KTH7111

16 位高速高精度 *3D* 离轴磁编码器
可编程 *ABZ/UVW/PWM/SPI/SSI* 多模式输出角度传感器

技术支持
support@conntek.com.cn
+86(0)755-86006609

目录

1 产品信息 **4**
1.1 产品特点 4
1.2 典型应用 4
1.3 产品简介 4

2 总体说明 **5**
2.1 系统总体结构 5
2.2 应用推荐电路 6
2.3 引脚定义 7
2.4 接口输出选择说明 7
2.5 XYZ 轴切换 8
2.6 角度的二进制 16 位编码 8

3 关键参数 **8**

4 磁铁安装指南 **9**
4.1 离轴磁铁安装推荐 9
4.2 多极对磁铁安装推荐 9

5 寄存器配置 **10**
5.1 寄存器布局 10
5.2 参数说明 11

6 SPI 接口 **12**
6.1 SPI 时序 12
6.2 通过 SPI 读取绝对角度 13
6.3 寄存器访问控制（解锁与锁定寄存器） 13
6.4 通过 SPI 读取寄存器 14
6.5 通过 SPI 写入寄存器 14
6.6 通过 SPI 将寄存器值写入 MTP 15

7 SSI 接口 **16**

8 ABZ 输出 **17**
8.1 ABZ 输出分辨率 17
8.2 ABZ 的输出频率设置 18
8.3 ABZ 启动模式 18
8.4 ABZ 启动延时 19
8.5 Z 信号宽度设置 19

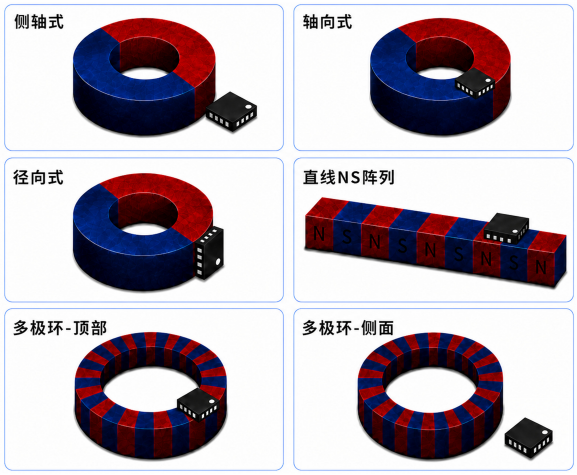
9 UVW 输出 **20**
9.1 UVW 启动延时 21
9.2 UVW 与 Z 信号的相位关系 21

10 PWM 绝对位置输出 **22**
10.1 PWM 输出频率 22
10.2 PWM 分辨率与角度计算 22
10.3 非线性校准时的 PWM 指示状态 23
10.4 PWM 启动延时 23
11 传感器离轴应用校准 **24**
12 非线性自校准 **25**
12.1 校准原理 25
12.2 校准状态 25
12.3 校准方法 25
12.4 校准建议 25
13 系统运行设置 **27**
13.1 旋转方向 27
13.2 零点设置 27
13.2.1 自动零点设置 27
13.2.2 手动零点设置 28
13.3 迟滞 29
13.4 滤波器 29
14 选型指南 **30**
15 订货信息 **30**
16 QFN-16L 封装信息 **31**
17 QFN-16L 卷盘载带信息 **32**
18 焊接温度曲线 **33**

1 产品信息

1.1 产品特点

- 16 位高精度绝对角度输出
- 3D 磁编 XYZ 三轴任选两轴输出角度
- 离轴应用，校准后 INL 精度 < ±0.2°
- 支持单对极和多对极磁铁应用
- 超低延时：1μs 数据更新率
- SPI 通信：至高 10Mbps 数据交互
- SSI 通信：至高 5Mbps 角度数据输出
- 可编程 4-16384 步/圈 ABZ 输出
- 可编程 1-32 对极 UVW 输出
- PWM 12 位角度输出，频率可调，支持校准状态指示
- 工作电压：3.3V 至 5V
- 工作温度：-40°C 至 125°C
- 封装：QFN3x3-16L



1.2 典型应用

- 绝对角度位置检测
- 无刷直流电机控制
- 离轴角度测量系统
- 闭环步进电机系统、
- 轨道交通屏蔽门控制

1.3 产品简介

KTH7111 是一款高速高精度的磁编码器，内置了先进的自动非线性校准（ANLC）功能。用户可通过写入寄存器或引脚触发校准流程，芯片能够自动完成传感器非线性误差的测量与补偿参数计算，并将校准结果存入内部 MTP（多次可编程存储器）。此功能无需复杂外部干预，可显著提升角度测量的线性度，实现优于 ±0.2° 的绝对精度。

KTH7111 提供多种灵活的通信接口和输出模式，以满足不同应用场景的需求：

- **SPI 接口：**支持三线制 SPI 通信 (CPOL=1, CPHA=1)，用于读取 16 位角度数据、内部寄存器访问及参数配置。读取角度和寄存器时提供 8 位 CRC 校验。该三线 SPI 不支持并联 CS 选通，为节约 IO 可采取多个 SDA 接入 MCU 进行数据读取的方式。
- **ABZ 增量脉冲输出：**提供可编程的 ABZ 正交脉冲输出，分辨率高达 16384 步/圈。支持绝对位置启动，芯片上电后输出一段 AB 脉冲表征绝对位置。
- **SSI 同步串行接口：**支持两线制 SSI 通信，输出绝对角度信息，最高速率 5M。
- **PWM 脉宽调制输出：**提供 120-3.8KHz 可编程 PWM 输出，并能通过 PWM 信号指示芯片的校准状态。

- **UVW 换向信号输出：**支持可编程 1-32 对极的 UVW 换向信号输出。

2 总体说明

2.1 系统总体结构

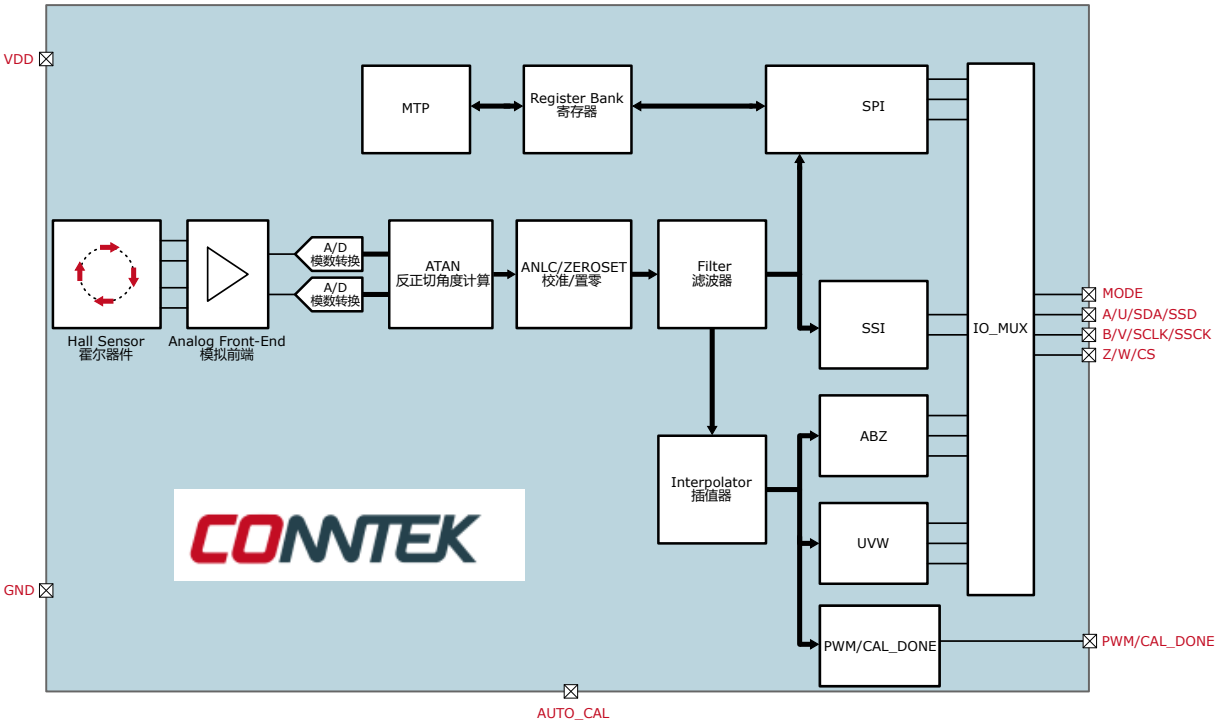


图 1: 总体功能框图

KTH7111 是一款霍尔角度编码器，它集成了霍尔器件、数模转换器（ADC）和各种模块，用于精确测量角度并输出相应的数字信号。

该编码器的霍尔器件产生电压信号，经过 ADC 转换为两路正交数字信号，再经过 ATAN 模块进行计算，得到 16 位的数字角度。数字角度经过零点设置、转动方向设置和滤波处理。

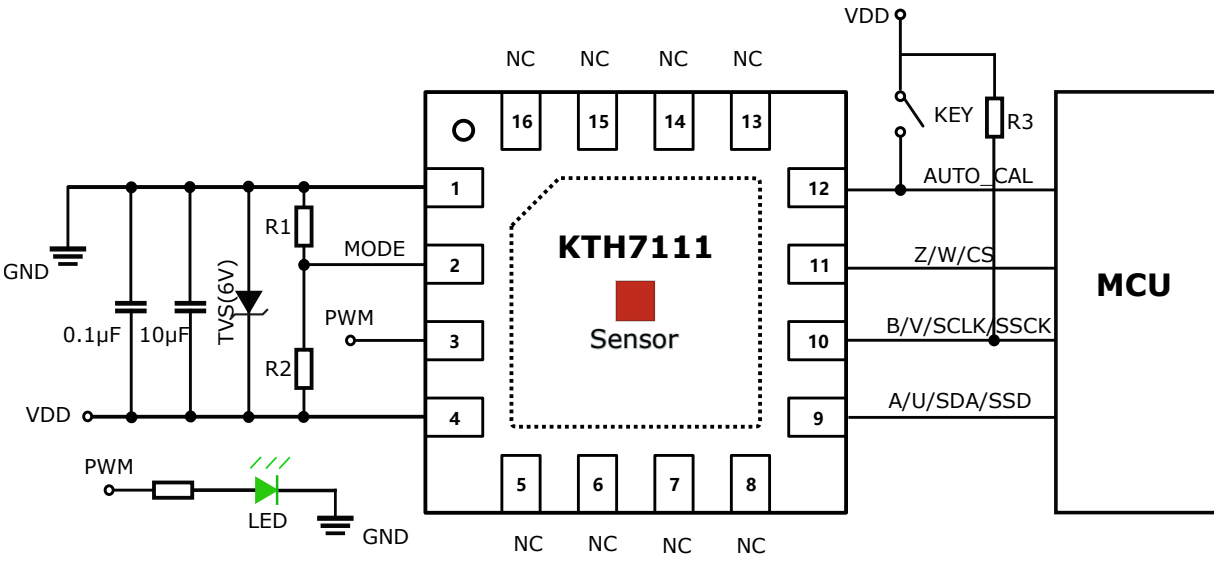
编码器的输出接口可以通过 SPI 和 SSI 通信直接输出滤波后的角度数值，用户可以使用 MCU 或其他电路直接读取。此外，角度还可以通过 PWM 调制来表达，通过改变占空比来反映角度大小。

为了提高刷新频率，滤波后的角度可以经过插值器处理，并输出给 ABZ 角度编码模块，将角度转换为所需的编码信号。

此外，系统的各种运行参数存储在可编程的多次写入存储器（MTP）中，可以通过 SPI 命令进行修改，以满足不同应用的需求。

2.2 应用推荐电路

图 2: 应用电路



备注：

- R1 和 R2 为 5.1KΩ 选通电阻，焊接 R2 不焊接 R1 即 MODE 拉高时是三线 SPI 输出，焊接 R1 不焊接 R2 即 MODE 拉低时可设置为ABZ/UVW/SSI 输出;
- 绘制 PCB 时，如果仅用到 SPI 或 ABZ 等一个单独接口，R1 和 R2 可省略，直接接 VDD 或 GND;
- 绘制 PCB 时，如果使用 SPI 接口或者 SSI 接口，R3 电阻不贴，如果使用其他接口，R3 电阻须保留，建议阻值 10kΩ;
- AUTO_CAL可以由外接的按钮触发，也可通过 MCU 给高电平，如果用不到可悬空;
- PWM 可以输出校准完成信号，因此可以接一个发光二极管示意；
- 外界干扰比较大，可适当增加上下拉电阻增强抗干扰能力。

2.3 引脚定义

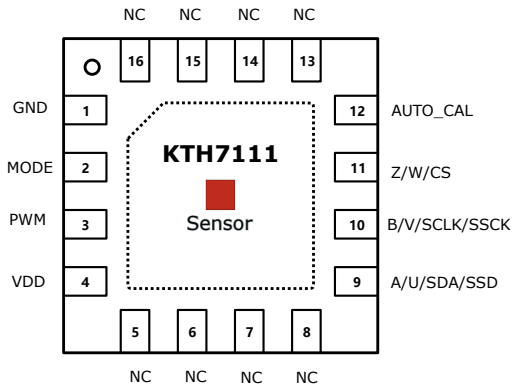


图 3: QFN-16L 3mmx3mm 传感器位于几何中心

表 1: 引脚功能

序号	名称	功能
1	GND	地
2	MODE	接口输出控制
3	PWM	占空比输出
4	VDD	供电
5/6/7/8	NC	未连接，IO 须悬空
9	A/U/SDA/SSD	通过 MODE 引脚和IO_MUX寄存器控制
10	B/V/SCLK/SSCK	通过 MODE 引脚和IO_MUX寄存器控制
11	Z/W/CS	通过 MODE 引脚和IO_MUX寄存器控制
12	AUTO_CAL	外部校准触发接口，高电平有效
15	NC	未连接，IO 须悬空
13/14/16	NC	未连接，IO 须悬空
17	T-PAD	散热焊盘，接 GND 即可

2.4 接口输出选择说明

KTH7111 的接口输出由 PIN2 脚和寄存器 IO_MUX(章节 4 详细介绍，寄存器地址 0x10)共同控制，可以输出三线 SPI、ABZ、UVW、SSI，具体规格如下:

表 2: 接口输出选择

PIN 脚及寄存器	状态	状态	状态	状态
PIN2:MODE	高电平	低电平	低电平	低电平
IO_MUX[2:0]	任意	4	1	2
PIN9	SDA	A	U	SSD
PIN10	SCLK	B	V	SSCK
PIN11	CS	Z	W	Z

KTH7111 的输出接口 PIN9、PIN10、PIN11 的输出状态由 PIN2 脚 MODE 的输入状态和 IO_MUX 寄存器共同决定，MODE 输入高电平时，PIN9、PIN10、PIN11 为三线 SPI

接口，MODE 输入低电平，IO_MUX 寄存器设置为 4 时为 ABZ 输出（默认值），IO_MUX 寄存器设置为 1 为 UVW 输出，IO_MUX 寄存器设置为 2 为 SSD 输出。

备注：IO_MUX 寄存器设置为 3 时，MODE 输入高电平时，PIN9、PIN10、PIN11 为三线 SPI 接口，MODE 输入低电平时，KTH7111 可同时输出 ABZ+UVW，PIN9、PIN10、PIN11 为 UVW 信号，PIN15 为 A 信号，PIN3 为 B 信号，PIN12 为 Z 信号。

2.5 XYZ 轴切换

KTH7111 内部集成了多个方向的霍尔传感器，用户可以切换不同轴向组合以实现所需方向的角度测量，如有更多需求也可咨询 FAE，KTH7111 配置灵活，任意方向的角度都能实现测量。

表 3: XYZ 轴切换寄存器配置

寄存器地址	X-Y	X-Z	Y-Z	4Z
0x19	0x06	0x05	0x03	0x08

2.6 角度的二进制 16 位编码

KTH7111 的角度值使用 16 位二进制编码进行表示。通过将角度值转换为 16 位二进制形式，可以实现角度的精确表示。例如，角度值可以用二进制形式的整数来表示，范围从 0 到 65535。一般情况下本说明书的角度都用 16 位二进制表示.

$$\text{角度输出 (0 到 360°)} = \frac{\text{16 位二进制数值}}{2^{16}} \times 360 \tag{1}$$

3 关键参数

表 4: 关键指标 @3.3V 供电

参数	最小值	典型值	最大值
工作电压	3.0V	3.3V	5V
磁场强度	30mT	60mT	150mT
工作电流		16mA	
启动时间		20ms	
延时时间		1us	
输出噪声（1 sigma）		0.015°	
非线性误差		±0.2°	
转速			120000rpm
ESD（HBM）		±5KV	

4 磁铁安装指南

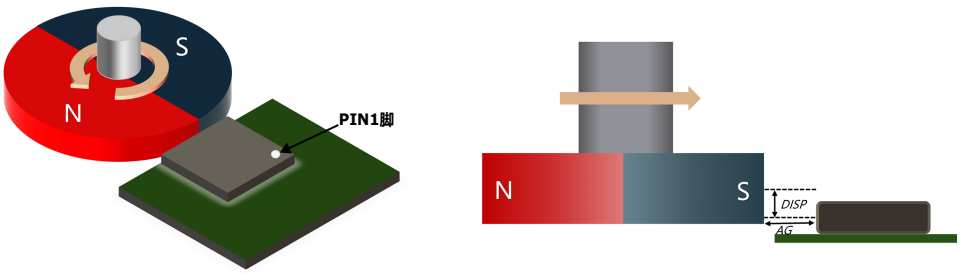
4.1 离轴磁铁安装推荐

表 5: 离轴磁铁安装推荐

Para.	Description	Min	Typ.	Max	Unit
D_{mag}	径向充磁磁铁或磁环直径		10	30	mm
T_{mag}	推荐磁铁厚度		2.5	5	mm
B_{pk}	芯片工作磁场	30		150	mT
AG	气隙		0.5	5	mm
RS	转速			120	krpm
$DISP$	安装偏差		0.5	2	mm

备注：推荐使用磁铁材料为钕铁硼或钐钴。

图 4: 离轴磁铁芯片摆放位置



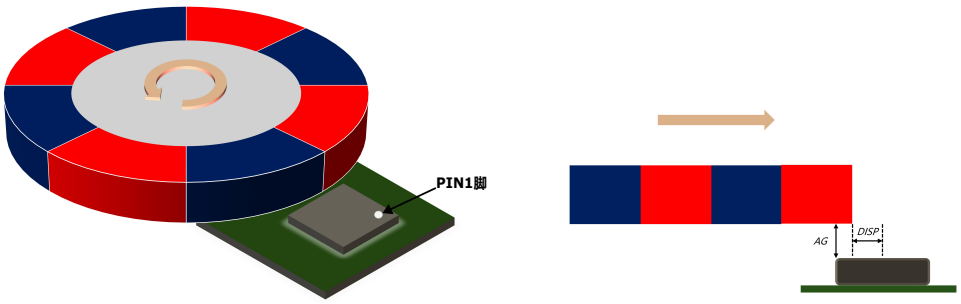
4.2 多极对磁铁安装推荐

表 6: 多极对磁铁安装推荐

Para.	Description	Min	Typ.	Max	Unit
W_{mag}	多极磁铁磁铁极距（单磁极宽度）	2		10	mm
T_{mag}	推荐磁铁厚度		2	5	mm
B_{pk}	芯片工作磁场	30		150	mT
AG	气隙		0.5	3	mm
RS	转速			120	krpm
$DISP$	芯片中心与磁铁边缘距离	0.8	1.0	5.0	mm

备注：推荐使用磁铁材料为钕铁硼或钐钴; 多极对应用中磁环直径不做限制，由于使用复杂，建议联系我司 FAE 进行磁场仿真找到最优的放置位置。

图 5: 多极对磁铁芯片摆放位置



5 寄存器配置

5.1 寄存器布局

表 7: 寄存器布局

地址	寄存器								默认值
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x00	ZERO[7:0]								0x00
0x01	ZERO[15:8]								0x00
0x02	RD	AUTO_ZERO_SET	Z_PHASE[1:0]		Z_EDGE	Z_WID[2:0]			0x00
0x03	PPT[7:0]								0xFF
0x04	RESERVE				PPT[11:8]				0x03
0x05	ABZ_START_T[3:0]				ABZ_START_MODE	ABZLIMIT_F[2:0]			0x20
0x06	RAM_HYS[7:0]								0x07
0x07	RESERVE	RAM_HYS[14:8]							0x00
0x08	RESERVE			NPP[4:0]					0x20
0x09	PWM_F[7:0]								/
0x0A	PWM_F[15:8]								/
0x0D	FW[7:0]								0x88
0x10	RESERVE					IO_MUX			0x44
0x11	GAINTRIM[7:0]								0xAC
0x12	RESERVE					ZTRIM	YTRIM	XTRIM	0x02
0x16	RESERVE			REG_CAL	ANLC_EN	RESERVE			0x08
0x72	RESERVE		ANLC_STATUS[1:0]		RESERVE				0x00

5.2 参数说明

表 8: 参数说明

符号	默认值（十进制）	名称
ZERO[15:0]	0	零点位置设置，默认为 0
RD	0	正反转设置，默认正转为 0
AUTO_ZERO_SET	0	自动零点设置，该寄存器设为 1 则芯片输出角度为 0
Z_PHASE[1:0]	0	ABZ 的 Z 信号相位，默认为 0
Z_EDGE	0	Z 信号的上升沿默认与绝对零点对齐，反之下降沿与绝对零点对齐
Z_WID[2:0]	0	Z 信号输出宽度，默认为 1LSB
PPT[11:0]	1023	ABZ 分辨率，默认 1024 线，4096 步/圈
ABZ_START_T[3:0]	2	ABZ 输出延时，默认上电后边 20ms 开始输出
ABZ_START_MODE	0	配置为 1 则为 ABZ 绝对输出模式，默认为增量输出
ABZLIMIT_F[2:0]	0	ABZ 输出带宽，默认最高频率 16MHz
RAM_HYS[14:0]	7	角度输出迟滞
NPP[4:0]	0	UVW 极对数输出，默认输出 1 对极
PWM_F	x	PWM 输出频率调节，PWM 会出场测试调整到输出 1KHz
FW[7:0]	136	默认滤波深度为 0x88
IO_MUX	4	默认在 MODE 拉高输出 ABZ
GAINTRIM[7:0]	172	离轴校准值
XTRIM	0	X 轴校准使能
YTRIM	1	Y 轴校准使能
REG_CAL	0	自校准使能，该寄存器设为 1 开始进行自校准
ANLC_EN	1	自校准效果使能到角度输出
ANLC_STATUS[1:0]	0	自校准状态寄存器，0 表示未开始校准
RESERVE	NC	厂家保留，不可随意修改

6 SPI 接口

KTH7111 采用 3 线 SPI，工作于 Mode 3（CPOL=1，CPHA=1）。接口支持角度读取、寄存器读写及 MTP 编程，SPI 的最大通信速率为 10M bps。

6.1 SPI 时序

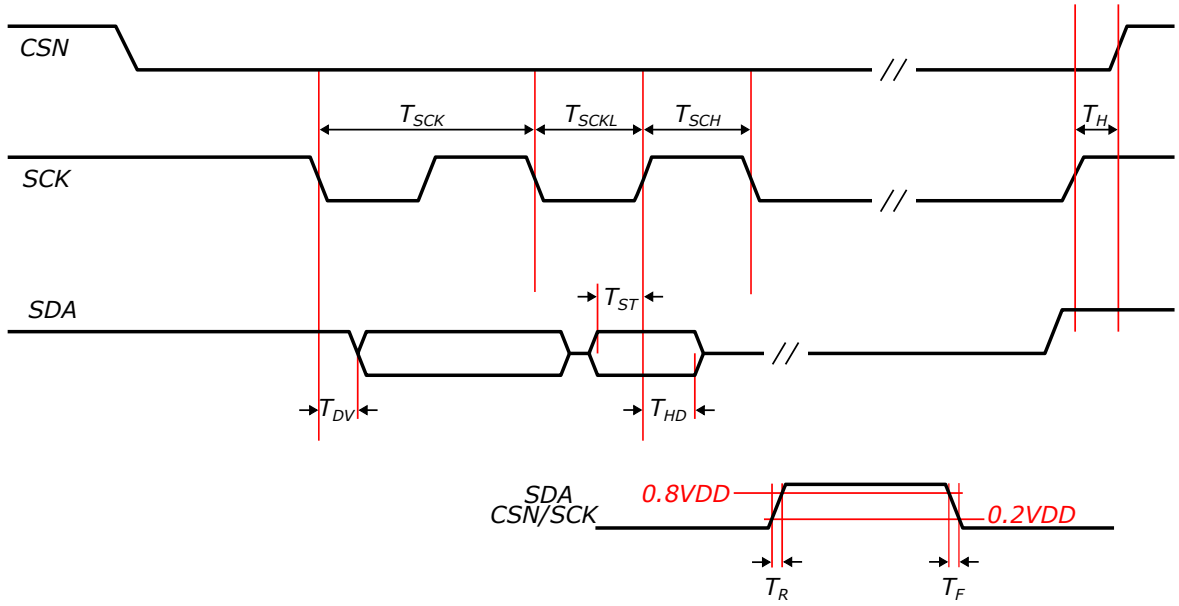


图 6: SPI 时序图

图 6 展示了 SPI 时序；下表给出了在 20 pF 负载条件下的主要时序参数（单位：ns）。这个表格列出了每个参数的符号、参数的描述，以及在纳秒（ns）单位下的最小、典型和最大值。这些参数有助于定义 SPI 通信的时序要求，确保使用 KTH7111 产品的微控制器和外围设备之间可靠的数据传输。

表 9: SPI 时序参数（负载 20 pF）

符号	说明	最小值	典型值	最大值
T_{SCK}	SCK 时钟周期 (ns)	100		
T_{SCKL}	SCK 低电平周期 (ns)	50		
T_{SCKH}	SCK 高电平周期 (ns)	50		
T_H	SCK 上升沿到 CSN 上升沿间隔 (ns)	120		
T_R	数字信号上升沿时间 (ns)		10	
T_F	数字信号下降沿时间 (ns)		10	
T_{DV}	MISO 数据有效时间 (ns)			50
T_{ST}	MOSI 数据建立时间 (ns)	50		
T_{HD}	MOSI 数据保持时间 (ns)	50		

请注意，为了保证可靠的数据通信，硬件和固件设计应遵循这些时序参数。

6.2 通过 SPI 读取绝对角度

读取角度的操作步骤如下：

1. 发送命令：8bit（0x00）
2. 接收数据：16bit 数据 + 8bitCRC
3. 读取角度可以根据自己需求发送 SCLK 数量，比如发送 8 个 bit 读取角度指令，仅发送 8 个 SCLK 读取高 8 位角度芯片也是支持的。
4. 两次 SPI 通讯间隔时间需大于 150ns
5. CRC 校验采用 CRC8/ ITU 标准：
   - 多项式：$x^8 + x^2 + x + 1$（0x07）
   - 初始值：0x00
   - 结果异或值：0x55

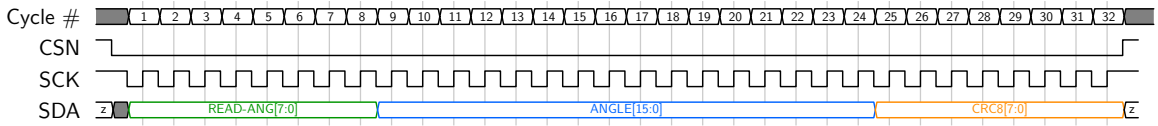


图 7: SPI 标准角度读取时序图

6.3 寄存器访问控制（解锁与锁定寄存器）

为了提高系统安全性，KTH7111 采用了寄存器锁定机制：

- 上电默认为锁定状态，此时无法写入任何寄存器
- 通过 SPI 输入解锁密码 32'h20240101 激活解锁功能
- 输入锁定密码 32'h20241231 可重新激活锁定功能
- 锁定状态下仍可读取角度和寄存器值，但无法修改寄存器

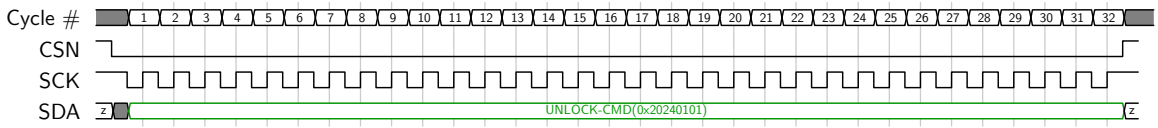


图 8: SPI 解锁时序图

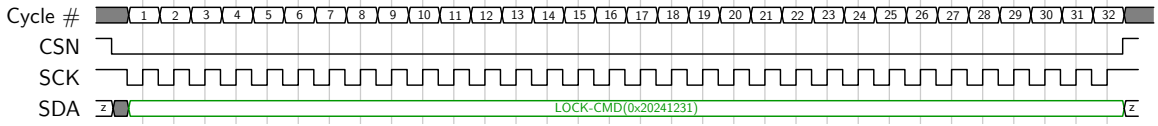


图 9: SPI 锁定时序图

在芯片正常使用过程中，寄存器配置均已完成，可通过 SPI 将芯片设置为只允许 SPI 读取角度，屏蔽寄存器设置功能，以防止外界干扰影响寄存器配置。

6.4 通过 SPI 读取寄存器

读取寄存器的操作步骤：

1. 发送命令：8bit 0x11 + 8bit 寄存器地址
2. 接收数据：8bit 寄存器值 + 8bitCRC
3. 高 16 位为向芯片发送的读取指令输入，低 16 位为返回的寄存器值和 CRC 验证码
4. 两次 SPI 通讯间隔时间需大于 150ns

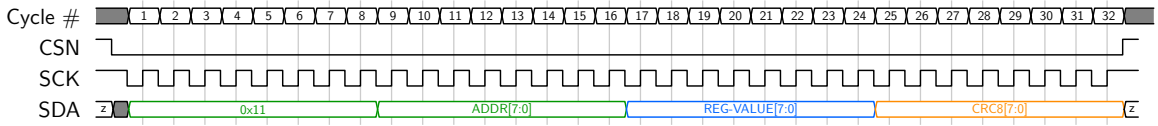


图 10: SPI 寄存器读取时序图

6.5 通过 SPI 写入寄存器

写入寄存器的操作步骤：

1. 首先需要发送解锁密码（32'h20240101）
2. 发送命令：8bit 0x33 + 8bit 寄存器地址 + 8bit 写入值
3. 接收数据：8bit 寄存器值（新增特性：同一帧返回写入寄存器的值）
4. SCLK 的第 24 个时钟高电平持续时间需要大于 100ns

重要时序要求：

- 两次 SPI 通讯间隔时间需大于 150ns
- 写寄存器命令后，需等待至少 100ns 才能读取返回值

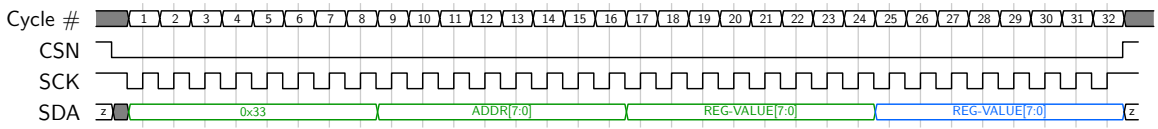


图 11: SPI 寄存器写入时序图

6.6 通过 SPI 将寄存器值写入 MTP

KTH7111 上述写寄存器是掉电不保存的，因此需要将写入寄存器的值写入 MTP（非易失性存储器）。烧写 MTP 的步骤如下：

1. 首先需要确保寄存器已解锁（32'h20240101）
2. 发送 MTP 烧写命令 24bit 指令：0x2255AA
3. 整条命令都是都是指令，无返回值

重要注意事项:

- MTP 烧写命令间隔必须大于 400ms
- MTP 编程操作不可逆，请确保写入的参数正确
- 建议在专业测试设备环境下进行 MTP 编程
- 烧写过程中请勿断电，以防止数据丢失或损坏

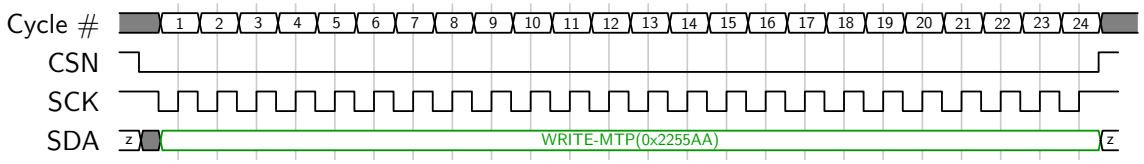


图 12: SPI 烧写 MTP 时序图

7 SSI 接口

SSI（Synchronous Serial Interface）为同步串行接口协议，KTH7111 支持通过 SSI 读取角度。

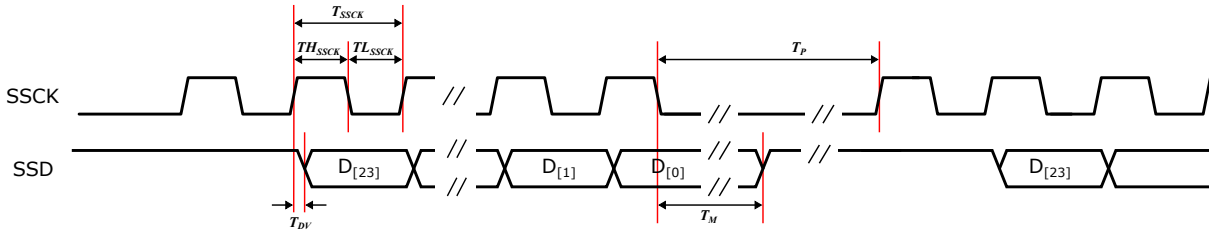


图 13: SSI 接口时序图

表 10: SSI 时序参数

符号	说明	最小值	最大值	单位
t_{DV}	SSD 数据有效等待时间		15	ns
T_{SSCK}	SSCK 时钟周期	0.2	10	μs
TL_{SSCK}	SSCK 低电平周期	0.1	5	μs
TH_{SSCK}	SSCK 高电平周期	0.1	5	μs
T_M	传输超时时间 (Monoflop Time)	10		μs
T_p	死区时间 (Pause Time)	16		μs

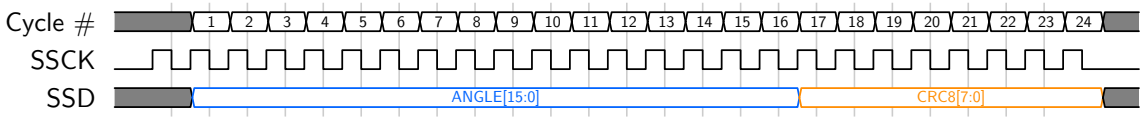


图 14: SSI 标准角度读取时序图

KTH7111 作为 SSI 从机，仅支持角度读取，不支持寄存器读写。数据高位优先输出。

8 ABZ 输出

表 11: ABZ 相关寄存器

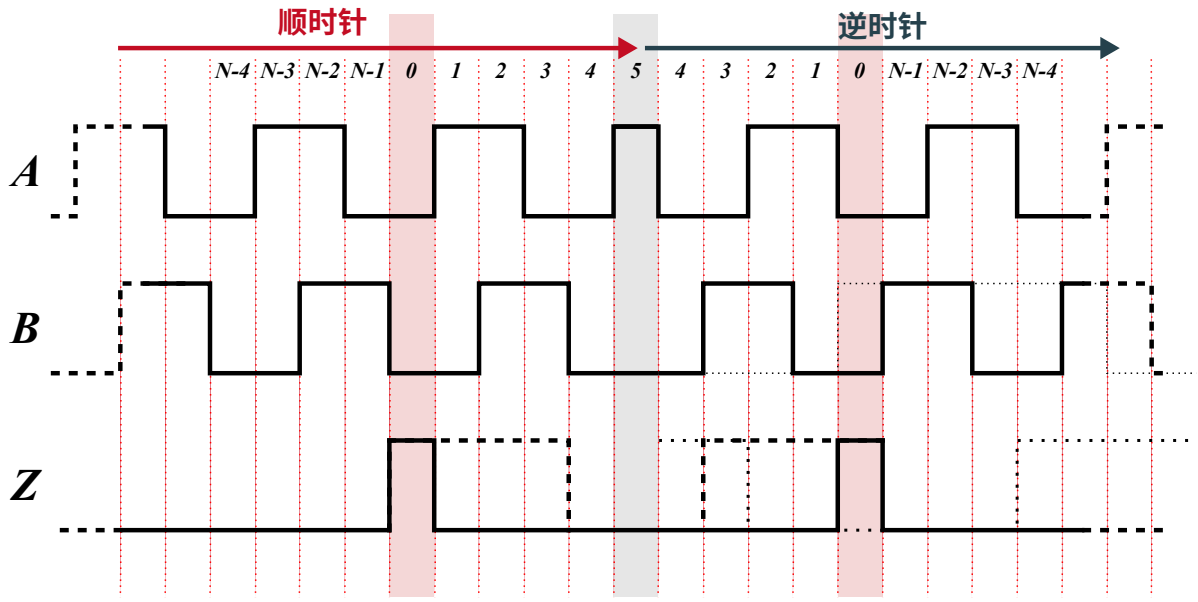
地址	寄存器								默认值
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x02	RD	AUTO_ZERO_SET	Z_PHASE[1:0]		Z_EDGE	Z_WID[2:0]			0x00
0x03	PPT[7:0]								0xFF
0x04	RESERVE				PPT[11:8]				0x03
0x05	ABZ_START_T[3:0]				ABZ_START_MODE	ABZLIMIT_F[2:0]			0x20

KTH7111 可以通过增量接口 ABZ 提供角度位置输出。该增量接口设置为 14 位分辨率，这意味着每转有 16384 步或 AB 信号每转有 4096 个脉冲周期（PPT）。

A 和 B 信号之间的相位差可以指示旋转方向，其中顺时针方向为 A 信号领先、B 信号跟随，而逆时针方向为 B 信号领先、A 信号跟随。在上电启动期间，所有三个 ABZ 信号都将保持高电平。

当位于芯片正上方的磁铁（从俯视角度来看）逆时针（CCW）旋转时，B 信号的上升沿将领先于 A 信号的上升沿 1/4 个周期。相反，当顺时针（CW）旋转时，A 信号的上升沿将领先于 B 信号的上升沿 1/4 个周期。A 和 B 信号之间的相位差随着磁铁旋转方向的改变而改变。

图 15: ABZ 输出时序



8.1 ABZ 输出分辨率

KTH7111 的 ABZ 增量输出可以以任意整数分辨率提供，最高可达 4096 个脉冲周期/圈。客户可以通过编程芯片内的 MTP 位 **PPT(13:0)** 来自定义分辨率，具体参考下表。

表 12: PPT 对应的 ABZ 分辨率

PPT(11:0)	ABZ 分辨率脉冲/圈	ABZ 分辨率步/圈
0	1	4
1	2	8
2	3	12
...	...	...
4093	4094	16376
4094	4095	16380
4095	4096	16384

8.2 ABZ 的输出频率设置

KTH7111 的 ABZ 输出频率最高为 16MHZ（AB 沿频率），可以通过调节 ABZLIMIT 改变最高输出频率，具体参考下表。

表 13: ABZLIMIT 对应的 ABZ 最高输出频率

ABZLIMIT	最高频率
0	16M
1	8M
2	4M
3	2M
4	1M

8.3 ABZ 启动模式

KTH7111 提供两种 ABZ 启动模式，通过 **ABZ_START_MODE** 寄存器控制：

- **正常启动（ABZ_START_MODE = 0）**：ABZ 信号在启动后直接输出增量脉冲。
- **绝对位置启动（ABZ_START_MODE = 1）**：芯片启动时，ABZ 将输出一串脉冲来表示当前的绝对位置。

当设置为绝对位置启动模式时，芯片在 **ABZ_EN** 开启后延迟一拍（16M 时钟）记录当前角度值作为绝对位置，随后 AB 输出一串脉冲表示该位置。脉冲数计算方式为：

$$\text{脉冲数} = \left(\frac{\min(\text{绝对位置}, 65536 - \text{绝对位置})}{65536} \right) \times \text{PPT} \tag{2}$$

例如，当绝对位置为 90°（即 16384）且 PPT=511 时，AB 将输出 128 个脉冲。若绝对位置大于 180°，AB 会反转，脉冲从 360° 递减至当前位置。

8.4 ABZ 启动延时

KTH7111 允许通过 **ABZ_START_T[3:0]** 参数控制 ABZ 输出的启动延时：

表 14: ABZ 启动延时设置

ABZ_START_T[3:0]	启动延时
1	10ms
2	20ms（默认）
3	30ms
4	40ms
5	50ms
6	75ms
7	100ms

该参数可有效防止系统上电初期的不稳定状态影响 ABZ 输出信号的准确性。

8.5 Z 信号宽度设置

KTH7111 的 Z 信号脉宽可以通过 **Z_WID[2:0]** 参数设置，具体配置如下表所示。

表 15: Z 信号宽度设置

Z_WID[2:0]	Z 脉宽
0	1LSB
1	2LSB
2	4LSB
3	8LSB
4	16LSB
5	脉宽宽度 60 度
6	脉宽宽度 120 度
7	脉宽宽度 180 度

9 UVW 输出

表 16: UVW 相关寄存器

地址	寄存器								默认值
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x08	RESERVE			NPP[4:0]					0x20

UVW 输出信号模拟了用于三相电机换向的三个霍尔开关。如图 16 所示, 这三个逻辑信号的占空比为 50%，并且彼此之间相位差为 120°。

如果电机的极对数超过目标磁体的极对数，KTH7111 可以通过将数字角度分成所需的每个 360° 旋转的换向步数来生成多个 UVW 周期。参数寄存器 0x7 中的 NPP(4:0) 设置了模拟的极对数和 UVW 信号的换向步角度。下表描述了极对寄存器配置参数 **NPP(4:0)**。

表 17: UVW 极对配置 MTP 参数 NPP(4:0)

NPP(4:0)	极对数	每转状态数
00000	1	6
00001	2	12
00010	3	18
00011	4	24
00100	5	30
00101	6	36
00110	7	42
00111	8	48
...	...	...
11110	31	186
11111	32	192

例如，对于四极（两极对）电机，UVW 换向信号间距为 30°，如图 17 所示。

图 16: 一极对转子旋转时的 UVW 输出

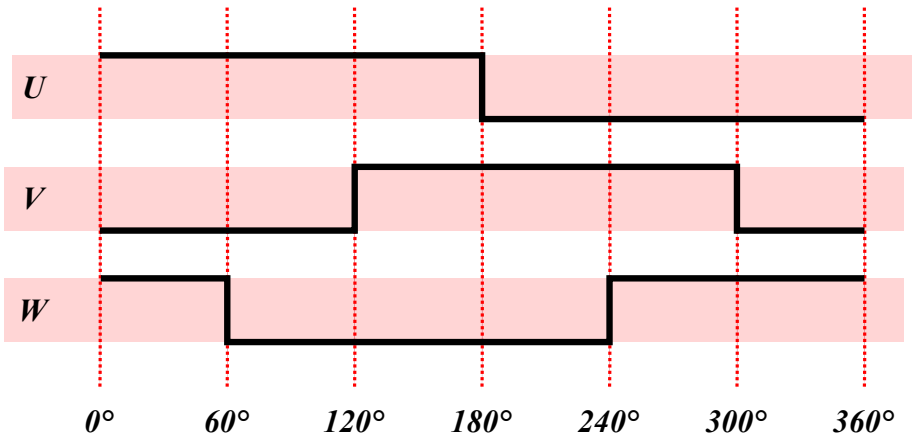
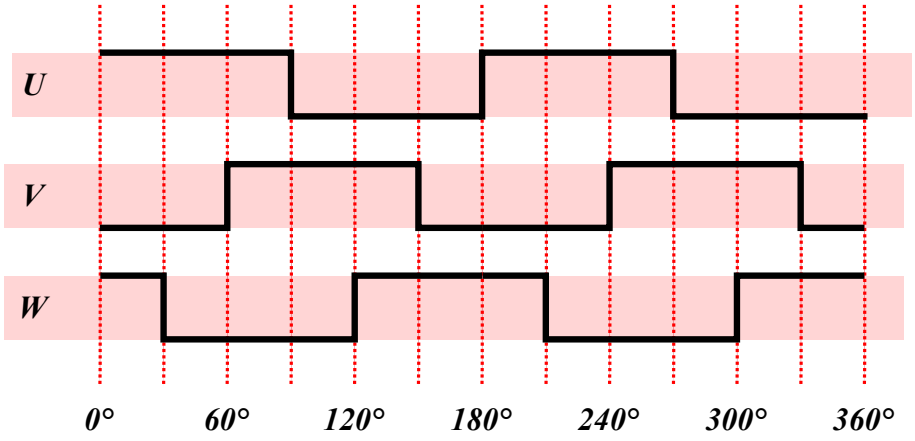


图 17: 四极（两极对）转子旋转时的 UVW 输出



9.1 UVW 启动延时

KTH7111 的 UVW 输出启动时间与 ABZ 输出相同，由 **abz_start_t[3:0]** 参数控制。这确保了在系统上电初期，UVW 信号能够在稳定后再开始输出，提高系统可靠性。

9.2 UVW 与 Z 信号的相位关系

在 KTH7111 中，UVW 信号与 Z 信号的边沿对齐，确保了电机换向与零点位置的精确同步。这对于需要精确定位控制的应用尤为重要。

10 PWM 绝对位置输出

表 18: PWM 寄存器

地址	寄存器								默认值
0x09	PWM_F[7:0]								/
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x0A	PWM_F[15:8]								/
	7	6	5	4	3	2	1	0	

KTH7111 提供单线 PWM 绝对位置输出模式，如图 18 所示为 PWM 时序图。

10.1 PWM 输出频率

PWM 输出频率可调，受 pwm_f 参数控制，输出频率计算公式为：

$$PWM(Hz) = \frac{(120.284 - 3846.0)}{65536.0} \times pwm_f + 3846.0 \tag{3}$$

具体对应关系如下：

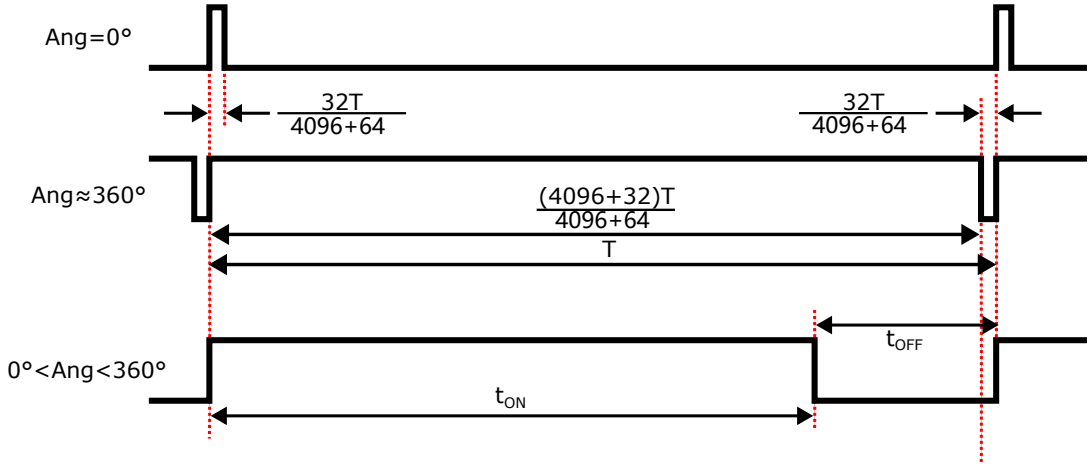
- **pwm_f = 0**：输出频率为 3.846 kHz
- **pwm_f = 65535**：输出频率为 120.284 Hz

10.2 PWM 分辨率与角度计算

PWM 输出的逻辑信号，其占空比与磁场角度成正比，分辨率为 12 位。占空比为 $32/(4096+64)$ 时对应角度为 0°，占空比为 $(4096+32)/(4096+64)$ 时对应角度为 360°。任意角度计算公式为：

$$Ang = \frac{360}{4096}\left(\frac{(4096+64)\cdot t_{ON}}{t_{ON}+t_{OFF}} - 32\right) \tag{4}$$

图 18: PWM 时序



10.3 非线性校准时的 PWM 指示状态

在非线性校准过程中，PWM 用于指示校准状态：

- 输出频率为 3.8Hz，占空比为 50% - 表示正在校准
- 输出高电平 - 表示校准完成
- 输出低电平 - 表示校准失败

当 auto_cal 信号拉低后，PWM 恢复正常输出功能。

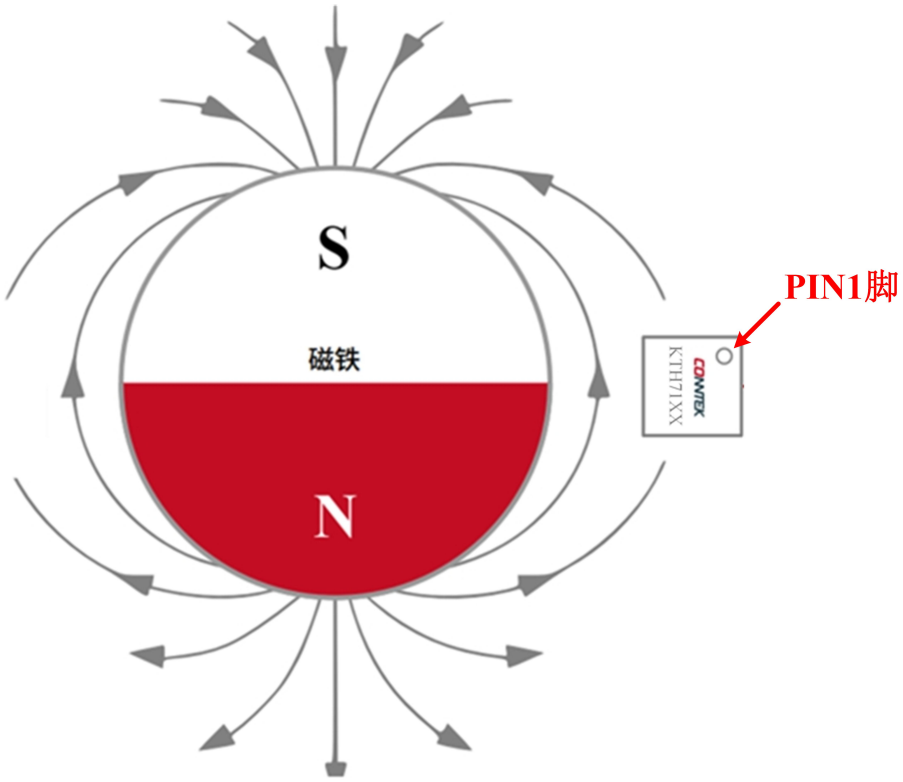
10.4 PWM 启动延时

与 ABZ 和 UVW 输出类似，PWM 输出也受 **abz_start_t[3:0]** 参数控制启动延时。这确保了系统在上电初期稳定后再开始 PWM 角度输出，避免初始不稳定状态影响输出信号的准确性。

11 传感器离轴应用校准

当我们将 KTH7111 传感器安装在磁铁轴心位置时出现偏差, 或者设计需要传感器安装在磁铁轴心的侧面时，传感器输出的磁场强度与磁铁位置之间不呈线性关系。这是由于磁铁表面的磁场分布不均匀导致的，使得传感器输出与实际磁铁位置存在非线性关系。其中一个主要原因是切向磁场（沿着磁铁表面方向）通常比径向磁场（垂直于磁铁表面方向）要弱,。为了减少客户配置，我司已按下图 19 摆放方式将编码器配置到最佳值，因此客户离轴应用须按图中芯片的方向进行摆放。此外，我司可提供磁场仿真服务，帮助客户精确仿真客户磁铁是否符合应用。

图 19: 芯片摆放方向与磁铁位置示意图



12 非线性自校准

表 19: 非线性自校准相关寄存器

地址	寄存器								默认值
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x16	RESERVE			REG_CAL	ANLC_EN	RESERVE			0x08
0x72	RESERVE		ANLC_STATUS[1:0]		RESERVE				0x00

KTH7111 内置了先进的自动非线性校准（ANLC）功能，可以有效补偿传感器在实际应用环境中的非线性误差，提高角度测量的精度。

12.1 校准原理

非线性校准模块通过采集一圈内 16 个等分点的角度误差数据，计算补偿参数，实现对角度输出的实时校准。校准过程中，PWM 输出会以 3.8Hz、50% 占空比的方式闪烁，指示系统正在进行校准。校准完成后，PWM 输出信号恢复正常。

12.2 校准状态

校准状态由 ANLC_STATUS[1:0] 寄存器指示：

表 20: 非线性校准状态指示

ANLC_STATUS[1:0]	状态说明
0	未开始自校准
1	校准进行中
2	校准失败
3	校准完成

12.3 校准方法

KTH7111 提供以下校准方法：

1. **寄存器触发**：将 REG_CAL 寄存器设置为 1，启动非线性校准。校准完成后，需要将 REG_CAL 寄存器设置为 0 完成校准。
2. **引脚触发**：将 AUTO_CAL 引脚拉高并保持一定时间，系统会根据角度变化情况自动判断是执行零点设置还是非线性校准。

12.4 校准建议

为获得最佳校准效果，建议遵循以下原则：

1. 校准时保持磁场强度稳定，避免磁铁与传感器相对位置发生变化。

2. 校准过程中保持恒定速度，推荐 100-1000rpm，速度过高或过低可能影响校准效果。
3. 在实际应用环境中进行校准，以便捕获真实工作条件下的非线性误差。
4. 对于离轴应用，建议先设置合适的 GAINTRIM 参数，再进行非线性校准。
5. 校准完成后，系统会自动将校准参数存入 MTP，断电不丢失。

13 系统运行设置

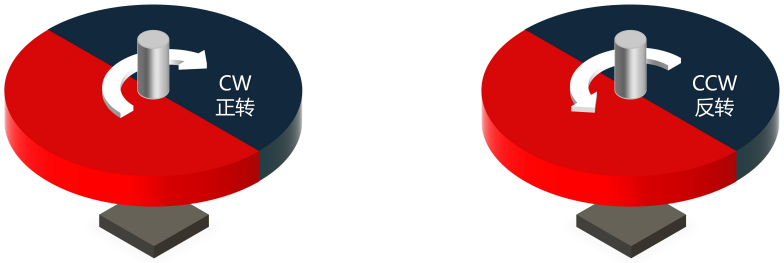
表 21: 系统运行设置相关寄存器

地址	寄存器								默认值
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x00	ZERO[7:0]								0x00
0x01	ZERO[15:8]								0x00
0x02	RD	AUTO_ZERO_SET	Z_PHASE[1:0]		Z_EDGE	Z_WID[2:0]			0x00
0x06	RAM_HYS[7:0]								0x07
0x07	RESERVE	RAM_HYS[14:8]							0x00
0x0D	FW[7:0]								0x88

13.1 旋转方向

RD 寄存器定义了输出角度增加和转动方向的关系。默认情况下，RD 为 0，当位于芯片正上方的磁铁 (俯视) 逆时针 (CCW) 转动时，芯片输出角度增加。如下图 20 所示为正反转的定义。

图 20: 正反转定义



13.2 零点设置

零点设置用于调整传感器的输出角度，使其与机械零点对齐。系统提供了两种零点设置方式：自动设置和手动设置。

13.2.1 自动零点设置

自动零点设置提供两种触发方式：寄存器触发和电平触发。

寄存器触发 通过设置寄存器 AUTO_ZERO_SET 为 1，系统将自动执行以下操作：

- 计算零点偏移值：zero_set_angle $= rd?(\text{zero} - \text{ango}) : (\text{zero} + \text{ango})$
- 将计算得到的 zero_set_angle 写入 ZERO[15:0] 寄存器

- 自动将新的零点值烧写入 MTP 存储器
- 操作完成后，AUTO_ZERO_SET 寄存器自动清零

电平触发 通过 AUTO_CAL 引脚实现：

- 将 AUTO_CAL 引脚拉高并保持 2 秒以上完成自动置零

13.2.2 手动零点设置

手动零点设置通过直接写入 ZERO[15:0] 寄存器实现：

- 寄存器范围：0-65535，对应 0°-360°
- 写入值会立即生效，影响所有输出接口的角度值
- 手动设置的值在掉电后会丢失，需要通过 MTP 烧写命令保存

零点设置对角度输出的影响：

- 当 RD=0 时：输出角度 $=$ 原始角度 $-$ zero
- 当 RD=1 时：输出角度 $=$ 原始角度 $+$ zero $-$ 65536

表 22: 零点设置方式对比

设置方式	优点	缺点
寄存器自动设置	操作简单，自动保存	需要 SPI 通信
电平自动设置	无需通信接口，操作方便	需要额外的控制引脚
手动设置	精确控制，灵活性高	需要手动保存，操作复杂

寄存器 **ZERO[15:0]** 定义了零点的位置，该数值适用于所有的角度输出类型。传感器的零位可以使用 16 位分辨率进行编程。

当 RD（旋转方向）为 1 时，传感器输出的角度可以通过以下公式计算，16 位二进制数为 SPI 当前读到的数值，期望角度为用户更改 ZERO[15:0] 寄存器后希望输出的角度（0-360°）：

$$\text{ZERO} = \text{取反}\left(16\text{ 位二进制数值} - \left(\frac{\text{期望角度}}{360}\right) \times 2^{16}\right) + 1 \tag{5}$$

当 RD（旋转方向）为 0 时，传感器输出的角度可以通过以下公式计算，16 位二进制数为 SPI 当前读到的数值，期望角度为用户更改 ZERO[15:0] 寄存器后希望输出的角度（0-360°）：

$$\text{ZERO} = 16\text{ 位二进制数值} - \left(\frac{\text{期望角度}}{360}\right) \times 2^{16} \tag{6}$$

例如当 RD（旋转方向）为 1 时，16 位二进制数值为 16384，即 SPI 输出角度为 90 度，将 ZERO[15:0] 设为 16384 的补码（按位取反后加 1）49152，则输出值为 0（输出角度为 0 度）；当 RD（旋转方向）为 0 时，16 位二进制数值为 16384，即 SPI 输出角度为 90 度，将 ZERO[15:0] 设为 16384，则输出值为 0（输出角度为 0 度）。

13.3 迟滞

迟滞是指为了防止虚假转换和提高系统的抗干扰性能，在输出信号上引入的滞后效应。滞后是指输出信号必须超过一个特定的阈值才能改变其状态。这种滞后效应可以有效减少噪声和其他干扰对输出信号的影响。当输入信号发生变化时，输出信号不会立即跟随变化，而是需要超过一个阈值才会改变状态。这个阈值的设置使得系统对小幅度噪声和干扰不敏感，从而提高了系统的稳定性和精度。

迟滞功能对所有输出接口都有效

迟滞参数可通过寄存器 RAM_HYS[14:0] 配置，1 LSB = $\frac{1}{32768} \times 360°$。默认值为 7，即约 0.07693°。通过引入输出迟滞，可以减少误差并提高系统的抗干扰性能。这对于需要高精度和稳定性的应用非常重要，尤其是在噪声环境或存在干扰的情况下。

表 23: 迟滞参数配置表

RAM_HYS[14:0]	迟滞角度	说明
0	0°	无迟滞
1	0.01099°	最小迟滞值
2	0.02197°	
4	0.04395°	
7	0.07693°	默认值
8	0.08789°	
16	0.17578°	
32	0.35156°	
64	0.70313°	
128	1.40625°	最大迟滞值

迟滞角度计算公式：

$$\text{迟滞角度} = \frac{\text{RAM_HYS} \times 360}{32768}$$

13.4 滤波器

滤波器深度会影响有效分辨率（定义为 ±3σ 噪声区间）和输出带宽，前者是影响速度波动的主要因素，后者则会影响系统的动态响应。表24 表征了不同滤波深度对应的有效分辨率。寄存器 FW[7:0] 默认值为 0x88。

表 24: 不同滤波深度对应的有效分辨率

FW[7:0]	滤波等级	有效分辨率（bit）
0x00	0	9.5
0x11	1	10
0x33	3	11
0x77	7	12
0x88	8	13
0xAA	10	14
0xFF	15	15

14 选型指南

表 25: 型号列表

型号	噪声（1 sigma）	输出接口	时间常数 τ (ms)	工作磁场	应用场景
KTH7111	0.015°	SPI、SSI、PWM、ABZ	0.51	30-150mT	工业自动化

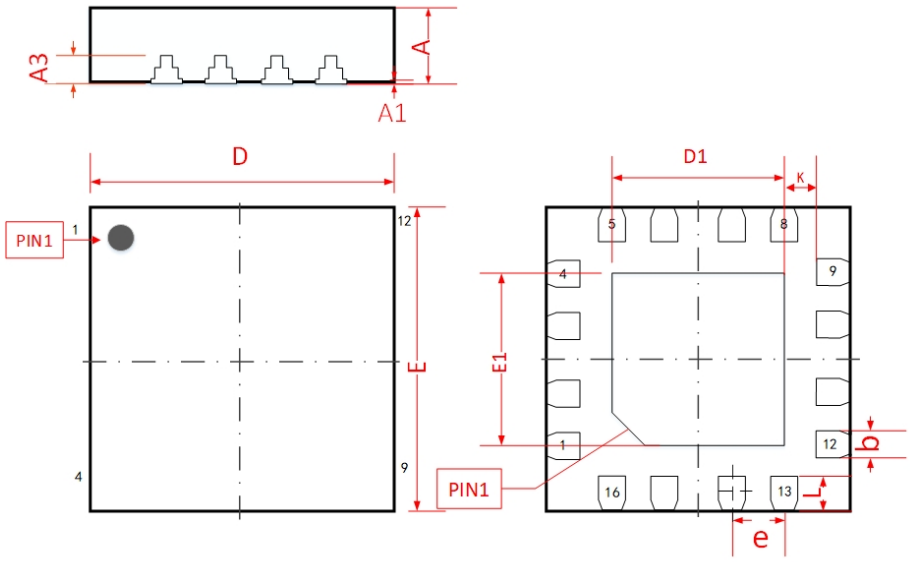
15 订货信息

表 26: 订货信息

型号	封装形式	工作温度	应用场景	引脚数量	是否有 CRC 校验
KTH7111-QN16	QFN3x3-16L	-40°C 至 125°C	工业自动化	16	有

16 QFN-16L 封装信息

图 21: QFN-16L 封装信息

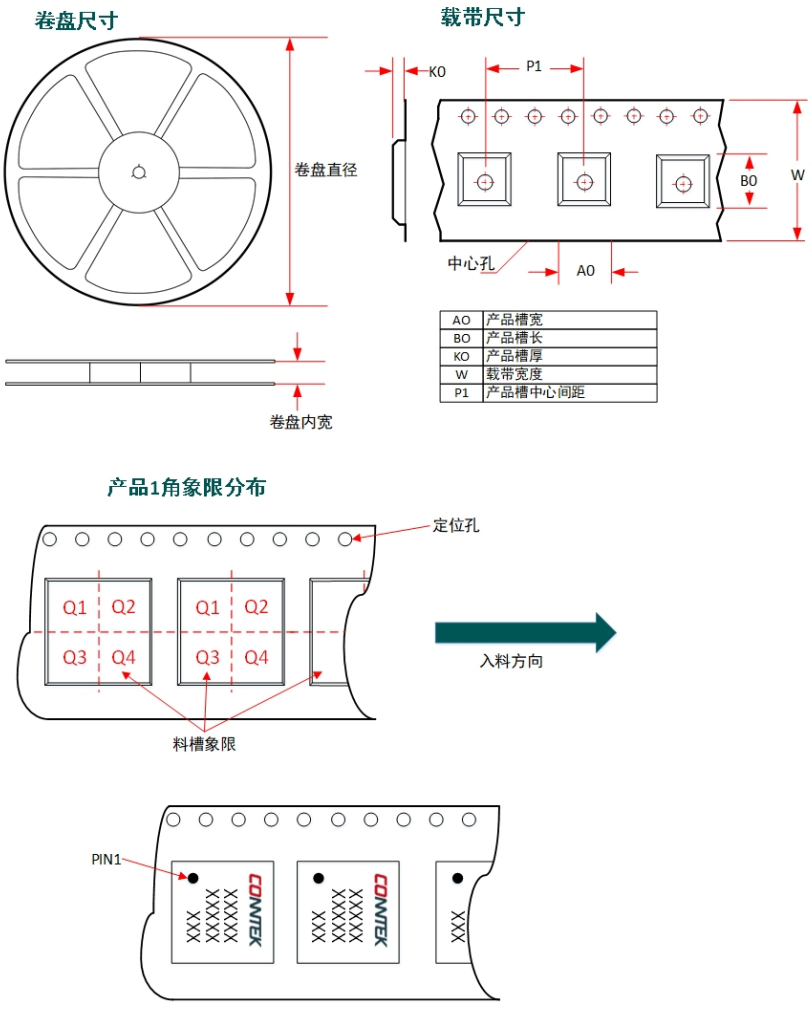


QFN_16PIN 封装尺寸图

标识	单位：毫米		
	最小值	正常值	最大值
A	0.7	0.75	0.8
A1	0	0.02	0.05
A3	0.203REF		
D	3.00 BSC		
E	3.00 BSC		
D1	1.5	1.65	1.8
E1	1.5	1.65	1.8
k	0.385BSC		
b	0.18	0.24	0.30
e	0.5BSC		
L	0.19	0.29	0.39

17 QFN-16L 卷盘载带信息

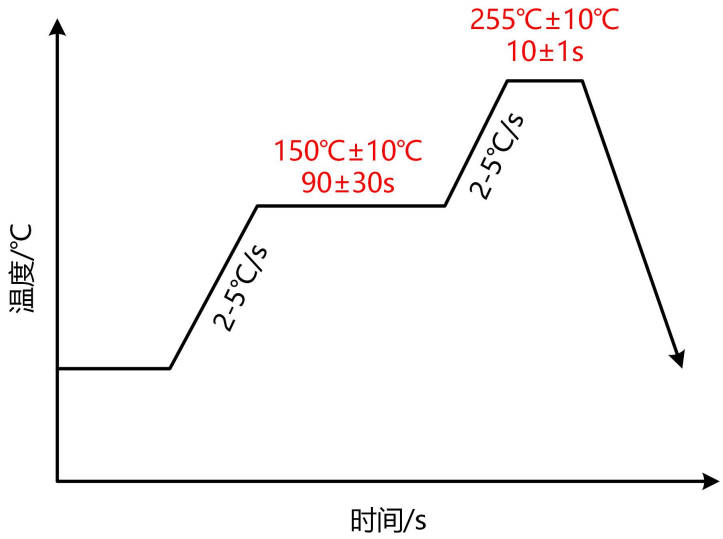
图 22: QFN-16L 卷盘载带尺寸



Package Type	Pins	SPQ	卷盘直径	卷盘内宽	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 方向
QFN3*3-16L	16	5000	330	12.4	3.35	3.35	1.13	8.00	12.00	Q1

18 焊接温度曲线

图 23: 焊接温度曲线



声明 Disclaimer

该技术文档由泉州昆泰芯微电子科技有限公司 (以下简称” 昆泰芯”) 提供，仅供参考。本文档中的信息按原样提供，不附带任何明示或暗示的保证。昆泰芯对本文档中包含的信息的准确性、完整性或适用性不作任何陈述或保证。在任何情况下，昆泰芯均不对使用或无法使用本文档中的信息而产生的直接、间接、特殊、附带或后果性损害承担责任。用户有责任确保其使用本文档中的任何信息符合所有适用的法律、法规和指南。昆泰芯保留随时更改本免责声明的权利，而无需提前通知。

This technical document is provided by CONNTEK for informational purposes only. The information contained in this document is provided ” as is ” and without warranties of any kind, either expressed or implied. CONNTEK makes no representations or warranties about the accuracy, completeness, or suitability of the information contained in this document. Under no circumstances shall CONNTEK be liable for any direct, indirect, special, incidental, or consequential damages arising out of the use or inability to use the information contained in this document. Users are responsible for ensuring that their use of any information contained herein complies with all applicable laws, regulations, and guidelines. CONNTEK reserves the right to make changes to this disclaimer at any time and without notice.

版权所有 Copyright

版权所有 © 泉州昆泰芯微电子科技有限公司。保留所有权利。
本文档及其内容受版权法保护，未经昆泰芯事先书面许可，不得以任何形式或任何方式复制或传播。

Copyright © CONNTEK. All rights reserved.
This document and its contents are protected by copyright law and may not be reproduced or transmitted in any form or by any means without the prior written consent of CONNTEK.

联系方式 Contact

总部地址:
泉州市丰泽区
华大街道体育街
华创园 B501 室

Headquarters Address
Room B501, Huachuang Park
Sports Street, Huada Street
Quanzhou City, P.R.CHINA

电话 Business Number: +86(0)755-86006609

电子邮件 Email: support@conntek.com.cn