



SD3012

An chip used for 360 precise angle measurement

增量和绝对位置输出
抗复杂环境磁场干扰
车规级工艺

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 SSI 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 60,000RPM
- 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

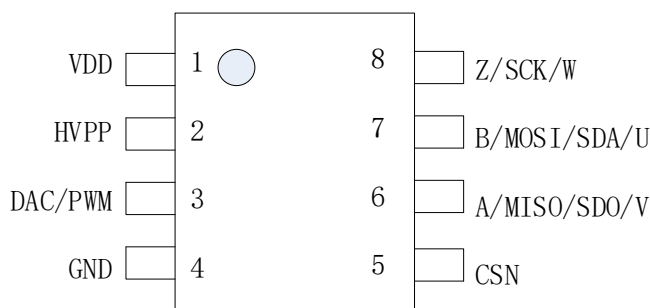


图 1 SOP8 封装的引脚配置

1	VDD	Analog input	5V or 3.3V
2	HVPP	Digital input	Used for Pin 6,7,8: Set to logic low in ABZ output mode 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 or MISO of SPI or SDO of SSI
7	MOSI/SDA/B	Digital output/Input	Incremental Signal B or U of UVW or MOSI of SPI or SDA of I2C
8	SCK/Z	Digital Input	Incremental Signal Z or W of UVW 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。

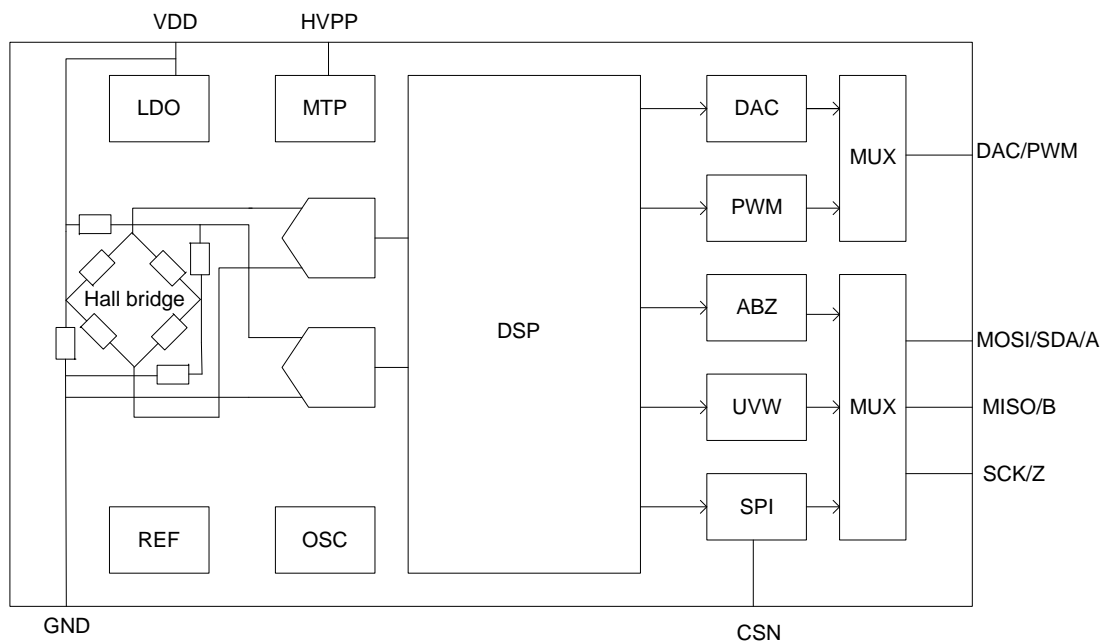


图 2: 简化系统框图

5. 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。

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。

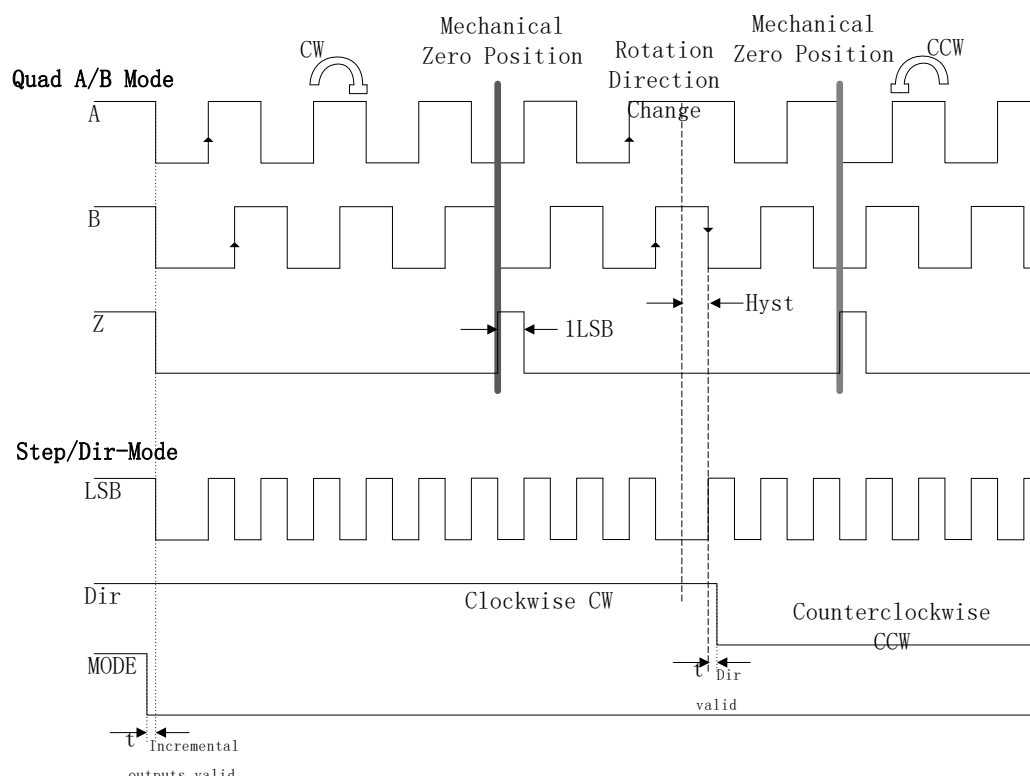


图3 增量输出模式

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

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 (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。

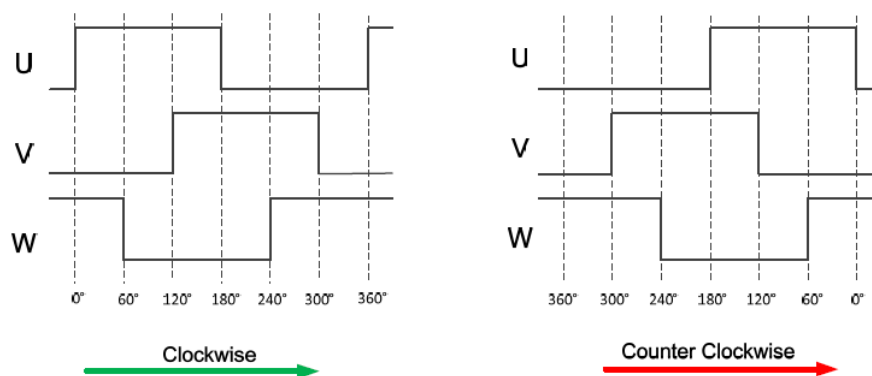


图 4 UVW 的输出相位

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

7. 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:

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

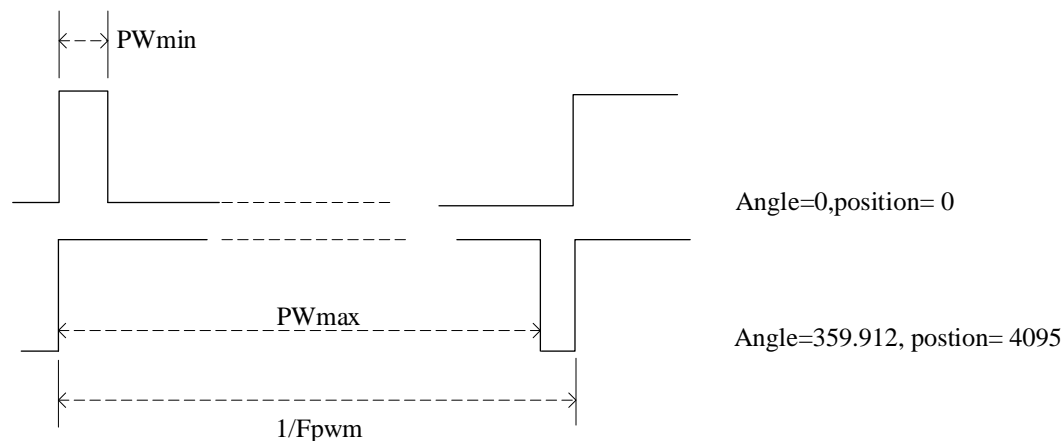


图 5: PWM 输出信号

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 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

8.I²C 或者 SPI 接口

SD3012 为主机提供了 I²C 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]
		[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 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:

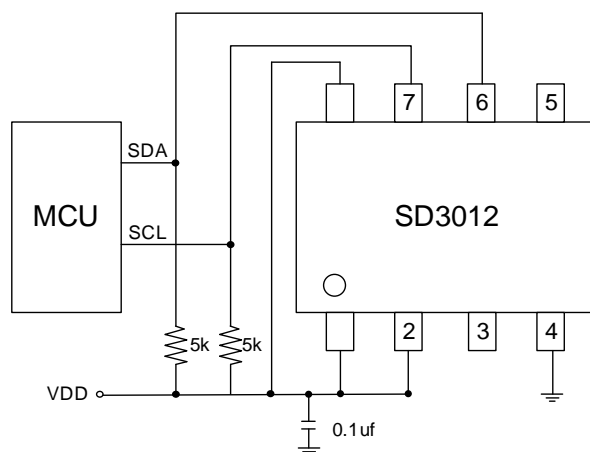


图 6: I2C 接口参考电路图

本节详细解释了 I²C 的读、写协议。

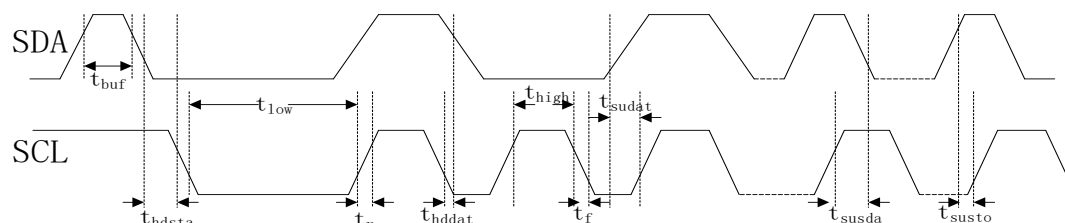


图 7: I²C 时序

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		0	1	0	0	0	0	0	0		

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	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	0		0
S T O P	从机地址							R W	S A	数据(0x00)								M A	数据(0x01)

A	0	0	0	0	1	1	0	1	C	D	D	D	D	D	D	D	D	C	D	D	D	D	D	D	D	D					
R									K									K													
T																															
M	数据(0x02)								M								M	数据(0x07)								N	S			
A	D	D	D	D	D	D	D	D	A								A	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	T
C									C									C												C	O
K									K									K												K	P

图 9 i2c 连续读时候的读写位

8.2 SPI 接口时序

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。管脚 5,6,7 进入 SPI 的方式可以见第 3 节表 2 描述。

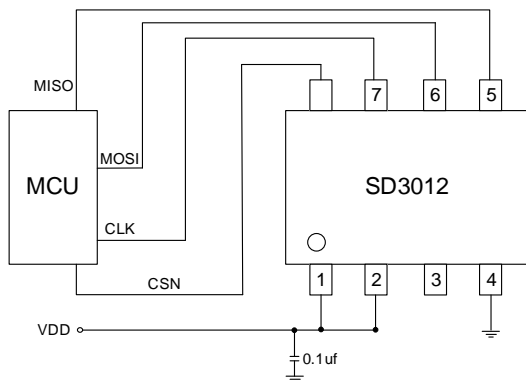


图 10 4 线 SPI 参考电路图

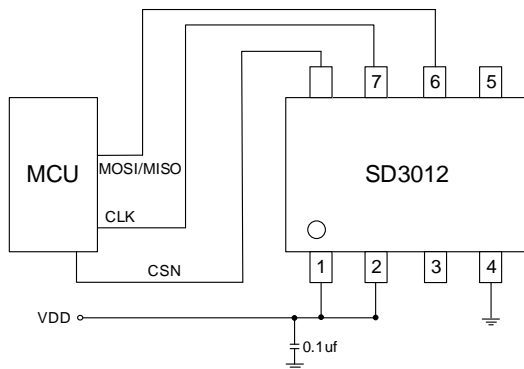


图 11 3 线 SPI 参考电路图

8.2.1 SPI 3 wire mode

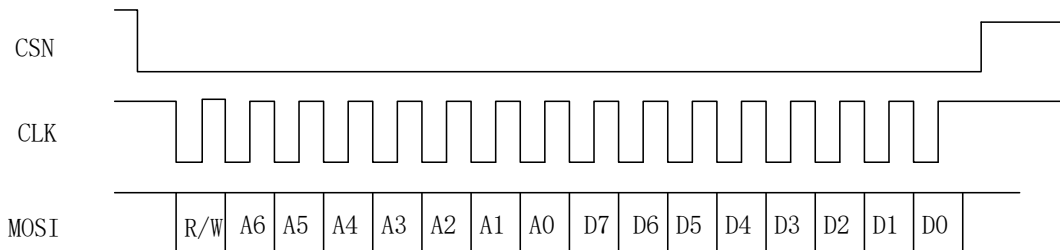


图 12 3 线 SPI 读写位

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

8.2.2 SPI 4 line mode

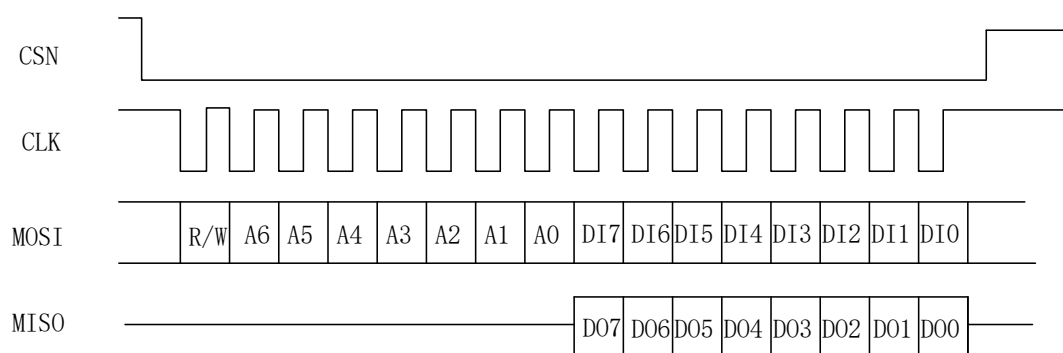


图 13 4 线 SPI 读写位

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。

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

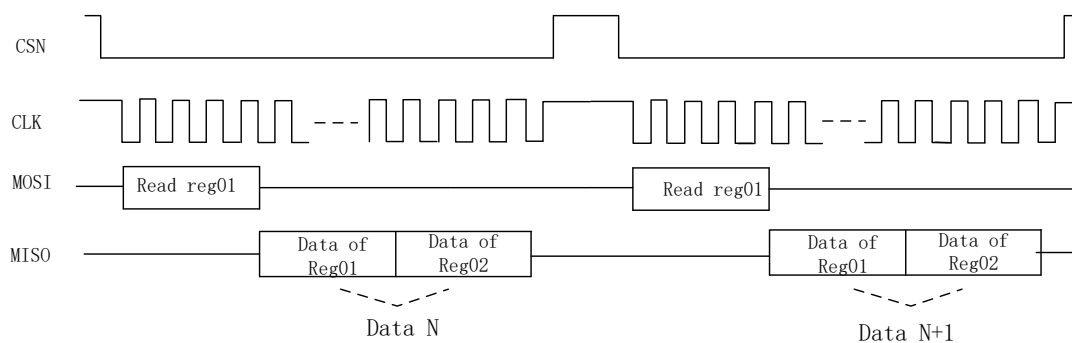


图 14 4 线 SPI 读角度位置寄存器

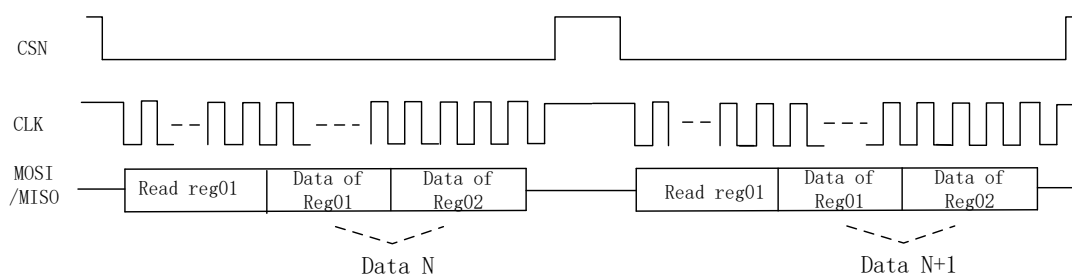


图 15 3 线 SPI 读角度位置寄存器

9.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。

9.1 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

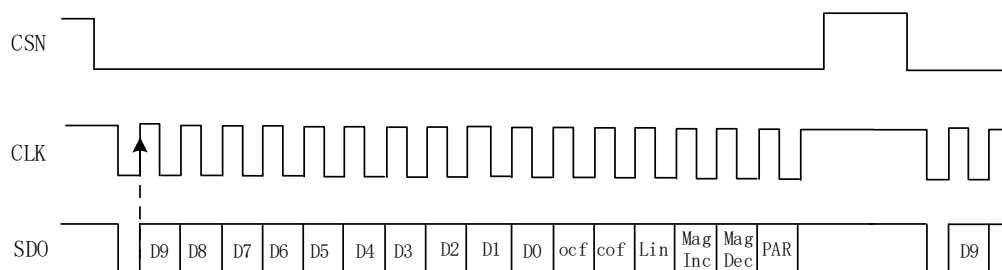


图 16 10 位 SSI 角度输出格式

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：

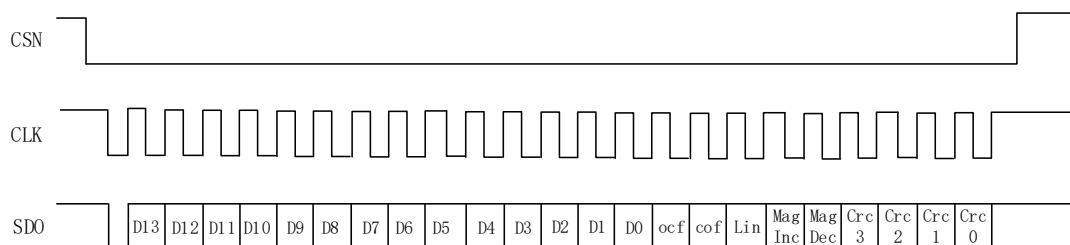


图 17 14 位 SSI 角度输出格式

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。

9.2 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

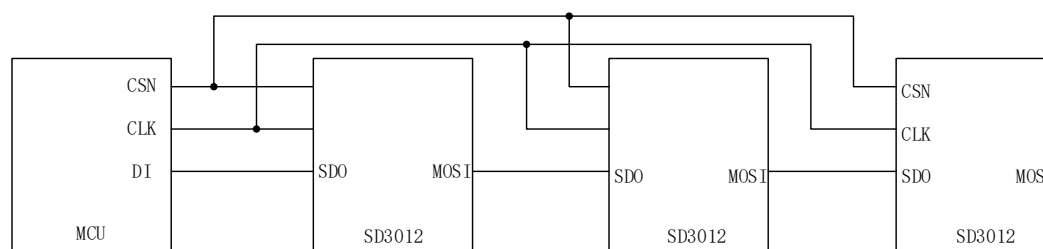


图 18 菊花链模式的使用示意图

数据串行输出到主机的格式如下：

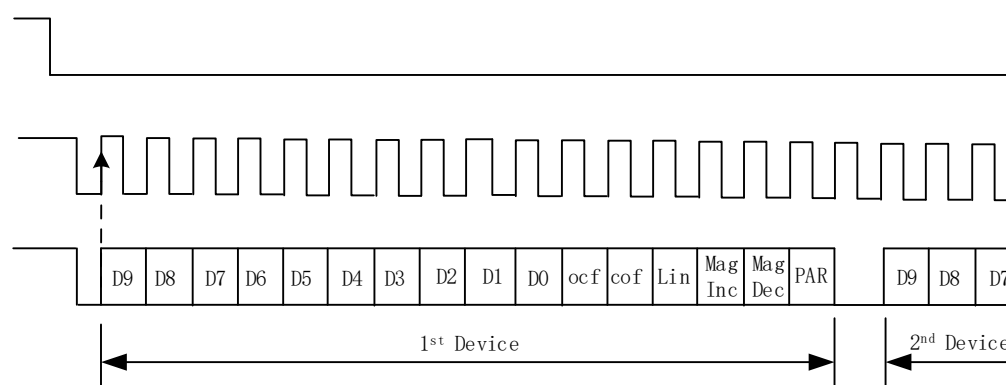


图 19 菊花链模式 SSI 角度输出

10.电压输出模式

SD3012 内部自带了 12bits 的 DAC，可提供 0- V_{dd} 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。

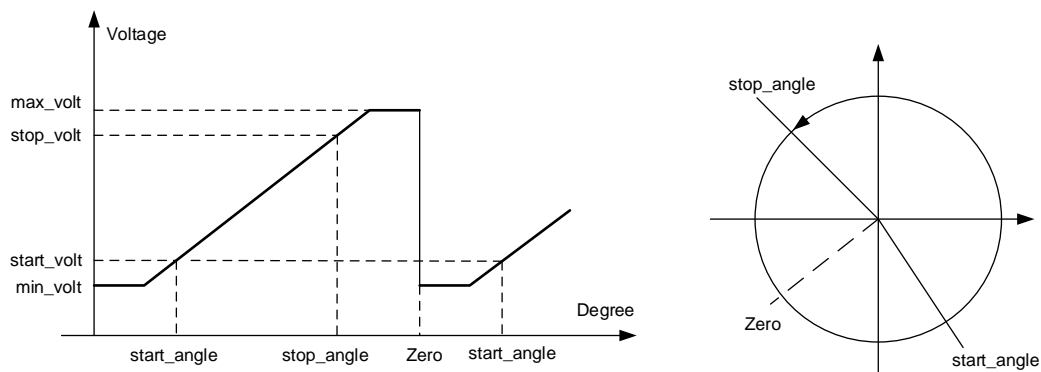


图 20 电压输出

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° ，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° 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。

11. 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 6~7 步是编好后再编当前 OTP 所在页码的页码值

- 1, 把 Pin2(HVPP) 接 6.75V 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, 重复步骤 2 和步骤 3。
- 7, 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
reg_set_6 = 20 00    ## 锁上 OTP
wait 300ms
reg_set_1 = 11 10    ## 写入页码 page4
reg_set_2 = 20 b3    ## 打开 OTP 锁
reg_set_3 = 10 12    ## OTP 编程指令编写页码(在 page0)
reg_set_4 = 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 6.75V 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 7~8 步是编好后再编当前 OTP 所在页码的页码值

- 1, 把 Pin2(HVPP) 接 6.75V 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={ 0x26,0x27[3:0]}=angle_data[14:2]

- 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, 重复步骤 4 和步骤 5
- 8, 烧入页码值指令, 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
reg_set_6 = 20   00              ## 锁上 OTP
wait 300ms
reg_set_1 = 11   20              ## 写入页码 page5
reg_set_2 = 20   b3              ## 打开 OTP 锁
reg_set_3 = 10   12              ## OTP 编程指令编写页码(在 page0)
reg_set_4 = 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

读当前页码 写编程页码 读当前角度

数字输出编程设置

ABZ线数: 读出 编程

UVW极数: 读出 编程

Z宽度: 读出 编程

差分模式: 读出 编程

零点位置: 读出 编程

模拟输出编程设置

起点位置: 读出 编程

终点位置: 读出 编程

起点电压: 读出 编程

终点电压: 读出 编程

Flash:

12. 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 $+150^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.0$ - 5.5V , 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
I _{dd}	供电电流	-	7	9	11	mA
V _{oq}	输出静态电压	T _a =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 _{noi}	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	20	60	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 15 电气特性

13, 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	6	8	12	mm	Recommended magnet: Ø8mm 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	TCmag 1		-0.12		%/ $^{\circ}C$	NdFeB (Neodymium Iron Boron)
	TCmag		-			SmCo (Samarium)

	2		0.035		Cobalt)
--	---	--	-------	--	---------

表 16 磁场输入规范

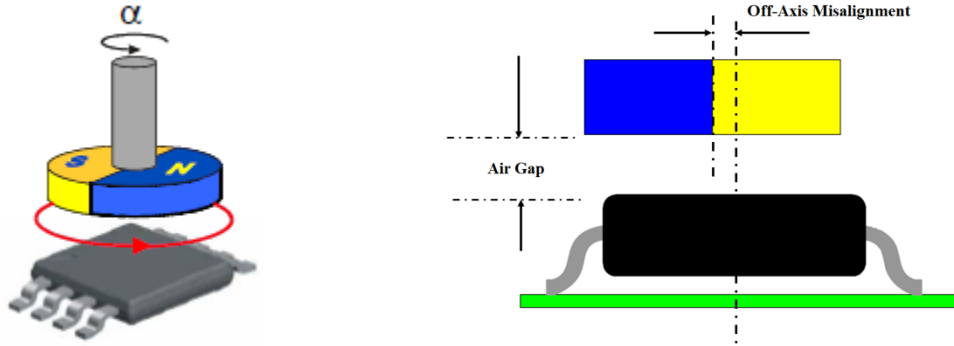
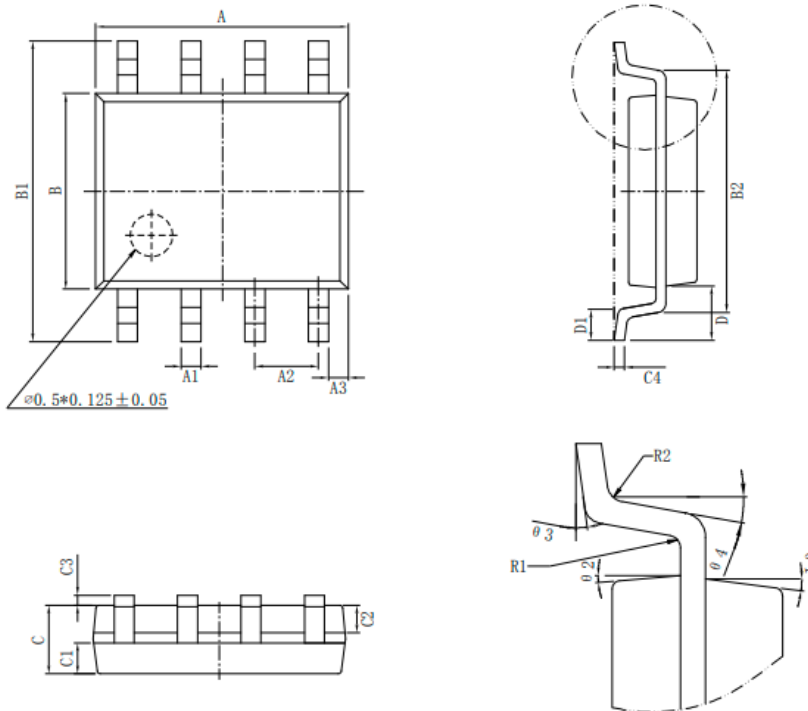


图 21: 磁铁安装示意

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		0 1	17° TYP4	
C	1.30	1.60	0 2	13° TYP4	
C1	0.55	0.65	0 3	0° ~ 8°	
C2	0.55	0.65	0 4	4° ~ 12°	

图 22 封装尺寸