



# 基于CAN总线的永磁同步电机控制系统设计与实现



班级：电气1802

姓名：刘文昊

学号：2018010726

指导教师：熊鸣

## 背景与简介

永磁同步电机在磁场定向控制驱动下可以做到低转速下精确控制、任何转速下电机都能自由换向、效率高、能进行力矩控制且噪音低。

效率高和噪音低的优点使它可以应用于交通运输行业如高速铁路，低转速下精确控制和力矩控制这些优点使得永磁同步电机构成的传动系统更加可靠，也响应了国家对节能减排的号召。

本设计硬件部分MCU使用的STM32F405，通讯方式采用CAN总线协议。集成了MOS驱动和电流运算放大器的驱动芯片DRV8323S，具有驱动100W永磁同步电机的能力。核心控制算法为磁场定向控制FOC算法，可通过三个PID控制环精确的控制电机的电流、速度及位置。

## 系统总体设计

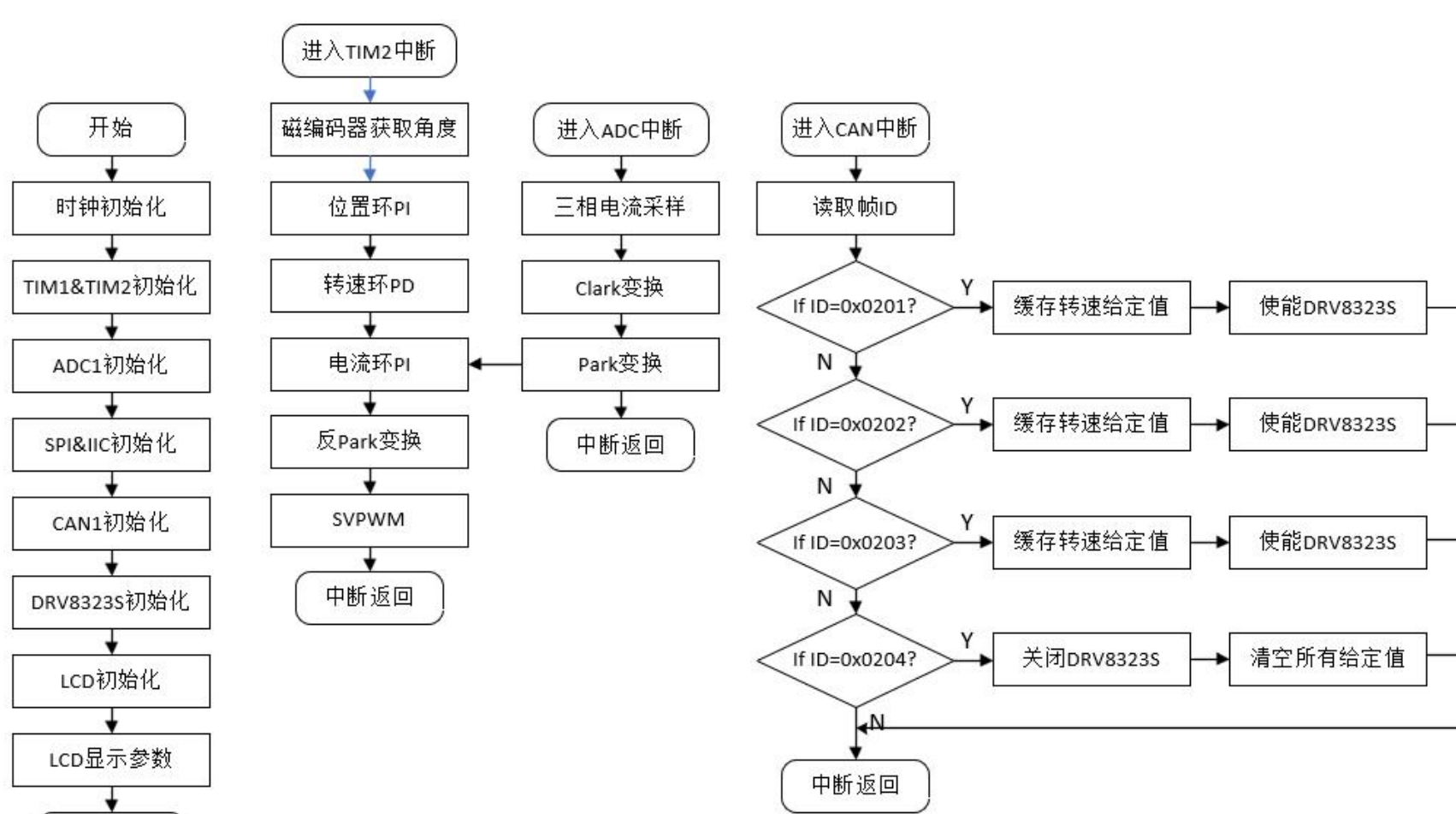


图1 整体程序工作流程

- 1) 主程序首先对要使用的各外设和寄存器进行初始化，然后通过SPI接口与LCD和驱动芯片进行通讯。
- 2) 当上位机通过CAN总线发送标准帧数据后，触发CAN中断，随后根据不同帧ID运行对应的程序或接收控制环给定值。
- 3) ADC中断通过TIM1定时器的通道四PWM上升沿触发，来确保能在三相下桥臂都导通的时刻采集到电流。
- 4) TIM2定时器用来计算磁场定向控制FOC的控制算法，首先根据磁编码器采集到的位置信息进行位置环计算为给定转速，之后结合磁编码器计算出的速度进行转速环计算得到给定电流，与经过Clark和Park变换的电流反馈值进行闭环调节后得到静止两相电压，利用该电压及位置信息进行SVPWM扇区的判断与选择，SVPWM采用七段式调制方式。

## 控制系统硬件及算法设计

### 永磁同步电机控制系统PCB设计

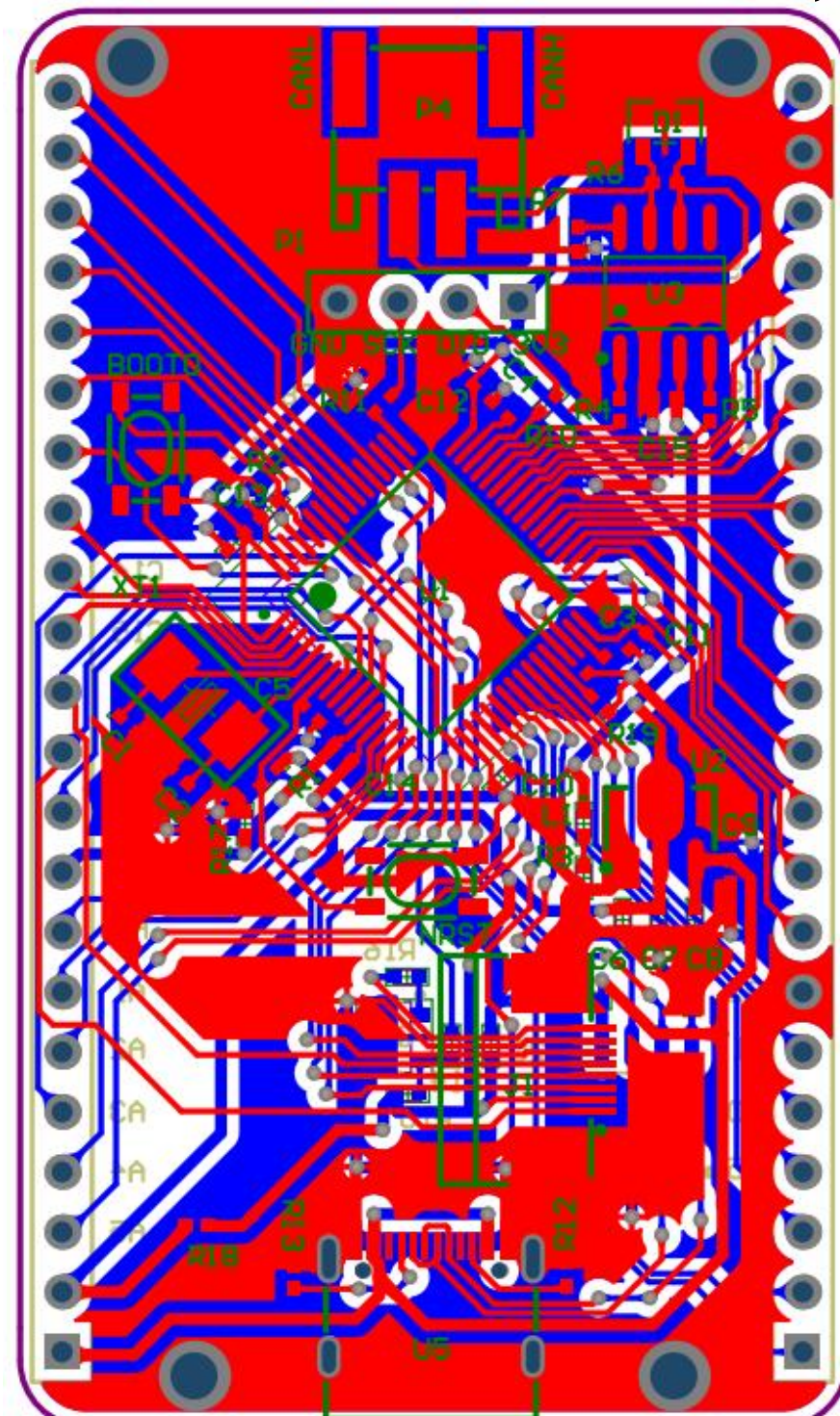


图2 主控电路

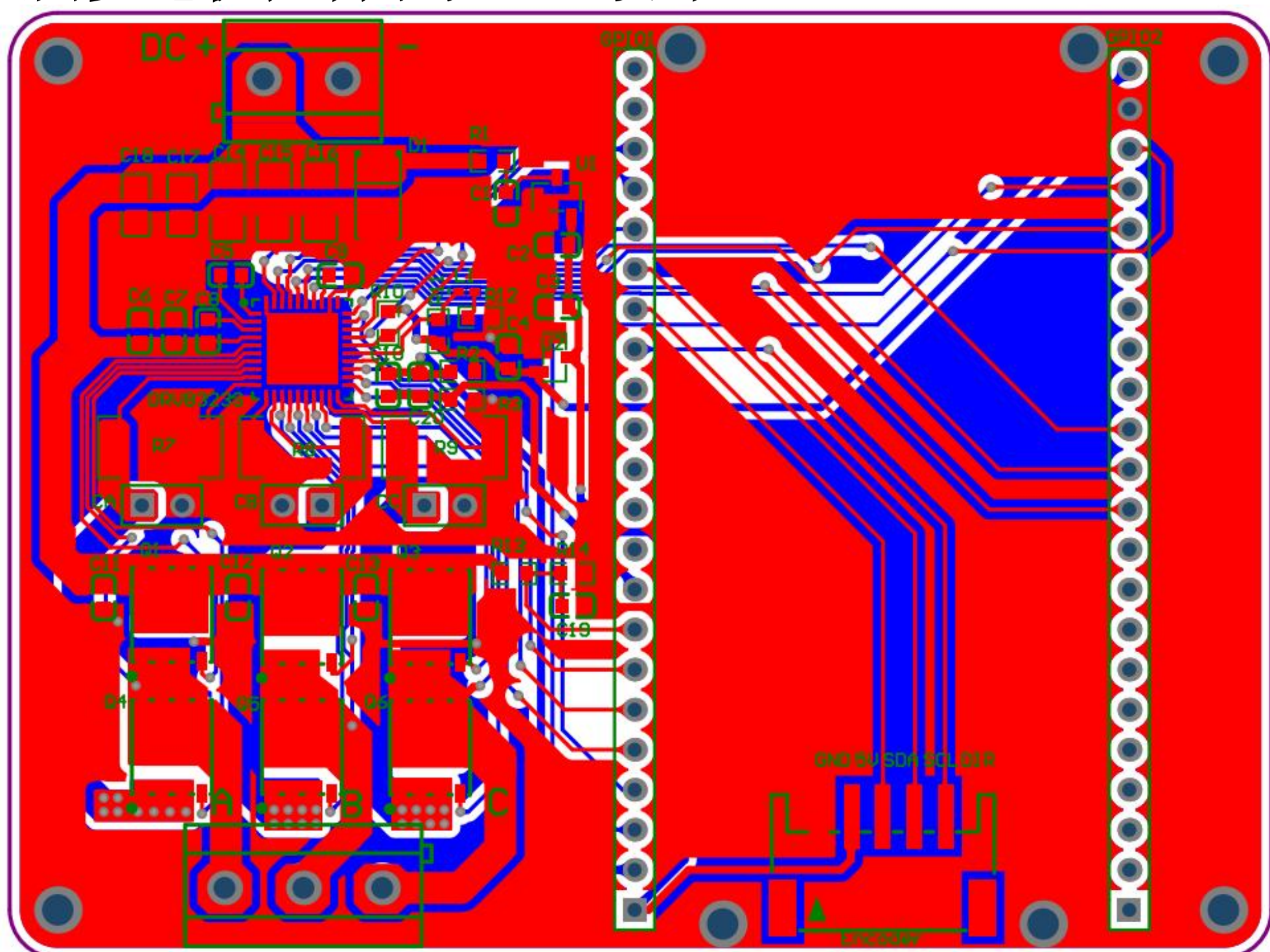


图3 驱动电路

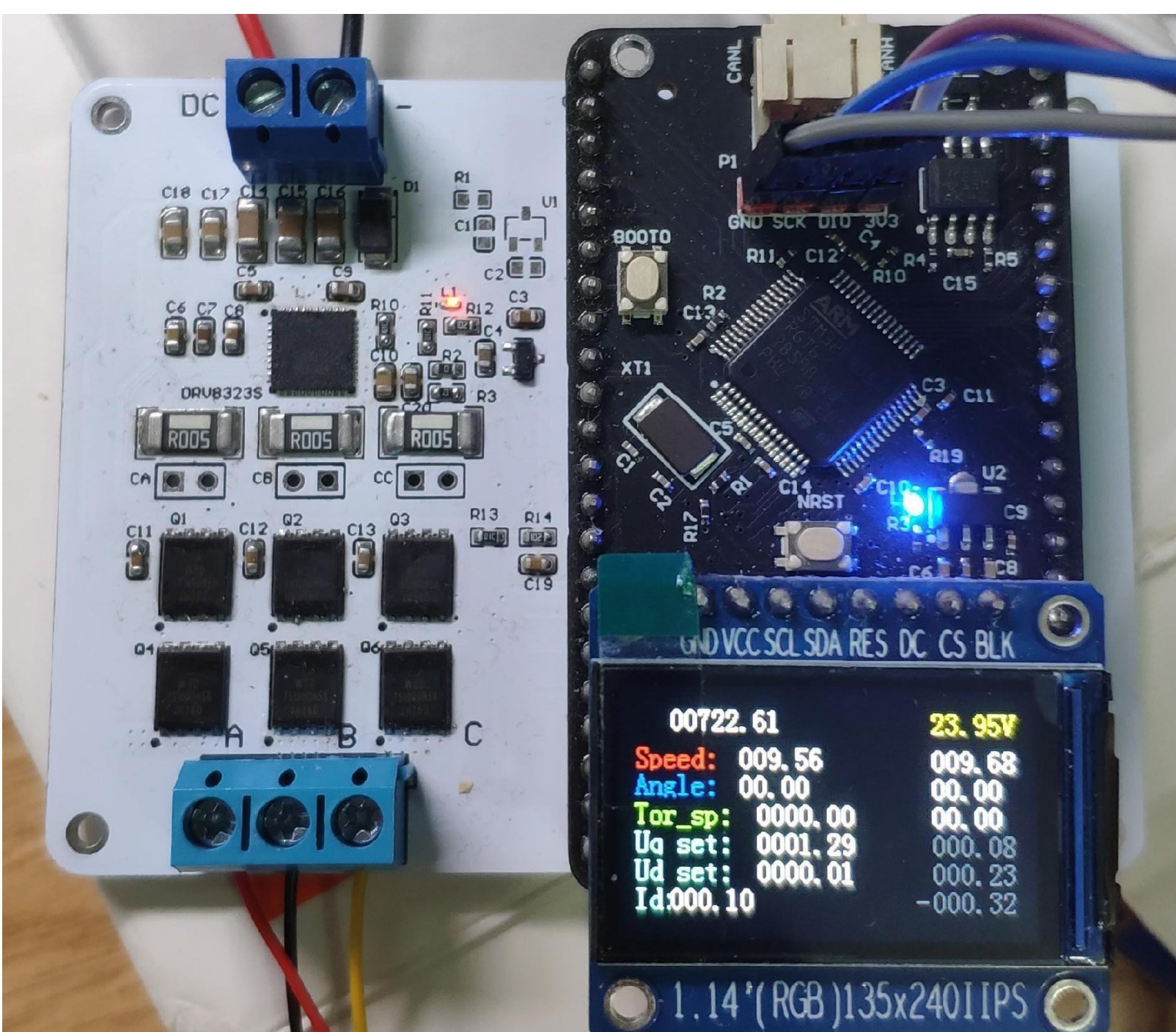


图4 控制系统实物图



图5 LCD显示内容

### 永磁同步电机控制算法：FOC

磁场定向控制（Field-Oriented Control, FOC）通过将定子磁链解耦分解为产生磁场和转矩两部分并分别调节，在实现了正弦波电压控制的同时也间接控制了电流的大小，实现了电流矢量的控制，因此FOC具有转矩波动小、效率高、噪声小和动态响应快等优点。

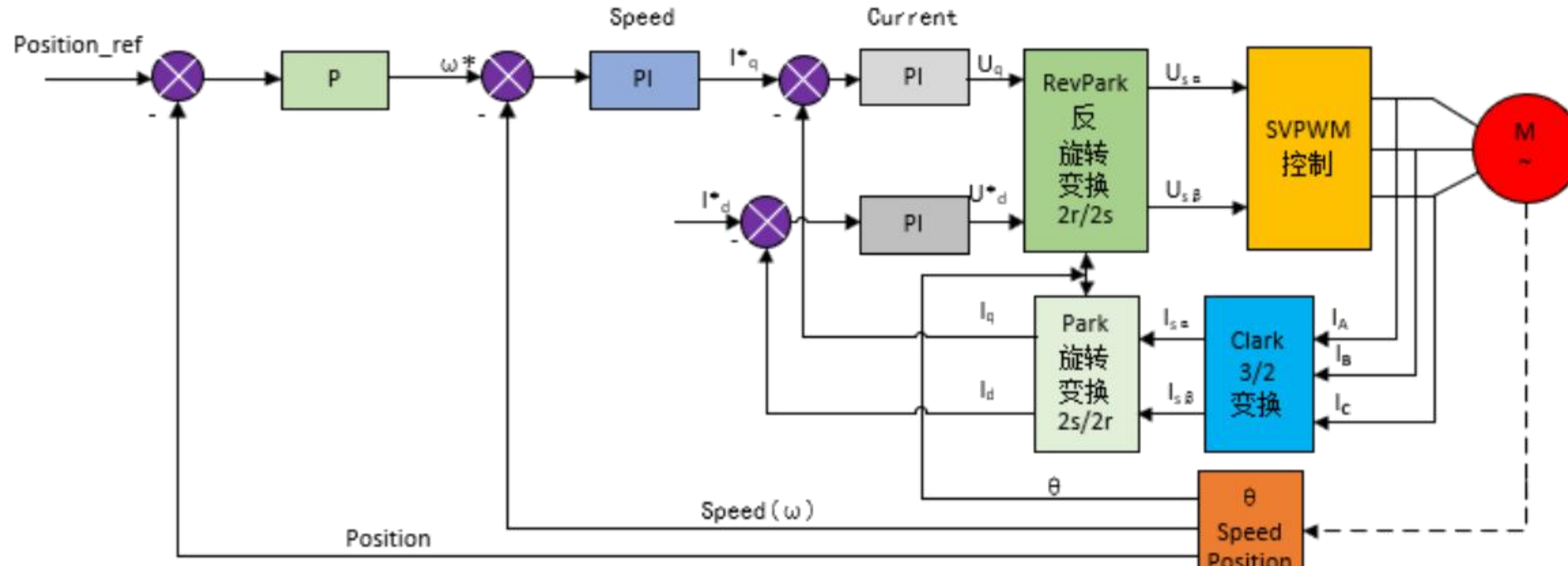


图6 磁场定向控制系统模型

- 1) Park变换: 
$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix}$$
- 2) Clark变换: 
$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$
- 3) SVPWM:

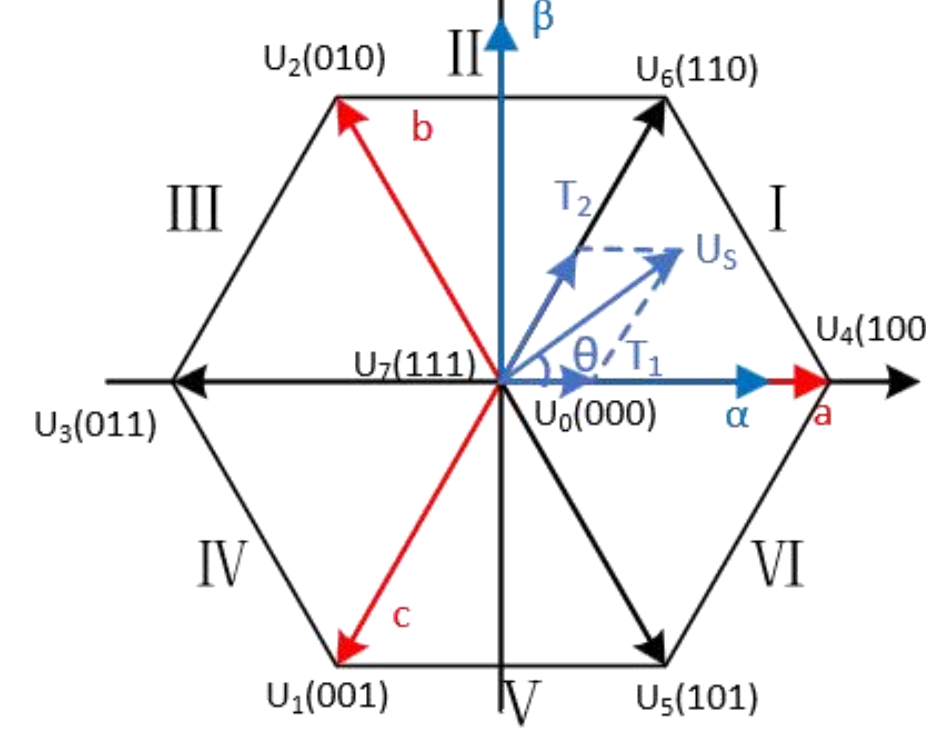


图7 空间电压矢量图

- 4) SVPWM扇区判断: 结合图7可以得到空间电压合成矢量公式:

$$\begin{cases} U_s = \frac{T_1}{T_s} U_1 + \frac{T_2}{T_s} U_2 \\ T_s = T_1 + T_2 + T_0 \end{cases}$$

之后根据七段式SVPWM调制方式得到对应扇区工作时间，如第一扇区的工作时间为:

$$\begin{cases} T_a = T_1 + T_2 + \frac{T_0}{2} \\ T_b = T_2 + \frac{T_0}{2} \\ T_c = \frac{T_0}{2} \end{cases}$$

References:

[1]Gao, Y. & Y. Gao. Research of PMSM Fuzzy Direct Torque Control Based on Sliding Mode Observer[C]. International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE: Piscataway, NJ, 2017: 17-21.

## 系统控制效果

电流环使用PI调节。给定q轴电压为2时，电机启动且能迅速达到预设值附近并稳定一段时间，且d轴电压经PI调节后能稳定在小数点后几位，如图8所示。接着给定值为5时，电机快速到达对应力矩的输出。最后再次给定q轴电压为2时，电机立刻降到初始的速度，至此电流环控制效果基本实现。



图8 单电流环控制

经过调试PD，转速环得到了相对稳定的控制效果。调试结果如图9所示，在转速设为9.56r/min时，电机转速能控制在约为9.68r/min附近。且较高速如图10在400r/min运行时几乎没有振动。经测试，运行在10r/min时，突然施加100r/min的给定值，电机能立刻加速到对应值附近，且再给定10r/min后还可以立刻减速到对应值，响应速度较好。



图9 转速环低速测试



图10 转速环高速测试

位置环在转速环基础上加上比例环节。调试后，设定角度为60°时，按下RESET键，电机先进行电角度归零，然后瞬间到达指定位置，如图11和12所示，误差约为3°。

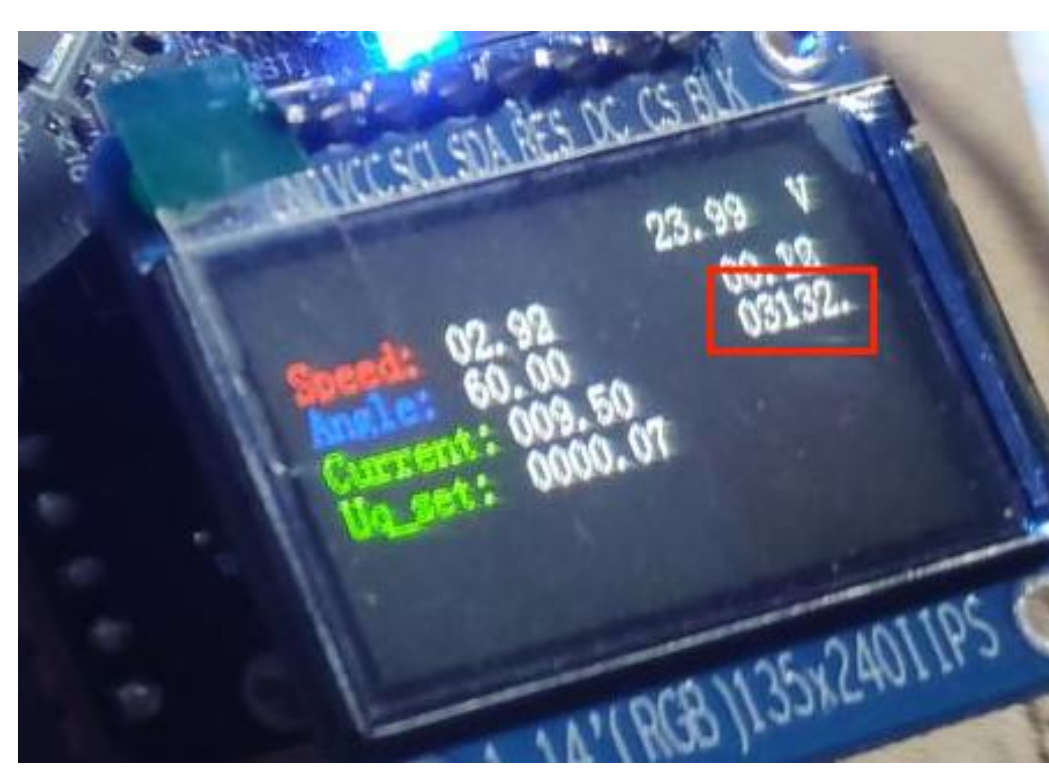


图11 角度闭环运行前



图12 角度闭环运行后

## 结论

本次毕业设计中，涉及到了器件的选型及电路的绘制，以及电路的焊接、程序的编写、参数的调试和排查问题的方法。利用STM32F405较强的处理能力和丰富的外设，最终将电力拖动自动控制系统课程中学到的磁场定向控制FOC算法从数学模型转换成了实际的应用，分别实现了电流环、转速环和位置环的控制，且响应速度快、实际控制效果较为精确。此外，利用CAN总线协议稳定的通讯能力及充足的数据帧，实现了通过上位机PC发送CAN数据控制电机旋转并发挥不同功能，如直接控制力矩输出、控制转速或保持在指定机械角度。