

磁式传感器 线性信号输出类型 HGARAP001A 设计手册

目录

1.	磁角度传感器概要	3
2.	磁角度传感器的角度计算	5
3.	磁角度传感器设计示例	8
4.	角度计算方法	10
5.	运算方式说明	11
6.	磁式传感器与磁铁使用时的注意点	19
7.	注意事项	20

磁式传感器(线性信号输出类型) HGARAP001A

本公司的高精度磁传感器采用磁阻 (MR) 设计，是由公司长年的磁头产品生产中培育而来的先进技术。其中，采用 GMR (巨磁阻) 材料检测水平方向磁场，具有高灵敏度、高输出、耐高温、抗高磁场的特性，输出电平是 Hall 材料的约 100 倍，AMR 材料约 10 倍左右的高输出高灵敏度的传感器 (与我公司相比)。配合不同的外部磁场，实现了包括非接触开关检测、线性位置检测、角度检测、旋转速度方向检测等的丰富的磁式传感器产品阵容。

模拟线性信号输出型磁角度传感器 (以下简称，磁角度传感器) 的产品系列中，有内置放大器类型和无内置放大器类型。“HGARAP001A” 为不带内置放大器的类型。

本手册记载了线性信号输出类型的磁式传感器 (以下简称，磁角度传感器) 的使用方法，设计手册等的相关信息。

1. 磁角度传感器概要

本产品是使用高灵敏度，高精度的 GMR 磁性检测元件设计的磁式传感器，所以作为一种水平方向的磁场检测传感器，广泛地应用于汽车、工业设备、家电、游戏、便携设备等领域。它可以根据外部磁场进行线性位置、角度、转速和方向的检测，尤其特别适合旋转角度检测的领域。

主要用途

■ 能源产业

- 电机旋转检测
- 机器人关节、机械臂角度检测
- 线性行程的位移检测

■ 游戏、VR(虚拟现实)-AR(增强现实)

- 摇杆角度
- 旋钮控制器的位置

■ 医疗

- 护理床的角度检测
- 输液泵的电机旋转角度

■ 汽车

- 电机旋转检测 (EPS (电子助力转向系统)、EV 主电动机、油泵)
- 踏板/控制杆角度检测 (转向角、踏板角度、阀门角度)

主要特点

- 本产品是 1 种通过 GMR 磁式传感器来检测磁铁旋转角度的传感器设备。
- GMR 磁式传感器是一种根据磁场角度变化而输出电压的传感器。
- 与霍尔 (Hall)、AMR、TMR 传感器相比，具有更高的波形稳定性，并且经过补偿后可实现误差低于 0.05 度的高精度使用。
- 仅检测水平磁场角度，不受磁场强度变化的影响。
- 无论充磁间隔如何，可以输出 Sin 和 Cos 的 2 相信号。
- 可以对磁铁进行正面对向和侧面配置。
- 对磁铁和传感器间隙变化具有很高的鲁棒性。
- 由于这是一种非放大内置型，建议添加一个外部放大放大器，以匹配微控制器的规格。传感器电桥电阻值为 1.75 k Ω 。

2极磁铁的情况下

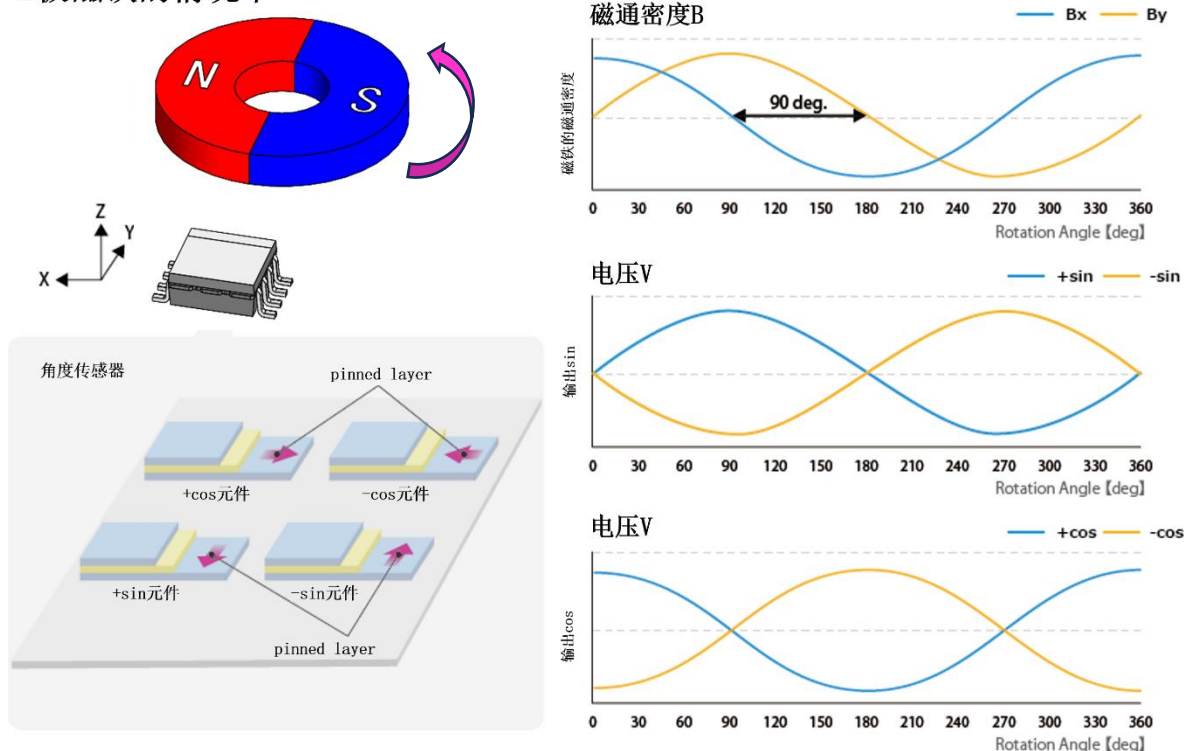


图 1. 磁角度传感器的输出信号

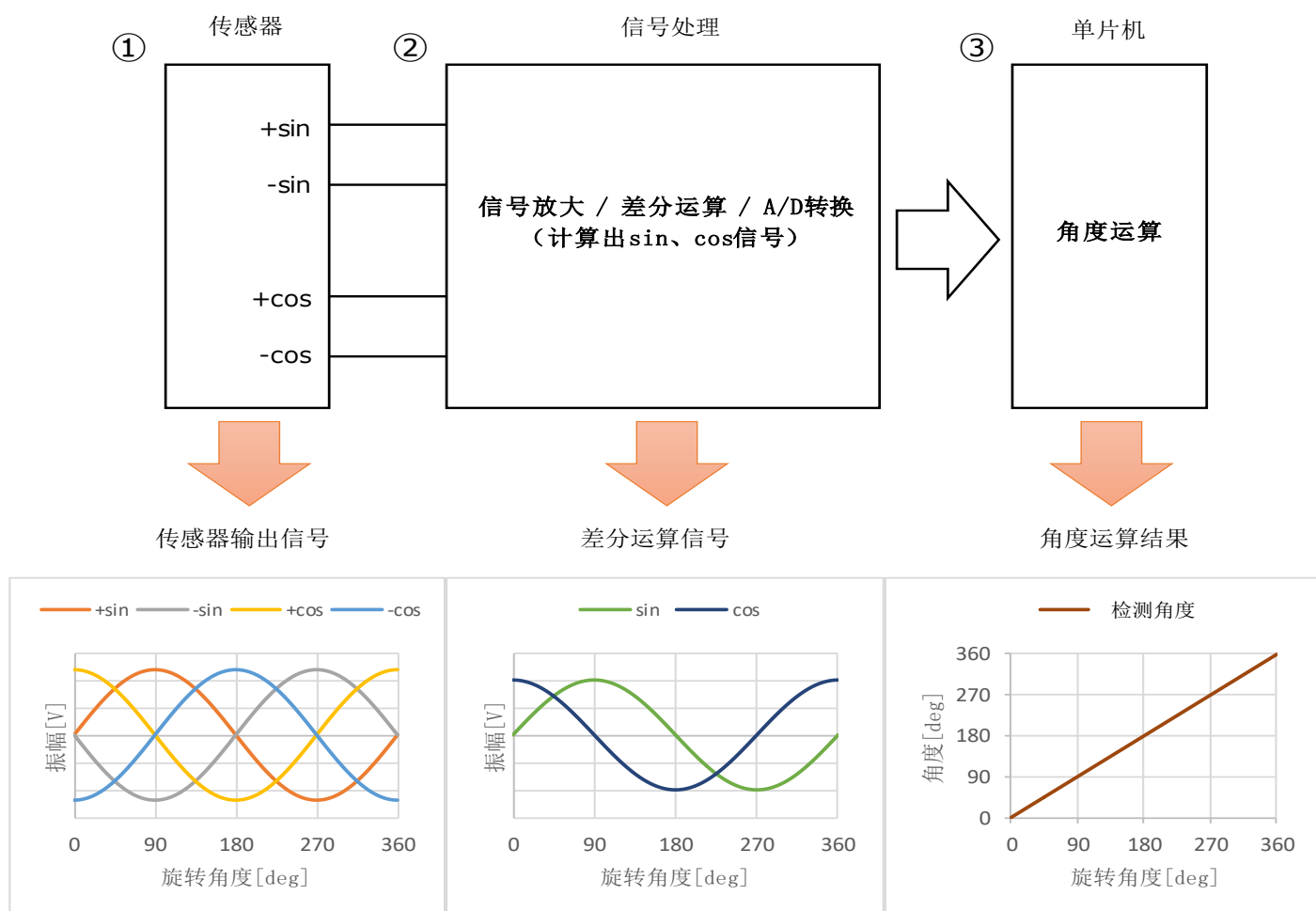
2. 磁角度传感器的角度计算

角度计算系统原理

磁角度传感器内部配有 4 个 MR 传感器桥，输出 90 度相位差的 2 相信号。

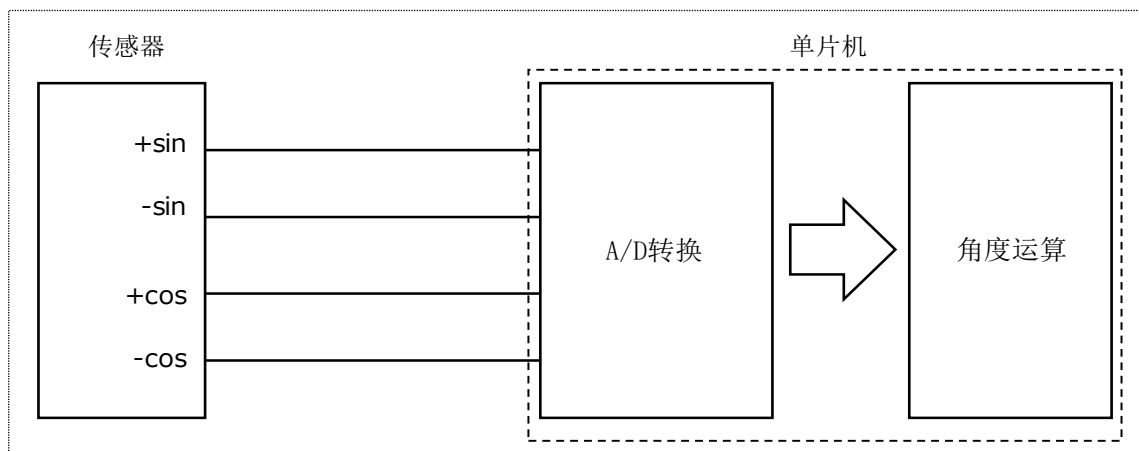
- ① 磁角度传感器输出 $+\sin$ 、 $-\sin$ 、 $+\cos$ 、 $-\cos$ 四个模拟信号。
- ② 通过计算 $+\sin$ 和 $-\sin$ 的差分 ($+\cos$ 、 $-\cos$ 也同样如此)，来获取 $\sin$ 和 $\cos$ 信号。根据需要进行信号的放大(衰减)。
- ③ 通过使用 $\sin$ 和 $\cos$ 信号进行计算可以得到角度。

绝对角度范围是 $0\sim360\text{deg}$

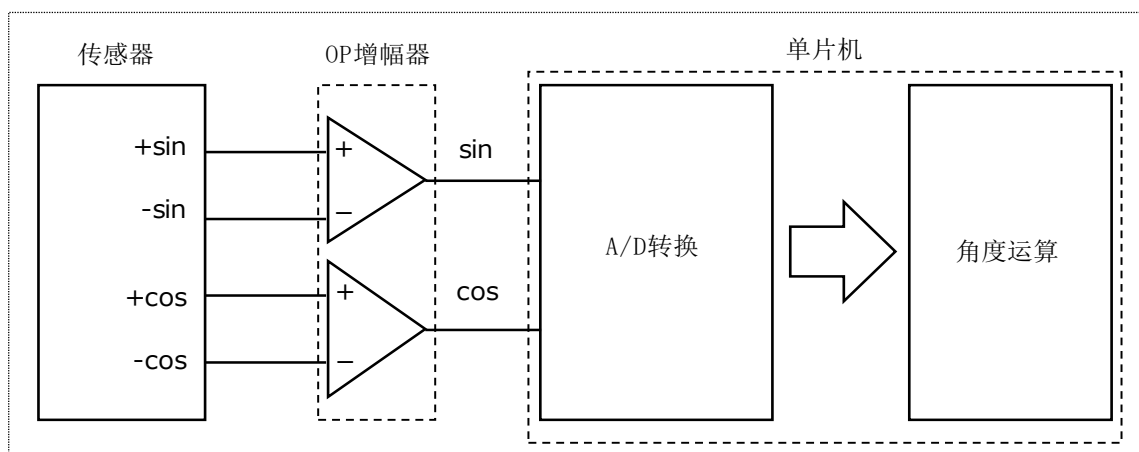


角度计算系统的构成示例 (仅供参考)

(i) 将传感器输出信号进行A/D转换后, 生成sin、cos信号的构成



(ii) 生成模拟信号的sin、cos信号, 然后进行A/D转换的构成



(iii) 将传感器输出信号经过ADC进行A/D转换后, 生成sin、cos信号的构成

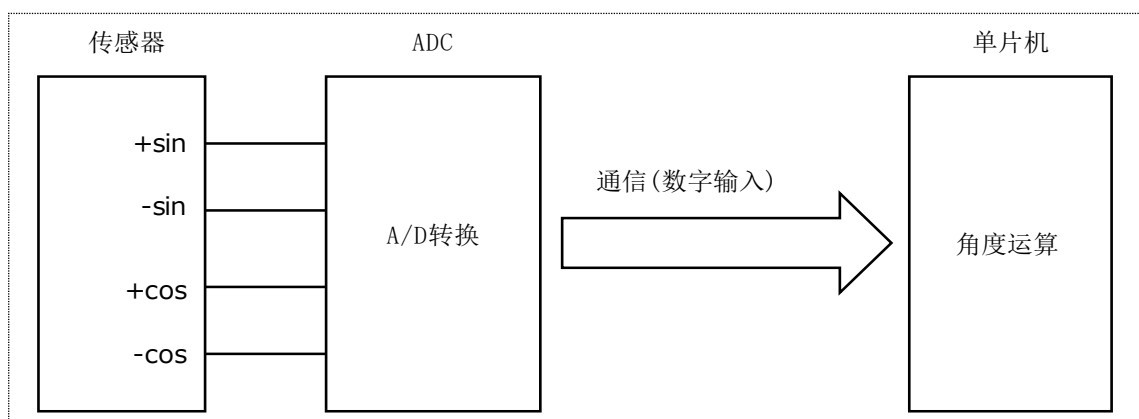


图 3. 系统构成

传感器对于磁铁的摆放

磁角度传感器的使用中，推荐选取像图 4 中所示的圆柱形、环形 2 极磁铁。



图 4. 磁铁的形状

传感器对于磁铁的摆放，可以采用类似图 5 的布局。

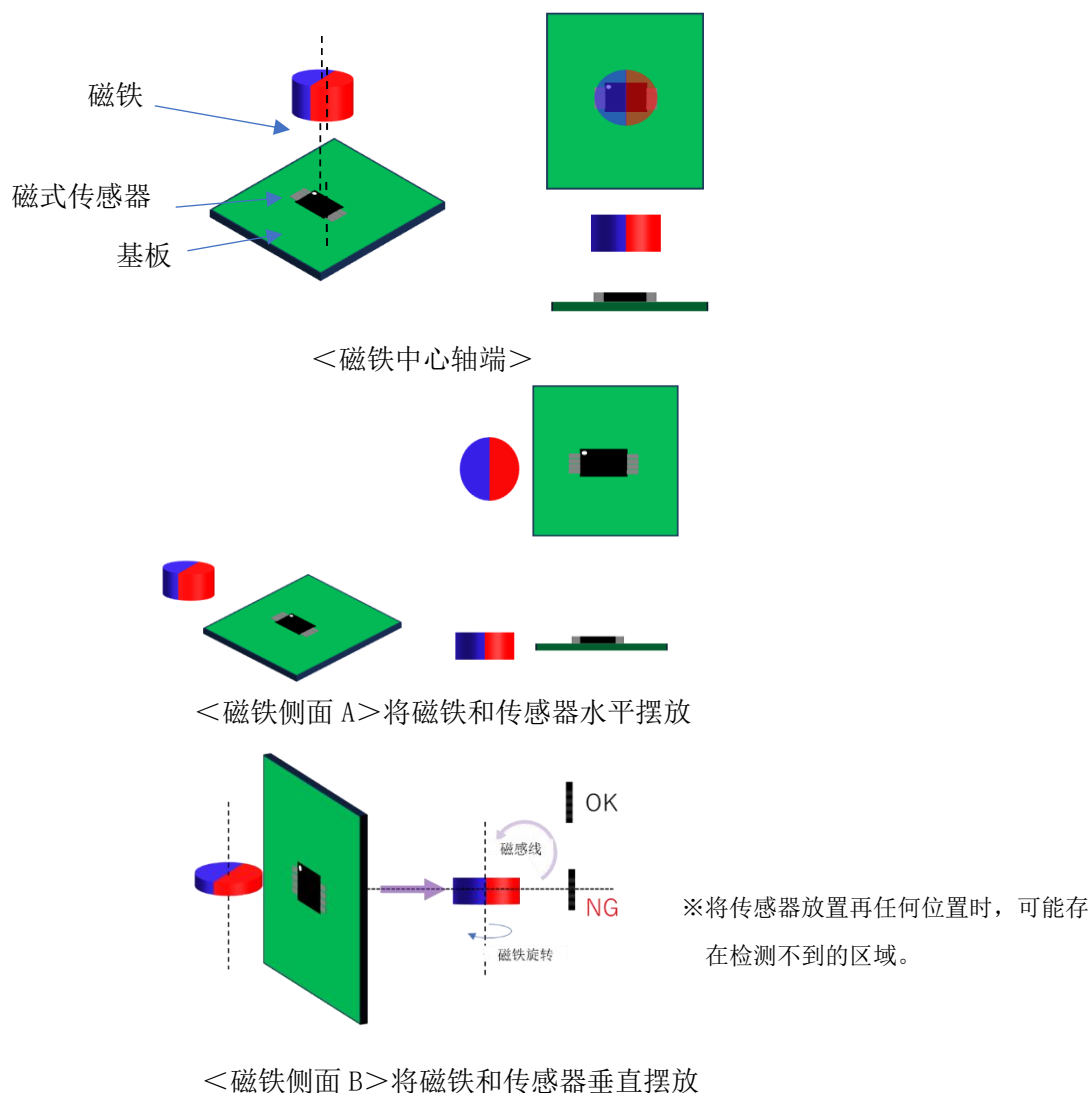


图 5. 磁角度传感器的摆放

3. 磁角度传感器设计示例

本节介绍，使用以下种类的磁铁时，磁铁垂直于磁角度传感器的工作设计示例。

条件

磁铁类型：铁氧体磁铁、环形 2 极磁铁

磁铁大小：直径 10mm

传感器位置：磁铁的轴端

磁场强度：50mT

● 磁场强度的目标值

请调整磁石和磁性角度传感器的布局，确保磁场强度范围在 20mT 至 60mT 内。如图 6 所示，当磁场强度约为 10mT 以上时，输出电压几乎会饱和，而在 20mT 以上时则会稳定在 100% 的输出。如果磁场强度超过 60mT，可能会导致波形失真。并且，强磁场可能会损坏传感器。

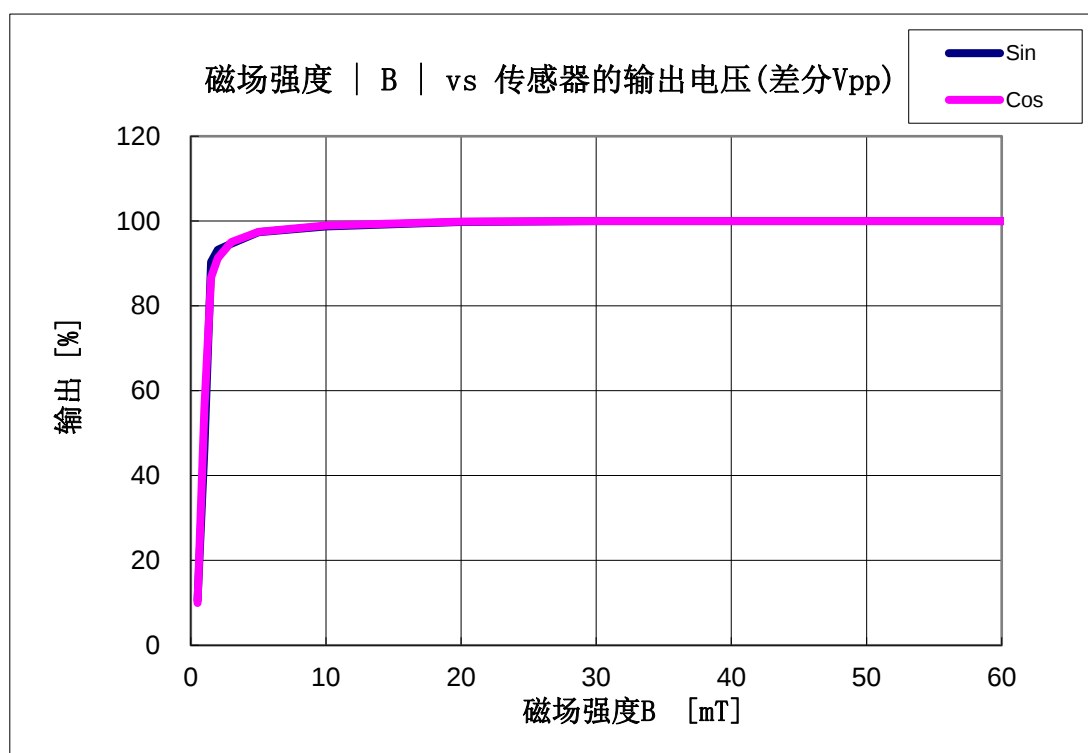


图 6. 传感器输出特点 (@VDD 5V)

电路示例

磁传感器的推荐电路(图 7)和设计参数的示例如下所示。

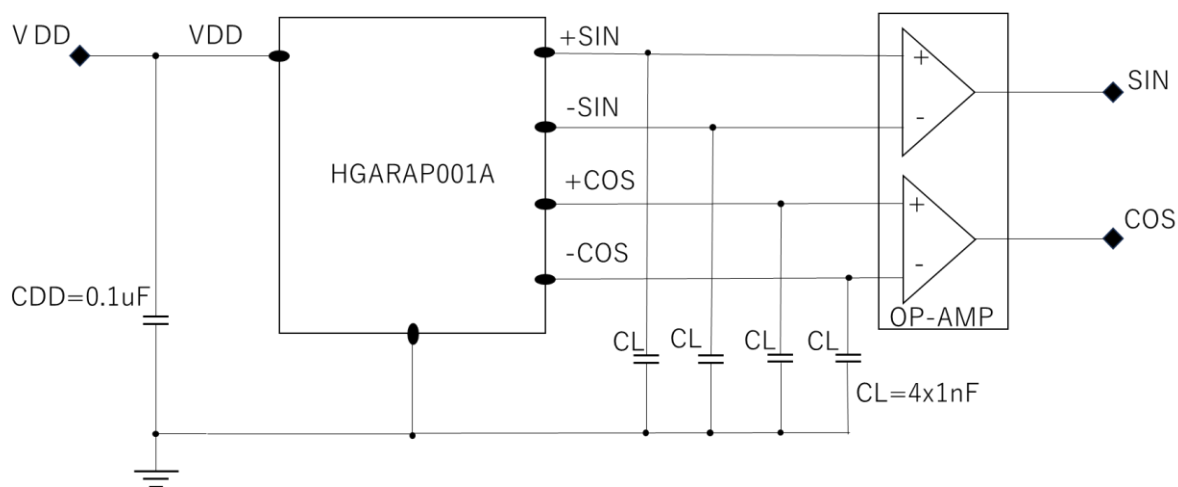


图 7. 磁角度传感器推荐电路

设计参数

驱动电压:	VDD=3.3V
VDD 降噪电容:	CDD=0.1uF
用于后级输入的降噪电容 CL:	CL=1nF

根据使用的电路请添加合适的电容 CL。推荐设定 CL 的容量为 10nF 以下。因为向传感器输出添加电容可能会导致振荡或波形失真，请务必在检查实际设备的运行情况确定 CL 的值。

4. 角度计算方法

角度计算的方法大致可以分为以下 2 种。

- ◆ 角度运算方式
- ◆ 表格转换方式

使用磁角度传感器获取准确的角度需要消除影响结果的误差因素。这些误差因素包括传感器特性的变化、磁铁的 N 极与 S 极的极性不对称性、传感器和磁铁之间的位置偏差等。现实环境下完全消除这些因素非常困难。

因此，通过简单的补偿处理，可以提高角度检测的精度。

在角度运算方式中，补偿计算可以根据用户所需的精度选择不同的级别。此外，我们提供了一个可以尝试等级 1 的补偿计算的评估套件。（请参阅开发板操作手册 (HGARPS011A)）

角度运算方式提供了 3 个级别的补偿，以下是补偿的处理过程。

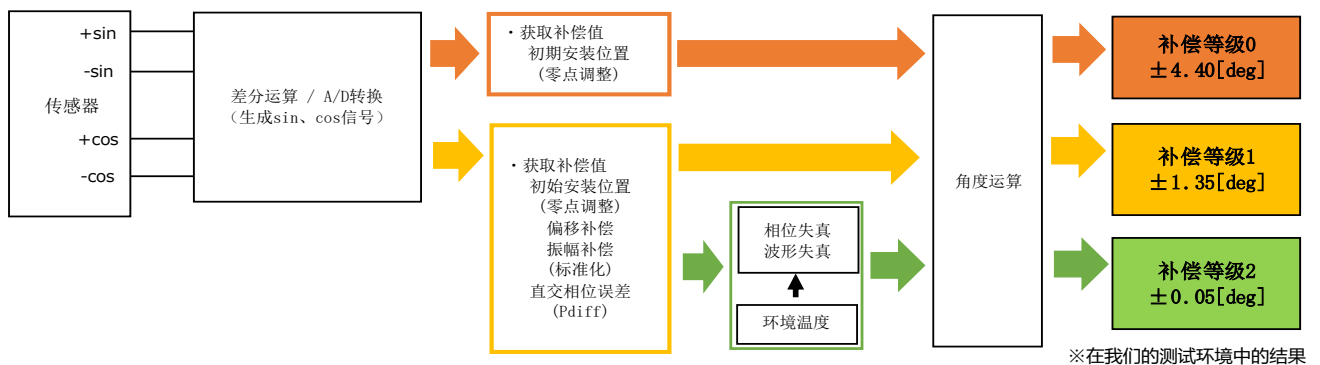


图 8. 各补偿等级流程图

除了角度运算方式外，还可以创建补偿表(Look Up Table)来进行补偿。通过获取超出 360 度范围的角度误差配置文件，并通过任意的补偿过程进行预先角度计算。将计算结果制作成补偿表，并将该表写入 EPROM，这样就可以在每次计算时不进行角度计算而直接获得角度计算结果。

5. 运算方式说明

通过按照不同的补偿级别依次进行计算，可以计算出角度。

角度运算方式的补偿步骤

由于补偿级别不同，角度误差也会有所不同，请根据用户的需求进行补偿。接下来将说明使用运算方式进行角度计算的方法。

补偿等级 0 计算步骤

步骤 1. 将 sin 和 cos 差分信号转换为 AD 转换。

获取从传感器输出的(+sin、-sin、+cos、-cos)差分信号经过 AD 转换后的 $V(\sin)$ 和 $V(\cos)$ 值。

(根据用户的电路配置，获取差分信号的方法可能不同。)

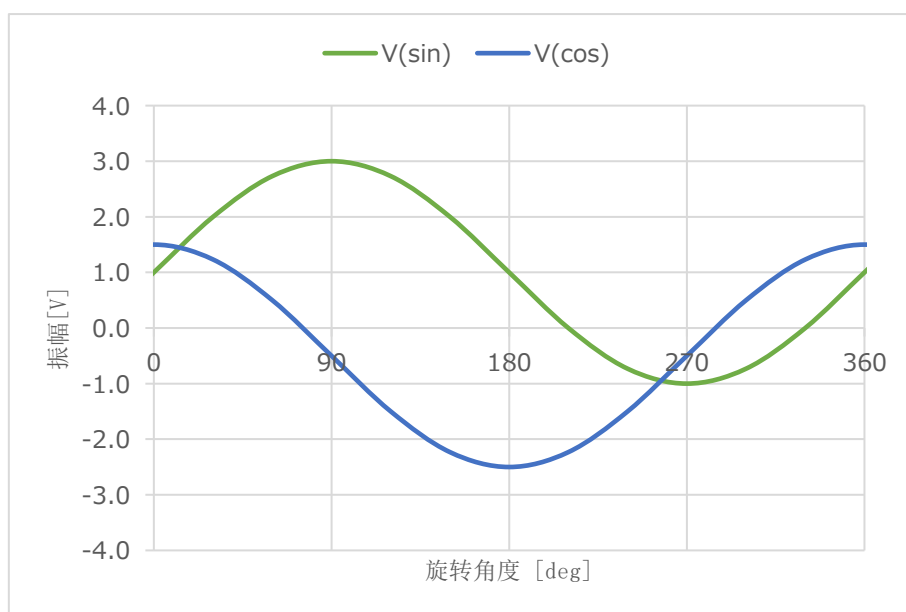


图 9. sin、cos 信号

步骤 2. 获取初始位置的 Zero angle 为 0 度

获取在初始位置 (由用户确定的 0 度位置) 上检测到的角度设置成 Zero angle 为 0 度。

$$\text{Zero angle0 [deg]} = \text{ATAN2}^*(V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

(V(sin) < 0 时: Zero angle0 = Zero angle0 + 360deg)

*ATAN2 函数用于计算直角坐标系中的偏角。

步骤 3. 计算检测角度 Raw angle [deg]

$$\text{Raw angle [deg]} = \text{ATAN2} (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

(V(Sin) < 0 时: Raw angle = Raw angle + 360deg)

步骤 4. 计算检测角度 Lv0 angle [deg]

$$\text{Lv0 angle [deg]} = \text{ATAN2} (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi} - \text{Zero angle0}$$

(V(Sin) < 0 时: Lv0 angle = Lv0 angle + 360deg)

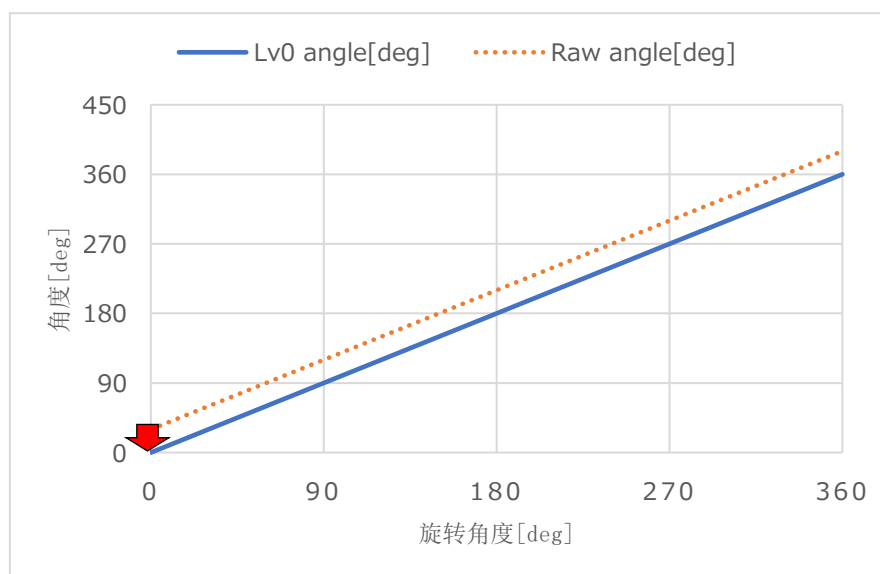


图 10. 角度运算 (0 度调整)

补偿等级 1 计算步骤

步骤 1. 获取最大值/最小值

将磁铁旋转 360 度，以获取一个周期内的角度传感器输出信号。

从获取的数据中获取 sin 和 cos 信号的最大值/最小值。

$$V(\sin)_{\max}, V(\sin)_{\min}, V(\cos)_{\max}, V(\cos)_{\min}$$

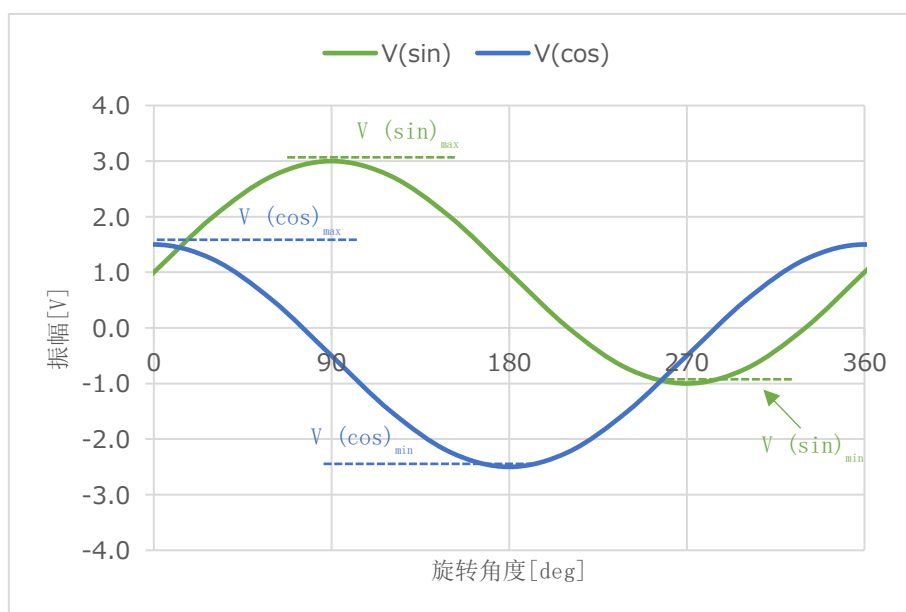


图 11. sin、cos 信号的最大最小值

步骤 2. sin、cos 信号进行标准化

计算偏移补偿值和幅值补偿值，将它们用于将信号标准化为振幅为 1、偏移为 0。

$$\text{Offset : } \text{Off sin [V]} = \frac{V(\sin)_{\max} + V(\sin)_{\min}}{2}$$

$$\text{Off cos [V]} = \frac{V(\cos)_{\max} + V(\cos)_{\min}}{2}$$

$$\text{Gain : } \text{Amp sin [V]} = \frac{V(\sin)_{\max} - V(\sin)_{\min}}{2}$$

$$\text{Amp cos [V]} = \frac{V(\cos)_{\max} - V(\cos)_{\min}}{2}$$

$$V_{\text{norm}}(\sin) [-] = \frac{V(\sin) - \text{Off sin}}{\text{Amp sin}}$$

$$V_{\text{norm}}(\cos) [-] = \frac{V(\cos) - \text{Off cos}}{\text{Amp cos}}$$

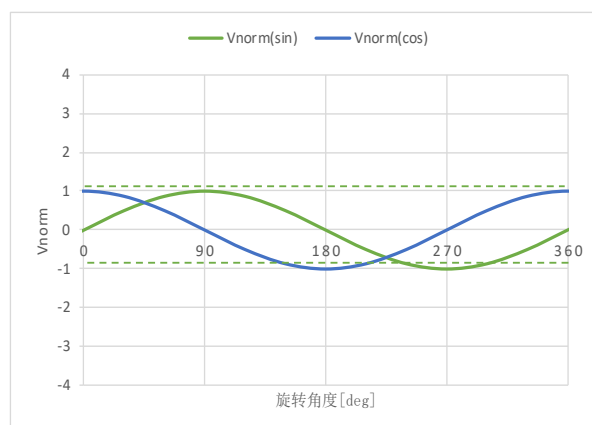
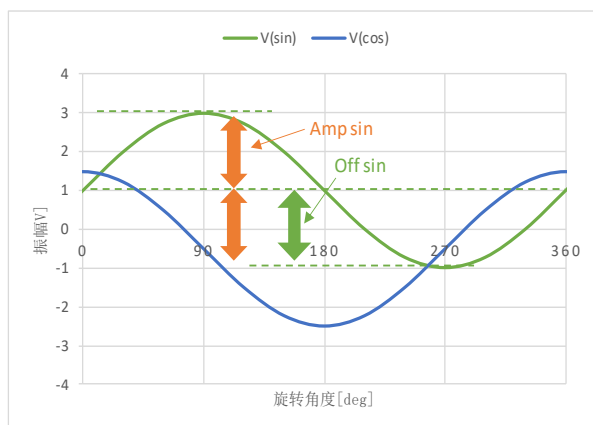


图 12. 振幅 1、偏移 0 的标准化图像

步骤 3. 计算 P_{diff} (P_{diff} :sin-cos 直角相位误差)

$$V_{norm}(\sin - \cos) = V_{norm}(\sin) - V_{norm}(\cos)$$

$$V_{norm}(\sin + \cos) = V_{norm}(\sin) + V_{norm}(\cos)$$

根据合成波的最大值 $V_{norm}(\sin - \cos)_{max}$ 、 $V_{norm}(\sin + \cos)_{max}$ ，计算 P_{diff} 。

$$P_{diff} [deg] = 1.92 * (ATAN \left(\frac{V_{norm}(\sin - \cos)_{max}}{V_{norm}(\sin + \cos)_{max}} \times \frac{180}{\pi} \right) - 45)$$

步骤 4. 将信号标准化为振幅为 1、偏移为 0

计算在初始位置 (由用户确定的 0 度位置) 处的角度。

$$Zero_angle0 = ATAN2 * (V(\cos), V(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

($V(\sin) < 0$ 时: $Zero_angle0 = Zero_angle0 + 360deg$)

$$Zero_angle1 [deg] = Norm_angle0 - \frac{P_{diff}}{2} - \frac{P_{diff}}{2} \times \sin((2 \times Norm_angle0 - 90) \times \frac{\pi}{180})$$

$$Norm_angle0 [deg] = ATAN2 (Vnorm(\cos), Vnorm(\sin)) \times \frac{180}{\pi}$$

($V_{norm}(\sin) < 0$ 时: $Norm_angle0 = Norm_angle0 + 360deg$)

使用标准化的值计算角度。

$$Norm_angle [deg] = ATAN2 (Vnorm(\cos), Vnorm(\sin)) \times \frac{180}{\pi} - \overbrace{Zero_angle1}^{\text{初始位置调 0}}$$

($V_{norm}(\sin) < 0$ 时: $Norm_angle = Norm_angle + 360deg$)

步骤 5. 角度补偿计算

用计算得到的补偿值计算角度。

$$Lvl_angle [deg] = Norm_angle - \frac{P_{diff}}{2} - \frac{P_{diff}}{2} \times \sin((2 \times Norm_angle - 90 + Zero_angle1 \times 2) \times \frac{\pi}{180})$$

补偿等级 2 计算步骤

完成补偿级别 1 的计算流程后，执行以下计算。

步骤 1. 角度补偿计算

$$\begin{aligned} \text{Lv2 angle [deg]} = & \text{Norm angle} - \underbrace{\frac{P_{\text{diff}}}{2} - \frac{P_{\text{diff}}}{2} \times \sin((2 \times \text{Norm angle} - 90 + \text{Zero angle1} \times 2) \times \frac{\pi}{180})}_{P_{\text{diff}} \text{ 补偿项 (0 次和 2 次分量)}} \\ & - \underbrace{\text{Wd2(Temp)} \times \sin(2 \times \text{Norm angle} + \text{Zero angle1} \times 2)}_{\text{波形失真补偿项 (2 次分量)}} - \underbrace{\text{Wd4(Temp)} \times \sin(4 \times \text{Norm angle} - 180 + \text{Zero angle1} \times 4)}_{\text{波形失真补偿项 (4 次分量)}} \end{aligned}$$

注：

Wd2 和 Wd4 如下定义。

$$\begin{aligned} \text{Wd2(Temp)} = & (4.8 \times 10^{-8} \times (\text{Temp})^3 - 128 \times 10^{-7} \times (\text{Temp})^2 + 106 \times 10^{-5} \times (\text{Temp}) - 0.0294) \\ & \times (0.0000074 \times B^2 - 0.001869 \times B + 0.5267) / 0.4773 \end{aligned}$$

$$\text{Wd4(Temp)} = (-18 \times 10^{-4} \times (\text{Temp}) + 0.526) \times (0.0000074 \times B^2 - 0.001869 \times B + 0.5267) / 0.4773$$

Temp: 环境温度 [deg]

B: 外加磁场强度 [mT]

Wd2 (2 次), Wd4 (4 次) 周期角度误差 . . . 方程式中的系数是产品本身自带的参数

使用表格转换方法进行补偿步骤

这种方法在传感器输出不是清晰的 $\sin$ 、 $\cos$ 信号时特别有效。如图 13 所示，当将传感器放置在磁铁侧面使用时，输出波形将是叠加了 3 次谐波的波形。要基于此波形进行补偿，需要每次进行复杂的计算，但是使用表格转换方法，可以通过简单的处理获得角度计算结果。

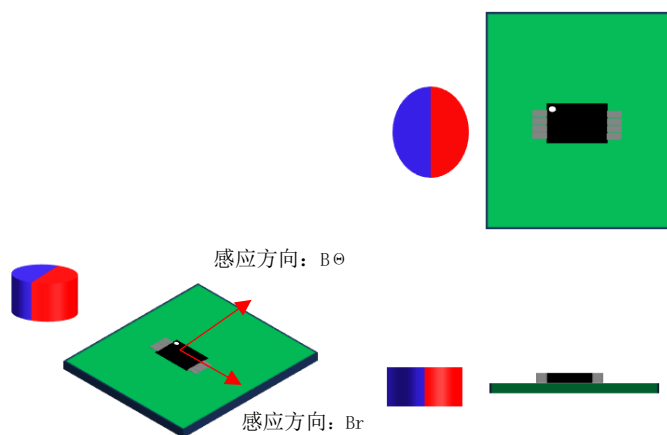


图 13. 磁铁摆放

磁场和传感器的输出示例

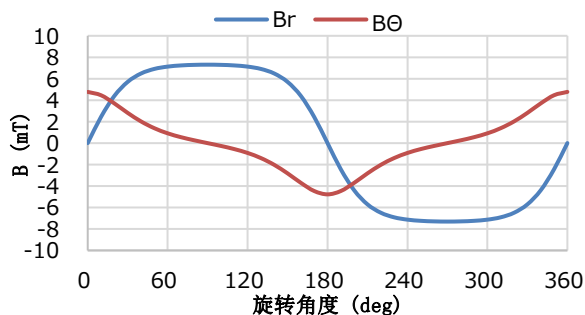


图 14. 磁铁侧面磁场区域(B_r , B_θ)

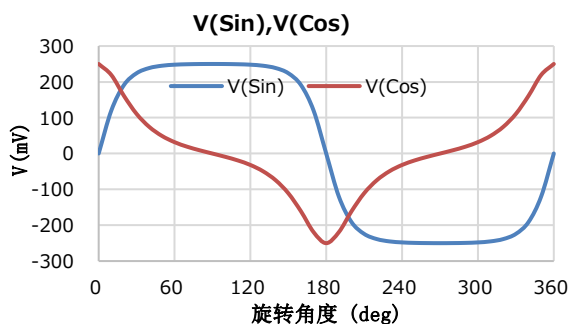


图 15. 传感器输出

创建补偿表格的示例

简单的补偿表格创建步骤如下。

步骤 1. 确定系统中的 0 度角的位置。

步骤 2. 将磁铁以任意角度间隔旋转 360 度，以获取一个周期内的角度传感器输出信号。假设以 1 度间隔旋转，则会获取 361 个数据 (0 度~360 度)。在此过程中，假设已知绝对角度。

步骤 3. 使用获取的 sin 和 cos 信号进行角度计算。

计算方法可以任意选择，其中最简单的计算方法是以下三角函数计算公式：

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

步骤 4. 将计算结果与绝对角度一一对应，创建对应表。这就是补偿表。

步骤 5. 将磁铁旋转到任意位置，然后通过步骤 3 相同的计算，获取传感器检测到的角度。

步骤 6. 通过将步骤 5 中得到的角度与补偿表进行对照，可以获取正确的角度信息。

步骤 7. 如果在补偿表中找不到相应的角度，则可以通过最近的前后两个点之间的线性插值来计算角度。

如果传感器检测到的角度是 1.9 度，则可以从表格中得知绝对角度是 2 度。

如果传感器检测到的角度是 358.7 度，则由于表格中没有与之相匹配的绝对角度值，因此可以使用相邻的两个数据点，即检测到的角度 358.1 度和 358.9 度，进行线性插值计算。

如果将绝对角度表示为 y，检测到的角度表示为 x，则

$$y = a \times x + b$$

$$358 = 358.1 \times a + b$$

$$359 = 358.9 \times a + b$$

$$a = 1.25, \quad b = -89.625$$

$$y = 1.25 \times x - 89.625$$

因此，绝对角度为 358.75 度。

绝对角度 [deg]	检测角度 [deg]
0	-0.1
1	0.8
2	1.9
3	3.0
⋮	⋮
357	357.3
358	358.1
359	358.9
360	359.6

6. 磁式传感器与磁铁使用时的注意点

使用磁式传感器和磁铁时的一般注意事项如下。

选择合适的磁铁

选择磁铁的种类和强度时，请根据磁式传感器的规格和应用场景的要求进行选择。磁铁的强度过强可能会导致传感器的误动作。

温度对磁铁的影响

磁铁对温度敏感、磁场强度随温度而变化。当磁传感器及磁铁受热时，可能会影响磁场的稳定性，因此需要研究适当的热对策。

磁铁配置与周边磁性材料的影响

磁式传感器会受到周边磁性材料(磁铁或铁等)的影响。请确认磁场的干扰是否会影响磁传感器的性能，请注意将磁铁，周边磁性材料和传感器调整至适当位置。

静电对策

磁式传感器也属于半导体器件，施加超过规格的静电时会损坏。使用时请采取充分的静电防护措施。

EMC 对策

车载环境下的电源过压、电波照射等因素，可能导致磁式传感器发生破坏或误动作。请根据实际需要实施防护措施(稳压二极管、电容器、电阻、电感器等)。

7. 注意事项

1. 本手册的记载内容可能会有变更，恕不另行通知。
2. 本手册的部分或全部未经许可，严禁转载、复印。
3. 本手册中的软件，电路示例等信息说明本产品的标准操作和使用方法仅供参考。本手册是专为客户自行判断使用或参考而设计的，因此我们无法保证本手册的正确性、对于特定产品的适用性，安全性及其他相关事例。参考和使用本手册时造成的事故损失，本公司概不负责。
4. 因使用本手册所述的产品数、图、表、程序、电路示例等信息而发生的对第三方专利权、著作权及其他知识产权的侵害或与之相关的纠纷，本公司不作任何保证，也不承担任何责任。
5. 出口受国内外出口相关法规限制的产品时，请在遵守该法规的基础上，取得必要的许可、手续等。
6. 关于本手册中记载的内容，产品的不明之处，请咨询本公司负责营业。

产品和服务咨询窗口

关于本公司的产品和服务的咨询，请到本公司主页的咨询窗口。

修改履历

日期	版本	变更内容
2024 年 10 月 17 日	Rev1.0	中文初版 Rev1.0