

# 电机开源平台

---

## 用户手册

Rev1.01 2023 年 04 月

## 声 明

- ★ 小华半导体有限公司（以下简称：XHSC）保留随时更改、更正、增强、修改小华半导体产品和/或本文档的权利，恕不另行通知。用户可在下单前获取最新相关信息。XHSC 产品依据购销基本合同中载明的销售条款和条件进行销售。
- ★ 客户应针对您的应用选择合适的 XHSC 产品，并设计、验证和测试您的应用，以确保您的应用满足相应标准以及任何安全、安保或其它要求。客户应对此独自承担全部责任。
- ★ XHSC 在此确认未以明示或暗示方式授予任何知识产权许可。
- ★ XHSC 产品的转售，若其条款与此处规定不同，XHSC 对此类产品的任何保修承诺无效。
- ★ 任何带有®或™标识的图形或字样是 XHSC 的商标。所有其他在 XHSC 产品上显示的产品或服务名称均为其各自所有者的财产。
- ★ 本通知中的信息取代并替换先前版本中的信息。

©2023 小华半导体有限公司 保留所有权利

## 目 录

声 明.....	2
目 录.....	3
表索引.....	5
图索引.....	6
1 简介.....	7
2 开源电机平台控制系统.....	8
2.1 系统开发环境.....	8
2.1.1 硬件环境.....	8
2.1.2 软件环境.....	8
2.1.3 交付环境.....	8
2.2 系统功能.....	8
2.3 系统框图.....	9
2.4 时序分配.....	9
2.5 软件结构.....	10
2.6 数据处理.....	12
2.6.1 数据格式.....	12
2.6.2 数据标定.....	13
2.6.3 设置样例.....	14
3 开始调试.....	15
3.1 打开工程.....	15
3.2 工程设置.....	16
3.3 编译和下载调试.....	16
3.4 退出调试.....	18
3.5 VSP 调速.....	18
4 硬件.....	19
4.1 硬件简介.....	19
4.1.1 功率板.....	20
4.1.2 控制卡.....	20
4.1.3 电机.....	22
4.1.4 硬件底层配置.....	22
4.2 HC32M120 系列硬件配置.....	23
4.3 HC32F460 系列硬件配置.....	25
5 驱动方式设置说明.....	27

<b>6</b>	<b>软件参数配置 .....</b>	<b>28</b>
6.1	软件参数列表 .....	29
6.2	控制器基本参数配置 .....	31
6.3	电机参数配置 .....	31
6.4	观测器参数 .....	32
6.5	PI 参数设置 .....	33
6.6	启动参数配置 .....	34
6.6.1	静止启动的配置 .....	34
6.6.2	逆风启动的配置 .....	35
6.7	保护参数配置 .....	36
6.7.1	母线电压保护参数配置 .....	36
6.7.2	过流保护参数配置 .....	36
<b>7</b>	<b>故障处理 .....</b>	<b>37</b>
7.1	故障列表 .....	37
7.2	ADC 偏置错误 (ERR_AD_OFFSET) .....	38
7.3	软件峰值过流故障 (ERR_OC_PEAK) .....	38
7.4	硬件过流故障 (ERR_OC_HW) .....	39
7.5	过压故障 (ERR_VDC_OV、ERR_VDC_ABNORM) .....	39
7.6	欠压故障 (ERR_VDC_UV、ERR_VDC_ABNORM) .....	39
7.7	采样时序错误 (ERR_DMA_FAIL) .....	39
<b>8</b>	<b>附件 .....</b>	<b>40</b>
	<b>版本修订记录 .....</b>	<b>43</b>

## 表索引

表 2-1	系统基值.....	13
表 3-1	恒转速模式下的目标指令 .....	17
表 6-1	软件设置基本参数定义.....	28

## 图索引

图 2-1 无传感器 FOC 控制系统框图 .....	9
图 2-2 文件结构.....	10
图 2-3 软件架构.....	11
图 3-1 工程文件目录.....	15
图 3-2 工程窗口布局.....	15
图 3-3 编译和下载调试步骤 .....	17
图 3-4 查看编译信息.....	17
图 3-5 在线调试步骤.....	17
图 3-6 退出调试步骤.....	18
图 4-1 电机控制套件.....	19
图 4-2 电机控制卡 .....	21
图 6-1 电流环传递函数 .....	33
图 6-2 电机启动流程.....	34
图 6-3 启动过程电流参数定义.....	35
图 8-1 功率板原理图.....	40
图 8-2 HC32F460 控制卡原理图 .....	41
图 8-3 HC32M120 控制卡原理图 .....	42

## 1 简介

本手册介绍基于小华半导体 MCU 的开源电机平台的操作方法，适用于无传感器变频控制的电机产品。

本手册介绍内容：

1. 电机开源平台系统架构
2. 软硬件参数配置方法
3. 系统调试步骤
4. 故障处理方法

## 2 开源电机平台控制系统

### 2.1 系统开发环境

#### 2.1.1 硬件环境

条目	说明
控制板	MD_CTL_M120_LQ48_Rev1.0/MD_CTL_F460_LQ48_Rev1.0
驱动板	MD_STG_100_Rev1.0
仿真器	J-Link V8（隔离）
电机类型	PMSM

#### 2.1.2 软件环境

条目	说明
操作系统	Windows 10
编译环境	IAR 7.70
开发语言	C

#### 2.1.3 交付环境

条目	说明
硬件	控制板x1，驱动板x1，电机（选配）
软件	驱动固件x1
文档	用户手册x1

## 2.2 系统功能

本系统是基于无位置传感器的矢量控制系统，适用于表贴式（SPMSM）和凸极式（IPMSM）的永磁同步电机。

系统的主要特征有：

1. 支持恒转速控制方式
2. 支持电机的双向运转，包括顺逆风运行等功能
3. 支持双电阻采样方式
4. 采用 SVPWM 调制策略，支持 5 段式、7 段式调制
5. 电流闭环控制，具备快速动态响应
6. 丰富的保护功能：电压保护、过流保护
7. 采用标么化数据处理方式，适用于各种规格的驱动场景





通过划分以上三组优先级，系统既可以保证电流内环控制的时效性，也可以节约 Timer 零点中断的代码执行时间，以适应更大的载频范围，实现精准的 FOC 控制。

需注意的是，当硬件过流发生时，系统将优先执行硬件过流保护中断，硬件过流保护的中断优先级高于 Timer 零点中断。

同时，由于电机控制需要严格的时序保证，在进行二次开发时，应当保证每个 Timer 零点中断代码的执行时间小于中断周期，否则可能引起 ADC 转换时序异常、PWM 寄存器无法及时更新等现象，甚至导致硬件损坏。

## 2.5 软件结构

系统中，文件结构分布如图 2-2 所示。

其中：

mcu\_common：存放芯片驱动头文件包含路径文件，驱动方式选择文件

mcu\_config：存放芯片外设配置程序，中断处理函数，电机驱动外设资源使用定义等配置文件

mcu\_driver：存放芯片 ddl 驱动库

motor\_midwares：电机控制中间层控制程序

motor\_source：电机控制资源层控制程序

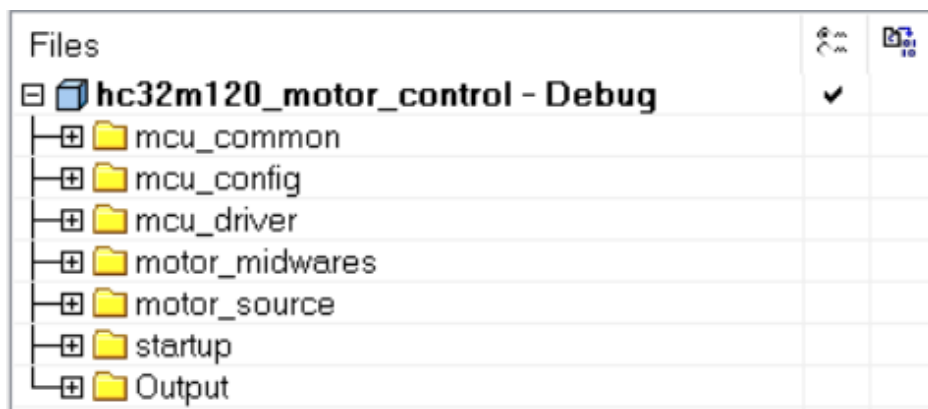


图 2-2 文件结构

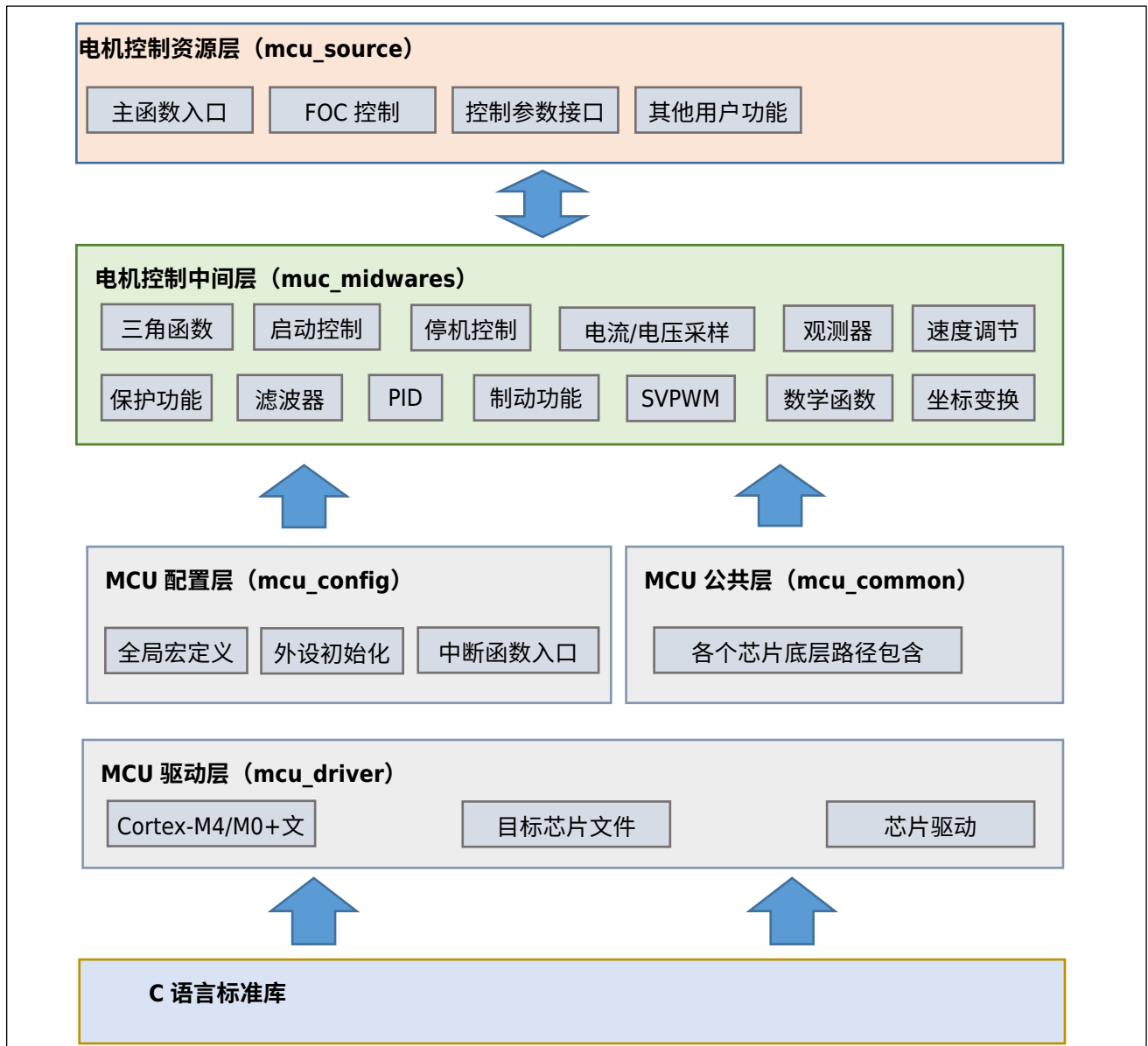


图 2-3 软件架构

软件被划分为 5 个层次，各层次的功能参考图 2-3。

软件代码的入口函数分别位于 main.c 和 isr.c 中，通过主函数和中断服务函数，用户可以清晰的看到软件执行的主要流程和函数调用情况。

## 2.6 数据处理

### 2.6.1 数据格式

本系统使用了浮点数和定点数两种数据格式：

浮点数：用于参数配置，便于与实际系统关联，不直接参与电机控制流程

定点数：用于电机控制流程中的运算，以提高运算效率。

系统中的浮点数与定点数通过标么系统和 Q 格式转换——映射，以适应不同电压等级、功率等级、转速范围的电机。标定后的数据与真实值的映射关系为：

$$QNX = QN\left(\frac{x}{x_B}\right)$$

$$x = \frac{QNX \cdot x_B}{2^N}$$

其中，QNX 为标定后的 Q 格式数据，x 为真实值， $QN(x) = 2^N \cdot x$  后取整， $x_B = \text{const}$  为参数基值。以电流为例，记电流为 i，电流基值为  $I_B$ ，采用 Q12 格式的数据，那么系统中的电流表示为：

$$Q12I = Q12\left(\frac{i}{I_B}\right)$$

例如，取电流基值  $I_B = 8A$ ，假设真实电流  $i = 1.5A$ ，那么系统中的电流被记录为：

$$Q12I = Q12\left(\frac{i}{I_B}\right) = 2^{12} \cdot \frac{1.5}{8} = 768$$

## 2.6.2 数据标定

数据标定是指软件中的 Q 格式、变量基值的标定。在电机控制系统中，仅需三个独立的基值即可实现电机物理量的标么，其它变量则可通过这三个独立基值确定。本系统选取电压、电流、和角频率作为系统基值，分别记为：

$V_B$ ：电压基值 (V)

$I_B$ ：电流基值 (A)

$f_B$ ：转子角频率基值 (Hz)

其他基值整理如下：

表 2-1 系统基值

基值	符号	表达式	单位
电压基值	$V_B$	$V_B$	V
电转速基值	$f_B$	$f_B$	Hz
电流基值	$I_B$	$I_B$	A
电转速基值	$\omega_B$	$2\pi f_B$	rad/s
机械转速基值	$\omega_{mB}$	$\omega_B/P$	rad/s
电阻基值	$R_B$	$V_B/I_B$	ohm
电感基值	$L_B$	$V_B/\omega_B I_B$	H
磁链基值	$\lambda_B$	$V_B/\omega_B$	Wb
功率基值	$S_B$	$\frac{3}{2} V_B I_B$	VA
转矩基值	$\Gamma_B$	$\frac{3P V_B I_B}{2 \omega_B}$	Nm
时间基值	$T_B$	$1/\omega_B$	

基值选取的原则是避免运算溢出，保证系统精度。本系统中，关键数据以 32 位定点数、Q12格式存储，因此推荐选取合适的基值，使标定后的数据满足：

$$\left| \frac{\max(i)}{I_B} \right| \leq 2, \text{ 其中 } \max(i) \text{ 为相电流的最大幅值}$$

$$\left| \frac{\max(v)}{V_B} \right| \leq 2, \text{ 其中 } \max(v) \text{ 为相电压的最大幅值}$$

$$\left| \frac{\max(f)}{f_B} \right| \leq 4, \text{ 其中 } \max(f) \text{ 为最高电转速}$$

### 2.6.3 设置样例

一种简单的基值选取方法是根据电机的额定参数设定。例如，对于一台 220VAC、35W 的 4 对极电机，其最高转速为 1200rpm。假设额定状态下，线电压为 70% 母线电压，功率因数  $\cos\varphi = 0.9$ ，那么电机的额定参数可近似估算为：

$$\text{额定电压: } V_r = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 70\% \cdot V_{ac} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 0.7 \cdot 220 = 126 \text{ V}$$

$$\text{额定电流: } I_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{P}{V_r \cdot \cos\varphi} = \frac{2}{3} \cdot \frac{35}{126 \cdot 0.9} = 0.19 \text{ A}$$

$$\text{额定转速: } f_r = \frac{P \cdot \text{RPM}}{60} = \frac{4 \cdot 1200}{60} = 80 \text{ Hz}$$

那么，系统基值可分别设定为：

$$V_B = V_r = 126 \text{ V}$$

$$I_B = I_r = 0.19 \text{ A}$$

$$f_B = \frac{f_r}{4} = 20 \text{ Hz}$$

## 3 开始调试

### 3.1 打开工程

以 HC32M120 项目为例，

1. 打开目录中的工程文件 hc32m120\_motor\_control.eww，如图 3-1 所示。
2. 各个窗口布局，如图 3-2 所示。

打开工程后，可以看到工程窗口布局。其中，上方为菜单栏，左侧为工作空间窗口，右侧为代码编辑窗口，下方为信息窗口。用户可以在菜单栏中的 view 子菜单中选择需要显示的窗口，并可以拖动各窗口来调整布局。

名称	修改日期	类型	大小
config	2022/7/21 11:29	文件夹	
Debug	2022/7/21 15:22	文件夹	
settings	2022/7/29 9:55	文件夹	
startup	2022/7/21 14:46	文件夹	
hc32m120_motor_control.dep	2022/8/2 18:09	DEP 文件	43 KB
hc32m120_motor_control.ewd	2022/7/29 10:14	EWD 文件	88 KB
hc32m120_motor_control.ewp	2022/8/2 17:06	EWP 文件	60 KB
hc32m120_motor_control.ewt	2022/7/27 16:42	EWT 文件	141 KB
hc32m120_motor_control.eww	2022/7/21 15:30	IAR IDE Workspa...	1 KB

图 3-1 工程文件目录

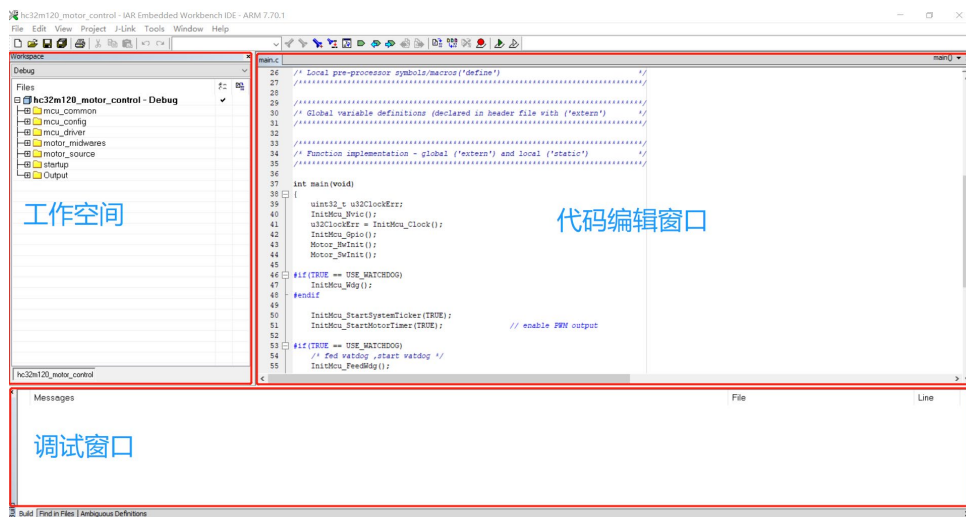


图 3-2 工程窗口布局

## 3.2 工程设置

打开工程后，依次对相关参数进行设置，主要包括：

1. 硬件
2. 驱动方式设置说明
3. 软件参数配置

## 3.3 编译和下载调试

1. 正确连接硬件
2. 编译工程

打开菜单栏中的“project”选项，首先选择“clean”（图 3-3，步骤 1），然后选择“rebuild all”（图 3-3，步骤 2）重新编译所有文件。成功完成编译后，可以在信息窗口的“build”栏中看到编译结果，如图 3-4 所示。

3. 程序下载

当编译链接无误后，点击“Download and Debug”按键（图 3-3，步骤 3）进入在线调试界面。进入调试界面后，可以看到工程的右侧增加了“live watch”窗口，如图 3-5 所示。

4. 调试变量添加

“live watch”窗口中显示了系统全局变量的状态，并以设定频率刷新。如果无法看到“live watch”窗口，可在进入调试界面后，点击菜单栏中的“View->Live Watch”调出在线调试窗口，用户也可以在“Live Watch”窗口中增加需要观察的变量来辅助调试。

5. 运行前故障检测

在调试界面中点击全速运行（图 3-5，步骤 4），MCU 开始运行。设定运行指令前，建议观察以下变量：

g\_stcMotorRunPara.u32FaultCode：故障码应当为零，否则设定运行指令无效。

g\_stcMotorRunPara.i32Q12\_Vbus：检查母线电压是否与供电电压一致。



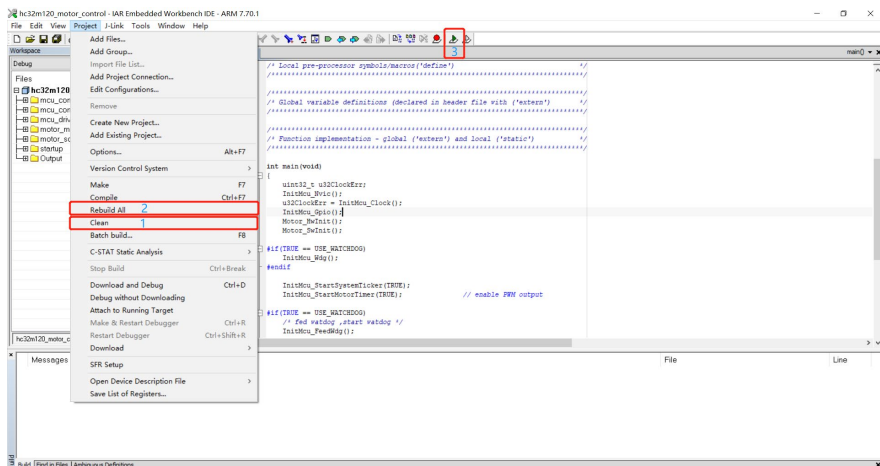


图 3-3 编译和下载调试步骤



图 3-4 查看编译信息

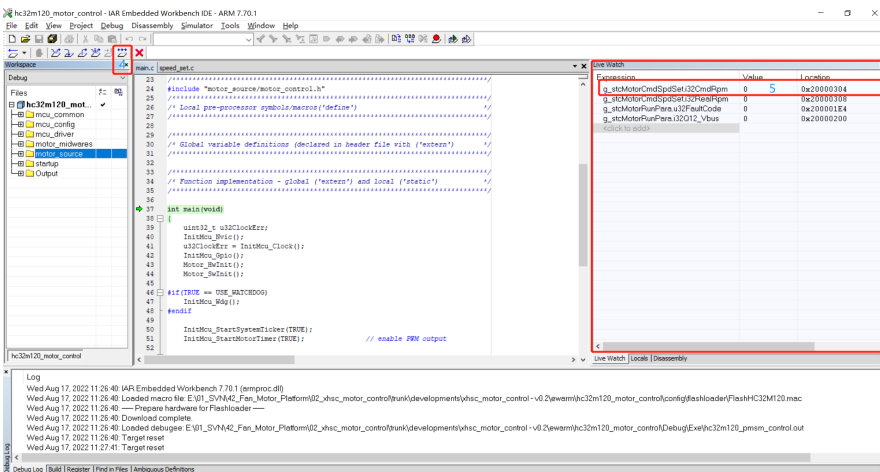


图 3-5 在线调试步骤

表 3-1 恒转速模式下的目标指令

控制模式	启动指令变量	单位	设置方法
恒转速模式	g_stcMotorCmdSpdSet.i32CmdRpm	rpm	设置电机的目标转速： 1. 设置为零，停机 2. 设置大于零，正转 3. 设置小于零，反转

在确认上述两个变量正确以后，设定目标指令启动电机。不同控制模式下，目标指令的变量不同，如表 3-1 所示。



## 4 硬件

### 4.1 硬件简介

本套件提供一套与软件配套使用的硬件驱动电路板，包含两个部分：

- 功率板
- 控制卡

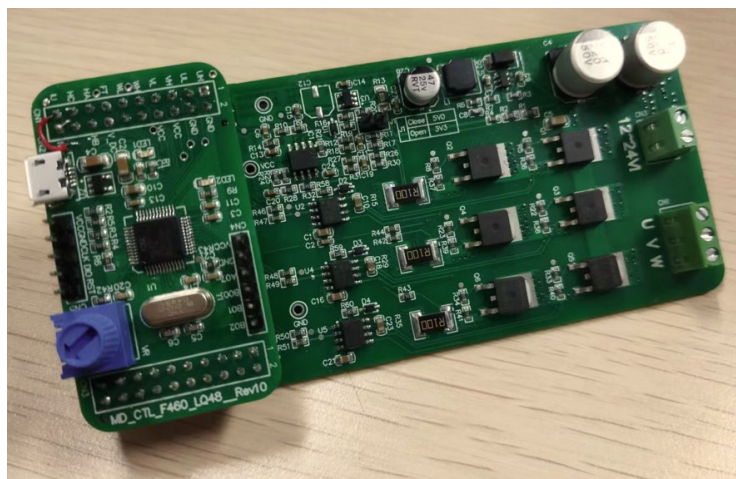


图 4-1 电机控制套件

#### 4.1.1 功率板

功率板(MD\_STG\_100\_Rev1.0)提供具备以下特性:

名称	规格	备注
电源输入范围	12V~24VDC	
输出功率	100W@24VDC	
辅助电源	5V 或 3.3V	J1 闭合为 5V, J1 断开为 3V3(默认)
采样电路	2 相采样	
保护	过流保护	
HALL 接口	支持	

功率板通过两组接插件(CN2,CN5)与控制卡连接, 其中一组接插件(CN2)包含了电机控制所需的最少控制信号。CN2 接口定义如下:

序号	标号	说明	序号	标号	说明
1	UH	U 相上桥 PWM	2	GND	地
3	UL	U 相下桥 PWM	4	GND	地
5	VH	V 相上桥 PWM	6	VCC	电源
7	VL	V 相下桥 PWM	8	VCC	电源
9	WH	W 相上桥 PWM	10	NC	空脚
11	WL	W 相下桥 PWM	12	NC	空脚
13	FT	Fault 信号 (硬件过流)	14	V_DC	母线电压
15	HA	HALL 信号 A	16	HB	HALL 信号 B
17	HC	HALL 信号 C	18	NC	空脚
19	IV	V 相电流	20	IU	U 相电流

#### 4.1.2 控制卡

控制卡为针对不同 MCU 设计的控制电路板, 控制卡通过接插件与功率板连接。目前提供两款芯片的控制卡。

- MD\_CTL\_F460\_LQ48\_Rev1.0 (仅支持 3.3V 电源)
- MD\_CTL\_M120\_LQ48\_Rev1.0 (支持 3.3V/ 5V 电源)

MD\_CTL\_F460\_LQ48\_Rev1.0 基于 ARM Cortex-M4 内核芯片 HC32F460JETA\_LQ48 设计, 除了引出电机所需的信号至控制接口外, 还提供一个可调电阻, 用于 ADC 输入调速。另外, 还引出 4 路 GPIO, 这 4 路 GPIO 可以使用 HC32F460 系列通讯端口自由映射功能, 可以配置为 SPI、UART、I2C、CAN 等通讯接口, 输入捕获, ADC 等功能。由于 HC32F460JETA 仅支持 3.3V 电源, 所以在使用一定要确定功率板上 J1 断开。

MD\_CTL\_M120\_LQ48\_Rev1.0 基于 ARM Cortex-M0+内核芯片 HC32M120J6TB\_LQ48 设计, 仅提供可调电阻, 用于 ADC 输入调速。

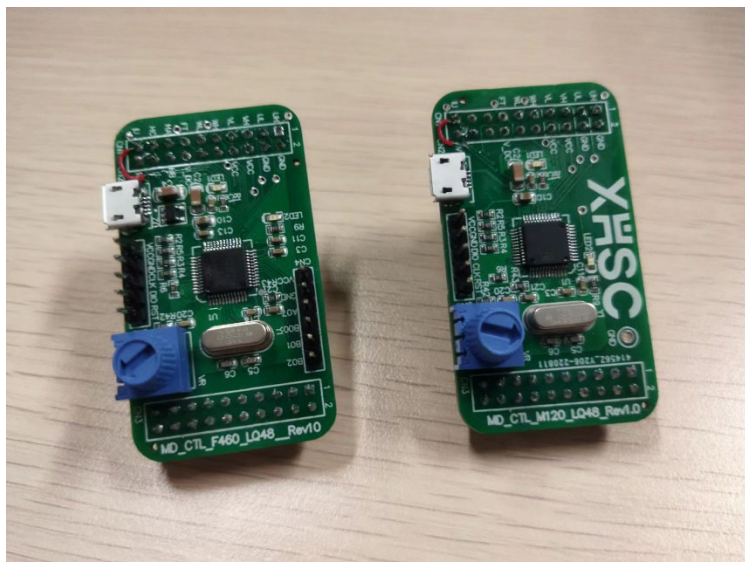


图 4-2 电机控制卡

MD\_CTL\_F460\_LQ48\_Rev1.0 引脚配置表

序号	信号网络	引脚编号	外设通道	用户设置参数
1	PWM 极性	-	-	PWM_ACTIVE_LEVEL_HH
2	UH	PA08	TIM4_1_OUH	TIM4_1_UH_PA08
3	UL	PB13	TIM4_1_OUL	TIM4_1_UL_PB13
4	VH	PA09	TIM4_1_OVH	TIM4_1_VH_PA09
5	VL	PB14	TIM4_1_OVL	TIM4_1_VL_PB14
6	WH	PA10	TIM4_1_OWH	TIM4_1_WH_PA10
7	WL	PB13	TIM4_1_OWL	TIM4_1_WL_PB15
8	FAULT	PB12	EMB2	-
9	HA	PB03	TIMA_6_PWM_5	-
10	HB	PB04	TIMA_6_PWM_6	-
11	HC	PB05	TIMA_6_PWM_7	-
12	V_DC	PA03	ADC1_IN3	3
13	I_U	PA00	ADC1_IN0	0
14	I_V	PA01	ADC1_IN1	1
15	VSP	PA05	ADC12_IN5	5

MD\_CTL\_M120\_LQ48\_Rev1.0 引脚配置表

序号	信号网络	引脚编号	外设通道	用户设置参数
1	UH	P15	TIM4_1_OUH	TIM4_UH_P15
2	UL	P14	TIM4_1_OUL	TIM4_UL_P14
3	VH	P13	TIM4_1_OVH	TIM4_VH_P13
4	VL	P11	TIM4_1_OVL	TIM4_VL_P11
5	WH	P30	TIM4_OWH	TIM4_WH_P30
6	WL	P70	TIM4_OWL	TIM4_WL_P70
7	FAULT	P60	EMB1	-
8	V_DC	P00	ADC_IN9	9
9	I_U	P26	ADC_IN6	6
10	I_V	P27	ADC_IN7	7
11	VSP	P25	ADC_IN5	5

更详细资料，请查阅原理图。

### 4.1.3 电机

套件代码默认匹配电机参数：

名称	规格	单位	备注
极对数	7	-	-
相电阻	0.05	Ohm	-
d 轴电感	0.005	mH	-
q 轴电感	0.005	mH	-
反电动势系数	0.34	V/kRPM	-

### 4.1.4 硬件底层配置

在硬件配置中，用户将设定硬件的相关参数，主要包括：

1. 系统时钟：配置系统时钟源、时钟频率等
2. 电机控制功能：默认转速方向、指令给定方式等
3. PWM 引脚：分配三相 PWM 引脚 IO，设置 PWM 极性
4. ADC 采样：ADC 参考电压、相电流采样方式（双电阻）、采样通道等
5. 硬件过流保护：硬件过流保护信号源、保护信号电平等

硬件配置参数位于 mcu\_config/hardware\_config.h 文件中。

## 4.2 HC32M120 系列硬件配置

	参数	说明	备注
系统时钟	EN_HSRC	选择系统时钟源：内部高速时钟、或外部晶振	TRUE/ FALSE
	CLK_HSRC_FREQ	内部 HRC 时钟频率	固定使用 8MHz
	CLK_MAIN_MUL	内部 HRC 时钟倍频系数	根据芯片时钟允许范围配置
	CLK_XTAL_FREQ	外部晶振时钟频率	
	CLK_MAIN_MUL	外部晶振时钟倍频系数	
电机控制	USE_WATCHDOG	使能硬件看门狗	TRUE/ FALSE
	WATCHDOG_MODE	看门狗模式	复位、中断
	USE_INTERNAL_OPA1	使用内部 OPA1	TRUE/ FALSE
	USE_INTERNAL_OPA2	使用内部 OPA2	TRUE/ FALSE
	EN_VSP_CMD	使能电位器调速功能	TRUE/ FALSE
ADC 采样	ADC_VOLT_REF	ADC 单元的参考电压	根据供电电压设定
	ADC_BIT_LENGTH	ADC 采样位数	12 位 ADC
	SHUNT_NUM	相电流采样方式	仅支持双电阻采样
	ADC_CH_VDC	母线电压采样的 ADC 通道	
	ADC_CH_IU	U 相电流采样的 ADC 通道	
	ADC_CH_IV	V 相电流采样的 ADC 通道	
	ADC_CH_VSP	VSP 电压采样的 ADC 通道	
PWM 引脚	PWM_ACTIVE_LEVEL	PWM 有效电平设置： 1. PWM_ACTIVE_LEVEL_HH：上高下高 2. PWM_ACTIVE_LEVEL_LL：上低下低 3. PWM_ACTIVE_LEVEL_LH：上低下高 4. PWM_ACTIVE_LEVEL_HL：上高下低	根据硬件设定正确的驱动电平，错误的设置可能导致硬件损坏
	MTR1_PWM_UH	U 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_UH_P15 TIM4_UH_P61
	MTR1_PWM_UL	U 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_UL_P14 TIM4_UL_P60
	MTR1_PWM_VH	V 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_VH_P13 TIM4_VH_P31
	MTR1_PWM_VL	V 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_VL_P11 TIM4_VL_P62
	MTR1_PWM_WH	W 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_WH_P12 TIM4_WH_P30
	MTR1_PWM_WL	W 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_WL_P10 TIM4_WL_P70
硬件过流保护	HW_OCP_SRC	硬件过流信号源设定： 1. HW_OCP_SRC_IO：使用 IO 引脚作为硬件过流保护信号源 2. HW_OCP_SRC_VC：使用内置电压比较器作为硬件过流保护信号源	
	HW_OCP_CMP_UNIT	使用内置比较器时，使用的比较器单元	1: CMP1, 2: CMP2, 3: CMP3

	参数	说明	备注
	HW_OCP_CMP_IVCMP	使用内置比较器时，硬件过流信号对应的比较器输入通道（IVCMP_x）	0:IVCMP_0, 1:IVCMP_1, 2:IVCMP_2
	HW_OCP_EMB_LEVEL	使用 IO 引脚为过流信号源时，过流时的 IO 电平	0:low, 1:high
	HW_OCP_EMB_IN_IO	使用 IO 引脚为过流信号源时,选择 EMB 引脚：0→P16, 1→P60	



### 4.3 HC32F460 系列硬件配置

	参数	说明	备注
系统时钟	EN_HSRC	选择系统时钟源：内部高速时钟、或外部晶振	TRUE/ FALSE
	CLK_HSRC_FREQ	内部 HRC 时钟频率	内置默认 16MHz
	CLK_MPLL_N_MUL	MPLL 倍频系数	$20 \leq N \leq 480$
	CLK_MPLL_P_DIV	PMPLL 分频系数	$2 \leq P \leq 16$
	CLK_MPLL_Q_DIV	QMPLL 分频系数	$2 \leq P \leq 16$
	CLK_MPLL_R_DIV	RMPLL 分频系数	$2 \leq P \leq 16$
	CLK_XTAL_FREQ	外部晶振时钟频率	
电机控制	USE_WATCHDOG	使能看门狗	TRUE/ FALSE
	WATCHDOG_MODE	看门狗模式	WATCHDOG_REST WATCHDOG_IRQ
	SWAP_ROTOR_DIR	设定默认电机转向	TRUE/ FALSE
	EN_VSP_CMD	使能电位器调速功能	TRUE/ FALSE
ADC 采样	ADC_VOLT_REF	ADC 单元的参考电压	根据供电电压设定
	ADC_BIT_LENGTH	ADC 采样位数	12 位 ADC
	ADC_CH_VDC	母线电压采样的 ADC 通道	
	ADC_CH_IU	U 相电流采样的 ADC 通道	
	ADC_CH_IV	V 相电流采样的 ADC 通道	单电阻采样时，忽略此配置
	ADC_CH_VSP	VSP 电压采样的 ADC 通道	
PWM 引脚	PWM_ACTIVE_LEVEL	PWM 有效电平设置： 1. PWM_ACTIVE_LEVEL_HH：上高下高 2. PWM_ACTIVE_LEVEL_LL：上低下低 3. PWM_ACTIVE_LEVEL_LH：上低下高 4. PWM_ACTIVE_LEVEL_HL：上高下低	根据硬件设定正确的驱动电平，错误的设置可能导致硬件损坏
	MTR1_PWM_UH	U 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_1_UH_PA08 TIM4_1_UH_PE09
	MTR1_PWM_UL	U 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_1_UL_PA07 TIM4_1_UL_PB13 TIM4_1_UL_PE08
	MTR1_PWM_VH	V 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_1_VH_PA09 TIM4_1_VH_PE11
	MTR1_PWM_VL	V 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_1_VL_PB00 TIM4_1_VL_PB14 TIM4_1_VL_PE10
	MTR1_PWM_WH	W 相上管 PWM 输出引脚	TIM4_1_WH_PA10 TIM4_1_WH_PE13
	MTR1_PWM_WL	W 相下管 PWM 输出引脚	TIM4_1_WL_PB01 TIM4_1_WL_PB15 TIM4_1_WL_PE12
硬件过流保护	HW_OCP_SRC	硬件过流信号源设定： 1. HW_OCP_SRC_IO：使用 IO 引脚作为硬件过流保护信号源 2. HW_OCP_SRC_VC：使用内置电压比较器作为硬件过流保护信号源	

	参数	说明	备注
	HW_OCP_CMP_UNIT	使用内置比较器时，使用的比较器单元	1: CMP1, 2: CMP2, 3: CMP3
	HW_OCP_CMP_INP_CH	比较器 INP 通道	1, 2, 3, 4
	HW_OCP_CMP_DA_DATA	设置 DAC 输出电压	0~255
	INIT_HW_OCP_CMP_INP	比较器 INP 端口模拟功能使能	
	HW_OCP_EMB_LEVEL	使用 IO 引脚为过流信号源时，过流时的 IO 电平	0: low, 1: high
	INIT_HW_OCP_EMB_IO	EMB 端口功能设置	

## 5 驱动方式设置说明

通过对参数 USE\_DRIVER\_MODE 的设置，可选择外设的驱动方式，包含 ddl 和 reg 两种方式。

其中：

USE\_DDL\_DRIVER\_MODE      使用 ddl 方式进行驱动

USE\_REG\_DRIVER\_MODE      使用 reg 方式进行驱动

驱动方式设置说明位于 mcu\_common/muc\_include.h 中。

## 6 软件参数配置

在开始软件参数配置前，用户需要了解以下信息：

1. 电机参数：相电阻、交直流电感、反电动势系数、极对数
2. 运行工况：输入电压、额定功率、最大电流、转速范围等

软件配置参数位于 user\_interface.c 文件中。在了解了上述基本信息后，系统的大部分参数可依据下表中的信息来进行设置。

表 6-1 软件设置基本参数定义

符号	参数	单位	备注
$R_s$	电机的相电阻	$\Omega$	$\frac{1}{2}$ 线电阻
$L_d$	d 轴电感	mH	对于表贴式 PMSM，为 $\frac{1}{2}$ 线电感
$L_q$	q 轴电感	mH	对于表贴式 PMSM，为 $\frac{1}{2}$ 线电感
P	极对数	-	注意区分极数 (poles) 和极对数 (pole pairs)
$K_e$	反电动势系数	Vrms/krpm	相线悬空状态下，当转速为 1000rpm 时，定子线电压的有效值
$V_{dc}$	额定直流母线电压	V	对于 220V 交流输入， $V_{dc}=310V$
$V_r$	额定相电压幅值	V	对于交流输入，可估算为： $V_r=\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot 70\%\cdot V_{ac}$ 。或假设为 $\frac{1}{3}V_{dc}$
$I_r$	额定相电流幅值	A	可通过额定电压、额定功率、功率因数估算： $I_r=\frac{2}{3}\cdot\frac{P}{V_r\cdot\cos\phi}$
$I_{max}$	最大允许的相电流幅值	A	可以使电机工作在额定负载条件下，运行至最高转速，测量此时的相电流幅值
$n_{min}$	最小机械转速	rpm	建议设置，使其不低于 20%最高转速
$n_{max}$	最大机械转速	rpm	电机标称的最高转速
$f_{min}$	最小电转速	Hz	$f_{min}=\frac{60\cdot n_{min}}{P}$
$f_{max}$	最大电转速	Hz	$f_{max}=\frac{60\cdot n_{max}}{P}$

## 6.1 软件参数列表

类别	参数	单位	说明
控制器基本参数	ui_i32CarrierFreqHz	Hz	PWM 载波频率
	ui_i32SysTickerFreqHz	Hz	system ticker 的中断频率
	ui_f32DeadTimeUs	us	逆变器的死区时间
	ui_f32MaxDutyRatio	us	SVPWM 中, 非零矢量最小宽度
	ui_f32AdcTrigTimeUs	us	ADC 扫描采样的触发时间(仅双电阻有效)
采样参数	ui_f32IuvwSampleRs	Ohm	采样电阻阻值
	ui_f32IuvwSampleK	-	电流采样增益
	ui_i32AdcCheckDelayMs	ms	上电或复位后, 延时开始相电流采样的偏置检测
	ui_f32OffsetCheckTimeMs	ms	相电流采样的偏置检测时间
	ui_i32IuvwRefOffset	-	相电流采样的理想偏置
	ui_i32IuvwMaxOffsetBias	-	相电流采样中, 最大允许的偏置误差
电机参数	ui_i32PolePairs	-	电机的极对数
	ui_f32Rs	$\Omega$	电机的相电阻
	ui_f32Ld	mH	电机的 d 轴电感
	ui_f32Lq	mH	电机的 q 轴电感
	ui_f32Ke	Vrms/krpm	电机的反电动势系数, 为 1000rpm 时, 线电压有效值
	ui_f32BaseVoltage	V	电压基值
	ui_f32BaseCurrent	A	电流基值
	ui_f32BaseFrequency	Hz	转速基值
	ui_i32MinSpeedRpm	rpm	最小允许转速
	ui_i32MaxSpeedRpm	rpm	最大允许转速
	ui_f32MaxNormals	A	正常运行时的最大相电流幅值
	ui_f32MaxStartIs	A	启动时的最大相电流幅值
	ui_f32MaxBrakeIs	A	刹车时的最大相电流幅值
	ui_f32AccHzPerSec	Hz/s	电机加速度, 注意是电频率
	ui_f32DecHzPerSec	Hz/s	电机减速度, 注意是电频率
电压异常保护	ui_f32AbnormHighVbusThold	V	异常高电压保护点电压
	ui_f32AbnormLowVbusThold	V	异常低电压保护点电压
	ui_i32AbnormalVbusTimeUs	us	异常电压状态的响应时间
	ui_f32OverVoltageThold	V	过压保护点电压
	ui_i32OverVoltageTimeUs	us	过压保护响应时间
	ui_f32UnderVoltageThold	V	低压保护点电压
	ui_i32UnderVoltageTimeUs	us	低压保护响应时间
过流保护	ui_f32PeakOverCurrThold	A	电流过流峰值
	ui_i32PeakOverCurrTimeUs	us	电流过流响应时间

类别	参数	单位	说明
	ui_i32ErrClearTimeMs	ms	电流过流错误清除时间
观测器参数	ui_f32FluxObsGamma	-	观测器反馈增益
	ui_f32FluxObsPLLKp	-	观测器 PLL 锁相环 Kp 系数
	ui_f32FluxObsPLLKi	-	观测器 PLL 锁相环 Ki 系数
控制周期参数	ui_f32SpdRegPeriodMs	ms	速度调节周期
预定位设定	ui_f32ObsStableTimeMs	ms	观测器稳定时间
	ui_f32MinObservableWr	Hz	观测器最小观测速度
	ui_f32AlignCurrent	A	对齐电流
	ui_f32_1stAlignTimeMs	ms	第一次对齐时间
	ui_f32_2ndAlignTimeMs	ms	第二次对齐时间
	ui_f32_3rdAlignTimeMs	ms	第三次对齐时间
	ui_f32_2ndAlignFwdTheta	deg	第二次对齐前进角度
开环拖动设定	ui_f32ForceCurrentSlop	A/s	拖动电流增大至最大电流的斜率
	ui_f32ForceAccRate	Hz/s	拖动加速度
	ui_f32MaxForceSpd	Hz	最大拖动速度，注意是电频率
逆风启动设定	ui_f32HeadWindStartCurrent	A	逆风启动中，转速过零时的拖动电流
	ui_f32HeadWindMaxForceSpd	Hz	逆风启动中，转速过零时的最大拖动转速
	ui_f32HeadWindForceAccRate	Hz/s	逆风启动中，转速过零时的拖动加速度
短接制动设定	ui_f32MinShortBrakeTimeMs	ms	短接制动的最小制动时间
	ui_f32MaxShortBrakeTimeMs	ms	短接制动的最大制动时间
	ui_f32ShortBrakeEndIs	A	短接制动完成时，判定电机停机的阈值电流
速度环 PI	ui_f32SpdKp	-	速度 PI 的比例系数
	ui_f32SpdKi	-	速度 PI 的积分系数
	ui_f32MaxSpdErr	Hz	速度 PI 的最大允许误差，注意是电频率
d 轴电流 PI	ui_f32IdKp	-	d 轴电流 PI 的比例系数
	ui_f32IdKi	-	d 轴电流 PI 的积分系数
	ui_f32MaxIdErr	A	d 轴电流 PI 的最大允许误差
q 轴电流 PI	ui_f32IqKp	-	q 轴电流 PI 的比例系数
	ui_f32IqKi	-	q 轴电流 PI 的积分系数
	ui_f32MaxIqErr	A	q 轴电流 PI 的最大允许误差
其他	ui_f32SpdRegPeriodMs	ms	速度环调节周期
	ui_i32VdLpfFc	Hz	用于电压限幅的 d 轴电压滤波器截止频率
	ui_i32VqLpfFc	Hz	用于电压限幅的 q 轴电压滤波器截止频率

## 6.2 控制器基本参数配置

参数	参考设定	设置方法
ui_i32CarrierFreqHz	TBD	PWM 载波频率。根据硬件特性、电机特性、噪音需求选取合适的值即可。 1. 4~24kHz 2. 提高载波频率可减小电磁噪音和电流纹波，但是会增大开关损耗
ui_i32SysTickerFreqHz	2000	推荐使用 1~4kHz。根据应用特征，保证时间足够完成运算，精度满足需求即可。
ui_f32DeadTimeUs	2.0	死区时间，根据驱动电路设置。 1. 减小死区时间可以有效提高电机的低速性能、减小因死区造成的电流谐波 2. 过小的死区时间可能导致上下管直通，造成器件损坏
ui_f32MaxDutyRatio	0.78	SVPWM 调制中，非零矢量最大作用时间
ui_f32AdcTrigTimeUs	0.5	ADC 扫描采样的触发时间

## 6.3 电机参数配置

参数	参考设定	设置方法
ui_i32PolePairs	TBD	根据实际值设置
ui_f32Rs	TBD	根据实际值设置
ui_f32Ld	TBD	根据实际值设置
ui_f32Lq	TBD	根据实际值设置
ui_f32Ke	TBD	根据实际值设置
ui_f32BaseVoltage	$V_r$	建议设置为额定工作条件下的相电压幅值
ui_f32BaseCurrent	$I_r$	建议设置为额定工作条件下的相电流幅值
ui_f32BaseFrequency	$0.25 \cdot f_{\max}$	建议设置为 1/4 最高电转速
ui_i32MinSpeedRpm	$n_{\min}$	最小允许转速 1. 在无传感器控制系统中，随着工作转速的降低，观测器的收敛可能无法保证 2. 建议最小转速大于最高转速的 20%
ui_i32MaxSpeedRpm	$n_{\max}$	速度控制模式下的最大工作转速 功率控制、扭矩控制模式下的默认限速值
ui_f32MaxNormals	$I_{\max}$	正常运行时的最大相电流幅值，需要根据电机设定
ui_f32MaxStartIs	$I_{\max}$	启动时的最大相电流幅值 1. 可简单设置为正常运行的最大电流 2. 减小启动电流，可以缓解速度超调，但是加速时间会变长。如果启动失败，可以尝试增大启动电流 3. 增大启动电流可以有效的增大启动力矩，提高启动的成功率，但可能带来速度超调、启动冲击
ui_f32AccHzPerSec	TBD	根据实际需求设置
ui_f32DecHzPerSec	TBD	根据实际需求设置

## 6.4 观测器参数

参数	参考设定	设置方法
ui_f32ObsStableTimeMs	500	电机初始运动状态检测时，观测器所需的稳定时间 1. 建议设置为 200~500ms 2. 过小的观测器稳定时间可能导致电机顺逆风状态无法被正确检测 3. 当电机总是由静止状态启动，而无需检测时，可以设置此参数为零
ui_f32MinObservableWr	$0.25 \cdot f_{\min}$	观测器能观测的最小转速，也用于分辨电机处于静止状态还是顺逆风状态 1. 大约可设置为最高转速的 2%~5%
ui_f32FluxObsGamma	-	观测器反馈增益
ui_f32FluxObsPLLKp	-	观测器 PLL 锁相环 Kp 系数
ui_f32FluxObsPLLKi	-	观测器 PLL 锁相环 Ki 系数



## 6.5 PI 参数设置

在电流环中，PI 参数可以参考一阶环节进行校正。忽略扰动，电流环的闭环传递函数为：

$$\frac{i}{i^*} = \frac{\left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \left(\frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R}s + 1}\right)}{1 + \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \left(\frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R}s + 1}\right)}$$

假设电流环带宽为  $f_c$ ，使用极点消除的方法校正，电流环的 PI 参数可校正为：

$$K_p = 2\pi f_c L$$

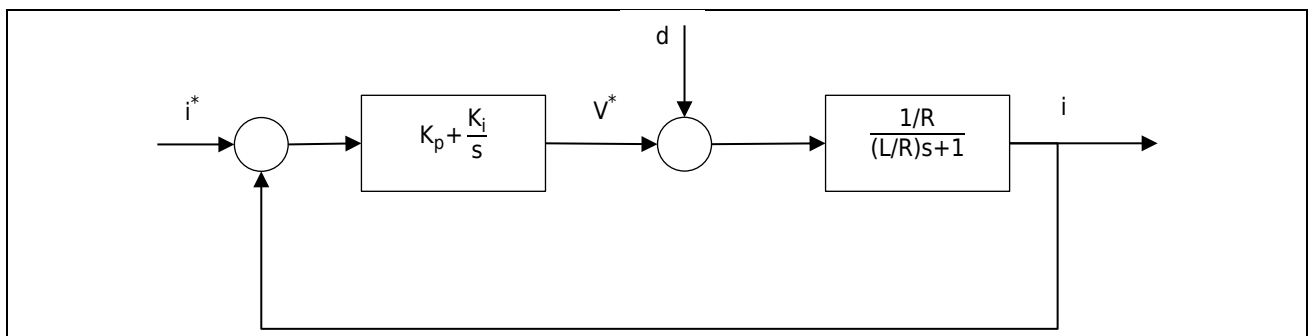


图 6-1 电流环传递函数

$$K_i = 2\pi f_c R_s$$

校正后的电流闭环传递函数为：

$$\frac{i}{i^*} = \frac{2\pi f_c}{s + 2\pi f_c}$$

	参数	参考设定	设置方法
速度环 PI	ui_f32SpdKp	TBD	建议根据调试情况设置
	ui_f32SpdKi	TBD	建议根据调试情况设置
	ui_f32MaxSpdErr	$0.1 \cdot f_{\max}$	设置后，应当检查标定后的 $K_p e_{\max}$ 不溢出
d 轴电流 PI	ui_f32IdKp	$2\pi f_{\max} L_d$	$2\pi f_c L_d$
	ui_f32IdKi	$2\pi f_{\max} R_s$	$2\pi f_c R_s$
	ui_f32MaxIdErr	$I_{\max}$	建议设置为最大运行电流
q 轴电流 PI	ui_f32IqKp	$2\pi f_{\max} L_q$	$2\pi f_c L_q$
	ui_f32IqKi	$2\pi f_{\max} R_s$	$2\pi f_c R_s$
	ui_f32MaxIqErr	$I_{\max}$	建议设置为最大运行电流

## 6.6 启动参数配置

本系统支持静止启动、顺风启动、逆风启动三种启动工况，启动流程参考。

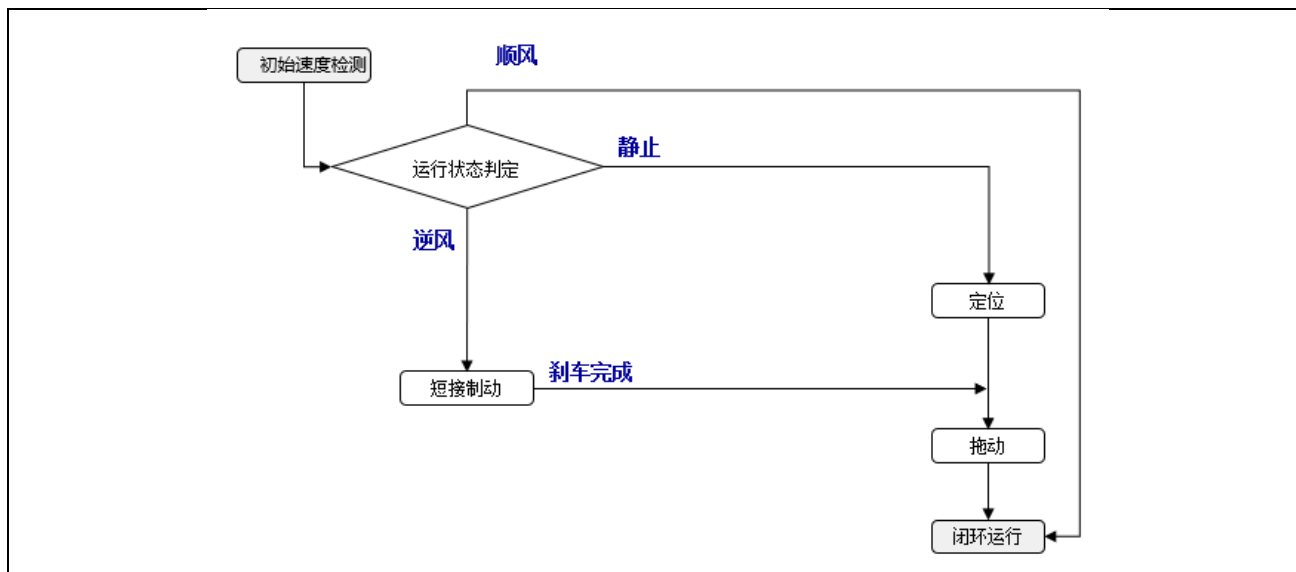


图 6-2 电机启动流程

### 6.6.1 静止启动的配置

参数	参考设定	设置方法
ui_f32AlignCurrent	TBD	转子预定位的最大电流 1. 若无预定位过程，此电流将作为拖动、或闭环启动的初始电流 2. 建议 $\leq I_{\max}$
ui_f32_1stAlignTimeMs	TBD	第一阶段预定位时间。该时间段内，电流将从零线性增大到最大预定位电流
ui_f32_2ndAlignTimeMs	TBD	第二阶段预定位时间。该时间段内，电流将保持为最大预定位电流
ui_f32_3rdAlignTimeMs	TBD	第三阶段预定位时间。该时间段内，电流将保持为最大预定位电流
ui_f32_2ndAlignFwdTheta	TBD	第二阶段定位时间内，电机向前前进角度
ui_f32ForceCurrentSlop	TBD	开环拖动过程中，电流的上升斜率
ui_f32ForceAccRate	TBD	开环拖动的加速度 1. 此拖动加速度不会显著的体现在拖动过程中 2. 可快速设置此加速度为电机的最大加速度
ui_f32MaxForceSpd	TBD	闭环转速。当观测器的观测转速大于闭环转速时，系统将逐步切入观测器闭环状态 系统先开环拖动电机，超过此转速后进入闭环

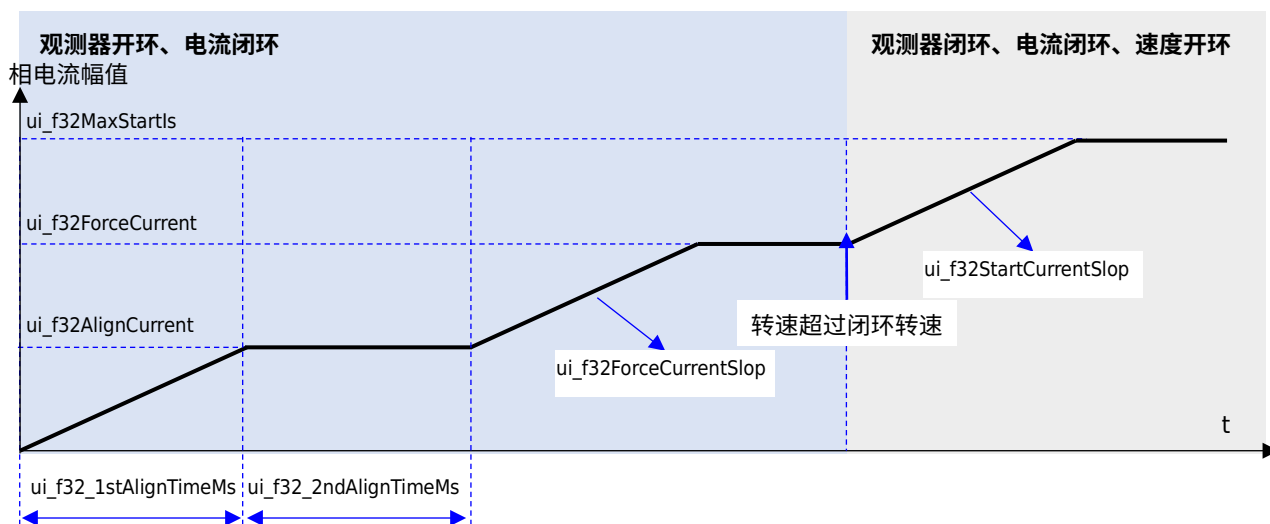


图 6-3 启动过程电流参数定义

## 6.6.2 逆风启动的配置

参数	参考设定	设置方法
ui_f32HeadWindStartCurrent	TBD	逆风启动中，当转速过零时的拖动电流
ui_f32HeadWindMaxForceSpd	TBD	逆风启动时，转速过零时的最大拖动转速 1. 不建议使用过大的最大拖动转速
ui_f32HeadWindForceAccRate	TBD	逆风启动时，转速过零时的拖动加速度 1. 需要根据拖动电流、转动惯量和实际调试来确定
ui_f32MinShortBrakeTimeMs	TBD	短接制动的最小制动时间 1. 设置此时间，以保证下管闭合后，电机可建立有效电流以检测转速
ui_f32MaxShortBrakeTimeMs	TBD	短接制动的最大制动时间 1. 设置此时间，以保证最大逆风转速条件下，可有效的刹停电机 2. 若超过此时间电机仍未停止，将尝试拖动电机启动
ui_f32ShortBrakeEndIs	TBD	短接制动完成时的阈值电流 1. 当相电流幅值小于此电流时，系统判定电机已经停止 2. 应设置此阈值电流大于零，否则无法检测到电机停机 3. 可通过测试电机即将停机时的相电流来设置

## 6.7 保护参数配置

### 6.7.1 母线电压保护参数配置

参数	参考设定	设置方法
ui_f32AbnormHighVbus	$1.30 \cdot V_{dc}$	异常高电压的保护点 1. 需根据硬件、电机的耐压设定
ui_f32AbnormLowVbus	$0.60 \cdot V_{dc}$	异常低电压的保护点 1. 需根据硬件能可靠工作的电压点来设定
ui_f32AbnormalVbusTimeUs	500	持续发生异常高电压、或异常低电压，且超过设定时间后，进入保护
ui_f32OverVoltageProtThold	$1.25 \cdot V_{dc}$	过压的保护点，一般设定此点电压低于异常高电压，且检测时间略大于异常电压检测时间
ui_f32OverVoltageTimeUs	1000	持续发生过压，且超过设定时间后，进入保护
ui_f32UnderVoltageProtThold	$0.65 \cdot V_{dc}$	欠压的保护点，一般设定此点电压高于异常低电压，且检测时间略大于异常电压检测时间
ui_f32UnderVoltageTimeUs	1000	持续发生欠压，且超过设定时间后，进入保护

### 6.7.2 过流保护参数配置

参数	参考设定	设置方法
ui_f32PeakOverCurrThold	$1.5 \cdot I_{max}$	峰值过流保护点，当相电流幅值持续大于此阈值后，进入峰值过流保护
ui_f32PeakOverCurrTimeUs	500	峰值过流保护响应时间
ui_f32PeakOcpErrClrTimeMs	TBD	峰值过流发生后，当电流恢复正常且超过设定时间后，自动清除故障

## 7 故障处理

系统中，故障码以无符号 32 位数据存储（g\_stcMotorRunPara.u32FaultCode），每种故障占用一个比特位。当发生多个故障时，故障码为“加”（按位“或”）的关系。例如，当同时发生峰值软件过流和硬件过流故障时，故障码为：

$$0x00000002 + 0x00000008 = 0x0000000A$$

发生故障后，系统根据故障类型采用不同应对策略：

1. 延时后自动清除
2. 故障消失后自动清除
3. 发生故障后，重新上电和复位后清除

用户可以根据实际需求，增加故障应对策略以符合产品需求，例如强制清除故障并尝试重启。本章列举了系统中的故障代码及其含义，并分析了可能的原因和解决对策。

### 7.1 故障列表

故障名	故障码	故障说明	自动清除
ERR_NONE	0x00000000	无故障	-
ERR_AD_OFFSET	0x00000001	相电流采样的偏置错误	N
ERR_OC_PEAK	0x00000002	峰值过流保护	Y
ERR_OC_RMS	0x00000004	持续过流保护	Y
ERR_OC_HW	0x00000008	硬件过流保护	N
ERR_VDC_OV	0x00000010	过压保护	Y
ERR_VDC_UV	0x00000020	欠压保护	Y
ERR_VDC_ABNORM	0x00000040	母线电压异常（过高、过低）	Y
ERR_MOTOR_OP	0x00000080	未启用。电机过功率	-
ERR_MOTOR_OT	0x00000100	未启用。电机过热	-
ERR_IPM_OT	0x00000200	IPM 模块过热	-
ERR_LOCK_ROTOR	0x00000400	堵转保护	Y
ERR_LACK_PHASE	0x00000800	缺相保护	N
ERR_COMM	0x00001000	未启用。通信故障	-
ERR_SWWD_INT	0x00002000	未启用。发生软件看门狗中断事件	-
ERR_HWWD_INT	0x00004000	未启用。发生硬件看门狗中断事件	-
ERR_UNDEF_INT	0x00008000	发生未定义的中断事件	N
ERR_DMA_FAIL	0x00010000	ADC 采样时序故障	N
ERR_SYS_CLK	0x00020000	系统时钟配置错误	N
ERR_IPD_ERR	0x00040000	初始位置检测功能故障	N

## 7.2 ADC 偏置错误 (ERR\_AD\_OFFSET)

在电机控制系统中，系统默认的相电流采样偏置为 $\frac{V_{CC}}{2}$ ，对于 12 位 ADC，其参考偏置为  $ui\_i32IuvwRefOffset = 2048$ 。系统在上电自检时，会自动检测相电流采样偏置，当检测到的偏置超出容限 ( $ui\_i32IuvwRefOffset \pm ui\_i32IuvwMaxOffsetBias$ ) 时，将产生 ADC 采样偏置错误。

故障名	故障码	原因	对策
ERR_AD_OFFSET	0x00000001	硬件采样电路故障	检查电流采样引脚输入是否为 $\frac{V_{CC}}{2}$ ，检查电路的连通性、器件是否正确焊接
		硬件电路的采样偏置不是 $\frac{V_{CC}}{2}$	根据采样电路计算偏置，并根据设计偏置修改 $ui\_i32IuvwRefOffset$
		硬件采样电路器件一致性差，导致实际的偏置较大	增大偏置的允许公差 $ui\_i32IuvwMaxOffsetBias$
		ADC 通道配置错误	根据硬件电路配置采样通道

## 7.3 软件峰值过流故障 (ERR\_OC\_PEAK)

故障名	故障码	原因	对策
ERR_OC_PEAK	0x00000002	过流保护点太低	根据最大运行电流，设置合适的保护点
		自举电容充电瞬间造成过流	1. 在自举电容的充电回路中增加限流电阻 2. 设置自举电容充电的脉宽曲线，以更缓慢的方式充电
		电流采样参数设置错误	检查采样电阻、放大倍数等参数，根据实际电路调整
		电流环 PI 参数设置不当	1. 电流环带宽过大，产生严重的电流毛刺。通过电流波形可看到较大幅值的毛刺 2. 电流环带宽过小，造成电流 PI 超调。从电流波形可以看到电流曲线光滑，但无法跟踪参考电流 3. 电流环 PI 调节器的允许最大误差太小。设置最大允许误差为最大电流即可
		运转中出现电机缺相	当电机在运行状态下，突然发生缺一相时可能触发过流保护 1. 检查电机的相线是否连接正常 2. 检查逆变器电路中的 MOS、桥驱等是否工作正常
		PWM 极性配置错误	根据桥驱、或 IPM 的驱动逻辑，配置 PWM 输出极性 (PWM_ACTIVE_LEVEL)

## 7.4 硬件过流故障 (ERR\_OC\_HW)

故障名	故障码	原因	对策
ERR_OC_HW	0x00000008	过流保护点太低、过流保护信号噪音大	根据运行电流，调整保护电路参数，如： 1. 调整保护点电压 2. 调整过流保护信号的硬件滤波参数
		参考软件峰值过流故障的原因与对策	

## 7.5 过压故障 (ERR\_VDC\_OV、ERR\_VDC\_ABNORM)

故障名	故障码	原因	对策
ERR_VDC_OV ERR_VDC_ABNORM	0x00000010 0x00000040	电压采样的分压系数与硬件不一致	检查硬件电路，并对应调整分压系数
		顺逆风启动时，初始状态检测发生过压	1. 顺逆风转速过高，尝试重新启动 2. 增大电流环 PI 的带宽 3. 增大观测器的 BEMF 滤波器带宽
		FOC 刹车时，造成的反向充电过压	1. 减小刹车电流 (ui_f32MaxBrakels) 2. 减小刹车电流斜率 (ui_f32BrakelsSlop) 3. 增大刹车电压裕度 (ui_f32VbusMargin)

## 7.6 欠压故障 (ERR\_VDC\_UV、ERR\_VDC\_ABNORM)

故障名	故障码	原因	对策
ERR_VDC_UV ERR_VDC_ABNORM	0x00000020 0x00000040	电压采样的分压系数与硬件不一致	检查硬件电路，并对应调整分压系数
		母线电容与电机功率不匹配，造成母线电压纹波过大	增大母线电容，以减小母线电压纹波

## 7.7 采样时序错误 (ERR\_DMA\_FAIL)

故障名	故障码	原因	对策
ERR_DMA_FAIL	0x00010000	MCU 运行后，设置了断点	取消断点，重新上电或复位后再启动
		有更高优先级的中断发生，导致采样数据无法处理	检查是否发生了其它高优先级的中断，并合理安排中断优先级和中断执行代码
		PWM 中断处理时间不够	降低载频、尽量不在 PWM 中断中增加用户代码
		ADC 采样的配置错误	参考芯片用户手册，检查 ADC 采样配置代码和 ADC 数据转换代码[InitMcu_Adc(), Adc_Sample()]

## 8 附件

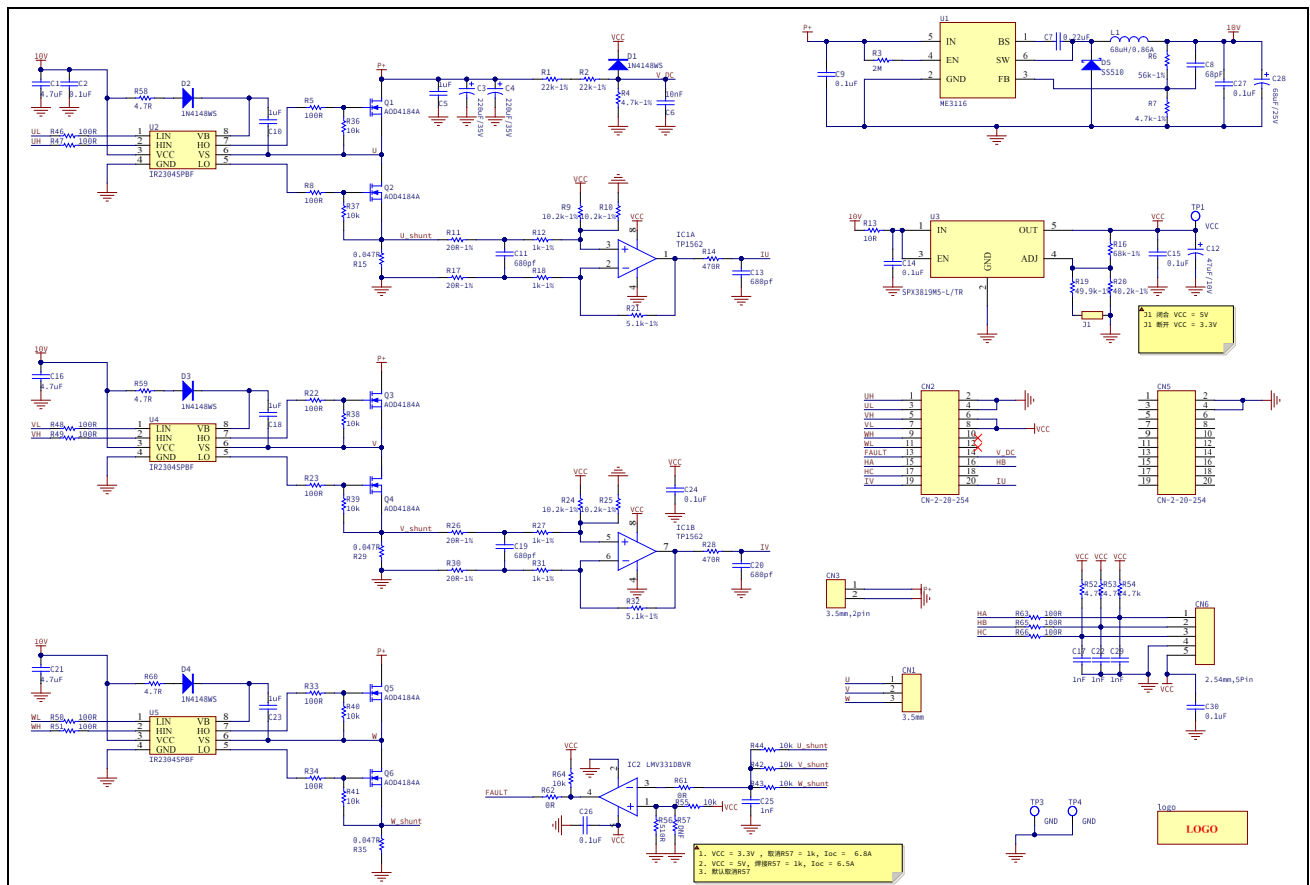


图 8-1 功率板原理图



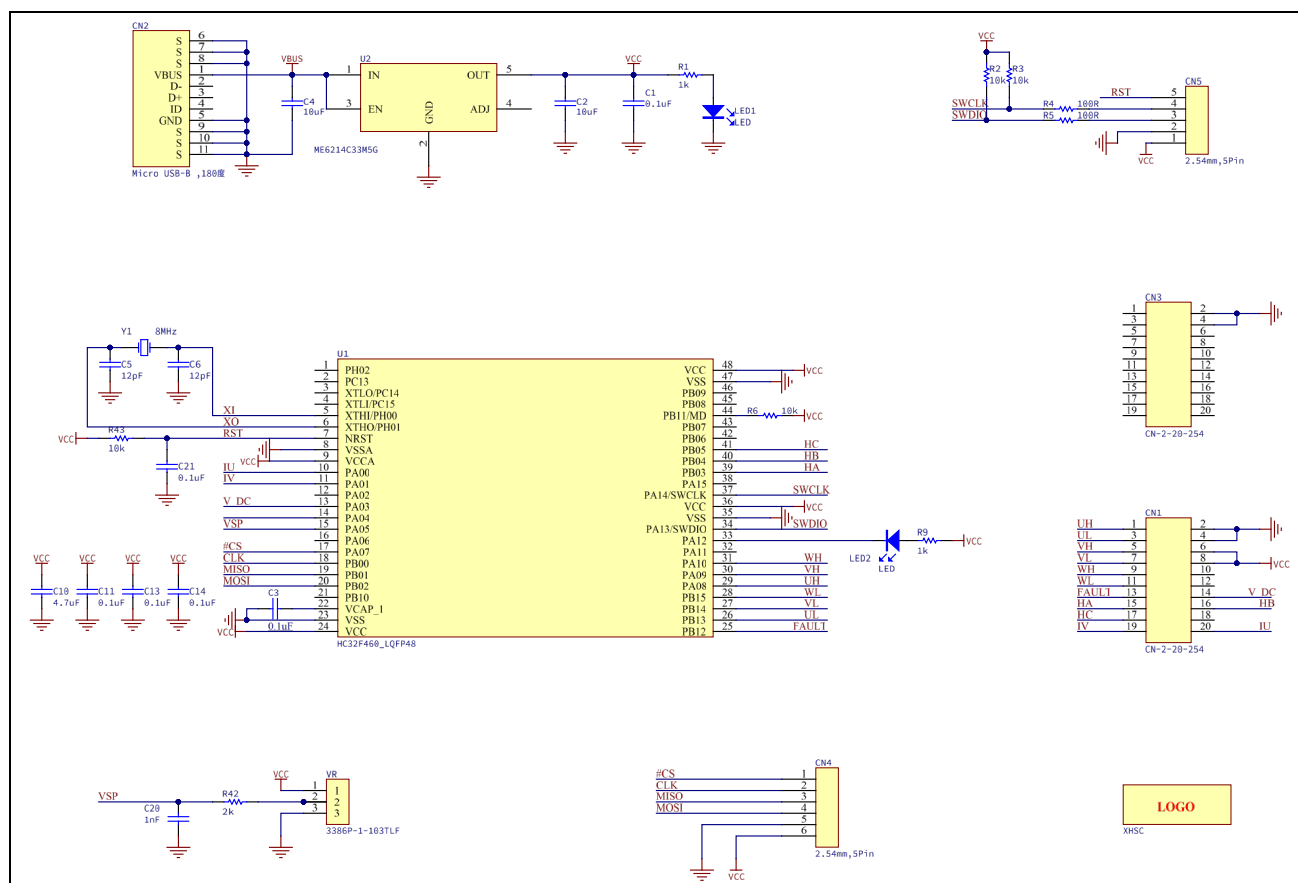


图 8-2 HC32F460 控制卡原理图

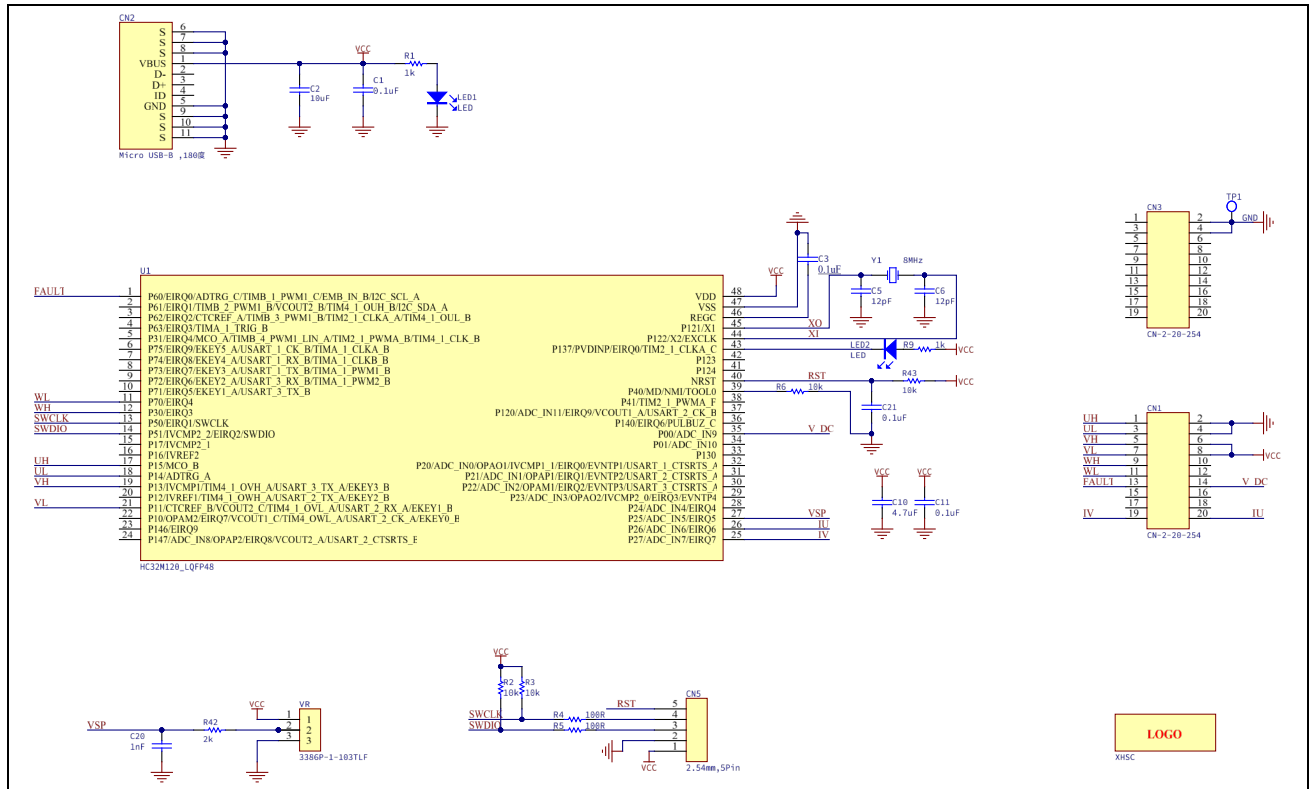


图 8-3 HC32M120 控制卡原理图

## 版本修订记录

版本号	修订日期	修订内容
Rev1.0	2023/02/27	初版发布。
Rev1.01	2023/04/13	1) 2.1.1 硬件环境章节，仿真器由 J-Link V8 更改为 J-Link V8（隔离）。 2) 3.3 编译和下载调试章节，表 3-1 中启动指令变量由 g_stcMotorSpdCtrl.i32CmdRpm 更改为 g_stcMotorCmdSpdSet.i32CmdRpm。

若您在购买与使用过程中有任何意见或建议，请随时与我们联系。

邮箱：support@xhsc.com.cn

电话：021-68667000-7355

地址：上海市浦东新区中科路 1867 号 A 座 10 层



XIAOHUA SEMICONDUCTOR CO., LTD