



长安大学

# 计算机控制技术实验



电子与控制工程学院

# 主要内容

- 实验一 数/模转换实验
- 实验二 模/数转换实验
- 实验三 采样与保持
- 实验四 微分与数字滤波实验
- 实验五 数字**PID**控制实验
- 实验六 最少拍控制系统
- 实验七 大林算法

# 实验一 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1-1所示。

# 实验一 数/模转换实验



图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）

# 实验一 数/模转换实验

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)。
------	---

# 实验二 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2-1所示。

## 实验二 模/数转换实验

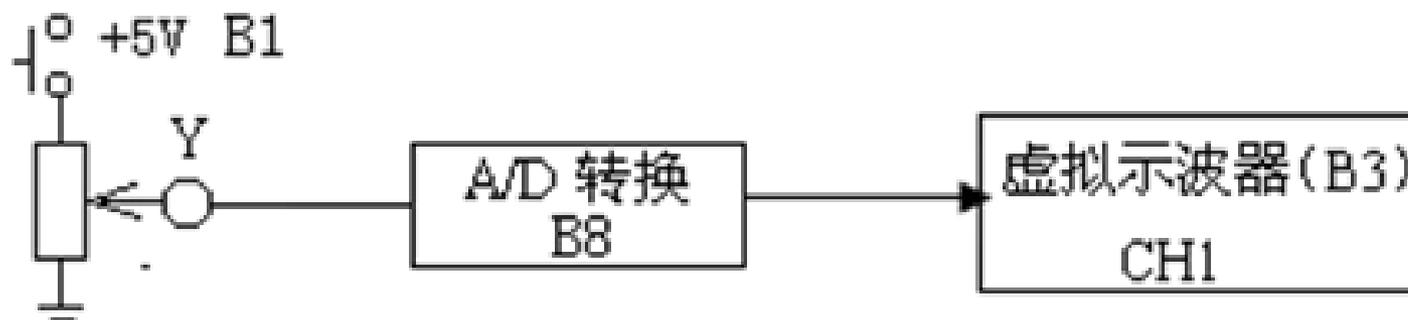


图2-1 模/数转换实验框图

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。

# 实验二 模/数转换实验

## 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:

## 实验二 模/数转换实验

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。

## 实验二 模/数转换实验

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**。

# 实验三 采样与保持

## ● 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。

# 实验三 采样与保持

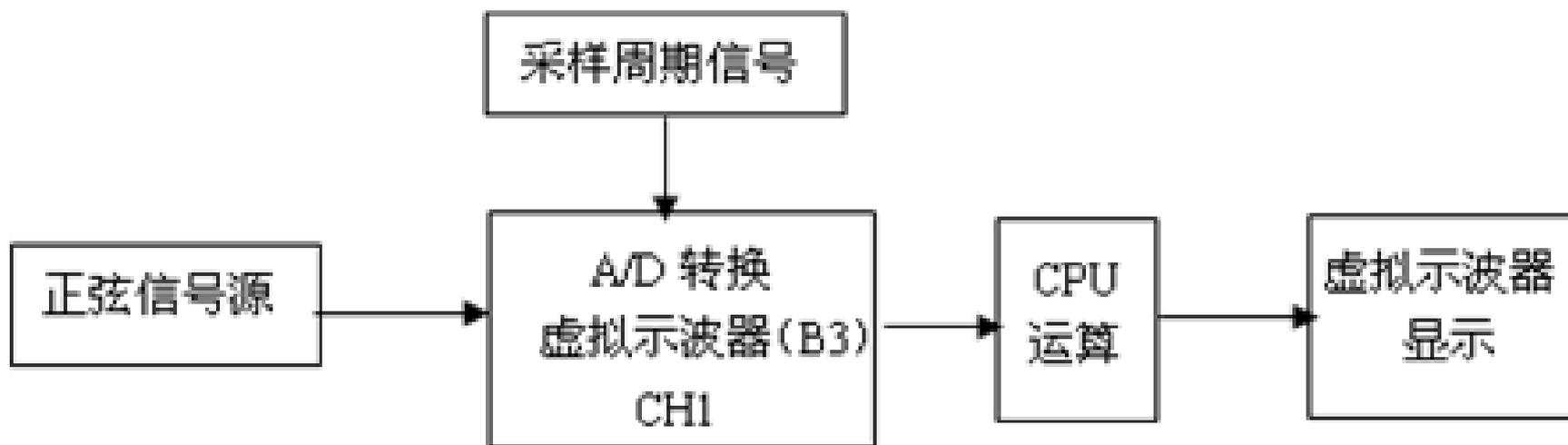


图3-1 采样实验框图

# 实验三 采样与保持

## 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)。

# 实验三 采样与保持

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）。

(2) 构造模拟电路：按图3-1安置短路套及测孔连线，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）

# 实验三 采样与保持

(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（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。

# 实验三 采样与保持

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
-----------	----	----	----	----	----	---

# 实验三 采样与保持

## ● 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。

# 实验三 采样与保持

## 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3-2所示。

1. 计算图3-2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。

# 实验三 采样与保持

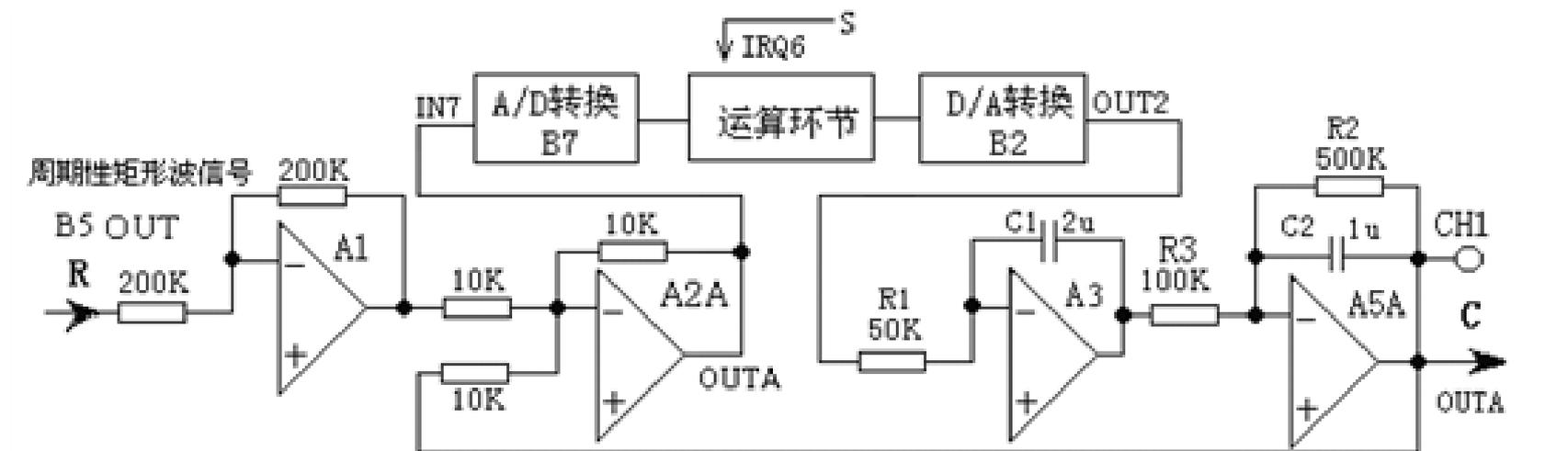


图3-2 闭环采样/保持控制系统实验构成电路

# 实验三 采样与保持

实验步骤：注：‘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”，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)。

# 实验三 采样与保持

(2) 构造模拟电路：按图3-2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	A1	S4, S8
2	A2	S1, S6
3	A3	S3, S10, S11
4	A5	S3, S7, S10
5	B5	'S-ST'

(b) 测孔联线

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) → A3 (H1)
5	运放级联	A3 (OUT) → A5 (H1)
6	负反馈	A5A (OUTA) → A2 (H2)
7	'中断请求' 线	B5 (S) → B8 (IRQ6)
8	示波器联接 ×1 档	A5A (OUTA) → B3 (CH1)
9		B5 (OUT) → B3 (CH2)

# 实验三 采样与保持

(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。

## 实验三 采样与保持

- 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 $10\text{ms}$ 、 $30\text{ms}$ 和 $50\text{ms}$ ，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。

# 实验三 采样与保持

## 三. 实验报告要求:

按下表改变图3-2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 $\geq 6$ 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		

# 实验四 微分与数字滤波实验

## ● 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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 二. 实验内容及步骤

微分与微分平滑系统构成如图4-1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4-1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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

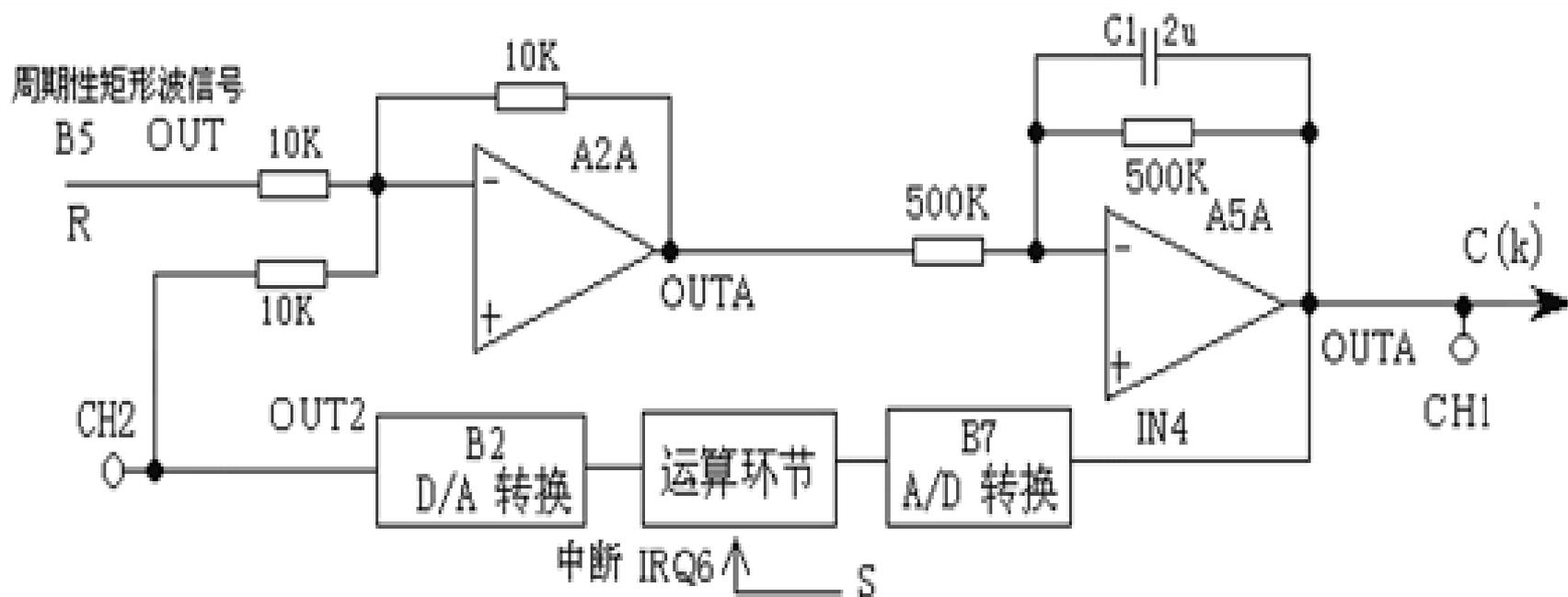


图4-1 微分与平滑实验构成

# 实验四 微分与数字滤波实验

实验步骤：注：‘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”，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)。

# 实验四 微分与数字滤波实验

(2) 构造模拟电路：按图4-1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	A2	S1, S6
2	A5	S5, S7, S10, S11
3	B5	'S-ST'

(b) 测孔联线

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)

# 实验四 微分与数字滤波实验

(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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

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采样周期 $T=80\text{mS}$ ，“计算公式”栏：微分系数 $T_d=0.75\text{S}$ 。

## 实验报告要求：

1. 图4-1中被控对象的惯性时间常数为 $T_0=1\text{S}$ ，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，填入下面实验报告

# 实验四 微分与数字滤波实验

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			
0.75S	0.92S	1.4S	14%
0.96S			

2. 图4-1中被控对象的惯性时间常数改为  $T_0=0.2S$ ，采样周期  $T=15ms$ ，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 $M_p$
0.11S			
0.13S			
0.15S	0.2S	0.34S	12.5
0.19S			

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

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 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=80mS**，“计算公式”栏：微分系数**Td=0.75S**。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 实验报告要求：

1. 图4-1中被控对象的惯性时间常数为 $T_0=1S$ ，采样周期 $T=80ms$ ，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 $t_p$	调节时间 $t_s$	超调量 $M_p$
0.6S	7.5			
0.7S	8.8			
0.75S	9.4	1.26	1.77S	21.6%
0.96S	12			

# 实验四 微分与数字滤波实验

2. 图4-1中被控对象的惯性时间常数改为  $T_0=0.2S$ ，采样周期  $T=15ms$ ，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 $t_p$	调节时间 $t_s$	超调量 $M_p$
0.11S	7.3			
0.13S	0.86			
0.15S	10	0.225S	0.43S	18.8
0.21S	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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## ● 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

# 实验四 微分与数字滤波实验

用信号的真实性和完整性。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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

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 $1/TS+1$ 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， $K_0 = T/T$ （ $T$ =采样周期）。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 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。

$$U_k = K_0 E_k + K_1 E_{k-1} + K_2 E_{k-2} + K_3 E_{k-3}$$
 (式中), 其中  
 $E_k$ : 输入,  $U_k$ : 输出。

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

# 实验四 微分与数字滤波实验

数字滤波实验构成如图4-2所示。干扰源采用RC电路将B5单元的输出生尖脉冲，如图4-3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。

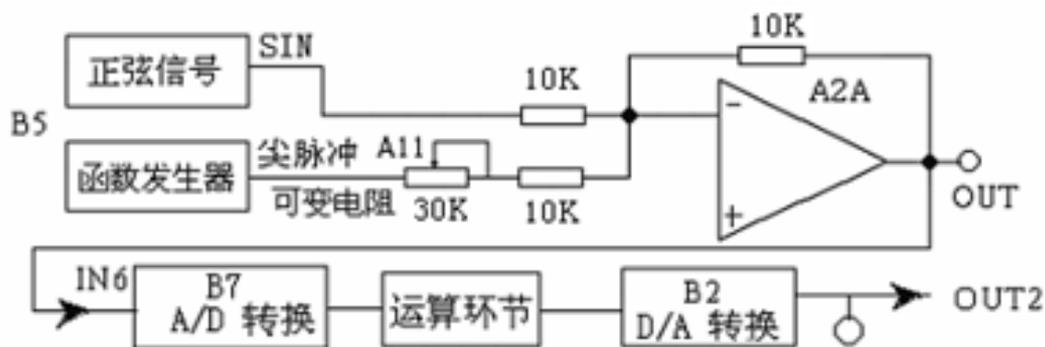


图4-2 数字滤波构成

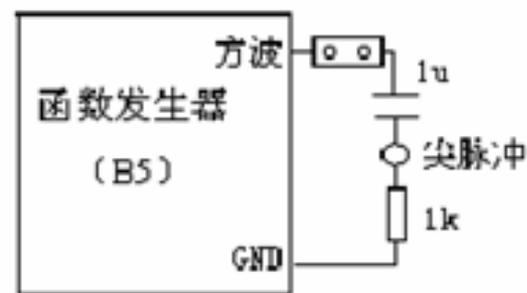


图4-3 干扰信号构成

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 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-a。。

# 实验四 微分与数字滤波实验

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-b。

(2) 构造模拟电路：按图4-2及图4-3安置短路套及测孔联线，表如下。

# 实验四 微分与数字滤波实验

(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 (30K)	元件库 A11 中直读式可变电阻跨接到 B5 (尖脉冲) 和 A2 (H2) 之间

## 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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

尖脉冲波形见图4-4-a，正弦波波形见图4-4-b。②用示波器分别观察滤波前A2A (OUTA) 输出 (见图4-4-c) 和滤波后B2 (OUT2) 的输出 (见图4-4-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Ki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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

## 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。

# 实验四 微分与数字滤波实验

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Ki

已设定  $K0=0.1$ ，  $K1=0.2$ ，  $K2=0.2$ ，  $K3=0.5$   
 $K0+K1+K2+K3=1$

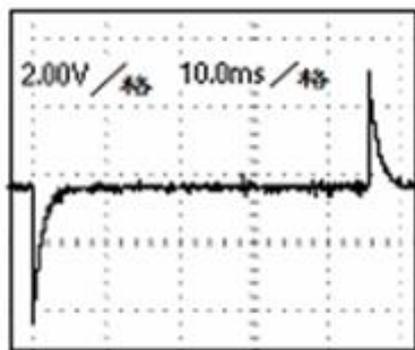


图 4-4 -a

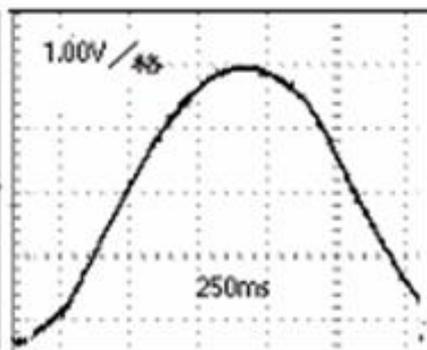


图 4-4-b

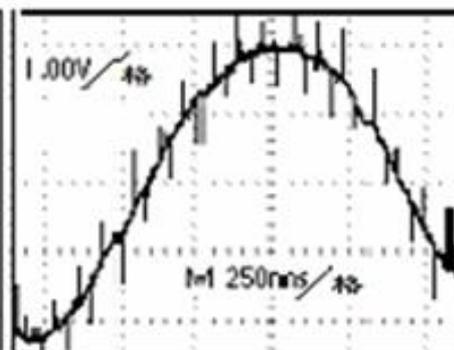


图4-4-c

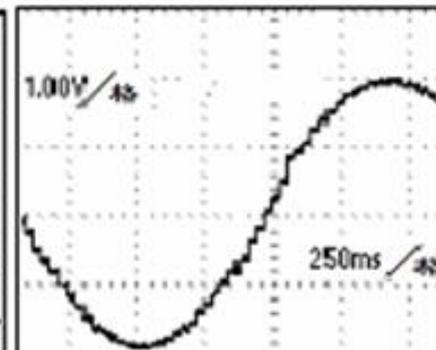


图 4-4-d

图4-4 数字滤波实验各点的波形（用TEKTRONX示波器观察的结果）

# 实验五 数字PID控制实验

## ● 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。

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。

# 实验五 数字PID控制实验

## 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， $T_1=0.2S$ ， $T_2=0.5S$   $K_0=2$ 。

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

### (2) 被控对象参数的确认

被控对象参数的确认构成如图5-1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，

# 实验五 数字PID控制实验

观察矩形波从0V阶跃到+2.5V时被控对象的响应曲线。

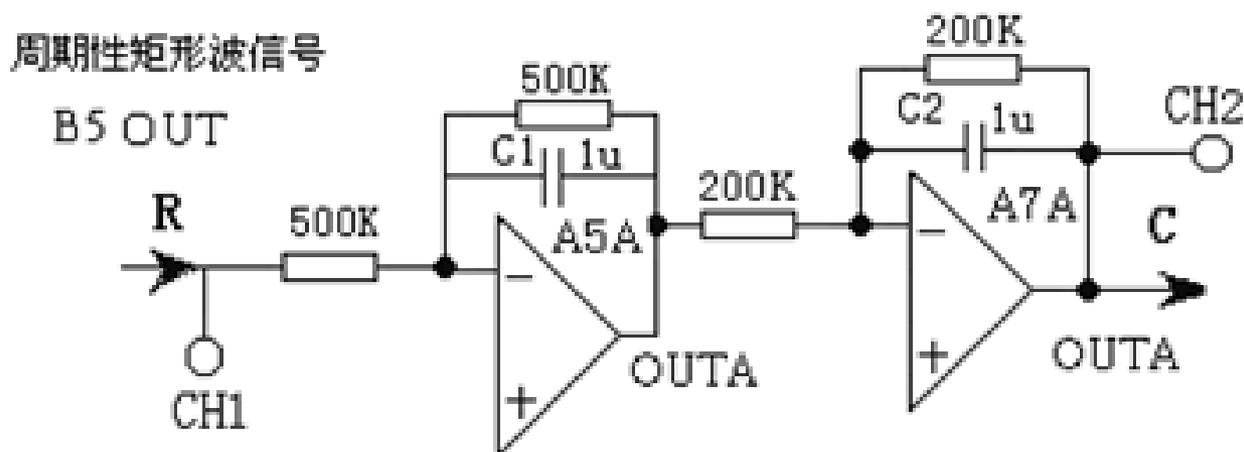


图5-1 被控对象参数的确认构成

# 实验五 数字PID控制实验

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5-1安置短路套及测孔联线，表如下。

# 实验五 数字PID控制实验

(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) 测孔连线

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 ×1 档	B5 (OUT) → B3 (CH1)
4		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。

# 实验五 数字PID控制实验

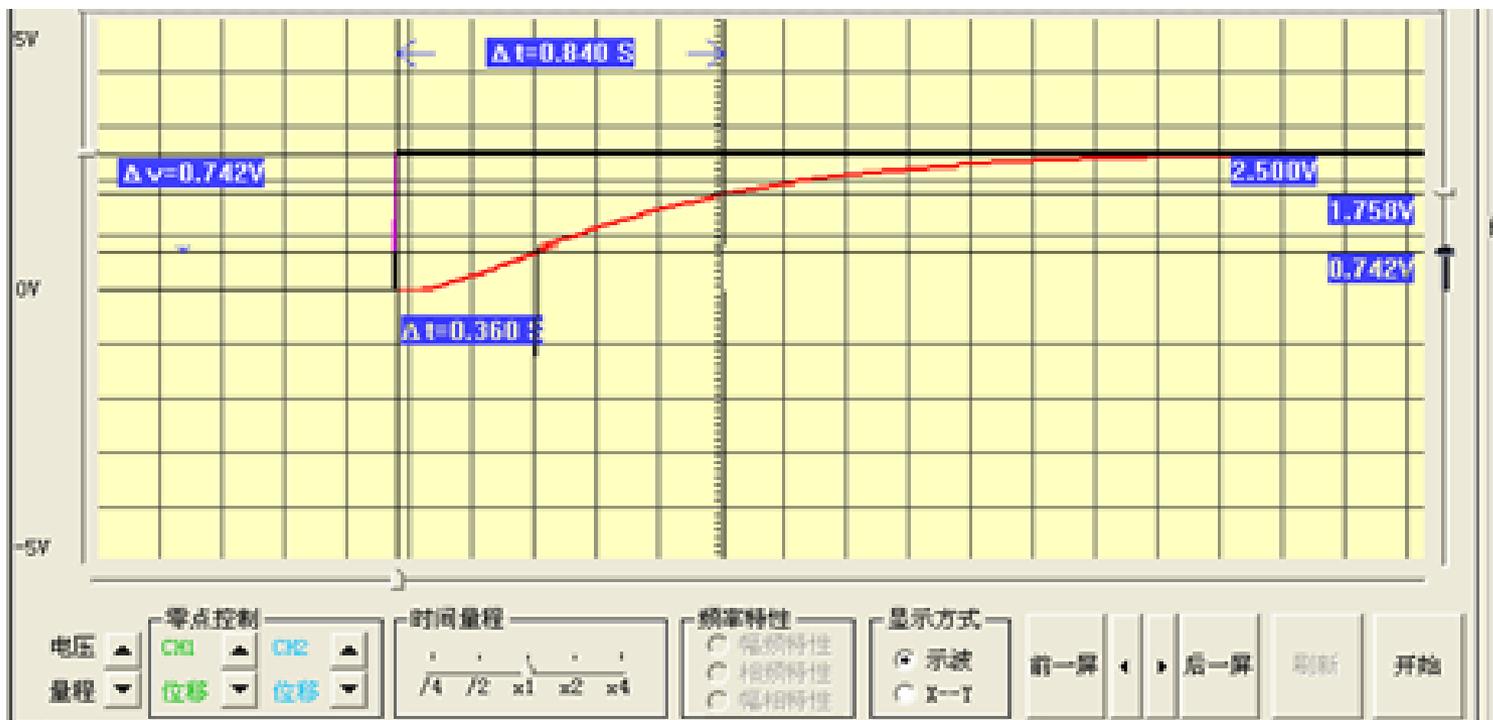


图5-2 被控对象响应曲线

# 实验五 数字PID控制实验

B) 在图5-2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  $\tau$ 。  $T_0 = 0.567 S$ ,  $\tau = 0.158 S$

# 实验五 数字PID控制实验

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  $K_P$ 、 $T_I$ 、 $T_D$

$$K_p=1.28, \quad T_i=0.36, \quad T_d=0.055$$

# 实验五 数字PID控制实验

## (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5-3，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

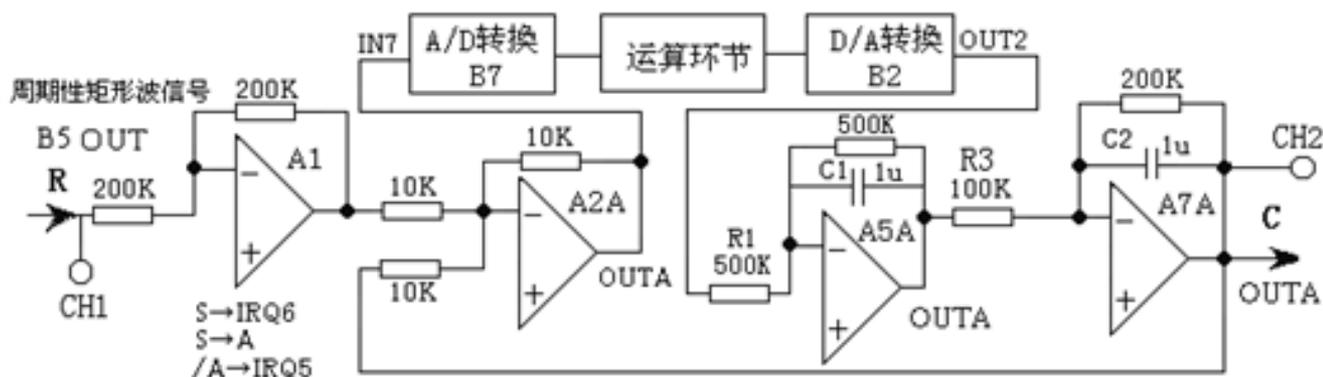


图5-3 数字PID闭环控制系统实验构成

# 实验五 数字PID控制实验

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 $\geq 2$ 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5-3安置短路套及测孔联线，表如下。

# 实验五 数字PID控制实验

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) 测孔联线

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 微机控制 菜单下的 数字PID控制实验 下的 标准PID控制 选项，会弹

# 实验五 数字PID控制实验

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 $T=0.015$ 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 $K_p=2.4$ ）；又为了使系统的超调不致于过大，牺牲一点稳态控制精度，增加积分时间常数 $T_i=0.5$ ，微分时间常数 $T_d$ 不变，观察实验结果。

# 实验五 数字PID控制实验

## 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  $K_p \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j)$  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， $T_i$ 被设定为0.001S时，离散化的PID位置控制算式表达式中  $K_p \frac{T_d}{T} [E(k) - E(k-1)]$ ，该实验即变为PI控制算法。

# 实验五 数字PID控制实验

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 $T$ ，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。

# 实验五 数字PID控制实验

- (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。

# 实验五 数字PID控制实验

按下表所示构建实验被控对象：

$G_0(s) = \frac{1}{T_1S+1} \times \frac{K_0}{T_2S+1}$	T	To	$\tau$	Kp	Ti	Td	Mp	tp
1 $\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.5S+1}$	0.1							
2 $\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.2S+1}$	0.1							
3 $\frac{1}{S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.1							
4 $\frac{1}{0.5S+1} \times \frac{2}{0.5S+1}$	0.05							
5 $\frac{1}{0.5S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.05							
6 $\frac{1}{0.2S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.02							
7 $\frac{1}{0.1S+1} \times \frac{2}{0.1S+1}$	0.01							

# 实验五 数字PID控制实验

## ● 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。

# 实验五 数字PID控制实验

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  $|E(k)|$  大时，即  $|E(k)| > E_0$  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  $E_0$  小，即  $|E(k)| \leq E_0$  PID控制，算法可表示为：

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

$$K_i = K_p \frac{T}{T_i}$$

# 实验五 数字PID控制实验

积分分离阈值 $E_o$ ，其数值范围为0~4.9V。

积分分离PID控制算法系统构成如图5-3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 $E_o=5V$ 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 $E_o=2V$ 。

# 实验五 数字PID控制实验

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。

# 实验五 数字PID控制实验

## ● 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：

# 实验五 数字PID控制实验

$$P(k) = \begin{cases} P_0, & |P(k)| \geq P_0 \\ P(k), & |P(k)| < P_0 \end{cases}$$

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）。

# 实验五 数字PID控制实验

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 **$P_o=2V$** 。

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**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 **$P_o$** ，观察实验结果。

# 实验五 数字PID控制实验

## ● 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：

# 实验五 数字PID控制实验

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

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

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。

# 实验五 数字PID控制实验

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，也即偏差值比较 $|E(k)|$ ，采用PD控制当时，也即 $|E(k)| \leq E_0$ 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）。

# 实验五 数字PID控制实验

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 **$E_o=2$** ，输出控制阈值 **$P_o=2V$** 。

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 **$P_o=5V$** 时，没有输出阈值控制；当设置积分分离控制阈值 **$E_o=5V$** 时，没有积分分离控制。

# 实验五 数字PID控制实验

C) 点击停止，观察实验结果时

## 三. 实验报告要求

按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 $P_o$ ，积分分离控制阈值 $E_o$ ，观察实验结果。

# 实验六 最少拍控制系统

## ● 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。

# 实验六 最少拍控制系统

## 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。

# 实验六 最少拍控制系统

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6-1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

# 实验六 最少拍控制系统

积分环节（A6单元）的积分时间常数  
 $T_i = R_2 * C_2 = 1S,$

惯性环节（A5单元）的惯性时间常数  
 $T = R_1 * C_1 = 1S,$  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。

# 实验六 最少拍控制系统

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

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

# 实验六 最少拍控制系统

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)：

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

# 实验六 最少拍控制系统

## (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：

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{K_0 + K_1 Z^{-1} + K_2 Z^{-2} + K_3 Z^{-3}}{1 + P_1 Z^{-1} + P_2 Z^{-2} + P_3 Z^{-3}}$$

## (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。

# 实验六 最少拍控制系统

( $K_i$ 与 $P_i$ 取值范围:  $-0.99 \sim +0.99$ )

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

最少拍有纹波系统构成如图6-1所示。被控对象由一个积分环节和一个惯性环节组成

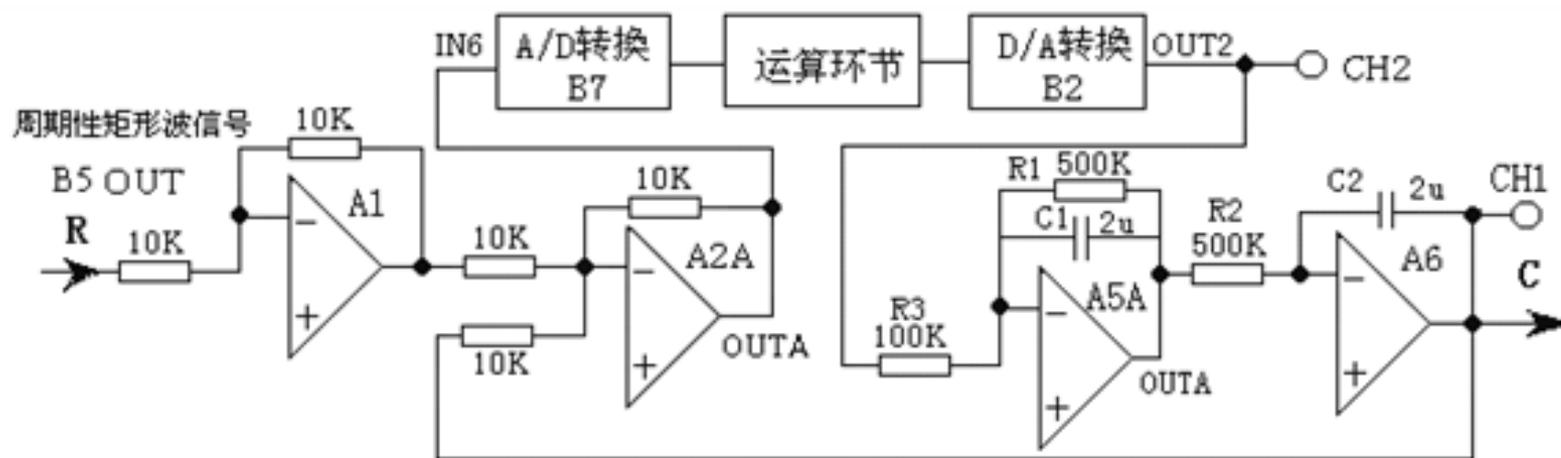


图6-1 最少拍有纹波系统构成

# 实验六 最少拍控制系统

实验步骤：注：将‘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”，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)。

# 实验六 最少拍控制系统

(2) 构造模拟电路：按图6-1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	S5, 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	运放级联	A5A (OUTA) → A6 (H1)
6	负反馈	A6 (OUT) → A2 (H2)
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)

# 实验六 最少拍控制系统

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。

# 实验六 最少拍控制系统

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 $P_i$

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 $T_i=R_2*C_2=0.5S$ ，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。

# 实验六 最少拍控制系统

## ● 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。

# 实验六 最少拍控制系统

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。

# 实验六 最少拍控制系统

设计最少拍无波纹控制数字调节器步骤如下：

- (1) 在第6.1节基础上，考虑最少拍无波纹设计要求：使 $\Phi(Z)$ 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6-1所示。（与最少拍有纹波控制实验构成相同）

# 实验六 最少拍控制系统

各项控制参数：

$$K_0=0.316 \quad K_1=-0.116 \quad K_2=K_3=0 \quad P_1=0.418 \quad P_2=P_3=0$$

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。

# 实验七 大林算法

## ● 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。

# 实验七 大林算法

## 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。

# 实验七 大林算法

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，T1、T2分别为二个惯性环节的时间常数。

设T1=0.2S，T2=0.5S，Ko=5，其传递函数为：

$$G_0(s) = \frac{1}{0.5S + 1} \times \frac{5}{0.2S + 1}$$

# 实验七 大林算法

## (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  $\tau$

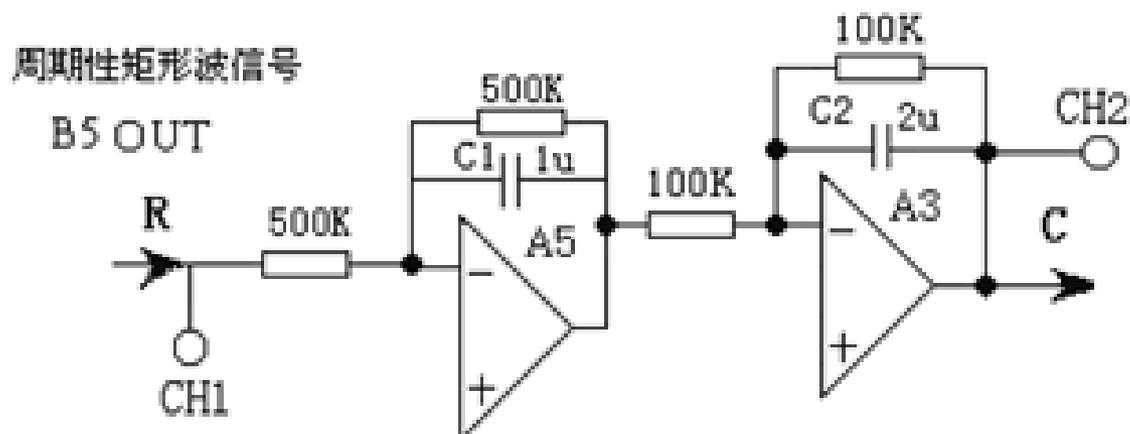


图7-1 被控对象参数的确认构成

# 实验七 大林算法

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7-1安置短路套及测孔联线，表如下。

# 实验七 大林算法

(a) 安置短路套

	模块号	跨接座号
1	A3	S3, S8, S9, 10,
2	A5	S5, 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。

# 实验七 大林算法

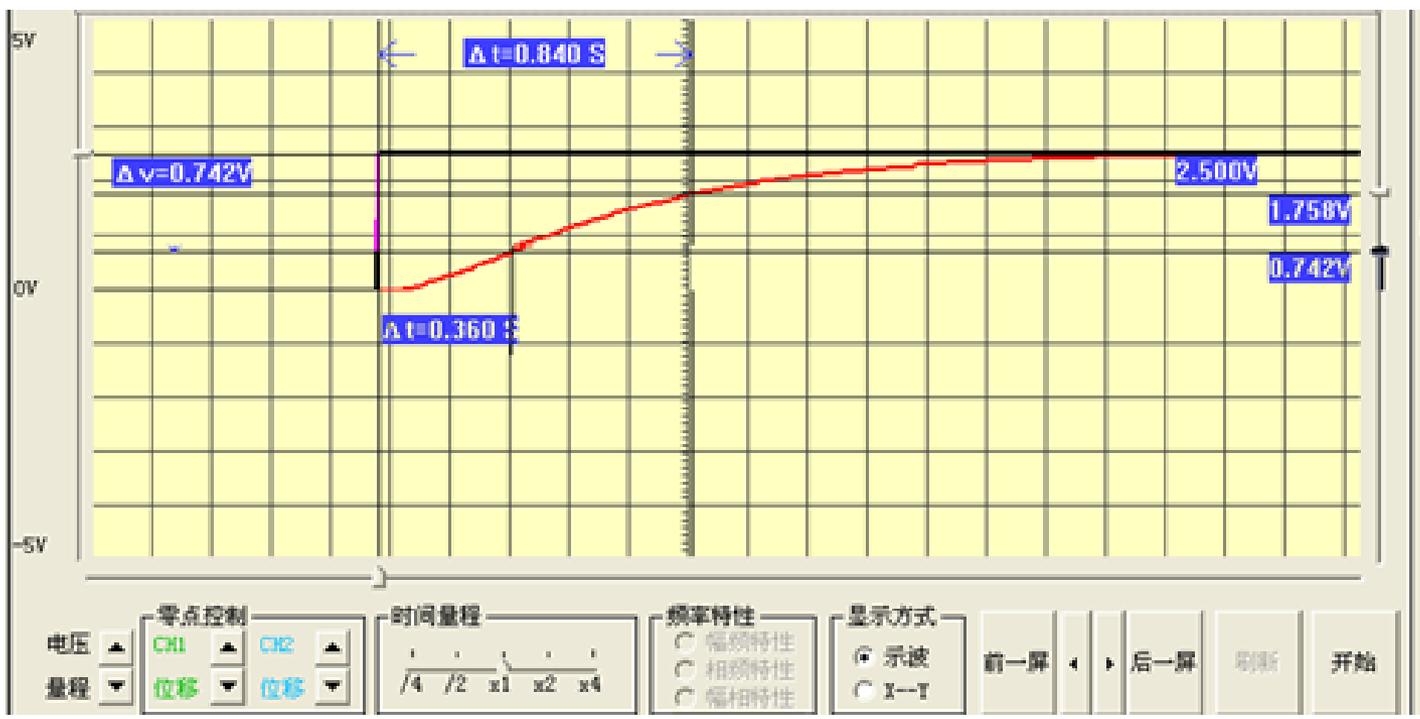


图7-2 被控对象响应曲线

# 实验七 大林算法

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

$$\text{取 } Y_0(t_1) = 0.3 \times 2.5 = 0.75V, t_1 = 0.36S;$$

$$\text{取 } Y_0(t_2) = 0.7 \times 2.5 = 1.75V, t_2 = 0.84S。$$

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

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

据上式确认  $T_0=0.567$ ,  $\tau = 0.158$

# 实验七 大林算法

## (3) 确定采样周期

$\tau$  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  $\tau$  为采样周期  $T$  的整数倍，即  $\tau = LT$ 。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：

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

# 实验七 大林算法

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：

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

# 实验七 大林算法

(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：

$$\begin{aligned} D(z) &= \frac{\phi(z)}{G_0(z)[1-\phi(z)]} = \frac{0.1813 z^{-2} - 0.276 z^{-3} + 0.1035 z^{-4}}{0.1333 + 0.0015 z^{-1} - 0.0905 z^{-2} - 0.0243 z^{-3} - 0.02 z^{-4}} \\ &= \frac{1.36 z^{-2} - 2.07 z^{-3} + 0.78 z^{-4}}{1 + 0.01 z^{-1} - 0.68 z^{-2} - 0.18 z^{-3} - 0.15 z^{-4}} \end{aligned}$$

(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：

# 实验七 大林算法

$$D(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{K_0 + K_1 Z^{-1} + K_2 Z^{-2} + K_3 Z^{-3}}{1 + P_1 Z^{-1} + P_2 Z^{-2} + P_3 Z^{-3}}$$

## (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。

后向差分方程的各项系数：

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

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

# 实验七 大林算法

## (9) 大林算法控制实验

大林算法闭环控制系统构成如图7-3所示。观察矩形波从0V阶跃到+2.5V时被测系统的控制特性。

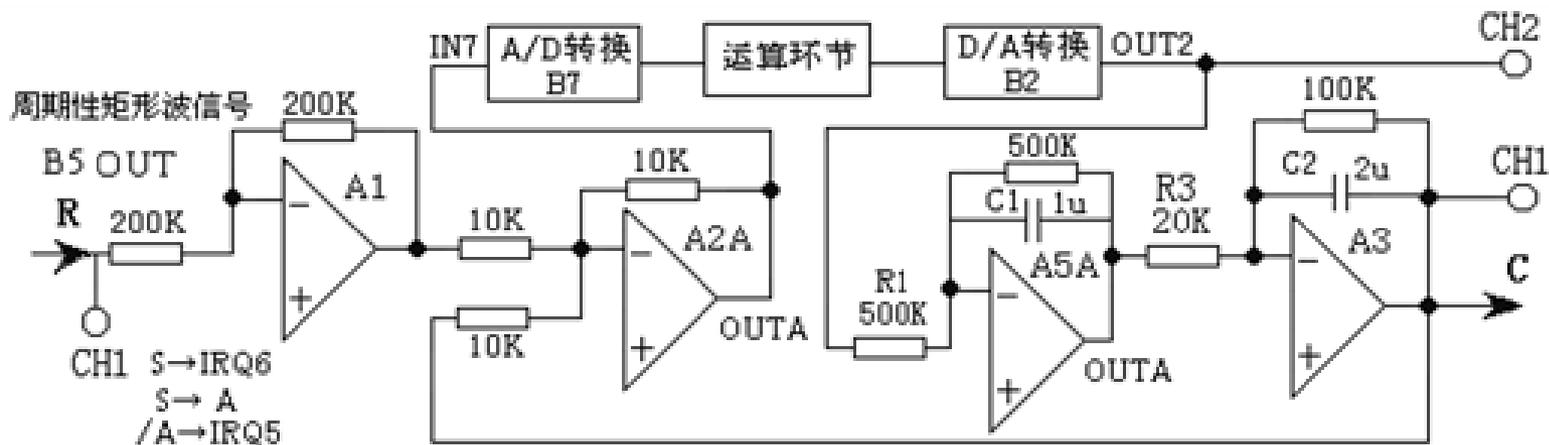


图7-3 大林算法系统构成

# 实验七 大林算法

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：按图安置短路套及测孔联线，表如下。

# 实验七 大林算法

(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) 测孔联线

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)

⑤ 运行、观察、记录

# 实验七 大林算法

## 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：

$$K_2 = 1.36, \quad K_3 = -2.07, \quad K_4 = 0.78$$

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

# 实验七 大林算法

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（ $0.08\text{秒} \times 2 = 0.16\text{秒}$ ），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= $0.4\text{秒}$ ，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：

# 实验七 大林算法

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

令左半平面的极点的 $Z=1$ ，使之消除振铃现象，  
可得下式：

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

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

可列出后向差分方程的各项系数：

$$K_2 = 0.54, \quad K_3 = -0.83, \quad K_4 = 0.31$$

$$P_1 = 1, \quad P_2 = 0, \quad P_3 = 0, \quad P_4 = 0$$

# 实验七 大林算法

(2)大林算法闭环控制系统实验构成如图7-3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：

$$K_2 = 0.54, K_3 = -0.83, K_4 = 0.31$$

$$P_1 = 1, P_2 = 0, P_3 = 0, P_4 = 0$$

# 实验七 大林算法

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** ( $0.08\text{秒} \times 2 = 0.16\text{秒}$ )，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 **$=0.44\text{秒}$** ，略有增加，並略有超调。

# 实验七 大林算法

## ● 7.2大林算法 (L=1)

- 一. 实验目的 同大林算法 (L=2) 。
- 二. 实验原理及说明 同大林算法 (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

同大林算法 (L=2) 。

(2) 被控对象参数的确认

同大林算法 (L=2) 。

# 实验七 大林算法

## (3) 确定采样周期

$\tau$  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  $\tau$  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”中求得的数字调节器  $D(Z)$  的脉冲传递函数，可列出后向差分方程：

# 实验七 大林算法

$$U_D(k) = 0.74E_{K-1} + (-0.87)E_{K-2} + 0.24E_{K-3} - 0.02U_{K-1} - (-0.79)U_{K-2} - (-0.23)U_{K-3}$$

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）

据上式可得  $K_i$  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      构造模拟电路同大林算法（ $L=2$ ）。

# 实验七 大林算法

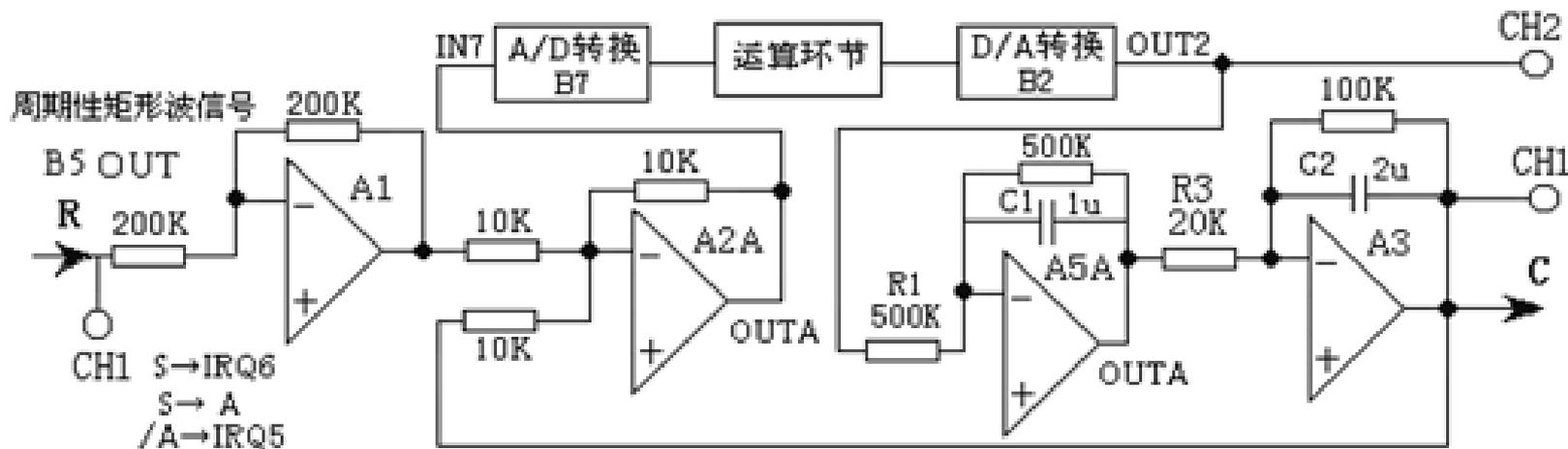


图7-4 大林算法闭环控制系统构成

**实验步骤：**（同大林算法（L=2）  
运行、观察、记录

# 实验七 大林算法

## 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：

$$: K_1 = 0.74, K_2 = -0.87, K_3 = 0.24$$

$$P_1 = 0.02, P_2 = -0.79, P_3 = -0.23,$$

# 实验七 大林算法

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。

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

# 实验七 大林算法

## B、振铃消除

构造模拟电路同大林算法 ( $L=2$ )。

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  $T=0.16S$

# 实验七 大林算法

需在界面上设置“计算公式”栏设定控制参数：

$$K_2 = 0.33, \quad K_3 = -0.39, \quad K_4 = 0.11$$

$$P_1 = -1, \quad P_2 = 0, \quad P_3 = 0, \quad P_4 = 0,$$

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。

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。

# 实验七 大林算法

## 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。

从显示图中可了解到校正后闭环系统的时间常数=0.52秒，略有增加，並略有超调。