

Application Note

絶縁型アンプと絶縁型変調器の比較



Krunal Maniar

概要

モータードライブ、太陽光発電インバータ、無停電電源 (UPS) などの産業用アプリケーション、および、オンボードチャージャ (OBC)、トラクション インバータ、DC/DC コンバータなどの車載用アプリケーションは、全体の効率と電力スルーポットを最適化するために、高電圧および大電流レベルで動作しています。これらのシステムは、電気的ノイズ、振動、機械的衝撃、極端な温度、汚染物質の侵入などの過酷な環境にさらされます。このようなシステムは、高電圧回路と低電圧回路を絶縁するために、堅牢で信頼性の高いガルバニック絶縁を必要とします。これらの高電圧で測定される帰還信号は、絶縁型アンプまたは絶縁型変調器によって低電圧コントローラから電氣的に絶縁されます。

この資料では、絶縁型アンプと絶縁型変調器ベースの設計を比較し、絶縁型変調器ベースの設計で実現できるいくつかの独自の利点を説明します。

目次

1 絶縁型アンプの概要.....	2
2 絶縁型変調器の概要.....	2
3 絶縁型アンプと絶縁型変調器の性能比較.....	3
4 トラクション インバータにおける絶縁型変調器.....	4
5 推奨する絶縁型アンプおよび変調器.....	5
6 まとめ.....	5
7 改訂履歴.....	6

図の一覧

図 1-1. 絶縁型アンプの実装.....	2
図 2-1. 絶縁型変調器の実装.....	2
図 3-1. 2つのデジタル フィルタの並列実装.....	4
図 4-1. 絶縁型変調器を使用した電流測定.....	4

表の一覧

表 3-1. 絶縁型アンプと絶縁型変調器の性能比較.....	3
表 3-2. sinc ³ フィルタを使用した、CLKIN = 20MHz での AMC1306 の ENOB とセトリング、レイテンシ、または帯域幅との性能のトレードオフ.....	3
表 5-1. 推奨デバイス.....	5

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 絶縁型アンプの概要

図 1-1 に、絶縁型アンプ ベースの測定設計の実装を示します。

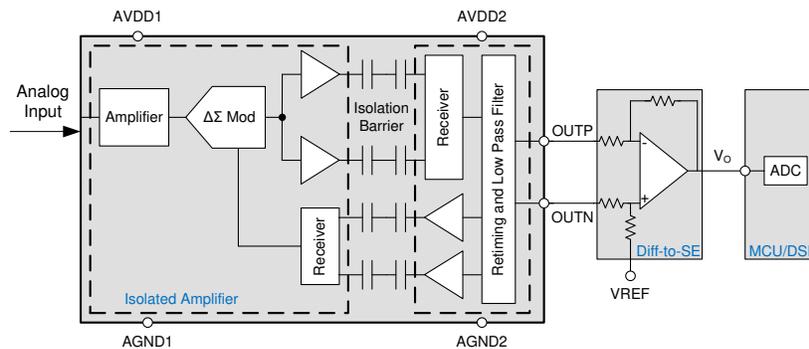


図 1-1. 絶縁型アンプの実装

絶縁型アンプの入力段は、デルタ-シグマ ($\Delta\Sigma$) 変調器を駆動する入力アンプで構成されています。入力アンプのゲインは固定されており、内部の高精度抵抗によって設定されます。 $\Delta\Sigma$ 変調器は、内部の基準電圧とクロック ジェネレータを使用して、アナログ入力信号を デジタル ビット ストリームへ変換します。ドライバは、 $\Delta\Sigma$ 変調器の出力を、高電圧領域と低電圧領域を分離する絶縁バリアを越えて伝達します。受信したビットストリームとクロックは、同期されて、低電圧側のアナログ ローパス フィルタで処理され、アナログ出力として供給されます。

絶縁型アンプの差動出力は、多くの場合、オペアンプ ベースの回路を使用して、シングルエンドのアナログ出力に変換されます。このオペアンプ ベースの回路には、ローパス フィルタを実装して、必要とする帯域幅まで信号帯域幅をさらに狭くし、システムのノイズ性能を向上させることもできます。

マイクロコントローラ (MCU) またはデジタル シグナル プロセッサ (DSP) の外部または内部に搭載されている A/D コンバータ (ADC) は、このフィードバック アナログ出力を受信し、この出力をデジタルドメインに戻します。

2 絶縁型変調器の概要

図 2-1 に、絶縁型変調器ベースの測定設計の実装を示します。

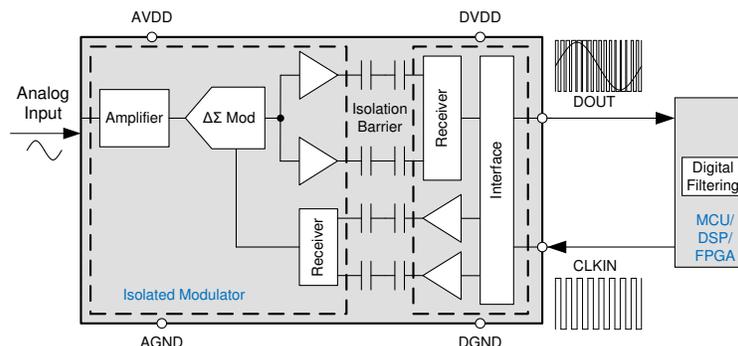


図 2-1. 絶縁型変調器の実装

絶縁型変調器の入力段は、絶縁型アンプの入力段と似ています。ドライバは、絶縁バリアを越えて変調器出力を転送します。絶縁型データ出力 DOUT は、はるかに高い周波数 (最大 20MHz) で 1 と 0 のデジタル ビット ストリームを供給します。このビット ストリーム出力の時間平均は、アナログ入力電圧に比例します。測定した信号は、TMS320F2807x および TMS320F2837x などのマイクロコントローラ ファミリー、DSP、または FPGA (フィールド プログラマブル ゲートアレイ) 内のデジタル フィルタを使用して再構築されます。

3 絶縁型アンプと絶縁型変調器の性能比較

表 3-1 に、絶縁型アンプと絶縁型変調器の性能の基本的な違いを示します。

表 3-1. 絶縁型アンプと絶縁型変調器の性能比較

カテゴリ	絶縁型アンプ	絶縁型変調器
サンプル分解能	11 ビット (帯域幅 = 100kHz)	> 14 ビット達成可能、 分解能と帯域幅またはレイテンシの間のトレードオフ
レイテンシ	2 μ s~3 μ s (固定)	< 1 μ s 達成可能、 分解能と帯域幅またはレイテンシの間のトレードオフ
帯域幅	最大 300 kHz	> 1 MHz 達成可能、 分解能と帯域幅またはレイテンシの間のトレードオフ
精度およびドリフト性能	高い	非常に高い
必要な部品数	多い	少ない

絶縁型アンプ ベースの設計では、測定されたアナログ信号に対して、A/D 変換と D/A 変換を数回実行します。絶縁型アンプ、差動からシングルエンドへの変換段、およびマイコンまたは DSP の外部または内部の ADC によって、全体的な精度とノイズ性能が低下し、レイテンシが増加します。絶縁型アンプの出力段に固定ローパス フィルタを実装すると、信号帯域幅が制限されます。差動からシングルエンドへの変換のために外部オペアンプ ベースの回路を使用して、アクティブ ローパス フィルタを形成すれば、信号帯域幅をさらに制限して、ノイズ性能を向上させることができます。絶縁型アンプは、固定のレイテンシを備えています。絶縁型アンプ ベースの設計は、使い慣れている比較的容易に実装できるので、広く使用されています。

図 2-1 に示すように、絶縁型変調器ベースの設計では、測定されたアナログ信号に対して A/D 変換を 1 回実行するだけです。この設計では、差動からシングルエンドへの変換段が不要になるため、部品数と設計サイズを削減できます。絶縁型アンプ ベースの設計では ADC が使用されており、多くの状況で実現可能な最大のサンプル分解能と精度が制限されますが、ここでは ADC は不要になります。この絶縁型変調器ベースのアプローチであれば、信号ノイズ性能と全体的な精度が向上し、絶縁型アンプ ベースの設計に比べて、大きい信号帯域幅と小さいレイテンシを実現できます。絶縁型変調器は、通常は最大 20MHz のはるかに高速なデジタル ビットストリーム出力を提供します。マイクロコントローラファミリ (たとえば、TMS320F2807x、TMS320F2837x) に内蔵されているシグマ - デルタ フィルタ モジュール (SDFM) を使用すると、ノイズ性能、信号帯域幅、レイテンシを簡単に調整できます。表 3-2 に示すように、より高いオーバーサンプリング率 (OSR) を実装すると、精度は向上し、サンプル分解能は向上しますが、信号帯域幅は小さく、レイテンシも大きくなります。同様に、OSR を小さくすると、精度とサンプル分解能が低下しますが、帯域幅が増加し、レイテンシが短縮されます。類似の DSP や FPGA でも、このようなデジタル フィルタを実装できます。

表 3-2. sinc³ フィルタを使用した、CLKIN = 20MHz での AMC1306 の ENOB とセトリング、レイテンシ、または帯域幅との性能のトレードオフ

OSR	ENOB (ビット)	セトリング (μ s)	レイテンシ (μ s)	帯域幅 (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

さらに、図 3-1 に示すように、複数のデジタル フィルタを並列実装することで、高いサンプル分解能、小さいレイテンシ、大きい帯域幅をすべて同時に実現できます。デジタル フィルタの 1 つはノイズ性能を向上させるために高 OSR デジタル フィルタを実装でき、もう 1 つは低レイテンシのデジタル フィルタを実装できます。

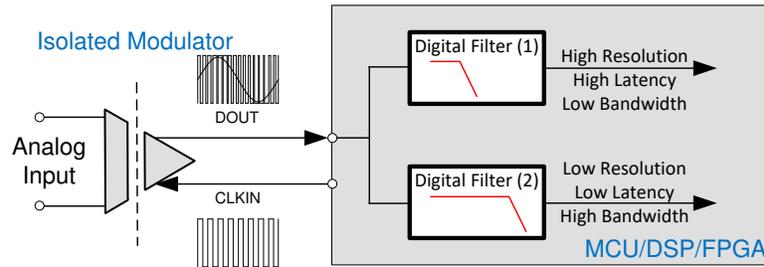


図 3-1. 2 つのデジタル フィルタの並列実装

絶縁型変調器ベースの設計にはシステム上の利点があるため、高性能システムでは絶縁型変調器ベースの設計に移行する傾向があります。

4 トラクション インバータにおける絶縁型変調器

図 4-1 に、車載トラクション インバータにおける絶縁型変調器ベースの設計の実装を示します。

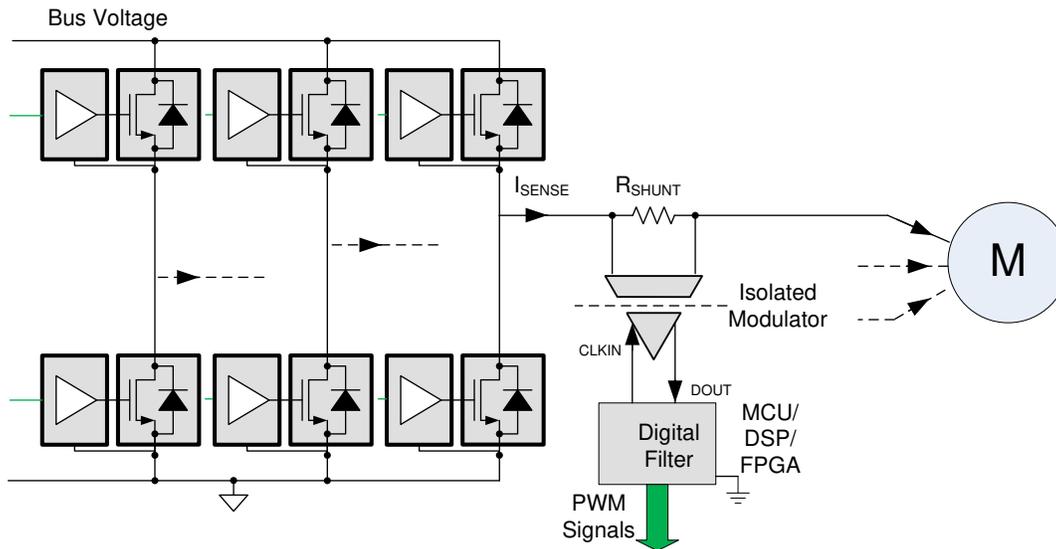


図 4-1. 絶縁型変調器を使用した電流測定

トラクション インバータは運転体験に直接的な影響を及ぼし、トラクション モーターの速度とトルクを高精度で制御する必要があります。シャントを絶縁型デルタ シグマ変調器と組み合わせることにより、最高品質のフィードバック信号をコントローラに送信し、ブリッジトランジスタのパルス幅変調 (PWM) パターンを確立できます。デジタル フィルタの実装により、エンジニアはトラクション モーター制御の品質を調整できます。

図 3-1 に示すように、FPGA、MCU、および DSP は、並列動作する複数のデジタル フィルタを備えています。デジタル フィルタの 1 つとして、高性能デジタル フィルタを使って、ブリッジトランジスタを制御するための正確なフィードバック信号を提供できます。もう 1 つのデジタル フィルタとして、低レイテンシのデジタル フィルタを使って、過負荷または過電流状態を検出できます。この 2 つのデジタル フィルタには、OSR が異なる 3 次 (sinc³) フィルタを使用できます。

5 推奨する絶縁型アンプおよび変調器

表 5-1 に、絶縁型アンプおよび変調器で使用する推奨デバイスを示します。

表 5-1. 推奨デバイス

デバイス	絶縁	説明
AMC1306	強化	±50mV、±250mV 小型絶縁型変調器
AMC1305、 AMC1305-Q1	強化	±50mV、±250mV 絶縁型変調器
AMC1301、 AMC1301-Q1	強化	±250mV 絶縁型アンプ
AMC1302、 AMC1302-Q1	強化	±50mV 絶縁型アンプ
AMC1311、 AMC1311-Q1	強化	0V～2V 絶縁型アンプ

6 まとめ

絶縁型変調器は、絶縁型アンプに比べて高いサンプル分解能と精度を実現します。絶縁型変調器とカスタム デジタル フィルタを組み合わせることにより、システムのレイテンシおよび帯域幅と、サンプル分解能とのトレードオフが可能です。絶縁型変調器ベースの設計では、必要な部品点数が少なく、妥当なコストで設計サイズを小型化できます。高サンプル分解能または低レイテンシが要求される絶縁型測定アプリケーションには、絶縁型変調器を強く推奨します。

7 改訂履歴

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

- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新..... 1

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

- デジタル ビットストリーム出力を「最大 20MHz」から「通常は最大 20MHz」に更新..... 3
- 「ENOB とセトリング、レイテンシ、または帯域幅との性能のトレードオフ」の表を更新 3

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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す。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、その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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

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黙示保証、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、明示的または黙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す。(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、その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、

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。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。

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

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated