

下一代隔离式 Σ - Δ 调制器 如何改进系统级电流测量

Nandin Xu, 产品应用工程师

简介

本文首先介绍共模瞬变抗扰度(CMTI)详细概念及其在系统中的重要性。我们将讨论一个新的隔离式 Σ - Δ 调制器系列及其性能,以及它如何提高和增强系统电流测量精度,尤其是针对失调误差和失调误差漂移。最后介绍推荐的电路解决方案。

隔离调制器广泛用于需要高精度电流测量和电流隔离的电机/逆变器。随着电机/逆变器系统向高集成度和高效率转变, SiC和GaN FET由于具有更小尺寸、更高开关频率和更低发热量的优势,而开始取代MOSFET和IGBT。然而,隔离器件需要具有高CMTI能力,另外还需要更高精度的电流测量。下一代隔离调制器大大提高了CMTI能力,并改善了其本身的精度。

什么是共模瞬变抗扰度?

共模瞬变抗扰度规定了应用在绝缘临界状态下的瞬变脉冲上升和下降的速率。如果超过该速率,可能导致对数据或时钟的损坏。脉冲的变化率和绝对共模电压都会记录。

新的隔离调制器在静态和动态CMTI条件下进行了测试。静态测试检测来自器件的单个位错误。动态测试监测滤波后的数据输出,以观察在CMTI脉冲随机应用中的噪声性能变化。详细测试框图如图1所示。

CMTI之所以重要,是因为高压摆率(高频)瞬变可能会破坏跨越隔离栅的数据传输。了解并测量这些瞬变对器件的影响至关重要。ADI的测试方法基于IEC 60747-17标准,其中涉及磁耦合器的共模瞬变抗扰度(CMTI)测量方法。

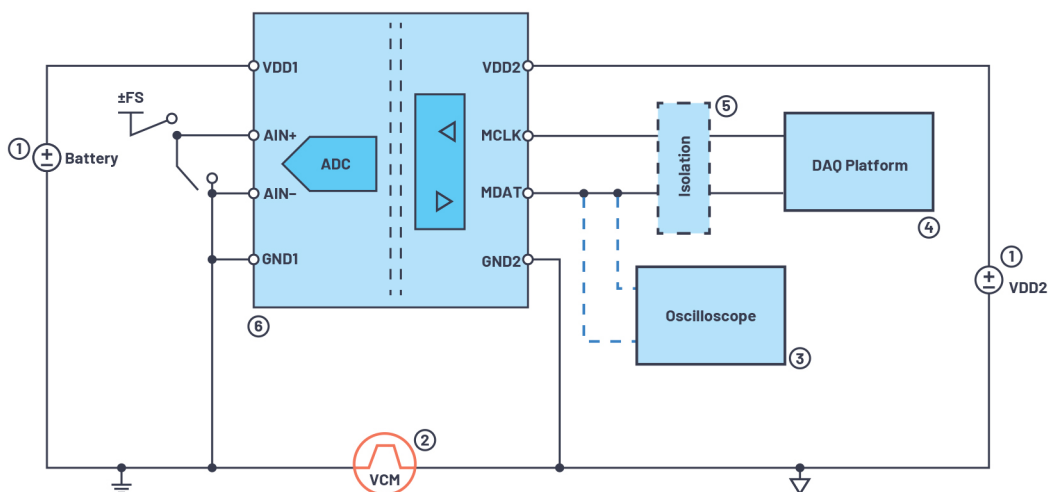


图1. 简化的CMTI测试框图

如何在平台上测试隔离调制器的CMTI特性

简化的CMTI测试平台包括如下项目，如图1所示：

- ▶ VDD1/VDD2的电池电源。
- ▶ 高共电压脉冲发生器。
- ▶ 用于监视数据的示波器。
- ▶ 用于分析数据的数据采集平台和用于隔离调制器的256倍抽取sinc3滤波器。
- ▶ 隔离模块（通常使用光隔离）。
- ▶ 隔离调制器。

静态和动态CMTI测试使用相同的平台，只是输入信号不同。该平台还可用于测试其他隔离产品的CMTI性能。对于隔离调制器，将一位流数据抽取和滤波后传输到电机控制系统中的控制环路中，从而使得动态CMTI测试性能更加全面和有用。图2和图3显示了不同CMTI水平下的时域和频域CMTI动态测试性能。从图2中可以看出，对于同一隔离调制器，当施加更高VCM瞬变信号时，杂散会变得更大。当VCM瞬变信号超过隔离调制器规格时，时域中会出现非常大的杂散（如图2c所示）。这在电机控制系统中会带来严重后果，导致很大的扭矩纹波。

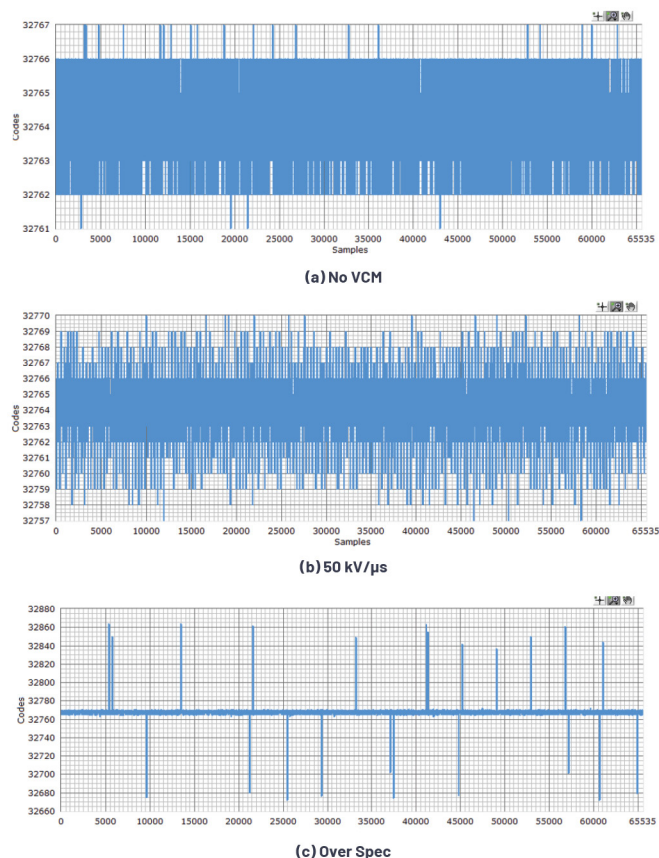


图2. 时域动态CMTI性能

图3显示了不同频率瞬变下的FFT域性能（即通过改变瞬变周期来保持VCM瞬变水平）。图3中的结果表明，谐波与瞬变频率高度相关。因此，隔离调制器的CMTI能力越高，FFT分析中的噪声水平就越低。与上一代隔离调制器相比，下一代ADuM770x器件将CMTI能力从25 kV/μs提高到150 kV/μs，极大地改善了系统瞬态抗扰度，详见表1中的比较数据。

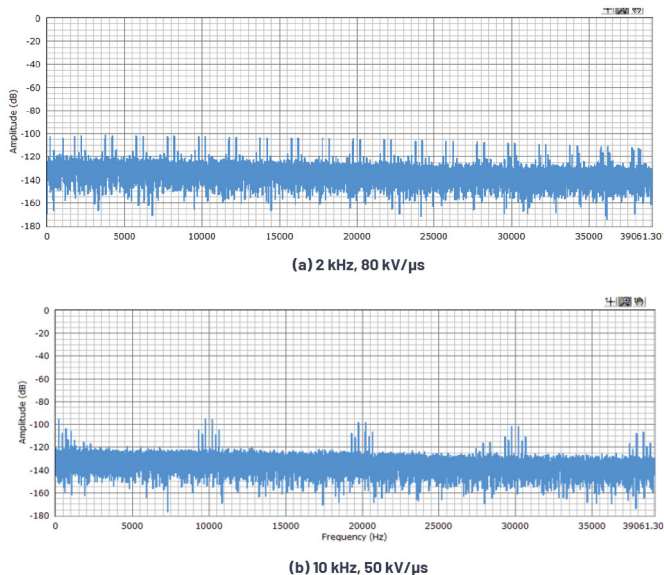


图3. 频域动态CMTI性能

系统级补偿和校准技术

在电机控制或逆变器系统中，电流数据的精度越高，系统就越稳定和高效。失调和增益误差是ADC中直流误差的常见来源。图4显示了失调和增益误差如何影响ADC转换函数。这些误差会以扭矩纹波或速度纹波的形式影响系统。对于大多数系统，为了限制误差影响，可以在环境温度下校准消除这些误差。

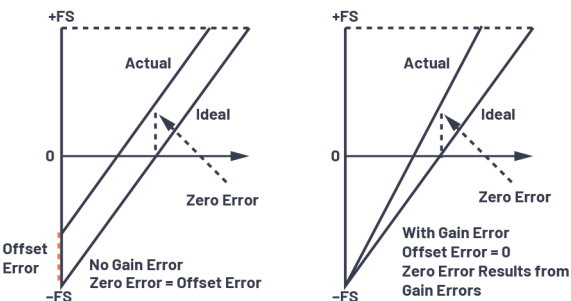


图4. ADC转换函数的失调和增益误差

否则，整个温度范围内的失调漂移和增益误差会成为问题，因为它们更难以补偿。在已知系统温度的情况下，对于具有线性和可预测漂移曲线的转换器，通过向曲线添加补偿因子以使失调漂移曲线尽可能平坦，可以实现对失调和增益误差漂移的补偿（尽管成本高且耗时）。这种补偿方法的详情参见应用笔记

AN-1377。这种方法可以降低AD7403/AD7405数据手册中规定的漂移值，失调漂移降低多达30%，增益误差漂移降低多达90%。当希望改善系统级的失调和增益误差漂移时，可以将该方法应用于任何其他转换器件。

如何使用斩波技术

另外还有一种称为斩波技术的设计，它对系统设计人员来说更高效、更方便，而且斩波功能也可以与硅片本身很好地集成，以最大限度地减少失调和增益误差漂移。斩波方案如图5所示，在ADC上实施的解决方案是对整个模拟信号链进行斩波，以消除所有失调和低频误差。

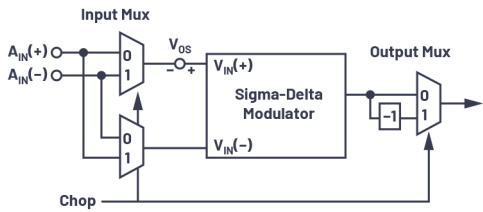


图5 斩波

调制器的差分输入在输入多路复用器上交替反相（或斩波），针对斩波的每个相位执行一次ADC转换（多路复用器切换到0或1状态）。调制器斩波在输出多路复用器中反转，然后将输出信号送入数字滤波器。

如果Σ-Δ调制器中的失调表示为V_{OS}，则当斩波为0时，输出为(A_{IN}(+) - A_{IN}(-)) + V_{OS}；当斩波为1时，输出为-[(A_{IN}(-) - A_{IN}(+)) + V_{OS}]。误差电压V_{OS}通过在数字滤波器中对这两个结果求平均来消除，得出(A_{IN}(+) - A_{IN}(-))，它等于没有任何失调项的差分输入电压。

最新的隔离式调制器通过优化内部模拟设计和使用最新斩波技术来改善失调和增益误差相关的性能，这极大地简化了系统设计并减少了校准时间。最新ADuM770x器件具有非常高的隔离度和出色的ADC性能。另外还提供LDO版本，它可简化系统的电源设计。

表1. 主要规格比较

主要规格		ADuM7701/ ADuM7703	ADuM7702/ ADuM7704	AD7403	AD7401
隔离	工作电压(V _{PK})	1270	1270	1250	891
	CMTI (kV/μs, 最小值)	150	150	25	25
性能	失调误差 (mV, 最大值)	±0.18	±0.18	±0.75	±0.6
	50 mV时的失调漂移 (μV/°C, 最大值)	—	±0.25 (16引脚) ±0.6 (8引脚)	—	—
	250 mV时的失调漂移 (μV/°C, 最大值)	±0.6	—	3.8	3.5
	增益误差 (%FSR, 最大值)	±0.2	±0.2	±1.2	±0.3
	增益漂移 (ppm/°C) 50 mV时	—	±15.6 (典型值) ±31.3 (最大值)	—	—
	增益漂移 (ppm/°C) 250 mV时	±12.5 (典型值) ±28 (最大值)	—	65 (典型值) 95 (最大值)	36 (典型值)
	50 mV时的ENOB (位)	—	14.2 (典型值) 13.1 (最小值)	—	—
	250 mV时的ENOB (位)	14 (典型值) 13.3 (最小值)	—	14.2 (典型值) 13.1 (最小值)	11.5 典型值
集成度	LDO	否	是	否	否
封装		8引脚和 16引脚	8引脚和 16引脚	8引脚和 16引脚	16引脚

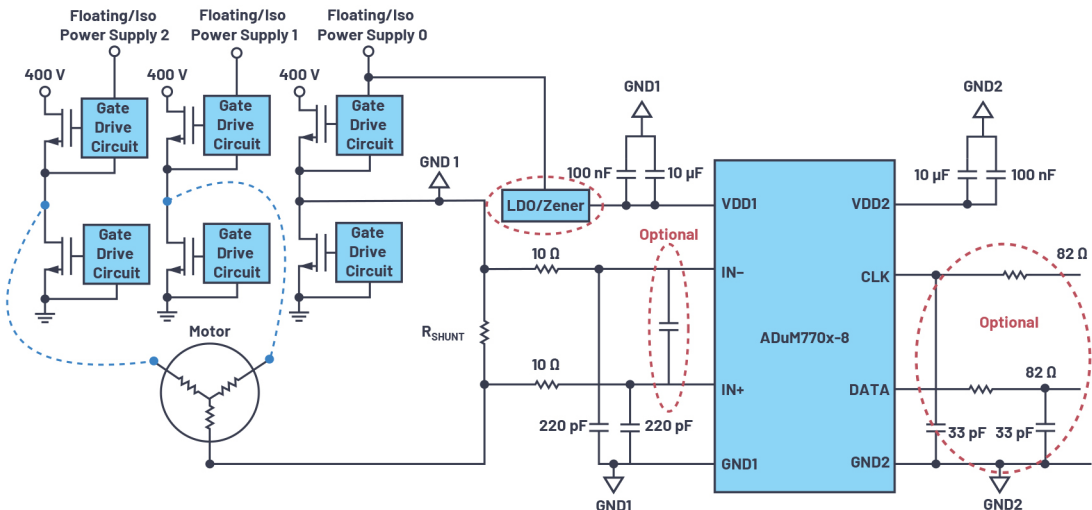


图6 电机系统中的典型电流测量电路

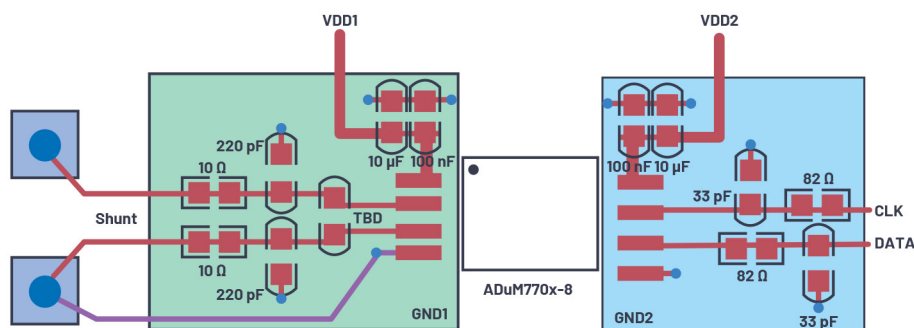


图7. ADuM770x-8电路的推荐PCB布局

推荐电路和布局设计

电机系统的典型电流测量电路如图6所示。虽然系统中需要三个相电流测量电路，但框图中只显示了一个。其他两个相电流测量电路类似，用蓝色虚线表示。从相电流测量电路可以看出， R_{SHUNT} 电阻的一侧连接到ADuM770x-8的输入。另一侧连接到高压FET（可以是IGBT或MOSFET）和电机。当高压FET改变状态时，总是会出现过压、欠压或其他电压不稳定情况。相应地， R_{SHUNT} 电阻的电压波动会传递到ADuM770x-8，相关数据将在DATA引脚上接收。布局和系统隔离设计可以改善或恶化电压不稳定情况，从而影响相电流测量精度。

推荐的电路设置如图6所示：

- VDD1/VDD2解耦需要10 μ F/100 nF电容，这些电容应放置在尽可能靠近相应引脚的地方。
- 需要一个10 Ω /220 pF RC滤波器。
- 建议使用可选的差分电容来降低分流器的噪声影响。将该电容放置在靠近IN+/IN-引脚的位置（推荐使用0603封装）。
- 当数字输出线路较长时，建议使用82 Ω /33 pF RC滤波器。为了获得良好的性能，应考虑使用屏蔽双绞线电缆。
- 如有更高的性能要求，请考虑使用4引脚分流电阻。

为了达到最佳性能，良好的布局也必不可少。推荐的布局如图7所示。建议在分流电阻和IN+/IN-输入引脚之间使用差分对布线，以增强共模抑制能力。10 Ω /220 pF滤波器应尽可能靠近IN+/IN-输入引脚放置。10 μ F/100 nF解耦电容应靠近VDD1/VDD2电源引脚放置。建议将部分地层GND1置于输入相关电路下方，以提高信号稳定性。对于独立的GND1线路（显示为紫色并与差分对走线平行），从分流电阻到ADuM770x-8 GND引脚需要采用星形连接，以降低电源电流波动的影响。

结论

最新的ADuM770x隔离式 Σ - Δ 调制器将CMTI提高到150 kV/ μ s水平，并改善了温度漂移性能，这对电流测量应用非常有利。在设计阶段使用推荐的电路和布局将很有帮助。

参考资料

ADuM7704数据手册。ADI公司，2020年8月。

Heo, Hong-Jun; Seon-Ik Hwang; Jang-Mok Kim; Jin-Woo Choi. “永磁同步电机驱动器的常见比例电流测量误差的补偿”。2016年IEEE第8届国际电力电子与运动控制会议（IPEMC-ECCCE亚洲），2016年5月。

McCarthy, Mary. “AN-1131: AD7190、AD7192、AD7193、AD7194和AD7195的斩波”。ADI公司，2011年10月。

Merino, Miguel Usach和Gerard Mora Puchalt. “ADC中的集成式容性PGA: 重新定义性能”。模拟对话，第50卷第3期，2016年8月。

O'Byrne, Nicola. “MS-2652: 适用于工业运动控制的测量技术”。ADI公司，2014年6月。

作者简介

Nandin Xu是ADI上海公司的一名产品应用工程师。他负责中国市场RDC、隔离调制器和精密ADC/DAC产品的技术支持工作。他毕业于武汉华中科技大学，并获得控制科学与控制技术硕士学位，于2013年加入ADI公司。业余时间他酷爱篮球和足球。联系方式：nandin.xu@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn



如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和
技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。
请访问ez.analog.com/cn。

©2021 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA23159sc-12/21



请访问analog.com/cn