

Design Guide: TIDA-020101

車載対応、48V 300W HVAC ポンプ、ブロワ、ファンのリファレンス デザイン



説明

このリファレンス デザインは、48V、300W ピークのスマート モーター ブラシレス直流 (BLDC) の実装を提示します。ディスクリット構成により、最小 55mm の小型で柔軟性の高いフォーム ファクタを実現できます。この設計では、100 μ A 未満の低消費電力スリープ モードが維持されます。この設計は TI の半導体を活用し、効率的な動作を実現しています。このアーキテクチャは、高い電力、高精度、小型化が必要な、要件の厳しい車載 HVAC アプリケーションに適した、堅牢な土台を提供します。

リソース

TIDA-020101	デザイン フォルダ
DRV8363-Q1	プロダクト フォルダ
TLIN4029A-Q1	プロダクト フォルダ
MSPM0G3507-Q1	プロダクト フォルダ
LM5168-Q1	プロダクト フォルダ
TPS7B81-Q1	プロダクト フォルダ
MSPM0 センサレス FOC チューニング	ユーザーズ ガイド

特長

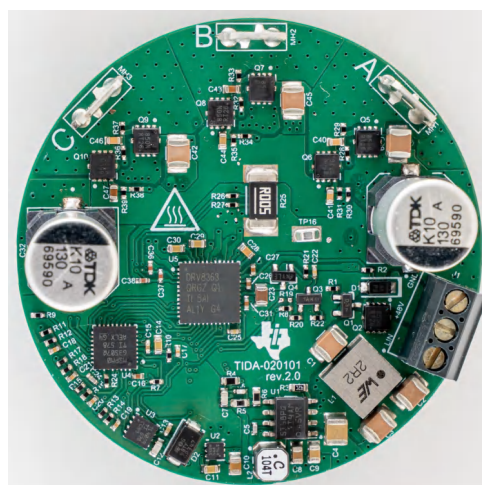
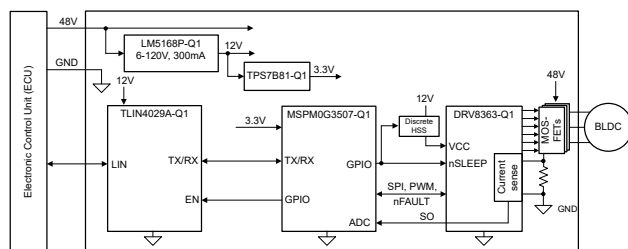
- 小型フォーム ファクタ (直径 55mm の PCB、片面部品配置)
- 低スリープ電流 (< 100 μ A 最大値)
- 70V の LIN バス フォルト電圧 48V アーキテクチャでの堅牢な LIN 通信
- すぐに使用できるフィールドオリエンテッド コントロール (FOC) アルゴリズムに加え、ロイヤリティフリーのマイコン アブストラクション レイヤ (MCAL) ドライバ (ローカル 相互接続ネットワーク [LIN] 2.x、約 50Hz ~ 10kHz のパルス幅変調 [PWM])
- スリープとウェークアップを LIN 経由で実行
- 柔軟な通信インターフェイスは、LIN2.x と PWM (約 50Hz ~ 10kHz PWM) をサポート

アプリケーション

- [車載熱管理ブロワ、ファン、ポンプ モジュール](#)
- [エンジン ファン](#)
- [車載用ポンプ](#)



テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。



1 システムの説明

ブラシレス DC (BLDC) モーターは、ブラシ付き DC (BDC) モーターに比べて性能特性が向上しているため、車載アプリケーションにおける勢いを増しています。BLDC モーターは、効率の向上、寿命の延長、電気ノイズの低減を実現します。

一方、48V アーキテクチャへの移行は引き続き勢いを増し続けています。スマートアクチュエータの分野において、約 100W 以上の負荷は、軽量化の可能性が最も高いことから、12V から 48V への移行が最初に進む領域の一つになると予測されています。

このリファレンス デザインは、HVAC (空調) ブロワ、電気式液体ポンプ、冷却ファン、その他の関連デバイスなど、さまざまな車載機器に 48V BLDC スマート モーターを実装するための包括的なアプローチを示します。このデザインは、直径 55mm のコンパクトな外形をサポートする方法で、進化を続ける市場トレンドに対応しています。また、このリファレンス デザインでは TI の小さいスリープ電流 (最大 100 μ A 未満) を活用し、電力効率を向上させています。

このリファレンス デザインの主な機能は、整流制御に TI のシングルシャント センサレス FOC アルゴリズムを使用しており、ユーザー固有のアプリケーションに完全にカスタマイズして統合することができます。このアルゴリズムは、LIN2.x と最大 10kHz の PWM 周波数に対応したロイヤリティフリーの MCAL ドライバと連携し、シームレスなシステム統合に向けた柔軟な通信オプションを提供します。

このリファレンス デザインは、セキュアなシステム動作を可能にするため、セキュア ブートおよびファームウェア更新機能が内蔵されており、ユーザーはシステム ソフトウェア構成を高精度で制御できます。さらに、48V アーキテクチャにおける業界最高水準の堅牢な LIN 通信の実装は、信頼性と性能に対する TI の強いコミットメントを示すものです。中でも特筆すべきは、市場において業界初となる 70V LIN バス フォルト電圧トランスミッタの存在です。

スケーラビリティ要件に対応するために、このリファレンス デザインでは、LIN TX と LIN RX、モーター電力、その他関連する接続を含む様々なインターフェースにおいて、ピン互換性を実現しています。また、このシステムは LIN 経由でのスリープおよびウェイク機能もサポートしており、デバイスは高速な応答を維持しながら、非アクティブ時に低消費電力状態に移行できます。

アナログ部品は逆極性保護および PI フィルタを搭載しており、直径 55mm のコンパクトな円形 PCB に実装されています。このフォーム ファクタは、一般的なモーター駆動基板の形状を忠実に再現しており、既存のシステムへの容易な組み込みが可能になります。PCB は 3 ピンねじ込みコネクタを使用しており、+48V、GND、LIN 信号にアクセスできます。

1.1 主なシステム仕様

パラメータ	コメント	最小値	標準値	最大値	単位	
V _{IN}	入力電圧	推奨動作条件	13	48	85	V
I _{IN}	入力電流	EMI フィルタの入力電流容量	-	-	12.4	A
I _{OUT, rms}	出力電流		-	6.25	-	A
I _{SLEEP}	スリープ電流	システムがスリープ モードのときの入力コネクタの電流	-	80.7	-	μ A
V _{LIN_FAULT}	LIN バス フォルト電圧		-	-	\pm 70	V
f _{PWM}	PWM 周波数		-	20	-	kHz
f _{FOC}	FOC レート	FOC 制御ループレート		5	16	kHz
T _A	周辺温度		-40	25	125	$^{\circ}$ C
d	直径	円形 PCB の直径	-	55	-	mm



警告

表面は高温！触れるとやけどの原因になることがあります。触れないでください！

基板の電源を入れると、一部の部品は > 55 $^{\circ}$ C の高温に達することがあります。動作中は常に、また動作直後も高温の状態が続く可能性があるため、基板に触れてはいけません。

2 システム概要

図 2-1 と図 2-2 に、FR4 4 層 PCB の主要なコンポーネントを示した、システムアーキテクチャの写真を示します。PCB は、LIN 通信インターフェイス、マイコン (MCU)、BLDC モーター用ゲートドライバ、電源で構成されています。これらの IC は、3 つのハーフブリッジ MOSFET、アクティブ逆極性保護用の 1 つの MOSFET、EMI フィルタインダクタ、シャント抵抗により追加サポートを受けます。

この基板を設計する際は、部品の配置について細心の注意を払っています。すべてのアクティブ部品は、コネクタとの間の効率的な電流経路を維持しながら、PCB 表面全体に熱を分散するように戦略的に配置されています。さらに、設計に必要なすべてのコンポーネントは PCB の上面に配置されているため、ポンプ、ブロワ、ファンセクターの最新の要件に合わせてスペースを最大限に活用できます。PCB の底面はテスト用に確保されており、最終製品においては完全に取り外すことができます。

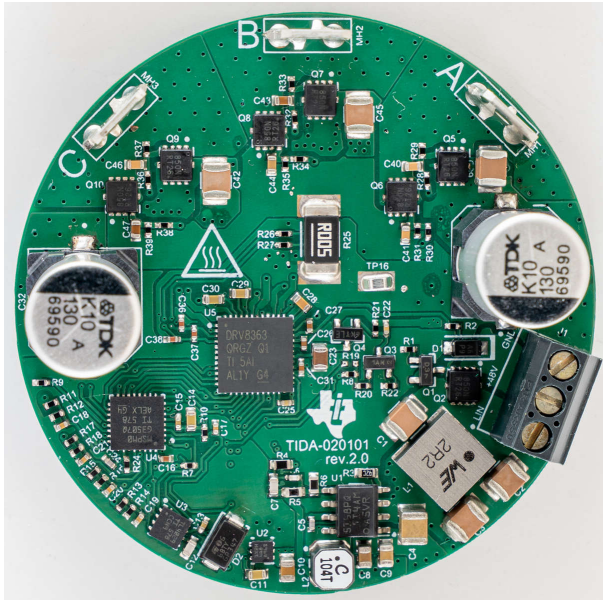


図 2-1. TIDA-020101 PCB の上面図

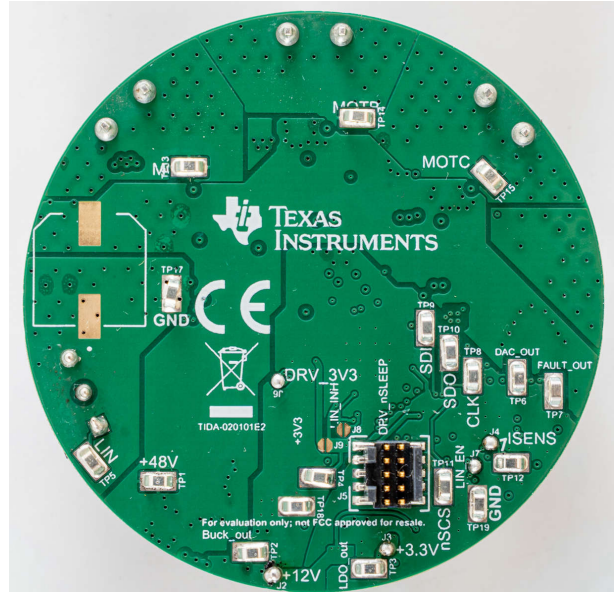


図 2-2. TIDA-020101 PCB の底面図

2.1 ブロック図

TIDA-020101 ブロック図を図 2-3 に示します。

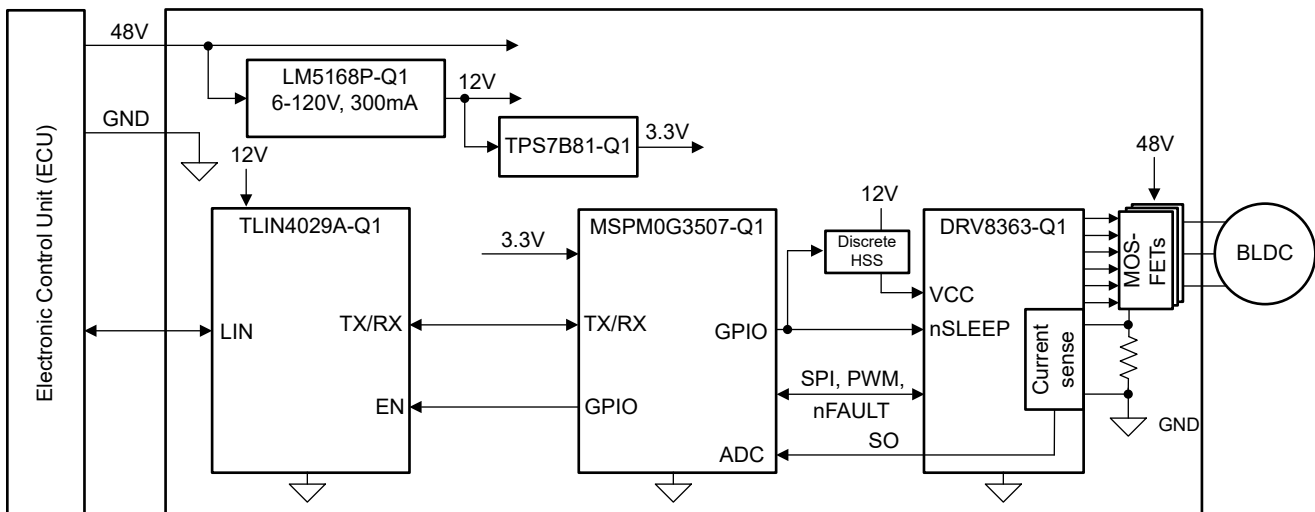


図 2-3. TIDA-020101 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 48V スマート アクチュエータ アーキテクチャ

現代の車載システムは、電動化の進展に対応するため、より高電圧なアーキテクチャへと進化しています。48V スマートアクチュエータシステムを実装するための主要なアーキテクチャには 3 つの種類が存在し、それぞれが独自の特性とトレードオフを有しています。

2.2.1.1 48V 分散型アーキテクチャ

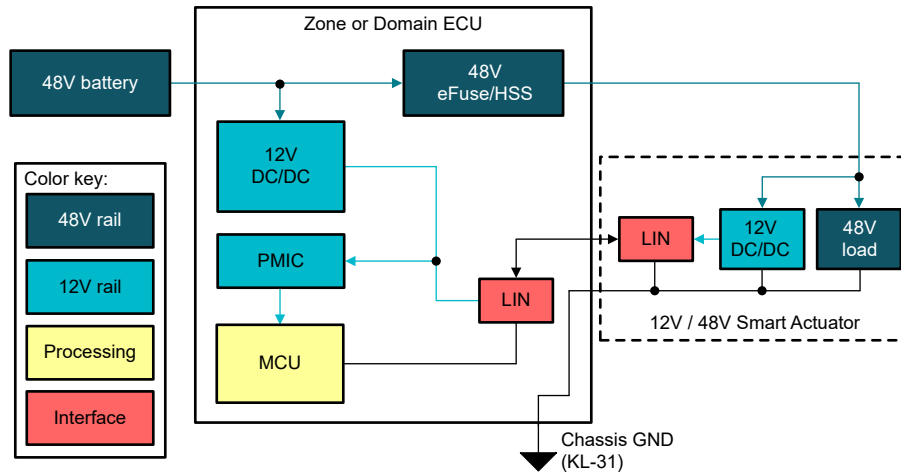


図 2-4. 48V アーキテクチャ

図 2-4 に示す 48V アーキテクチャでは、ゾーンまたはドメインの電子制御ユニット (ECU) をスマートアクチュエータを接続するのに、2 本から 3 本のワイヤ (48V、LIN、GND) のみを用いるという、簡素化された配線アプローチを採用しています。スマートアクチュエータには、通信インターフェイス、マイコン、モータードライバに必要な電圧を生成するための電力段が含まれています。この方法では、アクチュエータ動作に必要な電力を供給しながら、配線の複雑さを最小限に抑えることができます。

主な特性は次のとおりです。

- 配線が簡単
- 各スマートアクチュエータ内に DC-DC コンバータが必要
- 48V と LIN の間の短絡やグラウンドの断線を含む潜在的なシステム障害

2.2.1.2 48V および 12V の分散型アーキテクチャ

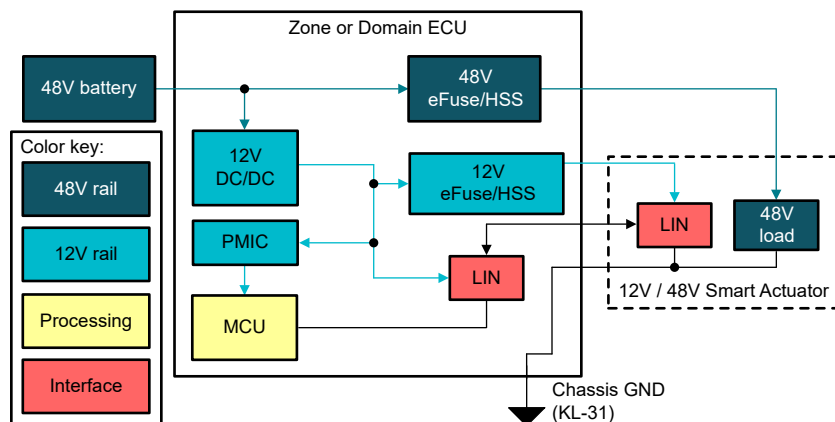


図 2-5. 48V および 12V の分散型アーキテクチャ

この中間アプローチでは、48V と 12V の両方の電源がスマートアクチュエータに分配されるため、図 2-5 に示すように 3 線から 4 線 (48V、12V、LIN、GND) が必要です。上部 ECU には 48V と 12V の両方のハイサイドスイッチが含まれているため、パワー ディストリビューション システムがより複雑になります。

主な特性は次のとおりです。

- 中程度の配線の複雑さ
- 48V LIN バスフォルトの可能性
- システム障害には、48V と LIN の間の短絡や、48V と 12V の間の短絡が含まれる

2.2.1.3 48V および 12V の電源アーキテクチャ

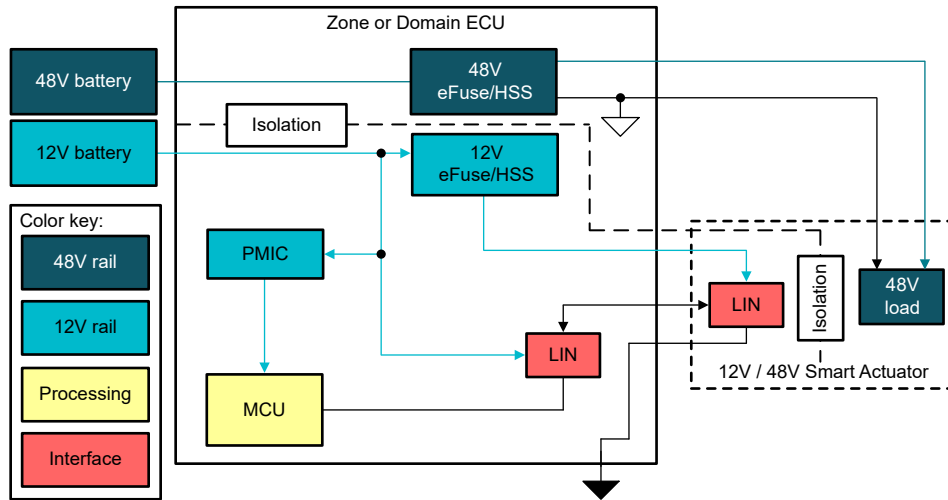


図 2-6. 48V および 12V の電源アーキテクチャ

最も複雑なアーキテクチャは図 2-6 に示されており、5 本のワイヤ (48V、12V、LIN、GND_12V、GND_48V) を使用して、電源ドメイン間を絶縁しています。このアプローチにより、混在電圧アーキテクチャに対して、最高レベルの保護と耐障害性を実現します。

主な特性は次のとおりです。

- 最も複雑な配線実装
- 絶縁部品が、LIN または 12V からの 48V を保護する
- 絶縁により、グラウンド損失に関する懸念が排除される
- 追加の絶縁部品が必要になるので、システムコストが増加する

2.2.1.4 リファレンス デザインのアーキテクチャ

このリファレンス デザインでは、現在の市場トレンドを表し、最もコスト効率の優れたアプローチを実現する 48V 分配アーキテクチャを採用しました。このアーキテクチャは、システムの複雑さ、部品数、信頼性のバランスを保ちながら、性能要件を満たします。シンプルな配線方式を採用すると、自動車の重量と製造コストを削減できます。また、各スマートアクチュエータに内蔵された DC/DC コンバータにより、必要な電圧変換がローカルで実行され、システム全体の効率が向上し、電磁干渉 (EMI) が低減されます。

2.2.2 低消費電力スリープモードアーキテクチャ

多くのアプリケーションは、連続的ではなく、周期的または不定期に動作します。そのため、消費電力を抑え、それによって EV の航続距離を延ばすために、低電力モードが実装されることがあります。このようなモードを実装するには、次の 2 つの方法があります。

- 低消費電力モード時にエッジへの電源供給を完全に遮断するため、上位 ECU にハイサイドスイッチまたは eFuse を実装
- スリープモードと LIN 経由のリモートウェイクアップを可能にする、LIN ウェイク機能を備えた連続電力供給エッジノード

このリファレンス デザインでは、最新の市場トレンドを踏まえ、LIN 経由のリモート ウェークアップ アプローチを採用しています。このアプローチにより、上側の ECU から独立した信頼性の高い方法を実現し、100 μ A 未満のスリープ電流を供給できます。

図 2-7 に、システムの機能モードを示します。

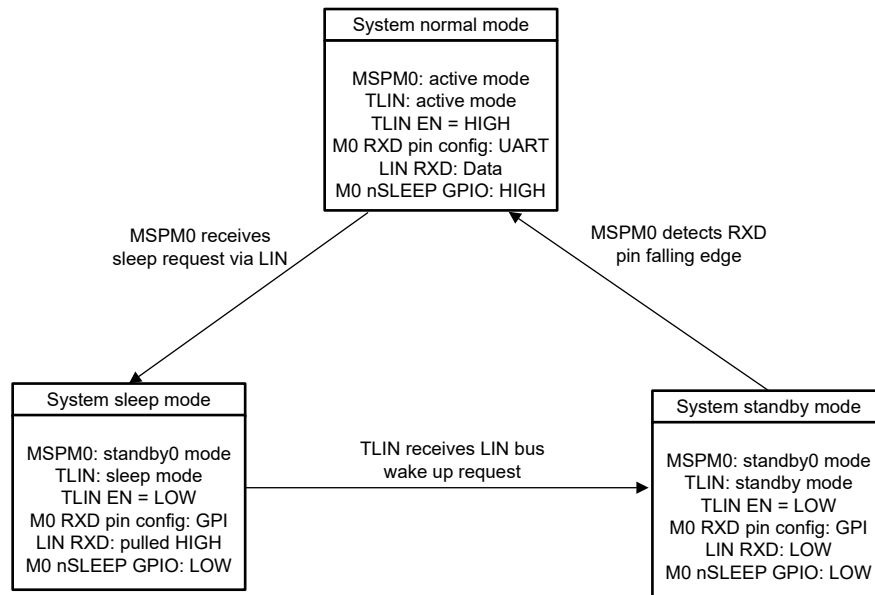


図 2-7. システムの機能モード

2.2.3 バルク容量の推定

BLDC モーターの駆動に使用される高周波 PWM 信号により、DC リンク コンデンサ内で電圧変動と交流電流が発生します。特に、ほぼ 1 の力率で動作する PMSM の場合、これらのコンデンサにかかる最大推定電流ストレスは式 1 で算出計算できます。

$$I_{C,rms} \cong \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_{OUT,rms} \quad (1)$$

式 2 は、電流の瞬時値を表します。

$$I_{C,rms} = C_{bulk} \times \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

最大コンデンサリップル電圧が、 $I_{OUT,rms} = 6.25A$ 時における許容最大コンデンサリップル電圧を $V_{ripple} = 1V$ とすると、必要な最小容量は式 3 を使って推定されます。

$$C_{bulk} = I_{C,rms} \times \frac{dt}{dV} = I_{C,rms} \times \frac{1}{f_{PWM} \times dV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_{OUT,rms} \times \frac{1}{f_{PWM} \times dV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 6.25A \times \frac{1}{20kHz \times 1V} = 221\mu F \quad (3)$$

この推定値は、 $V_{ripple} = 1V$ のリップル電圧を達成できるかどうか、追加容量が必要かどうかを判定するための、ラボ検証のための有用なベースラインとして機能します。この計算に基づき、 $C_{bulk} = 290\mu F$ のバルク容量とともに、必要に応じて追加の $130\mu F$ に対応できるように追加のフットプリントが用意されています。

2.2.4 EMI PI フィルタ

オンボード EMI 入力フィルタは、PWM 動作によって発生する低周波ノイズを抑制する設計を採用しています。このフィルタリング回路には、コンデンサ C1、C2、C3 のほか、パワー インダクタ L1 が含まれます。このフィルタの周波数応答を図 2-8 に示します。これは、150kHz を超える周波数において 30dB を超える減衰が生じていることを示しています。

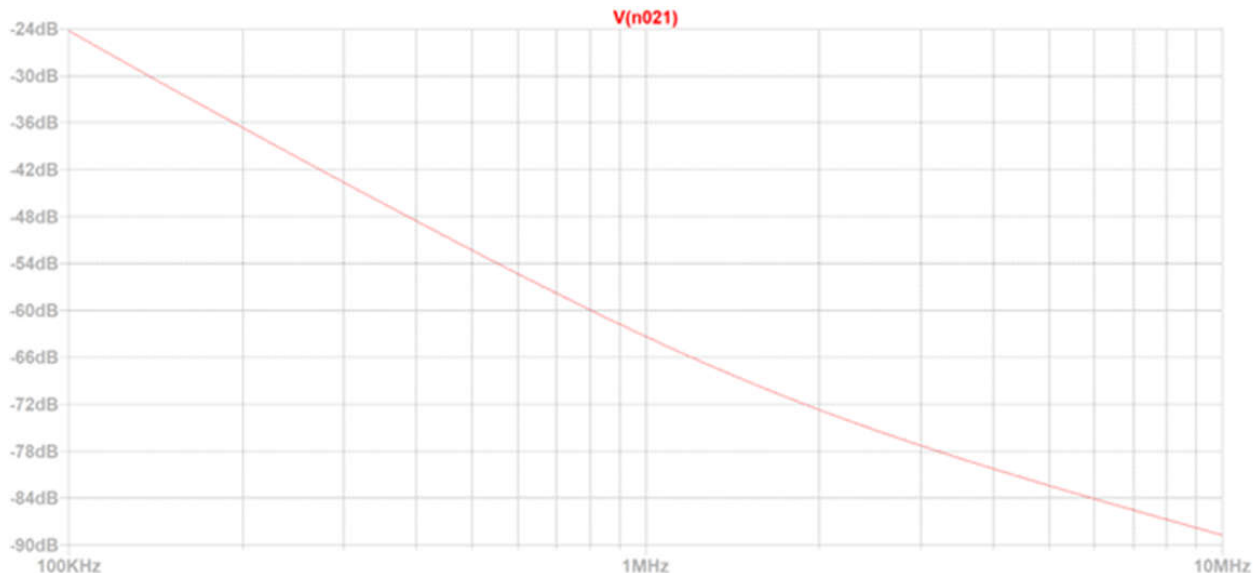


図 2-8. EMI PI フィルタの周波数応答

2.2.5 逆極性保護

逆極性保護機能は、内蔵チャージポンプである DRV8363-Q1 を活用して実装されています。これにより、システムは外付け回路を追加する必要なく、NMOS ゲートに必要なオーバードライブ電圧をサポートできます。

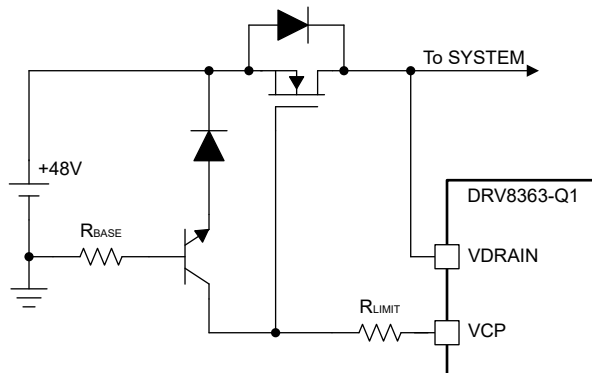


図 2-9. 逆極性保護回路

FET のボディダイオードにより、最初にデバイスに電流が流れ込み、デバイスの電源をオンにできます。デバイスの電源がオンになると、昇圧レギュレータ出力 (BOOST) またはチャージポンプ出力 (VCP) が、電源電圧を上回る電圧を供給します。この電圧は逆極性保護用 FET をオンにするのに十分な高さです。これにより、低い $R_{DS(on)}$ が実現され、逆バッテリー保護回路の効率を最大限に高めることができます。コストを最小化し、部品表 (BOM) を簡素化するため、ドライブ段のハーフブリッジに使用されるのと同じパワー NMOS モデルを逆バッテリー保護 NMOS として使用できます。

詳細については、『[車載用モータードライブシステムを逆極性条件から保護](#)』アプリケーションレポートの「NMOS および BJT」の章を参照してください。

2.2.6 48V アーキテクチャの LIN バス フォルト電圧

48V システム向けの最新の車載電気規格は、12V、24V、48V の電源電圧にわたって電気部品と電子部品に対する包括的な要件を確立しています。オルタネータまたは発電機が電力を供給するシステムの高度な仕様では、DC/DC コンバータが供給するアーキテクチャに比べて、より高い保護スレッショルドが要求され、最新の車載電源システムの厳しい動作環境が反映されています。

最新の 48V 車載システムには、70V の最大定格仕様の下で V_{BAT} への短絡条件に耐える LIN バス アーキテクチャが必要です。特に、複数の導体が共通のワイヤハーネス配線を共有している場合に顕著です。この 70V のフォルト電圧許容誤差は、堅牢な車載通信ネットワークを実現するための現在の業界ベストプラクティスを表しています。

さらに、エッジノードにおけるグラウンド損失のシナリオでは、LIN バスラインがバッテリー電位にフローティングして、再び最大スレッショルド 70V に達する可能性があります。この障害電圧への高い対応能力により、最も厳しい車載用電氣的故障条件下でも信頼性の高い動作が可能になり、高度な 48V システム設計のベンチマークとして 70V の許容誤差が確保されています。

2.3 主な使用製品

このリファレンス デザインは、実際の最終製品のフォームファクタ、寸法、機能を忠実に再現しており、各部品はコンパクトで低静止電流 (IQ) のスマートモーターソリューションを実現するために考慮して選択されています。このリファレンス デザインの中心となるのは、統合型スマートゲートドライバ DRV8363-Q1 です。この製品は 48V モーターを駆動すると同時に、高度な診断機能と堅牢な保護機能を実現します。モーター制御は、センサレス FOC (フィールドオリエンテッドコントロール) アルゴリズムを実行し、DRV8363-Q1 の内蔵電流センスアンプを最大限に活用する MSPM0G-Q1 マイコンシリーズによってシームレスに処理されます。TLIN4029A-Q1 (テキサスインスツルメンツの $\pm 70V$ バスフォルト電圧 LIN トランシーバ) は、48V アーキテクチャ内で、信頼性が高くコスト効率の優れた通信インターフェイスを実現します。これらの主要部品の低消費電力特性を補完するため、LM5168P-Q1 と TPS7B81-Q1 を土台にした低 IQ パワー ツリーを使用すると、最新の市場要求に応える総合的なシステム設計が可能になります。

2.3.1 TLIN4029A-Q1

このリファレンス デザインは、 $\pm 70V$ のバスフォルト電圧 LIN トランシーバを使用して、ヘッドルームを確保した 48V スマートモーターをサポートします。

バスフォルト電圧が $\pm 60V$ と低い場合は、代わりにピン互換の TLIN2021A-Q1 を使用できます。このデバイスには、WAKE および INH 機能が追加されているため、3.3V を生成するための外部 LDO は不要です。DRV8363-Q1 に内蔵された LDO を使用することで、外部 3.3V LDO を使用する代わりにコストを削減できます。

2.3.2 MSPM0G3507-Q1

80MHz MSPM0G3507-Q1 マイコンを使用すると、内蔵演算アクセラレータを使用して、20kHz の PWM 出力周波数を維持しながら、最大 10kHz のセンサレス FOC 制御ループレートを実現できます。より低い FOC 制御ループレートで十分な場合は、MSPM0G3106-Q1 を使用してコストを最適化できます。スマートアクチュエータに適した MSPM0 マイコンを選択する方法の詳細については、『[車載用スマートアクチュエータ](#)』を参照してください。

2.3.3 DRV8363-Q1

DRV8363-Q1 は、48V の車載用 3 相 BLDC アプリケーション用に設計された統合型スマート ゲートドライバであり、この 300W HVAC ポンプ、ブロワ、ファンの設計に適した実用的な選択肢です。このデバイスには 3 つのハーフブリッジ ゲートドライバがあり、それぞれがハイサイドとローサイドの N チャネル パワー MOSFET を駆動でき、ハイサイド MOSFET 用の内蔵ブートストラップ ダイオードによる外部 12V 電源を使って適切なゲート駆動電圧を生成します。このアプリケーションにおける DRV8363-Q1 の主な利点の 1 つは、6 つのスイッチすべてにわたる 3 チャンネルのローサイド電流検出アンプ (CSA) と VDS モニタリングが統合されていることです。そのため、外部回路を追加することなく高精度の FOC 電流センシングと堅牢な過電流保護を実現できます。これらの機能のいずれかを個別に実装すると、BOM コスト、ボード面積、設計の複雑さが大幅に増大し、この設計のコンパクトな 55mm というフォーム ファクタとは両立しなくなります。さらに、包括的な高度診断機能と構成可能な障害保護機能がこれを補完し、外部サポート部品を最小限に抑えた堅牢なモーター駆動システムを実現します。スマートゲートドライバアーキテクチャは、16mA から最大でソース 1A、シンク 2A までの構成可能なピーク ゲート駆動電流をサポートし、300W のピーク電力レベルに最適に適合します。また、8V ~ 85V の広い入力範囲で動作し、過渡電圧も含めて 48V のバッテリーの全動作範囲に簡単に対応できます。内蔵のトリクル チャージ ポンプは、100% の PWM デューティサイクル制御をサポートします。内蔵のチャージ ポンプ出力 (VCP) はアクティブな逆極性保護にも活用されており、P チャネル MOSFET を使用してスリープ モード時の 12V 電源を完全に遮断することが可能となり、サブシステム $-100\mu\text{A}$ システムのスリープ時電流の実現に寄与しています。高度に構成可能なシリアルペリフェラル インターフェイス (SPI) により、MSPM0G3507-Q1 マイコンとシームレスに統合できるため、DRV8363-Q1 は、コンパクトでコスト効率が高く堅牢な 48V スマート モーター リファレンス デザインにとって実用的なゲートドライバ設計となっています。

2.3.4 LM5168P-Q1

LM5168P-Q1 同期整流降圧コンバータは、広い入力電圧範囲でレギュレーションを行い、必要な外付けサージ抑制部品を最小限に抑えています。制御可能な最短のオン時間は 50ns で、大きな降圧率を使用できるため、48V 公称入力から低電圧レールへの直接降圧変換が可能になり、システムの複雑性とコストを下げることができます。ハイサイドおよびローサイド パワー MOSFET を内蔵した LM5168P-Q1 は、最大 0.3A の出力電流を供給できます。コンスタント オン時間 (COT) 制御アーキテクチャにより、スイッチング周波数はほぼ一定で、負荷およびライン過渡応答が非常に優れています。LM5168P-Q1 は自動モードを使用しているため、非常に低い I_Q と、軽負荷時の効率を実現するダイオード エミュレーション モード動作が可能です。これは、システムのスリープ モードで $100\mu\text{A}$ 未満のシステム要件を満たすために不可欠です。

2.3.5 TPS7B81-Q1

車載用のバッテリー接続アプリケーションでは、エネルギーを削減し、バッテリー駆動時間を延長するため、静止電流 (I_Q) が低いことが重要です。常時オンのシステムでは、システムがスリープ モードにある間も継続して動作できるようにするため、拡張温度範囲にわたって非常に低い I_Q が要求されます。TPS7B81-Q1 は、低ドロップアウト (LDO) リニアレギュレータで、軽負荷時の静止電流がわずか $2.7\mu\text{A}$ (標準値) です。このため、このデバイスは、スタンバイシステム内のマイクロコントローラおよびトランシーバの電源として効率的な設計です。

3 ハードウェア、ソフトウェアのテスト要件、およびテスト結果

3.1 ハードウェア要件

このリファレンス デザインは、コンセプト検証機能を示し、高度に制約のあるフォーム ファクタにおいて、TI の製品ラインアップが実現する卓越した小型化能力を示すものです。現在の実装では、空間最適化と機能検証が優先されています。このデザインは、TI の高度な半導体テクノロジーをコンパクトな PCB 形状に統合すると同時に、重要な性能特性を維持する方法を示します。将来の設計の反復において、電磁干渉 (EMI) の包括的な最適化戦略と、沿面距離と空間距離の強化に関する検討事項を反映して、厳格な車載準拠規格の適合基準を満たすことができます。このアプローチにより、エンジニアは完全な規制に準拠した実製品開発に対応した実装を開始する前に、最初にコア機能と実現可能性を検証できます。

3.1.1 リファレンス デザインのハードウェアとプログラミングのセットアップ

プログラミング ヘッダー (J5) はこのリファレンス デザインの底面に配置されています。このヘッダーは、XDS110 プログラマを接続するためのインターフェイス ポイントとして機能します。図 3-1 に推奨される設定を示します。

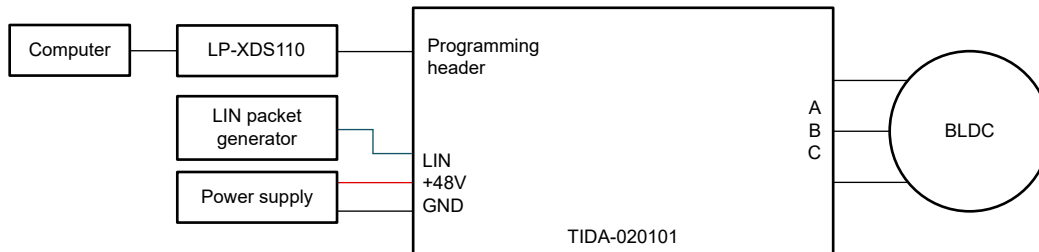


図 3-1. ハードウェア設定

設定に必要なツールを入手するには、次のリンクを使用してください。

- [XDS110 LaunchPad™ 開発キット向けデバッグ](#)
- [Samtec プログラミング ケーブル:FFSD-05-D-06.00-01-N](#)

3.2 ソフトウェア

リファレンス デザイン フォルダ内では、このリファレンス デザインに対応する包括的なソフトウェア パッケージをダウンロードできます。このパッケージにより、エンジニアは実証済みの実装フレームワークにすぐにアクセスできます。このソフトウェアは、M0 SDK 内で導出されたセンサレス フィールドオリエンテッド コントロール (FOC) アルゴリズムを適応させたものです。アルゴリズムは、このハードウェアのリコンフィグレーションを受信します。

シームレスな統合と性能の向上を容易にするために、エンジニアは『[MSPM0 センサレス FOC チューニング](#)』ユーザーガイドを活用できます。このガイドには、アルゴリズムの調整とパラメータの調整に関する詳細なガイダンスが記載されています。簡単にアクセスできるソフトウェアと包括的なチューニングドキュメントの組み合わせにより、迅速な開発サイクルが可能になります。この組み合わせにより、多様な動作条件にわたってモーター制御の性能が維持されます。

ソフトウェアの仕様を表 3-1 に示します。

表 3-1. TIDA-020101 センサレス FOC のソフトウェア仕様

パラメータ	値
ファイル名	sensorless-foc_TIDA020101_nortos_ticlang
使用するフラッシュ サイズ	40kb、128kb (32%)
使用する SRAM サイズ	1.2kb、32kb (4%)

3.3 テスト設定

このデザインは Teknic® M-2310P-LN-04K 3 相 BLDC モーターでテスト済みです。表 3-2 に、このモーターの簡単な仕様を示します。

表 3-2. Teknic® M-2310P-LN-04K 3 相 BLDC モーターの仕様

パラメータ	値	単位
モーターの部品番号	M-2310P-LN-04K	–
位相間抵抗	720	mΩ
位相間インダクタンス	400	μH
逆 EMF 定数	4.64	V _{peak} /kRPM
逆 EMF 定数	348	mV/Hz × 10
ポール ペアの数	4	–
最大モーター速度	400	Hz

モーターに負荷をかけるため、同じタイプの 2 番目のモーターをシャフト カプラとアルミニウム フレーム マウントを介して、テスト対象設計 (DUT) に接続します。負荷モーターの相は、可変負荷抵抗を介して短絡され、DUT モーターに負荷がかかります。

注意

このテスト設定に関連して、いくつか留意すべき点があります。

1. モーターは高速で回転し、損傷や負傷の原因となる十分なトルクを備えています。テスト中は、衣類、工具、その他の物品を回転軸から離して保管するように注意してください。
2. 50V を超える電源電圧は感電の危険があります。48V 電源を公称値よりも高く設定するときは注意が必要です。
3. 安全な運転およびモーター性能の正確な測定のためには、両方のモーター間の強固な接続が重要です。アライメントがずれていると、カップリングが損傷したり、テスト結果が正しく出ない場合があります。
4. モーター速度が急激に変化すると、モーターによって生成される過電圧が発生する可能性があります。生成された電圧は、48V 電源の電圧設定点を超えることがある点に注意してください。

表 3-3 に、このリファレンス デザインで実行されたテストを示します。

表 3-3. 実行されたテストのリスト

テスト名称	合格基準
LIN リモートウェークアップ タイミング分析	$t_{\text{wakeup}} \leq 10\text{ms}$ (4)
システム スリープ電流解析	$I_{\text{sleep}} \leq 100\mu\text{A}$ (5)
DC リンク電圧リップル	$V_{\text{ripple}} \leq 1\text{V}$ (6)
熱画像	–

3.4 テスト結果

表 3-4 に、このリファレンス デザインで実行されたテストを示します。

表 3-4. テスト結果の一覧

テスト名称	テスト結果
LIN リモートウェークアップ タイミング分析	$t_{\text{wakeup}} = 148\mu\text{s}$ (7)
システム スリープ電流解析	$I_{\text{sleep}} = 81\mu\text{A}$ (8)

表 3-4. テスト結果の一覧 (続き)

テスト名称	テスト結果
DC リンク電圧リップル	$V_{\text{ripple}} = 26.5\text{mV}$ (9)
熱画像	使用可能

3.4.1 LIN リモート ウェークアップ タイミング分析

LIN のリモート ウェークアップのタイミング分析は、LIN ネットワーク ノードがスリープ モードからアクティブ動作に移行するときのタイミング特性と応答パラメータを評価します。この遷移は、LIN バスを介してウェークアップ信号を受信したときに発生します。この分析により、ウェークアップ シーケンスが指定のタイミング要件を満たしていることが確認され、信頼性の高いシステム起動が実現されます。この解析には、信号伝搬遅延とノードの応答時間が含まれます。

3.4.1.1 テスト設定

以下のオシロスコープ プロットでは、LIN トランシーバ (U3) への入力は、TLIN2029EVM に接続されている外部電源によって駆動されます。ソフトウェアは、**低消費電力スリープ モード** セクションに従って、システムをシステム スリープ モード (MSPM0 の場合は STANDBY0) に移行させます。マイコンがスリープ モードにあるときは常に、ソフトウェアは PA16 (TP7) に LOW 信号を出力します。マイコンがアクティブ モードのとき、PA16 (TP7) は HIGH に駆動されます。

テスト条件:

- 使用するソフトウェア: TIDA-020101_sleep_mode_current_test
- 電源: J1 に +48V と GND を供給
- 周囲の気温: 25°C

ウェークアップの手順:

- LIN を使用して TIDA-020101 をウェークアップするには、外部接続された TLIN2029EVM がウェークアップ信号を出力します。これは 250µs を持続する支配的なパルスです。

合格基準:

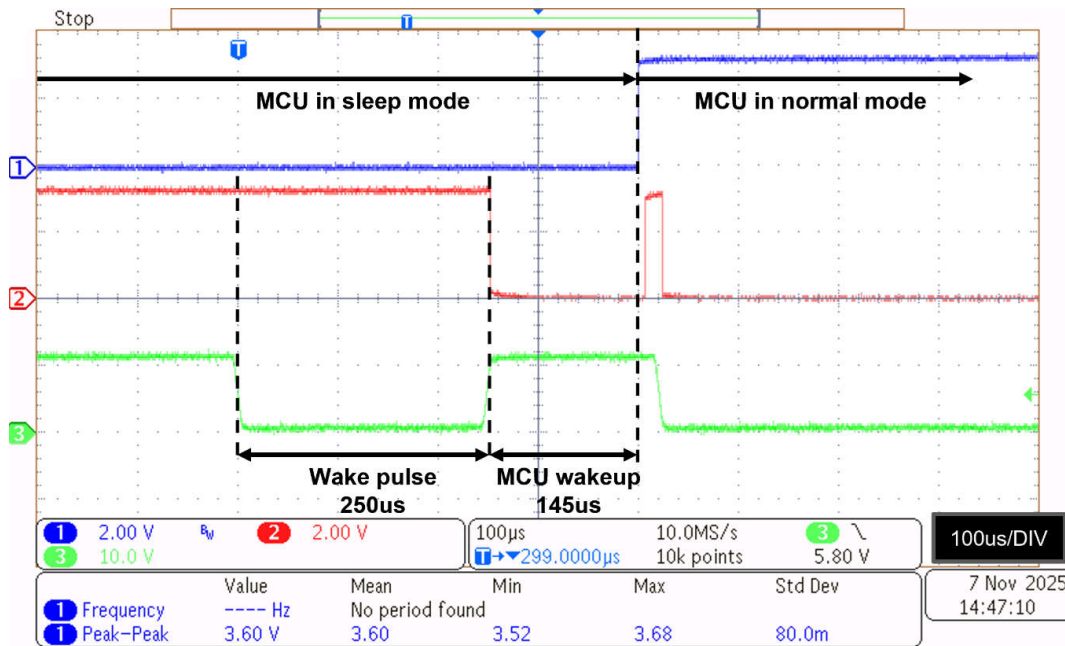
- TIDA-020101 のマイコンは、LIN バスの立ち上がりエッジから 10ms 以内に再度通常モードになっている必要があります。

オシロスコープの信号プロット:

- CH1: MCU_normal_mode (TP7)
- CH2: LIN_RXD (R7)
- CH3: LIN (TP5)

3.4.1.2 テスト結果

図 3-2 に、LIN リモート ウェークアップ タイミング解析のオシロスコープ プロットを示します。



CH1: MCU_normal_mode (TP7) blue
 CH2: LIN_RXD (R7) red
 CH3: LIN (TP5) light green
 $t_{\text{wakeup}} = 148\mu\text{s} \rightarrow$ テストに合格

図 3-2. LIN リモート ウェークアップ タイミング解析オシロスコープ プロット

3.4.2 システム スリープ電流解析

セクション 2.2.2 に示す低消費電力モードが統合されており、システムがアイドル状態にある際の消費電力を低減します。この分析では、このデザインの低消費電力能力を評価します。

3.4.2.1 テスト設定

TIDA-020101 DUT PCB には、J1 経由で 48V と GND が供給されます。供給電流は、8½ 桁のマルチメータを使用してモニタされます。テストソフトウェアがマイコンに書き込まれ、PA3 を LOW に駆動することで、ディスクリート ハイサイドスイッチを使用して DRV8363 が無効になり、さらに TLIN4029A-Q1 がスリープモードに移行します。PA17 の MSPM0 内部プルアップはディセーブルされています。MSPM0 は STANDBY0 モードになります。その状態でスリープ電流が測定されます。

テスト条件:

- 使用するソフトウェア: TIDA-020101_sleep_mode_current_test
- 電源: J1 に +48V と GND を供給
- 周囲の気温: 25°C

合格基準:

- テストは次の条件で合格しています。 $I_{\text{sleep}} < 100\mu\text{A}$

3.4.2.2 テスト結果

スリープ電流の測定値は、8½ 桁のマルチメータから取得されます。

- $I_{\text{sleep}} = 81\mu\text{A} \rightarrow$ テストに合格

3.4.3 DC リンク電圧リップル

セクション 2.2.3 で推定された PCB DC リンク容量について、本解析にて評価を行います。

3.4.3.1 テスト設定

TIDA-020101 DUT PCB には、J1 経由で 48V と GND が供給されます。セクション 3.3 に規定されたテスト構成 (負荷モータは未接続) およびセクション 3.2 に規定されたソフトウェアを使用し、モーターは 400Hz の電気周波数で回転しています。DC リンク電圧リップルを測定するには、オシロスコープを使用して C35 の両端の電圧をプローブします。

テスト条件:

- 使用するソフトウェア: TIDA-020101_sleep_mode_current_test
- 電源: J1 に +48V と GND を供給
- 周囲の気温: 25°C
- 機械的負荷なし

合格基準:

- テストは次の条件で合格しています。

$$V_{\text{ripple}} \leq 1V$$

(10)

オシロスコープの信号プロット:

- CH1: DC バス電圧 (C35)
- CH1: 位相 A (TP13)

3.4.3.2 テスト結果

図 3-3 に、DC リンク電圧リップル テストのオシロスコープ プロットを示します。

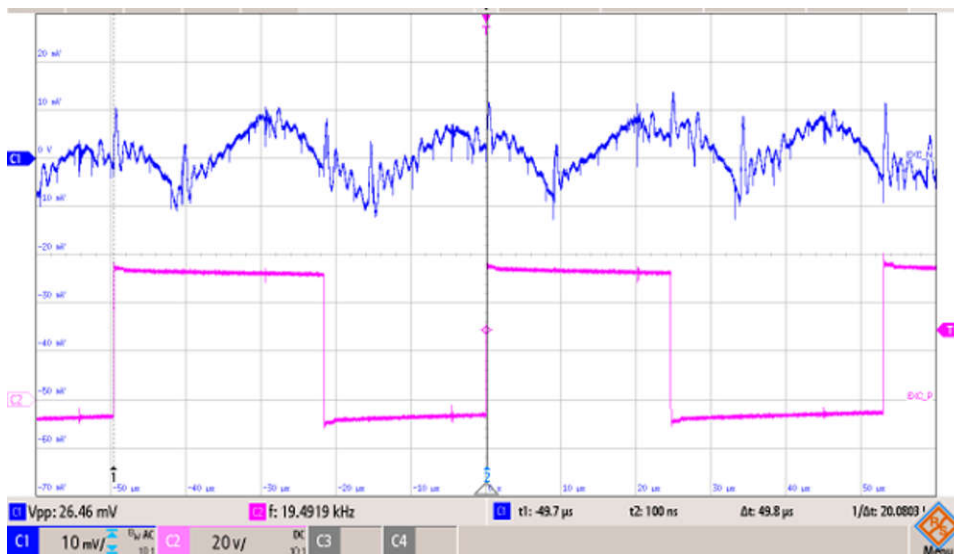


図 3-3. DC リンク電圧リップル

$$V_{\text{ripple}} = 26.5\text{mV} \rightarrow \text{Test PASSED}$$

(11)

3.4.4 熱画像

図 3-4 では、さまざまな構成部品の表面温度を確認することができます。周囲温度は室温でした。以下に示すレイヤ スタックが使用されます。レイヤ スタックの詳細については、設計ファイルを参照してください。

- 上部の銅層: 2oz
- 内部の銅層 1: 1oz
- 内部の銅層 2: 1oz
- 下層: 2oz

すべての熱画像は、以下のテスト条件で測定したものです。

- 使用するソフトウェア: sensorless-foc_TIDA020101_nortos_ticlang
- V_{bus} : 48V
- 電気入力電力: 300W RMS
- 周囲の気温: 25°C
- 機械的速度: 6000RPM
- 熱画像カメラ: TESTO 883

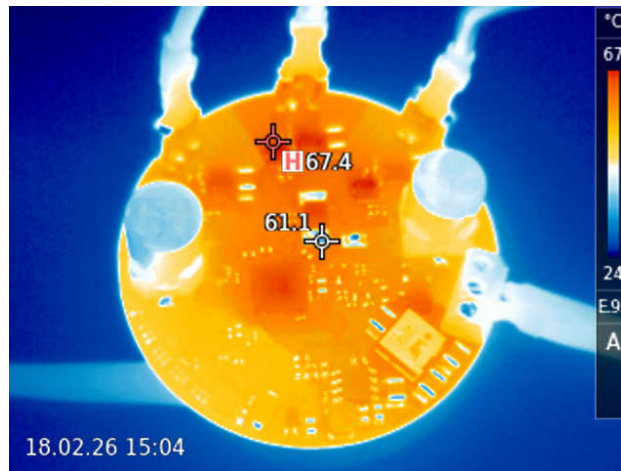


図 3-4. TIDA-020101 の熱画像

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

利用可能なすべての設計ファイルにアクセスするには、[TIDA-020101](#) を参照してください。

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-020101](#) のデザイン ファイルを参照してください。

図 4-1 に、TIDA-020101 48V BLDC ポンプ、ブロワ、エンジン、ファンの回路図を示します。

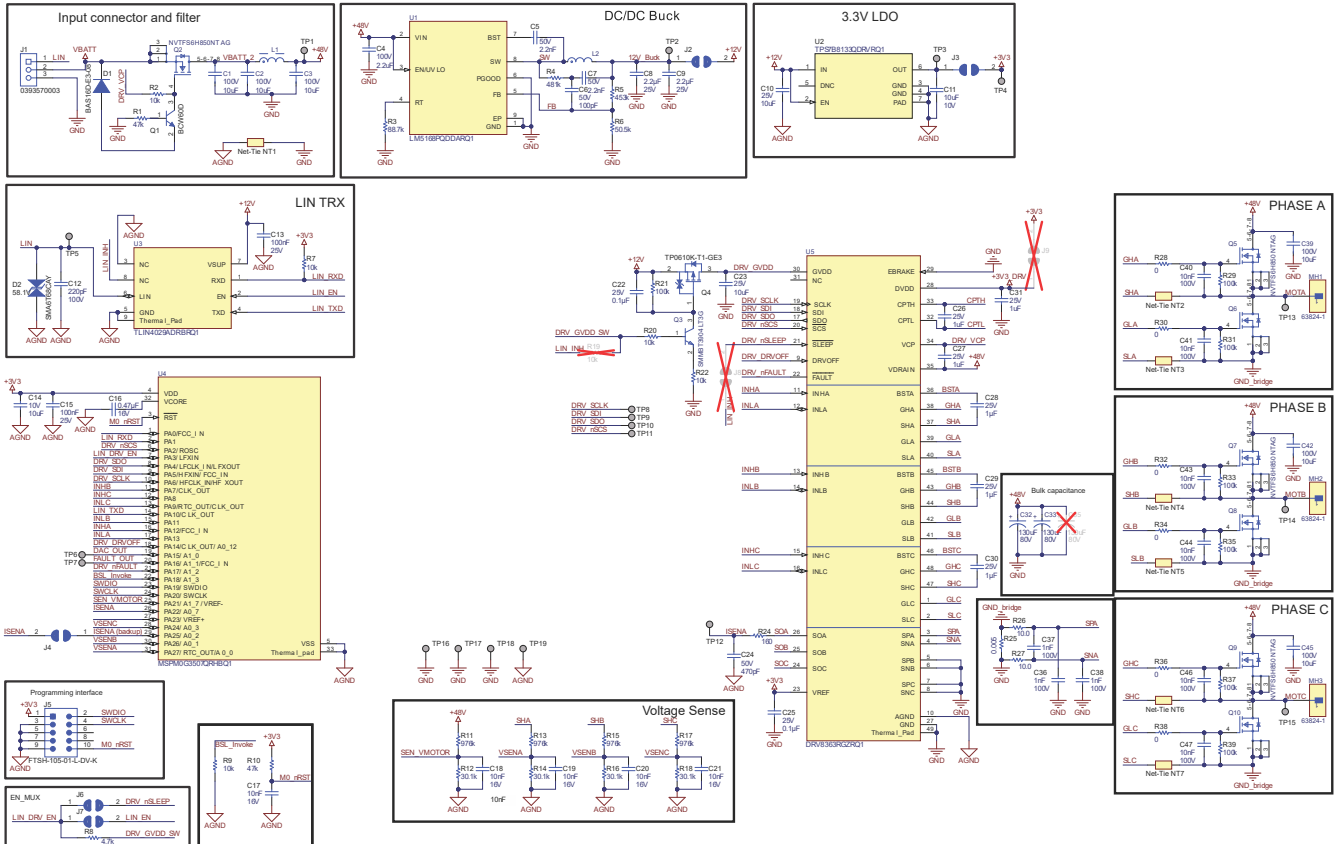


図 4-1. TIDA-020101 の回路図

4.1.2 BOM

BOM をダウンロードするには、[TIDA-020101](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

『TI のシャント抵抗のレイアウトに関する考慮事項』に従ってください。

4.1.3.1 レイアウト プリント

レイヤ プリントをダウンロードするには、[TIDA-020101](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.3.2 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-020101](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ツールとソフトウェア

ツール

CCSTUDIO-THEIA	Code Composer Studio™ Theia v1.x.
MSPM0 センサレス FOC チューニング ユーザー ガイド	このチューニング ユーザー ガイドは、3 相ブラシレス DC モーターを調整するため、MSPM0 マイコンおよび対応する DRV ハードウェア ボードを設定するための、ステップバイステップの手順を提供します。
2MTR-DYNO	2MTR-DYNO InstaSPIN-FOC™ 評価基板
LP-XDS110	XDS110 LaunchPad™ 開発キット向けデバッグ
FFSD-05-D-06.00-01-N	Samtec™ プログラミング ケーブル

ソフトウェア

MSPM0-SDK	MSPM0 ソフトウェア開発キット (SDK)
---------------------------	-------------------------

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、『[車載用スマート アクチュエータ](#)』アプリケーション概要
2. テキサス インスツルメンツ、『[TLIN4029A-Q1](#) ドミナント状態タイムアウト機能および拡張フォルト保護機能付き車載用 LIN トランシーバ』データシート
3. テキサス インスツルメンツ、『[DRV8363-Q1](#) 高精度電流検出機能および高度監視機能搭載、48V バッテリ 3 相スマート ゲートドライバ』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[CAN-FD インターフェイスを搭載した MSPM0G350x-Q1](#) 車載混合信号マイコン』、データシート
5. テキサス インスツルメンツ、『[MSPM0 センサレス FOC チューニング ユーザー ガイド](#)』

4.4 サポート・リソース

[テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラム](#)は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

商標

テキサス・インスツルメンツの™, Code Composer Studio™, InstaSPIN-FOC™, LaunchPad™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Samtec™ is a trademark of Samtec Inc.

Teknic® is a registered trademark of Teknic Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

5 著者について

FABIAN BARTH は、高度なスキルを持つシステム エンジニアで、テキサス インスツルメンツの車載システム エンジニアリング チームに所属しています。チーム内では、車載分野で最先端のリファレンス デザインを開発するために中心的な存在となっています。スマートモーター、リモート制御型エッジ ノード、シングルペア イーサネット、データライン経由の電力供給、ハードウェアの時間同期などの分野における豊富な専門知識を持つ Fabian は、その職務に深い知識と経験をもたらしています。

ドイツのランツフート応用科学大学で電気工学の修士号を取得しており、専門とする分野で学術的卓越性と熟練性を高めるために力を注いでいます。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月