

過電流保護のためのハイサイド・モータ電流モニタ

電流センシング製品、Scott Hill



高電力、高精度のモータ・システムは、共通して、モータ動作を高精度、高効率で制御するために、モータ制御回路への、速度、トルクや位置などの詳細なフィードバックを必要とします。その他の固定動作タスクなどのモータ制御アプリケーションでは、その動作を実行するために、同レベルの複雑なシステムは不要です。モータ制御回路へ頻繁に戻される情報には、モータの停止、モータの動作の意図しない障害物の存在、モータ巻線の短絡がないことなどを確認するものも含まれます。ダイナミック制御やアクティブモニタリングを実装した、より複雑なモータ制御システムでは、異常状態への逸脱事象をより素早く表示できることから、簡素な異常状態検出機能の追加も利点を提供します。

図 1 に示すように、電流センス・アンプを、DC電源とモータ駆動回路のハイサイド（高電圧側）の間に直列接続することで、モータに流れる全電流から異常状態を簡単に検出できます。小さな漏れ電流の検出のため、ローサイド（低電圧側）のリターン電流も計測できます。ハイサイドとローサイドの電流レベル差から、モータまたはモータ制御回路に漏れ経路が存在することがわかります。

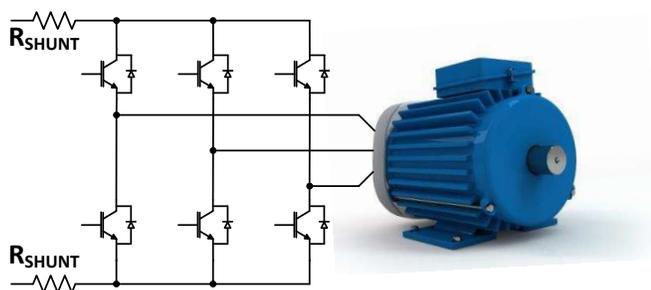


図 1. ローサイドとハイサイドの電流センシング

DC電圧レベルはモータの電圧定格によって変化することから、それらの電圧レベルに対応した複数の電流計測ソリューションがあります。5Vまでの低電圧モータ製品では、この電流モニタ回路の選択は大幅に簡単で、電流センス・アンプ、オペアンプ、差動アンプ、計装アンプなど複数の型式のアンプで、このレベルのコモンモード入力電圧範囲をサポートする電流計測機能を構成できます。

しかし例えば24Vや48Vなど高電圧のモータ製品向けの選択肢は、専用の電流センス・アンプや差動アンプなどに限られてきます。必要電圧は増加し、計測誤差が、異常状態を効果的に識別する機能に影響を与え始めます。大きな入力電圧レベルで動作するアンプの有効性を表す仕様の一つにCMR（コモンモード除去）性能があります。この仕様は、直接、アンプの入力回路が高い入力電圧の影響を除去する能力を表します。

理想的には、アンプは両方の入力ピンに同時に印加されたあらゆる電圧を完全に除去・打ち消し、入力ピン間の差動電圧だけを増幅しなければなりません。コモンモード電圧が上昇すると、アンプの入力ステージの漏れ電流が追加の入力オフセット電圧を発生します。モニタする入力レベル範囲が大きくなると、それに比例して計測誤差も大きくなります。

例えば、80dBのCMR仕様の差動アンプや電流センス・アンプは、計測中に、入力電圧レベルに対応した大きなオフセット電圧を発生します。80dBのCMR仕様は、入力電圧1Vあたり、100 μ Vのオフセット電圧が追加されることに相当します。

多くのデバイスの仕様は、例えば $V_{CM} = 12V$ 、 $V_S = 5V$ など、一定の動作条件で規定され、これは、特にCMRやPSRR（電源変動除去比）の初期仕様のベースラインを確定します。例えば、60Vのコモンモード電圧が印加されている場合、 $60V - 12V = 48V$ の V_{CM} 変化がベースラインから発生します。80dBのCMRで48Vの変化は、デバイスのデータシートに記載された入力オフセット電圧仕様に、4.8mVのオフセット電圧を追加することになります。

補正手法を採用するアプリケーションでは、この追加オフセット電圧の問題は軽減されますが、システム校正によってオフセット変化を補正できないようなアプリケーションでは、より高いコモンモード電圧除去性能を備えたアンプの選択が必要になります。

INA240はデバイスの全入力範囲と全動作温度範囲で-4V~+80Vのコモンモード入力電圧範囲と120dB(ワーストケース)のCMR(同相除去)仕様を持つ、専用の電流センシング・アンプです。120dBのCMRは、コモンモード電圧が1V変化するごとに、入力オフセット電圧が1 μ V増えることに対応します。温度変化がアンプのコモンモード電圧除去性能に与える影響については、多くの製品のデータシートにおいて十分な説明がないため、室温での仕様のほかに、追加評価を行う必要があります。INA240は、-40 $^{\circ}$ C~+125 $^{\circ}$ Cの温度範囲全体で120dBのCMRを保持することが保証されています。図2に示すように、INA240の動作温度範囲の代表的なCMR性能は135dBであり、1Vの変化あたりの入力オフセット電圧の増加は0.2 μ V未満となっています。

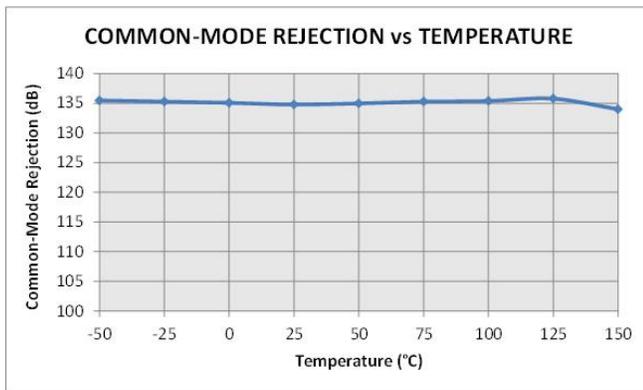


図 2. 動作温度に対するコモンモード除去性能

システム・コントローラによっては、電流センス・アンプの計測結果をシステム動作の評価に使う能力を備えている物もあります。電流値の情報を、前もって規定された動作スレッシュホールド値と比較することで、異常状態の検出が可能になります。ハイサイドの電流センス・アンプに接続されたコンパレータは、こういった事象を簡単に検出してシステムに迅速に警報を発生することができ、それに対応した動作が可能になります。

図3に、モータ駆動回路に給電しているハイサイドレールの電流を計測し、異常状態のモニタと検出をするためのシグナル・チェーンを示します。計測された入力電流に比例した出力信号は、過電流事象を検出するコンパレータのほかに、A/Dコンバータにも接続されます。このコンパレータは、前もって規定されたリファレンス電圧と電流レベルに対応する入力電圧を比較し、入力信号がスレッシュホールドを超えた場合、警報を発生します。

過電流検出回路で重要な要件の一つは、異常状態を迅速に検出し、応答することです。INA240は100kHzと2V/ μ sの信号帯域幅によって、入力電流信号を高い精度で計測して増幅し、数 μ s以内に短絡状態の警報を発生するための高速コンパレータを駆動できます。この高速応答特性によって、意図しない過電流の流れ込みから、その他の重要なシステム構成部品の損傷を確実に防止できます。

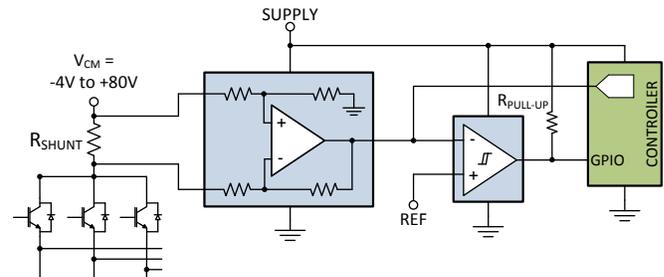


図 3. ハイサイドの過電流検出

その他の推奨デバイス

より高い信号帯域幅や、より小型のパッケージを必要とする高電圧計測アプリケーション向けにはLMP8640を用意しています。より高電圧のアプリケーション向けには、 ± 15 V電源動作で、最大 ± 275 Vのコモンモード電圧へのインターフェイスを提供するほか、90dBのCMR(1Vの入力変化に対して31.6 μ Vの入力オフセット電圧)特性のINA149高性能差動アンプがあります。また、INA301はコンパレータ内蔵で、最大36Vのコモンモード電圧の過電流事象の検出に理想的な高精度電流センス・アンプです。

表 1. その他の推奨デバイス

Device	Optimized Parameter	Performance Trade-Off
LMP8640HV	Package: SOT23-6, Signal Bandwidth	Accuracy
INA149	V_{CM} Range: ± 275 V	CMR, Gain
INA301	On-Board Comparator; 35 μ V V_{OS}	V_{CM} : 0V to 36V

表 2. 関連のTI TechNote

SBOA160	高精度、低ドリフトのインライン・モータ電流の測定
SBOA161	三相システム用の低ドリフトのローサイド電流測定
SBOA162	電流測定による範囲外状況の検出
SBOA165	高電圧電源レールの正確な電流測定

IMPORTANT NOTICE FOR TI DESIGN

INFORMATION AND RESOURCES

Texas Instruments Incorporated ("TI") technical, application or other design advice, services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using any particular TI Resource in any way, you (individually or, if you are acting on behalf of a company, your company) agree to use it solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources.

You understand and agree that you remain responsible for using your independent analysis, evaluation and judgment in designing your applications and that you have full and exclusive responsibility to assure the safety of your applications and compliance of your applications (and of all TI products used in or for your applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. You represent that, with respect to your applications, you have all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. You agree that prior to using or distributing any applications that include TI products, you will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

You are authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING TI RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY YOU AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

You agree to fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of your non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

This Notice applies to TI Resources. Additional terms apply to the use and purchase of certain types of materials, TI products and services. These include; without limitation, TI's standard terms for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), [evaluation modules](#), and [samples](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm) (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>).

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated