描述

ZH6358 是一款工作电压 7V~32V、最高耐压 40V 的高集成度三相 FOC 预驱驱动芯片。系统集成了 FOC 控制算法、DCDC 供电、上管 PMOS 下管 NMOS 的驱动和检测信号处理电路。

系统通过 SPD 引脚调节速度，FG 引脚反馈速度，DIR 引脚调节方向。并提供过流、短路、过压、欠压、过温和堵转保护以及限流等功能。

系统的外部电路设计精简，适合风扇和水泵类三相永磁同步电机的集成控制和驱动。封装形式为带散热焊盘的 ETSSOP24。

应用

风扇，水泵，除湿机，加湿器，空气净化器，新风系统等低速电机（电频率 300Hz 以下）应用。

特点

- 无感 FOC 算法集成
- 可选的双 HALL 输入，实现启动无反转
- 工作电压 7V~32V
- 过流、短路、过压、欠压、过温和堵转保护
- 支持相对相，相对电源，相对地的短路保护
- 恒转速，恒功率或恒转矩工作模式
- 单采样电阻或者无采样电阻工作模式
- 5V 输出可配置为 DCDC 模式，对外供电 150mA
- SPD 引脚 PWM（占空比）调速
- SPD 引脚 CLK（频率）调速
- SPD 引脚模拟调速
- 可配置的速度曲线
- 休眠模式电流 < 50uA
- DIR 引脚控制方向

系统框图

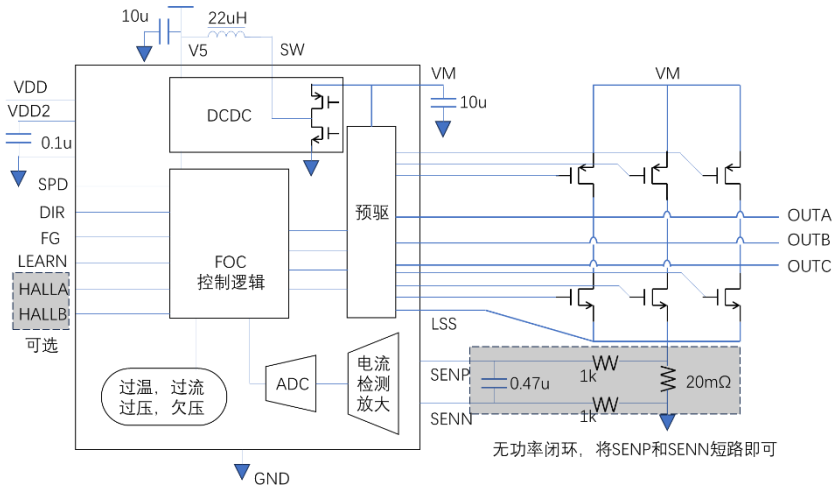


图 1 系统框图

应用框图

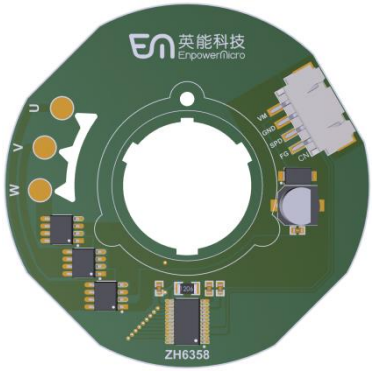


图 2 PCB 实景图

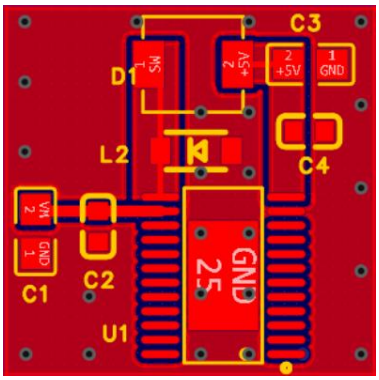


图 3 DCDC 模块布局示例

ETSSOP24 引脚分布

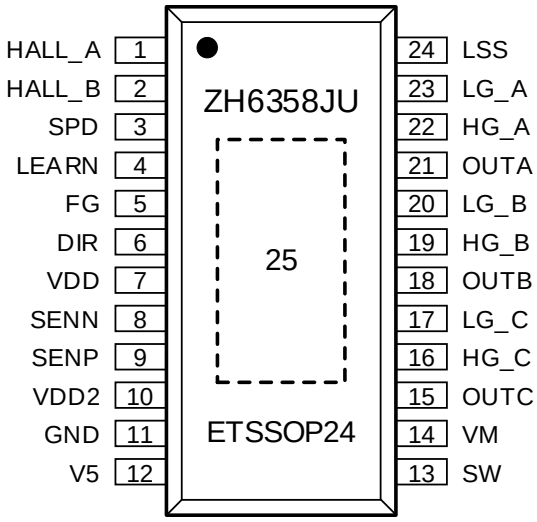


图 4 引脚分布

表 1 引脚定义

序号	名称	描述	序号	名称	描述
1	HALL_A	可选的霍尔输入(通信 TXD)	24	LSS	半桥下管源极
2	HALL_B	可选的霍尔输入(通信 RXD)	23	LG_A	A 相低边驱动
3	SPD	速度给定	22	HG_A	A 相高边驱动
4	LEARN	自学习脚	21	OUTA	A 相相电压
5	FG	速度反馈	20	LG_B	B 相低边驱动
6	DIR	方向控制	19	HG_B	B 相高边驱动
7	VDD	内部电源，可悬空	18	OUTB	B 相相电压
8	SENN	母线电流检测负端	17	LG_C	C 相低边驱动
9	SENP	母线电流检测正端	16	HG_C	C 相高边驱动
10	VDD2	内部电源，外接电容	15	OUTC	C 相相电压
11	GND	芯片地	14	VM	芯片供电
12	V5	低压供电电源，外接电容	13	SW	DCDC 开关引脚
25	GND	散热焊盘，接 GND			

订购信息

型号	封装	包装	包装数量	备注
ZH6358JU	ETSSOP24	Reel	3000	

绝对最大工况

逻辑输入输出信号包括：SPD，DIR，FG，HALLA，HALLB，LEARN。

参数		最小	最大	单位
供电电压 VM		–0.3	40	V
低压电源 V5		–0.3	6	V
逻辑输入输出电压		–0.3	6	V
模拟输入电压（SENP，SENN）		–0.3	6	V
高边栅极驱动电压 HG_x		VM – 6	VM	V
低边栅极驱动电压 LG_x		–0.3	6	V
栅极驱动电流		–1	1	A
工作节温		–40	150	°C
存储温度		–65	150	°C

推荐工况

参数	最小	最大	单位
供电电压	7	32	V
逻辑输入输出电压	0	5	V
模拟输入电压（SENP，SENN）	–0.3	1	V
逻辑输入（SPD 引脚 PWM 模式）频率	300	20k	Hz
持续输出电流（外置 MOS）		20	A
工作环境温度	–40	125	°C

电气参数

（除特殊标明，测试条件为 25°C，24V 推荐工况，默认参数下）

参数		测试条件	最小	标准	最大	单位
上电和供电						
VM	供电电压		7		32	V
I_{VM}	供电电流			10	14	mA
$I_{VMSLEEP}$	睡眠电流				50	uA
逻辑输入（SPD，DIR，FG，HALL_A，HALL_B，LEARN）						
V_{IL}	逻辑低电平				0.6	V
V_{IH}	逻辑高电平		2.2			V
V_{HYS}	逻辑迟滞			1		V
R_{DIR}	高阻抗		500k			Ω
R_{LEARN}	上拉电阻			52k		Ω
R_{HALL}	上拉电阻			52k		Ω
R_{SPD}	下拉电阻	需输入信号类型设置为 PWM 模式		52k		Ω
R_{SPD}	高阻抗	需输入信号类型设置为模拟模式	500k			Ω
I_{FG}	推挽输出	FG = 1，下拉 500mV		7		mA
		FG = 0，上拉 500mV		10		mA
驱动输出（HG_x，LG_x）						
输出阻抗	R_{OH}	PMOS off，HG_x = VM – 0.2V		3		Ω
	R_{OL}	NMOS off，LG_x = 0.2V		2		Ω
强关阈值	V_{STRONG_H}	VM – HG_x		1.1		V
	V_{STRONG_L}	LG_x – GND		1.1		V
驱动电流	I_{H_ON}	高边 on，强拉 HG_x = VM		100		mA
	I_{H_OFF}	高边 off，强拉 HG_x = VM – 5V		100		mA
	I_{L_ON}	低边 on，强拉 HG_x = 0V		25		mA
	I_{L_OFF}	低边 off，强拉 LG_x = 5V		50		mA
保护电路						
V_{UVLO}	欠压点	电压下降		6.5		V
		电压上升		7		V
V_{OVP}	过压点			32		V
I_{SOFT_OCP}	软件过流点	默认设置		2		A
V_{OCP}	短路保护点	上功率管导通，OUT 对 VM		1.66		V
		下功率管导通，OUT 对 GND		1.33		V
t_{LOCK}	堵转时间			1		s
T_{SD}	热保护点	默认设置		100		°C

详细描述

ZH6358 是一款三相 BLDC 预驱驱动芯片，集成了 40V（最大值）针对 PMOS 管和 NMOS 管的功率输出模块、无感 FOC 控制算法、SPD 调速逻辑和 DIR 方向控制逻辑。芯片内部还集成了电流检测模块、限流模块，以及过流、短路、过压、欠压、过温、堵转等保护逻辑。

启动

ZH6358 可以选择开环拖动启动，或者 Hall 传感器启动。开环启动时，用户可以配置启动电流。Hall 传感器启动时，初始转子位置向旋转目标方向增加若干角度被用于驱动角度，可防止启动时发生反转。

在 SPD 给出启动命令后，ZH6358 会对电机的初始转速进行判断，如果正转且速度比较高，则直接进入 FOC 闭环。如果静止或者速度非常低，则根据设定采用启动策略。如果反转，则进入反转启动逻辑。反转启动也可以配置成被动刹车模式，或者主动刹车模式。

如使用 Hall 启动，两个霍尔 IC 相距 90 度电角度。（对应于 n 对极电机，两个霍尔 IC 的机械角度=90°/n。比如 5 对极，则 PCB 两个霍尔相距 18°的机械角度）

SPD 引脚启动阈值默认为 10%。

运行

ZH6358 采用无感 FOC 算法，通过采集功率管的导通管压降，得到三相相电流。通过 FOC 算法，位置估算器得到转子位置，进而输出 ud 和 uq 控制 Iq 和 Id。ZH6358 具有四个环路工作模式：

- 电压开环，SPD 引脚输入决定输出等效电压，类似有刷电机的开环调速。此为默认模式。
- 速度环，SPD 引脚输入决定电机转速。外环为速度环，内环为电流环。
- 电流环，也是转矩环。SPD 引脚输入决定电机的 q 轴电流，内环为电流环，无外环。
- 功率环，内环为电流环，外环为功率环。实现恒功率运行。

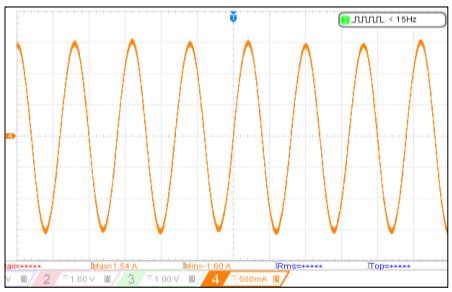


图 5 工作电流波形

由于功率管的导通电阻并不精准，因此对于需要精确功率闭环的系统，需要在 SENP 和 SENN 之间放置 20mΩ 的采样电阻，并使用阻容对采样电压两端的电压进行滤波（请严格按照推荐的阻容参数）。默认为无采样电阻模式。

速度闭环下，功率可做限制，功率低于设定值时，速度正比于调速给定；功率高于设定值时，速度保持，功率保持。

功率闭环下，速度可做限制，速度低于设定值时，功率正比于调速（调功率）给定；速度高于设定值时，速度保持，功率保持。

调速

这里用“调速”代指 SPD 引脚给定。事实上，采用电流环，调节对象为电流；功率环，调节对象为功率。为描述方便，本文大部分使用速度环模式进行描述，而统一使用“调速”来指代 SPD 引脚的给定。

ZH6358 支持 SPD 引脚 PWM 占空比，频率调速（CLK）和模拟调速。

当 SPD 引脚输入 PWM 数字信号时，PWM 的占空比作为速度给定。闭环给定量（100%占空比对应的速度）由寄存器写入。

当 SPD 引脚输入频率数字信号时，CLK 的频率作为速度给定。闭环目标转速和最大 CLK 频率由寄存器写入。实际转速(RPM) = SPD 引脚输入的 CLK 频率(Hz) / 输入频率（最高转速）设定值(HZ) * 目标转速设定值(RPM)。

当 SPD 引脚输入为模拟信号时，模拟电压作为速度给定。模拟电压 1V 对应 25%的最高速度；模拟电压 3V 对应 75%的最高速度；4V 为满速，线性调速。

用户也可以通过串口通讯协议，直接控制寄存器调速。

当 SPD 引脚输入的速度发生突变时，用户可以在上位机调试界面中修改速度上升斜率及速度下降斜率。

方向调节

DIR 引脚高低电平可以调节电机运行方向，信号有 0.5s 的滤波延时，防止误动作。该引脚无内部上拉或下拉，如无需调节方向，建议接 GND。

休眠模式

ZH6358 支持低功耗休眠模式，在 PWM 和 CLK 模式下，SPD 输入电压为低，且电机停转，持续 1s 后，系统进入休眠。SPD 输入电压为高，则退出休眠。

在模拟输入模式下，SPD 输入电压低于启动电压，系统进入休眠。系统会间歇性的被唤醒，读取模拟电压，如超过了启动电压，系统退出休眠。因此，数字（PWM，CLK）模式下的休眠电流小于模拟模式下的休眠电流。

速度反馈

FG 引脚是速度反馈引脚，内部使用推挽输出结构。驱动能力见电气参数表。

FG 引脚默认为一个电周期输出一个脉冲，电机停转时，FG 引脚默认为高电平。

FG 信号支持分频和倍频，用户可以在上位机调试界面中（高级 选项中）选取所需要的分频和倍频系数。

FG 引脚最高耐压为 6V，不支持 FG 上拉至 VM。

保护

ZH6358 支持多种保护模式，包括过温，过流，短路，过压，欠压，堵转保护。过温保护点可以配置。短路保护为电机相电压 OUTA，OUTB，OUTC 与电源 VM，或者 GND 发生短路的故障情况。电流阈值较高，保护时间短。过流保护为软件过流保护，在电机失步情况下起作用，阈值可设。

用户可以通过上位机调试界面读取故障代码和信息。

学习引脚

ZH6358 支持电机参数自学习功能。

LEARN 引脚内部上拉。将该引脚接地并释放（悬空），ZH6358 开始对电机参数进行学习。请在引脚接地前将电机接好，并确保供电电源稳定。启动学习电机发出“哆，咪，嗦”。大约 20 秒，自学习结束，学习结束电机发出“嗦，咪，哆”。电机的参数自动保存到芯片内部，掉电不失。

如果对 LEARN 引脚快速按下两次（双击），芯片完成自学习（此次启动电机声音为“哆，嗦，咪”）后，会判断 SPD 引脚调速模式，如果是模拟模式，则切换到 PWM 模式；如果是 PWM 模式，则切换到模拟模式。此功能是协助客户在无需烧录参数的情况下完成量产。

如果对 LEARN 引脚长按，可以将刚刚学习过的电机参数清除，恢复出厂设置。操作声音为“3125-1231”

自学习按键按下也会退出休眠模式，并且在 VM 再次上电之前，芯片不会再次进入休眠模式。

V5 供电

在 ZH6358 的 V5 和 SW 引脚之间接入电感，则 V5 供电电路使用 DCDC-Buck 架构。

ZH6358 集成的 DCDC 使用 COT 模式，推荐的电感型号和二极管型号如下：

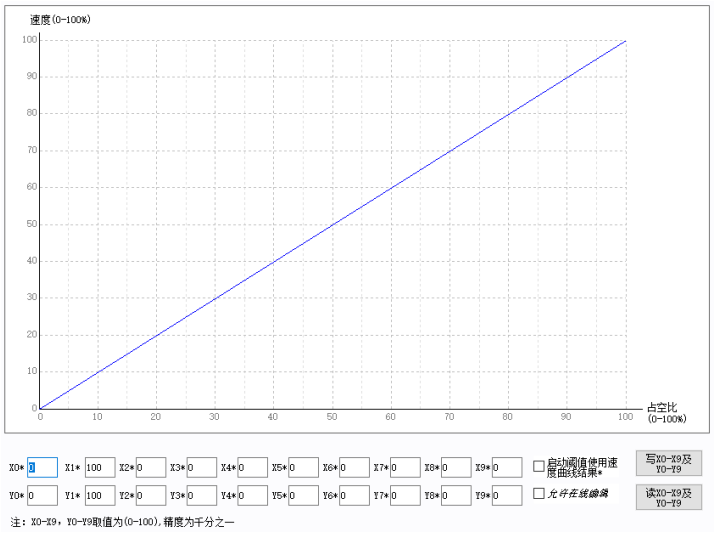
二极管：1N5819W

电感：AHW2012FE220KTF

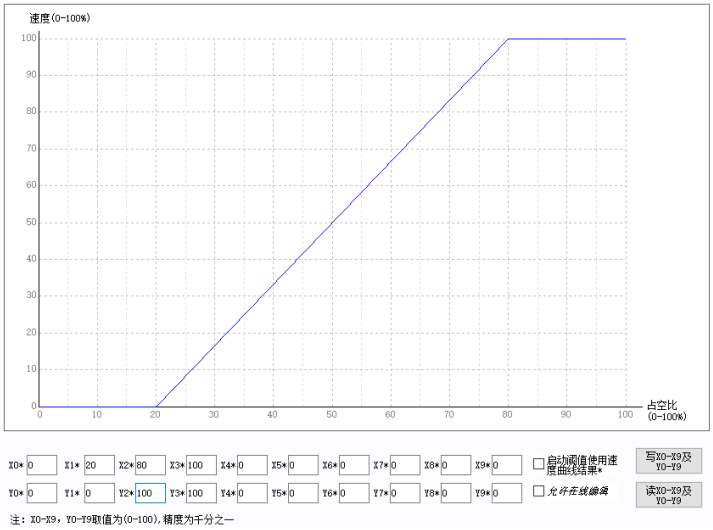
速度曲线

速度曲线将由 20 个寄存器（每个 12 位）进行配置。输入寄存器记录占空比，输出寄存器记录目标速度（占最高目标速度的比例）。客户将最多不超过 10 对数据写入表格中。每一对数据表示一个拐点的横坐标（占空比）和纵坐标（目标速度），速度曲线将由这 10 个点的数据确定。举例如下：

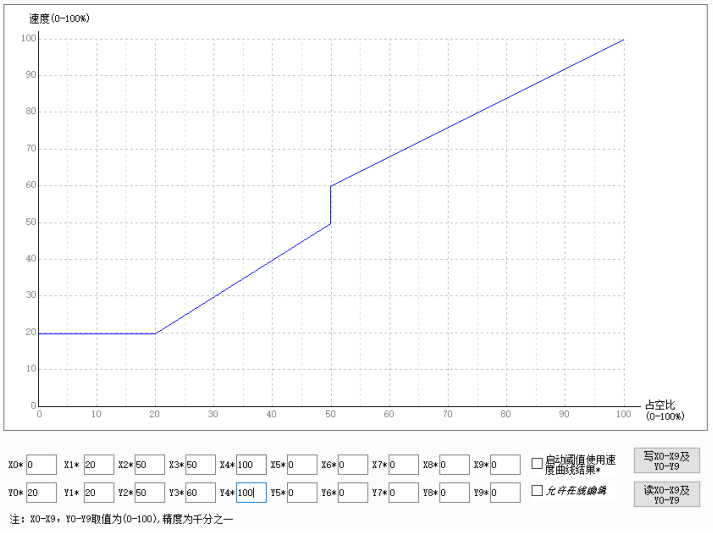
- 从 0 到 100%的线性曲线（这个是默认曲线，如需此曲线，无需编辑表格）



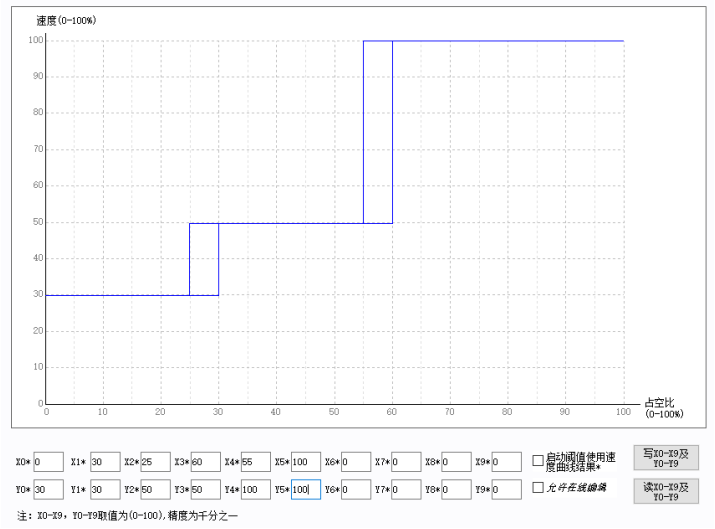
- 从 0 到 100%，具有两个拐点的曲线



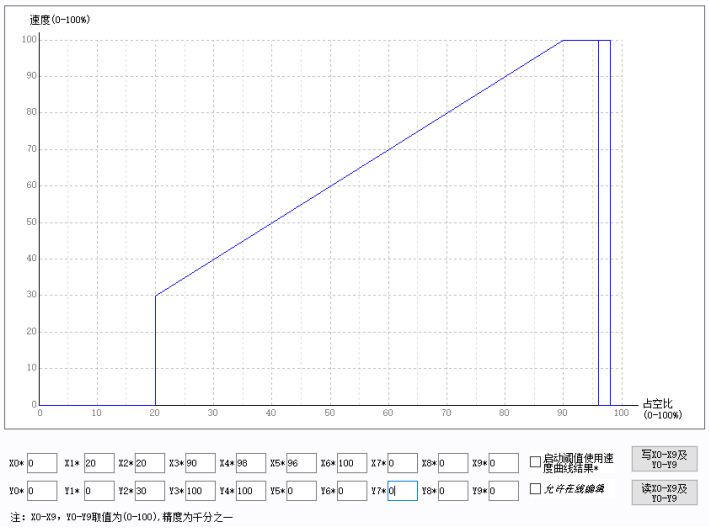
- 起始速度不为零，且跳过共振点的曲线



- 具有三挡调速，且具有迟滞的曲线



- 100%占空比时速度为 0 的曲线



软件使用说明

软件提供 PC 版本和小程序版本。

上电后，确认电机连接正常，按下硬件“LN”按键，电机将发出蜂鸣声，晃动和运转约 20 秒钟。在此过程中，ZH6358 自学习电机的参数。

自学习结束后，使用软件“参数全读”按钮 参数全读，可以观察学习结果。包括相电阻，相电感，电机常数和理论最大速度（注意，这里是在不弱磁情况下的理论最大速度，不是客户指定的速度），在自学习的过程中，参数已经存入了芯片，下次开机不需重新学习。注意 参数全写* 指的是将屏幕上的参数写入芯片的寄存器，不是烧入 EEPROM，此时若掉电，参数将丢失。

客户需要填入电机的极对数，常用供电电压，功率管导通电阻（正常 5A~10A，MOS 管的 $R_{DS(ON)}$约为 20mΩ，填入 20mΩ 即可，如需精确调节，可以参见下文“MOS 管参数辨识”）。

请注意参数的录入以“回车键”确定，如启动电流写入“0.8”后没有按下回车，GUI 不会将此结果下发到 ZH6358 芯片。

启动电流请根据扇叶（风扇类）大小设定，过大或过小的启动电流都不利于电机启动。如泵类负载，启动电流可以设定为与最大（目标）工作电流一致。

如果不使能电压环，不使能速度环，且不使能功率环，则此“最大（目标）工作电流”参数为调速对象，SPD 给定越大，工作电流越大，且正比于此值。如果电压环，速度环，或功率环使能，则此参数为最大限流参数，起保护作用。

根据客户系统调速硬件决定“输入信号的类型”，可以选择为软件模式，PWM 模式，CLK 模式或者模拟电压的模式。

如果采用软件模式，可以直接在“输入占空比”栏中填入 0 到 100 的数字，代表调速目标值。

过温保护点，和软件过流保护点分别对应过温保护和过流保护的阈值。

电机的运转方向可以硬件 DIR 调整，也可以通过软件调整。 电机方向 ◉正转 ○反转

电压环，速度环，功率环，休眠，堵转（无水），是否使用采样电阻，都可以通过参数配置。

高级选项中：

堵转恢复次数和无水恢复次数分别对应电机的堵转保护参数配置和水泵的无水保护参数配置，可分别设置堵转恢复次数和无水恢复次数值为 0-15 次恢复。

启动占空比可设置成 5%，10%，15%或者 20%。**（注意需烧录并重新上电后生效）**

FG 信号分频可设置不分频、分频三分之一、分频四分之一、分频五分之一。

FG 信号倍频可设置不倍频、2 倍频、3 倍频、4 倍频。

速度上升斜率和速度下降斜率可分别提升或降低速度信号输入突变，电机转速到达预定转速的斜率。

反转下启动电机，刹车过程也可以选择主动刹车或者被动刹车。

弱磁功能可选。

增加观测器带宽，在负载突变的系统中需要使能。

可选霍尔使能，可选霍尔模式下小超前角。

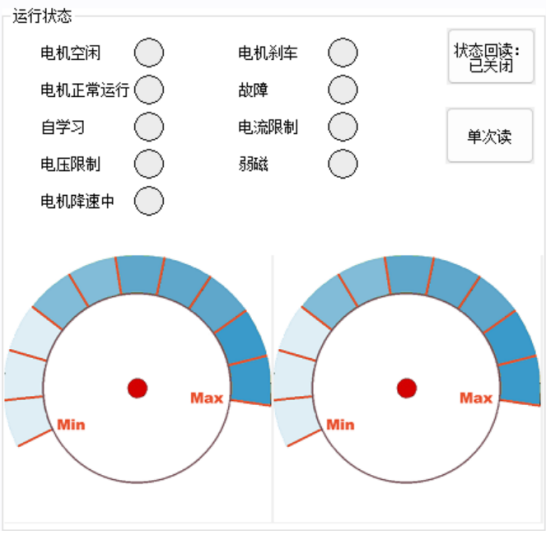


图 7 电机运行状态监测

软件的右侧是电机工作状态，选中状态回读后，可在界面上观察系统的工作状态，还可以通过“单次读”按钮读取单次的电机运行状态。

如“故障”发生，点击“故障”灯可观察具体的故障类型。

如果电机运行过程中，“电流限制”灯亮起，说明电机运行已经达到了最大电流设定，在 MOS 管可以承受的范围内，可以通过增加“最大（目标）工作电流”解决。如通过调整电机参数来解决此问题，需要增加匝数，减少线径。

如果电机运行过程中，“电压限制”灯亮起，说明电机运行已经达到了最大电压利用率，可以提高供电电压解决。如通过调整电机参数来解决此问题，需要减少匝数，增加线径。

使用小程序蓝牙通讯模式，部分手机（苹果手机比较明显）会出现连续状态回读后，蓝牙通讯失败的情况。请不要使用连续状态回读即可。

MOS 管参数辨识

步骤 1：断开电机。在 OUTA，OUTB，OUTC 的端口上连接 3 个“星形”连接的大功率电阻。

步骤 2：确认 20mΩ 的采样电阻正常连接。

步骤 3：断电，按下 LN 键，然后上电，电机将进入 MOS 管参数辨识模式，1s 内结束。按“参数全读”，可以软件页面里看到识别到的参数。

MOS 管选型

ZH6358 功率段使用 PMOS+NMOS 的对管，适合于 10W~150W 范围的应用。其中，功率半桥下管 NMOS 的导通电阻 $R_{DS(ON)}$大小建议在 15mΩ 到 40mΩ 之间，推荐使用 20mΩ 的 NMOS。过高的 $R_{DS(ON)}$会造成系统发热，过低的 $R_{DS(ON)}$会影响到控制算法的精度（算法依赖 $R_{DS(ON)}$进行 FOC 运算）。

PCB 布局

在 PCB 设计上，三路 V_{DS} 电压的检测回路要保持一致，避免三相不平衡对算法精度的影响。建议使用应用资料中的推荐的 PCB 版图走线方式，请使用包含 MOS 与走线的组合器件进行布图。PCB 布图质量对系统性能影响很大。

原理图中，三个半桥下管 NMOS 的源极汇合到公共点后，连接到采样电阻上方。对应到 Layout 中，每个下管 NMOS 的源极到采样电阻前的公共点之间，要放置等长等宽的走线，以最大程度上降低方块电阻对 V_{DS} 电压检测的影响。

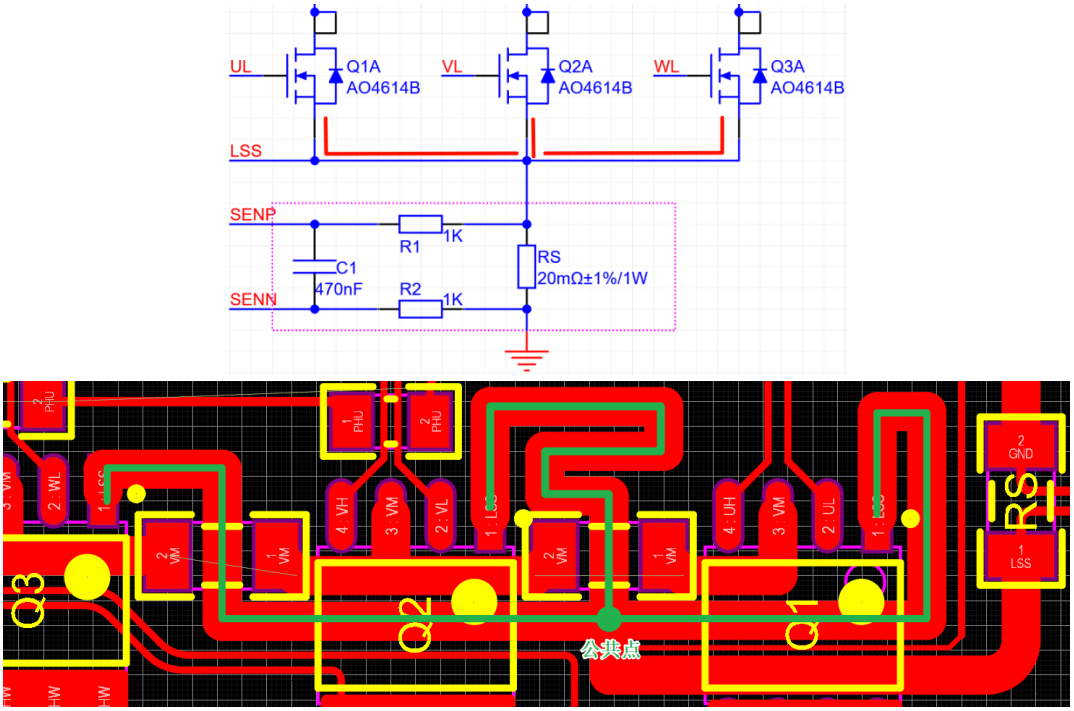


图 8 Layout 注意事项

产品追溯码

用户可以写入 32 位的产品追溯码以便于后续追溯。

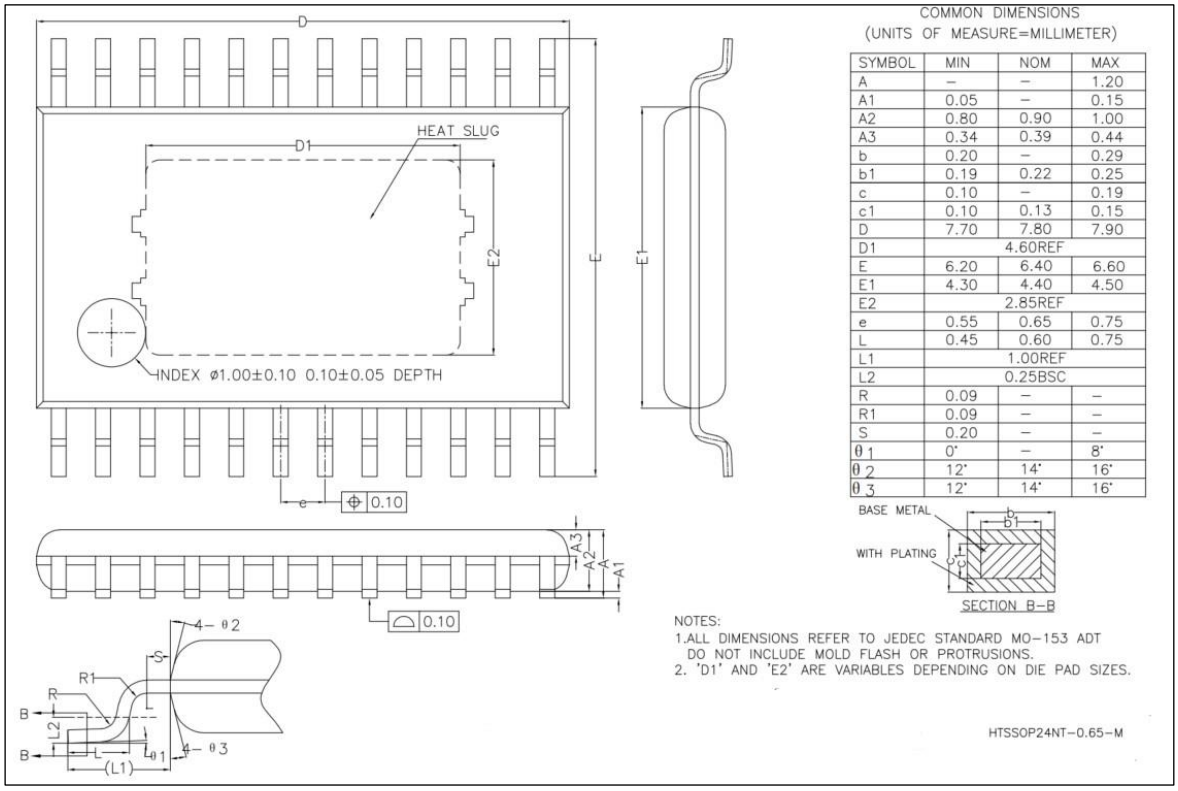
读保护

用户可以写入读保护寄存器，写入 1 后，（GUI 界面为选中： 菜单栏 -> 烧录 -> 禁止读数据（烧录后生效），并执行烧录后生效），电机配置参数不再可读，追溯码不再受保护。请注意，仅可以写一次。

使用“恢复默认设置”功能可以将参数全部恢复为出厂设置，同时读保护失效。

封装尺寸图

ETSSOP24



COMMON DIMENSIONS
(UNITS OF MEASURE=MILLIMETER)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	–	–	1.20
A1	0.05	–	0.15
A2	0.80	0.90	1.00
A3	0.34	0.39	0.44
b	0.20	–	0.29
b1	0.19	0.22	0.25
c	0.10	–	0.19
c1	0.10	0.13	0.15
D	7.70	7.80	7.90
D1		4.60REF	
E	6.20	6.40	6.60
E1	4.30	4.40	4.50
E2		2.85REF	
e	0.55	0.65	0.75
L	0.45	0.60	0.75
L1		1.00REF	
L2		0.25BSC	
R	0.09	–	–
R1	0.09	–	–
S	0.20	–	–
θ1	0°	–	8°
θ2	12°	14°	16°
θ3	12°	14°	16°

修改历史

版本	修改日期	修改内容
V0.1	2023.06	Preliminary Datasheet
V1.0	2024.03.25	
V1.1	2024.04.24	描述部分粗调
V2.0	2024.12.01	引脚确定，功能基本确定
V2.1	2024.12.17	FG 输出为推挽输出，工作电压 7V ~ 32V
V2.2	2025.01.06	增加 MOS 管的选型和 PCB 布局
V2.3	2025.02.11	描述部分微调
V2.4	2025.04.02	更新 V5 供电的功能描述及外围器件参数