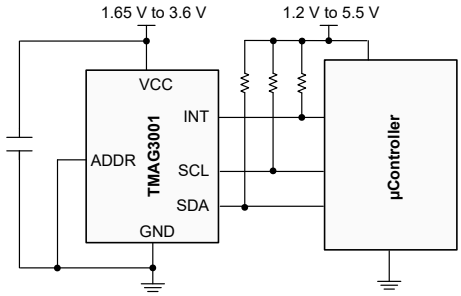
TMAG3001 采用 WCSP 封装、具有 I²C 接口和唤醒检测功能的低功耗 3D 线性和角度霍尔效应传感器

1 特性

- 可配置的电源模式，包括：
  - 2.1mA 活动模式电流
  - 0.45μA 唤醒和睡眠模式电流
  - 40nA 睡眠模式电流
- X、Y 或 Z 轴上的线性磁场范围可选：
  - TMAG3001A1 样片：±40mT、±80mT
  - TMAG3001A2：±120mT、±240mT
- 集成角度计算以及增益和偏移调整，用于支持离轴放置
- 由 I²C 或专用 $\overline{\text{INT}}$ 引脚触发转换
- 中断信号，基于
  - 磁性或角度阈值交叉
  - 相对于上一次测量的变化
- 可配置 3D 或角度开关模式
- 经优化具有低噪声，支持高达 20kSPS 的单轴转换率
- 具有循环冗余校验 (CRC) 功能的 I²C 接口：
  - 最大 1MHz I²C 时钟速度
  - ADDR 引脚支持在同一总线上使用 4 个器件
- 集成温度补偿，支持多种磁体类型
- 内置温度传感器
- 1.65V 至 3.6V 的电源电压 V_{CC} 范围
- 工作温度范围：–40°C 至 125°C

2 应用

- 电子智能锁
- 门窗传感器
- 磁接近传感器
- 移动机器人电机控制
- 智能手表
- 传动器
- 位置传感器
- 可折叠智能手机和平板电脑
- 游戏手柄和游戏控制器



应用方框图

3 说明

TMAG3001 是一款低功耗线性 3D 霍尔效应传感器，适用于各种工业和个人电子产品应用。此器件在 X、Y 和 Z 轴集成三个独立的霍尔效应传感器。精密模拟信号链和集成的 12 位 ADC 对测量的模拟磁场值进行数字化。支持多个工作 V_{CC} 范围时，I²C 接口可确保使用低电压微控制器实现无缝的数据通信。

可以通过 I²C 接口来配置 TMAG3001，以实现磁轴和温度测量的任意组合。此外，该器件可以配置为各种电源选项（包括唤醒和睡眠模式），从而支持设计人员根据其系统级需求优化系统功耗。多个传感器转换方案和 I²C 读取帧有助于优化吞吐量和准确性。专用的 $\overline{\text{INT}}$ 引脚可以在低功耗唤醒和睡眠模式期间充当系统中断，也可以被微控制器用来触发新的传感器转换。该器件还具有用于磁性或角度测量的可配置低功耗开关模式。

集成角度计算引擎 (CORDIC) 为同轴和离轴角度测量拓扑提供完整的 360° 角度位置信息。使用用户选择的两个磁轴执行角度计算。该器件具有磁增益和偏轴校正功能，可减轻系统机械误差源的影响。

TMAG3001 具有一个 ADDR 引脚，可用于拥有四个不同的 I²C 地址。每个可订购器件可配置为选择在系统校准期间适合磁体强度和元件放置的两个磁场范围之一。

该器件在 –40°C 至 125°C 的宽环境温度范围内能够保持稳定一致的优异性能。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
TMAG3001	YBG（DSBGA，6）	0.83mm × 1.32mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的封装选项附录。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性.... 1
2 应用.... 1
3 说明.... 1
4 引脚配置和功能.... 3
5 规格.... 4
5.1 绝对最大额定值.... 4
5.2 ESD 等级.... 4
5.3 热性能信息.... 4
5.4 建议运行条件.... 4
5.5 电气特性.... 5
5.6 温度传感器.... 6
5.7 A1 的磁特性.... 6
5.8 A2 的磁特性.... 8
5.9 磁温度补偿特性.... 9
5.10 I^2C 接口时序.... 9
5.11 上电时序.... 10
5.12 时序图.... 10
5.13 典型特性.... 11
6 详细说明.... 12
6.1 概述.... 12
6.2 功能方框图.... 12
6.3 特性说明.... 13
6.4 器件功能模式.... 21
6.5 编程.... 23
7 应用和实施.... 38
7.1 应用信息.... 38
7.2 典型应用.... 48
7.3 优秀设计实践.... 51
7.4 电源相关建议.... 52
7.5 布局.... 52
8 寄存器映射.... 53
9 器件和文档支持.... 71
9.1 文档支持.... 71
9.2 接收文档更新通知.... 71
9.3 支持资源.... 71
9.4 商标.... 71
9.5 静电放电警告.... 71
9.6 术语表.... 71
10 修订历史记录.... 71
11 机械、封装和可订购信息.... 71

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

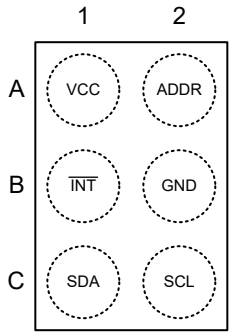


图 4-1. YBG (6 - DSBGA) 顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
名称	编号		
VCC	A1	电源	电源。
$\overline{\text{INT}}$	B1	IO	中断输出和触发输入。当用作开漏输出时，需要使用一个上拉电阻器。当用作触发输入时，不需要使用上拉电阻器。
SDA	C1	IO	串行数据。
SCL	C2	IO	串行时钟。
GND	B2	接地	参考接地。
ADDR	A2	输入	地址引脚。可连接至 SDA、SCL、VCC 或 GND。

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）[(1)]

		最小值	最大值	单位
V_{CC}	主电源电压	-0.3	4	V
I_{OUT}	输出电流，SDA，$\overline{INT}$	0	10	mA
V_{OUT}	输出电压，SDA，$\overline{INT}$	-0.3	7	V
V_{IN}	输入电压，SCL，SDA，ADDR，$\overline{INT}$	-0.3	7	V
B_{MAX}	磁通量密度		无限	T
T_J	结温	-40	150	°C
T_{stg}	贮存温度	-65	170	°C

(1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

5.2 ESD 等级

				值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准[(1)]		±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准[(2)]	转角引脚（1、6、3 和 4）	±700	
			其他引脚	±500	

(1) JEDEC 文档 JEP155 说明 500V HBM 支持在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 说明 250V CDM 支持在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 热性能信息

热性能指标[(1)]		TMAG3001	单位
		YBG (WCSP)	
		6 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	131.8	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	1.4	°C/W
$R_{\theta JC(bottom)}$	结至外壳（顶部）热阻	不适用	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	36.4	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.3	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	36.4	°C/W

(1) 有关新旧热性能指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热性能指标 应用报告。

5.4 建议运行条件

		最小值	标称值	最大值	单位
V_{CC}	电源电压	1.65		3.6	V
V_{OUT}	输出电压，SDA，$\overline{INT}$	0		3.6	V
I_{OUT}	输出电流，SDA，$\overline{INT}$			2	mA
T_A	自然通风条件下的工作温度范围	-40		125	C

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I/O 特性						
V_{OL}	输出低电压，SDA，$\overline{INT}$ 引脚	I_{OUT} = 2mA	0		0.4	V
V_{IH}	输入高电压	V_{CC} = 1.65V - 1.9V	0.7 × V_{CC}			V
		V_{CC} = 2.3V - 3.6V	0.65 × V_{CC}			V
V_{IL}	输入低电压	V_{CC} = 1.65V - 1.9V			0.3 × V_{CC}	V
		V_{CC} = 2.3V - 3.6V			0.35 × V_{CC}	V
I_{OZ}	输出漏电流，SDA，$\overline{INT}$ 引脚	输出禁用 V_{OZ} = 5.5V			±100	nA
$t_{FALL_\overline{INT}}$	$\overline{INT}$ 输出下降时间	R_{PU} = 10kΩ C_L = 20pF		6		ns
$t_{INT\ (\overline{INT})}$	脉冲模式下 $\overline{INT}$ 中断持续时间	INT_Mode[2:0] = 1h 或 2h		10		μs
$t_{INT\ (SCL)}$	SCL 中断持续时间	INT_Mode[2:0] = 3h 或 4h		10		μs
C_{IN}	输入电容	f_s = 1MHz			10	pF
直流电源部分						
I_{ACTIVE}	活动模式电流 X、Y、Z 或热传感器有效转换	LP_LN = 0h V_{CC} = 1.8V		2.1	3.5	mA
		LP_LN = 1h V_{CC} = 1.8V		2.8	4.5	mA
		LP_LN = 0h V_{CC} = 3.3V		2.4	4	mA
		LP_LN = 1h V_{CC} = 3.3V		3.0	4.8	mA
$I_{STANDBY}$	待机模式电流	器件处于触发模式，未开始转换		0.45	1	mA
I_{SLEEP}	睡眠模式电流			40		nA
占空比模式期间的平均功率						
I_{CC_DCM}	W&S 模式电流消耗 唤醒间隔 5000ms LP_LN = 0h	磁性单通道转换 V_{CC} = 1.8V		0.4	1.1	μA
		磁性单通道转换 V_{CC} = 3.3V		0.5	1.3	μA
	W&S 模式电流消耗 唤醒间隔 1ms Conv_AVG[2:0] = 0h LP_LN = 0h	磁性单通道转换 V_{CC} = 3.3V		110	250	μA
		磁性 4 通道转换 V_{CC} = 3.3V		230	375	μA

5.6 温度传感器

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_{SENS_RANGE}	温度检测范围		-40		125	℃
T_{SENS_RES}	温度检测分辨率（16 位格式）			58.2		LSB/℃
T_{ADC_T0}	25ºC 室温下以十进制值表示的温度结果			17512		
T_{ERR}	温度误差精度	T_A = –40℃ 至 125℃		±0.5	±5	℃
NRMS_T	RMS (1 Σ) 温度噪声	Conv_AVG = 5h		0.05		℃
NRMS_T	RMS (1 Σ) 温度噪声	Conv_AVG = 0h		0.3		℃

5.7 A1 的磁特性

预告信息。在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$B_{IN_X_Y}$	线性磁场范围	x_y_RANGE = 0h		±40		mT
$B_{IN_X_Y}$		x_y_RANGE = 1h		±80		mT
B_{IN_Z}		z_RANGE = 0h		±40		mT
B_{IN_Z}		z_RANGE = 1h		±80		mT
SENS	灵敏度，X、Y 或 Z 轴 LP_LN = 1h	±40mT 范围		840		LSB/mT
		±80mT 范围		420		LSB/mT
$SENS_{ERR}$	灵敏度误差，X、Y 或 Z 轴 LP_LN = 1h	T_A = 25°C		±0.5	±8	%
$SENS_{ERR_DRIFT}$	相对于 25°C 的灵敏度漂移，X、Y 或 Z 轴	T_A = -40°C 至 85°C		±1.5	±8	%
		T_A = -40°C 至 125°C			±10	%
$SENS_{LER_XY}$	灵敏度线性误差，X 或 Y 轴	T_A = 25°C		±0.10		%
$SENS_{LER_Z}$	灵敏度线性误差，Z 轴			±0.10		%
$SENS_{MS_XY}$	X 与 Y 轴之间的灵敏度不匹配	T_A = 25°C LP_LN = 1h		±0.75	±4	%
$SENS_{MS_Z}$	Y 与 Z 轴或 X 与 Z 轴之间的灵敏度不匹配			±0.55	±6	%
$SENS_{MS_DR_XY}$	相对于 25℃ 值的灵敏度失配漂移，X 轴与 Y 轴	T_A = -40°C 至 125°C		±1.5	±4	%
$SENS_{MS_DR_Z}$	相对于 25°C 值的灵敏度失配漂移；Y 与 Z 轴之间或 X 与 Z 轴之间	T_A = -40°C 至 125°C		±1.5	±6	%
B_{off}	偏移	T_A = 25°C		±100	±500	μT
B_{off_TC}	相对于 25°C 值的温漂	T_A = -40°C 至 125°C		±1	±7	μT/°C
N_{RMS_XY}	RMS (1 Σ) 磁噪声（X 或 Y 轴）	LP_LN = 0h Conv_AVG = 0h		105		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 0h		95		μT
		LP_LN = 0h Conv_AVG = 5h		17.5		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		16		μT

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

预告信息。在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
N_{RMS_Z}	RMS (1 Σ) 磁噪声（Z 轴）	LP_LN = 0h Conv_AVG = 0h		58		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 0h		53		μT
		LP_LN = 0h Conv_AVG = 5h		10		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		9		μT
A_{ERR} (1)	完整 360° 旋转中的 X-Z 角度误差（增益和偏移校准后）	T_A = 25°C Conv_AVG = 5h		±0.5		度
	完整 360° 旋转中的 X-Y 角度误差（增益和偏移校准后）	T_A = 25°C Conv_AVG = 5h		±0.25		度
A_{NRMS} (1)	RMS (1 Σ) 角度噪声 (X-Y)	LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		0.03		度
	RMS (1 Σ) 角度噪声（X-Z 或 Y-Z）			0.025		度

(1) 通过将磁体与传感器对齐来执行角度测量

5.8 A2 的磁特性

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
B_{IN}	线性磁场范围	_RANGE = 0h		±120		mT
		_RANGE = 1h		±240		mT
SENS	灵敏度，X、Y 或 Z 轴 LP_LN = 1h	±120mT 范围		273		LSB/mT
		±240mT 范围		137		LSB/mT
$SENS_{ERR}$	灵敏度误差，X、Y 或 Z 轴 LP_LN = 1h	T_A = 25°C		±0.5	±6	%
$SENS_{ERR_DRIFT}$	相对于 25°C 的灵敏度漂移，X、Y 或 Z 轴	T_A = 0°C 至 125°C		±1.5	±6	%
$SENS_{LER}$	灵敏度线性误差，X 或 Y 轴	T_A = 25°C		±0.10		%
	灵敏度线性误差，Z 轴	T_A = 25°C		±0.10		%
$SENS_{MS}$	X 与 Y 轴之间的灵敏度不匹配	T_A = 25°C LP_LN = 1h		±0.75	±4.5	%
	Y 与 Z 轴或 X 与 Z 轴之间的灵敏度不匹配			±0.55	±6.5	%
$SENS_{MS_DR}$	相对于 25℃ 值的灵敏度失配漂移，X 轴与 Y 轴	T_A = -40°C 至 125°C		±1.5	±4	%
	相对于 25°C 值的灵敏度失配漂移；Y 与 Z 轴之间或 X 与 Z 轴之间	T_A = -40°C 至 125°C		±1.5	±5.5	%
B_{off}	偏移	T_A = 25°C，范围 = 0h		±75	±600	μT
		T_A = 25°C，范围 = 1h		±75	±750	μT
B_{off_DR}	相对于 25°C 值的温漂	T_A = -40°C 至 25°C		±1	±9.1	μT/°C
		T_A = 25°C 至 125°C		±1	±8	μT/°C
N_{RMS_XY}	RMS (1 Σ) 磁噪声（X 或 Y 轴）	LP_LN = 0h Conv_AVG = 0h		116		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 0h		106		μT
		LP_LN = 0h Conv_AVG = 5h		20		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		19		μT
N_{RMS_Z}	RMS (1 Σ) 磁噪声（Z 轴）	LP_LN = 0h Conv_AVG = 0h		80		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 0h		77		μT
		LP_LN = 0h Conv_AVG = 5h		14.5		μT
		LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		14		μT
A_{ERR} (1)	角度误差 T_A = 25°C Conv_AVG = 5h	X-Z 轴		±0.35	±0.85	度
		X-Y 轴		±0.43	±1.4	度
		Y-Z 轴		±0.17	±0.55	度
	角度误差 T_A = -40°C 至 125°C Conv_AVG = 5h	X-Z 轴			±1.4	度
		X-Y 轴			±2.25	度
		Y-Z 轴			±2.0	度

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
A_{NRMS} (1)	RMS (1 Σ) 角度噪声 (X-Y)	LP_LN = 1h Conv_AVG = 5h		0.03		度
	RMS (1 Σ) 角度噪声（X-Z 或 Y-Z）			0.025		度

(1) 在磁体与传感器对齐并使用 X Y Z 寄存器输出值进行增益和偏移校准的情况下执行角度测量。

5.9 磁温度补偿特性

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
TC	温度补偿（X、Y、Z 轴）	TEMPCO = 0h		0		%/°C
		TEMPCO = 1h		0.12		%/°C
		TEMPCO = 2h		0.03		%/°C
		TEMPCO = 3h		0.2		%/°C

5.10 I²C 接口时序

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

		快速模式		超快速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	
$f_{(SCL)}$	SCL 运行频率	1	400	1	1000	kHz
$t_{(BUF)}$	停止和启动条件之间的总线空闲时间	1.3		0.5		μs
$t_{(SUSTA)}$	重复启动条件设置时间	0.6		0.26		μs
$t_{(HDSTA)}$	重复启动条件后的保持时间。 在此周期后，生成第一个时钟。	0		0		μs
$t_{(SUSTO)}$	停止条件设置时间	0.6		0.26		μs
$t_{(HDDAT)}$	数据保持时间(1)	0	900	0	150	ns
$t_{(SUDAT)}$	数据设置时间	100		50		ns
$t_{(LOW)}$	SCL 时钟低电平周期	1.3		0.5		μs
$t_{(HIGH)}$	SCL 时钟高电平周期	0.6		0.26		μs
t_R	SDA 和 SCL 下降时间	20	300		120	ns
t_F	SDA 和 SCL 下降时间	20 x (V_{CC}/5.5V)	300	20 x (V_{CC}/5.5V)	120	ns
t_{LPF}	毛刺信号抑制滤波器	50		50		ns

(1) 对于快速模式，$t_{(HDDAT)}$ 最大值可达 0.9μs，比 $t_{(VDAT)}$ 最大值要小一个转换时间。

5.11 上电时序

在自然通风条件下的温度范围内且 V_{CC} = 1.65V 至 3.6V（除非另有说明）；典型值规格条件：T_A = 25°C 且 V_{CC} = 3.3V（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{start_power_up}$	V_{CC} 电源电压超过 V_{CC_MIN} 后进入待机模式所需的时间			270		μs
t_{start_sleep}	从睡眠模式进入待机模式所需的时间(1)			50		μs
$t_{start_measure}$	待机模式进入连续测量模式所需的时间			70		μs
$t_{measure}$	转换时间	Conv_AVG[2:0] = 0h Operating_Mode[1:0] = 2h 仅启用一个通道		50		μs
$t_{measure}$	转换时间	Conv_AVG[2:0] = 5h Operating_Mode[1:0] = 2h 仅启用一个通道		825		μs
t_{go_sleep}	SCL 变为高电平后进入睡眠模式所需的时间			20		μs

(1) 待机或连续测量模式期间，器件仅识别来自控制器的 I2C 通信。器件处于睡眠模式时，有效的目标地址将唤醒器件，但不会向控制器发送响应。在唤醒后寻址器件之前，需要考虑启动时间。

5.12 时序图

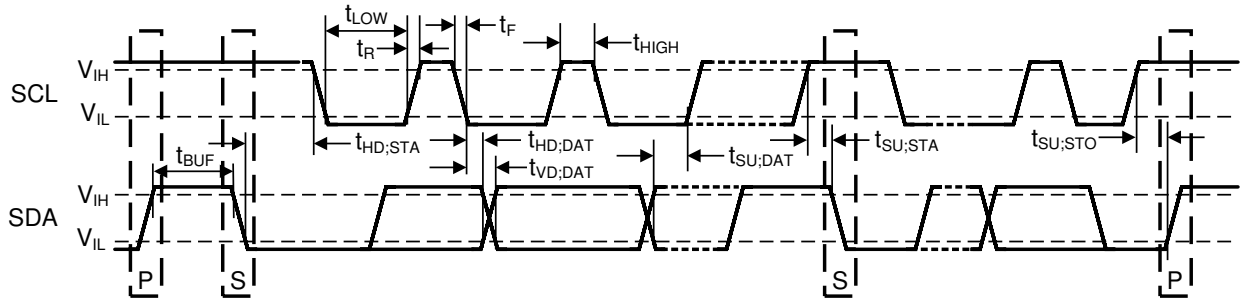


图 5-1. I²C 时序图

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5.13 典型特性

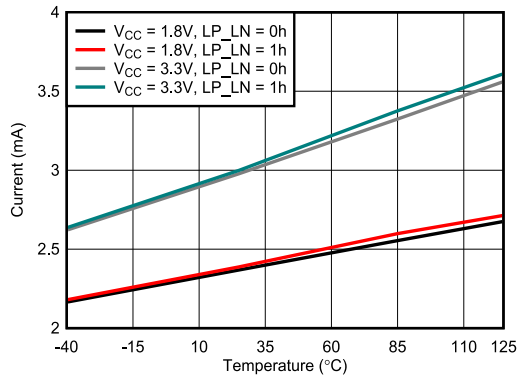


图 5-2. I_{ACTIVE} 与温度间的关系

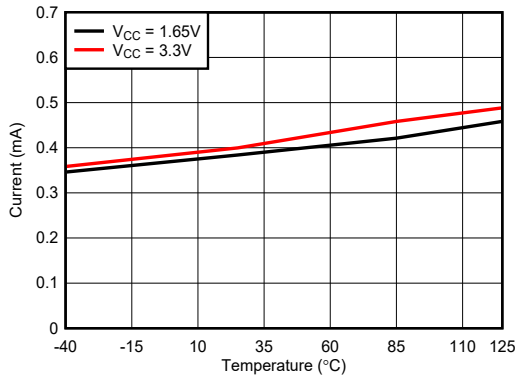


图 5-3. $I_{STANDBY}$ 与温度间的关系

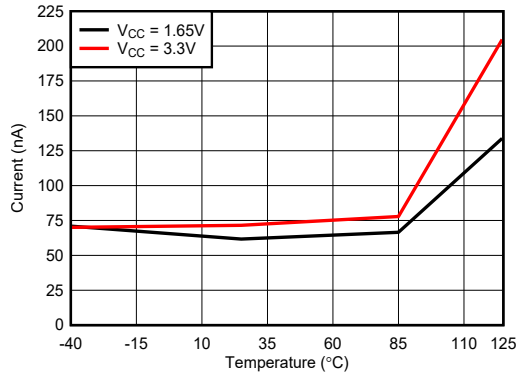


图 5-4. I_{SLEEP} 与温度间的关系

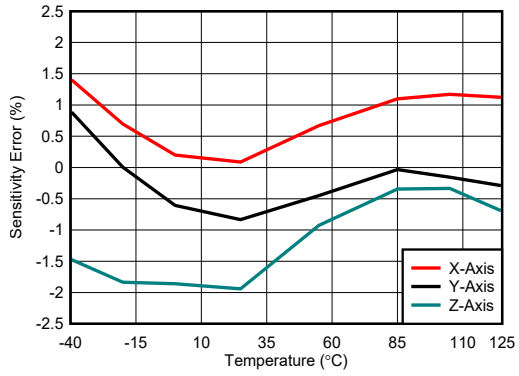


图 5-5. A2 灵敏度误差与温度间的关系，V_{CC} = 1.8V

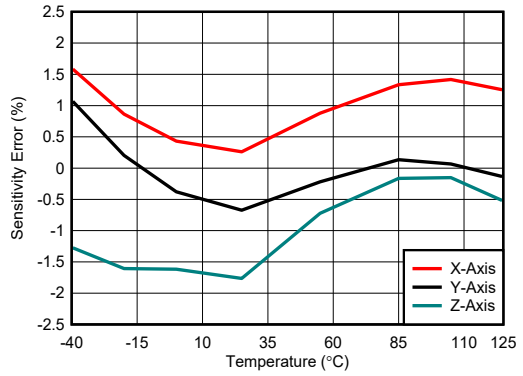


图 5-6. A2 灵敏度误差与温度间的关系，V_{CC} = 3.3V

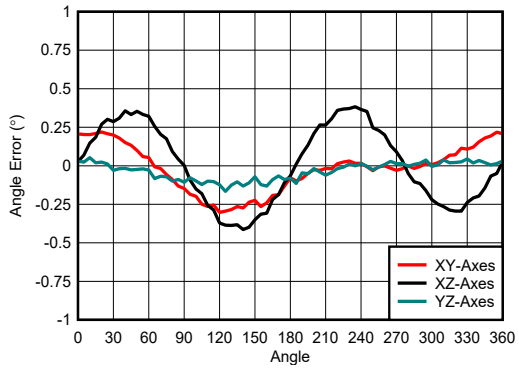


图 5-7. A2 角度误差与角度间的关系，V_{CC} = 3.3V，T_A = 25°C

6 详细说明

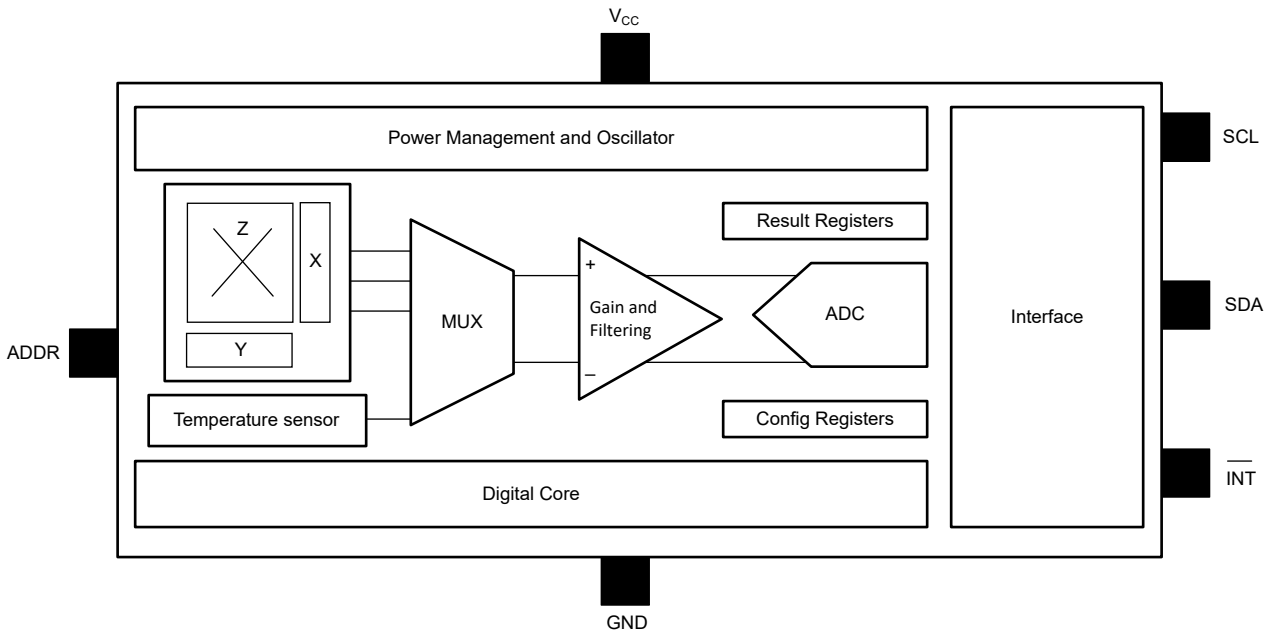
6.1 概述

TMAG3001 IC 基于德州仪器 (TI) 的霍尔效应技术和精密混合信号电路。输出信号（原始 X、Y、Z 磁数据和温度数据）可通过 I²C 接口访问。

该 IC 包含以下功能块和构建块：

- 电源管理和振荡器块包含一个低功耗振荡器、偏置电路和一个快速振荡器。
- 传感和温度测量模块包含霍尔偏置、带多路复用器的霍尔传感器、噪声滤波器、积分器电路、温度传感器和 ADC。霍尔效应传感器数据和温度数据通过同一 ADC 进行多路复用。
- 接口模块包含 I²C 控制电路、ESD 保护电路和所有 I/O 电路。TMAG3001 支持多个 I²C 读取帧以及集成循环冗余校验 (CRC)。

6.2 功能方框图



Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3 特性说明

6.3.1 磁通量方向

如图 6-1 所示，TMAG3001 将生成正 ADC 代码，以响应 Y 轴和 Z 轴附近的磁北极以及 X 轴附近的南极。同样，如果相反的磁极从同一方向接近，TMAG3001 将生成负 ADC 代码。

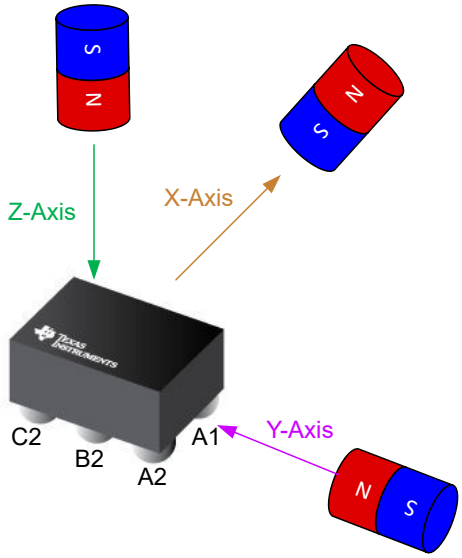


图 6-1. 灵敏度方向

6.3.2 传感器位置

图 6-2 显示了 X、Y、Z 霍尔元件在 TMAG3001 中的位置。

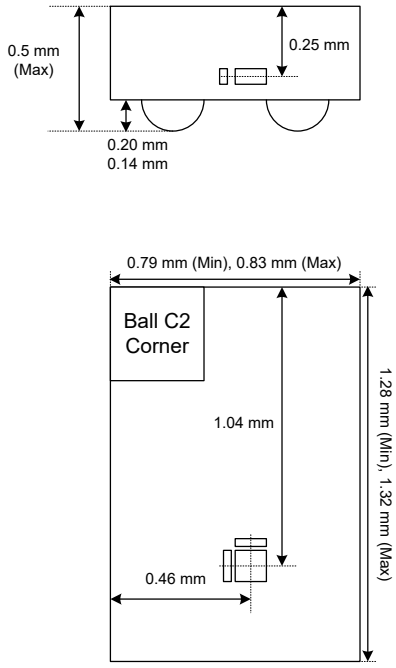


图 6-2. X、Y、Z 霍尔元件的位置

6.3.3 中断功能

TMAG3001 通过 $\overline{\text{INT}}$ 或 SCL 引脚支持灵活且可配置的中断功能。$\overline{\text{INT}}$ 引脚提供开漏输出。即使 $\overline{\text{INT}}$ 引脚用于中断输出，INTB_POL 位也会在中断期间选择输出电平。表 6-1 显示了该器件支持的不同中断模式。

表 6-1. 中断模式

INT_MODE	模式说明	输出引脚
0h	无中断	无
1h	通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现中断	$\overline{\text{INT}}$
2h	通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现中断	$\overline{\text{INT}}$
3h	通过 SCL 实现中断	SCL
4h	通过 SCL 实现中断，I^2C 繁忙时除外	SCL
5h	通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现单极开关模式	$\overline{\text{INT}}$
6h	通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现全极开关模式	$\overline{\text{INT}}$

表 6-1 展示了在不同转换完成事件下，结果寄存器和 SET_COUNT 位的更新情况。用于创建中断事件的结果寄存器仅在 I^2C 总线不忙时更新。

表 6-2. 转换完成后的结果寄存器和 SET_COUNT 更新

输出引脚	INT_MODE	I^2C 总线繁忙，未在与器件通信		I^2C 总线繁忙并正在与器件通信		I^2C 总线不忙	
		结果更新？	SET_COUNT 更新？	结果更新？	SET_COUNT 更新？	结果更新？	SET_COUNT 更新？
$\overline{\text{INT}}$		是	是	否	否	是	是
SCL	通过 SCL 实现中断	是	是	否	否	是	是
SCL	通过 SCL 实现中断，I^2C 繁忙时除外	否	否	否	否	是	是

备注

当将 SCL 引脚用于中断功能时，TI 不建议与多个目标器件共用同一条 I^2C 总线。如果同一 I^2C 总线中存在其他目标器件，SCL 中断可能会破坏与其他目标器件的事务。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

通过 SCL 实现中断

图 6-3 显示了通过 SCL 引脚实现中断功能的示例，其中器件编程为以预定义的间隔以唤醒和睡眠模式检测阈值交叉。唤醒间隔可以通过 SLEEPTIME 位进行设置。检测到磁性阈值交叉后，器件通过 SCL 引脚将一个固定宽度中断信号置为有效，接着保持低功耗等待状态达设定的时长，然后控制器才能处理中断事件。在下图显示的情况中，控制器在等待状态期间响应中断事件并将器件重新置于唤醒和睡眠模式。

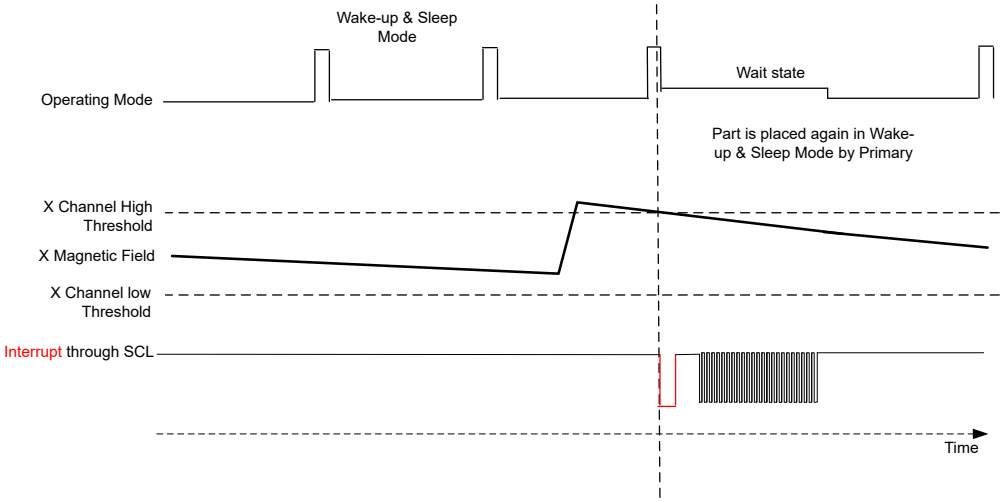


图 6-3. 通过 SCL 实现中断

通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现固定宽度中断

图 6-4 显示了通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现固定宽度中断功能的示例。INT_STATE 寄存器位设置为 1b。在检测到磁性阈值交叉后，器件会通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚将一个固定宽度的中断信号置为有效。如果器件被编程为处于唤醒和睡眠模式以检测磁性阈值，则器件首先保持低功耗等待状态达设定的时长，然后控制器才能处理中断事件。最新结果将被保存，并可在等待状态下通过 I^2C 总线进行访问。如果控制器在等待时间内没有读取结果寄存器，则器件进入低功耗状态并继续保持唤醒和睡眠模式。

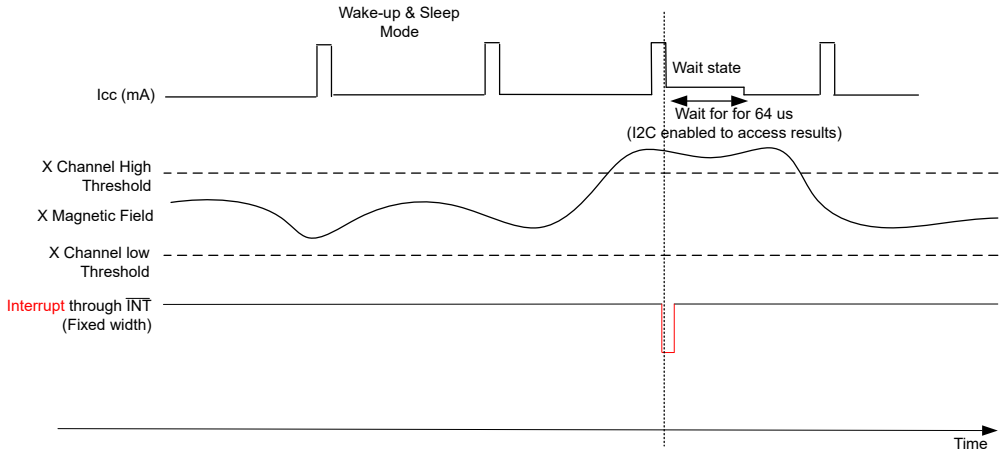


图 6-4. 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现固定宽度中断

通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现锁存中断

图 6-5 显示了通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现锁存中断功能的示例。INT_STATE 寄存器位设置为 0b。在检测到磁性阈值交叉后，器件会通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚将一个锁存中断信号置为有效，然后返回配置模式。只有在器件通过 SCL 线收到有效地址后，中断锁存才会清除。如果器件被编程为处于唤醒和睡眠模式以检测磁性阈值，则器件首先保持低功耗等待

状态达设定的时长，然后控制器才能处理中断事件。如果控制器进入等待状态，则器件保持等待状态，此时 I²C 保持有效。

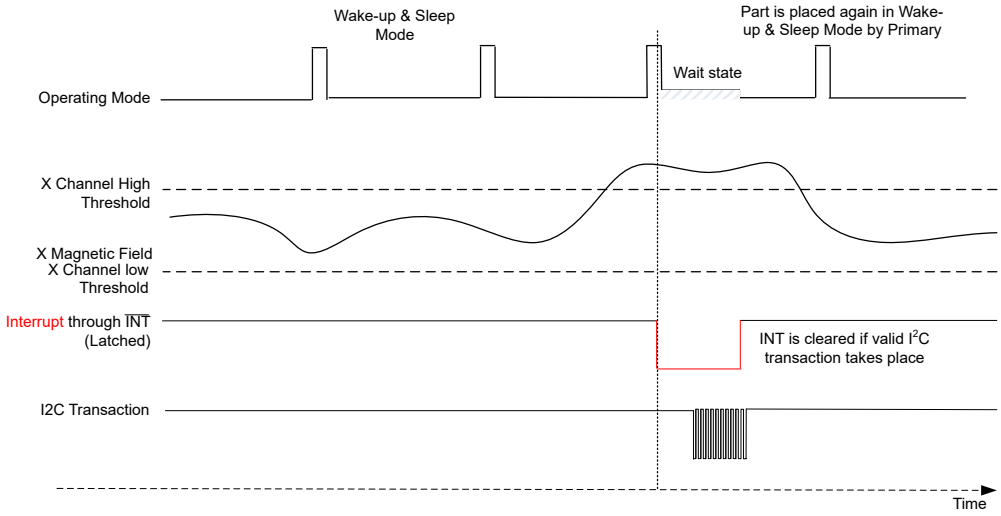


图 6-5. 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现锁存中断

通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现单极开关

TMAG3001 支持通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现开关模式，此时该器件充当可配置为对磁性或角度阈值交叉敏感的智能开关。将该器件可以在待机、工作或唤醒和睡眠模式下被置于此单极开关模式。如果该器件配置为开关并被置于低功耗唤醒和睡眠模式，则该器件保持低功耗唤醒和睡眠模式，以防检测到任何中断事件。图 6-6 显示了通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现开关模式中断功能的示例。在检测到磁性阈值交叉后，$\overline{\text{INT}}$ 引脚会更改状态。

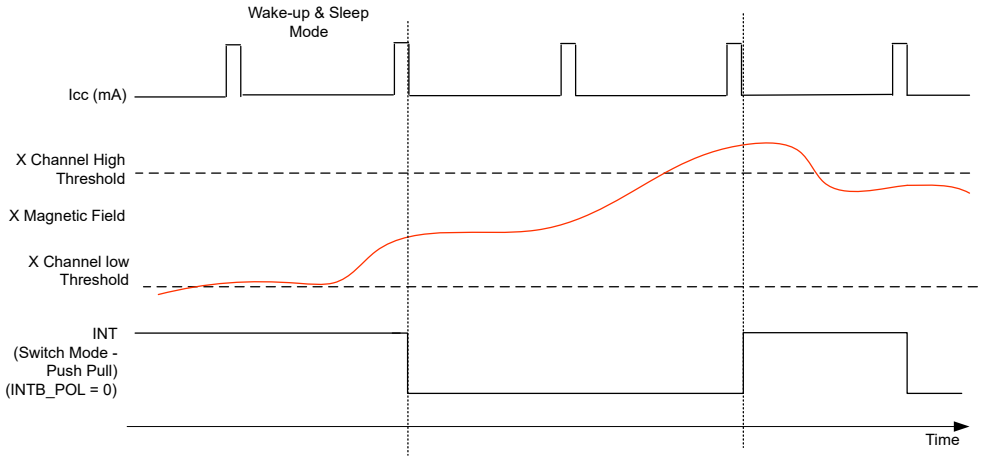


图 6-6. 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现单极开关

通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现全极开关

TMAG3001 支持通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现全极开关模式，此时该器件充当可配置为对磁性阈值交叉敏感的智能开关。图 6-7 显示了通过 $\overline{\text{INT}}$ 引脚实现全极开关模式中断功能的示例。在检测到磁性阈值交叉后，$\overline{\text{INT}}$ 引脚会更改状态。如果该器件配置为全极开关，则该器件保持低功耗唤醒和睡眠模式，以防检测到任何中断事件。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

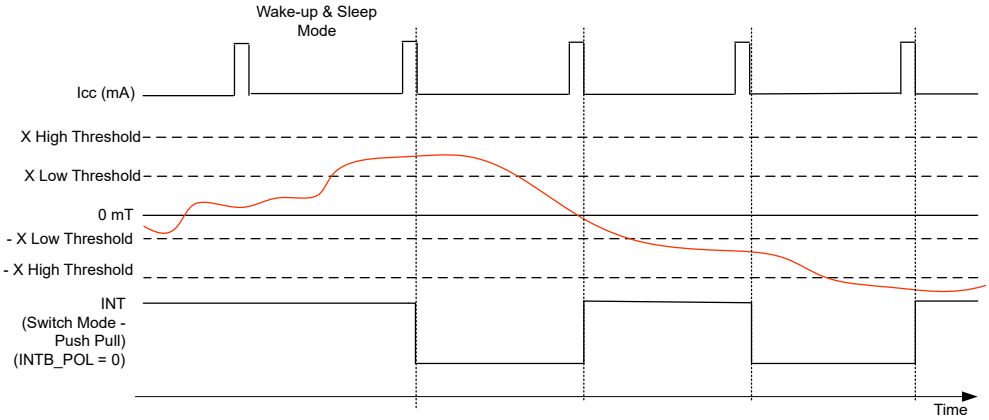


图 6-7. 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现全极开关

6.3.4 变化时唤醒

TMAG3001 支持对磁场或角度测量进行相对磁体限值检查。对于仅关注相对测量的应用，可以将器件配置为通过 WOC_SEL 位进行响应。在该模式下，器件监测磁轴之一或角度输出的变化，并通过提供基于 INT_MODE[2:0] 位的中断响应来唤醒系统。当获得中断响应时，新的传感器测量结果将用作连续测量结果的基准阈值。当 INT_Mode[2:0] 设置为单极或全极开关模式时，变化时唤醒功能被禁用。该器件可配置为在待机、活动或唤醒和睡眠模式下提供变化时唤醒响应。

当 WOC_SEL 设置为 2h 时，器件会监测已配置磁轴之一上的输出测量值的变化。图 6-8 显示了该模式下的器件响应。在该示例中，MAG_CH_EN 设置为 1h，其中器件响应 X 磁场。超过阈值时，基准阈值的新值被设置为传感器输出值。迟滞使用 THR_HYST 位来配置。如果新测量值的变化比前一个测量值大设定的迟滞值，则提供中断响应。在此处，INT_Mode[2:0] 设置为 1h 以通过 INT 引脚提供中断响应，INT_STATE 设置为 1h 以提供固定中断响应。

变化时唤醒功能会将从 0° 到 359°或从 359° 到 0° 的角度转换视为 359°的净变化，以便与阈值设置进行比较。

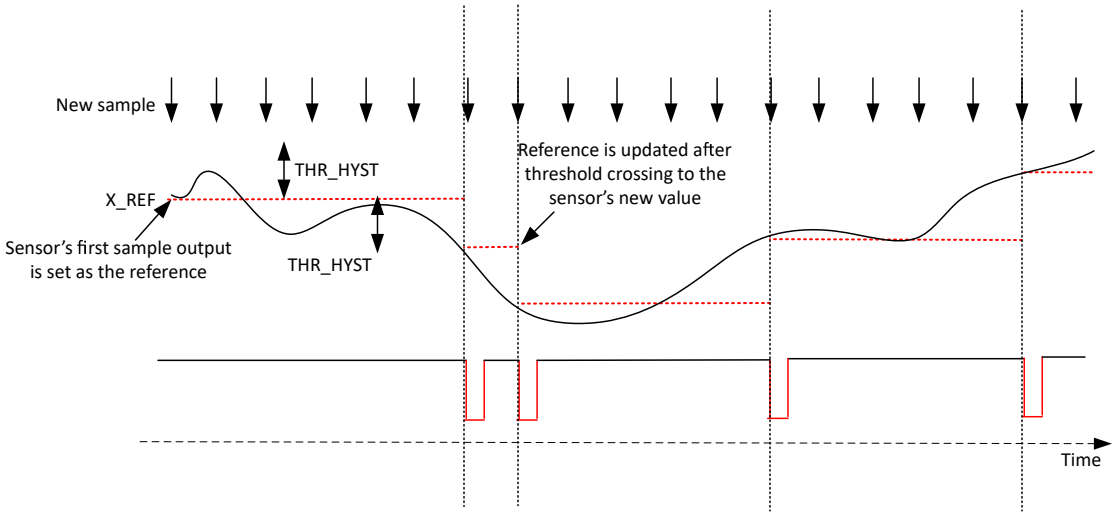


图 6-8. 磁轴测量的变化时唤醒，WOC_SEL = 2h，INT_State = 1h

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

图 6-9 展示了 WOC_SEL = 1h 时的器件响应，其中器件响应使用 ANGLE_EN 位设置的角度测量。当前测量的阈值是根据前一个测量值和使用 ANG_HYS 位配置的迟滞设置的。如果新测量值的变化比前一个测量值大设定的迟滞值，则提供中断响应。

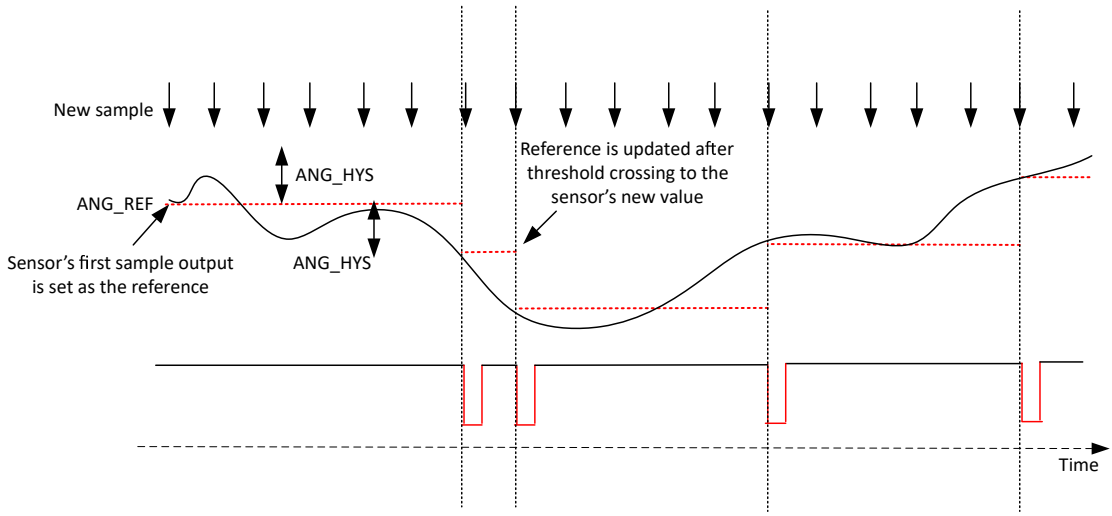


图 6-9. 角度测量的变化时唤醒，WOC_SEL = 1h，INT_State = 1h

6.3.5 器件 I²C 地址

表 6-3 显示了 TMAG3001 的默认工厂编程 I²C 地址，以及使用每个器件版本的 ADDR 引脚获得的四种不同地址选项。ADDR 引脚仅在待机或连续模式下（Operating_Mode[1:0] = 0h 或 2h）采样。如果 I2C_Address_Update_EN 设置为 1h，TMAG3001 将使用 I2C_Address[6:0] 作为器件地址。如果使用 Operating_Mode[1:0] = 1h 或 3h，则必须使用所需的 I²C 地址更新 I2C_Address[6:0] 位字段，并将 I2C_Address_Update_En 设置为 1h。通过将 I2C_Address_Update_EN 位设置为 1h，可以分配最多 128 个唯一地址。

表 6-3. I²C 默认地址

器件版本	磁场范围	ADDR 引脚连接	I²C 地址（7 个 MSB 位）	I²C 写入地址（8 位）	I²C 读取地址（8 位）
TMAG3001Ax	±40mT、±80mT、±120mT、±240mT	GND	34h	68h	69h
		VCC	35h	6Ah	6Bh
		SDA	36h	6Ch	6Dh
		SCL	37h	6Eh	6Fh

此处显示了在任何 Operating_Mode[1:0] 下使用 ADDR 指定的 I²C 地址的示例过程。根据系统配置的需要调整 I2C_Address[6:0]。

- 在 ADDR 连接到 SDA 时为 TMAG3001 上电
- 将 6Dh 写入寄存器 0Ch (I2C_Address)，以将 7 位 I2C_Address[6:0] 设置为 36h，直到器件断电。
- 根据需要配置 Operating_Mode[1:0]

6.3.6 磁场范围选择

表 6-4 展示了 TMAG3001 器件的磁场范围选择。X、Y 和 Z 轴范围可以通过 X_Y_RANGE 和 Z_RANGE 寄存器位进行选择。

表 6-4. 磁场范围选择

	范围寄存器设置	TMAG3001A11	TMAG3001A2	注释
X、Y 轴磁场	X_Y_RANGE = 0h	±40mT	±120mT	较高的分辨率
	X_Y_RANGE = 1h	±80mT	±240mT	较高的范围
Z 轴磁场	Z_RANGE = 0h	±40mT	±120mT	较高的分辨率
	Z_RANGE = 1h	±80mT	±240mT	较高的范围

1. 预告信息

6.3.7 更新速率设置

TMAG3001 提供多种更新速率，为系统设计人员提供了设计灵活性。可以通过 Conv_AVG[2:0] 寄存器位选择不同的更新速率。表 6-5 展示了 TMAG3001 的不同更新速率设置。

表 6-5. 更新速率设置

工作模式	寄存器设置	更新速率			注释
		单轴	两轴	三轴	
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 0h	20.0kSPS	13.3kSPS	10.0kSPS	最快的更新速率
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 1h	13.3kSPS	8.0kSPS	5.7kSPS	
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 2h	8.0kSPS	4.4kSPS	3.1kSPS	
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 3h	4.4kSPS	2.4kSPS	1.6kSPS	
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 4h	2.4kSPS	1.2kSPS	0.8kSPS	
X、Y、Z 轴	Conv_AVG[2:0] = 5h	1.2kSPS	0.6kSPS	0.4kSPS	最佳 SNR 情况

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.4 器件功能模式

TMAG3001 支持多种功能模式，适用于各种应用，如图 6-10 中所述。通过在 Operating_Mode[1:0] 寄存器位中设置相应的值来选择特定的功能模式。在 VCC 电源超过*建议运行条件* (ROC) 表中指定的最小阈值后，器件开始上电。在任何工作模式下，正在进行转换期间的触发转换将被忽略。正在进行的转换不会重新启动。

6.4.1 待机（触发）模式

TMAG3001 首次上电后会进入待机模式。在该模式下，数字电路和振荡器处于激活状态，器件已准备好接受控制器的命令。根据命令，器件可以启动传感器数据转换，进入节能模式或通过 I^2C 接口开始数据传输。可以通过 I^2C 命令或 $\overline{INT}$ 引脚触发新的转换。使用 I^2C 触发时，转换将在通过 SCL 线向触发位发出时钟信号后立即开始。在此模式下，器件会将刚刚的转换结果数据保存在相应的结果寄存器中。器件从上电到进入待机模式所需的时间由 $T_{start_power_up}$ 表示。

6.4.2 睡眠模式

TMAG3001 支持超低功耗睡眠模式，在该模式下器件可保留重要的用户配置设置。在该模式下，器件不会保留转换结果数据。控制器可以通过 I^2C 通信或 $\overline{INT}$ 引脚将器件从睡眠模式唤醒。器件从睡眠模式进入待机模式所需的时间由 T_{start_sleep} 表示。

6.4.3 唤醒和睡眠 (W&S) 模式

在该模式下，TMAG3001 可配置为进入睡眠状态并以特定的时间间隔唤醒，然后根据 SLEEP_TIME 寄存器位设置测量传感器数据。该器件可以设置为通过 INT_CONFIG_1 寄存器生成中断。转换完成并且满足中断条件后，TMAG3001 将退出 W&S 模式并进入等待状态达固定的时长。在该状态下，最后测得的数据将存储在相应的结果寄存器中。如果控制器在等待状态下未响应中断事件，则器件继续处于 W&S 模式。如果不满足中断条件，器件将继续处于 W&S 模式，并以指定的时间间隔唤醒和测量数据。控制器可以通过 I^2C 总线或 $\overline{INT}$ 引脚随时唤醒处于 W&S 模式的 TMAG3001。器件从 W&S 模式进入待机模式所需的时间由 T_{start_sleep} 表示。

中断后从 TMAG3001 读取会使器件进入待机模式。如果在中断后执行 I^2C 读取，则必须将 TMAG3001 配置回唤醒和睡眠模式。

6.4.4 连续测量模式

在此模式下，TMAG3001 会根据 Sensor_Config 和 Device_Config 寄存器设置持续测量传感器数据。在此模式下，可通过 I²C 线路访问结果寄存器。器件从待机模式转到连续测量模式所需的时间用 $T_{start_measure}$ 表示。

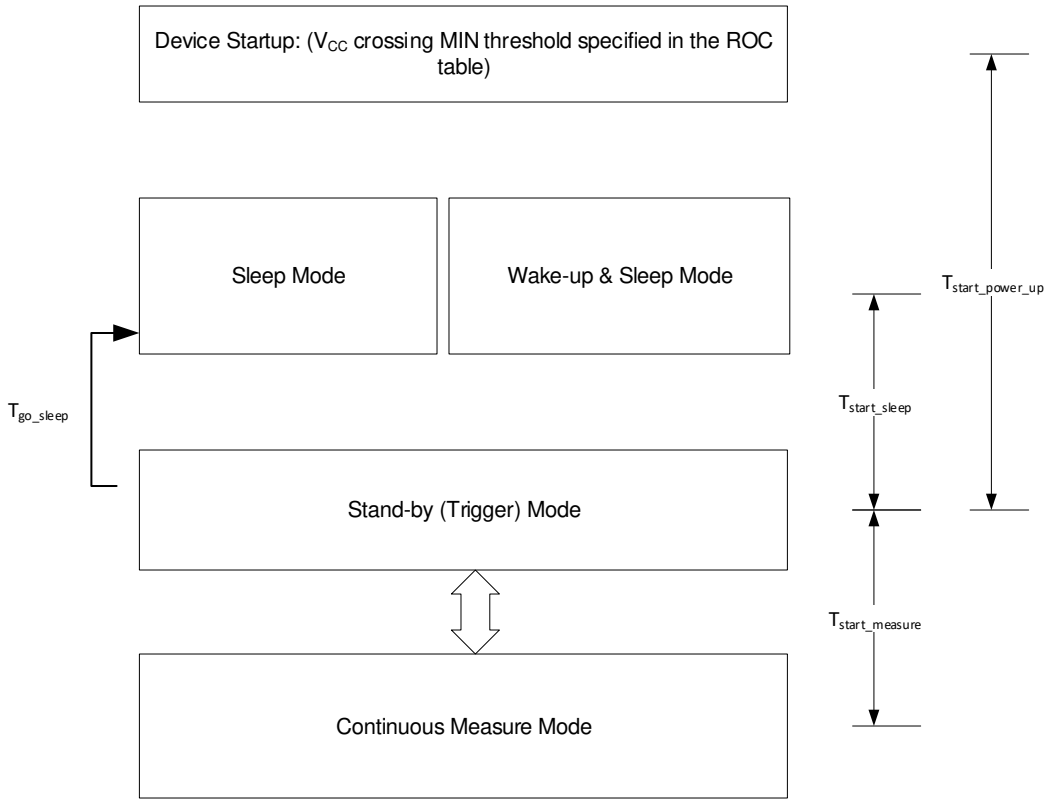


图 6-10. TMAG3001 上电时序

表 6-6 显示了 TMAG3001 器件的不同工作模式。

表 6-6. 工作模式

工作模式	器件功能	访问用户寄存器	保留用户配置	注释
连续测量模式	连续测量 x、y、z 轴或温度数据	是	是	
待机模式	器件已准备好接受 I²C 命令并开始有效转换	是	是	
唤醒和睡眠模式	以特定的间隔唤醒以测量 x、y、z 轴或温度数据	否	是	支持的间隔包括 1ms、5ms、10ms、15ms、20ms、30ms、50ms、100ms、500ms、1000ms、2000ms、5000ms 和 20000ms。
睡眠模式	器件保留关键配置设置，但不保留测量数据	否	是	控制器器件可以利用睡眠模式来实现唤醒和睡眠模式不支持的其他节能间隔。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5 编程

6.5.1 I²C 接口

TMAG3001 具有一个标准双向 I²C 接口，该接口在控制器器件的控制下进行配置或用于读取器件的状态。I²C 总线上的每个目标器件都有一个特定的地址，用于区分同一 I²C 总线上的其他目标器件。许多目标器件在启动时需要进行配置以设置器件行为。这通常在控制器访问具有唯一寄存器地址的目标器件的内部寄存器映射时完成。一个器件可以有一个或多个用于存储、写入或读取数据的寄存器。在 I²C 事务的开始位，转换结果寄存器被锁定到最近完成的转换，以防止结果在事务中更改。如果转换在 I²C 事务中完成，器件将在停止条件后立即使用新值更新结果寄存器。TMAG3001 支持高达 1MHz 的传输数据速率。

物理 I²C 接口由串行时钟 (SCL) 和串行数据 (SDA) 线组成。SDA 和 SCL 线都必须通过上拉电阻器连接至电源。上拉电阻器的阻值由 I²C 线上的电容值以及通信频率决定。有关更多详细信息，请参阅 I²C 上拉电阻器计算应用手册。只有当总线处于空闲状态时，才能启动数据传输。如果在停止条件后，SDA 和 SCL 线都为高电平，则认为总线处于空闲状态。

以下是控制器访问目标器件的一般过程：

1. 如果控制器想要向目标器件发送数据：
   - 控制器/发送器发送一个启动条件并对目标接收器进行寻址。
   - 控制器/发送器发送所请求的寄存器以支持写入目标接收器。
   - 控制器/发送器向目标接收器发送数据。
   - 控制器/发送器以停止条件终止传输。
2. 如果控制器想要接收或读取目标器件的数据：
   - 控制器/接收器发送一个启动条件并对目标发送器进行寻址。
   - 控制器/接收器发送所请求的寄存器以支持读取目标发送器。
   - 控制器/接收器发送一个重启条件并对目标发送器进行寻址。
   - 控制器/接收器接收目标发送器的数据。
   - 控制器/接收器以停止条件终止传输。

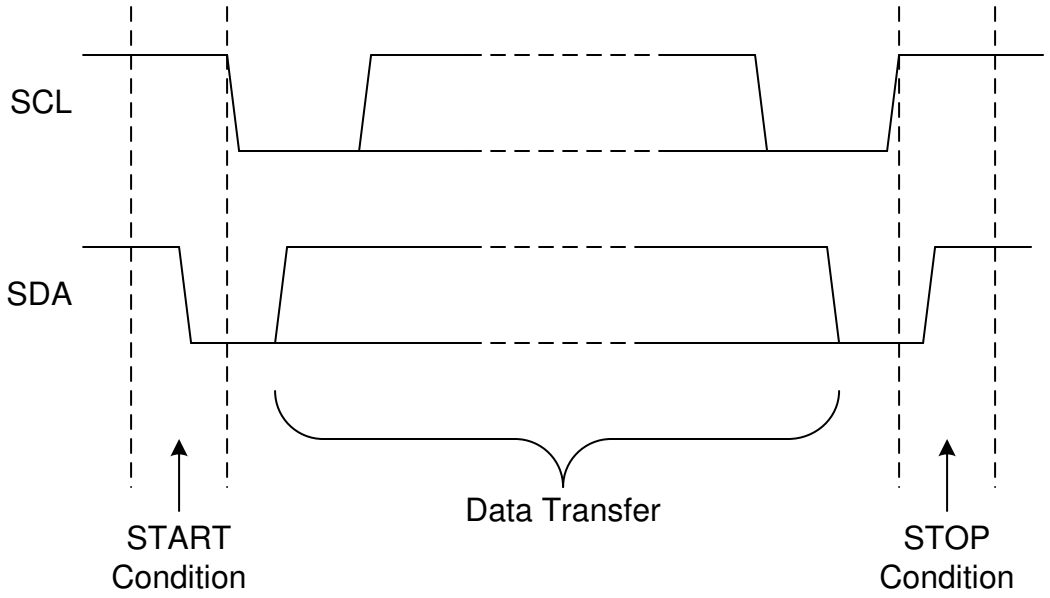


图 6-11. 启动和停止条件的定义

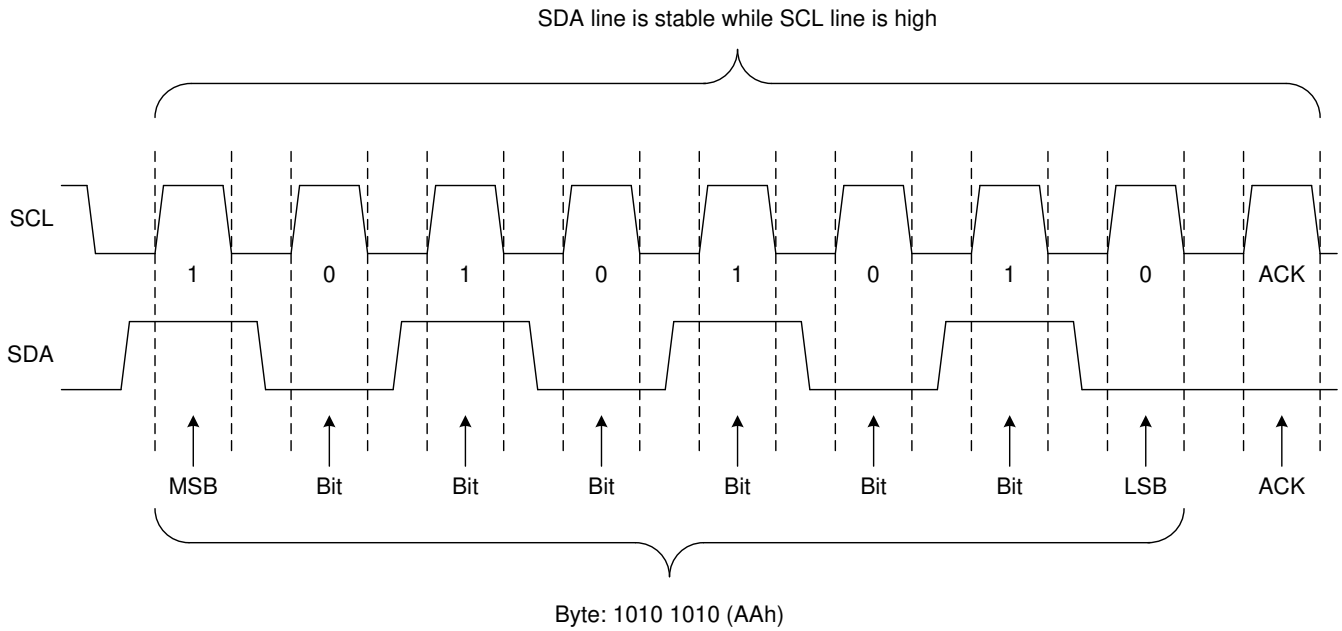


图 6-12. 位传输

6.5.1.1 转换触发

TMAG3001 支持使用转换触发位来启动新的转换。向该位写入 1 将在寄存器地址解码完成后开始新的转换。控制寄存器的最后 7 位包含寄存器指针地址。

图 6-13 显示了控制寄存器的结构

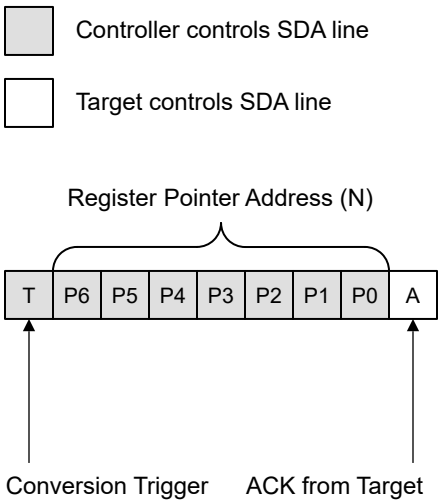


图 6-13. 控制寄存器

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5.1.2 总线事务

必须向目标器件发送并从目标器件接收数据，而这是通过读取或写入目标器件中的寄存器来完成的。

寄存器是目标器件存储器中的位置，其中包含信息，无论是配置信息还是一些要发送回控制器的采样数据。控制器必须将信息写入此类寄存器，从而指示目标器件执行任务。

I2C_RD[1:0] 和 CRC_EN 设置可以修改 I²C 读取事务的执行方式，如以下各节所示。当 I2D_RD[1:0] 设置为 0h 或 3h 时，只能使用标准 I²C 读取。如果 I2C_RD[1:0] 设置为 1h 或 2h，则只能使用相应的读取命令。

当读取寄存器映射之外的寄存器时，器件将返回 00h。写事务期间的设置更改在最后一个边沿之后生效

6.5.1.2.1 三通道 I²C 写入

若要在 I²C 总线上进行写入，控制器在总线上发送一个开始条件，带有目标器件地址以及设置为 0b 的最后一位（R/W 位），这表示一次写入。目标器件进行确认，告知控制器它已准备就绪。此后，控制器开始向目标器件发送控制寄存器数据，直到控制器发送完所有必要的数据，控制器以停止条件终止传输。器件将在每个字节后自动递增寄存器地址指针。

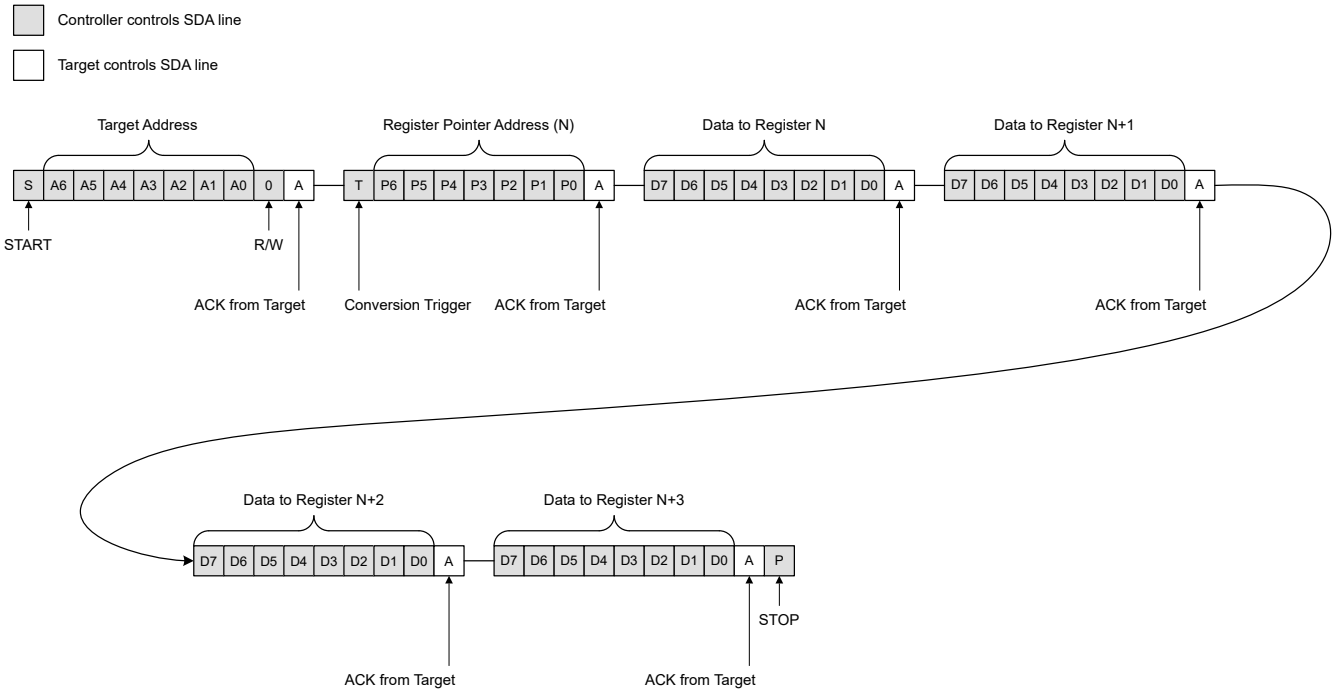


图 6-14. 标准 I²C 写入

6.5.1.2.2 通用广播写入

TMAG3001 支持通用广播 I²C 写入命令。这允许同时配置多个器件。

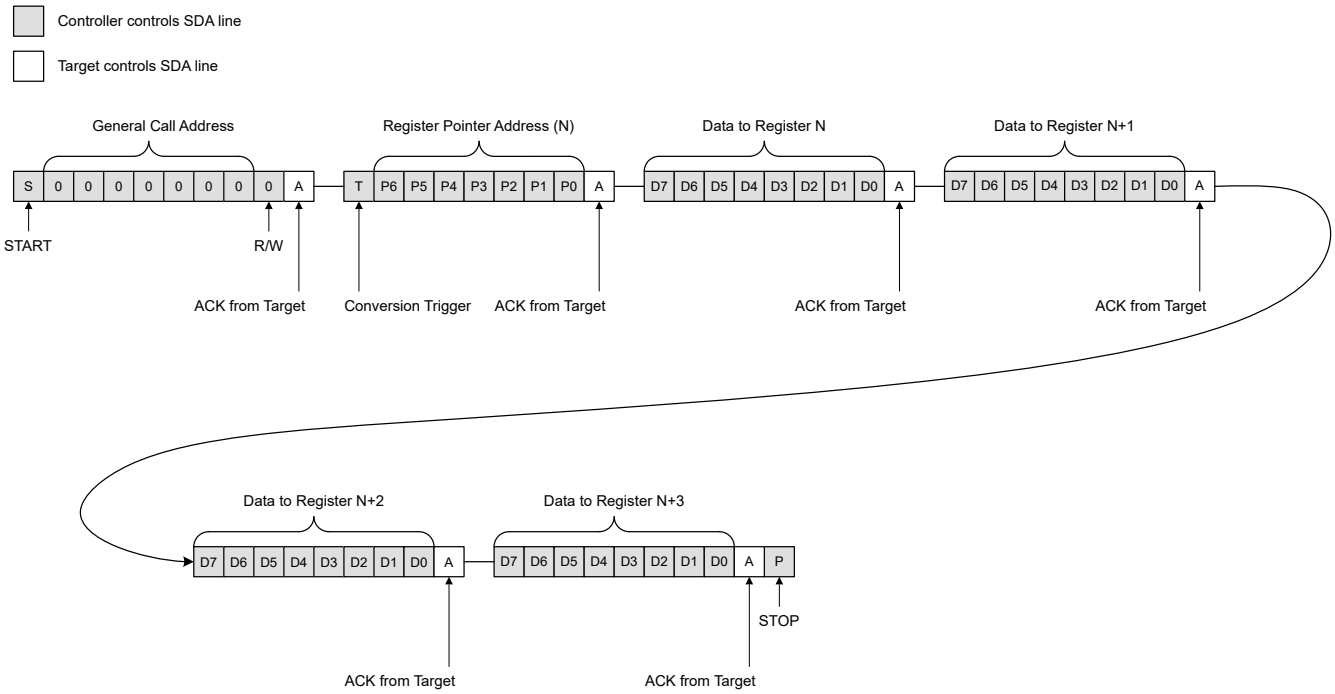


图 6-15. 通用广播 I²C 写入

6.5.1.2.3 标准 I²C 读取

对于读取操作，控制器发送一个启动条件，后跟 R/W 位设置为 0b 的目标地址（表示一次写入）。目标响应写入请求，控制器发送带有转换触发位和寄存器指针地址的控制字节。在控制寄存器之后，控制器将重启，后跟 R/W 位设置为 1b 的目标地址（表示一次读取）。控制器将继续发送时钟脉冲，但释放 SDA 线，以便目标器件可以发送数据。在每个数据字节结束时，控制器向目标器件发送一个 ACK，知会目标器件它已准备就绪，可接收更多数据。控制器收到预期的字节数后，会发送一个 NACK，向目标器件发送信号，停止通信并释放 SDA 线。控制器随后会发出一个停止条件。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

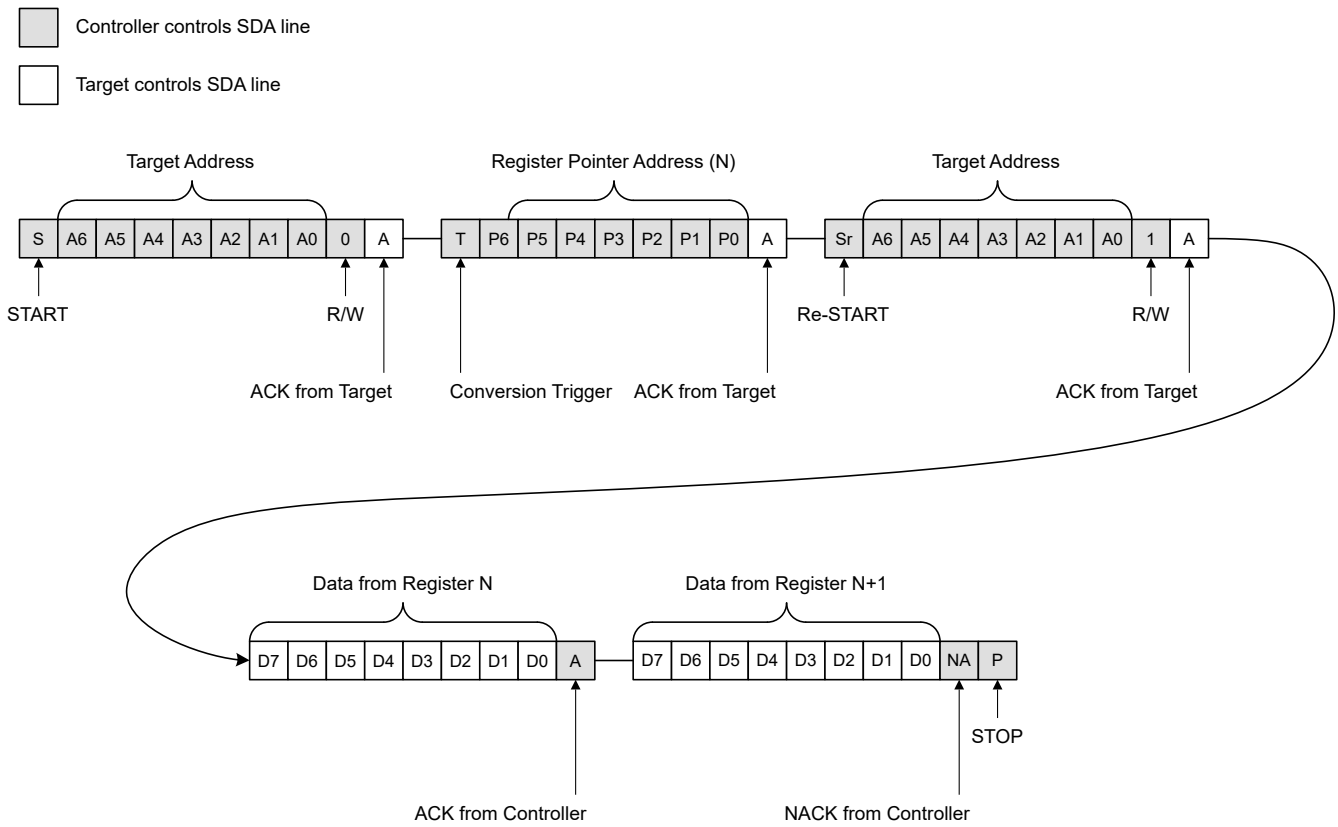


图 6-16. 标准 I²C 读取（禁用 CRC）

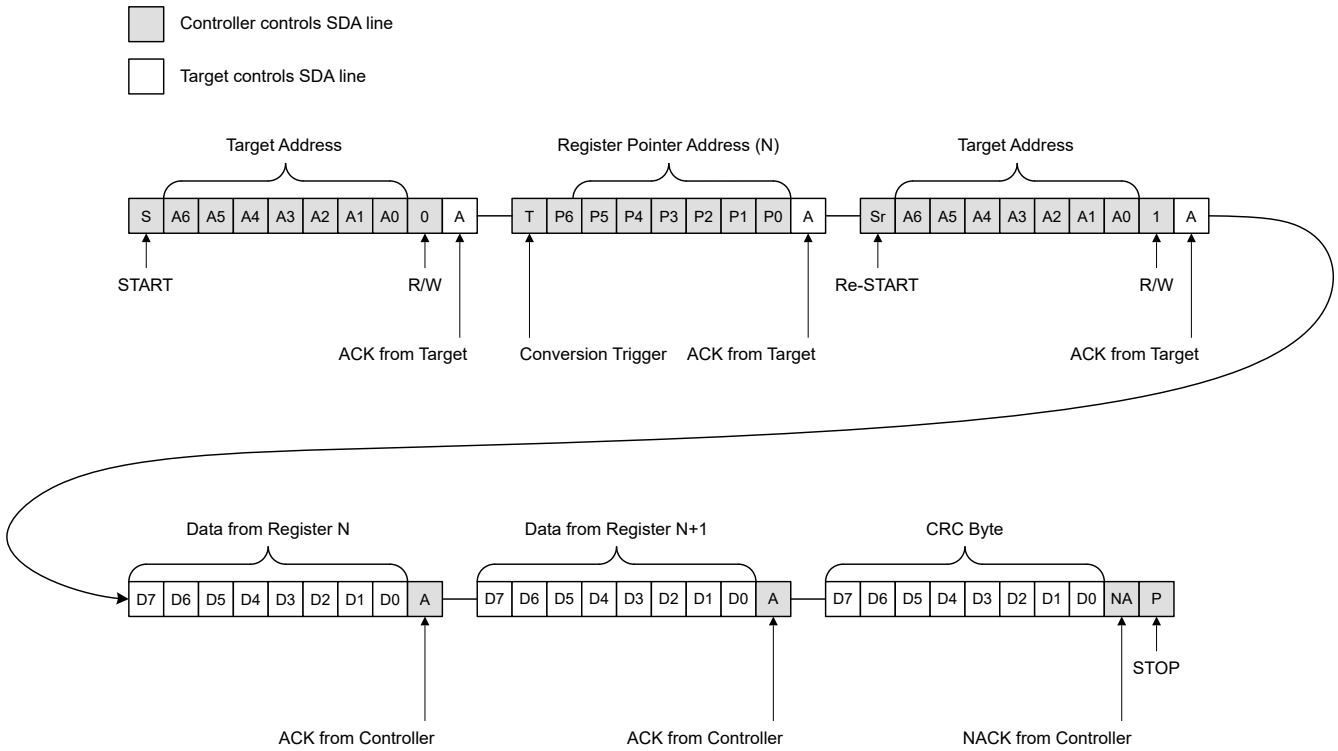


图 6-17. 标准 I²C 读取（启用 CRC）

6.5.1.2.4 16 位数据的 I²C 读取命令

当 I2C_RD[1:0] = 1h（适用于 MSB 和 LSB 数据）时，TMAG3001 允许用户从结果寄存器中读取，无需对控制寄存器进行写入和设置地址指针。当启用多个通道时，数据按照 X 轴、Y 轴、Z 轴和 Conv_Status 的顺序发送。当某个通道被禁用时，该通道会在数据序列中被跳过。

在 16 位数据的读取命令中，在启用了 CRC 时，最多只能发送三个通道的数据。如果禁用了 CRC，则此限制不适用。

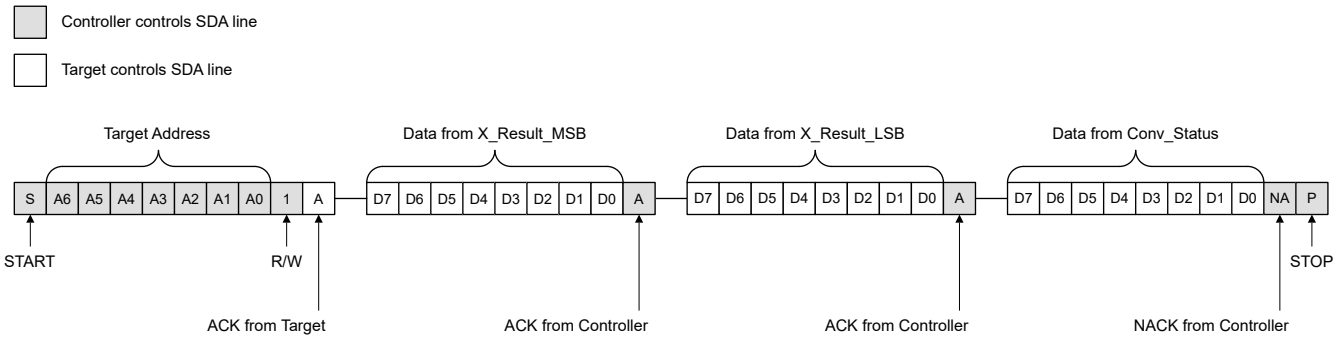


图 6-18. 禁用 CRC、启用 X 轴时 16 位数据的 I²C 读取命令

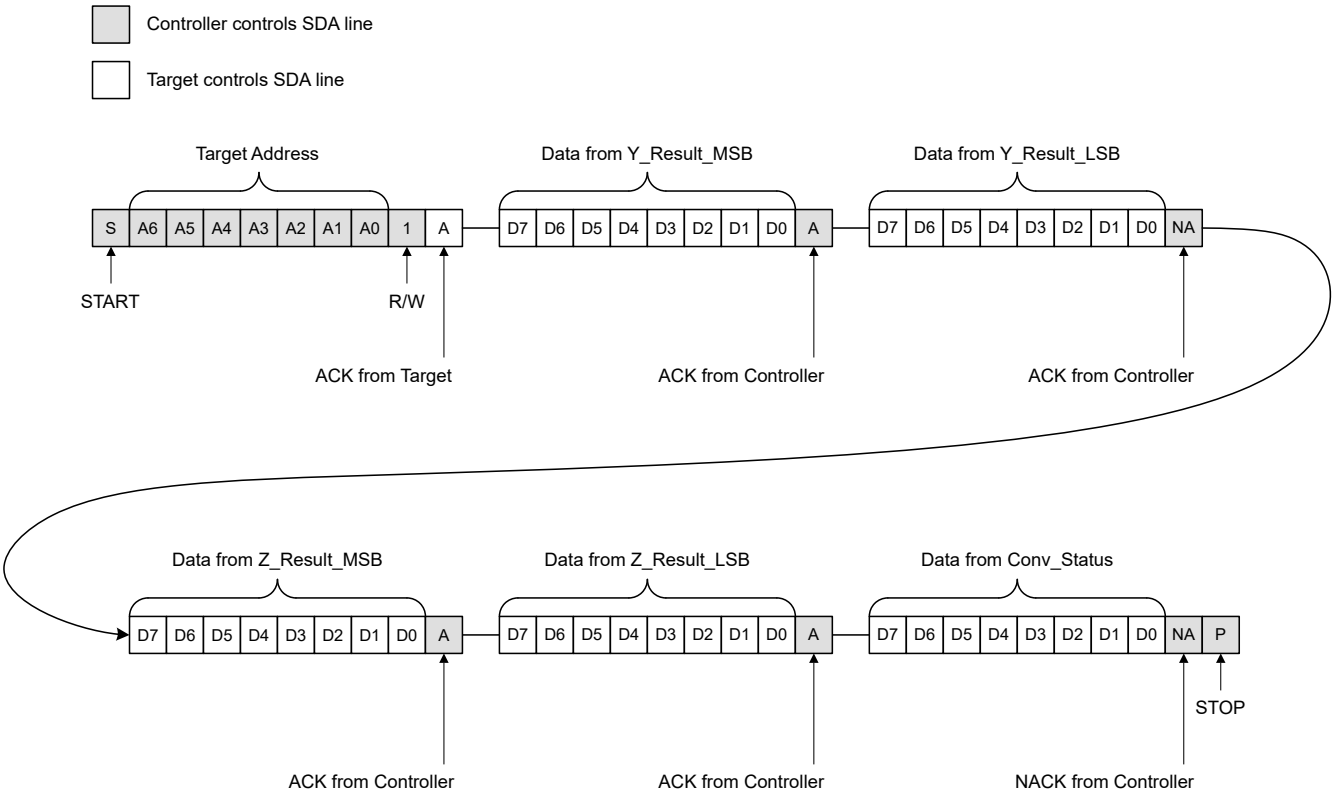


图 6-19. 禁用 CRC、启用 Y 和 Z 轴时 16 位数据的 I²C 读取命令

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

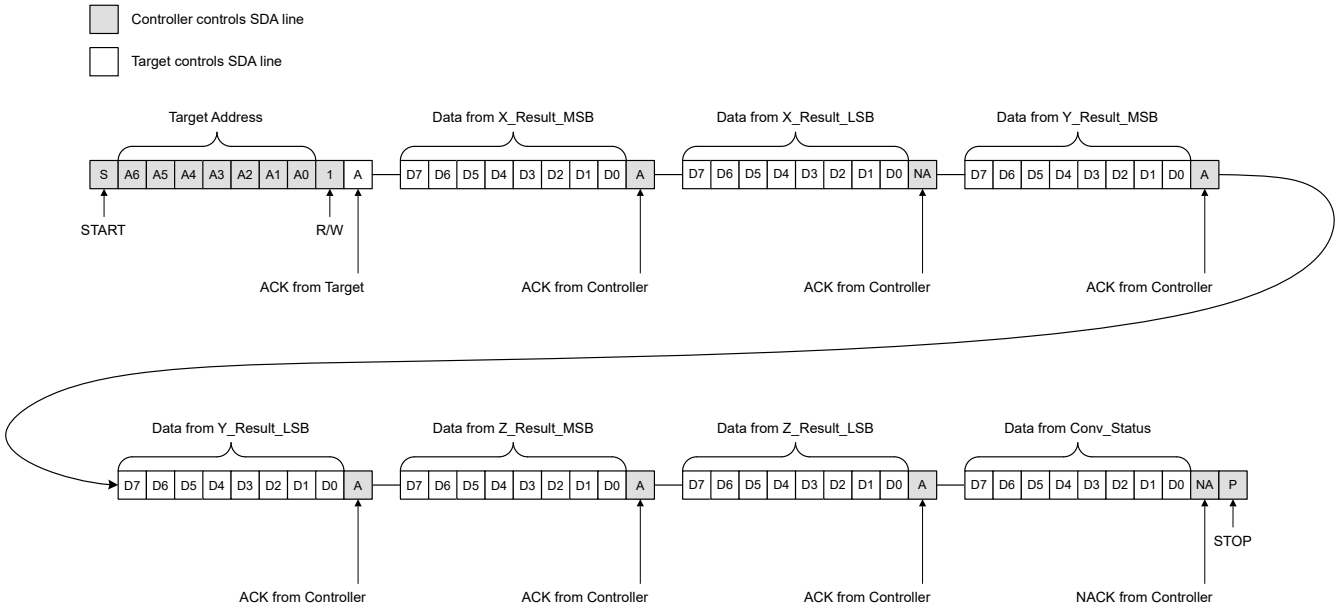


图 6-20. 禁用 CRC、启用 X、Y 和 Z 轴时 16 位数据的 I²C 读取命令

仅显示了具有 CRC 的 X 轴，但启用的其他通道将使用相同的序列格式。

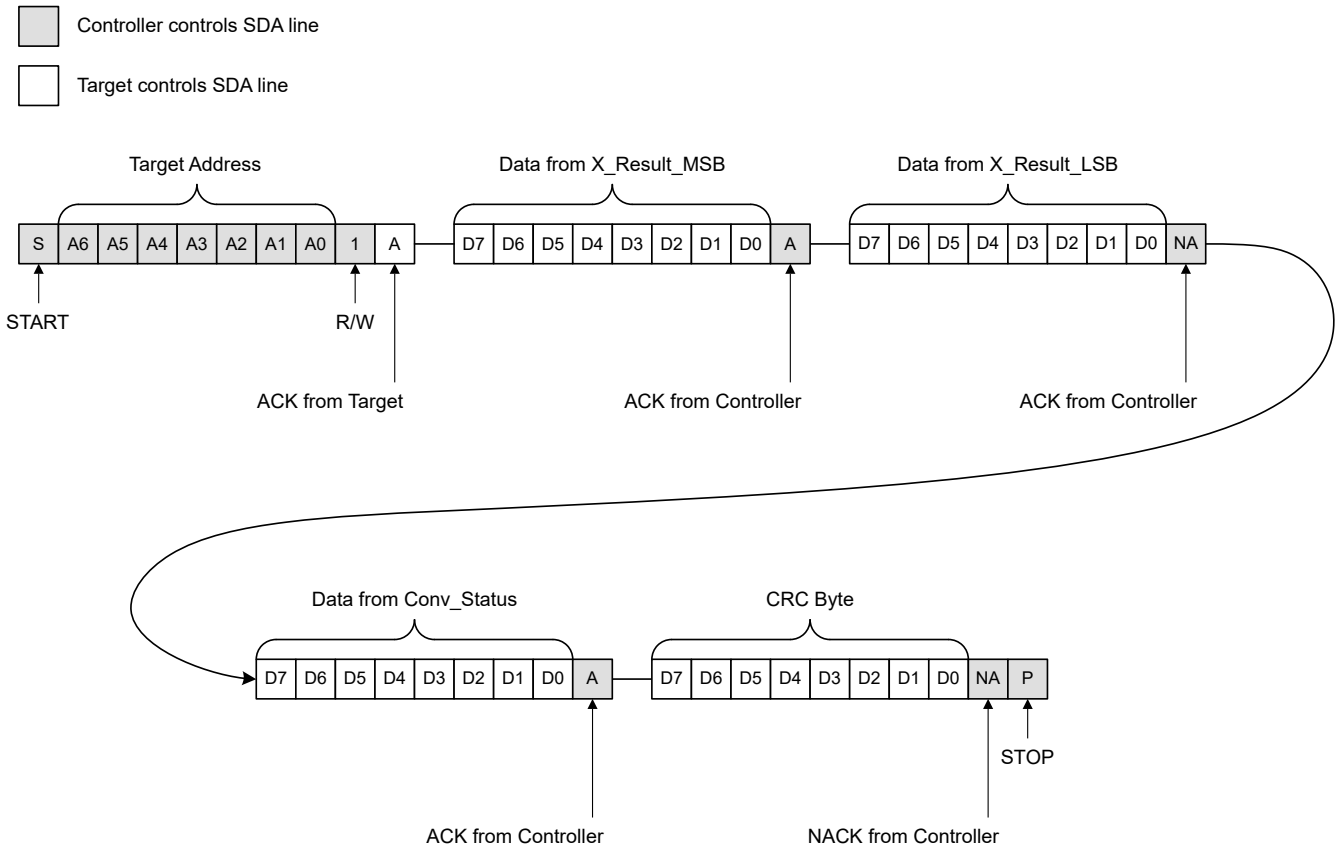


图 6-21. 启用 CRC 且启用 X 轴时 16 位数据的 I²C 读取命令

6.5.1.2.5 8 位数据的 I²C 读取命令

当 I2C_RD[1:0] = 2h（仅适用于 MSB 数据）时，TMAG3001 允许用户从结果寄存器中读取，无需对控制寄存器进行写入和设置地址指针。当启用多个通道时，数据按照 X 轴、Y 轴、Z 轴和 Conv_Status 的顺序发送。当某个通道被禁用时，该通道会在数据序列中被跳过。

在 8 位数据的读取命令中，在启用了 CRC 时，最多只能发送三个通道的数据。如果禁用了 CRC，则此限制不适用。

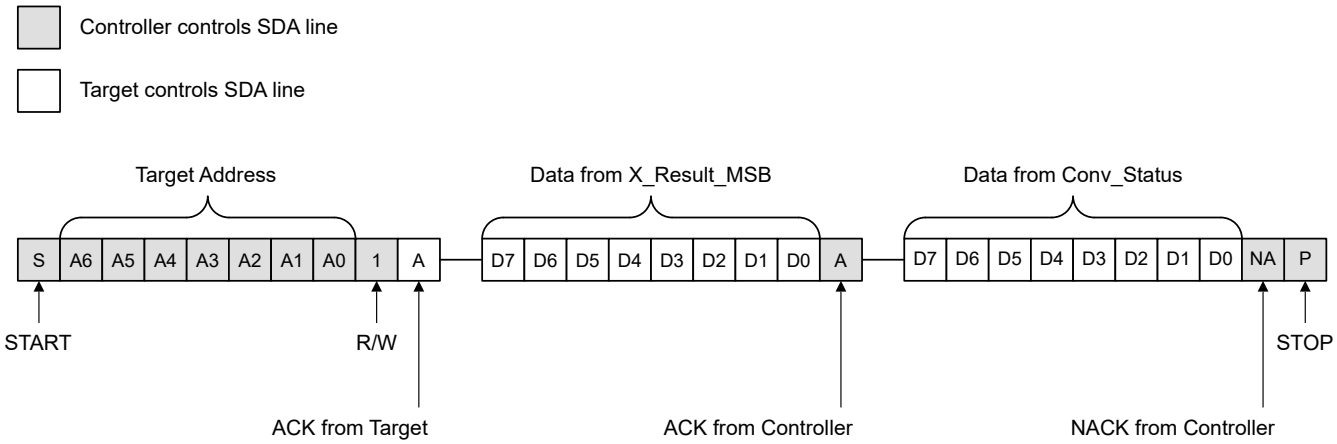


图 6-22. 禁用 CRC、启用 X 轴时 8 位数据的 I²C 读取命令

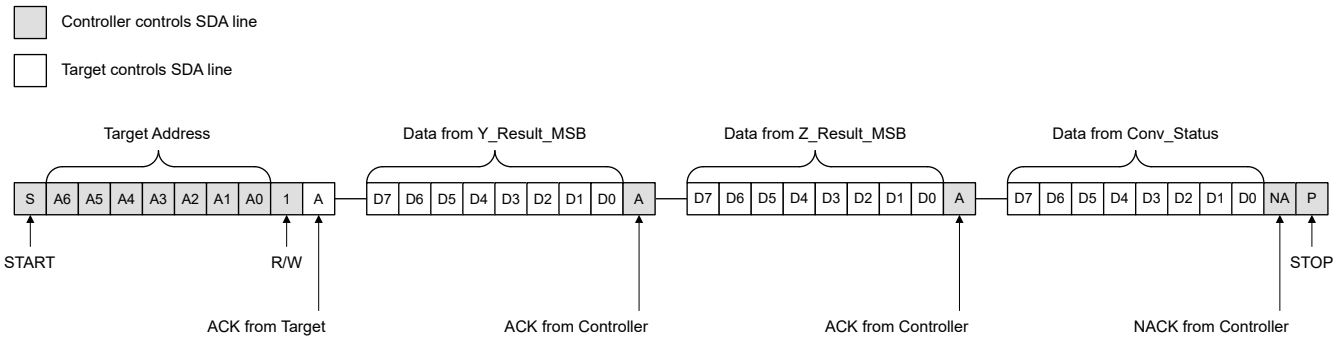


图 6-23. 禁用 CRC、启用 Y 和 Z 轴时 8 位数据的 I²C 读取命令

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

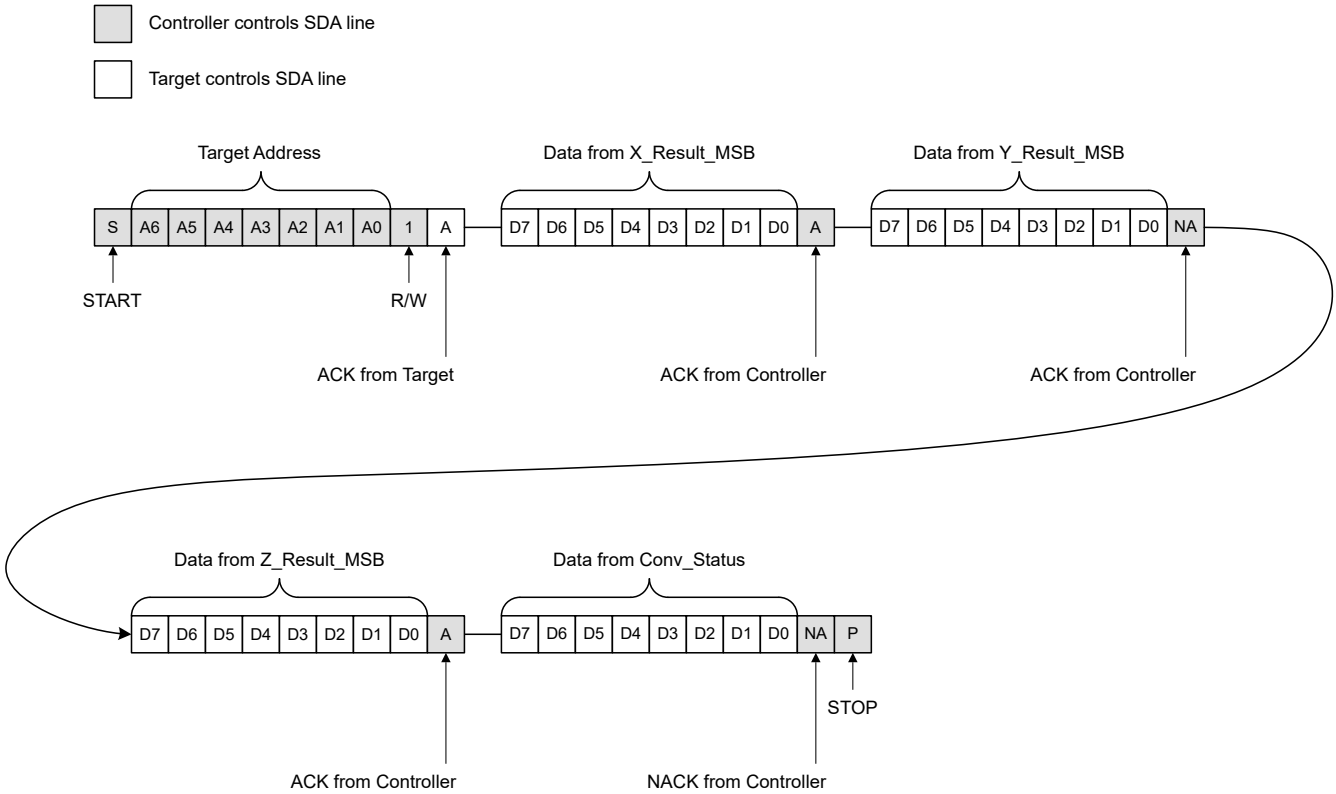


图 6-24. 禁用 CRC、启用 X、Y 和 Z 轴时 8 位数据的 I²C 读取命令

仅显示了具有 CRC 的 X 轴，但启用的其他通道将使用相同的序列格式。

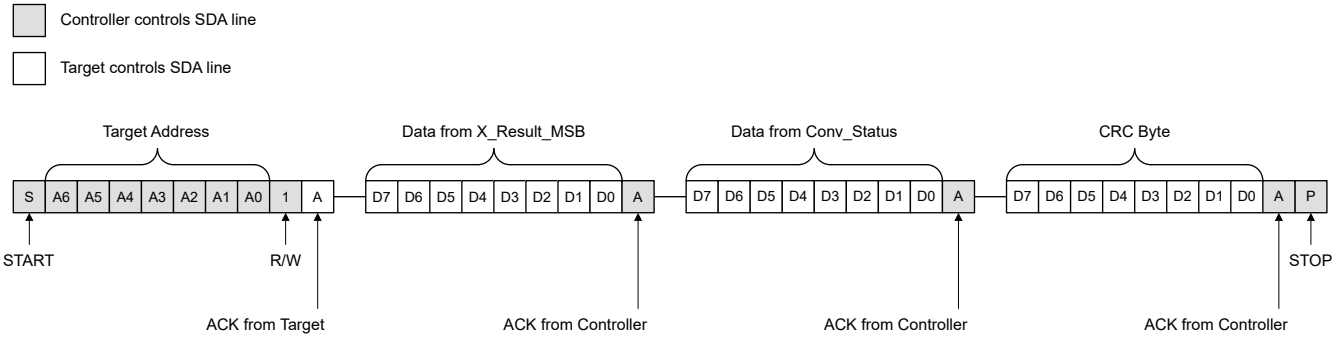


图 6-25. 启用 CRC 且启用 X 轴时 8 位数据的 I²C 读取命令

6.5.1.2.6 I²C 读取 CRC

TMAG3001 在 I²C 读取期间支持可选的 CRC。CRC 可通过 CRC_EN 寄存器位启用。CRC 是对由 I²C 读取类型决定的数据串执行的。CRC 信息作为数据字节之后的单字节发送。代码由多项式 $x^8 + x^2 + x + 1$ 生成。初始 CRC 位为 FFh。

可以使用以下公式来计算 CRC：

d = 数据输入，c = 初始 CRC (FFh) (1)

newcrc[0] = d[7] ^ d[6] ^ d[0] ^ c[0] ^ c[6] ^ c[7] (2)

newcrc[1] = d[6] ^ d[1] ^ d[0] ^ c[0] ^ c[1] ^ c[6] (3)

newcrc[2] = d[6] ^ d[2] ^ d[1] ^ d[0] ^ c[0] ^ c[1] ^ c[2] ^ c[6] (4)

newcrc[3] = d[7] ^ d[3] ^ d[2] ^ d[1] ^ c[1] ^ c[2] ^ c[3] ^ c[7] (5)

newcrc[4] = d[4] ^ d[3] ^ d[2] ^ c[2] ^ c[3] ^ c[4] (6)

newcrc[5] = d[5] ^ d[4] ^ d[3] ^ c[3] ^ c[4] ^ c[5] (7)

newcrc[6] = d[6] ^ d[5] ^ d[4] ^ c[4] ^ c[5] ^ c[6] (8)

newcrc[7] = d[7] ^ d[6] ^ d[5] ^ c[5] ^ c[6] ^ c[7] (9)

以下示例展示了基于各种输入数据计算出的 CRC 字节：

I2C 数据 00h：CRC = F3h

I2C 数据 FFh：CRC = 00h

I2C 数据 80h：CRC = 7Ah

I2C 数据 4Ch：CRC = 10h

I2C 数据 E0h：CRC = 5Dh

I2C 数据 00000000h：CRC = D1h

I2C 数据 FFFFFFFFh：CRC = 0Fh

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5.2 数据定义

6.5.2.1 磁传感器数据

X、Y 和 Z 磁传感器数据以 16 位二进制补码形式存储在相应通道的 _Result_MSB 和 _Result_LSB 寄存器中。16 位 X、Y、Z 磁传感器数据格式展示了 X_Result[15:0] 的示例数据输出。对于该表，计算使用小数点后三位。Y_Result[15:0] 和 Z_Result[15:0] 的数据格式相同。每个磁场范围的 LSB 大小为：

- 40mT：1.19047619μT/LSB
- 80mT：2.380952381μT/LSB
- 120mT：273LSB/mT
- 240mT：241LSB/mT

表 6-7. 16 位 X、Y、Z 磁传感器数据格式

磁场 (mT)				X_Result[15:0]	
范围 = 40mT	范围 = 80mT	范围 = 120mT	范围 = 240mT	二进制	十六进制
-39.009	-78.019	-120.029	-239.182	1000 0000 0000 0000	8000h
-19.504	-39.009	-60.014	-119.591	1100 0000 0000 0000	C000h
-0.001	-0.002	-0.003	-0.007	1111 1111 1111 1111	FFFFh
0	0	0	0	0000 0000 0000 0000	0000h
0.001	0.002	0.003	0.007	0000 0000 0000 0001	0001h
19.504	39.009	60.014	119.591	0100 0000 0000 0000	4000h
39.008	78.016	120.025	239.175	0111 1111 1111 1111	7FFFh

6.5.2.2 温度传感器数据

TMAG3001 将测量温度并将值存储在 T_Result_MSB 和 T_Result_LSB 寄存器的 Temp_Result[15:0] 字段中。16 位温度数据格式展示了以 16 位二进制补码格式存储在两个 8 位寄存器中的传感器输出。对于该表，计算仅使用小数点后三位。数据可以结合 MSB 和 LSB 寄存器以 16 位格式检索，也可以通过 MSB 寄存器以 8 位格式检索。

对于 16 位数据，可以使用方程式 10 来计算测量的温度（以摄氏度为单位），而对于 8 位数据，可以使用方程式 11 来计算测量的温度（以摄氏度为单位）。

$$T = T_{SENS_T0} + \frac{Temp_Result[15:0] - T_{ADC_T0}}{T_{ADC_RES}} \tag{10}$$

其中

- T 是测得的温度，以摄氏度为单位。
- T_{SENS_T0} 为 25°C
- T_{ADC_RES} 为 58.2LSB/°C
- T_{ADC_T0} 为 17512
- Temp_Result[15:0] 是温度寄存器的十进制值

$$T = T_{SENS_T0} + \frac{256 \times \left(T_{ADC_T} - \frac{Temp_Result[15:8]}{256}\right)}{T_{ADC_RES}} \tag{11}$$

表 6-8. 16 位温度数据格式

温度 (°C)	Temp_Result[15:0]	
	二进制	十六进制
-40	0011 0101 1010 0001	35A1h
-25	0011 1001 0000 1010	390Ah
0	0011 1110 1011 1001	3EB9h
25	0100 0100 0110 1000	4468h
25.02	0100 0100 0110 1001	4469h
85	0101 0001 1111 1100	520Ch
125	0101 1011 0000 1100	5B0Ch

6.5.2.3 磁传感器增益校正

如果需要，TMAG3001 可以对磁轴之一进行增益校正。表 6-9 显示了用于设置磁增益的寄存器配置。MAG_GAIN_CH 和 ANGLE_EN[1:0] 位用于设置可为增益修改配置的特定磁通道。Sensor_Config_4 寄存器用于存储要校正的 Gain_Config，以 8 位值表示。

表 6-9. 用于配置磁增益校正的寄存器字段设置

寄存器名称	ANGLE_EN = 1b 且 THR_SEL = 00、01 或 11b 时的寄存器别名	说明
Sensor_Config_4	Gain_Config[7:0]	配置由 Sensor_Config_2 寄存器的 MAG_GAIN_CH 和 ANGLE_EN[1:0] 值定义的磁通道之一的增益

Gain_Config[7:0] 是测得的磁场的直接乘数，其值介于 0 和 1 之间。Gain_Config[7:0] 的 LSB 大小为 0.00390625。例如，如果 TMAG3001 测得的磁场为 20mT，并且使用 Gain_Config[7:0] 设置 80h，增益设置为 0.5，则 X_Result 的结果值为 10mT。

表 6-10. 1 位 Gain_Config 数据格式

增益 (mT/mT)	Gain_Config[7:0]	
	二进制	十六进制
0	0000 0000	00h
0.00390625	0000 0001	01h
0.25	0100 0000	40h
0.5	1000 0000	80h
0.75	1100 0000	C0h
0.99609375	1111 1111	FFh

例如，图 6-26 显示了使用 Gain_Config[7:0] 寄存器设置校正后的磁场幅度。传感器的选择和顺序在 ANGLE_EN[1:0] 寄存器位设置中定义。如果 Gain_Config[7:0] 寄存器设置为 00h，则禁用所选通道的增益校正。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

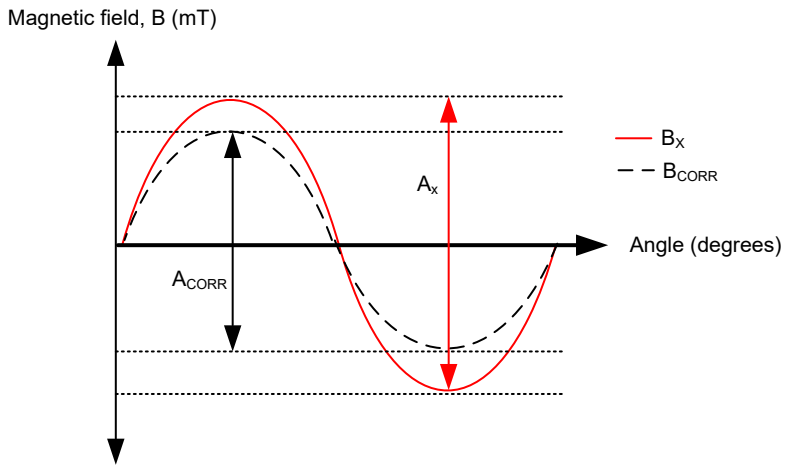


图 6-26. 磁传感器数据增益校正

6.5.2.4 磁传感器偏移校正

TMAG3001 支持对一对磁轴进行偏移校正。

表 6-11. 用于配置磁偏移的寄存器字段设置

寄存器名称	ANGLE_EN[1:0] = 1h、2h 或 3h 或者 THR_SEL[1:0] = 0h、1h 或 3h 时的寄存器别名	说明
Sensor_Config_5	Offset_Config_1	设置第一个通道的偏移
Sensor_Config_6	Offset_Config_2	设置第二个通道的偏移

偏移校正以 8 位二进制补码格式存储。8 位磁传感器偏移校正数据格式展示了 Offset_Config_x 的示例偏移，其中 x 可以是第一个或第二个通道。该表仅显示小数点后三位。Offset_Config_1[7:0] 和 Offset_Config_2[7:0] 的数据格式相同。每个磁场范围的 LSB 大小为：

- 40mT：51.2LSB/mT
- 80mT：25.6LSB/mT
- 120mT：15.3985LSB/mT
- 240mT：7.70LSB/mT

表 6-12. 8 位磁传感器偏移校正数据格式

磁场偏移 (mT)				Offset_Config_x[7:0]	
范围 = 40mT	范围 = 80mT	范围 = 120mT	范围 = 240mT	二进制	十六进制
-2.5	-5	-8.313	-16.625	1000 0000	80h
-1.992	-3.984	-6.624	-13.248	1001 1010	9Ah
-0.019	-0.039	-0.065	-0.130	1111 1111	FFh
0	0	0	0	0000 0000	00h
0.019	0.039	0.065	0.130	0000 0001	01h
1.992	3.984	6.624	13.248	0110 0110	66h
2.480	4.961	8.248	16.495	0111 1111	7Fh

例如，如果特定轴的未校正波形值的偏移为 2mT，则应在相应的 Offset_Config_x[7:0] 位字段中输入偏移校正值 -2mT。该值将在应用任何增益设置之前（或之后）添加到测得的磁场。传感器的选择和顺序在 ANGLE_EN 寄存器位设置中定义。当启用偏移校正时，这些偏移校正寄存器的默认值设置为零。

6.5.2.5 角度和幅度定义

TMAG3001 会根据 Angle_EN[1:0] 设置，利用一对磁轴计算角度。13 位 Angle_Result[12:0] 值存储在 Angle_Result_MSB 和 Andle_Result_LSB 寄存器中。数据格式是无符号角度值，LSB 大小为 0.0625°。下表显示了示例角度值。

表 6-13. 13 位角度数据格式

角度 (°)	Angle_Result[12:0]	
	二进制	十六进制
0	0 0000 0000 0000	0000h
0.0625	0 0000 0000 0001	0001h
90	0 0101 1010 0000	05A0h
180	0 1011 0100 0000	0B40h
270	1 0000 1110 0000	10E0h
360	1 0110 1000 0000	1680h

在角度计算期间，Magnitude_Result[7:0] 将所得矢量幅度存储在 Magnitude_Result 寄存器中。Magnitude_Result[7:0] 是一个无符号值，其 LSB 大小取决于器件的范围。下表仅显示小数点后 3 位。

- 40mT： 3.281LSB/mT
- 80mT：1.640LSB/mT
- 120mT：1.066LSB/mT
- 240mT：0.535LSB/mT

对于同轴角度测量，幅度值必须在整个 360° 测量范围内保持恒定。

表 6-14. 8 位幅度数据格式

幅度 (mT)				Magnitude_Result[7:0]	
范围 = 40mT	范围 = 80mT	范围 = 120mT	范围 = 240mT	二进制	十六进制
0	0	0	0	0000 0000	00h
0.304	0.609	0.937	1.868	0000 0001	01h
4.571	9.142	14.065	28.029	0000 1111	0Fh
37.7904	75.580	116.278	231.708	0111 CC00	7Ch
77.714	155.428	239.120	476.496	1111 1111	FFh

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5.2.6 角度偏移校正

TMAG3001 支持对一对磁轴进行偏移校正来设置零基准，用于补偿安装后产生的磁体放置误差。THR_CONFIG_3 寄存器存储偏移值。这些偏移校正寄存器的默认值设置为零。要启用角度偏移校正，应将 Angle_Offset_EN 位设置为 1h。传感器的选择和顺序在 Angle_EN[1:0] 寄存器位设置中定义。Angle_Offset_DIR 提供添加或减去角度偏移值的功能。TMAG3001 能够以 1°/LSB 的分辨率校正 ±255 度的角度偏移。

表 6-15. 用于配置角度偏移校正的寄存器字段设置

寄存器名称	THR_SEL[1:0] = 1h 或 3h 时的寄存器别名	说明
THR_Config_3	Angle_Offset[7:0]	将角度偏移添加到 Angle_Result[12:0]。角度偏移的分辨率为 1 度。

表 6-16. 8 位角度偏移数据格式

角度 (°)	Angle_Offset[7:0]	
	二进制	十六进制
0	0000 0000	00h
1	0000 0001	01h
90	0101 1010	5Ah
180	1011 0100	B4h
255	1111 1111	FFh

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

7.1 应用信息

7.1.1 选择灵敏度选项

TMAG3001 具有 A1 和 A2 两个灵敏度选项。选择可测量所需磁通密度范围的最高 TMAG3001 灵敏度选项，从而尽可能地扩大 ADC 输入范围。

与距离很近的极小磁体相比，尺寸更大的磁体和距离更远的感应距离通常可以实现更好的位置精度，因为磁通密度随着磁体的接近而呈指数级增长。

7.1.2 磁体的温度补偿

TMAG3001 温度补偿旨在直接补偿 MAG_TEMPCO 寄存器位中指定的几个磁体的平均温度漂移。随着温度升高，磁体的剩余感应 (B_r) 通常会减少；对于 NdFeB 磁体，温度每升高 1°C，剩余感应会减少 0.12%，而对于铁氧体磁体，温度每升高 1°C，剩余感应会减少 0.20%。如果不需要器件温度补偿，则将 MAG_TEMPCO 位设置为默认值 00b。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.1.3 传感器转换

根据 MAG_CH_EN 和 CONV_AVG 寄存器位设置，可以采用多种转换方案。

7.1.3.1 连续转换

当 Operating_Mode[1:0] 设置为 2h 时，可以将 TMAG3001 设置为连续转换模式。图 7-1 显示了几个连续转换示例。输入磁场会分两步处理。第一步，器件旋转霍尔传感器元件，并收集采样数据。第二步，ADC 块将模拟信号转换为数字位并存储在相应的结果寄存器中。当 ADC 开始处理第一个磁性样本时，旋转块可以开始处理另一个磁性样本。在此模式下，每次新转换开始时都会获取温度数据。该温度数据用于补偿磁性热漂移。

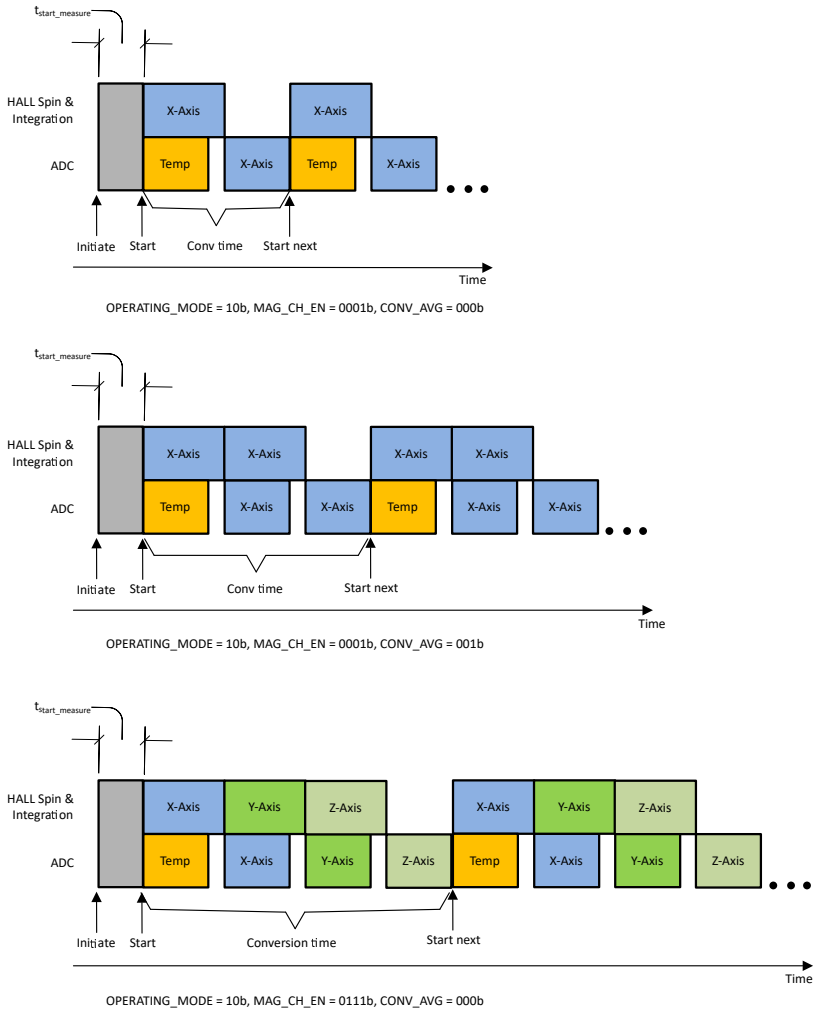


图 7-1. 连续转换模式

7.1.3.2 触发转换

TMAG3001 支持在 Operating_Mode[1:0] 设置为 0h 时进行触发转换。触发事件可通过 I²C 命令或 $\overline{INT}$ 信号启动。图 7-2 展示了温度传感器、X 传感器、Y 传感器和 Z 传感器激活时的触发转换示例。

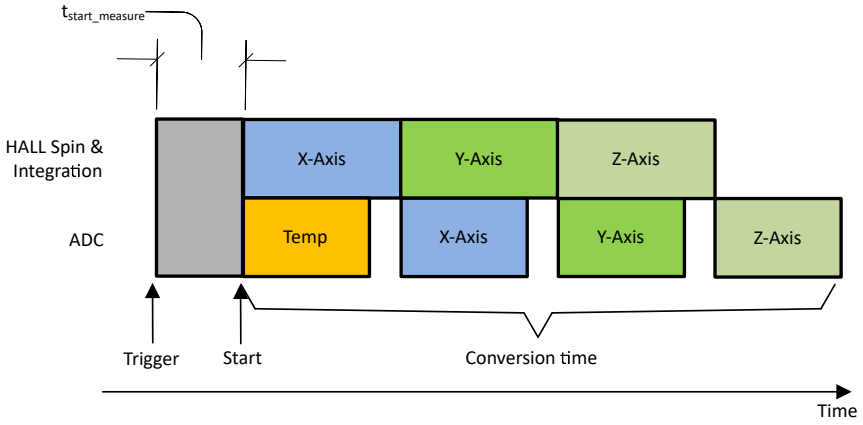


图 7-2. 温度传感器、X 传感器、Y 传感器和 Z 传感器的触发转换

7.1.3.3 伪同步采样

在绝对角度测量中，需要来自多个轴的应用传感器数据，才能计算出精确的角度。在不同时间通过同一信号链收集的磁场数据会在角度计算中引入误差。TMAG3001 提供伪同步采样数据收集模式来消除此误差。图 7-3 展示了一个示例，其中 MAG_CH_EN 设置为 Bh 来收集 XZX 数据。方程式 12 显示了 X 和 Z 传感器数据的时间戳相同。

$$t_Z = \frac{t_{X1} + t_{X2}}{2} \tag{12}$$

其中

- t_{X1}、t_Z、t_{X2} 是 X、Z、X 传感器数据完成的时间戳，如图 7-3 中定义。

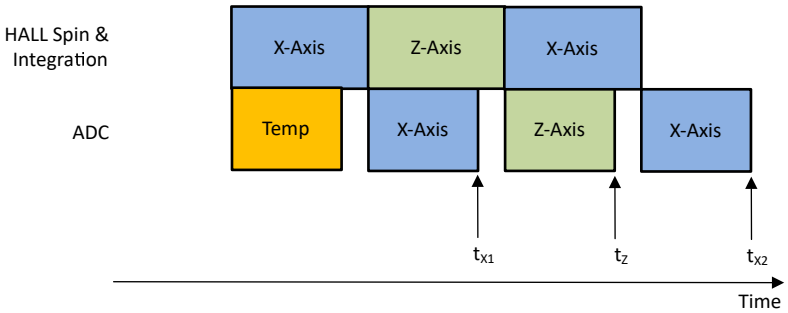


图 7-3. XZX 磁场转换

TMAG3001 的垂直 X、Y 传感器比水平 Z 传感器表现出更多噪声。伪同步采样可用于在采集两组垂直传感器数据时根据一组水平传感器数据均衡本底噪声，就像 XZX 或 YZY 模式示例中那样。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.1.4 磁体限值检查

TMAG3001 可同时对单个轴或多个轴进行磁体限值检查。当 THR_SEL[1:0] 设置为 2h 时，器件可配置为对 X、Y 和 Z 磁轴阈值敏感。

表 7-1. THR_SEL[1:0] = 1h 时磁体限值检查的寄存器配置

寄存器名称	THR_SEL[1:0] = 1h 时的寄存器别名	说明
THR_Config_1	X_THR_LO	设置 X 通道的阈值下限
THR_Config_2	Y_THR_LO	设置 Y 通道的阈值下限
THR_Config_3	Z_THR_LO	设置 Z 通道的阈值下限

表 7-2. THR_SEL[1:0] = 2h 且 Angle_EN[1:0] = 0h 时磁体限值检查的寄存器配置

寄存器名称	THR_SEL[1:0] = 2h 且 Angle_EN[1:0] = 0h 时的寄存器别名	说明
Sensor_Config_4	X_THR_HI	设置 X 通道的阈值上限
Sensor_Config_5	Y_THR_HI	设置 Y 通道的阈值上限
Sensor_Config_6	Z_THR_HI	设置 Z 通道的阈值上限

磁性阈值上限和下限是 8 位二进制补码数，阈值输入的可能范围为 ±128。阈值上限和阈值下限都可以独立启用。如果阈值设置为 0h，则不进行阈值比较。可以使用方程式 13 来计算 X 通道的阈值下限。

$$\text{Threshold}\left(\text{mT}\right) = \frac{\text{THR_CONFIG_1}}{128} \times \text{Magnetic Range} \times \left(1 + \text{X_Y_RANGE}\right) \tag{13}$$

例如，对于 A1 器件版本，默认磁场范围为 ±40mT。如果 X_Y_RANGE = 0 且 THR_SEL = 10b，则对于 THR_CONFIG_1 中的阈值配置 0000111b，X 通道阈值下限由以下公式给出：

$$\text{X Low Threshold}\left(\text{mT}\right) = \frac{7}{128} \times 40\ \text{mT} = 2.1875\ \text{mT} \tag{14}$$

图 7-5 和图 7-5 展示了当磁场高于、低于、退出磁场区间和进入磁场区间时磁体限值交叉检测事件的示例。如果磁场保持在图中的阴影区域，则器件将在每次新的转换时继续生成中断。MAG_THR_DIR 寄存器位有助于选择阈值交叉的超出范围区域。磁体限值检查可以在待机、连续或唤醒和睡眠工作模式下执行。

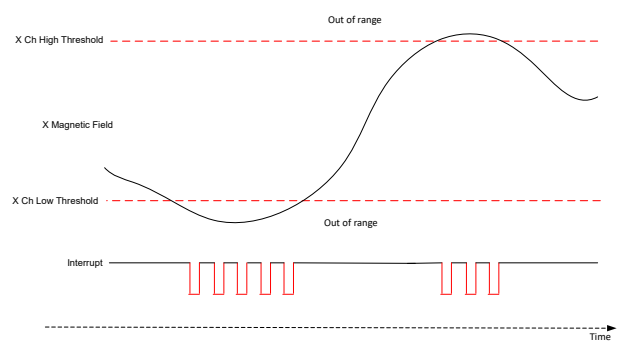


图 7-4. MAG_THR_DIR = 0h、THR_SEL[1:0] = 2h、INT_STATE = 1h 时的磁体限值交叉检查

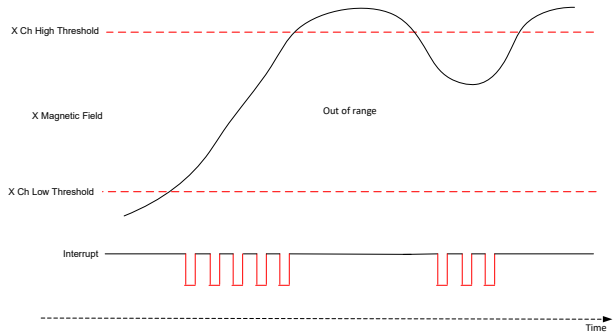


图 7-5. MAG_THR_DIR = 1b、THR_SEL = 10b、INT_STATE = 1b 时的磁体下限交叉检查

7.1.5 幅度限值检查

当器件配置为使用 ANGLE_EN 计算角度时，TMAG3001 启用幅度限值检查。绝对磁场的大小存储在 MAGNITUDE_RESULT 寄存器中。当 THR_SEL[1:0] 设置为 3h 时，可以将器件配置为进行幅度阈值检查。用于幅度限值检查的寄存器配置 显示了用于启用磁体限值检查的寄存器配置。

表 7-3. 用于幅度限值检查的寄存器配置

寄存器名称	THR_SEL[1:0] = 3h 时的寄存器别名	说明
THR_Config_1	M_THR_LO	设置幅度检查的阈值下限
THR_Config_2	M_THR_HI	设置幅度检查的阈值上限

幅度阈值上限和下限是 8 位数字，阈值输入的可能范围为 0 至 255。阈值上限和阈值下限都可以独立启用。如果阈值设置为 0h，则不进行阈值比较。

图 7-7 和图 7-6 展示了当磁场高于、低于、退出磁场区间和进入磁场区间时幅度限值交叉检测事件的示例。如果磁场保持在图中的阴影区域，则器件将在每次新的转换时继续生成中断。MAG_THR_DIR 寄存器位有助于选择阈值交叉的超出范围区域。幅度限值检查可以在待机、连续或唤醒和睡眠工作模式下执行。

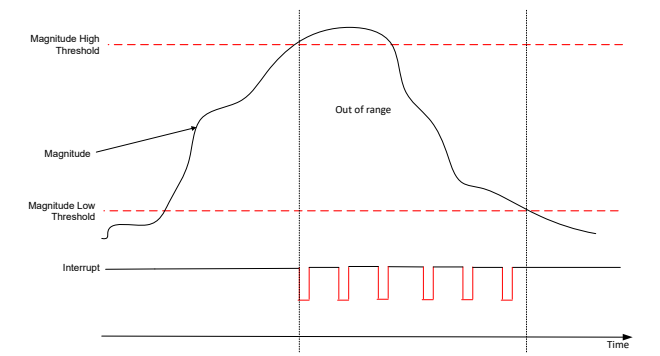


图 7-6. MAG_THR_DIR = 0h、THR_SEL[1:0] = 3h、INT_STATE = 1h 时的磁体限值交叉检查

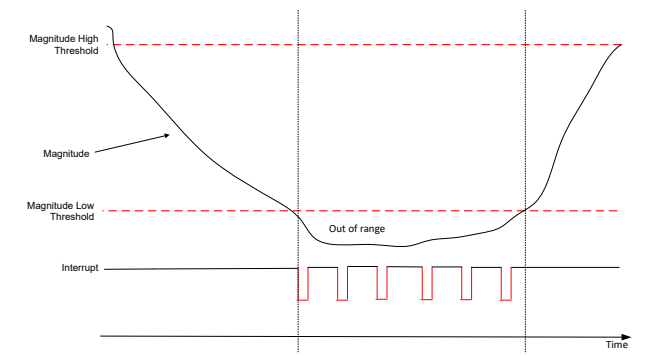


图 7-7. MAG_THR_DIR = 1h、THR_SEL[1:0] = 3h、INT_STATE = 1h 时的磁体限值交叉检查

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.1.6 角度限值检查

TMAG3001 具有集成角度计算功能，因此可用作由 ANGLE_EN 设置的任意两轴的角度开关。当 THR_SEL[1:0] 设置为 1h 时，该器件可配置为对角度阈值敏感。当 THR_SEL[1:0] 设置为 1h 时，THR_Config_1 寄存器充当 A_THR_REF，THR_Config_2 充当 A_THR_BAND。可以使用由 A_THR_REF 设置的角度阈值基准和由 A_THR_BAND 设置的阈值区间来配置角度限值检查。基准角度阈值 A_THR_REF 是 8 位编码绝对角度（如表所示），分辨率为 2 度/LSB，最大范围为 360 度。A_THR_BAND 也是 8 位编码绝对角度，分辨率为 1 度/LSB，最大范围高达 180 度。

表 7-4. 用于角度限值检查的寄存器配置

寄存器名称	THR_SEL[1:0] = 1h 时的寄存器别名	说明
THR_Config_1	A_THR_REF	设置角度阈值基准
THR_Config_2	A_THR_BAND	设置 基准周围的阈值区域
THR_Config_3	Angle_Offset[7:0]	设置用户定义的角度偏移

角度限值检查和 角度限值交叉检查展示了当测量的角度高于或低于、退出和进入角度区间时角度限值交叉检测事件的示例。如果测得的角度保持在图中的阴影区域，则器件将在每次新的转换时继续生成中断。MAG_THR_DIR 寄存器位有助于选择阈值交叉的超出范围区域。

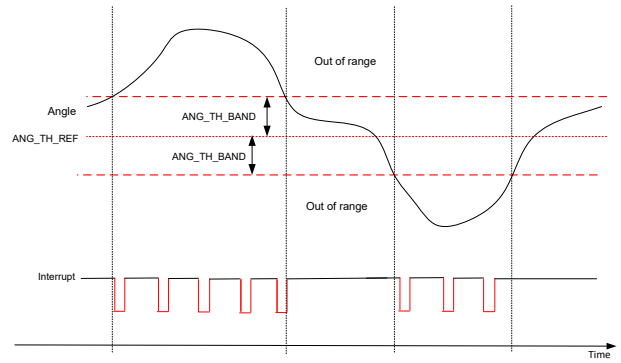


图 7-8. MAG_THR_DIR = 0h、THR_SEL[1:0] = 1h、INT_STATE = 1h 时的角度限值检查

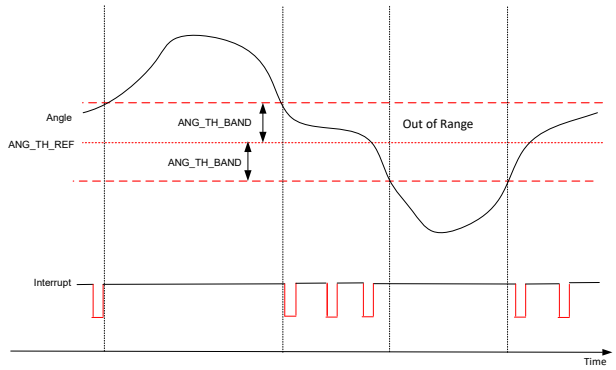


图 7-9. MAG_THR_DIR =1b、THR_SEL=01b、INT_STATE=1b 时的角度限值交叉检查

7.1.7 开关模式

TMAG3001 支持在 $\overline{\text{INT}}$ 引脚上实现灵活且可配置的开关模式选项。在该模式下，当检测到阈值交叉时，输出引脚将设置为基于电平的输出。该器件可配置为处于待机、工作以及唤醒和睡眠功耗模式下的开关模式。如果该器件配置为开关模式，则 $\overline{\text{INT}}$ 引脚无法用于触发转换或用作具有任何其他用途的输出。该器件支持基于配置的阈值的单极和全极开关模式选项。由于能够设置阈值上限和下限，TMAG3001 还用于篡改检测，此时需要检测过大的磁场。由于能够计算任意两个轴的角度，该器件还能够配置为角度开关。

7.1.7.1 单极开关模式

TMAG3001 对正磁场和负磁场都很敏感。该器件可配置为充当对三个轴中任何一个上的单个方向敏感的开关。图 7-10 显示了一个单极开关模式示例，其中 Bop 表示开关的工作点，在高于该工作点时 $\overline{INT}$ 引脚将切换到导通状态。Brp 表示反向工作点，在高于该工作点时 $\overline{INT}$ 引脚返回到关断工作状态。TMAG3001 能够在所有磁通道均启用且 THR_SEL[1:0] 位设置为 2h 时用作 3D 磁性开关。当用作 3D 磁性开关时，如果磁通道之一越过工作点（由可在 THR_Config1、THR_Config2 和 THR_Config3 中配置的阈值下限设置），则 $\overline{INT}$ 引脚会切换到导通状态。可以使用 THR_HYST 位来设置开关模式的迟滞。仅当所有启用的磁通道的测量值低于反向工作点 Brp 时，开关才会转到关断位置。

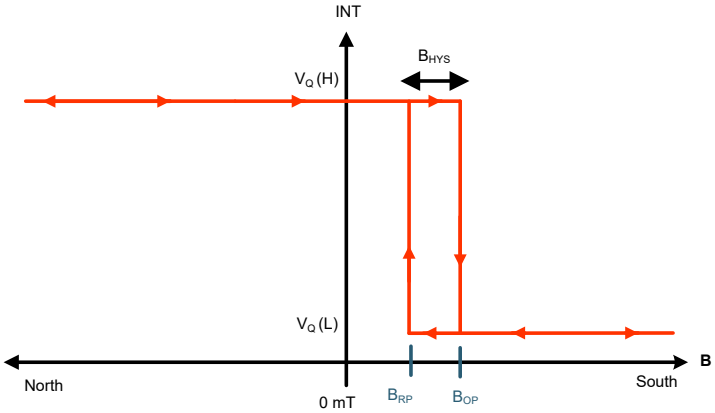


图 7-10. 单极 3D 磁性开关

7.1.7.2 全极开关模式

图 7-11 显示了一个全极开关模式示例，其中器件对正阈值或负阈值敏感。全极开关模式在制造过程中未控制磁体极性的情况下特别有用。在该模式下，两种极性使用相同的阈值。B_{OP} 表示开关的工作点，在高于该工作点时 $\overline{INT}$ 引脚会切换状态。B_{RP} 表示反向工作点，在高于该工作点时 $\overline{INT}$ 引脚返回到前一个工作状态。此模式与单极开关模式类似。

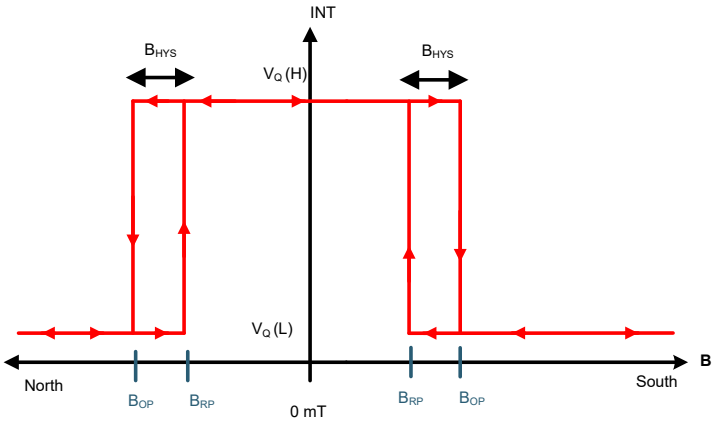


图 7-11. 全极开关模式

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.1.7.3 篡改检测

TMAG3001 针对各个轴具有高阈值和低阈值。通过为 X、Y 和 Z 轴配置相应的高阈值，该器件可用于检测高于预期的磁场。当 THR_SEL[1:0] 位设置为 2h 时，Sensor_Config_4、Sensor_Config_5 和 Sensor_Config_6 寄存器分别用于设置 X、Y 和 Z 轴的阈值上限 (B_{TAMPER})。

当器件配置为开关模式时，必须以相同的极性设置阈值上限。当所有磁通道均启用时，TMAG3001 可用于检测全部三个轴上的高磁场。图 7-12 显示了为磁通道配置了阈值上限的单极开关模式。图 7-13 显示了器件配置为全极开关模式时的篡改检测功能。在全极开关模式下，阈值的符号位会被忽略。

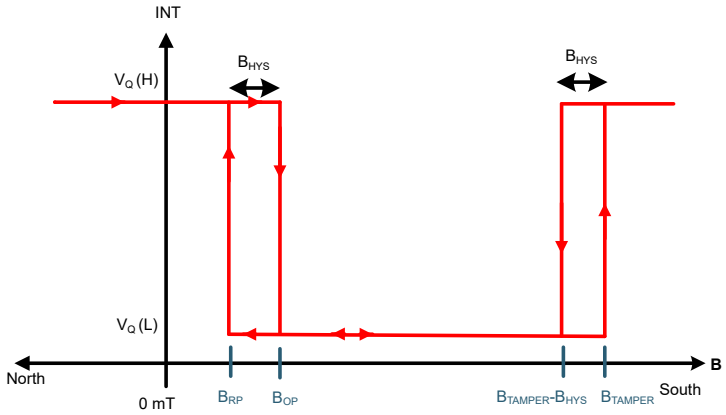


图 7-12. 显示篡改检测的单极开关模式

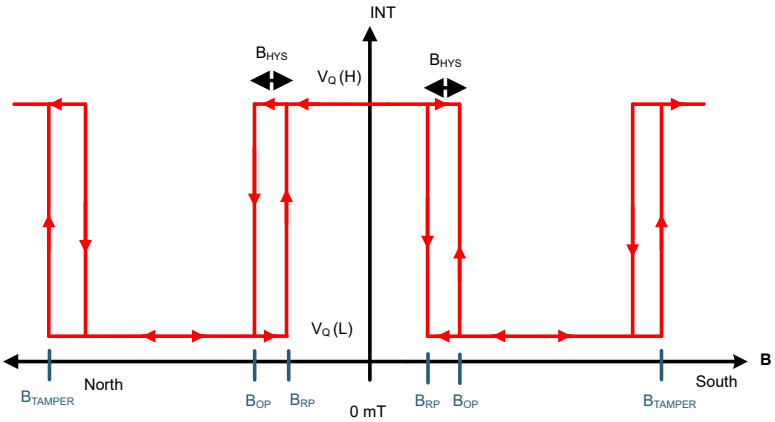


图 7-13. 显示篡改检测的全极开关模式

7.1.7.4 角度开关

TMAG3001 具有集成角度计算功能，因此可用作由 ANGLE_EN 设置的任意两轴的角度开关。当 INT_Mode[2:0] 设置为 5h 时，该器件配置为角度开关。THR_Config_1 寄存器充当 A_TH_REF，用于设置角度交叉的基准阈值。THR_Config_2 寄存器充当 A_TH_BAND，用于设置角度交叉检测的阈值区域。图 7-14 显示了器件的响应，其中当测得的角度高于 $\theta_{TH_REF} + \theta_{TH_BAND}$ 或低于 $\theta_{TH_REF} + \theta_{TH_BAND}$ 时，开关输出被设置为导通状态。如果开关输出交叉低于 θ_{ANG_HYS} 设置的迟滞值，则开关输出被设置为关断状态。图 7-15 显示了器件基于配置的阈值和迟滞的响应。

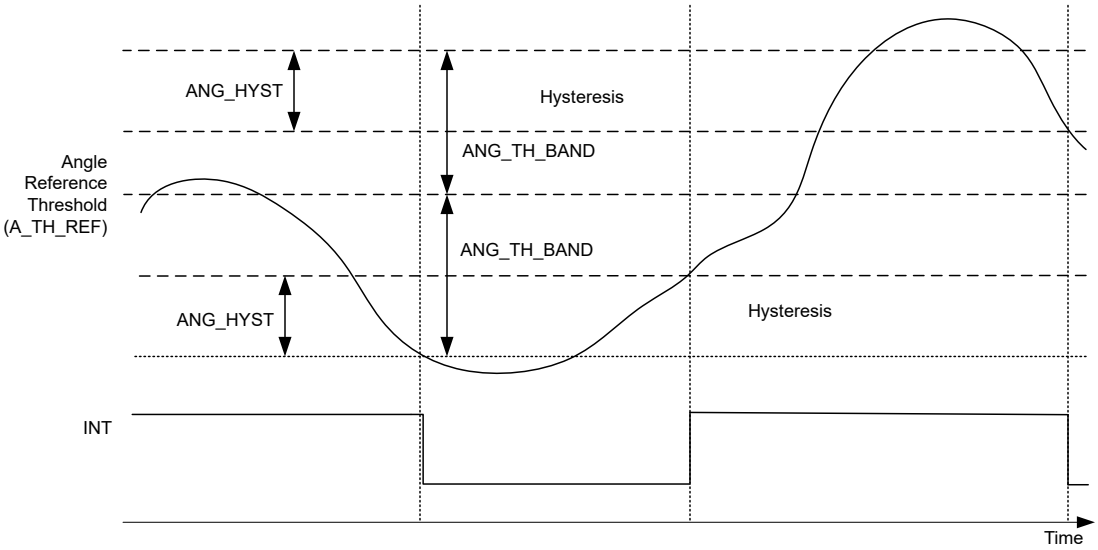


图 7-14. 显示角度开关运行情况的时序图，THR_SEL[1:0] = 1h，INT_Mode[2:0] = 5h

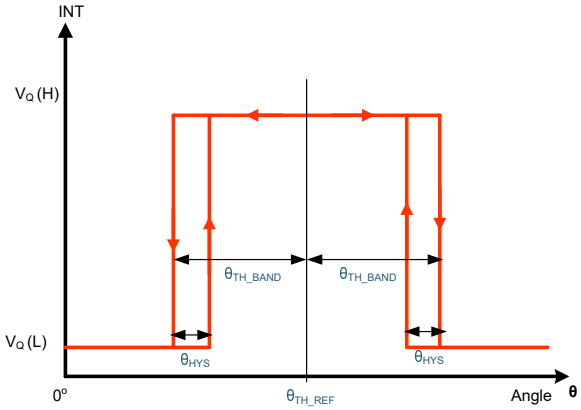


图 7-15. 角度开关

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.1.7.5 幅度开关（按钮按压检测）

TMAG3001 具有集成 CORDIC，支持计算 ANGLE_EN 设置的两个磁场的绝对幅度。对于磁体放置在传感器顶部的角度应用，只能使用 Magnitude_Resultt 寄存器给出的绝对磁场来检测按钮按压事件。幅度根据磁体和传感器之间的气隙呈指数级变化，因此在按钮按压事件期间，磁场幅度会变得更高。当 THR_SEL[1:0] 设置为 3h 时，该器件可配置为对角度阈值敏感。当 INT_Mode[2:0] 设置为 5h 时，该器件配置为幅度开关。磁场幅度始终为正，因此当 INT_Mode[2:0] 设置为 6h（全极模式）时，器件不支持幅度开关模式。图 7-17 显示了器件的响应，其中当测得的角度高于 MAG_HI 时，开关输出被设置为导通状态；当测得的幅度低于 MAG_LO（阈值下限）时，开关输出被设置为关断状态。可以使用 THR_Config_1 寄存器来配置幅度的阈值下限 |BMAG,LO|，使用 THR_Config_2 寄存器来配置幅度的阈值上限 |BMAG,HI|。

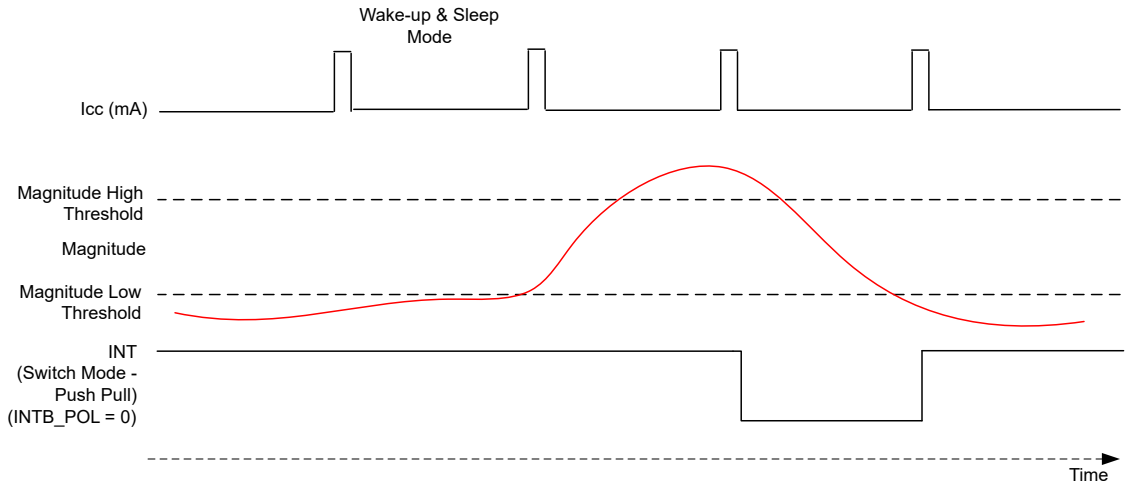


图 7-16. 显示幅度开关运行情况的时序图，THR_SEL[1:0] = 3h，INT_Mode[2:0] = 5h

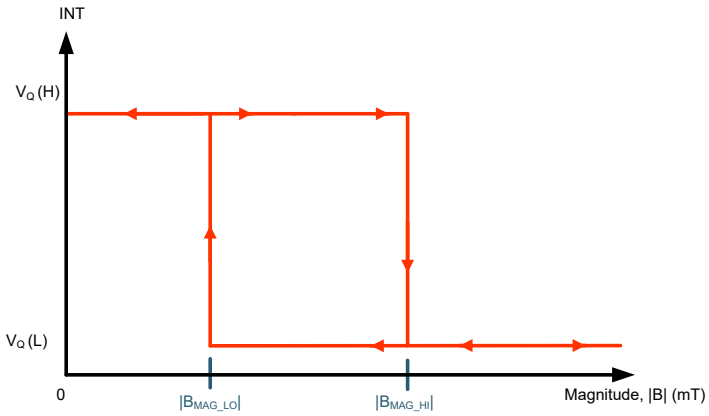


图 7-17. 幅度开关

7.1.8 线性测量过程中的误差计算

TMAG3001 提供了多个独立的配置，可在 X、Y 和 Z 轴上执行线性位置测量。要计算线性测量过程中的预期误差，必须了解每个单独误差源的贡献。相关误差源包括灵敏度误差、偏移量、噪声、跨轴灵敏度、迟滞、非线性度、不同温度下的漂移、整个生命期间内的漂移等。对于像 TMAG3001 这样的 3 轴霍尔解决方案，跨轴灵敏度和迟滞误差源无关紧要。可以使用方程式 15 来估算室温条件下的线性测量误差。

$$\mathrm{Error}_{\mathrm{LM_25C}} = \frac{\sqrt{(\mathrm{B} \times \mathrm{SENS}_{\mathrm{ER}})^2 + \mathrm{B}_{\mathrm{off}}^2 + \mathrm{N}_{\mathrm{RMS_25}}^2}}{\mathrm{B}} \times 100\% \tag{15}$$

其中

- $Error_{LM_25C}$ 是 25°C 条件下线性测量过程中的总误差，以 % 表示。
- B 是输入磁场。
- $SENS_{ER}$ 是 25°C 时的灵敏度误差，以十进制数表示。例如，对于 5% 的灵敏度误差，请输入 0.05。
- B_{off} 是 25°C 时的偏移误差。
- N_{RMS_25} 是 25°C 时的 RMS 噪声。

在许多应用中，室温下的系统级校准可以消除 25°C 时的偏移误差和灵敏度误差。除了可以在微控制器中取平均值外，还可以通过在器件内部最多除以 32 取平均值来降低噪声误差。可以使用方程式 16 来估算室温下校准后整个温度范围内的线性测量误差。

$$Error_{LM_Temp} = \frac{\sqrt{(B \times SENS_{DR})^2 + B_{off_DR}^2 + N_{RMS_Temp}^2}}{B} \times 100\% \quad (16)$$

其中

- $Error_{LM_Temp}$ 是执行室温校准后线性测量过程中整个温度范围内的总误差，以 % 表示。
- B 是输入磁场。
- $SENS_{DR}$ 是 25°C 时的灵敏度漂移，以十进制数表示。例如，对于 5% 的灵敏度漂移，请输入 0.05。
- B_{off_DR} 是 25°C 时的温漂值。
- N_{RMS_Temp} 是整个温度范围内的 RMS 噪声。

如果未执行室温校准，整个温度范围内的总误差计算也必须考虑室温下的灵敏度误差和偏移误差（请参阅方程式 17）。

$$Error_{LM_Temp_NCal} = \frac{\sqrt{(B \times SENS_{ER})^2 + (B \times SENS_{DR})^2 + B_{off}^2 + B_{off_DR}^2 + N_{RMS_Temp}^2}}{B} \times 100\% \quad (17)$$

其中

- $Error_{LM_Temp_NCal}$ 是在未进行室温校准的情况下，线性测量过程中整个温度范围内的总误差，以 % 表示。

备注

本节不考虑系统机械振动、磁体温度梯度、地磁场、非线性度、寿命漂移等误差源。在计算总体系统误差预算时，用户必须考虑这些额外的误差源。

7.1.9 角度测量过程中的误差计算

TMAG3001 提供片上 CORDIC 来测量相对于两个磁轴中任何一个的角度数据。也可以使用线性磁轴数据通过外部 CORDIC 来计算角度。要计算角度测量期间的预期误差，必须了解每个单独误差源的贡献。相关误差源包括灵敏度误差、偏移量、噪声、轴间不匹配、非线性度、不同温度下的漂移、整个生命周期内的漂移等。可以使用角度误差计算工具估算角度测量期间的总误差。

7.2 典型应用

由于采用非接触式设计且能够进行可靠的测量，磁性 3D 传感器非常受欢迎，特别是在需要在恶劣环境中进行长期测量的应用中。TMAG3001 可在各种工业和个人电子产品应用中提供设计灵活性。

7.2.1 角度测量

由于采用非接触式设计且能够进行可靠的测量，磁性角度传感器非常受欢迎，特别是在需要在恶劣环境中进行长期测量的应用中。TMAG3001 提供了片上角度计算器，可根据任意两个磁轴进行角度测量。两个相关轴可以在 ANGLE_EN 寄存器位中选择。该器件提供完整的 360 度角度输出。在角度计算中会考虑多个误差源，包括灵敏度误差、偏移误差、线性误差、噪声、机械振动、温度漂移等。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

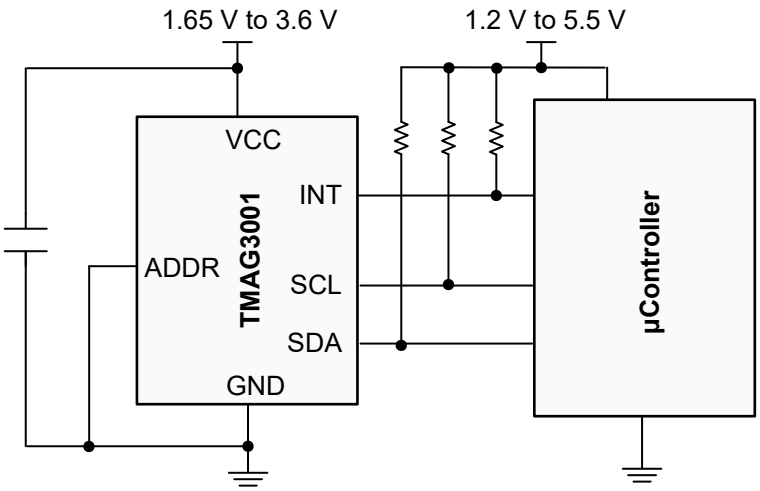


图 7-18. TMAG3001 角度测量应用示意图

7.2.1.1 设计要求

此设计示例使用表 7-5 中列出的参数。

表 7-5. 设计参数

设计参数	同轴测量	离轴测量
器件	TMAG3001-A1	TMAG3001-A1
VCC	3.3V	3.3V
器件位置	磁体正下方	在磁体的相邻侧
磁体	圆柱磁体：4.7625mm 直径，12.7mm 厚，钕磁体 N52，Br = 1480	圆柱磁体：4.7625mm 直径，12.7mm 厚，钕磁体 N52，Br = 1480
磁场范围选择	根据传感器可能检测到的最强磁场，为两个轴选择相同的范围	根据传感器可能检测到的最强磁场，为两个轴选择相同的范围
RPM	<600	<600
所需精度	360° 旋转时 <2°	360° 旋转时 <2°

7.2.1.2 详细设计过程

为了准确测量角度，必须通过在 MAG_GAIN_CONFIG 寄存器中选择适当的增益调整值来对两个轴的振幅进行标准化。增益调整值是介于 0 和 1 之间的十进制小数。要计算此小数值，必须遵循以下步骤：

- 将器件设置为 32 倍平均模式，并将轴完整旋转 360 度。
- 记录完整 360 度旋转对应的两个轴传感器 ADC 代码。
- 完整 360 度旋转的归一化图如图 7-20 或图 7-21 所示。
- 测量每个轴的最大峰峰值 ADC 代码增量：A_X 和 A_Y。
- 如果 $A_X>A_Y$，请将 MAG_GAIN_CH 寄存器位设置为 0b。计算 X 轴的增益调整值：$G_X = \frac{A_Y}{A_X}$
- 如果 $A_X<A_Y$，请将 MAG_GAIN_CH 寄存器位设置为 1b。计算 Y 轴的增益调整值：$G_Y = \frac{1}{G_X}$
- GAIN_VALUE 寄存器位中的目标二进制增益设置可以根据公式 G_X 或 G_Y = $GAIN_VALUE_{decimal}/256$ 来计算。

示例 1：如果 $A_X = A_Y = 60{,}000$，GAIN_VALUE 寄存器位会设置为默认 0000 0000b。

示例 2：如果 $A_X= 60{,}000$ 且 $A_Y = 45{,}000$，则 $G_X = 45{,}000/60{,}000 =0.75$。将 MAG_GAIN_CH 设置为 0b 并将 GAIN_VALUE 设置为 1100 0000b。

示例 3：如果 A_X= 45,000 且 A_Y = 60,000，则 G_X = (60,000/45,000) =1.33。G_X > 1，因此增益调整必须在 G_Y = 1/G_X 的情况下应用于 Y 轴。将 MAG_GAIN_CH 设置为 1b 并将 GAIN_VALUE 设置为 1100 0000b。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.1.2.1 角度测量的增益调整

常见的测量拓扑包括同轴或离轴角度测量中的角度位置测量，如图 7-19 所示。尽可能选择同轴测量拓扑，因为这样可以实现磁场和器件测量范围的最佳优化。TMAG3001 提供了片上增益调整选项，以应对机械位置错位问题。

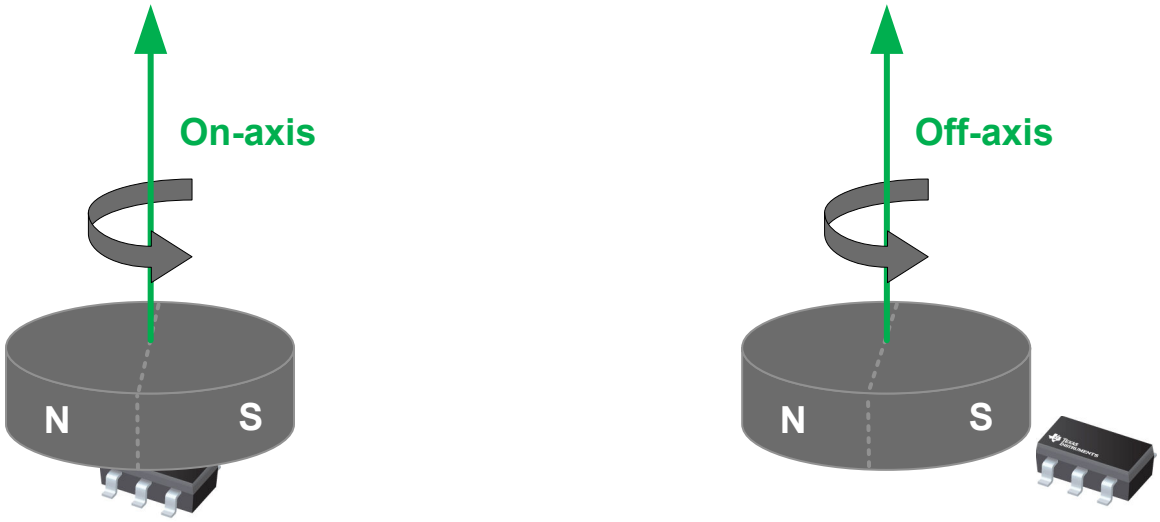


图 7-19. 同轴角度测量与离轴角度测量

7.2.1.3 应用曲线

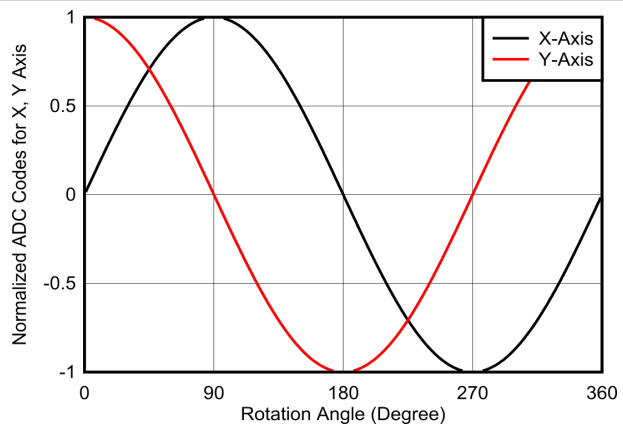


图 7-20. 进行同轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据

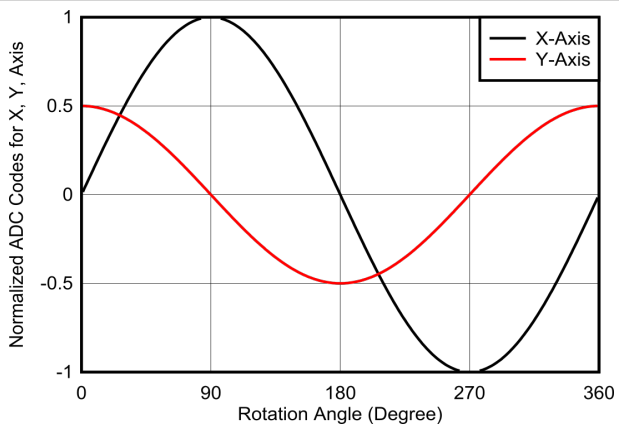


图 7-21. 进行离轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据

7.3 优秀设计实践

TMAG3001 会在转换结束时更新结果寄存器。结果寄存器的 I²C 读取必须与转换更新时间同步，以避免在结果寄存器更新时读取结果数据。对于时序预算有严格要求的应用，可以在转换完成时使用 $\overline{\text{INT}}$ 信号通知控制器。

7.4 电源相关建议

必须使用靠近器件的去耦电容器以最小电感提供局部能量。TI 建议使用容值至少为 0.01μF 的陶瓷电容器。

7.5 布局

7.5.1 布局指南

磁场在没有明显干扰的情况下穿过大多数非铁磁材料。将霍尔效应传感器嵌入塑料或铝制外壳中来感应外部磁体是惯常的做法。磁场也很容易穿过大多数印刷电路板 (PCB)，这使得将磁体放置在 PCB 另一侧成为可能。

7.5.2 布局示例

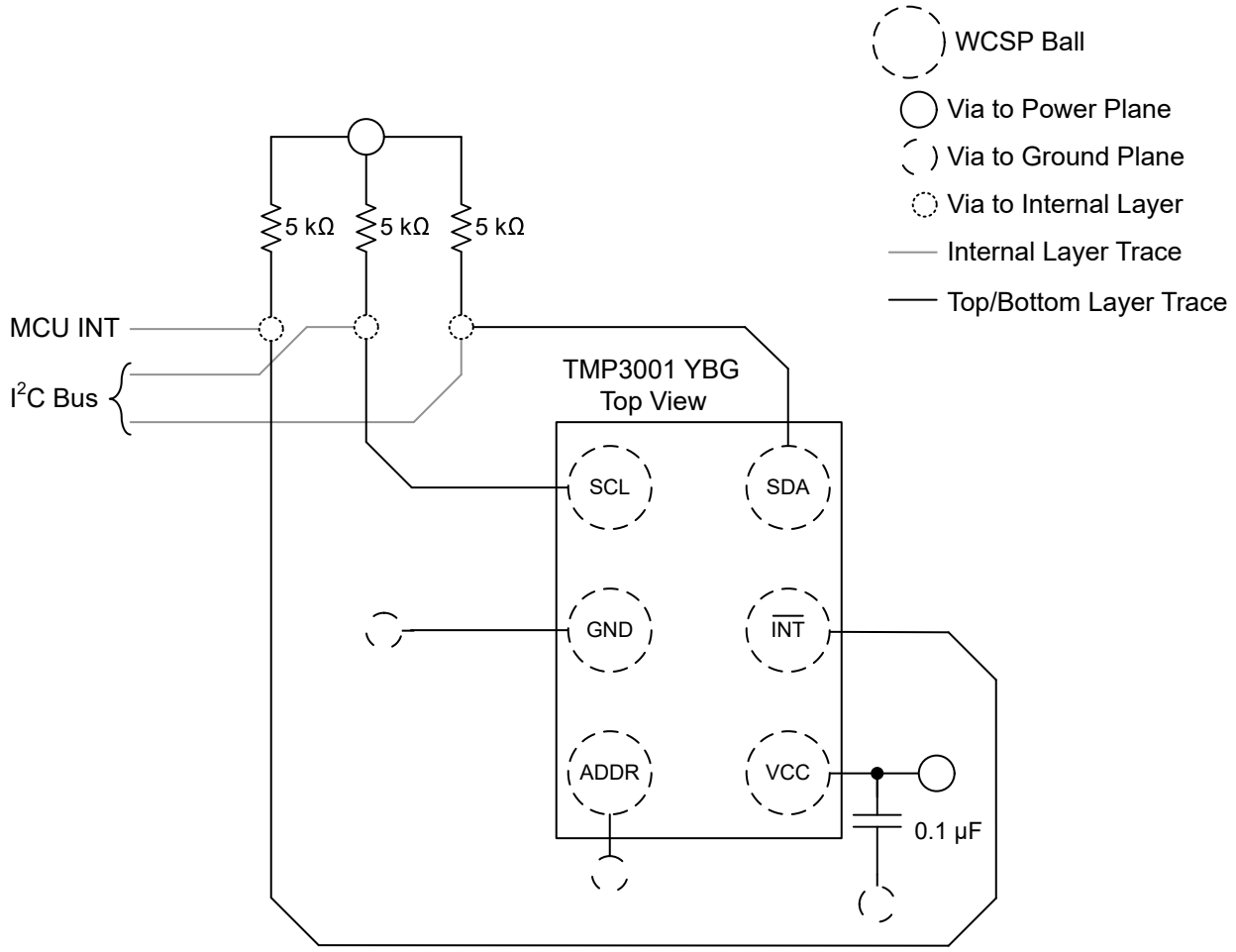


图 7-22. 布局示例 - TMAG3001

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 寄存器映射

结果和状态寄存器值在任何 I²C 事务开始时被锁定。如果转换在 I²C 事务期间完成，则在该事务的停止位之后立即更新最新结果。

表 8-1. TMAG3001 寄存器

地址	类型	复位	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0h	R/W	00h	Device_Config_1	配置器件工作模式	转到
1h	R/W	00h	Device_Config_2	配置器件工作模式	转到
2h	R/W	00h	Sensor_Config_1	传感器器件工作模式	转到
3h	R/W	00h	Sensor_Config_2	传感器器件工作模式	转到
4h	R/W	00h	THR_Config_1	阈值配置	转到
5h	R/W	00h	THR_Config_2	阈值配置	转到
6h	R/W	00h	THR_Config_3	阈值配置	转到
7h	R/W	00h	Sensor_Config_3	配置器件工作模式	转到
8h	R/W	00h	INT_Config_1	配置器件工作模式	转到
9h	R/W	00h	Sensor_Config_4	配置器件工作模式	转到
Ah	R/W	00h	Sensor_Config_5	配置器件工作模式	转到
Bh	R/W	00h	Sensor_Config_6	配置器件工作模式	转到
Ch	R/W	00h	I2C_Address	I2C 地址寄存器	转到
Dh	R	0xh	Device_ID	器件裸片的 ID	转到
Eh	R	49h	Manufacturer_ID_LSB	制造商 ID 低位字节	转到
Fh	R	54h	Manufacturer_ID_MSB	制造商 ID 高位字节	转到
10h	R	00h	T_Result_MSB	转换结果寄存器	转到
11h	R	00h	T_Result_LSB	转换结果寄存器	转到
12h	R	00h	X_Result_MSB	转换结果寄存器	转到
13h	R	00h	X_Result_LSB	转换结果寄存器	转到
14h	R	00h	Y_Result_MSB	转换结果寄存器	转到
15h	R	00h	Y_Result_LSB	转换结果寄存器	转到
16h	R	00h	Z_Result_MSB	转换结果寄存器	转到
17h	R	00h	Z_Result_LSB	转换结果寄存器	转到
18h	R	00h	Conv_Status	转换状态寄存器	转到
19h	R	00h	Angle_Result_MSB	转换结果寄存器	转到
1Ah	R	00h	Angle_Result_LSB	转换结果寄存器	转到
1Bh	R	00h	Magnitude_Result	转换结果寄存器	转到
1Ch	R	00h	Device_Status	Device_Diag 状态寄存器	转到

表 8-2. TMAG3001 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
W1C	W 1C	写入 1 以清零
复位或默认值		
- *n*		复位后的值或默认值

8.1 Device_Config_1 寄存器（地址 = 0h）[复位 = 00h]

Device_Config_1 支持配置 CRC、磁温度系数、均值计算和 I2C 读取模式。

返回寄存器映射。

图 8-1. Device_Config_1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
CRC_EN	MAG_Tempco[1:0]		Conv_AVG[2:0]			I2C_RD[1:0]	
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h			R/W-0h	

表 8-3. Device_Config_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	CRC_EN	R/W	0h	启用向 I2C 读取事务添加 I2C CRC 字节 0h = 禁用 CRC 1h = 启用 CRC
6-5	MAG_Tempco[1:0]	R/W	0h	检测磁体的温度系数 0h = 0%（电流传感器应用） 1h = 0.12%/°C (NdBFe) 2h = 0.03%/°C (SmCo) 3h = 0.2%/°C（陶瓷）
4-2	Conv_AVG[2:0]	R/W	0h	启用对传感器数据进行额外采样，以降低噪声影响（或提高分辨率） 0h = 1x - 10.5ksps（3 轴）或 22ksps（1 轴） 1h = 2x - 5.9ksps（3 轴）或 14.3ksps（1 轴） 2h = 4x - 3.1ksps（3 轴）或 8.3ksps（1 轴） 3h = 8x - 1.6ksps（3 轴）或 4.5ksps（1 轴） 4h = 16x - 0.8ksps（3 轴）或 2.4ksps（1 轴） 5h = 32x - 0.4ksps（3 轴）或 1.2ksps（1 轴）
1-0	I2C_RD[1:0]	R/W	0h	定义 I2C 读取模式 0h = 标准 I2C 3 字节读取命令 1h = 16 位传感器数据和转换状态的 1 字节 I2C 读取命令 2h = 8 位传感器 MSB 数据和转换状态的 1 字节 I2C 读取命令 3h = 保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.2 Device_Config_2 寄存器（地址 = 01h）[复位 = 00h]

Device_Config_2 可用于配置器件运行。

返回寄存器映射。

图 8-2. Device_Config_2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
THR_HYST[2:0]			LP_LN	I2C_Glitch_Filter	Trigger_Mode	Operating_Mode[1:0]	
R/W-0h			R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	

表 8-4. Device_Config_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	THR_HYST[2:0]	R/W	0h	选择开关模式下磁场阈值的迟滞（当 INT_SEL = 0h = 阈值的 2LSB，12 位分辨率 1h = 阈值的 4LSB，12 位分辨率 2h = 阈值的 8LSB，12 位分辨率 3h = 阈值的 16LSB，12 位分辨率 4h = 阈值的 32LSB，12 位分辨率 5h = 阈值的 64LSB，12 位分辨率 6h = 阈值的 128LSB，12 位分辨率 7h = 阈值的 256LSB，12 位分辨率
4	LP_LN	R/W	0h	在低有效电流模式和低噪声模式之间选择 0h = 低有效电流模式 1h = 低噪声模式
3	I2C_Glitch_Filter	R/W	0h	I2C 干扰滤波器 0h = 干扰滤波器开启 1h = 干扰滤波器关闭
2	Trigger_Mode	R/W	0h	根据已配置的寄存器选择启动单次转换的条件。正在运行的转换会在执行触发之前完成。冗余触发将被忽略。TRIGGER_MODE 仅在 OPERATING_MODE[1:0] 中明确提及的模式期间可用。 0h = 转换从 I2C 命令位开始，默认设置 1h = 转换通过 INT 引脚上的触发信号开始
1-0	Operating_Mode[1:0]	R/W	0h	如果器件从唤醒和睡眠模式转换到待机模式，则选择工作模式并根据工作模式更新值。 0h = 待机模式（在触发事件时开始新的转换） 1h = 睡眠模式 2h = 连续模式 3h = 唤醒和睡眠模式（占空比模式）

8.3 Sensor_Config_1 寄存器（地址 = 02h）[复位 = 00h]

Sensor_Config_1 可用于配置启用的磁通道以及在唤醒和睡眠模式下运行的睡眠时间。

返回寄存器映射。

图 8-3. Sensor_Config_1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
MAG_CH_EN[3:0]				SLEEPTIME[3:0]			
R/W-0h				R/W-0h			

表 8-5. Sesnsor_Config_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	MAG_CH_EN[3:0]	R/W	0h	启用磁轴通道的数据采集 0h = 所有磁通道关闭，默认设置 1h = X 通道启用 2h = Y 通道启用 3h = X、Y 通道启用 4h = Z 通道启用 5h = Z、X 通道启用 6h = Y、Z 通道启用 7h = X、Y、Z 通道启用 8h = XYX 通道启用 9h = YXY 通道启用 Ah = YZY 通道启用 Bh = XZX 通道启用 CH = X、Y、Z 与正极诊断偏移 Dh = X、Y、Z 与负极诊断偏移 Eh = 霍尔电阻检查 + ADC 检查 Fh = 霍尔偏移检查 + AFE 检查
3-0	SLEEPTIME[3:0]	R/W	0h	选择 Operating_Mode[1:0] = 3h 时转换之间处于低功耗模式的时间 0h = 1ms 1h = 5ms 2h = 10ms 3h = 15ms 4h = 20ms 5h = 30ms 6h = 50ms 7h = 100ms 8h = 500ms 9h = 1000ms Ah = 2000ms Bh = 5000ms Ch = 20000ms

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.4 Sensor_Config_2 寄存器（地址 = 03h）[复位 = 00h]

Sensor_Config_2 可用于配置一般传感器运行。

返回寄存器映射。

图 8-4. Sensor_Config_2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
T_Rate	INTB_POL	MAG_THR_DIR	MAG_Gain_CH	Angle_EN[1:0]		X_Y_Range	Z_Range
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h

表 8-6. Sensor_Config_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	T_Rate	R/W	0h	温度均值计算 0h = 如果 MAG_CH_EN > 0，则进行单次温度转换 1h = 根据 Conv_AVG[2:0] 进行滤波
6	INTB_POL	R/W	0h	选择中断事件的极性 0h = INTB 引脚默认设置为高电平，在中断事件期间低电平有效 1h = INTB 引脚默认设置为低电平，在中断事件期间高电平有效
5	MAG_THR_DIR	R/W	0h	选择阈值检查的方向 0h = 为高于阈值的外部磁场设置中断 1h = 为低于阈值的外部磁场设置中断
4	MAG_Gain_CH	R/W	0h	为在 Sensor_Config_4 寄存器中输入的幅度增益校正值选择轴。 0h = 选择第一个通道进行增益调整 1h = 选择第二个通道进行增益调整
3-2	Angle_EN[1:0]	R/W	0h	启用两个选定磁通道之间的角度计算、磁增益和偏移校正 0h = 无角度计算 1h = X 第一，Y 第二 2h = Y 第一，Z 第二 3h = X 第一，Z 第二
1	X_Y_Range	R/W	0h	从 2 个不同的选项中选择 X 轴和 Y 轴磁场范围： 0h = ±40mT (TMAG3001x1) 或 ±120mT (TMAG3001x2) 1h = ±80mT (TMAG3001x1) 或 ±240mT (TMAG3001x2)
0	Z_Range	R/W	0h	从 2 个不同的选项中选择 Z 轴磁场范围： 0h = ±40mT (TMAG3001x1) 或 ±120mT (TMAG3001x2) 1h = ±80mT (TMAG3001x1) 或 ±240mT (TMAG3001x2)

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.5 THR_Config_1 寄存器（地址 = 04h）[复位 = 00h]

THR_Config_1 可用于通过 Threshold1[7:0] 字段配置 X_THRLO、ANGLE_TH_REF 和 MAG_THRLO。

返回寄存器映射。

图 8-5. THR_Config_1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Threshold1[7:0]							
R/W-00h							

表 8-7. THR_Config_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Threshold1[7:0]	R/W	00h	8 位二进制补码。配置功能和 LSB 基于 THR_SEL[1:0] 位： 如果 THR_SEL[1:0] = 1h，则 Threshold1[7:0] = A_THR_REF（角度的基准阈值） 如果 THR_SEL[1:0] = 2h，则 Threshold1[7:0] = X_THR_LO（X 通道的阈值下限） 如果 THR_SEL[1:0] = 11b，则 Threshold1[7:0] = M_THR_LO（幅度的阈值下限）

8.6 THR_Config_2 寄存器（地址 = 05h）[复位 = 00h]

THR_Config_2 可用于通过 Threshold2[7:0] 字段配置 Y_THRLO、ANGLE_TH_BAND 和 MAG_THRHI。

返回寄存器映射。

图 8-6. THR_Config_2 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Threshold2[7:0]							
R/W-00h							

表 8-8. THR_Config_2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Threshold2[7:0]	R/W	00h	8 位二进制补码。配置功能和 LSB 基于 THR_SEL[1:0] 位： 如果 THR_SEL[1:0] = 1h，则 Threshold2[7:0] = A_THR_BAND（角度的阈值区间） 如果 THR_SEL[1:0] = 2h，则 Threshold2[7:0] = Y_THR_LO（Y 通道的阈值下限） 如果 THR_SEL[1:0] = 3h，则 Threshold2[7:0] = M_THR_HI（幅度的阈值上限）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.7 THR_Config_3 寄存器（地址 = 06h）[复位 = 00h]

表 8-9 中显示了 THR_Config_3。

返回寄存器映射。

Z_THRLO、ANGLE_OFFSET

图 8-7. THR_Config_3 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Threshold3[7:0]							
R/W-00h							

表 8-9. THR_CONFIG_3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Threshold3[7:0]	R/W	00h	8 位二进制补码。配置功能和 LSB 基于 THR_SEL[1:0] 位： 如果 THR_SEL[1:0] = 1h，则 Threshold3[7:0] = Angle_Offset[7:0] 如果 THR_SEL[1:0] = 2h，则 Threshold3[7:0] = Z_THR_LO（Z 通道的阈值下限） 如果 THR_SEL[1:0] = 3h，则 Threshold3[7:0] = Angle_Offset[7:0]

8.8 Sensor_Config_3 寄存器（地址 = 07h）[复位 = 00h]

Sensor_Config_3 用于配置变化时唤醒、阈值功能、角度迟滞和偏移。

返回寄存器映射。

图 8-8. Sensor_Config_3 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
WOC_SEL[1:0]		THR_SEL[1:0]		Angle_HYS[1:0]		Angle_Offset_EN	ANG_Offset_DIR
R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h

表 8-10. Sensor_Config_3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-6	WOC_SEL[1:0]	R/W	0h	启用当任何测得的磁读数与 THR_HYST 先前的测量值不同时产生中断响应。 0h = 禁用变化时唤醒 1h = 在相对于先前的角度测量值发生变化时唤醒。ANGLE_EN 位必须设置为 0h 以外的值。 2h = 在相对于先前的磁场测量值发生变化时唤醒。第一个 X/Y/Z 取决于 MAG_CH_EN 3h = 保留
5-4	THR_SEL[1:0]	R/W	0h	设置 THR_Config_1、THR_Config_2 和 THR_Config_3 寄存器的功能 0h = 未选择阈值 1h = 选择了角度阈值。Threshold1[7:0] 设置 A_THR_REF，Threshold2[7:0] 设置 A_THR_BAND 2h = 选择了 B 场阈值。Threshold1[7:0] 设置 X_THR_LO，Threshold2[7:0] 设置 Y_THR_LO，Threshold3[7:0] 设置 Z_THR_LO。Gain_X_THR_HI[7:0] 设置 X_THR_HI，Offset1_Y_THR_HI[7:0] 设置 Y_THR_HI，Offset2_Z_THR_HI[7:0] 设置 Z_THR_HI。 3h = 选择了幅度阈值（按钮按压）。Threshold1[7:0] 设置 Magnitude_THR_LO，Threshold2[7:0] 设置 Magnitude_THR_HI。如果 THR_SEL[1:0] 不等于 2h，则 Gain_X_THR_HI[7:0] 设置 Gain_Config，Offset1_Y_THR_HI[7:0] 设置 Offset1，Offset2_Z_THR_HI[7:0] 设置 Offset2，Threshold3[7:0] 设置 A_OFFSET
3-2	Angle_HYS[1:0]	R/W	0h	设置启用角度阈值 (THR_SEL = 01b) 时的迟滞 0h = 1 度 1h = 2 度 2h = 4 度 3h = 8 度
1	Angle_Offset_EN	R/W	0h	启用将偏移与最终角度值相加（如果 THR_SEL = 1） 0h = 寄存器 Angle_Offset[7:0] 中的值不与最终角度结果相加 1h = 寄存器 Angle_Offset[7:0] 中的值与最终角度结果相加
0	Angle_Offset_DIR	R/W	0h	表示将 Angle_Offset[7:0] 中的偏移值与最终角度结果相加或相减。 0h = Angle_Offset[7:0] 中的值与最终角度结果相加 1h = 从最终角度结果中减去 Angle_Offset[7:0] 中的值

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.9 INT_Config_1 寄存器（地址 = 08h）[复位 = 00h]

表 8-11 中显示了 INT_CONFIG_1。

返回寄存器映射。

图 8-9. INT_Config_1 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Result_INT	Threshold_INT	INT_State	INT_Mode[2:0]			INT_POL_EN	MASK_INTB
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h	R/W-0h

表 8-11. INT_Config_1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7	Result_INT	R/W	0h	启用在转换完成时产生中断响应 0h = 当配置的一组转换完成时中断不置为有效 1h = 当配置的一组转换完成时中断置为有效
6	Threshold_INT	R/W	0h	启用在预定义的阈值交叉上产生中断响应 0h = 阈值交叉时中断不置为有效 1h = 阈值交叉时中断置为有效
5	INT_State	R/W	0h	$\overline{\text{INT}}$ 被锁存或发出脉冲 0h = INT\ 中断被锁存，直到由对器件寻址的控制器清除 1h = INT\ 中断脉冲持续 5us
4-2	INT_Mode[2:0]	R/W	0h	中断模式选择 0h = 无中断 1h 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现中断 2h = 通过 $\overline{\text{INT}}$ 实现中断，忽略是否正在与目标进行 I2C 通信。转换数据丢失。 3h = 根据中断宽度通过 SCL 实现中断 4h = 通过 SCL 实现中断，忽略是否正在进行 I2C 通信，无论目标地址如何都是如此。转换数据丢失。 5h = 单极开关模式。该模式覆盖任何中断功能（$\overline{\text{INT}}$ 触发器也被禁用），仅实现开关功能。 6h = 全极开关模式。该模式覆盖任何中断功能（$\overline{\text{INT}}$ 触发器也被禁用），仅实现开关功能。 7h = 无效。默认无中断
1	INT_POL_EN	R/W	0h	0h = 禁用 Sensor_Config 2 的 INT_POL 位 1h = 启用 Sensor_Config 2 的 INT_POL 位
0	MASK_INT	R/W	0h	$\overline{\text{INT}}$ 连接至 GND 时屏蔽 $\overline{\text{INT}}$ 引脚 0h = 启用 $\overline{\text{INT}}$ 引脚 1h = $\overline{\text{INT}}$ 引脚无法用作输入或输出

8.10 Sensor_Config_4 寄存器（地址 = 09h）[复位 = 00h]

Sensor_Config_4 用于通过 Gain_X_THR_HI[7:0] 配置 GAIN_CONFIG 和 X_THR_HI。

返回寄存器映射。

图 8-10. Sensor_Config_4 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Gain_X_THR_HI[7:0]							
R/W-00h							

表 8-12. Sensor_Config_4 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Gain_X_THR_HI[7:0]	R/W	0h	8 位二进制补码。配置功能基于 THR_SEL[1:0] 位： 如果 THR_SEL[1:0] = 0h、1h 或 3h，则 Gain_X_THR_HI[7:0] = Gain_Config（调整所选磁通道的增益） 如果 THR_SEL[1:0] = 2h 且 ANGLE_EN = 0h，则 Gain_X_THR_HI[7:0] = X_THR_HI（X 通道的阈值上限）

8.11 Sensor_Config_5 寄存器（地址 = 0Ah）[复位 = 00h]

Sensor_Config_5 用于通过 Offset1_Y_THR_HI[7:0] 配置 Offset_Config_1、Y_THR_HI。

返回寄存器映射。

图 8-11. Sensor_Config_5 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Offset1_Y_THR_HI[7:0]							
R/W-00h							

表 8-13. Sensor_Config_5 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Offset1_Y_THR_HI[7:0]	R/W	00h	8 位二进制补码。配置功能和 LSB 基于 THR_SEL[1:0] 位： 如果 THR_SEL[1:0] = 0h、1h 或 3h，则 Offset1_Y_THR_HI[7:0] = Offset_Config_1[7:0]（调整测量的第一个磁通道的偏移） 如果 THR_SEL[1:0] = 2h 且 ANGLE_EN = 0h，则 Offset1_Y_THR_HI[7:0] = Y_THR_HI[7:0]（Y 通道的阈值上限）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.12 Sensor_Config_6 寄存器（地址 = 0Bh）[复位 = 00h]

Sensor_Config_6 用于通过 Offset2_Z_THR_HI[7:0] 配置 Offset_Config_2、Z_THR_HI。

返回寄存器映射。

图 8-12. Sensor_Config_6 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Offset2_Z_THR_HI[7:0]							
R/W-00h							

表 8-14. Sensor_Config_6 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Offset2_Z_THR_HI[7:0]	R/W	0h	阈值配置功能基于 THR_SEL[1:0] 和 ANGLE_EN[1:0] 设置 如果 THR_SEL[1:0] = 0h 或 01h 或 3h，则 Offset2_Z_THR_HI[7:0] = Offset_Config_2[7:0]（调整第二磁通道的偏移） 如果 THR_SEL[1:0] = 2h 且 ANGLE_EN[1:0] = 0h，则 Offset2_Z_THR_HI[7:0] = X_THR_HI[7:0]（Z 通道的阈值上限）

8.13 I2C_Address 寄存器（地址 = 0Ch）[复位 = 00h]

该寄存器可用于配置 TMAG3001 的 I2C 地址。

返回寄存器映射。

图 8-13. I2C_Address 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
I2C_Address[6:0]							I2C_Address_Update_EN
R/W-00h							R/W-0h

表 8-15. I2C_Address 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-1	I2C_Address[6:0]	R/W	0h	基于 ADDR 引脚连接的 7 位器件地址。如果需要，用户可以更改此地址以分配新地址。 34h = ADDR 连接到 GND 35h = ADDR 连接到 VCC 36h = ADDR 连接到 SCL 37h = ADDR 连接到 SDA
0	I2C_Address_Update_EN	R/W	0h	0h = 为目标地址使用 ADDR 引脚配置 1h = 为目标地址使用 I2C_Address[6:0]

8.14 Device_ID 寄存器（地址 = 0Dh）[复位 = 0xh]

该寄存器包含器件版本。

返回寄存器映射。

图 8-14. I2C_Address 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留				Version[1:0]		保留	
R-0h				R-xh		R-0h	

表 8-16. Device_ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-4	保留	R	0h	保留
3-2	Version[1:0]	R	xh	器件版本 0h = TMAG3001 ±40 mT 2h = TMAG3001 ±120mT
1-0	保留	R	0h	保留

8.15 Manufacturer_ID_LSB 寄存器（地址 = 0Eh）[复位 = 49h]

该寄存器包含 Manufacturer_ID[15:0] 的 LSB。

返回寄存器映射。

图 8-15. Manufacturer_ID_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Manufacturer_ID[7:0]							
R-49h							

表 8-17. Manufacturer_ID_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Manufacturer_ID[7:0]	R	49h	Manufacturer_ID[15:0] 的 LSB

8.16 Manufacturer_ID_MSB 寄存器（地址 = 0Fh）[复位 = 54h]

该寄存器包含 Manufacturer_ID[15:0] 的 MSB。

返回寄存器映射。

图 8-16. Manufacturer_ID_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Manufacturer_ID[15:8]							
R-54h							

表 8-18. Manufacturer_ID_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Manufacturer_ID[15:8]	R	54h	Manufacturer_ID[15:0] 的 MSB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.17 Temp_Result_MSB 寄存器（地址 = 10h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次温度转换的 MSB 输出。数据以二进制补码格式表示。温度传感器数据展示了如何将 Temp_Result[15:0] 转换为温度。

返回寄存器映射。

图 8-17. Temp_Result_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Temp_Result[15:8]							
R-00h							

表 8-19. Temp_Result_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Temp_Result[15:8]	R	00h	温度数据转换结果的 8 位 MSB。

8.18 Temp_Result_LSB 寄存器（地址 = 11h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次温度转换的 LSB 输出。数据以二进制补码格式表示。温度传感器数据展示了如何将 Temp_Result[15:0] 转换为温度。

返回寄存器映射。

图 8-18. Temp_Result_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Temp_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-20. Temp_Result_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Temp_Result[7:0]	R	00h	温度数据转换结果的 8 位 LSB。

8.19 X_Result_MSB 寄存器（地址 = 12h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 X 通道转换的 MSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-19. X_Result_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
X_Result[15:8]							
R-00h							

表 8-21. X_Result_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	X_Result[15:8]	R	00h	X 通道数据转换结果的 8 位 MSB

8.20 X_Result_LSB 寄存器（地址 = 13h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 X 通道转换的 LSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-20. X_Result_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
X_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-22. X_Result_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	X_Result[7:0]	R	00h	X 通道数据转换结果的 8 位 LSB

8.21 Y_Result_MSB 寄存器（地址 = 14h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 Y 通道转换的 MSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-21. Y_Result_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Y_Result[15:8]							
R-00h							

表 8-23. Y_Result_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Y_Result[15:8]	R	00h	Y 通道数据转换结果的 8 位 MSB

8.22 Y_Result_LSB 寄存器（地址 = 15h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 Y 通道转换的 LSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-22. Y_Result_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Y_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-24. Y_Result_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Y_Result[7:0]	R	00h	Y 通道数据转换结果的 8 位 LSB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.23 Z_Result_MSB 寄存器（地址 = 16h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 Z 通道转换的 MSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-23. Z_Result_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Z_Result[15:8]							
R-00h							

表 8-25. Z_Result_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Z_Result[15:8]	R	00h	Z 通道数据转换结果的 8 位 MSB

8.24 Z_Result_LSB 寄存器（地址 = 17h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次 Z 通道转换的 LSB 输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-24. Z_Result_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Z_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-26. Z_RESULT_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Z_Result[7:0]	R	00h	Z 通道数据转换结果的 8 位 LSB

8.25 Conv_Status 寄存器（地址 = 18h）[复位 = 00h]

该寄存器包含转换状态信息。

返回寄存器映射。

图 8-25. Conv_Status 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Set_Count[2:0]			POR	保留		Diag_Status	Result_Status
R-0h			R/W1C-0h	R-0h		R-0h	R-0h

表 8-27. Conv_Status 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	Set_Count[2:0]	R	0h	转换数据集的滚动计数
4	POR	R/W1C	0h	器件已上电或已经过上电复位。当主机写回“1”时，该位清零。 0h = 未发生 POR 1h = 发生了 POR
3-2	保留	R	0h	保留
1	Diag_Status	R	0h	检测任何内部诊断失败，包括内部存储器 CRC 错误、$\overline{\text{INT}}$ 引脚错误 0h = 无诊断失败 1h = 检测到诊断失败
0	Result_Status	R	0h	转换数据结果已准备好被读取。 0h = 转换数据未完成 1h = 转换数据已完成

8.26 Angle_Result_MSB 寄存器（地址 = 19h）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次角度转换的 MSB 输出。Angle_Result[12:0] 数据以二进制补码格式表示，LSB 大小为 0.0625°。

返回寄存器映射。

图 8-26. Angle_Result_MSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留			Angle_Result[12:8]				
R-0h			R-00h				

表 8-28. Angle_Result_MSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	保留	R	0h	保留
4-0	Angle_Result[12:8]	R	00h	角度数据转换结果的 5 位 MSB

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.27 Angle_Result_LSB 寄存器（地址 = 1Ah）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次角度转换的 LSB 输出。Angle_Result[12:0] 数据以二进制补码格式表示，LSB 大小为 0.0625°。

返回寄存器映射。

图 8-27. Angle_Result_LSB 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Angle_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-29. Angle_Result_LSB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Angle_Result[7:0]	R	00h	角度数据转换结果的 8 位 LSB

8.28 Magnitude_Result 寄存器（地址 = 1Bh）[复位 = 00h]

该寄存器是一个 8 位只读寄存器，用于存储最近一次幅度转换的输出。数据以二进制补码格式表示。

返回寄存器映射。

图 8-28. Magnitude_Result 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Magnitude_Result[7:0]							
R-00h							

表 8-30. Magnitude_Result 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Magnitude_Result[7:0]	R	00h	产生的矢量幅度（角度测量期间）结果。在 360 度测量期间，该值保持恒定

8.29 Device_Status 寄存器（地址 = 1Ch）[复位 = 00h]

该寄存器包含器件状态信息。

返回寄存器映射。

图 8-29. Device_Status 寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
保留			$\overline{\text{INT}}$_RB	保留	INT_ER	OTP_CRC_ER	THR_Cross
R-0h			R-0h	R-0h	R/W1CP-0h	R/W1CP-0h	R-0h

表 8-31. Device_Status 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
7-5	保留	R	0h	保留
4	$\overline{\text{INT}}$_RB	R	0h	指示器件从 $\overline{\text{INT}}$ 引脚读回的电平。 0h = $\overline{\text{INT}}$ 引脚被驱动为低电平 1h = $\overline{\text{INT}}$ 引脚处于高电平状态
3	保留	R	0h	保留
2	INT_ER	R/W1CP	0h	指示是否检测到 $\overline{\text{INT}}$ 引脚错误。当主机写入 1h 时，该位清零。 0h = 未检测到 $\overline{\text{INT}}$ 错误 1h = 检测到 $\overline{\text{INT}}$ 错误
1	OTP_CRC_ER	R/W1CP	0h	指示是否检测到 OTP CRC 错误。当主机写入 1h 时，该位清零。 0h = 未检测到 OTP CRC 错误 1h = 检测到 OTP CRC 错误
0	THR_Cross	R	0h	当检测到阈值交叉时，该位被设置。 0h = 未检测到阈值交叉 1h = 检测到阈值交叉

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9 器件和文档支持

9.1 文档支持

9.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，*使用多轴线性霍尔效应传感器进行角度测量* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度* 应用简报
- 德州仪器 (TI)，*使用霍尔效应传感器针对篡改和移动终点位置检测实现限值检测* 应用简报

9.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com 上的器件产品文件夹。点击*通知* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.3 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

9.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

9.5 静电放电警告

静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.6 术语表

TI 术语表	本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (November 2023) to Revision A (March 2024)	Page
• 将 TMAG3001A2 器件状态从“预告信息”更改为“量产数据”	1
• 将数据表状态从“预告信息”更改为“混合量产”	1

11 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead finish/ Ball material (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
PTMAG3001A1YBGR	ACTIVE	DSBGA	YBG	6	3000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples
PTMAG3001A2YBGR	ACTIVE	DSBGA	YBG	6	3000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples
TMAG3001A2YBGR	ACTIVE	DSBGA	YBG	6	3000	RoHS & Green	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	OE	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:
ACTIVE: Product device recommended for new designs.
LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.
NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".
RoHS Exempt: TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.
Green: TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

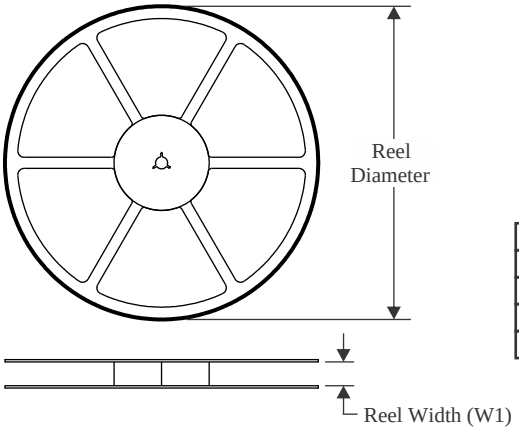
(6) Lead finish/Ball material - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

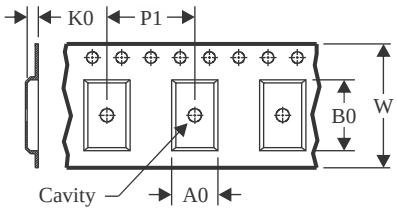
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

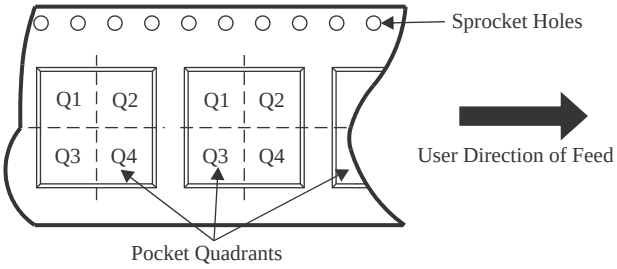


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

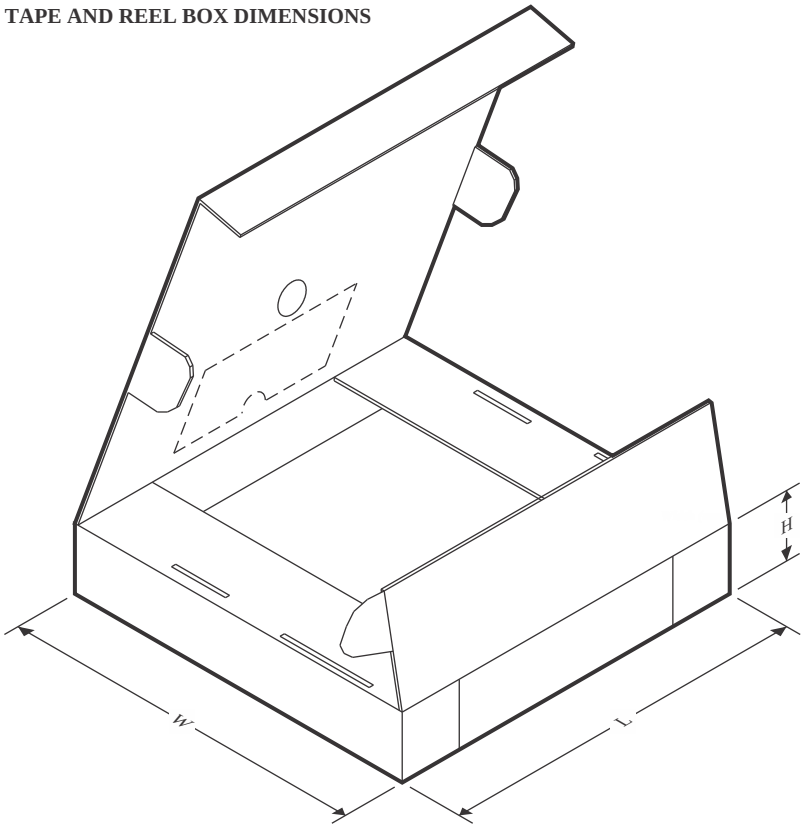
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

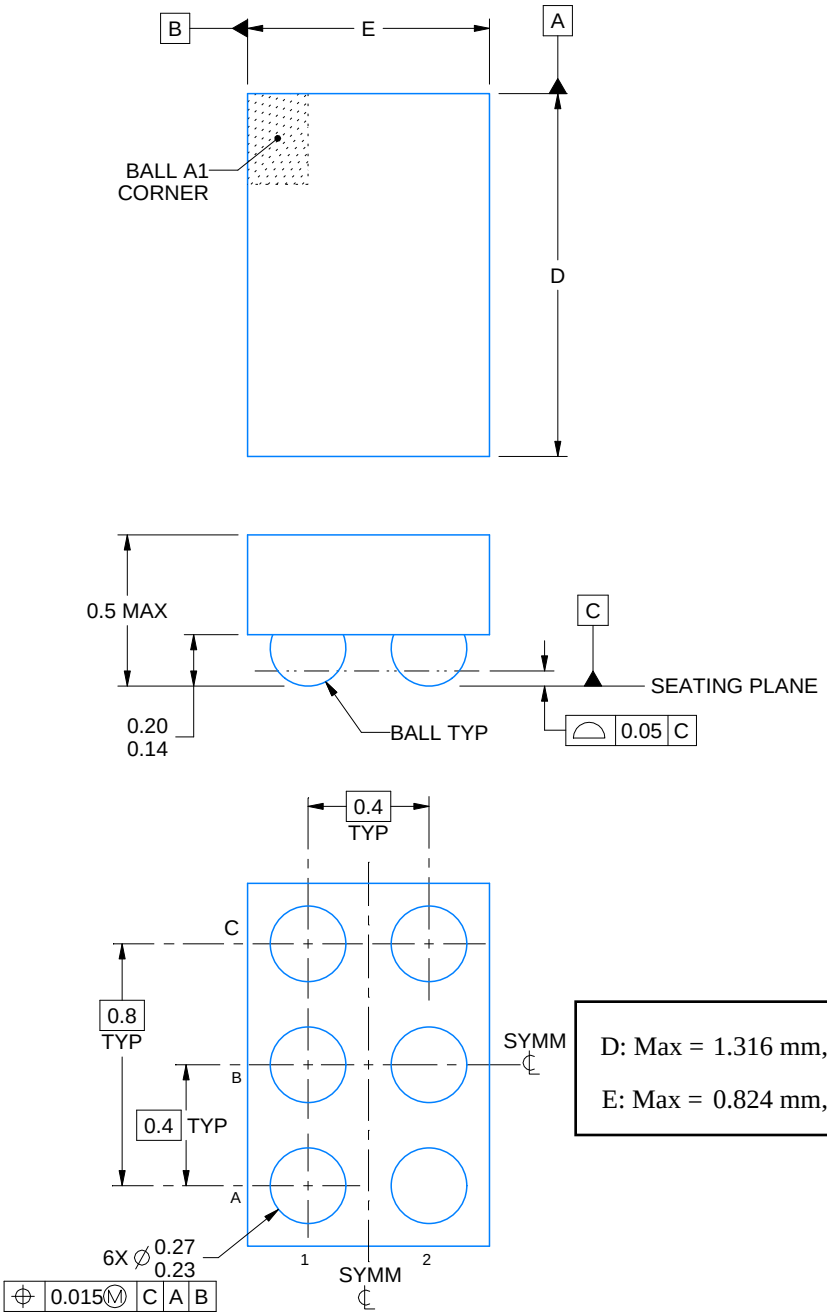
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TMAG3001A2YBGR	DSBGA	YBG	6	3000	180.0	8.4	0.9	1.41	0.56	2.0	8.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TMAG3001A2YBGR	DSBGA	YBG	6	3000	182.0	182.0	20.0



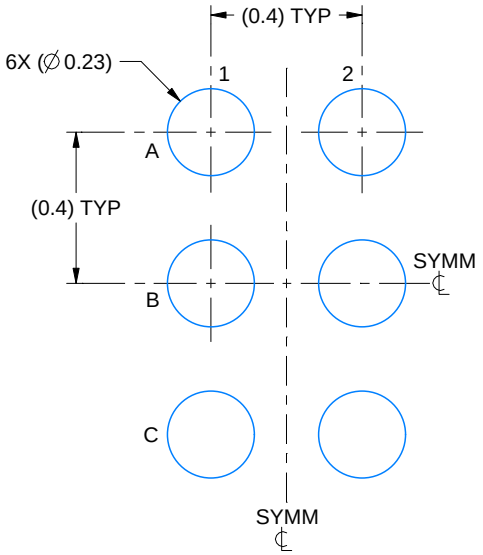
D: Max = 1.316 mm, Min =1.256 mm

E: Max = 0.824 mm, Min =0.764 mm

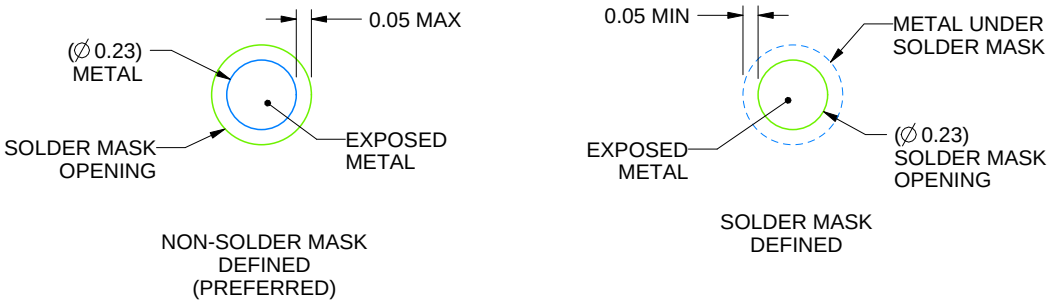
4224328/A 05/2018

NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 50X

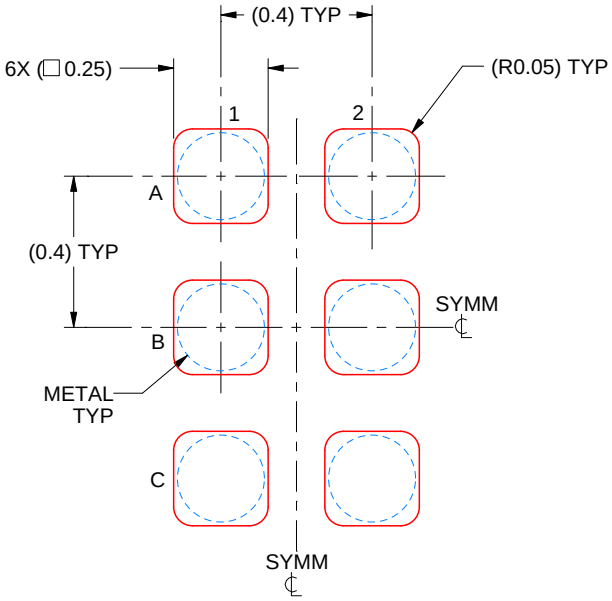


SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4224328/A 05/2018

NOTES: (continued)

3. Final dimensions may vary due to manufacturing tolerance considerations and also routing constraints.
   See Texas Instruments Literature No. SNVA009 (www.ti.com/lit/snva009).



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL
SCALE: 50X

4224328/A 05/2018

NOTES: (continued)

4. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release.

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款或 ti.com 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司