

无锡泰连芯科技有限公司

**TLX3111型**  
**磁性旋转编码器芯片**

**2024年06月**

## 产品概述

TLX3111 是一款非接触式、兼容对轴和离轴应用的高速、高精度、小封装磁性编码器芯片，通过感应芯片上方磁铁的旋转，采集磁场信号并计算旋转角度。芯片内部集成了隧道磁阻传感器(TMR) 及 23 位分辨率信号处理 ASIC，提供丰富的工作参数配置、多种输出接口供客户选择。

TLX3111 支持 3 线、4 线 SPI 工作模式，客户端 MCU 可通过 SPI 协议读取 23 位绝对位置信息。同时芯片也提供 12 位分辨率 PWM 输出接口，PWM 频率可按照客户需求分 4 档配置。

TLX3111 提供 ABZ 增量模式输出，最高支持 4096 线，A/B 相位正反转可编程，Z 脉冲的宽度及初始相位可编程。

TLX3111 提供便捷的客户端自校准模式，方便客户自行补偿由结构安装带来的非线性误差。

## 产品特性

- 隧道磁阻 (TMR) 技术
- 供电电压: 3 V ~ 5 V
- 工作电流 10mA (典型值)
- 支持 0 ~ 360° 绝对位置检测
- 兼容对轴 / 离轴应用
- 提供 SPI/ABZ/PWM 输出接口
- 支持 ABZ 1~4096 线可编程
- 角度输出延迟时间 < 2  $\mu$ s
- 角度检测绝对精度 <  $\pm 0.05^\circ$
- 最高转速: 40,000 RPM
- 集成快速自校准功能
- 内置 EEPROM, 可擦写次数 > 1000 次
- 符合 RoHS & REACH
- 质量等级: 军温级&企军标

## 典型应用

- 非接触式旋转位置检测
- 无刷电机位置传感器
- 旋转速度检测
- 闭环步进系统
- 伺服编码器

产品选型表

| 订购型号              | 温度等级          | 封装类型   | MSL    | 质量等级 |
|-------------------|---------------|--------|--------|------|
| JTLX3111D-1000    | -55 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 企军标  |
| JTLX3111D-4096    | -55 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 企军标  |
| JTLX3111D-1000(W) | -55 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 军温级  |
| JTLX3111D-4096(W) | -55 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 军温级  |
| TLX3111D-1000     | -40 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 工业级  |
| TLX3111D-4096     | -40 ℃ ~+125 ℃ | DFN10L | MSL1/3 | 工业级  |

目录

1. 引脚定义 .....5

2. 功能框图 ..... 6

3. 电磁参数 .....7

    3.1 极限参数 ..... 7

    3.2 电性能参数 ..... 7

    3.3 数字输入信号 .....7

    3.4 数字输出信号 .....8

    3.5 PWM 特性 .....8

    3.6 EEPROM 电气特性 ..... 8

    3.7 磁场信号规格 .....8

4. 输出模式 .....9

    4.1 ABZ 输出 ..... 9

    4.2 PWM 输出 ..... 11

    4.3 ABZ 输出配置 ..... 11

    4.4 SPI 输出 ..... 12

5. 输出精度校准 ..... 16

    5.1 出厂校准 ..... 16

    5.2 自动校准 ..... 16

    5.3 非线性校准 ..... 17

6. 寄存器列表 ..... 18

7. 参考电路 ..... 19

8. 机械角度方向 ..... 20

9. 封装 .....21

1. 引脚定义

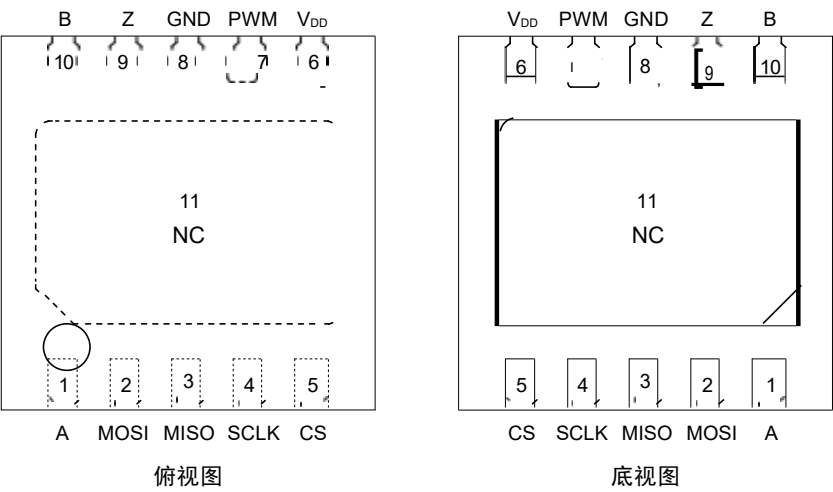


图 1 引脚定义（DFN10L）

| 引脚序号 | 引脚名             | 输入 / 输出 | 类型 | 功能         |
|------|-----------------|---------|----|------------|
| 1    | A               | 输出      | 数字 | A 相脉冲信号    |
| 2    | MOSI            | 输入      | 数字 | SPI 数据输入信号 |
| 3    | MISO            | 输出      | 数字 | SPI 数据输出信号 |
| 4    | SCLK            | 输入      | 数字 | SPI 时钟信号   |
| 5    | CS              | 输入      | 数字 | SPI 片选信号   |
| 6    | V <sub>DD</sub> | 输入      | 电源 | 电源         |
| 7    | PWM             | 输出      | 数字 | PWM 引脚     |
| 8    | GND             | 输入      | 地  | 地          |
| 9    | Z               | 输出      | 数字 | Z 相脉冲信号    |
| 10   | B               | 输出      | 数字 | B 相脉冲信号    |
| 11   | E pad           | -       | -  | 无连接 悬空     |

2. 功能框图

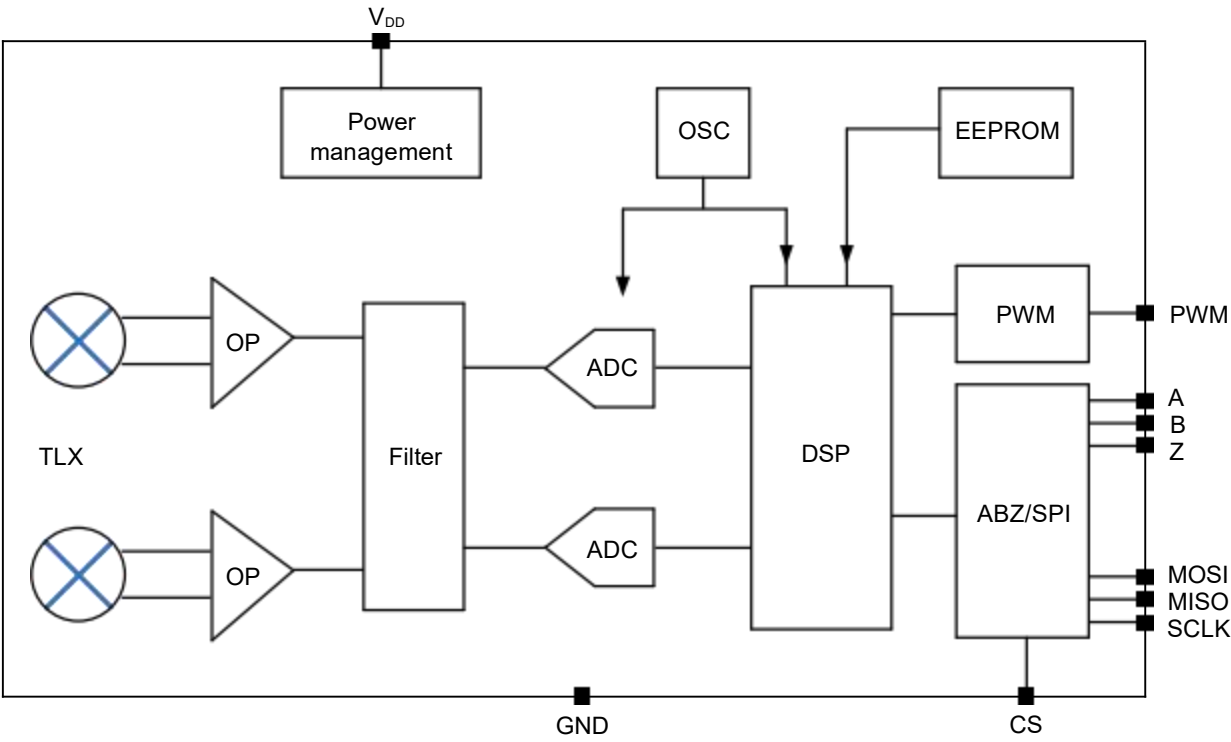


图 2 芯片功能框图

3. 电磁参数

3.1 极限参数

极限参数中最大值只是保证芯片不被永久损伤的条件

| 参数                                        | 符号         | 最小值  | 最大值      | 单位 |
|-------------------------------------------|------------|------|----------|----|
| 工作电压                                      | $V_{DD}$   | -0.3 | 6        | V  |
| 外加磁场                                      | B          | -    | 4000     | Gs |
| A, B, Z, CS, SCLK, MISO, MOSI, PWM 引脚输入电压 | $V_{IN1}$  | -0.3 | $V_{DD}$ | V  |
| A, B, Z, MISO 引脚输出电流                      | $I_{OUT1}$ | -20  | 20       | mA |
| 正常工作温度                                    | $T_A$      | -55  | 125      | °C |
| 存储温度                                      | $T_{STG}$  | -55  | 150      | °C |
| ESD (HBM)                                 | $V_{ESD}$  | -    | 4        | kV |

3.2 电性能参数

$T_A = 25\text{ °C}$

| 参数         | 符号            | 条件              | 最小值 | 典型值        | 最大值        | 单位      |
|------------|---------------|-----------------|-----|------------|------------|---------|
| 工作电压       | $V_{DD}$      | -               | 3.0 | 5.0        | 5.5        | V       |
| 工作电流       | $I_{DD}$      | -               | -   | 10         | -          | mA      |
| 角度测量范围     | $A_{range}$   | -               | 0   | -          | 360        | Deg     |
| 绝对角度分辨率    | $RES_{SDC}$   | -               | -   | -          | 23         | bit     |
| 非线性误差      | $INL_{OPT}$   | -               | -   | $\pm 0.05$ | -          | Deg     |
| 非线性误差（全温区） | $INL_{drift}$ | -55 °C ~ 125 °C | -   | -          | $\pm 0.5$  | Deg     |
| 重复性        | $A_{repeat}$  | -               | -   | -          | $\pm 0.03$ | Deg     |
| 角度输出延时     | $T_D$         | -               | -   | 2          | -          | $\mu s$ |
| 转速         | $R_{speed}$   | -               | -   | -          | 40000      | RPM     |

3.3 数字输入信号

CS, SCLK, MOSI

| 参数      | 符号          | 条件 | 最小值          | 典型值 | 最大值          | 单位 |
|---------|-------------|----|--------------|-----|--------------|----|
| 输入高电平阈值 | $V_{I(HI)}$ | -  | $0.8 V_{DD}$ | -   | -            | V  |
| 输入低电平阈值 | $V_{I(LO)}$ | -  | -            | -   | $0.2 V_{DD}$ | V  |

3.4 数字输出信号

A, B, Z, MISO, PWM

| 参数      | 符号          | 条件                    | 最小值            | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------|-------------|-----------------------|----------------|-----|-----|----|
| 输出高电平阈值 | $V_{O(HI)}$ | $I = 1\text{ mA}$     | $V_{DD} - 0.3$ | -   | -   | V  |
| 输出低电平阈值 | $V_{O(LO)}$ | $I = 1\text{ mA}$     | -              | -   | 0.3 | V  |
| 上升沿时间   | $t_{rise}$  | $C_L = 100\text{ pF}$ | -              | -   | 100 | ns |
| 下降沿时间   | $t_{fall}$  | $C_L = 100\text{ pF}$ | -              | -   | 100 | ns |
| 输出负载    | $C_L$       | -                     | -              | -   | 100 | pF |

3.5 PWM 特性

| 参数     | 符号         | 条件       | 最小值 | 典型值  | 最大值 | 单位            |
|--------|------------|----------|-----|------|-----|---------------|
| PWM 频率 | $F_{PWM}$  | -        | -   | 1000 | -   | Hz            |
| 上升沿时间  | $t_{rise}$ | 10 nF 负载 | -   | -    | 1   | $\mu\text{s}$ |
| 下降沿时间  | $t_{fall}$ | 10 nF 负载 | -   | -    | 1   | $\mu\text{s}$ |

3.6 EEPROM 电气特性

| 参数            | 符号         | 条件 | 最小值  | 典型值      | 最大值 | 单位    |
|---------------|------------|----|------|----------|-----|-------|
| MTP 擦写供电电压    | $V_{MTPW}$ | -  | -    | $V_{DD}$ | -   | V     |
| EEPROM 擦写次数   | $E_{EN}$   | -  | 1000 | -        | -   | Cycle |
| 数据保存时间 @125°C | $E_{RE}$   | -  | 10   | -        | -   | Year  |

3.7 磁场信号规格

推荐磁铁材质：钕铁硼（N35SH），直径：9 mm，厚度：2.5 mm，充磁方向：径向对半充磁

| 参数           | 符号              | 条件    | 最小值 | 典型值 | 最大值  | 单位  |
|--------------|-----------------|-------|-----|-----|------|-----|
| 磁铁直径         | $d_{mag}$       | -     | 6   | 9   | 20   | mm  |
| 磁铁厚度         | $t_{mag}$       | -     | -   | 2.5 | -    | mm  |
| 安装距离         | $D_{in}$        | 推荐的磁铁 | 1   | 3   | 10   | mm  |
| 磁场强度范围       | $H_{ext}$       | 芯片表面  | 100 | -   | 1000 | Gs  |
| 传感器与磁铁中心偏差   | $x_{dis}$       | -     | -   | -   | 0.5  | mm  |
| 传感器与磁铁中心倾斜角度 | $\varphi_{pac}$ | -     | -3  | -   | 3    | Deg |



4. 输出模式

4.1 ABZ 输出

TLX3111 芯片通过 A、B、Z 引脚提供 ABZ 增量输出，由角度数据编码产生。输出分辨率可在 1 ~ 4096 之间可编程。如图 3、图 4 所示，当磁铁在默认设置下逆时针（CCW）旋转时，B 相领先 A 相。

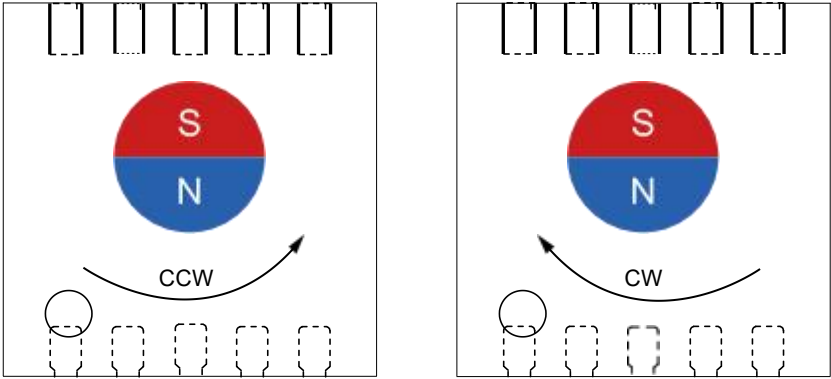


图 3 ABZ 示意图（顶视图）

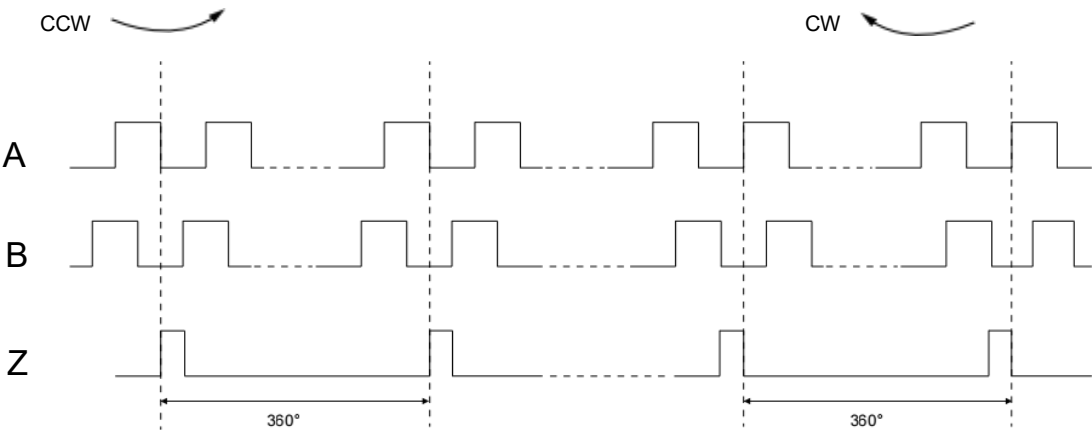


图 4 ABZ 输出示意图

Z 相位可以通过 `z_initial [1:0]` 来配置，具体配置见图 5 所示：

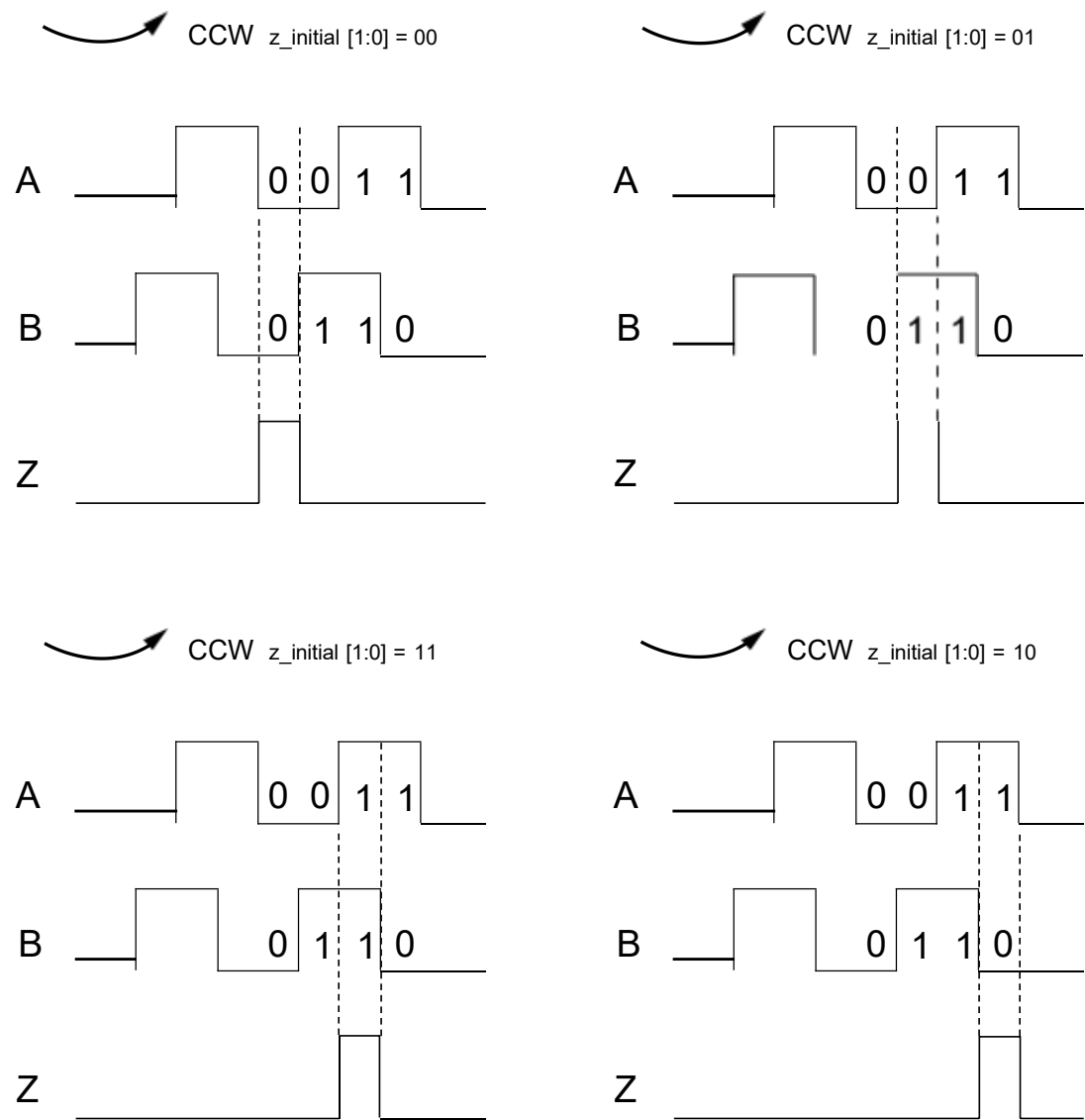


图 5 Z 相位编程示意图

Z 的宽度可设置为 1 ~ 16384 个 LSB 宽度，其中 A 相周期的 1/4 作为 1LSB 的参考宽度。Z 相位的脉冲默认处于 A、B 均为0 的相位，但可编程为 A、B 相一个周期内的任意一个 LSB 位置。

TLX3111 角度传感器芯片零点位置（Z相）位置/Z 相宽度/ 滞回参数/ 分辨率参数/ 正反转等的设置以及ABZ 信号的演示。

4.2 PWM 输出

TLX3111 芯片支持脉宽调制信号（PWM）输出，PWM 的占空比与磁场角度是成比例的逻辑信号，分辨率为 12 位，图6 显示了 PWM 信号的一个周期，周期（T）为 1/FPWM，该周期包含了 4119 个最小时钟周期，以固定的 16 个最小时钟的高电平开始，8 个最小时钟的低电平结束，中间总长为 4095 个最小时钟周期的 12 位角度数据，可通过寄存器 pwm\_fre\_sel [1:0] 对 PWM 输出的频率进行编程。

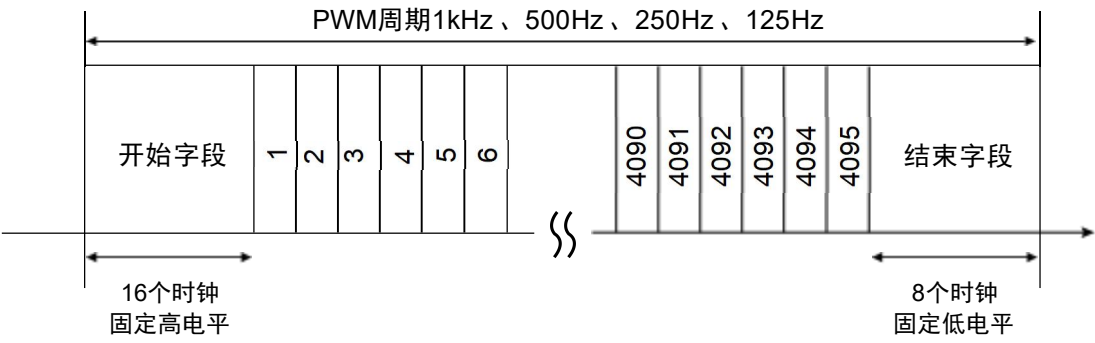


图 6 PWM 输出波形

4.3 ABZ 输出配置

TLX3111 可以通过寄存器 tamagawa bit 配置来交换 AB 输出信号，详情见下表所示：

1) tamagawa = 1'b0

| 引脚序号 | tamagawa | ABZ |
|------|----------|-----|
| 1    | 1'b0     | A   |
| 10   |          | B   |
| 9    |          | Z   |

2) tamagawa = 1'b1

| 引脚序号 | tamagawa | ABZ |
|------|----------|-----|
| 1    | 1'b1     | B   |
| 10   |          | A   |
| 9    |          | Z   |

4.4 SPI 输出

4.4.1 SPI 时序图

TLX3111 芯片为用户编程提供4 线SPI，使用通用模式 1（CPOL = 0，CPHA = 1）。只有当CS 引脚设置为“0”时，数据通信才可用。要操作对 TLX3111 芯片写入数据时，主机必须通过 SCLK 下降沿上的 MOSI 引脚输入串行数据。在读取数据时，TLX3111 芯片通过 SCLK 上升沿上的 MISO 引脚输出串行数据。

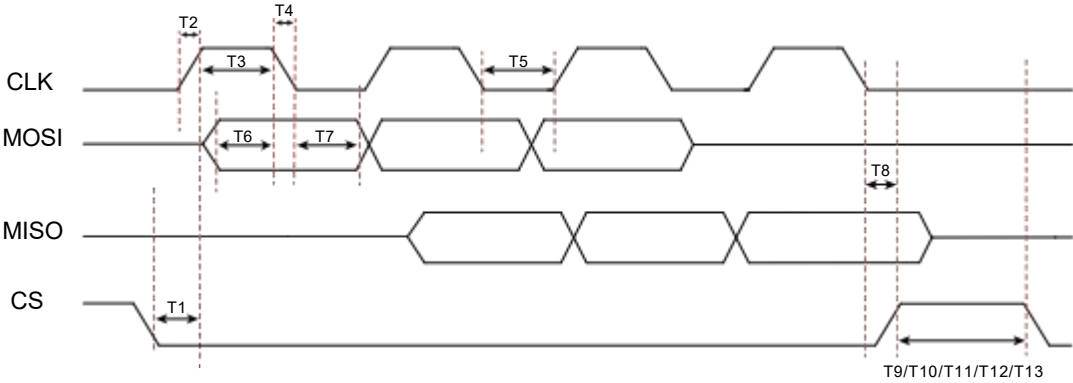


图 7 SPI 时序图

| 编号名称  | 定义                     | 最小值  | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------|------------------------|------|-----|-----|----|
| T1    | SPI 启动时间               | -    | 100 | -   | ns |
| T2/T4 | 时钟信号上升 / 下降沿（无负载）      | -    | 10  | -   | ns |
| T3    | 时钟信号高电平时间              | 30   | -   | -   | ns |
| T5    | 时钟信号低电平时间              | 30   | -   | -   | ns |
| T6    | 输入信号建立时间               | 30   | -   | -   | ns |
| T7    | 输入信号采样保持时间             | 30   | -   | -   | ns |
| T8    | SPI 关闭时间               | -    | 50  | -   | ns |
| T9    | 角度读取间隔时间               | 1    | -   | -   | μs |
| T10   | 写 EEPROM 间隔时间          | 1000 | -   | -   | ms |
| T11   | 写寄存器、读寄存、读 EEPROM 间隔时间 | 2    | -   | -   | ms |
| T12   | 切换模式间隔时间（正常模式到用户模式）    | 2    | -   | -   | ms |
| T13   | 切换模式间隔时间（用户模式到正常模式）    | 5    | -   | -   | ms |

4.4.2 SPI 协议

TLX3111 芯片为用户编程提供4 线SPI，使用通用模式 1（CPOL = 0，CPHA = 1）。只有当CS 引脚设置为 “0” 时，数据通信才可用。要操作对 TLX3111 芯片写入数据时，主机必须通过 SCLK 下降沿上的 MOSI 引脚输入串行数据。在读取数据时， TLX3111 芯片通过 SCLK 上升沿上的 MISO 引脚输出串行数据。

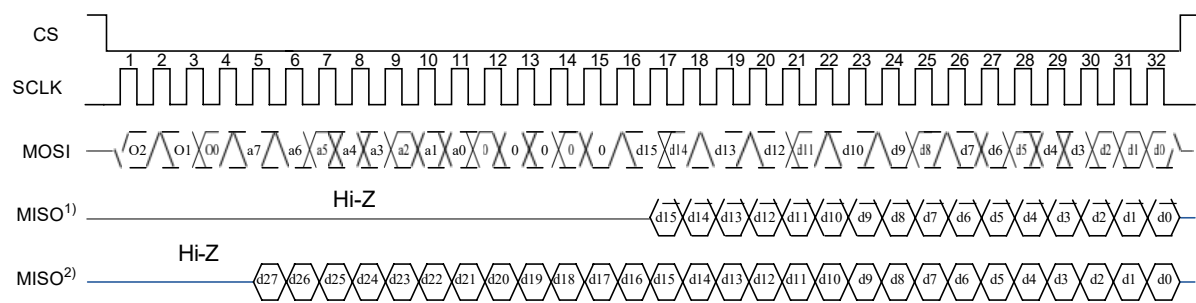


图 8 SPI 数据传输协议时序图

1 个完整的 SPI 数据传输协议如图 8 所示，由 CS 的下降沿开始，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 Op\_code 位，8-bit 的地址位，5-bit 的空闲位，16-bit 的数据位组成。
- MISO: MISO<sup>1)</sup> 当 MISO 为寄存器数据输出时，为 16-bit 的数据位。  
MISO<sup>2)</sup> 当 MISO 为角度输出模式时，为28-bit 的数据位。

具体 Op\_code 对应的功能如下表所示：

| Op_code | 定义             | 描述          |
|---------|----------------|-------------|
| 001     | Write_ee       | 写 EEPROM 操作 |
| 101     | Write_register | 写寄存器操作      |
| 110     | Read_register  | 读寄存器操作      |
| 111     | Change_mode    | 模式切换操作      |
| 011     | Read_angle     | 读角度值操作      |

4.4.3 SPI 写 EEPROM

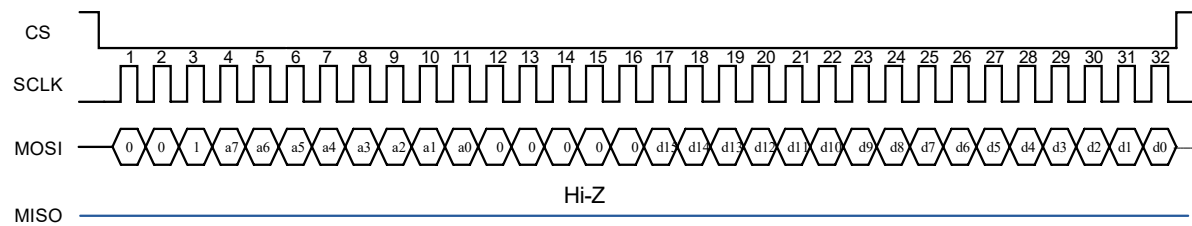


图 9 SPI 写 EEPROM 时序图

当通过 SPI 操作写 EEPROM 时，Op\_code 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。

4.4.4 SPI 写寄存器

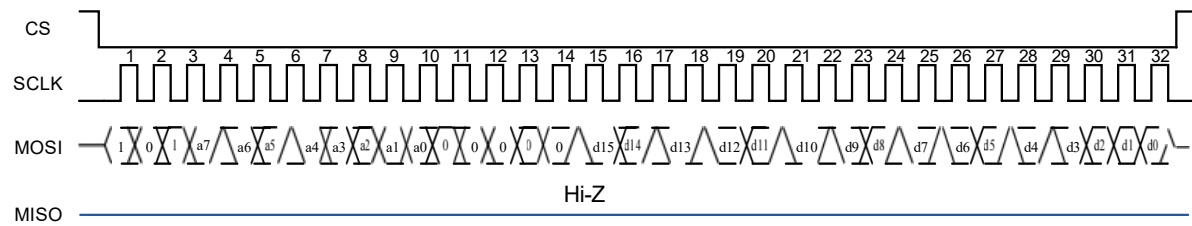


图 10 SPI 写寄存器时序图

当通过 SPI 操作写寄存器时，Op\_code 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。

4.4.5 SPI 读寄存器

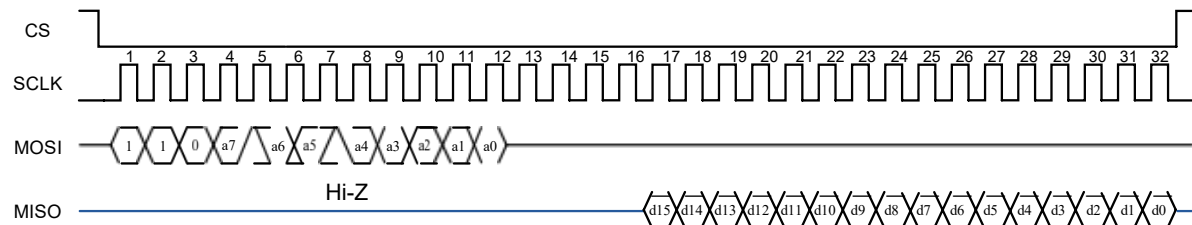


图 11 SPI 读寄存器时序图

当通过 SPI 操作读寄存器时，Op\_code 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。



## 5. 输出精度校准

针对不同客户需求，TLX3111 提供了两种校准模式，如图 15 所示。客户可使用 TLX3111 内置的自动校准 (auto-calibration) 功能、64 点非线性校准 (LNR) 功能提供角度输出的精度。使用非线性校准 (LNR) 时，推荐使用高精度光学编码器。

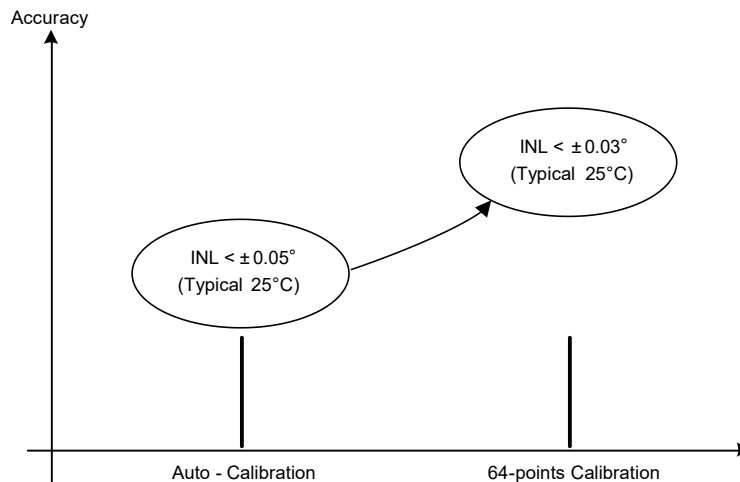


图 15 校准模式示意图

### 5.1 出厂校准

TLX3111 出厂交付前会经过工厂校准，对角度正弦 / 余弦信号的原始偏移、增益失配和相位偏差进行校准，使得出厂角度精度误差  $< \pm 0.1^\circ$ 。

### 5.2 自动校准

在 TLX3111 已经出厂校准的情况下，为了适应不同客户的不同磁场应用和芯片装配条件，建议用户使用 TLX3111 内置的自动校准 (auto-calibration) 功能，将 TLX3111 装配完成后，让电机以恒定速度<sup>1)</sup>匀速转动，如图 16 安装结构所示，通过 SPI 输入自动校准 (auto-calibration) 的启动命令<sup>2)</sup>，TLX3111 将会在当前状态下自动计算补偿系数，等待 3s ~ 5s 后将补偿系数自动存入 EEPROM 中，此时自动校准完成指示标志置 1，校准完毕。校准后角度误差最大  $\pm 0.05^\circ$ 。

注：1) 建议匀速转速在 300 RPM ~ 3000 RPM 之间，推荐值 600 RPM。



5.3 非线性校准

TLX3111 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 TLX3111 内置的 64 点非线性校准功能。推荐使用高精度光学编码器, 将输出角度 0~360° 等分成 64 段, 通过 SPI 读取的角度值和高精度光学编码器的对应值, 计算出其误差值, 误差值为高精度光学编码器码字减去 TLX3111 输出角度码字, 存入 lnr\_point0 [7:0] ~ lnr\_point63 [7:0] 中, 其中 lnr\_point0 [7:0] ~ lnr\_point63 [7:0] 是补码的方式, bit [7] 为符号位。完成非线性校准后将会得到一个更加理想的曲线。

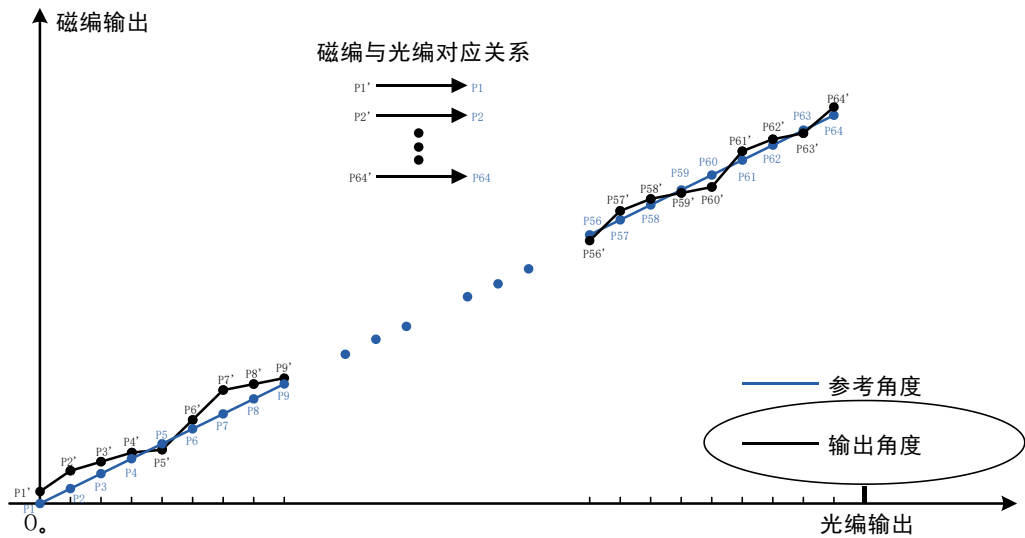


图 17 64 点标定示意图

6. 寄存器列表

| 寄存器定义                                   | 功能描述           |
|-----------------------------------------|----------------|
| spi_zero [22:0]                         | SPI 输出零点设置     |
| abz_zero [13:0]                         | ABZ 输出零点设置     |
| z_initial [1:0]                         | Z 相位设置         |
| z_width [13:0]                          | Z 宽度设置         |
| abz_hys [3:0]                           | ABZ 角度滞回       |
| abz_res [11:0]                          | ABZ 分辨率设置      |
| en_pwm                                  | PWM 输出使能       |
| pwm_fre_sel [1:0]                       | PWM 频率设置       |
| spi_hys [11:0]                          | SPI 角度滞回       |
| dis_error [1:0]                         | Error 输出使能     |
| a_reverse                               | 模拟信号输入反相       |
| ccw/cw                                  | 正 / 反转设置       |
| tamagawa                                | ABZ 输出A/B 换相设置 |
| en_abz                                  | ABZ 输出使能       |
| backup id [15:0]<br>chip id [15:0]      | 客户可使用 ID       |
| lnr_point0 [7:0] ~<br>lnr_point63 [7:0] | 64 点分段线性编程配置参数 |

7. 参考电路

推荐在靠近 TLX3111 芯片引脚  $V_{DD}$  与 GND 之间外接 100 nF 去耦电容，CS, SCLK, MOSI 接 500Ω 上拉电阻。TLX3111 可配置 4 线或 3 线 SPI 模式，连接方式如图 18、图 19 所示。

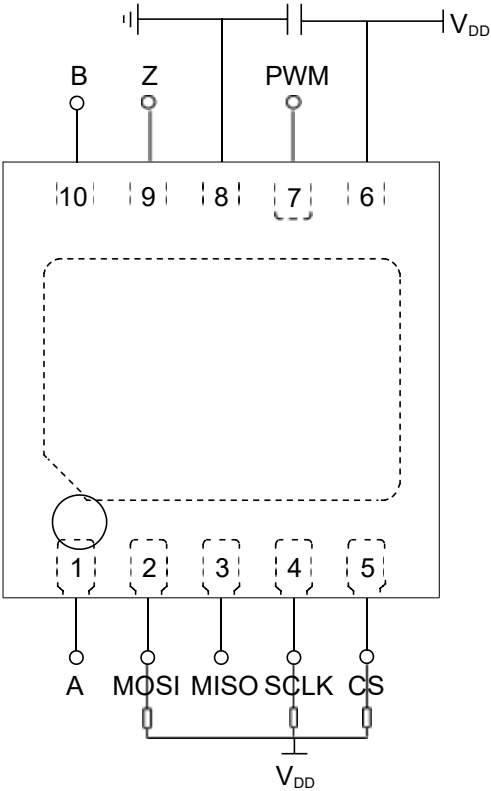


图 18 四线 SPI 参考电路

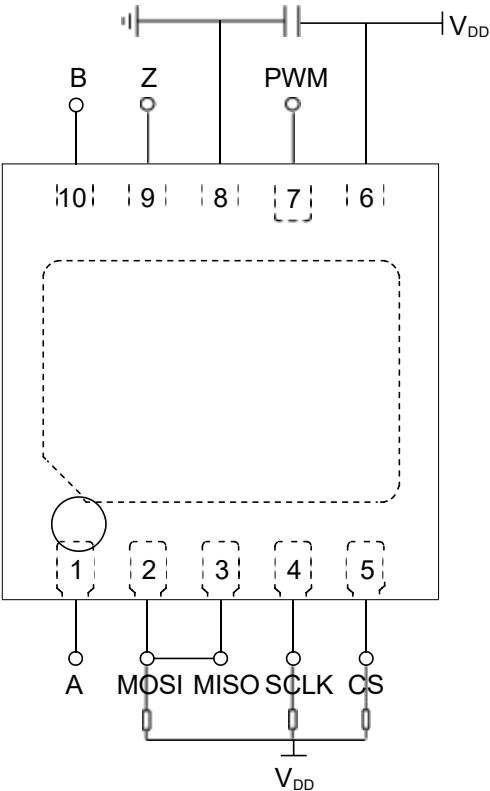


图 19 三线 SPI 参考电路

8. 机械角度方向

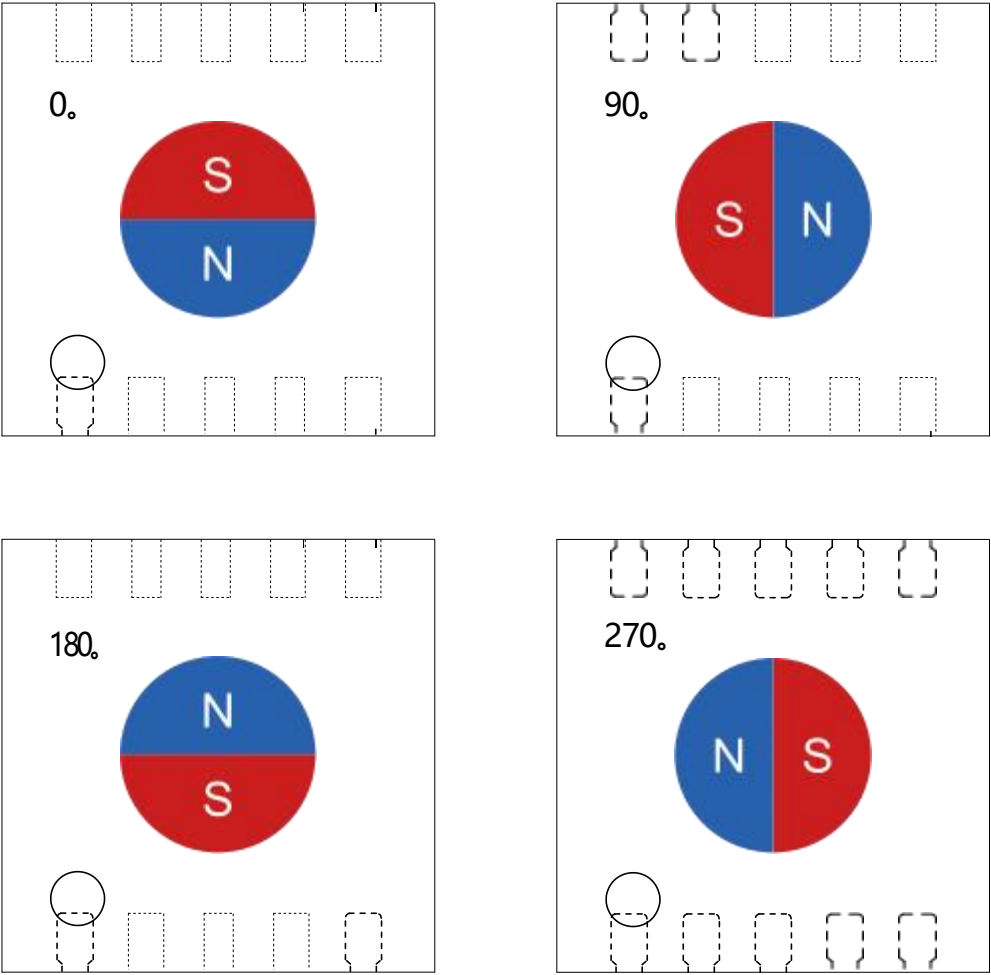
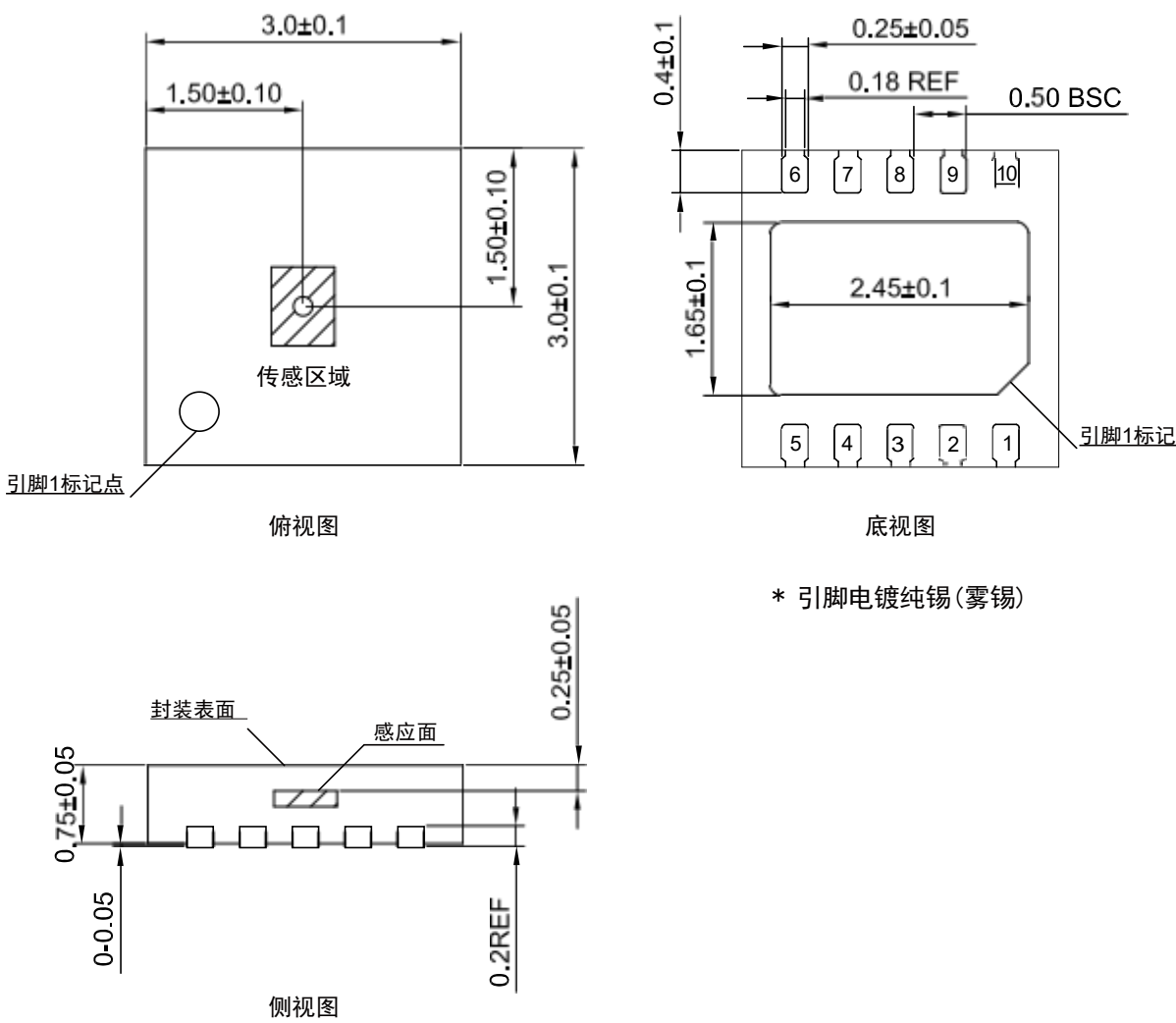


图 20 TLX3111 所测磁场角度定义（顶视图）

9. 封装

DFN10L 封装



\* 引脚电镀纯锡(雾锡)

图 21 DFN10L 封装图（尺寸单位：mm）