

英飞凌 TLE5012B

基于 GMR 的角度传感器



ISO26262
ready

1 概述 特性



- 基于巨磁电阻 (GMR) 原理
- 用于角度测量的集成磁场传感器
- 360° 角度测量, 带旋转计数器和角度速度测量功能
- 两个独立的高精度单比特 SD-ADC
- 输出端以 15 位表示绝对角度值 (分辨率为 0.01°)
- 在接口上以 16 位表示正弦/余弦值
- 最大角度误差在激活自动校准功能的情况下, 整个使用寿命和温度范围内的角度误差为 1.0°
- 高达 8 Mbit/s 的双向 SSC 接口
- 通过诊断功能和状态信息支持安全完整性等级 (SIL)
- 接口: SSC、PWM、增量接口 (IIF)、霍尔开关模式 (HSM)、短 PWM 代码 (SPC, 基于 SAE J2716 中定义的 SENT 协议)
- 输出引脚可配置 (编程或预先配置) 为推挽式或开漏式
- 通过 SSC 或 SPC 接口, 可在一条线路上以总线模式运行多个传感器
- 0.25 μm CMOS 技术
- 符合汽车标准: -40°C 至 150°C (结温)
- ESD > 4 kV (HBM)
- 符合 RoHS 标准 (无铅封装)
- 无卤素

PRO-SIL™ 特性

- 测试矢量可切换至 ADC 输入 (通过 SSC 接口激活)
- 滤波器输入流的反转或组合 (通过 SSC 接口激活)
- 在 SSC 通信中通过 8 位循环冗余校验 (CRC) 进行数据传输校验, 在 SPC 接口中通过 4 位 CRC 半字节进行数据传输校验
- 启动时运行 ISM、CORDIC、CCU 和 ADC 的内置自检 (BIST) 例程
- 可提供两个独立的活动接口
- 过压和欠压保护检测

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

Please read the sections "Important notice" and "Warnings" at the end of this document

概述

潜在应用

基于 TLE5012B GMR 的角度传感器专为汽车应用中的角度位置传感而设计，这些应用包括

- 电动换向电机（如用于电动助力转向（EPS））
- 旋转开关
- 转向角度测量
- 一般角度传感

产品验证

汽车应用认证。产品验证符合 AEC-Q100 标准。

描述

TLE5012B 是一款 360° 角度传感器，可检测磁场方向。这是通过使用单片集成式巨磁电阻（iGMR）元件测量正弦和余弦角度分量来实现的。这些原始信号（正弦和余弦）经过内部数字处理，计算出磁场（磁铁）的角度方向。

TLE5012B 是预校准传感器。校准参数存储在激光保险丝中。启动时，保险丝的值被写入触发器，这些值可通过特定应用参数进行更改。通过启用可选的内部自动校准算法，可在较宽的温度范围和较长的使用寿命内进一步提高角度测量的精度。

数据通信通过与 SPI 兼容的双向同步串行通信（SSC）完成。传感器配置存储在寄存器中，可通过 SSC 接口访问。

此外，TLE5012B 还提供其他四个接口：脉宽调制（PWM）协议、短 PWM 代码（SPC）协议、霍尔开关模式（HSM）和增量接口（IIF）。这些接口可与 SSC 并行使用，也可单独使用。可提供具有不同接口设置的预配置传感器衍生产品（参见表 1 和第 5 章）。

提供在线诊断功能，确保运行可靠。

表 1 派生订购代码

Product type	Marking	Ordering code	Package
TLE5012B E1000	012B1000	SP001166960	PG-DSO-8
TLE5012B E3005	012B3005	SP001166964	PG-DSO-8
TLE5012B E5000	012B5000	SP001166968	PG-DSO-8
TLE5012B E5020	012B5020	SP001166972	PG-DSO-8
TLE5012B E9000	012B9000	SP001166998	PG-DSO-8

注：有关衍生产品的描述，参见第 5 章。

目录

1	概述.....	1
2	功能描述.....	5
2.1	框图.....	5
2.2	功能块说明.....	5
2.2.1	内部电源.....	5
2.2.2	振荡器和 PLL.....	5
2.2.3	SD-ADC.....	6
2.2.4	数字信号处理单元.....	6
2.2.5	接口.....	6
2.2.6	安全特性.....	6
2.3	传感原理.....	7
2.4	引脚配置.....	9
2.5	引脚说明.....	9
3	应用电路.....	10
3.1	IIF 接口和 SSC (推挽式配置的 IIF)	10
3.2	HSM 接口和 SSC (推挽式配置的 HSM)	11
3.3	HSM 接口和 SSC (开漏式配置的 HSM)	11
3.4	PWM 接口 (推挽式配置)	12
3.5	PWM 接口 (开漏式配置)	12
3.6	SPC 接口.....	13
3.7	SSC 接口 (推挽式配置)	13
3.8	SSC 接口 (开漏式配置)	14
3.9	总线模式下的传感器电源.....	14
4	规格.....	16
4.1	绝对最大额定值.....	16
4.2	工作范围.....	16
4.3	特性.....	18
4.3.1	输入/输出特性.....	18
4.3.2	ESD 保护.....	20
4.3.3	GMR 参数.....	20
4.3.4	角度性能.....	21
4.3.5	自动校准.....	22
4.3.6	信号处理.....	23
4.3.7	时钟电源 (CLK 时序定义)	25
4.4	接口.....	26
4.4.1	同步串行通信 (SSC)	26
4.4.1.1	SSC 时序定义.....	26
4.4.1.2	SSC 数据传输.....	28
4.4.2	脉宽调制 (PWM) 接口.....	32
4.4.3	短 PWM 代码 (SPC).....	34
4.4.3.1	单位时间设置.....	36
4.4.3.2	主机触发脉冲要求.....	37
4.4.3.3	校验和半字节细则.....	37
4.4.4	霍尔开关模式(HSM).....	38
4.4.5	增量接口 (IIF)	40

4.5	测试机制.....	42
4.5.1	ADC 测试矢量.....	42
4.6	电源监测.....	43
4.6.1	内部电源电压比较器.....	43
4.6.2	V_{DD} 过压检测.....	44
4.6.3	GND - Off 比较器.....	44
4.6.4	V_{DD} - Off 比较器.....	44
5	预配置衍生产品.....	45
5.1	IIF 型: E1000.....	45
5.2	HSM 型: E3005.....	45
5.3	PWM 型: E5000.....	45
5.4	PWM 型: E5020.....	45
5.5	SPC 型: E9000.....	46
6	封装信息.....	47
6.1	封装参数.....	47
6.2	封装外形.....	47
6.3	封装.....	48
6.4	包装.....	49
6.5	标记.....	49
7	修订记录.....	50

2 功能描述

2.1 框图

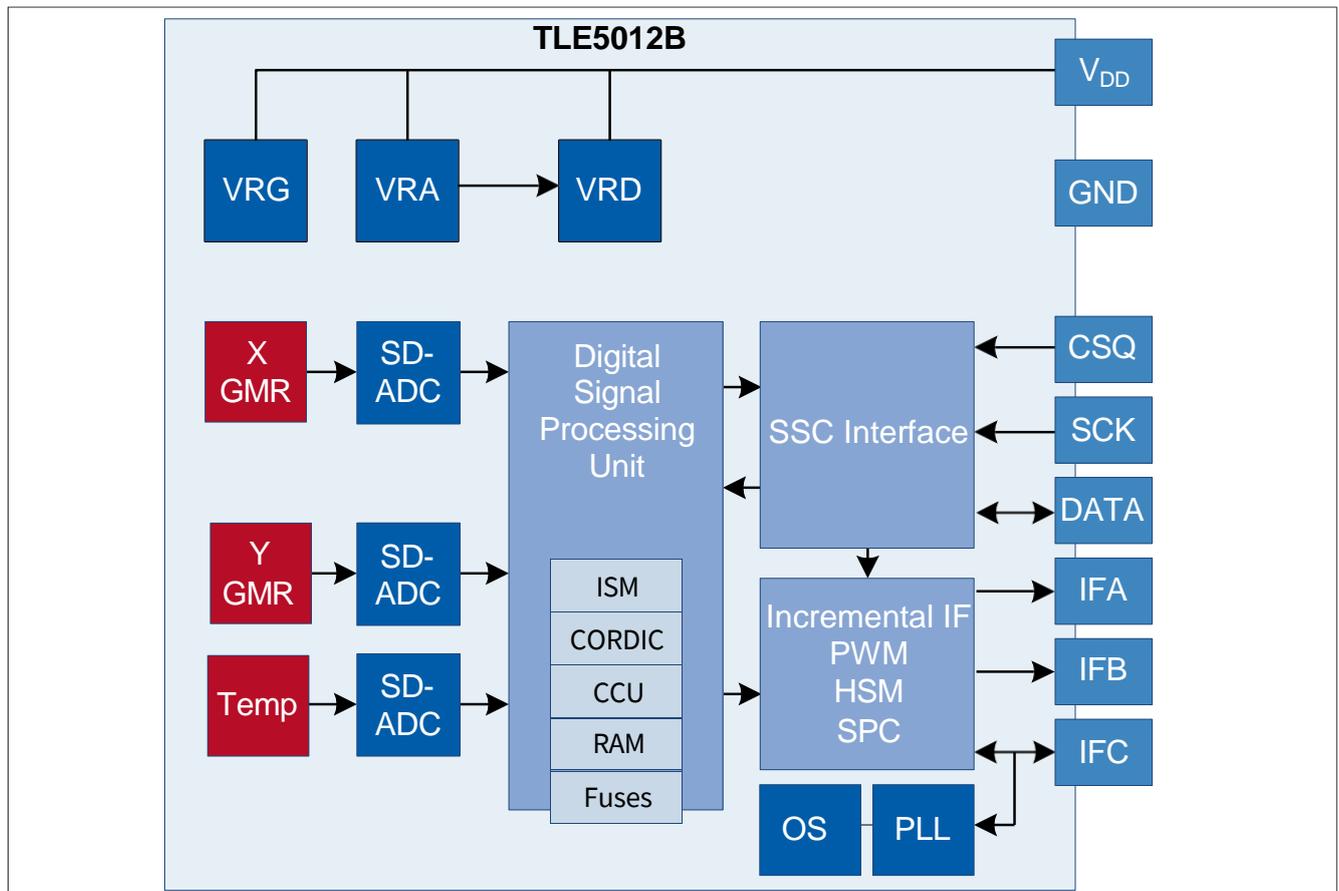


图 1 TLE5012B 框图

2.2 功能块说明

2.2.1 内部电源

TLE5012B 的内部级由多个稳压器电源：

- GMR 稳压器，VRG
- 模拟稳压器，VRA
- 数字稳压器，VRD（源自 VRA）

这些稳压器直接与电源电压 V_{DD} 相连。

2.2.2 振荡器和 PLL

TLE5012B 的数字时钟由锁相环（PLL）提供，默认情况下由内部振荡器提供。为了使 TLE5012B 与系统中的其他 IC 同步，可以通过 SSC 接口对 TLE5012B 进行配置，使其使用 IFC 引脚上提供的外部时钟信号作为 PLL 的时钟源，而不是内部时钟。外部时钟模式仅在 PWM 或 SPC 接口配置中可用。

功能描述

2.2.3 SD-ADC

Σ - Δ 模拟数字转换器 (SD-ADC) 将模拟 GMR 电压和温度电压转换为数字域。

2.2.4 数字信号处理单元

数字信号处理单元 (DSPU) 包含以下功能：

- 智能状态机 (ISM)，对来自 GMR 桥的原始信号的偏移、偏移温度漂移、振幅同步性和正交性进行误差补偿，并执行自动校准、预测和角速度计算等附加特性
- 坐标旋转数字计算机 (CORDIC)，包含用于计算角度的三角函数
- 捕捉比较单元 (CCU)，用于生成 PWM 和 SPC 信号
- 随机存取存储器 (RAM)，包含配置寄存器
- 激光保险丝，其中包含误差补偿校准参数和集成电路默认配置，启动时将加载到 RAM 中

2.2.5 接口

通过三线制 SSC 接口可与 TLE5012B 进行双向通信。除 SSC 接口外，还可选择一个辅助接口，可通过 IFA、IFB 和 IFC 引脚使用：

- PWM
- 增量接口
- 霍尔开关模式
- 短 PWM 代码

通过使用预先配置的衍生产品 (参见第 5 章)，TLE5012B 也可以仅使用辅助接口进行操作，而无需 SSC 通信。

2.2.6 安全特性

TLE5012B 具有多种安全特性，支持安全完整性等级 (SIL)，是 PRO-SIL™ 产品。

安全特性是：

- 测试矢量可切换至 ADC 输入 (通过 SSC 接口激活)
- 滤波器输入流的反转或组合 (通过 SSC 接口激活)
- 在 SSC 通信中通过 8 位循环冗余校验 (CRC) 进行数据传输校验，在 SPC 接口中通过 4 位 CRC 半字节进行数据传输校验
- 启动时运行 ISM、CORDIC、CCU 和 ADC 的内置自检 (BIST) 例程
- 可提供两个独立的活动接口
- 过压和欠压保护检测

免责声明

PRO-SIL™ 是英飞凌科技股份有限公司的注册商标。

PRO-SIL™ 商标指定英飞凌产品包含 SIL 支持特性。

SIL 支持特性旨在帮助整个系统设计达到所需的 SIL (符合 IEC61508 标准) 或 A-SIL (符合 ISO26262 标准) 级别，以实现高效的安全系统。

功能描述

此类系统的 SIL 和 A-SIL 认证必须由系统负责人在经认可的认证机构进行系统级认证。

SIL 代表安全完整性等级（符合 IEC61508 标准）

A-SIL 代表汽车安全完整性等级（符合 ISO26262 标准）。

2.3 传感原理

巨磁电阻（GMR）传感器采用垂直整合技术。这意味着 GMR 敏感区域集成在 TLE5012B 器件逻辑部分的上方。这些 GMR 元件会根据磁场的方向改变电阻。

四个独立的 GMR 元件与一个惠斯通感测器电桥相连。这些 GMR 元件能感知外加磁场的两个分量之一：

- X 分量、 V_x （余弦）或
- Y 分量， V_y （正弦）

通过这种全桥结构，可以获得最大的 GMR 信号，而且温度效应会相互抵消。

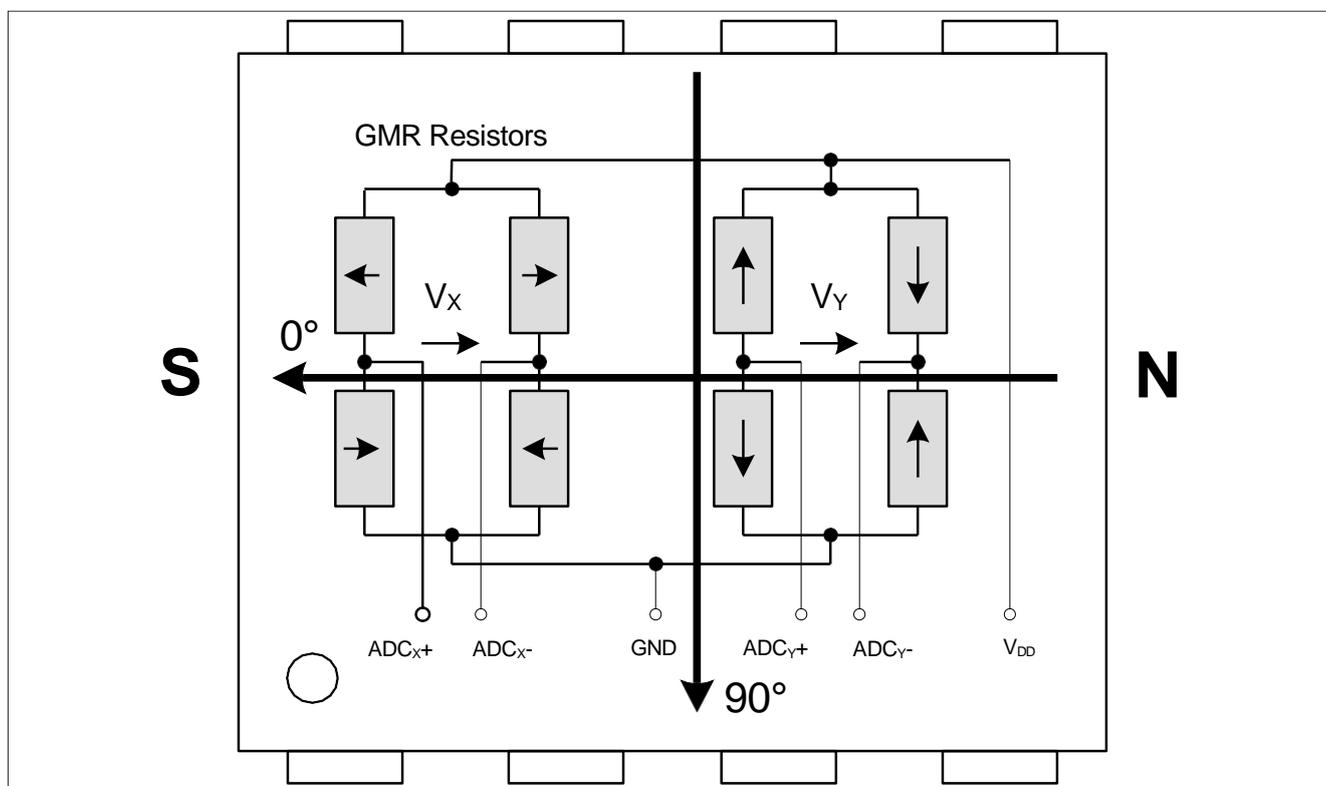


图 2 GMR 传感器的敏感桥（未按比例绘制）

注意： 由于传感器 IC 在封装中的旋转位置不准确，传感器的 0° 位置可能与图 2 中所示的封装边缘方向最多偏差 3° 。

在图 2 中，电阻器中的箭头代表固定在参考层中的磁场方向。如果外部磁场与参考层方向平行，则电阻最小。如果它们反平行，则电阻最大。

每个电桥的输出信号只有在两个最大值之间的 180° 范围内才是明确的。因此，两座电桥的方向正交，可以测量 360° 。

利用三角函数 ARCTAN2，可以从传感器桥的原始 X 和 Y 信号中计算出真正的 360° 角值。

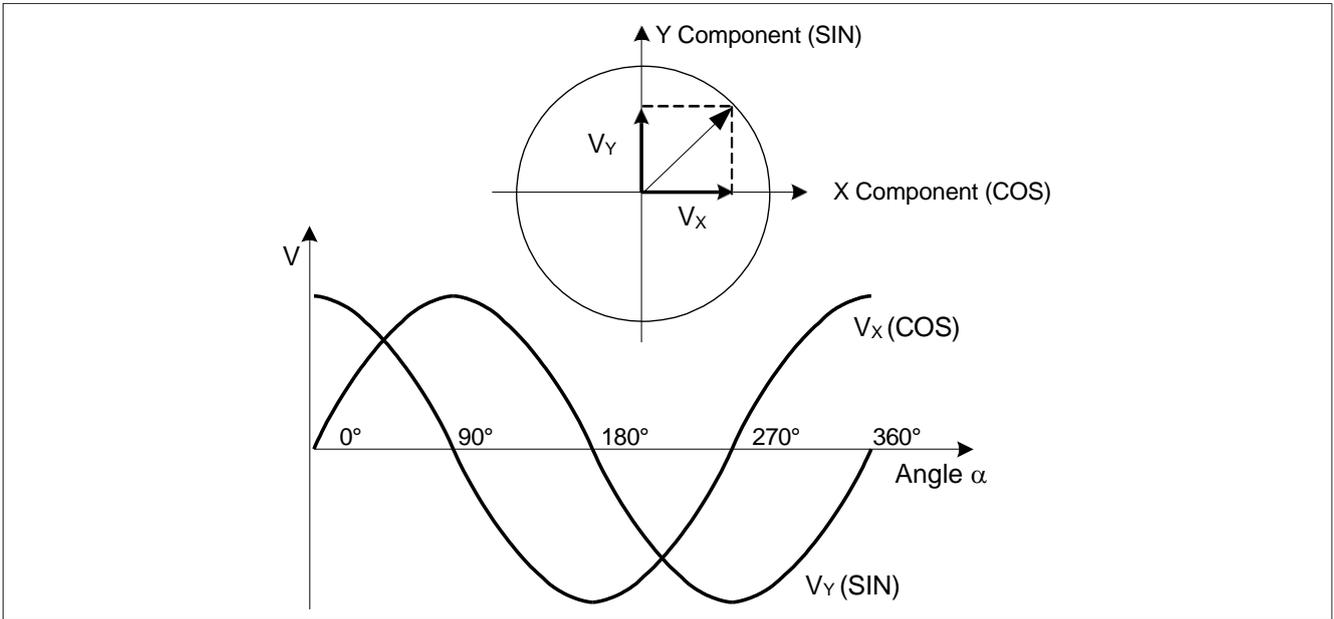


图 3 GMR 传感器桥的理想输出

2.4 引脚配置

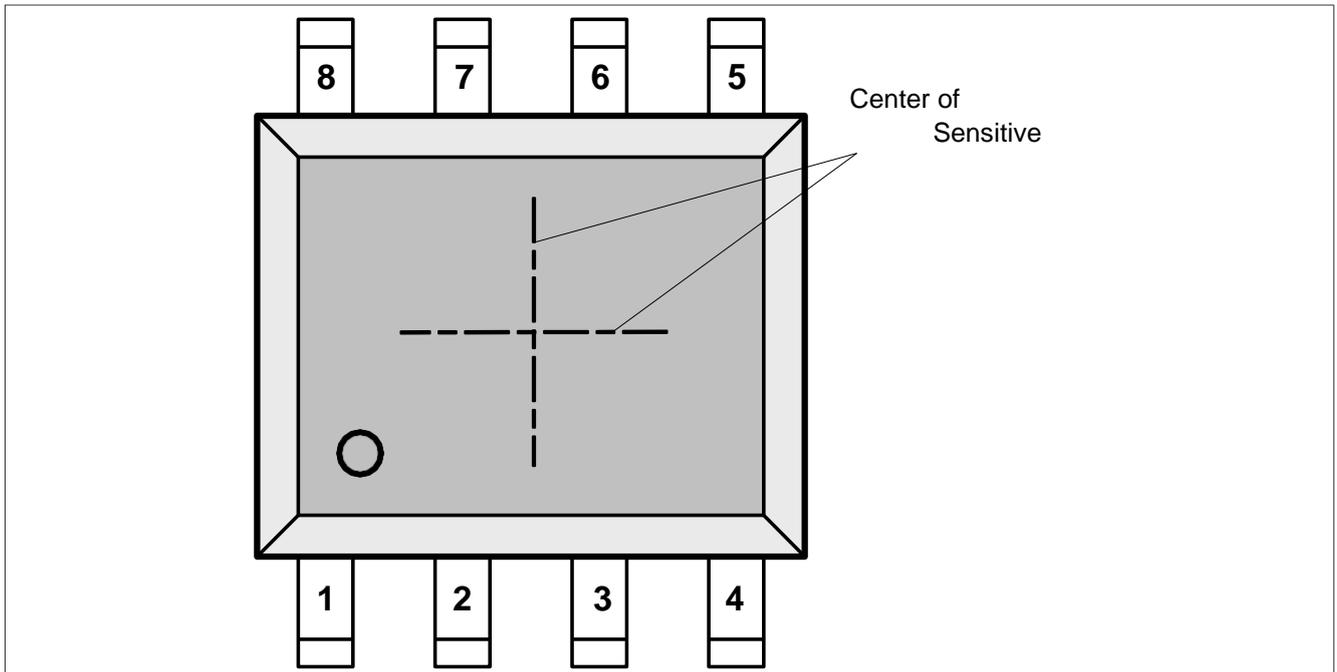


图 4 引脚配置 (顶视图)

2.5 引脚说明

表2 引脚说明

Pin No.	Symbol	In/Out	Function
1	IFC (CLK / IIF_IDX / HS3)	I/O	Interface C: External Clock ¹⁾ / IIF Index / Hall Switch Signal 3
2	SCK	I	SSC Clock
3	CSQ	I	SSC Chip Select
4	DATA	I/O	SSC Data
5	IFA (IIF_A / HS1 / PWM / SPC)	I/O	Interface A: IIF Phase A / Hall Switch Signal 1 / PWM / SPC output (input for SPC trigger only)
6	V _{DD}	-	Supply Voltage
7	GND	-	Ground
8	IFB (IIF_B / HS2)	O	Interface B: IIF Phase B / Hall Switch Signal 2

1) 外部时钟功能在 IIF 或 HSM 接口模式下不可用。

3 应用电路

本章中的应用电路展示了 TLE5012B 的各种通信可能性。引脚输出模式配置取决于设备，可以是推挽式或开漏式。IFAB_OD 位（寄存器 IFAB，0DH）指示 IFA、IFB 和 IFC 引脚的输出模式。SSC 引脚默认为推挽式（SSC_OD 位，寄存器 MOD_3，09H）。以下所有应用电路均使用推挽式配置的 SSC 和内部时钟。

3.1 IIF 接口和 SSC（推挽式配置的 IIF）

图 5 显示了带有增量接口（IIF）和 SSC 接口的 TLE5012B 的框图。衍生产品 TLE5012B - E1000 默认配置为推挽式 IFA（IIF_A）、IFB（IIF_B）和 IFC（IIF_IDX）引脚。当输出引脚配置为开漏时，应在数据线和 VDD 之间添加三个上拉电阻（如 2K2Ω）。

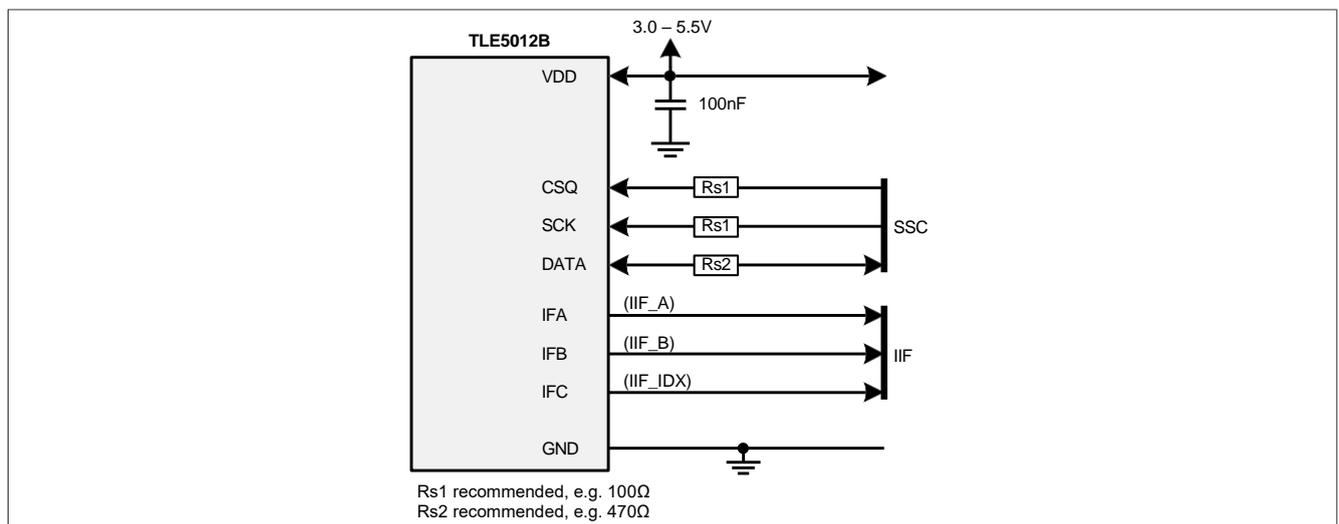


图 5 带有 IIF 接口和 SSC 的 TLE5012B 应用电路

3.2 HSM 接口和 SSC (推挽式配置的 HSM)

图 6 显示了带有霍尔开关模式 (HSM) 和 SSC 接口的 TLE5012B 的框图。衍生产品 TLE5012B - E3005 默认配置为推挽式 IFA (HS1)、IFB (HS2) 和 IFC (HS3) 引脚。

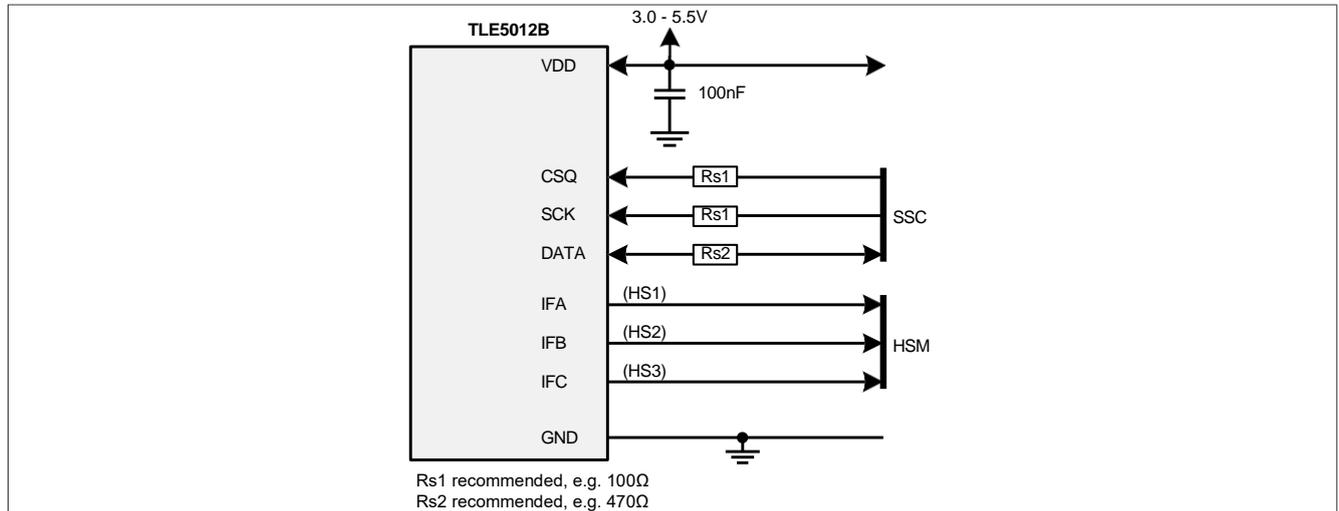


图 6 带 HSM 接口 (推挽式配置) 和 SSC 的 TLE5012B 应用电路

3.3 HSM 接口和 SSC (开漏式配置的 HSM)

如图 7 所示, 当 IFA、IFB 和 IFC 通过 SSC 接口配置为漏极开路引脚时, 应在输出线路上添加三个上拉电阻 (Rpu)。

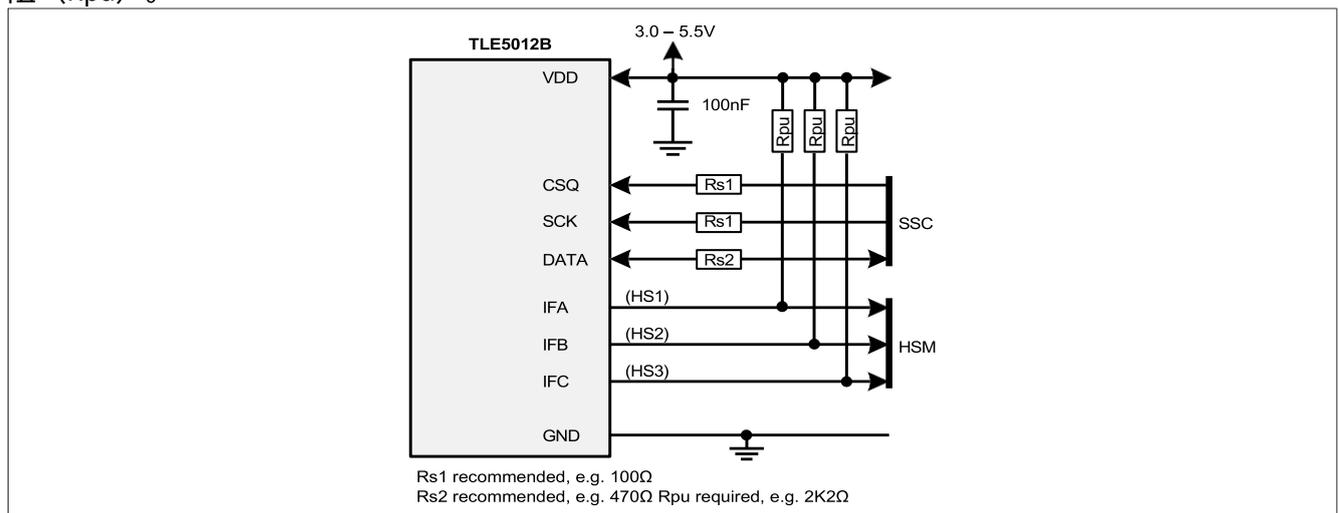


图 7 带 HSM 接口 (开漏配置) 和 SSC 的 TLE5012B 应用电路

3.4 PWM 接口（推挽式配置）

TLE5012B 可仅配置 PWM（图 8）。TLE5012B - E5000 的衍生产品默认为 IFA（PWM）引脚采用推挽式配置。DATA 和 CSQ 引脚始终具有内部上拉电阻（参见表 7）。建议将 CSQ 引脚连接至 VDD，以提供高电平，避免意外激活 SSC 接口。DATA 引脚应保持开路。下图显示了 TLE5012B - E5000 的典型实现。

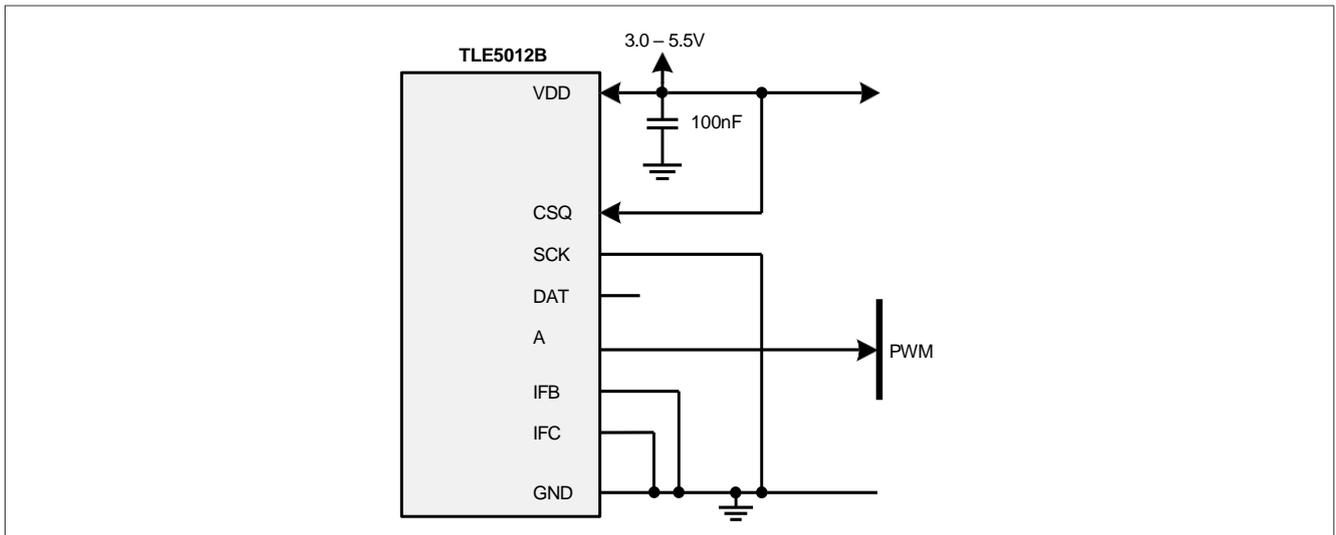


图 8 带 PWM（推挽式配置）接口的 TLE5012B 应用电路

3.5 PWM 接口（开漏式配置）

TLE5012B - E5020 也是 PWM 衍生产品，但其 IFA（PWM）引脚为漏极开路。如图 9 所示，应在 IFA 线路和 VDD 之间添加一个上拉电阻（如 2.2 kΩ）。DATA 和 CSQ 引脚始终有内部上拉电阻（参见表 7）。建议将 CSQ 引脚连接至 VDD，以避免无意中激活 SSC 接口。DATA 引脚应保持开路。下图显示了 TLE5012B - E5020 的典型实现。

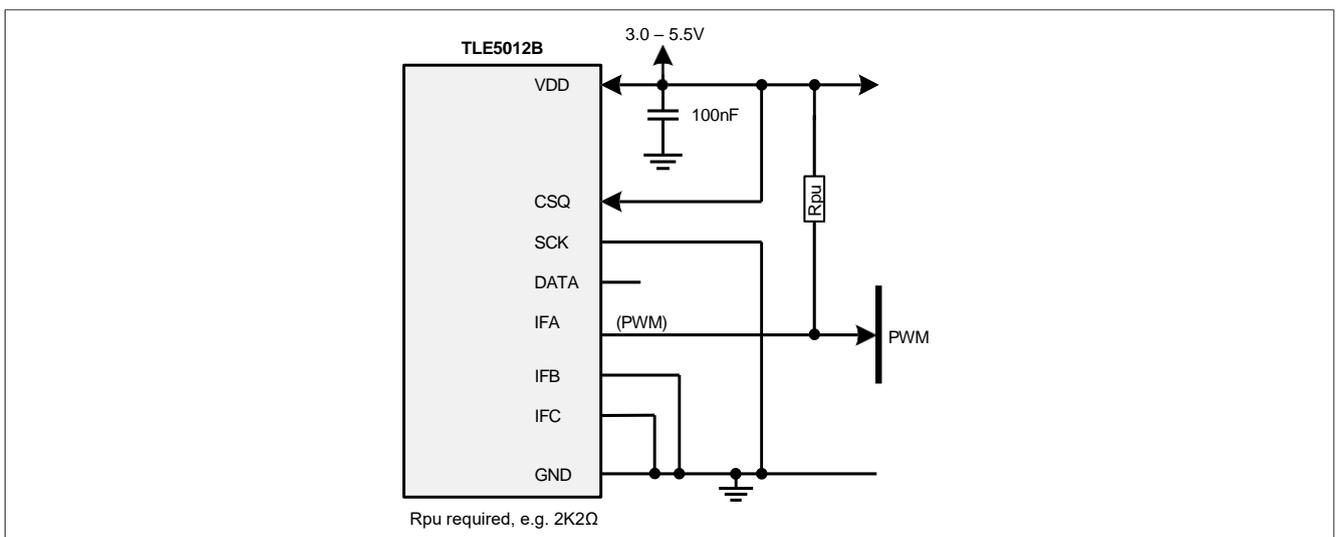


图 9 带 PWM（开漏配置）接口的 TLE5012B 应用电路

3.6 SPC 接口

TLE5012B 可仅配置 SPC (图 10)。这只有 TLE5012B - E9000 的衍生产品才能实现，其默认配置为开漏 IFA (SPC) 引脚。

在图 10 中，IFC (S_NR[1]) 和 SCK (S_NR[0]) 引脚被设置为接地，以生成从属编号 (S_NR) 0D (或 00B)。如果需要将 SCK (S_NR[0]) 设为 VDD 以生成另一个从机地址，则应将 CSQ 引脚设为地。DATA 和 CSQ 引脚始终具有内部上拉电阻 (参见表 7)。DATA 引脚应保持开路。由于 SCK 和 CSQ 引脚的电平应该相反，因此，不建议并行使用 SSC 接口。

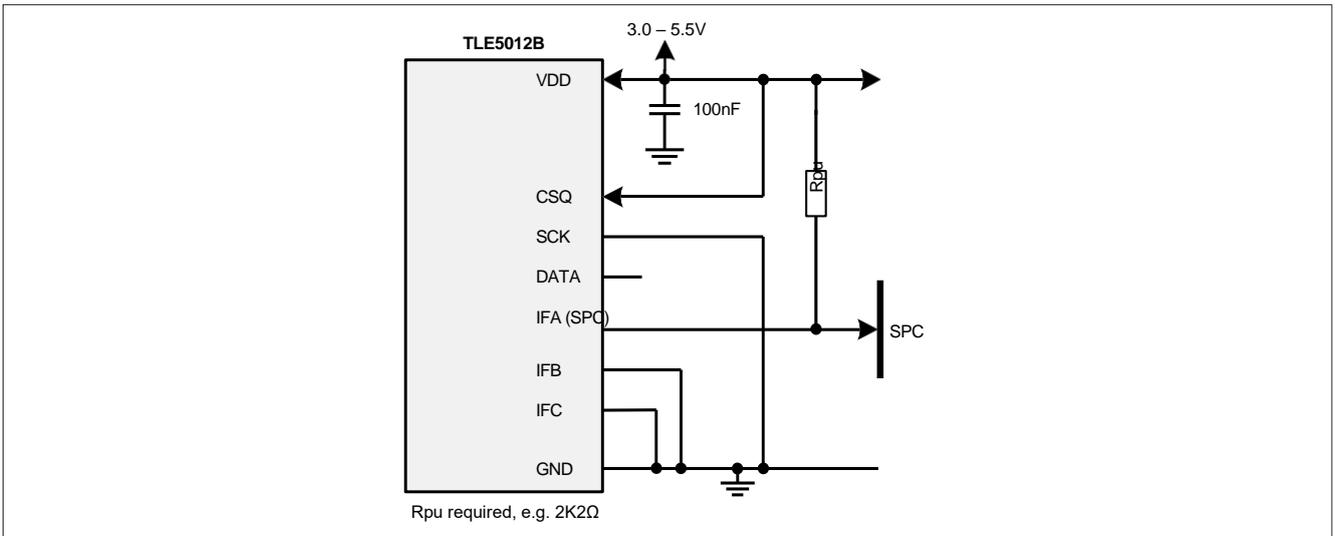


图 10 带 SPC 接口的 TLE5012B 应用电路

3.7 SSC 接口 (推挽式配置)

在图 5、图 6 和图 7 中，SSC 接口采用默认推挽配置 (参见图 11)。建议在 DATA 线上串联一个电阻，以便在错误情况下限制电流 (如传感器推高，微控制器同时拉低，反之亦然)。如果出现干扰或噪音，建议在 SCK 和 CSQ 线路上安装电阻。

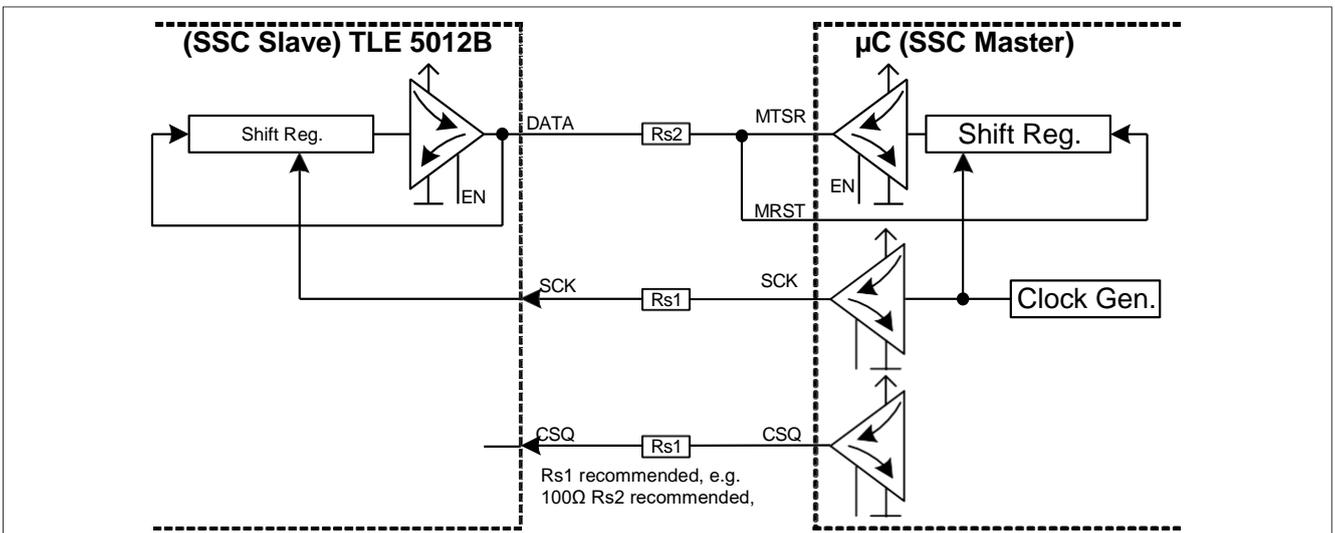


图 11 采用推挽式配置的 SSC 接口 (高速应用)

3.8 SSC 接口（开漏式配置）

数据线可以采用漏极开路配置。这种设置可用于与总线系统中的微控制器以及其他 SSC 从站进行通信（例如，出于冗余原因使用两个 TLE5012B 设备）。该模式可通过 SSC_OD 位激活。

尽管如此，在总线系统中也可以进行推挽式配置，因为传感器的寻址是通过 CSQ 引脚进行的。

开漏配置如图 12 所示。建议在 DATA 线路上使用串联电阻，以限制错误情况下的电流。如果出现干扰或噪声，建议在 SCK 和 CSQ 线路上安装电阻器。DATA 线路上需要一个典型值为 1 kΩ 的上拉电阻器。

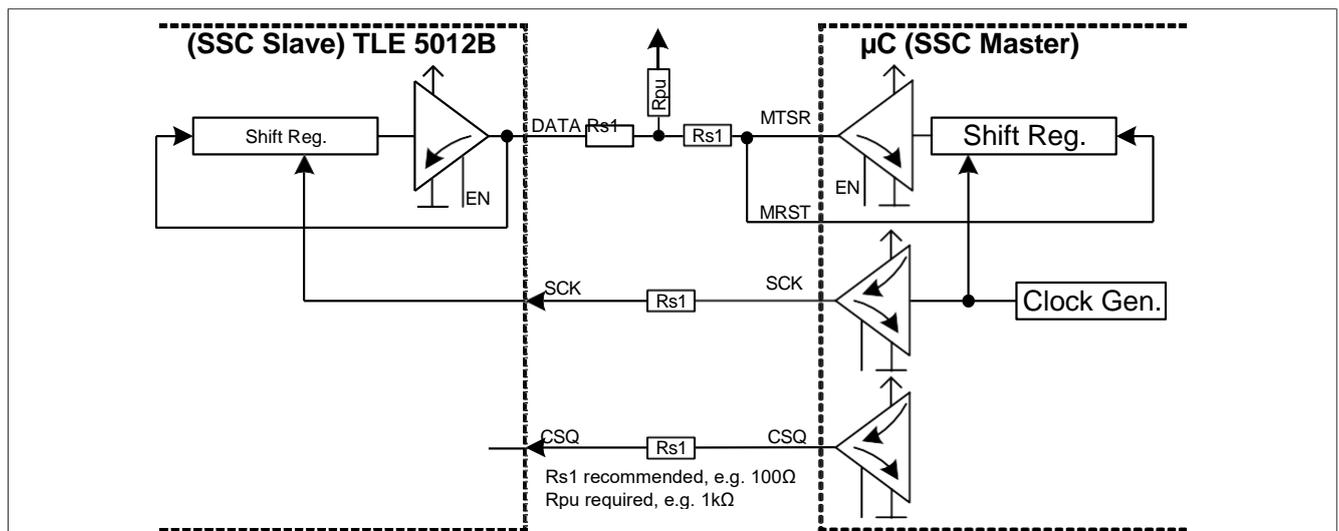


图 12 开路漏极配置的 SSC 接口（总线系统）

3.9 总线模式下的传感器电源

在总线配置（SSC 或 SPC 接口）中使用两个或多个设备时。建议对连接到总线上的每个传感器使用相同的电源。在断电情况下，未上电设备通过 OUT 引脚吸收电流。根据外部电路的不同，额外的电流可能会干扰总线的运行。

下图（图 13）显示了使用 SPC 接口的总线模式的典型实施情况。为清晰起见，EMC 滤波器或附加串联电阻器等外部元件没有显示。图中只显示了上拉电阻 Rpu。

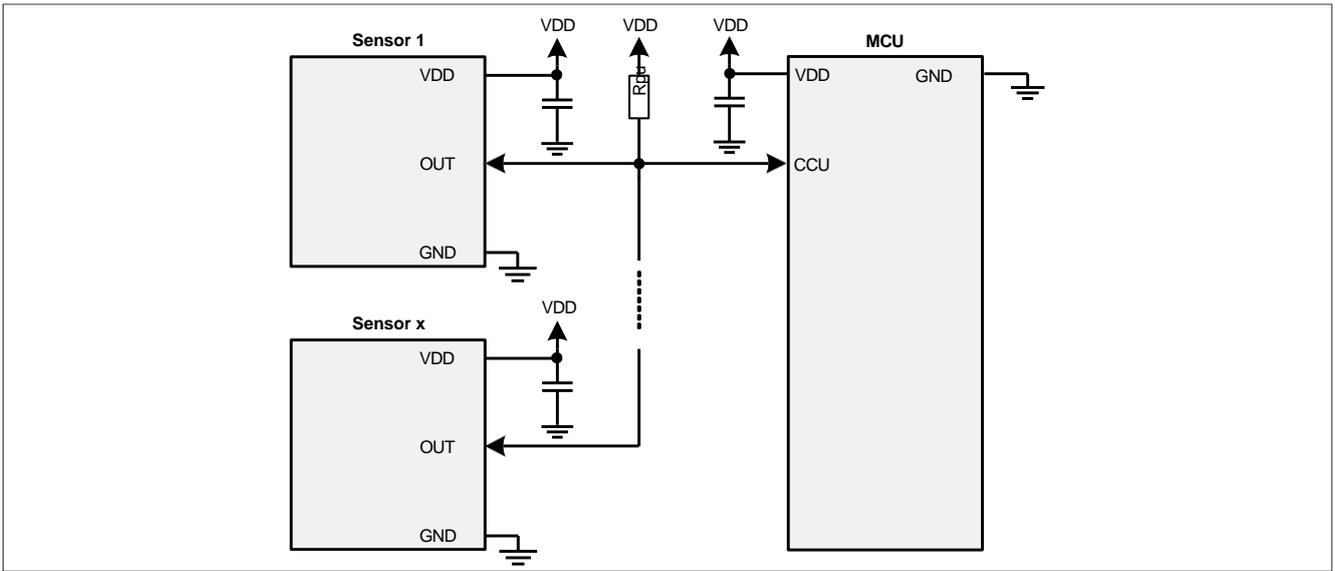


图 13 总线模式下的传感器电源

规格

4 规格

4.1 绝对最大额定值

表 3 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Voltage on V_{DD} pin with respect to ground (V_{SS})	V_{DD}	-0.5		6.5	V	Max 40 h/Lifetime
Voltage on any pin with respect to ground (V_{SS})	V_{IN}	-0.5		6.5	V	
				$V_{DD} + 0.5$	V	
Junction temperature	T_J	-40		150	°C	For 1000 h, not additive
				150	°C	
Magnetic field induction	B			200	mT	Max. 5 min @ $T_A = 25^\circ\text{C}$
				150	mT	Max. 5 h @ $T_A = 25^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{ST}	-40		150	°C	Without magnetic field

注意：超过此处所列最大值应力可能会对器件造成永久性损坏。长时间在绝对最大额定值条件下工作可能会影响器件的可靠性。最大额定值是绝对额定值；超过其中任何一个值都可能对器件造成不可逆转的损坏。

4.2 工作范围

为确保 TLE5012B 的正确运行，不得超过以下工作条件。除非另有说明，否则以下章节中指定的所有参数均指这些工作条件。除非另有说明，表 4 适用于 $-40^\circ\text{C} < T_J < 150^\circ\text{C}$ 。

表 4 工作范围和参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply voltage	V_{DD}	3.0	5.0	5.5	V	1)
Supply current	I_{DD}		14	16	mA	
Magnetic induction at $T_J = 25^\circ\text{C}^{2)3)}$	B_{XY}	30		50	mT	$-40^\circ\text{C} < T_J < 150^\circ\text{C}$
		30		60	mT	$-40^\circ\text{C} < T_J < 100^\circ\text{C}$
		30		70	mT	$-40^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$
Extended magnetic induction range at $T_J = 25^\circ\text{C}^{2)3)}$	B_{XY}	25		30	mT	Additional angle error of 0.1°
Angle range	Ang	0		360	°	
POR level	V_{POR}	2.0		2.9	V	Power-on reset
POR hysteresis	V_{PORhy}		30		mV	

表 4 工作范围和参数 (续)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Power-on time ⁴⁾	t_{Pon}		5	7	ms	$V_{DD} > V_{DDmin}$
Fast Reset time ⁵⁾	t_{Rfast}			0.5	ms	Fast reset is triggered by disabling startup BIST (S_BIST = 0), then enabling chip reset (AS_RST = 1)

- 1) 用 100-nF 陶瓷电容器直接阻断。
- 2) 数值指的是无垂直磁感应强度 ($B_z = 0$ mT) 的均匀磁场 (B_{xy})。
- 3) 参见图 14。
- 4) 在“开机时间”内, 不允许写入 (切换到外部时钟时除外, 因为需要读出以确认外部时钟已被选中)。
- 5) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

磁铁的磁场强度可在图 14 的彩色区域内选择。通过限制结温, 可以应用更高的磁场。在最高温度 $T_J = 100^\circ\text{C}$ 的情况下, 允许在 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 时使用高达 60 mT 的磁铁。

还可以扩大磁场范围, 以适应更高的温度。在这种情况下, 必须考虑额外的角度误差。

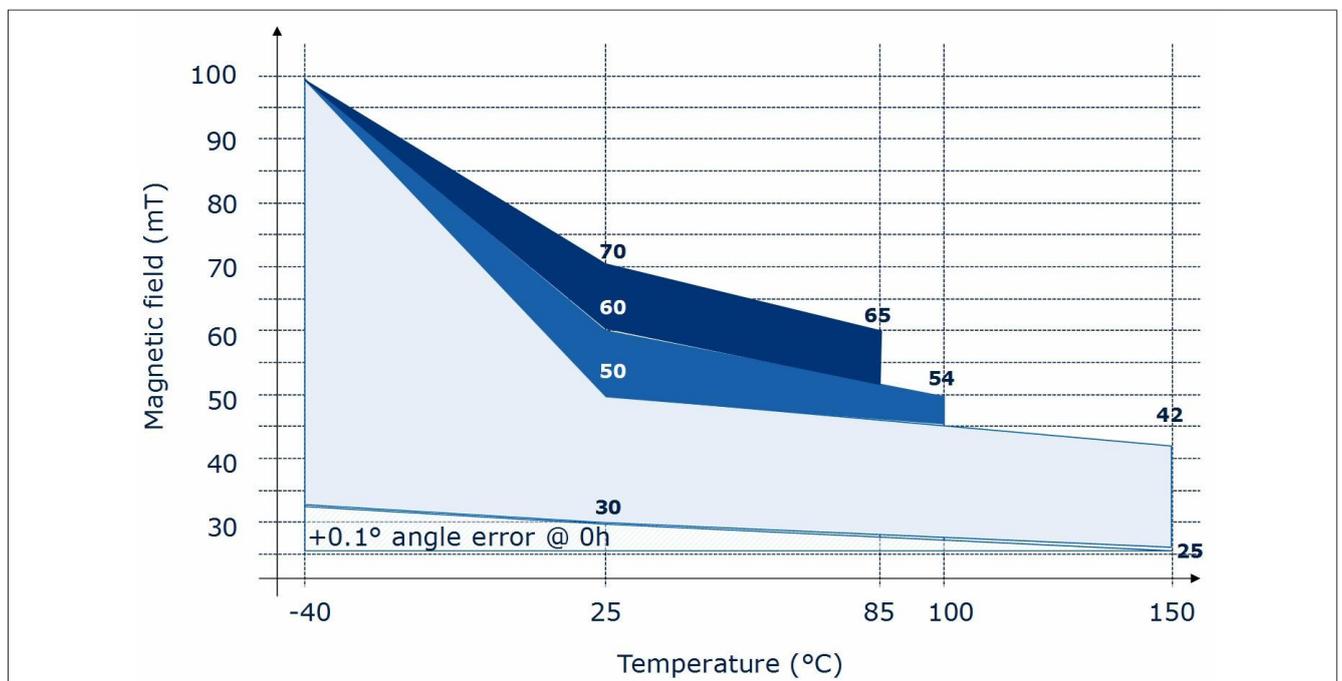


图 14 允许的磁场范围与结温的关系。

规格

4.3 特性

4.3.1 输入/输出特性

除非另有说明，否则所示参数适用于整个工作范围。典型值对应电源电压 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 和 25°C ，除非另有说明。所有其他值对应 $-40^\circ\text{C} < T_J < 150^\circ\text{C}$ 。

在寄存器 MOD_3 中，推挽通信的驱动强度和斜率可根据传感器的输出而变化。表 5 规定了驱动强度，表 6 规定了斜率下降和上升时间。

表 5 输入电压和输出电流

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input voltage	V_{IN}	-0.3		5.5	V	
				$V_{DD} + 0.3$	V	
Output current (DATA-Pad)	I_Q			-25	mA	PAD_DRV = '0x', sink current ¹⁾²⁾
				-5	mA	PAD_DRV = '10', sink current ¹⁾²⁾
				-0.4	mA	PAD_DRV = '11', sink current ¹⁾²⁾
Output current (IFA / IFB / IFC - Pad)	I_Q			-15	mA	PAD_DRV = '0x', sink current ¹⁾²⁾
				-5	mA	PAD_DRV = '1x', sink current ¹⁾²⁾

1) 开漏输出端到 GND 的最大电流。

2) $V_{DD} = 5\text{ V}$ 时

表 6 驱动强度特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Output rise/fall time	t_{fall}, t_{rise}			8	ns	DATA, 50 pF, PAD_DRV='00' ¹⁾²⁾
				28	ns	DATA, 50 pF, PAD_DRV='01' ¹⁾²⁾
				45	ns	DATA, 50 pF, PAD_DRV='10' ¹⁾²⁾
				130	ns	DATA, 50 pF, PAD_DRV='11' ¹⁾²⁾
				15	ns	IFA/IFB, 20 pF, PAD_DRV='0x' ¹⁾²⁾
				30	ns	IFA/IFB, 20 pF, PAD_DRV='1x' ¹⁾²⁾

1) 推挽输出有效

2) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证

表 7 4.5 V < V_{DD} < 5.5 V 的电气参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input signal low-level	V _{L5}			0.3 V _{DD}	V	
Input signal high level	V _{H5}	0.7 V _{DD}			V	
Output signal low-level	V _{OL5}			1	V	DATA; I _Q = -25 mA (PAD_DRV='0x'), I _Q = -5 mA (PAD_DRV='10'), I _Q = -0.4 mA (PAD_DRV='11')
				1	V	IFA,B,C; I _Q = -15 mA (PAD_DRV='0x'), I _Q = -5 mA (PAD_DRV='1x')
Pull-up current ¹⁾	I _{PU}	-10		-225	μA	CSQ
			-10		-150	μA
Pull-down current ²⁾	I _{PD}	10		225	μA	SCK
			10		150	μA

1) CSQ 和 DATA 引脚的内部上拉始终处于启用状态。

2) IFA、IFB 和 IFC 上的内部下拉在启动期间启用，在开漏模式下，SCK 上的内部下拉始终启用。

表 8 3.0 V < V_{DD} < 3.6 V 的电气参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input signal low-level	V _{L3}			0.3 V _{DD}	V	
Input signal high level	V _{H3}	0.7 V _{DD}			V	
Output signal low-level	V _{OL3}			0.9	V	DATA; I _Q = -15 mA (PAD_DRV='0x'), I _Q = -3 mA (PAD_DRV='10'), I _Q = -0.24 mA (PAD_DRV='11')
				0.9	V	IFA,IFB; I _Q = -10 mA (PAD_DRV='0x'), I _Q = -3 mA (PAD_DRV='1x')
Pull-up current ¹⁾	I _{PU}	-3		-225	μA	CSQ
			-3		-150	μA
Pull-down current ²⁾	I _{PD}	3		225	μA	SCK
			3		150	μA

1) CSQ 和 DATA 引脚的内部上拉始终处于启用状态。

2) IFA、IFB 和 IFC 上的内部下拉在启动期间启用，在开漏模式下，SCK 上的内部下拉始终启用。

规格

4.3.2 ESD 保护

表 9 ESD 保护

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
ESD voltage	V_{HBM}			±4.0	kV	Human Body Model ¹⁾
	V_{SDM}			±0.5	kV	Socketed Device Model ²⁾

1) 人体模型 (HBM) 符合: AEC-Q100-002 标准。

2) 插槽式设备模型 (SDM) 符合: ESDA/ANSI/ESD SP5.3.2-2008 标准。

4.3.3 GMR 参数

除非另有说明, 否则所有参数均适用于 $B_{XY} = 30 \text{ mT}$ 和 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 的条件。

表 10 GMR 基本参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
X, Y output range	RG_{ADC}			±23230	digits	Operating range ¹⁾
X, Y amplitude ²⁾	A_X, A_Y	6000	9500	15781	digits	At ambient temperature
		3922		20620	digits	Operating range
X, Y synchronicity ³⁾	k	87.5	100	112.49	%	
X, Y offset ⁴⁾	O_X, O_Y	-2048	0	+2047	digits	
X, Y orthogonality error	j	-11.25	0	+11.24	°	
X, Y amplitude without magnet	X_0, Y_0			+4096	digits	Operating range ¹⁾

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

2) 参见图 15。

3) $k = 100 * (A_X/A_Y)$

4) $O_Y = (Y_{MAX} + Y_{MIN}) / 2$; $O_X = (X_{MAX} + X_{MIN}) / 2$

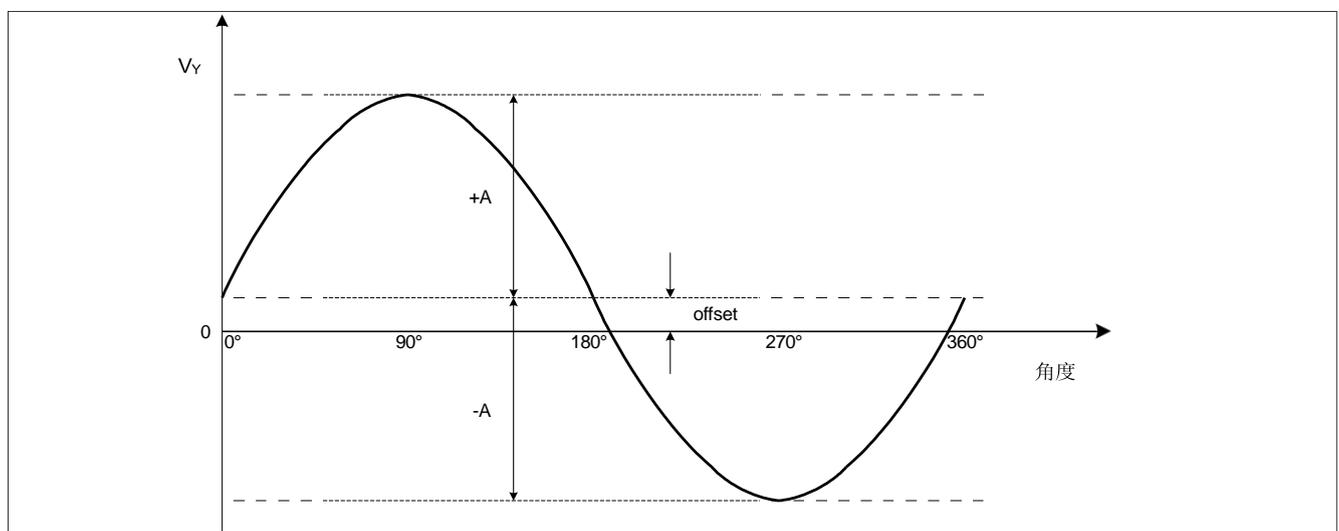


图 15 偏移和振幅定义

4.3.4 角度性能

经过内部计算后，传感器的剩余误差如表 11 所示。误差值是指 $B_z = 0$ mT，工作条件参见表 4。

总角度误差表示相对角度误差。该误差说明零角度定义后与参考线的偏差。它适用于静态磁场。

如果磁场在测量过程中旋转，会导致额外的传播误差（参见表 12），传感器需要利用磁共振电桥的原始正弦和余弦值计算角度。在快速转弯应用中，可以启用预测功能来减少这一传播误差。

表 11 角度性能

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Overall angle error (with auto-calibration)	α_{Err}		0.6 ¹⁾	1.0	°	Including lifetime and temperature drift ²⁾³⁾⁴⁾ . Note: in case of temperature changes above 5 Kelvin within 1.5 revolutions refer to Figure 16 for additional angle error.
Overall angle error (without auto-calibration)	α_{Err}		0.6 ¹⁾	1.3	°	Including temperature drift ²⁾³⁾⁵⁾
				1.9	°	Including lifetime and temperature drift ²⁾³⁾⁴⁾

- 1) 在 25°C 时， $B = 30$ mT。
- 2) 包括因旋转方向改变而产生的滞后误差。
- 3) 零角度定义后的相对误差
- 4) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。
- 5) 0 h。

如果启用了自动校准（参见第 4.3.5 章），并且在 1.5 转期间温度变化超过 5 Kelvin，则必须在表 11 中规定的角度误差之外增加额外误差。如图 16 所示，该误差取决于温度变化（Delta 温度）和初始温度（Tstart）。一旦温度趋于稳定且应用完成 1.5 转，则角度误差将如表 11 所示。

对于负的 Delta 温度变化（从较高温度到较低温度），额外的角度误差将小于相应的正 Delta 温度变化（从较低温度到较高温度），如图 16 所示。图 16 适用于最坏情况。

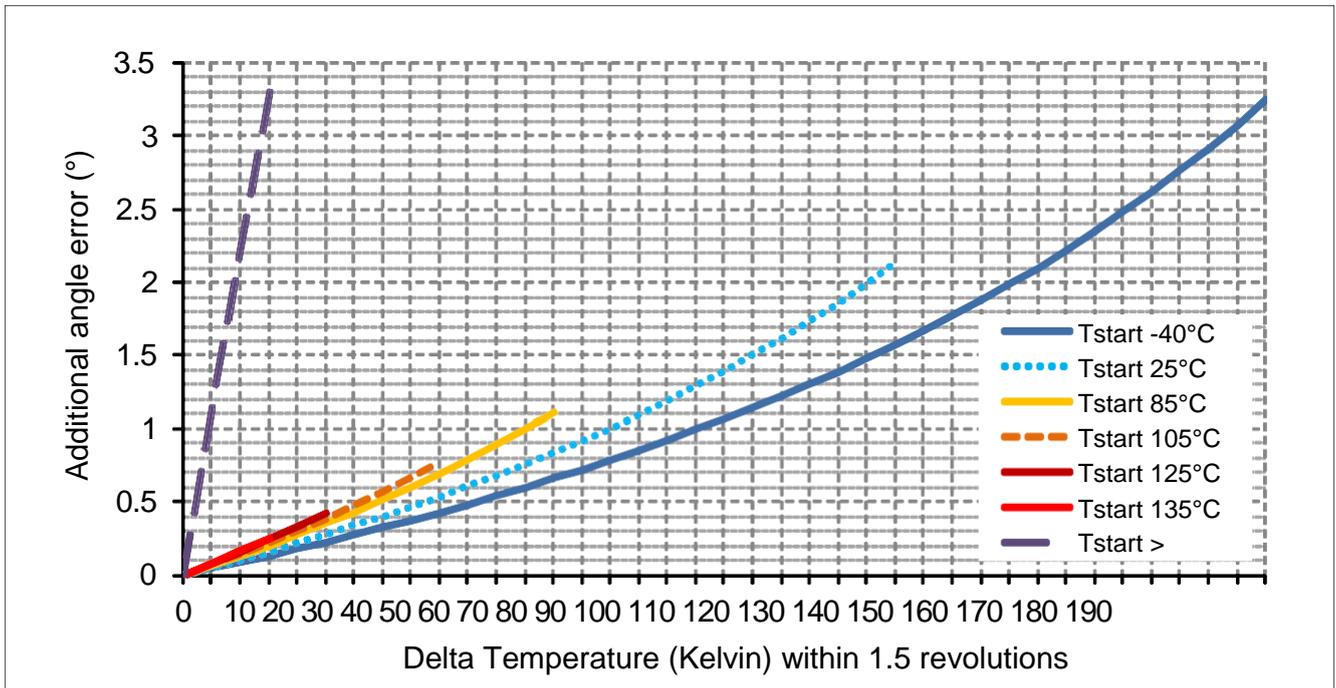


图 16 1.5 转内温度变化超过 5 Kelvin 时的附加角度误差

4.3.5 自动校准

自动校准可实现在线参数计算，从而减少因温度和寿命漂移造成的角度误差。

TLE5012B 是预校准传感器，因此自动校准仅在某些设备中默认启用。可以通过 MOD_2 寄存器中的 AUTOCAL 设置来选择更新模式。TLE5012B 需要

1.5 转，以生成新的自动校准参数。这些参数会不断更新。参数以平滑的方式更新（在所选范围或时间内更新一个最小有效位），以避免输出出现角度跳变。

AUTOCAL 模式：

- 00：无自动校准。
- 01：自动校准模式 1。在更新时间 t_{upd} （取决于 FIR_MD 设置）内将一个 LSB 变为最终值。
- 10：自动校准模式 2。在一次完整的参数生成（1.5 转）过程中仅更新一个 LSB。更新一个 LSB 后，自动校准将再次计算参数。
- 11：自动校准模式 3。一个 LSB 至 11.25° 角度范围内的最终值。

4.3.6 信号处理

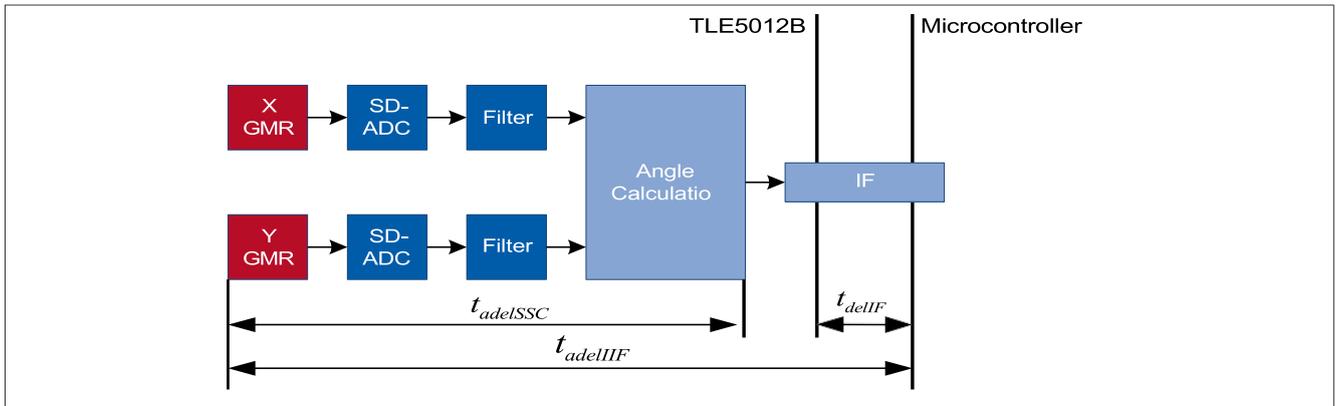


图 17 信号路径

TLE5012B 的信号路径如图 17 所示。它由 GMR 桥、ADC、滤波器和角度计算组成。GMR 元件的物理变化与输出信号之间的延迟时间取决于滤波器和接口配置。在快速旋转应用中，这一延迟会造成额外的与旋转速度相关的角度误差。

TLE5012B 具有可选的预测功能，可在转速不会突然变化的应用中减少与转速相关的角度误差。预测使用当前和最后两个角度值之间的差值来逼近延迟时间后的角度值（参见图 18）。根据公式 (4.1) 将该差值与测量值相加即可计算出输出值。

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) + \alpha(t-1) - \alpha(t-2) \quad (4.1)$$

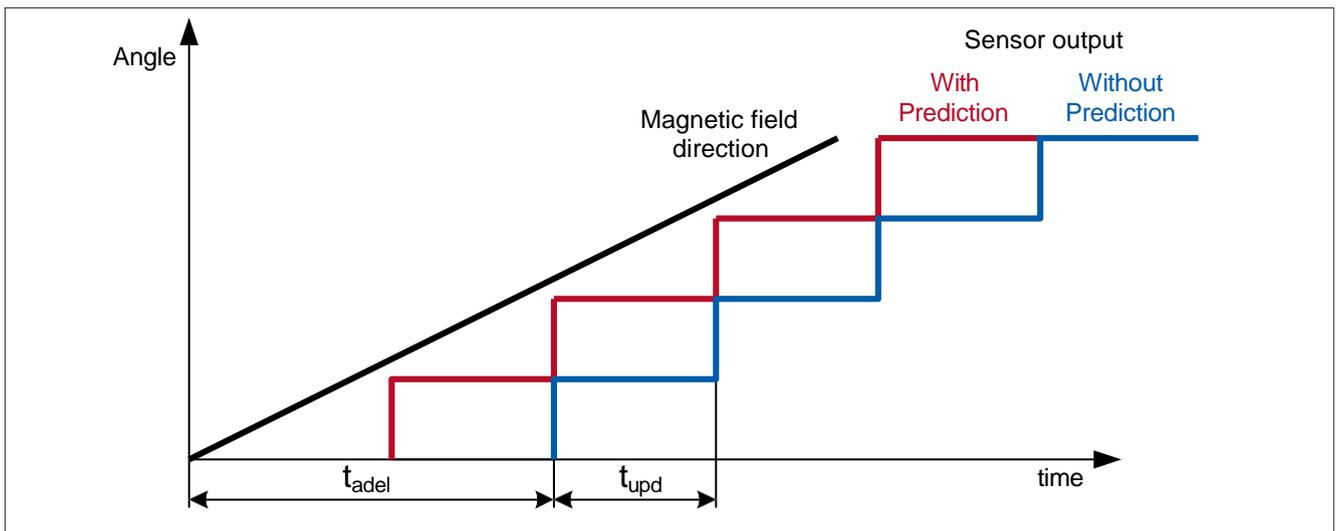


图 18 传感器输出延迟

表 12 信号处理

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Filter update period	t_{upd}		42.7		μs	FIR_MD = 1 ¹⁾
			85.3		μs	FIR_MD = 2 ¹⁾
			170.6		μs	FIR_MD = 3 ¹⁾
Angle delay time without prediction ²⁾	t_{adelSSC}		85	95	μs	FIR_MD = 1 ¹⁾
			150	165	μs	FIR_MD = 2 ¹⁾
			275	300	μs	FIR_MD = 3 ¹⁾
	t_{adelIIF}		120	135	μs	FIR_MD = 1 ¹⁾
			180	200	μs	FIR_MD = 2 ¹⁾
			305	330	μs	FIR_MD = 3 ¹⁾
Angle delay time with prediction ²⁾	t_{adelSSC}		45	50	μs	FIR_MD = 1; PREDICT = 1 ¹⁾
			65	70	μs	FIR_MD = 2; PREDICT = 1 ¹⁾
			105	115	μs	FIR_MD = 3; PREDICT = 1 ¹⁾
	t_{adelIIF}		75	90	μs	FIR_MD = 1; PREDICT = 1 ¹⁾
			95	110	μs	FIR_MD = 2; PREDICT = 1 ¹⁾
			135	150	μs	FIR_MD = 3; PREDICT = 1 ¹⁾
Angle noise (RMS)	N_{Angle}		0.08		$^{\circ}$	FIR_MD = 1 ¹⁾
			0.05		$^{\circ}$	FIR_MD = 2 ¹⁾ (default)
			0.04		$^{\circ}$	FIR_MD = 3 ¹⁾

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

2) 在恒定转速下有效。

表 12 中规定的所有延迟时间均适用于理想的 24 MHz 内部振荡器频率。要获得准确的时间，必须考虑内部振荡器频率的变化（参见第 4.3.7 章）。

4.3.7 时钟电源 (CLK 时序定义)

TLE5012B 的内部时钟电源受特定生产的影响，所有时序规格都必须考虑这些影响。

表 13 内部时钟时序规格

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Digital clock	f_{DIG}	22.8	24	25.8	MHz	
Internal oscillator frequency	f_{CLK}	3.8	4.0	4.3	MHz	

为了固定集成电路的时序，并使 TLE5012B 与系统中的其他集成电路同步，可将其切换为使用 IFC 引脚上的外部时钟信号工作。时钟输入信号必须满足某些要求：

- 高电平或低电平脉冲宽度不得超过规定值，因为 PLL 需要最小脉冲宽度，而且必须进行尖峰滤波。
- 占空比系数一般应为 50%，但可在 30% 和 70% 之间变化。
- PLL 在时钟正边沿触发。如果缺少 2 个以上的边沿，则会自动产生芯片复位，传感器将使用内部时钟重新启动。这由 S_RST 和 CLK_SEL 位以及安全字（参见第 4.4.1.2 章）指示。

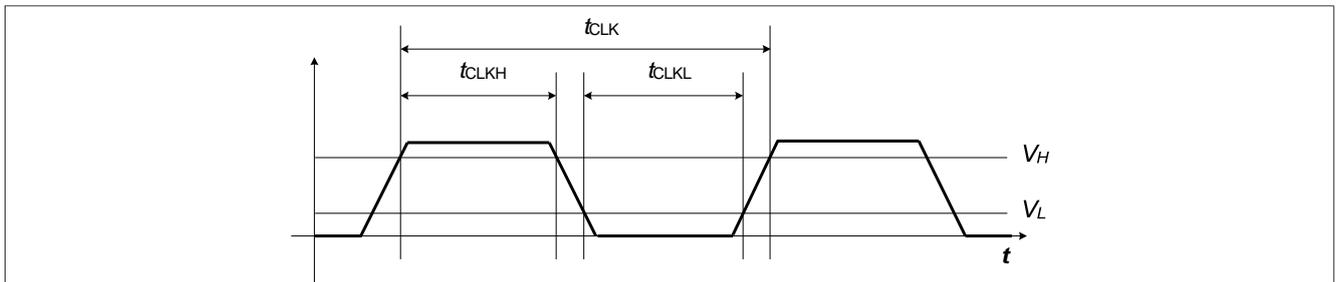


图 19 外部 CLK 时序定义

表 14 外部时钟规格

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input frequency	f_{CLK}	3.8	4.0	4.3	MHz	
CLK duty cycle ¹⁾²⁾	CLK_{DUTY}	30	50	70	%	
CLK rise time	t_{CLKr}			30	ns	From V_L to V_H
CLK fall time	t_{CLKf}			30	ns	From V_H to V_L

1) 最小占空比系数： $t_{CLKh(min)}/t_{CLK}$, $t_{CLK} = 1/f_{CLK}$

2) 最大占空比系数： $t_{CLKh(max)}/t_{CLK}$, $t_{CLK} = 1/f_{CLK}$

规格

4.4 接口

4.4.1 同步串行通信 (SSC)

3 引脚 SSC 接口包括一个双向推挽（接收时三态）或开漏数据引脚（可通过 SSC_OD 位配置）以及串行时钟和片选输入引脚。SSC 接口设计用于与微控制器进行点对点通信，以实现快速应用。

4.4.1.1 SSC 时序定义

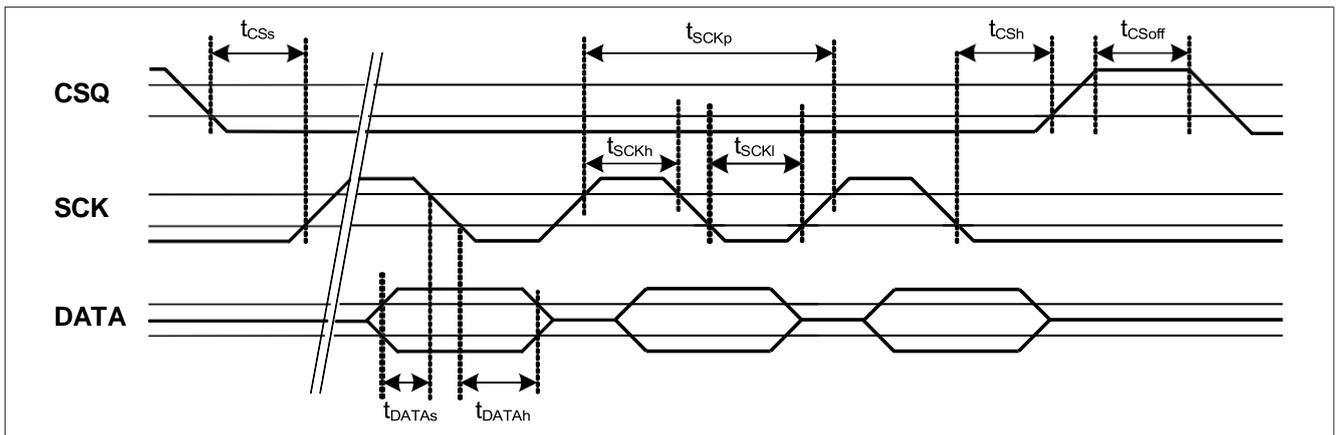


图 20 SSC 时序 SSC

非激活时间 (CS_{off})

SSC 非激活时间定义了传输后，TLE5012B 可以再次被选中之前的延迟时间。

表 15 SSC 推挽时序规格

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
SSC baud rate	f_{SSC}		8.0		Mbit/s	1)
CSQ setup time	t_{CSs}	105			ns	1)
CSQ hold time	t_{CSh}	105			ns	1)
CSQ off	t_{CSoff}	600			ns	SSC inactive time ¹⁾
SCK period	t_{SCKp}	120	125		ns	1)
SCK high	t_{SCKh}	40			ns	1)
SCK low	t_{SCKl}	30			ns	1)
DATA setup time	t_{DATAs}	25			ns	1)
DATA hold time	t_{DATAh}	40			ns	1)
Write read delay	t_{wr_delay}	130			ns	1)
Update time	$t_{CSupdate}$	1			μs	See Figure 24 ¹⁾
SCK off	t_{SCKoff}	170			ns	1)

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

表 16 SSC 开路漏极时序规格

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
SSC baud rate	f_{SSC}		2.0		Mbit/s	Pull-up Resistor = 1 k Ω ¹⁾
CSQ setup time	t_{CSs}	300			ns	1)
CSQ hold time	t_{CSH}	400			ns	1)
CSQ off	t_{CSoff}	600			ns	SSC inactive time ¹⁾
SCK period	t_{SCKp}	500			ns	1)
SCK high	t_{SCKh}		190		ns	1)
SCK low	t_{SCKl}		190		ns	1)
DATA setup time	t_{DATAs}	25			ns	1)
DATA hold time	t_{DATAh}	40			ns	1)
Write read delay	t_{wr_delay}	130			ns	1)
Update time	$t_{CSupdate}$	1			μ s	See Figure 24 ¹⁾
SCK off	t_{SCKoff}	170			ns	1)

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

规格

4.4.1.2 SSC 数据传输

SSC 数据传输采用字对齐方式。可以使用以下转送词

- 命令字 (用于访问和更改 TLE5012B 的运行模式)
- 数据字 (任何方向传输的任何数据)
- 安全字 (确认数据传输并提供状态信息)

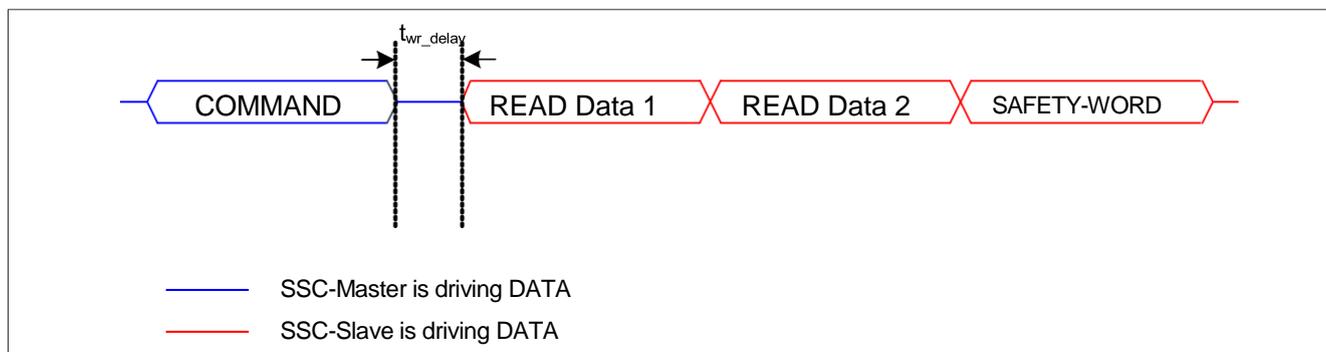


图 21 SSC 数据传输 (数据读取示例)

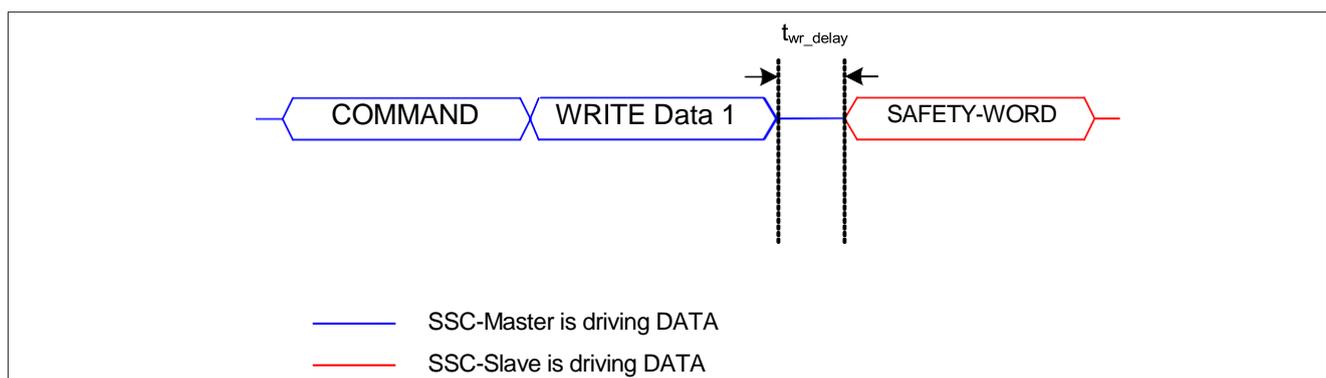


图 22 SSC 数据传输 (数据写入示例)

命令字

TLE5012B 与微控制器之间的 SSC 通信通常由命令字启动。命令字的结构如表 17 所示。如果在 SCK 上没有时钟的情况下通过短时间拉低 CSQ 触发更新, 所有系统值的快照将同时存储在更新寄存器中。设置 UPD 位的读取命令可以读出这组一致的值, 而不是电流值。在寄存器描述的类型栏中, 带有更新缓冲区的位用 "u" 标记。这种更新的初始化将在第 30 页进行说明。

表 17 命令字结构

Name	Bits	Description
RW	[15]	Read - Write 0: Write 1: Read
Lock	[14..11]	4-bit Lock Value 0000 _B : Default operating access for addresses 0x00:0x04 1010 _B : Configuration access for addresses 0x05:0x11

表 17 命令字结构 (续)

Name	Bits	Description
UPD	[10]	Update-Register Access 0: Access to current values 1: Access to values in update buffer
ADDR	[9..4]	6-bit Address
ND	[3..0]	4-bit Number of Data Words

安全字

安全字由以下位组成:

表 18 安全字结构

Name	Bits	Description
STAT ¹⁾	Chip and Interface Status	
	[15]	Indication of chip reset or watchdog overflow (resets after readout) via SSC 0: Reset occurred 1: No reset
	[14]	System error (e.g. overvoltage; undervoltage; V _{DD-} , GND- off; ROM;...) 0: Error occurred (S_VR; S_DSPU; S_OV; S_XYOL; S_MAGOL; S_FUSE; S_ROM; S_ADCT) 1: No error
	[13]	Interface access error (access to wrong address; wrong lock) 0: Error occurred 1: No error
	[12]	Valid angle value (NO_GMR_A = 0; NO_GMR_XY = 0) 0: Angle value invalid 1: Angle value valid
RESP	[11..8]	Sensor number response indicator The sensor number bit is pulled low and the other bits are high
CRC	[7..0]	Cyclic Redundancy Check (CRC)

1) 当发生错误时, 安全字中的相应状态位保持"低电平", 直到通过 SSC 接口读取STAT 寄存器 (地址 00_H) 。

规格

位类型

此处列出了寄存器中使用的位类型：

表 19 位类型

Abbreviation	Function	Description
r	Read	Read-only registers
w	Write	Read and write registers
u	Update	Update buffer for this bit is present. If an update is issued and the Update- Register Access bit (UPD in Command Word) is set, the immediate values are stored in this update buffer simultaneously. This allows a snapshot of all necessary system parameters at the same time.

通过 SSC 进行数据通信

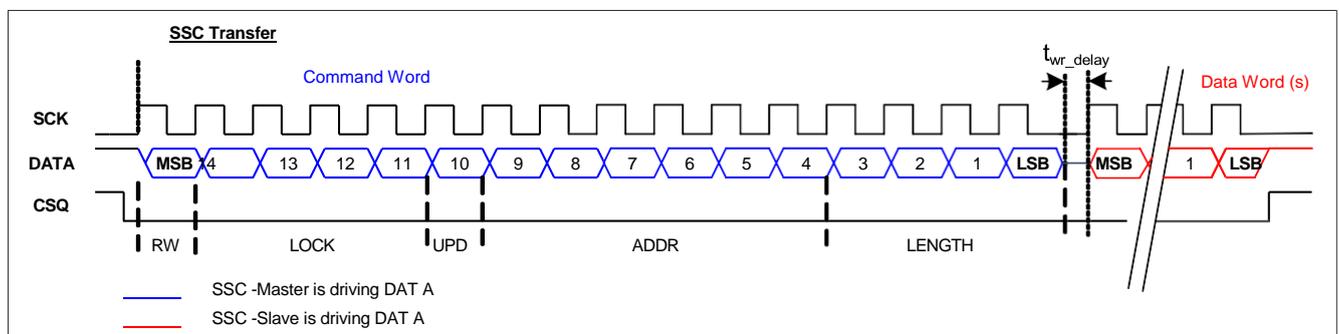


图 23 SSC 位排序 (读取示例)

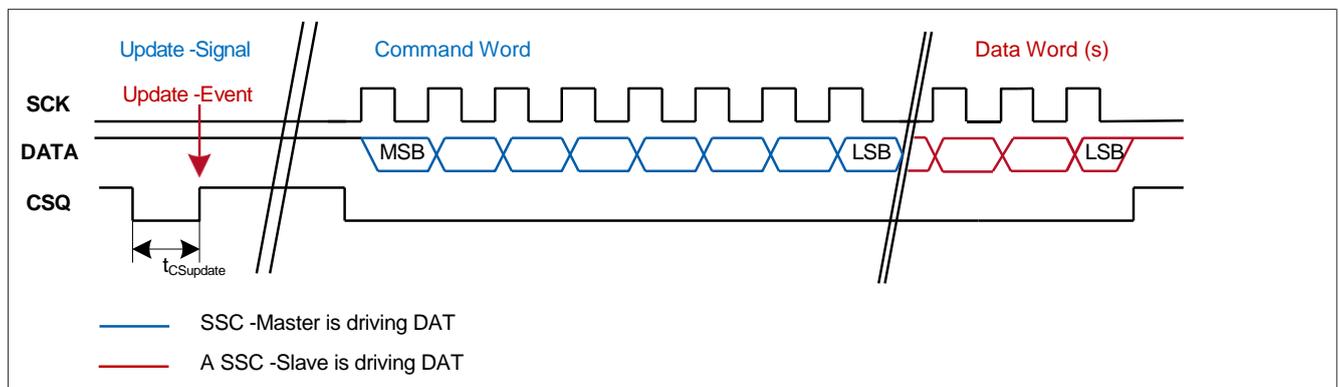


图 24 更新寄存器的更新

通过 SSC 接口进行的数据通信具有以下特点：

- 数据传输顺序为最高有效位 (MSB) 在前，最低有效位 (LSB) 在后。
- 在 SCK 上升沿时将数据输入数据线，在 SCK 下降沿时读取数据。
- SSC 接口采用字对齐方式。每传输一个字后，所有功能都会被激活。
- 在 $ND \geq 1$ 的每次数据传输后，TLE5012B 都会附加 16 位安全字。
- 如果所选 TLE5012B 的芯片选择引脚 (CSQ) 上出现 "高电平"，则会立即中断传输。CRC 计算器将自动重置。
- 改变数据方向后，在继续数据传输之前必须执行一个延迟 t_{wr_delay} (参见表 16)。这是内部寄存器访问所必需的。

规格

- 如果命令字中的数据数大于 1 ($ND > 1$)，则从 ADDR 给定的地址开始，读取相应数量的连续寄存器。
- 如果地址 $3F_H$ 发生溢出，则在地址 00_H 继续传输。
- 如果命令字中的数据数为零 ($ND = 0$)，则会读取 ADDR 地址处的寄存器，但 TLE5012B 不会发送安全字。这样就可以快速读出一个寄存器。
- 在 CSQ 上升沿没有数据传输之前（没有 SCK 脉冲，参见图 24），所有具有更新缓冲器的寄存器的内容都会保存到缓冲器中。这一过程的作用是在给定时间内对所有相关传感器参数进行快照。然后，通过发送所需寄存器的读取命令并将命令字的 UPD 位设置为 "1"，即可读取更新缓冲区的内容。
- 发送安全字后，传输结束。要开始另一次数据传输，必须在至少 t_{CSoff} 的时间内取消选择 CSQ。
- 默认情况下，SSC 接口设置为推挽式。只有当 TLE5012B 需要发送数据时，推挽式驱动器才处于激活状态，否则 DATA 引脚将被设置为高阻抗。

循环冗余校验 (CRC)

- 该 CRC 符合 J1850 总线规格。
- 每次新的传输都会重新启动 CRC 生成。
- 在生成 CRC 时将考虑传输的每个字节（也包括发送的命令）。
- 生成器多项式： $X^8+X^4+X^3+X^2+1$ ，但在生成 CRC 时，使用的是快速 CRC 生成电路（参见图 25）。
- 快速 CRC 电路的种子值为 '11111111_B'。
- 其余部分在传输前进行反转。

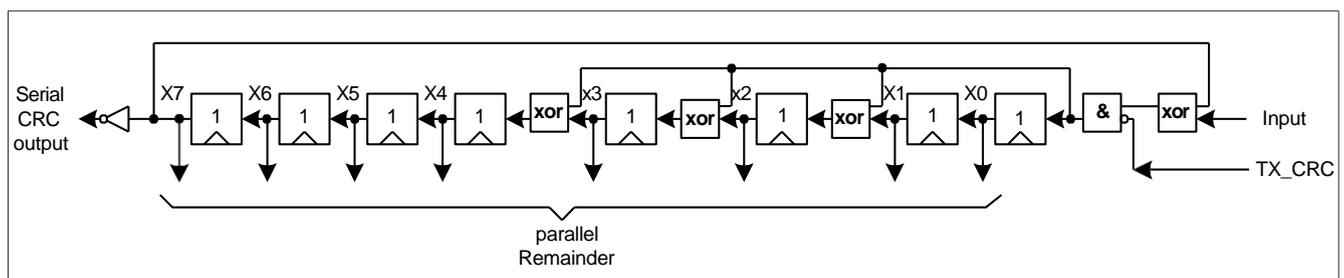


图 25 快速 CRC 多项式除法电路

规格

4.4.2 脉宽调制 (PWM) 接口

可通过 SSC (IF_MD = '01') 选择脉宽调制 (PWM) 接口。

PWM 更新速率可通过寄存器 0E_H(IFAB_RES) 按以下步骤进行编程：

- ~0.25 kHz, 12 位分辨率
- ~0.5 kHz, 12 位分辨率
- ~1.0 kHz, 12 位分辨率
- ~2.0 kHz, 12 位分辨率

PWM 使用频率恒定的方波，其占空比根据上次测量的角度值 (AVAL 寄存器) 进行调节。

图 26 显示了 PWM 在不同占空比下的主要特性以及定时值的定义。PWM 的占空比由以下一般公式定义：

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{t_{PWM}}$$

$$t_{PWM} = t_{on} + t_{off}$$

$$f_{PWM} = \frac{1}{t_{PWM}}$$

(4.2)

0 - 6.25% 和 93.75 - 100% 之间的占空比范围仅用于诊断目的。如果传感器检测到错误，状态寄存器中相应的错误位将被置位，PWM 占空比将进入诊断范围的下限 (0 - 6.25%) 或上限 (93.75 - 100%)，具体取决于错误类型 (参见表 20 中的 "输出占空比范围")。除 S_ADCT 错误外，只要错误持续存在，相应的诊断占空比就会显示错误，但至少显示一次。不过，状态寄存器中的值将保持不变，直至通过 SSC 接口读出或执行芯片复位。另一端的 S_ADCT 错误将一直传输到下一次芯片复位。这一故障安全诊断功能可通过 MOD_4 寄存器禁用。

带预设 PWM 的传感器型号为 TLE5012B E50x0。

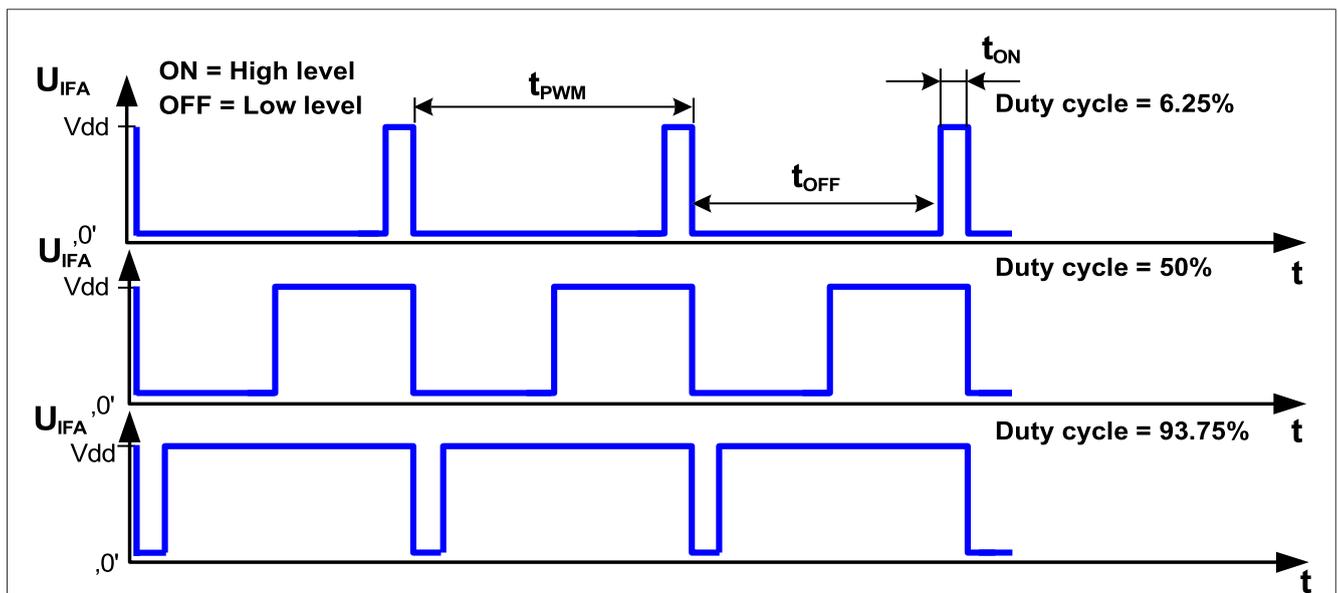


图 26 PWM 信号的典型示例

表 20 PWM 接口

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
PWM output frequencies (Selectable by IFAB_RES)	f_{PWM1}	232	244	262	Hz	1)
	f_{PWM2}	464	488	525	Hz	1)
	f_{PWM3}	929	977	1050	Hz	1)
	f_{PWM4}	1855	1953	2099	Hz	1)
Output duty cycle range	DY_{PWM}	6.25		93.75	%	Absolute angle ¹⁾
			2		%	Electrical Error (S_RST; S_VR) ¹⁾
			98		%	System error (S_FUSE; S_OV; S_XYOL; S_MAGOL; S_ADCT) ¹⁾
		0		1	%	Short to GND ¹⁾
		99		100	%	Short to V_{DD} , power loss ¹⁾

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

PWM 频率由数字时钟通过以下公式得出：

$$f_{PWM} = \frac{f_{DIG} * 2^{IFAB_RES}}{24 * 4096} \quad (4.3)$$

表 20 中给出的最小/最大值考虑了第 4.3.7 章规定的内部数字时钟变化。如果使用外部时钟，PWM 频率的变化可通过公式 (4.3) 从外部时钟的变化中推导出来。

4.4.3 短 PWM 代码 (SPC)

短 PWM 代码 (SPC) 是一种同步数据传输，基于 SAE J2716 规定的 SENT 协议（单边半字节传输）。SENT 意味着连续传输数据，与之相反，SPC 协议只有在接收到微控制器发出的特定触发脉冲后才传输数据。所需的触发脉冲长度取决于传感器编号，传感器编号是可配置的。因此，SPC 允许在一条总线线路上操作多达四个传感器。

由于 SPC 能够在各种传感器从属设备之间进行选择（ID 选择），因此能够使用增强的协议功能。从属设备编号（S_NR）可由 SCK 和 IFC 引脚的外部电路提供。如果 SCK 上的电压为 V_{DD} ，则 S_NR[0] 可以设为 1，如果 SCK 上的电压为 GND，则 S_NR[0] 等于 0。能够用相同的方式，通过 IFC 引脚调整 S_NR[1]。

与 SENT 一样，两个连续下降沿之间的时间定义了一个 4 位半字节的值，因此代表 0 到 15 之间的数字。因此，传输时间取决于传输的数据值。单个边沿由输出上的 3 个单位时间（UT，参见第 4.4.3.1 章）低脉冲和协议中定义的高电平时间（标称值，可能因内部振荡器的容差和外部电路的影响而异）定义。所有数值均为单位时间概念的倍数。传输由以下部分组成（图 27）：

- 主机触发脉冲，启动数据传输
- 同步周期为 56 UT（同时计算一个新样本）
- 12-27 UT 的状态半字节
- 3 到 6 个 12-27 UT 的数据半字节
- 一个 12-27 UT 的 CRC 半字节
- 终止 SPC 传输的结束脉冲

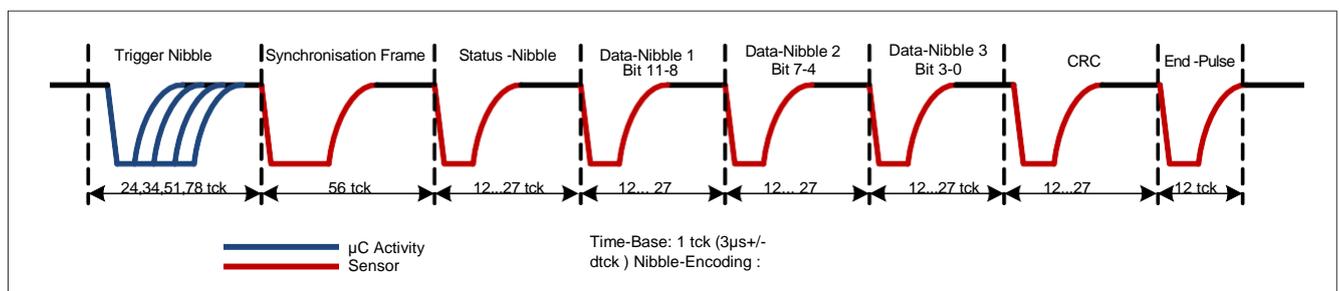


图 27 SPC 框架示例

CRC 校验和包括状态半字节和数据半字节，可用于检查解码数据的有效性。传感器可在结束脉冲下降沿 90 μ s 后接收下一个触发脉冲（参见图 28）。

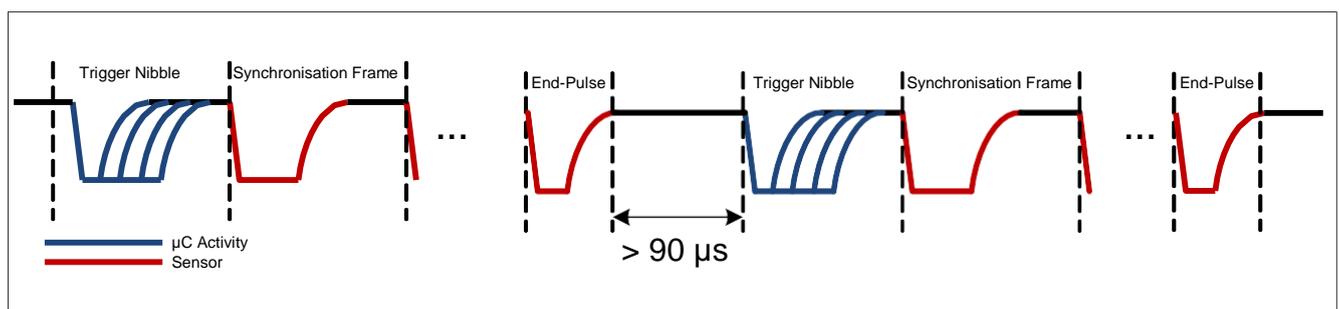


图 28 SPC 暂停时序图

在 SPC 模式下，传感器不会从原始数据中持续计算角度。相反，角度计算由主的触发半字节启动。在该模式下，AVAL 寄存器存储角度值，可通过 SSC 读取，其中包含 SPC 最后一个触发半字节之后计算出的角度。

与 SPC 并行，SSC 接口可用于单独配置。传输的 SPC 字节数可以更改，以定制传感器发送的信息量。在完整配置中，帧包含一个 16 位角度值和一个 8 位温度值（表 21）。

带预设 SPC 的传感器型号为 TLE5012B E9000。

表 21 帧配置

Frame type	IFAB_RES	Data nibbles
12-bit angle	00	3 nibbles
16-bit angle	01	4 nibbles
12-bit angle, 8-bit temperature	10	5 nibbles
16-bit angle, 8-bit temperature	11	6 nibbles

与每个 SPC 数据帧一起发送的状态半字节提供类似于 SSC 协议安全字的错误指示。如果传感器检测到错误，状态寄存器中相应的错误位将被置位，状态半字节中的 SYS_ERR 或 ELEC_ERR 位将变为“高电平”，具体取决于错误类型（参见表 22）。除 S_ADCT 错误外，只要错误持续存在，状态半字节中的相应错误位就会显示错误，但至少显示一次。不过，状态寄存器中的值将保持到通过 SSC 接口读出或执行芯片复位为止。另一端的 S_ADCT 错误将一直传输到下一次芯片复位。故障安全诊断功能可通过 MOD_4 寄存器禁用。

表 22 状态半字节结构

Name	Bits	Description
SYS_ERR	[3]	Indication of system error (S_FUSE, S_OV, S_XYOL, S_MAGOL, S_ADCT) 0: No system error 1: System error occurred
ELEC_ERR	[2]	Indication of electrical error (S_RST, S_VR) 0: No electrical error 1: Electrical error occurred
S_NR	[1]	Slave number bit 1 (level on IFC)
	[0]	Slave number bit 0 (level on SCK)

4.4.3.1 单位时间设置

基本 SPC 协议单位时间粒度定义为 $3 \mu\text{s}$ 。为了实现更大的灵活性，可以在 IFAB_HYST 中对单位时间进行修剪。这样就可以设置不同的单位时间。

表 23 预分器设置

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Unit time	t_{Unit}		3.0		μs	IFAB_HYST = 00 ¹⁾
			2.5			IFAB_HYST = 01 ¹⁾
			2.0			IFAB_HYST = 10 ¹⁾
			1.5			IFAB_HYST = 11 ¹⁾

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

4.4.3.2 主机触发脉冲要求

SPC 传输由 IFA 引脚上的主机触发脉冲启动。要检测 IFA 引脚上的低电平，电压必须低于阈值 V_{th} 。一旦超过 V_{th} ，传感器就会检测到 IFA 线路被释放。图 29 显示了主机脉冲的时序定义。表 24 列出了主机低电平时间 $t_{m\text{low}}$ 和总触发时间 $t_{m\text{tr}}$ 。

如果主机低电平时间超过最大低电平时间，传感器将不响应，并在主机脉冲超过 V_{thr} 后可用于下一次 30 μs 触发。 $t_{m\text{d,tot}}$ 是传感器下降沿内部触发与 ECU 触发之间的延迟时间。

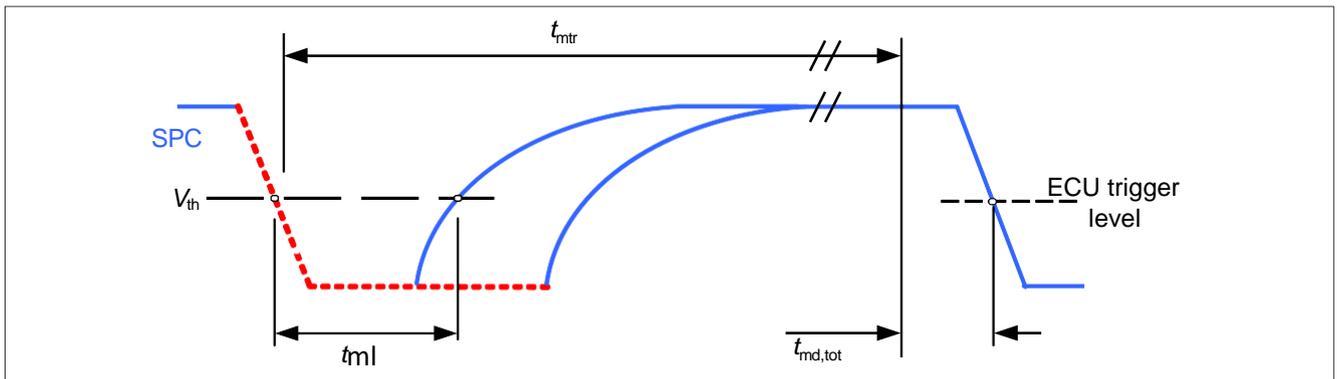


图 29 SPC 主机脉冲定时序

表 24 主机脉冲参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Threshold	V_{th}		50		% of V_{DD}	¹⁾
Threshold hysteresis	$V_{th\text{hyst}}$		8		% of V_{DD}	$V_{DD} = 5\text{ V}^{1)}$
			3		V_{DD}	$V_{DD} = 3\text{ V}^{1)}$
Total trigger time	$t_{m\text{tr}}$		90		UT	SPC_Trigger = 0; ¹⁾²⁾
			$t_{m\text{low}} + 12$		UT	SP_Trigger = 1 ¹⁾
Master low time	$t_{m\text{low}}$	8	12	14	UT	S_NR = 00 ¹⁾
		16	22	27		S_NR = 01 ¹⁾
		29	39	48		S_NR = 10 ¹⁾
		50	66	81		S_NR = 11 ¹⁾
Master delay time	$t_{m\text{d,tot}}$		5.8		μs	¹⁾

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

2) 传感器的触发时间固定为"典型值"一列中指定的单位数，但有效触发时间会因传感器的时钟变化而不同。

4.4.3.3 校验和半字节细则

校验和半字节是数据半字节（包括状态半字节）的 4 位 CRC。CRC 使用多项式 $x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 计算，种子值为 0101_B。最后一个数据字节后的余数作为 CRC 发送。

4.4.4 霍尔开关模式 (HSM)

TLE5012B 的霍尔开关模式 (HSM) 可以模拟 3 个霍尔开关的输出。霍尔开关通常用于电动换向电机，以确定转子位置。有了这 3 个输出信号，电机将以正确的方式换向。根据转子极对的不同，需要控制不同的电气周期。这可在 $0E_H$ (HSM_PLP) 中进行选择。图 30 显示了三种输出信号以及电气角度和机械角度之间的关系。机械角度 0° 始终作为参考点。

HSM 通常使用推挽输出，但也可通过寄存器 IFAB_OD 将其改为开漏输出。

带预设 HSM 的传感器型号为 TLE5012B E3005。

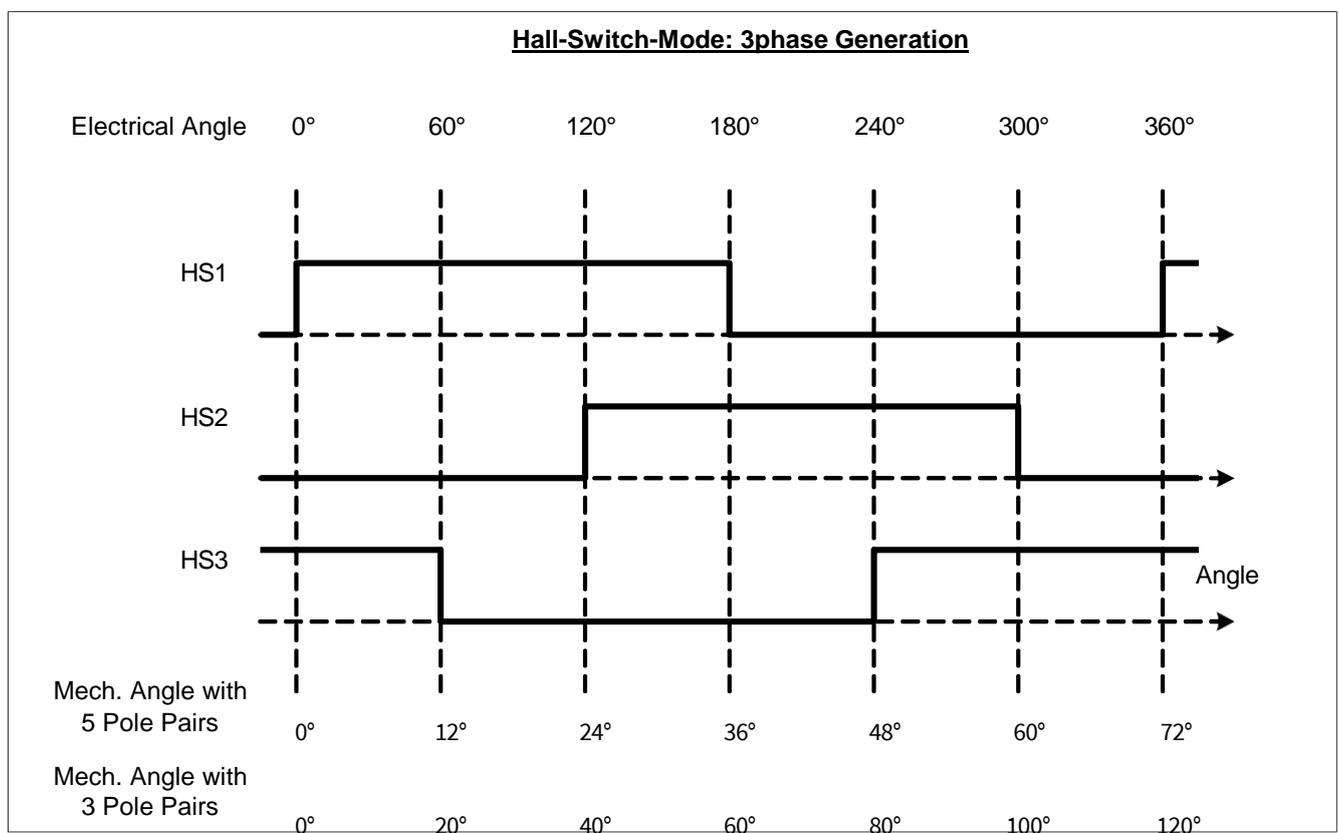


图 30 霍尔开关模式

可通过 SSC 选择 HSM 接口 (IF_MD = 010)。

表 25 霍尔开关模式

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Rotation speed	n			10000	rpm	Mechanical ²⁾
Electrical angle accuracy	α_{elect}		0.6	1	°	1 pole pair with autocalibration ¹⁾²⁾
			1.2	2	°	2 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			1.8	3	°	3 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			2.4	4	°	4 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			3.0	5	°	5 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			3.6	6	°	6 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			4.2	7	°	7 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			4.8	8	°	8 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			5.4	9	°	9 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			6.0	10	°	10 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			6.6	11	°	11 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			7.2	12	°	12 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			7.8	13	°	13 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			8.4	14	°	14 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			9.0	15	°	15 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
			9.6	16	°	16 pole pairs with autocal. ¹⁾²⁾
Mechanical angle switching hysteresis	α_{HShystm}	0		0.703	°	Selectable by IFAB_HYST ²⁾³⁾⁴⁾
Electrical angle switching hysteresis ⁵⁾	α_{HShystel}		0.70		°	1 pole pair; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			1.41		°	2 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			2.11		°	3 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			2.81		°	4 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			3.52		°	5 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			4.22		°	6 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			4.92		°	7 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			5.62		°	8 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			6.33		°	9 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			7.03		°	10 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			7.73		°	11 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			8.44		°	12 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			9.14		°	13 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			9.84		°	14 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			10.55		°	15 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾
			11.25		°	16 pole pairs; IFAB_HYST=11 ¹⁾²⁾

表 25 霍尔开关模式 (续)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Fall time	t_{HSfall}		0.02	1	μs	$R_L = 2.2\text{ k}\Omega; C_L < 50\text{ pF}^2)$
Rise time	t_{HSrise}		0.4	1	μs	$R_L = 2.2\text{ k}\Omega; C_L < 50\text{ pF}^2)$

- 1) 取决于内部振荡器频率变化 (第 4.3.7 节)。
- 2) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。
- 3) 未考虑 GMR 迟滞。
- 4) 不切换时的最小滞后。
- 5) 只有在改变旋转方向时才需要考虑滞后问题。

为避免因转子的机械振动而产生开关, 建议采用人工滞后 (图 31)。

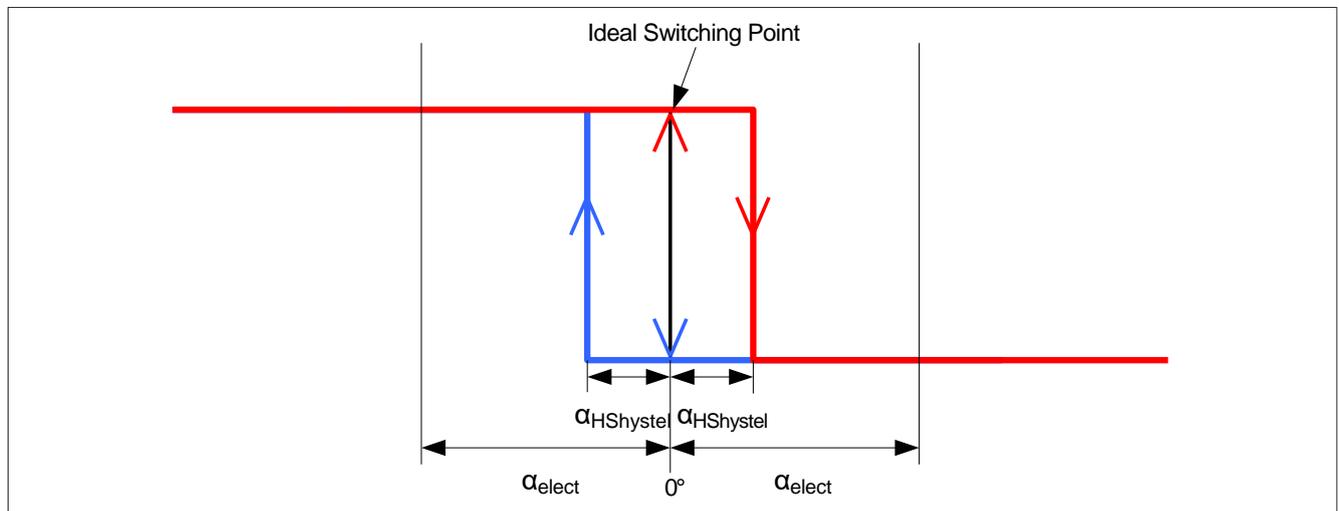


图 31 HS 迟滞

4.4.5 增量接口 (IIF)

增量接口 (IIF) 模拟运行占空比为 50% 的光学正交编码器。它为每个角度步进传输一个方波脉冲, 步进宽度可在寄存器 MOD_4 (IFAB_RES)¹⁾内, 从 9 位 (每转一圈 512 个步进) 配置到 12 位 (每转一圈 4096 个步进)。旋转方向由两个通道 IFA 和 IFB (A/B 模式) 之间的相位移或 IFB 通道电平 (步进/方向模式) 决定, 如图 32 和图 33 所示。增量接口可在寄存器 MOD_1 (IIF_MOD) 中配置为 A/B 模式或步进/方向模式。使用增量接口需要在微控制器上安装一个上/下计数器, 对脉冲进行计数, 从而跟踪绝对位置。计数器可通过并行 SSC 接口定期同步。SSC 接口读出的角度值 (AVAL 寄存器) 可与存储的计数器值进行比较。如果不同步, 微控制器会将差值加到实际计数器值上, 使 TLE5012B 与微控制器同步。

启动后, IIF 发送若干脉冲, 这些脉冲与实际绝对角度值相对应。这样, 微控制器就能获得有关绝对位置的信息。IFC 引脚上有指示过零的索引信号。

带预设 IIF 的传感器型号为 TLE5012B E1000。

1) 减少位数并不会提高最高转速。

A/B 模式

相位 A 和相位 B 之间的相位移动表示磁铁顺时针（A 跟着 B）或逆时针（B 跟着 A）旋转。

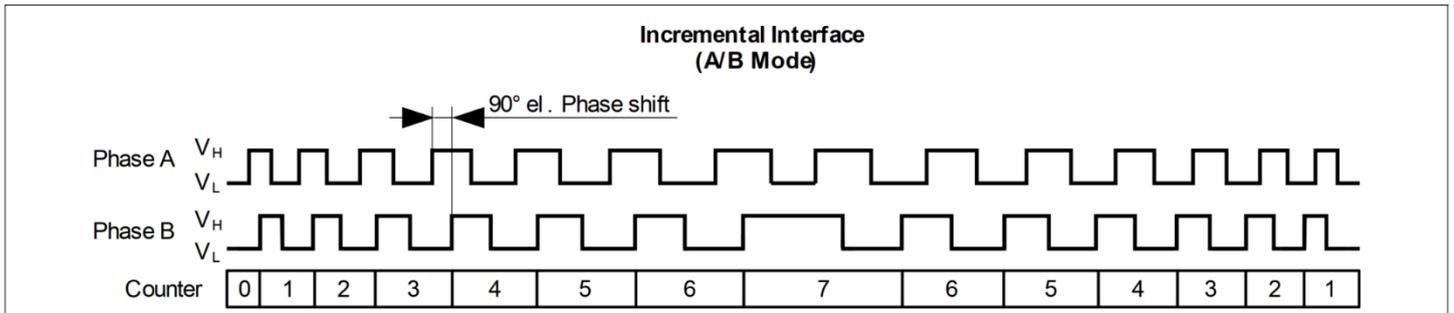


图 32 采用 A/B 模式的增量接口

步进/方向模式

A 相发出增量脉冲，B 相指示方向。

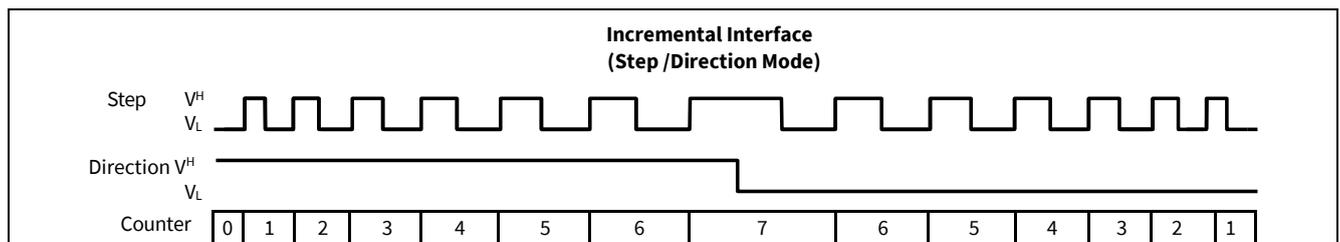


图 33 采用步进/方向模式的增量接口

表 26 增量接口

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Incremental output frequency	f_{inc}			1.0	MHz	Frequency of phase A and phase B ¹⁾
Index pulse width	t_{0°		5		μs	0 ^{o1)}

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证。

4.5 测试机制

4.5.1 ADC 测试矢量

为了测试 ADC 的正确功能，可以将 ADC 输入从 GMR 电桥输出切换到作为分压器的固定电阻器链。然后向模数转换器输入固定电压的测试矢量，以模拟一组磁铁位置。ADC 的功能通过检查每个测试矢量的角度值 (AVAL 寄存器) 来验证。该测试通过 SIL 寄存器 (ADCTV_EN) 中的 SSC 命令激活。寄存器 ADCTV_Y 和 ADCTV_X 用于选择测试矢量，如图 34 所示。

可对以下 X/Y ADC 值进行编程：

- 4 点，圆振幅 = 70% (0°, 90°, 180°, 270°)
- 8 点，圆振幅 = 100% (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)
- 8 点，圆振幅 = 122.1% (35.3°, 54.7°, 125.3°, 144.7°, 215.3°, 234.7°, 305.3°, 324.7°)
- 4 点，圆振幅 = 141.4% (45°, 135°, 225°, 315°)

注： 100% 值通常对应 21700 位数字，70% 值对应 15500 位数字。

表 27 ADC 测试矢量

Register bits	X/Y values (decimal)		
	Min.	Typ.	Max.
000		0	
001		15500	
010		21700	
011		32767	
100 ¹⁾		0	
101		-15500	
110		-21700	
111		-32768	

1) 不允许使用。

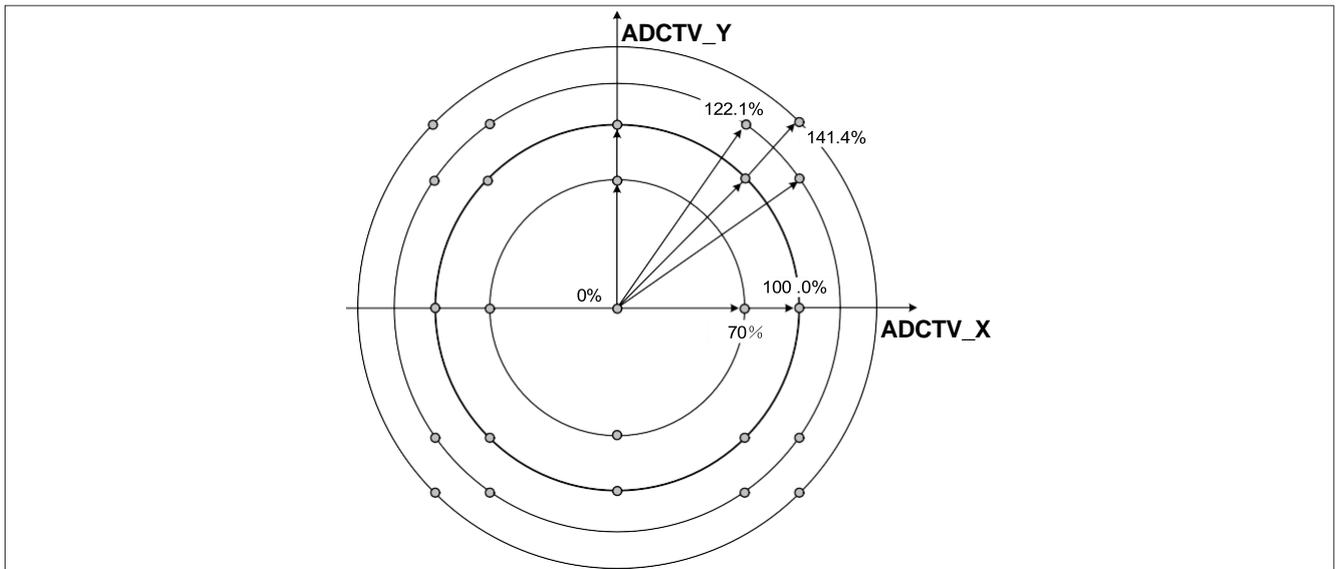


图 34 ADC 测试矢量

4.6 电源监测

TLE5012B 的内部电压节点由一组比较器监控，以确保无差错运行。过压或欠压条件必须在至少 256 个数字时钟周期内有效，才能设置状态寄存器中的相应错误位。这就起到了数字尖峰抑制的作用。过压或欠压错误会触发状态寄存器的 S_VR 位。该错误条件通过 SSC 协议的安全字、SPC 接口的状态半字节或 PWM 接口的较低诊断范围发出信号。

表 28 测试比较器阈值电压

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Overvoltage detection	V_{OVG}		2.80		V	1)
	V_{OVA}		2.80		V	1)
	V_{OVD}		2.80		V	1)
V_{DD} overvoltage	V_{DDOV}		6.05		V	1)
V_{DD} undervoltage	V_{DDUV}		2.70		V	1)
GND - off voltage	V_{GNDoff}		-0.55		V	1)
V_{DD} - off voltage	V_{VDDoff}		0.55		V	1)
Spike filter delay	t_{DEL}		10		μ s	1)

1) 未经过生产测试 - 由设计/特性验证

4.6.1 内部电源电压比较器

每个电压调整器都有一个过电压比较器，用于检测故障。如果 2.5 V 的标称输出电压大于 V_{OVG} 、 V_{OVA} 和 V_{OVD} ，过压比较器就会启动。

4.6.2 V_{DD} 过压检测

过压检测比较器监控 VDD 引脚上的外部电源电压。

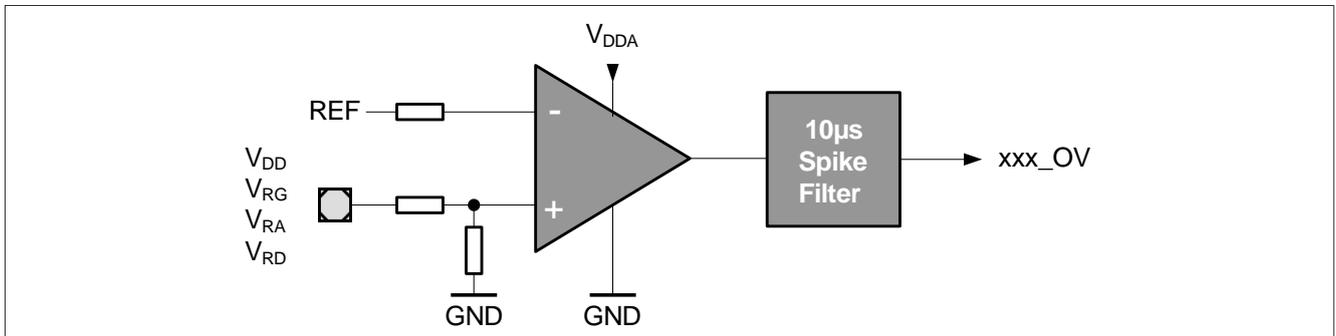


图 35 过电压比较器

4.6.3 GND - Off 比较器

GND - Off 比较器用于检测 GND 引脚与 SCK 之间的电压差。该电路可检测电源 GND 引脚是否断开。

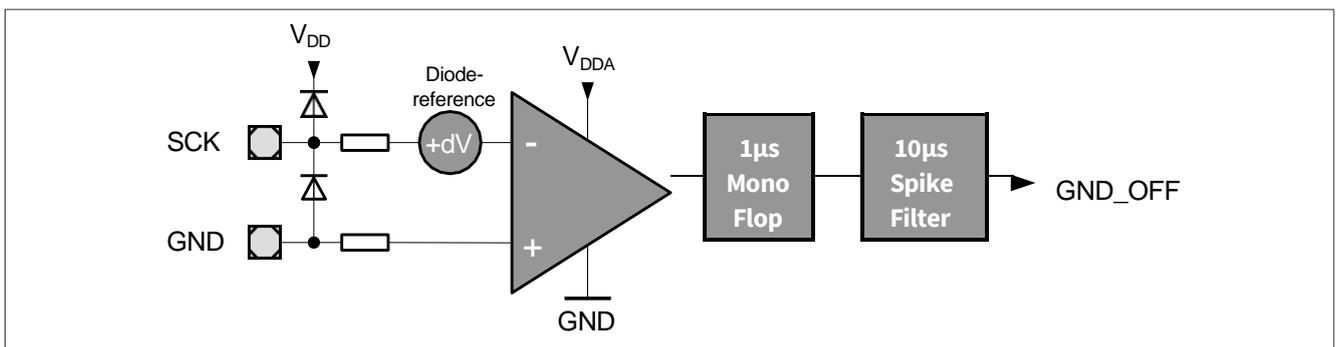


图 36 GND - Off 比较器

4.6.4 V_{DD} - Off 比较器

V_{DD} - 断开比较器检测 VDD 引脚电源电压的断开。在这种情况下，TLE5012B 通过 ESD 结构由 SCK 和 CSQ 输入引脚电源。

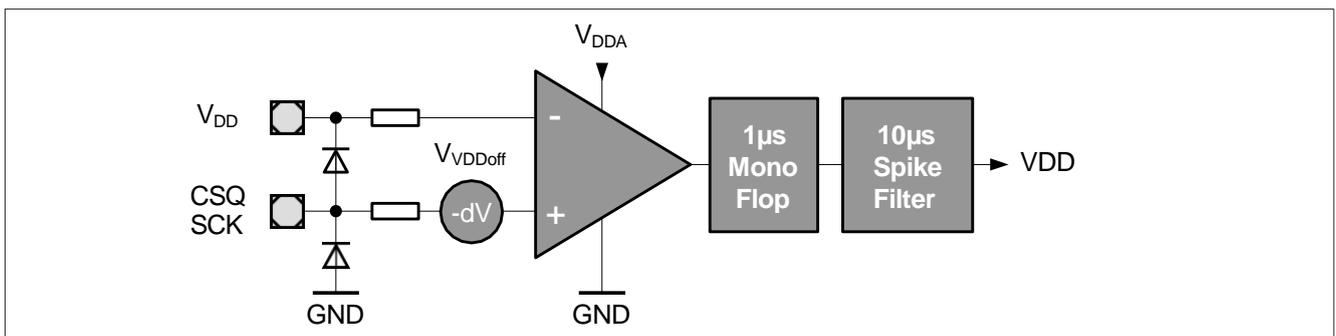


图 37 V_{DD} - Off 比较器

5 预配置衍生产品

TLE5012B 的派生产品可针对特定应用提供不同的预配置寄存器设置。可通过 SSC 界面更改所有衍生产品的配置。

5.1 IIF 型：E1000

TLE5012B-E1000 预配置为增量接口和快速角度更新周期（42.7 μs ）。它最适用于无刷直流电机换向。

- 启用自动校准模式 1。
- 预测启用。
- 滞后设置为 0.703°。
- 12 位模式，每 0.088° 角度步进一个计数。
- 增量接口模式

5.2 HSM 型：E3005

TLE5012B-E3005 预先配置为霍尔开关模式和快速角度更新周期（42.7 μs ）。它最适合替代三个霍尔开关，用于 BLDC 电机换相。

- 极对数设置为 5。
- 启用自动校准模式 1。
- 预测启用。
- 滞后设置为 0.703°。

5.3 PWM 型：E5000

TLE5012B-E5000 预配置为脉宽调制接口。它最适用于转向角和致动器位置传感。

- 滤波器更新周期为 85.4 μs 。
- PWM 频率为 244 Hz。
- 自动校准、预测和迟滞功能已禁用。

5.4 PWM 型：E5020

TLE5012B-E5020 预先配置为高频脉宽调制接口。它最适用于转向角和致动器位置传感。

- 滤波器更新周期为 42.7 μs 。
- PWM 频率为 1953 Hz。
- 已启用自动校准模式 2。
- 预测和滞后功能已禁用。
- PWM 接口设置为漏极开路输出。

5.5 SPC 型：E9000

TLE5012B-E9000 预配置为短 PWM 代码接口。它最适用于转向角和致动器位置传感。

- 滤波器更新周期为 85.4 μs 。
- 自动校准、预测和迟滞功能已禁用。
- SPC 单位时间为 3 μs 。
- SPC 接口设置为漏极开路输出。

6 封装信息

6.1 封装参数

表 29 封装参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Thermal resistance	R_{thJA}		150	200	K/W	Junction to air ¹⁾
	R_{thJC}			75	K/W	Junction to case
	R_{thJL}			85	K/W	Junction to lead
Soldering moisture level		MSL 3				260°C
Lead Frame		Cu				
Plating		Sn 100%				> 7 μm

1) 符合 Jedec JESD51-7 标准

6.2 封装外形

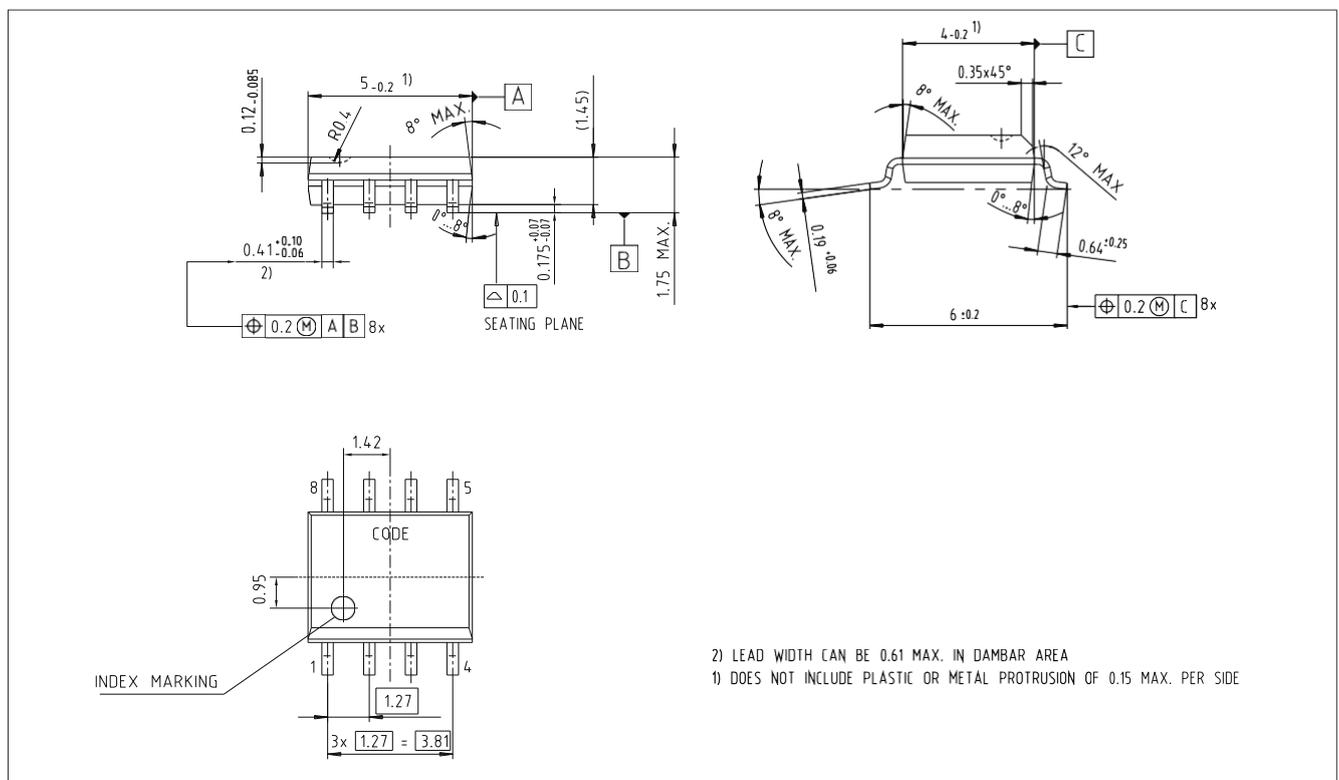


图 38 PG-DSO-8 封装尺寸

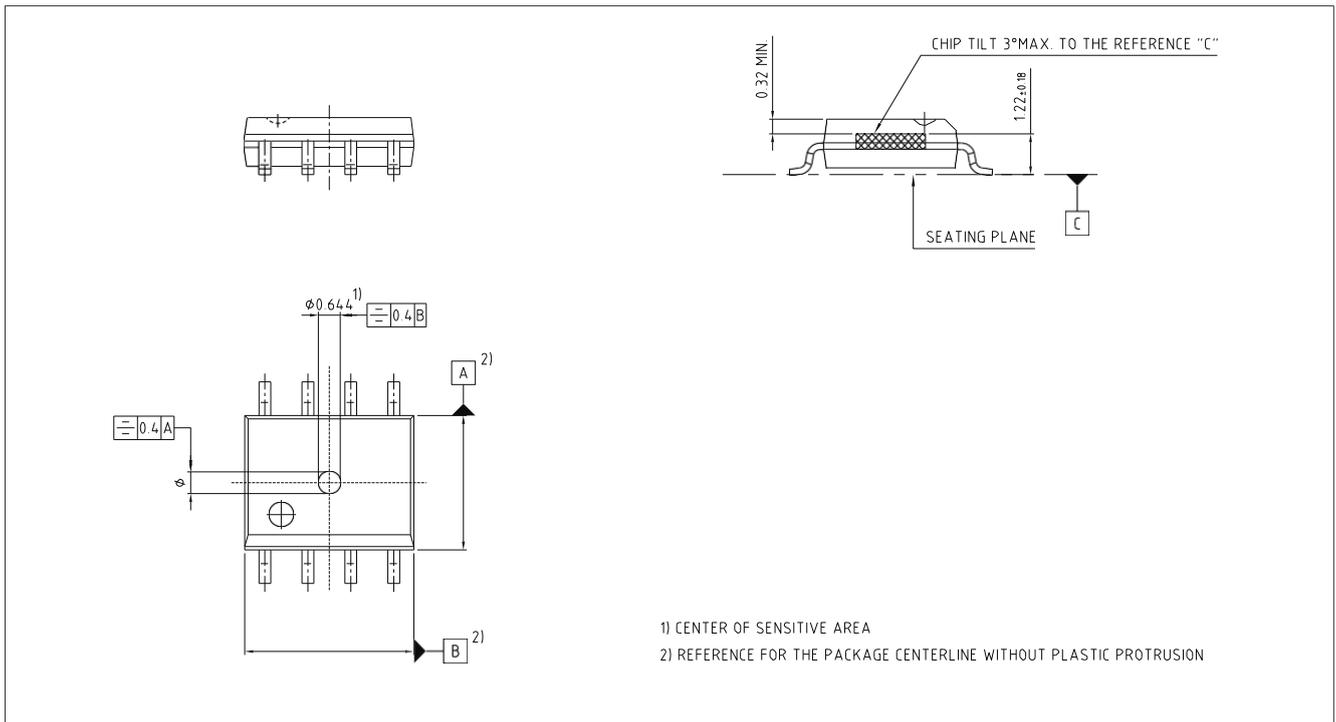


图 39 传感元件的位置

表 30 封装中传感器集成电路的放置公差

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Position eccentricity		-200		200	μm	In X- and Y-direction
Rotation		-3		3	$^{\circ}$	Affects zero position offset of sensor
Tilt		-3		3	$^{\circ}$	

6.3 封装

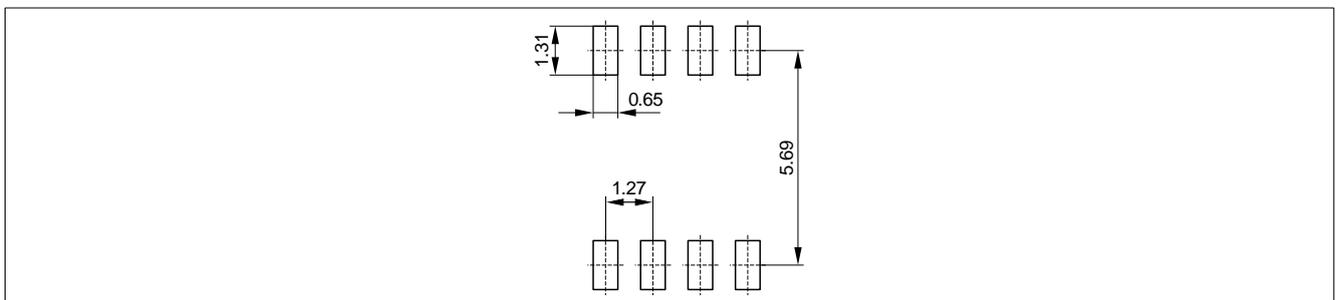


图 40 PG-DSO-8 封装

6.4 包装

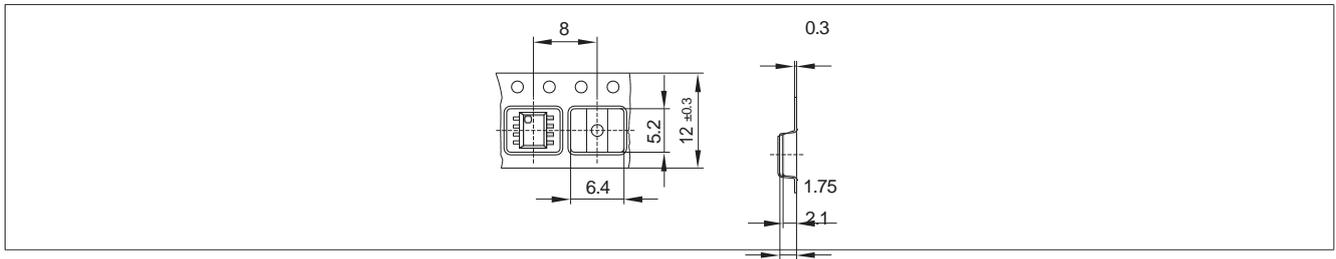


图 41 卷带包装

6.5 标记

Position	Marking	Description
1st Line	012Bxxxx	See Table 1 “Derivate ordering codes” on Page 2
2nd Line	xxx	Lot code
3rd Line	Gxxxx	G..green, 4-digit..date code

正在处理

注： 有关加工建议，请参阅英飞凌加工注意事项。

7 修订记录

Revision	Date	Changes
Rev. 2.1	2018-06-20	New Template/New Logo Chapter 4.4.5: Add footnote regarding maximum rotation speed Chapter 3: Update Chapter 3



免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。

由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。

因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 <http://www.infineon.com>

英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

重要通知

版本 2026-02-09

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2025 Infineon Technologies AG
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this
document?

Email:

erratum@infineon.com

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称“英飞凌”）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称“产品”），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文件中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：

由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称“安全漏洞”），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文档包含或引用软件：

根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码 (binary code) 形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 <https://www.infineon.com>。