

PWMアプリケーションにおける電流検出用の低誘導性シャントの利点

電流センシング製品担当、Arjun Prakash



パルス幅変調(PWM)システムでの電流センシングには、コモンモード電圧の大きな変化による課題が存在します。PWMシステムにおいて、インライン電流センシング用の電流検出アンプには、高い dv/dt コモンモード信号を除去し、シャントの両端での電圧ドロップを正確に測定する能力が必要で、これによって負荷の di/dt 情報が得られ、このほとんどは誘導性です。

INA240電流検出アンプは、PWMアプリケーションで動作するよう特化して設計されたもので、高い dv/dt 信号を除去し、 di/dt 情報を正確に測定できます。高速なPWM除去機能は dv/dt 信号の高速なセトリングに役立ち、アンプは di/dt 情報を正確に追跡できます。INA240は、PWMスイッチング信号において、非常に正確な電流を高速に、リアルタイムで測定できます。PWMシステムで高い精度を実現するための鍵となるのは、INA240を非常に高精度、低抵抗で、温度ドリフト係数が低く、誘導性が低いシャントと組み合わせることです。INA240はシャントの両端の信号を増幅し、出力を生成します。PWMスイッチング信号には鋭いエッジがあるため、シャントにより発生する一連の寄生容量またはインダクタンスはINA240の入力で直接観測され、結果として増幅して出力されます。これは、電流の精度が低下する一般的な例の1つです。

PWMアプリケーションでの正確な電流センシングの主要なシステム要件の1つは、低誘導性のシャントです。シャント抵抗は金属、セラミックのコンパウンドと、カーボンの材質で構成されます。セラミックとカーボンの成分により、アンプの実効シャントに寄生インダクタンスが追加されます。シャントの製造業者は低誘導性のシャントも製造しており、正確なPWM電流測定にはこれらを選択する必要があります。DC電流の測定では、インダクタンスが短絡として機能し、寄生抵抗として動作するため、インダクタンスの寄生成分は無視できます。インダクタの実効寄生抵抗は、シャントの値に比べて重要ではありません。一般に、PWM信号が1Khz未満の場合、シャントの寄生インダクタンスは無視できます。

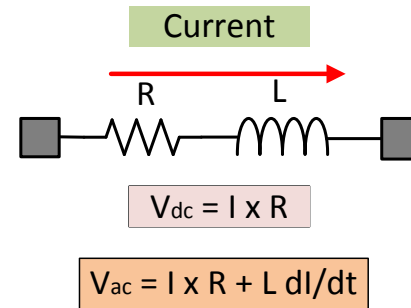


図 1. シャント抵抗の実効インピーダンス

シャント抵抗の実効インピーダンスを、図 1 に示します。DC測定では、シャント抵抗の両端の電圧は $V = I \times R$ です。ACおよびPWM電流では、シャント抵抗の両端に発生する電圧は $V = I \times R + L \times di \div dt$ です。シャントのインダクタンスが増大するにつれ、シャントの両端に発生する誤差電圧も増大し、PWM周波数が増大すると、電圧誤差はさらに増大します。PWM電流を正確に測定するには、低インダクタンスのシャント抵抗を持つシステムが必要です。シャントを選択するときは、データシートのインダクタンスの仕様に注目します。シャント製造業者から供給される一般的な低誘導性シャントは、3nH~5nHです。シャント製造業者は低誘導性のセラミックおよびカーボン素材を使用して、このような低インダクタンスを実現します。ごく少数の製造業者は、特殊な合金を使用したシャントを製造しており、このシャントは温度ドリフト係数が低く、トリムされます。これらのシャントは大型で、500A以上の電流を必要とするアプリケーションに多く使用されます。

DC/DCコンバータでの電流検出

DC/DCコンバータのインライン電流検出例を、図 2 に示します。PWMのスイッチング周波数は、100Khz~1Mhzのオーダーです。このような高い周波数では、基板のレイアウトや選択したシャントの種類に関連する寄生成分が、高い精度を実現するため決定的な役割を果たします。PWMノードのシャントと直列に大きなインダクタンスが追加されると、グリッチやオーバーシュートが発生します。これらのグリッチやオーバーシュートは、電流検出アンプの入力に発生します。ゲインを持つ電流検出アンプは、このオーバー

シュートを増幅し、これによって信号の整合性が損なわれます。電流センス・アンプへの入力グリッチを最小化する技法の1つは、入力フィルタを追加することですが、このような実装は帯域幅を減らし、重要なアラート技法の応答時間が低下します。

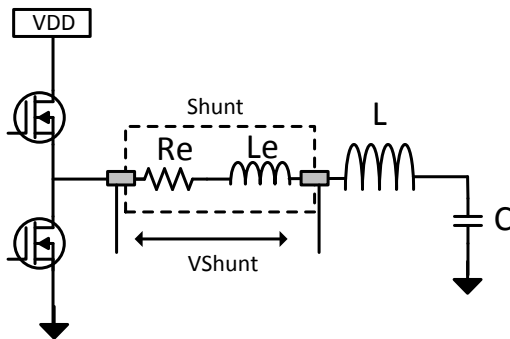


図 2. DC/DCコンバータでの電流検出

DC/DCコンバータ・システムの波形を、図 3 に示します。この波形には、シャントへのPWM入力、および寄生インダクタンスのためシャントの両端に発生する各種の電圧誤差が含まれます。理想的には、シャントに寄生インダクタンスが存在しなければ、シャントの両端に発生する電圧は出力負荷電流に比例します。シャントには有限の寄生インダクタンスが存在するため、シャントの両端に発生する合計誤差は、負荷電流と、寄生インダクタンス(Le)にわたって発生する電流との和になります。シャントのインダクタンスを下げることで、電流測定の誤差を最小限にできます。

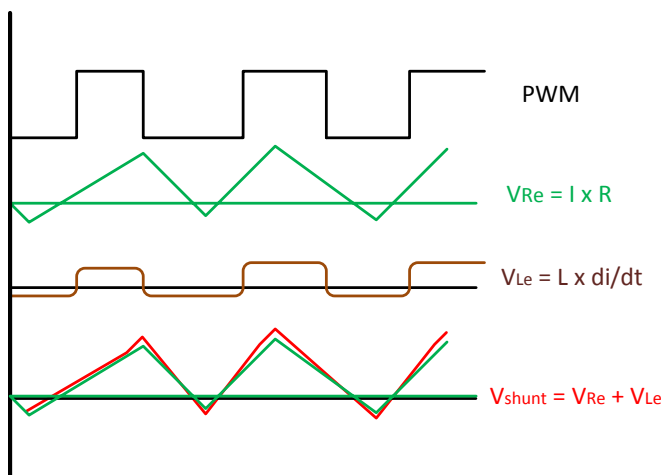


図 3. DC/DCコンバータの出力波形

モータ制御における低誘導性シャント

モータ制御アプリケーションでは、継続的な使用によりモータの巻き線が経年劣化すると、モータの効率が低下します。これは一般に、モータの早期障害を示すものです。モータ制御における、低誘導性電流シャントの利点の1つは、巻き線間の短絡を識別し、検出できることです。モータにおける効果的なインダクタンスは、コアの周囲に銅線を数回巻き付けたものにより得られます。巻き線間に短絡が存在する場合、モータのインダクタンスの変化を検出することでモータの障害を識別でき、システム停止時間による損失や、モータの恒久的な損害を防止するため役立ちます。低誘導性のシャントをPWMと直列に接続すると、インダクタンスの小さな変化を検出できる利点があります。

INA240は高精度、双方向の電流センス・アンプで、温度範囲にわたって入力オフセットおよびゲイン・ドリフトが低く、PWMアプリケーションの電流を測定するため理想的なデバイスです。INA240は、コモンモードトランジェントにdv/dtの大きな信号が含まれるスイッチング・ノード環境で動作するよう、特に設計されています。dv/dtの高い信号を除去できるため、電流を正確に測定できます。電流センシングの真の性能上の利点は、低誘導性のシャントと組み合わせることで得られます。INA240は最大入力オフセット電圧が25μVと低く、最大ゲイン誤差が0.2%であるため、測定精度を犠牲にすることなく、小さな値のシャント抵抗を使用できます。オフセット・ドリフトとゲイン誤差ドリフトも、それぞれ0.25μV/°Cおよび2.5ppm/°Cと低いいため、温度にかかわらず正確で安定した電流測定が可能です。

表 1. その他の推奨デバイス

Device	Optimized Parameter	Performanceトレードオフ
INA168	帯域幅: 800kHz、パッケージ: SOT-23	ゲイン調整可能、外付け部品
LMP8601	V _{CM} : -22V~60V	オフセット電圧: 1mV、帯域幅: 60kHz
INA282	DC CMRR: 140dB	帯域幅: 10kHz

表 2. 関連するTI Tech Note

SBOA174	H-ブリッジでの電流センシング
SBOA176	スイッチング電源の電流測定
SBOA166	PWMリジェクション機能付きのハイサイド駆動、ハイサイド・ソレノイド電流モニタ
SBOA162	電流測定による異常状況の検出

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。