

自动控制原理综合实验（1）指导书  
之  
硬件实验  
（基于 EL-AT-III 型自动控制实验系统）

北京邮电大学自动化学院  
林雪燕，姚燕

2012 年 12 月

# 前言

自动控制原理是自动化、自动控制、电子电气技术等专业教学中的一门重要专业基础课程。它可以处理时变、非线性以及多输入、多输出等复杂的控制系统等问题。本套 EL-AT-III 型自动控制实验系统克服了以前做自动控制理论实验时，连线复杂，连接不稳定的缺点，通过对单元电路的灵活组合，可构造出各种型式和阶次的模拟环节和控制系统。可以使学生把主要精力集中在系统电路和系统特性的研究上。

本系统采用 DA/AD 卡通过 USB 口和计算机连接实现信号源信号的输出和系统响应信号的采集，采集后的信号通过计算机显示屏显示，省去了外接信号源和示波器测量相应信号的麻烦。EL-AT-III 型自动控制实验系统支持自动控制理论课的所有实验，通过这套仪器可使学生进一步了解和掌握自动控制理论的基本概念、控制系统的分析方法和设计方法，学习和掌握系统模拟电路的构成和测试技术，提高应用计算机的能力和水平。

本书分为三章，第一章为 EL-AT-III 型实验箱硬件资源，主要介绍实验箱的硬件组成和系统单元电路。第二章为系统集成操作软件，主要介绍系统软件的安装，操作以及计算机和实验箱的通讯设置。第三章为实验系统部分，主要介绍各个实验的电路组成，实验原理和实验步骤。自动控制原理综合实验（1）处理的系统为单输入单输出的线性连续控制系统，相应的实验有 5 个：典型环节及其阶跃响应，二阶系统的阶跃响应，控制系统的稳定性分析，系统的频率特性测量，连续系统的串联校正。除了这 5 个实验外，学生可自己灵活地组合各种形式的实验系统，以更好地满足学习的要求。

学生两人一组完成相应的 5 个实验，得到准确的数据，曲线和结果。然后完成实验报告，并上交。实验报告包括实验名称，实验目的，实验仪器，实验内容，实验原理，实验步骤，实验结果，实验分析，实验结论，实验体会。

# 目 录

第一章	硬件资源.....	3
第二章	软件安装及使用.....	6
第三章	实验系统部分.....	10
实验一	典型环节及其阶跃响应.....	10
实验二	二阶系统阶跃响应.....	14
实验三	控制系统的稳定性分析.....	18
实验四	系统频率特性测量.....	21
实验五	连续系统串联校正.....	27
附录一	USB AD/DA 卡调试说明.....	32

# 第一章 硬件资源

EL-AT-III 型实验系统主要由计算机、AD/DA 采集卡、自动控制原理实验箱、打印机（可选）组成如图 1，其中计算机根据不同的实验分别起信号产生、测量、显示、系统控制和数据处理的作用，打印机主要记录各种实验数据和结果，实验箱主要构造被控模拟对象。

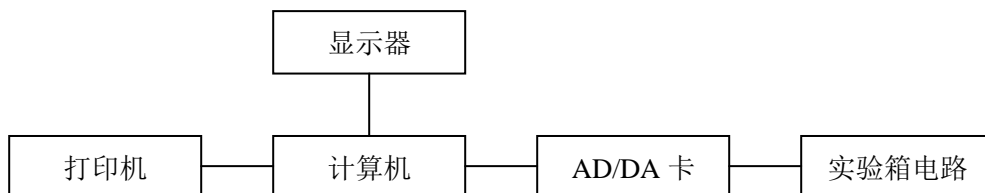


图 1 实验系统构成

实验箱面板如图 2：

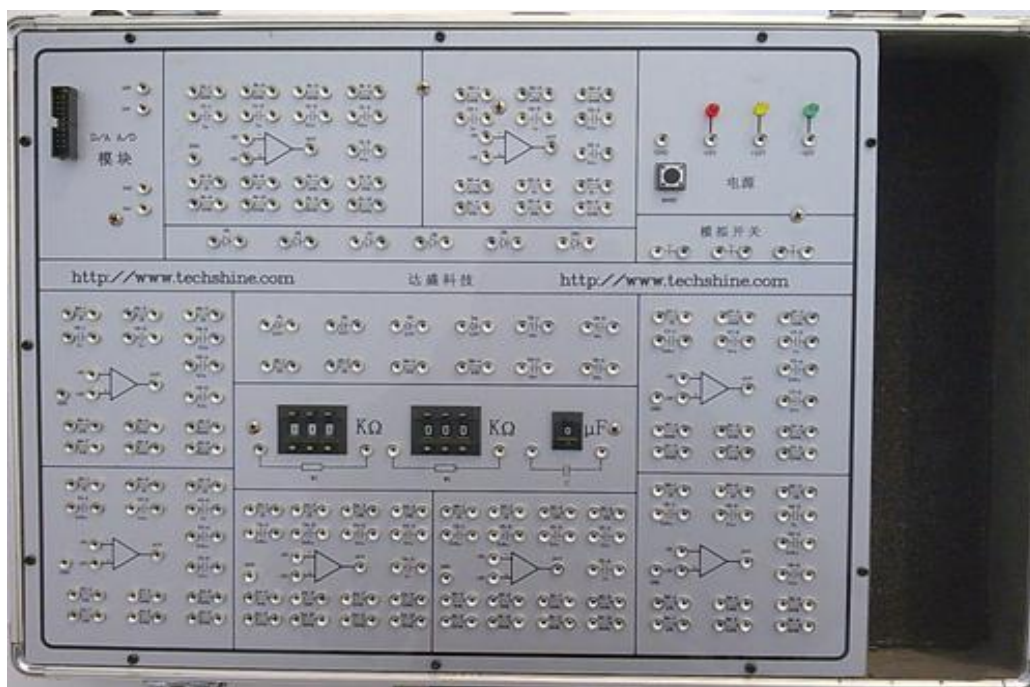


图 2 实验箱面板

下面主要介绍实验箱的构成：

## 一、系统电源

EL-AT-III 系统采用本公司生产的高性能开关电源作为系统的工作电源，其主要技术

性能指标为：

- 1. 输入电压：AC 220V
- 2. 输出电压/电流：+12V/0.5A, -12V/0.5A, +5V/2A
- 3. 输出功率：22W
- 4. 工作环境：-5℃~+40℃。

二、AD/DA 采集卡

AD/DA 采集卡如图 3 采用 EZUSB2131 芯片做为主控芯片，负责数据采集和 USB 通信，用 EPM7128 作为 SPI 总线转换，AD 为 TL1570I 其采样位数为 10 位，采样率为 1KHz。DA 为 MAX5159 转换位数为 10 位，转换速率为 1K。AD/DA 采集卡有两路输出（DA1、DA2）和两路输入（AD1、AD2），其输入和输出电压均为-5V~+5V。

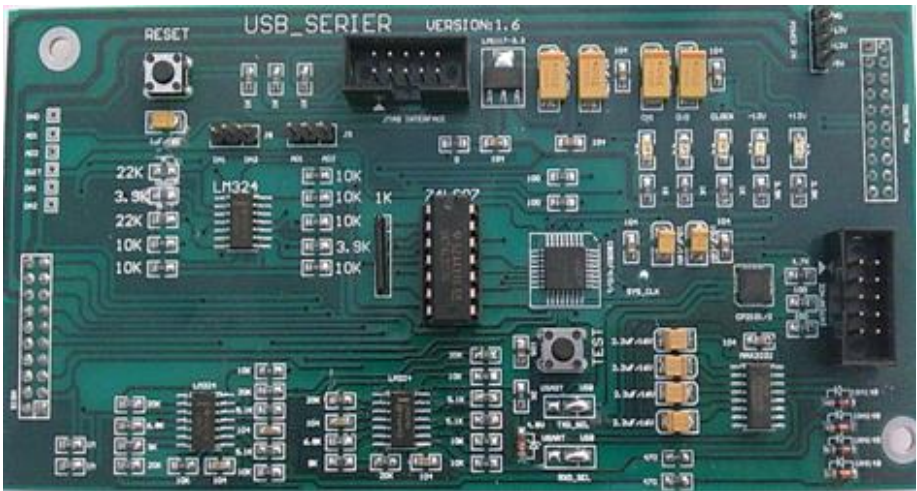


图 3 AD/DA 采集卡

三、实验箱面板

实验箱面板布局如图 4

AD/DA 卡输入输出模块	实验模块 1	实验模块 2	电源模块
	二极管区		模拟开关
	EL-CAT-II		

实验模块 3	电阻、电容、二极管区		实验模块 4
	变阻箱、变容箱模块		
实验模块 5	实验模块 6	实验模块 7	实验模块 8

图 4 实验箱面板布局

实验箱面板主要由以下几部分构成：

#### 1. 实验模块

本实验系统有八组由放大器、电阻、电容组成的实验模块。每个模块中都有一个由 UA741 构成的放大器和若干个电阻、电容。这样通过对这八个实验模块的灵活组合便可构造出各种型式和阶次的模拟环节和控制系统。

#### 2. 二极管，电阻、电容、二极管区

这些区域主要提供实验所需的二极管、电阻和电容。

#### 3. AD/DA 卡输入输出模块

该区域是引出 AD/DA 卡的输入输出端，一共引出两路输出端和两路输入端，分别是 DA1、DA2，AD1、AD2。有一个按钮复位，按下一次对 AD/DA 卡进行一次复位。20 针的插座用来和控制对象连接。

#### 4. 电源模块

电源模块有一个实验箱电源开关，有四个开关电源提供的 DC 电源端子，分别是 +12V、-12V、+5V、GND，这些端子给外扩模块提供电源。

#### 5. 变阻箱、变容箱模块

变阻箱、变容箱是本实验系统的一个突出特点，只要按动数字旁边的“+”、“-”按钮便可调节电阻电容的值，而且电阻电容值可以直接读出。

## 第二章 软件安装及使用

### 一、软件安装

软件安装(分两大部分)

#### (一)、安装应用软件

1. 按照软件提示，一步一步完成安装

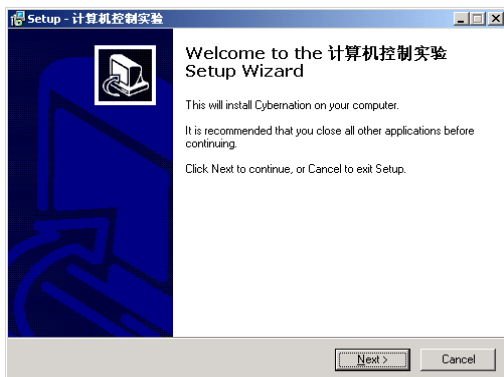


图 1 进入安装界面

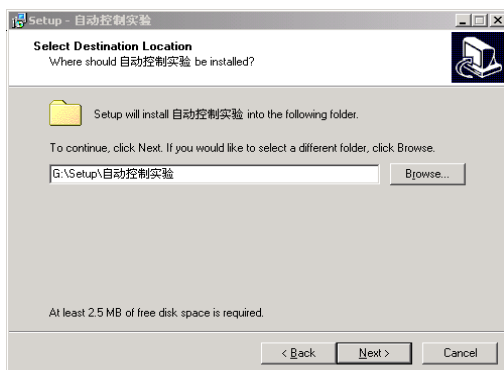


图 2 选择安装路径

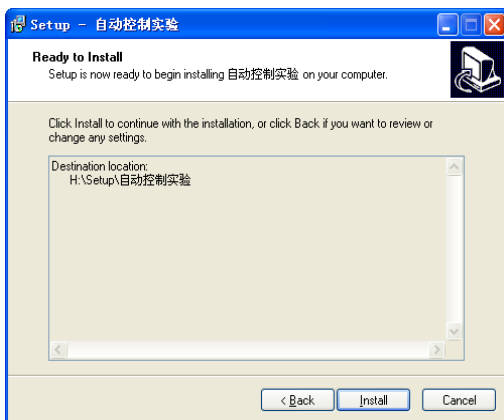


图 3 单击 Install



图 4 安装完毕界面

2. 完成应用软件的安装；应用软件会自动出现在“开始—>程序”列表中。

#### (二)、USB 驱动安装(操作系统不同安装步骤有差别)

Windows XP 操作系统下：

1. 通过 USB 硬件接口,连接实验箱与计算机，计算机将自动显示图 5。
2. 图 6 的驱动安装文件在第一步安装的应用程序文件中，所以应选择第一步安装应用程序的路径和文件名,然后单击“确定”，系统将会自动搜索驱动安装文件。

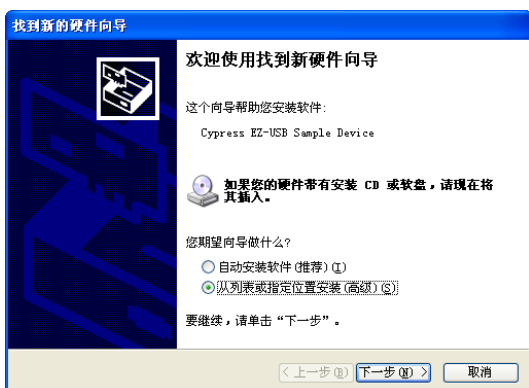


图 5 选择如图的单选按钮后，单击下一步

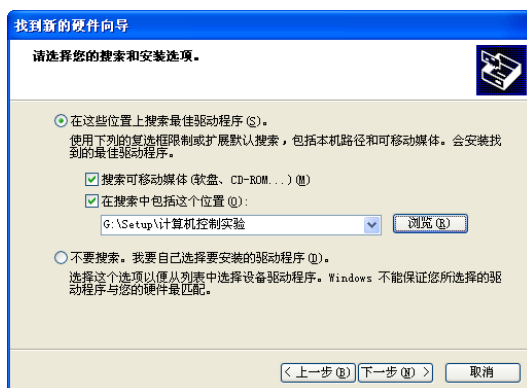


图 6 选择驱动安装文件路径

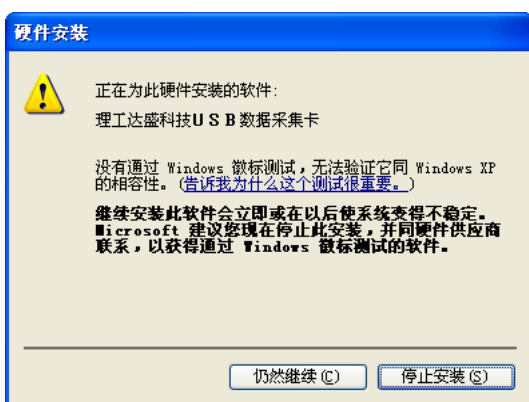


图 7 单击“仍然继续”

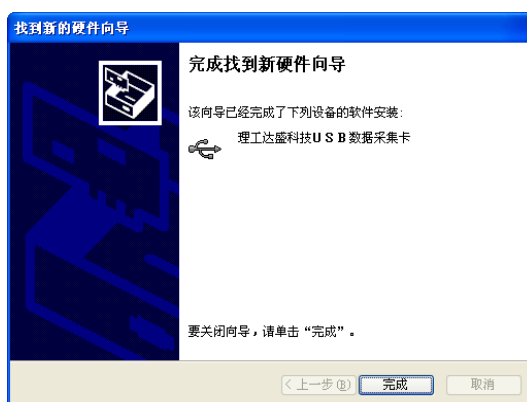


图 8 安装完成界面

应用软件和 USB 驱动都安装完成后, 可以运行实验系统。

## 二、软件启动与使用说明

### 1. 软件启动

在 Windows 桌面上或“开始—程序”中双击“快捷方式 到 Cybernation\_A.exe”快捷方式, 便可启动软件如图 15

### 2. 实验前计算机与实验箱的连接

用实验箱自带的 USB 线将实验箱后面的 USB 口与计算机的 USB 口连接, 启动“Cybernation\_A”软件。

### 3. 软件使用说明

本套软件界面共分为三个组画面

- 软件说明和实验指导书画面（如图 9）
- 数据采集显示画面（如图 10）



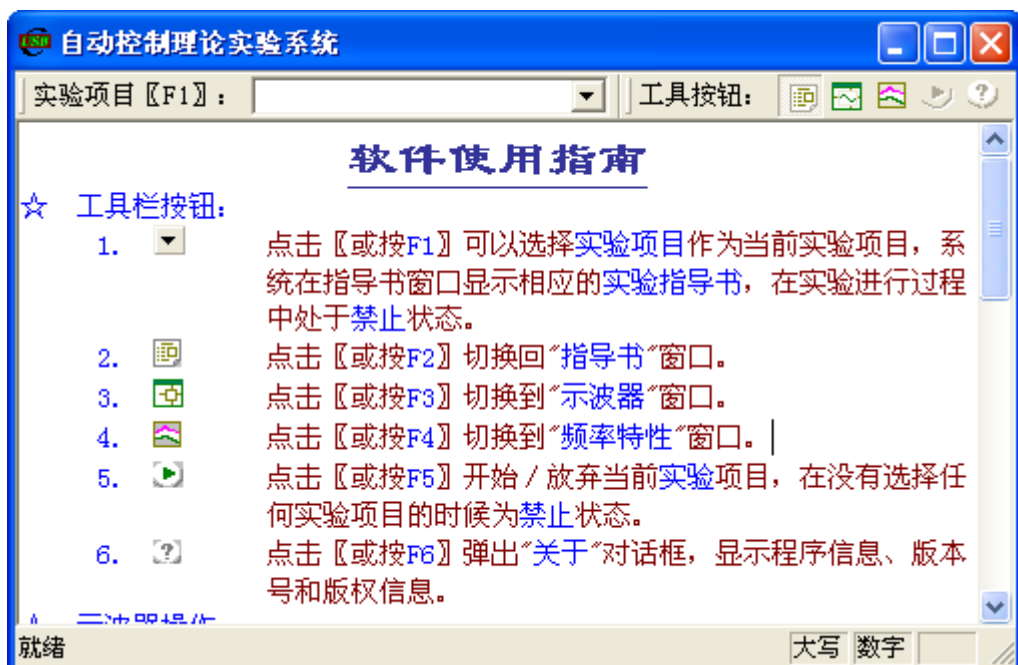








图 9



图 10

下面介绍软件具体操作和功能：

一：工具栏按钮：

1.  点击【或按F1】可以选择实验项目作为当前实验项目，系统在指导书窗口显示相应的实验指导书，在实验进行过程中处于禁止状态。
2.  点击【或按F2】切换回“指导书”窗口。
3.  点击【或按F3】切换到“示波器”窗口。
4.  点击【或按F4】切换到“频率特性”窗口。
5.  点击【或按F5】开始 / 放弃当前实验项目，在没有选择任何实验项目的时候为禁止状态。
6.  点击【或按F6】弹出“关于”对话框，显示程序信息、版本号和版权信息。

## 二： 示波器操作：

1. 测量 在“示波器”窗口单击鼠标右键，在弹出菜单中选择“测量”打开测量游标（重复前述步骤隐藏测量游标），拖动任一游标到感兴趣的位置，图表区下方会显示当前游标的位置和与同类的另一游标之间距离的绝对值。如果想精确定位游标只需用鼠标左键单击相应的游标位置栏并在编辑框中输入合法值回车即可。
2. 快照 在“示波器”窗口单击鼠标右键，在弹出菜单中选择“快照”将当前图像复制到剪贴板，以便粘贴到画图或其他图像编辑软件中编辑和保存。
3. 打印 目前尚不支持。
4. 线型 在“示波器”窗口单击鼠标右键，在弹出菜单中可点击“直线”、“折线”或“点线”来选择数据点和数据点之间的连接方式，体会各种连接方式的差异。
5. 配色 用鼠标左键双击图表区除曲线之外的元素会弹出标准颜色对话框，用户可以更改相应元素的颜色（比如将网格颜色改成与背景相同颜色）。
6. 缩放 用鼠标左键单击图表区刻度区的边界刻度并在编辑框中输入和法值回车即可改变当前显示范围。

## 第三章 实验系统部分

### 实验一 典型环节及其阶跃响应

#### 一、实验目的

1. 掌握控制模拟实验的基本原理和一般方法。
2. 掌握控制系统时域性能指标的测量方法。

#### 二、实验仪器

1. EL-AT-III 型自动控制系统实验箱一台。
2. 计算机一台。

#### 三、实验原理

1. 模拟实验的基本原理:

控制系统模拟实验采用复合网络法来模拟各种典型环节,即利用运算放大器不同的输入网络和反馈网络模拟各种典型环节,然后按照给定系统的结构图将这些模拟环节连接起来,便得到了相应的模拟系统。再将输入信号加到模拟系统的输入端,并利用计算机等测量仪器,测量系统的输出,便可得到系统的动态响应曲线及性能指标。若改变系统的参数,还可进一步分析研究参数对系统性能的影响。

2. 时域性能指标的测量方法:

**超调量  $\sigma\%$ :**

- 1) 用软件上的游标测量响应曲线上的最大值和稳态值,代入下式算出超调量:

$$\sigma\% = \frac{Y_{\max} - Y_{\infty}}{Y_{\infty}} \times 100\%$$

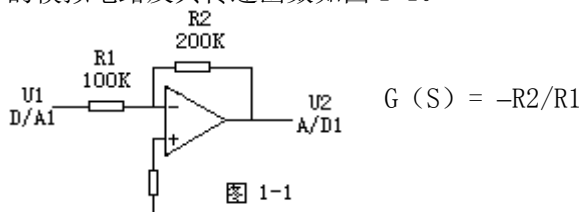
**峰值时间  $T_p$  与调节时间  $T_s$ :**

利用软件的游标测量水平方向上从零到达最大值与从零到达 95% 稳态值所需的时间值,便可得到  $T_p$  与  $T_s$ 。

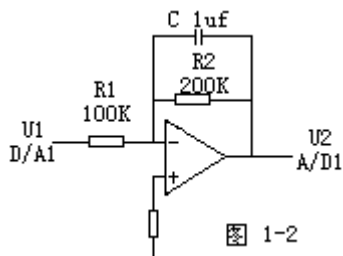
#### 四、实验内容

构成下述典型一阶系统的模拟电路,并测量其阶跃响应:

1. 比例环节的模拟电路及其传递函数如图 1-1。



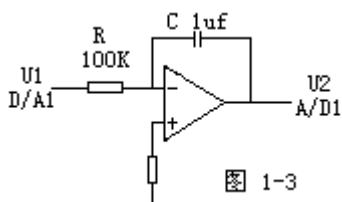
2. 惯性环节的模拟电路及其传递函数如图 1-2。



$$G(S) = -\frac{K}{TS+1}$$

$$K=R2/R1, T=R2C$$

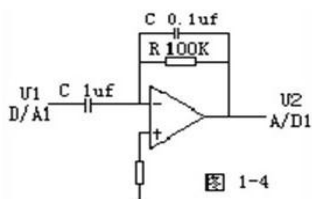
3. 积分环节的模拟电路及传递函数如图 1-3。



$$G(S) = 1/TS$$

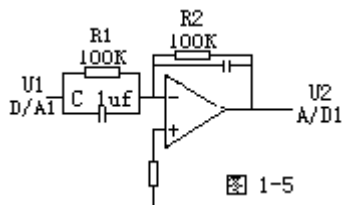
$$T=RC$$

4. 微分环节的模拟电路及传递函数如图 1-4。



$$G(S) = -RCS$$

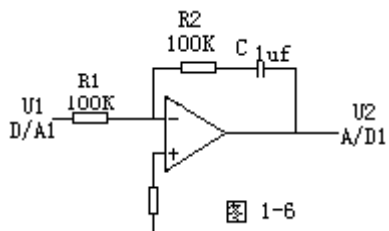
5. 比例+微分环节的模拟电路及传递函数如图 1-5 (未标明的 C=0.1uF)。



$$G(S) = -K(TS+1)$$

$$K=R2/R1, T=R2C$$




6. 比例+积分环节的模拟电路及传递函数如图 1-6。



$$G(S) = K(1+1/TS)$$

$$K=R2/R1, T=R2C$$

## 五、实验步骤


1. 启动计算机，在桌面双击图标 [自动控制实验系统] 运行软件。
2. 检查 USB 线是否连接好，在实验项目下拉框中选中任实验，点击  按钮，出现参数设置对话框设置好参数按确定按钮，此时如无警告对话框出现表示通信正常，如出现警告表示通信不正常，找出原因使通信正常后才可以继续进行实验。
3. 连接被测量典型环节的模拟电路：**比例环节**(图 1-1)；**惯性环节**(图 1-2)；**积分环节**(图 1-3)；**微分环节**(图 1-4)；**比例+微分环节**(图 1-5)；**比例+积分环节**(图 1-6)。
4. 电路的输入 U1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出，电路的输出 U2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。
5. 在实验项目的下拉列表中选择实验一[典型环节及其阶跃响应]。
6. 鼠标单击  按钮，弹出实验参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数后鼠标单击确认，等待屏幕的显示区显示实验结果。
7. 观测计算机屏幕显示出的响应曲线及数据。
8. 记录波形及数据。

## 六、实验报告

1. 由阶跃响应曲线计算出惯性环节、积分环节的传递函数，并与由电路计算的结果相比较。
2. 将实验中测得的曲线、数据及理论计算值，整理列表。

## 七、预习要求

1. 阅读实验原理部分，掌握时域性能指标的测量方法。
2. 分析典型一阶系统的模拟电路和基本原理。

参数	阶跃响应曲线 	$T_s$ (秒)		
			理论值	实测值
$R_1=R_2=100K$ $C=1\mu f$ $K=1$ $T=0.1S$		比例环节		
		惯性环节		
		积分环节		
		微分环节		
		比例+微分环节		
		比例+积分环节		
$R_1=100K$ $R_2=200K$ $C=1\mu f$ $K=2$ $T=0.2S$		比例环节		
		惯性环节		
		积分环节		
		微分环节		
		比例+微分环节		
		比例+积分环节		

实验数据测试表(学生填写)

## 实验二 二阶系统阶跃响应

### 一、实验目的

1. 研究二阶系统的特征参数, 阻尼比 $\zeta$ 和无阻尼自然频率 $\omega_n$ 对系统动态性能的影响。  
定量分析  $\zeta$  和 $\omega_n$ 与最大超调量  $M_p$  和调节时间  $t_s$ 之间的关系。
2. 进一步学习实验系统的使用方法。
3. 学会根据系统阶跃响应曲线确定传递函数。

### 二、实验仪器

1. EL-AT-III 型自动控制系统实验箱一台。
2. 计算机一台。

### 三、实验原理

1. 模拟实验的基本原理:

控制系统模拟实验采用复合网络法来模拟各种典型环节, 即利用运算放大器不同的输入网络和反馈网络模拟各种典型环节, 然后按照给定系统的结构图将这些模拟环节连接起来, 便得到了相应的模拟系统。再将输入信号加到模拟系统的输入端, 并利用计算机等测量仪器, 测量系统的输出, 便可得到系统的动态响应曲线及性能指标。若改变系统的参数, 还可进一步分析研究参数对系统性能的影响。

2. 时域性能指标的测量方法:

**超调量 $\sigma\%$ :**

用软件上的游标测量响应曲线上的最大值和稳态值, 代入下式算出超调量:

$$\sigma\% = \frac{Y_{\max} - Y_{\infty}}{Y_{\infty}} \times 100\%$$

**峰值时间  $T_p$  与调节时间  $T_s$ :**

利用软件的游标测量水平方向上从零到达最大值与从零到达 95%稳态值所需的时间值, 便可得到  $T_p$  与  $T_s$ 。

### 四、实验内容

典型二阶系统的闭环传递函数为

$$\varphi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

其中  $\zeta$  和 $\omega_n$ 对系统的动态品质有决定的影响。

构成图 2-1 典型二阶系统的模拟电路，并测量其阶跃响应：

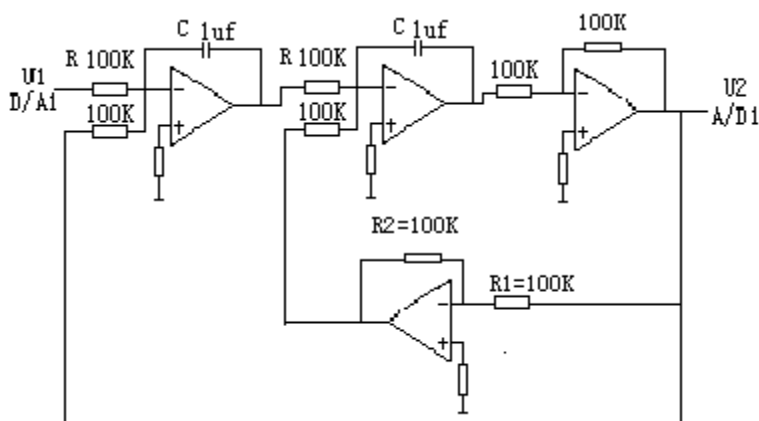


图 2-1 二阶系统模拟电路图

电路的结构图如图 2-2：

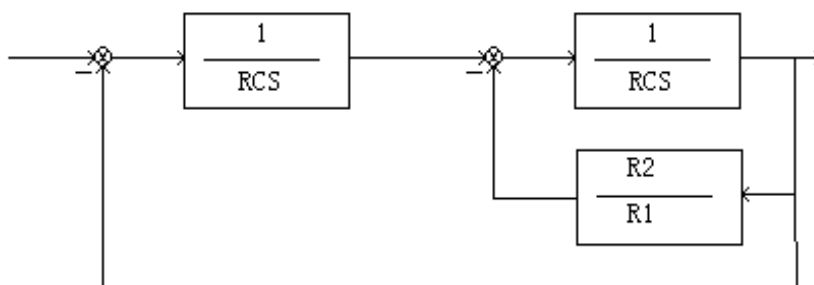


图 2-2 二阶系统结构图

系统闭环传递函数为

$$\varphi(s) = U_2(s) / U_1(s) = \frac{1/T^2}{s^2 + (K/T)s + 1/T^2} \quad (2)$$

式中  $T=RC$ ,  $K=R_2/R_1$ 。

比较 (1)、(2) 二式，可得

$$\omega_n = 1/T = 1/RC$$

$$\zeta = K/2 = R_2/2R_1 \quad (3)$$



由 (3) 式可知，改变比值  $R_2/R_1$ ，可以改变二阶系统的阻尼比。改变  $RC$  值可以改变无阻尼自然频率  $\omega_n$ 。

今取  $R_1=200K$ ,  $R_2=100K$  和  $200K$ ，可得实验所需的阻尼比。电阻  $R$  取  $100K$ ，电



容  $C$  分别取  $1\mu\text{f}$  和  $0.1\mu\text{f}$ , 可得两个无阻尼自然频率  $\omega_n$ 。

## 五、实验步骤

1. 连接被测量典型环节的模拟电路。电路的输入  $U_1$  接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路的输出  $U_2$  接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入, 将两个积分电容得两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。
2. 启动计算机, 在桌面双击图标 [自动控制实验系统] 运行软件。
3. 测查 USB 线是否连接好, 在实验项目下拉框中选中任实验, 点击  按钮, 出现参数设置对话框设置好参数按确定按钮, 此时如无警告对话框出现表示通信正常, 如出现警告表示通信不正常, 找出原因使通信正常后才可以继续进行实验。
4. 在实验项目的下拉列表中选择实验二[二阶系统阶跃响应], 鼠标单击  按钮, 弹出实验课题参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果
5. 取  $\omega_n=10\text{rad/s}$ , 即令  $R=100\text{K}\Omega$ ,  $C=1\mu\text{f}$ ; 分别取  $\zeta=0.5$ 、 $1$ 、 $2$ , 即取  $R_1=100\text{K}\Omega$ ,  $R_2$  分别等于  $100\text{K}\Omega$ 、 $200\text{K}\Omega$ 、 $400\text{K}\Omega$ 。输入阶跃信号, 测量不同的  $\zeta$  时系统的阶跃响应, 并由显示的波形记录最大超调量  $M_p$  和调节时间  $T_s$  的数值和响应动态曲线, 并与理论值比较。
6. 取  $\zeta=0.5$ 。即电阻  $R_2$  取  $R_1=R_2=100\text{K}\Omega$ ;  $\omega_n=100\text{rad/s}$ , 即取  $R=100\text{K}\Omega$ , 改变电路中的电容  $C=0.1\mu\text{f}$  (注意: 二个电容值同时改变)。输入阶跃信号测量系统阶跃响应, 并由显示的波形记录最大超调量  $\sigma_p$  和调节时间  $T_n$ 。
7. 取  $R=100\text{K}\Omega$ ; 改变电路中的电容  $C=1\mu\text{f}$ ,  $R_1=100\text{K}\Omega$ , 调节电阻  $R_2=50\text{K}\Omega$ 。输入阶跃信号测量系统阶跃响应, 记录响应曲线, 特别要记录  $T_p$  和  $\sigma_p$  的数值。
8. 测量二阶系统的阶跃响应并记入表中:

实验结果		$\sigma\%$	$t_p$ (ms)	$t_s$ (ms)	阶跃响应曲线
参数					
$R = 100K$ $C = 1 \mu f$ $\omega_n = 10rad/s$	$R_1 = 100K$ $R_2 = 0K$ $\zeta = 0$				
	$R_1 = 100K$ $R_2 = 50K$ $\zeta = 0.25$				
	$R_1 = 100K$ $R_2 = 100K$ $\zeta = 0.5$				
	$R_1 = 100K$ $R_2 = 200K$ $\zeta = 1$				
$R_1 = 100K$ $C_1 = C_2 = 0.1 \mu f$ $\omega_n = 100rad/s$	$R_1 = 100K$ $R_2 = 100K$ $\zeta = 0.5$				
	$R_1 = 100K$ $R_2 = 200K$ $\zeta = 1$				


## 六、实验报告

1. 画出二阶系统的模拟电路图，讨论典型二阶系统性能指标与 $\zeta$ 、 $\omega_n$ 的关系。
2. 把不同 $\zeta$ 和 $\omega_n$ 条件下测量的 $\sigma\%$ 和 $t_s$ 值列表，根据测量结果得出相应结论。
3. 画出系统响应曲线，再由 $t_s$ 和 $\sigma\%$ 计算出传递函数，并与由模拟电路计算的传递函数相比较。

## 七、预习要求

1. 阅读实验原理部分，掌握时域性能指标的测量方法。
2. 按实验中二阶系统的给定参数，计算出不同 $\zeta$ 、 $\omega_n$ 下的性能指标的理论值。



- 正常，如出现警告表示通信不正常，找出原因使通信正常后才可以继续进行实验。
- 在实验项目的下拉列表中选择实验三[控制系统的稳定性分析]，鼠标单击  按钮，弹出实验课题参数设置对话框。在参数设置对话框中设置目的电压  $U_1=1000\text{mV}$  鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果。
  - 取  $R_3$  的值为  $50\text{K}\Omega$ ， $100\text{K}\Omega$ ， $200\text{K}\Omega$ ，此时相应的  $K=5$ ， $10$ ， $20$ 。观察不同  $R_3$  值时显示区内的输出波形(即  $U_2$  的波形)，找到系统输出产生增幅振荡时相应的  $R_3$  及  $K$  值。再把电阻  $R_3$  由大至小变化，即  $R_3=200\text{k}\Omega$ ， $100\text{k}\Omega$ ， $50\text{k}\Omega$ ，观察不同  $R_3$  值时显示区内的输出波形，找出系统输出产生等幅振荡变化的  $R_3$  及  $K$  值，并观察  $U_2$  的输出波形。
  - 在步骤 5 条件下，使系统工作在不稳定状态，即工作在等幅振荡情况。改变电路中的电容  $C$  由  $1\mu\text{f}$  变成  $0.1\mu\text{f}$ ，重复实验步骤 4 观察系统稳定性的变化。
  - 将实验结果添入下表中：

参数		系统响应曲线
$R_2=100\text{K}\Omega$ $R=100\text{K}\Omega$ $C=1\mu\text{f}$ $T=0.1\text{S}$	$R_3=50\text{K}$ ， $K_1=0.5$ $K=5$	
	$R_3=100\text{K}$ ， $K_1=1$ $K=10$	
	$R_3=200\text{K}$ ， $K_1=2$ $K=20$ 	
$R_2=100\text{K}\Omega$ $R=100\text{K}\Omega$ $C=0.1\mu\text{f}$ $T=0.01\text{S}$ 	$R_3=50\text{K}$ ， $K_1=0.5$ $K=5$	
	$R_3=100\text{K}$ ， $K_1=1$ $K=10$	
	$R_3=200\text{K}$ ， $K_1=2$ $K=20$	

## 五、实验报告

- 画出步骤 5 的模拟电路图。
- 画出系统增幅或减幅振荡的波形图。
- 计算系统的临界放大系数，并与步骤 5 中测得的临界放大系数相比较。

## 六、预习要求

1. 分析实验系统电路，掌握其工作原理。
2. 理论计算系统产生等幅振荡、增幅振荡、减幅振荡的条件。

## 实验四 系统频率特性测量

### 一、实验目的

1. 加深了解系统及元件频率特性的物理概念。
2. 掌握系统及元件频率特性的测量方法。
3. 掌握利用“李沙育图形法”测量系统频率特性的方法。

### 二、实验仪器

1. EL-AT-III 型自动控制系统实验箱一台。
2. 计算机一台。

### 三、实验原理

频率特性的测量方法：

1. 将正弦信号发生器、被测系统和数据采集卡按图 4-1 连接起来。

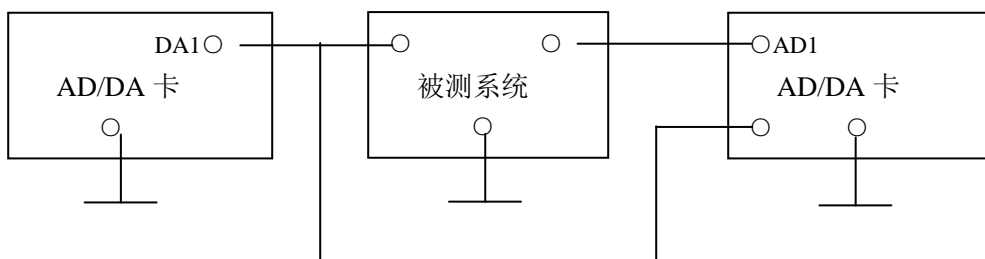


图 4-1 频率特性测量电路

2. 通过 AD/DA 卡产生不同频率和幅值的正弦信号，并输入到被测系统中。
3. AD/DA 卡采集被测系统的输出信号，并显示在计算机屏幕上。通过比较输入信号和输出信号的不同，可以得到系统的频率响应特性。

### 四、实验内容

1. 模拟电路图及系统结构图分别如图 4-2 和图 4-3。

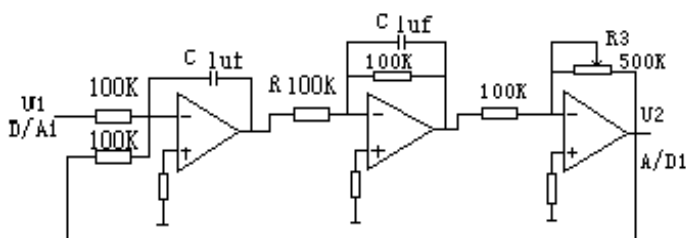


图 4-2 系统模拟电路图

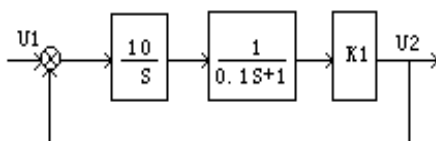


图 4-3 系统结构图

2. 系统传递函数 取  $R3=500k\Omega$ , 则系统传递函数为

$$G(S) = \frac{U2(S)}{U1(S)} = \frac{500}{S^2+10S+500}$$

若输入信号  $U1(t) = U1\sin\omega t$ , 则在稳态时, 其输出信号为


$$U2(t) = U2\sin(\omega t + \Psi)$$

改变输入信号角频率 $\omega$ 值, 便可测得  $U2/U1$  和 $\Psi$ 随 $\omega$ 变化的数值, 这个变化规律就是系统的幅频特性和相频特性。


## 五、实验步骤

1. 连接被测量典型环节的模拟电路。电路的输入  $U1$  接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路的输出  $U2$  接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入, 将纯积分电容两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。
2. 启动计算机, 在桌面双击图标 [自动控制实验系统] 运行软件。测试计算机与实验箱的通信是否正常, 通信正常继续。如通信不正常查找原因使通信正常后才可以继续进行实验。


### 李沙育图

3. 在实验项目的下拉列表中选择实验四[四、系统频率特性测量], 鼠标单击  按钮, 弹出实验参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数并选择李沙育图, 然后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果, 如图 4-4 所示。

## 测频率图

4. 在实验项目的下拉列表中选择实验四[四、系统频率特性测量], 鼠标单击  按钮, 弹出实验参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数并选择时间电压图, 然后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果, 如图 4-5 所示。

## 测波特图

5. 在实验项目的下拉列表中选择实验四[四、系统频率特性测量], 鼠标单击  按钮, 弹出实验课题参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数并选自动选项, 然后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果。如图 4-6 所示

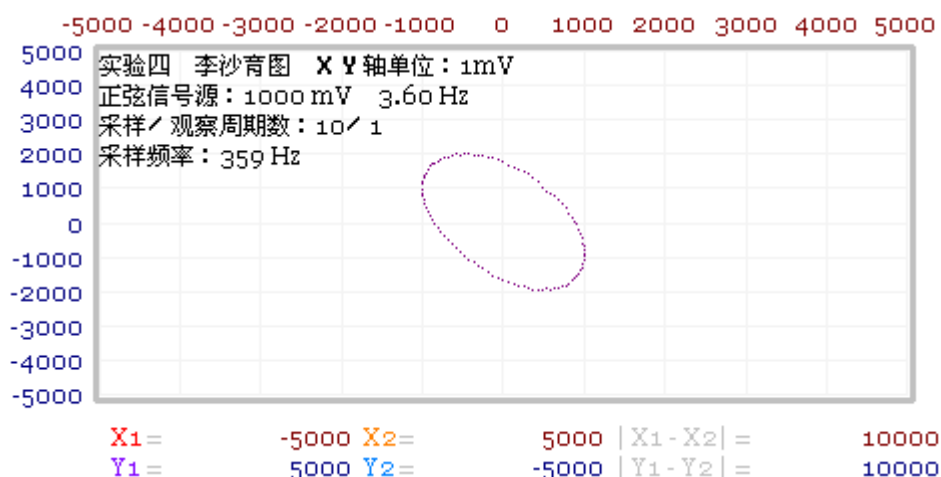


图 4-4 李沙育图

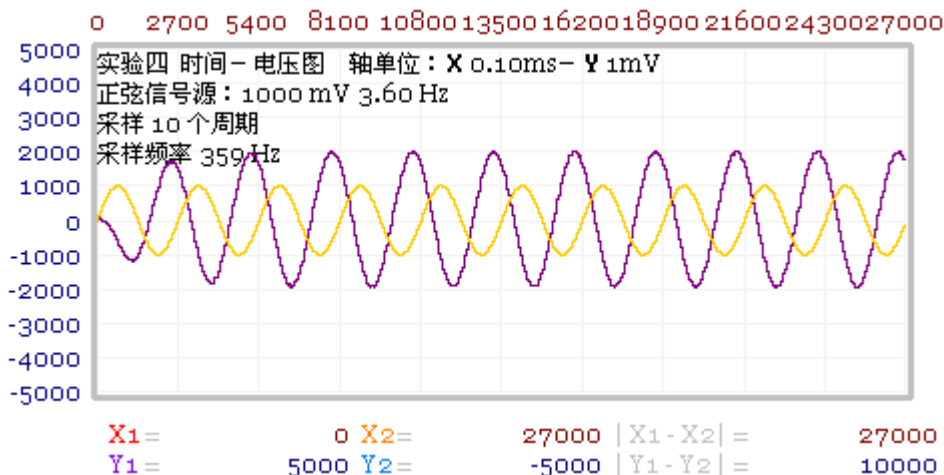


图 4-5 手动方式测量波特图



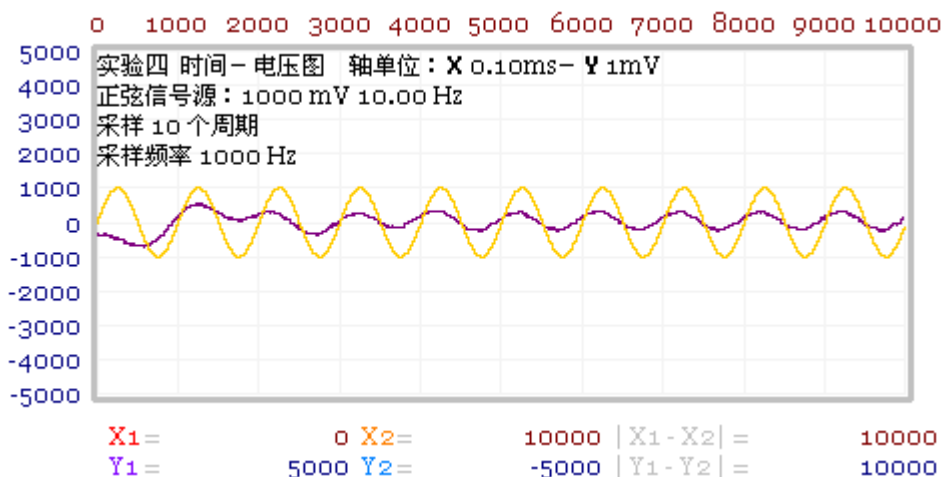



图 4-6 数据采集


6. 待数据采集结束后点击  按钮即可以在显示区内显示出所测量的波特图。

### 测奈氏图

7. 在完成步骤 6 后，在显示区单击鼠标右键，即出现奈氏图。
- 8.按下表所列频率，测量各点频率特性的实测值并计算相应的理论值。

F (Hz)	$\omega$ (rad/s)	理论值		实测值					
		L ( $\omega$ )	$\phi$ ( $\omega$ )	2Xm	2yo	2ym	L( $\omega$ )	$\phi$ ( $\omega$ )	李沙育图形
1									
2									
3.6									
5									
10									

## 六、实验报告

- 画出被测系统的结构和模拟电路图。
- 画出被测系统的  L ( $\omega$ ) 曲线与  $\phi$  ( $\omega$ ) 曲线。
- 整理表中的实验数据，并算出理论值和实测值。
- 讨论李沙育图形法测量频率特性的精度。

## 七、预习要求

1. 阅读实验原理部分，掌握李沙育图形法的基本原理及频率特性的测量方法。
2. 画出被测系统的开环  $L(\omega)$  曲线与  $\phi(\omega)$  曲线。
3. 按表中给出格式选择几个频率点，算出各点频率特性的理论值。

#### 八：测量数据的说明

$F$  实验时信号源的频率

$\omega = 2\pi F$  信号源的角频率

$L(\omega)$  输出幅值随 $\omega$ 变化的函数。

$\phi(\omega)$  输出相位随 $\omega$ 变化的函数

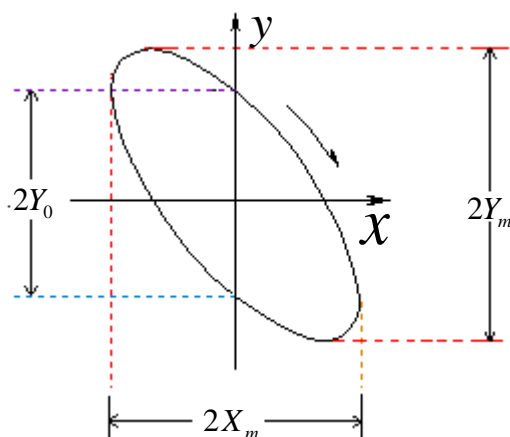
$2X_m$  信号源峰谷值之差

$2Y_m$  输出信号的峰谷值之差

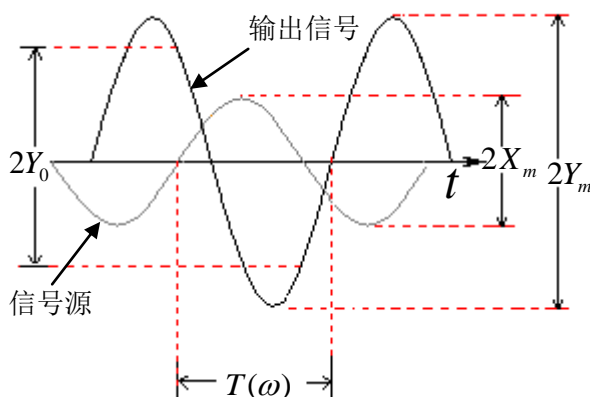
$2Y_0$  当信号源输出为零时对应输出信号的正负幅值之差。

其中  $\phi(\omega)$  可以通过测量时间来得到,  $T(\omega)$  在实验中是时间量，通过计算可以转化为  $\phi(\omega)$ 。

$$\phi(\omega) = 2\pi FT(\omega)$$



李沙育图



对应李沙育图的时间电压图

理论计算公式如下：

$$L(\omega) = \frac{\omega_n^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega)^2}}$$

$$\phi(\omega) = -\arctan \frac{2\zeta\omega\omega_n}{\omega_n^2 - \omega^2}$$

## 实验五 连续系统串联校正

### 一、实验目的

1. 加深理解串联校正装置对系统动态性能的校正作用。
2. 对给定系统进行串联校正设计，并通过模拟实验检验设计的正确性。

### 二、实验仪器

1. EL-AT-III 型自动控制系统实验箱一台。
2. 计算机一台。

### 三、实验内容

#### 1. 串联超前校正

(1) 系统模拟电路图如图 5-1，图中开关 S 断开对应未校情况，接通对应超前校正。

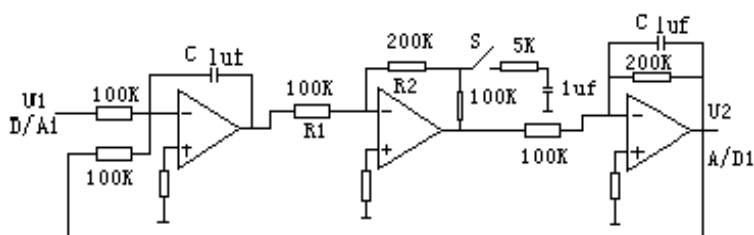


图 5-1 超前校正电路图

(2) 系统结构图如图 5-2

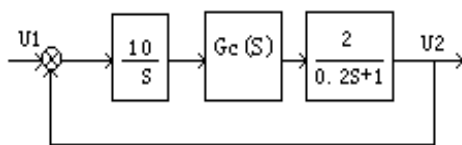


图 5-2 超前校正系统结构图

图中

$$G_{c1}(s) = 2$$

$$G_{c2}(s) = \frac{2(0.055s+1)}{0.005s+1}$$

#### 2. 串联滞后校正

(1) 模拟电路图如图 5-3，开关 s 断开对应未校状态，接通对应滞后校正。

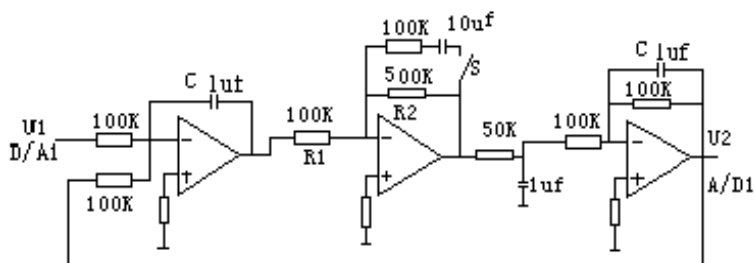


图 5-3 滞后校正模拟电路图

(2) 系统结构图示如图 5-4

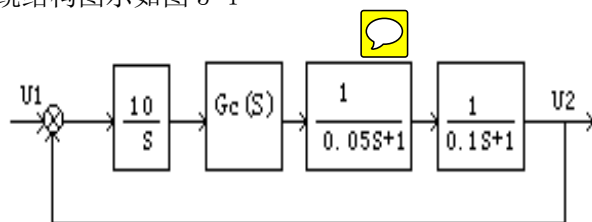


图 5-4 滞后系统结构图

图中

$$G_{c1}(s) = 10$$

$$G_{c2}(s) = \frac{10(s+1)}{11s+1}$$

### 3. 串联超前一滞后校正

(1) 模拟电路图如图 5-5，双刀开关断开对应未校状态，接通对应超前一滞后校正。

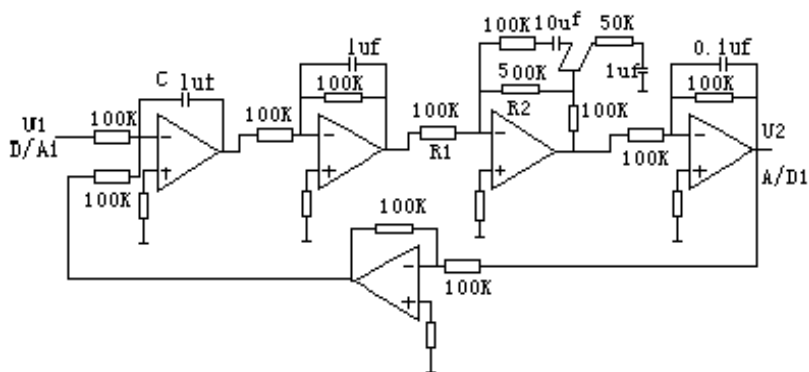


图 5-5 超前一滞后校正模拟电路图

(2) 系统结构图示如图 5-6。

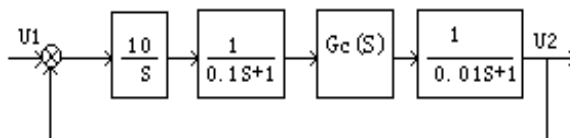


图 5-6 超前一滞后校正系统结构图

图中


$$G_{c1}(s) = 6$$

$$G_{c2}(s) = \frac{6(1.2s+1)(0.15s+1)}{(6s+1)(0.05s+1)}$$

#### 四、实验步骤


1. 启动计算机，在桌面双击图标 [自动控制实验系统] 运行软件。
2. 测试计算机与实验箱的通信是否正常, 通信正常继续。如通信不正常查找原因使通信正常后才可以继续进行实验。

##### 超前校正:

3. 连接被测量典型环节的模拟电路(图 5-1)。电路的输入 U1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出，电路的输出 U2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入，将将纯积分电容两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。
4. 开关 s 放在断开位置。-
5. 在实验项目的下拉列表中选择实验五[五、连续系统串联校正]。鼠标单击  按钮，弹出实验课题参数设置对话框。在参数设置对话框中设置相应的实验参数后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果，并记录超调量  $\sigma\%$  和调节时间  $t_s$ 。
6. 开关 S 接通，重复步骤 5, 将两次所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中:


超前校正系统 指标	校正前	校正后
阶跃响应曲线		
$\sigma\%$		
$T_p$ (秒)		
$T_s$ (秒)		

### 滞后校正:

7. 连接被测量典型环节的模拟电路(图 5-3)。电路的输入 U1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路的输出 U2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入, 将纯积分电容两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。
8. 开关 s 放在断开位置。
9. 在实验项目的下拉列表中选择实验五[五、连续系统串联校正]。鼠标单击按钮, 弹出实验课题参数设置对话框, 在参数设置对话框中设置相应的实验参数后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果, 并记录超调量 $\sigma_p$ 和调节时间  $t_s$ 。
10. 开关 S 接通, 重复步骤 9, 将两次所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中:

滞后校正系统 指标	校正前	校正后
阶跃响应曲线		
$\sigma\%$		
$T_p$ (秒)		
$T_s$ (秒)		

### 超前—滞后校正

11. 连接被测量典型环节的模拟电路(图 5-5)。电路的输入 U1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路的输出 U2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入, 将纯积分电容两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。
12. 开关 s 放在断开位置。
13. 在实验项目的下拉列表中选择实验五[五、连续系统串联校正]。鼠标单击按钮, 弹出实验课题参数设置对话框, 在参数设置对话框中设置相应的实验参数后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果, 并记录超调量 $\sigma_p$ 和调节时间  $t_s$ 。
14. 开关 S 接通, 重复步骤 13, 将两次所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中:

超前-滞后系统 指标	校正前	校正后
阶跃响应曲线		
$\sigma\%$		
$T_p$ (秒)		
$T_s$ (秒)		

## 五、实验报告


1. 计算串联校正装置的传递函数  $G_c(s)$  和校正网络参数。
2. 画出校正后系统的对数坐标图，并求出校正后系统的  $\omega'_c$  及  $\nu'$ 。
3. 比较校正前后系统的阶跃响应曲线及性能指标，说明校正装置的作用。

## 六、预习要求

1. 阅读实验二的实验报告，明确校正前系统的  $\omega_c$  及  $\nu$ 。
2. 计算串联超前校正装置的传递函数  $G_c(s)$  和校正网络参数，并求出校正后系统的  $\omega'_c$  及  $\nu'$ 。



## 附录 USB AD/DA 卡调试说明

- 1: 将 U5 的芯片安装好, 此时程序已经写在 24C64 中, 将 J2 的跳线帽同 VCC 连接。
- 2: 连接 USB 线, 此时 U1 将加载 24C64 中的程序。
- 3: 当系统找到 USB 设备时, 即可运行 USB 的应用程序, 现以运行“测试 AD\_DA.EXE”为例。运行“测试 AD\_DA”程序, 在实验项目的下拉列表中选择[测试 DA 输出和 AD 采样], 鼠标单击  按钮, 弹出测试 DA 输出和 AD 采样参数设置对话框, 先选择通道一, 设置目的电压为 5000mV, 然后选择通道二, 设置目的电压为 5000mV, 鼠标单击确定按钮。
- 4: 调节可变电阻器 VR3, 使得 DA1 的输出为 5V, 调节可变电阻器 VR2, 使得 DA2 的输出为 5V。
- 5: 调节可变电阻器 VR1, 使得 LM336 输出电压为 2.5, 即 T9 点的电压为 2.5V。
- 6: 将 AD1 和 DA1 连在一起, DA2 和 AD2 连在一起, 重复第 3 步, 但设置通道一和通道二的目的电压为 0V, 调节 VR4, 使得 AD1 采回来的数等于零伏, 即通道一的采样曲线同通道一的理论曲线重合, 调节 VR5, 使得 AD2 采回来的数等于零伏, 即通道二的采样曲线同通道二的理论曲线重合。
- 7: 重复第 3 步, 但设置通道一和通道二的目的电压为 2500mV, 调节 VR1 使得通道一和通道二采回来的数都等于 2.5V。