

Application Note

MSPM33 モーター制御



Xiaodong Li, Ella Tang

概要

モーター制御アプリケーション向けに最適化された TI の新しい MSPM33 マイコン製品ラインアップにより、MSP モーター制御は、MSPM33 マイコンを使用してステッピング モーターや 3 相モーターを回転させるためのワンストップ ソリューションになります。

目次

1 はじめに.....	3
2 MSPM33 モーター制御の使用開始.....	4
3 ステッピング モーター制御.....	4
3.1 背景.....	4
3.2 ソフトウェア アーキテクチャ.....	6
3.3 ブロック図.....	7
3.4 ハードウェア サポート.....	7
4 BLDC センサ付きトラップ制御.....	8
4.1 背景.....	8
4.2 ソフトウェア アーキテクチャ.....	9
4.3 ブロック図.....	9
4.4 ハードウェア サポート.....	10
5 3 相センサレス FOC 制御.....	10
5.1 背景.....	10
5.2 ソフトウェア アーキテクチャ.....	11
5.3 ブロック図.....	11
5.4 ハードウェア サポート.....	12
6 まとめ.....	13
7 参考資料.....	13

図の一覧

図 1-1. MSPM33-SDK 開発リソースを使用した MSP モーター制御.....	3
図 3-1. ステッピング モーター制御のフル ステップおよび円形ハーフ ステップ.....	5
図 3-2. MSPM33 対応ステッピング モーター ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ.....	6
図 3-3. ステッピング モーター制御用 4-PWM インターフェイスのブロック図.....	7
図 4-1. 台形波転流の相電圧波形および電流波形.....	8
図 4-2. 6 ステップ転流のホール センサ A/B/C 波形.....	8
図 4-3. MSPM33 対応 BLDC センサ付き台形波ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ.....	9
図 4-4. MSPM33C321A と 3 相ゲートドライバまたはモーター ドライバを使用する BLDC モーター向け 6-PWM ホール センサ付き台形波制御のブロック図.....	9
図 5-1. 2 つの電流センサを使用するセンサレス磁界方向制御.....	10
図 5-2. MSPM33 対応センサレス FOC ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ.....	11
図 5-3. MSPM33C321A と、オプションで CSA および MOSFET を内蔵した 3 相ゲートドライバまたはモーター ドライバを使用する BLDC モーター向けセンサレス FOC のブロック図.....	12

表の一覧

表 1-1. MSP モーター制御でサポートされるモーターの種類、ドライバ、インターフェイス.....	3
表 3-1. MSPM33 対応ステッピング モーター制御でサポートされるハードウェア.....	7

表 4-1. MSPM33 対応 BLDC センサ付きトラップ制御でサポートされるハードウェア	10
表 5-1. MSPM33 を使用するセンサレス FOC でサポートされるハードウェア	12

商標

Launchpad™ and Code Composer Studio™ 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。

1 はじめに

MSPM33 モーター制御は、[MSPM33-SDK](#) に統合されたミドルウェア パッケージです。一般的なモーター ドライバ設計とトポロジを使用した小規模で簡素な MSPM33 ファームウェア サンプルにより、ユーザーは短時間でモーターを回転させることができます。[表 1-1](#) に、産業用および車載アプリケーションでサポートされるモーターの種類とモーター制御アルゴリズムを示します。

表 1-1. MSP モーター制御でサポートされるモーターの種類、ドライバ、インターフェイス

モーター制御方式	MSPM33 Launchpad™	ドライバ IC	インターフェイス
ステッピング モーター FOC	LP-MSPM33C321A	ステッピング モーター用ゲートドライバ	- PWM (4x) - インターポーザ基板
ブラシレス DC センサ付き台形波制御	LP-MSPM33C321A	3 相 BLDC ゲートドライバ	- PWM (6x) - インターポーザ基板
BLDC/PMSM/ACIM センサレス磁界方向制御	LP-MSPM33C321A	3 相 BLDC ゲートドライバ	- PWM (6x) - インターポーザ基板

MSP Motor Control は、あらゆるモーター制御開発をサポートする豊富なリソースを [MSPM33-SDK](#) 内に提供します。リソースの例を次に示します。

- MSP 制御基板 (LaunchPad) とモーター ドライバ評価基板 (EVM) を使用する、サポート対象のハードウェア設計
- MSPM33 LP と DRV 評価基板の間に配置し、対象の DRV 評価基板との互換性を確保する、サポート対象のインターポーザ基板
- 拡張性に優れた MSP およびドライバのサポートを実現する、ハードウェア抽象化層 (HAL) を使用した量産対応ソフトウェア
- 10 分未満でモーターを回転させる、評価しやすいグラフィカル ユーザー インターフェイス (GUI)
- TI Resource Explorer のユーザー ガイドおよび関連資料

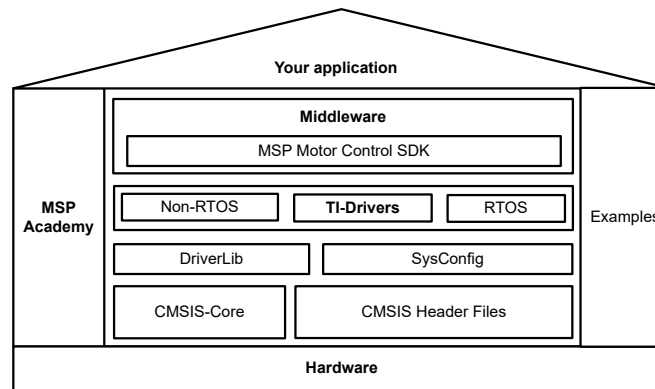


図 1-1. MSPM33-SDK 開発リソースを使用した MSP モーター制御

[図 1-1](#) に示すように、MSP モーター制御は、Non-RTOS および RTOS ドライバ、MSPM33 DriverLib サポート、SysConfig などのグラフィカル構成ツールと連携できるミドルウェア パッケージとして [MSPM33-SDK](#) に組み込まれています。また、MSP モーター制御は CAN や LIN ドライバなど、他のミドルウェア サンプルと組み合わせることができます。サブシステムのコード サンプルを MSP モーター制御に簡単に追加して、ソフトウェア設計を短期間で構築できます。これにより、ブラシ付き DC、ステッピング モーター、BLDC、PMSM、ACIM の各モーターを使用する幅広いアプリケーションのモーター制御を評価できる、使いやすいエコシステムが実現します。

MSP モーター制御には、次のツールが必要です。

- Code Composer Studio™ Theia v20.4.0 以降
- MSPM33-SDK V1.00.00 以降
- IAR Systems および Keil の組み込み開発ツールをサポート

2 MSPM33 モーター制御の使用開始

高性能かつ高効率のモーター制御アプリケーションに対応するため、MSPM33 プラットフォームは、表 1-1 に示す 3 つの主要なモーター制御方式をサポートするよう設計されています。現在の開発段階では、ステッピング モーター FOC 設計は実装と検証が完了していますが、残りの 2 方式は研究開発中です。

検証済みのステッピング モーター FOC ソリューションは、MSPM33 LaunchPad、DRV8962 モーター ドライバ評価基板、電流アンプ、磁気エンコーダをベースとする専用ハードウェア評価プラットフォームで実行されます。このソフトウェアアーキテクチャは、センサ付きモーターのベクトル制御を実装しています。このシステムは、リアルタイムの相電流フィードバックとローター位置追跡を利用して、モーターの磁束成分とトルク成分を分離します。この方式により、ステッピング モーターのリアルタイム閉ループ FOC が実現します。

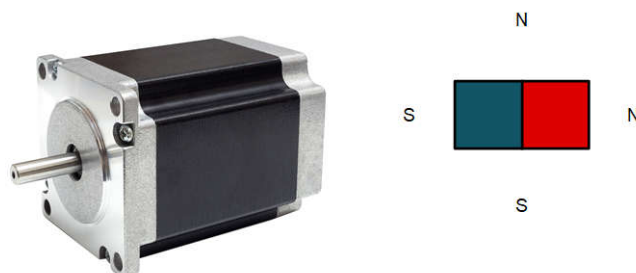
3 ステッピング モーター制御

MSPM33 ステッピング モーター制御設計の主な特長を次に示します。

- FOC または正弦波転流を使用する、最大 20kHz の 4-PWM ステッピング モーター制御
- 磁気エンコーダからのリアルタイム フィードバックに基づく速度および位置追跡の完全閉ループ実行
- 外部電流センス アンプを使用するインライン相電流センシング
- スリープ ピンを使用する低消費電力スタンバイ管理
- フォルト ピンを使用するフォルト検出

3.1 背景

ステッピング モーターは、システム要件に応じて、連続運転を行うことも、ローター位置を固定したまま保持することもできます。このような特長により、ステッピング モーターは実装しやすく、システム設計者は低コストの設計を実現できます。



ステッピング モーターは 2 相を励磁して転流します。そのため、各相電流の方向と大きさを制御する 2 つのフル H ブリッジが必要です。この方式は、アプリケーションに応じて位置とトルクを制御しながら、ステッピング モーターのローターを回転させるために使用します。バイポーラ ステッピング モーターでは、各相に 1 回の完全な電気周期を印加したときにステッピング モーターが転流する機械角を示すため、フル ステップあたりの分解能も度単位で規定されています。

一般に、フル ステップとは、4 つのインデックスを使用して 2 つの巻線を 4 方向すべての電流方向に励磁し、ステッピング モーターを規定の機械角だけ転流する 1 回の完全な電気周期を指します。位置とトルクをより高精度に制御するため、非円形ハーフ ステップまたは円形ハーフ ステップでは、8 つのインデックスを使用して 2 つの巻線を励磁し、分解能と電流レギュレーションを高めて電気転流パターンを平滑化します。フル ステップと円形ハーフ ステップの両方の電流波形を図 3-1 に示します。フル ステップ、非円形ハーフ ステップ、円形ハーフ ステップの各方式は、マイコンの GPIO ピンまたは PWM ピンと、PWM インターフェイスを備えた簡易ステッピング モーター ドライバを使用して容易に実装できます。

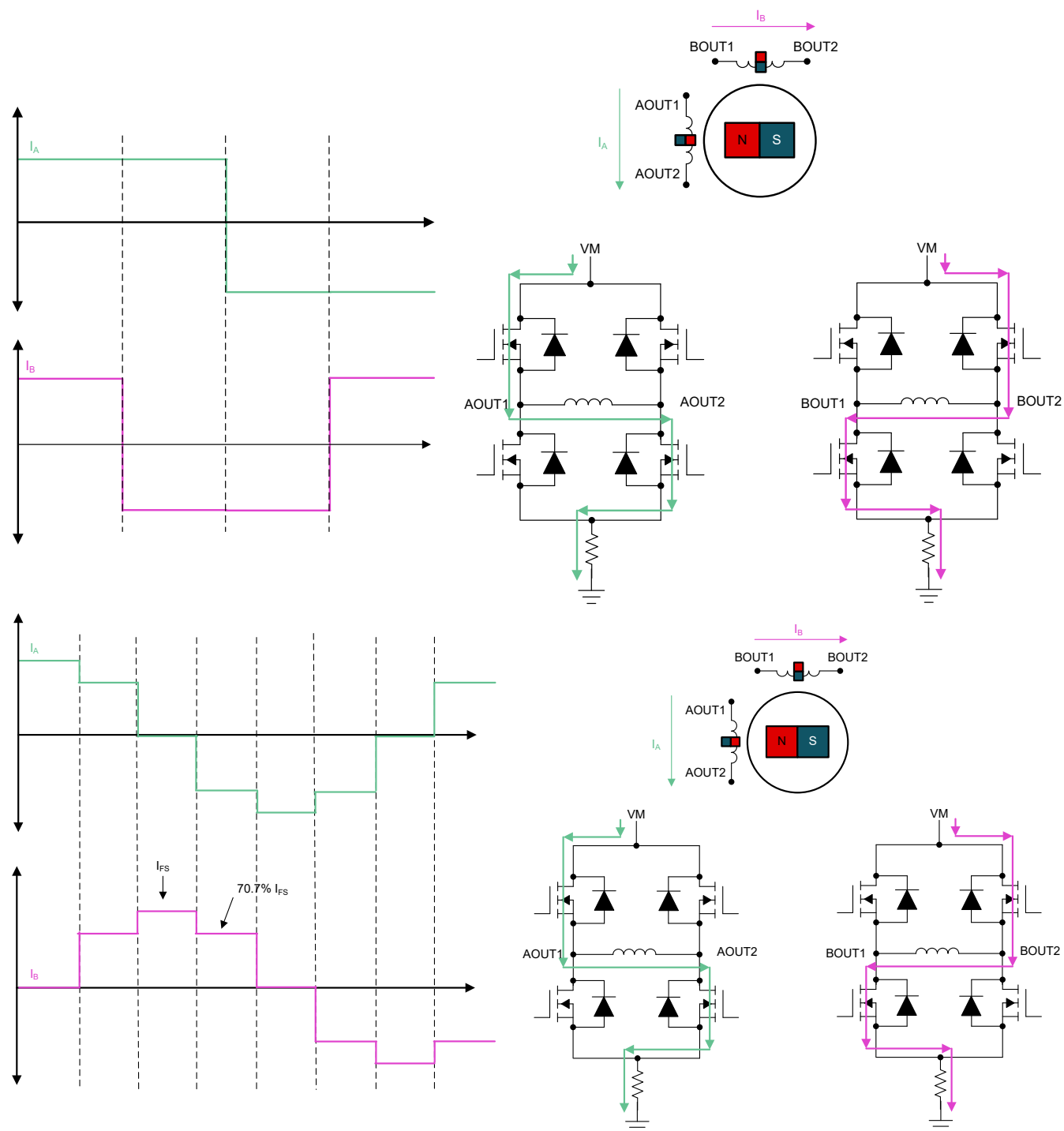


図 3-1. ステッピング モーター制御のフル ステップおよび円形ハーフ ステップ

3.2 ソフトウェア アーキテクチャ

このステッピング モーター制御設計のソフトウェア アーキテクチャは、モジュール式の階層設計を採用しています。このフレームワークは、上位レベルのアプリケーション ロジックを下位レベルのハードウェア依存関係から分離し、優れたコード移植性とスケーラビリティを確保します。このソフトウェア パッケージは、図 3-2 に示す 3 つの機能層に体系的に分割されています。

アプリケーションおよび GUI 層:この部分は、メイン アプリケーションの制御ロジックを管理し、ホスト / GUI のデータ交換用通信インターフェイスを提供します。

モジュール層:この部分には、ハードウェア抽象化層とステッピング モーター ライブラリが含まれます。

MSPM33 ドライバ ライブラリ層:この部分は、マイコンの低レベル ファームウェア ライブラリをベースにしており、タイマ、高速 A/D コンバータ、汎用入出力など、ハードウェア ペリフェラルの直接初期化と駆動を実装しています。

- 磁気エンコーダからリアルタイムのモーター ローター角度と位置をフィードバックする直交エンコーダ信号または SPI インターフェイス (ABZ/SPI)

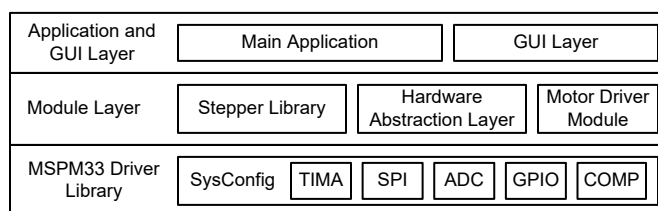


図 3-2. MSPM33 対応ステッピング モーター ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ

3.3 ブロック図

このシステム ハードウェア アーキテクチャは、MSPM33C321A と DRV8962 4 チャンネル ハーフ ブリッジドライバを基盤として、高集積の閉ループ磁界方向制御 (FOC) ステッピング モーター駆動システムを構成します。

図 3-3 に示すように、相互接続される信号とトポロジは次のとおりです。

- センター アラインまたはエッジ アライン同期に対応する 4 つの PWM 信号 (PWM 4x)
- ハードウェア電流レギュレーション用の 12 ビット DAC 基準電圧 (VREF)
- スリープ モード ピンを搭載したドライバ用の低消費電力モード信号 (nSLEEP)
- ドライバからのロジック Low フォルト信号 (nFAULT)
- 外部 INA240A1 電流センス アンプからマイコンの高速 ADC に入力される高精度アナログ電流フィードバック (Current)
- 磁気エンコーダからリアルタイムのモーター ローター角度と位置をフィードバックする直交エンコーダ信号または SPI インターフェイス (ABZ/SPI)

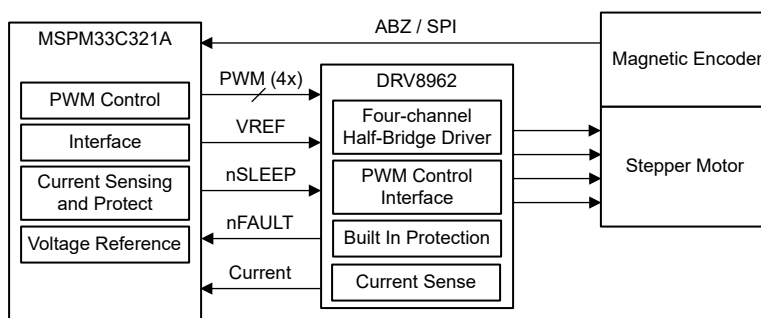


図 3-3. ステッピング モーター制御用 4-PWM インターフェイスのブロック図

3.4 ハードウェア サポート

表 3-1 に、MSPM33-SDK でステッピング モーター制御用にサポートされるハードウェアを示します。

表 3-1. MSPM33 対応ステッピング モーター制御でサポートされるハードウェア

LaunchPad	モーター ドライバ ハードウェア	制御インターフェ イス	電流センス	SPI インターフェ イス	モーター電圧範 囲	モーター電流 (ピ ーク)	モーター出力
LP- MSPM33C321A	DRV8962EVM	PWM (4)	4	あり	4.5V~65 V	5A	<300W

4 BLDC センサ付きトラップ制御

MSPM33 BLDC センサ付きトラップ制御設計の主な特長を次に示します。

- 相補出力、ナノ秒レベルの分解能で調整可能なデッドバンド、最大 200kHz の PWM 周波数を備えた 6 PWM 制御
- 0 ~ 100% の範囲で調整可能なデューティサイクル制御
- ブレーキおよび方向制御
- バス電圧、相電圧、相電流の監視
- ドライバ設定の構成およびドライバフォルトの診断に使用する SPI 読み取り / 書き込み (オプション)
- ソフトウェアによる過電流、過電圧、不足電圧の検出
- ハードウェアフォルトによるブレーキおよびサイクル単位の過電流保護

4.1 背景

台形波転流は、3 相ブラシレス DC モーターを回転させる最も基本的な方式です。これを実現するには、電気角 60 度ごとに 6 ステップパターンで巻線を励磁します。これにより、1 つの相がモーター電流を供給し、別の相がモーター電流を吸い込み、残りの相は未接続 (Hi-Z) の状態を維持します。これにより、図 4-1 に示すように、各相に 120° の台形電流波形が生成されます。

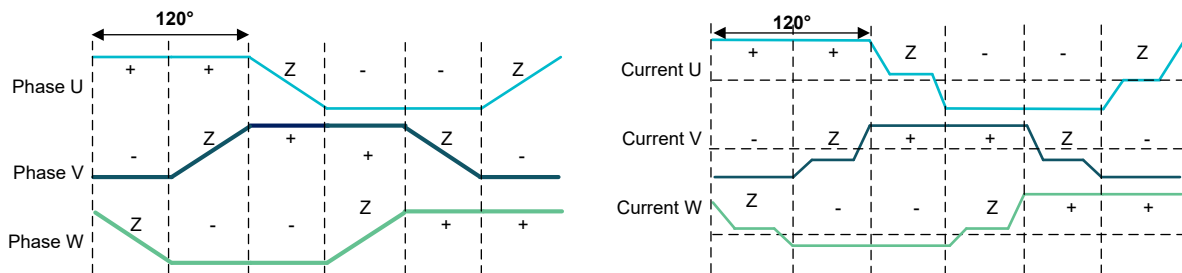


図 4-1. 台形波転流の相電圧波形および電流波形

モーターのリアルタイム位置を判定してモーターを次の状態に転流するため、一般にモーターの 3 相間にホールセンサを配置します。ホールセンサは、モーターの磁界を測定し、図 4-2 に示すようにデジタル信号をマイコンに出力します。3 つのホールセンサ信号をロジック入力として受け取り、6 ステップテーブルを使用して次の PWM 制御状態をデコードします。これは一般に、ホールセンサ付き台形波転流と呼ばれます。低コストで実装が簡単なソリューションであり、大きなトルクと高速回転を実現しながら、MOSFET のスイッチング損失を最小限に抑えることができます。ただし、分解能が低く、電流駆動が理想的ではないため、トルクリプルと可聴ノイズが発生します。

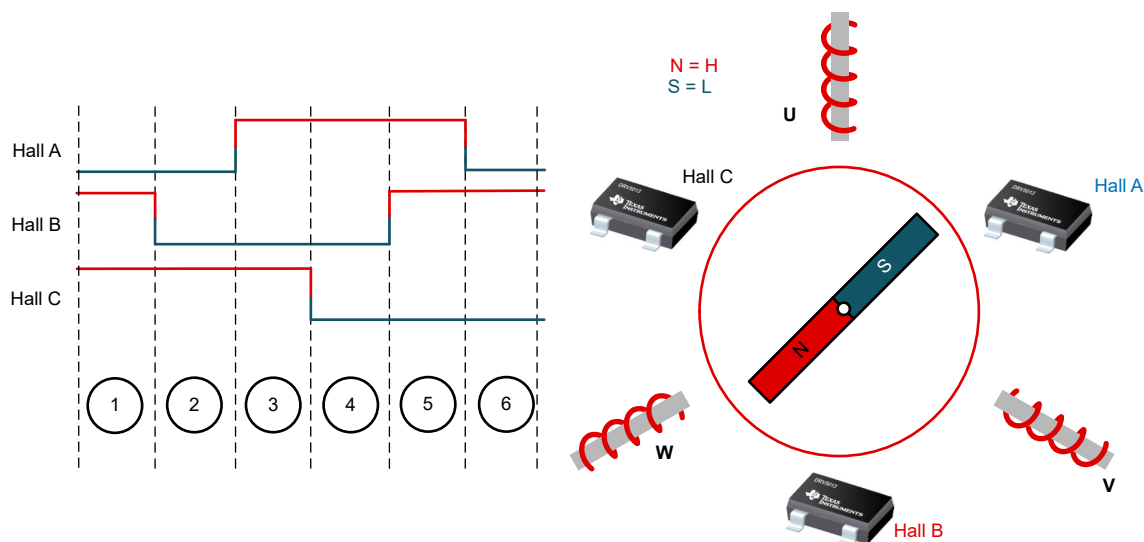


図 4-2. 6 ステップ転流のホールセンサ A/B/C 波形

4.2 ソフトウェア アーキテクチャ

図 4-3 に示すように、このソフトウェア パッケージは、MSPM33 システム構成ツールを使用してセンサ付き台形波制御に必要なペリフェラルを初期化し、抽象化層を使用してさまざまな 3 相モーター ドライバおよびゲートドライバ ソリューションとのインターフェイスを確立します。

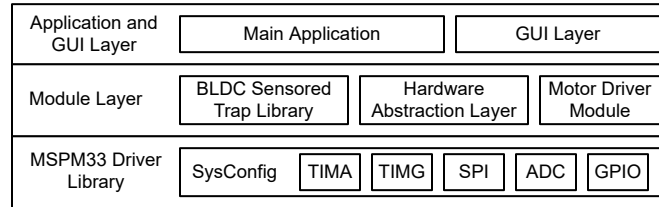


図 4-3. MSPM33 対応 BLDC センサ付き台形波ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ

4.3 ブロック図

MSP モーター制御でサポートされる MSPM33C321A マイコンと 3 相ゲートドライバ / モーター ドライバのブロック図を図 4-4 に示します。制御信号、フィードバック信号、インターフェイスは次のとおりです。

- デッド バンドを調整可能な 6 つの PWM 信号 (PWM 6x)
- ドライバからのロジック Low フォルト信号 (nFAULT)
- ゲートドライバ シャットダウン信号 (DRVOFF)
- スリープ モード ピンを搭載したドライバ用の低消費電力モード信号 (nSLEEP)
- 内蔵または外付けの電流センス アンプから得られる、モーター相電流測定用の ADC 電流検出フィードバック
- オプションの SPI 読み取り / 書き込みインターフェイス (SPI インターフェイス搭載ドライバ用)

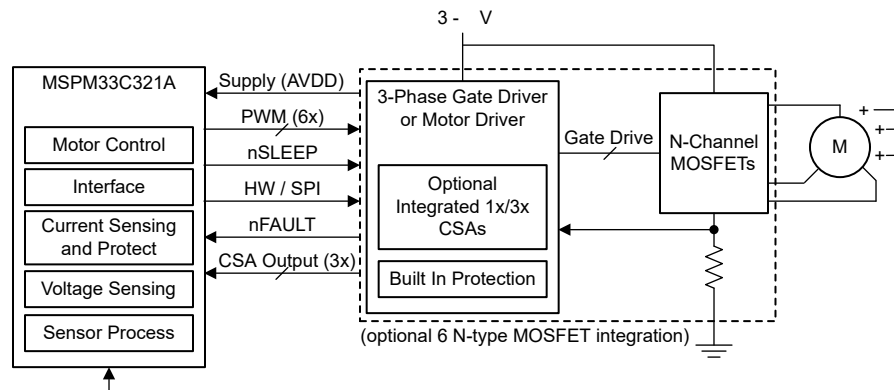


図 4-4. MSPM33C321A と 3 相ゲートドライバまたはモータードライバを使用する BLDC モーター向け 6-PWM ホール センサ付き台形波制御のブロック図

4.4 ハードウェア サポート

表 4-1 に、MSPM33-SDK で BLDC センサ付きトラップ モーター制御用にサポートされるハードウェアを示します。

表 4-1. MSPM33 対応 BLDC センサ付きトラップ制御でサポートされるハードウェア

LaunchPad	サポート対象のモーター ドライバ ハードウェ ア	電流センサ アンプ	SPI ドライバのサポート	モーター電圧範囲 (推 奨)	推奨モーター出力
LP-MSPM33C321A3	DRV8316REVM	3	あり	4.5V~40 V	75W 未満
	DRV8334EVM	3	あり	12V-24V	300W 未満
	DRV8363-Q1AEVM	3	あり	8V-85V	500W 未満
	DRV7308EVM	0-3	あり	15V-450V	250W 未満

5 3 相センサレス FOC 制御

MSPM33 センサレス FOC 設計の主な特長を次に示します。

- 2 シャントまたは 3 シャントに基づく電流検出設計
- 拡張スライディング モード オブザーバおよび位相同期ループ オブザーバ (eSMO+PLL)
- 構成可能なユーザー モーター パラメータおよび目標回転速度 (RPM)
- アライン、低速初回サイクル、または IPD による始動方式
- 始動から閉ループ速度制御への自動引き継ぎ
- 調整可能な PWM 周波数 (最大 100kHz) およびデッド バンド

5.1 背景

この設計では、段階的なシステム ビルドを使用して、幅広い速度範囲に対応する完全な固定小数点センサレス磁界方向制御 (FOC) 設計を実現します。また、モーターの動的モデルを処理して、過渡状態におけるトルク変化も考慮します。各段階のビルドでは、モジュール式ソフトウェア ブロックを使用し、2 つの電流センサ、角度および速度推定用マクロ、速度およびトルク レギュレーション、パーク変換、クラーク変換、逆パーク変換、空間ベクトル PWM 生成 (SVGEN) による完全なセンサレス FOC 設計を作成します。2 つの電流センサを使用するセンサレス FOC のブロック図を図 5-1 に示します。

この設計によるセンサレス FOC 実装の理論的背景については、『PMSM のセンサレス FOC』を参照してください。

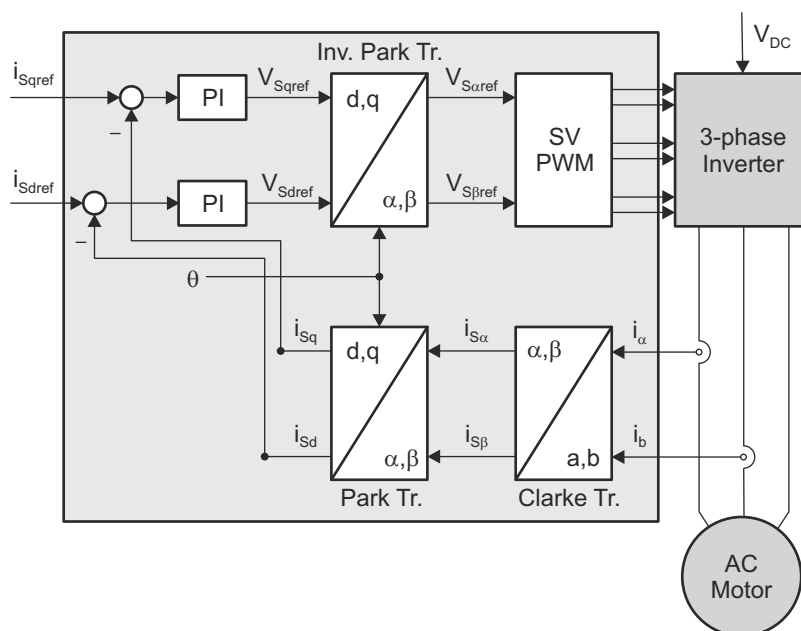


図 5-1. 2 つの電流センサを使用するセンサレス磁界方向制御

拡張スライディング モード オブザーバ (eSMO) と位相同期ループ (PLL) を使用して角度を推定し、BLDC/PMSM モーターのリアルタイム速度を高精度に推定します。このアルゴリズムは状態変数を使用してモーター状態を制御し、モーターを始動状態から開ループ状態へ、さらに開ループ状態から閉ループ状態へ自動的に移行させます。閉ループ状態では、最小限の基準電流でリアルタイムにモーターを制御できます。また、トルクの変化や負荷条件に合わせて速度レギュレーションを調整できます。

5.2 ソフトウェア アーキテクチャ

図 5-2 に示すように、このソフトウェア パッケージは、MSPM33 システム構成ツールを使用してセンサレス FOC に必要なペリフェラルを初期化し、HAL 層を使用してさまざまな 3 相モーター ドライバおよびゲートドライバ設計とのインターフェイスを確立します。

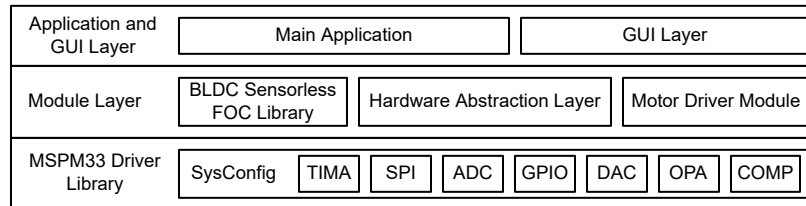


図 5-2. MSPM33 対応センサレス FOC ライブラリのソフトウェア アーキテクチャ

5.3 ブロック図

低電圧 FOC アプリケーションでは、多くのゲートドライバ デバイスまたはモーター ドライバ デバイスに、プログラマブル ゲイン対応の電流センス アンプが最大 3 個内蔵されているため、MSPM33 デバイス側のアナログ要件が軽減されます。アナログ機能を内蔵していない MSPM33 デバイスには、システム サイズとコストを低減できる 48-VQFN や 64-LQFP などの小型パッケージが用意されています。MSPM33 は、12 ビット、4MSPS の同時サンプリング ADC を使用して、モーターの相電圧、バス電圧、電流、速度を高速かつ高精度に検出し、FOC アルゴリズムにフィードバックできます。このトポロジは、ポンプ、ファン、ブロワ、小型家電など、低コストで小型フォーム ファクタの FOC アプリケーション向けに設計されています。

図 5-3 に示すように、このシステムトポロジで使用する信号は次のとおりです。

- デッド バンドを調整可能な 6 つの PWM 信号 (6x PWM)
- ドライバからのロジック Low フォルト信号 (nFAULT)
- 内蔵または外付けの電流センス アンプから得られる、モーター相電流測定用の ADC 電流検出フィードバックとバス電圧検出信号
- オプションの SPI 読み取り / 書き込みインターフェイス (SPI インターフェイス搭載ドライバ用)

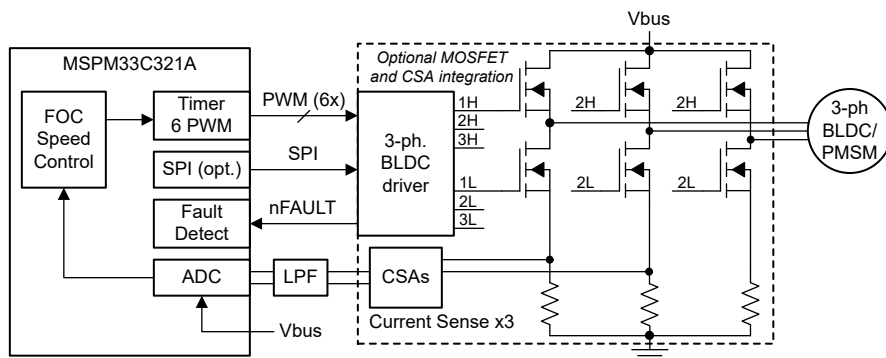


図 5-3. MSPM33C321A と、オプションで CSA および MOSFET を内蔵した 3 相ゲートドライバまたはモータードライバを使用する BLDC モーター向けセンサレス FOC のブロック図

5.4 ハードウェア サポート

表 5-1 に、MSPM33-SDK で 3 相センサレス FOC モーター制御用にサポートされるハードウェアと、テスト済みのモーターを示します。

表 5-1. MSPM33 を使用するセンサレス FOC でサポートされるハードウェア

LaunchPad	サポート対象のモータードライバ ハードウェア	電流センス アンプ	SPI ドライバのサポート	モーター電圧範囲 (推奨)	推奨モーター出力
LP-MSPM33C321A3	DRV8316REVM	3	あり	4.5V~40 V	75W 未満
	DRV8334EVM	3	あり	12V~24 V	300W 未満
	DRV8363-Q1AEVM	3	あり	8V~85 V	500W 未満
	DRV7308EVM	0-3	あり	15V~450 V	250W 未満

6 まとめ

このアプリケーション ノートでは、MSPM33 ファミリのモーター制御ミドルウェア パッケージの概要を説明し、ステッピングモーター、BLDC センサ付き台形波制御、3 相センサレス FOC 制御の技術設計を紹介します。この資料には、基本的な知識に加えて、ユーザー向けの参考資料や補足資料も記載されています。

7 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[3 相永久磁石同期モーターのセンサレス フィールド オリエンテッド コントロール](#)』、アプリケーション ノート。

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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 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](https://www.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