

## TI Designs

# 広入力、絶縁型IGBTゲート駆動Fly-Buck™電源、 三相インバータ用



## TI Designs

TI Designsは、システムをすばやく評価してカスタマイズするために必要な、手法、テスト、デザイン・ファイルなどの基盤を提供し、開発期間の短縮に役立ちます。

## デザイン・リソース

TIDA-00199	デザイン・ページ
LM5160	製品フォルダ
ISO5500EVM	ツール・フォルダ
C2000 Piccolo LaunchPAD™	ツール・フォルダ



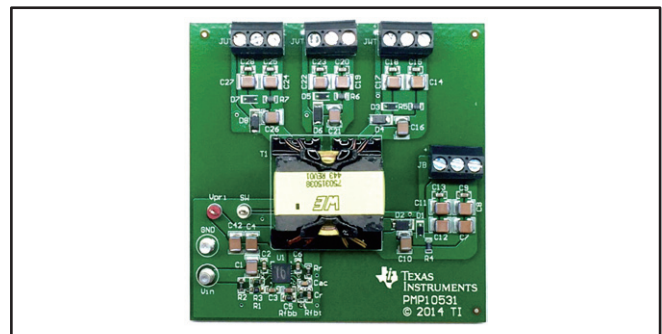
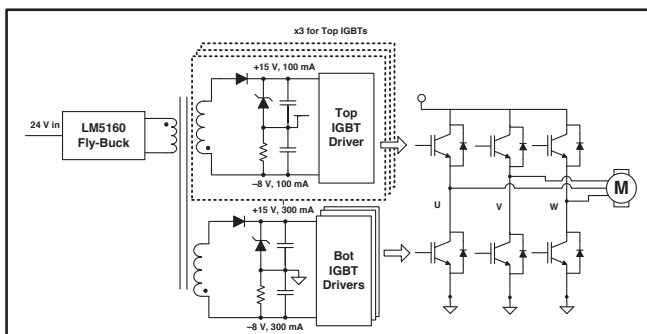
[ASK Our E2E Experts](#)  
[WEBENCH® Calculator Tools](#)

## デザインの特長

- IGBT(絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ)ゲート駆動用の絶縁型電源
- 三相インバータ用の6個のIGBTゲート・ドライバをサポート(ハーフブリッジ構成の各アーム)
- 三相インバータの各IGBTに対する正および負の低リップル(200mV未満)バイアス出力: 15Vおよび-8V
- 24V ±20%の入力範囲で動作
- Fly-Buckトポロジにより、1次側レギュレーションを備えた、設計しやすい多出力絶縁型電源ソリューションを実現
- 出力電力: 2.3W(IGBTあたり)
- 平衡全負荷でピーク効率82%
- 最大6Aのピーク・ゲート駆動電流をサポートする出力コンデンサ定格
- IGBTを駆動するTIの絶縁型ゲート・ドライバISO5500によって検証済みの設計

## 主なアプリケーション

- 可変速ACおよびDCドライブ
- 産業用インバータおよびソーラー・インバータ
- UPSシステム
- サーボ・ドライブ
- IGBTベースの高電圧DC (HVDC) システム



An IMPORTANT NOTICE at the end of this TI reference design addresses authorized use, intellectual property matters and other important disclaimers and information.

すべて商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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。

TIDU670A 翻訳版

最新の英語版資料  
<http://www.ti.com/lit/tidu670>

# 1 システム説明

TIDA-00199リファレンス・デザインは、IGBT(絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ)ゲート・ドライバに対して必要な正および負の電圧レールを提供します。IGBTは、可変周波数ドライブの三相インバータでACモーターの速度を制御するために使用されます。このリファレンス・デザインは、Fly-Buckトポロジを使用し、非レギュレーションの24V DC入力で動作するように設計されています。Fly-Buckコンバータ回路は、1次側の降圧コンバータと、フライバックに似た2次側とを組み合わせたと考えることができます。トランスの結合巻線を通して、絶縁された出力が生成されます。Fly-Buckは1次側レギュレーションを備え、フォトカップラによるフィードバックや補助巻線なしで良好なクロスレギュレーションを実現できます。このリファレンス・デザインは、広入力の一一定オン時間 (COT)同期降圧レギュレータであるLM5160を使用して実装されています。レギュレーションが厳密でない24V DC入力を使用して動作でき、6個のIGBTゲート・ドライバの駆動用に15Vと8Vの出力ペアを4組生成します。

このデザインでは1個のトランスを使用して、三相インバータの3つのアームすべてに対する電源レールを生成します。上側IGBT用の電圧レールはすべて絶縁され、下側IGBT用の電圧レールはすべて互いに接続されています。

三相インバータは可変周波数ドライブとして機能し、ACモーターの速度の制御、およびHVDC送電などの高電力アプリケーション用に使用されます。6個の絶縁型ゲート・ドライバを使用した三相インバータの標準アプリケーション例を図1に示します。各相で1個のハイサイドおよび1個のローサイドIGBTスイッチを使用して、交流モードのモーター・コイルに正および負の高電圧DCパルスを印加します。高電力IGBTでは、動作を制御するために絶縁型ゲート・ドライバが必要です。各IGBTは1個の絶縁型ゲート・ドライバによって駆動され、高電圧出力が低電圧の制御入力からガルバニック絶縁されています。上側IGBTのエミッタはフローティングになるため、絶縁型ゲート・ドライバの使用が必須です。高電圧回路を低電圧の制御回路から絶縁するために、絶縁型ゲート・ドライバを使用して下側IGBTを制御しています。

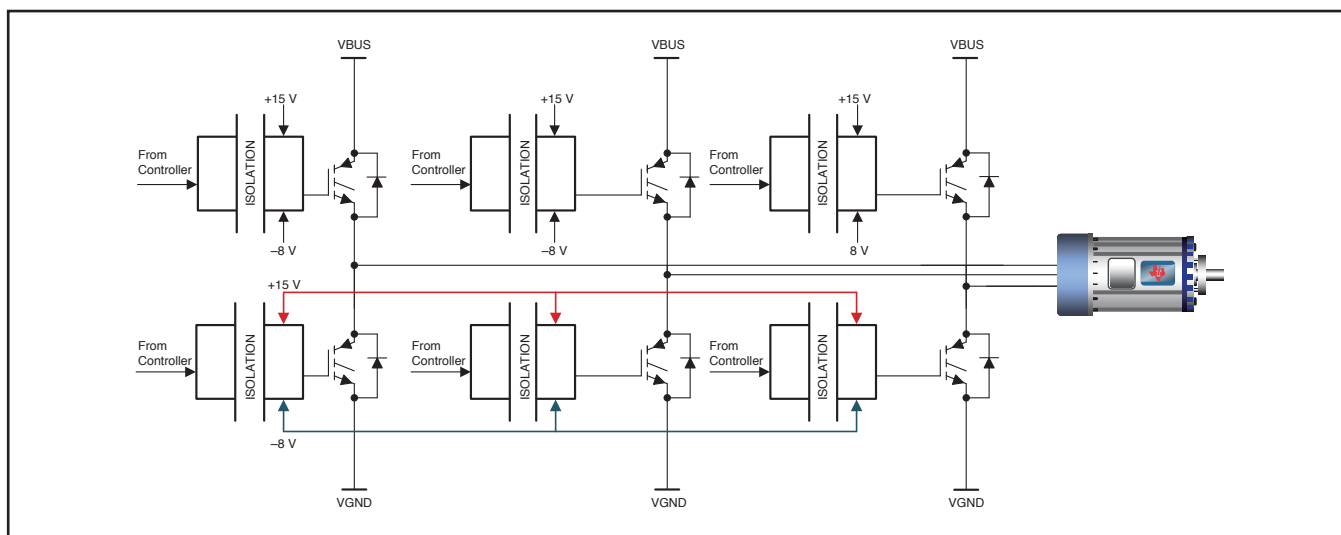


図 1. 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ

## 1.1 ゲート駆動電源要件

導通損失を減らすために、IGBTのゲートには、実際のゲート・スレッショルド電圧よりもずっと高い電圧が印加されます。一般に、 $V_{CE(on)}$ を低減するためにゲートには15V~18Vが印加されます。

IGBTは入力インピーダンスの高い少数キャリア・デバイスであり、大きなバイポーラ電流容量を備えています。IGBTのスイッチング特性は、パワーMOSFETの特性とよく似ています。同一の条件を仮定すると、IGBTとMOSFETはターンオン時には同じように機能し、いずれも同様な電流上昇時間および電圧降下時間を持っています。ただし、ターンオフ時のスイッチング電流の波形はそれぞれ異なります。

スイッチングの終わりに、IGBTでは後続電流が流れますが、これはMOSFETには存在しません。この後続電流は、IGBTのバイポーラ出力部のベースにトラップされた少数キャリアによって生じ、それによってデバイスはオンに維持されます。バイポーラ・トランジスタと異なり、ベースには外部接続がないため、これらのキャリアを抽出してスイッチングを加速することはできません。そのため、キャリアが再結合するまでデバイスはオンのままです。

この後続電流によってターンオフ損失が増加します。また、ハーフブリッジ回路の2つのデバイスの導通間のデッドタイムを長くする必要があります。ターンオフ時間を短くするには、ゲートに負電圧 (-5V~-10V) を印加すると効果的です。

IGBTがオンになると、高いdv/dtおよびゲート-エミッタ間の寄生容量によって、ゲート端子にいくつかの電圧スパイクが発生します。この電圧スパイクにより、下側IGBTが誤ってオンになる場合があります。ゲートに負電圧を印加すると、この誤トリガを避けることができます。

IGBTを駆動するための電力要件を決定することが重要です。可変速ドライブの各種電力定格に対するゲート駆動電力要件の計算方法を式 (1) に示します。

前述のとおり、IGBTのオン/オフには絶縁型ゲート・ドライバが使用されます。このプロセスでは、ドライバIC、IGBTゲート、およびゲート駆動パスに存在するRC回路によって電力が消費されます。図2を参照してください。

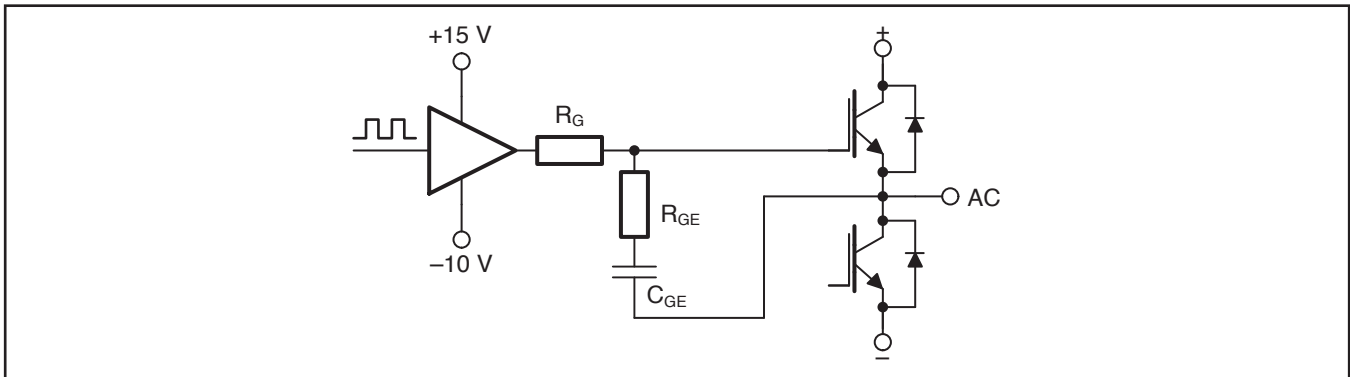


図 2. ゲート電力計算用のIGBTとゲート駆動回路

式 (1) で、ゲートの合計消費電力を計算します。

$$P_{\text{gate}} = P_{\text{driver}} + (Q_{\text{gate}} \times f_{\text{sw}} \times \Delta V_{\text{gate}}) + (C_{\text{ge}} \times f_{\text{sw}} \times \Delta V_{\text{gate}}^2) \quad (1)$$

ここで

- $Q_{\text{gate}}$  = 合計ゲート電荷
- $F_{\text{sw}}$  = スwitchング周波数
- $\Delta V_{\text{gate}}$  = ゲート・ドライバの出力電圧スイング
- $C_{\text{ge}}$  = 外部のゲート-エミッタ間容量
- $P_{\text{driver}}$  = ゲート・ドライバの合計消費電力

式 (1) の第2項はIGBTのゲート容量に対する電力要件を反映し、第3項は追加の外部容量に対する電力要件を反映しています (図2を参照)。

次の例について考えます。

- $Q_{\text{gate}} = 1.65\mu\text{C}$  で1200V/200Aの容量 (100kW未満のドライブに適用) を持つIGBTモジュール)
- スwitchング周波数 = 16kHz (標準的な高電力ドライブのハイサイドでの値)
- -15V~+15Vの範囲でスイングするゲート電圧 (IGBTは一般に15Vと-5Vまたは-8Vで駆動されるため、ワーストケースを想定した値)
- $C_{\text{ge}} = 20\text{nF}$  (標準値の範囲は1nF~20nF)
- $P_{\text{driver}} = \text{約}600\text{mW}$  (絶縁型IGBTゲート・ドライバの標準データシートを使用して見積もられた値)

これらの値を使用すると、次のようになります。

$$P_{\text{gate}} = 0.6 \text{ W} + 0.792 \text{ W} + 0.288 \text{ W} = 1.68 \text{ W} \quad (2)$$

ディレーティングを考慮し、式 (2) の電力値を切り上げによって2W/IGBTとします。

## 2 デザインの特長

このデザインの主要な目的は、非レギュレーション入力電源で動作できる絶縁型電源を提供することです。このデザインは、絶縁されたバイアス電圧のペア (15V、-8V) を4組提供します。基板は、三相構成の6個のIGBTに対してドライバ・バイアス電力を提供するように設計されています。上側3個のIGBTに対して出力電流100mAの出力を3組、下側すべてのIGBTに対して300mAの出力を1組提供します。各組の正および負出力は、23Vの電圧出力を持つ1つのトランス巻線から、ツェナー・ダイオードと抵抗による分圧回路を通して生成されます。この分圧回路により、トランスのサイズおよびピン数が最小限に抑えられ、コンパクトなソリューション・サイズ (62 × 62mm) が実現されます。ツェナーによってクランプされる正レールには、厳密なレギュレーション公差があり、IGBTの高速ターンオンを可能にしています。負レールは、ゲート-エミッタ間電圧を負電位に保持することで、IGBTの安全なターンオフを実現します。また、負レールは、高電力モーター・ドライブでの高電圧電流スイングに起因する誤ターンオンを防いでいます。このデザインでは、LM5160同期降圧コンバータがFly-Buckレギュレータとして構成されています。1次側レギュレーションの利点により、電源はフォトカップラまたは追加のトランス巻線なしで出力をレギュレーションできます。LM5160デバイスは、4.5V~65Vという広い $V_{IN}$ 範囲を持ち、内蔵のハイサイドおよびローサイドMOSFETによって1.5Aの出力電流容量を備えています。入力電圧には厳密なレギュレーションが不要であり、デザインは20V~30Vの入力範囲でテスト済みです。

### 2.1 設計要件

デザインのシステム・レベル要件には以下が含まれます。

- レギュレーションの厳密でないDC入力電圧で動作でき、出力電力のスケールリングが可能なトポロジと、パルス幅変調 (PWM) コントローラの使用により、高電力IGBTを駆動
- 15Vおよび-8Vの絶縁された正および負レールによって、絶縁型ゲート・ドライバおよびIGBTのゲートに電源を供給
- 2W以上の連続出力電力によって各IGBTを駆動
- 200mV未満の出力電圧リップルで最大6Aのピーク電流をサポート

### 2.2 トポロジの選択

プッシュプル、フライバック、フォワード・コンバータなど、従来の絶縁型スイッチング電源トポロジは、ゲート駆動バイアス電源に対して広く使用されています。これらのソリューションの出力レギュレーションは、多くの場合、開ループの固定デューティ・サイクル・スイッチングまたは補助巻線フィードバックに対する閉ループ制御に基づいています。開ループ制御を使用することの短所は、ライン/負荷過渡応答が悪く、入力DC電圧の厳密なレギュレーションを必要とすることです (またはレギュレーション後に低ドロップアウト電圧 (LDO) が必要)。補助巻線フィードバックの方法では、複数出力間のクロス・レギュレーションが最適ではありませんが、Fly-Buckトポロジは本質的に1次側レギュレーション機能を持つため、絶縁型の出力レギュレーションを容易に実現できます。出力間のクロス・レギュレーション性能も全体的に向上します。また、ゲート・ドライバに電源を供給するすべての絶縁レールを1個のトランスで生成できるため、コストの観点からも利点があります。PWMコントローラおよびトランスの要件を2.2.1および2.2.2節に示します。

#### 2.2.1 PWMコントローラの要件

PWMコントローラの要件は次のとおりです。

- Fly-Buckトポロジのサポート
- 1次側レギュレーションのサポート
- 24V電源による動作

### 2.2.2 トランス仕様 (IEC61800-5-1に準拠)

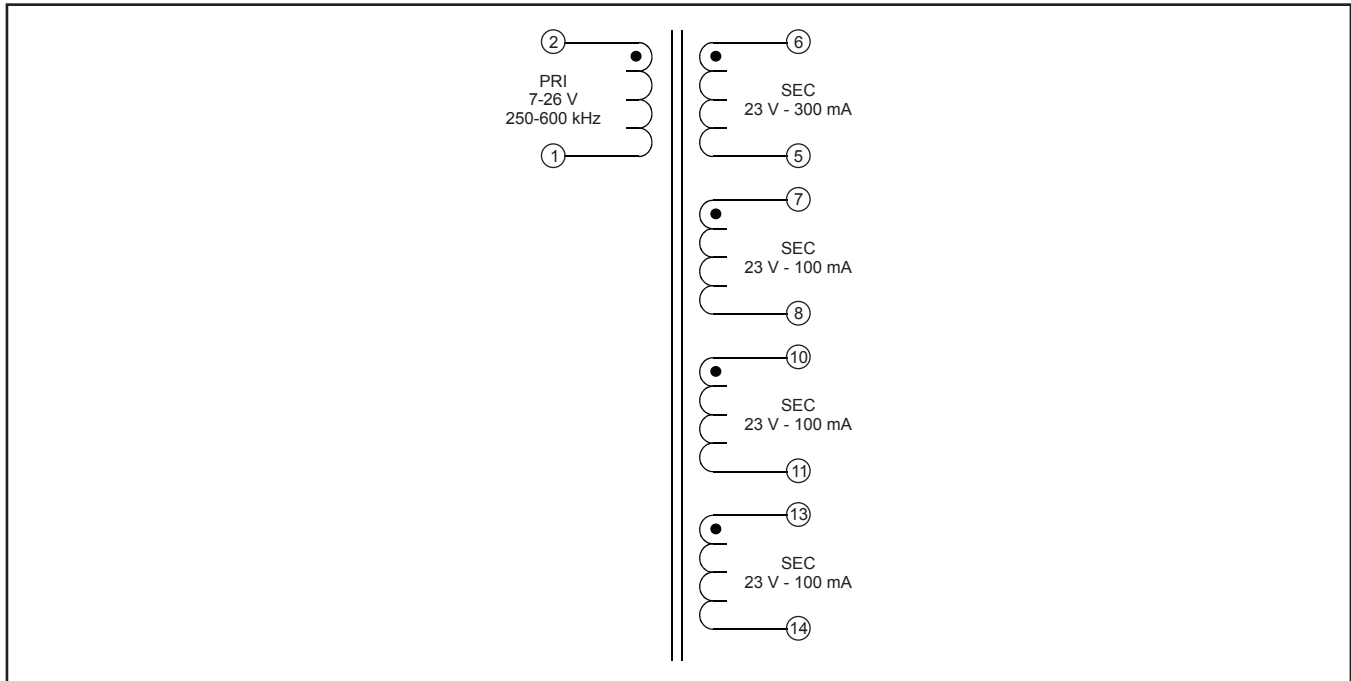


図 3. TIDA-00199に対するFly-Buckトランス記号

トランスの要件は次のとおりです。

- 4個の23V絶縁出力: 300mA × 1、100mA × 3
- スイッチング周波数 = 250kHz
- 絶縁耐圧:
  - 1次側-2次側間、3600V AC(5秒間)
  - 2次側相互間、1800V AC(5秒間)
- スペーシング:
  - 1次側-2次側間クリアランス = 8mm
  - 2次側相互間クリアランス = 5mm
  - 沿面距離 = 4mm
- 巻線間の基本絶縁台形制御の詳細については、アプリケーション・レポート“Sensorless Trapezoidal Control of BLDC Motors”(SPRABQ7)を参照してください。

上記のスペーシング、沿面距離、およびインパルス試験電圧は、基本絶縁を考慮して決定されています。ドライブのアーキテクチャで機能絶縁だけが必要である場合は、トランスを再設計できます。スペーシングおよび沿面距離の値を小さくすると、トランスのサイズを大幅に小さくできます。



# 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、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、適切な治癒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を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して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) 又は製品単体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) 及び製品単体を落下させたり、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