

# 自动控制原理实验三

## ——线性系统的校正与状态反馈/直流电机 PID 控制

小组成员：潘鑫海（2015301200201）

夏可为（2015301200168）

指导教师：王泉德 教授

# 一、线性系统的校正与状态反馈

控制系统的校正与状态反馈就是在被控对象已确定，在给定性能指标的前提下，要求设计者选择控制器（校正网络）的结构和参数，使控制器和被控对象组成一个性能满足指标要求的系统。

## 1. 原理分析

### 1.1 时域法串联比例微分校正

(1) 未校正电路模拟电路图如下所示：

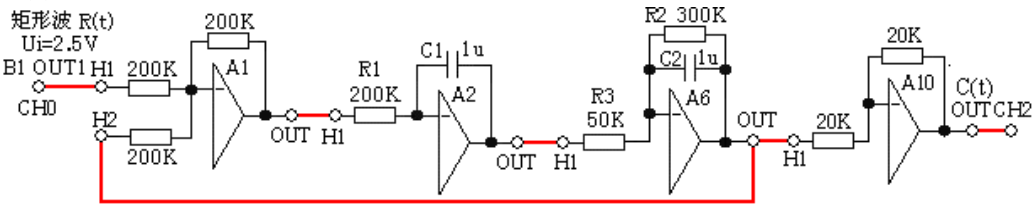


图 1-1 未校正系统模拟电路

该未校正系统的开环传递函数为：
$$G(s) = \frac{6}{0.2s(1+0.3s)}$$

可计算得其时域特性如下：

超调量  $M_p = 59\%$       峰值时间  $t_p = 0.336s$        $\omega_n = 10$        $\xi = 0.1667$

(2) 设计串联校正网络参数

① 按  $M_p \leq 25\%$  要求进行计算，可得到： $\xi_d \geq 0.4$ ，可得到： $T_d \geq 0.0467$

② 取  $T_d = 0.05$ ，再令  $K_d = 1$ ， $C_3 = 1\mu$ ， $R_4 = 50K$ ，可得到： $R_5 = 50K$ ，

(3) 校正后的电路图如下所示：

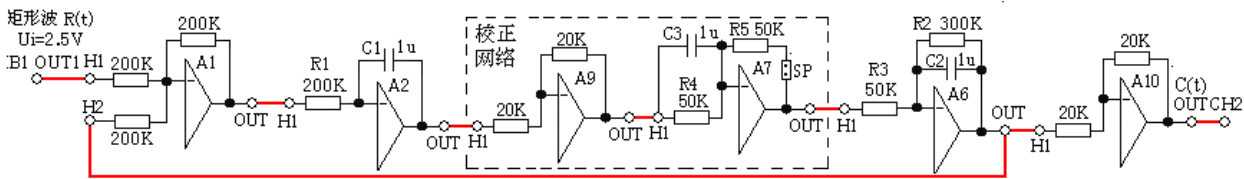


图 1-2 串接入比例-微分校正后系统

可得其超调量、峰值时间特性如下：

超调量  $M_p = 28\%$       峰值时间  $t_p = 0.3s$

### 1.2 时域法局部比例微分反馈校正

(1) 未校正电路模拟电路图如下所示：

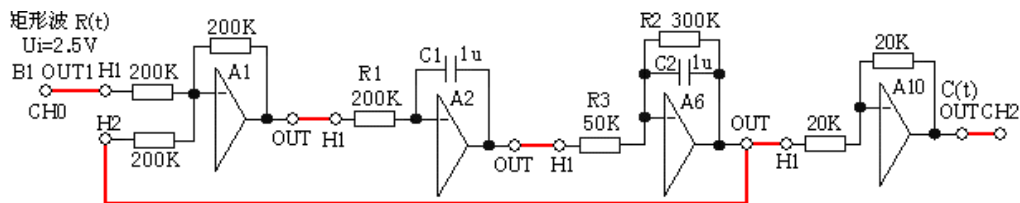


图 1-3 未校正系统模拟电路

该未校正系统的开环传递函数为:  $G(S) = \frac{6}{0.2S(1+0.3S)}$

可计算得其时域特性如下:

超调量  $M_p = 59\%$       峰值时间  $t_p = 0.336S$        $\omega_n = 10$        $\xi = 0.1667$

(2) 设计比例反馈包围惯性环节校正网络的参数

① 要求设计校正装置, 使控制系统满足下述性能指标: 超调量  $M_p \leq 25\%$ 。

② 按超调量  $M_p \leq 25\%$  计算, 可得到校正后系统的阻尼比  $\xi \geq 0.4$ 。

③ 按图 1-3-14 的被校正对象积分时间常数  $T_i = 0.2S$ , 开环增益  $K = 6$ , 新惯性环节

$G_a(S)$  时间常数为  $T_a$ , 按标准二阶系统阻尼比的计算式:

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_i}{KT_a}} \quad \text{可得到新惯性环节 } G_a(S) \text{ 时间常数 } T_a = 0.052。$$

④ 按图 1-3-14 的被控对象校正前的原惯性时间常数  $T = 0.3S$ , 开环增益  $K = 6$ , 新惯性环节  $G_a(S)$  时间常数为  $T_a = 0.052$ , 代入式 (3-3-17), 可得到: 比例反馈系数  $a = 0.795$   
如取  $R_7 = 10K$ , 则  $R_4 = 10K \div 0.795 = 12.6K$ ,  $R_4$  用 A11 单元的直读式可变电阻。

⑤ 按原开环增益  $K = 6$ , 比例反馈系数  $a = 0.795$ , 可得到: 新惯性环节  $G_a(S)$  的开环增益  $K_a = 1.04$  原系统的开环增益  $K = 6$ 。

⑥ 为补偿由于局部比例反馈校正后, 被校正系统降低了开环增益, 必须增加的比例环节  $K_x = K \div K_a$ 。可确定增加的比例环节的增益应为:

$$K_x = K \div K_a = 6 \div 1.04 = 5.77$$

如取运放 A7 的反馈电阻  $R_6 = 200K$ , 则输入电阻应为  $R_5 = 200K \div 5.77 = 34.7K$ 。

为使实验较方便进行, 近似取  $R_5 = 100K // 50K = 33.3K$ 。

(3) 校正后的电路图如下所示:

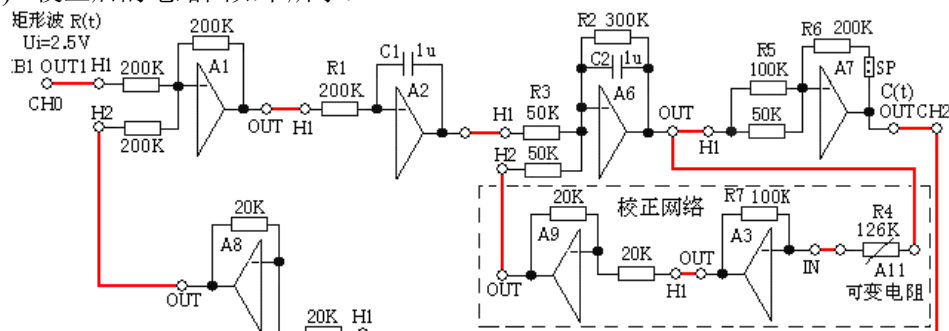


图 1-4 比例反馈包围惯性环节校正后系统模拟电路

可得其超调量、峰值时间特性如下:

超调量  $M_p = 28\%$       峰值时间  $t_p = 0.16S$

### 1.3 时域法微分反馈校正

(1) 未校正电路模拟电路图如下所示：

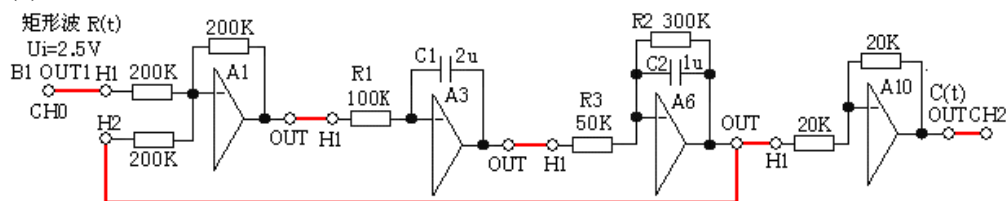


图 1-5 未校正系统模拟电路

该未校正系统的开环传递函数为：
$$G(S) = \frac{6}{0.2S(1+0.3S)} = \frac{100}{S^2 + 3.33S}$$

可计算得其时域特性如下：

超调量  $M_p = 57.2\%$       峰值时间  $t_p = 0.332S$       调节时间  $t_s = 1.8S (\zeta = 5 \text{ 时})$

(2) 设计串联校正网络参数

① 要求设计校正装置，使系统满足下述性能指标： $M_p \leq 25\%$ 。

② 按超调量  $M_p \leq 25\%$  计算，可得到校正后系统的阻尼比  $\xi_t \geq 0.4$ 。

③ 按图 1-3-16 的被校正对象积分时间常数  $T_i = 0.2S$ ，自然频率： $\omega_n = 10$ ，阻尼比： $\xi = 0.1665$  代入式 (3-3-22) 可得到校正后的  $K_f = 0.0467$ 。

④ 为使实验较方便进行，令  $C_3 = 1\mu$ ，校正后的  $K_f = 0.0467$ ，代入式 (3-3-25)，可得到： $R_3 = 46.7K$ 。近似取  $R_3 = 50K$ 。

(3) 校正后的电路图如下所示：

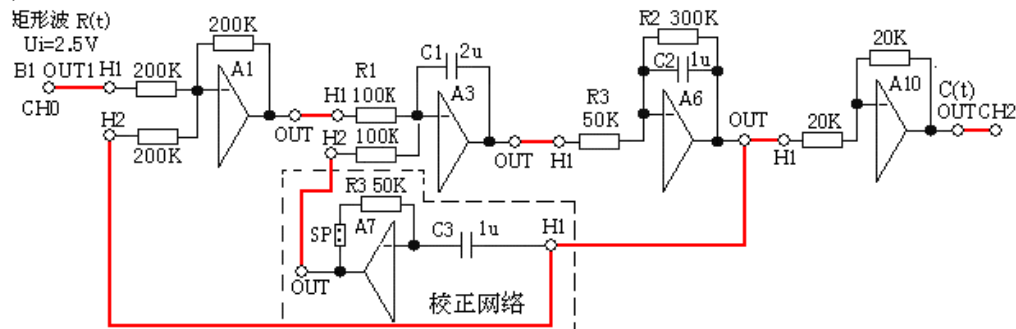


图 1-6 微分反馈校正后系统模拟电路

可得其超调量、峰值时间特性如下：

超调量  $M_p = 23.1\%$       峰值时间  $t_p = 0.36S$

### 1.4 线性系统的状态反馈及极点配置

(1) 未校正电路模拟电路图如下所示：

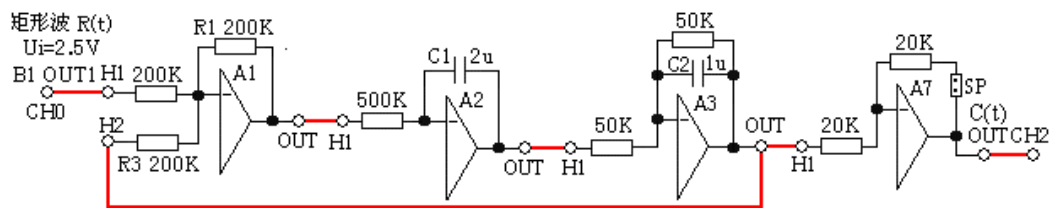


图 1-7 未校正系统模拟电路

(2) 设计状态反馈系统参数

反馈系数  $K_1 = -10.8 = R_1/R_2$ ,  $R_1 = 200K$ , 则  $R_2 = 9.3K$ ; 反馈系数  $K_2 = 15.8 = R_1/R_3$ ,  $R_1 = 100K$ , 则  $R_3 = 6.3K$

(3) 校正后的电路图如下所示:

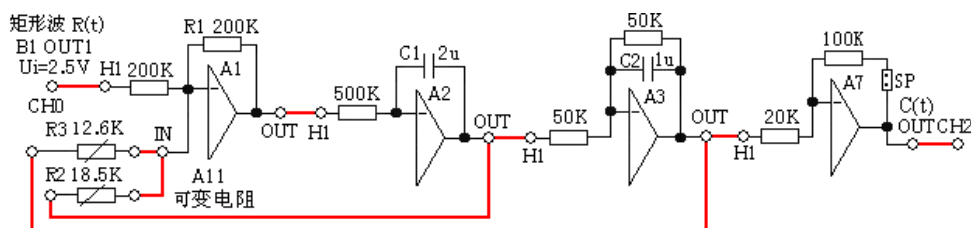


图 1-8 状态反馈后系统的模拟电路

可得其超调量、峰值时间特性如下:

超调量  $M_p < 20\%$       峰值时间  $t_p = 0.36S$

## 2. 实验步骤

按照电路图将实验箱上面对应的模块连接起来，并插好跳线帽。电脑端先点击下载（配置信号源和示波器），再点击开始，观察绘制出来的单位阶跃响应曲线，针对不同试验项目要求进行特性参数的测量与检验。

## 3. 实验结果与效果分析

### 3.1 时域法串联比例微分校正

(1) 校正前时域特性

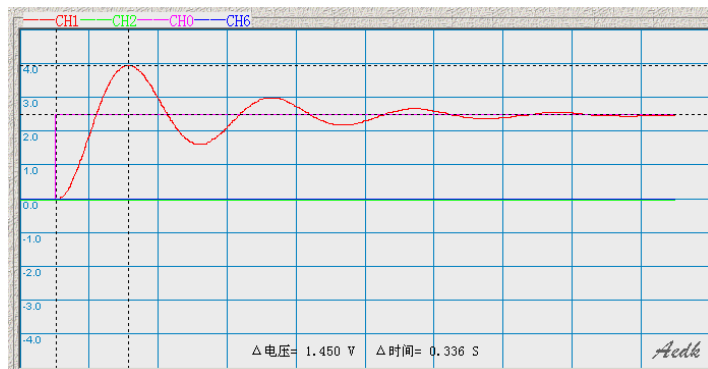


图 3-1 校正前时域特性

超调量为： $1.45\text{V} / 2.5\text{V} = 58\%$  峰值时间为： $t_p = 0.336\text{ s}$ ，符合预期结果。

(2) 校正后时域特性

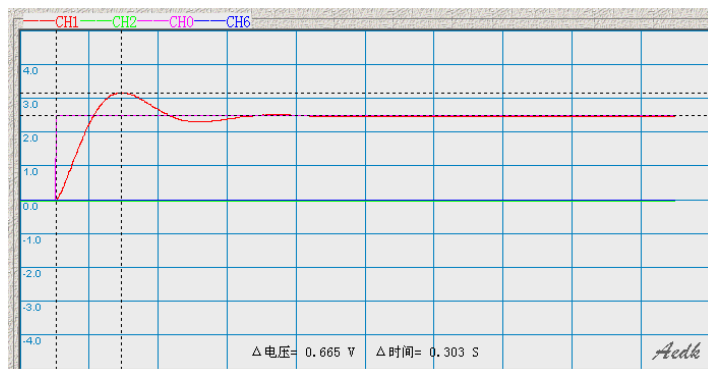


图 3-2 校正后时域特性

超调量为： $0.665\text{V} / 2.5\text{V} = 26.6\%$  峰值时间为： $t_p = 0.303\text{ s}$ ，符合预期结果。

### 3.2 时域法局部比例微分反馈校正

(1) 校正前时域特性

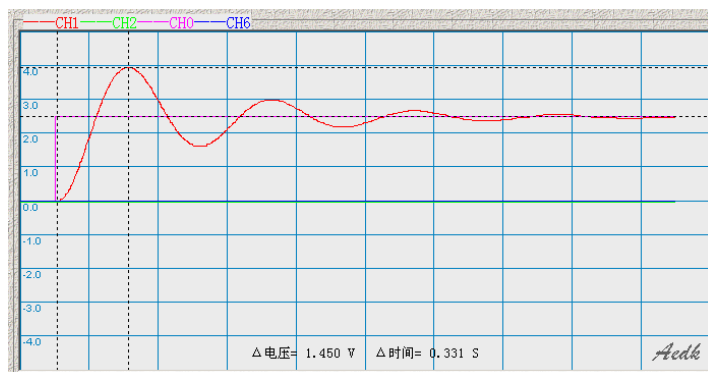


图 3-3 校正前时域特性

超调量为： $1.45\text{V} / 2.5\text{V} = 58\%$  峰值时间为： $t_p = 0.336\text{ s}$ ，符合预期结果。

(2) 校正后时域特性

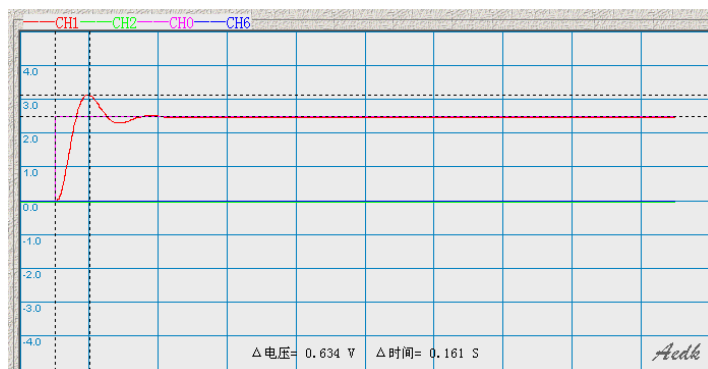


图 3-4 校正后时域特性

超调量为： $0.665\text{V} / 2.5\text{V} = 25.36\%$  峰值时间为： $t_p = 0.161\text{ s}$ ，符合预期结果。

### 3.3 时域法微分反馈校正

#### (1) 校正前时域特性

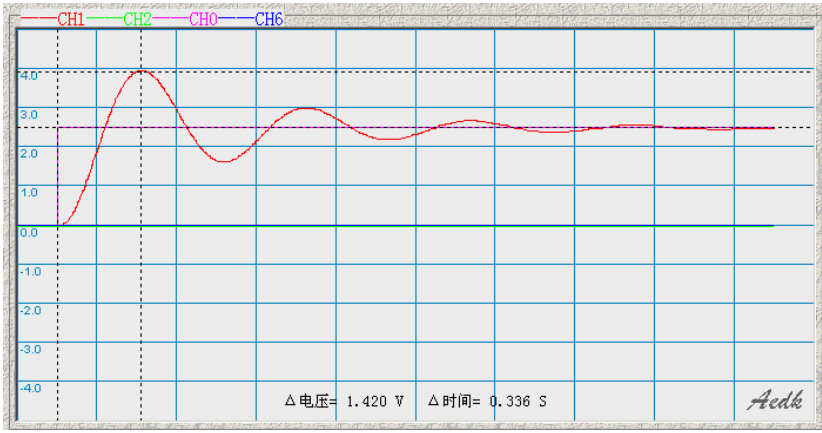


图 3-5 校正前时域特性 1

超调量为： $1.42\text{V} / 2.5\text{V} = 56.8\%$  峰值时间为： $t_p = 0.336 \text{ s}$ ，符合预期结果。

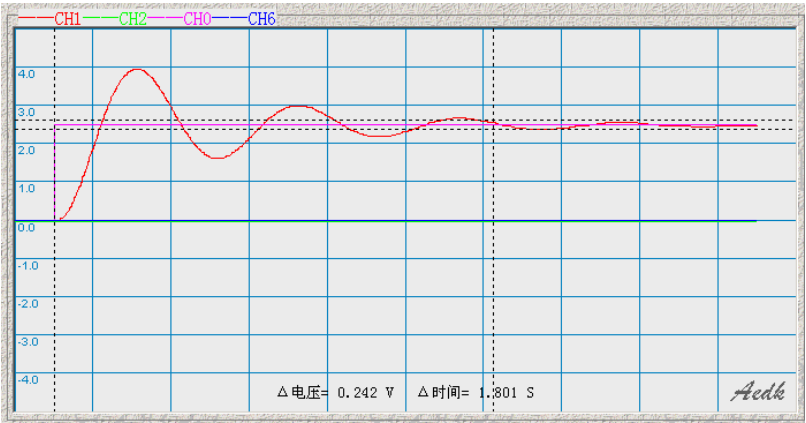


图 3-6 校正前时域特性 2

调节时间为 1.8s，符合预期结果。

#### (2) 校正后时域特性

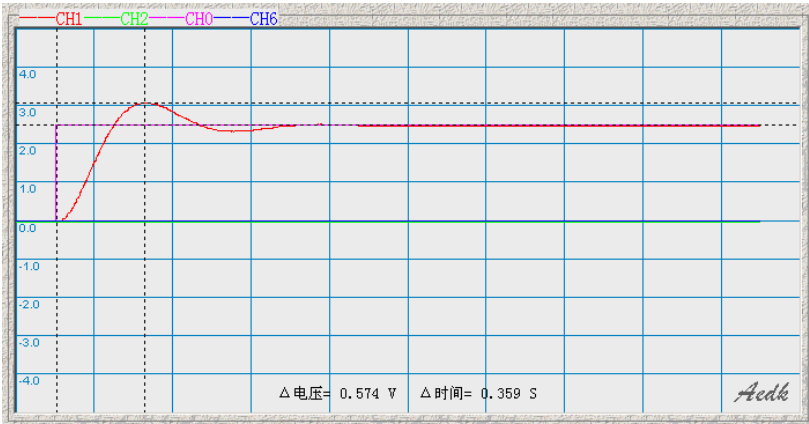


图 3-4 校正后时域特性

超调量为： $0.574\text{V} / 2.5\text{V} = 22.96\%$  峰值时间为： $t_p = 0.359 \text{ s}$ ，符合预期结果。

### 3.4 线性系统的状态反馈及极点配置

#### (1) 反馈前时域特性

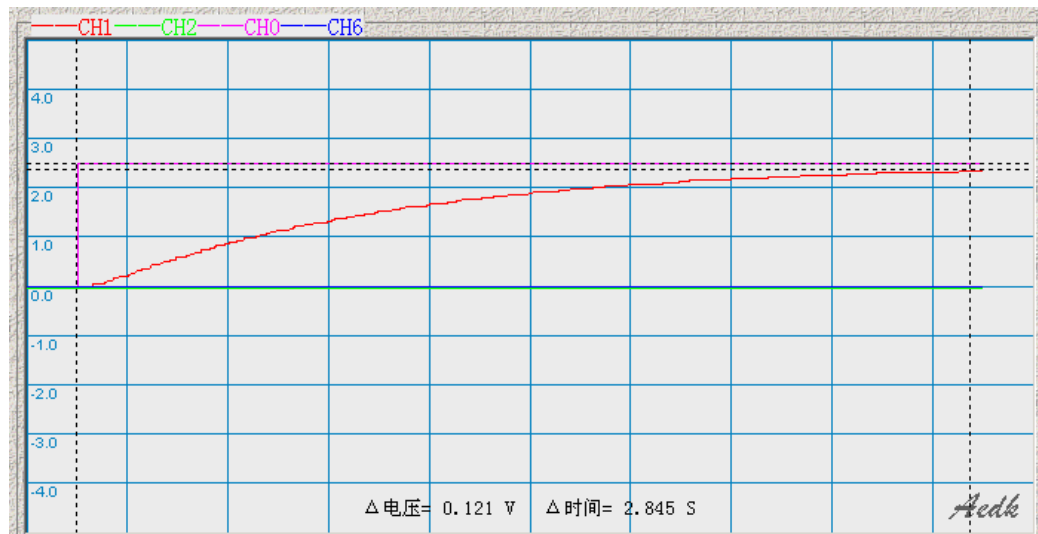


图 3-3 校正前时域特性

调节时间为:  $t_r = 2.845 \text{ s}$ 。

#### (2) 校正后时域特性

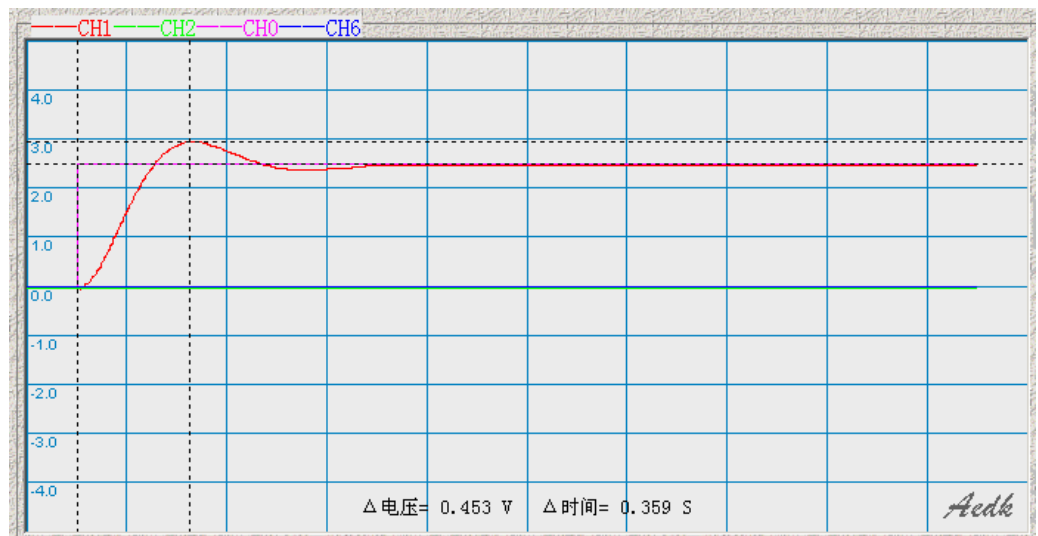


图 3-4 校正后时域特性

超调量为:  $0.453 \text{ V} / 2.5 \text{ V} = 18.12\%$  峰值时间为:  $t_p = 0.359 \text{ s}$ , 符合预期结果。



## 二、直流电机 PID 控制

### 1. 原理分析

(1) 直流电机 PID 控制的组成框图如下所示：

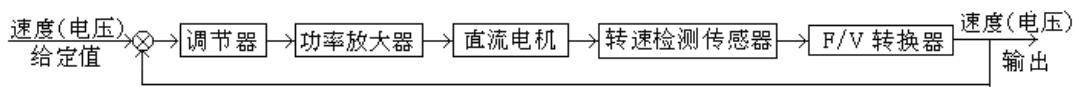


图 2-1 直流电机速度闭环控制系统的组成框图

设计数字 PID 调节器工程参数： $P=1.2$ ， $I=0.15$ ， $D=0.93$ 。

(2) 直流电机 PID 控制模拟电路图如下所示：

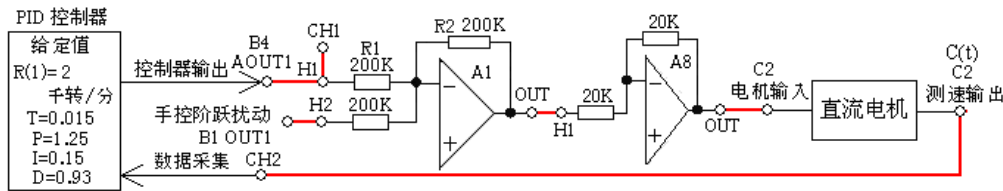


图 2.2 直流电机转速 PID 控制构成

电机转速检测传感器是一个光断续器,它通过装在电机轴上的光栅盘获得电机转速脉冲,该脉冲经 F/V 转换器形成电压在测速输出插孔输出。

测速输出电压范围： $0\sim+5V$ ，对应于电机转速为  $0\sim4000$  转/分,即为每  $1V$  代表电机转速  $0.8$  千转 / 分。

调节器输出电压范围： $0\sim+5V$ 。

(3) 实验现象

在手动加扰动之后,直流电机明显降速,扰动停止后,电机逐渐回到预设转速值。

### 2. 实验步骤

按照电路图将实验箱上面对应的模块连接起来,并插好跳线帽。电脑端先点击下载(配置信号源和示波器),再点击开始,手动拨动开关输入矩形脉冲信号作为扰动,观察示波器波形显示的曲线变化趋势。

### 3. 实验结果与效果分析

以下是多次实验情况下的波形图,基本符合预期结果。

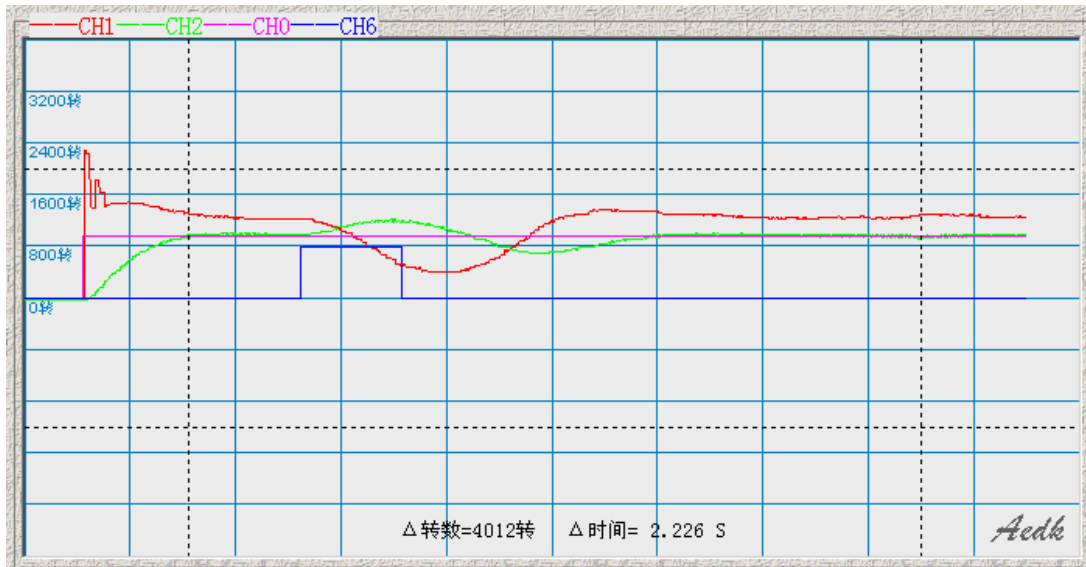


图 2-3 直流电机 PID 控制——单一短脉冲响应

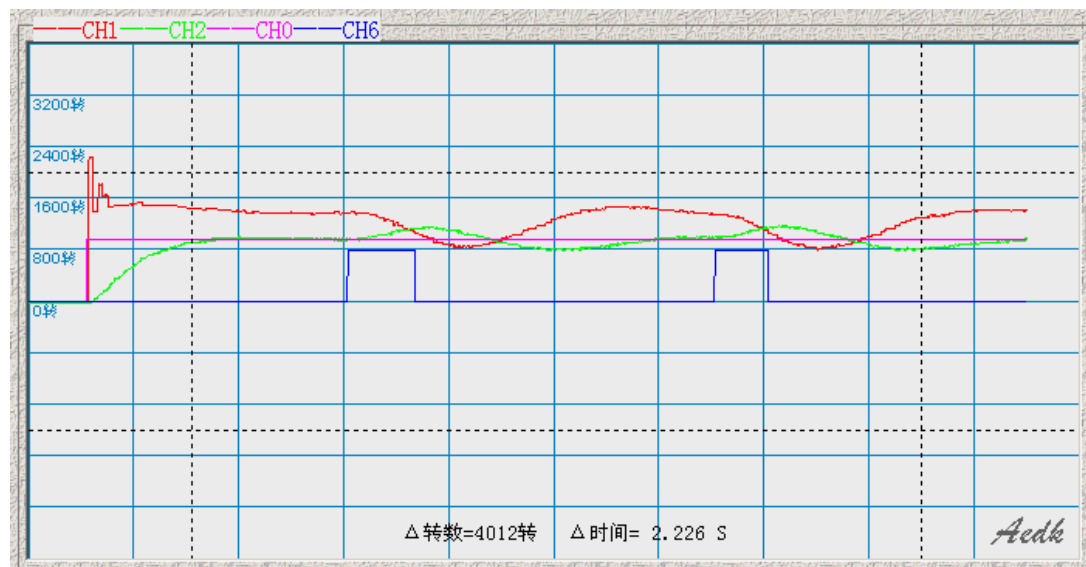


图 2-3 直流电机 PID 控制——多短脉冲响应

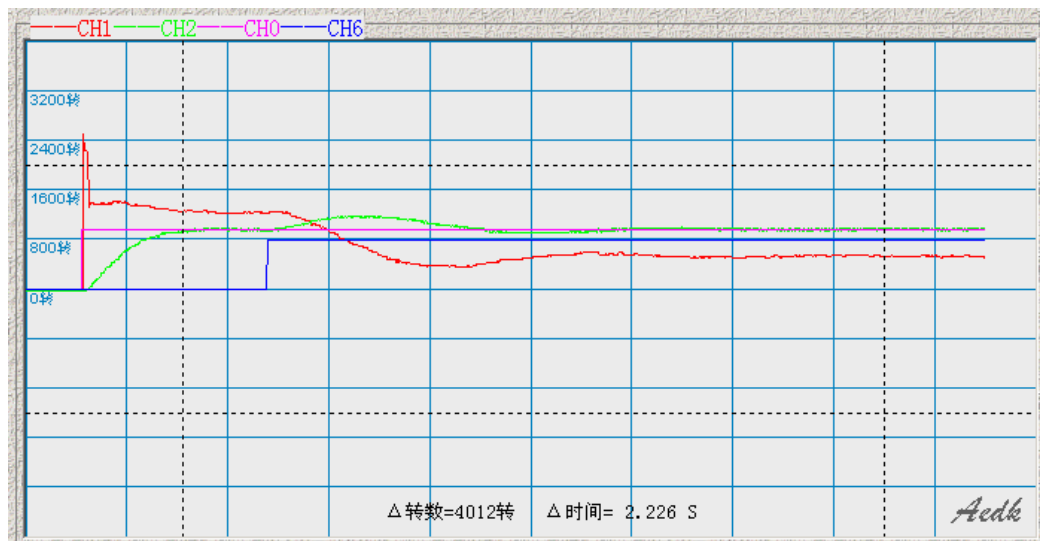


图 2-4 直流电机 PID 控制——单一长脉冲响应