

实验 3 线性系统的频率特性的测试

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：

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

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

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。

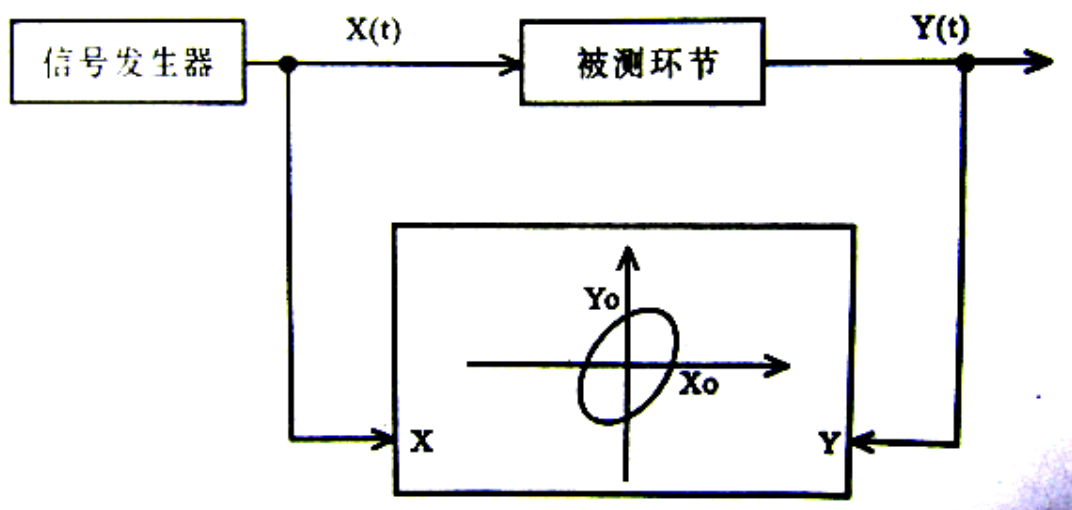
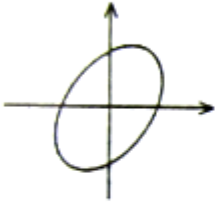
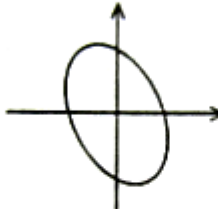
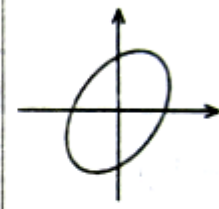



图 3-1 典型环节的测试方框图

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。

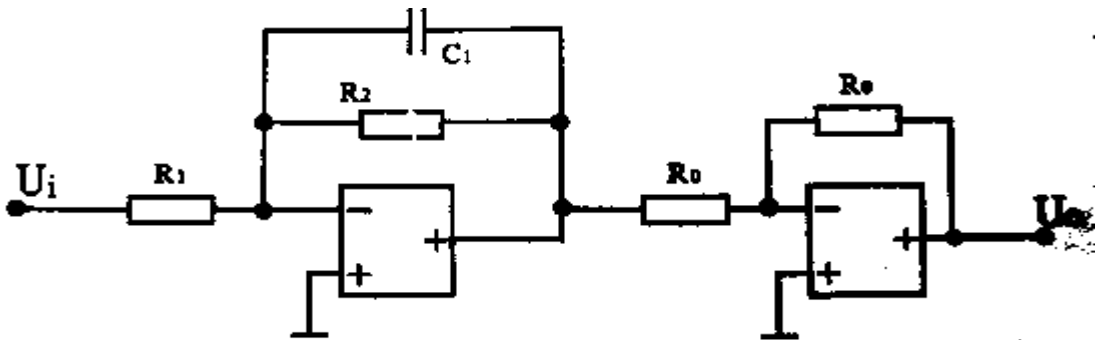
相角 φ	超前		滞后	
	$0^\circ \sim 90^\circ$	$90^\circ \sim 180^\circ$	$0^\circ \sim 90^\circ$	$90^\circ \sim 180^\circ$
图形				
计算公式	$\varphi = \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$	$\varphi = 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2Y_0 / (2Y_m)$ $= 180^\circ - \sin^{-1} \angle 2X_0 / (2X_m)$
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 $R_1=R_2=510k, C_1=1\mu F$ ）

图 3-2 惯性环节的模拟电路图

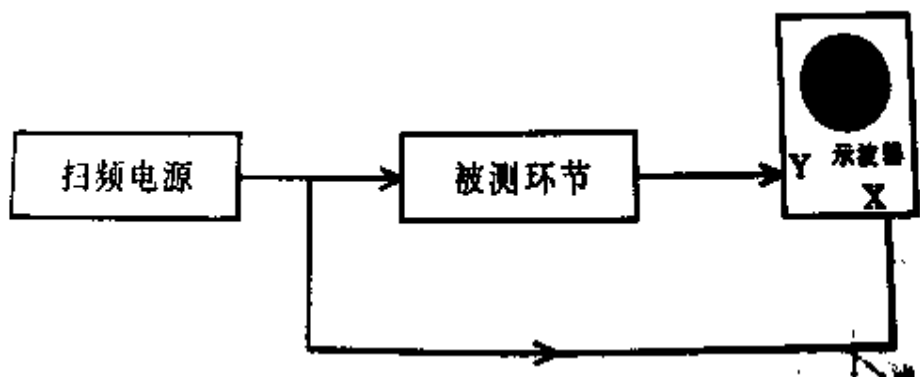


图 3-3 相频特性测试的接线图

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 。

表 3-2 相频特性的测试

ω	
X_0	
X_m	
φ	

测量时，输入信号的频率 ω 要取得均匀，频率取值范围为 0.2Hz—40kHz。幅频特性的测试按图 3-4 接线，测量时示波器的 X 轴停止扫描，在示波器（或万用表的交流电压档）

分别读出输入和输出信号的双倍幅值 $2X_m = 2X_{1m}$ ， $2Y_m = 2Y_{2m}$ ，就可求的对应的幅频值

$|G(j\omega)| = 2Y_{1m} / 2Y_{2m}$ ，列标记下 $2Y_{1m} / 2Y_{2m}$ ， $20\lg 2Y_{1m} / 2Y_{2m}$ 和 ω 的值。

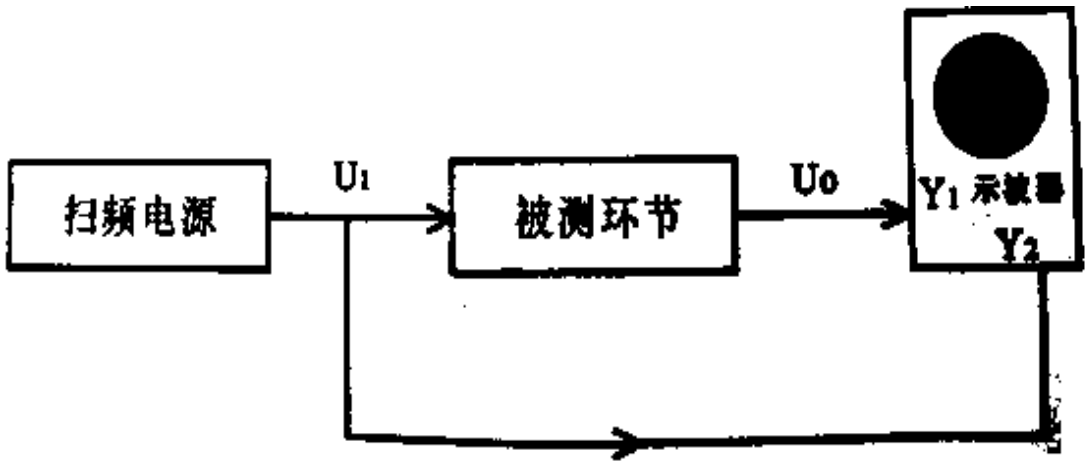


图 3-4 幅频特性的接线图

表 3-3 幅频特性的测试

ω	
$2Y_{1m}$	
$2Y_{2m}$	
$2Y_{1m} / 2Y_{2m}$	
$20\lg 2Y_{1m} / 2Y_{2m}$	

2、开环频率特性的测试

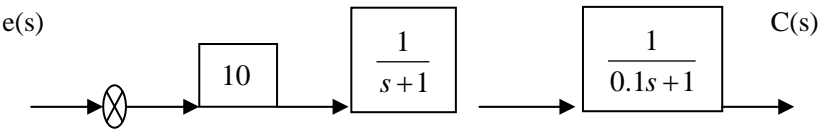


图 3-5 开环系统的方框图

图 3-5 对应的开环传递函数为

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

(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。

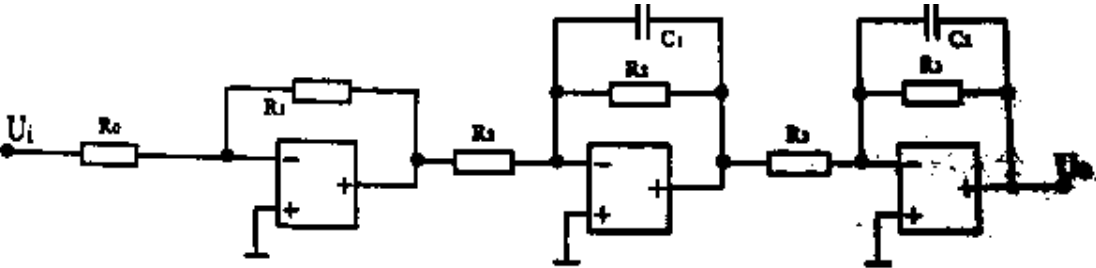


图 3-5 开环系统的接线图

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

$C_2 = 1\mu F$ 。

表 3-4 开环相频特性的测试数据

ω	
X_0	

X_m	
φ	

表 3-5 开环幅频特性的测试数据

ω	
$2Y_{1m}$	
$2Y_{2m}$	
$2Y_{1m} / 2Y_{2m}$	
$20\lg 2Y_{1m} / 2Y_{2m}$	

五、注意事项

- 1、输入信号的频率 ω 要取得均匀，它的取值范围为 0.2Hz—40KHz。

六、实验报告

- 1、根据实验测得的数据分别作出开环的幅频和相频特性曲线。
- 2、作开环幅频特性曲线的渐近线，据此求得开环的传递函数。
- 3、将由实验求得的传递函数与理论的 $G(s)$ 作一比较，并分析产生误差的原因。

七、实验思考题

- 1、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？