

计算机控制原理 实验指导书

杨霞 王江波 编

长安大学电控学院
自动化与交通控制工程实验教学中心

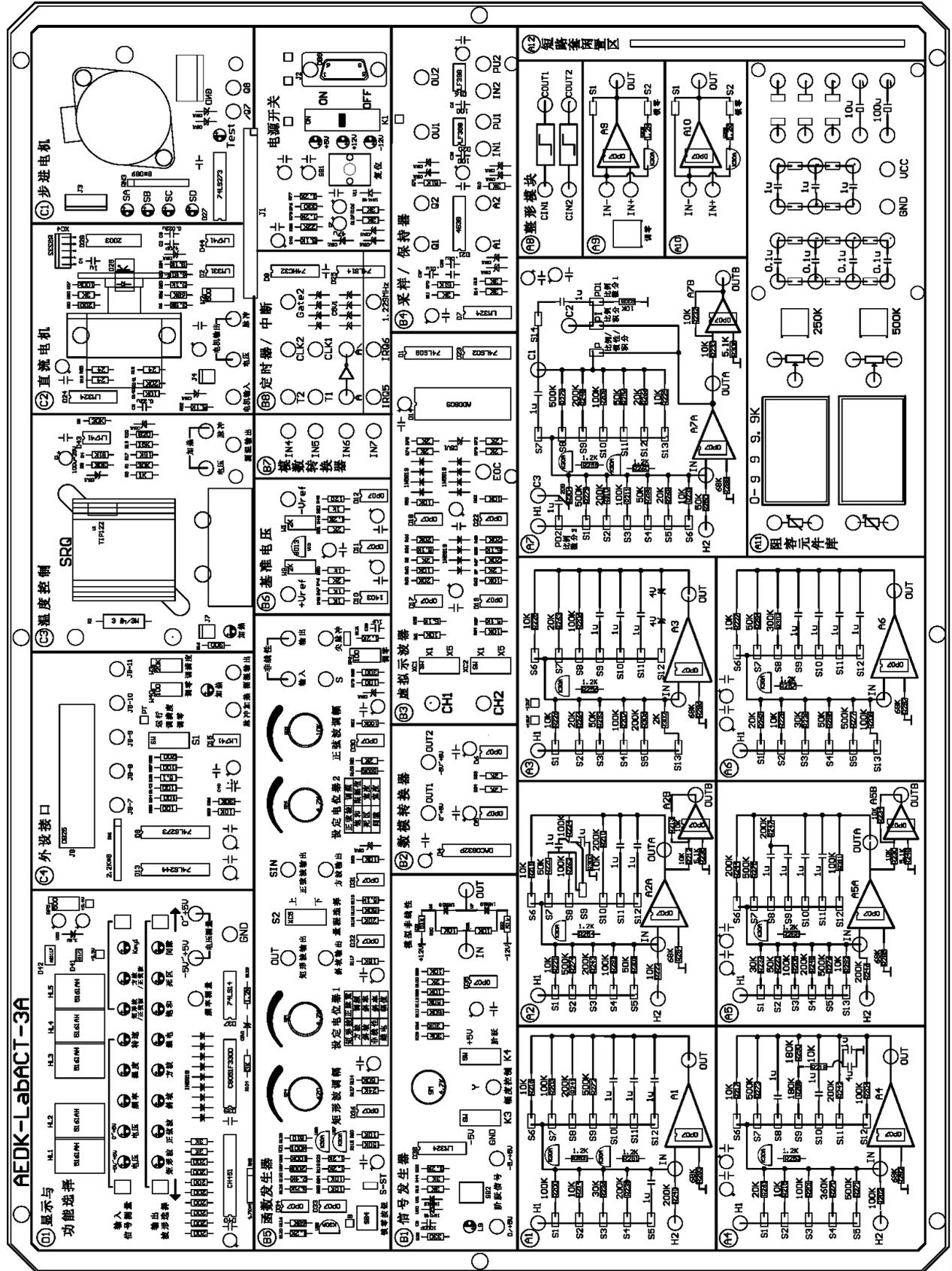
2009年6月

目 录

第一章 LABACT 计控原理实验机构成及说明	1
主实验板的布置简图	1
第二章 虚拟示波器	5
2.1 虚拟示波器的显示方式	5
2.2 虚拟示波器的使用	5
第三章 计算机控制技术实验	8
3.1 数/模转换实验	8
3.2 模/数转换实验	8
3.3 采样与保持	9
3.3.1 采样实验	9
3.3.2 采样/保持器实验	10
3.4 微分与数字滤波实验	11
3.4.1 微分与微分平滑	11
3.4.2 数字滤波	13
3.5 数字 PID 控制实验	15
3.5.1 标准 PID 控制算法	15
3.5.2 积分分离 PID 控制算法	18
3.5.3 非线性 PID 控制算法	19
3.5.4 积分分离—砰砰复式 PID 控制算法	20
3.6 最少拍控制系统	20
3.6.1 最少拍有纹波系统	20
3.6.2 最少拍无纹波设计	22
3.7 大林算法	23
3.7.1 大林算法 (L=2)	23
3.7.2 大林算法 (L=1)	26

第一章 LabACT 计控原理实验机构成及说明

主实验板的布置简图



图

1-1-2 主实验板的布置简图

二. D 和 B 实验区

1. 显示与功能选择模块 (D1) 及函数发生器 (B5)

D1 实验区是一个显示与功能选择模块，它主要由 5 位 8 段数码管、四个功能选择按键和 16 个指示灯、3 个测试孔组成。D1 实验区是独立于实验机的 CPU 控制模块，提供控制对象输出显示，并实现函数发生器 (B5) 的十种 (可选择) 波形输出切换控制和显示。

(1) 输入信号测量

上排左按键循环控制输入信号的测量，包括电压 (-5V~+5V)、电压 (0~+5V)、频率、温度和直流电机转速测量。每按一次按键，指示灯向右循环切换，数码管显示相应的测量信息。信号的输入口为模块中的“电压测量”和“频率测量”3 个测试孔。指示灯和数码管的输出数据显示对应关系表见表 1-2-1。

表 1-2-1 指示灯和数码管的显示对应关系表

项目内容	指示灯	输入测试孔	数据显示	单位
(-5V~+5V) 电压测量	电压 (-5V~+5V)	电压测量 (-5V~+5V)	(-)X.XX	V
(0~+5V) 电压测量	电压 (0~+5V)	电压测量 (0~+5V)	X.XX	V
频率测量	频率	频率测量	XXX.X	Hz
C3 模块温度值	温度	电压测量 (0~+5V)	XX.X	°C
C2 模块直流电机转速	转速	频率测量	X.XXX	千转/分

(2) 函数发生器波形输出切换控制和显示选择

下排左、右按键循环切换控制输出波形，包括矩形波、正弦波、斜坡、方波、继电器特性、饱和特性、死区特性和间隙特性的切换控制。每按一次下排左按键，指示灯向左循环切换，每按一次下排右按键，指示灯向右循环切换，数码管显示相应的波形信息。

上排右按键循环切换控制输出波形，包括矩形波/正弦波和方波/正弦波同时发生。

2. 函数发生器 (B5)

函数发生器 (B5) 是各函数及波形发生的控制和输出模块，它含有十种 (可选择) 波形输出，有 4 个函数波形调节电位器、1 个波形量程选择开关和各函数发生的输出口组成。各波形和函数的输出选择在 (D1) 模块中选择设置。各波形的切换控制和显示见表 1-2-2。

表 1-2-2 函数发生器取值及显示

序号	波形类型	函数发生器取值及显示						
		左显示及范围		电位器调节	右显示及范围		电位器调节	
1	矩形波	宽度	上	0.01S~1S	设定电位器 1	幅度 (0V~6V)	矩形波调幅	
			下					0.1S~10S
2	正弦波	振幅值 (0~6V)		正弦波调幅	频率	上	0.1Hz~2Hz	设定电位器 2
						下		
3	斜坡	斜率 (0.4~8)		设定电位器 1	宽度 (0.5S~10S)			
4	方波				频率 (2.4Hz~250Hz)		设定电位器 1	
5	继电器				幅值 (0V~6V)		设定电位器 1	
6	饱和	斜率 (0.1~5.1)		设定电位器 1	限幅 (0V~6V)		设定电位器 2	
7	死区	斜率 (0.1~5.1)		设定电位器 1	死区宽度 (0V~5V)		设定电位器 2	
8	间隙	斜率 (0.1~5.1)		设定电位器 1	间隙宽度 (0V~5V)		设定电位器 2	
9	矩形/正弦波	详见本节第⑨、⑩点说明						
10	方波/正弦波							

① **矩形波**：下排按键选择“矩形波”，指示灯亮，函数发生器 (B5) 模块中的“矩形波输出”测孔输出矩形波，左边 2 个数码管显示矩形波正脉冲的宽度“X.X”或“XX” (秒)，由“设定电位器 1”控制相应的正脉冲输出宽度；此外，(B5) 模块中的“量程选择”开关还可控制正脉冲输出宽度量程 (见表 1-2-2)。右边 3 个数码管显示矩形波的幅度“X.XX” (伏)，由 (B5) 模块中的“矩形波调幅”电位器控制变化幅度。

注 1：只有把函数发生器 (B5) 模块左下角的“S-ST”跨接座上套上短路套后，在“矩形波输出”测孔才有矩形波输出。

注 2:“量程选择”开关置于下档时,其零输出宽度恒保持为 2 秒,与正脉冲输出宽度值无关;“量程选择”开关置于上档时,其零输出宽度与正脉冲输出宽度值相等。

② **正弦波:**下排按键选择“正弦波”,指示灯亮,函数发生器(B5)模块中的“正弦波输出”测孔输出正弦波,左边 2 个数码管显示正弦波的振幅“X.X”(V),由(B5)模块中的“正弦波调幅”电位器控制变化幅度;右边 3 个数码管显示正弦波的频率“X.XX”或“XX.X”(Hz),由“定电位器 2”控制相应的输出频率;此外,(B5)模块中的“量程选择”开关还可控制正弦波的频率输出量程(见表 1-2-2)。

③ **斜坡:**下排按键选择“斜坡”,指示灯亮,函数发生器(B5)模块中的“斜坡输出”孔输出斜坡波形。斜坡输出的幅度为 4V,左边 2 个数码管显示斜坡信号的斜率 X.X,右边 3 个数码管显示斜坡的信号宽度 X.XX,由(B5)模块中的“设定电位器 1”控制相应的斜率。

④ **方波:**下排按键选择“方波”,指示灯亮,函数发生器(B5)模块中的“方波输出”孔输出方波。数码管显示方波频率“XXX.X”(Hz),由(B5)模块中的“设定电位器 1”控制相应的输出频率,幅度为 3V。

⑤ **继电特性:**下排按键选择“继电”,指示灯亮,将信号发生器(B1)的幅度控制电位器中心 Y 测孔作为非线性-5V~+5V 输入信号接到函数发生器(B5)模块中的“非线性输入”测孔,(B1)单元的 K3 开关拨上(-5V),K4 开关也拨上(+5V),(B5)单元中的“非线性输出”测孔信号输出继电特性;数码管显示继电特性的幅值“X.XX”(V),由(B5)模块中的“设定电位器 1”控制相应的输出幅值。

⑥ **饱和特性:**下排按键选择“饱和”,指示灯亮,将信号发生器(B1)的幅度控制电位器中心 Y 测孔作为非线性-5V~+5V 输入信号接到函数发生器(B5)模块中的“非线性输入”测孔,(B1)单元的 K3 开关拨上(-5V),K4 开关也拨上(+5V),(B5)单元中的“非线性输出”测孔信号输出饱和特性;左边 2 个数码管显示饱和特性线性区的斜率“X.X”,由(B5)模块中的“设定电位器 1”设定斜率;右边 3 个数码管显示饱和输出的限幅值“X.XX”(V),由(B5)模块中的“设定电位器 2”设定输出限幅值。

⑦ **死区特性:**下排按键选择“死区”,指示灯亮,将信号发生器(B1)的幅度控制电位器中心 Y 测孔作为非线性-5V~+5V 输入信号接到函数发生器(B5)模块中的“非线性输入”测孔,(B1)单元的 K3 开关拨上(-5V),K4 开关也拨上(+5V),(B5)单元中的“非线性输出”测孔信号输出死区特性;左边 2 个数码管显示死区特性线性区的斜率“X.X”,由(B5)模块中的“设定电位器 1”设定斜率;右边 3 个数码管显示死区宽度“X.XX”(V),由(B5)模块中的“设定电位器 2”设定死区宽度。

⑧ **间隙特性:**下排按键选择“间隙”,指示灯亮,将信号发生器(B1)的幅度控制电位器中心 Y 测孔作为非线性-5V~+5V 输入信号接到函数发生器(B5)模块中的“非线性输入”测孔,(B1)单元的 K3 开关拨上(-5V),K4 开关也拨上(+5V),(B5)单元中的“非线性输出”测孔信号输出间隙特性;左边 2 个数码管显示间隙特性线性区的斜率“X.X”,由(B5)模块中的“设定电位器 1”设定斜率;右边 3 个数码管显示间隙宽度“X.XX”(V),由(B5)模块中的“设定电位器 2”设定间隙宽度。

⑨ **矩形波/正弦波:**上排右按键选择“矩形波/正弦波”,指示灯亮,(B5)模块“矩形波输出”测孔和“正弦波输出”测孔同时有输出,‘矩形波’的指示灯也亮,数码管显示矩形波的信息。若要观察正弦波的信息,再按一次上排右按键,‘正弦波’的指示灯亮,数码管显示正弦波的信息(波形的控制调节与单一波形发生控制相同)。

⑩ **方波/正弦波:**上排右按键选择“方波/正弦波”,指示灯亮,(B5)模块“方波输出”测孔和“正弦波输出”测孔同时有输出,‘方波’的指示灯也亮,数码管显示方波的信息。若要观察正弦波的信息,再按一次上排右按键,“正弦波”的指示灯亮,同时,正弦波数码管显示正弦波的信息(波形的控制调节与单一波形发生控制相同)。

注 1:显示与功能选择模块(D1)右上角的电位器‘RP5’用于调整该模块的基准电压(+2.40V)。

注 2:函数发生器(B5)右下角的‘调零’电位器用于调整正弦波输出的基准零位。上电总清或按‘复位’键总清后,把“正弦波调幅”电位器调到最大,然后调整‘调零’电位器,使“正弦波输出”测孔输出直流电压为零,即正弦波输出的基准零位调整成功。

注 3:上电总清或按“复位”键总清后,数码管显示矩形波信息,矩形波有输出 2 秒宽度的波形,其他波无输出。

3. 手控阶跃信号发生器 (B1)

信号发生器由手控阶跃发生器(B1-1),幅度控制(B1-2)和非线性输出(B1-3)组成。

B1-2 模块可以有三种状态输出:

-
- (1) K3 开关拨下, K4 开关拨上, 在电位器的 Y 测孔可得到 ‘0~+5V’ 连续可调电压输出。
 - (2) K3 开关拨上, K4 开关也拨上, 在电位器的 Y 测孔可得到 ‘-5V~+5V’ 连续可调电压输出。
 - (3) K3 开关拨下, K4 开关也拨下, 在电位器的 Y 测孔将得到手控连续可调 ‘0~+5V’ 阶跃信号。

非线性发生模块是利用二极管的非线性特性形成非线性输出, IN 为输入测孔, OUT 为输出测孔。

4. 数模转换器 (B2)

本实验机采用 ADC0832 作为数/模转换, 可实现 8bit 数字输入转换为模拟量。数字 0~0FFH 输入, 经数/模转换后 OUT1 测孔输出为 0~+5V 模拟量。经运放处理后, 在 OUT2 测孔输出为 -5V ~+5V。

5. 虚拟示波器 (B3)

提供两通道模拟信号输入 CH1 和 CH2 测孔, 配合上位机软件的示波器窗口, 可以实现波形的显示、存储, 可以有有效的观察实验中各点信号的波形。详见本实验指导书第二章所述。

6. 采样/保持器 (B4)

B4 模块包含两组采样/保持器。采用 LF398 实现保持, 输入、输出电平范围为 ±12V。“IN”测孔为输入端;“PU”测孔为采样控制端, 高电平采样, 低电平保持。单稳态电路 4538 完成脉冲整形, “A”测孔为输入端 (0/+5V 上升沿), “Q”测孔为输出端 (100μ S 正脉冲)。

7. 模数转换器 (B7)

本实验机采用 DAC0809 作为模/数转换, 可实现 8bit 数字输出。其中 “IN4 和 IN5”测孔为 0~+5V 模拟量输入, “IN6 和 IN7”测孔为 -5V~+5V 模拟量输入。

8. 定时器、中断单元 (B8)

本单元提供 CPU 控制模块中的定时器 8253 的计数器 1 “CLK1”和 “T1”测孔 (GATE 已短接 VCC), 计数器 2 “CLK2、T2 和 GATE2”测孔; 提供 8259 中断控制器 IRQ5 和 IRQ6 测孔为 CPU 控制模块的中断输入; 固定时钟 (1.229MHz) 脉冲输出测孔; “A 和 A\”测孔分别为附加反相器 (74LS14) 的输入端和输出端, 供用户作为逻辑信号反相用。

9. 基准电压单元 (B6)

本单元可提供 +Vref (+5.00V) 和 -Vref (-5.00V) 两种基准电压。可以通过调整该单元中的 W9 和 W1 电位器来调整基准电压。(在出厂时已调整好) **注意: 该单元的测孔不可随意插线, 以免损坏基准源。**

三. C 实验区

1. 步进电机模块 (C1)

采用 74LS273 (8 位 D 触发器) 的低 4 位输出 Q1~Q4 经 U2003A 来驱动步进电机。

由于步进电机四相长时间通电流会引起电机发热, 用户在电机空闲时应注意将各相电流断开, 即对 74LS273 (8 位 D 触发器) 的低 4 位送 ‘0’。本实验采用了 35BY48 步进电机。

2. 直流电机模块 (C2)

把直流电压引入到电机输入测孔, 就能驱动直流电机转动; 直流电机测速有两种方式, 电机转速的脉冲测速及电压测速输出。本实验采用了 BY25 直流电机。

3. 温控模块 (C3)

温控模块采用装在散热器下的热敏电阻进行测温, 冷却 (COOL) 由 74LS273 输出 Q6 控制, Q6 高电平时风扇转动进行冷却。温控模块加热有两种方式, 模拟电压加热及脉宽控制加热。

① 脉宽控制加热时: 把宽度可调的脉冲加到脉冲加热测孔, (脉冲幅度 > 2.5V 时将加热, C3 单元的 ‘加热’ 灯亮; 脉冲幅度 < 0.8V 时停止加热, ‘加热’ 灯灭)。

② 模拟电压加热: 把 0~+5V 直流电压加到电压加热测孔, 加热时, C3 单元的 ‘加热’ 灯亮, 其加热功率及灯的亮度与加到电压加热测孔的电压成正比。

四. CPU 控制模块

CPU 控制模块是一个单独的电路板名称为 ACT88, 它装在实验机主板的下面, 用一个 50 芯插头座, 与主板联接。CPU 控制模块包含一个 8088 小系统及通讯、中断等外围接口电路。

用户可以对各寄存器、数据口地址编程操作。详见本实验指导书计控分册第八章《微机控制的二次开发》

第二章 虚拟示波器

2.1 虚拟示波器的显示方式

- (1) 示波器的时域显示方式
- (2) 示波器的相平面显示 (X-Y) 方式
- (3) 示波器的频率特性显示方式有对数幅频特性显示、对数相频特性显示 (伯德图), 幅相特性显示方式 (奈奎斯特图), 时域分析 (弧度) 显示方式。
- (4) 示波器的计算机控制显示方式

2.2 虚拟示波器的使用

一. 设置

用户可以根据不同的要求选择不同的示波器, 具体设置方法如下:

1. 示波器的一般用法: 运行 LABACT 程序, 选择‘工具’栏中的‘单迹示波器’项或‘双迹示波器’项, 将可直接弹出该界面。‘单迹示波器’项的频率响应要比‘双迹示波器’项高。
2. 实验使用: 运行 LABACT 程序, 选择自动控制、微机控制、控制系统菜单下的相应实验项目, 就会弹出相应的虚拟示波器的界面, 点击开始, 即可使用 CH1、CH2 测孔观察、测量波形, 击停止后, 将停止示波器运行, 即可进行波形分析和相关的测量 (只保存当前实验的波形)。

二. 示波器的使用

1. 示波器的时域显示

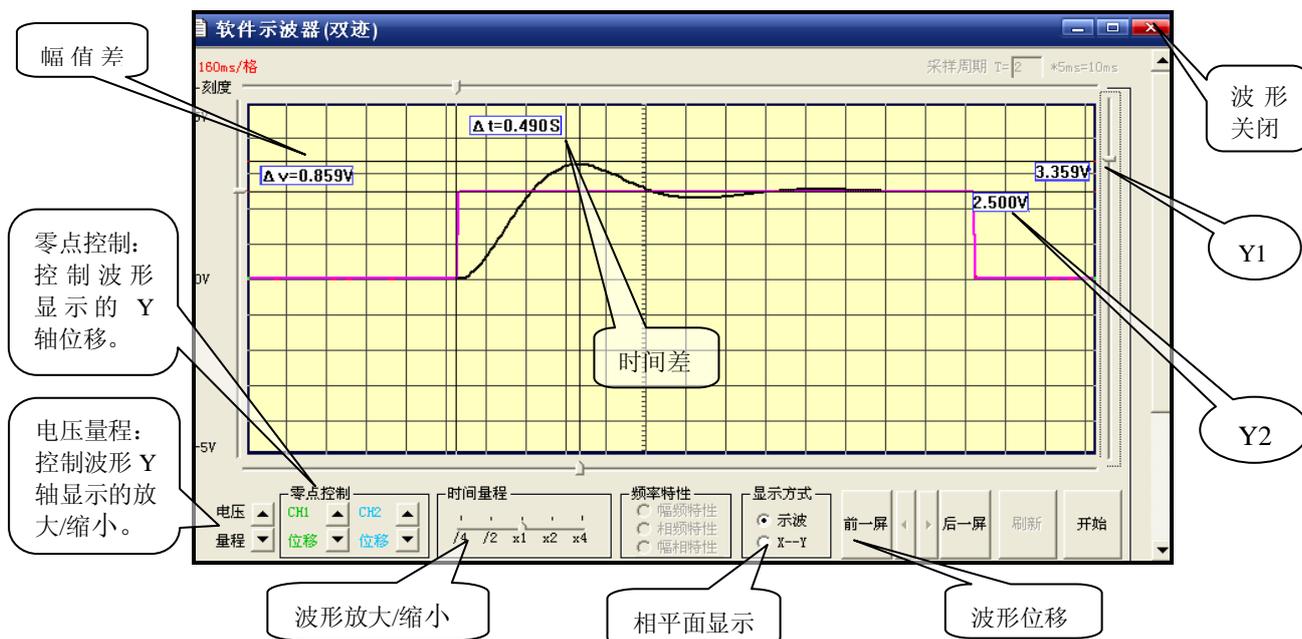


图 2-2-1 虚拟示波器时域显示运行界面 (数字 PID 控制实验曲线)

示波器的时域显示是指显示器界面中 X 轴为时间 t , Y 轴为电压 U 。见图 2-2-1 为示波器的时域显示运行界面, 只要点击开始, 示波器就运行了, 此时就可以用实验机上的 (CH1) 和 (CH2) 来采集、观察波形。CH1 和 CH2 各有输入范围选择开关, 当输入电压小于 -5V 大于 $+5\text{V}$ 时应选用 $\times 1$ 档, 如果大于此电压输入范围应选用 $\times 5$ 挡 (表示输入信号衰减 5 倍后进入示波器)。

该显示界面的下方有一个“显示方式”选择框, 提供了示波和 X-Y 两种方式。当需要是时域显示方式时, 应选择框内的示波方式选项 (通常在弹出示波器界面时, 默认为示波方式)。

(1) 信号幅值测量

- ①信号幅值测量: 在显示界面的左右各有一条滑竿标尺, 用户点住滑竿标尺上、下移动到显示界面中

需标定的点,此时滑竿的最右侧的黄色方块上显示的数据为当前测量点的幅值,见图 2-2-1 的 $4.34V$ 和 $2.5V$ 数据显示。在 Y 轴上两条滑竿之间(在显示界面的左侧)的黄色方块中显示的数据,为两个测量点的幅值差,见图 2-2-1 上的 $\Delta v=1.84V$ 。

②电压量程:控制波形 Y 轴显示的放大/缩小。

③零点控制:控制波形显示的 Y 轴位移。

(2) 信号时间测量

① 移动波形

在运行开始到停止。示波器可能已采样了多幅波形,因此用户首先必须点击显示界面下方的‘前一屏’或‘后一屏’来获取显示所需的画面,然后再点击中间的‘微调按钮’来调节波形至最佳测量状态。

② 压缩/扩展波形

在显示界面的下方有一个‘时间量程’选择框,在框中‘ $\times 2$ ’表示波形压缩了 2 倍,‘ $\times 4$ ’表示波形压缩了 4 倍,该功能适用于观察频率低、周期长的信号,例如观察时间常数大的积分信号输出;在框中‘ $/ 2$ ’表示波形放大了 2 倍,‘ $/ 4$ ’表示波形放大了 4 倍,该功能适用于观察频率较高的信号,例如观察微分信号输出、阶跃输出的上升时间等。

③ 信号时间的测量

当信号在显示界面处于最佳测量状态后,用户可以点住显示界面上下各一条的滑竿,左、右移动到波形需标定的点的位置,在 X 轴上两条滑竿之间的黄色方块中显示的数据,为两个 X 轴上标定点的时间差,见图 2-2-1 上的 $\Delta t=1.200S$ 。

2. 示波器的相平面显示(X-Y)使用

在示波器的时域显示界面下方的‘显示方式’选择框中,如用户选中‘**X-Y**’选项,则虚拟示波器将提供相当于真实示波器中的 X-Y 选项,即可实现自动控制原理实验中的‘相平面分析’实验。

实验使用:运行 **LABACT** 程序,选择‘**自动控制 / 非线性系统的相平面分析**’菜单下的相应实验项目,就会弹出相应的虚拟示波器界面,

在运行中,如果用户在‘显示方式’选择框中,选中‘**示波**’选项,示波器将转为时域显示方式。这样用户可以在同一界面上方便地看到系统的时域显示和相平面显示。可按**刷新**按钮进行波形更新。

3. 示波器的幅频/相频/幅相特性显示使用

该方式专为第三章自动控制原理实验第 3.2 节〈线性控制系统的频率响应分析〉设计的。

在实验中欲观测实验结果时,应运行 **LabACT** 程序,选择**自动控制 / 线性控制系统的频率响应分析**-实验项目,再分别选择**一阶系统**或**二阶系统**就会弹出‘频率特性扫描点设置’表,在该表中用户可根据自己的需要填入各个扫描点(本实验机选取的频率值 f ,以 $0.1Hz$ 为分辨率),如需在特性曲线上直接标注某个扫描点的角频率 ω 、幅频特性 $L(\omega)$ 或相频特性 $\varphi(\omega)$,则可在该表的扫描点上小框内点击一下(打 \checkmark)。‘确认’后将弹出虚拟示波器的频率特性界面,点击**开始**,即可按‘频率特性扫描点设置’表规定的频率值,实现频率特性测试。

测试结束后(约十分钟),可点击界面下方的“频率特性”选择框中的任意一项进行切换,将显示被测系统的闭环对数幅频、对数相频特性曲线(伯德图)和幅相曲线(奈奎斯特图),点击**停止**后,将停止示波器运行。

用户如选择了**二阶系统**,则虚拟示波器上先弹出**闭环**频率特性界面,点击**开始**,待实验机把**闭环**频率特性测试结束后,再在示波器界面左上角的红色‘**开环**’或‘**闭环**’字上双击,将在示波器界面上弹出‘开环/闭环’选择框,点击**确定**后,示波器界面左上角的红字,将变为‘**开环**’然后再在示波器界面下部‘频率特性’选择框点击(任一项),在示波器上将转为‘**开环**’频率特性显示界面。

在‘开环’频率特性界面上,亦可转为‘**闭环**’频率特性显示界面,方法同上。

在频率特性显示界面的左上角的红色‘开环’或‘闭环’字表示当前界面的显示状态。可进行以下各项**线性控制系统的频率响应分析**:

(1) 被测系统某个频率点的 L 、 φ 、 Im 、 Re 等相关数据测量:

(2) 闭环系统谐振频率 ω_r , 谐振峰值 $L(\omega_r)$ 等相关数据的测量:

(3) 开环系统的幅值穿越频率 ω_c 、相角裕度 γ 等相关数据的测量:

4. 示波器的计算机控制显示使用

示波器的计算机控制显示方式可以在示波器显示界面上进行参数的设置和修改, 该界面显示方式用于 PID 算法、最少拍控制、大林算法、温度控制等实验。**注意:** 分析波形必须先停止。

1) 最少拍控制系统实验

在实验中欲观测实验结果时, 只要运行 **LABACT** 程序, 选择**微机控制**菜单下的**最少拍控制系统---有纹波**实验项目, 就会弹出虚拟示波器的界面, 确保实验机处于联机状态, 点击**开始**后将自动加载相应源文件, 此时可选用虚拟示波器 (B3) 单元的 CH1、CH2 测孔测量波形。

该实验显示界面的下边“计算公式”栏中有 K_i 、 P_i , 7 个控制参数, 界面上方有采样周期 T , 点击**开始**后, 即可使实验机按照新的控制参数运行。

2) 数字 PID 控制实验

在实验中欲观测实验结果时, 只要运行 **LABACT** 程序, 选择**微机控制**菜单下的**数字 PID 控制**实验项目, 就会弹出虚拟示波器的界面, 点击**开始**后将自动加载相应源文件, 运行程序。

该实验显示界面的右边“PID 系数”栏中有 K_p 、 T_I 、 T_D 3 个控制系数, 界面上方有采样周期 T , 点击‘**发送**’后, 即可使实验机按照新的控制参数运行。

3) 温度闭环控制

在实验中欲观测实验结果时, 只要运行 **LABACT** 程序, 选择**控制系统**菜单下的**温度闭环控制**实验项目, 就会弹出温度示波器的界面。点击**开始**后将自动加载相应源文件, 然后再点击**发送**键, 将运行; 然后设定‘温度’参数、积分量阈值和控制系数 PID 后, 点击**发送**, 即可实现温度闭环控制。

该实验显示界面的右边“PID 系数”栏中有 K_p 、 T_I 、 T_D 3 个控制系数, 积分量 $\left| \sum_{j=0}^K e(j) \right|$ 阈值 E_0 点击‘**发送**’后, 即可使实验机按照新的控制系数和设定参数运行。

冷却: 在运行中, 改变‘温度’参数为‘1℃’后, 再次点击“发送”键将启动风扇转动, 进行冷却。

5. 虚拟示波器的截图

在虚拟示波器界面上第二排图标工具栏左起第 22 个 (黄色问号的右边) 加上了示波器的截图按钮, 截图后需要命名保存, 默认则保存到 C 盘 AEDK 目录下, 格式为 BMP 图象文件, 可以双击直接查看, 方便老师学生直接将保存的图, 粘贴到文档之中。

第三章 计算机控制技术实验

3.1 数/模转换实验

一. 实验目的

- 1、掌握数/模转换器 DAC0832 芯片的性能、使用方法及对应的硬件电路。
- 2、编写程序控制 D/A 输出的波形，使其输出周期性的三角波。

二. 实验说明

数/模转换实验框图见图 4-1-1 所示。

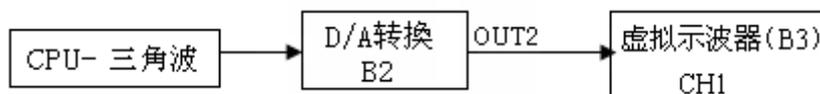


图 4-1-1 数/模转换实验框图

三. 实验内容及步骤

在实验中欲观测实验结果时，只要运行 **LABACT** 程序，选择**微机控制**菜单下的**数/模转换**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件，可选用虚拟示波器 (B3) 单元的 CH1 测孔测量波形，详见实验指导书第二章虚拟示波器部分。

测孔连线	数/模转换器 (B2) 单元 OUT2→虚拟示波器 (B3) 输入端 CH1 (选 X1 档)。
------	--

3.2 模/数转换实验

一. 实验目的

- 1、了解模/数转换器 A/D 芯片 ADC0809 转换性能及编程。
- 2、编制程序通过 0809 采样输入电压并转换成数字量值。

二. 实验说明

模/数转换实验框图见图 4-2-1 所示。

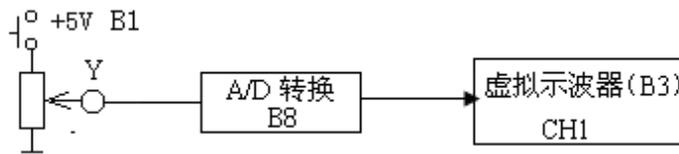


图 4-2-1 模/数转换实验框图

模/数转换器 (B8 单元) 提供 IN4~IN7 端口，供用户使用，其中 IN4、IN5 有效输入电平为 0V~+5V，IN6 和 IN7 为双极性输入接法，有效输入电平为 -5V~+5V，有测孔引出。

二. 实验内容及步骤

- (1) 将信号发生器 (B1) 的幅度控制电位器中心 Y 测孔，作为模/数转换器 (B7) 输入信号：

B1 单元中的电位器左边 K3 开关拨下 (GND)，右边 K4 开关拨上 (+5V)。

- (2) 测孔连线：B1 (Y) → 模/数转换器 B7 (IN4) (信号输入)。

- (3) 运行、观察、记录：

运行 **LABACT** 程序，选择**微机控制**菜单下的**模/数转换**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后，在虚拟示波器屏幕上显示出即时模/数转换二进制码及其对应的电压值；再次点击**开始**，将继续转换及显示，满 17 次后回到原点显示。

屏幕上 X 轴表示模/数转换的序号，Y 轴表示该次模/数转换的结果。每次转换后将在屏幕出现一个“*”，同时在“*”下显示出模/数转换后的二进制码及对应的电压值，所显示的电压值应与输入到模/数转

换单元 (B7) 的输入通道电压相同。每转换满 17 次后, 将自动替代第一次值。输入通道可由用户自行选择, 默认值为 IN4。

3.3 采样与保持

3.3.1 采样实验

一. 实验目的

了解模拟信号到计算机控制的离散信号的转换—采样过程。

二、实验内容及步骤

采样实验框图构成如图 4-3-1 所示。本实验将函数发生器 (B5) 单元“方波输出”作为采样周期信号, 正弦波信号发生器单元 (B5) 输出正弦波, 观察在不同的采样周期信号对正弦波采样的影响。

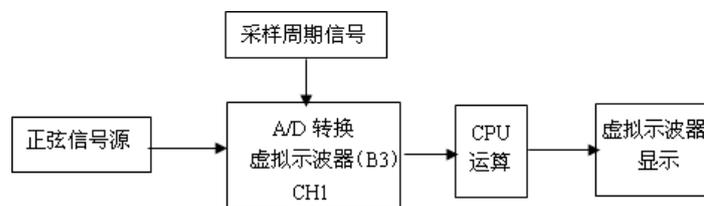


图 4-3-1 采样实验框图

实验步骤:

(1) 将函数发生器 (B5) 单元的正弦波输出作为系统输入, 方波输出作为系统采样周期输入。

① 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 通过上排右按键选择“方波/正弦波”的指示灯亮, (B5) 模块“方波输出”测孔和“正弦波输出”测孔同时有输出。‘方波’的指示灯也亮, 调节 B5 单元的“设定电位器 1”, 使之方波频率为 80Hz 左右 (D1 单元右显示)。

②再按一次上排右按键, “正弦波”的指示灯亮 (‘方波’的指示灯灭), B5 的量程选择开关 S2 置上档, 调节“设定电位器 2”, 使之正弦波频率为 0.5Hz (D1 单元右显示)。调节 B5 单元的“正弦波调幅”电位器, 使之正弦波振幅值输出电压= 2.5V 左右 (D1 单元左显示)。

(3) 构造模拟电路: 按图 4-3-1 安置短路套及测孔联线, 表如下。

1	正弦波信号输入	B5 (正弦波输出 SIN) → B3 (虚拟示波器) CH1 (选 X1 档)
2	采样周期信号	B5 (方波输出) → B8 输入 (IRQ6)

(4) 运行、观察、记录:

① 复核输入信号: 运行 **LABACT** 程序, 选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**” (Alt+W) 项, 弹出双迹示波器的界面, 点击**开始**, 用虚拟示波器观察系统输入信号 (正弦波和方波)。

② 再运行 **LABACT** 程序, 选择**微机控制**菜单下的**采样和保持**菜单下选择**采样**实验项目, 就会弹出虚拟示波器的界面, 点击**开始**后将自动加载相应源文件, 即可选用本实验配套的虚拟示波器 (B3) 单元的 CH1 测孔测量波形

③ 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 按上排右按键选择“方波/正弦波”的指示灯亮, ‘方波’的指示灯也亮, 调节 B5 单元的“设定电位器 1”, 慢慢降低采样周期信号频率, 观察输出波形。

四. 实验报告要求:

按下表记录下各种频率的采样周期下的输出波形。

采样周期 (Hz)	80	60	40	20	10	5
--------------	----	----	----	----	----	---

3.3.2 采样/保持器实验

一. 实验目的

1. 了解判断采样/保持控制系统稳定性的充要条件。
2. 了解采样周期 T 对系统的稳定性的影响。
3. 掌握控制系统处于临界稳定状态时的采样周期 T 的计算。
4. 观察和分析采样/保持控制系统在不同采样周期 T 时的瞬态响应曲线。

二. 实验内容及步骤

闭环采样/保持控制系统实验构成电路如图 4-3-4 所示。

1. 计算图 4-3-4 所示的实验被控系统的临界稳定的采样周期 T ，观察输出端 (C) 波形。
2. 改变实验被控系统的参数，计算被控系统的临界稳定采样周期 T ，观察输出端 (C) 波形，并把临界稳定采样周期 T 计算值和测量值填入实验报告。

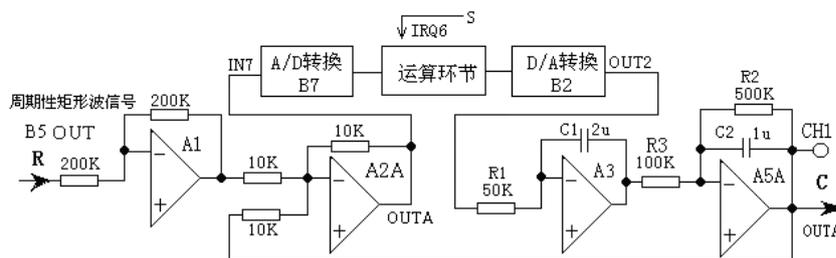


图 4-3-4 闭环采样/保持控制系统实验构成电路

实验步骤：注：‘S ST’ 用‘短路套’短接！

- (1) 将函数发生器 (B5) 单元的矩形波输出作为系统输入 R。(连续的正输出宽度足够大的阶跃信号)
 - ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中，通过波形选择按键选中‘矩形波’ (矩形波指示灯亮)。
 - ② B5 的量程选择开关 S2 置下档，调节“设定电位器 1”，OUT 正输出宽度 > 6 秒。(D1 单元左显示)。
 - ③ 调节 B5 单元的“矩形波调幅”电位器使矩形波输出电压 = 2.5V 左右 (D1 单元右显示)。
- (2) 构造模拟电路：按图 4-3-4 安置短路套及测孔连线，表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A1	S4, S8
2	A2	S1, S6
3	A3	S3, S10, S11
4	A5	S3, S7, S10
5	B5	‘S-ST’

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) \rightarrow A1 (H1)
2	运放级联	A1 (OUT) \rightarrow A2 (H1)
3	送调节器输入	A2A (OUTA) \rightarrow B7 (IN7)
4	调节器输出	B2 (OUT2) \rightarrow A3 (H1)
5	运放级联	A3 (OUT) \rightarrow A5 (H1)
6	负反馈	A5A (OUTA) \rightarrow A2 (H2)
7	‘中断请求’线	B5 (S) \rightarrow B8 (IRQ6)
8	示波器联接	A5A (OUTA) \rightarrow B3 (CH1)
9	$\times 1$ 档	B5 (OUT) \rightarrow B3 (CH2)

(3) 运行、观察、记录：

- ① 复核输入信号：运行 **LABACT** 程序，选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**” (Alt+W) 项，弹出双迹示波器的界面，点击**开始**，用虚拟示波器观察系统输入信号。
- ② 运行 **LABACT** 程序，选择**微机控制**菜单下的**采样和保持**菜单下选择**采样/保持**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件，运行实验程序，使用虚拟示波器 CH1 通道观察 A5A 单元输出 OUTA (C) 的波形。
- ③ 该实验的显示界面的**采样周期 T** (界面右上角) 可由用户点击“**停止**”键后，在界面上直接修改，改变这些参数后，只要再次点击“**开始**”键，即可使实验机按照新的控制参数运行。

④ 采样周期 T 设定为 10ms、30ms 和 50ms，使用虚拟示波器 CH1 通道观察 A5A 单元输出 OUTA (C) 的波形。观察相应实验现象。记录波形，并判断其稳定性。

三. 实验报告要求:

按下表改变图 4-3-4 所示的实验被测系统，画出系统模拟电路图。

调整输入矩形波宽度 ≥ 6 秒，电压幅度 = 2.5V。

计算和观察被测对象的临界稳定的采样周期 T ，填入实验报告。

积分常数 T_i	惯性常数 T	增益 K	临界稳定的采样周期 T	
			计算值	测量值
0.1	0.1	2		
	0.2	2		
	0.5	5		
0.2	0.1	2		
	0.2	2		
	0.5	5		

3.4 微分与数字滤波实验

3.4.1 微分与微分平滑

一. 实验要求

1. 了解微分反馈的原理及对被控对象的影响。
2. 了解和掌握微机控制系统实现微分反馈的方法及数字调节器 $D(Z)$ 输出数值序列的计算。
3. 观察和分析微分运算中的采样周期 T 与微分系数 T_D 对系统阶跃响应性能的影响。
4. 观察和分析微分平滑运算中的采样周期 T 与微分系数 T_D 对系统阶跃响应性能的影响。

二. 实验内容及步骤

微分与微分平滑系统构成如图 4-4-2 所示。

1. 分别选择微分算法和微分平滑算法，设置微分系数 T_D 和反馈系数 K_D 和采样周期 T ，观察输出端 (C) 波形。
2. 改变图 4-4-2 中被控对象的惯性时间常数，设置微分系数 T_D 和反馈系数 K_D 和采样周期 T ，观察输出端 (C) 波形，测量时域特性，填入实验报告。

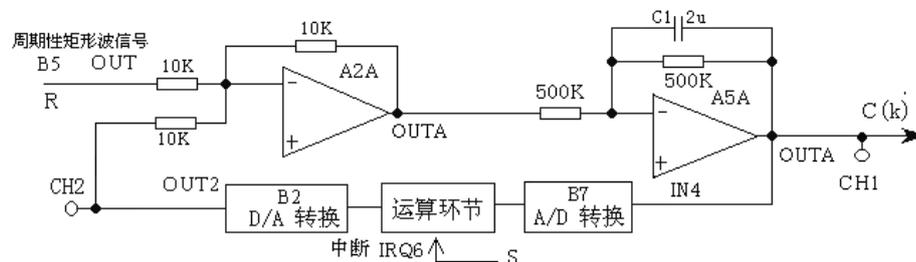


图 4-4-2 微分与平滑实验构成

实验步骤: 注: 'S ST' 用 '短路套' 短接!

- (1) 将函数发生器 (B5) 单元的矩形波输出作为系统输入 R。(连续的正输出宽度足够大的阶跃信号)
 - ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中，通过波形选择按键选中 '矩形波' (矩形波指示灯亮)。
 - ② B5 的量程选择开关 S2 置下档，调节设 "定电位器 1"，OUT 正输出宽度 > 3 秒。(D1 单元左显示)。
 - ③ 调节 B5 单元的 "矩形波调幅" 电位器使矩形波输出电压 = 2.5V 左右 (D1 单元右显示)。

(2) 构造模拟电路：按图 4-4-2 安置短路套及测孔连线，表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A2	S1, S6
2	A5	S5, S7, S10, S11
3	B5	'S-ST'

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A2 (H1)
2	运放级联	A2A (OUTA) → A5 (H1)
3	信号输出	A5A (OUTA) → B7 (IN4)
4	微分反馈	B2 (OUT2) → A2 (H2)
5	'中断请求'线	B5 右侧输出(S)→B8 (IRQ6)
6	示波器联接 ×1 档	A5A (OUTA) → B3 (CH1)
7		B2 (OUT2) → B3 (CH2)

(3) 运行、观察、记录：

① 复核输入信号：运行 **LABACT** 程序，选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**”(Alt+W) 项，弹出双迹示波器的界面，点击**开始**，用虚拟示波器观察系统输入信号。

② 运行 **LABACT** 程序，在**微机控制---平滑与数字滤波**菜单下分别选择**微分** 或 **微分平滑**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件。

该实验的显示界面下方“计算公式”栏的微分系数 **Td** 和显示界面右上方“采样周期”栏的 **T** 均可由用户点击“**开始**”前，或在点击“**停止**”键后，在界面上直接修改，以期获得理想的实验结果，改变这些控制系数后，只要再次点击“**开始**”键，即可使实验机按照新的控制系数运行。

1). 微分算法实验

运行**微分**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件。运行后，用虚拟示波器 CH1 观察系统输出，用 CH2 观察数字调节器 D(Z)输出（微分噪音幅度）。

用 CH1 观察系统阶跃响应输出点 C(k) (A5 单元输出端 OUT) 的波形。与不加微分反馈环节情况下（不加微分环节的情况下（即需将微分反馈线断开），输出点 C(k)的波形相比较，系统的过渡过程时间将明显缩短，可绘制出两者的输出曲线。

由于受微分正反馈的影响，其响应速度将加快，可适当调整 T_D 为微分系数，**T** 为采样周期，使系统输出达到要求绘制出输出曲线。

该实验的显示界面中已设定才样周期 $T=80\text{mS}$ ，“计算公式”栏：微分系数 $T_d=0.75S$

实验报告要求：

1. 图 4-4-2 中被控对象的惯性时间常数为 $T_0=1S$ ，采样周期 $T=80\text{ms}$ ，按下表改变微分系数 T_D 和反馈系数 K_D ，观察输出端 (C) 波形，填入实验报告

微分系数 T_D	峰值时间 t_p	调节时间 t_s	超调量 M_p
0.6S			
0.7S			
0.75 S	0.92 S	1.4S	14%
0.96 S			

2. 图 4-4-2 中被控对象的惯性时间常数改为 $T_0=0.2S$ ，采样周期 $T=15\text{ms}$ ，按下表改变微分系数 T_D 和反馈系数 K_D ，观察输出端 (C) 波形，填入实验报告

微分系数 T_D	峰值时间 t_p	调节时间 t_s	超调量 M_p
0.11 S			
0.13 S			

0.15 S	0.2S	0.34 S	12.5
0.19 S			

注：反馈系数 K_D 大，数字调节器 $D(Z)$ 输出（微分噪音幅度）。

2). 微分平滑算法实验

运行微分平滑实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击开始后将自动加载相应源文件。运行后，用虚拟示波器 CH1 观察系统输出，用 CH2 观察数字调节器 $D(Z)$ 输出（微分噪音幅度）。

与微分实验输出曲线相比较，数字调节器 $D(Z)$ 的输出变化相对要小些。

该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=80\text{ms}$ ，“计算公式”栏：微分系数 $T_d=0.75S$

实验报告要求：

1. 图 4-4-2 中被控对象的惯性时间常数为 $T_o=1S$ ，采样周期 $T=80\text{ms}$ ，按下表改变微分系数 T_D 和反馈系数 K_D ，观察输出端（C）波形，填入实验报告

微分系数 T_D	反馈系数 K_D	峰值时间 tp	调节时间 ts	超调量 Mp
0.6S	7.5			
0.7S	8.8			
0.75 S	9.4	1.26	1.77 S	21.6 %
0.96 S	12			

2. 图 4-4-2 中被控对象的惯性时间常数改为 $T_o=0.2S$ ，采样周期 $T=15\text{ms}$ ，按下表改变微分系数 T_D 和反馈系数 K_D ，观察输出端（C）波形，填入实验报告

微分系数 T_D	反馈系数 K_D	峰值时间 tp	调节时间 ts	超调量 Mp
0.11 S	7.3			
0.13 S	0.86			
0.15 S	10	0.22 5S	0.43 S	18.8
0.21 S	14			

注：反馈系数 K_D 大，数字调节器 $D(Z)$ 输出（微分噪音幅度）也会大。

3.4.2 数字滤波

一. 实验要求

1. 了解和掌握数字滤波原理及方法。
2. 编制程序实现数字滤波，观察和分析各种数字滤波的滤波效果。

二. 实验原理及说明

关于数字滤波：一个计算机数据采集系统在生产过程中会受到各种干扰，从而降低了有用信号的真实性和。虽然在输入通道上接入一个 RC 低通滤波器来抑制工频及其以上频率的干扰，但对频率很低的干扰却由于制作上的难度而难以实现。采用数字形式来模拟 RC 低通滤波器的输入输出数学关系，可以得到较好

的效果。

常用数字滤波的方法有多种，如限幅滤波、限速滤波、算术平均滤波、中值滤波及本实验使用的惯性滤波、四点加权平均滤波等。应该根据实际情况来选择合适的滤波方法。

本实验用于观察和分析在离散系统中数字滤波对系统性能的影响。

(1) 一阶惯性数字滤波器的计算

要求设计一个相当于 $1/\tau S+1$ 的数字滤波器，由一阶差分法可得近似式：

$$U_K = K_0 E_K + (1 - K_0) U_{K-1}$$

U_K ：输出， E_K ：输入， U_{K-1} ：上一采样周期输出， $K_0 = T/\tau$ (T = 采样周期)。

(2) 四点加权平均滤波算法

四点加权平均滤波算法是对各次采样输入值取不同的比例后再相加。一般，次数愈靠后，控制系数(比例)取愈大，这样，最近一次采样输入值影响愈大。该算法适用于纯延迟较大的对象。

$$U_K = K_0 E_K + K_1 E_{K-1} + K_2 E_{K-2} + K_3 E_{K-3} \quad (\text{式中 } \sum_{i=0}^3 K_i = 1), \text{ 其中 } E_K: \text{ 输入, } U_K: \text{ 输出。}$$

其中各控制系数 K_0 、 K_1 、 K_2 、 K_3 的取值范围为 $-0.99+ \sim 0.99$

数字滤波实验构成如图 4-4-5 所示。干扰源采用 RC 电路将 B5 单元的输出尖脉冲，如图 4-4-6 所示，将此尖脉冲信号视作干扰。再用 B5 单元产生的正弦波，两信号迭加，即产生含有干扰信号的正弦波。

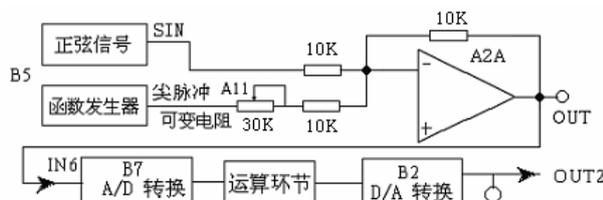


图 4-4-5 数字滤波构成

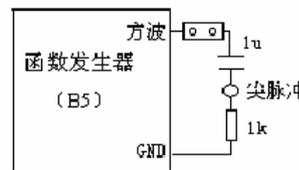


图 4-4-6 干扰信号构成

实验步骤：

(1) 将函数发生器 (B5) 单元的正弦波输出作为系统输入，尖脉冲输出作为系统干扰输入。

① 在显示与功能选择 (D1) 单元中，通过上排右按键选择“方波/正弦波”，指示灯亮，(B5) 模块“方波输出”测孔和“正弦波输出”测孔同时有输出。‘方波’的指示灯也亮，调节 B5 单元的“设定电位器 1”，使之方波 (即尖脉冲) 频率约为 10Hz (D1 单元右显示)，波形见图 4-4-7-a。。

② 再按一次上排右按键，“正弦波”的指示灯亮 (‘方波’的指示灯灭)，B5 的量程选择开关 S2 置上档，调节“设定电位器 2”，使之正弦波频率为 2.5Hz (D1 单元右显示)。

③ 调节 B5 单元的“正弦波调幅”电位器，使之正弦波振幅为 3.5V 左右 (D1 单元左显示)。波形见图 4-4-7-b。

(2) 构造模拟电路：按图 4-4-5 及图 4-4-6 安置短路套及测孔联线，表如下。

(a) 安置短路套

模块号	跨接座号
A2	S1, S6
B5	尖脉冲

(b) 测孔联线

1	信号输入	B5 (SIN) → A2 (H1)
2	信号连接	A2A (OUTA) → B7 (IN6)
3	跨接元件	元件库 A11 中直读式可变电阻跨接到 B5 (尖脉冲) 和 A2 (H2) 之间 (30K)

(3) 运行、观察、记录

① 复核输入信号：运行 **LABACT** 程序，在**微机控制---平滑与数字滤波**菜单下分别选择**数字滤波中的一阶惯性环节**或**四点加权平均**实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件。运行后，用虚拟示波器和调整系统输入信号。调整 A11 单元的可变电阻使叠加的波形符合要求。尖脉冲波形见图 4-4-7-a，正弦波波形见 4-4-7-b。

② 用示波器分别观察滤波前 A2A (OUTA) 输出 (见图 4-4-7-c) 和滤波后 B2 (OUT2) 的输出 (见图 4-4-7-d) 的波形进行比较。

★注意：该实验由于尖脉冲干扰信号的时间太短，如果用虚拟示波器 (B3) 观察，则无法很好显示。

因此，建议用 Tek 示波器观察。

③该实验的显示界面“计算公式”栏的 K_i 与采样周期 T 均可由用户点击“**停止**”键后，在界面上直接修改，以期获得理想的实验结果，改变这些参数后，只要再次点击“**开始**”键，即可使实验机按照新的控制参数运行。

1). 模拟一阶惯性环节的数字滤波

用示波器观察输入端、输出 C 波形，分析滤波效果，并应记下干扰衰减比、正弦衰减比(采用峰—峰值)。改变 K_0 、 T ，重复以上各步，直至得到满意结果。如果现象不明显，可减小 A11 单元可变电阻的阻值。实验的控制系数已设定 $K_0=0.5$ 采样周期设定 $T=2 \times 1=2\text{ms}$ 。

2). 四点加权平均数字滤波

对照观察输入输出并记录干扰衰减比、正弦衰减比(采用峰—峰值)。可以改变各项参数，直至得到满意结果。如果现象不明显，可减小 A11 单元可变电阻的阻值。

该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=1 \times 2=2\text{ms}$ ，“计算公式”栏的 K_i 已设定 $K_0=0.1$ ， $K_1=0.2$ ， $K_2=0.2$ ， $K_3=0.5$ $K_0+K_1+K_2+K_3=1$

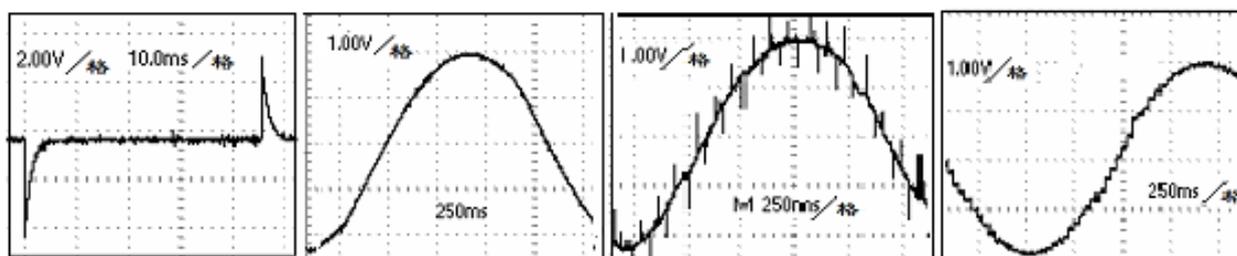


图 4-4-7-a

图 4-4-7-b

图 4-4-7-c

图 4-4-7-d

图 4-4-7 数字滤波实验各点的波形 (用 TEKTRONX 示波器观察的结果)

3.5 数字 PID 控制实验

3.5.1 标准 PID 控制算法

一. 实验要求

1. 了解和掌握连续控制系统的 PID 控制的原理。
2. 了解和掌握被控对象数学模型的建立。
3. 了解和掌握数字 PID 调节器控制参数的工程整定方法。
4. 观察和分析在标准 PID 控制系统中，P.I.D 参数对系统性能的影响。

二. 实验内容及步骤

(1) 确立模型结构

本实验采用二个惯性环节串接组成实验被控对象， $T_1=0.2\text{S}$ ， $T_2=0.5\text{S}$ $K_0=2$ 。

$$G_0(s) = \frac{1}{0.5S+1} \times \frac{2}{0.2S+1} \approx K_0 \times \frac{1}{T_0S+1} e^{-\tau s}$$

(2) 被控对象参数的确认

被控对象参数的确认构成如图 4-5-10 所示。本实验将函数发生器 (B5) 单元作为信号发生器，矩形波输出 (OUT) 施加于被测系统的输入端 R，观察矩形波从 0V 阶跃到 +2.5V 时被控对象的响应曲线。

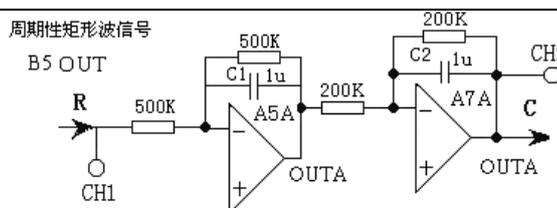


图 4-5-10 被控对象参数的确认构成

实验步骤：注：将‘SST’用‘短路套’短接！

- ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中，通过波形选择按键选中‘矩形波’ (矩形波指示灯亮)。
- ② B5 的量程选择开关 S2 置下档，调节“设定电位器 1”，使之矩形波宽度 > 2 秒 (D1 单元左显示)。
- ③ 调节 B5 单元的“矩形波调幅”电位器使矩形波输出电压 = 2.5V 左右 (D1 单元右显示)。
- ④ 构造模拟电路：按图 4-5-10 安置短路套及测孔联线，表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A5	S4, S7, S10
2	A7	S2, S7, S9, P
3	B5	‘S-ST’

(b) 测孔联线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A5 (H1)
2	运放级联	A5A (OUTA) → A7 (H1)
3	示波器联接	B5 (OUT) → B3 (CH1)
4	×1 档	A7A (OUTA) → B3 (CH2)

⑤

运行、观察、记录：

A) 先运行 **LABACT** 程序，选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**” (Alt+W) 项，弹出双迹示波器的界面，点击**开始**，用虚拟示波器观察系统输入信号。

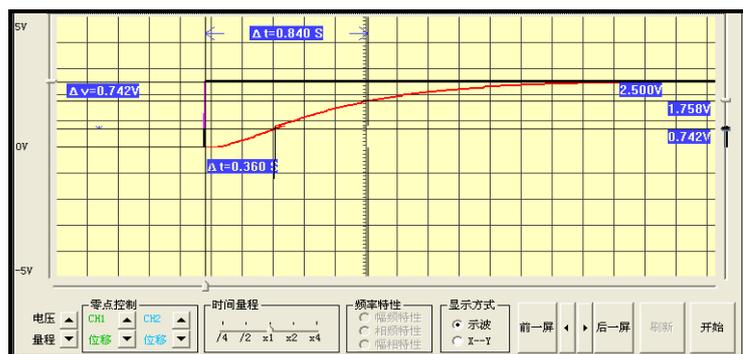


图 4-5-11 被控对象响应曲线

B) 在图 4-5-112 被控对象响应曲线上测得 t_1 和 t_2 。

通常取 $Y_0(t_1) = 0.3Y_0(\infty)$ ，从图中可测得 $t_1 = 0.36S$

通常取 $Y_0(t_2) = 0.7Y_0(\infty)$ ，从图中可测得 $t_2 = 0.84S$

$$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{\ln[1 - y_0(t_1)] - \ln[1 - y_0(t_2)]} = \frac{t_2 - t_1}{0.8473}$$

$$\tau = \frac{t_2 \ln[1 - y_0(t_1)] - t_1 \ln[1 - y_0(t_2)]}{\ln[1 - y_0(t_1)] - \ln[1 - y_0(t_2)]} = \frac{1.204t_1 - 0.3567t_2}{0.8473}$$

据上式确认 T_0 和 τ 。 $T_0 = 0.567S$ ， $\tau = 0.158S$

C) 求得数字 PID 调节器控制参数 K_P 、 T_I 、 T_D (工程整定法)

$$K_P = \frac{1}{K_0} [1.35(\tau/T_0) + 0.27]$$

$$T_I = T_0 \times \frac{2.5(\tau/T_0) + 0.5(\tau/T_0)^2}{1 + 0.6(\tau/T_0)}$$

$$T_D = T_0 \times \frac{0.37(\tau/T_0)}{1 + 0.2(\tau/T_0)}$$

据上式求得数字 PID 调节器控制参数 K_p 、 T_i 、 T_d

$K_p=0.323$, $T_i=0.357$, $T_d=0.0553$

(3) 数字 PID 闭环控制系统实验

数字 PID 闭环控制系统实验构成见图 4-5-12, 观察和分析在标准 PID 控制系统中, P.I.D 参数对系统性能的影响, 分别改变 P.I.D 参数, 观察输出特性, 填入实验报告,

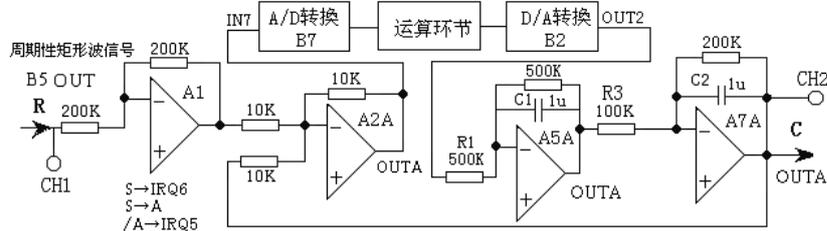


图 4-5-12 数字 PID 闭环控制系统实验构成

实验步骤: 注: 将 ‘S ST’ 用 ‘短路套’ 短接!

- ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 通过波形选择按键选中 ‘矩形波’ (矩形波指示灯亮)。
- ② B5 的量程选择开关 S2 置下档, 调节 “设定电位器 1”, 使之矩形波宽度 ≥ 2 秒 (D1 单元左显示)。
- ③ 调节 B5 单元的 “矩形波调幅” 电位器使矩形波输出电压 = 2.5V (D1 单元右显示)。
- ④ 构造模拟电路: 按图 4-5-12 安置短路套及测孔连线, 表如下。

a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A1	S4, S8
2	A2	S1, S6
3	A5	S5, S7, S10
4	A7	S3, S7, S9, P
5	B5	‘S-ST’

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A1 (H1)
2	运放级联	A1 (OUT) → A2 (H1)
3	送调节器输入	A2A (OUTA) → B7 (IN7)
4	调节器输出	B2 (OUT2) → A5 (H1)
5	运放级联	A5A (OUTA) → A7 (H1)
6	负反馈	A7A (OUTA) → A2 (H2)
7	中断	B5 (S) → B8 (IRQ6)
8	锁零	B5 (S) → B8 (A)
9		B8 (/A) → B8 (IRQ5)
10	示波器联接	B5 (OUT) → B3 (CH1)
11	×1 档	A7A (OUTA) → B3 (CH2)

(3) 运行、观察、记录:

① 运行 **LABACT** 程序, 选择 **制菜单下的数字 PID 控制** 实验下的 **控制** 选项, 会弹出虚拟示波器的界面, 设置 **采样周期 T=0.05** 秒, 然后点击 **开始** 后将自动加载相应源文件, 运行实验程序。

② 在程序运行中, 设置 **$K_p=0.33$, $T_i=0.36$, $T_d=0.055$** , 然后点击 **发送**。

③ 点击 **停止**, 观察实验结果。

(4) 数字 PID 调节器控制参数的修正

采样周期保持 **T=0.05** 秒, 为了使系统的响应速度加快, 可增大比例调节的增益 K_p (设 **$K_p=2$**); 又为了使系统的超调不致于过大, 牺牲一点稳态控制精度, 增加点积分时间常数 **$T_i=0.6$** , 微分时间常数 **T_d** 不变, 观察实验结果。

三. PID 控制算法特殊使用

1) PD 控制算法: 在积分时间常数 T_i 栏中, T_i 被设定为 2.45S 时, 离散化的 PID 位置控制算式表达式中 $K_p \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j)$ 项被置为零, 该实验即变为 PD 控制算法。

2) PI 控制算法: 在微分时间常数 T_d 栏中, T_d 被设定为 0.001S 时, 离散化的 PID 位置

**微机控
标准 PID**

控制算式表达式中 $K_p \frac{T_d}{T} [E(k) - E(k-1)]$ 项为零，该实验即变为 PI 控制算法。

- 3) P 控制算法：设定积分时间常数 T_i 为 2.45S，微分时间常数 T_d 为 0.001S 时，该实验即变为 P 控制算法。

四. 实验报告要求

- (1) 用 LabACT 实验箱获取被控对象参数 T_0 和 τ ，分别填入下表。
- (2) 选择采样周期 T ，填入下表。
- (3) 求取数字 PID 调节器控制参数 K_p 、 T_i 、 T_d （开环整定法），分别填入下表。
- (4) 画出数字 PID 闭环控制系统实验构成。
- (5) 画出数字 PID 闭环控制系统实验响应曲线
- (6) 记录数字 PID 闭环控制系统的超调量 M_p 及上升时间 t_p 分别填入下表。
- (7) 从上表中任选一种实验被控对象，修正数字 PID 调节器控制参数 K_p 、 T_i 、 T_d ，记录该系统的超调量 M_p 及上升时间 t_p ，分别填入下表。要求其超调量 $M_p \leq 25\%$ ，调节时间 t_s 应尽量小，并从定性的角度写出 PID 调节器控制参数 K_p 、 T_i 、 T_d 对系统性能的影响。

按下表所示构建实验被控对象：

$G_0(s) = \frac{1}{T_1 S + 1} \times \frac{K}{T_2 S}$	T	T_0	τ	K_p	T_i	T_d	M_p	t_p
$\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.5S+1}$	0.1							
$\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.2S+1}$	0.1							
$\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.1							
$\frac{1}{0.5S+1} \times \frac{2}{0.5S+1}$	0.05							
$\frac{1}{0.5S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.05							
$\frac{1}{0.2S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.02							
$\frac{1}{0.1S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.01							

3.5.2 积分分离 PID 控制算法

一. 实验目的

1. 了解和掌握 PID 控制系统中的积分饱和现象的产生原因及消除的方法。
2. 观察和分析采用积分分离 PID 控制后，控制性能改善的程度及原因。

3. 观察和分析在积分分离 PID 控制系统中，积分分离法的分离阈值 E_0 对输出波形的影响

二、实验内容及步骤

在 PID 控制算法系统中，引进积分分离法，既保持了积分的作用，又减小了超调量，使得控制性能有了较大的改善。

当偏差值 $|E(k)|$ 比较大时，即 $|E(k)| > E_0$ 时，PID 控制算法系统中，取消积分控制，采用 PD 控制；当偏差值 $|E(k)|$ 比较小时，即 $|E(k)| \leq E_0$ 时，采用 PID 控制，算法可表示为：

$$K_i = \begin{cases} 0, & |E(k)| \geq E_0 \\ K_i, & |E(k)| < E_0 \end{cases} \quad K_i = K_p \frac{T}{T_i}$$

积分分离阈值 E_0 ，其数值范围为 0~4.9V。

积分分离 PID 控制算法系统构成如图 4-5-12 所示（与标准 PID 控制实验构成相同）。

分别观察标准 PID 控制与积分分离 PID 控制输出，分析控制性能改善的程度及原因。

实验步骤：同标准 PID 控制实验。

标准 PID 控制：设置 **$K_p=1$, $T_i=0.36$, $T_d=0.055$** ，设置积分分离阈值 $E_0=5V$ 的。

积分分离 PID 控制：设置 **$K_p=1$, $T_i=0.36$, $T_d=0.055$** ，设置积分分离阈值 $E_0=2V$ 。

实验结果表明采用了积分分离法 PID 控制算法，使得控制器超调量减小，系统控制性能得到改善。

三. 实验报告要求

按 4.5.1 标准 PID 控制算法中的实验报告要求所列出的‘构建实验被控对象用户’表，构建实验被控对象用户，改变比例调节的增益 K_p 及积分分离控制阈值 E_0 ，观察实验结果。

3.5.3 非线性 PID 控制算法

一、实验目的

1. 观察和分析采用非线性 PID 控制算法实现 PID 控制后，控制性能改善的程度及原因。
2. 观察和分析在非线性 PID 控制系统中，非线性 PID 控制算法的输出阈值 P_0 对输出波形的影响。

二. 实验内容及步骤

某些系统控制为了避免控制动作过于频繁而引起的振荡，有时采用非线性 PID 控制（带砰砰的 PID 控制），其算法可表示为：
$$P(k) = \begin{cases} P_0, & |P(k)| \geq P_0 \\ P(k), & |P(k)| < P_0 \end{cases}$$

式中， P_0 为输出阈值，其数值范围为 0~4.9V。PID 控制输出值 $P(k)$ 大于或等于阈值时，输出值恒等于阈值 P_0 ；PID 控制输出值小于阈值时，输出值等于标准 PID 输出值。

非线性 PID 控制算法系统构成如图 4-5-1 所示。（与标准 PID 控制实验构成相同）

实验步骤：同标准 PID 控制实验，（示波器的输入端 CH2 改连到 B2 单元输出端 OUT2--调节器输出）。

非线性 PID 控制：设置 **$K_p=1$, $T_i=0.36$, $T_d=0.055$** ，设置输出阈值 $P_0=2V$ 。

实验结果表明，由于受输出阈值控制，系统控制时间加长了，积分饱和现象也随之增加，系统超调量也增大了， $M_p=33\%$ 。

三. 实验报告要求

按 4.5.1 标准 PID 控制算法中的实验报告要求所列出的‘构建实验被控对象用户’表，构建实验被控对象用户，改变输出阈值 P_0 ，观察实验结果。

3.5.4 积分分离--砰砰复式 PID 控制算法

一. 实验目的

观察和分析采用积分分离--砰砰复式 PID 控制算法实现 PID 控制后, 控制性能改善的程度及原因。

二、实验内容及步骤

本实验用于观察和分析同时引进积分分离法和非线性 PID 控制后, 输入为阶跃信号时被测系统的 PID 控制特性。积分分离--砰砰复式 PID 控制算法可表示为:

$$P(K) = K_p E(k) + K_p \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + K_p \frac{T_d}{T} [E(k) - E(k-1)]$$

$$K_i = \begin{cases} 0, & |E(k)| \geq E_0 \\ K_i, & |E(k)| < E_0 \end{cases} \quad \{K_i = K_p \frac{T}{T_i}\} \quad P(k) = \begin{cases} P_0, & |P(k)| \geq P_0 \\ P(k), & |P(k)| < P_0 \end{cases}$$

式中, P_0 为输出阈值, 其数值范围为 0~4.9V。PID 控制输出值 $P(K)$ 大于或等于阈值时, 输出值恒等于阈值 P_0 ; PID 控制输出值小于阈值时, 输出值等于标准 PID 输出值。

式中, E_0 为积分分离阈值, 其数值范围为 0~4.9V。PID 控制输出值, 当 $|E(k)| > E_0$ 时, 也即偏差值 $|E(k)|$ 比较大时, 采用 PD 控制; 当 $|E(k)| \leq E_0$ 时, 也即偏差值 $|E(k)|$ 比较小时, 采用标准 PID 控制。

积分分离--砰砰复式 PID 控制算法系统构成如图 4-5-1 所示。(与标准 PID 控制实验构成相同)

实验步骤: 同标准 PID 控制实验, 增加积分分离阈值 E_0 和输出阈值 P_0 的设置, (示波器的输入端 CH2 改连到 B2 单元输出端 OUT2)。

复式 PID 控制: 设置 $K_p=1$, $T_i=0.36$, $T_d=0.055$, 设置积分分离控制阈值 $E_0=2$, 输出控制阈值 $P_0=2V$ 。

实验结果表明, 即有非线性 PID 控制, 而且超调量下降了, $M_p=6.24\%$ 。峰值时间 t_p 为 1.22 秒, 系统的响应速度, 比控制参数按工程整定法的响应曲线加快了, 系统控制性能得到改善。

注: 当设置输出阈值 $P_0=5V$ 时, 没有输出阈值控制; 当设置积分分离控制阈值 $E_0=5V$ 时, 没有积分分离控制。

C) 点击**停止**, 观察实验结果时

三. 实验报告要求

按 4.5.1 标准 PID 控制算法中的实验报告要求所列出的‘构建实验被控对象用户’表, 构建实验被控对象用户, 改变输出阈值 P_0 , 积分分离控制阈值 E_0 , 观察实验结果。

3.6 最少拍控制系统

3.6.1 最少拍有纹波系统

一. 实验目的

1. 了解和掌握数字控制器的原理和直接设计方法。
2. 了解和掌握用 Z 传递函数建立后向差分方程的方法。
3. 完成对最少拍控制系统的设计及控制参数 K_i 、 P_i 的计算。
4. 观察和分析最少拍控制系统的输出波形是否符合设计要求。

二. 实验内容及步骤

最少拍随动系统的设计任务就是设计一个数字调节器, 使系统到达稳定所需要的采样周期最少, 而且在采样点的输出值能准确地跟踪输入信号, 不存在静差。对任何两个采样周期中间的过程则不做要求, 习惯上把一个采样周期称为一拍。最少拍随动系统, 也称为最少调整时间系统或最快响应系统。

据上所述, 欲设计出高质量的数字控制器, 必须先规定系统的闭环脉冲传递函数, 而对于不同性质

的输入信号，最少拍随动系统的闭环脉冲传递函数应符合下列各式：

当系统为单位阶跃输入时： $\phi(z) = Z^{-1}$

(1) 确立被控对象模型结构

搭建如图 4-6-2 系统，其被控对象由一个积分环节（A6 单元）和一个惯性环节（A5 单元）组成，积分环节（A6 单元）的积分时间常数 $T_i=R_2 \cdot C_2=1S$ ，惯性环节（A5 单元）的惯性时间常数 $T=R_1 \cdot C_1=1S$ ，增益 $K_o=R_1/R_3=5$ 。

传递函数： $G_0(s) = \frac{5}{S(S+1)}$

(2) 确定采样周期

本实验箱要求采样周期 T 等于或略小于惯性环节的时间常数。
本实验取采样周期 $T=1$ 秒。

(3) 求取广义对象的脉冲传递函数

$G(z)$ 为包括零阶保持器在内的广义对象的脉冲传递函数：

$$G_0(z) = 5(1-z^{-1}) \left[\frac{Tz^{-1}}{(1-z^{-1})^2} - \frac{(1-e^{-T})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-e^{-T}z^{-1})} \right] = \frac{5Tz^{-1}}{1-z^{-1}} - \frac{5(1-e^{-T})z^{-1}}{1-e^{-T}z^{-1}}$$

令采样周期 $T=1$ 秒

$$G_0(z) = \frac{5z^{-1}}{1-z^{-1}} - \frac{5(1-e^{-1})z^{-1}}{1-e^{-1}z^{-1}} = \frac{1.839z^{-1}(1+0.718z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}$$

注：在计算广义对象的脉冲传递函数时，必须保证小数点后四位有效数，否则将影响控制精度。

(4) 求取数字调节器 $D(Z)$ 的脉冲传递函数

当系统为单位阶跃输入时，系统的闭环脉冲传递函数： $\phi(z) = z^{-1}$

数字控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ ：

$$D(z) = \frac{\phi(z)}{G_0(z)[1-\phi(z)]} = \frac{z^{-1}(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}{1.839z^{-1}(1+0.718z^{-1})(1-z^{-1})} = \frac{0.544-0.2z^{-1}}{1+0.718z^{-1}}$$

(5) 数字调节器的脉冲传递函数标准解析式

设计算机输入为 $E(z)$ ，输出为 $U(z)$ ，列出数字控制器的脉冲传递函数标准解析式：

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{K_0 + K_1Z^{-1} + K_2Z^{-2} + K_3Z^{-3}}{1 + P_1Z^{-1} + P_2Z^{-2} + P_3Z^{-3}}$$

(6) 建立后向差分方程

$$U_K = K_0 E_K + K_1 E_{K-1} + K_2 E_{K-2} + K_3 E_{K-3} - P_1 U_{K-1} - P_2 U_{K-2} - P_3 U_{K-3}$$

式中 $E_K \sim E_{K-3}$ 为误差输入； $U_{K-1} \sim U_{K-3}$ 为计算机输出。（ K_i 与 P_i 取值范围： $-0.99 \sim +0.99$ ）。

$$K_0 = 0.54 \quad K_1 = -0.2 \quad K_2 = K_3 = 0 \quad P_1 = 0.72 \quad P_2 = P_3 = 0$$

最少拍有纹波系统构成如图 4-6-2 所示。被控对象由一个积分环节和一个惯性环节组成

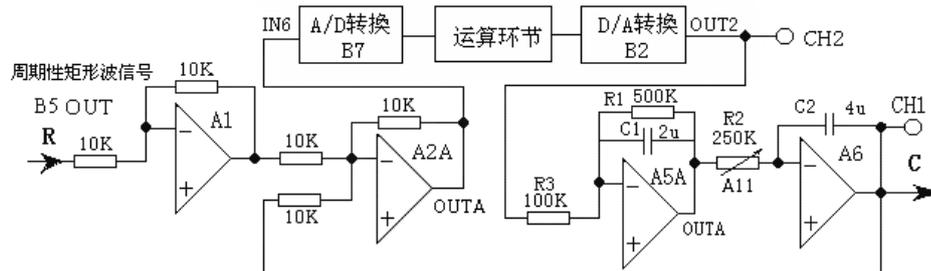


图 4-6-2 最少拍有纹波系统构成

实验步骤：注：将‘SST’用‘短路套’短接！

(1) 将函数发生器 (B5) 单元的矩形波输出作为系统输入 R。(连续的正输出宽度足够大的阶跃信号)

- ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 通过波形选择按键选中‘矩形波’(矩形波指示灯亮)。
- ② B5 的量程选择开关 S2 置下档, 调节“设定电位器 1”, 使之矩形波宽度=10 秒 (D1 单元左显示)。
- ③ 调节 B5 单元的“矩形波调幅”电位器使矩形波输出电压= 2.5V (D1 单元右显示)。

(2) 构造模拟电路: 按图 4-6-2 安置短路套及测孔连线, 表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A1	S2, S6
2	A2	S1, S6
3	A5	S3, S7, S10, S11
4	A6	S9, S10, S11, S12
5	B5	‘S-ST’

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A1 (H1)
2	运放级联	A1 (OUT) → A2 (H1)
3	送调节器输入	A2A (OUTA) → B7 (IN6)
4	调节器输出	B2 (OUT2) → A5 (H1)
5	负反馈	A6 (OUT) → A2 (H2)
6	跨接元件 (250K)	元件库 A11 中可变电阻跨接到 A5A(OUTA)和 A6 (IN)之间
7	示波器联接	A6 (OUT) → B3 (CH1)
8	×1 档	B2 (OUT2) → B3 (CH2)

(3) 运行、观察、记录

① 复核输入信号: 先运行 **LABACT** 程序, 选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**”(Alt+W) 项, 弹出双迹示波器的界面, 点击**开始**, 用虚拟示波器观察系统输入信号。

② 运行 **LABACT** 程序, 选择**微机控制**菜单下的**最少拍控制系统--有纹波**实验项目, 会弹出虚拟示波器的界面, 点击**开始**后将自动加载相应源文件, 运行实验程序。

③ 该实验的显示界面“计算公式”栏的 K_i 、 P_i 与采样周期 T (界面右上角) 均可由用户点击“**停止**”键后, 在界面上直接修改, 以期获得理想的实验结果, 改变这些参数后, 只要再次点击“**开始**”键, 即可使实验机按照新的控制参数运行。

④ 该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=1S$, “计算公式”栏的 K_i 与 P_i

$$\text{已设定: } K_0=0.54 \quad K_1=-0.2 \quad K_2=K_3=0 \quad P_1=0.72 \quad P_2=P_3=0$$

观察实验结果。

三. 实验报告要求

改变: 积分环节的时间常数 $T_i=R_2 \cdot C_2=0.5S$, 惯性环节的时间常数 $T=R_1 \cdot C_1=0.5S$, 增益 $K=R_1/R_3=5$, 采样周期 $T=0.4$ 秒。观察实验结果。

3.6.2 最少拍无纹波设计

一. 实验目的:

1. 了解和掌握最少拍控制系统纹波消除的方法。
2. 观察和分析最少拍控制系统的输出波形是否符合设计要求。

二. 实验内容及步骤

本实验用于观察和分析输入为阶跃信号时被测系统的最少拍无波纹控制特性。

最少拍随动系统对输入信号的适应能力较差, 输出响应只保证采样点上的误差为 0, 不能确保采样点之间的误差也为 0。也就是说, 在采样点之间有纹波存在。输出纹波不仅造成误差, 而且还消耗执行机构的驱动功率, 增加机械磨损。最少拍无波纹设计, 除了消除采样点之间的波纹外, 还在一定程度上减小了控制能量, 降低了对参数的敏感。

设计最少拍无波纹控制数字调节器步骤如下:

(1) 在第 4.6.1 节基础上, 考虑最少拍无波纹设计要求: 使 $\varphi(Z)$ 包括 $G(Z)$ 的全部零点, 求出闭环误差脉冲传递函数 $G_e(z)$ 。

(2) 再按最少拍无波纹设计要求, 求出数字控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ 。

(3) 求出后向差分方程的各项系数 K_i 与 P_i 。

最少拍无纹波系统构成如图 4-6-1 所示。(与最少拍有纹波控制实验构成相同)

各项控制参数: $K_0=0.316$ $K_1=-0.116$ $K_2=K_3=0$ $P_1=0.418$ $P_2=P_3=0$

实验步骤: 同〈最少拍控制系统---有纹波〉实验。

三. 实验报告要求

改变: 积分环节的时间常数 $T_i=R_2*C_2=0.5S$, 惯性环节的时间常数 $T=R_1*C_1=0.5S$, 增益 $K=R_1/R_3=5$, 采样周期 $T=0.4$ 秒。观察实验结果。

3.7 大林算法

3.7.1 大林算法 (L=2)

一. 实验目的

1. 了解和掌握数字控制器的原理和直接设计方法。
2. 了解和掌握用 Z 传递函数建立后向差分方程的方法。
3. 完成对大林算法控制系统的设计及控制参数 K_i 、 P_i 的计算。
4. 理解和掌握大林算法中有关振铃产生的原因及消除的方法。
5. 观察和分析大林算法控制系统的输出波形是否符合设计要求。

二. 实验内容及步骤

本实验用于观察和分析输入为阶跃信号时被测系统的大林算法控制特性。

大林算法的设计目标是设计一个数字调节器, 使整个闭环系统所期望的传递函数相当于一个延迟环节和一个惯性环节的串联, 并期望整个闭环系统的纯滞后时间和被控对象的滞后时间相同, 并且, 纯滞后时间与采样周期是整数倍关系。

振铃现象是指数字控制器的输出以接近 1/2 采样频率的频率大幅度衰减振荡。

(1) 确立被控对象模型结构

本实验采用二个惯性环节串接组成实验被控对象, T_1 、 T_2 分别为二个惯性环节的时间常数。

设 $T_1=0.2S$, $T_2=0.5S$, $K_0=5$, 其传递函数为:
$$G_0(s) = \frac{1}{0.5S+1} \times \frac{5}{0.2S+1}$$

(2) 被控对象参数的确认

这种被控对象在工程中普遍采用阶跃输入实验辨识的方法确认 T_0 和 τ 。

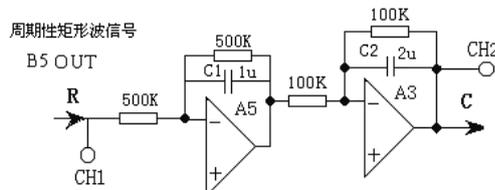


图 4-7-1 被控对象参数的确认构成

实验步骤: 注: 将 ‘SST’ 用 ‘短路套’ 短接!

- ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 通过波形选择按键选中 ‘矩形波’ (矩形波指示灯亮)。
- ② B5 的量程选择开关 S2 置下档, 调节 “设定电位器 1”, 使之矩形波宽度 > 2 秒 (D1 单元左显示)。
- ③ 调节 B5 单元的 “矩形波调幅” 电位器使矩形波输出电压 = 2.5V 左右 (D1 单元右显示)。
- ④ 构造模拟电路: 按图 4-7-1 安置短路套及测孔联线, 表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A3	S3, S8, S9, 10,
2	A5	S4, S7, S10
3	B5	'S-ST'

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A5 (H1)
2	运放级联	A5A (OUTA) → A3 (H1)
3	示波器联接	B5 (OUT) → B3 (CH1)
4	×1 档	A3 (OUT) → B3 (CH2)

⑤ 运

行、观察、记录:

A)先运行 **LABACT** 程序,选择界面的“工具”菜单选中“**双迹示波器**”(Alt+W)项,弹出双迹示波器的界面,点击**开始**,用虚拟示波器观察系统输入信号。

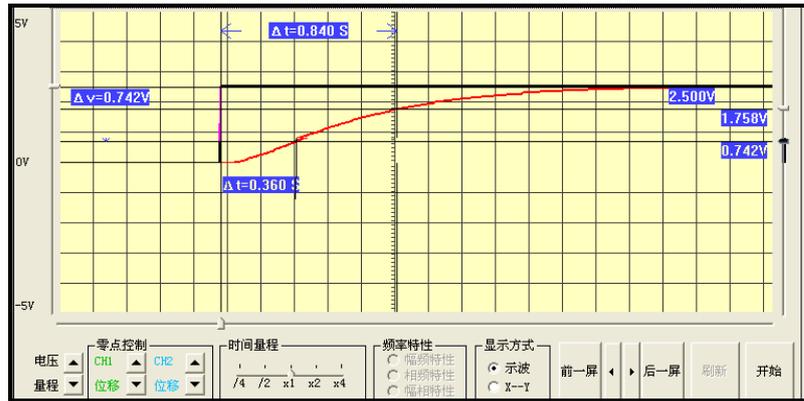


图 4-7-2 被控对象响应曲线

在图 4-7-2 被控对象响应曲线上测得 t_1 和 t_2 。按 $Y_0(\infty)=2.5V$:

取 $Y_0(t_1) = 0.3 \times 2.5 = 0.75V$, 从图中可测得 $t_1 = 0.36S$;

取 $Y_0(t_2) = 0.7 \times 2.5 = 1.75V$, 从图中可测得 $t_2 = 0.84S$ 。

$$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{\ln[1 - y_0(t_1)] - \ln[1 - y_0(t_2)]} = \frac{t_2 - t_1}{0.8473}$$

$$\tau = \frac{t_2 \ln[1 - y_0(t_1)] - t_1 \ln[1 - y_0(t_2)]}{\ln[1 - y_0(t_1)] - \ln[1 - y_0(t_2)]} = \frac{1.204t_1 - 0.3567t_2}{0.8473}$$

据上式确认 T_0 和 τ : $T_0=0.567$, $\tau = 0.158$ 。

(3) 确定采样周期

τ 为用阶跃输入实验辨识后的被控对象纯滞后时间,为了简化计算,设其 τ 为采样周期 T 的整数倍,即 $\tau = L T$ 。由于 $\tau = 0.158$, 设 $L=2$, 则取采样周期 $T \approx 0.08$ 秒。

(4) 求取广义对象的脉冲传递函数

$T_1=0.2S$, $T_2=0.5S$, $K_0=5$, 采样周期 $T=0.08$ 秒, 求得广义对象的脉冲传递函数:

$$G_0(z) = 1.6667 \times \frac{0.0799Z^{-1} + 0.0663Z^{-2}}{1 - 1.5224Z^{-1} + 0.5712Z^{-2}}$$

注:在计算脉冲传递函数时,必须保证小数点后四位有效数,否则将影响控制精度,下同。

(5) 求取闭环系统的脉冲传递函数

设 $T_m=0.4$, $L=2$, 采样周期 $T=0.08$ 秒, 求得闭环系统的脉冲传递函数:

$$\phi(z) = \frac{0.18127 z^{-3}}{1 - 0.81873 z^{-1}}$$

(6) 求取数字调节器 $D(Z)$ 的脉冲传递函数

数字调节器 $D(Z)$ 的脉冲传递函数:

$$D(z) = \frac{\phi(z)}{G_0(z)[1-\phi(z)]} = \frac{0.1813z^{-2} - 0.276z^{-3} + 0.1035z^{-4}}{0.1333 + 0.0015z^{-1} - 0.0905z^{-2} - 0.0243z^{-3} - 0.02z^{-4}}$$

$$= \frac{1.36z^{-2} - 2.07z^{-3} + 0.78z^{-4}}{1 + 0.01z^{-1} - 0.68z^{-2} - 0.18z^{-3} - 0.15z^{-4}}$$

(7) 数字调节器的脉冲传递函数标准解析式

设计算机输入为 $E(z)$, 输出为 $U(z)$, 列出数字控制器的脉冲传递函数标准解析式:

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{K_0 + K_1Z^{-1} + K_2Z^{-2} + K_3Z^{-3}}{1 + P_1Z^{-1} + P_2Z^{-2} + P_3Z^{-3}}$$

(8) 建立后向差分方程

$$U_K = K_0 E_K + K_1 E_{K-1} + K_2 E_{K-2} + K_3 E_{K-3} - P_1 U_{K-1} - P_2 U_{K-2} - P_3 U_{K-3}$$

式中 $E_K \sim E_{K-3}$ 为误差输入; $U_{K-1} \sim U_{K-3}$ 为计算机输出。(K_i 与 P_i 取值范围: $-2.55 \sim +2.55$)

后向差分方程的各项系数:

$$K_0 = 0, K_1 = 0, K_2 = 1.36, K_3 = -2.07, K_4 = 0.78$$

$$P_1 = 0.01, P_2 = -0.68, P_3 = -0.18, P_4 = -0.15$$

(9) 大林算法控制实验

大林算法闭环控制系统构成如图 4-7-2 所示。观察矩形波从 0V 阶跃到 +2.5V 时被测系统的控制特性。

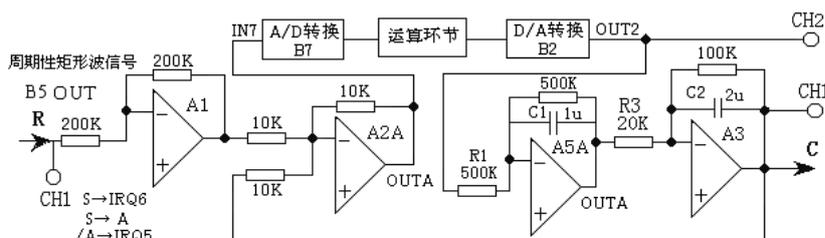


图 4-7-2 大林算法系统构成

实验步骤: 注: 将 ‘S ST’ 用 ‘短路套’ 短接!

- ① 在显示与功能选择 (D1) 单元中, 通过波形选择按键选中 ‘矩形波’ (矩形波指示灯亮)。
- ② B5 的量程选择开关 S2 置下档, 调节 “设定电位器 1”, 使之矩形波宽度 > 2 秒 (D1 单元左显示)。
- ③ 调节 B5 单元的 “矩形波调幅” 电位器使矩形波输出电压 = 2.5V 左右 (D1 单元右显示)。
- ④ 构造模拟电路: 按图 4-5-16 安置短路套及测孔连线, 表如下。

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A1	S4, S8
2	A2	S1, S6
3	A3	S2, S8, S9, S10,
4	A5	S5, S7, S10
5	B5	‘S-ST’

(b) 测孔连线

1	输入信号 R	B5 (OUT) → A1 (H1)
2	运放级联	A1 (OUT) → A2 (H1)
3	送调节器输入	A2A (OUTA) → B7 (IN7)
4	调节器输出	B2 (OUT2) → A5 (H1)
5	运放级联	A5A (OUTA) → A3 (H1)
6	负反馈	A3 (OUT) → A2 (H2)
7	中断	B5 (S) → B8 (IRQ6)
8	锁零	B5 (S) → B8 (A)
9		B8 (/A) → B8 (IRQ7)

运行、观察、记录

A、大林算法

① 运行 **LABACT** 程序, 选择 **微机控制** 菜单下的 **大林算法** 下的 **L=2** 选项, 会弹出虚拟示波器的界面, 点击 **开始** 后将自动加载相应源文件, 运行实验程序。

② 控制参数设定

该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=0.08S$,

“计算公式”栏设定控制参数：， $K_2=1.36$, $K_3=-2.07$, $K_4=0.78$
 $P_1=0.01$, $P_2=-0.68$, $P_3=-0.18$, $P_4=-0.15$

③ 观察被测系统输入/数字调节器 D(Z)的输出时域特性

从图中可了解到数字调节器 D(Z)对系统的输入滞后了 2 拍 (0.08 秒×2=0.16 秒)，及振铃幅度。

④ 观察被测系统输出/数字调节器 D(Z)/系统的输出时域特性

从图中可了解到校正后闭环系统的时间常数 $T_m=0.4$ 秒，无超调，符合设计要求。

B、振铃消除

(1). 找出数字调节器 D(Z)左半平面的极点：

$$D(z) = \frac{1.3601z^{-2} - 2.0705z^{-3} + 0.7764z^{-4}}{(1-z^{-1})(1+0.8287z^{-1})[1+(0.913-j0.4156)z^{-1}][1+(0.913+j0.4156)z^{-1}]}$$

令左半平面的极点的 Z=1，使之消除振铃现象，可得下式：

$$(1+0.8287z^{-1})[1+(0.913-j0.4156)z^{-1}][1+(0.913+j0.4156)z^{-1}] = 2.494$$

$$D(z) = \frac{0.55z^{-2} - 0.83z^{-3} + 0.31z^{-4}}{1-z^{-1}}$$

可列出后向差分方程的各项系数：， $K_2=0.54$, $K_3=-0.83$, $K_4=0.31$
 $P_1=1$, $P_2=0$, $P_3=0$, $P_4=0$

(2). 大林算法闭环控制系统实验构成如图 4-7-2 所示，构造模拟电路同上。

(3). 运行、观察、记录：

同上运行实验程序。

控制参数设定：该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=0.08S$ ，

“计算公式”栏设定控制参数：， $K_2=0.54$, $K_3=-0.83$, $K_4=0.31$
 $P_1=1$, $P_2=0$, $P_3=0$, $P_4=0$

① 观察被测系统输入/数字调节器 D(Z)的输出时域特性

从图中可了解到数字调节器 D(Z)对系统的输入滞后了 2 拍 (0.08 秒×2=0.16 秒)，及振铃幅度大大减小。

② 观察被测系统输出/数字调节器 D(Z)/系统的输出时域特性

从图中可了解到校正后闭环系统的时间常数 $T_m=0.44$ 秒，略有增加，並略有超调。

3.7.2 大林算法 (L=1)

一. 实验目的 同第 4.7.1 节 大林算法 (L=2)。

二. 实验原理及说明 同第 4.7.1 节 大林算法 (L=2)。

三. 实验内容及步骤

用 LabACT 实验箱实验被控过程

(1) 确立被控对象模型结构 同第 4.7.1 节 大林算法 (L=2)。

(2) 被控对象参数的确认 同第 4.7.1 节 大林算法 (L=2)。

(3) 确定采样周期

τ 为用阶跃输入实验辨识后的被控对象纯滞后时间，为了简化计算，设其 τ 为采样周期 T 的整数倍，即 $\tau = LT$ 。由于 $\tau = 0.158$ ，设 $L=1$ ，则取采样周期 $T \approx 0.16$

(4) 建立后向差分方程

按“用 MATLAB 仿真被控过程”中求得的式 (4-7-27) 数字调节器 $D(Z)$ 的脉冲传递函数，可列出后向差分方程：

$$U_D(k) = 0.74E_{k-1} + (-0.87)E_{k-2} + 0.24E_{k-3} - 0.02U_{k-1} - (-0.79)U_{k-2} - (-0.23)U_{k-3} \quad (4-7-29)$$

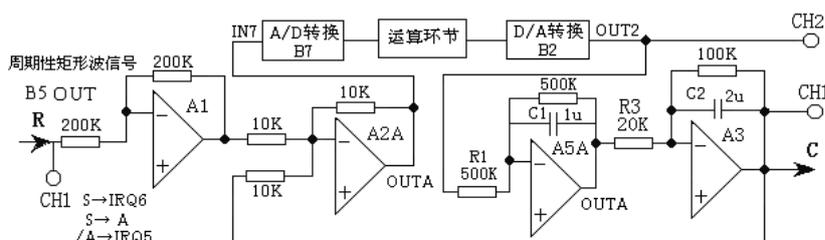
式中 E_k 为误差输入， U_k 为数字调节器 $D(Z)$ 输出。

因为本实验规定 $L=1$ ， K_0 项必为 0，因此在界面上省略了该项。（ P_4 项填 0）

据式 (4-7-29) 可得 K_i 与 P_i 值如下：（ K_i 与 P_i 取值范围：-2.5~+2.5）

$$K_0 = 0, \quad K_1 = 0.74, \quad K_2 = -0.87, \quad K_3 = 0.24 \quad P_1 = 0.02, \quad P_2 = -0.79, \quad P_3 = -0.23, \quad P_4 = 0$$

(5) 大林算法控制实验 构造模拟电路同第 4.7.1 节 大林算法 ($L=2$)。



大林算法闭环控制系统构成

实验步骤：（同第 4.7.1 节 大林算法 ($L=2$)）

运行、观察、记录

A、大林算法

① 运行 **LABACT** 程序，选择**微机控制**菜单下的**大林算法**下的 **L=1** 选项，会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件，运行实验程序。

② 控制参数设定

该实验的显示界面中设定采样周期 $T=0.16S$ ，

“计算公式”栏设定控制参数： $K_1 = 0.74, K_2 = -0.87, K_3 = 0.24$
 $P_1 = 0.02, P_2 = -0.79, P_3 = -0.23,$

③ 观察被测系统输入/数字调节器 $D(Z)$ 的输出时域特性

从图中可了解到数字调节器 $D(Z)$ 对系统的输入滞后了 1 拍 (0.16 秒)，及振铃幅度。

④ 观察被测系统输出/数字调节器 $D(Z)$ 系统的输出时域特性

虚拟示波器（示波选项）的 CH1 联接到被测系统的输出端 C (A3-OUT)，CH2 联接到数字调节器 $D(Z)$ 即数模转换器 (B2) 单元的 OUT2 端。

从图中可了解到校正后闭环系统的时间常数 $T_m=0.43$ 秒，无超调，基本符合设计要求。

B、振铃消除 构造模拟电路同第 4.7.1 节 大林算法 ($L=2$)。

运行 **LABACT** 程序，选择**微机控制**菜单下的**大林算法**下的 **L=1** 选项，会弹出虚拟示波器的界面，点击**开始**后将自动加载相应源文件，运行实验程序。

控制参数设定：该实验的显示界面中已设定采样周期 $T=0.16S$ ，

需在界面上设置“计算公式”栏设定控制参数： $K_2 = 0.33, K_3 = -0.39, K_4 = 0.11$
 $P_1 = -1, P_2 = 0, P_3 = 0, P_4 = 0,$

① 观察被测系统输入/数字调节器 $D(Z)$ 的输出时域特性

虚拟示波器（示波选项）的 CH1 联接到被测系统的输入端 R (A1-H1)，CH2 联接到数模转换器 (B2) 单元的 OUT2 端。

从图 4-7-27 可了解到数字调节器 $D(Z)$ 对系统的输入滞后了 1 拍 (0.16 秒)，及振铃幅度大大减小。

② 观察被测系统输出/数字调节器 $D(Z)$ 系统的输出时域特性

虚拟示波器（示波选项）的 CH1 联接到被测系统的输出端 C (A3-OUT)，CH2 联接到数字调节器 $D(Z)$ 即数模转换器 (B2) 单元的 OUT2 端。

从图中可了解到校正后闭环系统的时间常数 $T_m=0.52$ 秒，略有增加，並略有超调
