

以开环电流传感器实现闭环精度

作者：Allegro MicroSystems产品线市场总监Shaun Milano

闭环电流传感技术以其高精度被广泛用于工业和汽车应用中。通过在单片和完全集成的电流传感芯片中采用专有的封装技术和先进的集成算法，Allegro MicroSystems已经开发出磁性电流传感器IC解决方案，能够以开环传感器的架构实现接近闭环的精度。本文将详细讨论实现这一目标的封装和算法。

开环与闭环电流传感器的架构

通常，开环霍尔效应传感器会使用一个磁性传感器来产生与被测电流成比例的电压，然后该电压被放大成与导体中电流成比例的模拟输出信号。导体通过铁磁体的中心位置以集中磁场，磁传感器则被放置在铁磁体的间隙中，如图1所示。在开环架构中，霍尔效应电流传感器IC对于温度的任何非线性和灵敏度漂移都可能产生误差。

闭环传感器使用由电流传感器IC主动驱动的线圈来产生一个与导体中电流产生的磁场相反的磁场。这样，霍尔传感器总是在一个零磁场的工作点运行。输出信号由电阻器产生，该电阻器的电压与线圈中的电流成比例，该电流也与绕在磁芯线圈中电流的匝数成正比，如图2所示。

闭环电流传感器不仅需要铁磁芯，还需要一个线圈和额外的高功率放大器来驱动线圈。虽然闭环电流传感器比开环架构更复杂，但由于系统仅在零磁场这一个工作点运行，因此消除了与霍尔传感器IC相关的灵敏度误差。如果设计合理，闭环和开环霍尔效应电流传感器通常具有相同的零安培输出电压性能，因此两者的零安培检测精度非常相似。与开环解决方案相比，闭环传感器尺寸更大，需要占用的PCB面积也更多。由于闭环传感器在驱动补偿线圈时需要一定的电流，因而功耗较高。此外，由于闭环传感器需要额外的线圈和驱动电路，价格也比开环传感器更昂贵。

开环与闭环传感器的选择需要考虑精度和响应时间。如果应用要求高精度，通常选择闭环电流传感器，因为它消除了上面谈到的系统灵敏度非线性误差。在某些应用中，需要快速响应时间来保护IGBT和MOSFET等半导体

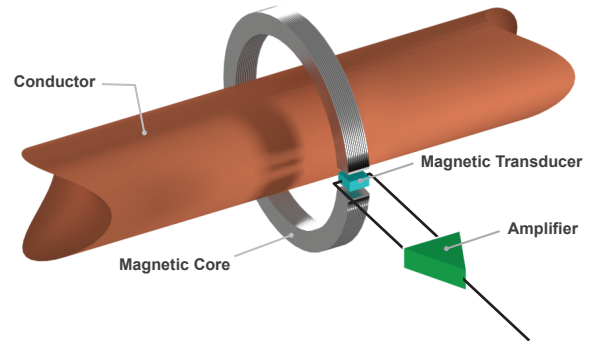


图1：开环传感器架构。

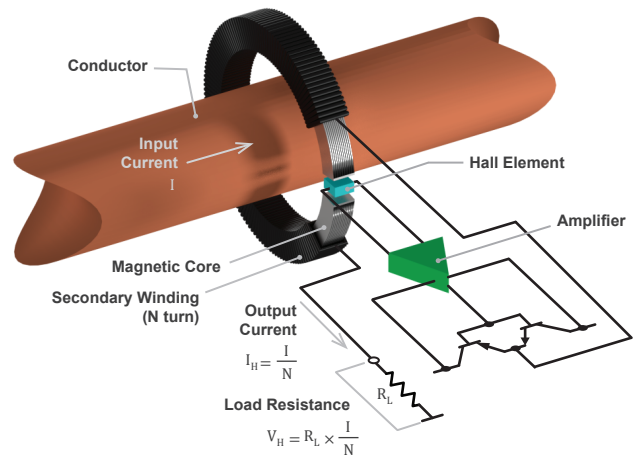


图2：闭环传感器架构。

器件，以便能够更好地控制应用中的电流。如果能够使开环传感器具有足够的精度和响应速度，由于其尺寸、功耗等方面的先天优势，也不失一种选择。Allegro已经开发出这种全新的开环解决方案，体积更小，具备高精度和快的响应速度，比闭环解决方案更经济实惠。

开环传感器IC的封装

Allegro电流传感器IC的独特性在于采用了完全集成的技术，通过采用专利的倒装芯片封装技术可以产生足够的磁场，从而消除对铁磁芯的需求。图3所示为S0IC16电流传感器IC的基本架构。其中电流输入和电流输出都处于封装的一侧，而信号引线则位于封装的另一侧。电流产生的磁场集中在图4俯视图中3/4匝导体的中心。芯片具有焊锡凸块，同时采用倒装芯片组装技术将磁霍尔传感器的磁场最大化。图4的横截面图显示半导体IC和载流导体之间没有物理接触。

这为许多高电压应用提供了所需的电隔离，不同的封装尺寸

将具有不同级别的隔离度，通过由常见和比较难的UL和TUV以及UL / TUV60950-1第2版规范评估。关于独立传感器的隔离评级，请参阅器件数据表<https://allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics>。这些表面贴装封装的导体电阻非常低，仅为 $1\text{m}\Omega$ ，出于客户PCB的标称散热性能考虑，这些封装可用于支持50A的RMS或DC持续电流，针对直流和瞬态电流下的封装热性能的详细说明请见以下链接。

<https://allegromicro.com/en/insights-and-innovations/technical-documents/hall-effect-sensor-ic-publications/dc-and-transient-current-capability-fuse-characteristics>

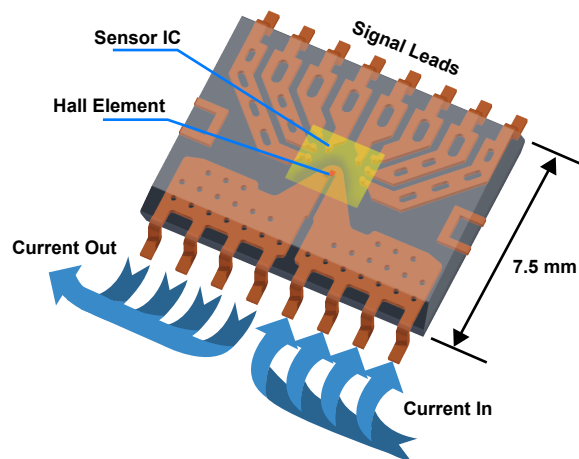


图3： Allegro电流传感器IC。

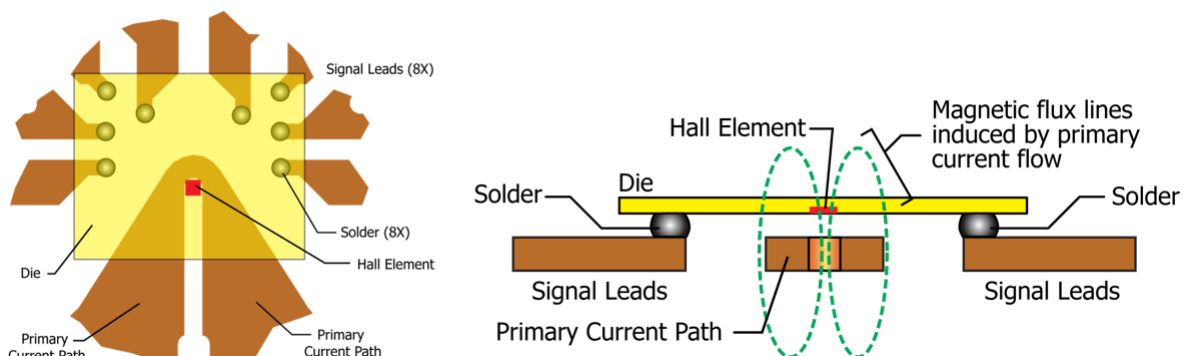


图4： 电流传感器的俯视和剖面图。

提高准确度和速度的先进半导体算法

Allegro ACS720电流传感器IC是新型开环技术的代表性产品。图5所示为ACS720的典型框图。

Allegro公司的BiCMOS混合信号半导体工艺允许低偏移模拟电路和中等密度数字电路共存，可以把各种先进的算法集成到单片集成电路。模拟信号带宽设计为120 kHz，响应时间 $<4\mu\text{s}$ ，适用于大多数电机控制和绿色能源应用。对于需要更快响应时间来防止过流故障的应用，ACS720同时具有用于过流检测的数字慢速故障和用于短路保护的快速数字故障电流输出。两个故障输出的跳闸点都可以通过VOC引脚上的电阻分压器进行配置。快速故障跳闸在 $1\mu\text{s}$ 多点的时间内变为低电平有效，并提供避免保护半导体开关短路的信号。这为大

多数应用提供了快速保护。

该传感器还集成了专门针对逆变器应用优化的功能，以应对其中的功率和信号板通常由不同电源供电的挑战。ACS720内部稳压器采用5V电源供电，具有较大的电源抑制比，可免受电源噪声的干扰。该器件的输出不是比例式输出，与3.3V电源兼容，并可直接馈入信号板微处理器中的ADC。即使5V电源存在干扰，也能使输出信号偏移和灵敏度保持稳定，并可兼容3.3V。故障引脚是开路的NMOS器件，当在多相逆变器中使用多个ACS720时，故障引脚在单个数字I/O引脚上以逻辑OR运算在一起。

为了优化整个温度范围内的精度，ACS720对主信号路径增益和偏移量都有一个集成式的分段线性温度补偿算法。

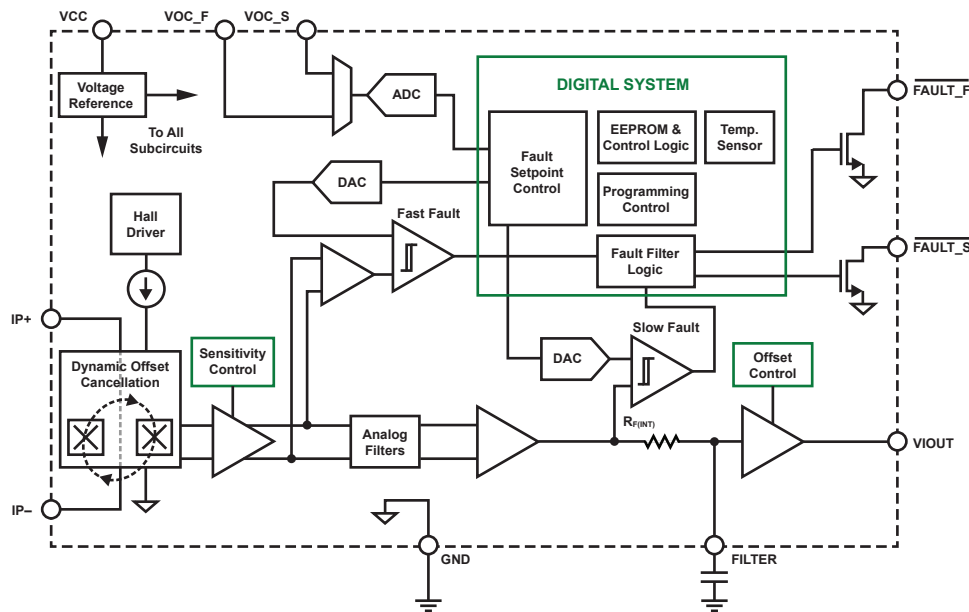


图5: ACS720 框图。

温度补偿算法

通过增加包括EEPROM技术的数字温度补偿算法，Allegro开环电流传感器IC的精度得到大幅度提高。采用五个边界之间的分段线性温度补偿能够明显降低模拟信号路径的本地漂移，而不牺牲信号带宽，图6所示为这种技术的介绍。通过这种算法，可以调整零安培输出电压（QV0）和灵敏度。点线表示QV0或灵敏度的本地漂移，短划线表示在边界之间添加的线性补偿，实线表示传感器输出的最终结果。注意图5中的数字补偿与主信号路径并行发生，这使得模拟输出保持高速，而增益和偏移在温度随时间缓慢变化时得到补偿。补

偿参数在Allegro工厂生产线终端测试时得到确定，并通过在IC上集成EEPROM、一个温度传感器和数字分段线性温度补偿算法完成。这种生产线终端测试编程可以确保器件在整个工作温度范围内具有稳定的零安培输出电压和灵敏度。

传感器性能

专利封装技术和集成式数字补偿算法使传感器在整个温度范围和工作带宽内具有接近 $\pm 1\%$ 的精度，这些结果可以参考图7。在整个工作温度范围内，QV0（偏移）误差小于 $\pm 8\text{mV}$ （ $\pm 0.5\%$ ），灵敏度误差只有 $\pm 1\%$ 。

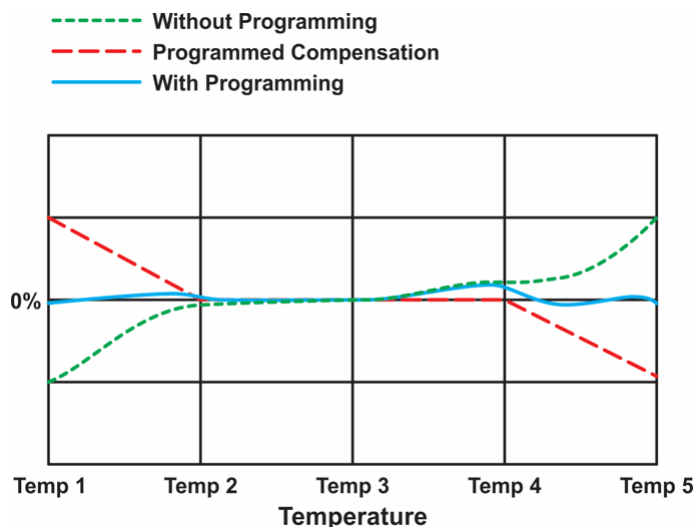


图6：温度补偿算法。

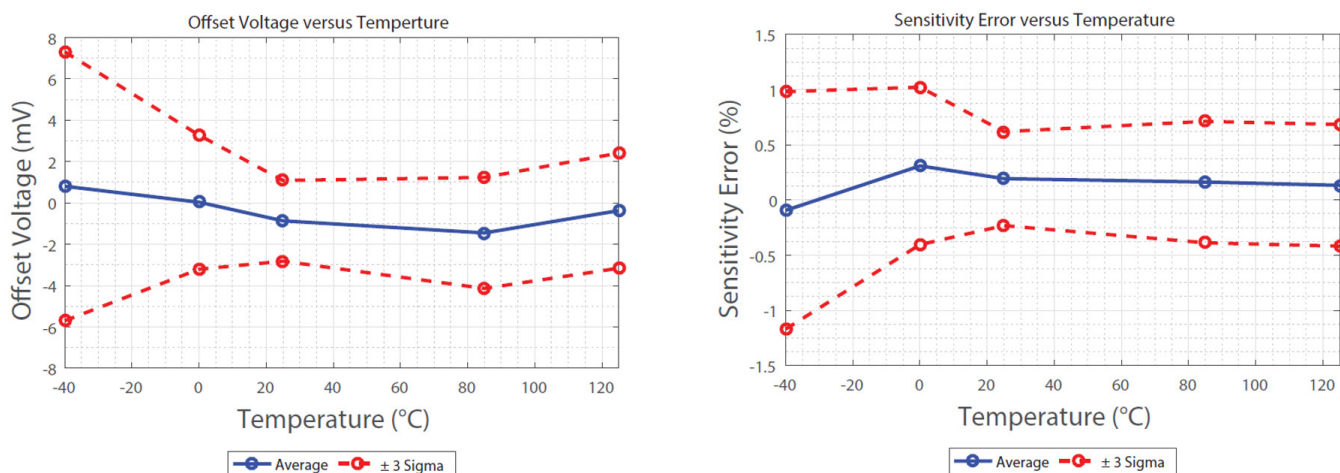


图7：偏移和增益误差与温度的关系： ± 3 Sigma Data。

结束语

通过将独特的封装技术、先进的混合信号半导体工艺与先进的数字温度补偿算法相结合，开环电流传感器IC能够实现闭环精度。Allegro的电流传感器实现了更小的PCB尺寸，不再需要体积大且价格昂贵的铁磁芯，因而更易于集成到需要高精度和高速度的应用设计，并且价格低于闭环传感解决方案。

有关该传感器IC的更多信息，包括布局布线建议和其他应用笔记，请参阅霍尔效应传感器IC信息页面：

<https://allegromicro.com/en/insights-and-innovations?type=Current+Sensors&topic=&q=>

欲了解其他应用笔记，常见问题和产品信息，可以访问Allegro网站 www.allegromicro.com。

适用专利

1. Gagnon et al., “Current Sensor”, US Patent 7,166,807; filed June 3, 2005, and issued January 23, 2007; Assignee: Allegro MicroSystems, LLC.
2. Doogue et al., “Current Sensor”, US Patent 7,709,754; filed August 26, 2003, and issued May 4, 2010; Assignee: Allegro MicroSystems, LLC.
3. Milano et al., “Reinforced isolation for current sensor with magnetic field transducer”, US Patent 8,907,437; filed July 22, 2011, and issued December 9, 2014; Assignee: Allegro MicroSystems, LLC.

Revision History

Number	Date	Description
–	May 8, 2018	Initial release
1	May 28, 2019	Minor editorial updates
2	May 10, 2024	Fixed broken links (pages 2 and 5)

Originally published in EE Times China, April 2018. Reprinted with permission.

Copyright 2024, Allegro MicroSystems.

The information contained in this document does not constitute any representation, warranty, assurance, guaranty, or inducement by Allegro to the customer with respect to the subject matter of this document. The information being provided does not guarantee that a process based on this information will be reliable, or that Allegro has explored all of the possible failure modes. It is the customer's responsibility to do sufficient qualification testing of the final product to insure that it is reliable and meets all design requirements.

Copies of this document are considered uncontrolled documents.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com