

Application Note

SimpleLink CC2340R5 マイコンと Zigbee® を使用したブラシ付き DC モーター制御

Ryan Brown

概要

このアプリケーション ノートでは、1 つのマイコン設計でブラシ付き DC (BDC) モーター設計に Zigbee® 無線プロトコルを追加する機能について説明します。BDC モーターは、窓のブラインド、電動ハブラシ、ドアのロックなど、無線を組み込むことで利点が得られるアプリケーションで一般的に使用されています。このドキュメントで説明する資料は、CC2340R5 が DRV8251A モータードライバと TMAG5213 ホール効果ラッチを支援してこのタスクを実行できる方法を提示します。

この資料が提供するデザインでは、TI.com で購入可能なハードウェア EVM と、[SimpleLink 低消費電力 F3 Demos GitHub](#) で無償で提供されるファームウェアを使用します。必要なハードウェア接続とファームウェアの動作について詳細に説明しており、開発者は BDC モーターを入手すれば、自分でデモを実行し、さらに要件に合わせてプロジェクトを改良できるようになります。また、追加のテスト データも提供されているため、読者は動作条件とアプリケーション拡張のオプションを十分に理解できます。

目次

1 はじめに	3
1.1 CC2340R5	3
1.2 DRV8251A	4
1.3 BDC モーター	4
1.4 TMAG5213	5
2 BDC アプリケーション	6
2.1 ハードウェア設定	6
2.2 接続図	7
3 例を実行する	9
3.1 依存関係	9
3.2 ファームウェアのロード	9
3.3 ZigBee ネットワーク形成	10
4 ファームウェア設計	11
4.1 コードフローの説明	11
4.2 LaunchPad ボタンの機能	13
4.3 不揮発性メモリ	13
4.4 双方向 PWM モーター制御	13
4.5 ADC 過電流保護機能	13
4.6 構成可能なエンドポイントを使用する、ホール効果ベースのモーター位置トラッキング機能	13
4.7 ロギング機能	14
4.8 サードパーティ製スマートハブ デバイスとの相互運用性	14
5 テストと結果	15
5.1 PWM およびホール効果信号分析	15
5.2 EnergyTrace™ による消費電力分析	15
6 まとめ	17
7 参考資料	17

商標

SimpleLink™, Code Composer Studio™, and EnergyTrace™ are trademarks of Texas Instruments. Zigbee® is a registered trademark of Connectivity Standards Alliance.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

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

SimpleLink™ CC2340R5 は、512kB のフラッシュと 36kB または 64kB の SRAM を搭載した、強力で安価なマイコンで、Arm® Cortex®-M0+ と 2.4GHz の無線を採用しています。これらの機能により、さまざまな無線プロトコルに対応する多数の最終アプリケーションを、單一チップ設計で実現することが可能です。このアプリケーションノートでは、1 つのインスタンスを取り上げ、このデバイスを使用してより広い可能性を証明します。さらに、CC2340R5 は、ブラシレス DC (BLDC) モーター アプリケーションやステッパ モーター アプリケーションもサポートすることを実証してきました。

DRV8251A および TMAG5213 と組み合わせた場合、ZigBee 無線通信を使用して CC2340R5 を使用して BDC モーターを制御できます。このドキュメントでは、このアプリケーションを実現するために必要なハードウェアとソフトウェアの実装、および実現されているオプション機能について詳しく説明します。この資料を読むことで、ユーザーは BDC モーター制御と CC2340R5 開発の両方の詳細を確認し、同様のコンセプトを設計に確実に使用できるようになります。

1.1 CC2340R5

CC2340R は SimpleLink™ マイコンプラットフォームの製品です。これは、Wi-Fi®、Bluetooth LE、Thread、Zigbee、Sub-1GHz マイコン、およびホストマイコンで構成されており、すべて共通の使いやすいソフトウェア開発キット (SDK) と豊富なツール セットを共有しています。これらのデバイスは、ビルディング オートメーション (ワイヤレス センサ、照明制御、ビーコン)、アセットトラッキング、医療、リテール EPOS (電子 POS)、ESL (電子棚札)、パーソナル エレクトロニクス (玩具、HID、スタイルス ペン) の市場における低消費電力のワイヤレス通信に最適化されています。

LP-EM-CC2340R5 開発キットは、Bluetooth 5 Low Energy (LE)、Zigbee、および 2.4GHz 専用プロトコルに対応した CC2340R5 マイコンの開発を加速するために使用されます。ソフトウェア サポートは、SimpleLink™ 低消費電力 F3 ソフトウェア開発キット (SDK) を通じて実現しています。SDK は、Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE) を使用してビルドすることができます。機能には、BoosterPack™ プラグイン モジュール コネクタを介したすべての I/O 信号へのアクセスや、TI SimpleLink Connect を使用して LaunchPad™ 開発キットをスマートフォンに接続する機能が含まれます。ソフトウェア開発と RF 評価の目的で、LP-XDS110ET または LP-XDS110 のデバッガを別途購入する必要があります。

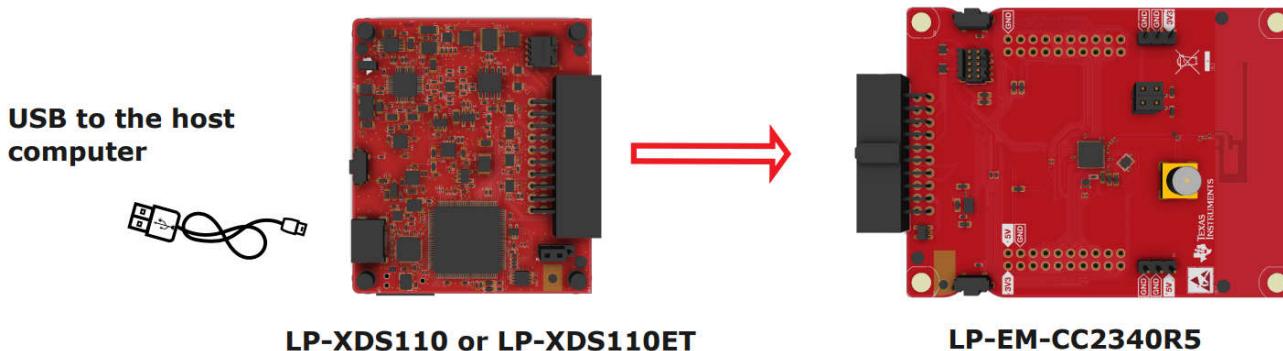


図 1-1. LP-XDS110ET および LP-EM-CC2340R5 の接続

1.2 DRV8251A

DRV8251 ファミリのデバイスは、N チャネル H ブリッジ、チャージ ポンプ、電流調整、および保護回路を備えた統合モータードライバです。また、DRV8251A には電流検出フィードバックも搭載されています。チャージ ポンプは、N チャネル MOSFET ハーフブリッジと 100% デューティ サイクル駆動に対応することで効率を向上させています。外部電圧リファレンスピン (VREF) は、マイクロコントローラからの相互作用なしに、起動および停止時の電流レギュレーション スレッショルドを決定します。低消費電力スリープ モードは、内部回路の多くをシャットダウンすることで非常に小さい静止電流を実現します。内部保護機能には、電源低電圧誤動作防止、出力過電流、デバイス過熱が含まれます。この H ブリッジ ドライバのアーキテクチャは、最大 4.1A のピーク電流をサポートします。DRV8251A は、単一電源で動作可能であり、4.5V～48V の広い入力電源電圧範囲に対応します。

DRV8251AEVM は、BDC モーター向けの DRV8251A H ブリッジ ドライバをベースとする、3.7A のブラシ付き DC ドライバ段です。このデバイスは、ローサイド電流測定用の電流シャントアンプ、150mA LDO、デッドタイム制御ピン、VDS 過電流レベルピン、ゲートドライバシャットオフ ピンを搭載しています。この評価基板 (EVM) は 2 個のポテンショメータを搭載しており、制御信号のデューティ サイクル調整に使用できます。必要に応じて、オンボード マイコンを取り外し、DRV8251A を外部から制御することもできます。最大 48V の電圧をこの評価基板 (EVM) に供給できます。また、DRV8251AEVM の内蔵 LDO は、3.3V の基準電圧を生成します。ユーザーへのフィードバックの目的で、電源用のステータス LED を搭載しています。

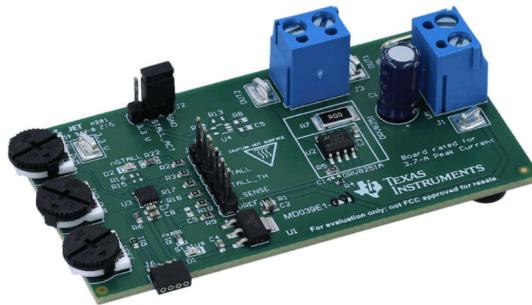


図 1-2. DRV8251AEVM

1.3 BDC モーター

直流 (DC) 電源を使用するブラシ付き DC (BDC) 電気モーターの 2 極モーターは、このアプリケーション ノートで有効になる一般的なモーター設計を表します。このレポートでは、インターフェイス回路はハイサイドとローサイドの 2 つの PWM を駆動し、モーターの速度と方向の両方を制御します。一部の BDC モーターにはホール効果センサが内蔵されていますが、このレポートで説明するモーターにはホール効果センサはありません。このレポートでは、BDC モーターの赤いワイヤは M+ で、黒のワイヤは M- で示されます。



図 1-3. BDC モーター

1.4 TMAG5213

TMAG5213 は低コストのチョッパ安定型ホール効果センサで、全温度範囲で優れた感度安定性を持ち、保護機能を内蔵しています。磁界はデジタル双極性ラッチ出力によって示されます。このバイポーララッチの磁気応答により、デバイス出力はパッケージの Z 軸を通る正負両方の磁束に敏感に反応します。TMAG5213 は、2.5V～28V の広い動作電圧範囲と、-40°C～125°C の広い動作温度範囲に対応しており、さまざまな産業用アプリケーション向けに設計されています。出力短絡や過電流に対する内部保護機能が搭載されており、30mA の電流シンク能力を備えたオープンドレイン出力段を備えています。TMAG5213 を含めることはオプションですが、ホール効果ラッチ付きの BDC モーターを使用する場合は、または代替のモーター位置トラッキング方式を使用するプロジェクトでは省略できます。

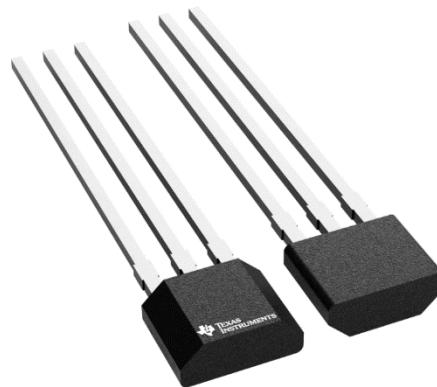


図 1-4. TMAG5213 ホール効果ラッチ

2 BDC アプリケーション

2.1 ハードウェア設定

以下のセクションでは、入手が必要なハードウェア、EVM 上で実施する設定変更、デフォルトのファームウェア設計を変更せずにサンプルを実行するために必要な接続について説明します。

2.1.1 DRV8251AEVM の設定

以下に、適切な場所にジャンパを実装した DRV8251AEVM 基板を示します。また、BDC モーターを動作させようとするときに問題を回避するために、ボードスイッチとスライダをどのように配置するかについてのコメントも掲載しています。このハードウェアとのインターフェイス方法の詳細については、『DRV8251AEVM ユーザー ガイド』を参照してください。

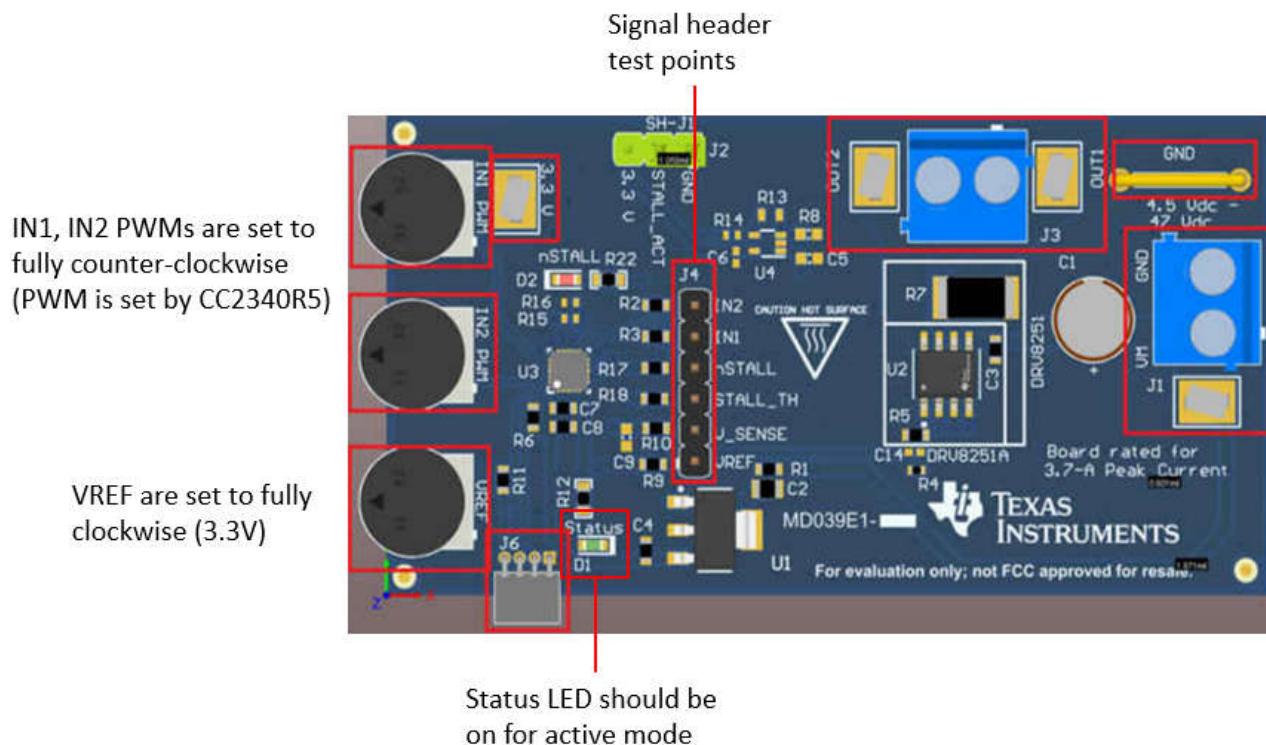


図 2-1. DRV8251AEVM のハードウェア設定

2.2 接続図

この表には、LP-EM-CC2340R5 と DRV8251AEVM 間の必要な接続と、BDC モーターのデモンストレーションを実現するために必要な接続が記載されています。

表 2-1. LP-EM-CC2340R5 と DRV8251AEVM の間の接続

接続	CC2340R5 機能	LP-EM-CC2340R5 ピン	DRV8251AEVM ピン
フォワード モーター制御	PWM 出力	DIO1	IN1
リバース モーター制御	PWM 出力	DIO5	IN2
電流センス	ADC 入力	DIO24	VSENSE
共通グランド	共通グランド	GND	GND

BDC モーターの配線は、指定の DRV8251AEVM ピンに接続する必要があります。必要なモーター ワイヤと対応するピン接続を以下に示します。特定のモーターについては、どのワイヤがこれらの機能を実装しているかを確認し、それに応じて接続してください。

表 2-2. DRV8251AEVM BDC モーターの接続

接続	BDC モーター ワイヤ	DRV8251AEVM ピン
ハイサイド	M+ (赤)	OUT1
ローサイド	M- (黒)	OUT2

TMAG5213 の配線は、指定の CC2340R5 ピンに接続する必要があります。必要なホール効果ラッチ ワイヤと対応するピン接続は、図に示すようにリストされています。CC2340R5 デジタル出力を使用して TMAG5213 に電力を供給すると、BDC モーターが駆動されていないときにマイコンから TMAG5213 への電力を無効にでき、スリープ モード中の消費電力を低減できます。このプロジェクトでは TMAG5213ADQLPG パッケージを使用しました。以下のリソースでは、ピン配置と場所が強調されています

表 2-3. LP-EM-CC2340R5 と TMAG5213ADQLPG の間の接続

接続	CC2340R5 機能	LP-EM-CC2340R5 ピン	TMAG5213ADQLPG ピン	TMAG5213ADQLPG のピン番号
ホール効果のラッチ電源	デジタル出力	DIO23	VCC	1
ホール効果のラッチ グラウンド	共通グランド	GND	GND	2
ホール効果ラッチの出力	デジタル割り込み入力	DIO0	OUT	3

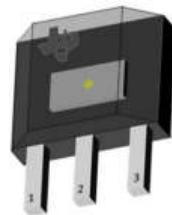


図 2-2. TMAG5213ADQLPG、ホール効果素子を強調表示したピン配置

次の画像は、LP-EM-CC2340R5、DRV8251AEVM、BDC モーターの直上に配置された TMAG5213 を組み合わせた、システム全体のハードウェア設定を示しています。これは、外部ホール効果ラッチを搭載した一般的な BDC モーターの設定を示していますが、以降のセクションで説明するシステムは、ウインドウ カバーとコントローラ アプリケーションの具体的なケース用に開発されました。提供されているコード設計は、ウインドウ カバーとコントローラ アプリケーションに合わせてカスタマイズ済みですが、特定の BDC モーター アプリケーションをサポートするように簡単に変更できます。

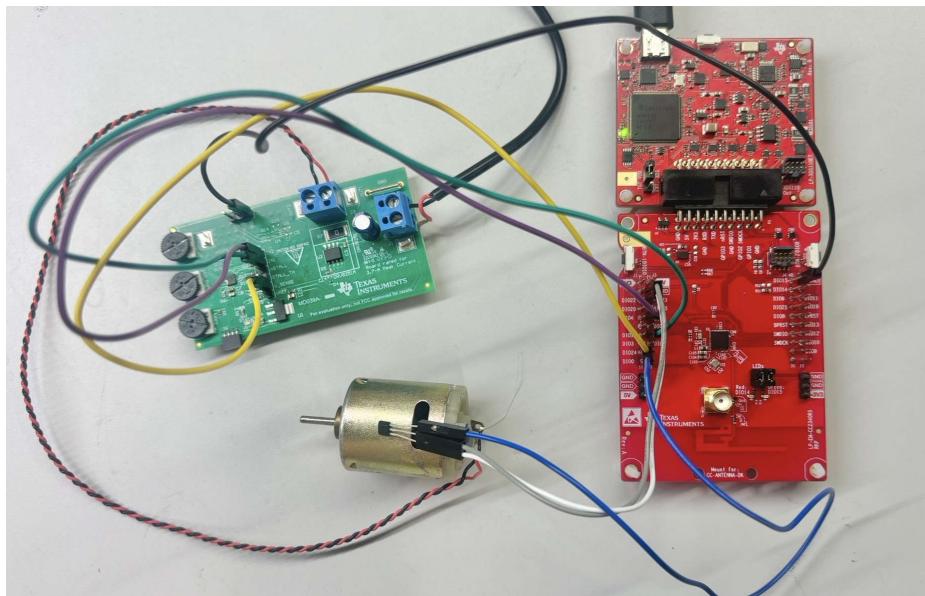


図 2-3. 物理ハードウェアのセットアップ

3 例を実行する

次のセクションでは、ファームウェアの詳細、および各コンポーネントが BDC モーターの駆動とデータの収集にどのように機能するかについて説明します。このデモでサポートされているウインドウ カバーとコントローラの使用事例では、コードは 2 つの個別の CCS プロジェクトに分割されており、`window_covering_LP_EM_CC2340R5_freertos_ticlang` がスリープモードの Zigbee エンドデバイス (ZED) として機能し、`window_controller_LP_EM_CC2340R5_freertos_ticlang` は ZigBee コーディネータ (ZC) として機能します。ウインドウ カバー プロジェクトは、DRV8251A、TMAG5213、BDC モーターに接続されている CC2340R5 LaunchPad にフラッシュ書き込みする必要があります。ウインドウ コントローラ プロジェクトは、個別のスタンドアロンの CC2340R5 LaunchPad にフラッシュ書き込みする必要があります。これらの CCS プロジェクトと、対応する動作モードの詳細については、[『Zigbee ネットワークの構成』](#)を参照してください。

3.1 依存関係

SimpleLink 低消費電力 F3 デモ GitHub に対して提供されるコード プロジェクトには、以下の依存関係があります。

- SimpleLink F3 SDK v9.10.0.83
- SysConfig v1.23.1
- TI CLANG v4.0.2 コンパイラ

プロジェクトを [Code Composer Studio™ \(CCS\)](#) v20 以降にインポートする前に、これらの依存関係がすべてマシンにインストールされていることを確認します。環境設定の詳細な例については、[SimpleLink Academy for CC23xx](#) を参照してください。上記以外の依存バージョンの移行およびサポートは、ユーザーが責任を負うことに注意してください。`window_controller_LP_EM_CC2340R5_freertos_ticlang` のプロジェクト プロパティを参照してください。このプロパティは、`window_covering_LP_EM_CC2340R5_freertos_ticlang` の依存関係と同じである必要があります。

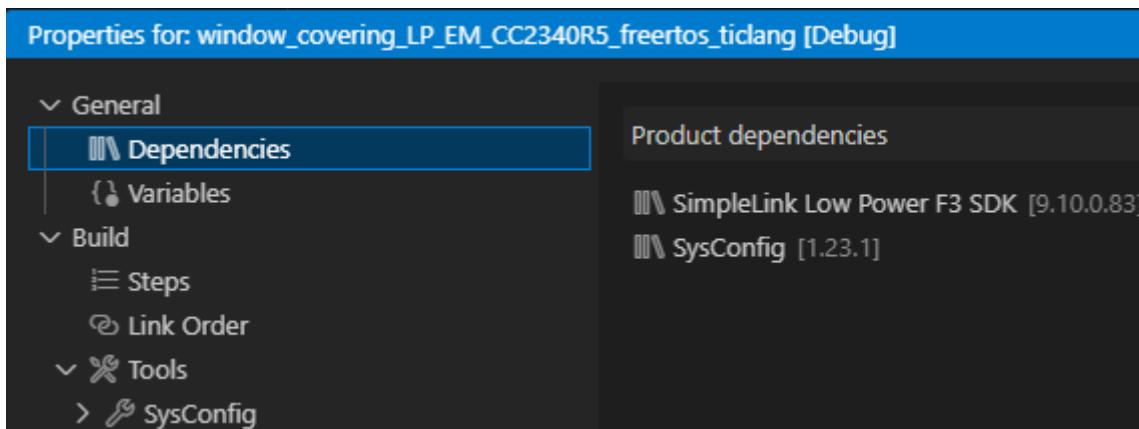


図 3-1. CCS のプロパティ

3.2 ファームウェアのロード

CCS 内でビルトされたプロジェクトは、IDE 上で「Run」(実行) → 「Flash Project」(プロジェクトのフラッシュ) (Ctrl + F5) または「Debug Project」(プロジェクトのデバッグ) (F5) を選択することで直接ロードできます。プロジェクトをアクティブにデバッグしていない場合は、フリーラン実行を許可するためにデバッグ モードを終了することを推奨します。バイナリイメージをロードするために、[UNIFLASH](#) ソフトウェアツールの使用を検討してください。

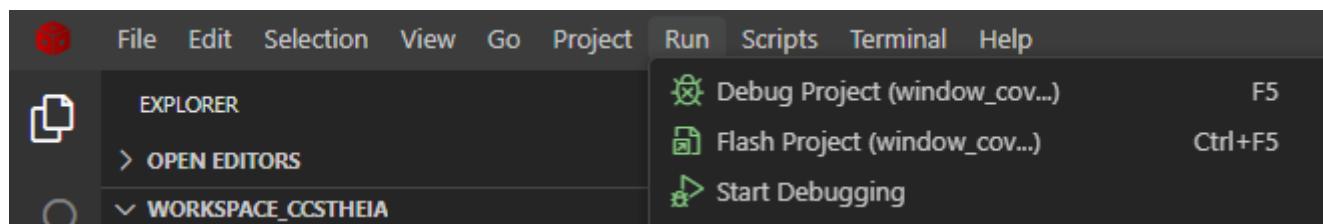


図 3-2. CCS ロード オプション

3.3 ZigBee ネットワーク形成

CC2340R プラットフォームは、ZigBee プロトコルで使用される 2.4GHz IEEE 802.15.4-2011 物理層 (PHY) をサポートしています。プロトコル固有の質問については、『ZigBee ユーザー ガイド』をご覧ください。関連する ZigBee ネットワーク パラメータは、デバイスタイプやチャネル選択など、SysConfig ツールで構成されます。ネットワークが正しく動作していることを確認するには、これらの設定がデバイス間で一貫している。ネットワークの確立は、ZigBee Base Device Behavior (BDB) 仕様に従っています。ネットワークを開始するには、まずウインドウ コントローラ (ZC) デバイスのリセット ボタンを押します。これにより、設定されたパラメータを持つネットワークが作成され、参加用のネットワークが開きます。次に、ウインドウ カバー (ZED) デバイスのリセット ボタンを押します。これにより、ZED がオープン ネットワークをスキャンして参加し、ZC との通信パスを確立できます。このシンプルなリセット ボタン シーケンスにより、試運転プロセス全体が自動化されます。デバイスを結合すると、サポート対象の ZigBee クラスタを使用して通信を実施し、追加の構成ステップなしですぐに機能を実現することができます。ウインドウ コントローラの LaunchPad で BTN-1 を使用すると、ウインドウカバー デバイスに送信されるウインドウ カバー アップ コマンドとウインドウ カバー ダウン コマンドを切り替えます。デベロッパーの皆様は、ZigBee 無線ウインドウ コマンドを評価する前に、以下のセクション 4.2 で説明しているローカル ウインドウ操作を完全にテストして理解することに注意してください。

このプロジェクトでは、ホーム オートメーション (HA) 用 Zigbee クラスタライブラリ (ZCL) 内のウインドウ カバー/コントローラ クラスタを使用します。より良い結果を得るには、まず ZC をリセットし、1 ~ 2 秒待ってから ZED をリセットします。

Zigbee ネットワーク構成に関する追加のドキュメントについては、Zigbee Light and Switch Project Zero SimpleLink Academy Lab および ZBOSS ユーザー ガイドを参照してください。

4 フームウェア設計

BDC モーター プロジェクトを動作させる `window_covering` プロジェクトのフームウェアは、以下のセクションでさらに分析されます。

4.1 コードフローの説明

図 4-1 は、CC2340R5 コード内で使用されるプロセスのコード ブロック図です。ZigBee 機能は `window_covering.c` から利用できますが、モーター動作は `bdc_motor.c` ファイルで実行されます。

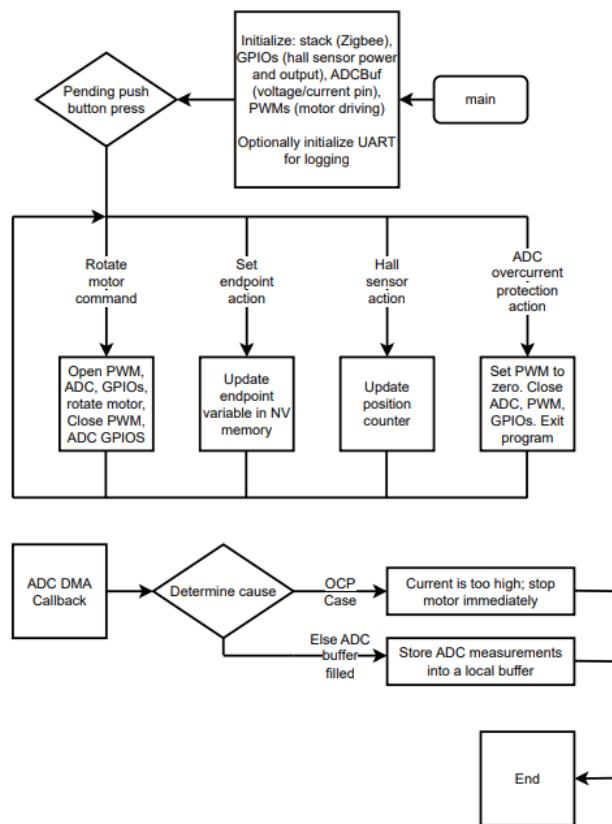


図 4-1. BDC モーターのコード図

`main` 関数は、BDC モーターのサンプルが動作するために必要なすべての TI ドライバとタイマを初期化します。`main` の `while` ループに入ると、ハードウェア コールバックによってイベントが設定されるまで、後続の処理を保留できます。提供されているアプリケーションでは、LaunchPad のプッシュ ボタンを押すことで、これらのハードウェア コールバックがトリガされます。サブルーチンを介して対応するアクションを処理した後、イベントがリセットされ、プロセスが繰り返されます。

いくつかの例外を除き、すべてのハードウェア コールバックは単にイベントをポストし、メイン アプリケーションで処理されます。例外は `ADCBuf` コールバックであり、このコールバックはステータスを即座に処理し、メイン アプリケーション ループでの追加処理を要求しません。

モーターの動作を定義する複数の定義が実装されています。これらの定義については、以下のセクションで参照してください。これらの構成可能な定義は、`bdc_motor.c` にあります。

表 4-1. BDC モーター アプリケーションの定義

定義	デフォルト	単位	機能
PWM_PERIOD	100	μs	1 PWM サイクルの持続時間
PWM_DUTY_INC	100	μs	減速中の加速またはデクリメント中に PWM デューティ サイクルをインクリメントするための期間
PWM_START_POINT	0	μs	まで加速する/減速するための PWM デューティ値。通常、はゼロに設定されます
PWM_END_POINT	100	μs	から加速する/減速するための PWM デューティ値。この場合、これは、100% デューティ サイクルの PWM_PERIOD と同じ値として設定されます
ADCBUF_SAMPLE_SIZE	100	整数	DMA によって転送される ADC バッファのサイズ
ADCBUF_SAMPLING_FREQ	1000	Hz	ADC のサンプリング周波数。完了した ADC バッファの周波数は、ADCBUF_SAMPLING_FREQ/ADCBUF_SAMPLE_SIZE と同じであることに注意してください
USE_HALL	定義済み	該当なし	機能中にホール効果センサを使用するかどうかを決定します
STALL_TIMEOUT	1000000	μs	USE_HALL が定義されているときに、ホール効果センサによって検出されたように、モーターを停止するためのタイムアウト
MOVEMENT_TIME	3000000	μs	USE_HALL が定義されていない場合、モーターがこの期間よりも長く回転している場合、モーターを停止するためのタイムアウト期間
OCP_THRESHOLD	800000	μV	過電流条件をトリガするための平均化 ADC バッファの最小値

4.2 LaunchPad ボタンの機能

デバイス ウィンドウの **BDC** モーターをローカルにカバーするために、いくつかのイベントに対してプッシュ ボタン操作が実装されており、ユーザーはモーターのエンドポイントを設定し、モーターを時計回りまたは反時計回りに回転させることができます。この表は、これらのイベントの概要を示しています。

表 4-2. BDC モーターの LaunchPad ボタンの動作

ボタン操作	BTN-1 機能	BTN-2 機能
ダブル クリック	現在の位置の上限値を設定します	現在の位置に低いエンドポイントを設定します
シングル クリック	高いエンドポイント位置 (USE_HALL 定義) に達するまで移動するか、移動タイムアウト (USE_HALL が定義されていない)	低いエンドポイント位置 (USE_HALL 定義) に到達するまで移動するか、移動タイムアウト (USE_HALL が定義されていない)
押し下げた	リリースされるまで続けて上に移動します	放すまで続けて下に移動します

USE_HALL が定義されている場合、TI は、ZigBee またはシングル ボタン クリック コマンドを使用してモーター位置を制御する前に、ユーザーが手動でモーターを回転させ (つまり、ボタン押下)、エンドポイントを設定 (つまり、ボタンダブルクリック) することを推奨します。USE_HALL が定義されていない場合、1 回クリックするだけで MOVEMENT_TIME の目的の方向に移動します。

4.3 不揮発性メモリ

不揮発性 (NV) フラッシュ メモリが実装されており、高エンドポイントと低エンドポイントの両方、および新しい値が記録されるたびに現在のモーター回転位置を保存します。したがって、デバイスの電源を切って再投入またはリセットすると、これらの変数は以前の値に復元されます。ハイエンドポイントとロー エンドポイントは、プログラミング動作中など、デバイスがフラッシュ メモリを消去するたびに、プッシュボタン操作により再確立する必要があります。NV メモリは、USE_HALL が定義されている場合のみ使用され、CC2340R5 デバイスが動作していないときに発生するモーター回転位置の物理的な変更を考慮することはできません。

4.4 双方向 PWM モーター制御

この BDC モーター アプリケーションは PWM ドライバを使用して、正方向と逆方向の両方で、可変速度モーター制御を実装します。このため、双方向制御を可能にするには、2 つの独立した PWM タイマを使用する必要があります。ゼロから PWM_DUTY_VALUE までの急激な変化を低減するために、デューティ サイクルをスムーズに増加および低減するため、モーター 加速および減速機能が実装されています。

4.5 ADC 過電流保護機能

この BDC モーター アプリケーションでは、過電流保護 (OCP) は、DRV8251A の VSENSE ピンの ADC サンプリングにより電流を継続的に監視することで機能します。VSENSE ピンは、モーターの引き込み電流に正比例する電圧信号を出力し、モーターの電気負荷についてリアルタイム フィードバックを行います。CC2340R5 の ADC は、モーター動作中にこの電圧を 1ms の間隔で定期的にサンプリングし、アナログ VSENSE の読み取り値を、実際のモーター電流を表すデジタル値に変換します。この測定電流が事前定義された `ocpThreshold` 値を超えると、保護メカニズムは両方の PWM チャネルを直ちに無効にし、損傷が発生する前にモーターを停止させます。過電流状態の考えられる原因には、モーターのストール、機械的障害、または電気的故障があります。この実装は、DRV8251A の内蔵電流センシング能力を活用し、外部電流センサ抵抗を不要にすると同時に、高精度かつ応答性の優れた保護機能を提供し、どちらの方向でも動作している間もモーターと機械システムの両方を保護します。この実装には、専用のコールバック関数が搭載されており、ADC サンプリングを処理して OCP 機能をトリガします。これにより、さらにフォルト状態をログに記録し、診断のためにフォルトカウンタをインクリメントします。

4.6 構成可能なエンドポイントを使用する、ホール効果ベースのモーター位置トラッキング機能

この BDC モーターの設計では、BDC モーターの回転位置を高精度で追跡できるように、外部ホール効果ラッチを実装します。モーターの回転を正確に監視するには、BDC モーターに対して TMAG5213 を正しい位置に配置することが不可欠です。次の図で強調表示されているように、BDC モーター内の磁石は、定義された Z 軸を超える中心に極が反転するように回転する必要があります。CCS プロジェクトでは、ホール効果ラッチが `high` にセットされるたびに、GPIO 入力割り込みが設定され、カウンタがインクリメントされます。さらに、ホール効果ラッチは GPIO 出力から電力供給されるため、モーターがアクティブに回転していないときにそのラッチを無効化して消費電力を最小化できます。このホール効果ベース

のモーター位置トラッキングにより、時間ベースの設計よりも高精度のモーター位置トラッキングが可能になります。構成可能なエンドポイントを使用すると、コンパイル時にコード内で変数を設定するか、ボタンを押してリアルタイムで使用することで、モーター動作の開始/停止を有効にすることができます。ウィンドウカバー プロジェクトは、**USE_HALL** 定義を削除することで、他のモーター位置トラッキング方法で動作するように構成できます。

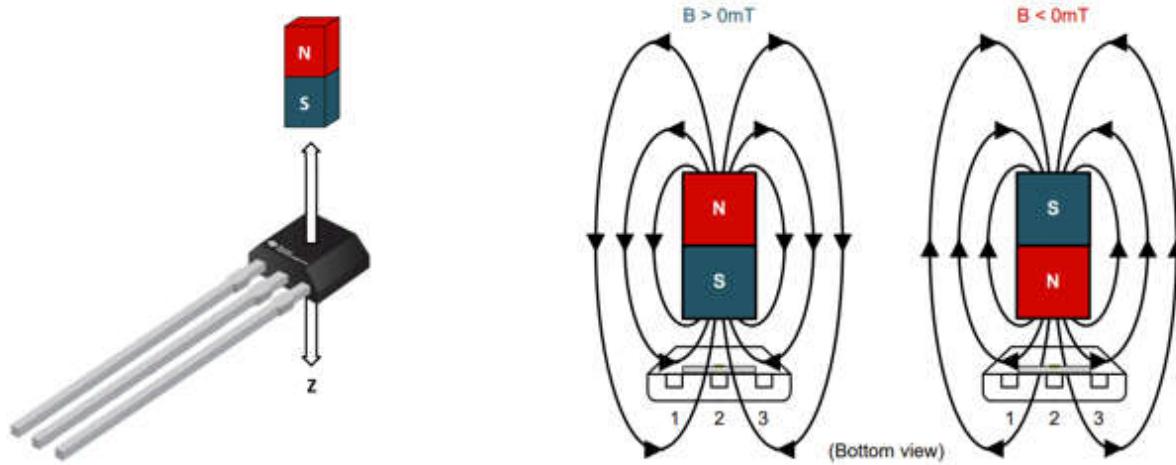


図 4-2. ホール効果ラッチの磁気センシングの方向

4.7 ロギング機能

オプションのロギング機能は、この BDC モーター アプリケーションで便利なデバッグ ツールとして機能し、UART ログシンクを使用してシステム動作をリアルタイムに可視化できます。この実装では、重大度レベル (DEBUG、VERBOSE、INFO、WARNING、ERROR) の異なる構造化されたロギング システムを使用して、重要度に基づいてメッセージを分類します。モーターの動作中、モーターの起動/停止動作、電流測定、位置の更新、過電流検出などのフォルト条件などの主要なイベントがタイムスタンプによって記録されます。このロギング機能は、動作のタイミング、モーター制御中のイベントのシーケンス、保護メカニズムをトリガできる特定の条件に関する詳細情報が得られるため、開発およびトラブルシューティング中に非常に重要です。ログシンクは、構成設定を介してコンパイル時に有効または無効にできます。これにより、開発中の包括的なデバッグ情報を含めることができます、また、量産リリースのログ オーバーヘッドを排除して、性能を最適化し、コードサイズを削減できます。詳細については、[『SimpleLink F3 SDK によるロギング』](#)をご覧ください。

4.8 サードパーティ製スマート ハブ デバイスとの相互運用性

CC2340R5 ベースの ZigBee 実装は、標準化された Zigbee 3.0 通信プロトコルを介して、Amazon Echo、Apple Homepod、Google Nest などの一般的なサードパーティのスマート ホーム エコシステムとのシームレスな相互運用性を実現します。この BDC モーター アプリケーションは、Amazon Echo と組み合わせてテストされています。これらのスマート ハブ デバイスは、ZC の役割を果たします。試運転プロセス中に、CC2340R5 デバイス (ZED) は、標準的なネットワーク操作手順を通じて Amazon Echo ハブの ZigBee ネットワークに参加します。その後、Alexa は、シンプルなディスクリプタとサポートされているクラスタに基づいてデバイスタイプを自動的に認識します。これにより、「Alexa、ライトをオンにして」や「Alexa、ファンを 50% に設定して」などの自然な音声コマンドが可能になります。サードパーティのスマート ハブ デバイスを使用して BDC モーター アプリケーションをセットアップするには、サードパーティが ZC 側構成でそのアプリを使用する必要があります。

5 テストと結果

このセクションでは、PWM 特性、モーター位置トラッキング、消費電力指標、システムの信頼性に注目し、CC2340R5 ベースの BDC モーター制御設計の包括的な性能分析について説明します。

5.1 PWM およびホール効果信号分析

ロジック アナライザを使用すると、モーター動作中に 2 つの PWM チャネルとホール効果ラッチ出力ピンを監視できます。キャプチャされているように、PWM は 0% のデューティサイクルから 100% のデューティサイクルまで線形加速を受けます。高速なデューティサイクルでモーターを駆動することで、ホール効果ラッチはモーターの回転開始を監視します。この時間中、ホール効果ラッチの周波数は、ラッチ周波数が定常状態の値に達するまで増加します。モーター制御の完了後のモーター減速時にも同様の動作が観測されます。

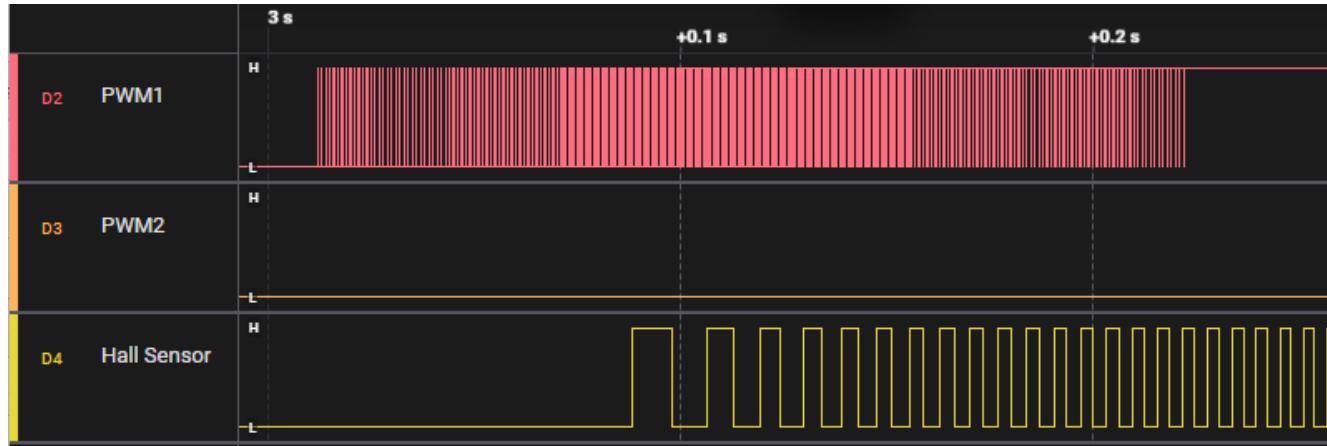


図 5-1. PWM およびホール効果ラッチ ロジック アナライザ キャプチャ

5.2 EnergyTrace™ による消費電力分析

EnergyTrace™ テクノロジーは、CC2340R5 をベースとする BDC モーター制御設計の電力特性に関する重要な情報を提供します。EnergyTrace テクノロジーは、LP-XDS110ET を通じて提供されています。さまざまな運用状態にわたってリアルタイムの消費電力を把握することで、システムのエネルギー効率を評価し、最適化の機会を特定できます。

EnergyTrace キャプチャでは、1 つのモーター動作イベント中、100% のデューティサイクルで、電流範囲をカバーするウインドウが監視されます。ウインドウ カバー アプリケーションは、3 秒のポーリング期間を持つスリープ状態の ZED として機能しているため、無線機が ZC からの潜在的な送信を受信しようとするときに小さなスパイクが発生します。これらのスパイクにより、平均消費電流は予測される電流消費値である $< 10\mu\text{A}$ になります。この値は、より長いポーリング期間を使用するとさらに下がることができます。無線を無効にした状態で CC2340R5 のスタンバイ電流は、1 μA 未満であることに注意します。

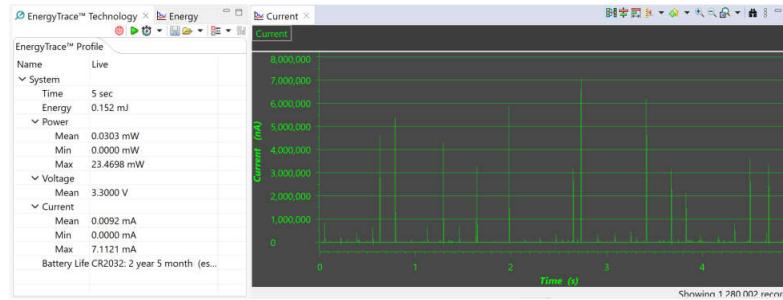


図 5-2. 無線スタンバイ中のウインドウ カバーの EnergyTrace キャプチャ

モーターの動作中は、デバイスはアクティブ モードに移行し、消費電流は数 mA になります。これにより、PWM 用の LGPT などのタイマを使用できます。この場合、12V BDC モーターを使用して、モーター動作中の引き込み量は 27 です。この値は、使用するモーターの種類と抵抗特性によって異なります。CC2340R5 は DRV8251EVM の IN1 入力と

IN2 入力を駆動する必要があるため、モーター動作時の消費電流もデューティサイクルに依存します。モーターの動作が完了すると、デバイスドライバは閉じられ、CC2340R5 は低電流のスタンバイモードに再移行し、さらなるモーター制御命令を待ちます。

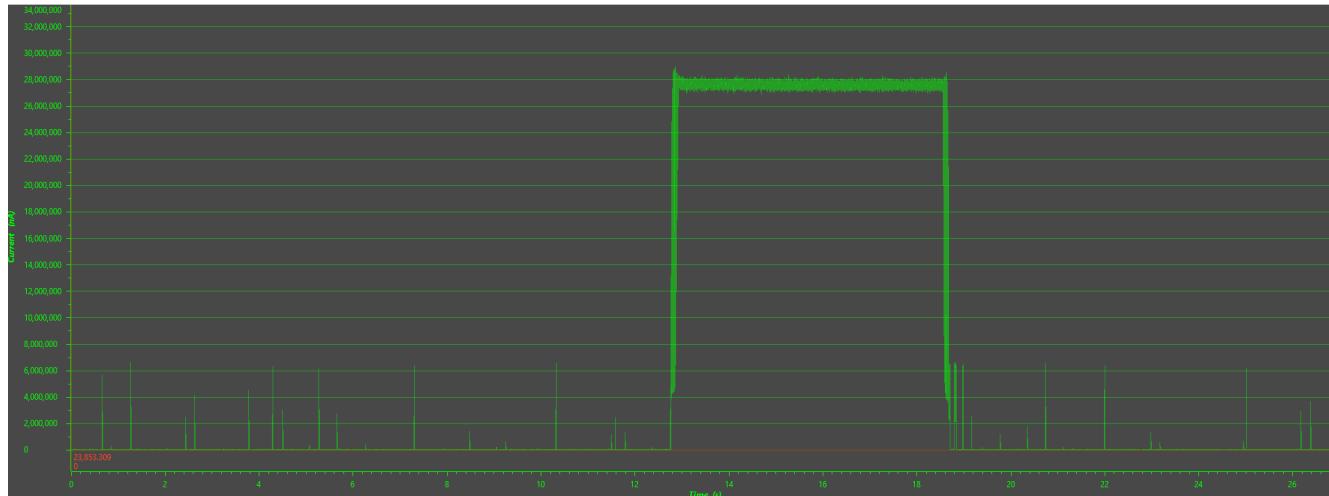


図 5-3. モーター動作をカバーするウィンドウの EnergyTrace キャプチャ

6 まとめ

このアプリケーション ノートでは、CC2340R5、DRV8251AEVM、TMAG5213 を使用した BDC モーター設計を完全に定義しました。必要なハードウェア接続とマイコンのプログラミング手順について説明しており、ユーザーがすぐにデモを実行できるようになっています。このデザインの安定性と堅牢性を確認するためのテスト結果も示されています。ソースコードは自由にアクセス可能であり、コード フローも詳細に説明されているため、開発者はプロジェクトの動作を理解し、自身のアプリケーション要件に合わせてプロジェクトをさらに改良することができます。この資料に関連する追加の質問やサポートが必要な場合は、E2E フォーラムへの投稿を推奨します。

7 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ『CC2340R SimpleLink™ 2.4GHz ワイヤレスマイコンファミリ』、データ シート。
2. テキサス インスツルメンツ、『Meet the CC2340R5 LaunchPad Development Kit』、クイック スタート ガイド。
3. テキサス インスツルメンツ、電流検出およびレギュレーション内蔵 DRV8251A 4.1-A ブラシ付き DC モータードライバ、データ シート。
4. テキサス インスツルメンツ、『DRV8251/AEVM ユーザー ガイド』、ユーザー ガイド
5. テキサス インスツルメンツ、『TMAG5213 コスト最適化設計に対応するホール効果ラッチ』、データ シート。
6. テキサス インスツルメンツ、『Zigbee クイック スタート ガイド』、クイック スタート ガイド。
7. テキサス インスツルメンツ、SimpleLink Academy ラボ、トレーニング。
8. GitHub、SimpleLink 低消費電力 F3 デモ、サンプル コード。

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默示保証、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、明示的または默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 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

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默示保証、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、明示的または默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、(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、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 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月