

## ZH6551 单相 BLDC 风扇水泵驱动器 (外置 MOS)

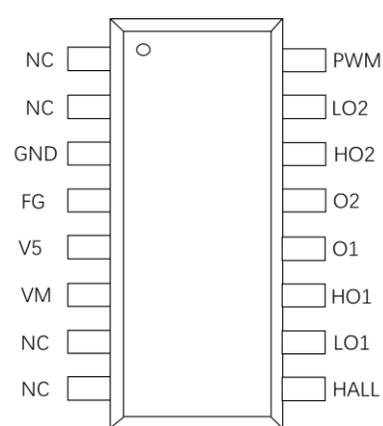
### 特点:

- 单相风扇驱动器, 可选内置或外置霍尔
- 3V~28V 供电, 集成了 PNmos 的预驱
- 低电流待机模式 < 10uA
- 可配置超前角, 优化效率
- 可配置的速度曲线
- 可配置的输出波形
- 可选速度闭环
- 可选 FG/RD 诊断输出
- PWM 输入频率 50Hz 至 100kHz
- 限流功能
- 短路保护, 过温, 过压, 欠压保护

### 产品应用:

- 单相 BLDC 风扇
- 单相 BLDC 水泵

## 引脚图和引脚说明

引脚图		序号	符号	I/O	功能说明
 <p>TSSOP16(ZH6551EC)</p>		3	GND	P	电源输入负
		4	FG/RD	O	速度诊断输出
		5	V5	P	Hall 供电
		6	VM	P	电源输入正
		9	HALL	I	可选的 Hall 输入
		10	LO1	O	低边输出 1
		11	HO1	O	高边输出 1
		12	O1	I	功率输出反馈
		13	O2	I	功率输出反馈
		14	HO2	O	高边输出 2
		15	LO2	O	低边输出 2
		16	PWM	I	速度给定

## 绝对最大额定值

参数	符号	值	单位
电源电压	VM	30	V
高边驱动电压	HO	VM-6	V
低边驱动电压	LO	6	V
相电压	OUT1, OUT2	VM+1	V
VDD 输出	V5	6	V
逻辑输入	PWM, HALL	6	V
逻辑输出	FG	VM	V
工作温度	T <sub>OPERATION</sub>	-40~125	°C

## 推荐工作条件

参数	符号	最小值	最大值	单位
电源电压	VM	3	28	V
输出电压	OUT <sub>x</sub>	GND-1	VM+1	V
高边驱动电压	HO	VM-6	VM	V
低边驱动电压	LO	0	6	V
VDD 电压	V5	4	6	V
HALL 输入电压	V <sub>HALL</sub>	0	6	V
PWM 输入电压	V <sub>PWM</sub>	0	5	V
控制输出电压	V <sub>FG</sub>	0	VM	V
输出电流	I <sub>OUT</sub>	-0.8	0.8	A
霍尔信号峰值	B <sub>peak</sub>	50	500	Gs

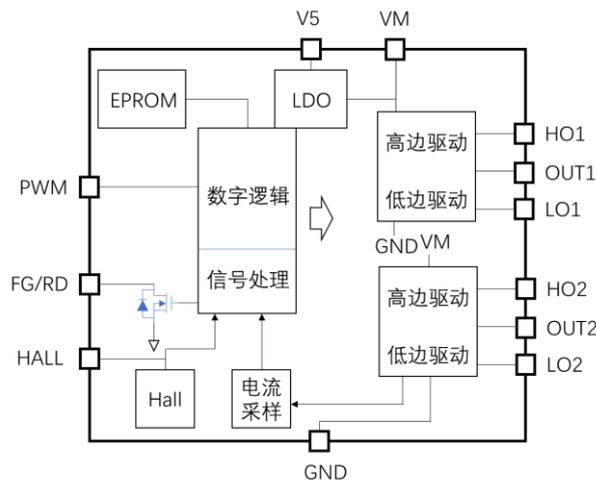
# 电气特性

(TA=25°C, VM=24V)

参数	符号	测试条件	最 小 值	典 型 值	最 大 值	单 位
待机电流	I <sub>STANDBY</sub>	PWM=0		8.4	30	uA
工作电流	I <sub>CC</sub>	PWM=1, 空载		3.5		mA
V5 电压	V <sub>V5</sub>			5		V
V5 电流	I <sub>V5</sub>				5	mA
PWM 输入	V <sub>IH</sub>			3.0		V
	V <sub>IL</sub>			1.5		V
输出阻抗	R <sub>OH</sub>	高边 off, GHx=VM-0.2V		3		Ω
	R <sub>OL</sub>	低边 off, GLx=0.2V		2		Ω
强关阈值	V <sub>STRONG_H</sub>	VM-GH <sub>x</sub>		1.1		V
	V <sub>STRONG_L</sub>	GL <sub>x</sub> -GND		1.1		V
驱动电流	I <sub>H_ON</sub>	高边 on, GHx=VM		100		mA
	I <sub>H_OFF</sub>	高边 off, GHx=VM-5V		100		mA
	I <sub>L_ON</sub>	低边 on, Lox=0V		25		mA
	I <sub>L_OFF</sub>	低边 off, Lox=5V		50		mA
霍尔运放	Gain			1.2		mV/Gs
比较器失调	offset	霍尔比较器	-3		3	Gs
		电流比较器	-5		5	mA
振荡器精度	Osc	25°C	-1.5		1.5	%
		-40~150°C	-2.5		2.5	%
FG 输出		限流		10		mA
		3mA			0.35	V
		漏电			1	uA
过压保护	OVP0	OVP_SET=00		28		V
	OVP1	OVP_SET=01		24		V
	OVP2	OVP_SET=10		20		V
	OVP3	OVP_SET=11		18		V
过压保护迟滞电压	HYS <sub>OV</sub>			1		V
上电释放	POR_U			3.2		V

点						
上电复位点	POR_D			3.0		V
过流保护点		High side		0.3		V
		Low side		0.3		V
过温保护	T <sub>PRO</sub>		135	150	170	°C
过温迟滞	T <sub>PRO_hys</sub>			20		°C

## 系统框图



## 详细描述

ZH6551 是一款单相直流无刷电机的驱动芯片，内置了霍尔传感器，H 桥预驱，软换向和软启动控制，限流，短路，过压，过温，欠压等保护功能。芯片支持 PWM 调速（PWM 调速可选速度闭环模式），可配置的速度曲线，FG 输出反馈功能。

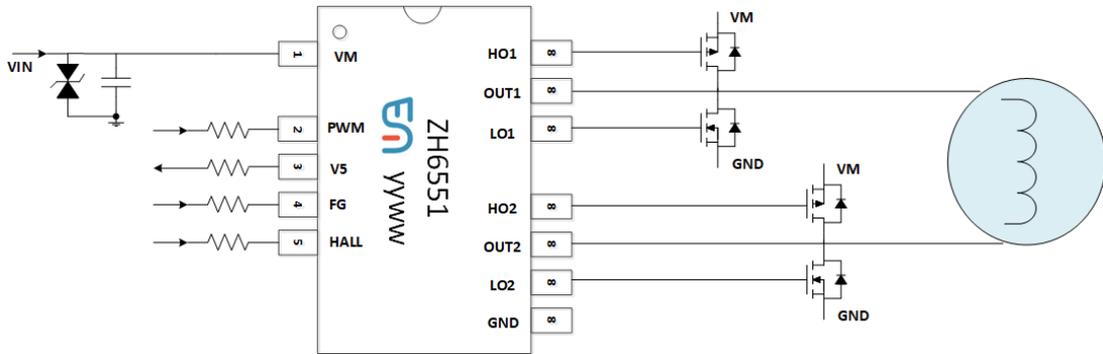
用户可选择内置 HALL 传感器，或者外置开关型 HALL 传感器，从 HALL 引脚输入。HALL 的供电请使用 V5。

ZH6551 具有休眠模式，在 PWM=0 后，休眠电流小于 10uA。

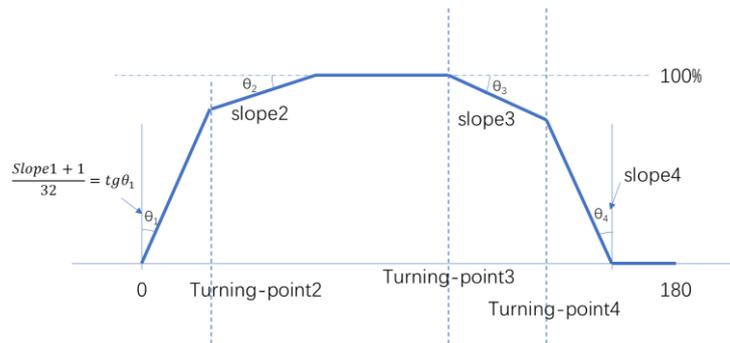
PWM 脚：输入信号频率范围 50Hz~100KHz，芯片通过读取 PWM 输入占空比调速。

FG：输出采用开漏输出，用来反馈当前速度情况。输出一个电流周期，FG 对应输出一个周期信号。

## 应用参考电路



## 波形曲线

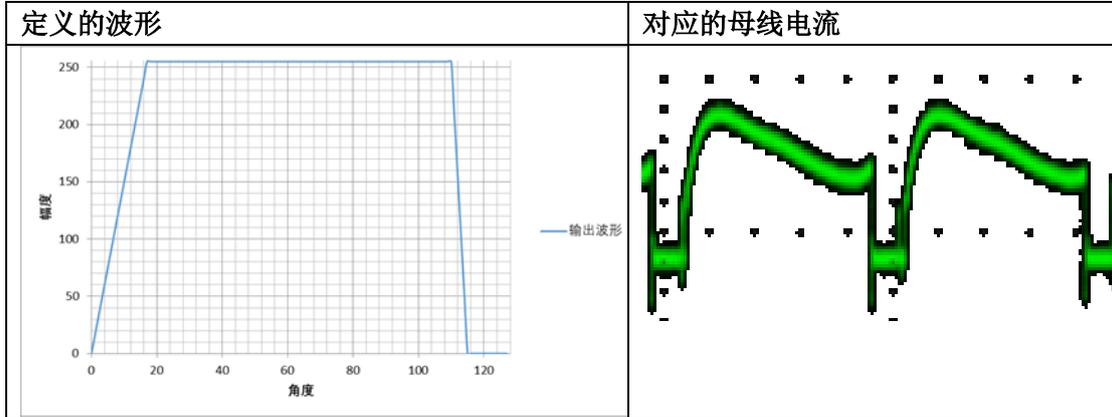


ZH6521 的输出波形曲线可以通过 7 个参数配置。

其中 Slope 满足右边方程： $\frac{Slope_n+1}{32} = tg\theta_n$

- 第一个拐点为 0 度，无需配置。
- 第一段斜率 slope1，正比于角度  $\theta_1$  的正切值。最大 45 度（对应 slope1=31），意味着幅度从 0 到 100% 需要 45 度电角度。其配置角度范围 0 到 45 度，32 个档位。
- 第二个拐点为 Turning-point2，范围是 0 度到 90 度。
- 第二段斜率 slope2，正比于角度  $\theta_2$  的正切值。最大 45 度（对应 slope2=31）。配置数值越大，上升斜率越大。
- 第三个拐点为 Tuning-point3，范围是 90 度到 180 度。
- 第三段斜率 slope3，是下降斜率，配置数值越大，下降斜率越大。
- 第四个拐点为 Tuning-point4，范围是 90 度到 180 度。

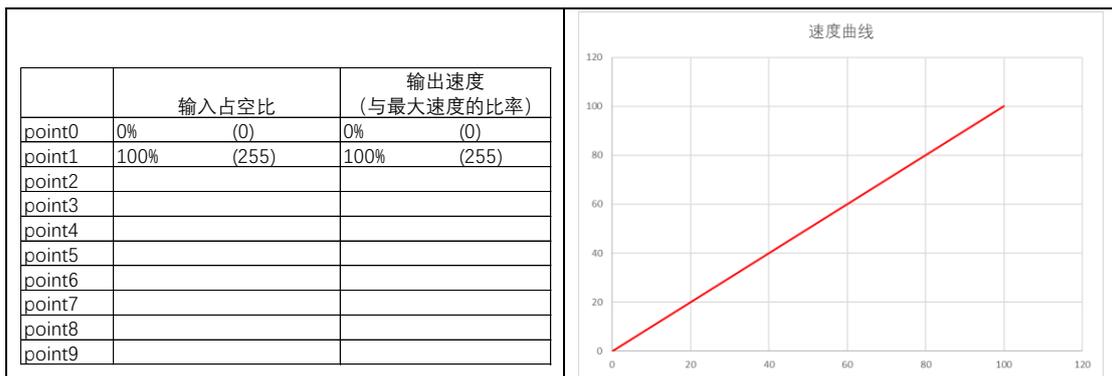
- 第四段斜率 slope4，是下降斜率，正比于角度  $\theta_4$  的正切值。与 slope1 配置方法相同。
- 第四段降到零后，到换向之前，将被设定为零电压。



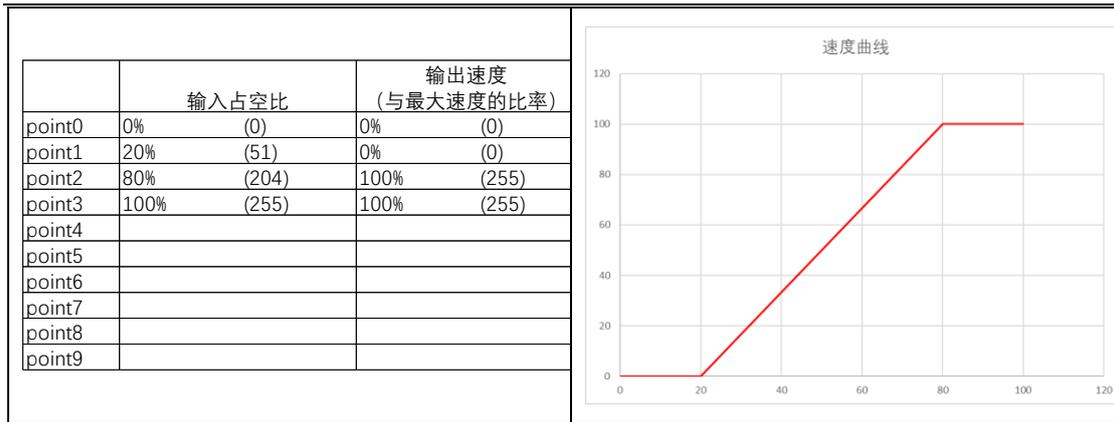
## 速度曲线

速度曲线将由 10 个寄存器（16 位）进行配置。每个寄存器低 8 位记录占空比，高 8 位记录目标速度（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）。速度曲线将有这 10 个点的数据确定。举例如下：

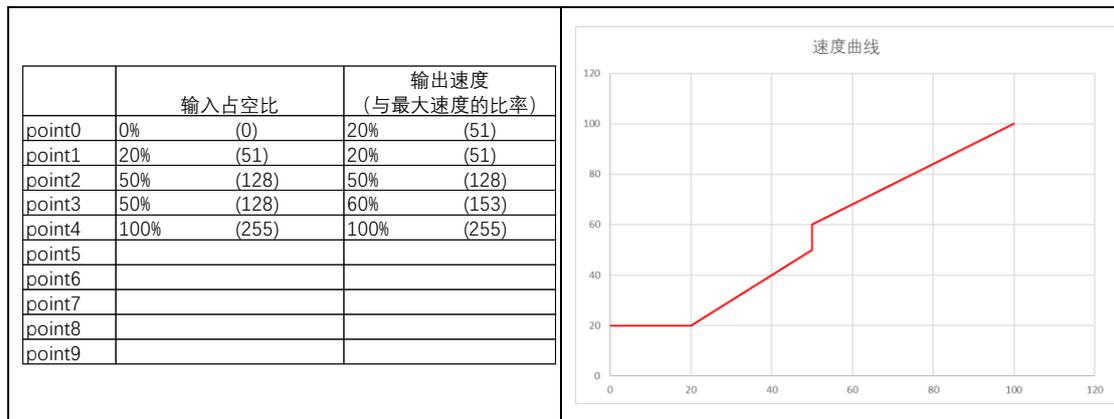
- 从 0 到 100% 的线性曲线（这个是默认曲线，如需此曲线，只需设定“不查表”）



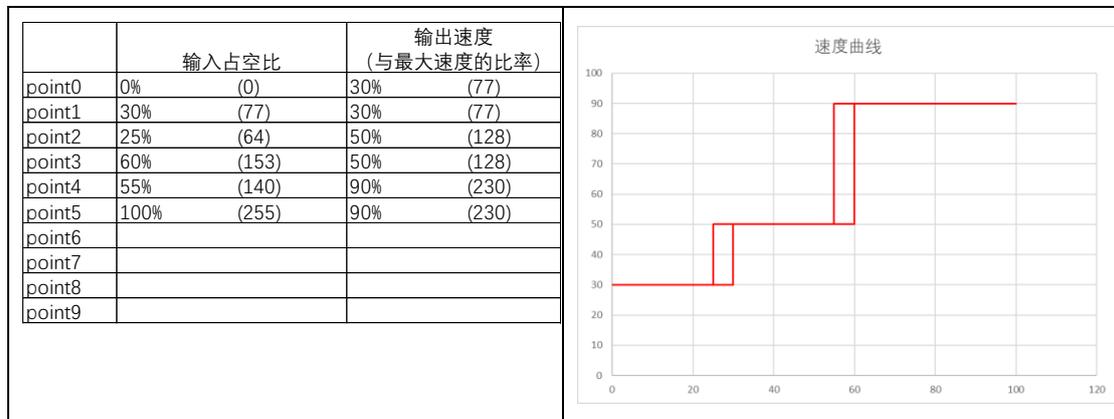
- 从 0 到 100%，具有两个拐点的曲线：



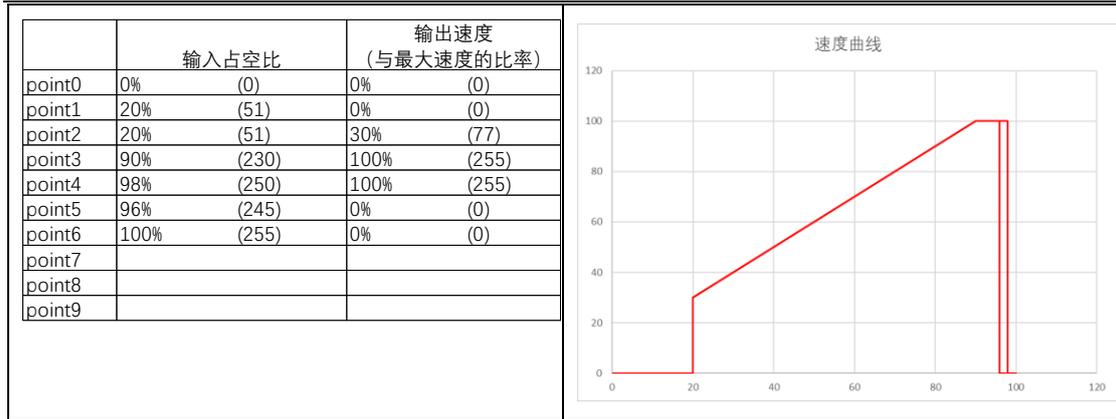
- 起始速度不为零，且跳过共振点的曲线：



- 具有三挡调速，且具有迟滞的曲线：

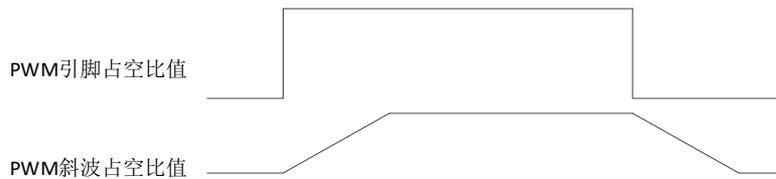


- 100%占空比时速度为0的曲线：



## PWM 斜波

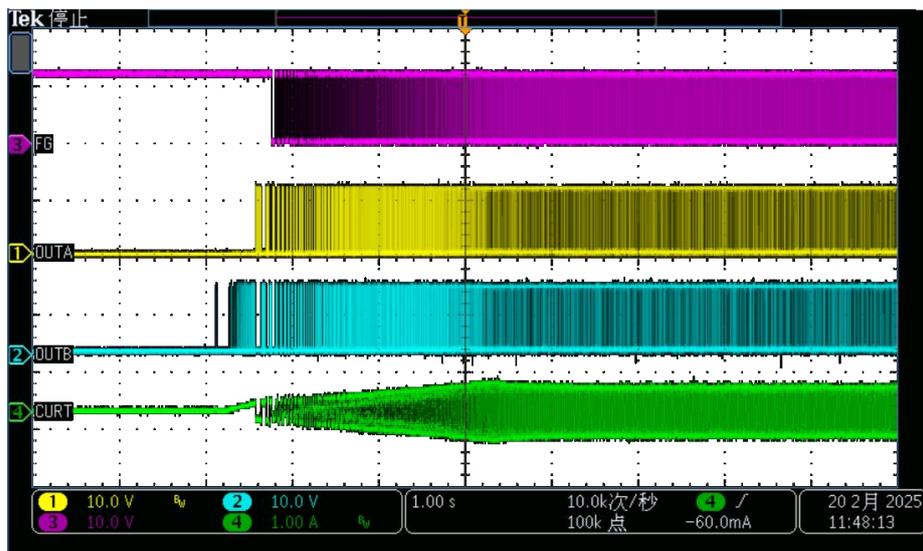
外部 PWM 占空比调节不会马上作用到输出，而是内部有个 PWM 斜波控制，实际输出电压根据 PWM 斜波的值来输出，可以实现缓慢启动和缓慢关闭的功能。



上升斜波的步进时间由 `acc_time_set` 设置，下降斜波的步进时间由 `dec_time_set` 设置。

### 电机转速缓启动效果

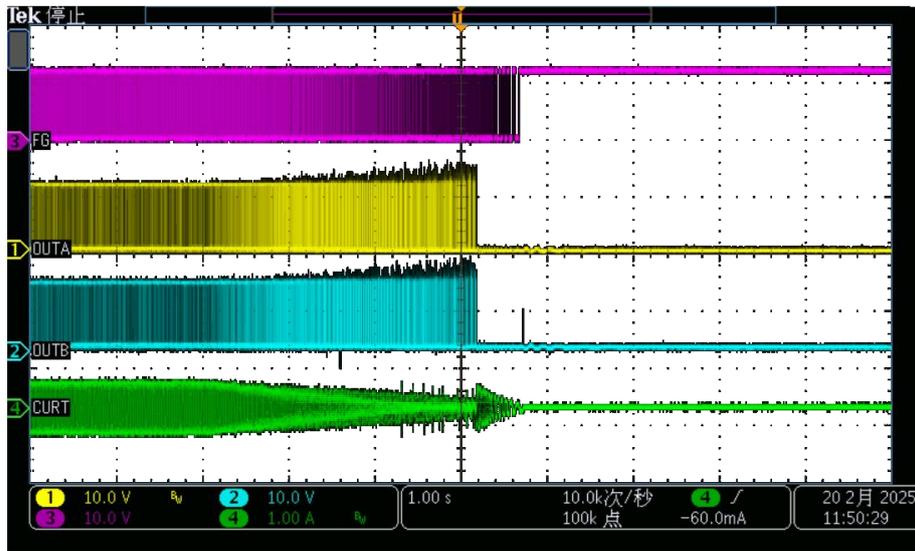
当 PWM 置 1 后，电机转速会缓慢增加，可通过寄存器位设置缓启动的时间



CH3:FG 信号, CH1:OUTA 相电压输出, CH2:OUTB 相电压输出, CH4:相电流

### 电机转速缓关闭效果

当 PWM 置 0 后，电机转速会缓慢降低，可通过寄存器位设置缓关闭的时间。



CH3:FG 信号，CH1:OUTA 相电压输出，CH2:OUTB 相电压输出，CH4:相电流

## 顺风启动

顺风启动策略是将电机转速降到设置的最低转速后，再启动电机。防止高速运行时启动电机，电机的反电动势能量回馈到电源上，使电源冲的很高，减少对耐压器件的高压冲击。

如果转速过高，可以刹车到最低转速或者溜车到最低转速。最低转速设置由 speed\_low\_set 寄存器设置。

如果转速低于最低转速，直接启动电机。

有如下启动策略可以设置：

windmill_check_disable=0 always_do_brake_before_start=0 brake_before_start=0	启动前检测转速是否低于最低转速？ 是则延时一段最低转速时间，然后启动电机， 不是则溜车到最低转速时间，然后启动电机。
windmill_check_disable=0 always_do_brake_before_start=1 brake_before_start=0	启动前检测转速是否低于最低转速？ 是则刹车一段最低转速时间，然后启动电机， 不是则刹车到最低转速时间，然后启动电机。
windmill_check_disable=0 always_do_brake_before_start=0 brake_before_start=1	启动前检测转速是否低于最低转速？ 是则延时一段最低转速时间，然后启动电机， 不是则刹车到最低转速时间，然后启动电机。

## 产品信息区

6521 保留了 32 个 bit 用于存储客户产品和版本信息，存放在 EP14-EP15 两个存储地址中。

## 寄存器表

Reg0/EP0		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit0	no_brake_before_stop	0: 停止前刹车 1: 停止前溜车
Bit1	idle_brake_set	0: 空闲模式下不刹车 1: 空闲模式下刹车
Bit5-2	-	
Bit6	ocp_dis	0: OCP 保护使能 1: OCP 保护不使能
Bit7	ocp_restart_en	0: OCP 保护后不重启 1: OCP 保护后自动重启
Bit8	-	
Bit9	otp_dis	0: 过温保护使能 1: 过温保护不使能
Bit10	ovp_dis	0: 过压保护使能 1: 过压保护不使能
Bit11	uvp_dis	0: 欠压保护使能 1: 欠压保护不使能
Bit12	otp_coast_set	0: 过温保护时刹车 1: 过温保护时溜车
Bit13	ovp_coast_set	0: 过压保护时刹车 1: 过压保护时溜车
Bit14	uvp_coast_set	0: 欠压保护时刹车 1: 欠压保护时溜车
Bit15	lock_coast_set	0: 堵转保护时刹车 1: 堵转保护时溜车

Reg1/EP1		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit0	ex_hall	用于设置电机运行正反转 0: Hall 信号不取反 1: Hall 信号取反

Bit1	-	
Bit2	-	
Bit3	fg_div2_rd_ex_en	当 fd_rd=0 时 0: FG 1: FG/2 当 fd_rd=1 时 0: 运行时 RD 为高, 停止时 RD 为低 1: 运行时 RD 为低, 停止时 RD 为高
Bit4	fg_rd	0: FG/RD 引脚为 FG 功能 1: FG/RD 引脚为 RD 功能
Bit6-5	pwm_in_freq[1:0]	
Bit7	-	
Bit8	square_lock_time_set	0: 方波启动阶段 lock_time_set 不放大 1: 方波启动阶段 lock_time_set 放大 2 倍
Bit11-9	square_number_set[2:0]	方波启动个数: square_number_set+3 个
Bit15-12	initial_out_duty[3:0]	初始输出占空比设置 (initial_out_duty+1) *16/256

Reg2/EP2		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit4-0	max_angle_dlt_set[4:0]	最大超前角, 最高速时的超前角设置 0: 10*1.4° 其他: max_angle_dlt_set*1.4°
Bit9-5	min_angle_dlt_set[4:0]	最小超前角, 最低速时的超前角设置 min_angle_dlt_set*1.4°
Bit13-10	percentage_start_set[3:0]	PWM 输入启动占空比: 0: 23% 其他: (percentage_start_set+1) *4/256
Bit15-14	percentage_hys_set[1:0]	启动/停止占空比迟滞: (10- percentage_hys_set*2) /256 比如: 启动占空比 23%, hys_set=1 那么停止占空比=23%-(10-1*2)/256=19.9%

Reg3/EP3		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit0	brake_before_start	windmill_check_disable=0 时有效 0: 溜车到最低转速再启动 1: 刹车到最低转速再启动 见“顺风启动”功能描述
Bit1	always_do_brake_before_start	windmill_check_disable=0 时有效

		0: 溜车到最低转速再启动 1: 刹车到最低转速再启动 见“顺风启动”功能描述
Bit2	windmill_check_disable	0: 顺风检测使能 1: 顺风检测不使能, 启动时不管电机转速多大直接启动。
Bit3	no_wait_ramp_pwm_stop	0: PWM 引脚占空比值小于停止阈值时, 停止输出。 1: PWM 斜波占空比值小于停止阈值时, 停止输出。
Bit4	-	
Bit5	wait_full_stop_for_FGRD	0: 进入 IDLE 模式后 FG/RD 停止 1: 转速低于最低转速后 FG/RD 才停止
Bit10-6	acc_time_set[4:0]	PWM 斜波的加速步进时间: $(acc\_time\_set \oplus 0x10) * 0.81ms$ 步进时间由小到大: 0x10→0x1F→0x00→0x0F
Bit15-11	dec_time_set[4:0]	PWM 斜波的减速步进时间: $(dec\_time\_set \oplus 0x10) * 0.81ms$ 步进时间由小到大: 0x10→0x1F→0x00→0x0F

Reg4/EP4		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit2-0	ocl_ana_set[2:0]	电流限流点设置: 000: 不使能 001: 1.15A 010: 1.2A 011: 1.3A 100: 0.53A 101: 0.66A 110: 0.78A 111: 0.91A
Bit6-3	speed_low_set[3:0]	最低转速周期时间设置: $(speed\_low\_set * 4) + 16) * 3ms$ 最小时间: 48ms, 对应机械转速: 625rpm 最大时间: 228ms, 对应机械转速: 131rpm
Bit11-7	lock_time_set[4:0]	堵转检测时间(ms): 方波启动阶段: 如果 square_lock_time_set=1,

		<p>则 检 测 时 间 <math>=((31-lock\_time\_set)*2)*49ms</math></p> <p>如果 <math>square\_lock\_time\_set=0</math>, 则检测时间 <math>= (31-lock\_time\_set)**49ms</math></p> <p>弦波阶段: 检测时间 <math>= (31-lock\_time\_set)**49ms</math></p>
Bit15-12	lock_recover_time_set[3:0]	<p>堵转恢复时间(s):</p> <p><math>((set*4+17)\%64)*0.203s</math></p> <p>%64: 除 64 取余数</p>

Reg5/EP5		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit0	curve_table_en	<p>0: 使用外部 PWM 占空比输入</p> <p>1: 使能自定义速度曲线。</p> <p>外部 PWM 占空比映射自定义的速度值 见“速度曲线配置”功能描述</p>
Bit1	wave_table_en	<p>0: 使用默认的相电压驱动波形</p> <p>1: 使用自定义的相电压驱动波形 见“波形曲线”功能描述</p>
Bit2	speed_close_loop_en	<p>0: 开环控制</p> <p>1: 速度闭环控制</p>
Bit5-3	pid_ki[2:0]	速度闭环时, 转速调节的 Ki 参数
Bit7-6	pid_speed_range	<p>速度闭环时, 最大转速档位设置(rpm):</p> <p>00: <math>(156.25/256)*pid\_max\_speed*30</math></p> <p>01: <math>(312.5/256)*pid\_max\_speed*30</math></p> <p>10: <math>(625/256)*pid\_max\_speed*30</math></p> <p>11: <math>(1250/256)*pid\_max\_speed*30</math></p>
Bit15-8	pid_max_speed[7:0]	结合 pid_speed_range 设置闭环控制时的最大转速

Reg6/EP6		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit0	-	
Bit2-1	-	
Bit3	sleep_dis	<p>0: Sleep 使能</p> <p>1: Sleep 关闭</p> <p>Sleep 是指 PWM 脚拉低后芯片进入低功耗模式</p>
Bit4	-	

Bit5	-	
Bit7-6	ovp_set[1:0]	过压保护点设置： 00: 28V 保护，27V 恢复 01: 24V 保护，23V 恢复 10: 20V 保护，19V 恢复 11: 18V 保护，17V 恢复
Bit15-8	-	

Reg8/EP8		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit4-0	wave_slope1[4:0]	见“波形曲线”功能描述
Bit10-5	wave_turning_point2[5:0]	见“波形曲线”功能描述
Bit15-11	wave_slope2[4:0]	见“波形曲线”功能描述

Reg9/EP9		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit5-0	wave_turning_point3[5:0]	见“波形曲线”功能描述
Bit10-6	wave_slope3[4:0]	见“波形曲线”功能描述
Bit15-11	wave_slope4[4:0]	见“波形曲线”功能描述

Reg10/EP10		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit5-0	wave_turning_point4[5:0]	见“波形曲线”功能描述
Bit15-6	-	

EP14		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit15-0	UID0[15:0]	用户自定义 ID 号

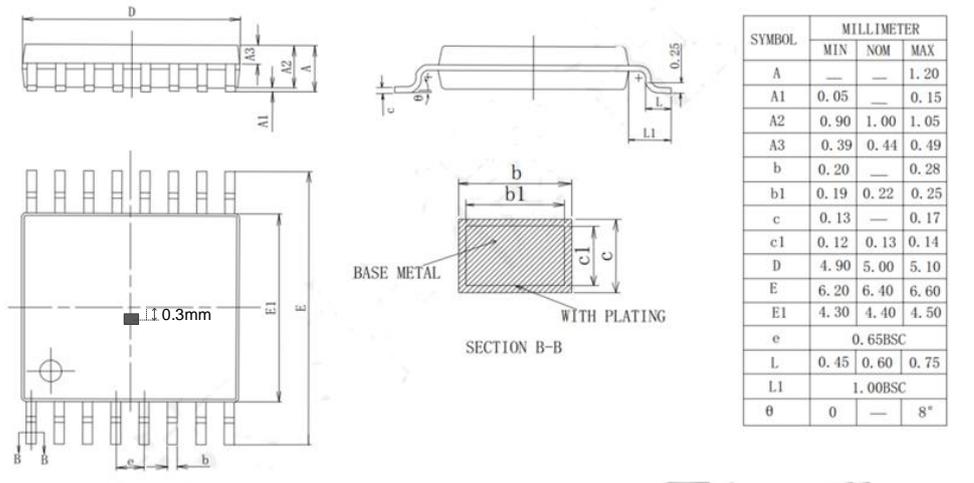
EP15		
位地址	寄存器名	功能描述
Bit15-0	UID1[15:0]	用户自定义 ID 号

EP16-EP25		
-----------	--	--

位地址	寄存器名	功能描述
Bit7-0	curve_x0-19[7:0]	见“速度曲线配置”功能描述
Bit15-8	curve_y0-19[7:0]	见“速度曲线配置”功能描述

# 封装尺寸及霍尔位置

## TSSOP16



注：霍尔坐标位置如上图所示。

## 修改历史

版本	修改日期	修改内容
V1.0	2024.09.13	初始版本
V1.1	2025.02.24	更新引脚图和引脚说明。
V1.2	2025.03.27	增加功能性描述和寄存器表描述