

运动控制课程设计实验报告

徐康彦

一、硬件及选型指标

A. 实验硬件系统

本门课程设计通过 PLC 实现异步电机的速度控制，并考察负载对其控制效果的影响。本门课程所使用到的硬件有变频器、电动机、负载、PLC、反馈编码器、触摸屏。

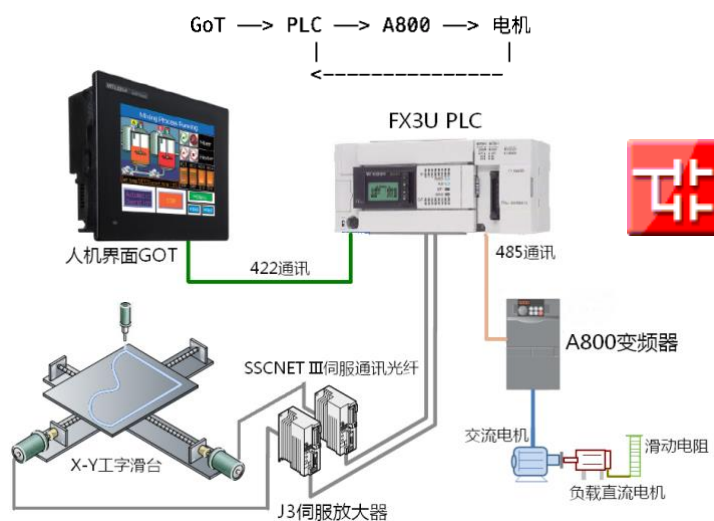


图 1-1 系统示意图

- (1) PLC 型号：三菱(Mitsubishi) FX3u-32M
- (2) 变频器 型号：三菱(Mitsubishi) FR-A800
- (3) 电动机 型号：西门子(Siemens) 1LE0001-0DB22-1AA4
Three-phase asynchronous motor
- (4) 编码器 型号：光洋(Koyo) TRD-2E3600B-2M
- (5) 负载 型号：Saar HK Electronic Limited, 113ZYT220-500 DC motor
- (6) 人机界面 型号：三菱(Mitsubishi) GS2107-WTBD

由三菱的 GX WORKS2 (IDE) 对其 PLC 进行编程。

控制器分为两部分，一部分为 GOT 触摸屏，上面可进行 I/O 输入输出、开关以及作图，这一部分是上位控制；另一部分是 PLC 本身的编程，采用的是 IEC61131-3 的梯形图设计。

B. 关于编码器的选择

编码器选用 3600 转，20ms 为采样周期。

已知脉冲频率不能过高，上限为 100kHz，太快则无法采集。
电动机的最高转速为 1500 rpm， $1500/60 \cdot n \leq 100kHz$ ，得 $n \leq 4000$ ，由于市面上最接近的为 3600 转的编码器，故选此型号。

令 D0 为测得的脉冲数，n 为编码器一圈的脉冲个数，T 为采样周期（毫秒），则
转速的表达式为： $\frac{D0}{n \cdot T} * 60 * 1000 \text{ rpm}$

本设计中选择 20ms 为采样周期（SPD X0 K20 D110），因为

$$\text{转速为: } \frac{D0 \cdot 60000}{3600 \cdot T} = D0 * \frac{50}{3 \cdot T} \text{ rpm}$$

若 $\frac{50}{3 \cdot T}$ 值太大，则 D0 每次增加 1，转速的变化幅度大，无法控制在 ± 1 转内。
若 $\frac{50}{3 \cdot T}$ 值太小，尽管转速的变化变得精确，但相应采样周期 T 很长，会使得反应时间变慢。
故 $\frac{50}{3 \cdot T}$ 值最接近 1 时较好，此时选择 T=20， $\frac{50}{3 \cdot T}$ 为 $\frac{5}{6}$ 。

二、开环下的图像及程序

开环下， $U_0 = n^* \times 10 \div 3$ ，其中 n^* 为输入的转速。但由于电动机无法达到 1500rpm 的转速，故实际为 $U_0 = n^* \times 5000 \div 1475$ 。



图 2-1 相关代码

以上代码中，D20 为输入的转速 n^* 的 float 值，将其乘 5000 除以 1475 后得到的 D40 为 U_0 ，来控制电动机。

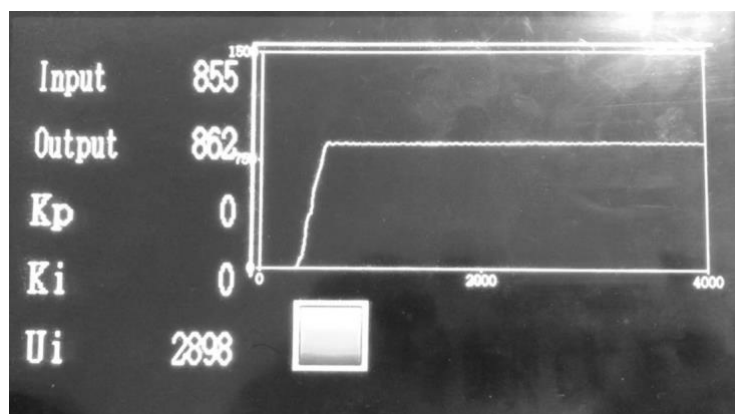


图 2-2 开环下的图像

开环下输出与输入间只是单纯的线性关系，不会有任何校正。

三、闭环下的 P 调节图像及程序

闭环 P 调节下， $U = K_p \times e + U_0$ ， $e = n^* - n$ 实测

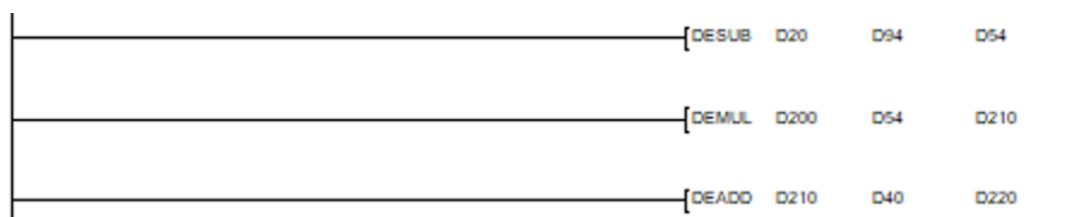


图 3-1 相关代码

以上代码中，D20 为 n^* ，D94 为实际测得的转速 n ，D54 为误差值 e ，D200 为输入的 K_p 除以 100 后的值，D220 为 U 。

输入不同的 K_p 值，产生不同程度的超调。

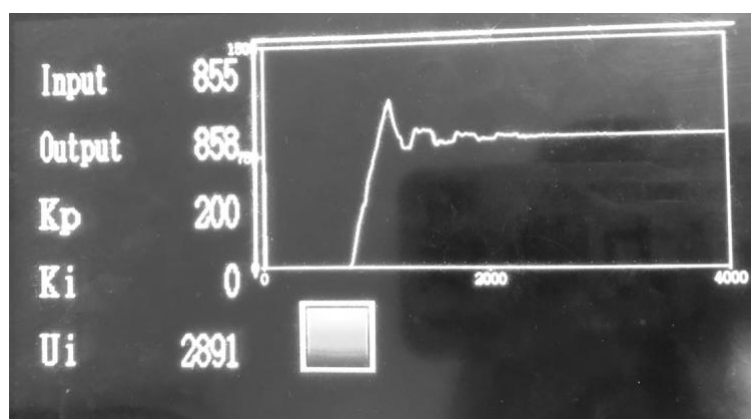


图 3-2 超调 大

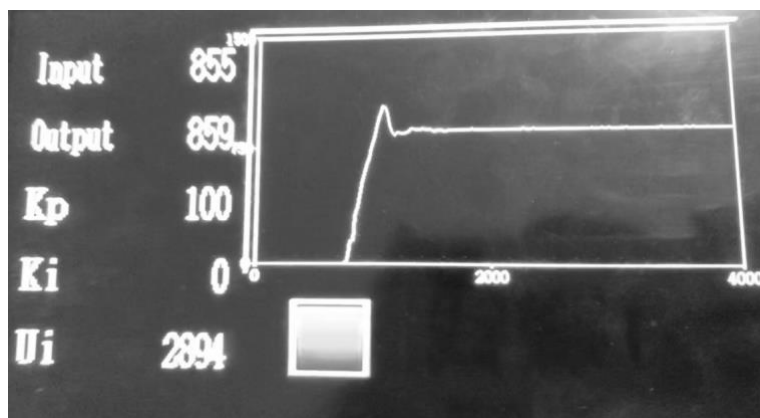


图 3-3 超调 中

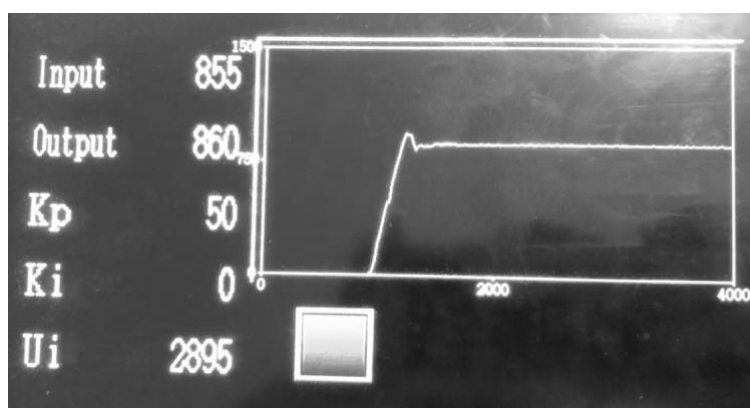


图 3-4 超调 小

P 调节必有静态误差。

四、闭环下的 PI 调节图像及程序

闭环 PI 调节下， $U_i = K_p \times e_i + K_i \times \sum e_i + U_0$ ， $\Delta U_i = K_p(e_i - e_{i-1}) + K_i \times e_i$

设定每 20ms 采样一次，通过对 D112 大小进行判断来实现。比较刷新前后 D112 的大小，若后者大于前者，则触发。这样可以确保两次触发的间隔为 20ms。

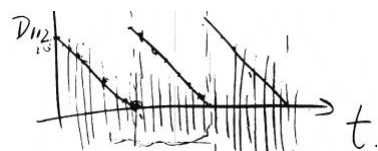


图 4-1 D112 示意

显示器上的时间横轴为 4000ms，由每 20ms 采样一次的 200 个采样点构成。200 个采样点通过 变址寄存器 实现储存。

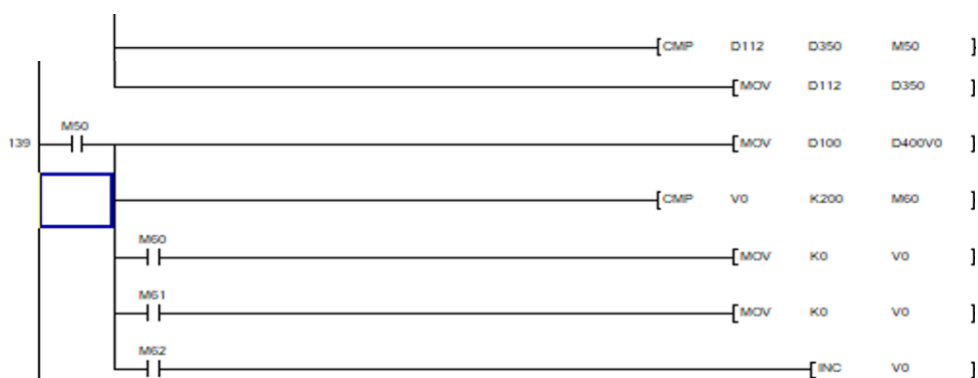


图 4-2 实现每 20ms 储存一次转速

D112 为刷新后值，D350 为刷新前值，当 $D112 > D350$ 时 M50 触发。
当 $v0 < 200$ 时进行 INC V0，否则重置 V0 为 0。

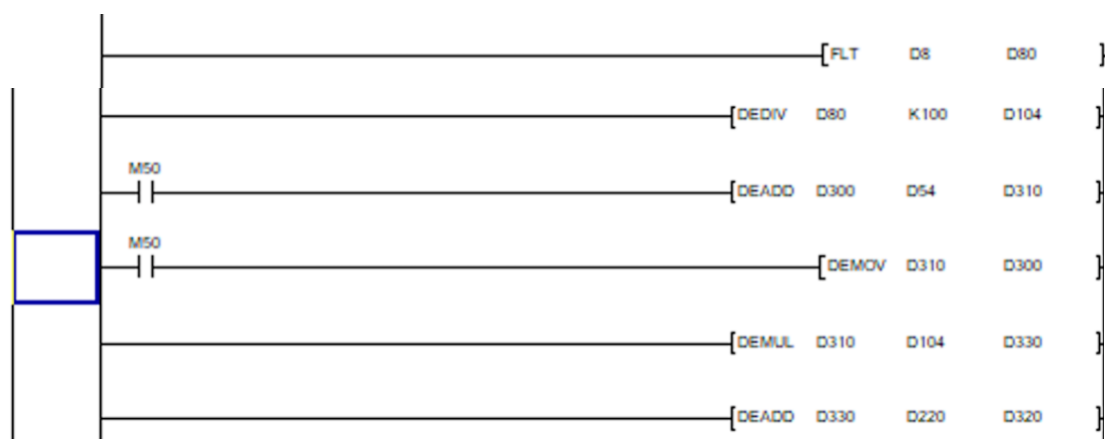


图 4-3 PI 调节中积分部分的实现

D104 为输入的 K_i 除以 100 后的值，每 20ms 一次，将 error D54 加到 D300 得到 D310，再将 D310 重新覆盖到 D300 中，实现误差的累积。最终的 D320 为 U_i 。

输入一组较好的 K_p 、 K_i 值，得到图像：

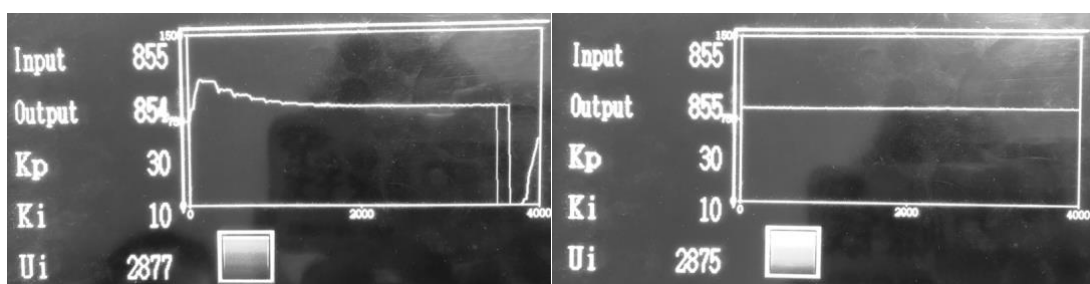


图 4-4 K_p 取 30， K_i 取 10 时的图像

在其他组合的 K_p 、 K_i 下，得到如下图像：

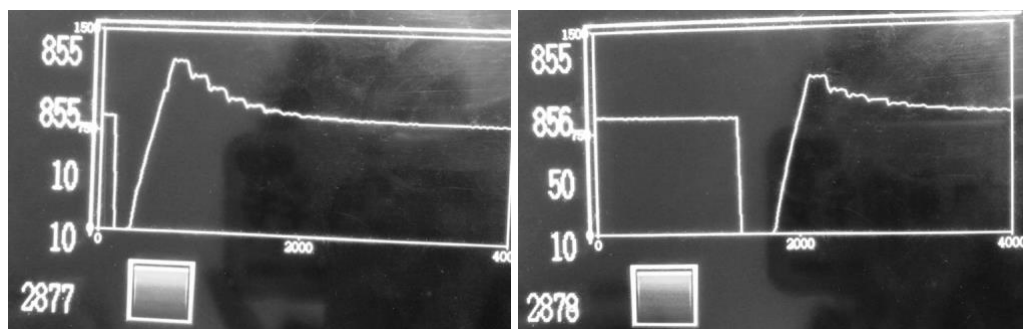


图 4-5 K_i 取 10， K_p 分别取 10 和 50 时的图像

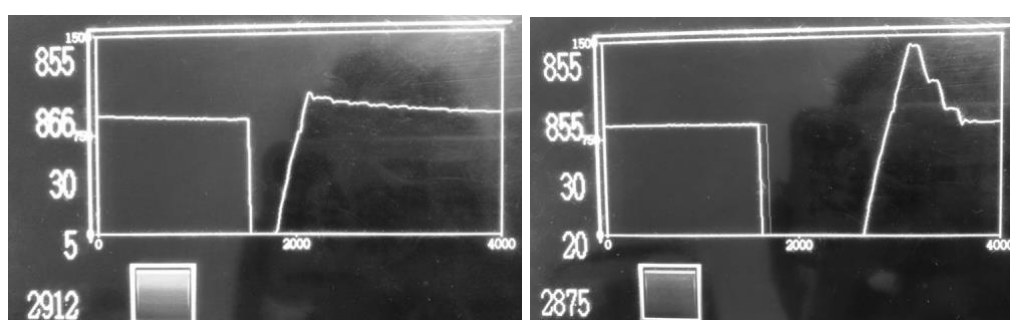


图 4-6 K_p 取 30， K_i 分别取 5 和 20 时的图像

五、建议及问题

运动控制设计这门课程提供了进一步熟悉 PLC 梯形图编程的机会，通过小组成员的讨论、设计，较为独立地实现了对电动机转速误差控制在正负一转内的要求。课程的安排很合理，老师的指导也恰到好处，必要的背景知识都有讲解。

设计一开始时遇到的问题主要是对于一些语句的不熟悉所导致的，比如 CMP 语句、变址寄存器的使用等，这些问题都随着课程设计的深入而解决了。