



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

电磁场与电磁波实验

实验四 电磁波的极化实验

学 院： 电子工程学院

班 级： 2302061

姓 名： 李达航

学 号： 23009101011

理论课教师： 李龙

实验课教师： 徐 茵

同 做 者： 无

实验日期： 2025 年 5 月 26 日

成绩：

请务必填写清楚姓名、学号、班级及理论课任课老师。

实验四 电磁波的极化实验

一、 实验目的：

1. 通过虚拟仿真观察并理解电磁波极化的概念
2. 学习电磁波极化的测量方法
3. 学会判读线极化波，圆极化波的方法

二、 实验装置

电磁场电磁波与天线综合实验系统：系统如图 1 所示。



图 1 电磁场电磁波与天线综合实验系统

系统由主机和数控天线滑轨组成。主机内嵌信号源、频率计、功率计、微安表以及矢网模块。数控天线滑轨一端安装多极化发射天线，另一端可安装反射板，中间滑块安装接收天线。

三、 实验原理：

平面电磁波沿轴线前进没有 E_z 分量，一般情况下，存在 E_x 分量和 E_y 分量，如果 E_y 分量为零，只有 E_x 分量我们称其为 X 方向线极化。如果只有 E_y 分量而没有 E_x 分量我们称其为 Y 方向线极化。

在一般情况下, E_x 和 E_y 都存在, 在接收此电磁波时, 将得到包含水平与垂直两个分量的电磁波。如果此两个分量的电磁波的振幅和相位不同时, 可以得到各种不同极化形式的电磁波。

1. 如果电磁波场强的 X 和 Y 分量为:

$$E_x = E_{xm} \cos(\omega t + \varphi_1 - kz) \quad (1)$$

$$E_y = E_{ym} \cos(\omega t + \varphi_2 - kz) \quad (2)$$

其中 φ_1 、 φ_2 为初相位, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 。

若 φ_1 等于 φ_2 , 或 φ_1 与 φ_2 相位差为 $2n\pi$ 时, 其合成电场为线极化波, 其幅度为:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{E_{xm}^2 + E_{ym}^2} \cos(\omega t - kz + \varphi_1) \quad (3)$$

电场分量与 X 轴的夹角为:

$$\alpha = \arctan \frac{E_y}{E_x} = \arctan \frac{E_{ym}}{E_{xm}} = \text{常数} \quad (4)$$

2. 如果 φ_1 与 φ_2 相位差 90° 或 270° , 则:

$$E_x = E_{xm} \cos(\omega t - kz + \varphi_1) \quad (5)$$

$$E_y = E_{ym} \cos(\omega t - kz + \varphi_2) \quad (6)$$

合成电磁场为:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{E_{xm}^2 + E_{ym}^2} = \text{常数} \quad (7)$$

它的方向是:

$$\tan \alpha = \frac{E_y}{E_x} = \tan(\omega t - kz + \varphi_1) \quad (8)$$

$$\alpha = \omega t - kz + \varphi_1 \quad (9)$$

表示合成场振幅不随时间变化, 其方向是随时间而旋转的圆极化波。

3. 如果其相位差不为 0° , 180° 也不是 90° 、 270° 时, 合成波为椭圆极化波。

四、实验内容和步骤:

Part A 虚拟仿真

在系统软件界面中选择“电磁波虚拟仿真”，观察线极化波、圆极化波以及椭圆极化波的仿真波形。



图 2 控制界面图



图 3 视角选择

1. 在控制界面中, 选中“波 1”, 极化依次选择“水平”、“垂直”, 拖动滑杆改变幅度值与波长值, 观察线极化波的仿真波形以及幅度、波长对波形的影响。
2. 在菜单栏的“视图”中分别选择侧面、前面、背面, 观察不同视角下显示的波形, 理解线极化波在不同视角下的关系。

3. 在控制界面中选中“波 2”，并选中“波 1+波 2”，“波 1”设置为水平极化波，“波 2”设置为垂直极化波，观察相互垂直的两个线极化波合成的仿真波形。
4. 拖动滑杆，改变两线极化波的参数设置，分别合成线极化波、圆极化波和椭圆极化波，观察分析合成波的极化形式与“波 1”、“波 2”的幅度、相位差之间的关系，拍照记录 3 种合成波形（线极化、圆极化、椭圆极化）以及对应的“波 1”、“波 2”的参数设置；
5. 取消勾选“波 2”，将“波 1”依次设置为“左旋”圆极化波和“右旋”圆极化波，拖动滑杆改变幅度值与波长值，观察圆极化波的仿真波形以及幅度、波长对波形的影响。
6. 在菜单栏的“视图”中分别选择侧面、前面、背面，观察不同视角下显示的波形，理解圆极化波在不同视角下的关系。
7. 将“波 1”和“波 2”的极化形式均设置为圆极化波，旋向相同。拖动滑杆，改变两圆极化波的波长、幅度、相位差等参数设置，观察分析相同旋向的圆极化波合成后的波形的极化形式，以及“波 1”、“波 2”的不同参数对合成波的影响，拍照记录旋向相同的圆极化波的合成波形以及对应的“波 1”、“波 2”的参数设置。
8. 将“波 1”和“波 2”的极化形式均设置为圆极化波，旋向相反。拖动滑杆，改变两圆极化波的波长、幅度、相位差等参数设置，分别合成线极化波和椭圆极化波，观察分析旋向相反的圆极化波合成后的波形的极化形式，以及“波 1”、“波 2”不同参数对合成波的影响，拍照记录 2 种合成波形（线极化、椭圆极化）以及对应的“波 1”、“波 2”的参

数设置。

9. （选做拓展）改变“波 1”的传播方向，观察并思考不同传播方向对合成波的影响。

注意：不建议调整动画窗口的大小，否则会影响显示效果。

Part B 测量电磁波的极化

使用电磁场电磁波与天线综合实验系统观察测量电磁波的极化。

1. 取下反射板，用多极化天线作为发射天线，并检查是否完成使用 SMA 线缆连接多极化天线的“垂直极化(V)”与机箱右面板“移相输出”端口，多极化天线的“水平极化(H)”连接机箱右面板“宽带输出”端口，用半波偶极子天线作为接收天线，安放到接收天线支架上，接收天线的输出 SMA 端口连接至支架内伸出的滑环输入，导轨右侧滑环输出口连接至机箱右面板“检波输入”端口，如图 4 所示。

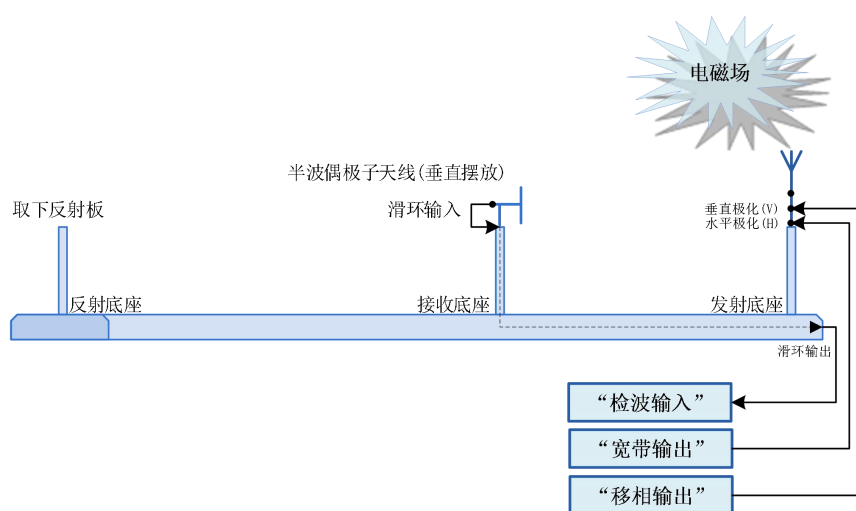


图 4 极化实验装置连接图

2. 点击主界面“信号源”，进入测量状态，显示电磁场电磁波频率表盘和功率表盘，点击“窄带移相信号源”标签，切换为窄带移相信号源，点击“窄带移相信号源”下方的“ON/OFF”开关，切换至“ON”以打开

窄带移相信号源；调节移相信号源频率为 1950MHz。

3. 返回主界面，点击“传输特性”，进入传输特性测量状态，点击“重置位置”，等待模块复位；等待接收天线和反射板到位后，旋转接收天线到 0 度。
4. 等待接收天线到位后，确保此时接收天线接收方向正对发射天线、极化方向与发射天线相同，在“传输特性”界面移动接收天线至 50cm 处。
5. **观察线极化并测量极化隔离度：**返回主界面，点击“信号源”，手动旋转接收天线极化角度，记录角度为 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 时功率表盘读数于表 1 中（这里定义 0° 对半波偶极子天线、准八木天线、二单元矩形阵列天线等线极化天线而言是垂直极化摆放，对阿基米德螺旋天线而言是指馈电巴伦板与水平地面垂直），将接收天线角度 0° 读数与 90° 读数相减，记为极化隔离度，填入表 1 中。
6. 松开接收天线背后螺丝，将接收天线取下并旋转 90° 重新安装，手动旋转接收天线极化角度，记录角度为 $0^\circ+90^\circ$ 、 $30^\circ+90^\circ$ 、 $45^\circ+90^\circ$ 、 $60^\circ+90^\circ$ 、 $90^\circ+90^\circ$ 时功率表盘读数于表 1 中。
7. **观察圆极化并测量极化隔离度：**点击“宽带信号源控制”右侧的“ON/OFF”开关，切换至“ON”以打开宽带信号源。
8. 将半波偶极子天线取下，用阿基米德螺旋天线作为接收天线，安装到接收天线支架上，保持馈电巴伦板与水平地面垂直，确保此时接收天线接收方向正对发射天线。
9. 调整相位使得功率表盘读数最小，此时的发射合成波形极化与接收天线极化相反，呈现圆极化隔离状态，即发射右旋圆极化波，接收天线为左

旋圆极化，将此时的相位 PH1 和功率表盘读数记录到表 2 中。

10. 调整相位为 $PH2 = |PH1 - 180|$ ，此时功率表盘读数应较大，发射合成波形极化与接收天线极化相同，呈现圆极化匹配状态，即发射左旋圆极化波，接收天线为左旋圆极化，将此时的相位 PH2 和功率表盘读数记录到表 2 中。

11. 将极化匹配状态下的功率读数减去极化隔离状态下的功率读数，即为圆极化的隔离度，填入表 2。

12. 保持信号源及相位不变，取下阿基米德螺旋天线，重新安装半波偶极子天线，并保持天线与水平地面垂直，确保此时接收天线接收方向正对发射天线。

13. 重复步骤 5、步骤 6，将测量数据记录到表 3 中。

注意：

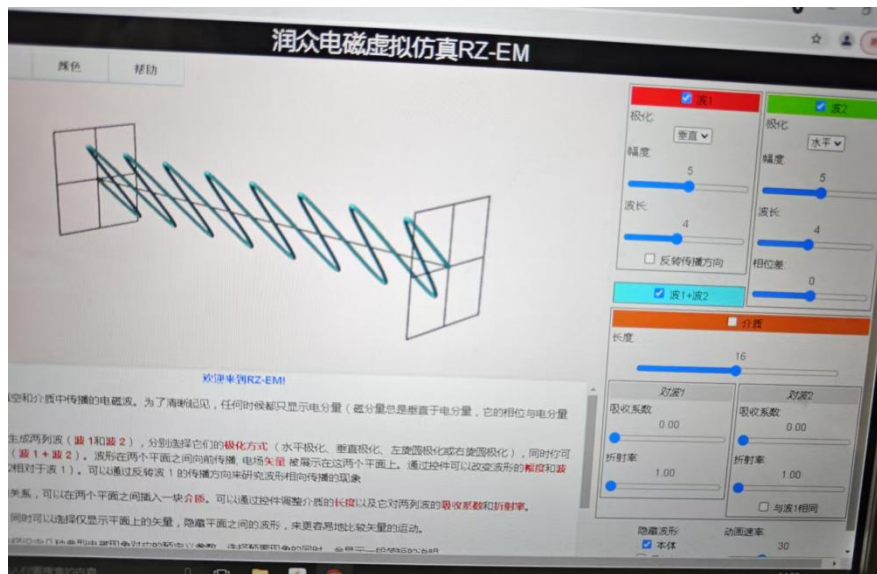
1. 测试应选择开阔空间并尽量避免人员走动，以减小环境人体反射对测试的影响；
2. 可将每组设备频率错开 1MHz 以上避免相互干扰。

五、 实验数据：

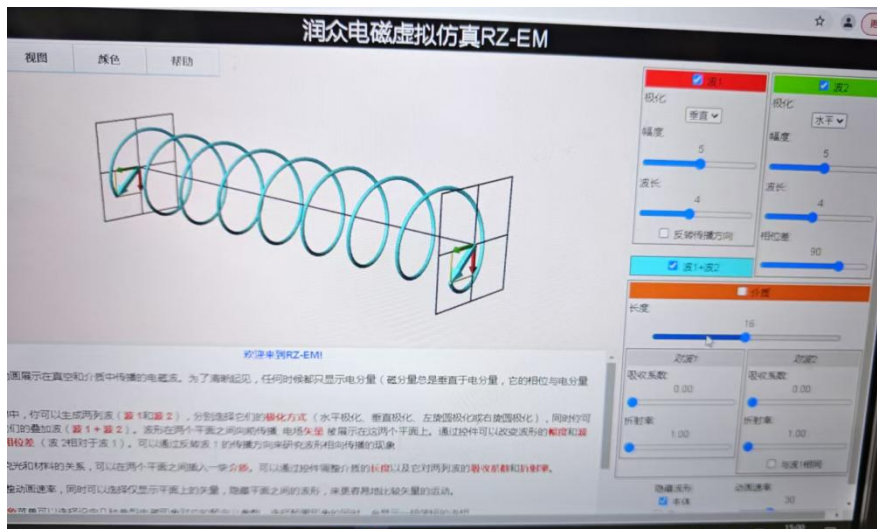
Part A 虚拟仿真：

1. “波 1”、“波 2”分别为“水平”线极化波和“垂直”线极化波时的合成波形以及对应参数设置（至少 3 张图，分别为合成线极化波、合成圆极化波、合成椭圆极化波），并标明合成波的极化形式：

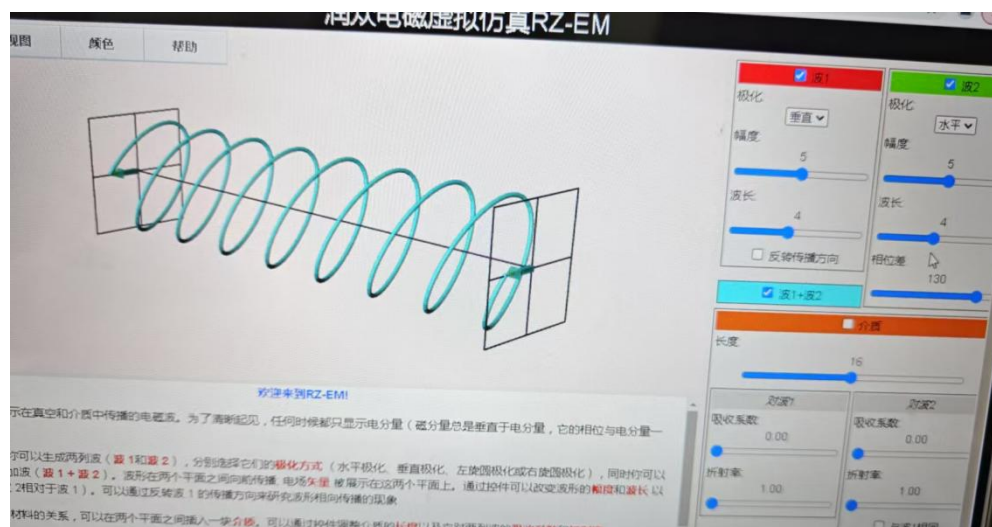
合成线极化波：



合成圆极化波：

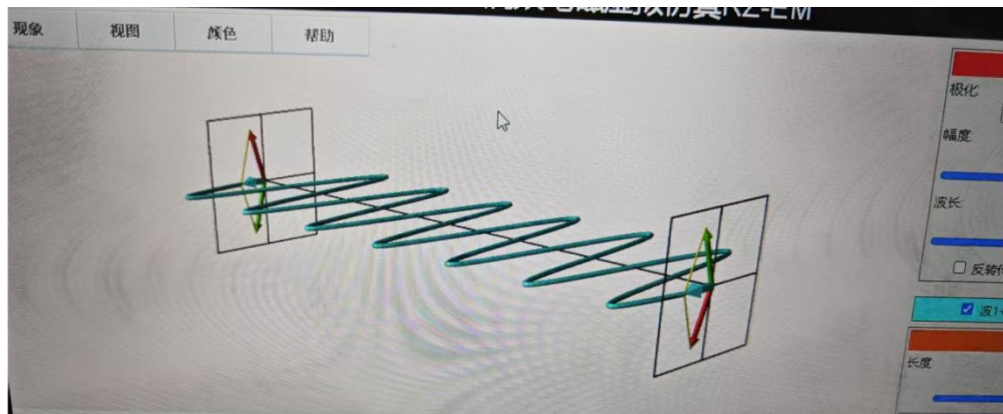


合成椭圆极化波：

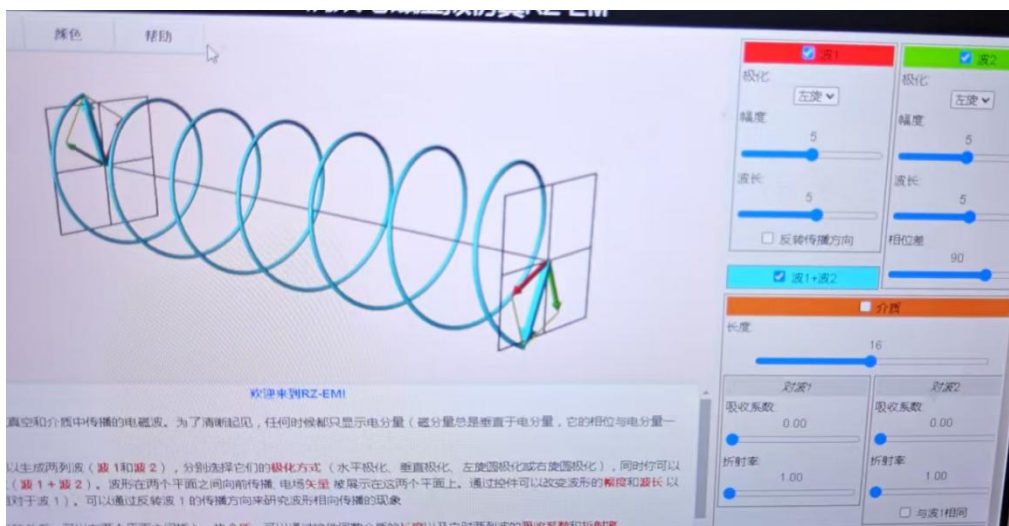


2. “波 1”、“波 2” 分别为旋向相同的圆极化波、以及旋向相反的圆极化波时的合成波形以及对应参数设置（至少 3 张图，分别为合成线极化波、合成圆极化波、合成椭圆极化波），并标明合成波的极化形式：

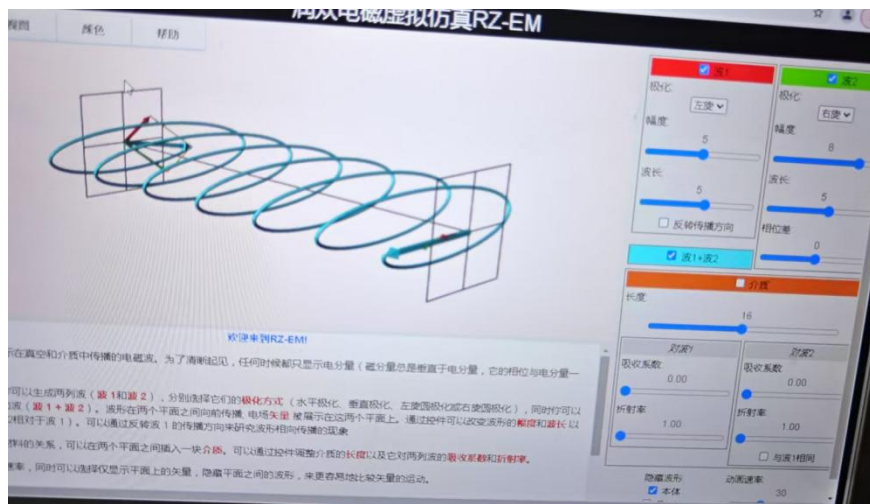
合成线极化波：



合成圆极化波：



合成椭圆极化波：



Part B 测量电磁波的极化:

1. 观察线极化并测量极化隔离度:

表 1 半波偶极子天线测量线极化

频率: 1950.0 MHz

| 接收天线角度 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 功率读数 (dBm) | -31.9 | -32.6 | -32.4 | -32.9 | -33.3 | -34.2 | -35.3 | -36.1 | -35.4 | -34.5 | -33.8 | -33.3 | -33.9 |
| 极化隔离度 (dB) | 3.4 | | | | | | | | | | | | |

2. 观察圆极化并测量极化隔离度:

表 2 阿基米德螺旋天线测量圆极化

频率: 1950.0 MHz

| 极化隔离相位 (°) | 极化隔离功率读数 (dBm) | 极化匹配相位 (°) | 极化匹配功率读数 (dBm) | 隔离度 (dB) |
|------------|----------------|------------|----------------|----------|
| 224° | -30.6 | 44° | -48.3 | 17.7 |

表 3 半波偶极子天线测量圆极化

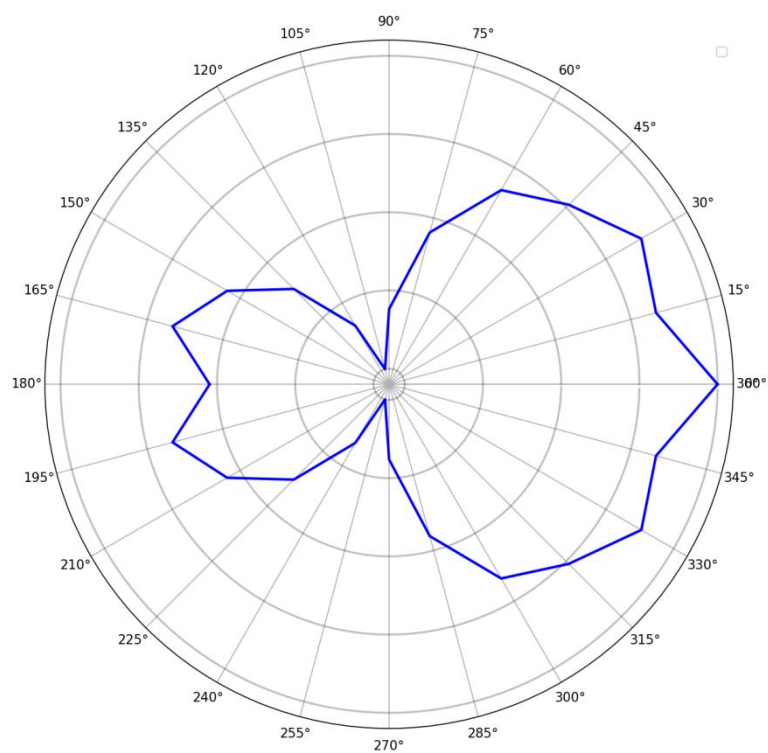
频率: 1950.0 MHz

| 接收天线角度 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 功率读数 (dBm) | -48.6 | -49.4 | -52.5 | -54.2 | -54.3 | -55.3 | -51.6 | -50 | -45.5 | -46.1 | -44.2 | -44.5 | -44.7 |

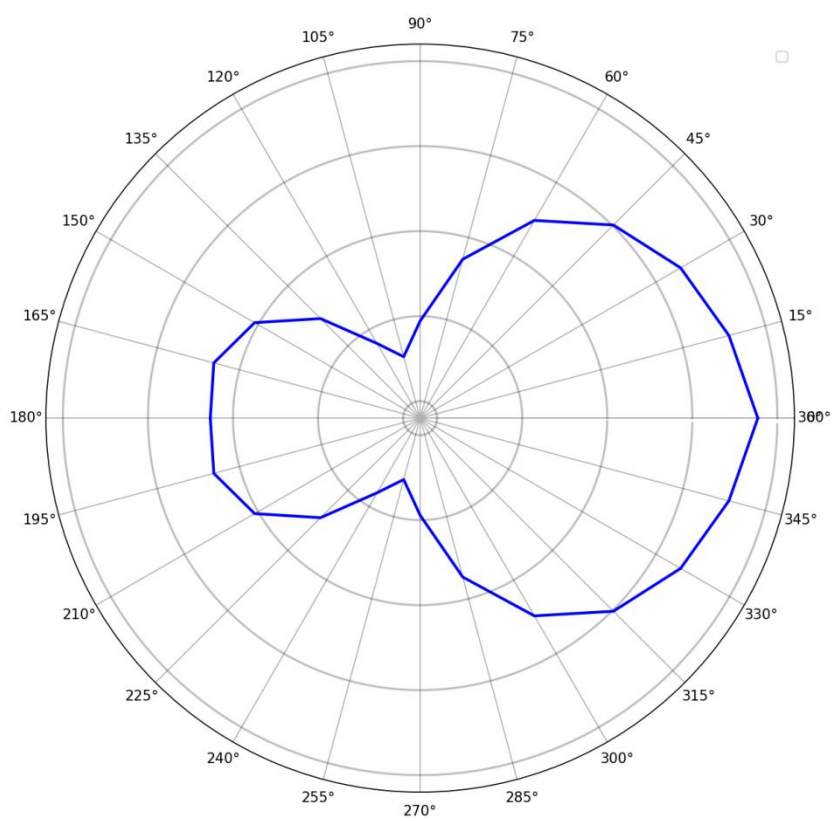
六、数据处理:

根据 Part B 测量所得表 1 和表 3 实验数据, 在图 5 中分别画出线极化、圆极化的方向图。

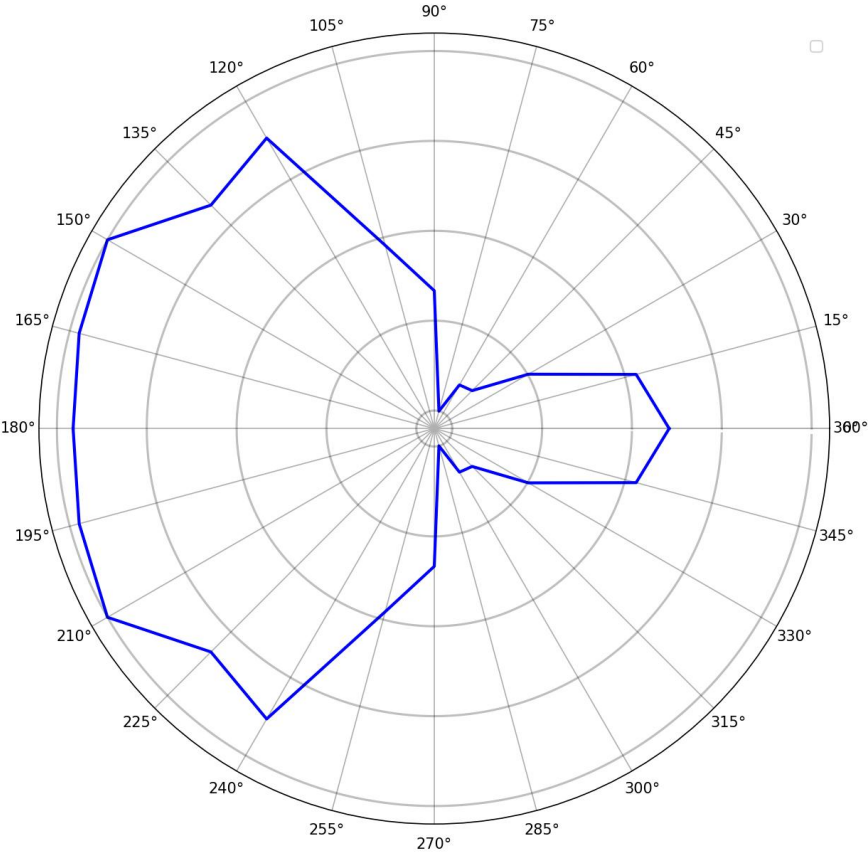
线极化：（高斯平滑前）



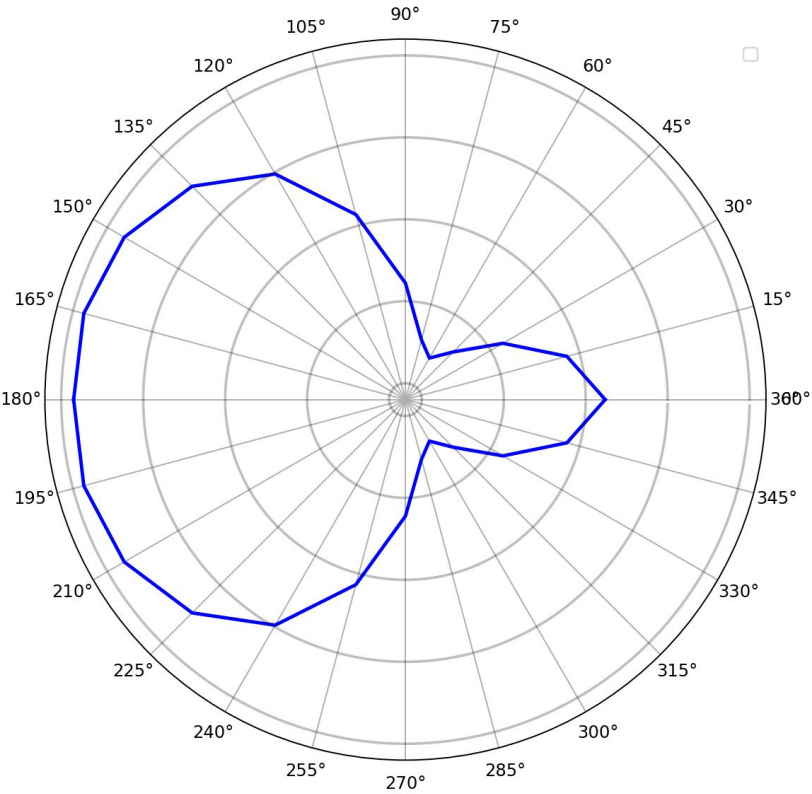
线极化：（高斯平滑后）



圆极化：（高斯平滑前）：



圆极化：（高斯平滑后）：



七、思考题

1. 通过仿真实验，简要叙述，当两个线极化波满足什么样的条件时，可以合成圆极化波，合成的圆极化波的旋向与线极化波的关系有什么样的关系？

解：

(1) 当两个线极化波满足传播方向相同、频率相同、振幅相等、振动方向互相垂直、相位差为 $\pm 90^\circ$ 度时，可以满足合成圆极化波；

(2) 当相位超前 90° 度的那个线极化波的振动方向被选为参考（例如 Y 轴），另一个为 X 轴时：如果相位差为 $+90^\circ$ 度（即 Y 方向波比 X 方向波相位超前 90° 度），则合成的圆极化波是 右旋圆极化波；如果相位差为 -90° 度（即 X 方向波比 Y 方向波相位超前 90° 度），则合成的圆极化波是 左旋圆极化波。即：哪个方向的线极化波相位超前，电场矢量就朝那个方向旋转（相对于观察者）

2. 通过仿真实验，请简要叙述，当两个圆极化波满足什么样的条件时，可以合成线极化波？满足什么样的条件时，可以合成圆极化波？

(1) 当两个圆极化波满足传播方向相同、频率相同、旋向相反、振幅相等时，两个圆极化波会相互抵消其旋转分量，将合成的电场矢量固定在某个方向上，形成线极化波。同时，合成线极化波的极化方向取决于两个圆极化波的初始相位差。

(2) 当两个圆极化波满足传播方向相同、频率相同、旋向相同、振幅相等时，两个圆极化波将会合成出一个同旋向，振幅更大的圆极化波。

3. 观察并思考，日常生活中，有哪些应用或现象与电磁波的极化有关，请简要举例说明。

解：

(1) 光学偏振片：通过阻挡反射光中的垂直偏振成分，减少 glare（反光），提高观察清晰度

(2) 卫星电视接收：需调整天线极化方向以正确接收信号，通常分为垂直和水平极化

(3) WiFi 和移动网络：在不同频段上使用特定极化的电磁波，以实现更好的信号覆盖和穿透能力

(4) 手机通信中的 MIMO 技术：通过多根天线发送和接收不同方向或类型的极化波，提升数据传输速率和容量

4. 将实验测量所得的图形与图 6 结果对比，说明二者不同的原因，简要分析实验误差产生原因，并思考如果设计实验能够减小误差影响。

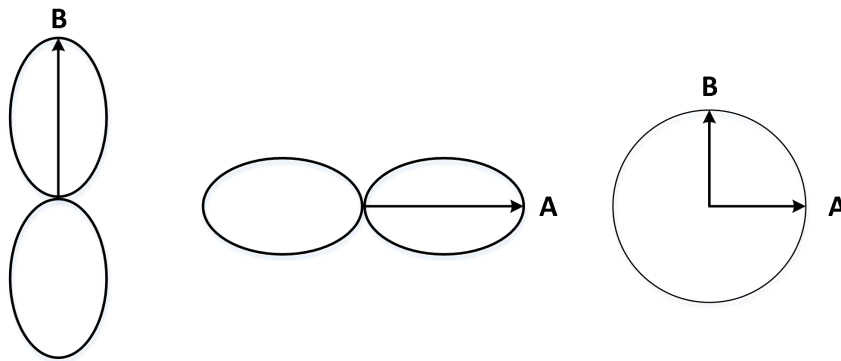


图 6 理想线极化与圆极化

如图 6 所示 A 为椭圆横轴场强，B 为椭圆纵轴场强。其所测图像中 A 为椭圆长轴，B 为椭圆短轴。当 B 等于零时为水平线极化波，当 A 等于零时为垂直线极化波，B 等于 A 时为圆极化波。

解：

(1) 实际测量时，仪器旁边放置了手机等电子产品，会产生电磁干扰；操作仪器的时候旁边有人经过，造成电磁波的反射等干扰；同时，仪器以及操作过程中的测量误差会导致实验测得到图形和理想结果无法达到完全一致。

(2) 设计实验时，能将整个实验装置放进专用的电磁消波室中，隔绝第三方电磁波与自身电磁波反射造成的干扰，同时人员应该远程操控实验装置，杜绝在人体上电磁波反射对于实验的干扰。

附录:

请在此处附上虚拟仿真程序代码及其他需要附录的文字说明或图，可附页。

绘制天线圆极化与线极化的方向图（使用 Python，这里以圆极化代码为例，除了 power_readings 数组的功率读数数据不一样外，其它代码形式差不多相同）

<未经高斯平滑>

```
01 import matplotlib.pyplot as plt
02 import numpy as np
03
04 # 创建一个新的图形窗口
05 fig, ax = plt.subplots(subplot_kw={'projection': 'polar'})
06
07 # 数据
08 angles_degrees = np.array([0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135,
09 150, 165, 180]) # 角度数据
10 power_readings = np.array([-48.6, -49.4, -52.5, -54.2, -54.3, -55.3,
11 -51.6, -50, -45.5, -46.1, -44.2, -44.5, -44.7]) # 功率读数 (dBm)
12
13 # 将角度转换为弧度
14 angles_radians = np.deg2rad(angles_degrees)
15
16 # 绘制径向网格线
17 ax.set_rgrids([0, 30, 60, 90], angle=0, labels=[0, 30, 60, 90]) #
18 设置径向网格线
19
20 # 绘制角度网格线，包括 0° 到 360° 的所有角度
21 full_circle_angles = np.arange(0, 361, 15)
22 ax.set_thetagrids(full_circle_angles, labels=[f'{int(angle)}° ',
23 for angle in full_circle_angles])
24
25 # 绘制上半平面的数据
26 ax.plot(angles_radians, power_readings, color='blue', linewidth=2)
27
28 # 对称映射到下半平面
29 angles_radians_lower = np.deg2rad(360 - angles_degrees)
30 ax.plot(angles_radians_lower, power_readings, color='blue',
31 linewidth=2)
32
```

```

33
34 theta = np.linspace(0, 2 * np.pi, 360, endpoint=False)
35 rho = np.linspace(-55.3, -44.2, 5)
36 for r in rho:
37     ax.plot(theta, r * np.ones_like(theta), color='black',
38 alpha=0.25, linestyle='--')

    # 添加图例
    ax.legend()

    # 显示图形
    plt.show()

```

<经过高斯平滑>

```

01 import matplotlib.pyplot as plt
02 import numpy as np
03 from scipy.ndimage import gaussian_filter1d
04
05 # 创建一个新的图形窗口
06 fig, ax = plt.subplots(subplot_kw={'projection': 'polar'})
07
08 # 数据
09 angles_degrees = np.array([0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135,
10 150, 165, 180]) # 角度数据
11 power_readings = np.array([-48.6, -49.4, -52.5, -54.2, -54.3, -55.3,
12 -51.6, -50, -45.5, -46.1, -44.2, -44.5, -44.7]) # 功率读数 (dBm)
13
14 # 应用高斯平滑
15 sigma = 1 # 高斯平滑的标准差, 可以根据需要调整
16 power_readings_smoothed = gaussian_filter1d(power_readings, sigma)
17
18 # 将角度转换为弧度
19 angles_radians = np.deg2rad(angles_degrees)
20
21 # 绘制径向网格线
22 ax.set_rgrids([0, 30, 60, 90], angle=0, labels=[0, 30, 60, 90]) #
23 设置径向网格线
24
25 # 绘制角度网格线, 包括 0° 到 360° 的所有角度
26 full_circle_angles = np.arange(0, 361, 15)
27 ax.set_thetagrids(full_circle_angles, labels=[f'{int(angle)}° ',
28 for angle in full_circle_angles])
29
30 # 绘制上半平面的数据

```

```

31 ax.plot(angles_radians, power_readings_smoothed, color='blue',
32 linewidth=2)
33
34 # 对称映射到下半平面
35 angles_radians_lower = np.deg2rad(360 - angles_degrees)
36 ax.plot(angles_radians_lower, power_readings_smoothed,
37 color='blue', linewidth=2)
38
39 # 绘制同心圆
40 theta = np.linspace(0, 2 * np.pi, 360, endpoint=False)
41 rho = np.linspace(-55.3, -44.2, 5)
42 for r in rho:
43     ax.plot(theta, r * np.ones_like(theta), color='black',
44             alpha=0.25, linestyle='--')
45
46 # 添加图例
47 ax.legend()
48
49 # 显示图形
50 plt.show()

```

原始数据:

姓名: 李达航 学号: 23009101011 班级: 2302061 理论课教师: 徐 25.5.26

实验四原始数据记录

Part A 虚拟仿真

1. 拍照记录两个线极化波的 3 种合成波形 (线极化、圆极化、椭圆极化) 以及对应的“波 1”、“波 2”的参数设置。
2. 分别拍照记录旋向相同、旋向相反的圆极化波的 3 种合成波形 (线极化、圆极化、椭圆极化) 以及对应的“波 1”、“波 2”的参数设置。

Part B 测量电磁波的极化

1. 观察线极化并测量极化隔离度:

表 1 半波偶极子天线测量线极化

频率: 1950.0 MHz

| 接收天线角度 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 功率读数 (dBm) | -31.9 | -32.6 | -32.4 | -32.9 | -33.3 | -34.2 | -35.3 | -36.1 | -35.4 | -34.5 | -33.8 | -33.3 | -33.9 |
| 极化隔离度 (dB) | 3.4 | | | | | | | | | | | | |

2. 观察圆极化并测量极化隔离度:

表 2 阿基米德螺旋天线测量圆极化

频率: 1950.0 MHz

| 极化隔离相位 (°) | 极化隔离功率读数 (dBm) | 极化匹配相位 (°) | 极化匹配功率读数 (dBm) | 隔离度 (dB) |
|------------|----------------|------------|----------------|----------|
| 224° | -30.6 | 44° | -48.3 | 17.7 |

表 3 半波偶极子天线测量圆极化

频率: 1950.0 MHz

| 接收天线角度 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 功率读数 (dBm) | -48.6 | -49.4 | -52.5 | -54.2 | -54.3 | -55.3 | -51.6 | -50.0 | -45.5 | -46.1 | -44.2 | -44.5 | -44.7 |

徐 25.5.26