

NSM3502 高精度离轴磁编码器开发板

产品规格书 (Specification)

1. 概述与核心特性

欧波福公司开发的 NSM3502 开发评估板 (EVB) 是基于纳芯微 (NOVOSENSE) 新一代基于霍尔阵列技术的集成式高精度离轴角度与位置传感器芯片研发的专业评估套件。该开发板集成了完美的电源管理、信号去耦滤波、按键复位及指示灯电路，并引出了全部核心信号接口，方便工程人员进行电机控制、机器人关节及工业自动化领域的快速评估与二次开发。

1.1 核心工作原理

NSM3502 芯片内部集成了双码道游标霍尔感应阵列（主码道极距为 2mm）。当匹配主码道极距为 2mm 的磁栅尺或离轴磁环在芯片霍尔阵列上方旋转或移动时，芯片内部两个霍尔阵列感应磁场变化，输出随位置变化的正弦、余弦模拟电压信号。模拟信号经内部高增益模拟前端 (PGA) 放大与低通滤波后，送入模数转换器 (ADC) 进行量化。高精度的数字信号处理器 (DSP) 对正余弦量化值进行幅度、失调及相位补偿，求解得到电角度，并利用游标算法计算出全圆 360° 范围内的 22-bit 高精度绝对角度。

1.2 核心功能特性

- 离轴检测**：双码道游标霍尔阵列架构，适配离轴 (Off-Axis) 与中空轴机械结构安装。
- 极距规格**：主码道极距为 2mm，游标码道极距根据极对数自动匹配 (1.3mm / 1.66mm / 1.83mm)。
- 高分辨率**：内置 22-bit 角度求解 DSP，单圈输出高达 4,194,304 个绝对位置点。
- 多接口输出**：支持增量式 ABZ 正交脉冲（最高 65,536 PPR）、电机换向 UVW 信号 (1~64 对极可编程)、脉冲宽度调制 PWM 信号、4 线 SPI 接口以及 UART 通信。
- 磁环适配性**：完美适配 16 对极、32 对极、64 对极双码道磁环。
- 高级自校准算法**：内置客户端简洁自校准（补偿极对充磁失调）与匀速自校准算法（补偿偏心与安装非线性，INL 可达 $\pm 0.1^\circ$ 以内）。
- 抗外磁场干扰**：采用差分霍尔感应架构，对外界均匀杂散磁场具有极强的主动抑制能力。

- **完善异常诊断**：支持磁场强度超出上下限报警、电机超速报警、供电欠压报警、芯片过温报警及 EEPROM CRC 校验错误告警。
- **车规可靠性**：满足车规级 AEC-Q100 Grade 1 标准（工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ ），通过 RoHS & REACH 认证，湿敏等级 MSL3。
- **可编程存储**：内置 3.3V ~ 5V 可编程 EEPROM，支持断电保存用户配置参数。

1.3 典型应用领域

- 机器人关节（协作机器人、人形机器人关节中空角度反馈）
- 中空电机与伺服电机绝对值编码器系统
- 激光雷达（LiDAR）旋转台角度监测
- 高精度直线位移与磁栅尺测量系统

2. 芯片引脚配置与功能说明

NSM3502 采用 QFN48（7mm x 7mm，可润湿侧翼）封装。芯片包含 48 个功能引脚及底部 1 个散热与接地裸露焊盘（EPAD 49）。下表列出了全部引脚的名称、类型、详细功能及在欧波福公司开发板上的具体电路连接。

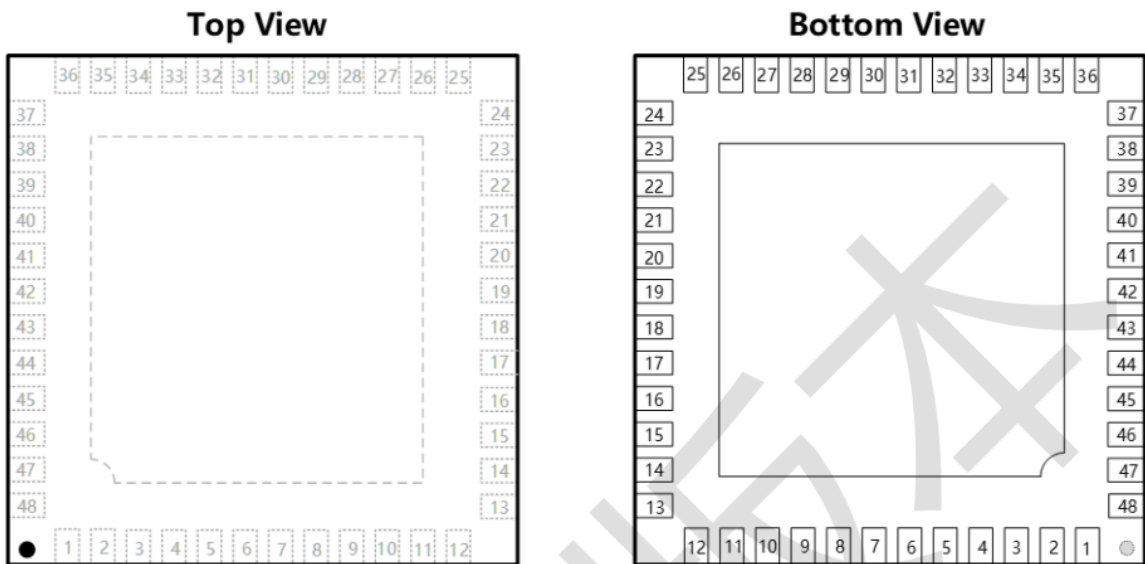


图-1：NSM3502 封装

引脚编号	符号	类型	详细功能与评估板连接描述
1	HRST	数字输入	硬件复位引脚。高电平>10ms 复位，接 SW1 按键与 10kΩ 下拉

引脚编号	符号	类型	详细功能与评估板连接描述
2	FAULT	数字输出	异常诊断报警信号输出，推挽输出，默认高电平有效
3	PWM	数字输出	PWM 角度信号输出，12-bit 分辨率，评估板接 LED D1 指示灯
4	CAL_EN	数字输入	客户端自校准使能引脚，高电平触发芯片自校准流程
5	AVDD	电源	模拟电源输入（3.0V~5.5V），评估板挂接 100nF 去耦电容
6	AGND	电源	模拟地，评估板上与 DGND 单点相连
7	A	数字输出	增量式正交 A 信号输出（推挽驱动）
8	B	数字输出	增量式正交 B 信号输出（推挽驱动）
9	Z	数字输出	增量式零位 Z 信号输出，宽度可编程（1~128 LSB）
10	U	数字输出	UVW 换向 U 相信号输出
11	V	数字输出	UVW 换向 V 相信号输出
12	W	数字输出	UVW 换向 W 相信号输出
13~25	NC	空引脚	芯片内部未连接，评估板接 PCB 地平面以增强屏蔽
26	TEST	数字输入	出厂测试专用引脚，评估板已在 PCB 上直接接地
27	MISO	数字输出	SPI 通信从机输出脚，非选中状态下呈现高阻态（Hi-Z）
28	MOSI	数字输入	SPI 通信从机输入脚，在 SCLK 上升沿采样数据
29	SCLK	数字输入	SPI 通信时钟输入脚，最高支持 16.6MHz 时钟速率
30	CSN	数字输入	SPI 片选输入脚，低电平有效，带角度锁存功能
31	DGND	电源	数字地，评估板上连接至主地平面
32	DVDD	电源	数字电源输入（3.0V~5.5V），评估板挂接 100nF 去

引脚编号	符号	类型	详细功能与评估板连接描述
			耦电容
33	VDDINT	电源输出	内部 LDO 输出（1.8V），芯片内有 1.8nF，开发板外挂 1uF 去耦
34	RX	数字输入	UART 串口接收引脚
35	REDE	数字输出	UART 通信收发驱动切换使能脚
36	TX	数字输出	UART 串口发送引脚
37~48	NC	空引脚	芯片内部未连接，评估板接 PCB 地平面以增强屏蔽
49	EPAD	散热焊盘	芯片底部裸露焊盘，连接至接地平面，起散热与屏蔽作用

3. 规格说明

本章节完整收录了纳芯微 NSM3502 芯片 Datasheet 第 4 部分（规格说明）的全部技术指标参数，包括电气特性、EEPROM、数字 I/O、ABZ/PWM 信号规格、输入磁场强度、磁环匹配参数及机械安装公差。

3.1 电气特性参数

测试条件：环境温度 $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 125°C ，工作电源 $V_{DD} = 3.3\text{V} \sim 5.0\text{V}$ ，除非另有特殊说明。

参数名称	符号	最小值	典型值	最大值	单位	备注说明
工作电压范围	VDD	3.0	3.3 ~ 5.0	5.5	V	引脚：AVDD、DVDD
欠压报警触发阈值	VTH_UV	-	2.55	-	V	供电电压低于此值触报警
欠压报警解除阈值	VTH_POR	-	2.75	-	V	上电复位/欠压解除阈值
工作电流	Idd	-	50	-	mA	全功能运行典型工作电流

参数名称	符号	最小值	典型值	最大值	单位	备注说明
出厂校准后 INL	INL(1)	-	±0.5	-	°	搭配 32 对极磁环，气隙 0.6mm
简洁自校准后 INL	INL(2)	-	±0.3	-	°	搭配 32 对极磁环，经过游标微调
匀速自校准后 INL	INL(2)	-	±0.1	-	°	匀速旋转自校准后典型精度
全温范围差分非线性	DNL	-	±0.005	-	°	全温度范围内最高 DNL 精度
瞬态噪声	TN	-	0.01	-	°rms	25°C，ABZ 模式默认系统带宽
迟滞窗口	HYST	0	0.022	0.7	°	寄存器多档可编程控制
上电启动时间	TPwrUP	-	50	-	ms	芯片上电至稳定输出时间
系统延时	TDelay	-	5	-	us	匀速旋转状态下的跟踪延时
阶跃响应时间	TST	-	300	-	us	系统默认带宽配置条件
最大转速 (16 对极)	Slimit	-	-	24,000	RPM	芯片设计保证最大允许转速
最大转速 (32 对极)	Slimit	-	-	12,000	RPM	芯片设计保证最大允许转速
最大转速 (64 对极)	Slimit	-	-	6,000	RPM	芯片设计保证最大允许转速

3.2 EEPROM 与通用数字 I/O 参数

NSM3502 内置可编程 EEPROM，支持用户配置参数的掉电持久化存储。下表给出了 EEPROM 与数字 I/O 引脚的电气参数：

参数名称	符号	最小值	典型值	最大值	单位	备注说明
EEPROM 擦写寿命	N_ENDUR	10,000	-	-	次	擦写循环保证次数
EEPROM 数据保存期	T_RET	20	-	-	年	在 85°C 环境下保存年限
数字 I/O 输出低电平	VOL	-	-	0.4	V	推挽输出 (@Iout = -2mA)
数字 I/O 输出高电平	VOH	VDD-0.4	-	-	V	推挽输出 (@Iout = 2mA)
信号上升时间	TRise	-	-	50	ns	电容负载 CL = 20pF
信号下降时间	TFall	-	-	50	ns	电容负载 CL = 20pF

3.3 ABZ 与 PWM 输出参数

- **ABZ 编码规格**：1 ~ 65,536 脉冲/圈（PPR）可编程；AB 编码输出最大频率支持 4.096 MHz。
注：当频率超过 4MHz 时，输出信号的积分非线性（INL）可能会有所下降。
- **PWM 输出规格**：频率支持 0.5 kHz、1.0 kHz、2.0 kHz（精度 ±5%）可编程；上升沿/下降沿时间典型值为 1 μs（在负载 CL = 1 nF 条件下）；具备 12-bit PWM 分辨率（4096 阶）。

3.4 输入外磁场与磁环规格

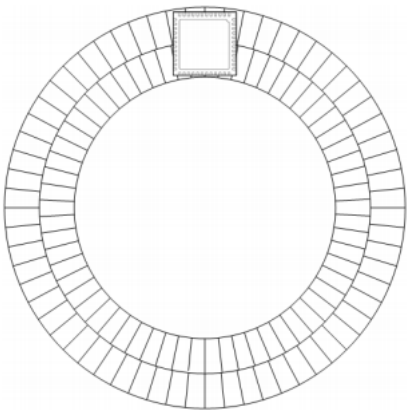
NSM3502 适配磁铁极距固定为 2.0 mm 的主码道磁环。芯片要求垂直于芯片表面的有效磁场强度 Bpk 处于 10 mT 至 125 mT 范围之内。采用硫化橡胶磁环时，剩磁温度系数 TKB 典型值为 -0.19%/°C。

下表详细给出了不同极对数下匹配磁环的几何机械尺寸参数：

参数名称	符号	16 对极	32 对极	64 对极	单位
芯片中心到轴心距离	DC_A	8.19	18.37	38.74	mm

参数名称	符号	16 对极	32 对极	64 对极	单位
主码道直径	Dmaster	20.37	40.74	81.49	mm
游标码道直径	Dnonius	12.37	32.74	73.49	mm
游标码道极距	Pnonius	1.30	1.66	1.83	mm

3.5 机械安装公差参数



磁环安装示意图

良好的机械安装公差是保证编码器达到最高精度（INL < ±0.1°）的关键前提：

安装参数名称	符号	最小值	典型值	最大值	单位	备注说明
芯片表面到磁环表面距离 (气隙)	AG	0.2	0.6	1.0	mm	垂直工作气隙范围
芯片径向允许偏差	DISPrad	-	-	0.5	mm	径向安装偏移公差
芯片切线方向允许偏差	DISPtan	-	-	0.5	mm	切向安装偏移公差
码盘偏心量	DISP	-	-	0.1	mm	磁环旋转偏心公差

4. 功能描述与通信协议

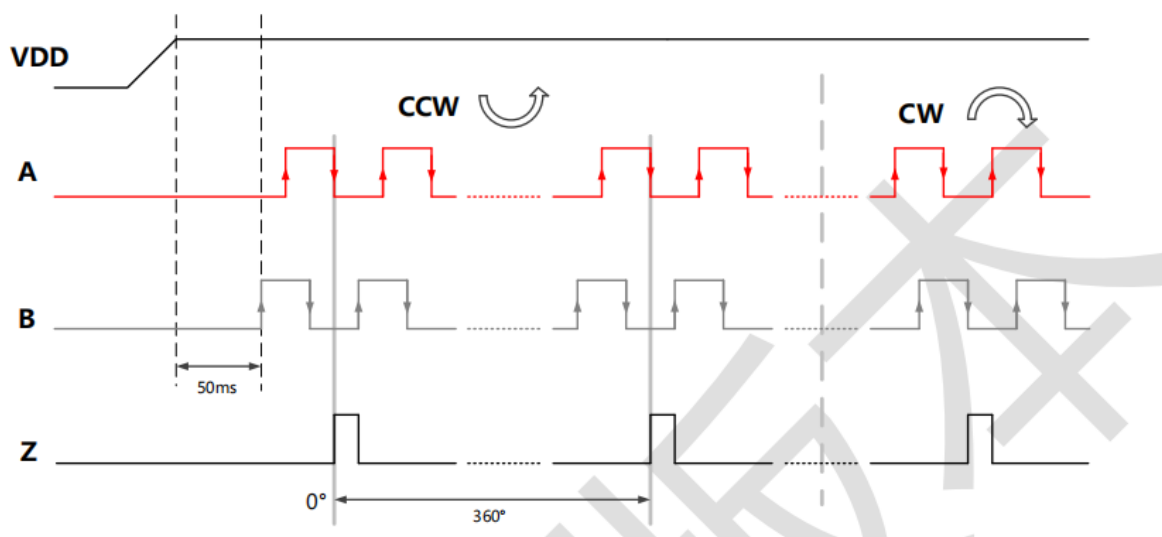
本章节详细阐述 NSM3502 的内部架构、各种信号输出模式（ABZ、UVW、PWM）、SPI 接口时序与协议、CRC 校验规则、EEPROM 读写流程、诊断报警逻辑、方向控制及 4 层自校准算法。

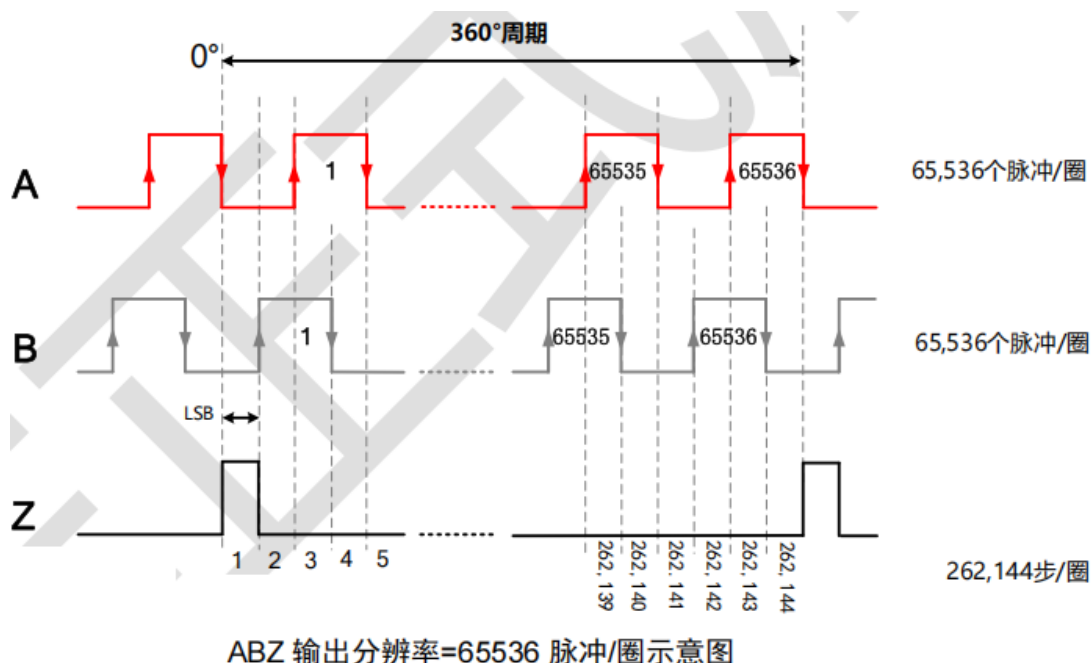
4.1 内部架构与信号处理流程

NSM3502 芯片内置主码道与游标码道两组高灵敏度霍尔传感器阵列。外加磁环旋转时，阵列产生两组正弦与余弦模拟电压信号。该信号经低噪声模拟前端（PGA）放大与低通滤波后，由高分辨率模数转换器（ADC）量化为数字量。数字信号处理器（DSP）首先对主/副码道的信号失调（Offset）、增益误差（Gain Mismatch）及相位误差进行校准，随后计算出各自的电角度。最后，游标合成算法将两个电角度合成为 360° 全圆范围内的 22-bit 绝对机械角度。绝对角度数据可直接通过 SPI、UART 或 PWM 输出，亦可进一步合成为增量式 ABZ 及电机换向 UVW 信号。

4.2 增量式 ABZ 信号输出模式

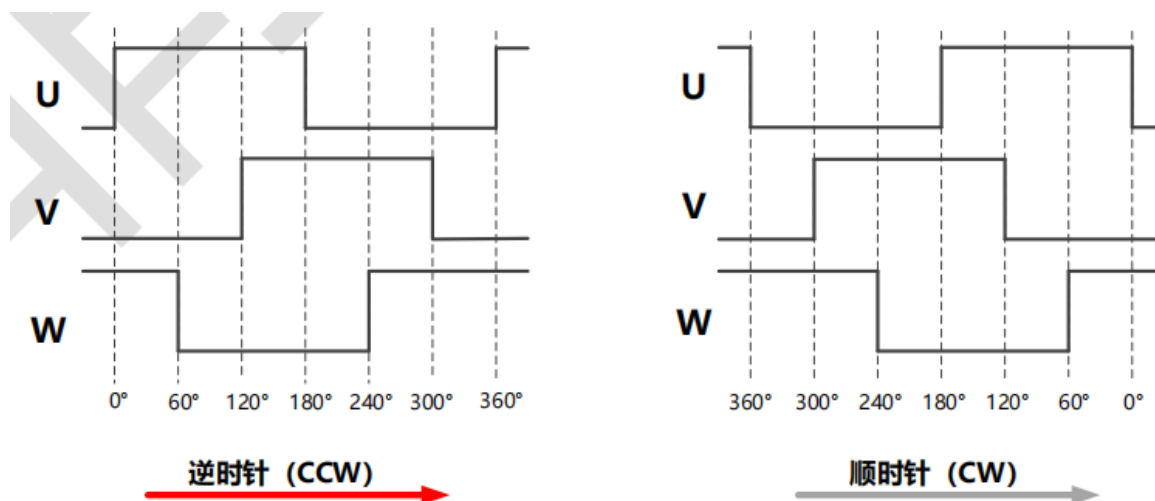
在 ABZ 模式下，芯片输出两路相位差 90° 的正交脉冲 A 和 B，以及零位基准脉冲 Z。分化分辨率由 `ABZ\_RES[15:0]` 寄存器编程控制（可设 1 ~ 65,536 PPR，对应单圈 262,144 个边缘步）。Z 信号代表编码器的 0° 机械位置，其宽度可通过 `Z\_PUL\_WID[3:0]` 编程为 1、2、4、8、16、32、64、128 LSB，或者 60° 、 120° 、 180° 电角度。同时，可由 `Z\_EDGE` 与 `Z\_PHASE` 设置 Z 脉冲对齐 A/B 的上升沿或下降沿。芯片上电后约 50ms 建立稳定正确的 ABZ 信号输出。





4.3 UVW 换向与 PWM 输出模式

- **UVW 换向输出**：UVW 模式输出互成 120° 空间相位差的 U、V、W 信号，用于无刷直流电机（BLDC）的电子换向。对极数由 `UVW\_RES[5:0]` 寄存器配置，支持 1 ~ 64 对极可调。
- **PWM 脉宽调制**：PWM 输出信号周期固定，占空比与 12-bit 绝对角度成正比。占空比极性可由 `PWM\_POL` 配置（高电平定义或低电平定义占空比）。PWM 频率由 `PWM\_FREQ[1:0]` 配置（0.5kHz / 1kHz / 2kHz）。



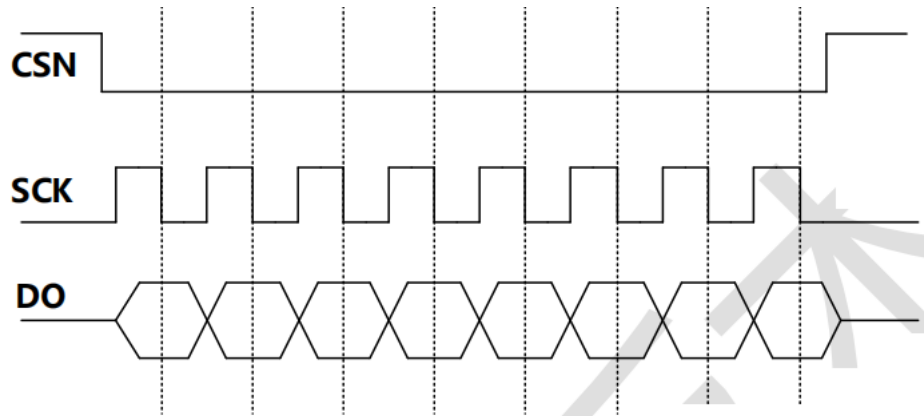
4.4 SPI 接口时序与协议全解析

NSM3502 提供 4 线制 SPI 接口（CSN, SCLK, MOSI, MISO）。用户可以通过 SPI 实时读取 22-bit 绝对角度，亦可配置芯片寄存器并烧写至 EEPROM。

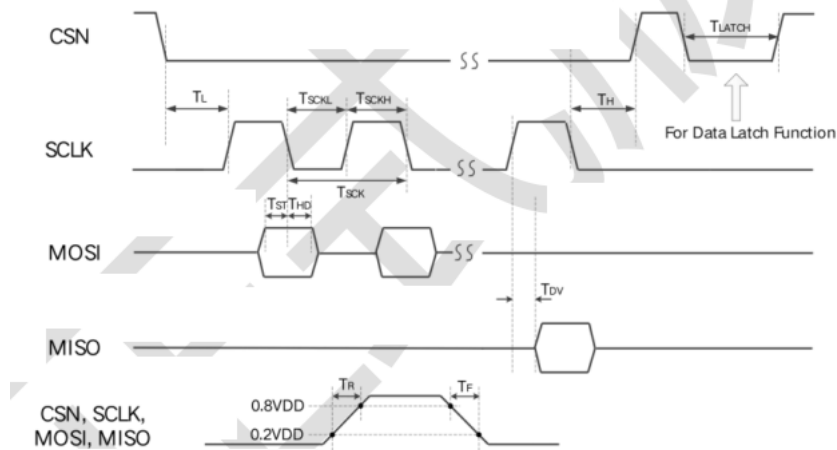
4.4.1 SPI 时序规范

NSM3502 的 SPI 通信固化为 $\text{MODE} = 1$ ($\text{CPOL} = 0, \text{CPHA} = 1$)。空闲时 SCLK 为低电平，发送方在 SCLK 上升沿发送数据，接收方在 SCLK 下降沿采样数据。重要时序参数如下：

- T_{SCK} (时钟周期) $\geq 60 \text{ ns}$ (对应最高 16.6 MHz 速率)； T_{SCKL} (低电平时间) $\geq 30 \text{ ns}$ ； T_{SCKH} (高电平时间) $\geq 30 \text{ ns}$ 。
- T_{L} (CSN 下降沿至第一个 SCLK 上升沿时间) $\geq 100 \text{ ns}$ 。
- T_{H} (最后一个 SCLK 上升沿至 CSN 上升沿时间) $\geq 0.5 \text{ T}_{\text{SCK}}$ 。
- T_{LATCH} (激活角度锁存功能需要的 CSN 低电平保持时间) $\geq 1 \mu\text{s}$ 。



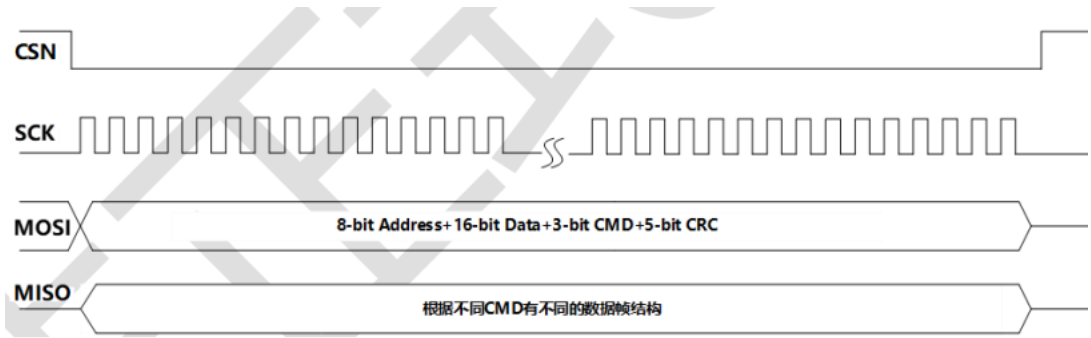
SPI 信号采样时序图



SPI 时序规范推荐示意图

4.4.2 SPI 操作模式与指令集

SPI 数据传输采用高位优先 (MSB) 格式。MISO 在非选中状态保持高阻态 (Hi-Z)。数据帧中包含 4-bit 循环计数器 (Rolling Counter, 0x0~0xF 滚动增加) 及 4-bit 状态标志 (S[3:0])。

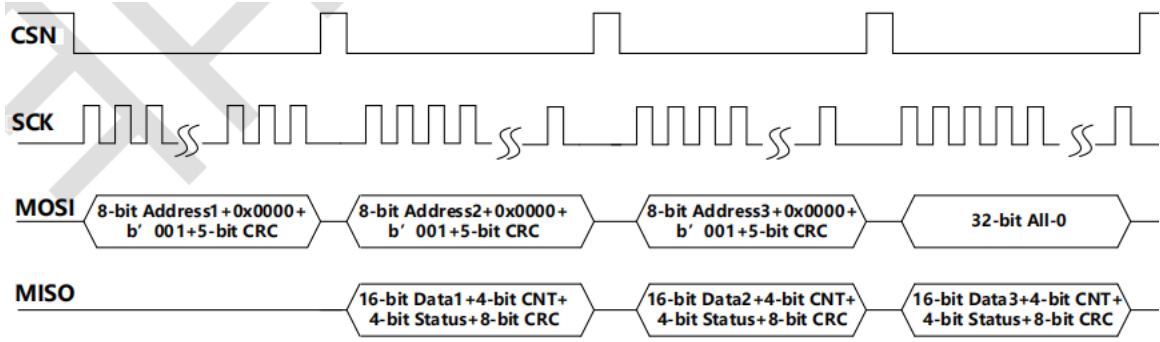


SPI 数据帧格式：

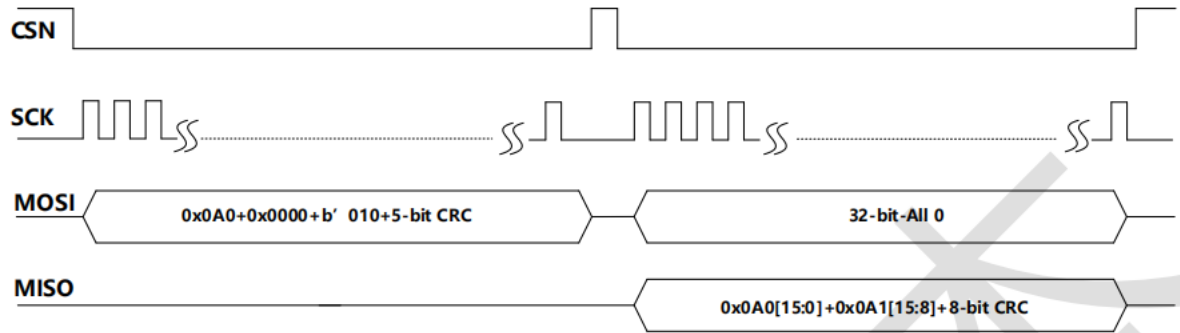
芯片包含

只读模式（Normal Mode，上电默认）与服务模式（Service Mode）：

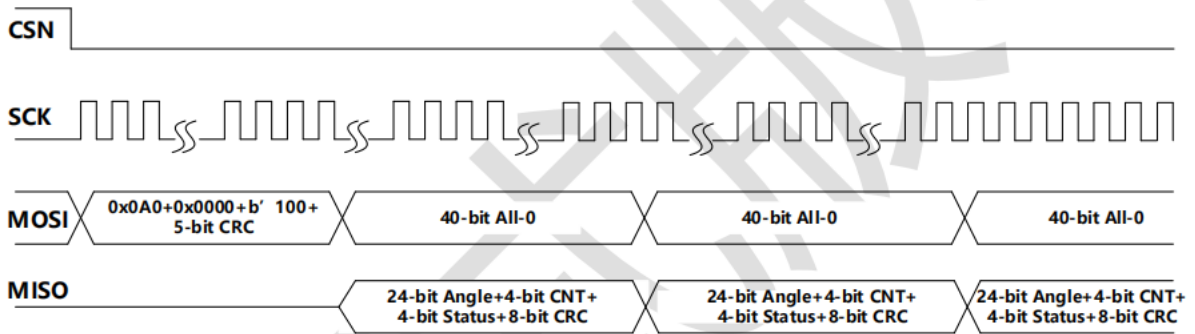
指令名称	操作码	MOSI 帧格式	MISO 帧格式	位数	功能描述
NOP	000	地址与数据忽略	24-bit 0 + 8-bit CRC	32-bit	停止/空操作指令
General Read 1	001	8-bit 地址 + 16-bit 0	16-bit 数据 + 4-bit CNT + 4-bit Status + 8-bit CRC	32-bit	通用单地址读指令
General Read 2	010	8-bit 地址 (0xA0)	24-bit 数据 (0xA0 与 0xA1 高 8 位) + 8-bit CRC	32-bit	连读角度与高位指令
Enter Service Mode	011	密钥: 0x5E5A3E	返回 0x5A3E0029 (Status=0, CRC=0x29)	32-bit	进入服务/写模式指令
Fast Read 1	100	0xA0 (ANG_RB)	24-bit Angle + 4-bit CNT + 4-bit Status + 8-bit CRC	40-bit	40 时钟快速角度连读
Fast Read 2	101	起始地址	16-bit 数据 + 4-bit CNT + 4-bit Status + 8-bit CRC	32-bit	循环读取两个连续地址
General Write	100	8-bit 地址 + 16-bit 数据	16-bit Echo (回显) + 4-bit CNT + 4-bit Status + 8-bit CRC	32-bit	寄存器写入 (Service Mode)
Exit Service Mode	111	数据忽略	16-bit Echo + 4-bit CNT + 4-bit Status + 8-bit CRC	32-bit	退出服务模式指令



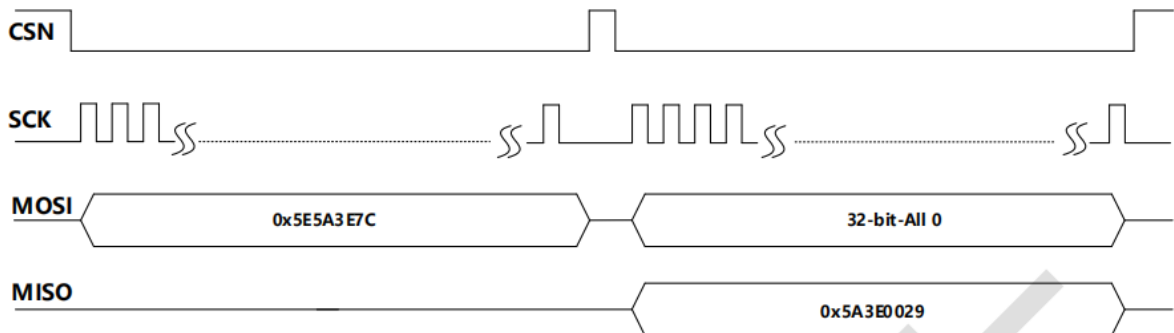
General read 1 时序图



General read 2 时序图



Fast read 1 时序图



Enter service mode 时序图

4.4.3 22-Bit 绝对角度数据计算公式

芯片的 22-bit 绝对角度存放在地址 0xA0 (ANGLE_RB[21:6]) 与 0xA1 (ANGLE_RB[5:0]) 中。通过 Fast Read 1 接收到的 24-bit Angle 数据中，最高 22-bit 为有效的绝对角度二进制数值 ANGLE_RB[21:0]，最低 2-bit 补 0。绝对角度 θ (单位：度 °) 换算公式如下：

角度公式： $\theta = (\text{ANGLE_RB}[21:0] / 2^{22}) \times 360^\circ$

4.4.4 CRC 校验机制

为保障通信数据的绝对可靠，MOSI 与 MISO 数据帧均包含 CRC 校验：

- **主机 MOSI 5-bit CRC**：多项式为 $x^5 + x^2 + 1$ (0x12)，初始种子供 0x00，输出不取反。覆盖命令、地址及数据（最高位 MSB 先算）。
- **从机 MISO 8-bit CRC**：多项式为 $x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$ (0x97)，初始种子供 0xFF，输出做取反操作 (XOROUT = 0xFF)。

4.4.5 EEPROM 操作流程

烧写 EEPROM 的标准操作步骤为：发送指令进入 Service Mode -> 写入 0x185E 到地址 0x86 解锁写权限 -> 更改目标寄存器配置 -> 写入 0x0000 到 0x86 关闭写权限 -> 写入 NVM_KEY (例如 0x5C) 与 NVM_CTRL 指令 (0x04: Byte-Program 带擦除, 0x03: Load, 0x0A: Erase) -> 读取 NVM_STA 状态码确认 NVM_PROG_DONE。

4.5 诊断与报警功能

NSM3502 内部集成完善的诊断监测机制。诊断结果记录在 16 位寄存器 `DIAG\_CODE[15:0]` 中。当检测到任何故障并完成消抖后，FAULT 引脚输出有效电平（默认高电平，可配置 `FAULT\_POL`）。消抖逻辑要求连续检测到 16 个故障周期置位报警，连续检测到 64 个正常周期清除报警（消抖时间由 `DIAG\_DEBN\_SET` / `CLR` 配置）。下表列出了核心故障代码定义：

故障代码	使能位	名称	详细描述与触发条件
DIAG_CODE[0]	DIAG_EN[0]	主码道弱磁	主码道磁场强度低于阈值 RAD_TH_LO
DIAG_CODE[1]	DIAG_EN[1]	主码道强磁	主码道磁场强度高于阈值 RAD_TH_HI
DIAG_CODE[2]	DIAG_EN[2]	游标码道弱磁	游标码道磁场强度低于阈值 RAD_TH_LO
DIAG_CODE[3]	DIAG_EN[3]	游标码道强磁	游标码道磁场强度高于阈值 RAD_TH_HI

故障代码	使能位	名称	详细描述与触发条件
DIAG_CODE[4]	DIAG_EN[4]	超速报警	内部解析速度超过阈值 MAX_VEL
DIAG_CODE[5]	DIAG_EN[5]	EEPROM CRC 错误	EEPROM 加载 CRC 校验失败告警
DIAG_CODE[8]	DIAG_EN[8]	供电欠压	供电电压低于欠压阈值 VTH_UV (2.55V)
DIAG_CODE[9]	DIAG_EN[9]	芯片过温	内部温度传感器检测温度超出安全阈值

4.6 旋转方向配置

默认状态下，从芯片顶面俯视，磁环逆时针旋转（CCW）为角度递增方向，此时 B 脉冲信号超前 A 脉冲 90° 电角度。如需更改旋转方向，可将 `ROT\_DIR[0]` 寄存器置 1（CW 为角度递增）。该设置对 ABZ、UVW、PWM、SPI 及 UART 接口统一生效。

4.7 4 层自校准算法流程

- NSM3502 采用 4 层校准架构，以消除芯片、磁环充磁失调及机械安装带来的非线性误差：
- 第 1 层 (出厂基础校准)**：在纳芯微芯片原厂出厂测试时完成，校准芯片内部霍尔阵列失调、幅度不匹配及温度漂移。
 - 第 2 层 (简洁自校准)**：由客户在组装完成后进行。将芯片配置为简洁模式（`AUTO\_CAL\_MODE`），控制磁环旋转 16 个对极以上（转速可在 40~3000 对极/分钟，无需匀速）。拉高 CAL_EN 引脚或写入 `0xB5` 到 `AUTO\_CAL\_KEY`，芯片自动补偿磁环充磁不均匀导致的失调与增益误差，典型 INL 提升至 $\pm 0.3^{\circ}$ 以内。
 - 第 3 层 (游标微调)**：使用专用编程工具对游标码道与机械安装带来的游标误差进行微调。
 - 第 4 层 (匀速自校准)**：在第 3 层校准通过后，控制磁环平稳匀速旋转（转速波动必须 $< \pm 3\%$ ）。拉高 CAL_EN 引脚旋转 64 圈以上，芯片自动计算磁环偏心及安装非线性参数并自动固化至 EEPROM。校准成功后，典型 INL 可显著降低至 $\pm 0.1^{\circ}$ 以内。可通过读取 `0xA3` [1:0] 寄存器查询校准状态（00:未运行, 01:进行中, 10:失败, 11:成功）。

4.8 硬件复位与常用寄存器映射表

复位功能：给 HRST 引脚（Pin 1）加高电平持续 10ms 以上触发芯片硬件复位；解除复位需保持低电平 40ms 以上。若不使用，评估板已在 PCB 上通过 10kΩ 电阻接地。

下表收录了 NSM3502 芯片最重要的核心控制与状态寄存器：

地址	名称	读写	默认值	详细功能说明
0x01E	USER_ID	RW	16'b0	用户自定义信息记录寄存器
0x01F	ABZ_RES	RW	16'b0	ABZ 分辨率设置 (0=1ppr ~ 65535=65536ppr)
0x020	UVW_RES	RW	6'b0	UVW 分辨率设置 (0=1ppr ~ 63=64ppr)
0x020	ROT_DIR	RW	1'b0	旋转方向定义 (0: CCW, 1: CW)
0x020	Z_PUL_WID	RW	4'b0	Z 脉冲宽度设置 (0=1LSB ~ 7=180deg)
0x021	PWM_FREQ	RW	2'b0	PWM 频率设置 (0=1kHz, 1=2kHz, 2=0.5kHz)
0x027	AUTO_CAL_MODE	RW	2'b0	自校准模式选择 (0/3:简洁, 1:匀速, 2:简洁+匀速)
0x027	POLEPAIR_SEL	RW	2'b0	磁环极对数配置 (0/3:32/31, 1:16/15, 2:64/63)
0x027	HYST	RW	4'b0	角度迟滞大小设置 (15 档可调)
0x02D	DIAG_EN	RW	16'b0	16 位诊断报警功能使能开关
0x02E	MAX_VEL	RW	2'b0	速度报警阈值 (0:400Hz, 1:200Hz, 2:100Hz, 3:600Hz)
0x081	NVM_KEY	RW	8'b0	EEPROM 烧写操作密钥 (0x5C / 0xB3)
0x081	NVM_CTRL	RW	5'b0	EEPROM 操作功能命令 (0x04: Program, 0x03: Load)
0x082	AUTO_CAL_KEY	RW	8'b0	写入 0xB5 触发芯片硬件自动校准
0xA0/0xA1	ANGLE_RB	RO	22-bit	实时只读机械角度绝对值 (0xA0 高 16 位, 0xA1 低 6 位)
0xA2	NVM_STA	RO	8'b0	EEPROM 状态寄存器 ([1]:Program Done, [2]:Fail)

地址	名称	读写	默认值	详细功能说明
0xA3	CAL_STATE	RO	2'b0	自校准状态 (00:未运行, 01:校准中, 10:失败, 11:成功)
0xC8	DIAG_CODE	RO	16'b0	16 位实时诊断报警标志位寄存器

5. 开发板硬件架构与原理图

欧波福公司 NSM3502 开发评估板在硬件设计上严格遵循高精度模拟/数字混合信号电路规范。评估板包含了电路主芯片 U1（NSM3502）、供电去耦电路、SW1 硬件复位按键、LED 状态指示灯（D1 校准指示灯、D2 电源指示灯）、J1 两针电源输入端子以及 J2 20-Pin 标准双排针扩展接口。

5.1 开发板电路原理图

评估板电路原理图如下图所示：

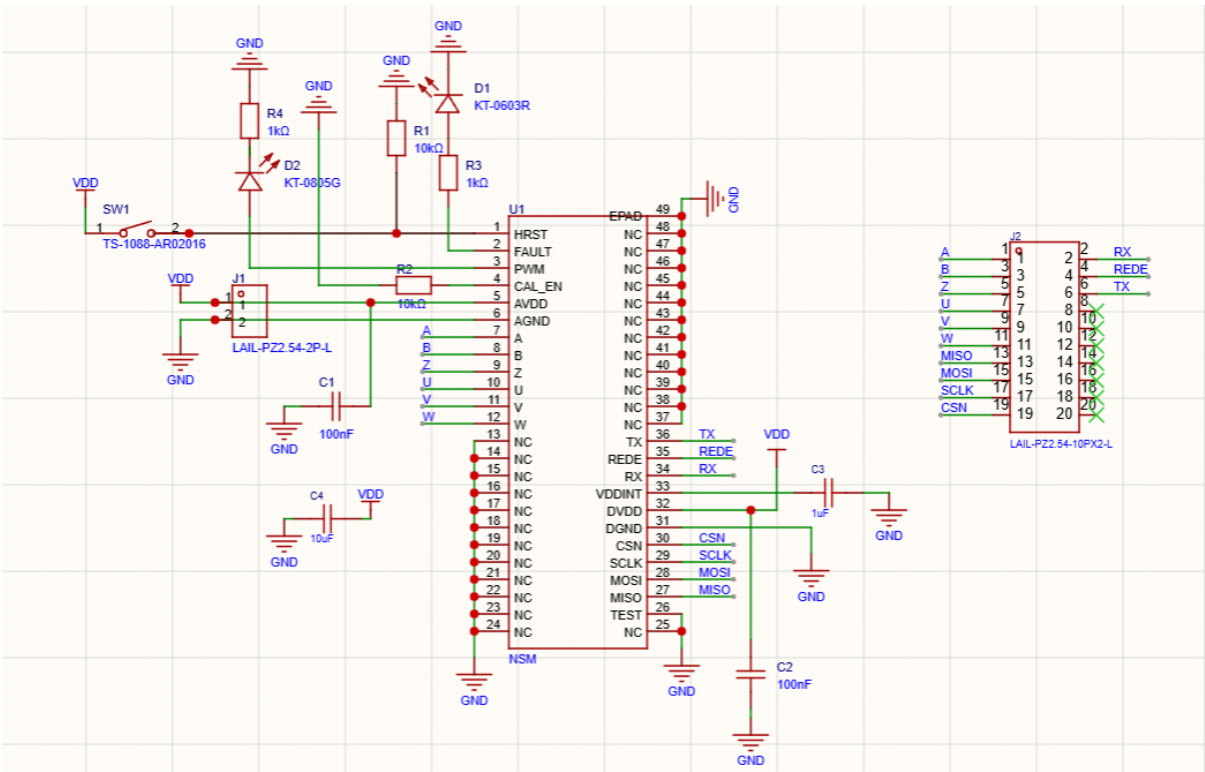


图 5.1 苏州欧波福工业科技有限公司 NSM3502 开发评估板电路原理图

5.2 评估板接口引脚分布

评估板通过 J1（2-Pin 2.54mm 端子）接入电源，通过 J2（2x10 20-Pin 2.54mm 双排针）引出所有角度与通信信号。J2 接口排针的引脚定义如下表所示：

Pin	符号	类型	说明	Pin	符号	类型	说明
1	A	数字输出	正交增量 A 脉冲输出	2	RX	数字输入	UART 串口接收线
3	B	数字输出	正交增量 B 脉冲输出	4	REDE	数字输出	UART 收发使能线
5	Z	数字输出	正交增量零位 Z 脉冲输出	6	TX	数字输出	UART 串口发送线
7	U	数字输出	电机换向 U 相输出	8	NC	悬空	未连接/保留扩展
9	V	数字输出	电机换向 V 相输出	10	NC	悬空	未连接/保留扩展
11	W	数字输出	电机换向 W 相输出	12	NC	悬空	未连接/保留扩展
13	MISO	数字输出	SPI 从机数据输出	14	GND	电源地	系统数字地平面
15	MOSI	数字输入	SPI 从机数据输入	16	GND	电源地	系统数字地平面
17	SCLK	数字输入	SPI 通信时钟输入	18	GND	电源地	系统数字地平面
19	CSN	数字输入	SPI 片选输入 (低有效)	20	GND	电源地	系统数字地平面

6. 版本历史与联系方式

版本号	发布日期	变更描述
V1.0	2026.09	初版发布

发布单位：苏州欧波福工业科技有限公司

联系邮箱：jianbin@szobtiv.com

如有关于开发板硬件借测、磁环选型及算法支持的任何问题，欢迎随时通过上述邮箱与苏州欧波福工业科技有限公司技术团队取得联系。