

1.基本描述

SD2315 是用于整圈 360° 精确角度测量的角度编码器，通过内置 AMR 磁阻传感器和信号处理芯片，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，也可以通过分辨率可编程的脉冲宽度调制（PWM）输出。也支持电机应用端 ABZ 或者 UVW 信号的输出。模拟量可以通过 DAC 口输出随角度变化的电压信号。

2. 主要特征

- 1, 14bits 绝对位置角度测量，最高支持转速 120000RPM。
- 2, 支持角度位置的 I2C/SPI/PWM 数字形式输出和模拟电压输出,以及 ABZ 和 UVW 信号输出
- 3, 支持二进制或十进制 ABZ 波形数输出，输出数量可编程 0~2048，即最大值为 2048 个 A/B 方波，分辨率达 8192LSB
- 4, 支持用户零点位置和模拟输出的起始和终点位置编程
- 5, 模拟输出的断点自动设置
- 6, 3.3V 或者 5V 电压输入
- 7, SOP8 封装

3. 引脚配置

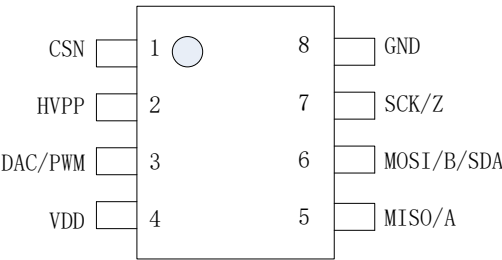


图 1 SOP8 封装的引脚配置

1	CSN	Digital input	I2c:high SPI: Csn signal input, default value=high
2	HVPP	Digital input	Used for Pin 5,6,7: Set to logic low in ABZ output mode 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/A	Digital output	Incremental Signal A or SPI MISO

6	MOSI/SDA/B	Digital output/Input	Incremental Signal B or SPI MOSI or I2C Data
7	SCK/Z	Digital Input	Incremental Signal Z or SPI clock or I2C Clock
8	GND	GND	GND

表 1 Pin 脚列表

其中 pin5,6,7 可以配置成 ABZ 或者 UVW 的输出模式，也可以配置成 I2C 通讯接口或者 SPI 的绝对角度位置输出，配置方式如表 2。

Pin	register	pin function				
HVPP		GND		VDD		
	05<1:0>	00	10			
CSN				VDD(I2C)	Csn of SPI	
	1F<6>				0(4 wire)	1(3 wire)
5		A	V		MISO	
6		B	U	SDA	MOSI	MOSI/MISO
7		Z	W	SCL	CLK	CLK

表 2 功能脚配置方案列表

4.功能框图

图 2 展示了芯片的简化框图，包括 AMR 磁阻传感器电桥，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。

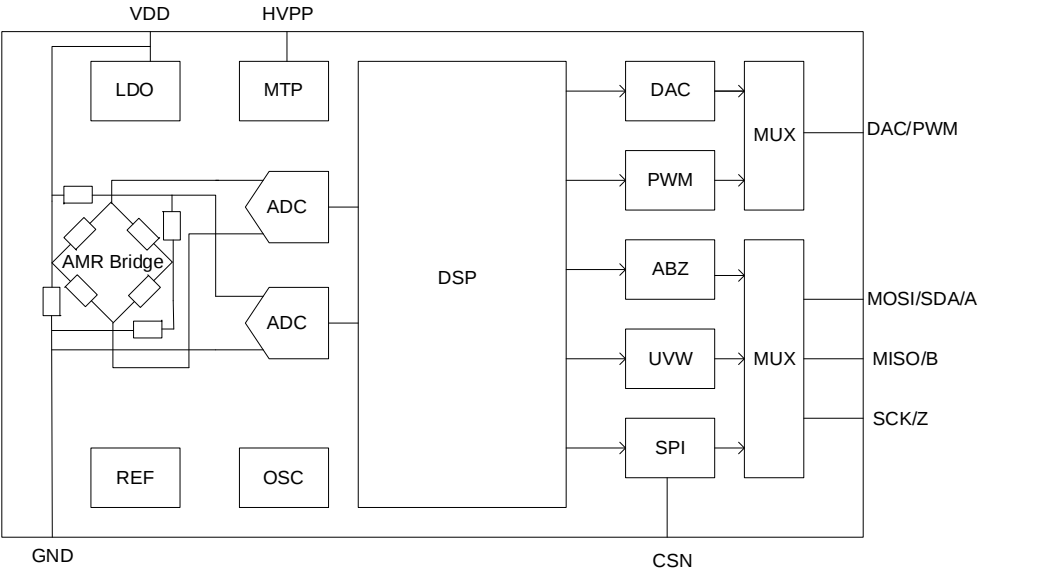


图 2：简化系统框图

5.正交 A/B 输出模式和步进索引 SDI 输出信号

当管脚 HVPP 接低到地时候，芯片工作在 ABZ（模式寄存器 0x05[1:0]=00）或者 SDI（寄存器 0x05[1:0]=01）输出模式，如图 3 所示，A、B 信道间的相移表明了磁铁的旋转方向。当磁铁顺时针旋转时，输出 A 领先输出 B 四分之一周期；当磁铁逆时针旋转，输出 B 领先 A 四分之一周期。Z 信号 Index 信号表示磁铁零点的位置，可编程配置占 1 LSB 或者多个 LSB 的脉冲宽度，该位置可通过编程来与机械零点对齐。

输出信号 LSB 反映了可编程增量分辨率的最低有效位，输出信号 Dir 提供了磁铁旋转方向的信息。每次 LSB 变化，更新 Dir。

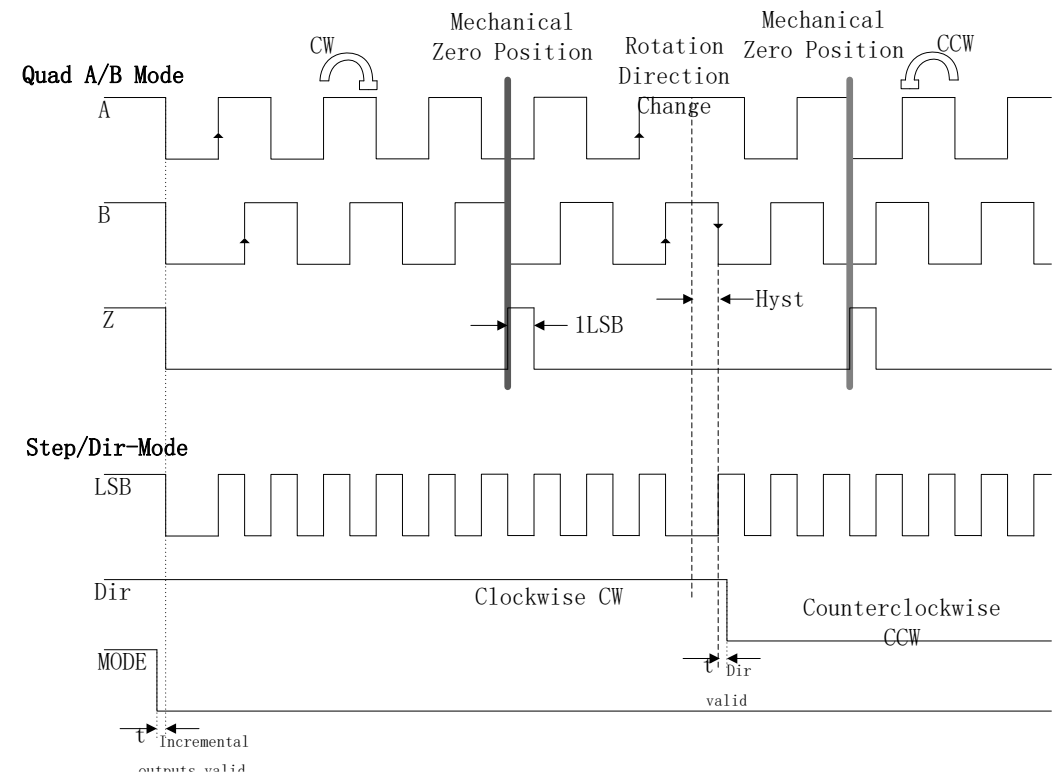


图 3 增量输出模式

输出的精度可以通过寄存器 0x31 和 0x32 配置成不同精度,分辨率范围是 0~8192,可进行任意线的编程，默认 0 状态下分辨率 12 位，即 1024 线。如表 3：

0x31	resolution[11:0]	0: resolution 2^{12}
		1: resolution 1×4
		2: resolution 2×4
		3: resolution 3×4
		...
		$2^{12}-1$: resolution $(2^{11}-1) \times 4$
0x32<3:0>		2^{12} : resolution $2^{11} \times 4$

表 3 分辨率的寄存器设置

当方向超反方向转动时，有一个迟滞延时 hyst 如图 3，迟滞的存在可以改善静止状态下

ABZ 输出的抖动，寄存器 0x0A[5:3]的配置来取消或者改变这个迟滞的大小，如表 4:

0x0A[5:3]	000	1.4°
	001	0.7°
	010	0.35°
	011	0.176°
	110	0.5LSB
	111	0

表 4 迟滞的寄存器设置

ABZ 输出模式的零点设置方法，零点设置寄存器有寄存器 0x26,0x27 个寄存器设置，支持 12 位的零点编程，zero= {0x27<3:0>,0x26}，如下表 5 所示，OTP 的具体编程方法见第 9 节 OTP 设置。

0x26	zero_LSB	[7:0]: zero_data[7:0]
0x27	zero_MSB	others
		[3:0]: zero_data[11:8]

表 5 ABZ 和 UVW 输出的零点寄存器设置

Z 信号标志了零点的位置，信号的宽度可以由寄存器 0x04<1:0>编程，默认状态是 1LSB，如表 6:

0x04[1:0]	00	1 LSB
	01	2 LSB
	10	3 LSB

表 6 Z 信号脉冲宽度

6.UVW 输出

当 HVPP 接低到地时候,并且模式寄存器 0x05[1:0]=10h 时候,Pin5,6,7 被配置成 UVW 输出模式，U,V,W 各有 120° 的相位差，时序如图 4，其中旋转方向可以由寄存器 0x1e<7> 位控制，默认状态下为顺时针模式，设为高时为逆时针模式。

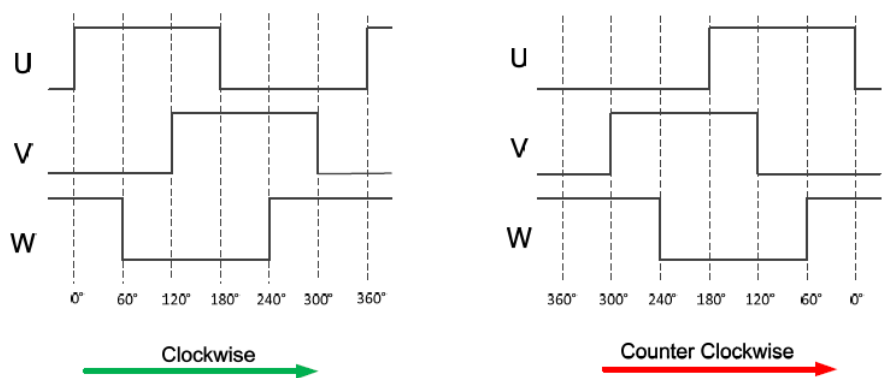


图 4 UVW 的输出相位

输出的 UVW 波形数有寄存器 0x05<7:4>配置：

0x05<7:4>	poles
0000	1
0001	2
0010	3
0011	4
0100	5
0101	6
0110	7
0111	8
1100	10
1101	12
1110	14
1111	16

表 7 UVW 对极数的寄存器配置

7.PWM 输出：

默认设置时 pin3 配置成 PWM 输出，输出的频率由系统时钟频率和分辨率决定，PWM 输出的分辨率由寄存器 0x00 控制，但 0x00 读取为固定值 0x25。

0x00[1:0]	Res	00: 10bits
		01: 9bits
		10: 11bits
		11: 12bits

表 8 PWM 精度寄存器设置

当频率设定后， $F_{pwm} = F_{sys} / 2^{res}$

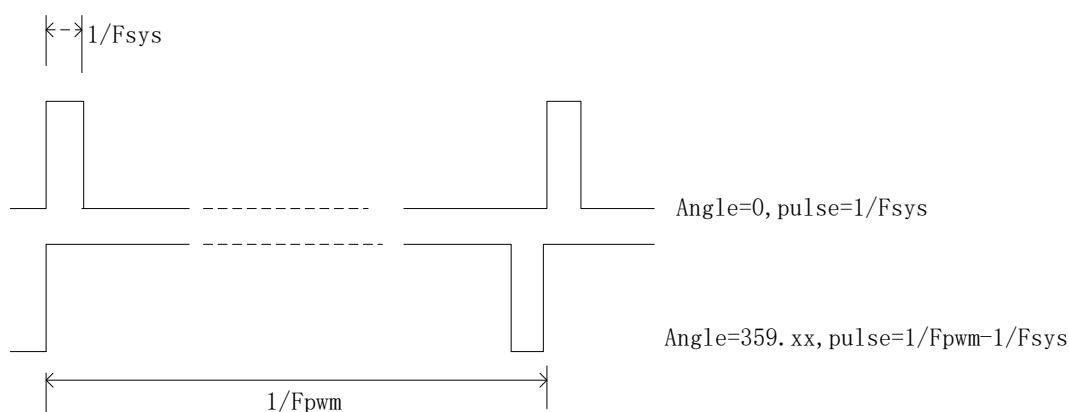


图 5 PWM 输出格式

PWM 输出的起始点可通过寄存器 0x2a,0x2b,0x2c,0x2d 设定,方法同 DAC 的输出的设置,可以详细见第 9 节。

8.I²C 或者 SPI 操作

SD2315 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 $angle[13:0]=\{0x01,0x02<7:2>\}$

0x02[1]: 错误提示位,等于 1 标志磁场强度过小数据无效。

0x02[0]: 奇偶校验位,检测 15 位数据 $\{0x01,0x02<7:1>\}$ 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	[7:2]: ang_Data[5:0]
		[1]:mag_not_det 0: mag detected 1: mag not detected
		[0]: Parity check1 0: $\{0x01[7:0],0x02[7:1]\}$ have even number high bits 1: $\{0x01[7:0],0x02[7:1]\}$ have odd numver high bits

表 9 角度值读出寄存器

8.1 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 SD2315 芯片的参考电路原理图如图 6:

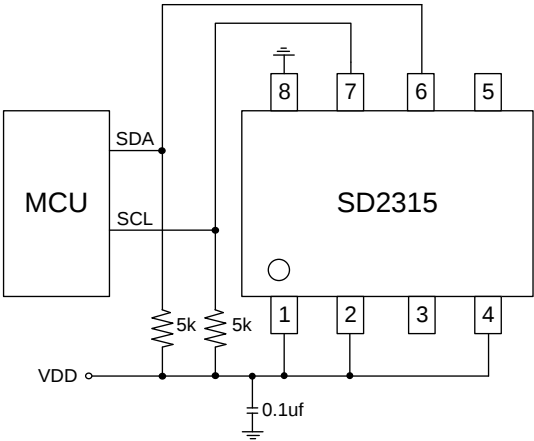


图 6: I2C 接口参考电路图

其对 I2C 时序要求如下描述:

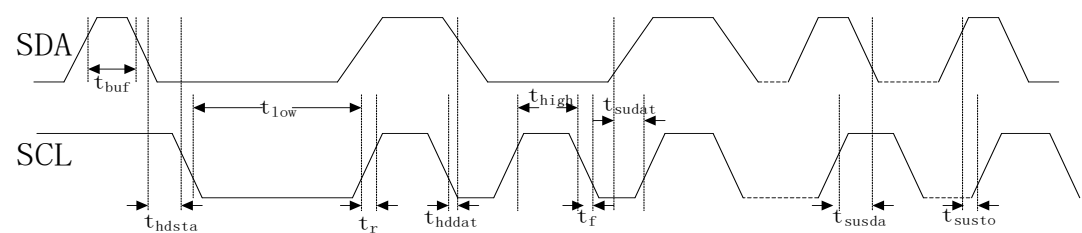


图 7: I²C 时序

缩写

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 ² 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 ² 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

表 10 i2c 时序规范

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。

I²C 写

I²C 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	1		0	0	0	0	0	0	1			

图 8 i2c 读写位

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。

S T A R T	从机地址							R W C K	S A C K	寄存器地址(eg:0x00)							S A C K								
	0	0	0	0	1	1	0			0	0	0	0	0	0	0									
S T A R T	从机地址							R W C K	S A C K	数据(0x00)							M A C K	数据(0x01)							
	0	0	0	0	1	1	0			1	D	D	D	D	D	D		D	D	D	D	D	D		
M A C K	数据(0x02)							M A C K	S A C K								M A C K	数据(0x07)							N S C O P
	D	D	D	D	D	D	D			D									D	D	D	D	D	D	

图 9 i2c 连续读时候的读写位

8.2 SPI 原理图和协议

内部寄存器位 0x1F[6]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 10 和图 11。

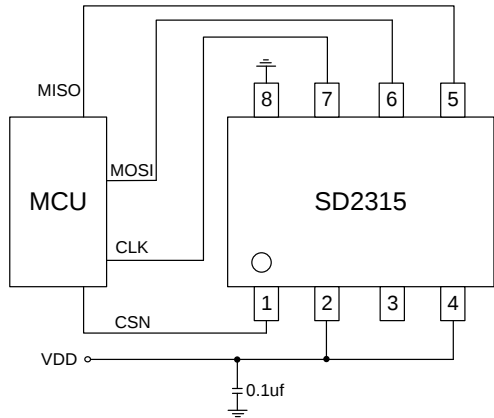


图 10 4 线 SPI 参考电路图

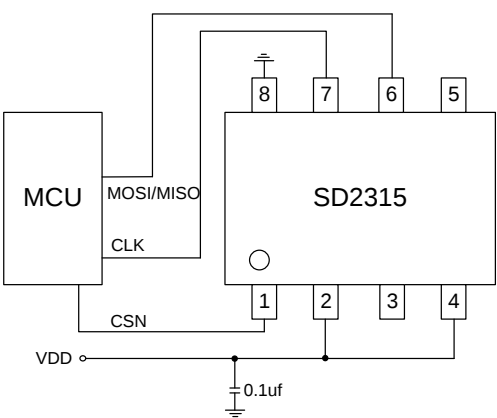


图 11 3 线 SPI 参考电路图

8.2.1 SPI 的 4 线工作协议

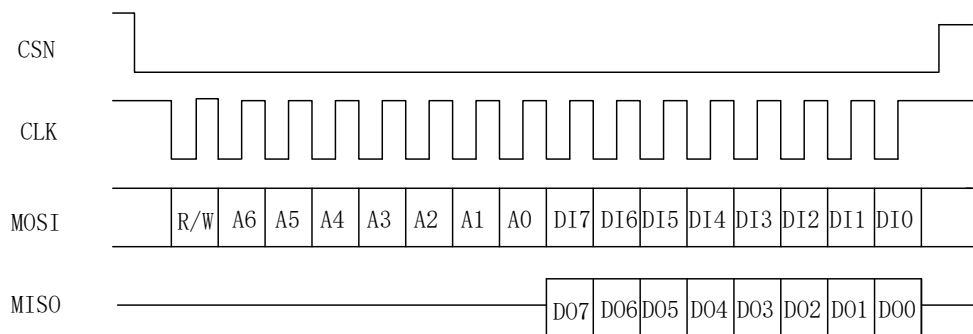


图 12 4 线 SPI 读写位

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DO7~DO0为从芯片读出的数据，具体DI或者DO有效，由bit0位控制。

8.2.2 SPI 的 3 线工作协议

数据协议定义如下：

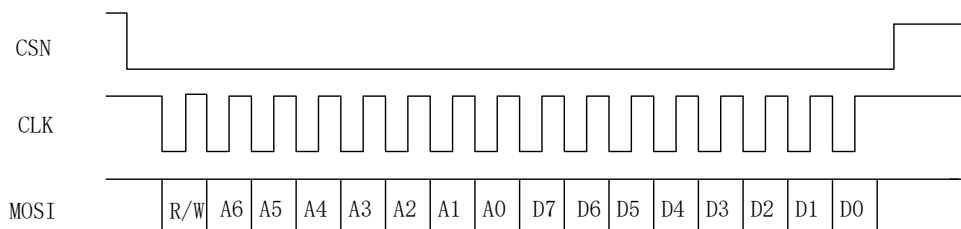


图 13 3 线 SPI 读写位

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.

bit 8-15 数据位D7~D0为写入芯片或者从芯片读出的数据

8.2.3 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。

图 14 和图 15 是以 4 线和 3 线 SPI 为例的角度值读出时序图。图中 Read reg01=0x81

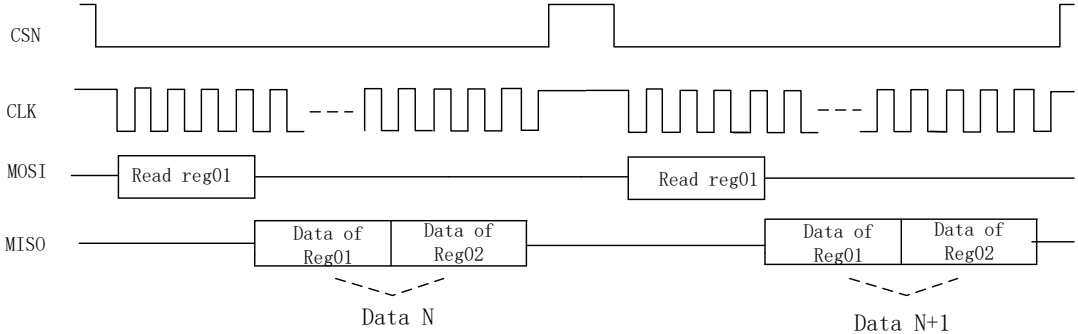


图 14 4 线 SPI 读角度位置寄存器

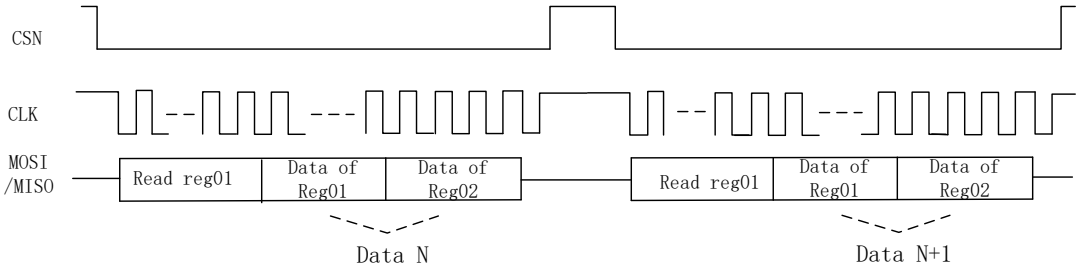


图 15 3 线 SPI 读角度位置寄存器

9.电压输出模式

SD2315 内部自带了 12bits 的 DAC，可提供 0-Vdd 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。

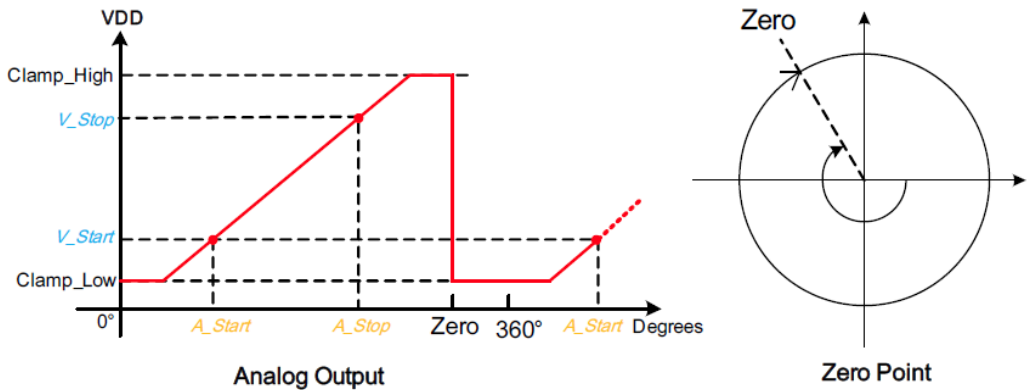


图 16 电压输出配置

如上图，可以寄存器(OTP)设置起始位置 A_start 和对应的电压 V_Start,终止位置 A_Stop 和对应的电压 V_Stop，Zero 零位可以由用户编程设定的 A_start 和 A_stop 位置自动设定在

二者 180° 对称的中间位置，如上图所示的 Zero 位置。

如上所述，DAC 或者 PWM 的零位位置也是由 2A，2B 和 2C，2D 决定的，零点位置根据设定的 A_start 和 A_stop 位置自动设定在二者 180° 对称的中间位置，如上图所示的 Zero 位置，称之为断点或者零点。如果没有起始位置要求，当需要零点位置设置在 N 时候，则需要配置 start_ang=N+1, stop_ang=N-1。

上述位置 and 对应电压对应的寄存器表如下表 11，其中角度值 0 为 0°，FFF 表示 359.912，电压 0 为 0V,FFF 表示为 VDD。

地址	寄存器名	位定义	
0x2A	start_ang_Lsb	start_angle_Lsb<7:0>	
0x2B	start_ang_Msb		start_angle_Msb<3:0>
0x2C	stop_Ang_Lsb	start_Angle_Lsb<7:0>	
0x2D	stop_Ang_Msb		start_angle_Msb<3:0>
0x2E	start_Volt_Lsb	start_Volt_Lsb<7:0>	
0x2F	stop_Volt_Lsb	stop_Volt_Lsb<7:0>	
0x30	start&stop_volt_Msb	stop_Volt_Msb<3:0>	start_Volt_Msb<3:0>

表 11 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° 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=55h,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°，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。

具体编程方法详见第 10 节描述。

10.OTP 地址分配和编程方法

OTP 尺寸是 2M，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，Z 脉冲宽度，UVW 级数等系统配置，Page1~3 厂家使用不对用户开放，Page4,5,6,7 用于零点位置，ABZ 输出分辨率等。

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=001x 0000b

page6: 0x11=01xx 0000b

page7: 0x11=1xxx 0000b

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							

表 12 OTP 编程寄存器

11. 电气特性

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

表 13 电压特性

运行条件：Ta = -40 to +150°C，VDD = 3.0-5.5V，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
Idd	供电电流	-	3	5	9	mA
Voq	输出静态电压	Ta=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
Vnoi	DAC 输出噪声	RMS noise	-	0.022	-	%VDD
T _{PwrUp}	上电时间	-	-	-	50	us
T _{delay}	传播延迟	-	0	75	100	us
时序规范						
t _{iov}	增量输出有效时间	-	-	-	3	us
t _{dv}	方向信号有效时间	-	-	-	3	us
I ² 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
----------	-------	---	---	---	---------	---------

表 14 电气特性

9，磁场输入规范

工作条件: 温度 -40 to +150°C, VDD= 3.3-5.5V, 柱体形的双极径向充磁磁场。

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	1.5	2.0	mm	Magnet to IC surface distance .
最大转速	RS			100	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		% / °C	NdFeB (Neodymium Iron Boron)
	TCmag2		-0.035			SmCo (Samarium Cobalt)

表 15 磁场输入规范

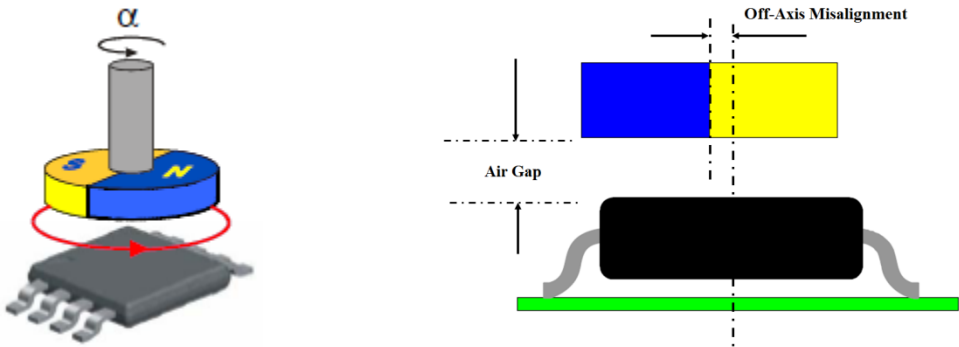
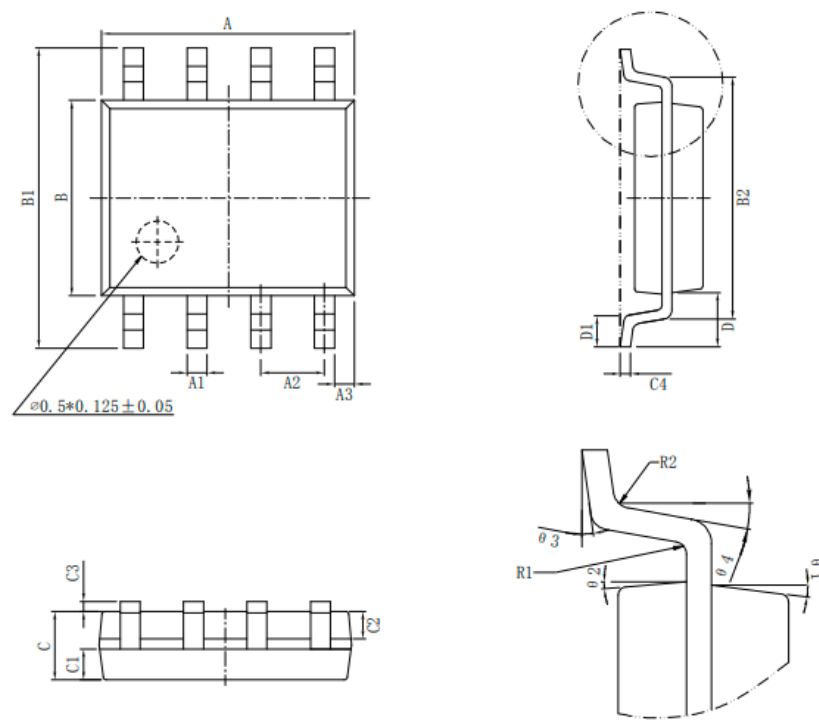


图 17: 磁铁安装示意

8.芯片封装尺寸



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°	

图 18 封装尺寸