

# Design Guide: TIDA-020106

## 電気機械式ブレーキ (EMB) のリファレンス デザイン



### 説明

電気機械式ブレーキ (EMB) は、自動車の電化とインテリジェンスを目的とした新しいタイプのブレーキ技術であり、高度な自動運転のための全体的なコスト削減、迅速な応答、より高精度な操作を実現します。このリファレンス デザインは、完全に機能する EMB 設計を示しています。本ガイドでは、ハードウェア計、ソフトウェア計、および機能安全の設計について説明します。電動パワー ステアリング (EPS) は EMB と主要部品が非常に類似しているため、このリファレンス デザインは EPS にも使用できます。

### 特長


- 48V/12V 互換設計
- ASIL-D 互換設計
- ディスクリート部品を用いた柔軟な設計
- 100µA 未満の待機電力
- 電動パーキング ブレーキ (EPB) に対応
- ペダルおよびプレス センサのインターフェイスに対応
- 最大 500W の BLDC モーターに対応
- 158mm x 83mm x 20mm のコンパクトなボード サイズ

### リソース

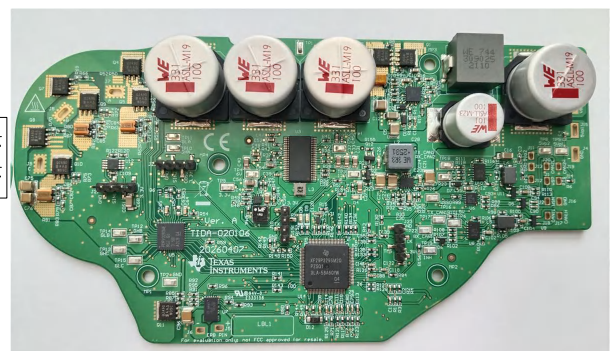
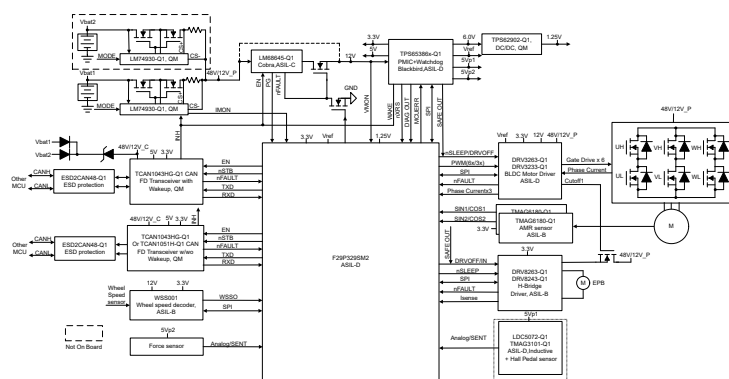
<a href="#">TIDA-020106, C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK</a>	デザイン フォルダ
<a href="#">DRV3263-Q1, DRV3233-Q1</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">F29P32, TPS653860-Q1</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">DRV8263-Q1, DRV8243-Q1</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">LM68645-Q1, LM74930-Q1</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">TCAN1043H-Q1</a>	プロダクト フォルダ

### アプリケーション

- 電気機械式ブレーキ (EMB)
- 電動パワー ステアリング (EPS)



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

電気機械式ブレーキ (EMB) は、自動車の電化とインテリジェンスを目的とした新しいタイプのブレーキ技術です。現在主流の電子油圧式ブレーキ (EHB) と比較して、EMB はブレーキフルード、油圧パイプライン、真空ブースターなどの関連部品を排除し、構造に革新的な「ドライ」ブレーキ方式を実現しています。この利点には、車両重量の削減、事後メンテナンスの削減、およびシャーシスペースの解放が含まれます。また、応答時間は、EHB の約 2 倍の速さである 80 ~ 100 ミリ秒で、制動距離を大幅に短縮します。モーターは EMB を直接制御するため、より高精度な動作を実現します。これは、高度な自動運転に必要な高精度制御にも役立ちます。このリファレンス デザインは、EMB 設計を示しています。本ガイドでは、ハードウェア、ソフトウェア、機能安全の設計について説明しています。

### 1.1 用語

<b>EMB</b>	電気機械式ブレーキ
<b>BLDC</b>	ブラシレス直流電流
<b>BEMF</b>	逆起電力
<b>PWM</b>	パルス幅変調
<b>FET、MOSFET</b>	金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ
<b>PLL</b>	位相ロック ループ
<b>RMS</b>	実効値
<b>MTPA</b>	最大トルク / 電流
<b>FWC</b>	弱め界磁制御
<b>FOC</b>	フィールド オリエンテッド コントロール
<b>CMPSS</b>	コンパレータ サブシステム

## 1.2 主なシステム仕様

TIDA-020106 の仕様を [表 1-1](#) に示します。

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	テスト条件	最小値	公称値	最大値	単位
システム入力特性					
入力電圧 ( $V_{DC}$ )	48V 仕様	32	48	60	VDC
入力電圧 ( $V_{DC}$ )	12V 仕様	6	12	20	VDC
無負荷時スタンバイ電力 ( $P_{NL}$ )	$V_{DC} = 48V, I_{out} = 0A$	–	1.5	–	W
入力電流 ( $I_{IN}$ )	$V_{INDC} = 48V, P_{out} = P_{MAX}$	–	12	–	A
モーター インバータ特性					
PWM スイッチング周波数 ( $f_{SW}$ )	–	–	20	–	kHz
定格出力電力 ( $P_{OUT}$ )	$V_{INDC} = 48V$	–	500	–	W
出力電流 ( $I_{RMS}$ )	$V_{INDC} = 48V$	–	16	–	A
インバータ効率 ( $\eta$ )	$V_{INDC} =$ 公称値、 $P_{OUT} =$ 公称値	–	96	–	%
モーターの電気周波数 ( $f$ )	$V_{INAC} =$ 最小値～最大値	20	200	1000	Hz
フォルト保護	過電流、ストールと回復、低電圧、過電圧				
ドライブ制御方式と特長	位置センサ付き FOC				
動作時周囲温度	オープンフレーム	-25	25	75	°C
ボードサイズ	長さ × 幅 × 高さ	158mm × 83mm × 20mm			mm <sup>3</sup>

### 警告

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインをラボ環境のみで使用するものとし、このデバイスを一般消費者向けの完成品とはみなしておりません。

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインを高電圧電気機械部品、システム、およびサブシステムの取り扱いに関連するリスクを熟知した有資格のエンジニアおよび技術者のみが使用するものとしています。

**高電圧！** 基板上は高電圧状態になっており、接触するおそれがあります。基板は、不適切に取り扱ったり適用したりした場合に感電、火災、負傷の原因となる電圧および電流で動作します。負傷や物品の破損を避けるために、必要な注意と適切な対策をもって機器を使用してください。

**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°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。

### 注意

電源を入れたままその場を離れないでください。

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

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。

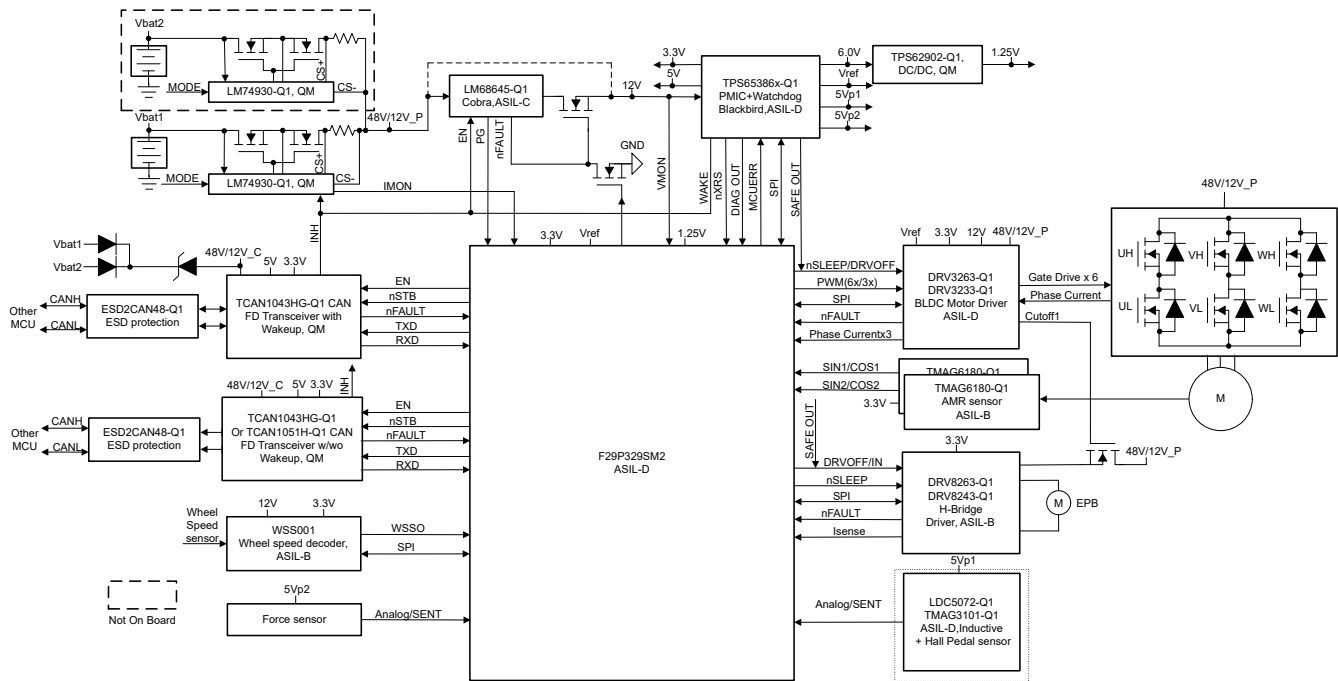


図 2-1. TIDA-020106 EMB のブロック図

システム全体は、7つのブロックで構成されています。

- 理想ダイオード
- 48V から 12V への DC/DC
- PMIC
- BLDC モータードライバ
- EPB ドライバ
- ホイール速度センサ デコーダ
- 複数の CAN トランシーバ
- F29P32 DSP
- フォース センサ インターフェイス
- ペダル センサ インターフェイス

### 2.2 設計上の考慮事項

このデザイン デモは、パワー ツリー、DSP、モータードライバ、WSS デコード、CAN トランシーバと機能安全を含む、完成した EMB 設計です。ハードウェア設計ファイルは TI.com から入手できます。

### 2.3 主な使用製品

このリファレンス デザインでは、以下の主な製品を使用しています。次のセクションでは、このリファレンス デザインで使用するデバイスを選択するための主な機能について説明します。主なデバイスの詳細については、それぞれの製品データシートを参照してください。

#### 2.3.1 F29P32x

F29H85x、F29P58x、および F29P32x は、電力密度の向上、スイッチング周波数の向上をはじめとして、パワー エレクトロニクス、モーター制御などの効率化を目的として設計された、スケーラブルで超低レイテンシを特長とする MCU の

C2000™ リアルタイム マイコン ファミリの製品です。F29 製品ファミリは、次世代の C29 CPU コアを搭載しており、前世代の C28 CPU コアと比較して 2 倍の性能で、業界をリードしています。また、C29 コアはバイトアドレッシングもサポートしており、Arm™ アーキテクチャなどの一般的な他の CPU アーキテクチャと完全に互換性のあるデータタイプを使用することで、迅速に市場に投入しようとするお客様はスムーズに移行できます。詳細については、『[C29 CPU — C2000 MCU における最適化アーキテクチャによる比類ないリアルタイム性能](#)』テクニカル ホワイト ペーパーを参照してください。

### 2.3.2 LM74930-Q1

**LM74930-Q1** 理想ダイオード コントローラは外付けバック ツー バック接続の N チャネル MOSFET を駆動および制御して、理想ダイオード整流器および過電流および過電圧保護を備えたパワー パスのオン/オフ制御をエミュレートします。入力電源電圧範囲が 4V~65V と広いため、12V および 24V 車載用バッテリー駆動 ECU を保護および制御できます。このデバイスは、最低 -65V の負の電源電圧に耐えられ、負荷を保護できます。内蔵のハイ サイド ゲート制御 (HGATE) により、パワー パスの最初の MOSFET が駆動されます。このデバイスを使用すると、HGATE 制御を使用した過電流、過電圧および低電圧イベントの場合に負荷を切断 (ON/OFF 制御) する一方、理想ダイオード コントローラ (DGATE) が 2 番目の MOSFET を駆動して、出力から入力への逆電流をブロックすることで、入力逆極性保護および出力電圧ホールドアップ用のショットキー ダイオードを置き換えます。このデバイスには電流センス アンプが内蔵されており、サーキットブレーカ機能による可変過電流および短絡保護を実現します。このデバイスには、電源過渡から保護するための可変過電圧および低電圧保護機能があります。LM74930-Q1 には MODE ピンがあり、逆電流ブロック機能を選択的にイネーブ爾またはディセーブルする場合に使用できます。

### 2.3.3 WSS001

**WSS001** デバイスは、外付け部品をほとんど必要としないで過酷な車載環境に使用するために設計されたシングル チャネルのホイール速度インターフェイス チップです。アクティブなセンサに対応できる設定可能なホイール速度検出入力に備わっています。デバイスには、2 レベル、3 レベルの AK プロトコル、3 レベルの高分解能 AK プロトコル センサをデコードするための 5 つのデコード モードがあります。WSS001 は、ホイール速度を測定するために MCU に WSSO 出力からセンサ速度信号を出力し、センサ信号のデコードされた結果は、SPI 経由でアクセスできる内部レジスタ ビットに保存されます。

WSS001 デバイスは、通信に 32 ビットの SPI プロトコルを使用します。I/O ピンは 5V と 3.3V 電源に対応します。

### 2.3.4 LM68645-Q1

**LM686x5-Q1** は、高効率、高い電力密度、超低電磁干渉 (EMI) を実現するように設計された車載降圧コンバータファミリです。これらのコンバータは、3V ~ 65V (100 ミリ秒未満の 70V 電圧変動にて) の広い入力電圧範囲で動作し、外部入力サージ保護の必要性が低くなります。LM686x5-Q1 は、3.3V および 5V または可変構成でのピン選択可能な固定出力電圧を備えています。ループ インダクタンスを最小化し、スイッチ ノードのスルーレートを最適化することで、低 EMI での動作がイネーブ爾になります。電流モード制御アーキテクチャの標準最小オン時間は 30ns で、高周波数での高い変換比、高速過渡応答、優れた負荷およびライン レギュレーションを実現します。自動モードでは軽負荷動作時に周波数フォールドバックが有効になり、無負荷時の消費電流を 2.5µA (代表値) まで低減できます。また、軽負荷時に高効率を維持するため、バッテリー動作システムでの動作時間を延長します。

### 2.3.5 TPS653860-Q1

**TPS65386x-Q1** デバイスは、安全関連アプリケーションのマイコン、センサ、トランシーバ、ペリフェラルへの電力供給に適した設計を採用したマルチレール電源です

### 2.3.6 DRV3263-Q1

**DRV3263-Q1** は、車載対応、48V の 3 相 BLDC アプリケーション向けの統合スマート ゲートドライバです。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 を駆動できます。DRV3263-Q1 は、外付け 12V 電源と統合ブートストラップ ダイオードを使ってハイサイド MOSFET のために適切なゲート駆動電圧を生成します。トリクル チャージ ポンプにより、ゲートドライバは 100% の PWM デューティ サイクル制御をサポートし、外部スイッチのオーバードライブ ゲート駆動電圧を供給します。この電圧は、専用のカットオフドライバピンを介して制御できます。

DRV3263-Q1 は、抵抗によるローサイド電流検出をサポートする、ローサイド電流検出アンプを備えています。アンプのオフセットが低く、ゲイン誤差も小さいため、システムは正確なモーター電流測定を行うことができます。

DRV3263-Q1 に内蔵されている広範囲な診断機能と保護機能により、堅牢なモーター駆動システムの設計が可能になり、外部部品の削減を実現します。高度に構成可能なデバイス応答により、このデバイスは、さまざまなシステム設計にシームレスに組み込むことができます。

### 2.3.7 DRV3233-Q1

**DRV3233-Q1** は、12V および 24V の車載 3 相 BLDC アプリケーション向けの統合型スマートゲートドライバです。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 を駆動できます。DRV3233-Q1 は、内蔵ブートストラップダイオードと GVDD チャージポンプを使って適切なゲート駆動電圧を生成します。スマートゲートドライブのアーキテクチャは、0.8mA 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ます。DRV3233-Q1 は単一電源で動作でき、4.5 ~ 60V の広い入力範囲に対応します。トリクルチャージポンプにより 100% の PWM デューティサイクル制御が可能になり、外部スイッチにオーバードライブ電源電圧を供給します。

DRV3233-Q1 は、抵抗によるローサイド電流検出をサポートする、ローサイド電流検出アンプを備えています。アンプのオフセットが低いいため、システムは正確なモーター電流測定を行うことができます。

DRV3233-Q1 に内蔵されている広範囲な診断機能と保護機能により、堅牢なモーター駆動システム設計が可能になり、外付け部品の必要性がなくなります。高度に構成可能なデバイス応答により、このデバイスは、さまざまなシステム設計にシームレスに組み込むことができます。

### 2.3.8 DRV8263-Q1

**DRV8263-Q1** は、24V および 48V の車載アプリケーション用、広電圧範囲、大電力の統合型 H ブリッジドライバです。パワーパッケージに収容されたこのデバイスは、BiCMOS 大電力プロセステクノロジーノードを採用した設計であり、優れた電力処理能力と放熱特性を達成すると同時に、コンパクトなパッケージサイズ、使いやすいレイアウト、EMI 制御能力、高精度の電流センス、堅牢性、診断機能も実現しています。

このデバイスには、レギュレーション、電流比例出力、保護の各回路が搭載され、N チャネル H ブリッジ、チャージポンプ、ハイサイド電流検出が組み込まれています。内蔵の検出機能では電流ミラーを使用するため、シャント抵抗が不要になり、基板面積の節約とシステムコストの削減が可能です。低消費電力のスリープモードにより、低い静止電流を実現できます。

このデバイスは、電圧監視機能、負荷診断機能、さらに過電流および過熱に対する保護機能を搭載しています。フォルト条件は nFAULT ピンにより示されます。このデバイスは、以下の 2 種類のバリエーションで供給されます。HW インターフェイスおよび SPI です。SPI バリエーションはさらなる柔軟性を提供します。

### 2.3.9 DRV8243-Q1

**DRV824x-Q1** デバイスファミリは、多様な車載アプリケーションを想定した統合型 H ブリッジドライバです。このデバイスは、単一のフルブリッジドライバ、または互いに独立した 2 個のハーフブリッジドライバとして構成できます。パワーパッケージに収容されたこのモノリシックデバイスファミリは、BiCMOS 大電力プロセステクノロジーノードを採用した設計であり、優れた電力処理能力と放熱特性を達成すると同時に、コンパクトなパッケージサイズ、使いやすいレイアウト、EMI 制御能力、高精度の電流センス、信頼性、診断機能も実現しています。このファミリには、同じピン機能でスケラブルな RON (電流容量) のデバイスがあり、さまざまな負荷に対応できます。

### 2.3.10 TMAG6180-Q1

**TMAG6180-Q1** は、Anisotropic Magneto Resistive (AMR) 技術をベースとする高精度角度センサです。このデバイスには、信号コンディショニングアンプが内蔵されており、印加される面内磁界の方向に関連する、正弦波と余弦の差動アナログ出力を提供します。このデバイスは X 軸と Y 軸に 2 つの独立したホールセンサ出力も備えており、センサの角度範囲を 360° まで拡大するために使用できます。

TMAG6180-Q1 は、柔軟な機械的配置が可能となる広い動作磁界と、回転子位置センシングなどの高速アプリケーションに適した低レイテンシ (1.6µs) 出力を特長としています。このデバイスは、正弦波出力と余弦出力のレイテンシが非常に短いため、レイテンシに関連する角度誤差を最小限に抑えることができ、最大 100krpm の回転子位置検出などの高速アプリケーションのために設計されています。

TMAG6180-Q1 は、車載と産業用の厳格な機能安全に関する要件に対応するための広範な診断機能を備えています。このデバイスは、-40°C~+150°Cの広い周囲温度範囲で一貫した動作を行い、熱ドリフトと寿命誤差を最小限に抑えます。

### 2.3.11 TCAN1043H-Q1

**TCAN1043H-Q1** は、ISO 11898-2 (2016) 高速コントローラ エリア ネットワーク (CAN) 仕様の物理レイヤ要件を満たしており、CAN バスと CAN プロトコル コントローラ間のインターフェイスとして機能します。これらのデバイスは、Classical CAN と CAN FD の両方に対応しており、最高 2 メガビット/秒 (Mbps) の速度で動作します。部品番号に接尾辞「G」が含まれているデバイスは、最大 5Mbps の CAN FD データレート向けに設計されています。TCAN1043xx-Q1 は、ノード上に存在するさまざまな電源を (INH 出力ピンを介して) 選択的にイネーブルすることにより、システムレベルでバッテリー消費電流を削減できます。これによって、TCAN1043xx-Q1 を除くすべてのシステム コンポーネントへの電力をゲーティングして、超低電流のスリープ状態が可能になります。TCAN1043xx-Q1 は低電力状態に維持され、CAN バスの監視を行います。

バス上にウェイクアップ パターンが検出されるか、WAKE 入力によりローカル ウェイクアップが要求されると、TCAN1043xx-Q1 は INH を High に駆動してノードのスタートアップを開始します。TCAN1043xx-Q1 には、VIO 端子を経由した内部ロジック レベル変換が含まれており、3.3V または 5V のコントローラと直接接続が可能です。デバイスには、CAN バスラインの短絡検出やバッテリー接続検出など、多くの保護および診断機能が搭載されています。TCAN1043xx-Q1 は IEC 62228-3 および J2962-2 の ESD および EMC 要件を満たしており、追加の保護部品は必要ありません。

### 2.3.12 TCAN1043-Q1

**TCAN1043-Q1** は、ISO 11898-2 (2016) 高速コントローラ エリア ネットワーク (CAN) 仕様の物理レイヤ要件を満たしており、CAN バスと CAN プロトコル コントローラ間のインターフェイスとして機能します。これらのデバイスは、Classical CAN と CAN FD の両方に対応しており、最高 2 メガビット/秒 (Mbps) の速度で動作します。部品番号に接尾辞「G」が含まれているデバイスは、最大 5Mbps の CAN FD データレート向けに設計されています。TCAN1043xx-Q1 は、ノード上に存在するさまざまな電源を (INH 出力ピンを介して) 選択的にイネーブルすることにより、システムレベルでバッテリー消費電流を削減できます。これによって、TCAN1043xx-Q1 を除くすべてのシステム コンポーネントへの電力をゲーティングして、超低電流のスリープ状態が可能になります。TCAN1043xx-Q1 は低電力状態に維持され、CAN バスの監視を行います。

バス上にウェイクアップ パターンが検出されるか、WAKE 入力によりローカル ウェイクアップが要求されると、TCAN1043xx-Q1 は INH を High に駆動してノードのスタートアップを開始します。TCAN1043xx-Q1 には、VIO 端子を経由した内部ロジック レベル変換が含まれており、3.3V または 5V のコントローラと直接接続が可能です。デバイスには、CAN バスラインの短絡検出やバッテリー接続検出など、多くの保護および診断機能が搭載されています。TCAN1043xx-Q1 は IEC 62228-3 および J2962-2 の ESD および EMC 要件を満たしており、追加の保護部品は必要ありません。

### 2.3.13 LDC5072-Q1

**LDC5072-Q1** は、車載および産業用アプリケーションの絶対回転位置検出を対象とした非接触型誘導性位置センサ用のアナログ フロント エンドです。LDC5072-Q1 は、通常プリント基板 (PCB) にプリントされているコイルを励起します。PCB の近くに配置した導電性ターゲットを使用して、同じ PCB 上の 2 組のレシーバコイルに励起が結合されます。導電性ターゲットは、別の PCB にパターンをプリントすることもできます。コイル PCB は静止状態にとどまり、ターゲットはモータ、アクチュエータ、またはバルブとともに移動します。励起コイルは、レシーバコイルに対するターゲットの位置に応じて、レシーバコイルに 2 次電圧を生成します。位置に対する信号での表現は、レシーバコイルから電圧を読み取り、その電圧を処理し、ターゲット位置のサインとコサイン成分を表すアナログ出力を与えることで得られます。

## 2.4 システム設計理論

このリファレンス デザインは、主に EMB および EPS アプリケーションに焦点を当てています

### 2.4.1 ハードウェア設計

一般的なモーター制御ボードには、補助電源、インバータ、電流および電圧センシング、保護回路、マイクロコントローラなどの複数のブロックがあります。このセクションでは、これらの設計コンセプトについて説明します。

### 2.4.1.1 電源ツリー設計

電源ツリー設計には、図 2-2 に示すように、理想ダイオードコントローラ LM74930-Q1、48V から 12V への DC/DC コンバータ LM68645-Q1、および 12V PMIC TPS65386x-Q1 が使用されています。LM74930-Q1 は入力過電圧、低電圧、過電流の各保護を実現し、逆電流による入力電源への充電を可能にします。EMB モーターは再生モードで動作できるため、逆電流パスがボードを過電圧ブレークダウンから保護するのに役立ちます。

LM68645-Q1 の故障に起因する 48V から 12V への電圧レールの短絡から保護するため、F29P329SM2 の内部 CMPSS によって 12V が監視されています。電圧が設定範囲を外れると、CMPSS は TCAN1043H-Q1 を無効化します。次に、TCAN1043H-Q1 の INH により、理想ダイオード、DC/DC、PMIC が停止します。この設計はハードウェア保護のためであり、ソフトウェアを必要としないため、保護速度は高速です。

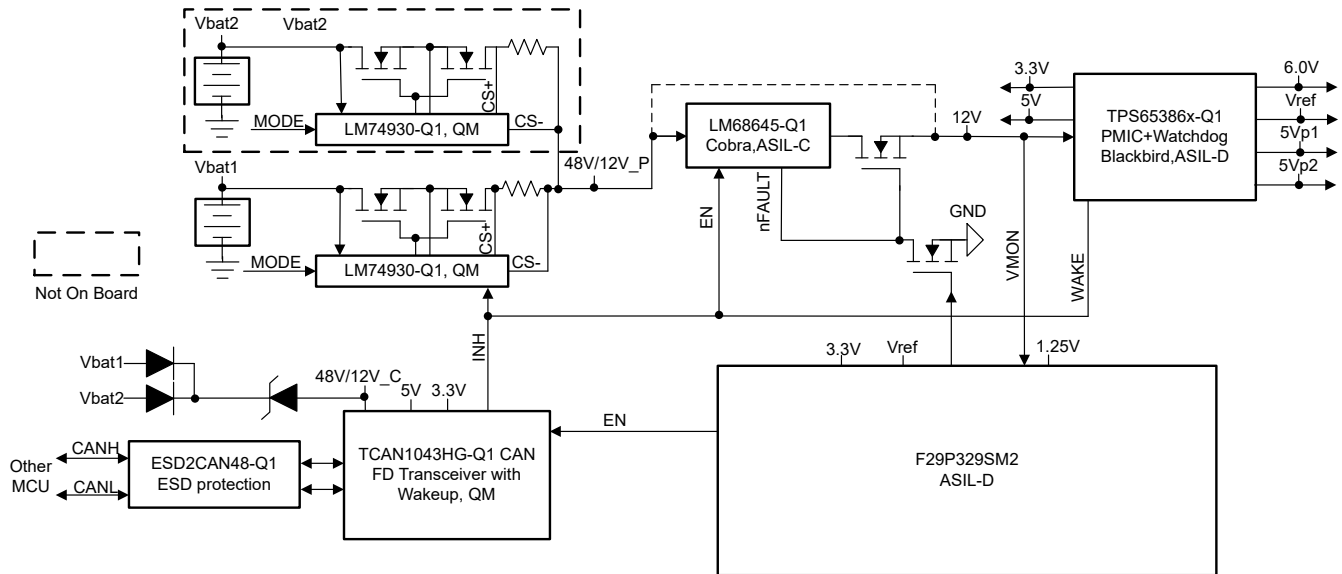


図 2-2. 電源ツリー設計

### 2.4.1.2 PMIC Design リファレンス デザイン

TPS653860-Q1 は 12V PMIC です。このリファレンス デザインでは、3 つの LDO を使用して F29 の IO 電源用に 3.3V、ADC リファレンス電圧用に 3.3Vref、CAN トランシーバ用に 5V を生成します。F29P32 のコア電圧は、降圧コンバータ TPS62902-Q1 により供給されます。また、この PMIC には 2 つの PLDO が搭載されており、フォース センサやペダル センサなどのオフ ボード センサ用に 2 つの保護された 5V を提供します。図 2-3 に回路図を示します。

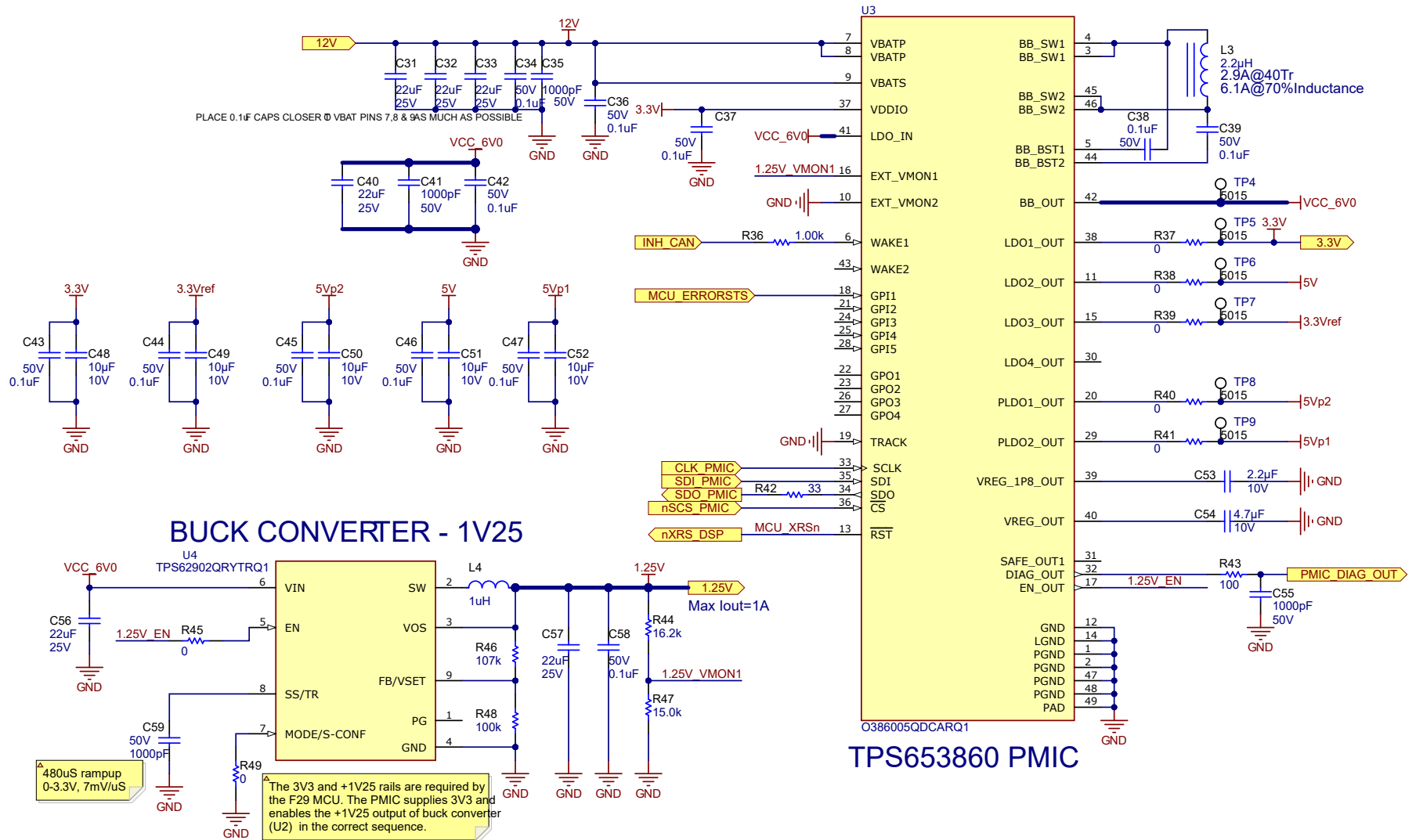


図 2-3. PMIC の設計

### 2.4.1.3 DC/DC コンバータの設計

DC/DC コンバータ LM68645-Q1 は 48V 仕様のみが必要です。12V EMB 仕様の場合、ジャンプとして必要なのは R22 のみで、DC/DC コンバータに関連する部品をすべて取り外すことができます。設計については、[図 2-4](#) を参照してください。

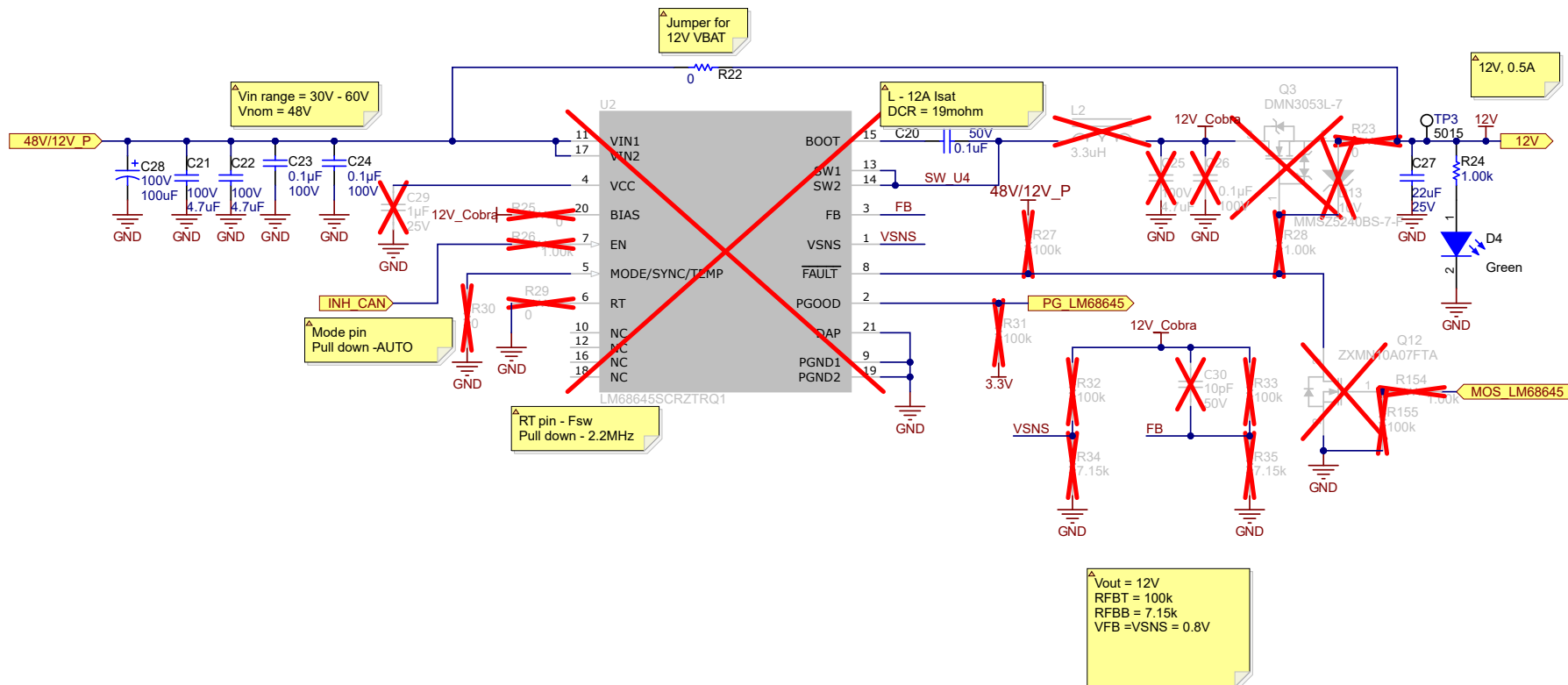


図 2-4. 48V から 12V への DC/DC コンバータ

### 2.4.1.4 モーター ゲートドライバの設計

この EMB リファレンス デザインは、48V と 12V のモーター ゲートドライバである DRV3263-Q1 と DRV3233-Q1 の両方に対応しています。DRV3233-Q1 にはバスまたはモーターの位相のカットオフに使用できる 2 つのカットオフ機能がありますが、DRV3263-Q1 にはカットオフ機能がありません。ただし、VCP 機能を使用してカットオフを実現することもできます。[図 2-5](#) に 48V のゲートドライバ設計を示します。



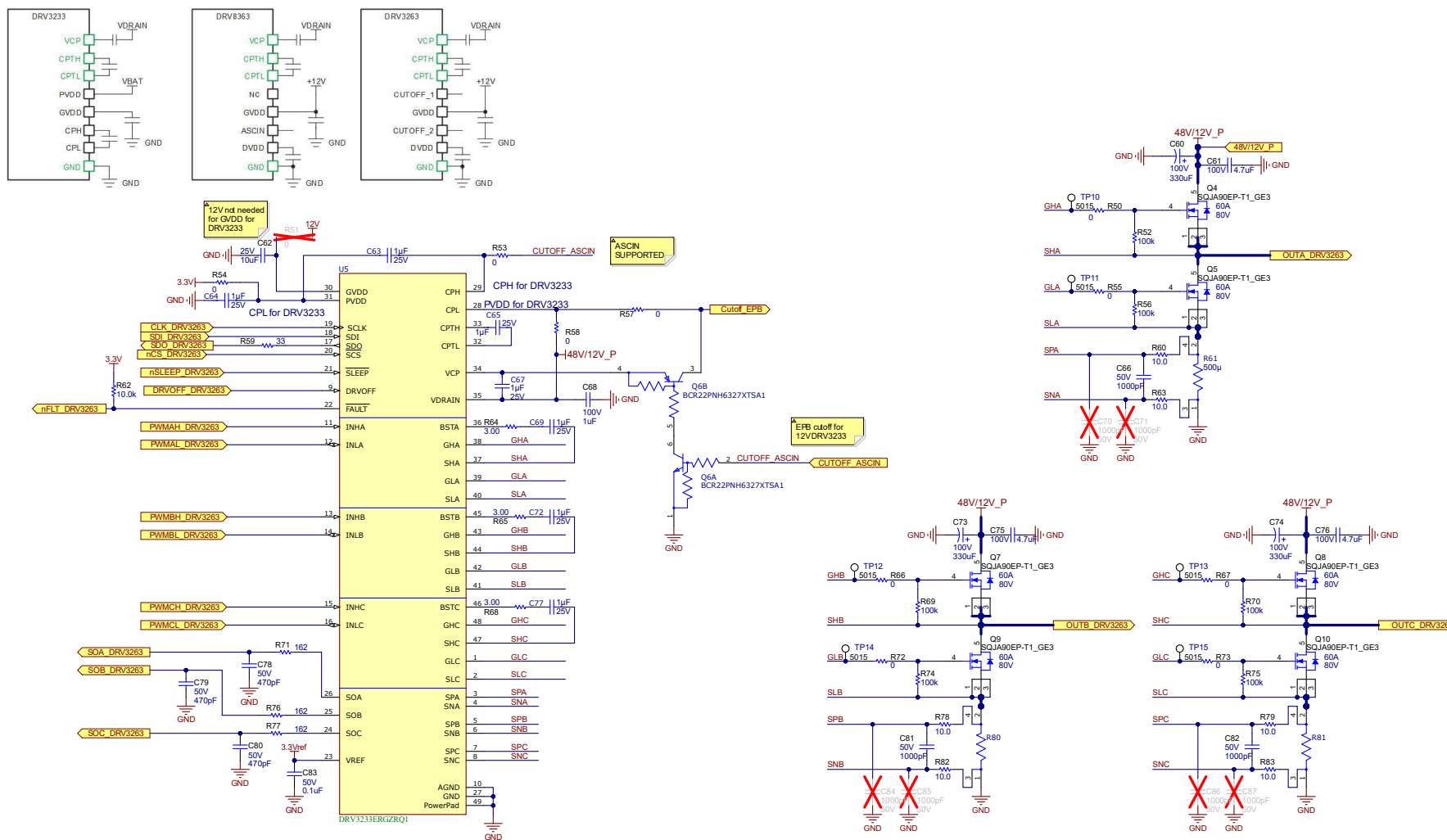


図 2-6. DRV3233 12V EMB 用モーター ゲートドライブ

#### 2.4.1.5 モーター相電流のセンシング

DRV3263-Q1 と DRV3233-Q1 は、どちらも内部 PGA を備えたロー サイド シャント設計に対応しています。図 2-5 に、ロー サイド シャント設計を示します

#### 2.4.1.6 F29P32 の過電流保護

DRV3263-Q1 と DRV3233-Q1 の過電流保護に加えて、F29P32 は追加のモーター過電流保護を実現するための CMPSS も備えています。

#### 2.4.1.7 PMIC によるモータードライバ保護

DSP F29P32 が故障した場合、PMIC は BLDC モータードライバと EPB ドライバを SAFE OUT 出力で無効化します。図 2-7 に、この保護ロジックを示します。

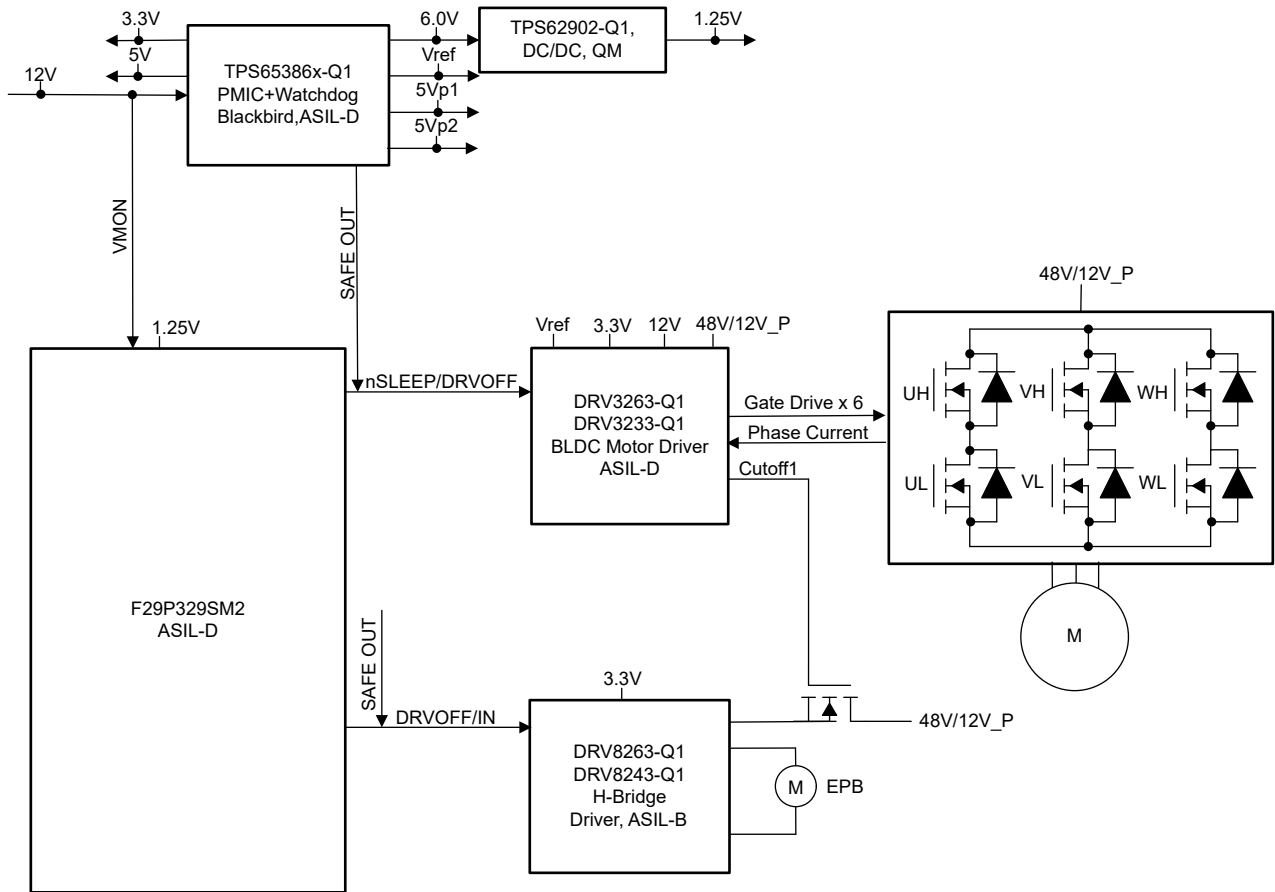


図 2-7. PMIC によるモータードライバ保護

#### 2.4.1.8 CAN トランシーバの設計

48V CAN トランシーバは一般的ではないため、このリファレンス デザインでは 12V CAN トランシーバと 48V CAN トランシーバの両方に対応しています。12V CAN トランシーバを使用する場合は R97 を、48V CAN トランシーバを使用する場合は R99 を実装してください。図 2-8 では、モーター相電流のセンシング設計について詳述しています。

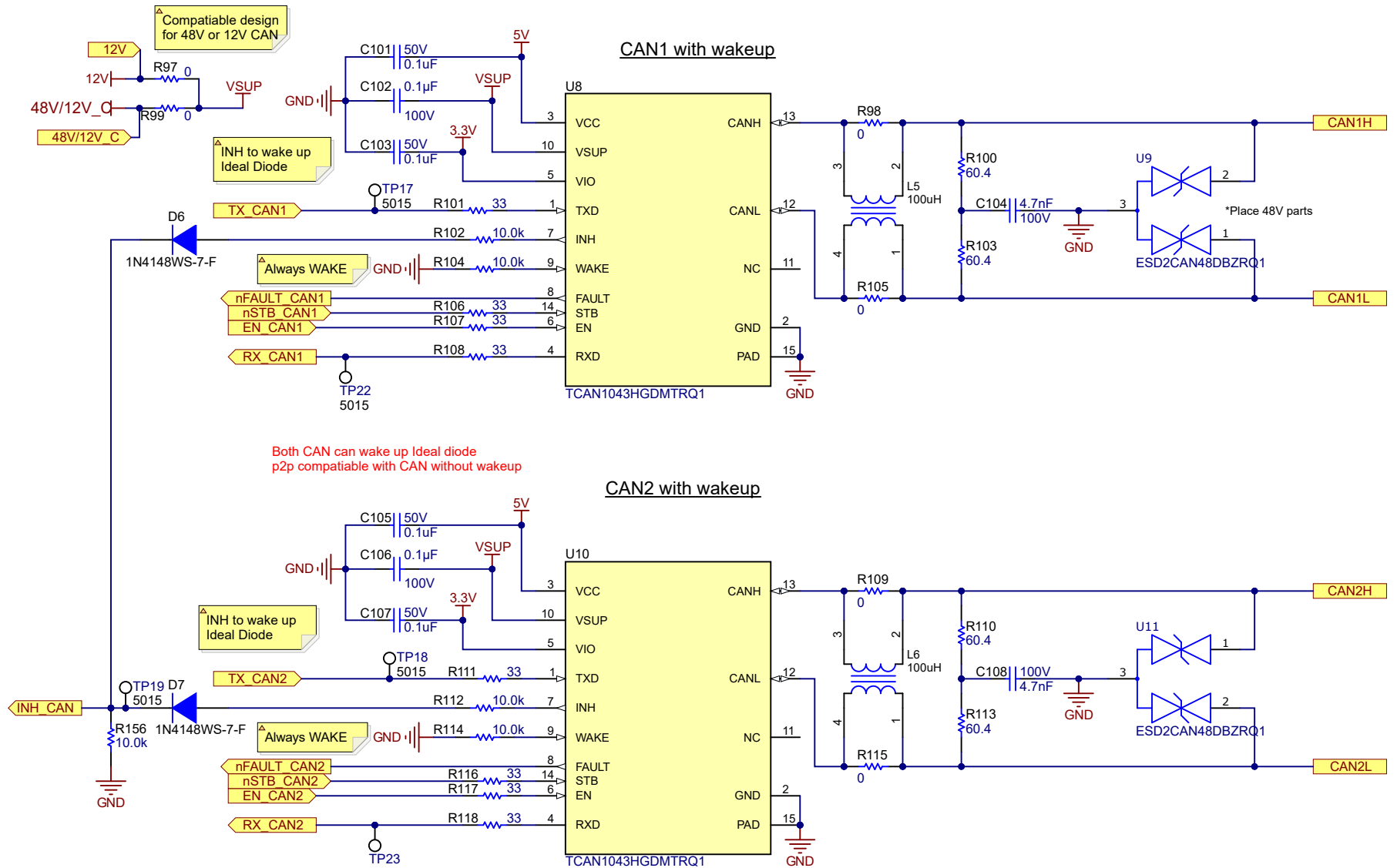


図 2-8. CAN トランシーバの設計

### 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 ハードウェアの概要

このセクションでは、リファレンス デザイン ボードおよびソフトウェアのテストと検証に必要な機器、テスト構成、および手順について詳しく説明します。

##### 3.1.1 ボードの電源オン シーケンス

図 3-1 に、このリファレンス デザインの電源ツリー設計を示します。

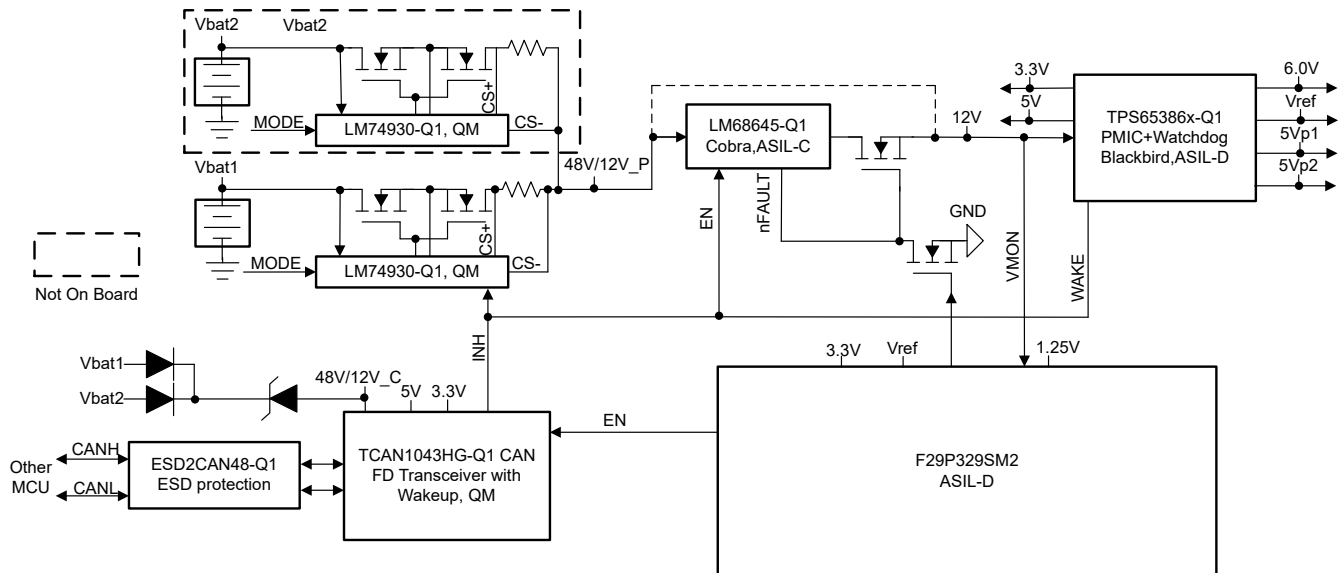


図 3-1. 電源ツリー設計

48V/12V\_IN\_FILTERED は、理想ダイオード コントローラ LM74930-Q1 によって監視および制御されます。電源オン時に、CAN トランシーバ TCAN1043H の INH は約 300ms の間 "High" に維持され、LM68645-Q1、TPS653860-Q1 および F29P32 がこの 300ms 内に起動します。F29P32 が nSTB\_CANx と EN\_CANx を "High" レベルに設定することにより、CAN トランシーバを有効にし、この 300ms スタートアップ時間の後も INH が "High" になるようにします。電源投入後、PMIC は以下を出力します：

- LDO1 にて 3.3V
- LDO2 にて 5V
- LDO3 にて 3.3V

降圧コンバータ TTPS62902-Q1 は、F29P32 のコア電圧電源用に 1.25V を生成します。

ボードを使用する際には、以下の事項に注意を払うことを推奨します。

#### 警告

- ボードに通電しているときは、ボードのどの部分にも触れないでください。また、ボードに接続されている部品にも触れないでください。

##### 3.1.2 テスト条件

リファレンス デザイン ソフトウェアをテストする際は、以下の点に注意してください。

- 入力に DC ソースを使用する場合、電源は DC 36V ~ 58V の範囲でなければなりません。入力 DC ソースの電流制限は 3A に設定しますが、初期のボード立ち上げ時には低い電流制限から始めてください。
- 出力には、ダイナモ メータを備えた 3 相 PMSM を使用してください。

### 3.1.3 ボードの検証に必要なテスト機器

設計者は、ボードの検証に以下の機器を使用する必要があります。

- 絶縁型 DC ソース
- 3 相電力アナライザ
- デジタル オシロスコープ
- マルチメータ
- DC 電源
- 500W、3 相 PM 同期モーター
- 動力計

## 3.2 テスト結果

以下のセクションには、デザインの特性評価から得られたテスト データを示します。テスト結果は複数のセクションに分かれており、ファンとコンプレッサのモーターの定常状態の性能とデータ、機能性能の波形、過渡性能の波形を網羅しています。

### 3.2.1 PMIC の電源オン シーケンス

図 3-2 に、PMIC および 1.25V DC/DC コンバータの電源オン シーケンスを示します。

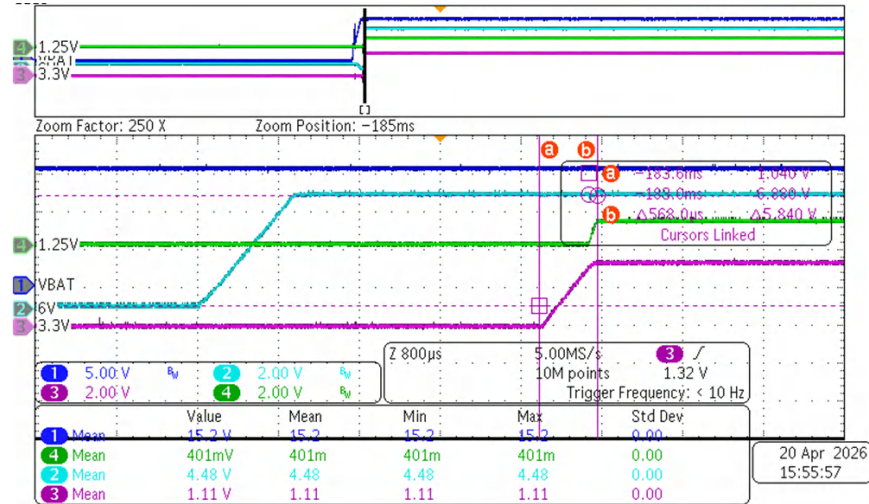


図 3-2. PMIC の電源オン シーケンス

### 3.2.2 F29P32 のリセットシーケンス

図 3-3 に、F29P32 の 3.3V 印加後の 7.4ms リセット時間を示します。

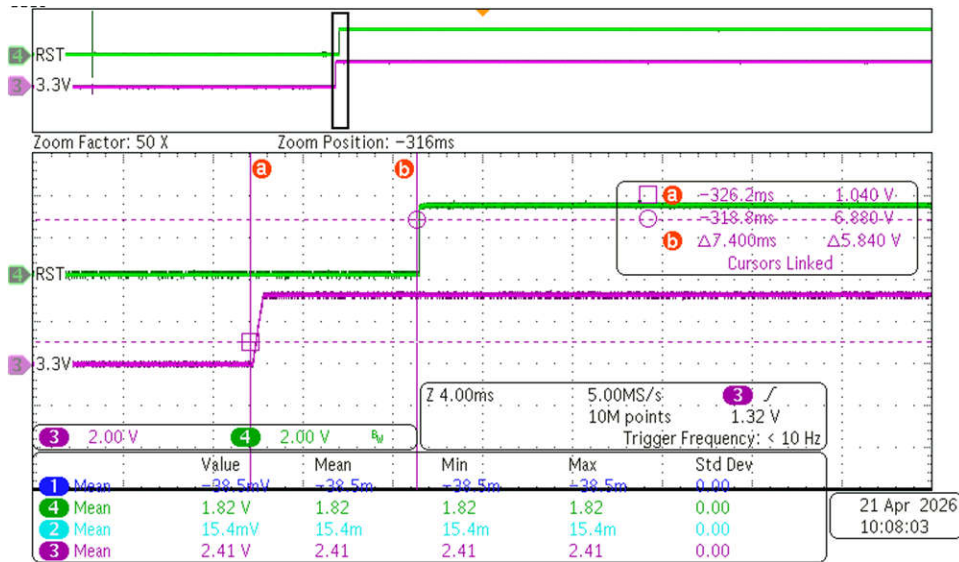


図 3-3. F29P32 のリセットシーケンス

### 3.2.3 25MHz クロック

図 3-4 に、CDC6C025000 によって生成される 25MHz クロックを示します。

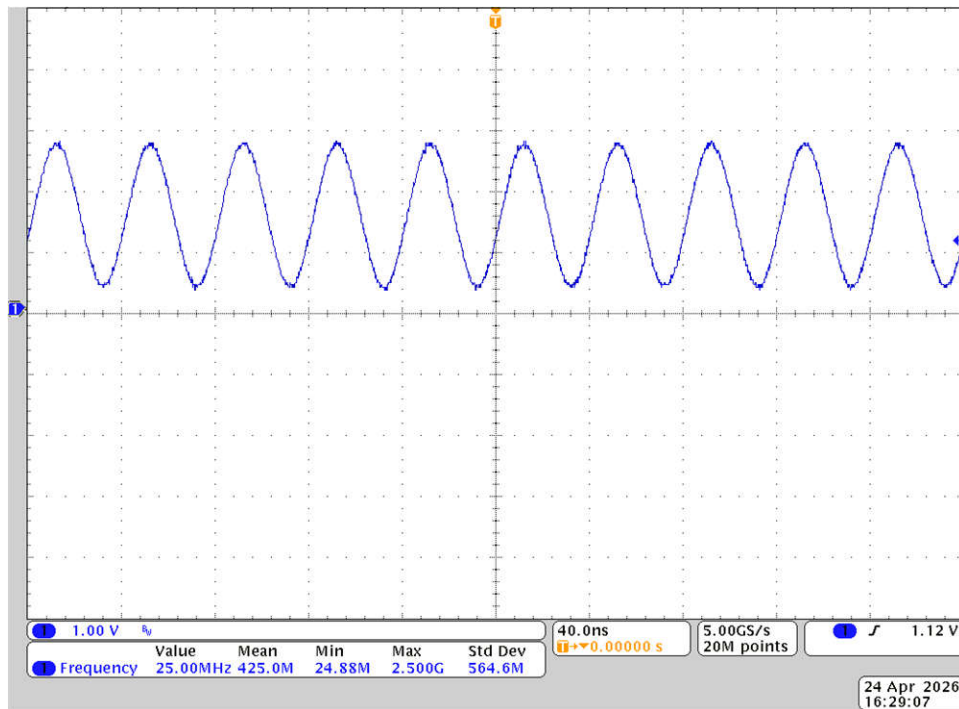


図 3-4. 25MHz クロック

### 3.2.4 外部 1.25V を使用するシーケンス

VREGENZ は、F29 が内部または外部 1.25V 電源を使用するかどうかを決定するための信号です。図 3-5 に VREGENZ のシーケンスを示します。この信号は 3.3V と共に立ち上がるため、外部 1.25V 電源を選択します。

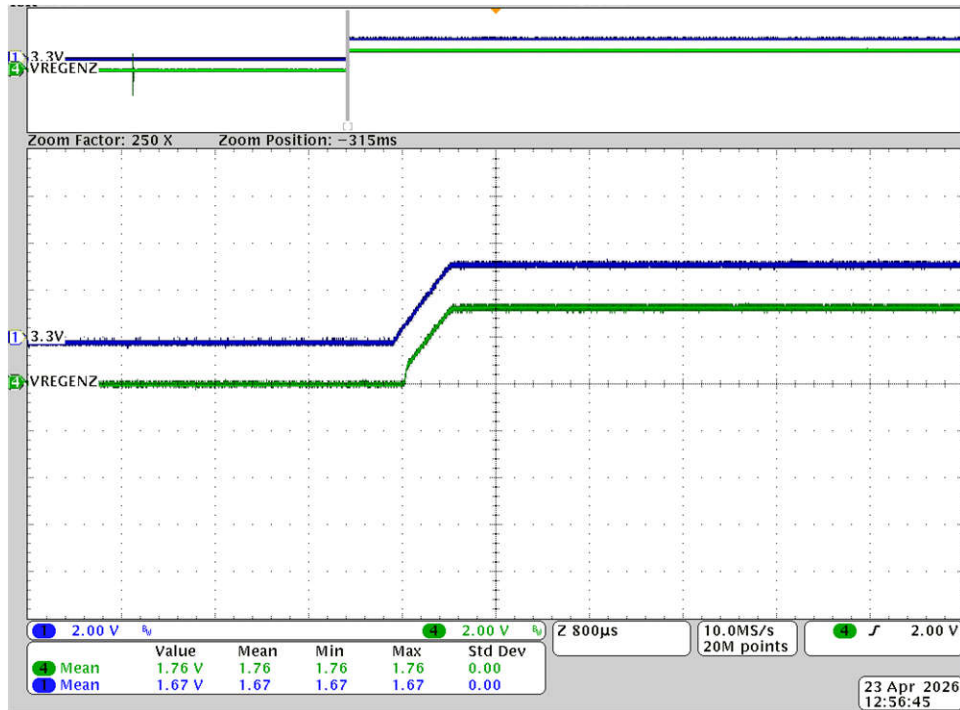


図 3-5. VREGENZ の電源オンシーケンス

### 3.3 F29P32 ファームウェアの概要

F29P32 のファームウェアについては、TI の販売店にお問い合わせください。

## 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-020106](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 4.1.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-020106](#) 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

このリファレンス デザインは、2 層で 2 オンスの銅を使用した PCB を採用しており、コストとボード面積を節約するために底面に SMD 部品を配置して実装されています。PCB を設計する際には、注意すべき重要な点がいくつかあります。以下に、システムレベルの配置と各ブロックのレイアウトについて説明します。

- 各部品を高電圧と低電圧、高電流と低電流、高い独立性と低い独立性のグループにそれぞれ分けます。マイクロコントローラ関連の信号や IPM の入力側など、低電圧で高インピーダンスの部品と信号はまとめて配置し、配線してください。これらの領域には、銅流し込みを使用して、統合された GND プレーンを設けてください。AC 入力、フィルタ、整流器、IPM 出力の各側は、高電圧、大電流、低インピーダンスの部品や信号であるため、大電流経路を作るために幅広のパターンや銅箔で配線し、干渉を抑えるために上記の低電圧や高インピーダンスの信号と分離してください。
- 大電力経路にある部品は、PCB の外縁に可能な限り最短距離で配置します。マイクロコントローラは、制御が必要なすべてのパワー ブロックからの最適な距離を考慮して、中央に配置します。ピン配置は、制御信号または帰還信号のトレースの長さ、アナログ信号とデジタル信号の交差を最小限に抑えるように設定されます。
- AC ライン保護と EMI フィルタ
  - AC ライン保護部品は、接続経路までの最小距離内に近接して配置されます。保護回路と EMI フィルタ回路の周囲には、アース接続の保護を設けています。
- モータードライブ
  - 高リップルの要件に対応するため、モーター駆動はフィルム コンデンサと DC バス コンデンサ バンクのできるだけ近くに配置されます。
  - 電流センシングには、4 線式センシングのローサイド シャント抵抗方式が採用されます。シャント抵抗からオープン回路へのセンシング信号の接続には、インピーダンス マッチング抵抗による差動ペアが使用されます。シャント抵抗はモジュールの近くに配置され、直接接地された銅プレーンに接続されます。
- 補助電源
  - 補助電源の GND は、DC バス コンデンサ バンクを直接、独立して接続し、インバータの大電流で高周波の GND パターンから低電流を分離します。

#### 4.1.4 Altium プロジェクト

Altium プロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-020106](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 4.1.5 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-020106](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.2 ソフトウェア ファイル

**CCSTUDIO**                      Code Composer Studio IDE (統合開発環境)

**F29-SDK**                        F29 DSP 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、『[C29x 200MHz マイコン付き C2000 64 ビット MCU](#)』データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[F29 リアルタイム マイクロコントローラ テクニカル リファレンス マニュアル](#)』

### 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

テキサス・インスツルメンツの™, C2000™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments. Arm™ is a trademark of Arm Holdings.

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

**HELY ZHANG** はテキサス インスツルメンツのシステム エンジニアで、特にパワー エレクトロニクスとモーター インバータに関連する家電製品と車載シャーシのリファレンス デザインの開発を担当しています。Hely は 2002 年に安徽科技学院からパワー エレクトロニクスと電力伝送の修士号を取得し、TI に入社する前は SolarEdge と General Electric で働いていました。

## 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