

バイポーラ双方向電流シャント・モニタ

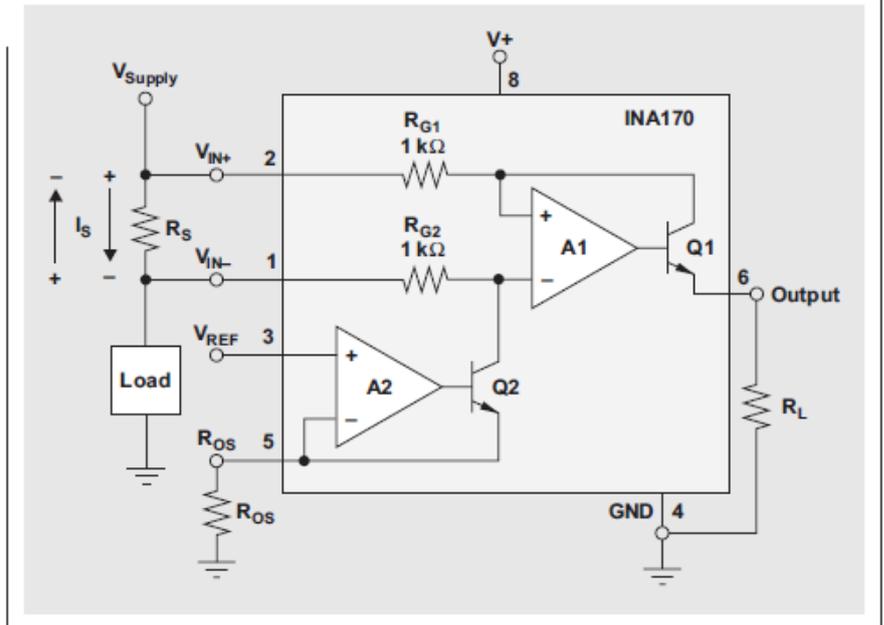
Thomas Kuehl

Senior Applications Engineer VSupply

電流シャント・モニタICは、計測アンプ製品ファミリの発展形です。これらは、回路電流を監視する容易な方法を提供し、昔の電流測定に普及していた、高感度アナログ電圧計および外部シャント抵抗と類似性を持ちます。アナログ電圧計は、シャント抵抗に電流が流れる際に発生する小さな電圧降下を表示していました。電流シャント・モニタの場合は、電圧計の代わりに特殊な計測アンプを採用して、シャント抵抗の両端電圧を増幅して出力します。アナログ電圧計は、一般的にフルスケールが電圧50mVまたは100mVで設計されており、電流シャント・モニタも同程度の入力電圧範囲です。アナログ計器の目盛表示と異なり、電流シャント・モニタは測定電流値に対応する電圧、電流、またはデジタル・コードを出力します。

電流シャント・モニタは、ハイサイドまたはローサイド回路用に設計された多種多様なものが入手可能であり、そのうちのいくつかは異なる機能を提供しています。多くの場合、電流シャント・モニタの電源電圧範囲と同相入力電圧範囲は、互いに関連がありません。これにより、入力電圧とは無関係に、都合の良い電源電圧で電流シャント・モニタを駆動できます。多くの用途では、監視する必要があるのは一方向に流れる電流のみで、INA138/168等の電流シャント・モニタがそれに相当します。単一方向のみに流れる電流用モニタを、単方向電流シャント・モニタと呼びます。回路電流の向きが定まらない用途での電流監視には、双方向電流シャント・モニタが必要になります。

双方向電流シャント・モニタの一例がINA170です。INA170は単電源電圧+2.7~+40Vからの電力で動作し、+2.7~+60V間の任意の電圧を入力同相モード電圧(CMV)とすることが可能です。入力CMVは、電流シャント・モニタの入力に印加される外部電圧であり、出力側の負荷に電流で出力します。シャント抵抗を通過する電流がゼロの時は、理想値では2つの電流シャント・モニタの入力がともに同じCMV電位となり、シャント抵抗を電流が流れると差電圧が発生し、入力間はその分だけ電位が離れます。この差電圧は、電流シャント・モニタのゲイン係数によって増幅されます。

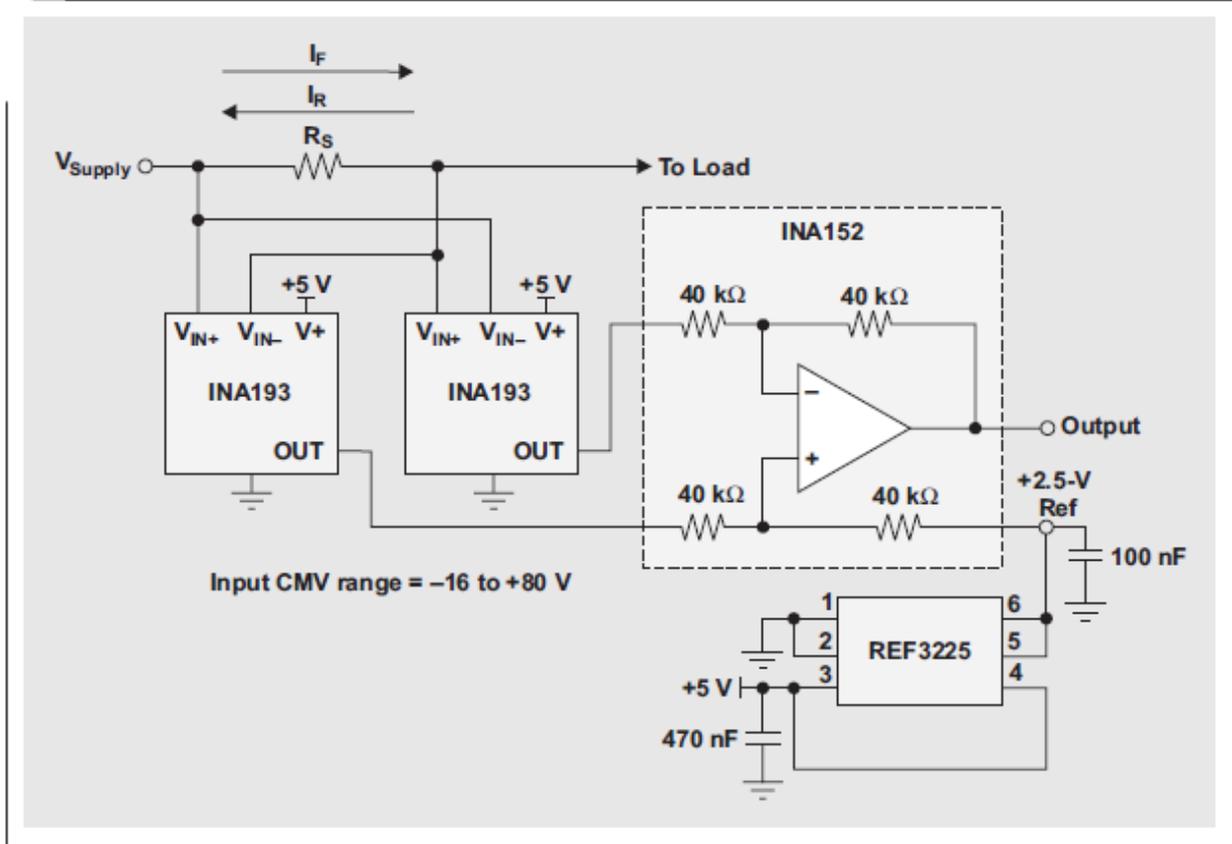
図1 双方向電流監視用に接続されたINA170


双方向という性質により、INA170は2入力間の電位が相対的に正、あるいは負となる電流を監視することが可能です。双方向電流フロー・システムを簡単に解説すると、「モータが等速回転または加速時には、電流をバッテリーから引き込み、減速時には発電機として働き電流をバッテリーに戻す」となります。図1は、双方向電流監視用に接続されたINA170です。

以上のように、単方向または双方向の入力電圧特性とCMV範囲は、電流シャント・モニタの2つの重要な動作パラメータとなります。動作CMV範囲は、一般に0V付近から仕様で定められた最大正電圧に渡りますが、電流シャント・モニタによっては負の電圧範囲を含みます。例えば、電流シャント・モニタ・ファミリーINA193~INA198では、CMV範囲が-16~+80Vとなっています。これらのデバイスは単方向であるため、入力電圧が負電圧であっても、正しい方向に電流が流れるためには、出力はより負の電圧でなければなりません。単方向電流シャント・モニタIC2つを相互接続して、CMV範囲が-16から+80Vまで拡張する双方向電流シャント・モニタを作成することができます。計測アンプINA152と基準電圧+2.5V(reference)を追加して、回路を完成させます。双方向電流シャント・モニタINA193用の回路図を図2.に示します。

この資料は、Texas Instruments Incorporated (TI) が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ (日本TI) が英文から和文へ翻訳して作成したものです。資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。製品のご検討及びご採用にあたりましては、必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。TI及び日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにも関わらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

図2. 双方向電流シャント・モニタとして構成された2つのINA193 IC



最近ある顧客が、DCモータの電流監視が必要なアプリケーションについての説明をしてくださいました。それはシステム電源が電流シャント・モニタの電源として利用できる車載アプリケーションの話でした。モータが順方向に正常動作している場合と、逆方向に動作して負の逆EMFが形成される場合の電流レベルを測ることが、その顧客の要望でした。図2の回路はこの用途に適切ですが、その顧客は、精度をある程度犠牲にしなければならないとしても、部品数とコストを最小限に抑えることが希望でした。このため、別の手段が必要になりました。

最初に述べたように、電流シャント・モニタは計測アンプの発展形です。ファミリには計装用グレードのオペアンプと、4つ以上の精密にマッチングした抵抗で構成される差動アンプ方式のものも含まれます。差動アンプでは、2つの入力に印加された電圧の差を固定ゲインにより増幅します。差動アンプのゲインと同相除去比は、ICチップに

搭載された4つの薄膜抵抗に高精度レーザー・トリミングを行うことによって最適化されます。一般的に入手可能なのは固定ゲインが1:1、10:1、100:1 V/Vの差動アンプですが、0.2 V/Vという固定ゲインを持つ、INA159というユニークな製品もあります。INA159の基本的な役割は、バイポーラ出力電圧レンジ±10Vを持つセンサと、ユニポーラ入力電圧レンジ0~5Vを持つ最近のA/Dコンバータとの間で、信号のレベル変換をすることです。INA159は、正と負の両極性の差動電圧を感知できる真の差動アンプです。その入力CMV範囲は、+5Vの単電源で駆動されている場合でも-12.5Vから+17.5Vに渡ります。これらの機能により、INA159をバイポーラ双方向電流モニタとして使用することが可能になります。モニタ回路の全体的なゲインを増加させるために、INA159の後段に計測アンプまたはオペアンプをひとつ追加する必要があります。

図3 二極性双方向電流シャント・モニタINA159の回路

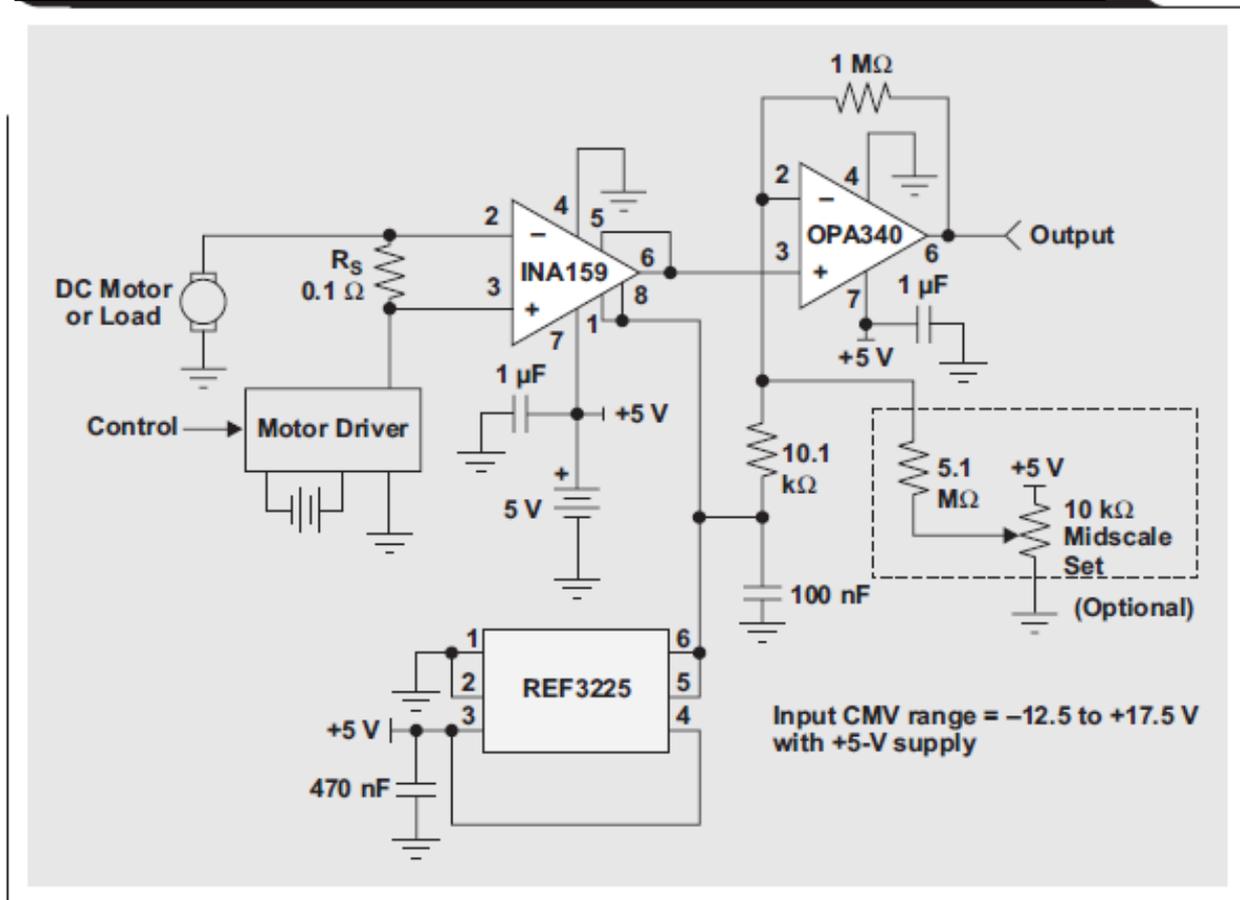
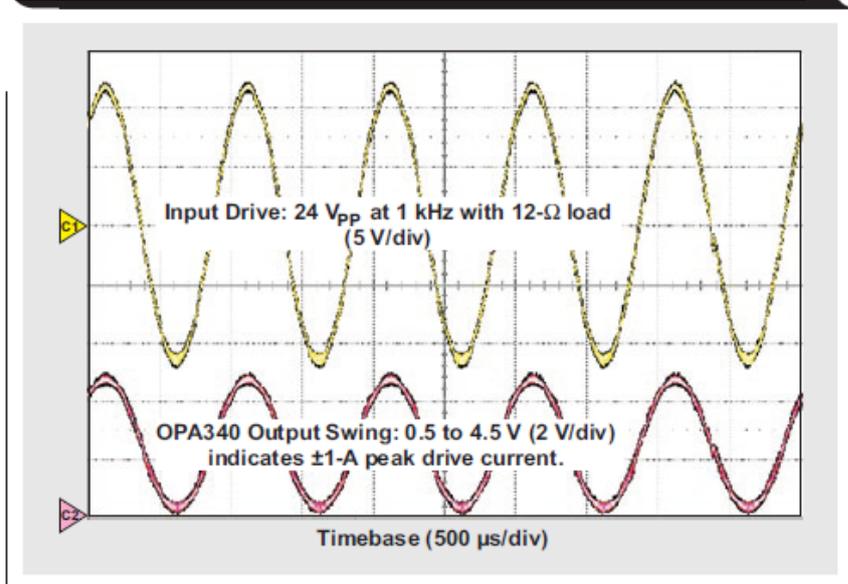


図3は、後段にCMOSオペアンプOPA340のゲイン段が追加された、INA159による電流シャント・モニタです。OPA340が選択されたのは、ほぼレール・トゥ・レール入力／出力のスイング電圧範囲により、0Vから5Vの極限の出力が許容できるためです。回路全体のゲインを+20 V/Vにしたい場合は、INA159のゲインは+0.2 V/Vなので、OPA340のゲインは+100 V/Vに設定し、感度を増大させるために、OPA340の閉ループ・ゲインをより高くすることもできますが、DC誤差と帯域幅が劣化します。また、シャント抵抗 R_s を 0.1Ω より大きな値にすることもINA159の出力を増大できますが、必然的に増大する電圧降下と抵抗の消費電力についての事前評価が必要です。

R_s に電流が流れていない場合、INA159の電流シャント・モニタ回路から出力される中心電圧は約+2.5Vで、OPA340の出力の電圧レベルもほぼ同じ

になります。図4は、入力回路が $24V_{PP}$ 、正弦波1kHzにより駆動されているときの、INA159+OPA340による電流シャント・モニタの出力応答を示すオシロスコープ画面で、入力

図4. 電流シャント・モニタ回路の入力/出力波形



電圧波形は上側のチャンネルです。入力回路の抵抗負荷は12Ωであるため、ピーク電流のレベルは±1Aです。下側の波形は、0.5から4.5VまでスイングしているOPA340の出力電圧であり、±1A近いピーク電流が示されています。OPA340段には、センター・スケールを合わせる手動式の調整回路が含まれています。センター・スケール電圧を正確に2.5Vにする必要がない場合は、この回路を省けます。INA159とOPA340を結合すると、100kHzを優に超える帯域幅が得られるため、この回路を多様なAC電流モニタ・アプリケーションで使用できるようになります。

図5は、負荷時のDCパンケーキ・モータ（薄型モータの呼称）の電流を監視している、INA159による電流シャント・モニタのオシロスコープ画面です。モータは低速の9V_{PP}、正弦波0.1Hzで駆動されており、電機子の方向をサイン関数に追従させることにより、半サイクルごとに方向が反転するようになっています。上側の駆動波形は、意図的に1A以上の

電流をモータが引き込むように調整したものです。下側の波形は、モータ電流がピークで1Aを超えた場合のOPA340の出力電圧です。OPA340の出力に、出力電圧スイングの限界としてのクリッピングの痕跡がいくつか見えます。部品定数の選定を正しく行えば、この特殊なモータ電流レベル監視用の回路を最適化できます。いずれにせよこの図を見れば、モータ電流監視アプリケーションにおけるINA159の有用性が分かります。

電流シャント・モニタINA159の確度は、測定の結果、4.5%よりも少し良い値となりました。標準的な1%抵抗が使用され、特殊な部品は選定されていません。OPA340回路を、INA326等の高精度の単電源計測アンプに置き換えれば、回路の確度を向上させることもできます。ただしその場合は、AC帯域幅が小さくなり、コストが上がることになります。

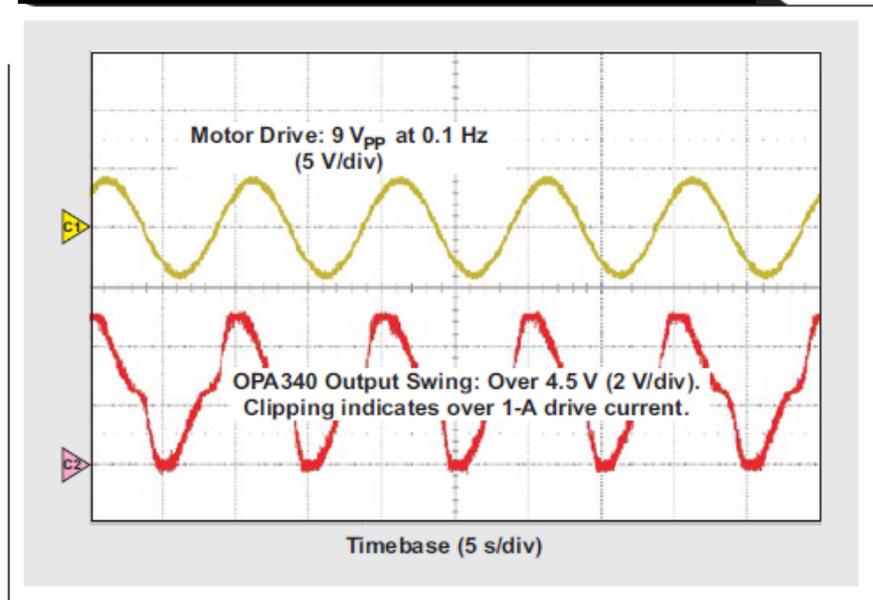
関連ウェブサイト

amplifier.ti.com

www.ti.com/sc/device/partnumber

“partnumber”という文字を、INA138、INA152、INA159、INA168、INA170、INA193、INA326、OPA340で置き換えてください。

図5. DCモータの電流シャント・モニタ回路の入力/出力波形



ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは承認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上