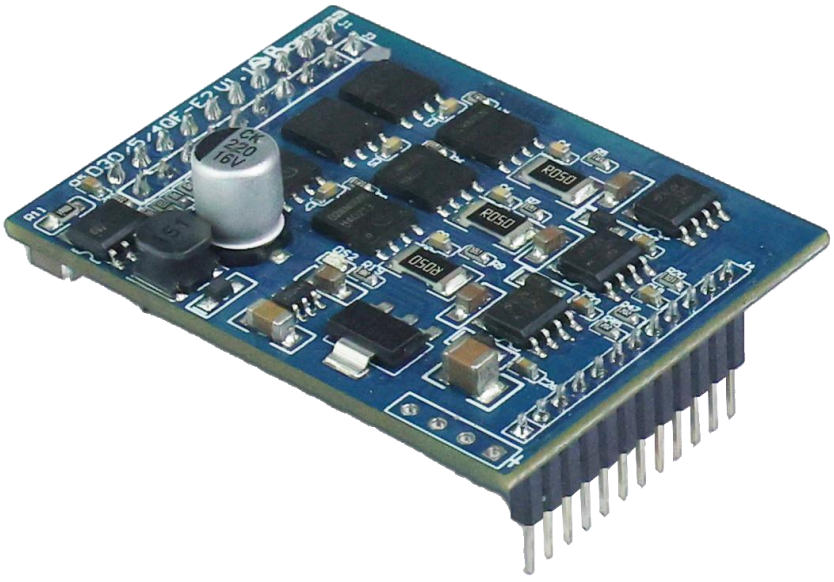
I024
(D30/5/4QF-E2)

用户手册 – 软件



www.boreasa.com

目录

1. 简述 1
2. 软件概述 1
3. 安全说明 2
4. 硬件接口 3
5. 启动、停止、转速控制 4
5.1 启动 4
5.2 停止 4
5.3 转速控制 5
6. 风机运行 7
6.1 拨码开关说明 7
6.2 电机状态说明 7
6.3 电机启动时间与加减速时间说明 9
7. 故障鉴别 9
7.1 短路故障 9
7.2 启动故障 9
7.3 堵转故障 10
8. 通讯协议 10
8.1 通讯格式 10
8.2 驱动寄存器 11
8.3 测试代码 12
9. 修订记录 13

I024 软件用户手册

1. 简述

文档版本	X1
硬件	D30/5/4QF-E2
软件	I024-A1
匹配风机	Boreasa 无霍尔风机

版本说明：

1) 禁止转载本文的部分或全部内容。
2) 本文内容有可能变更，恕不另行通知。

2. 软件概述

I024-A1 是基于 D30/5/4QF-E2 硬件的一款风机控制软件。该版本采用了 FOC 控制方式，为适应不同风机正常运行，采用拨码开关选择风机类型。同时软件包括了短路保护，欠压，过压以及堵转等保护功能，确保硬件的可靠运行。有 4 种转速输入方式，即模拟输入 40k rpm 模式、模拟输入 60k rpm 模式、PWM 输入模式和 SCI 输入模式。

3. 安全说明



技术人员

设备的安装和启动只能由经验丰富、技术熟练的人员进行。



法定条例

用户必须遵守国家和实施现场适用的有关健康、安全、事故预防和环境保护的任何法规！

为了符合CE标准，根据欧盟指令2006/42/EC第2条第（g）款，该驱动器被视为部分完成的机械，旨在与其他机械或其他部分完成的机器或设备结合或组装在一起。



断开负载

对于主要操作，电机应自由运行，即断开负载。



附加安全设备

原则上，任何电子设备都不是故障安全的。因此，机器和设备必须配备独立的监控和安全设备。如果设备发生故障、操作不当、控制单元发生故障或电缆断裂等，必须确保驱动器或整个设备保持在安全操作模式。



维修

维修只能由授权人员或制造商进行。不正确的维修可能会给用户带来实质性的危险。



非热插拔

所有电缆连接只能在关闭电源时连接或断开。



最大电源电压

确保电源电压在10和35 VDC之间。电压高于36 VDC或极性错误会损坏该装置。



短路和接地故障

驱动器没有保护绕组和接地安全接地和/或GND之间的短路！

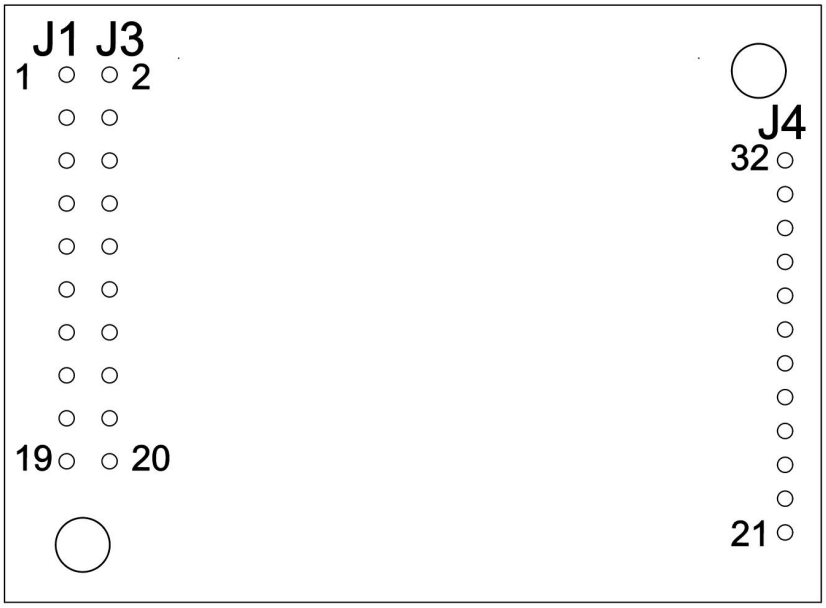


静电敏感器件（ESD）

这是一个ESD敏感设备。按照ESD保护最佳实践进行处理。

4. 硬件接口

D30/5/4QF-E2：

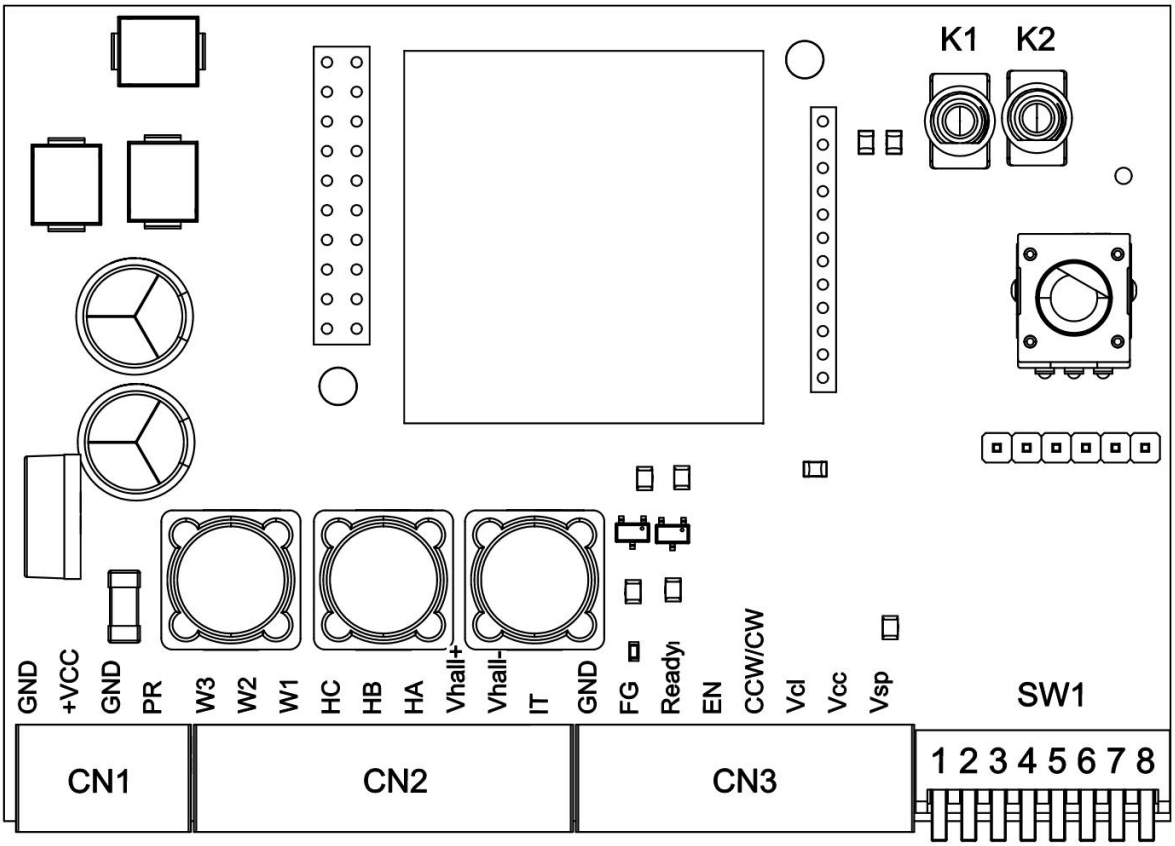


Pin assignment

Pin	Signal	Description
1	U	Motor winding 1
2	U	Motor winding 1
3	V	Motor winding 2
4	V	Motor winding 2
5	W	Motor winding 3
6	W	Motor winding 3
7	$+V_{CC}$	Supply voltage 10 to 32 VDC
8	$+V_{CC}$	Supply voltage 10 to 32 VDC
9	GND	Ground
10	GND	Ground
11	GND	Ground
12	GND	Ground
13	PR	Shunt regulator output
14	PR	Shunt regulator output
15	GND	Ground
16	V_{Hall+}	+10 VDC output voltage
17	H_A	Hall sensor A
18	H_B	Hall sensor B
19	T-IN	Motor Temperature input
20	H_C	Hall sensor C

Pin	Signal	Description
21	V_{CC}	Reference voltage +3.3 V
22	DigIN4	Digital input 4
23	DigIN3	Digital input 3
24	DigIN2	Digital input 2
25	DigIN1	Digital input 1
26	Ready	Status indication output
27	EN	Enable input
28	CCW/CW	CCW/CW control input
29	FG	Frequency generator output
30	V_{SP}	Speed control input
31	V_{CL}	Set current limit input
32	GND	Ground

驱动子板适配于 D30/5/4Q-M2 母版：



文档中说明的引脚与 D30/5/4Q-E2 和 D30/5/4Q-M2 之间的关系如下表：

引脚	D30/5/4Q-E2	D30/5/4Q-M2
EN	Pin27 引脚	K2 开关
CCW/CW	Pin28 引脚	K1 开关
V_{SP}	Pin30 引脚	V_{SP} 端子
Ready	Pin26 引脚	CN3 端子 Ready
DigIN1	Pin25 引脚	SW1 DIP1
DigIN2	Pin24 引脚	SW1 DIP2
DigIN3	Pin23 引脚	SW1 DIP3
DigIN4	Pin22 引脚	SW1 DIP4

5. 启动、停止、转速控制

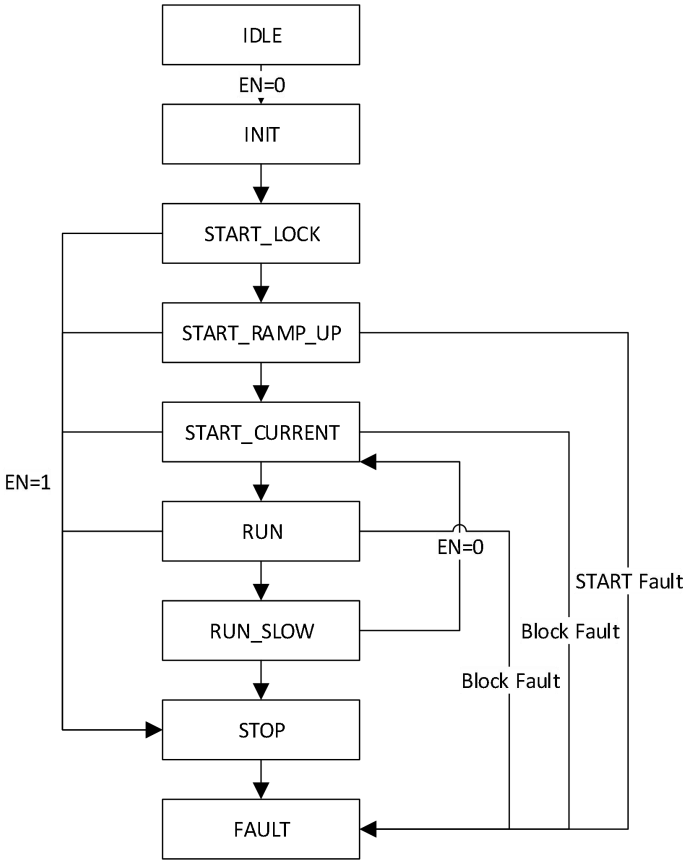
5.1 启动

当 EN 引脚为低电平，且持续时间超过 50us，开机信号有效。驱动将进入 INIT 状态，启动风机，进入运行状态。

5.2 停止

当 EN 引脚为高电平，且持续时间超过 50us，停机信号有效。驱动进入 RUN_SLOW 状态，关闭风机供电。

风机运行流程图如下：



5.3 转速控制

速度输入端口 V_{sp} 可接受 0 - 3.3 V 的模拟量信号，PWM 信号。驱动共有四种转速输入模式。即模拟输入 40k rpm 模式，模拟输入 60k rpm 模式 ，PWM 输入模式和 SCI 输入模式。四种不同模式通过输入端口 DigIN4，CW/CCW 设置。

DigIN4	CW/CCW	风机最大转速控制
ON	CW	SCI 输入
ON	CCW	PWM 输入
OFF	CW	模拟量输入 40K
OFF	CCW	模拟量输入 60K

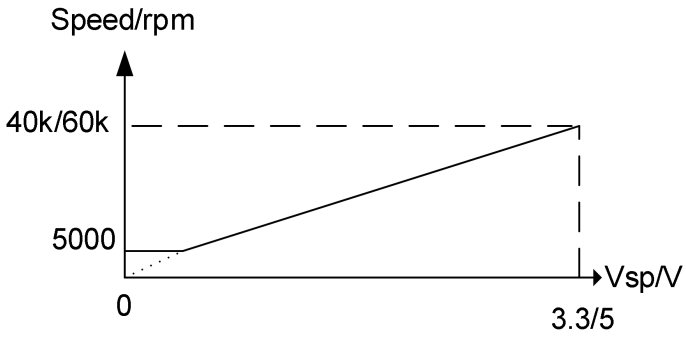
注 1：拨码开关的设置只在上电时检测，更改设置后必须重新上电。

注 2：设置为 SCI 模式时，DigIN1，DigIN2 会被配置为 SCI 模块的 TXD 与 RXD 引脚，此时该引脚应连接主机的 RXD 与 TXD 引脚，不能被强制连接高电平或低电平。

5.3.1 模拟量输入 40k/模拟量输入 60k 模式

输入电压与设定转速的对应关系如下，当计算结果低于 5,000 时，转速设定值恒定为 5,000。

转速设定值(rpm) = (V_{sp} * Max_speed)/V_{sp}_max		
Vsp	输入电压(V)	
Max_speed	最大转速	DigIN4=OFF, CW/CCW=CCW, Max_speed=60,000 rpm
		DigIN4=OFF, CW/CCW=CW, Max_speed=40,000 rpm
Vsp_max	输入最大电压 3.3 V	

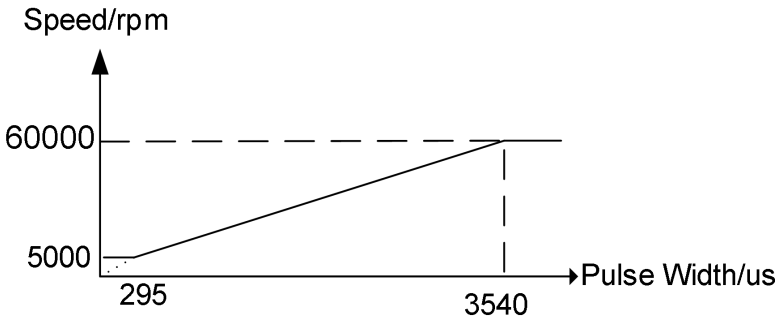


5.3.2 PWM 输入模式

驱动可接受来自于 V_{sp} 端口 200 Hz - 250 Hz 的 PWM 信号。信号高电平为 3.3 V。

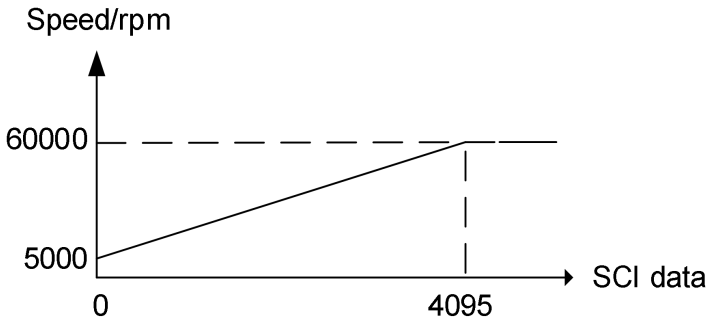
设定转速(rpm)=正脉宽(us)*16.94+423.5；

当计算值小于 5,000 时，转速设定值恒定为 5,000 rpm；当计算值大于 60,000 时，转速设定值恒定为 60,000 rpm；



5.3.3 SCI 输入模式

转速设定值由SCI接口接受的转速指令决定。转速设定值(rpm)=(速度指令*55,000)/4,095+5,000。



注：本文档所涉及的转速均为单极对电机转速。

SCI 模式下通过通讯选择风机类型

6. 风机运行

6.1 拨码开关说明

FOC 驱动方式需要输入电机的参数才能稳定的控制风机运行，由于不同类型风机所用电机参数的不同，为确保风机的正常运行，驱动需要在上电前通过拨码开关的 DigIN1、DigIN2 和 DigIN3 设置风机的类型，目前支持以下一种风机。

DigIN1	DigIN2	DigIN3	风机类型
OFF	OFF	OFF	C45S1-24PR-05-L5

注 1：拨码开关的设置只在上电时检测，更改设置后必须重新上电。

注 2：设置为 SCI 模式时，DigIN1，DigIN2 会被配置为 SCI 模块的 TXD 与 RXD 引脚，此时该引脚应连接主机的 RXD 与 TXD 引脚，不能被强制连接高电平或低电平。

针对不同电机的最大限流不同，如下表所示，驱动可以在上电前通过拨码开关的 DigIN5、DigIN6 和 DigIN7 设置风机的最大电流限制。

DigIN5	DigIN6	DigIN7	最大相电流峰值/A
OFF	OFF	OFF	5.5
OFF	OFF	ON	5.3
OFF	ON	OFF	4.9
OFF	ON	ON	4.5
ON	OFF	OFF	4.0
ON	OFF	ON	3.4
ON	ON	OFF	2.0
ON	ON	ON	无法启动

注：拨码开关的设置只在上电时检测，更改设置后必须重新上电。

6.2 电机状态说明

如下表所示，电机状态机有以下 8 个状态。

电机状态序号	电机状态名称	电机状态说明
1	IDLE	空闲状态
2	INIT	硬件初始化状态
3	START_INIT	参数初始化状态
4	START_LOCK	启动锁步状态
5	START_RAMP_UP	开环拖动状态
6	START_CURRENT	启动电流环状态
7	RUN	闭环状态
8	RUN_SLOW	减速状态
9	STOP	停止状态
10	FAULT	错误状态

6.2.1 IDLE 空闲状态

驱动板上电后默认进入 IDLE 状态，在此状态中检测 EN 引脚若为低电平且电机没有故障，则进入 INIT 状态。

6.2.2 INIT 硬件初始化状态

在该状态中初始化电机及硬件的相关函数，随后进入 START_INIT 状态。

6.2.3 START_INIT 参数初始化状态

在该状态运行电机控制参数初始化程序，随后进入 START_LOCK 状态。

6.2.4 START_LOCK 启动锁步状态

该状态下驱动输出固定单位电流，且维持一定时间，使电机旋转至指定位置后进入 START_RAMP_UP 状态。不同电机类型略有不同，具体如下：

DigIN1	DigIN2	DigIN3	风机类型	锁步相电流峰值/mA	锁步时间/ms
OFF	OFF	OFF	C45S1-24PR-05-L5	686	534

如果 EN 引脚为高电平，则进入 IDLE 状态。

6.2.5 START_RAMP_UP 开环拖动状态

该状态会按指定启动曲线开环强制拖动电机旋转，直至驱动估算的转速满足闭环启动要求，才会进入 START_CURRENT 状态。不同电机类型的启动曲线略有不同，具体如下：

DigIN1	DigIN2	DigIN3	风机类型	拖动转速/RPM	拖动时间/ms
OFF	OFF	OFF	C45S1-24PR-05-L5	30-2,000	740

在该状态中满足条件会触发启动故障，具体条件参考电机故障说明中的启动故障。
如果 EN 引脚为高电平，则进入 IDLE 状态。

6.2.6 START_CURRENT 启动电流环状态

在该状态中驱动输出固定单位电流，维持一定时间后，进入 RUN 状态。不同电机类型略有不同，具体如下：

DigIN1	DigIN2	DigIN3	风机类型	电流环相电流峰值/A	电流环时间/ms
OFF	OFF	OFF	C45S1-24PR-05-L5	0.52	200

如果 EN 引脚为高电平，则进入 IDLE 状态。

6.2.7 RUN 闭环运行状态

在该状态为风机的正常运行状态，风机执行包括速度环，电流环的闭环控制。
在该状态中满足条件会触发运行故障，参考电机故障说明中运行故障。
如果 EN 引脚为高电平，则进入 RUN_SLOW 状态。

6.2.8 RUN_SLOW 减速状态

在该状态中电机执行减速指令，缓慢降速。
在该状态中满足条件会触发运行故障，参考电机故障说明中运行故障。
如果转速满足停止条件，则进入 STOP 状态。
如果 EN 引脚为低电平，则进入 START_CURRENT 状态。

6.2.9 STOP 停止状态

该状态表示电机停止，PWM 输出为 0，随后进入 IDLE 状态。

6.2.10 FAULT 错误状态

该状态表示电机有故障，PWM 输出为 0。
若 EN 引脚满足上升沿判断，则故障警报消除，回到 IDLE 状态

6.3 电机启动时间与加减速时间说明

根据拨码开关设置的不同类型风机时驱动按不同的控制参数执行，因此启动时间和压力响应时间有差异，具体差异如下：

DigIN1	DigIN2	DigIN3	风机类型	启动时间/s	压力响应时间	
					加速时间/ms	减速时间/ms
OFF	OFF	OFF	C45S1-24PR-05-L5	1.8	91	71

注：压力响应时间的测试条件如下：
电源 24 V, 5 A;
风机出风口接 4 毫米标准气阻；
压力变化区间：3-30 厘米水柱；

7. 故障鉴别

如果驱动处于运行状态，发生故障后驱动停机，同时 Ready 输出故障信息。Ready 引脚在 CPU 初始化完成后输出低电平。当 EN 引脚电平由低变高（上升沿）时，故障信息清除。
故障的判定条件及相应输出，如下表所示：

序号	故障类型	Ready 输出
1	短路故障	0.5 HZ
2	启动故障	20 HZ
3	堵转故障	5 HZ

7.1 短路故障

故障条件：风机运行时，驱动在每个 PWM 周期 (20us) 对母线电流进行实时检测。当取样电阻的电流峰值达到 15 A 时，驱动判断逆变桥发生短路。在 200ms 内，短路事件 (MOS 短路和相间短路) 超过 600 次。电机进入错误状态。
故障显示：电机进入短路故障时，转速输出引脚输出 0.5 Hz 频率的方波。
故障恢复：EN 引脚满足上升沿判断，消除故障报错。

7.2 启动故障

故障条件：当电机在 START_RAMP_UP 状态时，启动时间超过阈值，触发启动故障，电机进入错误状态。
故障显示：电机进入启动故障时，转速输出引脚输出 20 Hz 频率的方波。
故障恢复：EN 引脚满足上升沿判断，消除故障报错。

7.3 堵转故障

故障条件：

1.电机在 START_CURRENT 状态下，转速低于 1,000 rpm。

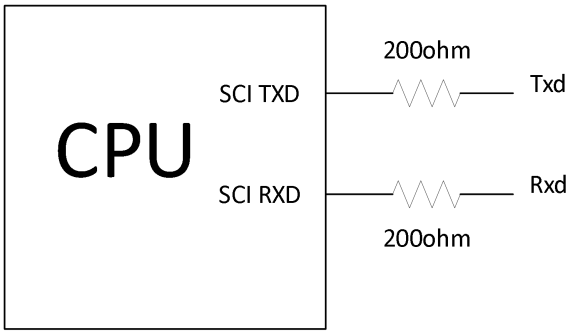
2.电机在 RUN 状态下，转速与反电势比值大于固定值，堵转错误计数增加当堵转错误计数大于阈值时，触发运行故障，电机进入错误状态。

故障显示：电机进入运行故障时，转速输出引脚输出 5 Hz 频率的方波。

故障恢复：EN 引脚满足上升沿判断，消除故障报错。

8. 通讯协议

驱动内部 CPU 的 SCI 端口通过 200 ohm 连接至通讯端口。



驱动固定为通信从机，采用一主一从方式。当主机发送如速度设定，控制方式或控制环参数时，从机驱动只接收，不回复。在主机进行读驱动寄存器操作时，从机驱动收到读取的地址后，将对应的数据发回。考虑到数据的发送时间和 CPU 的处理速度，2 次通讯的时间间隔最小为 1ms。通讯的基本设置如下：

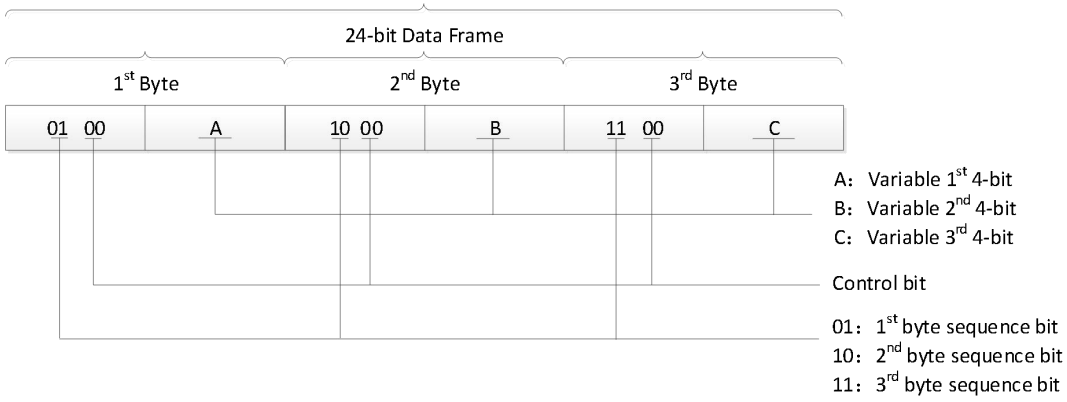
波特率：115,200

校验方式：无奇偶校验

字长：8 位

8.1 通讯格式

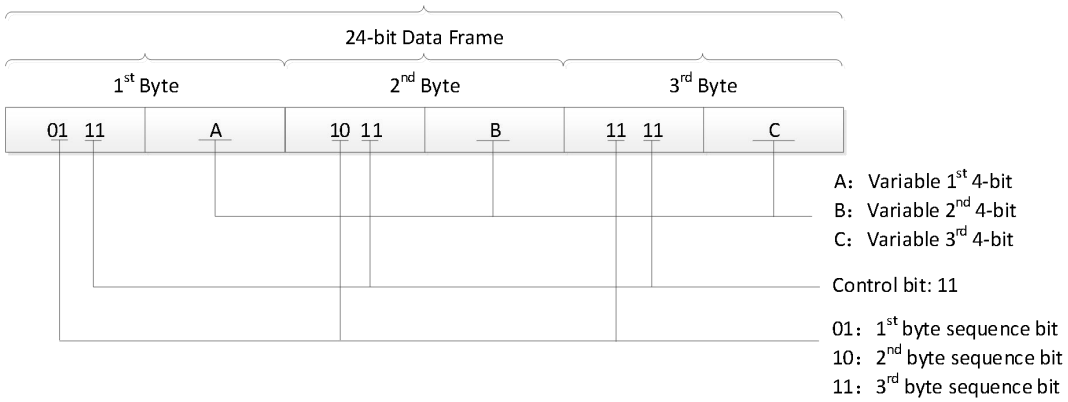
主机发送数据每帧采用 3 字节 24 位方式，每字节由 2 位字节顺序号，2 位控制字及 4 位变量组成。如下图所示：



其中控制字的数据范围为 0-3；定义如下：

控制字	定义
0	写速度命令
1	写控制方式
2	写风机类型
3	读驱动相关寄存器内容

从机返回数据每帧采用 3 字节 24 位方式，每字节由 2 位字节顺序号，2 位控制字（固定为“11”）及 4 位变量组成。如下图所示：



8.2 驱动寄存器

驱动开放了 7 个寄存器，均为 12 位只读。地址范围为 0-6；

地址	寄存器	返回值	
0	测试寄存器	读该寄存器时，返回值为 0x555;用于测试通讯	
1	速度值	当前电机速度，数值范围 0-4,095 RPS（转/秒）	
2	电压	驱动母线电压值，数值范围 0-400，单位 0.1 V	
3	电机状态	内容为电机的运行状态，数值范围 0-12；	
		0	IDLE
		1	INIT
		2	STOP
		3	RUN_SLOW
		4	FAULT
		8	START_CURRENT
		9	RUN
		10	START_INIT
		11	START_LOCK

		12	START_RAMP_UP
4	故障寄存器	位	位 0-5 表示了驱动的 6 种故障状态；标志位为 1 时，表示有对应的故障发生。
		0	开路报警
		1	霍尔报警
		2	堵转报警
		当 mode=0 (IO 模式) 时，EN 端口下降沿清除标志位；mode=1 (SCI 模式) 时，RESET 置 1 清除标志位；	

8.3 测试代码

数据发送测试代码：

```
void send_data(unsigned int cmd,unsigned int datain)
{
    unsigned   int data1=0;
    data1=(datain>>8)&0x000f;
    data1=data1+1*64+cmd*16;
    usart2_send8bit(data1);
    data1=(datain>>4)&0x000f;
    data1=data1+2*64+cmd*16;
    usart2_send8bit(data1);
    data1=datain&0x000f;
    data1=data1+3*64+cmd*16;
    usart2_send8bit(data1);
}
```

示例 1：

发送速度指令：

```
send_data(0,s_set); //   s_set 数值为 0～4095，对应 5000～60000rpm
```

示例 2：

发送控制方式命令：

```
send_data(1,motor_run); // motor_run=0x07;电机停机
```

位	定义	
1	使能	0：电机运行； 1：电机停机；

示例 3：

发送风机类型参数

```
send_data(2,motor_id);
```

motor_id	风机类型
7	C45S1-24PR-05-L5

示例 4：

读驱动寄存器

```
send_data(0x03,r_data_adr);// r_data_adr 为读取寄存器的地址，0-6；
```

发送读命令后，主机需准备接收从机返回的对应地址单元的数据。接收中断函数处理程序如下：

```
data_rx2= USART2->DR;
i=data_rx2>>6;
switch(i)
{
    case 1:data_rh=data_rx2&0x0f;data_rhf=1;     break//返回值高 4 位
    case 2:data_rm=data_rx2&0x0f;data_rmf=1;    break; //返回值中 4 位
    case 3:data_rl=data_rx2&0x0f;data_rlf=1;       break; //返回值低 4 位
    default:                                                  break;
}
if( (data_rlf==1)&(data_rmf==1)&(data_rhf==1) )
{
    data_rlf=0;data_rmf=0;data_rhf=0;
    r_data[r_data_adr]=data_rh*256+data_rm*16+data_rl;
    // r_data_adr 为读取寄存器的地址，0-6；
}
```

9. 修订记录

版本	时间	修订内容	制定	审核
X1	2025-5-20	新增 C45S1 风机适配，初版发布	景陈新	陆俊谕

精密制造助力
科技创新

杭州贝丰科技股份有限公司

+86 (571) 2812 0533
sales@boreasa.com
浙江省杭州市滨江区
聚园路9号D幢
310051

Boreasa Americas

+1 (760) 944 0495
sales.us@boreasa.com
1664 S. Dixie Dr L-102, St. George
UT 84770, USA

Boreasa Europe S.A.

+41 (52) 533 26 30
sales.eu@boreasa.com
Industrieplatz 3, Haus Laufengasse
8212 Neuhausen am Rheinfall
Switzerland