

## 一、 实验目的

- 1、学习矢量网络分析仪的基本工作原理；
- 2、初步掌握 AV36580 矢量网络分析仪的操作使用方法；
- 3、掌握使用矢量网络分析仪测量微带传输线不同工作状态下的 S 参数；
- 4、通过测量认知  $1/4$  波长传输线阻抗变换特性。

## 二、 实验任务

### 1. 矢量网络分析仪操作实验

初步运用矢量网络分析仪 AV36580，熟悉各按键功能和使用方法；

以 RF 带通滤波器模块为例，学会使用矢量网络分析仪 AV36580 测量微波电路的 S 参数。

### 2. 微带传输线测量实验

使用网络分析仪观察和测量微带传输线的特性参数。

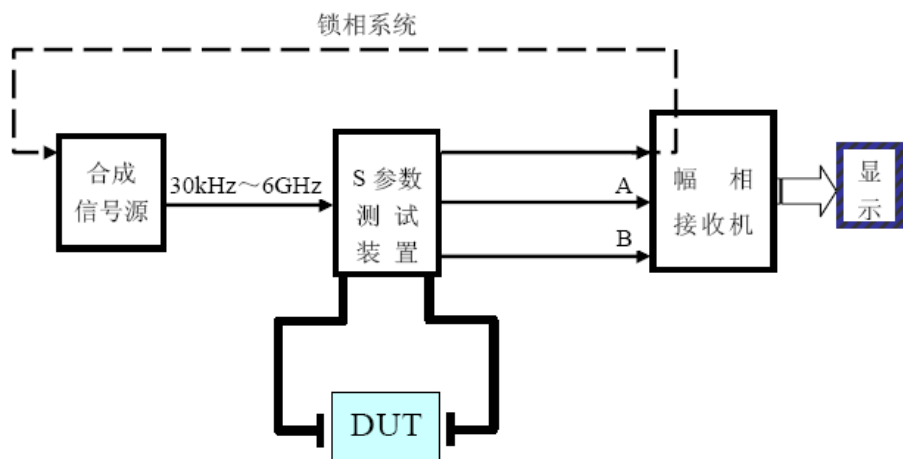
测量  $1/4$  波长传输线在不同负载情况下的频率、输入阻抗、驻波比、反射系数。

观察  $1/4$  波长传输线的阻抗变换特性。

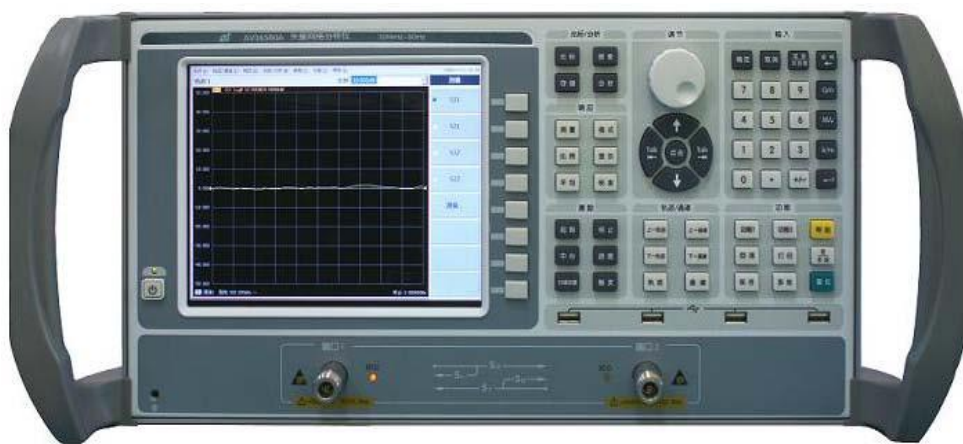
## 三、 实验系统

### 1. 矢量网络分析仪的构成

矢量网络分析仪主要组成部分包括合成信号源、S 参数测试装置、幅相接收机和显示部分。



## 2. AV36580 矢量网络分析仪：



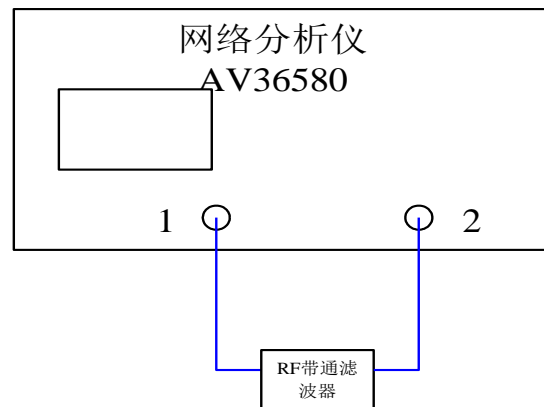
## 3. AV36580 的主要性能指标：

如下表所示：

频 率 范 围	AV36580A	300 kHz~3GHz
功率范围	-85~+8 dBm	
功率扫描范围	23 dB	
接收机损毁电平	射频±26 dBm (400mW) 直流 ±30V	

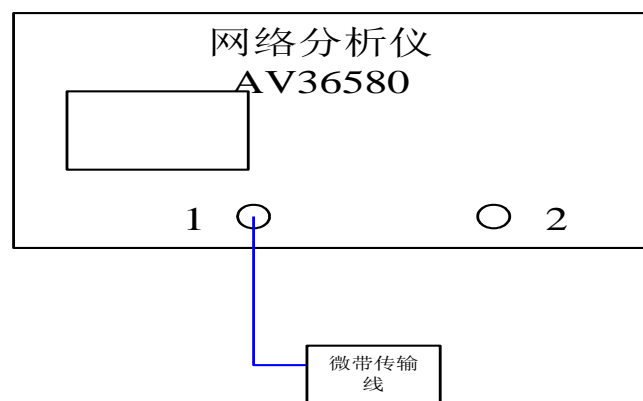
#### 4. 矢量网络分析仪的基本操作：

系统框图如下所示：



#### 5. 微波传输线的工作特性

系统框图如下所示：



## 四、 实验步骤

### 1. 矢量网络分析仪操作实验

步骤一：调用误差校准后的系统状态

步骤二：选择测量频率与功率参数(起始频率 600 MHz、终止频率 1800 MHz、功率电平设置为-10dBm)

步骤三：连接待测件并测量其 S 参数

步骤四：设置显示方式

步骤五：设置光标的使用

## 2. 微带传输线测量实验

步骤一 调用误差校准后的系统状态

步骤二 选择测量频率与功率参数（起始频率 100 MHz、终止频率 400 MHz、功率电平设置为-25dBm）

步骤三 连接待测件并测量其 S 参数

① 按照装置图将微带传输线模块连接到网络分析仪上；

② 将传输线模块另一端接上转接头并空载，此时，传输线终端呈开路。选择测量 S11，将显示格式设置为 SMITH CHART，调出光标，调节光标位置，使光标落在在圆图的短路点。

③ 记录此时的频率和输入阻抗。然后将显示格式设置为 SWR，记录下此时的驻波比值。将显示格式设置为 LOG MAG，记录下此时的（反射系数）值。（记录数据时保持光标位置始终不变）

④ 将短路/匹配负载模块接在转接头上，将拨码开关的拨码 2 拨到“ON”端（拨码 1 不起控制作用，在任意一端都可以），此时，短路/匹配负载模块处于短路状态，因此传输线终端呈短路。将显示格式设置为 SMITH CHART，注意观察光标的位置（此时光标所示频率仍为②中的频率），此时光标应在圆图中开路点附近。

⑤ 调节光标至圆图中的开路点，按照③中所示方法和步骤记录数据。

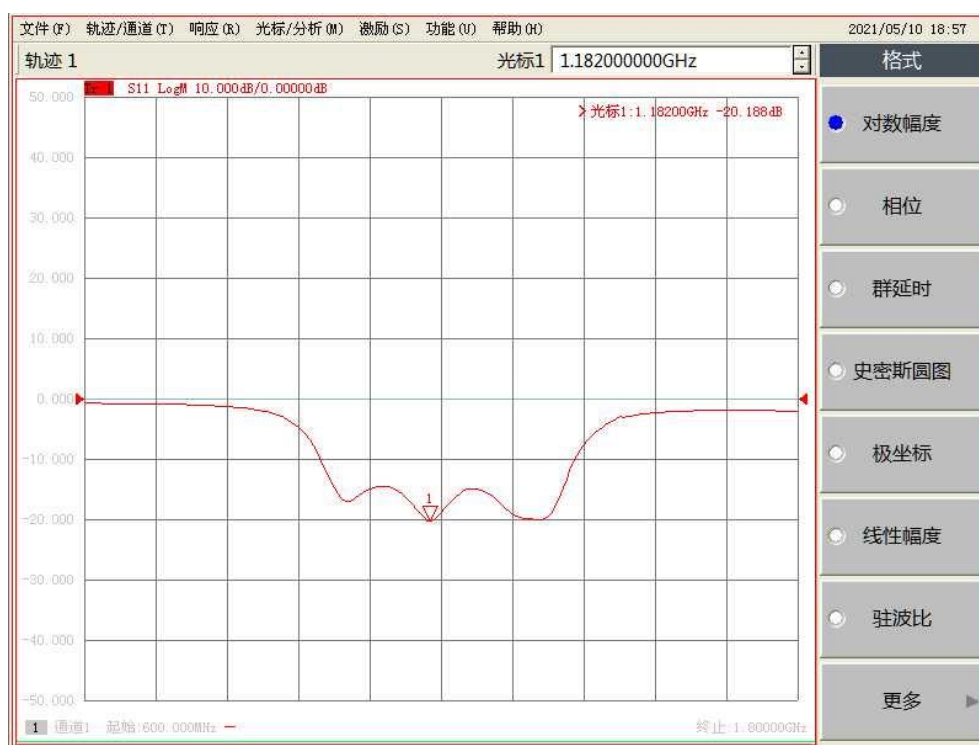
⑥ 将传输线模块另一端接上匹配负载。将显示格式设置为 SMITH CHART，将光标调节至最靠近圆图圆心的位置。

⑦ 按照③中方法和步骤记录数据。

## 五、 数据记录

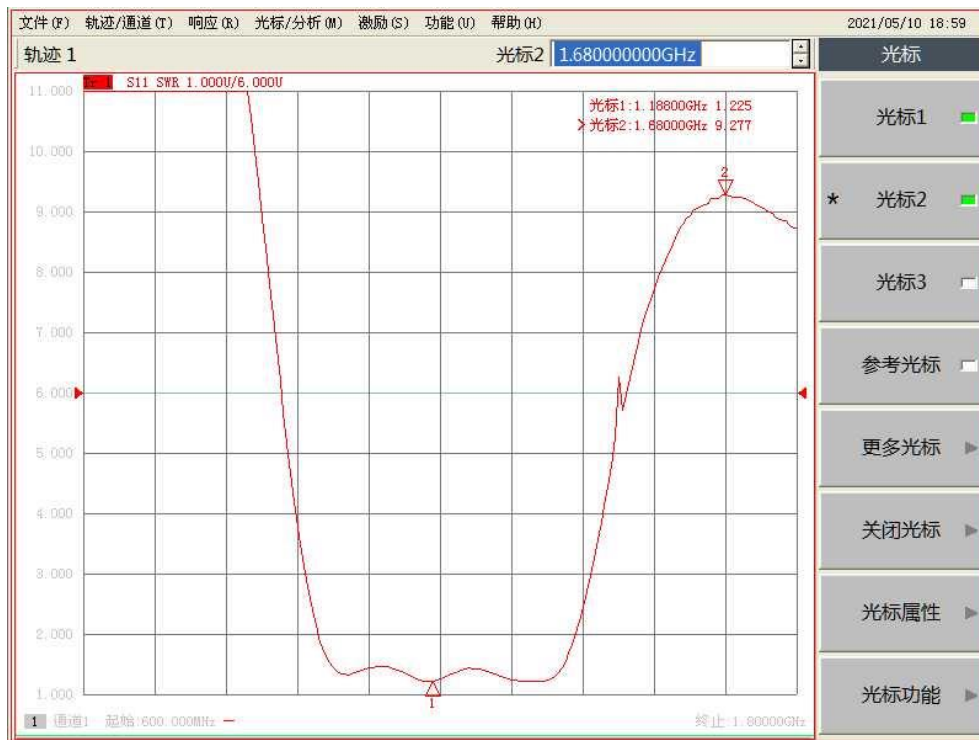
### 1. 矢量网络分析仪操作实验

#### 1) 带通滤波器 S11 反射系数

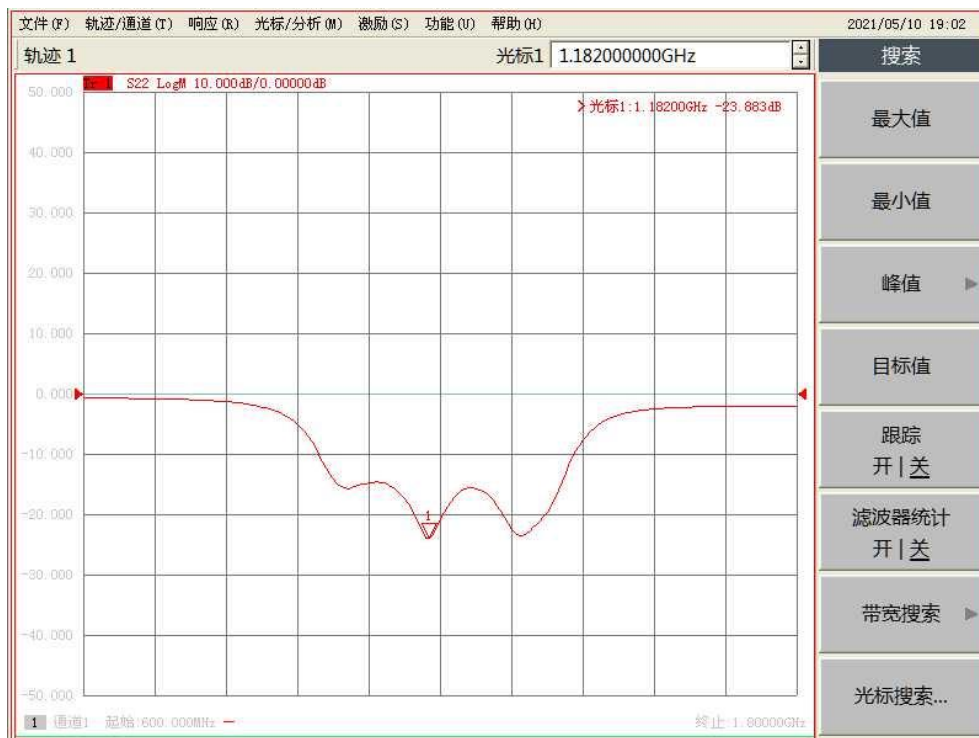


#### 2) 带通滤波器 S11 驻波比

S11 在 1.1880GHz 频率点处的驻波比为 1.225

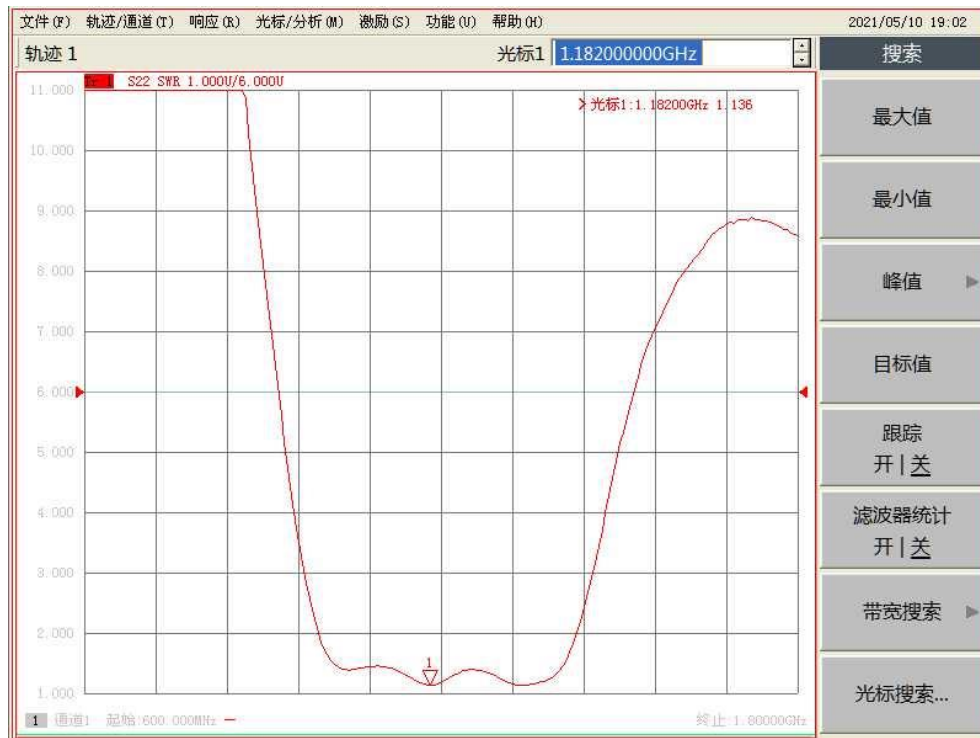


### 3) 带通滤波器 S22 反射系数

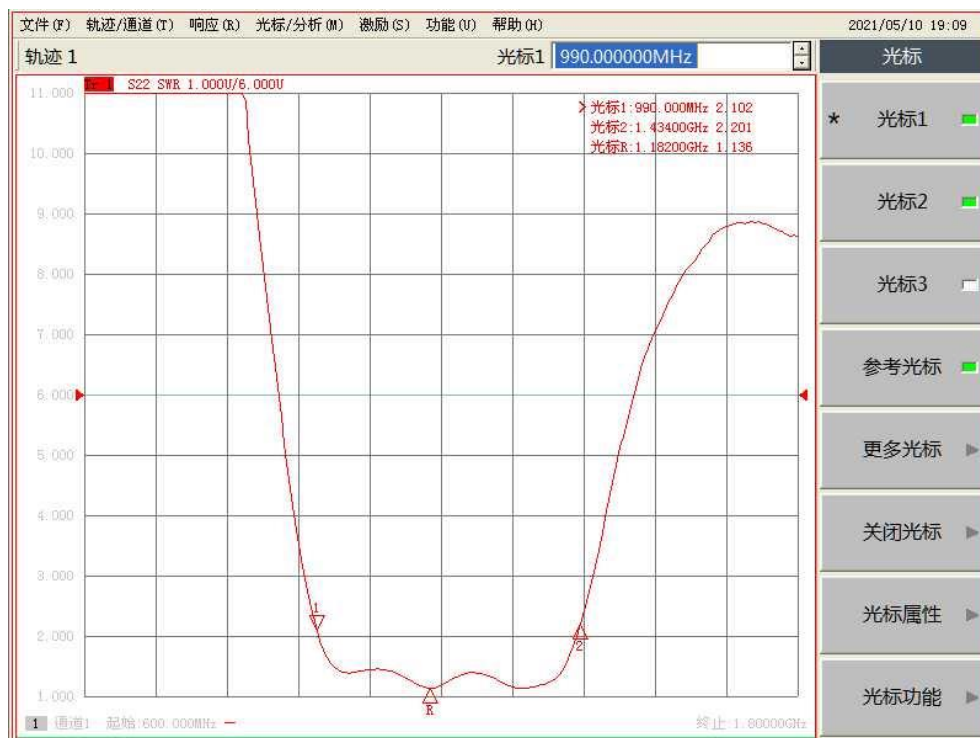


#### 4) 带通滤波器 S22 驻波比

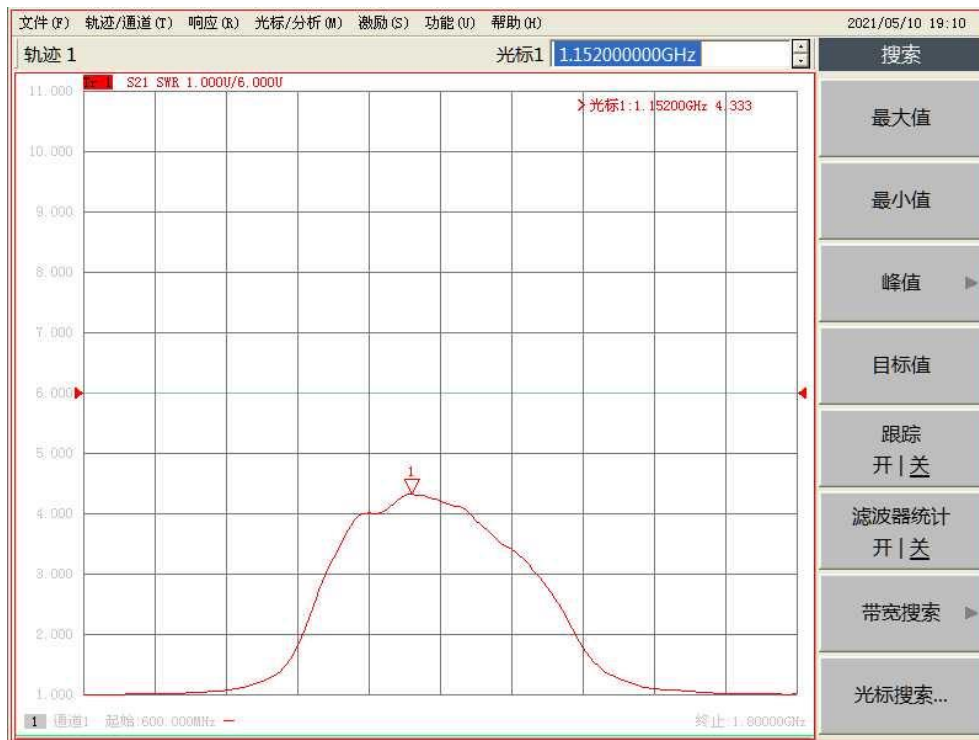
带通滤波器 S22 在 1.1820GHz 频率点处的驻波比为 1.136



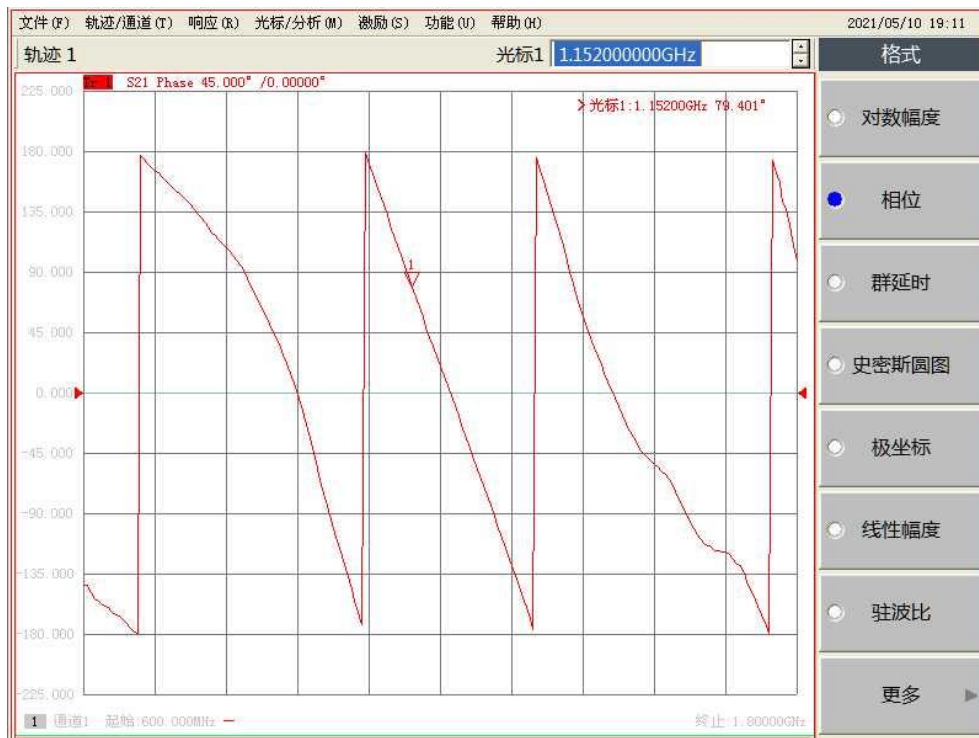
#### 5) 带通滤波器 S22 驻波比带宽



## 6) 带通滤波器正向插入损耗 S21

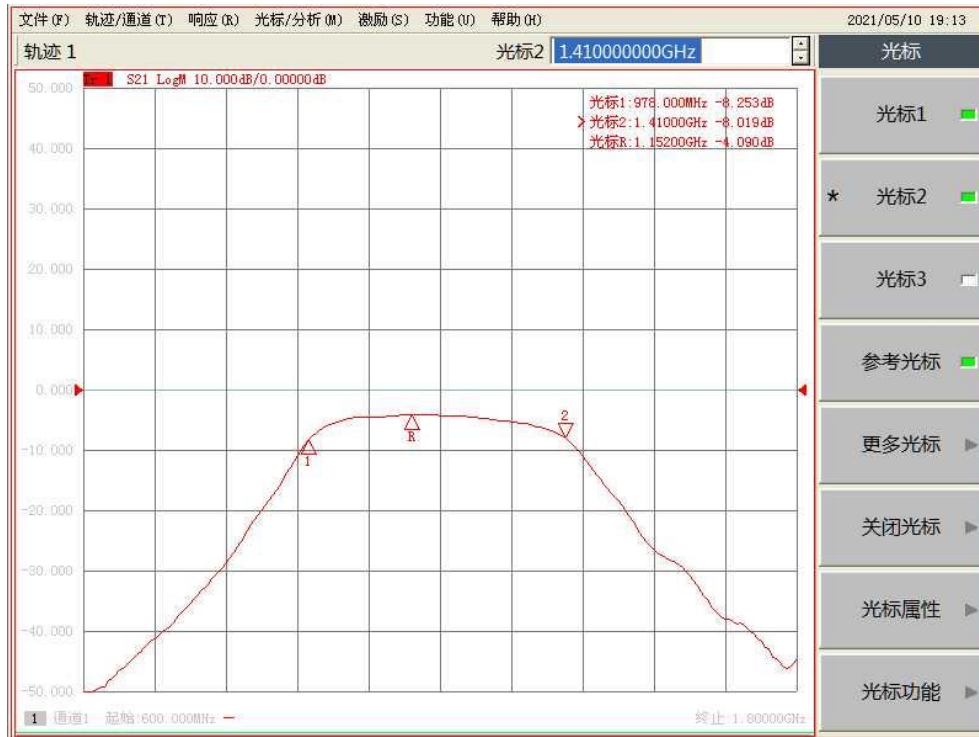


## 7) 带通滤波器正向相位

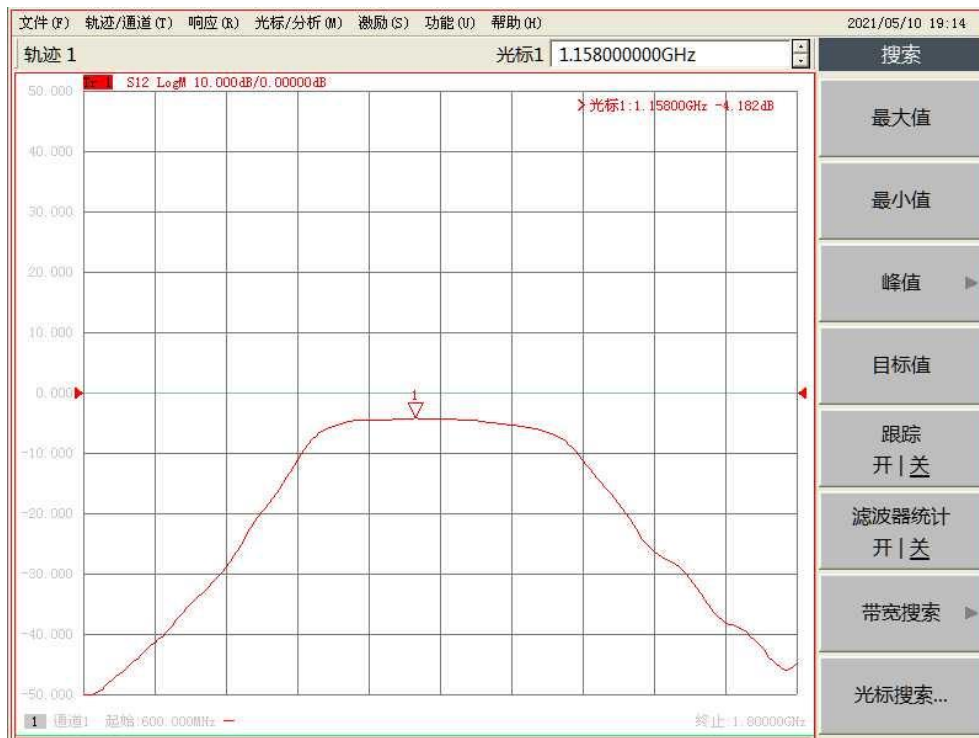




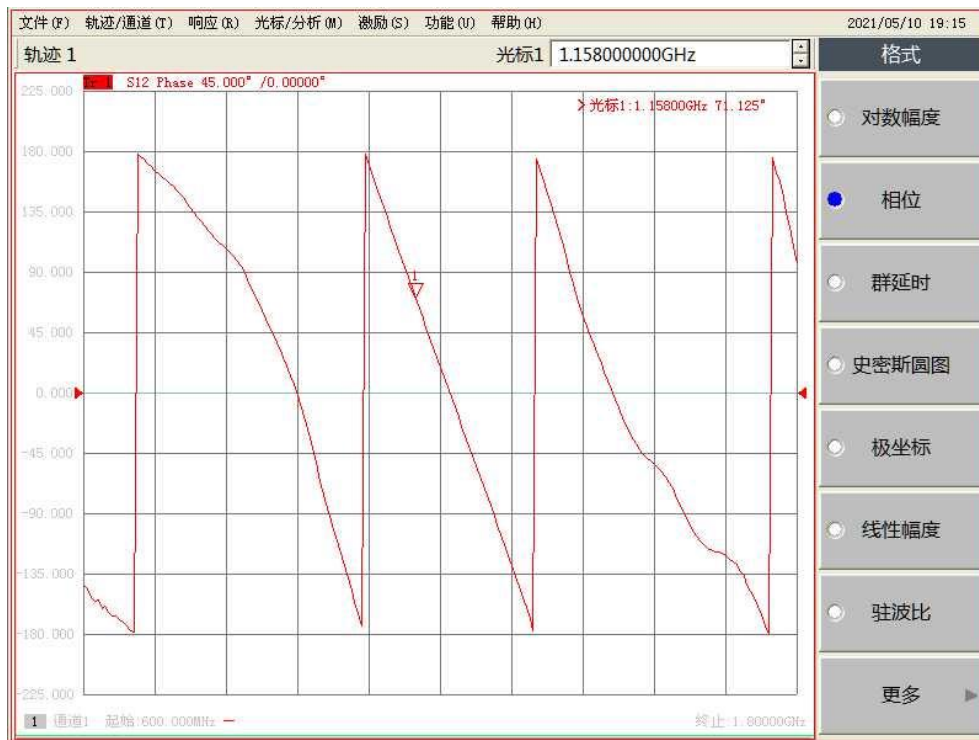
## 8) 带通滤波器带宽



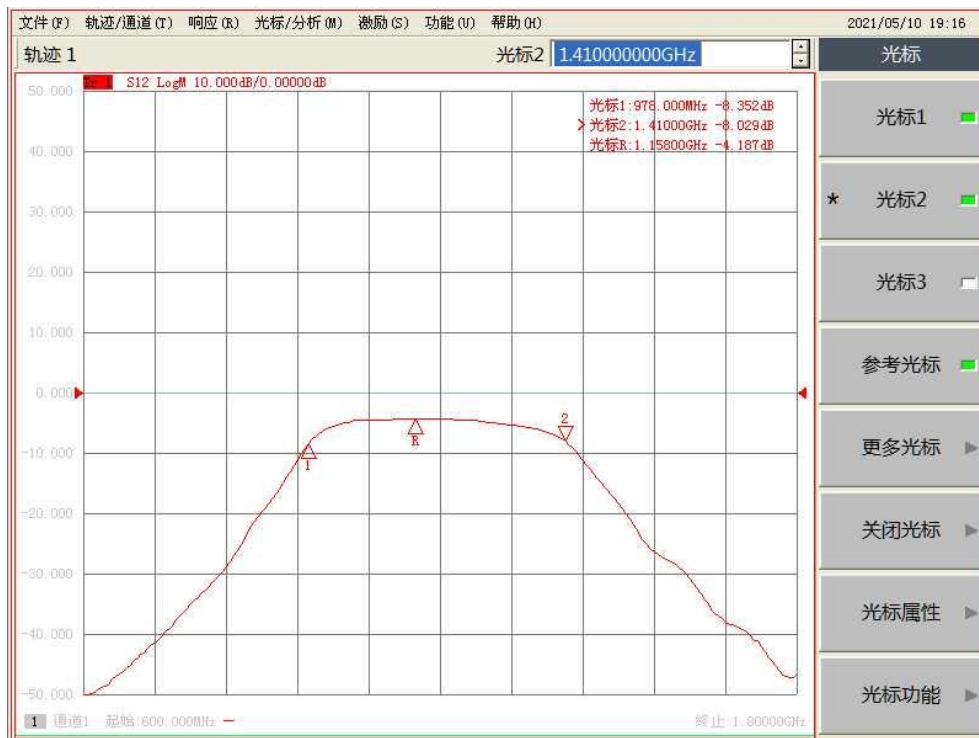
## 9) 带通滤波器反向插入损耗 S12:



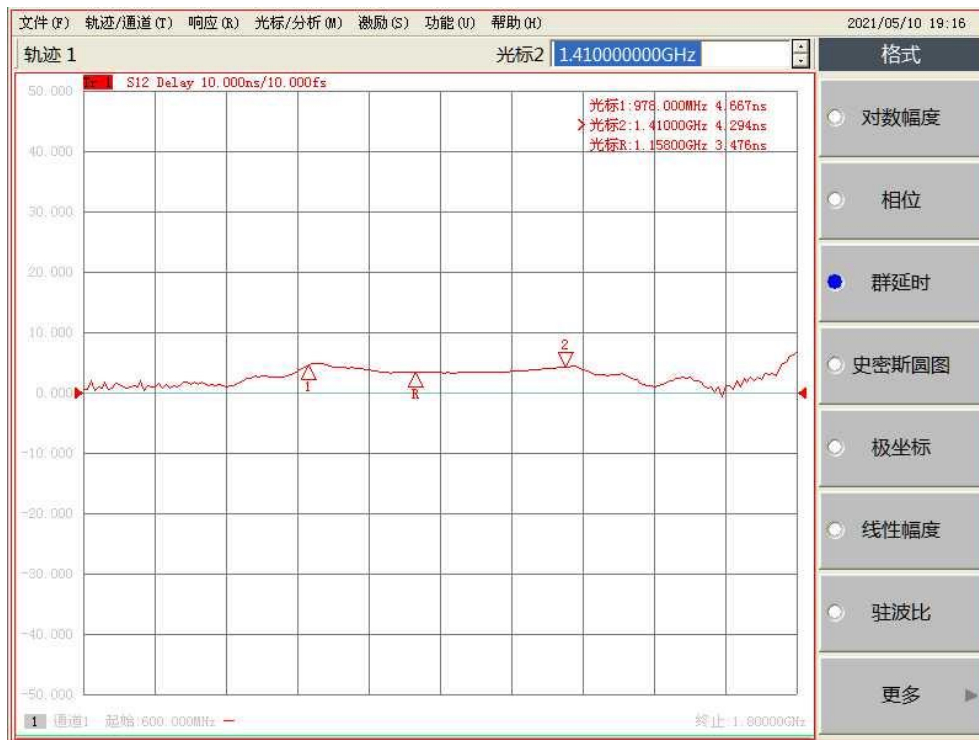
## 10) 带通滤波器反向相位



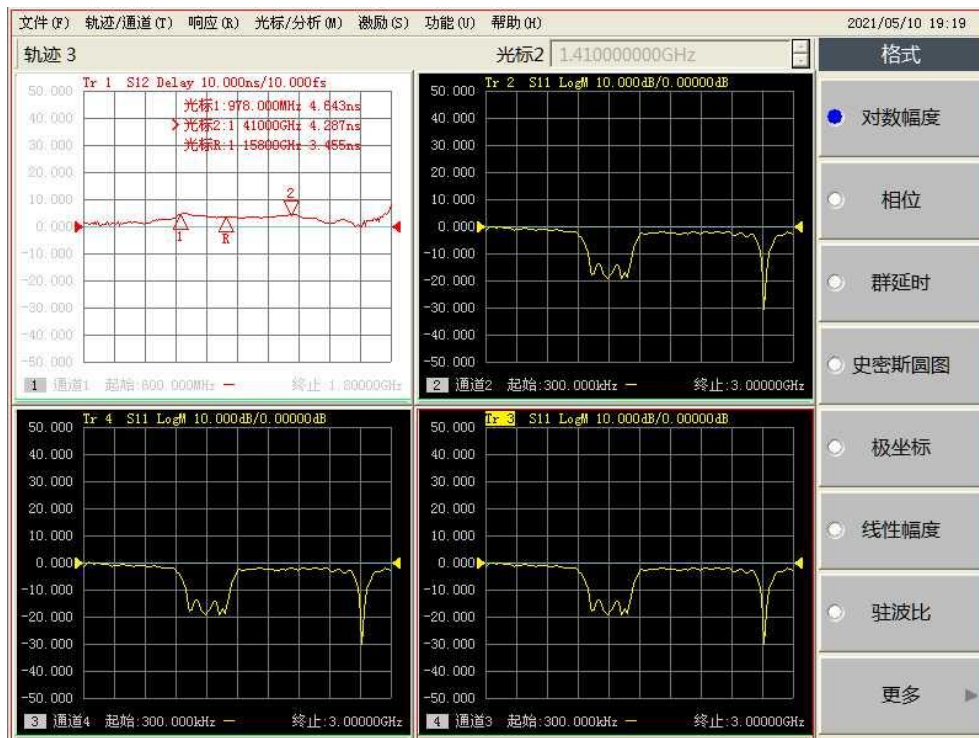
## 11) 带通滤波器反向带宽



## 12) 带通滤波器群延时

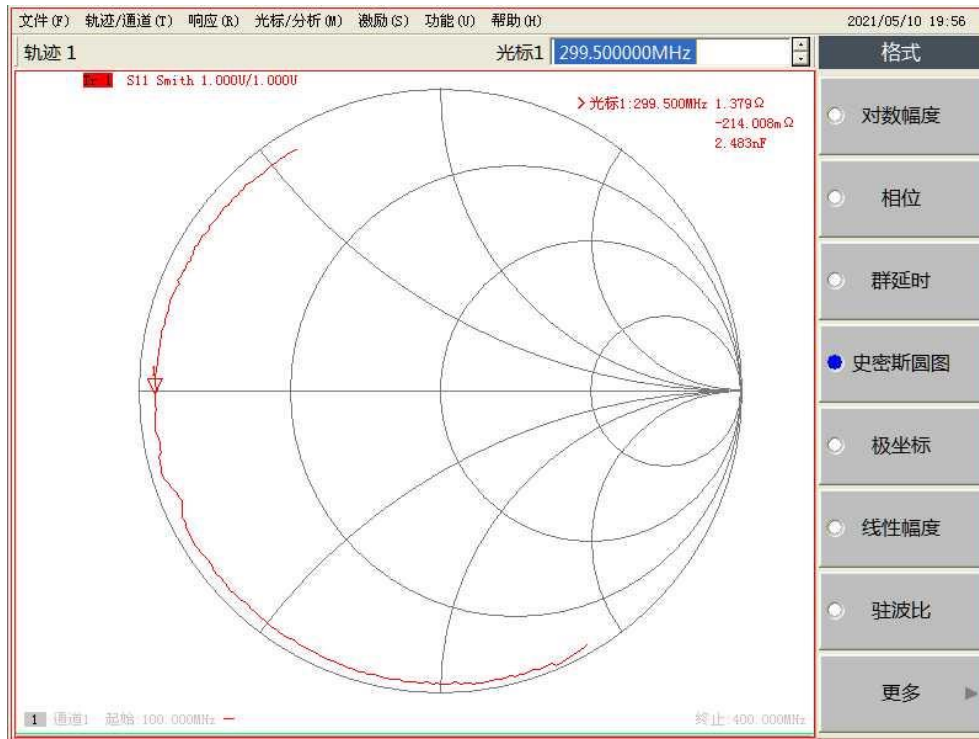


## 13) 带通滤波器 4 通道同时显示

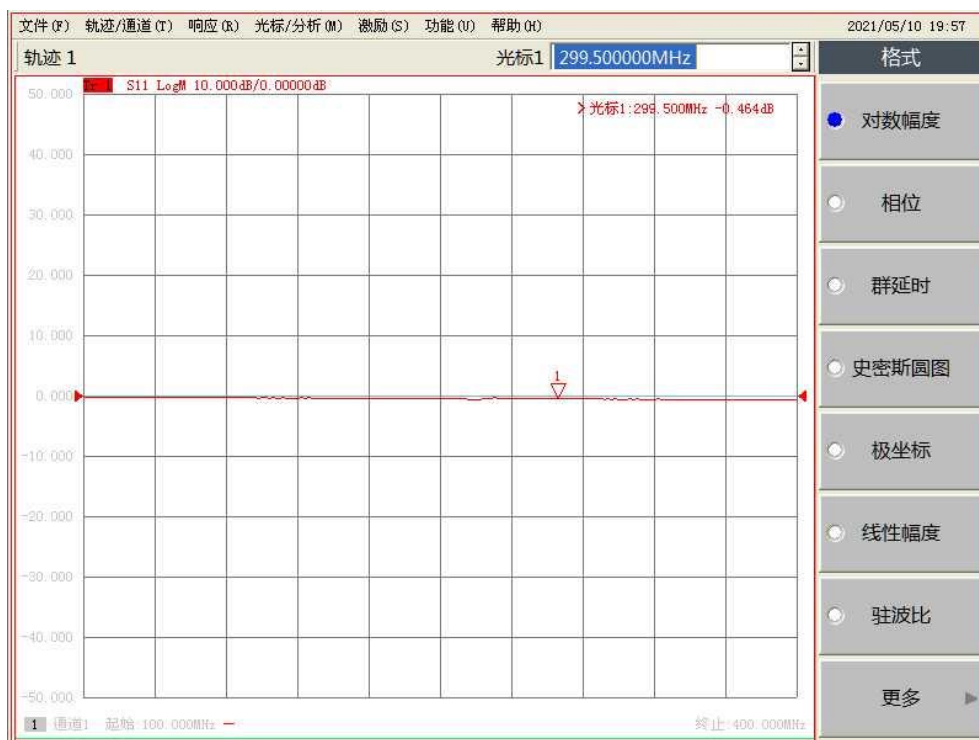


## 2. 微带传输线测量实验

### 1) 传输线开路史密斯



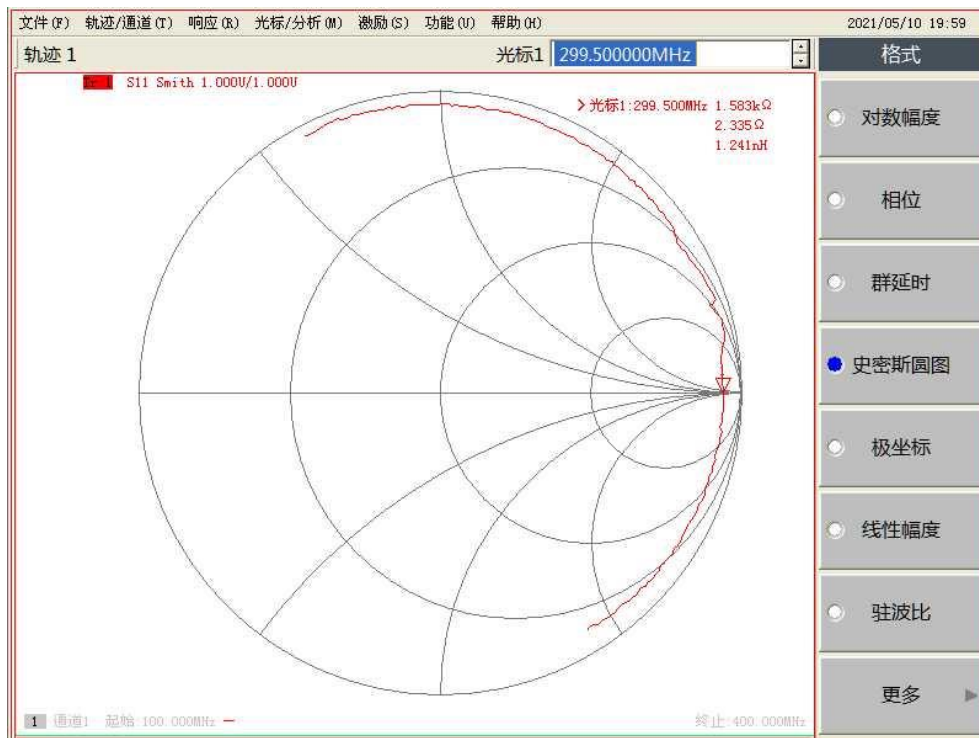
### 2) 传输线开路对数幅度



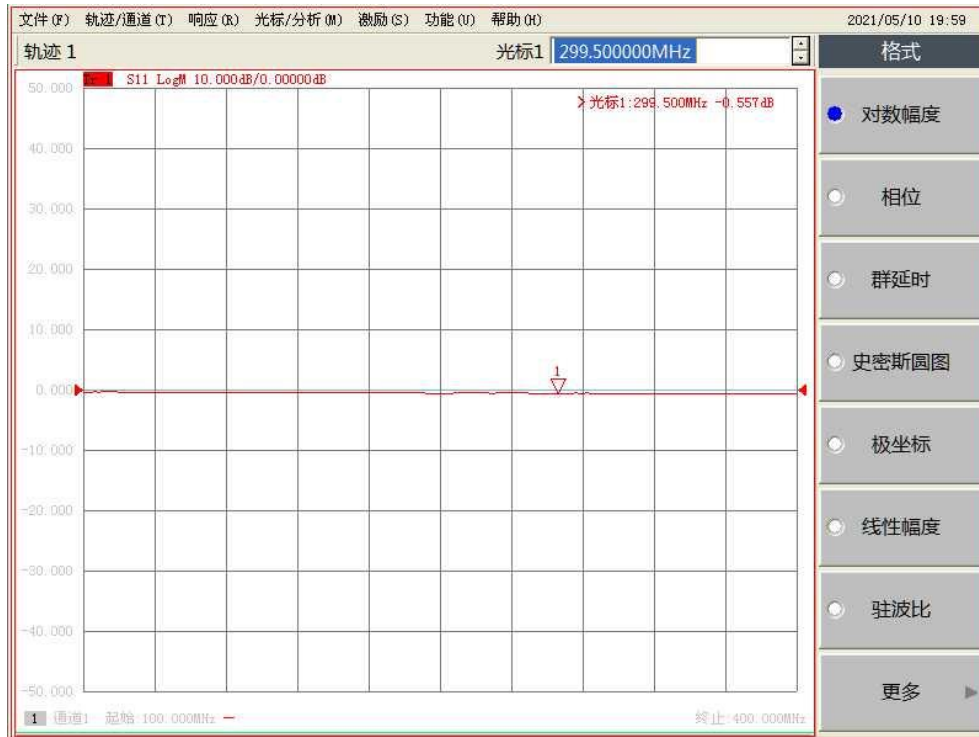
### 3) 传输线开路驻波比



### 4) 传输线短传输线短路史密斯



## 5) 传输线短路对数幅度

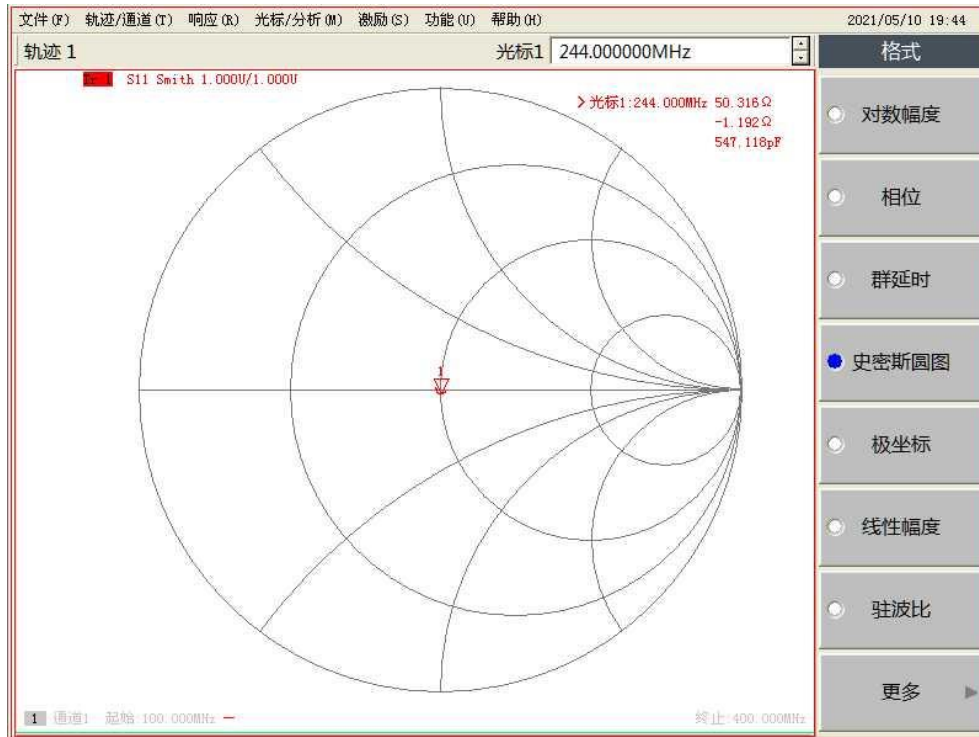


## 6) 传输线短路驻波比

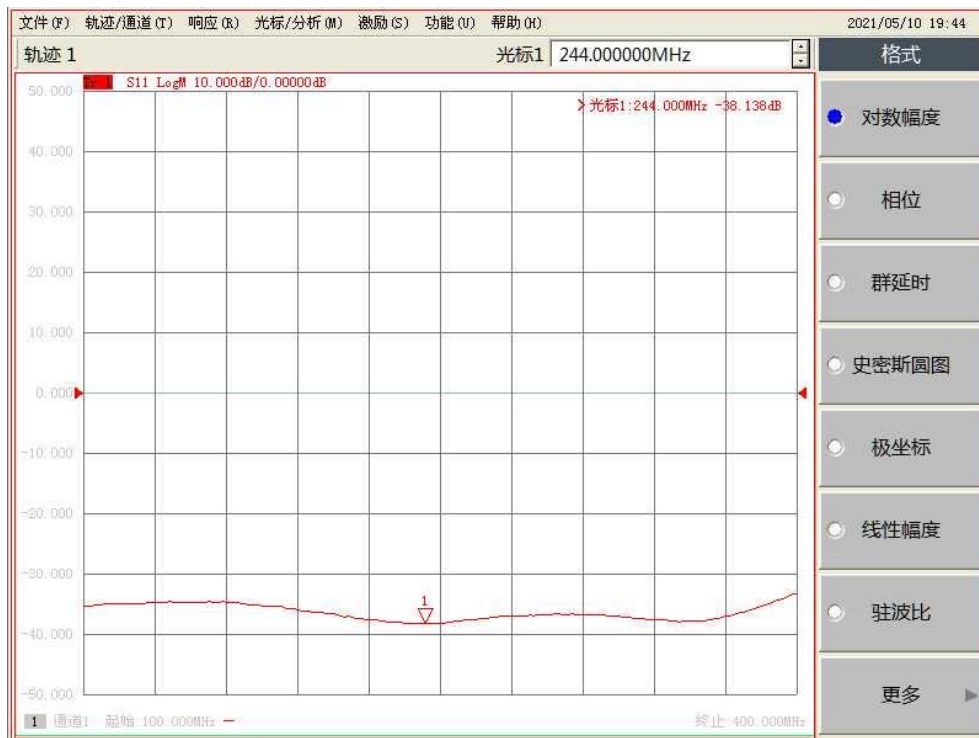




## 7) 传输线匹配史密斯



## 8) 传输线匹配对数幅度



9) 传输线匹配驻波比



根据实验二的数据作表格得：

传输线状态	开路点	短路点	匹配负载
频率	301.000MHz	290.500MHz	244.000MHz
实部	1.602 $\Omega$	1.564k $\Omega$	50.316 $\Omega$
虚部	92.691m $\Omega$	14.863 $\Omega$	1.192 $\Omega$
驻波比	31.533	30.786	1.025
反射系数	-0.539dB	-0.617dB	-38.138dB



## 六、 数据处理

### 1. 矢量网络分析仪操作实验

散射参量 S 的定义为:

$$\begin{bmatrix} \tilde{U}_{r1} \\ \tilde{U}_{r2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{U}_{i1} \\ \tilde{U}_{i2} \end{bmatrix}$$

散射参量矩阵[S]中各元素的意义分别为:

S<sub>11</sub>: 当输出端接匹配负载时, 输入端口的电压反射系数;

S<sub>22</sub>: 当输入端接匹配负载时, 输出端口的电压反射系数;

S<sub>12</sub>: 当输入端接匹配负载时, 输出端口到输入端口的电压传输系数;

S<sub>21</sub>: 当输出端接匹配负载时, 输入端口到输出端口的电压传输系数。

因此网络输入端电压反射系数的模  $|\Gamma| = |S_{11}|$ , 故输入驻波比为:

$$\rho = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

回波损耗(return loss)L<sub>r</sub>: 回波损耗用来描述反射系数的幅度,有时又称为失配损耗。

它与负载反射系数大小有关,其绝对值越大,则表明负载匹配越好,反射越小。引入回波损耗以后,反射系数的大小就可用 dB 形式来表示。

$$L_r = 10 \lg \frac{1}{|\Gamma|^2} = -20 \lg |\Gamma| (dB) = -20 \lg |S_{11}| (dB)$$

插入损耗 (Insertion loss)IL: 插入损耗定义为网络输出端接匹配负载时,网络输入端入射波功率 P<sub>i</sub> 与负载吸收功率 P<sub>L</sub> 之比,即:

$$IL = \frac{P_i}{P_L} \Big|_{\tilde{U}_{r2}=0} = \frac{|\tilde{U}_{i1}|^2}{|\tilde{U}_{r2}|^2} = \frac{1}{|S_{21}|^2}$$

用分贝表示,为:

$$IL = 10 \lg \frac{1}{|S_{21}|^2} (dB)$$

## 2. 微带传输线测量实验

### 10) 匹配负载:

传输线输入阻抗的表达式为:

$$Z_{in}(d) = Z_0 \frac{Z_L + j Z_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + j Z_L \tan(\beta d)}$$

我们可以利用上式分析负载阻抗  $Z_L$  沿着特性阻抗  $Z_0$ , 长度为  $d$  的传输线是如何变换的, 它已通过波数  $\beta$  考虑到了工作频率的影响,  $\beta$  能用频率和相速度或者波长表示, 它们分别是  $\beta = (2\pi f)/v_p$  和  $\beta = 2\pi/\lambda$ 。

此时应有:

1. 输入阻抗等于特性阻抗  $50\Omega$ , 由实验数据可知输入阻抗已经很接近特性阻抗的值。
2. 驻波比等于 1, 实验记录为 1.025 与理论值接近。
3. 反射系数等于 0, 实验记录为 -38.138dB, 反射系数很小可以看做 0。

### 11) 短路

假如  $Z_L = 0$  (负载相当于短路线), 输入阻抗表达式可表示为:

$$Z_{in}(d) = j Z_0 \tan(\beta d)$$

我们注意到阻抗随着负载的距离增加而周期性变化。  $d = 0$  阻抗等于负载阻抗, 其值为零, 随着距离  $d$  的增加, 线路的阻抗为纯虚数, 而数值随着增加。在此所在位置阻抗为正, 表示线路呈现电感特性。当  $d$  达到  $1/4$  波长时, 阻抗等于无穷大, 这代表开路线情况。进一步增大距离, 出现负的虚阻抗, 它等效为电容特性。当  $d = \lambda/2$  时阻抗变为零, 而当  $d > \lambda/2$  时则又重复一个新的周期。

此时应有:

1.  $1/4$  波长处输入阻抗等于无穷大。

实验数据为: 实部:  $1.564k\Omega$  虚部:  $-14.863\Omega$ . 可以看做无穷大。

2. 驻波比理论上是无穷大, 但实际上不能达到, 实验记录中驻波比为 30.786

已经很大了

3. 理论上此时的反射系数模值为 1，实验记录数据为-0.617db=0.86756，与 1 很接近。

## 12) 开路

假如  $Z_L \rightarrow \infty$ ，输入阻抗简化为：

$$Z_{in}(d) = -j Z_0 \cot(\beta d)$$

可以看到，开路传输线的输入阻抗也是随着负载的距离增加而周期性变化的。类似于短路传输线，也可以对开路传输线进行周期性分析。

此时应有：

1. 1/4 波长处输入阻抗等于短路.

实验数据为实部：实部：1.602Ω 虚部：-92.691mΩ.可以看做短路。

2. 驻波比理论上是无穷大，但实际上不能达到，实验记录中驻波比为 31.533 已经很大了

3. 理论上此时的反射系数模值为 1，实验记录数据为-0.539dB=0.883283，与 1 很接近。

## 七、 课后思考题

1. 从图 1-3 上分析，如果测量被测微波器件的 2 端口 S 参数，其内部开关将处于什么工作状态？

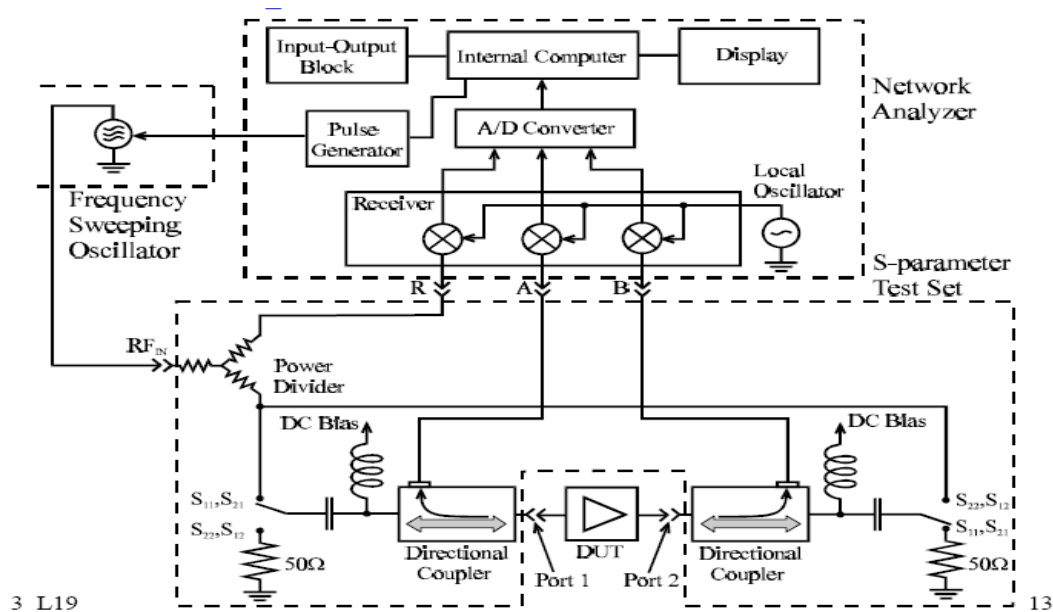


图 1-3 AV3620 型矢网整机内部结构框图

答：左边开关接（S11, S21），右边开关接（S22, S12）。

## 2. 对记录的数据进行分析，并思考为什么开路负载时在短路点的光标，在接上短路负载后会在开路点附近？

答：因为微波传输线具有  $\lambda/4$  变换性，当终端接开路负载时， $\lambda/4$  处为短路点；当接上短路负载时， $\lambda/4$  处为开路点，因此光标会在开路点附近。

## 八、 实验总结

通过本次实验，我初步掌握了有关 AV36580 的基本操作，同时，我对四分之一传输线特性也有了更加深刻的了解。本次实验中，我深刻的感受到在做实验之前一定要对基础原理有清楚地认识，才能对所看到的实验现象做出正确的解释。还有，我们在实验中要合理的按照要求步骤操作仪器，必要时需要反复重复当前步骤来得到得到精确的结果。

最后，这是我们第一次接触网络分析仪这种实验仪器，在实验过程中难免有些生疏，感谢黄老师对我们的悉心指导！