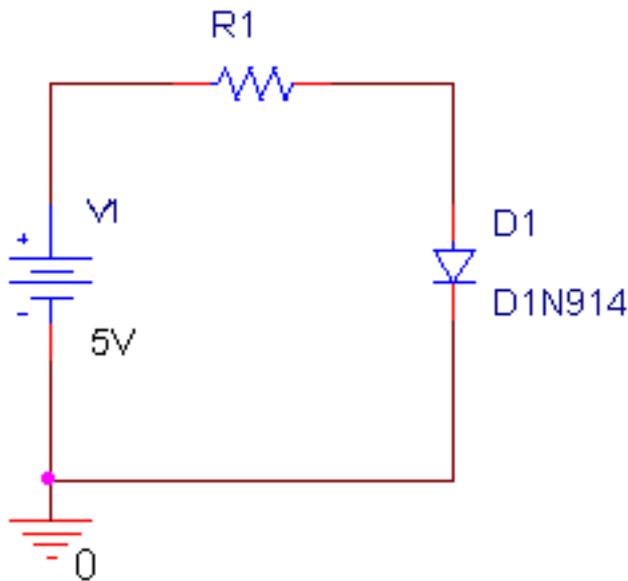




电路优化设计

- 例1：对下述二极管电路，为了使流过二极管的电流为1mA，应如何确定电阻R的取值？





例2：下述射频放大器电路的增益达9.4dB，但是带宽只有150MHz。现在要求该射频放大器的带宽不小于200MHz，增益只要求在5—5.5dB即可。

Advanced Analysis Properties

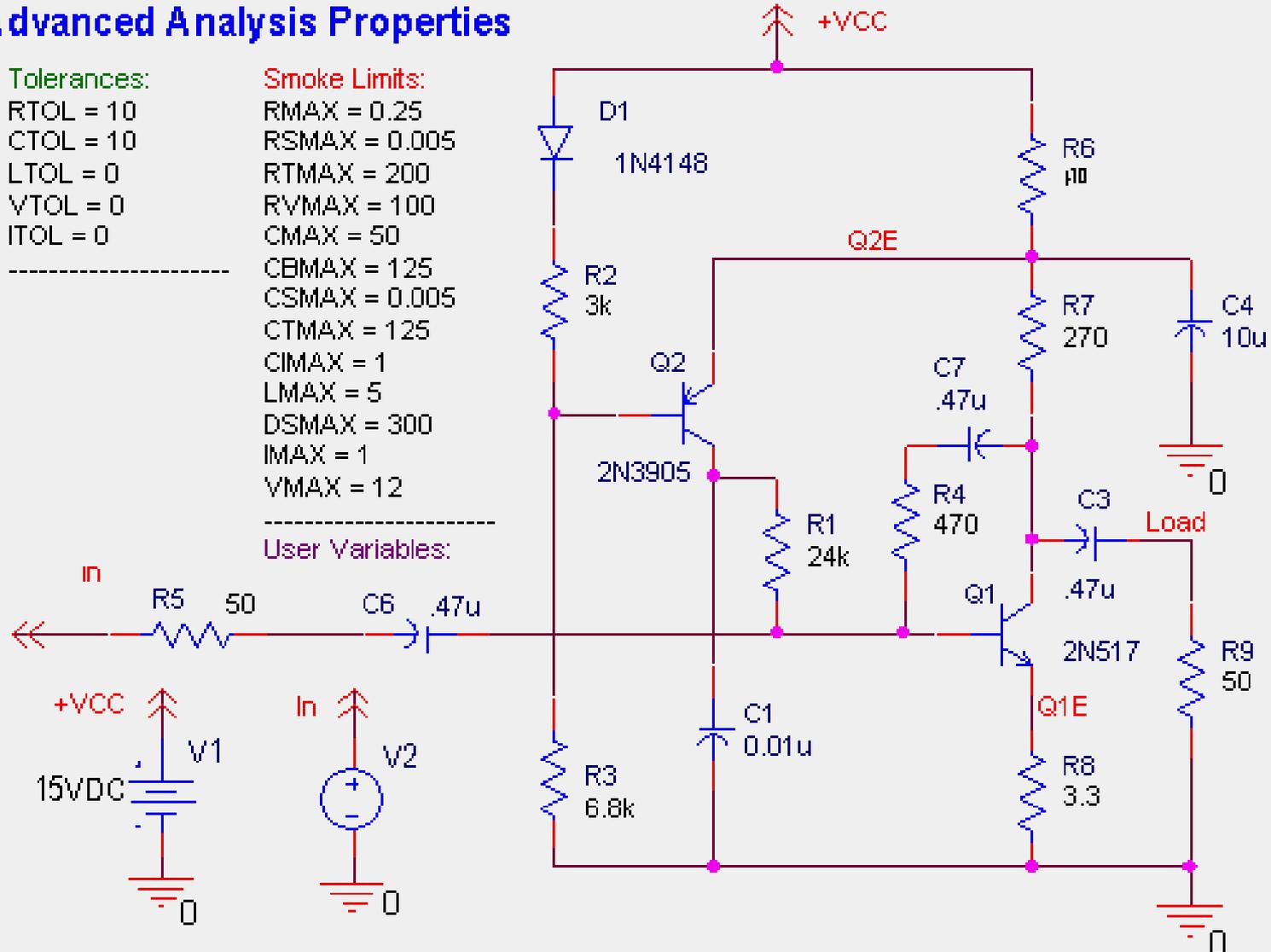
Tolerances:

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:





Optimizer工具与电路优化设计

- 基本概念
- 电路优化设计的步骤
- 设置待调整元器件参数的3种方法
- 优化指标的设置步骤
- 启动优化进程，查阅优化结果



电路优化设计的基本概念

2. 待调整的元器件参数

- (1) 元器件值。例如电阻的阻值。
- (2) 元器件的其他属性参数。例如描述电位器中心抽头位置的参数Set。
- (3) 由元器件值或其他属性参数组成的表达式。
- (4) 器件模型参数。例如双极晶体管的正向电流放大系数BF。

调用Optimizer工具进行优化设计时，用户必须指定电路中哪些是“待调整的元器件参数”以及这些参数值的允许调整范围。



电路优化设计的基本概念

3. 优化指标(Specification)

在优化中必须满足的电特性要求称为优化指标。可分为两类:

(1) **约束条件(Constraints)**: 优化过程中必须达到的优化指标。

(2) **目标参数(Performance Goal)**: 通过优化尽量满足的指标。

优化指标要求的两种描述方式:

(1) **电路特性规范参数**: 例如电路的增益。

(2) **曲线描述**: 如果需要优化的电路目标是一个波形, 应该使用描述曲线的一组数据指定优化指标。

进行优化时, 用户可根据实际情况, 选定一部分优化指标为约束条件, 另一部分作为目标参数。为了表示各个优化指标具有不同的重要程度, 可以给每个优化指标指定不同的**权重**。

Optimizer工具对优化指标的个数没有限制, 但是其中至少要有一个是目标参数。



电路优化设计的基本概念

3. 优化指标(Specification)的定量计算方法

在Optimizer中，电路特性优化指标可以采用下述几种表示方式。

(1) 直接采用电路模拟结果数据，包括模拟结果的运算表达式。

例如，功耗表示为 $I(Rload)*V(Rload:1, Rload:2)$ 。

(2) 电路特性函数。PSpice高级分析工具提供有50余种电路特性函数。用户也可以建立需要的电路特性函数。

(3) 采用运算符和函数对“待调整元器件参数”进行运算的优化表达式。

例如，在调整R1val和R2val两个电阻值时，要求这两个电阻值之和不能小于某个值，则 $(R1val+R2val)$ 将用于描述优化约束条件。

(4) 描述波形的一组数据。



电路优化设计的基本概念

■ 电路优化设计过程

电路优化设计，实际上是在约束条件限制下，不断调整电路中元器件参数，进行电路模拟迭代，直到目标参数满足优化要求。因此，进行一次优化将包括多次电路模拟。

优化过程中，调整元器件参数(包括确定参数的增减方向和调整幅度大小)以及迭代过程中模拟程序的调用和结果判断，都是由优化程序自动进行的。

如果由于电路特性指标要求过高或者用户设置的优化参数不合理等原因，最终达不到预计的要求，Optimizer工具给出的也将是这些元器件参数的一组最佳设计值。



电路优化设计的基本概念

■ 电路优化设计过程

Optimizer中的电路优化设计问题分为4类。

(1) 没有约束条件，只有一个目标参数。

— “无约束最小化”问题。

(2) 只有一个目标参数，但是同时有一个或者多个约束条件。

— “有约束最小化”问题。

(3) 没有约束条件，但是有多个目标参数。

— “无约束最小二乘”问题。

(4) 有多个目标参数，同时有一个或者多个约束条件。

— “有约束最小二乘”问题。



电路优化设计的基本概念

■ 优化设计“引擎”

优化过程中采用的优化算法又称为“优化引擎（Engine）”。

Optimizer工具采用4种引擎：

(1) 改进的最小二乘法引擎（**MLSQ: Modified Least Squares Quadratic**）。采用该引擎能迅速收敛至最佳解。

(2) 最小二乘法引擎（**LSQ**）：如果采用改进的最小二乘法不能非常逼近最佳解，使用最小二乘法引擎可以收敛至最佳解。

(3) 随机引擎（**Random engine**）：如果在优化过程中出现局部极小值点，将导致收敛问题，很难达到全局最小值。选用随机引擎，随机选取优化初值，可以避免出现上述收敛问题。

(4) 离散引擎（**Discrete engine**）：根据优化结果，选用与优化结果要求最接近的商品化元器件系列标称值，然后再次运行一次模拟仿真。



Optimizer工具与电路优化设计

■ 调用优化工具Optimizer的前提条件

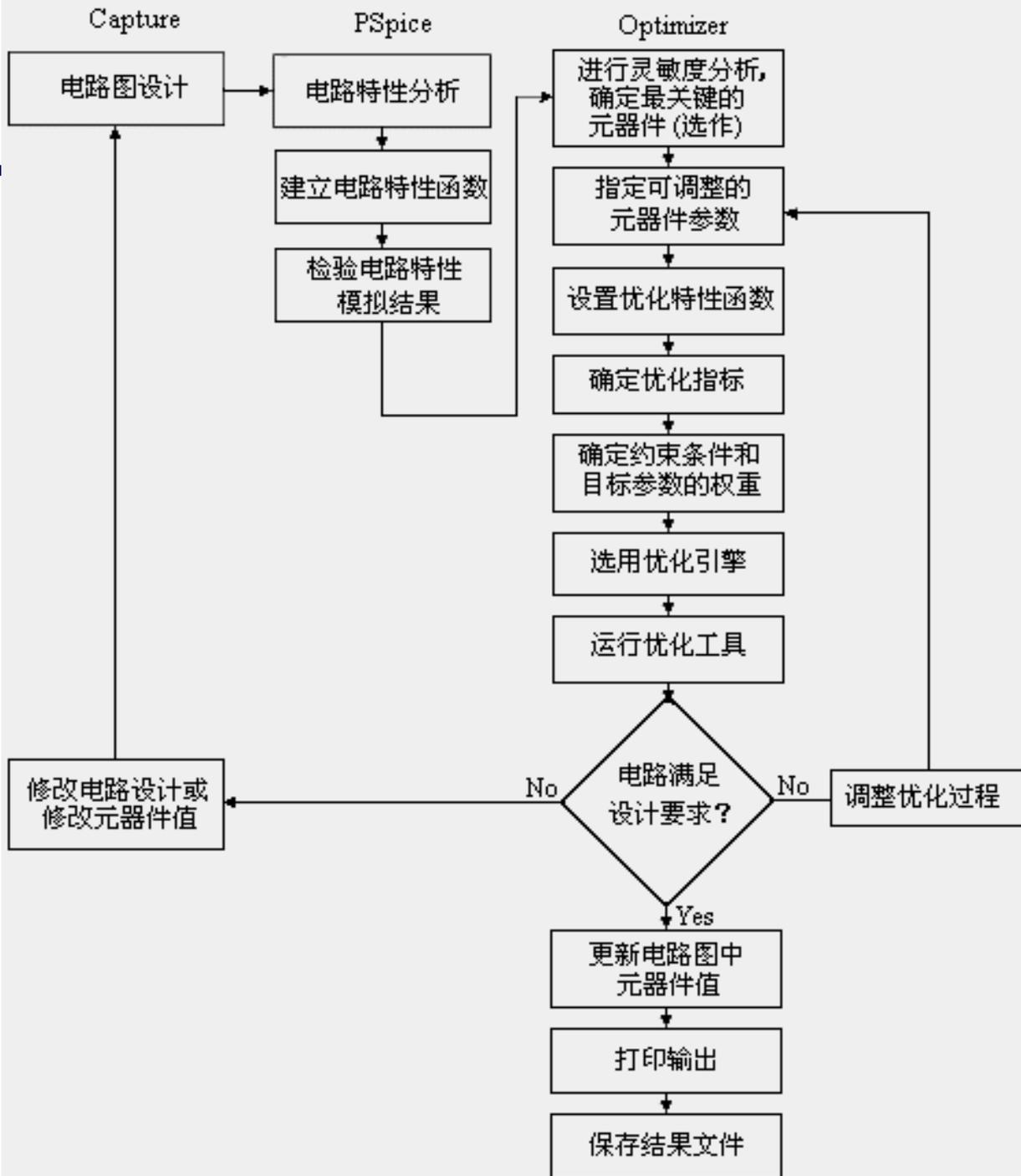
(1) 电路设计应已通过常规的PSpice模拟，实现了要求的功能。

(2) 将约束条件(如功耗)和目标参数(如延迟时间)用节点电压和支路电流信号表示。

(3) 进行优化设计时，应对电路工作原理有较深入理解，才能确定应调整那几个元器件参数，使要求的电路特性达到最优。

为了使优化设计更具针对性，提高优化设计效率，最好在优化设计之前先调用Sensitivity工具，分析电路特性对电路中元器件的灵敏度，从中选定灵敏度最高的元器件进行优化设计。

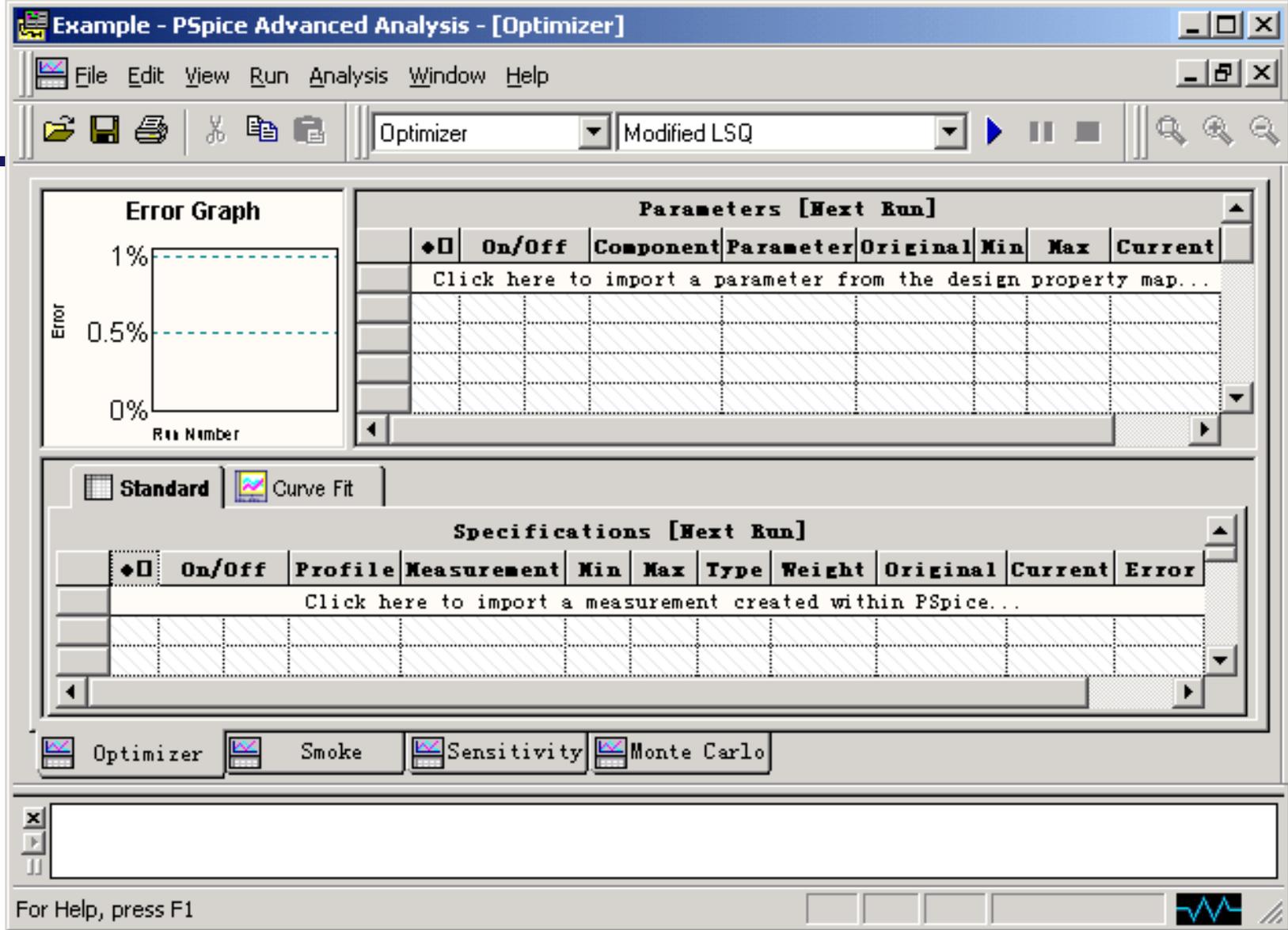
(4) 对触发器一类电路，即使某些元器件参数值变化不大，也可能使电路状态在ON和OFF之间突变。PSpice Optimizer对这种电路难以取得优化设计的效果。





Optimizer工具与电路优化设计

- 调用Optimizer工具进行电路优化设计的步骤
 - (1) 调用Optimizer工具。
 - (2) 指定在优化过程中可调整的电路元器件参数。
 - (3) 指定代表优化目标的优化目标参数和约束条件。
 - (4) 选择优化引擎。
 - (5) 选择执行Run/Start Opertimizer命令，即按照已设置的参数，进行优化。择优化引擎。
 - (6)在Optimizer窗口中分析优化结果。
 - (7) 顺利完成优化设计后，输出优化结果。



“Parameters”：显示优化设计过程中可以改变其值的元器件参数信息。“Specifications”：设置表示优化指标的优化目标参数和约束条件。“Error Graph”：显示电路特性当前值与优化指标值间的差距。



Optimizer工具与电路优化设计

■ 设置待调整元器件参数的4种方法

(1) 在电路图编辑器中设置待调整的元器件参数

（若待调整的元器件是电阻、电容这类直接给出元器件值的简单元器件）

(2) 在电路图编辑器中设置待调整的元器件参数

（若待调整的元器件是采用模型描述器件特性的有源器件）

(3) 在Optimizer工具中设置待调整的元器件参数。

(4) 在Sensitivity工具中将待调整的元器件参数导入到优化工具中。



Optimizer工具与电路优化设计

Parameters表中参数的说明

	◆□	On/Off	Component	Parameter	Original	Min	Max	Current
	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	RC1	VALUE	10k	1k	100k	
	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	Q1	BF	83	8.3	830	
Click here to import a parameter from the design property map...								

- (1) 只有“On/Off”单元格有选中标志√，优化过程中才会调整该行元器件参数。否则只采用Original一列所示的标称值。
- (2) 只有该单元格有开锁符号，优化过程中才会调整该行元器件参数。如果是锁定符号，则优化过程中只采用Current一列所示的“当前值”。
- (3) 第七列“Min”和第八列“Max”用于规定在优化过程中时只允许在“Min”列和“Max”列设定的最小值和最大值范围内调整元器件参数值。
- (4) 第九列“Current”显示的是“当前值”，即显示优化过程中该元器件参数值的调整变化情况。



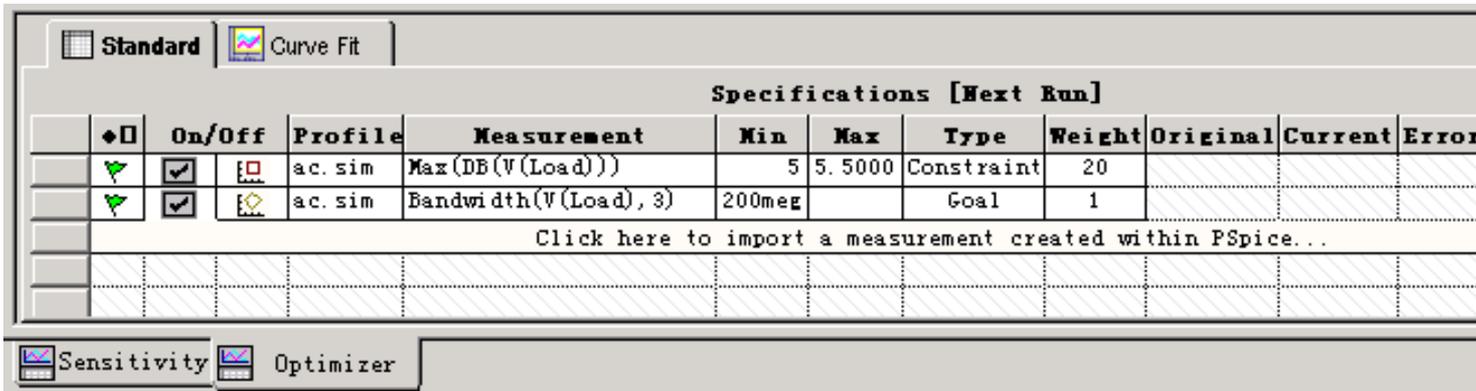
- 根据灵敏度分析结果，用绝对灵敏度和相对灵敏度两种方式选取灵敏的元器件参数，导入优化工具，作为待调整元器件参数。



Optimizer工具与电路优化设计

■ 优化指标的设置步骤

与“设置供Sensitivity分析调用的电路特性函数”的方法基本相同。





执行Run/Start Optimizer命令 启动优化进程，查阅优化结果

SCHEMATIC1 - PSpice Advanced Analysis - [Optimizer]

File Edit View Run Analysis Window Help

Optimizer Modified LSQ

Error Graph

Run Number	Error (%)
0	70
1	70
2	70
3	70
4	20
5	0
N	0

Parameters [Next Run]

On/Off	Component	Parameter	Original	Min	Max	Current
<input checked="" type="checkbox"/>	R8	VALUE	3.3000	3	3.6000	3.5700
<input checked="" type="checkbox"/>	R6	VALUE	470	235	705	702....
<input checked="" type="checkbox"/>	R4	VALUE	470	235	705	238....

Click here to import a parameter from the design property map...

Specifications [Next Run]

On/Off	Profile	Measurement	Min	Max	Type	Weight	Original	Current	Error
<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	Max(DB(V(Load)))	5	5.5000	Constraint	20	9.4181	5.2439	0%
<input checked="" type="checkbox"/>	ac.sim	Bandwidth(V(Load), 3)	200meg		Goal	1	150.5788meg	212.6955meg	0%

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

Sensitivity Optimizer



“曲线拟和” 优化设计有关概念

1. “曲线拟合”：

进行优化设计时，采用“曲线”描述作为优化指标，使优化结果尽量与给定的曲线要求相一致。这种优化方法称为“曲线拟合”。

2. “曲线拟合”优化设计的应用场合

(1) 如果要求电路的响应曲线具有特定的形状，应该使用曲线拟合进行优化。例如用一组数据描述了对滤波器电路的增益和相位的频率特性要求，这组数据描述的波形又称为参考波形。使用曲线拟合优化设计方法，使模拟仿真得到的电路响应曲线波形与参考波形尽量一致。

(2) 如果目标函数是一个特定点的值。

(3) 器件模型参数的优化提取。这是Optimizer工具很重要的一种应用。



“曲线拟和” 优化设计有关概念

3. 参考波形和参考文件:

采用曲线拟合方法优化电路时, 是采用一组数据描述的参考波形作为优化目标。描述参考波形的数据文件, 又称为参考文件。

4. 参考文件的格式

第一列是变量参数。

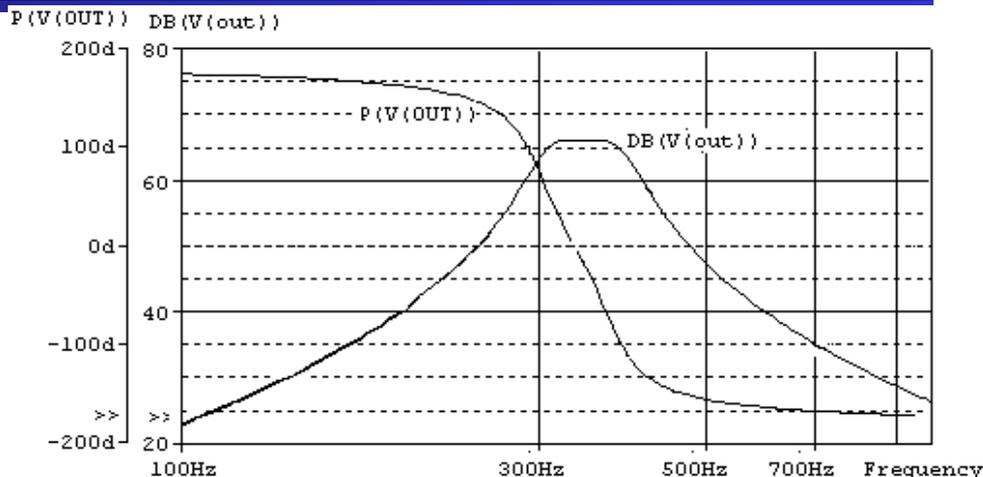
从第二列开始, 每一列描述一个参考波形。

每一列的第一行为“标题行”。

在设置曲线拟合的目标时, 将采用标题名称指定曲线拟合时采用的参考波形。

参考文件实际上是一个文本文件。

编写好参考文件后, 存放在当前的电路设计目录下, 供设置曲线拟合优化目标时调用。



Frequency	PHASE	
1.00E+02	1.74E+02	2.28E+01
1.02E+02	1.74E+02	2.33E+01
1.05E+02	1.73E+02	2.38E+01
⋮		
9.55E+02	-1.72E+02	2.74E+01
9.77E+02	-1.72E+02	2.69E+01
1.00E+03	-1.73E+02	2.64E+01



“曲线拟和” 优化设计的步骤

- 采用曲线拟合方法进行优化设计的步骤与前面介绍的主要差别是：

在Optimizer窗口的Specification表格中选择Curve Fit标签。

		On/Off		Profile	Trace Expression	Reference File	Ref. Waveform	Tolerance %	Weight	Error
▶	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ac.sim	P(V(out))	./reference.txt	PHASE	5	1	0%
	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ac.sim	DB(V(out))	./reference.txt	Column_2	3	1	0%

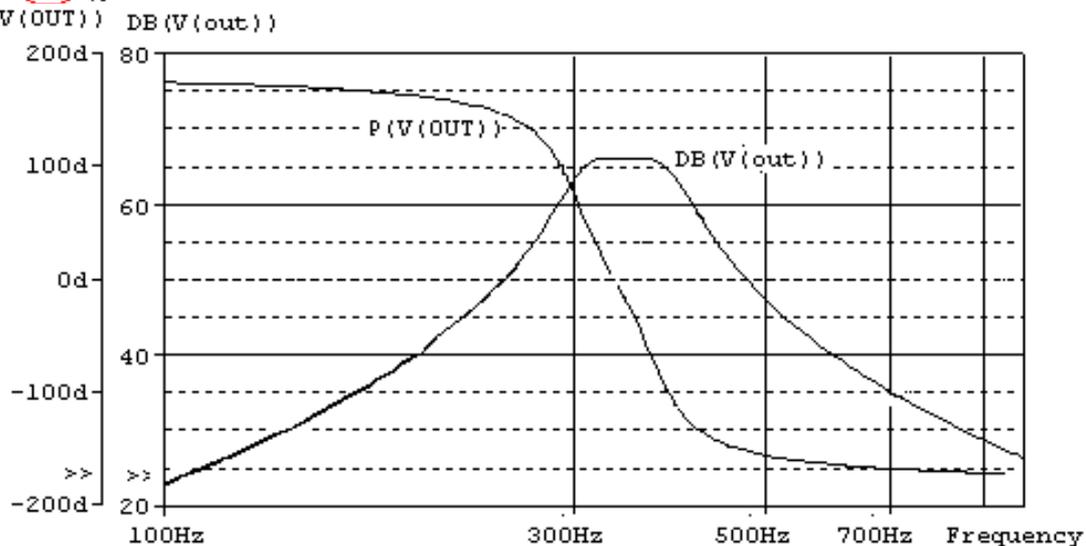
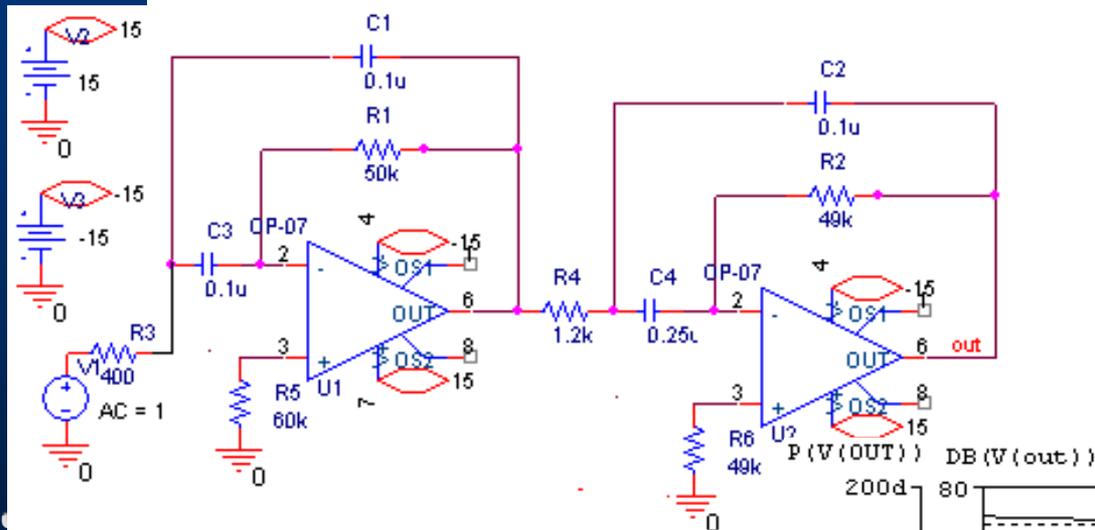
Click here to enter a curve-fit specification...

在Curve Fit标签页创建曲线拟合规范，以波形曲线的形式指定优化目标。



“曲线拟和” 优化设计实例

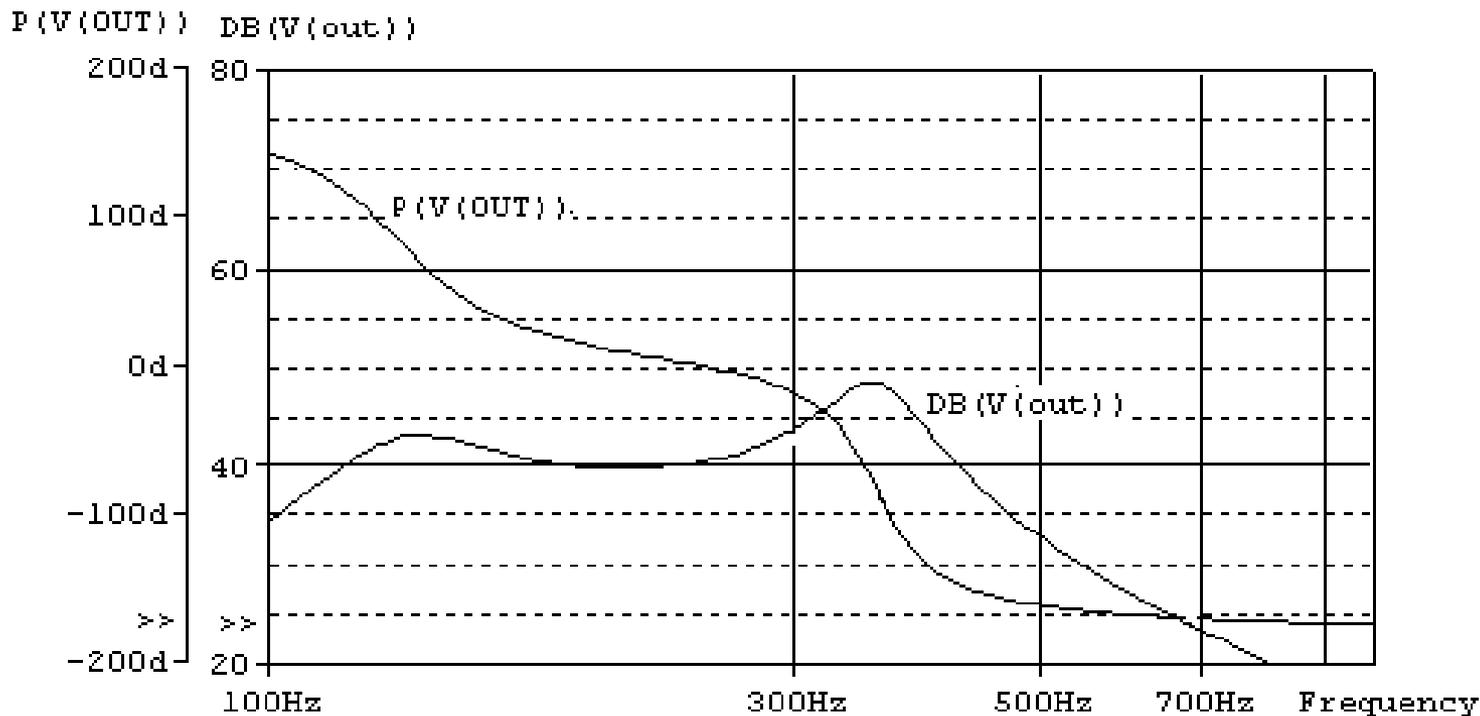
- 对下述有源带通滤波器电路，要求优化电路中的无源元件值，使滤波器的增益和相位具有图示的频率特性。





“曲线拟和” 优化设计实例

- 对原始电路设计，模拟仿真结束后的结果波形：





“曲线拟和” 优化设计实例

- 可调整元器件参数值设置:
- 与一般优化问题相同。

Parameters [Next Run]								
	◆□	On/Off	Component	Parameter	Original	Min	Max	Current
		<input checked="" type="checkbox"/>		R6	VALUE	49k	4.9k	490k
		<input checked="" type="checkbox"/>		R5	VALUE	60k	6k	600k
		<input checked="" type="checkbox"/>		R4	VALUE	1.2000k	120	12k
		<input type="checkbox"/>		R3	VALUE	400	40	4k
▶		<input checked="" type="checkbox"/>		R2	VALUE	49k	4.9k	490k
		<input checked="" type="checkbox"/>		R1	VALUE	50k	5k	500k
		<input checked="" type="checkbox"/>		C4	VALUE	0.2500u	25n	2.5u
		<input checked="" type="checkbox"/>		C3	VALUE	0.1000u	10n	1u
		<input checked="" type="checkbox"/>		C2	VALUE	0.1000u	10n	1u
		<input checked="" type="checkbox"/>		C1	VALUE	0.1000u	10n	1u



“曲线拟和” 优化设计实例

曲线拟合优化目标设置：

注意参考文件和参考波形数据的设置。

Standard | Curve Fit

Curve Fit [Next Run]

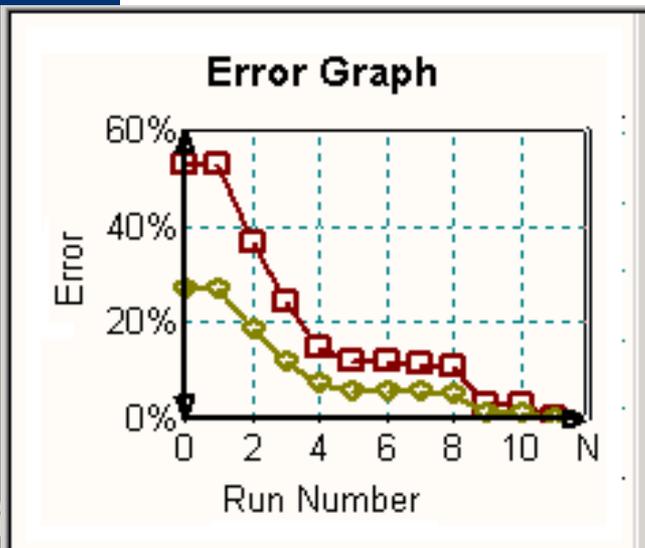
	◆□	On/Off			Profile	Trace Expression	Reference File	Ref. Waveform	Tolerance %	Weight	Error
▶	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ac. sim	P(V(out))	./reference.txt	PHASE	5	1	0%
	▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ac. sim	DB(V(out))	./reference.txt	Column_2	3	1	0%

Click here to enter a curve-fit specification...



“曲线拟和” 优化设计实例

Optimizer窗口中显示的优化结果：



Parameters [Next Run]									
	◆□	On/Off	Component	Parameter	Original	Min	Max	Current	
	▶	☑	🔒	R6	VALUE	49k	4.9k	490k	49k
	▶	☑	🔒	R5	VALUE	60k	6k	600k	60k
	▶	☑	🔒	R4	VALUE	1.2000k	120	12k	862.5015
	▶	☐	🔒	R3	VALUE	400	40	4k	400
	▶	☑	🔒	R2	VALUE	49k	4.9k	490k	48.8676k
	▶	☑	🔒	R1	VALUE	50k	5k	500k	50.3025k
	▶	☑	🔒	C4	VALUE	0.2500u	25n	2.5u	107.0301n
	▶	☑	🔒	C3	VALUE	0.1000u	10n	1u	110.8291n
	▶	☑	🔒	C2	VALUE	0.1000u	10n	1u	56.6614n
	▶	☑	🔒	C1	VALUE	0.1000u	10n	1u	78.7471n

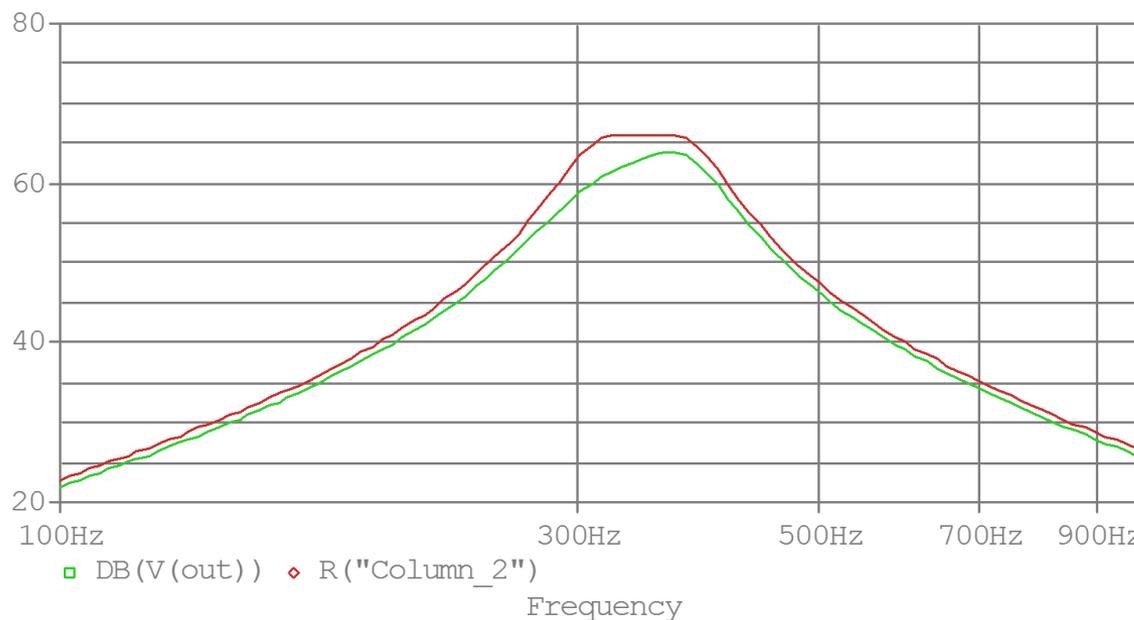
Click here to import a parameter from the design property map..

Curve Fit [Next Run]											
	◆□	On/Off			Profile	Trace Expression	Reference File	Ref. Waveform	Tolerance	Weight	Error
	▶	☑	☐	🔒	ac. sim	P(V(out))	./reference.txt	PHASE	5	1	0%
	▶	☑	☐	🔒	ac. sim	DB(V(out))	./reference.txt	Column_2	3	1	0%

Click here to enter a curve-fit specification..



优化后波形与参考波形的比较





- 优化带通滤波器，使其增益超过75dB。
- 将所用无源R、C元件值作为代调整参数。
- 无法完成优化任务。
- 通过灵敏度分析，选择灵敏元器件参数作为待调整参数。
- 顺利完成优化任务。