

电机控制解决方案

Motor Control Solution

-----基于 EG6831 的无感 BLDC 控制方案

目录

1	特征	2
2	技术参数	2
3	无感 BLDC 控制原理	3
3.1	直流无刷电机驱动原理	3
3.2	无感控制原理	4
4	电机库使用说明	6
4.1	电机控制核心库说明	6
4.2	核心库程序运行流程	7
4.3	电机参数配置	8
4.4	接口函数一览	9
4.5	故障码一览	10
4.6	用户增加 ADC 通道的说明	11
5	方案实例	12
5.1	吸尘器方案	12
5.2	电动剪刀	15
6	获取方案板与技术支持	18

1 特征

基于 EG6831 和 EG1205 的无感 BLDC 控制方案，适用于电动园林剪刀、电动工具控制、吹风机、吸尘器、电风扇、水泵等，EG6831 集成了高性价比 MCU 和驱动芯片，实现外围器件最小化。采用独创的控制算法，实现无传感器 BLDC 电机的平顺启动、启动成功率高等优点。

2 技术参数

表 1.技术参数

参数名称	条件	最小	典型	最大	单位
输入电压	/	15		32	V
输入电流	/			10	A
输出功率	输入电压 DC30V			500	W
静态功耗	输入电压 DC25.2V		1.4	2	W
工作环境	/	-10		100	℃

3 无感 BLDC 控制原理

3.1 直流无刷电机驱动原理

直流无刷电机它是根据转子的位置给对应的绕组通电，在每一个时刻只给定子绕组中的两相通电，这样每相绕组导通 120 电角度。在一个电角度（360 度）周期可实现六种不同的激励组合，故而被称为方波驱动或六步换相控制。六步换相驱动是一种三相 Y 型连接 BLDC 电机的常用方法。在六步换相中，如图 2 所示 BLDC 电机采用两相工作模式，任意时刻只有两相导通，另一相断开。究竟选择哪两相绕组导通是由转子的位置决定，转子位置的感测可由位置传感器或位置观测器获得即有传感器方波驱动和无传感器方波驱动。

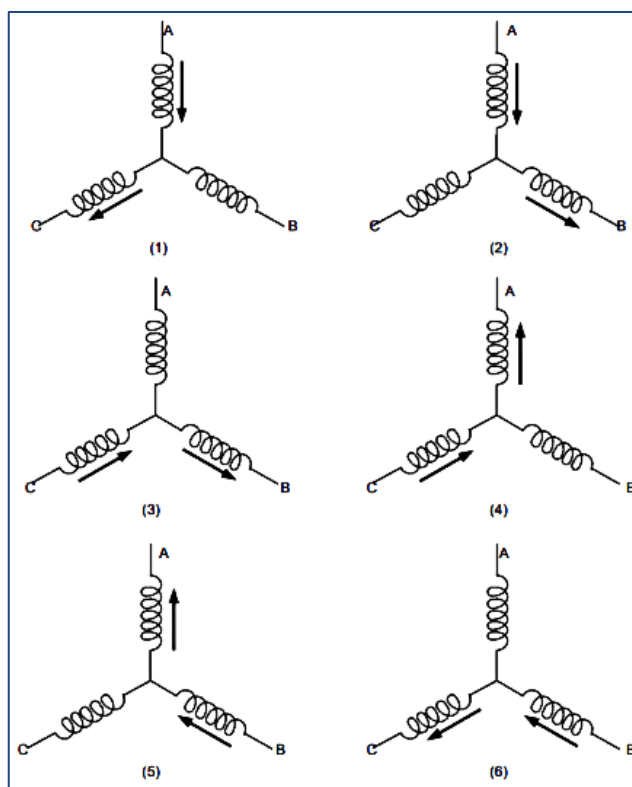


图 3-1.六步换相拓扑图

霍尔 a、霍尔 b、霍尔 c 是三个霍尔传感器，安装在电机不同的位置，用来检测相对于三个绕组（U/V/W）的转子位置。在电机运转过程中，当正向的磁感线穿过霍尔传感器，传感器输出“1”，反之，输出“0”。由于 3 个霍尔传感器均匀安装在 360 度电角度，当电机运转一个电气周期（360）时，每个霍尔传感器的电平会发生两次翻转，总共发生 6 次电平翻转，如图 3 所示由于传感器是均匀分布的，所以每次翻转刚好相差 60 度电角度，这正是电机两次换相相差的电角度。通过不断读取霍尔传感器不同的电平翻转时刻，然后给相应的绕组通电，电机就可以平稳的运转起来。

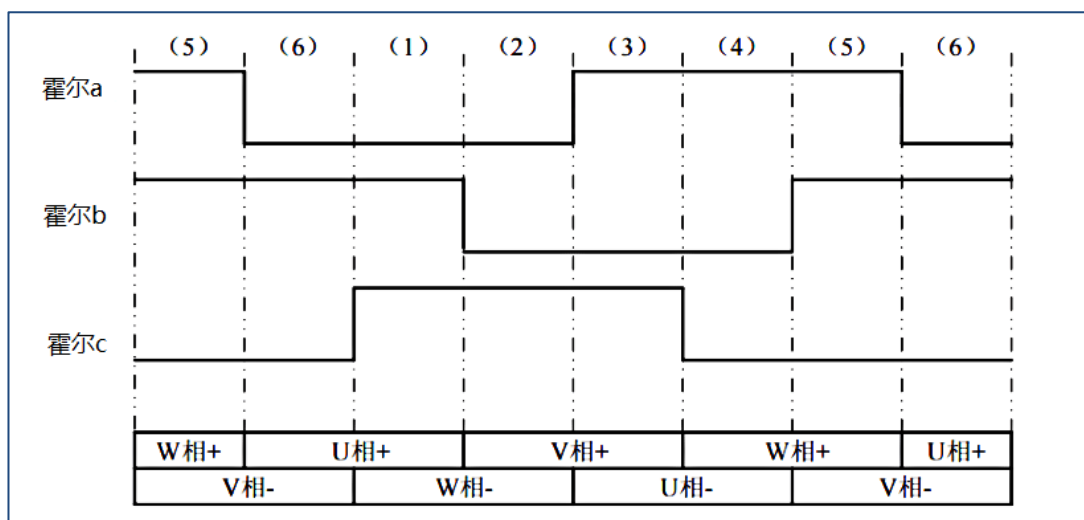


图 1-2.霍尔信号时序图

3.2 无感控制原理

电机无感控制通过反电势控制电机换向能节省霍尔的成本和霍尔安装的成本。

在无刷电机转动时，每个绕组都会产生反电动势，根据楞次定律，反电势的方向与提供给绕组的主电压相反。反电势主要取决于三个因素：转子角速度、转子磁体产生的磁场和定子绕组的匝数。

$$\text{公式：反电动势} = (E) \propto N \cdot l \cdot R \cdot B \cdot W$$

N 为每相绕组的匝数， l 为转子的长度， R 为转子的内径， B 为转子的磁场密度， W 为电机的速度。

由公式得知，在电机做定后，电机的绕组和转子是固定的，所以电机的反电动势和角速度有关，角速度的提高，电机的反电动势也会相应的提高。无刷电机还可以通过反电动势来控制电机换向，这就是通常说的无感控制。在霍尔信号发现变化的时候，悬空相的反电动势也会通过过零点。这就是无感控制中采样过零点控制电机换向的原理。

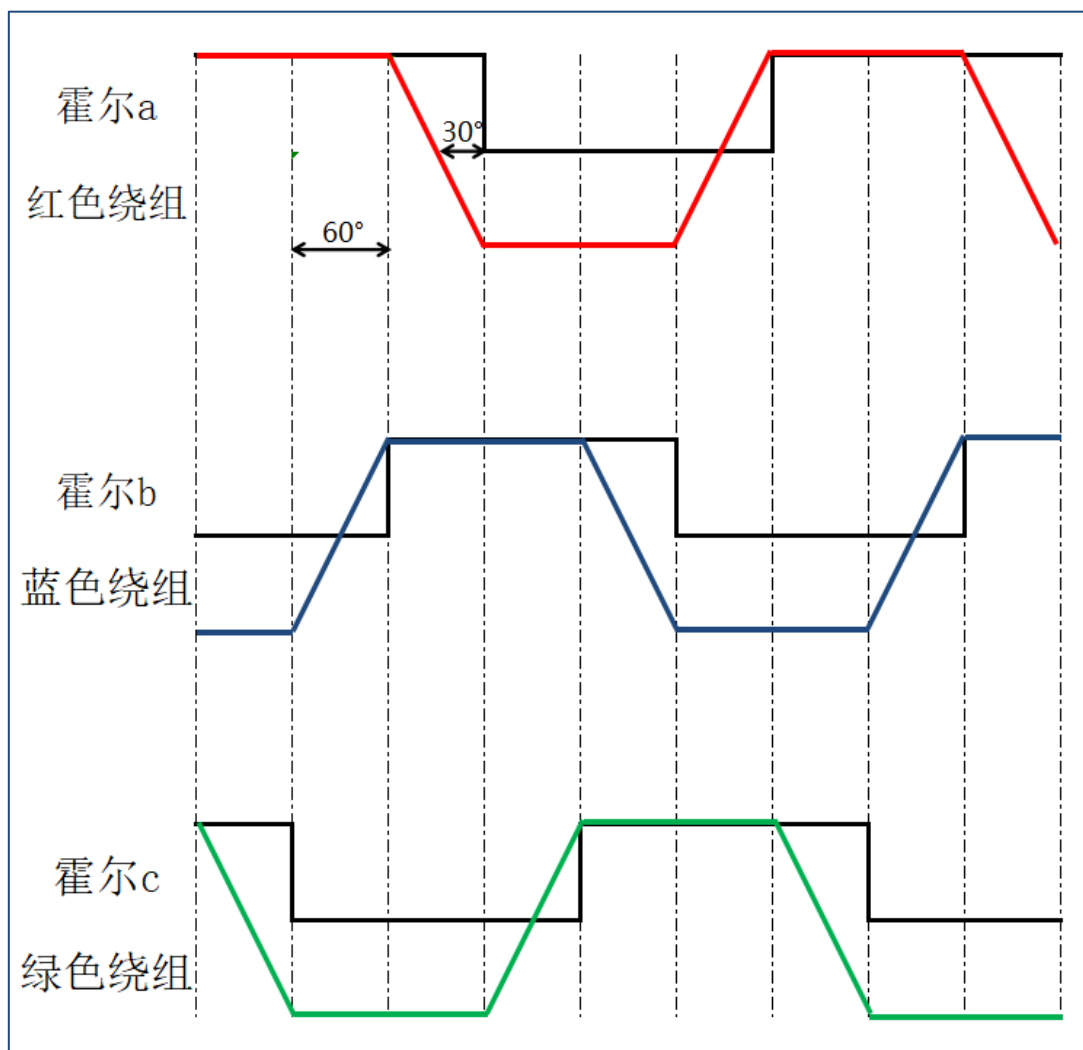


图 3-3.霍尔与绕组反电动势

如上图所示在每一个区间（60 度电气角度）内对未通电相绕组上的反电动势电压进行检测。当反电动势电压经过“中点”或“过零点”时，即检测到过零点发生。控制算法可知转子此时位于 60 度电气角度区间的中点且距离下一次换相还有 30 度电气角度。定时器记录每个区间（60 度电气角度）的时间为 T_{60} 。当检测到过零点时，定时器将装载一个数值为 T_{60} 的一半的设定值。定时器发生超时，将产生中断并实现下一次换相。此种控制方法称为 BLDC 电机的无传感器控制。对于 BLDC 电机的无位置传感器控制，有多种方法来检测转子的位置。本方案使用的是 BEMF 法即通过检测断开相的反电动势过零点来实现换相。

在电机未启动的时候，反电势基本为零，这时是采集不到过零点的。因此，在电机从静止状态启动的时候就必须先要将电机拖动起来后再用过零点控制，本方案采用高频注入（IPD）来判断电机的第一步的位置后，再进行拖动。确定电机转子的初始位置后，由于此时定子绕组中的反电动势仍为零，所以必须人为的改变电机的外施电压和换相信号，使电机由静止逐步加速运动，这一过程称为开环加速。

4 电机库使用说明

4.1 电机控制核心库说明

电机驱动采用 lib 库文件的形式提供用户使用详情表 2，用户无需编写电机控制程序，直接调用库函数就可以控制电机。并且支持过流保护，过压保护，欠压保护，过温保护，堵转保护等，用户只需通过接口函数配置相应参数即可，详见表 4-2 及表 4-3。

同时提供 KEIL 工程实例，该工程使用电机控制核心库开发，包括了电机参数配置及用户自定义功能程序，方便开发者上手。

其中 main.c 文件包括电机及控制参数配置、电机核心库初始，ui_task.c 为用户自定义程序文件，开发者在这里调用核心库的函数来控制电机的具体运行，并且可以添加外围的其他功能。。

```
/* MC Parameters */
MCC_Handle_t MCC_Handle =
{
    .hPIDKpGain      = 600,      // PID比例系数
    .hPIDKiGain      = 600,      // PID积分系数
    .hPIDKdGain      = 0,        // PID微分系数
    .hPIDGap          = 100,      // PID迟滞量
    .hPwmFreq         = 16000,    // PWM频率，单位Hz
    .hDeadTime        = 300,      // 死区时间，单位ns
    .hPolePairNum     = 2,        // 电机极对数
    .hStartupDuty     = 1,        // 启动时的PWM占空比（建议小于20%）
    .hSpeedUnit       = 60,       // 转速单位，1:转/秒，10: 转/10秒， 60: 转/分钟
    .hMaxStallTime     = 200,      // 堵转保护时间，单位ms
    .hTempBaseMV      = 2500,     // NTC在25摄氏度时采样到的电压，单位mV
    .hTempGain        = -30,      // NTC温度系数，mv/摄氏度
    .hOvTempTh        = 78,       // 温度保护阈值,负值表示不做温度保护
    .hBusVoltage       = 200,      // 母线电压，单位0.1V
    .hOverVoltageTh    = 300,      // 过压保护阈值，单位0.1V
    .hOverVoltTime     = 10,       // 过压保护时间，单位ms，0表示立即保护
    .hUnderVoltageTh   = 150,      // 欠压保护阈值，单位0.1V
    .hUnderVoltTime    = 10,       // 欠压保护时间，单位ms，0表示立即保护
    .hVoltageDividA    = 10,       // 母线电压采样分压电阻比值A
    .hVoltageDividB    = 1,        // 母线电压采样分压电阻比值B，采样电压=母线电压*B/(A+B)
    .hSampleResister   = 2,        // 电流采样电阻值，单位毫欧
    .hLmtCurrentTh     = 25,       // 限流保护阈值，单位A
    .hOvCurrentTh1     = 30,       // 过流保护阈值1，单位A
    .hOvCurrentTime1   = 200,      // 过流保护时间1，单位Ms，0表示立即保护
    .hOvCurrentTh2     = 35,       // 过流保护阈值2，单位A
    .hOvCurrentTime2   = 50,       // 过流保护时间2，单位Ms，0表示立即保护
};
```

图 4-1 电机及控制参数配置

表 4-1 库文件及资源占用说明

文件名	内容	外设资源占用	占用的中断
MCSDK_EG6831.lib	电机控制核心库	MCPWM TIM0,TIM1,TIM2 ADC,OPA GPIO:P0.9,P0.10,P0.12,P0.13,P0.14 P1.3,P1.4,P1.5,P1.6,P1.7,P1.8,P1.9 P2.9	ADC 中断 TIM0 中断 TIM1 中断 TIM2 中断
MCSDK_EG6831.h	电机控制核心库头文件		

4.2 核心库程序运行流程

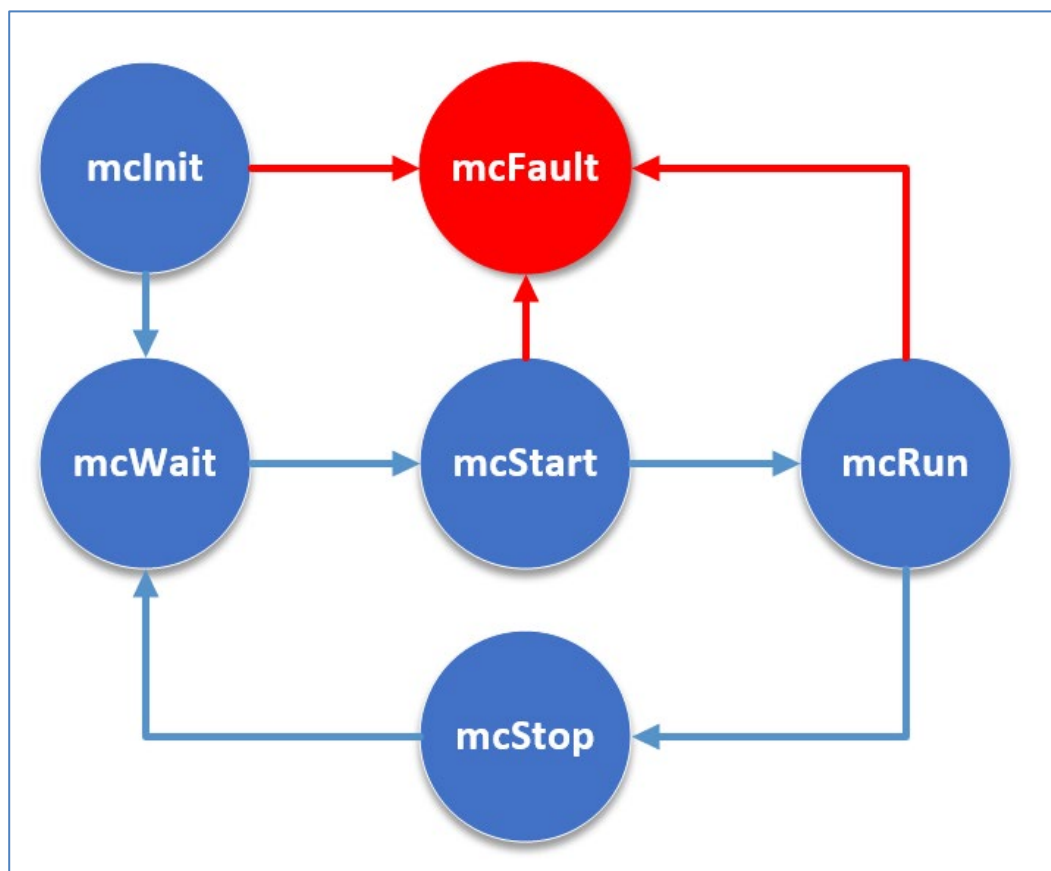


图 4-2.程序运行框图

4.3 电机参数配置

电机控制核心库的头文件里定义了电机及控制参数配置项，开发者只要根据下表配置好参数再调用初始化函数就可以了。

表 4-2. 电机及控制参数表

参数名称	说明
hPIDKpGain	控制环比例系数，建议范围 10~2000
hPIDKiGain	控制环积分系数，建议范围 10~2000
hPIDKdGain	控制环微分系数，建议范围 0~500，电机控制一般微分参数为 0
hPIDGap	PID 调节精度，建议范围 5~200，太多会使调速不正确
hPwmFreq	载波频率，建议为 8000-20000Hz，一般应用为 16000，具体可以看 MOS 的发热情况来定
hDeadTime	死区时间，单位 ns，不可为零，不然 MOS 会造成不可逆的损坏。具体可以依据 MOS 的数据手册设置，或者依据经验值 600ns-1000ns 之间
hPolePairNum	电机极对数配置，用于计算电机转速
hStartupDuty	启动时的 PWM 占空比（建议<20%）
hSpeedUnit	转速单位，填写 1 配置为转/秒，填写 10 配置为转/10 秒，填写 60 配置为转/分钟
hMaxStallTimeMs	堵转保护时间阈值，单位 ms，切忌过大，以免发热导致硬件或电机不可逆的损坏
hTempBaseMV	NTC 在 25 摄氏度时采样到的电压，单位 mV
hTempGain	单位 mv/摄氏度，可计算或实际测量结果填写
hOvTempTh	温度保护阈值，负值表示不做温度保护，单位℃
hBusVoltage	正常供电电压，单位 0.1V，但如果供电电压有波动，可填写中间值
hOverVoltageTh	过压保护阈值，单位为 0.1V，填写该值不可低于 hBusVoltage 值
hOverVoltTime	过压保护时间，为触发过压保护等待时间，单位毫秒，填写 0 立即保护
hUnderVoltageTh	欠压阈值，单位为 0.1V，填写该值不可高于 hBusVoltage_01V 值
hUnderVoltTime	欠压保护时间，为触发欠压保护等待时间，单位毫秒，填写 0 立即保护
hVoltageDividA	hVoltageDividA 与 hVoltageDividB 为分压电阻比例，根据硬件电路填写 采样电压值 $V_{fb} = \text{母线电压} * hVoltageDividB / (hVoltageDividA + hVoltageDividB)$ ，注意 $V_{fb} < 3.6V$ ，如果大于 3.6V 则被当作 3.6V 处理。
hVoltageDividB	
hSampleResister	根据硬件电流采样电阻阻值填写，单位 mΩ
hLmtCurrentTh	限流阈值，单位 A，需小于 hOvCurrentTh1 和 hOvCurrentTh2
hOvCurrentTh1	过流保护阈值 1，单位 A
hOvCurrentTime1	过流保护时间 1，单位 ms，0 表示立即保护
hOvCurrentTh2	过流保护阈值 2，单位 A
hOvCurrentTime2	过流保护时间 2，单位 ms，0 表示立即保护

4.4 接口函数一览

表 4-3.接口函数

函数名称	说明
MC_Init	功能：初始化电控控制模块 参数：无 返回：无
MC_SetConfig	功能：设置电机参数及控制参数，该函数必须在 MC_Init 之后调用 参数：MCC_Handle,详细见表 2-4 返回：无
MC_GetSTMState	功能：获取当前电机运行状态 参数：无 返回：当前电机运行状态
MC_StartMotor	功能：启动电机 参数：无 返回：无
MC_StopMotor	功能：停止电机 参数：无 返回：无
MC_EbreakMotor	功能：电机电刹车 参数：无 返回：无
MC_GetCurReference	功能：获取当前参考值 参数：无 返回：当前电机控制的转速或功率参考，功率单位是 0.1w
MC_BeepExe	功能：让电机震动，从而发出声音 参数：hBeepFreq:震动频率；hBeepTimeMs:震动时间 返回：无
MC_SetReference	功能：设置控制参考值，包括转速或功率，其中功率单位是 0.1w 正值表示电机正转，负值表示电机反转 参数：hRef:参考值， 返回：无
MC_SetModality	功能：设置电机控制模式 参数：Modality: STC_SPEED_MODE(转速控制)，STC_TORQUE_MODE (功率控制) 返回：无
MC_GetCommandState	功能：获取当前命令状态 参数：无 返回：控制器执行的最后一条 MC 命令的执行状态 (MCI_CommandState_t)
MC_GetMecSpeedAverage	功能：获取当前电机转速 参数：无 返回：电机转速
MC_GetBusCurrentAverage	功能：获取当前母线平均电流

	参数：无 返回：母线平均电流
MC_GetPhaseCounter	功能：获取电机换相计数值 参数：无 返回：电机换相计数值
MC_SetPhaseCounter	功能：设置电机换相计数值 参数：计数值 返回：无
MC_GetTemp_C	功能：获取温度值 参数：无 返回：温度值（摄氏度）
MC_SetEleBreakDuty	功能：设置电刹车力度 参数：力度，0-100，100 表示最大刹车力度 返回：无
MC_SetPwmDuty	功能：设置 PWM 占空比 参数：占空比，0-100（0~100%） 返回：无
MC_GetOccurredFaults	功能：获取之前发生过的全部故障码 参数：无 返回：故障码（参考表 4）
MC_GetCurrentFaults	功能：获取当前发生的故障码 参数：无 返回：故障码（参考表 4）
MC_AcknowledgeFault	功能：强制消除当前全部故障 参数：无 返回：无

4.5 故障码一览

故障码由一个 16 位的数据表示，每一位表示一个故障。比如 0x0004 表示欠压，0x0008 表示过温，则 0x000c 表示欠压+过温。

表 4-4.故障码

故障码	说明
0x0002	过压保护
0x0004	欠压保护
0x0008	过温保护
0x0010	启动失败
0x0020	转速突变或转速不稳定
0x0040	硬件保护
0x0080	软件错误
0x0400	过流保护
0x1000	电机堵转保护

4.6 用户增加 ADC 通道的说明

由于电机控制库占用了 ADC 的 4 个通道，所以用户的应用程序如果需要使用到 ADC，则必须采用下面的方法来增加 ADC 通道，否则会与库程序原来的采样逻辑相冲突，引起电机运行异常。

// 增加 ADC 通道

```
void UI_AddAdcChannel(void)
```

```
{
```

```
    ADC_Cmd(ADC, DISABLE);    // 先关闭 ADC
```

```
    ADC->AMC=0x200;
```

```
    ADC->DC=0x0;
```

```
    ADC->CHNT0 = 6;           // 增加两个 ADC 通道，总 ADC 转换通道数=6（其中 4 个是电机控制用）
```

```
    ADC->CHN1 = 0x0084;       // 增加 ADC_CH4(SPEED)作为第 5 个采样通道,ADC_CHB8(COM)作为第 6 个  
    采样通道
```

```
    ADC_Cmd(ADC, ENABLE);    // 启动 ADC
```

```
}
```

上面代码的具体涵义，可以查阅“EG683x_集成驱动电机控制专用 MCU_User_Manual”的相关内容。
注意，由于 ADC 中断被电机控制库占用，所以用户程序不能使用 ADC 中断服务程序处理采样数据。

5 方案实例

5.1 吸尘器方案

- 适配电机规格：V45、V55、V65 等常见吸尘器直流无刷电机
- 最大输出功率：300W
- 最大输入电流：10A
- 输入电压范围：15V-32V
- 静态功耗：<2W
- 接口：调速档位接口、串口通讯
- 转速：最大 100,000/RPM（电机极对数 1）
- PCB 尺寸：控制板长宽 55mm*55mm，元器件高度 19mm

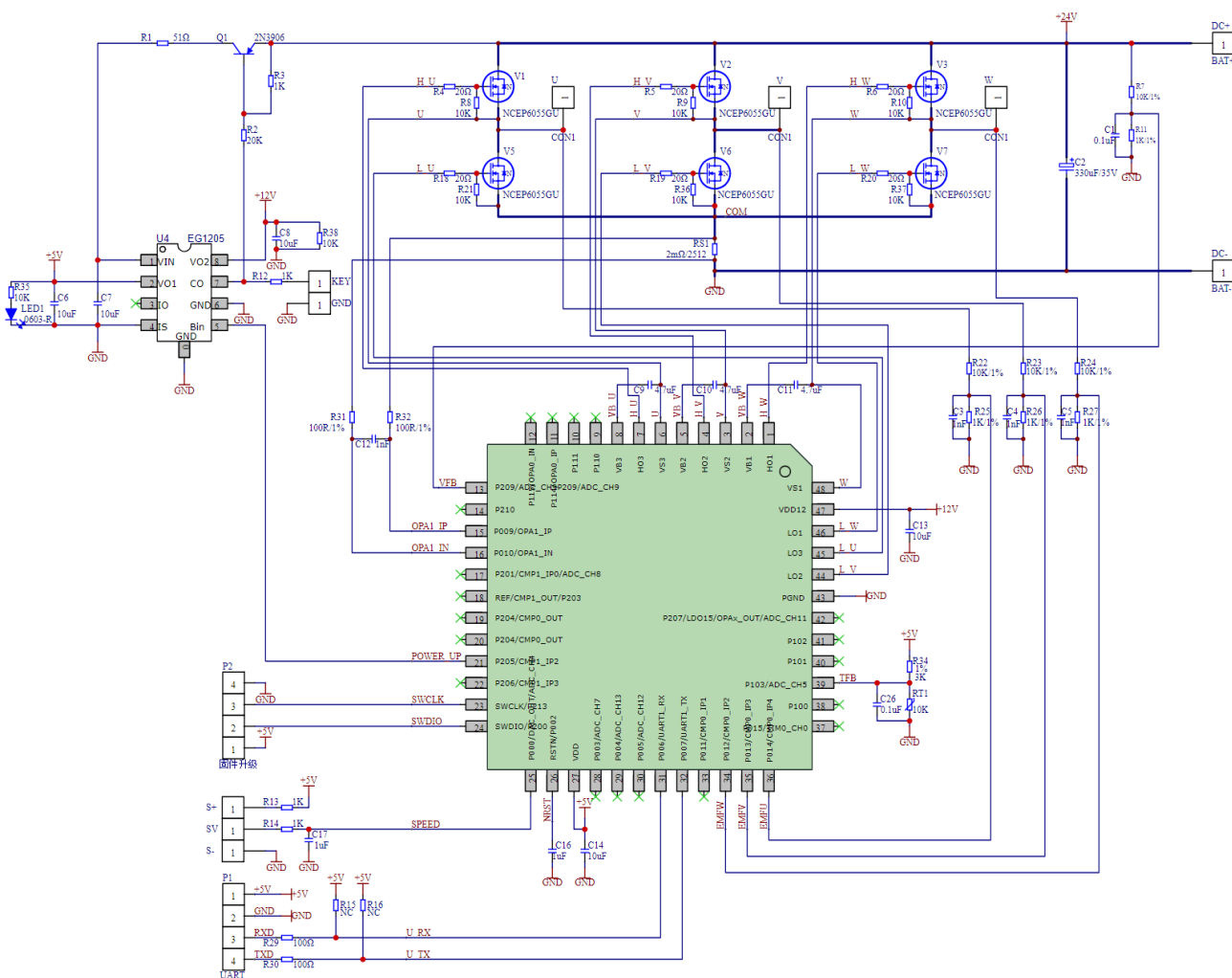


图 5-1 吸尘器 DEMO 板原理图

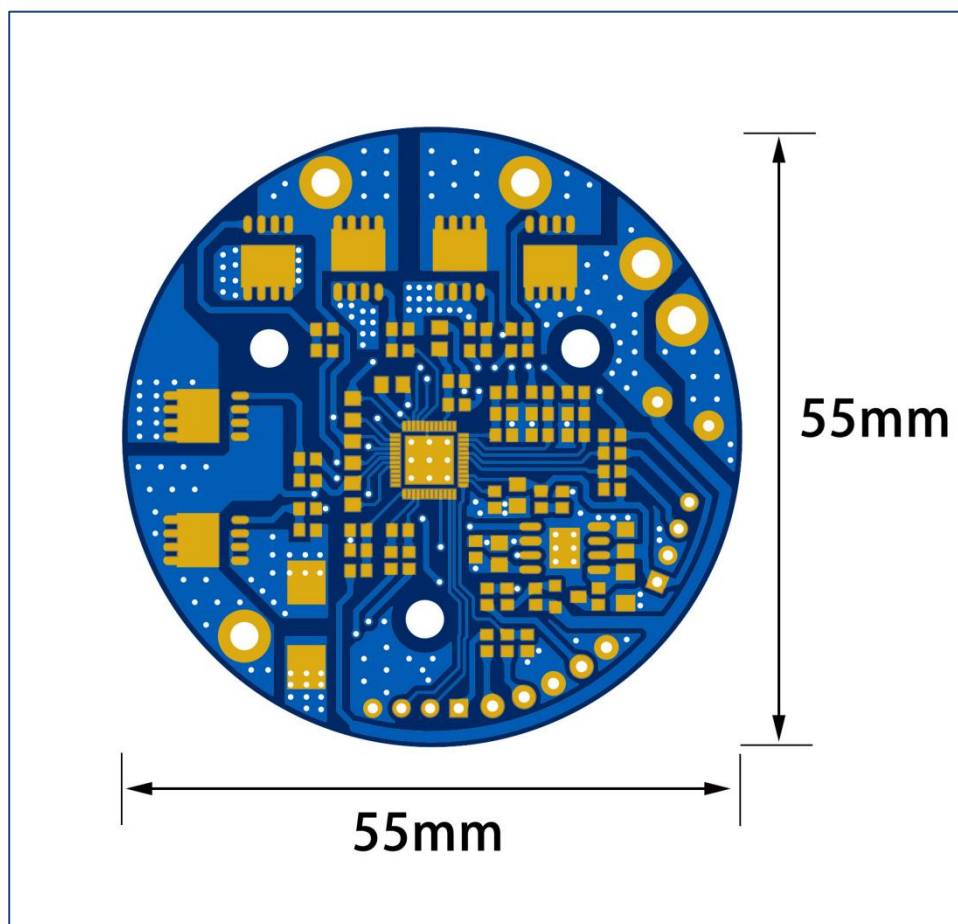


图 5-2. 吸尘器 DEMO 板 PCB

表 5--1 方案元器件列表

序号	位号	数量	描述	型号/数值	规格	封装
1	C3,C4,C5,C12	4	贴片陶瓷电容	1nF	10%, 50V	0603
2	C1,C26	2	贴片陶瓷电容	0.1uF	10%, 50V	0603
3	C16,C17	2	贴片陶瓷电容	1uF	10%, 25V	0603
4	C9,C10,C11	3	贴片陶瓷电容	4.7uF	10%, 25V	0805
5	C6,C8,C13,C14	4	贴片陶瓷电容	10uF	10%, 25V	0805
6	C7	1	贴片陶瓷电容	10uF	10%, 35V	1206
7	C2	1	插件电解电容	330uF/35V	20%, 35V	D10_H1 6_P5
8	R4,R5,R6,R18,R19,R20	6	贴片电阻	20Ω	5%	0603
9	R1	1	贴片电阻	51Ω	5%	0603
10	R29,R30	2	贴片电阻	100Ω	5%	0603
11	R31,R32	2	贴片电阻	100R/1%	1%	0603
12	R3,R12,R13,R14	4	贴片电阻	1K	5%	0603
13	R11,R25,R26,R27	4	贴片电阻	1K/1%	1%	0603
14	R34	1	贴片电阻	3K	5%	0603
15	R8,R9,R10,R21,R35,R36,R37,R38	8	贴片电阻	10K	5%	0603
16	R7,R22,R23,R24	4	贴片电阻	10K/1%	1%	0603

17	R2	1	贴片电阻	20K	5%	0603
18	RS1	1	贴片电阻	2m Ω /2512	1%	2512
19	RT1	1	贴片 NTC 热敏电阻	10K	1%	0805
20	LED1	1	发光二极管	0603-R	红色高亮	0603
21	U4	1	双电源电压调节芯片	EG1205	输出 12V 100mA、5V 100mA	ESOP-8
22	U5	1	集成驱动电机控制芯片	EG6831		QFN48 G
23	Q1	1	贴片 PNP 三极管	2N3906	40V 200mA	SOT-23
24	V1,V2,V3,V5,V6,V7	6	nMOS 管	NCEP6055 GU	60V 55A 6.5m Ω	DFN5X6 -8L

5.2 电动剪刀

- 适配电机规格：电动剪刀直流无刷电机
- 最大输入电流：60A
- 输入电压范围：15V-32V
- 静态功耗：<2W
- 接口：调速档位接口、串口通讯
- 转速：最大 20,000/RPM（电极为对数 2）
- PCB 尺寸：控制板长宽 40mm*50mm，元器件高度 19mm

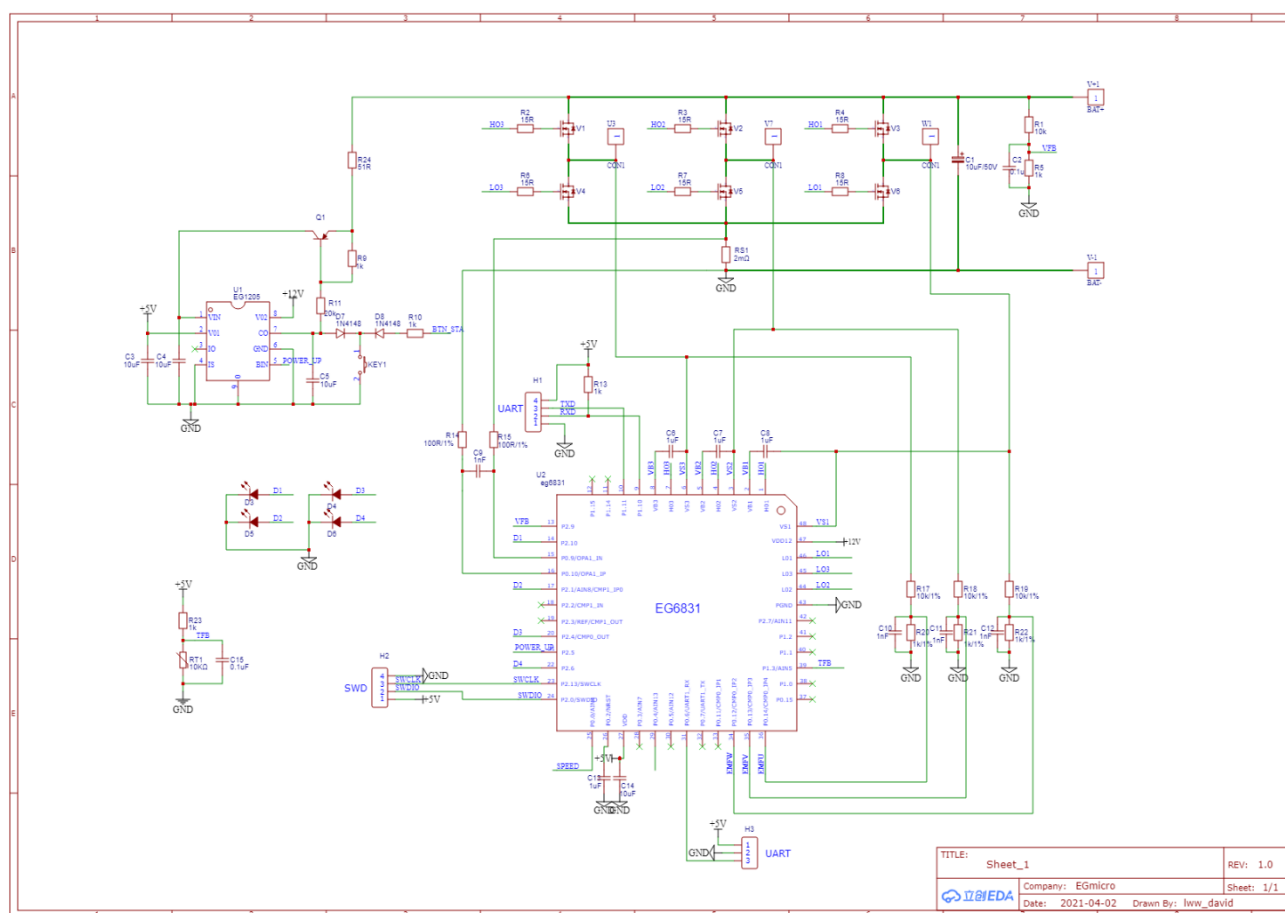


图 5-3 电动剪刀原理图

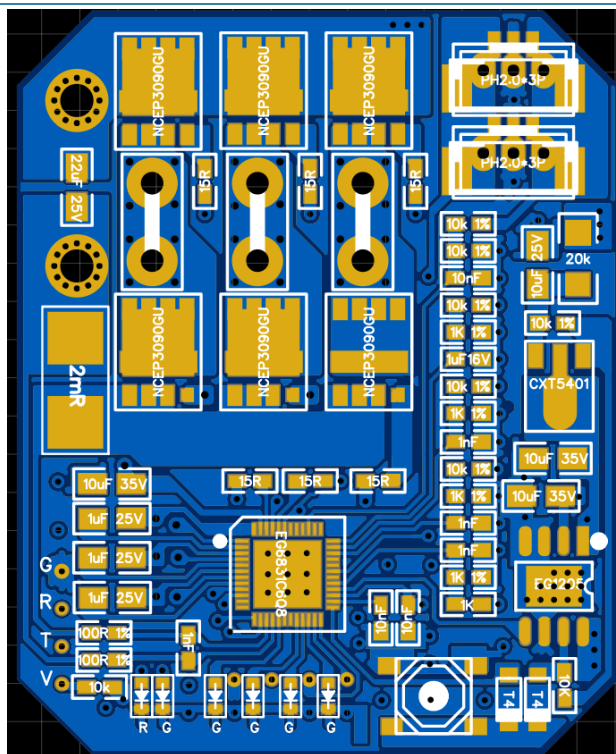


图 5-4 电动剪刀 PCB

表 5-2 电动剪刀 BOM

序号	位号	数量	描述	型号/数值	规格	封装
1	C1	1	贴片陶瓷电容	10uF/50V	10%, 50V	C1206
2	C2	1	贴片陶瓷电容	0.1u	10%, 50V	C0603
3	C3,C4,C5	3	贴片陶瓷电容	10uF	10%, 50V	C1206
4	C6,C7,C8	3	贴片陶瓷电容	1uF	10%, 50V	C0805
5	C9,C10,C11,C12	4	贴片陶瓷电容	1nF	10%, 50V	C0603
6	C13	1	贴片陶瓷电容	1uF	10%, 50V	C0603
7	C14	1	贴片陶瓷电容	10uF	10%, 50V	C0805
8	C15	1	贴片陶瓷电容	0.1uF	10%, 50V	C0603
9	D3,D4,D5,D6	4	贴片 LED	LED-0603		LED0603
10	D7,D8	2	贴片二极管	1N4148		SOD-123
11	H1,H2	2	排插 1x4	HDR-F-2.54_1x4		HDR-F-2.54_1x4
12	H3	1	排插 1x3	HDR-F-2.54_1x3		PH2.0-3P
13	KEY1	1	贴片按钮	K2-3.6×6.1_SMD		SW-SMD_4P-L5.1-W5.1
14	Q1	1	三极管	2N3906		SOT-23-3_L2.9-W1.6
15	R1	1	贴片电阻	10k	1%	R0603
16	R2,R3,R4,R6,R7,R8	6	贴片电阻	15R	5%	R0603
17	R5	1	贴片电阻	1k	1%	R0603

18	R9,R10,R13,R23	4	贴片电阻	1k	5%	R0603
19	R11	1	贴片电阻	20k	5%	R0603
20	R14,R15	2	贴片电阻	100R	1%	R0603
21	R17,R18,R19	3	贴片电阻	10k	1%	R0603
22	R20,R21,R22	3	贴片电阻	1k	1%	R0603
23	R24	1	贴片电阻	51R	5%	R0603
24	RS1	1	合金电阻	2mΩ		R2512
25	RT1	1	贴片热敏电阻	10KΩ		R0603
26	U1	1	LDO 芯片	EG1205		ESOP8
28	U2	1	MCU	eg6831		QFN48_0.4_6 X6
29	V1,V2,V3,V4,V5,V6	6	nMOS 管	NCEP3090		DFN5X6-8L

6 获取方案板与技术支持

- 屹晶微淘宝样品店: <https://egmicro.taobao.com/>
- 方案板资料链接: <https://www.egmicro.com/>
- 如在使用与测试中有任何疑问, 请联系技术支持
- 联系电话: 0576-88205536