

Application Note

AMR 角度传感器校准



Scott Bryson

摘要

各向异性磁阻 (AMR) 传感器是用于检测磁场矢量的方向 (而非磁场强度) 的磁传感器。如果磁场足够强, AMR 传感器可确定旋转永磁体的位置。AMR 传感器通常只能解析高达 180° 的分辨率。

TMAG6180-Q1 和 TMAG6181-Q1 均采用 AMR 感应与 2D 霍尔效应锁存器相结合, 将角度计算扩展到完整的 360°, 以实现低延迟角度测量。TMAG6180-Q1 会生成输出 Q0 和 Q1, 这些输出为绝对角度测量提供正交数据, 而 TMAG6181-Q1 包括匝数计数器功能, 即使在低功耗睡眠模式下运行时也可以跟踪相对位置。了解在配置这些器件时如何正确校准终端系统以及可能的误差来源非常重要。

内容

1 引言.....	2
2 AMR 角度感应.....	3
3 校准 AMR.....	4
3.1 输入相关误差.....	4
3.2 与传感器相关的误差.....	6
3.3 偏移量.....	7
3.4 振幅不匹配.....	7
3.5 正交性误差.....	7
3.6 噪声.....	7
4 总结.....	8
5 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

与霍尔效应、巨磁阻 (GMR) 和隧道磁阻元件 (TMR) 不同，各向异性磁阻 (AMR) 传感元件没有与灵敏度方向上所施加磁场强度成比例的输出电压。相反，AMR 感应显示了与所施加磁场矢量方向相关的电阻变化。

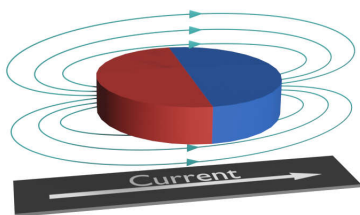


图 1-1. AMR 标称阻抗校准

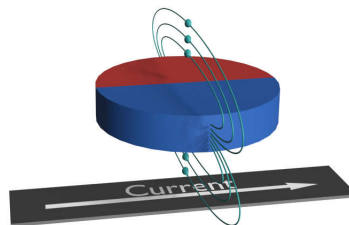


图 1-2. AMR 降低阻抗校准

图 1-1 表明，当施加的磁场与流经感应元件的电流平行时，阻抗不会产生变化。然而，如果施加的磁场与感应元件正交，则阻抗变化会达到最大饱和点 (图 1-2)。

例如，假设电阻元件暴露在振荡的磁场中，那么 AMR 电阻率产生的行为遵循方程式 1 中的表达式。

$$\rho(\theta) = \rho_{\parallel} + \rho_{\perp} \times (1 - \cos^2 \theta) \quad (1)$$

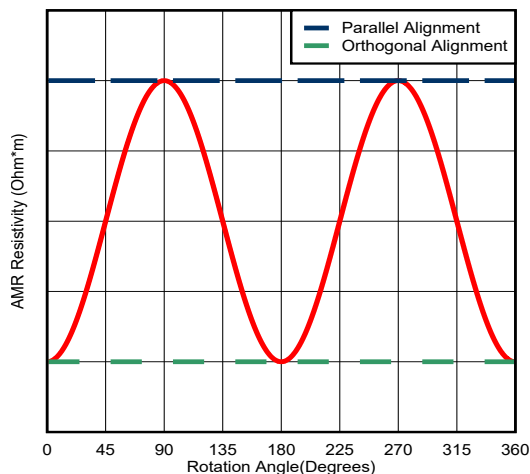


图 1-3. AMR 阻抗与场定向

2 AMR 角度感应

如果传感器设置为惠斯通电桥格式，图 1-3 中显示的变化特别有用，如图 2-1 所示。这种特殊的配置会产生两个并联电阻分压器，其元件在物理上彼此正交。电阻的变化是由于入射磁场在整个旋转过程中产生正弦响应，从而利用沿每个轴具有相同大小电阻的 AMR 元件来平衡结构。

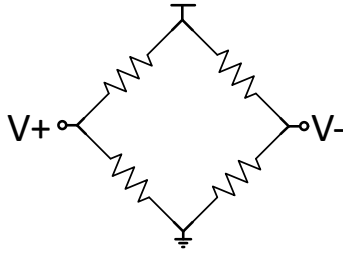


图 2-1. 惠斯通电桥配置

关于感应元件的响应，特别值得注意的是，输出随 $\cos^2\theta$ 的变化而变化。因此，典型的 AMR 传感器每转产生两个输出周期，而单个惠斯通电桥只能直接解析 90° 的物理旋转。

鉴于传感器对旋转磁场的响应，可以通过集成第二个旋转 45° 的惠斯通电桥来创建一组电正交的正弦输出。

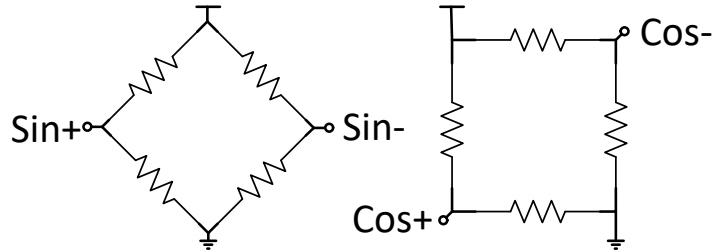


图 2-2. 正弦和余弦惠斯通排列

输出共同表示正弦和余弦，然后可用于计算每 180° 机械旋转具有完整 360° 响应的反正切。

TMAG6180-Q1 和 TMAG6181-Q1 利用这种感应技术，通过组合使用快速的二维霍尔效应锁存器来创建能够检测象限并将感应范围从 180° 扩展到完整 360° 的 AMR 传感器。TMAG6180-Q1 生成可计算绝对角度的 Q0 和 Q1 输出。TMAG6181-Q1 提供了一个匝数计数器，可以在每个象限变化时递增或递减。该计数器会跟踪上电后的相对角度，如果匝数计数器始终在相同的 180° 范围内初始化，则可以实现绝对角度。

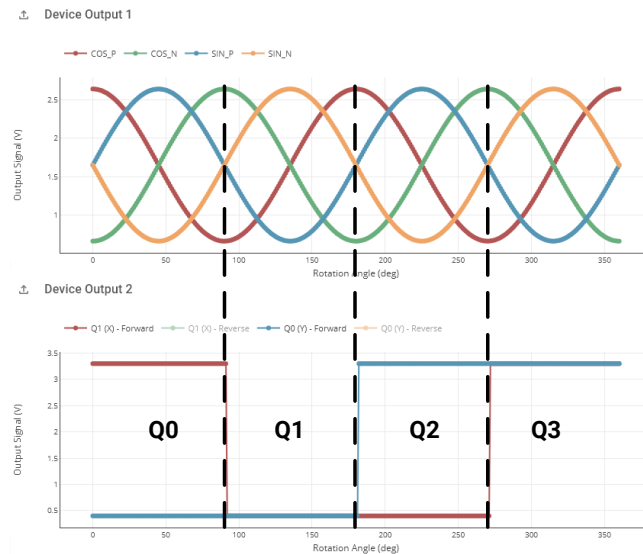


图 2-3. 模拟 TMAG6180 输出响应

两种器件中的自动增益控制 (AGC) 均设置为产生峰峰值幅度为 $0.6 \times V_{CC}$ 的输出，输出以 $V_{CC}/2$ 为中心，与输入磁场强度无关。当磁场变化产生矢量幅度漂移时，传感器会根据方程式 2 调节所施加的增益以保持恒定的输出电平。

$$0.6 \times V_{CC} = \sqrt{\sin_{diff}^2 + \cos_{diff}^2} \quad (2)$$

以差分方式测量时，计算得出的信号通常在 $\pm 0.6 \times V_{CC}$ 之间波动。例如，当 $V_{CC} = 3.3V$ 时，每个输出信号可以在 0.66V 和 2.64V 之间变化，并且当以差分方式获取时，产生的信号范围为 $\pm 1.98V$ 。

3 校准 AMR

3.1 输入相关误差

AMR 角度传感器采用二维设计，但完整的磁场矢量是 3D。当磁体沿磁极边界以旋转轴为中心时，场矢量与磁体表面平行。

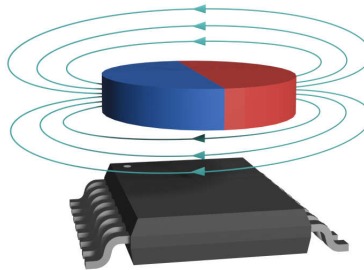


图 3-1. 正确的旋转对齐

因此，当磁体旋转时，磁场矢量在两个维度上受到限制，这将为传感器产生正确的输入 (图 3-1)。如果传感器远离旋转轴，所有三个轴上的磁场矢量都会发生变化。

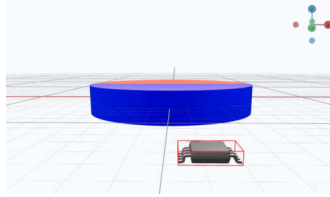


图 3-2. 具有机械偏移的 TMAG6180

假设具有圆形轮廓，磁传感器暴露在所有三个磁场分量下，但传感器检测不到 z 方向的输入磁场的很大一部分。结果，会引入一些输入非线性。请考虑图 3-3 中的利萨如图，该图在图 3-4 中忽略 Z 分量时使用全矢量并投影到 XY 平面。

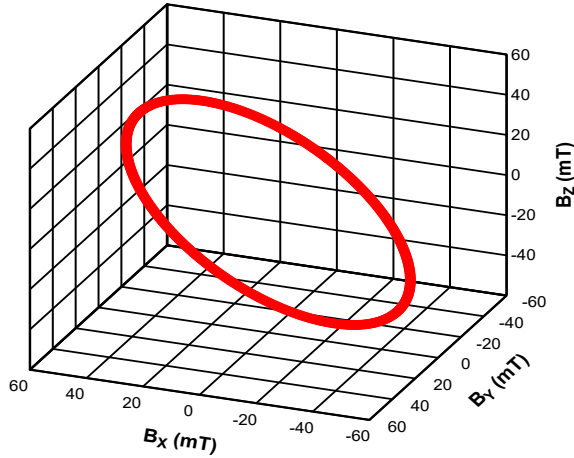


图 3-3. 3D 利萨如图

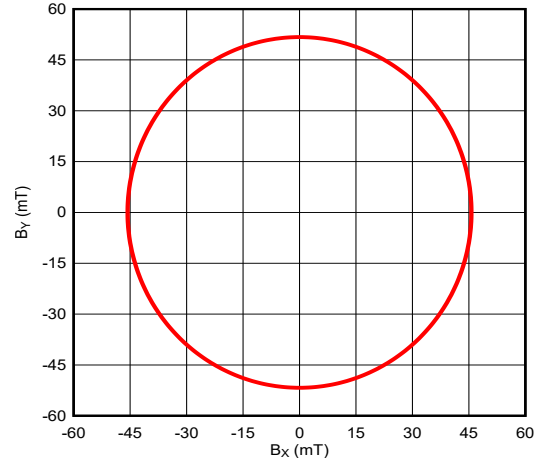


图 3-4. 2D 利萨如图投影

产生的输入磁场角度以不同于测得的机械旋转的速率变化，因为产生的投影是椭圆形而不是圆形（X 方向的极值为 $\pm 45\text{mT}$ ，而 Y 方向接近 50mT ）。由于角度呈现这种非线性变化，器件生成的输出可能出现意外形式。仔细检查图 3-5 可以发现，输出波形略微失真，并且未表现出正确的正弦和余弦行为。

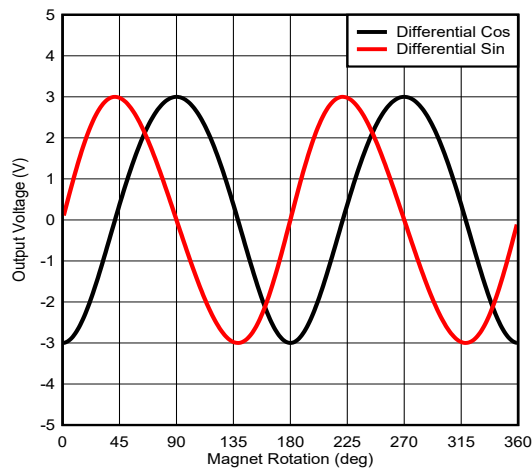


图 3-5. 具有机械偏移的 TMAG6180 输出电压

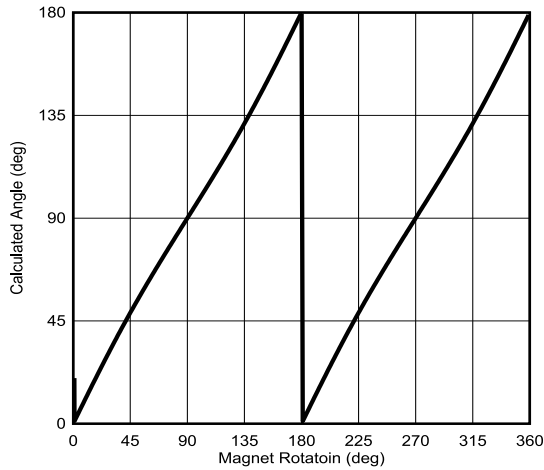


图 3-6. 通过机械偏移计算得出的角度

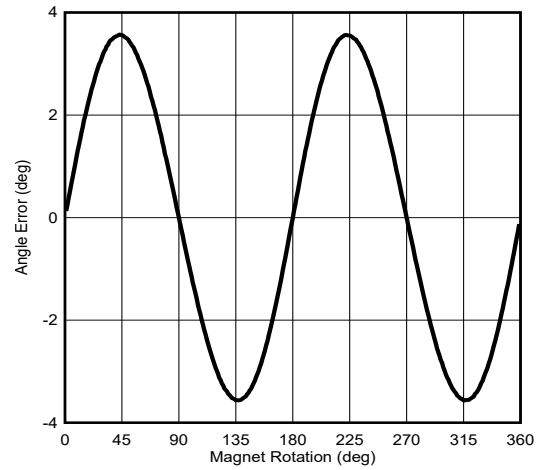


图 3-7. 机械偏移导致的角度误差

由于传感器的输入随非线性角度变化，因此传感器输出非线性角度计算结果。这种角度变化是循环的，因此如有必要，可以使用多点线性化、查询表或谐波近似等技术来校准传感器。[实现更高系统角度检测精度](#)中进一步介绍了这些技术。

3.2 与传感器相关的误差

对于任何 AMR 角度传感器，可以考虑四个主要的器件级误差源：

- 偏移量
- 振幅不匹配
- 正交性误差
- 噪声

通过将多条利萨如曲线与无误差单位圆进行比较，可以更好地理解这些误差。

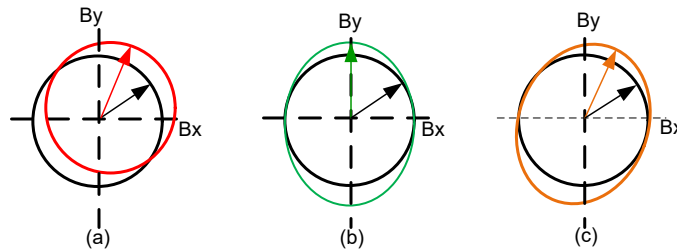


图 3-8. 传感器电气误差、失调电压误差 (a)、振幅不匹配误差 (b) 和正交性误差 (c) 对角度精度的影响

偏移、振幅不匹配和正交性误差部分定义了图 3-8 的关系图。当差分输出可用时，有效输出模式可以用[方程式 3](#)和[方程式 4](#)来描述。这些关系用于后续的计算，但如果使用单端值进行计算，则可以替换为单个输出。

$$\sin_{\text{diff}} = \sin_p - \sin_N \quad (3)$$

$$\cos_{\text{diff}} = \cos_p - \cos_N \quad (4)$$

3.3 偏移量

当正弦或余弦输出与正常曲线偏移时，偏移图会生成一个不以原点为中心的圆。该偏移可能是由惠斯通电桥的不平衡或传感器增益级内的不匹配导致的。

计算出正输出和负输出之间的差值后，通过从测得的输出差值（[方程式 5](#) 和 [方程式 6](#)）中减去，计算任何剩余偏移并将其从任一输出信号中删除。

$$V_{os_sin} = \frac{\sin\text{diff}(\text{max}) + \sin\text{diff}(\text{min})}{2} \quad (5)$$

$$V_{os_cos} = \frac{\cos\text{diff}(\text{max}) + \cos\text{diff}(\text{min})}{2} \quad (6)$$

3.4 振幅不匹配

振幅不匹配是在通道灵敏度增益发生变化时发生的，导致正弦或余弦输出的输出振幅发生微小变化。这些变化使正确的圆响应出现偏差，如 [图 3-8](#) 的图 b 所示。

[TMAG6180-Q1](#) 和 [TMAG6181-Q1](#) 中的自动增益控制会尝试调整通道灵敏度增益，使总幅度保持恒定。不过，可能会持续存在一定程度的不匹配。将两个信号标准化为相同的振幅可消除该振幅不匹配，并更大程度地减小该误差源。将在后处理中使用 [方程式 7](#) 至 [方程式 9](#) 执行此标准化步骤。

$$A_{\sin_diff} = \frac{\sin\text{diff}(\text{max}) - \sin\text{diff}(\text{min})}{2} \quad (7)$$

$$A_{\cos_diff} = \frac{\cos\text{diff}(\text{max}) - \cos\text{diff}(\text{min})}{2} \quad (8)$$

$$k = 1 - \left(\frac{A_{\cos_diff}}{A_{\sin_diff}} \right) \quad (9)$$

3.5 正交性误差

正交性误差描述了正弦和余弦输出之间的内部相位误差的影响。这些刚好 90° 异相的输出会生成可用于反正切计算的信号。如果输出中存在相位误差，则会出现非线性。这种非线性需要更复杂的三角变换才能校正。通过比较余弦输出的过零与正弦输出的相对最大值来确定相位误差。通常，由于 AMR 传感器的结构，该误差可以忽略不计。从反正切计算中删除相位误差（定义为 β ）的方法如 [方程式 10](#) 所示。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(\beta)}{\left(\frac{\sin\text{diff}}{\cos\text{diff}} - \sin(\beta) \right)} \right) \quad (10)$$

3.6 噪声

电气噪声是不可避免的测量误差源。[TMAG6180-Q1](#) 和 [TMAG6181-Q1](#) 的差分输出有助于提高 SNR。在考虑 SNR 时，了解对角度精度的影响非常重要。[图 3-9](#) 展示了 RMS 输出噪声量的变化如何影响角度计算的质量。每个系列中显示的误差假定余弦输出上的差分噪声为最大正值，正弦输出上的差分噪声为最大负值。[图 3-9](#) 所示为噪声在最坏情况下产生的角度误差。在以输出为基准的噪声为 0.5mV RMS 的情况下，有效角度误差仍然可以忽略不计。不过，如果需要，可以实现输出滤波器或过采样来进一步降低噪声。

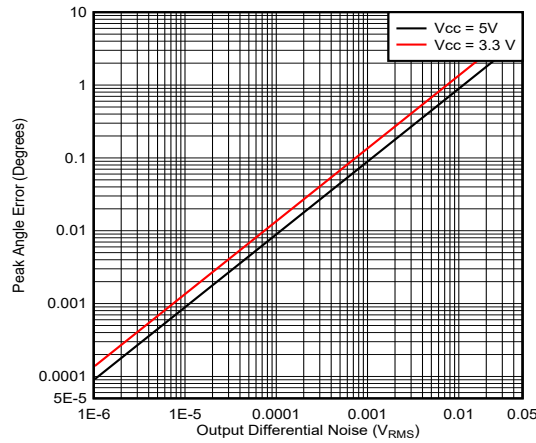


图 3-9. 最坏情况下峰峰值噪声导致的角度误差

4 总结

与传统霍尔效应传感器相比，AMR 传感器具有降低输入噪声和大幅缩短响应时间等优势。由于这些 AMR 传感器旨在测量 2D 空间中输入磁场矢量的角度，因此可以通过提供具有非线性角度变化的输入来使输出响应呈现非线性。

TI 的磁感应仿真器 (TIMSS) 提供了一种便捷方法来仿真磁场和估算器件响应。使用该工具，用户可以创建旋转磁体，并生成预期磁场和器件响应的图和数据报告。这些功能可帮助用户更好地了解在进行原型设计之前需要执行的操作。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TMAG6180-Q1 具有 360 度角范围的汽车类高精度模拟 AMR 角度传感器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TMAG6181-Q1 具有集成圈数计数器的高精度模拟 AMR 角度传感器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [实现更高系统角度检测精度](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [TI 的磁场感应仿真器](#) 工具

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