

浙江大学

本科实验报告

课程名称： 电磁场与电磁波

姓 名：

学 院： 信息与工程学院

专 业： 电子科学与技术

学 号：

指导教师： 王子立

2022 年 6 月 8 日

浙江大学实验报告

专业： 电子科学与技术
姓名： _____
学号： _____
日期： _____
地点： 东四教学楼

课程名称： 电子电路设计实验 指导老师： 王子立 成绩： _____
实验名称： 喇叭天线的辐射特性测量 实验类型： / 同组学生姓名： /

一、实验目的

揭示喇叭天线的辐射特性。

覆盖的基本概念：

- 天线辐射方向图
- 波束宽度
- 天线的极化特性
- 电磁波在空间传播中与距离的关系

二、实验原理

当今社会尽管人们不一定知道无线寻呼、蜂窝电话、卫星通信、无线广播与电视的具体工作原理，但它们已成为人们生活不可缺少的一部分。在这些无线通信系统中不管是发送还是接收，天线都是一个不可缺省的部件。描述天线的参量很多，择其主要的有：天线方向性、辐射方向图、波束宽度、旁瓣电平、工作频率与响应、效率等等。除此之外，天线发射（或接收）的电磁波都具有极化特性，所谓极化是指电磁波电场矢量的方向，所以接收机接收到的信号大小跟收、发天线的安装方向有关（以下简称发射天线的极化方向或接收天线的极化方向）。如果发射天线所发射电磁波的极化方向与接收天线的极化方向一致时，接收信号最大，若两者正交，接收机将接收不到信号。

本实验用 3 公分波段（8-12GHz）喇叭天线揭示天线方向性、波束宽度、波的极化特性。

实验装置包括三部分：分别是信号发射端、接收端和天线移动架。发射端由固态振荡源、微波衰减器、小喇叭天线连接组成，并装在一个旋转云台上。发射端喇叭天线可以绕矩形波导轴向旋转，由此可以改变发射电磁波的极化方向，其极化角度可从指示刻度盘读出；发射功率的大小可用微波衰减器来调节。云台可在垂直面和水平面上转动，用于测量发射天线的方向性特性；发射端还装有一个可移动的金属栅网；天线移动架可以使发射端沿着移动架轨道平移，从而改变收、发喇叭天线之间的距离，其测量值可以从移动架上的刻度尺读取。接收端将喇叭天线与微波晶体检波器连接在一起固定不动。

实验中用到的公式：

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} (W) \quad (1)$$

其中 R 为收发天线之间的距离。

最佳角锥喇叭天线增益：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \quad (2)$$

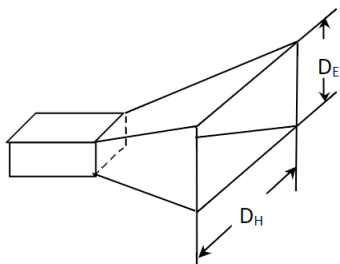
A_p 为喇叭口的物理直径 $D_H \times D_E$ 。

喇叭天线半功率波束宽度：

$$\text{H 面: } 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} (\text{rad})$$

$$\text{E 面: } 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} (\text{rad})$$

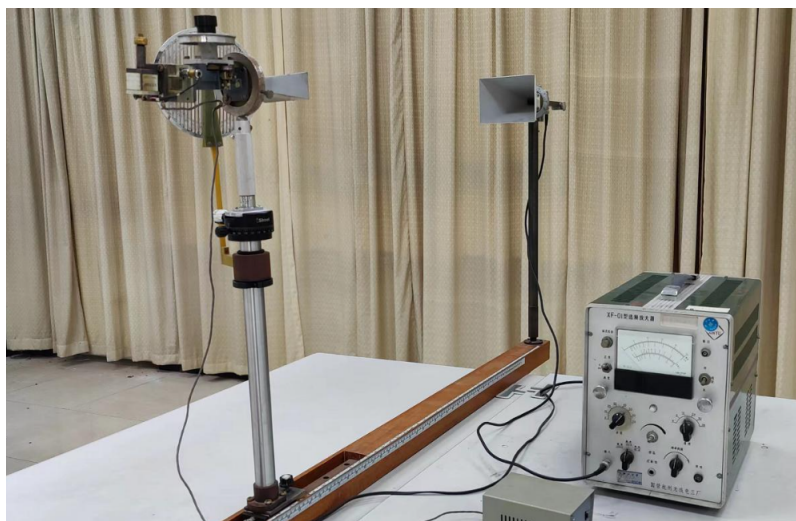
$$\text{远区场条件: } R \gg \frac{2D_H D_E}{\lambda}$$



三、实验内容

1. 电磁波在空间传播中与距离的关系测量

实验装置：



工作频率：9.375GHz

实验步骤：

- (1) 将发射天线极化方向调整到与接收天线的极化方向一致，即同为垂直极化方式。
- (2) 开启固态信号源（工作方式方波调制）与选频放大器电源。调节波导检波器调配螺钉或短路活塞位置使选频放大器上指示的检波输出最大（即检波器匹配），选择选频放大器的“分贝”旋钮量程选择 30dB 或 40dB 档位，并调节发射端的微波衰减器，使选频放大器输出满量程，即归一化数值为 0dB。

(3) 依次改变收、发天线间的距离，把测量的数据记录于下表

表 1: 天线距离与接收功率关系

| 距离 R(m) | 实验测量值 | 相对归一化功率 |
|---------|---------|---------|
| 1.0 | -40dB | 1 |
| 1.1 | -42.6dB | 0.74 |
| 1.2 | -43.2dB | 0.69 |
| 1.3 | -44.8dB | 0.58 |
| 1.4 | -45.8dB | 0.51 |

2. 天线极化测量

实验步骤：

- (1) 拧松发射天线锁紧螺栓，调整发射喇叭天线的极化方向与接收天线一致后锁紧螺栓，此时记极化刻度盘上的角度值为相对值 0° 。
- (2) 依次拧松云台的垂直与水平锁紧螺栓，调节发射天线的水平与垂直指向，找到选频放大器指示最大位置（即找到天线方向图最大值这一点）后锁紧螺栓，然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程，即相对归一化数值为 0dB。
- (3) 依次绕矩形波导轴向旋转发射喇叭天线，从 0° 到 90° ，每隔 10° 记录选频放大器指示的读数于下表。

表 2: 发射喇叭天线计划特性

| 发射喇叭天线角度 θ | 实验测量值 | 相对归一化功率 |
|-------------------|---------|---------|
| 0° | -40dB | 1 |
| 10° | -40.6dB | 0.93 |
| 20° | -41.8dB | 0.81 |
| 30° | -42.8dB | 0.72 |
| 40° | -45.2dB | 0.55 |
| 50° | -47.6dB | 0.42 |
| 60° | -50.1dB | 0.31 |
| 70° | -53.6dB | 0.21 |
| 80° | -59.8dB | 0.10 |
| 90° | -72.2dB | 0.08 |

3. 极化栅网特性测量极化栅网是在一块铜板上开了很多槽缝，如果金属条的宽度与缝的宽度都比波长小得多，则投射到开槽铜板上电磁波，对于电场具有平行于槽缝方向的电磁波将被全反射，而具有垂直于槽缝方向的电磁波将能顺利通过。所以将图 4 所示极化栅网放到发射天线前面，则接收天线所接收到的信号大小随着极化栅网旋转角度的改变而改变。

实验步骤：

- (1) 调整发射喇叭天线的极化方向与接收天线一致后锁紧螺栓，即极化角度值为 0° 位置。
- (2) 将极化栅网移至发射机喇叭天线前面，旋转极化栅网使选频放大器读数最大，然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程，即相对归一化数值为 0dB，并记栅网上的角度为相对 0° 。
- (3) 依次将极化栅网转过 90° 和 45° ，分别记录选频放大器读数。

表 3: 极化栅网极化特性

| 极化栅网角度 | 实验测量值 | 相对归一化功率 |
|------------|-------|---------|
| 0° | -40dB | 1 |
| 90° | -63dB | 0.07 |
| 45° | -46dB | 0.5 |

4. 喇叭天线辐射方向图测量实验装置：

- 调节接收与发射喇叭天线间距离为 1.2m。
- 将极化器栅网移开。
- 调整发射喇叭天线极化角度，使之与接收喇叭天线的极化角度一致；当发射、接收喇叭选择垂直极化方式，通过旋转发射喇叭的水平角度可测得水平方向图；当发射、接收喇叭选择水平极化方式，通过旋转发射喇叭的水平角度可测得垂直方向图。
- 选择选频放大器的“分贝”旋钮量程选择 40dB 档位。

实验步骤：

- (1) 将发射、接收喇叭都调整为垂直极化方式，拧松云台中水平旋转锁紧旋钮，在水平方向上旋转发射喇叭天线，找到选择选频放大器指示最大点位置时锁紧旋钮。然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程 (0db)，此时分别记水平面和垂直面上刻度盘中的角度读数为相对 0° ；记选择选频放大器读数为天线方向性特性的最大点，即相对归一化数值为 0db。
- (2) 拧松云台中水平旋转锁紧旋钮，在水平方向上旋转发射喇叭天线，由 -90° 转到 $+90^\circ$ ，每隔 10° 记录选择选频放大器读数于表中，然后将天线转至水平位置，锁紧水平旋转锁紧旋钮。
- (3) 将发射喇叭天线和接收喇叭天线的极化角度都调整到水平极化方式，采样和上述类似的方法，即可得到喇叭天线垂直面上的方向图，记录读数。
- (4) 测出水平面上-3db 功率时的波束宽度以及背景噪声。

表 4: 天线口径尺寸

| 尺寸 | 发射天线 | 接收天线 |
|-------|-------|--------|
| D_E | 3.7cm | 10.5cm |
| D_H | 8.2cm | 14.1cm |

.....
装
订
线
.....

表 5: 天线水平方向图测量数据

| 天线水平方向转角 | 实验测量值 (dB) | 相对归一化功率 (dB) |
|----------|------------|--------------|
| -90° | -68 | 0.040 |
| -80° | -70.2 | 0.031 |
| -70° | -70.5 | 0.031 |
| -60° | -65.8 | 0.051 |
| -50° | -61.5 | 0.084 |
| -40° | -53.8 | 0.204 |
| -30° | -50.1 | 0.313 |
| -20° | -44.2 | 0.617 |
| -10° | -41.5 | 0.841 |
| 0° | -40 | 1 |
| 10° | -41.4 | 0.851 |
| 20° | -43.6 | 0.661 |
| 30° | -49.6 | 0.331 |
| 40° | -53 | 0.224 |
| 50° | -60.8 | 0.091 |
| 60° | -62.4 | 0.076 |
| 70° | -71 | 0.028 |
| 80° | -67 | 0.045 |
| 90° | -70 | 0.032 |

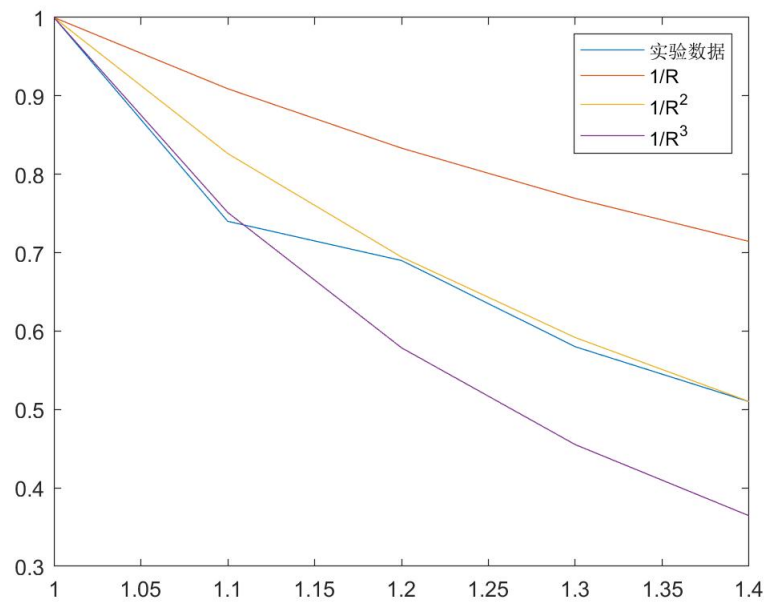
表 6: 天线垂直方向图测量数据

| 天线垂直方向转角 | 实验测量值 (dB) | 相对归一化功率 (dB) |
|----------|------------|--------------|
| -60° | -70 | 0.032 |
| -50° | -65.8 | 0.051 |
| -40° | -64.4 | 0.060 |
| -30° | -58 | 0.126 |
| -20° | -51.2 | 0.275 |
| -10° | -42.8 | 0.724 |
| 0° | -40 | 1 |
| 10° | -43.1 | 0.700 |
| 20° | -50.2 | 0.310 |
| 30° | -58.4 | 0.120 |
| 40° | -62.5 | 0.075 |
| 50° | -64.8 | 0.058 |
| 60° | -67.5 | 0.042 |

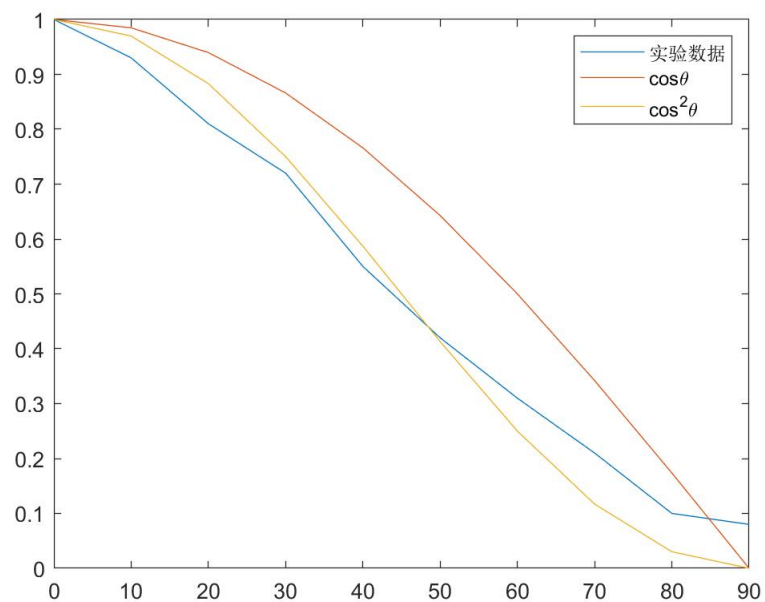
.....
装
订
线
.....

四、回答问题

1. 根据测得的数据作出电磁波传播与距离的关系曲线。



2. 所作出的电磁波传播与距离的关系曲线接近 $\frac{1}{R}$ 、 $\frac{1}{R^2}$ ，还是 $\frac{1}{R^3}$ ？与理论预期值符合吗？
- 如上图，电磁波传播与距离的关系曲线最接近 $\frac{1}{R^2}$ 。与理论值 $P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} (W)$ 基本相符合。
3. 根据数据作出发射喇叭天线极化曲线，横坐标为天线极化角度 θ 。



4. 从发射喇叭天线极化特性曲线看, 接收喇叭天线所接收到的功率与发射喇叭天线极化角度 θ 的关系是符合 $\cos\theta$ 还是 $\cos^2\theta$ 关系?

如上图, 符合 $\cos^2\theta$ 关系。

5. 如果发射喇叭天线和接收喇叭天线的极化角相差 90° , 而极化器相对于发射喇叭天线的极化角度为 45° , 极化器对系统的影响如何?

如表 3 所示, 当极化角度为 45° 时, 归一化功率为 0.5。

$I_{\text{接收}} = I_{\text{发射}} \cos(45^\circ) \sin(45^\circ) = \frac{1}{2} I_{\text{发射}}$, 与理论相符。

6. 对发射天线计算远区场距离 (工作频率 9.375GHz), 实验中是否符合远区场条件?

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3.2 \times 10^{-2} m$$

$$\frac{2D_H D_E}{\lambda} = 0.1896 m$$

$$R \geq 1 m \gg 0.1896 m$$

故实验符合远区场条件。

7. 分别计算收、发天线理论增益, 半功率波束宽度 (假定 $k \approx 1$)。有什么结论?

发射喇叭天线:

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} = 18.99$$

$$H \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.46 rad$$

$$E \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.77 rad$$

接收喇叭天线:

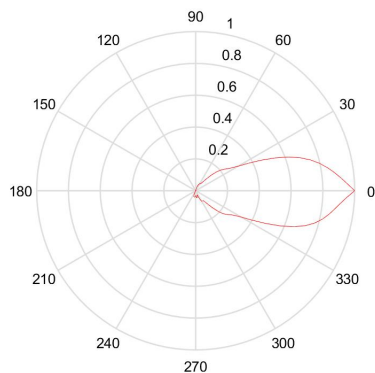
$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} = 92.66$$

$$H \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.27 rad$$

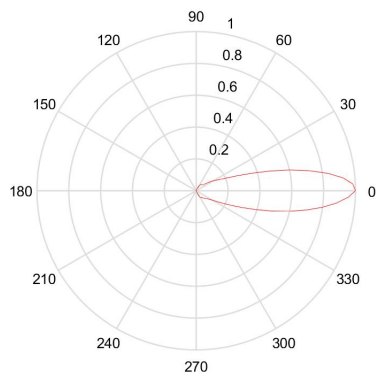
$$E \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.27 rad$$

可得喇叭天线口径越大, 天线增益越高, 半功率波束宽度越小。

8. 用极坐标系分别绘制发射喇叭天线在水平面上、垂直面上的方向图。



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

9. 比较半功率波束宽度的计算值与实测值，并对你的实验结果加以评论。

实验获得的水平方向半功率波束宽度约 26° ，垂直方向半功率波束宽度约 16° ，都与理论值相差较大。可能是实验环境存在干扰、设备存在衰减等原因导致。

10. 解释在 $\pm 90^\circ$ 时辐射方向图测量值。

理论上在 $\pm 90^\circ$ 处的辐射归一化功率应该为 0，所以实际测到的功率是背景噪声的功率。

11. 比较波导角锥喇叭天线辐射特性的实验测量结果和 CST 仿真，有什么结论。

比较波导角锥喇叭天线辐射特性的实验测量结果和 CST 仿真发现，天线特性的定性判断基本一致，主瓣形状大致相同。但定量测量的值存在较大误差，说明实际环境中存在各种干扰，对天线辐射特性的影响较大，我们在设计天线时不能仅根据仿真结果，还要考虑实际情况。

五、实验总结与心得体会

通过这次实验，我了解了喇叭天线的辐射特性。实验中我使用信号发射端、接收端和天线移动架等器材进行了测量操作，使用 matlab 等工具绘制各种图像，使电磁场与电磁波这门课的一些理论知识与实践相结合，更加深刻了我对这门课的认识，巩固了我的理论知识。