

扫地宝主吸应用手册

单相电机控制 MCU FU5821

峰昭科技(深圳)股份有限公司

目 录

1 系统介绍	4
1.1 概述.....	4
1.2 应用场景.....	4
1.3 特征.....	4
2 应用电路说明	6
2.1 FU5821T 演示板原理图	6
2.2 电路的简介.....	6
2.2.1 电源反接保护电路.....	6
2.2.2 电流检测电路.....	7
2.2.3 Hall 电路	7
2.2.4 MOSFET 驱动电路.....	7
2.2.5 反电动势检测电路.....	8
2.2.6 通信接口	9
3 软件架构及功能说明	10
3.1 电机驱动状态迁移.....	10
3.2 用户参数设置头文件.....	11
3.3 主要函数说明.....	11
3.3.1 顺逆风检测函数 TailWindCheck().....	11
3.3.2 堵转保护检测函数 Fault_Locked()	11
3.3.3 限流/过流 LOCP_IRQ().....	12
3.3.4 过压欠压保护函数 Fault_OverUnderVoltage().....	12
4 参数描述	13
4.1 时钟和参考电压.....	13
4.2 Timer1 预分频	13
4.3 顺逆风检测功能设定.....	13
4.4 工作电压的确定.....	14
4.5 载波频率与死区时间.....	14
4.6 Hall 类型的选择	14
4.7 Hall 迟滞与 Hall 滤波	15
4.8 控制模式.....	15
4.9 起始与关闭占空比.....	15
4.10 启动.....	16

4.11 爬坡参数.....	16
4.12 闭环参数.....	17
4.13 输入 PWM 频率范围.....	17
4.14 FG/RD	17
4.15 堵转检测.....	18
4.16 正反转与续流方式.....	18
4.17 限流/过流保护	19
4.18 欠压/过压保护	20
4.19 转速稳定值设置.....	20
4.20 Hall 边沿选择	21
4.21 平台角设置.....	21
4.22 提前角设置.....	21
4.23 软切换 Soft-Switch	22
4.24 速度曲线调试.....	23
5 修改记录.....	25

1 系统介绍

1.1 概述

FU5821 是一款集成电机控制引擎(ME)和 8051 内核的直流无刷单相电机驱动专用芯片，ME 集成 Smart Engine 模块，可独立完成高速电机运算；8051 内核用于参数配置和日常事务处理，双核并行工作实现各种高性能电机控制。其中 8051 内核大部分指令周期为 1T 或 2T，芯片内部集成有高速比较器、Pre-driver、ADC、CRC、I2C、UART、多种 Timer、PWM 等功能，内置高压 LDO，适用于有 Hall 单相 BLDC 电机的方波驱动控制。

1.2 应用场景

有 Hall 单相直流无刷电机。

1.3 特征

- 电源电压: 5V ~ 28V
- 双核: 8051 内核和 ME
- 指令周期大多为 1T 或 2T
- 6kB Flash ROM、带 CRC 校验功能、支持程序自烧录和代码保护功能
- 256 bytes IRAM, 256 bytes XRAM
- ME: 单相电机控制引擎
- 4 级优先级中断、15 个中断源
- GPIO:
 - FU5821T: 8 个 GPIO
- 定时器:
 - 3 个通用定时器
 - 1 个 BLDC 电机专用定时器
 - 1 个 RTC 定时器
- 1 个 I2C
- 1 个 UART, 支持反向输入、反向输出模式, 支持单线模式
- 模拟外设:
 - 10 位 ADC, 2 μ s 转换时间, 参考电压为 VDD5
 - ADC 通道数:
 - ◆ FU5821T: 6 通道
 - ◆ 内置 VCC 电压采样通道
 - 3 组模拟比较器组(5 个比较器)

- DAC:
 - ◆ 1路6位, 用于限流保护
 - ◆ 1路4位, 用于过流保护
- 驱动类型:
 - 2P2N Pre-driver 输出
- BLDC 控制支持自动换相、逐波限流, 支持 Hall、BEMF 检测
- 时钟:
 - 系统时钟为内置 $24\text{MHz} \pm 2\%$ 精准时钟
 - 内置 32.8kHz 低速时钟
- WDT
- 两线制 FICE 协议提供在线仿真功能

2 应用电路说明

2.1 FU5821T 演示板原理图

演示板围绕 FU5821T，设计了电源反接保护电路、电流检测电路、Hall 电路、MOSFET 驱动电路、反电动势检测电路、通信接口。只支持有感驱动。

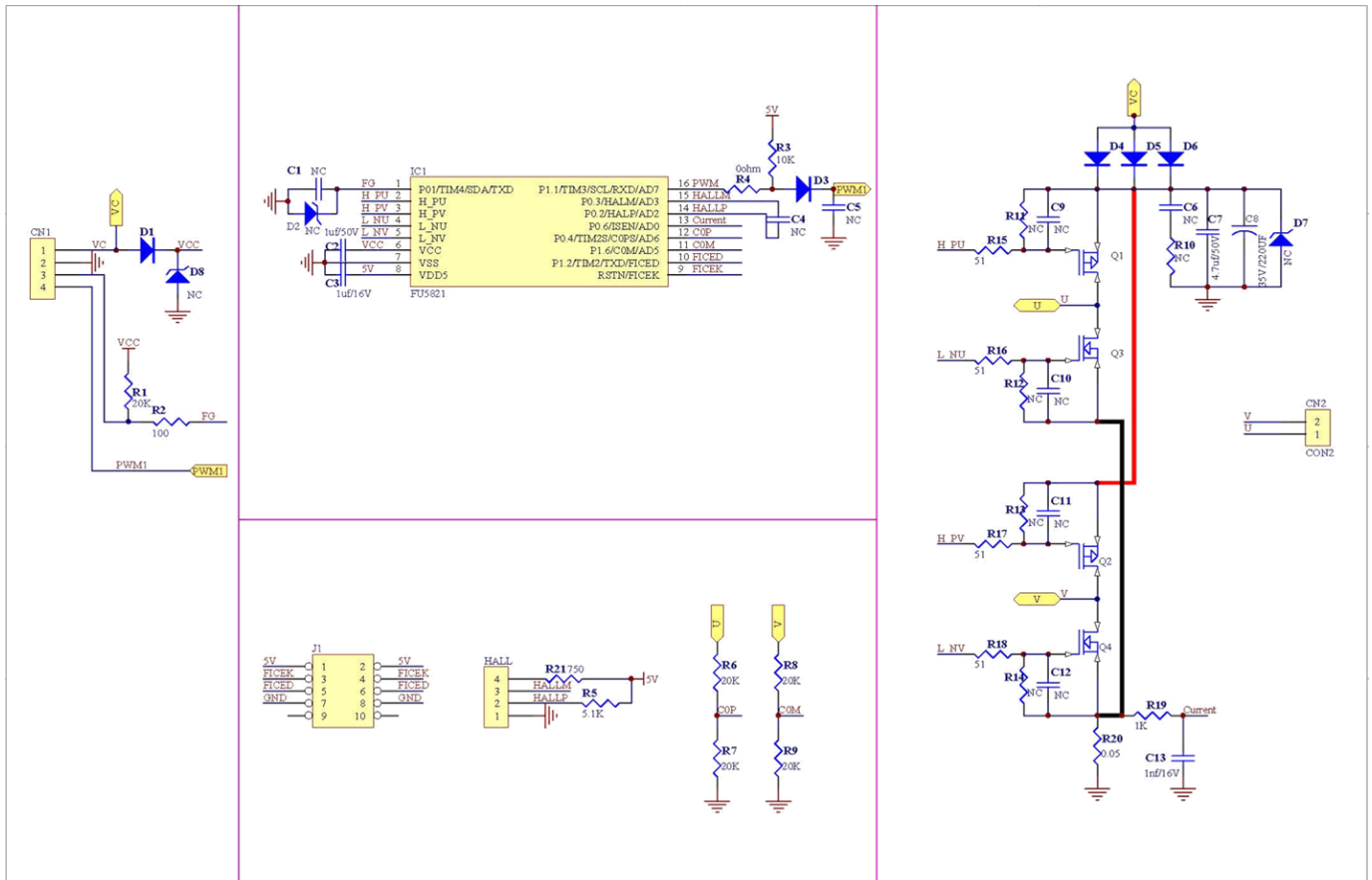


图 2-1 FU5821T 演示板线路图

2.2 电路的简介

2.2.1 电源反接保护电路

外部直流电源通过 D1 防反接二极管给 FU5821 的 VCC 供电。FU5821 工作电压范围为 5V ~ 24V。

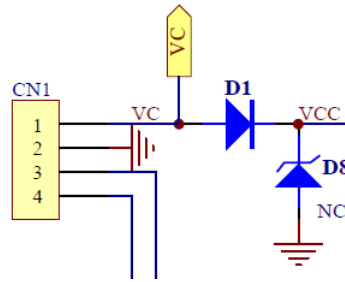


图 2-2 电源反接保护电路

2.2.2 电流检测电路

FU5821 电流检测电路是检测采样电阻的端电压，经滤波后，把采样电阻端电压通过芯片的 Current 引脚接到芯片内部比较器和 AD 采样端口，实现电流采样。此电路用于限流和过流保护。

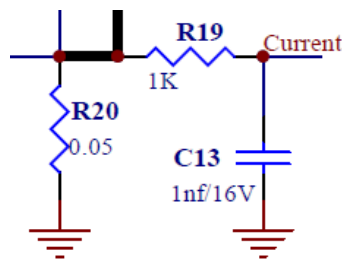


图 2-3 母线电流检测电路

2.2.3 Hall 电路

FU5821 支持数字 Hall 和模拟 Hall。选用模拟 Hall 时，由 FU5821 的 VDD5 给 Hall 供电，Hall 信号输入到 HallM 和 HallP 引脚。选用数字 Hall 时，HallP 引脚外接上拉电阻 2k。

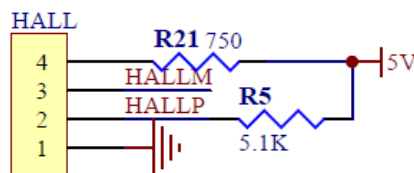


图 2-4 Hall 信号输入接口

2.2.4 MOSFET 驱动电路

MOSFET 驱动电路由 2P + 2N 和阻容器件组成。上桥功率器件为 P 型 MOSFET 型，下桥功率器件为 N 型 MOSFET，由 MCU 内置前驱电路直接驱动。

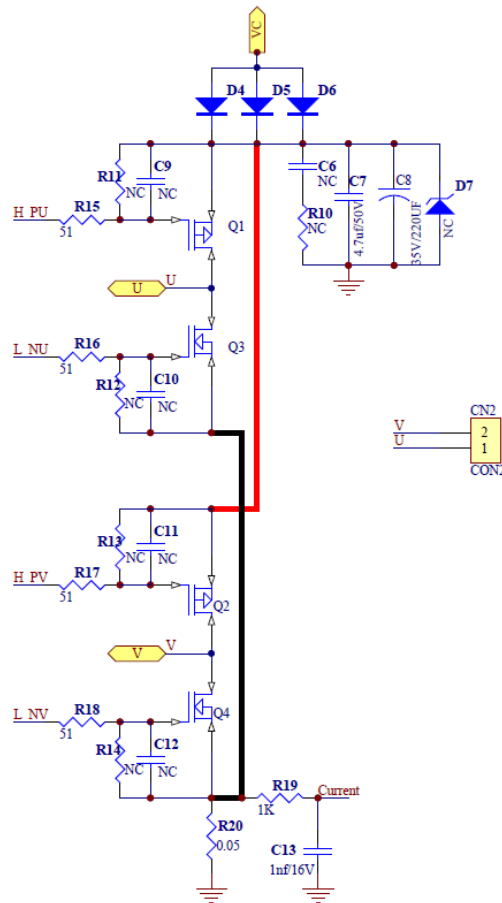


图 2-5 MOSFET 驱动电路

2.2.5 反电动势检测电路

反电动势检测电路是把电机的 U、V 相电压通过分压后接入到 FU5821 芯片的 11 脚和 12 脚进行反电动势检测，它的作用是用于顺逆风检测。

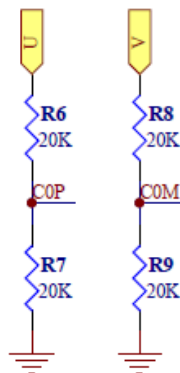


图 2-6 反电动势信号输入电路

2.2.6 通信接口

此接口为仿真器接口，VDD5 对应仿真器 VDD 引脚、K 对应仿真器 FICEK 引脚、D 对应仿真器的 FICED 引脚、GND 对应仿真器的 GND。此接口用于程序调试，也可用于产品板的在线烧录。

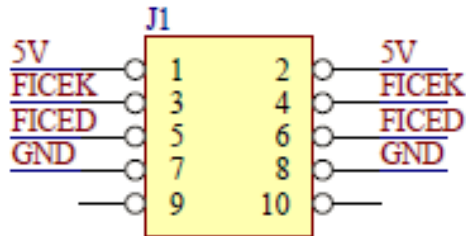


图 2-7 通信接口

3 软件架构及功能说明

3.1 电机驱动状态迁移

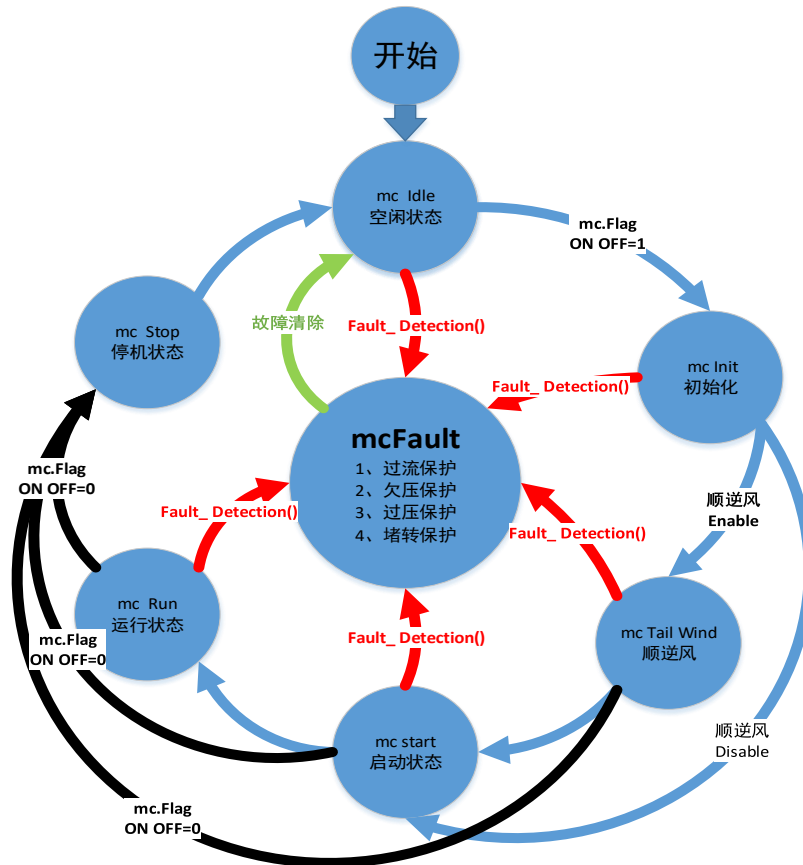


图 3-1 电机驱动状态迁移

电机驱动的状态由主程序 main()中的 MC_Control()函数进行管理。

- 空闲状态(mcIdle): 进行电机驱动参数的初始化
- 顺逆风状态(mcTailWind): 使能顺逆风检测功能，启动电机前先对电机进行顺逆风检测。否则直接进入启动状态。
- 启动状态(mcStart): 设定初始占空比，读取 Hall 状态，使能 MOE，更新占空比和电机的角度，启动电机。
- 运行状态(mcRun): 电机完成加速，进入稳定运行状态。根据指令进行加速或者减速
- 停止状态(mcStop): 当接收到停止指令后，电机进入停止状态(mcStop)，不使能 MOE。程序返回到空闲状态(mcIdle)。
- 故障状态(mcFault): 在启动和运行的过程中，如果检测出电机发生故障，将会进入故障状态(mcFault)，关闭输出。当重启条件满足时，进入空闲状态(mcIdle)。

故障保护包括:

- 母线欠压
- 母线过压
- 母线过流
- 堵转

3.2 用户参数设置 - 头文件

头文件 `Customer.h` 定义客户电机系统参数, 在开始调试之前需要进行详细设定。主要定义内容包括:

- 电机参数: 电机极对数
- 控制板相关参数: 工作电压、母线电压采样分压电阻
- 时间段参数: 顺逆风、堵转、启动、爬坡阶段的时间长度
- 驱动参数: PI 控制器的控制系数
- 速度参数: 启动占空比、基准速度、开停机占空比、顺逆风速度
- 模式选择: Hall 模式
- 保护参数: 限流、过流、欠压、过压阈值的选择

3.3 主要函数说明

3.3.1 顺逆风检测函数 `TailWindCheck()`

顺逆风检测的方法是通过检测 Hall 信号与反电动势的相位关系, 判断电机处于顺风状态、逆风状态或静止状态。

- 如果检测的转速小于 `TH_WIND_SPEED` 设定的转速, 启动电机
- 如果检测到电机状态是顺风状态, 启动电机
- 如果检测到电机状态是逆风状态, 当转速小于 `HEAD_WIND_SPEED` 设定的逆风转速时, 启动电机。当转速大于 `HEAD_WIND_SPEED` 设定的转速时, 执行刹车动作, 等待转速小于 `HEAD_WIND_SPEED` 设定的逆风转速, 启动电机
- 如果不使能顺逆风检测, 程序初始化后直接进入启动状态, 启动电机

3.3.2 堵转保护检测函数 `Fault_Locked()`

堵转保护检测在电机运行过程中, 判断电机是否发生堵转故障。发生堵转故障时, 关闭输出, 保护电机及元器件不被损坏。

堵转保护检测函数在 1ms 中断里被调用, 程序在设定的 `LOCK_DETECT_TIME` 时间内没有检测到 Hall 有效沿, 发生堵转故障。电机运行状态机进入(mcFault)状态, 故障源为堵转故障。

3.3.3 限流/过流 LOCP_IRQ()

如果比较器的状态寄存器过流中断标志置 1，发生过流故障，故障源为过流故障，电机运行状态机进入(mcFault)状态。

限流不报中断，限流比较器上升沿关闭 MOE，4 μ s 后使能 MOE。

3.3.4 过压欠压保护函数 Fault_OverUnderVoltage()

过欠压保护功能检测母线电压，当电压过高或过低时，关闭输出，保护元器件和电机不被损坏。母线电压由 VCC 引脚经过 1/10 电阻分压后，送入 ADC 通道 10 进行采样。

如果连续 10ms 检测到的母线电压大于 OVER_PROTECT_VOLTAGE 设定的电压时，发生过压故障。电机运行状态机进入(mcFault)状态，故障源为过压故障，关闭输出。如果连续 10ms 检测到的母线电压小于 UNDER_PROTECT_VOLTAGE 设定的电压时，发生欠压故障。电机运行状态机进入(mcFault)状态，故障源为欠压故障，关闭输出。

4 参数描述

将电机参数以及各种参数设定到 Customer.h 文件中，进行电机控制调试。

4.1 时钟和参考电压

FU5821 的基准电压 HW_ADC_REF 固定为 5.0。时钟频率 MCU_CLK 固定为 24000000UL。DRV_CLK 固定为 MCU_CLK*2。

```

/*-----时钟和参考电压-----*/
#define MCU_CLK          (24000000UL)
#define DRV_CLK          (MCU_CLK * 2)
#define HW_ADC_REF      (5.0)      // (V) ADC参考电压
    
```

图 4-1 时钟和参考电压

4.2 Timer1 预分频

此参数用于计算角度和时间，TIMER1_PSC 默认选择 PSC_16_DIVISION。

```

/*-----TIMER1预分频-----*/
#define PSC_1_DIVISION  (0)
#define PSC_2_DIVISION  (1)
#define PSC_4_DIVISION  (2)
#define PSC_8_DIVISION  (3)
#define PSC_16_DIVISION (4)
#define PSC_32_DIVISION (5)
#define PSC_64_DIVISION (6)
#define TIMER1_PSC      (PSC_16_DIVISION)
    
```

图 4-2 Timer1 预分频

4.3 顺逆风检测功能设定

TAIL_WIND_DETECT 选择 ENABLE 使能顺逆风检测。TAIL_WIND_DETECT 选择 DISABLE 不使能顺逆风检测。

TAIL_WIDN_TIME 为顺逆风检测时间，此时间固定为 250ms。

TH_WIND_SPEED 启动速度，如果检测的转速小于 TH_WIND_SPEED 设定的转速，启动电机。

HEAD_WIND_SPEED 逆风启动速度，当转速小于 HEAD_WIND_SPEED 设定的转速时，启动电机。当转速大于 HEAD_WIND_SPEED 设定的转速时，执行刹车动作，等待转速小于 HEAD_WIND_SPEED 设定的转速，启动电机。

顺风时直接启动，根据不同的转速以不同的占空比启动电机。

```

/*-----顺逆风-----*/
#define TAIL_WIND_DETECT (ENABLE)
#define TAIL_WIND_TIME (250) //250ms,不能修改
#define TH_WIND_SPEED (300) //RPM,不管是顺风还是逆风,小于此速度就正常转
#define HEAD_WIND_SPEED (500) //RPM,逆风小于此速度就正转
    
```

图 4-3 顺逆风检测功能设定

4.4 工作电压的确定

根据实际应用电路选择工作电压模式，母线电压为 12V 时 OPERATION_VOLTAGE 选择 RATED_VOLTAGE_12V。母线电压为 48V 时 OPERATION_VOLTAGE 选择 RATED_VOLTAGE_48V。

```

/*-----工作电压选择-----*/
#define RATED_VOLTAGE_12V (0)
#define RATED_VOLTAGE_48V (1)
#define OPERATION_VOLTAGE (RATED_VOLTAGE_12V) //24V应用请选择48V
    
```

图 4-4 工作电压的确定

4.5 载波频率与死区时间

载波频率是 MOSFET 开关频率，根据实际需求选择载波频率 PWM_FREQUENCY，默认设置为 20kHz~30kHz。

MOSFET 驱动电路是 H 桥结构，此结构存在上下桥臂同时导通的风险，为了避免此风险的发生，需要加入死区时间 PWM_DEADTIME。一般设置 1~5。

```

/*-----载波频率和DeadTime-----*/
#define PWM_FREQUENCY (30000) //载波频率 HZ
#define PWM_DEADTIME (5.0) //死区时间 最大值10us
    
```

图 4-5 载波频率与死区时间

4.6 Hall 类型的选择

根据实际使用的 Hall，选用数字 Hall(HALL_IC)或模拟 Hall(HALL_ELEMENT)。

```

/*-----HALL类型选择-----*/
#define HALL_IC (0) //数字Hall
#define HALL_ELEMENT (1) //模拟Hall
#define HALL_MODE (HALL_ELEMENT)
    
```

图 4-6 Hall 类型的选择

4.7 Hall 迟滞与 Hall 滤波

设置 HALL_HYS_MODE 选择 Hall 迟滞电压，建议值为 HALL_HYS_10MV。该功能只在模拟 Hall 模式下有效。

设置 HALL_FILTER_MODE 选择 Hall 滤波宽度，滤除小于设置值的 Hall 毛刺信号。建议值为 HALL_FILTER_32CLOCK。

```

/* -----HALL Element时，比较器迟滞----- */
#define HALL_HYS_0MV (0)
#define HALL_HYS_10MV (1)
#define HALL_HYS_20MV (2)
#define HALL_HYS_30MV (3)
#define HALL_HYS_MODE (HALL_HYS_10MV)

/* -----HALL滤波----- */
#define HALL_FILTER_16CLOCK (0)
#define HALL_FILTER_32CLOCK (1)
#define HALL_FILTER_64CLOCK (2)
#define HALL_FILTER_256CLOCK (3)
#define HALL_FILTER_MODE (HALL_FILTER_32CLOCK)
    
```

图 4-7 Hall 迟滞与 Hall 滤波

4.8 控制模式

设置 SPEED_CONTROL_MODE 可选择开环和闭环两种控制模式。

```

/* -----开环 or 闭环----- */
#define OPEN_LOOP_ENABLE (0)
#define CLOSE_LOOP_ENABLE (1)
#define SPEED_CONTROL_MODE (OPEN_LOOP_ENABLE)
    
```

图 4-8 控制模式

4.9 起始与关闭占空比

PWM 起始占空比 ON_PWM_DUTY，当外部输入的 PWM 信号的占空比大于此值时，电机启动。

PWM 停机占空比 OFF_PWM_DUTY，当外部输入的 PWM 信号的占空比小于此值时，电机停机。

MAX_DUTY_CYCLE 设置最大输出占空比，最大可设置值为 1.0。当输入 PWM 信号的占空比大于 FULL_DUTY_CYCLE，认为输入为最大占空比，按照 MAX_DUTY_CYCLE 值输出。MAX_DUTY_CYCLE 建议值为 1.0，FULL_DUTY_CYCLE 建议值为 0.98。当控制模式选择开环，MAX_DUTY_CYCLE 设置为 1.0 表示满占空比输出；当控制模式选择闭环，MAX_DUTY_CYCLE 设置为 1.0 表示以最大转速运行。

```

/*-----起始&关闭占空比-----*/
#define OFF_PWM_DUTY      (0.07)    // 关机PWM占空比, 小于该占空比关机
#define ON_PWM_DUTY      (0.08)    // 开机PWM占空比, 大于该占空比时开机

#define FULL_DUTY_CYCLE  (0.98)    // 输出大于此值, 就以MAX_DUTY_CYCLE输出
#define MAX_DUTY_CYCLE   (1.0)     // 最大输出占空比
    
```

图 4-9 起始与关闭占空比

4.10 启动

START_DUTY, 设定启动时的初始电压占空比。START_DUTY 越大启动速度越快, 启动力矩越大。

TIME_STA_TO_RUN 为启动电压占空比作用时间, 在该时间内, 固定施加 START_DUTY 设置的电压占空比。建议值为 2000ms。

START_DUTY_CNT 为 Hall 中断计数设置值, START_DUTY_LIMIT 为最大电压占空比设置值。在前 START_DUTY_CNT 个 Hall 中断内, 软件限制电压占空比最大值为 START_DUTY_LIMIT。

```

/*-----启动-----*/
#define START_DUTY      (0.05)    // Max: 1.0 启动占空比
#define TIME_STA_TO_RUN (2000)    // Start切到RUN时间 ms

#define START_DUTY_CNT  (4)       // 启动前4个HALL中断
#define START_DUTY_LIMIT (0.2)   // 启动前4个HALL中断DUTY限制
    
```

图 4-10 启动

4.11 爬坡参数

启动爬坡时间 TIME_START_PWM_RAMP, 启动过程中每隔一段时间更新一次转速指令值, 时间间隔由 TIME_START_PWM_RAMP 设定。数字越大, 爬坡越慢; 数值越小, 爬坡越快。

运行爬坡时间 TIME_RUN_PWM_RAMP, 调速过程中每隔一段时间更新一次转速指令值, 时间间隔由 TIME_RUN_PWM_RAMP 设定。数值越大, 调速响应越慢; 数值越小, 调速响应越快。

速度增量 INC_DELTA_SPD, 在启动或调速过程中, 转速指令增加的步进值 INC_DELTA_SPD。

速度减量 DEC_DELTA_SPD, 在调速过程中, 转速指令减少的步进值 DEC_DELTA_SPD。

为了增加电机的调节速度, 可以适当加大速度增量和速度减量, 建议值为 0.005 ~ 0.007, 也可以适当减小爬坡时间。

```

/*-----爬坡参数-----*/
#define TIME_START_PWM_RAMP (20)    //ms MAX 250
#define TIME_RUN_PWM_RAMP   (20)    //ms MAX 250

#define INC_DELTA_SPD      (0.005) //‰
#define DEC_DELTA_SPD      (0.005) //‰
    
```

图 4-11 爬坡参数

4.12 闭环参数

电机极对数，测量方法为：拨动电机一圈，观察示波器显示的反电动势波的周期数，周期数即为极对数 POLE_PAIR。

MOTOR_SPEED_BASE 速度基准，设置为最高转速的两倍。

当控制模式选择闭环时，比例系数 KP 和积分系数 KI 设置。

比例系数 KP，影响速度的响应，KP 值过大，会出现速度超调的现象。KP 值过小，速度目标值响应变慢，调速反应表现迟钝。建议值为 0.35。

积分系数 KI，影响速度响应与稳态。KI 的值过大，会引起速度振荡。在相同的速度目标值下，不同负载情况，最后达到稳定状态的速度可能会不同。KI 的值过小，速度目标值反应变慢，负载变化时速度响应变慢。建议值为 0.005。

```

/*-----闭环参数-----*/
#define POLE_PAIR          (2.0)      //电机极对数
#define SPEED_BASE        (30000.0)  //速度基准

/*-----PI参数-----*/
#define KP                  (0.35)    // 速度调节KP值
#define KI                  (0.005)  // 速度调节KI值
    
```

图 4-12 闭环参数

4.13 输入 PWM 频率范围

如果外部输入 PWM 的频率大于 800Hz，PWM_FREQUENCY_RANGE 选择 PWM_GREATER_THAN_800Hz。

如果外部输入 PWM 的频率小于 800Hz，PWM_FREQUENCY_RANGE 选择 PWM_LESS_THAN_800Hz。

```

/*-----PWM频率范围-----*/
#define PWM_LESS_THAN_800HZ (0)      // PWM频率 < 800Hz 6M Sample
#define PWM_GREATER_THAN_800HZ (1)  // PWM频率 > 800Hz 48M Sample
#define PWM_FREQUENCY_RANGE (PWM_GREATER_THAN_800HZ)
    
```

图 4-13 输入 PWM 频率范围

4.14 FG/RD

选择 FG/RD 信号输出。

SIGNAL_OUT 选择 FG_OUT，输出 FG 信号，电机运行时 FG 信号为 50%占空比的方波信号。FG 实时反馈电机转速。

SIGNAL_OUT 选择 RD_OUT，输出 RD 信号，电机正常运行时 RD 信号为低电平，电机停止时 RD 信号为高电平。RD 指示电机的故障状态。

FG 倍频系数 FG_MULTIPLIER。

FG 分频系数 FG_DIVISION。

```

/* -----FG / RD----- */
#define FG_OUT          (0)
#define RD_OUT          (1)
#define SIGNAL_OUT      (FG_OUT)

/* -----FG分频倍频----- */
#define FG_MULTIPLIER    (1)      // 倍频系数
#define FG_DIVISION      (1)      // 分频系数
    
```

图 4-14 FG/RD

4.15 堵转检测

LOCK_DETECT_TIME 堵转检测时间，当堵转条件满足超过 LOCK_DETECT_TIME 设定的时间，触发堵转保护，关闭输出。

RESTART_MOTOR_TIME 堵转重启时间，发生堵转保护后，经过 RESTART_MOTOR_TIME 设定的时间，重新启动电机。

```

/* -----堵转保护----- */
#define LOCK_DETECT_TIME (1000) //ms
#define RESTART_MOTOR_TIME (5000) //ms
    
```

图 4-15 堵转检测

4.16 正反转与续流方式

DIRECTION_ROTATION 设置电机转向，选择 FORWARD_ROTATION 电机正转，选择 REVERSE_ROTATION。当电机反转，使用此功能实现软件反向。

FU5821 的续流方式有两种，分别为快衰减和慢衰减。快衰减 FAST_DECAY，通过 MOS 管的寄生二极管进行续流。慢衰减 SLOW_DECAY，通过下管进行续流。

12V 模式，DECAY_MODE 建议选择 SLOW_DECAY。48V 模式，DECAY_MODE 建议选择 FAST_DECAY。

```

/*-----正反转-----*/
#define FORWARD_ROTATION      (0)
#define REVERSE_ROTATION      (1)
#define DIRECTION_ROTATION    (REVERSE_ROTATION)

/*-----续流方式-----*/
#define FAST_DECAY              (0)
#define SLOW_DECAY             (1)
#define DECAY_MODE              (SLOW_DECAY)
    
```

图 4-16 正反转与续流方式

4.17 限流/过流保护

限流/过流保护，当电流值大于限流值，自动降低电压输出减小电流值。当电流值大于过流值，触发过流保护，关闭输出。过流值的设置值需大于限流值的设置值。

ENABLE_CURRENT_LIMIT 选择 ENABLE，使能限流保护功能。选择 DISABLE，不使能限流保护功能。

CURRENT_LIMIT_VALUE 选择限流阈值，限流值 = 限流阈值/采样电阻。限流阈值由芯片内部 DAC 产生，一共有 63 个限流阈值可选择。具体限流阈值如下图。

ENABLE_OVER_CURRENT 选择 ENABLE，使能过流保护功能。选择 DISABLE，不使能过流保护功能。

OVER_CURRENT_VALUE 选择过流阈值，过流值 = 过流阈值/采样电阻。过流阈值由芯片内部 DAC 产生，一共有 15 个过流保护阈值可选择。具体过流阈值如下图：

TIME_OVER_CURRENT_REC 过流保护重启时间，触发过流保护后，经过设定的时间电机重新启动。

```

/*-----限流/过流值-----*/
//58mV-360mV Step=4.8mV 限流DAC=58mV+4.8mV* LCP_DR[5:0]
#define ENABLE_CURRENT_LIMIT    (DISABLE) // 限流
#define CURRENT_LIMIT_VALUE     (2)      // MAX 63
]/*-----
0:97mV  1:116mV  2:135mV  3:154mV  4:173mV  5:192mV  6:211mV  7:230mV
8:259mV 9:288mV 10:316mV 11:345mV 12:374mV 13:402mV 14:431mV 15:460mV
]/*-----
#define ENABLE_OVER_CURRENT      (DISABLE) // 过流禁止
#define OVER_CURRENT_VALUE       (0)      // MAX 15
#define TIME_OVER_CURRENT_REC    (5000)   // ms 过流后经过5s后再恢复
    
```

图 4-17 限流/过流保护

采样电阻	0.05	ohm										
寄存器值	限流阈值 (mV)	限流值 (A)	过流阈值 (mV)	过流值 (A)		寄存器值	限流阈值 (mV)	限流值 (A)		寄存器值	限流阈值 (mV)	限流值 (A)
0	58	1.16	97	1.94		21	158.8	3.176		42	259.6	5.192
1	62.8	1.256	116	2.32		22	163.6	3.272		43	264.4	5.288
2	67.6	1.352	135	2.7		23	168.4	3.368		44	269.2	5.384
3	72.4	1.448	154	3.08		24	173.2	3.464		45	274	5.48
4	77.2	1.544	173	3.46		25	178	3.56		46	278.8	5.576
5	82	1.64	192	3.84		26	182.8	3.656		47	283.6	5.672
6	86.8	1.736	211	4.22		27	187.6	3.752		48	288.4	5.768
7	91.6	1.832	230	4.6		28	192.4	3.848		49	293.2	5.864
8	96.4	1.928	259	5.18		29	197.2	3.944		50	298	5.96
9	101.2	2.024	288	5.76		30	202	4.04		51	302.8	6.056
10	106	2.12	316	6.32		31	206.8	4.136		52	307.6	6.152
11	110.8	2.216	345	6.9		32	211.6	4.232		53	312.4	6.248
12	115.6	2.312	374	7.48		33	216.4	4.328		54	317.2	6.344
13	120.4	2.408	402	8.04		34	221.2	4.424		55	322	6.44
14	125.2	2.504	431	8.62		35	226	4.52		56	326.8	6.536
15	130	2.6	460	9.2		36	230.8	4.616		57	331.6	6.632
16	134.8	2.696				37	235.6	4.712		58	336.4	6.728
17	139.6	2.792				38	240.4	4.808		59	341.2	6.824
18	144.4	2.888				39	245.2	4.904		60	346	6.92
19	149.2	2.984				40	250	5		61	350.8	7.016
20	154	3.08				41	254.8	5.096		62	355.6	7.112
										63	360.4	7.208

图 4-18 限流/过流阈值

4.18 欠压/过压保护

VOLTAGE_PROTECTION 选择 ENABLE，使能欠压/过压保护功能。选择 DISABLE，不使能欠压/过压保护功能。
 RV 为母线电压采样电阻分压系数。工作电压选择 12V 时，RV 固定为 10。工作电压选择 48V 时，RV 通过外部电路设置。

OVER_PROTECT_VOLTAGE 为过压保护阈值，当母线电压大于此值时，触发过压保护，关闭输出。

OVER_RECOVER_VOLTAGE 为过压保护恢复值，小于此值退出故障状态，电机重新启动。

UNDER_PROTECT_VOLTAGE 为欠压保护阈值，当母线电压小于此值时，触发欠压保护，关闭输出。

UNDER_RECOVER_VOLTAGE 为欠压保护恢复值，大于此值退出故障状态，电机重新启动。

```

/*-----欠压&过压保护-----*/
#define VOLTAGE_PROTECTION          (DISABLE)

//48V-- RV = (RV1+RV2)/RV2
//12V-- RV = 10.0
#define RV                          (10.0)    // 电阻分压系数

#define OVER_PROTECT_VOLTAGE        (18.8)    // V
#define OVER_RECOVER_VOLTAGE        (16.8)
#define UNDER_PROTECT_VOLTAGE      (6.5)
#define UNDER_RECOVER_VOLTAGE      (7.5)
    
```

图 4-19 欠压/过压保护

4.19 转速稳定值设置

MIN_SPEED_RPM 为最低滤波速度，当速度大于此值才会进行速度滤波处理。

RUN_STABLE_CNT 为运行稳定周期，当运行计数大于此值，认为电机进入平稳运行状态。

SPEED_STABLE_RPM 为平稳运行的速度，速度差小于 SPEED_STABLE_RPM 并且当前速度大于 MIN_SPEED_RPM 设定的速度时，转速稳态运行次数开始计数。

电机进入平稳运行状态后，可选择使用 Hall 单边沿计算角度与转速。

```

/*-----BCOR最小速度-----*/
#define MIN_SPEED_RPM          (800)      // RPM

/*-----转速是否稳定-----*/
#define RUN_STABLE_CNT         (500)      //HALL CYCLE
#define SPEED_STABLE_RPM      (200)      //RPM
    
```

图 4-20 转速稳定值设置

4.20 Hall 边沿选择

Hall_EDGE 选择 Hall_DUAL_EDGE，根据 Hall 跳变沿进行换相。

Hall_EDGE 选择 Hall_RISE_EDGE，电机平稳运行后使用 Hall 上升沿计算角度与转速进行换相。

```

/*-----HALL边沿选择-----*/
#define HALL_DUAL_EDGE         (0)
#define HALL_RISE_EDGE        (1)
#define HALL_EDGE              (HALL_DUAL_EDGE)
    
```

图 4-21 Hall 边沿选择

4.21 平台角设置

SILENT_ANGLE 平台角，在平台角时间段里 4 个 MOS 处于关断状态，在此期间电机电流续流至 0，建议值为 10。

```

/*-----SILENT-ANGLE (BLOCK) 角度设置----- */
#define SILENT_ANGLE          (10)
    
```

图 4-22 平台角设置

4.22 提前角设置

LEAD_ANGLE_MAX 最大提前角，通过调节该值使母线电流波形接近马鞍波，如图 4-24 所示，此时电机效率最佳。

```
/* -----提前角度设置----- */
#define LEAD_ANGLE_MAX          (-20)    //最大提前角--Range: 0~ -90
```

图 4-23 提前角设置

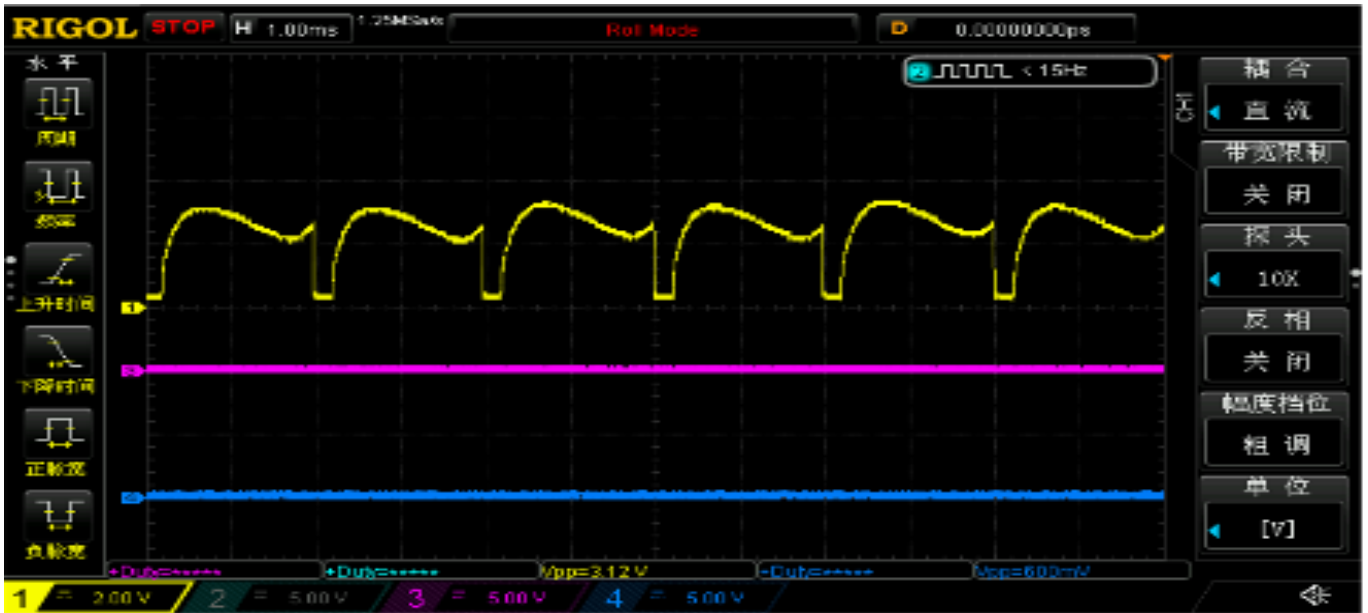


图 4-24 电机最佳效率时母线电流波形

4.23 软切换 Soft-Switch

PWM 软切换可以减缓电流突变，减少电磁噪声。

SOFT_SWITCH_FALL_START 为启动时的 PWM 软切换下坡角度，建议值为 0。

SOFT_SWITCH_FALL_RUN1，转速大于 MIN_SPEED_RPM 后，前 8 个计数周期的软切换下坡角度，建议值为 10。对噪音要求不高的应用，SOFT_SWITCH_FALL_RUN1 可设置为 0。

SOFT_SWITCH_FALL_RUN2，转速大于 MIN_SPEED_RPM 后，前 8 个计数周期到前 16 个计数周期的软切换下坡角度，建议值为 20。对噪音要求不高的应用，SOFT_SWITCH_FALL_RUN2 可设置为 0。

SOFT_SWITCH_FALL_RUN3，稳定运行时的软切换下坡角度。对噪音要求不高的应用，SOFT_SWITCH_FALL_RUN3 可以设置为 0。

SOFT_SWITCH_RISE 为软切换上坡角度设置，建议值为 0。

```

/* -----Soft-Switch----- */
#define SOFT_SWITCH_FALL_START          (0)

#define SOFT_SWITCH_FALL_RUN1          (10)
#define SOFT_SWITCH_FALL_RUN2          (20)
#define SOFT_SWITCH_FALL_RUN3          (35)

#define SOFT_SWITCH_RISE                (0)
    
```

图 4-25 软切换 Soft-Switch

4.24 速度曲线调试

速度曲线为拐点个数可设置的多段式曲线。

开环模式下，横坐标为输入 PWM 占空比，输出为电压占空比。测试时，如图 4-27 所示，首先将速度曲线表格中的 Input(%)和 Output(%)设置为相同数值。得到 Begin、Offset、Slope(Q)值后对应填写到程序 SpeedControl.c 中，如图 4-26 所示。下载程序到芯片进行测试，通过测试获取目标转速的电压占空比。

```

#define NUM_CURVE_POINT    7          /*转速曲线的点数*/

typedef struct
{
    int Begin;
    int Offset;
    int Slope;
}STypeSpeedCurve;

//多段曲线
code STypeSpeedCurve SpeedCurve[NUM_CURVE_POINT] =
{
    {0, 0, 1024},
    {4915, 4915, 1024},
    {8192, 8192, 1024},
    {16384, 16384, 1024},
    {24575, 24575, 1024},
    {31129, 31129, 1024},
    {32767, 32767, 1024}
};
    
```

图 4-26 速度曲线调试

例: 当 PWM 输入 15%占空比时，目标转速为 2500RPM。当 PWM 输入 25%占空比时，目标转速为 3500RPM。

用刚才下载的程序进行测试，调节 PWM 输入信号，记录电机转速在 2500RPM 时输入 PWM 的占空比，并填写在速度曲线表格中 Input(%)15%所对应的 Output(%)中。再调节 PWM 输入信号，记录电机在 3500RPM 时输入 PWM 的占空比，并填写在速度曲线表格中 Input(%)25%所对应的 Output(%)中。

再将新生成 Begin、Offset、Slope(Q)数值对应填写到程序 SpeedControl.c 中，获取期望的转速曲线。

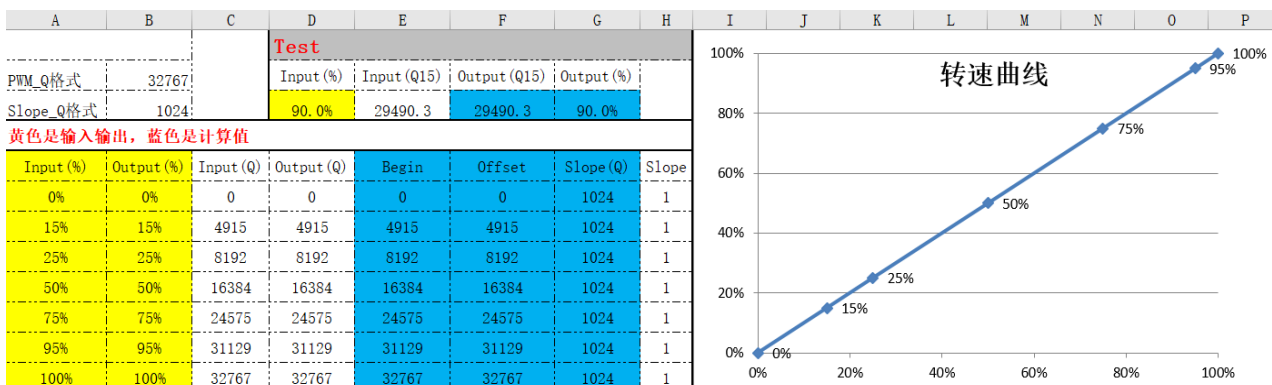


图 4-27 速度曲线调试

闭环模式下，横坐标为输入 PWM 占空比，纵坐标为目标转速。

例：当 PWM 输入 15%占空比时，目标转速为 3000rpm。在速度曲线表格的 Input(%)填写 15%，在对应的 TargetSpeed 中填写 3000。再将 Begin、Offset、Slope(Q)数值对应填写到程序 SpeedControl.c 中，即可得到对应的速度曲线。

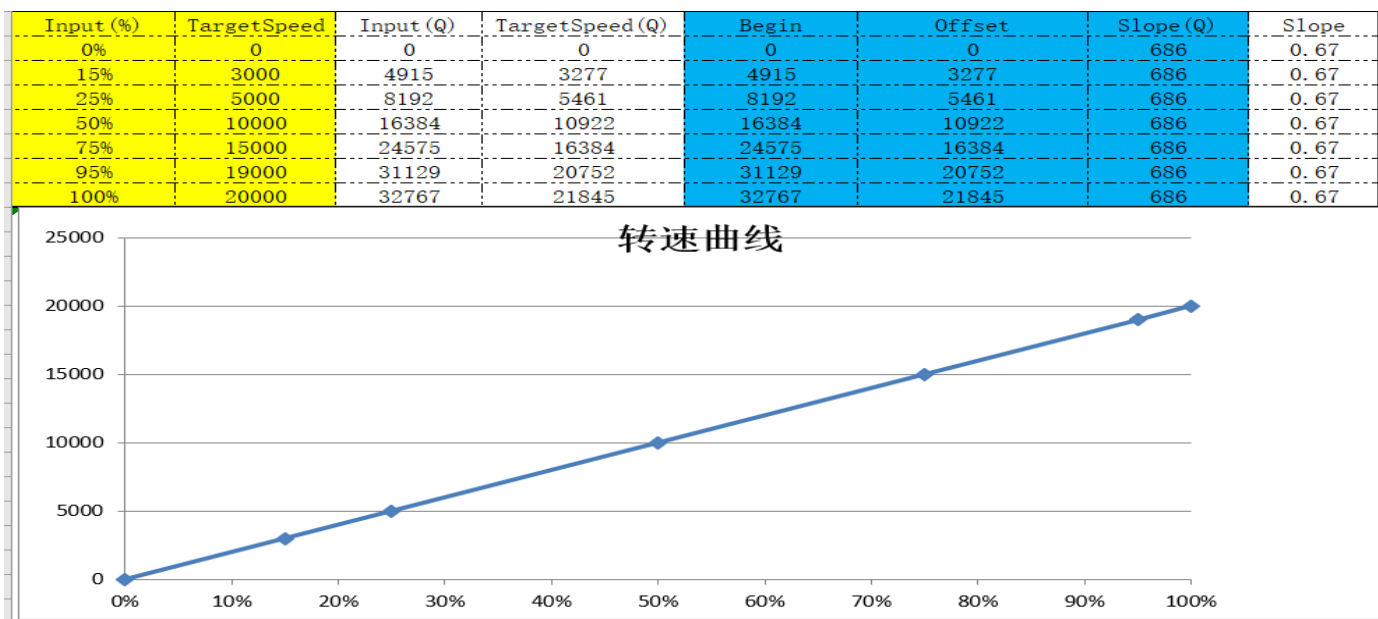


图 4-28 速度曲线调试

5 修改记录

版本号	修改详细内容说明	生效日期	修订者
V1.0	初稿	2022/06/24	蔡坤旺
V1.1	替换硬件原理图图片，旧内容文字同时替换以对应新原理图	2024/02/20	蔡坤旺

版权说明

版权所有©峰昭科技（深圳）股份有限公司（以下简称：峰昭科技）。

为改进设计和/或性能，峰昭科技保留对本文档所描述或包含的产品（包括电路、标准元件和/或软件）进行更改的权利。本文档中包含的信息供峰昭科技的客户进行一般性使用。峰昭科技的客户应确保采取适当行动，以使其对峰昭科技产品的使用不侵犯任何专利。峰昭科技尊重第三方的有效专利权，不侵犯或协助他人侵犯该等权利。

本文档版权归峰昭科技所有，未经峰昭科技明确书面许可，任何单位及个人不得以任何形式或方式（如电子、机械、磁性、光学、化学、手工操作或其他任何方式），对本文档任何内容进行复制、传播、抄录、存储于检索系统或翻译为任何语种，亦不得更改或删除本内容副本中的任何版权或其他声明信息。

峰昭科技（深圳）股份有限公司

深圳市南山区科技中二路深圳软件园二期 11 栋 2 楼 203

邮编：518057

电话：0755-26867710

传真：0755-26867715

网址：www.fortiortech.com

本文件所载内容

峰昭科技（深圳）股份有限公司版权所有，保留一切权力。