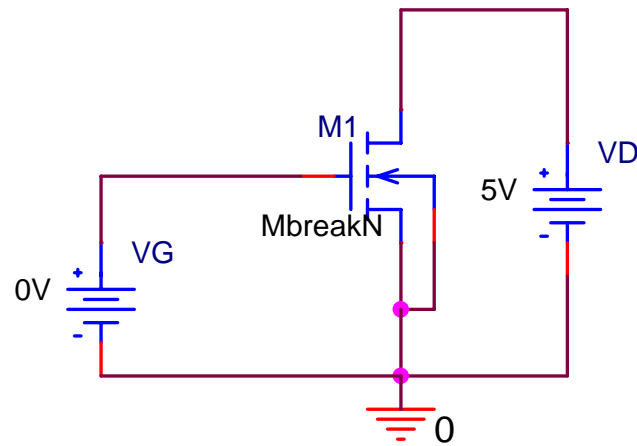
- 直流传输特性分析只涉及输入信号源和输出变量两个参数。
- 要进行直流传输特性分析，应在模拟特性参数设置框中选择 Calculate small-signal DC gain，并在 From Input Source 栏填入信号源名称，在 To Output 栏填入输出变量名。
- 直流传输特性的计算结果如下：

```
**** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(OUT2)/V_V1 = 1.013E+02
INPUT RESISTANCE AT V_V1 = 1.534E+04
OUTPUT RESISTANCE AT V(OUT2) = 9.617E+03
```

3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

建立如图所示电路。



3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

■ 3.5.1 功能

■ 直流特性扫描分析的作用是：

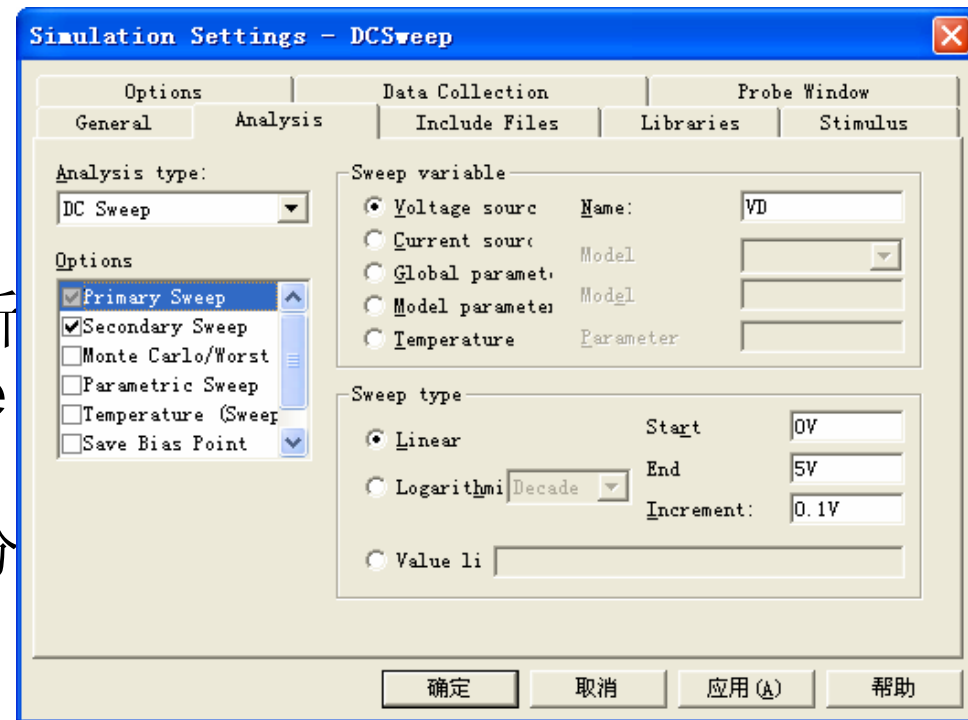
- 当电路中某一参数（称**自变量**）在一定范围内变化时，对自变量的每一个取值，计算电路的直流偏置特性（称为**输出变量**）。在分析过程中，电容开路，电感短路，各个信号源取其直流电平值；若电路中还包括有逻辑单元，则将每个逻辑器件的延迟取为0，逻辑信号激励源取其 $t=0$ 时的值。
- 在进行直流特性扫描分析时，还可指定一个**参变量**并确定其变化范围。对参变量的每一个取值，均使自变量在其变化范围内按每一个设定值，计算**输出变量**的变化情况。例如对双极晶体管，将集电极和发射极之间的外加电压 V_{ce} 作为自变量，加在基极上的恒流源 I_b 作为参变量，流过集电极的电流 I_c 作为输出变量，调用PSpice进行直流特性扫描分析，就可以得到该晶体管的一组直流输出特性。
- 直流特性扫描分析在分析放大器的转移特性，逻辑门的高低逻辑阈值等方面均有很大作用。

3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

3.5.2 DC分析的参数设置

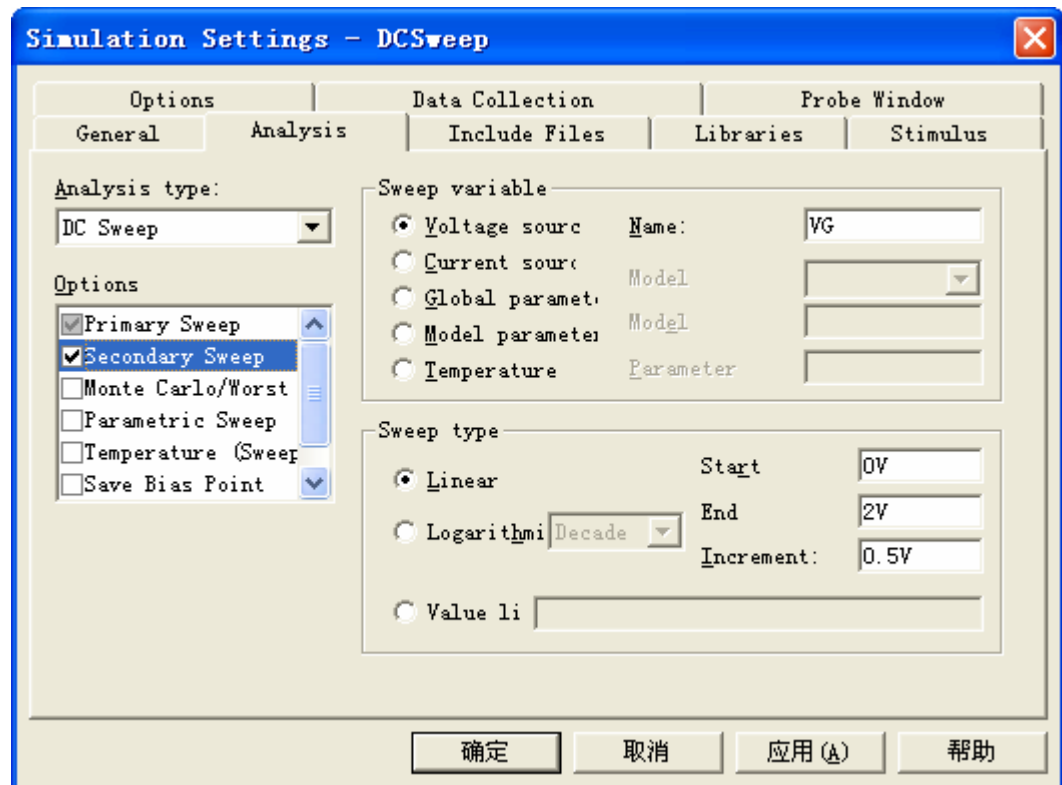
- 要进行DC分析，必须指定自变量和参变量 并设置其变化情况。在电路特性分析类型设置框的Analysis type 栏中，选择DC Sweep，屏幕上将出现直流特性扫描分析参数设置框。

1. 自变量的设置



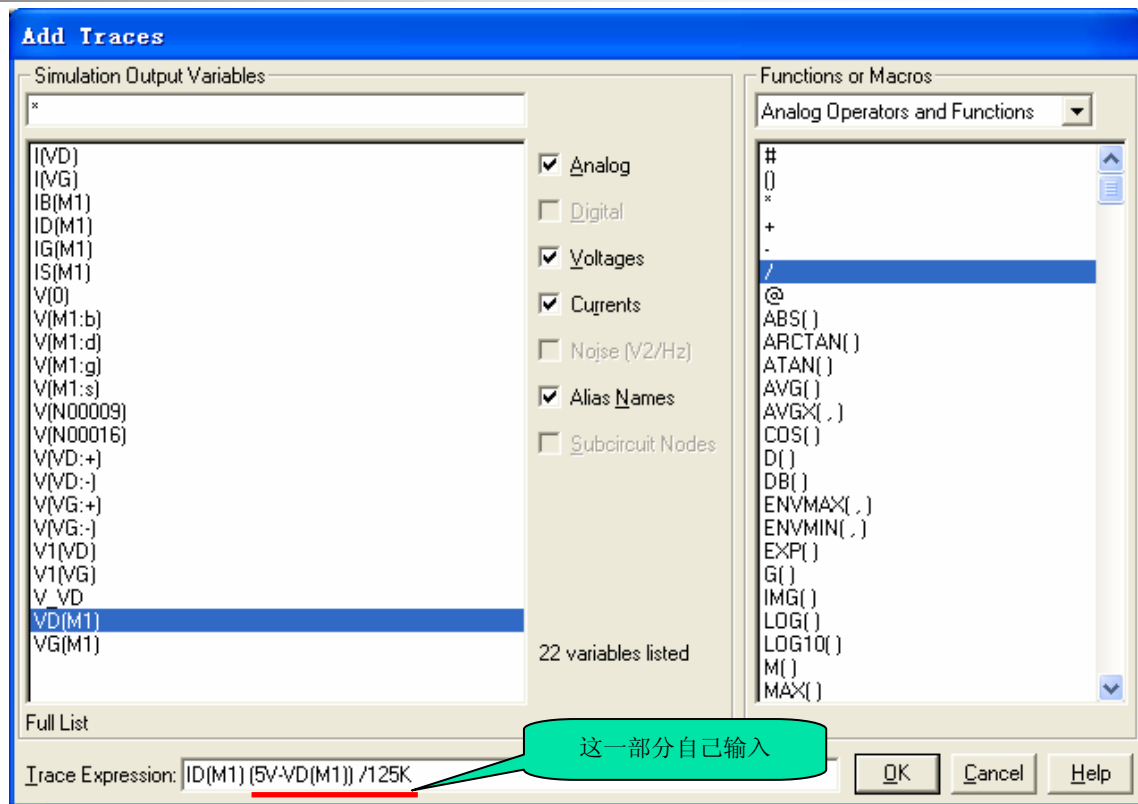
3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

- 3.5.2 DC分析的参数设置
 - 2. 参变量的设置



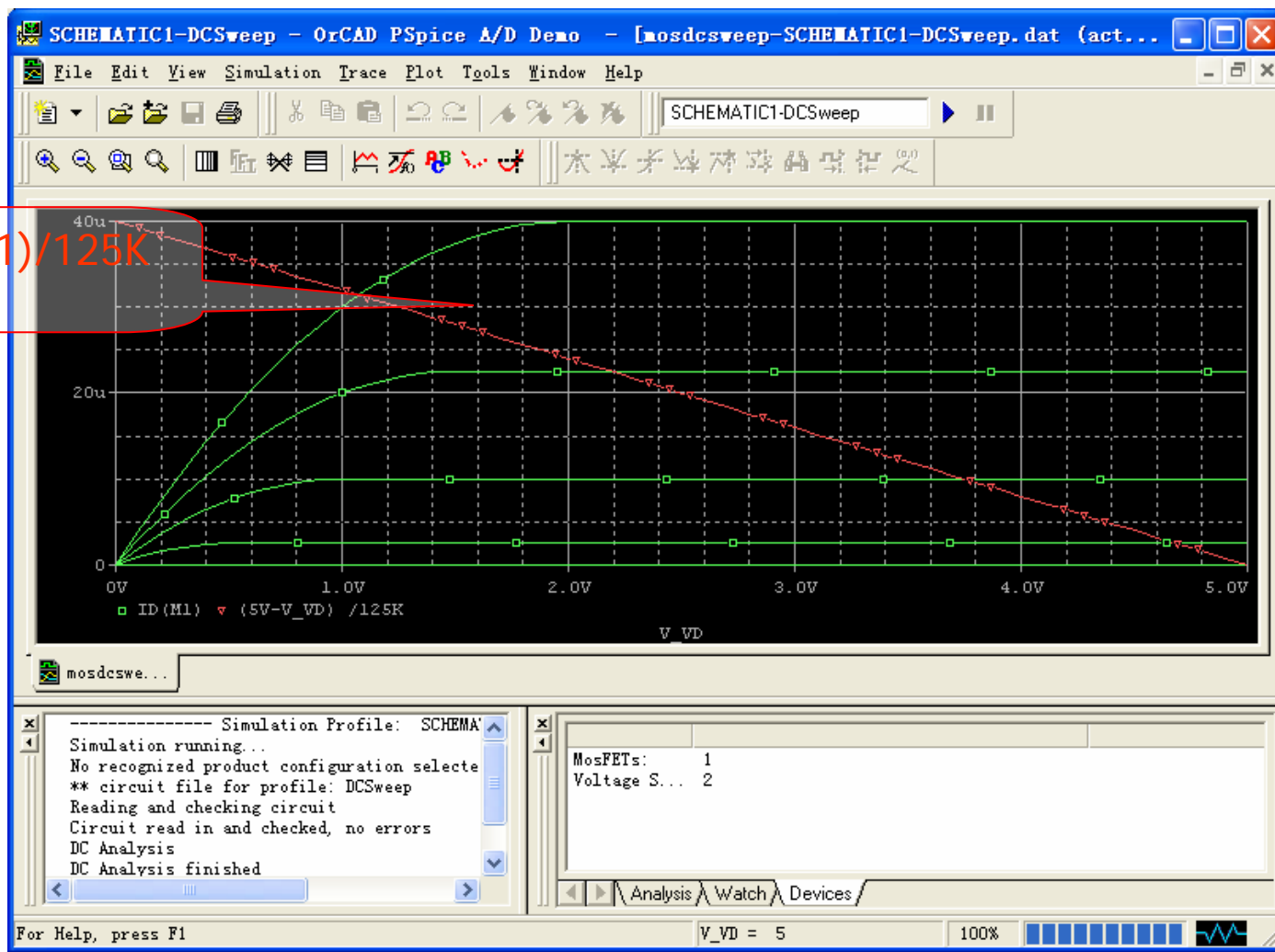
3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

- 3.5.3 分析结果的输出
 - Run后，在弹出的窗口中执行 Trace/Add Trace
 - 在Probe中选择 ID(M1)和输入 $(5V - VD(M1))/125K$



3.5 直流特性扫描特性分析 (DC Sweep)

(5V-V_D(M1))/125K



3.6 交流小信号频率特性分析 (AC Sweep)

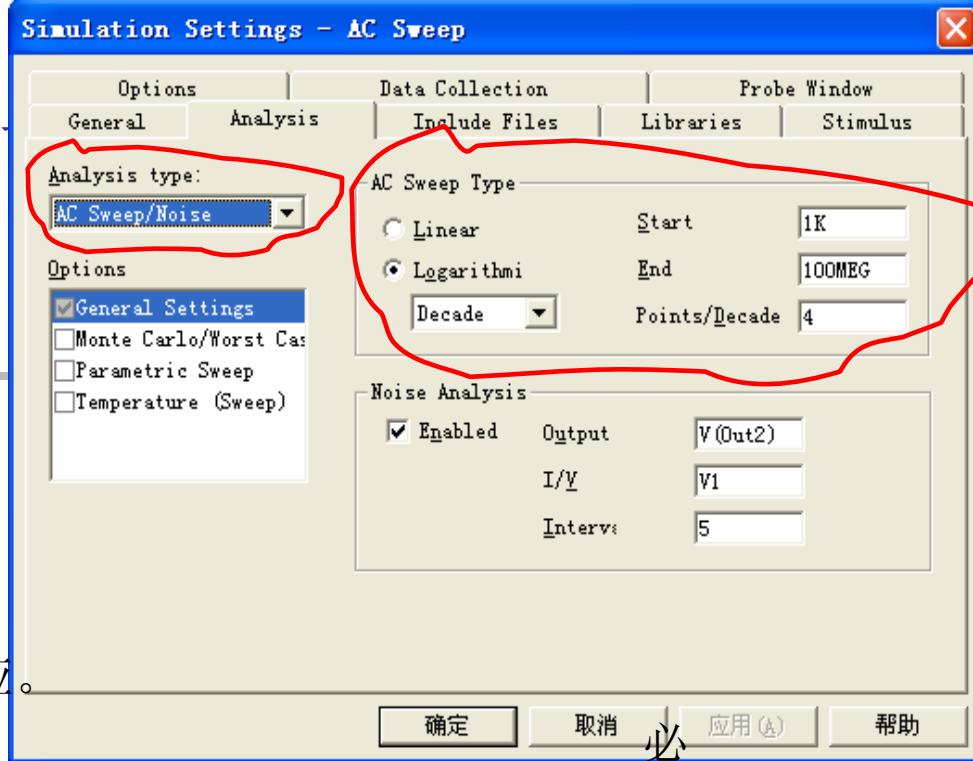
▶ 3.6.1 功能

- ▶ 交流小信号频率特性分析的作用是计算交流小信号频率响应特性。
- ▶ 分析时首先计算电路的直流工作点，并在工作点处对电路中各个非线性元件作线性化处理得到线性化的交流小信号等小电路。然后使电路交流信号源的频率在一定范围内变化并用交流小信号等小电路计算电路输出交流信号的变化。
- ▶ 本项分析又简称AC分析。

▶ 3.6.2 频率参数设置

- ▶ 在电路分析类型设置窗口的Options一栏选择AC Sweep/Noise,屏幕上将显示交流小信号特性分析参数设置窗口。
- ▶ 标题为AC Sweep Type下的Linear和Logarithmic两项用于确定AC分析中交流信号源的频率变化方式。
- ▶ 在AC分析中不需要再指定交流信号源名。

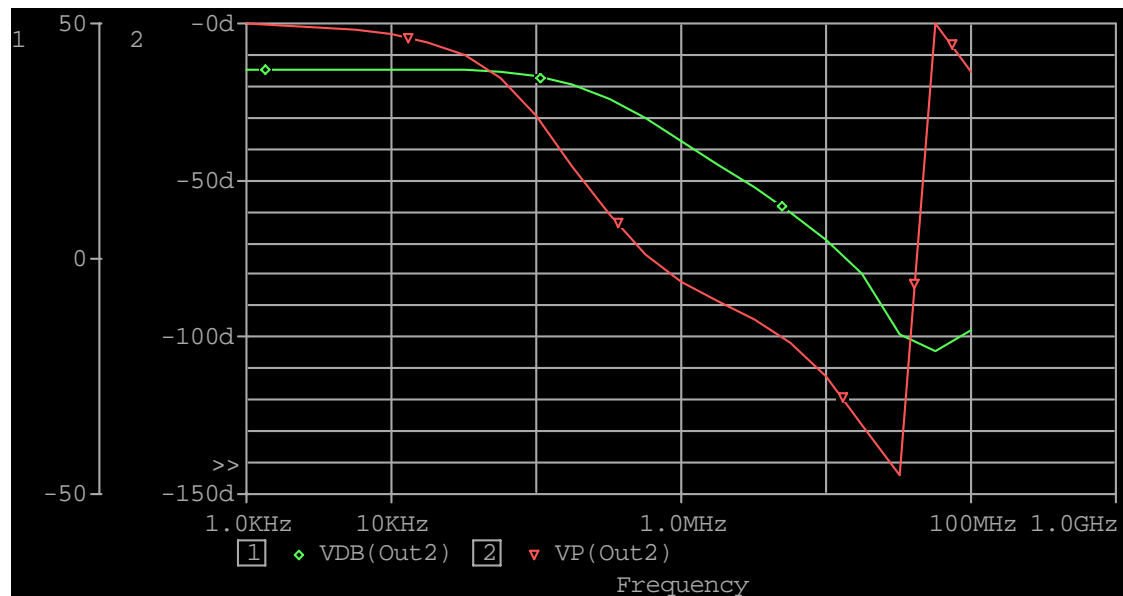
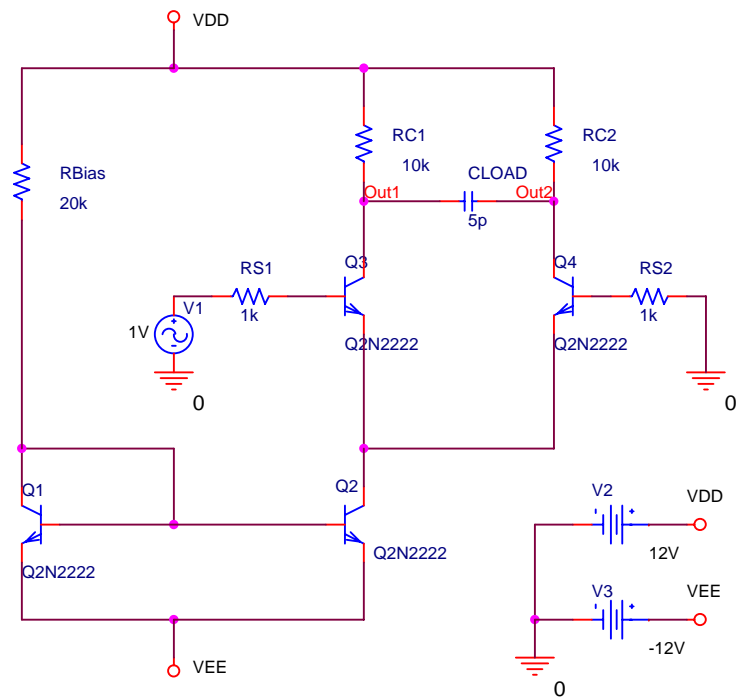
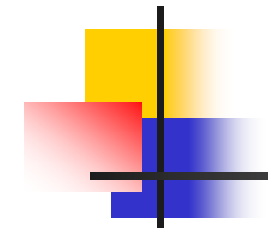
3.6 交流小信号 (AC Sweep)



3.6.3 输出变量的确定

- AC分析结果将自动存入Probe数据文件，这时可以调用Probe模块，选择观察不同节点处的交流频率响应。
- 如果要将结果存入OUT输出文件，须按照4.5节介绍的方法，在电路图中相应节点处放置代表输出变量的输出指示符VPRINT，VPLOT或IPRINT，IPLOT。这些节点处交流输出电压或电流随频率变化情况的频率响应特性数据才会存入OUT输出文件。
- 对于我们所用的差分对电路，信号源V1为交流信号源，其振幅设为1V，初始相位为0度。按右上角图中的设置进行AC分析后在DAT输出文件中将保存有节点电压及支路电流交流信号随频率变化的情况。
- 频率从1KHZ开始，按数量级变化，直到100MHz。即1KHz—10KHz—100KHz—1MHz—10MHz—100MHz共分5个区间，每个区间取4个点频。
- 仿真后用Probe模块得到OUT2节点处交流特性分析结果。

3.6 交流小信号频率特性分析 (AC Sweep)

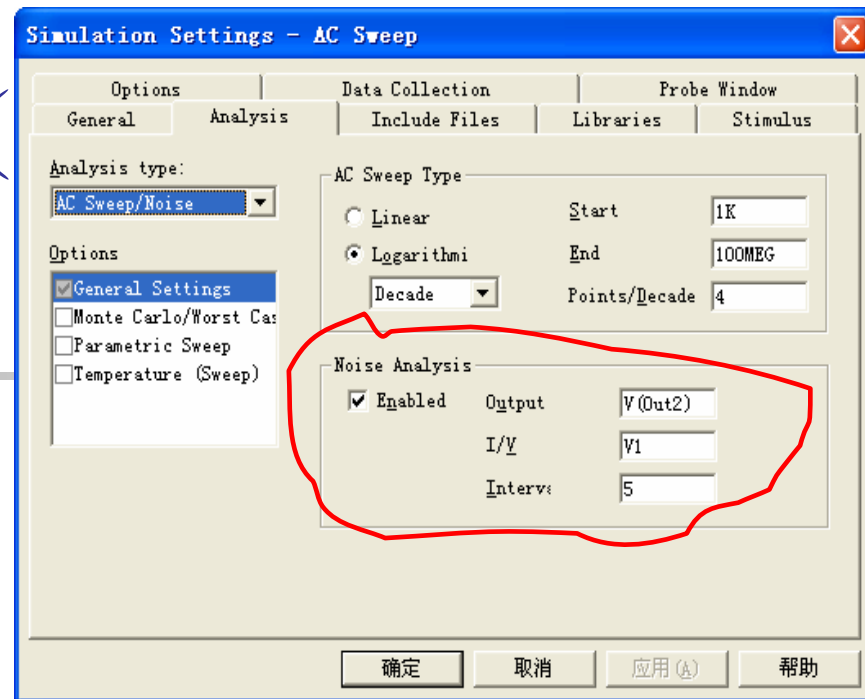


3.7 噪声分析 (Noise Analysis)

3.7.1 功能

- 电路中每个电阻和半导体器件在工作时都要产生噪声。为了定量表征电路中的噪声大小，PSpice采用了一种等效计算方法：
 - (1) 选定一个节点作为**输出节点**，将每个电阻和半导体器件噪声源在该节点处产生的噪声电压均方根值 (RMS) 叠加。
 - (2) 选定一个独立电压源或独立电流源，计算电路中从该独立电压源 (电流源) 到上述输出节点处的**增益**，再将第(1)步计算得到的输出节点总噪声除以该增益就得到在该独立电压源 (电流源) 处的**等效噪声**
- 由此可见，等效噪声相当于将电路中所有的噪声源都集中到选定的独立电压源 (或电流源) 处。其作用大小相当于在独立源处加上大小等于等效噪声的噪声源，则在节点处产生的输出噪声大小正好等于实际电路中所有噪声源在输出节点处产生的噪声。

3.7 噪声分析 (Analysis)



3.7.2 噪声分析中的参数设置

- 噪声分析是伴随着AC分析进行的，在上节课的AC分析参数设置窗口下半部分的Noise Analysis栏就是用于噪声分析的参数设置。
- 选中Enabled复选框，然后设置下属3项分析参数：
 1. **输出节点的设置**：图中，Output项用于指定计算输出噪声的节点位置
 2. **等效输入噪声源位置的设置**：I/V项用于制定计算等效输入噪声源的输入端位置。图中设置为V1，也就是说，将Out2处的等效输出噪声除以从V1到V(Out2)的增益就得到在V1处的等效输入噪声。显然，V1只是计算输入等效噪声源的位置，V1本身不是噪声源。
 3. **输出结果间隔的设置**：在噪声分析时，对AC分析时指定的每一个点频，PSpice都要进行噪声分析以得到噪声谱。但并非每一个点频处的噪声分析结果都会输出。噪声分析结果的输出方式由图中的Interval项的设置决定。图中该项设为5，表示每隔5个点频详细输出电路中每一个噪声源在输出节点处产生的噪声分量大小，同时给出输出节点处的总噪声均方根值以及输入噪声的大小。噪声分析的结果只存入OUT输出文件，不涉及PROBE数据文件

3.7 噪声分析 (Noise Analysis)

OUT输出文件中存放1KHz处噪声分析结果。

```
*****
FREQUENCY = 1.000E+03 HZ

**** TRANSISTOR SQUARED NOISE VOLTAGES (SQ V/HZ)

      Q_Q4   Q_Q3   Q_Q2   Q_Q1

RB    1.704E-15  1.701E-15  1.036E-14  1.033E-14
RC    2.445E-23  2.379E-23  9.902E-23  1.263E-22
RE    0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00
IBSN  1.602E-14  1.317E-14  1.621E-16  2.389E-17
IC    4.540E-15  4.419E-15  1.042E-14  1.161E-14
IBFN  0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00
TOTAL 2.227E-14  1.929E-14  2.094E-14  2.196E-14

**** RESISTOR SQUARED NOISE VOLTAGES (SQ V/HZ)

      R_RC2  R_RBias  R_RC1  R_RS2  R_RS1

TOTAL 1.533E-16  2.607E-17  2.381E-19  1.704E-13  1.701E-13

**** TOTAL OUTPUT NOISE VOLTAGE      = 4.252E-13 SQ V/HZ
                                         = 6.521E-07 V/RT HZ

TRANSFER FUNCTION VALUE:

V(OUT2)/V_V1      = 1.013E+02

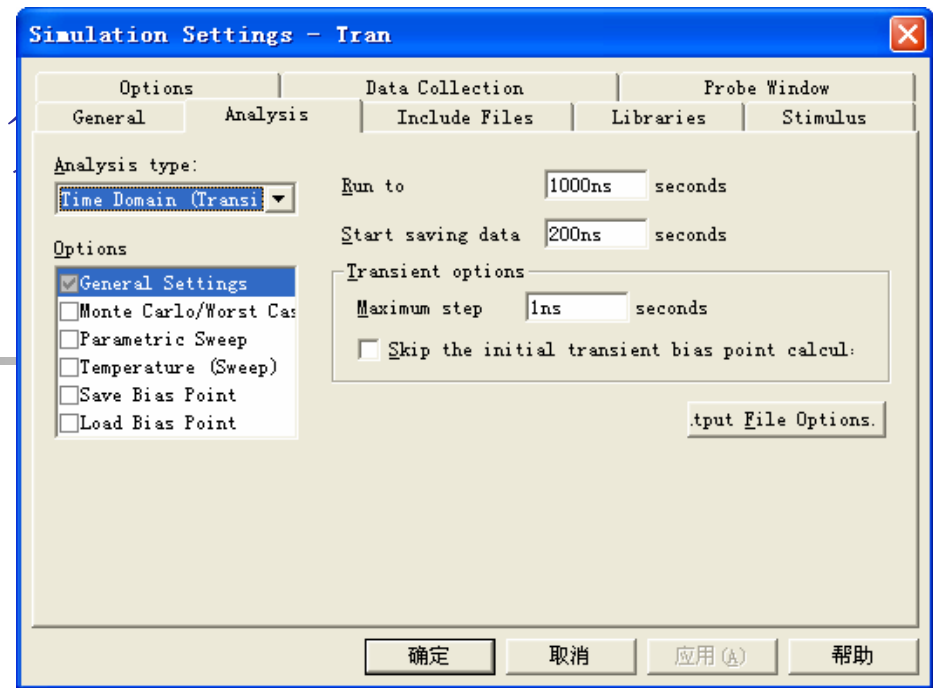
EQUIVALENT INPUT NOISE AT V_V1 = 6.436E-09 V/RT HZ
```

3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

■ 3.8.1 功能

- 瞬态特性分析的目的在于给定输入激励信号作用下，计算电路输出端的瞬态响应。进行瞬态分析时，首先计算 $t=0$ 时的电路初始状态，然后从 $t=0$ 到某一给定的时间范围内选取一定的时间步长，计算输出端在不同时刻的输出电平。
- 瞬态分析结果自动存入DAT文件，可以用PROBE模块分析显示信号波形。
- 如果要将结果存入OUT文件，必须利用VPRINT，VPLOT或IPRINT，IPLOT
- 在瞬态分析中，输入激励信号的波形可以采用脉冲信号、分段线性信号、正弦调幅信号、调频信号和指数信号5种不同形式的波形。
- 瞬态分析又称为TRAN分析

3.8 瞬态特性 Analysis)



■ 3.8.2 瞬态分析中的参数设置

■ 1. 瞬态特性分析参数设置

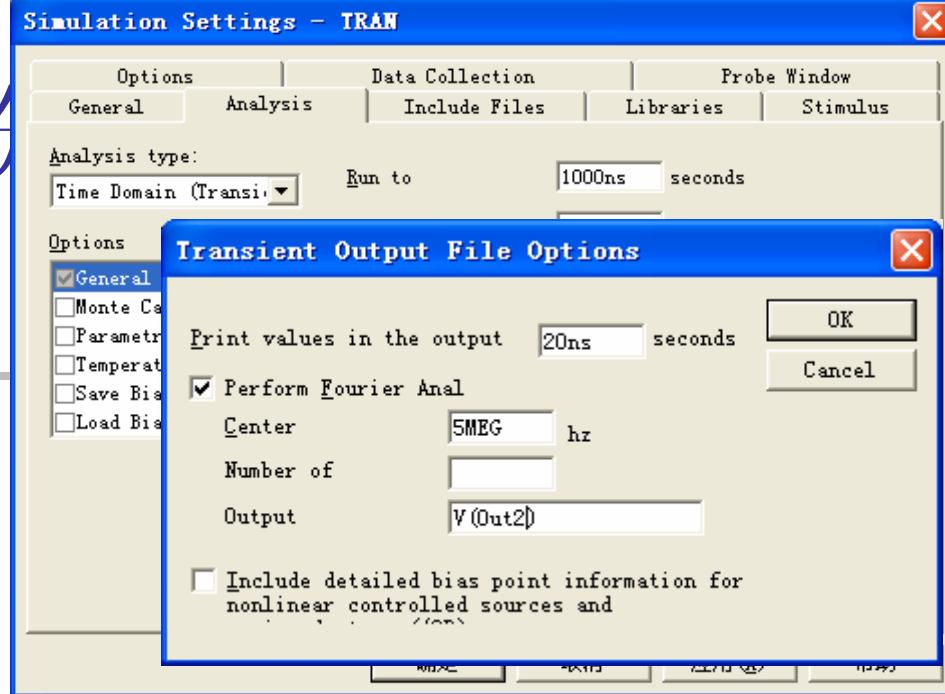
- (1) 终止时间设置：瞬态分析总是从 $t=0$ 开始进行，Run to 一项用于设置终止分析的时间。
- (2) 起始输出时间设置：如果不需要从 $t=0$ 开始以后一段时间的数据，可以在Start Saving data项设置需要输出数据的起始时间。如图所示，设置，瞬态分析后只输出从 $t=200\text{ns}$ 到 $t=1000\text{ns}$ 之间的分析结果。
- (3) 分析时间步长设置：根据用户设置的终止时间，PSpice具有自动调节分析时间步长的功能，以兼顾分析精度和需要的计算时间。如果用户对分析时间步长有一定要求，可以在图中的Maximum step项设置用户允许采用的最大步长。在瞬态分析时PSpice首先比较该项设置值和（终止时间/50）两者的大小，整个瞬态分析全过程中采用的时间步长将不会超过这两个量中的小者。
- (4) 初始状态设置：若选中Skip the initial transient bias point calculation，则瞬态分析时将跳过初始偏置点的计算，这时偏置条件完全由电容、电感等元器件的初始条件确定。

3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

3.8.2 瞬态分析中的参数设置

2. 控制输出文件内容的参数设置

- 在图中点击Output File Options按钮，屏幕上出现输出文件设置对话框，用于设置输出到OUT文件中的数据内容。
 - (1) 输出数据的时间步长：图中Print values in the output一项用于确定输出瞬态分析结果数据时的时间步长。
 - (2) 偏置点信息的输出控制：图中最底部的一项用于控制偏置信息的输出。若该项处于选中状态，则与偏置点有关的信息将全部输出，包括所有偏置点处的小信号参数；否则只输出与瞬态分析有关的参数，即各节点的电位。
 - (3) 傅里叶分析参数设置：下节介绍。



3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

■ 3.8.2 瞬态分析中的参数设置

- 在差分对电路中，将电源V1删除，再加入类型为VSIN（source库）的正弦信号激励源，参数设置如下：

PCB Footprint	FREQ	VAMPL	VOFF	Name	Part Refere
	5MEG	0.1V	0	/01199	V1

- 然后运行，出现PSpice窗口。
- 由于输入信号比较小，而输出信号比较大，为了清楚反映两个幅度差别比较大信号，我们使用两个Y轴显示信号波形：
 - 首先利用PROBE将第一个信号显示在窗口中，我们首先显示V(V1:+)。
 - 然后执行Plot/Add Y Axis，屏幕上将出现标号为2的第二根Y坐标轴，原来的Y轴自动标为1号。
 - 添加第二个信号，我们添加V(Out2)。

Capture CIS - [/ - (SCHEMATIC1 : PAGE1)]

File Edit View Place Macro PSpice Accessories Options Window Help

VSTIM

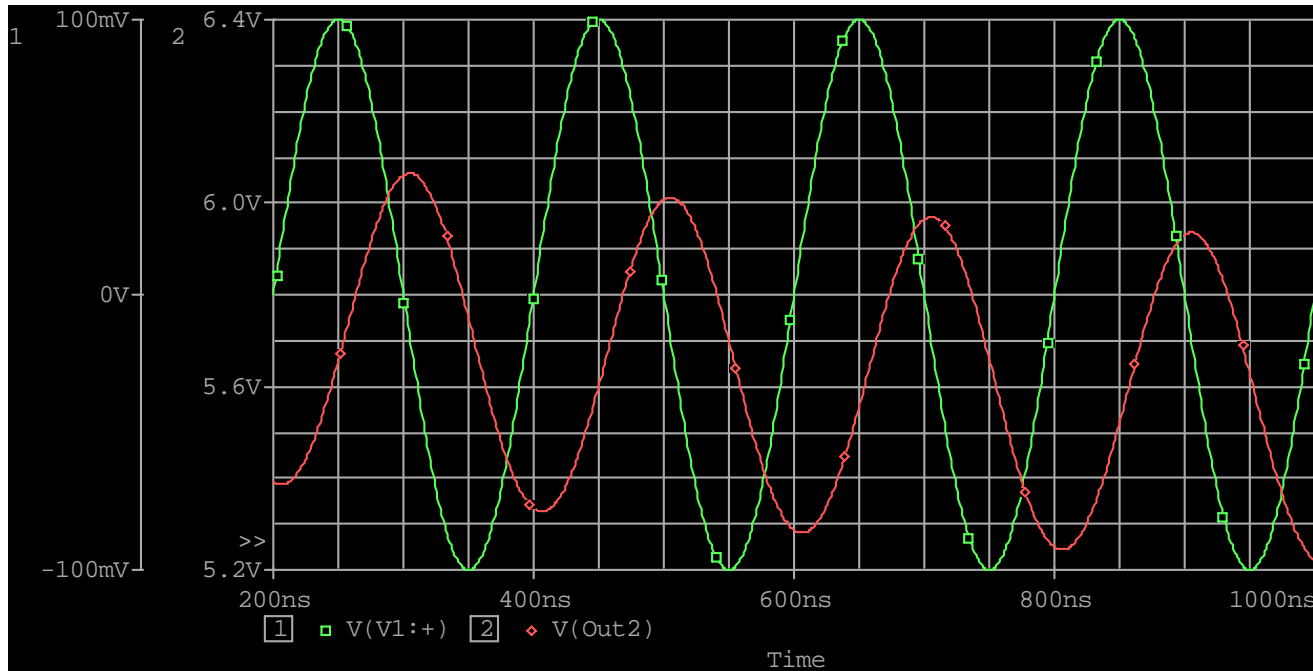
SCHEMATIC1-TRAN

Enable Bias Voltage Display.

Enable display of bias voltages. 0 items selected

Scale=100% X=4.10 Y=0.00

3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)



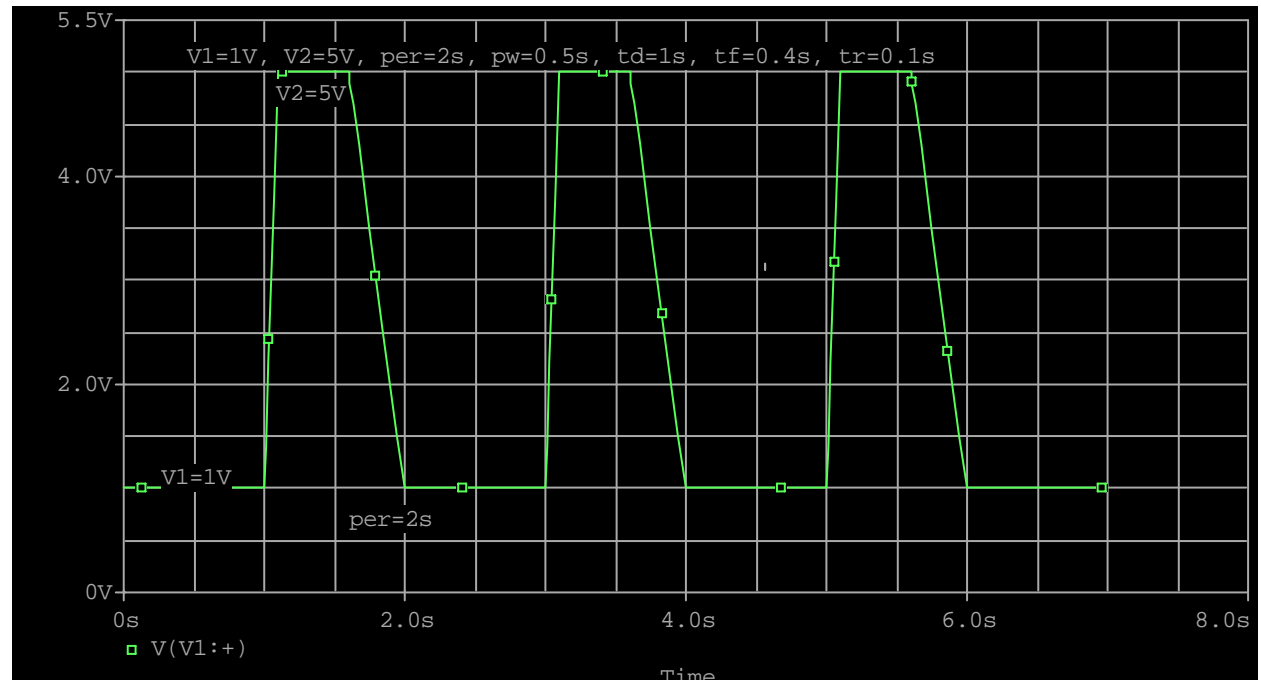
3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

3.8.3 用于瞬态分析的五种激励信号

PSpice软件为瞬态分析提供了5种激励信号波形。下面介绍这5种信号的波形特点和描述该信号波形时涉及到的参数。其中电平参数针对的是独立的电压源；对独立的电流源，只需要将字母V改为I，其单位由伏特改为安培。

1. 脉冲信号 (Pulse)

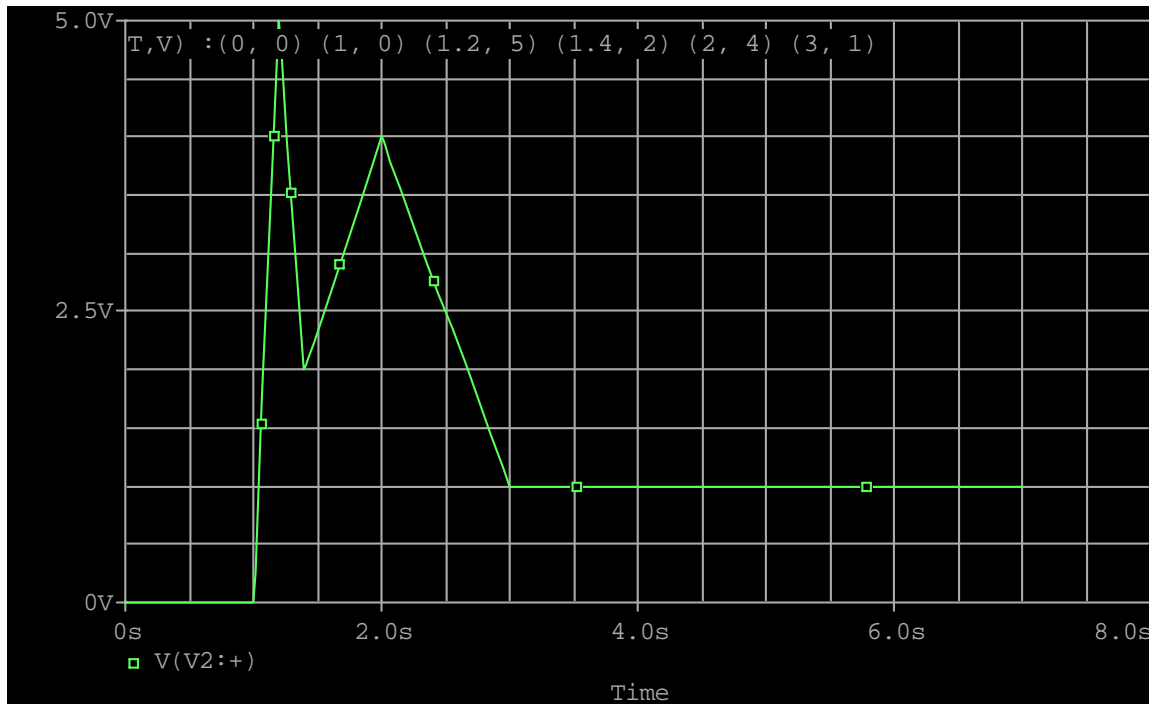
PER	TD	TF	TR	V1	V2	Value
2s	1s	0.4s	0.1s	1V	5V	VPULSE



3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

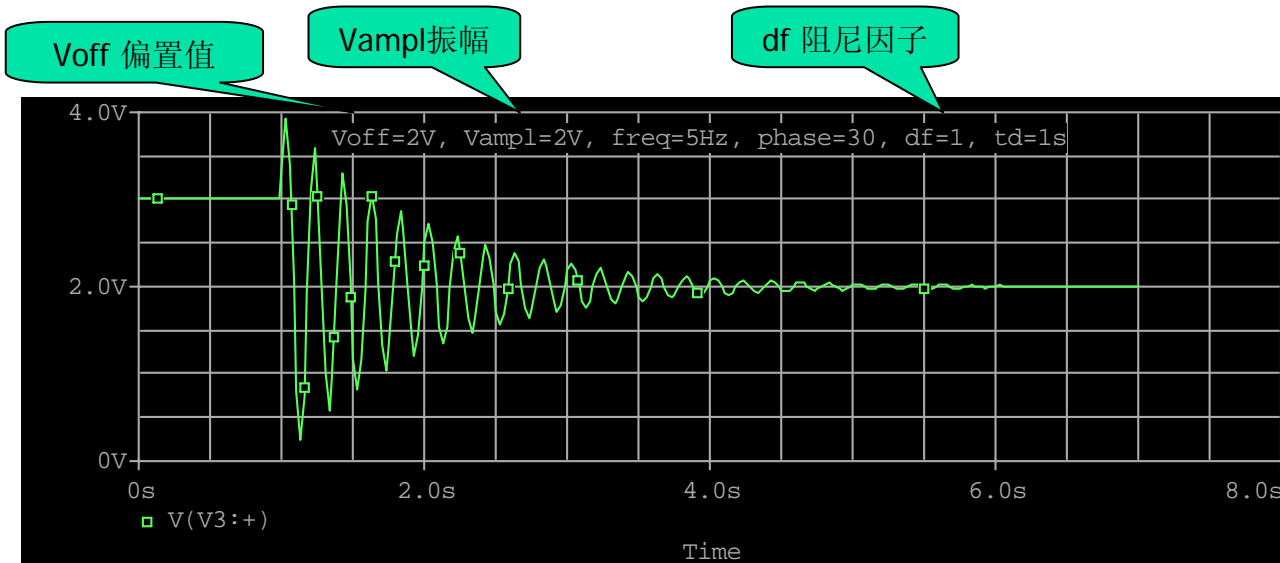
- 3.8.3 用于瞬态分析的激励信号
 - 2. 分段线性信号PWL (Piece-Wise Linear)

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
0	1	1.2	1.4	2	3			0	0	5	2	4	1		



3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

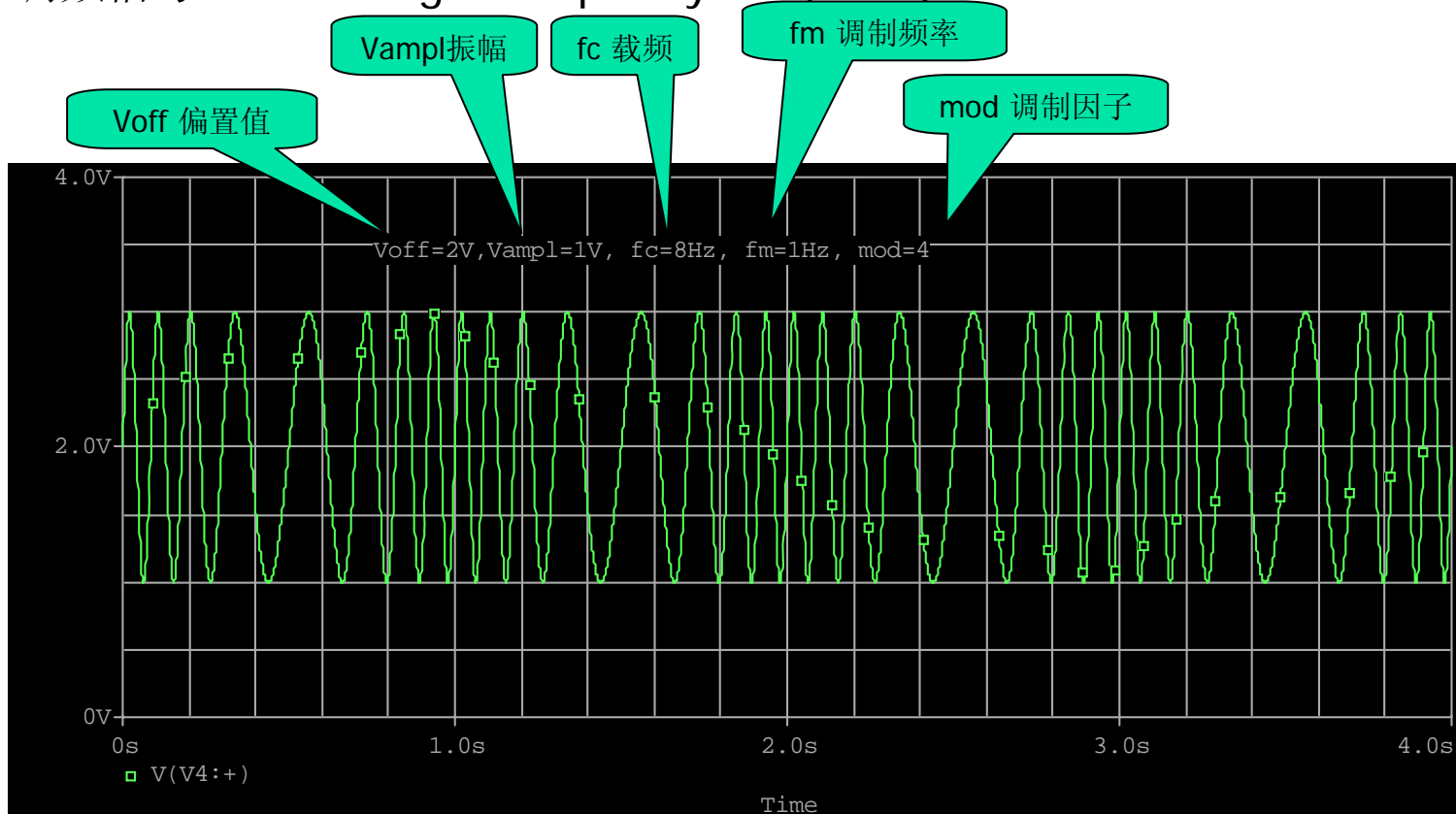
- 3.8.3 用于瞬态分析的五种激励信号
 - 3. 调幅正弦信号SIN (Sinusoidal Waveform)



3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

3.8.3 用于瞬态分析的五种激励信号

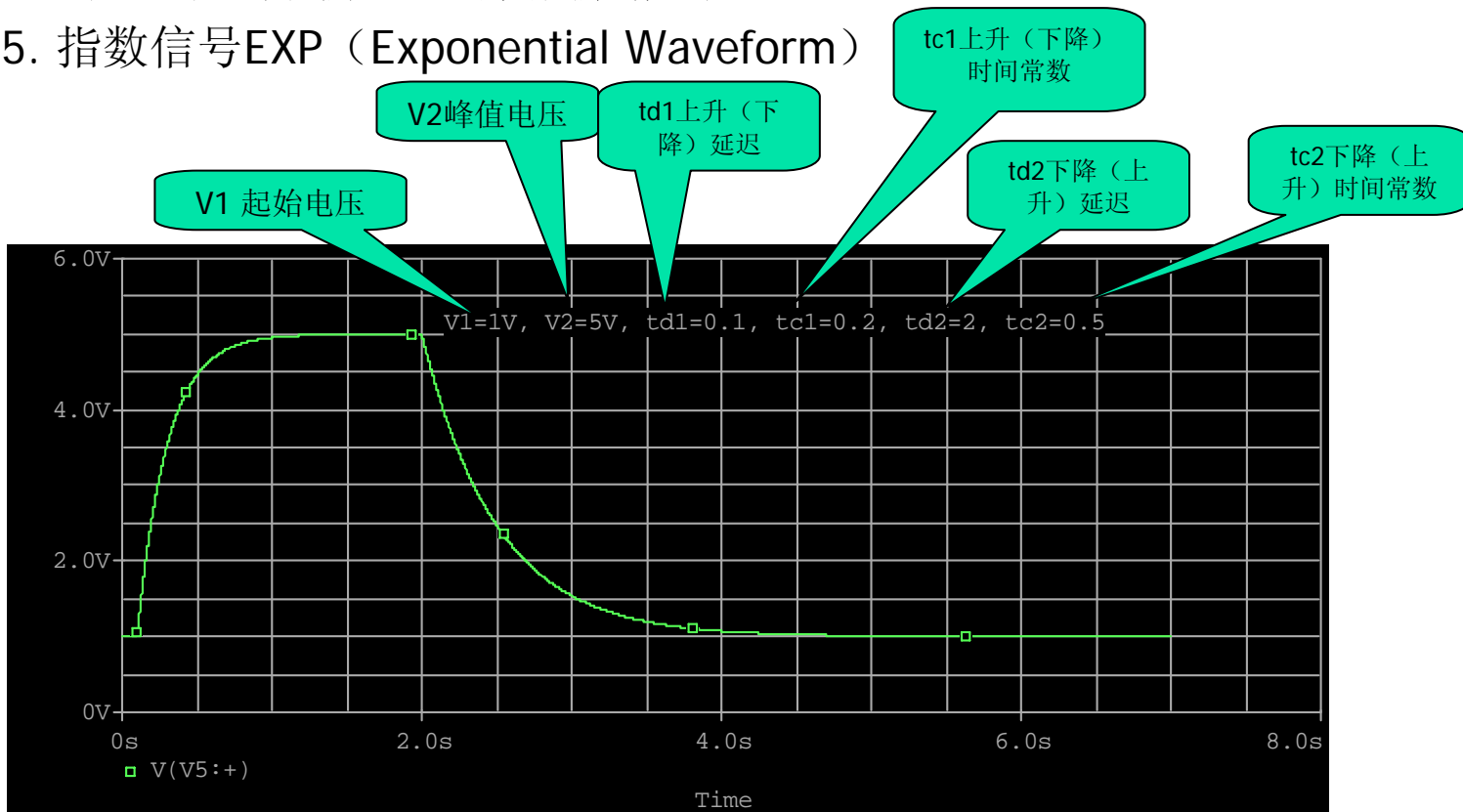
4. 调频信号SFFM (Single-Frequency Frequency-Modulated)



3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

3.8.3 用于瞬态分析的五种激励信号

5. 指数信号EXP (Exponential Waveform)

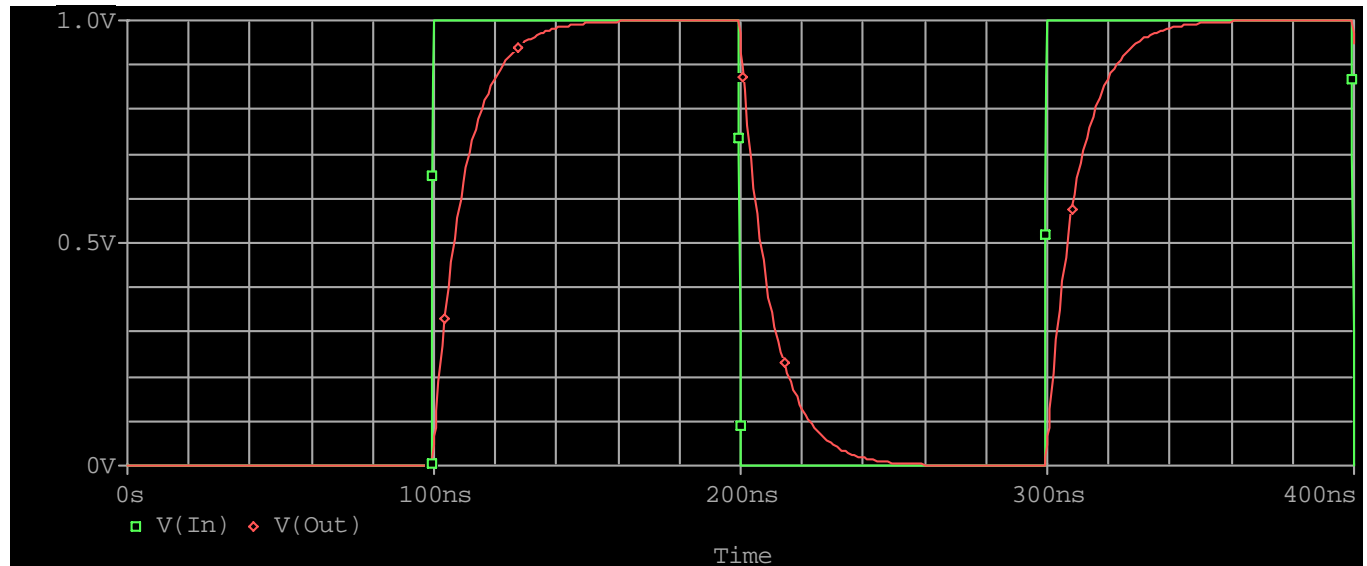
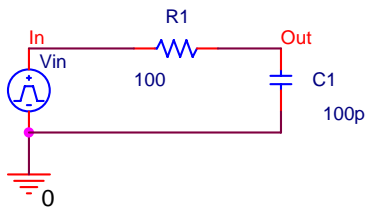


3.8 瞬态特性分析 (Transient Analysis)

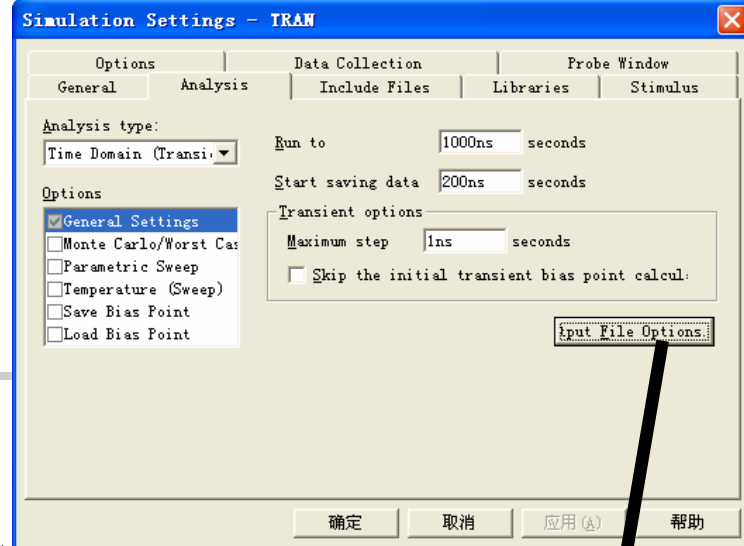
3.8.4 例：RC充放电电路瞬态分析

分析一简单RC电路在脉冲信号作用下的输出瞬态响应。

- 输入脉冲参数为：v1=0v, v2=1v, td=99ns, tr=1ns, tf=1ns, pw=99ns, per=200ns。
- 瞬态分析参数设置为：Print step=1ns, Final time=400ns。



3.9 傅立叶分析

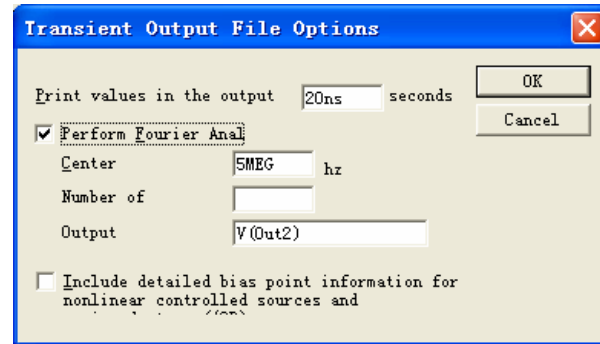


3.9.1 功能

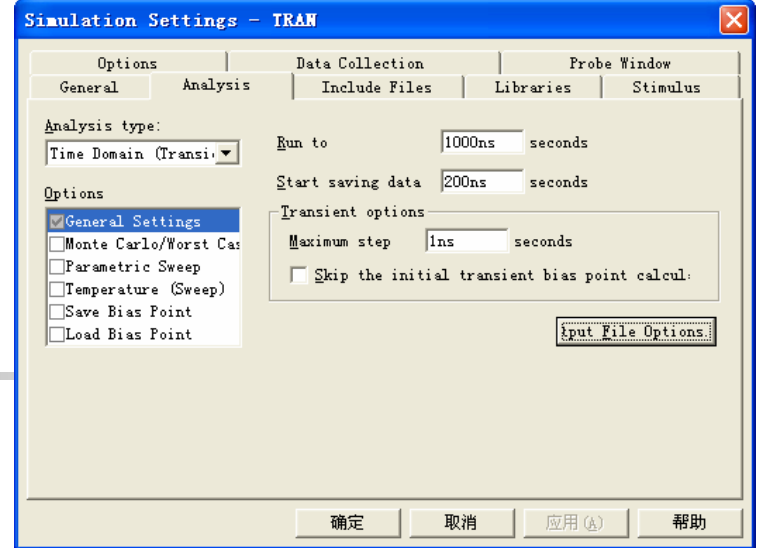
- 通过傅立叶分析计算瞬态分析结果波形的直流、基波和各次谐波分量。
- 只有瞬态分析以后才能进行傅立叶分析。

3.9.2 傅立叶分析中的参数设置

- Center: 基波频率
- Number of: 确定傅立叶分析时要计算多少次谐波。
- Output: 确定傅立叶分析的输出变量名



3.9 傅立叶分析



FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(OUT2)

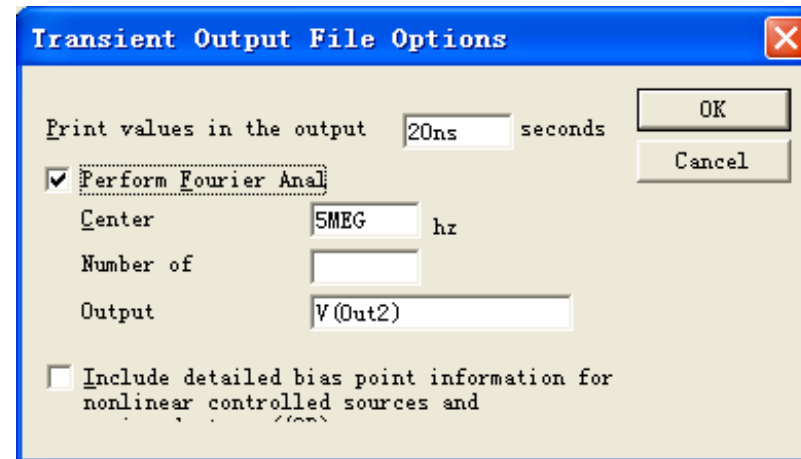
DC COMPONENT = 5.578880E+00

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+06	3.509E-01	1.000E+00	-9.844E+01	0.000E+00
2	1.000E+07	8.196E-03	2.336E-02	3.431E+01	1.328E+02
3	1.500E+07	2.943E-03	8.388E-03	2.006E+00	1.004E+02
4	2.000E+07	2.342E-03	6.674E-03	7.993E+00	1.064E+02
5	2.500E+07	1.882E-03	5.364E-03	9.114E+00	1.076E+02
6	3.000E+07	1.570E-03	4.476E-03	1.095E+01	1.094E+02
7	3.500E+07	1.349E-03	3.844E-03	1.248E+01	1.109E+02
8	4.000E+07	1.184E-03	3.375E-03	1.440E+01	1.128E+02
9	4.500E+07	1.054E-03	3.004E-03	1.616E+01	1.146E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.728594E+00 PERCENT

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .19







3.10 输入激励信号波形的设置
