

## 实验五 传输线上的反射测量

### 一、实验目的

1. 掌握微带线的工作原理以及微带线的作用；
2. 掌握微带线的基本特性参数以及输入阻抗计算公式；
3. 掌握手持式微波分析仪在矢量网络分析仪模式下的校准方法，并测量传输线上电磁波的反射参数；
4. 掌握使用 ADS 软件计算有效电长度  $E_{\text{Eff}}(\text{deg})$ ，进而得到微带线输入阻抗的方法

### 二、实验仪器

1. Keysight 手持式微波分析仪 Fieldfox N9915A，使用其中的网络分析仪 (NA) 功能；
2. SMA 接头同轴线缆；
3. SMA/N-Type 转接器；
4. 微带线印制电路板，上有四根长度为 8cm 的微带传输线，特征阻抗分别为 30 欧姆, 50 欧姆, 75 欧姆和 100 欧姆。微带传输线的两端都各有一个同轴线 (50 欧姆特征阻抗) 到微带线的转接头，如图 1 所示；

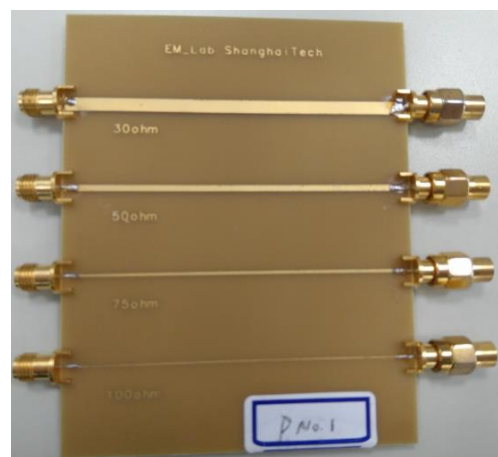


图 1 微带线印制电路板

5. SMA 接口的 50 欧姆负载；
6. 校准件 85033E 一套。

### 三、实验原理

1. 对均匀无耗微带线，输入阻抗计算式为：

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta L}{Z_0 + jZ_L \tan \beta L} \quad (1)$$

其中， $Z_0$ 为微带线的特征阻抗， $Z_L$ 为负载阻抗， $\beta l$  值等于有效电长度 $E_{Eff}$ ， $\beta = 2\pi/\lambda$   
 $l$  为微带线的长度。

2. 同轴线缆的特征阻抗为50 欧姆，因此同轴线与微带印制板接口处的反射参数为：

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - 50}{Z_{in} + 50} \quad (2)$$

$S_{11}$  参数为：

$$S_{11} = 20\log|\Gamma| \quad (3)$$

#### 四、实验步骤

1. 计算有效电长度 $E_{Eff}$ ，需借助ADS软件中的LineCalc工具，步骤如下：

(1) 设置微带线印制板的参数。打开ADS软件，进入schematic页面，选择【Tools】→  
LineCalc→Start LineCalc，设置参数如图2所示，并且设置频率为2.45GHz。

Er	4.580	N/A
Mur	1.000	N/A
H	27.560	mil
Hu	3.9e+34	mil
T	1.378	mil
Cond	5.88e7	N/A
TanD	0.016	N/A
Rough	0.000	mil
DielectricLossModel	1.000	N/A
FreqForEpsrTanD	1.0e9	N/A
LowFreqForTanD	1.0e3	N/A
HighFreqForTanD	1.0e12	N/A
		N/A

Component Parameters		
Freq	2.450	GHz

图2. 微带线印制板参数

- (2) 设置好微带线印制板参数后，计算微带线宽度。如图3所示，以计算特征阻抗75欧姆微带线为例，在“Electrical”特性框下输入 $Z_0 = 75$ 欧姆， $E_{eff}$  设为 360(deg)，点击“Synthesize”，即可得到微带线宽度W。

LineCalc/untitled

File Simulation Options Help

Component  
Type: **MLIN** ID: **MLIN\_DEFAULT**

Substrate Parameters

ID: **MSUB\_DEFAULT** (1)

Rough	0.000	mil
DielectricLossModel	1.000	N/A
FreqForEpsrTanD	1.0e9	N/A
LowFreqForTanD	1.0e3	N/A
HighFreqForTanD	1.0e12	N/A
		N/A

Component Parameters

Freq: 2.450 GHz

Val1: mil

Val2: mil

Physical

L: 22.309906 mil

W: 3149.600 mil

Synthesize Analyze

Electrical (2)

Z0: 75.000000 Ohm

E\_eff: 417.275000 deg

360

Calculated Results

K\_eff = 3.143

A\_DB = 0.542

SkinDepth = 0.052

图3 计算微带线宽度

(3) 得到微带线的宽度后，填入实验中用到微带线长度（8cm，对应3149.6mil 长度），

点击“Analyze”，得到  $E_{\text{Eff}}(\text{deg})$  值。

2. 将步骤 1 中得到的  $E_{\text{Eff}}$  代入（1）式中求得输入阻抗  $Z_{\text{in}}$ 。

3. 用手持表测试不同特征阻抗微带线的  $S_{11}$

(1) 开启多功能手持表，预热20分钟；

(2) 对网络分析仪进行单端口校准

1) 连线。将微波同轴线缆的一端通过转接器连接到多功能手持表的Port1上，另一端置于开

路状态。在连接 SMA 同轴线缆时一开始可以用手扭若干圈，当感觉比较紧时，切记要

使用专业的扭力扳手作最后的紧固，当钳子自动弯曲表示 SMA 端口已经扭紧。

2) 参数设置

网络分析仪在校准时设置测试状态应该和被测件实际测试状态相同。这些测试状态包含：频率范围、测试点数、接收机带宽、扫描时间等。测试参数需要在校准前设置，若在校准后改变设置，则校准无效。

➤ 将手持式微波分析仪复位：按下【Preset】→[Preset(Factory)]；

➤ 选择网络分析功能：【Mode】→[NA]；

➤ 设置频率：【Freq/Dist】→[Start]→输入起始频率 2GHz；[Stop]→输入终止频率3GHz；

➤ 【BW】选择 ( IF BW ) 中频带宽为1KHz；

➤ 【Meas Setup】→[Output Power]设为High；

➤ 【Sweep】→[resolution]选择点数1001；

3) 选择校准件，通过仪器校准的Guide完成校准

➤ 在面板上按下软键【Cal】后，如图 3 所示，选择“Mechanical Cal”后，选择“Change Cal Type”

为“1Port OSL(Port1)[Recommended]”后，选择“Select and Finish”使配置生效，并出现图 3

所示界面；

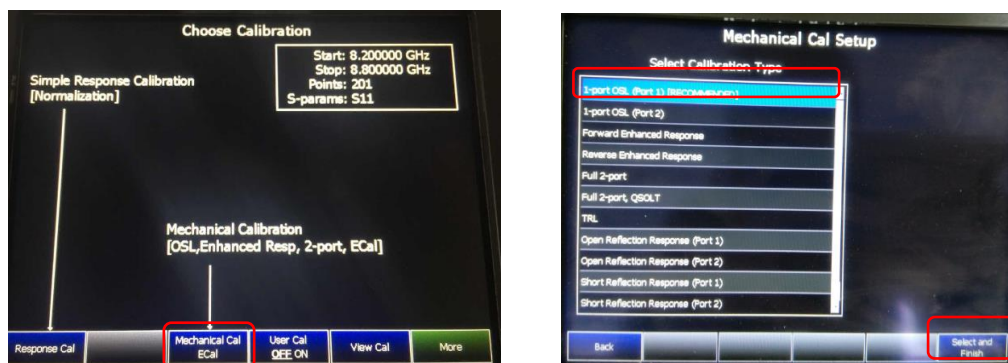


图3 Mechanical Cal 以及校准端口选择

- 图4所示界面中，选择“Change DUT Connectors”，根据实际情况将Port 1 设置为“3.5 mm Male”，之后选择校准件型号85033D/E。



图4 选择 Connector 类型和校准件型号

- 校准：按操作提示完成所有校准步骤（Open、short、load）；
- 4) 完成校准后，同轴电缆端口处于开路状态，观察并截图仪表上的 $S_{11}$ 参数。将同轴电缆接50欧姆匹配负载时再观察并截图此时 $S_{11}$ 参数；
- (3) 将微波同轴线缆的另一端连接到特征阻抗为50欧姆微带线印制电路板的一个端口，微带线印制电路板的另一端接50欧姆的射频负载( $Z_L$ )；
- (4) 按下【Measure】→ $S_{11}$ ，观察  $S_{11}$  曲线；
- (5) 在2.45GHz频率处添加mark, 拍照并记录 $S_{11}$  参数在2.45GHz处的幅度；
- (6) 取下微带线印制板，将同轴线缆分别连接到30欧姆、75欧姆和100欧姆微带线任一端口，微带线另一端接50欧姆负载 ( $Z_L$ )，依次测量它们的  $S_{11}$ 参数，拍照并记录 $S_{11}$ 参数在2.45GHz处的幅度；

## 五、实验报告

1. 将测量的微带线的反射参数  $S_{11}$  值，整理到实验报告中；

2. 利用 ADS LineCalc 算出的微带传输线  $E_{\text{Eff}}(\text{deg})$  值求解输入阻抗  $Z_{\text{in}}$  和反射系数, 也可用史密斯圆图求解。然后比较理论值和测量值, 并对结果做出合理的分析。对于误差较大的情况分析可能原因并给出具体推导或计算过程。

$Z_0$	30 欧姆	50 欧姆	75 欧姆	100 欧姆
输入阻抗 $Z_{\text{in}}$				
理论值 $S_{11}@2.45\text{GHz}$				
测量值 $S_{11}@2.45\text{GHz}$				

备注:  $Z_0$  为微带线的特征阻抗;  $S_{11}$  应为 2.45GHz 频率时的反射系数值。