

IGBTゲート・ドライバの電源は最適化されていますか？

SanjayPithadia

要 約

IGBT(絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ)は、高電流の三相ACモーターで使用されています。このアプリケーション・レポートでは、IGBT用のゲート駆動電源の理論および要件について説明します。また、絶縁要件と、IGBT駆動電力の正確な値の計算についても説明します。

目 次

内 容

1 概要	1
2 正しい制御電圧の選択.....	2
3 絶縁要件	3
4 IGBT駆動電力の計算	4
5 参考資料	5

図目次

1 産業用モーター・ドライブの標準構成.....	2
2 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ(すべてのゲート・ドライバに対して個別の絶縁型電源から給電).....	3
3 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ(下側の各ゲート・ドライバに対して共通の電源から給電).....	4
4 ゲート電力計算用のIGBTとゲート駆動回路.....	4

1 概要

低電力のDCモーターは日常的にさまざまな場所で使用されているため、多くの人々にとって馴染みのある存在です。一方、より大型の産業用ACモーターは、実際に見かける機会はそれほど多くないかもしれませんが、自動車の自動組み立てラインや、毎日利用するエレベータの昇降機など、目に見えないところで稼働しています。これらの高電力モーターは、まったく異なる要件を持つ電気回路を使用し、ずっと大きな電流によって駆動されています。三相インバータは可変周波数ドライブに使用され、ACモーターの速度の制御や高電力アプリケーション用に使用されます。三相インバータの各相のハーフブリッジ構成では、IGBTが使用されています。ハーフブリッジのハイサイドおよびローサイドIGBTスイッチはそれぞれ、交流モードのモーター・コイルに正および負の高電圧DCパルスを加えるために使用されます。単一の絶縁型ゲート・ドライバICが各IGBTのゲートを駆動し、高電圧出力を低電圧の制御入力から電氣的に絶縁しています。上側(ハイサイド)IGBTのコレクタは、非常に高電圧のDCバスに接続されます。また、トランジスタのVCEを指定の制限範囲内に維持するために、このIGBTのエミッタはグランドを基準として浮遊電位になっています。そのため、絶縁型ゲート・ドライバを使用して、制御回路からの低電圧PWM入力をIGBTの高電圧から絶縁する必要があります。絶縁型ゲート・ドライバは、下側(ローサイド)IGBTの制御にも使用されます。

全ての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

SLLA354 翻訳版

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。

製品のご検討およ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および日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、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。

最新の英語版資料
<http://www.ti.com/lit/slla354>

図1に、産業用モーター・ドライブの標準構成を示します。

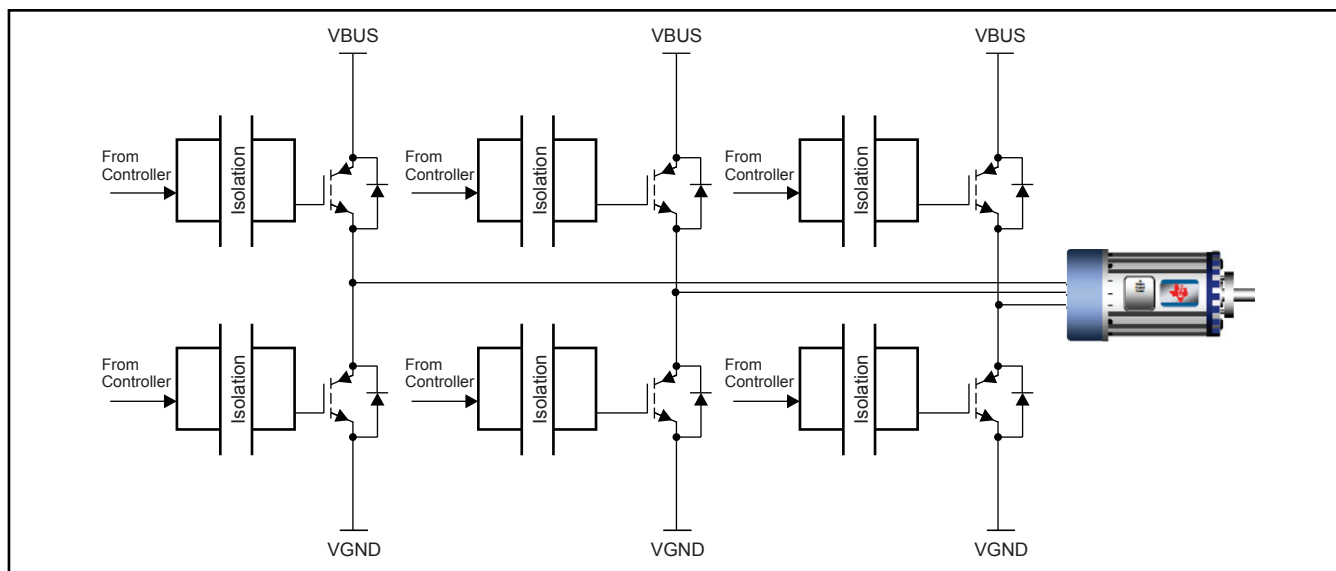


図 1. 産業用モーター・ドライブの標準構成

IGBTゲート・ドライバICでは、同時にいくつもの機能を実行する必要があります。IGBTのターンオン中には、ゲート容量が充電され、IGBTのスレッシュホールド電圧 (V_{GE_on}) に達すると、逆方向伝達容量 (ミラー容量) も充電されます。IGBTをオフにするには、ゲート容量を放電する必要があります。また、スレッシュホールド電圧 (V_{GE_off}) に達した時点で、逆方向伝達容量も放電する必要があります。理論的には、ターンオン電圧およびターンオフ電圧は少なくともスレッシュホールド・レベルを通過する必要がありますが、実際には、これらの値はアプリケーションごとに、より適した他の電圧で置き換える必要があります。一般に、IGBTは、公称15Vの正ゲート電圧でオンになります。

通常、IGBTをオフにするには、ゲートに0Vが印加されれば十分です。ただし、(ハーフブリッジの反対側のIGBTがオンになることによる) ミラー容量での電圧の変化 (dV_{CE}/dt) によって、オフ状態のIGBTのゲートが再度オンになるのを防ぐために、多くの場合は、ゲート・ドライバICの V_{EE} に大きな負の電圧 (-8V~-15V) が印加されます。この制御電圧は正しく選択することが非常に重要です。

2 正しい制御電圧の選択

ゲートとエミッタの間に (スレッシュホールドを超える) 正の制御電圧が印加されると、IGBTがオンになります。IGBTのトランスコンダクタンスにより、コレクタ電流はゲート-エミッタ間電圧の関数となります。また、飽和電圧に対しても依存性があります。つまり、ゲート-エミッタ間電圧が高いほど、より大きなコレクタ電流が流れることが可能になり、結果の飽和電圧は低下します。 $V_{CEsat} = f(I_C, V_{GE})$ によって決まる導通損失を可能な限り最小にするためには、正の制御電圧を高くすることが望まれます。一方、ゲート-エミッタ間電圧が高いと、障害発生時に大きな短絡電流が流れる可能性があります。したがって、通常動作中の導通損失と、障害発生時の最大短絡電流との間に、妥協点を見つける必要があります。IGBTのメーカーでは、ゲート電圧の特性値として15Vを指定しており、これが最も一般的な値です。絶対最大値を超えることは許容されません。超えた場合には、ドライバICに内部損傷が発生したり、短絡時に破壊的な大電流が流れるおそれがあります。

0Vでスイッチオフする場合には、次の2つの理由のいずれかによって、偶発的なターンオンが発生する可能性があります。

- ミラー容量のフィードバック効果 (主に、ハーフブリッジ内の他のIGBTがオンまたはオフになるときのコレクタ-エミッタ間電圧の変化に起因)
- エミッタの浮遊インダクタンスのフィードバック効果 (主に、負荷電流の変化 di_L/dt に起因)

負の制御電圧を印加してIGBTをオフにした場合には、再度オンにするために必要なゲート電圧が、前述のミラー効果によって生じる電圧よりもずっと高くなります。アプリケーションにもよりますが、最も一般的なターンオフ電圧の範囲は-5V~-10Vです。これは主に以下の理由によります。

- 必要なドライバ電力が低い。これは、負から正へのゲート電圧の上昇幅に直接比例します。
- ドライバICの提供状況。多くのドライバICはCMOSまたはBiCMOS技術で開発されているため、正電源電圧と負電源電圧の間でのブロック能力が最大30Vに制限されます。電源電圧の公差を考慮に入れ、最大電圧制限に対する十分な安全余裕を確保するために、 V_{EE} 電源レールで通常提供される負のゲート電圧は-5V~-10Vの範囲になります。

3節では絶縁要件について詳述し、4節では正しいIGBT駆動電力の計算について説明します。

3 絶縁要件

すべての産業用モーター・ドライブでは、入力回路(低電圧)と出力回路(高電圧)の電位分離を保証する必要があります。低電圧側は制御回路に接続される一方、高電圧側はIGBTに接続されます。これらの間には絶縁が必要となります。これは、上側IGBTのエミッタ電位がDCバスのDC+電位とDC-電位の間でスイッチングされるためです(これらの電位は数百~数千ボルトに達する場合があります)。アプリケーションに応じて、テスト電圧とともに、クリアランスおよび沿面距離の対応する規格に準拠する必要があります。一般的に使用される規格には、IEC60664-1、IEC60664-3、IEC61800-5-1、EN50124-1などがあります。

最も単純な場合には、ハーフブリッジの上側IGBTを下側IGBTから分離するだけで十分です。マイコンもDC-電位を基準としている場合には、これは一般に可能です。アプリケーションによっては、さらに、ユーザー・インターフェイスとの相互接続も分離することが推奨または必須となります。これは主に、ノイズや同相モード・グランドによる影響に対して基本的な絶縁を提供するためです。高電力アプリケーションでは、図2に示すように、各IGBTでそれぞれ分離を行います(各ドライバに固有の電源を使用)。

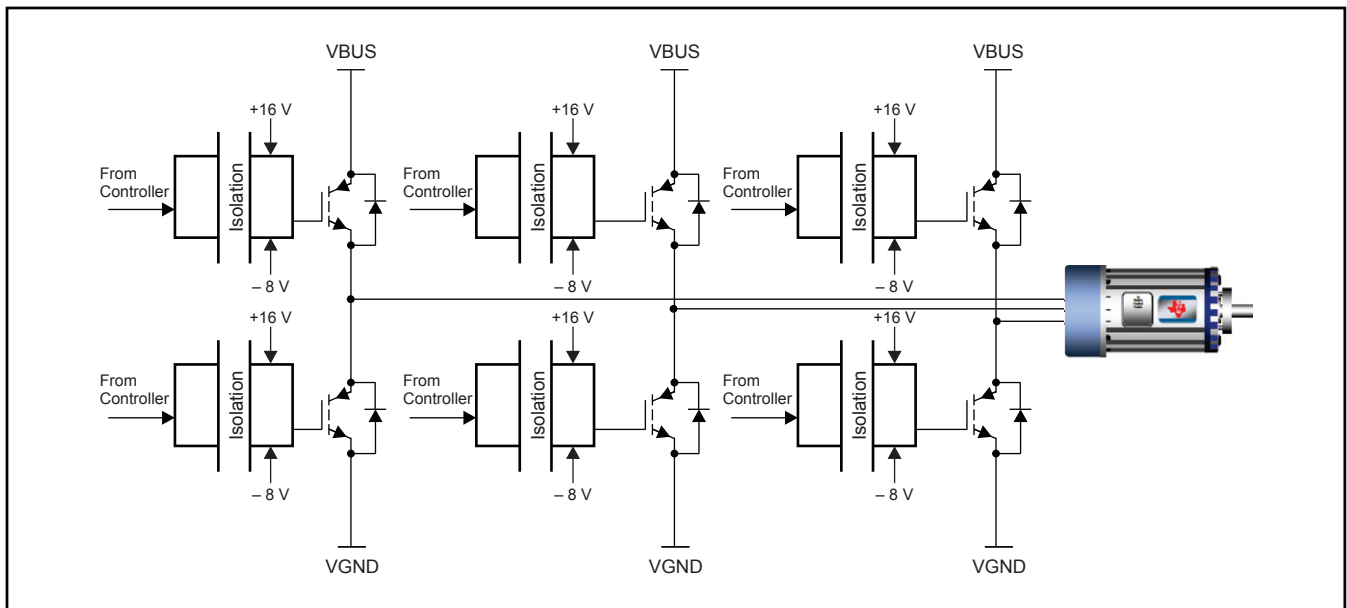


図 2. 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ(すべてのゲート・ドライバに対して個別の絶縁型電源から給電) [1]

エミッタがDC-電位となるスイッチに対しては、図3に示すように、電源の複雑さを軽減できます。

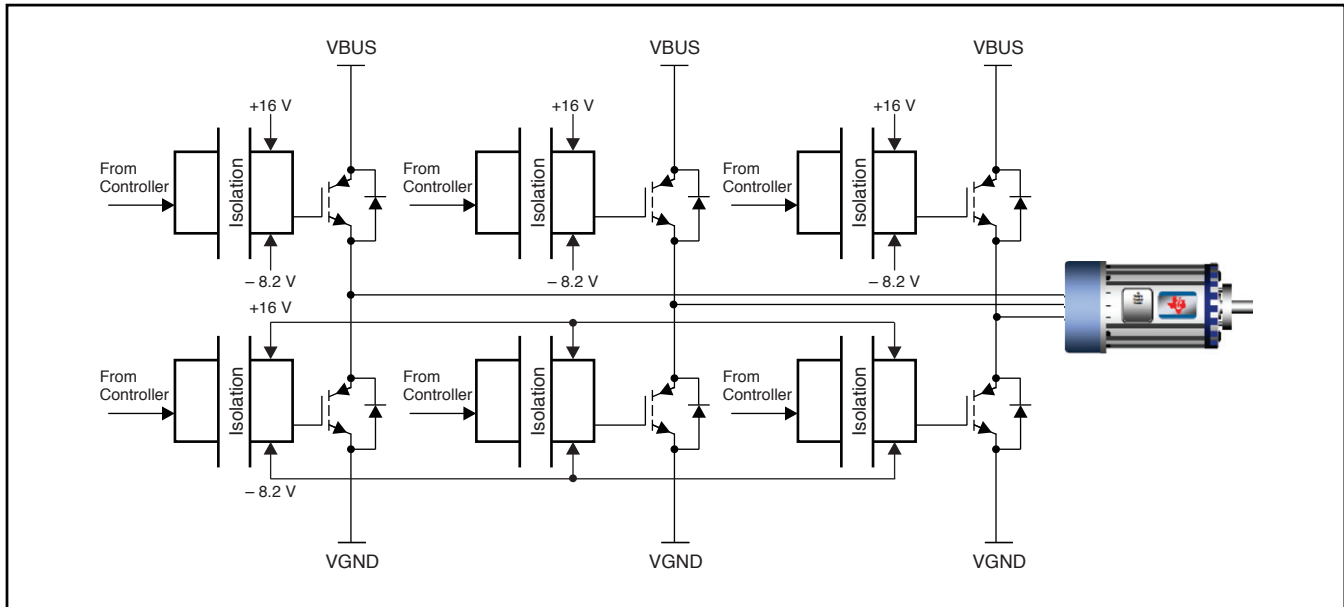


図 3. 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ(下側の各ゲート・ドライバに対して共通の電源から給電) [2]

4 IGBT駆動電力の計算

IGBTの駆動中に、2つのゲート電圧レベル間で遷移するためには、ゲート・ドライバ、ゲート抵抗、IGBTによって形成されるループ内で、特定の大きさの電力を消費する必要があります。式 (1) は、一般に駆動電力 “PDRV” として知られています。この駆動電力は、ゲート電荷 Q_{GATE} 、スイッチング周波数 f_{IN} 、および実際のドライバ出力電圧スイング ΔV_{GATE} から計算されます。

$$P_{DRV} = Q_{GATE} * f_{IN} * \Delta V_{GATE} \quad (1)$$

図4に示すように、外部コンデンサ C_{GE} (補助ゲート・コンデンサ) が存在する場合は、ゲート・ドライバでこのコンデンサも充電および放電する必要があります。

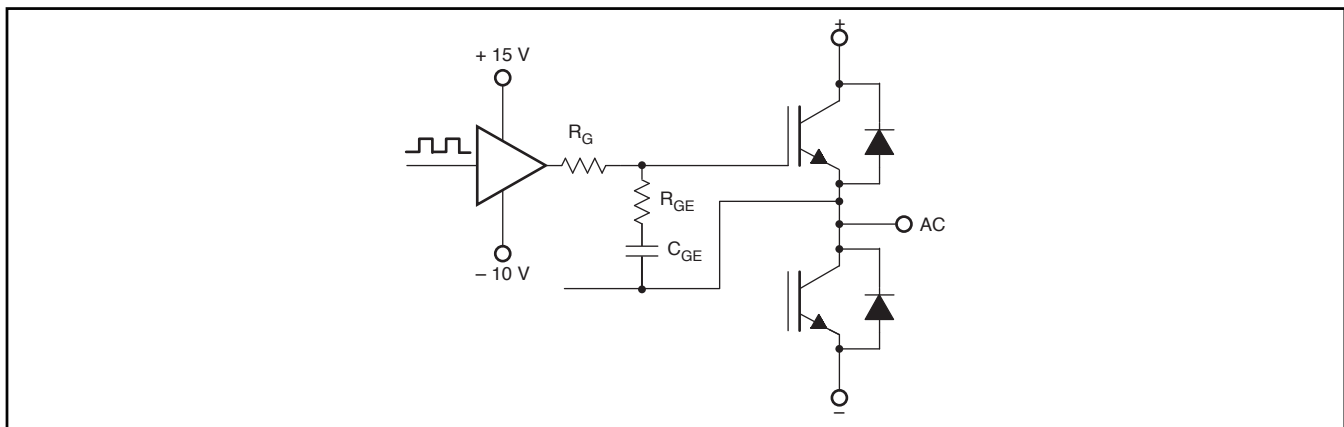


図 4. ゲート電力計算用のIGBTとゲート駆動回路

C_{GE} が1サイクル中に完全に充電および放電される場合には、 R_{GE} の値は必要な駆動電力に影響を与えません。必要な駆動電力値は、式 (2) で示されます。

$$P_{DRV} = (Q_{GATE} * f_{IN} * \Delta V_{GATE}) + (C_{GE} * f_{IN} * \Delta V_{GATE}^2) \quad (2)$$

スイッチング遷移が完全なオンと完全なオフの間で行われる限り、駆動電力はゲート抵抗またはデューティ・サイクルの値に依存しないことに注意してください。また、これらの式は、非共振ゲート駆動についてのみ有効です。これはIGBTによって必要とされる合計の駆動電力ですが、IGBTを駆動しているゲート・ドライバも電力を消費します。ゲート駆動電力の最終的な値を求めるには、この消費電力も加算する必要があります。

$$P_{DRV} = (Q_{GATE} * f_{IN} * \Delta V_{GATE}) + (C_{GE} * f_{IN} * \Delta V_{GATE}^2) + P_{driver} \quad (3)$$

5 参考資料

1. Isolated IGBT Gate-Drive Push-Pull Power Supply with 4 Outputs Design Guide (TIDU355)
2. Reinforced Isolated IGBT Gate-Drive Flyback Power Supply With Eight Outputs Design Guide (TIDU411)

ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い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。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。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及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、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、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又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関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又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おりません。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 が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを含みません。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、又は 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なければならない場合があります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又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、且つ不公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負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治療措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしていると特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2016, 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。
- マウンタやはんだ付け設備等、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