

Application Brief

AMC0386 在 HEV/EV 牵引逆变器电压检测应用中的输出直方图

Jiri Panacek

简介

AMC038x 是一系列电隔离放大器和调制器，专为高电压检测应用而设计。与 AMC1311 和 AMC1336 等传统隔离式放大器和调制器不同，这些器件具有高阻抗、集成电阻分压器，可直接连接到高压信号源。集成分压器具有出色的直流精度、低温漂和优异的长期稳定性。AMC038x 器件在使用寿命和温度范围内无需系统级校准，即可实现优于 1% 的精度。

在典型应用中，集成的高阻抗电阻分压器取代了阻抗低得多的分立式电阻分压器。作为对比，AMC0386M10 的分压器阻抗为 12.5M Ω 。由于担心耦合噪声进入高阻抗检测点，典型的分立式实施方案的阻抗范围在 2-5M Ω 。本应用简报总结了大功率应用中，实际运行条件下的测量结果。结果表明，集成的高阻抗电阻分压器不受系统开关噪声的影响。

表 1. AMC038x 系列器件比较

器件	类型	R1 (1)	R2 (1)	分压器分压比	线性输入范围	削波电压	绝对最大输入电压
AMC0381D06-Q1	隔离式放大器	10M Ω	16.7k Ω	601:1	600V	769V	900V
AMC0381D10-Q1	隔离式放大器	12.5M Ω	12.5k Ω	1001:1	1000V	1281V	1500V
AMC0381D16-Q1	隔离式放大器	33.5M Ω	21k Ω	1601:1	1600V	2049V	2000V
AMC0380D04-Q1	隔离式放大器	8.3M Ω	20k Ω	401:1	\pm 400V	\pm 513V	\pm 600V
AMC0386M06-Q1	隔离式调制器	10M Ω	16.6k Ω	601:1	\pm 600V	\pm 751V	\pm 900V
AMC0386M10-Q1	隔离式调制器	12.5M Ω	12.5k Ω	1001:1	\pm 1000V	\pm 1251V	\pm 1500V

1. R1 和 R2 是近似的电阻值，不能准确反映分压器分压比。

[TIDA-02014](#) 大功率、高性能汽车 SIC 牵引逆变器参考设计的最新版本，集成了 AMC0381M10 器件，用于直流链路电压检测。[图 1](#) 显示了在 PCB 上的实现。有关电路图，请参阅 TI.com 上的[参考设计文件夹](#)。

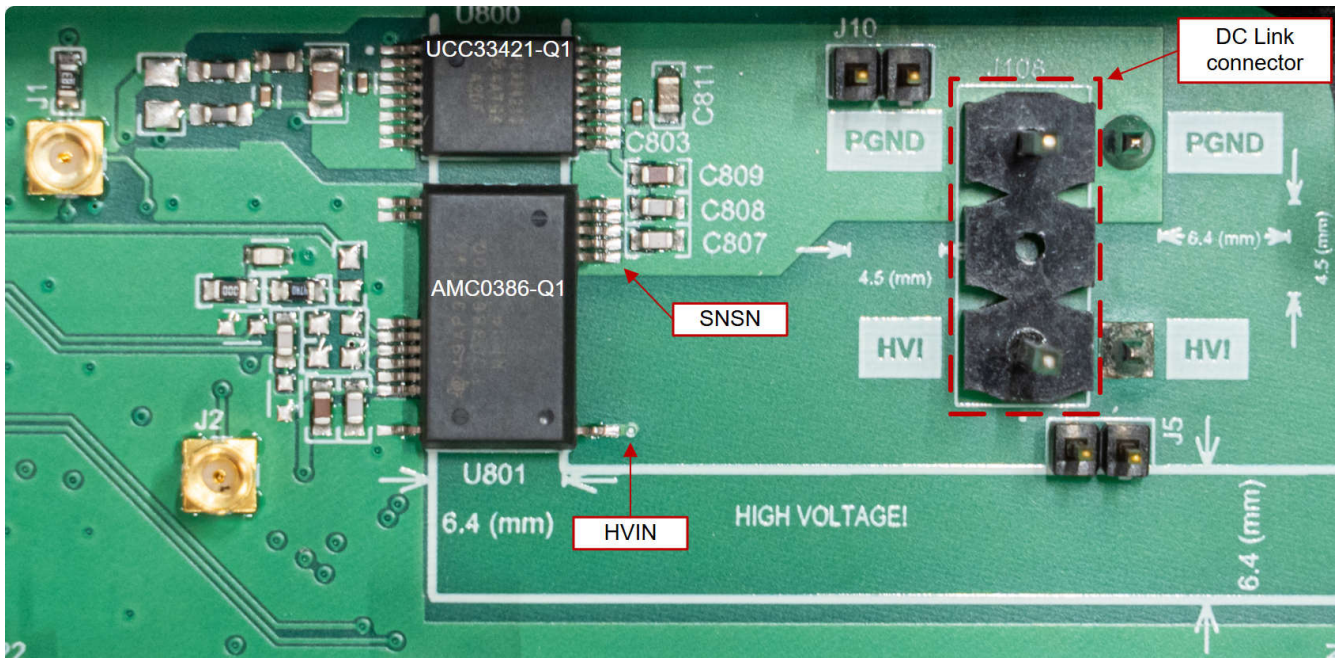


图 1. TIDM-02014 采用 AMC0381M10 的直流链路电压检测子系统

AMC0386M10 是一款采用 10MHz 外部时钟的隔离式调制器。数字输出连接到 F29H859TU-Q1 微控制器 (MCU) 的 Σ - Δ 滤波器模块 (SDFM)。SDFM 将来自调制器的 10MHz 单比特数据流转换为采样率为 10MHz/OSR 的 16 位字。二进制补码格式的 16 位数据可以存储 -32768 至 +32767 之间的整数。但是，16 位结果配置中的 SDFM 模块会输出 -16384 至 +16384 范围内的数据。因此，LSB 的大小是预期值的两倍。表 2 列出了系统配置。

表 2. TIDA-02014 系统配置

调制器时钟	滤波器	过采样率 (OSR)	输出数据格式	差分削波电压	LSB 大小
10MHz	Sinc3	256	16 位二进制补码	$\pm 1251V$	76.35mV

该参考设计已在电机实验室中，在多种运行条件下完成测试。在测试期间，微控制器将电压读数存储在内部调试存储器中。针对每种运行条件收集了 1000 个电压读数并绘制了直方图。直方图的宽度和分布有助于工程师识别实际条件如何影响电压测量子系统。在所有测试中，电机的转速均保持在 100RPM。对于四极电动机，此机械速度对应的电气频率为 6.66Hz。

图 2 展示了标称 400V 直流链路电压，以及 0A、50A、100A 和 150A 相位峰值电流时的电压读数直方图。直方图条柱宽度对应于最低有效位 (LSB) 的大小。直方图显示，如预期所示，以分布宽度表示的本底噪声会随相电流的增加而略有上升。但未观察到数据中存在异常值。表 3 汇总了测试结果。均方根 (RMS) 噪声、信噪比 (SNR) 和有效位数 (ENOB) 参数是假设噪声呈高斯分布的近似值。

方程式 1 计算 RMS 噪声 (以伏特为单位)：

$$RMS_{noise} = \sigma \times LSB \quad (1)$$

其中

- σ 是 SDFM 输出数据的标准差
- LSB 是以伏特为单位的最低有效位的大小 (请参阅表 2)

方程式 2 计算 SNR (以分贝为单位)：

$$SNR = 20 \times \log\left(\frac{V_{IN}}{RMS_{noise}}\right) \quad (2)$$

其中

- V_{IN} 是 AMC0386M10 器件的线性输入电压范围 (2000V)
- RMS 噪声是公式 1 中的值

方程式 3 计算 ENOB (以位为单位) :

$$ENOB = \frac{SNR - 1.76}{6.02} \quad (3)$$

其中

- SNR 是以分贝为单位的信噪比

表 3. 400V 时相电流扫描测试结果汇总

相电流	直流链路电压读数 (最小值)	直流链路电压读数 (平均值)	直流链路电压读数 (最大值)	直流链路电压 RMS 噪声	直流链路电压 SNR	直流链路电压 ENOB
0A	399.170V	399.626V	400.085V	0.154V _{RMS}	82.3dB	13.4b
50A	399.018V	399.599V	400.237V	0.203V _{RMS}	79.9dB	13b
100A	398.789V	399.650V	400.618V	0.349V _{RMS}	75.2dB	12.2b
150A	398.408V	399.548V	401.000V	0.382V _{RMS}	74.4dB	12.1b

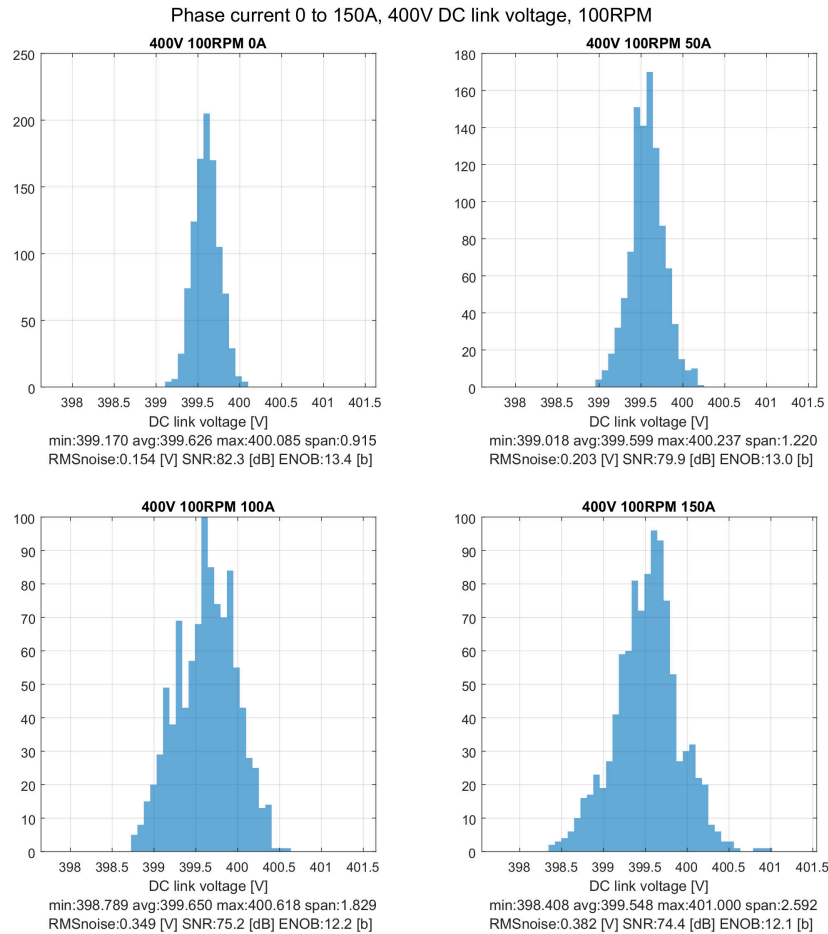


图 2. 400V 固定直流链路电压下的相电流扫描

图 3 显示了在固定 50A 相位峰值电流下，标称 100V、200V 和 400V 直流链路电压下的电压读数直方图。直方图显示，噪声随着输入电压的增加而降低。预期会出现此行为，因为当输入电压降低时，输入电流会增加。此外，降低输入电压会影响 SNR 计算。表 4 汇总了结果。

表 4. 50A 相电流下直流链路电压扫描的测试结果汇总

直流链路电压	直流链路电压读数 (最小值)	直流链路电压读数 (平均值)	直流链路电压读数 (最大值)	直流链路电压 RMS 噪声	直流链路电压 SNR	AMC0386 SNR (规格)
100V	98.630V	99.968V	101.450V	0.473V _{RMS}	72.5dB	11.8b
200V	198.861V	199.787V	200.690V	0.291V _{RMS}	76.8dB	12.5b
400V	399.018V	399.599V	400.237V	0.203V _{RMS}	79.9dB	13.0b

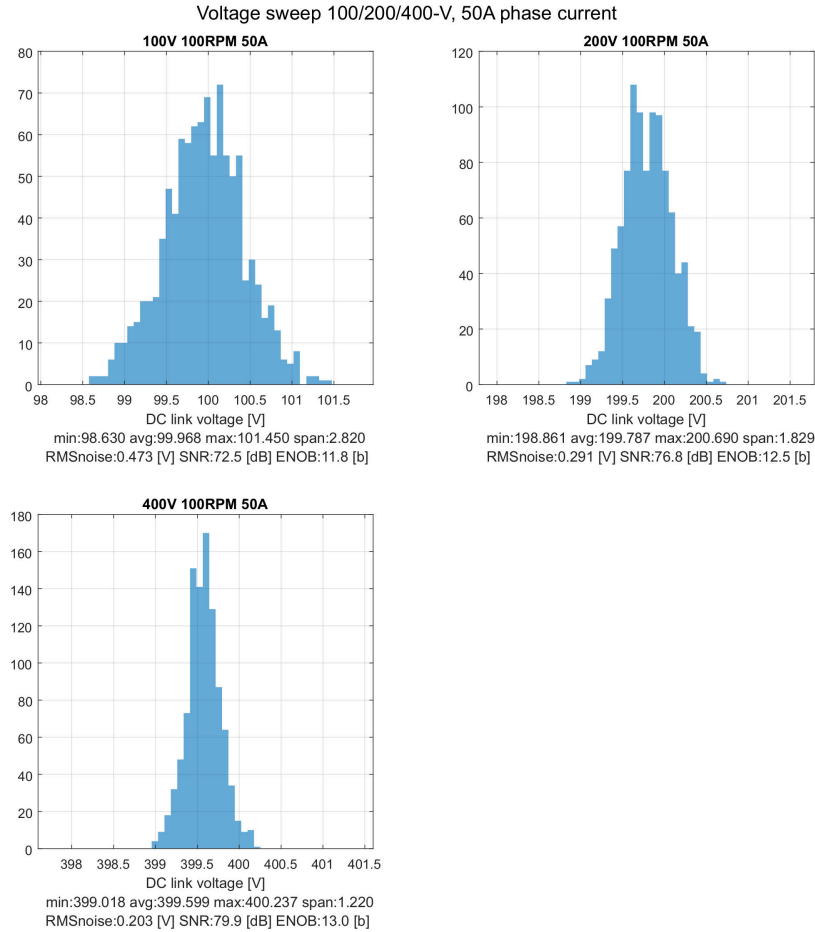


图 3. 50A 相电流下的直流链路电压扫描

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月