

# 三相システムでの低ドリフト・ローサイド電流測定

電流センシング製品担当者、Scott Hill



モータの駆動回路で、モータの位相電流を測定可能な場所はいくつか存在します。測定に最適な場所の決定は、電流の情報をシステム・コントローラがどのように使用するかに大きく左右されます。三相モータの電流を測定するための最も一般的な4つの場所を、[図 1](#)に示します。どの測定場所にも、測定精度、高電圧回路の要求、信号の応答時間など、関連するトレードオフが存在します。場所によって、十分なシステム制御を行うための測定回路の複雑性も異なります。

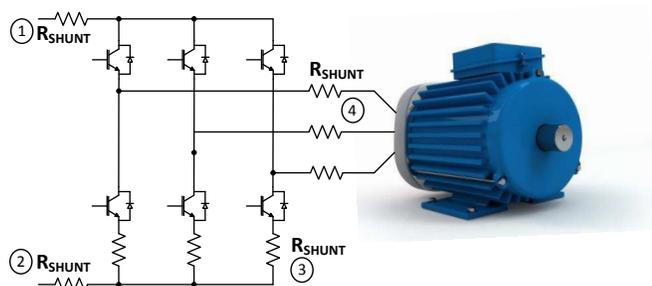


図 1. 三相システムでの測定場所

[図 1](#)の測定場所1および2は、実際のモータの電流についての情報をシステム・コントローラへ伝達することよりも、フォルトの検出が必要な場合に有効です。これらの場所から個別の位相電流の情報を抽出することは困難なため、システムの合計電流を比較してグラウンドへの短絡、漏電、その他の異常な状況を検出する目的に適しています。

三相システムでモータ制御用の電流センシングを実装するため一般的な場所は、各位相レグのローサイド([図 1](#)の測定場所3)です。この場所では、コモンモード電圧レベルの要件が限定されるため、ローサイド構成では、各位相のローサイド・トランジスタがオンの時だけ、その位相レグに電流が流れるということに注意する必要があります。ローサイド位相測定における電流はパルス型であるという特性があり、インラインの場所における連続電流とは異なっています([図 1](#)の測定場所4)。場所4で、電流センシング抵抗の両端の差動信号を測定すると、モータの位相電流に正比例する連続

信号が得られます。ただし、このインラインの場所では、PWMモータ・ドライブ回路によコモンモード電圧のレベルが大きく変化するため、これらの大きな $dv/dt$ トランジションを検知し、除去できる特定の電流センシング・アンプが必要になります。

ローサイドの位相レグ構成では、特定のローサイド・トランジスタがオンのときのみシャント抵抗に電流が流れるため、アンプは電流パルスのオン/オフに合わせて出力レベルを迅速に変更する必要があります。このトランジスタがオンで、電流が流れるときに、結果として入力信号が段階的に変化します。出力が入力信号に追従できるよう、アンプは迅速に 응답して信号を増幅する必要があります。その後でプロセッサは切り替えられた出力波形をアンプから受け取り、位相電流情報を再度組み合わせて電流信号を抽出し、モータの制御アルゴリズムに使用できます。

ローサイドの位相レグ電流を測定する電流センシング・アンプの重要な要件は、PWMドライブ回路のスイッチング周波数およびデューティ・サイクルにより決定される短時間の測定ウィンドウに対応できる十分な速度があることです。プロセッサが制御アルゴリズムに使用するための、実際の位相電流に比例する正確な波形を供給するため、アンプの出力は測定のサンプリング前にトランジションおよびセリングする必要があります。

帯域幅、出力ドライブ、セリングの条件は、アプリケーションのスイッチング周波数とデューティ・サイクルの範囲により決定され、可聴周波数帯域の上限を超える、20kHz～30kHzの範囲のPWMスイッチング周波数が一般的です。たとえば、スイッチング周波数が25kHz、デューティ・サイクルが50%で、各ハーフサイクルの midpoint でサンプリングが行われる場合、正確な測定を保証するために、電流センシング・アンプの出力は10 $\mu$ s以内にセリングする必要があります。アンプの出力が規定時間内に出力レベルに達し、十分にセリングできない場合、プロセッサは比例波形を作り出せず、制御アルゴリズムでモータを正しく制御できません。

図 2 に示すように、モータ制御に必要なデューティ・サイクルに応じて、セトリング時間はさまざまに変化します。モータ速度が低いと、デューティ・サイクルも小さくなり、電流センシング・アンプはわずかな時間内に正確な測定を行わなければならないという課題に直面します。モータの制御アルゴリズムで必要な制御能力を得るため要求されるデューティ・サイクルによって、電流センシング・アンプで必要となる帯域幅およびセトリング時間の特性が決定されます。

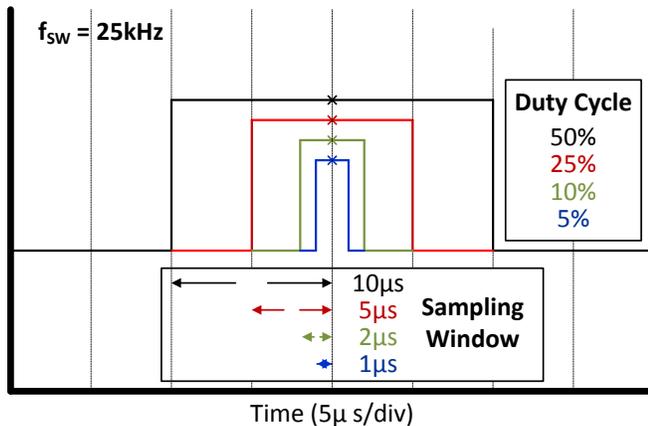


図 2. デューティ・サイクルのセトリング時間への影響

アンプがサンプリング期間内にセトリングできない場合、処理された波形が位相電流信号に比例しなくなり、モータ制御アルゴリズムの有効性が損なわれます。アンプの帯域幅と出力駆動能力が十分でない場合の出力を、図 3 に示します。入力電流信号によりアンプの出力がスイッチングされますが、比例した出力電圧レベルに到達してセトリングできないため、三角波が生成されます。

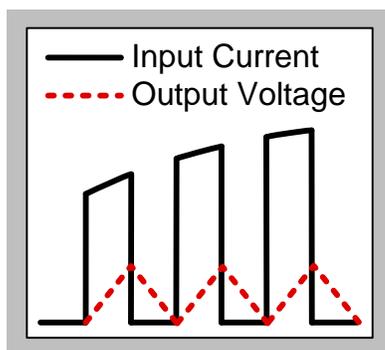


図 3. スルー・レートが制限された出力

与えられたセトリング時間の条件について、アンプの有効性を決定するパラメータは、スルー・レートと小信号帯域幅の2つです。スルー・レートの仕様は、急速に変化する入力信号への応答として、アンプの出力電圧がどれだけ迅速に変化できるかを示します。理想的なアンプの出力は、ローサイド位相レグの段階的な入力電流信号と一致します。スルー・レートは、この段階的な入力信号にアンプが応答するとき予測される遅延を示します。

アンプの小信号帯域幅も、段階的な入力状況に出力がどのように応答するかについて大きな役割を果たします。高ゲインの構成に配置されたアンプのオープンループ帯域幅は、対応するクロードループ・ゲインによって除算されるため、クロードループの小信号帯域幅は小さくなります。帯域幅が不十分なアンプを選択すると、セトリング時間が増大し、出力応答が減衰する結果になります。

INA301は高速な電流センシング・アンプで、高い出力段駆動能力と、 $4\text{V}/\mu\text{s}$ のスルー・レートをもち、 $20\text{V}/\text{V}$ のゲインで帯域幅が $550\text{kHz}$ です。このスルー・レートと高速な信号帯域幅の組み合わせと、内蔵している過電流コンパレータにより、INA301はローサイドの位相電流測定に理想的なデバイスです。

#### その他の推奨デバイス

必要なシステム要件に対応して、必要な性能や機能を提供する他のデバイスがあります。必要とされる測定精度が低く、デューティ・サイクルが50%に近いPWMスイッチングで動作するアプリケーションでは、INA199が最適なデバイスです。モータ位相とインラインで電流測定を行う必要があるアプリケーションでは、INA240が最適なデバイスです。

表 1. その他の推奨デバイス

Device	Optimized Parameter	Performance Trade-Off
INA199	パッケージ: SC70-6、QFN-10	低い帯域幅とデューティ・サイクル能力
INA240	インライン用に強化されたPWM除去	パッケージ・サイズ: TSSOP-8

表 2. 関連のTI TechNote

SBOA160	低ドリフトでPWM除去を搭載した、高精度のインライン・モータ電流測定
SBOA162	電流の測定による異常状況の検出
SBOA163	ハイサイド・モータ電流の監視による過電流保護
SBOA165	高電圧の電源レールにおける高精度の電流測定

## 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のみに使用し、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の、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の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。

## 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係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の、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。