
如何在 HFSS 9.0 中 使用参扫、优化和灵敏度分析

Poqi055

2004-1-13

目 录

第一章 概述	5
第一节 变量的设置	5
λ 全局变量和局部变量	5
λ 求解过程扫描的设置	5
第二节 本练习的说明	6
第二章 以导线宽度为本地变量求解微带线特性阻抗练习	7
2.1 设置解的类型	7
2.2 设置绘图单位	7
2.3 建立微带线模型	7
2.3.1 介质层模型 - PCB	7
2.3.2 空气箱 - AIR	7
2.3.3 导线模型 — T	7
2.3.4 端口设置 - P1, P2	7
2.3.5 激励以及负载线设置	8
2.3.6 边界设置	8
2.3.7 模型结构图	8
2.4 设置变量	8
2.5 设置仿真参数	9
2.6 设置参数扫描	9
2.6.1 添加参数扫描	9
2.6.1.1 扫描定义标签	9
2.6.1.2 Table 标签	10
2.6.1.3 General 标签	10
2.6.1.4 Calculations 计算标签	10
2.6.2 执行参数扫描	12
2.7 观察参数仿真结果	12
2.7.1 显示曲线的设置之一：CONTEXT 设置	12
2.7.2 显示曲线的设置之二：扫描标签的设置	13
2.7.3 显示曲线的设置之三：X 轴显示参数的设置	13
2.7.4 显示曲线的设置之四：Y 轴显示参数设置	13
2.7.5 使用 OPTIMETRICS\PARAMETRICSETUP1 进行扫描结果观察	14
2.8 优化功能的使用和设置	15
2.8.1 取消扫描设置	15
2.8.2 将模型的 W 参数转换成 OPTIMIZATION 变量	15
2.8.3 添加优化设置	16
2.8.4 添加 COST 函数	16
2.8.5 修改变量的起始和中止值	17
2.8.6 GENERAL 项目的设置（解算方式设置）	17
2.8.7 执行优化分析	17
2.8.8 观察优化结果	18

2.9 建模与参扫之间的一个需要注意的问题	18
2.9.1 标准状态 1	18
2.9.2 导线位置移动	19
2.9.3 标准状态 2	19
2.9.4 负载线位置发生变化	19
2.10 修正设计	19
2.11 优化过程中不收敛的处理	20
第三章 关于介质物体的参扫和优化	21
3.1 设置 HFSS 设计的初始参数	21
3.2 设置表征介质层厚度的全局变量：H	21
3.3 将变量 H 应用到 PCB 模型尺寸设置中	21
3.3.1 设置介质层模型 PCB 的 Z 轴（高度）变量	21
3.3.2 设置与 Z 轴高度\$H 相关的端口位置	22
3.4 设置本地介电常数变量	22
3.4.1 添加新的全局变量“RF”	22
3.4.2 新建使用变量的介电常数	22
3.5 其它参数的设置；进行初始的仿真	23
3.6 添加扫描变量	23
3.6.1 添加介质层厚度变量\$H 和介电常数变量\$RF	23
3.6.1.1 Sweep 定义标签	23
3.6.1.2 常规设置标签	23
3.6.1.3 计算标签设置	24
3.6.2 执行参数扫描	24
3.6.3 察看仿真结果	24
结论：1) 阻抗随介质层厚度减小而减小	24
3.7 设置优化	25
3.7.1 转换两个全局变量为优化变量	25
3.7.2 设置优化变量	25
3.7.2.1 Goals 标签设置状态	25
3.7.2.2 Variables 标签设置状态	25
3.7.2.3 General 标签设置状态	26
3.8 优化结果	26
3.8.1 首次参数扫描结果	26
3.8.2 执行优化	26
小结：	27

第四章 差分线的阻抗参数扫描合优化	28
4.1 设置 HFSS 设计的初始参数	28
4.2 端口设置	28
4.2.1 建立两个端口的几何图形	28
4.2.1.1 建立 Port1	28
4.2.1.2 建立 Port2	28
4.3 建立边界	29
4.4 建立端口 1 的负载线	29
4.5 建立端口 2 的负载线	29
4.6 设置参扫参数	30
4.6.1 设置全局变量	30
4.6.2 修改导线模型几何参数	30
4.7 设置仿真（非扫描）参数	30
4.8 添加参数扫描变量	31
4.8.1 参数扫描变量窗口的 SWEEP 定义标签	31
4.8.2 参数扫描变量窗口的 TABLE 标签	31
4.8.3 参数扫描变量窗口的计算标签设置	31
4.8.4 参数扫描变量窗口的常规设置标签	32
4.9 执行参数扫描	33
4.9.1 进行变量 \$SET = 113MIL 常规设置的仿真	33
4.10 察看参扫结果	33
4.11 设置优化参数	34
4.11.1 将 \$SET 变量转换成优化变量	34
4.11.2 添加优化变量	34
4.11.2.1 优化变量窗口中目标 (Goals) 标签设置	34
4.11.2.2 优化变量窗口中变量 (Variables) 标签设置	35
4.11.2.3 优化变量窗口中常规 (General) 标签设置	35
4.12 执行优化	36
4.13 察看优化的收敛过程	36
4.14 从新设置优化参数	38
4.14.1 全局变量的改变	38
4.14.2 将新的 \$SET 变量再次转换成优化变量	38
4.14.3 添加一个新的优化变量	38
4.14.4 使用新的变量范围优化结果	38
4.5 小结	39

第五章 灵敏度分析	40
5.1 灵敏度的定义	40
5.2 如何在 HFSS 使用灵敏度分析	40
5.3 本例使用的模型	41
5.4 变量的设置	41
5.5 扫描变量的设置	41
5.5.1 在添置扫描变量窗口中“SWEEP DEFINITIONS”标签的设置	41
5.5.2 在添置扫描变量窗口中“GENERAL”标签的设置	42
5.5.3 在添置扫描变量窗口中“CALCULATION RANGE”标签的设置	42
5.6 扫描结果	42
5.7 设置优化变量	43
5.8 进行优化操作	44
5.9 设置灵敏度变量	44
5.10 添加灵敏度分析并设置变量值	45
5.11 运行灵敏度分析	45
5.12 灵敏度结果分析	45
5.12.1 TABLE 显示的结果	46
5.12.2 曲线方式显示的结果	46
第六章 附录	49
6.1 变量调协 (TUNE)	49
6.1.1 设置 TONE 变量	49
6.1.2 检查运行 TONE 后的结果	50
6.1.3 结束 TONE	51
6.1.4 小结	51

如何在 HFSS 9.0 中使用参扫，优化和灵敏度分析

第一章 概述

第一节 变量的设置

在 HFSS 9.0 中使用参数扫描和优化的方法比起 HFSS 8.0 要简单的多。但是在使用之前有一个概念必须搞清。

如果需要使用参数扫描和优化功能，首先要用到的就是“变量”这个概念。给一个变量设置不同的数值，就可以有不同的仿真结果，并且依据这个结果可以进行下一步的优化工作。

✚ 全局变量和局部变量

变量在 HFSS 9.0 中有两个级别：1.全局变量，也叫项目变量；2.本地变量，也叫当前变量。两者的区别是，全局变量的变化将影响整个设计中的各个步骤将要用到或间接用到的步骤。而本地变量只影响当前设置的项目。从下面的图例中可以看到两者的不同。

假如有一个差分线模型，用它来分析差分特性阻抗。已知导线间的宽度可以影响这个阻抗数值，因此可以将导线宽度作为一个变量： W 。如果将 W 作为本地变量，将出现一个如图 1 所示的现象：

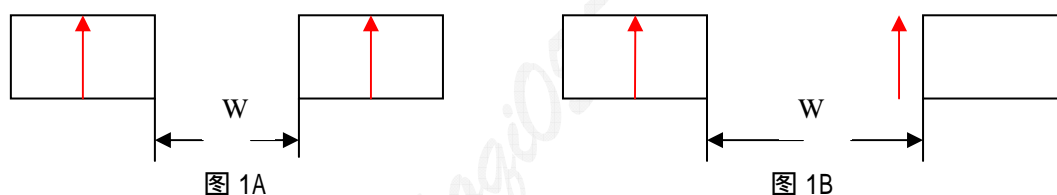
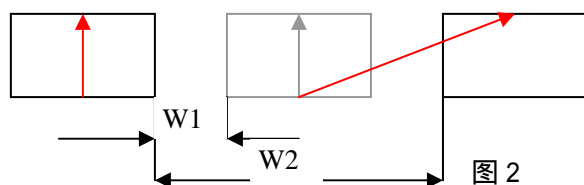


图 1 中，有一对差分线，定义了 W 为局部变量。由于要求解差分阻抗，所以必须对这一对导线建立两个端口，并设置负载线，见图 1A。那么在修改了 W 的数值，如果 W 加大，导线 2 将右移，但是它的端口上的负载线并不移动，图 1B。这样将造成解算数据的错误。

这样的原因是， W 是在建立导线 2 模型的时候确定的本地变量；而负载线是在进行端口设置时做的，它与模型建立是间接关系。因 W 变量变化导致的导线 2 移动，并不影响到负载线。

但是如果将 W 设置成了全局变量，那么因 W 变量变化导致的导线 2 移动时，负载线也将移动（图 2）。



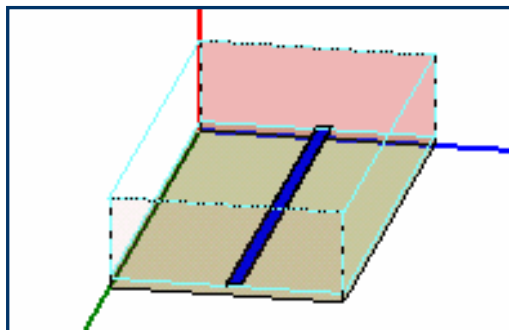
✚ 求解过程扫描的设置

对于参数扫描过程，可以进行扫描的设置，得到不同参数下的数条曲线。对于优化来讲，一般应将扫描设置取消。优化是指在一个确定的条件下优化某一个参数，如果再进行频率扫描优化效果的唯一性不体现，而且将花费大量的硬件资源。

第二节 本练习的说明

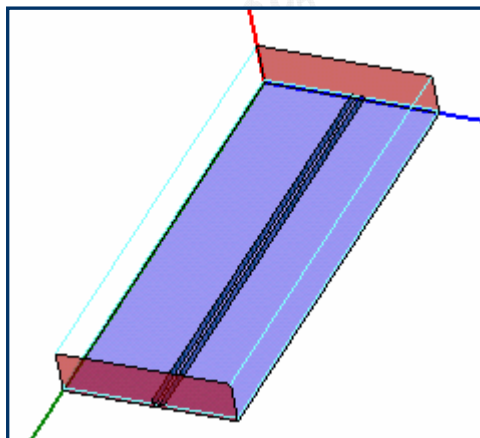
在下面的章节中，有 4 个例题 (E:\Maxwell\HFSS90\Mic_w\...):

例题 1：简单微带线结构模型。以导线宽度局部变量进行参数扫描和优化,-- Mic_w.hfss



例题 2：同样的简单微带线结构模型。以介电常数为局部变量进行参数扫描和优化,-- Mic_fr.hfss
模型同例题 1。

例题 3：微带线结构的差分线模型。分别以间距为局部变量和全局变量参数扫描和优化 --
Dif_L.hfss 和 Dif_G.hfss



例题 4：微带线结构的差分线模型的灵敏度分析 -- Mic_xyzfr.hfss
模型同例题 1。

第二章 以导线宽度为本地变量求解微带线特性阻抗练习

2.1 设置解的类型

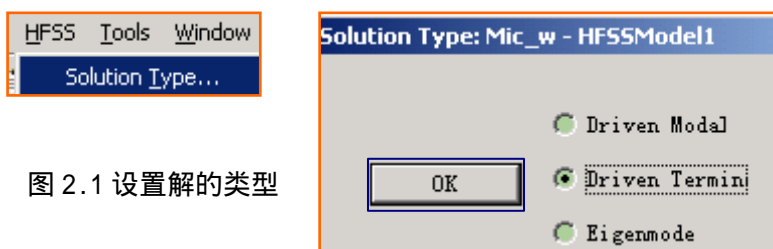


图 2.1 设置解的类型

在 HFSS 主菜单中，选择 Solution Type 命令，在弹出的类型设置窗口，选择“Driven Termin”选项。

2.2 设置绘图单位



图 2.2 设置绘图单位

2.3 建立微带线模型

2.3.1 介质层模型 - PCB

模型：三维； $(X=0, Y=0, Z=0) \rightarrow (dX=200, dY=100, dZ=4)$

材料：Fr4

2.3.2 空气箱 - Air

模型：三维； $(X=0, Y=0, Z=4) \rightarrow (dX=200, dY=100, dZ=36)$

材料：真空

2.3.3 导线模型 — T

模型：二维； $(X=0, Y=50, Z=4) \rightarrow (dX=200, dY=6, dZ=0)$

材料：2D 图形，没有材料属性

2.3.4 端口设置 - P1, P2

模型：二维；端口 P1 $(X=200, Y=0, Z=0) \rightarrow (dX=0, dY=100, dZ=36)$

端口 P2 $(X=0, Y=0, Z=0) \rightarrow (dX=0, dY=100, dZ=36)$

材料：2D 图形，没有材料属性

2.3.5 激励以及负载线设置

Wave 端口 P1 负载线 : (X=200, Y=50, Z=0) \rightarrow (dX=0, dY =0, dZ=4)

Wave 端口 P2 负载线 : (X=0, Y=50, Z=0) \rightarrow (dX=0, dY =0, dZ=4)

2.3.6 边界设置

设置导线为 E 边界；设置空气箱为 H 边界。

2.3.7 模型结构图

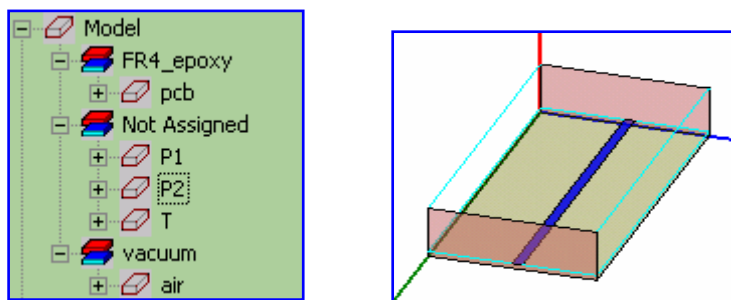


图 2.3 完成的微带线模型

2.4 设置变量

变量已经确定是导线宽度，由于端口处的负载线是位于导线中心的，所以如果简单将导线宽度变化，则负载线将偏离导线中心，为此在设置这个变量时最好有这个考虑。

一般状态下，应该先完成标准模型的建立，然后再设置变量。本例将导线中心 Y 坐标设为 50mil，设导线的宽度值为变量 W。

在模型窗口双击 T 模型，弹出属性窗口（图 2.4），在尺寸栏中修改导线的 Y 起始坐标值为 $50-w/2$ ，

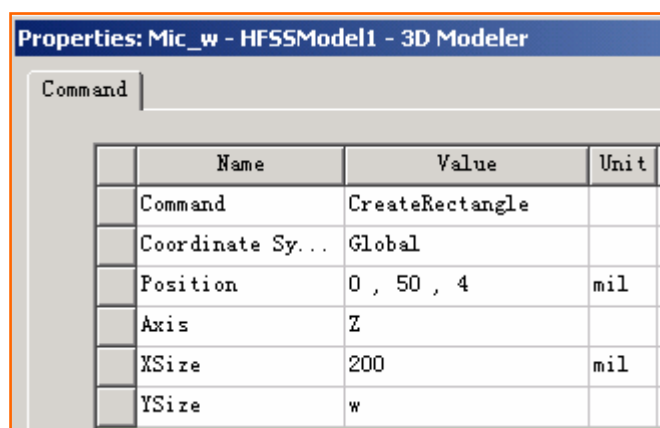


图 2.4 修改导线的 Y 坐标值，假如变量

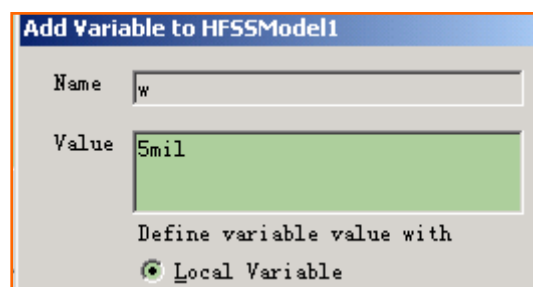
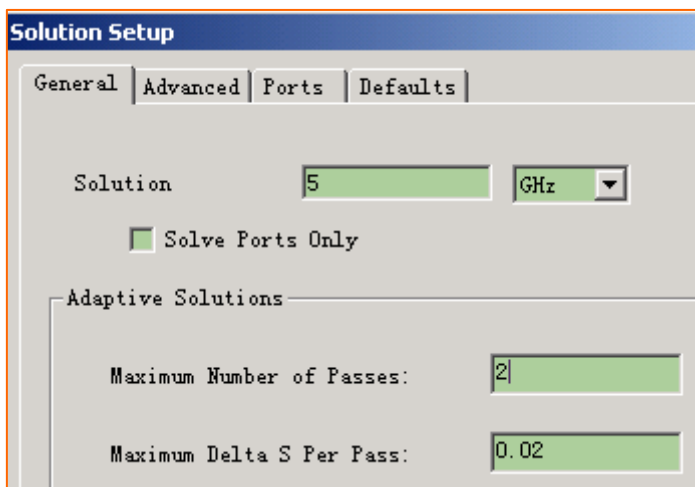


图 2.5 输入变量数值（带单位）

由于坐标值栏出现变量，将自动弹出变量设置窗口，在这个窗口中输入 5mil（注意一定要带单位，图 2.5）。在图 2.5 中可以看到，W 是一个本地变量，点击 OK。

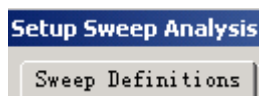
然后在图 2.4 中 Y 尺寸栏，将 6mil 修改成变量 W。点击确认按钮，最后的结果见图 2.6。

2.5 设置仿真参数



按照图 2.6 设置仿真(单频)仿真参数。这里定义最大通过数量为 2,是因为试图减少运算时间。可能精度会有影响。

图 2.6 设置单频仿真参数



2.6 设置参数扫描

2.6.1 添加参数扫描



图 2.7 添加参数扫描设置

在项目窗口的 Optimetrics 处,点击右键在右键菜单中选择 Add 栏中的参数项(图 2.7),在弹出的窗口中进行如下设置:

2.6.1.1 扫描定义标签

- 1) 在 Setup Sweep Analysis 窗口的 Sweep Definitions 标签中点击 Add 按钮,出现 Add/Edit sweep 窗口。
- 2) 在变量列表栏出现内置的 W 变量,这是因为当前只有一个变量设置的原因(图 2.8)。

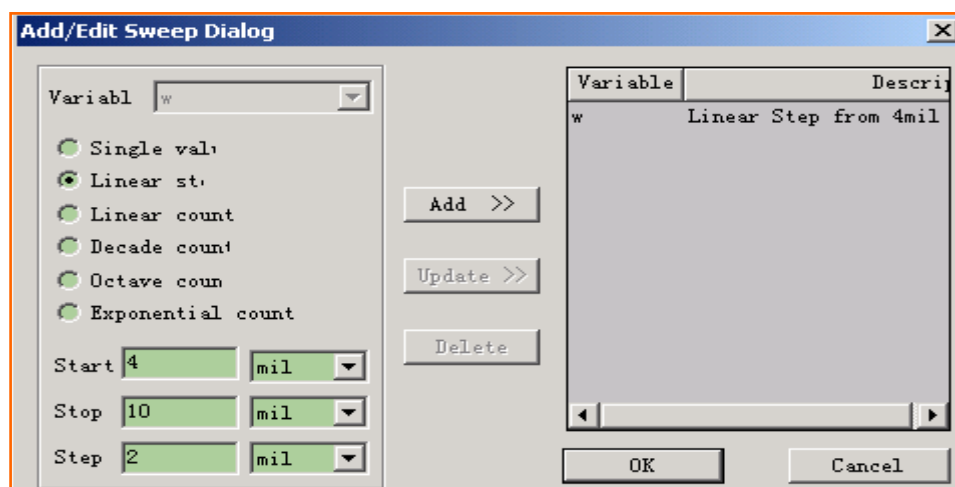


图 2.8

- 3) 在图 2.8 中选择线性步长（默认选项）
- 4) 规定变量 W 的起始值，中止值和步长
- 5) 点击 Add 按钮，将这个设置移至窗口的右边，点击 OK。此时在 Setup Sweep Analysis 窗口的 Sweep Definitions 标签选项窗口变成如图 2.9.

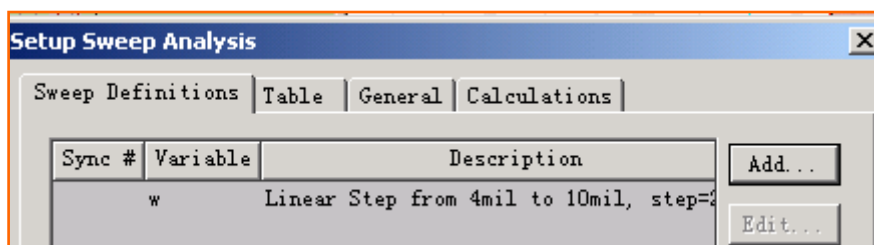
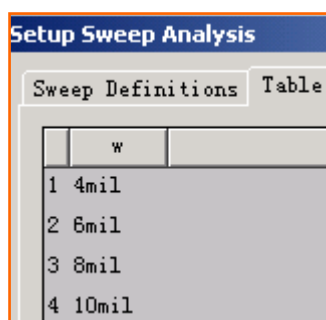


图 2.9

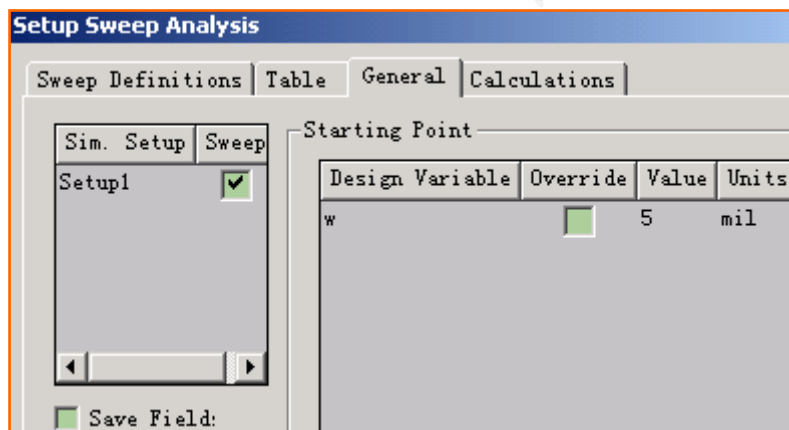
2.6.1.2 Table 标签



点击 Table 标签，可以看到将要进行的参数扫描变量值。

图 2.10 参数扫描变量值列表

2.6.1.3 General 标签



如果需要保存扫描文件，可在 General 标签中选中 Save filed 复选项。其余设置，采用默认值。

图 2.11 General 标签设置

2.6.1.4 Calculations 计算标签

- 1) 点击 Calculations 标签后，在该窗口中先点击 Add 按钮，默认的，在 solution 栏下出现的是，“采用作后一次计算结果”分析选项，它的名称默认的是：Setup1。
- 2) 点击该窗口中 Edit Calculation 按钮，出现输出变量设置窗口（图 2.12）

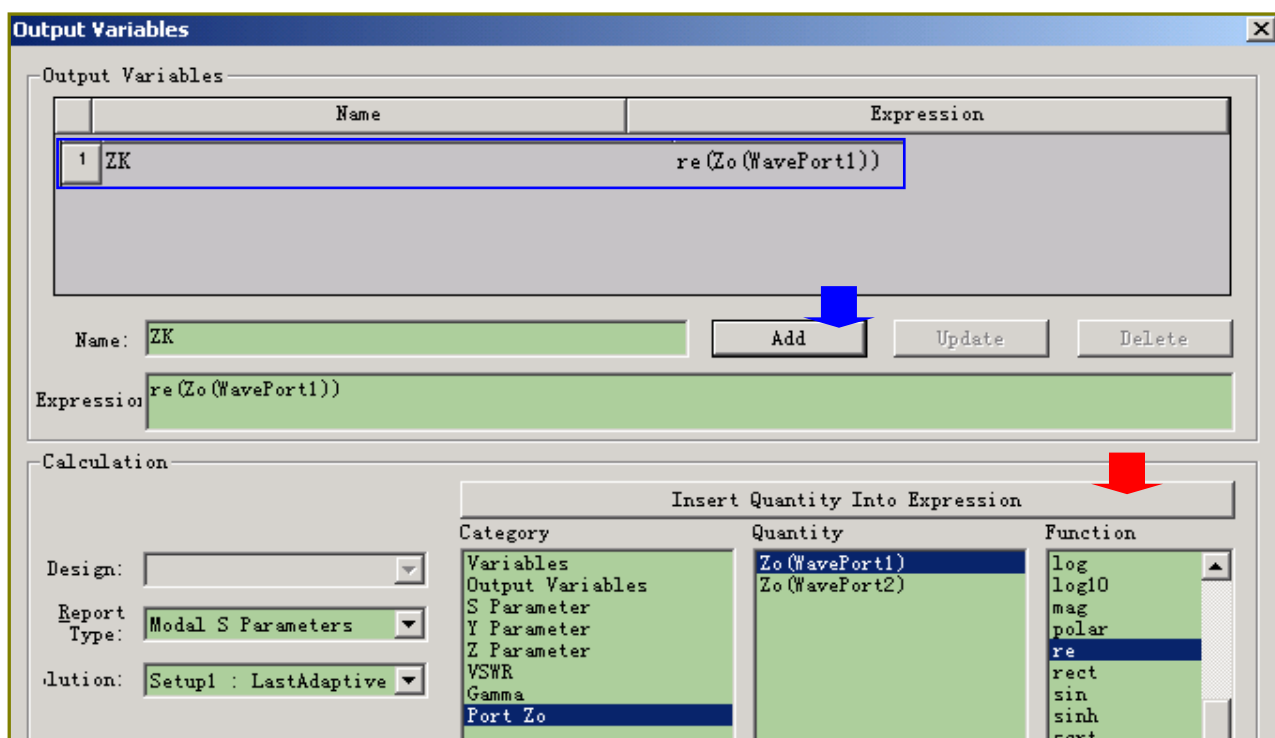


图 2.12 输出变量设置界面

在图 2.12 窗口的左下边，默认的两个设置是：

Report Type (报告类型) 为 Modal S parameters

Solution (相应) 为： Setup1 : LastAdaptive 这两项在这个例题中就使用默认选项。

3) 在类别 (Category) 栏，选择 Port Zo

4) 在 Quantity 栏，只选择一个端口的 Zo : Zo (WavePort1)

5) 在函数栏选 re (实部)

6) 在窗口中部名称栏写入输出变量的名称：ZK

7) 点击“Insert quantity Into Expression”按钮 (红色箭头)，表达式将出现在 Expression 栏

8) 点击 Add 按钮 (蓝色箭头)，表达式将最终出现在输出变量窗口

9) 点击 Done 按钮完成计算标签的设置 (如果还有其它输出变量设置，可重复第 3 到第 8 个步骤)

10) 此时计算标签设置完成，见图 2.13

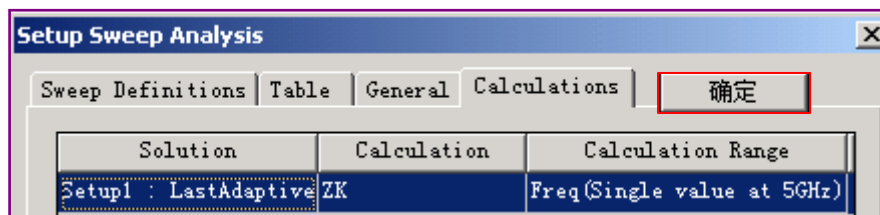
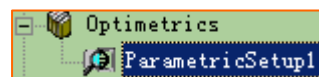


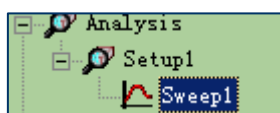
图 2.13 完成后的计算标签设置窗口

11) 点击图 2.13 中确定按钮，关闭扫描设置。同时在项目窗口的 Optimetrics 栏目下，将出现新的项目：parametric setup1(右图)

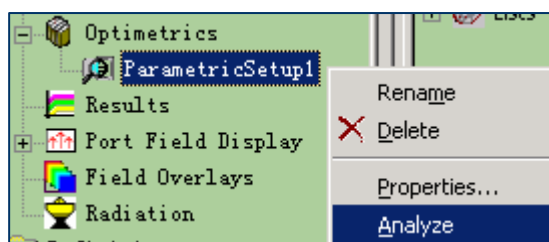


2.6.2 执行参数扫描

执行参数扫描。由于这里目前进行的只是参数扫描。还没有进行优化操作，所以可以加入对微带线宽在规定频率范围的 Sweep 分析。



在项目窗口 Analysis 下 Setup1 处的右键菜单中，执行添加扫描命令，建立从 0.5GHz 到 5GHz 的扫描功能（左图）。



在 Optimetrics 下 ParametricSetup1 的右键菜单中执行 Analyze 命令，开始扫描分析。

图 2.14 执行分析命令

2.7 观察参数仿真结果

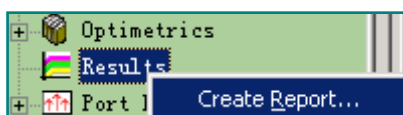


图 2.15

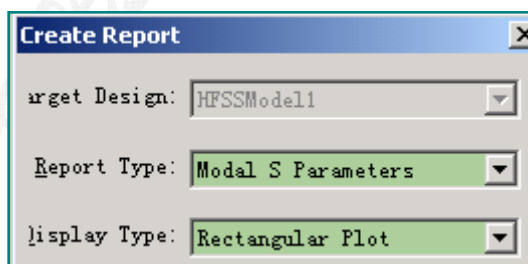
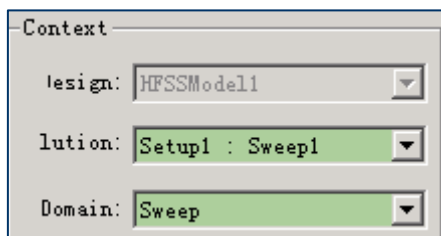


图 2.16

在项目窗口 Optimetrics 下 Results 中执行 Creat Report 命令（图 2.15），出现图 2.16 窗口，在这里确定表格类型（本例为 S 参数，还可以有场图的选择），和显示曲线的坐标系（这里是笛卡儿）。然后点击 OK，进入曲线设置窗口（Trace 窗口）。

2.7.1 显示曲线的设置之一：Context 设置



在这个窗口中 Context 项目的两个设置都有默认值，见图 2.17. 在 Solution 项中，默认的是扫描，在下拉菜单中还有，如右图所示的几个选择。

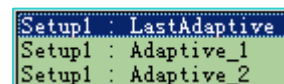


图 2.17

在这个窗口的 Domain 选项，除了 Sweep 外，还有时间（time）选项。

2.7.2 显示曲线的设置之二：扫描标签的设置

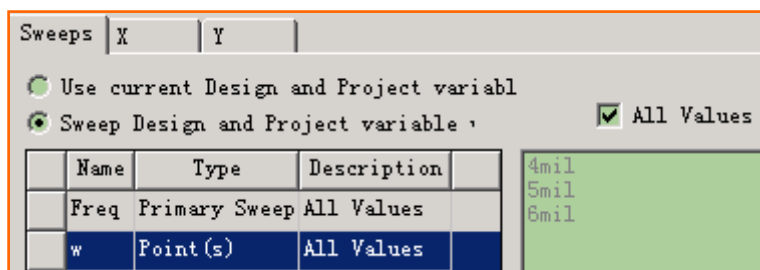


图 2.18 扫描标签的设置

这里有两个单选按钮：Use current ...；和 Sweep Design... 两个选项。如果选中上面的，则只有关于 W 变量的参数扫描数据。在这里选择后面一个，同时在右边的窗口中可以看到关于 W 参数的取值情况。

2.7.3 显示曲线的设置之三：X 轴显示参数的设置

这里使用 X 轴为频率的默认选项

2.7.4 显示曲线的设置之四：Y 轴显示参数设置

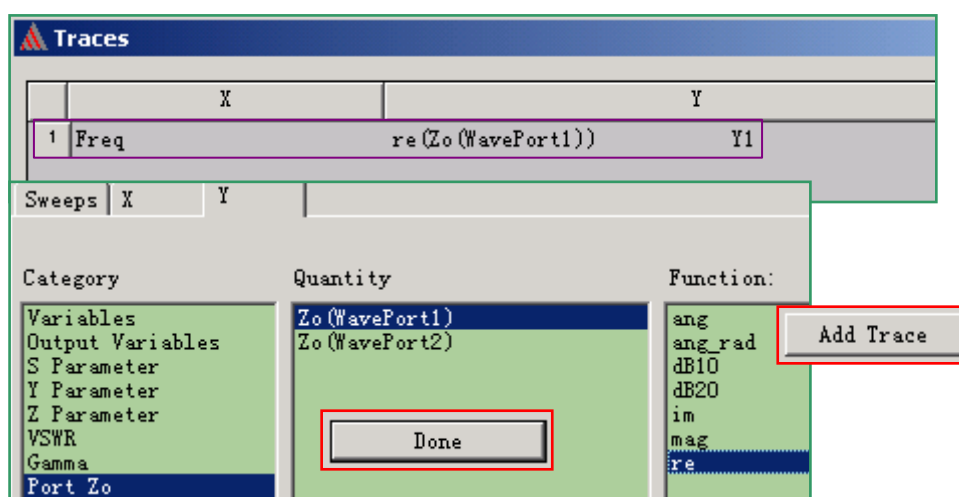


图 2.19 曲线 Y 轴显示参数设置

按照图 2.19 中进行设置，选择显示曲线类型为端口阻抗 Z_o ；只显示端口 1 的曲线，函数为显示实部。然后点击 Add 按钮，这个曲线将出现在 Trace 栏中。再点击 Done 按钮，将出现曲线图（图 2.20）。

在图 2.20 中可以看到四条曲线。它们分别是当导线的宽度为 4mil，6mil，8mil，10mil 时，在模型的端口 1 处的特性阻抗。

这里有两点：

- 1) 微带线的特性阻抗，随导线宽度的增加而减小，当线宽为 4mil 时，阻抗为 75 左右。当线宽增加至 10mil 时，它的阻抗值大约在 44 左右。
- 2) 在 500Khz 到 5GHz 频率范围内的阻抗基本是不发生变化的，这完全符合传输线特性。

按照常规的方法可以对曲线的显示方式进行各种修正和设置。

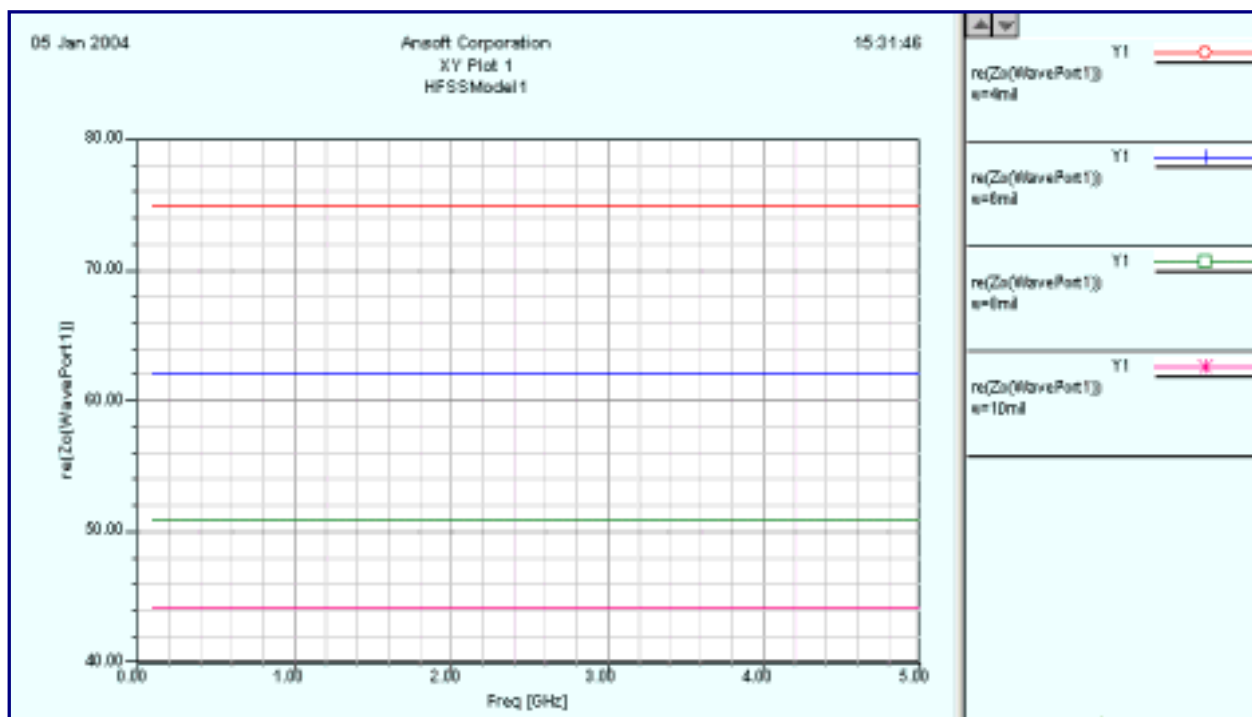


图 2.20 显示参数扫描曲线

2.7.5 使用 Optimetrics\ParametricSetup1 进行扫描结果观察

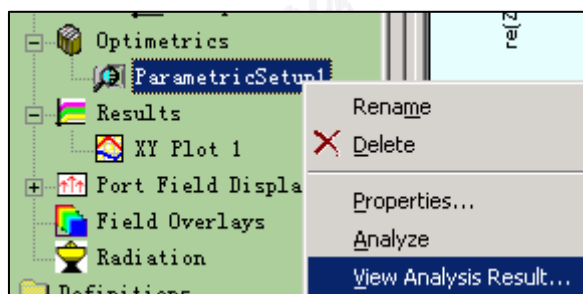


图 2.21

在 2.7.4 中使用的是打印结果的方法来观察参数扫描的结果。还有另外的的方法 ,这里不进行曲线的 Rort , 而只是进行观察。方法是按图 2.21 所示的方法 , 执行 View 仿真结果。这时将弹出结果观察窗口。

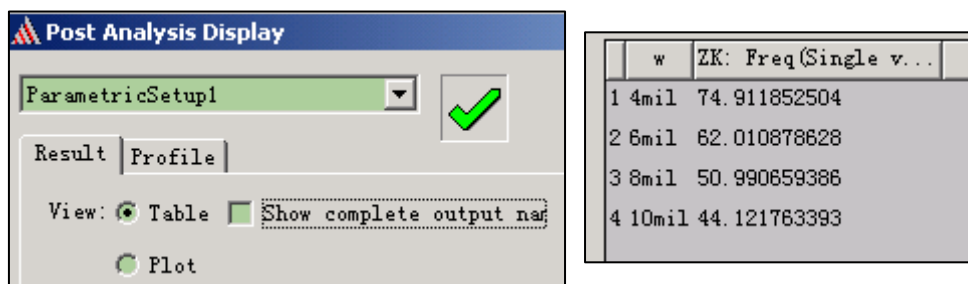


图 2.22

在图 2.22 中 Result 标签里 , 选中 Table , 将以数据格式显示导线宽度不同时的 Zo 数值。

如果选中 Plot，将以曲线形式显示线宽和 Z_0 之间的关系。注意，这里的曲线，横坐标是线宽，纵坐标是阻抗数值。

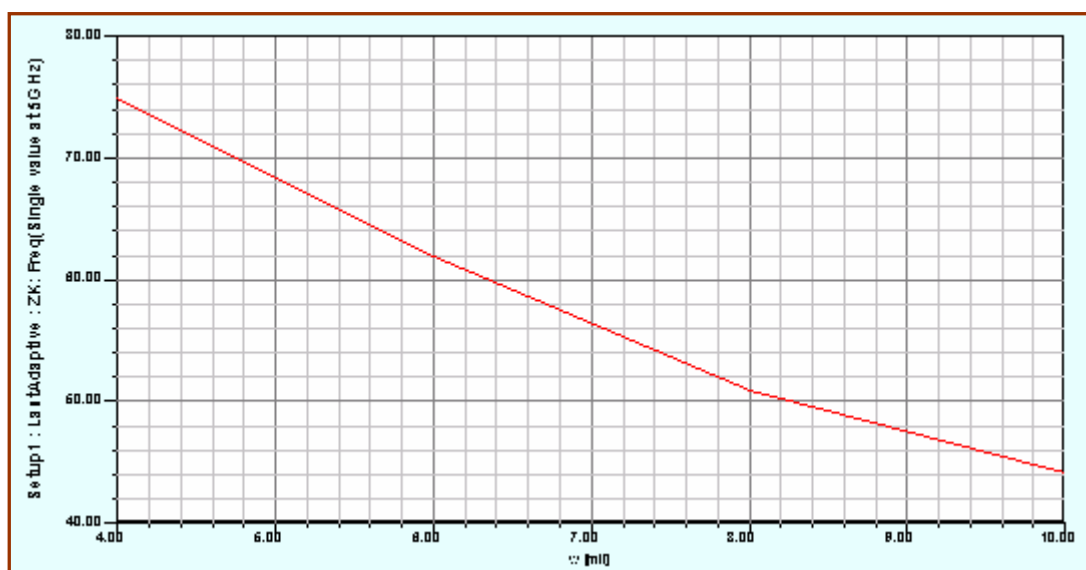
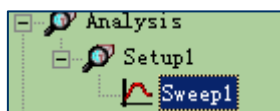


图 2.23 导线宽度和导线特性阻抗之间的关系曲线

2.8 优化功能的使用和设置

2.8.1 取消扫描设置



在左图所示界面的右键菜单中，执行 Delete 命令，删除扫描功能。

图 2.24 取消分析项目中的扫描设置。(以 Mic_w_Op 为名领存文件)

2.8.2 将模型的 W 参数转换成 Optimization 变量

- 1) 在 HFSS 主菜单中执行 Design Parameters 命令，出现参数设置窗口
- 2) 在本地变量标签中，选择“Optimization”，此时 W 变量出现在名称栏中
- 3) 选中 Include (在复选框中点击)，这里可以修改最大/最小值的设置。点击确定按钮。

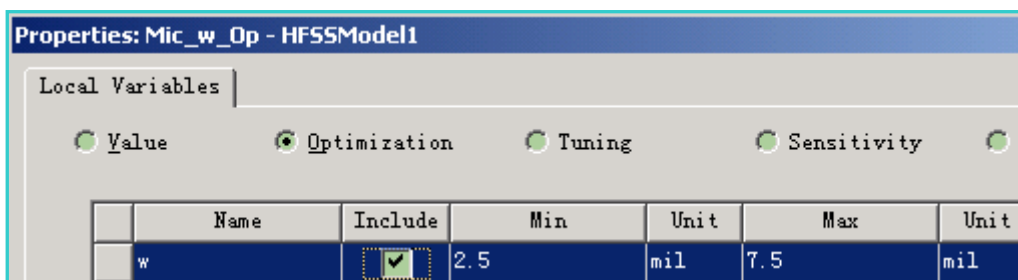


图 2.25 将模型的 W 参数转换成 Optimization 变量

2.8.3 添加优化设置


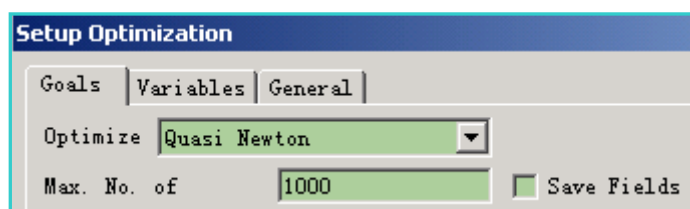
- 1) 在项目窗口的 Opimetricis 处的右键菜单中，执行 Add 命令（或点击工具图标 ）
- 2) 在出现设置窗口中的 Goals 标签中 Optimizer 栏的下拉列表中，选择“Quasi Newton”
- 3) 在 Max.No. of Iterations 栏中，同意使用默认值 1000
- 4) 清楚保存文件选项，设置结果见图 2.26。

图 2.26



2.8.4 添加 Cost 函数

- 1) 在 Goals 标签中，点击 Add 按钮，新的一行出现在 Cost Function 窗口中。

注意：如果曾经进行过全频扫描设置，在这里将出现的是 Setup1 Sweep 相应，实际进行优化时是没有进行频率扫描的。所以，在删除扫描设置后，应该重新运行一次仿真，这样在这里就得到了我们希望的“Setup1 Adaptive”相应。

- 2) 设置 cost 函数，在 Calculation 项的下拉列表中选中 ZK，并填入等式 $ZK - 50$ （需要得到的阻抗是 50，令它减去 50，若结果为“0”，则达到优化目的）
- 3) 在 Goal 栏填入 0
- 4) 令 Weigh 栏数值为 1
- 5) 在 Acceptable Cost 栏填入 0.05（如果 $ZK - 50$ 的值小于了 0.05,则停止运算）

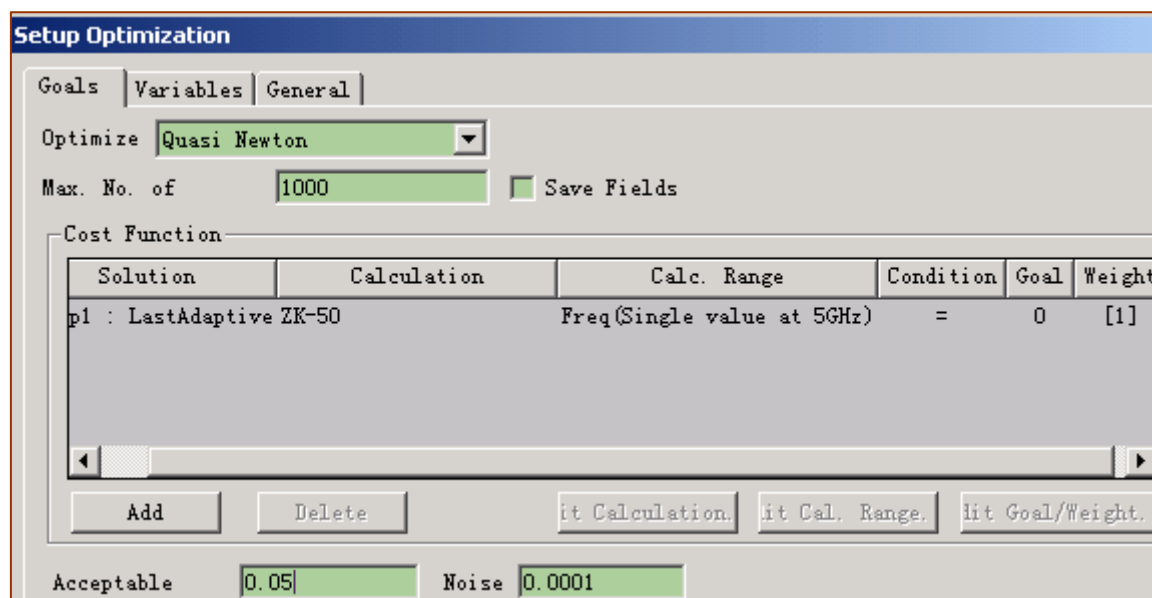


图 2.27 Cost 函数的设置

2.8.5 修改变量的起始和中止值

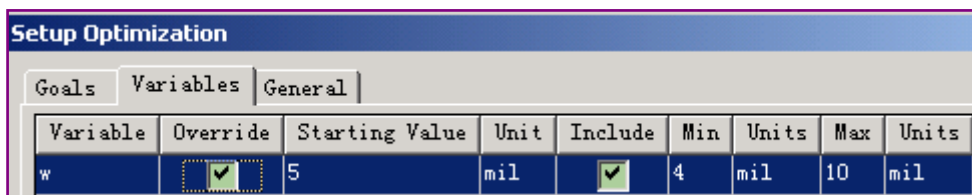


图 2.28 修改变量的起始和中止值

按照图 2.28 进行变量起始和中止值的设定

2.8.6 General 项目的设置（解算方式设置）

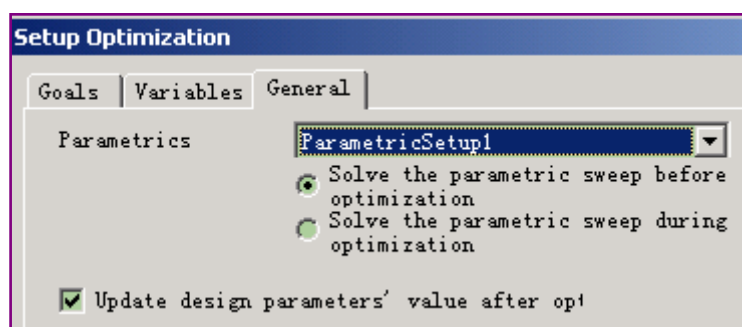
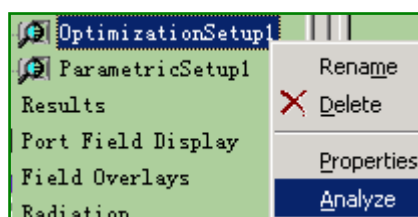


图 2.29 解算方式设置

按照图 2.29 进行解算方式

完成上述所有设置以后，点击 OK。

2.8.7 执行优化分析



在完成所有的设置以后，在模型窗口 Optimetrics 下又增加了一项“Parameteric Setup1”，如图 2.30 所示。

在 Optimization Setup1 的右键菜单中执行仿真命令，开始进行仿真。

Tu 2.30

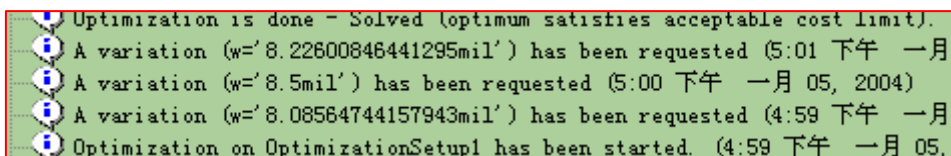


图 2.31

开始仿真后，在 HFSS 界面左下方窗口将随时显示当前的运算情况，如图 2.31 所示，当线宽值为 8.22mil 时，满足与 50 设定值的误差小于 0.05，仿真结束。

2.8.8 观察优化结果

在模型窗口的 Optimization Setup1 处的右键菜单中执行 View 命令，可以看到优化结果。

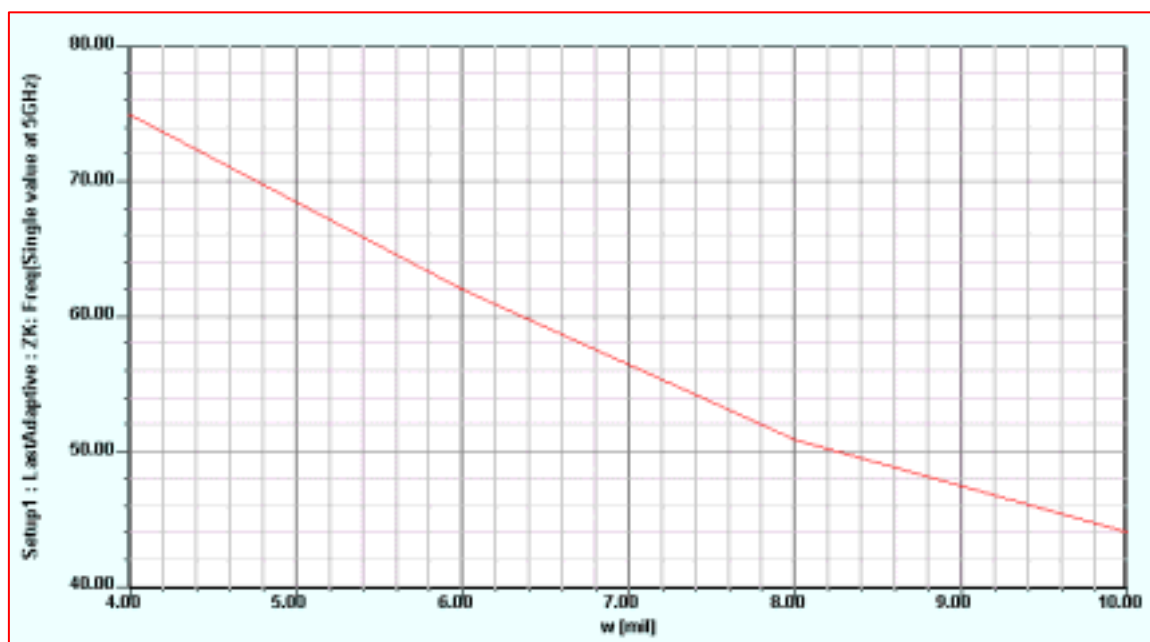


图 2.32 优化的最后结果

从曲线也可以看到当线宽 = 8.22mil 时，微带线在端口 1 处的特性阻抗为 50 Ω 。

2.9 建模与参扫之间的一个需要注意的问题

在 2.4 中设置了 W 为导线宽度的变量。但是要注意到，在初始位置，我们建立的负载线是位于导线中心处的 ($Y = 53\text{mil}$)，但是当 $W = 10\text{mil}$ 时，它的负载线位置，并没有发生变化，将偏离导线中心。这将引起一些仿真误差，虽然不大但是如果可以应该在建模时加以考虑。

2.9.1 标准状态 1

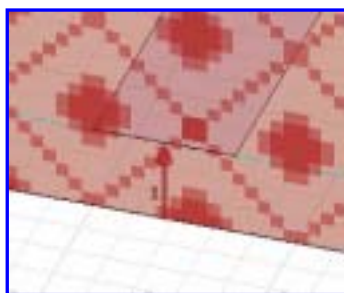


图 2.33A

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 49.468	0
	WavePort2 0	49.709

图 2.33B

图 2.33A 是标准设置状态，负载线位于导线中心，线宽 7mil，此时计算的 Z_0 为图 2.33B

在下面的图 2.34A 中，由于导线移动，造成负载线并非垂直于端口设置，虽然其它参数没有发生变化，但是在图 2.34B 中，可以看到计算结果还是略有误差的。

2.9.2 导线位置移动

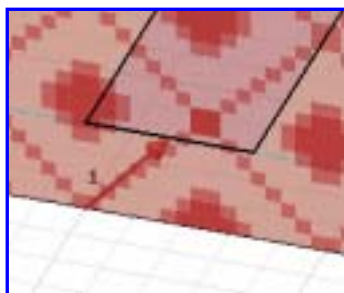


图 2.34A

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 49.491	0
	WavePort2 0	49.703

图 2.34B

2.9.3 标准状态 2

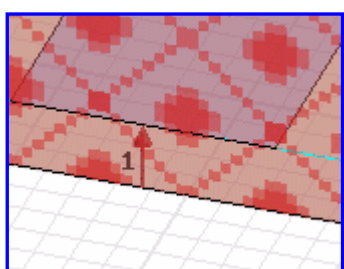


图 2.35A

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 30.115	0
	WavePort2 0	30.432

图 2.35B

图 2.35A 是标准设置状态，负载线位于导线中心，线宽 15mil，此时计算的 Z_0 为图 2.35B

2.9.4 负载线位置发生变化

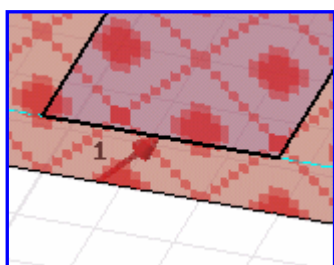


图 2.36A

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 30.169	0
	WavePort2 0	30.485

图 2.36B

在上面的图 2.36A 中，由于负载线位置发生变化，对比图 2.35，虽然其它参数没有发生变化，但是在图 2.36B 中，可以看到计算结果还是略有误差的。

2.10 修正设计

在这个模型中，由于导线线宽发生变化，如果将导线模型的位置变量略加修改，就可以在导线宽度变化时，负载线始终保持在导线中心处。

其设置方法如下：

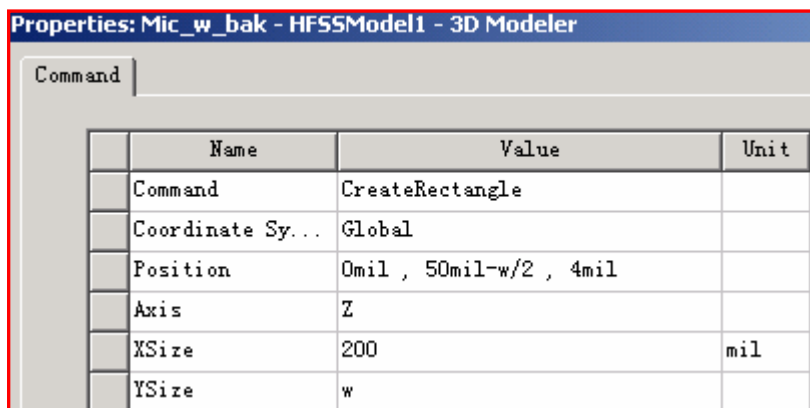


图 2.37

这里将导线的起始位置设为， $50\text{mil} - W/2$ ；线宽设置为 W 。这样导线宽度发生变化时，它的中心总是保持在 $Y = 50\text{mil}$ 处，这样，它的负载线位置将总是位于端口中心且垂直于端口，避免了 2.9 节中出现的

问题。
注意：在变量表达式中单位的使用，由于在设置变量时已经指定 W 的单位是 mil ，所以 $W/2$ 项不用指定单位。但是它前面的 50 ，必须加上单位。

如果发生单位错误或者其它位置错误，检验的方法就是，一旦发生错误，该模型将不出现在窗口之中。如果应用检查程序，也将在 3D 栏目中报错。

2.11 优化过程中不收敛的处理

并不是每一种优化设置都可以得到座钟结果的，必要时可以修正优化参数的设置，比如区间设置和步长设置。在优化过程中，界面左下方窗口随时显示当前的运行状态（变量值）。

同时可以通过模型窗口 OptimezationSetup1 项的右键菜单中执行 View Analysis Result 命令（图 2.38）进行观察



图 2.38

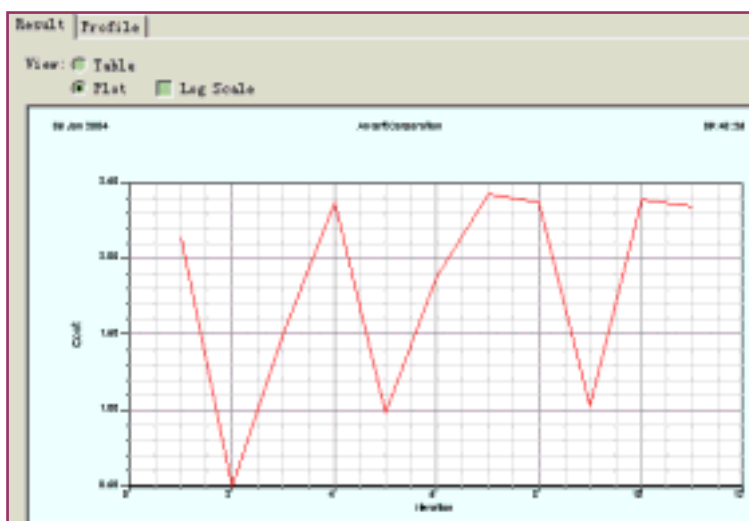


图 2.39 Cost 图标

图 2.39 是观察窗口中 Cost，优化过程中误差函数的情况。它的横坐标是优化计算次数，纵坐标是误差值。

从图中可以看到，在起始值处，它的仿真结果与目标值之间的差值（Cost）最小。然而随后的取值确偏离了方向，这样将不会取得最终的优化结果。

根据图 2.39 以及每个计算点的变量值（在这个界面的 Table 栏中可以看到），可以重新设置优化变量的取值范围（应在图 2.39 中 Cost 最小值附近设置优化范围），以及步长。

第三章 关于介质物体的参扫和优化

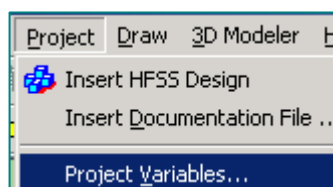
在传输线领域，介质的材质（介电常数），和介质层厚度，都将影响传输线特性。本例中设置了两个变量，通过参扫来分析它们的影响。

- H：表征介质层厚度的变量（全局变量，由于这个变量可能与其它模型参数相关，比如：端口），它的取值范围是：1,2,3 表示介质层厚度为 3mil，2mil 和 1mil。
- RF：表征介电常数的变量（全局变量，介电常数要求使用全局变量）
它的取值范围：3.8，4.2，4.6

3.1 设置 HFSS 设计的初始参数

分别按照 2.2，2.2，2.3 节中所述的方法，设置解算类型，单位，并作出模型。

3.2 设置表征介质层厚度的全局变量：H



在主菜单 Project 中执行 Project Variables 命令（图 3.1），弹出变量设置窗口。这里设置的变量是全局变量，在变量名称前面加有“\$”符号。

图 3.1

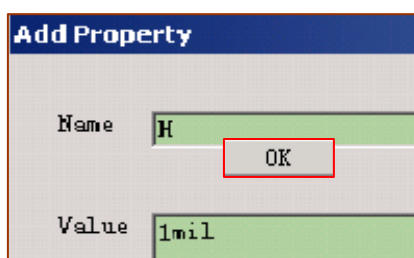


图 3.2

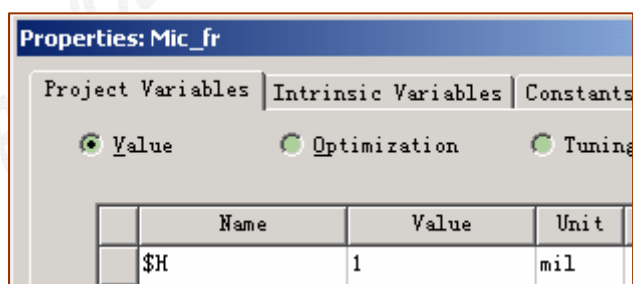
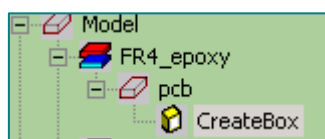


图 3.3

在弹出的的变量设置界面，点击 Add 按钮。在随后出现的窗口中，在名称栏填入 H，在数值栏填入 4mil。点击 OK，回到变量设置界面，可以看到在 H 的前面有了“\$”符号，值和单位都已经确定，当然可以在这里面进行修改。再点击“确认”按钮完成全局变量 H 的设置。

3.3 将变量 H 应用到 PCB 模型尺寸设置中



在模型窗口的 PCB 介质模型处（CreateBox 图 3.4）双击鼠标，打开介质层模型属性设置窗口（图 3.5）。

图 3.4

在图 3.5 中将 PCB 模型在 Z 轴的起始位置由 0 改为变量“\$H”

3.3.1 设置介质层模型 PCB 的 Z 轴（高度）变量

Name	Value	Unit
Command	CreateBox	
Coordinate Sy...	Global	
Position	0 , 0 , 4	mil
XSize	200	mil
YSize	100	mil
ZSize	\$H-4mil	

图 3.5 将 PCB 模型的 Z 轴起点设为 \$H 变量

Name	Value	Unit
Command	CreateRectangle	
Coordinate Sy...	Global	
Position	200 , 0 , 1	mil
Axis	X	
YSize	100	mil
ZSize	40mil-\$H	

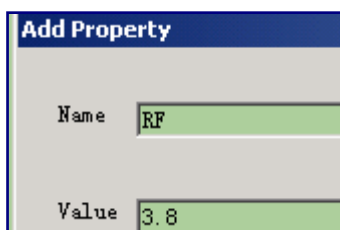
图 3.6 端口尺寸设置

3.3.2 设置与 Z 轴高度 \$H 相关的端口位置

由于本例介质层 PCB 的高度作为变量将发生变化，所以与其相关的端口位置也将发生变化。图 3.6 中显示了这种设置。

3.4 设置本地介电常数变量

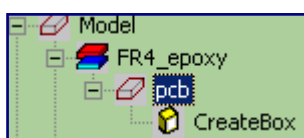
3.4.1 添加新的全局变量 “RF”



在 Project 菜单中，执行 Project Variables 命令，出现全局变量设置窗口。点击 Add 按钮，在名称栏填入 “RF”；在数值栏填入 3.8。

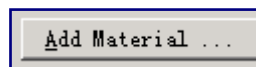
图 3.8 设置变量 RF = 3.8

3.4.2 新建使用变量的介电常数



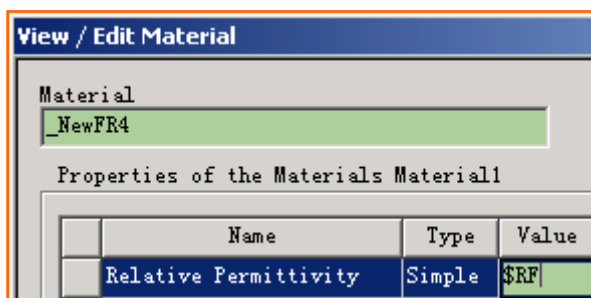
如左图所示，双击 Model\FR4_epoxy\pcb，出现 pcb 模型属性设置窗口，在材料栏中点击 “介电常数” 按钮，出现介电常数设置窗口（图 3.7）。

图 3.7



在这个窗口中，首先点击 “Add Material” 按钮，添加一个新材料。按照图 3.8 所示，指定材料名称为 “_NewFR4”；并设置它的介电常数值为变量 “RF”，然后点击 OK，回到初始的窗口。在这个窗口中点击确认完成介电常数变量的设置

图 3.8 设置介电常数变量



3.5 其它参数的设置；进行初始的仿真

完成上述设置以后，首先设置仿真参数（为了节省时间，这里不进行频率扫描设置），这些设置完全同第而章中例题的设置。

此后，进行检查，如果没有错误，可以进行仿真。这时的仿真是基于，PCB 高度 3mil (H=1mil)；以及介电常数 RF = 3.8 进行的。仿真结果如下：

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 49.325	0
	WavePort2 0	49.953

图 3.9 初始值仿真结果

3.6 添加扫描变量



执行如左图操作，添加扫描参数

图 3.10

3.6.1 添加介质层厚度变量\$H 和介电常数变量\$RF

3.6.1.1 Sweep 定义标签

	\$H	\$RF
1	1mil	3.8
2	1mil	4.2
3	1mil	4.6
4	2mil	3.8
5	2mil	4.2
6	2mil	4.6
7	3mil	3.8
8	3mil	4.2
9	3mil	4.6

添加扫描变量的操作，同 2.6 节。不过要注意的是，这里要添加两个变量:\$H 和\$RF.前者变量设置起始值为 1mil，中止于 3mil，步长 1mil。后者设置起始值为 3.8,中止于 4.6,步长为 0.4。

那么扫描将一第一个变量\$H 为主变量，介电常数为辅助变量进行扫描（图 3.11）。就是说，每在取每一个厚度值后，将对 3 种不同的介电常数进行仿真。

图 3.11 扫描参数设置窗口中 Table 标签

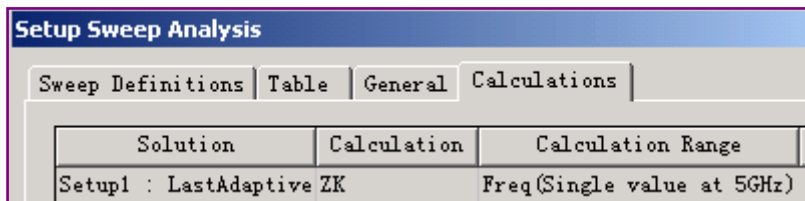
3.6.1.2 常规设置标签

Design Variable	Override	Value	Unit
\$H	<input checked="" type="checkbox"/>	1	mil
\$RF	<input checked="" type="checkbox"/>	3.8	

常规设置按照图 3.12 中进行

图 3.12 设置 General 标签

3.6.1.3 计算标签设置



这里还是要分析导线在端口 1 处的特性阻抗（实部）值，与第二章例题一样进行设置。

图 3.13 设置 Calculations 标签

3.6.2 执行参数扫描

完成上述设置后，在 Optimetrics 项目下，将多出 ParametricsSetup1 一项。在它的右键菜单中执行仿真命令。

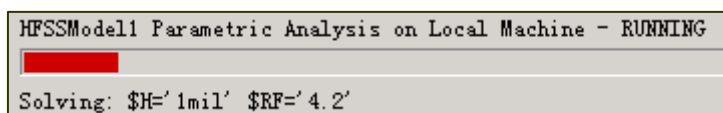


图 3.14 进程

在 HFSS 界面右下方的窗口显示进程，图 3.14 表示当前解算的是介质层厚度为 (4-1) mil，计算介电常数为 3.8 时的数值。

3.6.3 察看仿真结果

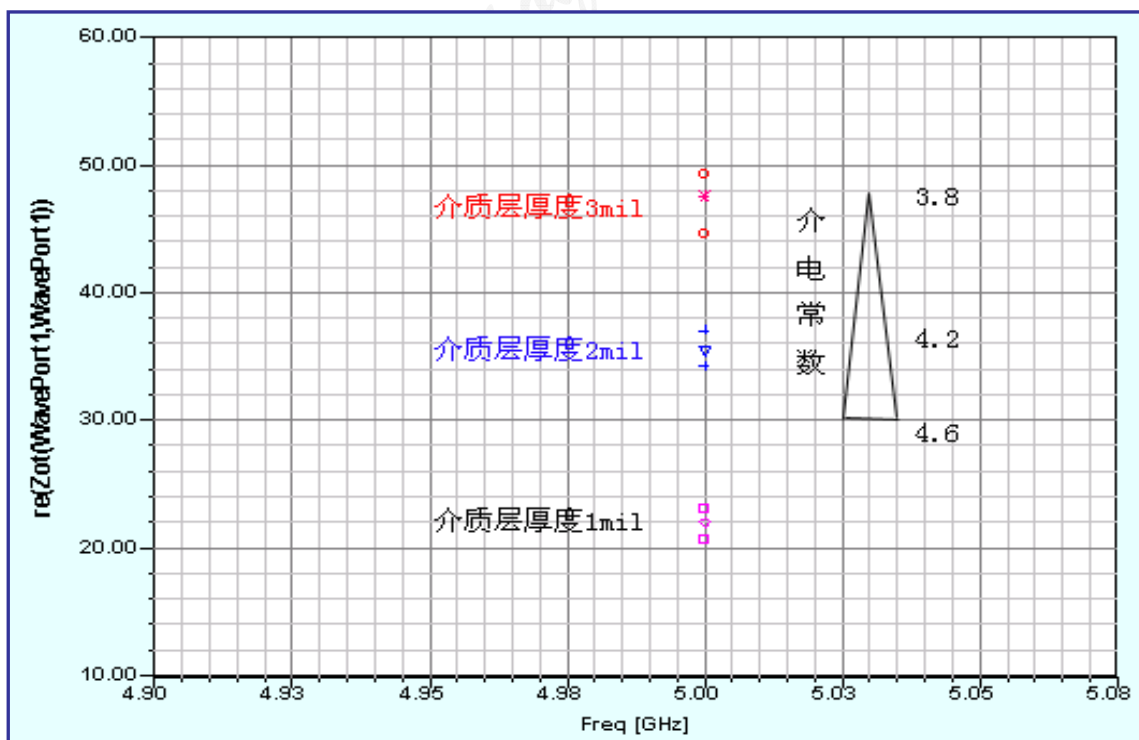


图 3.15 参数扫描结果

结论：1) 阻抗随介质层厚度减小而减小

2) 在同一介质层厚度装状态下，介电常数增加阻抗减小。

3.7 设置优化

目标：端口 1 的 Z0 值为 30 ；误差函数 Cost - 30 = 0 （精度 5%）

3.7.1 转换两个全局变量为优化变量

在 Project 菜单中，执行 Project Variables 命令，出现全局变量设置窗口，按照图 3.16 进行设置。并参考图 3.15 设置变量范围。

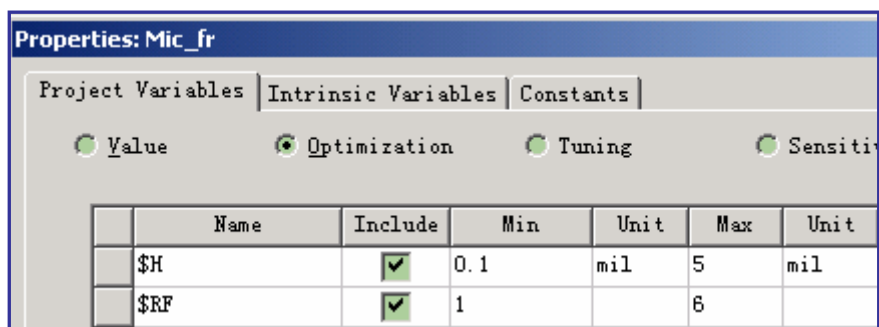


图 3.16

3.7.2 设置优化变量

3.7.2.1 Goals 标签设置状态

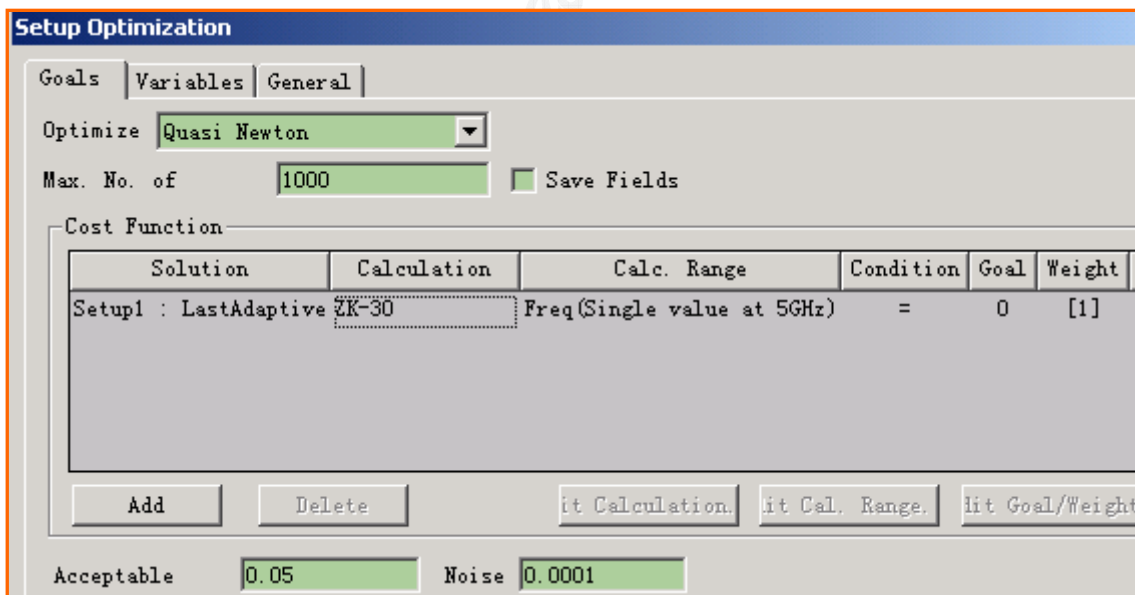


图 3.17 Goals 标签设置状态

3.7.2.2 Variables 标签设置状态

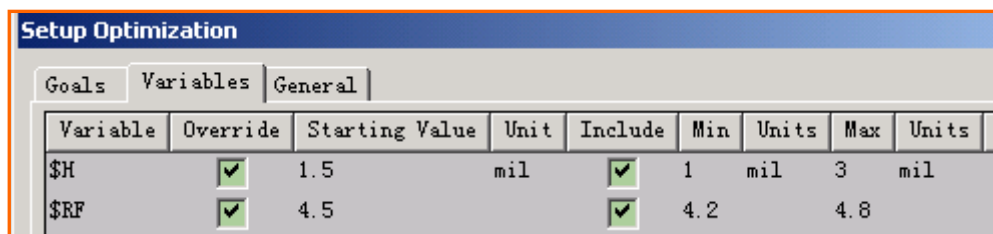


图 3.18 变量标签设置状态

3.7.2.3 General 标签设置状态

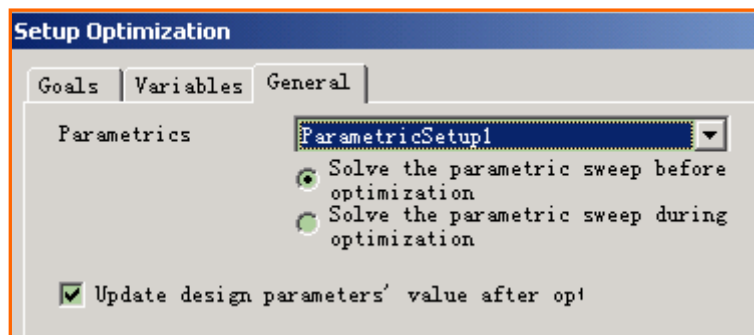


图 3.19 常规标签设置状态

3.8 优化结果

3.8.1 首次参数扫描结果

\$H	\$RF	Cost
1mil 3.8	19.325	
1mil 4.2	17.569	
1mil 4.6	14.682	
2mil 3.8	7.1024	
2mil 4.2	5.5206	
2mil 4.6	4.3125	
3mil 3.8	6.8162	
3mil 4.2	7.9594	
3mil 4.6	9.3553	

从图 3.20 看，扫描值有达到设计要求。最近似的数值在 2mil 介质厚度，介电常数在 4.6 时，的误差值为 4.3125

实际使用这两个数值进行仿真的 Zo 数据是如图 3.21 所示，误差 4 左右。

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 34.312	0
	WavePort2 0	34.726

图 3.21

图 3.20

3.8.2 执行优化

在 Optimetrics 下除了 ParametricSeup1 项，多出 OptimizationSetup1 一项，在它的右键菜单中执行 Analysis 命令开始仿真，在仿真结果图中（图 3.23 可以看到当介质层厚为 2mil 且介电常数为 3.8 时的阻抗 Zo 为 30 。用这两个数据修改全局变量进行仿真。结果为：

Freq	Port Z0:WavePort1	Port Z0:WavePort2
5 (GHz)	WavePort1 30.198	0
	WavePort2 0	31.26

图 3.22

这个结果已经接近我们的设计要求。

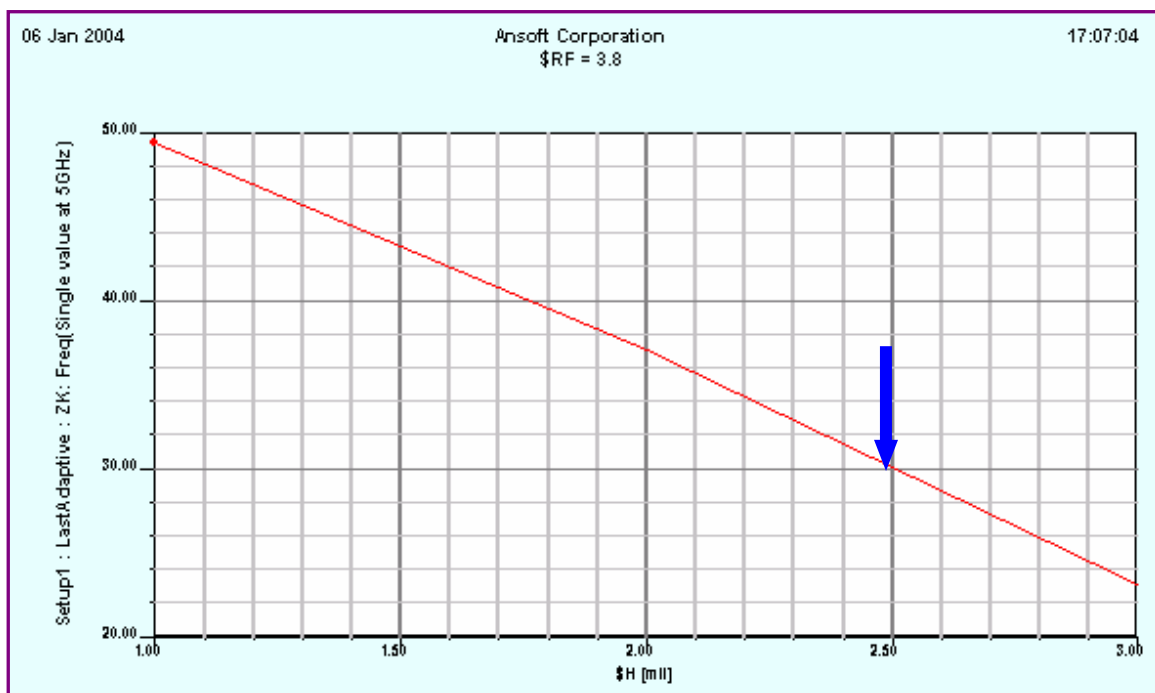


图 3.32

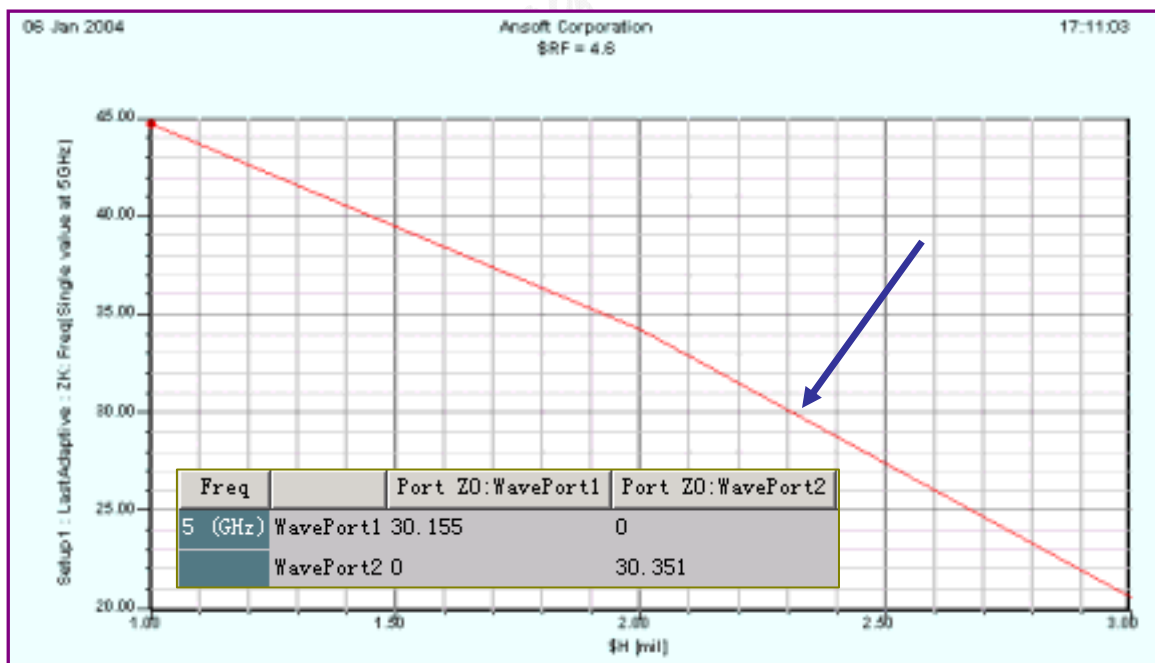


图 3.33

从介电常数为 4.6 的曲线上，可以看到，如果此时介质厚度为 2.3mil，它的阻抗也可以接近 30。将这两设置带入全局变量进行仿真，结果见上图。

小结：实际上用两个以上变量进行优化并不合算，建议在在这种情况下，先固定一个变量，对另外一个变量进行扫描。如果需要，则使用在这次优化中得到的参数为固定值，再对另一个参数进行优化。

第四章 差分线的阻抗参数扫描优化

决定差分阻抗的因素除了线宽合介质材料因素外的另一个重要因素就是两线之间的线距。本例以它为变量进行参和优化分析。

在这个例题中还要显示如何设置差分线的仿真过程。

4.1 设置 HFSS 设计的初始参数

分别按照 2.2 , 2.2 , 2.3 节中所述的方法, 设置解算类型, 单位, 作出模型如下:

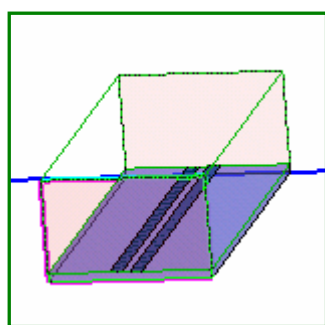


图 4.1 差分线模型

1. 两条导线的几何参数 (mil):

T1 : (X = 0, Y = 100, Z = 4) (dX = 200, dY = 6, dZ = 0)

T2 : (X = 0, Y = 110, Z = 4) (dX = 200, dY = 6, dZ = 0)

2. 介质模型 PCB 的介质 FR4, 几何参数:

PCB : (X = 0, Y = 70, Z = 0) (dX = 200, dY = 80, dZ = 4)

3. 空气模型 air 的介质真空, 几何参数:

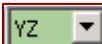
Air : (X = 0, Y = 70, Z = 4) (dX = 200, dY = 80, dZ = 46)

4.2 端口设置

这里设置差分线端口从几何意义上讲与微带线模型没有区别, 均采用 Wave 端口。但是在设置负载线上有区别。

4.2.1 建立两个端口的几何图形

4.2.1.1 建立 Port1

1) 将 Drawing Plan 栏确定为 YZ 模式: 

2) 点击 2D 四边形的绘图图标: 

在 (200, 70, 0) 处点击鼠标, 然后拖动鼠标移至 (200, 150, 50) 处建立端口 1, 命名为 p1.

4.2.1.2 建立 Port2

选中 p1 端口, 执行右键菜单中的 Edit\Duplicate\Along Line 命令

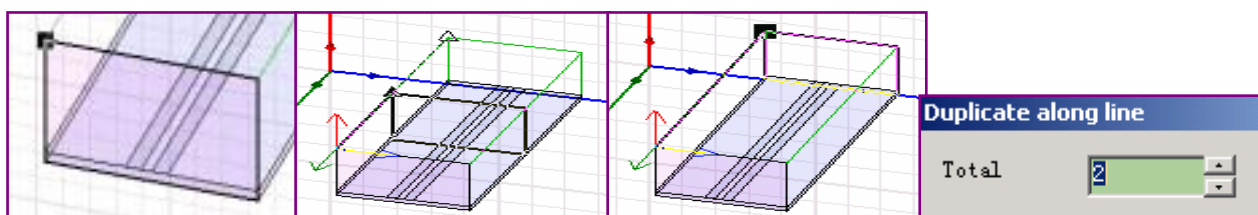


图 4.2A

图 4.2B

图 4.2C

图 4.2D

首先在 (200,70,50) 处点击鼠标图 4.2A。然后沿着 (Y=70,Z=50) 的 X 轴方向移动鼠标 (图 4.2B), 将有一个平面四边形随之移动。将鼠标移至 X=0 处, 点击鼠标, 进行“复制”(图 4.2C)。

此时将出现一个提示框, 问你复制数量, 在这个窗口中填入 2, 点击 OK, 完成复制工作 (图 4.2D)。这时在模型窗口出现一个新的名为 p1_1 的模型, 将它改名为 p2。

4.3 建立边界

在模型窗口, 选中 t1,t2 模型, 将它们设置为 E 型边界, 名称: PrefE1。

4.4 建立端口 1 的负载线

1) 选中 p1 端口

2) 在右键菜单中的激励项中选择 Wave, 弹出 Wave 端口设置向导的第一个命名窗口, 默认的命名为 WavePort1, 同一这个名称, 点击 OK, 进入下一个窗口: 负载线设置。

3) 在负载线窗口的第一项, 数量栏, 填入 2, 点击 Update 按钮, 这时在窗口那出现 T1 和 T2 两条线

4) 在 T1 线的 Terminal Line 栏下打开下拉菜单, 选择 New Line, 进行端口 1 的第一个负载线设置

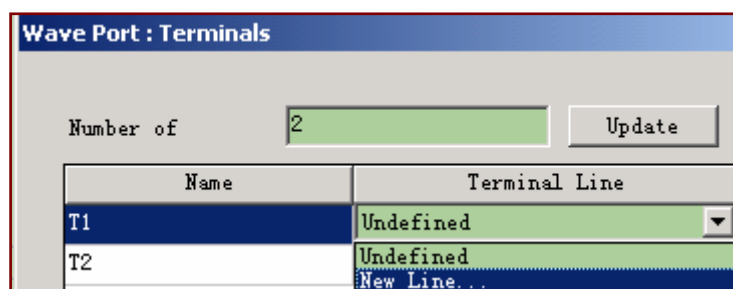


图 4.3 设置 Wave 端口的负载线

此时将有一个窗口停留在界面, 直到负载线设置完成为止。第一条负载线:(200,103,0) 增量 (0,0,4)。以同样的方法设置端口 1 的第二条负载线:(200,113,0) 增量 (0,0,4)。

此时 T1, T2 的 Terminal Line 显示均为 defined 表示完成了设置。点击 Next 按钮。

5) 点击 Next 按钮厚进入差分线设置窗口。点击 New Pair 按钮进行添加 (图 4.4)。

Terminals:		Differential Mode:		Common Mode:	
Positive	Negative	Name	Ref. Z	Name	Ref. Z
T1	T2	Diff1	100ohm	Comm1	250hm

图 4.4 设置差分线

在图 4.4 中可以看到, 在端口 1, 有一对差分线, 名称为 Diff1, 差分阻抗 100 , 共模阻抗 25 , 同意这些设置 (可以更改名称: D1), 点击 Next 按钮, 到下一个参考阻抗窗口。

6) 设置参考阻抗。在这个窗口中默认的是 50 , 同意这个设置, 点击完成按钮。

至此, 端口 1 上的差分线负载线设置完成。

4.5 建立端口 2 的负载线

用同样的方法建立端口 2 的负载线, 注意, 将它的名称改为 D2

4.6 设置参扫参数

4.6.1 设置全局变量

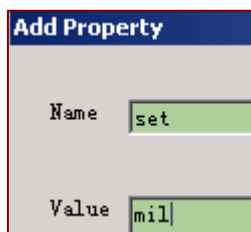


图 4.5A

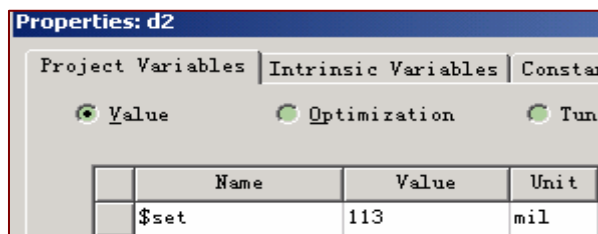


图 4.5B

执行菜单 Project\Project Variables 命令，出现全局变量设置窗口，点击 Add 按钮，进入添加变量窗口（图 4.5A），添加变量 set，数值 113mil。点击 OK 后，回到设置窗口（图 4.5B），点击完成。

4.6.2 修改导线模型几何参数

在此例中，为了分析差分线间距离对差分阻抗的影响，拟将第二条导线向右方移动，所以需要将 set 变量放入到导线 2 模型尺寸的设置之中。

双击模型窗口 t2 下的 CreatRectangle 项目，出现 t2 属性设置窗口，在位置栏进行如下设置：

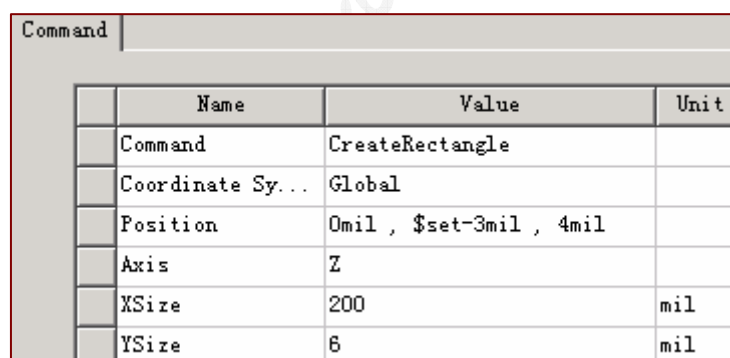
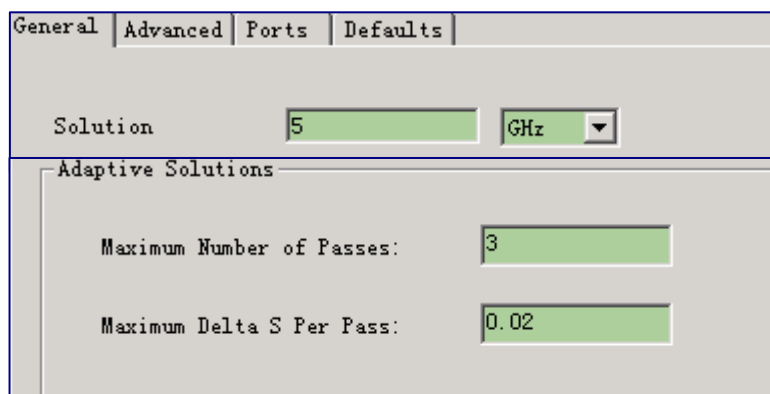


图 4.6 将变量应用在导线位置设置中

4.7 设置仿真（非扫描）参数



在项目窗口 Analysis 的右键菜单中执行 Add Solution Setup 命令，进行如图 4.7 所示的设置：

解算频率：5GHz；计算次数：3；最大 S 参数差值：0.02。点击设置按钮，完成解算参数设置。

图 4.7 设置解算参数

4.8 添加参数扫描变量

在模型窗口 Optimetrics 处的右键菜单中 Add 项中执行 Parametrics 命令，弹出设置窗口。

4.8.1 参数扫描变量窗口的 Sweep 定义标签

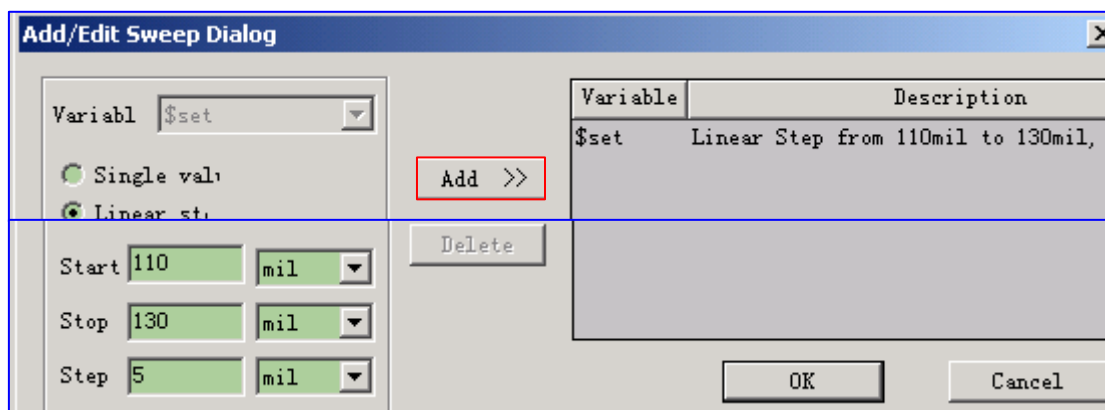


图 4.8.1 参数扫描设置中扫描标签的设置

在 Setup Sweep Analysis 窗口的 Sweep Definitions 标签中，首先按下右边 Add 按钮（图 4.8.2）弹出 Add/Edit Sweep Dialog 窗口（图 4.8.1）。在这个窗口的左上方变量名称栏中，默认的是 \$set 变量（由于只有一个，呈灰色），在窗口的左下方，填入变量的起始值：110mil，中止值：130mil 和步长 5mil。

然后点击窗口中部的 Add 按钮，将这个设置移至最右边的窗口中。点击 OK，完成该标签设置。完成扫描标签设置后的窗口见图 4.8.2

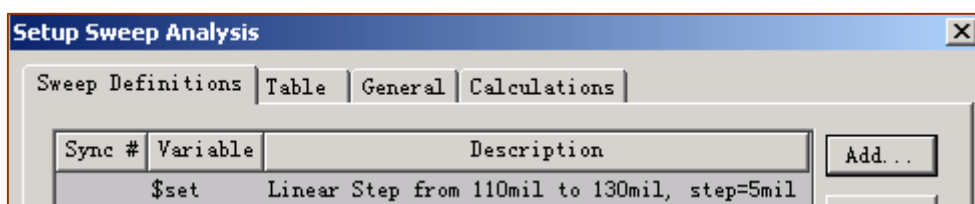


图 4.8.2 完成参数扫描标签设置后的界面

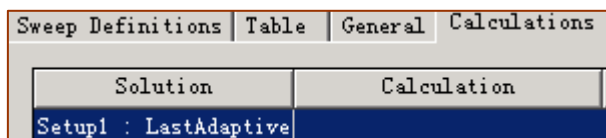
	\$set
1	110mil
2	115mil
3	120mil
4	125mil
5	130mil

图 4.8.3

4.8.2 参数扫描变量窗口的 Table 标签

完成扫描定义后，点击 Table 标签，可以看到扫描变量的取值情况（图 4.8.3）

4.8.3 参数扫描变量窗口的计算标签设置



点击 calculations 标签进入设置界面。首先点击窗口左下方的 Add 按钮，在 Solution 栏下出现 Setup1:LastAdaptive 字样，表示计算的取值范围是取 Setup1 这个设置进行仿真时，取最后的数据作为结

图 4.8.4

果进行计算 (图 4.8.4)

点击该界面的 Edit Calculation 按钮, 进入输出变量设置窗口, 指定选取那个参数作为输出。在这个窗口的 calculation 部分进行如下设置:

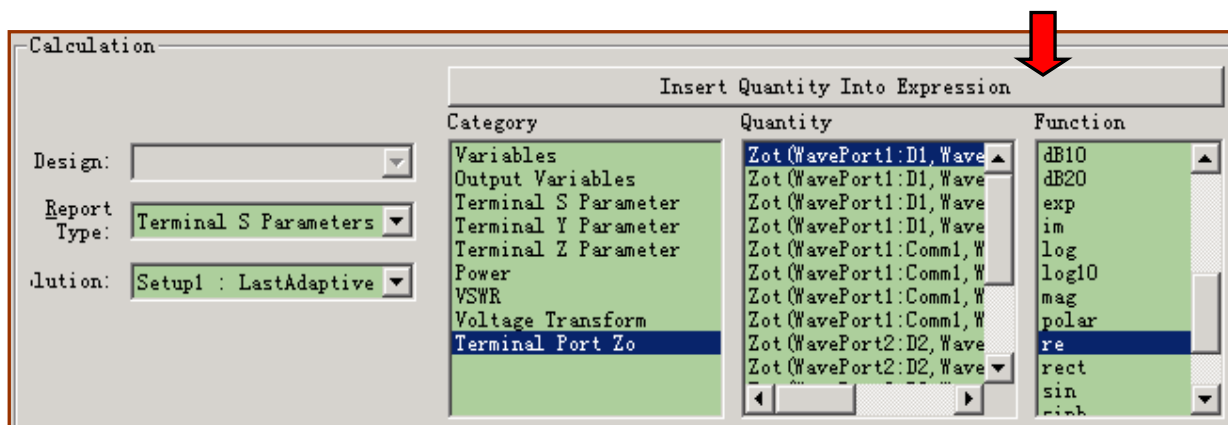


图 4.8.5 计算标签中选择输出变量

在输出参数类别 (category) 栏, 指定负载阻抗 Zo; 在参数列表 (Quantity) 中, 选择端口 1 的差分阻抗; 在函数栏选择实部 (Re)。然后点击图 4.8.5 中箭头指向的按钮 “Inset Qua...”。

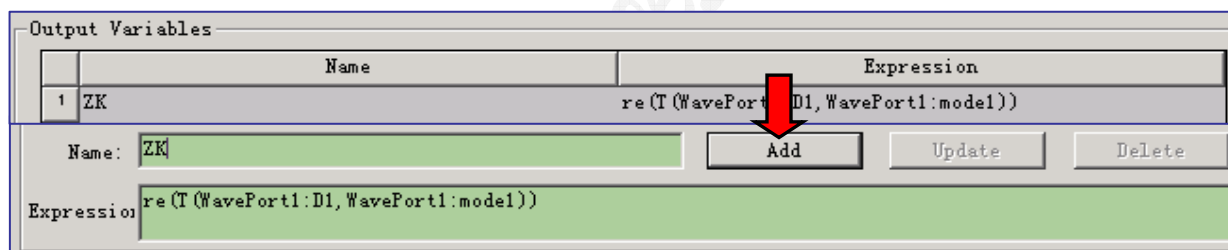


图 4.8.6 计算标签中设定输出变量

点击 “Inset Qua...” 按钮后, 选择的输出参数表达式出现在 Expression 栏中。在 Name 栏起一个名字 “ZK”, 然后点击 Add 按钮, ZK 就出现在 Output Variables 栏中 (图 4.8.6)。

4.8.4 参数扫描变量窗口的常规设置标签

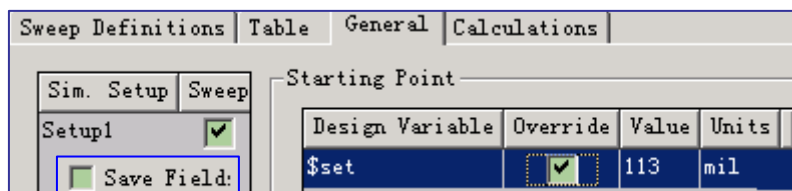


图 4.8.7 常规设置标签的设置

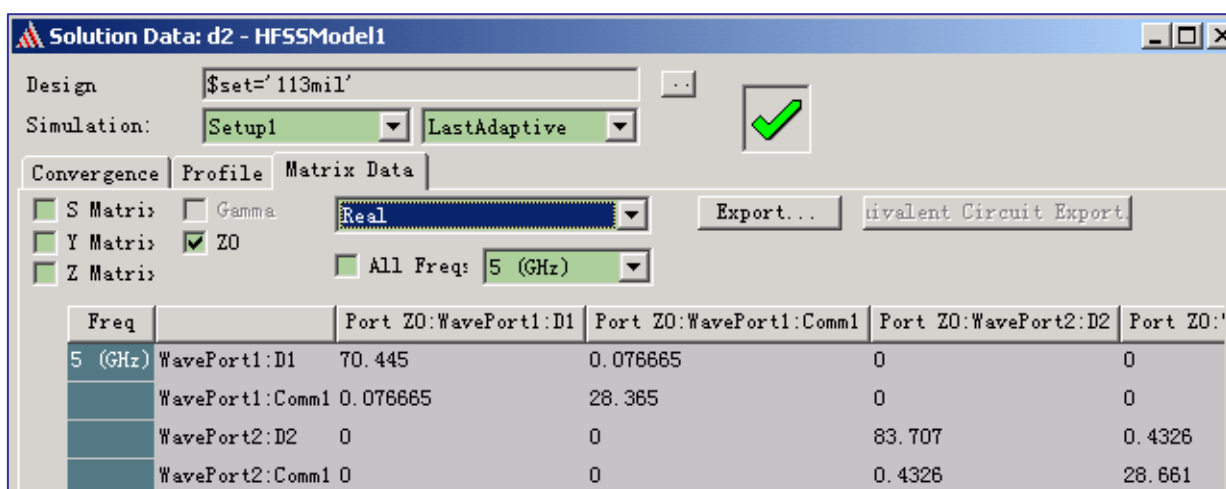
在这个标签中, 可以按照图 4.8.7 进行设置。其中 Save File 一般不选。

点击 “确定” 按钮, 成了参量扫描窗口的全部设置。这时, 在模型窗口中的 Optimetrics 模型中增加了一项: ParametricSetup1

4.9 执行参数扫描

4.9.1 进行变量 \$set = 113mil 常规设置的仿真

执行检查程序，没有报错后，点击仿真图标，进行仿真。此时分析的只是 \$set = 113mil 常规单值的差分线差分阻抗的计算，计算结果（实部数据）如下：



Freq		Port Z0:WavePort1:D1	Port Z0:WavePort1:Comm1	Port Z0:WavePort2:D2	Port Z0:WavePort2:Comm1
5 (GHz)	WavePort1:D1	70.445	0.076665	0	0
	WavePort1:Comm1	0.076665	28.365	0	0
	WavePort2:D2	0	0	83.707	0.4326
	WavePort2:Comm1	0	0	0.4326	28.661

图 4.9.1 set 变量为定值：113mil 时的计算结果

在项目窗口 Optimetrics 下的 parametricSetup 的右键菜单中执行 Analysis 命令，开始进行参扫分析。此时在 HFSS 界面的下方有计算过程的显示：

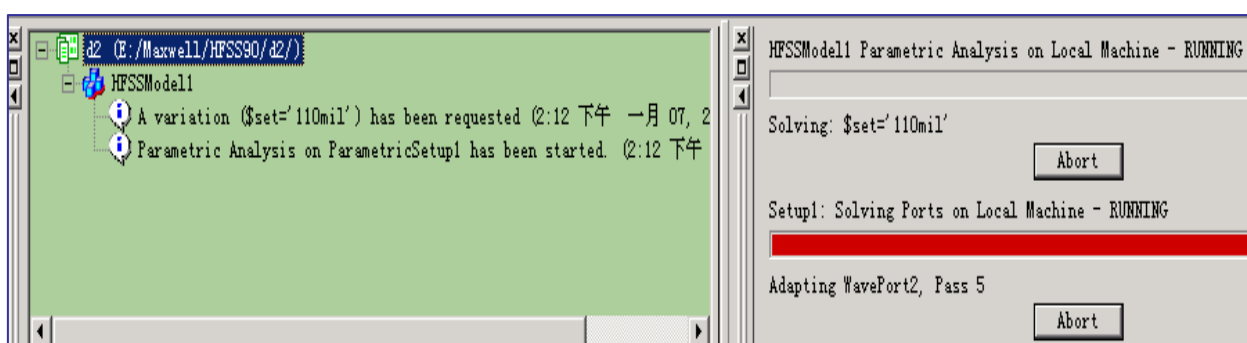


图 4.9.2 显示的参扫数据处理过程

4.10 察看参扫结果

在项目窗口 Optimetrics 下的 parametricSetup 的右键菜单中执行 View Analysis Result 命令，打开数据窗口。在 result 标签下，点击 Table 单选框，将显示 \$set 变量不同取值状态下端口 1 处的差分阻抗数值（图 4.10.1A），

如果选中 Result 标签下的 Plot 单选框，将显示一条曲线。该曲线的横坐标是，变量的取值范围，它的纵坐标是下端口 1 处的差分阻抗数值（图 4.10.1B）

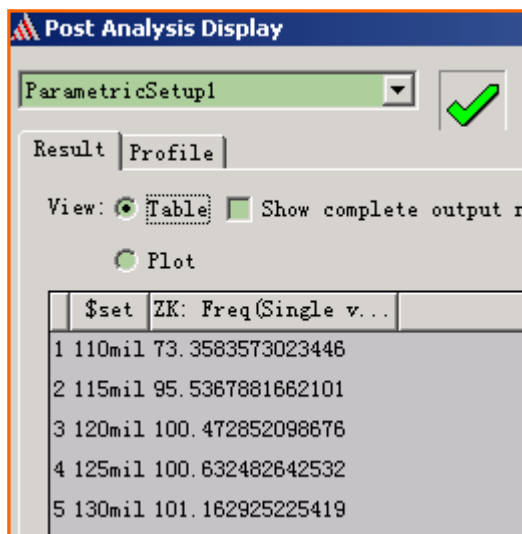


图 4.10.1A 表格模式显示的计算结果

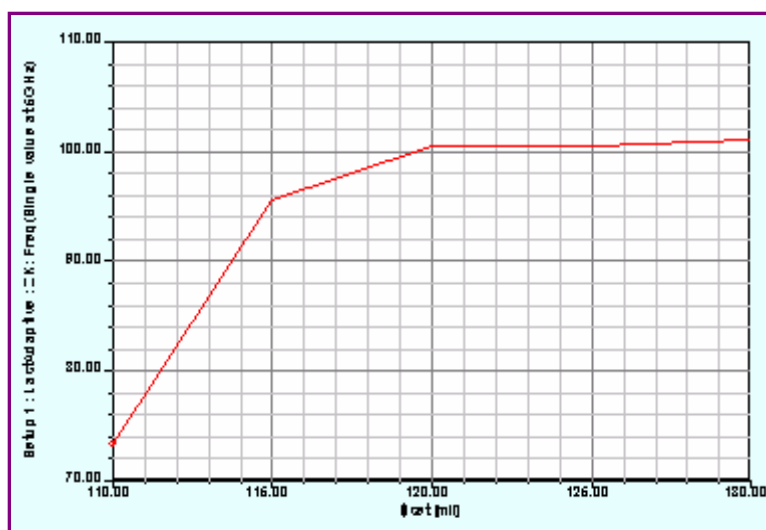


图 4.10.1B 曲线形式显示的计算结果

4.11 设置优化参数

4.11.1 将\$set 变量转换成优化变量

在 Project 菜单中执行 Project Variab 命令，打开全局变量设置窗口，点击 Optimetrics 单选框，图 11.1 所示（这里自动设置了变量的取值范围，建议首次优化不要修改，否则可能出现变量范围设置错误，导致优化操作不能完成。它的修改可以在添加的优化变量中 Variables 标签中进行修改）

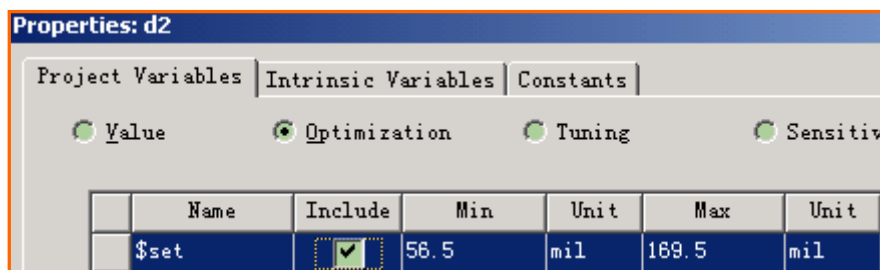


图 4.11.1 修改\$set 变量为优化变量

4.11.2 添加优化变量

在 Optimetrics 的右键菜单中执行 Add\Parametric 命令，或点击添加优化变量图标 

在出现的 Setup Optimization 窗口进行优化变量设置。在这个窗口中有三个标签：Goals, Variables 和 General。下面分别加以叙述。

4.11.2.1 优化变量窗口中目标 (Goals) 标签设置

在这个标签中要进行三个参数的设置：1) 优化过程类型 2) 设置优化目标函数 3) 指定误差值。

- 首先点击该标签界面中 Add 按钮，在窗口 Solution 栏下出现 setup1:LaseAdaptive 字样，它表示计算的取值范围，是取 Setup1 这个设置进行仿真时，取最后的数据作为结果进行计算。

(如果有过频扫设置，则 LaseAdaptive 可能变成 Sweep，在这里还可以选择仿真时第一个过程(或第二个)数据)

- 点击 Calculation 项，在它的下拉菜单中，选择“ZK”，这里只有一个我们在参扫时设置的扫描变量名称。
- 在这一栏填入“ZK - 100”，它表示，我们优化的目标是使差分阻抗值为 100（实部数据），那么这个表达式就意味着实际的差分阻抗数值与理想数值 100 之间的差值。
- 在目标 (Goal) 栏中填入 0, 表示优化目标：ZK - 100 = 0
- 在窗口下边的 Acceptable (允许误差) 栏填入 0.05

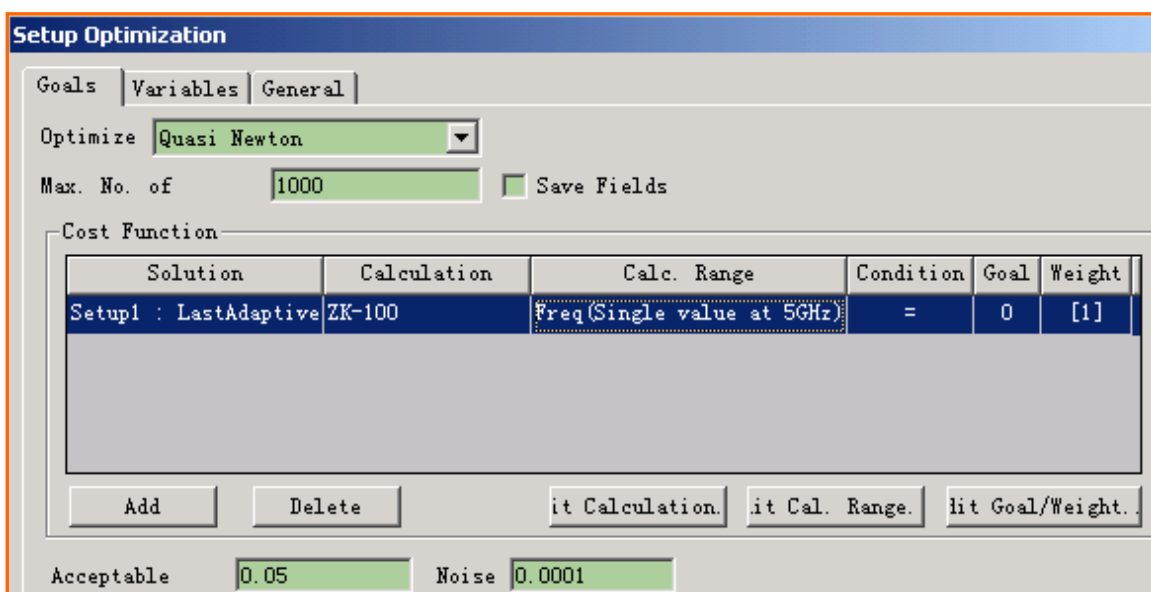


图 4.11.2 设置优化变量中的目标函数窗口

4.11.2.2 优化变量窗口中变量 (Variables) 标签设置

点击 Variables 标签，按图 4.11.3 进行设置（这里可以修改变量的取值范围，或者就采用默认值）。

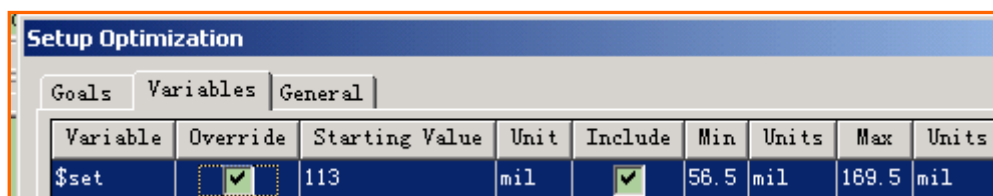


图 4.11.3 设置优化变量中的变量标签窗口

4.11.2.3 优化变量窗口中常规 (General) 标签设置

点击 General 标签，按照图 4.11.4 进行设置。这里，在 Parametrics 项的下拉菜单中选择：

ParametricSetup1x 项，其余使用默认值。此时按钮确定按钮，完成优化变量设置。

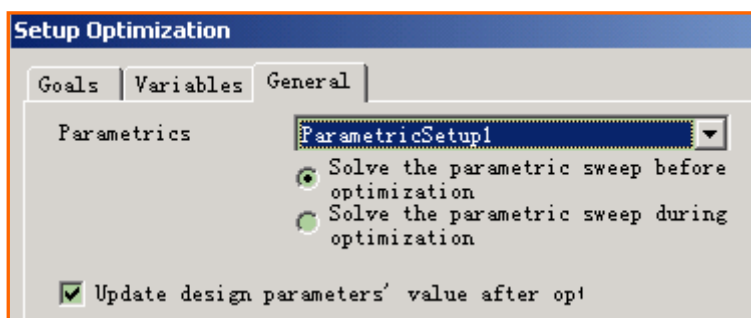


图 4.11.4 设置优化变量中的常规标签窗口

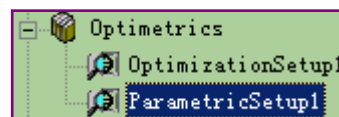


图 4.11.5

完成优化变量设置后，在模型窗口 Optimetrics 项下，除了 Parametric Setup1 项之外又增加了 Optimetric Setup1 一项（图 4.11.5）。

4.12 执行优化

在 OptimizationSetup1 的右键菜单中执行 Analysis 命令。开始进行优化。同图 4.9.2 所示的一样，在 HFSS 界面的下方，将显示优化的过程。当解算收敛（找到了满足目标函数设置值），在窗口的左边边将即时显示出这个数。如果没有收敛，可回到图 4.11.3 中，重新设置变量的优化范围。

4.13 察看优化的收敛过程

在 OptimizationSetup1 的右键菜单中执行 View Analysis Result 命令，打开观察窗口，在 Result View 栏中如果选中 Plot，则显示目标函数的收敛曲线。

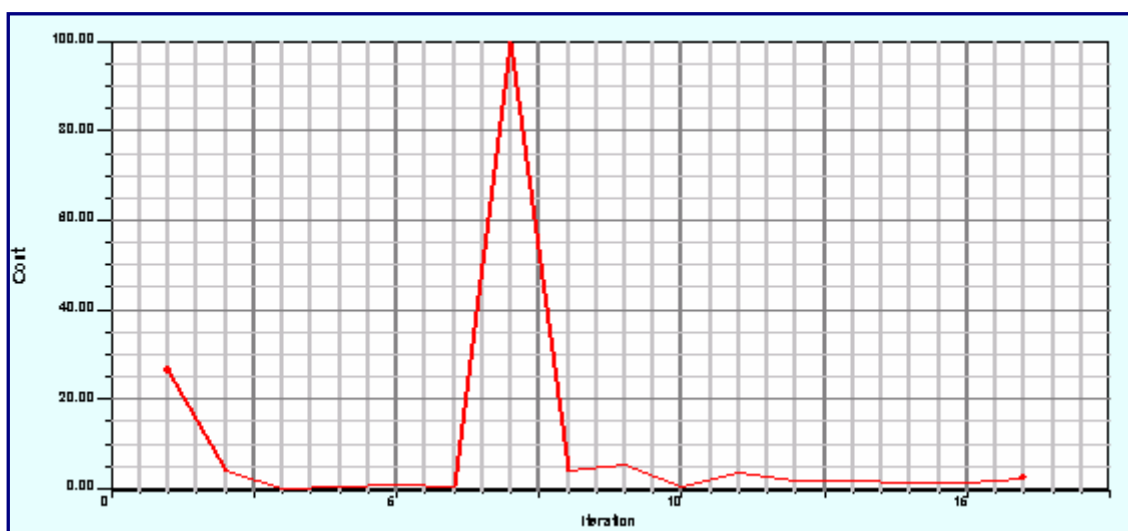


图 4.13.1 Cost (ZK - 100) 的收敛曲线

在这张曲线图中，横坐标是优化的计算次数，纵坐标是 ZK - 100 值，那么应的计算次数的变量值，可以在 Result View 项中选择 Plot，列出数据表来进行观察（图 4.13.3）。

从两张图，以及图 4.13.2 来看，本次优化没有收敛，即：没有找到 $ZK - 100 < 0.05$ 的 \$set 值。解决

的方法有两种：

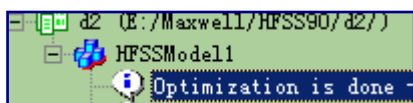


图 4.13.2 HFSS 窗口的优化结果提示

- Acceptable cost limit NOT satisfied. Restarting the optimization may result in a better optimum. (在 HFSS 窗口

左下方窗口提示本次没有完成优化目标)。

\$set	Cost
110mil	26.642
115mil	4.4632
120mil	0.47285
125mil	0.63248
130mil	1.1629
120.886923717141mil	0.77831
108.7mil	100
118.87mil	4.2516
119.113076282859mil	5.4693
119.955904548673mil	0.68096

图 4.13.3 优化数据列表

解决方案：

- 1) 直接从前面做过的参数曲线中，找到差分阻抗 = 100 时对应的 \$set 变量的数值。

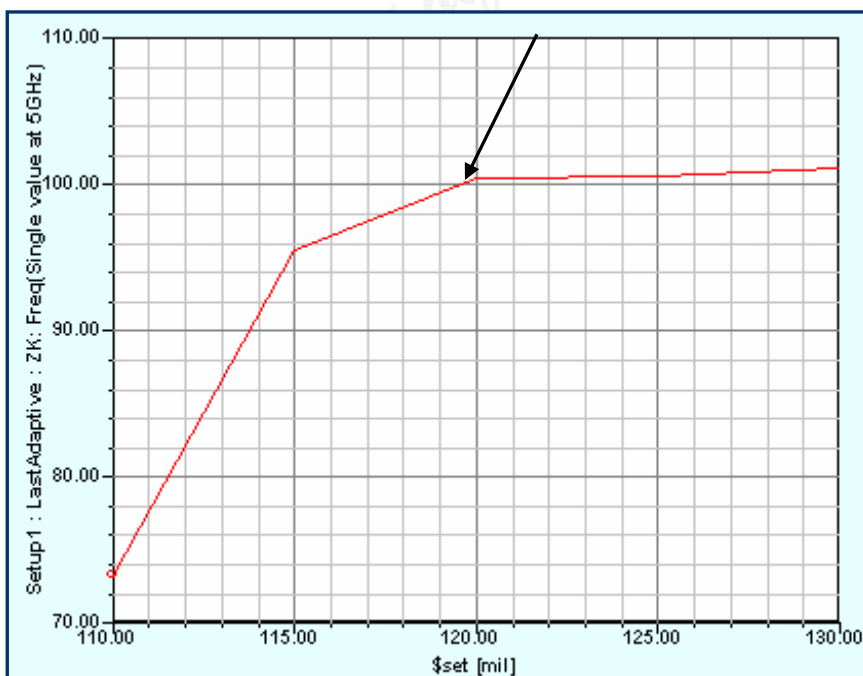


图 4.13.2 ParametricSetup1x (参数扫描) 曲线

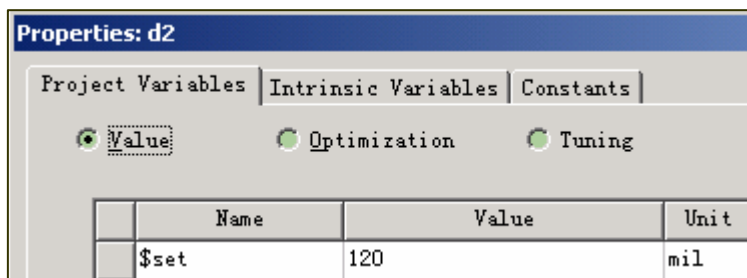
如图 4.13.2 所示，对应差分阻抗等于 100 时，对应的 \$set = 119.5mil 将此值作为结果。

- 2) 重新对优化参数进行设置，再次进行优化

从图 14.13.3 分析，这个\$set 的值，应该在 120mil 左右，可以缩小优化范围，从新优化。

4.14 从新设置优化参数

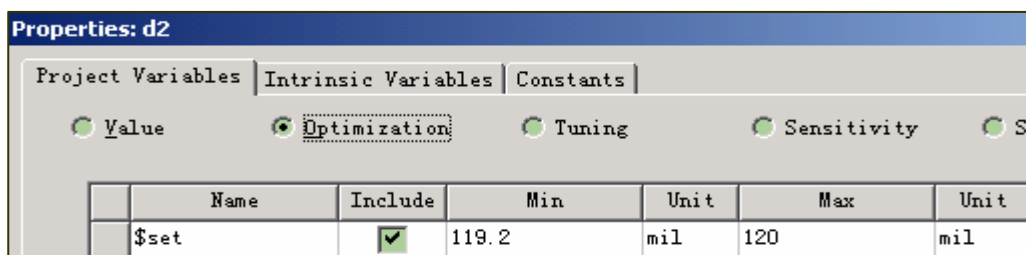
4.14.1 全局变量的改变



此时打开群件变量设置窗口，软件已经自动将最接近 Cost 结果的 120mil 作为变量的初始值进行设置了。

图 4.14.1 软件自动修正变量起始值

4.14.2 将新的\$set 变量再次转换成优化变量



在全局变量设置窗口，如以 120 为基准重新设置优化参数的取值范围。如图 4.14.2

图 4.14.2

4.14.3 添加一个新的优化变量

在 Optimetrics 的右键菜单中执行 Add\Parametric 命令，操作方法完全同 4.11.2 节所述，只不过这里将变量的变化范围进行了更精确的设置。

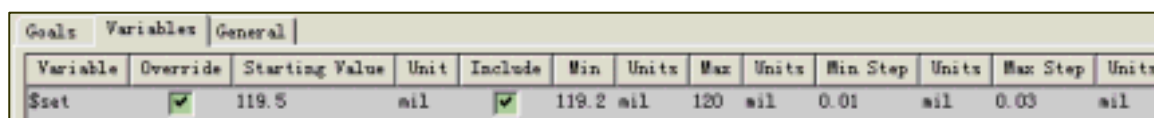
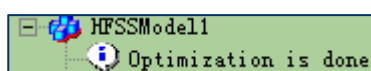


图 4.14.3 重新设置优化变量取值范围

该窗口与 4.11.3 相比，多了最大，最小步长设置，它是通过点击该窗口中“Advanced”按钮实现的。完成优化变量设置后，在模型窗口 Optimetrics 项下，除了 OptimetricSetup1 项之外又增加了 Optimetric Setup2 一项。在 OptimetricSetup2 的右键菜单中执行 Analysis 命令。

此外像这类模型的 Cost 设置为 0.05 有些太小，将它改为 0.3。

4.14.4 使用新的变量范围优化结果



当采用 4.14.3 的设置进行优化时，当\$set=119.41mil 时 Cost =

0.19861 满足 $Cost < 0.3$ 的要求。此时在界面左下方显示：Done：表示完计算收敛，成了预设的条件。

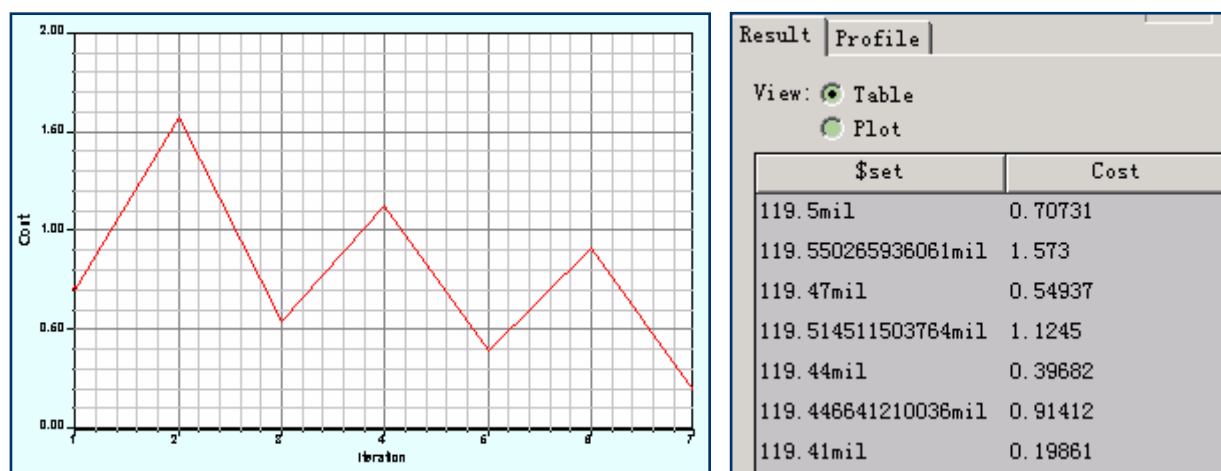


图 4.14.4 改变变量范围后优化的 Cost 曲线和数据列表

此时在全局变量窗口可以看到，\$set 的值自动设置成了 119.41mil。根据本例的模型，这个数值应该是第二条导线的中心值。则实际两条曲线的距离，按照常规的计算方法应该是 $(119.41 - 103) - 6 = 10.41\text{mil}$ 。

这里 119.41mil 是第二条导线的中心值，103mil 是第一条导线的中心值，6mil 是导线线宽。得到的 10.41mil 就是两条导线边缘到边缘的距离。

4.5 小结

使用优化功能时，要注意两个问题：

- 1) 变量范围的设置：应该通过参数扫描大致确定变量的范围，不要范围太大。
- 2) Cost 值的设定，要根据实际情况，设置在合理的范围之内，不要太小。

第五章 灵敏度分析

5.1 灵敏度的定义

我们建立数学模型的主要目的之一是增进对系统的了解，而模型参数的灵敏度分析是对数学模型的参数动态变化过程，即瞬时变化过程进行分析。因此，通过模型参数的灵敏度分析可以明确哪些参数对系统的总体输出和动态影响较大。

下面考虑一个模型，其模型的输出 y 可以是某种作物的产量，也可以是一个放大器的增益等，假定对该模型已经圆满地进行了检验与评价，包括对试验数据进行了适度的拟合。模型中有些参数是生理指标，而有些是环境指标，另有一些参数，如对作物投入肥料 x_i ，按其对应产量的相对效应进行排序，则无论目标函数怎样，都可以得到较为客观的度量。目标函数 y 对参数 x_i 的灵敏度 $S(y, x_i)$ 的定义为：

$$S(y, x_i) = \frac{\frac{\partial y}{\partial x_i}}{\frac{y}{x_i}}$$

式中 $S(y, x_i)$ 表示目标函数 y 对输入参数 x_i 的灵敏度。

5.2 如何在 HFSS 使用灵敏度分析

根据 5.1 灵敏度的定义，若要对若干影响模型目标函数的变量进行灵敏度分析则首先需要对这些参数完成定量的数值分析。具体到在 HFSS 进行的灵敏度分析，就是要先对这些参数进行扫描，然后进行优化，在次基础上再进行灵敏度分析。

HFSS 中灵敏度分析的主要功能就是：对于一个目标函数，在已有确定的解的情况下，在这个解周围小范围内，进行灵敏度分析。

对于一个简单微带线求解端口特性阻抗的模型来讲，可以认为主要有四个参数可能对特性阻抗产生影响：介电常数，介质层厚度，导线宽度和导线长度。

其中后三个变量的量纲相同（都是长度 mil），所以为了容易对比三个变量的灵敏度曲线，在实际例题中，暂时不将介电常数计算在内。实际上如果单独对介电常数进行参扫，可以得出下面的一组数据：

	\$afr	ZK: Freq(Single v...
1	3.8	53.159340142501
2	4	51.9889790558251
3	4.2	50.9317848957191

图 5.2.1 以介电常数为变量的端口特性阻抗数据

这里其余三个变量为固定数值。可以看到，介电常数与端口阻抗呈反比，值越大， Z_0 越低。

5.3 本例使用的模型

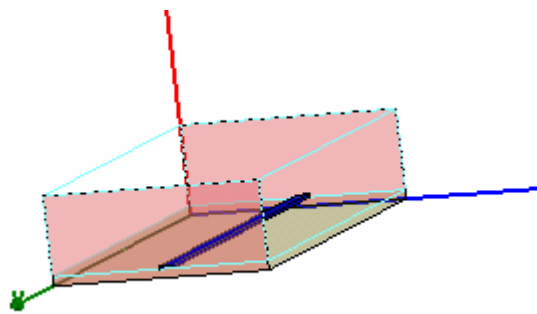


图 5.3.1 模型全图

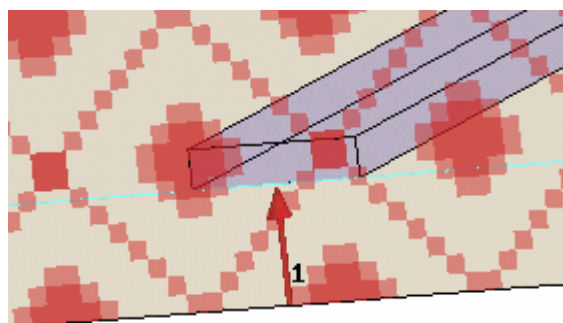


图 5.3.2 端口设置

5.4 变量的设置

<input checked="" type="radio"/> Value <input type="radio"/> Optimization <input type="radio"/> Tuning			
	Name	Value	Unit
	\$afr	4.4	
	\$ax	6	mil
	\$ay	1.35	mil
	\$az	4	mil

图 5.4.1 本例所有变量的设置

从图 5.4.1 中可见，本例的所有变量均设为了全局变量。这是因为，导线的尺寸变化以及介质层厚度的变化，将可能影响到其它一些物体参数的变化，比如：端口位置。

5.5 扫描变量的设置

5.5.1 在添置扫描变量窗口中“Sweep Definitions”标签的设置

Sweep Definitions		
Sync #	Variable	Description
	\$ax	Linear Step from 6mil to 8mil, step=1mil
	\$ay	Linear Step from 0.675mil to 2.025mil, step=0.675mil
	\$az	Linear Step from 2mil to 6mil, step=2mil

图 5.5.1 本例所有变量扫描时的设置

其中：\$ax 导线宽度变量

\$ay 导线高度变量

\$az 介质层高度变量

5.5.2 在添置扫描变量窗口中“General”标签的设置

Starting Point			
Design Variable	Override	Value	Units
\$afr	<input type="checkbox"/>	4.4	
\$ax	<input checked="" type="checkbox"/>	6	mil
\$ay	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	mil
\$az	<input checked="" type="checkbox"/>	4	mil

图 5.5.2 General 标签设置

5.5.3 在添置扫描变量窗口中“Calculation Range”标签的设置

Solution	Calculation	Calculation Range
Setup1 : LastAdaptive	ZK	Freq(Single value at 5GHz)

图 5.5.3 Calculation Range 标签设置

5.6 扫描结果

	\$ax	\$ay	\$az	ZK: Freq(Single v...		\$ax	\$ay	\$az	ZK: Freq(Single v...		\$ax	\$ay	\$az	ZK: Freq(Single v...
1	6mil	0.675mil	2mil	31.858633843833	10	7mil	0.675mil	2mil	29.3180924474262	19	8mil	0.675mil	2mil	26.9132344372538
2	6mil	0.675mil	4mil	50.9581333865294	11	7mil	0.675mil	4mil	47.9307175113541	20	8mil	0.675mil	4mil	44.0049991524525
3	6mil	0.675mil	6mil	63.6259127773798	12	7mil	0.675mil	6mil	57.0207501059235	21	8mil	0.675mil	6mil	56.0725049387362
4	6mil	1.35mil	2mil	32.2386361410668	13	7mil	1.35mil	2mil	29.2435954907081	22	8mil	1.35mil	2mil	26.0741496355896
5	6mil	1.35mil	4mil	50.0019489079509	14	7mil	1.35mil	4mil	45.0104084050351	23	8mil	1.35mil	4mil	43.0229756442341
6	6mil	1.35mil	6mil	60.2463756421345	15	7mil	1.35mil	6mil	54.9616037588574	24	8mil	1.35mil	6mil	53.0421434854536
7	6mil	2.025mil	2mil	31.0456530044526	16	7mil	2.025mil	2mil	27.9968778580962	25	8mil	2.025mil	2mil	26.2279437248737
8	6mil	2.025mil	4mil	49.7835076229197	17	7mil	2.025mil	4mil	43.7236767556564	26	8mil	2.025mil	4mil	42.7195124943784
9	6mil	2.025mil	6mil	59.4857561852538	18	7mil	2.025mil	6mil	55.6515570113321	27	8mil	2.025mil	6mil	51.9750852963488

图 5.6.1 扫描结果

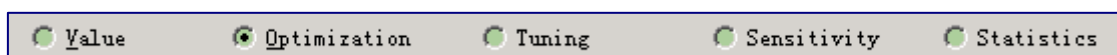
从表中可以看到：

- 1) \$ax (导线宽度变量) = 6mil
- \$ay (导线高度变量) = 1.35mil
- \$az (介质层高度变量) = 4mil

} Zo = 50.00195

5.7 设置优化变量

1. 如果变量是局部变量，则在 HFSS 菜单选择“Design Properties”进行设置；如果是全局变量，则在 Project 菜单，选择“Project Variables”，进行设置，本例是后者。
2. 在变量窗口有三个标签，其中“Intrinsic Variables”标签，显示了内置变量名称，在列表中有 F, X, Y, Z 等内置变量，就是说在添加变量时，变量的名称不能与这些内置变量同名。在“Constants”常量标签中，显示了内置的常量。变量的灵敏度分析设置，主要在“Project variables”标签中进行。
3. “Project variables”标签里，有 5 个单选按钮，它们是：



根据不同的仿真状态，分别选中它们。而且它们的级别也是从左到右升高的。就是讲，如果需要进行右边项的仿真，则只有在完成了邻近的、左边的功能仿真后才能进行。比如，如果需要做灵敏度分析，则只有依次分别进行了参扫，和优化以后才能进行（“Tone”变量调谐功能可以不做）。但是如果只做 Tone 分析，则也是在完成优化分析之后才可进行。

5. 选择 Optimization 单选框

5. 在需要进行优化的变量前，选中“Include”选项

6. 设置每一个变量的最小值和最大值，这里的设置如下图，完成后点击 ok

	Name	Include	Min	Unit	Max	Unit
	\$afr	<input type="checkbox"/>	4.2		4.6	
	\$ax	<input checked="" type="checkbox"/>	7	mil	9	mil
	\$ay	<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	mil	2.025	mil
	\$az	<input checked="" type="checkbox"/>	2	mil	4	mil

图 5.7.1 设置优化变量范围

7. 在 Optimetrics 的右键菜单中执行添加优化变量命令，在该窗口的三个标签中分别设置如下：

i) Goals 标签

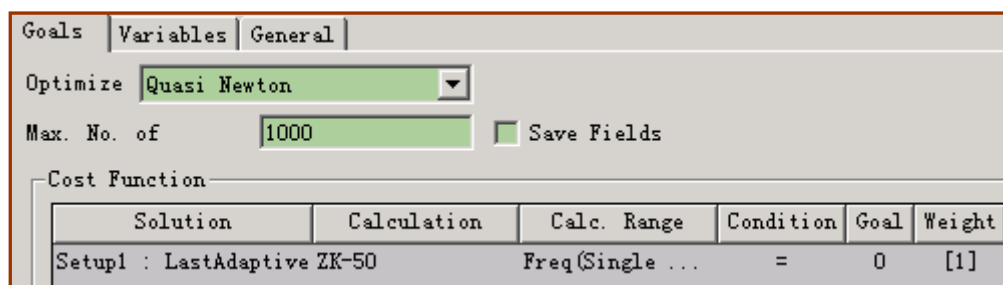


图 5.7.2 Goals 标签的设置

ii) Variables 标签

Variable	Override	Starting Value	Unit	Include	Min	Units	Max	Units
\$ax	<input checked="" type="checkbox"/>	8	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	7	mil	9	mil
\$ay	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	mil	2.025	mil
\$az	<input checked="" type="checkbox"/>	3	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	2	mil	4	mil

图 5.7.3 Variables 标签的设置

iii) General 标签

Goals | Variables | General

Parameters:

Solve the parametric sweep before optimization
 Solve the parametric sweep during optimization

Update design
 Acceptable: Noise:

图 5.7.4 Variables 标签的设置

8 点击 OK 后在项目窗口的 Optimetrics 下增加一个 OptimetricsSetup1 项 (可以改名)。

5.8 进行优化操作

在项目窗口的 Optimetrics 下 OptimetricsSetup1 项的右键菜单中执行仿真命令进行优化分析。优化的结果是：6mil 线宽；1.35mil 线高，介质层厚度 4mil 时，误差为 0.0019。

5.9 设置灵敏度变量

Value Optimization Tuning Sensitivity Statistics

	Name	Include	Min	Unit	Max	Unit	Initial Disp.	Unit
	\$afr	<input type="checkbox"/>	2.2		6.6		0.44	
	\$ax	<input checked="" type="checkbox"/>	5.5	mil	6.5	mil	0.1	mil
	\$ay	<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	mil	2.025	mil	0.135	mil
	\$az	<input checked="" type="checkbox"/>	3	mil	6	mil	0.5	mil

图 5.9.1 灵敏度变量设置

设置完成后点击 OK

5.10 添加灵敏度分析并设置变量值

在 Optimetrics 右键菜单中执行添加灵敏度分析命令，进行如下的设置：

i) 计算标签的设置

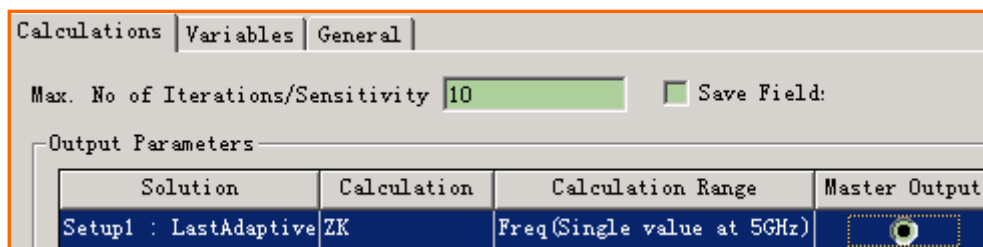


图 5.10.1 计算标签的设置

ii) 变量标签的设置

Variable	Override	Starting Value	Unit	Include	Min	Units	Max	Units	Initial Disp.	Units
\$ax	<input checked="" type="checkbox"/>	6	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	5.5	mil	6.5	mil	0.1	mil
\$ay	<input checked="" type="checkbox"/>	1.1	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	0.675	mil	2.025	mil	0.1	mil
\$az	<input checked="" type="checkbox"/>	4	mil	<input checked="" type="checkbox"/>	3	mil	5	mil	0.1	mil

图 5.10.2 变量标签的设置

iii) 常规标签的设置

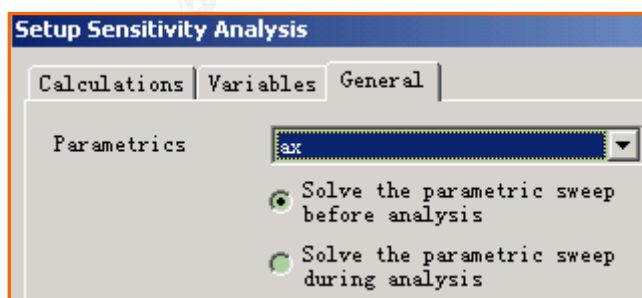


图 5.10.3 常规标签的设置

完成上述设置后点击 OK，在 Optimetrics 项下出现 SensitivitySetup1 项

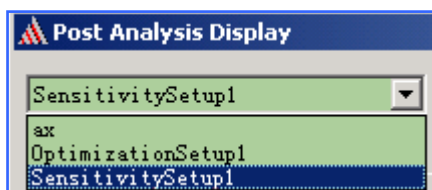
5.11 运行灵敏度分析

点击 SensitivitySetup1，在右键菜单中执行分析命令，开始进行灵敏度分析。

5.12 灵敏度结果分析

在 SensitivitySetup1，在右键菜单中执行观察结果命令，打开 Result 窗口，在图形界面里可以选

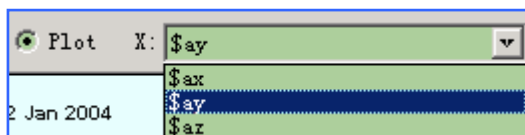
需要观察的图形。



在这个列表栏中，可以选择已经可以用图形表示的曲线。其中 ax 是参扫时建立的曲线；Opti...是优化分析时的 Cost 误差曲线图。

SensitivitySetup1 灵敏度分析图形。

图 5.12.1 选择曲线



在这个窗口，可以选择具体察看那一个变量灵敏度状态

图 5.12.2 选择变量的灵敏度分析曲线

5.12.1 Table 显示的结果

Input	Output	Func. Value	1st D	2nd D
\$ax	ZK: Freq(Single v...	49.7	-1.04e+006	-7.69e+011
\$ay	ZK: Freq(Single v...	50.5	2.39e+005	-1.47e+011
\$az	ZK: Freq(Single v...	50.7	1.32e+006	-1.69e+012

图 5.12.3 数据显示的灵敏度分析结果

5.12.2 曲线方式显示的结果

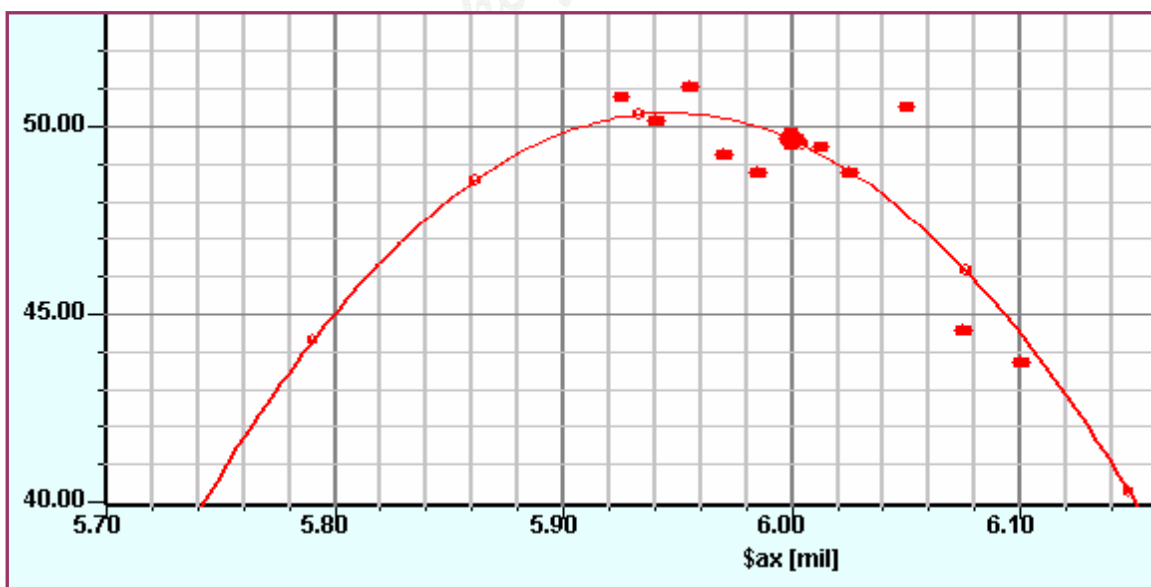


图 5.12.4 线高 (1.35mil), 介质层高度 (4mil) 固定, 线宽灵敏度分析曲线

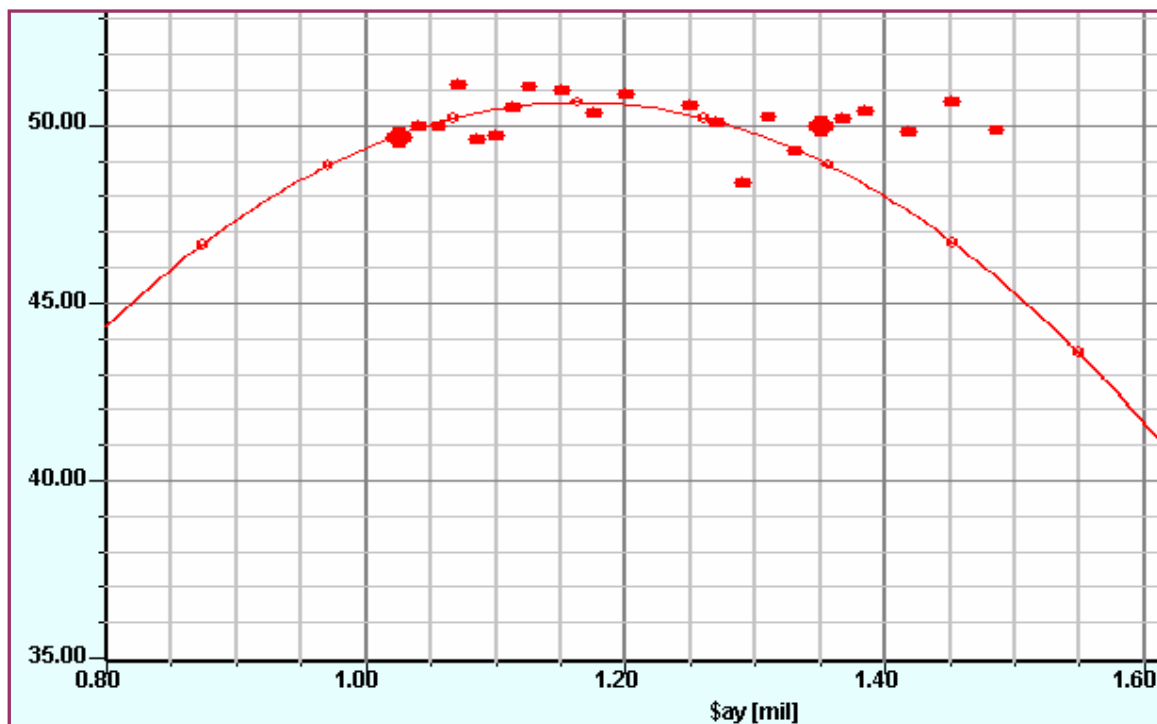


图 5.12.5 线宽 (6mil), 介质层高度 (4mil) 固定, 线高灵敏度分析曲线

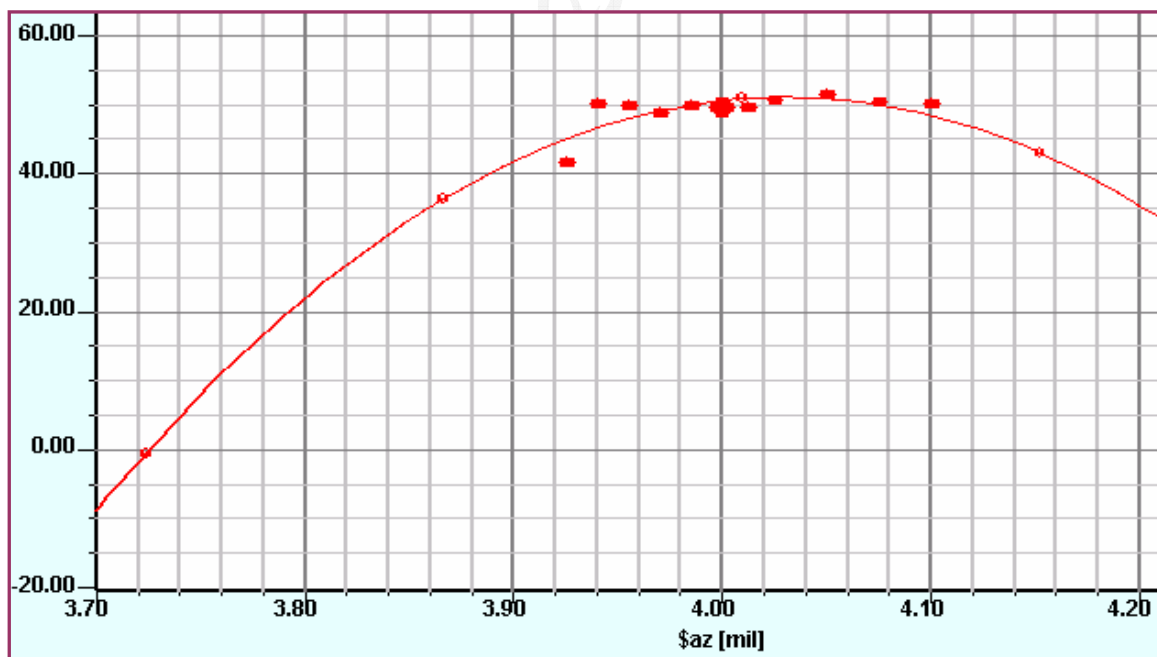


图 5.12.6 线宽 (6mil), 线高 (4mil) 介质层高度灵敏度分析曲线

注意:关于灵敏度可以这样理解:对许多参数进行灵敏度分析可找出那些参数对某种工作特性灵敏度较高。灵敏度分析每次改变一个参数,然后对系统工作中产生的变化进行测量并计算出相对变化率。将系统中所有参数的变化率列成表格并排序。灵敏度分析可以显示哪些参数对某种工作特性较为灵敏,有助于进一步深入分析。

poqi055

第六章 附录

6.1 变量调协 (Tune)

当你在对一个设计进行分析时，希望人工修改一个变量值，而且将这个值立即应用于设计，在这种场合使用调谐（变量）功能非常有效。比如，在进行优化任务之后，已经确定了优化的最后结果，此时变量已经自动被赋予了最优的数值。但是此时你想观察在这个最优值附近，当变量变化时对结果的影响，就可以使用这个方法。

同样，在进行了变量调协过程后，你可以在调协的变量值中取一个需要的，作为本设计变量的基本值。

下面的例子，是一个简单微带线模型。它只有一个线宽局部变量： w ，而且已经进行了参数扫描。

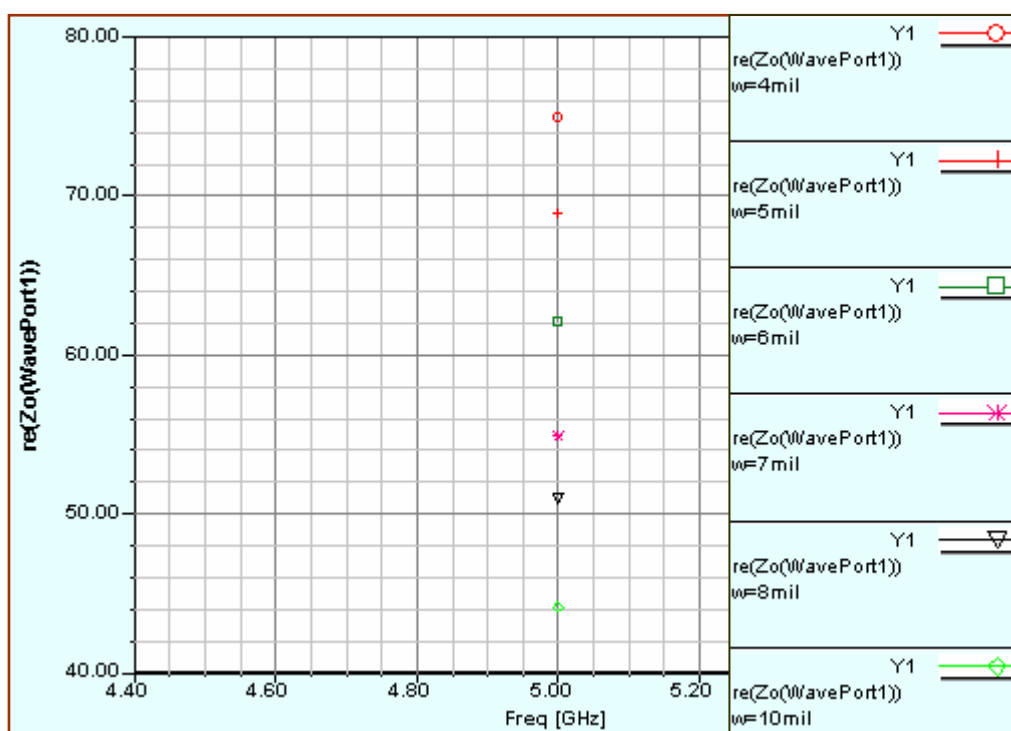


图 1

从图中可以看到，如果需要它的特性阻抗 = 50，那么线宽大致应该在 8mil 和 9mil 之间，在这种情况下，使用 Tune 进行分析。（设置当前 $w = 6\text{mil}$ ； $Z_o = 62$ ）

6.1.1 设置 Tone 变量

- 首先确定对哪一个变量进行调节，并设置大体的范围(图 2)，点击 OK 按钮。

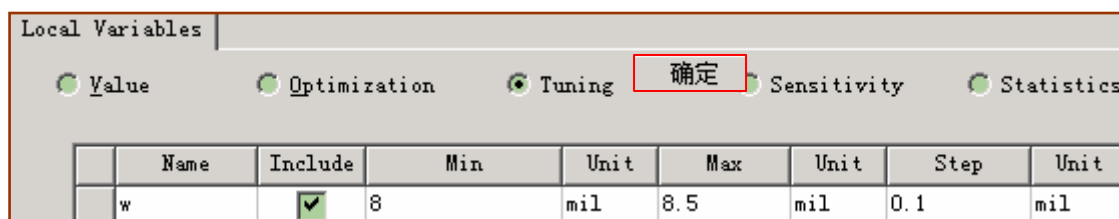


图 2

2. 在 HFSS 菜单里指向 Optimetrics Analysis, 在右键菜单中点击 Tune, 打开 Tune 窗口。
3. 清除 Real Time 选项。

如果你选中这个功能, 则在你移动变量取值滑键后, 仿真开始进行。

4. 如果你希望保存变量调协时产生的场解数据, 选中 Save Fields 功能。
5. 在窗口的‘ Sim. Setups ’列, 选择解决方案, 这里在先前进行的参扫过程中已经建立一个名为“ setup1 ”的解决方案, 当打开这个窗口时, 它已经自动被选中了。HFSS 将使用这个解设置进行计算。如果你在这个栏目中的选项多于了一个, 结果将根据所选择的所有方案进行。

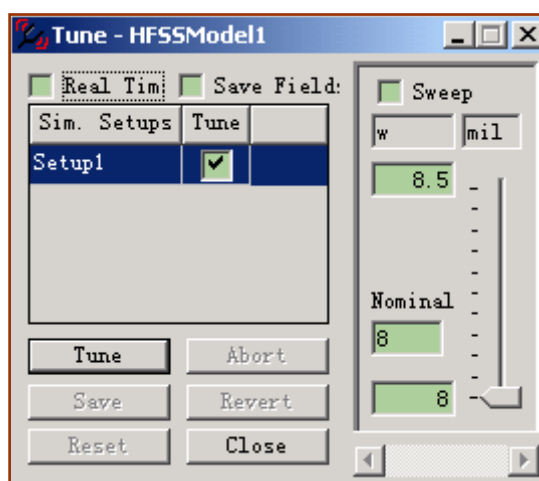
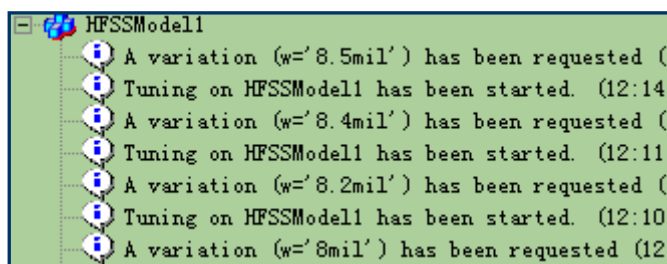


图 3 Tone 设置窗口

6. 在 Nominal (额定) 文本栏填入你希望在该值附近进行调协的额定数值 (图 3 中的 8.5mil)。 或者使用滑键来指定。
 - a. 选中 Sweep 选项
 - b. 指定起始值
 - c. 指定中止值
7. 点击 Tune 按钮

6.1.2 检查运行 Tone 后的结果



点击 Tune 后, 将从 $w = 8\text{mil}$ 开始计算。当计算完成后 (从 HFSS 界面右下部分可以看到, 当前还没有退出 Tone 状态), 移动滑键指向 8.2mil , 再次点击 Tune。 用同样的方法, 直到计算完 $w = 8.5\text{mil}$ 为止。

图 4

图 4 是在进行每一步计算时 HFSS 界面左下方窗口显示的当前变量取值状况。此时, 在项目窗口的 Result 右键菜单中, 选择增建新曲线命令。选中 Sweeps 标签中的“ Sweep Design and Project variable ”单选按钮, 在右边的变量值窗口, 可以看到 Tone 的值: 8.2mil , 8.4mil , 8.5mil , 已经在其中了 (图 5)。

再回到 Y 轴设置界面，选择端口 1 的特性阻抗 Z_0 (ReI)，创建曲线（图 6）。

Sweep Design and Project variable			
Name	Type	Description	
Freq	Primary Sweep	All Values	4mil 5mil 6mil 7mil 8mil 8.2mil 8.4mil 8.5mil 10mil
w	Point(s)	All Values	

在图 6 中可以看到，如果 $w = 8.2\text{mil}$ ，则 Z_0 略大于 50；如果 $w = 8.4\text{mil}$ ，则 Z_0 略小于 50。

那么实际值应该在 8.3mil 附近。

图 5

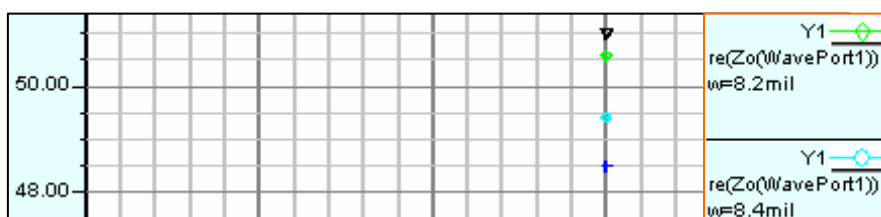


图 6

6.1.3 结束 Tone

完成上述工作之后，点击“Cross”按钮，将出现如图 7 所示的窗口，在这里让你根据上面的计算选择 w 的确定值。如果按图中所示选用 8.5mil，然后点击 OK，则 8.5mil 将赋值给变量 w 。如果不准备更换当前的变量值，可以选择“Don't Apply”；如果需要重新 Tone，点击 Cancel 按钮，回到 Tone 界面。

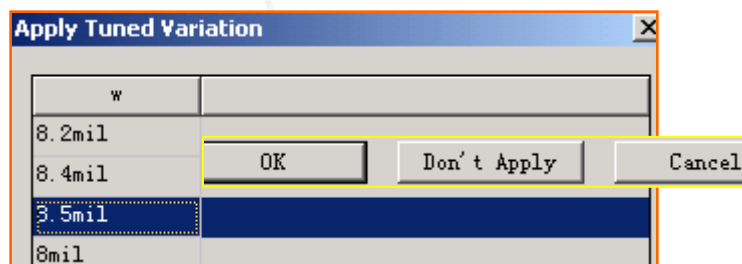


图 7 结束 Tone 窗口

6.1.4 小结

使用 Tone 功能，它花费的时间要比优化操作要少，硬件资源也要省，在不太严格的情况下，使用它可以代替使用 Optimetrics。

第七章 使用参扫分析过孔参数

poqi055