

# 电磁场与微波实验 第二次实验 预习报告

无 82 许凌玮 2018011084

## 实验一 圆极化波的产生和特性研究

### 一、实验目的

1. 研究右旋、左旋圆极化波的形成、辐射和接收过程；
2. 研究右旋、左旋圆极化波的反射和折射特性及其测试方法。

### 二、实验原理

#### 1. 辐射过程

实验中采用圆极化天线是由矩-圆波导转换、充有介质片的圆波导和圆锥喇叭连接而成。其中圆波导内的介质片可做360°旋转，并有刻度指示转动的角度。沿+z方向辐射的右旋圆极化波的形成与传播过程如图1所示。

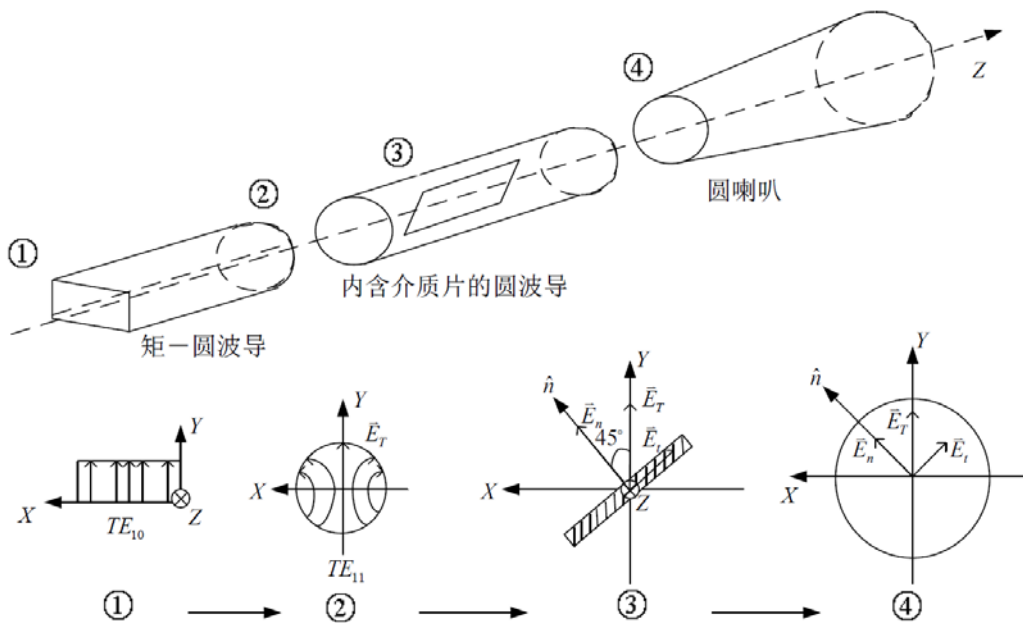


图1 右旋圆极化波的形成与传播过程

电磁波向+z方向传播，通过圆极化波辐射装置矩-圆波导，矩形波导的 $TE_{10}$ 模将过渡到圆波导的 $TE_{11}$ 模，并在装有介质片的圆波导段内将电场 $E_T$ 分解成 $E_n$ 、 $E_t$ 两个正交分量，介质片的法线方向 $\hat{n}$ 与Y轴成45°夹角，忽略介质片损耗，则有 $|E_t| = |E_n| = |E_T|/\sqrt{2}$ 。 $E_n$ 、 $E_t$ 的传播速度不同，即 $V_n = V_c > V_t = V_c/\sqrt{\epsilon_r}$ ，其中 $V_c$ 和 $V_t$ 分别为电磁波在真空与介质中的传播速度， $\epsilon_r$ 为介质片相对介电常数。

当介质片的长度 $L$ 使得 $E_n$ 波的相位超前 $E_t$ 波的相位90°时（ $L$ 可取 $\lambda_g/4$ ，其中 $\lambda_g$ 为电磁波在介质中传播波长），两正交分量 $E_n$ 、 $E_t$ 满足形成圆极化波的幅度和相位条件，且由于 $E_n$ 、 $E_t$ 与z轴符合右手螺旋规则，从而形成右旋圆极化波。同理将介质片顺时针旋转可以实现90°就可以实现左旋圆极化

波的辐射。

本组件中介质片长度 $L$ 已定在适合于 $9370\text{MHz} \pm 50\text{MHz}$ 的带宽范围内工作，圆极化喇叭的椭圆度 $\geq 0.9$ 。

## 2. 接收过程

接收沿 $+z$ 方向辐射的右旋圆极化波装置各端面场分布如图 2 所示。接收喇叭的介质片与发射喇叭的介质片互成 $90^\circ$ 夹角， $\hat{n}' \perp \hat{n}$ 。 $\mathbf{E}_n$ 处于介质片切向 $\hat{t}'$ 的方向上，成为 $\mathbf{E}_t'$ ， $\mathbf{E}_t$ 处于介质片法线 $\hat{n}'$ 的方向上，成为 $\mathbf{E}_n'$ 。选择合适的 $L'$ （可取 $\lambda_g/4$ ）使 $\mathbf{E}_n'$ 波的相位超前 $\mathbf{E}_t'$ 波的相位 $90^\circ$ ，这样在通过内含介质片的圆波导传播后 $\mathbf{E}_n'$ 、 $\mathbf{E}_t'$ 等幅同相，合成场为 $\mathbf{E}_R$ ，形成圆波导中的 $\text{TE}_{11}$ 模，并通过圆-矩形波导转换结构， $\text{TE}_{11}$ 模转换为矩形波导中的 $\text{TE}_{10}$ 模，从而完成了右旋圆极化波的接收。同理，将介质片逆时针旋转 $90^\circ$ 就可实现左旋圆极化波的接收。

注意，无论是右旋还是左旋圆极化波的接收，都必须满足 $\hat{n}' \perp \hat{n}$ 的条件，当 $\hat{n}' \parallel \hat{n}$ 时就接收不到右旋（或左旋）圆极化波，由此也可判断产生的电磁波的旋向。

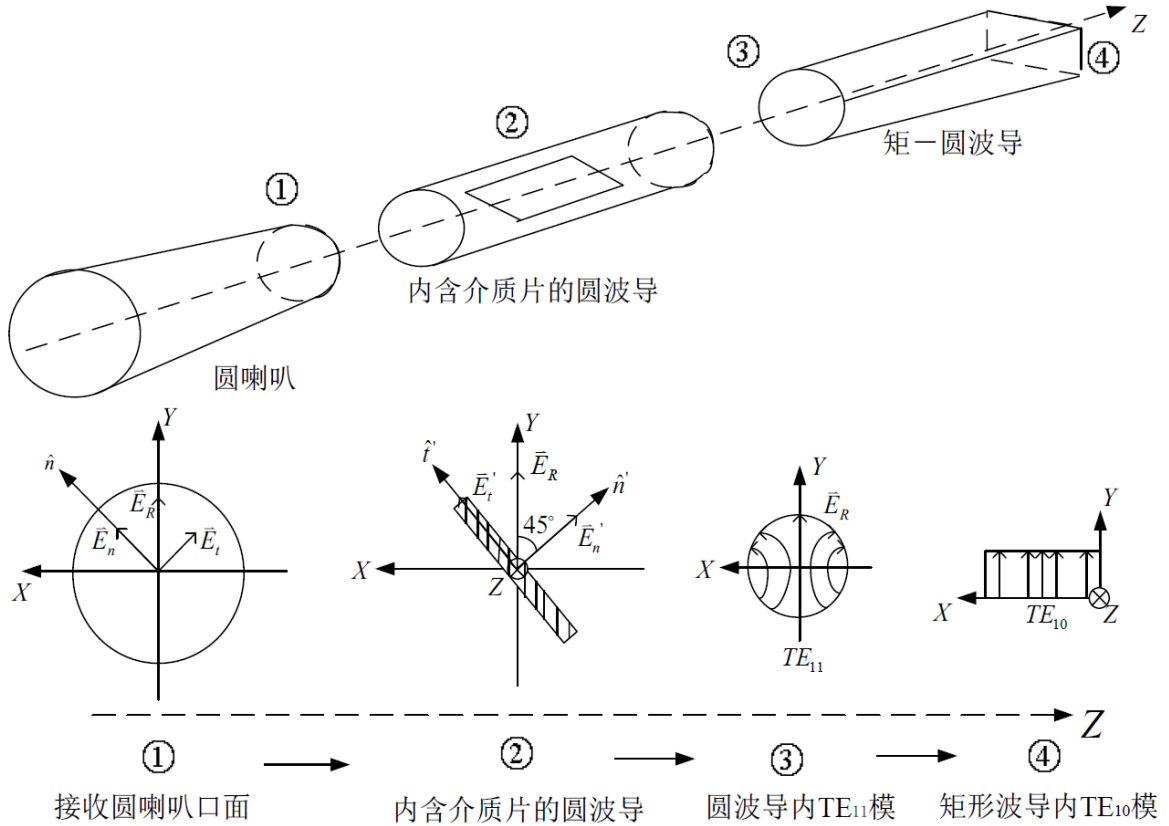


图 2 接收右旋圆极化波装置各端面场分布

## 3. 圆极化波的特性

右旋圆极化波投射到介质（或良导体）表面，反射波成为左旋圆极化波，此时须用左旋接收喇叭接收，而折射波仍属右旋圆极化波，用右旋接收喇叭接收。左旋圆极化波可由此类推。

入射波、反射波、折射波之间仍满足能量守恒定理。即

$$\text{入射波(右旋)} = \text{反射波(左旋)} + \text{折射波(右旋)}。$$

### 三、实验内容

1. 圆极化波椭圆度的调整与测试。
2. 圆极化喇叭的极化特性研究。
3. 圆极化波反射与折射特性的测试。

### 四、实验数据

#### 1. 圆极化波椭圆度的调整与测试

表 1 圆极化波椭圆度测试数据记录表

频率	接收 $I_{min}$	接收 $I_{max}$	椭圆度 $e = \sqrt{I_{min}/I_{max}}$

#### 2. 圆极化喇叭的极化特性研究

表 2 圆极化喇叭的极化特性研究数据记录表

	窄缝平行于地面放置	窄缝垂直于地面放置
矩形喇叭垂直极化的接收情况		
矩形喇叭水平极化的接收情况		

#### 3. 圆极化波反射与折射特性的测试（研究入射角为 $30^\circ$ 的情况）

表 3 圆极化波反射与折射特性测试数据记录表

圆极化波辐射状态	介质片 $\alpha = 45^\circ$	
$\hat{n}'$ 与 $\hat{n}$ 相对位置	$\hat{n}' \perp \hat{n}$	$\hat{n}' \parallel \hat{n}$
接收直射波 $I_i$		
接收导体板反射波 $I_{r1}$		
接收介质板反射波 $I_{r2}$		
接受介质板折射波 $I_t$		

## 实验二 不同封装电路元件阻抗的频率特性研究、负载阻抗的测量和调匹配

### 一、实验目的

1. 了解网络分析仪的组成及工作原理，熟悉 Smith 圆图的应用；
2. 了解不同封装结构的电路元件的阻抗 - 频率特性，建立分布参数的概念；
3. 掌握阻抗测量及调匹配的方法。
4. 理解集总参数匹配网络和微带线匹配网络的原理。

### 二、实验原理

#### 1. 不同封装电路元件阻抗的频率特性

在微波频段，不同封装的电路元件受封装结构引起的分布参数的影响，在不同频率将呈现不同的阻抗值。测量电路元件的阻抗 - 频率特性将有助于建立分布参数的概念。

#### 2. 用调配器调匹配

为保证系统处于尽可能好的匹配状态而又不降低系统传输效率，必须在传输线与负载之间接入某种纯电抗性元件，将任意负载阻抗变换为  $1 + j0$ （归一化值），从而实现负载和传输线的阻抗匹配。

单螺钉调配器：螺钉的作用是引入一个并联在传输线上的容性电纳，借助于导纳圆图很方便地求出螺钉的纵向位置  $l$  和电纳  $jb$  值，如图 3 所示。图中  $Y_L$  点表示被匹配的负载输入导纳，欲使负载匹配即  $Y_{in} = 1 + j0$ ，首先必须使螺钉所在的平面位于  $G = 1$  的匹配圆上，由此在圆图上求得等  $\rho$  圆与  $G = 1$  圆的交点  $A$  和  $A'$ ， $A$  点输入导纳  $Y_A = 1 - jb$ ，电纳呈感性。螺钉电纳呈容性，改变螺钉深度，即能改变并联的容性电纳值，使  $Y_{in} = 1 + j0$  得到匹配。由于滑动单螺钉调配器能对圆图上任一导纳值调配，故在理想情况下它的禁区为零。

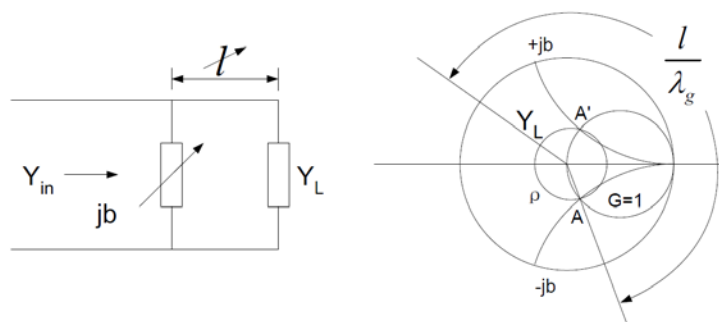


图 3 单螺钉调配器原理图

三螺钉调配器：这种调配器的螺钉位置固定在传输线上，依靠调配螺钉深度得到匹配。

三短截线同轴调配器：三短截线彼此相距  $\lambda_g/4$  固定在传输线上，依靠调节短截线长度得到匹配。

在调匹配过程中，注意观察网络分析仪 Smith 圆图上阻抗值的变化趋势，直至阻抗值移动到圆图的中心，此时负载阻抗与传输线匹配。

#### 3. 微带线匹配网络的测量研究

本实验提供的微带线匹配电路如图 4 所示，将  $150\Omega$  负载匹配到  $Z_{in} = 50\Omega$ 。

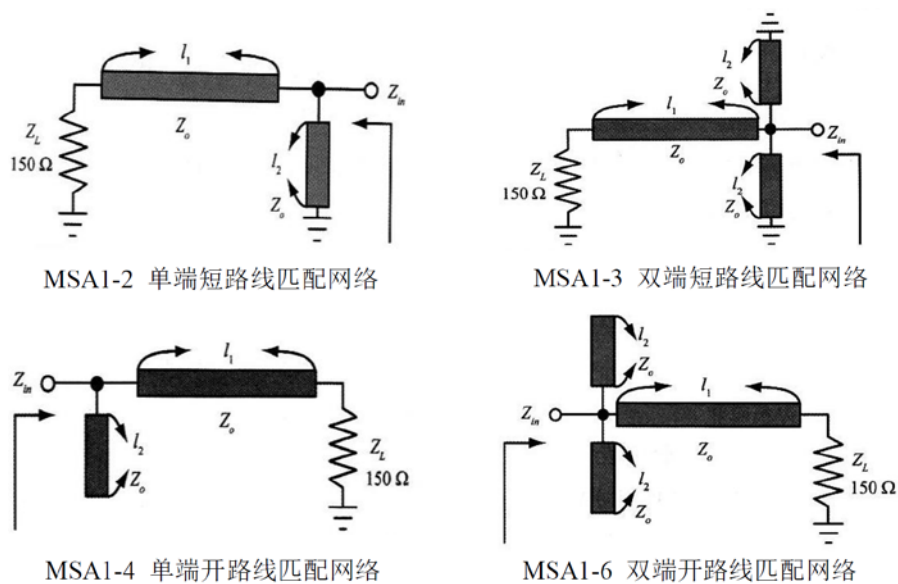


图 4 各类微带线匹配网络

#### 4. 集总参数匹配网络的测量研究

本实验研究利用 Smith 圆图实现阻抗匹配的原理和过程。下表为 Smith 圆图应用的原则。本实验对集总参数匹配网络进行测量，它们能将  $75\Omega$  负载匹配到  $50\Omega$ ，阻抗匹配网络的结构如图 5 所示。

加入元件种类	转动路径	转动方向
串电感	等电阻圆	顺时针
串电容	等电阻圆	逆时针
并电感	等电导圆	逆时针
并电容	等电导圆	顺时针

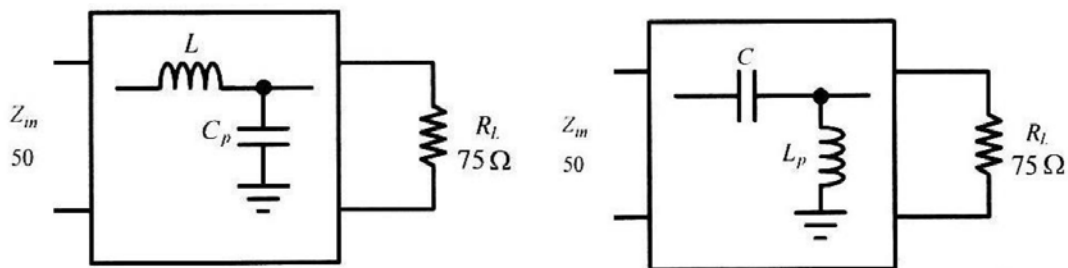


图 5 集总参数匹配网络

### 三、实验内容

1. 测量研究常规封装和表面贴装的电阻元件在  $500\text{KHz}\sim 1.5\text{GHz}$  范围内的阻抗 - 频率特性，分别在 Smith 圆图上显示。
2. 使用矢量网络分析仪测量研究微带线匹配网络或集总参数匹配网络（两种电路二选一）。
3. 测量给定器件或电路（二选一）在给定频点的阻抗和电压驻波比。并观察其 Smith 圆图对其调匹配，测量匹配后的阻抗和电压驻波比。

#### 四、实验数据

##### 1. 电阻元件阻抗－频率特性研究

给出不同封装结构的元件在 500KHz~1.5GHz 频率范围内的 Smith 阻抗圆图，并给出其在下表频率点的阻抗值（复数形式）。

表 4 电阻元件阻抗－频率特性数据记录表

	阻抗值	
元件类型		
500KHz		
50MHz		
100MHz		
1GHz		
1.5GHz		

##### 2. 匹配网络的研究

表 5 匹配网络研究数据记录表

电路	频率	驻波比 SWR	阻抗值

##### 3. 调匹配

表 6 调匹配数据记录表

	驻波比 SWR	阻抗值
匹配前		
匹配后		