

## 特点

- 14位绝对值输出，接口丰富  
SPI/SSI/I2C/PWM/DAC
- 支持小角度编程，起始电压和位置可编，默认两点编程。
- AMR高灵敏度，0到360度可测量。
- 高精度 $\pm 0.5^\circ$
- 电压3.3V-5V
- 采用坐标旋转数字计算方法（CORDIC）
- 温度范围-40 度到 150°
- SOP8封装
- 最高支持转速3000转/分

## 典型应用

- 绝对值编码器
- 角度编码器
- 电位计
- 机器人关节
- 快速门/工业门
- 电动工具

## 基本描述

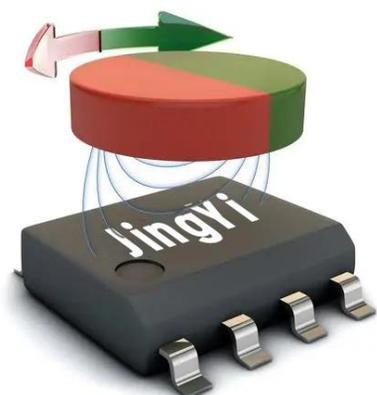
SD2313是基于AMR原理的磁编码器芯片量的角度编码器，通过内置磁阻和信号处理芯片，检测旋转磁场并对磁阻元件得到的感应电压信号进行信号处理，得到不同的数字信号和各种数字接口。

绝对角度测量表示当前磁铁的角度位置，数字量可以通过 SPI 或者 I2C 接口可以直接读出寄存器中实时的角度值，也可以通过可编程的脉冲宽度调制（PWM）输出。

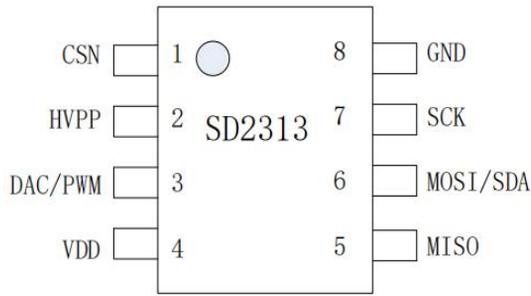
因为AMR只对平行磁场敏感抗干扰能力比较强，因为AMR的高灵敏度和工作在饱和和磁场的特点所以对安装和磁铁要求冗余比较大。

非常适合用于环境恶劣的场合。

**封装：SOP8**



## 1. 引脚配置



SOP8引脚配置

1	CSN	Digital input	I2c:high SPI: Csn signal input, default value=high
2	HVPP	Digital input	Set to logic high in I2C or SPI mode
3	DAC/PWM	Analog/Digital	Analog output DAC or PWM
4	VDD	Analog input	5V or 3.3V
5	MISO	Digital output	Incremental Signal SPI MISO
6	MOSI/SDA	Digital output/Input	Incremental Signal SPI MOSI or I2C Data
7	SCK	Digital Input	Incremental Signal SPI clock or I2C Clock
8	GND	GND	GND

PIN脚列表

其中 pin5, 6, 7 可以配置成 I2C 通讯接口或者 SPI 的绝对角度位置输出，配置方式如下表

Pin	register	pin function				
2		GND		VDD		
	05<1:0>	00	10			
1				VDD(I2C)	Csn of SPI	
	1F<6>				0(4 wire)	1(3 wire)
5					MISO	
6				SDA	MOSI	MOSI/MISO
7				SCL	CLK	CLK

功能脚配置方案列表

## 2. 极限参数

参数	注意	最小	最大	单位
VDD 引脚的直流电压	-	-0.3	7	V
HVPP 引脚的直流电压	-	-0.3	7	V
储存温度	-	-55	160	°C
工作温度	-	-40	150	°C
静电放电(HBM)	规范: AEC-Q100-2, AEC-Q100-3	-	±4	kV

极限参数

## 3. 正常工作条件

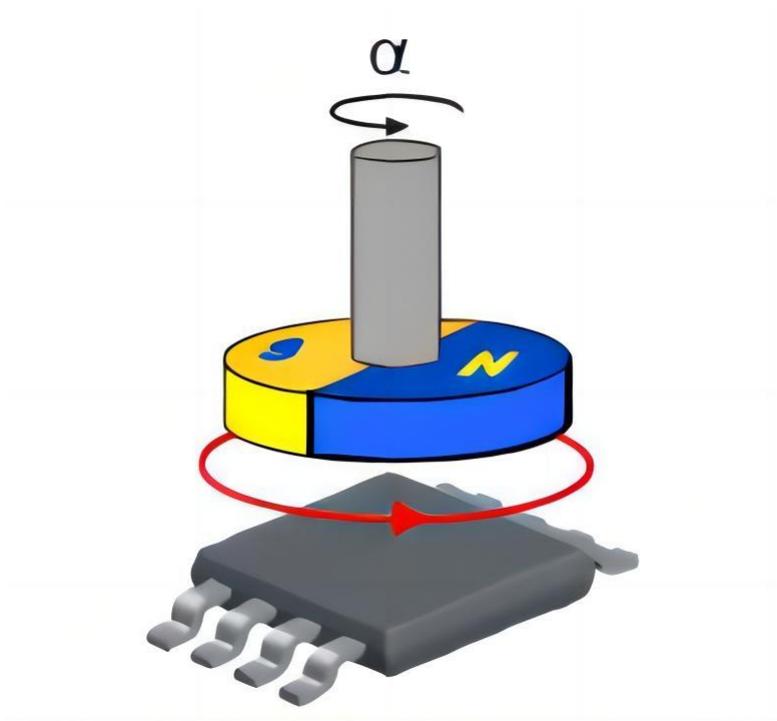
运行条件:  $T_a = -40$  to  $+150^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{DD} = 3.0$ - $5.5\text{V}$ , 除非另有说明

符号	参数	条件/注意	最小	典型	最大	单位
VDD	电源电压	-	3.0	5	5.5	V
HVPP	电源电压	-	6.5	6.75	7	V
I <sub>dd</sub>	供电电流	-	5	9	12	mA
V <sub>oq</sub>	输出静态电压	T <sub>a</sub> =25°C	-	50	-	%VDD
INL	积分非线性度	Note (1)	-	±0.5	±1	Degrees
DNL	微分非线性度	-	-	±0.011	-	Degrees
V <sub>noi</sub>	DAC 输出噪声	RMS noise	-	0.022	-	%VDD
T <sub>PwrUp</sub>	上电时间	-	-	-	50	us
T <sub>delay</sub>	传播延迟	-	0	75	100	us
时序规范						
t <sub>iov</sub>	增量输出有效时间	-	-	-	3	us
t <sub>dv</sub>	方向信号有效时间	-	-	-	3	us
I <sup>2</sup> C IO 特性						
V <sub>IH</sub>	高电平输入电压	-	VDD-1	-	-	V
V <sub>IL</sub>	低电平输入电压	-	-	-	0.8	V
V <sub>OH</sub>	高电平输出电压	I <sub>OH</sub> =4.1mA	VDD-1	-	-	V
V <sub>OL</sub>	低电平输出电压	I <sub>OL</sub> = 3.3mA	-	-	0.4	V
I <sub>LK</sub>	输入漏电流	-	-	-	±1	μA

## 4. 外加磁场参数

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Notes
磁铁直径	Dmag	5	6	12	mm	Recommended magnet: Ø6mm x 2.5mm for cylindrical magnets
厚度	Tmag		2.5		mm	
工作磁场强度	Bpk	300			Gauss	Measured at the IC surface.
磁铁和芯片间隙	AG	0.5	1	1.5	mm	Magnet to IC surface distance .
最大转速	RS			30	KRPM	
轴心最大偏置	DISP			0.3	mm	Misalignment error between sensor center and magnet axis .
推荐磁铁材料和温漂	TCmag1		-0.12		%/ $^{\circ}$ C	NdFeB (Neodymium Iron Boron)
	TCmag2		-0.035			SmCo (Samarium Cobalt)

磁场输入规范



## 5. 功能框图

图 2 展示了芯片的简化框图，包括 AMR 磁阻编码器电桥，输入增益级，模数转换器（ADC），数字信号处理（DSP）单元。还包括其他支持块，如 LDO 等。通过模数转换和数字信号处理算法，提供了准确的高分辨率绝对角度位置信息。为此，该芯片采用坐标旋转数字计算方法（CORDIC）计算出正余弦信号对应的角度和幅值。

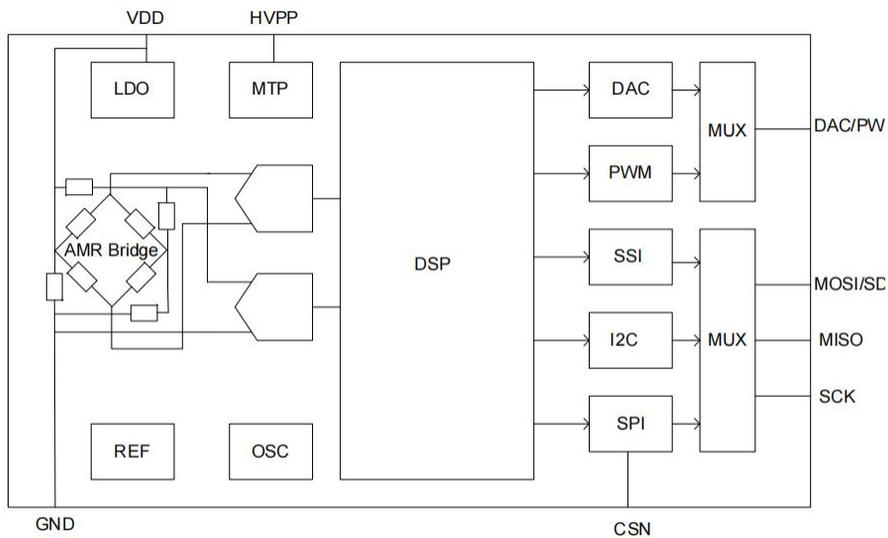
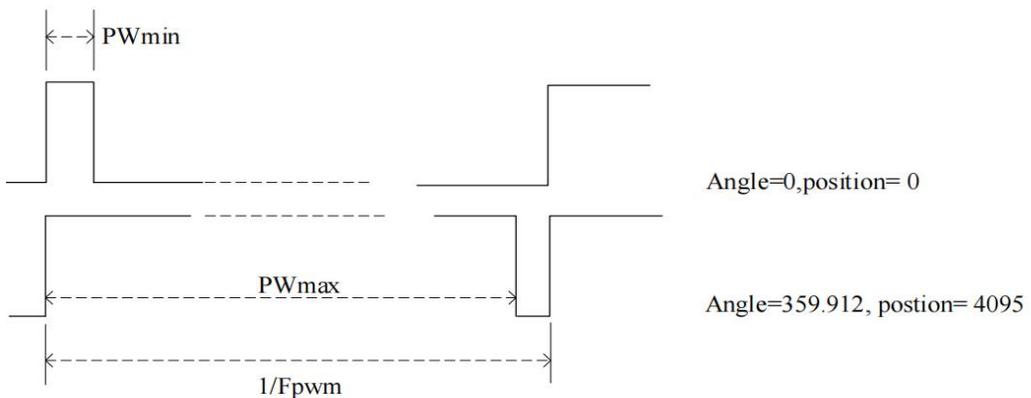


图 2：简化系统框图

## 6. PWM 输出

默认设置时 pin3 配置成 PWM 输出，PWM 表达了 12 位精度的角度数据，输出的角度位置可以通过 PWM 占空比计算出：

$$\text{position} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} * 4096$$



其中的参数如下表

Parameter	Symbol	default	Units	OTP setting methods
PWM frequency	Fpwm	1.15	Khz	
Min pulse width	PWmin	0.22	us	can be configured to 1us by OTP

PWM 寄存器表设置

## 7. I2C或者SPI操作

SD2313为主机提供了I2C或者SPI接口输出，可以通过这些接口进行寄存器和OTP读写和编程，也可以直接读出寄存器替代线性电压输出。需要把HVVP接高到VDD时候芯片工作在I2C或者SPI模式。

主机通过的内部寄存器直接读取角度信息，寄存器如表9。通过SPI或I2C读取0x01, 0x02, 中的数值得到角度值, 可以读取最大精度达14位的角度数据，其中  
 $angle[13:0] = \{0x01, 0x02 \langle 7:2 \rangle\}$

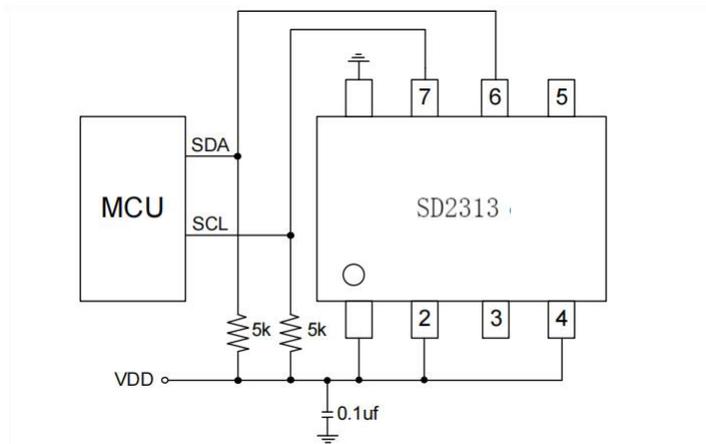
0x02[1]: 等于1标志未监测到有效磁场或者磁场发送突变

0x02[0]: 奇偶校验位, 检测15位数据  $\{0x01, 0x02 \langle 7:1 \rangle\}$  的奇偶校验, 等于1表示前面15位数据中有奇数个1, 等于0则表示有偶数个1。

0x01	ang_Data_MSB	[7:0]: ang_Data[13:6]
0x02	ang_Data_LSB 角度值读出寄存器	[7:2]: ang_Data[5:0]
		[1]: mag variation 0: mag not variation 1: mag variation too big
		[0]: Parity check 1 0: $\{0x01[7:0], 0x02[7:1]\}$ have even number high bits 1: $\{0x01[7:0], 0x02[7:1]\}$ have odd number high bits

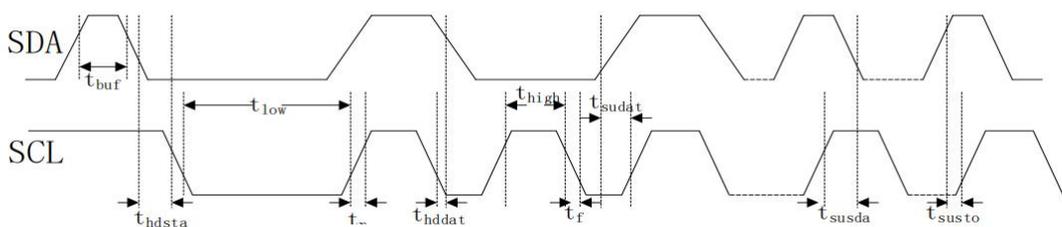
### 7.1 I2C原理图和协议和规范

芯片可以试用标准的I2C协议直接读出角度值，此时主机连接SD2313芯片的参考电路原理图如图



I2C接口参考电路图

其对I2C时序要求如下描述：



SACK	从机应答
MACK	主机应答
NACK	主机无应答
RW	读/写

时序规范						
$t_{iov}$	增量输出有效时间	-	-	-	10	us
$t_{dv}$	方向信号有效时间	-	-	-	10	us
I <sup>2</sup> C IO 特性						
$V_{IH}$	高电平输入电压	-	VDD-1	-	-	V
$V_{IL}$	低电平输入电压	-	-	-	0.8	V
$V_{OH}$	高电平输出电压	$I_{OH}=4.1mA$	VDD-1	-	-	V
$V_{OL}$	低电平输出电压	$I_{OL} = 3.3mA$	-	-	0.4	V
$I_{LK}$	输入漏电流	-	-	-	±1	μA
I <sup>2</sup> C 时序规范						
$F_{scl}$	SCL 时钟频率	-	-	100	400	kHz
$t_{low}$	SCL 低电平周期	-	1	-	-	μS
$t_{high}$	SCL 高电平周期	-	1	-	-	μS
$t_{sudat}$	SDA 建立时间	-	0.1	-	-	μS
$t_{hddat}$	SDA 保持时间	-	0	-	0.9	μS
$t_{hdsta}$	开始保持时间	-	0.6	-	-	μS
$t_{susta}$	开始建立时间	-	0.6	-	-	μS
$t_{susto}$	停止建立时间	-	0.6	-	-	μS
$t_{buf}$	新的传输时间	-	1.3	-	-	μS

**START:** 当SCL线是高电平时，SDA线从高电平向低电平切换，数据开始传输。

总线在起始条件后被认为处于忙的状态。

**STOP:** 当SCL是高电平时，SDA线由低电平向高电平切换，这是停止条件，数据传输停止。在停止条件的某段时间后，总线被认为再次处于空闲状态。

**ACK:** 数据传输必须带响应。在主机产生的响应时钟脉冲期间，发送器释放SDA线，而接收器必须将SDA线拉低，使其在时钟脉冲高电平期间保持稳定的低电平。

**NACK:** 如果在响应时钟周期的高电平期间，接收器没有将SDA线下拉至低电平，则发送器认为NACK。

### I<sup>2</sup>C写

I<sup>2</sup>C写序列从主机产生的起始条件开始，起始条件后是7位的从机地址0x06和1位的写入位(R/W=0)。从机发送应答位(ACK=0)，并释放总线。主机发送一个字节的寄存器地址位。从机再次发出应答，并等待写入指定寄存器地址的8位数据。在从机对数据字节做应答后，主机产生停止信号并终止写协议。

S T A R T	从机地址							R W	S A C K	寄存器地址(0x09)								S A C K	数据(0x01)								S A C K	S T O P
	0	0	0	0	1	1	0			0	0	0	0	0	1	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0		

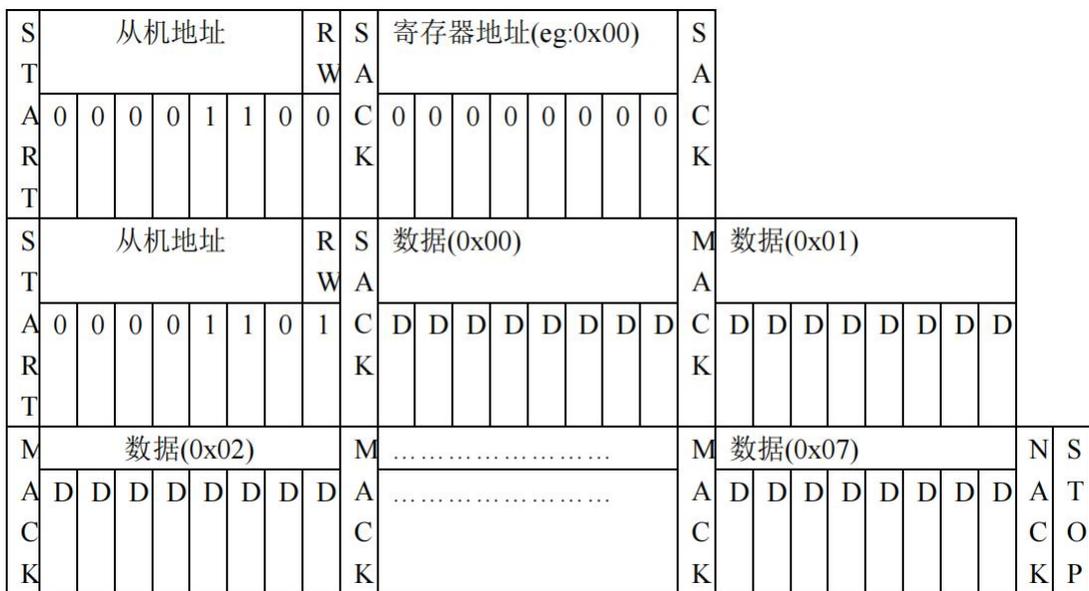
I<sup>2</sup>C读写位

## 7.2 I2C读

I2C读序列是由一个字节的I2C写入阶段和I2C读出阶段组成，在读写两个阶段之间必须产生起始条件。在I2C写入阶段对从机进行寻址，并发送要读取的寄存器地址。从机应答后，主机再次产生一个起始条件，并发送从机地址和读取位

(R/W=1)。然后主机释放总线，并等待从从机读取出的数据字节。在每个数据字节后，为了能进一步的传输数据，主机必须产生一个应答位(ACK=0)。主机发出NACK，将停止数据从从机读出。从机释放总线，然后主机产生停止条件，并且终止传输。

寄存器的地址自动递增，可以按顺序读出多个连续寄存器的值。一旦开始新的数据读取传输，当前I2C写命令将指定的寄存器地址设置为起始地址。

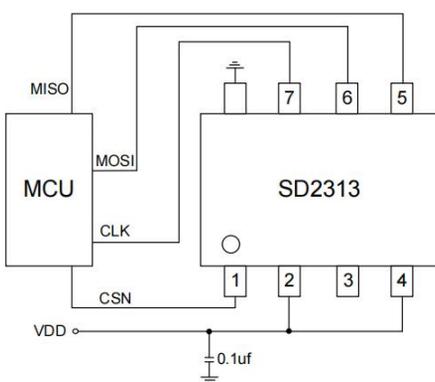


I2C连续读时候的读写位

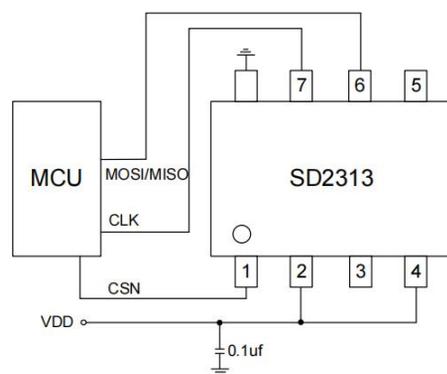
## 7.3 SPI原理图和协议

SD2313支持SPI或者SSI模式，默认状态配置为SPI模式。

内部寄存器位0x1F[x]控制了可以设置3线或者4线SPI模式，默认状态下为4线SPI模式，当0x1F[6]=1时，SPI为3线模式，两种工作模式的参考电路如图

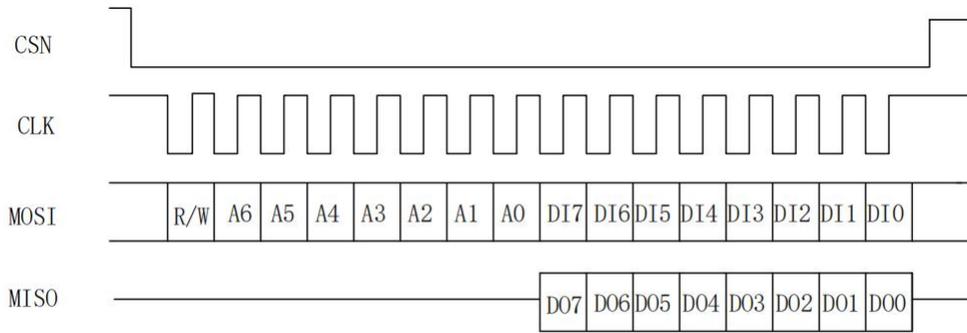


4线SPI参考电路图



3线SPI参考电路图

## 7.4 SPI的4 线工作协议



4 线 SPI 读写位

CSN 是串口输出使能信号，由master控制，空闲状态为高，当由高跳入低电平时，表示传输启动，由低转回高时，表示传输结束

CLK 也是外部master输入，空闲状态为高

MOSI串行输入数据口，由CLK的时钟下降沿发出数据

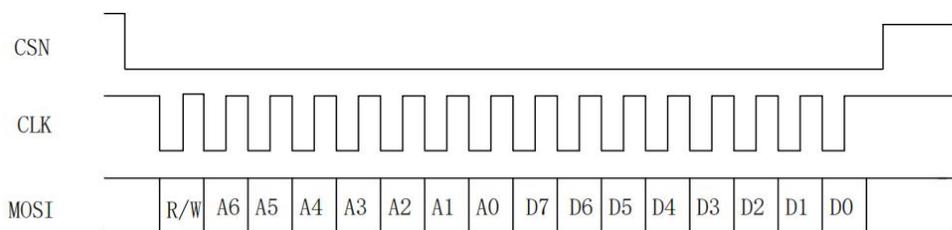
bit0 RW控制位，为0表示写操作，为1表示读数据值。

bit1-7 A6~A0是被操作的寄存器地址位。

bit8-15 数据位DI7~DI0为写入芯片的数据，数据位D07~D00为从芯片读出的数据，具体DI 或者D0有效，由bit0位控制。

## 7.5 SPI的3线工作协议

数据协议定义如下



3 线 SPI 读写位

CSN 是串口输出使能信号，由master控制，空闲状态为高，当由高跳入低电平时，表示传输启动，由低转回高时，表示传输结束

CLK 也是外部master输入，空闲状态为高

MOSI串行输入数据口，由CLK的时钟下降沿发出数据

bit0 RW控制位，为0表示数据D7~D0写入到芯片中. 为1表示data D7~D0是从芯片中读出的数据值。

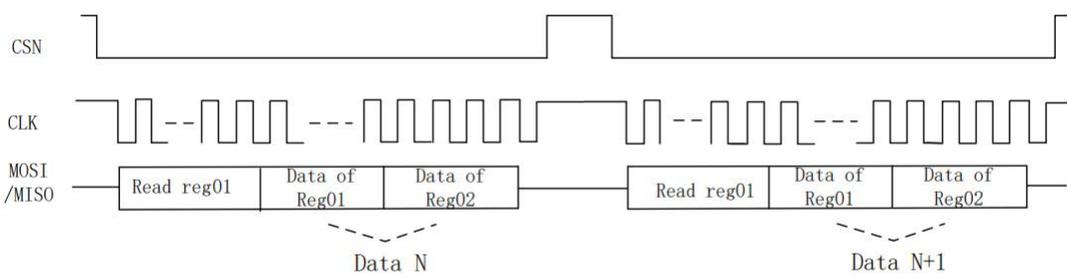
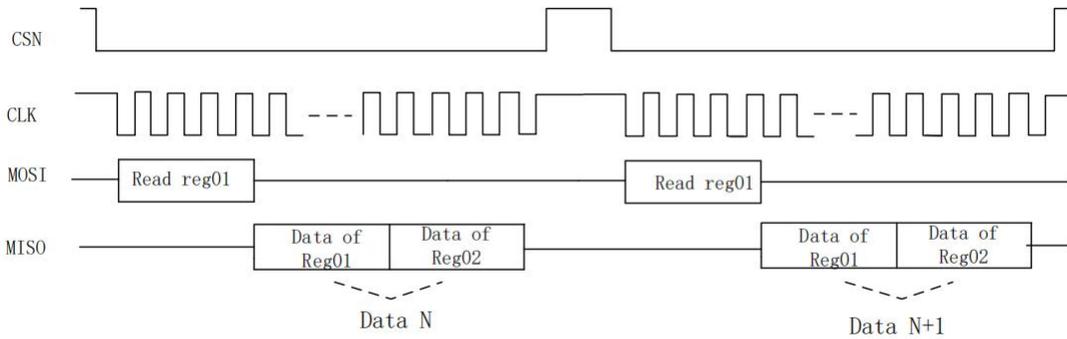
bit1-7 A6~A0是被操作的寄存器地址位。

bit8-15 数据位D7~D0为写入芯片或者从芯片读出的数据

## 7.6 SPI角度值的读写方式

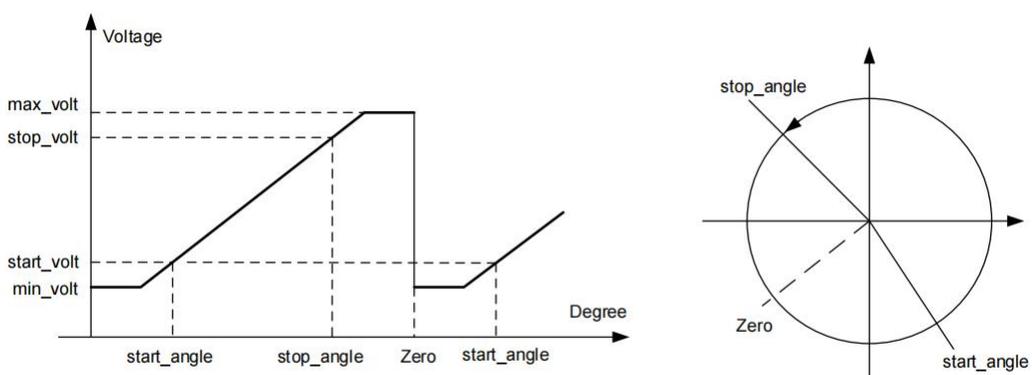
为了提高读取效率并进行读写保护，角度值在01, 02寄存器中必须一次性的读出，只需要在开始读取时刻发出一次读取01寄存器的指令即可，下图中Read reg01即为图12和13 中的MOSI的bit1~7=0x81，在02寄存器读完后拉高CSN结束这一次的读取

4线和3线SPI为例的角度值读出时序图。图Readreg01=0x81



## 8. 电压 (DAC) 输出模式

SD2313内部自带了12bits的DAC，可提供0-V<sub>dd</sub>的轨到轨电压输出，当寄存器0x1F<7>=1时，Pin3将不是默认的PWM输出，而是以电压形式输出角度值。



电压输出

如上图，可以寄存器（OTP）设置起始位置start\_angle和对应的电压start\_volt, 终止位置stop\_angle和对应的电压stop\_volt, Zero零位可以由用户编程设定的start\_angle和stop\_angle

位置自动设定在二者中间位置，如上图所示的Zero位置。

如上所述，零点位置根据设定的A\_start和A\_stop位置自动设定在二者中间位置，如上图所示的Zero位置。用户也可以定义DAC或者PWM的零位位置，这是通过2A, 2B和2C, 2D 定义的，比如当需要零点位置设置在N时候，则需要配置{2B<3:0>, 2A}等于start\_ang=N+1，配置{2D<3:0>, 2C}为stop\_ang=N-1。

上述位置和对电压对应的寄存器表如下表，其中角度值1LSB=360° /4096，0为0°，FFF表示359.912，电压1LSB=VDD/4096, 0为0V，FFF表示VDD.

地址	寄存器名	位定义	
0x23	min_volt_Lsb	min_volt<7:0>	
0x24	max_volt_Lsb	max_volt<7:0>	
0x25	min&max_volt_Msb	max_volt<11:8>	min_volt<3:0>
0x2A	start_ang_Lsb	start_angle<7:0>	
0x2B	start_ang_Msb		start_angle<11:8>
0x2C	stop_Ang_Lsb	stop_angle<7:0>	
0x2D	stop_Ang_Msb		stop_angle<11:8>
0x2E	start_volt_Lsb	start_volt<7:0>	
0x2F	stop_volt_Lsb	stop_volt<7:0>	
0x30	start&stop_volt_Msb	stop_volt<11:8>	start_volt<11:8>

零点位置和起始点位置电压寄存器设置

例1，配置当角度从0到120度旋转时候，电压从0线性增加到VDD, 首先配置起始和终止的角度位置寄存器，角度0即为初始默认值：0x2A=0, 0x2B=0, 终止位120° 角度值12bits 为{0x2D<3:0>, 0x2C<7:0>}，0x2C=56h, 0x2C=05h, 电压值不配置代表Start\_Voltage为0V, Stop\_Voltage为VDD。

例2，配置零点位置为120度，也就是零点位置等于0x555h，则需要把start=zero+1, stop=zero-1, 则0x2A=56h, 0x2B=05h, 0x2C=54h, 0x2D=05h。

具体编程方法详见OTP地址分配和编程方法。

## 9. OTP地址分配和编程方法

OTP尺寸是2K，共8页，每页32字节，页数配置从page0~page7，其中page0是系统配置，包括工作模式，Page1~3厂家使用不对用户开放，Page4, 5, 6, 7 用于零点位置，分辨率等。

Page4~page7多页设置用于用户多次编程，每页用完后如果需要更新编程值，需要进行换页，所以在每次编程前，用户需要读取页码值（寄存器0x11），判断当前页码值后，重新写入另外页码值，需要注意的是写入顺序是4~7，从小到大的顺序。寄存器0x11页码值和页码对应关系如下：

page4: 0x11=0001 0000b

page5: 0x11=001x0000b

page6: 0x11=01xx0000b

page7: 0x11=1xxx0000b

当寄存器值为pageN(N=4, 5, 6, 7)，需要换页就写入寄存器0x11的值为pageN+1后进行

编程。

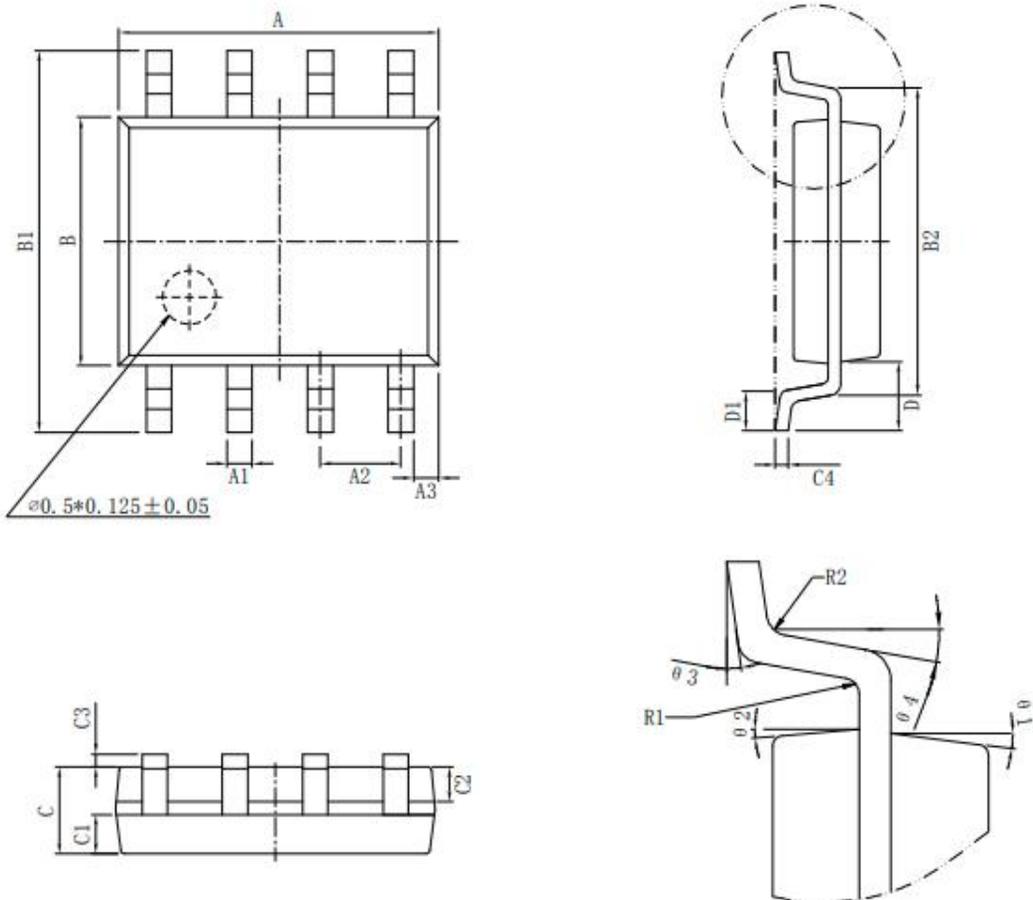
完成所需的寄存器OTP编程后，如果OTP所在页码在page4~7,还需要对页码值编程，这个页码值在page0。

OTP烧写操作的命令在寄存器0x10，如表12所示，page0的OTP烧写指令是set 0x10=0x12，page4~7的烧写指令是set 0x10=0x02。

Addr	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
0X10				PROG_page_addr		OTP_Rdy	OTP_Prog	
0X11	Page_ADDR<7:0>							
0X20	OTP_UNLOCK							

OTP 编程寄存器

## 10. 封装尺寸



标注	尺寸	最小(mm)	最大(mm)	标注	尺寸	最小(mm)	最大(mm)
A		4.80	5.00	C3		0.05	0.20
A1		0.356	0.456	C4		0.203	0.233
A2		1.27TYP		D		1.05TYP	
A3		0.345TYP		D1		0.40	0.80
B		3.80	4.00	R1		0.20TYP	
B1		5.80	6.20	R2		0.20TYP	
B2		5.00TYP		$\theta 1$		17° TYP4	
C		1.30	1.60	$\theta 2$		13° TYP4	
C1		0.55	0.65	$\theta 3$		0° ~ 8°	
C2		0.55	0.65	$\theta 4$		4° ~ 12°	