



南京凌鸥创芯电子有限公司

LKS08x 无预驱底板 使用说明

@ 2020, 版权归凌鸥创芯所有
机密文件，未经许可不得扩散

LKS_EVB_MVPOWPRE_V1.0 低压 EVB 板说明

该功率底板适用于 LKS32MC081、LKS32MC082、LKS32MC083、LKS32MC087、LKS32MC088、LKS32MC089、LKS32MC080 芯片的低压中小功率 EVB 板，版本编号为 LKS_EVB_MVPOWPRE_V1.0。

1. 概述：

该 EVB 板为 DC20~60V 输入，在 DC60V 时功率在 200W 以下。根据板子上 MCU 内的程序可以实现无感方波、有感或无感 FOC 控制控制。支持按键启停和模拟电位器调速，串口通讯等功能。下图 1 所示为板子的实物图及硬件功能接口示意。

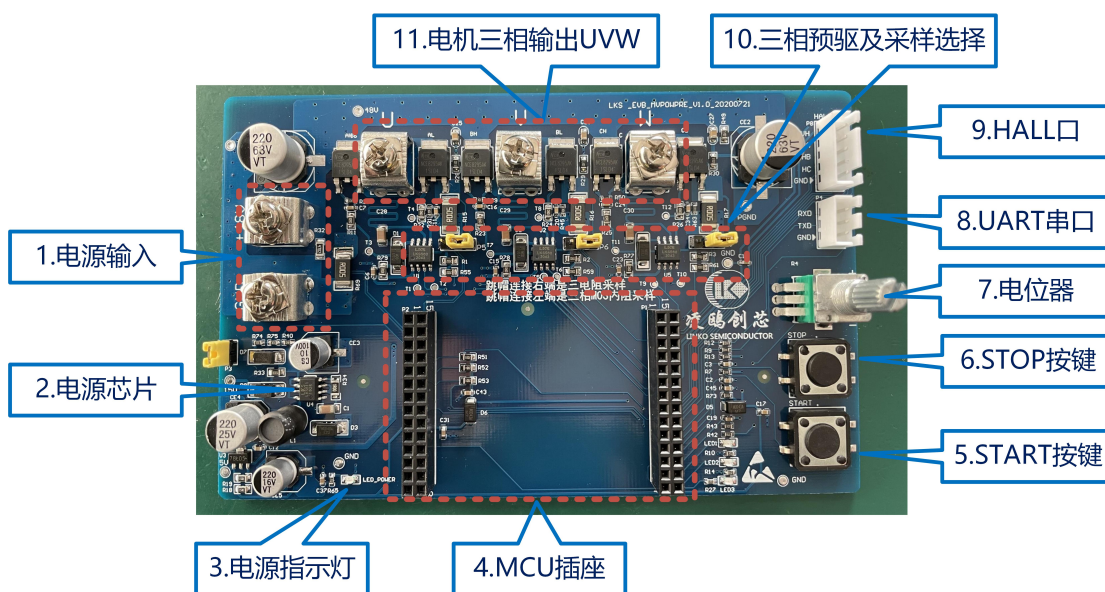


图 1 LKS_EVB_MCPWM_V1.0 实物图

1.1. 硬件说明：

该评估板由两块板子连接而成，一块为功率底板：LKS_EVB_MVPOWPRE_V1.0，一块为 MCU 板，MCU 板一共有 4 块，分别对应芯片 080,081/083/088,082 和 087；

下面对上图中各接口和功能做说明：

1. DC 电源输入：DC20~60V 电源输入，在 DC60V 时功率在 200W 以下；
2. 电源芯片：用电源芯片 LKS611 芯片及 78L05，分别将输入电源电压转换成 14.5V 及 5V，分别给预驱芯片、MCU 及外围电路供电。跳帽的作用为接入电源，为预驱、MCU 及外围电路提供电源；
3. 电源指示灯：上电后电源正常，电源指示灯是正常；
4. MCU 板插座：P1、P2 是 MCU 接插口，连接 MCU 板；
5. START 按键：功能按键，电机启动按键。参考附件原理图；
6. STOP 按键：功能按键，电机停止按键。参考附件原理图；
7. 电位器：用于模拟调速，通过 P1 接插件连接到 MCU 引脚。参考附件原理图中模拟信号输入；
8. UART 串口：支持无线串口调试及通信。参考附件原理图中无线串口调试及通信；
9. HALL 口：用于有 HALL 的电机驱动，连接电机 hall 口，HALL 供电由 5V 提供。参考附

件原理图中 hall 接口；

10. 电流采样方式选择：P5、P6、P7 三个三 Pin 插针，用跳帽进行选择电流采样模式，跳左端为 MOS 内阻采样，跳右端为三电阻采样；其中三电阻采样需要可根据实际采样增益修改匹配的电阻值。参考附件原理图中电流采样方式；

11. 电机三相输出 UVW：电机 U、V、W 三相输出。输出能力持续电流最大 15A，视 MOS 管型号而定，可参考附件原理图功率模块。

1.2. 配套程序：

1. 有感 FOC、无感 FOC 程序：详见 LKS08x_FOC_SensorLessV4.0 程序

1.3. 注意事项：

1. 硬件上电前用万用表检测是否有短路，检测焊接是否完整，有无漏焊、连焊等情况；
2. 上电正常后。连接仿真器时应注意正负极是否对应，CLK、DIO 是否对应；
3. 当出现故障，应立即断电或用镊子使芯片复位。

2. 驱动电路设计说明

2.1. 三相驱动原理图：

功率模块

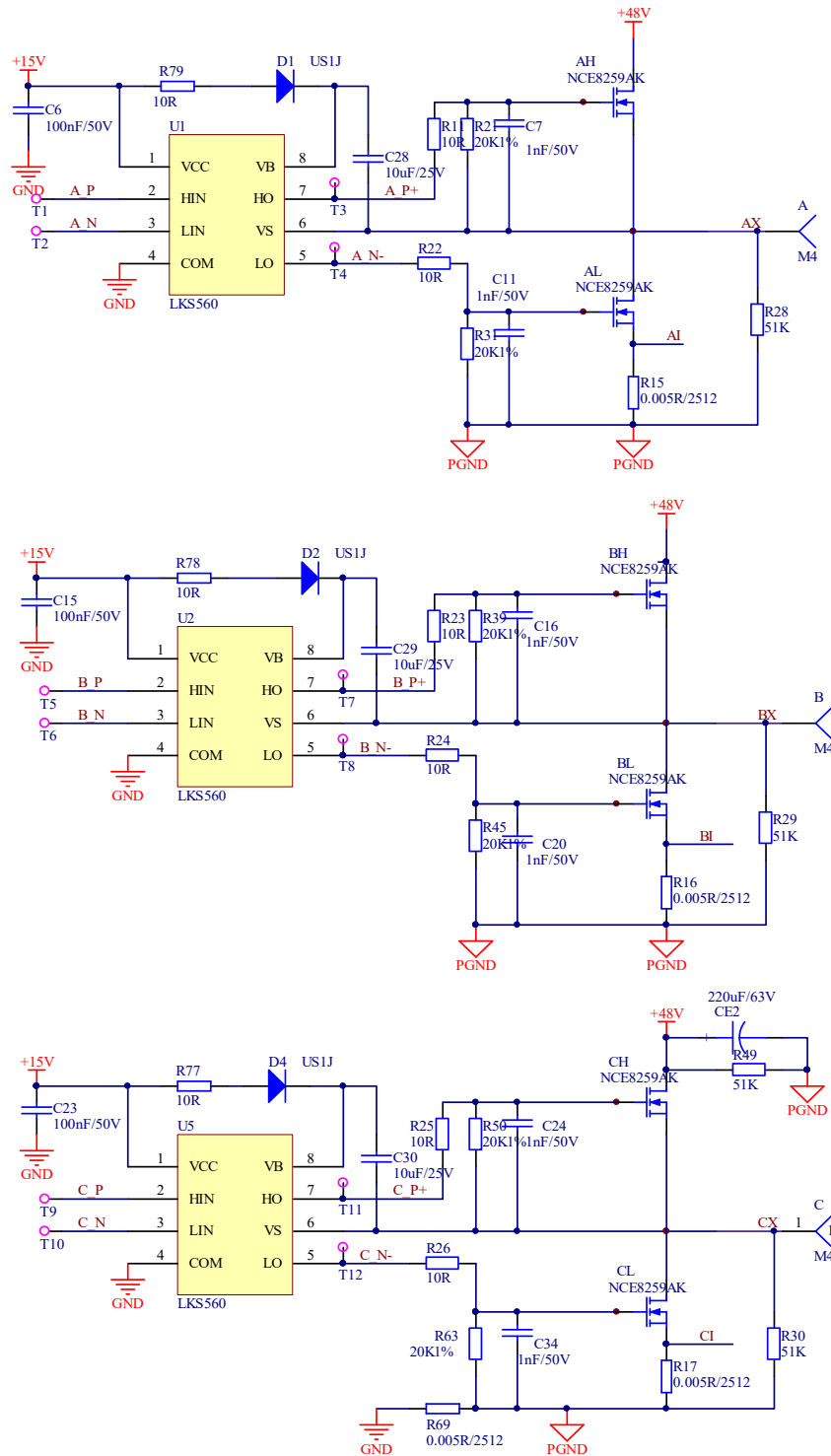


图 1 功率模块原理图

2.1.1 峰值电流驱动的需求

针对 MOSFET 驱动器的讨论主要是考虑内部和外部因素而导致 MOSFET 驱动器

产生功耗。所以需要计算出 MOSFET 驱动器的功率损耗，进而利用计算值为驱动器选择正确的封装和计算结温。

在实际应用中，MOSFET 驱动器与 MOSFET 的参数匹配，主要是按应用的需要去控制功率 MOSFET 导通和截止的速度快慢（栅极电压的上升和下降时间）。应用中优化的上升 / 下降时间取决于很多因素，如 EMI（传导和辐射），开关损耗，引脚 / 电路的感抗，以及开关频率等。

MOSFET 导通和截止的速度与 MOSFET 栅极电容的充电和放电速度有关。MOSFET 栅极电容、导通和截止时间与 MOSFET 驱动器的驱动电流的关系可以表示为：

$$dT = (dV * C) / I$$

其中：

dT = 导通 / 截止时间

dV = 栅极电压

C = 栅极电容（从栅极电荷值）

I = 峰值驱动电流（对于给定电压值）

栅极电荷和电容及电压的关系为：

$$Q = C * V$$

上面的公式可重写为：

$$dT = Q / I$$

其中：

Q = 总栅极电荷

上述公式假设电流（I）使用的是恒流源。如果使用 MOSFET 驱动器的峰值驱动电流来计算，将会产生一些误差。MOSFET 驱动器的驱动能力通常由峰值电流驱动能力来表示。

2.1.2 设计示例：

利用下列设计参数，可以计算出 MOSFET 驱动器的峰值驱动电流：

通过 MOSFET 的数据手册查得：

MOSFET 栅极电荷 = 20 nC（Q）

需要的 MOSFET 栅极电压 = 12V（dV）

导通 / 截至时间 = 40 ns（dT）

使用前面推导的公式：

$$dT = Q / I$$

$$I = Q / dT$$

$$I = 20\text{nc} / 40\text{ns}$$

$$I = 0.5\text{A}$$

因此 MOSFET 驱动器的电流驱动能力不应小于 0.5A.

2.1.3 驱动电阻 R 大小的确定

为了减少死区时间对控制性能的影响，总是希望设置的死区时间要越小越好，但过小的死区时间会引起上下管直通，损坏功率管。一般死区时间选择在 500ns~2500ns 之间。MOSFET 的 GS 之间存在的电容叫栅极电容 C，管子驱动电流越大，这个栅极电容 C 也越大，一般在 1-10nf 之间，同时需要考虑驱动电路上的等效电容和米勒效应引起的电容。**电容的充放电时间计算：**

假设有电源 V_u 通过电阻 R 给电容 C 充电， V_0 为电容上的初始电压值， V_u 为电容充满电后的电压值， V_t 为任意时刻 t 时电容上的电压值，那么便可以得到如下的计算

公式：

$$V_t = V_0 + (V_u - V_0) * [1 - \exp(-t/RC)]$$

如果电容上的初始电压为 0，则公式可以简化为：

$$V_t = V_u * [1 - \exp(-t/RC)] \quad (\text{充电公式})$$

当 $t = RC$ 时， $V_t = 0.63V_u$ ；

当 $t = 2RC$ 时， $V_t = 0.86V_u$ ；

当 $t = 3RC$ 时， $V_t = 0.95V_u$ ；

当 $t = 4RC$ 时， $V_t = 0.98V_u$ ；

当 $t = 5RC$ 时， $V_t = 0.99V_u$ ；

可见，经过 3~5 个 RC 后，充电过程基本结束。

当电容充满电后，将电源 V_u 短路，电容 C 会通过 R 放电，则任意时刻 t ，电容上的电为：

$$V_t = V_u * \exp(-t/RC) \quad (\text{放电公式})$$

$$t = RC * \ln[(V_u - V_0)/(V_u - V_t)] \quad (\text{电容充放电时间公式})$$

2.1.4 驱动器内阻大小

表 1 显示了 LK5560 驱动器静态电器参数的典型示例

参数	定义	最小	典型	最大	单位	测试条件
VCCUV+	欠压保护电压上阈值	10	10.3	10.5	V	
VCCUV-	欠压保护电压下阈值	9.8	10	10.2		
IQCC	VCC静态电流		300	500	uA	Vin=0/5V
IQBS	VBS静态电流		100	200		Vin=0/5V
ILK	高侧偏置电源漏电流	—	—	50	uA	VB=VS=90V
VIH	输入信号逻辑1的电压范围	3	—	—	V	VCC=10~20V
VIL	输入信号逻辑0的电压范围	—	—	0.8		VCC=10~20V
IIN+	输入信号逻辑1的偏置电流	—	3	10	uA	VIN=5V, LIN=0V
IIN-	输入信号逻辑0的偏置电流	—	—	1		VIN=5V, LIN=0V
IO+	LO/HO输出高电压短路脉冲拉电流	1000	1200	—	mA	VO=0V, VIN=VIH, PW 10 us
IO-	LO/HO输出低电压短路脉冲灌电流	1200	1500	—		VO=15V, VIN=VIL PW 10 us

表 1 LK5560 驱动器静态电器参数

2.1.5 R 计算实例：

表 2 显示了 中航 065N08N 型号 MOSFET 的栅极电容在数据手册中的典型示例。

Dynamic Characteristic

Input Capacitance	C_{iss}	-	2860	-	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=42.5V,$ $f=1MHz$
Output Capacitance	C_{oss}	-	790	-		
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}	-	19	-		
Gate Total Charge	Q_G	-	47	-	nC	$V_{GS}=10V, V_{DS}=42.5V,$ $I_D=50A, f=1MHz$
Gate-Source charge	Q_{gs}	-	13	-		
Gate-Drain charge	Q_{gd}	-	11	-		
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	-	16	-	ns	$V_{ds}=42.5V$ $I_d=10A$ $R_g=3.5\Omega$ $V_{gs}=10V;$ (Note 2,3)
Rise time	t_r	-	31	-		
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	-	36	-		
Fall time	t_f	-	19	-		
Gate resistance	R_G	-	3.3	-	Ω	$V_{GS}=0V, V_{DS}=0V,$ $f=1MHz$

参数	定义	最小	典型	最大	单位	测试条件
ton	导通延时	—	600	700	ns	VS = 0V
toff	关断延时	—	280	400		VS = 90V
tr	导通上升沿	—	600	750		
tf	关断下降沿	—	190	300		
DT	死区时间	180	200	260		
MT	延时匹配度	—	—	60		

表 2 显示了 LKS560 驱动器动态电器参数的典型示例

利用 $Q = C * V$ 关系式，我们得到栅极总电容为 $C = 4.7 \text{ nF}$

以设计从 MCU 发出驱动信号到 LKS560 后到 MOS 导通需要在 1200ns 内导通为例，通过查表 3 得到驱动器自身会产生 700ns 的延时，死区时间 200ns，因此驱动电路的上升沿时间需要控制在 300ns 以内。

为简化计算，这里使用 3RC 作为驱动电路上升沿时间。则有：

$$3RC = 300ns$$

$$R = 100ns/4.7nf$$

$$R = 21 \Omega$$

注意这个时候得到的电阻是包含了驱动器自身内阻的总电阻。LKS560 的等效电阻为 10Ω ，则外部串联的电阻 $R_s = 21 - 10 = 11 \Omega$

选型原则：

1. Mosfet 输出电流越大，则栅极电容越大，那么 R_s 取值要减小，反之 R_s 就要增加；

2. R_s 增加会减小驱动电流，延长驱动时间，减小 EMI 干扰，但会增加上下管直通风险，要确保没有直通情况出现；

3. R_s 减小会加大驱动电流，减小驱动时间，但会加大 EMI 干扰，过大的 di/dt 也会引起功率管承受的更大反电势电压，造成功率管损坏。；

为了防止米勒效应引动的 MOSFET 二次开通，MOSFET 的 GS 端通常要并一个电容。，一般在 $1nF \sim 10nF$ 之间；

集成预驱的电源线/地线，建议从电源端单独供电，不能跟同网络的其他应用电路混用以以免造成干扰；

2.2. 相线电流采样电路

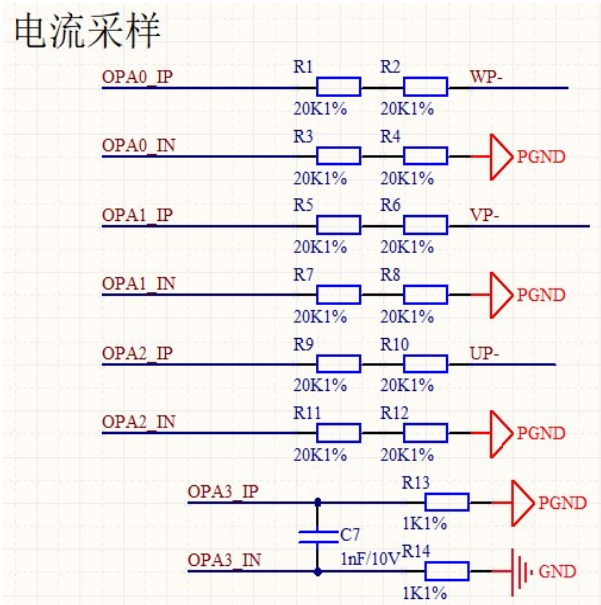


图 1 电流采样电路

PCB 布板中采样布线为差分走线，且采样电阻尽量靠近处理器；

需要注意各差分线的 PGND 必须独立处理，不能跟其他的 PGND 电路合用同一根走线，GND 走线也不可以跟周围的 GND 电路混起来，必须独立处理，连接到采样电阻段；

增益电阻的选择不能太小，以免出现放大倍数比较大超出 ADC 采样量程的情况，例如：

因 ADC 最大采样电压为 3.6V，相线电流采样是通过功率管内阻采样，假如选定型号的功率管内阻是 5 毫欧，放大倍数为 10 倍则，功率管通过电流为 80A 则压降为：

$U = 80 * 0.005 * 10 = 4V$ ，这样的话就超出了 ADC 采样量程。

设计原则：

相线最大电流 * MOS 内阻 * 放大倍数 < ADC 最大量程

功率回路电源电压/外部增益电阻 * 3 < 25mA

要注意的是：在采用单电阻采样方式的时候，需要把母线采样的电容去掉（即图中 C7），不然会影响采样结果；还有一个要去掉的是电解电容 CE2，即电源正极与 PGND 连接的一个电解电容，影响采样；

2.3. 母线电压采样电路

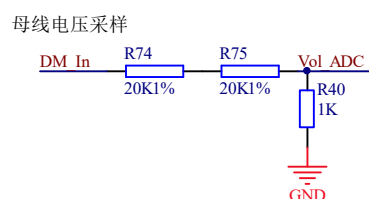


图 2 母线电压采样电路

母线电压采样通过电阻分压形式采集母线电压；

程序中需要母线电压做过压欠压保护机制。
(注意：新版底板 PCB 原理图中是没有 R40 电阻，在 MCU 小板上。)

2.4. 电源电路

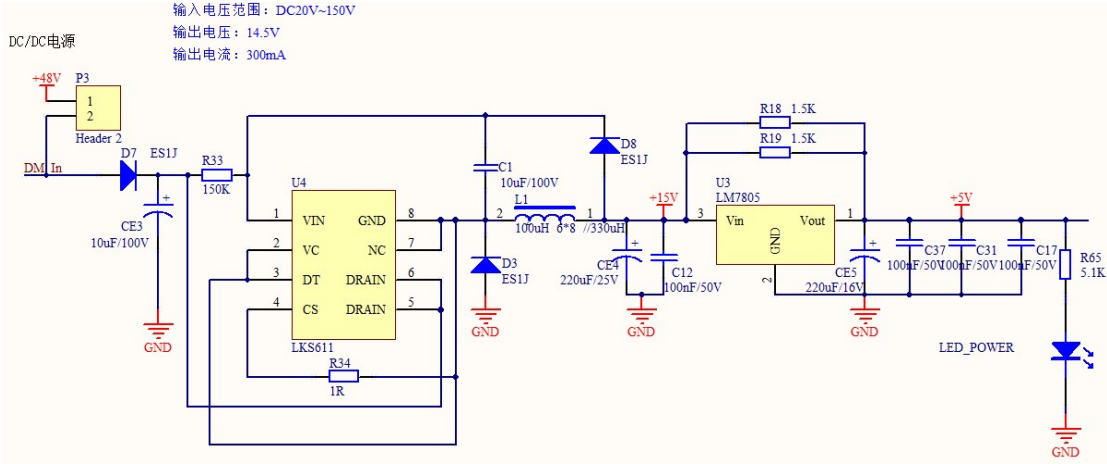


图 3 电源电路

LKS611 是一款用于 DC-DC 变换的控制芯片，芯片内部集成有基准电压源、比较器、占空比可调的内置振荡器以及高性能的电流开关。

该款芯片输出电压为固定的 14.5V，内部集成有 2 个 2%精度的分压电阻。可用于 Step - Down 应用下。

开关电源电路的走线上，要保证尽量减小振荡辐射信号的输出，环路要小，走线要紧凑，整流二极管/电感/开关控制器输出端要尽量靠近。输出电感周围，不可以涂敷 GND 或其它网络的走线，防止电源的开关信号干扰到这些网路中去；

2.5. 反电动势检测电路

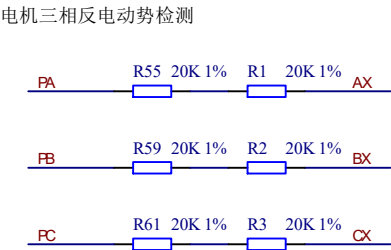


图 4 反电动势采样电路（滤波电容在 MCU 板）

在 HALL 信号损坏时，通过反电动势检测实现 BLDC SensorLess 控制。
在电机不加电滑行时，通过反电动势检测可以对 HALL 的机械安装的偏移误差进行动态的修正。

2.6. 短路保护电路

短路保护

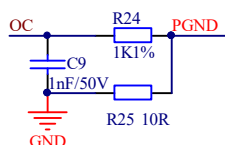


图 5 短路保护电路

短路保护电路能够在短路发生时，快速关断 PWM 输出。MCPWM 模块有四个急停事件输入，由硬件直接关断 PWM 输出。也可以用比较器中断实现软件响应后第一时间关闭 Mosfet，确保 Mosfet 不被烧毁；

短路保护电路的采样点走线始发点应位于电流采样电阻的根部，单独走线到处理器附近的 RC 电路；

软件应配置 OC 信号为内部比较器 CMP 的正端输入，CMP 负端配置为内部 DAC 输出，CMP 的输出配置为 MCPWM 的急停保护输入；

软件上可以通过配置 DAC 寄存器的值，控制短路保护电流的大小，计算方法为：

$$I = ((\text{DAC 数值} / 4096) * 3.6) / R \text{ 采样电阻}$$

例如，DAC=400，R 采样电阻=0.0047，则短路保护电流为：

$$I = ((400 / 4096) * 3.6) / 0.0047 = 74.8A$$

2.7. HALL 电路

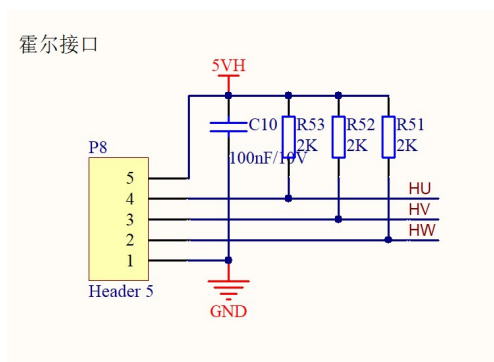


图 6 hall 电路（滤波电容在 MCU 板）

在有 hall 应用中会用到 hall 电路，检测电机的 hall 位置，为电机运行提供准确的转子位置信息，具体可翻阅资料。

2.8. LED 电路及按键电路

原理图设计了三个 LED 灯，两个按键可供使用；

2.9. 模拟信号输入电路

原理图设计了一路模拟信号输入，外部接滑动变阻器（20K）或者线性转把，作为电机调速使用。如图 7 所示：

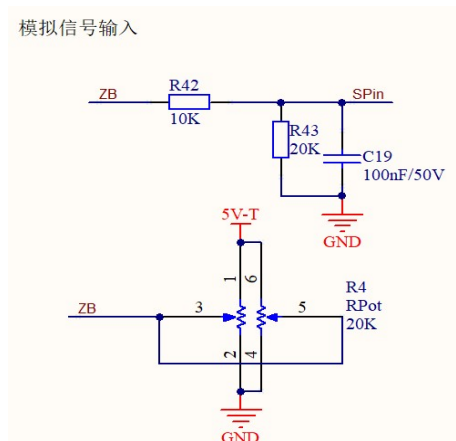


图 7 模拟信号输入

3. 调试电机一般步骤：

3.1. 检测硬件电路是否正常

3.1.1 硬件焊接检查：

电容正负极是否焊反；电池电源和地有没有短路，12V 和地之间有没有短路，5V 和地有没有短路；芯片引脚有没有连锡以及虚焊情况；

3.1.2 硬件连接检查：

电机的相线已经 HALL 线连接检查有没连接稳固，电源线的连接是否正常。正负极不能接反。

3.1.3 上电电压是否正常：

给电路板供电，用万用表测量电压是否正常输出，如正常，进行下一步，入不正常检查电路，排除问题；

3.2. 检测 PWM 波形是否正常输出

根据程序版本 LKS08x_FOC_SensorLessV4.0：在 sys_init()系统初始化函数中使能 DebugPWM_OutputFunction()函数，用示波器测试每相的 PWM 波形是否正常（注意：不能带电机，且电流设置为 0.2A 即可）；如不正常，检查电路是否有问题，依次逐级排查；

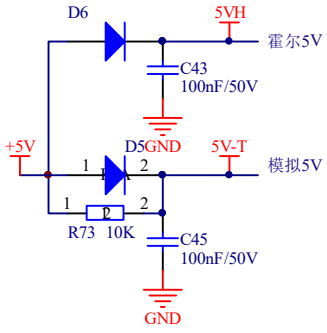
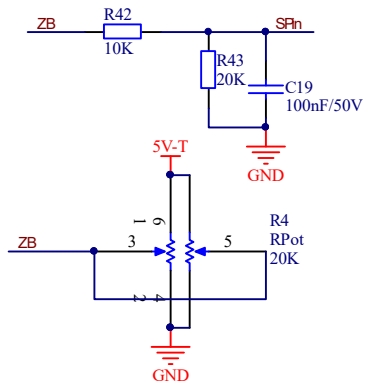
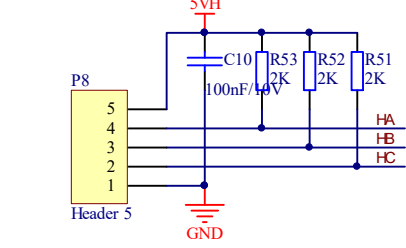
3.3. 对照 LKS08x_Demo_FOC_V4.0 程序说明

原理图:

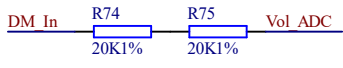
Header 14X2A			Header 14X2A		
P2			P1		
1	15	AP	1	15	BP
2	16	GND	2	16	CP
3	17	P2.10	3	17	PC
4	18	P2.1	4	18	P1.11
5	19	HC	5	19	P1.10
6	20	HB	6	20	C P
7	21	HA	7	21	B P
8	22	R0.0	8	22	A P
9	23	NRST	9	23	RDX1
10	24	+5V	10	24	P1.3
11	25	P3.2	11	25	RDX0
12	26	GND	12	26	START1
13	27	GND	13	27	R0.4
14	28	GND	14	28	SPIn

模拟信号输入

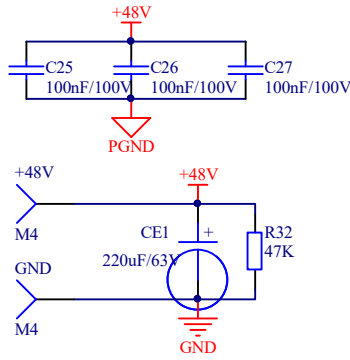
霍尔接口



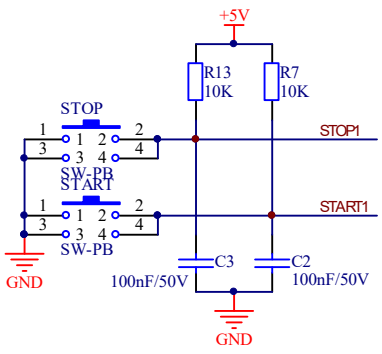
母线电压采样



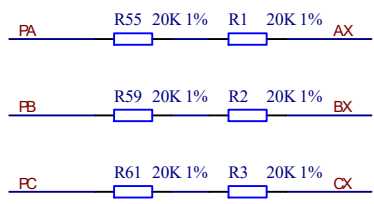
电源



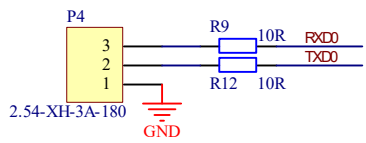
按键



电机三相反电动势检测

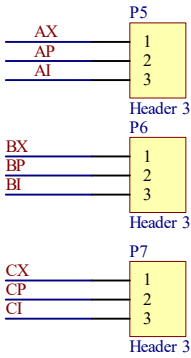


串口

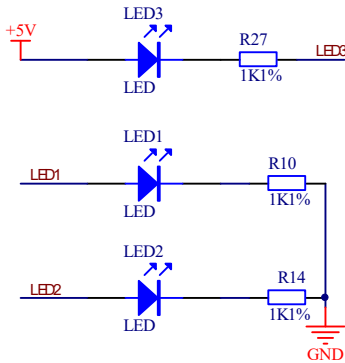


电流采样选择

P-X 采样MOS内阻
P-I 采样电阻



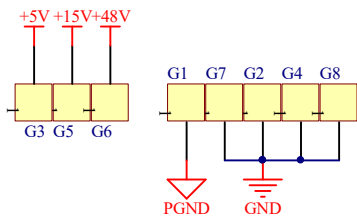
指示灯

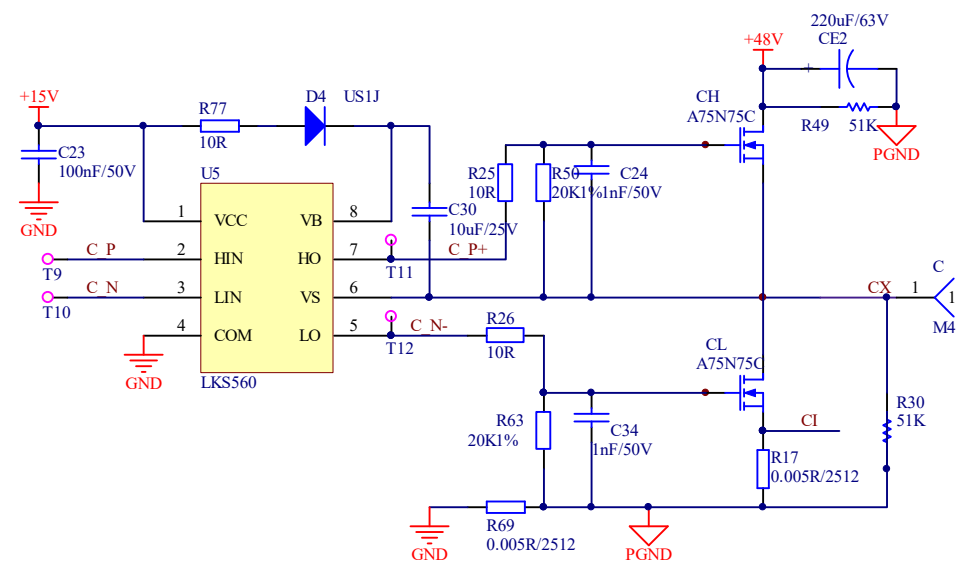
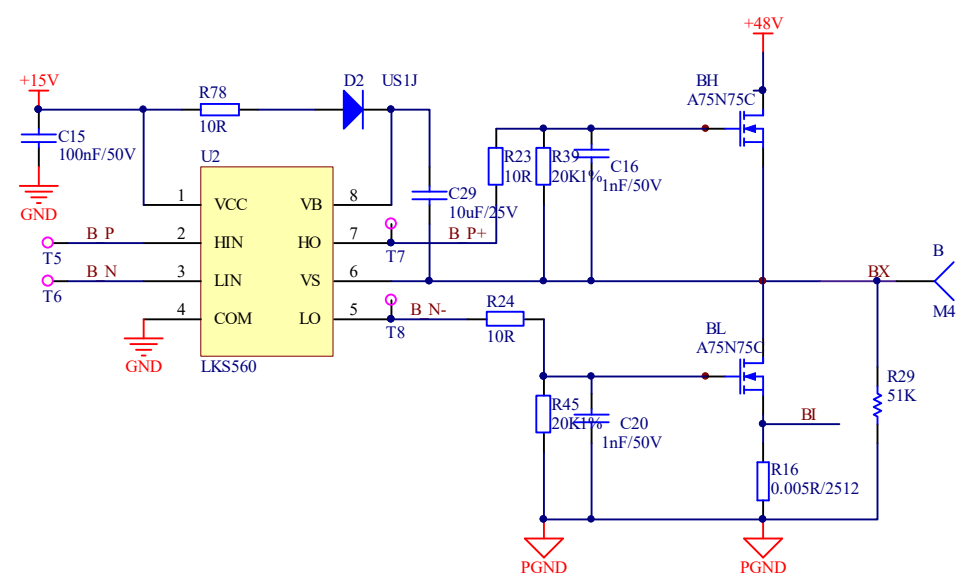


图标



电源/地 测试点





PCB:

