

浙江大學

本科生实验报告



课程 电磁场与电磁波实验

姓名

学号

专业 电子科学与技术

实验内容 喇叭天线的辐射特性测量

实验三 喇叭天线的辐射特性测量

1. 实验目的

揭示喇叭天线的辐射特性，理解天线辐射方向图、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等基本概念。

2. 实验原理

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。

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。



图 1 接受模块装置

用到的方程为：

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

其中 R 为收、发天线间的距离。（本实验 R 取收、发天线喇叭口之间的距离）。

最佳角锥喇叭天线增益：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \quad (A_p \text{ 为喇叭口的物理口径 } D_H \times D_E)$$

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

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

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

3. 实验设备

信号发生器、喇叭天线一对、微波检波器。

4. 实验内容

- (1) 测定电磁波在空间传播中与距离的关系，根据测得的数据做出电磁波传播与距离的关系曲线；
- (2) 测量角锥喇叭天线的极化特性，根据数据做出发射喇叭天线极化曲线；
- (3) 测量喇叭天线辐射方向图，并用极坐标画出；
- (4) 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？
- (5) 解释在 $\pm 90^\circ$ 时辐射方向图测量值（跟背景噪声比较）。
- (6) 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？

5. 实验过程及数据记录

5.1 电磁波传播与距离关系测量

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。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，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。依次改变收、发天线间的距离，把测量结果记录于下表：

表 1 天线距离与接收功率关系

| 距离/m | 实验测量值/dB | 相对归一化功率/dB | 线性功率/W |
|------|----------|------------|--------|
| 1.0 | -40.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1.1 | -40.65 | -0.65 | 86.10 |
| 1.2 | -41.80 | -1.80 | 66.07 |
| 1.3 | -43.05 | -3.05 | 49.55 |
| 1.4 | -43.80 | -3.80 | 41.69 |

绘制关系曲线图如图 2。

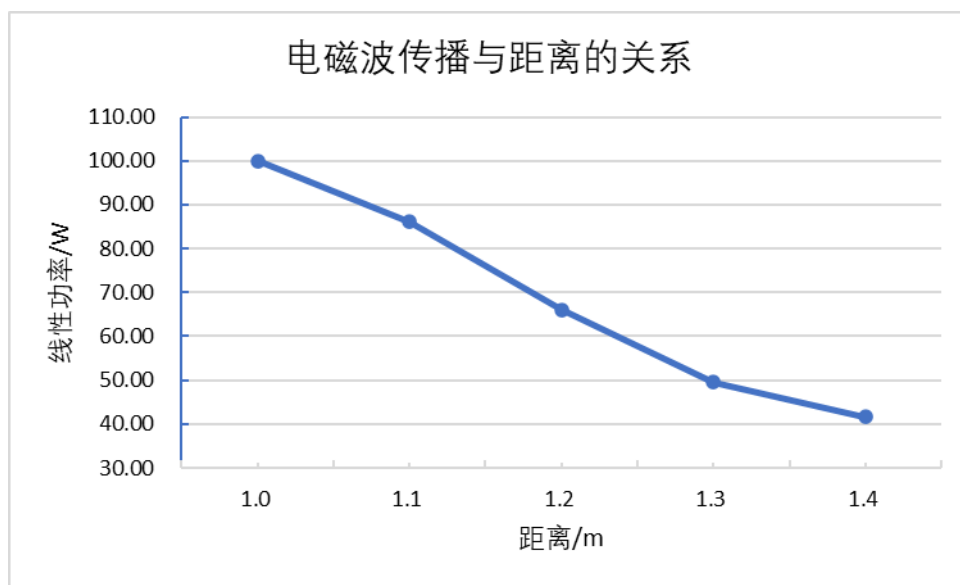


图 2

回答问题 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 $\frac{1}{R^3}$ ？

回答：接近于 $\frac{1}{R^2}$ ，与理论值基本相符。

5.2 极化测量

5.2.1 天线极化测量

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° 。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，即相对归化数值为 0dB 。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表 2：

表 2 发射喇叭天线极化曲线

| 发射喇叭天线角度 θ° | 实验测量值/ dB | 相对归一化功率/ dB | 线性功率/ W | 归一化线性功率/ W |
|-------------------------|--------------------|----------------------|-----------|--------------|
| 0 | -40.00 | 0.00 | 100.00 | 1.00 |
| 10 | -40.10 | -0.10 | 97.72 | 0.98 |
| 20 | -40.58 | -0.58 | 85.51 | 0.86 |
| 30 | -41.90 | -1.90 | 55.21 | 0.55 |
| 40 | -43.80 | -3.80 | 23.01 | 0.23 |
| 50 | -46.50 | -6.50 | 5.15 | 0.05 |
| 60 | -48.80 | -8.80 | 0.68 | 0.01 |
| 70 | -54.70 | -14.70 | 0.02 | 0.00 |
| 80 | -59.50 | -19.50 | 0.00 | 0.00 |
| 90 | $-\infty$ | $-\infty$ | 0.00 | 0.00 |

绘制曲线图如图 3

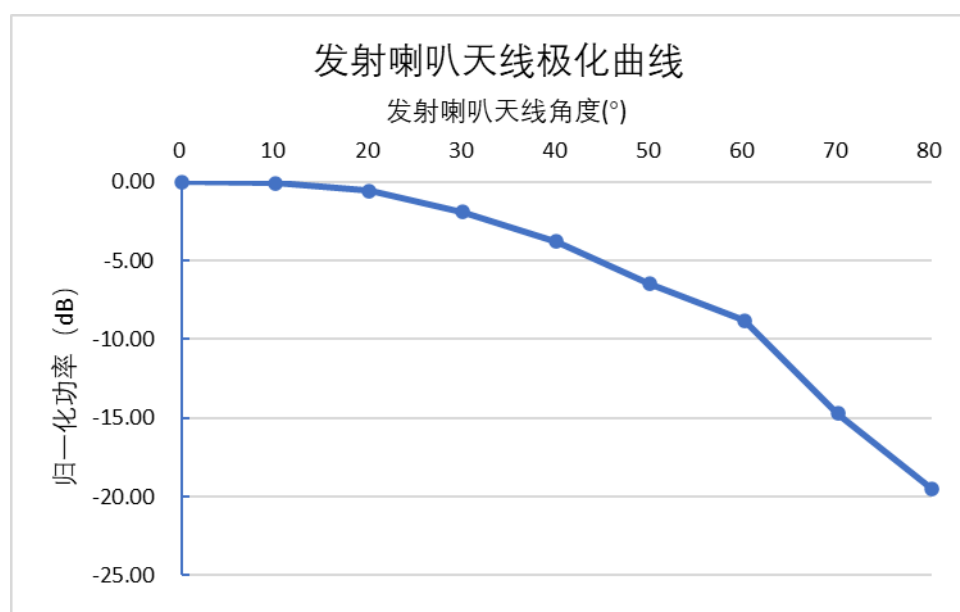
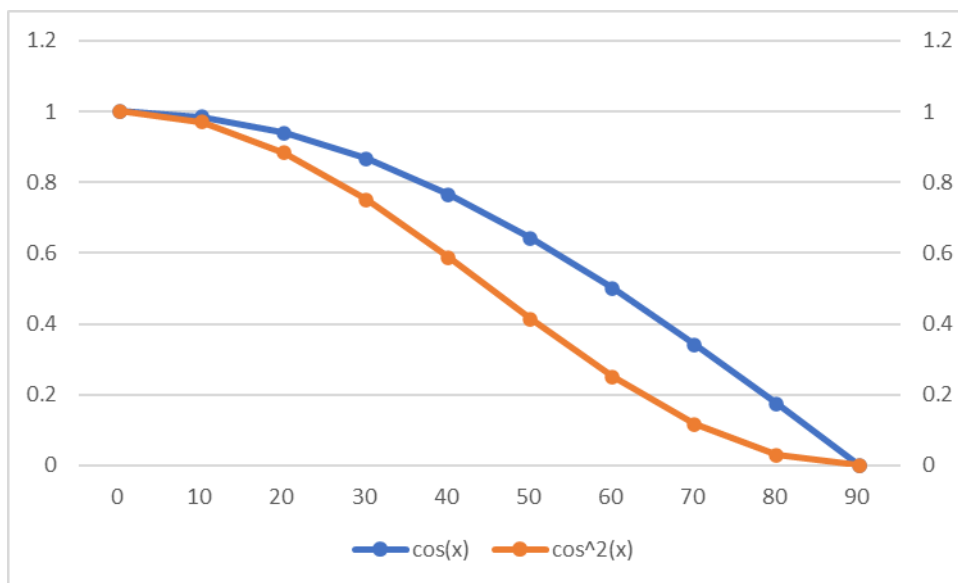


图 3 发射喇叭天线极化曲线图

回答问题 4: (1) 从发射喇叭天线极化特性曲线看, 接受喇叭天线所接收到的功率与发射喇叭天线极化角度 θ 的关系时符合 $\cos \theta$ 还是 $\cos^2 \theta$?

回答: 分别作出 $\cos(x)$ 和 $\cos^2 x$ 图像



对比归一化线性功率曲线 (图 4), 可知更符合 $\cos^2 \theta$ 关系。

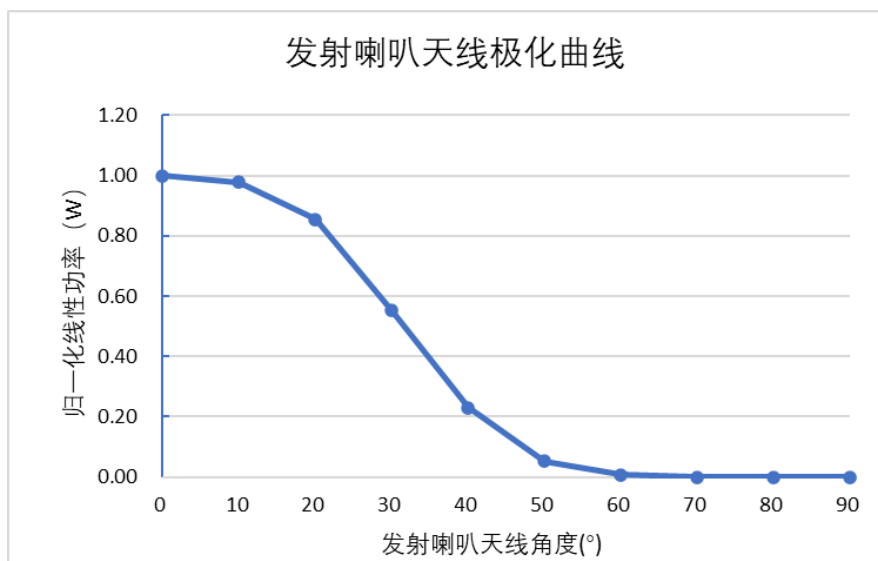


图 4

(2) 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为 45° , 极化器对系统的影响如何?

回答: 发射信号被分解, 只有一半的信号被接收。

5.2.2 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。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。

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。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°。依次将极化栅网转过 90°和 45°，分别记录选频放大器读数。如表 2。

表 3 极化栅网极化特性

| 极化栅网角度 (°) | 实验测量值 (dB) | 相对归一化功率 (dB) |
|------------|------------|--------------|
| 0 | -40.00 | 0.00 |
| 45 | -50.00 | -10.00 |
| 90 | -77.00 | -37.00 |

5.3 喇叭天线辐射方向图测量

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。

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。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，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。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。

记录水平方向图测量数据如表 4，画出方向图（仅包含-90° 到 90° 范围的值）如图 5。

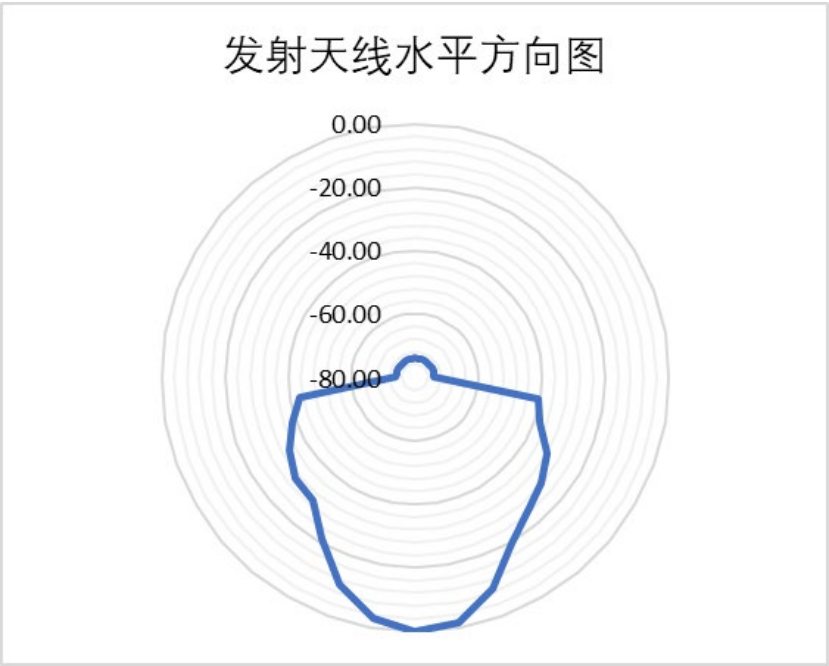


图 5

表 4 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 | $-\infty$ | $-\infty$ |
| -80 | -80.80 | -40.80 |
| -70 | -78.00 | -38.00 |
| -60 | -72.00 | -32.00 |
| -50 | -68.00 | -28.00 |
| -40 | -65.00 | -25.00 |
| -30 | -59.40 | -19.40 |
| -20 | -49.00 | -9.00 |
| -10 | -41.40 | -1.40 |
| 0 | -40.00 | 0.00 |
| 10 | -42.90 | -2.90 |
| 20 | -50.30 | -10.30 |
| 30 | -61.20 | -21.20 |
| 40 | -69.50 | -29.50 |
| 50 | -70.50 | -30.50 |
| 60 | -74.20 | -34.20 |
| 70 | -78.80 | -38.80 |
| 80 | -83.00 | -43.00 |
| 90 | $-\infty$ | $-\infty$ |

记录垂直方向图测量数据如表 5，画出方向图如图 6。

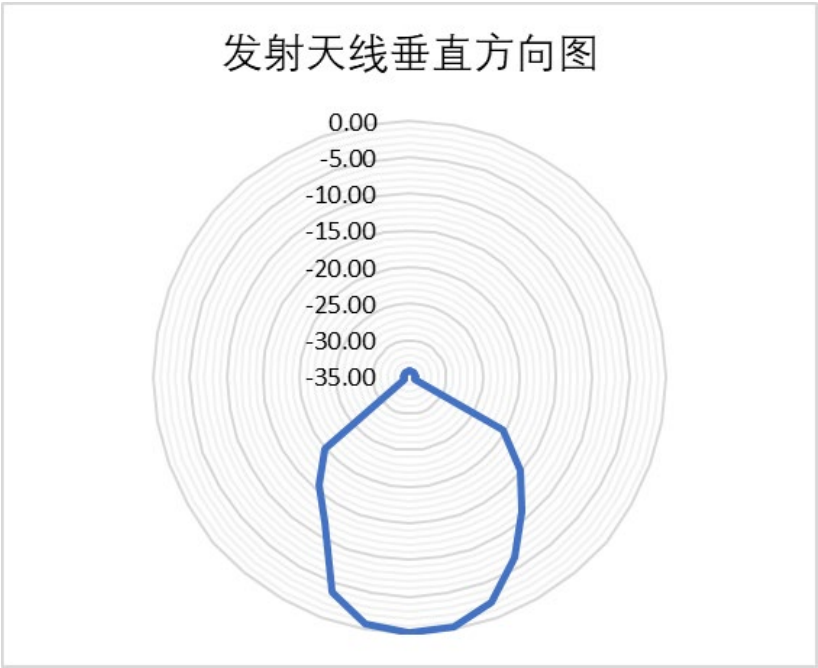


图 6

表 5 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 | -60.35 | -20.35 |
| -50 | -55.20 | -15.20 |
| -40 | -51.10 | -11.10 |
| -30 | -46.50 | -6.50 |
| -20 | -42.30 | -2.30 |
| -10 | -40.40 | -0.40 |
| 0 | -40.00 | 0.00 |
| 10 | -40.70 | -0.70 |
| 20 | -43.80 | -3.80 |
| 30 | -51.90 | -11.90 |
| 40 | -55.80 | -15.80 |
| 50 | -59.80 | -19.80 |
| 60 | -74.20 | -34.20 |

6. 思考题

(前面几个问题在实验记录中已经回答)

(1) 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？

远区场条件： $R \gg \frac{2D_H D_E}{\lambda}$ ，而 $\lambda = \frac{c}{f} = 32mm$ ， $\frac{2D_H D_E}{\lambda} = 0.185m$ ，满足远区场条件。

(2) 收发天线理论增益计算

发射天线：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} = 0.51 * 4\pi * 82 * \frac{37}{32^2} = 18.99$$

半功率波束宽度

$$H: 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.46(rad) = 26.36^\circ$$

$$E: 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.77(rad) = 44.12^\circ$$

接收天线：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} = 0.51 * 4\pi * 141 * \frac{105}{32^2} = 92.66$$

半功率波束宽度

$$H: 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.27(rad) = 15.47^\circ$$

$$E: 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.27(rad) = 15.47^\circ$$

可以看到，天线口径越大，有效面积越大，增益就越大，波束宽度就越小。

(3) 天线水平和垂直极坐标方向图：见图 5、图 6。

(4) 比较半功率波束宽度的计算值和实测值。

水平：实测约 26° ，理论为 26.36° ；

垂直：实测约 45° ，理论为 44.12° 。

均较为接近。

(5) $\pm 90^\circ$ 时的方向图测量值

在实验 5.3 调节好仪器开始测量前，先读出环境噪声在 -80dB 以下。 $\pm 90^\circ$ 时的测量值很小，为环境噪声引起。

(6) 与 CST 仿真的数据比较。CST 仿真的半功率波束宽度结果如下：

接收天线：水平：理论为 15.1° ；垂直：理论为 15.1°

发射天线：水平：理论为 26.1° ；垂直：理论为 43.9°

与计算值和实际测量值均较接近。

7. 实验收获与体会

通过本次实验，我复习并巩固了理论课中天线这一章的知识，对于天线的理论知识有了更多实际的掌握，特别是对于喇叭天线的极化特性、方向图性质等基本概念有了更清楚的认识。

8. 建议与意见

无