

# SD3012基于霍尔原理的高性价比磁编码器芯片

## 1.基本描述

SD3012 是用于整圈 360° 精确角度测量的角度编码器，通过内置霍尔传感器和信号处理芯片，检测旋转磁场并对霍尔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) 14 位绝对值角度测量和 12 位的增量式编码输出，最高支持转速 6000RPM
- 2) 角度绝对值支持 i2c/SPI 数字形式输出
- 3) 增量式 ABZ 输出，输出波形数量可任意数编程 0~1024
- 4) SSI 直接输出角度，并支持多芯片菊链串联模式
- 5) 模拟电压或者 PWM 输出的起始和终点位置以及电压输出可编程
- 6) 3.3V 或者 5V 电源电压输入
- 7) SOP8 封装

## 3.引脚配置

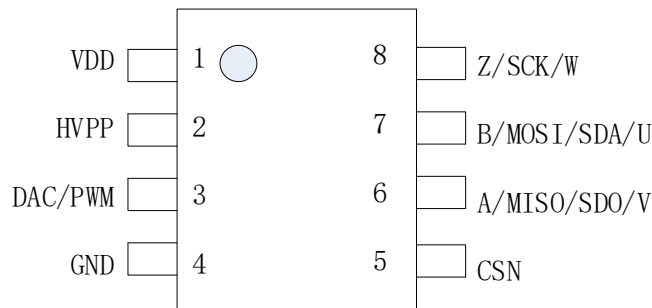


图 1 SOP8 封装的引脚配置

| Pin | Function | Input/Output   | Notes  |
|-----|----------|----------------|--|
| 1   | VDD      | Analog input   | 5V or 3.3V   |
| 2   | HVPP     | Digital input  | Used for Pin 6,7,8:<br>Set to logic low in ABZ output mode<br>Set to logic high in I2C or SSI mode |
| 3   | DAC/PWM  | Analog/Digital | DAC Analog output or PWM   |
| 4   | GND      | GND            | GND  |
| 5   | CSN      | Digital Input  | Csn for SPI (tie high when I2C used)   |
| 6   | MISO/A   | Digital output | Incremental Signal A   |

|   |            |                      |  |
|---|------------|----------------------|--|
|   |            |                      | or V of UVW<br>or MISO of SPI<br>or SDO of SSI                         |
| 7 | MOSI/SDA/B | Digital output/Input | Incremental Signal B<br>or U of UVW<br>or MOSI of SPI<br>or SDA of I2C |
| 8 | SCK/Z      | Digital Input        | Incremental Signal Z<br>or W of UVW<br>or SSI /SPI/I2C Clock           |

表 1 Pin 脚列表

其中 pin6,7,8 可以配置成 ABZ 或者 UVW 的输出模式，也可以配置成 I2C/SPI 通讯接口或者 SSI 的绝对角度位置输出，配置方式如表 2。

| Pin num | Register config | pin function |    |           |                       |       |
|---------|-----------------|--------------|----|-----------|-----------------------|-------|
| 2       |                 | GND          |    | VDD       |                       |       |
|         | 05<1:0>         | 00           | 10 |           |                       |       |
| 5       |                 |              |    | High: I2C | High->Low :SPI or SSI |       |
|         | 08<1>           |              |    |           | 0:SPI                 | 1:SSI |
| 6       |                 | A            | V  |           | MISO                  | SDO   |
| 7       |                 | B            | U  | SDA       | MOSI                  |       |
| 8       |                 | Z            | W  | SCK       | CLK                   | CLK   |

表 2 Pin6,7,8 的功能配置方式

#### 4.功能框图

图 2 展示了芯片的简化框图，包括霍尔传感器电桥，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。

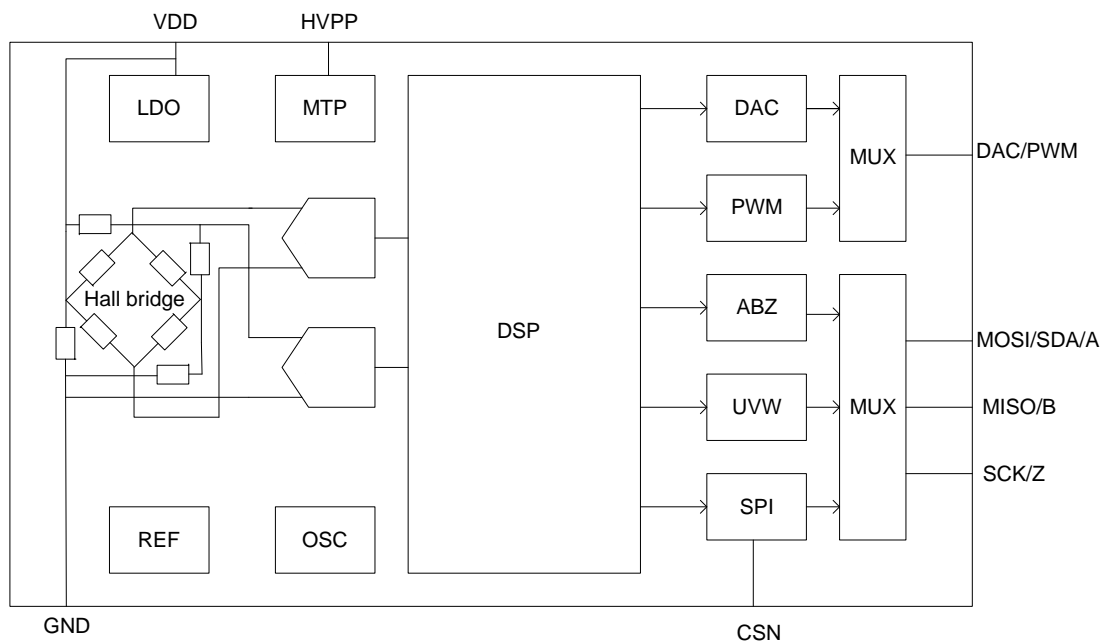


图 2: 简化系统框图

## 5. 命名规则

| 型号                            | 描述   |
|-------------------------------|--|
| SD3012                        | 基础型号默认 IIC SPI 输出 AB=0/1024 脉冲/圈, 逆时针旋转角度增加; |
| SD3012-D-360                  | AB=360 脉冲/圈, 模拟量输出 0-360 度, 逆时针旋转角度增加;       |
| SD3012-1000                   | AB=1000 脉冲/圈, 默认 PWM 输出, 逆时针旋转角度增加;          |
| SD3012-P-1024                 | AB=1024 脉冲/圈, PWM 输出 0-360 度, 逆时针旋转角度增加;     |
| SD3012-D-90度                  | 模拟量输出 0 到 90 度, 逆时针旋转角度增加;                   |
| 备注: 其他输出形式也可提供出厂预编程, 3000 颗/盘 |  |

## 6. 正交 A/B 输出模式和步进索引 SDI 输出信号

当 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 四分之一一个周期; 当磁铁逆时针旋转, 输出 B 领先 A 四分之一一个周期。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。

其中旋转的正反方向可以由寄存器 0x1e<7> 位定义, 默认状态下为顺时针模式, 设为高时为逆时针模式。

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。

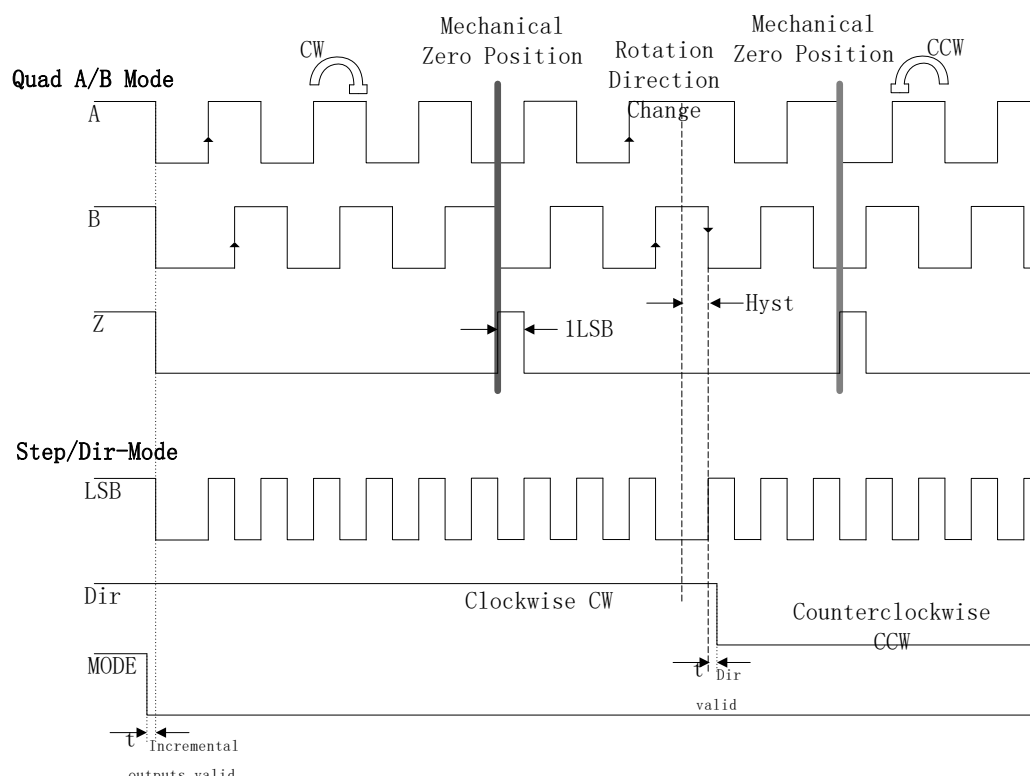


图3 增量输出模式

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 0~4096,可进行任意线的编程,默认状态下分辨率 12 位,即 1024 线。如下表:

|           |                  |  |
|-----------|------------------|--|
| 0x31      | resolution[11:0] | 0: resolution $2^{12}$                 |
|           |                  | 1: resolution 1x4                      |
|           |                  | 2: resolution 2x4                      |
|           |                  | 3: resolution 3x4                      |
|           |                  | ...                                    |
|           |                  | $2^{10}-1$ : resolution $(2^{10}-1)x4$ |
| 0x32<2:0> |                  | $2^{10}$ : resolution $2^{10}x4$       |

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。如下表 4:

|           |     |        |
|-----------|-----|--------|
| 0x0A[5:3] | 000 | 1.4°   |
|           | 001 | 0.7°   |
|           | 010 | 0.35°  |
|           | 011 | 0.175° |
|           | 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

|           |    |       |
|-----------|----|-------|
| 0x04[1:0] | 00 | 1 LSB |
|           | 01 | 2 LSB |
|           | 10 | 4 LSB |

表 6 Z 信号脉冲宽度

### 7.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 (表 2), 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。

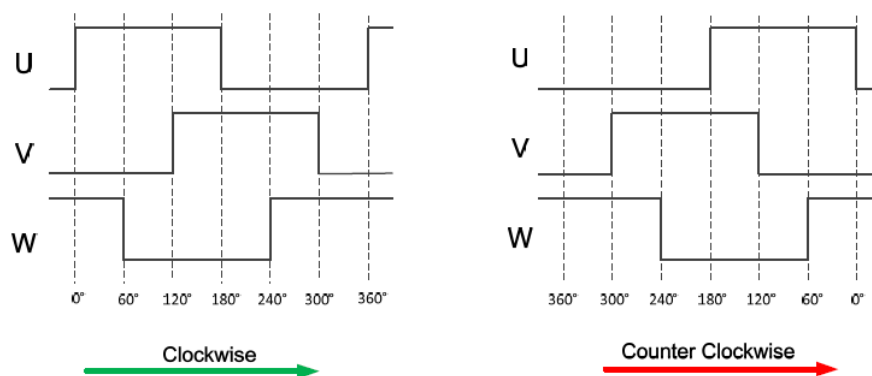


图 4 UVW 的输出相位

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

## 8. 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:

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

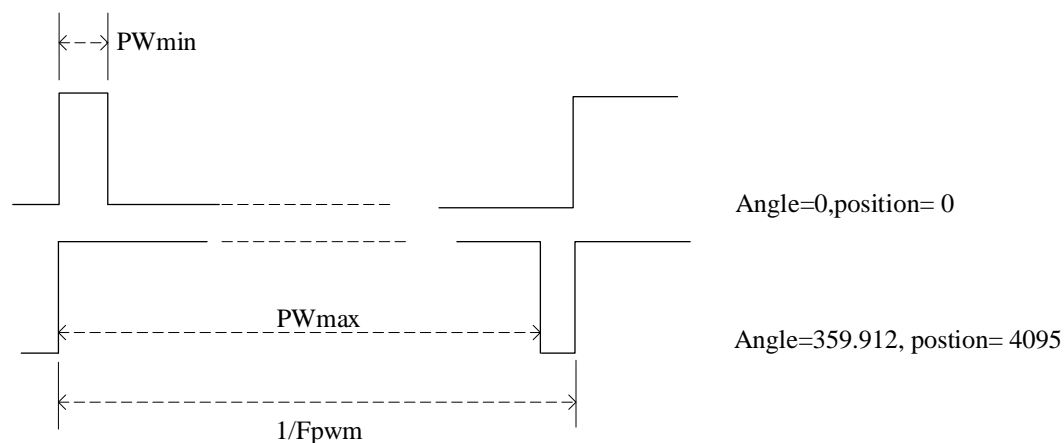


图 5: PWM 输出信号

其中的参数如下表:

| Parameter       | Symbol     | default                    | Units | OTP setting methods                                      |
|-----------------|------------|----------------------------|-------|--|
| PWM frequency   | $F_{pwm}$  | 1.14                       | Khz   | 0x1F[3]: 0 - 1.15Khz<br>0x1F[3]: 1 - 2.3Khz              |
| Min pulse width | $PW_{min}$ | 0.22                       | us    | can be configured to 1us by OTP                          |
| Max pulse width | $Pw_{max}$ | $\frac{1}{F_{pwm}} - 0.22$ | us    | Can be configured to $(\frac{1}{F_{pwm}} - 1)$ us by OTP |

表 8 PWM 的各项参数

### 9.I<sup>2</sup>C 或者 SPI 接口

SD3012 为主机提供了 I<sup>2</sup>C 和 SPI 或者 SSI 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的绝对角度值。需要把 HVVP 接高到 VDD 时候芯片工作在 I2C 或者 SPI/SSI 模式。

主机通过的内部寄存器直接读取角度信息, 寄存器如下表。通过 SPI/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]: 等于 1 标志磁场跳动较大, 用于磁场变化监测

0x02[0]: 奇偶校验位, 检测 15 位数据  $\{0x01, 0x02<7:1>\}$  的奇偶校验

|      |              |   |
|------|--------------|---|
| 0x01 | ang_Data_MSB | [7:0]: ang_Data[13:6]   |
| 0x02 | ang_Data_LSB | [7:2]: ang_Data[5:0]  |
|      |              | [1]: 1: 磁场异常:<br>磁场过小或者发生跳动<br>0: 磁场正常  |
|      |              | [0]: Parity check1<br>0: {0x01[7:0],0x02[7:1]} have even<br>number high bits<br>1: {0x01[7:0],0x02[7:1]} have odd<br>numver high bits |

表 9 角度值读出寄存器

### 9.1 I2C 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 SD3012 芯片的参考电路原理图如图 6:

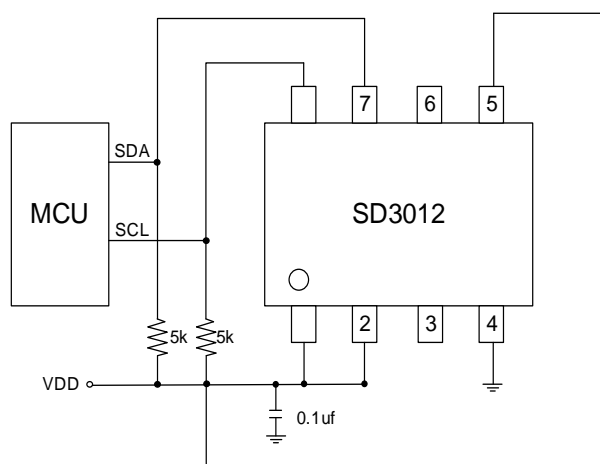
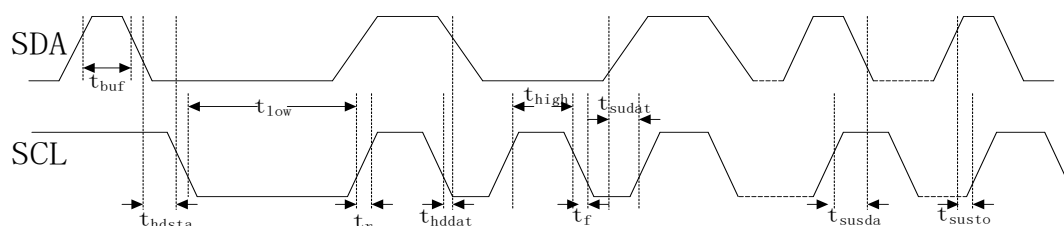


图 6: I2C 接口参考电路图

本节详细解释了 I<sup>2</sup>C 的读、写协议。

图 7: I<sup>2</sup>C 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 <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     | -              | -     | -   | $\pm 1$ | $\mu A$ |
| 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     | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{high}$             | SCL 高电平周期 | -              | 1     | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{sudat}$            | SDA 建立时间  | -              | 0.1   | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{hddat}$            | SDA 保持时间  | -              | 0     | -   | 0.9     | $\mu S$ |
| $t_{hdsta}$            | 开始保持时间    | -              | 0.6   | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{susta}$            | 开始建立时间    | -              | 0.6   | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{susto}$            | 停止建立时间    | -              | 0.6   | -   | -       | $\mu S$ |
| $t_{buf}$              | 新的传输时间    | -              | 1.3   | -   | -       | $\mu S$ |

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。

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

图 8 i2c 读写位

### I<sup>2</sup>C 读

I<sup>2</sup>C 读序列是由一个字节的 I<sup>2</sup>C 写入阶段和 I<sup>2</sup>C 读出阶段组成, 在读写两个阶段之间必须产生起始条件。在 I<sup>2</sup>C 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 I<sup>2</sup>C 写命令将指定的寄存器地址设置为起始地址。

|                       |      |   |   |   |   |   |   |        |                  |                    |   |   |   |   |   |   |   |                  |
|-----------------------|------|---|---|---|---|---|---|--------|------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------------|
| S<br>T<br>A<br>R<br>T | 从机地址 |   |   |   |   |   |   | R<br>W | S<br>A<br>C<br>K | 寄存器地址<br>(eg:0x00) |   |   |   |   |   |   |   | S<br>A<br>C<br>K |
|                       | 0    | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |        |                  | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |                  |



### 9.2.1 SPI 3 wire mode

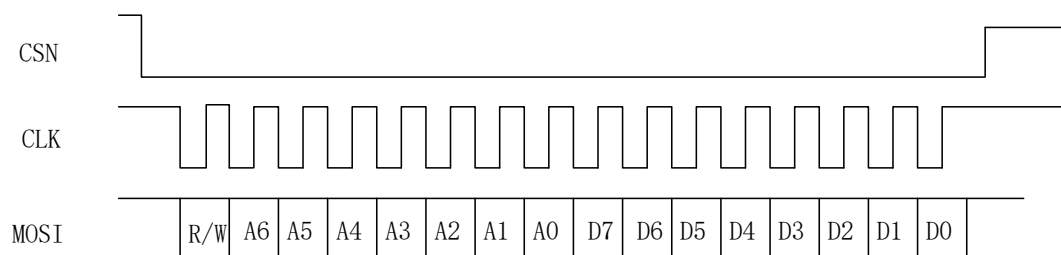


图 12 3 线 SPI 读写位

**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

**bit 0** RW控制位，为0表示数据D7~D0写入到芯片中，为1表示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

### 9.2.2 SPI 4 line mode

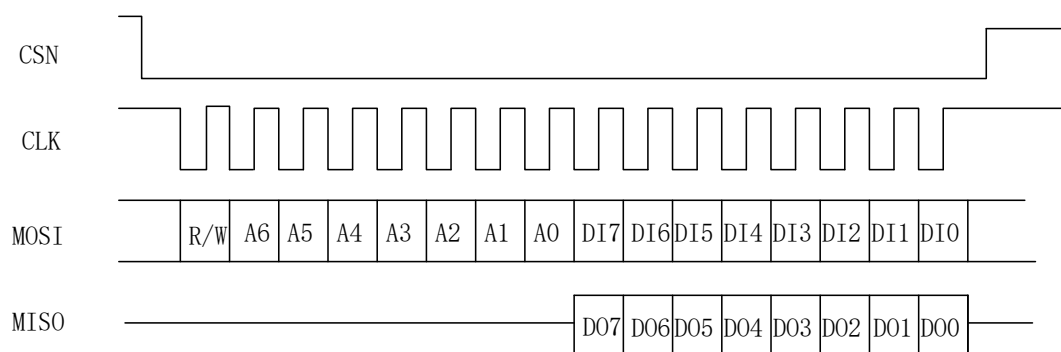


图 13 4 线 SPI 读写位

**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

**bit 0** 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。

**bit 8-15** 数据位DI7~DI0为写模式下，写入芯片的数据，数据位DO7~DO0为读模式下从芯片读出的数据。

### 9.2.3 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

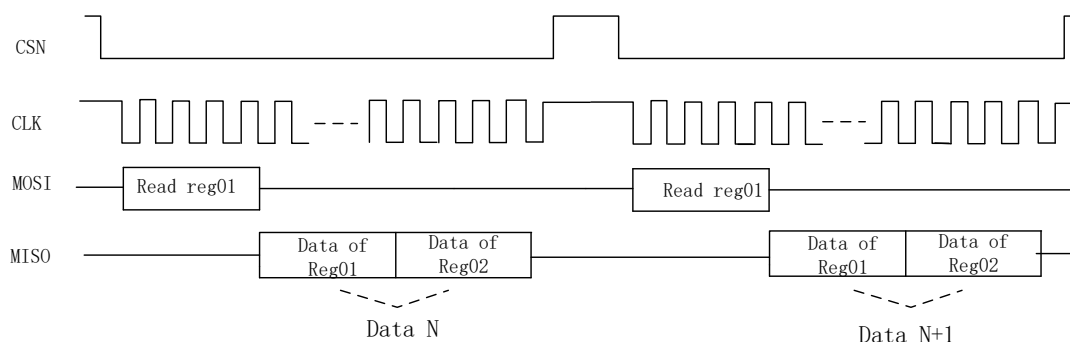


图 14 4 线 SPI 读角度位置寄存器

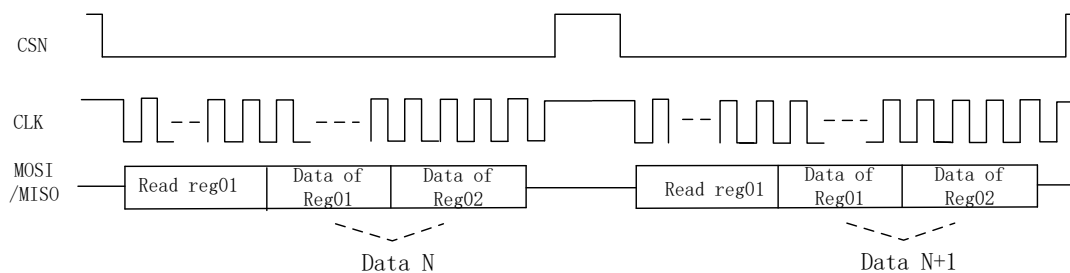


图 15 3 线 SPI 读角度位置寄存器

## 10.SSI 输出模式

SD3012 支持配置成 SSI 模式，当 0x08[1]=1 时候配置成 SSI 模式，此时芯片将不支持 SPI 模式，pin5 作为角度数据输出端口，时序如下图。

### 10.1 SSI 数据格式和时序

默认状态下，SSI 数据输出为 10 位，数据格式如下图

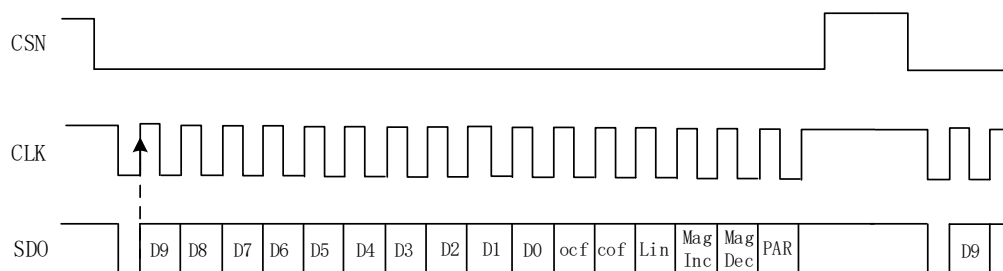


图 16 10 位 SSI 角度输出格式

D9:D0: 10 位角度数据;

ocf:offset 补偿完成位, 为高表示 offset 自动校准启动并已完成

cof:cordic 计算结果溢出

Lin:非线性错误

MagInc: 变高表示磁铁磁场出现增大的变化

MagDec: 变高表示磁铁磁场出现变小的变化

PAR: 前面数据和状态位 ( {D9:D0,ocf,cof,Lin,MagInc,MagDec} ) 的奇偶校验位  
也可以配置成 14 位数据输出:

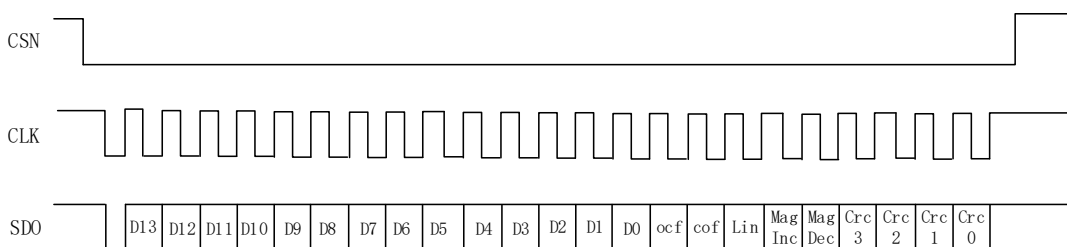


图 17 14 位 SSI 角度输出格式

D13:D0: 14 位角度数据;

CRC[3:0]: CRC 校验码, 为前面 19 位数据的 CRC4 校验码, CRC 多项式= $x^4 + x + 1$ ,初始值为 F。

其他状态位同前。

## 10.2 菊链模式

菊链模式下, 多个芯片可以串行工作, MOSI 引脚直接连接到链中后续设备的 DO 引脚, 如下图

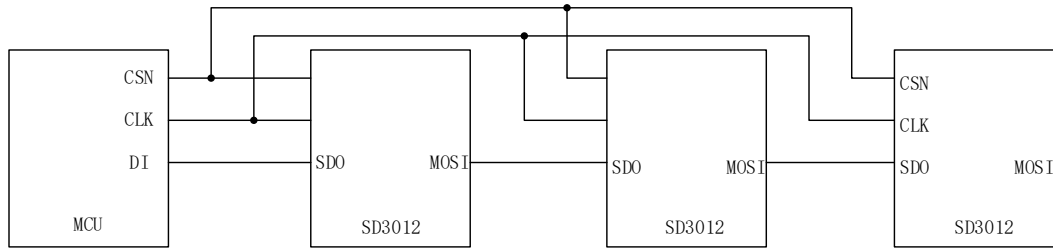


图 18 菊花链模式的使用示意图

数据串行输出到主机的格式如下：

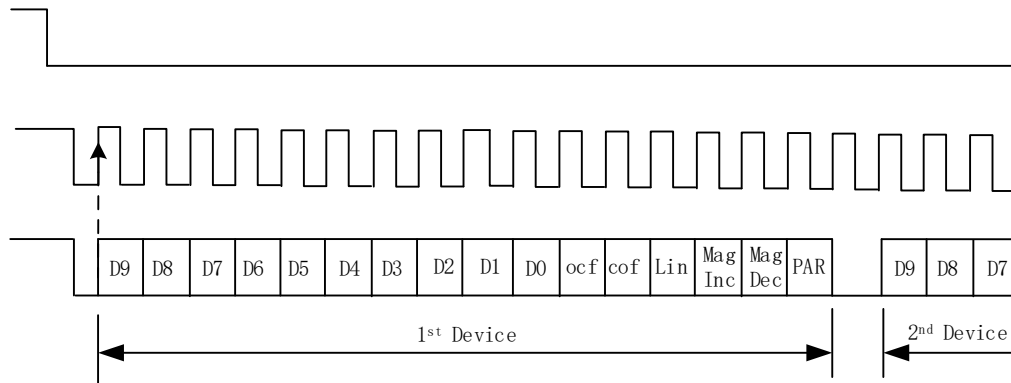


图 19 菊花链模式 SSI 角度输出

### 11.电压输出模式

SD3012 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。

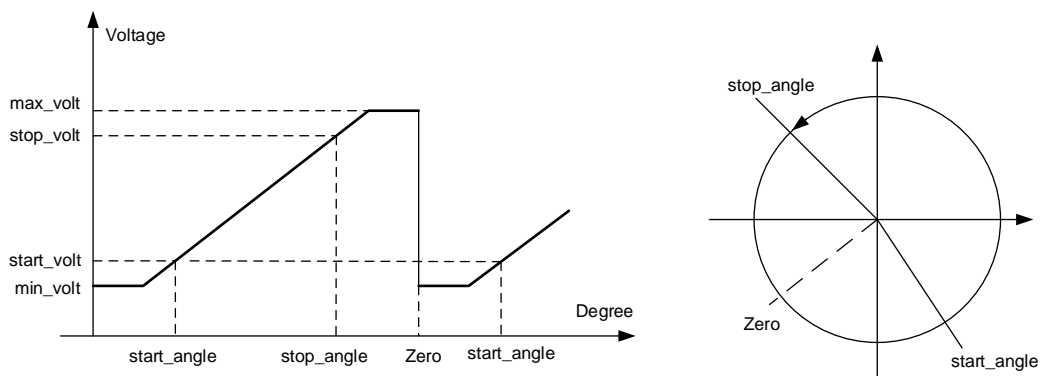


图 20 电压输出

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 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。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 and 对应电压对应的寄存器表如下表 12，其中角度值  $1LSB = \frac{360^\circ}{4096}$ ，0 为  $0^\circ$ ，FFF 表示 359.912，电压  $1LSB = \frac{V_{dd}}{4096}$ ，0 为 0V,FFF 表示为 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>  |

表 11 零点位置和起始点位置电压寄存器

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  $120^\circ$  角度值 12bits 为 {0x2D<3:0>,0x2C<7:0>},0x2C=56h,0x2D=05h,电压值不配置代表 start\_volt 和 min\_volt 为 0V, stop\_volt 和 max\_volt 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。

具体编程方法详见第 11 节描述。

## 12.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

### 例 1: ABZ 脉冲数（线）编程方法：

此处 OTP 在第 4~7 页，主要分 2 大步，第 1~5 步进行零位编程，第 6 步是编好后再编当前 OTP 所在页码的页码值

- 1, 把 Pin2(HVPP) 接 7V 电压
- 2, 解锁 OTP, 写寄存器 0x20 为 B3
- 3, 写入 OTP 的页码,零点位置从第 4 页到第 7 页  
 如为 page4: 0x11=0001 0000b  
 如为 page5: 0x11=0010 0000b  
 如为 page5: 0x11=0100 0000b  
 如为 page7: 0x11=1000 0000b
- 4, 写入分辨率的值到寄存器中，如表 3 描述。
- 5, 写入 OTP 的编程指令 0x10=8'h02

6 烧入页码值，写入 OTP 的第 0 页编程指令 0x10=8'h12

参考代码流程（寄存器地址和写入数值均为 16 进制）：

目的更新分辨率到 1000 线，1000 转成 16 进制 {0x32<3:0>,0x31}=1000d=3E8h。

见寄存器表，分辨率寄存器地址在 0x31 和 0x32。

寄存器地址 写入数值

```
reg_set_1 = 31 e8
reg_set_2 = 32 03    ## 写入 1000 线
reg_set_3 = 20 b3    ## 打开 OTP 锁
reg_set_4 = 11 10    ## 写入页码 page4
reg_set_5 = 10 02    ## OTP 编程指令
wait 300ms
reg_set_1 = 10 12    ## OTP 编程指令编写页码(在 page0)
reg_set_2 = 20 00    ## 锁上 OTP
```

**例 2：Z 脉冲宽度编程方法：**

此处的 OTP 也在第 0 页，无需进行页码编程

- 1, 把 Pin2(HVPP) 接 7V 电压
- 2, 把需要编程的寄存器写入期望值，如 2LSB,0x04=0x01,(详见用户手册)
- 3, 解锁 OTP, 写寄存器 0x20 为 B3
- 4, 写入第 0 页 OTP 编程指令 0x10=8'h12

参考代码：

```
reg_set_1 = 04 01    ## 写入目标值
reg_set_2 = 20 b3    ## 解锁 OTP 编程
reg_set_3 = 10 12    ## 写入编程指令(在 page0)
reg_set_4 = 20 00    ## 锁上 OTP 编程
```

**例 3：零点位置编程方法：**

主要分 2 大步，第 1~6 步进行零位编程，第 7 步是编好后再编当前 OTP 所在页码的页码值

- 1, 把 Pin2(HVPP) 接 7V 电压
- 2, 从寄存器 0x01,0x02 中读出当前芯片的角度值，01 和 02 的高 6 位组成 14 位角度值:Angle\_data[13:0]={0x01[7:0],0x02[7:2]}
- 3, 把 angle\_data 的高 12 位写入到零点寄存器中,零点寄存器地址位 0x26 和 0x27,

如下图

Zero={ 0x27[3:0], 0x26} = angle\_data[13:2]

- 4, 解锁 OTP, 写寄存器 0x20 为 B3
- 5, 写入 OTP 的页码,零点位置从第 4 页到第 7 页,
  - 如为 page4: 0x11=0001 0000b
  - 如为 page5: 0x11=0010 0000b
  - 如为 page5: 0x11=0100 0000b
  - 如为 page7: 0x11=1000 0000b
- 6, 写入 OTP 的编程指令 0x10=8'h02
- 7, 页码值指令, 写入 OTP 的页码编程指令 0x10=8'h12

参考代码流程（寄存器地址和数值均为 16 进制）：

零位值编程，编入到第五页 OTP 中，

```

Read reg 01 /02, {0x01,0x02}      ## 读出当前角度值
ang_data = {0x01, 0x02<7:4>}
      地址   写入值
reg_set_1 = 26   ang_data[7:0]    ## 写入当前的角度值到零位寄存器高 8 位
reg_set_2 = 27   ang_data[11:8]   ## 写入当前的角度值到零位寄存器低 4 位
reg_set_3 = 20   b3                ## 打开 OTP 锁
reg_set_4 = 11   20                ## 写入页码 page5
reg_set_5 = 10   02                ## OTP 编程指令
wait 300ms
reg_set_1 = 10   12                ## OTP 编程指令编写页码(在 page0)
reg_set_2 = 20   00                ## 锁上 OTP

```

编程结束，HVPP 减低到 VDD，芯片断电重新上电后读出目标寄存器检查是否编程成功，或者无需断电，写 0x20=B6 软复位芯片进行检查。

寄存器以及对应的 OTP 页码如下表

| #  | Addr(Hex) | Bit7                                 | Bit6 | Bit5 | Bit4     | Bit3               | Bit2   | Bit1                | Bit0 | OTP_page |
|----|-----------|--------------------------------------|------|------|----------|--------------------|--------|---------------------|------|----------|
| 0  | 0x00      | chipID=0x26(2315) chipID=0x25(2315E) |      |      |          |                    |        |                     |      | chipID   |
| 1  | 0x01      | ANGLE[13:6]                          |      |      |          |                    |        |                     |      | ReadOnly |
| 2  | 0x02      | ANGLE[5:0]                           |      |      |          |                    |        | MAGERR              |      | ReadOnly |
| 4  | 0x04      |                                      |      |      |          |                    |        | ZWIDTH              |      | Page0    |
| 5  | 0x05      | UVWPOLES                             |      |      |          |                    |        | MODE                |      | Page0    |
| 8  | 0x08      |                                      |      |      |          |                    | NEGABZ |                     |      | Page0    |
| 10 | 0x0A      | HYST                                 |      |      |          |                    |        |                     |      | Page0    |
| 11 | 0x0B      | RAW_COS[7:0]                         |      |      |          |                    |        |                     |      |          |
| 12 | 0x0C      | RAWCOS[11:8]                         |      |      |          |                    |        |                     |      |          |
| 16 | 0x10      |                                      |      |      | PAGEPROG |                    | OTPRDY | OTPPROG             |      |          |
| 17 | 0x11      | PAGEADDRESS                          |      |      |          |                    |        |                     |      | Page0    |
| 18 | 0x12      | OTPUNLOCK                            |      |      |          |                    |        |                     |      |          |
| 19 | 0x13      |                                      |      |      |          |                    |        |                     |      |          |
| 23 | 0x17      | DACMINVOLT[7:0]                      |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 24 | 0x18      | DACMAXVOLT[7:0]                      |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 25 | 0x19      | DACMAXVOLT[11:8]                     |      |      |          | DACMINVOLT[11:8]   |        |                     |      | Page4~7  |
| 30 | 0x1E      | ROTDIR                               |      |      |          |                    |        |                     |      | Page0    |
| 31 | 0x1F      | PWMDAC                               |      |      |          |                    |        |                     |      | Page0    |
| 34 | 0x22      |                                      |      |      |          | SWITCHXY           |        |                     |      | Page4~7  |
| 38 | 0x26      | ZERO[7:0]                            |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 39 | 0x27      |                                      |      |      |          |                    |        | ZERO[11:8]          |      | Page4~7  |
| 42 | 0x2A      | DACSTARTANGLE[7:0]                   |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 43 | 0x2B      |                                      |      |      |          |                    |        | DACSTARTANGLE[11:8] |      | Page4~7  |
| 44 | 0x2C      | DACSTOPANGLE[7:0]                    |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 45 | 0x2D      |                                      |      |      |          |                    |        | DACSTOPANGLE[11:8]  |      | Page4~7  |
| 46 | 0x2E      | DACSTARTVOLT[7:0]                    |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 47 | 0x2F      | DACSTOPVOLT[7:0]                     |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 48 | 0x30      | DACSTOPVOLT[11:8]                    |      |      |          | DACSTARTVOLT[11:8] |        |                     |      | Page4~7  |
| 49 | 0x31      | RESOLUTION[7:0]                      |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |
| 50 | 0x32      | RESOLUTION[12:8]                     |      |      |          |                    |        |                     |      | Page4~7  |

表 13 寄存器表

原厂配售的编程器界面，可以实现比较便捷的编程方法，并可以实现一键调零

通讯接口

串口号:  串口操作:  芯片供电:

**磁编码器系列产品寄存器编程**

Page 4

Page 4

**数字输出编程设置**

ABZ线数:  读出 0

UVW极数:  读出 1

Z宽度:  读出

差分模式:  读出

零点位置:  读出 0

**模拟输出编程设置**

起点位置:  读出 0~4095

终点位置:  读出 0~4095

起点电压:  读出 0~4095

终点电压:  读出 0~4095

Flash:

## 13.电气特性

| 参数           | 注意                         | 最小   | 最大  | 单位 |
|--------------|----------------------------|------|-----|----|
| VDD 引脚的直流电压  | -                          | -0.3 | 5.5 | 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 14 电压特性

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     | -                      | 7     | 9      | 11  | 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   | -                      | -     | ±0.022 | -   | 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     | 200    | 400 | 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       |

|          |         |                  |   |   |         |         |
|----------|---------|------------------|---|---|---------|---------|
| $V_{OL}$ | 低电平输出电压 | $I_{OL} = 3.3mA$ | - | - | 0.4     | V       |
| $I_{LK}$ | 输入漏电流   | -                | - | - | $\pm 1$ | $\mu A$ |

表 15 电气特性

#### 14, 磁场输入规范

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

| Parameter | Symbol     | Min | Typ        | Max  | Unit           | Notes  |
|-----------|------------|-----|------------|------|----------------|--|
| 磁铁直径      | Dmag       | 6   | 8          | 12   | mm             | Recommended magnet:<br>$\varnothing 8mm \times 2.5mm$ for<br>cylindrical magnets |
| 厚度        | Tmag       |     | 2.5        |      | mm             |  |
| 工作磁场强度    | Bpk        | 300 |            | 1000 | Gauss          | Measured at the IC<br>surface.   |
| 磁铁和芯片间隙   | AG         | 0.5 | 1          | 2.0  | mm             | Magnet to IC surface<br>distance .   |
| 最大转速      | RS         |     |            | 50   | KRPM           |  |
| 轴心最大偏置    | DISP       |     |            | 0.3  | mm             | Misalignment error<br>between sensor center<br>and magnet axis .                 |
| 推荐磁铁材料和温漂 | TCmag<br>1 |     | -0.12      |      | %/ $^{\circ}C$ | NdFeB (Neodymium<br>Iron Boron)  |
|           | TCmag<br>2 |     | -<br>0.035 |      |                | SmCo (Samarium<br>Cobalt)  |

表 16 磁场输入规范

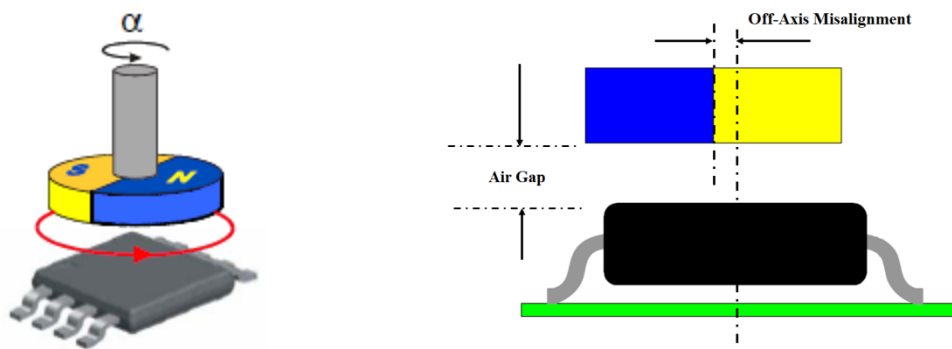
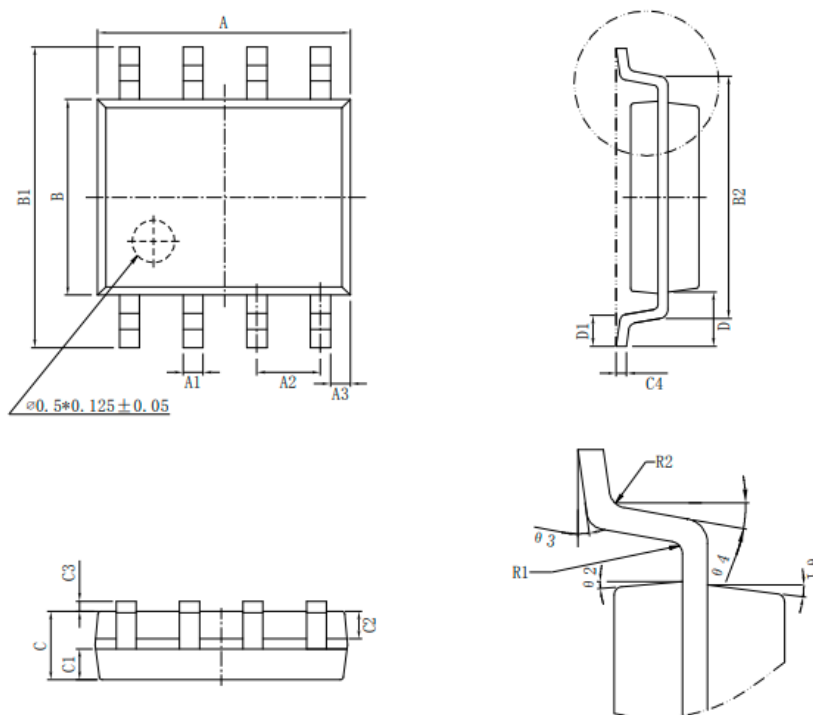


图 21: 磁铁安装示意

## 15. 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 22 封装尺寸