

摘要

基于霍尔效应的电流传感器提供了多项优势，而这些优势在电流分流监控器是不觉见的。这些优势包括隔离功能以及能够在高工作电压和交流环境中工作的能力。在提供此类优势的同时，使用此类器件进行设计会给系统设计人员带来一系列不同的挑战。本应用报告探讨了与基于霍尔效应的电流监控器相关的其中一些挑战，包括输出限制、电流测量方面的限制、布局布线难题以及外部磁场的影响。然后，本应用报告深入介绍了如何减少这些与环境 and 布局相关的误差来源。

内容

1 引言.....	2
2 器件运行.....	2
3 接地.....	3
4 测量范围.....	5
4.1 摆幅限制.....	5
4.2 噪声限制.....	6
5 外部磁场.....	11
5.1 地球磁场.....	11
5.2 导通路径.....	12
5.3 其他磁性组件.....	14
6 缓解外部磁场的影响.....	15
6.1 屏蔽.....	15
6.2 校准.....	16
7 总结.....	16

插图清单

图 2-1. TMCS1100 工作原理图.....	2
图 3-1. 具有“较差”电感接地路径的 TMCS1100EVM.....	3
图 3-2. TMCS1100EVM 默认“良好”接地路径.....	4
图 4-1. 具有 RMS 和 P2P 值的 A1 型号本底噪声.....	6
图 4-2. 具有 RMS 和 P2P 值的 A2 型号本底噪声.....	7
图 4-3. 具有 RMS 和 P2P 值的 A3 型号本底噪声.....	7
图 4-4. 具有 RMS 和 P2P 值的 A4 型号本底噪声.....	8
图 4-5. 具有低通滤波器且截止频率为 100kHz 时的 A2 输出.....	9
图 4-6. 具有低通滤波器且截止频率为 80kHz 时的 A2 输出.....	9
图 4-7. 具有低通滤波器且截止频率为 40kHz 时的 A2 输出.....	10
图 4-8. 具有低通滤波器且截止频率为 500Hz 时的 A2 输出.....	10
图 5-1. 地球磁场示意图.....	11
图 5-2. 示例 - 迹线与传感器间的距离.....	12
图 5-3. TMCS1101 交叉测试板.....	13
图 5-4. TMCS1101 交叉测试结果.....	13
图 6-1. 球形屏蔽布局与模拟场偏转（侧视图）.....	15
图 6-2. 圆锥形集中器布局与模拟场集中（侧视图）.....	16

表格清单

表 4-1. TMCS1101 数据表：摆幅规格.....	5
-------------------------------	---

表 4-2. TMCS1101 数据表：线性工作区域.....	5
表 4-3. TMCS1101 数据表：噪声密度 (RTI).....	6
表 5-1. 在 TMCS1100A2 本地观察到的地球磁场 ($V_{REF} = 2.5V$).....	12

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

本应用手册首先讨论了器件操作和器件规格。接着，本文介绍了适用于 TMCS110x 产品系列的最佳实践，包括接地技术、输出级限制、各种外部磁场源以及如何消除它们的影响。

2 器件运行

为了更好地理解像 TMCS1100 等基于霍尔的电流传感器的影响测量误差的因素，在广义上了解该器件的工作原理会有所帮助。TMCS1100 工作原理图展示了电流如何流过器件中的铜引线框。根据安培定律，当电流从 IN+ 流到 IN- 时，便会产生磁场。该磁场通过霍尔效应对位于引线框中心的传感器产生电压电位变化。随后，该电位由采样积分器进行调节并采样，然后发送到器件的输出引脚。请注意，当电流从 IN+ 流到 IN- 时，磁耦合因数的正极性就是向下产生到传感器的磁场，即本页中所示的 z 轴负方向。

对于任意给定的 TMCS110x 器件，通常都有多种灵敏度型号。对于 TMCS1100，灵敏度包括 50mV/A、100mV/A、200mV/A 和 400mV/A。对于每种器件，在一定的制造公差范围内，所有型号中的引线框和霍尔级都是相同的。

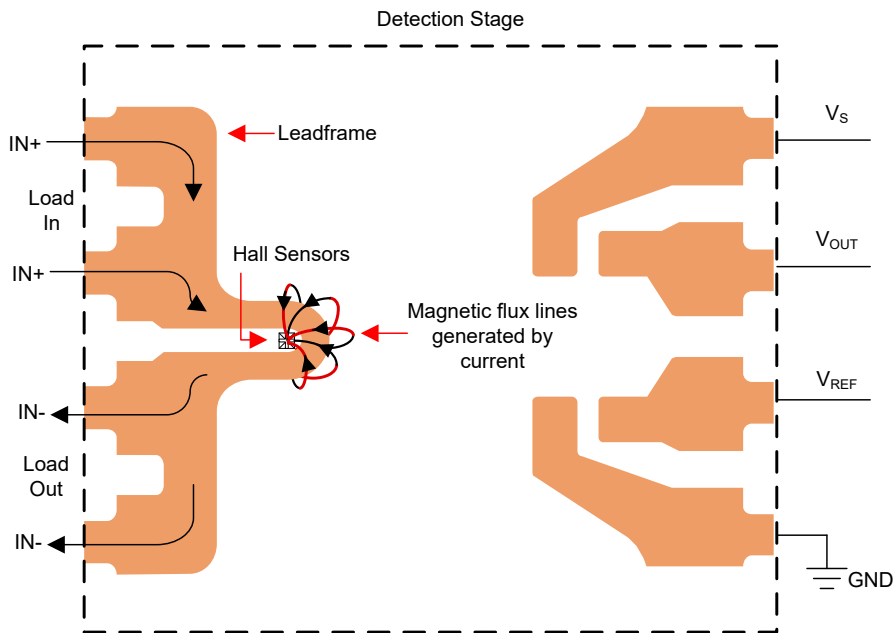


图 2-1. TMCS1100 工作原理图

3 接地

TMCS110x 器件系列的一个关键特性是温度补偿。这让给定的 TMCS110x 器件能够在整个温度范围和使用寿命期内实现 $\pm 0.5\%$ 的低灵敏度漂移。该补偿是通过采用时钟的内部电路实现的，其中包含脉冲元件，因此需要设计合理的接地路径。虽然在器件接地与中央系统接地之间采用低电阻路径通常都是一个很好的做法，但是数字时钟会提供动态电流分量，而这可能会进一步影响测量精度。因此，[方程式 1](#) 用于估算给定器件接地至系统接地返回路径上可能观察到哪种类型的失调，其中电阻和电感值可以从 TMCS1100 GND 引脚与系统接地之间的层或迹线进行量化。

$$V_{\text{GND偏移}} = I_{\text{Q}}R_{\text{跟踪}} + L_{\text{跟踪}}\frac{di_{\text{q}}}{dt} \quad (1)$$

随着系统接地路径变得更加复杂，这些伪影的影响会随着器件输出的偏移和噪声的增加而变得更加明显。为了证明这一点，这里使用了长分立式线圈来代替 TMCS1100EVM 上的接地层，从而模拟模块 GND 引脚与系统 GND 之间的长迹线。此外，还从 EVM 上移除旁路电容器，以在最坏情况下查看这些伪影对器件的影响。具有“较差”电感接地路径的 TMCS1100EVM 显示了未向器件施加输入电流时这种状态下 A2 器件型号的输出。

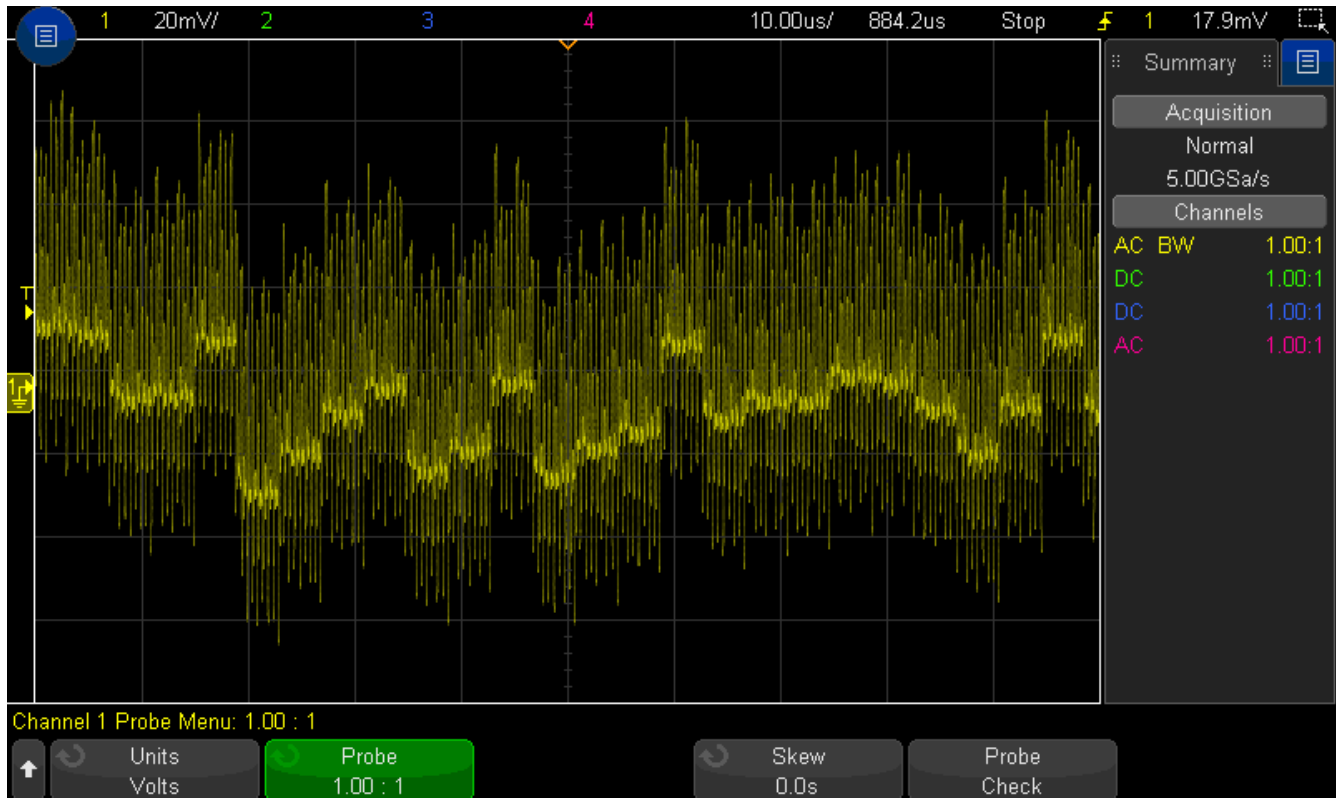


图 3-1. 具有“较差”电感接地路径的 TMCS1100EVM

理想的接地路径是从器件的 GND 引脚到电路板的系统 GND 的直接路径，并且使用尽可能宽的迹线，以便最大限度地减少两个连接点之间的电阻和电感。最好是在 TMCS1100EVM 上使用一个 GND 层。TMCS1100EVM 默认“良好”接地路径显示了理想接地条件下 A1 型号的输出。

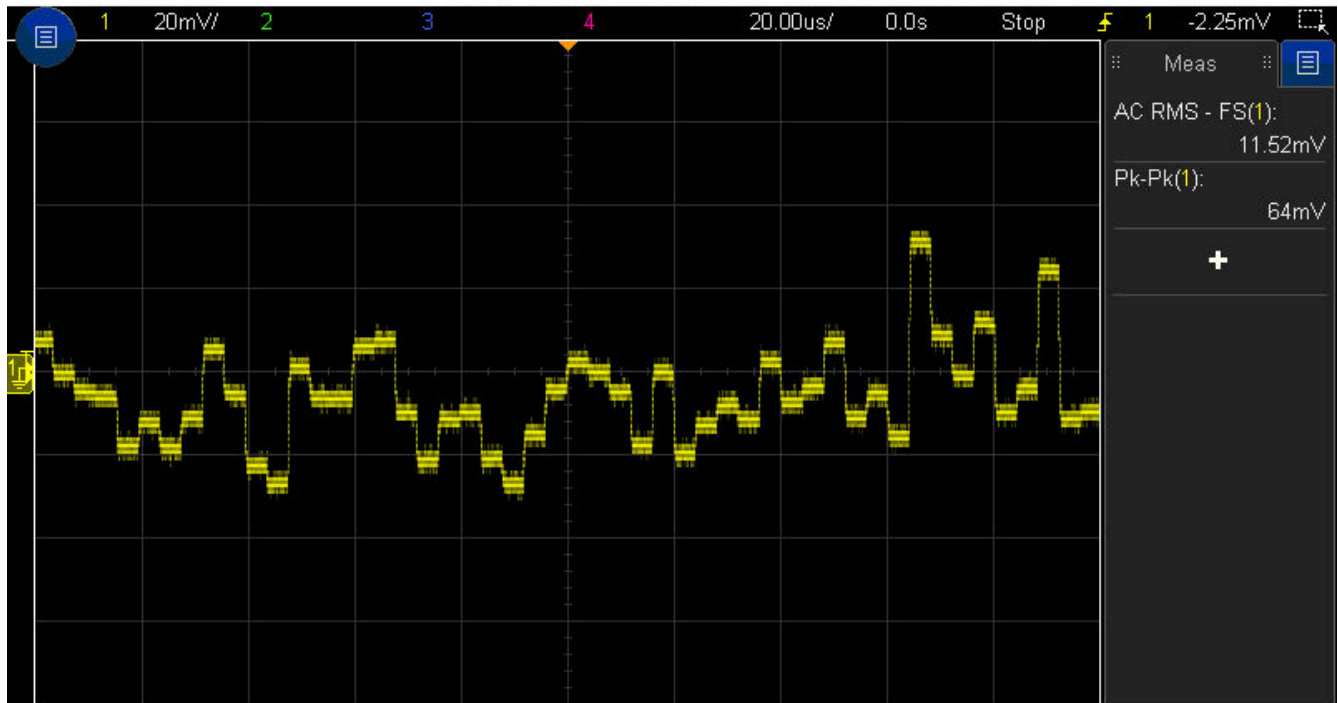


图 3-2. TMCS1100EVM 默认“良好”接地路径

请注意，该器件的“良好”接地仍会保留反弹伪影。这是正常现象，因为用于补偿温度和生命周期漂移的采样积分器会产生系统噪声，后续小节中会对此进行深入讨论。在大多数设计中，并非总是能够实现此上所述的宽接地层，但必须考虑到器件 GND 引脚如何与系统的真实接地进行连接，以获得最佳性能。

4 测量范围

4.1 摆幅限制

外部误差源会因设计和操作环境的不同而不同，如果将这些外部误差源的影响忽略不计，务必要注意检查器件的两个输出界限：摆幅限制和线性工作范围。

首先要考虑的界限是器件的摆幅限制。[TMCS1101 数据表：摆幅规格](#)显示了摆幅限制，并展示了器件在进入饱和状态前实际上可以输出的最大电压。每个传感方向的输出电压的这些界限是由[方程式 2](#)和[方程式 3](#)决定的。这些公式的结果给出了器件在所选 V_{REF} 和 V_S 工作条件下能够测量的范围。

$$I_{\text{正激}} \leq \frac{\text{Swing_to_}V_S\text{,max} - V_{\text{REF}}}{\text{灵敏度}} \quad (2)$$

$$I_{\text{取负}} \geq \frac{\text{Swing_to_GND,最大值} - V_{\text{参考}}}{\text{灵敏度}} \quad (3)$$

表 4-1. TMCS1101 数据表：摆幅规格

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电压输出					
相对于 V_S 电源轨的摆幅	$R_L = 10k\Omega$ 至 GND, $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$		$V_S - 0.02$	$V_S - 0.1$	V
相对于 GND 的摆幅，电流驱动	$R_L = 10k\Omega$ 至 GND, $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	$V_{\text{GND}} + 5$		$V_{\text{GND}} + 10$	mV

第二个界限是位于摆幅条件内的一个较低小的子集，那就是以下文章中为每个器件提供的线性工作范围：[TMCS1101 数据表：线性工作区域](#)。

表 4-2. TMCS1101 数据表：线性工作区域

产品	灵敏度	零电流输出电压	I_{IN} 线性测量范围	
	$\Delta V_{\text{OUT}} / \Delta I_{\text{IN}},$ IN -	$V_{\text{OUT},0A}$	$V_S = 5V$	$V_S = 3.3V$
TMCS1101A1B-Q1	50mV/A	$0.5 \times V_S$	$\pm 46A$	$\pm 29A$
TMCS1101A2B-Q1	100mV/A		$\pm 23A$	$\pm 14.5A$
TMCS1101A3B-Q1	200mV/A		$\pm 11.5A$	$\pm 7.25A$
TMCS1101A4B-Q1	400mV/A		$\pm 5.75A$	-
TMCS1101A1U-Q1	50mV/A	$0.1 \times V_S$	$-9A \rightarrow 86A$	$-5.6A \rightarrow 55.4A$
TMCS1101A2U-Q1	100mV/A		$-4.5A \rightarrow 43A$	$-2.8A \rightarrow 27.7A$
TMCS1101A3U-Q1	200mV/A		$-2.25A \rightarrow 21.5A$	$-1.4A \rightarrow 13.85A$
TMCS1101A4U-Q1	400mV/A		$-1.12A \rightarrow 10.75A$	-

这个较小的子集是适用于器件灵敏度误差的范围，并确保在数据表规格范围内操作。另外还必须注意确保电流电平保持在允许的连续 DC/RMS 电流和瞬态峰值电流的安全工作范围以下，以免超过器件热限值。更多有关这方面的信息，请参阅数据表的“安全工作区域”部分。简而言之，这表明了虽然 TMCS1101 可以配置为在摆幅限制的电压输出下工作，但在超出线性工作范围的输出区域上，线性度会略微变差。为了获得最佳性能，请确保设计保持在线性工作区域内。

请参阅[内幕揭秘：电流检测放大器的输出摆幅限制](#)应用报告，以了解这些限制背后的原因。

4.2 噪声限制

在没有输入电流信号的情况下，输出噪声在很大程度上取决于接地技术，如[接地](#)部分所述。即便采用了合适的接地技术，但由于采样积分器用于使温度和寿命周期漂移最小化，因此系统噪声仍会存在。输入每 $4\ \mu\text{s}$ 采样一次，而输出以 250kHz 速率更新，如数据表中所述。在许多情况下，可通过在器件的输出端放置简单的低通滤波器来最大程度地降低本底噪声的影响。然而，首先要考虑器件的 RMS 和峰峰值输出噪声。首先，可以使用[方程式 4](#) 和[方程式 5](#) 来确定所考虑器件的 RMS 和峰峰值噪声输出。为了方便起见，可以在数据表中的以下位置找到输入参考 (RTI) 噪声密度规格：[TMCS1101 数据表：噪声密度 \(RTI\)](#)。

$$\text{输出噪声}_{\text{RMS}} = \text{噪声密度} (\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}) \times \sqrt{\text{器件带宽}} \times \text{灵敏度} (\text{V}/\text{A}) \quad (4)$$

$$\text{输出噪声}_{\text{pk-pk}} = \text{输出噪声}_{\text{RMS}} \times 6.06 \quad (5)$$

表 4-3. TMCS1101 数据表：噪声密度 (RTI)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出					
噪声密度 (RTI)	TMCS1100A1		380		$\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$
	TMCS1100A2		330		$\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$
	TMCS1100A3		300		$\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$
	TMCS1100A4		225		$\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$

这些公式提供了每个器件的理论 RMS 和峰峰值噪声水平，其中峰峰值计算占峰峰值测量中频谱分布的 99.9% (有关如何计算噪声的更多信息，请参阅我司[模拟工程师口袋参考书](#))。图 4-1 至图 4-4 显示了在没有输出滤波的情况下，在 TMCS1100EVM 采集的每个 TMCS1100 增益型号的本底噪声。可以看出，正如预期的那样，本底噪声与灵敏度成比例增长，如之前的噪声公式所示。请注意，示波器上也显示了每个曲线的 RMS 和峰峰值本地噪声值。

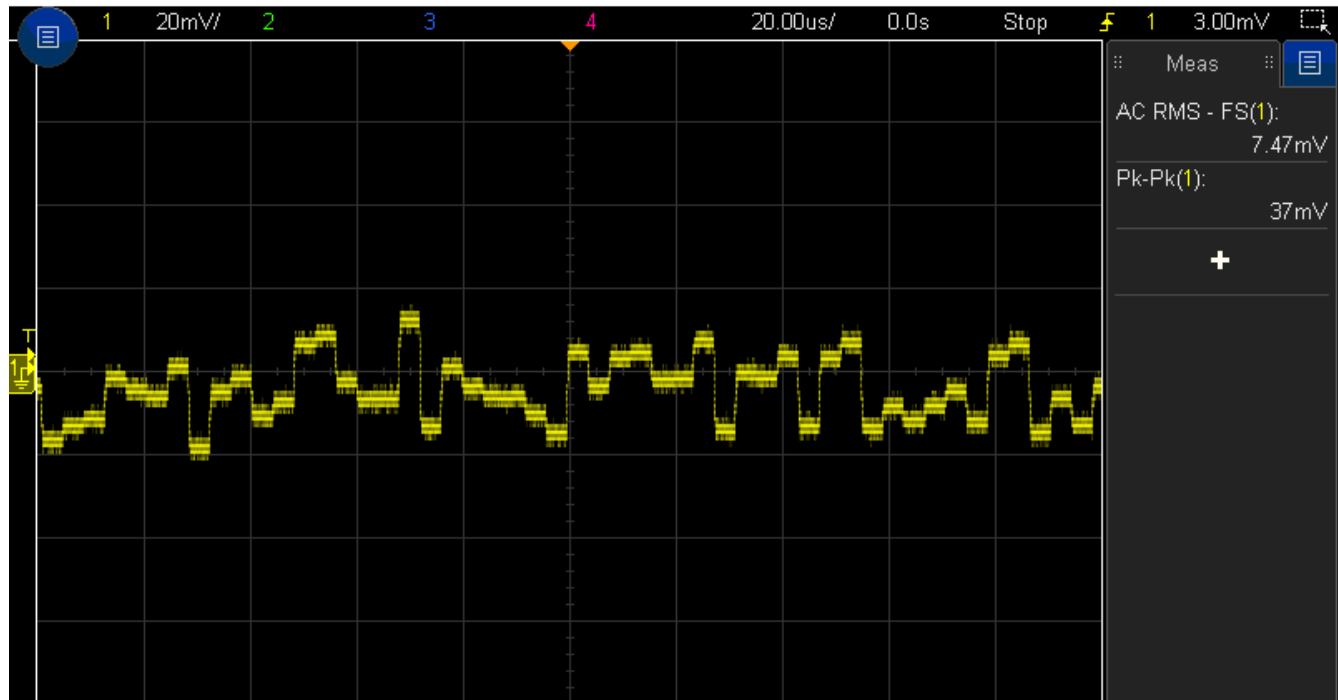


图 4-1. 具有 RMS 和 P2P 值的 A1 型号本底噪声

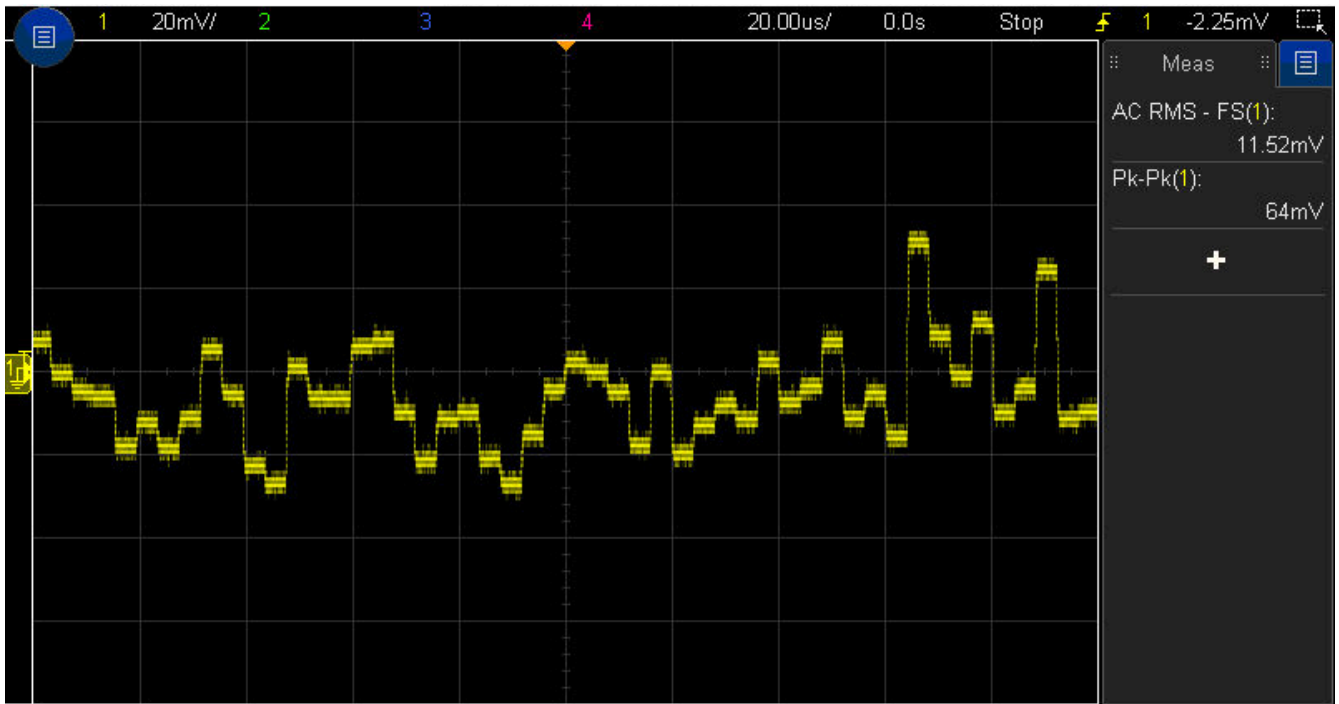


图 4-2. 具有 RMS 和 P2P 值的 A2 型号本底噪声

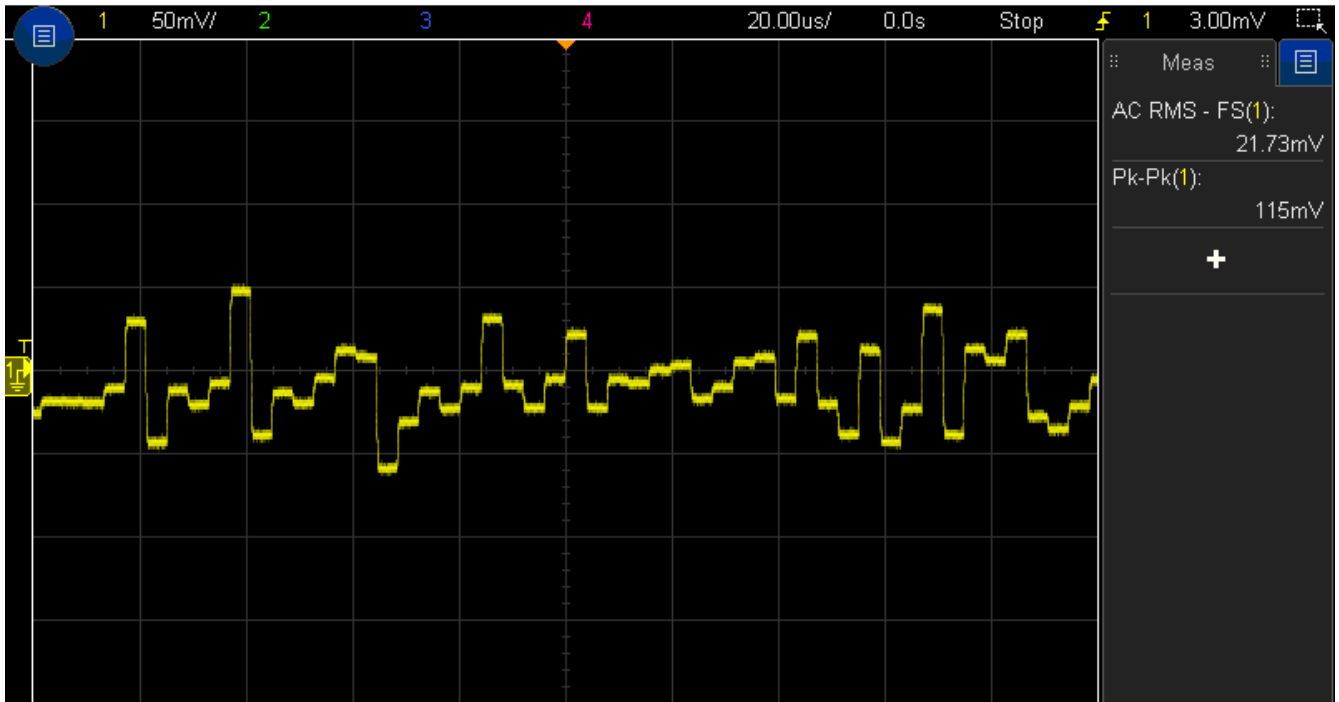


图 4-3. 具有 RMS 和 P2P 值的 A3 型号本底噪声

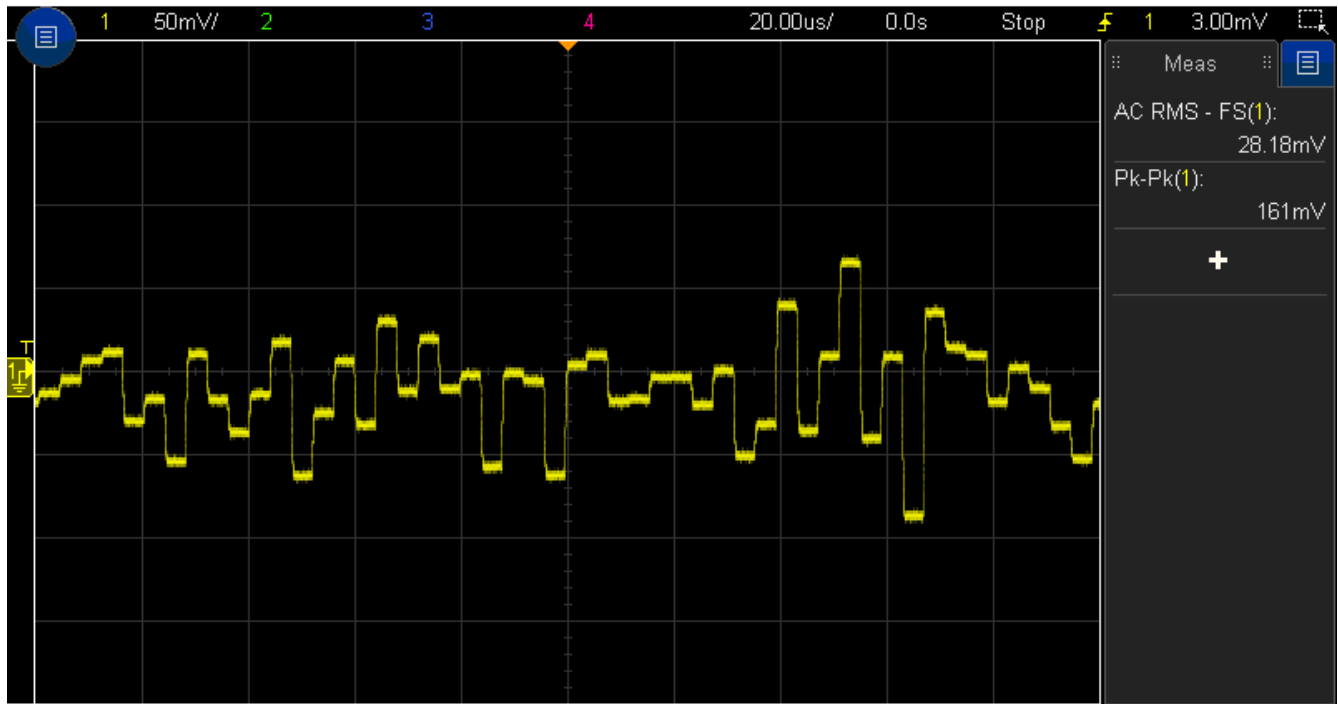


图 4-4. 具有 RMS 和 P2P 值的 A4 型号本底噪声

在存在噪声的情况下解析小信号的一种常用技术是通过在器件的输出端上使用低通滤波器来限制等效噪声带宽 (NEBW)，从而增加总体信噪比 (SNR)。当大小合适时，简单的低通滤波器能够衰减采样积分器 250kHz 特征信号造成的总体噪声。此实现衰减了采样积分器 250kHz 特征信号造成的影响，并减少了新截止频率所衰减带宽部分对噪声频谱的影响。图 4-5 至图 4-8 显示了各种截止频率条件下 A2 型号的本底噪声改进。请注意，从具有低通滤波器且截止频率为 80kHz 时的 A2 输出来看，即便是使用器件带宽内的低通滤波器，也能提供改进。虽然此滤波器不会降低噪声影响，但是它会衰减输出上来自 250kHz 特征信号的步长，而不会降低输出保真度。

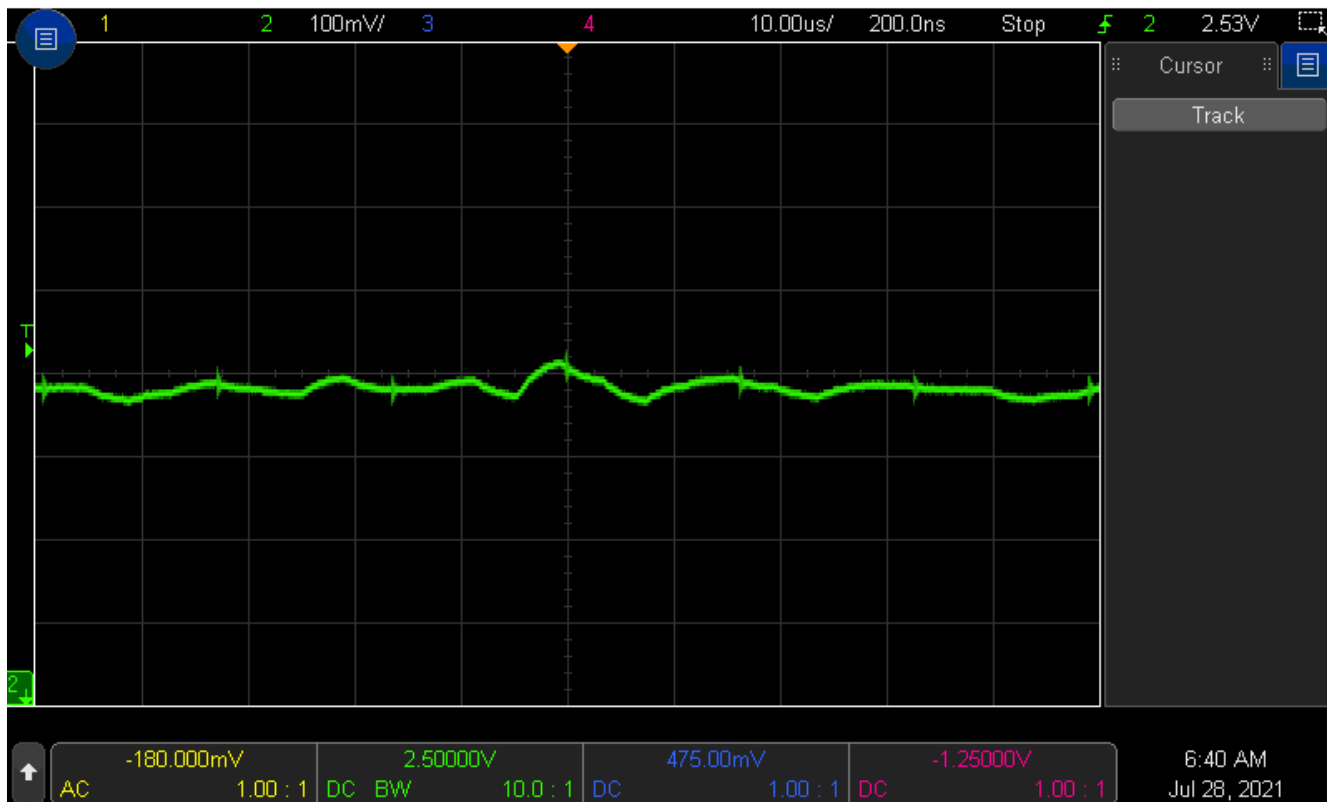


图 4-5. 具有低通滤波器且截止频率为 100kHz 时的 A2 输出

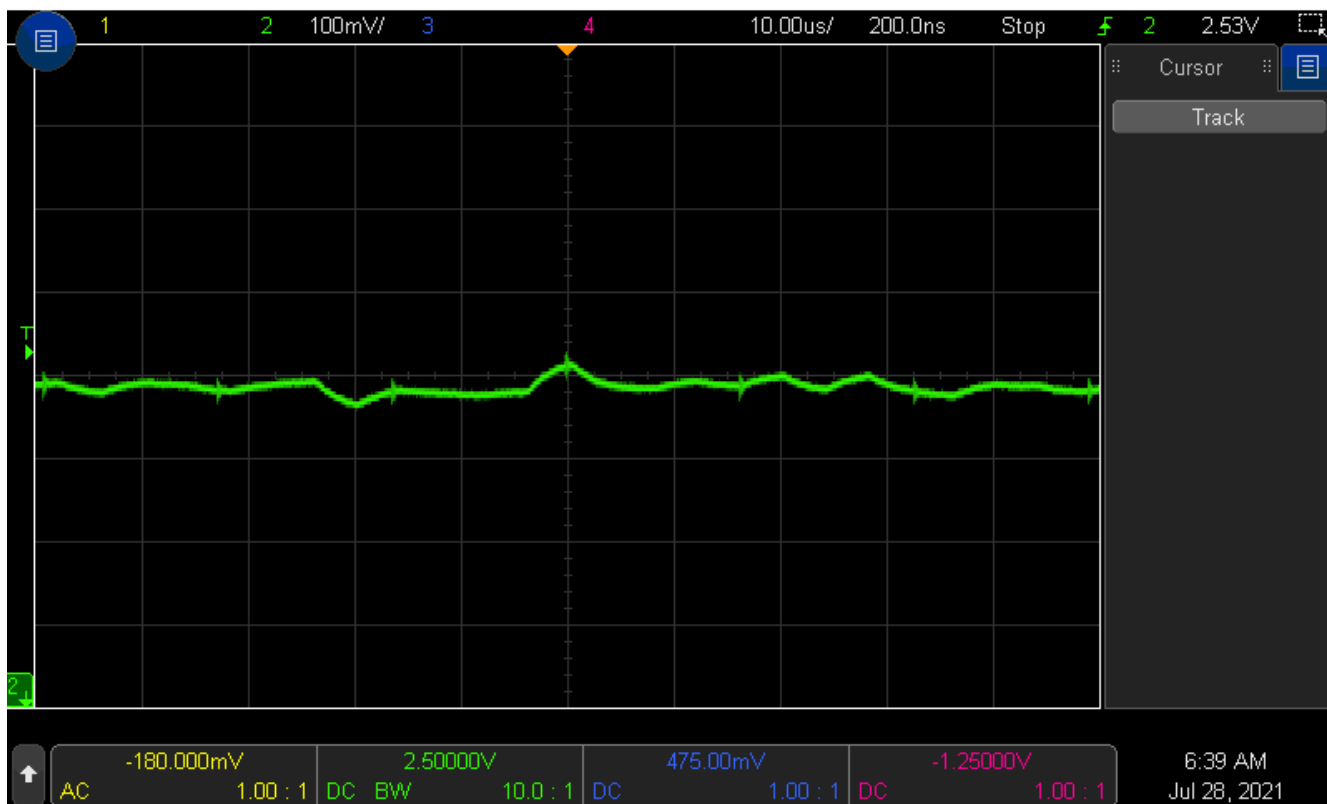


图 4-6. 具有低通滤波器且截止频率为 80kHz 时的 A2 输出

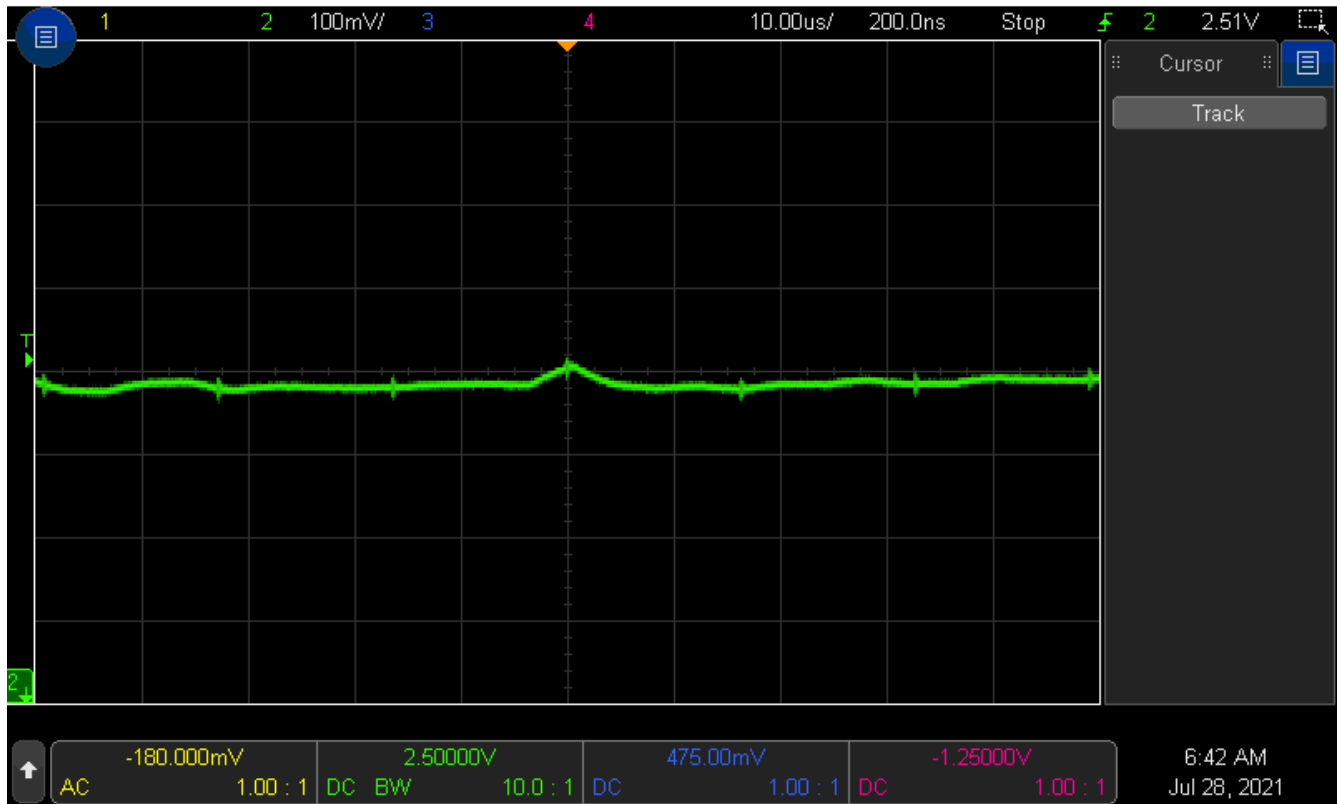


图 4-7. 具有低通滤波器且截止频率为 40kHz 时的 A2 输出

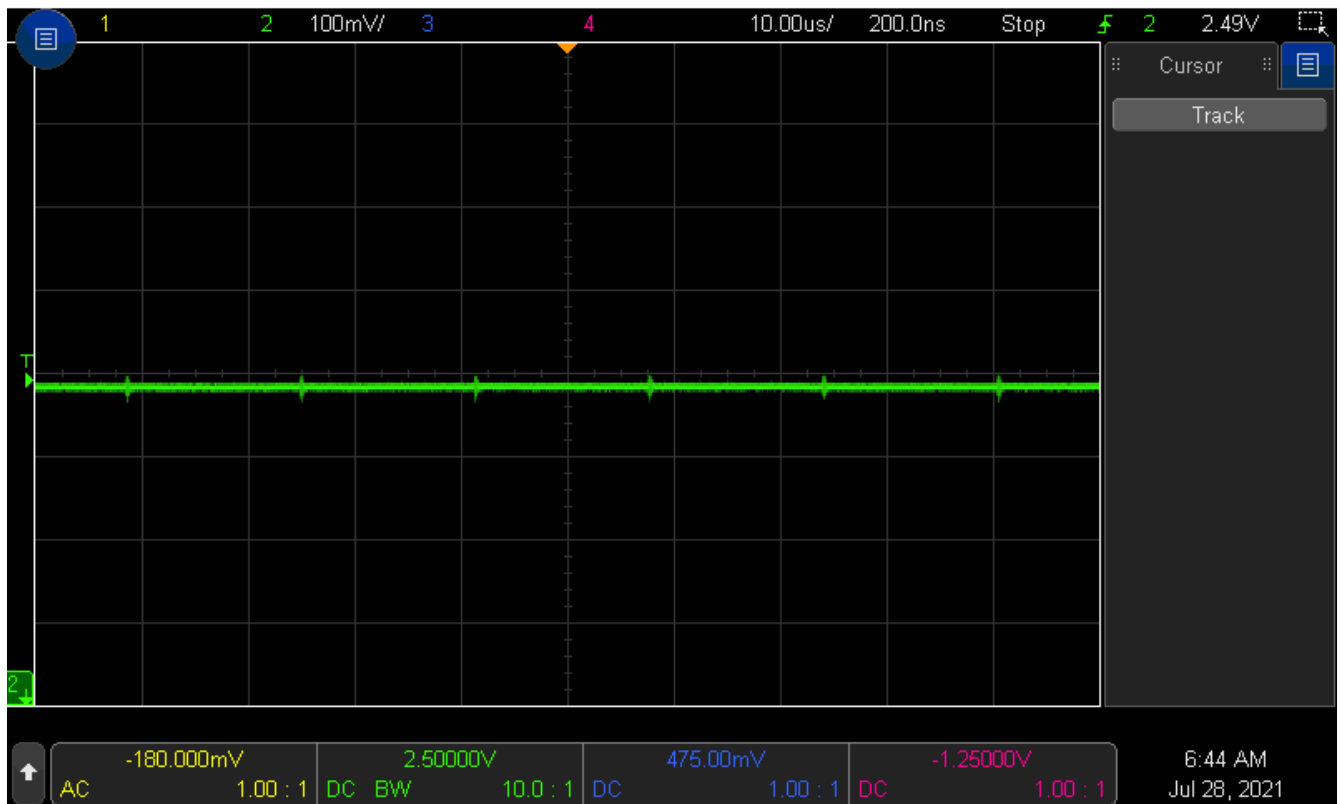


图 4-8. 具有低通滤波器且截止频率为 500Hz 时的 A2 输出

5 外部磁场

采用霍尔传感器时，对于器件没有任何额外的电路来消除外部磁场的，例如 TMCS1100 和 TMCS1101 这两个器件，外部磁源都可能会影响其测量结果。此类器件中的霍尔传感器无法区分何时遇到被检测磁场。利用数据表中的磁耦合系数，封装内的传感器会放大被检测磁场，因此，如果存在任何不必要的磁场，都会在器件的输出中表现为误差。

借助外部磁场的可量化值，可以使用 [方程式 6](#) 来估算外部磁场在 TMCS110x 内部产生的误差。对于静态场，这会在测量中表现为失调，而动态场或周期场可能看起来像是耦合到输出的随机信号。

$$\% \text{ Error}_{\text{externalB - 字段[field]}} = \frac{B_{\text{外部}}}{B_{\text{ideal, 内部}}} \times 100 \% \quad (6)$$

其中

$$B_{\text{ideal, 内部}} = \text{负载 电流} \times \text{磁 耦合 因数} \quad (7)$$

认识到未加考虑的外部磁场可能会导致测量误差后，必须确定可能产生此类磁场的原因。这类磁场并不局限于待分析电路板外部的磁源，也可能是电路板上的各种元件和结构以及各种外部耦合源造成的，包括但不限于地球磁场。

5.1 地球磁场

在大多数工作设置中，一个无法避免的外部磁源是地球磁场，根据所在位置和朝向，地球表面的磁场大小为 22μT 至 67μT。考虑该误差源可能相当重要，尤其是当采用霍尔效应传感器的终端设备预计将采集精密测量数据，并会在多个不同的地点用于测量时。[地球磁场示意图](#)简单地展示了地球的磁通线分布方式。实际上，这些磁通线会略有失真。从大的方面来说，这可能是由于地球不同地方的物质构成存在差异，而从小的方面来说，这可能是由于测量器件所在建筑或结构的材料不同造成的。

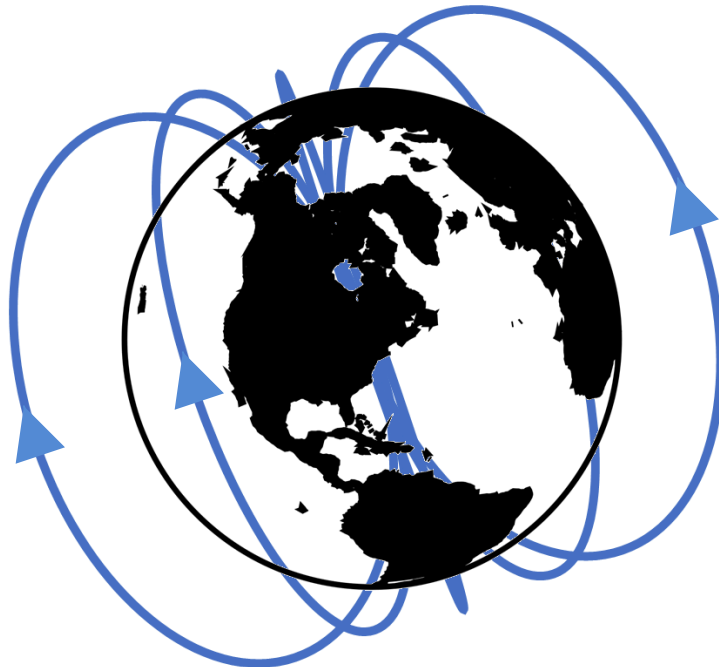


图 5-1. 地球磁场示意图

由于地球的磁场是矢量，因此设计中的影响不仅受磁场强度的影响，还受器件朝向的影响。如果终端设备内部需要实现精确测量并且该设备并不保持静止不动，则务必要考虑这一点。

例如，[TMCS1100A2 本地观察到的地球磁场 \(V_{REF} = 2.5V\)](#) 提供了亚利桑那州图森磁学实验室内在 TMCS1100EVM 本地分别采集到的 x、y 和 z 轴测量数据，以便展示设备朝向发生变化时输出上的潜在偏斜。请

注意，偏转旋转并不会导致输出发生变化，这正如所预期的：对于该旋转，设备相对于 **B** 矢量的朝向并不会改变。

表 5-1. 在 TMCS1100A2 本地观察到的地球磁场 ($V_{REF} = 2.5V$)

方向	输出电压, 0 度 (V)	输出电压, 90 度 (V)
翻滚 (X 轴)	2.486	2.500
俯仰 (Y 轴)	2.489	2.492
偏转 (Z 轴)	2.504	2.504

然而，如前所述，此数据仅用作示例，可能需要在本地执行类似测试，从而量化给定区域的这种影响，因为地球磁场的大小和矢量方向随位置的变化而变化。

5.2 导电路径

另一个在某种程度上无法避免的磁场来源是一切载流导线，包含所有周围的 PCB 迹线和线路以及霍尔效应检测器件的输入线路。因此，与传统电流分流监控器相比，必须更加关注布局。载流导线对器件中霍尔传感元件施加的磁场通量可以通过安培定律以数学方式计算得出，如 [方程式 8](#) 所示。

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \times I}{2\pi r} \quad (8)$$

该公式需要分析导线中所承载电流的幅度，以及该导线与位于 TMCS110x 器件中传感器之间的正交距离。该公式可用于对导线或迹线产生的外部磁场进行近似处理，在为 PCB 布局制定设计规则来确保迹线与传感器保持一定的距离，从而保证对生产的场进行优化时，这可能会有用。

例如，可考虑让 PCB 上的迹线与 TMCS1101 相距 15mm。对于 TMCS110x 系列，传感器的位置可以近似为封装的中心。查看数据表中的 D0008B 封装信息，考虑到器件的引脚，则在最差的情况下，距离封装外边缘的距离为 2.9mm。[示例 - 迹线与传感器间的距离](#) 中直观地显示了此信息。

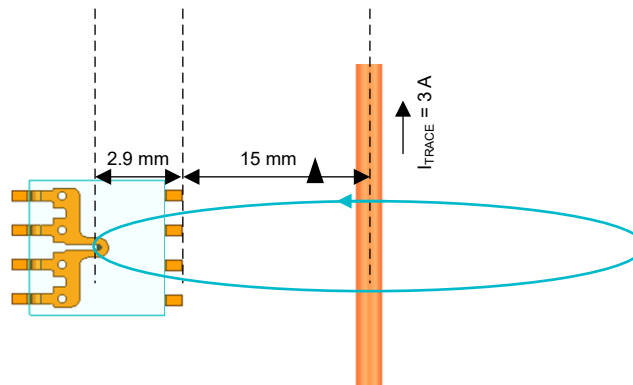


图 5-2. 示例 - 迹线与传感器间的距离

[方程式 9](#) 和 [方程式 10](#) 显示了此迹线在该距离上可能会对 z 轴正方向传感器所在点产生 33.5 μ T 的磁场，也即相对于输入产生 -30.45mA 的失调电流。另请注意，需要针对 TMCS110x 附近的每个迹线执行此计算，因为每个载流导体都会对传感器产生影响。另外还应考虑右手定则，因为电流方向也指示所产生磁场的极性。

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \times I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3A}{2\pi(15 \text{ mm} + 2.9 \text{ mm})} = 33.5\mu\text{T} \quad (\text{正极 Z 方向}) \quad (9)$$

$$I_{\text{偏移}} = \frac{\vec{B}}{\text{磁耦合因数}} = \frac{33.5\mu\text{T}}{1.1 \frac{\text{mT}}{\text{A}}} = -30.45 \text{ mA} \quad (10)$$

虽然将高电流迹线与 TMCS110x 隔离相当容易，但是观察到的更大挑战是器件外部的输入电流也可能产生外部磁场。为了研究这一影响，我们制作了 3D 打印结构来在与 TMCS1100EVM 相距 10mm 的固定间隔处插入一个

绝缘线对。TMCS1101 交叉测试板显示了 3D 打印外壳的结构以及测试设置。通过此设置采集了典型器件的数据，而 TMCS1101 交叉测试结果显示了这类导线在距离器件输入引脚 10mm 至 150mm 范围内的典型影响。



图 5-3. TMCS1101 交叉测试板

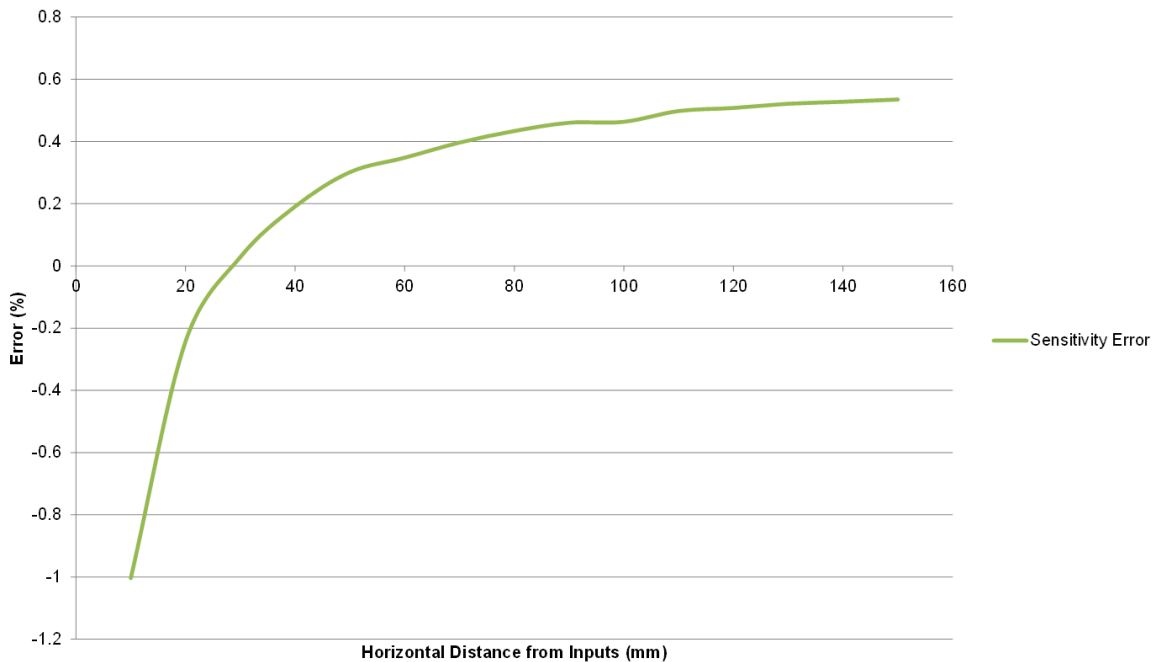


图 5-4. TMCS1101 交叉测试结果

观察结果表明，随着迹线靠近器件，外部磁场会导致 TMCS1101 的误差发生变化，而随着迹线进一步远离器件，其影响会降至最低。还要注意，从这些观察结果来看，TMCS110x 系列建议的角度是直接插入器件的引脚，以获得最佳性能。这一点在 TMCS1100EVM 和 TMCS1101EVM 上得到了证明。如果不采用迎面方式连接，则可能需要进行布局校准，才能获得优化的结果。有关更多详细信息，请参阅[校准](#)部分。

5.3 其他磁性组件

除了横穿 PCB 的电流外，一些磁性组件还可能造成外部磁场影响，必须加予考虑以确保这些磁场不会影响传感器或对传感器影响最小。

在 PCB 上观察到的最常见磁性组件是电感器和变压器。这些元件都有可能向附近组件造成辐射，尽管其对应磁场的主要部分通常存在于磁芯材料中。由于这些器件通常都以某种恒定不变的形式供电，减轻其影响的最简单方式是确保这些器件 PCB 上与传感器保持一定距离。

另外还应考虑到磁性继电器是一个潜在的磁辐射来源，因为根据其配置，这类器件在上电或断电时也可能辐射磁场。要规避此问题，一种直接的方式是使用锁存继电器等战略设计选项来代替磁性继电器。虽然这些器件本质上仍然是磁性器件，但会锁存到位，并且不会通过线圈中的电流保持磁场。线圈会快速接合，并切换器件内部的一个开关。这有助于减少潜在的杂散磁场，因为它仅在开关期间才会生成磁场。

最后，尽管显而易见，永磁体继续以越来越快的速度进入电子产品领域。在静态应用中，例如用于真无线耳塞充电器的对齐磁体或充电盒锁定机制，以及在更多的动态配置中，例如用于电机换向且安装在转子上的极磁体，随着每一次新的技术迭代，都会以更快的速率实现永磁体。这类器件还将发出恒定的（有时极其强大）的磁场。在确定霍尔效应传感器的理想布局布线时必须考虑到这一点。

6 缓解外部磁场的影响

由于工作设置中始终存在一定的外部环境磁场，因此了解如何对这些外部磁场进行补偿或缓解其影响对确保良好的测量精度是必要的。除了在磁源与 TMCS110x 器件之间保持一定距离外，还可以通过一些通用方法来最大限度地减少外部磁场的影响。如节 5 中所述，电路板本身上的合理间距和隔离在此是一种比较简单的方法。另一种方法是提供屏蔽，从而有效地使磁场远离霍尔传感器。最后，在后处理中进行校准可能是另一种要探讨的潜在方案。

6.1 屏蔽

屏蔽利用的是磁阻的特性，对于磁场，其类似于对电流的电阻。磁场通过磁阻最小的路径传输。与磁阻成相反关系的是磁导率。高磁导率的材料具有较低的磁阻，因此非常适合用于屏蔽目的，其实际上有助于会使磁场偏离霍尔传感器。根据其渗透性，所选择的材料必须具有一定的厚度，以确保该材料能够将磁场完全偏离器件，因为屏蔽材料也能够饱和。如果屏蔽材料出现饱和，过剩的磁通量就会继续通过材料并对传感器产生影响。

为了更加直观地呈现屏蔽的工作原理，图 6-1 和图 6-2 中提供了屏蔽层和集中器示例。这两张图片中都有几个 μT 的均匀磁场沿着 Z 轴导引穿过检查的物体。

第一张图片显示了 XZ 层的交叉部分，其中屏蔽外壳转移了大部分磁场，而球体内部空间的磁场强度大小要远远小于屏蔽层转移的磁场强度。

第二张图片在与上图相同磁场内的器件下插入了一个线圈集中器结构。这里也检查了 XZ 交叉部分。上方椎体结构将进入底部的大部分磁场引导向椎体尖端，由尖端退出并传输到下方椎体的尖端，然后继续向下移动。请注意，此类结构是第一个图片中屏蔽层的双重形式，不建议用作屏蔽几何形状。这也意味着，器件上方的任何导线或承载磁通的元件都可能对测量造成影响，包括调试期间，因此应确保这类器件受到控制并远离传感器。

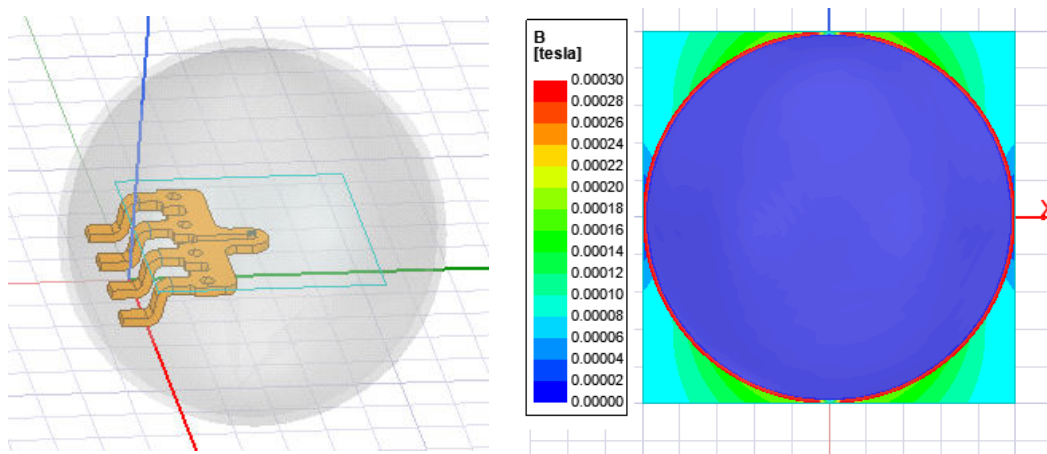


图 6-1. 球形屏蔽布局与模拟场偏转（侧视图）

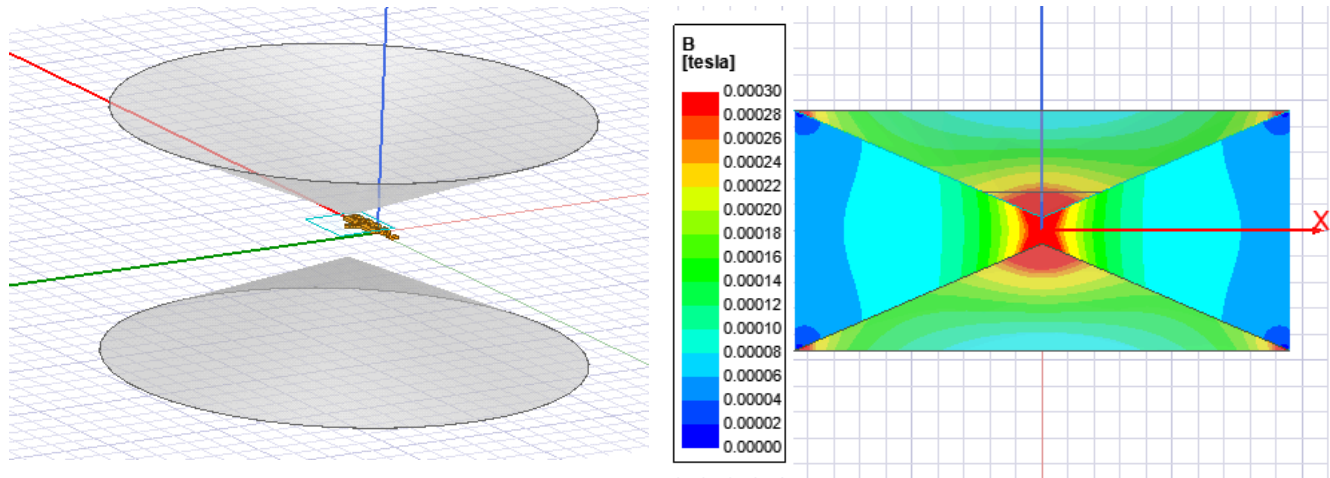


图 6-2. 圆锥形集中器布局与模拟场集中 (侧视图)

请注意，对于图示，在制造或选择屏蔽体形状时，可能无法获得完美的球形，也无法按模拟中所示完全密封器件。这个图片用作概念展示，在给定的系统中，某些几何形状可能要比其他形状更加有效。

总的来说，如果选择屏蔽作为缓解磁场影响的方法，则请确保选择正确的材料，并且形状和大小合适，从而保证实现恰当的磁场转向。

6.2 校准

这里必须谨慎使用校准一词，因为从技术上说存在三个校准选项来对 TMCS110x 执行校准：一个一次性布局灵敏度校准，然后是一个“最多两步”流程：单点失调器件校准，以及器件级灵敏度校准（如果需要超过单点校准例程的额外精度）。请注意，这些选项中的后者是特定于器件的，需要在固件中编程设置唯一的值，因此在需要可扩展性的应用中增加了复杂性。

上文提到的第一个校准选项基于布局以及电流输入 TMCS110x 器件的进入角度。[导电路径](#)中讨论了此处需要考虑的其中一个误差示例。电流进入角以及其他潜在的因素可能会因为其接近 TMCS110x 以及对该器件造成的影响而导致灵敏度发生变化。为了执行此校准，需要向 TMCS110x 施加两个已知的电流并测量相应的输出。从这些点来看，可以通过点斜式计算出器件的灵敏度，即灵敏度的计算方式为 $\Delta V_{OUT} / \Delta I_{IN}$ 。一旦确定了此斜率，该斜率会保留在逻辑器件中，然后可以在逻辑中通过此系数修正输出的数据，以代替数据表中的理想器件值。一旦对布局进行了这种校准，器件间的预期偏差受数据表中的最大灵敏度误差的限制。

为了进一步提高精度，另一个校准步骤就是消除系统中可能存在的直流失调。一旦器件就绪，通常会执行这一步骤（对应用而言，而不是布局），并且保持不变，因为当朝向改变时，地球的磁场或任何其他直流电场可能会发生改变。通过将输入置于零电流条件并测量相应输出来执行此校准。在理想检测电路中，此条件下的输出电压就是器件的基准电压。此预期理想输出与实际测量的输出之间的偏差就是所讨论的直流失调。每个器件的预期输出如“[TMCS1101 数据表：线性工作区域](#)”中所示，并会在逻辑器件中更正为此测量值。请注意，如前所述，此类校准是特定于器件和朝向的，并应该在电路板位于预期使用位置时针对每个器件执行。

如果第一次校准没能提供足够的误差校正，而需要额外的精度，则可以使用最后一个校准选项。此校准只是重复了电路板级校准，但是针对每个特定设备执行，而不是布局本身的压制系数。这消除了器件间的灵敏度差异，并去除了在给定工作点处的灵敏度。请注意，未考虑到的外部磁场或温漂等外部因素可能仍会在此引入额外的误差。

7 总结

本文档研究了与 TMCS110x 器件灵敏度有关的器件操作和规格的几个方面，并讨论了几种有关布局 and 设计的最佳实践方案。不过，还应该考虑与器件灵敏度无关的其他因素，例如共模抑制比 (CMRR)、电源抑制比 (PSRR) 和失调电压。

除了这些做法外，在使用 TMCS11xx 产品系列进行设计时，还应考虑热特性。[封装内磁性电流传感器的热实施指南](#)应用手册讨论了有关热设计的其他信息。

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