

## Design Guide: TIDA-010956

# 統合型モータードライブ向け、48V、85A、小型フォームファクタ、3相インバータ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 DC 入力、85A<sub>RMS</sub> 出力、3 相モータードライブインバータを提示します。100V のインテリジェント ハーフブリッジゲートドライバ DRV8162L が採用されており、堅牢かつ高効率で小型の電力段を実現できます。セーフトルクオフ (STO) 機能のために、DRV8162L の分割電源アーキテクチャを活用したマルチチャンネルシャットダウン経路が提案されています。DRV8162L の内部 V<sub>DS</sub> 監視機能と保護機能は、過電流障害から保護します。高精度なモーター電流検出は、A 相および B 相には INA241A を、C 相には AMC0106M05 の機能絶縁型デルタシグマ変調器を用いることで実現されています。C2000™ MCU のようなホストコントローラと接続するための 3.3V I/O インターフェイスが提供されており、迅速かつ簡単な評価が可能です。

### リソース

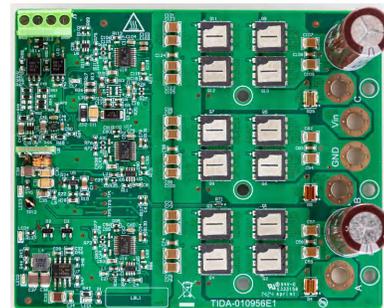
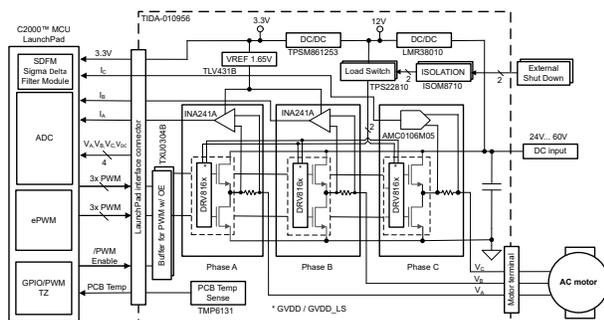
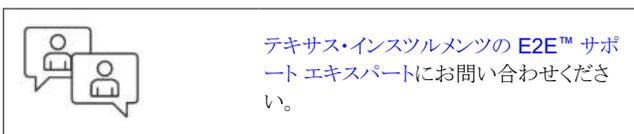
TIDA-010956	デザイン フォルダ
DRV8162, AMC0106M05, INA241A	プロダクト フォルダ
TMP6131, TPSM861253	プロダクト フォルダ
ISOM8710, LMR38010	プロダクト フォルダ
LAUNCHXL-F280039C	ツール フォルダ

### 特長

- 3 相インバータ、24V~60V DC 入力、85A<sub>RMS</sub> の連続出力
- オンチップ ハードウェア保護機能搭載、スマート ハーフブリッジゲートドライバ DRV8162L
- 貫通電流、過電流、短絡、低電圧、過熱に対する完全な保護機能
- ゲートドライバのソース/シンク電流は 16mA、32mA~1A、2A にプログラム可能、効率と EMI 性能の最適化が容易
- 構成可能なデッドタイム挿入により貫通電流を回避
- 同相シャット方式の電流検出回路 (INA241A 高同相除去、ゼロドリフト電流検出アンプと AMC0106M05 機能絶縁型変調器)
- マルチチャンネルのシャットダウンパスにより、STO 機能の柔軟な設計が可能

### アプリケーション

- 単軸と多軸のサーボドライブ
- ロボット
- AC インバータと VF ドライブ
- 産業用ロボットおよび協調ロボット
- 移動型ロボット



## 1 システムの説明

DC 電力で動作するモータードライブ用の多くの低電圧、3 相インバータは、24V～60V DC のレールから電力が供給されます。ロボットシステムでは、実装する機能に応じて、モーターの電力定格は一般的に 200W、400W、750W、1.5kW、2.5kW ですが、それ以上になる場合もあります。これらのモーターには、モータードライブの電流定格に関して異なる要件があります。

この設計は、48V DC 入力、1.5kW～4kW のモーターをサポートしています。定格出力電流は約 32A<sub>RMS</sub>～85A<sub>RMS</sub> で、場合によっては最大約 100A<sub>RMS</sub> に達することもあります。

このような出力段の設計において高効率が重要な目標となります。高効率を達成できれば PCB サイズを小さくすることができ、ドライバを統合型モータードライブシステムのシェルに収容できます。この場合、電力段が放熱用のヒートシンクとして使用できるのはシェルのみです。

本設計で小型の PCB サイズを実現するために、スマートゲートドライバ DRV8162L は電力段の貫通電流、過電流、短絡障害に対する保護機能を統合しており、大いに貢献しています。デッドタイム挿入付き V<sub>GS</sub> ハンドシェイクをイネーブルにすると、貫通電流の発生を防止できます。

システムの効率と EMI 性能を最適化するため、DRV8162L には外部回路を追加せずに出力のソース/シンク電流をプログラムできます。

ドライバが最高の効率でモータを制御できるように、高い同相除去比、ゼロドリフトを特長とする電流検出アンプ INA241A を使用した同相シャントベースの電流検出を採用しています。アンプのゲインが高いため、0.2mΩ シャントを使用して ±165A の線形検出範囲をサポートします。低抵抗のシャント選択は、システムの高効率にも寄与します。C 相では、機能絶縁型デルタシグマ変調器 AMC0106M05 を 0.3mΩ シャント抵抗とともに使用して電流を検出します。MCU 内のデジタル sinc 3 デシメーションフィルタを使用して動作すると、線形電流測定範囲は ±167A に達します。

追加のフィードバックには、DC バス電圧および PWM をフィルタリングした 3 相電圧が含まれており、InstaSPIN-FOC™ モーターのような高度なセンサレス制御の検証が可能になります。

モーターを安全に停止し、予期しない起動を防止できるようにシステムを設計することは、ロボットやファクトリオートメーションのアプリケーションにおいて重要な要件です。これらのシステムレベル要件を支援し、いわゆるセーフトルクオフ (STO) 機能を実現するため、このリファレンス デザインでは、モーターの予期しない起動を防止できるゲートドライバのシャットダウンパスのさまざまな組み合わせを提案しています。

### 1.1 リファレンス デザインの概要

このリファレンスデザインは、低電圧モーター用スマートハーフブリッジゲートドライバを搭載した標準値 48V の 3 相インバータを実装します。主要なビルディングブロックは、6 つの異なるサブシステムです。

1. ゲートドライバと電界効果トランジスタ (FET) を含む 3 相電力段
2. 電圧と電流のセンシング
3. ホストプロセッサインターフェイス
4. 診断測定
5. システムの電源
6. ゲートドライバのマルチレベル シャットダウン オプション

図 2-1 に、このリファレンス デザインのブロック図を示します。モーターを制御するホスト プロセッサは、このデザインには含まれません。

この設計の焦点は、ゲートドライバと FET を含む 3 相電力段をテストすることです。同相電流検出の機能テストも実施されています。診断測定とシャットダウンオプションは、まだ十分にテストされていません。

## 1.2 主なシステム仕様

表 1-1. TIDA-010956 の仕様

パラメータ	値 (標準値)	備考
DC 入力電圧	24V ~ 60V	絶対最大値 80V DC
出力相電流	85A <sub>RMS</sub>	連続電流場合によってヒートシンクが必要、FET へのエアフローが重要。
同相電流センス範囲	±165A (A 相および B 相)	A 相および B 相を、1.65V のバイアスで 0V ~ 3.3V の範囲にスケールリングし、反転
	±167A (C 相)	C 相を ±50mV の範囲にスケールリング
同相電流センス シャント	0.2mΩ (A 相および B 相)	A 相および B 相は、パルス幅変調 (PWM) の抑制機能を強化した 2 つの差動非絶縁型アンプ INA241A3 を使用
	0.3mΩ (C 相)	C 相は、機能絶縁型デルタシグマ変調器 AMC0106M05 を使用
PWM スイッチング周波数	16kHz	最高 40kHz
PWM デッド タイム	ユーザー定義	ハードウェア R <sub>DT</sub> 設定でのデフォルト 370ns
温度範囲	-40°C ~ 85°C	FET の放熱のために適切なヒートシンクとエアフローが必要な場合あり
保護	短絡保護	R <sub>VDSLVL</sub> のデフォルト設定を使用。表 2-1 も参照
	貫通電流保護	自動デッド タイム挿入ハンドシェイク
	温度保護機能	過熱を通知する温度センサを PCB に装着
	UVLO	4.8V で統合
PCB 温度検出の範囲と精度	-40°C ~ 150°C	TMP6131 ±1%、10kΩ リニア サーミスタを使用
コントローラ インターフェイス信号	PWM、I-V センシング、PWM バッファ、ゲートドライバ イネーブル、フォルト用の 3.3V I/O	テキサス・インスツルメンツの BoosterPack™ プラグインモジュールと互換性があり、3.3V の信号レベルに対応しています。セクション 3.1.2 のピン割り当てを参照してください。
インジケータ LED	電源レールとユーザー定義	3.3V、12V、V <sub>IN</sub> 入力、1 つはユーザーソフトウェア制御用
PCB 層構成	8 層、70μm の銅箔	2 オンスの銅箔
フォーム ファクタ	80mm × 98mm	3150mil × 3860mil

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

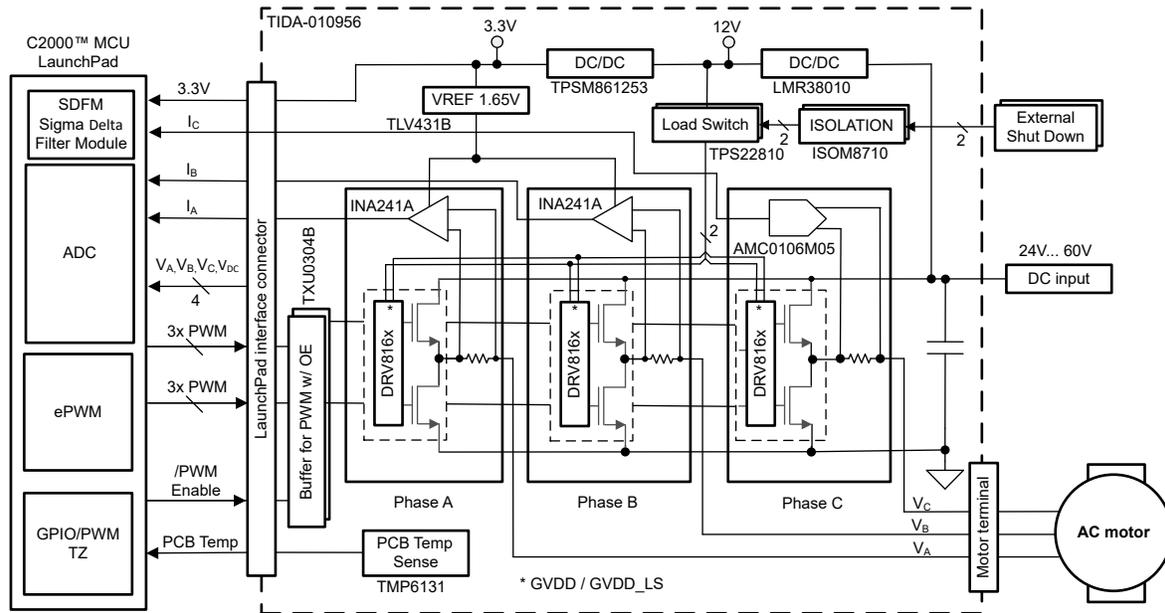


図 2-1. TIDA-010956 システム ブロック図

## 2.2 設計の考慮事項

### 2.2.1 ハードウェア設計

#### 2.2.1.1 出力段ゲートドライバ

##### 2.2.1.1.1 ゲートドライバ

DRV8162L は、ハーフブリッジ構成で 2 つの N チャンネルパワー MOSFET を駆動するために使用されます。このデバイスは、最大でソース 1A、シンク 2A の 16 レベルの出力ピーク電流をサポートします。このリファレンスデザインでは、電力段で最高のスイッチング性能を実現できるように、ゲートドライブ電流が最適化されています。

##### 2.2.1.1.2 保護機能

電力段の過電流イベントは、DRV8162L を使用して、FET のドレイン - ソース間の電圧降下  $V_{DS}$  を測定することにより検出します。DRV8162L の過電流トリップスレッシュホールドは、13 レベルのオプションを持つストラップ抵抗を使用して設定できます。これらの値は、[DRV8162L](#) データシート内の「電気的特性」の章にある「保護回路」セクションで、パラメータ  $V_{DS\_LVLx\_y}$  の各パラメータとして確認できます。最小値は 0.1V、最大値は 2.0V です。

本機能とともにブランキング時間を使用して、FET のスイッチング中にオーバーシュートが検出されないようにすることもできます。

保護機能の詳細については、[DRV8162L](#) データシート内の「ゲートドライブ保護回路」セクションを参照してください。

### 2.2.1.1.3 $V_{GVDD}$ の定義

DRV8162L には、ハイサイドおよびローサイド動作に 2 つの電源ピン ( $V_{GVDD}$  および  $V_{GVDD\_LS}$ ) があります。ハイサイド電源  $V_{GVDD}$  は、5V~20V の範囲にできます。ローサイド電源  $V_{GVDD\_LS}$  は、最小 3.5V までさらに低くできます。これらの値は、[DRV8162L](#) データシートの電気的特性セクションに  $V_{GVDD}$  パラメータとして記載されています。

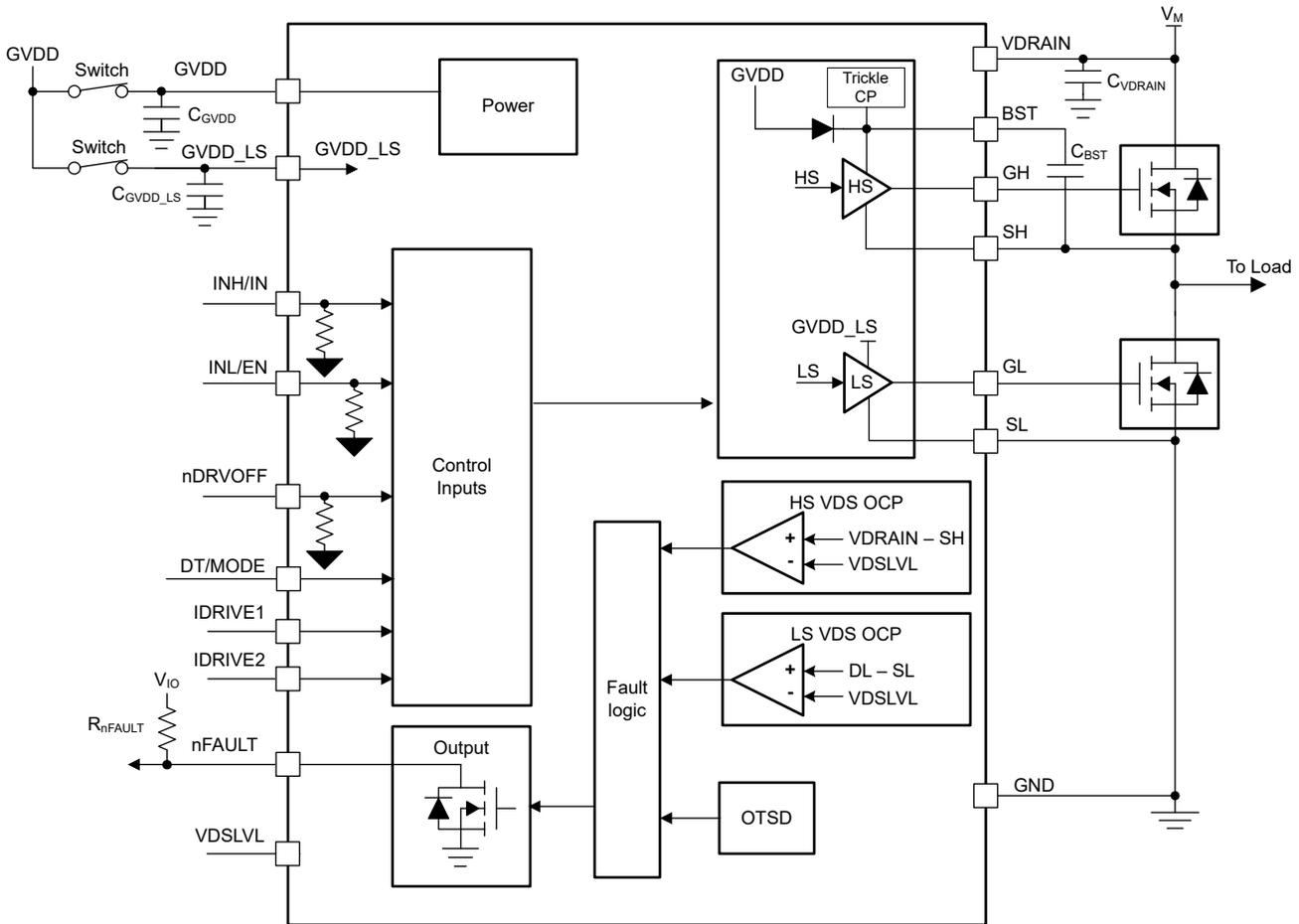


図 2-2. DRV8162L 分割電源アーキテクチャ

通常、このデザインでは、選択した FET の最高性能を実現するため、 $V_{GVDD}$  と  $V_{GVDD\_LS}$  は 12V に設定されています。

FET を選択する際は、 $V_{GS}$  と  $R_{DS(ON)}$  の値を知っておくことが重要です。これらのパラメータは、システム全体の効率に大きく影響します。

### 2.2.1.1.4 ストラップ機能

DRV8162L を使用してアプリケーション回路を設計する場合、ストラップ抵抗を使用して次のパラメータを調整できます。

- 駆動能力
- デッドタイム
- 制御モード
- $V_{DS}$  過電流スレッショルド

### 2.2.1.2 出力段 FET

このシステムの目標電力定格に対して、システムのニーズを満たす FET を選択することが重要です。この設計では、高電流要件を満たすために、FET の 2 個並列接続が採用されています。

### 2.2.1.2.1 $V_{GS}$ と $R_{DS(ON)}$ との関係

$V_{GVDD}$  電圧と  $V_{GVDD\_SL}$  電圧の選択によって、オン状態  $V_{GS}$ 、またはアプリケーションに含まれる FET の実際のゲート高レベル電圧を定義できます。

この値を使用して、与えられた電圧における FET の  $R_{DS(ON)}$  を求めることができます。 $R_{DS(ON)}$  は、DRV8162L の過電流トリップレベルを定義するために必要です。

これらの考慮事項に基づいて FET の選定計算が行われ、その結果は表 2-1 に示されています。この設計は、より低い  $R_{DS(ON)}$  を実現し、大電流出力を可能にするため、2 個の並列 FET を実装しています。計算にはオームの法則を使用しています。

表 2-1. NTMTSC1D6N10  $V_{DS}$  に対する DRV8162L の過電流トリップレベル

パラメータ	NTMTSC1D6N10		2 × NTMTSC1D6N10	
$I_D$	267A		534A	
$I_{DM}$	900A		1800A	
$Q_G$	106nC		212nC	
接合部温度	25°C	125°C	25°C	125°C
$R_{DS(ON)}$ $V_{GS} = 10V$ 時	1.42mΩ	2.50mΩ	0.71mΩ	0.88mΩ
TRIP LEVEL1-0:0.15V	106A	60A	211A	120A
TRIP LEVEL1-1:0.2V	141A	80A	282A	160A

高速スイッチング FET を使用する場合、回路のリンギングを抑制するために、各ハーフブリッジに RC スナバ回路が必要になることがあります。この設計は、テストとデバッグのオプションとして、ハーフブリッジごとに RC スナバを確保できますが、テストケースではこれらのスナバは必要ありません。

### 2.2.1.3 相電流および電圧センシング

技術を比較するために、この設計ではシャントベースの高精度位相電流検出 (センシング) という 2 つの異なる手法を提供しています。A および B 相は、差動電流検出アンプ INA241A を使用します。C 相は、機能絶縁型変調器 AMC0106M05 を採用しています。

#### 2.2.1.3.1 A 相および B 相の電流検出

システム評価用に選定されたコントローラ MCU の ADC モジュールは最大入力電圧が 3.3V であるため、A 相および B 相の電流検出において、測定された電圧は 0V~3.3V の範囲にスケールされます。別の MCU を使用する場合は、必要に応じて 3.0V の電圧スケールを使用できます。

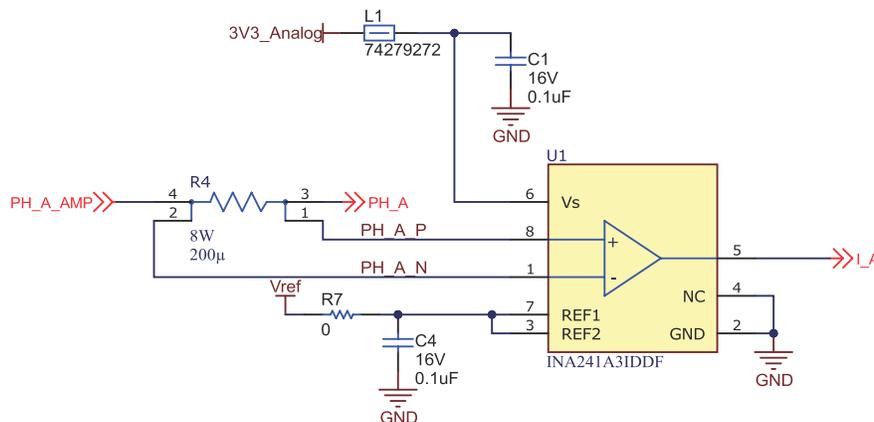


図 2-3. A 相の INA241 を使用するインライン位相電流検出

この設計は、ピーク時に  $85A_{RMS}$  または  $120A$  の定格モーター電流に対応します。多少のマージンを考慮し、電流検出の最大範囲は  $165A$  に設定されています。この仕様では、 $0.2m\Omega$ 、 $8W$  のシャント抵抗を選択し、固定ゲインが  $50$  のアンプを選択しています。

測定される同相電流は双方向であるため、算出された電圧範囲はさらに  $2$  倍にスケーリングされます。

ここで式 1 を使用してアンプ出力の電圧範囲を計算できます。

$$V_{scale} = I_{ph} \times R_{shunt} \times G_{amp} \times 2 = 165A \times 0.2m\Omega \times 50 \times 2 = 3.3V \quad (1)$$

スケールを  $3.3V$  に設定することで、 $0A$  が電圧スケールの中央に対応するように、アンプの電圧リファレンスも設定されます。図 2-4 に、この設計に採用されている TLV431 を使用した  $1.65V$  のバイアス電圧リファレンスを示します。

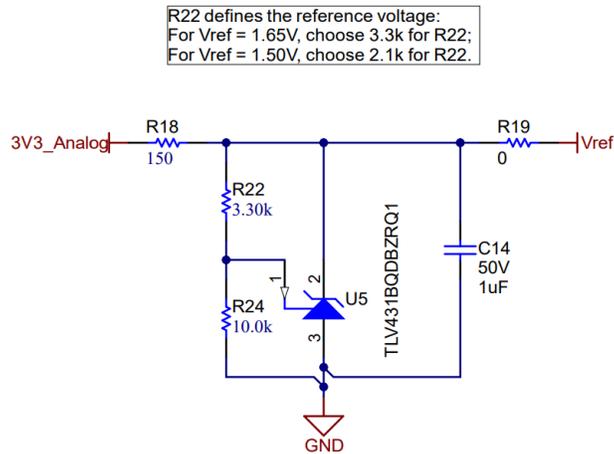


図 2-4. TIDA-010956 の TLV431 の回路図

抵抗  $R18$  は、回路に流れる最大電流を制限します。  $150\Omega$  の抵抗を選択します。  $R22$  と  $R24$  は、バイアス基準回路の出力電圧を決定します。  $R24$  を  $10.0k\Omega$  に固定すると、  $INA241A$  のバイアス基準電圧の  $1.65V$  では、  $R22$  を  $3.3k\Omega$  として選択できます。

電流検出シャント抵抗の消費電力定格がシステムの電流を維持できることを確認します。

$$P_{loss} = I_{RMS}^2 \times R_{shunt} = 165A^2 \times 0.2m\Omega = 5.445W \quad (2)$$

$165A$  は、フォルト状態の場合にのみ発生する可能性があります。公称電流定格は  $85A_{RMS}$  で、電力損失はわずか  $1.445W$  です。  $8W$  のシャント抵抗には十分なマージンがあります。

### 2.2.1.3.2 C 相の電流検出

C 相の電流検出には、  $\pm 50mV$  のリニア入力電圧範囲を持つ機能的アイソレーション付きモジュレータ  $AMC0106M05$  ( $U4$ ) と、  $300\mu\Omega \cdot 8W$  のシャント抵抗が使用されています。  $300\mu\Omega$  の分流値により線形入力範囲は  $\pm 167A$  に決定されます。  $AMC0106M05$  の入力クリッピング範囲は  $\pm 64mV$  であるため、最大電流範囲は  $\pm 213A$  となります。  $160A$  における分流の消費電力は  $7.68W$  です。

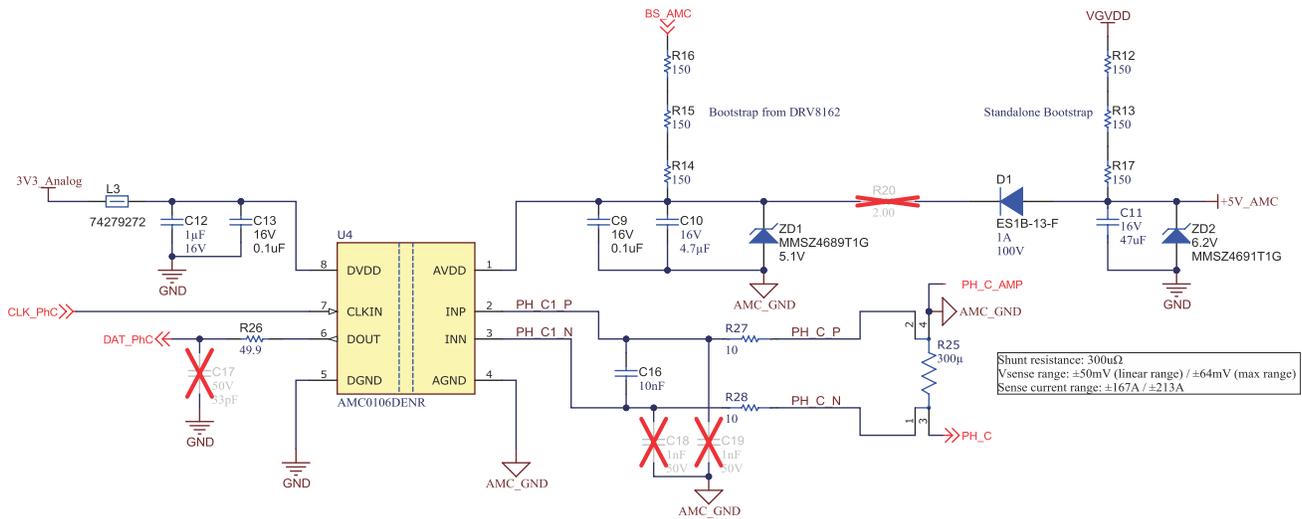


図 2-5. C 相の AMC0306M05 によるインライン位相電流検出

ここに示すアプリケーション回路は、データシートの推奨パターンに従っています。ハイサイド電源では、ブートストラップ回路の 2 チャンネルを選択できます。1 つのチャンネルは C 相のゲートドライバのブートストラップ電圧 BS\_AMC から R14、R15、R16 を経由して ZD1 によって 5.1V をクランプします。もう 1 つのチャンネルは、R20、D1、C11、ZD2、R12、R13、R17 によるスタンドアロンブートストラップ回路から供給されます。デフォルトでは、R20 は実装されず、スタンドアロンブートストラップ回路はアクティブではありません。

AMC0106M05 の用途および性能の詳細については、『[48V ロボットサーボドライブ向け、高分解能、小型フォームファクタの位相電流検出](#)』アプリケーションノートにあるテスト結果も参照してください。

さらに設計上のヒントについては、『[モータードライブにおける絶縁型デルタシグマ変調器による信号整合性の向上](#)』および『[絶縁型変調器の MCU デジタルインターフェースにおけるクロックエッジ遅延補償](#)』アプリケーションノートもご参照ください。

### 2.2.1.3.3 電圧検出

このリファレンスデザインでは、ドライブの DC 入力電圧  $V_{IN}$  と 3 相出力電圧を測定します。最大入力電圧は最大 80V に達する可能性があり、ゲートドライバ用の 12V 電圧レールを生成するために使用される LMR38010 降圧コンバータで制限されます。

この設計では、電圧検出分圧器が最大検出電圧 80V に対応するように設定されています。これは、48V のシステム定格  $V_{IN}$  に対して十分な値です。

図 2-6 に、 $V_{IN}$  電圧測定の回路図を示します。

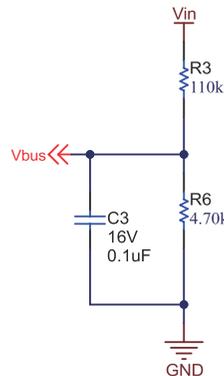


図 2-6. TIDA-010956  $V_{IN}$  電圧検出回路

式 3 を使用して計算します。

$$R_6 = \frac{R_3 \times V_{OUT}}{V_{IN} - V_{OUT}} = \frac{110k\Omega \times 3.3V}{80V - 3.3V} = 4,733\Omega \quad (3)$$

ここで、

- R3 には 110kΩ が選択されています。

各電圧分圧回路にはローパスフィルタが採用されており、本チャンネルでは C3 がそれにあたります。

位相電圧および  $V_{IN}$  電圧の測定については、これらの値を式 3 に入力してください。  $V_{IN} = 80V$ 、 $V_{out} = 3.3V$ 、 $R_3 = 110k\Omega$ 。これにより、 $R_6 = 4733\Omega$  となります。4.7kΩ、1% の抵抗を選択します。

#### 2.2.1.4 ホストプロセッサインターフェイス

プロセッサインターフェイスは、J1 と J2 のヘッダを使用して LAUNCHXL-F280039C または LAUNCHXL-F28P65X と組み合わせることで動作するように設計されています。この設計では、LAUNCHXL-F280039C コントローラボードを使用してすべてのテストを行います。ピンおよび信号の詳細については、セクション 3.1.2.3 を参照してください。

#### 2.2.1.5 ゲートドライブのシャットダウン パス

ハーフブリッジ ゲートドライバ DRV8162L には  $V_{GVDD}$  および  $V_{GVDD\_LS}$  の分割電源機能があるため、3 相ゲートドライバのハイサイド出力とローサイド出力を個別のパスでシャットダウンするオプションがあります。このリファレンス デザインには回路例が実装されています。

システムには、 $V_{GVDD}$  および  $V_{GVDD\_LS}$  電源それぞれに、2 つの負荷スイッチ (U12 および U14、TPS22810DRVR) が組み込まれています。DRV8162L の内部では、ローサイドドライバ回路への電力供給には  $V_{GVDD\_LS}$  が使用され、ハイサイドのブートストラップ回路への電力供給には  $V_{GVDD}$  が使用されます。

システムには、2 つの PWM バッファとレベル シフタ チップ (U13 および U15、TXU0304BQA) の 3.3V 電源用に、特定のロード スイッチ (U9、TPS22948DCKT) を使用した 3 番目のシャットダウン パスが組み込まれています。両方のデバイスの出力イネーブル (OE) ピンは、システム制御 MCU の GPIO 出力 (ホスト プロセッサ インターフェイスの J2-Pin18) を供給するか、または光エミュレータ アイソレータ (U10 または U11、ISOM8710DFF) 経由で外部入力信号を供給するよう構成できます。

#### 2.2.1.6 システム診断測定

##### 2.2.1.6.1 温度測定

このデザインでは、温度センサ (RT1、TMP6131DYAR) を使用して、ホスト コントローラで単に 3 相出力をオフにするか、Q3 の C 相ローサイド FET のすぐ横のポイントで検出された PCB の温度が高すぎる場合に包括的な出力制御を実行するオプションを提供します。

#### 2.2.1.7 システムの電源

前の章で説明したように、DRV8162L スマート ゲートドライバには、ハイサイド ( $V_{GVDD}$ ) とローサイド ( $V_{GVDD\_LS}$ ) にそれぞれ分割電源があります。どちらにも、U12 または U14 ロード スイッチを介して 12V の中間電源レールから電力が供給されます。したがって、パワー MOSFET に印加される実際の  $V_{GS}$  電圧は、12V 電源レールの影響を受ける可能性があります。

##### 2.2.1.7.1 12V レール

3 相の DRV8162L ゲートドライバ用の 12V 中間電源レールを生成するため、4.2V~80V 入力の同期整流降圧コンバータ LMR38010 (U7) を使用し、R47 = 25.5kΩ を使用して 1MHz で動作するように構成します。

降圧コンバータ (U7) は、最大 1A の出力電流を供給できます。システムの消費電流がこの 1A の電力バジェットを確実に下回るように、負荷を計算します。

表 2-2. 12V での降圧コンバータの電流バジェット

部品番号	電圧レール	データシート記載の消費電流	ワット	12V、効率 80% での電流
DRV8162L (3 個必要)	12V	18mA (V <sub>GVDD</sub> )	0.648W	67.5mA
F280039C	3.3V	108mA	0.356W	37mA
合計				<b>104.5mA</b>

これは、12V レールには 895.5mA の出力電流容量が残っており、追加の回路を使用できることを示しています。

### 2.2.1.7.2 3.3V レール

このデザインでは、C2000 ホスト制御 LaunchPad™ 開発キットと、検出、診断、シャットダウン制御セクションを含むシステム制御回路のオンボードコンポーネントの両方に、3.3V レールから最大約 0.5A の負荷電流を供給する必要があります。

3.3V レール電源回路の入力電圧範囲については、DRV8162L の GVDD に 12V レールが供給されるため、3.3V レール電源回路が V<sub>GVDD</sub> を入力として直接使用できるように、十分なマージンを持つ方式を選択します。

この設計はシンプルで使いやすく、高効率、高電力密度の同期整流降圧モジュール TPSM861253 を使用して、3.3V レールを供給します。このデバイスは、3V~17V の入力範囲、3.3V、1A の最大出力を供給し、QFN パッケージに封止されています。

### 2.2.2 ソフトウェア設計

このリファレンスデザインのテストに使用したソフトウェアは、C2000Ware\_MotorControl\_SDK の servo\_drive\_with\_can サンプルプロジェクトを変更したものです。このサンプルプロジェクトは、インストールフォルダにある関連資料に記載された手順に従い、ハードウェアと連携するように調整されています。

まだインストールされていない場合は、デフォルト設定を使用して C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK をダウンロードしてインストールしてください。次のパスにある servo\_drive\_with\_can サンプルコードを探してください。

```
c:\ti\c2000\C2000Ware_MotorControl_SDK_x_xx_xx_xx\solutions\servo_drive_with_can
```

このパスには、異なる MCU の複数のサブフォルダがあり、このパスにある doc サブフォルダで資料も利用できます。

調整作業は Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE) で行います。まだインストールされていない場合は、デフォルト設定で Code Composer Studio をダウンロードしてインストールしてください。Code Composer Studio の詳細な手順については、インストールパスのリソースも参照してください。

このリファレンスデザインのサンプルプロジェクトを調整し、3 相モーターを実行するには、そのプロジェクトを f28003x サブフォルダの Code Composer Studio にインポートし、以下の変更を加えてください。

まず、アナログおよびデジタル I/O ポートの設定を変更します。C2000™ MCU からの PWM 信号が、ハイサイド FET とローサイド FET に対して正しく構成されていることを確認します。使用する LaunchPad 開発キットの I/O ポートに対して、制御出力、障害フィードバック入力、ADC チャンネルがすべて正しく構成されていることを確認してください。

次に、リファレンスデザインのハードウェアとシステム制御に関連するパラメータとコードを調整します。このリファレンスデザインは、ビルドレベル 2 を使用してテスト済みです。これは、システムが開ループ構成で動作することを意味します。

ソフトウェアまたは C2000Ware\_MotorControl\_SDK に関して質問がある場合は、C2000 マイクロコントローラフォーラムの E2E 設計サポートフォーラムもご覧ください。

## 2.3 主な使用製品

### 2.3.1 DRV8162L

DRV816x は、ハイサイドおよびローサイドの N チャネル パワー MOSFET を駆動できる、統合型ハーフブリッジゲートドライバです。このデバイスは、GVDD 電源ピンからゲートドライブ電圧を生成し、ブートストラップ回路を使用してハイサイド FET を駆動します。トリクルチャージポンプにより 100% デューティサイクルをサポートしています。このゲートドライブのアーキテクチャは、最大でソース (供給) 1A、シンク (吸い込み) 2A のピークゲート駆動電流をサポートします。これらのデバイスを使用して、ブラシなしまたはブラシ付き DC モーター、永久磁石同期モーター (PMSM)、ステッピングモーター、スイッチトリアクタンスモーター (SRM)、ソレノイドなど、各種の負荷を駆動できます。

1 ピン PWM、2 ピン PWM、および独立 FET PWM モードにより、コントローラ回路と簡単に接続でき、柔軟な FET 電力段構成が可能です。ハードウェアピンを使用して、電流センスアンプのゲイン、ゲートドライブ電流、VDS 過電流保護などのデバイス設定を構成できます。DRV8161 デバイスにはローサイド電流センスアンプが内蔵されており、電流測定情報をコントローラに送信できます。DRV8162L は、個別の GVDD ピンと GVDD\_LS ピンを備えており、セーフトルクオフ (STO) 機能のシステム設計に利用できます。

低電圧誤動作防止、FET 過電流、過熱に対する保護機能が内蔵されています。nFAULT ピンは、保護機能によって検出されたフォルトイベントを通知します。

### 2.3.2 INA241A

INA241x は、電源電圧に依存せず、 $-5V \sim 110V$  という広い同相電圧範囲にわたってシャント抵抗の電圧降下を測定できる、超高精度の双方向電流検出アンプです。低いオフセット電圧 (最大値  $\pm 10\mu V$ )、小さいゲイン誤差 (最大値  $\pm 0.01\%$ )、高い DC CMRR (代表値 166dB) の組み合わせにより、高精度の電流測定を実現します。INA241x は、デバイスの入力で大きな同相電圧過渡が観測されるスイッチングシステムにおける高電圧双方向測定向けに設計されています。INA241x 内部の拡張 PWM 除去回路は、入力で同相電圧が変動しても、発生する出力での信号変動を最小限に抑えます。

INA241x は 2.7V $\sim$ 20V 単電源で動作し、消費電流は 2.5mA です。INA241x には、10V/V、20V/V、50V/V、100V/V、200V/V という 5 つのゲインオプションがあります。複数のゲインオプションにより、利用可能なシャント抵抗値と広い出力ダイナミックレンジ要件の間で最適化を行えます。

INA241x は、 $-40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$  の温度範囲で動作が規定されています。

### 2.3.3 AMC0106M05

AMC0106Mxx デバイスは、分流ベースの高精度絶縁電流検出向けに設計された、高精度で機能的に絶縁された 2 次デルタシグマ変調器です。AMC0106M05 は  $\pm 50mV$  の線形入力範囲に対応し、AMC0106M25 は  $\pm 250mV$  に対応しています。

この絶縁バリアは、異なる同相電圧レベルで動作するデバイスの 2 つの部分と分離し、最大 200V<sub>RMS</sub> / 280V<sub>DC</sub> の動作電圧と、最大 570V<sub>RMS</sub> / 800V<sub>DC</sub> の過渡過電圧に対応しています。ガバナック絶縁バリアは高い同相過渡に対応し、感受性の高い制御回路を電力段のスイッチングノイズから絶縁できます。

AMC0106Mxx デバイスは、沿面距離と空間距離が 1mm の小型 2.7mm  $\times$  3.5mm リードレスパッケージで提供されています。この小型パッケージにより、小型フォームファクタのモータードライブ用途に不可欠な小型の PCB レイアウトが可能になります。

電流検出用シャントでの電力損失を低減するため、本設計では C 相の電流検出において、AMC0106M05 と組み合わせるために、 $300\mu\Omega \cdot 8W$  のシャント抵抗が選定されています。これにより、 $\pm 167A$  の線形フル検出範囲が得られます。

AMC0106M05 の出力ビットストリームは、外部クロックと同期します。このデバイスは、sinc3 や OSR 256 フィルタと組み合わせることにより、16 ビットの分解能、82.5dB のダイナミックレンジや 78kSPS のデータレートを実現します。

### 2.3.4 TPSM861253

TPSM861253 はシンプルで使いやすい、高効率、高電力密度の同期整流降圧モジュールで、入力電圧範囲は 3V～17V で、最大 1A の連続電流に対応しています。本デバイスは固定 3.3V の出力電圧を持ち、FCCM モードをサポートしています。また、分圧抵抗とフィードフォワードコンデンサもモジュール内部に統合されています。OVP、OCP、UVLO、OTP、UVP を含む完全な保護機能に、ヒックアップ機能も統合されています。

### 2.3.5 LMR38010

LMR38010 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えるよう設計されており、必要な外付けサージ抑制部品を最小限に抑えています。LMR38010 は最低 4.2V の入力電圧ディップ中も動作し、必要に応じて 100% に近いデューティサイクルで動作するため、入力範囲が広い産業用アプリケーションおよび MHEV/EV システムに最適です。

LMR38010 は、高精度イネーブルを使って幅広い入力電圧と直接接続でき、またデバイスのスタートアップとシャットダウンを精密に制御できるため、設計の柔軟性を高めることができます。内蔵のフィルタと遅延を備えたパワーグッドフラグは、システムの実際の状態を示すため、外部のスーパーバイザは不要です。このデバイスは疑似ランダム拡散スペクトラム機能を内蔵し、EMI を最小限に抑えます。また、200kHz～2.2MHz の広い範囲でスイッチング周波数を設定し、ノイズの影響を受けやすい周波数帯を避けることができます。また、効率向上のために低い動作周波数を選択することも、設計小型化のために高い動作周波数を選択することも可能です。

このデバイスには、サイクル単位の電流制限、ヒックアップモード短絡保護、過剰な電力消費時のサーマルシャットダウンなどの保護機能が組み込まれています。LMR38010 は、8 ピン HSOIC PowerPAD 集積回路パッケージで供給されます。

### 2.3.6 TMP6131

TMP61 リニアサーミスタは、全温度範囲にわたる線形性と安定した感度を備えているため、簡単かつ正確な方法で温度を変換できます。本デバイスは消費電力が低く、熱容量が小さいため、自己発熱は最小限です。

本質的に高温時にフェイルセーフ挙動を示し環境変化に耐えるこれらのデバイスは、長寿命高性能向けに設計されています。また TMP6 シリーズは、小型であるため熱源に近付けて配置でき迅速な応答が得られます。

NTC サーミスタと比較して、追加の線形化回路が不要、較正が最小限、抵抗公差の変動が小さい、高温での感度が高い、変換方式が簡単などの利点があるため、時間およびメモリを削減できます。

TMP61 は現在、0402 X1SON パッケージ、0603 SOT-5X3 パッケージ、2 ピンのスルーホール TO-92S パッケージで供給されています。

### 2.3.7 ISOM8710

ISOM871x ファミリのデバイスは、最大 25Mbps のデータレートのデジタル信号を絶縁するオプトエミュレータであり、フォトカプラに代わるシングルチャネルのピン互換ドロップインデバイスです。標準的なフォトカプラは LED を入力段として使用しますが、ISOM871x は入力段としてエミュレーションダイオードを使用します。入力段は、テキサス・インスツルメンツ独自の二酸化シリコンベース (SiO<sub>2</sub>) 絶縁バリアによってドライバ段から絶縁されています。このデバイスは堅牢な絶縁を実現するだけでなく、クラス最高の同相過渡耐性も実現しています。注文オプションには、CMOS 出力とオープンコレクタ出力オプションが含まれます。

ISOM871x デバイスは、高速デジタル信号を絶縁し、従来のフォトカプラでは得られなかった性能、信頼性、および柔軟性の利点を提供します。これらのデバイスは、低消費電力および高速動作の CMOS 絶縁テクノロジーをベースにしているため、これらのデバイスは、温度、順方向電流、デバイスの経年変化に伴って性能が低下するフォトカプラに見られる磨耗効果に耐性があります。

## 3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

### 3.1 ハードウェア要件

#### 3.1.1 PCB の概要

図 3-1 に、LAUNCHXL-F280039C を取り付けした TIDA-010956 PCB の上面の写真を示します。

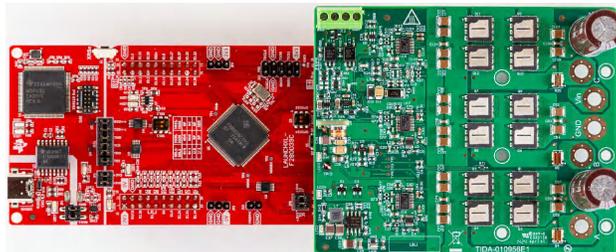


図 3-1. 基板写真(上面)

#### 3.1.2 ハードウェアの構成

##### 3.1.2.1 前提条件

次の表に、TIDA-010956 デザイン ガイドの評価テストに必要なハードウェア機器とソフトウェアを示します。

表 3-1. 前提条件

装置	備考
TIDA-010956	デザイン フォルダから入手可能
TMS320F280039C C2000™ リアルタイム マイコン向け LaunchPad™ 開発キット	LAUNCHXL-F280039C から入手可能
Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE) バージョン 12	CCSTUDIO からダウンロード
C2000Ware_MotorControl_SDK	C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK からダウンロード。
モーター	デザインの電圧レベルと電流レベルをサポートする必要あり
電源	デザインの電圧レベルと電流レベルをサポートする必要あり

##### 3.1.2.2 デフォルトの抵抗およびジャンパ構成

TIDA-010956 基板を使用する前に、抵抗設定が正しいことを確認してください。表 3-2 に、抵抗のデフォルト設定を示します。LAUNCHXL-F280039C のジャンパは、JP1 を取り外して、PC の USB ポートからの 5V 電源を遮断します。このリファレンス デザインでは、デフォルト設定の R29 により、MCU コントローラ基板に 3.3V 電源レールを直接供給します。

表 3-2. デフォルトの抵抗およびジャンパ設定

ヘッドおよび抵抗	ジャンパ設定
R51, R58	外部シャットダウン入力信号に対してアイソレータをディセーブルする抵抗
R54, R56	PWM ディスエーブル機能のロード スイッチを駆動するシャットダウン パスを定義する抵抗
R61, R63	ハイサイド ゲートドライバ ディセーブル機能のロード スイッチを駆動できるシャットダウン パスを定義する抵抗
R67, R69	ローサイド ゲートドライバ ディセーブル機能のロード スイッチを駆動できるシャットダウン パスを定義する抵抗
R29	3.3V オンボードで LAUNCHXL-F280039C に電力を供給するための 0Ω 抵抗。使用前に LaunchPad の JP1 を取り外してください。
R83, R86, R98, R101, R111, R114	DRV8162L のゲートドライブ電流を 3 相で構成するための抵抗。デフォルト設定は、IDRIVE1 と IDRIVE2 の両方とも LEVEL0 です。
R84, R99, R112	DRV8162L の V <sub>DS</sub> 監視レシジョンレベルを構成するための抵抗。デフォルト設定は LEVEL1 です。
R85, R100, R113	デッドタイムを設定するための DT/MODE ピン外の抵抗。デフォルト設定は LEVEL3 です。

### 3.1.2.3 コネクタ

#### 3.1.2.3.1 ホストプロセッサインターフェイス

表 3-3 に、TIDA-010956 リファレンスデザインが LAUNCHXL-F280039C の C2000 LaunchPad との通信に使用する信号を示します。

表 3-3. J1 および J2 ホストプロセッサインターフェイスのピン配置

LAUNCHXL-F280039C				TIDA-010956			
J5	J7	J8	J6	J1		J2	
3.3V	5V <sup>(2)</sup>	PWM7A	GND	3.3V	NC <sup>(2)</sup>	PWM_CH	GND
ADCINC1 <sup>(2)</sup>	GND	PWM7B	GPIO27 <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	GND	PWM_CL	NC <sup>(2)</sup>
GPIO15	ADCINB11	PWM4A	GPIO47	LED4	Vbus <sup>(1)</sup>	PWM_BH	フォルト
GPIO56 <sup>(2)</sup>	ADCINA10、 ADCINB1、 ADCINC10	PWM4B	GPIO57 <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	V_C <sup>(1)</sup>	PWM_BL	NC <sup>(2)</sup>
GPIO56 <sup>(2)</sup>	ADCINA5	PWM5A	XRSn <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	V_B <sup>(1)</sup>	PWM_AH	NC <sup>(2)</sup>
ADCINA9 <sup>(2)</sup>	ADCINA4、 ADCINB8	PWM5B	SD2_D3	NC <sup>(2)</sup>	V_A <sup>(1)</sup>	PWM_AL	DAT_PhC
GPIO58 <sup>(2)</sup>	ADCINB4、 ADCINC8 <sup>(2)</sup>	GPIO21 <sup>(2)</sup>	SD2_C3	NC <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	SD_CLK
GPIO4	ADCINB5	EPWM1B	GPIO20	VDSLVLCC	I_B <sup>(1)</sup>	SD_CLK <sup>(1)</sup>	EN_DRV
GPIO18	ADCINA12、 ADCINC5	EPWM2A	GPIO26	VDSLVLCB	I_A <sup>(1)</sup>	CLK_PhC <sup>(1)</sup>	PWM_EN
GPIO19	ADCINA0、 ADCINB15、 ADCINC15	GPIO40 <sup>(2)</sup>	GPIO25 <sup>(2)</sup>	VDSLVLCA	温度 <sup>(1)</sup>	NC <sup>(2)</sup>	NC <sup>(2)</sup>

(1) イタリック体で記載されている信号は、このデザインではまだテストされていません。

(2) グレーのカラーコードは、TIDA-010956 設計において未接続または予約済みのピンを示しています。

J5、J7、J6、J8 への接続は、表 3-3 に示すように、LAUNCHXL-F280039C を使用してテストされます。TIDA-010956 は、LAUNCHXL-F280039C の J1、J3、J2、J4 のコネクタ、または LAUNCHXL-F28P65X LaunchPad と組み合わせて動作させることもできます。

## 3.2 テスト設定

表 3-4 に、TIDA-010956 のテストセッションで使用される機器を示します。

表 3-4. DRV8162L の設定

試験装置	部品番号
オシロスコープ	Tektronix DPO3054
プローブ	Tektronix TPP0200
電流プローブ	CYBERTEK CP8500A
PMSM モーター	GLOBE6440
電源	Agilent 6030A、ITECH IT6724H

各種テストで、表 3-4 で説明されている機器の一部が使用されます。図 3-2 では、システムで使用するテストセットアップを示しています。

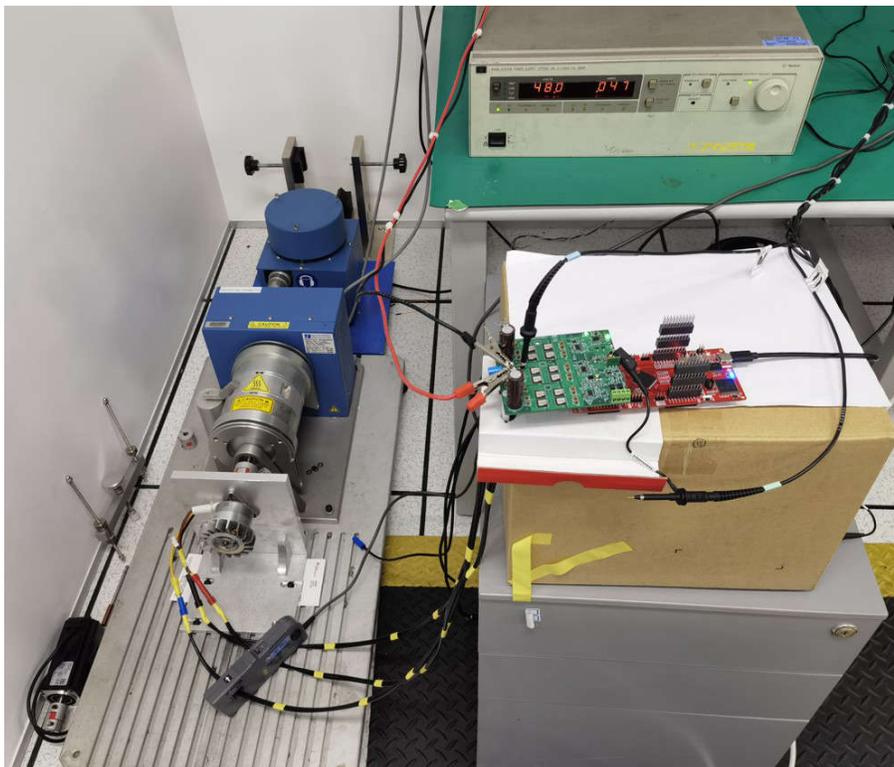


図 3-2. TIDA-010956 システムのテスト構成

特に記述のない限り、DRV8162L チップは、テスト中表 3-5 に示すように設定されています。

表 3-5. DRV8162L の設定

IDRIVEP	1024mA	IDRIVE1 = LEVEL0 ( $V_{IDRIVE1} = 0k\Omega$ ) および IDRIVE2 = LEVEL0 ( $V_{IDRIVE2} = 0k\Omega$ )
IDRIVEN	2048mA	
VDSLVL	LEVEL1-0:0.15V または LEVEL1-1:0.2V	LEVEL1 ( $R_{VDSLVL} = 2k\Omega$ )
DEAD_TIME	370ns デッドタイム	LEVEL3 ( $R_{DT} = 3.3k\Omega$ )

テストでは、LAUNCHXL-F280039C の C2000™ LaunchPad を使用してシステムが制御されます。表 3-6 に、関連する MCU ソフトウェア設定を示します。

表 3-6. C2000 MCU の設定

PWM	16kHz	デッドタイム	200ns
-----	-------	--------	-------

各種テストで異なるセットアップが使用されます。これらについては、関連するテストのセクションに記載しています。

### 3.3 テスト結果

各機能ブロックと基板全体を特性評価するためにテストが実施されます。特に次のテストが行われます。

- パワー マネージメント
- 3 相電力段テスト
- 電圧と電流のセンシング テスト
- システムの熱性能

テストは 28°C 前後の室温で行われます。

### 3.3.1 パワー マネージメント

このセクションでは、TIDA-010956 のパワーアップ シーケンスとパワーダウン シーケンスを示します。本測定は、[図 3-3](#) に示すプロセスで行われます。

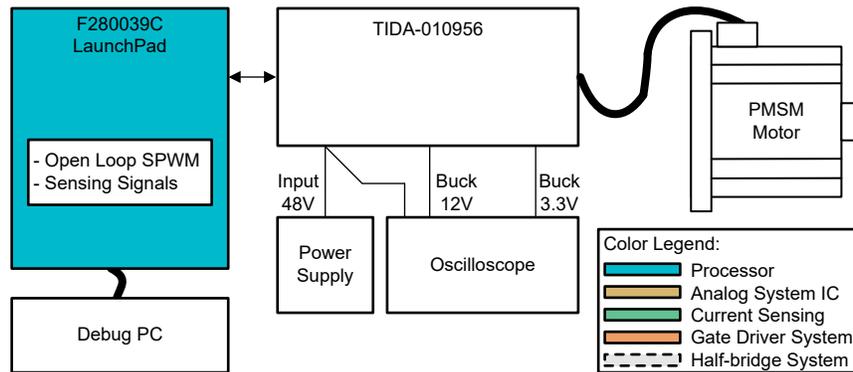


図 3-3. TIDA-010956 の電圧レール用テスト構成の図

#### 3.3.1.1 パワーアップ

[図 3-4](#) に、TIDA-010956 のパワーアップ シーケンスを示します。

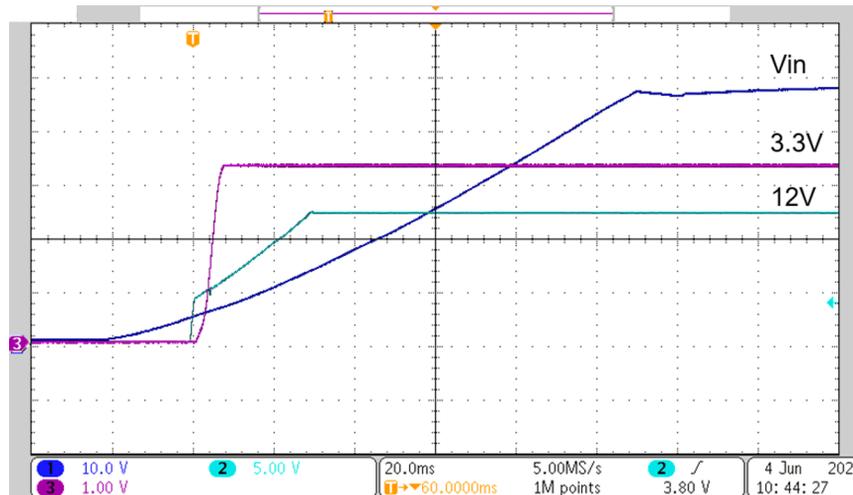


図 3-4. TIDA-010956 のパワーアップ シーケンス

システムのパワーアップ シーケンスは次のとおりです。48V の  $V_{IN}$  (CH1、濃い青色) が約 5V を上回ると、LMR38010FDDAR が 12V レール (CH2、水色) に電源を供給し始めます。この 12V レールが約 5V になると、3.3V レール (CH3、紫色) がイネーブルになります。

VDC バス コンデンサの充電中、 $V_{IN}$  はゆっくりと上昇します。VDC バス コンデンサは主に  $330\mu\text{F} \times 2 + 2.2\mu\text{F} \times 20$  で、合計は  $700\mu\text{F}$  を超えます。コンデンサ基板を採用する場合は、さらに  $180\mu\text{F} \times 20 = 3.6\text{mF}$  を追加する必要があります。

### 3.3.1.2 パワーダウン

パワーダウンプロセス中、 $V_{IN}$  が  $700\mu\text{F}$  を超える容量を放電する必要があるため、 $V_{IN}$  のランプダウンも低速になります (図 3-5 を参照)。

$V_{IN}$  が約  $7\text{V}$  まで低下すると、 $12\text{V}$  レールがパワーダウンを開始します。この  $12\text{V}$  レールが約  $4\text{V}$  に達すると、 $V_{IN}$  によって  $3.3\text{V}$  レールがシャットダウンされます。その後、コンデンサの残りの容量がゆっくり放電されます。

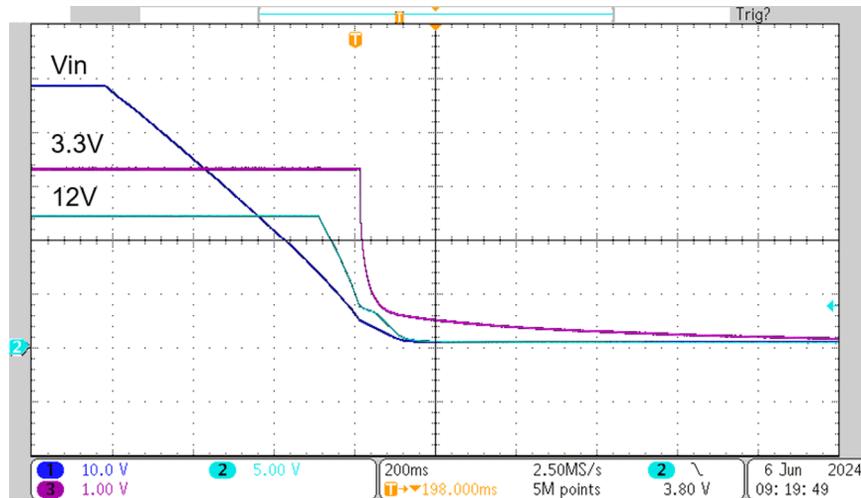


図 3-5. TIDA-010956 のパワーダウンシーケンス

表 3-7 に、さまざまなシステム ステータスにおける  $12\text{V}$  レールの電流を示します。

表 3-7. さまざまなシステム ステータスにおける  $12\text{V}$  レールの電流

測定	システム ステータス	$12\text{V}$ レールの電流
電流 (mA)	アイドル (ゲートドライバがディセーブル)	73.5
電流 (mA)	16kHz PWM	125.4

#### 注

このデザインでは、C2000 LaunchPad には、デフォルトで TIDA-010956 により  $0\Omega$  の抵抗 (R29) を介して  $3.3\text{V}$  電源で電力を供給することを想定しています。 $V_{IN}$  を印加する前に、LAUNCHXL-F280039C の JP1 (PC USB から  $5\text{V}$  電源) を取り外します。

### 3.3.2 ゲート電圧と相電圧

スイッチノードのゲート電圧と相電圧を測定するため、以下の測定を行います。図 3-6 にテスト構成を示します。

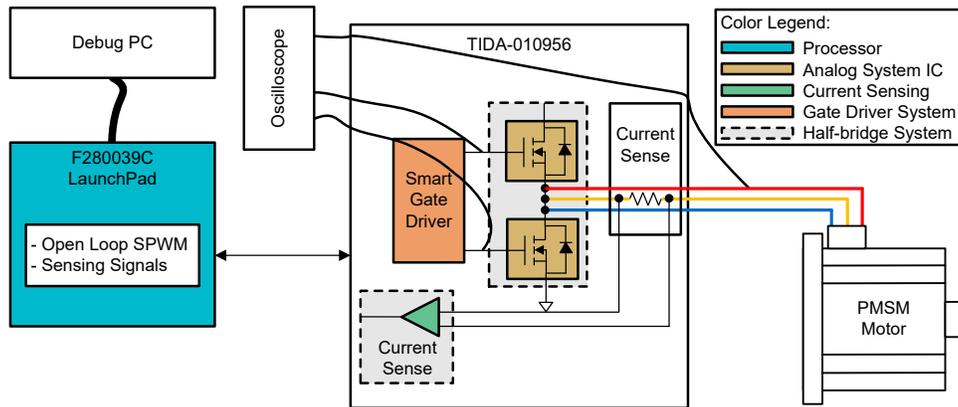


図 3-6. ゲート電圧およびスイッチ ノード電圧測定用のテスト構成

これらのテストでは、印加されている VDC は 48V であり、開ループのベクトル制御を使用してモーターを固定角度に設定します。信号は B 相で測定されます。これには、ローサイド MOSFET のゲート電圧 (CH1、濃い青色)、相のスイッチノード電圧 (CH2、水色)、出力電流 (CH4、緑色) が含まれます。どちらの電圧も GND を基準としており、相電流はドライブからモーターへの流れを正方向とします。

セクション 3.3.2.1、セクション 3.3.2.2、およびセクション 3.3.2.3 の測定値は、電流を正の値と負の値の両方に設定した場合の相のシフトを示しています。ローサイド MOSFET のソフトスイッチングとハードスイッチングの 4 つの構成すべてを測定します。

#### 3.3.2.1 20 VDC

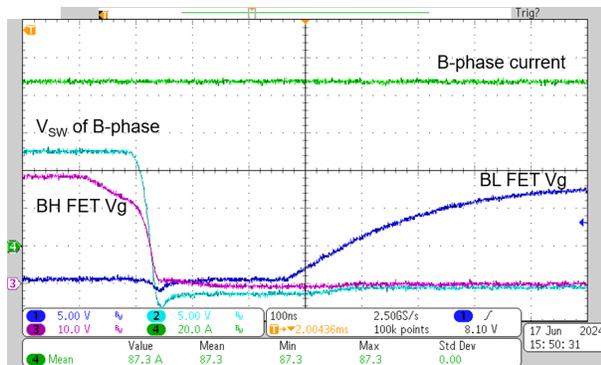


図 3-7. ハード スイッチング、  
相電流 20V、87.3A

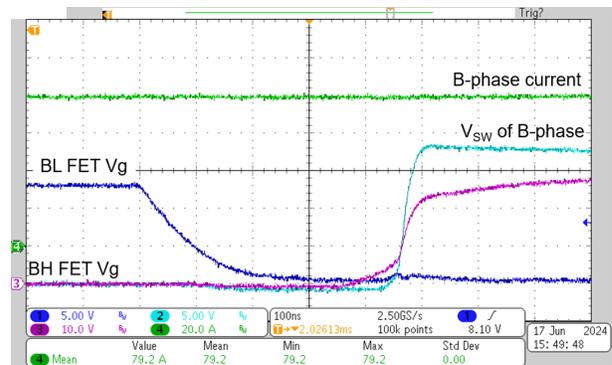


図 3-8. ソフト スイッチング、  
相電流 20V、79.2A

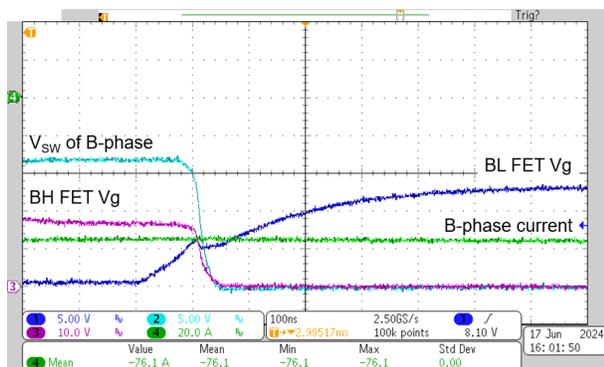


図 3-9. ソフトスイッチング、  
相電流 20V、-76.1A

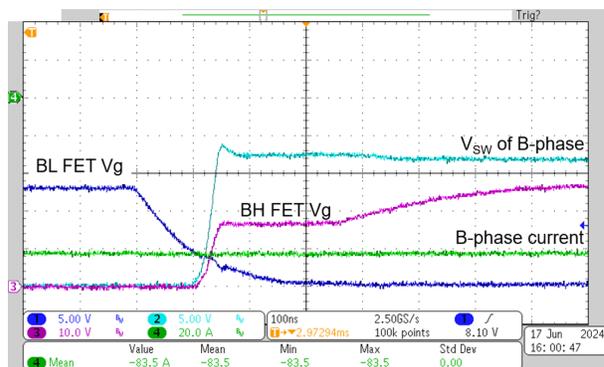


図 3-10. ハードスイッチング、  
相電流 48V、-83.5A

3.3.2.2 48 VDC

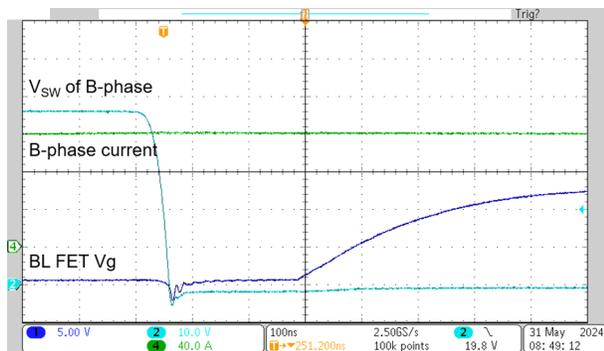


図 3-11. ハードスイッチング、  
相電流 48V、120A

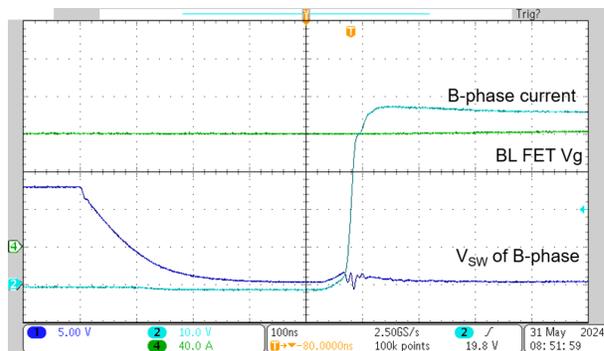


図 3-12. ソフトスイッチング、  
相電流 48V、120A

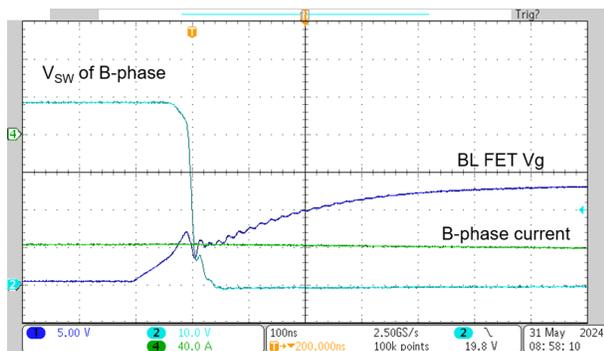


図 3-13. ソフトスイッチング、  
相電流 48V、-120A

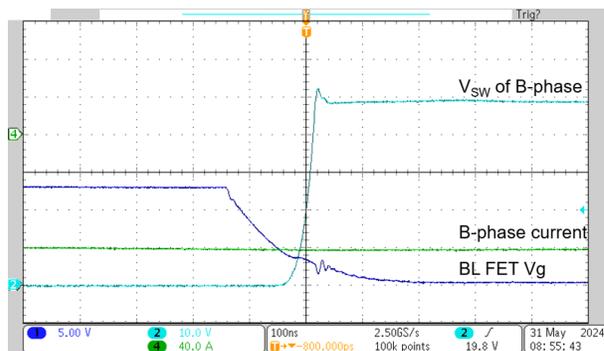


図 3-14. ハードスイッチング、  
相電流 48V、-120A

3.3.2.3 60 VDC

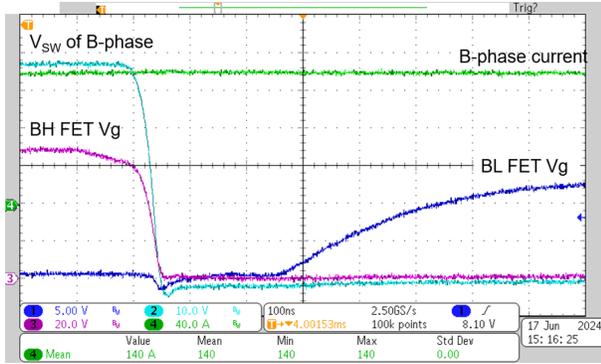


図 3-15. ハードスイッチング、  
相電流 60V、140A

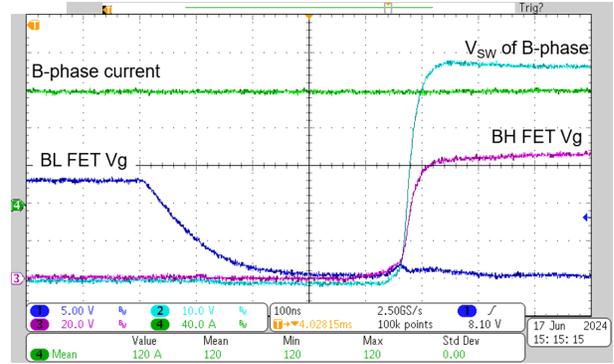


図 3-16. ソフトスイッチング、  
相電流 60V、120A

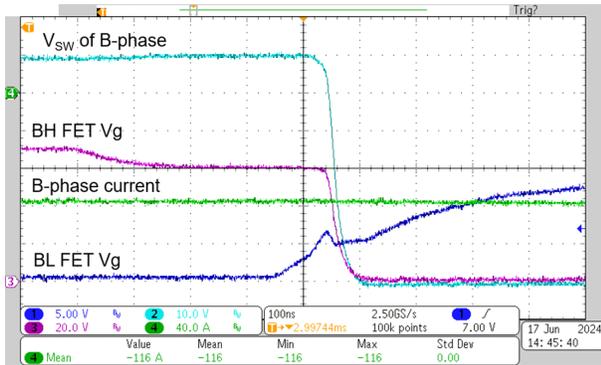


図 3-17. ソフトスイッチング、  
相電流 60V、-116A

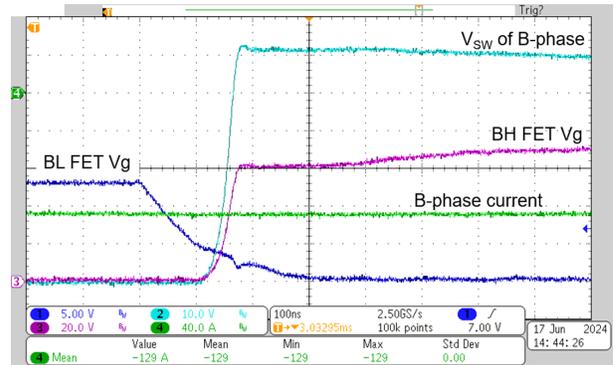


図 3-18. ハードスイッチング、  
相電流 60V、-129A

### 3.3.3 デジタル PWM およびゲート電圧

これらのテストでは、まずローサイドチャンネルで PWM 信号と MOSFET ゲート電圧の間の伝搬遅延を測定し、次にハイサイドとローサイドのデジタル PWM 間のデッドタイムと MOSFET のゲート電圧を測定します。図 3-19 にテスト構成を示します。

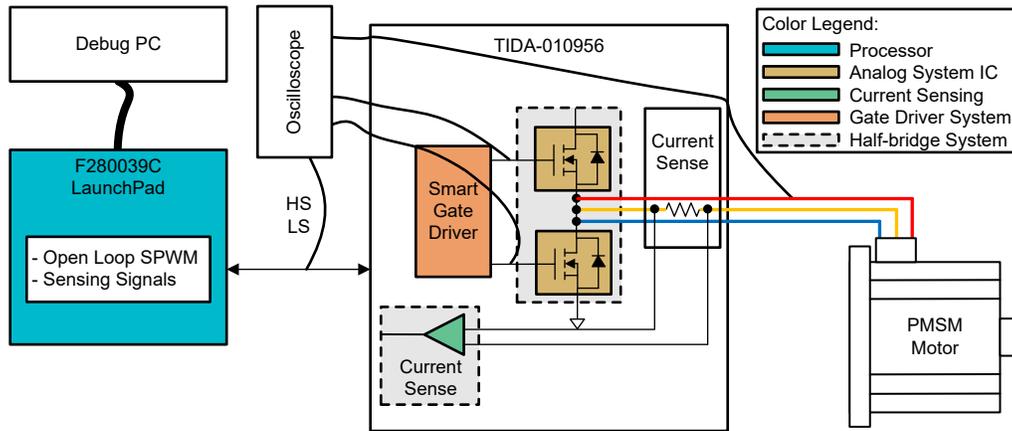


図 3-19. デジタル PWM およびゲート電圧測定用のテスト構成

本システムでは、これらのテストにおいて 48V の  $V_{IN}$  が使用され、モーターは開ループ制御で固定角度に設定されています。信号は C 相で測定し、すべての信号は GND を基準としています。

図 3-20 および図 3-21 に、ターンオン時 / ターンオフ時の伝搬遅延を示します。

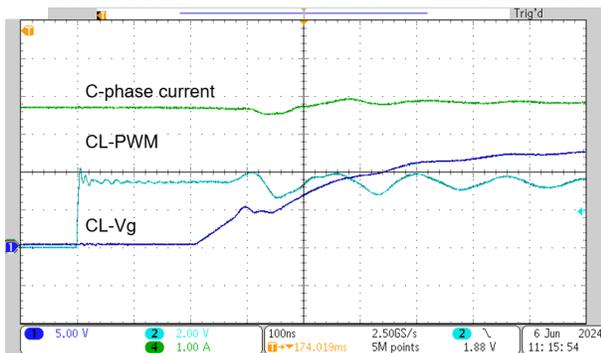


図 3-20. ターンオン時の伝搬遅延

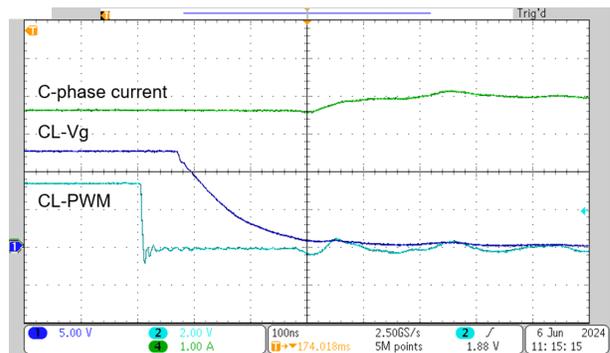


図 3-21. ターンオフ時の伝搬遅延

ターンオン時の遅延の測定値は約 200ns、ターンオフ時の遅延の測定値は約 70ns です。ターンオン時の遅延は、DRV8162L で DT ピンと GND の間に 3.3kΩ  $R_{DT}$  を接続して追加のデッドタイムを導入しているため、約 130ns 長くなっています。

図 3-22 と図 3-23 に、PWM 信号の 200ns のデッドタイムと、ハーフブリッジが Low から High にスイッチングしているときの (CL は CH2、CH は CH3) 対応するゲート電圧を示します。

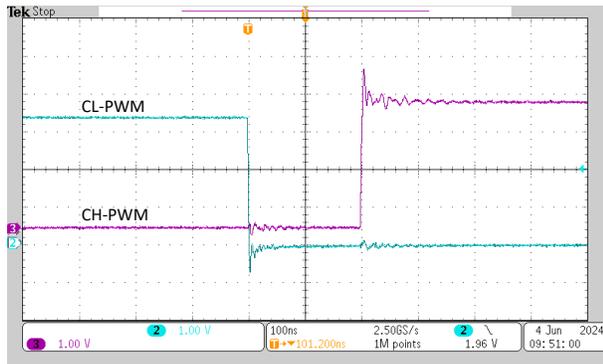


図 3-22. 正のシフト時の PWM 入力、DT = 200ns

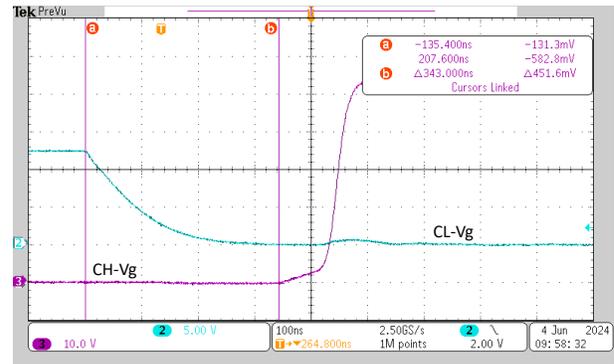


図 3-23. 正のシフト時のゲート電圧、DT = 343ns

ハイサイドゲート電圧とローサイドゲート電圧間のデッドタイムは、DRV8162L により約 340ns に延長されています。

図 3-24 と図 3-25 に、ハーフブリッジが High から Low に切り替わる様子を示します。R<sub>DT</sub> 設定により、デッドタイムも約 340ns に延長されています。

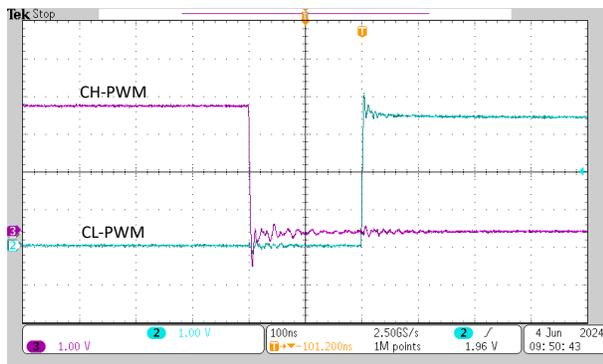


図 3-24. 負のシフト時の PWM 入力、DT = 200ns

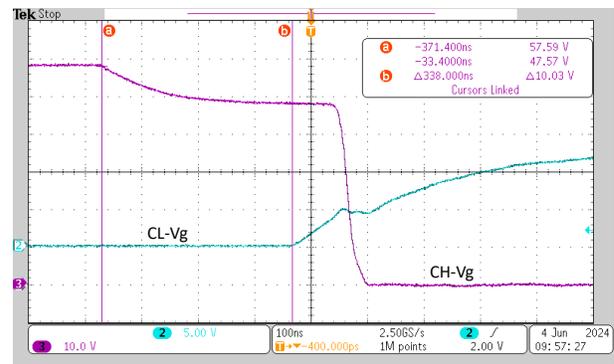


図 3-25. 負のシフト時のゲート電圧、DT = 338ns

この DRV8162L により、自動的にデッドタイムが挿入されます。挿入されるデッドタイムは、R<sub>DT</sub> の値に応じて 20ns～370ns の範囲で変化させることができます。詳細については、データシートをご覧ください。

### 3.3.4 相電流の測定

このセクションでは、モーター制御用の開ループ回転磁界を生成する相電流の測定性能を示します。

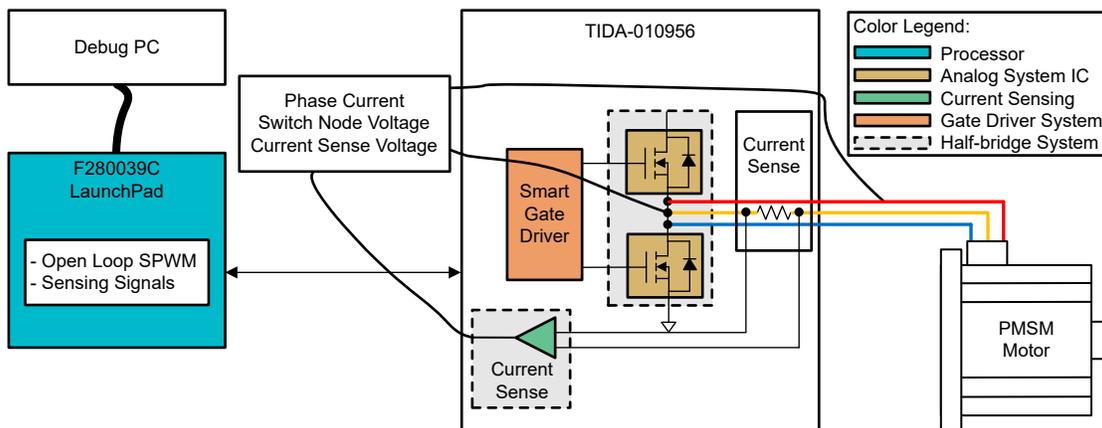


図 3-26. TIDA-010956 電流測定用テスト構成の図

図 3-27 に、B 相における INA241 のモーター電流 (CH4、緑色) と電流センス アンプ出力電圧 (CH1、濃い青色) の測定値を示します。スイッチング ノード電圧も示されています (CH2、水色)。

図 3-28 に、INA241 の正弦波に類似した波形出力を示します。システムは開ループで動作しているため、正弦波に明らかな歪みが現れています。図 3-28 に、INA241 の同相性能を示します。

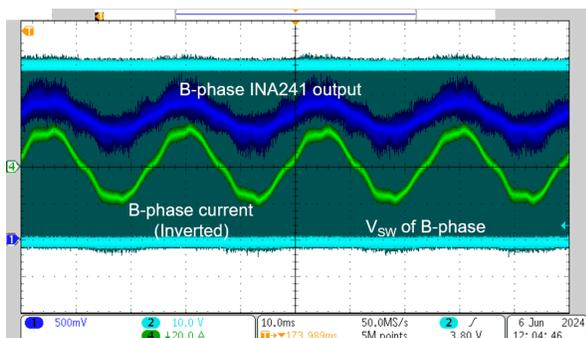


図 3-27. INA241 の出力で測定された回転電流

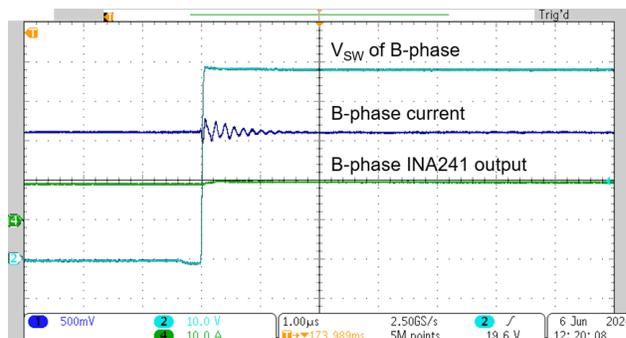


図 3-28. スイッチ点で測定された INA241 の出力

この測定値は、アンプのセトリング タイムのワーストケース シナリオを示しています。予測される最大セトリング タイムは約 1.0µs です。

### 3.3.5 システムのテスト結果

#### 3.3.5.1 熱解析

本設計の熱解析は、実験室温度  $28^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{\text{IN}}$  が  $48\text{V}$ 、PWM が  $16\text{kHz}$  の条件下で実施されました。低電圧 PMSM は、負荷電流  $26.2\text{A}_{\text{RMS}}$  (ピーク  $37.0\text{A}$ ) で、正弦波の相電流により駆動されます。このテストでは、ヒートシンクやファンは使用していません。図 3-29 に、基板の熱画像を示します。

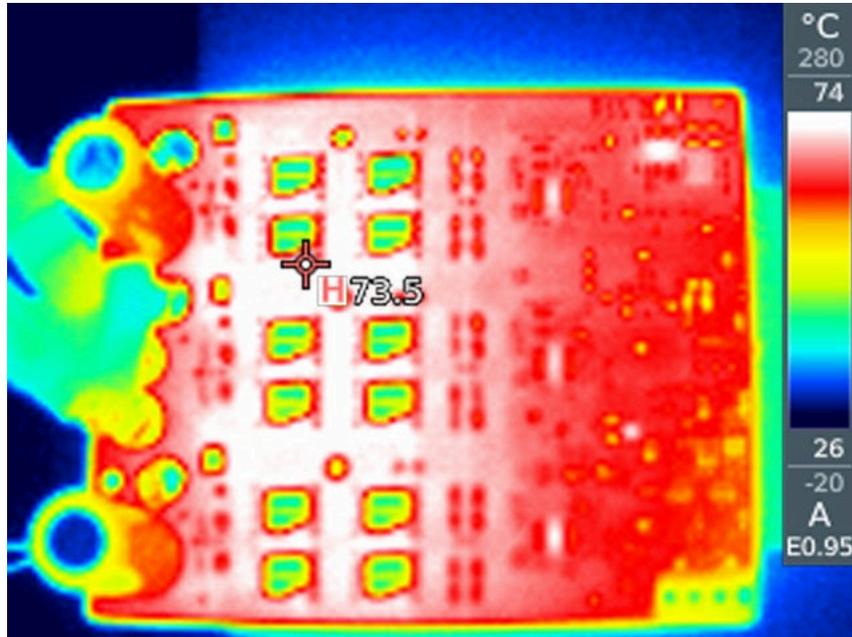


図 3-29.  $26.2\text{A}_{\text{RMS}}$  出力時における TIDA-010956 の熱画像

この測定から、 $26.2\text{A}_{\text{RMS}}$  では、MOSFET の温度が  $45.5^{\circ}\text{C}$  上昇することがわかります。MOSFET の接合部温度を  $125^{\circ}\text{C}$  未満に維持することを検討してください。現在の設計はヒートシンクなし、 $26.2\text{A}_{\text{RMS}}$ 、最大  $79.5^{\circ}\text{C}$  の周囲温度という条件でも動作できます。大電流または高い周囲温度の条件では、ヒートシンクと冷却ファンが必要になることがあります。

## 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

#### 4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010956](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010956](#) 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

[LAUNCHXL-F280039C](#)      C2000™ リアルタイム MCU F280039C LaunchPad™ 開発キット

#### ソフトウェア

[C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK](#)      C2000™ MCU 向けモーター制御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、[『DRV816x 保護機能および電流センス アンプ搭載、100V ハーフブリッジ スマート ゲートドライバ』データシート](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、[『INA241x 拡張 PWM 除去機能搭載、-5V~110V、双方向、超高精度電流センス アンプ』データシート](#)
3. テキサス・インスツルメンツ、[『AMC0106M05 高精度±50mV 入力、機能的アイソレーション付きデルタシグマ・モジュレータ \(外部クロック対応\)』データシート](#)
4. テキサス・インスツルメンツ、[『TMP61 ±1%、10kΩ リニアサーミスタ \(0402 および 0603 パッケージオプション対応\)』データシート](#)
5. テキサス・インスツルメンツ、[『LMR38010 4.2V~80V、1A 同期整流型 SIMPLE SWITCHER パワーコンバータ \(40μA I<sub>Q</sub>\)』データシート](#)
6. テキサス・インスツルメンツ、[『TPSM86125x 3V~17V 入力、1A 同期降圧モジュール \(QFN パッケージ\)』データシート](#)

### 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。

### 4.5 商標

C2000™, E2E™, InstaSPIN-FOC™, BoosterPack™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

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

**KRISTEN MOGENSEN** は、テキサス・インスツルメンツの産業システム - ロボット チームに属するシステム エンジニアであり、機能安全、通信、モータードライブに重点を置いたロボット システム関連技術資料の作成を担当しています。

**JEROME SHAN** は、テキサス・インスツルメンツの産業システム - モーター ドライブ チームのシステム エンジニアであり、産業用モータードライブ向け技術資料の作成を担当しています。

## 6 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (November 2024) to Revision B (May 2025)	Page
• 「 <a href="#">概要</a> 」の C 相電流検出に AMC0106M05 の情報を追加。.....	1
• <a href="#">リソース</a> に AMC0106M05 と TPSM861253 を追加.....	1
• AMC0106M05、TPSM861253、および外部シャットダウンを含むシステムブロック図を更新。.....	1
• システムブロック図を更新.....	4
• DRV8162L の分割電源アーキテクチャの図を追加。.....	5
• AMC0106M05 の回路の説明を追加し、最新のデータシートに続いて回路パラメータを更新。.....	7
• 電圧検出の最大範囲を 73.5V から 80.5V に拡大するように、電圧検出分圧器のハイサイド抵抗を 100kΩ から 110kΩ に更新。.....	8
• TPSM861253 同期整流降圧モジュールを含む 12V から 3.3V への方式を更新。.....	10
• SDK からテストソフトウェアを変更する際の実験室説明を更新。.....	10
• <a href="#">セクション 2.2.1</a> に、AMC0106M05 の情報を追加.....	11
• C 相の電流検出における AMC0106M05 用の MCU インターフェース信号を更新。.....	14

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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ます。

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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、ます。

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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated