



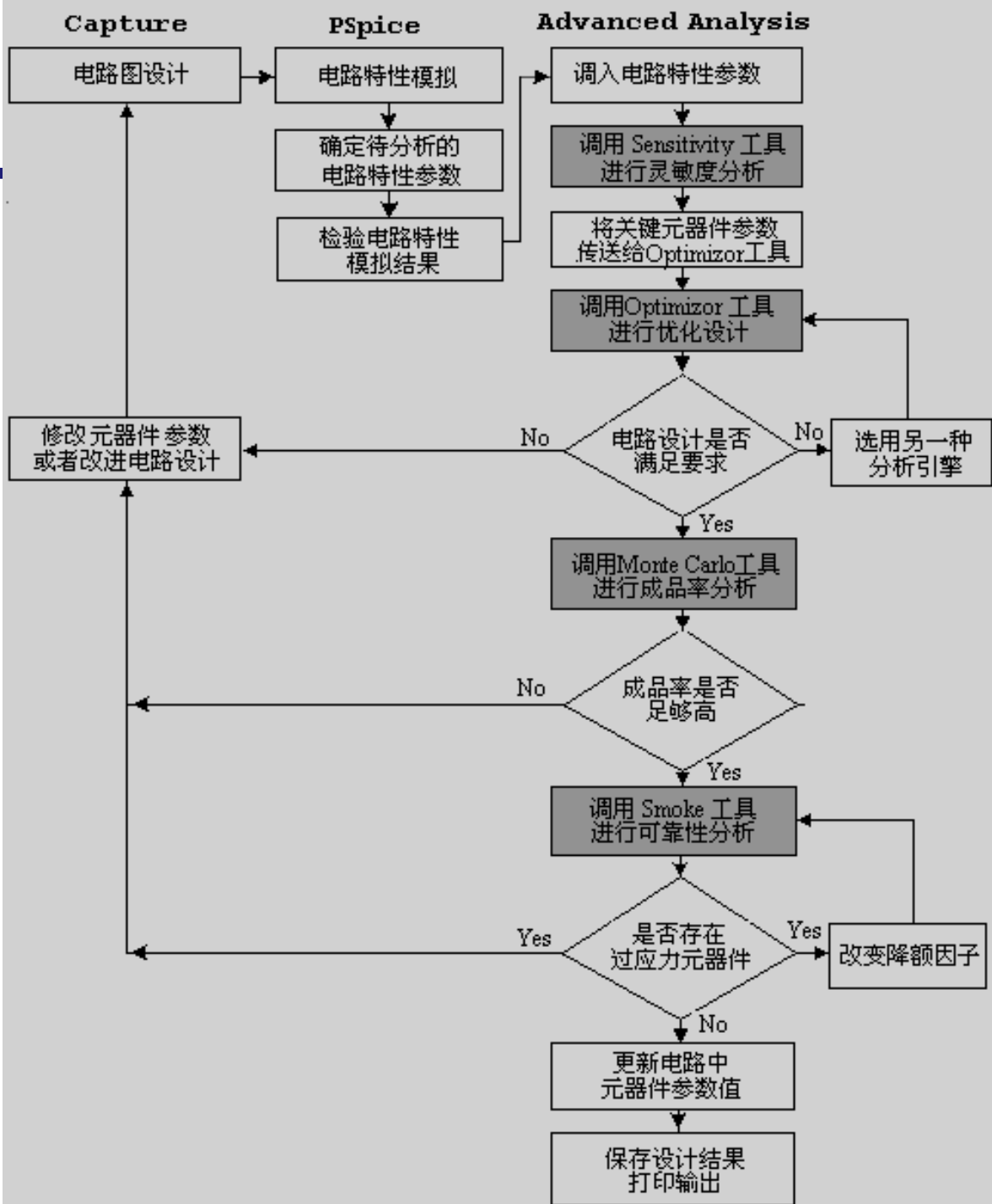
# PSpice/Advanced Analysis

## ■ PSpice高级分析工具的组成

- (1) **Sensitivity**工具：进行灵敏度分析，鉴别出电路设计中哪些元器件的参数对电路电特性指标起关键作用。
- (2) 用于**优化设计**的**Optimizer**工具：优化选定电路中关键元器件的参数，以满足对电路性能目标的各种要求。
- (3) 用于**可靠性设计(降额设计)**的**Smoke**工具：对电路中的元器件进行热电应力分析，检验元器件是否由于功耗、结温的升高、二次击穿或者电压/电流超出最大允许范围而存在影响电路可靠性的应力问题，并及时发出警告。
- (4) 用于**可制造性设计**的**Monte Carlo**工具：分析实际生产中由于元器件参数分散性导致的电路特性统计分布情况，从而可以进一步预测生产成品率。



# 工作流程





# PSpice/Advanced Analysis

## ■ 进行Pspice高级分析对电路设计的要求

(1) 电路中元器件的参数必须设置有益于高级分析的参数。

表 1—2 高级分析工具运行时涉及的元器件参数

高级分析工具	涉及的元器件参数
灵敏度分析 (Sensitivity)	容差参数 Tolerance parameters
优化分析 (Optimizer)	优化参数 Optimizable parameters
蒙特卡诺分析 (Monte Carlo)	容差参数 Tolerance parameters
	分布参数 Distribution parameters
应力分析 (Smoke)	应力参数 Smoke parameters



# 高级分析参数

- **容差参数**：定义了实际元器件参数相对于设计标称值的正向偏离（正容差）和负向偏离（负容差）大小。
- **优化参数**：优化过程中能够对其进行调整、修改的元器件参数。
- **分布参数**：定义了分布函数的类型，用于描述元器件参数分散性所服从的分布规律。
- **应力参数**：描述元器件的最大工作额定值。



### 电阻的高级分析参数

参数类型	参数名	含 义
容差参数	POSTOL	正容差
	NEGTOL	负容差
优化参数	VALUE	电阻阻值
分布参数	DIST	电阻阻值服从的分布规律
应力参数	MAX_TEMP	电阻最高温度
	POWER	电阻最大功耗
	SLOPE	温度对功耗变化率的倒数
	VOLTAGE	电压额定值



双极晶体管的 Smoke 参数

编号	Smoke 参数名	含义	标准降额值
1	IB	最大基极电流 (A)	1
2	IC	最大集电极电流 (A)	0.8
3	PDM	最大功耗 (W)	0.75
4	RCA	管壳到环境之间的热阻 ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	
5	RJC	结到管壳之间的热阻 ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	
6	SBINT	Secondary breakdown intercept (A)	
7	SBMIN	Derated percent at TJ (secondary breakdown)	
8	SBSLP	Secondary breakdown slope	
9	SBTSLP	Temperature derating slope (secondary breakdown)	
10	TJ	最高结温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	1
11	VCB	最大集电极-基极电压 (V)	1
12	VCE	最大集电极-发射极电压 (V)	0.5
13	VEB	最大发射极-基极电压 (V)	1



# PSpice/Advanced Analysis

## ■ 进行Pspice高级分析对电路设计的要求

- (1) 电路中元器件的参数必须设置有益于高级分析的参数。
- (2) 电路设计应该已通过Pspice模拟。



表 1-1 高级分析工具涉及的模拟仿真类型

高级分析工具	涉及的模拟仿真类型
灵敏度分析 (Sensitivity)	瞬态分析 (Time Domain (transient))
	直流扫描 (DC Sweep)
	交流小信号频率分析 (AC Sweep/Noise)
优化设计 (Optimizer)	瞬态分析 (Time Domain (transient))
	直流扫描 (DC Sweep)
	交流小信号频率分析 (AC Sweep/Noise)
应力分析 (Smoke)	瞬态分析 (Time Domain (transient))
蒙特卡诺分析 (Monte Carlo)	瞬态分析 (Time Domain (transient))
	直流扫描 (DC Sweep)
	交流小信号频率分析 (AC Sweep/Noise)





# PSpice/Advanced Analysis

## ■ 进行Pspice高级分析对电路设计的要求

- (1) 电路中元器件的参数必须设置有益于高级分析的参数。
- (2) 电路设计应该已通过Pspice模拟。
- (3) Pspice中应该建立有计算电路特性的表达式和性能目标函数。在Pspice10中，称为“Measurement”。在以前的版本中则称为“Goal Function”。



# PSpice/Advanced Analysis

## ■ 高级分析的基本过程

对电路设计进行高级分析包括4方面的工作。

- (1) 调用Capture绘制电路图，使电路设计满足高级分析对电路设计的要求，包括为相应元器件设置高级分析参数。
- (2) 调用Pspice验证电路设计能通过Pspice模拟仿真，并检验已建立的电路特性表达式和性能目标函数能正常运作。
- (3) 调用相应的高级分析工具，对电路进行分析。
- (4) 查看、分析高级分析工具的运行结果。



# Sensitivity工具与灵敏度分析

- 灵敏度分析的作用
- 绝对灵敏度和相对灵敏度
- 进行灵敏度分析对电路设计的要求
- 灵敏度分析的基本过程
- 灵敏度分析结果处理



# 灵敏度分析的作用

## 1. 灵敏度分析与极端情况分析

(1) “灵敏度分析” (2) “极端情况分析”

## 2. 灵敏度分析在电路设计中的作用：

(1) 改进电路设计：在电路设计中，只需针对这些灵敏元器件，采用参数扫描等方法，精细调整其参数，就可以取得满意的效果。

(2) 有针对性地进行优化设计：在电路设计中标识出最灵敏的几个元器件，然后在优化设计过程中，只要对这些灵敏元器件的参数值进行优化，就可以加快优化设计的进程。

(3) 在可制造性设计中的作用：通过灵敏度分析，有针对性减小灵敏元器件的容差范围，放宽灵敏度不高的元器件的容差值，就可以同时兼顾成本和成品率两方面的要求。



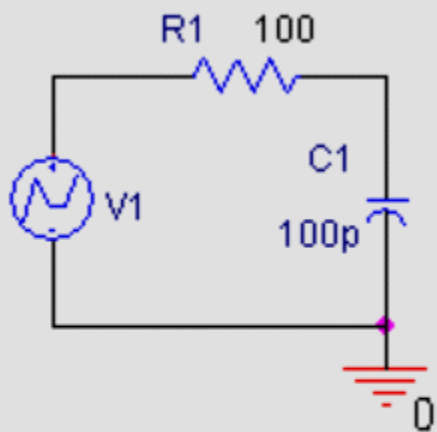
# Sensitivity 工具与灵敏度分析

## 绝对灵敏度和相对灵敏度

(1) 绝对灵敏度S: 绝对灵敏度S指电路特性参数T对元器件值X变化的灵敏度:  $S(T,X) = \frac{\partial T}{\partial X}$

(2) 相对灵敏度 $S_N$ : 指元器件值X相对变化为1%情况下 ( $\Delta X = X/100$ ) 即引起的电路特性T的变化 $\Delta T$ 。

$$S_N = \Delta T = (\partial T / \partial X) \Delta X = S(T,X) \cdot X / 100$$



RC 充放电电路

例如, 对简单 RC 充放电电路, 电路的充放电时常数  $T = R1C1$ 。

因此电路时常数 T 对电阻 R1 和电容 C1 的绝对灵敏度分别为

$$S(T,R1) = \partial T / \partial R1 = C1 = 100p = 10^{-10}$$

$$S(T,C1) = \partial T / \partial C1 = R1 = 100$$

电路时常数 T 对电阻 R1 和电容 C1 的相对灵敏度分别为

$$S_N(T,R1) = [S(T,R1) \cdot R1] / 100 = [100P \cdot 100] / 100 = 100P$$

$$S_N(T,C1) = [S(T,C1) \cdot C1] / 100 = [100 \cdot 100P] / 100 = 100P$$



# Sensitivity 工具与灵敏度分析

## ■ 进行灵敏度分析对电路设计的要求

- (1) 电路设计应该已通过Pspice模拟仿真。
- (2) 应该指定需要计算哪个或哪些电路特性的灵敏度。

计算电路特性的函数称为“Measurement”

在前面版本中，称之为“Goal Function”。

- (3) 应该指定需要考虑这个（这些）电路特性对电路中哪些元器件参数的灵敏度。



# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析的基本过程

- (1) 步骤1：绘制电路图，使电路设计满足灵敏度分析对电路设计的要求。
- (2) 步骤2：调用Sensitivity工具。
- (3) 步骤3：进行Sensitivity参数设置，对电路进行灵敏度分析。
- (4) 步骤4：查看、分析灵敏度分析的结果。
- (5) 步骤5：打印输出。



# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析步骤1：电路准备

### 1. 为电路图中的有关元器件配置容差参数

对半导体器件等有源器件，描述这些器件特性的模型参数中带有容差参数。对于电路中电阻、电容等无源元件，设置容差参数的一种简单方法是在绘制电路图时执行Place/Part命令从SPECIAL库调用的名称为VARIABLES的元器件符号。





## Advanced Analysis Properties

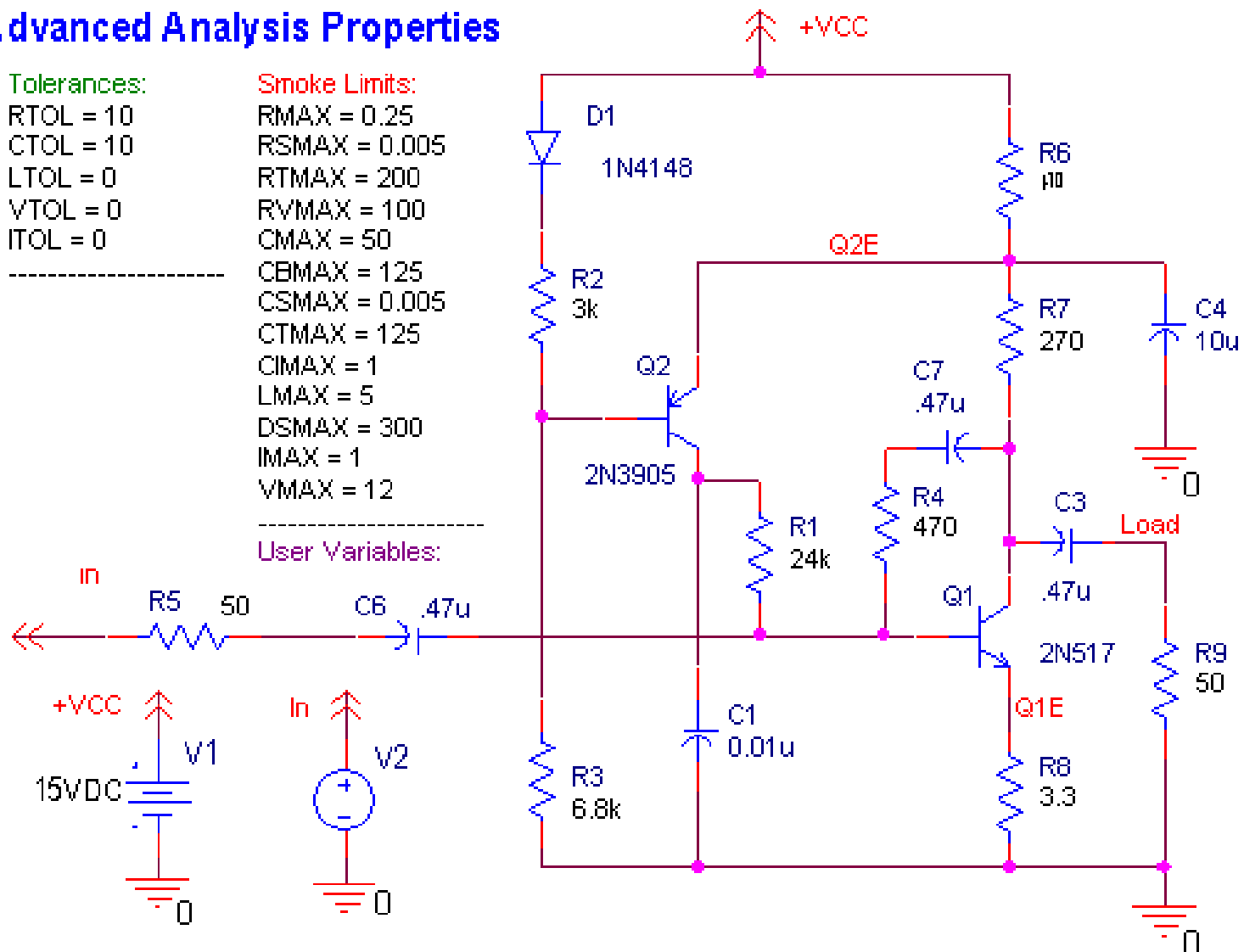
### Tolerances:

RTOL = 10  
CTOL = 10  
LTOL = 0  
VTOL = 0  
ITOL = 0

### Smoke Limits:

RMAX = 0.25  
RSMAX = 0.005  
RTMAX = 200  
RVMAX = 100  
CMAX = 50  
CBMAX = 125  
CSMAX = 0.005  
CTMAX = 125  
CIMAX = 1  
LMAX = 5  
DSMAX = 300  
IMAX = 1  
VMAX = 12

### User Variables:



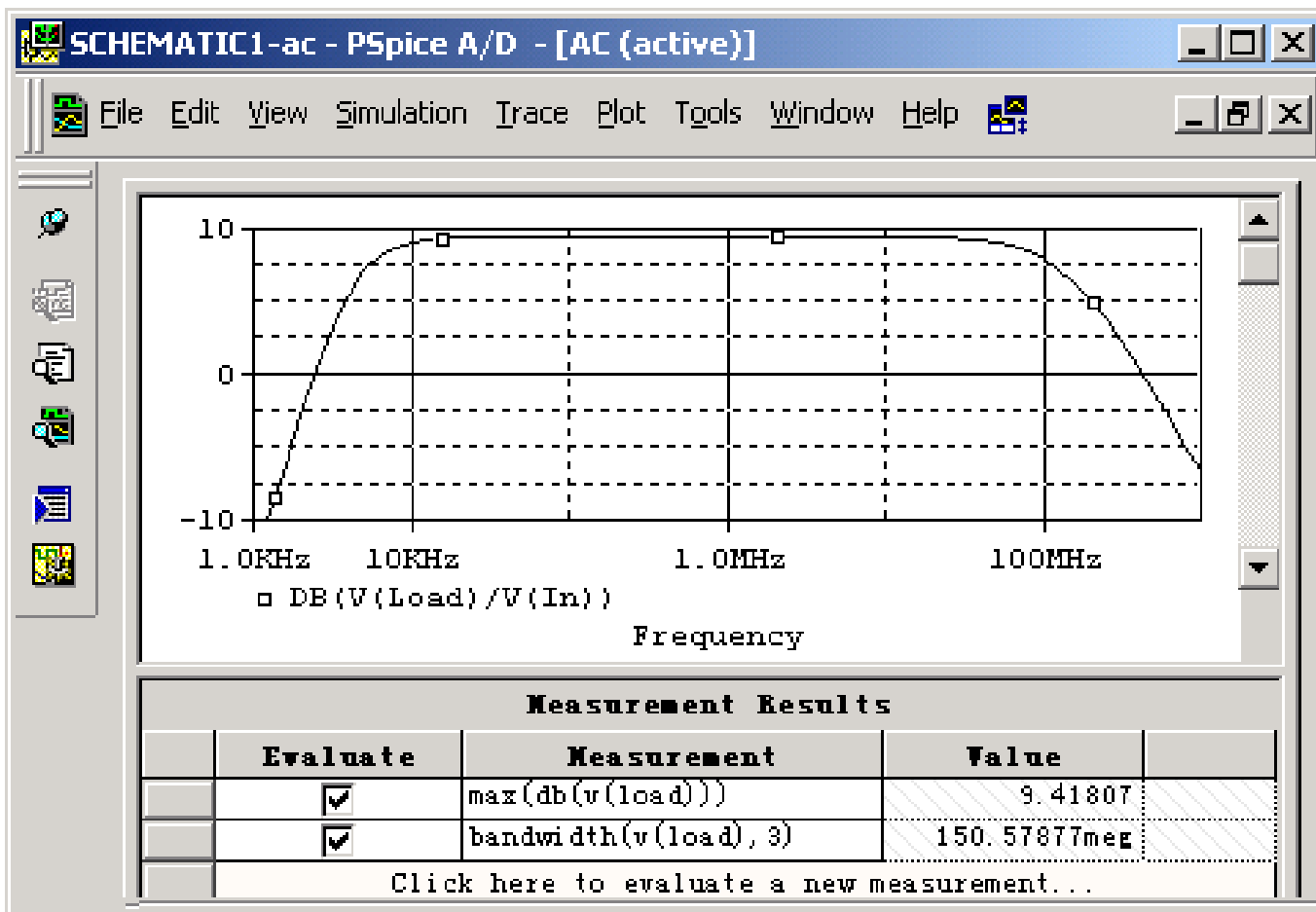


# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析步骤1：电路准备

1. 为电路图中的有关元器件配置容差参数
2. 检验电路是否已通过Pspice模拟仿真
3. 检验待分析其灵敏度的电路特性参数

如果Pspice中尚未具有计算相关电路特性参数的Measurement函数，用户可以按照Pspice的规定，自己编写相应的Measurement函数。



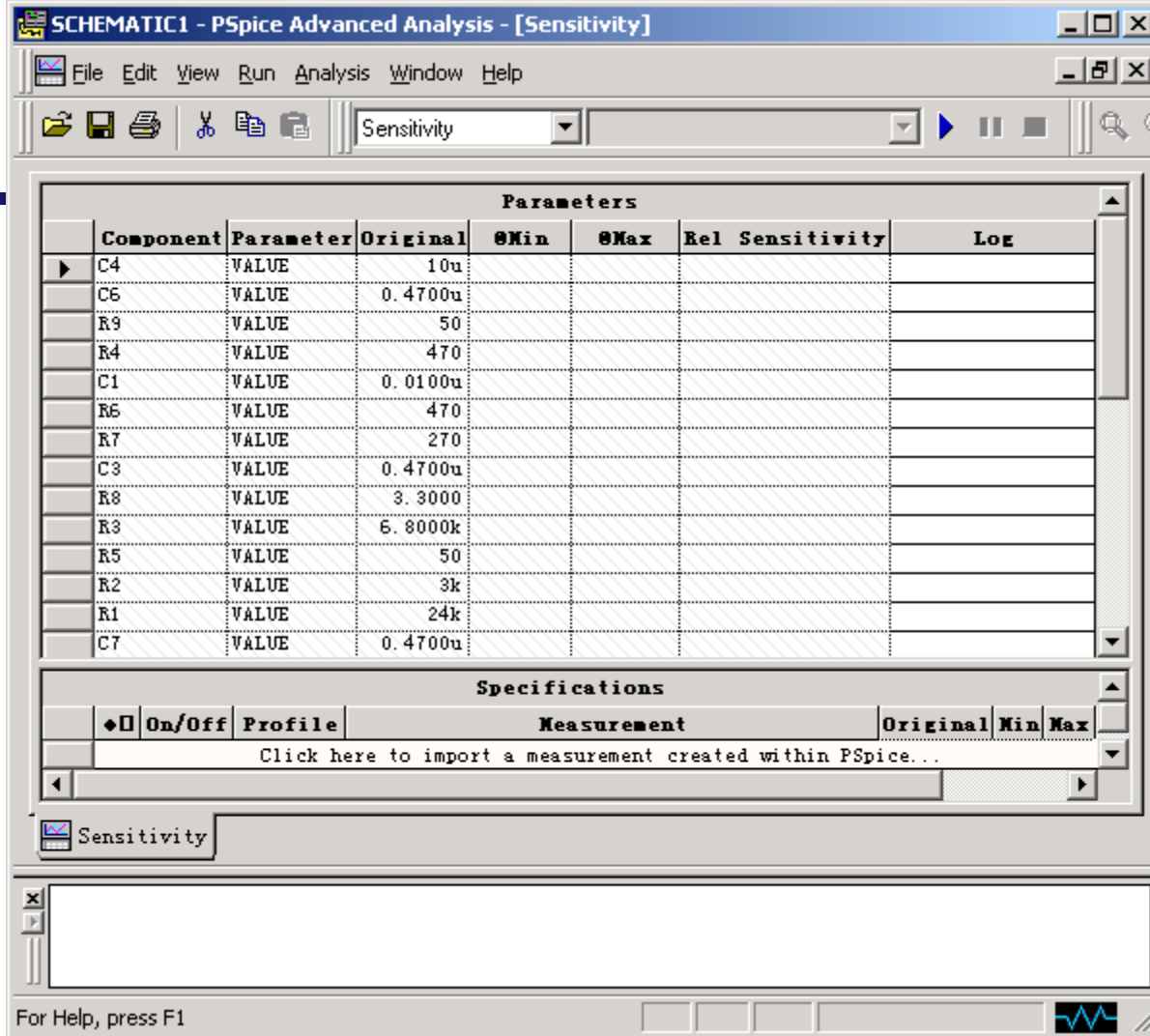


# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析步骤2：调用Sensitivity工具

### 1. 调用Sensitivity工具

选择执行Pspice/Advanced Analysis/Sensitivity命令，调用Sensitivity工具，屏幕自动切换为Sensitivity工具窗口。



Sensitivity工具窗口显示有两个表格。

“Parameters”表格自动显示有电路中设置有容差参数的元器件列表。

“Specifications”表格用于设置灵敏度分析中需要分析哪些电路特性对元器件的灵敏度，同时显示极端情况分析结果。



# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析步骤3：进行灵敏度分析

### 1、设置供Sensitivity分析调用的电路特性函数

	◆□ On/Off	Profile	Measurement	Original	Min	Max
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	ac. sim	max(db(v(load)))			
	<input checked="" type="checkbox"/>	ac. sim	bandwidth(v(load), 3)			

Click here to import a measurement created within PSpice...

### 2、指定Sensitivity分析中调用的电路特性函数

- (1) 在Specification表格中点击“On/Off”一栏单元格，使该单元格出现选中标志√。
- (2) 在Specification表格中点击第一列的一个单元格，使该单元格出现选中标志，则灵敏度分析后将在Sensitivity窗口的Parameters表格中显示出对相应电路特性函数对电路中元器件的灵敏度。



# Sensitivity工具与灵敏度分析

## ■ 灵敏度分析步骤3：进行灵敏度分析

1. 设置供Sensitivity分析调用的电路特性函数
2. 指定Sensitivity分析中调用的电路特性函数
3. 运行Sensitivity分析

选择执行Run/Start Sensitivity子命令即进行灵敏度分析，并在Sensitivity窗口中显示分析结果。



SCHEMATIC1 - PSpice Advanced Analysis - [Sensitivity]

File Edit View Run Analysis Window Help

Sensitivity

	Component	Parameter	Original	@Min	@Max	Rel Sensitivity	Log
▶	R4	VALUE	470	517	423	-471.0031k	88
	R8	VALUE	3.3000	2.9700	3.6300	370.2846k	87
	R9	VALUE	50	45	55	277.3006k	86
	R6	VALUE	470	423	517	315.5343k	86
	R5	VALUE	50	55	45	-252.4026k	85
	R3	VALUE	6.8000k	6.1200k	7.4800k	222.6474k	84
	R2	VALUE	3k	3.3000k	2.7000k	-211.4390k	84
	R7	VALUE	270	243	297	50.3514k	77
	R1	VALUE	24k	26.4000k	21.6000k	-420.3006	53
	C7	VALUE	0.4700u	517n	423n	-9.0975	33
	C3	VALUE	0.4700u	423n	517n	8.1701	33
	C6	VALUE	0.4700u	517n	423n	-5.0819	30
	C4	VALUE	10u	11u	9u	-220.5442m	14
	C1	VALUE	0.0100u	11n	9n	-106.6348m	11

	On/Off	Profile	Measurement	Original	Min	Max
▼	<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	max(db(v(load)))	9.4181	7.3142	11.3819
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	bandwidth(v(load), 3)	150.5788meg	130.3443meg	174.8395meg

Click here to import a measurement created within PSpice...

Optimizer Smoke Sensitivity Monte Carlo

“@Min”和“@Max”两列分别显示的是计算极端情况电路特性最小/大值时采用的元器件参数值。





**SCHMATIC1 - PSpice Advanced Analysis - [Sensitivity]**

File Edit View Run Analysis Window Help

Sensitivity

Parameters						
Component	Parameter	Original	Min	Max	Abs Sensitivity	Log
C7	VALUE	0.4700u	517n	423n	-1.9356g	97
C3	VALUE	0.4700u	423n	517n	1.7383g	96
C1	VALUE	0.0100u	11n	9n	-1.0663g	94
C6	VALUE	0.4700u	517n	423n	-1.0813g	94
R8	VALUE	3.3000	2.9700	3.6300	11.2207meg	73
C4	VALUE	10u	11u	9u	-2.2054meg	66
R9	VALUE	50	45	55	554.6011k	60
R5	VALUE	50	55	45	-504.8053k	59
R4	VALUE	470	517	423	-100.2134k	55
R6	VALUE	470	423	517	67.1350k	50
R7	VALUE	270	243	297	18.6487k	44
R2	VALUE	3k	3.3000k	2.7000k	-7.0480k	40
R3	VALUE	6.8000k	6.1200k	7.4800k	3.2742k	36
R1	VALUE	24k	26.4000k	21.6000k	-1.7513	2

Specifications						
On/Off	Profile	Measurement	Original	Min	Max	
<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	max(db(v(load)))	9.4181	7.3142	11.3819	
<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	bandwidth(v(load), 3)	150.5788meg	130.3443meg	174.8395meg	

Click here to import a measurement created within PSpice...

Sensitivity

Maximum run: 4 of 4 completed  
Runs for simulation profile AC.sim completed  
----- Sensitivity analysis completed -----

For Help, press F1



# 灵敏度分析结果处理

1. 查阅、分析Sensitivity工具运行结果。
2. 在电路图中修改最灵敏的元器件参数

在Parameter表中选中灵敏的元器件名，点击快捷菜单中Find in Design命令，屏幕返回到电路图编辑状态，电路图中与Parameter表中对应的元器件自动处于选中状态，提示用户修改。

3. 调用Optimizer工具优化最灵敏的元器件参数

在Parameter表中，选中一个或多个元器件参数名，执行快捷菜单中Send to Optimizer命令，系统即自动将选中的元器件参数传送到Optimizer工具中，进行优化设计。

4. 将新设置的电路特性函数导入到其他工具

在Specification表中，选中有关的电路特性函数名，执行快捷菜单中Send To/Optimizer命令，即将其传送至Optimizer工具。

执行快捷菜单中Send To/Monte Carlo命令，则将选中的电路特性函数传送至Monte Carlo