



Scott Bryson

Analog Signal Chain - Sensing

摘要

增量旋转编码是一种通常与锁存霍尔传感器相关联的应用。角位置、速度和方向测量提供了重要的系统反馈。通常，该应用需要使用彼此异相 90° 的两个传感器来实现所需的正交输出。解决方案的精度将取决于霍尔传感器的对齐情况和精度。TMAG5110 或 TMAG5111 等器件在封装内集成了额外的平面内传感器。该额外传感器也位于第二个轴上。这使得在单个封装内实现固有的相位对齐成为可能，让设计人员能够使用单个器件来最大限度地减少布局工作，并提供出色的灵敏度阈值匹配，从而带来出色的性能。本应用报告讨论了与二维霍尔传感器相关的磁场特性以及设计注意事项。

内容

1 引言.....	2
2 2D 霍尔效应的锁存响应.....	4
3 两轴传感器注意事项.....	5
3.1 磁体选择.....	5
3.2 传感器选择.....	7
4 优化精度.....	14
4.1 优化放置以提高精度.....	14
4.2 优化磁体以提高精度.....	15
5 应用实现.....	16
6 总结.....	18
7 参考文献.....	18
8 修订历史记录.....	18

商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

旋转磁场的正交检测通常使用偶极磁体并在磁体附近相隔 90° 放置两个霍尔效应磁传感器来实现。使用多极磁体时，这个间隔可以设置为磁极空间间隔的任意整数 $+ \frac{1}{2}$ 倍。通常，这些磁体的磁极会从环形中心向外径向分布，但也可以选择轴向两极分化放置的方式（在 z 轴垂直方向）。

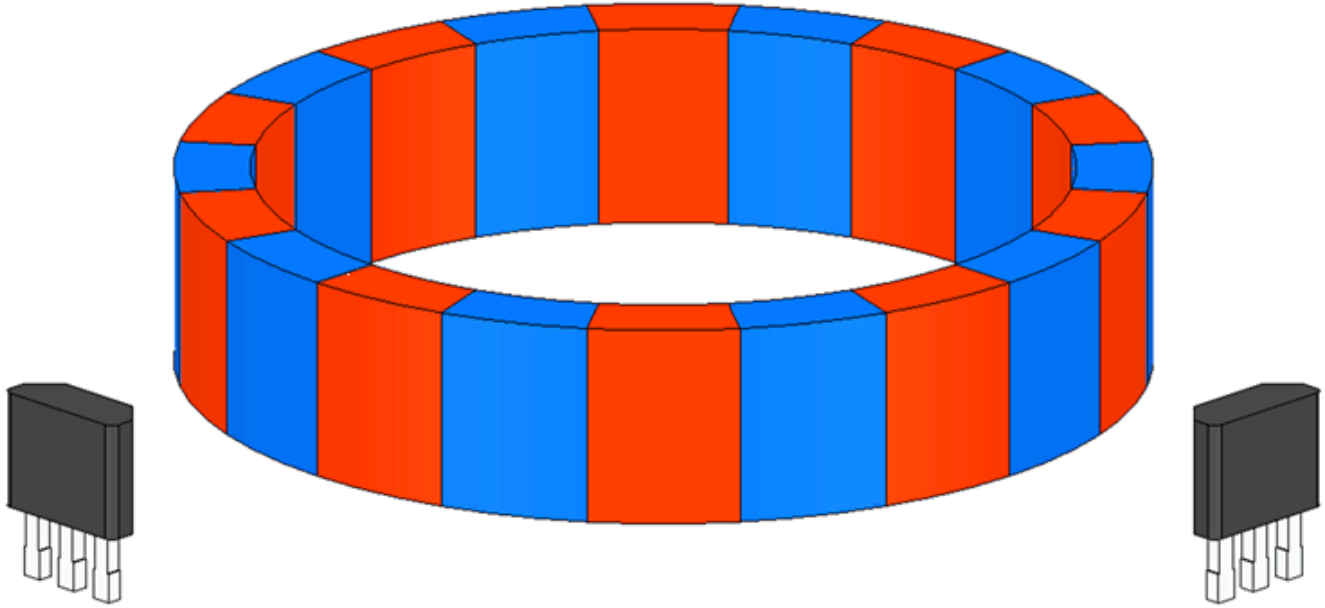


图 1-1. 两个传感器的正交放置

旋转编码器的正交检测使用户能够监测旋转的速度和方向以及角度的增量变化。多极磁体提高了这些角度测量的分辨率。随着磁极数量增加，我们可以分辨更小的角度变化。

若要开发稳健的正交解决方案，必须克服一些挑战。这里的设计要求合理地放置每个传感器，使每个传感器都能在磁体旋转时刚好检测到磁场的相同部分。位置和对齐误差、磁体倾斜以及磁体偏轴旋转都可能造成测量误差。[利用霍尔效应位置传感器实现旋转编码应用](#)中详细介绍了这些因素。

另外，器件灵敏度差异也会影响整体正交精度。例如，假设器件的典型 B_{OP} 点为 4mT ，容差为 $\pm 3\text{mT}$ 。我们必须考虑到最差的情况，即一个传感器可能在 1mT 处触发，而另一个传感器则在 7mT 处触发。当每个传感器均与 20 极 Neobond12M 磁体位于同一平面上，并且彼此正好相距 3.25mm 时，我们监测到的磁通密度图如 [图 1-2](#) 所示。磁体的外径为 25.5mm ，内径为 21.5mm 。除非另有说明，我们将在本次讨论中通篇使用该磁体。

每个传感器观察到的磁通密度完全相同，但传感器放置的位置导致电场上存在 90° 异相。对于 20 极磁体，每个极对占 36° 并将在输入端定义一个完整的周期。因此， 90° 电场相位差相当于 9° 的机械旋转。从磁体边缘朝外径向发射的磁场分量会达到略高于 8mT 的峰值幅度，这足以一直触发两个器件。如果我们考虑最差器件灵敏度这一不太可能的情况，灵敏度不匹配可能会导致高达 4.9° 的机械误差。该误差是预期相位偏移与观察到的相位不匹配造成的，这种不匹配问题发生于同一系统中出现极限 BOP 阈值之时。

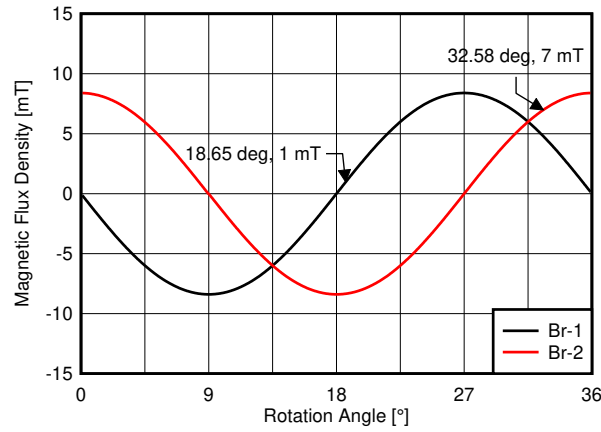


图 1-2. 双传感器正交

在尝试分辨精确的旋转角度时，这些误差非常重要。在持续旋转期间，速度计算的较小正交误差可以对一段时间求取平均值，但检测绝对位置的独特磁极转换需要更高的精度。

使用 **TMAG5110** 或 **TMAG5111** 等 2D 传感器有助于简化设计并减少构建限制。通过将两个传感器都集成到单个封装内还可以直接帮助减少潜在的对齐偏移。另外，**TMAG5110** 传感器的精度也有所提高。**TMAG5110** 将两个传感器以彼此正交放置的方式集成到单个封装中，并且工作点对称为 1.5mT。

我们现在应该考虑 z 轴方向的磁场以及面向磁体的直接切向 (θ) 磁场。

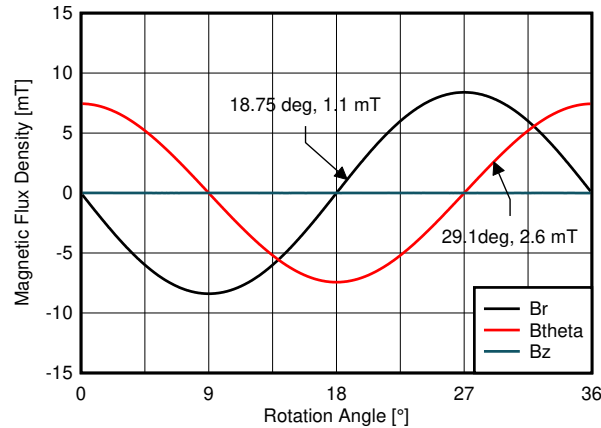


图 1-3. B 场分量

在 **图 1-3** 中，2D 传感器位于与之前相同的相对位置。我们可以看到，此处的 Z 轴分量为零，因此这要求器件对 XY 场分量 (B_r 和 B_θ) 敏感。在 **TMAG5110** 或 **TMAG5111** 中，无需采用穿孔式封装，即可实现这种对齐，因为表面贴装封装都提供 XY、ZY 和 ZX 选项。

在这里，切向分量 (B_θ) 与径向分量 (B_r) 具有大致相同的幅度。幅度上存在细微偏差，而这会导致器件灵敏度偏差造成的误差进一步增加。该磁体的两个磁场之间存在 9° 的相位差。加上两个传感器之间的最大 B_{OP} 误差，因此产生的误差约为 1.35° 。这相对之前的情况有了很大的改进。

尽管这种改进是正面的，但通过仔细考虑磁体磁场的特性以及磁体与传感器位置的相对关系，还可以实现进一步的改进。

2 2D 霍尔效应的锁存响应

首先应考虑 2D 锁存相对于输入磁通密度的输出响应。

TMAG5110 和 TMAG5111 各集成了两个锁存器，其结果更新通过 OUT1 和 OUT2 输出。因此，这两个输出均具有锁存功能。图 2-1 显示了这两个输出分别对不同磁极的响应。TMAG5111 输出并未直接连接到两个集成锁存器。另外还增加了额外的计算来输出速度和方向。

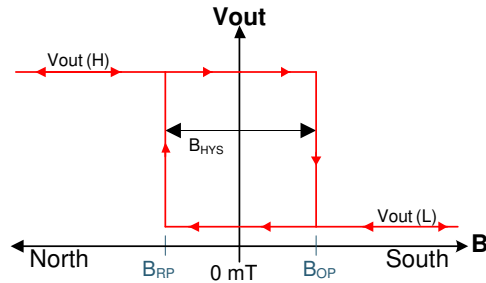


图 2-1. 锁存器功能

图 2-2 显示了 TMAG5110 和 TMAG5111 对正弦场的响应。正弦曲线表示所观察到由旋转磁体产生的磁场。

TMAG5110 响应显示了这两个输出对此信号的响应为：在磁场超过 B_{OP} 后变为低电平；同样，仅当磁场分量以相反方向跨过 B_{RP} 时，这两个输出才均会变为高电平。

TMAG5111 响应显示了这两个信号如何用于产生与输出相同的速度和方向。

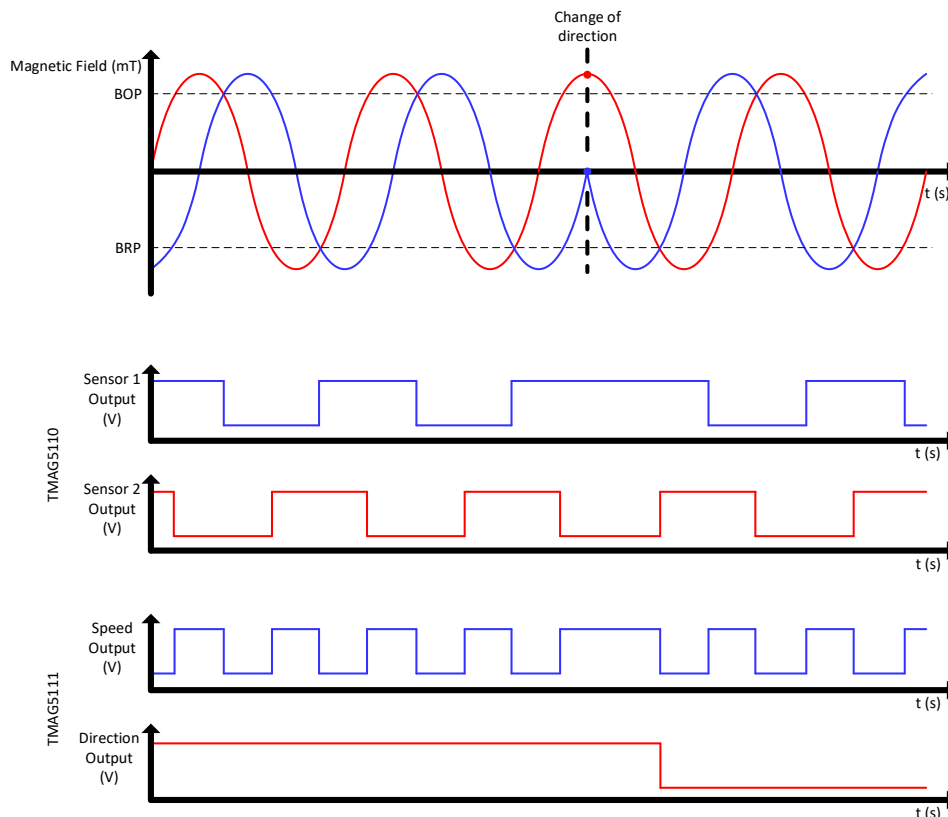


图 2-2. 输出行为

3 两轴传感器注意事项

采用多轴霍尔传感器时，有多个因素会影响预期的结果。这些因素包括磁体选择、传感器选项以及物理位置和对齐。为了实现理想的正交结果，应当考虑所有这些因素。

3.1 磁体选择

根据可用空间、所需方向以及成本等设计约束条件，具体如何为任意给定应用选择最合适的磁体会有所不同。通常，材料越强、磁体越大以及自定义形状或配置都会导致磁体成本增加。

3.1.1 磁极数量

磁体的磁极数量会影响角度测量的最小分辨率。例如，在具有直径极化的基本圆柱磁体中，只能确定每个传感器的两个分立式位置。由于存在相位差，我们可以确定 90° 的角位置。随着磁体的磁极数量增加，角步长会增加。这种分辨率变化还有助于衡量幅度或灵敏度不匹配导致的预期角度误差。

增加磁极数量时需要付出一定的代价。随着磁极数量增加，每个方向上的磁通密度或 B 场会减小。因此，给定传感器需要更加靠近磁体，或者需要根据更高的灵敏度来检测每次磁极转换。图 3-2 至图 3-4 展示了具有 10 个磁极的环形磁体以及具有 20 个磁极的环形磁体所产生的 B 场仿真结果。这里传感器不再与磁体位于同一平面，而是位于磁体外边缘下方 1.5mm 处。根据我们的观察，在采用 20 极磁体时，此位置的 B_z 是 B 场矢量的主要分量，峰值约为 10mT。

在仿真示例中，使用圆柱坐标而不是笛卡尔坐标很有用。因此，图中并不是以 X 、 Y 和 Z 的形式来表示输出矢量，而是采用相对于 R （从 z 轴直接径向朝外）、 θ （相对于半径 R 处的点直接相切）和 Z 的坐标。这可以确保，不管将传感器相对于磁体放置在何处，我们都可以在探索磁体周围的空间时，正确地提取相应的矢量。

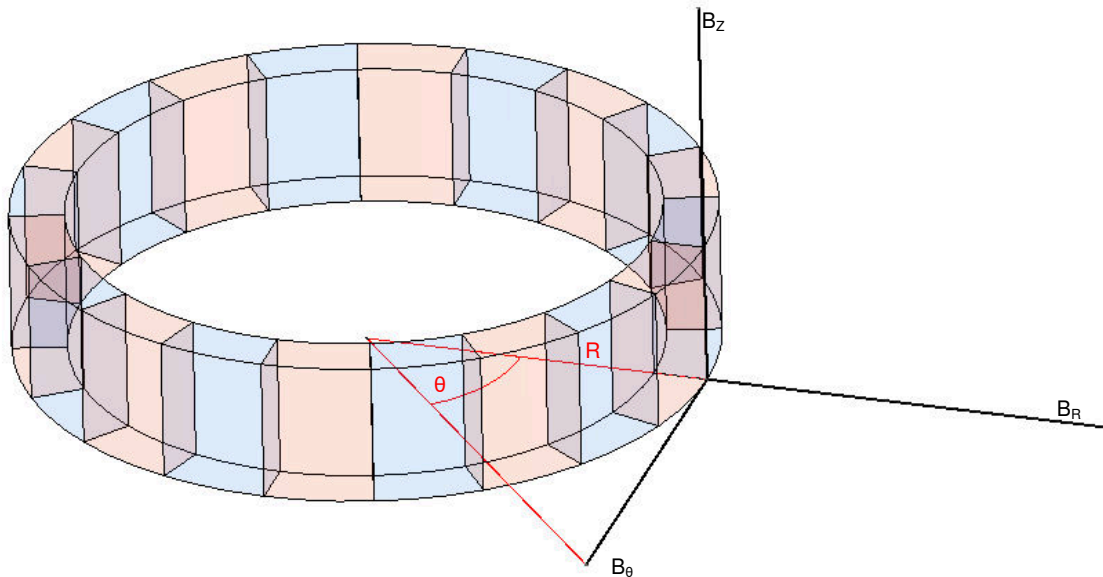


图 3-1. 圆柱坐标系

每个磁体均具有相同的尺寸、材料属性和传感器放置方式。唯一的区别是磁极数量。请注意可测量的磁场随着磁极数量增加而减少。另外请注意，与采用 10 极磁体时相比，采用 20 极磁体时 θ 分量上的正弦曲线形状更接近三角形。空气间隙越大，预计此处的响应曲线会更接近正弦曲线，但代价是幅度会减小。

磁极数量越多，角度分辨率越高，但磁场强度会更弱。在测量轴上测得的磁通密度必须足够大，才能正确检测正交。

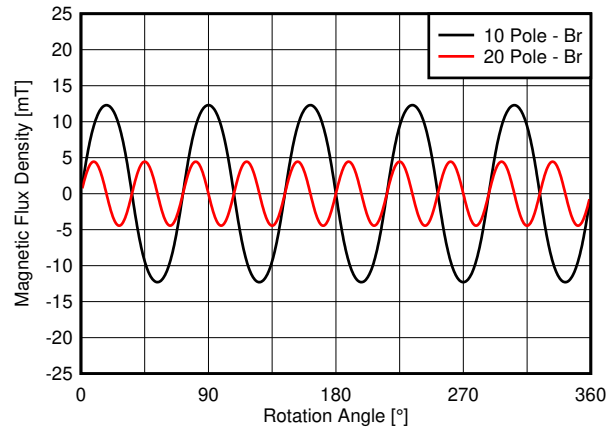


图 3-2. 磁极数量的影响 - B_r

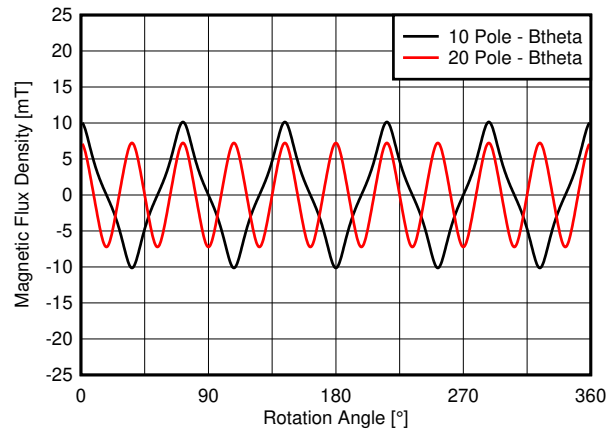


图 3-3. 磁极数量的影响 - B_θ

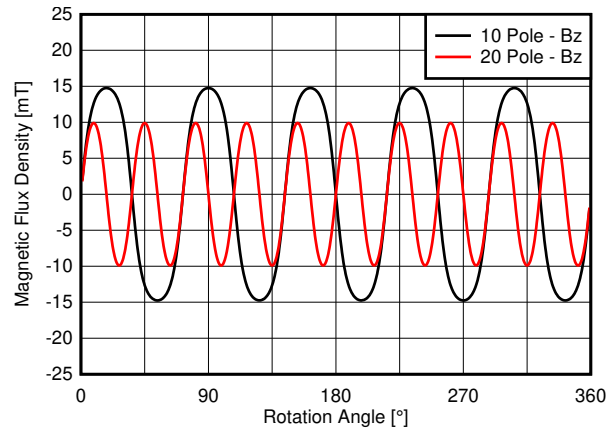


图 3-4. 磁极数量的影响 - B_z

3.1.2 磁体强度

受到放置位置以及所需分辨率的限制，可能需要采用磁性更强的磁体材料。按照类似的方式，我们可以比较键合陶瓷型磁体与 N35 和 SmCo18 型磁体的结果。放置位置同样是磁体外边缘的下方，只有磁体材料类型不同。请注意，在磁极数量相同的情况下，钕磁体提供的峰值幅度远大于模塑陶瓷磁体。

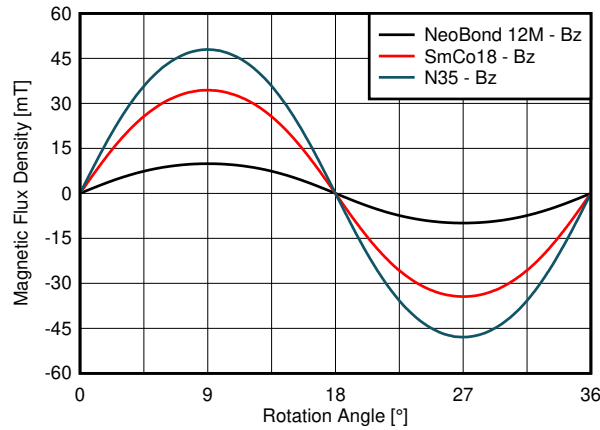


图 3-5. 磁体材料的变化

进一步引申来说，这意味着，使用的磁体材料越强，传感器就可以从越远的距离检测正交，因为磁通密度会随着距离增加而减小。

3.2 传感器选择

为应用选择正确的传感器型号也会影响结果。具体来说，灵敏度阈值和灵敏度轴都是会影响性能的器件选项。

3.2.1 灵敏度轴

TMAG5110 和 TMAG5111 都提供了两个轴的所有可能组合，即 XY、ZY 和 ZX。每种组合都以同一产品系列中不同的封装型号提供。最适合给定应用的磁极会有所不同，具体取决于传感器与磁体的对齐方式。这些器件使设计人员能够灵活地使用表面贴装式封装，而无需额外的 PCB 或需要占用较大垂直空间的器件。下面几节介绍了一些可能的配置。

3.2.1.1 平面内传感器对齐

磁体的外边缘是磁场最强的位置。因此，如果将传感器放在磁体的外边缘上，那么在空气间隙和灵敏度选择上会具有充分的灵活性。以下几张图片显示了如何将不同版本的 **TMAG5110** 和 **TMAG5111** 置于靠近磁体外边缘（平面内）的位置以供使用。

选项 A - X 和 Y 轴灵敏度使传感器能够与环形磁体放在同一平面上。传感器可以面向磁体放置，也可以侧面朝向磁体。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。

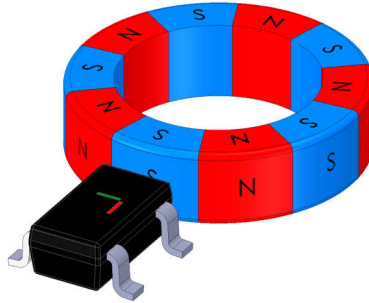


图 3-6. XY 外边缘 1

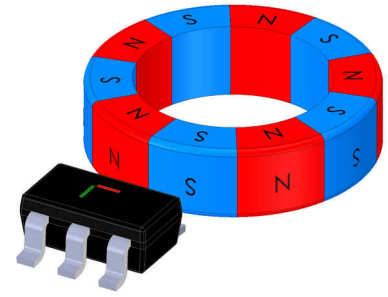


图 3-7. XY 外边缘 2

选项 B - Z 和 X 轴使传感器能够放在封装的顶部，面向环形磁体放置或器件的正面朝向磁体。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。



图 3-8. ZX 外边缘 1



图 3-9. ZX 外边缘 2

选项 C - Z 和 Y 轴使传感器能够放在封装的顶部，面向环形磁体放置或器件的侧面朝向磁体。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。



图 3-10. ZY 外边缘 1



图 3-11. ZY 外边缘 1

3.2.1.2 平面外传感器对齐

如果传感器放在环形磁体平面之外，则在采用固定空气间隙时，对 B 场各个分量观察到的幅度会有所减小。因此，传感器和磁体之间的距离选择灵活性会有所下降。高灵敏度器件（或具有低 B_{OP} 阈值的器件）使应用即使在器件置于磁体外边缘下方时，也能够继续检测磁极转换。在空间受限且传感器必须位于磁体直径范围内的情况下，这一点尤其有用。

选项 A - X 和 Y 轴使传感器能够面向磁体的侧边缘放置。另外还可以将传感器侧边缘朝向磁体侧面放置。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。

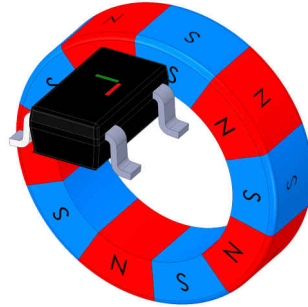


图 3-12. XY 侧边缘 1

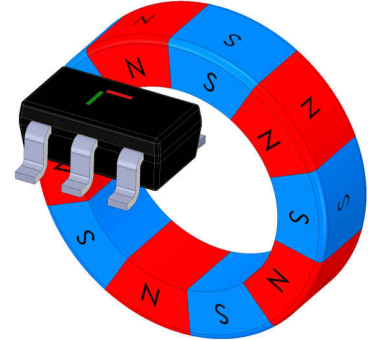


图 3-13. XY 侧边缘 2

选项 B - Z 和 X 轴使传感器能够面向磁体的侧边缘放置，或者面向磁体的侧边缘放置在封装顶部。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。



图 3-14. ZX 侧边缘 1

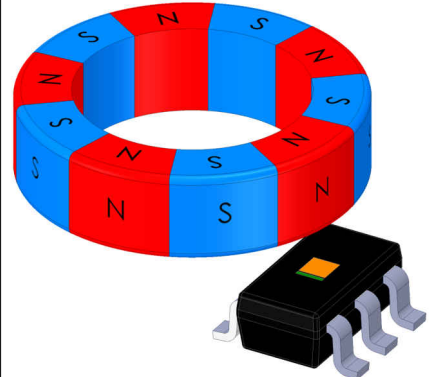


图 3-15. ZX 侧边缘 2

选项 C - Z 和 Y 轴使传感器能够面向磁体的侧边缘放置，或者面向磁体的侧边缘放置在封装顶部。该器件还可以沿 Z 轴旋转 180°。

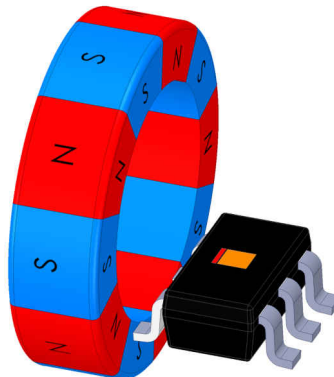


图 3-16. ZY 侧边缘 1

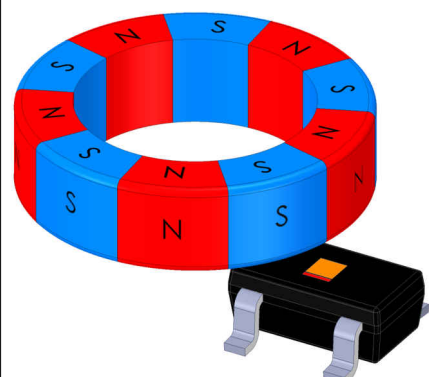


图 3-17. ZY 侧边缘 1

3.2.2 传感器放置

为了进一步了解磁体产生的磁场，我们现在将展示各个主要位置的预期响应，以研究各种预期的变化。具体来说，我们将展示中央沿着旋转轴（同轴）、沿着外边缘（平面内）以及到侧边（平面外）的磁场情况。

我们可以针对每个位置进行优化，并将讨论为改善整体结果而采取的步骤。

3.2.2.1 同轴磁场

与本文档中所示的所有其他情况不同，使用只有一个极对的直径磁体时，最适合进行同轴测量。对于此类对齐，应将传感器沿着旋转轴置于磁体下方。

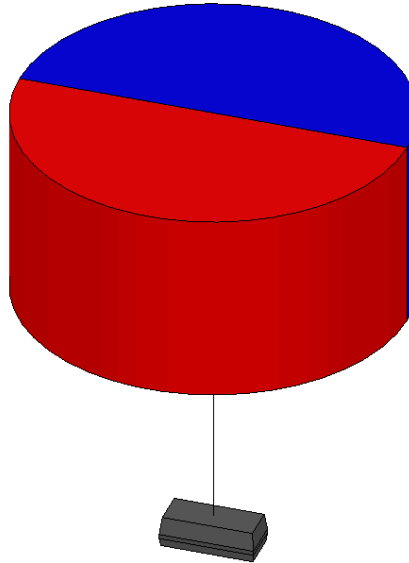


图 3-18. 同轴对齐

在该位置上，当磁体旋转时，磁场方向始终与磁体表面平行，因而不会产生 z 轴分量。

在此示例中，我们并不是采用 20 极键合陶瓷磁体，而是将显示来自直径为 24.5mm 且厚度为 12.25mm 的圆盘磁体的响应。传感器置于磁体下方 10mm 处。请注意，各分量的磁通密度峰值为 75mT。此系统中当然可以采用 TMAG5110 或 TMAG5111 来缩小磁体大小或增加磁体与传感器之间的距离。

这里需要注意的是，两个分量刚好 90° 异相并具有相同的峰值幅度。这种情况下的对齐相对比较简单，幅度差异造成的影响也很小。

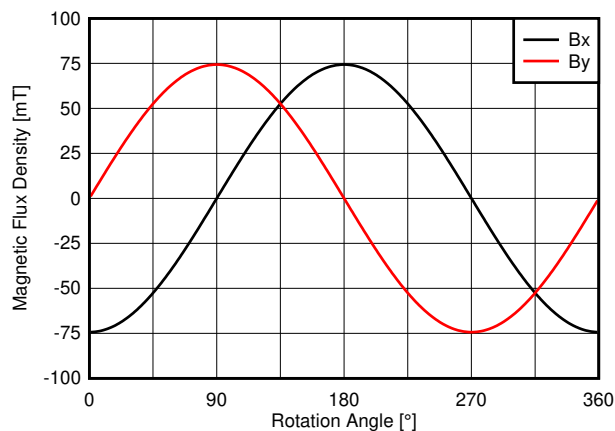


图 3-19. 同轴磁场分量

此类磁体和对齐的缺点在于分辨率。我们只能确定每个 90° 步进。若要在采用此类磁体时获得更高的精度，磁体需要相对于所检测的主体以更快的速率旋转。

虽然我们只观察到灵敏度不匹配导致的正交误差，但是在匹配最差的情况下仍有高达 1.16° 的误差。尽管输入的幅度远大于多极情况中的幅度，但是由于机械和电场相位具有 1:1 比率，误差仍然大于 1° 。采用多极磁体时，角度分辨率会有所提高，误差会有所下降。

3.2.2.2 平面内磁场

图 3-20 显示了平面内放置情况。我们并未使用两个单独的器件来检测正交，而是使用一个与磁体共面的 2D 传感器。

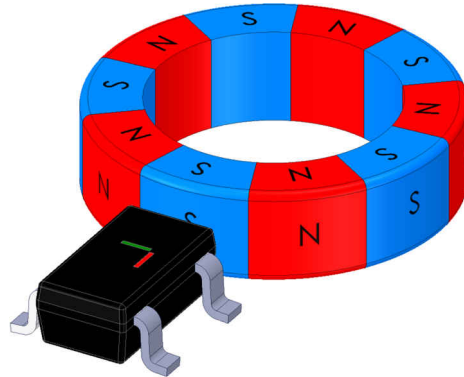


图 3-20. 平面内传感器

这时磁场的径向分量具有大致相同的幅度，因为它位于磁体下方并且空气间隙很小。我们发现，当传感器与磁体表面之间的间距为 3.25mm 时，两个相关分量之间的峰值幅度非常相似，并且没有 z 分量。

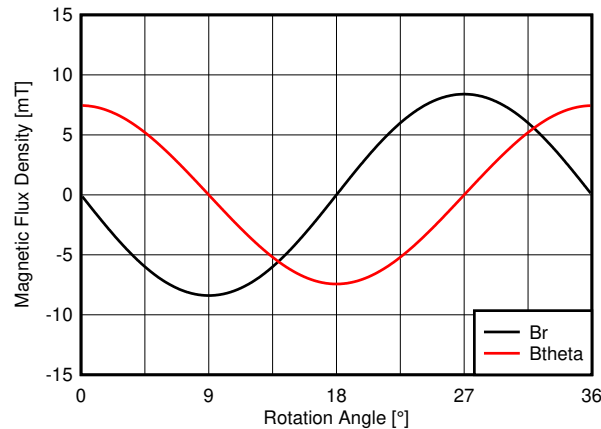


图 3-21. 平面内磁场分量

采用这种对齐方式时，与磁体的距离可以更远。不过，很多系统可能在机械层面上禁止使用该方法。如简介中所示，由于幅度不匹配和灵敏度误差，预计会产生约 1.35° 的误差。磁体越是靠近传感器，此误差就越小。

3.2.2.3 平面外磁场

平面外放置可以说是通过机械方式进行配置的最简单方式。另外，所有三个方向上都存在可测量的磁场分量。这为跟踪磁场旋转提供了充分的灵活性。

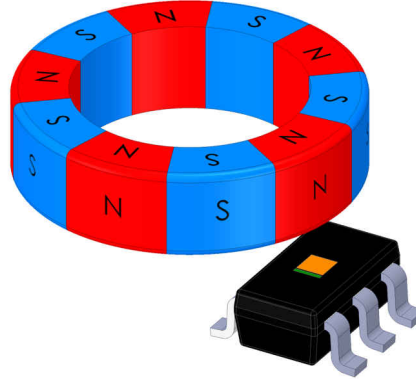


图 3-22. 平面外传感器

这里存在一个严重问题。各个分量的峰值幅度相互之间存在显著差异，因此将产生明显的误差。如果我们考虑最为匹配的分量 Z 和 θ ，则预计最差情况下的误差约为 1.83° 。传感器位置距离磁体越远，磁场越弱，该误差也就越大。

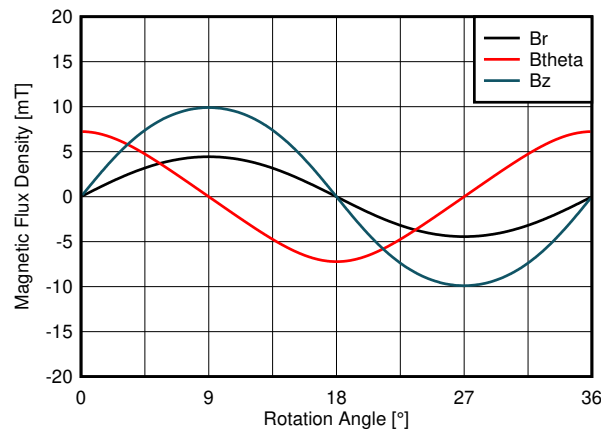


图 3-23. 平面外磁场分量

当传感器位于平面外时，磁体选择还存在一个额外的选项。虽然并不常见，但还是可以获取涉及轴向极化或 z 轴方向的多极环形磁体。

为了进行比较，我们来观察一下使用此类磁体时峰值幅度发生的变化。本例中采用相同材料和尺寸的磁体，但极化方向现在是从磁体表面朝外。对于平面外对齐的传感器，此类极化支持更大的空气间隙和更多磁极。不过，当该器件与磁体位于同一平面时，此类磁体无法产生足够的输入。这类磁体通常作为定制磁体进行制造，并且市面上很少见。

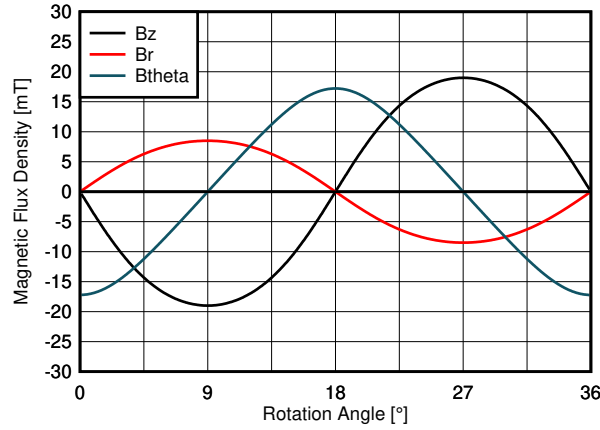


图 3-24. 表面极化磁体

3.2.3 灵敏度选择

霍尔效应传感器通常提供多种灵敏度级别。磁场分量往往具有不等的幅度，因此阈值最好选择尽可能接近过零点处的值，从而实现理想的正交对齐。在过零点处，磁场矢量分量仍保持 90° 异相对齐，而不管幅度不匹配情况如何。

根据这些信息，通常阈值越小，对应选项可以提供的性能越高。不过，必须考虑是不是还可能存在外部杂散磁场。在一些应用中，观察到来自其他源的小磁场并不罕见。在这种情况下，选择最大 B_{OP} 阈值较高的灵敏度选项可能较为有利，这样既可以提高对这些源的抗干扰能力，同时仍能保持相对较低的触发点。

4 优化精度

现在我们已经全面了解给定磁体和传感器的预期结果信息，接下来我们可以考虑优化正交对齐的各种选项。最简单的方式是更换选择的磁体，或者寻找更合适的放置位置，从而改善所检测磁通密度分量之间的匹配情况。

4.1 优化放置以提高精度

根据在传感器放置方面的发现，我们可以推断出一种方法来尽可能地减少各磁场分量中不匹配导致的误差。请查看图 4-1，其中显示了我们所分析的 20 极环形磁体的侧视图。

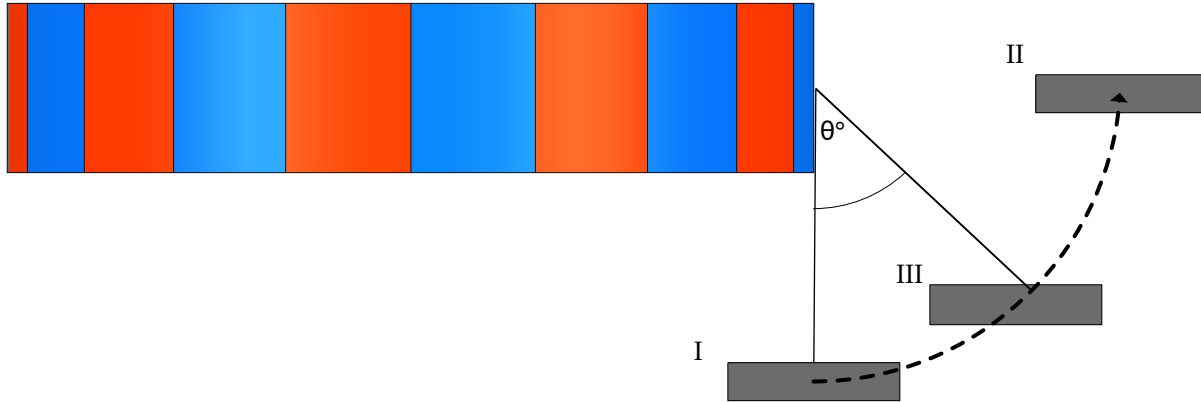


图 4-1. 寻找理想放置位置

我们仔细研究了位置 I 和 II。在位置 I (平面外) 处，z 分量是最强的磁场分量，而在位置 II (平面内) 处，z 分量为零。我们有理由认为存在一个向外旋转一定角度的位置 III，在该位置处，z 分量将等于另外两个磁场分量之一。同样，径向分量在位置 II 处具有最大幅度，而在位置 I 处是最小的分量。

通过仿真扫描分析，我们发现位置 III 可能位于角度为 38.9° 的地方。当与磁体表面中心的距离固定为 3.25mm 时， B_r 和 B_θ 在该角度处实现了匹配。相应磁场分量可以在图 4-2 中看到。

因此， B_r 和 B_θ 磁场具有 12.4mT 的峰值幅度，并且最差情况下的 0.85° 角度误差将完全由灵敏度不匹配造成。

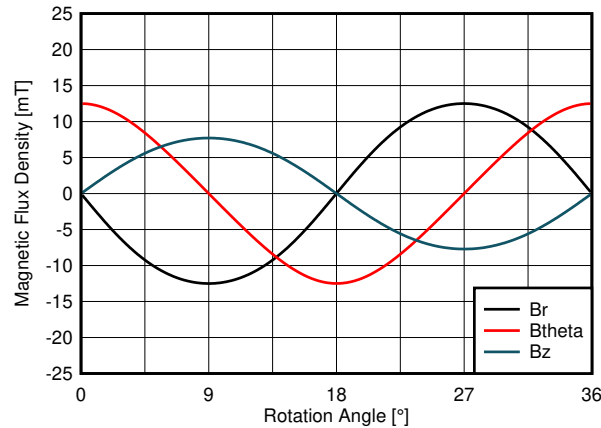


图 4-2. B_z 与 B_θ 匹配

虽然位置 I 和位置 II 很常见，也很容易实现，但位置 III 可能很难在实践中实现。不过，它确实能够提供优化的输入匹配，从而实现理想的整体性能。

作为寻找传感器理想放置位置的替代方案，考虑如何更改磁体来提高性能也非常有用。

4.2 优化磁体以提高精度

减小误差的另一种选择是增加磁体强度。如果幅度不匹配，当 B_{OP} 和 B_{RP} 阈值接近最大输入值时，预计会产生最大的误差。另外，过零区域始终在电场方面保持 90° 异相。因此， B_{RP} 和 B_{OP} 阈值越接近过零值，正交结果就越好。

请参阅从材料变化仿真中摘录的表 4-1。为了查找角度误差，我们将查找磁场的 z 分量达到 1.1mT 且 θ 分量达到 2.6mT 的位置。这旨在确保我们可以捕获可能的最大灵敏度误差。

表 4-1. 磁体强度对正交误差的影响

材质	$B_{OP} - Z$	$B_{OP} - \theta$	角度误差
键合陶瓷	0.57°	29.4°	1.83°
SmCo 18	0.15°	27.68°	0.53°
N35	0.12°	27.49°	0.37°

5 应用实现

出于演示目的，选择了具有高灵敏度的 TMAG5110 传感器选项来提供 ZX 轴上的 B_{OP} 阈值，以便与 20 极 Neobond 磁体搭配使用。因此，每个磁极均占完整循环的 18° 。将磁体旋转 108° 来捕获 6 个完整的磁极转换周期。在分析输出时，预期的情况将是两个输出之间相隔 9° 。

首先，传感器会居中放在磁体外边缘的正下方。然后，该传感器会以 0.635mm 的步长 (0.25mil) 从磁体边缘沿径向向外移动，以展示正交精度偏移并确定 z 轴方向间隔固定的理想空气间隙。这是在实验室试验中改变角度的更简单方法，因为进行单轴调整更为实用。

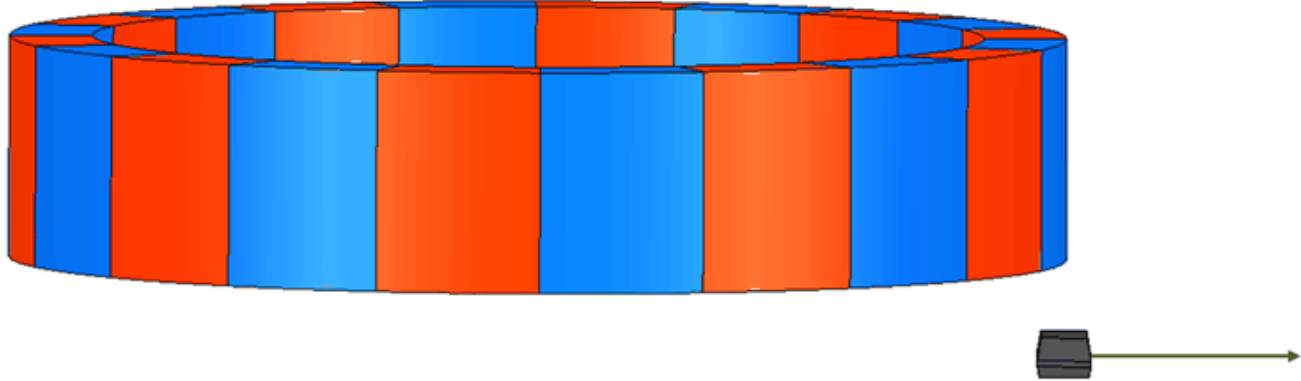


图 5-1. 实验室测量设置

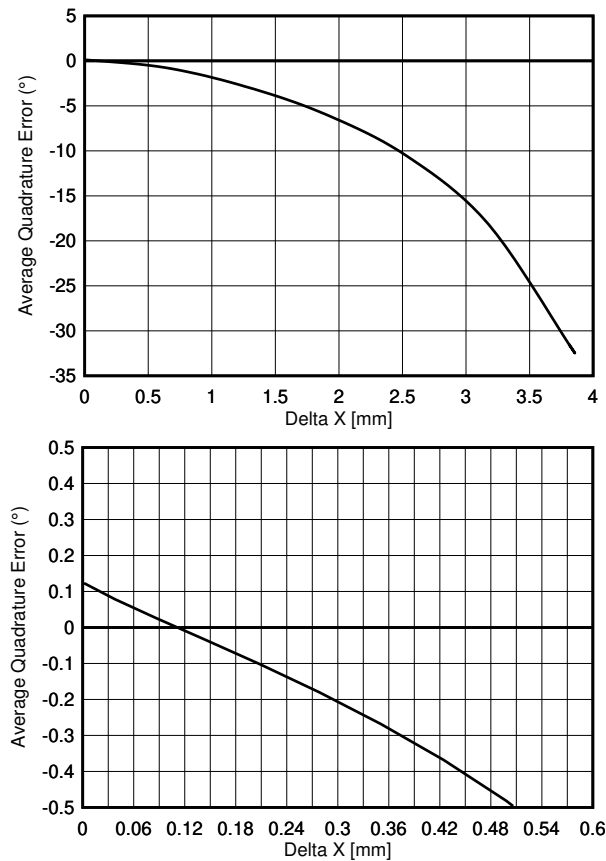


图 5-2. 平均正交误差与位置的关系

请注意，观察到的正交误差位于起始位置处的最小值附近，但该误差通过向外移动传感器得到了改善。根据捕获的结果，此设置中的理想位置是距离磁体的外表面约 **0.11mm**。超过 **3.85mm** 时，输出不再能够正确地检测磁极转换。

实际上，收集经验数据可以很好地替代仿真数据，并且提供了一种强大的方式来确认仿真预期。需要注意的是，该方法中存在多个非理想因素，使系统容差对整体结果产生的影响。

磁体倾斜和摆动（如果足够长）将在正交对齐中产生偏移。一个磁极转换可能占 **18.2°**，而其他仅占 **17.8°**。另外，如果传感器并不是与 **B** 场完全正交，那么传感器拾取的输入可能多于或少于预期。另一个注意事项是每个器件都在确切的 **B_{OP}/B_{RP}** 阈值上存在一些差异。这些阈值偏移将会导致正交频率发生微小变化。

6 总结

TMAG5110 和 **TMAG5111** 等二维霍尔效应锁存器提供了一种实用的方法来测量增量旋转编码应用的正交。这些器件使用户能够选择最为理想的灵敏度轴，并可以放在同轴上、平面内或平面外。器件灵敏度和相位对齐是使用分立式传感器时的常见误差源，而这些器件通过在单个封装内集成两个正交传感器，提供了出色的匹配和多个灵敏度轴，因此在匹配器件灵敏度和相位对齐上所需工作极少。

通过了解磁场以及其与二维双通道霍尔效应锁存器正交结果的关系，可以进一步改善这些应用中的性能。通过仔细研究放置和磁体选择，可以最大限度地减少总测量误差。在理解这一点后，便可以找到改善正交对齐和精度的有效方法。

在选择对齐后，建议沿着单个轴调整传感器的位置，直到将测试配置中的正交误差降至最小。若要采用集成到现有应用中的传感器进行测试，可以考虑使用 [霍尔适配器 EVM](#)，该 EVM 提供了用于此目的的微型 PCB。如果放置位置变化受限，那么增加磁极数量或磁体强度也可以提供一种替代方案来最大限度地减少系统总测量误差。

7 参考文献

- 德州仪器 (TI), [TMAG5110](#)
- 德州仪器 (TI), [TMAG5111](#)
- 德州仪器 (TI), [TI E2E™ 霍尔效应传感器论坛](#)
- 德州仪器 (TI), [霍尔效应锁存器和开关产品系列](#)
- 德州仪器 (TI), [利用霍尔效应位置传感器实现旋转编码应用](#)

8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (January 2021) to Revision B (October 2021)	Page
• 针对搜索引擎优化更新了标题.....	1

Changes from Revision * (October 2020) to Revision A (January 2021)	Page
• 更新了文本和图示，以便反映 TMAG5110 在发布时的最终规格.....	1

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司