

**DH406A0 型**  
**微波实验系统**  
(波导参数测试系统)  
**使用说明书**

北京大华无线电仪器厂

# 目 录

1. 实验系统概述.....	2
2. 主要技术规格.....	2
3. 系统试验方法.....	2
4. 系统的成套性.....	12
5. 产品质量保证.....	12

## 1. 实验系统概述

本系统是为适应高等院校近代物理实验而配置的微波参数实验系统。它是由三分微波波导元件组成，各学校可根据教学试验大纲要求，与选件配套组成各种试验系统，该系统主要功能可使学生通过实验学习并掌握下列基本知识：



- (1) 了解各种微波器件
- (2) 了解微波工作状态及传输特性
- (3) 了解微波传输线场型特性
- (4) 熟悉驻波、衰减、波长（频率）和功率的测量
- (5) 学会测量微波介质材料的介电常数和损耗角正切值

## 2. 主要技术规格：

- (1) 频率范围： 8600~9600MHz
- (2) 波导标准： BJ100 （GB11450.2-89）
- (3) 法兰盘型号： FB100
- (4) 环境条件： 按电子测量仪器环境试验总纲（GB6587.1-86）第二组标准
- (5) 供电要求： 试验用各种仪器均需用交流稳压电源

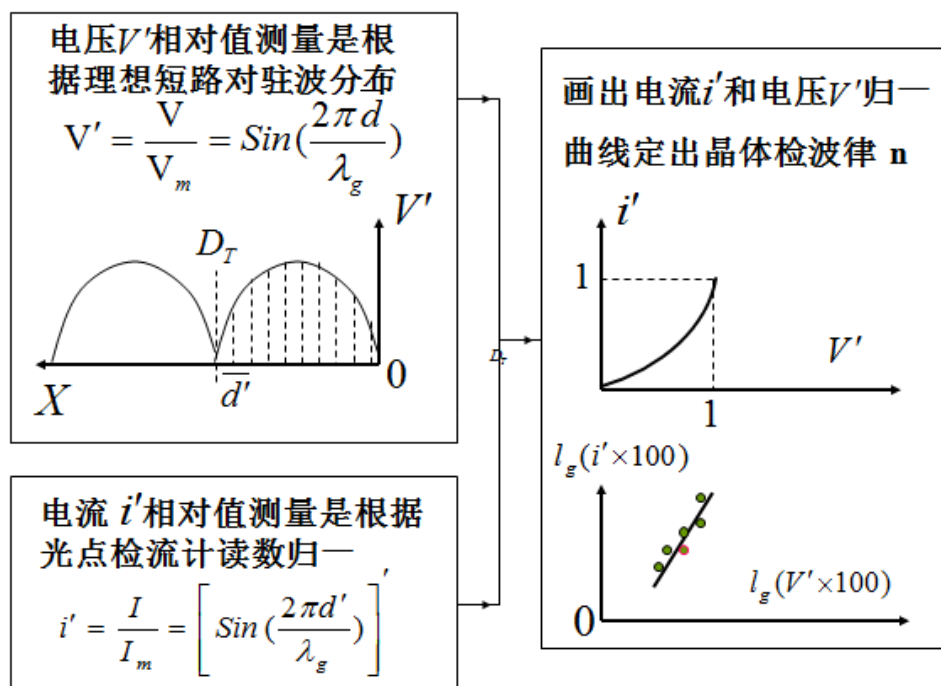
## 3. 系统试验方法：

微波实验系统的使用在教材中有较为详尽的论述，本说明书只简单介绍一些测量方

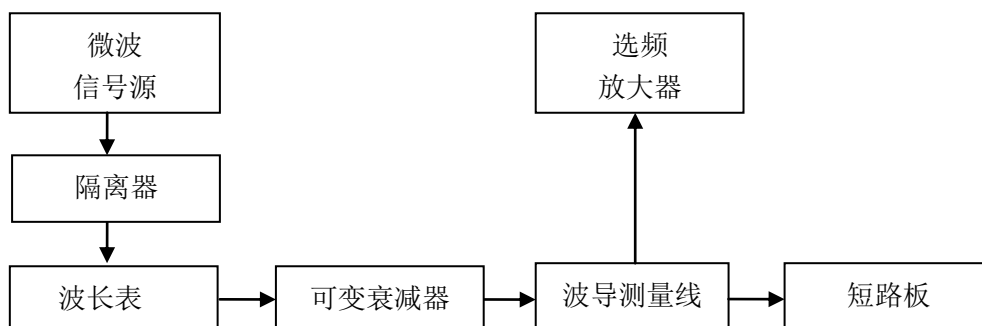
法。各高校可结合教学大纲，选取不同的选件扩展各种试验。（选件见附录）

### 3.1 晶体定标

波导测量线的基本原理是通过伸入测量线中的可移动探针检取内部场的电压信号来了解待测负载的驻波场分布情况。实际上，探针电压是通过晶体检波转化为电流由检流计指示的。因此，测量晶体的电压与电流关系  $I = c * V^n$ ，即确定晶体检波律  $n$  是十分重要的基本实验。



原理图



图一 晶体定标测量框图

3.1.1 按图一所示的框图连接成微波实验系统。

3.1.2 调整微波信号源，使其工作在方波调制状态。

3.1.3 用交叉读数法测量波导波长  $\lambda_g$ （具体步骤可见 3.5）。

3.1.4 将探针移动到波腹位置，调可变衰减器使选频放大器指示为 800。

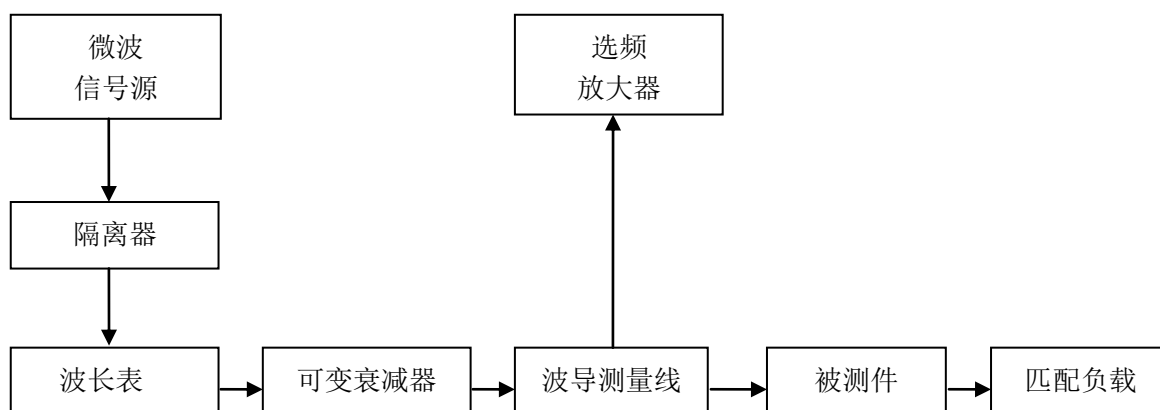
3.1.5 在波节点至波腹点之间取 10 点，电表读数 80,160,240.....800。从波节点开始将探

针逐次移动到这些点。记下这些点处所对应探针的读数 $D_1, D_2, D_3 \dots \dots D_{11}$ ，记录数据于表中。

3.1.6 计算相对电压  $V' = \sin \frac{2\pi d}{\lambda_g}$ ，式中 $\bar{d} = D_k - D_{\min}$ ，其中 $D_{\min}$ 为波节处探针读数。以 $V'$ 为横轴以 $i'$ 为纵轴将它们的数据标在坐标纸上，连成光滑曲线。

3.1.7 将公式 $i' = [\sin \frac{2\pi d}{\lambda_g}]^n$ 两边取对数解出检波律。

### 3.2 直接法测量驻波比



图二 驻波测量框图

3.2.1 按图二所示的框图连接成微波实验系统。

3.2.2 调整微波信号源，使其工作在方波调制状态。

3.2.3 左右移动波导测量线探针使选频放大器有指示值。

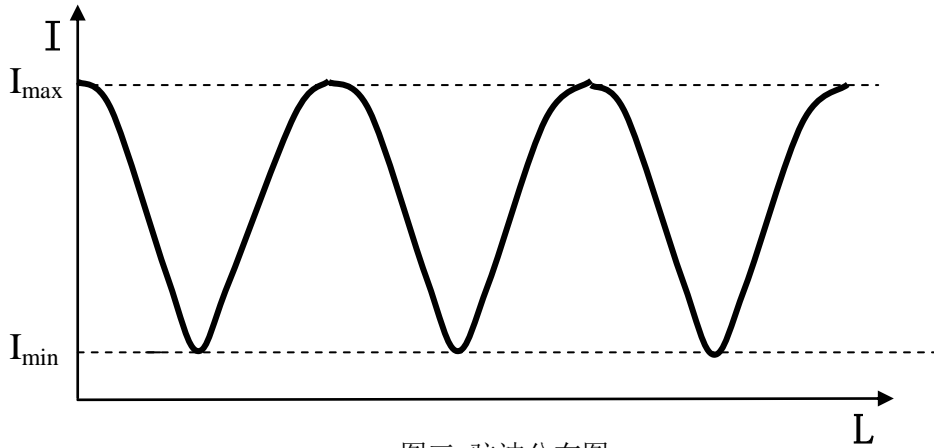
3.2.4 用选频放大器测出波导测量线位于相邻波腹和波节点上的  $I_{\max}$  和  $I_{\min}$ 。

3.2.5 利用晶体定标曲线查出相对应的  $E_{\max}$  和  $E_{\min}$ ，驻波比  $\rho = E_{\max}/E_{\min}$ 。

当检波晶体工作在平方律检波情况(即  $n=2$ )时，驻波比 $\rho$ 为：

$$\rho = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$$

其驻波分布如图三：

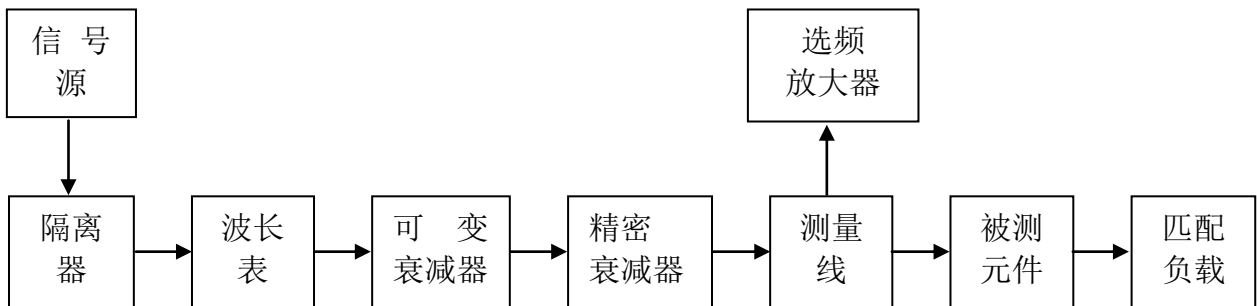


图三 驻波分布图

其中：**I**：为选频放大器的指示值，**L**：为驻波在波导测量线中的相对位置

### 3.3 大驻波系数的测量

当被测件驻波系数很大时，驻波波腹点与波节点的电平相差较大，在一般的指示仪表上，很难将两个电平同时准确读出，晶体检波律在相差较大的两个电平可能也不同，因此不能将它们相比求出驻波系数。下面介绍用功率衰减法测量大驻波系数。



图四：功率衰减法连接框图

3.3.1 按图三连接仪器，使系统正常工作，精密衰减器置于“零”衰减刻度。

3.3.2 将测量线的探针调到驻波波节点，调节精密可变衰减器，使电表指示在 80 刻度附近，并记下该指示值。

3.3.3 将测量线的探针调到驻波波腹点，并增加精密衰减器的衰减量，使电表指示恢复到上述指示值，读取精密衰减器刻度换算出衰减量的分贝值  $A$ 。被测驻波系数为：

$$\rho = 10^{A/20}$$

### 3.4 频率测量（谐振腔法）

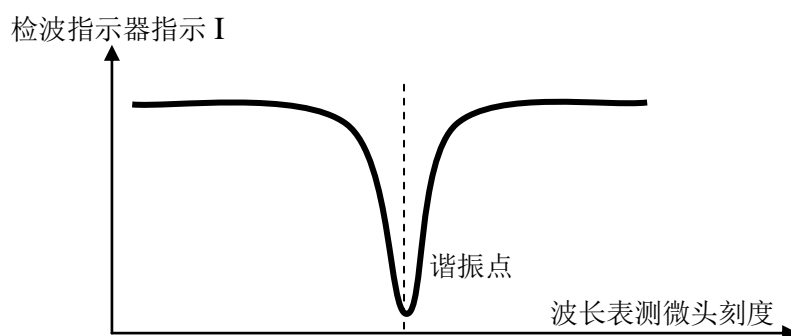
微波波长表是一种利用谐振现象测量波长的仪器，由可调波导谐振腔做成。谐振频

率  $f$  与调谐活塞的位置之间的关系预先用已知频率标准定标, 根据活塞的位置可确定波的波长。波长表的腔体内有一个输入耦合装置, 谐振时, 通过耦合; 腔内建立起较强的振荡, 使外电路输出指示  $I$  最小。

3.4.1 按图二所示的框图连接微波实验系统。

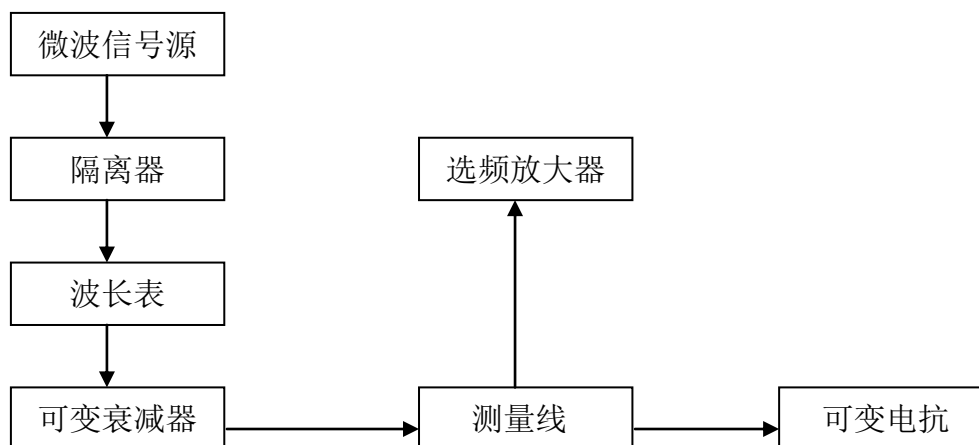
3.4.2 将检波器及检波指示器接到被测件位置上。

3.4.3 用波长表测出微波信号源的频率。旋转波长表的测微头, 当波长表与被测频率谐振时, 将出现吸收峰。反映在检波指示器上的指示是一跌落点, (参见图五) 此时, 读出波长表测微头的读数, 再从波长表频率与刻度曲线上查出对应的频率。



图五 波长表的谐振点曲线

### 3.5 波导波长的测量:



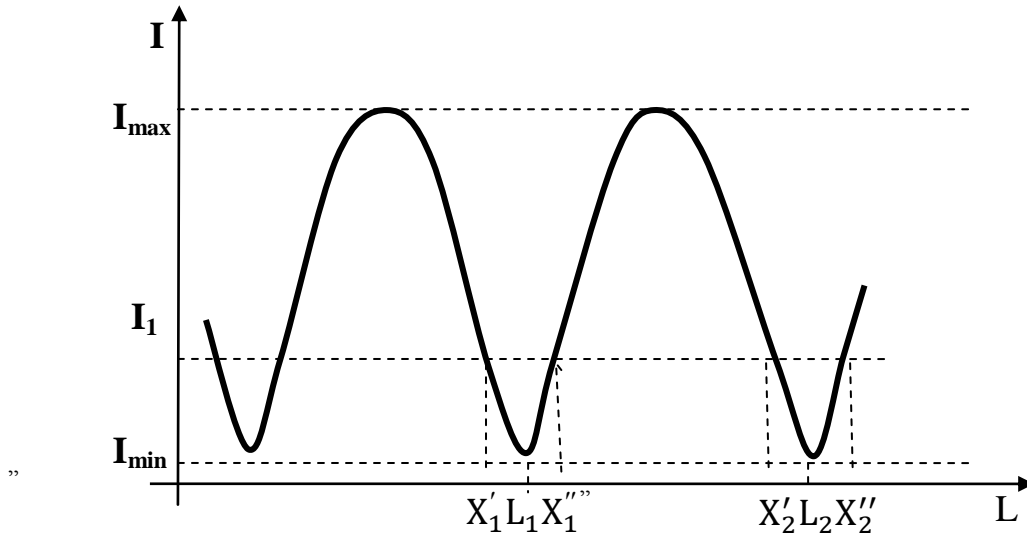
图六 波导波长测量系统框图

3.5.1 按图六连接测量系统。由于可变电抗的反射系数接近 1, 在测量线中入射波与反射波的叠加为接近纯驻波的图形, 如图六所示, 只要测得驻波相邻节点得位置  $L_1$ 、 $L_2$ , 由  $\lambda_g = 2(L_2 - L_1)$ , 即可求得波导波长  $\lambda_g$ 。

3.5.2 为了提高测量精度, 在确定  $L_1$ ,  $L_2$  时, 可采用等指示度法测出最小点  $I_{\min}$  对应的

L (参看图七), 即可测出  $I_1$  ( $I_1$  略大于  $I_{\min}$ ), 相对应的两个位置  $X'_1, X''_1$ , 则:  $L_1 = \frac{X'_1 + X''_1}{2}$ ,  
 $L_2 = \frac{X'_2 + X''_2}{2}$ 。

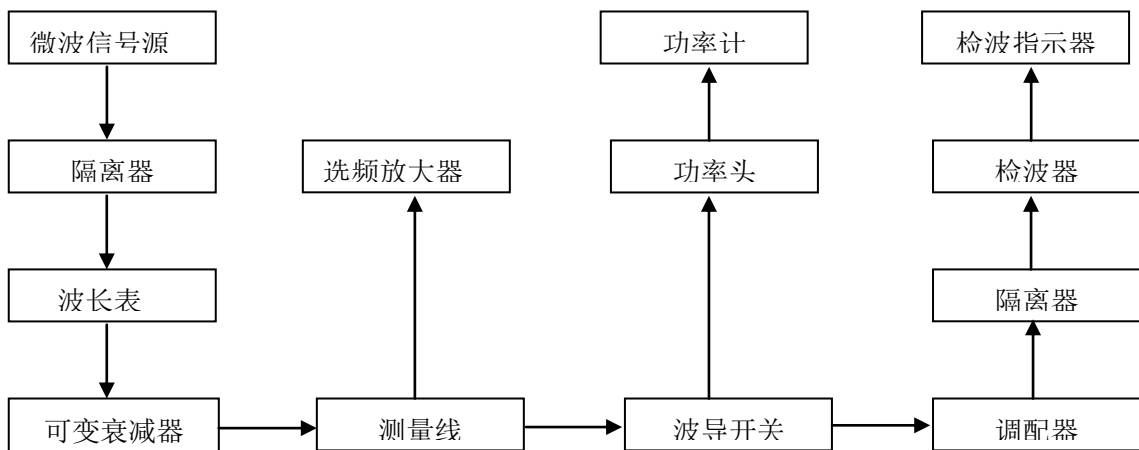
同理: 即可求得精度较高的  $\lambda_g$ 。



图七 电场沿测量线分布图

### 3.6 功率的测量

微波功率是微波的一个基本物理量, 微波功率测量是微波的三个基本测量之一。在矩形波导中 (非 TEM 波) 电流、电压失去唯一性, 只能用等效电流、电压表示, 但输出功率仍然是确定的。



图八功率测量微波系统框图

按图八连接仪器, 使系统正常工作。注意: 开机前将系统中的全部仪器必须可靠接地, 否则, 功率头极易烧毁。



### 3.6.1 相对功率测量:

波导开关旋至检波器通路, 当检波器工作在平方率检波时, 电表上的读数  $I$  与微波功率成正比: 电流表的指示  $I \propto P$ , 即表示为相对功率。

### 3.6.2 绝对功率测量:

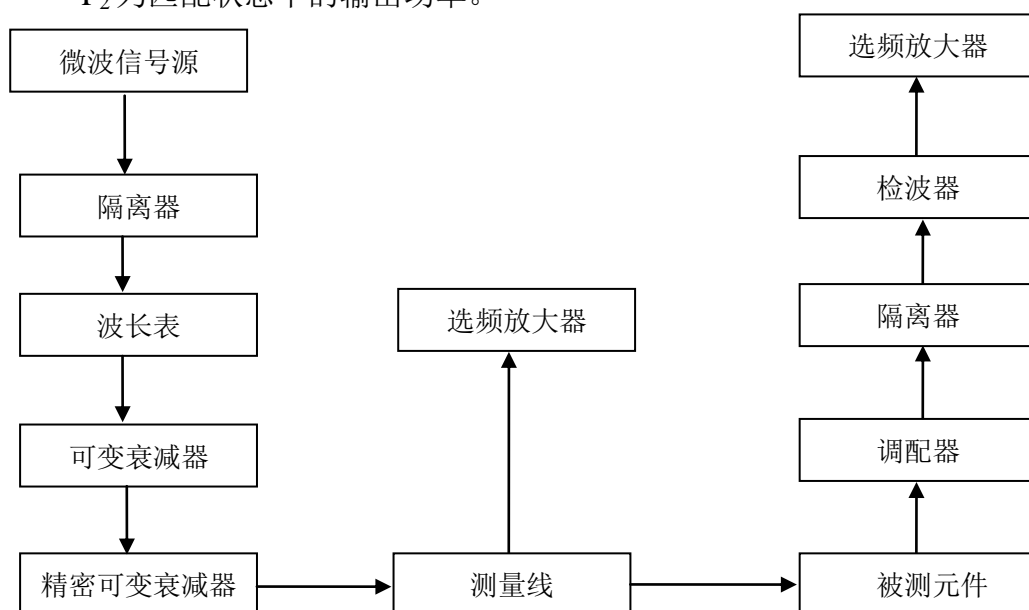
波导开关旋至功率计通路, 用功率计可测得绝对功率值。

## 3.7 衰减的测量

定义: 衰减量  $A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}$

其中:  $P_1$  为匹配状态下的输入功率。

$P_2$  为匹配状态下的输出功率。



图九 衰减器测量微波系统框图

3.7.1 直接测量法: 按图九所示的框图连接微波系统, 使微波信号源处于最佳工作状态。

接入被测器件前, 调整调配器, 使测量线上测得得检波部分为匹配状态, 并从指示器上读得电流  $I_1$ 。

接入被测器件后, 从指示器上读得电流  $I_2$ 。当检波器为平方律检波时:

$$A = 10 \log \frac{I_1}{I_2}$$

3.7.2 高频替代法

被测器件接入前，调节精密可变衰减器至  $A_1$ ，使指示器指示为  $I$ 。被测器件接入后，调节精密可变衰减器至  $A_2$ ，使指示器指示仍为  $I$ 。被测器件的衰减量  $A=A_2-A_1$ ，此法比直接测量法精确，其测试精度取决于衰减器的精度。

注意：进行衰减量测量时，被测器件应与测试系统匹配。

### 3.8 介质 $\epsilon$ 及 $tg\delta$ 测试系统

3.8.1 按图十连接测试系统，使信号源处于扫频工作状态。

3.8.2 在样品未插入腔内时，找出样品谐振腔的谐振频率。改变扫频信号源的扫频范围，从示波器观察谐振腔的谐振曲线，用波长表测量腔的谐振频率  $f_0$ （见图十一）。

利用波长表在示波器上形成的“缺口尖端”为标志点，测定示波器横轴的频标系数  $K$ （即单位长度所对应的频率范围，以兆赫/格表示）作法是：调节波长表，使吸收峰在示波器横向移动适当距离  $\Delta L$ ，由波长表读出相应的频率差值  $\Delta f$ ，则频标系数  $K=\Delta f/\Delta L$ ，一般可以做到  $K=0.4$  兆赫/格，谐振曲线的半功率频宽  $|f_1-f_2|$  可以由  $K$  和半功率点的距离  $|L_1-L_2|$  决定。

3.8.3 在样品插入后，改变信号源的中心工作频率，使谐振腔处于谐振状态，再用上述方法测量的谐振频率  $f_s$  和半功率频宽  $|f'_1-f'_2|$ 。

3.8.4 利用公式  $Q_L = \frac{f_0}{|f_1 - f_2|}$  算出  $Q_L$ ， $Q_L$ 。

$$Q'_L = \frac{f_s}{|f'_1 - f'_2|}$$

其中  $Q_L$  为样品放入前的品质因数； $Q_L$  为样品放入后的品质因数

利用公式

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{f_s - f_0}{f_0} = -2(\epsilon' - 1) \frac{V_s}{V_0} \\ \frac{1}{2} \Delta \left( \frac{1}{Q} \right) = 2\epsilon'' \frac{V_s}{V_0} \end{array} \right.$$

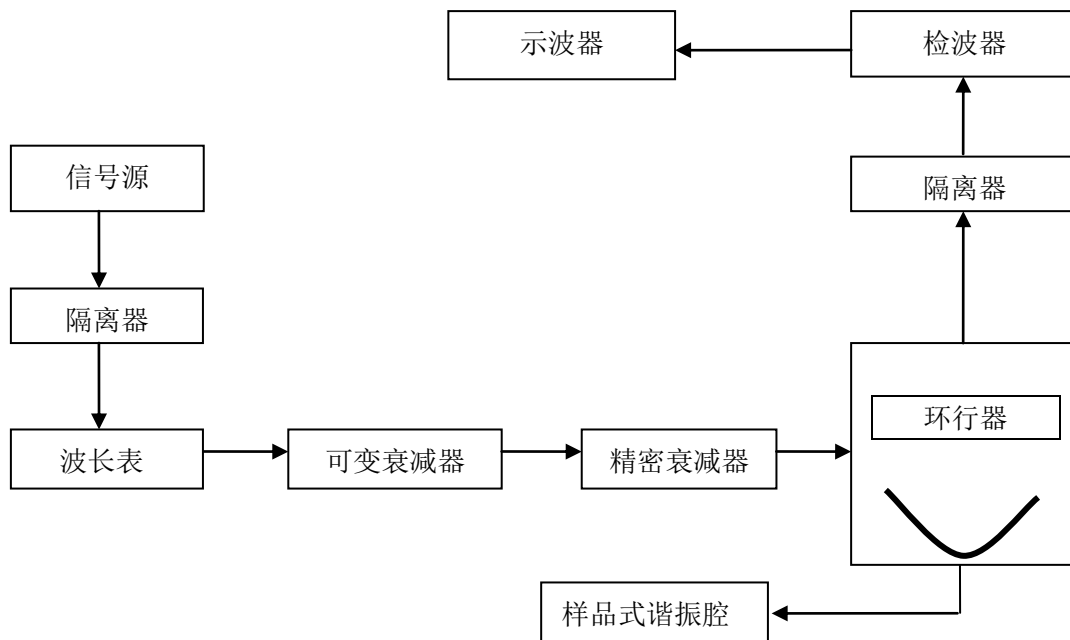
可以算出  $\epsilon'$ ， $\epsilon''$  和  $tg\delta = \epsilon''/\epsilon'$ ， $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$

$f_0$ .....谐振腔未放入样品前的谐振频率

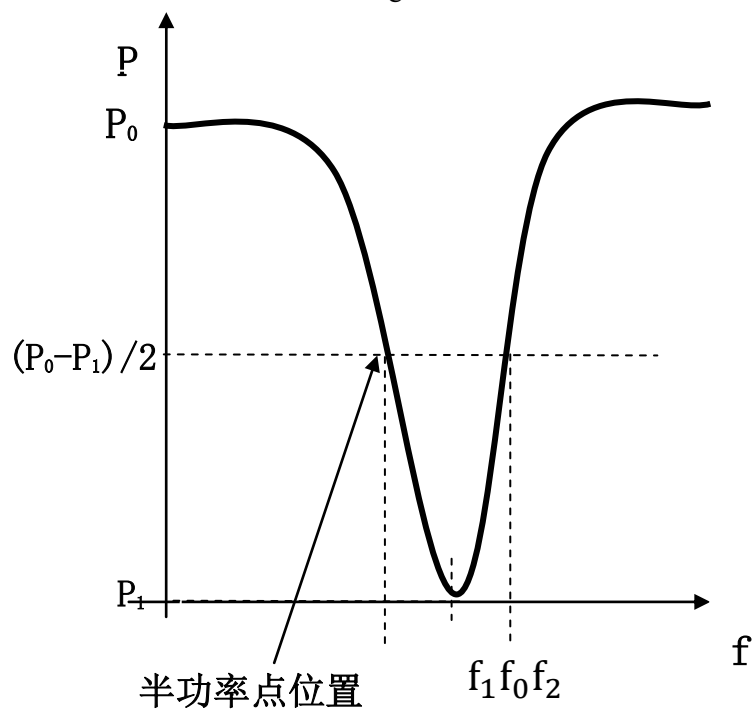
$f_s$ .....谐振腔放入样品后的谐振频率

$V_0$ .....谐振腔体积

$V_s$ .....样品的体积



图十：介质  $\epsilon$  及  $\text{tg}\delta$  测试系统方框图



图十一：样品谐振腔的谐振曲线

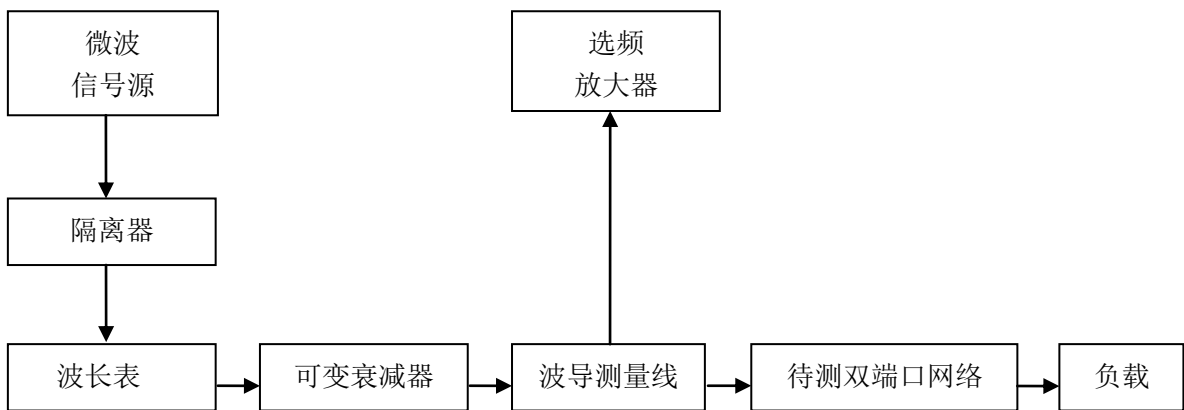
### 3.9 双端口网络参数测量

互易双口网络参数可用 S 参数矩阵加以表示：

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

互易条件  $S_{12}=S_{21}$  约束一个复矩阵参数。因此互易双口网络有三个独立复参数，三次独立测量，决定四个参数。

做法是：在双口网络的输出端分别接三个不同已知负载，形成三个单口网络，再分别测出三个不同的输入端阻抗或反射系数，利用 复矩阵变换关系，确定互易双口网络全部参数。



图十二：驻波测量框图

3.9.1 按图十二所示的框图连接成微波实验系统。

3.9.2 先不接双端口网络，测量线接短路板，测  $D_T$ 、 $\lambda_g$ 。

3.9.3 做开路负载，置探针于  $D_T$  处，现检波器指示为 0，测量线端接可变电抗器，调节电抗器，使电流指示最大，实现开路负载。

3.9.4 接待测双口网络，依次接短路、开路、匹配负载，在  $D_T$  靠信号源测量  $D_{min}$ ，并分别算出驻波比  $\rho_{ls}$ 、 $\rho_{lo}$ 、 $\rho_{lm}$ （计算方法见 3.2）。

3.9.5 根据公式  $\Gamma = \frac{\rho-1}{\rho+1}$  计算出  $\Gamma_{ls}$ 、 $\Gamma_{lo}$ 、 $\Gamma_{lm}$ 。

3.9.6 根据公式  $\Gamma_{ls} = S_{11} - \frac{S_{12}^2}{S_{22} + 1}$  计算散射参数[S]。

$$\Gamma_{lo} = S_{11} - \frac{S_{12}^2}{S_{22} - 1}$$

$$\Gamma_{lm} = S_{11}$$

#### 4.系统的成套性:

序号	名称	数量	序号	名称	数量
1	可变衰减器	1	16	失配负载 VSWR 1.5 或 2.0	1
2	波长表	1	17	失配负载 VSWR 6~7	1
3	检波器	1	18	短路板	1
4	电缆	1	29	样品谐振腔	1
5	检波指示器	1	20	通过式谐振腔	1
6	隔离器	2	21	耦合片	2
7	环行器	1	22	介质材料样片(有机玻璃)	3
8	可变电抗器	1	23	介质材料样片(聚四氟乙烯)	3
9	单螺调配器	1	24	介质材料样片(电工黑胶木)	3
10	H面 90 度弯波导	1	25	波导支架	4
11	H面波导开关	1	26	波导夹	6
12	直波导 B	1	27	螺钉	40 套
13	直波导 C	1	28	系统使用说明书	1
14	定向耦合器	1	29	合格证	1
15	匹配负载	1			

#### 5.产品质量保证

我厂自发货之日起 18 个月内, 如用户遵守运输、贮存和使用规则而产品质量低于技术标准规定时, 本厂负责免费修理。

\*附录：（实验系统选见表）

选件序号	配套系统仪器名称	型号	备注说明
选件一	三厘米固态信号源	DH1121C	1.可测耿氏管负阻特性 2.可测介质 $\epsilon$ 及 $\text{tg}\delta$
选件二	速调管信号源	WY-19A	1. 可测速调管工作特性 2. 可测介质 $\epsilon$ 及 $\text{tg}\delta$
选件三	三厘米测量线	DH364A00	
选件四	选频放大器	DH388A0	频率范围：400Hz~10KHz
选件五	厘米波功率计	DH4861B	频率范围：8.6~9.6GHz
选件六	精密衰减器	TS5A	
选件七	20MHz 示波器	通用	频率不低于 20MHz