

The logo of Zhejiang University, featuring a stylized eagle or bird emblem in the center, surrounded by the university's name in Chinese characters and English, with the year 1897 at the bottom.

实验名称	喇叭天线的辐射特性测量
姓 名	
学 号	
院 系	信息与工程学院
指导老师	王子立
实验日期	

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 4

课程名称 电磁场与电磁波实验 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 应用测量型 同组学生

1 实验目的

1. 揭示喇叭天线的幅射特性。

2. 覆盖的基本概念：

S 参数

天线辐射方向图

天线的极化特性

电磁波在空间传播中与距离的关系

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。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。

喇叭天线半功率波束宽度：

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

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

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

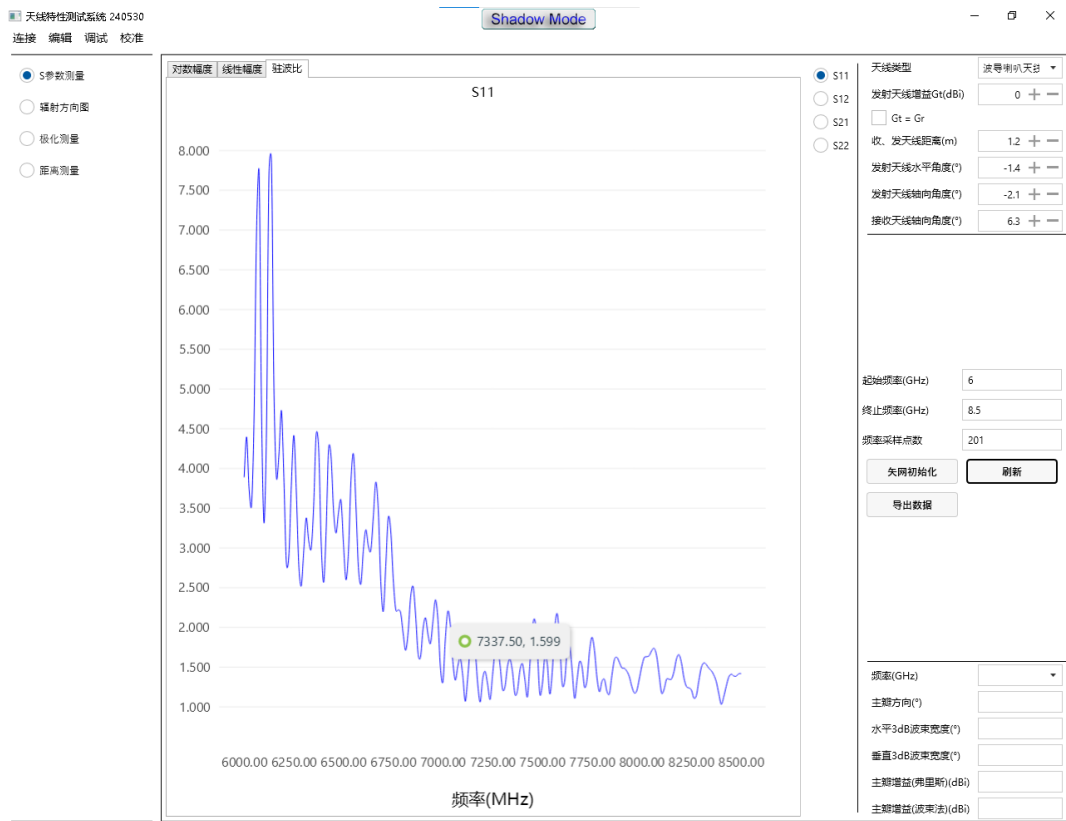
3 实验内容和数据测量

实验开始前，先将接收天线移动至传感器左侧，以满足后续校准位置的要求。将控制器电源打开，天线会自动移动到预设的距离。检查计算机与天线采样架控制器和矢量网络分析仪的数据、网络接线正常后，在测试窗口查找这两台设备并与计算机连接。

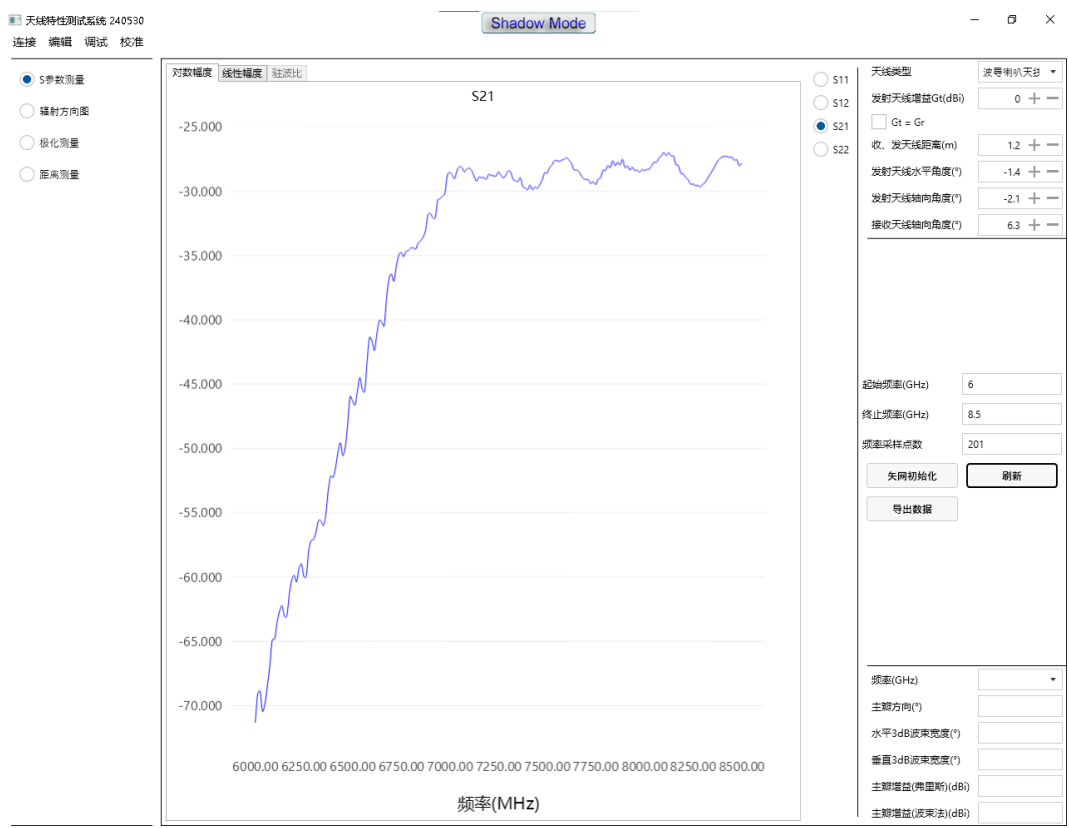
3.1 驻波比、反射系数、回波损耗的测量

实验步骤：

在测试软件中选择 S 参数测量的驻波比 S11。调节各项参数后就可以开始测量。



类似的，选择对数幅度 S21，可以得到如下数据：

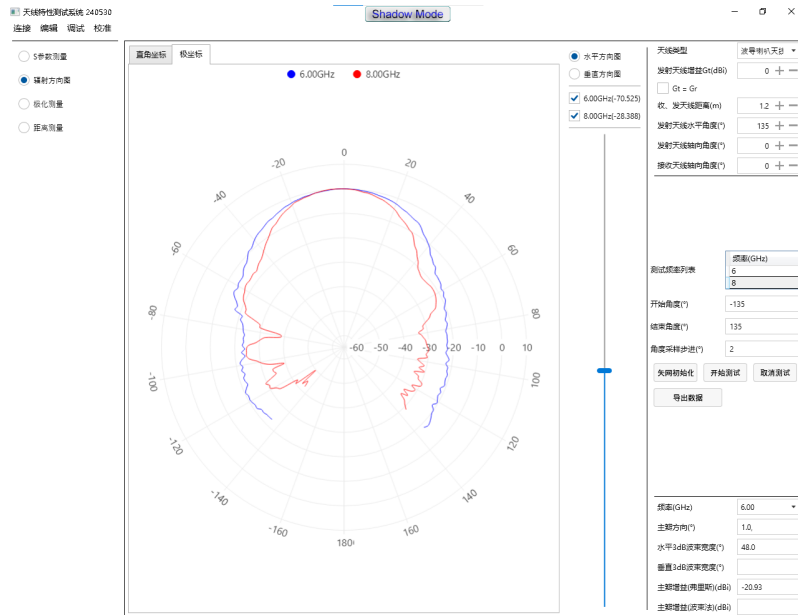


3.2 辐射方向测量

3.2.1 水平面方向图测量

选择 [辐射方向图]、[极坐标]、[水平方向图]。设置角度从-135° 步进至 135°。得到如下数据。

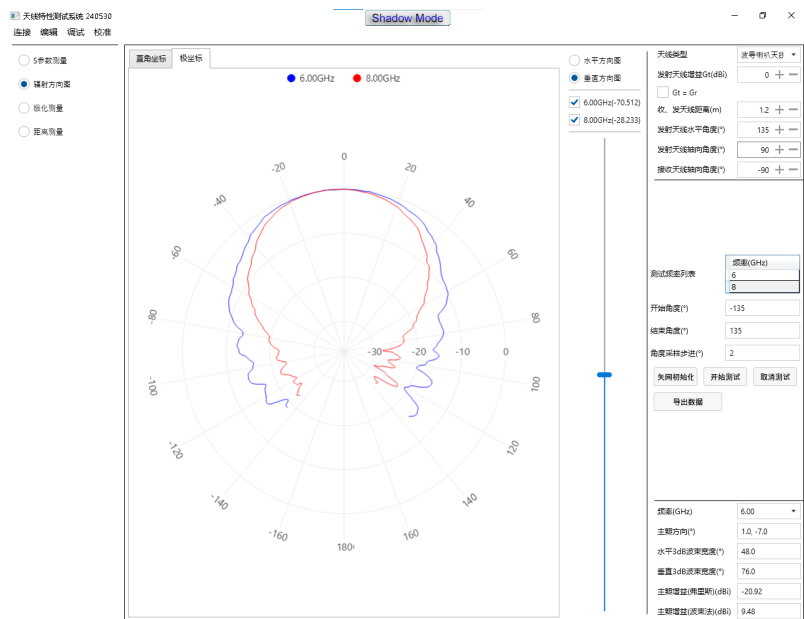
部分数据如下表（6GHz 和 8GHz）：



角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率	角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率
-135	-23.09	0.0701	-135	-42.09	0.0079
-115	-20.38	0.0957	-115	-29.43	0.0338
-95	-24.09	0.0624	-95	-24.66	0.0585
-75	-20.89	0.0903	-75	-29.15	0.0349
-55	-14.26	0.1936	-55	-17.47	0.1338
-35	-6.05	0.4983	-35	-10.59	0.2955
-25	-3.23	0.6894	-25	-4.89	0.5695
-15	-1.19	0.8720	-15	-1.54	0.8375
-5	-0.23	0.9739	-5	-0.06	0.9931
1	0	1.0000	-3	0	1.0000
5	-0.2	0.9772	5	-0.43	0.9517
15	-1.38	0.8531	15	-2.58	0.7430
25	-3.88	0.6397	25	-7.65	0.4145
35	-8.15	0.3913	35	-14.25	0.1939
55	-17.17	0.1385	55	-21.39	0.0852
75	-21.79	0.0814	75	-31.37	0.0270
95	-22.14	0.0782	95	-31	0.0282
115	-21.04	0.0887	115	-29.58	0.0332
135	-18.46	0.1194	135	-28.81	0.0363

3.2.2 垂直面方向图测量

除选择 [垂直方向图] 不同外，其余步骤与“水平测量”一致。

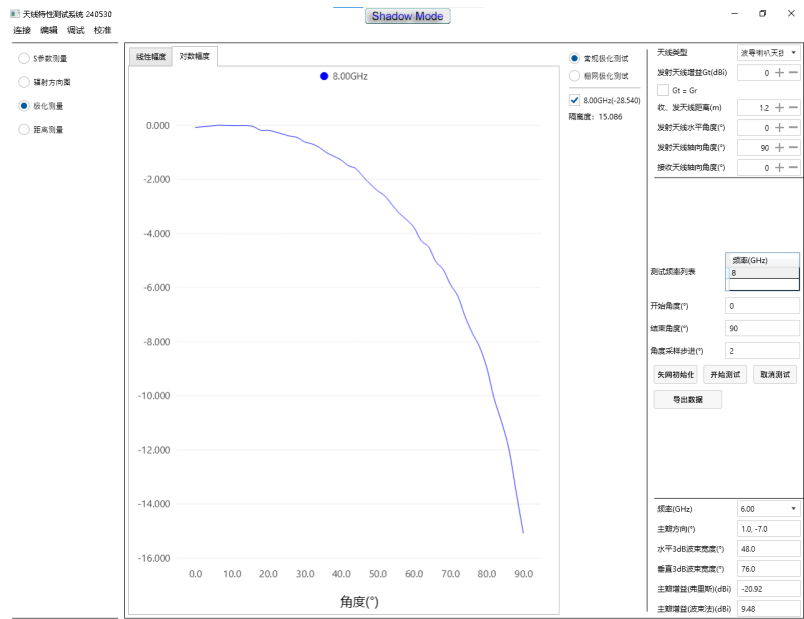


角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率	角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率
-135	-18.8	0.1148	-135	-22.84	0.0721
-115	-17.06	0.1403	-115	-23.74	0.0650
-95	-15.21	0.1736	-95	-21.46	0.0845
-75	-10.85	0.2867	-75	-18.1	0.1245
-55	-6.62	0.4667	-55	-10.34	0.3041
-35	-2.34	0.7638	-35	-3.96	0.6339
-25	-0.89	0.9026	-25	-1.56	0.8356
-15	-0.3	0.9661	-15	-0.42	0.9528
-7	0	1.0000	-5	0	1.0000
5	-0.1	0.9886	5	-0.27	0.9694
15	-0.57	0.9365	15	-1.11	0.8800
25	-1.71	0.8213	25	-3.02	0.7063
35	-3.58	0.6622	35	-6.02	0.5000
55	-9.18	0.3475	55	-14.2	0.1950
75	-13.94	0.2009	75	-22.8	0.0724
95	-16.09	0.1569	95	-24.39	0.0603
115	-17.7	0.1303	115	-29.41	0.0338
135	-16.01	0.1583	135	-26.83	0.0456

3.3 极化测量

3.3.1 天线极化测量

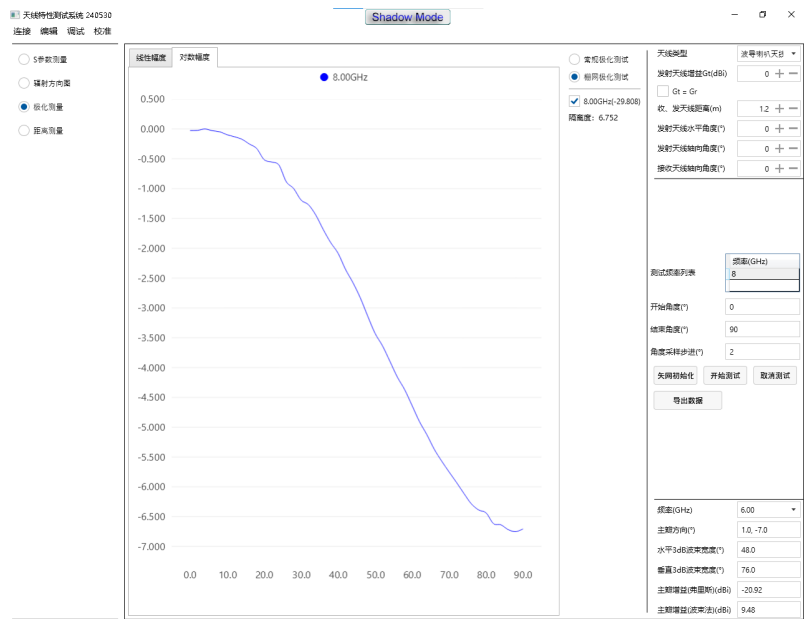
选择 [极化测量]、[对数幅度]、[常规极化测量]。



角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率
0	-0.08	0.99
10	-0.01	1
20	-0.19	0.98
30	-0.62	0.93
40	-1.28	0.86
50	-2.42	0.76
60	-3.78	0.65
70	-5.89	0.51
80	-8.97	0.36
90	-15.09	0.18

3.3.2 栅网极化测量

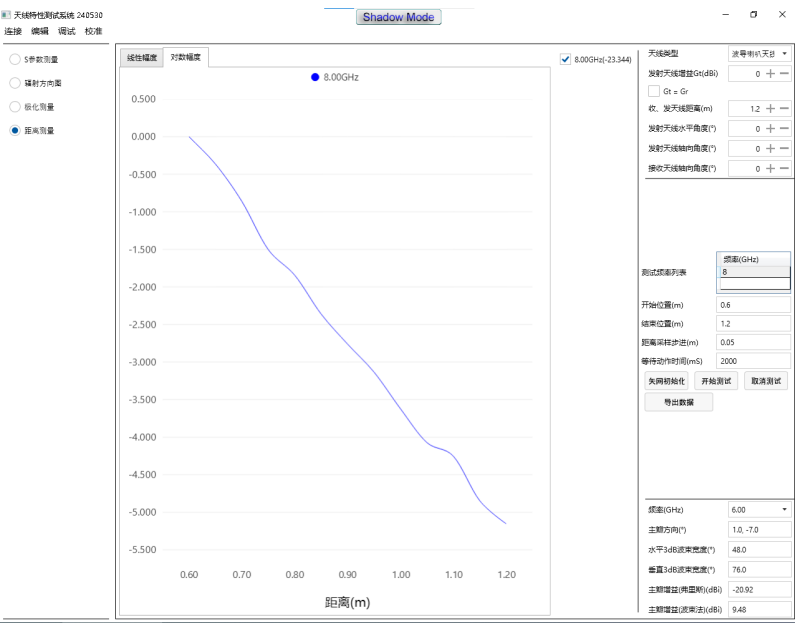
选择 [极化测量]、[对数幅度]、[栅网极化测量]。



角度 °	相对增益 dB	相对归一化功率
0	-0.03	1
10	-0.1	0.99
20	-0.51	0.94
30	-1.19	0.87
40	-2.08	0.79
50	-3.43	0.67
60	-4.64	0.59
70	-5.75	0.52
80	-6.44	0.48
90	-6.7	0.46

3.4 电磁波在空间传播中与距离的关系测量

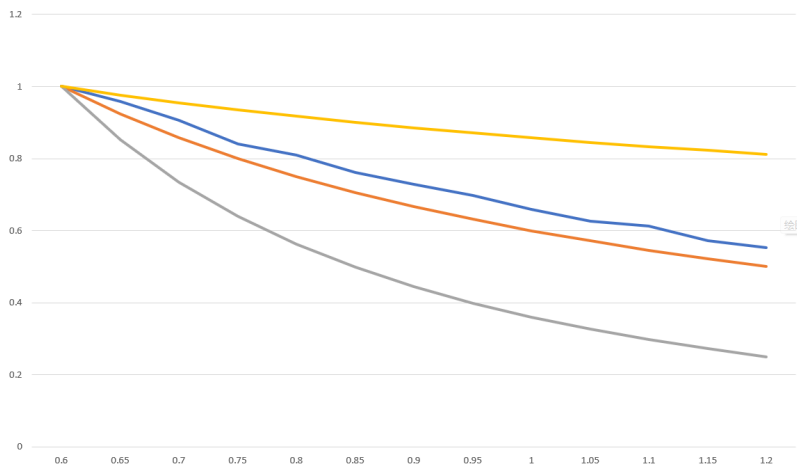
选择 [距离测量]、[对数幅度]。



距离 m	相对增益 dB	相对归一化功率
0.6	0	1
0.65	-0.364	0.959
0.7	-0.862	0.906
0.75	-1.504	0.841
0.8	-1.844	0.809
0.85	-2.361	0.762
0.9	-2.761	0.728
0.95	-3.134	0.697
1	-3.621	0.659
1.05	-4.072	0.626
1.1	-4.252	0.613
1.15	-4.845	0.572
1.2	-5.152	0.553

4 思考题

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?

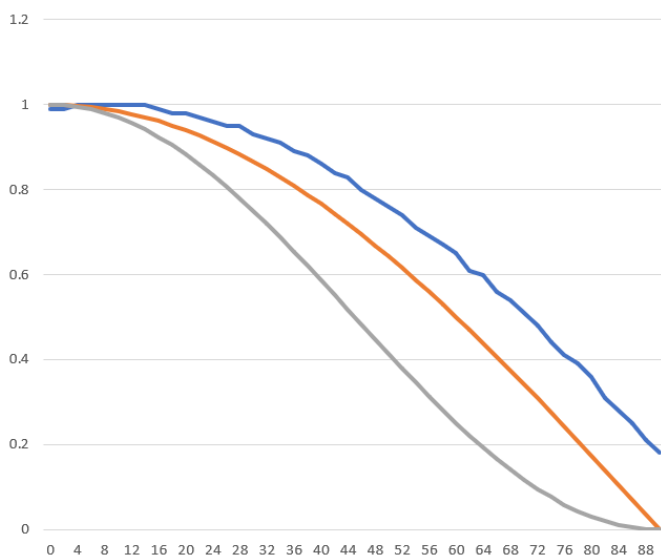
如上图, 电磁波传播与距离的关系曲线最接近 $\frac{1}{R^2}$ 。与理论值 $P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} (W)$ 基本相符合。

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 。

见正文内容

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“天线极化测量”所示，当极化角度为 45° 时，归一化功率为 0.5 。 $I_{\text{接收}} = I_{\text{发射}} \cos(45^\circ) \sin(45^\circ) = 0.5 I_{\text{发射}}$ 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？

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.0375\text{m}$$

$$\frac{2D_H D_E}{\lambda} = 0.1618\text{m}$$

$$R \gg 0.1618\text{m}$$

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：

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

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

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

接收喇叭天线：

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

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

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

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。

见正文内容

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 46° ，垂直方向半功率波束宽度约 76° ，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。

5 实验收获与体会

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 excel 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，加深了我对这门课的认识，巩固了我的理论知识，深化场波内容的体系结构，了解了一些天线的具体使用案例和场景。