

Application Brief

HEV/EV トラクション インバータ電圧検出アプリケーションにおける
AMC0386 の出力ヒストグラム

Jiri Panacek

はじめに

AMC038x は、高電圧センシング用に設計されたガルバニック絶縁型アンプおよび変調器のファミリです。AMC1311 や AMC1336 など、従来の絶縁型アンプや絶縁型変調器とは異なり、これらのデバイスにはハイインピーダンスの内蔵抵抗分圧器が搭載されており、高電圧信号源に直接接続できます。内蔵分圧器は、高い DC 精度、低温度ドリフト、および優れた長期安定性を備えています。AMC038x デバイスは、システム レベルのキャリブレーションなしで、寿命および温度範囲全体にわたって 1% 未満の高精度を実現します。

代表的なアプリケーションでは、内蔵のハイインピーダンス抵抗分圧器が、はるかに低いインピーダンスのディスクリート抵抗分圧器から置き換えられます。比較のために示すと、AMC0386M10 の分圧器のインピーダンスは $12.5\text{M}\Omega$ です。代表的なディスクリート実装は、ハイインピーダンスのセンス ポイントへのノイズ結合の懸念があるため、 $2\text{M}\Omega \sim 5\text{M}\Omega$ の範囲です。このアプリケーション ブリーフでは、大電力アプリケーションにおける実際の動作条件での測定結果を要約します。この結果は、内蔵のハイインピーダンス抵抗分圧器がシステムのスイッチング ノイズの影響を受けないことを示しています。

表 1. AMC038x ファミリーのデバイスの比較

デバイス	タイプ	R1 (1)	R2 (1)	分圧比	リニア入力範囲	クリッピング電圧	絶対最大入力電圧
AMC0381D06-Q1	絶縁アンプ	$10\text{M}\Omega$	$16.7\text{k}\Omega$	601:1	600V	769V	900V
AMC0381D10-Q1	絶縁アンプ	$12.5\text{M}\Omega$	$12.5\text{k}\Omega$	1001:1	1000V	1281V	1500V
AMC0381D16-Q1	絶縁アンプ	$33.5\text{M}\Omega$	$21\text{k}\Omega$	1601:1	1600V	2049V	2000V
AMC0380D04-Q1	絶縁アンプ	$8.3\text{M}\Omega$	$20\text{k}\Omega$	401:1	$\pm 400\text{V}$	$\pm 513\text{V}$	$\pm 600\text{V}$
AMC0386M06-Q1	絶縁型変調器	$10\text{M}\Omega$	$16.6\text{k}\Omega$	601:1	$\pm 600\text{V}$	$\pm 751\text{V}$	$\pm 900\text{V}$
AMC0386M10-Q1	絶縁型変調器	$12.5\text{M}\Omega$	$12.5\text{k}\Omega$	1001:1	$\pm 1000\text{V}$	$\pm 1251\text{V}$	$\pm 1500\text{V}$

1. R1 と R2 は抵抗の近似値であり、分圧比を正確に反映していません。

高電力、高性能の車載対応 SIC トラクション インバータのリファレンス デザインである、TIDA-02014 の最新リビジョンは、DC リンク電圧センシング向けの AMC0381M10 デバイスを内蔵しています。図 1 は、PCB 上での実装を示しています。回路図については、[TI.com のリファレンス デザイン フォルダ](#)を参照してください。

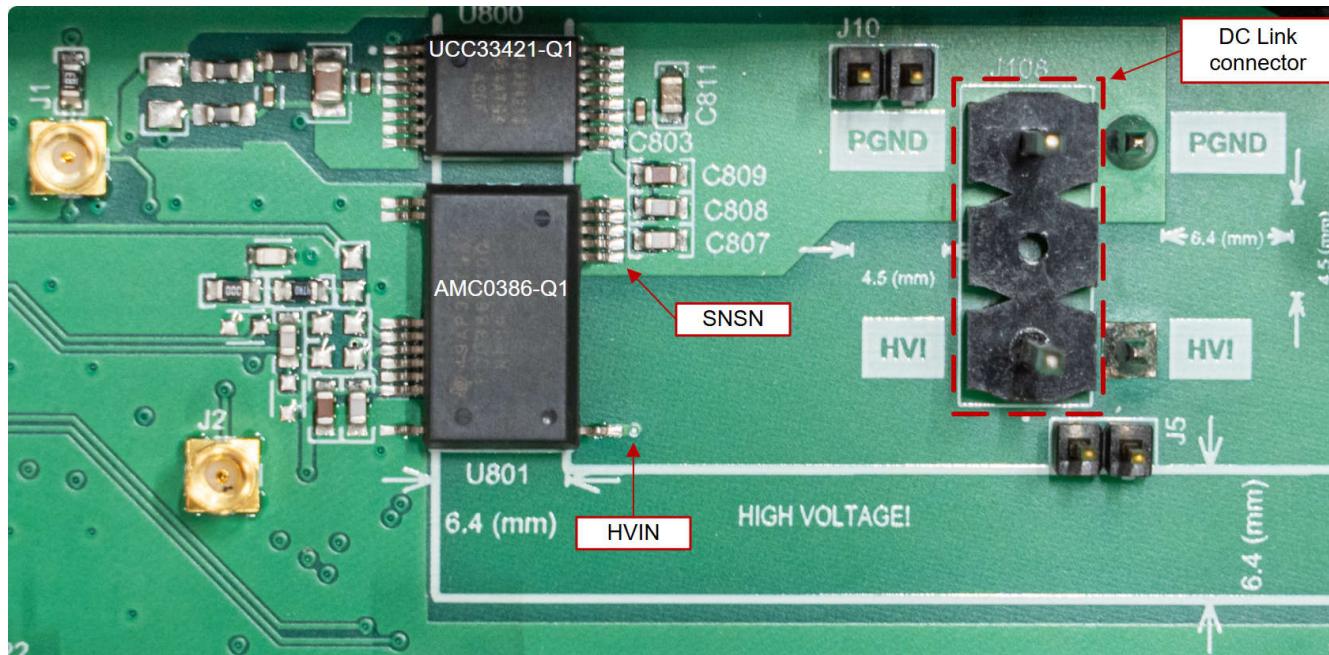


図 1. TIDM-02014 DC リンク電圧センシング サブシステム、AMC0381M10 搭載

AMC0386M10 は、10MHz 外部クロックを持つ絶縁型変調器です。デジタル出力は、F29H859TU-Q1 マイコン (MCU) のシグマ・デルタ フィルタ モジュール (SDFM) に接続されます。SDFM は、変調器からの 10MHz シングル ビットのデータストリームを、10MHz/OSR のサンプル レートで 16 ビットのワードに変換します。2 の補数形式の 16 ビットデータには、-32768 から +32767 までの整数を格納できます。ただし、16 ビットの出力に構成された SDFM モジュールは、-16384 ~ +16384 の範囲のデータを出力します。このため、 LSB サイズは想定される値の 2 倍になります。表 2 に、システム構成を示します。

表 2. TIDA-02014 のシステム構成

変調器クロック	フィルタ	オーバーサンプリング比 (OSR)	出力データフォーマット	差動クリッピング電圧	LSB サイズ
10MHz	Sinc3	256Ω	16 ビット (2 の補数)	±1251V	76.35mV

このリファレンス デザインは、さまざまな動作条件でモーター ラボにおいてテストされました。テスト中、マイコンは電圧読み取り値を内部のデバッグ メモリに保存します。今回、各動作条件で 1000 件の電圧読み取り値を取得し、ヒストグラムをプロットしました。このヒストグラムの幅と分布は、実際の動作条件が電圧測定サブシステムに与える影響を技術者が特定するのに役立ちます。すべてのテスト中、モーターは 100RPM で動作しています。この機械的速度は、4 極電気モーターの電気周波数での 6.66Hz に相当します。

図 2 に、公称値 400V の DC リンク電圧における電圧読み取り値と、0A、50A、100A、150A 時のピーク位相電流とのヒストグラムを示します。ヒストグラム ビンの幅は、最下位ビット (LSB) のサイズに対応しています。これらのヒストグラムは、分布の幅で表されるノイズ フロアが、位相電流の増加に応じて予想どおりにわずかに上昇することを示しています。しかし、データに外れ値は確認されません。表 3 に、テスト結果の概要を示します。実効値 (RMS) ノイズ、信号対雑音比 (SNR)、および有効ビット数 (ENOB) の各パラメータは、ノイズのガウス分布を仮定した近似値です。

式 1 RMS ノイズ (単位 V) を計算:

$$\text{RMSnoise} = \sigma \times \text{LSB} \quad (1)$$

ここで、

- σ は、SDFM 出力データの標準偏差
- LSB は、最下位ビットのサイズ、単位 V (表 2 を参照)

式 2 SNR (単位 dB) を計算:

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

ここで、

- V_{IN} は、AMC0386M10 デバイスの線形入力電圧範囲 (2000V)
- RMS ノイズは、式 1 で求めた値

式 3 ENOB (単位ビット) を計算

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

ここで、

- SNR は、信号対雑音比 (単位 dB)

表 3. 400V での位相電流スイープのテスト結果の概要

相電流	DC リンク電圧の読み取り値 (最小値)	DC リンク電圧の読み取り値 (平均値)	DC リンク電圧の読み取り値 (最大値)	DC リンク電圧の RMS ノイズ	DC リンク電圧の SNR	DC リンク電圧の 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

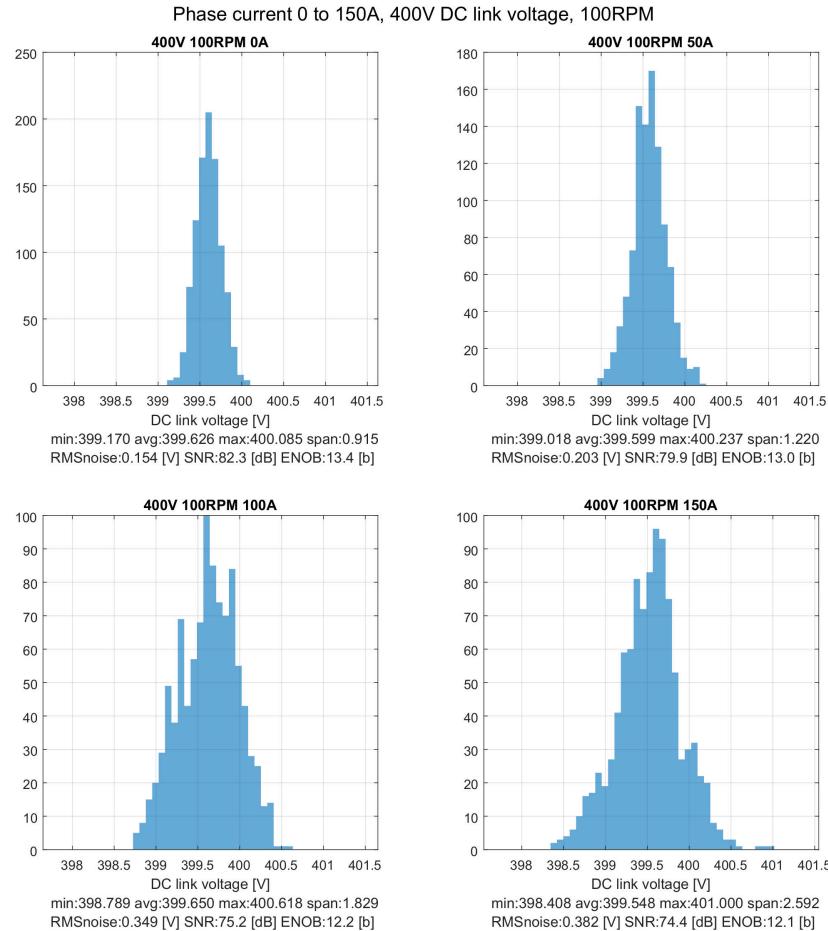


図 2. 固定 DC リンク電圧 400V での位相電流スイープ

図 3 に、固定 50A 相ピーク電流条件での、公称 100V、200V、400V の DC リンク電圧における電圧読み取り値のヒストグラムを示します。ヒストグラムは、入力電圧が高くなるとノイズが減少することを示しています。入力電圧が低下すると、入力電流が増加するため、この挙動が予想されます。なお、入力電圧を下げるに影響が及ぼします。表 4 に結果をまとめます。

表 4. 位相電流 50A での DC リンク電圧スイープに関するテスト結果の概要

DC リンク電圧	DC リンク電圧の読み取り値 (最小値)	DC リンク電圧の読み取り値 (平均値)	DC リンク電圧の読み取り値 (最大値)	DC リンク電圧の RMS ノイズ	DC リンク電圧の SNR	AMC0386 の SNR (仕様)
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

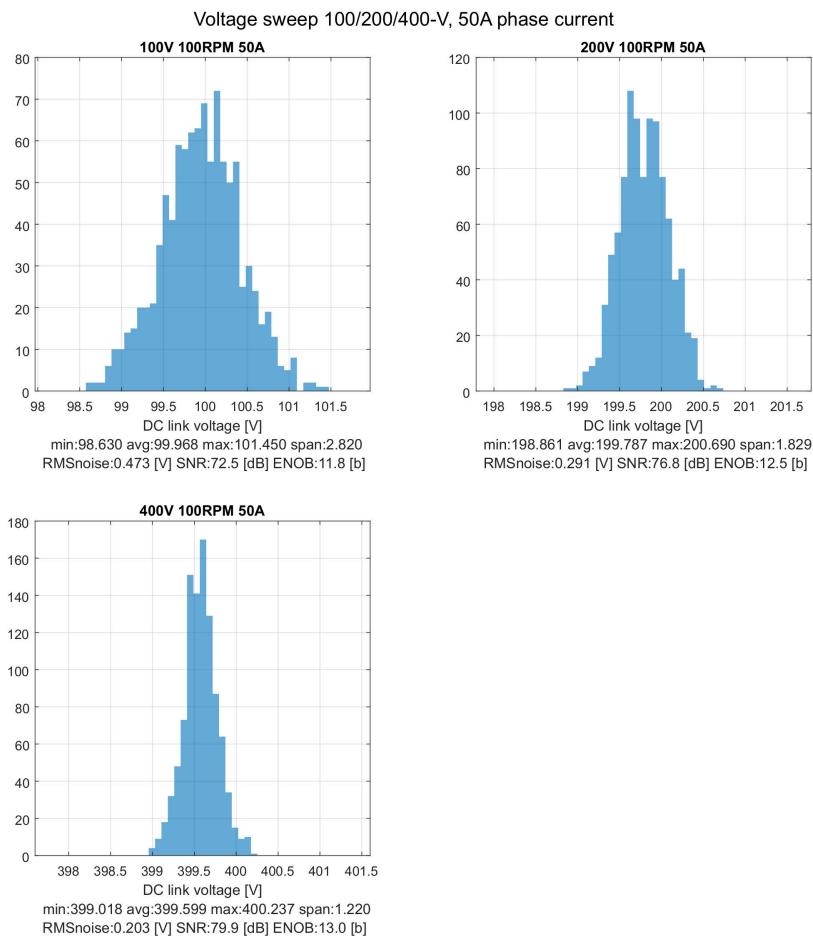


図 3. 50A の位相電流の DC リンク電圧スイープ

商標

すべての商標はそれぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したもので、(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月