

# 实验报告

9161040609

组

姓名李世源 同组人 许晓明

实验名称 电磁波参数的测定实验(-)

日期 2018 年 12 月 13 日

## 1. 实验目的

- 观察电磁波的传播特性。
- 通过测定自由空间中电磁波的波长 $\lambda$ ，来确定电磁波传播的相位常数 $k$ 和传播速度 $v$ 。
- 了解用相干波的原理测量波长的方法。

## 2. 实验设备

方度转台, 晶体检波器, 可变衰减器, 喇叭天线  
反射板, 固态信号源, 微安表。

实验仪器布置图如下:

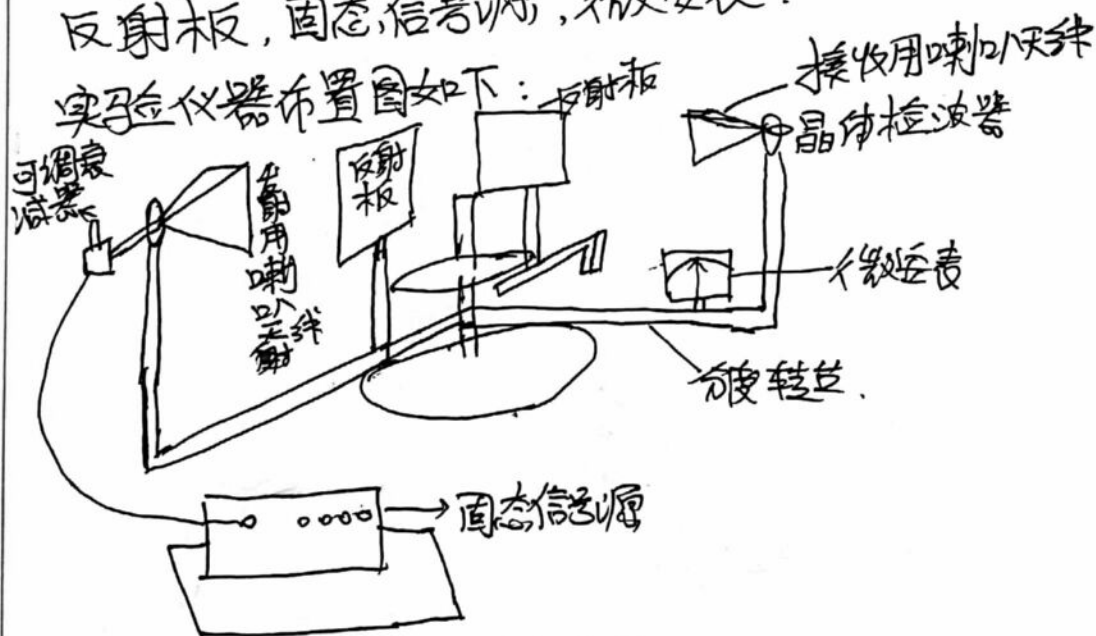


图- 实验仪器布置

其中, 固态信号源所产生的信号经可变衰减器至矩形喇叭天线, 在接收端用矩形喇叭天线接收信号, 接收到的晶体信号经检波器后通过微安表指示。

# 实验报告

班\_\_\_\_组\_\_\_\_  
实验名称\_\_\_\_

姓名\_\_\_\_同组人\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

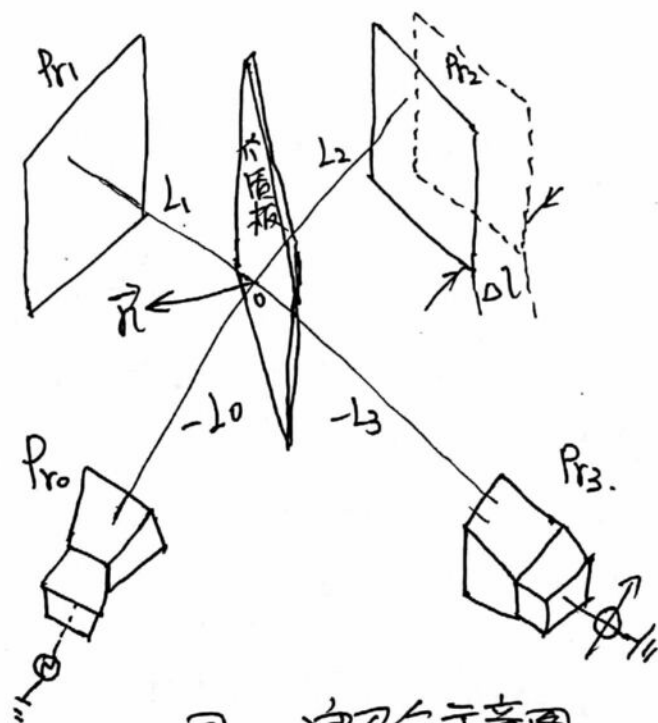
## 3. 实验原理

本实验用相干波原理, 通过测得的电磁波的波长  $\lambda$ , 再由关系式:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad v = \lambda f = \frac{2\pi f}{k} \dots\dots (1)$$

得到电磁波的主要参量  $k, v$  等。

实验示意图如图二所示。



图二 实验示意图

图中  $Pr_0, Pr_1, Pr_2$  和  $Pr_3$  分别表示辐射喇叭, 固定反射板, 可调反射板和接收喇叭, 图中介质板是一  $30 \times 30(\text{mm})^2$  的玻璃板, 它对电磁波进行反射, 折射, 可实

# 实 验 报 告

班 \_\_\_\_\_ 组 \_\_\_\_\_  
实验名称 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

## 互相关干波测试.

当入射波以入射角 $\theta$ ,向介质板斜投射时,在板分界面上产生反射波 $E^-$ 和折射波 $E'$ 。设入射波为垂直极化波,用 $R$ 表示介质板的反射系数,用 $T$ 分别表示由空气进入介质板再进入空气后的折射系数, $R$ 与 $T$ 为复数。另外固定后的驱动垂直金属反射板的反射系数为 $-1$ 。

假设发射的平面波为:

$$E^+ = E^0 e^{-jkl} \dots \dots \dots (2)$$

分析时, $l$ 为在喇叭天线 $Pr_0$ 发射的波传播方向上与相位参考重点所在的面之间的足距离(有正负),相位参考重点不妨选介质板的中心点。忽略介质板与金属板之间的多次作用效应,则在反射板1与反射板2处的入射场 $E^+$ 与反射场 $E^-$ 可表示为:

$$E_1^+ = RE^0 e^{(-jkl)} \Big|_{l=L_1} \dots \dots \dots (3)$$

$$E_1^- = -RE^0 e^{jkl(l-2L_1)} \Big|_{l=L_1}$$

$$E_2^+ = TE^0 e^{(-jkl)} \Big|_{l=L_2} \dots \dots \dots (4)$$

$$E_2^- = -TE^0 e^{jkl(l-2L_2)} \Big|_{l=L_2}$$

它们在接收喇叭 $Pr_3$ 处的场为:

$$E_1^- = -TRE^0 e^{jkl(l-2L_1)} \Big|_{l=L_3} \dots \dots \dots (5)$$

$$E_2^- = -RTE^0 e^{jkl(l-2L_2)} \Big|_{l=L_3}$$

# 实验报告

\_\_\_\_\_班\_\_\_\_\_组\_\_\_\_\_

实验名称\_\_\_\_\_

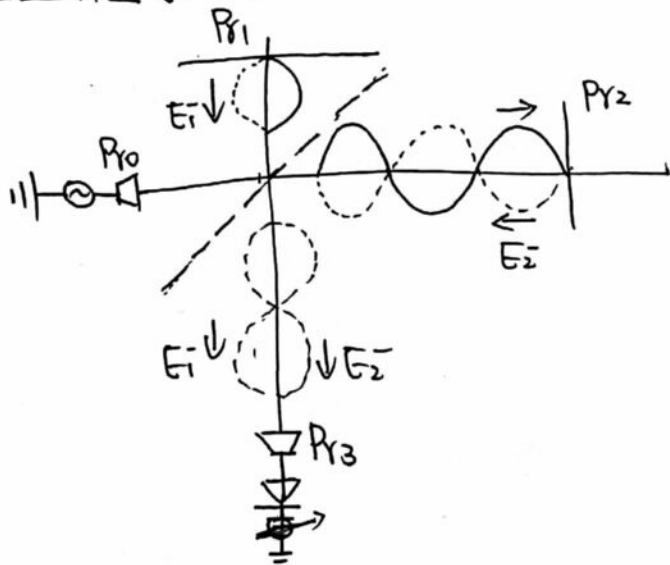
姓名\_\_\_\_\_同组人\_\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

由于它们同频同相化, 它们的相干合成后的场为:

$$\begin{aligned} E &= E_1 + E_2 \\ &= -T R E^0 e^{jk(-L_3 - 2L_1)} - R T E^0 e^{jk(-L_3 - 2L_2)} \\ &= -T R E^0 e^{-jkL_3} [e^{-2jkL_1} + e^{-2jkL_2}] \\ &= A [1 + e^{-j2k\Delta L}] \quad \dots \dots (6) \end{aligned}$$

其中,  $A = -TR E^0 e^{-jk_z L_3} e^{-jk_z L_1}$   
 $\Delta l = L_2 - L_1$

上述过程可以用图三来示意。



图三 波形图.

测量时,由于被测场E处于测试结构的近区场范围内,不完全满足理想平面波的特性,故会影响

# 实验报告

班\_\_\_\_组\_\_\_\_  
实验名称\_\_\_\_

姓名\_\_\_\_同组人\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

着重位置的均匀分布,而且使波幅值也有起伏。为了测准波长 $\lambda$ 的值,一般采用 $P_3$ 为量指示办法。由(6)式可发现,合成波中当 $e^{-j k \Delta L} = -1$ 时, $P_3$ 处的场为零。实验时,固定 $L, L_1, L_3$ ,移动 $L_2$ ,使得 $P_3$ 处的场为零。这时可得条件:

$$e^{-j k \Delta L} = -1 \Rightarrow 2k \Delta L_n = (2n+1)\pi \quad (n=0,1,2,\dots)$$

$$\Delta L_n = \frac{2n+1}{4}\lambda \quad \text{或} \quad L_{2n} - L_1 = \frac{2n+1}{4}\lambda \quad (n=0,1,2,\dots)$$

不难发现相邻两个零值的 $L_{2n}$ 与 $L_{2(n+1)}$ 之间的距离为 $\frac{\lambda}{2}$ ,从而达到测量目的。

$$n=0, \quad L_{20} - L_1 = \frac{2 \cdot 0 + 1}{4}\lambda \quad \text{得第一个零点位置 } L_{20}$$

$$n=1, \quad L_{21} - L_1 = \frac{2 \cdot 1 + 1}{4}\lambda \quad \text{得第二个零点位置 } L_{21}$$

⋮

$$n=N, \quad L_{2N} - L_1 = \frac{2 \cdot (N) + 1}{4}\lambda, \quad \text{得第 } N+1 \text{ 个零点位置 } L_{2N}$$

可见,当零点总数为 $(N+1)$ 时, $P_2$ 上移动的距离为 $(L_{2N} - L_{20})$ ,它相当于 $N$ 个半波长数。即: $2(L_{2N} - L_{20}) = N\lambda$ 。  
故 $\lambda = \frac{2(L_{2N} - L_{20})}{N}$  根据:  $k = \frac{2\pi}{\lambda}, v = \lambda f = \frac{2\pi f}{k}$ , 可测得电磁波的参量 $\lambda, k, v$ 等值。可见测试波长 $\lambda$ 所用公式得出的平均值。从理论上讲, $N$ 值越大,测出的 $\lambda$ 值精度越高。

# 实验报告

班\_\_\_\_组\_\_\_\_  
实验名称\_\_\_\_

姓名\_\_\_\_同组人\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

实际测试时, 每取 $n=4$ 已足够, 这相当于5个波节点, 所以测得的波长为:

$$\lambda = \frac{2(L_{24} - L_{20})}{4}$$

它表示了5个波节点的总距离 $(L_{24} - L_{20})$ , 相当于4个半波长。

## 4. 实验步骤

(1) 整体机械调整: 调整发射喇叭 $P_0$ , 接收喇叭 $P_3$ , 使其处于同轴化状态。

(2) 安装反射板, 半透射板: 注意反射板 $P_1$ 与 $P_2$ 轴间成 $90^\circ$ 角, 半透射板轴与 $P_1$ 轴间成 $45^\circ$ 角, 并注意反射板 $P_1$ 与 $P_2$ 的法向分别与 $P_3$ 和轴同轴。

(3) 将所有调整到位部分用螺钉锁紧, 调整发射端衰减器以控制信号电平, 使 $P_3$ 表头指示为80并在 $P_2$ 移动过程中, 指针不能超过量程。

(4) 旋转游标使可移动反射板 $P_2$ 的起始位置在最右侧(或最左侧), 用旋转手柄移动 $P_2$ 直到所有节点位置处,  $P_3$ 表头指示都为0。说明整个系统调整到位。

# 实验报告

班 组  
实验名称

姓名 同组人  
日期 年 月 日

(5) 测量：用旋转手柄使反射板移动，从表头上读出在量程范围内所有微安表示数为  $20\mu A$  的点。这样做的原因是：~~因为~~在反射板  $P_2$  移动的一个较大范围内，微安表示数在零附近变化不大，这样测出的零点误差较大。 ~~因此~~

(6) 记录测量数据，并计算  $\beta \cdot V$ 。

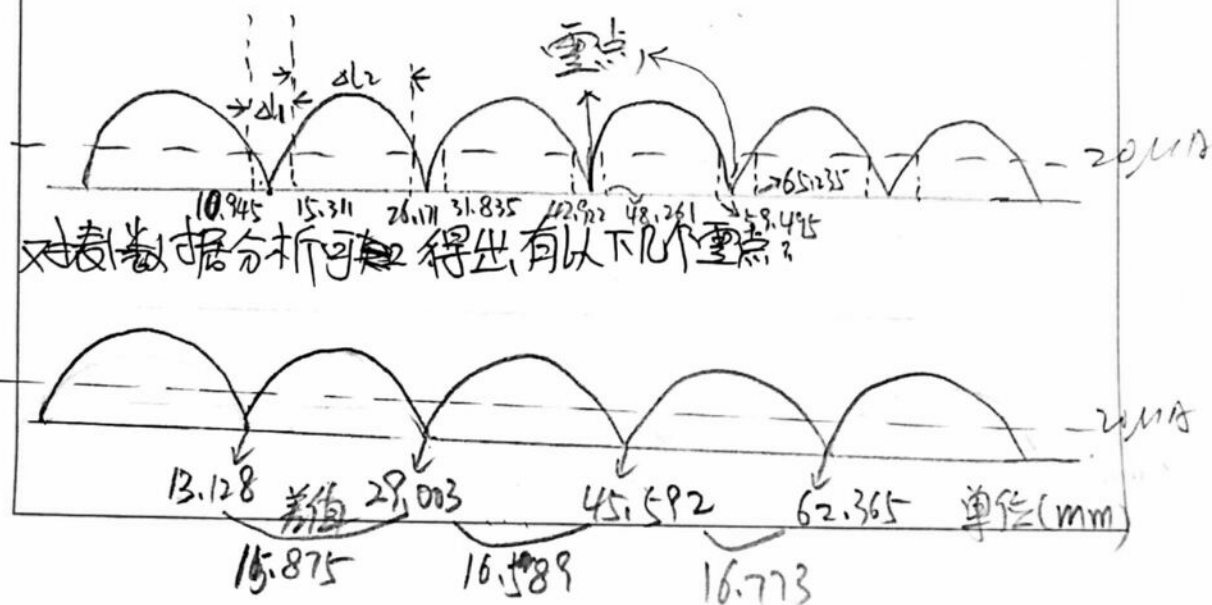
## 5. 数据处理

①  $f = 9.4\text{GHz}$ ，微安表示数为 20 时对应  $P_2$  的读数 (mm)

表 1

10.945	15.311	26.171	31.835	42.922	48.261	59.495	65.235
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

对于微安表来说，可画出微安表端的波形变化如下：





# 实 验 报 告

班 \_\_\_\_\_ 组 \_\_\_\_\_  
实验名称 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

得出4个重点如下:

$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	(mm)
13.128	29.003	45.592	62.365	

可以得出计算出的平均  $\lambda = \frac{15.875 + 16.589 + 16.713}{3} \approx 16.412 \text{ mm}$  表2

可得  $\lambda_{测} \approx 32.82 \text{ mm}$ ,  $\lambda_{理} = \frac{v}{f} \approx \frac{1000}{31.91} \text{ mm}$

$$\therefore E = \left| \frac{\lambda_{测} - \lambda_{理}}{\lambda_{理}} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{32.82 - 31.91}{31.91} \right| \times 100\%$$

$$\approx 2.85\%$$

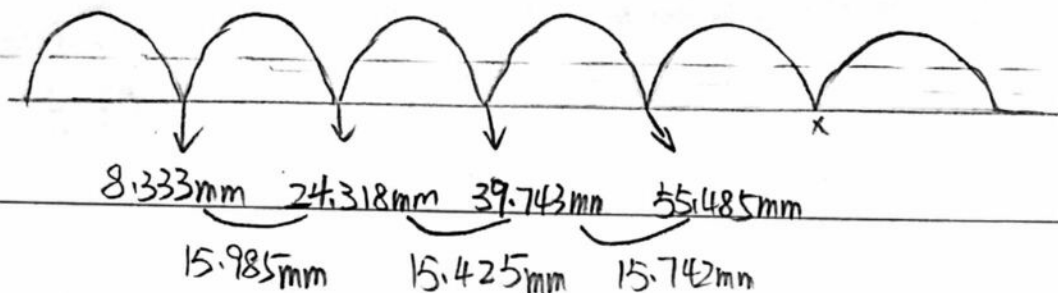
② 当  $f = 9.60 \text{ GHz}$  时.

测得微安表示数为20时,  $R_2$  的读数为下表.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.021	10.465	21.905	26.730	37.135	42.352	52.855	58.114	68.532

表3: 单位 mm

由表3可得重点如下:





# 实验报告

班 \_\_\_\_\_ 组 \_\_\_\_\_  
实验名称 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

测量分布如下表

$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$
8.333	24.318	39.743	55.485

表4: 单位(mm)

$$\text{可以求得 } \lambda_{\text{测}} = \frac{15.985 + 15.425 + 15.742}{3} \approx 15.717 (\text{mm})$$

$$\text{则 } \lambda_{\text{测}} \approx 31.43 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{理}} = \frac{v}{f} \approx 31.25 \text{ mm}$$

$$E = \left| \frac{\lambda_{\text{测}} - \lambda_{\text{理}}}{\lambda_{\text{理}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{31.43 - 31.25}{31.25} \right| \times 100\% \approx 0.6\%$$

## 6. 实验结果分析和误差分析

上述实验结果相对误差均在一定范围内,且较小,说明测量结果可靠。

误差分析:

① 系统误差: 该类误差可以通过多次测量取平均值来减小

② 在实验过程中, 微安表读数存在一定误差; 摆放装置时难以保证绝对垂直, 对准, 水平。

# 实 验 报 告

班 \_\_\_\_\_ 组 \_\_\_\_\_  
实验名称 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

## 实验二 电磁波的极化

### 一、实验目的

研究线极化、圆极化和椭圆极化电磁波的产生和各自的特点。

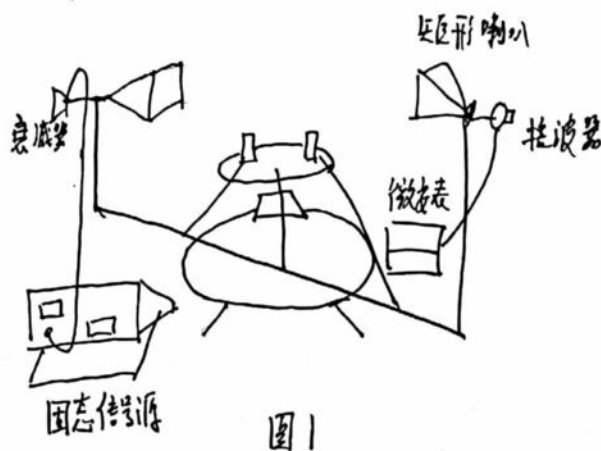
### 二、实验内容

1. 圆极化波的调整与测试
2. 线极化波的调整与测试
3. 椭圆极化波的调整与测试

### 三、实验原理

#### 1. 所用实验仪器

固态信号源  
频率计  
衰减器  
矩形喇叭  
圆形喇叭  
检波器  
微安表



实验系统框图见图1

电磁波综合测试仪中辐射喇叭(3cm波段)支路由固态信号源、频率计(或波长计)、衰减器及圆形喇叭等组成。固态信号源的工作频率 $f=9370\text{MHz}$ 左右,接收喇叭支路由矩形喇叭、检波器、微安表等组成。

#### 2. 原理

电磁波极化是指电磁波在无限大均匀媒质中传播时,空间某点上电场强度矢量 $E$ 的末端随时间变化的轨迹。当电场强度矢量末端总是在一直线上周期地变化,称为线极化波,当电场强度矢量末端轨迹是圆或椭圆时,即电

# 实验报告

班 组  
实验名称

姓名 同组人  
日期 年 月 日

电场矢量末端总在圆或椭圆上周期地变化时,称为圆极化或椭圆极化波。

无论是线极化波,左、右旋圆极化波,左、右旋椭圆极化波,都可以由2个同频率且均矢量相互正交的线极化波组合而成,本实验利用方圆波导转换,介质圆波导与圆锥喇叭连接而成的电磁波极化天线,分别研究波的极化——线极化波、圆极化波、椭圆极化波的特性。

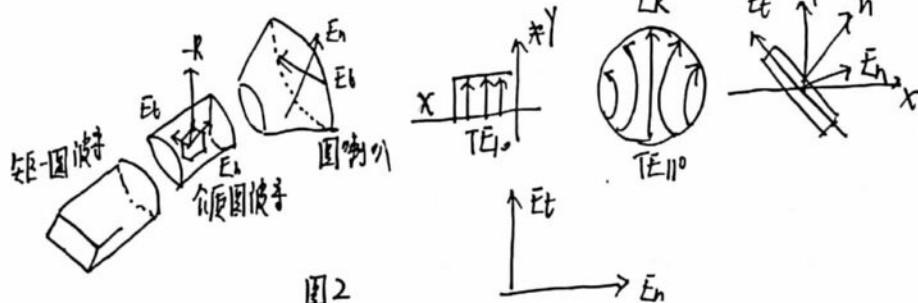


图2

图2所示为圆极化波幅射装置,其中介质波导可做 $360^\circ$ 旋转,并有刻度指示转动角度,当 $TE_{10}$ 波经方圆波导转换到圆波导口面时则过渡为 $TE_{11}$ 波,并在介质圆波导内分成2个分量的波,即垂直界面片平面的一个分量和平行介质面的一个分量。实验装置设计为 $1170\text{MHz}$ 左右使2个分量波相位差为 $90^\circ$ ,适当调整介质圆波导(本可转动介质片)的角度使2个分量的幅度相等时即可得到圆极化波。

当方圆波导使 $TE_{10}$ 的 $E_y$ 波过渡到 $TE_{11}$ 成为 $RP$ 波后,在壁有介质片的圆波导段内分成 $E_1$ 、 $E_2$ 2个分量,因 $E_1$ 和 $E_2$ 的速度不同, $v_1 = v_2 > v_0 = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ ,当介质片的长度 $L$ 取得合适时,使 $E_1$ 波的相位超前 $E_2$ 波的 $90^\circ$ ,实现圆极化波相位条件要求,为使 $E_1$ 和 $E_2$ 的幅度相等,可使介质片的介轴与 $y$ 轴间夹角为 $45^\circ$ 。若介质片损耗略去不计,有 $E_{1m} = E_{2m} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{0m}$ ,实现了圆极化波幅度条件的要求。(有时,需稍偏离 $45^\circ$ 以实现幅度相位的要求。)

为了确定圆极化波左旋、右旋特性,把介转到 $9^\circ$ 相位合在手螺旋规

# 实 验 报 告

班 组  
实验名称

姓名 同组人  
日期 年 月 日

则的波,定为右旋圆极化波.反之则为左旋圆极化波.

波极化天线除化为圆极化波工作外,也可作线极化波、椭圆极化波工作使用.当作线极化波工作时,介质片与 $\gamma$ 轴相垂直或平行.当作椭圆极化波工作时,介质片与 $\gamma$ 轴夹角可在 $\alpha=0-45^\circ$ 之间.

## 四. 实验步骤: (1) 线极化波的调整与测试

1. 调整系统,使发射天线和接收天线对正,转动刻度盘使其 $0^\circ$ 的位置正对固定臂的指针,转动可动臂使其指针指向刻度盘 $180^\circ$ 处,使发射天线喇叭与接收喇叭正对后固定可动臂.
2. 为避免水平台影响,松开平台中心三十字槽螺钉,取下工作台.另将收发天线中间或 $1^\circ$ 附近的物体移开以减少环境对实验结果的影响.
3. 调整发射天线和接收天线的极化,使轴承环上的 $0$ 刻度均对准固定刻度线.

4. 打开信号源,调整衰减器,使微安表指针指向满量程.

5. 记录数据见下表:

表1 线极化波的调整与测试数据表

接收喇叭转动角度*	$-90^\circ$	$-80^\circ$	$-70^\circ$	$-60^\circ$	$-50^\circ$	$-40^\circ$	$-30^\circ$	$-20^\circ$	$-10^\circ$	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
微安表读数/ $\mu A$	0	0	2	6	18	28	40	44	52	64	58	50	42	34	24	12	4	2	0

\* 以顺时针转动为正方向,以上表格也按此标正负

6. 关闭系统,恢复到初始状态.

## (2) 圆极化波的调整与测试

1. 将发射喇叭换成电磁波圆极化天线,并使圆锥喇叭连接方式同原矩形发射喇叭连接.

# 实 验 报 告

\_\_\_\_班\_\_\_\_组\_\_\_\_  
实验名称\_\_\_\_\_

姓名\_\_\_\_同组人\_\_\_\_  
日期\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

2. 开启信号源。
3. 将发射喇叭旋转45°, 此时理论上实现了圆极化波幅度相等的条件。
4. 察看电表指示, 旋转接收喇叭, 观察电表示数是否大致接近。
5. 若差异较大, 适当调整发射喇叭角度, 直到满足。
6. 记录数据见下表:

表2. 圆极化波调整与测试数据表

接收喇叭转动角度	-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
微安表读数/ $\mu A$	96	94	92	90	96	94	80	82	76	72	70	72	70.2	74.2	72.4	80	84	90	96
椭圆度 $e$	0.854																		

## 7. 整理实验仪器

### (3) 椭圆极化波的调整与测试

1. 按与(2)相同的标准调整仪器
2. 将发射喇叭旋转约30°, 此时理论上实现了椭圆极化波幅度条件
3. 察看电表指示, 记录数据见下表:

表3. 椭圆极化波的调整与测试数据表

接收喇叭转动角度	-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
微安表读数/ $\mu A$	48	62	72	84	92	98	98	94	96	74	62	50	40	30	26	24	28	36	48
椭圆度 $e$	0.495																		

## 八. 整理实验仪器

## 五. 实验结果

实验数据见表1~3

其中, 表2中椭圆度  $e = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}} = \sqrt{\frac{70}{96}} \approx 0.854 > 0.8$ , 符合实验要求。

# 实 验 报 告

班 \_\_\_\_\_ 组 \_\_\_\_\_  
实验名称 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_ 同组人 \_\_\_\_\_  
日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

表 3 中, 椭圆度  $e = \sqrt{\frac{Z_{\text{max}}}{Z_{\text{min}}}} = \sqrt{\frac{2.9}{.78}} \approx 0.495$

对于线极化波, 将实验数据与余弦函数进行比较 (见图 3), 可以看出, 趋势大致相同, 但存在一定误差, 在误差允许范围内, 可以认为线极化波达到。

对于圆极化波, 数据的差值在误差允许范围内, 可以认为所有数值大致相等, 椭圆度  $e \approx 0.854 > 0.8$ , 符合要求

对于椭圆极化波, 其椭圆度为 0.495, 符合要求

## 六、讨论。

思考题: 一右旋圆极化波从空气正射入到另一种媒质表面, 反射波与透射波的旋向如何?

解: 反射、透射过程角频率  $\omega$  不变, 只是传播相、振幅、相位改变。透射波旋向与

原波一致, 为右旋。  
反射波传播方向改变, 为左旋极化。

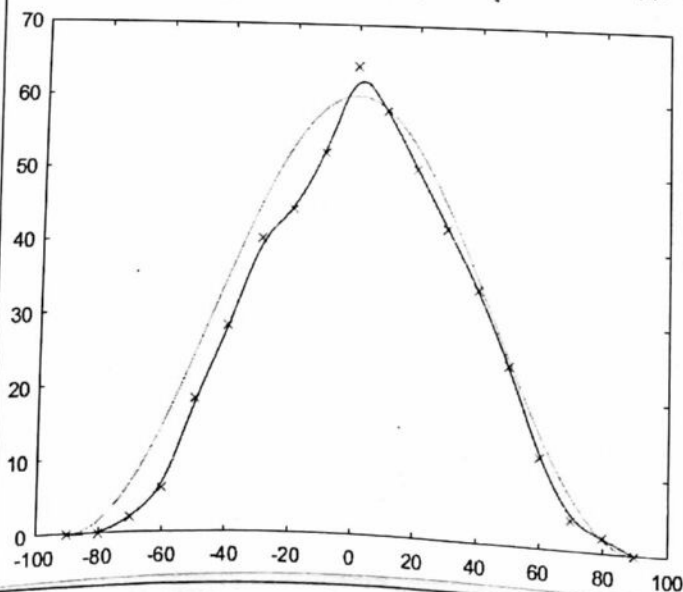


图 3