

Application Note

比较隔离式放大器和隔离式调制器



Krunal Maniar

摘要

工业应用（如电机驱动器、光伏逆变器和不间断电源 (UPS)）和汽车应用（如车载充电器 (OBC)、牵引逆变器和直流/直流转换器）在高电压和电流下工作，旨在优化整体效率和功率吞吐量。这些系统会受到恶劣环境的影响，例如电噪声、振动、机械冲击、极端温度、污染物侵入等。因此，这类系统需要实现稳健可靠的电隔离，以将高压电路与低压电路隔离开来。通过隔离式放大器或隔离式调制器，在这些高压下测量的反馈信号可与低压控制器实现电隔离。

本文档比较了基于隔离式放大器和基于隔离式调制器的设计，并介绍了基于隔离式调制器的设计的一些独特优势。

内容

1 隔离式放大器简介.....	2
2 隔离式调制器简介.....	2
3 隔离式放大器和隔离式调制器的性能比较.....	3
4 牵引逆变器中的隔离式调制器.....	4
5 隔离式放大器和调制器建议.....	5
6 结语.....	5
7 修订历史记录.....	6

插图清单

图 1-1. 隔离式放大器实现.....	2
图 2-1. 隔离式调制器的实现.....	2
图 3-1. 两个数字滤波器并行实现.....	4
图 4-1. 使用隔离式调制器测量电流.....	4

表格清单

表 3-1. 隔离式放大器和隔离式调制器的性能比较.....	3
表 3-2. AMC1306 在 CLKIN = 20MHz 时使用 Sinc ³ 滤波器在 ENOB 和稳定时间、延迟或带宽之间进行性能权衡.....	3
表 5-1. 建议使用的器件.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 隔离式放大器简介

图 1-1 展示了基于隔离式放大器的测量设计实现。

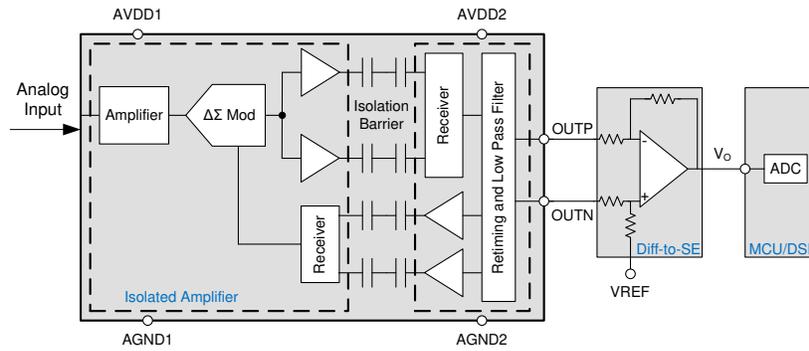


图 1-1. 隔离式放大器实现

隔离式放大器的输入级包含一个能够驱动 $\Delta-\Sigma$ 调制器的输入放大器。输入放大器的增益是固定的，并由内部精密电阻器设置。 $\Delta-\Sigma$ 调制器使用内部基准电压和时钟发生器将模拟输入信号转换为数字比特流。驱动器跨隔离栅（将高压与低压域隔开）传输调制器的输出。接收的比特流和时钟由低压侧的模拟低通滤波器进行同步和处理，并呈现为模拟输出信号。

隔离式放大器的差分输出通常通过基于运算放大器的电路转换为单端模拟输出。该电路还可以使用低通滤波器，将信号带宽进一步降低至目标带宽，从而提高系统噪声性能。

模数转换器 (ADC) 位于微控制器 (MCU) 或数字信号处理器 (DSP) 的外部或内部，接收该反馈模拟输出并将其转换回数字域。

2 隔离式调制器简介

图 2-1 展示了基于隔离式调制器的测量设计实现。

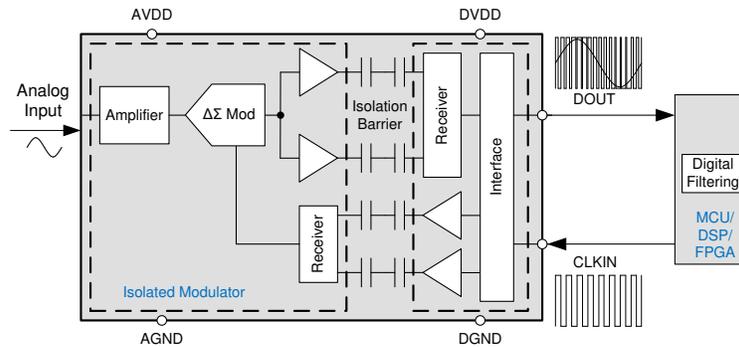


图 2-1. 隔离式调制器的实现

隔离式调制器的输入级与隔离式放大器的输入级类似。驱动器跨隔离栅传输调制器输出。隔离式数据输出 DOUT 以更高频率（高达 20MHz）提供由 1 和 0 组成的数字比特流。此比特流输出的平均时间与模拟输入电压成正比。测量的信号通过微控制器系列（例如 TMS320F2807x 和 TMS320F2837x）、DSP 或者现场可编程门阵列 (FPGA) 内部的数字滤波器进行重建。

3 隔离式放大器和隔离式调制器的性能比较

表 3-1 显示了隔离式放大器和隔离式调制器的基本性能差异。

表 3-1. 隔离式放大器和隔离式调制器的性能比较

类别	隔离式放大器	隔离式调制器
采样分辨率	11 位 (带宽 = 100kHz)	可达到 > 14 位， 在分辨率与带宽或延迟之间进行权衡
延迟	2 μ s 至 3 μ s (固定)	可达到 < 1 μ s， 在分辨率与带宽或延迟之间进行权衡
带宽	高达 300kHz	可达到 > 1MHz， 在分辨率与带宽或延迟之间进行权衡
精度和漂移性能	高	非常高
所需元件数	较多	较少

在基于隔离式放大器的设计中，测得的模拟信号经过多次模数和数模转换。隔离式放大器内的各级、差分转单端级以及 ADC (位于 MCU 或 DSP 外部或内部) 会降低整体精度和噪声性能，并增加延迟。隔离式放大器输出级中的固定低通滤波器实现会限制信号带宽。用于差分至单端转换的外部基于运算放大器的电路可用于创建有源低通滤波器，进一步限制信号带宽，从而提高噪声性能。隔离式放大器具有固定的延迟。基于隔离式放大器的设计被用户熟知并且相对易于实现，因此得到广泛使用。

如图 2-1 所示，在基于隔离式调制器的设计中，测得的模拟信号仅进行一次模数转换。此设计无需差分转单端级，因此减少了元件数量，缩小了设计尺寸。此外，也无需基于隔离式放大器的设计中使用的 ADC。该 ADC 在许多情况下会限制可实现的最大采样分辨率和精度。与基于隔离式放大器的设计相比，基于隔离式调制器的方法提高了信号噪声性能和总体精度，并可以实现更高的信号带宽和更低的延迟。隔离式调制器提供更快的数字比特流输出，通常高达 20MHz。微控制器系列 (如 TMS320F2807x 和 TMS320F2837x) 内的 Σ - Δ 滤波器模块 (SDFM) 提供了一种调优噪声性能和信号带宽或延迟的简便方法。如表 3-2 所示，使用较高的过采样率 (OSR) 可得到更高的精度和更高的采样分辨率，但会降低信号带宽并增加延迟。同样，降低 OSR 会降低精度和采样分辨率，但会增加带宽并降低延迟。类似的 DSP 或 FPGA 也可以实现此类数字滤波器。

表 3-2. AMC1306 在 CLKIN = 20MHz 时使用 Sinc³ 滤波器在 ENOB 和稳定时间、延迟或带宽之间进行性能权衡

OSR	ENOB (位)	稳定时间 (μ s)	延迟 (μ s)	带宽 (kHz)
8	4.65	1.2	0.6	1250
16	7.57	2.4	1.2	625
32	10.02	4.8	2.4	312.5
64	12.3	9.6	4.8	156.25
128	13.51	19.2	9.6	78.13
256	14.11	38.4	19.2	39.06
512	14.39	76.8	38.4	19.53

此外，如图 3-1 所示，可以并行实现多个数字滤波器，以便同时实现更高的采样分辨率、更低的延迟和更高的带宽。其中一个数字滤波器可以是高 OSR 数字滤波器，用于获得更好的噪声性能；另一个数字滤波器可以是低延迟数字滤波器。

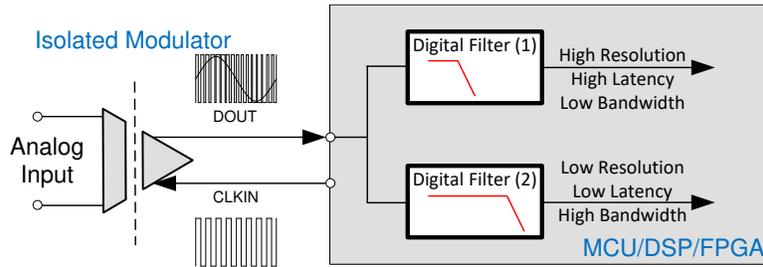


图 3-1. 两个数字滤波器并行实现

鉴于基于隔离式调制器的设计提供的系统优势，高性能系统趋向于转向采用基于隔离式调制器的设计。

4 牵引逆变器中的隔离式调制器

图 4-1 展示了基于隔离式调制器的设计在汽车牵引逆变器中的实现。

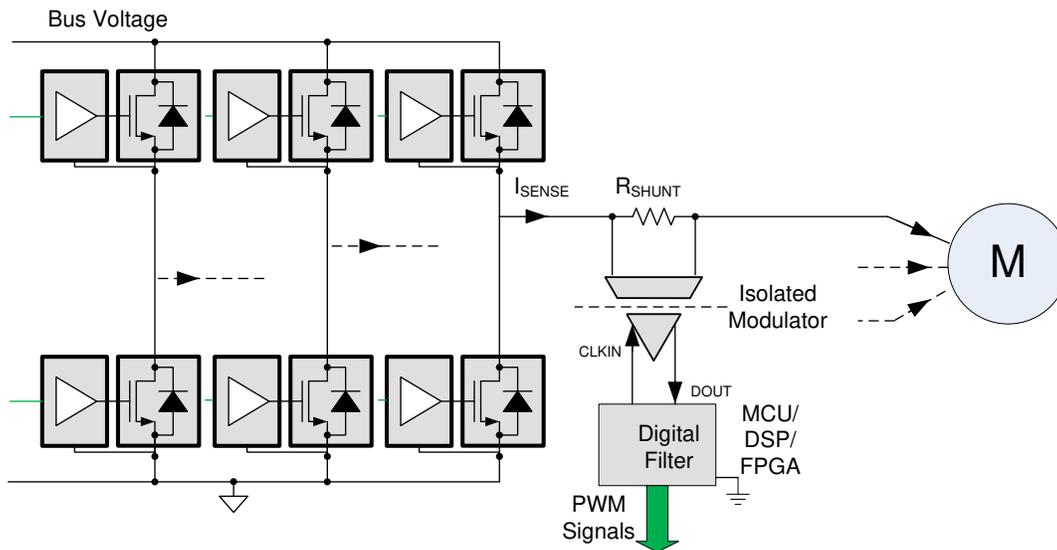


图 4-1. 使用隔离式调制器测量电流

牵引逆变器直接影响驾驶体验，需要精确控制牵引电机的速度和扭矩。分流电阻器搭配隔离式 Δ - Σ 调制器，可为控制器提供超高质量的反馈信号，从而为桥式晶体管确立脉宽调制 (PWM) 模式。借助数字滤波器，工程师可以优化对牵引电机控制的质量。

如图 3-1 所示，FPGA、MCU 和 DSP 可以并行运行多个数字滤波器。其中一个数字滤波器可以是高性能数字滤波器，提供精确的反馈信号来控制桥式晶体管。另一个数字滤波器可以是用于检测过载或过流情况的低延迟数字滤波器。两个数字滤波器均可使用具有不同 OSR 的三阶 (sinc^3) 滤波器。

5 隔离式放大器和调制器建议

表 5-1 列出了建议使用的隔离式放大器和调制器器件。

表 5-1. 建议使用的器件

器件	隔离	说明
AMC1306	增强型	±50mV、±250mV 小型隔离式调制器
AMC1305、 AMC1305-Q1	增强型	±50mV、±250mV 隔离式调制器
AMC1301、 AMC1301-Q1	增强型	±250mV 隔离式放大器
AMC1302、 AMC1302-Q1	增强型	±50mV 隔离式放大器
AMC1311、 AMC1311-Q1	增强型	0V 至 2V 隔离式放大器

6 结语

与隔离式放大器相比，隔离式调制器可提供更高的采样分辨率和精度。通过结合使用隔离式调制器和定制数字滤波器，工程师可以对系统延迟、带宽和采样分辨率进行权衡。基于隔离式调制器的设计需要的元件更少，并且以合理的成本实现了更小的设计尺寸。在需要高采样分辨率或低延迟的隔离式测量应用中，强烈建议使用隔离式调制器。

7 修订历史记录

Changes from Revision A (February 2019) to Revision B (June 2024) Page

- 通篇更新了表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
-

Changes from Revision * (February 2019) to Revision A (February 2019) Page

- 将数字比特流输出从高达 20MHz 更新为通常高达 20MHz 3
 - 更新了 ENOB 和稳定时间、延迟或带宽之间的性能权衡表..... 3
-

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