

浙江大学实验报告

专业： 自动化（控制）
姓名： 万晨阳
学号： 3210105327
日期： 2023.10.23
地点： 工控老楼 112

课程名称： 现代控制理论 指导老师： 曹峥 实验类型：

实验名称： 频率特性的测量 成绩： 签名：

一、实验目的

- （1）掌握图形法即李沙育图，测量典型环节的频率特性；
- （2）根据所测量的频率特性，作出伯德图，并求出传递函数；
- （3）进一步掌握电子模拟线路的设计方法。

二、实验设备

- （1）控制理论电子模拟试验箱一台；
- （2）超低频慢扫描示波器一台；
- （3）信号发生器一台。

三、实验原理

（1）对于稳定的线性定常系统或环节，当其输入端加入一正弦信号 $X(t) = X_m \sin \omega t$ 。它的稳定输出是与输入信号同频率的正弦信号，但其幅值和相位将随着输入信号频率 ω 的变化而变化。

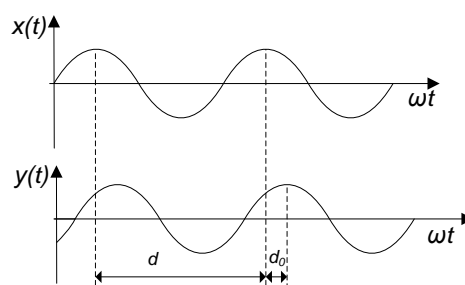
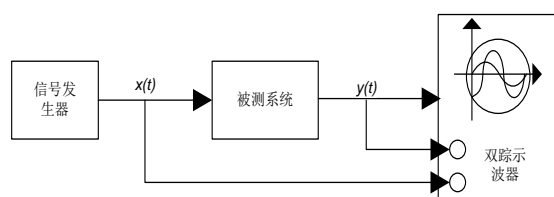
$$Y(t) = Y_m \sin(\omega t + \phi) = X_m |G(j\omega)| \sin(\omega t + \phi)$$

幅值比： $|G(j\omega)| = \frac{Y_m}{X_m}$ ，相位差： $\phi(\omega) = \arg G(j\omega)$ 。

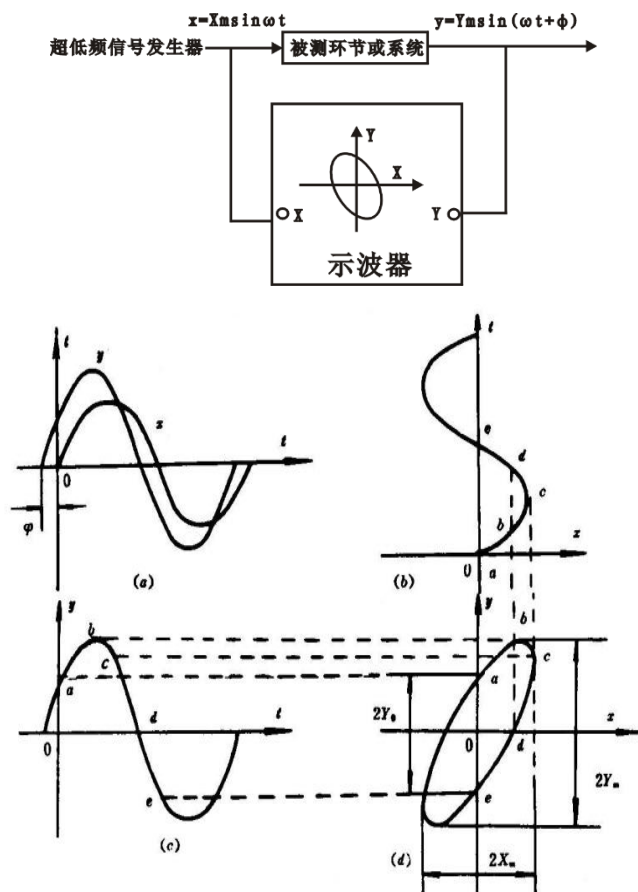
（2）李萨如图形法

以时间为参变量，逐点绘制输入输出波形采取逐点，形成一个椭圆（或直线）。频率特性可以通过测量椭圆上的相应参数获得。

$$\phi(\omega_i) = -(d_o * 360^\circ / d)$$



X, Y 轴都以电压为参变量，绘制输入输出的电压变化如下：



$$t = 0, x(0) = 0, y(0) = Y_m \sin(\phi(\omega))$$

X_0 为椭圆和 X 轴交点间的长度的一半, Y_0 为椭圆和 Y 轴交点间的长度的一半, 于是有

$$\phi(\omega) = \sin^{-1} \frac{2Y_0}{2Y_m} = \sin^{-1} \frac{2X_0}{2X_m} (0 \text{ to } 90^\circ)$$

$$|G(j\omega)| = \frac{2Y_m}{2X_m}, L(\omega) = 20 \lg |G(j\omega)| = 20 \lg \left(\frac{2Y_m}{2X_m} \right)$$

四、预习要求（选做）

无

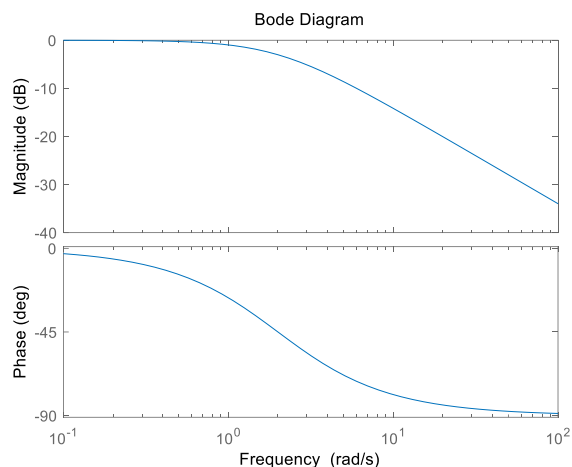
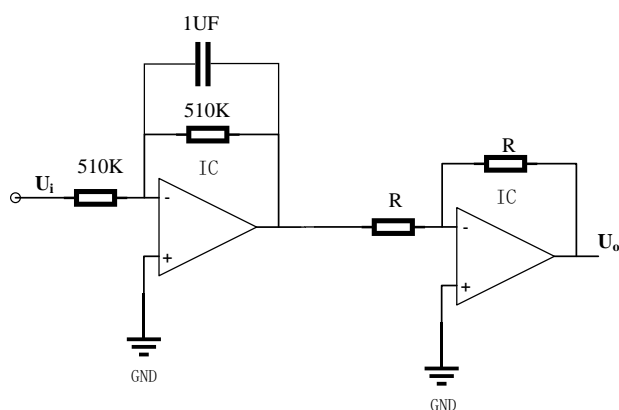
五、实验内容

1、实验操作方法和步骤

（1）惯性环节的特性测试

按下图连接电路, 传递函数为 $G(s) = 1/(0.5s + 1)$ 。

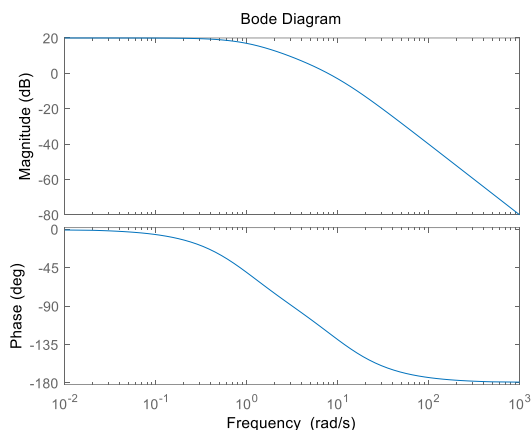
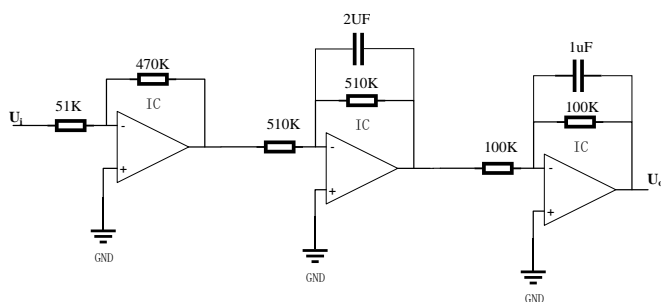
记录实验的信号频率 f 以及对应的 $2X_0$, $2X_m$, $2Y_0$ 。计算相位差和幅值裕度, 与实验所得进行比较。



(2) 二阶开环系统幅频特性

按下图连接电路，传递函数为 $G(s) = -\frac{10}{(s+1)(0.1s+1)}$ 。

记录实验的信号频率 f 以及对应的 $2X_0$, $2X_m$, $2Y_m$ 。计算相位差和幅值裕度，与实验所得进行比较。



2、实验数据记录和处理

(1) 惯性环节的特性测试

相频特性：

在各角频率下，利用示波器合成李沙育图形，判断光点的转向，测量 X_0 和 X_m ，根据图形的形状判断出 $|\varphi|$ 的范围，并将以上信息记录至表中。数据处理时，首先根据光点转向判断出相位是超前的还是滞后的，然后再根据 $|\varphi|$ 的范围选择相应的公式（如实验原理中表所示）计算得到 $|\varphi|$ 的值，最后加上代表相位超前（滞后）的正（负）号，得到 φ 的值，一并记录至下表中。最终结果如下所示：

相频特性的测试

$f(\text{Hz})$	0.2	2	10
$\omega(\text{rad/s})$	1.256	12.56	62.8
$X_0(V)$	0.8	1.40	1.28
$X_m(V)$	1.4	1.49	1.3

.....

$\varphi(^{\circ})$	-34.86	-70.02	-79.9
理论 $\varphi(^{\circ})$	-32.13	-80.95	-88.17

幅频特性

在各角频率下，利用示波器合成李沙育图形，测量 $2X_m$ 和 $2Y_m$ ，记录至表中。数据处理时，根据 $2X_m$ 和 $2Y_m$ 计算 $2Y_m/2X_m$ 以及 $20\lg(2Y_m/2X_m)$ ，一并记录至下表中。最终结果如下所示：

幅频特性的测试

$f(Hz)$	0.2	2	10
$\omega(rad/s)$	1.256	12.56	62.8
$2Y_{1m}(V)$	2.32	0.48	0.088
$2Y_{2m}(V)$	2.8	2.98	2.6
$2Y_{1m}/2Y_{2m}$	0.828	0.161	0.033
$20\lg(2Y_{1m}/2Y_{2m})$	-1.63	-15.8	-29.4
理论L	-1.44	-16.06	-29.94

装
订
线

(2) 二阶开环系统幅频特性

相频特性：

在各角频率下，利用示波器合成李沙育图形，判断光点的转向，测量 X_0 和 X_m ，根据图形的形状判断出 $|\varphi|$ 的范围，并将以上信息记录至表中。数据处理时，首先根据光点转向判断出相位是超前的还是滞后的，然后再根据 $|\varphi|$ 的范围选择相应的公式（如实验原理中表所示）计算得到 $|\varphi|$ 的值，最后加上代表相位超前（滞后）的正（负）号，得到 φ 的值，一并记录至下表中。最终结果如下所示：

相频特性的测试

$f(Hz)$	0.2	2	10
$\omega(rad/s)$	1.256	12.56	62.8
$X_0(V)$	1.15	0.97	0.14
$X_m(V)$	1.49	1.44	1.24
$\varphi(^{\circ})$	50.54	42.36	6.48
理论 $\varphi(^{\circ})$	121.4	43	9.95

幅频特性

在各角频率下，利用示波器合成李沙育图形，测量 $2X_m$ 和 $2Y_m$ ，记录至表中。数据处理时，根据 $2X_m$ 和 $2Y_m$ 计算 $2Y_m/2X_m$ 以及 $20\lg(2Y_m/2X_m)$ ，一并记录至下表中。最终结果如下所示：

幅频特性的测试

$f(Hz)$	0.2	2	10
$\omega(rad/s)$	1.256	12.56	62.8
$2Y_{1m}(V)$	18	1.14	0.08

$2Y_{2m}(V)$	2.98	2.88	2.48
$2Y_{1m}/2Y_{2m}$	6.04	0.39	0.03
$20\lg(2Y_{1m}/2Y_{2m})$	15.6	-8.05	-29.8
理论L	15.82	-6.12	-32.02

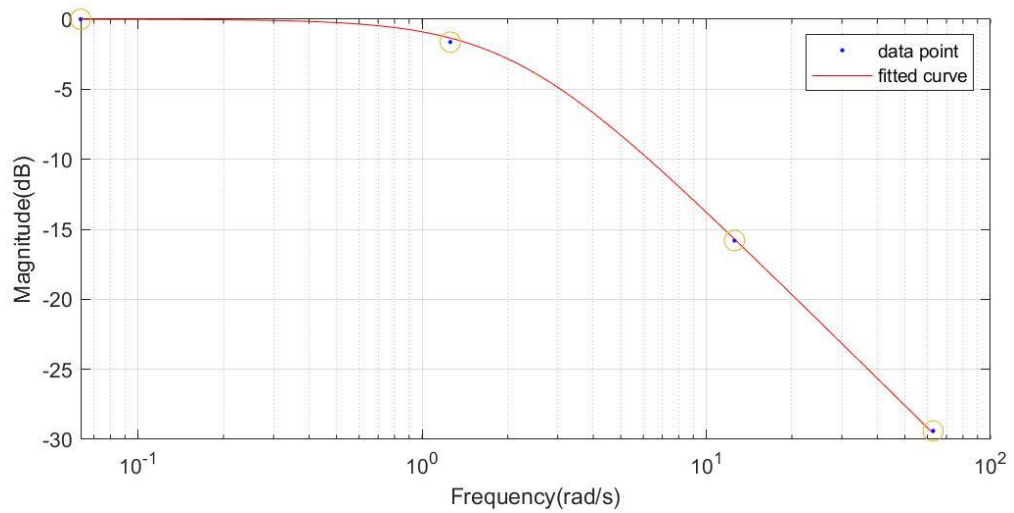
六、实验总结

1、实验结果与分析

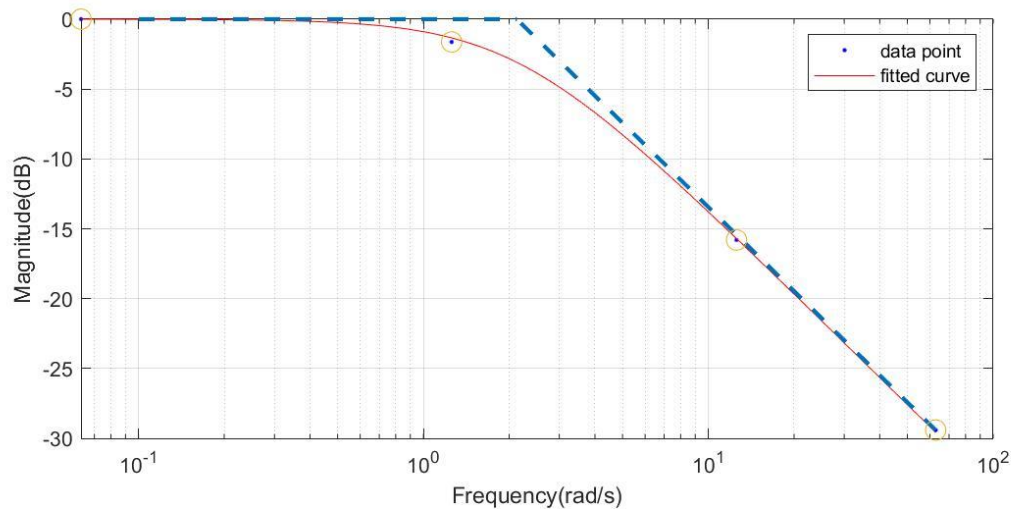
(1) 惯性环节的特性测试

根据实验数据，作出开环的幅频和相频特性曲线以及幅频特性曲线的渐近线，如下图所示：

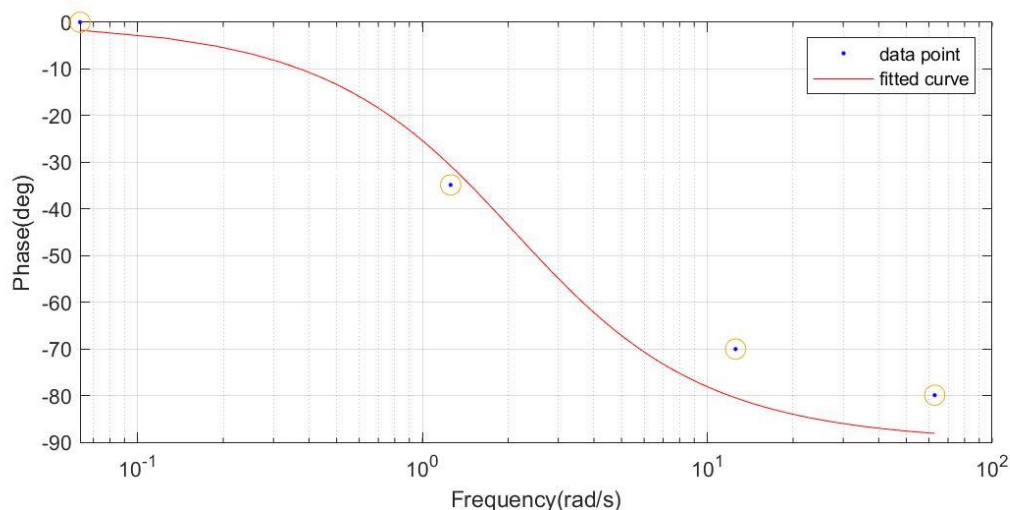
开环的幅频特性曲线：



开环的幅频特性曲线及其渐近线：



开环的相频特性曲线：



实测转折频率约为 2.09rad/s 通过渐近线可以估计实测的开环传递函数为：

$$G(s) = \frac{1}{\frac{1}{2.09}s + 1} = \frac{1}{0.48s + 1}$$

而理论转折频率为 2rad/s，传递函数为：

$$G(s) = \frac{1}{\frac{1}{2}s + 1} = \frac{1}{0.5s + 1}$$

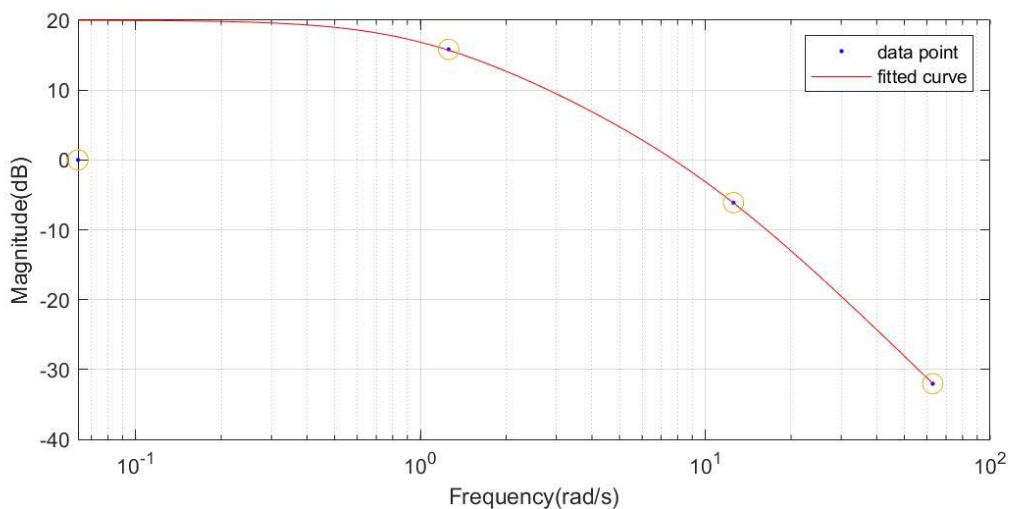
从数据上可以看到，实际测量的 L 略大于理论值，导致转折点后移，使得分母中 s 的系数偏小，与渐近线估计吻合。实测 $L = 20\log(2Y_m/2X_m)$ ，说明 $2Y_m/X_m$ 偏大，由于测试过程中 X_m 会产生一定的变化，无法对 Y_m 的偏离程度进行定性分析。

可能原因：信号发生器输出信号幅值控制不够精准。导线接触不良导致信号出现较多的杂波，从而导致图像线条较粗，给测量 Y_m 带来一些误差。同时仪器本身精度也比较低。

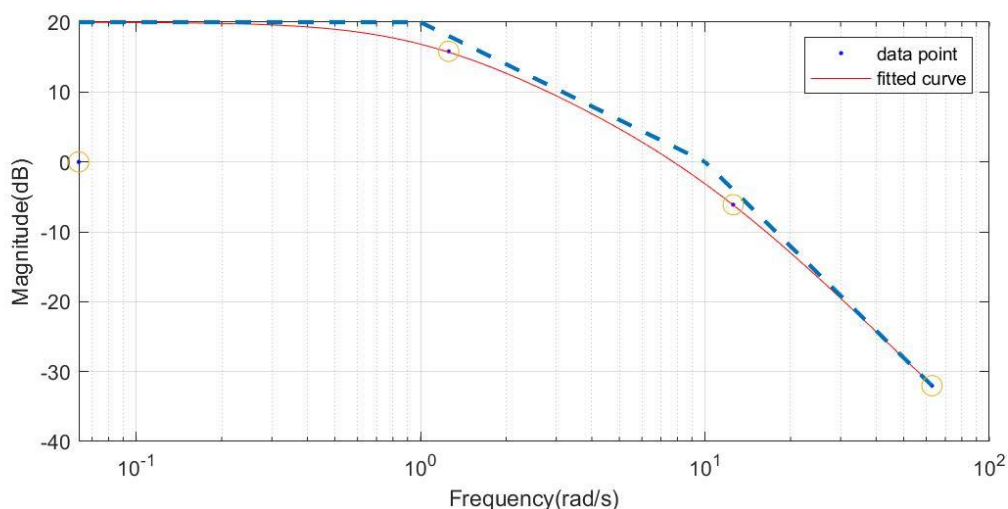
(2) 二阶开环系统幅频特性

根据实验数据进行拟合，作出开环的幅频和相频特性曲线以及幅频特性曲线的渐近线。

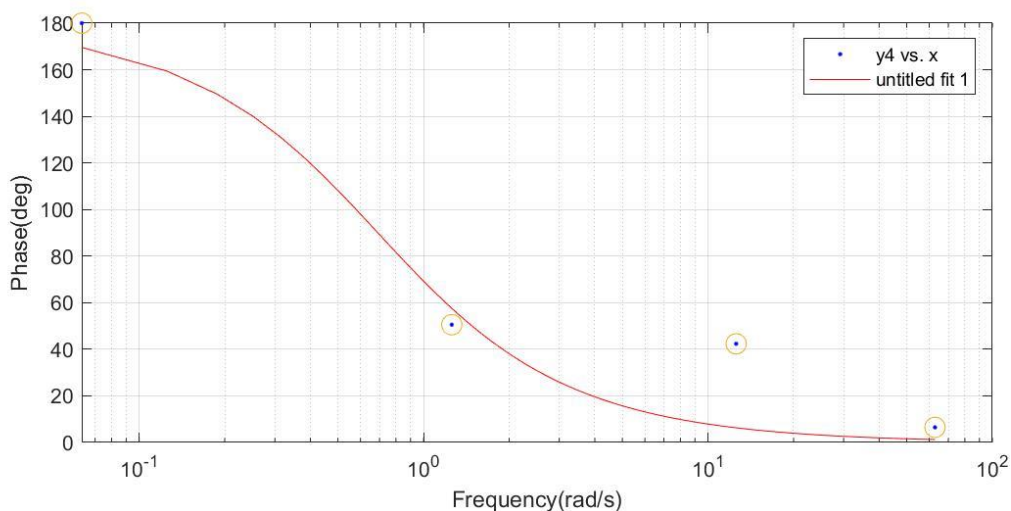
开环的幅频特性曲线：



开环的幅频特性曲线及其渐近线：



开环的相频特性曲线：



可得实测转折频率约为 0.98rad/s 及 10.3rad/s 通过渐近线可以估计实测的开环传递函数为：

$$G(s) = -\frac{10}{(\frac{1}{0.98}s + 1)(\frac{1}{10.3}s + 1)} = -\frac{10}{(1.02s + 1)(0.0975s + 1)}$$

而理论转折频率为 1rad/s 及 10rad/s，传递函数为： $G(s) = \frac{-10}{(s+1)(0.1s+1)}$

可以看到，和理论值相比，转折频率基本接近理论值，求出的系数略有差距，但是误差较小，可以接受。

同时我们也可以看到，在两组实验的数据中，相频特性与理论计算的差距是比较大的，但是幅频特性反而吻合的比较好。我认为主要的原因是示波器中的李萨如图形过小并且线条过粗、光标精度过低导致的数据误差。主要是仪器的原因。

2、讨论、心得

2.1 思考题：

1.相频特性时，若把信号发生器的正弦信号送入 Y 轴，而把被测系统的输出信号送入 X 轴，试问这种情况下如何根据旋转的光电方向来确定相位的超前与滞后。

答：光点顺时针旋转则相位滞后，逆时针旋转则相位超前。

2.2 心得

此次实验锻炼了我用 `matlab` 处理数据的能力，同时也让我对 `Bode` 图有了更深刻的理解。此次实验中 `matlab` 拟合图的绘制特别困难，同时又要在对数坐标轴之下绘制渐近线，对 `matlab` 的操作要求很高。我采用的是 `cftool` 进行拟合，并通过两点连线实现渐近线绘制。由于本次实验收到了使用仪器的限制，我们只测量了三组数据，所以在拟合的过程中遇到了不小的困难，因此在拟合曲线的过程我设定了有关函数的形式和参数搜索范围，以得到更符合理论预期的结果。