

TMR3111

23 位 TMR 磁性旋转编码器芯片

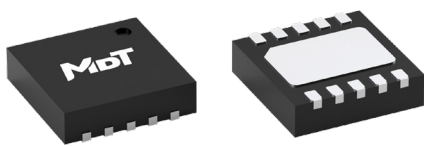
产品概述

TMR3111 是多维科技推出的一款非接触式、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。

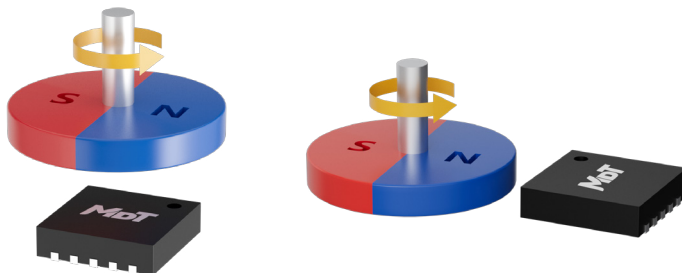
TMR3111 支持 3 线、4 线 SPI 工作模式，客户端 MCU 可通过 SPI 协议读取 23 位绝对位置信息。同时芯片也提供 12 位分辨率 PWM 输出接口，PWM 频率可按照客户需求分 4 档配置。

TMR3111 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。

TMR3111 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。



DFN10L (3mm × 3mm × 0.75mm)



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 μs
- 角度检测绝对精度 < ±0.05°
- 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

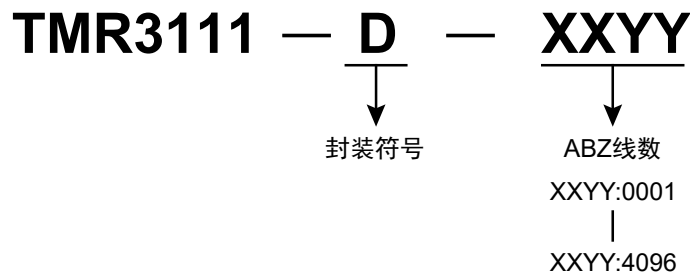
典型应用

- 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

型号 (*)	输出接口	供电电压	工作温度	封装形式	包装形式
TMR3111D-1000	SPI/ABZ/PWM	3 V ~ 5 V	-40 °C ~ 125 °C	DFN10L	卷带
TMR3111D-4096	SPI/ABZ/PWM	3 V ~ 5 V	-40 °C ~ 125 °C	DFN10L	卷带

注：* 请联系多维科技区域销售代表获取更多规格型号。



目录

1. 引脚定义	03
2. 功能框图	04
3. 电磁参数	05
3.1 极限参数	05
3.2 电性能参数	05
3.3 数字输入信号	05
3.4 数字输出信号	06
3.5 PWM 特性	06
3.6 EEPROM 电气特性	06
3.7 磁场信号规格	06
4. 输出模式	07
4.1 ABZ 输出	07
4.2 PWM 输出	09
4.3 ABZ 输出配置	09
4.4 SPI 输出	10
5. 输出精度校准	14
5.1 出厂校准	14
5.2 自动校准	14
5.3 非线性校准	15
6. 寄存器列表	16
7. 参考电路	17
8. 机械角度方向	18
9. 封装	19

1. 引脚定义

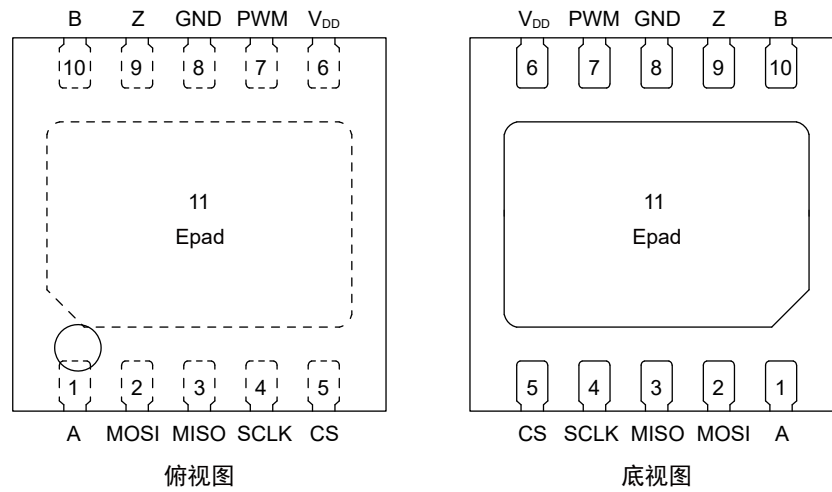


图 1 引脚定义 (DFN10L)

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 _{DD}	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	Epad	-	-	推荐接 GND

2. 功能框图

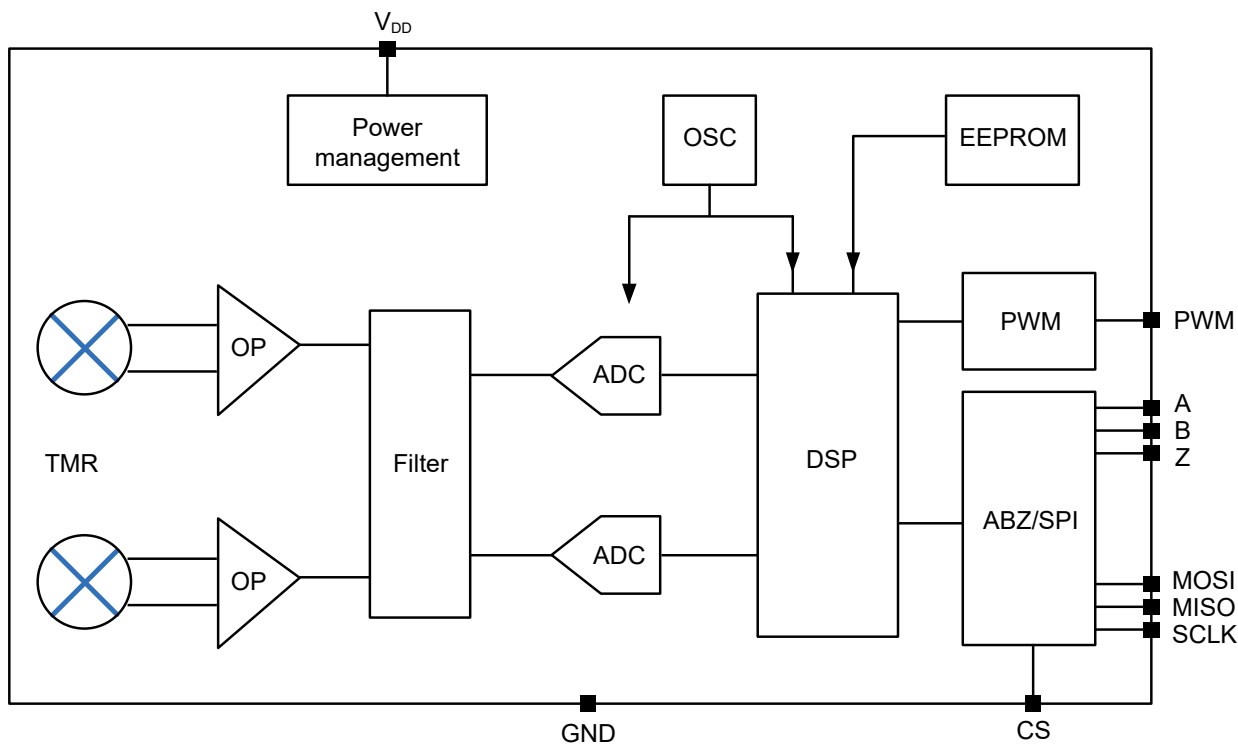


图 2 芯片功能框图

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	-40	125	°C
存储温度	T_{STG}	-40	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}	-	-	± 0.05	-	Deg
非线性误差 (全温区)	INL_{drift}	-40 °C ~ 125 °C	-	-	± 0.5	Deg
重复性	A_{repeat}	-	-	-	± 0.03	Deg
角度输出延时	T_D	-	-	2	-	μs
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	μs
下降沿时间	t_{fall}	10 nF 负载	-	-	1	μs

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	ϕ_{pac}	-	-3	-	3	Deg

4. 输出模式

4.1 ABZ 输出

TMR3111 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。

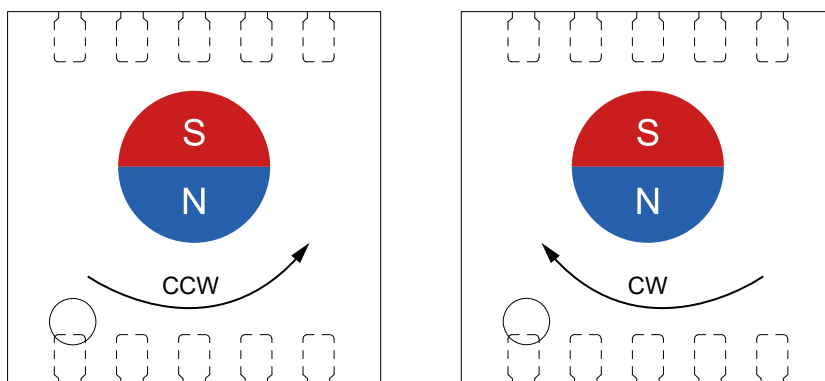


图 3 ABZ 示意图（顶视图）

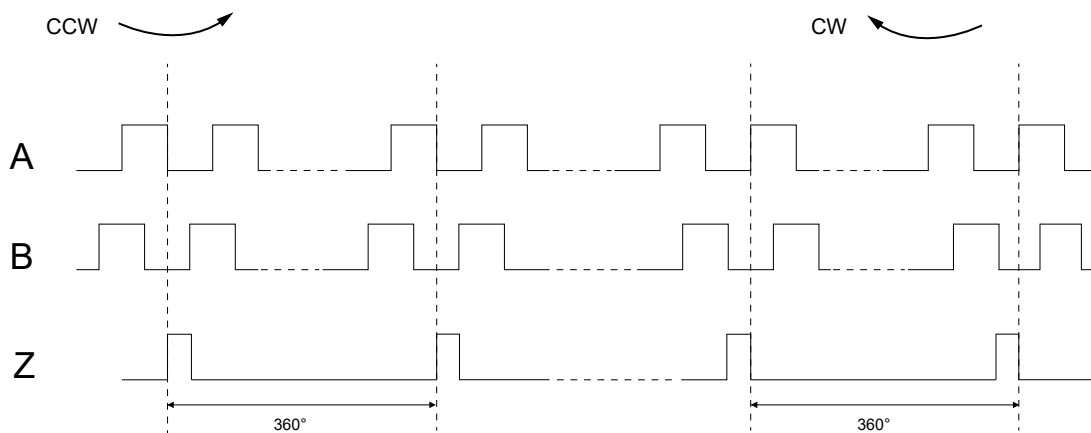


图 4 ABZ 输出示意图

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

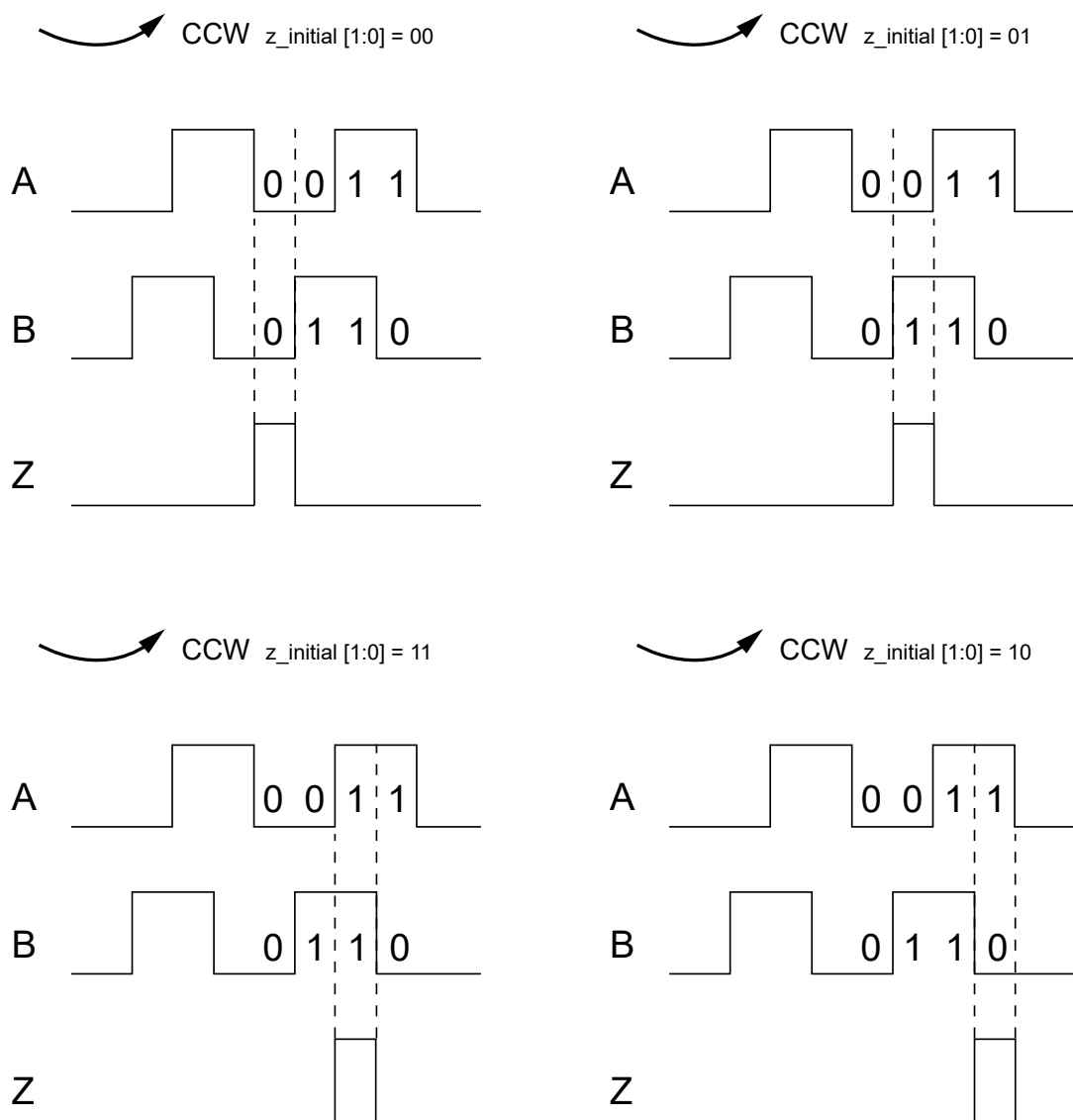


图 5 Z 相位编程示意图

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。

为方便客户设置，设计了“xMR310x 演示板”及对应的上位机软件，TMR3111 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，可使用“xMR310x 演示套件”完成。

4.2 PWM 输出

TMR3111 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。

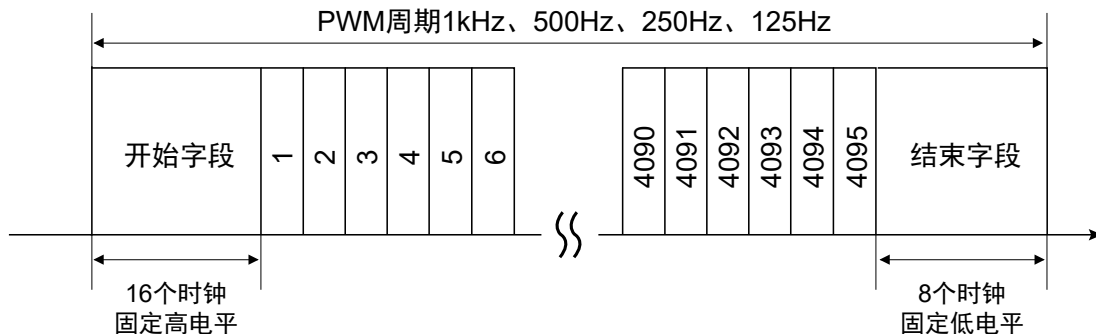


图 6 PWM 输出波形

为方便客户使用，设计了“xMR310x 演示板”及相对应的上位机软件，可使用“xMR310x 演示套件”完成 PWM 信号的脉宽和频率读取和演示。

4.3 ABZ 输出配置

TMR3111 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

TMR3111 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 TMR3111 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, TMR3111 芯片通过 SCLK 上升沿上的 MISO 引脚输出串行数据。

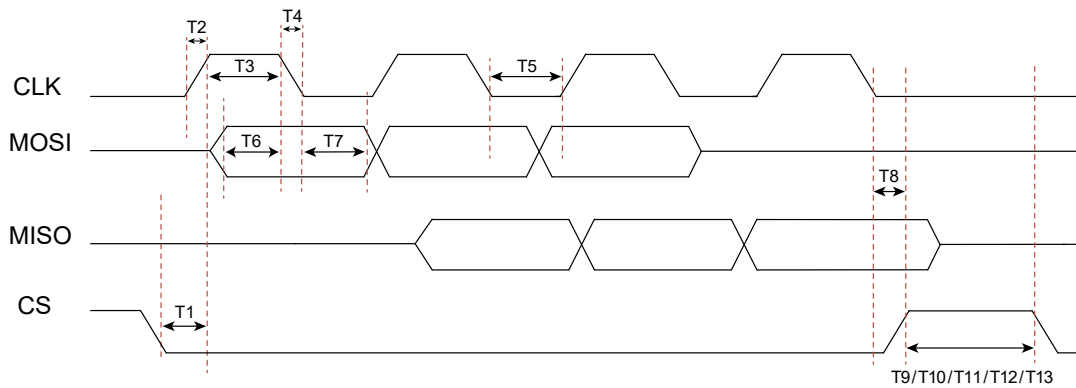


图 7 SPI 时序图

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

TMR3111 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 TMR3111 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, TMR3111 芯片通过 SCLK 上升沿上的 MISO 引脚输出串行数据。

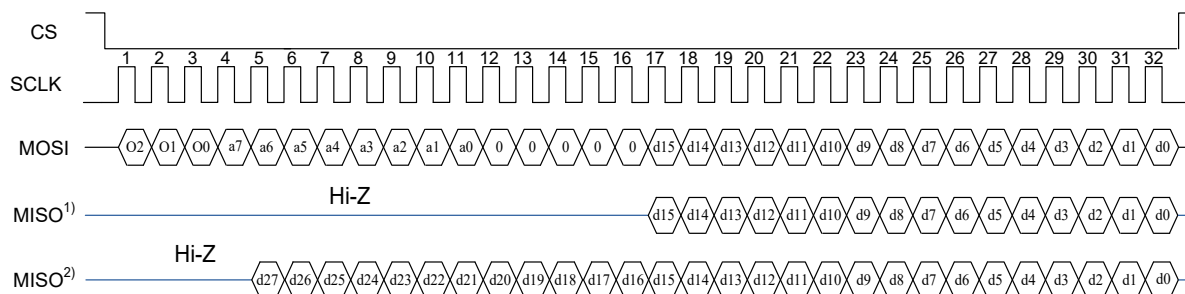


图 8 SPI 数据传输协议时序图

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: 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。

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

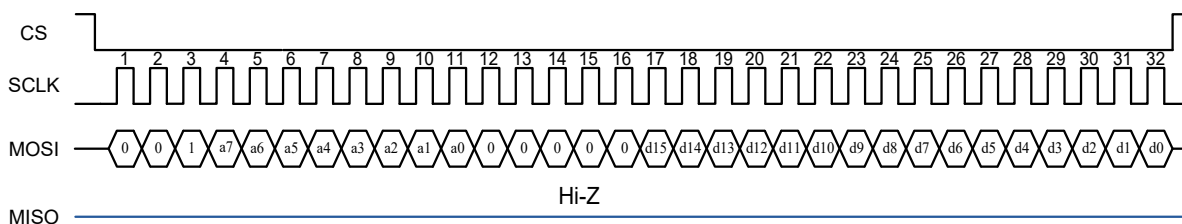


图 9 SPI 写 EEPROM 时序图

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

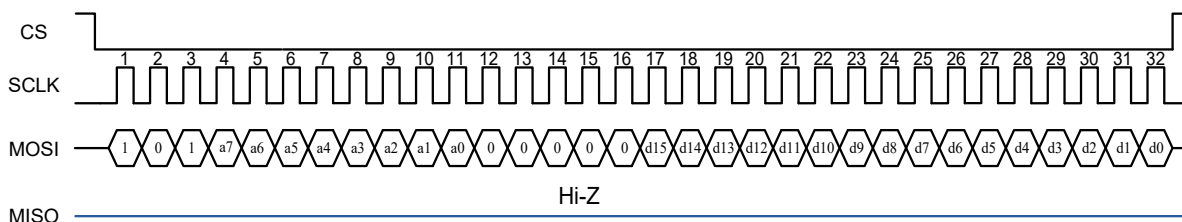


图 10 SPI 写寄存器时序图

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

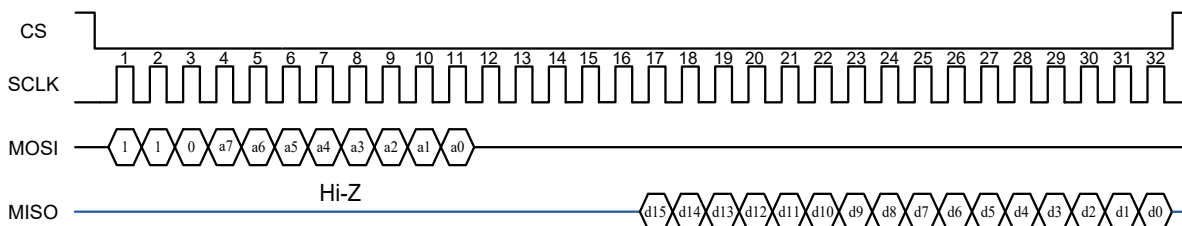


图 11 SPI 读寄存器时序图

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。

4.4.6 SPI 模式切换（正常模式到用户模式）

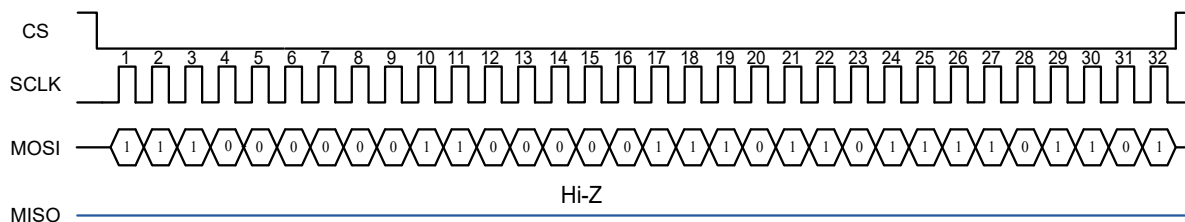


图 12 正常模式切换用户模式示意图

当通过 SPI 操作进入用户模式时，Op_code 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。

4.4.7 SPI 模式切换（用户模式到正常模式）

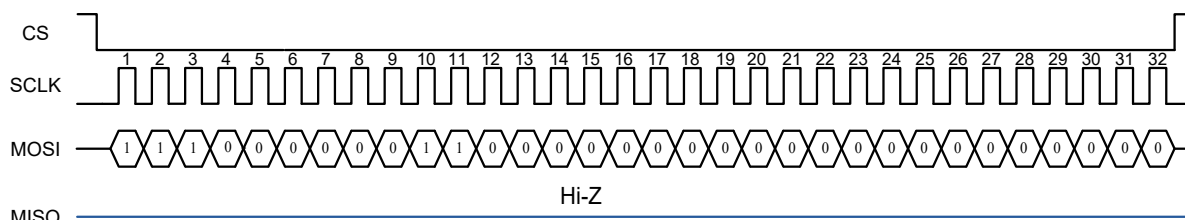


图 13 用户模式切换正常模式示意图

当通过 SPI 操作退回正常模式时，Op_code 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。

4.4.8 SPI 读角度

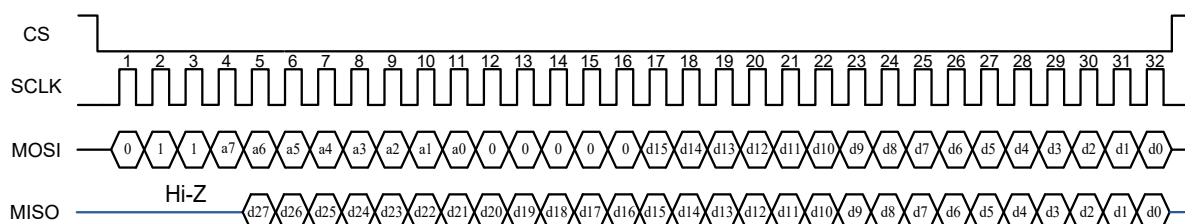


图 14 SPI 读取角度时序图

当通过 SPI 操作读取角度时，Op_code 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：

$$\theta = \frac{\sum_{i=0}^{22} \text{Angle} \langle i \rangle \times 2^i}{8388608} \times 360^\circ$$

2) d[4:1]: 4-bit CRC 校验码，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。

5. 输出精度校准

针对不同客户需求，TMR3111 提供了两种校准模式，如图 15 所示。客户可使用 TMR3111 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。

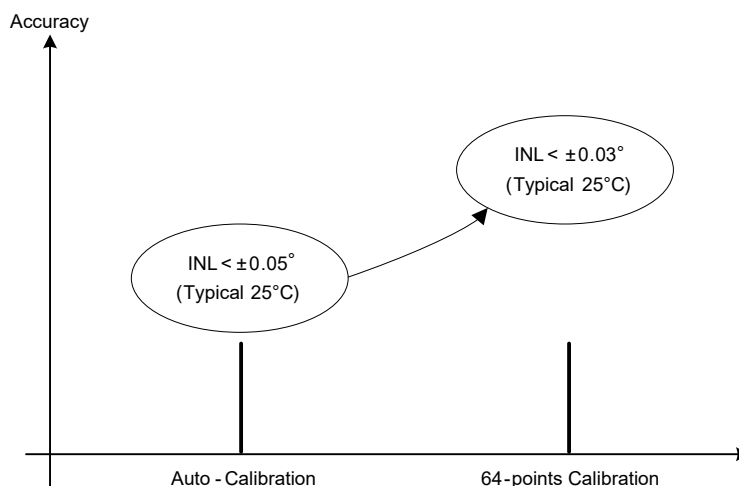


图 15 校准模式示意图

5.1 出厂校准

TMR3111 出厂交付前会经过多维科技工厂校准，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 TMR3111 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，多维科技建议用户使用 TMR3111 内置的自动校准 (auto-calibration) 功能，将 TMR3111 装配完成后，让电机以恒定速度¹⁾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²⁾，TMR3111 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。

2) 请参考 TMR3111 应用手册或者申请“xMR310x 演示板”进行配置。

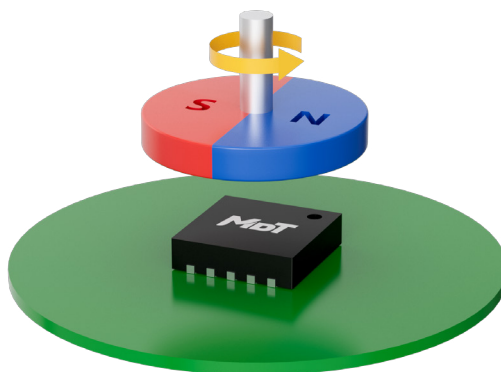


图 16 自动校准旋转示意图

5.3 非线性校准

TMR3111 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 TMR3111 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 TMR3111 输出角度码字, 存入 `Inr_point0 [7:0] ~ Inr_point63 [7:0]` 中, 其中 `Inr_point0 [7:0] ~ Inr_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。

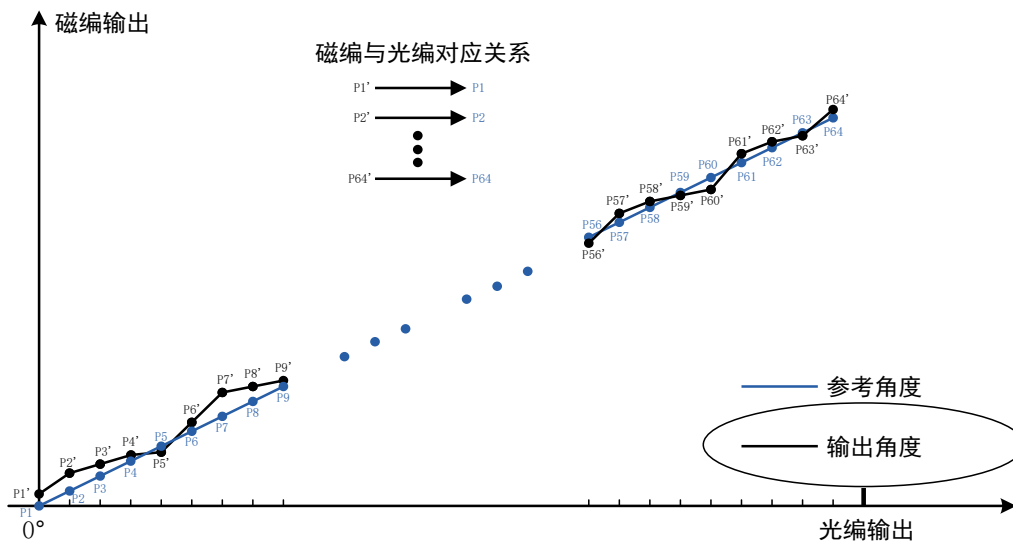


图 17 64 点标定示意图

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] chip id [15:0]	客户可使用 ID
lnr_point0 [7:0] ~ 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 TMR3111 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。TMR3111 可配置 4 线或 3 线 SPI 模式，连接方式如图 18、图 19 所示。

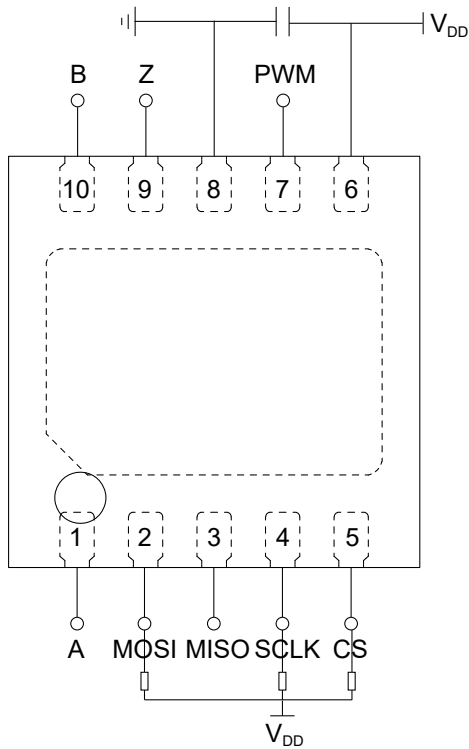


图 18 四线 SPI 参考电路

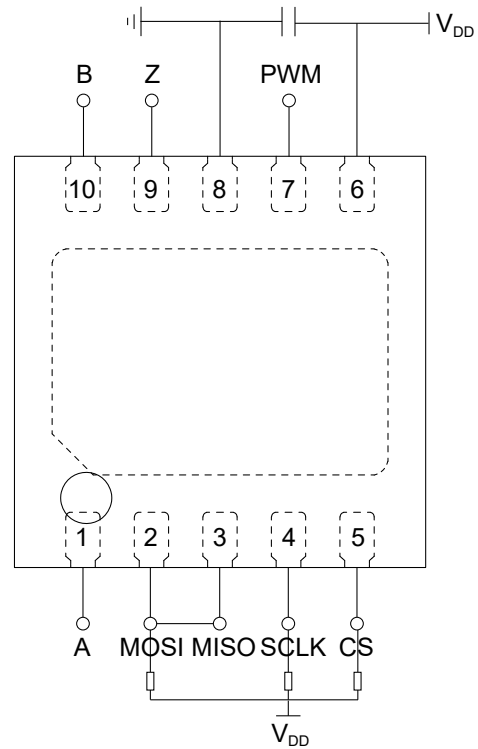


图 19 三线 SPI 参考电路

8. 机械角度方向

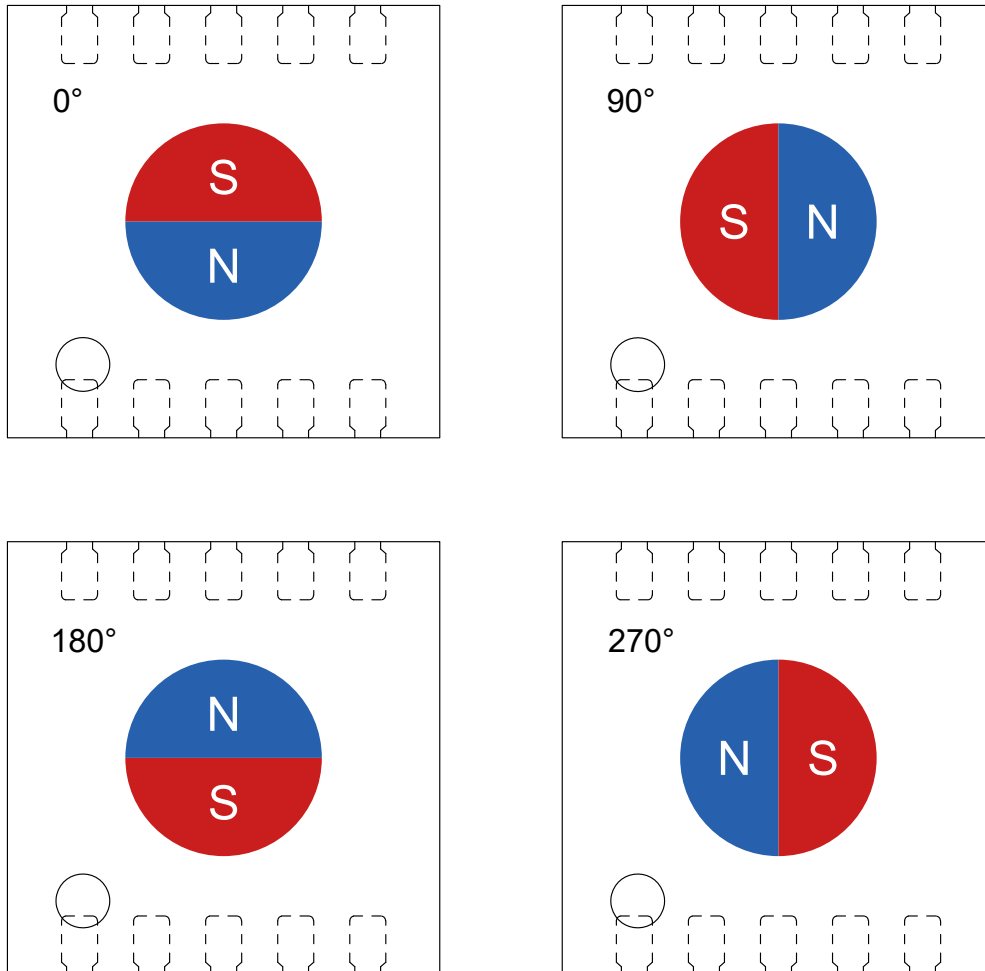


图 20 TMR3111 所测磁场角度定义（顶视图）

9. 封装

DFN10L 封装

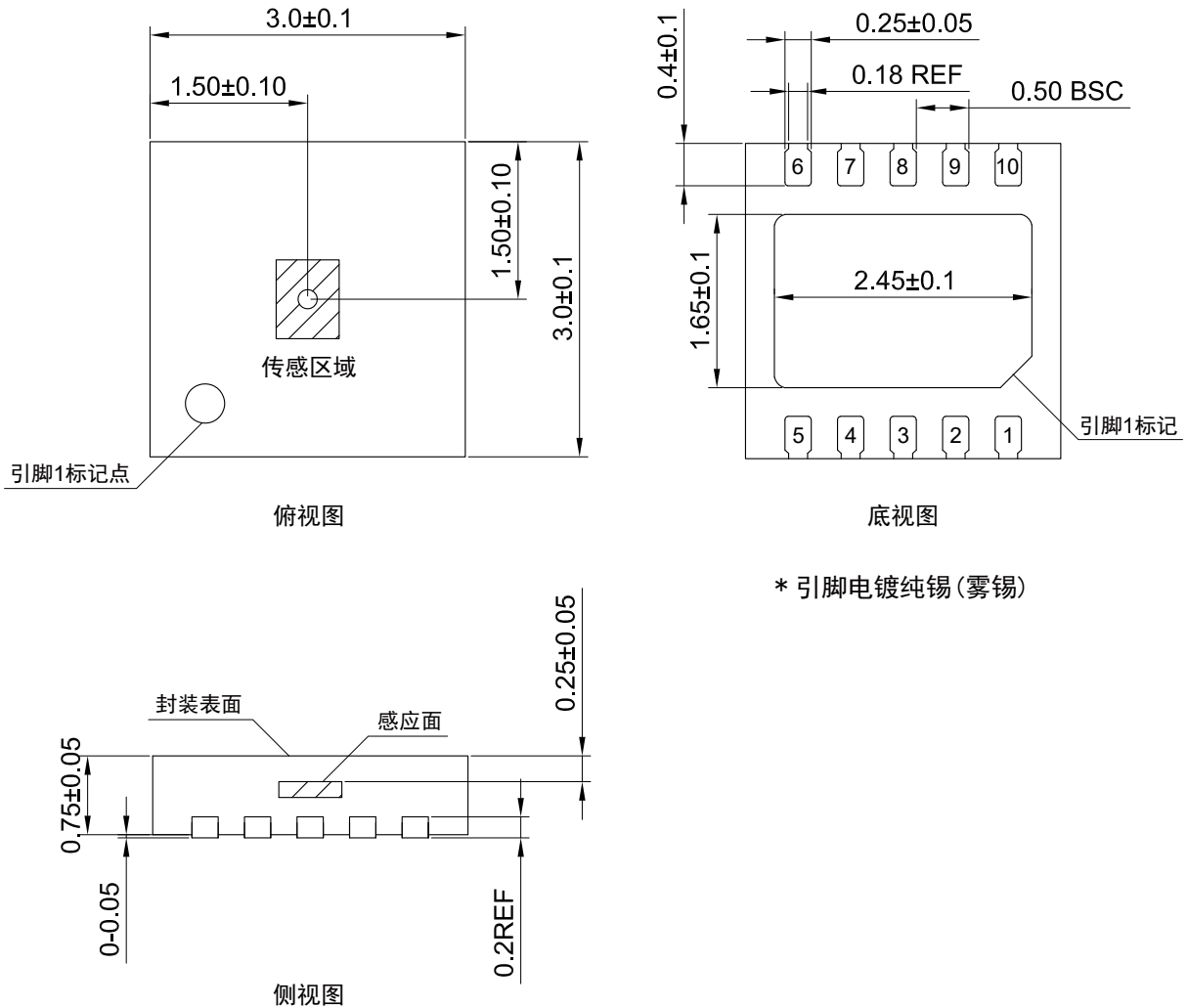


图 21 DFN10L 封装图 (尺寸单位: mm)

版权所有 © 2025 江苏多维科技有限公司

- 江苏多维科技有限公司（简称“多维科技”）承诺本档中提供的信息是准确和可靠的，多维科技对档中任何示例、隐含意义、典型值等相关应用以及使用公司产品可能导致的任何专利侵权或第三方其他权利侵权不承担任何责任。
- 本档不传达，也不暗含专利以及其他工业或知识产权的许可。
- 多维科技产品的使用客户有责任对本产品的产品和应用进行所有必要的测试，避免产品和应用或客户的第三方客户的产品或应用的潜在缺陷或故障，对此多维科技不承担任何责任。
- 多维科技不会对任何间接的、偶然的、惩罚性的、特殊的或后果性的损失负责（包括但不限于利润损失、储蓄损失、业务中断等与任何产品的拆卸或更换有关的成本或返工费用），无论这种损失是否基于侵权行为（包括过失），保修，违反合同或任何其他法律的理论依据。对于客户由于任何原因造成的任何损失，多维科技对本档所述产品对客户的总计和累加责任上限受到多维科技的商业销售条款限制。
- 本档中的产品绝对最大额定值是在不损坏本产品的情况下，本产品可以承受的极限，但由于接近最大极限（超过推荐的工作条件），因此无法保证电气和机械特性，同时无法确保本产品在绝对最大额定值下能够工作。
- 本产品最新规格信息将不定期更新至公司官网，恕不另行通知。
敬请关注公司官网（www.dowaytech.com）。

产品回收

- 本产品寿命终结后，依据垃圾分类相关规定，交给有资质的处理商回收处理。

Dowaytech / 江苏多维科技有限公司

地址：江苏省张家港保税区广东路2号D栋、E栋（总部）

官网：www.dowaytech.com 邮箱：info@dowaytech.com

