《自动控制理论》

实 验 指 导 书

北京工商大学计算机与信息工程学院

2012 年 10 月

第一部分　实验要求

1．实验前做好预习。

2．严格按照要求操作实验仪器，用毕恢复原状。

3．接线完成后，由指导教师检查后方可通电。

4．实验完成后，由指导教师检查实验记录、验收仪器后，方可离开。

5．实验报告应包括以下内容：

1）实验目的；

2）实验线路；

3）实验内容；

4）实验结果（测得的数据、波形等）；

5）实验结果的分析和讨论。

第二部分　实验

实验一 二阶系统的阶跃响应

一、实验目的

1．学习二阶系统阶跃响应曲线的实验测试方法；

2．研究二阶系统的两个参数ξ,ω_n对暂态性能指标的影响。

二、实验设备

1．XMN-2 型模拟仪。

2．超低频示波器。

3．万用表。

三、实验内容

典型二阶系统的框图如图 1 所示：

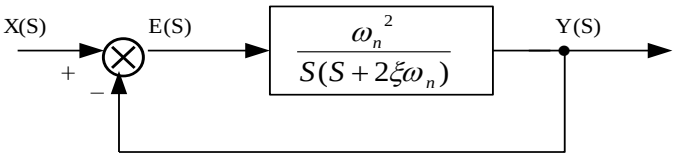


图 1　二阶系统框图

其闭环传递函数为：

$$\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

用图 2 所示电路可模拟二阶系统。其中 4 个运算放大器分别构成如下环节：

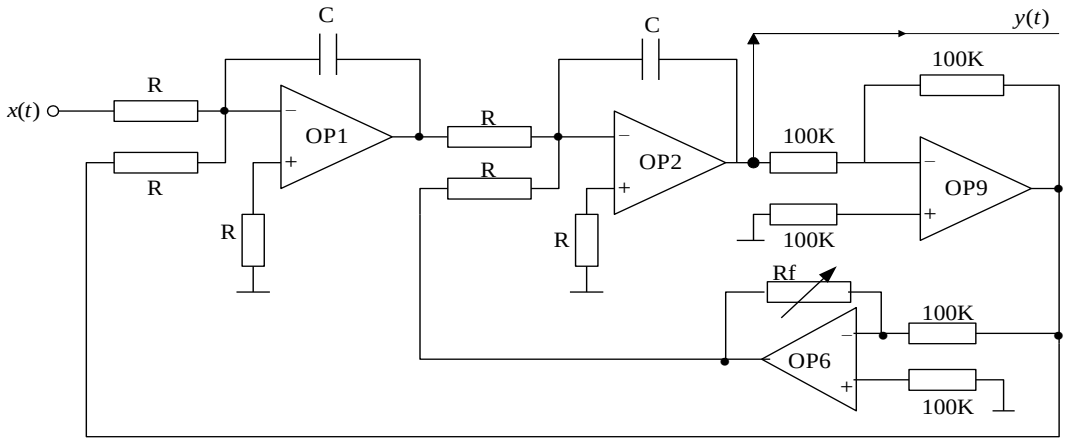


图 2　用运算放大器构建的二阶系统

$$G_{op1}(s)=G_{op2}(s)=\frac{-1}{Ts},\quad T=RC;$$

$$G_{op9}(s)=-1;$$

$$G_{op6}(s)=-K,\quad K=\frac{R_f}{R_i}.$$

上式中 op1、op2、op6、op9 分别和模拟仪的运放单元相对应。无阻尼自然振荡角频率、阻尼比与时间常数 T、比例系数 K 满足下列关系：

$$\omega_n=\frac{1}{T}(rad/s);$$

$$\xi=\frac{K}{2}$$

1. 无阻尼自然振荡角频率 ω_n 保持不变，改变阻尼比 ξ，输入单位阶跃信号 $x(t)=1(t)V$，观察和记录响应曲线 $y(t)$ 和最大超调量 M_p、调整时间 t_s 的变化。

   1）取 $R=1M,C=1.0\mu,R_f=40K$，使 $K=0.4,T=1s$，可得 $\omega_n=1,\xi=0.2$。

   2）令 $R_f=80K$，其他参数不变，此时 $K=0.8,T=1s$，$\omega_n=1,\xi=0.4$。

   3）令 $R_f=200K$，其他参数不变，此时 $K=2,T=1s$，$\omega_n=1,\xi=1$。

2. 阻尼比 ξ 保持不变，改变无阻尼自然振荡角频率 ω_n，输入单位阶跃信号 $x(t)=1(t)V$，观察和记录响应曲线 $y(t)$ 和最大超调量 M_p、调整时间 t_s 的变化（与上述第一组参数下的结果比较）。

   取 $R=1M,C=0.47\mu,R_f=40K$，使 $K=0.4,T=0.47s$，可得 $\omega_n=2.12$，$\xi=0.2$。

3. 将以上四组测量结果列表给出，并和最大超调量 M_p、调整时间 t_s 的理论值相比较。

四、思考题

1. 推导图 2 所示电路的闭环传递函数，并确定 ω_n、ξ 和 R,C,R_f,R_i 的关系。
2. 该电路的输出的稳态值是否等于阶跃输入信号的幅值？为什么？

实验二　典型环节的频率特性

一、实验目的

1.　学习频率特性的实验测试方法；

2.　掌握根据频率响应实验结果绘制伯德图的方法。

二、实验设备

1. XMN-2 型模拟仪。

2. 超低频示波器。

3. 超低频信号发生器。

4. 万用表。

三、实验内容

1．惯性环节的频率响应

惯性环节的电路如图 3 所示：

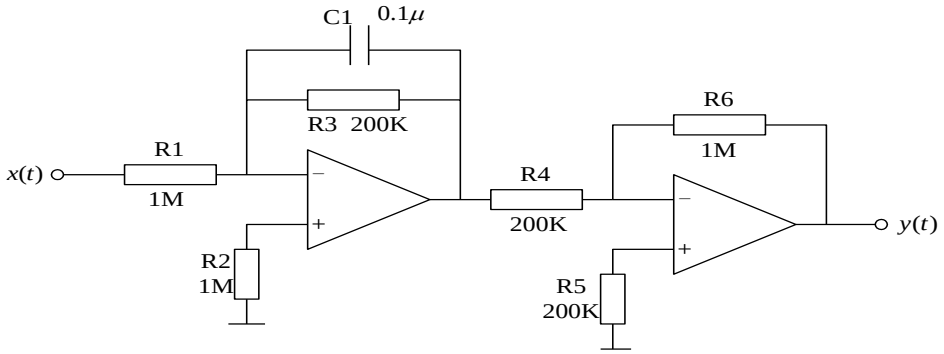


图 3　惯性环节电路

根据图 3 所标参数，可知其传递函数为：

$$G(s)=\frac{1}{0.02s+1}$$

由惯性时间常数为 T = 0.02s，可得转折频率为 $\omega_T=\frac{1}{T}=50rad/s,\ f_T=\frac{\varpi_T}{2\pi}=8Hz$。

用超低频信号发生器的正弦波做输入信号，信号幅值调至 1v 左右，逐一按表 1 给出的 f 值调整正弦信号频率，用双踪示波器观察和记录输入、输出的幅值比及相位移。

表 1

$f(Hz)$	1	2	5	8	10	20	30	50	80	100
$A(\omega)$										
$\varphi(\omega)$										

2．积分环节的频率响应

积分环节的电路如图 4 所示：

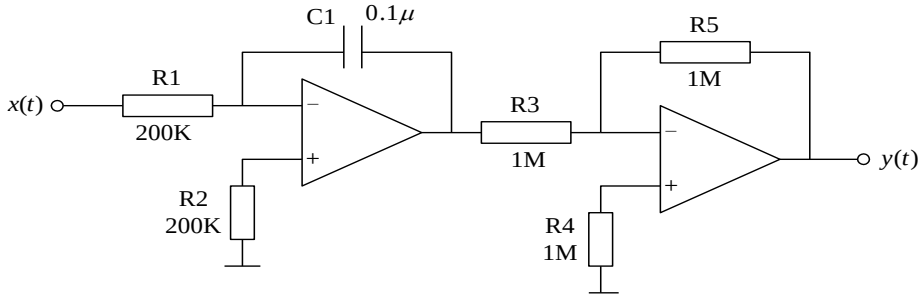


图 4　积分环节电路

根据图 4 所标参数，可知其传递函数为：

$$G(s)=\frac{1}{0.02s}$$

T = 0.02s 为积分时间常数。当输入正弦信号的角频率为 $\omega=\frac{1}{T}=50rad/s(f=\frac{\omega_T}{2\pi}=8Hz)$ 时，输出正弦信号的振幅和输入相等。

用超低频信号发生器的正弦波做输入信号，信号幅值调至 0.5v 左右，逐一按表 2 给出的 f 值调整正弦信号频率，用双踪示波器观察和记录输入、输出的幅值比及相位移。

表 2

$f(Hz)$	1	2	5	8	10	20	30	50	80	100
$A(\omega)$										
$\varphi(\omega)$										

3．根据表 1 和表 2 的数据绘制惯性环节和积分环节的波德图，绘制时将频率转换为角频率。将实验测得的波德图与理论曲线比较。

四、思考题

1．测量环节或系统的频率响应时，输入正弦信号的频率范围应如何选择？频率间隔选多大？

2．输入正弦信号的幅值应如何选？过大或过小有何影响？

3．时间常数改变对频率特性有何影响？

实验三 控制系统的校正

一、实验目的

3．研究校正装置对系统动态性能指标的影响；

4．学习校正装置的设计和实现方法。

二、实验设备

4．XMN-2 型模拟仪。

5．超低频示波器。

6．万用表。

三、实验内容

典型二阶系统的框图如图 1 所示：

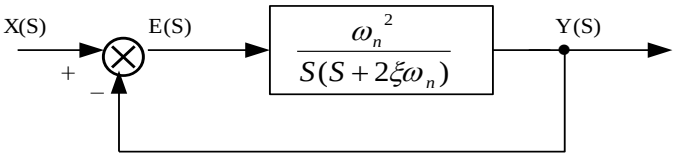


图 1　二阶系统框图

其开环传递函数为：

$$G(s)=\frac{\omega_n^2}{s(s+2\xi\omega_n)}$$

用图 2 所示电路可模拟二阶系统。其中 4 个运算放大器分别构成如下环节：

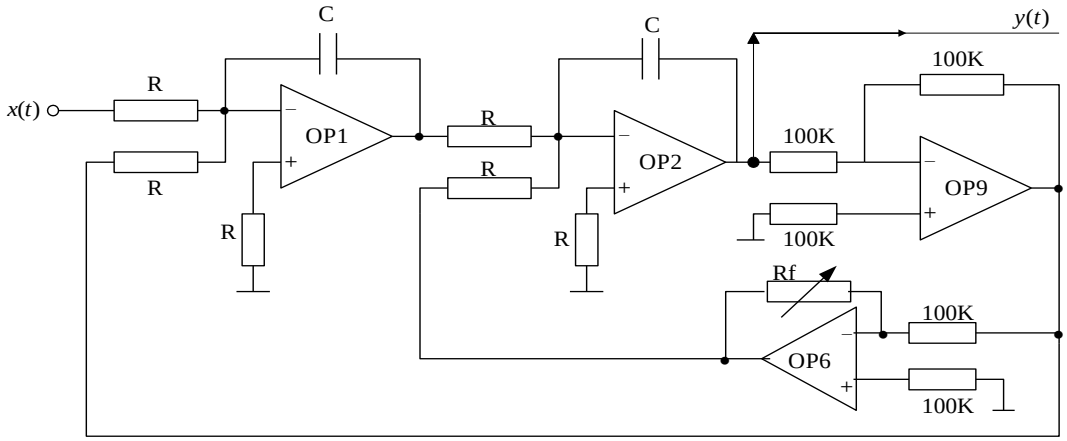


图 2　用运算放大器构建的二阶系统

$$G_{op1}(s)=G_{op2}(s)=\frac{-1}{Ts},\qquad T=RC;$$

$$G_{op9}(s)=-1;$$

$$G_{op6}(s)=-K,\qquad K=\frac{R_f}{R_i}.$$

上式中 op1、op2、op6、op9 分别和模拟仪的运放单元相对应。无阻尼自然振荡角频率、阻尼比与时间常数 T、比例系数 K 满足下列关系：

$$\omega_n = \frac{1}{T}(rad/s);$$

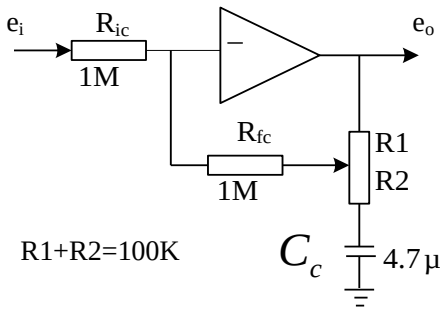
$$\xi = \frac{K}{2}$$

在该系统中加入超前校正装置，使系统的相位裕量≥50°, 增益裕量≥10dB, 同时保持静态速度误差系数不变。

其传递函数为：

$$G_c(s) = K_c \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} \qquad (0<\alpha<1)$$

参考模拟电路



传递函数

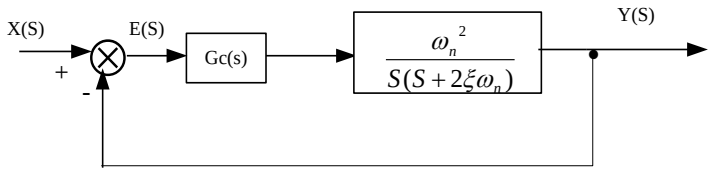
$$G_c(s) = \frac{E_0(s)}{E_i(s)} = -K_c \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1}$$

$$K_c = \frac{R_1 + R_{fc}}{R_{ic}}$$

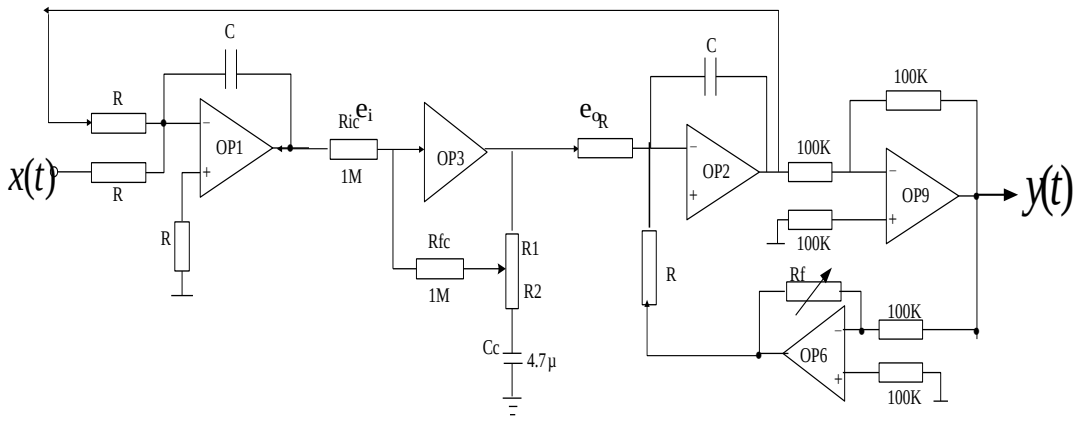
$$T = (R_1 + R_2)C_c \qquad (R_{fc} >> R_1)$$

$$\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

校正后的系统方块图



校正后的系统模拟电路图



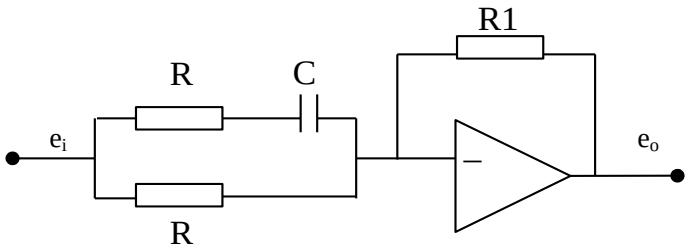
运算放大器功能

op1,op2,op9,op6 同实验 1，op3 为超前校正环节。

1. 调整 R_f=40k,使 K＝0.4，计算此时未校正系统的静态速度误差系数 K_V；
2. 画出未校正系统开环传递函数的 Bode 图，确定其相位裕量和增益裕量；
3. 观察并记录未校正系统接成放大倍数为 1 的反相放大器时闭环阶跃瞬态响应曲线①，标出 M_P,t_s;[x(t)=I(t)伏]
4. 根据要求计算超前网络的参数 T, α ,K_c,确定相应的 R_{ic},R_{fc},R_1,R_2,C_c 值，构成所需要的超前校正装置；
5. 按图将系统接成校正装置，观察并记录校正后控制系统的阶跃瞬态响应曲线②（记录的幅度坐标和时间坐标应和曲线①相同），标出 M_P,t_s，和曲线①比较。[x(t)=I(t)伏]

四、思考题

1. 模拟电路



能否作为超前校正装置？试计算其传递函数 $\frac{E_o(s)}{E_i(s)}$。

2. 若 $G_c(s)=\frac{1.5s+1}{0.5s+1}$，能否计算出校正后系统的闭环主导极点及与之对应的 ω_n,ξ？

附录　XM2-型模拟仪使用说明

一、概述

XMN-2 型自动控制原理学习机是为配合《自动控制理论》课程而设计的电子模拟设备，以积分器和加法器为基础，配置了二极管、电位器、分压器、电阻、电容等部件，可以组成 PID 调节器以及饱和、死区、迟滞等非线性环节。使用简单，操作方便，参数选择范围较广，可灵活地对控制系统进行电子模拟．使用 XMN-2 机对掌握控制理论、调试控制系统、选择校正环节的理想参数等方面提供了方便，是学习控制理论课程必不可少的实验设备。

主要特点：

- ◆ 自动化专业设计，整机结构合理，单元电路设置符合控制原理实验要求．参数改变灵活，排题方便。
- ◆ 选用进口高精度运算放大器 Op07，它具有高增益，输入失调电压、电流较一般产品小，由它组成的加法器、积分器的“零点”和“积分漂移”较小．
- ◆ 操作面板上设立了“复位”键，能方便地消除积分器电容上的残余电荷．从而提高了本机重复运算的精度。
- ◆ 自带双向双量程电压表，测量，调整方便。

二、主要技术性能

1、输入电源电压：AC220 伏土 10%；输出电压：土 15V；输出电流：400mA。

2、模拟运算单元

（1）由 Op07 运算放大器组成的运算部件有：积分器 6 个；加法器 2 个；反向器 1 个。

（2）时间常数：　40s（max）

（3）系数电位器：8 个

（4）非线性环节；

（5）阻容无源环节。

3、电表量程：双向指针土 15 伏 / 土 1.5 伏。

4、信号源：阶跃信号 0—>15V；0－ -15V 可调。

三、结构与原理

1、电源部分：

本机电源由变压器及集成稳压电路等组成。当接通电源开关，操作面板的左侧相应的插孔即有土 15V 电压值，对应 LED 指示灯亮。请注意：本机的土 15V 稳压电压只供本机使用。

2、运算单元的连接方式：

（1） 每个运算放大器的输出瑞均通过印刷线路连接到按键开关和拨码盘上，实现“复位”和电压表指示的功能，如图 5（A）、（B）所示。

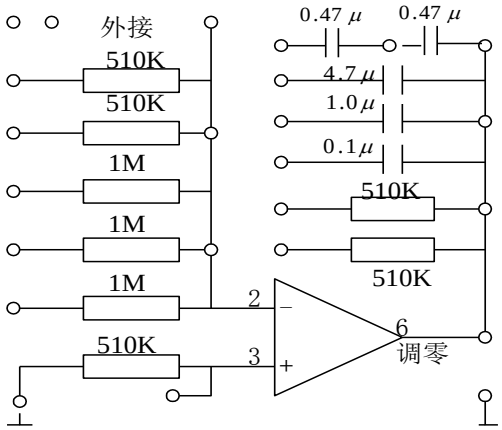


图 5（A）

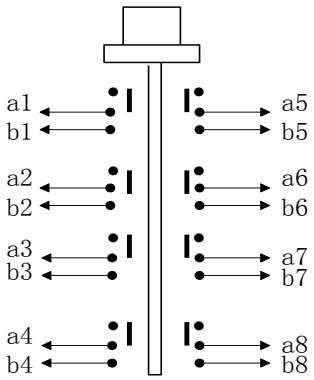


图 5（B）复位按键

（2） 本机有 9 个运算单元，除（9）号反向器以外，其余八个单元均可实现加法、积分、微分等运其，其中（7）、（8）两个单元的接线安排有利于实现 PID 调节器的功能。

3、其它单元

在操作面板上配置了可组成饱和、死区和迟滞回线等非线性电路的电阻、电容和二极管等元件。

4、阶跃信号

信号源接线如图 6 所示。K1 后加了一级跟随器，如“输入”插口外接超低频信号发生器，则可做控制系统的频率特性实验。

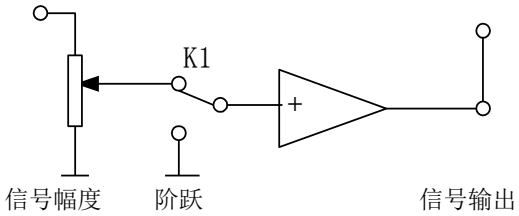


图 6

本机备有“输入”插口，可以与外加信号源配合使用．如系统输入抗动信号为阶跃信号，则需要将“输入”插口接入十 15V 电源端，拨动阶跃开关，可得到 0—>15V 幅度正阶跃，或+15V—>0 的负阶跃。同理，“输入”插口也可接入 —15V 电源端。

四、使用与操作

1、使用注意事项

（1）使用前，请阅读本设备的使用说明书。

（2）运算放大器 Op07 插入时，必须注意其引脚“1”的位置必须与印刷板上所标的“1”位置吻合，否则将损坏运算放大器。

（3）电压表的“测量选择”必须将 K3 拨向左方，才能用此表估量其它电压值。

2、操作须知

（1）“复位”键：进行再次运算前，按“复位”键，使每个积分反馈回路中的电容通过按键的 a、b 接点放电，消除电容上的残余电荷，线路如图 7 所示：

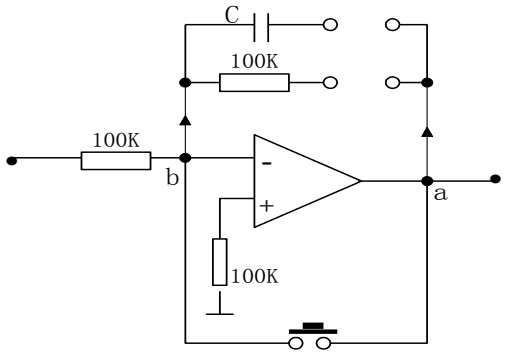


图 7

（2）“测量选择”拨码盘及电压表：在操作面板右方的电压表上所指示的电压值为拨码盘上数码所选定的运算放大器的输出电压值，同时由插口供示波器观察相应数码的运算放大器的输出波形。当拨码盘 0 值时，接阶跃电压输出端（面板左中部分）。K3 拨向左边时，电压表可外接测量其他电压。

（3）电压表量程

正常情况下电压表量程为土 15 伏，土 1.5 伏用来测量各运算放大器在调零时是否为零。Op07 各运算放大器在调零时，调整数字在 mV 级，因此需用数字电压表才可精确调零。

五、 产品技术资料

OP07 管脚及典型电路（见图 8（A）、（B）所示）及主要特性

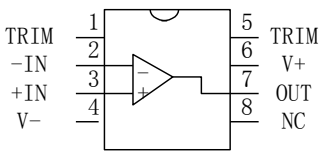
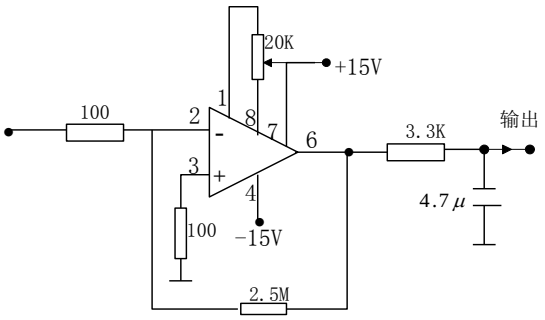


图 8（A）OP07 管脚图



图四（B）典型电路

主要特性：

输入电阻：33MΩ；电压增益：400V/mv；

电源电压：土 22V(max)；输出电压：土 11 伏（min）。