

Fly-Buck™コンバータを 使用した絶縁型レールの 迅速な設計



Vijay Choudhary
Systems and Applications Engineer
Texas Instruments

Fly-Buck™と呼ばれる結合インダクタ降圧コンバータは、より小さなソリューション・サイズの絶縁型バイポーラ・バイアス・レールをより低コストで提供でき、設計も単純になります。

絶縁型バイアス・レールは、試験/測定機器、プロセス制御、通信システム、ビルディング・インフラ、産業用オートメーションなどのシステムで一般的に利用されています。従来、絶縁型電源の設計は、ループ補償、フォトカップラ、追加巻線、レギュレーション済みの1次レールなどを必要とする手間のかかる作業でした。そのための労力、複雑さ、ソリューション・サイズ、およびコストは、比較的電力レベルの低いアプリケーションの場合、妥当とは言い難いものでした。このホワイトペーパーでは、複数の絶縁型レールを生成するための単純で簡単かつコスト効果の高い方法として、Fly-Buckコンバータを紹介し、さまざまなアプリケーション分野の実例を取り上げながら、最大15Wまでの低電力絶縁型設計に対するFly-Buckベースのアプローチの有用性を示します。これらの例は、特定のバイアス電力要件に近いソリューションを識別するのに役立ちます。設計者が独自のシステムに絶縁型電源ソリューションをすぐに応用できるように、サンプル設計(リファレンスデザイン)やデザインリソースも示しています。

現代の電子システムにおける絶縁型レール

現代の電子システムは、さまざまなデジタルおよびアナログ回路に電源を供給するために、いくつかの分散レールから構成されています。多くのシステムまたはサブシステム、特に、ユーザーの介入を必要とするシステムは、安全のために主電源から絶縁されている必要があります。このようなシステムには、産業用プロセス制御、ビルディング・オートメーション、通信インフラ・システム、医療機器などがあります。図1～6に、絶縁型レールを使用するシステムの例をいくつか示します。Fly-Buckコンバータのアプローチは、そのようなシステムや他の同様なアプリケーションでバイアス・レールを生成する単純な方法の1つです。

一般的なアプリケーション分野の1つがファクトリー・オートメーションであり、そこでは24V DCレールまたはカスタムのPoE (Power over Ethernet) がシステムの分散電源バックボーンを構成しています(図1)。システム全体にわたって分散された制御ブロックやセンサ・ブロック用のバイアス電源は、主電源バスから絶縁される必要が

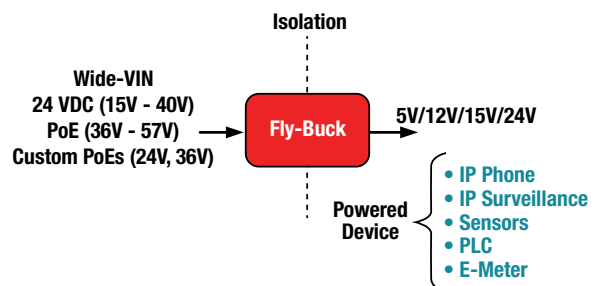


図1. 産業用アプリケーションでの絶縁型レール

あります。参考文献1には、プログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC) I/O モジュールに電源を供給するための完全な設計例が記載されています。

もう1つの一般的なアプリケーション分野として、絶縁型 DC/DC コンバータまたはモーター制御でのゲート駆動バイアス電源があります。MOSFET、IGBT、炭化ケイ素 (SiC) に基づく電源段では、ドライバへの電力供給に加えて、絶縁境界を挟んで電源とは別側に配置される制御回路にも電力を供給するために、絶縁された複数のレールが必要です。また、ハイサイド・ドライバには、ローサイド・レールから最大数百ボルト離れたフローティ

ング・バイアス・レールが必要になります（図2）。参考文献2には、三相モーター制御システム用の完全な Fly-Buck バイアス電源設計が記載されています。

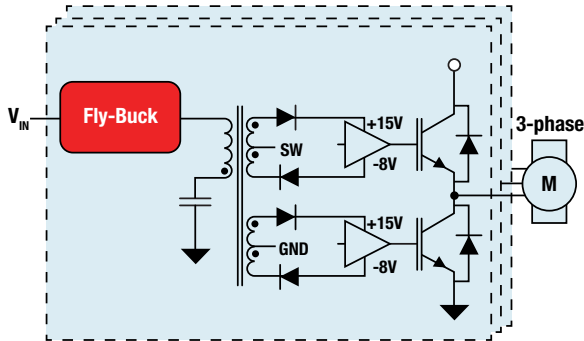


図 2. IGBT/SiC/MOSFET ゲート駆動バイアス・レール

図3には、1次側および2次側のドライバ・バイアス電源を使用した通信用 DC/DC コンバータを示しています。2次側のコントローラ用電源は、1つの Fly-Buck コンバータから得られています。参考文献3には、このバイアス電源の完全なリファレンス・デザインが記載されています。

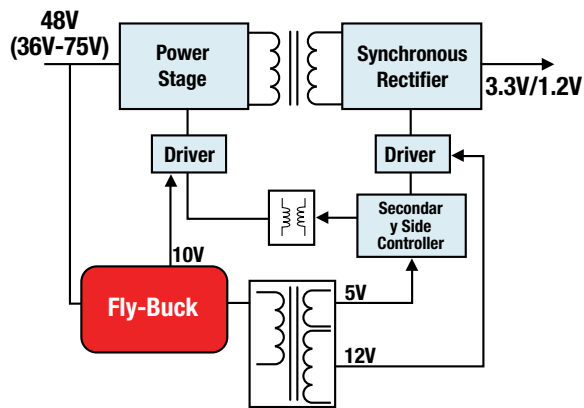


図 3. 通信用 DC/DC コンバータのバイアス電源

医療機器では、一般に、患者およびオペレータの安全のために絶縁が必要です。絶縁型コンバータを必要とする他の分野には、多くの高性能オペアンプや他の種類のアンプのアナログ・フロントエンド回路に対するバイポーラ（±）電源の生成があります。多くの場合、絶縁型出力を使用して正負レールの一方を生成します（図4）。

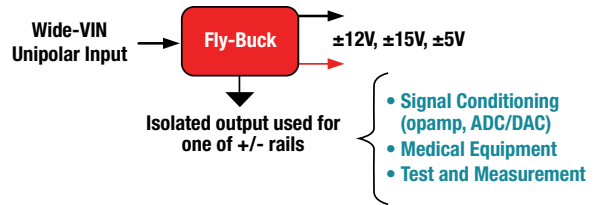


図 4. 計測機器用のバイポーラ（±）レール

トランスの絶縁を使用する一般的なシナリオには、昇降圧アプリケーションや電圧スタビライザなどもあります。これらのアプリケーションでは、入力電圧が公称レール電圧から上下に大きく外れます。トランスを使用するとレギュレータの設計が単純になります。これは、トランスを使用して電圧を昇圧する一方で、スイッチング DC/DC コンバータを使用して電圧のレギュレーションを行えるためです。非絶縁型コンバータを使用するよりも、トランスベースのトポロジによる低電力の昇降圧コンバータを使用する方が、より単純です。

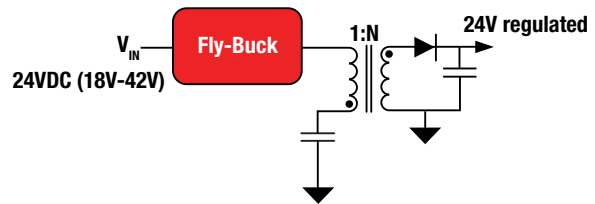


図 5. 低電力の昇降圧コンバータ / レール・スタビライザ

図6には、-48Vレールを備えた通信システムを示します。5V/500mAのレールを必要とし、リファレンスはシステムのリターン・レール（-48V）ではなく、グラウンドを基準とします。絶縁型電源は、-48Vの入力レールから正（または負）のレベル・シフトされたレールを生成するための簡単な方法です。

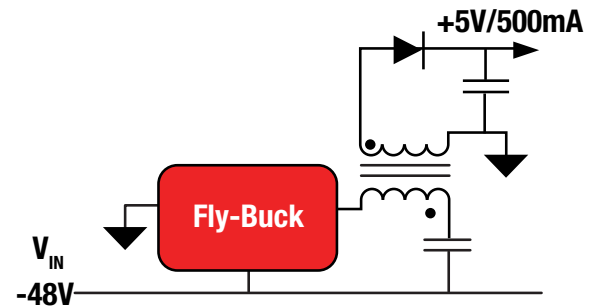


図 6. レベル・シフト・レール

絶縁型レールの作成

ここでは、絶縁型レールを生成するために一般的に使用されているいくつかの方法と、それぞれの長所および短所について説明します。

絶縁型レールを生成する方法の1つは、フライバック・コンバータの使用です。フライバックは実際に、10～100W 範囲の絶縁型電源を生成するためのコスト効果の高い方法です。ただし、フライバック・トポロジの設計は比較的複雑です。多くの場合、安定性のための補償設計を含む複雑な設計手順が必要となります。また、電圧レギュレーションのために絶縁されたフィードバックを必要とするため、追加のトランス巻線またはフォトカップラを使用する必要があります。電源段自体が、トランスのリーク・インダクタンスに対して非常に敏感です。そのため、スイッチ・ノードのスパイクを妥当な値に制限するために、注意深いスナバ設計が必要です。その結果、電子システムでよく必要とされる比較的低電力のレールに対しては、フライバック・ソリューションは通常、複雑すぎます。つまり、フライバックは、低電力バイアス電源設計（10W 以下）に対しては適切なトポロジではありません。

絶縁型バイアス・レールを生成するためのもう1つの一般的なアプローチは、ドライバとトランス回路、例えば、プッシュ/プル・ドライバとセンタータップ・トランスを使用することです。これはオープンループのアプローチであり、入力電源がレギュレーション済みで、電力要件が低い（1～2W）場合に機能します。入力レールが変動する場合や、電力レベルが高い場合には、回路の複雑性や性能の点で、トランス・ドライバ・アプローチは魅力的な方法とはいえません。

主電源段を持つシステムに対して、主電源段から補助巻線を使用して補助バイアス電源を生成することができます。これは、熟練した電源設計者によって長く使用されてきた方法です。この方法はコスト効果の高いソリューションを実現できますが、主電源段の設計にバイアス設計が混在することで、主電源設計が複雑になります。さ

らに、このアプローチは、主電源や周辺のバイアスを生成する場合にはしか利用できません。

Fly-Buck™コンバータとは

Fly-Buck コンバータは、同期整流降圧コンバータのインダクタを結合インダクタまたはフライバック型トランスで置き換えたものです。2次側の出力電圧（V_{OUT2}）は、2次巻線を整流するダイオードによって生成されます。2次側の出力コンデンサ（C_{OUT2}）は、同期スイッチ（Q2）がオンのときの各スイッチング・サイクルで、1次側の出力コンデンサ（C_{OUT1}）から充電されます（図7を参照）。

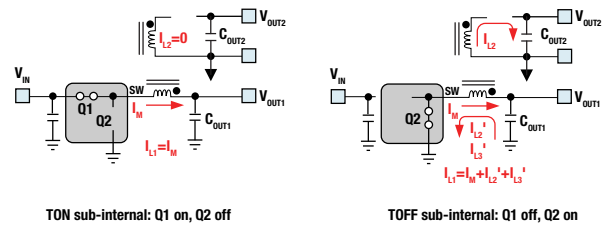


図7. Fly-Buck コンバータの動作

Fly-Buck コンバータの詳細説明および動作原理については、参考文献4を参照してください。

Fly-Buck コンバータの利点

Fly-Buck コンバータは、1次側レギュレーション（PSR）トポロジの一種です。絶縁された出力を感知する必要がないため、追加のトランス巻線やフォトカップラが不要です。表1に示すように、ハイサイドとローサイド両方のスイッチが内蔵された65V/100VのFly-Buckファミリのレギュレータが用意されているため、Fly-Buckトポロジを使用した絶縁型バイアス設計はより単純で小型になります。

アプリケーションで絶縁型レールと非絶縁型レールの両方が必要である場合、Fly-Buckトポロジはコスト効果の高いソリューションとなります。本質的に降圧コンバータであるFly-Buckコンバータの1次側出力は、追加コストなしで使用できます。

全体的な設計手順に変更を加えることなく、トランスの追加巻線を使用して追加出力を作成できるため、複数の絶縁型レールを必要とするシステムに対して、Fly-Buckは適切な選択肢となります。絶縁型出力が複数ある場合、専用の絶縁フィードバック・ループの利点は薄れる傾向にあります。これは、絶縁型ループは1つの出力のレギュレーションしか改善しないためです。参考文献1～3には、3、4、および8出力の完全なFly-Buckソリューションが記載されています。

Fly-Buckトランスでは、多くの場合、対称に近い巻線比が使用されます。巻線比が1:1または1:1.5のトランスがよく使用されます。多くの場合、一致する巻線比のトランスはサイズが小さくなります。対照的に、フライバック設計では、巻線比が大きく異なることが多々あります。

そのすべての利点と単純さに関して、Fly-Buckコンバータの性能は、電源レベルが高くなるにつれて低下する傾向があります。パッシブな2次側のレギュレーションによって、Fly-Buckアプリケーションは比較的低い電力レベルに制限されます。図8は、Fly-Buckソリューションが他の方法よりも魅力的となる条件を示しています。

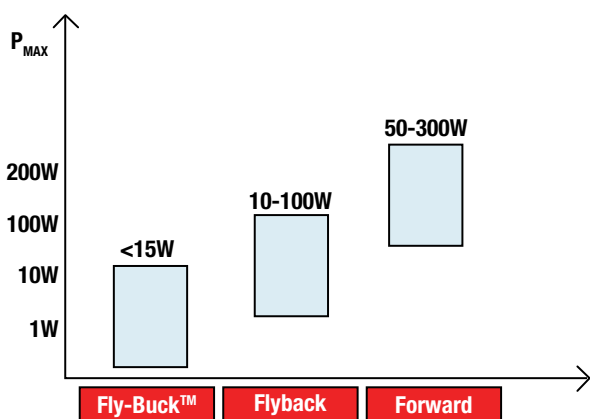


図8. 異なる電力レベルに対して推奨される絶縁型コンバータの種類

Fly-Buckレギュレーションに影響する要素

Fly-Buckコンバータは、クローズループ・コントローラを使用して1次側出力電圧 (V_{OUT1}) を制御します。2次側出力 (V_{OUT2}) は、トランス (磁気) 結合を利用して、

1次側出力から間接的に制御されます。

2次側出力のレギュレーションはパッシブまたはオープンループです。2次側出力のレギュレーションは、以下の回路パラメータから影響を受けます。

- 巻線のリーク・インダクタンス
- 巻線抵抗
- 同期整流スイッチの RDSON

2次側出力 (V_{OUT2}) のレギュレーションを向上させるには、低リーク (高結合) のトランスを選択します。妥当な設計目標は、1%以下のリーク・インダクタンスです。

Fly-Buckトランスまたは結合インダクタ

Fly-Buckトポロジで使用されるトランスは、結合インダクタまたはフライバック型トランスです。このトランスは、降圧コンバータのインダクタと同じようにエネルギーを蓄積します。フォワード、ハーフブリッジ、またはフルブリッジ・トポロジで使用されるトランスは、エネルギーをまったくまたはほとんど蓄積しないため、Fly-Buckトポロジに対して適切ではありません。

Fly-Buck磁気部品の設計または選択する最も単純な方法は、インダクタとして扱うことです。一般に、(結合)インダクタはインダクタンス、巻線比、および飽和電流定格に基づいて選択されますが、トランスの設計または選択では、ボルト秒積、磁束密度、巻数、コア容積などのパラメータを使用します。ほとんどの電気エンジニアは、そのような磁気量よりも、インダクタンスやピーク電流定格などの電気的な量の方になじみがあります。Fly-Buckトランスを結合インダクタとして扱うことで、設計者は電気回路の設計に専念することができます。トランス設計の詳細は、カスタム・トランスが求められる場合のみ必要となります。

多くの磁気部品サプライヤがFly-Buckトランスを提供しています。参考文献5には、推奨されるトランスの製番の一覧と、それらを使用したリファレンス・デザインが記

載されています。さらに、Fly-Buck 設計で使用できる既製の結合インダクタも多数提供されています。適切な巻線比を持つ任意のフライバック型トランスも、Fly-Buck 設計で使用できます。

Fly-Buck コンバータが管理できる電力の大きさ

Fly-Buck トポロジは、ローサイド・スイッチ（同期整流器）が導通しているときに、2 次側へ電力を伝達します。制御スイッチのデューティ・サイクル ($D = TON/T$) が増加すると、同期スイッチのデューティ・サイクルは減少します ($1-D$)。与えられた平均 2 次側電流に対して、2 次巻線のピーク電流と、1 次巻線および同期整流器を流れるピーク反射電流は増加します。トランスに流れる高い電流とスイッチ・インピーダンスによって、レギュレーションが困難になります。このインピーダンスは、巻線の抵抗とリーク・インダクタンス、および同期スイッチの抵抗から構成されます。

良好なレギュレーションを維持するために、Fly-Buck コンバータのデューティ・サイクルは 50%未満に保つ必要があります ($D < 1/2$)。これによって、Fly-Buck コンバータの実用に適した最大出力制限が設定されます。入力電圧が低いときには、使用可能な電力は入力電圧に対して直線的に増加します。入力電圧が高くなると、出力はデバイスの最大電流容量および出力電圧によって制限されます。1 次側の最大出力電圧 (V_{OUT1}) である 15V は、通常、ほとんどの実用的なアプリケーションに対応できます。図 9 は、選択の目安として、TI の Fly-Buck コンバータの最大出力電力を最小動作入力電圧の関数として示しています。

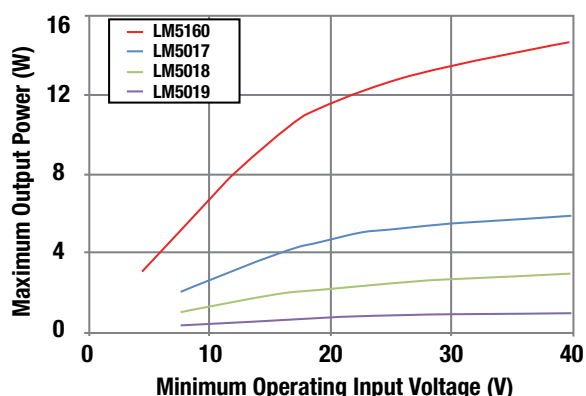


図 9. Fly-Buck コンバータの最大出力電力

結論

Fly-Buck トポロジは、絶縁型、バイポーラ、または複数レール・バイアス電源を生成するための単純で簡単なアプローチです。利用可能なアプリケーションには、産業用オートメーション、ビルディング・インフラ、通信機器、医療機器、試験 / 測定システムなどが含まれます。Fly-Buck トポロジには、フライバックやディスクリット・トランス・ドライバまたはプッシュプル・アプローチを含む他の設計方法と比較して、低電力バイアス設計に対していくつかの利点があります。TI が提供している幅広い範囲の Fly-Buck レギュレータ IC は、最大 100V の産業用および通信用レールをサポートしています。さらに、絶縁型バイアス・ソリューションの提供に必要な時間、労力、専門知識が少なく済むように、すぐに使用できる設計例もいくつか用意されています。

References

1. Reference Design PMP7993.1: [Powering PLC I/O module with LM5017 Fly-Buck reference design](#)
2. Reference design TIDA-00199: [Wide-input isolated IGBT gate-drive Fly-Buck power supply for three-phase inverters](#)
3. Reference design PMP7798.1: [Wide \$V_{in}\$ Fly-Buck™ power converter with two isolated bias supplies + one non-isolated power](#)
4. Choudhary, Vijay. [AN-2292 Designing an isolated buck \(Fly-Buck\) converter](#), Texas Instruments Application Report, December 2014
5. Kollman, Robert. [Pick the right turns ratio for a Fly-Buck](#)

[converter](#), EETimes, February 18, 2014

6. Download these datasheets: [LM5160A](#), [LM5017](#),
[LM5018](#), [LM5019](#)

7. Choudhary, Vijay. [Fly-Buck converter PCB layout tips](#), TI
Power House, April 1, 2014

8. Choudhary, Vijay. [When is Fly-Buck the right choice for
your isolated power needs?](#) ECN, August 4, 2014

9. Xiang Fang and Wei Liu, Product How to: [Fly-Buck
adds well-regulated isolated outputs to a buck without
optocouplers](#), EDN, April 6, 2014

10. Ready-to-use [Fly-Buck reference designs](#)

11. Here's more information on [Fly-Buck](#) and [Wide V_{IN}-
Solutions](#)

ご注意：本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいませようお願い致します。TI は製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TI がその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。

*プラットフォーム・バー、Fly-Buckは、テキサス・インスツルメンツの商標です。

*すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

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