

英飞凌TLE5x09A16(D)

模拟 AMR/GMR 角度传感器



RoHS



ISO 26262
ready

特性

- 采用 AMR 或 GMR 技术的单die及双die传感器
- 顶部和底部传感器的独立供电引脚
- 低功耗和快速启动
- 180° (AMR) 和 360° (GMR) 非接触式角度测量
- 输出幅度针对 3.3 V 或 5 V 供电电路优化
- 基于 MR 传感原理，不受气隙变化的影响
- 符合汽车标准的 Q100，1 级：-40°C 至 125°C（环境温度）
- 用于差分或单端应用的预放大输出信号
- 可在一个封装中实现 GMR 传感器和 AMR 传感器的多种冗余组合
- 高精度，AMR 传感器的总角度误差通常为 0.1°
- 绿色产品：符合 RoHS 标准



功能安全

可申请安全手册和安全分析总结报告。

产品验证

专为汽车应用而开发。产品依据AEC-Q100进行验证。

潜在应用

英飞凌TLE5x0916(D) 角度传感器专为安全要求严格的汽车和非汽车应用中的角度位置传感而设计。该传感器低延时，尤其适用于对速度要求较高的系统，高精度，能满足如用于执行器和电动助力转向系统 (EPS) 的无刷直流 (BLDC) 电机。AMR 传感器变体的典型精度为 0.1°，适用于具有高转速和高精度要求的系统，如踏板、杠杆或具有偶数极对的无刷直流 (BLDC) 电机。同时，它们的启动时间短、总体功耗低，因此可用于低功耗的旋转计数。功率循环可实现极低的功耗，其快速开机的优势可降低平均功耗。潜在应用有：

- 无刷直流电机
- 踏板和旋转开关
- 转向角传感
- 阀门或翻板位置传感

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）。

模拟 AMR/GMR 角度传感器

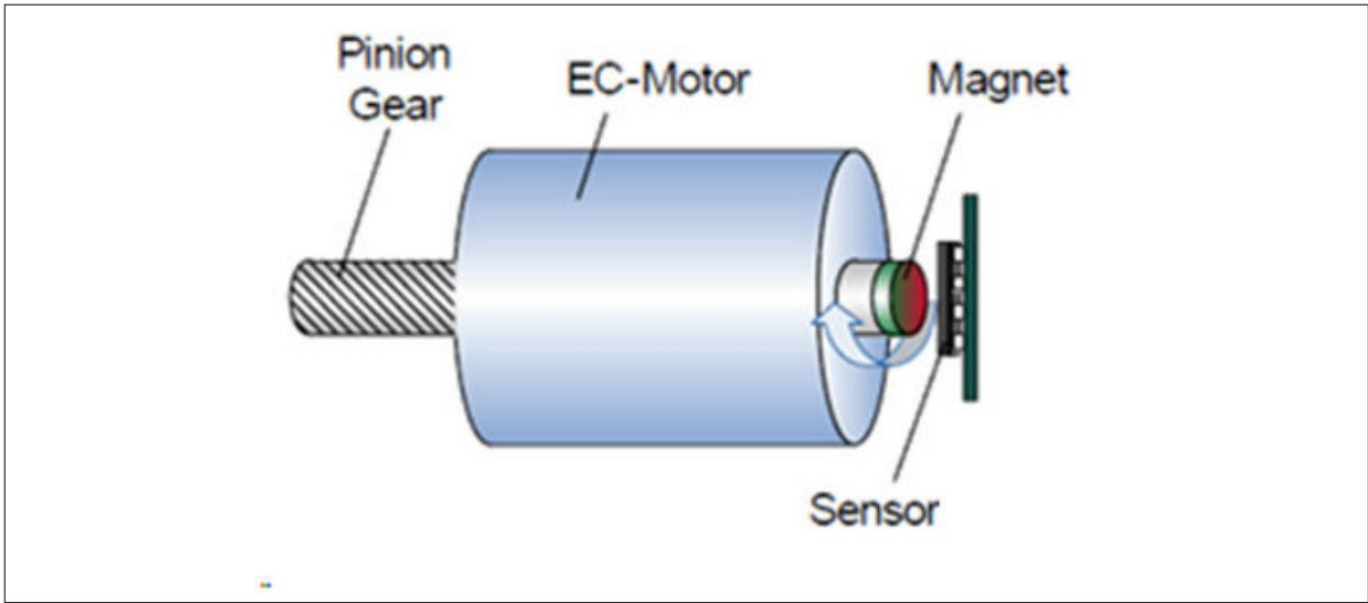


图 1 TLE5x09A16(D) 的常见应用是电动换向电机

描述

TLE5x0916(D) 为带模拟输出的角度传感器。它们通过**磁阻（MR）**元件测量磁场的正弦和余弦分量，从而检测磁场方向。该传感器分别提供模拟正弦和余弦输出电压，对应 0 至 180°（AMR 传感器）和 0 至 360°（GMR 传感器）的磁场角度范围。该传感器通过在一个封装内上下各配置一个可以实现 360° 全角度测量的**巨磁阻（GMR）**传感器和**各向异性磁阻（AMR）**传感器实现高精度。TLE5x09A16(D) 传感器系列有以下衍生产品：

- 双die GMR：TLE5009A16D
- 单die AMR：TLE5109A16
- 双die AMR（下）/ GMR（上）：TLE5309D

差分 MR 电桥信号与磁场强度无关，可在较宽的温度和磁场范围内保持恒定的输出电压。模拟输出设计用于差分或单端应用，并采用内部温度补偿以提高精度。

该传感器有单die版本（TLE5x09A16）和双die版本（TLE5x09A16D），适用于需要冗余的安全应用。两个版本的引脚兼容，便于扩展。在双die TLE5x09A16D 中，两个传感器芯片分别由独立的电源和接地引脚供电。

表 1 TLE5009A16(D) 系列产品订购代码

Product Type	Marking	Ordering Code	Package	Description
TLE5009A16D E1210	09A21210	SP001296122	PG-TDSO-16	3.3 V, dual die, with TCO ¹⁾
TLE5009A16D E2210	09A22210	SP001296130	PG-TDSO-16	5.0 V, dual die, with TCO ¹⁾

1) 温度补偿偏移。

模拟 AMR/GMR 角度传感器

表 2 TLE5109A16(D) 衍生订购代码

Product Type	Marking	Ordering Code	Package	Description
TLE5109A16 E1210	10911210	SP000956970	PG-TDSO-16	3.3 V, single die, with TCO ¹⁾
TLE5109A16 E2210	10912210	SP000956966	PG-TDSO-16	5.0 V, single die, with TCO ¹⁾

1) 温度补偿偏移。

表 3 TLE5309D 系列产品订购代码

Product Type	Marking	Ordering Code	Package	Description
TLE5309D E1211	309D1211	SP001227880	PG-TDSO-16	3.3 V, dual die, AMR (bottom) and GMR (top), with TCO ¹⁾
TLE5309D E2211	309D2211	SP001227888	PG-TDSO-16	5.0 V, dual die, AMR(bottom) and GMR (top), with TCO ¹⁾
TLE5309D E5201	309D5201	SP001227884	PG-TDSO-16	5.0 V AMR (bottom), 3.3 V GMR (top), dual die, without TCO ¹⁾

1) 温度补偿偏移。

目录

目录

	模拟 AMR/GMR 角度传感器	1
	目录	4
1	功能描述	5
1.1	一般描述.....	5
1.2	引脚配置.....	8
1.3	引脚说明.....	8
1.4	框图.....	10
1.5	双die角度输出	11
2	规格	13
2.1	应用电路.....	13
2.2	绝对最大额定值.....	17
2.3	传感器规格.....	18
2.3.1	工作范围.....	18
2.3.2	电气参数	19
2.3.3	输出参数.....	19
2.4	错误诊断.....	24
2.5	角度性能.....	24
2.6	静电放电保护.....	27
2.7	电磁兼容性 (EMC).....	27
3	封装信息	28
3.1	封装参数.....	28
3.2	封装外形.....	28
3.3	焊盘.....	30
3.4	包装.....	31
3.5	标记.....	32
	修订记录	33
	免责声明	35

功能描述

1 功能描述

1.1 一般描述

磁阻（MR）传感器采用垂直整合技术。这意味着 MR 敏感区域集成在集成电路的模拟部分之上。这些 MR 元件会根据磁场的方向改变电阻。

在每个传感器上，四个独立的 MR 元件以惠斯通电桥排列方式连接。每个 MR 元件都能感应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）

全桥结构的优点是 MR 信号的振幅加倍，温度效应抵消。

GMR 传感器

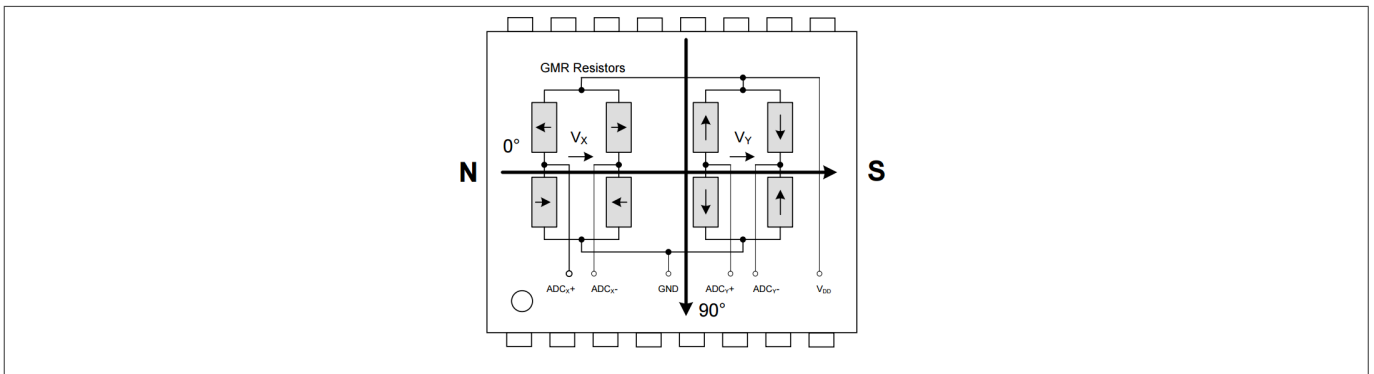


图 2 GMR 传感器的敏感电桥

注： 在图 2 中，电阻器中的箭头表示参考层的方向。为了更加直观，敏感区域的尺寸被放大。

利用三角函数 ARCTAN2，可以根据 (1) 计算出 X 和 Y 信号关系所代表的真实 360° 角值。

$$\alpha = \arctan2(V_x, V_y) \quad (1)$$

ARCTAN2 函数是一个微控制器库函数，使用单位圆上的 x 坐标和 y 坐标解析 360° 范围内的角度。

功能描述

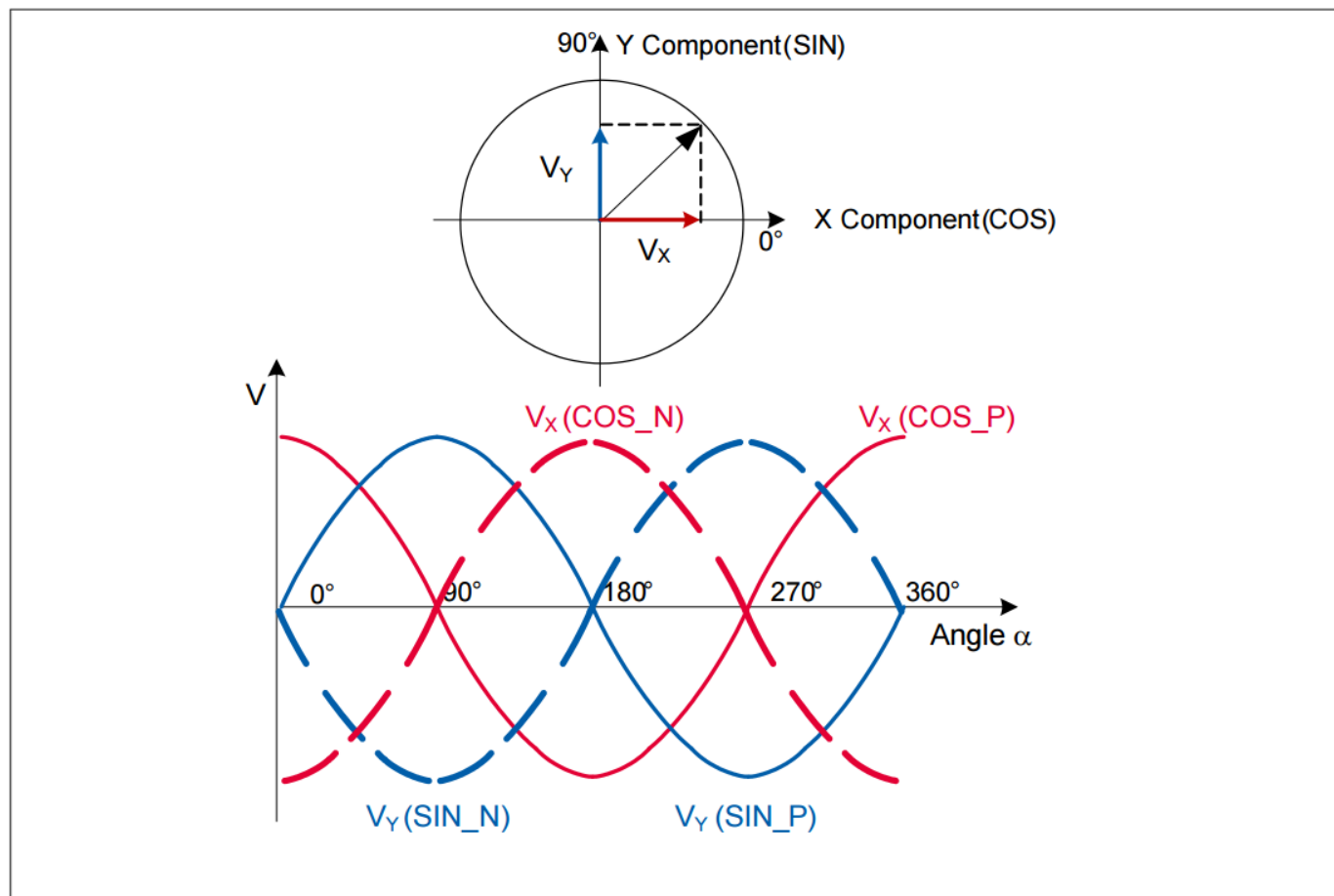


图 3 GMR 传感器桥接的输出端

AMR 传感器

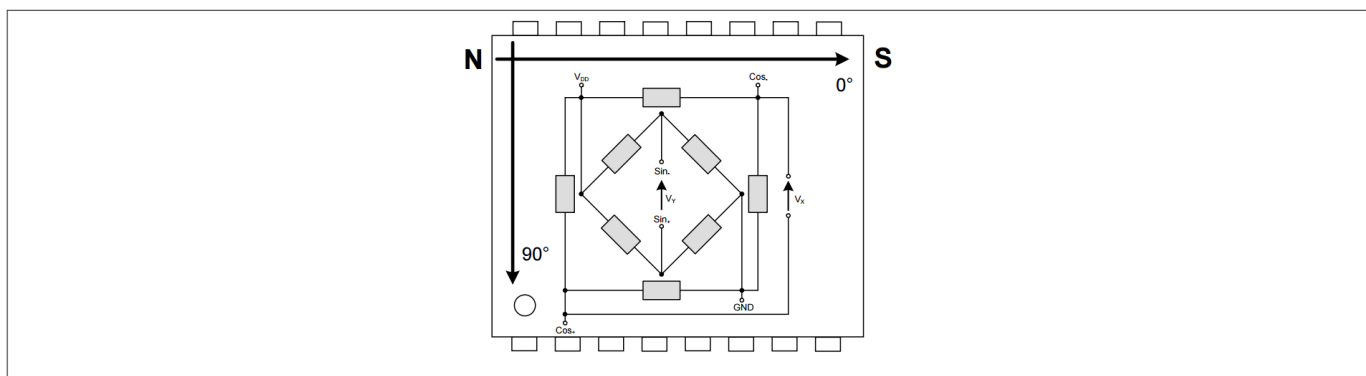


图 4 AMR 传感器的敏感电桥

注: 在图4中, 为了更加直观, 敏感区域的尺寸被放大。

功能描述

利用三角函数 ARCTAN2，可根据 (2) 计算出 X 和 Y 信号关系所代表的真实 180° 角值。AMR 传感元件内部测量的是两倍角度，因此结果必须除以 2。当外部磁场角度 α 在 180° 和 360° 之间时，传感器测量的角度为 $\alpha - 180^\circ$ 。

$$\alpha = \arctan2(V_x, V_y) / 2 \quad (2)$$

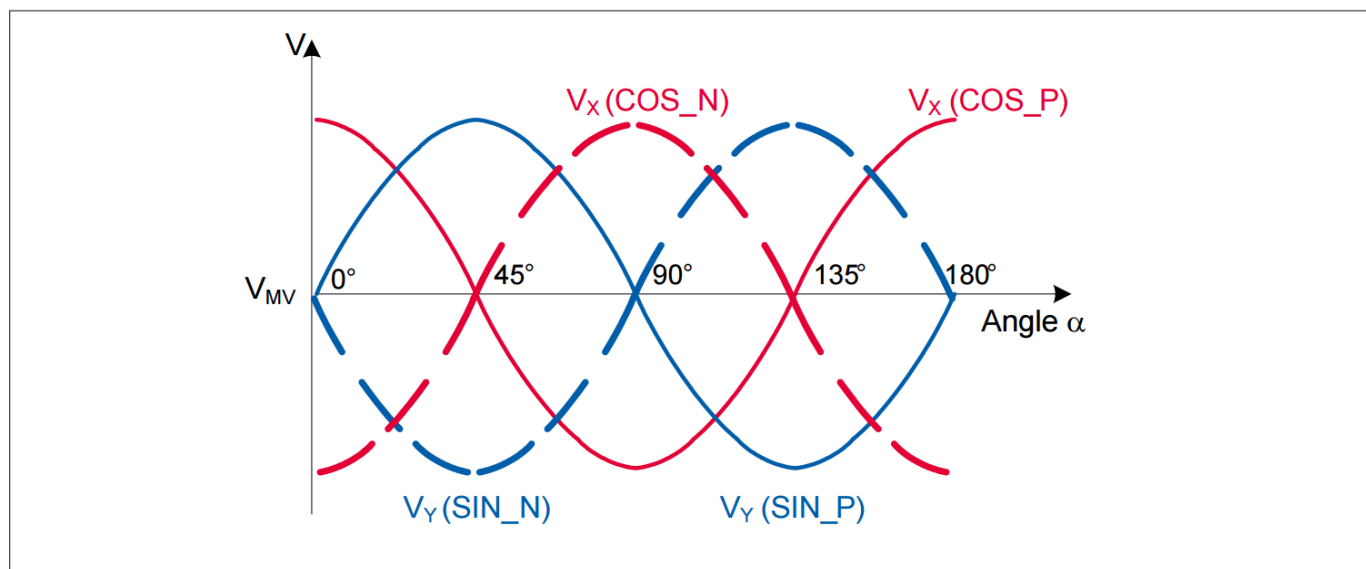


图 5 AMR 传感器桥接的输出端

功能描述

1.2 引脚配置

敏感区位于芯片中心。

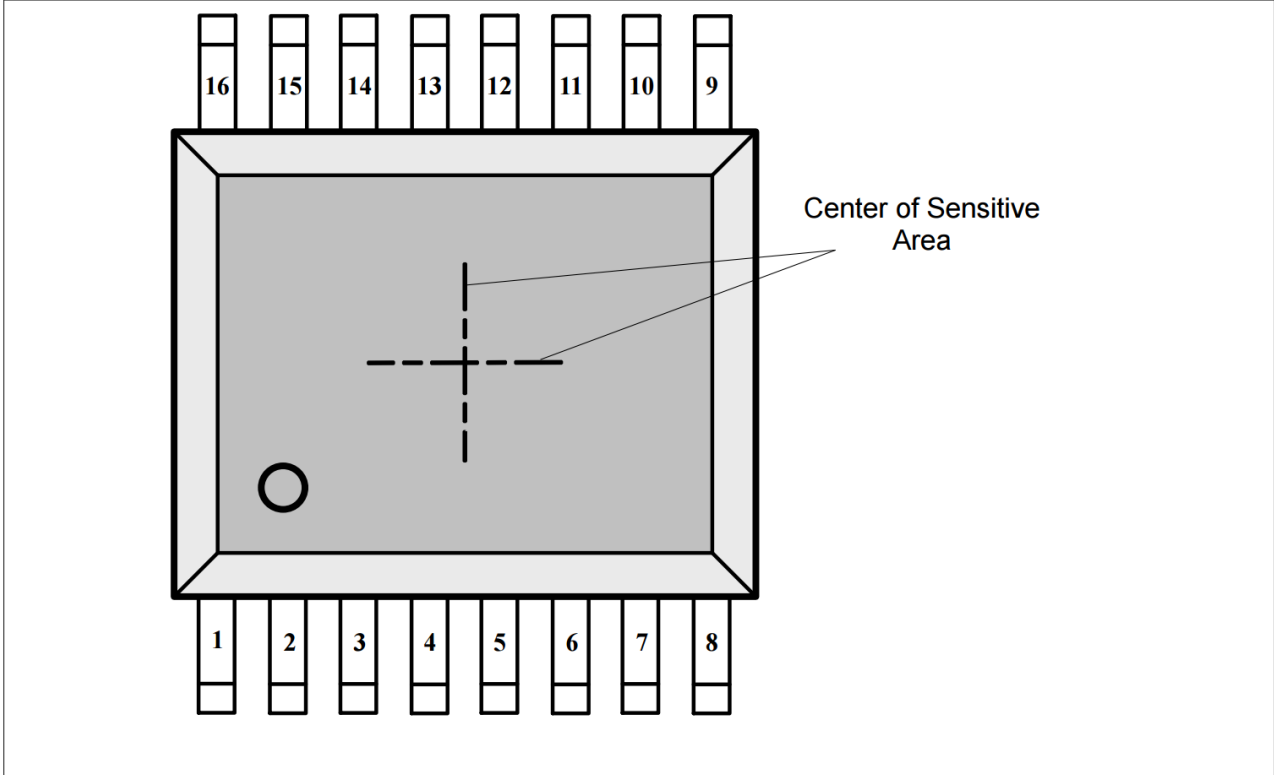


图 6 引脚配置（顶视图）

1.3 引脚说明

上die定义为die 1，下die定义为die 2。单die传感器只使用上die。

表 4 引脚说明

Pin No.	Pin Name	In/Out	TLE5x09A16 - Function	TLE5x09A16D - Function
1	V _{DIAG1}	O	Die 1 bridge voltage proportional to temperature. Diagnostic function	Die 1 bridge voltage proportional to temperature. Diagnostic function
2	V _{DD1}		Die 1 Supply voltage	Die 1 Supply voltage
3	SIN_N1	O	Die 1 Analog negative sine output	Die 1 Analog negative sine output
4	SIN_P1	O	Die 1 Analog positive sine output	Die 1 Analog positive sine output
5	SIN_P2	O	Not connected	Die 2 Analog positive sine output
6	SIN_N2	O	Not connected	Die 2 Analog negative sine output
7	V _{DD2}		Not connected	Die 2 Supply voltage
8	V _{DIAG2}	O	Not connected	Die 2 bridge voltage proportional to temperature. Diagnostic function
9	GND2		Not connected	Die 2 Ground

（表格续下页.....）

功能描述

表 4 (续) 引脚说明

Pin No.	Pin Name	In/Out	TLE5x09A16 - Function	TLE5x09A16D - Function
10	GND2		Not connected	Die 2 Ground
11	COS_N2	O	Not connected	Die 2 Analog negative cosine output
12	COS_P2	O	Not connected	Die 2 Analog positive cosine output
13	COS_P1	O	Die 1 Analog positive cosine output	Die 1 Analog positive cosine output
14	COS_N1	O	Die 1 Analog negative cosine output	Die 1 Analog negative cosine output
15	GND1		Die 1 Ground	Die 1 Ground
16	GND1		Die 1 Ground	Die 1 Ground

功能描述

1.4 框图

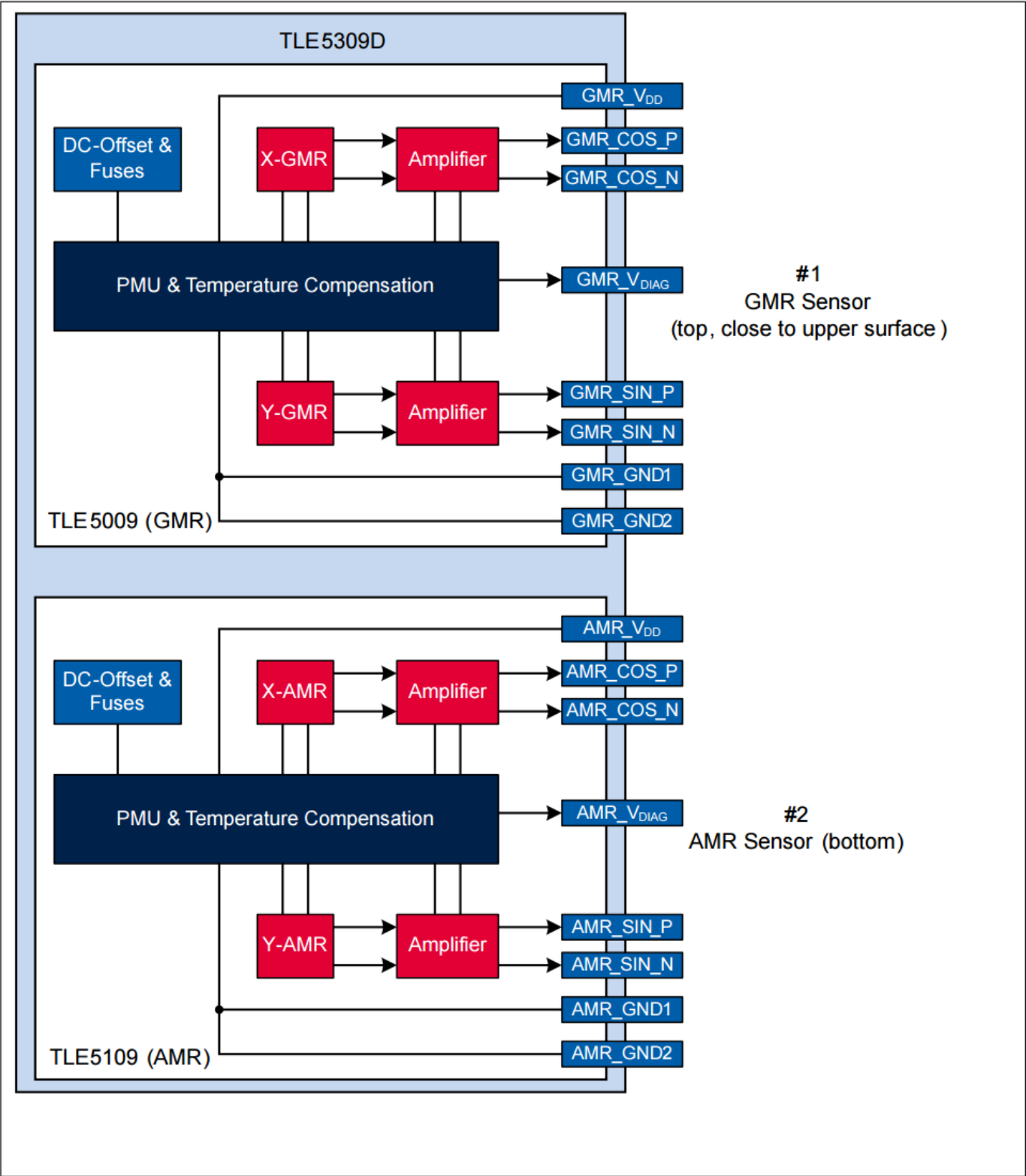


图 7 TLE5x09A16(D) 框图示例：采用die 1 GMR 和die 2 AMR 传感技术的 TLE5309D 传感器

功能描述

1.5 双die角度输出

TLE5x09A16(D) 包括安装在封装引线框架顶部和底部的两个 MR 角度传感器集成电路，采用翻转配置，因此敏感元件在封装平面上的位置一致。这种安装技术可确保两个芯片感应到的磁场方向偏差最小。

由于翻转安装，TLE5009A16D 的两个 GMR IC 可感应到相反的旋转方向。图 8 显示了在给定外部磁场方向的情况下，根据两个芯片的输出分别计算出的角度。

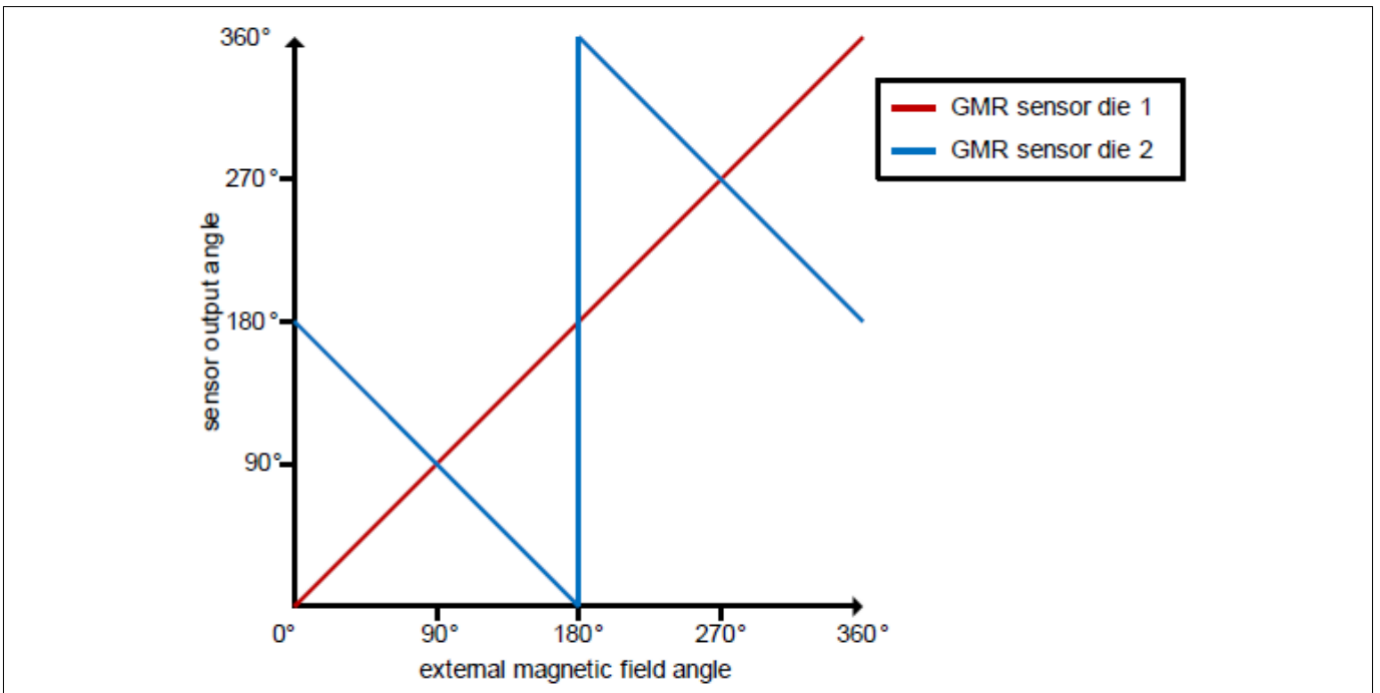


图 8 TLE5009A16D 双die角度输出

TLE5309D 的底部传感器元件是一个 AMR 传感器，其信号只有在 180° 范围内才是明确的。因此，在 GMR 传感器的 180° 至 360° 角度范围内，AMR 传感器的输出信号也将在 0° 至 180° 范围内。图 9 举例说明了这一情况，该图显示了在给定外部磁场方向下，分别根据公式(1)和(2)由 GMR 和 AMR 传感器输出计算得出的角度。

如果在应用中需要两个传感器的不同输出，则可以交换印刷电路板上 SIN_N 和 SIN_P 或 COS_N 和 COS_P 引脚的连接。这种连接变化的结果是，差分正弦或余弦信号被反转，这相当于旋转方向的变化（见图 9 中的虚线）。

功能描述

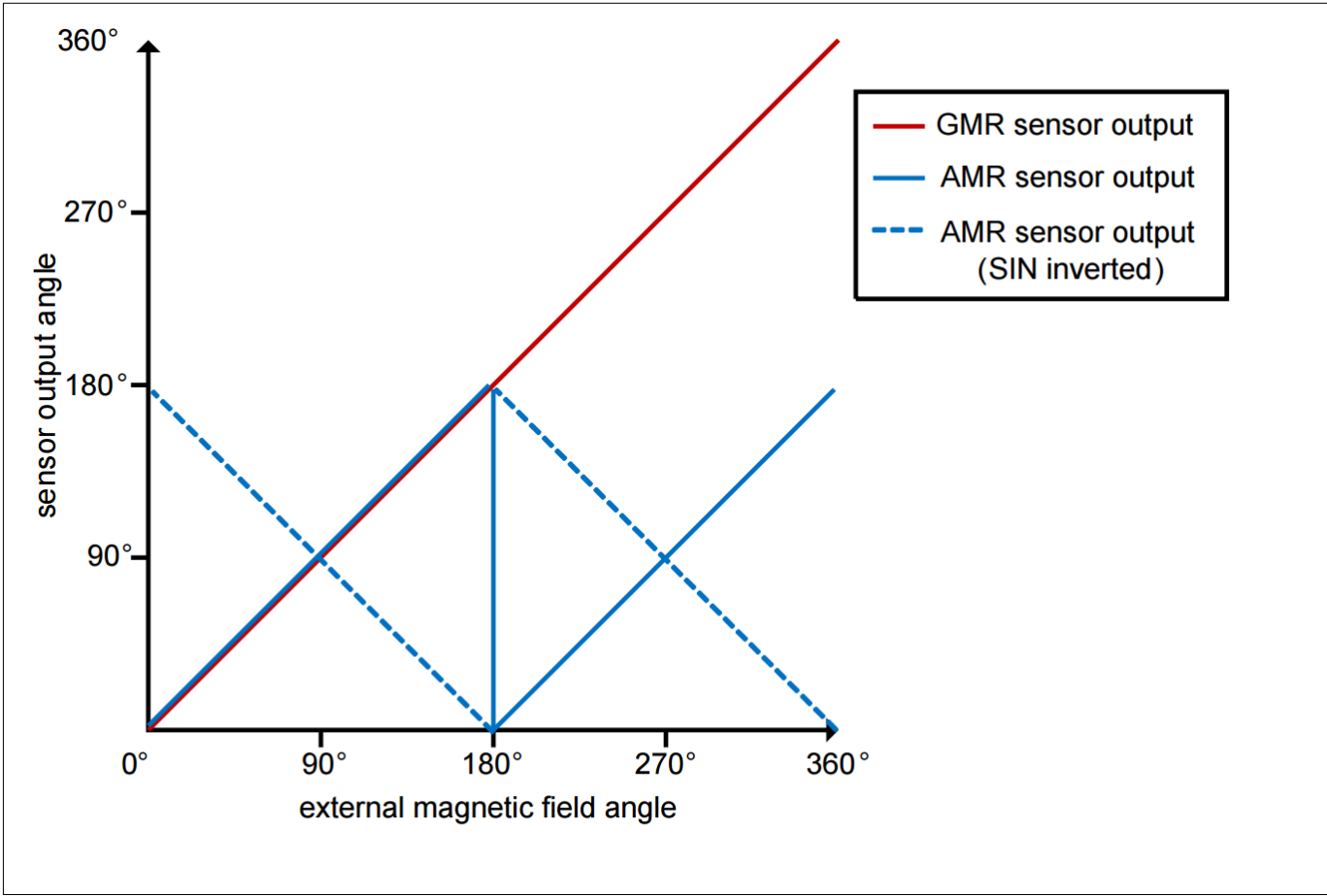


图 9 TLE5309D 双die角度输出

注意： 封装中每个传感器 IC 的定位精度为 $\pm 3^\circ$ 。此外，在整体角度偏移中必须考虑与传感器技术相关的磁化偏移。对于 GMR 传感器，根据每个芯片的规格，非正交误差在最坏情况下为 $\pm 12^\circ$ 。对于 AMR，这种影响可以忽略不计。非正交误差是指 90° 相位相关性与 X 和 Y 相位的偏差。表 5 列出了 AMR 和 GMR die 由此产生的角度误差偏移。这两种影响都可以通过线端校准（包括零相或 X 参考方向的定义）来补偿。表 11 和表 12 中的角度精度不包括角度误差偏移。

表 5 未进行线端校准时的角度误差偏移

	AMR	GMR
Rotational displacement die to package	$\pm 3^\circ$	$\pm 3^\circ$
Magnetization error on die	$\pm 0^\circ$	$\pm 12^\circ$
Overall error	$\pm 3^\circ$	$\pm 15^\circ$

规格

2 规格

2.1 应用电路

TLE5x09A16(D) 传感器可用于单端或差分输出模式。图10显示了 TLE5x09A16(D) 在单端输出模式下使用正输出通道的典型应用电路。对于单端操作，可使用正或负输出通道。未使用的单端输出引脚最好为浮动引脚或以大电阻 ($> 100 \text{ k}\Omega$) 连接至 GND。TLE5x09A16(D) 的 GMR 传感器和 AMR 传感器有独立的电源引脚。微控制器包括多达 10 个 A/D 输入，用于接收差分输出模式下的传感器输出信号，如图 11 所示。出于电磁兼容和输出滤波的考虑，建议采用以下 RC 低通滤波器。RC 低通必须根据应用的转速进行调整。¹⁾

注意：未使用的输出引脚不应被连接。

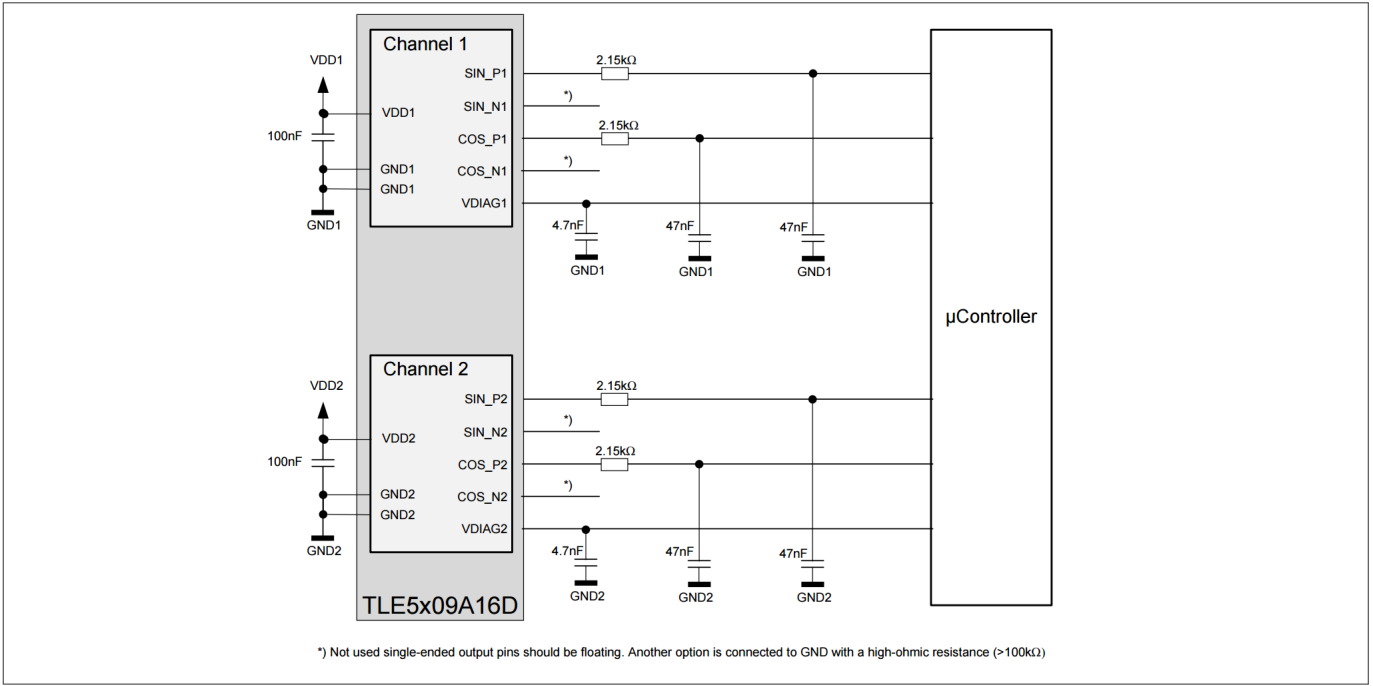


图 10 TLE5x09A16(D) 在单端输出模式下的应用电路；使用正输出通道

¹⁾ 例如， $R=2.15\text{k}\Omega$ 和 $C=47\text{nF}$ 的 RC 低通适用于转速高达 10,000 rpm 的场景。

规格

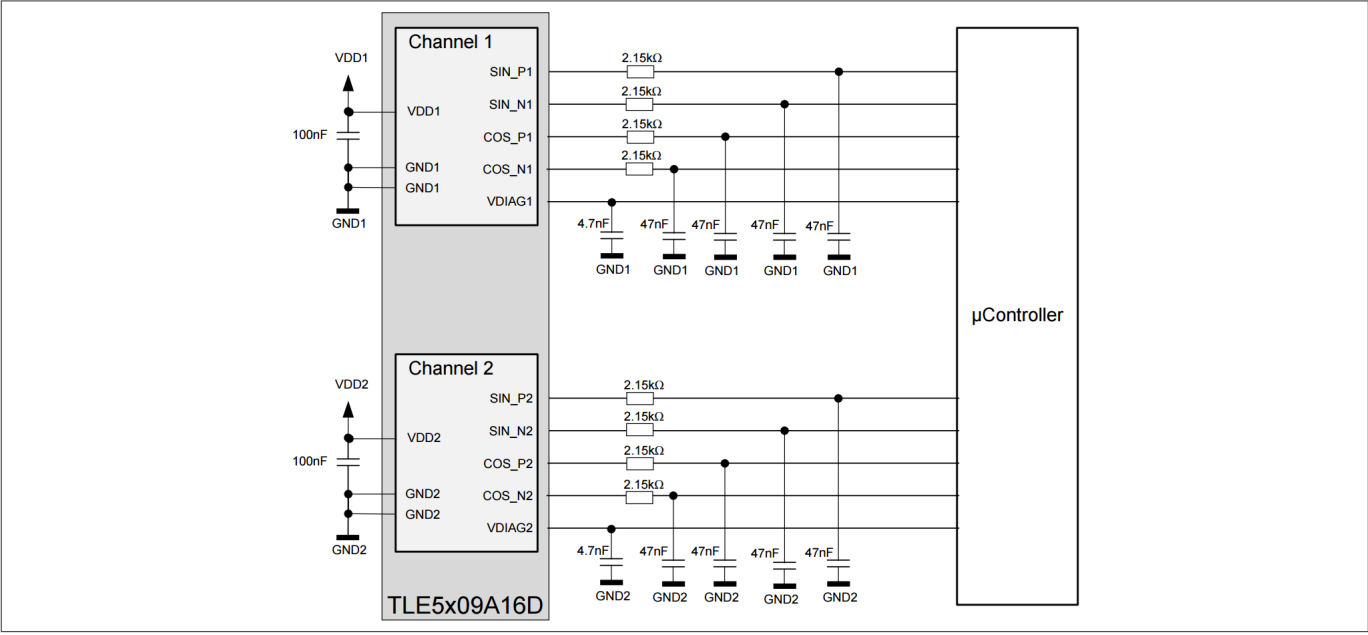


图 11 差分输出模式下 TLE5x09A16(D) 的应用电路

低功耗应用电路（例如转计数器）

使用电动马达和致动器的应用可能需要转向计数器功能。旋转计数器功能可以在低功耗的情况下跟踪电动马达或执行器的位置。在运行过程中，传感器处于通电状态，因此角度信息始终可用，必要时还可储存。但当系统不运行时，为了节省电能，传感器会关闭电源，因此无法检测到旋转运动。为避免错过位置，可定期唤醒传感器以获取角度信息。唤醒时间的最小长度必须包括 TLE5x09A16(D) 的上电时间（如表 8 所述）和传输数据所需的时间，这也取决于应用电路。

图 12 显示了具有圈数计数功能的系统的最佳 TLE5309D 单端输出应用电路，图 13 显示了差分输出。正常工作时，AMR 传感器用于高精度角度测量，GMR 传感器用于圈数计数功能。采用较低电阻和电容设计，低通滤波器的时间常数可适用于高速应用。因此，TLE5309D 读取输出信号所需的供电时间大大缩短。

规格

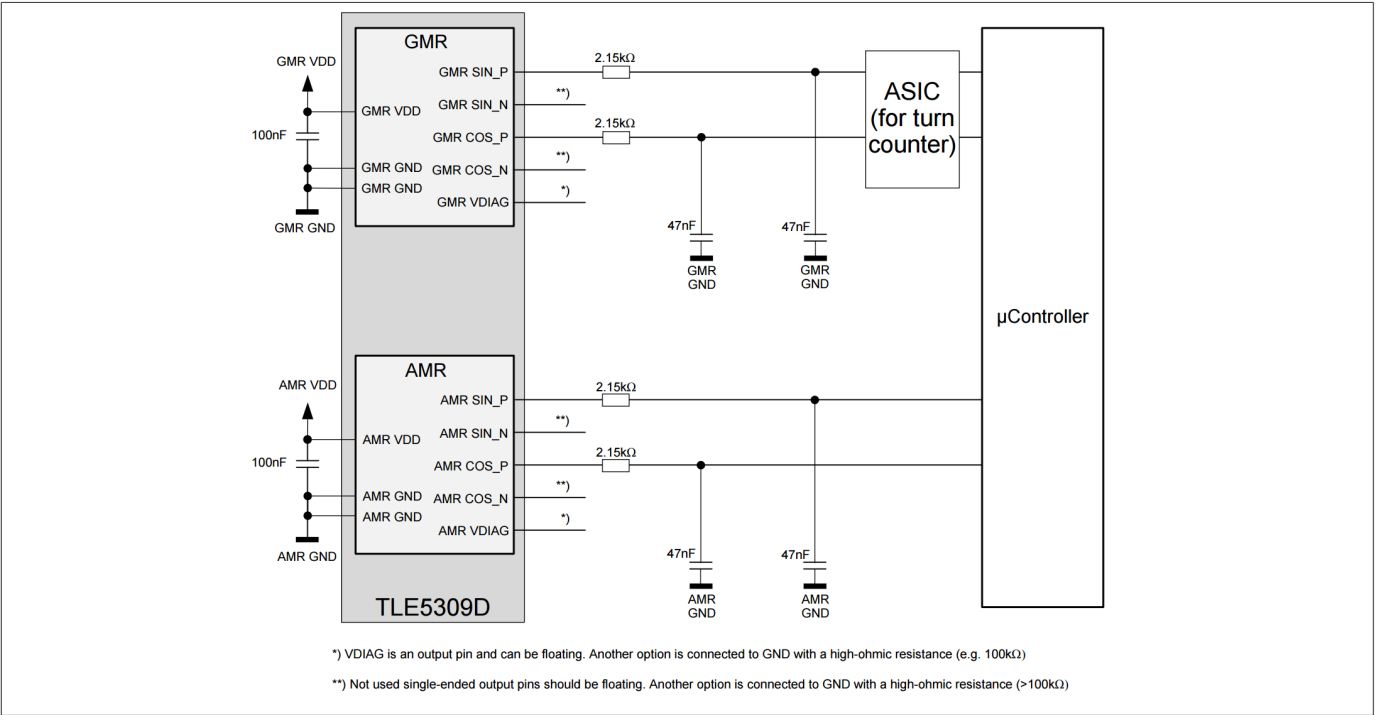


图 12 TLE5309D 在单端输出模式低功耗应用中的应用电路（例如圈数计数器）；使用正输出通道

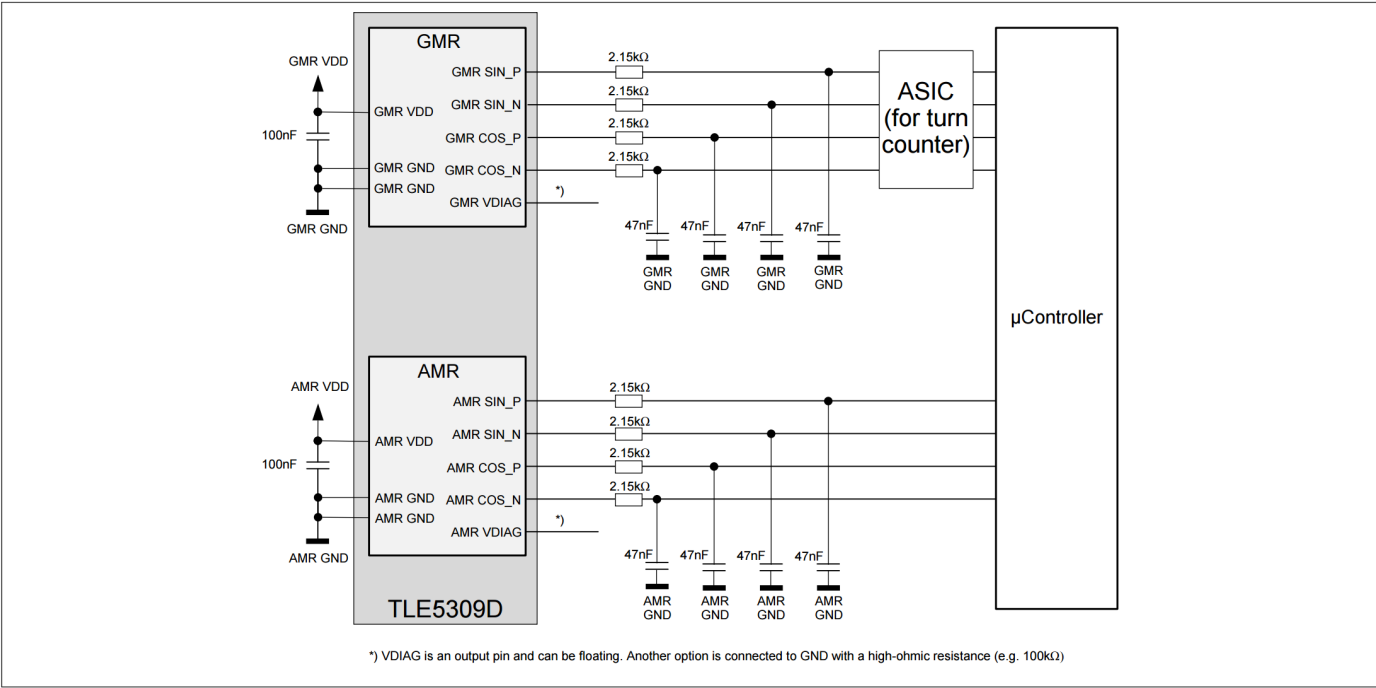


图 13 TLE5309D 在差分输出模式低功耗应用中的应用电路（例如圈数计数器）

用于部分诊断的下拉电阻

也可以使用下拉电阻进行部分诊断。在这种设置下，无需使用 V_{DIAG} 引脚。带下拉电阻的应用电路如图 14 所示（单端输出），如图 15 所示（差分输出）。更多详情，请参阅《安全手册》。

规格

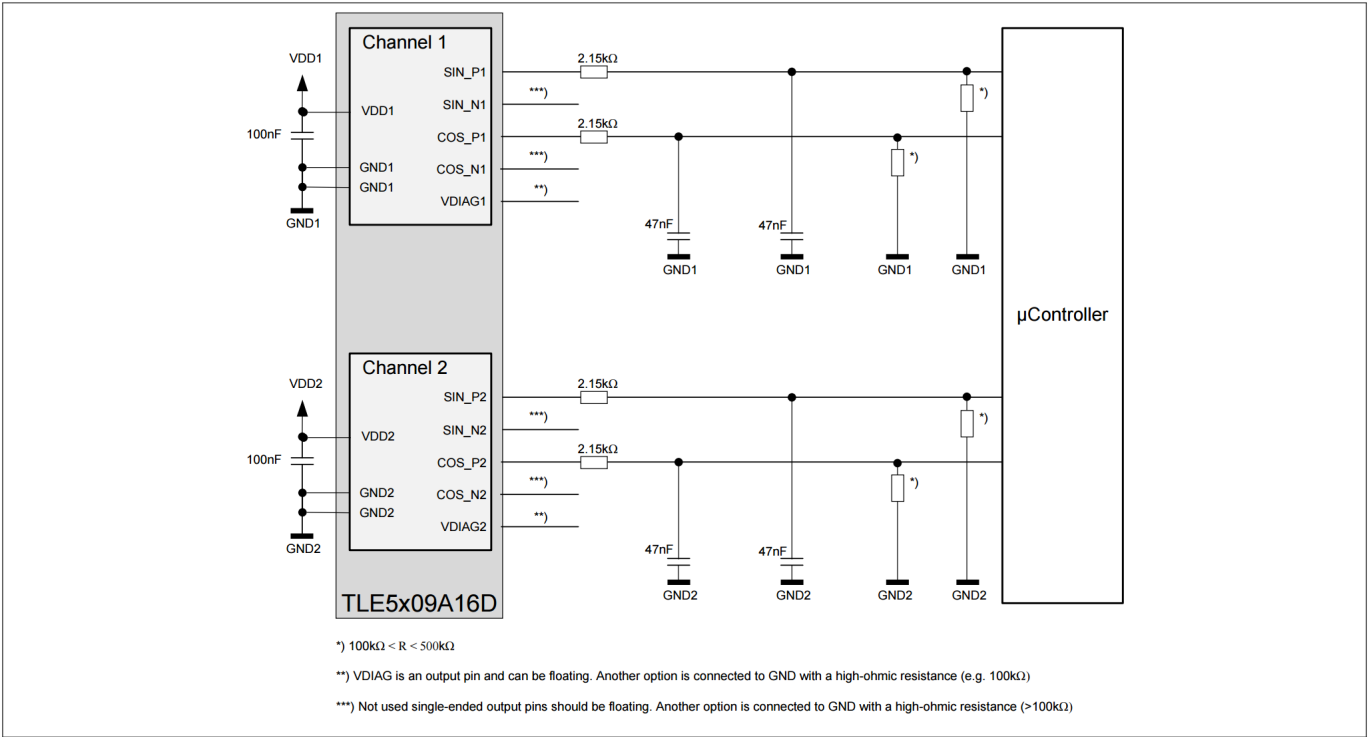


图 14 TLE5x09A16(D) 在单端输出模式下使用下拉电阻进行部分诊断的应用电路；使用正输出通道

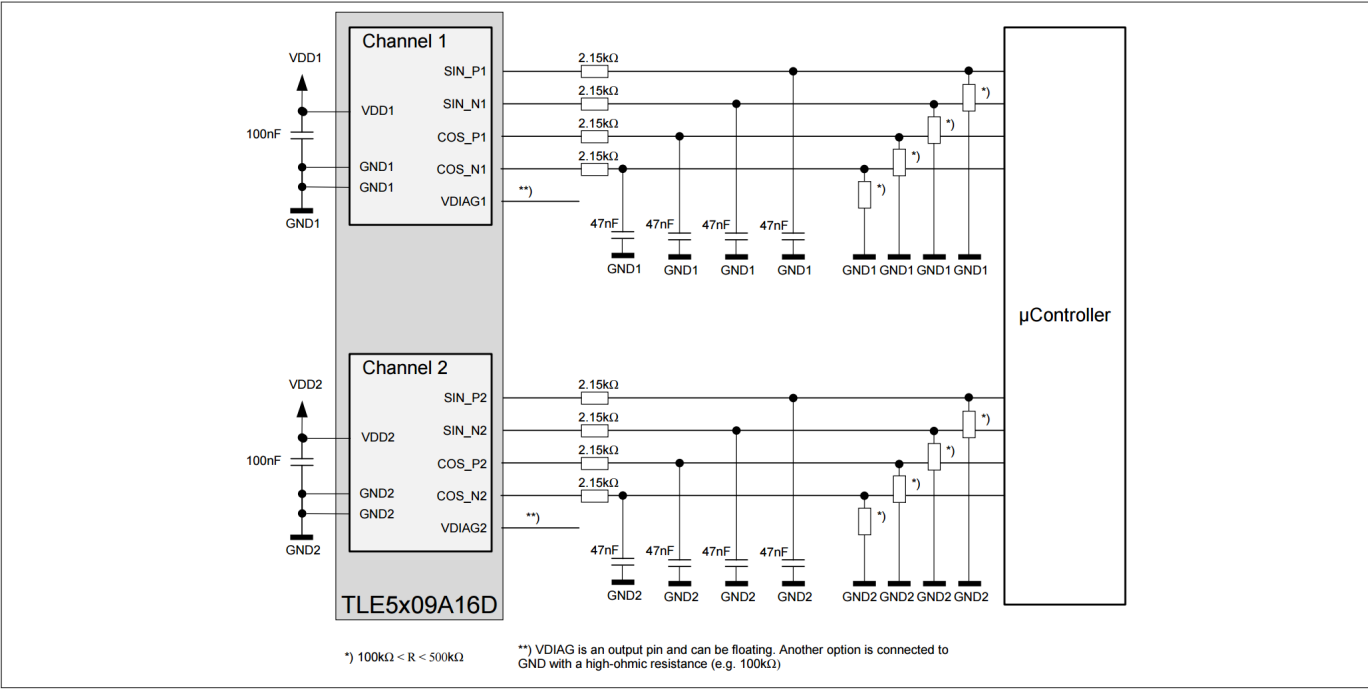


图 15 TLE5x09A16(D) 在差分输出模式下使用下拉电阻进行部分诊断的应用电路

规格

2.2 绝对最大额定值

表 6 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply voltage	V_{DD}	-0.5		6.5	V	Max. 40 h over lifetime
Ambient temperature ¹⁾	T_A	-40		140	°C	
Magnetic field induction	$ B $			200	mT	Max. 5 min. at $T_A = 25^{\circ}\text{C}$
				150	mT	Max. 5 h at $T_A = 25^{\circ}\text{C}$

1) 假设应用中传感器组件的热阻为 150 K/W 或以下。

注意： 超过此处所列的最大额定值可能会对器件造成永久性损坏。延长暴露在绝对最大额定值条件的时间可能会影响器件的可靠性。最大额定值是绝对额定值；超过其中一个值可能会对集成电路造成不可逆转的损坏。

规格

2.3 传感器规格

为确保 TLE5x09A16(D) 的正确运行，不得超过以下运行条件。

除非另有说明，以下各节中指定的所有参数均指这些工作条件。表 7 适用于 $-40^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ ，并贯穿 TLE5x09A16(D) 的使用寿命。除非另有说明，否则参数对 AMR 和 GMR 传感器有效。

2.3.1 工作范围

表 7 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Ambient temperature ¹⁾	T_A	-40		125	$^{\circ}\text{C}$	
Supply voltage GMR ²⁾	$V_{DD, GMR}$	3.0	3.3	3.6	V	E1210, E1211, E5201
		4.5	5	5.5	V	E2210, E2211
Supply voltage AMR ²⁾	$V_{DD, AMR}$	3.0	3.3	3.6	V	E1210, E1211
		4.5	5	5.5	V	E2210, E2211, E5201
Output current ^{3) 4)}	I_Q	0		0.5	mA	COS_N; COS_P; SIN_N; SIN_P
		0		0.1	mA	V_{DIAG}
Load capacitance ^{3) 5)}	C_L	0		4.7	nF	All output pins - without series resistor
Magnetic induction GMR ^{1) 3) 6) 7)}	B_{XY}	24		60	mT	In X/Y direction, at $T_A = 25^{\circ}\text{C}$
		26		100	mT	In X/Y direction, at $T_A = -40^{\circ}\text{C}$
		21		50	mT	In X/Y direction, at $T_A = 125^{\circ}\text{C}$
Magnetic induction AMR ^{3) 6)}	B_{XY}	20			mT	in X/Y direction, tested up to 500 mT quasi-static
Angle range	α	0		360	$^{\circ}$	(AMR is 180° -periodic, see Chapter 1.5)
Rotation speed ^{3) 8)}	n			30,000	rpm	
				150,000	rpm	No signal degradation observed in lab

- 1) 假设应用中传感器组件的热阻为 150 K/W 或更低。
- 2) 电源电压 V_{DD} 由靠近传感器的 100 nF 陶瓷电容器缓冲。
- 3) 不适用于生产测试 - 由设计/特性验证。
- 4) 假设负载对称。
- 5) 直接连接到引脚。
- 6) 数值指的是无垂直磁感应强度 ($B_z = 0 \text{ mT}$) 的均质磁场 (B_{XY})。
- 7) 中间温度的磁场最小值/最大值可通过线性插值获得。
- 8) 典型的角速度传播延迟误差为 30,000 rpm 时 1.62° 。

规格

2.3.2 电气参数

除非另有说明，否则所示电气参数适用于整个工作范围。典型值对应于指定的电源电压范围和 25°C，除非另有说明。所有其他值均适用于 $-40^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ 和 TLE5x09A16 (D) 整个使用寿命期间。

表 8 电气参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Supply current GMR	I_{DD}		7	10.5	mA	Without load on output pins
Supply current AMR			6	9.5	mA	Without load on output pins
POR level	V_{POR}	2.3	2.65	2.97	V	Power-On Reset
POR hysteresis ¹⁾	V_{PORhy}		50		mV	
Power-On time ²⁾	t_{PON}		40	70	μs	Settling time to 90% of full output voltages
Temperature reference voltage	V_{DIAG}	0.5	1.05	2.0	V	Temperature proportional output voltage; available on pin V_{DIAG}
Diagnostic function	V_{DIAG}	0		0.39	V	Diagnostic for internal errors; available on pin V_{DIAG}
Temperature coefficient of V_{DIAG} ¹⁾	$TC_{V_{DIAG}}$		0.4		%/K	

1) 不适用于生产测试 - 由设计/特性验证。

2) 在芯片输出引脚处测量的时间。

2.3.3 输出参数

除非另有说明，否则所有参数均适用于整个工作范围。表 9 中的参数指单引脚输出，表 10 中的参数指差分输出。有关变量名称，请参阅第 21 页的图 16 和第 22 页的图 18。

下面的公式描述了各种误差，这些误差共同造成了整体角度误差。

SIN 和 COS 信号的最大值和零交叉点并不发生在精确的 90° 角上。X 和 Y 相位之间的差值称为正交误差。在(3)中，Y SIN 输出最大值的角度减去 X COS 输出过零点的角度，这就是 X 和 Y 的正交性。

$$\varphi = [Y_{\max}] - \alpha [X_0] \quad (3)$$

SIN 和 COS 信号的振幅互不相等。振幅失配的定义是同步性，如 (4) 所示。这个值也可以描述为振幅比失配。

$$k = 100 * \frac{A_X}{A_Y} \quad (4)$$

规格

传感器输出 4 个单端信号 SIN_N、SIN_P、COS_N 和 COS_P，它们以电压偏移 $0.5 \cdot V_{DD}$ 为中心。差分信号由单端信号计算得出。X 或 Y 的差分电压在 (5) 中定义。

$$\begin{aligned} V_{Xdiff} &= V_{COSP} - V_{COSN} \\ V_{Ydiff} &= V_{SINP} - V_{SINN} \end{aligned} \quad (5)$$

差分信号的最大振幅以 0 V 为中心，X 或 Y 的定义如 (6) 所示：

$$\begin{aligned} A_{Xdiff} &= \frac{(X_{diff_MAX} - X_{diff_MIN})}{2} \\ A_{Ydiff} &= \frac{(Y_{diff_MAX} - Y_{diff_MIN})}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

X 或 Y 的差分偏移量的定义见 (7)。

$$\begin{aligned} O_{Xdiff} &= \frac{(X_{diff_MAX} + X_{diff_MIN})}{2} \\ O_{Ydiff} &= \frac{(Y_{diff_MAX} + Y_{diff_MIN})}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

在单端模式下，偏移被定义为平均输出电压，通常等于 $0.5 \cdot V_{DD}$ 。更多详情，请参阅应用笔记 "TLE5xxx(D) 校准"。

表 9 温度和寿命期间的单端输出参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
X, Y amplitude	A_X, A_Y	0.7		1.3	V	Sensors with 3.3 V supply
		1.2		1.95	V	Sensors with 5.0 V supply
X, Y synchronism	k	94	100	106	%	GMR
		94	100	106	%	AMR
X, Y orthogonality error	φ	-12		12	°	GMR (AMR negligible)
Mean output voltage	V_{MVX}, V_{MVG}	$0.47 \cdot V_{DD}$	$0.5 \cdot V_{DD}$	$0.53 \cdot V_{DD}$	V	$V_{MV} = (V_{max} + V_{min}) / 2^{1)}$
X, Y cut off frequency ²⁾	f_c		30		kHz	-3 dB attenuation
X, Y delay time ^{2) 3)}	t_{adel}		9		µs	
Output noise ²⁾	V_{Noise}		5		mV	RMS

1) V_{max} 和 V_{min} 分别对应于 X_{max} 或 Y_{max} 和 X_{min} 或 Y_{min} 处的电压电平，如图 16 和图 17 所示。

2) 不适用于生产测试 - 由设计/特性验证

3) 在芯片输出引脚处测量的时间。

TLE5x09A16(D)



规格

规格

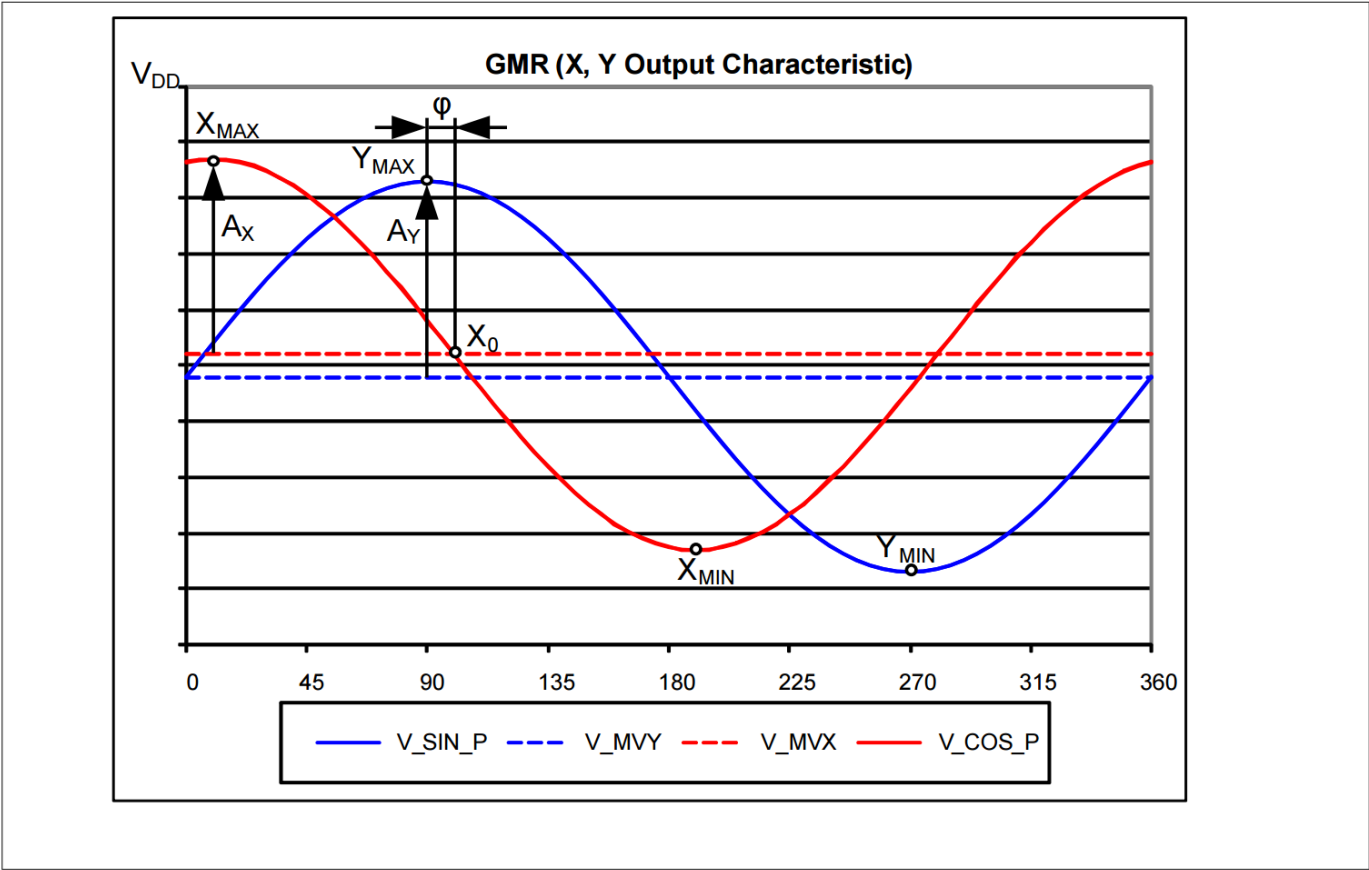


图 16 GMR 传感器单端输出信号

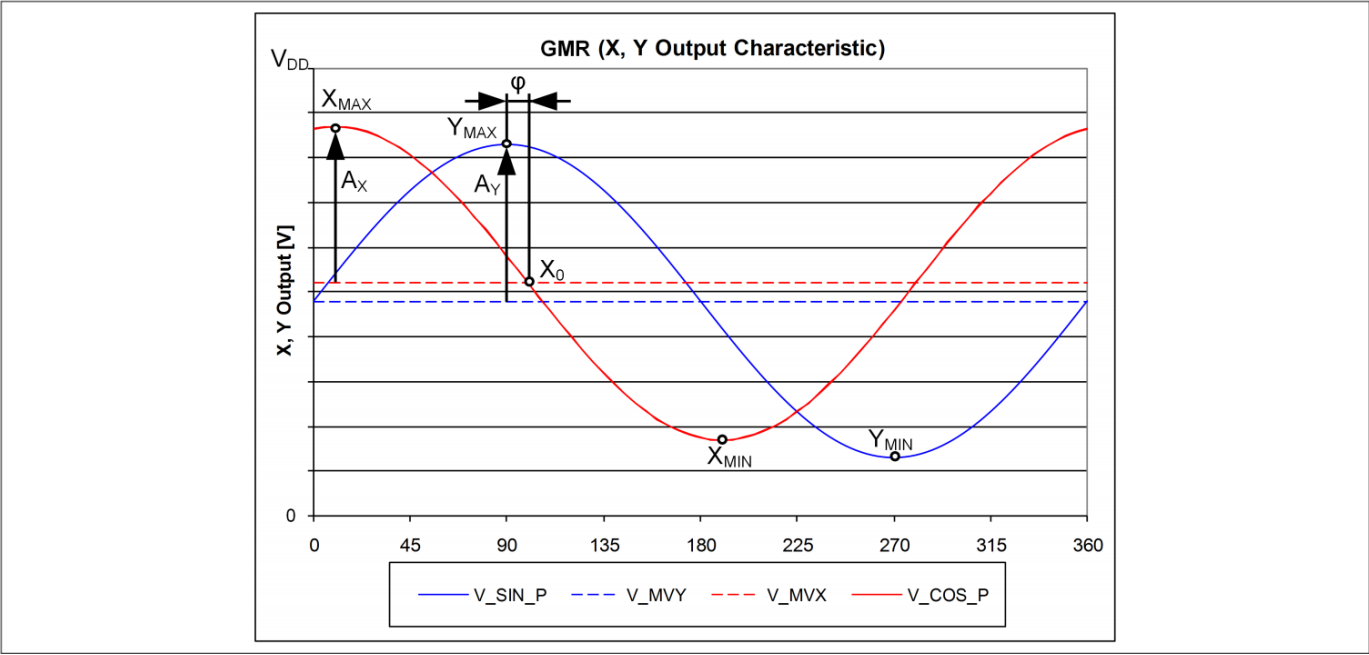


图 17 AMR 传感器单端输出信号

规格

表 10 不同温度和寿命下的差分输出参数

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
X, Y amplitude	A_{Xdiff}, A_{Ydiff}	1.4		2.6	V	Sensors with 3.3 V supply
		2.4		3.9	V	Sensors with 5.0 V supply
X, Y synchronism	k	94	100	106	%	GMR
		94	100	106	%	AMR
X, Y orthogonality error	φ	-12		12	°	GMR (AMR negligible)
X, Y offset	O_{Xdiff}, O_{Ydiff}	-100	0	100	mV	GMR
		-200	0	200	mV	AMR
X, Y cut-off frequency ¹⁾	f_c		30		kHz	-3 dB attenuation
X, Y delay time ^{1) 2)}	t_{adel}		9		µs	
Output noise ¹⁾	V_{Noise}		5		mV	RMS

- 1) 不适用于生产测试 - 由设计/特性验证。
2) 在芯片输出引脚处测量的时间。

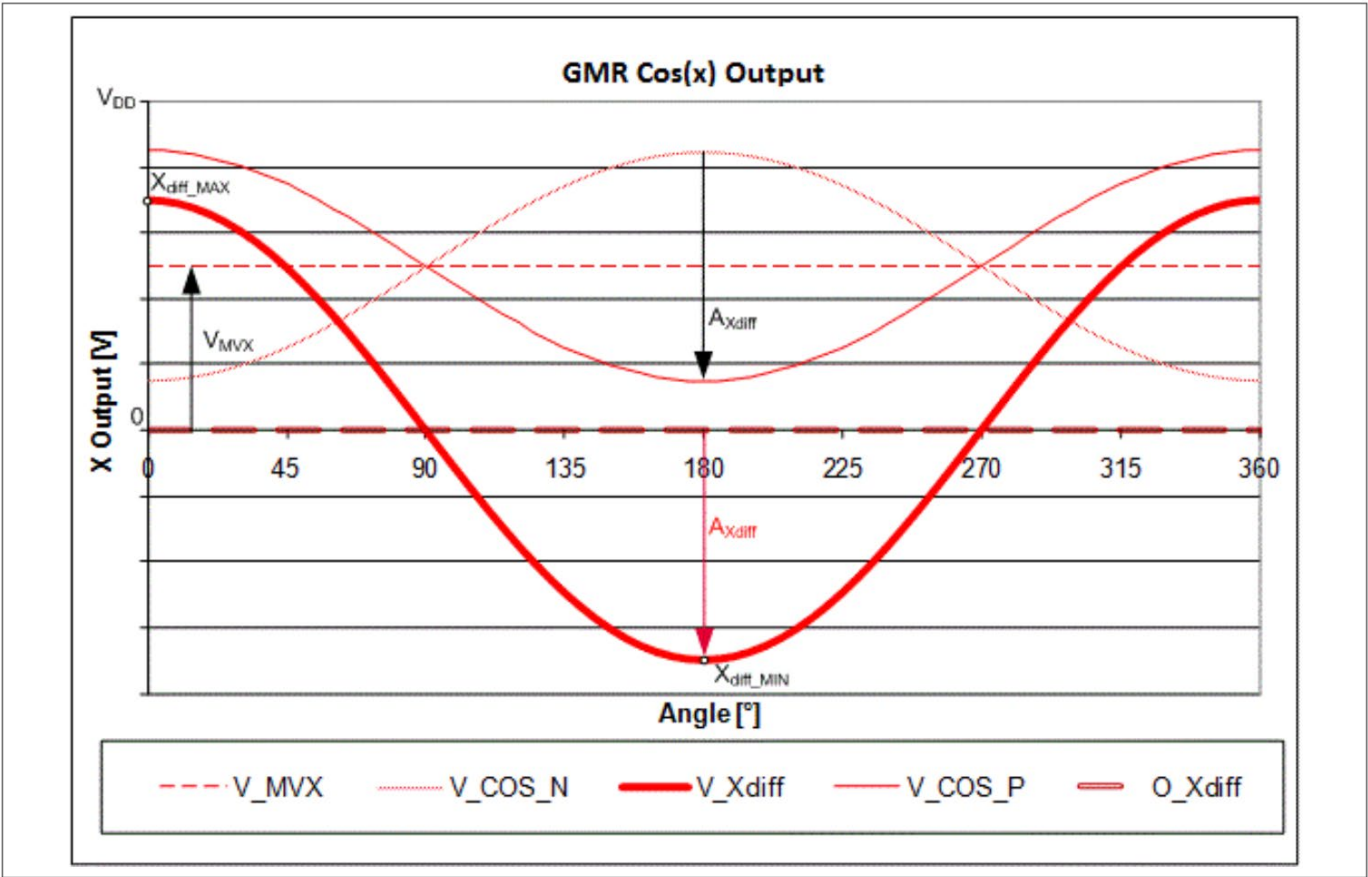


图 18 理想余弦的 GMR 差分输出

规格

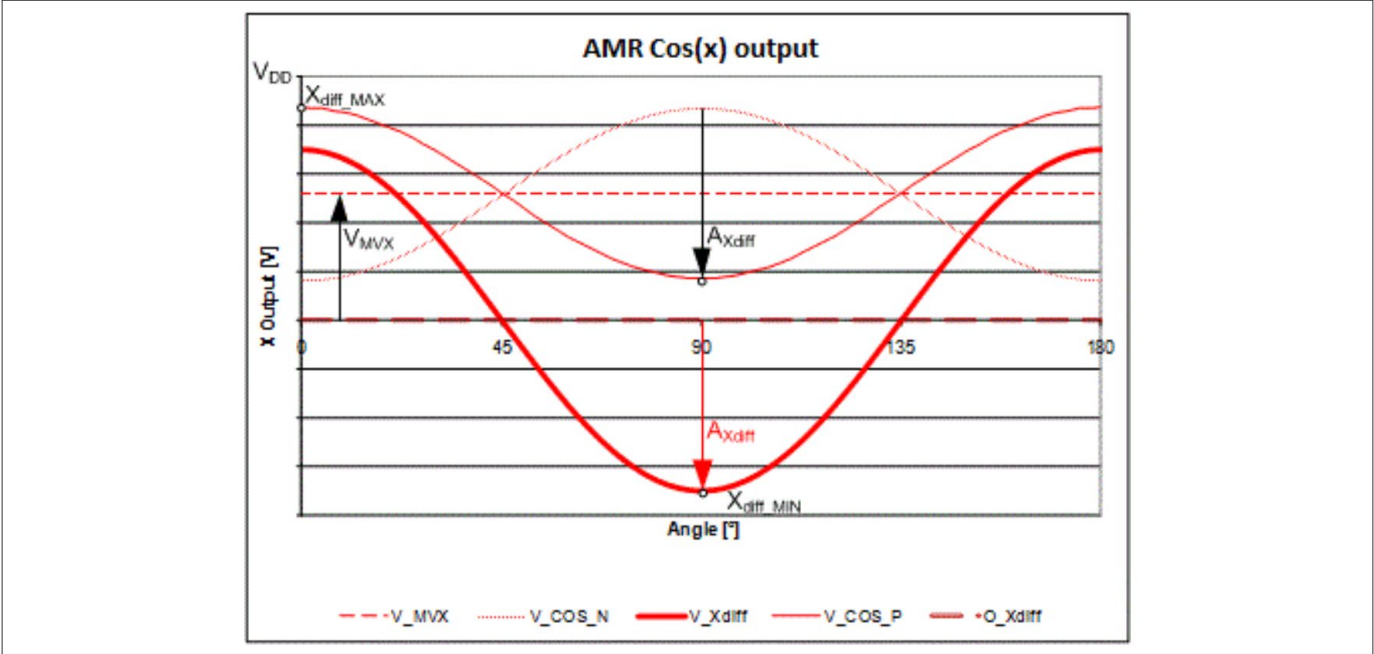


图 19 理想余弦的 AMR 差分输出

规格

注意： 磁化错位取决于传感技术。使用 GMR 传感器时，根据每种传感器的规格，非正交误差在最坏情况下可达到 $\pm 12^\circ$ 。对于 AMR 而言，这种影响可以忽略不计。非正交误差是指 90° 相位相关性与 X 和 Y 相位的偏差，可通过线端校准（包括零相位或 X 参考方向的定义）进行补偿。这适用于每个传感器芯片，在 TLE5x09A16(D) 的运行过程中必须加以考虑。

2.4 错误诊断

每个传感器的 V_{DIAG} 引脚都具有两种功能。在正常工作期间，该引脚测得的电压与温度有关。室温下的典型电压和温度系数见表 8。温度精度不属于传感器质量范畴。

引脚 V_{DIAG} 的第二个作用是诊断功能。如果设备检测到内部错误，该引脚将被驱动为低电平。获得部分诊断功能的另一种选择是图 15 所述的带下拉电阻器的替代配置。在这种设置下，不需要使用 V_{DIAG} 引脚，但也减少了内部错误检测。更多详情，请参阅《安全手册》。

2.5 角度性能

总角度误差表示相对角度误差。该误差表示零角度定义后与参考线的偏差。典型值对应环境温度 25°C 。所有其他值对应的工作环境温度范围为 $-40^\circ\text{C} < T_A < 125^\circ\text{C}$ ，并贯穿 TLE5x09A16(D) 的使用寿命。

全补偿性能

使用应用笔记 "TLE5xxx(D) 校准" 中描述的算法，可以在微控制器上实现持续自动校准，从而大大提高 TLE5x09A16(D) 的性能，因为温度和寿命漂移可以得到更好的补偿。这只有在转子连续转动的情况下才有可能实现。

表 11 温度和寿命期间的残余角度误差¹⁾

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Overall angle error AMR sensor (single-ended) ^{2) 3)}	$\alpha_{\text{ERR,C}}$		0.1	0.5	$^\circ$	⁴⁾
Overall angle error AMR sensor (differential) ²⁾	$\alpha_{\text{ERR,C}}$		0.1	0.5	$^\circ$	⁴⁾
Overall angle error GMR sensor (single-ended) ^{2) 3)}	$\alpha_{\text{ERR,C}}$		< 0.6	0.9	$^\circ$	
Overall angle error GMR sensor (differential) ²⁾	$\alpha_{\text{ERR,C}}$		< 0.6	0.9	$^\circ$	

1) 在对偏移、振幅同步失配和正交误差进行完美补偿之后。

2) 包括磁滞误差。

3) 假设负载对称。

4) 仅适用于 AMR 传感器：在磁场 $10\text{ mT} < B < 20\text{ mT}$ 中运行时，会产生 0.2 倍的额外角度误差。

利用这种自动校准算法，可以达到与传感元件的残余误差相当的角度精度，这意味着在对 AMR 和 GMR 传感器的偏移和振幅同步性不匹配进行完美补偿，以及对 GMR 传感器的正交误差进行完美补偿之后的剩余误差。在这种持续校准下，完全补偿角度误差的典型表现如下：

规格

图 20 显示了 GMR 传感器在不同环境温度下的精度，图 21 显示了 AMR 传感器在不同环境温度下的精度。表 11 列出了完全补偿角度的精度，其中分为传感器的单端输出和差分输出。

一次性校准的角度性能

为了达到规定的总角度误差，TLE5x09A16(D)中的两个传感器 IC 都必须在 25°C 下进行偏移和振幅同步校准。此外，还必须对 GMR 传感器进行正交校准。补偿参数必须存储并应用于微控制器。详细校准步骤请参阅应用笔记 "TLE5xx(D) 校准"。表 12 说明了角度精度，该精度分别从传感器的单端输出、差分输出和线端校准中获得的补偿参数计算得出。

表 12 随温度和寿命变化的一次性校准角度误差

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Overall angle error AMR sensor (single-ended) ^{1) 2)}	α_{ERR}			1.7	°	E1210, E1211, E2210, E2211, with TCO ³⁾ ; ⁴⁾
				2.9	°	E5201, without TCO ³⁾ ; ⁴⁾
Overall angle error AMR sensor (differential) ¹⁾	α_{ERR}			1.7	°	E1210, E1211, E2210, E2211, with TCO ³⁾ ; ⁴⁾
				2.9	°	E5201, without TCO ³⁾ ; ⁴⁾
Overall angle error GMR sensor (single-ended) ^{1) 2)}	α_{ERR}			4.0	°	E1210, E1211, E2210, E2211, with TCO ³⁾
				4.8	°	E5201, without TCO ³⁾
Overall angle error GMR sensor (differential) ¹⁾	α_{ERR}			3.0	°	E1210, E1211, E2210, E2211, with TCO ³⁾
				3.8	°	E5201, without TCO ³⁾

- 1) 包括磁滞误差。
- 2) 假设负载对称。
- 3) 温度补偿偏移。
- 4) 仅适用于 AMR 传感器：在磁场 10 mT < B < 20 mT 下运行时，会产生 0.2° 的额外角度误差。

角度误差补偿的典型表现

表 11 和表 12 分别列出了理想补偿和一次性补偿的角度精度性能。图 20 和图 21 分别显示了 GMR 传感器和 AMR 传感器在不同环境温度下进行持续校准和一次性校准时残余角度误差的典型表现。对这种补偿算法的比较表明，全补偿方法在寿命和温度方面性能优越，在规定磁场范围内工作时，GMR 传感器的平均残余误差低于 0.6°，AMR 传感器的平均残余误差低于 0.1°。由于传感器与温度有关，一次性补偿会产生额外的残余角度误差。

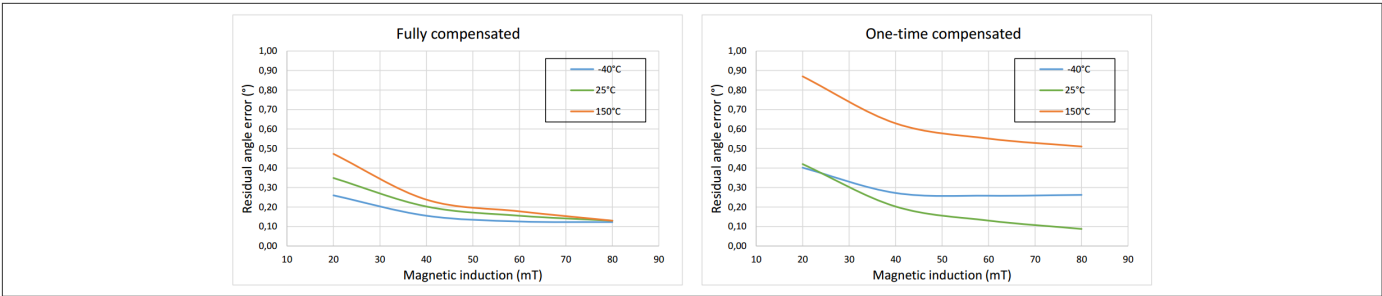


图 20 完全补偿和一次性补偿的 GMR 传感器在不同温度下差分输出的典型残余角度误差（0 h 时测量）；一次性补偿在 T = 25°C 和 B = 40 mT 时校准；使用带 TCO（温度补偿偏移）和 3.3 V 电源电压的 TLE5309D 系列产品

规格

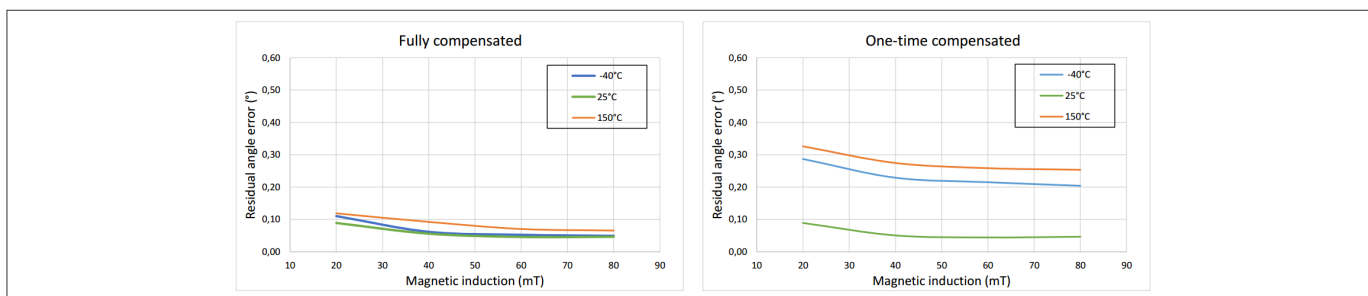


图 21 完全补偿和一次性补偿 AMR 传感器在不同温度下差分输出的典型残余角度误差（0 h 时测量）；一次性补偿在 $T = 25^{\circ}\text{C}$ 和 $B = 40\text{ mT}$ 时校准；使用带 TCO（温度补偿偏移）和 3.3 V 电源电压的 TLE5309D 系列产品

规格

2.6 静电放电保护

表 13 单个die的 ESD 保护

Parameter	Symbol	Values		Unit	Notes
		min.	max.		
ESD voltage	V_{HBM}		± 4.0	kV	¹⁾
	V_{CDM}		± 0.5	kV	²⁾
			± 0.75	kV	²⁾ for corner pins

1) 人体模型 (HBM) 符合: ANSI/ESDA/JEDEC JS-001。

2) 符合 JESD22-C101 标准的充电设备模型 (CDM)。

表 14 双芯片的 ESD 保护

Parameter	Symbol	Values		Unit	Notes
		min.	max.		
ESD voltage	V_{HBM}		± 4.0	kV	¹⁾ Ground pins connected.
			± 2.0	kV	¹⁾
	V_{CDM}		± 0.5	kV	²⁾
			± 0.75	kV	²⁾ For corner pins.

1) 人体模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001。

2) 符合 JESD22-C101 标准的带电设备模型 (CDM)。

2.7 电磁兼容性 (EMC)

TLE5x09A16(D) 的特性符合 2007 年 11 月 15 日发布的《通用集成电路电磁兼容性测试规范》1.2 版中描述的电磁兼容性要求。TLE5x09A16(D) 的分类是针对本地引脚进行的。

封装信息

3 封装信息

TLE5x09A16(D) 采用无铅电镀绿色 SMD 封装，单芯片和双芯片衍生产品使用相同的 PG-TDSO-16。

3.1 封装参数

表 15 封装参数

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Notes
		min.	typ.	max.		
Thermal Resistance	R_{thJA}		130	150	K/W	Junction-to-Air ¹⁾
	R_{thJC}			35	K/W	Junction-to-Case
	R_{thJL}			70	K/W	Junction-to-Lead
Moisture Sensitivity Level	MSL 3					260°C
Lead Frame	Cu					
Plating	Sn 100%					> 7 µm

1) 根据 Jecdec JESD51-7 标准

3.2 封装外形

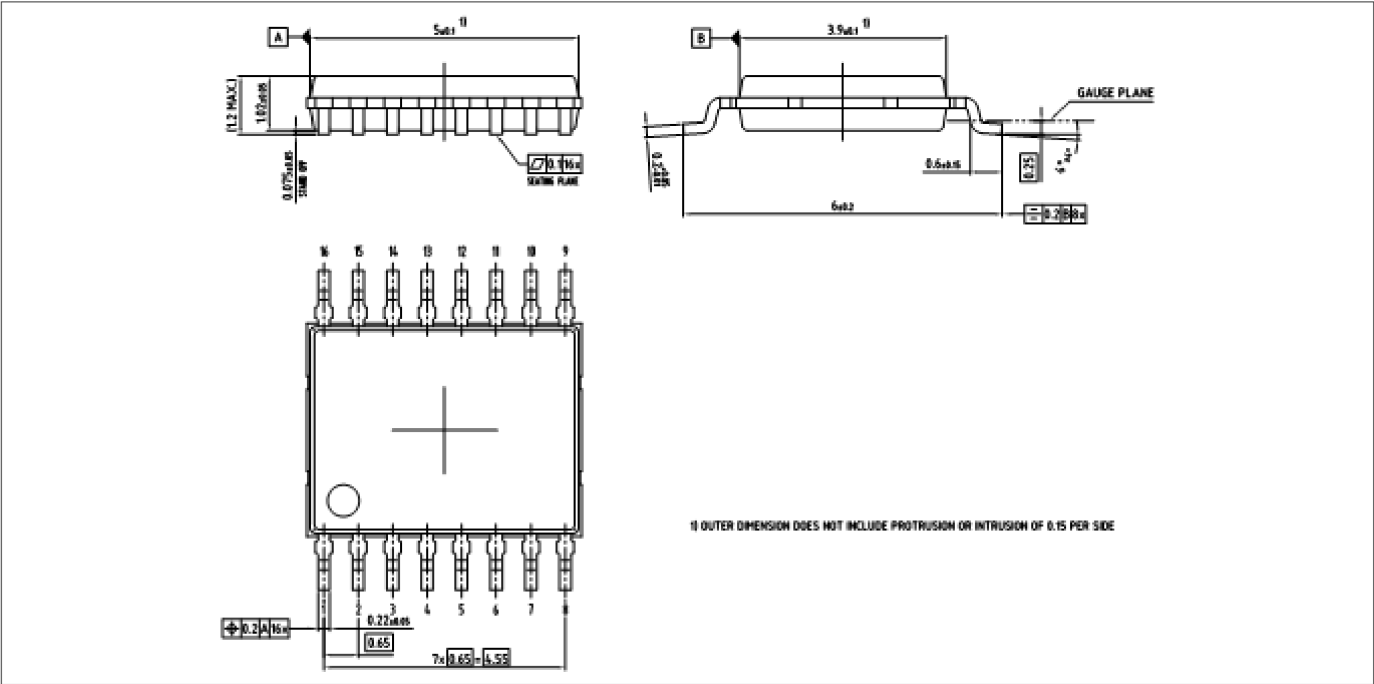


图 22 封装尺寸

封装信息

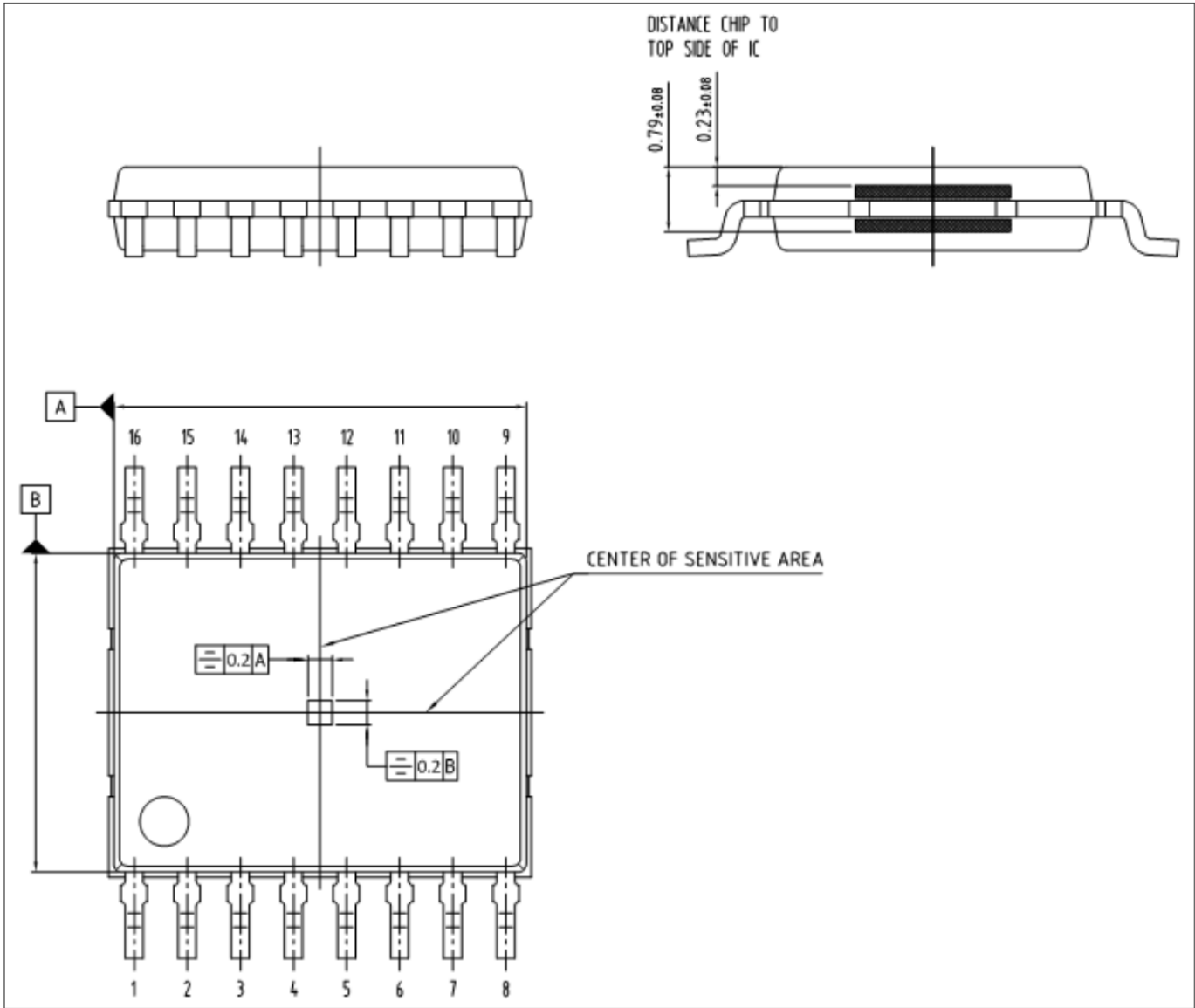


图 23 传感元件的位置

注：图 23 显示了两个传感器芯片在 TLE5x09A16D 中的位置。在 TLE5x09A16 中，只安装了顶部芯片。

表 16 封装中传感器集成电路的放置公差

Parameter	Values		Unit	Notes
	Min.	Max.		
Position eccentricity	-100	100	μm	In X- and Y-direction
Rotation	-3	3	°	Affects zero position offset of sensor
Tilt	-3	3	°	

封装信息

注意： 封装中每个传感器IC的位置准确度为 $\pm 3^\circ$ 。因此，两个传感器集成电路的相对旋转角度可达 6° ，导致角度输出的恒定偏移可达 6° 。此外，表5所列的总角度偏移量还必须加上因磁化而产生的正交误差（见表9和表10）。对于GMR传感器，正交误差在最坏情况下可达到 $\pm 12^\circ$ ，具体取决于每个芯片的规格。对于AMR，这种影响可以忽略不计。在TLE5x09A16(D)的运行过程中，必须对这些影响进行线端校准测量并加以考虑。

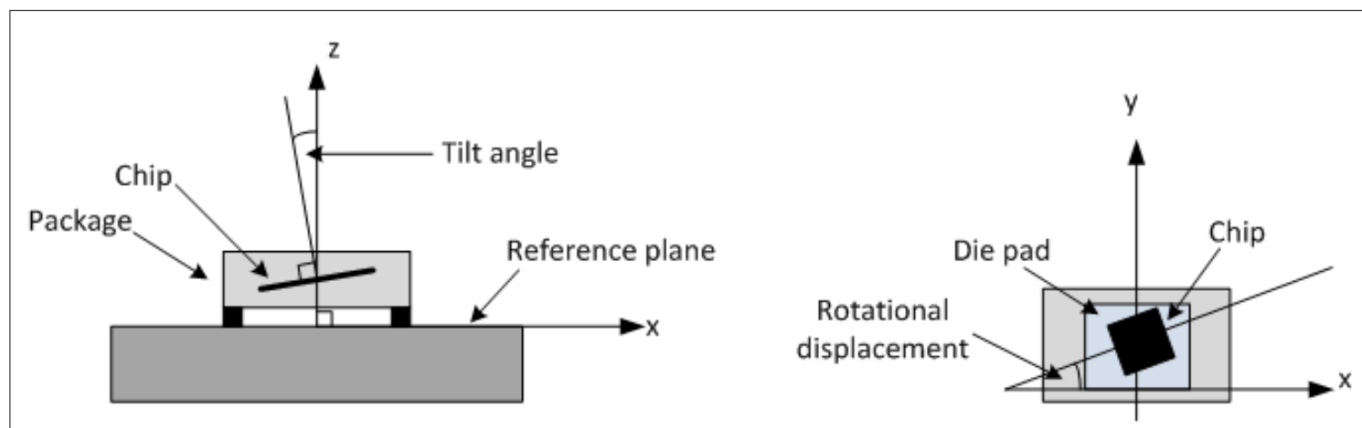


图 24 封装中芯片的公差

3.3 焊盘

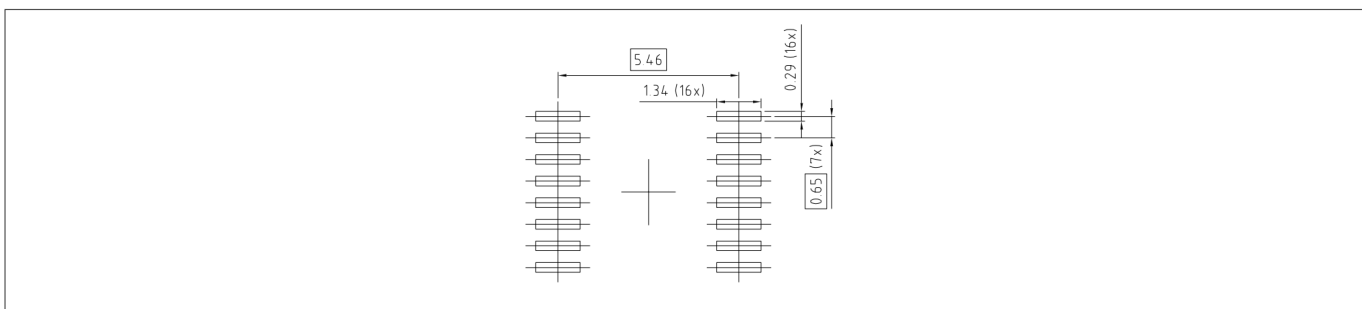


图 25 焊盘

封装信息

3.4 包装

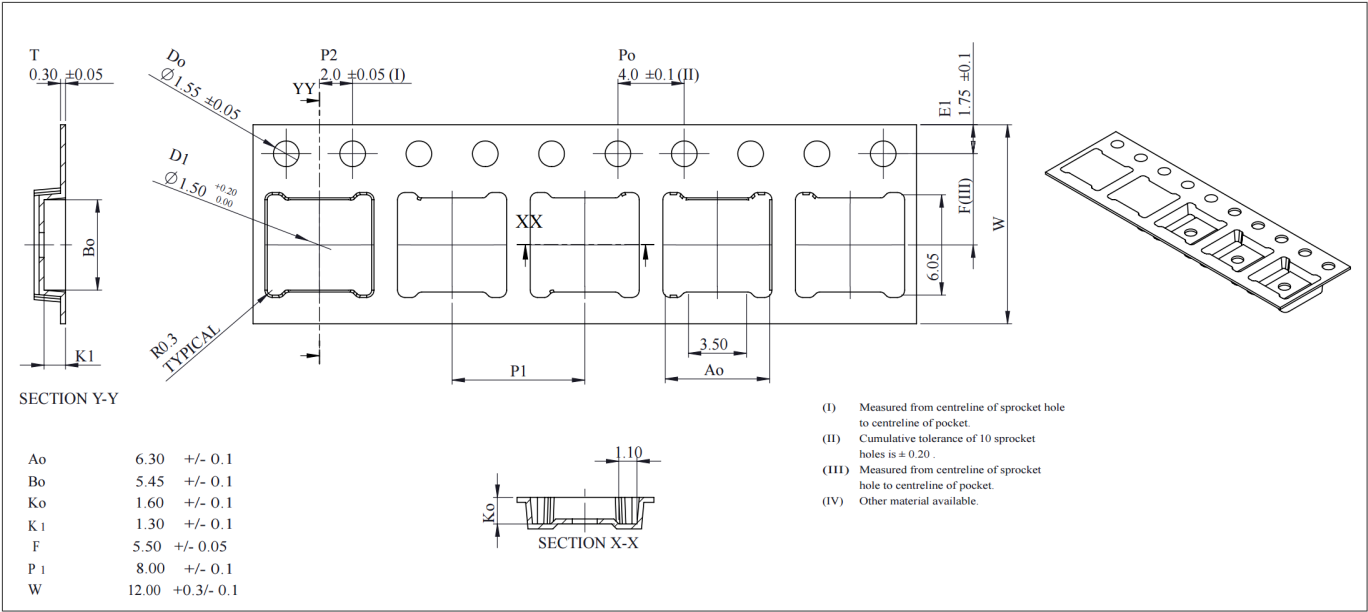


图 26 卷带

封装信息

3.5 标记

设备正面标有日期代码、设备类型和批次代码。

背面有一个 8 x 18 数据矩阵代码和一个 OCR-A 代码。

Position	Marking	Description
1st Line	Gxxxx	G = green, 4-digit = date code
2nd Line	309Dxxxx	Type (8 digits), see ordering Table 3
3rd Line	xxx	Lot code (3 digits)

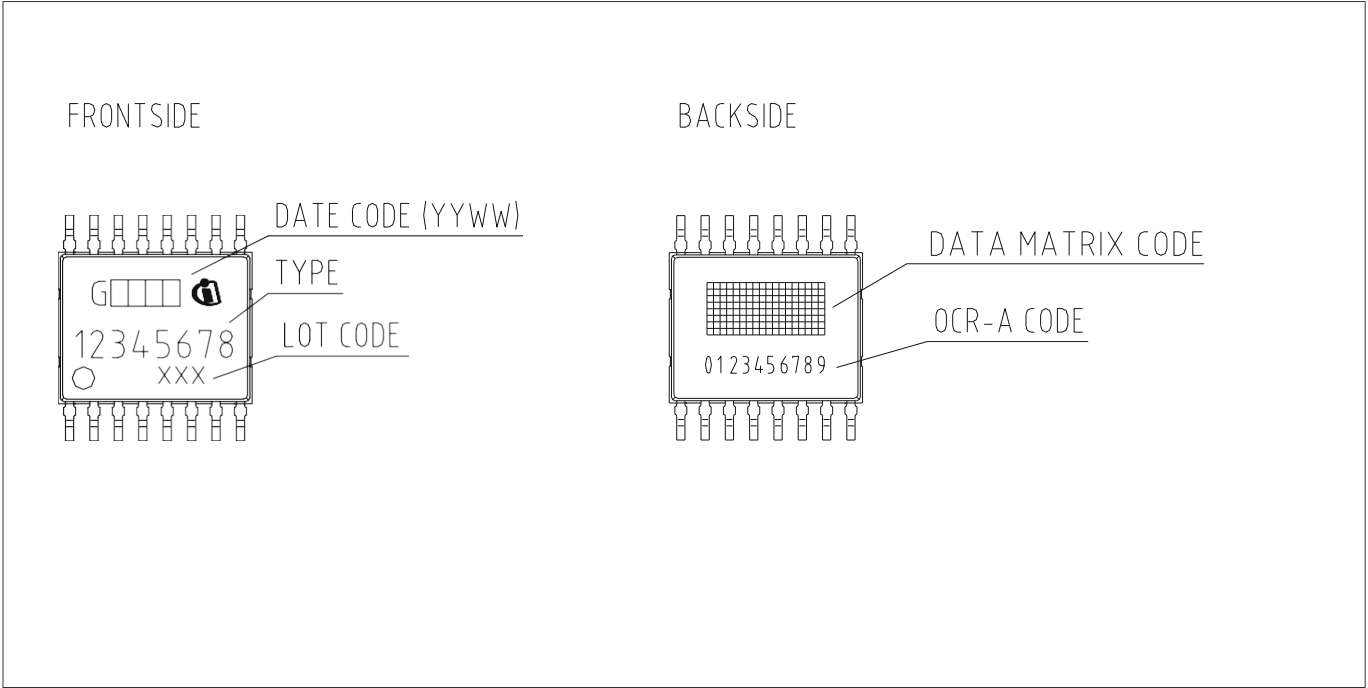


图 27 标记

修订记录

修订记录

Revision	Date	Changes
1.0	2016-01	TLE5309D Initial release
1.0	2016-06	TLE5009A16D Initial release
1.1	2017-04	TLE5009A16(D) Table 1: single die types added. Table 2: single die pin description added. Chapter 3: Table 6 splitted in single-ended and differential output parameters, type description replaced by VDD value. Figure 8 added (Single-ended output signals). Table 8: single-ended fully compensated angle error added. Table 9: single-ended angle error added. Chapter 3: Typical behavior of angle error compensation added. Figure 13: Typical residual angle error for full and one-time compensation added. Chapter 3: ESD protection splitted in single and dual die. Figure 15 added (Marking). Layout changed.
1.2	2017-10	TLE5009A16(D) Chapter References removed. Table 2: Pin description changed. Figure 7: Application circuit in single-ended output mode added. Figure 9: Application circuit for partial diagnostics with pull-down resistors in single-ended output mode added. Figure 10: Application circuit for partial diagnostics with pull-down resistors in differential output mode added. Table 6: single-ended output noise changed.
1.1	2017-10	TLE5309D Layout changed. Table 8: single-ended angle error added. Table 9: single-ended angle error added. Figure 19: Typical residual angle error for full and one-time compensation GMR sensor added. Figure 20: Typical residual angle error for full and one-time compensation AMR sensor added. Chapter References removed. Pin description: Symbol changed to Pin Name. Figure 9: Application circuit in single-ended output mode added. Figure 11: Application circuit in low-power applications in single-ended output mode added. Figure 13: Application circuit for partial diagnostics with pull-down resistors in single-ended output mode added.

修订记录

Revision	Date	Changes
2.0	2018-12	TLE5x09A16(D) family sensor datasheet released Changes TLE5009A16(D) rev. 1.2 to TLE5x09A16(D) rev. 2.0: Chapter 2.4 Error diagnosis: internal detectable errors removed. Table 9 differential mode: vector length removed. Figure 25: die displacement added. TLE5109A16(D) - initial release in TLE5x09A16(D) rev. 2.0 Changes TLE5309D rev. 1.1 to TLE5x09A16(D) rev. 2.0: Table 6: Magnetic induction AMR added. Chapter 2.4 Error diagnosis: internal detectable errors removed. Table 8 single-ended: AMR synchronism to +/- 6 % changed. Table 9 differential mode: AMR synchronism to +/- 6 % changed. Table 9 differential mode: vector length removed. Table 10: footnote angle error adder at low magnetic field for AMR added. Table 11: footnote angle error adder at low magnetic field for AMR added. Table 11: AMR single-ended one-time calibrated angle error improved. Figure 25: die displacement added.
2.1	2024-06-28	Removed discontinued variants.

Trademarks

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

Edition 2024-06-28

Published by

Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2024 Infineon Technologies AG
All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
IFX-vda1564141578343

Important notice

The information given in this document shall in no event be regarded as a guarantee of conditions or characteristics ("Beschaffenhheitsgarantie").

With respect to any examples, hints or any typical values stated herein and/or any information regarding the application of the product, Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind, including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party.

In addition, any information given in this document is subject to customer's compliance with its obligations stated in this document and any applicable legal requirements, norms and standards concerning customer's products and any use of the product of Infineon Technologies in customer's applications.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

Warnings

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.



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 2026-08-26

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2026 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勘探（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。

如果本文件包含或引用软件：

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>。