

无锡泰连芯科技有限公司

TLX3109/TLX3110
磁性旋转编码器芯片应用和编程指南

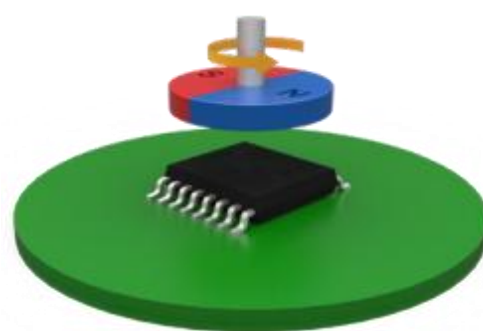
2024年06月

磁性旋转编码器芯片应用和编程指南

摘要

TLX3109 和 TLX3110 是 23 位高速 磁性旋转编码器芯片。为了方便客户的使用，制作了 TLX310x 演示板主要用于 TLX3109 和 TLX3110 芯片的功能演示和客户端编程。同时，也开放相关的 SPI 通讯协议和寄存器说明等编程信息给客户，方便客户自主编程，集成调零、参数配置、自动校准等功能到客户应用系统。

本文档介绍了 310x 演示板软硬件的使用方法和 TLX3109、TLX3110 芯片的编程指南。



目录

1. TLX310x 演示板使用说明	03
1.1 硬件连接	03
1.2 SPI 模式	04
1.3 ABZ 模式	04
1.4 PWM 模式	05
1.5 UVW 模式	05
1.6 校准模式	06
1.7 软件操作	06
2. 编程指南	07
2.1 SPI 协议	07
2.2 可编程模式	08
2.3 OPCODE	08
2.4 通讯格式	09
3. 寄存器表	11
3.1 寄存器说明	11
4. 校准说明	21
4.1 自动校准	21
4.2 非线性校准 (LNR)	22

1. TLX310x 演示板使用说明

1.1 硬件连接

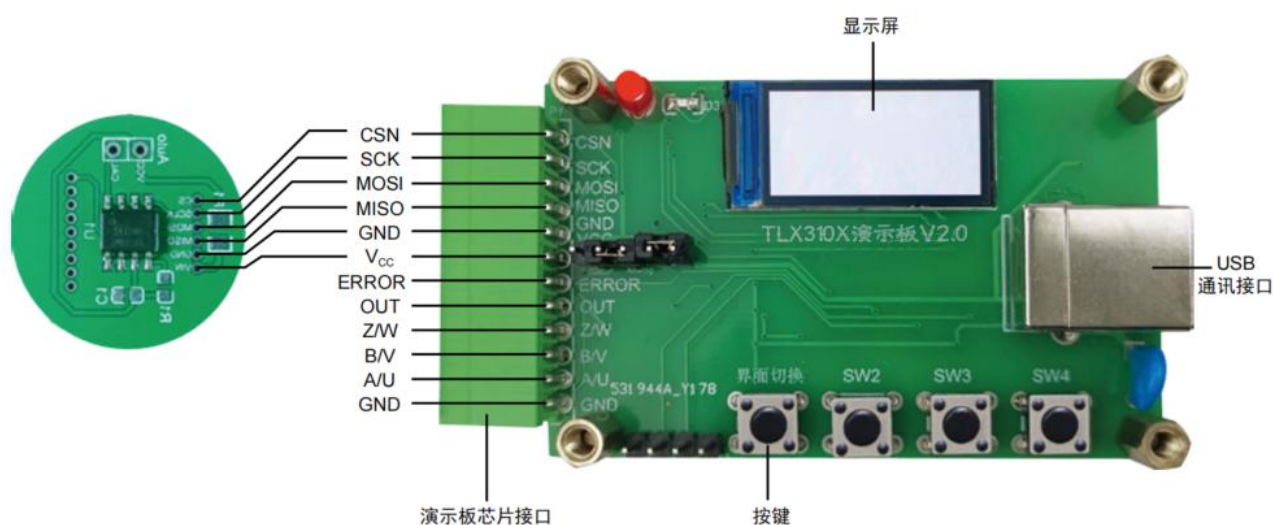


图 1 TLX3109 角度芯片测试板与演示板连接示意图

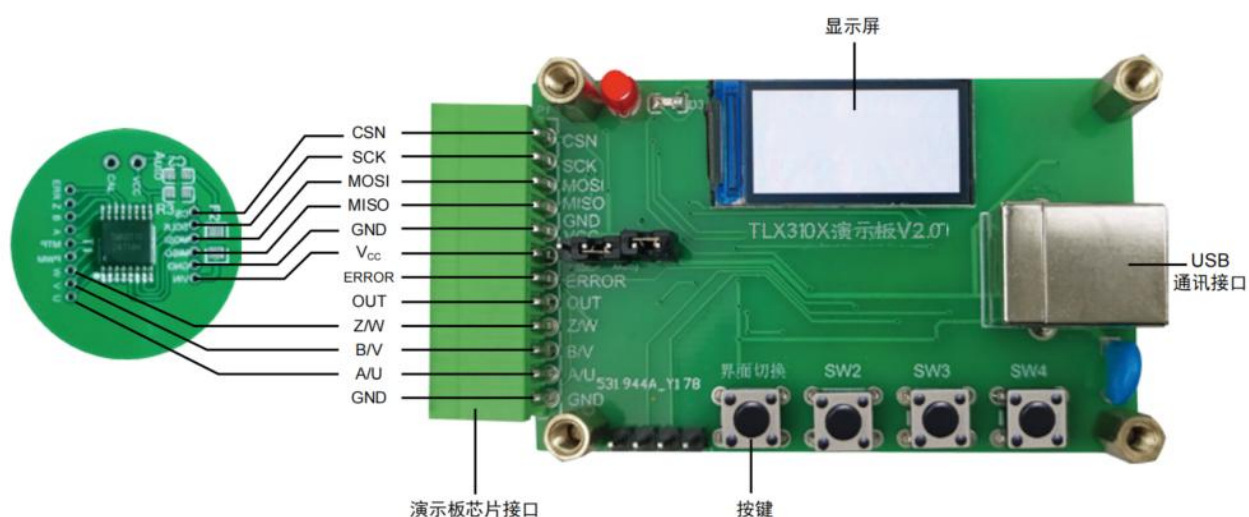


图 2 TLX3110 角度芯片测试板与演示板连接示意图

如图 1、图 2 所示，芯片接口通过线缆与 TLX310x 芯片连接好，将演示板外接供电或者 USB 口供电，TLX310x 演示板即可演示 TLX3109 和 TLX3110 磁性旋转编码器芯片各种接口模式下的基本功能，如角度读取、ABZ 线数读取等。也可以脱机进行各个接口常用的参数设置和烧写，以及零点设置、启动自动校准命令。只需要给演示板供电，不需要上位机配置软件，也可实现简单的演示功能和配置操作。

1.2 SPI 模式

点击“界面切换”按键，显示屏切换到“SPI 模式”界面，“SPI Angle”可显示读取角度，如图3-1所示。

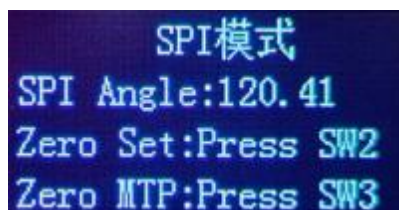


图 3-1 SPI 模式屏显界面

点击“SW2”按键可进行“Zero Set”零点设置，零点设置只是对芯片寄存器的操作，可以测试设置是否正确，无次数限制。点击按键后，“SPI Angle”显示 0o，如图 3-2 所示。



图 3-2 SPI 模式调零后屏显界面

零点设置正确后，可点击“SW3”按键可进行“Zero MTP”零点烧写，将寄存器数值写入芯片的内存中，可通过芯片上下电（插拔 USB 口）操作验证烧写是否正确。

1.3 ABZ 模式

点击“界面切换”按键，显示屏切换到“ABZ 模式”界面，ABZ 模式下可显示“ABZ Pulse”、“ABZ Angle”，如图 3-3 所示。



图 3-3 ABZ 模式屏显界面

点击“SW2”按键可进入 ABZ 参数设置界面，点击“SW2”按键可切换 ABZ 线数：1000、1024、2500、4096 线，如图 3-4 所示。

点击“SW3”按键进行参数设置，只是对芯片寄存器的操作，可以测试配置是否正确，无次数限制。

参数设置正确后，可点击“SW4”按键进行参数烧写，将寄存器数值写入芯片的内存中，可通过芯片上下电（插拔 USB 口）操作验证烧写是否正确，注意 TLX3109 没有 ABZ 接口，TLX3110 才有 ABZ 接口。



图 3-4 ABZ 模式参数设置屏显界面

1.4 PWM 模式

如图 3-5 所示，PWM 模式下黄框区域跳线帽短接。点击“界面切换”按键，显示屏切换到“PWM 模式”界面，PWM 模式下可显示“PWM Width”、“PWM Freq”。



图 3-5 PWM 模式屏显界面

点击“SW2”按键可进入 PWM 参数设置界面，点击“SW2”按键可切换 PWM 设置频率：1kHz、500Hz、250Hz、125Hz。如图 3-6 所示。

点击“SW3”按键进行参数设置，只是对芯片寄存器的操作，可以测试配置是否正确，无次数限制。

参数设置正确后，可点击“SW4”按键进行参数烧写，将寄存器数值写入芯片的内存中，可通过芯片上下电（插拔 USB 口）操作验证烧写是否正确，注意 TLX3109 没有 PWM 接口，TLX3110 有 PWM 接口，可以设置 PWM 频率。

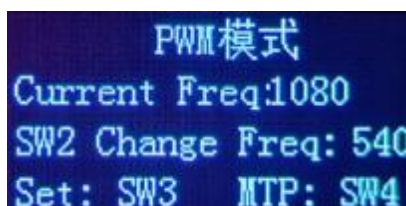


图 3-6 PWM 模式参数设置屏显界面

1.5 UVW 模式

点击“界面切换”按键，显示屏切换到“UVW 模式”界面，UVW 模式下可显示“Current Polar”如图 3-7 所示。



图 3-7 UVW 模式参数设置屏显界面

点击“SW2”按键可进入 UVW 参数设置界面，点击“SW2”按键可切换 UVW 设置对极数：1、4、5、16、32对极。点击“SW3”按键进行参数设置，只是对芯片寄存器的操作，可以测试配置是否正确，无次数限制。

参数设置正确后，可点击“SW4”按键进行参数烧写，将寄存器数值写入芯片的内存中，可通过芯片上下电（插拔 USB 口）操作验证烧写是否正确，注意 TLX3109 没有 UVW 接口，TLX3110 才有 UVW 接口。

1.6 校准模式

点击“界面切换”按钮，显示屏切换到“Calibration 模式”界面，如图 3-8 所示。

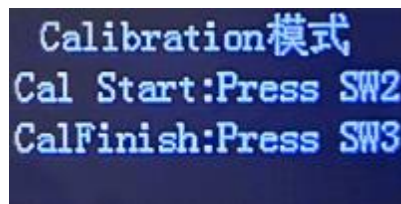


图 3-8 Calibration 模式屏显界面

如图 3-9 所示，将芯片装配完成后，让电机以恒定速度匀速转动，点击“SW2”按钮校准开始，等待 3s ~ 5s，补偿系数自动存入 EEPROM 中，校准完成后，板上 LED 灯 (D3) 闪烁三次，说明校准完成。

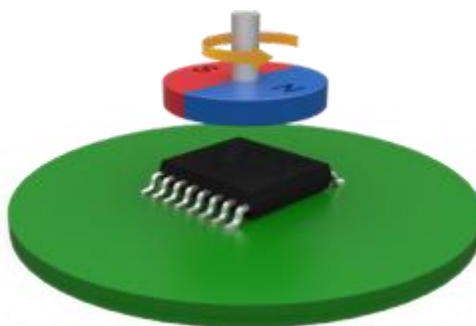


图 3-9 自动校准旋转示意图

1.7 软件操作

TLX3109 和 TLX3110 配套的上位机软件也可以实现功能演示和客户端编程，只需要 USB 连接电脑，选择对应的串口，软件界面如下图 3-10 所示，可实现角度读取、参数读取、零点设置、参数设置、发送校准命令等功能，方便客户 PC 端的应用配置。



图 3-10 软件界面

2. 编程指南

2.1 SPI 协议

芯片的编程都是通过 SPI 数据传输协议来实现的，如图 9 所示，终止于 CS 的上升沿，SCLK 为 32 个SPI 的串行时钟脉冲，由 SPI 主机控制，当 SPI 未通信时，CS 默认为高电平，SCLK 默认为低电平。MOSI和 MISO 为 SPI 串行数据的输入与输出，当 SPI 为非输出模式时，MISO 保持为“HI-Z”模式。

- CS: SPI 通信时为低电平，未通信时默认为高电平。
- SCLK: 由 32 个时钟脉冲组成。
- MOSI: 由 3-bit 的命令位，8-bit 的地址位，5-bit 的空闲位，16-bit 的数据位组成。

字段	位数	名称	说明
O2 ~ O0	Bit1 ~ 3	OPCODE	命令字段
A7 ~ A0	Bit4 ~ 11	ADDRESS	寄存器字段
D15 ~ D0	Bit13 ~ 24	DATA	16 位输入 / 输出数据

- MISO: MISO¹⁾ 当 MISO 为寄存器数据输出时，为 16-bit 的数据位。 MISO²⁾ 当 MISO 为角度输出模式时，为28-bit 的数据位。

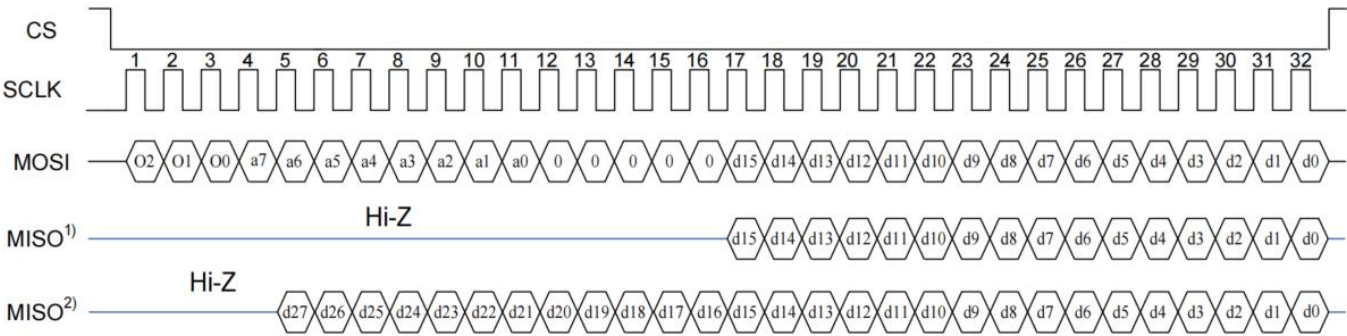


图 4 SPI 角度读取时序图

2.2 可编程模式

TLX3109 和 TLX3110 芯片有两种模式（正常模式和用户模式）。在正常模式下，可以通过串行 SPI 接口读取角度数据，TLX3110 可以 ABZ 增量输出、UVW 换向输出。在用户模式下，它可以通过 SPI 接口读取和写入内部寄存器、写 EEPROM。用户模式支持用户编程，如零点调整、ABZ 参数设置、UVW 参数设置、自动校准命令发送等。当电源接通时，芯片自动重置内部寄存器，并加载 EEPROM 配置数据以设置内部寄存器。

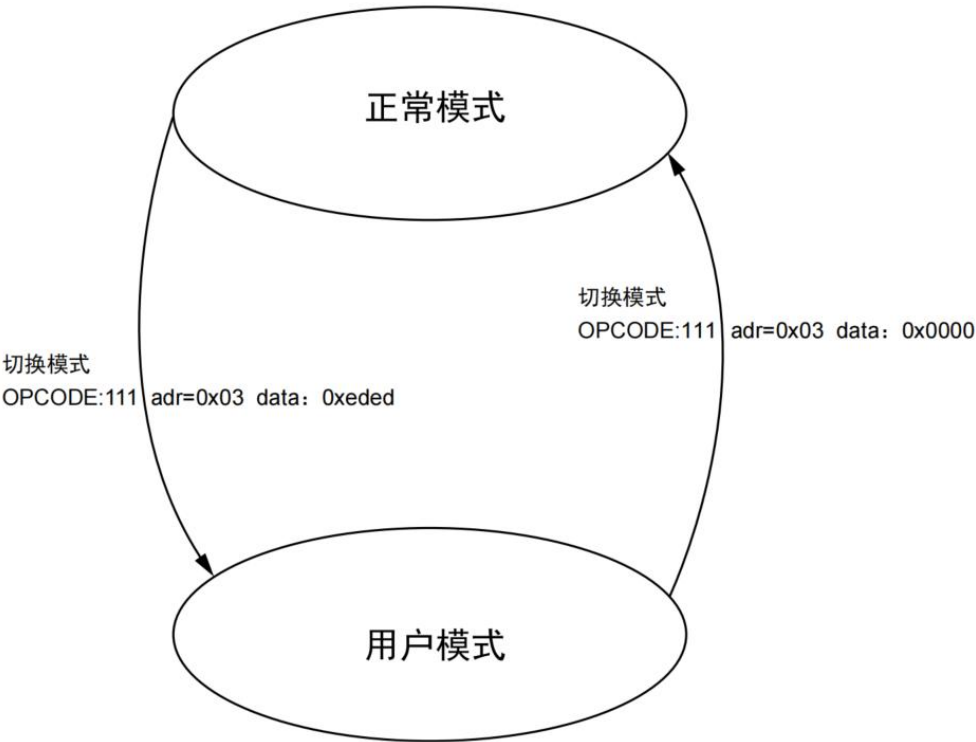


图 5 模式切换示意图

2.3 OPCODE

OPCODE [2:0]	描述
001	写 EEPROM
101	写寄存器
110	读寄存器
111	模式切换
011	读角度

2.4 通讯格式

2.4.1 SPI 写 EEPROM

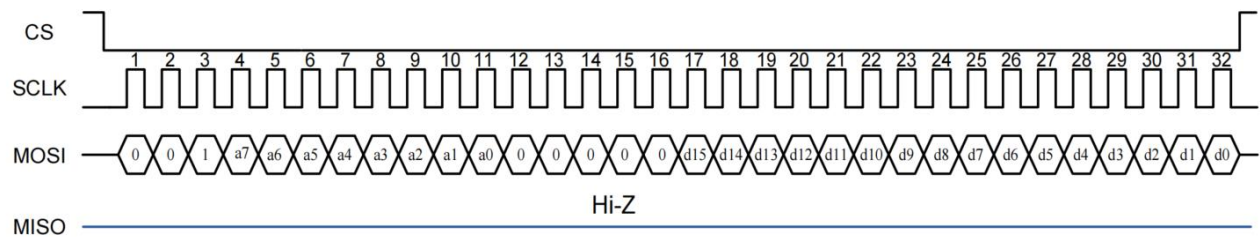


图 6 SPI 写 EEPROM 时序图

当通过 SPI 操作写 EEPROM 时，OPCODE 码为：3,b001，对应 EEPROM 地址从高到低对应 a7~a0，对应 EEPROM 数据从高到低对应 d15~d0。操作完毕至少等待 1000ms 执行其他操作。

2.4.2 SPI 写寄存器

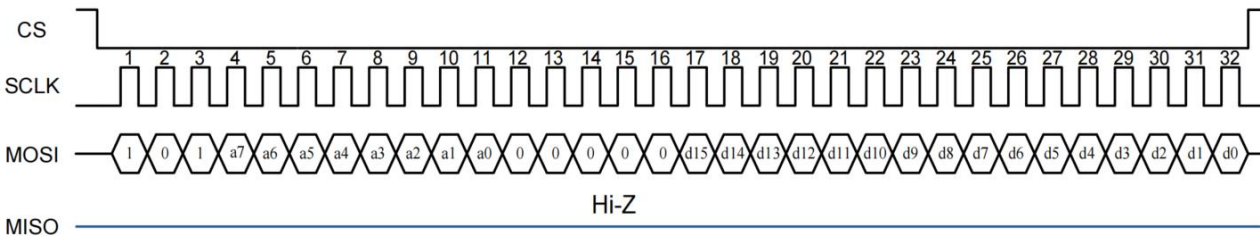


图 7 SPI 写寄存器时序图

当通过 SPI 操作写寄存器时，OPCODE 码为：3,b101，对应寄存器地址从高到低对应 a7~a0，对应寄存器数据从高到低对应 d15~d0。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

2.4.3 SPI 读寄存器

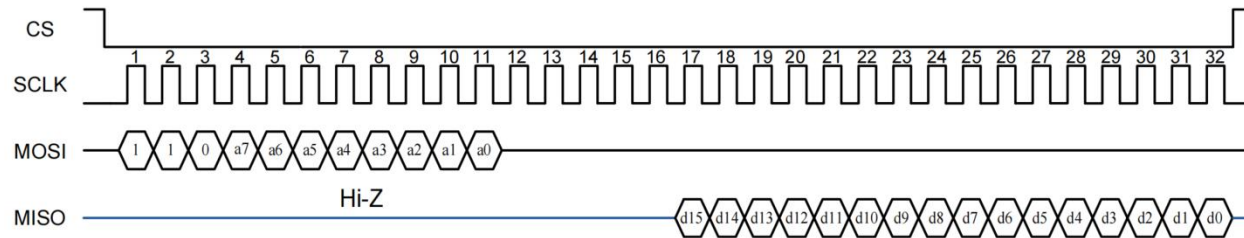


图 8 SPI 读寄存器时序图

当通过 SPI 操作读寄存器时，OPCODE 码为：3,b110，对应寄存器地址从高到低对应 a7~a0。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

2.4.4 SPI 模式切换（正常模式到用户模式）

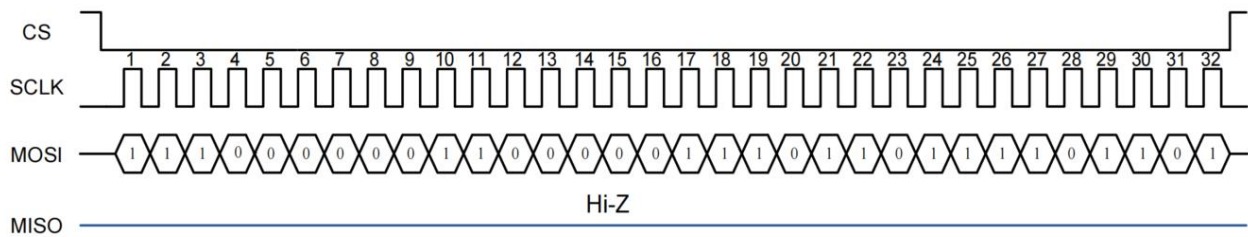


图 9 正常模式切换用户模式示意图

当通过 SPI 操作进入用户模式时，OPCODE 码为：3 b111，对应寄存器地址为 8 b0000_0011(8 h03)，对应寄存器数据为 16 b1110_1101_1110_1101(16 heded)，即可从正常模式进入用户模式，操作完毕至少等待2ms 执行其他操作。

2.4.5 SPI 模式切换（用户模式到正常模式）

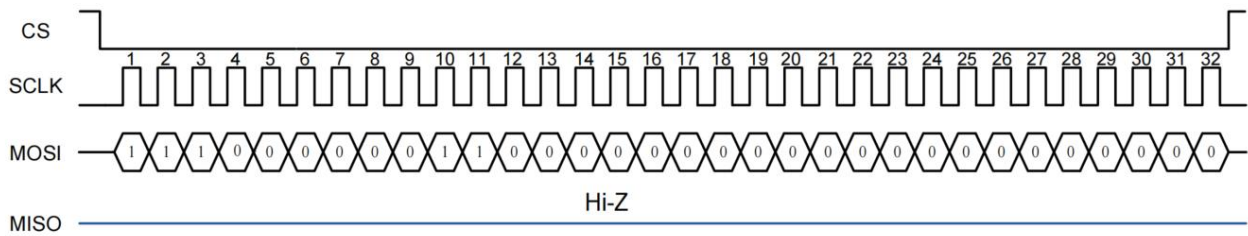


图 10 用户模式切换正常模式示意图

当通过 SPI 操作退回正常模式时，OPCODE 码为：3 b111，对应寄存器地址为 8 b0000_0011(8 h03)，对应寄存器数据为 16 b0000_0000_0000_0000(16 h0000)。操作一次即可从用户模式退回到正常模式，操作完毕至少等待 5ms 执行其他操作。

2.4.6 SPI 读角度

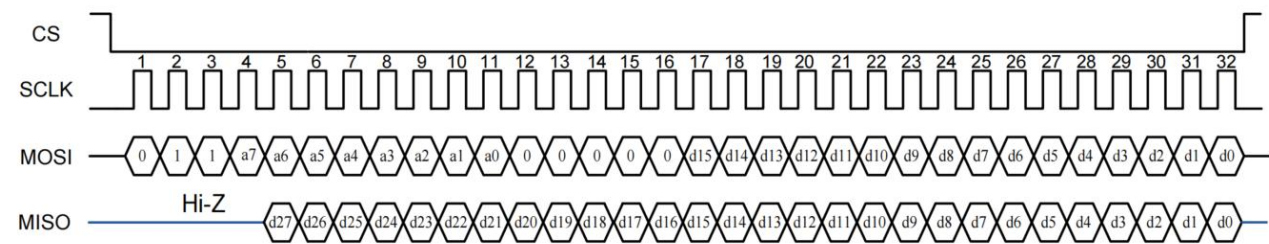


图 11 SPI 读取角度时序图

当通过 SPI 操作读取角度时，OPCODE 码为：3 b011，d27~d5 为对应角度值，d4~d1 为角度值对应的CRC 校验码，d0 为 error 位，操作完毕至少等待 2μs 执行其他操作。

1) d[27:5]：23-bit 角度数据，0~360° 的绝对角度值 θ 可由下面的公式计算得到：

$$\theta = \frac{\sum_{i=0}^{22} Angle<i> \times 2^i}{8388608} \times 360^\circ$$

2) d[4:1]：4-bit CRC 检验码，校验范围为 1-bit 0 后接 23-bit 角度值（总共 24-bit 数据），

CRC 校验多项式为 $x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ，初始值为 4 b0011。

3) d0：error 位。

3. 寄存器表

Register Address	EEPROM Address	MODE	-	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
Reg0x04	-	USER	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	auto_over	Er_ror	M_Error	Den_Error	Lost_Error
Reg0x06	0x02	USER	W/R	SPI_zero [22:7]															
Reg0x07	0x04	USER	W/R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SPI_zero [6:0]						
Reg0x08	0x06	USER	W/R	-	-	ABZ_zero [13:0]													
Reg0x09	0x08	USER	W/R	Z_initial [1:0]		Z_width [13:0]													
Reg0x0A	0x0A	USER	W/R	abz_hys [3:0]				ABZ_res [11:0]											
Reg0x0B	0x0C	USER	W/R	-	-	UVW_zero [13:0]													
Reg0x0C	0x0E	USER	W/R	-	-	-	-	UVW_hys [3:0]				NC		UVW_RES [4:0]					
Reg0x0D	0x10	USER	W/R	-	en_pwm	pwm_fre_sel [1:0]		spi_hys [11:0]											
Reg0x0E	0x12	USER	W/R	dis_error [1:0]		abz_uvw_sel [1:0]		a_reverse	ccw/cw	tama_gawa	en_abz	en_uvw	Bandwidth [6:0]						
Reg0x44	0x7E	USER	W/R	chip id [15:0]															
Reg0xBE	-	USER	W/R	be_enable															
Reg0xCC	-	USER	W/R	cc_enable															
Reg0xEE	-	USER	W/R	ee_enable															
Reg0xFA	-	USER	W/R	auto_calibration_enable															

3.1 寄存器说明

3.1.1 Reg0x04, ERROR 寄存器（只读）

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	auto_over	Error	M_Error	Den_Error	Lost_Error

ERROR 寄存器只有四位，当客户遇到 ERROR 引脚报警时，可以通过读取这个寄存器了解 ERROR 的类型：

Error: 任意一种错误显示位 Normal = 1 Error = 0

M_Error: Normal = 1 Error = 0

Den_Error: Normal = 1 Error = 0

Lost_Error: Normal = 1 Error = 0

auto_over 自动校准完成指示标志：自动校准完成 = 1 自动校准未完成 = 0

3.1.2 Reg0x06 ~ 07, SPI 零点寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x06	SPI_zero [22:7]															
0x07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SPI_zero [6:0]					

这两个寄存器合并为一个 23 位数据 SPI_zero [22:0]，可配置 SPI 接口的零点位置，其中寄存器和角度值对应关系如下表 1 所示：

表 1 SPI 零点寄存器

SPI_zero [22:0]	绝对角度值 (°)
0x0000	0 (default)
0x0001	0.000043
0x0002	0.000086
0x0003	0.000129
...	...
0x7ffffe	359.999914
0x7fffff	359.999957

3.1.3 Reg0x08, ABZ 零点寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x08	-	-	ABZ_zero [13:0]													

ABZ_zero [13:0]，可配置 ABZ 接口 Z 相的零点位置，其中寄存器和角度值对应关系如下表 2 所示：

表 2 ABZ 零点寄存器

ABZ_zero [13:0]	绝对角度值 (°)
0x0000	0 (default)
0x0001	0.022
0x0002	0.044
0x0003	0.066
...	...
0x3ffe	359.956
0x3fff	359.978

3.1.4 Reg0x09, ABZ 配置寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x09	Z_initial [1:0]		Z_width [13:0]													

1) Z_initial [1:0]: 设置 Z 信号出现时的 AB 相位，具体配置如下图 12 和表 3 所示:

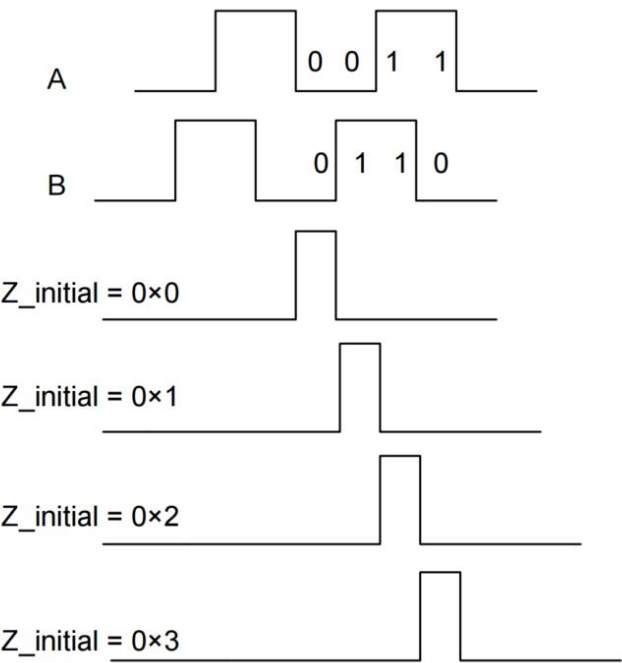


图 12 相位配置图

表 3 Z 信号相位寄存器

Z_initial [1:0]	Z 相位
0x0	Z@AB = 00 (default)
0x1	Z@AB = 01
0x2	Z@AB = 11
0x3	Z@AB = 10

2) Z_width [13:0], 寄存器设置和 Z 相脉宽对应关系如下表 4 所示:

表 4 Z 相脉宽寄存器

Z_width [13:0]	Z 相位
0x0000	1 (default)
0x0001	2
0x0002	3
0x0003	4
0x0004	5
...	...
0x3ffe	16383
0x3fff	16384

3.1.5 Reg0x0A, ABZ 滞回和分辨率寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x0A	abz_hys [3:0]				ABZ_res[11:0]											

1) abz_hys [3:0] 设置 ABZ 的滞回区间寄存器，寄存器和滞回区间对应关系如下图 13 和表 5 所示:

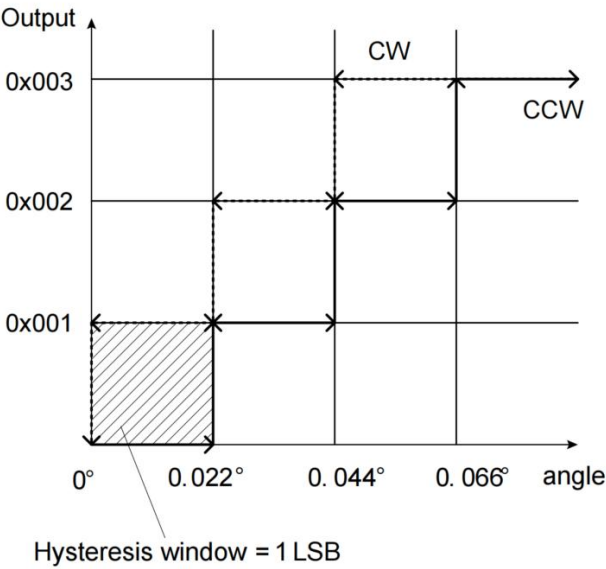


图 13 寄存器和滞回区间对应关系图

表 5 abz_hys 寄存器

abz_hys [3:0]	滞回区间
0x0	0
0x1	1 LSB
0x2	2 LSB
0x3	3 LSB
0x4	4 LSB (default)
0x5	5 LSB
...	...
0xe	14 LSB
0xf	15 LSB

注: $LSB = 360^\circ / 2^{14} = 0.022^\circ$

2) ABZ_res [11:0] 可设置 ABZ 的分辨率，芯片可以选择 1 到 4096 线的输出，寄存器与 ABZ 分辨率的关系如下表 6 所示：

表 6 ABZ 分辨率寄存器

ABZ_res [11:0]	ABZ 分辨率（线）
0x000	1
0x001	2
0x002	3
0x003	4
...	...
0xffe	4095
0xfff	4096 (default)

3.1.6 Reg0x0B, UVW 零点寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x0B	-	-	UVW_zero [13:0]													

UVW_zero [13:0]，可配置 UVW 起始零点位置，其中寄存器和角度值对应关系如下表 7 所示：

表 7 UVW 零点寄存器

UVW_zero [13:0]	零点位置 (°)
0x0000	0 (default)
0x0001	0.022
0x0002	0.044
0x0003	0.066
...	...
0x3ffe	359.956
0x3fff	359.978

3.1.7 Reg0x0C, UVW 配置寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x0C	-	-	-	-	UVW_hys [3:0]				NC			UVW_RES [4:0]				

1) UVW_hys [3:0]: 设置 UVW 的滞回区间，寄存器和滞回区间对应关系如下

表 8 所示：表 8 UVW 滞回寄存器

UVW_hys [3:0]	滞回区间
0x0	0
0x1	1 LSB
0x2	2 LSB
0x3	3 LSB
0x4	4 LSB (default)
0x5	5 LSB
...	...
0xe	14 LSB
0xf	15 LSB

注：LSB = $360^{\circ}/2^{14} = 0.022^{\circ}$

2) UVW_RES [4:0]: 设置 UVW 的分辨率寄存器，芯片可以选择 1 到 32 对极的输出，寄存器与极对数对应关系如下表 9 所示：

表 9 UVW 分辨率寄存器

UVW_RES [4:0]	极对数
0x00	1 (default)
0x01	2
0x02	3
0x03	4
...	...
...	...
...	...
0x1e	31
0x1f	32

3.1.8 Reg0x0D, PWM 配置寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x0D	-	en_pwm	pwm_fre_sel [1:0]		spi_hys[11:0]											

- 1) en_pwm: 打开 PWM 输出的寄存器
en_pwm = 0 开启 PWM 的输出 PIN
en_pwm = 1 关闭 PWM 的输出（高阻）
- 2) pwm_fre_sel: PWM 频率设置寄存器，设置值和 PWM 频率对应关系如下表 10 所示：

表 10 PWM 频率设置对应表

pwm_fre_sel [1:0]	PWM 频率
0x0	1kHz (default)
0x1	500Hz
0x2	250Hz
0x3	125Hz

- 3) spi_hys [11:0]: 设置 SPI 的滞回区间，寄存器和 SPI 滞回区间对应关系如下表

11 所示：表 11 SPI 滞回寄存器

SPI_hys [11:0]	滞回区间
0x000	0
0x001	1 LSB
0x002	2 LSB
0x003	3 LSB
0x004	4 LSB
...	...
0x028	40 LSB (default)
...	...
0x7Fe	2046 LSB
0x7FF	2047 LSB

注：LSB = $360^{\circ}/2^{17} = 0.0027^{\circ}$

3.1.9 Reg0x0E, ABZ 和 UVW 配置寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x0E	dis_error[1:0]		abz_uvw_sel [1:0]		a_re verse	ccw/ cw	tama gawa	en_ abz	en_ uvw	Bandwidth [6:0]						

- 1) dis_error [1:0] 为关闭探测内部 error 信
号的寄存器dis_error [1:0] = 01 关闭
E_ERROR 的监测
dis_error [1:0] = 10 关闭
Den_Error 的监测dis_error [1:0]
= 11 关闭 Lost_Error 的监测
- 2) abz_uvw_sel [1:0] 为 ABZ 和 UVW 输出配置寄存器，寄存器和输出模式对应关系如下表

12 所示：表 12 ABZ 和 UVW 输出配置寄存器对应关系

引脚序号	abz_uvw_sel [1:0]	ABZ + UVW	引脚序号	abz_uvw_sel [1:0]	ABZ + UVW
16	2'b00	A	16	2'b01	A
15		B	15		B
14		Z	14		Z
1		U	1		-A
2		V	2		-B
3		W	3		-Z
引脚序号	abz_uvw_sel [1:0]	ABZ + UVW	引脚序号	abz_uvw_sel [1:0]	ABZ + UVW
16	2'b10	-U	16	2'b11	-U
15		-V	15		-V
14		-W	14		-W
1		U	1		-A
2		V	2		-B
3		W	3		-Z

- 3) a_reverse 为 ABZ UVW 模块的正反转功能

a_reverse	旋转方向
0	CCW (default)
1	CW

- 4) ccw/cw

ccw/cw	ABZ/UVW 与旋转关系
0	与旋转方向正相关 (default)
1	与旋转方向负相关

5) Tamagawa

Tamagawa	AB 管脚
0	正常输出 (default)
1	多摩川协议输出, ab 引脚换相

6) en_abz: 为开启 ABZ 输

出的寄存器 en_abz = 1

开启 ABZ 的输出 PIN

en_abz = 0 关闭 ABZ 的输出 PIN (高阻)

7) en_uvw: 为开启 UVW 输

出的寄存器 en_uvw = 1 开

启 UVW 的输出 PIN

en_uvw = 0 关闭 UVW 的输出 PIN (高阻)

8) Bandwidth [6:0]: 带宽设置寄存器, 如需设置此寄存器数值, 请联系技术

人员, 用户自定义 ID 寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x44	chip id [15:0]															

3.1.11 Reg0xBE, 字节写 EEPROM 寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0xBE	be_enable															

启动 BE 字节写操作: OPCODE 码为: 3'b101, 对应寄存器地址为 8'b1011_1110(8'hBE), 对应寄存器数据为 16'b1011_1110_1011_1110(16'hBEBE)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

关闭 BE 字节写操作: OPCODE 码为: 3'b101, 对应寄存器地址为 8'b1011_1110(8'hBE), 对应寄存器数据为 16'b0000_0000_0000_0000(16'h0000)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

每次字节写之前, 都需要启动一次 be_enable。写完之后关闭一次 be_enable。

3.1.12 Reg0xCC, 高低压烧录 EEPROM 寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0xCC	cc_enable															

启动高压烧录 EE 操作: OPCODE 码为: 3'b101, 对应寄存器地址为 8'b1100_1100(8'hCC), 对应寄存器数据为 16'b1100_1100_1100_1100(16'hCCCC)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

启动低压烧录 EE 操作: OPCODE 码为: 3'b101, 对应寄存器地址为 8'b1100_1100(8'hCC), 对应寄存器数据为 16'b0000_0000_0000_0000(16'h0000)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

根据芯片供电电压可选择高压烧录或者低压烧录。例如 5V 供电选择高压烧录, 3.3V 供电选择低压烧录。

3.1.13 Reg0xEE，EEPROM 使能寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0xEE	ee_enable															

启动 EE 操作：OPCODE 码为：3'b101，对应寄存器地址为 8'b1110_1110(8'hEE)，对应寄存器数据为16'b1110_1110_1110_1110(16'hEEEE)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

关闭 EE 操作：OPCODE 码为：3'b101，对应寄存器地址为 8'b1110_1110(8'hEE)，对应寄存器数据为16'b0000_0000_0000_0000(16'h0000)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

每次上电操作 EEPROM，都需要启动一次 ee_enable。

3.1.14 Reg0xFA，自动校准使能寄存器

Address	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0xFA	Auto_Calibration_enable															

启动自动校准：OPCODE 码为：3'b101，对应寄存器地址为 8'b1111_1010(8'hFA)，对应寄存器数据为16'b1111_1010_1111_1010(16'hFAFA)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

关闭自动校准：OPCODE 码为：3'b101，对应寄存器地址为 8'b1111_1010(8'hFA)，对应寄存器数据为16'b0000_0000_0000_0000(16'h0000)。操作完毕至少等待 2ms 执行其他操作。

每次启动自动校准后，需要等待 04 寄存器的 auto_over 自动校准完成指示标志位 =1，校准完成，然后关闭自动校准。

4. 校准说明

4.1 自动校准

Step 1: 匀速转动电机

室温条件下，芯片供电 5V，在测试台架上按量产磁铁和气隙尺寸安装 TLX3110 PCBA，将正对芯片感应中心的一对极磁铁或者离轴侧放感应侧边的一对极磁环如图 14 所示，匀速转动电机，建议匀速转速在 300 RPM ~ 3000 RPM 之间，推荐值 600 RPM。

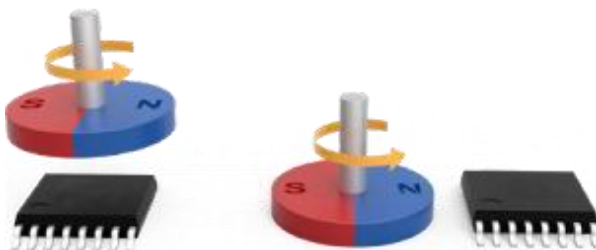


图 14 自动校准旋转示意图

Step 2: 启动自动校准

- (1) 进入用户模式
- (2) 启动 EEPROM 使能，延时 2ms
- (3) 根据芯片供电电压可选择高压烧录或者低压烧录，延时 2ms。
- (4) 关闭字节写 EEPROM 功能，延时 2ms
- (5) 发送自动校准启动命令
- (6) 查询 04 寄存器的 bit4 位的 auto_over 自动校准完成指示标志是否为 1，若为 1 表示自动校准完成
- (7) 发送自动校准关闭命令
- (8) 退出用户模式
- (9) 停止电机转动

Step 3: 使用校准参数测试

Step2 中自动校准参数写入到芯片 EEPROM，寄存器 0F~1E 可查看写入的校准参数，此例中实施自动校准以后，在一个测量周期中的校准前后的角度误差曲线如图 15 所示。

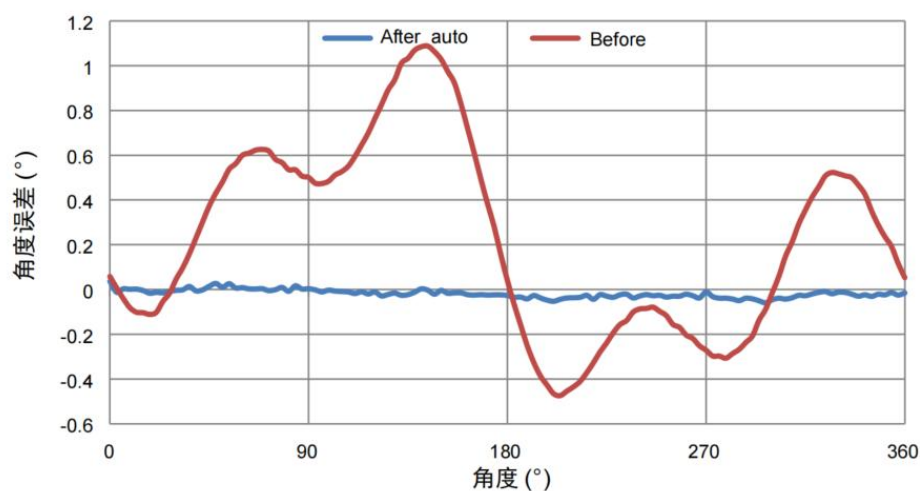


图 15 自动校准前后角度误差对比

4.2 非线性校准 (LNR)

TLX3110 已经完成自动校准 (auto-calibration) 后, 如果客户还有进一步的角度输出精度需求, 则可以使用 TLX3110 内置的 64 点非线性校准功能。需要使用高精度光学编码器。

4.2.1 非线性校准相关寄存器表

Register Address	EEPROM Address	MODE	-	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0x23	0x3c	USER	W/R	lnr_enable [7:0] (= 8'h59 enable)								lnr_point1 [7:0]							
0x24	0x3e	USER	R	lnr_point2 [7:0]								lnr_point3 [7:0]							
0x25	0x40	USER	W/R	lnr_point4 [7:0]								lnr_point5 [7:0]							
0x26	0x42	USER	W/R	lnr_point6 [7:0]								lnr_point7 [7:0]							
0x27	0x44	USER	W/R	lnr_point8 [7:0]								lnr_point9 [7:0]							
0x28	0x46	USER	W/R	lnr_point10 [7:0]								lnr_point11 [7:0]							
0x29	0x48	USER	W/R	lnr_point12 [7:0]								lnr_point13 [7:0]							
0x2A	0x4A	USER	W/R	lnr_point14 [7:0]								lnr_point15 [7:0]							
0x2B	0x4C	USER	W/R	lnr_point16 [7:0]								lnr_point17 [7:0]							
0x2C	0x4E	USER	W/R	lnr_point18 [7:0]								lnr_point19 [7:0]							
0x2D	0x50	USER	W/R	lnr_point20 [7:0]								lnr_point21 [7:0]							
0x2E	0x52	USER	W/R	lnr_point22 [7:0]								lnr_point23 [7:0]							
0x2F	0x54	USER	W/R	lnr_point24 [7:0]								lnr_point25 [7:0]							
0x30	0x56	USER	W/R	lnr_point26 [7:0]								lnr_point27 [7:0]							
0x31	0x58	USER	W/R	lnr_point28 [7:0]								lnr_point29 [7:0]							
0x32	0x5A	USER	W/R	lnr_point30 [7:0]								lnr_point31 [7:0]							
0x33	0x5C	USER	W/R	lnr_point32 [7:0]								lnr_point33 [7:0]							
0x34	0x5E	USER	W/R	lnr_point34 [7:0]								lnr_point35 [7:0]							
0x35	0x60	USER	W/R	lnr_point36 [7:0]								lnr_point37 [7:0]							
0x36	0x62	USER	W/R	lnr_point38 [7:0]								lnr_point39 [7:0]							
0x37	0x64	USER	W/R	lnr_point40 [7:0]								lnr_point41 [7:0]							
0x38	0x66	USER	W/R	lnr_point42 [7:0]								lnr_point43 [7:0]							
0x39	0x68	USER	W/R	lnr_point44 [7:0]								lnr_point45 [7:0]							
0x3A	0x6A	USER	W/R	lnr_point46 [7:0]								lnr_point47 [7:0]							
0x3B	0x6C	USER	W/R	lnr_point48 [7:0]								lnr_point49 [7:0]							
0x3C	0x6E	USER	W/R	lnr_point50 [7:0]								lnr_point51 [7:0]							
0x3D	0x70	USER	W/R	lnr_point52 [7:0]								lnr_point53 [7:0]							
0x3E	0x72	USER	W/R	lnr_point54 [7:0]								lnr_point55 [7:0]							
0x3F	0x74	USER	W/R	lnr_point56 [7:0]								lnr_point57 [7:0]							
0x40	0x76	USER	W/R	lnr_point58 [7:0]								lnr_point59 [7:0]							
0x41	0x78	USER	W/R	lnr_point60 [7:0]								lnr_point61 [7:0]							
0x42	0x7A	USER	W/R	lnr_point62 [7:0]								lnr_point63 [7:0]							

4.2.2 非线性校准流程

Step 1: 调整零点，保证 TLX3110 的零点和高精度光学编码器的零点一致

Step 2: 寻找角度值

将输出角度 0~360° 等分成 64 段，转动电机，通过 SPI 读取的角度值和高精度光学编码器的 64 组对应值。

Step 3: 计算误差值

将输出码字转换成 17 位，误差值为高精度光学编码器码字减去 TLX3110 SPI 输出角度码字。

表 13 LNR 写入值计算表

磁编码值	光编码值	误差	误差对应 2 进制	误差对应 16 进制	Register Address	EEPROM Address	写入值
0	0	0	00000000	00	0x23	0x3C	5904
2044	2048	4	00000100	04	0x24	0x3E	0606
4090	4096	6	00000110	06	...	...	...
6138	6144	6	00000110	06	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
122891	122880	-11	11110101	F5	...	...	...
124927	124928	1	00000001	01	...	...	...
126975	126976	1	00000001	01	0x41	0x78	F501
129026	129024	-2	11111110	FE	0x42	0x7A	01FE

Step 4: 写入校准值

如表 13 所示，计算出写入值存入 lnr_enable [7:0]、lnr_point1 [7:0] ~ lnr_point63 [7:0] 中，其中 lnr_point1 [7:0] ~ lnr_point63 [7:0] 是补码的方式，bit [7] 为符号位。

Step 5: 使用校准参数测试

此例中实施非线性校准以后，在一个测量周期中的校准前后的角度误差曲线如图 16 所示。

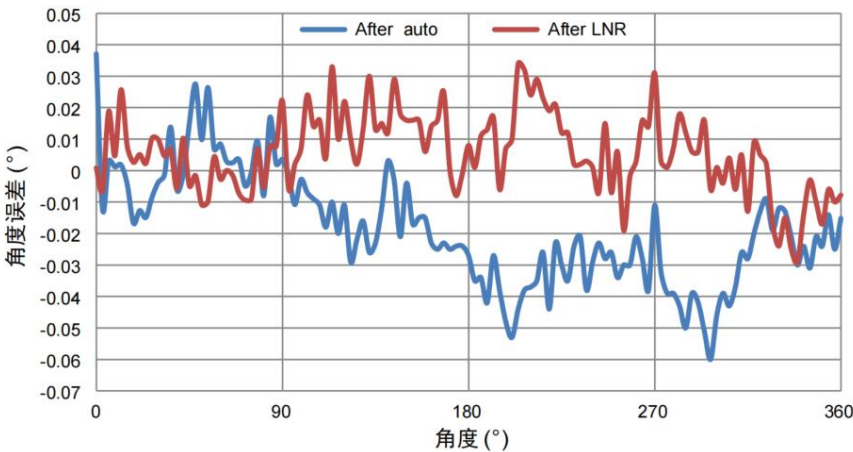


图 16 非线性校准前后角度误差对比