**前** **言**

数字计算机由于其具有强大的算术运算、逻辑判断、记忆等信息加工能力，使得它一诞生就被应用到控制领域。随着计算机科学技术的发展，使 60 年代控制理论得到应用，而现代控制理论的发展，又为计算机控制的发展奠定了广阔的理论基础。特别是微电子技术的发展给计算机控制提供了物质基础。现在在工业生产等领域中，计算机控制正广泛深入地的得到应用，并取得了可喜的经济效益和社会效益。

为适应当前科学技术的发展，在自动控制系统专业中开设了《计算机控制系统》这门课程，作为大学生的必修课。本套“计算机控制实验系统”就是为这门课程的教学和实验而设计的。系统采用 AD/DA 卡通过 USB 接口与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响应信号的麻烦。EL-AT-III 型自动控制实验系统支持计算机控制理论课的所有实验，通过这套实验仪器可使学生进一步了解和掌握计算机控制理论的基本概念、控制系统的分析方法和设计方法以及控制算法的编程实现，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及水平。另外，与本套实验箱配备的还有三个实际的控制对象：温控炉、直流电机、步进电机，通过对这三个对象的控制可以提高学生对实际控制对象的感性认识。

本书分为四章，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。第三章为计算机算法编程指导，主要介绍软件算法的实现方法。第四章为实验系统部分，主要介绍各个实验的电路组成，实验原理和实验步骤。另外，在附录部分有部分实验的说明和参考结果以及控制对象的原理电路图。

计算机控制系统 1

[第一章](#PageMark3) [硬件资源.....................................................................................................................](#PageMark3) [2](#PageMark3)[第二章](#PageMark6) [软件安装及使用](#PageMark6) [...........................................................................................................](#PageMark6) [5](#PageMark6)[第三章](#PageMark12) [实验系统部分](#PageMark12) [...........................................................................................................](#PageMark12) [11](#PageMark12)

[实验一](#PageMark13) [D/A](#PageMark13) [数模转换实验](#PageMark13) [...........................................................................................](#PageMark13) [12](#PageMark13)[实验二](#PageMark15) [A/D](#PageMark15) [模数转换实验](#PageMark15) [...........................................................................................](#PageMark15) [14](#PageMark15)[实验三](#PageMark17) [数字](#PageMark17) [PID](#PageMark17) [控制.................................................................................................](#PageMark17) [16](#PageMark17)[实验四](#PageMark22) [状态反馈与状态观测器](#PageMark22) [...................................................................................](#PageMark22) [21](#PageMark22)[实验五](#PageMark27) [数字滤波器实验](#PageMark27) [...............................................................................................](#PageMark27) [26](#PageMark27)[实验六](#PageMark33) [大林算法](#PageMark33) [...........................................................................................................](#PageMark33) [32](#PageMark33)[实验七](#PageMark37) [炉温控制实验](#PageMark37) [.................................................................................................](#PageMark37) [36](#PageMark37)[实验八](#PageMark42) [电机调速实验](#PageMark42) [.................................................................................................](#PageMark42) [41](#PageMark42)[实验九](#PageMark47) [步进电机控制实验](#PageMark47) [...........................................................................................](#PageMark47) [46](#PageMark47)[实验十](#PageMark49) [数据采集](#PageMark49) [...........................................................................................................](#PageMark49) [48](#PageMark49)

[附录一](#PageMark50) [温度控制电路原理图](#PageMark50) [...............................................................................................](#PageMark50) [49](#PageMark50)[附录二](#PageMark51) [电机控制电路原理图](#PageMark51) [.................................................................................................](#PageMark51) [50](#PageMark51)[附录三](#PageMark52) [AD/DA](#PageMark52) [卡调试说明..................................................................................................](#PageMark52) [51](#PageMark52)

计算机控制系统 2

**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。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 显示器 | |  |  | | |
|  |  |
| 打印机 |  | 计算机 | | AD/DA 卡 |  | 实验箱电 |
|  |  |  |

**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℃。

计算机控制系统 3

**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**

另外在 AD/DA 卡上有一个 9 针 R232 串口插座用来连接 AD/DA 卡和计算机，20 针的插

座用来和控制对象进行通讯。

**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 | | | |
| 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 8 | |
| 实验模块 6 | 实验模块 7 |

**图 4 实验箱面板布局**

实验箱面板主要由以下几部分构成：

计算机控制系统 4

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。

计算机控制系统 5

**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 2000 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

计算机控制系统 6

图 5 进入安装界面 图 6 选择单选按钮后，单击下一步

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",系统将会自动查找驱动安装文件。

．

图 7 选择如图的复选按钮后，单击下一步 图 8 选择驱动安装文件路径

图 9 单击下一步 图 10 安装完成界面

计算机控制系统 7

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 1

2．图 2 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 11 选择如图的单选按钮后，单击下一步 图 12 选择驱动安装文件路径

图 13 单击“仍然继续” 图 14 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. Windows 98 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 1

计算机控制系统 8

图 1 进入安装界面 图 2 选择如图的单选按钮后，单击下一步

2. 图 3 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"下一步",系统将会自动搜索驱动安装文件。

图 3 选择驱动安装文件路径 图 4 单击下一步

图 5 安装完成界面

**二、软件启动与使用说明**

1．软件启动

在 Windows 桌面上双击“计算机控制实验”快捷方式，运行软件，或“开始－程序-北京达盛科技软件”中单击“计算机控制实验”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“计算机控制实验”软件。

3． 软件使用说明

本套软件界面共分为三个组画面

A. 软件说明和实验指导书画面（如图 15）

B. 数据采集显示画面（如图 16）

计算机控制系统 9

图 15

计算机控制系统 10

图 16

**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。

计算机控制系统 11

**第三章 实验系统部分**

本套实验系统一共提供了七个典型实验：D/A 数模转换实验、A/D 模数转换实验、数字 PID 实验、状态反馈与状态观测器实验、数字滤波器实验、大林算法实验及数据采集实验。另外，还提供了三个控制对象的算法，配合我公司提供的控制对象，可完成对实际对象的控制。

本系统算法完全开放，系统结构组合灵活，根据各高校情况的不同，可以自行修改和添加新的实验，以完成教学的要求。

计算机控制系统 12

**实验一 D/A 数模转换实验**

**一、实验目的**

1．掌握数模转换的基本原理。

2．熟悉 12 位 D/A 转换的方法。**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台**三、实验内容**

通过 A/D&D/A 卡完成 10 位 D/A 转换的实验，在这里采用双极性模拟量输出，数字量

输入范围为：0～1024，模拟量输出范围为：－5V～+5V。转换公式如下：

9 8

Uo= Vref - 2Vref(2 K9+2 K8+...+20K0)/ 210

Vref=5.0V

例如：数字量=0110011001 则K9=0,K8=1,K7=1,K6=0,K5=0,K4=1,K3=1,K2=0,K1=0,K0=1模拟量 Uo= Vref - 2Vref(29K9+28K8+...+20K0)/ 210=1.0V

**四、实验步骤**

1．连接 A/D、D/A 卡的 DA 输出通道和 AD 采集通道。A/D、D/A 卡的 DA1 输出接 A/D、

D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。

2．启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，运行软件。

3．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。

4．在实验项目的下拉列表中选择实验一[D/A 数模转换实验], 鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框。

5．在参数设置对话框中设置相应的实验参数后，在下面的文字框内将算出变换后的

模拟量，

6. 点击确定，在显示窗口观测采集到的模拟量。并将测量结果填入下表:

计算机控制系统 13

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 数字量 | 模拟量 | |
| 理论值 | 实测值 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**五、实验报告**

1．画出数字量与模拟量的对应曲线。

2．计算出理论值，将其与实验结果比较，分析产生误差的原因。

**六、预习要求**

1．熟悉数模转换的原理。

2．学习数模转换的转换方法。

计算机控制系统 14

**实验二 A/D 模数转换实验**

**一、实验目的**

1．掌握模数转换的基本原理。

2．熟悉 10 位 A/D 转换的方法。**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台**三、实验内容**

通过 A/D&D/A 卡完成 10 位 D/A 转换的实验，在这里采用双极性模拟量输入，模拟量

输入范围为：－5V～+5V，数字量输出范围为：0～1024。转换公式如下：

数字量=（Vref－模拟量）/2Vref×210

其中 Vref 是基准电压为 5V。

例如：模拟量=1.0V 则

10

数字量=（5.0－1.0）/（2×5.0）×2 =409(十进制)

**四、实验步骤**

1.连接 A/D、D/A 卡的 DA 输出通道和 AD 采集通道。A/D、D/A 卡的 DA1 输出接 A/D、

D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。

2.启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，运行软件。

3.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。

4. 在实验项目的下拉列表中选择实验二[A/D 数模转换实验], 鼠标单击 按钮，

弹出实验课题参数设置对话框

5.在弹出的参数窗口中填入想要变换的模拟量，点击变换，在下面的文字框内将算

出变换后的数字量。

6.点击确定，在显示窗口观测采集到的数字量。并将测量结果填入下表:

计算机控制系统 15

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 模拟量 | 数字量 | |
| 理论值 | 实测值 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**五、实验报告**

1．画出模拟量与数字量的对应曲线。

2．计算出理论值，将其与实验结果比较，分析产生误差的原因。

**六、预习要求**

1．熟悉数模转换的原理。

2．学习数模转换的转换方法。

计算机控制系统 16

**实验三 数字 PID 控制**

**一、实验目的**

1．研究 PID 控制器的参数对系统稳定性及过渡过程的影响。

2．研究采样周期 T 对系统特性的影响。3．研究 I 型系统及系统的稳定误差。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台2．PC 计算机一台

**三、实验内容**

1．系统结构图如 3-1 图。

**图 3-1 系统结构图**

图中

Gc（s）=Kp（1+Ki/s+Kds）

Gh（s）=（1－e-TS）/s

Gp1（s）=5/（（0.5s+1）（0.1s+1））Gp2（s）=1/（s（0.1s+1））

2．开环系统（被控制对象）的模拟电路图如图 3-2 和图 3-3，其中图 3-2 对应 GP1（s）,图 3-3 对应 Gp2（s）。

**图 3-2 开环系统结构图 1** **图 3-3 开环系统结构图 2**

3．被控对象 GP1（s）为“0 型”系统，采用 PI 控制或 PID 控制，可系统变为“I型”系统，被控对象 Gp2（s）为“I 型”系统，采用 PI 控制或 PID 控制可使系统变成“II型”系统。

计算机控制系统 17

4．当 r（t）=1（t）时（实际是方波），研究其过渡过程。

5．PI 调节器及 PID 调节器的增益

Gc（s）=Kp（1+K1/s）

=KpK1(（1/k1）s+1) /s =K(Tis+1)/s

式中 K=KpKi , Ti=（1/K1）

不难看出 PI 调节器的增益 K=KpKi，因此在改变 Ki 时，同时改变了闭环增益 K，如果不想改变 K,则应相应改变 Kp。采用 PID 调节器相同。

6．“II 型”系统要注意稳定性。对于 Gp2（s）,若采用 PI 调节器控制，其开环传递函数为

G（s）=Gc（s）·Gp2（s）

=K（Tis+1）/s·1/s（0.1s+1）

为使用环系统稳定，应满足 Ti>0.1，即 K1<10

7．PID 递推算法 如果 PID 调节器输入信号为 e（t），其输送信号为 u（t）,则离散

的递推算法如下：

u（k）=u（k-1）+q0e（k）+q1e（k-1）+q2e（k-2）

其中 q0=Kp（1+KiT+（Kd/T））q1=－Kp（1+（2Kd/T））q2=Kp（Kd/T）

T--采样周期

**四、实验步骤**

1.连接被测量典型环节的模拟电路(图 3-2)。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。

2.启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，运行软件。

3.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。

4. 在实验项目的下拉列表中选择实验三[数字 PID 控制], 鼠标单击鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置窗口。

5.输入参数 Kp, Ki, Kd（参考值 Kp=1, Ki=0.02, kd=1）。

6.参数设置完成点击确认后观察响应曲线。若不满意，改变 Kp, Ki, Kd 的数值和

计算机控制系统 18

与其相对应的性能指标p、ts 的数值。

7.取满意的 Kp,Ki,Kd 值，观查有无稳态误差。

8.断开电源，连接被测量典型环节的模拟电路(图 3-3)。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，将纯积分电容的两端连在模拟开关上。检查无误后接通电源。

9.重复 4-7 步骤。

10.计算 Kp，Ki，Kd 取不同的数值时对应的p、ts 的数值，测量系统的阶跃响应曲

线及时域性能指标，记入表中：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实验结果  参数 | | | δ% | Ts | 阶跃响应曲线 |
| Kp | Ki | Kd |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**五、实验报告**

1．画出所做实验的模拟电路图。

2．当被控对象为 Gp1（s 时）取过渡过程为最满意时的 Kp, Ki, Kd,画出校正后的

Bode 图，查出相稳定裕量和穿越频率c。

3．总结一种有效的选择 Kp, Ki, Kd 方法，以最快的速度获得满意的参数。

计算机控制系统 19

**六、预习要求**

1．熟悉 PID 控制器系统的组成。

2．熟悉 PID 控制器的参数对系统稳定性的影响。**七、PID 软件流程图**

图中 ek 为误差，ek1 为上一次的误差，ek2 为误差的累积和，uk 是控制量

初始化控制步数、采样点数 Point

初始化 ek，ek1，ek2，uk

计算机控制系统 20

初始化系统输出希望值 start

画希望值曲线

J<point

结束

计算机控制系统 21

**实验四 状态反馈与状态观测器**

**一、实验目的**

1．掌握状态反馈极点配置的设计方法。

2．研究不同极点配置对系统动态性能的影响。

3．掌握全维观测器的构成及设计方法。

4．研究观测器在状态反馈极点配置中的应用。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台

**三、实验内容**

1．被控对象模拟电路图如图 4-1。

**图 4-1 被控对象模拟电路**

2．系统数学模型

（1）被控对象传递函数为

Gp（s）=Y（s）/U（s）=100/(s2+3.928s+103.57)

（2）被控对象状态方程 X=Ax+Bu

Y=Cx

式中

*A*



 0

103.57



1 

3.928 

*B*



0

1

C=100

0

计算机控制系统 22

2． 带有状态观测器的状况反馈系统方框图示于图 4-2。

**图 4-2 系统方框图**

图中 G=eAT

H=0T(t)dtB (t)=eAt

K 1×2 维状态反馈系统矩阵，由计算机算出。

L 2×1 维观测器的反馈矩阵，由计算机算出。

Kr 为使 y(t)跟踪 r(t)乘的比例系数，它由计算机自动地递推算出。

4．希望的系数极点（参考值）：S1,S2=-7.35±j7.5,它对应在 Z 平面上应为

Z1,Z2=0.712±j0.22

5．观测器极点参考值：Z1,Z2=0.1±j0

**四、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。检查无误后接通电源。

2.启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，运行软件。

3.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。

**阶跃响应**

4. 在实验项目的下拉列表中选择实验四[四、状态反馈和状态观测器]。

5. 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。

**跟踪响应**

6. 实验步骤 5 完成后鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框。在参数设置对话框中选中跟踪项，然后出现新的参数设置框，设置希望极点[0.712 0.22]，观测极点[0.1 0]后鼠标单击确认等待屏幕的显示区显示实验结果

计算机控制系统 23

7.修改实验参数设置窗口中所用的参数值,观察波形的变化。

8.将实验内容中的参考值的实测阶跃响应曲线及性能指标记入下表中：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| [K1 K2] | 阶跃响应曲线 y（t） | tp | σ% | ts |
| [0.712 0.22] |  |  |  |  |
| [ 0.1  0 ] |  |  |  |  |

**五、实验报告**

1．画出上述两个状态反馈系统的结构图和模拟线路图。

2．计算这两个状态反馈系统的状态反馈阵 K 及相应的性能指标：tp、σ% 和 tp，并与实测值进行比较，检验状态反馈极点配置是否达到了设计要求。

3．画出全维观测器和降维观测器状态反馈极点配置的结构图和模拟线路图，画出这两个系统的实测阶跃响应曲线及实测性能指标 tp、σ% 和 ts。

**六、预习要求**

1．阅读实验内容。

2．推导实验系统中的全维观测器方程。

3．计算两个状态反馈系统的状态反馈阵 K 及相应的性能指标 tp、ts 和σ%。

**七、状态观测器软件流程图**

图中 yk 为当前输出，yk1 为上一次系统输出，xk1 为上一次的观测阵 xk 是当前观测阵，u1 是当前控制量

计算机控制系统 24

|  |  |
| --- | --- |
| 初始化控制步数、采样点数 Point | |
|  |  |
| 初始化 u1 ,xk1 | |
|  |  |

初始化系统输出希望值 r1

画希望值曲线

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 计算矩阵 H，G，L，Kr | | |  |
|  |  |  |
|  |  | |
| 使硬件被控对象初始值输出等于 0 | | | | |
|  | | |  | |
| 采集硬件被控对象的输出 inputf  inputf 浮点化成 Y1 | | | | |
|  | | |  | |
| 计算 U1=U1+Kr  判断 ul 是否超上下限 | | | | | |
|  | | | |  | |

计算机控制系统 25

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 输出 ul | |  |
|  |  |
| 计算 Xk=GXk1+HU1+L(Y1-CXk1) | | | |
|  | |  | |
| 计算 U1＝KXk＋KrR1  Xk1＝Xk  画被控对象第 J 点输出 input  J+1  J<point | | | | |

结束

计算机控制系统 26

**实验五 数字滤波器实验**

**一、实验目的**

1．研究数字滤波器对系统稳定性及过渡过程的影响。

2．熟悉和掌握系统过渡过程的测量方法。

3．掌握数字滤波器的设计方法。

4．了解数字滤波器的通带对系统性能的影响。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台

**三、实验内容**

1．需加入串联超前校正的开环系统电路及传递函数

（1）实验电路

**图 5－1 需加入串联超前校正的开环系统电路图**

(2) 系统开环传递函数

**图 5－2 系统开环结构图**

(3) 系统闭环结构图

计算机控制系统 27

**图 5－3 系统闭环结构图**

(4) 数字滤波器的递推公式

模拟滤波器的传函：

T1s+1

T2S+1

利用双线性变换得数字滤波器的递推公式：Uk=q0xUk-1+q1xek+q2xek-1 q0=(T-2T2)/(T+2T2) q1=(T+2T1)/(T+2T2) q2=(T-2T1)/(T+2T2)

T=采样周期 T1=超前时间常数 T2=滞后时间常数2． 需加入串联滞后校正的开环系统电路及传递函数

（1） 实验电路

**图 5－4 需加入串联滞后校正的开环系统电路图**

（2） 系统开环传递函数

**图 5－5 系统开环结构图**

（3） 系统闭环结构图：

计算机控制系统 28

**图 5－6 系统闭环结构图**

（4） 数字滤波器的递推公式

模拟滤波器的传递函数：

T1s+1

T2S+1

利用双线性变换得数字滤波器的递推公式：

Uk=q0Uk-1+q1ek+q2ek-1 q0=(T-2T2)/(T+2T2) q1=(T+2T1)/(T+2T2) q2=(T-2T1)/(T+2T2)

T=采样周期 T1=超前时间常数 T2=滞后时间常数

**四、实验步骤**

1.启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，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，将纯积分电容两端接在模拟开关上。检查无误后接通电源。

4. 在实验项目的下拉列表中选择实验五[五、数字滤波器]，鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，选择超前校正，然后在参数设置对话框中设置相应的实验参数，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p 和调节时间 ts。

5.重复步骤 4，改变参数设置，将所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中：

计算机控制系统 29

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 超前常数  性能指标 |  |  |  |  |
| 阶跃响应曲线 |  |  |  |  |
| δ% |  |  |  |  |
| Tp（秒） |  |  |  |  |
| Ts（秒） |  |  |  |  |

**滞后校正**

6.连接被测量典型环节的模拟电路(图 5-4)。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，将纯积分电容两端接在模拟开关上。检查无误后接通电源。

7. 在实验项目的下拉列表中选择实验五[五、数字滤波器]，鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，选择滞后校正，然后在参数设置对话框中设置相应的实验参数，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p 和调节时间 ts。

8.重复步骤 7,改变参数设置，将所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 滞后常数  性能指标 |  |  |  |  |
| 阶跃响应曲线 |  |  |  |  |
| δ% |  |  |  |  |
| Tp（秒） |  |  |  |  |
| Ts（秒） |  |  |  |  |

**五、实验报告**

1．画出所做实验的模拟图，结构图。

2．分析加数字滤波器前系统的稳定特性。

3．从响应曲线中分析校正后的结果并与理论分析比较。

计算机控制系统 30

**六、数字滤波软件流程图**

图中 ek 为误差，ek1 为上一次的误差，uk 是控制量，uk1 是上一次的控制量

|  |  |
| --- | --- |
| 初始化控制步数、采样点数 Point | |
|  |  |
| 初始化 ek ,ek1,ek2,uk 求 q0,q1,q2 | |
|  |  |

初始化系统输出希望值 start

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 画希望值曲线 | | |  |
|  | |  |
| 使硬件被控对象初始化值输出等于 0 | | | | |
|  | |  |  | |
|  | | |
| 采集硬件被控对象的输出 inputf  inputf 浮点化求 ek=start-inputf  Uk=q0Uk1+q1ek+q2xek1 | | | | | |
|  | | | |  | |

计算机控制系统 31

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 判 uk 是否超上下限,uk=5.0-uk | |
|  |  |
| 输出 uk | | |
|  |  |  |
| ek1=ek uk1=uk | |
|  |  |
| 画被控对象第 J 点输出 inputf | |
|  |  |
| J+1  J<Point | | |

结束

计算机控制系统 32

**实验六 大林算法**

**一、实验目的**

1．掌握大林算法的特点及适用范围。

2．了解大林算法中时间常数 T 对系统的影响。**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台**三、实验内容**

1．实验被控对象的构成：

（1）惯性环节的仿真电路及传递函数

G(S)=-2/(T1+1)

T1=0.2

（2）纯延时环节的构成与传递函数

G(s)=e-N

=采样周期 N 为正整数的纯

延时个数

由于纯延时环节不易用电路实现，

在软件中由计算机实现。

**图**

**6－1**

**被控对象电路图**

（3）被控对象的开环传函为：

G(S)=-2e-N/(T1+1)

2．大林算法的闭环传递函数：

Go(s)=e-N/(Ts+1)

T=大林时间常数

3．大林算法的数字控制器：

D(Z)=(1-e/T)(1-e-/T1Z-1)/[k(1-e-/T1)[1-e-/TZ-1-(1-e-/T)Z-N-1] ]

设 k1=e-/T K2=e-/T1 T1=0.2 T=大林常数 K=2

(K-Kk2)Uk=(1-k1)ek-(1-k1)k2ek-1+(k-kk2)k1Uk-1+(k-kk2)(1-k1)Uk-N-1

**四、实验步骤**

1．启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，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

计算机控制系统 33

通信正常后才可以继续进行实验。

3．量对象的模拟电路(图 6-1)。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。检查无误后接通电源。

4．在实验项目的下拉列表中选择实验六[六、大林算法], 鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，在参数设置窗口设置延迟时间和大林常数，点击确认在观察窗口观测系统响应曲线。测量系统响应时间 Ts 和超调量p。

5． 复步骤 4，改变参数设置，将所测的波形进行比较。并将测量结果记入下表中：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标  参数设置 | | 阶跃响应曲线 | δ% | Ts（秒） | Tp（秒） |
| 延迟时间 | 大林常数 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**五、实验报告**

1．分析开环系统下的阶跃响应曲线。

2．画出闭环的阶跃响应曲线，并求出超调和响应时间。

3．分析大林时间常数对系统稳定性的影响。**六、大林算法软件流程图**

图中 ek 为误差，ek1 为上一次的误差，uk 是控制量，uk1 是上一次的控制量 ukn1是上 N+1 次的控制量

计算机控制系统 34

初始化控制步数、采样点数 Point 求 K1、K2、K3

初始化 ek ,ek1,ek2,uk

初始化系统输出希望值 start

画希望值曲线

计算机控制系统 35

J<Point

结束

计算机控制系统 36

**实验七 炉温控制实验**

**一、实验目的**

1．了解温度控制系统的特点。

2．研究采样周期 T 对系统特性的影响。

3．研究大时间常数系统 PID 控制器的参数的整定方法。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台2．PC 计算机一台

3．炉温控制实验对象一台

**三、炉温控制的基本原理**

1． 系统结构图示于图 7－1。

**图 7－1 系统结构图**

图中

Gc（s）=Kp（1+Ki/s+Kds）Gh（s）=（1－e-TS）/s Gp（s）=1/（Ts+1）

2．系统的基本工作原理

整个炉温控制系统由两大部分组成，第一部分由计算机和 A/D&D/A 卡组成，主要完成温度采集、PID 运算、产生控制可控硅的触发脉冲，第二部分由传感器信号放大，同步脉冲形成，以及触发脉冲放大等组成。炉温控制的基本原理是：改变可控硅的导通角即改变电热炉加热丝两端的有效电压，有效电压的可在 0～140V 内变化。可控硅的导通角为 0～5CH。温度传感是通过一只热敏电阻及其放大电路组成的，温度越高其输出电压越小。

计算机控制系统 37

外部 LED 灯的亮灭表示可控硅的导通与闭合的占空比时间，如果炉温温度低于设

定值则可控硅导通，系统加热，否则系统停止加热，炉温自然冷却到设定值。

第二部分电路原理图见附录一。

3．PID 递推算法 ：

如果 PID 调节器输入信号为 e（t），其输送信号为 u（t）,则离散的递推算法如下：

Uk=Kpek+Kiek2+Kd(ek-ek-1),其中 ek2 是误差累积和。

**四、实验内容：**

1．设定炉子的温度在一恒定值。

2．调整 P、I、D 各参数观察对其有何影响。**五、实验步骤**

接线：将温控炉的 J3 接 AD/DA 卡的 AD1，S2 的 1,2 都拨到 ON。

1．启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，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。

3． 20 芯的扁平电缆连接实验箱和炉温控制对象，检查无误后，接通实验箱和炉温控制的电源。

**开环控制**

4．在实验项目的下拉列表中选择实验七[七、炉温控制], 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。测量系统响应时间 Ts 和超调量p。

5． 重复步骤 4，改变参数设置，观测波形的变化，记入下表：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标  占空比 | 阶跃响应曲线 | δ% | Tp（秒） | Ts（秒） |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

计算机控制系统 38

**闭环控制**

6. 在实验项目的下拉列表中选择实验七[七、炉温控制] 鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，选择 PID，在参数设置窗口设置炉温控制对象的给定温度以及Ki、Kp、Kd 值，点击确认在观察窗口观测系统响应曲线。测量系统响应时间 Ts 和超调量

p。

7.重复步骤 6，改变 PID 参数，观测波形的变化，记入下表中：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标  参数 | | | 阶跃响应曲线 | δ% | Tp（秒） | Ts（秒） |
| Kp | Ki | Kd |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**六、实验报告**

1．记录过渡过程为最满意时的 Kp, Ki, Kd 并画出其响应曲线。

2．分析此情况下的超调量、响应时间及稳态误差。

计算机控制系统 39

3．总结一种对温度控制系统有效的选择 Kp, Ki, Kd 方法，以最快的速度获得满意

的参数。

**七、温度控制软件流程图**

图中 ek 为误差，ek1 为上一次的误差，ek2 为误差的累积和，uk 是控制量,可控硅导通角控制量=0～5bH, =0 导通角最大，=5b 导通角为零。

初始化控制步数、采样点数 Point

初始化 ek ,ek1,ek2,uk 求 q0,q1,q2

初始化系统输出希望值 start

画希望值曲线

计算机控制系统 40

J<point

结束

计算机控制系统 41

**实验八 电机调速实验**

**一、实验目的**

1．了解直流电机调速系统的特点。

2．研究采样周期 T 对系统特性的影响。

3．研究电机调速系统 PID 控制器的参数的整定方法。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台2．PC 计算机一台

3．直流电机控制实验对象一台

**三、控制的基本原理**

1．系统结构图示于图 8－1。

**图 8－1 系统结构图**

图中

Gc（s）=Kp（1+Ki/s+Kds）Gh（s）=（1－e-TS）/s Gp（s）=1/（Ts+1）

2．系统的基本工作原理

整个电机调速系统由两大部分组成，第一部分由计算机和 A/D&D/A 卡组成，主要完

成速度采集、PID 运算、产生控制电枢电压的控制电压，第二部分由传感器信号整形，控制电压功率放大等组成。电机速度控制的基本原理是：通过 D/A 输出-2.5v～+2.5v 的电压控制 7812 的输出，以达到控制直流电机电枢电压的目的。速度采集由一对霍尔器件完成，输出脉冲信号的间隔反应了电机的转速。

第二部分电路原理图见附录二。

3．PID 递推算法 ：

计算机控制系统 42

如果 PID 调节器输入信号为 e（t），其输送信号为 u（t）,则离散的递推算法如下：

Uk=Kpek+Kiek2+Kd(ek-ek-1)

其 ek2 是误差累积和。**四、实验内容：**

1、设定电机的速度在一恒定值。

2、调整 P、I、D 各参数观察对其有何影响。**五、实验步骤**

接线：将直流调速电机的 J2 接 AD/DA 卡的 DA1，将步进电机的拨码开关 S1 的 2 拨至

ON，调节直流调速电机的电位器使之似转非转状态。

1．启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，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。

3． 20 芯的扁平电缆连接实验箱和炉温控制对象，检查无误后，接通实验箱电源。开环控制

4．在实验项目的下拉列表中选择实验八[八、电机调速], 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。测量系统响应时间 Ts 和超调量p。

5． 复步骤 4，改变参数设置，观测波形的变化，记入下表：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标  给定电压 | 阶跃响应曲线 | δ% | Tp（秒） | Ts（秒） |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

计算机控制系统 43

**闭环控制**

6. 在实验项目的下拉列表中选择实验八[八、电机调速], 鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，选择 PID，在参数设置窗口设置电机控制对象的给定转度以及Ki、Kp、Kd 值，点击确认在观察窗口观测系统响应曲线。测量系统响应时间 Ts 和超调量

p。

7．重复步骤 6，改变 PID 参数，观测波形的变化，记入下表中：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能指标  参数 | | | 阶跃响应曲线 | δ% | Tp（秒） | Ts（秒） |
| Kp | Ki | Kd |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**六、实验报告**

1．记录过渡过程为最满意时的 Kp, Ki, Kd 并画出其响应曲线。

2．分析此情况下的超调量、响应时间及稳态误差。

3．总结一种对电机控制系统有效的选择 Kp, Ki, Kd 方法，以最快的速度获得满意

的参数。

计算机控制系统 44

**七、电机调速控制软件流程图**

图中 ek 为误差，ek1 为上一次的误差，ek2 为误差的累积和，uk 是控制量

初始化控制步数、采样点数 Point

初始化 ek ,ek1,ek2,uk 求 q0,q1,q2

|  |  |
| --- | --- |
| 初始化系统输出希望值 start | |
| 画希望值曲线 | |
|  |  |
| 使电机处于最低初始转速 | |

计算机控制系统 45

采集硬件被控对象的输出 inputf

inputf 浮点化

求 ek＝start－inputf

uk＝pek+kiek2+kd(ek-ek1)

判断 uk 是否超上下限，uk＝uk＋电机死区 70H

输出 uk

ek1=ek ek2＝ek2+ek

画被控对象第 J 点输出 inputf

J+1

J<point

结束

计算机控制系统 46

**实验九 步进电机控制实验**

**一、实验目的**

1．了解步进电机的工作原理。

2．掌握步进电机的驱动及编程方法。**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台

2．PC 计算机一台

3．步进电机控制实验对象一台

**三、步进电机的基本工作原理：**

步进电机多为永磁感应式，有两相、四相、六相等多种，实验所用电机为两相四拍式，通过对每相线圈中的电流的顺序切换来使电机作步进式旋转，驱动电路由脉冲信号来控制，所以调节脉冲信号的频率便可改变步进电机的转速：

A

如图 9－1 所示，每相电流为 0.2A,相电压为 5V，两相四拍通电顺序如下：

B D

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 相  顺序 | A | B |  | D |
| 0 | 1 | 1 |  | 0 |
| 1 | 0 | 1 |  | 0 |
| 2 | 0 | 0 |  | 1 |
| 3 | 1 | 0 |  | 1 |

方向旋转

正方向旋转

**四、实验原理：**

步进电机是一种电脉冲转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(称为“步距角”)，它的旋转是以固的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的。通过设定脉冲数来使步进电机转过一定的角度，实验用步进电机是每脉冲对

计算机控制系统 47

应 1.8 度。

**五、实验内容：**

使步进电机按照设定的步数进行转动。

**六、实验步骤**

将拨码开关 S1 的 1 拨至 ON，步进电机会进行自检复位。

1．启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，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。

3． 20 芯的扁平电缆连接实验箱和炉温控制对象，检查无误后，接通实验箱电源。4． 在实验项目的下拉列表中选择实验九[九、步进电机], 鼠标单击 按钮，弹出

实验课题参数设置对话框，选择两相电机，在参数设置窗口设置设置起点坐标、终点坐

标值。点击确认在观测窗口观测指针的旋转方向和旋转格数是否和设置值一致。

5． 观测步进电机控制对象的指针旋转是否和软件的旋转一致。**七、实验报告**

1．说明步进电机的工作原理。

2．分析实际实际转动的步数出现误差的原因。

计算机控制系统 48

**实验十 数据采集**

**一、实验目的**

1．了解对连续信号的数据采集。

**二、实验仪器**

1．EL-AT-III 型计算机控制系统实验箱一台2．PC 计算机一台

**三、实验原理**

根据采样定理对被测信号进行采样，能后将采到的数据传回到 PC 机，PC 机经过一定的运算将被测信号复现在计算机的屏幕上。

**四、实验内容**

1：根据实际的需要，本实验可分为，单通道和双通道数据采集，

2：将被测信号加载到 DA1 或 DA2 或 DA1 和 DA2 上。

3：启动计算机，双击桌面“计算机控制实验”快捷方式，运行软件。

4：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。

5： 在实验项目的下拉列表中选择实验十[十、数据采集], 鼠标单击 按钮，弹出实验课题参数设置对话框，根据实际测量的信号选择通道一或通道二或两个通道多选择，然后设置好采样时间间隔和采样点数，单击确定在屏幕的显示区显示被测信号的波形。**五、实验报告**

1．测量低频典型信号，分析当采样时间设置不同时显示的波形的不同。

计算机控制系统 49

**附录一 温度控制电路原理图**

计算机控制系统 50

**附录二 电机控制电路原理图**

计算机控制系统 51

**附录三 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。