

## TI Designs

# 10W、15~36V分離電源、 アナログPLCモジュール用±15Vおよび5V出力



## TI Designs

TI Designsは、システムの評価とカスタマイズを迅速に行うために必要な、手法、テスト、設計ファイルの基盤を提供します。TI Designsを使用すると、製品の開発期間を短縮できます。

## デザイン・リソース

TIDA-00401	デザイン・ファイル
TIDA-00237	ツール・フォルダ
LM5160	製品フォルダ
TPS7A4700	製品フォルダ
TPS7A4901	製品フォルダ
TPS7A3001	製品フォルダ
TPS70933	製品フォルダ



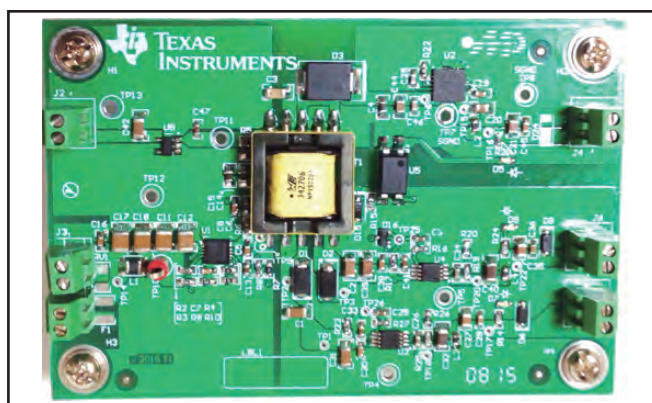
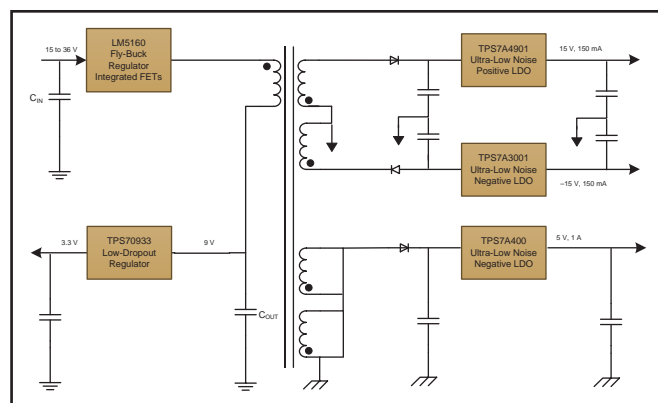
[ASK Our E2E Experts](#)  
[WEBENCH® Calculator Tools](#)

## デザインの特長

- 広い入力電圧範囲：15~36V(24V<sub>NOM</sub>)
- 分離された3つのモジュールで構成
  - 15V<sub>ISO</sub>、150mA、超低ノイズ
  - -15V<sub>ISO</sub>、150mA、超低ノイズ
  - 5V<sub>ISO</sub>、1A
- ±5%の出力電圧精度
- 薄型 < 10 mm
- 1次側レギュレーション、オクトカプラ不要

## 主なアプリケーション

- PLC、DCS、PAC
  - 1アナログ入力モジュール
  - 1アナログ出力モジュール
  - 1CPU(PLCコントローラ)



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。

TIDUA78B 翻訳版

最新の英語版資料  
<http://www.ti.com/lit/tidua78>

# 1 システムの主要な仕様

表 1. Key System Specifications

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	SPECIFICATION			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
$V_{IN}$	Input voltage	Normal operation	15	24	36	V
$I_Q$	Quiescent current	No output load	—	20	50	mA
$V_{J4}$	Output voltage connector J4	Normal operation	4.75	5	5.25	V
$V_{J5}$	Output voltage connector J5	Normal operation	14.25	15	15.75	V
$V_{J6}$	Output voltage connector J6	Normal operation	-14.25	-15	-15.75	V
$I_{J4}$	Output current	$V_{IN} > V_{IN(min)}$	0	—	1000	mA
$I_{J5}$	Output current	$V_{IN} > V_{IN(min)}$	0	—	150	mA
$I_{J6}$	Output current	$V_{IN} > V_{IN(min)}$	0	—	-150	mA
$P_{OUT}$	Output power	—	0	—	9.5	W
$V_{ISO(AC)}$	Isolation voltage	AC, 1 min	490	—	—	V
$V_{ISO(DC)}$	Isolation voltage	DC, 1 min	700	—	—	V
$V_{ISO(PERM)}$	Isolation voltage	DC, infinite min	70	—	—	V
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{ V}, P_{OUT} = \text{max}$	—	65	—	%
		$V_{IN} = 24\text{ V}, P_{OUT} = \text{max}$	—	72	—	%
		$V_{IN} = 36\text{ V}, P_{OUT} = \text{max}$	—	64	—	%

## 2 システムの説明

プログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)はファクトリーオートメーションの主要なコンポーネントです。PLCは入出力(I/O)モジュールをリアルタイムで監視し、要件に従ってプロセスを制御します。柔軟なI/Oモジュールを使用することで、非常に多様なプロセス要件に適合可能です。アナログ入出力モジュールは、ローカルまたはリモートでプロセスデータを取得し、プロセスを動作させるための出力を設定します。図1はアナログ入力モジュールを示したもので、電力ブロックが強調されています。

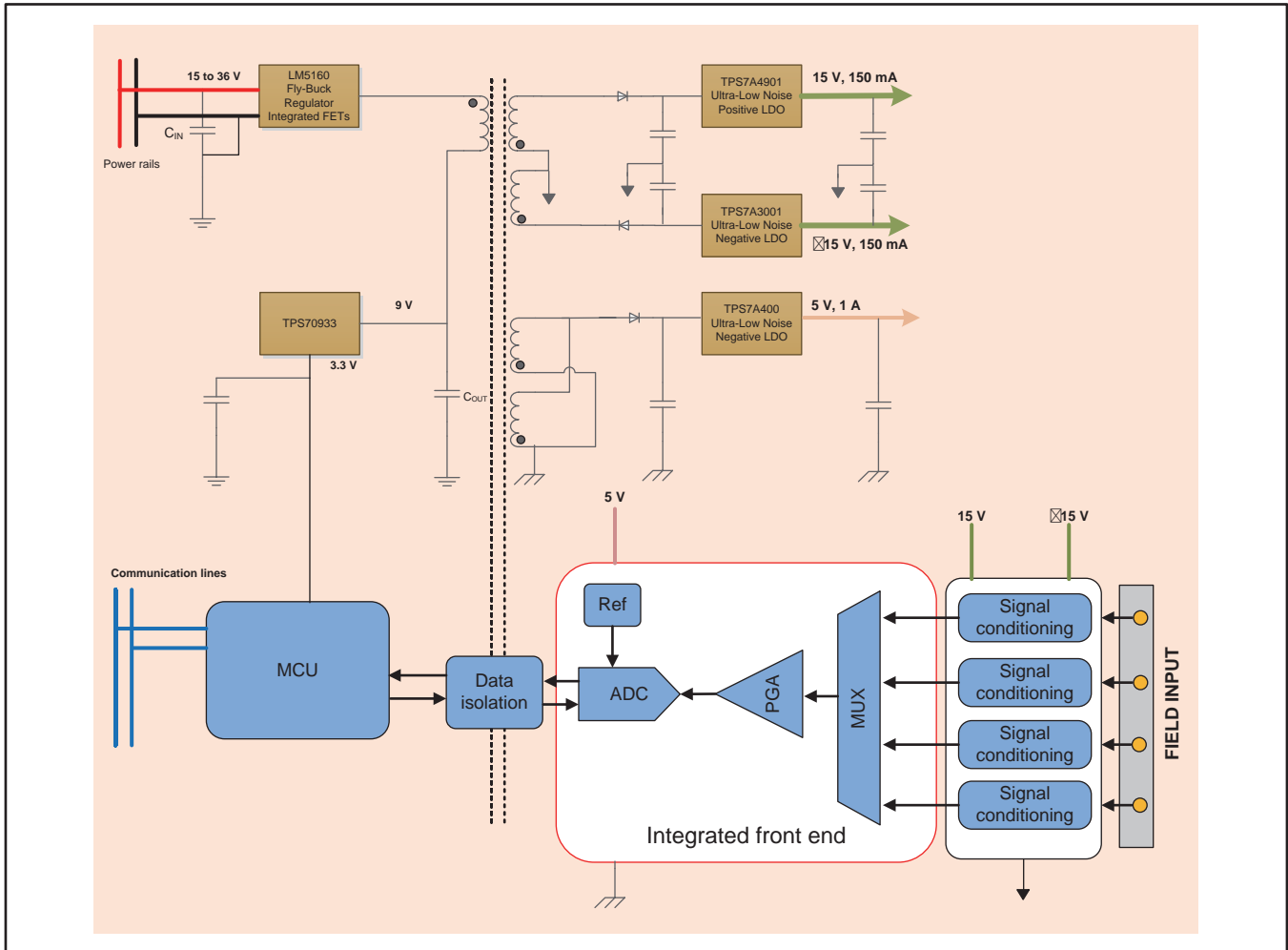


図 1. Generic Illustration of Analog Input Module

アナログ入力モジュールはPLC I/Oモジュール全体の約10%、アナログ出力モジュールは約5%を占めます。標準的な信号は4~20mAの電流ループ、または±10Vアナログです。アナログ入出力モジュールはADCおよびDACを使用して、アナログのプロセス信号をデジタルの値へ、または出力モジュールでその逆に変換します。

適切なデータ変換処理を実行するには、ADCまたはDACが必須であるほかに、場合によってはアンプ・ステージも備えて、データ・コンバータに入力または出力信号に合わせて駆動、レベルシフト、フィルタ、あるいはインピーダンス一致を実行させる必要があります。データ・コンバータおよびアンプ・ステージで期待されるパフォーマンスを保証するため、専用の低ノイズの分離電源が必要となり、これはTIDA-00401の主題です。設計のブロック図を図2に示します。

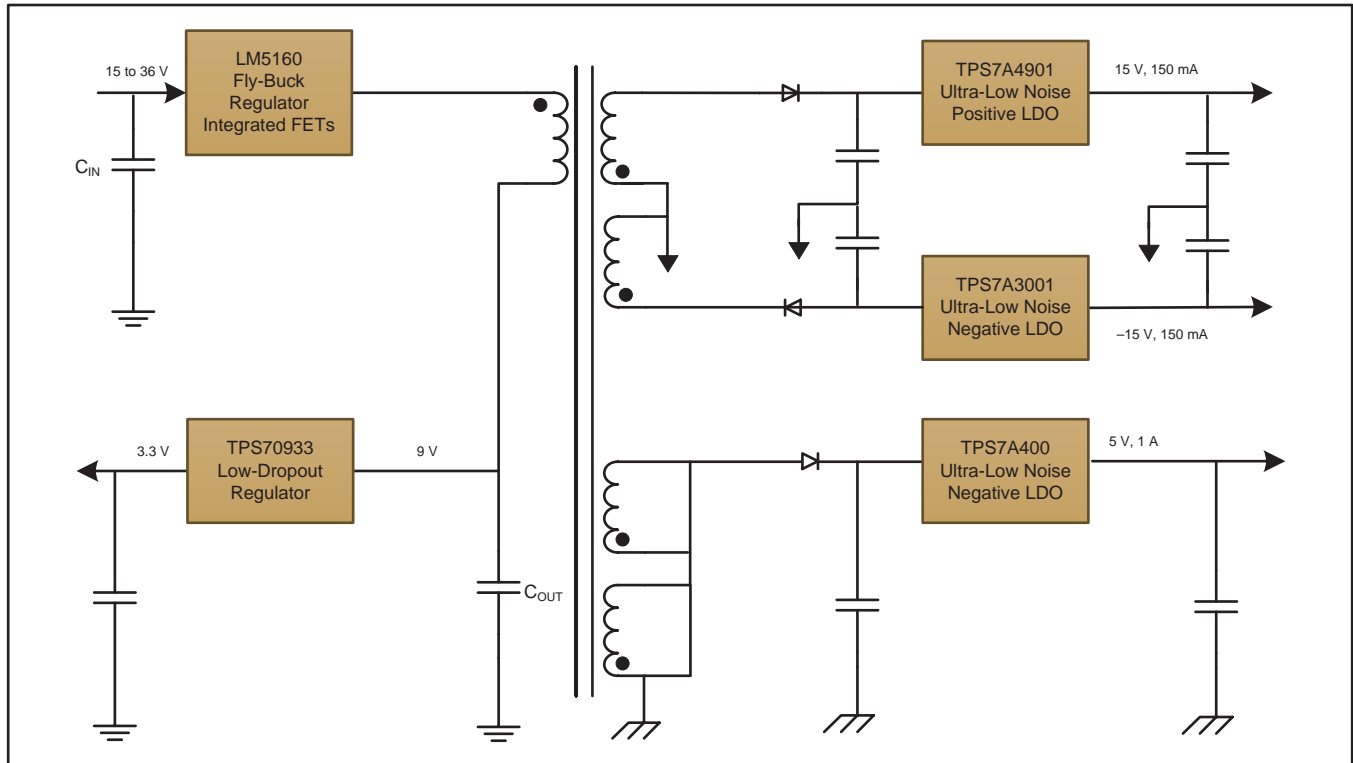


図 2. TIDA-00401 Isolated Power Supply Diagram for Analog Input Module

## 2.1 推奨製品

TIDA-00401は、PLCアナログ入出力モジュール用に、分離されたアナログおよびデジタル電圧を供給します。モジュールのアナログ・セクション用には15Vおよび-15Vが生成されます。これらの電圧は非常に正確で、ノイズは最小限です。その他に5V電源が供給され、マイクロコントローラや分離デバイスへ供給するデータ・コンバータへのデジタル電源として使用できます。

### 2.1.1 LM5160

LM5160は65V、1.5Aの同期降圧コンバータで、ハイサイドとローサイドのMOSFETが統合されています。一定オン時間の制御スキーマにはループ補償は不要で、高い降圧率と、高速なトランジエント応答がサポートされます。内部のフィードバック・アンプは、動作温度範囲の全体にわたって±1%の出力電圧レギュレーションを維持します。オン時間は入力電圧と逆方向に変動するため、スイッチング周波数はほぼ一定に保たれます。ピーク電流と最低電流を制限する回路により、過負荷状況から回路が保護されます。電圧不足ロックアウト(EN/UVLO)回路では、入力の電圧不足しきい値とヒステリシスを独立に調整可能です。LM5160はFPWMピンを使用して、無負荷から全負荷まで常に連続モード(CCM)で動作する、または軽負荷時には効率向上のため自動的に不連続モード(DCM)へ切り替わるようにプログラム可能です。強制CCM動作では、カップリング・コイルを使用して、複数の出力と、分離Fly-Buck™アプリケーションをサポートします。

### 2.1.2 TPS7A4901

TPS7A4901は正極性、高電圧(36V)、超低ノイズ( $15.4\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 、72dB PSRR)のリニア・レギュレータで、150mAの負荷へ電力を供給できます。

このリニア・レギュレータにはCMOSロジック・レベル互換のイネーブル・ピンと、コンデンサでプログラム可能なソフトスタート機能が搭載されており、電力管理スキーマのカスタマイズが可能です。そのほかに、フォルト状況でデバイスとシステムを保護するための電流制限およびサーマル・シャットダウン保護が搭載されています。

TPS7A4901はバイポーラ・テクノロジーを使用して設計されており、高精度、高分解能の計測用途で、システム・パフォーマンス最大化のためにクリーンな電圧レールが不可欠な場合に理想的です。この設計から、電力オペアンプ、ADC、DAC、その他高パフォーマンスのアナログ回路において非常に優れた選択肢です。

また、TPS7A4901はDC/DCコンバータのポスト・レギュレーションにも適しています。DC/DCスイッチング変換によりリップルが発生する場合は、出力電圧にフィルタを適用してリップルを消去することにより、高感度の計測器、テストおよび測定、オーディオ、無線周波数( $R_F$ )などの用途で最高のシステム・パフォーマンスを実現できます。

### 2.1.3 TPS7A3001

TPS7A3001は負極性、高電圧(-36V)、超低ノイズ( $15.1\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 、72dB PSRR)のリニア・レギュレータで、200mAまでの負荷へ電力を供給できます。

このリニア・レギュレータにはCMOSロジック・レベル互換のイネーブル・ピンと、コンデンサでプログラム可能なソフトスタート機能が搭載されており、電力管理スキーマのカスタマイズが可能です。そのほかに、フォルト状況でデバイスとシステムを保護するための電流制限およびサーマル・シャットダウン保護が搭載されています。

TPS7A3001はバイポーラ・テクノロジーを使用して設計されており、高精度、高分解能の計測用途で、システム・パフォーマンス最大化のためにクリーンな電圧レールが不可欠な場合に理想的です。この設計から、電力オペアンプ、ADC、DAC、その他高パフォーマンスのアナログ回路において非常に優れた選択肢です。

また、TPS7A3001はDC/DCコンバータのポスト・レギュレーションにも適しています。DC/DCスイッチング変換にはリップルが付き物ですが、出力電圧にフィルタを適用してリップルを消去することにより、高感度の計測器、テストおよび測定、オーディオ、無線周波数( $R_F$ )などの用途で最高のシステム・パフォーマンスを実現できます。

## 2.1.4 TPS7A4700

TPS7A4700は正電圧 (36V)、超低ノイズ( $4\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ )、低ドロップアウト(LDO)のリニア・レギュレータで、1Aの負荷へ電力を供給できます。

TPS7A4700の出力電圧は、プリント基板 (PCB) レイアウトを使用してユーザーがプログラム可能で (最大20.5V)、外部の抵抗やフィードフォワード・コンデンサが必要ないため、全体の部品数を減らすことができます。

TPS7A4700の出力電圧は、ユーザーがプログラム可能なPCBレイアウトによって構成可能で (最大20.5V)、外部のフィードバック抵抗でも調整可能 (最大34V) です。

TPS7A4700はバイポーラ・テクノロジーを使用して、主に高精度、高分解能の計測用途で、システム・パフォーマンス最大化のためクリーンな電圧レールが不可欠な場合のために設計されています。この設計から、医療、RF、テストと測定などの重要な用途に使用される、電力オペアンプ、ADC、DAC、その他高パフォーマンスのアナログ回路に理想的です。

また、TPS7A4700はDC/DCコンバータのポスト・レギュレーションにも理想的です。DC/DCスイッチング変換にはリップルが付き物ですが、出力電圧にフィルタを適用してリップルを消去することにより、高感度の計測器、テストおよび測定、オーディオ、RFなどの用途で最高のシステム・パフォーマンスを保証できます。

### 3 システムの設計理論

10Wの分離電源で、広範囲の入力電圧に対応し、オプトカプラ・フィードバックを持たず、外部コンポーネントの数が少ない場合、フライバック設計よりもFly-Buckトポロジーの方が優れています。このトポロジーにより、主要な非絶縁電源の設計にも柔軟性が生まれます。ハイエンドのポスト・レギュレーションには、アナログ回路用のクリーンな電源を供給するため、高PSRRのLDOが選ばれます。5Vレールは、高効率のLDOレギュレータを使用して、6Vの変圧器出力から派生されます。Fly-BuckはLM5160を使用して実装され、LM5160はFly-Buckの要件を満たし、回路の専有面積を小さくでき、BOMコストも低くなります。LM5160のアーキテクチャを、図3に示します。

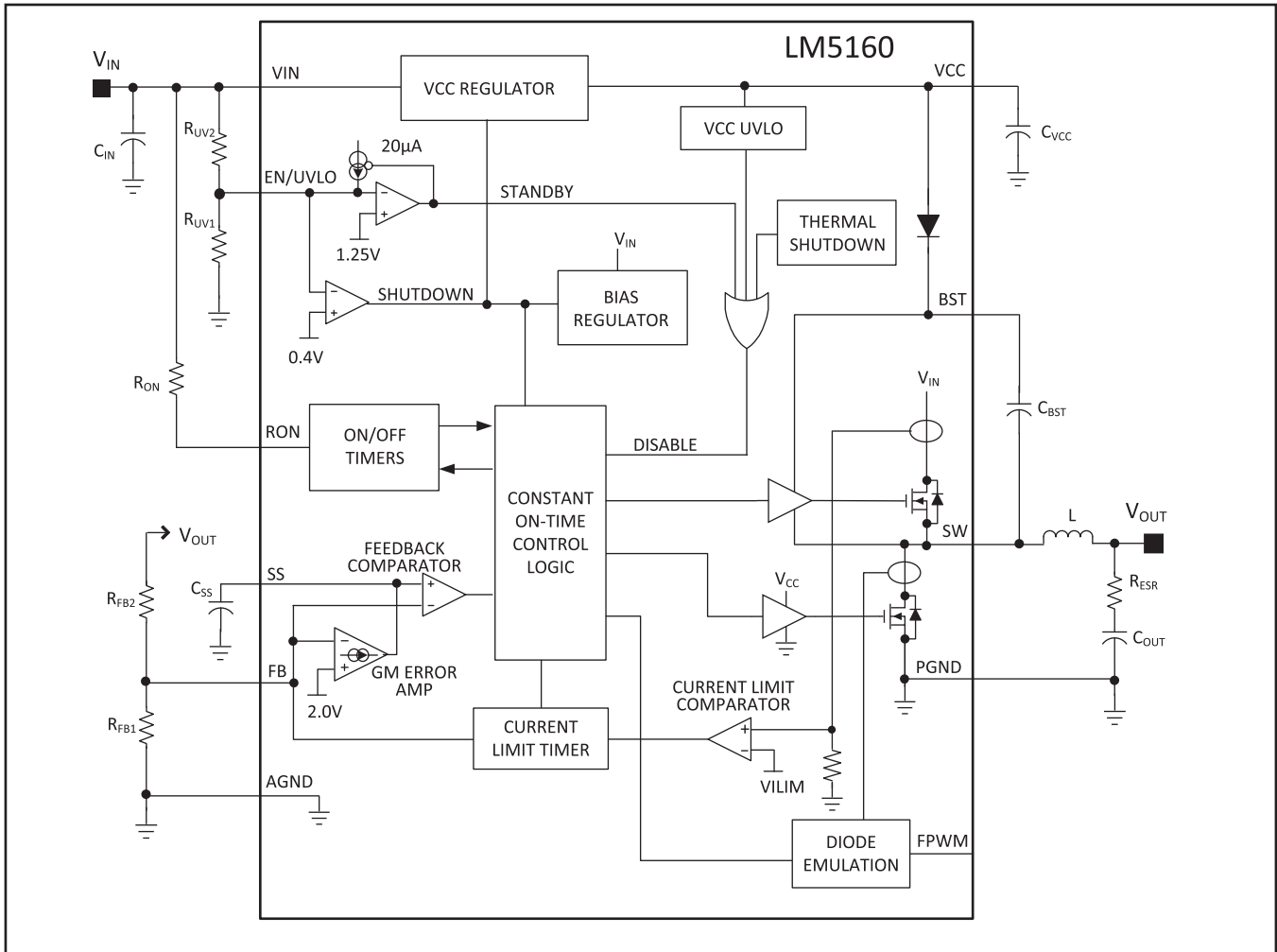


図 3. LM5160 Circuit Diagram

ほとんどのアナログPLC I/Oモジュールは容積が制限されているため、TIDA-00401は変圧器T1の高さを9mm以下にし、総合的な専有面積を減らすことを目標としています。変圧器の高さが9mm以下の必要があるため、必要な負荷要求についてEFD15コアが、許容できる最大のサイズです

### 3.1 変圧器の計算

図4から、最適のパフォーマンスを得るには、周波数が150~450KHzの範囲に収まる必要があることが示されます。コア損失は、スイッチング周波数に直接比例します。また、周波数が低いと必要なインダクタンスが増大するため、変圧器のサイズが大きくなります。このため、変圧器のサイズとコア損失に関して最適値を実現するため、スイッチング周波数として300KHzを選択します。

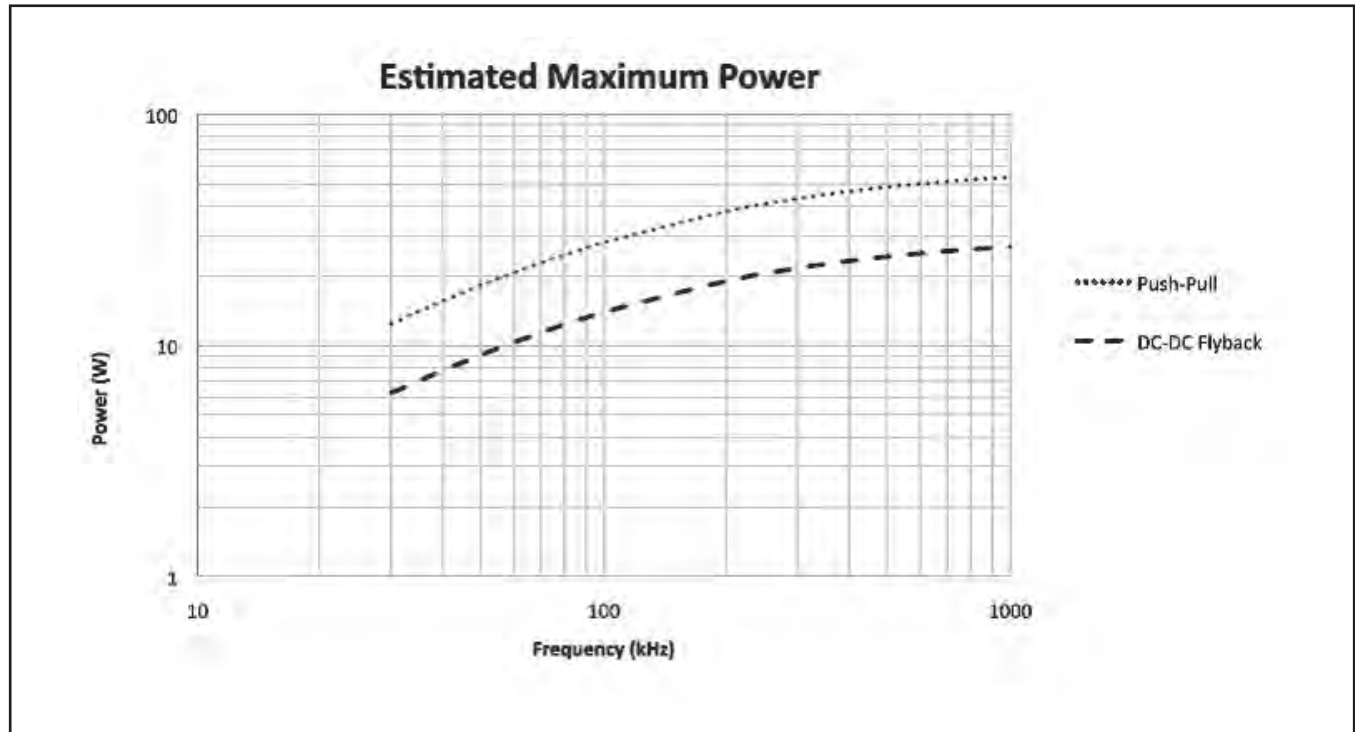


図 4. EFD15 Power versus Frequency Curve (Würth 070-5939)



正しい動作のためのポテンシャルを確認する詳細な計算を、表2に示します。

表 2.  $V_{J5}/V_{J6}$  Transformer T1 Voltage Calculation

PARAMETER	CONDITIONS	VALUE
$V_{J5}/V_{J6}$	Full load	15 V
LDO (U3, U4) drop-out voltage	150 mA, 25°C	0.6 V
Diode D1 and D2 drop-out voltage	Vf	0.5 V
Transformer T1, secondary winding loss	$= R \times I_{RMS}$ $= 2 \times 0.35$	0.7 V
Required transformer T1, secondary winding voltage		16.8 V
Load regulation accuracy	$V_{IN(MIN)}$ to $V_{IN(MAX)}$	1.68 V (10%)
Required transformer T1, secondary winding voltage (including load reg.)	$V_{IN(MIN)}$ to $V_{IN(MAX)}$	18.48 ~ 20 V
Transformer T1, primary winding voltage	Winding ratio 1:2.04 with respect to 20 V	9.80 V
Transformer T1, primary winding loss	$= R \times I_{RMS}$ $= 0.065 \times 1.57$	-0.1V
U1 synchronous switch loss	Low-side FET $R_{ON}$ 0.13 $V = I_{RMS} \times 0.13$ $= 1.57 \times 0.13$	-0.2 V
Required $V_{C1}$ voltage	Average	9.5 V
$V_{IN(MIN)}$ duty cycle	$V_{IN(MIN)} = 15$ V $V_{C1(MIN)} = 9.5$ V	63.30%

注：同期スイッチがオンの間の平均電流は、シミュレーションによる値です。

変圧器の基本に従い、入力電力は出力電力と同じです。出力が18Vと-18Vで150mAと、6Vで1Aと考えると、合計出力電力は11.4Wです。したがって、11.4Wについて主電流は次の式で与えられます。

$$I_{DC} = \frac{P_{tot}}{V_{C1}} + I_{OUTPRIMARY_{3.3}} \quad (1)$$

$$\Delta I = I_{DC} \times \text{Ripple facto} \quad (2)$$

$$I_{PEAK} = I_{DC} + \frac{\Delta I}{2} \quad (3)$$

したがって、9.5Vおよび11.4Wの電力について、 $I_{DC}$ は1.2Aです。リップル係数が0.4とすると、リップル電流は0.48Aです。

式 (3) を使用して、 $I_{OUTPRIMARY_{3.3V}}$ が0.05mAとすると、 $I_{PEAK}$ 最大ピーク電流は1.5Aです。

このため、 $I_{PEAK}$ は2.125A(LM5160の仕様におけるハイサイドFETの最小値)よりも小さくなります。

一次インダクタンスは次の式で与えられます。

$$L_{PRIM} = \frac{V_{C1} \times (V_{IN(MAX)} - V_{C1})}{V_{IN(MAX)} \times F_{SW} \times I_{PEAK} \times 0.4} \quad (4)$$

したがって、計算から $L_{PRIM}$ は38.3 $\mu$ Hです。

10%の許容範囲を考えると、次の標準的な値は47 $\mu$ Hです。したがって、T1の一次インダクタンスは47 $\mu$ Hです。

デューティ・サイクルは次の式で与えられます。

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUTPUTPRIMARY}}{V_{MINIMUM}} = \frac{9.5}{15} = 0.63 \quad (5)$$

$$D_{MIN} = \frac{V_{OUTPUTPRIMARY}}{V_{MAXIMUM}} = \frac{9.5}{36} = 0.26 \quad (6)$$

LM5160は定周波数ドライバなので、オン時間は15~36Vの入力電圧に対して2.1μsから866μsの範囲で変動します。磁気設計の標準的な式は次のとおりです。

$$B_{\text{flux density}} = \frac{P_{\text{core loss}}}{V_{\text{core volume}} \times K_{\text{fe}}} \quad (7)$$

$$N_{\text{turns required}} = \frac{L_{\text{inductance}} \times I_{\text{PEAK}}}{A_{\text{core sectional area}} \times B_{\text{flux density}}} \quad (8)$$

$$d_{\text{wire diameter}} = \sqrt{\frac{4 \times I_{\text{PEAK}}}{J_{\text{current density}} \times \pi}} \quad (9)$$

$$\frac{N_{\text{secondary turns}}}{N_{\text{primary turns}}} = \frac{V_{\text{secondary}}}{V_{\text{primary}}} \quad (10)$$

詳細な磁気設計については、Lloyd H Dixon著のTIの磁気設計ハンドブックを参照してください。

### 3.2 降圧出力コンデンサ

出力電圧のリプルが減少するよう、出力コンデンサを選択します。

$$C_{\text{OUT,pri}} = \frac{I_{\text{L,ripple(max)}}}{8 \times F_{\text{SW}} \times V_{\text{ripple}}} \quad (11)$$

リプルが10mVとすると、コンデンサの値は20.5μFになります。

したがって、C14、C15、C47は計算から21μFです。

コンデンサのESRは次の式で与えられます。

$$R_{\text{ESR}} > \frac{25 \text{ mV} \times V_{\text{C1}}}{V_{\text{REF}} \times I_{\text{L,ripple(max)}}} \quad (12)$$

したがって、コンデンサのESRは0.24Ωより大きい必要があります。

### 3.3 分離出力コンデンサ

分離コンデンサは、リプルを減らすため、およびエネルギーを蓄えて、負のサイクル中の条件で提供するために必要となります。

$$I = C \frac{dV}{dT} \quad (13)$$

$$dT = \frac{VC1}{V_{\text{IN(MIN)}}} \times \frac{1}{F_{\text{SW}}} = 2.75 \mu\text{s} \quad (14)$$

dVが0.1Vとすると、18Vの分離出力の出力コンデンサは次のようになります。

$$C > \frac{0.15 \times 2.75 \times 10^{-6}}{0.1} = 4.1 \mu\text{F} \quad (15)$$

次の標準的な値は4.7μFです。

### 3.4 入力コンデンサ

入力コンデンサは、入力リプルを許容可能な値まで最小化する大容量のものが重要です。

$$C_{\text{IN}} > \frac{I_{\text{O,max}} \times T_{\text{ON(MAX)}}}{0.5 \text{ V}} \quad (16)$$

C<sub>IN</sub>を8.47μFより大きくするため、10μFのC11とC12がLM5160の入力側に並列に接続されます。

### 3.5 フィードバック抵抗

フィードバック抵抗ネットワークは、次の式に従って計算されます。抵抗 $R_{FB1}$ は2.7k $\Omega$ に設定され、分割電流 $\sim 0.6$  mAまたは電力損失10mWが割り出されます。この設計がノイズのない環境に置かれたと仮定すると、より小さな分割電流を選択できます。しかし産業用の設計では、2k $\Omega$ が適切な開始点です。

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left( \frac{R_{FB2}}{R_{FB1}} + 1 \right) = 2 V \times \left( \frac{R8}{R6} + 1 \right) \quad (17)$$

標準の抵抗値の中から、 $R8 = 10k\Omega$ と $R6 = 2.7k\Omega$ が選択されます。

### 3.6 動作スイッチング周波数

セクション3.1で、スイッチング周波数は300kHzと決定されました。 $R_{ON}$ は次の式に基づいて、公称スイッチング周波数を設定します。

$$\frac{R8}{R6} = \frac{9.5 V}{2 V} - 1 = 3.75 \quad (18)$$

$$F_{SW} = \frac{V_{C1}}{10^{-10} \times R_{ON}} \quad (19)$$

これに最も近い標準の抵抗値は330k $\Omega$ です。

### 3.7 出力リップルの構成

LM5160は一定オン時間のコントロール・スキーマを使用しており、フィードバック・ノードでの適切な電流リップルが $> 25mV$ の必要があります。

この設計ではタイプ3構成を使用し、 $R_r$ および $C_r$ と、スイッチ・モード電圧とにリップル電流をインジェクトし、三角波を生成します。その後で、 $C_{ac}$ を使用してフィードバック・ノードへACカップリングされます。

エラー・アンプに補償を追加するのは、コントロールから出力への転送機能に含まれているゲインと位相の一部を中和し、電源の安定性低下を避けるためです。

90度を超える位相ブーストを実現するため、タイプ3補償器が使用されます。

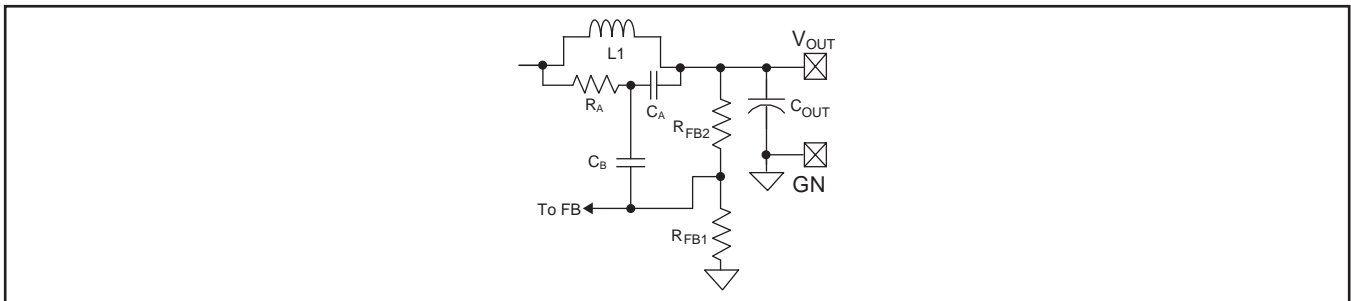


図 5. Typical Noise Amplification Scheme

$$R_{ON} = \frac{V_{C1}}{10^{-10} \times F_{SW}} \quad (20)$$

$C_r$ が2200pF、 $R_r$ が64.8k $\Omega$ で、100k $\Omega$ へ切り上げ可能とします。

0.1 $\mu$ Fのコンデンサを $C_{ac}$ としてリップル回路に使用できます。

### 3.8 EN/UVLO抵抗

UVLO抵抗R3およびR9は、次の式に従い、入力UVLOしきい値とヒステリシスを設定します。

$$R_{ON} = \frac{9.5 \text{ V}}{10^{-10} \text{ A} \times 300000} = 300 \text{ k}\Omega \quad (21)$$

$V_{HYS}$ が2V、R3が100Kであることから

$$RrCr \leq \frac{(V_{IN(MIN)} - V_{OUT}) \times T_{ON}}{25 \text{ mV}} \quad (22)$$

電圧不足の立ち上がり電圧を9Vとすると、R9は16Kになります。この次の標準値は18.2Kです。したがって、R3は100K、R9は18.2Kになります。

### 3.9 ソフトスタート時間

SSピンのコンデンサは、ソフトスタート時間（すなわち、出力電圧が最終的な定常状態の値に達するまでの時間）を決定します。 $T_{SS}$ を4msとすると、コンデンサC7の値は22nFになります。

$$V_{HYS} = 20 \times 10^{-6} \times R3 \quad (23)$$

## 4 ハードウェアの使用開始

この設計は、修正不要でそのまま使用できます。電力定格が最低5Wの負荷抵抗を、出力端子へ直接接続できます。最大電力テストを実行するには、15V(J5)および-15V(J6)端子に100Ωを、5V出力(J4)に5Ωを使用します。 $I_{J5}$ と $I_{J6}$ はそれぞれ150mAに、 $I_{J4}$ は1Aに安定するはずで

## 5 テストのセットアップ

この設計のテストは、最小入力電圧が15V( $V_{IN(MIN)}$ )、最大が36V( $V_{IN(MAX)}$ )で行われます。これによって出力電流は、±15Vの対称と非対称の両方について、0、50、100、および150mAに設定されます。5V出力には、±15Vと同時にまたは個別に、0mA、250mA、500mA、1Aの負荷が接続されます。スタートアップ時の動作は100%負荷でチェックされます。

**表 3. Test Results**

INPUT VOLTAGE (V) $V_{IN}$	OUTPUT CURRENT (mA) $I_{J4}, I_{J5}, I_{J6}$	LOADED OUTPUTS	OUTPUT VOLTAGES (V)		
			$V_{J4}$	$V_{J5}$	$V_{J6}$
15	0	None	5.172	14.99	-14.85
24			5.172	14.99	-14.85
36			5.172	14.99	-14.85
15	250	J4 only	5.164	14.99	-14.84
	50	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	50	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	350	All	5.164	14.84	-14.84
	500	J4 only	5.162	14.99	-14.85
	100	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	100	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	700	All	4.930	14.62	-14.84
	1000	J4 only	4.054	14.99	-14.85
	150	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	150	J6 only	5.172	14.99	-14.84
24	1300	All	3.730	14.36	-14.81
	250	J4 only	5.166	14.99	-14.84
	50	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	50	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	350	All	5.166	14.84	-14.84
	500	J4 only	5.161	14.99	-14.85
	100	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	100	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	700	All	5.161	14.62	-14.84
	1000	J4 only	5.084	14.99	-14.85
	150	J5 only	5.172	14.84	-14.84
36	150	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	250	J4 only	5.168	14.99	-14.84
	50	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	50	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	350	All	5.168	14.84	-14.84
	500	J4 only	5.163	14.99	-14.85
	100	J5 only	5.172	14.84	-14.84
	100	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	700	All	5.161	14.62	-14.84
	1000	J4 only	5.144	14.99	-14.85
	150	J5 only	5.172	14.84	-14.84
36	150	J6 only	5.172	14.99	-14.84
	1300	All	5.140	14.40	-14.84

## 6 テスト結果

### 6.1 スタートアップとシャットダウン

以下のプロットは、全負荷条件におけるスタートアップおよびシャットダウンモード時の、この設計の動作を示したものです。

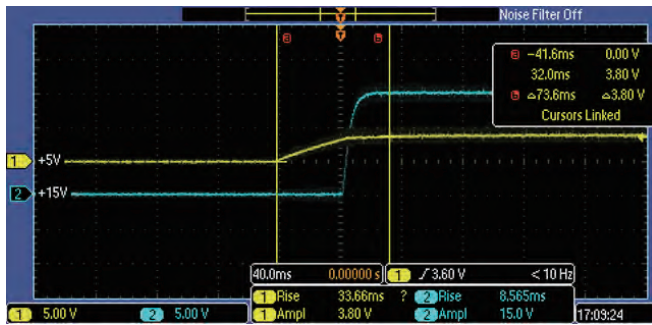


図 6. Startup of  $V_{J5} = 15V$  at  $V_{IN} = 15V$

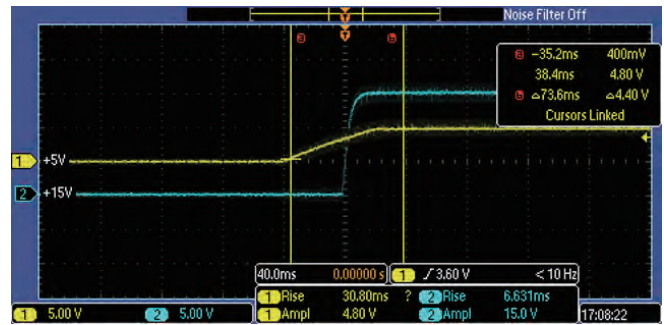


図 7. Startup of  $V_{J5} = 15V$  at  $V_{IN} = 24V$

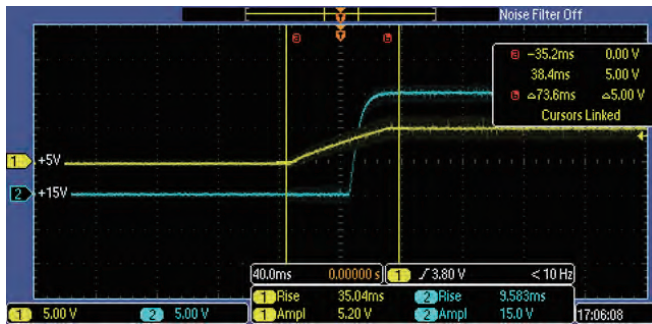


図 8. Startup of  $V_{J5} = 15V$  at  $V_{IN} = 36V$

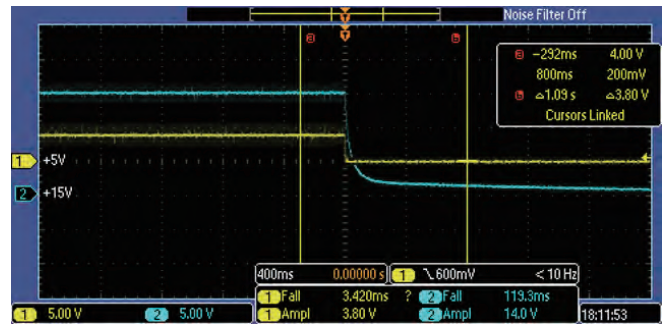


図 9. Shutdown of at  $V_{IN} = 15V$

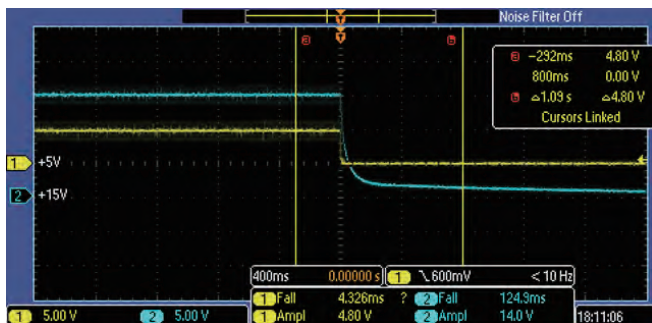


図 10. Shutdown at  $V_{IN} = 24V$

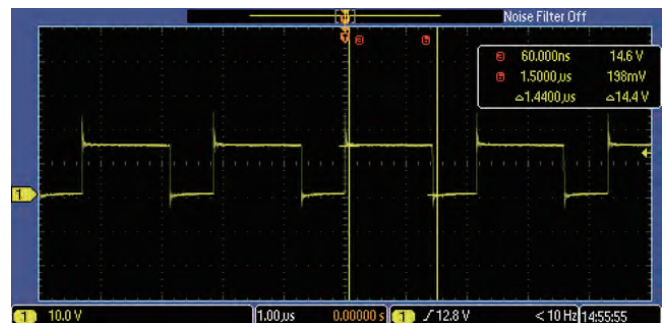


図 11. Switching at  $V_{IN} = 15V$

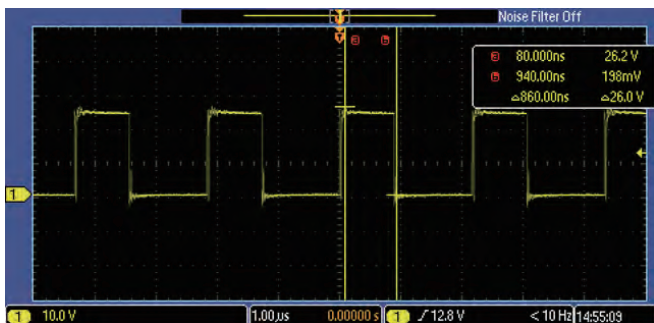


図 12. Switching at  $V_{IN} = 24V$

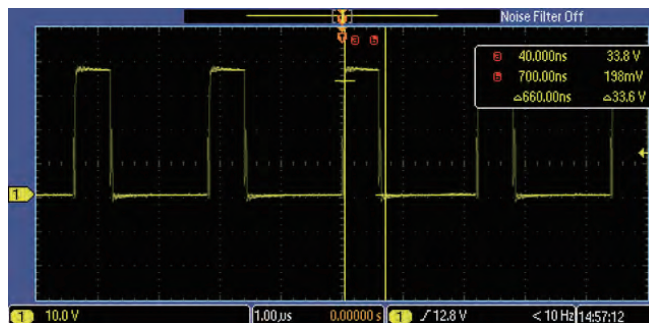


図 13. Switching at  $V_{IN} = 36V$

## 6.2 効率

24V ( $V_{IN(NOM)}$ )における全負荷での入力電流の測定値は534mAです。これは、入力電力12.8Wに対応します。全負荷での出力電力 ( $P_{OUT}$ )は9Wです。結果として効率は70%です。

図14は入力電圧 $V_{IN}$ に応じた効率の変化を示したものです。LDOによるポスト・レギュレーションのため、 $V_{IN(NOM)}$ が24Vで効率がピークになります。分離コンバータは、出力電圧についてライン電圧に依存性があります。入力電圧が高くなると、出力電圧が増大し、その結果LDOにおける電圧低下が大きくなります。このため、高い入力電圧では効率損失が発生します。

この効果は、インダクタンスが高く、一次巻線と二次巻線との間が密に結合された、大型の変圧器を使用するか、LDOの代わりに降圧レギュレータを使用することで低減できます。 $V_{IN(MIN)}$ と $V_{IN(MAX)}$ との範囲を狭くすることで、レギュレーションを改善し、LDOにおけるより小さな電圧低下を使用できるようになります。

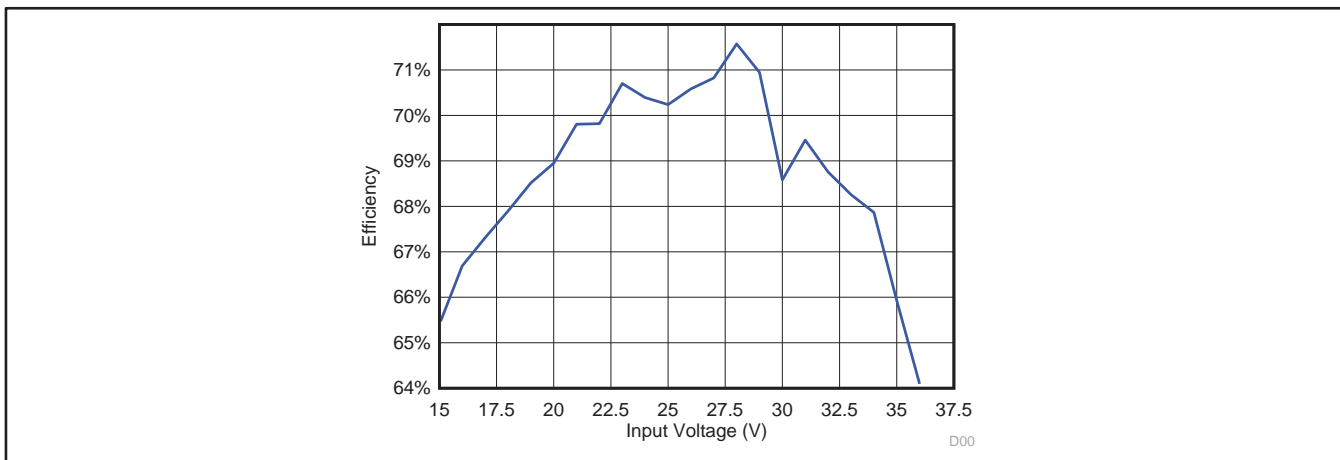


図 14. Overall Efficiency versus Input Voltage

## 6.3 負荷とライン・レギュレーション

表3から、負荷とラインの条件が異なっても、出力電圧は大きな影響を受けないことがわかります。これは、高精度のLDOを使用するポスト・レギュレーションの効果です。

## 6.4 熱分析

図15と図16は、25°CにおいてFLUKE Ti400でキャプチャされたものです。2つの図のスケールは、色コードが一致するように調整されています。

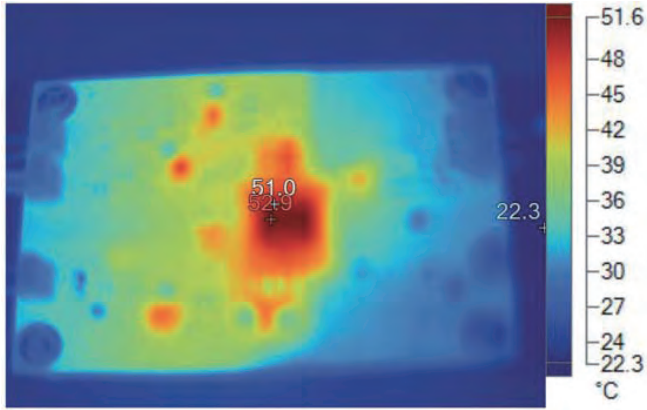


図 15. TIDA-00401 Thermal Analysis Full Load

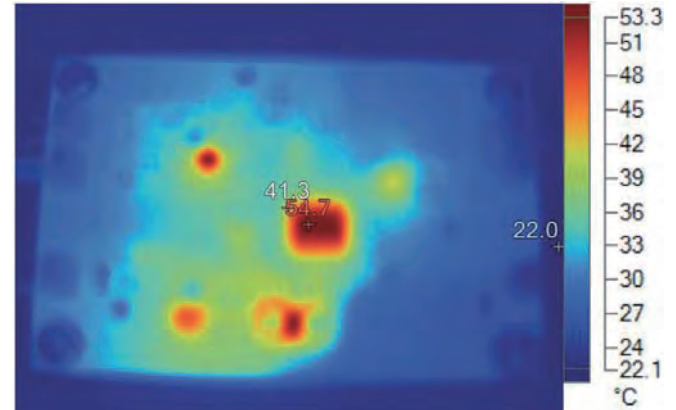


図 16. TIDA-00401 Thermal Analysis 50% Load



# 7 設計ファイル

## 7.1 回路図

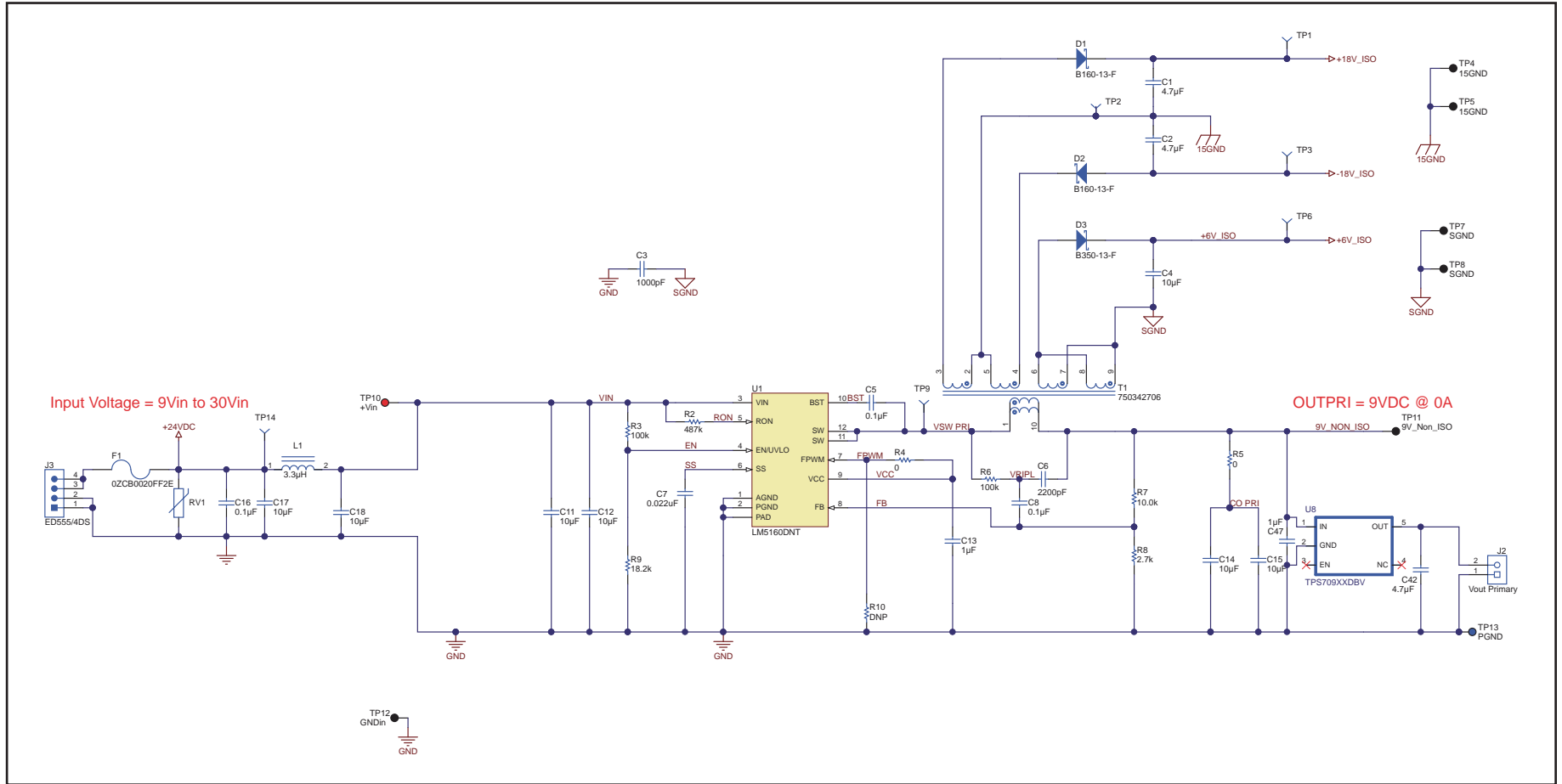
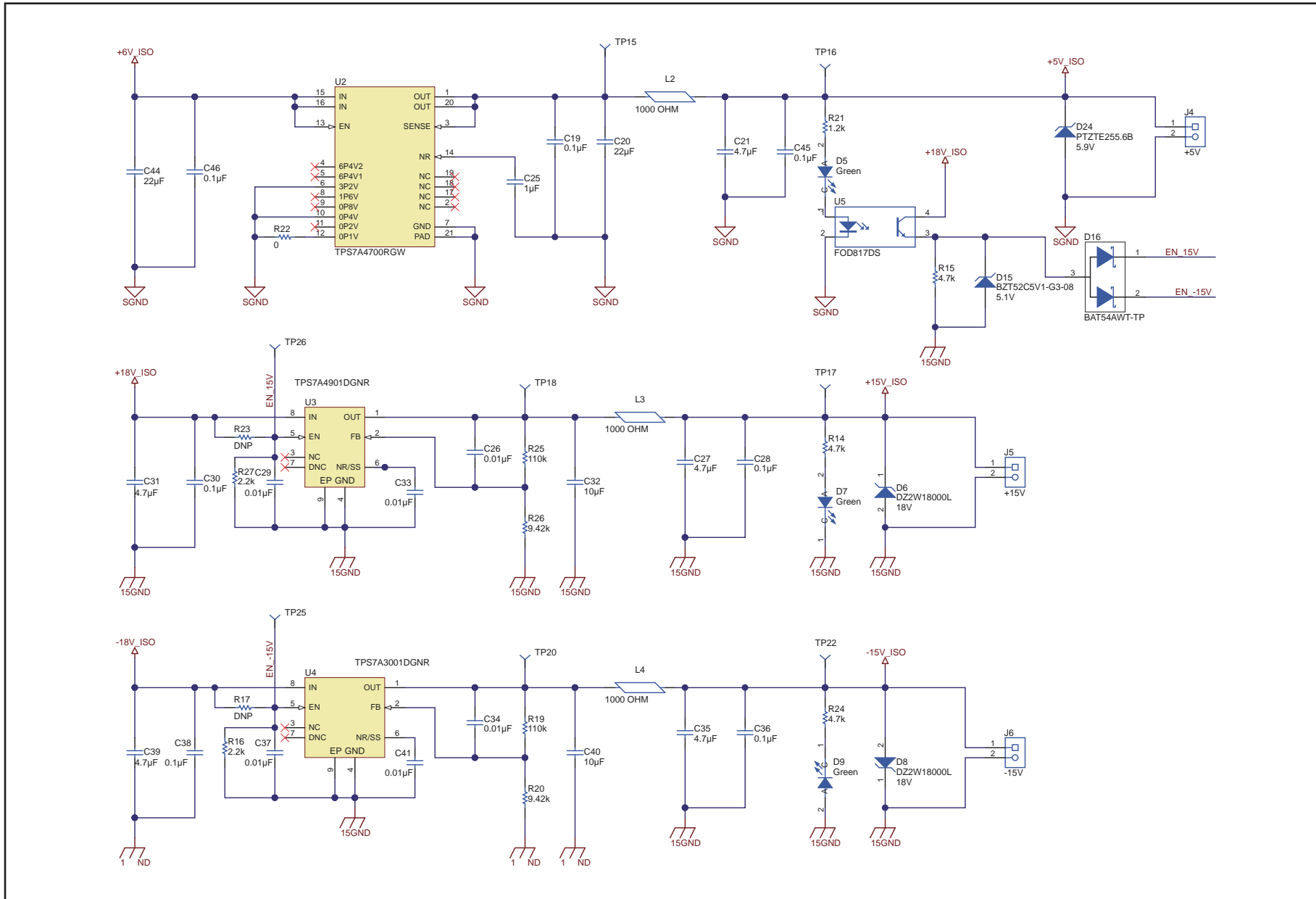


図 17. LM5160 Fly-Buck-Boost Page 1



18. LM5160 Fly-Buck-Boost Page 2

## 7.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、TIDA-00401の設計ファイルを参照してください。

表 4. TIDA-00401 BOM

ITEM	QTY	REFERENCE	DESCRIPTION	MANUFACTURER	MANUFACTURER PARTNUMBER	PCB FOOTPRINT
1	1	PCB1	Printed Circuit Board	Any	TIDA-00401	
2	5	C1, C2, C31, C39, C42	CAP, CERM, 4.7uF, 50V, +/-10%, X7R, 1206	MuRata	GRM31CR71H475KA12L	1206
3	1	C3	CAP, CERM, 1000pF, 1000V, +/-5%, C0G/NP0, 1206	Vishay-Vitramon	VJ1206A102JXGAT5Z	1206
4	3	C4, C14, C15	CAP, CERM, 10uF, 16V, +/-10%, X5R, 0805	Taiyo Yuden	EMK212BJ106KG-T	0805_HV
5	2	C5, C8	CAP, CERM, 0.1uF, 25V, +/-5%, X7R, 0603	Kemet	C0603C104J3RAC	0603
6	1	C6	CAP, CERM, 2200pF, 50V, +/-10%, X7R, 0603	Kemet	C0603C222K5RAC	0603
7	1	C7	CAP, CERM, 0.022uF, 16V, +/-10%, X7R, 0603	MuRata	GRM188R71C223KA01D	0603
8	4	C11, C12, C17, C18	CAP, CERM, 10uF, 50V, +/-10%, X7R, 1210	MuRata	GRM32ER71H106KA12L	1210
9	1	C13	CAP, CERM, 1uF, 25V, +/-10%, X7R, 0603	MuRata	GRM188R71E105KA12D	0603
10	1	C16	CAP, CERM, 0.1uF, 100V, +/-10%, X7R, 0805	Kemet	C0805C104K1RACTU	0805
11	7	C19, C28, C30, C36, C38, C45, C46	CAP, CERM, 0.1uF, 50V, +/-10%, X7R, 0603	AVX	06035C104KAT2A	0603
12	2	C20, C44	CAP, CERM, 22uF, 16V, +/-20%, X5R, 0805	MuRata	GRM21BR61C226ME44	0805_HV
13	3	C21, C27, C35	CAP, CERM, 4.7uF, 50V, +/-10%, X5R, 0805	TDK	C2012X5R1H475K125AB	0805_HV
14	1	C25	CAP, CERM, 1uF, 25V, +/-10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1E105K080AB	0603
15	6	C26, C29, C33, C34, C37, C41	CAP, CERM, 0.01uF, 100V, +/-5%, X7R, 0603	AVX	06031C103JAT2A	0603
16	2	C32, C40	CAP, CERM, 10uF, 25V, +/-10%, X7R, 1206	MuRata	GRM31CR71E106KA12L	1206
17	1	C47	CAP, CERM, 1 uF, 16 V, +/-10%, X7R, 0603	Taiyo Yuden	EMK107B7105KA-T	0603
18	2	D1, D2	Diode, Schottky, 60 V, 1 A, SMA	Diodes Inc.	B160-13-F	SMA
19	1	D3	Diode, Schottky, 50 V, 3 A, SMC	Diodes Inc.	B350-13-F	SMC

表 4. TIDA-00401 BOM

ITEM	QTY	REFERENCE	DESCRIPTION	MANUFACTURER	MANUFACTURER PARTNUMBER	PCB FOOTPRINT
20	3	D5, D7, D9	LED SmartLED Green 570NM	OSRAM	LG L29K-G2J1-24-Z	LED0603AA
21	2	D6, D8	Diode, Zener, 18V, 1W, SOD-123	Panasonic	DZ2W18000L	SOD-123
22	1	D15	Diode, Zener, 5.1 V, 500 mW, SOD-123	Vishay-Semiconductor	BZT52C5V1-G3-08	SOD-123
23	1	D16	Diode, Schottky, 30 V, 0.2 A, SOT-323	Micro Commercial Components	BAT54AWT-TP	SOT-323
24	1	D24	DIODE ZENER 5.9V 1W PMDS	Rohm Semiconductor	PTZTE255.6B	powerDI123
25	1	F1	PTC RESTTBLE 0.05A 60V CHIP 1210	Bel Fuse Inc	0ZCB0020FF2E	1210
26	3	FID1, FID2, FID3	Fiducial mark. There is nothing to buy or mount.	N/A	N/A	Fiducial10-20
27	4	H1, H2, H3, H4	Machine Screw, Round, #4-40 x 1/4, Nylon, Philips panhead	B&F Fastener Supply	NY PMS 440 0025 PH	NY PMS 440 0025 PH
28	4	H5, H6, H7, H8	Standoff, Hex, 0.5"L #4-40 Nylon	Keystone	1902C	Keystone_1902C
29	1	J2	Conn Term Block, 2POS, 3.81mm, TH	Phoenix Contact	1727010	PhoenixConact_1727010
30	1	J3	Terminal Block, 6A, 3.5mm Pitch, 4-Pos, TH	On-Shore Technology	ED555/4DS	TERM_BLK_ED555-4DS
31	1	J4	Conn Term Block, 2POS, 3.81mm, TH	Phoenix Contact	1727010	PhoenixConact_1727010
32	1	J5	Conn Term Block, 2POS, 3.81mm, TH	Phoenix Contact	1727010	PhoenixConact_1727010
33	1	J6	Conn Term Block, 2POS, 3.81mm, TH	Phoenix Contact	1727010	PhoenixConact_1727010
34	1	L1	Inductor, Chip, $\pm 10\%$	EPCOS INC.	B82422H1332K	IND_B82422H
35	3	L2, L3, L4	FERRITE CHIP 1000 OHM 1500MA 0805, FERRITE CHIP 1000 OHM 300MA 0603, FERRITE CHIP 1000 OHM 300MA 0603	TDK Corporation	MPZ2012S102AT000, MMZ1608B102C, MMZ1608B102C	FB0603
36	1	LBL1	Thermal Transfer Printable Labels, 0.650" W x 0.200" H - 10,000 per roll	Brady	THT-14-423-10	Label_650x200
37	1	R2	RES, 487k ohm, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW0603487KFKEA	0603
38	2	R3, R6	RES, 100 k, 1%, 0.1 W, 0603, RES, 100k ohm, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW0603100KFKEA	0603
39	5	R4, R10, R17, R22, R23	RES, 0, 5%, 0.1 W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06030000Z0EA	0603
40	1	R5	RES, 0, 5%, 0.125 W, 0805	Vishay-Dale	CRCW08050000Z0EA	0805_HV
41	1	R7	RES, 10.0k ohm, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060310K0FKEA	0603
42	1	R8	RES, 2.7 k, 5%, 0.1 W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06032K70JNEA	0603
43	1	R9	RES, 18.2k ohm, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060318K2FKEA	0603
44	3	R14, R15, R24	RES, 4.7k ohm, 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06034K70JNEA	0603
45	2	R16, R27	RES, 2.2 k, 5%, 0.1 W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06032K20JNEA	0603
46	2	R19, R25	RES, 110k ohm, 1%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW0402110KFKED	0603

表 4. TIDA-00401 BOM

ITEM	QTY	REFERENCE	DESCRIPTION	MANUFACTURER	MANUFACTURER PARTNUMBER	PCB FOOTPRINT
47	2	R20, R26	RES, 9.42k ohm, 1%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	TNPW04029K42BEED	0603
48	1	R21	RES, 1.2k ohm, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04021K20JNED	0402
49	1	RV1	VARISTOR 36.9V 30A 0805	AVX	VC080530A650DP	1206
50	1	T1	Transformer, 50 uH, SMT	Würth Elektronik eiSos	750342706	TR_750342706
51	11	TP1, TP2, TP3, TP6, TP9, TP14, TP15, TP18, TP20, TP25, TP26	Test Point 40mil pad 20mil drill	STD	STD	TP1_PD40_D0.5_S50
52	2	TP4, TP5	Test Point, Multipurpose, Black, TH	Keystone	5011	Keystone5011
53	2	TP7, TP8	Test Point, Multipurpose, Black, TH	Keystone	5011	Keystone5011
54	1	TP10	Test Point, Multipurpose, Red, TH	Keystone	5010	Keystone5010
55	1	TP11	Test Point, Multipurpose, Black, TH	Keystone	5011	Keystone5011
56	1	TP12	Test Point, Multipurpose, Black, TH	Keystone	5011	Keystone5011
57	1	TP13	Test Point, Multipurpose, Blue, TH	Keystone	5127	Keystone5127
58	3	TP16, TP17, TP22	Test Point 40mil pad 20mil drill	STD	STD	TP1_PD40_D0.5_S50
59	1	U1	Wide Input 65V, 1.5A Synchronous Step-Down DC-DC Converter, DNT0012B	Texas Instruments	LM5160DNT	DNT0012B
60	1	U2	36-V, 1-A, 4.17-µVRMS, RF LDO Voltage Regulator, RGW0020A	Texas Instruments	TPS7A4700RGW	RGW0020A
61	1	U3	Single Output High PSRR LDO, 150 mA, Adjustable 1.2 to 33 V Output, 3 to 36 V Input, with Ultra-Low Noise, 8-pin MSOP (DGN), -40 to 125 degC, Green (RoHS & no Sb/Br)	Texas Instruments	TPS7A4901DGNR	DGN0008D_N
62	1	U4	Single Output High PSRR LDO, 200 mA, Adjustable -1.18 to -33 V Output, -3 to -36 V Input, with Ultra-Low Noise, 8-pin MSOP (DGN), -40 to 125 degC, Green (RoHS & no Sb/Br)	Texas Instruments	TPS7A3001DGNR	DGN0008D_N
63	1	U5	Optocoupler, 5kV RMS, SMT	Fairchild Semiconductor	FOD817DS	N04C
64	1	U8	IC,150mA, Ultra Low IQ, 1uA LDO Regulator with Enable	TI	TPS709xxDBV	DBV-5

### 7.3 PCBレイアウトの推奨事項

低EMIと優れた熱特性を実現するため、PCBレイアウトにはいくつかの推奨事項があります。レイアウトは35 $\mu$ mの銅膜を使用した2層基盤に実装されています。デバイスの温度を85 $^{\circ}$ C以下に制限するため、各ICには十分な銅のヒートシンク領域が提供されます。

図19は、降圧コンバータの $t_{OFF}$ および $t_{ON}$ フェーズにおけるスイッチ電流パスを示したものです。 $t_{ON}$ 時には電流がコンデンサC11およびC12から、パス1、2、3、4を流れます。EMIを減らすため、 $t_{ON}$ 時のスイッチ電流のループ領域は最小に抑える必要があります。

$t_{OFF}$ 時には、T1一次巻線からパス3、4へ電流が流れます。EMIを減らすため、 $t_{OFF}$ 時のスイッチ電流のループ領域は最小に抑える必要があります。U1のスイッチングにより発生する不要なグリッチを避けるため、ブートストラップ・コンデンサC5は可能な限りU1に近く配置する必要があります。このレイアウトは、EMIを減らし、優れた熱特性を実現するための例として示されています。

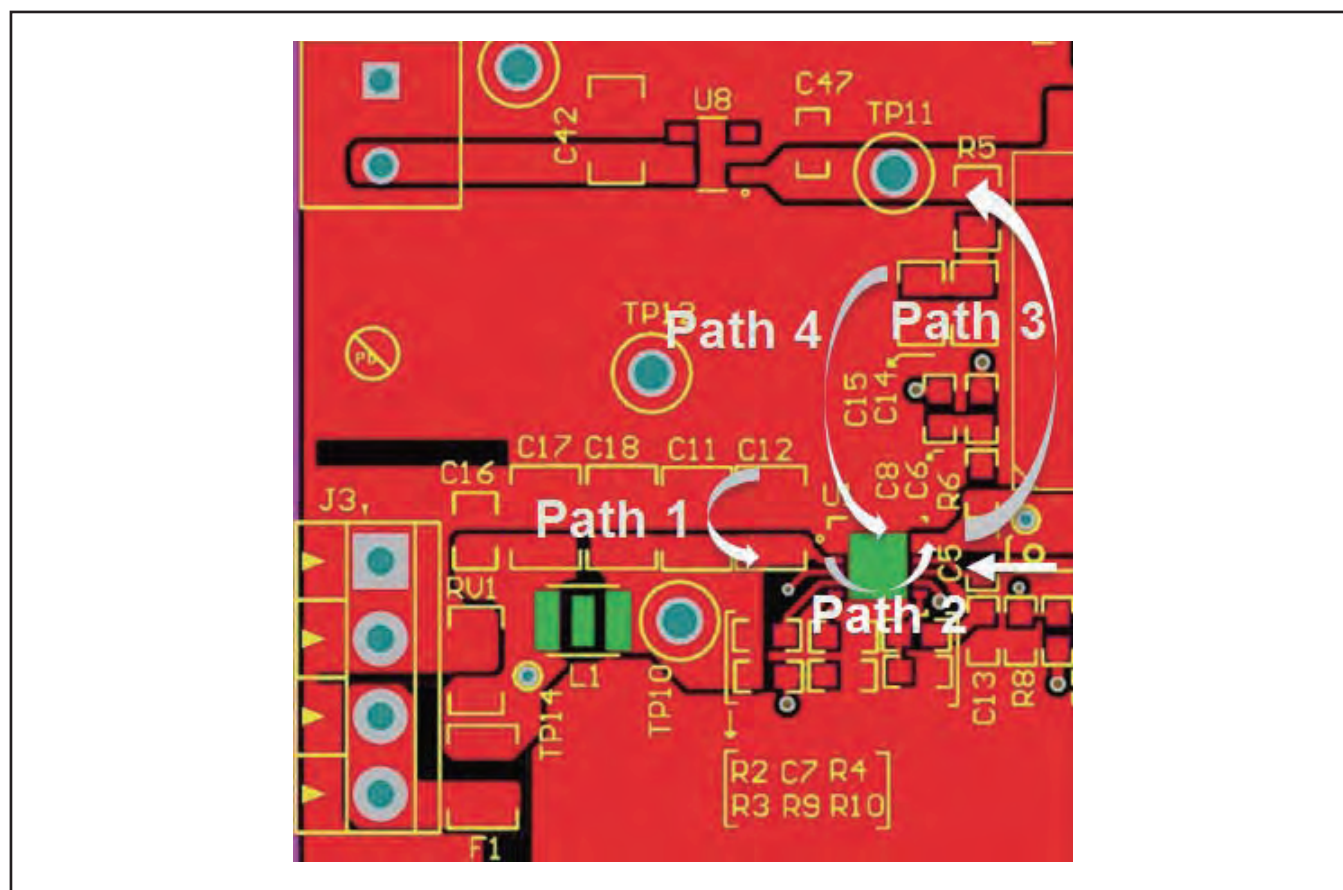


図 19. Isolating Converter Primary Side

Figure 20 shows the critical parts of the layout for the secondary side. To reduce EMI, the current loops shown by ellipses Loop 4, 5, and 6 are kept as small as possible. Therefore, D1-C1, D2-C2, and D3-C4 are placed near to each other and the transformer.

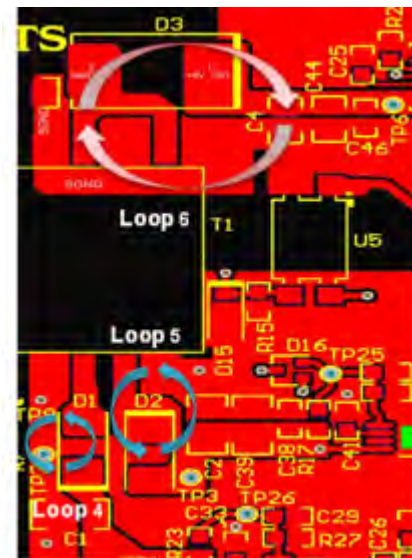


Figure 20. Isolating Converter Secondary Side

### 7.3.1 Layer Plots

To download the layer plots, see the design files at [TIDA-00401](#).

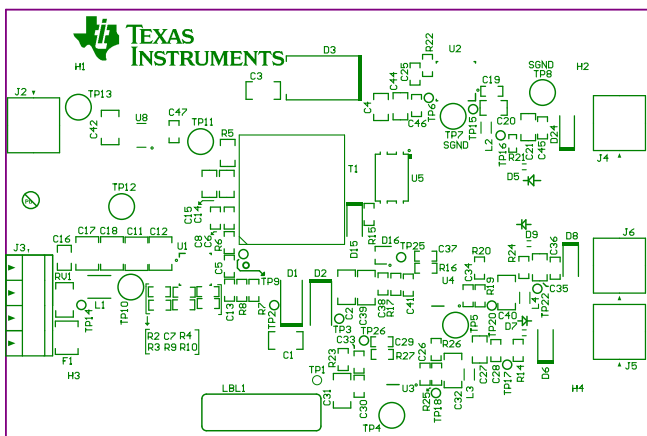


Figure 21. Top Silkscreen Overlay



Figure 22. Top Solder Mask

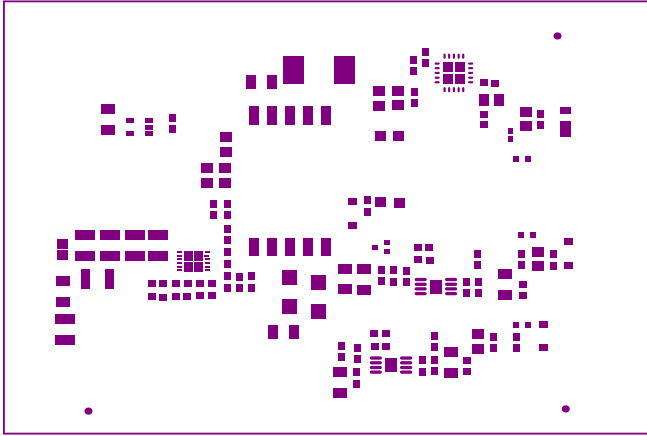


Figure 23. Top Paste Mask

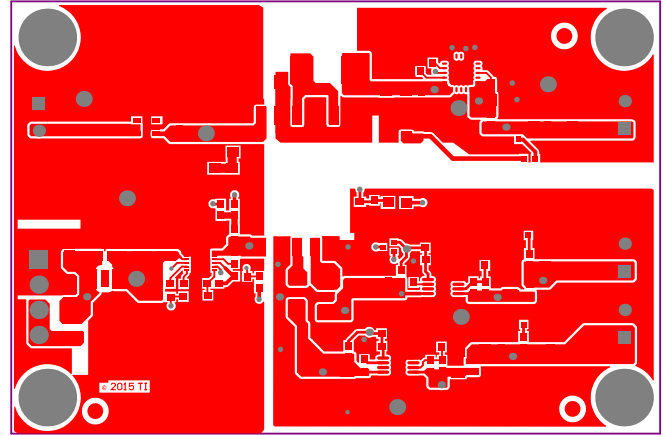


Figure 24. Top Layer

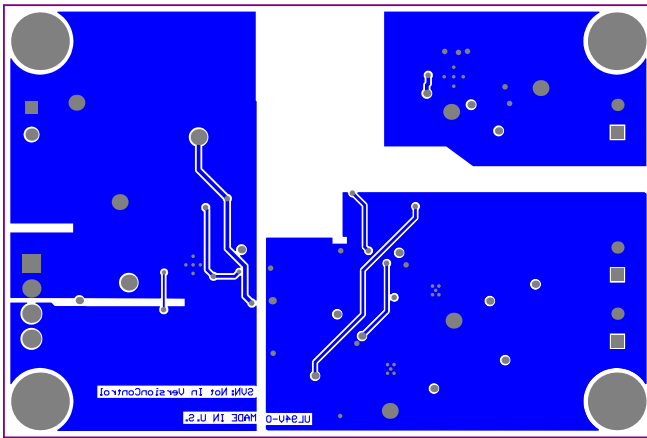


Figure 25. Bottom Layer

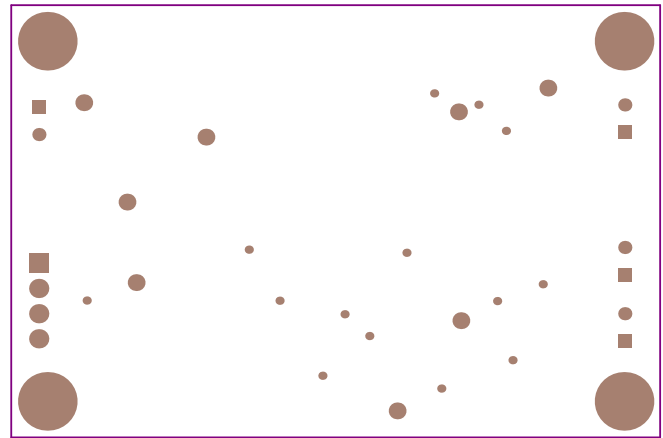
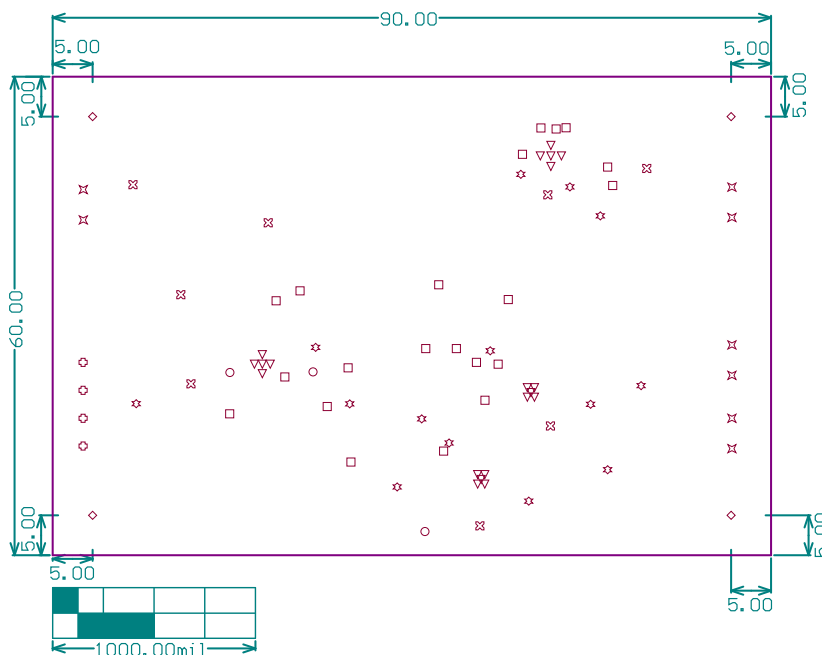


Figure 26. Bottom Solder Mask



Symbol	Hit Count	Tool Size	Plated	Hole Type
v	20	7.874mil (0.2mm)	PTH	Round
o	3	12mil (0.305mm)	PTH	Round
□	21	16mil (0.406mm)	PTH	Round
x	14	20mil (0.508mm)	PTH	Round
×	8	43.307mil (1.1mm)	PTH	Round
o	4	50mil (1.27mm)	PTH	Round
⊗	8	63mil (1.6mm)	PTH	Round
◇	4	125.984mil (3.2mm)	PTH	Round
<b>82 Total</b>				

Drill Table

Figure 27. Drill Drawing



### 7.4 Altium Project

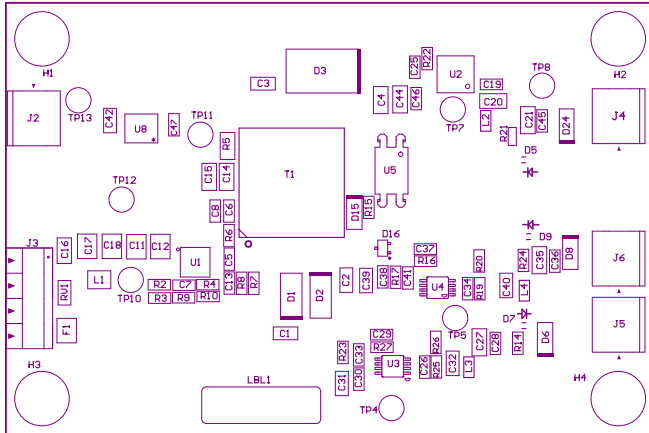
To download the Altium project files, see the design files at [TIDA-00401](#).

### 7.5 Gerber Files

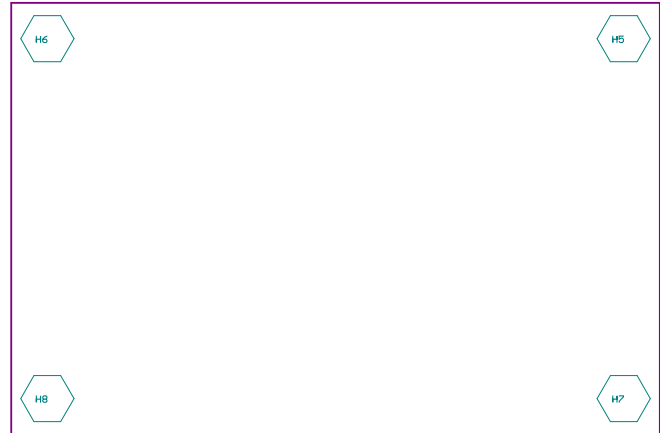
To download the Gerber files, see the design files at [TIDA-00401](#).

### 7.6 Assembly Drawings

To download the assembly drawings, see the design files at [TIDA-00401](#).



**Figure 28. Top Assembly Drawing**



**Figure 29. Bottom Assembly Drawing**

## 8 References

1. Texas Instruments, *Ultra-Thin, Small Footprint 1-W, 12- to 36-V Isolated Power Supply With  $\pm 15$  V and 5 V for Analog PLC Modules*, TIDA-00237 Design Guide ([TIDU855](#)).
2. Texas Instruments, *AN-2292 Designing an Isolated Buck (Flyback) Converter*, Application Report ([SNVA674](#)).

## 9 About the Authors

**SANKAR SADASIVAM** is Chief Technologist for Industrial Systems Engineering at Texas Instruments where he is responsible for architecting and developing reference design solutions for the industrial segment. Sankar brings to this role his extensive experience in analog, RF, wireless, signal processing, high-speed digital and power electronics. Sankar earned his master of science (MS) in electrical engineering from the Indian Institute of Technology, Madras.

**SRINIVASAN IYER** is a Systems Engineer at Texas Instruments India where he is responsible for developing reference design solutions for the industrial segment. Srinivasan has four years of experience in analog circuit designs for field transmitter and signal chain. He can be reached at [sriyer@ti.com](mailto:sriyer@ti.com).

---

## Revision B History

<b>Changes from A Revision (August 2015) to B Revision</b>	<b>Page</b>
• Changed input capacitance ( $C_{IN}$ ) placement and voltage range from 12 to 36 V in front-page block diagram .....	1
• Changed input capacitance ( $C_{IN}$ ) placement and voltage range from 12 to 36 V in <a href="#">Figure 1</a> .....	3
• Changed input capacitance ( $C_{IN}$ ) placement and voltage range from 12 to 36 V in <a href="#">Figure 2</a> .....	4

---

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

## Revision A History

<b>Changes from Original (June 2015) to A Revision</b>	<b>Page</b>
• Changed from preview page .....	1

---

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

# 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 © 2015, 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