

Cadence/OrCAD/PSpice_AD

模拟仿真

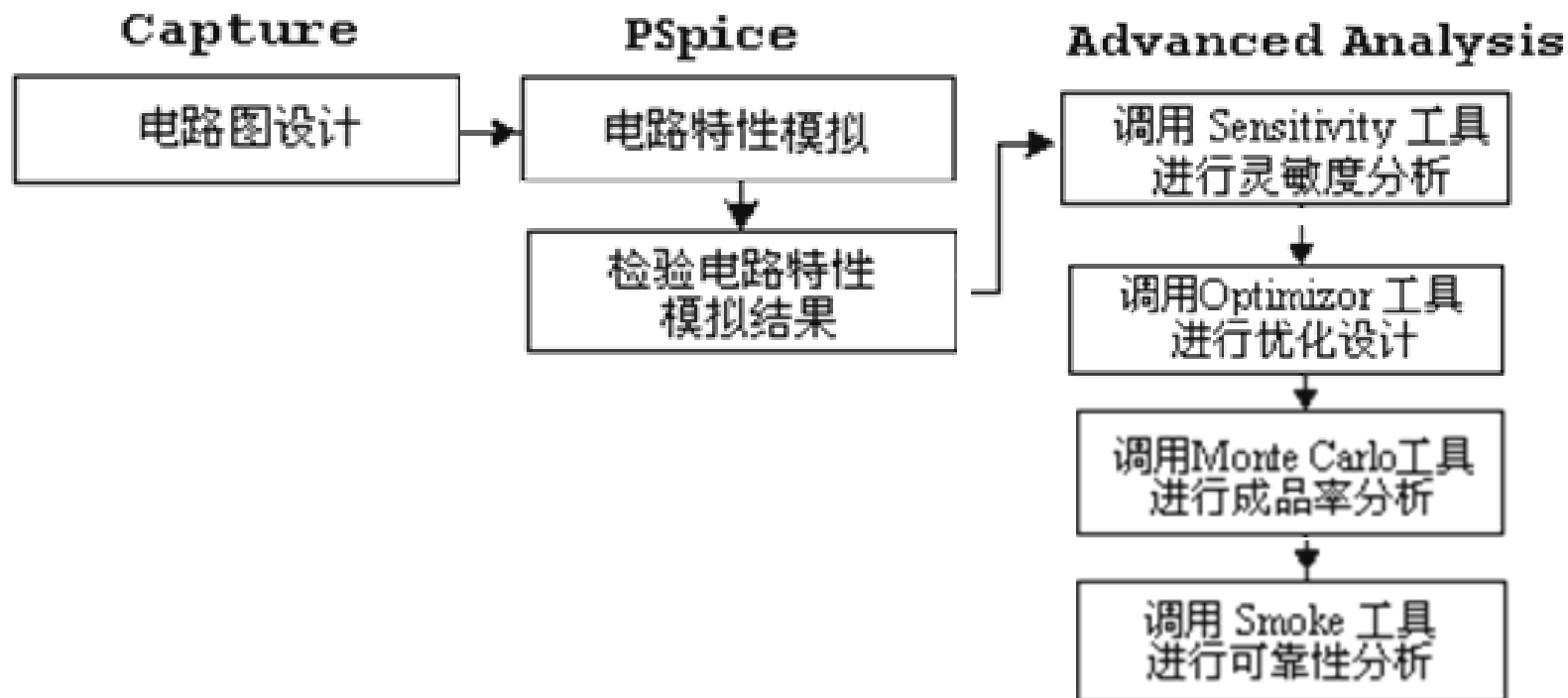
贾新章

(2010.5)

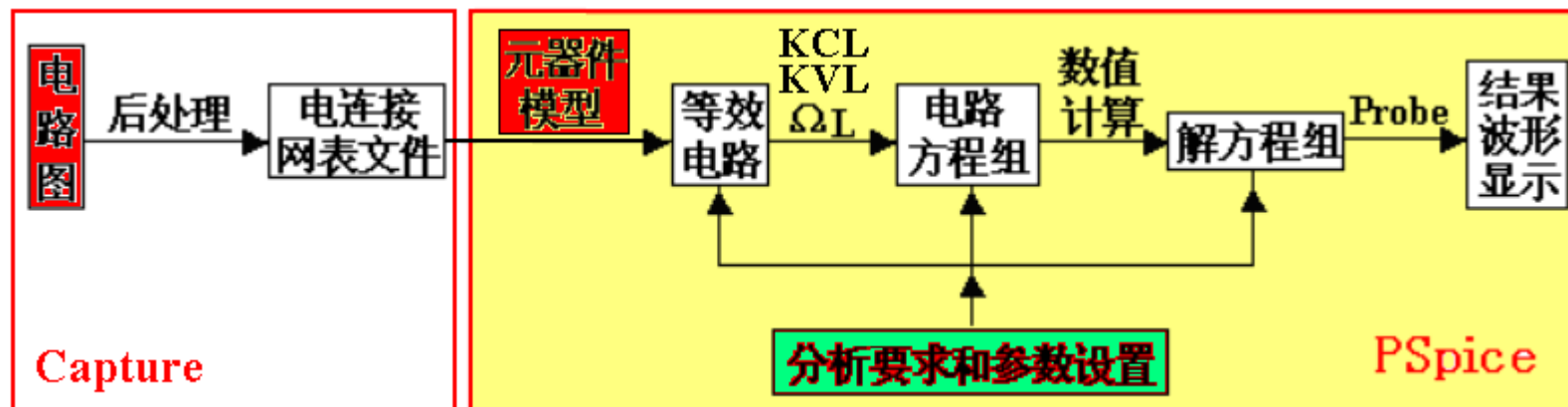
引言：PSpice软件的发展

- Berkley:** 1972 首次推出SPICE
(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
1975 SPICE实用版(博士论文)
免费推广使用。
1982 发展为电路模拟的“标准”软件。
开始有偿使用。
- MicroSim:** 1983 用于PC机的PSpice1 (对应SPICE2G5版本)
- OrCAD:** 1998 MicroSim并入OrCAD，推出OrCAD/ PSpice8
- Cadence:** 2000 OrCAD并入Cadence，推出PSpice9.2
2003 OrCAD/PSpice10
增加“Advanced Analysis”高级分析功能。
2005 增加与MatLab的接口SLPS
2009 版本16.3

PSpice 16基本功能



电路模拟软件PSpice工作原理



一个电路能否用PSpice仿真，取决于3个条件：

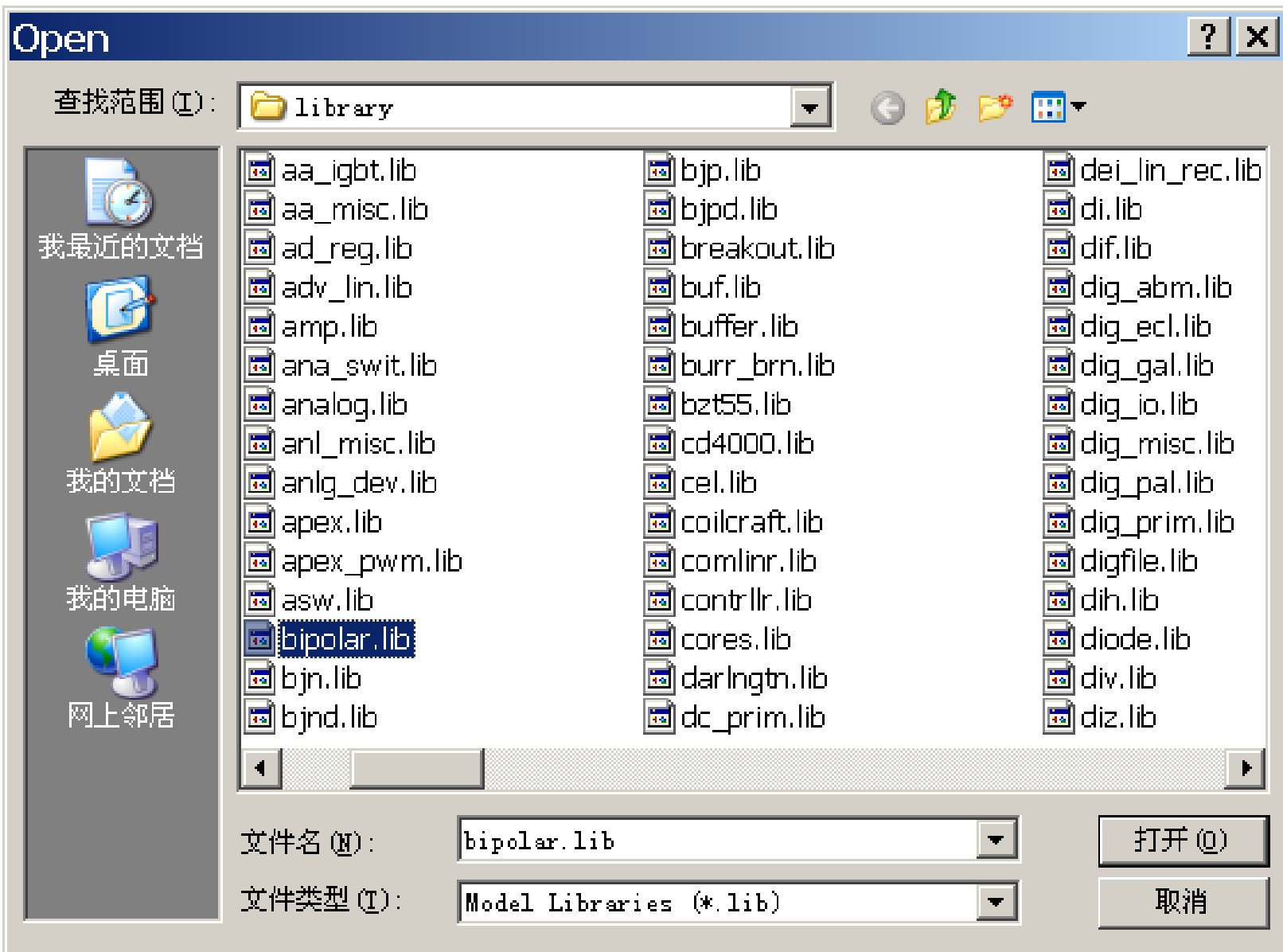
(1) 电路中的元器件必须有相应的模型和模型参数描述。

PSpice支持的器件模型

PSpice提供的模型库中包括有**20**多类共**3**万多个商品化的器件模型参数，存放在**100**多个模型参数库中，供用户选用。

表 1 PSpice 支持的模型

元器件类型	模型类型名称	模型描述类型	符号编号字母
Bipolar transistor: LPNP	LPNP	.MODEL	Q
Bipolar transistor: NPN	NPN	.MODEL	Q
Bipolar transistor: PNP	PNP	.MODEL	Q
Capacitor*	CAP	.MODEL	C
Darlington: N-channel (NDAR)		.SUBCKT	U
Darlington: P-channel (PDAR)		.SUBCKT	U
Diode	D	.MODEL	D
GaAsFET*	GASFET	.MODEL	B
IGBT: N-channel	NIGBT	.MODEL	Z
Inductor*	IND	.MODEL	L
JFET: N-channel	NJF	.MODEL	J
JFET: P-channel	PJF	.MODEL	J
Magnetic core	CORE	.MODEL	K
MOSFET: N-channel	NMOS	.MODEL	M
MOSFET: P-channel	PMOS	.MODEL	M
OPAMP: 5-pin : (OPAMP5)		.SUBCKT	U
OPAMP: 7-pin : (OPAMP7)		.SUBCKT	U
Resistor*	RES	.MODEL	R
Switch: voltage-controlled*	VSWITCH	.MODEL	S
Transmission line*	TRN	.MODEL	T
Voltage comparator : (VCOMP)		.SUBCKT	U
Voltage comparator: 6 pin (VCOMP6)		.SUBCKT	U
Voltage reference : (VREF)		.SUBCKT	U
Voltage regulator : (VREG)		.SUBCKT	U



PSpice支持的器件模型

PSpice提供的模型库中包括有20多类共3万多个商品化的器件模型参数，存放在100多个模型参数库中，供选用。

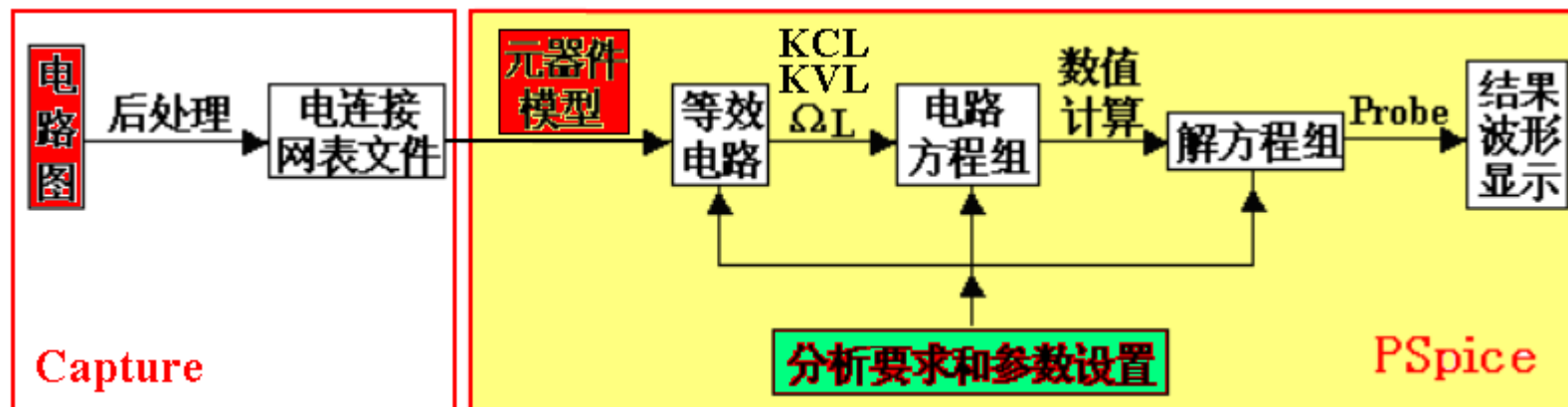
如果电路中采用了尚未包含在模型库中的元器件，PSpice提供三种建立模型和提取模型参数的方法，供用户选用。

(1) 对于晶体管一类器件，可以调用Model Editor模块以及高级分析中的Optimizer模块，提取模型参数。

(2) 对于集成电路，可以调用Model Editor模块建立宏模型，描述该集成电路功能。

(3) 对于特殊器件（如光耦器件），可以调用ABM（Analog Behavioral Modeling），建立描述该器件功能的“黑匣子”模型，满足电路模拟仿真的要求。

电路模拟软件PSpice工作原理



一个电路能否用PSpice仿真，取决于3个条件：

- (1) 电路中的元器件必须有相应的模型和模型参数描述。
- (2) 电路中的分布参数必须采用集总参数元件描述。
- (3) 电路的规模只受到计算机资源制约。

电路模拟分析的基本步骤

完成电路模拟包括三个阶段工作：

1. 调用**Capture**绘制电路图。
2. 调用**PSpice**对绘制的电路图进行模拟仿真。
3. 调用**Probe**模块查看、分析模拟结果。

涉及到三种模块工具。

下面结合不同类型的模拟功能，综合介绍Pspice和Probe工具的使用。

第三章 基本电路特性分析

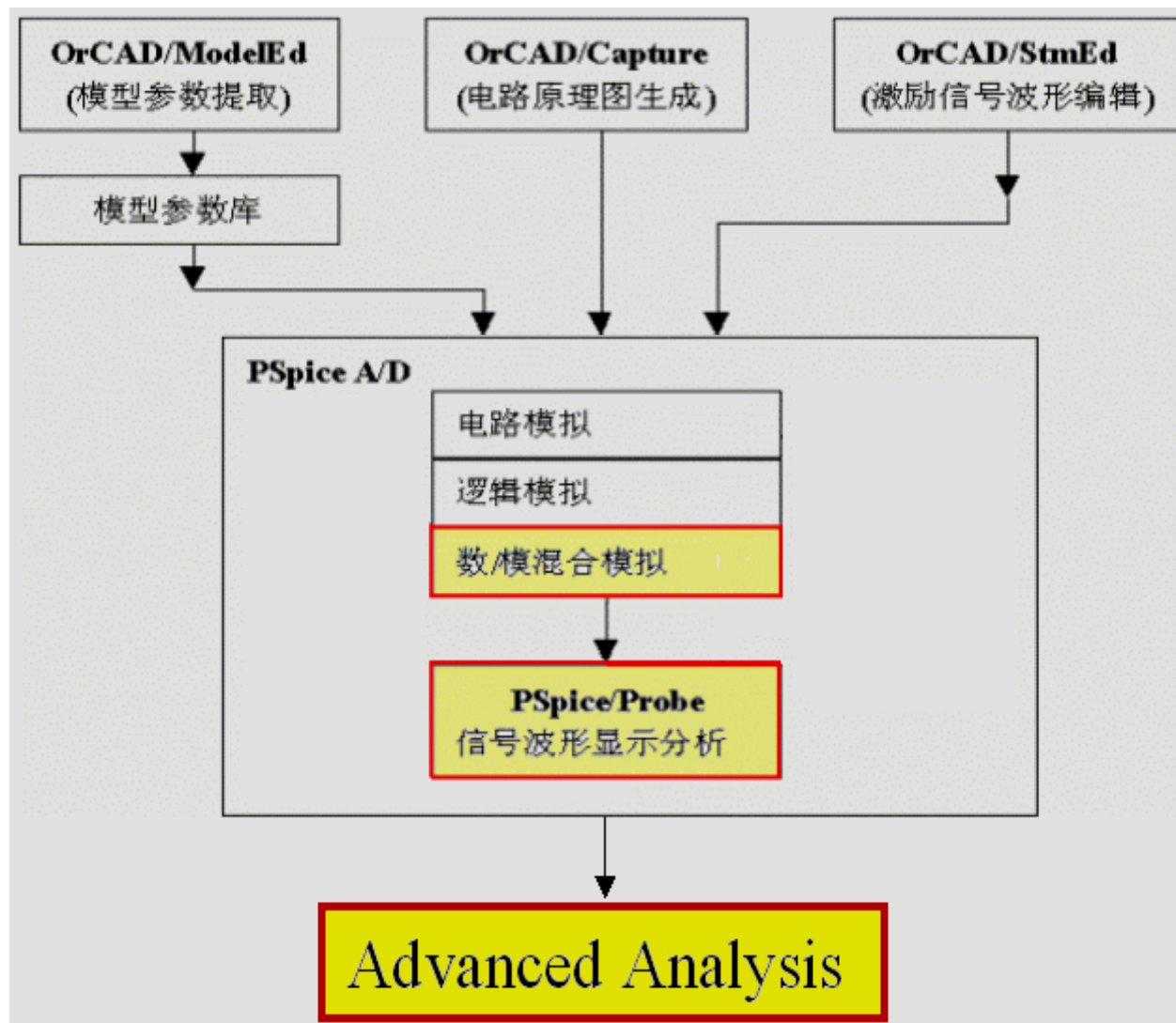
3-1 概述

3-2 电路模拟分析的步骤

3-3 基本电路特性分析参数的设置

3-4 电路特性分析中的信号源

PSpice 软件构成



Pspice软件的功能

1. 基本功能 - 对电子线路进行各种模拟分析
2. 电路特性参数分析 - 对模拟结果的分析处理
3. 高级分析功能
4. 元器件符号库和模型参数库的编辑修改

PSpice的模拟分析功能

基本特性分析	直流特性	(1)直流工作点(Bias Point Detail)
		(2)直流特性扫描(DC Sweep)
		(3)直流传输特性(TF: Transfer Function)
		(4)直流灵敏度(DC Sensitivity)
	交流特性	(1)交流小信号频率特性(AC Sweep)
		(2)噪声特性(Noise)
	瞬态特性	(1)瞬态响应(Transient Analysis)
		(2)傅立叶分析(Fourier Analysis)
参数扫描	(1)温度特性(Temperature Analysis)	
	(2)参数扫描(Parametric Analysis)	
统计分析	(1)蒙特卡诺分析(MC: Monte Carlo)	
	(2)最坏情况分析(WC: Worst Case)	
逻辑模拟	(1)逻辑模拟(Digital Simulation)	
	(2)数/模混合模拟(Mixed A/D Simulation)	
	(3)最坏情况时序分析(Worst-case timing Analysis)	

PSpice A/D 支持的元器件类别及其字母代号 (按字母顺序)

字母代号	元器件类别	字母代号	元器件类别
B	<u>GaAs</u> 场效应晶体管	N	数字输入
C	电容	O	数字输出
D	二极管	Q	双极晶体管
E	受电压控制的电压源	R	电阻
F	受电流控制的电流源	S	电压控制开关
G	受电压控制的电流源	T	传输线
H	受电流控制的电压源	U	数字电路单元
I	独立电流源	U STIM	数字电路激励信号源
J	结型场效应晶体管(JFET)	V	独立电压源
K	互感(磁芯), 传输线耦合	W	电流控制开关
L	电感	X	单元子电路调用
M	MOS 场效应晶体管(MOSFET)	Z	绝缘栅双极晶体管(IGBT)

Pspice模拟分析中可采用的信号源

1.直流源

2.标准交流信号

3.瞬态分析用信号

(包括: 脉冲源、
分段线性源、
正弦调幅信号、
正弦调频信号、
指数信号共5种)。

4.时钟信号

5.一般脉冲信号源

6.总线信号 (可以是2位、4位、8位、16位和32位共5种)。

Pspice软件的功能

1. 基本功能 - 对电子线路进行各种模拟分析
2. 电路特性参数分析 - 对模拟结果的分析处理
3. 高级分析功能
4. 元器件符号库和模型参数库的编辑修改

电路特性参数分析 - 对模拟结果的分析处理

PSpice模拟分析的直接结果是节点电压和支路电流，但结合利用Pspice/Probe模块的功能，不但可以像示波器那样直接显示电压和电流波形以及对波形进行数学处理，还具有下述三项分析功能：

(1) 电路特性参数的提取：调用软件提供的多种“**Measurement**”函数，可以从波形中提取出表征电路特性的参数，例如增益、带宽、中心频率、上升时间等等。用户还可以根据需要，遵循规定的格式，自行编写可以提取特定参数的“**Measurement**”函数。

以前版本中将“**Measurement**”函数称为“**Goal Function**”。

(2) 电路性能分析：Probe模块具有**Performance Analysis**功能，可以定量分析电路特性随元器件参数的变化关系，有利于改进电路设计。这是一种面向设计的功能。

(3) 电路特性参数分布的**直方图统计**：根据设计好的电路进行实际生产时，由于采用的元器件参数具有分散性，必然引起产品电特性的分散。在Probe中可以用直方图显示产品性能的分布。

这是一种面向生产的设计，又称为成品率分析、可制造性设计。

Pspice软件的功能

1. 基本功能 - 对电子线路进行各种模拟分析
2. 电路特性参数分析 - 对模拟结果的分析处理
3. 高级分析功能
4. 元器件符号库和模型参数库的编辑修改

几点说明

模拟分析的结果是节点电压和支路电流，但可以转换为电路特性参数，进而进行优化设计。

不同版本中节点表示方法不同，输出变量表示格式不完全相同。

单位采用工程单位制，使用中可省略。

数字采用科学表示方法并且可以采用比例因子(注意：**M**代表“毫”、**MEG**代表“兆”)。

PSpice应用中最重要的一個概念

Simulation Profile

(1) PSpice中的各种分析功能分为基本分析功能和选项分析功能两类。

基本分析功能分为4组，对应4种分析类型：

Bias Points

DC Sweep

AC Sweep/Noise

Time Domain

基本特性分析	直流特性	(1)直流工作点(Bias Point Detail)
		(2)直流特性扫描(DC Sweep)
		(3)直流传输特性(TF: Transfer Function)
		(4)直流灵敏度(DC Sensitivity)
	交流特性	(1)交流小信号频率特性(AC Sweep)
		(2)噪声特性(Noise)
	瞬态特性	(1)瞬态响应(Transient Analysis)
		(2)傅立叶分析(Fourier Analysis)
参数扫描	(1)温度特性(Temperature Analysis)	
	(2)参数扫描(Parametric Analysis)	
统计分析	(1)蒙特卡诺分析(MC: Monte Carlo)	
	(2)最坏情况分析(WC: Worst Case)	
逻辑模拟	(1)逻辑模拟(Digital Simulation)	
	(2)数/模混合模拟(Mixed A/D Simulation)	
	(3)最坏情况时序分析(Worst-case timing Analysis)	

模拟类型分组及每组包括的分析功能

分组	Bias Point	DC Sweep	AC Sweep/Noise	Time Domain
基本特性分析	OP TF SENS	DC	AC NOISE	TRAN FOUR
选项特性分析	Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point			
		Parametric Sweep Monte Carlo/Worst Case		

PSpice应用中最重要的一个概念

Simulation Profile

(2) 进行模拟分析时，一次只能进行一种类型的功能分析，包括基本功能分析和相应的选项分析。

由此引入**Simulation Profile**的概念。一个**Simulation Profile**的设置包括名称、进行哪几种功能分析、以及每种分析的具体要求。

(3) 对同一个电路，可以建立多个**Simulation Profile**。而且不同**Simulation Profile**中的分析类型可以相同，当然，分析要求不会相同。

(4) 模拟分析时只能针对一个**Simulation Profile**的要求进行。每个**Simulation Profile**的设置以及分析结果单独存放。

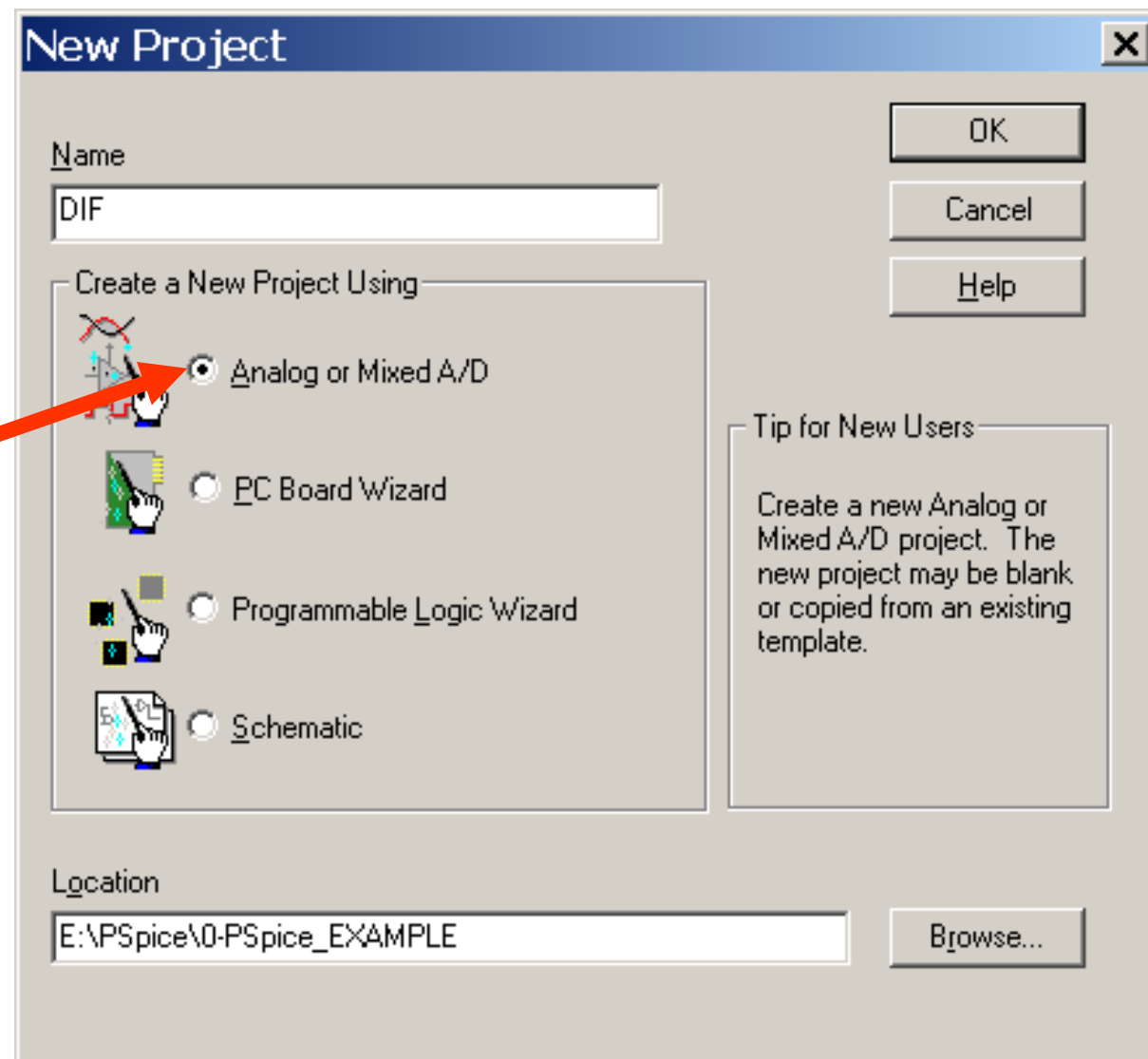
(5) 同一个电路的多个**Simulation Profile**由项目管理器管理。

3-2 电路模拟分析的步骤

3-2-1 电路模拟分析的基本步骤

1. 新建适合于电路模拟的Project。

执行File/New/Project命令



3-2 电路模拟分析的步骤

3-2-1 电路模拟分析的基本步骤

1. 新建适合于电路模拟的Project。
2. 绘制电路图，包括设置元器件参数。
3. **Simulation Profile 设置。**
 - (1) 执行PSpice/New Simulation Profile命令。
 - (2) 给Simulation Profile确定一个名称。
 - (3) **设置Simulation Profile参数。**
4. 执行PSpice/Run命令，启动模拟进程。
5. 调用Probe模块，显示、**分析模拟结果。**

3-3 基本电路特性分析参数的设置

3-3-1 直流工作点分析参数设置

3-3-2 直流特性分析参数设置

3-3-3 交流小信号特性分析参数设置

3-3-4 瞬态特性分析参数设置

3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

设置模拟类型分组和电路特性分析参数

模拟类型分组共有4类(**Analysis type**)。

每一个分组中包括有基本特性分析(**General Settings**)和其他几种特性分析(**Options**)。

模拟类型分组及每组包括的分析功能

分组	Bias Point	DC Sweep	AC Sweep/Noise	Time Domain
基本特性分析	OP TF SENS	DC	AC NOISE	TRAN FOUR
选项特性分析	Temperature (Sweep) Save Bias Point Load Bias Point			
		Parametric Sweep Monte Carlo/Worst Case		

分组中基本特性分析必须进行，用户可以选定要包括哪几种任选项特性分析。

设置模拟类型分组和电路特性分析参数

对选中的每一种特性分析类型，需设置相应的特性分析参数，这是在电路模拟过程中需由用户进行的主要工作。

设置模拟类型分组和电路特性分析参数

Simulation Settings - ac

General Analysis Configuration Files Options Data Collection Probe Window

Analysis type:
AC Sweep/Noise

Options

- ☒ General Settings
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

AC Sweep Type

☐ Linear ☒ Logarithmic

Decade

Start Frequency: 1k

End Frequency: 1G

Points/Decade: 10

Noise Analysis

☐ Enabled

Output Voltage: V(OUT2)

I/V Source: V1

Interval: 30

Output File Options

☐ Include detailed bias point information for nonlinear controlled sources and semiconductors (.OP)

确定 取消 应用 (A) 帮助

3-3 基本电路特性分析参数的设置

对模拟电路共有8种基本电路特性分析。

基本特性分析	直流特性	(1)直流工作点(Bias Point Detail)
		(2)直流特性扫描(DC Sweep)
		(3)直流传输特性(TF: Transfer Function)
		(4)直流灵敏度(DC Sensitivity)
	交流特性	(1)交流小信号频率特性(AC Sweep)
		(2)噪声特性(Noise)
	瞬态特性	(1)瞬态响应(Transient Analysis)
		(2)傅立叶分析(Fourier Analysis)
参数扫描	(1)温度特性(Temperature Analysis)	
	(2)参数扫描(Parametric Analysis)	
统计分析	(1)蒙特卡诺分析(MC: Monte Carlo)	
	(2)最坏情况分析(WC: Worst Case)	
逻辑模拟	(1)逻辑模拟(Digital Simulation)	
	(2)数/模混合模拟(Mixed A/D Simulation)	
	(3)最坏情况时序分析(Worst-case timing Analysis)	

3-3 基本电路特性分析参数的设置

对模拟电路共有8种基本电路特性分析。

对每种电路特性分析应明确下面4个问题：

- (1)这种特性分析的功能是什么。
- (2)进行这种特性分析需设置哪些参数。
- (3)特性分析结果以什么方式输出。

默认状态下,若分析结果中没有波形或变化量,则结果存放在 .OUT文本输出文件中,否则存入.DAT二进制文件,需调用后处理模块PROBE显示结果波形。如果需要,也可通过设置,将波形数据同时存入.OUT输出文件中。

- (4)与这种特性分析有关的注意事项和容易出错的问题。

3-3 基本电路特性分析参数的设置

1. **直流工作点分析 (Bias Point Detail)**: 计算电路的直流工作状态, 并给出非线性器件的工作点和线性化参数。

2. **直流灵敏度分析 (DC Sensitivity)**: 分析节点直流电压对电阻、独立源、控制开关、二极管、双极晶体管参数的灵敏度。

高级分析中对灵敏度分析作了较大扩展。

3. **直流传输特性分析 (Transfer Function)**: 将电路在直流工作点处作线性化处理, 计算下述3个参数:

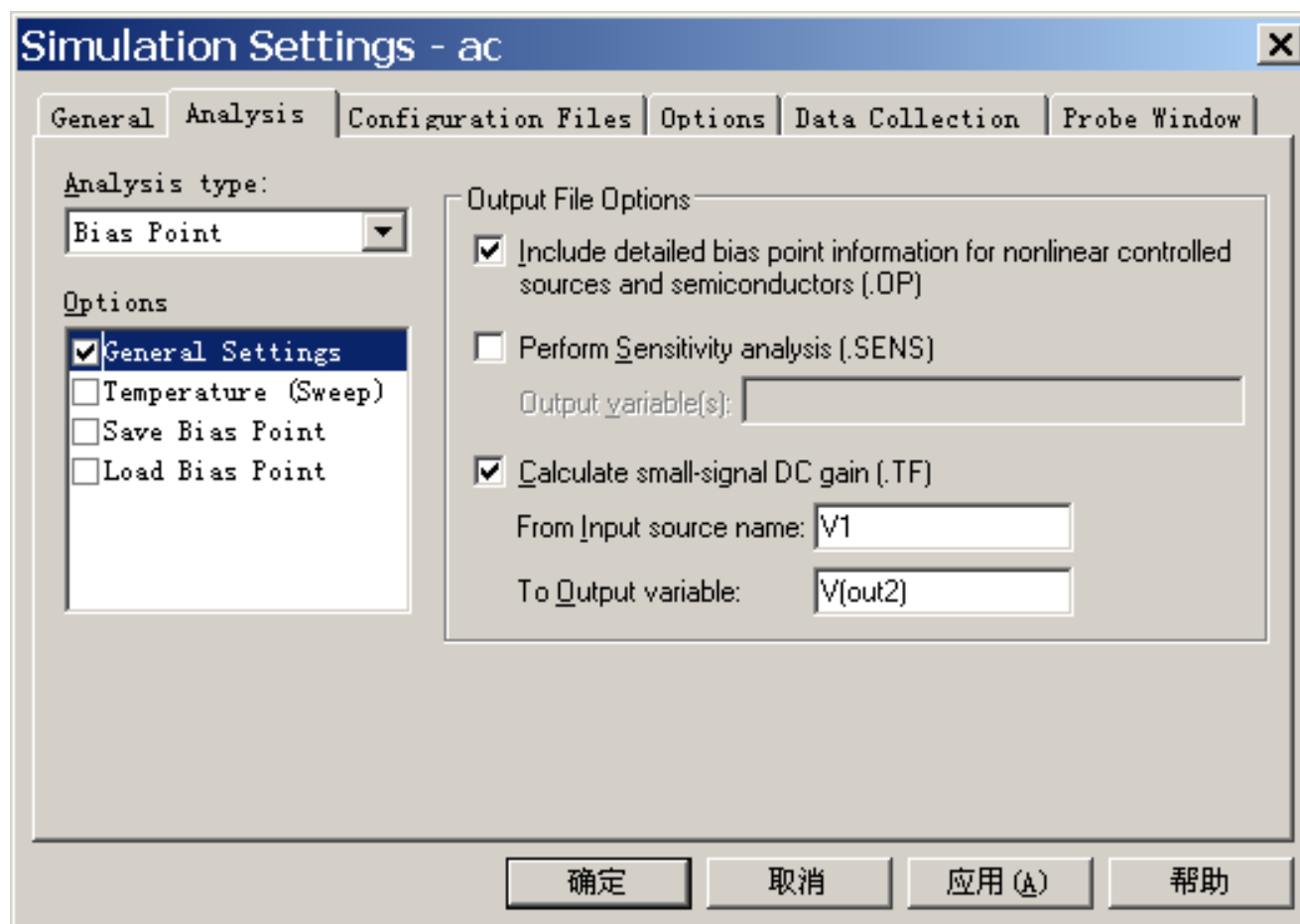
输出端和输入端直流电压之比

输入电阻

输出电阻

3-3-1 直流工作点分析参数设置

1. 直流工作点分析 (Bias Point Detail)
2. 直流灵敏度分析 (DC Sensitivity)
3. 直流传输特性分析 (Transfer Function)



**** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27DEG C

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

NAME	Q_Q1	Q_Q2	Q_Q3	Q_Q4
MODEL	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222
IB	7.69E-06	7.69E-06	4.34E-06	4.34E-06
IC	1.15E-03	1.32E-03	6.55E-04	6.55E-04
VBE	6.50E-01	6.50E-01	6.33E-01	6.33E-01
VBC	0.00E+00	-1.07E+01	-5.45E+00	-5.45E+00
VCE	6.50E-01	1.14E+01	6.09E+00	6.09E+00
BETADC	1.50E+02	1.71E+02	1.51E+02	1.51E+02
GM	4.44E-02	5.08E-02	2.53E-02	2.53E-02
RPI	3.72E+03	3.72E+03	6.67E+03	6.67E+03
RX	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01
RO	6.43E+04	6.43E+04	1.21E+05	1.21E+05
CBE	5.47E-11	5.74E-11	4.64E-11	4.64E-11
CBC	7.31E-12	2.88E-12	3.55E-12	3.55E-12
CJS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BETAAC	1.65E+02	1.89E+02	1.68E+02	1.68E+02

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$$U(\text{OUT2})/U_{U1} = 1.013\text{E}+02$$

$$\text{INPUT RESISTANCE AT } U_{U1} = 1.534\text{E}+04$$

$$\text{OUTPUT RESISTANCE AT } U(\text{OUT2}) = 9.617\text{E}+03$$

直流工作点分析

演示

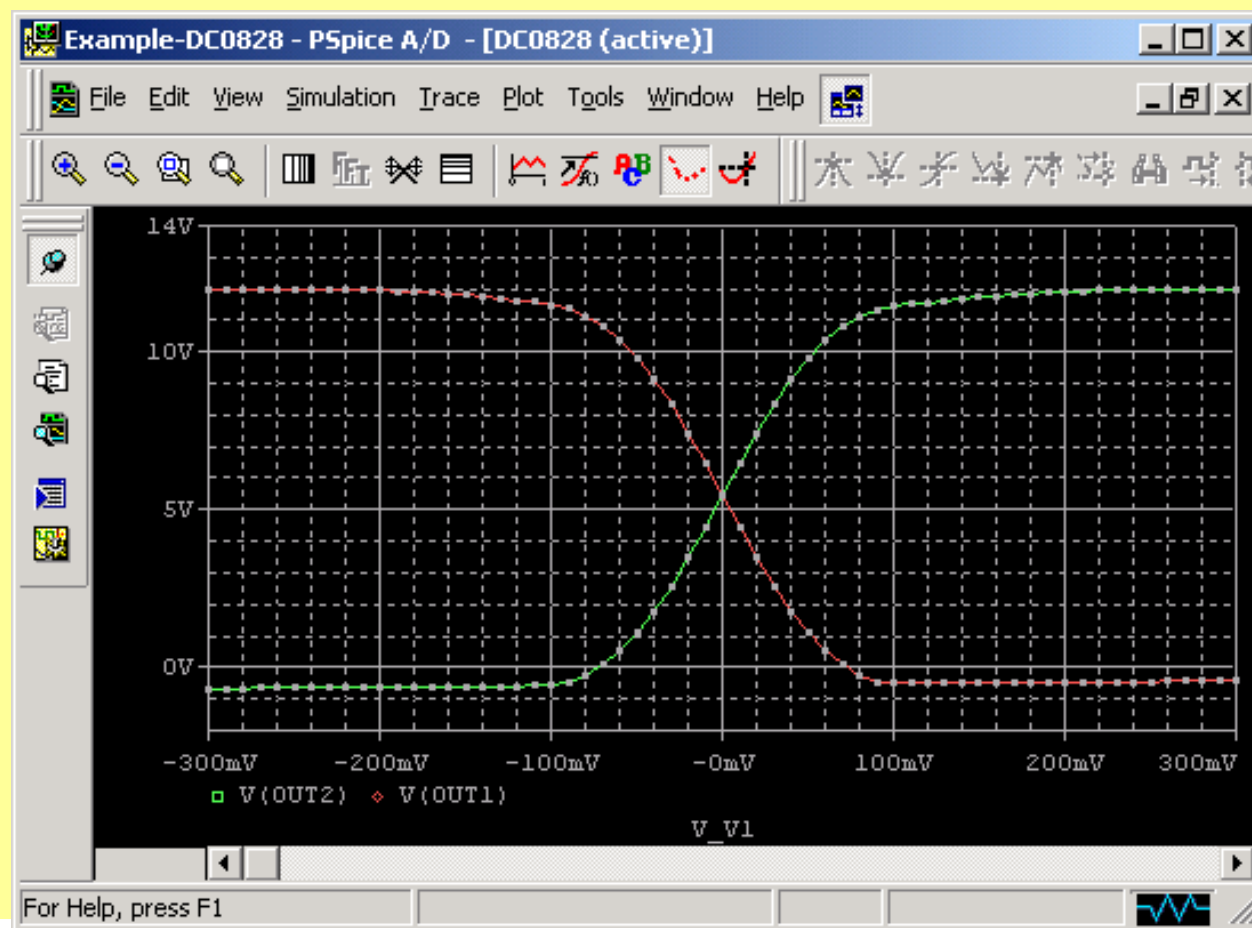
思考题

(1) 直流工作点分析对AC交流小信号分析和TRAN瞬态分析有什么作用？如果要分析电路的AC、TRAN特性，是否必须首先设置直流工作点分析？

(2) TF分析的结果与AC交流小信号分析结果有什么关系？

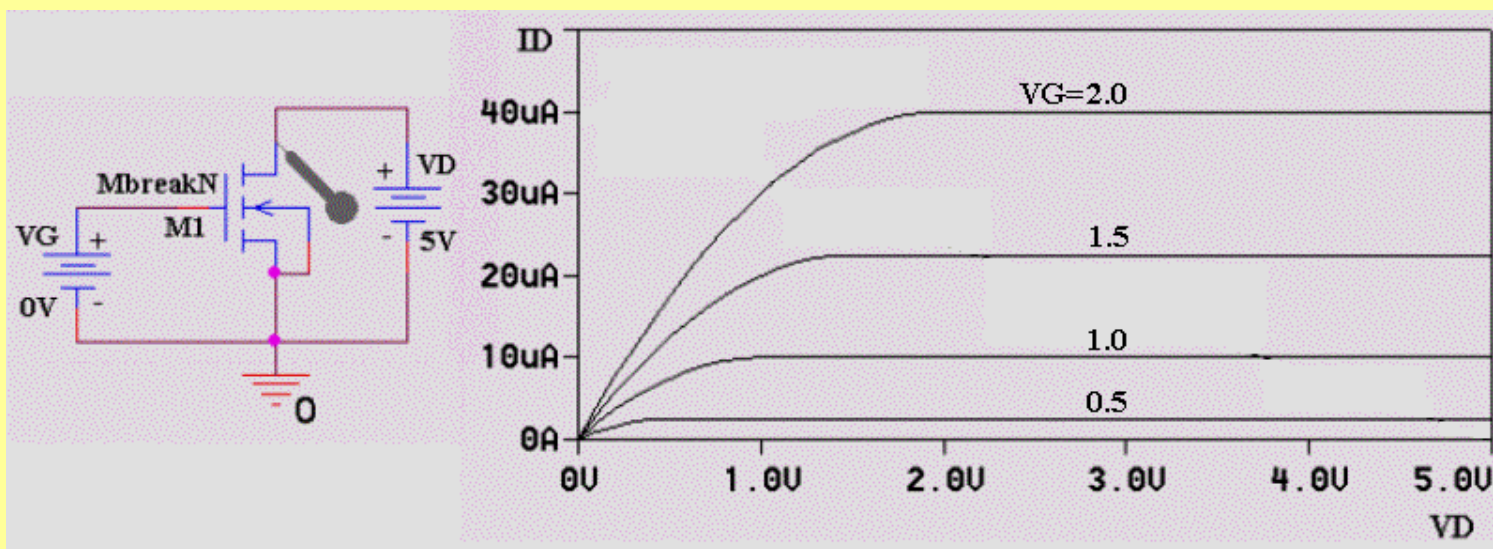
3-3-2 直流特性分析参数设置(DC Sweep)

1.作用：使电路中某一参数(称为自变量)在一定范围内变化。对自变量的每一个取值,计算一次电路的直流偏置特性(称为输出变量)。



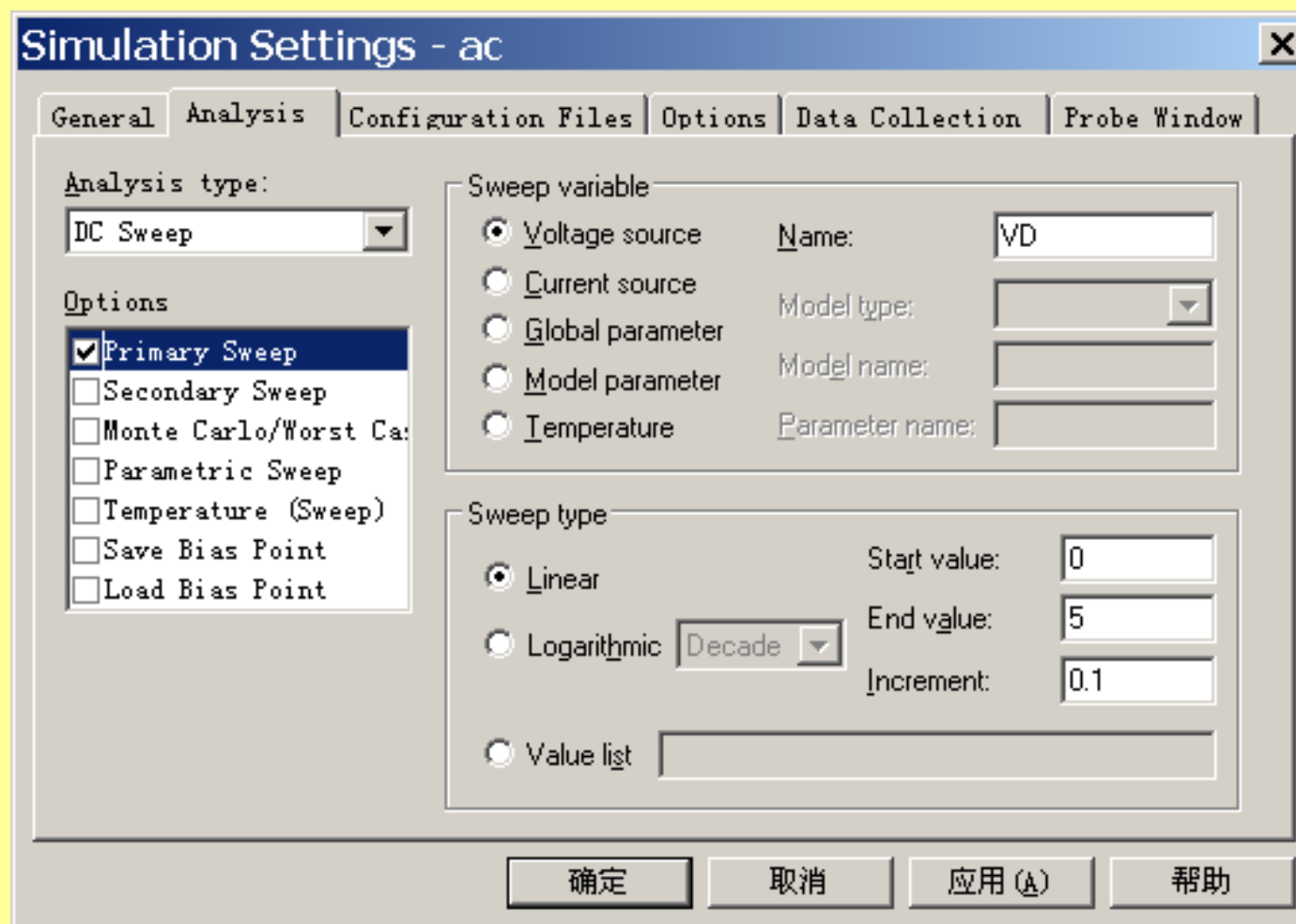
3-3-2 直流特性分析参数设置(DC Sweep)

DC分析时,还可以指定一个参变量并确定其变化方式。对参变量的每一个取值,均使自变量在其变化范围进行一次扫描,计算输出变量的变化情况。



3-3-2 直流特性分析参数设置(DC Sweep)

2. 基本参数(自变量)设置



3-3-2 直流特性分析参数设置(DC Sweep)

3. 参变量参数设置

The image shows a 'Simulation Settings - ac' dialog box with the 'Analysis' tab selected. The 'Analysis type' is set to 'DC Sweep'. Under 'Options', 'Primary Sweep' and 'Secondary Sweep' are checked. The 'Sweep variable' section has 'Voltage source' selected with 'Name' 'VG'. The 'Sweep type' section has 'Linear' selected with 'Start value' 0, 'End value' 2, and 'Increment' 0.5. The 'Logarithmic' option has a 'Decade' dropdown. The 'Value list' option is also present. At the bottom are buttons for '确定' (OK), '取消' (Cancel), '应用(A)' (Apply), and '帮助' (Help).

Simulation Settings - ac

General Analysis Configuration Files Options Data Collection Probe Window

Analysis type:
DC Sweep

Options

- ☒ Primary Sweep
- ☒ Secondary Sweep
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep variable

- ☒ Voltage source Name: VG
- ☐ Current source Model type:
- ☐ Global parameter Model name:
- ☐ Model parameter Parameter name:
- ☐ Temperature

Sweep type

- ☒ Linear Start value: 0 End value: 2 Increment: 0.5
- ☐ Logarithmic Decade
- ☐ Value list

确定 取消 应用(A) 帮助

3-3-2 直流特性分析参数设置(DC Sweep)

说明

1. **Global Parameter** (全局参数)是个新概念，在参数扫描分析中介绍。
2. 直流特性扫描分析结果存入.DAT文件，需调用**PROBE**模块显示结果曲线。若要将结果存入.OUT文件,需在电路中相应位置设置输出指示符。

第五章 波形显示和分析模块Probe

5-1 概述

5-2 基本运行环境设置

5-3 显示分析结果信号波形的的基本方法

5-4 从信号波形中提取电路特性参数

5-5 电路性能分析

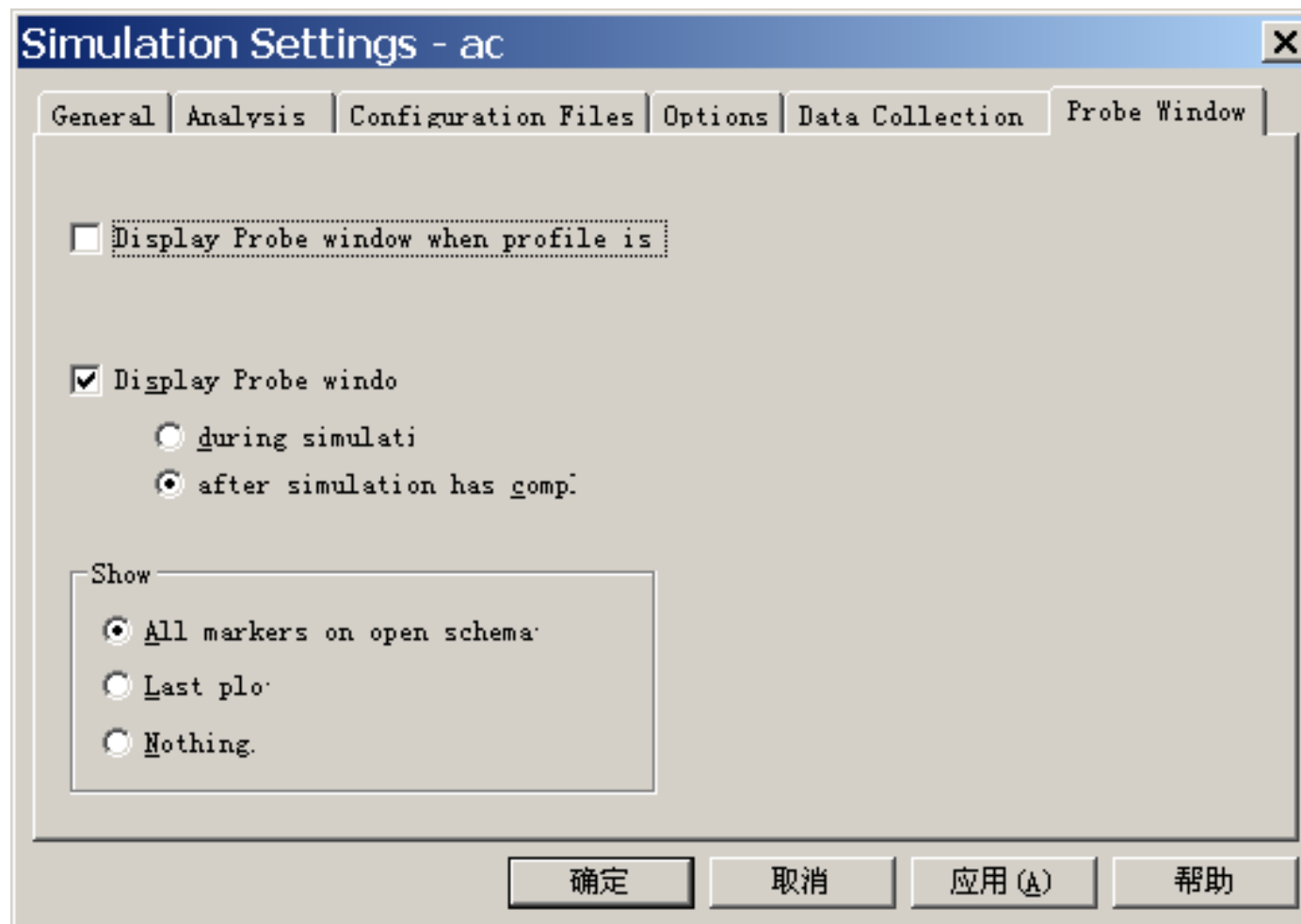
5-6 绘制直方图

5-1 概述 – Probe的基本功能

- (1) 基本功能 – “示波器”作用
- (2) 信号波形的运算处理
- (3) 关于电路设计的性能分析
- (4) 绘制直方图
- (5) 信号波形数据的显示和处理

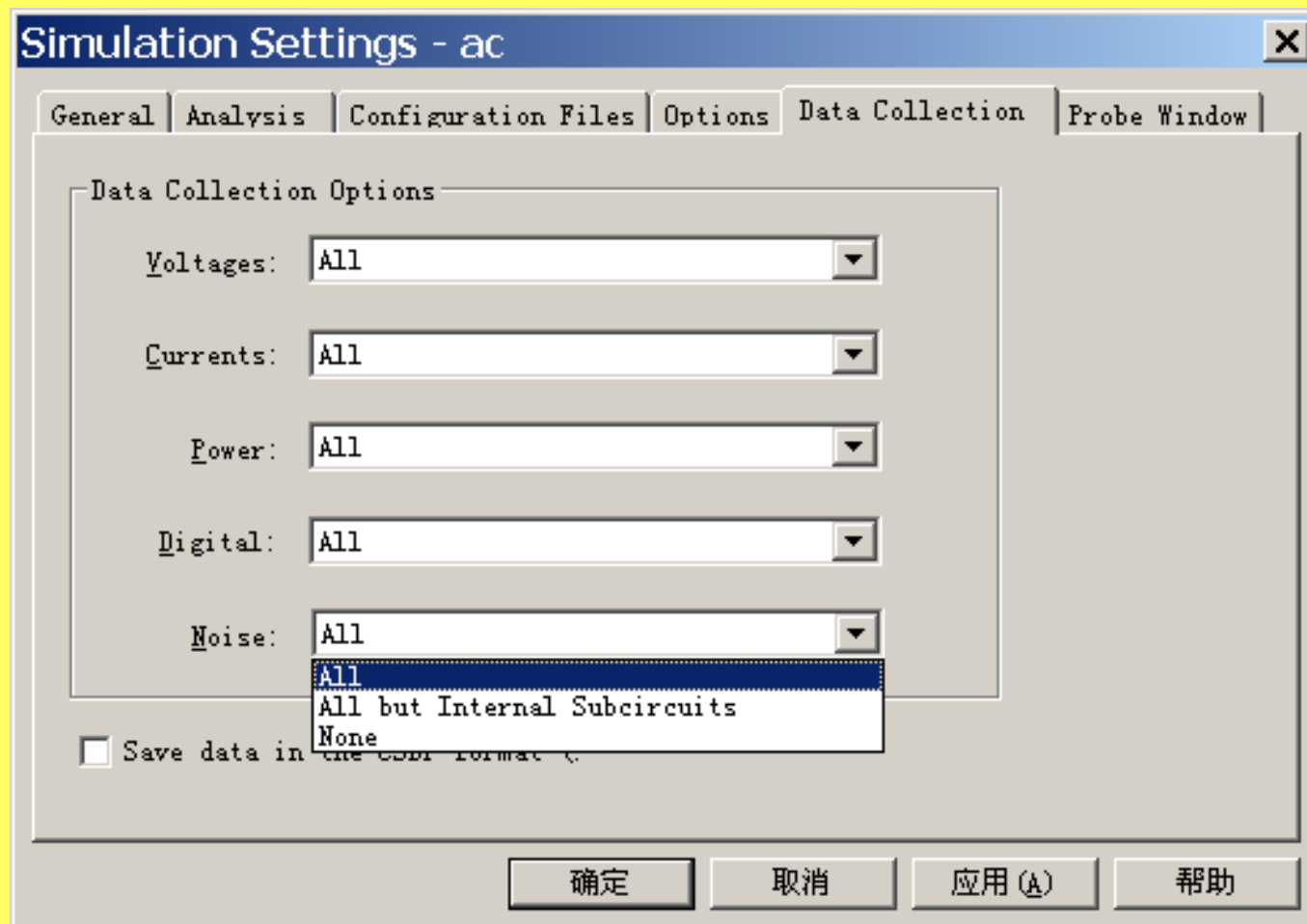
5-2 基本运行环境设置

(1) 调用方式的设置



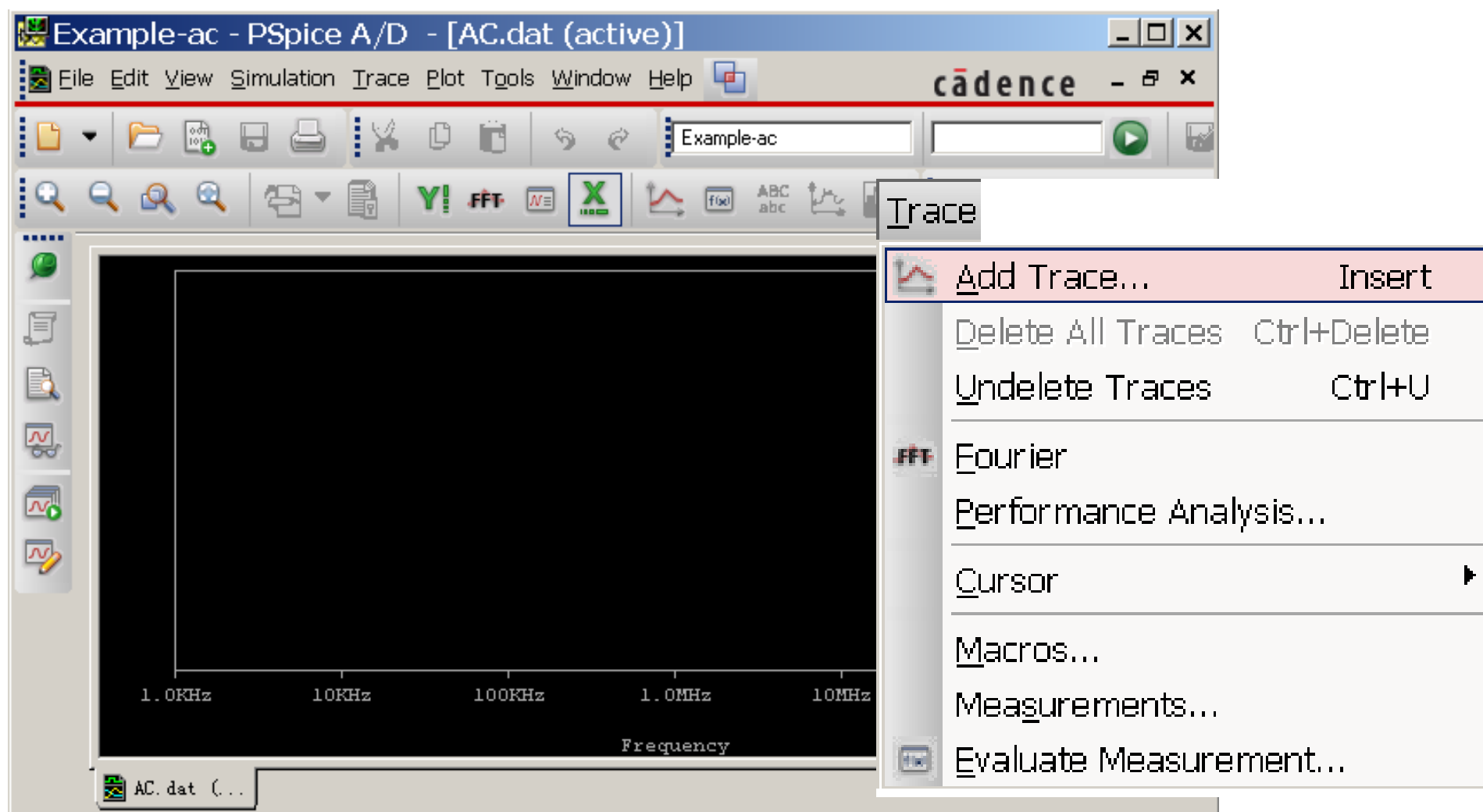
5-2 基本运行环境设置

(2) 存放数据内容的设置



5-3 显示分析结果信号波形的基本方法

Probe窗口与Trace命令菜单中的Add Trace命令



Add Traces

Simulation Output Variables

*

Frequency

V(out1)

V(out2)

V(Q1:c)

V(Q2:c)

V(Q3:b)

V(Q4:b)

V(RS1:2)

V(RS2:1)

V(VDD)

V(VEE)

☒ Analog

☐ Digital

☒ Voltages

☐ Currents

☐ Power

☐ Noise (V^2/Hz)

☐ Alias Names

☐ Subcircuit Nodes

11 variables listed

Full List

Functions or Macros

Analog Operators and Functions

#

()

*

+

-

/

@

ABS()

ARCTAN()

ATAN()

AVG()

AVGX(,)

COS()

D()

DB()

ENVMAX(,)

ENVMIN(,)

EXP()

G()

IMG()

LOG()

LOG10()

M()

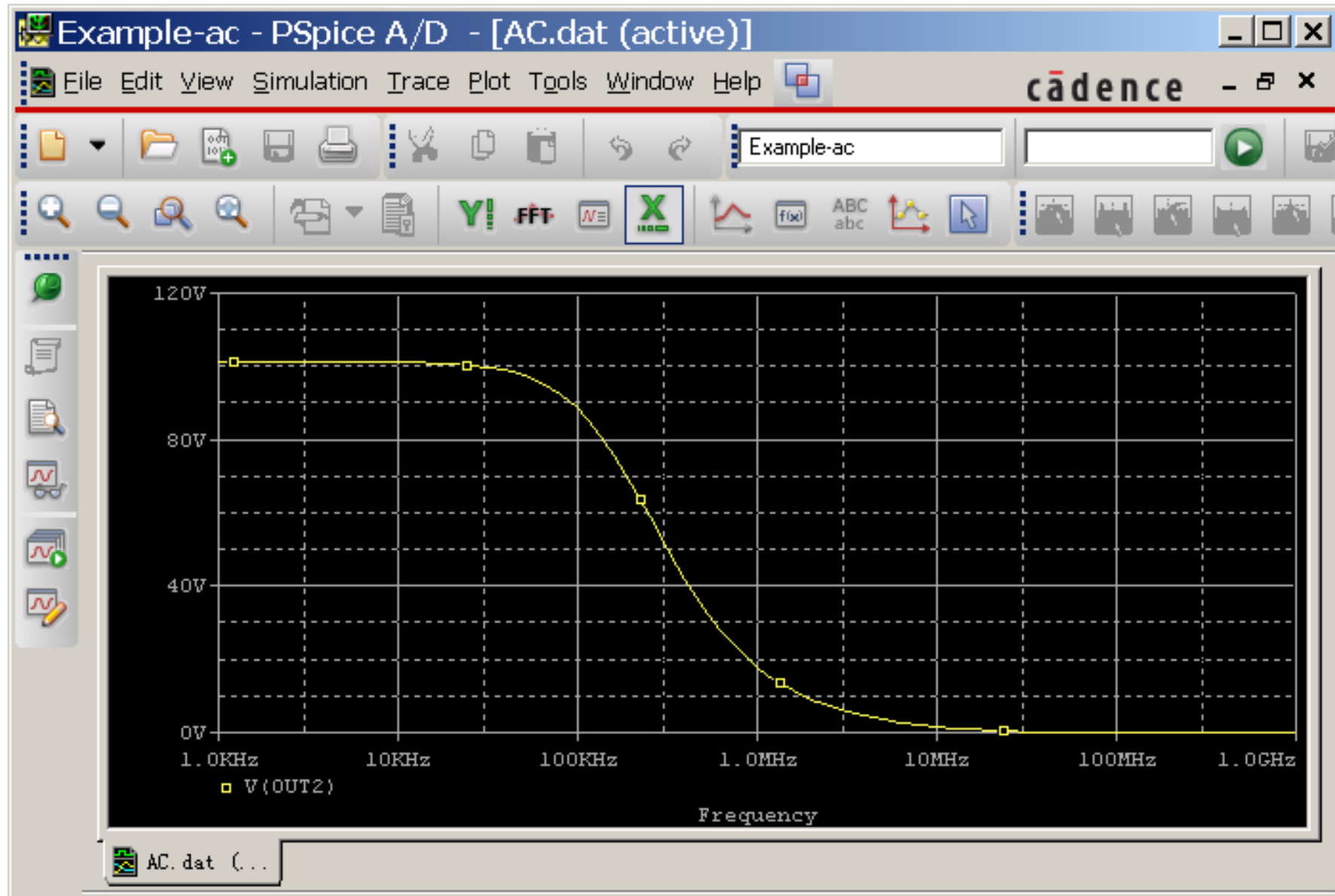
MAX()

Trace Expression: V(out2)

OK

Cancel

Help



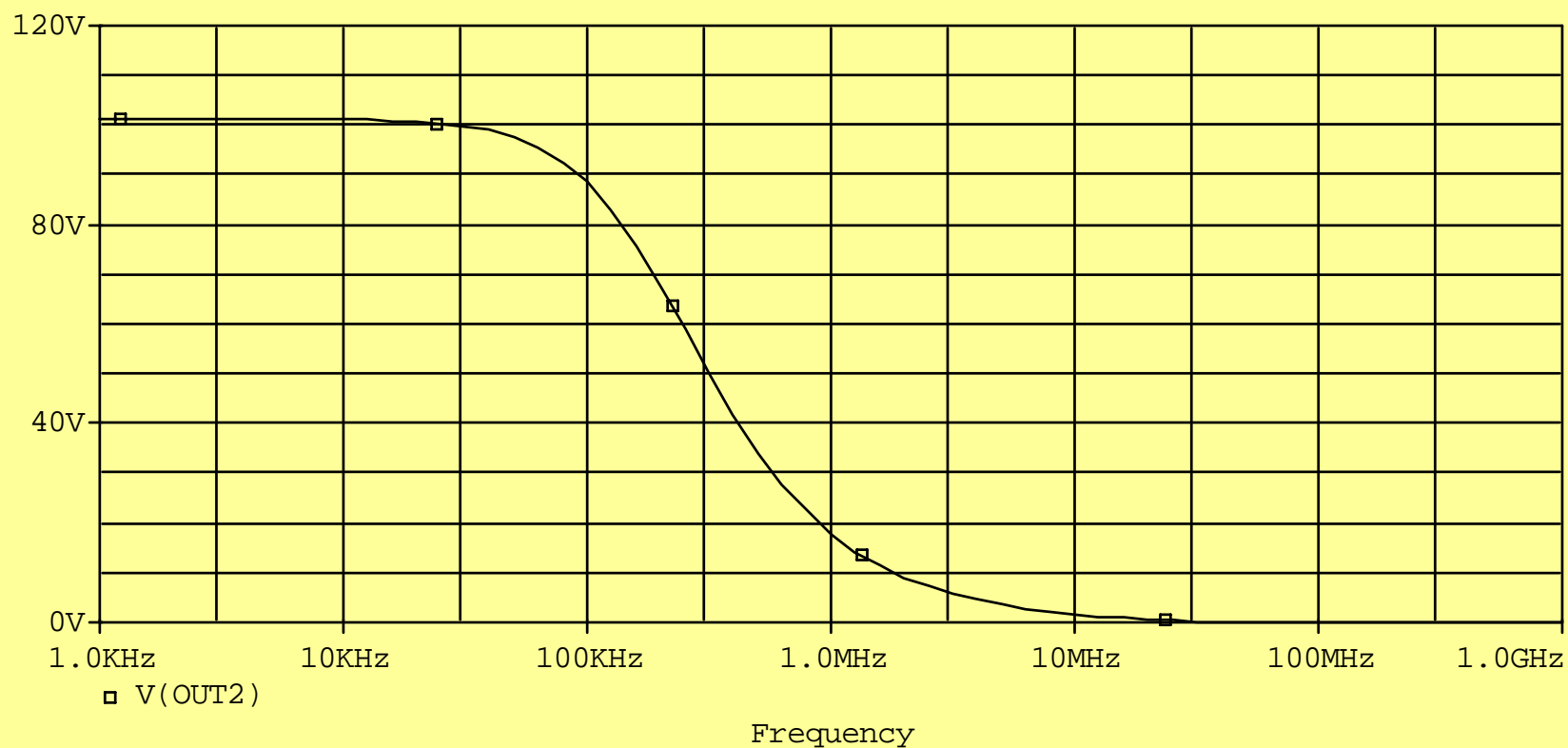
DC扫描分析与Probe调用

演示

3-3-3 交流小信号特性分析参数设置

1. 交流小信号频率特性分析(AC Sweep)

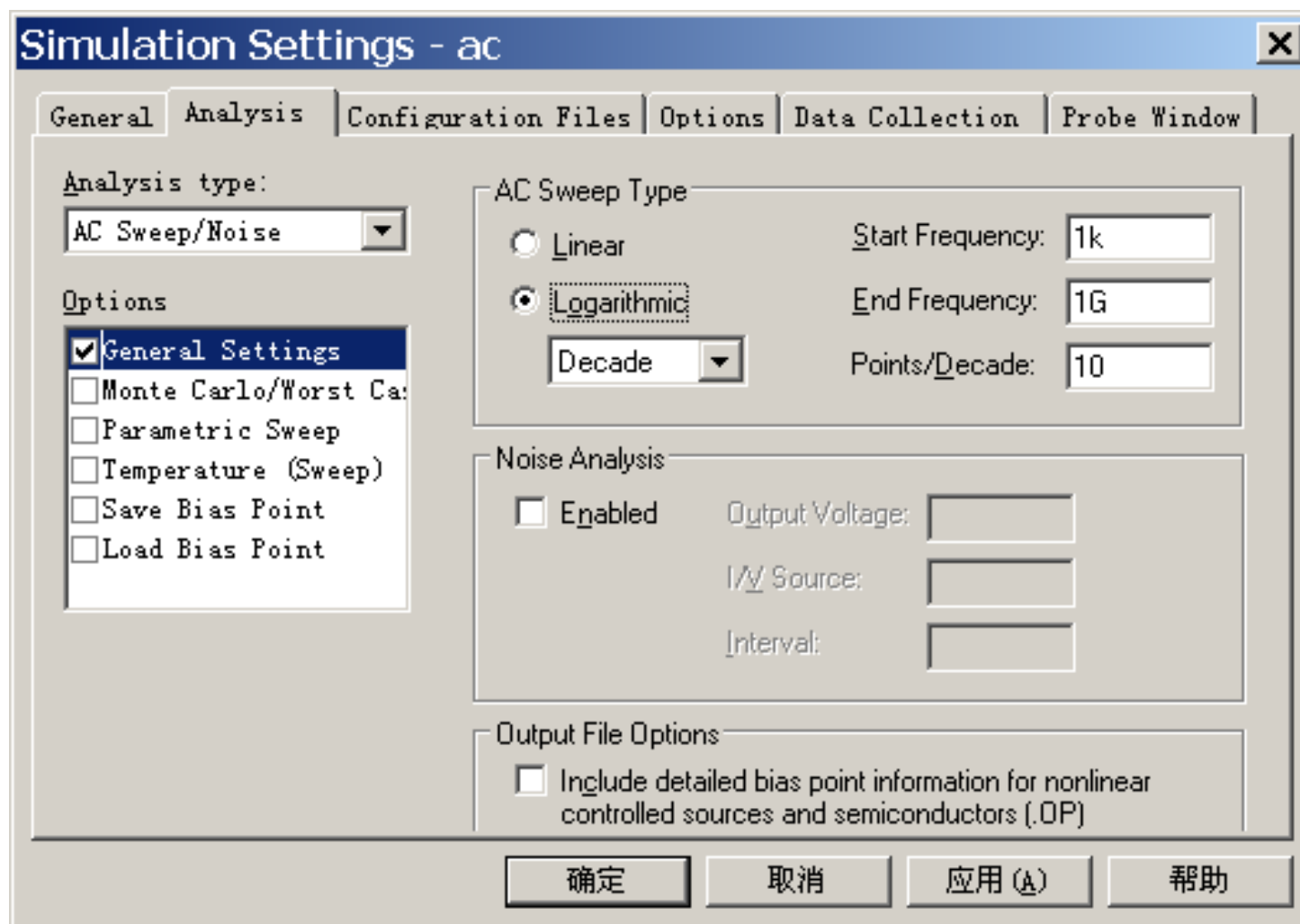
作用：在电路工作点处建立交流小信号等效电路，使输入交流信号频率在一定范围变化，计算输出交流信号的变化。



3-3-3 交流小信号特性分析参数设置

1.交流小信号频率特性分析(AC Sweep)

2.噪声分析(Noise Analysis)

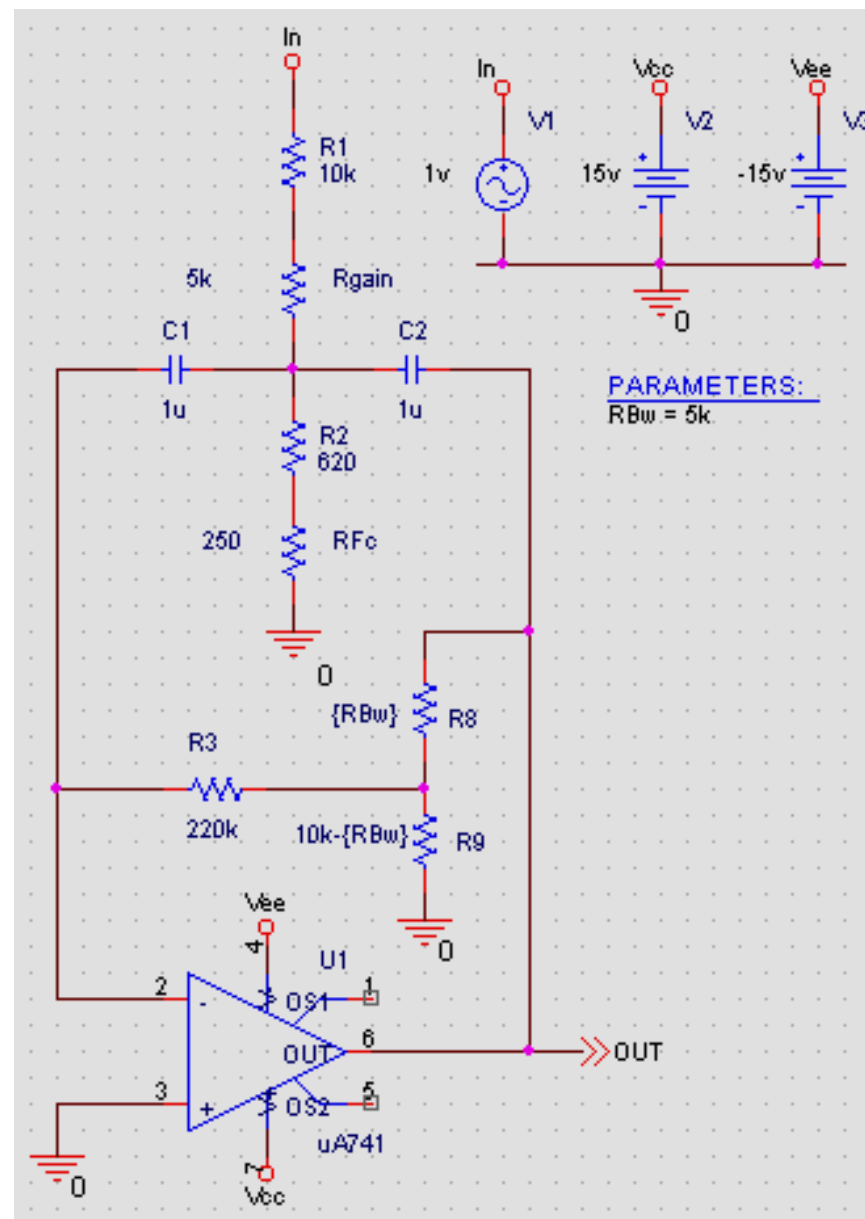


5-4 从信号波形中提取电路特性参数

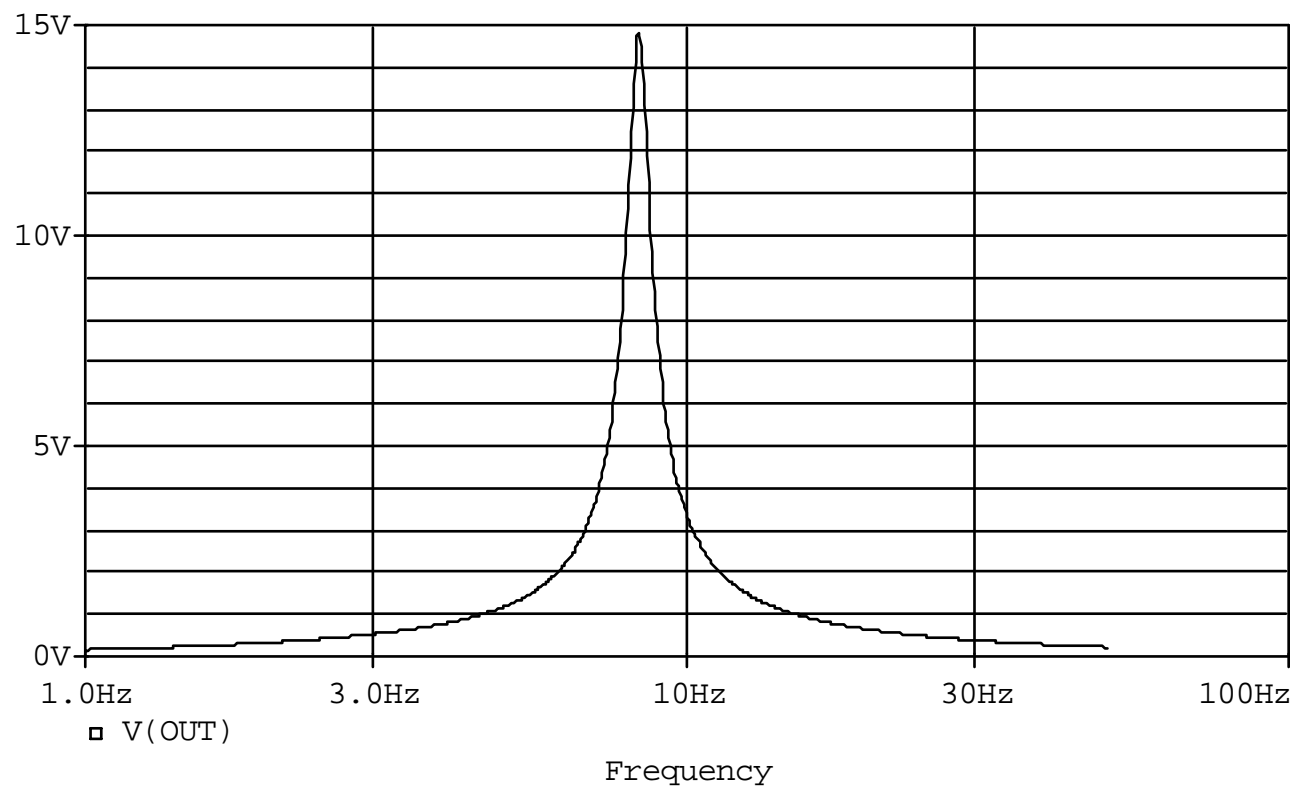
5-4-1 提取电路特性参数的基本过程

5-4-2 用于提取电路特性参数的Measurement函数

带通滤波器实例



5-4-1 提取电路特性参数的基本过程



5-4-1 提取电路特性参数的基本过程

目前计算机模拟软件对电路进行分析的基本原理是根据基耳霍夫定律，针对待分析电路的拓扑结构和元器件值，建立电路方程，然后采用数值计算方法求解。由此得到的分析结果是电路中的节点电压和支路电流数值。

但是，在电路设计中，用户最关心的是表征电路特性的参数值，如放大电路的增益、带宽和中心频率等等。

对前面实例所示的“带通”频率特性，按下述方法进行3次“搜寻”，并对搜寻结果作简单计算，即可以得到带通特性的最大增益和带宽。

- (1) 搜寻输出电压最大的数据点。由该数据点纵坐标即得最大增益。
- (2) 从输出电压最大的数据点开始，沿频率增加的方向，搜寻输出从最大值下降3db的数据点。
- (3) 从输出电压最大的数据点开始，沿频率减小的方向，搜寻输出从最大值下降3db的数据点

搜寻结束后，将第2次搜寻得到的数据点的X轴(频率轴)坐标减去第3次搜寻得到的数据点的X轴(频率轴)坐标，就得到3db带宽。

5-4-2 “Measurement”函数

为了实现电路特性参数值的自动提取，OrCAD/Pspice16软件中提供有一系列“Measurement”函数，PSpice9中称为Goal Function。

“Measurement”函数是由一系列搜寻命令以及对搜寻结果进行计算分析的运算式组成。由运算式得到的结果是一个具体数值，这也就是表示电路特性的数值。

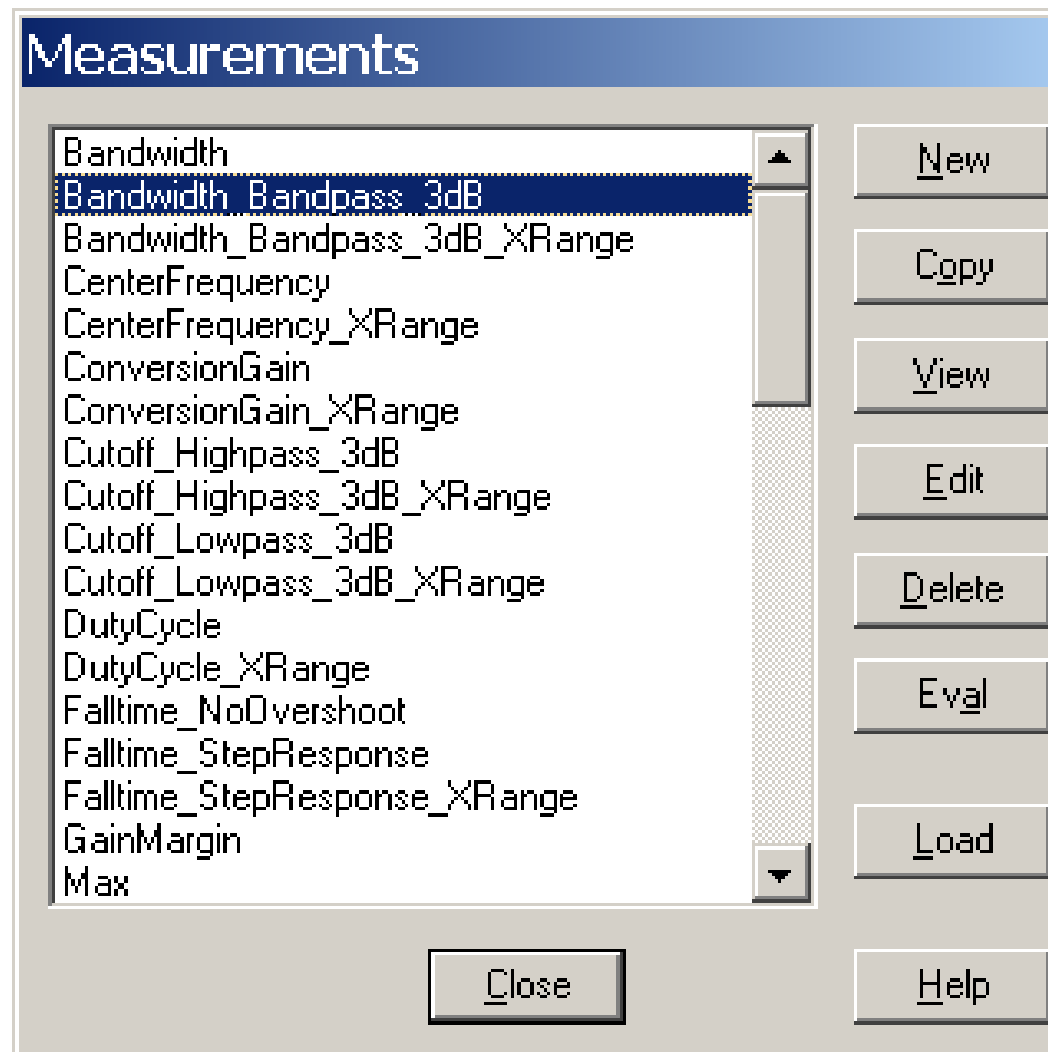
例如，前面提到的3次搜寻和对搜寻结果的计算，就是提取3DB带宽的“Measurement”函数的内部运行过程。

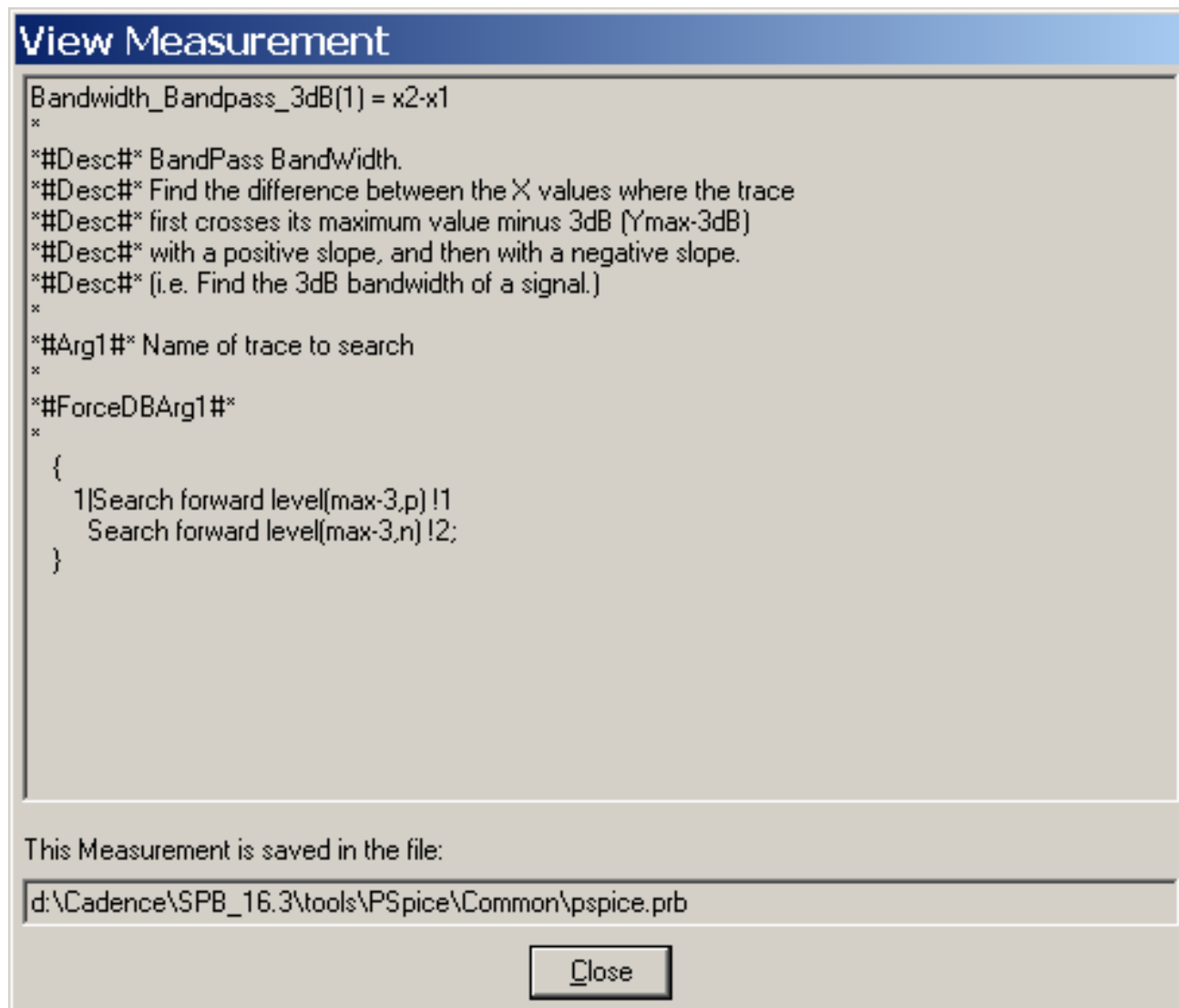
提取最大增益的“Measurement”函数只包括第一步搜寻。

为了方便用户，OrCAD/PSpice软件提供有一系列内定的“Measurement”函数，可以提取出几十种常用的电路特性值。

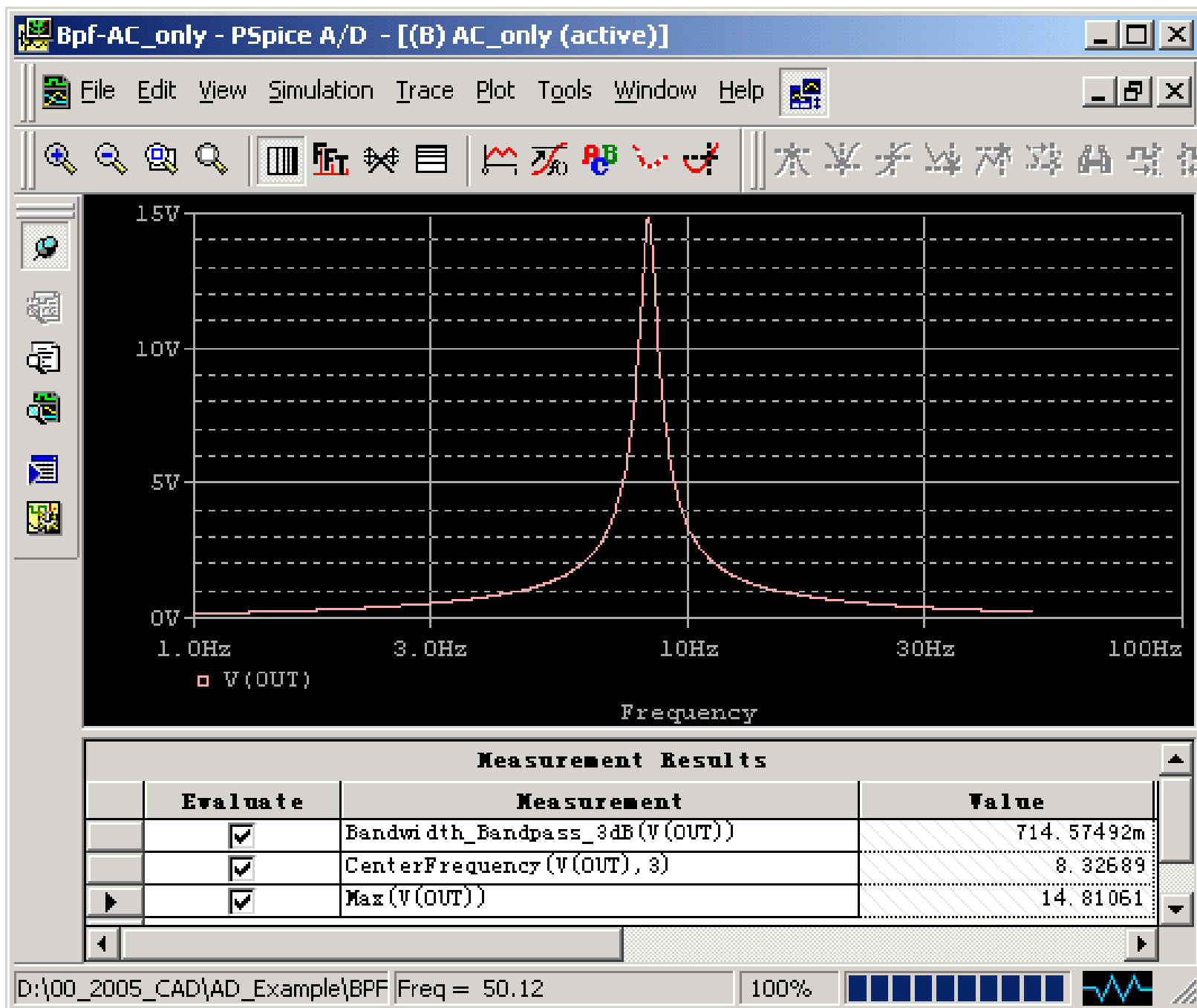
存放“Measurement”函数的文件以PRB为扩展名。

5-4-2 “Measurement”函数





如果用户在电路分析中，需要调用具有特定功能的“Measurement”函数，可以遵循Probe提供的搜寻命令、运算式、以及“Measurement”函数的格式，编写自己的“Measurement”函数。



AC分析与电路特性参数提取

演示

思考题

(1) 如何理解AC信号源只有振幅和相位值而没有频率？

(2) 什么是“小信号”条件？既然是“AC小信号”分析, 为什么AC信号源的振幅可以设置为1V, 使分析结果给出的输出端信号振幅可能超过100V？

3-3 基本电路特性分析参数的设置

3-3-1 直流工作点分析参数设置

3-3-2 直流特性分析参数设置

3-3-3 交流小信号特性分析参数设置

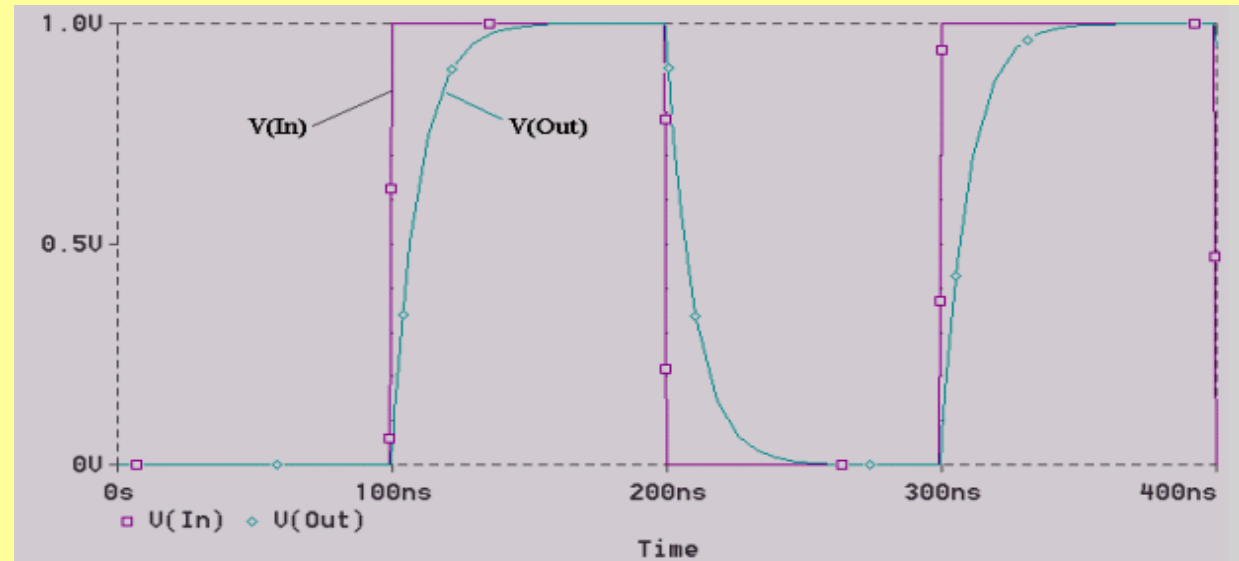
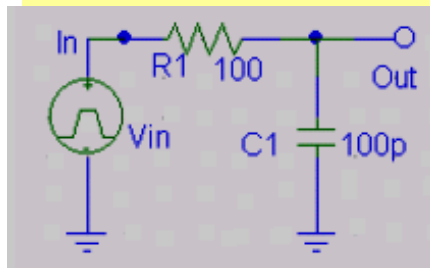
3-3-4 瞬态特性分析参数设置

3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

3-3-4 瞬态特性分析参数设置

1.瞬态特性分析 (Transient Analysis)

2.傅里叶分析 (Fourier Analysis)



瞬态分析作用： 在给定输入激励信号作用下，计算电路输出端的瞬态响应。

需指定的参数： (1) 输入端激励信号波形。

(2) 分析参数(分析时间步长和总时间)

(3) 输出要求(开始输出的时间、输出时间步长、偏置解)。

Simulation Settings - ac



General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis type:

Time Domain (Transi

Run to time:

1000ns

seconds (TSTOP)

Start saving data after:

0

seconds

Options

☒ General Settings

☐ Monte Carlo/Worst

☐ Parametric Sweep

☐ Temperature (Sweep)

☐ Save Bias Point

☐ Load Bias Point

☐ Save Check Points

Transient options

Maximum step size:

1n

seconds

☐ Skip the initial transient bias point calculation (SKIPBP)

☐ Run in resume mode

Output File Options...

确定

取消

应用 (A)

帮助

Transient Output File Options



Print values in the output file every: seconds

OK

Cancel

☐ Perform Fourier Analysis

Center Frequency: hz

Number of Harmonics:

Output Variables:

☒ Include detailed bias point information for nonlinear controlled sources and semiconductors (/OP)

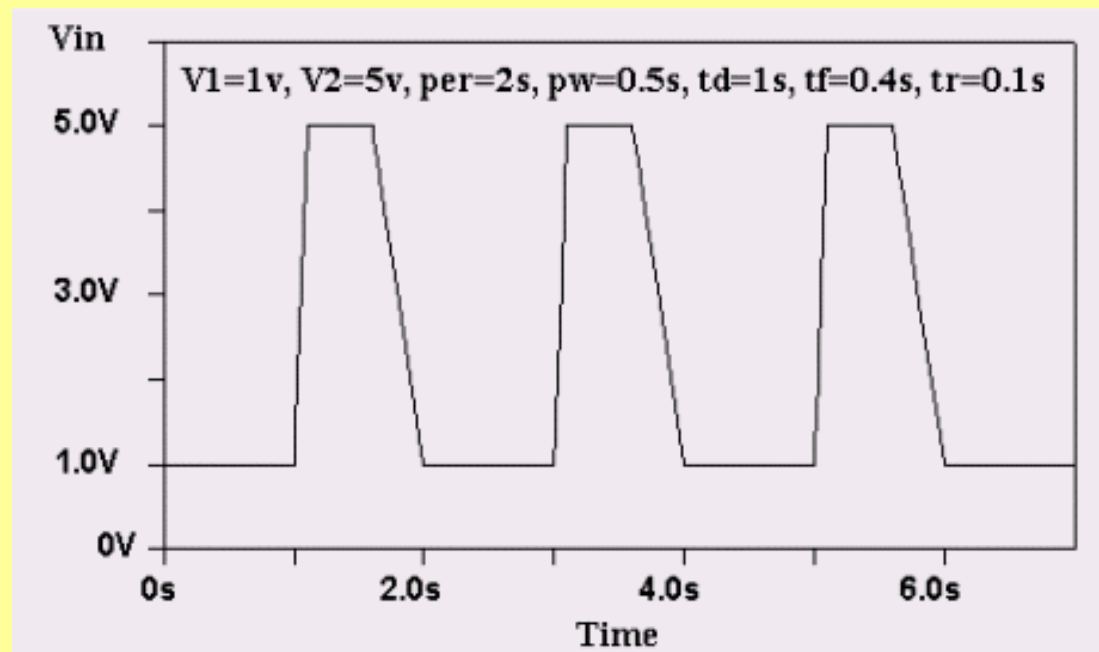
3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

概述

- (1) 瞬态分析时，电路中必需有一个用于瞬态分析的激励信号源。
- (2) 用于瞬态分析的激励信号源波形只能采用5种形式。
- (3) 每种波形各自采用一组参数描述波形的变化情况。

3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

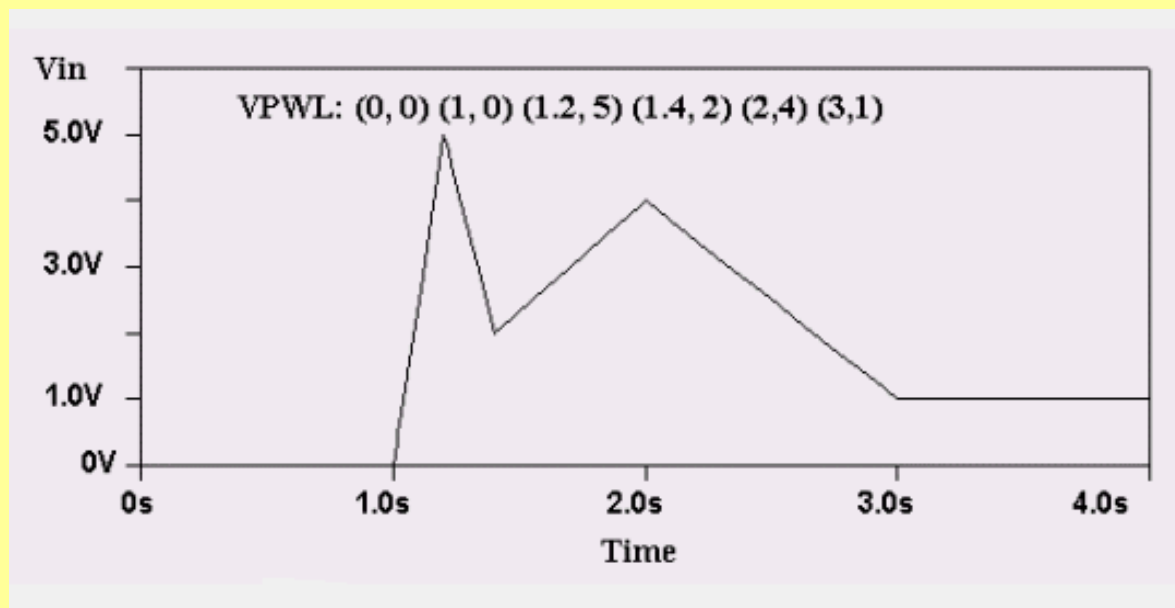
1. 周期脉冲信号 **PULSE**:



3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

2. 分段线性信号 **PWL** (**P**iece-**W**ise **L**inear)

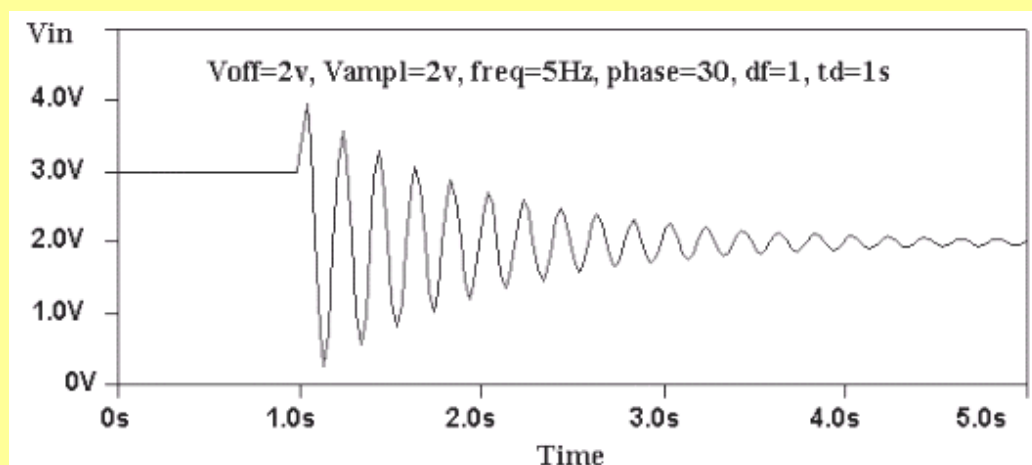
描述分段线性信号只要给出每个转折点的坐标。



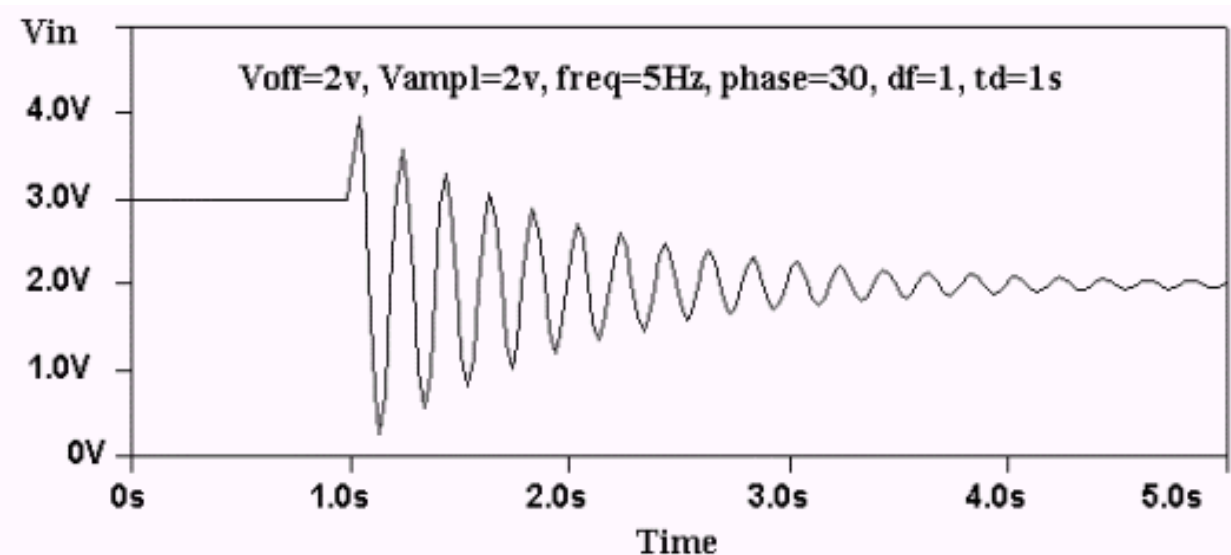
可以产生单脉冲信号、阶跃信号等实用的输入信号。

3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

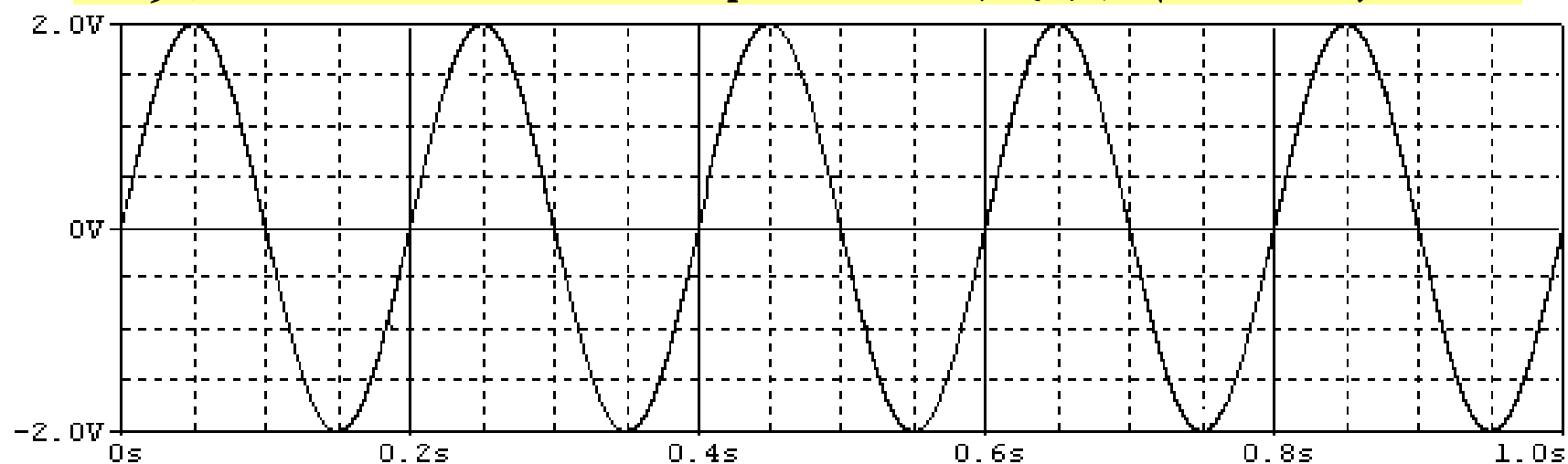
3. 调幅正弦信号 **SIN** (**SIN**usoidal waveform)



参数	名称	单位	内定值
voff	偏置值	伏特	无内定值
vampl	峰值振幅	伏特	无内定值
freq	频率	赫兹	1/TSTOP
phase	相位	度	0
df	阻尼因子	1/秒	0
td	延迟时间	秒	0



若参数 $V_{off}=0$, $df=0$, $td=0$, $phase=0$, 则成为标准正弦信号。



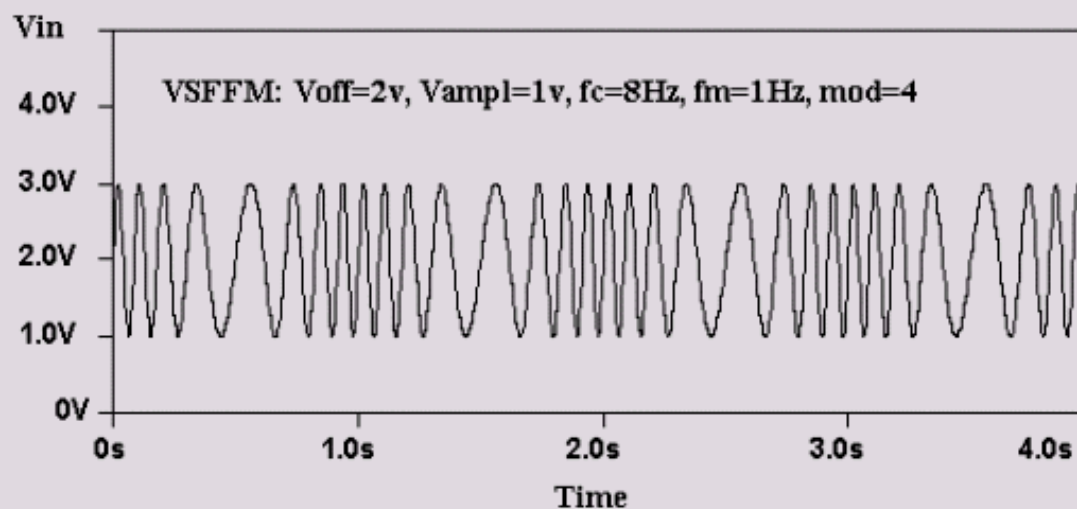
注意：这种“正弦信号”仍然是“瞬态分析”用的信号源中的一种，因此只能用于瞬态分析，AC分析时不会采用该信号。

3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

4. 调频信号 **SFFM** (**S**ignal-**F**requency **F**requency-**M**odulated)

参数	含义	单位	内定值
voff	偏置电压	伏特	无内定值
vampl	峰值振幅	伏特	无内定值
fc	载频	赫兹	1/TSTOP
fm	调制频率	赫兹	1/TSTOP
mod	调制因子		0

$$V = v_{\text{off}} + v_{\text{ampl}} \cdot \sin(2\pi \cdot f_c \cdot \text{TIME} + \text{mod} \cdot \sin(2\pi \cdot f_m \cdot \text{TIME}))$$

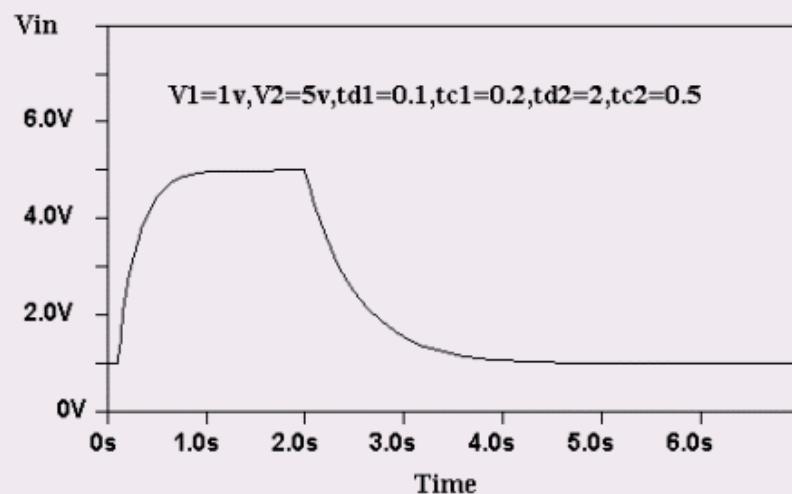


3-3-5 瞬态特性分析中的信号源

5. 指数信号 **EXP** (EXPonential waveform)

参数	名称	单位	内定值
v1	起始电压	伏特	无内定值
v2	峰值电压	伏特	无内定值
td1	上升(下降)延迟	秒	0
tc1	上升(下降)时常数	秒	TSTEP
td2	下降(上升)延迟	秒	Td1+TSTEP
tc2	下降(上升)时常数	秒	TSTEP

时间范围	电 平 值
0-td1	v1
td1-td2	$v1+(v2-v1)(1-\exp(-(TIME-td1)/tc1))$
td2-TSTOP	$v1+(v2-v1)((1-\exp(-(TIME-td1)/tc1))(1-\exp(-(TIME-td2)/tc2)))$



可用来作为“浪涌分析”中的信号源。

3-4 电路特性分析中的信号源

3-4-1 概述

3-4-2 SOURCE符号库中的电源符号和参数设置

3-4-3 SOURCSTM符号库中的电源符号和波形设置.

3-4-1 概 述

(1) 对每一种电路特性分析，电路中必须有对应的信号源。否则无法进行这种特性分析。

DC分析-要求电路中有描述直流电压(电流)**值**的电源。

AC分析-电路中必须有描述信号振幅**值**和相位**值**的交流信号源。

TRAN分析-要求电路中有提供5种激励信号**波形**之一的信号源。

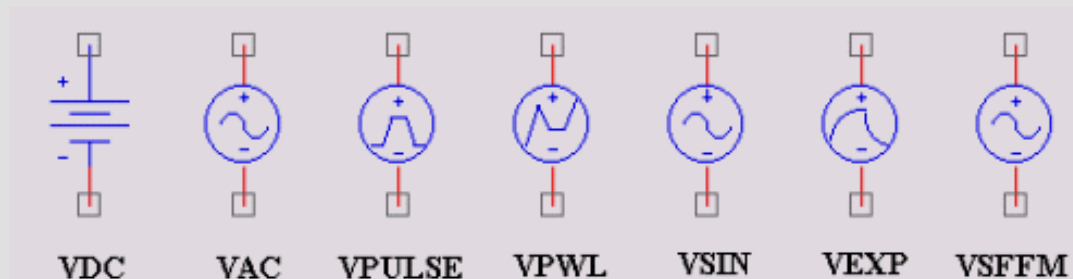
(2) 对上述每一种信号源，必须采用相应的信号源符号。

(3) **SOURCE**符号库中包括了各种信号源符号。其信号值和波形应采用编辑修改元器件参数的方法**设置**。

(4) 瞬态分析采用的信号源符号也可以从**SOURCSTM**符号库中调用信号波形需调用StmEd波形编辑模块,以人机交互方式**设置/绘制**。

3-4-2 SOURCE符号库中的电源符号和参数设置

符号名称	在电路特性分析中的作用		
	DC 分析	AC 分析	TRAN 分析
VDC	设置直流电压		
VAC	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	
VPULSE	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	设置脉冲信号波形
VPWL	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	设置分段线性信号波形
VSIN	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	设置调幅信号波形
VSFFM	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	设置调频信号波形
VEXP	设置直流电压	设置交流信号振幅和相位	设置指数信号波形



VPULSE:	PER	PW	TF	TR	TD	V2	V1	AC	DC
	2s	0.5	0.4	0.1	1s	5v	1v	0	0

VPWL:	DC	AC	T1	V1	T2	V2	T3	V3	T4	V4	T5	V5	T6	V6	T7	V7	T8	V8	T9	V9	T10	V10
			0	0	1	0	1.2	5	1.4	2	2	4	3	1								

瞬态特性分析

演示

思考题

(1) 如何理解一个信号源可以同时设置DC、AC和TRAN3种类型的信号？

(2) 对调幅正弦信号, 若参数 $V_{off}=0$, $df=0$, $td=0$, 则成为标准的正弦信号, 可否用于AC分析？

(3) 对差分对电路, 采用(2)中所述调幅正弦信号进行瞬态分析与AC交流小信号分析相比各有什么特点？

对理解电路工作特性方面有什么互补的作用？

第四章 参数扫描分析和统计分析

概述：在基本电路特性分析中，每个元器件的参数都取确定值，而在参数扫描和统计分析中，将考虑由于参数变化引起的电路特性变化情况。因此具有下述两个特点：

- (1) 这种分析一定与某种基本电路特性分析结合在一起进行。
- (2) 分析过程中对变化参数的每一个取值都要进行一次基本特性分析，整个过程涉及多次电路特性分析。

从不同角度考虑参数变化的影响，产生了4种分析类型。

Simulation Settings - ac



General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis type:

AC Sweep/Noise

Options

☒ General Settings

☐ Monte Carlo/Worst Case

☐ Parametric Sweep

☐ Temperature (Sweep)

☐ Save Bias Point

☐ Load Bias Point

AC Sweep Type

☐ Linear

☒ Logarithmic

Decade

Start Frequency: 1k

End Frequency: 1G

Points/Decade: 10

Noise Analysis

☐ Enabled

Output Voltage: V(OUT2)

I/V Source: V1

Interval: 30

Output File Options

☐ Include detailed bias point information for nonlinear controlled sources and semiconductors (.OP)

确定

取消

应用 (A)

帮助

第四章 参数扫描分析和统计分析

4-1 温度扫描分析(Temperature Sweep)

4-2 参数扫描分析(Parametric Analysis)

4-3 蒙特卡诺分析(MC:Monte-Carlo Analysis)

4-4 最坏情况分析(WC:Worst-Case Analysis)

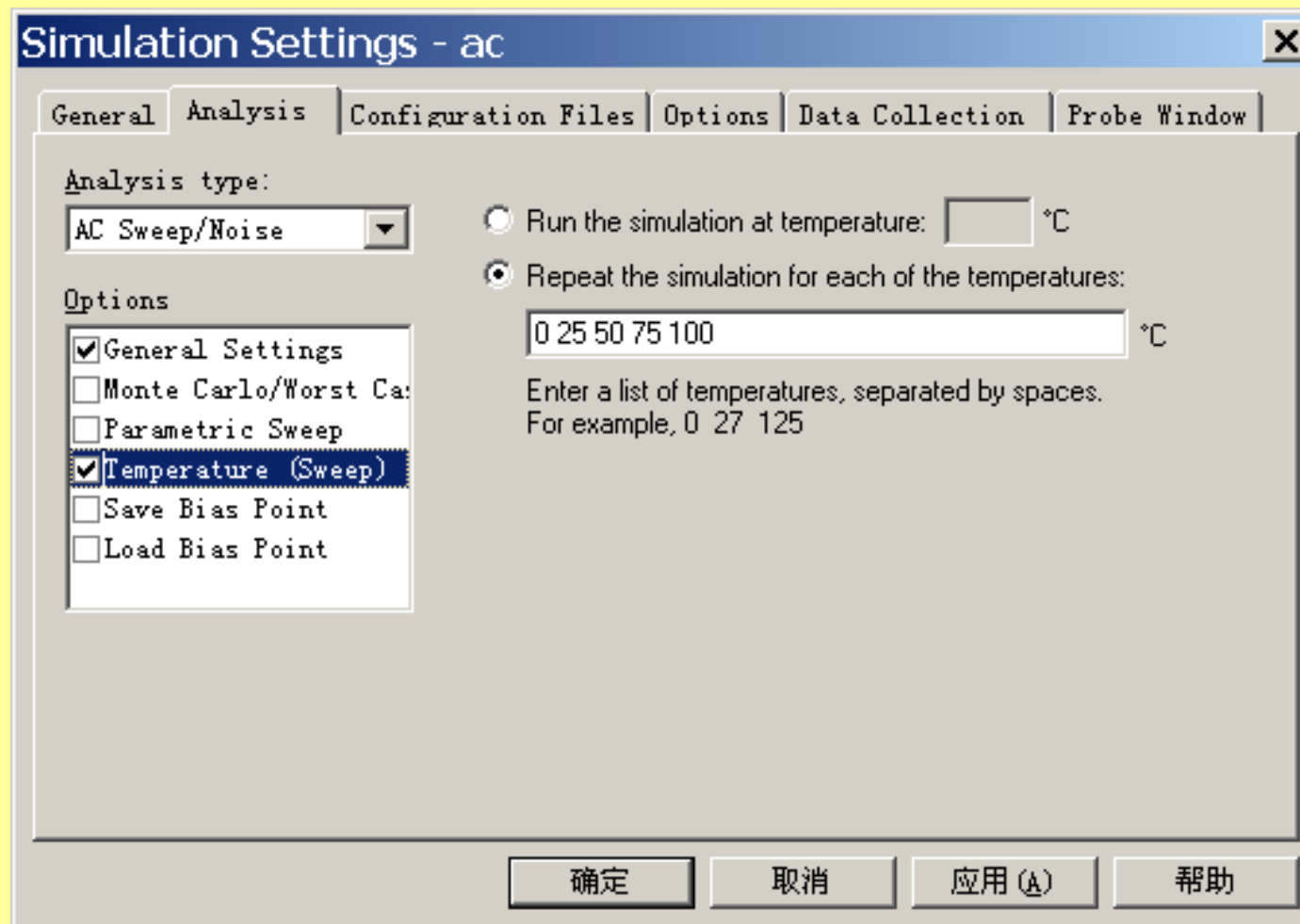
模拟类型分组及每组包括的分析功能

分组	Bias Point	DC Sweep	AC Sweep/Noise	Time Domain
基本特性分析	OP TF SENS	DC	AC NOISE	TRAN FOUR
选项特性分析	<u>Temperature (Sweep)</u> Save Bias Point Load Bias Point			
		<u>Parametric Sweep</u> <u>Monte Carlo/Worst Case</u>		

分组中基本特性分析必须进行，用户可以选定要包括哪几种任选项特性分析。

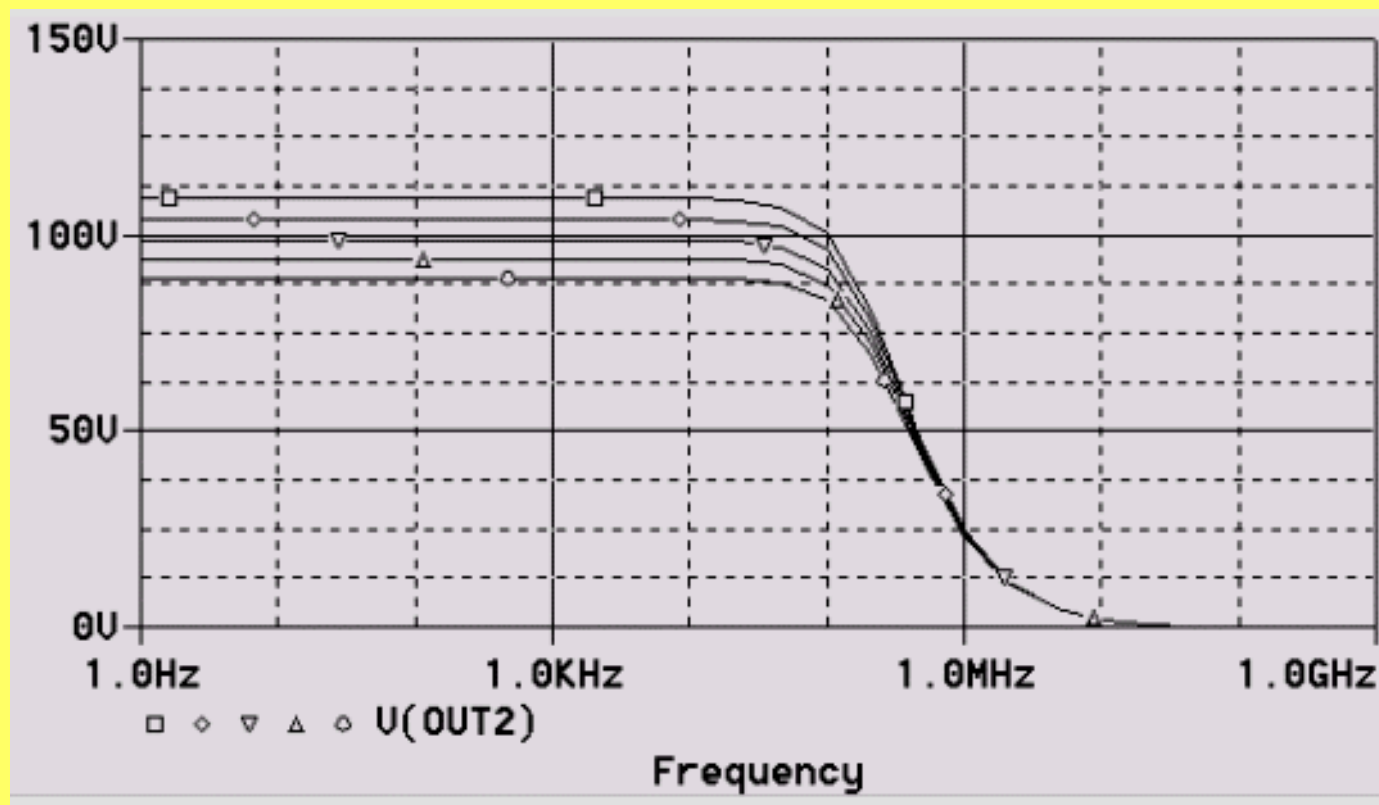
4-1温度扫描分析(Temperature Sweep)

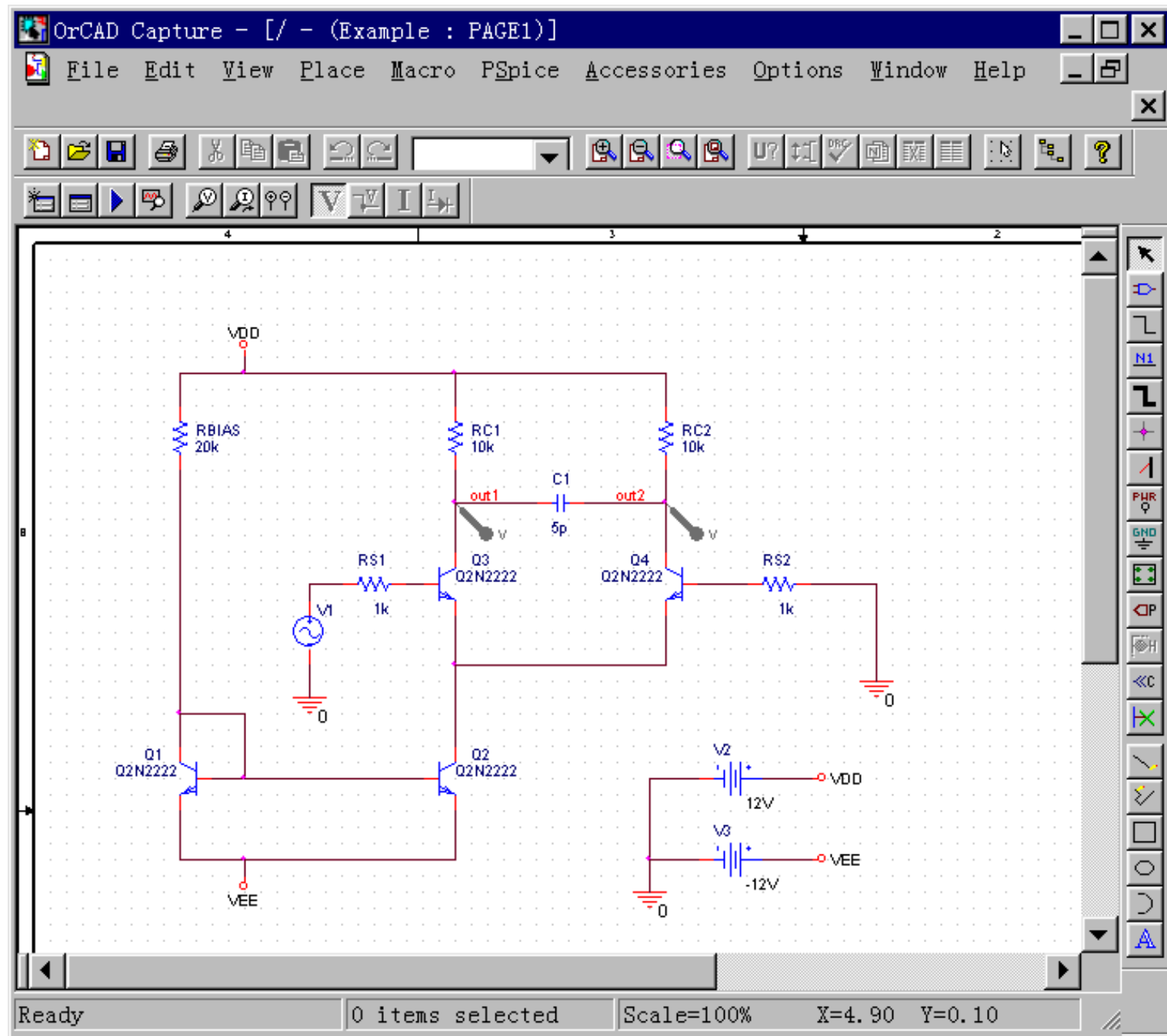
只需指定在哪几个温度下分析电路的哪种基本特性。



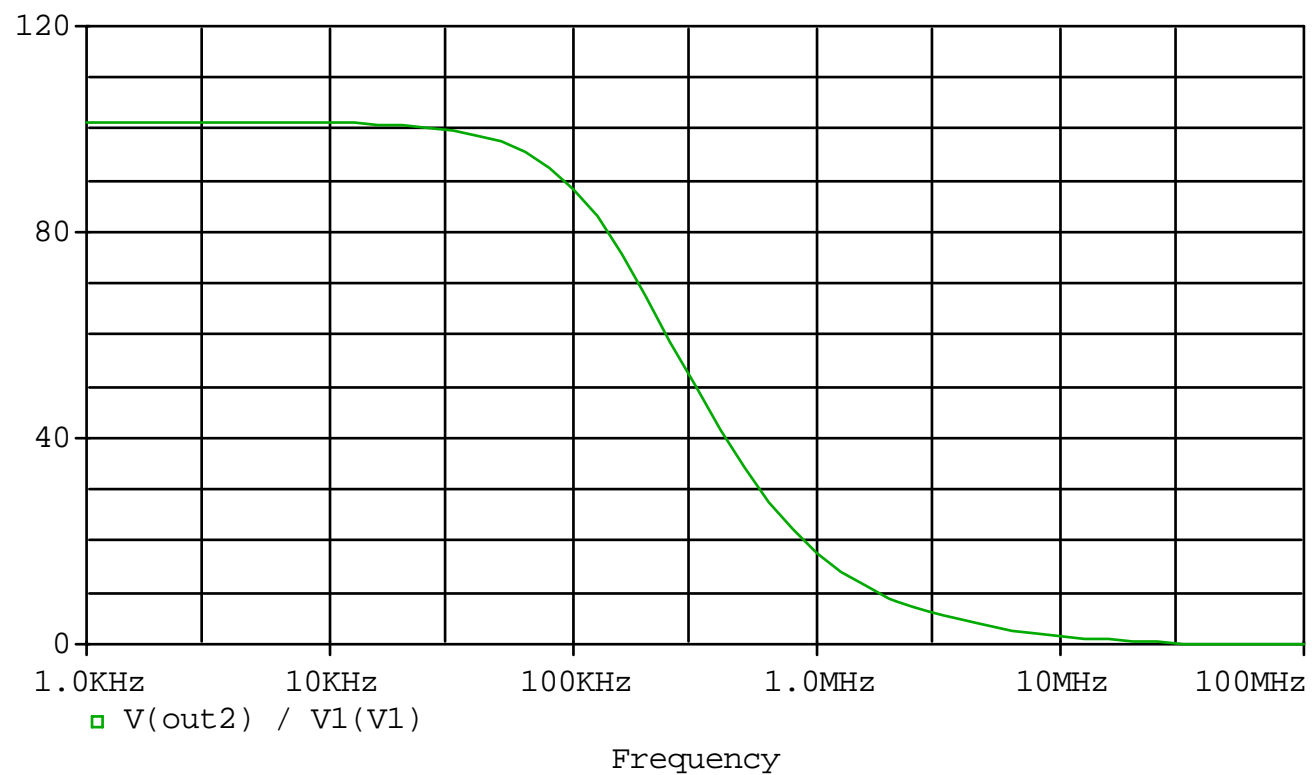
4-1温度扫描分析 (Temperature Sweep)

例：差分对电路的交流小信号温度特性

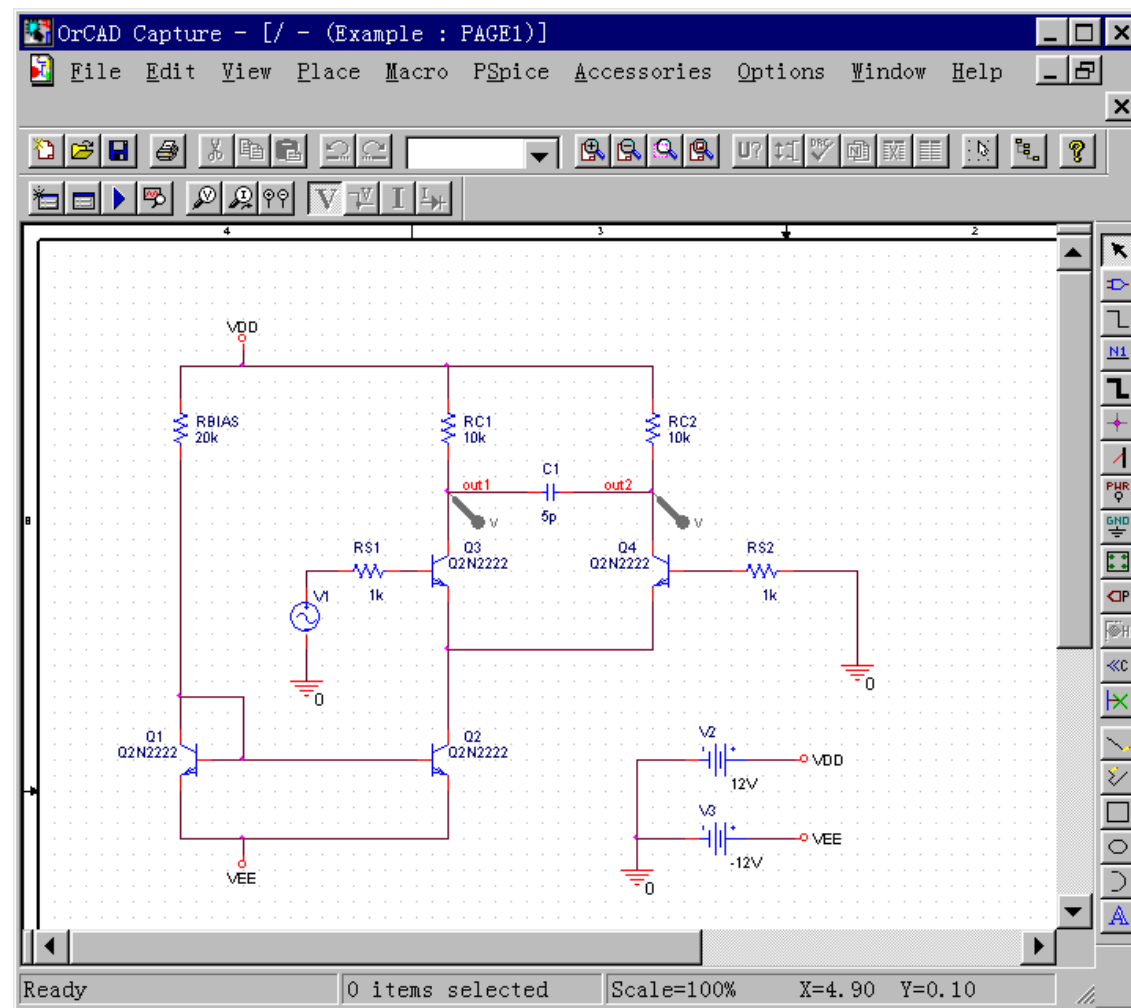




交流小信号特性分析



4-2 参数扫描分析 (Parametric Sweep)



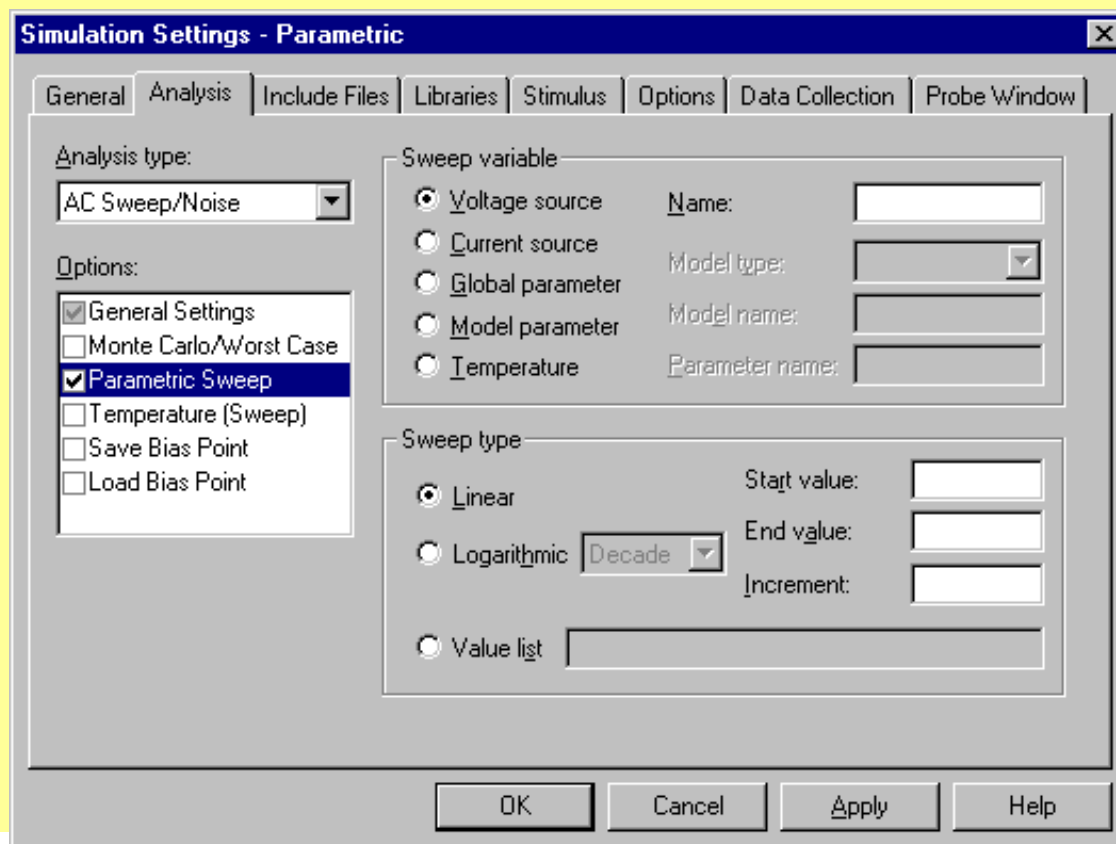
例：同时改变电阻 RC1 和 RC2 的阻值，差分对电路的频率特性将如何变化？

4-2 参数扫描分析 (Parametric Sweep)

1. 参数扫描分析的含义:

分析电路中某个/某些参数变化引起电路DC、AC、TRAN这3种基本特性的变化情况。

其分析参数设置形式与DC分析相同。



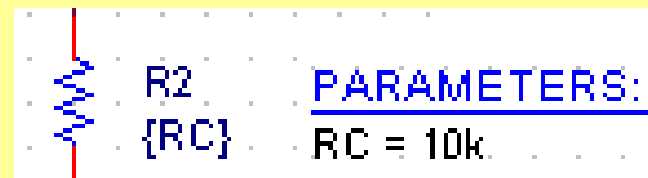
4-2 参数扫描分析 (Parametric Sweep)

2. Global parameter (全局参数) 的含义与设置

参数扫描分析中, 若采用PARAMETERS符号设置参数, 同时考虑多个元器件的参数变化对电路特性的影响, 这种参数称为全局参数。

参数扫描分析设置步骤 (以差分对电路中RC1和RC2同时变化为例):

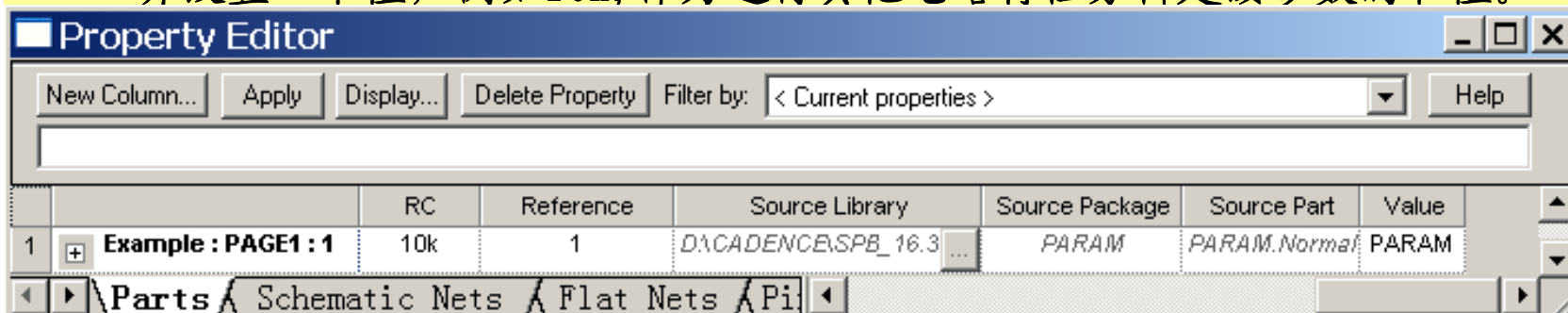
- (1) 将两个电阻值改为带有大括号的参数, 例如 {RC}。
- (2) 在电路中放置一个名称为PARAM的符号。



连击该符号, 调出元器件参数编辑器。

按New按钮, 新增设一项属性参数RC (必须与上述参数名称相同)。

并设置一个值, 例如10k, 作为进行其他电路特性分析是该参数的取值。



- (3) 设置参数扫描分析中参数的变化规律。

Simulation Settings - ac



General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis type:

AC Sweep/Noise

Options

- ☒ General Settings
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☒ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep variable

- ☐ Voltage source
- ☐ Current source
- ☒ Global parameter
- ☐ Model parameter
- ☐ Temperature

Name:

Model type:

Model name:

Parameter name: RC

Sweep type

- ☒ Linear
- ☐ Logarithmic
- ☐ Value list

Decade

Start value:

10k

End value:

22k

Increment:

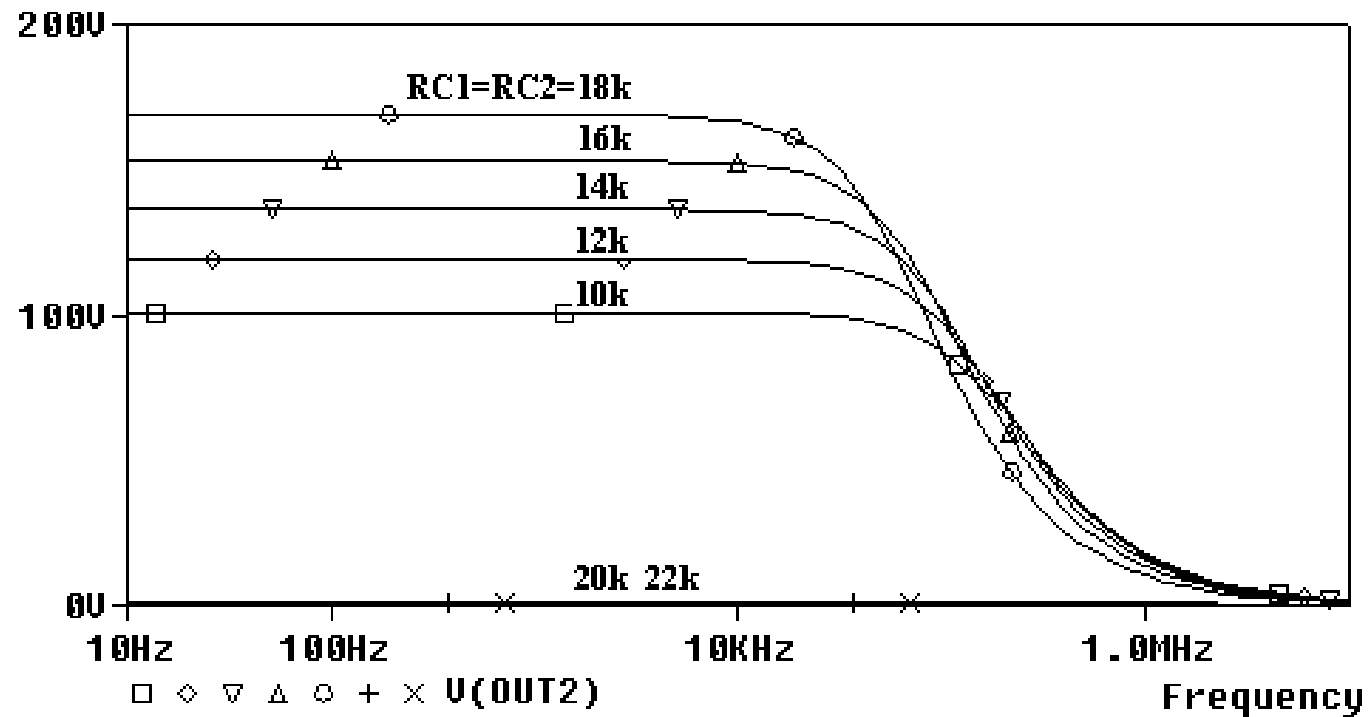
1k

确定

取消

应用 (A)

帮助



参数扫描结果直观地显示了频率响应与电阻RC1、RC2的关系。

设计人员可能更希望得到电路特性（例如增益）随电阻的变化情况

5-5 电路性能分析

5-5-1 概述

5-5-2. 电路性能分析的步骤(方法1)

5-5-3. 电路性能分析的步骤(方法2)

5-5-4. 电路性能分析的步骤(方法3)

5-5-1 概 述

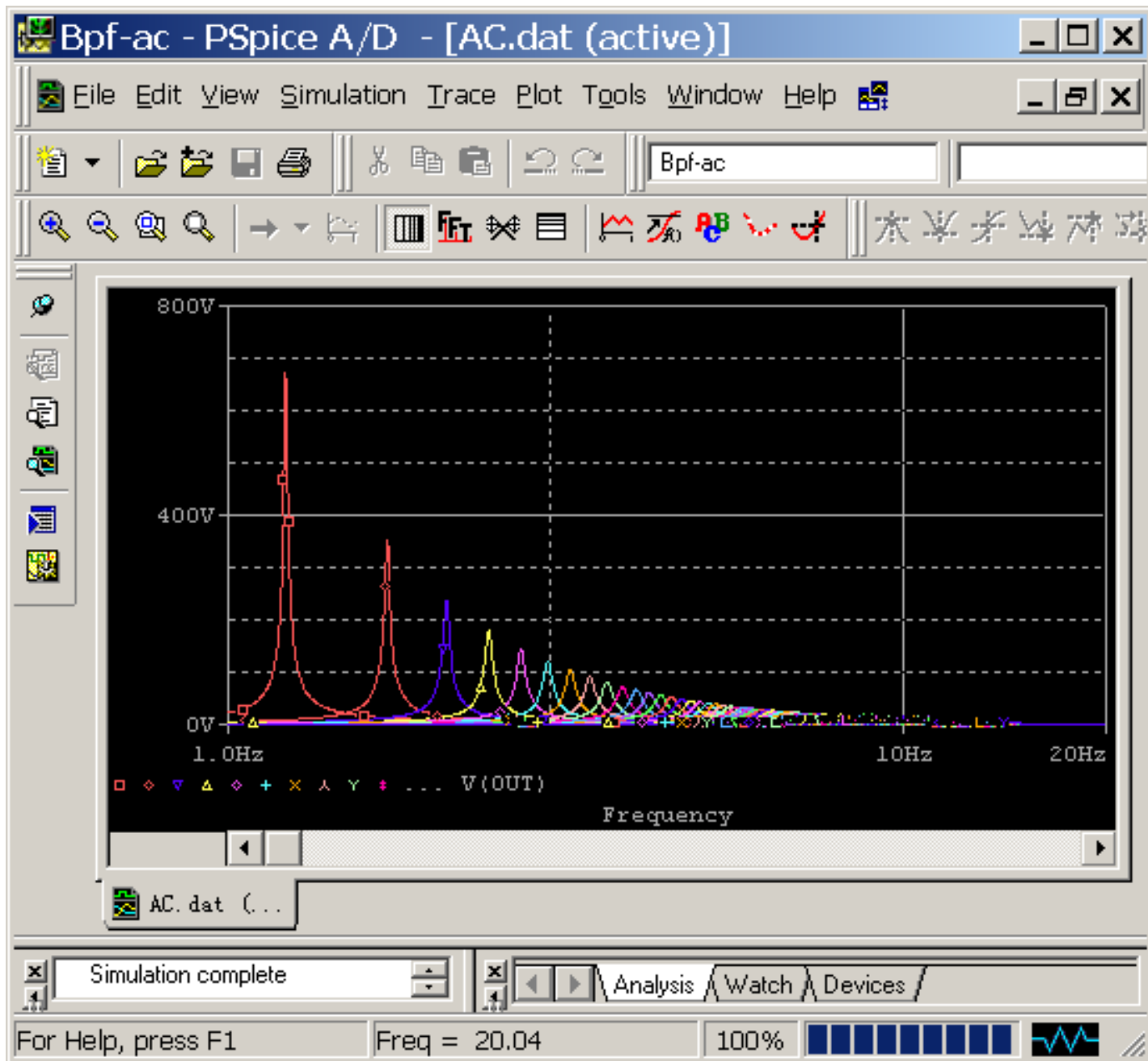
为了改进电路设计,往往需要知道电路特性值随电路中关键元器件值的变化关系,由此选定最佳的元器件值,实现电路的优化设计。

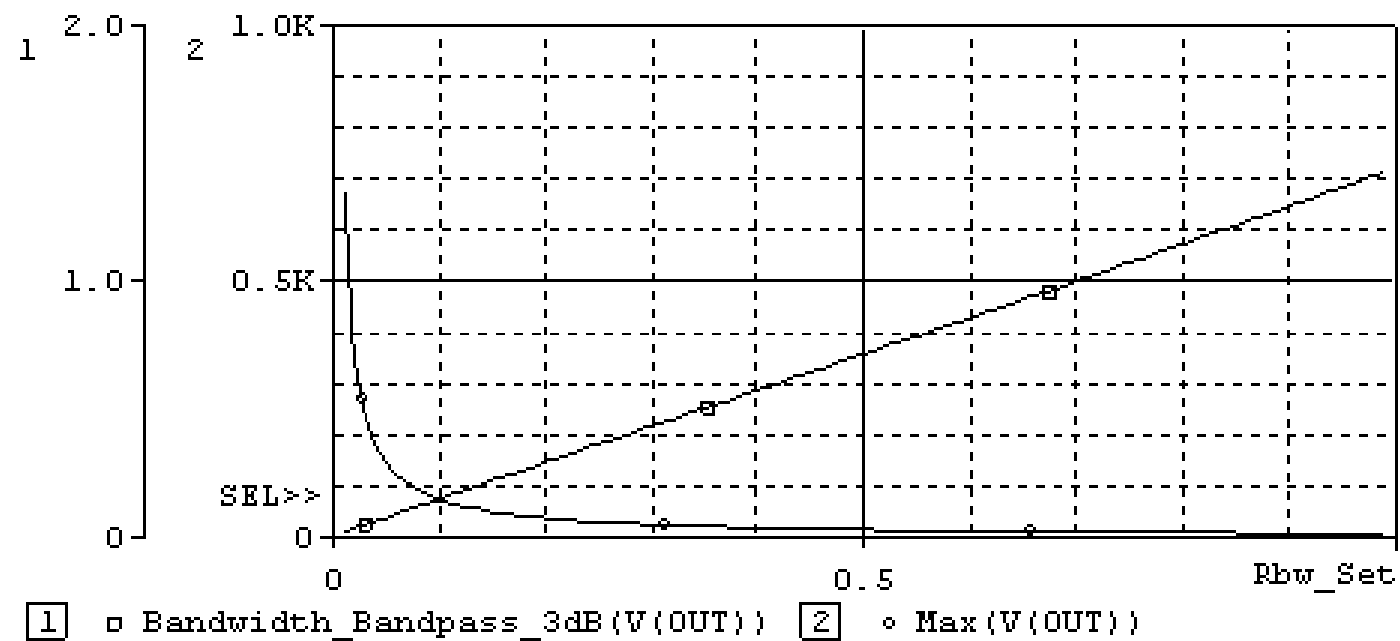
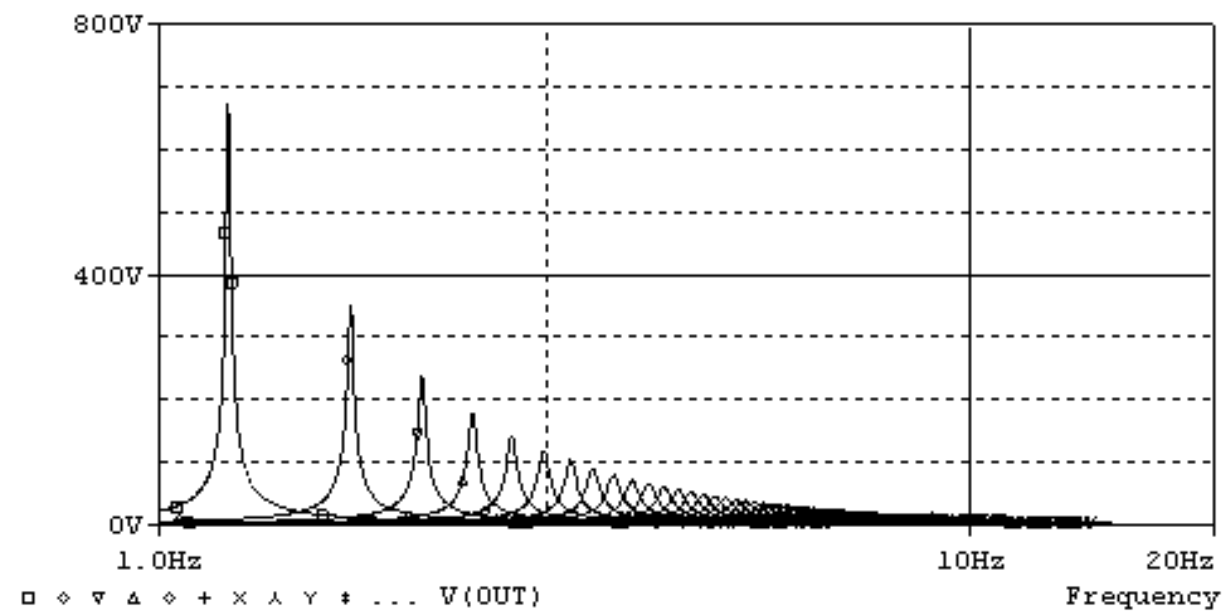
针对电路设计中的这一要求,电路模拟软件PSPice提供有电路性能分析(Performance Analysis)功能,可以从电路分析得到的节点电压和支路电流数据自动提取出电路特性参数,进而定量分析电路特性随元器件值的变化关系。

进行电路性能分析涉及的几个问题

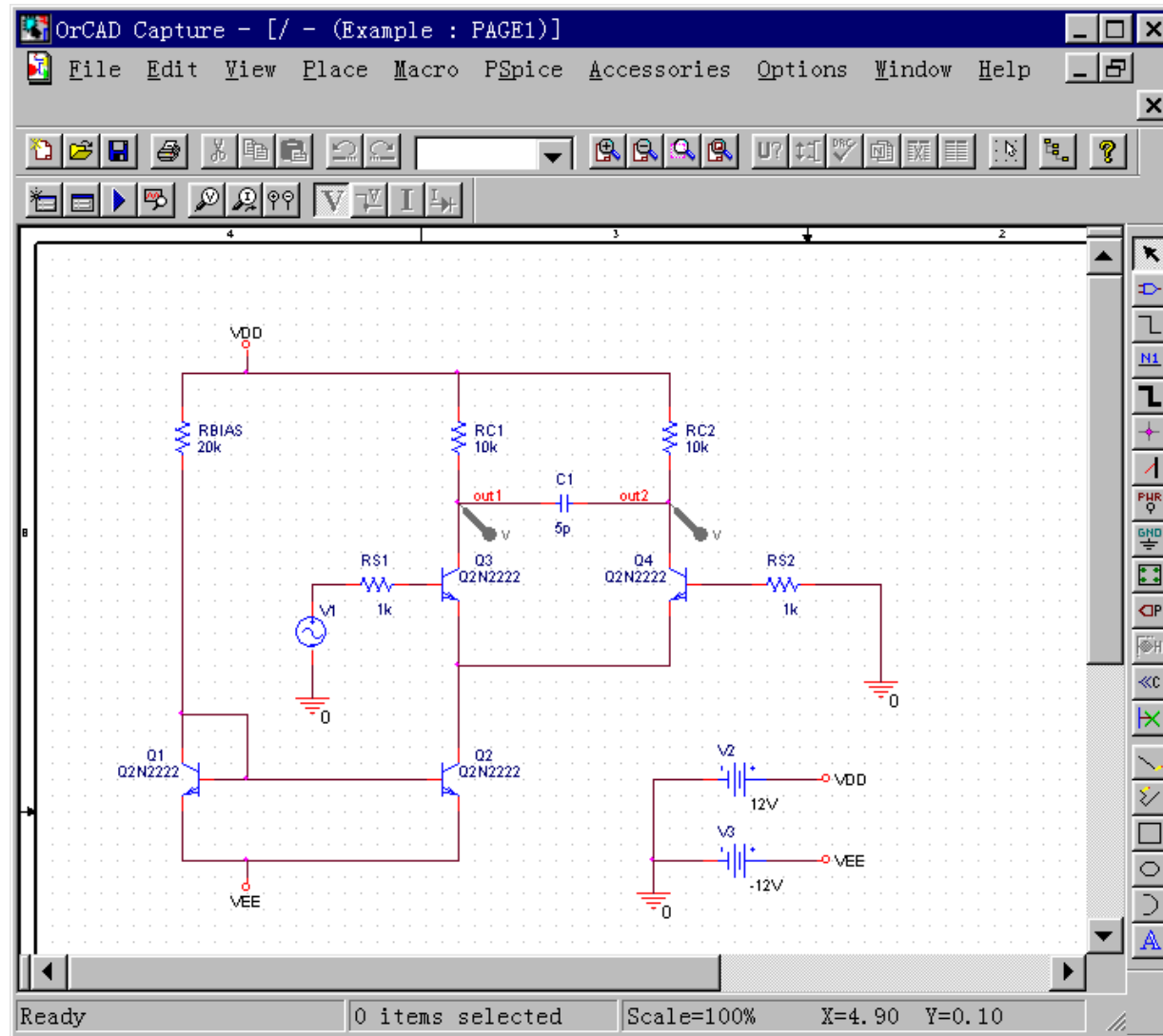
- (1)确定变化的元器件参数。
- (2)确定电路模拟分析的类型。
- (3)调用Measurement,并指定相应参数。
- (4)显示电路特性分析结果。

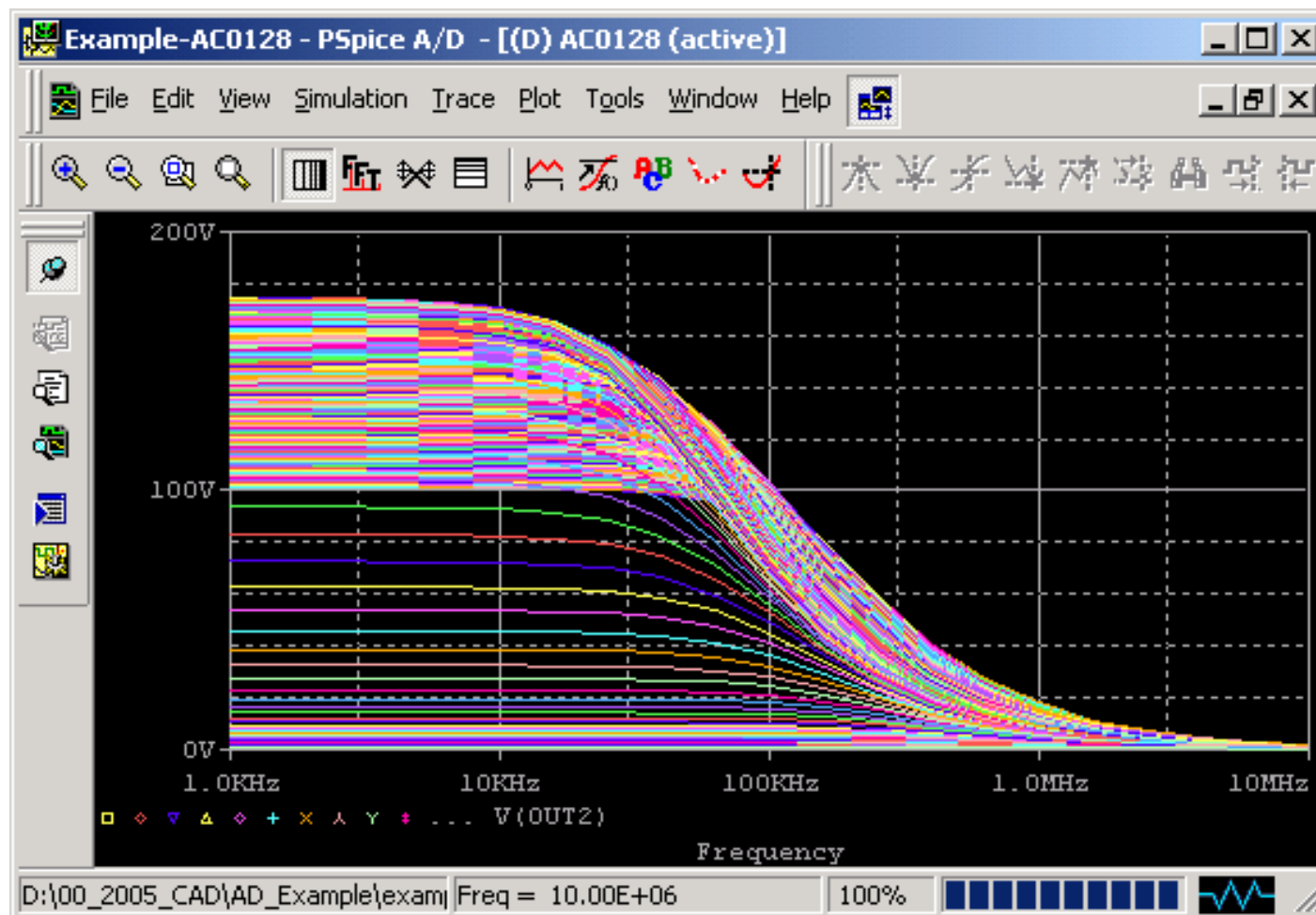
其中(1)和(2)由参数扫描分析完成; (3)和(4)由Probe完成。

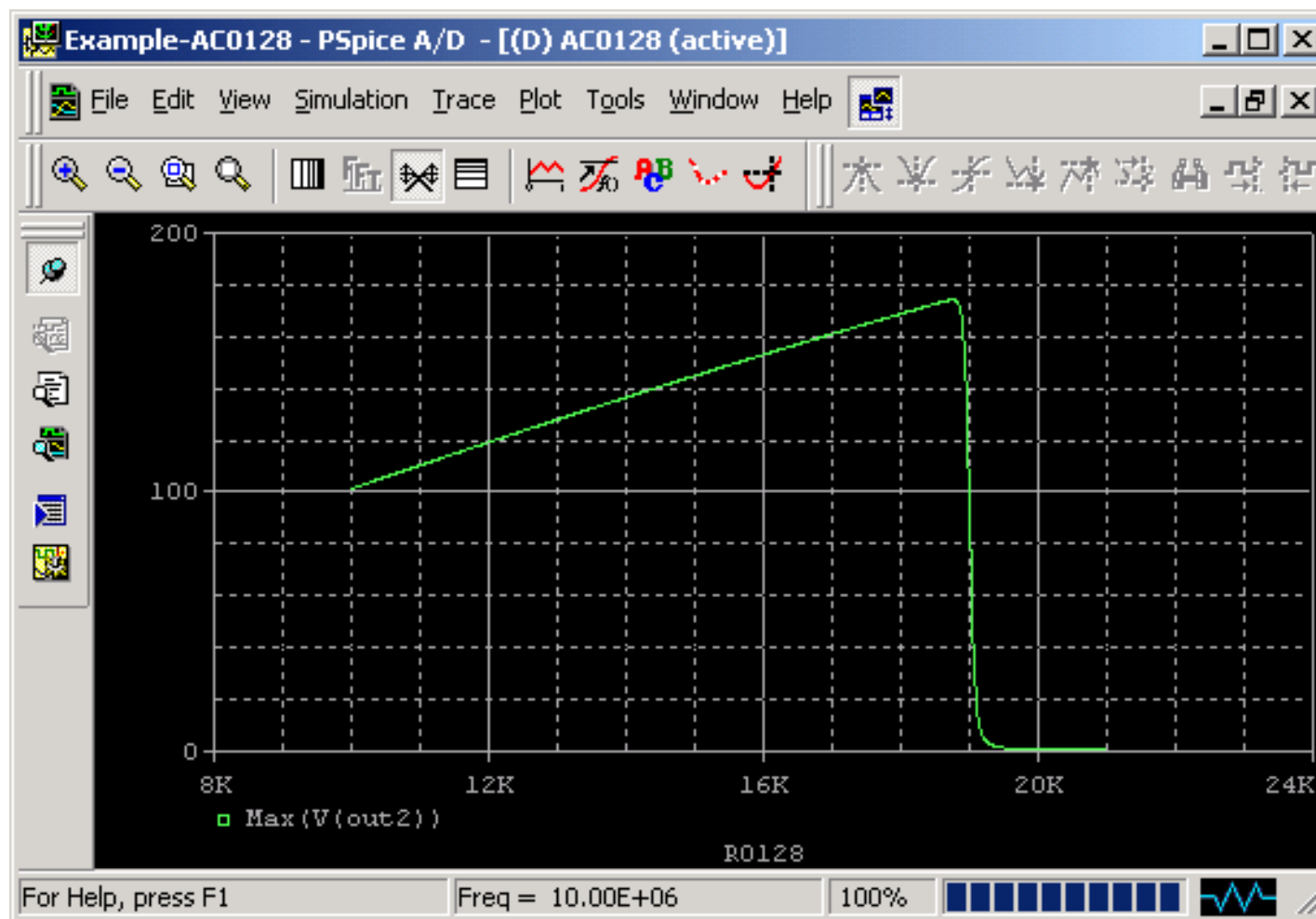




例：同时改变电阻 RC1 和 RC2 的阻值，差分对电路的频率特性将如何变化？







根据上述曲线可以正确地确定差分对集电极电阻的数据值

5-5-2电路性能分析的步骤(方法1)

- (1) 绘制电路图，设置变化的元器件参数。
- (2) 进行基本特性分析。
- (3) 设置参数变化范围，进行参数扫描分析。
- (4) 确定参与电路特性分析的数据批次，进入Probe 。

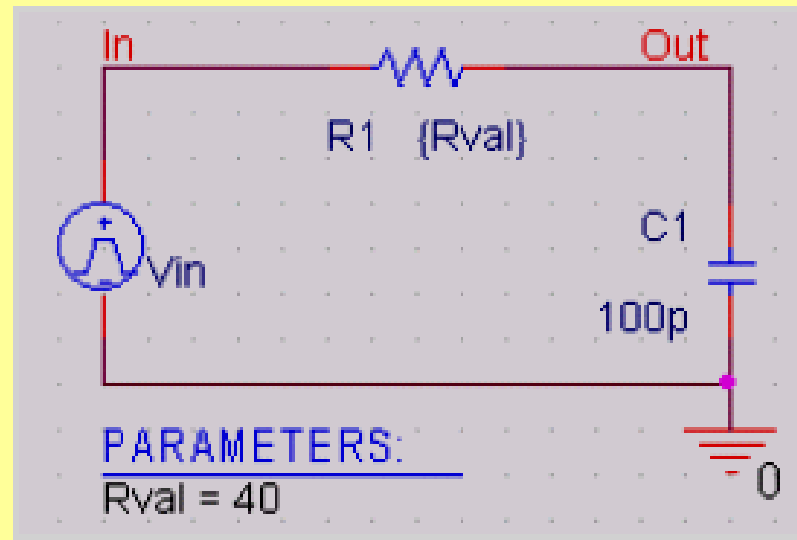
说明：以上3步为通常的电路分析和波形显示步骤

- (5) 选择Trace/Performance Analysis命令，启动电路特性分析。
- (6) 跟随电路特性分析向导Wizard完成电路特性分析。
- (7) 显示电路特性分析结果。
- (8) 对结果进行分析。

电路性能分析的步骤(方法1)

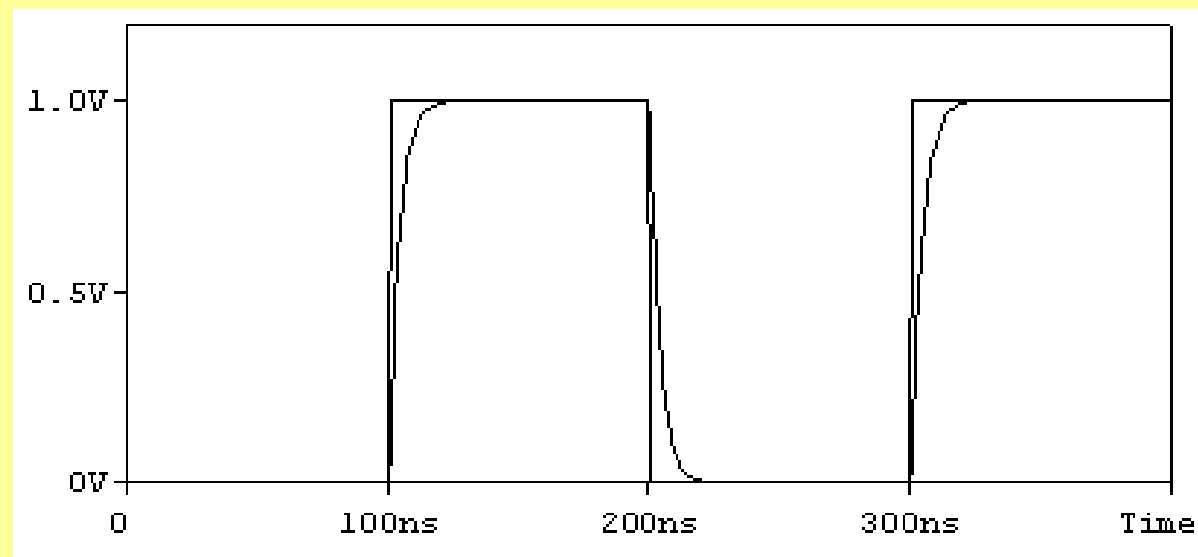
(结合实例：RC电路上升时间与电阻关系的分析)

(1) 绘制电路图，设置变化的元器件参数。



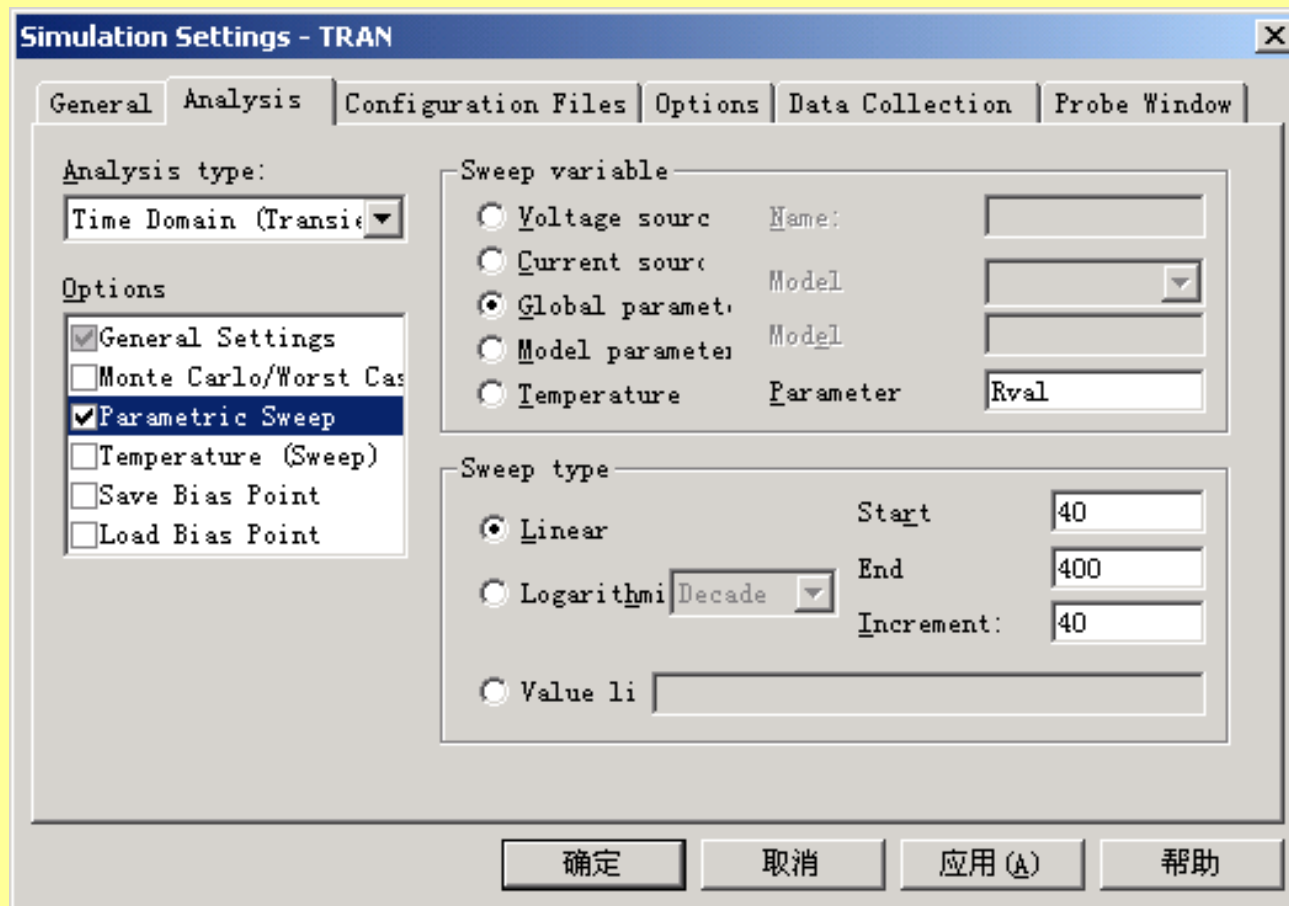
电路性能分析的步骤(方法1)

(2) 进行基本特性分析



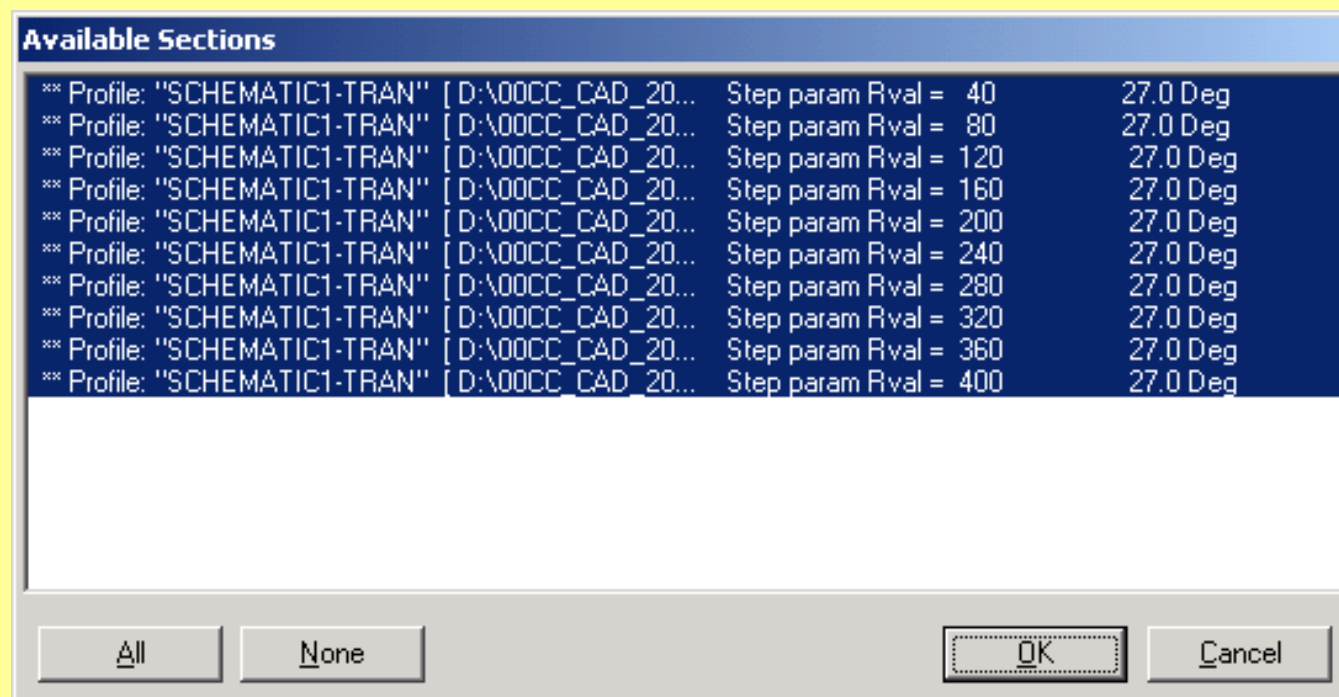
电路性能分析的步骤(方法1)

(3) 设置参数变化范围，进行参数扫描分析。



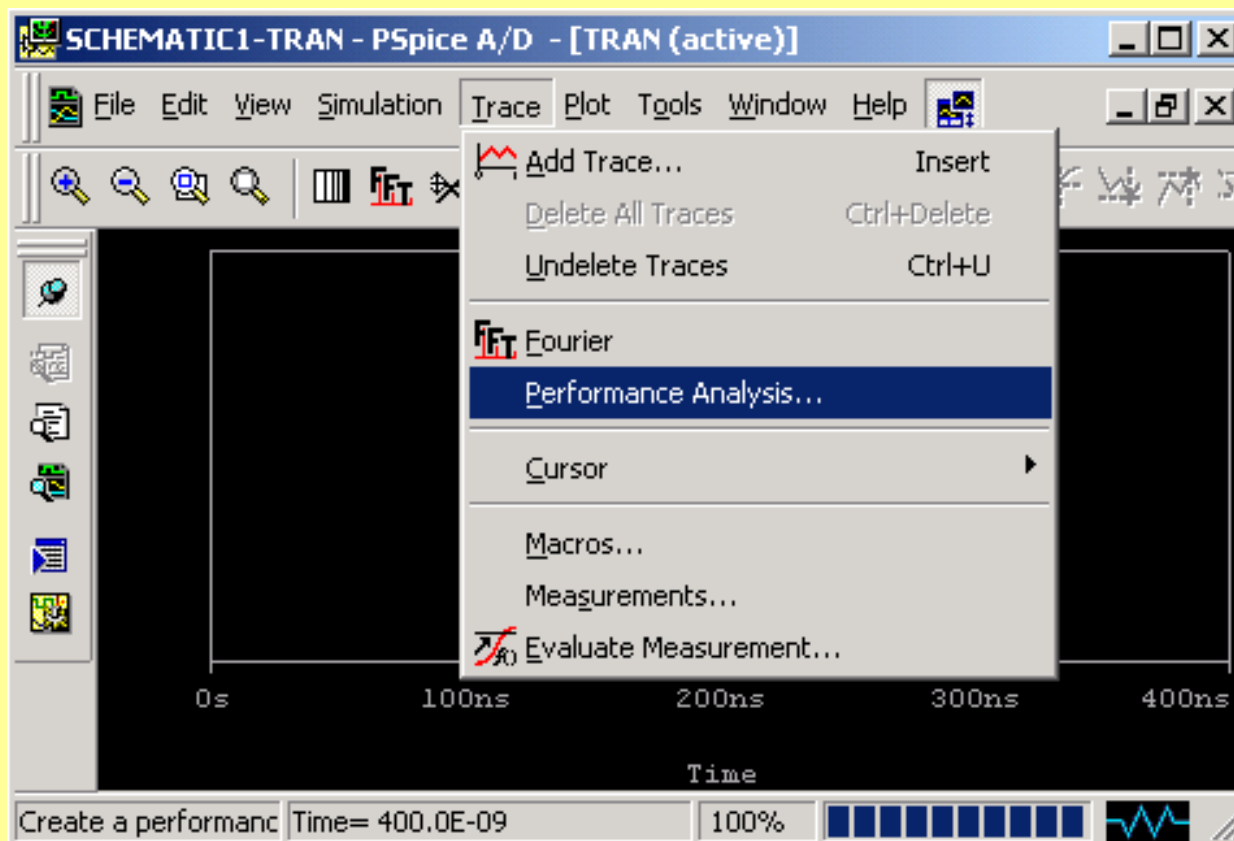
电路性能分析的步骤(方法1)

(4) 确定参与电路特性分析的数据批次



电路性能分析的步骤(方法1)

(5) 选择Trace/Performance Analysis命令，启动电路特性分析。



电路性能分析的步骤(方法1)

注释

数据批次

自变量

坐标轴

使用说明

命令按钮

Performance Analysis

Performance Analysis allows you to see how some characteristic of a waveform (as measured by a Measurement) varies between several simulation runs that have a single variable (parameter, temperature, etc) changing between runs. For example, you could plot the bandwidth of a filter vs a capacitor value that changes between simulation runs.

Multiple simulation runs are required to use Performance Analysis. Each simulation is a different section in the data file.

Analog sections currently selected 10 of 10

Variable changing between sections Rval

Range of changing variable 40 to 400 ohms

The X axis will be Rval.
The Y axis will depend on the Measurement you use.

If you wish, you may now select a different set of sections.

Choosing OK now will take you directly into Performance Analysis, where you will need to use Trace/Add to 'manually' add your Measurement, or expression of Measurements, to create the Performance Analysis Trace.

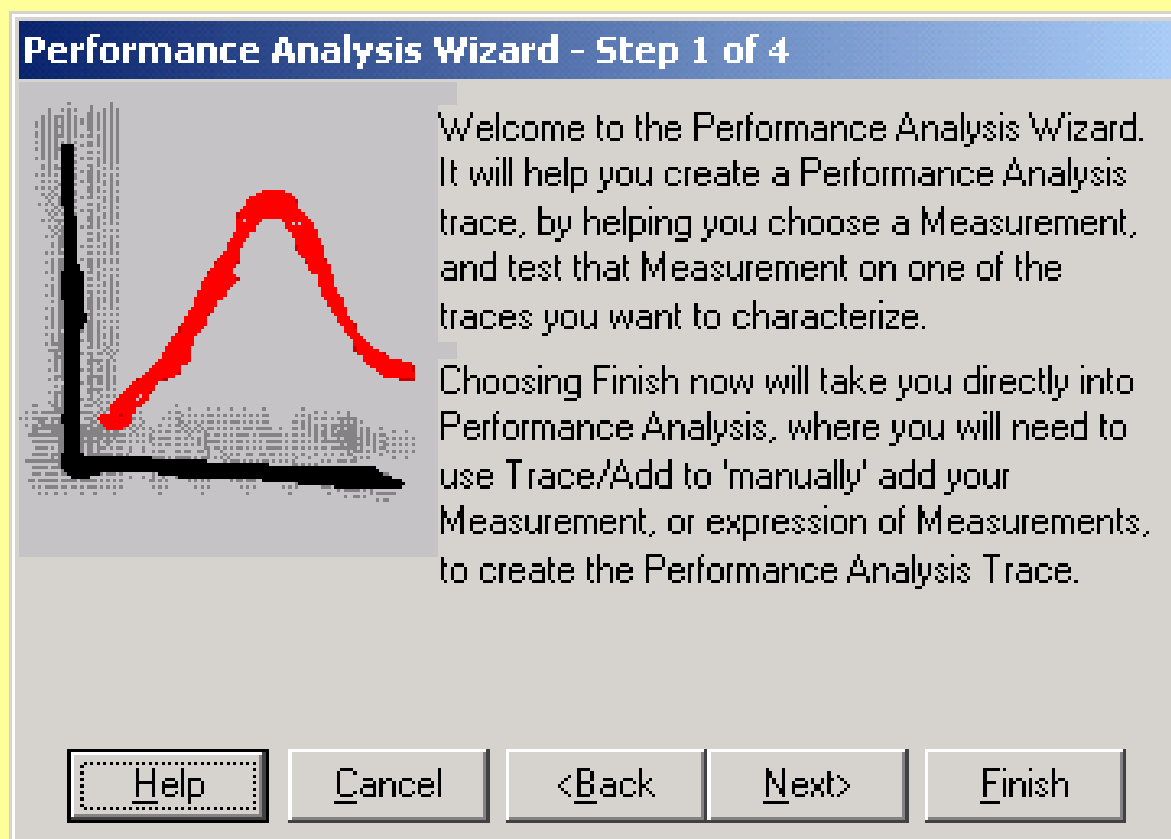
Instead, you may use the 'Wizard' to help you create a Performance Analysis Trace.

按

电路性能分析的步骤(方法1)

(6)跟随电路特性分析向导Wizard完成电路特性分析

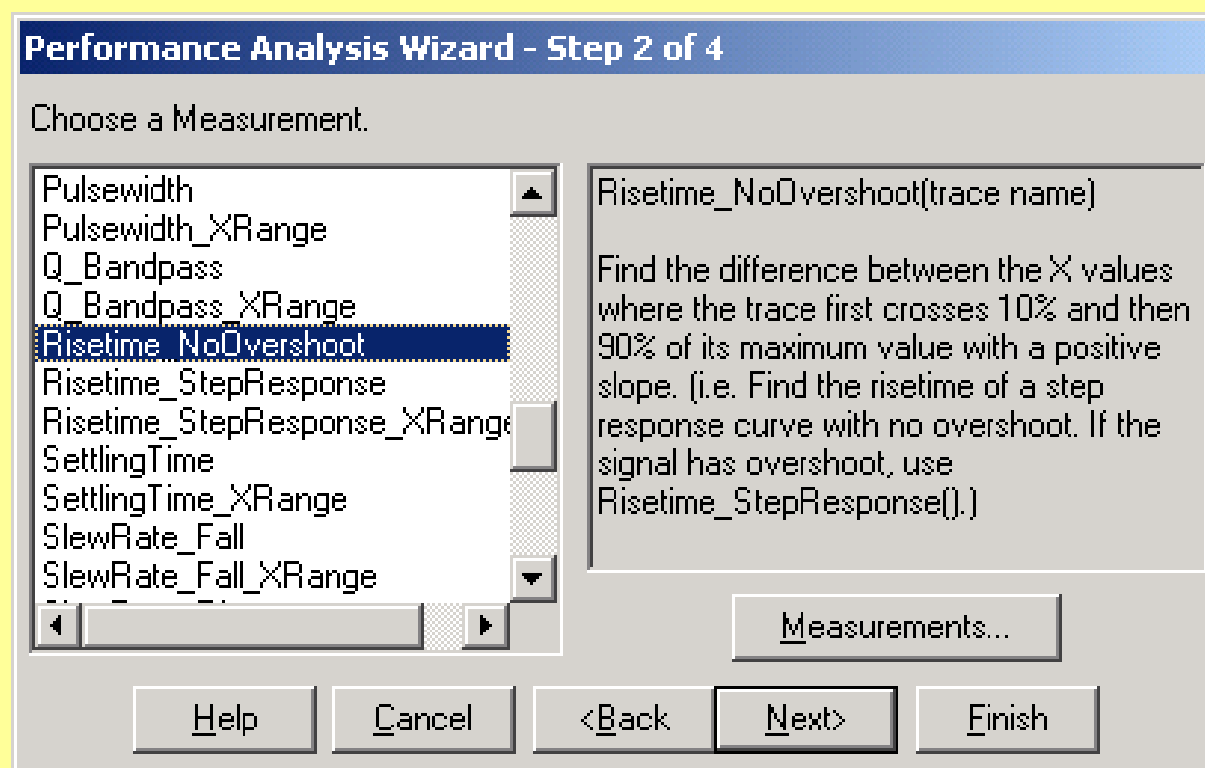
Step 1: 进入电路特性分析向导Wizard 工作状态



电路性能分析的步骤(方法1)

(6)跟随电路特性分析向导Wizard完成电路特性分析

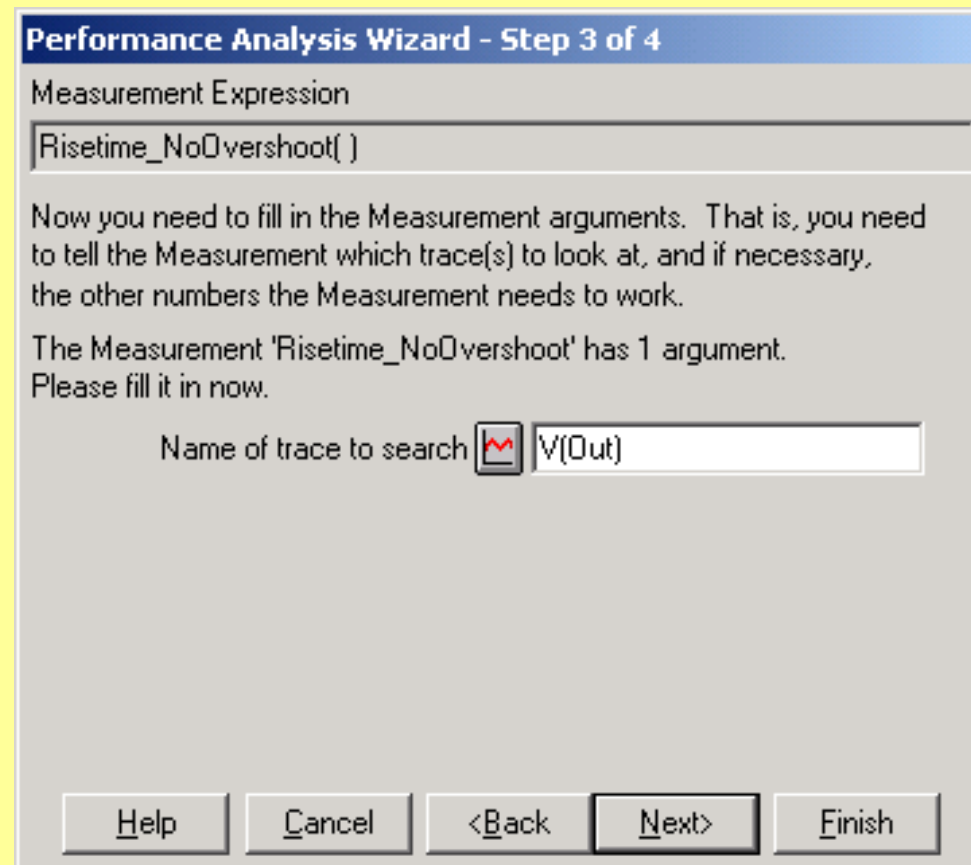
Step 2: 选择特征值函数



电路性能分析的步骤(方法1)

(6)跟随电路特性分析向导Wizard完成电路特性分析

Step 3: 设置特征值函数的自变量



The image shows a screenshot of the 'Performance Analysis Wizard - Step 3 of 4' dialog box. The 'Measurement Expression' field contains 'Risetime_NoOvershoot()'. Below this, there is instructional text: 'Now you need to fill in the Measurement arguments. That is, you need to tell the Measurement which trace(s) to look at, and if necessary, the other numbers the Measurement needs to work. The Measurement 'Risetime_NoOvershoot' has 1 argument. Please fill it in now.' The 'Name of trace to search' field contains 'V(Out)'. At the bottom, there are five buttons: 'Help', 'Cancel', '<Back', 'Next>', and 'Finish'.


Performance Analysis Wizard - Step 3 of 4

Measurement Expression

Risetime_NoOvershoot()

Now you need to fill in the Measurement arguments. That is, you need to tell the Measurement which trace(s) to look at, and if necessary, the other numbers the Measurement needs to work.

The Measurement 'Risetime_NoOvershoot' has 1 argument. Please fill it in now.

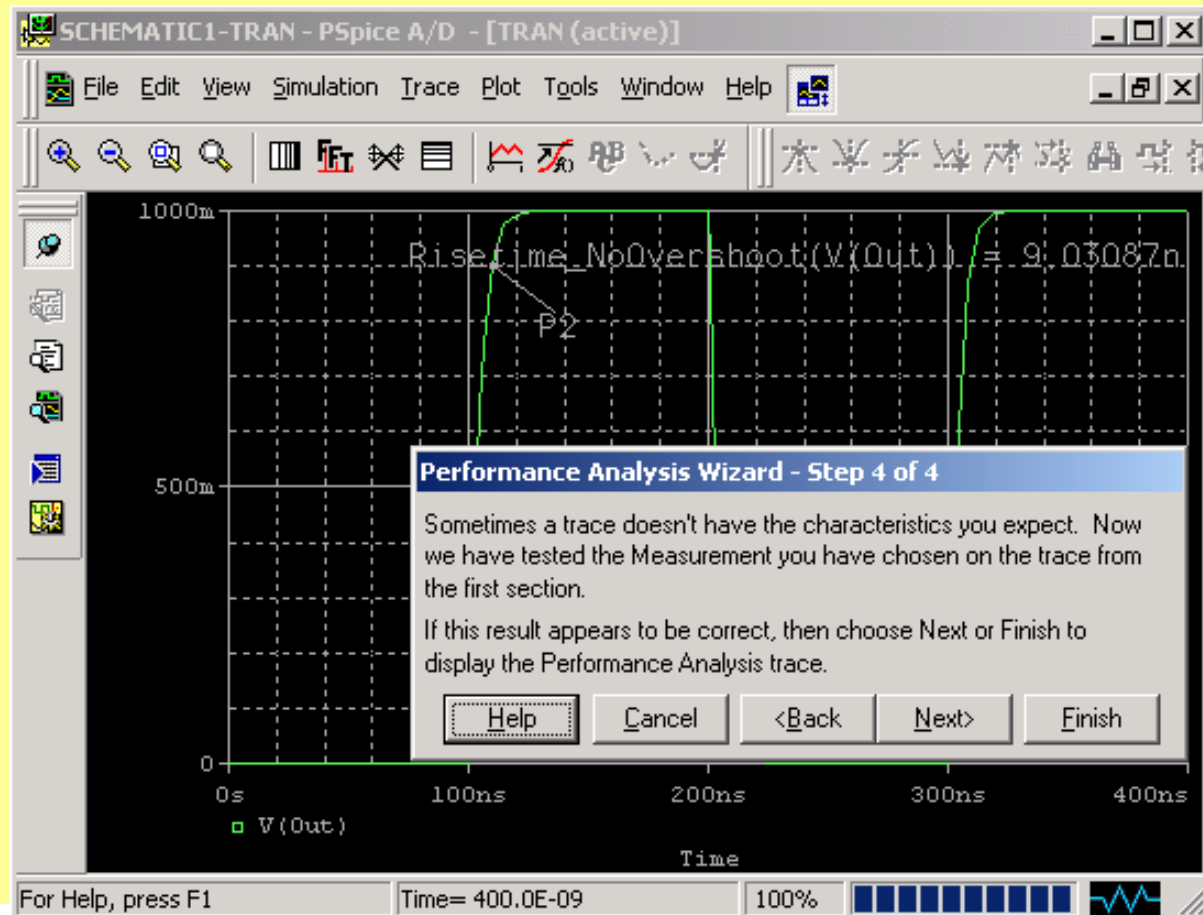
Name of trace to search  V(Out)

Help Cancel <Back Next> Finish

电路性能分析的步骤(方法1)

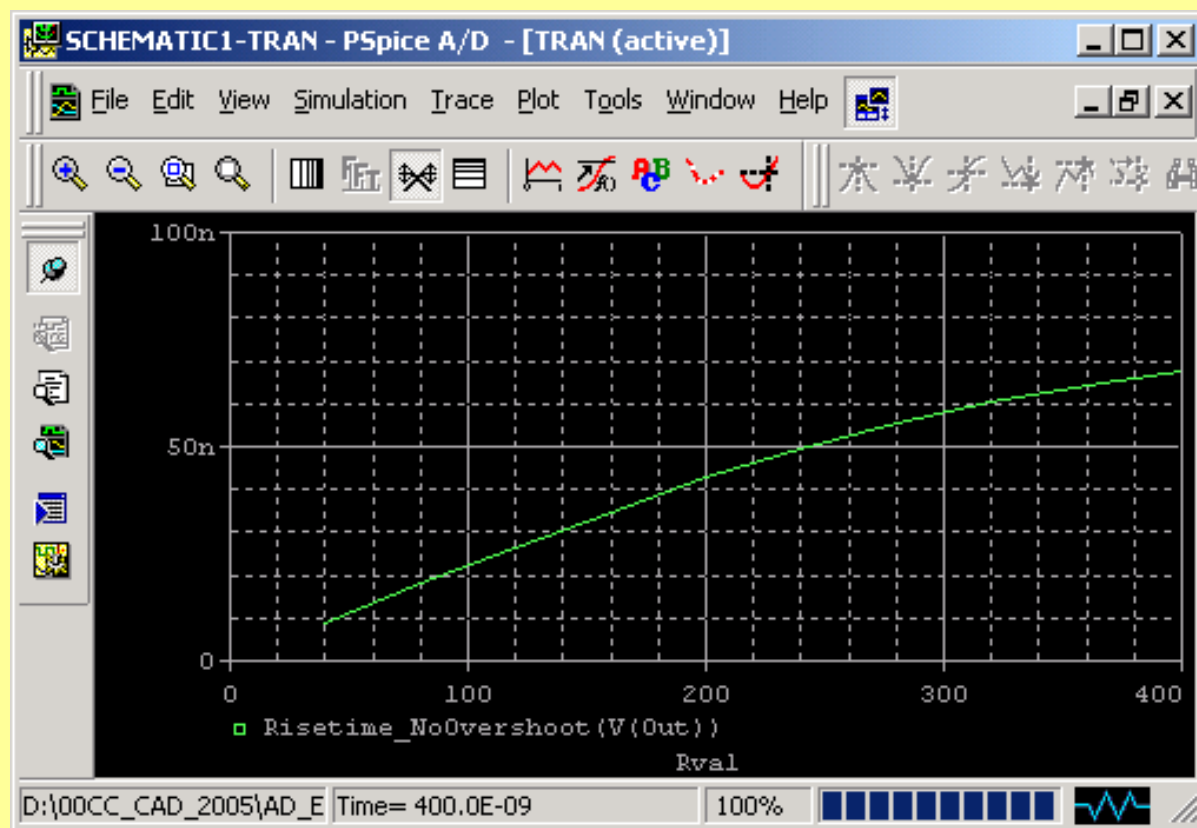
(6)跟随电路特性分析向导Wizard完成电路特性分析

Step4: 验证元器件第一个取值时的特征值函数计算结果



电路性能分析的步骤(方法1)

(8) 对结果进行分析



思考题：由上述分析结果可见，上升时间并不与电阻一直保持正比关系，请分析原因，并给出能得到正确结果的分析方法。

电路性能分析的步骤(方法2)

注释

数据批次

自变量

坐标轴

使用说明

OK按钮

Performance Analysis

Performance Analysis allows you to see how some characteristic of a waveform (as measured by a Goal Function) varies between several simulation runs that have a single variable (parameter, temperature, etc) changing between runs. For example, you could plot the bandwidth of a filter vs a capacitor value that changes between simulation runs.

Multiple simulation runs are required to use Performance Analysis. Each simulation is a different section in the data file.

Analog sections currently selected 10 of 10

Variable changing between sections Rval

Range of changing variable 40 to 400 ohms

The X axis will be Rval.
The Y axis will depend on the Goal Function you use.

If you wish, you may now select a different set of sections.

Choosing OK now will take you directly into Performance Analysis, where you will need to use Trace/Add to 'manually' add your Goal Function, or expression of Goal Functions, to create the Performance Analysis Trace.

Instead, you may use the Wizard to help you create a Performance Analysis Trace.

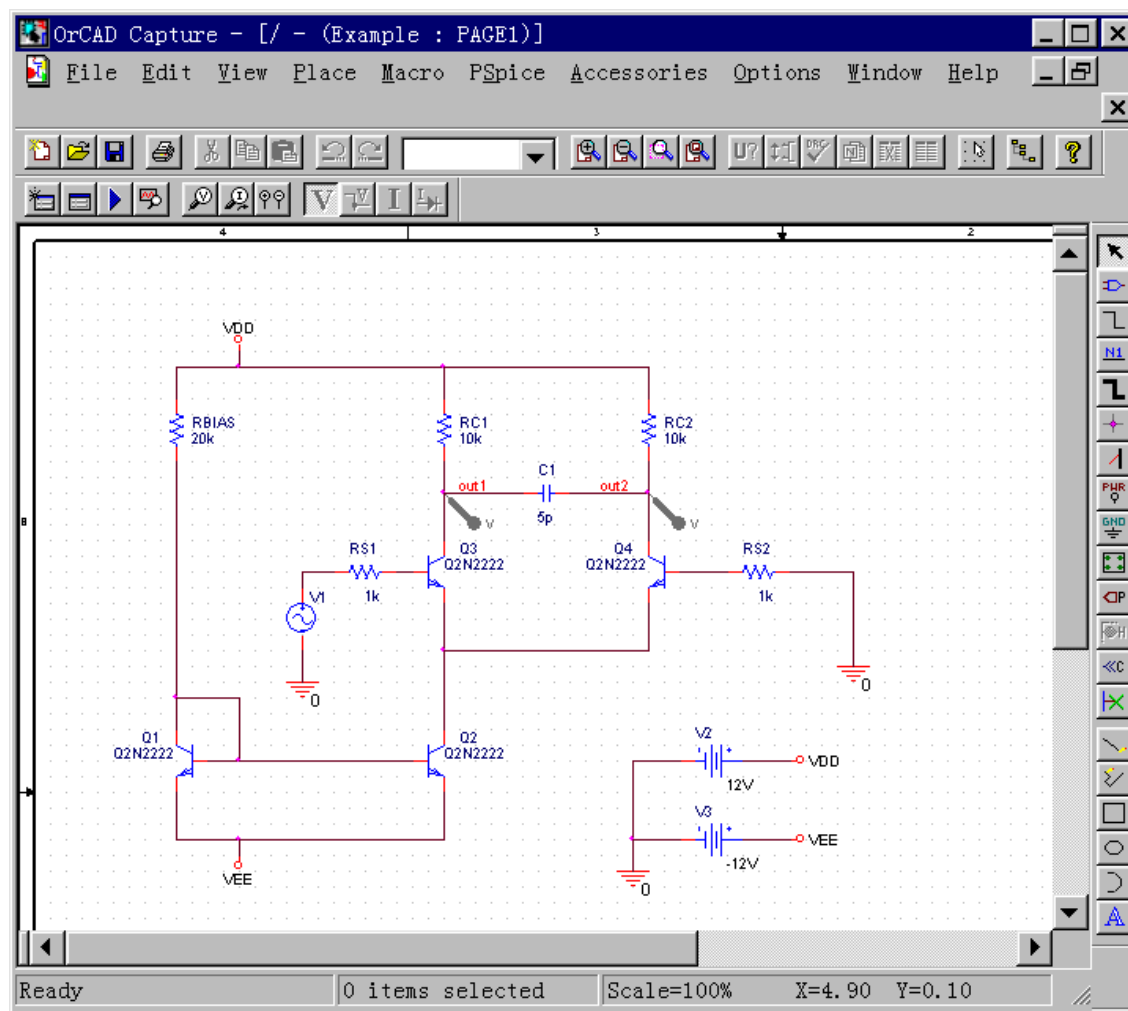
按

参数扫描分析

演示

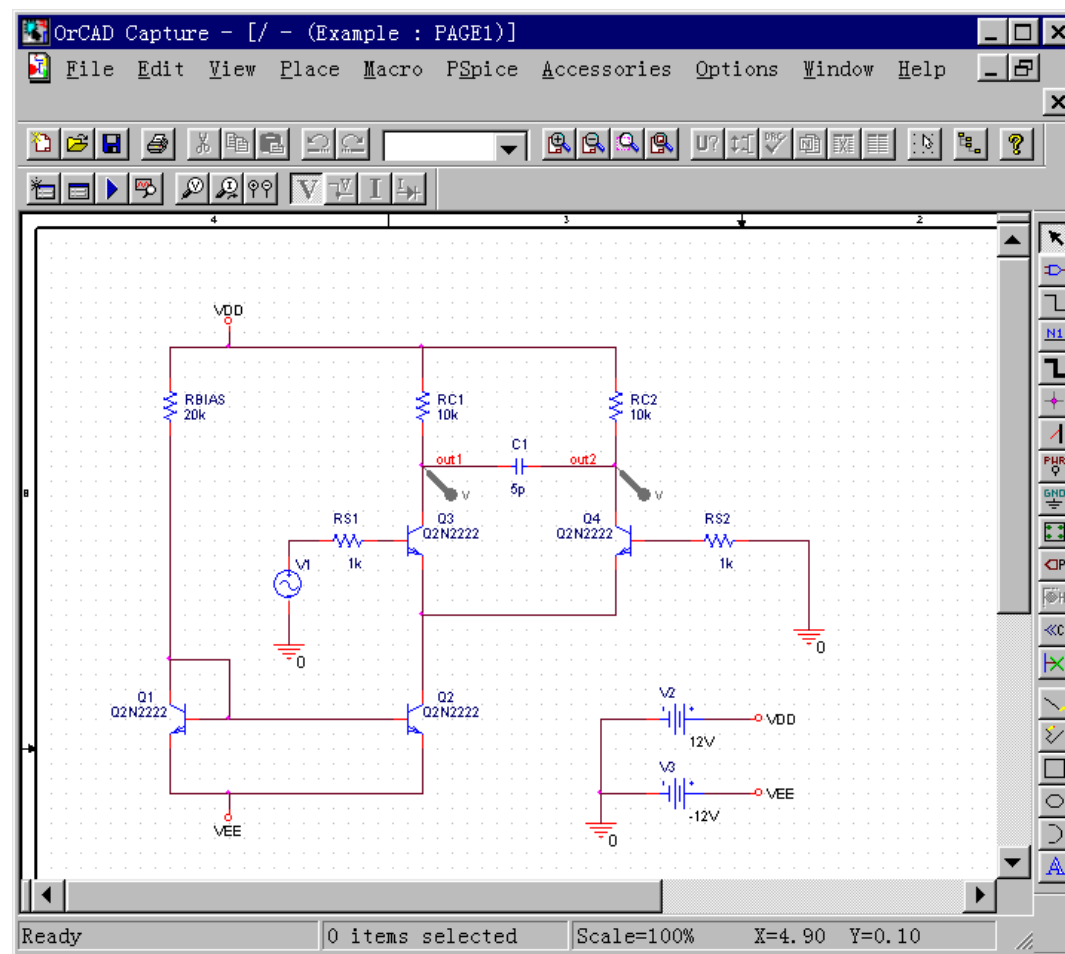
4-2 参数扫描分析 (Parametric Sweep)

例：同时改变电阻 RC1 和 RC2 的阻值，差分对电路的频率特性将如何变化？



4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

例：若 RC1 和 RC2 采用精度为 5% 的电阻，组装若干套差分对电路，这些组装成的差分对电路的频率特性将如何变化？

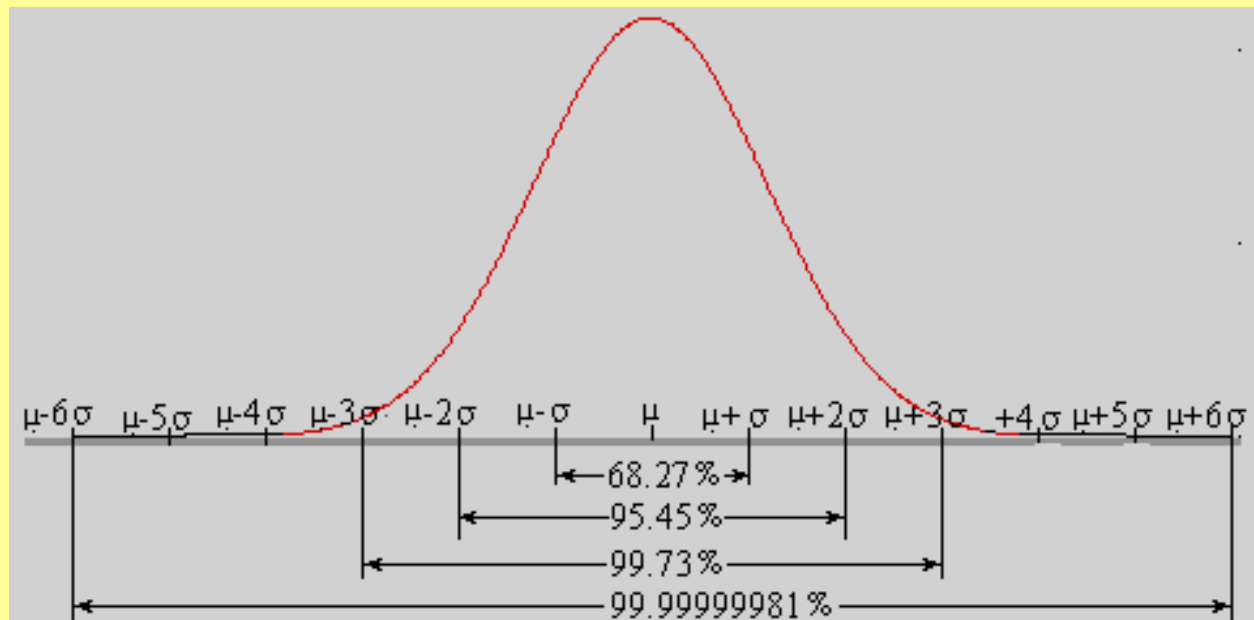


4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

1. 关于蒙特卡诺分析

(1)基本特性分析 - 标称值分析

(2)元器件参数的实际分布及其对电路特性的影响



(3)蒙特卡诺分析 - 成品率分析

4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

2. 进行MC分析需要确定的问题

(1)如何描述元器件参数值的变化规律(考虑哪些参数变化? 参数如何变化?)。

(2)一共要进行多少次分析。

(3)要考虑电路那种输出变量的分散变化。

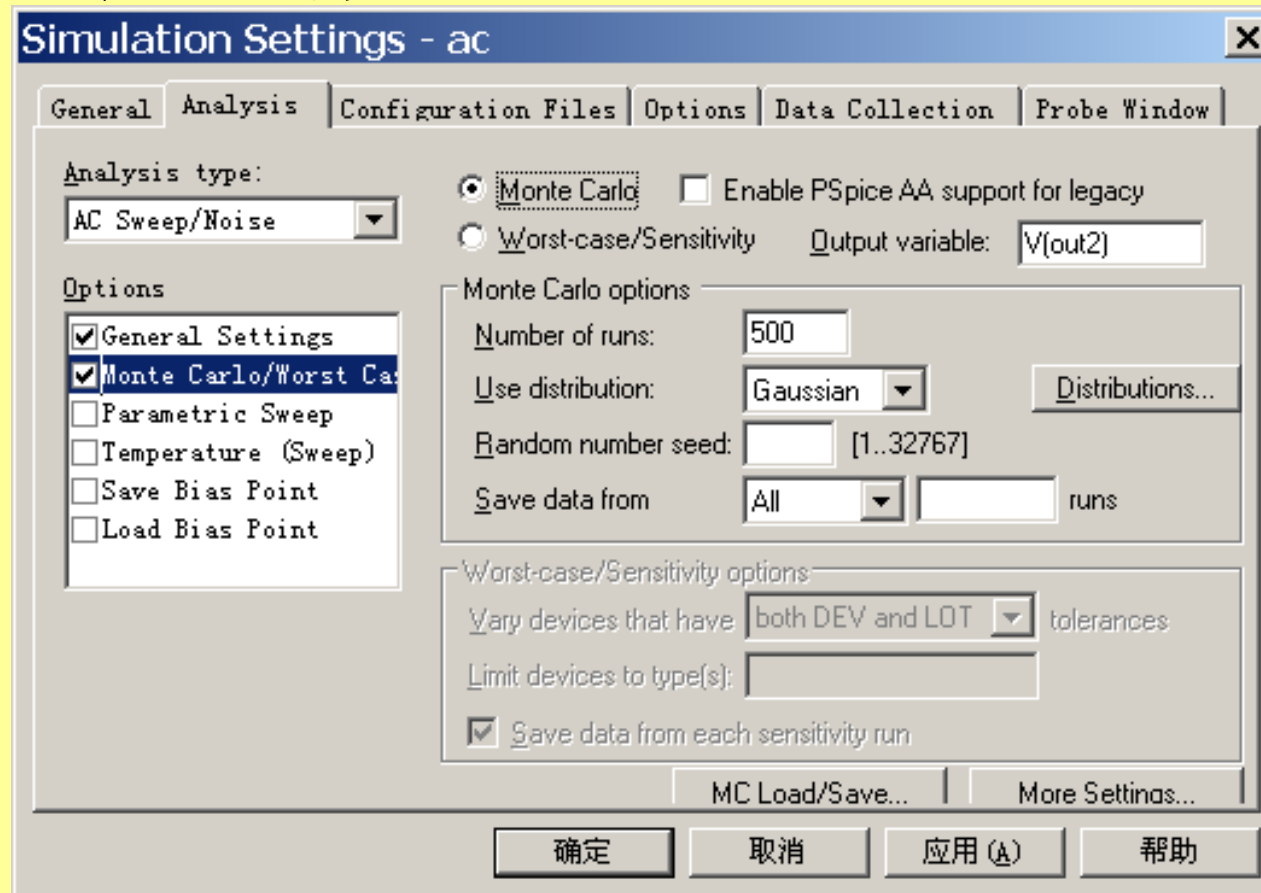
(4)如何保存各次电路分析的结果(5种)。

(5)以什么形式提供MC分析的比较结果(5种)。

这些问题就是进行MC分析时需要由用户设置的有关参数。其中第(1)项是在电路中改变元器件参数设置。其余几项为电路特性分析参数设置。

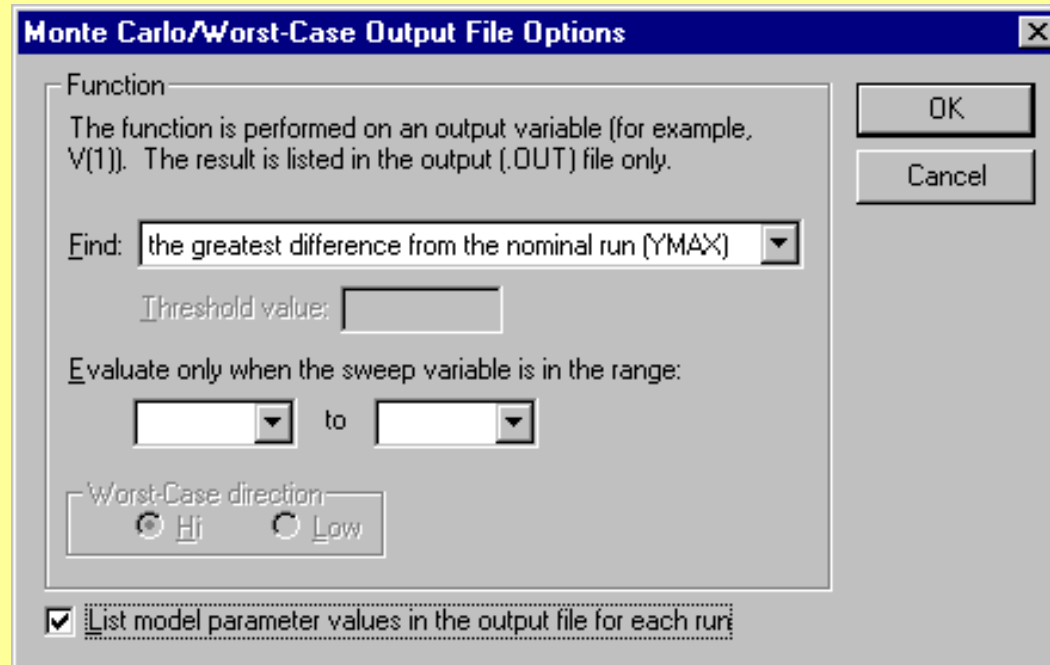
4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

3. 蒙特卡诺分析参数设置



Save data项的5项选择：“None”、“All”、“Firstruns”、“Everyruns”、“Runs (list)”

4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)



“ Find”一栏的5项选择：

- “ the greatest difference from the nominal run (YMAX)”
- “ the maximum value (MAX)”
- “ the minimum value (MIN)”
- “ the first rising threshold crossing (RISE_EDGE)”
- “ the first falling threshold crossing (FALL_EDGE)”

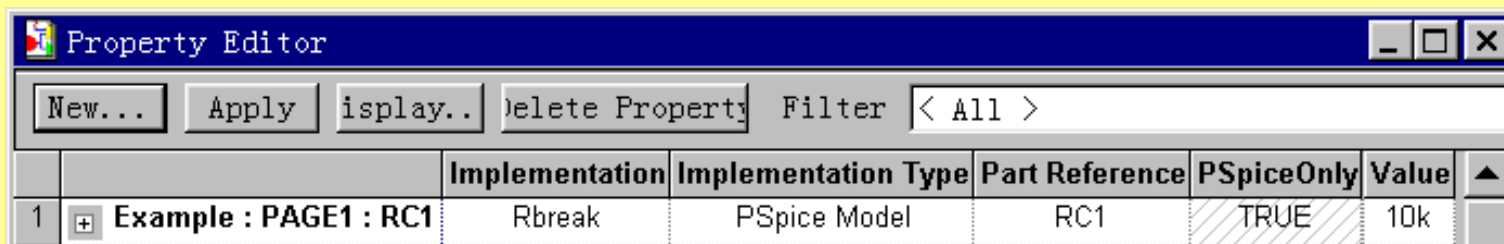
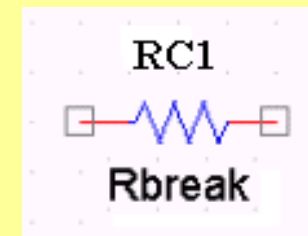
4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

4. MC分析的关键

一定要从BREAKOUT符号库中选用相应符号代替变化的元器件，并设置参数的变化。

设置步骤 (以差分对电路中Rc的变化为例):

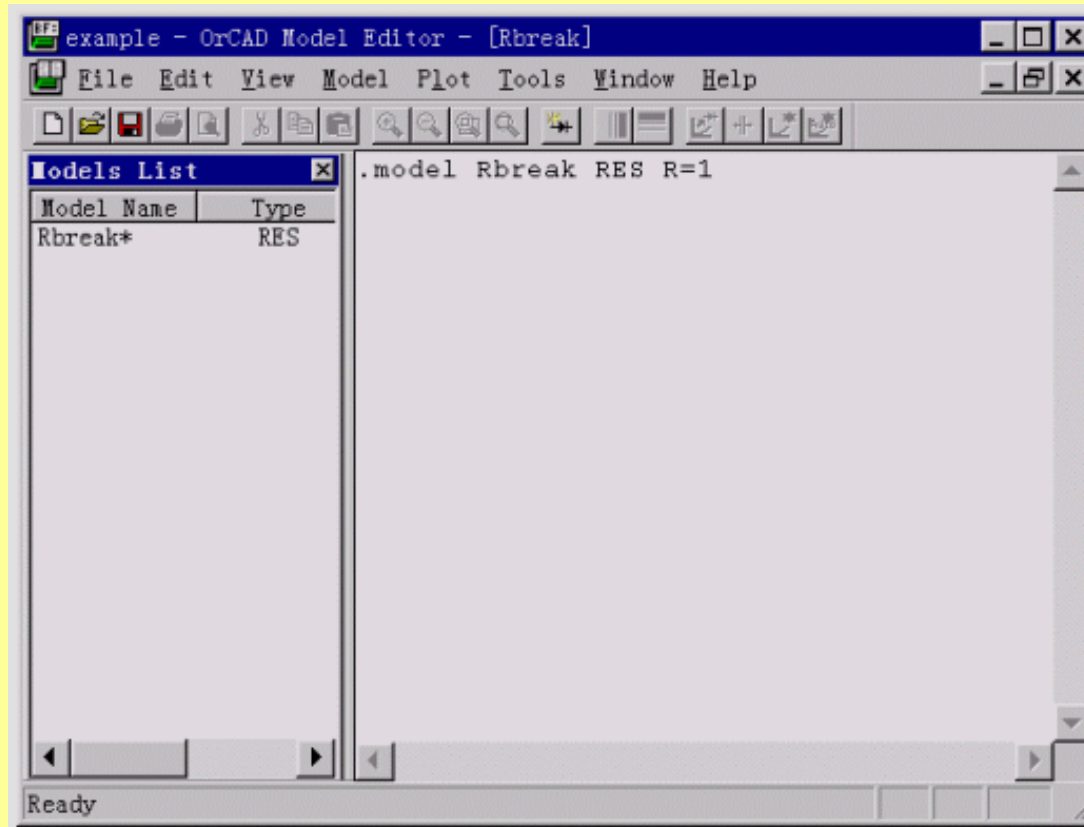
- (1) 将Rc1和Rc2用BREAKOUT库中的Rbreak符号代替。
- (2) 连击Rbreak符号，调出元器件参数编辑器，编辑修改其参数。



- (3) 设置模型参数的变化。

4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

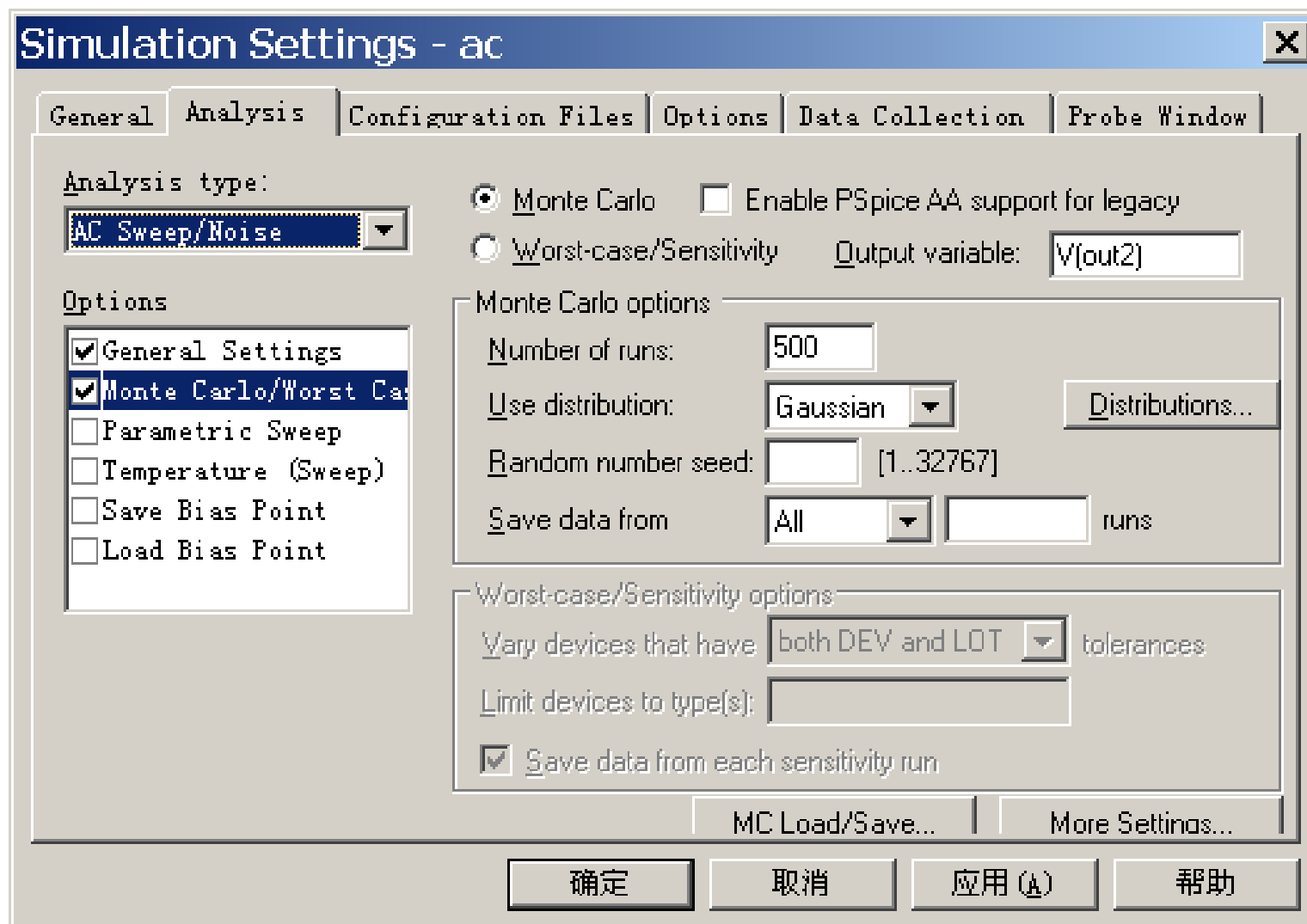
选中Rbreak电阻符号，选择Edit/PSpice Model命令，调出模型参数编辑器。



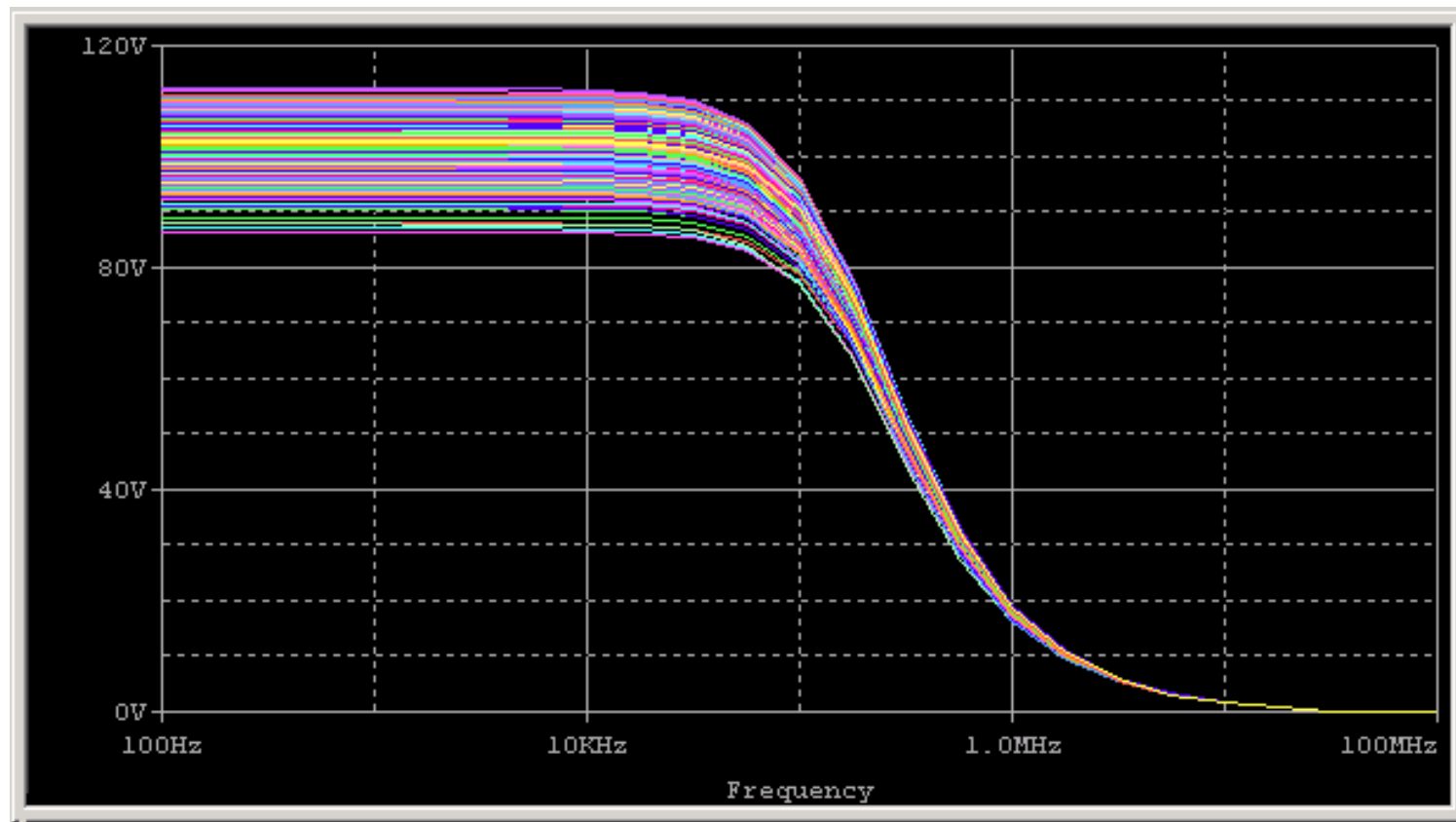
将其中的模型描述改为: **.MODEL RC RES (R=1 DEV=5%)**

注意关于器件模型和模型参数的概念和含义。

4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)



4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)



4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

```
****      SORTED DEVIATIONS OF V(OUT2)      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

              MONTE CARLO SUMMARY

*****
Mean Deviation =      .0348
Sigma           =      4.8342

      RUN              MAX DEVIATION FROM NOMINAL

Pass  180              13.997 (2.90 sigma)  higher at F =  1.0000E+03
                        ( 113.82% of Nominal)
Pass  237              13.567 (2.81 sigma)  lower  at F =  1.0000E+03
                        (  86.609% of Nominal)
Pass  223              13.328 (2.76 sigma)  lower  at F =  1.0000E+03
                        (  86.845% of Nominal)
Pass  168              12.939 (2.68 sigma)  lower  at F =  1.0000E+03
                        (  87.229% of Nominal)
Pass  221              12.911 (2.67 sigma)  lower  at F =  1.0000E+03
                        (  87.256% of Nominal)
Pass  348              12.694 (2.63 sigma)  higher at F =  1.0000E+03
                        ( 112.53% of Nominal)
Pass   16              11.912 (2.46 sigma)  higher at F =  1.0000E+03
                        ( 111.76% of Nominal)
Pass   18              11.912 (2.46 sigma)  higher at F =  1.0000E+03
                        ( 111.76% of Nominal)
```

5-6 直方图绘制

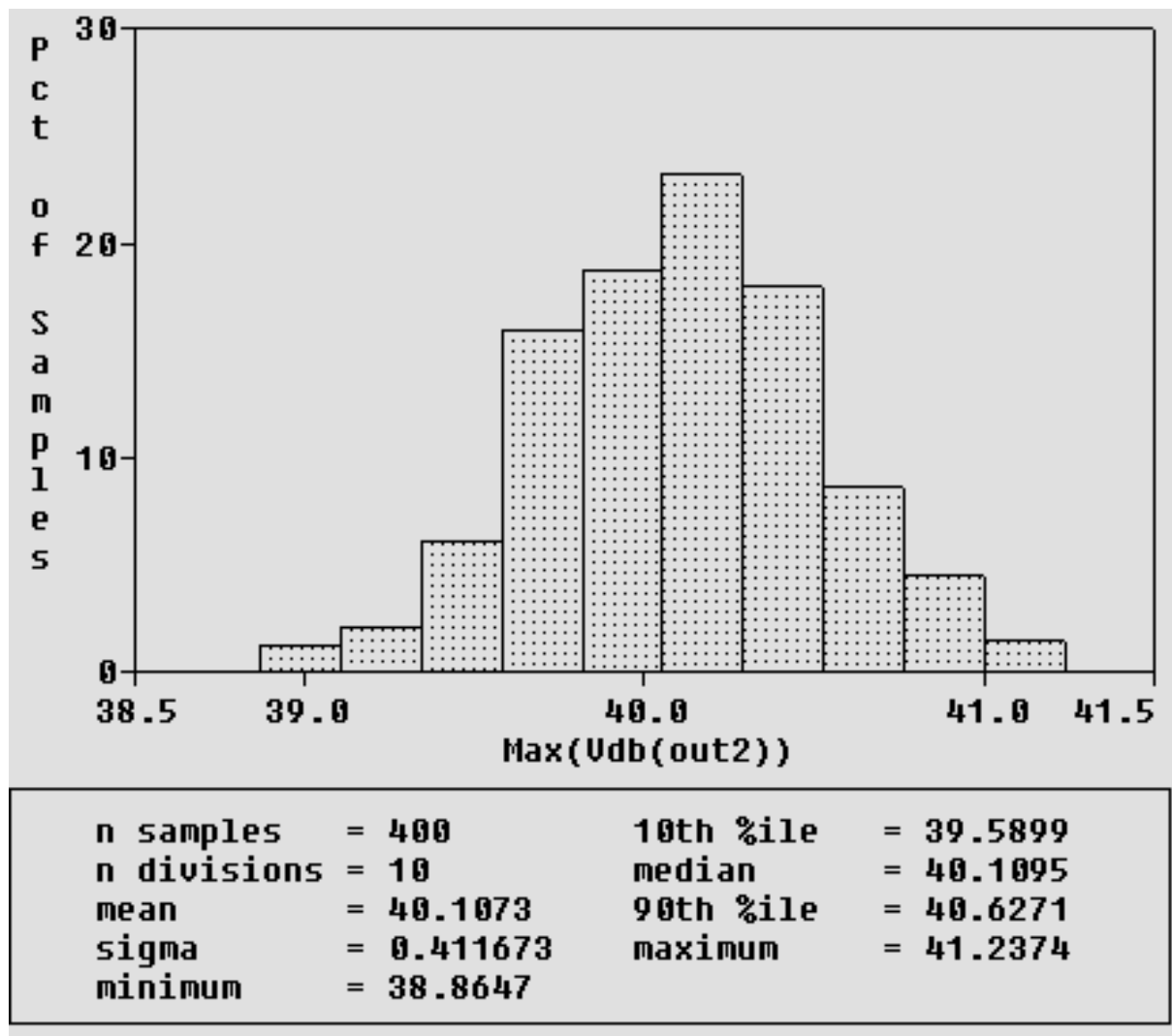
1. 作用

在MC分析以后，可以用直方图形式表示一批电路中，某个电路特性的分散情况，包括该特性的数值范围以及不同值所占的比例，由此可估算成品率。

2. 绘制步骤

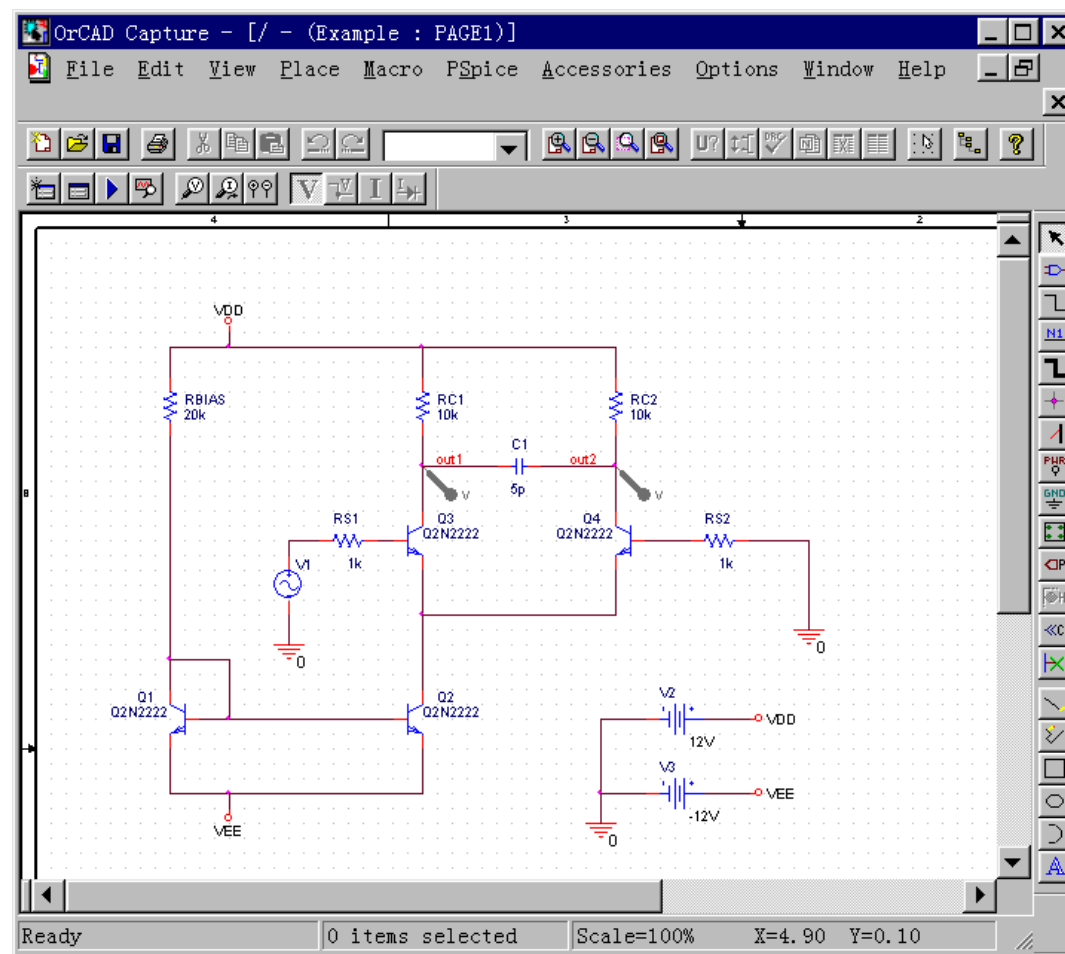
如果在完成蒙特卡诺分析以后直接启动Performance Analysis, Probe窗口将转化为直方图绘制窗口，表征电路特性的特征值函数在显示窗口中成为x轴坐标变量，y轴坐标刻度为百分数。这就是说，只要在MC分析以后启动电路性能分析，就自动进入直方图绘制状态。因此绘制直方图包括MC分析和Performance Analysis两个分析过程。

3. 直方图绘制实例：差分对电路最大增益



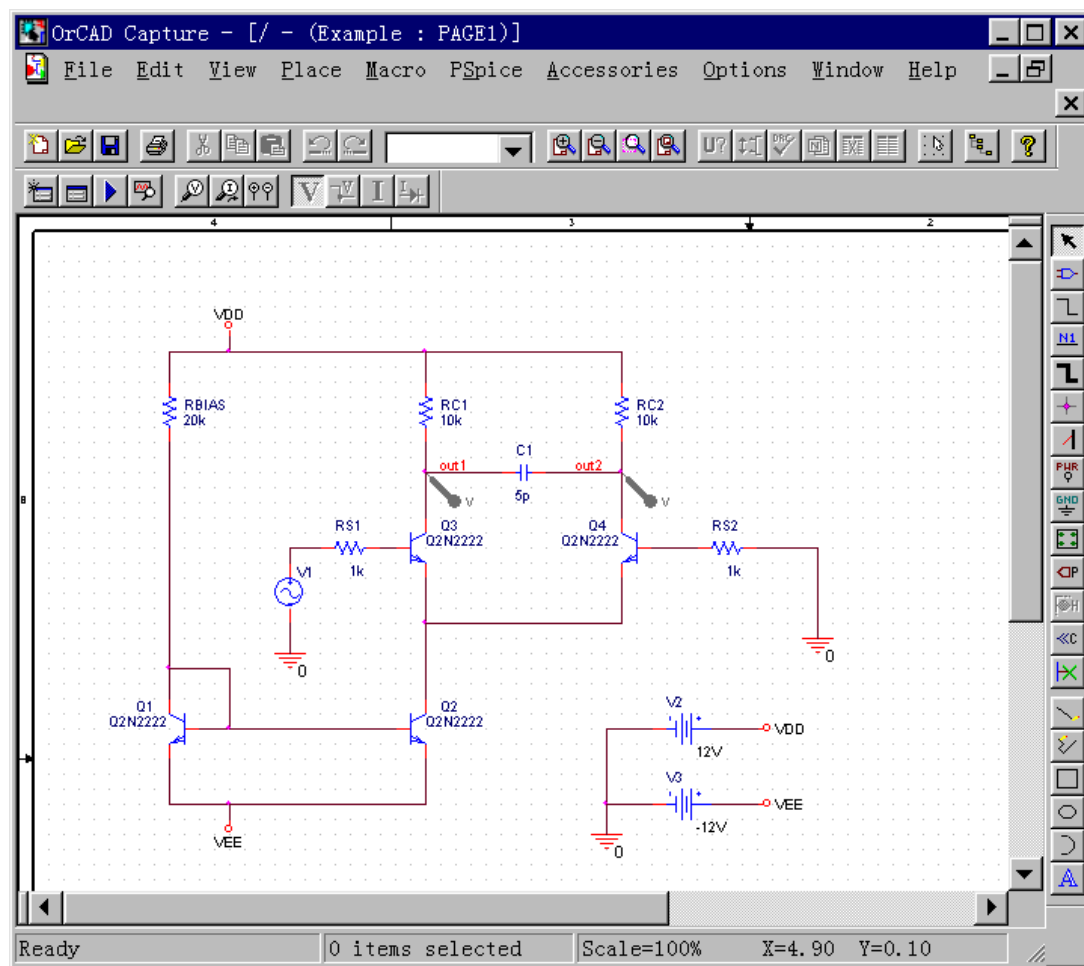
4-3 蒙特卡诺分析(Monte-Carlo Analysis)

例：若 RC1 和 RC2 采用精度为 5% 的电阻，组装若干套差分对电路，这些组装成的差分对电路的频率特性将如何变化？



4-4 最坏情况分析 (Worst-Case Analysis)

例：若 RC1 和 RC2 采用精度为 5% 的电阻，组装若干套差分对电路，在组装成的差分对电路中，最差的频率特性将会是什么情况？



4-4 最坏情况分析 (Worst-Case Analysis)

1. 最坏情况分析的含义和功能

2. 最坏情况分析的步骤:

(1) 首先进行一次标称值分析。

(2) 对要考虑其模型参数值发生变化的元器件分别进行一次灵敏度分析，确定该元器件值变化时引起电路特性变化的大小和方向。

(3) 确定每一个元器件值的变化方向。

(4) 使每个元器件均向“最坏方向”按其最大可能范围变化，进行一次电路分析，得到最坏情况分析结果。

最坏情况分析中的分析次数等于发生变化的元器件参数个数加2。

4-4 最坏情况分析 (Worst-Case Analysis)

3. 最坏情况分析中需设置的参数:

- (1) 元器件参数变化情况的描述(与MC分析相同)。
- (2) 分析中考虑哪些元器件参数的变化。
- (3) 以哪一个输出变量为对象考虑最坏情况。
- (4) 最坏情况对应该输出变量的增大还是减小。
- (5) 最坏情况与标称值分析结果的比较方式。

例：对差分对电路，若电阻RC1和RC2按5 % 的误差独立随机变化， 试分析最坏情况下，AC分析输出电压VM(OUT2)的变化。

Simulation Settings - Parametric [X]

General Analysis Include Files Libraries Stimulus Options Data Collection Probe Window

Analysis type:
AC Sweep/Noise ▼

Options:
☒ General Settings
☒ Monte Carlo/Worst Case
☐ Parametric Sweep
☐ Temperature (Sweep)
☐ Save Bias Point
☐ Load Bias Point

☐ Monte Carlo
☒ Worst-case/Sensitivity Output variable: VM(Out2)

Monte Carlo options

Number of runs: [] [1..400]
Use distribution: Uniform ▼ Distributions...
Random number seed: [] [1..32767]
Save data from: <none> ▼ [] runs

Worst-case/Sensitivity options

Vary devices that have: both DEV and LOT ▼ tolerances
Limit devices to type(s): []
☒ Save data from each sensitivity run

More Settings...

OK Cancel Apply Help

Monte Carlo/Worst-Case Output File Options ✕

Function
The function is performed on an output variable (for example, V(1)). The result is listed in the output (.OUT) file only.

Find: ▼

Threshold value:

Evaluate only when the sweep variable is in the range:
 ▼ to ▼

Worst-Case direction
☐ Hi ☒ Low

☒ List model parameter values in the output file for each run

OK
Cancel

思考题

(1) 最坏情况分析中采用什么方法确定每个元器件值变化的“最坏方向”？要保证采用这种方法得到的分析结果的正确性，需要满足什么条件？

(2) 与MC分析结果相比，WC分析的结果是否一定是“最坏的”？

设差分对电路中RC1和RC2采用精度为5%的电阻，为什么MC分析得到V(OUT2)的最小值(88.857)却小于WC的分析结果(96.252)？

第七章 逻辑模拟

7-1 基本概念

- 1.逻辑模拟的作用
- 2.逻辑状态
- 3.逻辑强度
- 4.传输延迟
- 5.激励信号

7-2 逻辑模拟的步骤

7-1 基本概念

1. 逻辑模拟的作用

逻辑模拟：对给定的数字电路拓扑关系，以及电路内部数字器件的功能和延迟特性，由计算机软件分析计算整个数字电路的功能和延迟特性。

PSpice软件包中逻辑模拟模块具有下述功能：

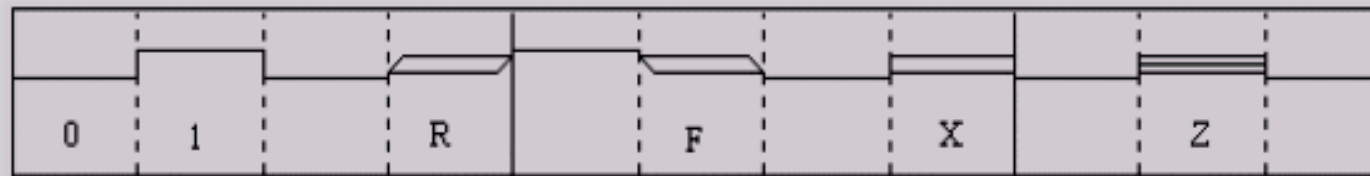
- (1) 模拟分析数字电路输出与输入之间的逻辑关系。
- (2) 模拟分析数字电路的延迟特性。
- (3) 对数模混合电路进行数模混合模拟，同时显示两类信号波形分析结果。
- (4) 最坏情况逻辑模拟。
- (5) 检查数字电路中是否存在时序异常和冒险竞争现象。

7-1 基本概念

2. 逻辑状态 (States)

PSpice支持的数字信号可包括6类逻辑状态。

逻辑状态	含 义
0	Low(低电平), false(假), no(否定), off(断)
1	High(高电平), true(真), yes(是), on(通)
R	Rising(逻辑状态从 0 到 1 的变换过程)
F	Falling(逻辑状态从 1 到 0 的变换过程)
X	不确定(可能为高电平、低电平、中间状态或不稳定态)
Z	高阻(可能为高电平、低电平、中间状态或不稳定态)



7-1 基本概念

3. 逻辑强度 (Strength)

PSpice内部根据“驱动”能力的大小将数字信号分为不同的强度。最强的是由外加激励信号提供的激励信号电平。最弱的是Z(高阻)。处于禁止(disabled)状态的三态门或输出为集电极开路结构的器件，其输出强度即为Z。

当不同强度的数字信号作用于同一个节点时，该节点的逻辑状态由强度最强的那个数字信号决定。如果作用于某一节点的几个数字信号逻辑状态不同，但强度相同，则该节点逻辑状态为X，即不确定。

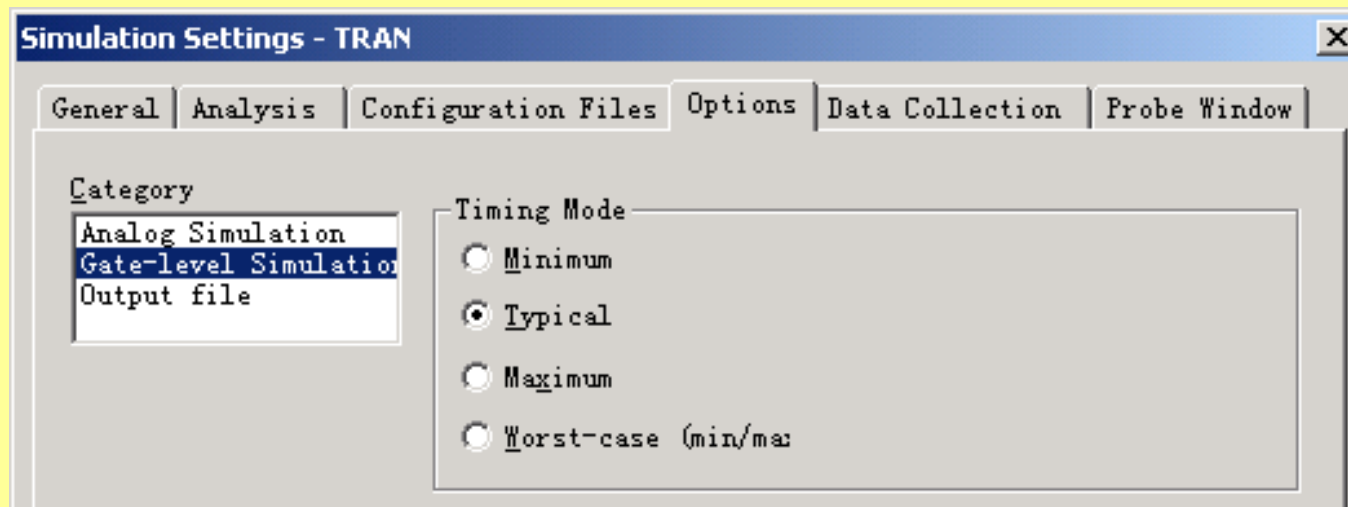
7-1 基本概念

4. 传输延迟(Propagation Delay)

在数字电路特性数据库中，对每一个延迟时间参数均有3个数据：

(1) 最小延迟时间；(2) 典型延迟时间；(3) 最大延迟时间。

在逻辑模拟过程中，可根据需要，选用不同的延迟时间数值。



7-1 基本概念

5. 激励信号 (Stimulus)

PSpice A/D进行逻辑模拟时采用的激励信号有3类:

- (1) 时钟信号 (Clock Stimulus): 规则的一位周期信号。
- (2) 一般激励信号 (Digital Signal Stimulus): 这也是一位信号, 但其波形变化不像时钟信号那样简单。
- (3) 总线激励信号 (Digital Bus Stimulus): 又分2位、4位、8位、16位和32位共5种。

逻辑模拟中, 能否全面分析电路的各种功能和逻辑状态, 取得预期的模拟效果, **激励信号波形的设置是关键**, 也是相对复杂的一项工作。

用于数字电路中的 4 类激励信号源符号



	DIGCLOCK 类	STIM _n 类	FILESTIM _n 类	DIGSTIM _n 类
时钟信号	DigClock	STIM1	FileStim1	DigStim1
一般信号		STIM1	FileStim1	DigStim1
2 位总线信号			FileStim2	DigStim2
4 位总线信号		STIM4	FileStim4	DigStim4
8 位总线信号		STIM8	FileStim8	DigStim8
16 位总线信号		STIM16	FileStim16	DigStim16
32 位总线信号			FileStim32	DigStim32
波形设置方法	这 3 类信号源均采用元器件参数设置对话框方式, 修改参数设置(包括设置波形描述文件名), 确定激励信号波形			调用 StmEd 软件, 以交互式图形编辑方法确定波形

7-2 逻辑模拟的步骤

逻辑模拟的过程与电路模拟中的TRAN分析过程基本相同。

(1) 新建设计项目, 绘制电路图, 包括设置适用于逻辑模拟输入**激励信号波形**。(注意: 输入激励信号波形的设置是否合适将决定逻辑模拟能否取得预期的效果)

(2) 新建模拟类型分组(Simulation Profiles), 设置分析参数和**任选项参数**。(注意: 设置任选项参数时需对参数含义有确切理解, 否则先使用内定值)。

(3) 选择PSpice/Run命令, 启动逻辑模拟。

(4) 在Probe窗口中显示模拟结果波形。

7-2 逻辑模拟的步骤

逻辑模拟的过程与电路模拟中的TRAN分析过程基本相同。

主要需注意两个问题：

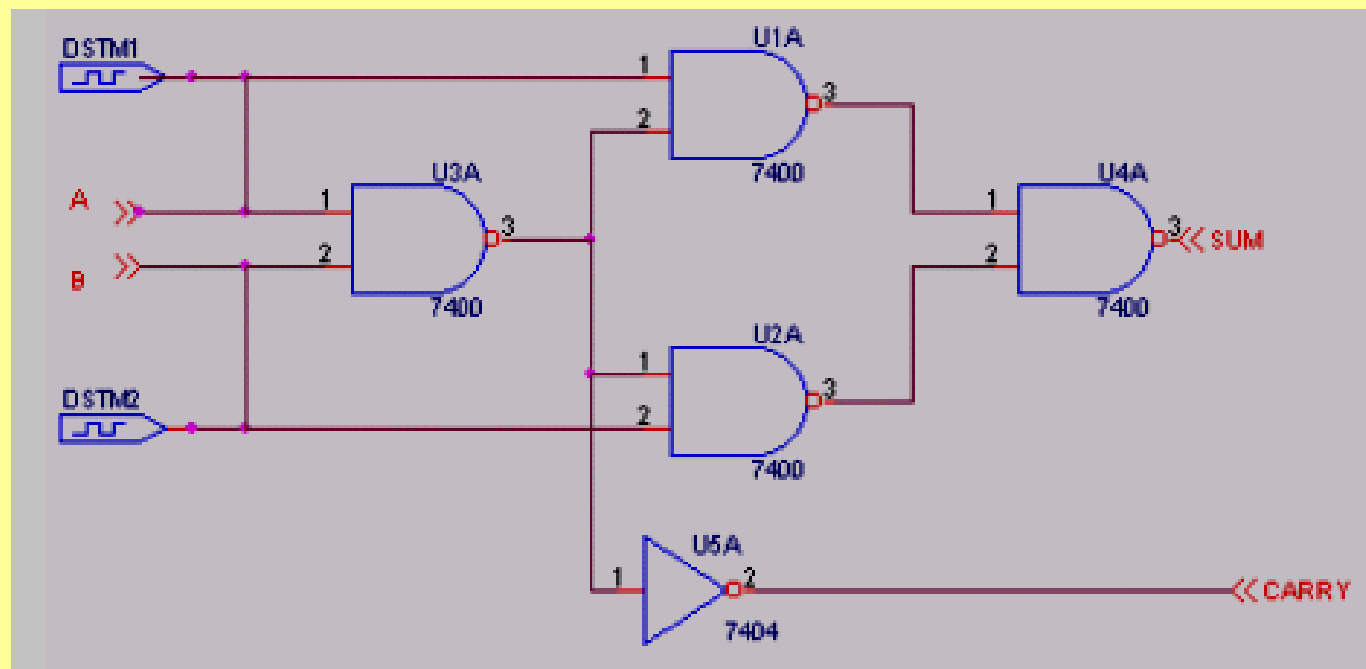
设置输入激励信号波形 (将决定逻辑模拟能否取得预期的效果)；

根据需要设置逻辑模拟任选项参数 (需对参数含义有确切理解，否则先使用内定值)。

例：半加器电路的逻辑模拟

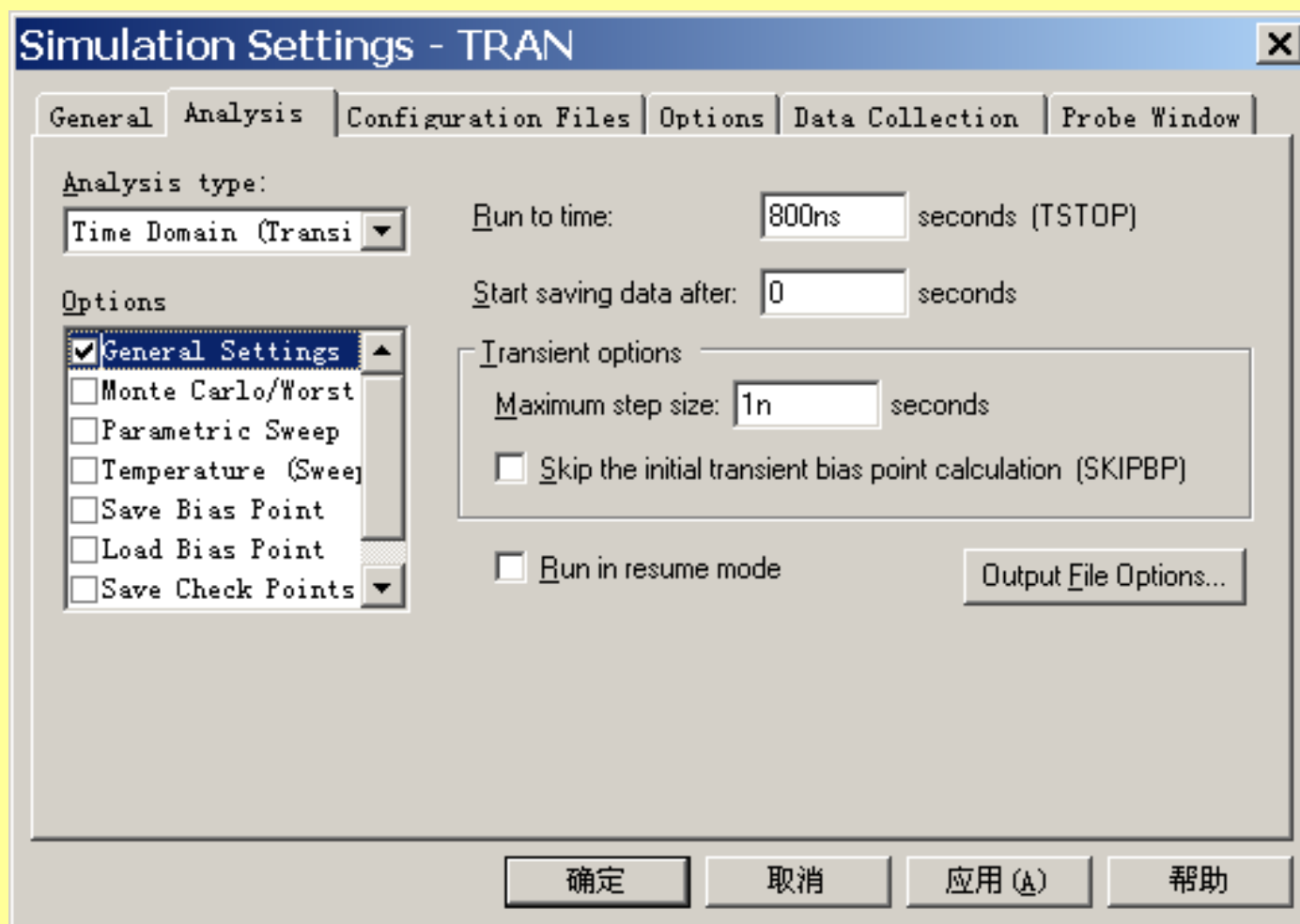
例：半加器电路的逻辑模拟

(1) 新建设计项目，绘制电路图，包括设置输入激励信号波形。



例：半加器电路的逻辑模拟

(2) 新建模拟类型分组 (Profile) 设置分析参数和任选项参数。



Simulation Settings - TRAN

General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Category

Analog Simulation

Gate-level Simulation

Output file

Timing Mode

☐ Minimum

☒ Typical

☐ Maximum

☐ Worst-case (min/max)

☐ Suppress simulation error messages in waveform

Initialize all

X

Default I/O level for A/D

1

Advanced Options...

Reset

确定

取消

应用 (A)

帮助

例：半加器电路的逻辑模拟

(3) 选择PSpice/Run命令，启动逻辑模拟。

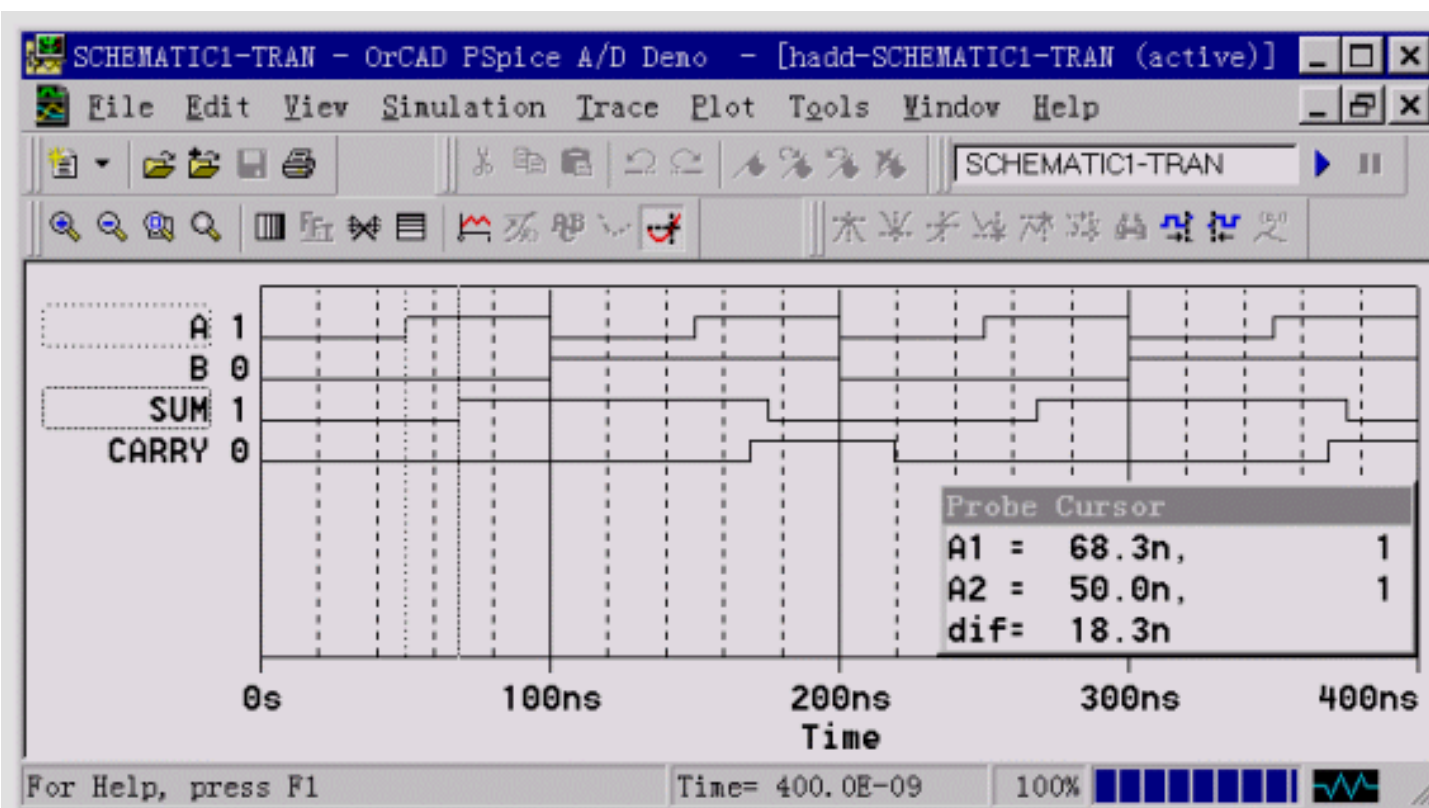
(4) 在Probe窗口中显示模拟结果波形，从3方面分析模拟结果：

逻辑关系 (比较输出和输入信号的波形)

延迟时间 (选择执行Trace/Cursor命令，可以测量延迟时间值)

异常情况 (观测输出信号波形是否出现异常)

例：半加器电路的逻辑模拟



时间范围	B	A	进位(CARRY)	和(SUM)
(0~50)ns	0	0	0	0
(50~100)ns	0	1	0	升至 1
(100~150)ns	1	0	0	1
(150~200)ns	1	1	升至 1	降为 0

思考题

(1) 半加器模拟实例中，输入端X、Y信号波形设置有什么考虑？

(2) 如果采用4000系列逻辑器件组成半加器，与74系列器件组成的半加器相比，输入端X、Y信号波形设置？

第八章 数/模混合模拟

8-1 数/模混合模拟的基本原理

8-2 数/模混合模拟的步骤

8-1 数/模混合模拟的基本原理

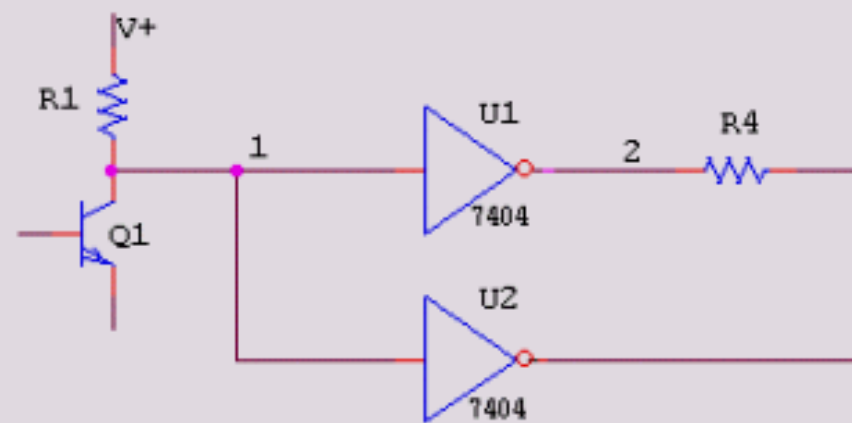
数字信号是以(1,0)为特征的数字量，模拟信号是连续变化的电信号，这是两类性质完全不同的电学量，无法采用统一的算法。

不管数/模混合电路多么复杂，其内部节点均可分为模拟型节点、数字型节点和接口型节点3种。

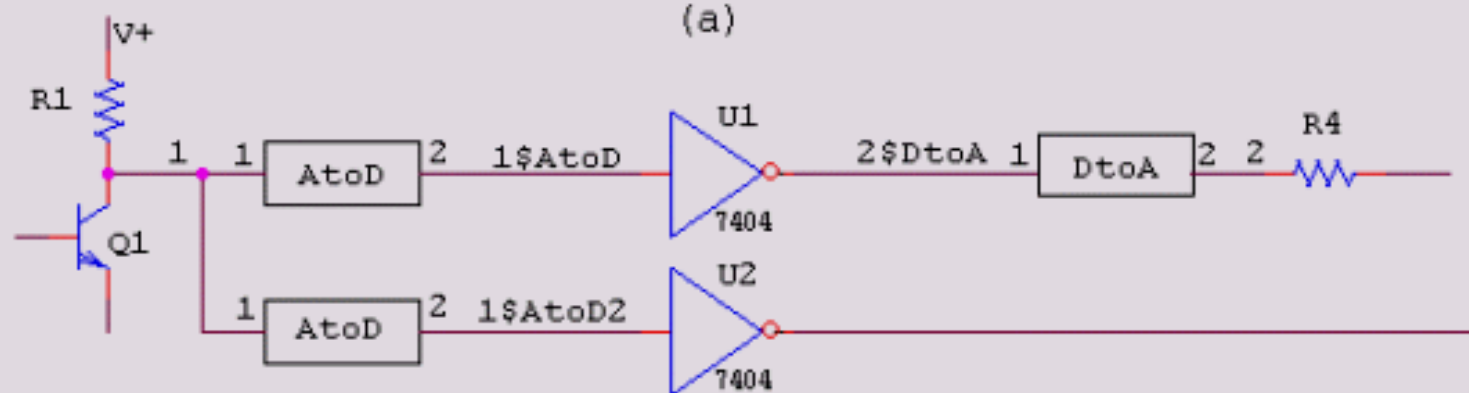
PSpice A/D进行数/模混合模拟分析的关键是对每一个基本逻辑单元都配备AtoD和DtoA两类接口型等效子电路，分别将模拟信号转化数字信号，以及将数字信号转化为模拟信号。

通过在接口型节点处自动插入一个或多个接口型等效子电路，将数字和模拟两类元器件隔开，实现数字和模拟两类信号之间的转换。

然后对每个模拟和数字部分分别进行分析。



(a)



(b)

8-2 数/模混合模拟的步骤

除了以下两点以外，数/模混合模拟与逻辑模拟步骤基本相同。

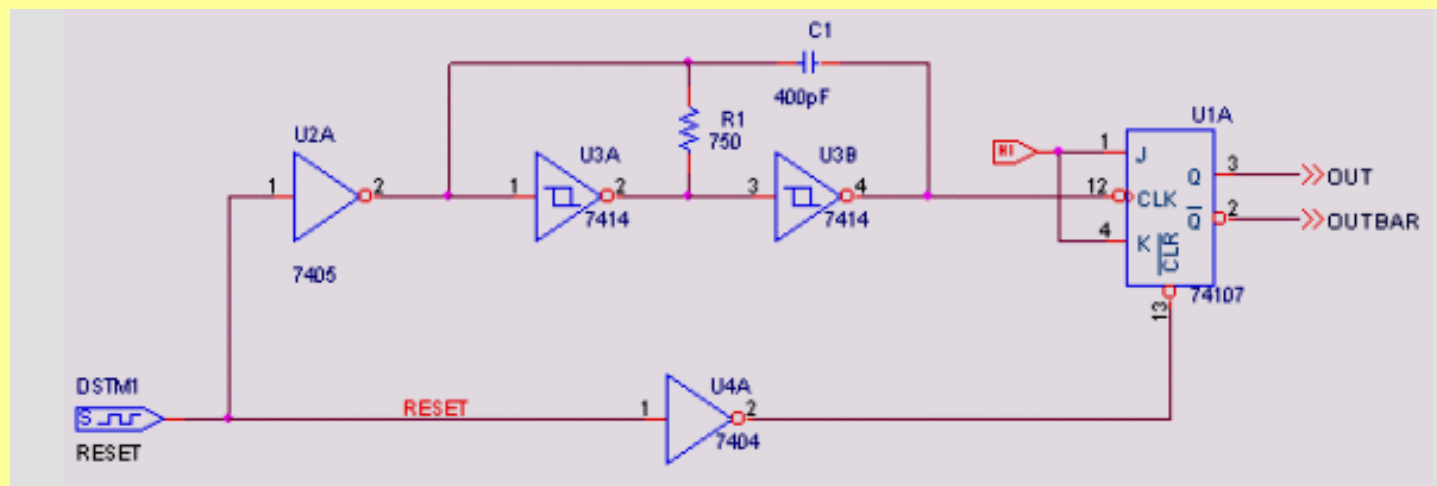
PSpice进行数/模混合模拟时，系统将自动插入接口等效子电路。

在显示模拟结果波形时，将采用两个窗口分别显示数字和模拟两类信号。

例：振荡器电路的模拟

例：振荡器电路的模拟

电路原理图



例：振荡器电路的模拟

模拟结果波形

