

线性系统的频率特性测试实验报告

黄于翀 3210105423

一、实验目的

- 1、掌握用图形法测试线性系统的频率特性。
- 2、根据所测得的频率特性，写出系统的传递函数。

二、实验仪器

- 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)、万用表一只

三、实验原理

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 $X(t) = X_m \sin \omega t$ ，它的稳态输出是一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 的改变而改变。即输出信号为：

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

$$\text{其中 } |G(j\omega)| = \frac{Y_m}{X_m}, \quad \varphi(\omega) = \arg G(j\omega)。$$

只要改变输入信号 $x(t)$ 的频率 ω ，就可测得输出信号与输入信号的幅值比 $|G(j\omega)|$ 和它们的相位差 $\varphi(\omega) = \arg G(j\omega)$ 。不断改变 $x(t)$ 的频率，就可测得被测环节（系统）的幅频特性 $|G(j\omega)|$ 和相频特性 $\varphi(\omega)$ 。

本实验采用李沙育图形法，图 3-1 为测试的方框图。

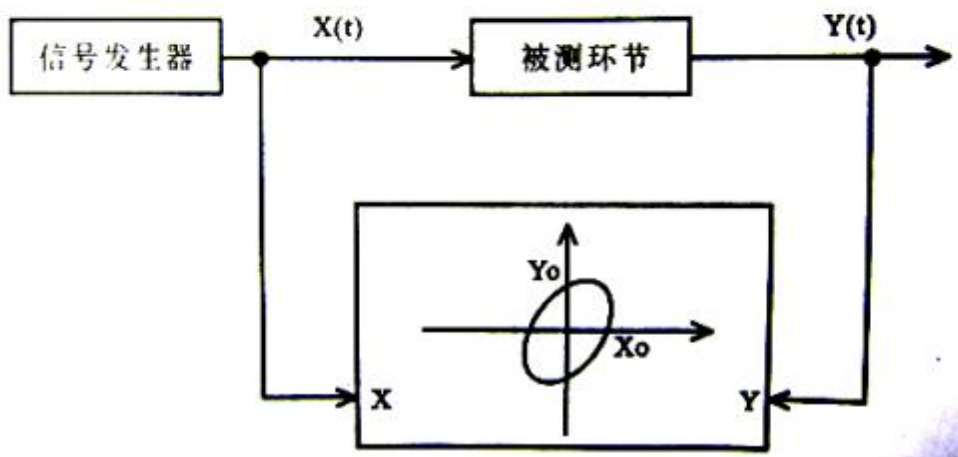


图 3-1 典型环节的测试方框图

在表（1）中列出了超前和滞后时相位的计算公式和光点的转向。

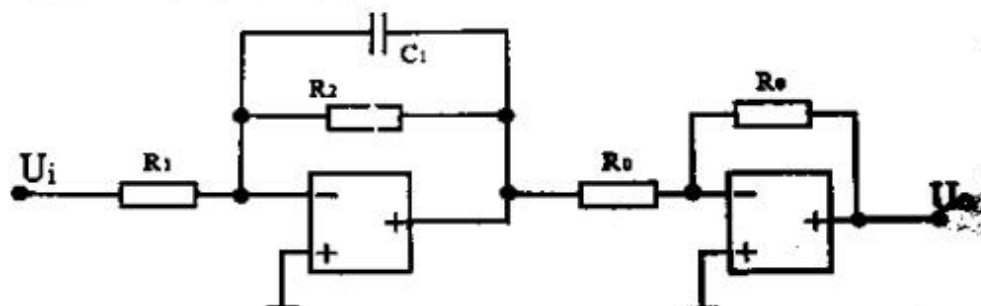
相角 φ	超前		滞后	
	$0^\circ \sim 90^\circ$	$90^\circ \sim 180^\circ$	$0^\circ \sim 90^\circ$	$90^\circ \sim 180^\circ$
图形				
计算公式	$\varphi = \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$
光点转向	顺时针	顺时针	逆时针	逆时针

表中 $2Y_0$ 为椭圆与 Y 轴交点之间的长度， $2X_0$ 为椭圆与 X 轴交点之间距离， X_m 和 Y_m 分别为 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 的幅值。

四、实验内容

1、惯性环节的频率特性的测试

令 $G(S) = 1 / (0.5S + 1)$ ，则其相应的模拟电路如图 3-2 所示。测量时示波器的 X 轴停止扫描，把扫频电源的正弦信号同时送到被测环节的输入端和示波器的 X 轴，被测环节的输出送到示波器的 Y 轴，如图 3-3 所示。



（实验室 $R1=R2=510k, C1=1\mu F$ ）

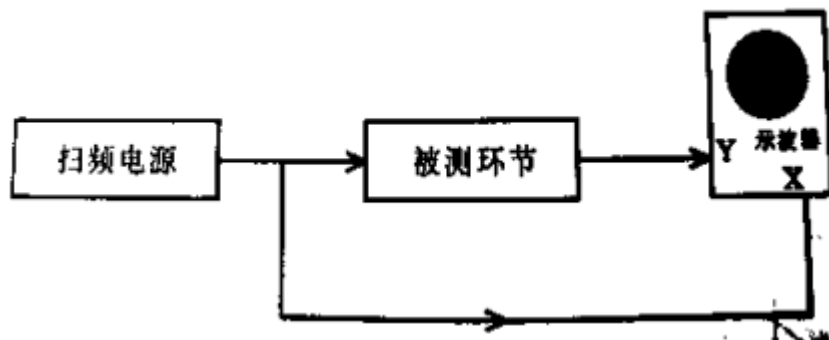


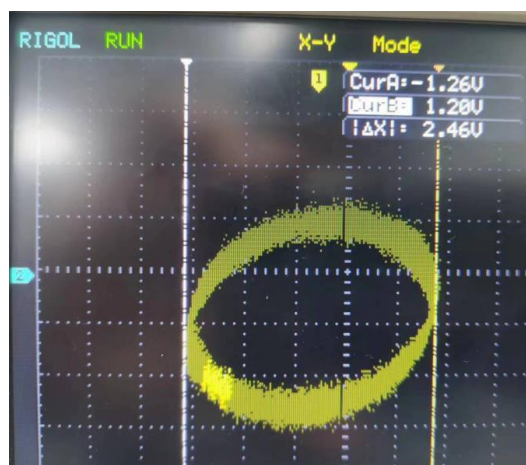
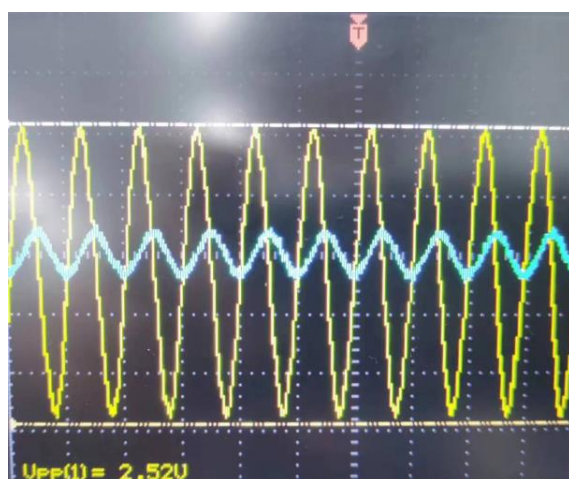
图 3-3 相频特性测试的接线图

当扫频电源输出一个正弦信号，则在示波器的屏幕上呈现一个李沙育图形——椭圆。

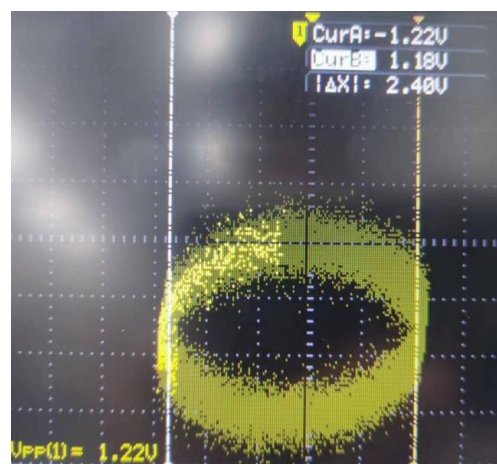
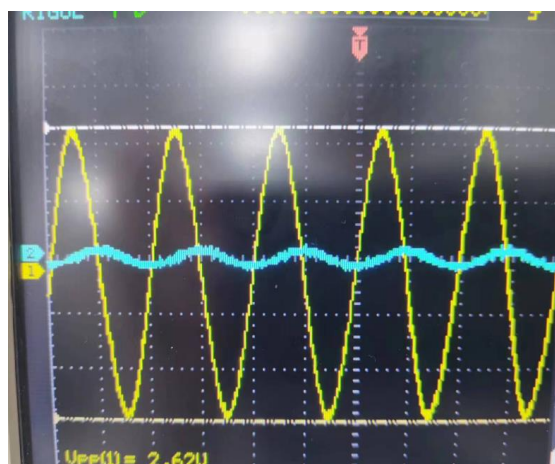
据此，可测得在该输入信号频率得相位值： $\varphi = \sin^{-1} \frac{2X_0}{2X_m}$ 。不断改变扫频电源输出信号的

频率，就可得到一系列相应的相位值，列表记下不同 ω 值时的 X_0 和 X_m 。

f=2



f=5



ω	f	2XM	2YM	2YM/2XM	实测 L(ω)	计算 L(ω)
0.62832	0.1	2.04	16.2	7.94118	17.9977	18.5378
3.14159	0.5	2.12	5.68	2.67925	8.56025	9.22909
5.02655	0.8	2.12	3.36	1.58491	4.00007	4.82769
6.28319	1	2.12	2.52	1.18868	1.50129	2.48269
9.42478	1.5	2.12	1.4	0.66038	-3.6042	-2.2947
11.3097	1.8	2.12	1.12	0.5283	-5.5424	-4.6805
12.5664	2	2.12	0.96	0.45283	-6.8813	-6.1264
18.8496	3	2.12	0.46	0.21698	-13.272	-12.101
25.1327	4	2.12	0.26	0.12264	-18.227	-16.655
31.4159	5	2.12	0.176	0.08302	-21.616	-20.31
43.9823	7	2.12	0.092	0.0434	-27.251	-25.952
62.8319	10	2.12	0.0448	0.02113	-33.501	-32.037
75.3982	12	1.96	0.0328	0.01673	-35.528	-35.171

2、开环频率特性的测试

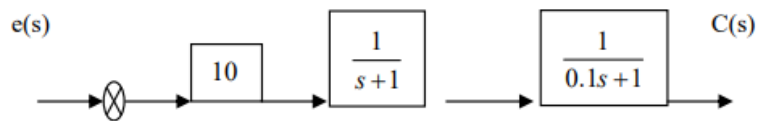


图 3-5 开环系统的方框图

图 3-5 对应的开环传递函数为

$$G(s) = -\frac{10}{(s+1)(0.1s+1)} \quad (1)$$

(注意每个环节都有一个负号)

与式 (1) 对应的模拟电路图如图 3-6 所示，将图 3-6 按图 3-3 和图 3-4 的接线，用典型环节频率特性测试完全相同的方法测试图 3-5 所示的开环系统的频率特性，并将测得的数据，分别填入 3-4 表中。

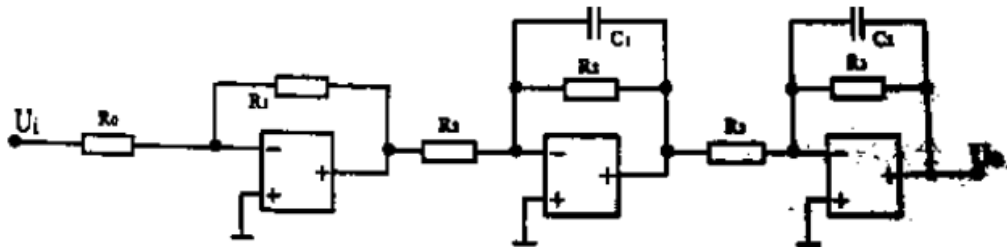
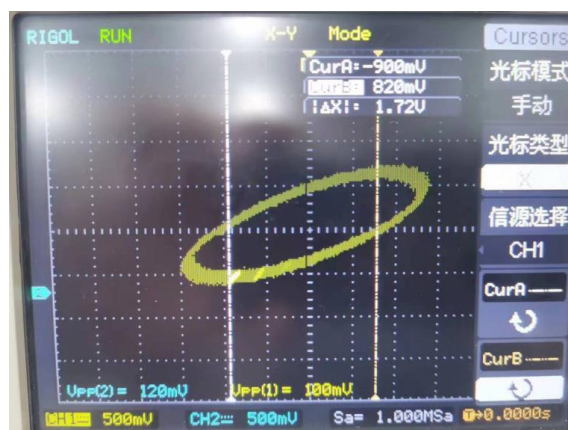
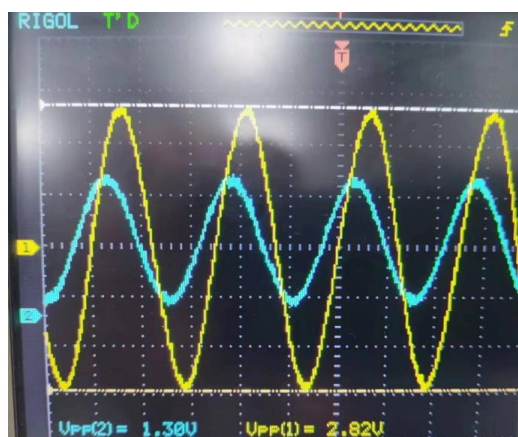


图 3-5 开环系统的接线图

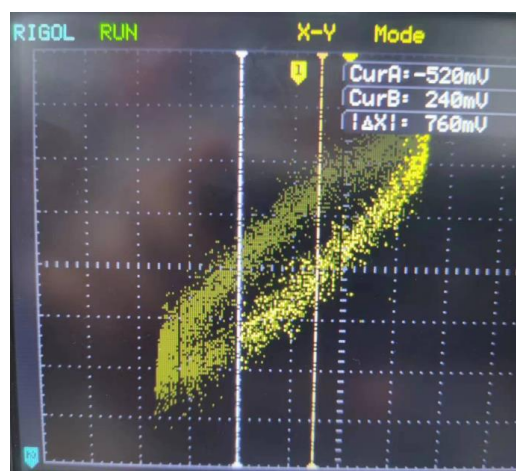
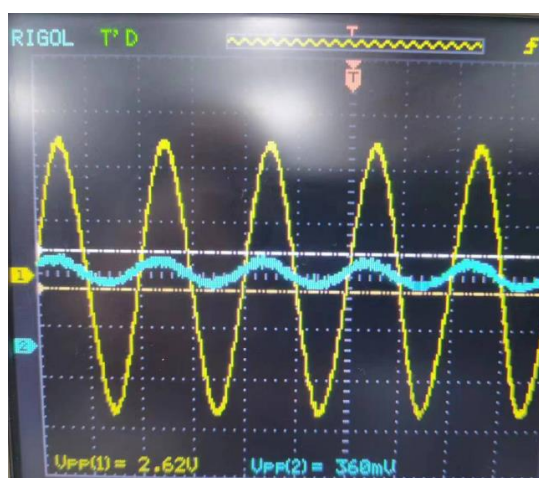
取参考值 $R_0 = 51K$ ， R_1 接 470K 的电位器， $R_2 = 510K$ ， $R_3 = 100K$ ， $C_1 = 2\mu F$ ，

$C_2 = 1\mu F$ 。

f=2



f=5

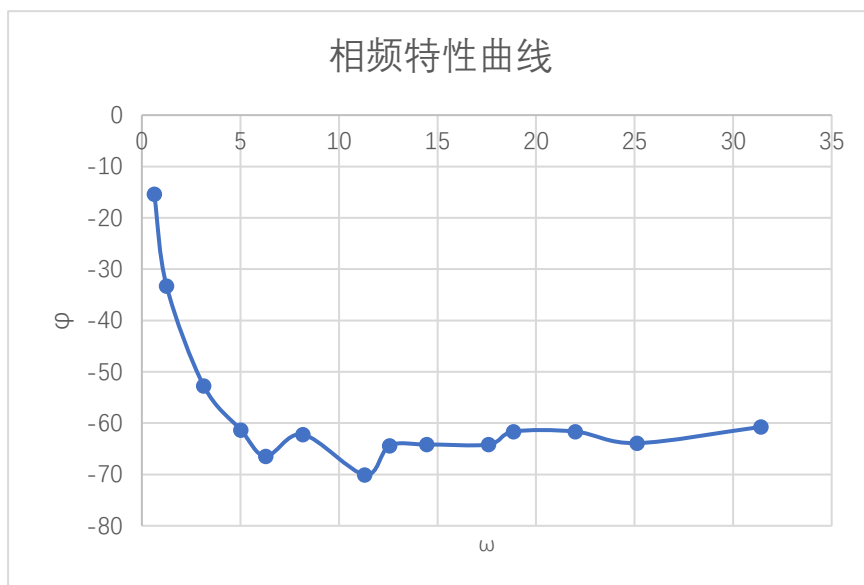


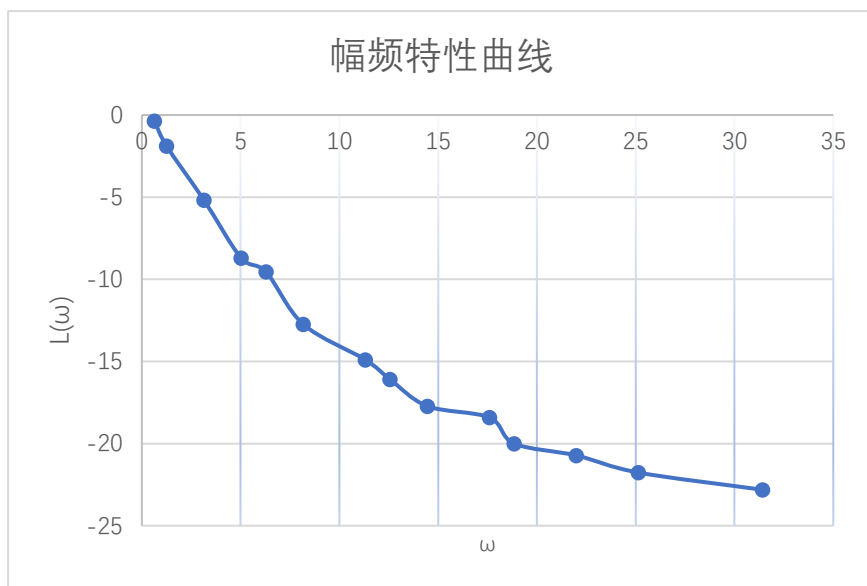
ω	f	2X0	2XM	2YM	实测 φ	计算 φ	2YM/2XM	实测 $L(\omega)$	计算 $L(\omega)$
0.62832	0.1	0.52	1.96	1.88	- 15.385	- 17.441	0.95918	-0.362	- 0.4088
1.25664	0.2	1.12	2.04	1.64	-33.3	- 32.142	0.80392	1.8957	- 1.4451
3.14159	0.5	1.56	1.96	1.08	- 52.742	- 57.518	0.55102	- 5.1766	- -5.4
5.02655	0.8	1.72	1.96	0.72	- 61.348	- 68.303	0.36735	- 8.6985	- 8.6431
6.28319	1	1.76	1.92	0.64	- 66.444	- 72.343	0.33333	- 9.5424	- 10.362
8.16814	1.3	1.84	2.08	0.48	- 62.204	- 76.242	0.23077	- 12.736	- 12.475
11.3097	1.8	1.88	2	0.36	- 70.052	- 79.972	0.18	- 14.895	- 15.182
12.5664	2	1.84	2.04	0.32	- 64.417	- 80.957	0.15686	-16.09	- 16.072

14.4513	2.3	1.8	2	0.26	- 64.158	- 82.121	0.13	- 17.721	-17.26
17.5929	2.8	1.8	2	0.24	- 64.158	- 83.514	0.12	- 18.416	- 18.942
18.8496	3	1.76	2	0.2	- 61.642	- 83.943	0.1	-20	- 19.534
21.9911	3.5	1.76	2	0.184	- 61.642	- 84.803	0.092	- 20.724	-20.86
25.1327	4	1.76	1.96	0.16	- 63.891	-85.45	0.08163	- 21.763	- 22.012
31.4159	5	1.64	1.88	0.136	- 60.732	- 86.357	0.07234	- 22.812	-23.94

五、图像与分析

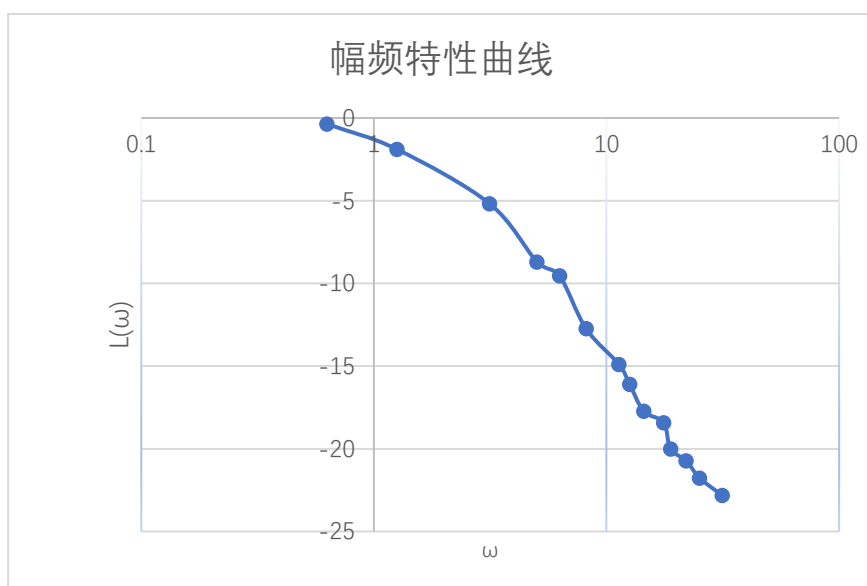
1.相频特性曲线与幅频特性曲线





2.求传递函数

取对数后



取其渐近线后，进行计算，求得其传递函数为

$$G(s) = - \frac{10}{(1 + 0.80s)(1 + 0.088s)}$$

3.比较与分析

$$G(s) = -\frac{10}{(s+1)(0.1s+1)}$$

与实验求得的传递函数略有偏差。

原因可能在于：（1）实验本身具有测量误差，实验仪器的精度无法保证；

（2）实验的取值是离散的，因此在选取转折频率的时候难免会出现偏差。

六、思考题

试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点方向来确定相位的超前和滞后？

如果输入和输出信号交换输入的话，则判断超前和滞后的方法也要反过来，即顺时针时为滞后，逆时针时为超前。