

计算机控制实验系统

实 验 指 导 书

胡 伟

河 南 理 工 大 学

电 气 工 程 系

2004 年 5 月

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 RS232 串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-II 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-II 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。

目 录

实验一 D/A 数模转换实验.....	3
实验二 A/D 模数转换实验.....	5
实验三 数字 PID 控制实验.....	7
实验四 数字滤波器实验.....	11
实验五 大林算法实验.....	15
实验六 炉温控制实验.....	19
实验七 电机调速实验.....	23
实验八 步进电机控制实验.....	26
附录一 直流电机控制对象原理图.....	29
附录二 温控炉控制对象原理图.....	30
附录三 实验结果参考.....	31

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-II 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 12 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: $0 \sim 4096$, 模拟量输出范围为: $-5V \sim +5V$ 。转换公式如下:

$$U_o = V_{ref} - 2V_{ref}(2^{11}K_{11} + 2^{10}K_{10} + \dots + 2^0K_0) / 2^{12}$$

$$V_{ref} = 5.0V$$

例如: 数字量=000110011001 则

$$K_{11}=1, K_{10}=0, K_9=1, K_8=0, K_7=1, K_6=1, K_5=0, K_4=1, K_3=0, K_2=0, K_1=0, K_0=1$$

$$\text{模拟量 } U_o = V_{ref} - 2V_{ref}(2^{11}K_{11} + 2^{10}K_{10} + \dots + 2^0K_0) / 2^{12} = 4.0V$$

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, 在桌面双击图标 [Computerctrl]或在计算机程序组中运行[Computerctrl]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. 在实验课题下拉菜单中选择实验一[D/A 数模转换实验], 鼠标单击该选项弹出实验课题参数窗口。
5. 在弹出的参数窗口中填入想要变换的数字量, 点击变换, 在下面的

文字框内将算出变换后的模拟量。

6. 点击运行，在显示窗口观测采集到的模拟量。并将测量结果填入下表：

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。

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-II 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: $-5V \sim +5V$, 数字量输出范围为: $0 \sim 1024$ 。转换公式如下:

$$\text{数字量} = (\text{Vref} - \text{模拟量}) / 2\text{Vref} \times 2^{10}$$

其中 Vref 是基准电压为 5V。

例如: 模拟量=1.0V, 则

$$\text{数字量} = (5.0 - 1.0) / (2 \times 5.0) \times 2^{10} = 409 (\text{十进制})$$

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, 在桌面双击图标 [Computerctrl]或在计算机程序组中运行[Computerctrl]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. 在实验课题下拉菜单中选择实验一[A/D 模数转换实验], 鼠标单击该选项弹出实验课题参数窗口。
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. 点击运行，在显示窗口观测采集到的数字量。并将测量结果填入下表：

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。

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。

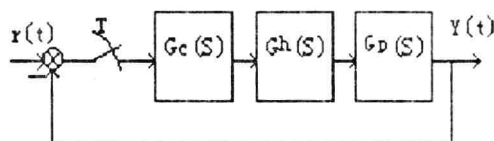


图 3-1 系统结构图

图中

$$G_c(s) = K_p (1 + K_i/s + K_d s)$$

$$G_h(s) = (1 - e^{-TS}) / s$$

$$G_{p1}(s) = 5 / ((0.5s + 1)(0.1s + 1))$$

$$G_{p2}(s) = 1 / (s(0.1s + 1))$$

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 $G_{p1}(s)$ ，图 3-3 对应 $G_{p2}(s)$ 。

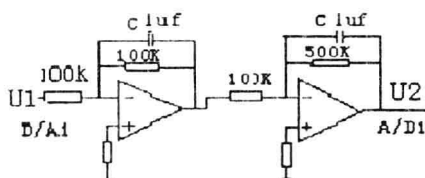


图 3-2 开环系统结构图 1

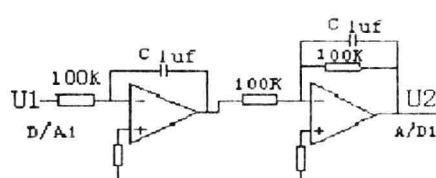


图 3-3 开环系统结构图 2

3. 被控对象 $G_{p1}(s)$ 为“0 型”系统，采用 PI 控制或 PID 控制，可

使系统变为“I型”系统，被控对象 $G_{p2}(s)$ 为“I型”系统，采用PI控制或PID控制可使系统变成“II型”系统。

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

$$\begin{aligned} G_c(s) &= K_p (1 + K_I/s) \\ &= K_p K_I ((1/K_I) s + 1) / s \\ &= K (T_I s + 1) / s \end{aligned}$$

式中： $K = K_p K_I$, $T_I = (1/K_I)$

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

6. “II型”系统要注意稳定性。对于 $G_{p2}(s)$ ，若采用PI调节器控制，其开环传递函数为

$$\begin{aligned} G(s) &= G_c(s) \cdot G_{p2}(s) \\ &= K (T_I s + 1) / s \cdot 1/s (0.1s + 1) \end{aligned}$$

为使系统稳定，应满足 $T_I > 0.1$ ，即 $K_I < 10$

7. PID递推算法 如果PID调节器输入信号为 $e(t)$ ，其输出信号为 $u(t)$ ，则离散的递推算法如下：

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2)$$

其中： $q_0 = K_p (1 + K_I T + (K_d/T))$

$$q_1 = -K_p (1 + (2K_d/T))$$

$$q_2 = K_p (K_d/T)$$

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 U_1 接A/D、D/A卡的DA1输出，电路输出 U_2 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，在桌面双击图标 [Computerctrl]或在计算机程序组

中运行[Computerctrl]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. 在实验课题下拉菜单中选择实验三[数字 PID 控制], 鼠标单击实验课题将弹出实验课题参数设置窗口。

5. 输入参数 K_p , K_i , K_d (参考值 $K_p=1$, $K_i=0.02$, $k_d=1$)。

6. 参数设置完成点击确认后观察响应曲线。若不满意, 改变 K_p , K_i , K_d 的数值和与其相对应的性能指标 σ_p 、 t_s 的数值。

7. 取满意的 K_p, K_i, K_d 值, 观察有无稳态误差。

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 U_1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路的输出 U_2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。

9. 重复 4~7 步骤。

10. 计算 K_p, K_i, K_d 取不同的数值时对应的 σ_p 、 t_s 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			$\delta \%$	T_s	阶跃响应曲线
参数					
K_p	K_i	K_d			

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 $G_{p1}(s)$ 时取过渡过程为最满意时的 K_p, K_i, K_d , 画出校正后的 Bode 图, 查出相稳定裕量 γ 和穿越频率 ω_c 。

3. 总结一种有效的选择 K_p, K_i, K_d 方法, 以最快的速度获得满意的

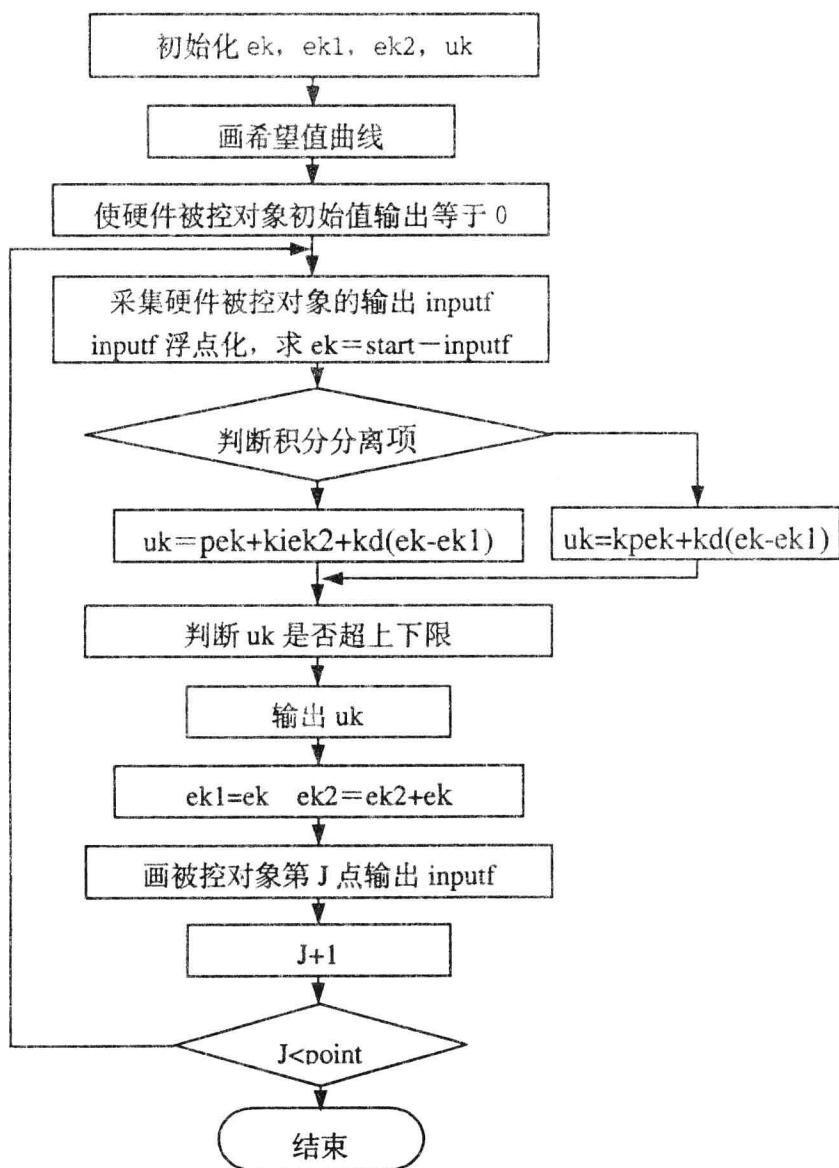
参数。

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, $ek1$ 为上一次误差, $ek2$ 为误差的累积和, uk 是控制量。



实验四 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-II 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

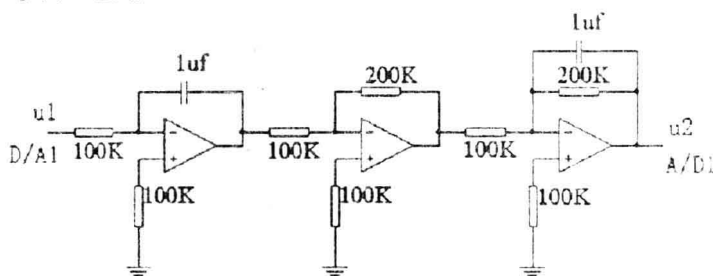


图 4-1 需加入串联超前校正的开环系统电路图

(2) 系统开环传递函数

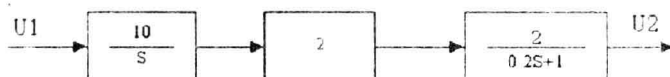


图 4-2 系统开环结构图

(3) 系统闭环结构图

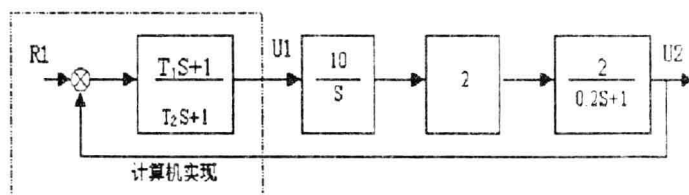


图 4-3 系统闭环结构图

(4) 数字滤波器的递推公式

模拟滤波器的传函: $\frac{T_1s+1}{T_2s+1}$

利用双线性变换得数字滤波器的递推公式:

$$U_k = q_0 x_k + q_1 x_{k-1} + q_2 x_{k-2}$$

$$q_0 = (T - 2T_2) / (T + 2T_2)$$

$$q_1 = (T + 2T_1) / (T + 2T_2)$$

$$q_2 = (T - 2T_1) / (T + 2T_2)$$

T =采样周期, T_1 =超前时间常数, T_2 =滞后时间常数, 需加入串联滞后校正的开环系统电路及传递函数。

实验电路:

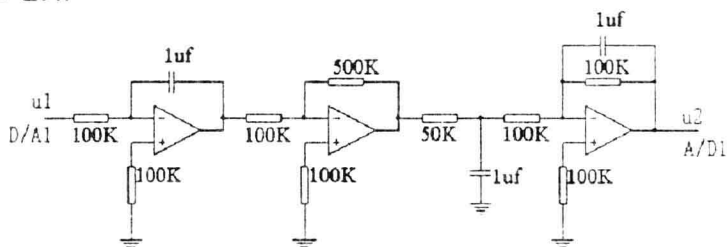


图 4-4 需加入串联滞后校正的开环系统电路图

(1) 系统开环传递函数

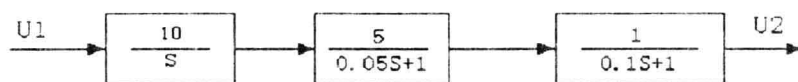


图 4-5 系统开环结构图

(2) 系统闭环结构图:

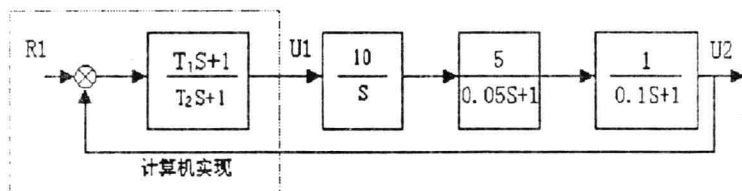


图 4-6 系统闭环结构图

(4) 数字滤波器的递推公式

模拟滤波器的传递函数: $\frac{T_1s+1}{T_2s+1}$

利用双线性变换得数字滤波器的递推公式:

$$U_k = q_0 U_{k-1} + q_1 e_k + q_2 e_{k-1}$$

$$q_0 = (T - 2T_2) / (T + 2T_2)$$

$$q_1 = (T + 2T_1) / (T + 2T_2)$$

$$q_2 = (T - 2T_1) / (T + 2T_2)$$

T =采样周期, T_1 =超前时间常数, T_2 =滞后时间常数。

四、实验步骤

1. 启动计算机, 在桌面双击图标 [Computerctrl] 或在计算机程序组中运行 [Computerctrl] 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 U_1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路输出 U_2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。

4. 选中[实验课题→数字滤波实验→超前校正]菜单项, 鼠标单击将弹出参数设置窗口。系统加入阶跃信号。参数设置完成后鼠标单击确认测量系统阶跃响应, 并记录超调量 σ_p 和调节时间 t_s 。

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:

超前常数 性能指标				
阶跃响应曲线				
$\delta \%$				
T_p (秒)				
T_s (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 U_1 接 A/D、D/A 卡的 DA1 输出, 电路输出 U_2 接 A/D、D/A 卡的 AD1 输入。检查无误后接通电源。

7. 选中[实验课题→数字滤波实验→滞后校正]菜单项, 鼠标单击将弹出参数设置窗口。系统加入阶跃信号。参数设置完成后鼠标单击确认测量系统阶跃响应, 并记录超调量 σ_p 和调节时间 t_s 。

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:

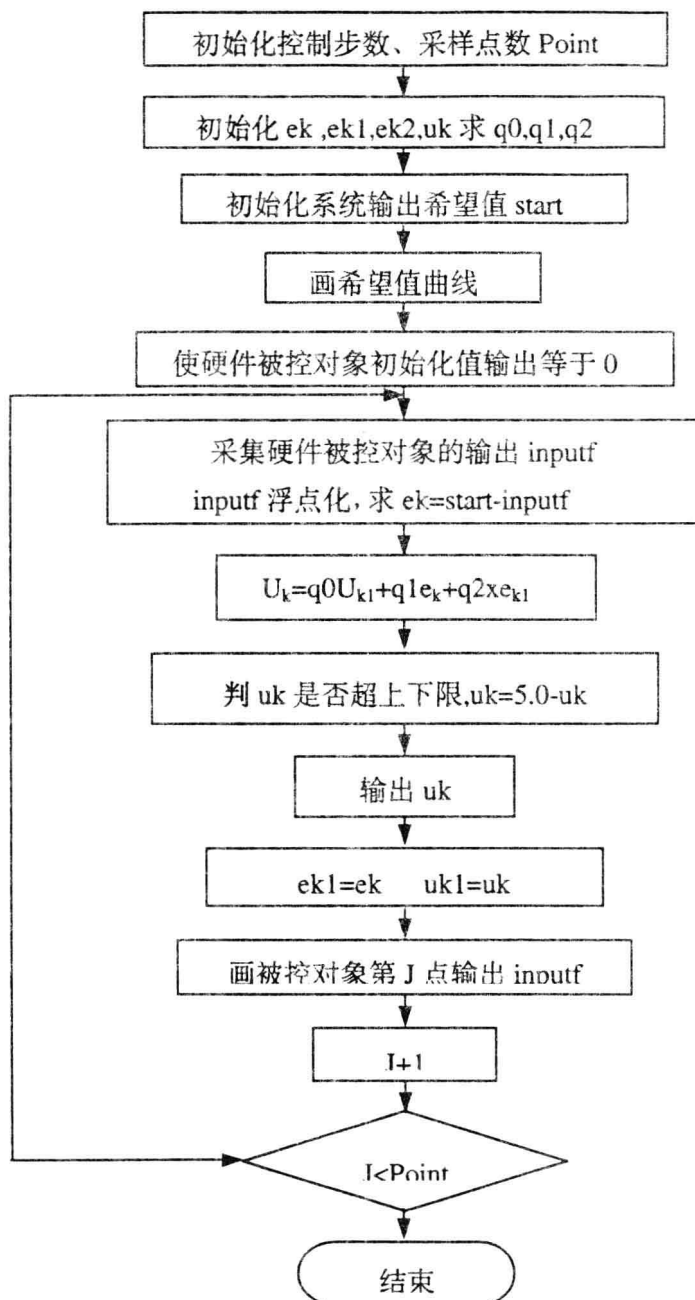
滞后常数 性能指标				
阶跃响应曲线				
$\delta\%$				
T_p (秒)				
T_s (秒)				

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。

六、数字滤波软件流程图

图中 e_k 为误差, e_{k1} 为上一次的误差, u_k 是控制量, u_{k1} 是上一次的控制量。



实验五 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-II 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：

$$G(s) = e^{-N\tau}$$

τ = 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。

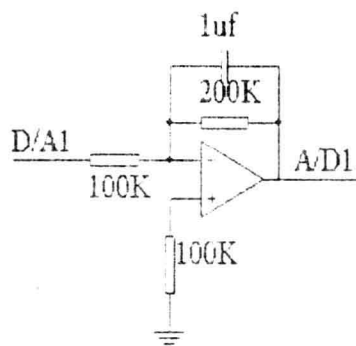


图 5-1 被控对象电路图

- (3) 被控对象的开环传函为：

$$G(S) = -2e^{-N\tau} / (T1 + 1)$$

2. 大林算法的闭环传递函数：

$$G_o(s) = e^{-N\tau} / (Ts + 1) \quad T = \text{大林时间常数}$$

3. 大林算法的数字控制器：

$$D(Z) = \frac{(1 - e^{-\tau/T})(1 - e^{-\tau/T1}Z^{-1})}{[k(1 - e^{-\tau/T1})\{1 - e^{-\tau/T1}Z^{-1} - (1 - e^{-\tau/T})Z^{-N-1}\}]}$$

设 $k1 = e^{-\tau/T}$, $k2 = e^{-\tau/T1}$, $T1 = 0.2$, $T = \text{大林常数}$, $K = 2$

$$(K - Kk2)U_k = (1 - k1)ek - (1 - k1)k2ek - 1 + (k - Kk2)k1U_{k-1} + (k - Kk2)(1 - k1)U_{k-N-1}$$

四、实验步骤

1. 启动计算机, 在桌面双击图标 [Computerctrl] 或在计算机程序组中运行 [Computerctrl] 软件。