

## Design Guide: TIDA-010951

# 85VAC～265VAC、PF 0.92 のシングルステージ PFC を備えた、24V、35W センサレス FOC BLDC のリファレンス デザイン

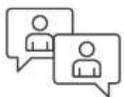


## 概要

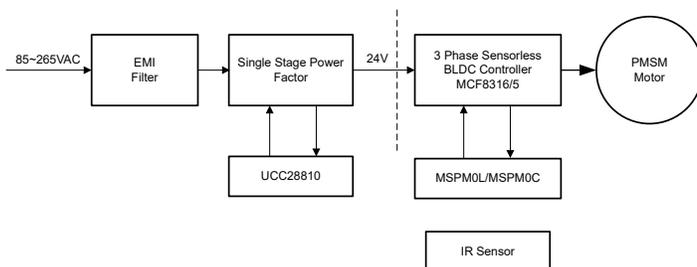
エネルギー効率を向上させるため、天井換気扇と換気ファンでは、従来のシンプルな AC 誘導モーター (VVVF) からブラシレス DC (BLDC) モーターへの移行が進んでいます。このリファレンス デザインは、幅広い電源入力 (85VAC～265VAC) と、オフライン電圧を変換するためのシングル ステージ力率補正 (PFC) 付き絶縁型フライバックを使用することで、高い効率と力率を達成するための要件を満たしており、24VDC で最大 0.92 の力率 (PF) を達成できます。このリファレンス デザインは、センサレス FOC (フィールド オリエンテッド コントロール) ブラシレス モーター制御向けに、完全に統合されかつ適切に保護されたシングルチップも統合しています。

## 参照情報

TIDA-010951	デザインフォルダ
MCF8315C	プロダクトフォルダ
MCF8316A	プロダクトフォルダ
MSPM0L1105	プロダクトフォルダ
MSPM0C1104	プロダクトフォルダ
UCC28810	プロダクトフォルダ



TI の TI E2E™ サポート・エキスパートにお問い合わせください。



## 特長

- BLDC モーターを駆動できる 24V、35W センサレス FOC。
- 高集積で保護機能を搭載したシングルチップのブラシレス FOC モーター コントローラは、外付け部品点数の減少と可聴ノイズの低減に貢献。
- 回転に伴う振動への対処、高速かつ確実な起動、低ノイズ動作を実現する FOC アルゴリズムを内蔵。
- 閉ループ速度制御により、予測モーター速度を高精度で維持。
- 完全に保護されたシステムが、短絡、過電流、回転子ブロック状態から保護。
- 高い入力力率 (> 0.92)、幅広い入力特性 (85VAC～265VAC)、最小限の効率変動を実現するシングルステージ PFC。
- コスト最適化済みのマイコン (MSPM0C または MSPM0L) が使用でき、高性能アナログ ペリフェラルを統合。
- モーターに内蔵可能な最適化済みの小型フォームファクタ

## アプリケーション

- 空気清浄機と加湿器
- 住宅用ファンとリビング ファン
- 食器洗い機
- 洗濯機 / 乾燥機
- 家電製品向けのポンプとファン



## 1 システムの説明

BLDC モーターの採用例は、幅広い速度変化が求められるアプリケーションで着実に増加しています。BLDC モーターは、誘導モーターに比べて高効率です。超低消費電力アプリケーションの場合、低電圧モーターを使用することには、幅広い電圧入力条件での動作、モーターと受動部品のコスト節減、コンパクトなプリント基板 (PCB) など、複数の利点があります。また、保護機能を備えた高集積の低電圧モーター ドライバ集積回路 (IC) を使うと、モーターをより簡単に制御でき、効率をさらに向上させることができます。ただし、低電圧モーターを使用するには、高効率かつ低コストの AC/DC 変換段が必要です。TIDA-10951 リファレンス デザインは、シンプルかつ効率的な方法で、このアプリケーションの要件に対応します。また、本 PCB は高効率で機能豊富なモーター コントローラ段も内蔵しているため、天井扇、排気ファン、換気扇、オープンファン、家庭用および産業用電化製品で使用される低消費電力 BLDC ドライブなどのアプリケーションにこのプラットフォームを使用できます。

図 1-1 に示すように、降圧力率補正 (PFC) 電力段は 85V~265V AC 入力を 24VDC 安定化出力に変換します。このリファレンス デザインでは、この出力段を制御するために UCC28810 PFC IC を利用しています。電力段によって生成された 24VDC は、3 相センサレス FOC BLDC モーター コントローラ MCF831x に電力を供給するために使われます。これにより、モーターは速度を制御します。MCF8315 および MCF8316 (MCF831x) コントローラは 3.3V 電源も生成します。これにより、マイクロコントローラ (MCU) に電力を供給します。MSPM0L および MSPM0C MCU がパルス幅変調 (PWM) 信号の形式で速度基準を MCF831x コントローラに送信することで、目標速度に比例するデューティサイクルが生成されます。この PWM 信号は、赤外線 (IR) センサから受信した信号に基づいており、今度は汎用 IR リモートコントロールによって利用されます。任意のリモートコントロール データ形式に合わせて、MCU のファームウェアをカスタマイズすることは容易です。

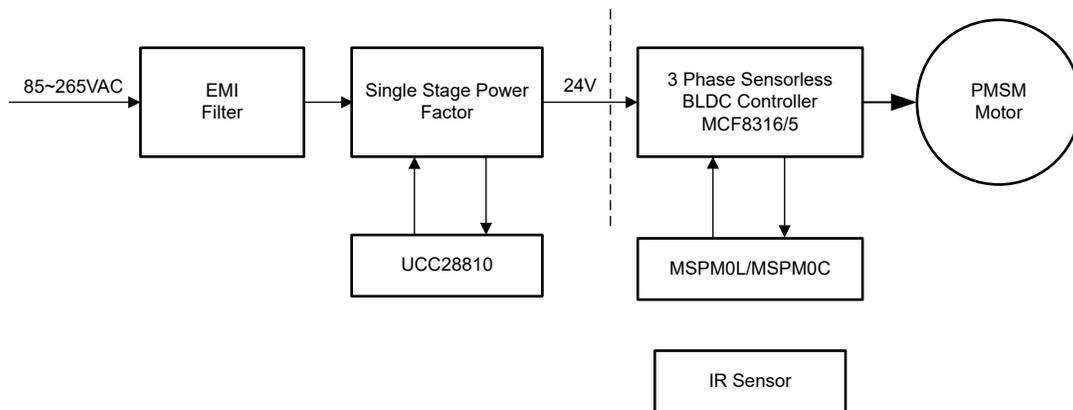


図 1-1. TIDA-010951 のブロック図

MCF831x は、センサレス FOC アルゴリズム、ゲートドライバ、FET を内蔵し、負荷条件が変化してもファン速度を維持できる、保護機能付き高集積シングルチップ FOC モーター コントローラです。MSPM0L と MSPM0C は、テキサス・インスツルメンツの高集積、低コスト Arm® Cortex®-M0+ MCU 製品ラインアップに属する汎用マイコンであり、このシステムが IR 信号を受信し、モーターの速度と方向を制御し、I2C 経由でモーターのステータスを取得することを可能にします。リファレンス デザイン全体は、高い効率と小さな PCB 外形を持ち、モーターに簡単に収容できるよう最適化されています。

## 1.1 主なシステム仕様

パラメータ	値	備考
単相 AC 入力電圧 (RMS)	85~265V、230V (標準値)	230V RMS、50Hz、単相 AC 入力システム用に設計
24V での最大出力電力	50W	
入力電流 THD (230V、35W フライバック出力電力時)	< 10%	
力率 (230V、35W フライバック出力電力時)	0.95	
入力電流 THD (140~265V、35W フライバック出力電力時)	< 12.5%	全負荷時の動作入力電圧範囲全体での THD
力率 (140~265V、35W フライバック出力電力時)	> 0.92	全負荷時の動作入力電圧範囲全体での力率
PCB 層構成	2 層	
PCB サイズ	85mm	
ホスト プロセッサとの非絶縁型 MCU (MSPM0L) インターフェイス	3.3V I/O	

### 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いません。

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 を超える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、TIDA-010951 リファレンス デザインのシステム ブロック図を示します。

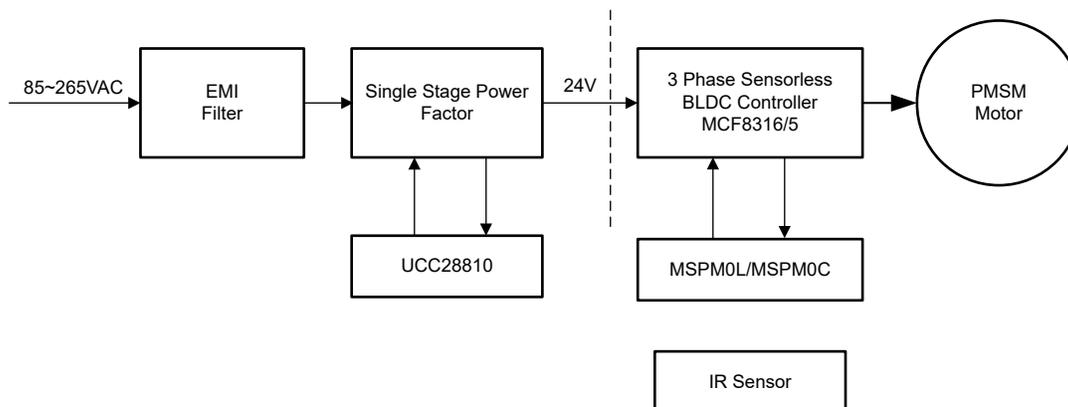


図 2-1. TIDA-010951 のブロック図

### 2.2 設計上の考慮事項

リファレンス デザインには以下のサブブロックが含まれています。

- 85~265VAC 入力と EMI フィルタ
- UCC28810 を使った高性能シングル ステージ PFC。モーター制御用に 24VDC を供給
- 高集積 MOSFET と、モーター制御に MCF831x を使ったアルゴリズム センサレス BLDC コントローラ
- MCF831x による IR センサの制御とサポートのためのコスト最適化された MCU MSPM0L および MSPM0C デバイス

### 2.3 主な使用製品

#### 2.3.1 UCC28810

UCC28810 は、力率補正と EMC 規格準拠が必要な低~中電カルーメン アプリケーション向けの汎用ライティング用パワー コントローラです。UCC28810 は、臨界導通モードで動作するフライバック、降圧、昇圧コンバータを制御するために設計されています。UCC28810 は、帰還誤差処理用トランスコンダクタンス電圧アンプ、入力電圧に比例した電流コマンドを生成するためのシンプルな電流リファレンス ジェネレータ、電流検出 (PWM) コンパレータ、PWM ロジック、外部 FET 駆動用トータムポールドライバを備えています。

臨界導通モード動作では、PWM 回路は自己発振し、そのターンオンはトランスのゼロ エネルギー検出器 (TZE ピン) によって制御され、ターンオフは電流検出コンパレータによって制御されます。また、このコントローラはピーク電流制限、再起動タイマ、過電圧保護 (OVP)、イネーブルなどの機能も備えています。

#### 2.3.2 MCF8315

MCF8315 は、住宅用ファン、家電用ポンプおよびファン、シート冷却ブロウ、プロジェクト用ファンなどのアプリケーション向けにコンパクトで効率的なオールインワン設計を提供するため、コード不要のセンサレス FOC と 40V、240mΩ (HS+LS) FET ベース 3 相インバータ電力段を統合した、テキサス・インスツルメンツの BLDC モータードライバの最新世代の一部です。

主な特長:

- 40V、240mΩ (HS+LS) FET と、EMI を低減するための設定可能なスルーレート制御機能を備えた内蔵ゲートドライバ
- BOM コストを低減するため、3 相電流検出機能を内蔵
- 低騒音かつ高効率の BLDC モーター動作のためのセンサレス FOC を内蔵



基準電圧付き 12 ビット 1.68MSPS ADC、1 つの汎用アンプ、1 つのオンチップ温度センサなどが含まれます。これらのデバイスは、4 つの 16 ビット汎用タイマ、1 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマ、各種通信ペリフェラル (2 つの UART (ユニバーサル非同期レシーバ/トランスミッタ)、1 つの SPI、1 つの I2C を含む) などのインテリジェントなデジタル ペリフェラルも備えています。これらの通信ペリフェラルは LIN、IrDA、DALI、マンチェスター、スマートカード、SMBus、PMBus プロトコルをサポートしています。

テキサス・インスツルメンツの MSPM0 低消費電力 MCU ファミリーは、各種のアナログおよびデジタル集積度のデバイスで構成されているため、お客様はプロジェクトのニーズを満たす MCU を見つけることができます。そのアーキテクチャと豊富な低消費電力モードは、携帯型測定アプリケーションで長いバッテリー駆動時間を実現するように最適化されています。

### 2.3.4 MSPM0C

MSPM0C110x MCU は、最大 24MHz の周波数で動作する拡張 Arm Cortex-M0+ コア プラットフォームに基づく MSP 高集積超低消費電力 32 ビット MCU ファミリーの一部です。コスト最適化されたこれらの MCU は高性能アナログ ペリフェラルを統合しており、-40°C~125°C の拡張温度範囲をサポートしており、1.62V~3.6V の電源電圧で動作します。

MSPM0C110x デバイスは最大 16KB の組込みフラッシュ プログラム メモリと 1KB の SRAM を内蔵しています。これらの MCU は -2% ~ +1.2% の精度の高速オンチップ発振器を内蔵しているため、外部水晶振動子は不要です。追加機能には、1 チャンネル DMA、CRC-16 アクセラレータ、各種の高性能アナログ ペリフェラル (電圧リファレンスとして VDD を含む 12 ビット 1.5MSPS ADC、1 つのオンチップ温度センサなど) が含まれます。これらのデバイスは、1 つの 16 ビット高度タイマ、2 つの 16 ビット汎用タイマ、1 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマ、各種通信ペリフェラル (1 つの UART、1 つの SPI、1 つの I2C など) などのインテリジェントなデジタル ペリフェラルも備えています。これらの通信ペリフェラルは LIN、IrDA、DALI、マンチェスター、スマートカード、SMBus、PMBus プロトコルをサポートしています。

テキサス・インスツルメンツの MSPM0 低消費電力 MCU ファミリーは、各種のアナログおよびデジタル集積度のデバイスで構成されているため、お客様はプロジェクトのニーズを満たす MCU を見つけることができます。そのアーキテクチャと豊富な低消費電力モードは、携帯型測定アプリケーションで長いバッテリー駆動時間を実現するように最適化されています。

## 3 システム設計理論

### 3.1 MCF8315 の設計

MCF8315 は、4.5~35V の 1 つの DC 入力 (VM) で動作する、40V、240mΩ、センサレス FOC ベース BLDC ドライバです。MCF8315 は、降圧コンバータ (3.3、4、5、5.7V、170mA) と LDO (3.3V、20mA) を含むパワー マネージメント回路を内蔵しています。本モーター ドライバは、速度入力 (SPEED)、モーター速度出力 (FG)、フォルト インジケータ (nFAULT)、方向制御 (DIR)、DAC 出力 (DACOUT1 および 2)、I2C 通信 (SCL、SDA) などの各種機能に対応する多数の GPIO も備えています。

#### 3.1.1 電力部

MCF831x の電力部は、適切に動作するために、以下の受動部品を必要とします (図 3-1 を参照)。

1. **VM:** PWM スイッチング周波数、ピーク位相電流などに応じて入力電圧リップルを低減するためのバルク コンデンサ ( $\geq 10\mu\text{F}$ 、 $2x \text{ VM}$ )。さらに、VM の高周波ノイズをフィルタ処理する手段として、 $100\text{nf}$ 、 $2x \text{ VM}$  コンデンサを必要に応じて追加することもできます。
2. **チャージ ポンプ:** MCF831x は、内蔵チャージ ポンプを使用してハイサイド FET のゲート駆動電圧を生成します。このチャージ ポンプには 2 つのコンデンサが必要です。1 つは、CPH ピンと CPL ピンの間に接続する ( $47\text{nF}$ 、 $2x \text{ VM}$ ) 定格のコンデンサであり、もう 1 つは、CP と VM の間に接続する ( $1\mu\text{F}$ 、 $\geq 16\text{V}$ ) 定格のコンデンサです。
3. **降圧:** 降圧コンバータは、インダクタ モード (比較的高い効率とコスト) または抵抗モード (比較的低い効率とコスト) で動作させることができます。TIDA-010951 では、降圧コンバータはインダクタ モードで動作するように設計されており、外部負荷に最大  $170\text{mA}$  を供給できます。インダクタの定格は  $47\mu\text{H}$ 、飽和電流  $1.5\text{A}$ 、コンデンサの定格は  $22\mu\text{F}$ 、 $10\text{V}$  です。抵抗モードの詳細については、MCF8315 のデータシートを参照してください。
4. **AVDD:** この  $3.3\text{V}$  LDO は、外部負荷に最大  $20\text{mA}$  を供給するため、定格  $1\mu\text{F}$ 、 $10\text{V}$  のデカップリング コンデンサを必要とします。定格  $3.3\text{V}$  レギュレーションの場合、AVDD に接続する容量は、全動作条件にわたって最小  $600\text{nF}$  です。
5. **DVDD:** この  $1.5\text{V}$  LDO は、定格  $1\mu\text{F}$ 、 $10\text{V}$  のデカップリング コンデンサを必要とします。定格  $1.5\text{V}$  レギュレーションの場合、DVDD に接続する容量は、全動作条件にわたって最小  $600\text{nF}$  です。

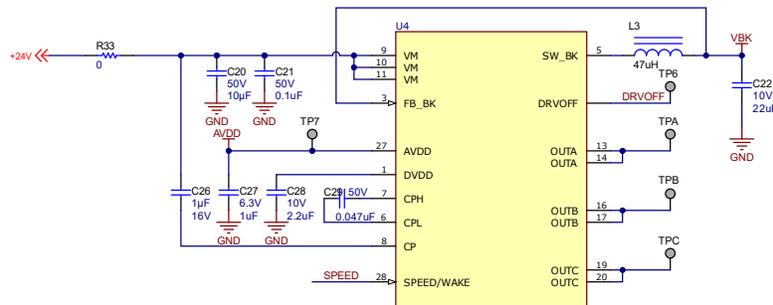


図 3-1. MCF831x の電力部

#### 3.1.2 GPIO 部

MCF8315 の GPIO は、図 3-2 に示すように接続されています。

1. **SPEED** ピンは、速度制御のために MSPM0L1306 に接続されています。代わりにこのピンを、アナログ速度制御モードを使った速度制御のための  $0\sim 3\text{V}$  入力に直接接続することもできます。
2. **SCL**、**SDA** ピンは、I2C 通信のために MSPM0L1306 に接続されています (AVDD へのプルアップ抵抗付き)。
3. **FG** ピンは MSPM0L1306 に接続されています (AVDD への外付けプルアップ抵抗付き)。FG はモーター速度を示します。EEPROM で内部プルアップ抵抗を有効化している場合、外部プルアップ抵抗を取り外すことができます。
4. **DIR** ピンは使用されていないため、(任意でプルダウン抵抗を介して) AGND に接続しています。この場合、EEPROM を使用して回転方向を設定できます。
5. **BRAKE** ピンは、ブレーキ動作のために MSPM0L1306 に接続されています。これはアクティブ High 信号であり、BRAKE ピンが High に設定されると、MCF8315 は、ユーザーが構成した速度スレッシュホールドまでモーターを減速した後、ローサイド ブレーキをかけてモーターを迅速に停止させます。

6. **DACOUT1**、**DACOUT2**、**DACOUT2/SOX** は、信号を監視するためのテストポイントに接続された出力ピンです。
7. **EXT\_WD** および **EXT\_CLK** ピンは使われていないため、フローティングのままにしています。**EXT\_WD** と **EXT\_CLK** は、未使用時は **AGND** に直接接続することもできます。
8. **nFAULT** ピンは **MSPM0L1306** に接続されています。これはアクティブ **Low** のオープンドレインのフォルトインジケータ出力であり、フォルトを表示するには、**EEPROM** によって **AVDD** への内部プルアップ抵抗を有効化する必要があります。
9. **DRVOFF** ピンは **MSPM0L1306** に接続されたアクティブ **High** の入力信号であり、モータへの電力を直ちに遮断するために使用できます。
10. **ALARM** ピンは使われていないため、フローティングのままにしています。
11. 放熱性を向上させるため、**NC** ピンは、サーマルパッドとその他のすべてのグランドピン (**DGND**、**GND\_BK**、**PGND**、**AGND**) と一緒に **AGND** に接続されています。

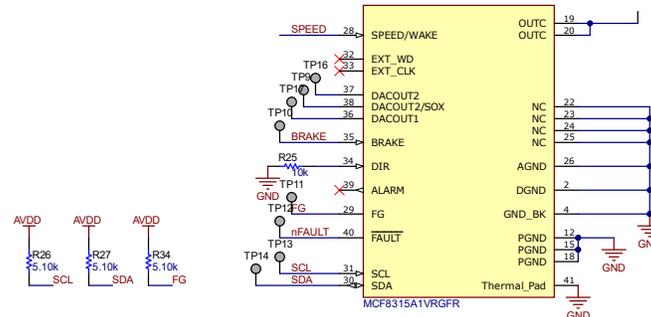


図 3-2. MCF831x の GPIO 部

### 3.2 AC/DC の設計: シングル ステージ PFC

このシングル ステージ力率補正付きコンバータは、AC 入力ラインの入力正弦波電流を DC 出力に整流する絶縁型フライバック AC/DC トポロジです。少ない部品点数で高い力率を達成し、高い信頼性を実現し、大型の 450VDC バルクコンデンサを使わずに低コストを実現するため、このシングル ステージフライバックトポロジは、絶縁型 LED ドライバ設計として、また PFC とフライバック AC/DC を必要とする一部のアプリケーションとして広く使用されています。

その回路の基本的な動作原理は次のとおりです。

入力側から、過電流保護のために 3.15A のヒューズ、過電圧保護のために MOV、起動時の突入電流を抑制するために NTC を配置します。L1、L2、C3、C1 は入力 EMI フィルタであり、D1 はブリッジ整流器です。D2、D3、R1、R2、R3 は入力電圧検出回路を形成し、R4、R5、C10、D13 は高電圧起動回路を形成し、生成された VDD 電圧は R13 と R14 で分圧され、VSENSE に入力されます。Q1 は 1 次側パワー スイッチであり、R16、D14、R17 はスイッチング速度の制御に役立ちます。ソースに直列に接続された R23 は 1 次側電流検出抵抗であり、T1 バイアス巻線はトランスゼロエネルギー (TZE) 検出信号 (R21、R20、C12 を介して U1 の TZE ピンに伝達されます) も生成します。R11、D10、D9 はトランスの 1 次側巻線に並列に接続され、Q2 のドレインのクランプ回路を形成します。

D6、C5、C6、C7 は 2 次側整流器フィルタ回路を形成します。U3 で形成された TL431 回路は、フォトカプラ経由で信号を EAOUT にフィードバックします。この設計では、帰還電圧を 24.18V に設定します。U1 は、VIN ピンを使って AC 入力電圧を検出します。これにより、ピークスイッチ電流を入力電圧の変化に追従させ、システムの力率を向上させることができます。リーディング エッジブランキング回路として C16、R18、D11、R20、Q3、R22、Q2 を使用します。詳細については、[LED ライティング用パワー コントローラ](#)のデータシートの「TZE ピンのリーディング エッジブランキング回路」のセクションを参照してください。

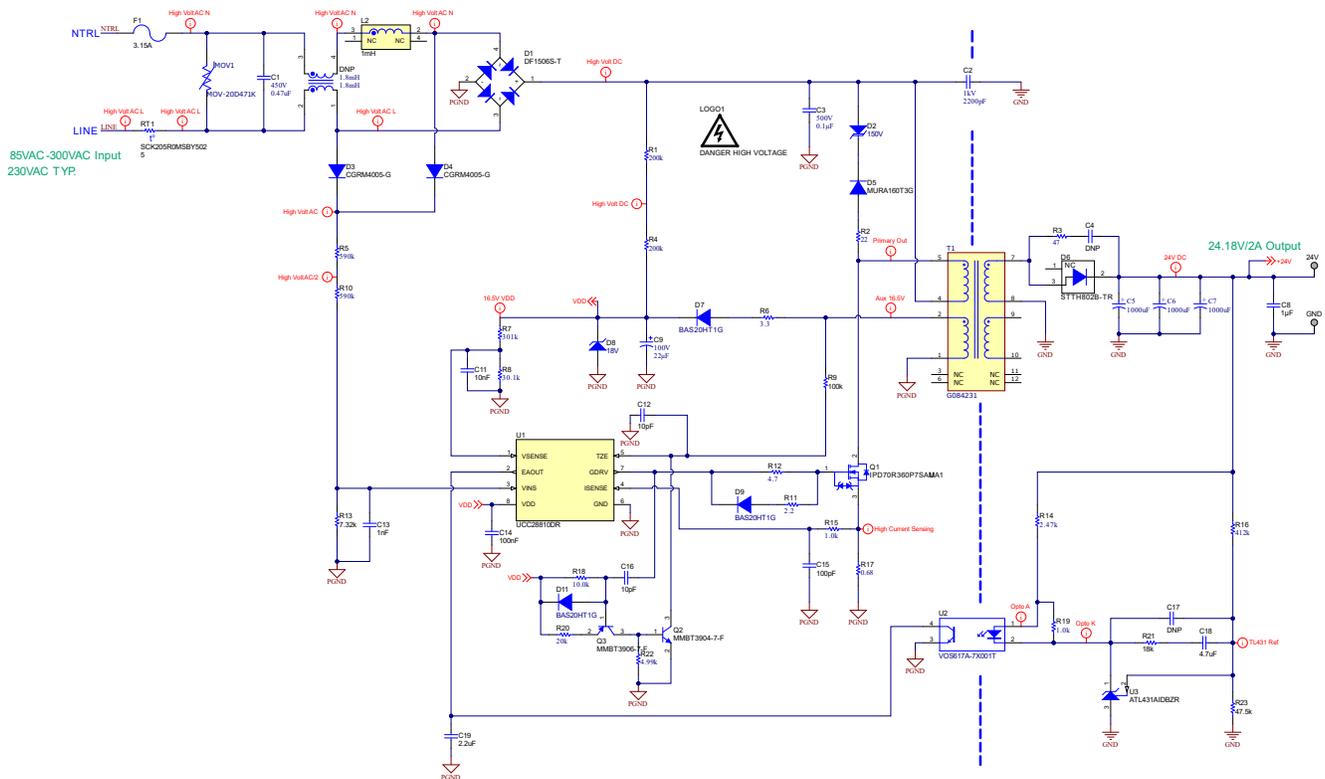


図 3-3. シングル ステージ PFC 設計

### 3.3 ホスト MCU の設計

この TIDA-010951 リファレンス デザインでは 20 ピンの MSPM0L1306 を使っています。お客様は、必要に応じて MSPM0C110x と MSPM0L110x を使用できます。MSPM0L130x は MSPM0L110x (VSSOP) および MSPM0C110x (VSSOP) とピン互換です。MSPM0L1306 は、64KB フラッシュと 4KB RAM を備えた 32MHz デバイスです。このリファレンス デザインでは、MCF831x デバイスと通信するために I2C (PA0 と PA11) を使っており、I2C 経由で MCF831x デバイスを構成または制御できます。BRAKE、FG、SPEED、DRVOFF は、それぞれブレーキ、速度フィードバック、速度入力、ドライブ オフピンであり、MCU GPIO 経由で取得または制御できます。IR レシーバの OUT ピンは、IR 信号の入力ピンとして PA11 に接続されています。このリファレンス デザインでは、最初の電源オン時に BSL モードに入らないように、PA18 をプルダウンしています。同時に、このリファレンス デザインは UART 通信の TX、RX (PA22、PA23) も予備として備えています。

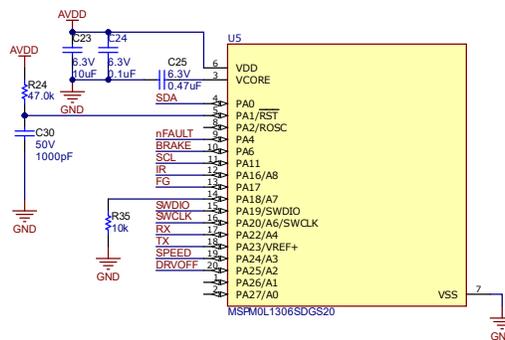


図 3-4. ホスト MCU の設計

## 4 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

### 4.1 ハードウェア要件

#### 4.1.1 ハードウェアの概要

このセクションでは、ハードウェアの詳細について解説し、ボード上のさまざまなセクションと、この設計ガイドで説明しているように、実験用にそれらを設定する方法について説明します。

#### 4.1.2 TIDA-010951 PCB

TIDA-010951 は、電源入力を 1 つ (最大 50W を供給できる単相、85VAC~265VAC RMS 電源) しか必要としません。AC 電源の入力端子は PCB の上面に配置されています (図 4-1 の右上。強調するために四角形で囲まれています)。ダイオード整流器、フライバックトランス、24V レールバス コンデンサも PCB の上面に配置されています。BLDC モータードライバ MCF8315C は、24V レールから電力を供給され、MCU (MSPM0L1306) から I2C 経由で受信した速度コマンドに基づいて BLDC モーターを駆動します (図 4-1 を参照)。速度コマンドを受信するための IR レシーバも PCB の上面に配置されています。また、MSPM0L1306 との通信用の 2 つのコネクタ (SWD と UART) も、図 4-1 に示すように、PCB 上面に配置されています。

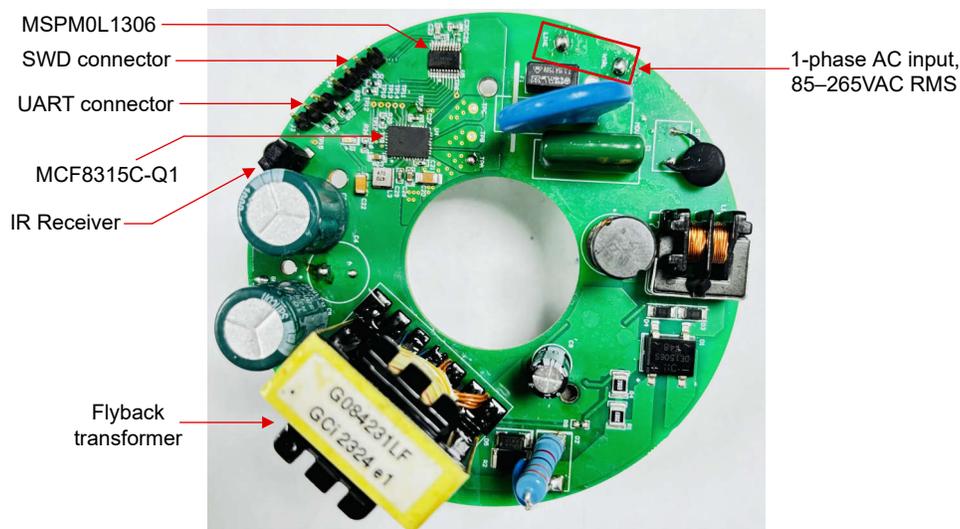


図 4-1. TIDA-010951 PCB の上面図

PCB の底面には、コントローラ、UCC28810、1 次側 MOSFET、2 次側ダイオードなどのフライバック コンバータ部品が配置されています。また、図 4-2 に示すように、BLDC モーター用の 3 相出力も PCB の底面に配置されています。

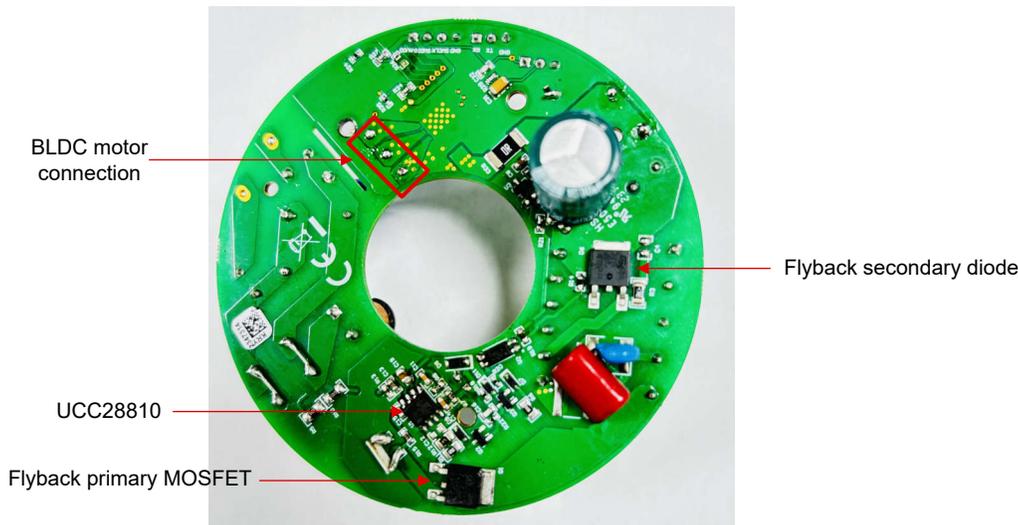


図 4-2. TIDA-010951 PCB の底面図

## 4.2 ソフトウェア要件

ソフトウェア ファイルについては、テキサス・インスツルメンツの営業担当者にお問い合わせください。

## 4.3 試験の要件

表 4-1 に、主な試験装置を示します。特定のテストのためのセットアップの説明と画像は、対応するテスト結果のセクションに示します。

表 4-1. TIDA-010951 の試験装置

説明	部品番号
リファレンス デザイン	TIDA-010951
扇風機	24V、3 相 BLDC モーター、350rpm
単相 AC 電源	GW Instek® APS-7100
オシロスコープ	Rohde & Schwarz® MXO44
高電圧絶縁型プローブ	Agilent® N2790A
低電圧非絶縁型プローブ	Tektronix® TPP0101
電力アナライザ	Tektronix® PA4000
電流プローブ	Keysight N2783B
温度カメラ	Fluke® Ti480

## 4.4 テスト構成

- TIDA-010951 の PCB、回路図、各層のプロットについてよく理解します。TIDA-010951 の PCB と関連インターフェイスは、高電圧にさらされる可能性があることに注意します。
- TIDA-010951 の PCB は、適切なラボ内でのみテストおよび検証します。測定などの目的で、TIDA-010951 の PCB に手で触り、何らかの電源または信号を接続する前に、PCB に通電されておらず、どの電源にも接続されていないことを確認します。
- 入力電源を緊急時に素早くターンオフするための緊急停止ボタンの付いた保護ボックスに TIDA-010951 を入れます。
- 回転するファン ブレードから保護するための適切なガードを取り付けたファンを使用します。
- 単相 AC 電源入力を TIDA-010951 に接続するため、適切な定格のコネクタを使用します。
- ファン速度の制御は次の 2 つの方法で行うことができます。それは、(1) アナログ速度制御モードと、MCF8315C の SPEED ピンへの 0V~3V 入力を使う方法と、(2) I2C 速度制御モードを使い、MSPM0L1306 経由で速度コマンドを送信する方法です。

- IR リモートによる速度制御は、IR レシーバの使用と、MSPM0L1306 への適切な IR プロトコルの実装によっても実現できます。

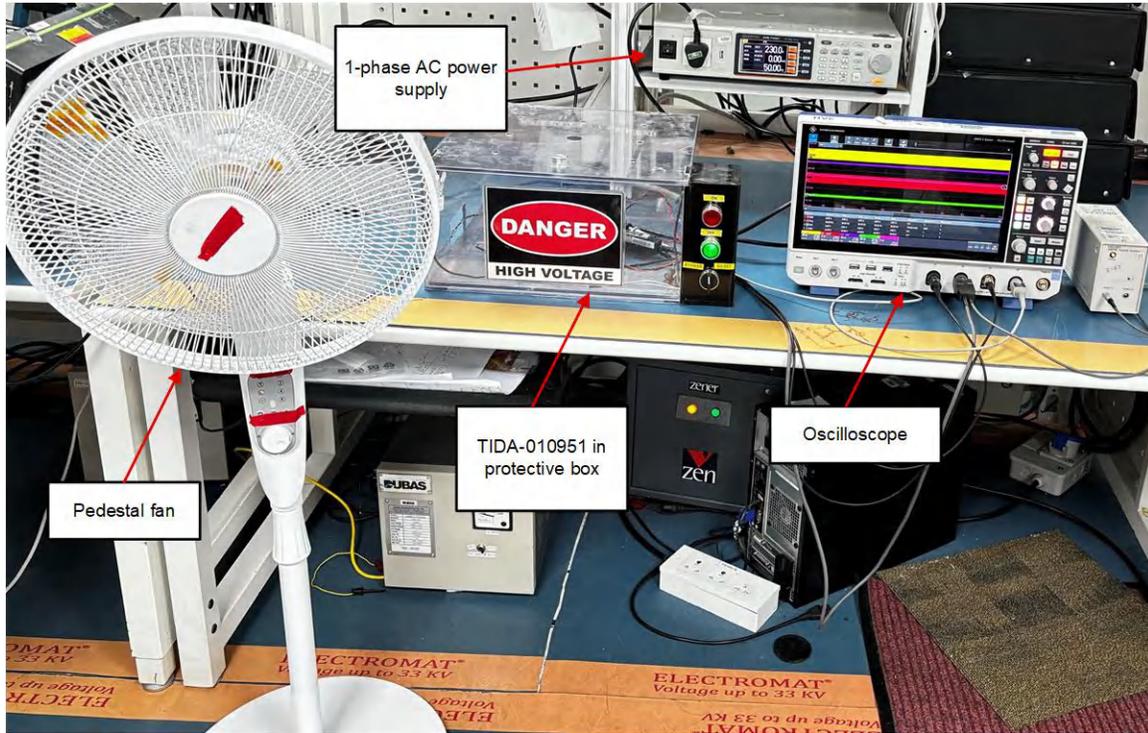


図 4-3. テスト構成

## 4.5 テスト結果

### 4.5.1 TIDA-010951 のパワー マネージメント

単相の 230VAC RMS 入力を本リファレンス デザインの PCB に接続します。TIDA-010951 上の UCC28810 ベースのフライバック コンバータは、整流された AC を使って、BLDC モータードライバ MCF8315C-Q1 に電力を供給するための絶縁型 24V レールを生成します。MCF8315C-Q1 は内蔵降圧コンバータから 5V (VBK) を生成し、内蔵 LDO から 3.3V (AVDD) を生成します。AVDD は、赤外線 (IR) 経由で速度コマンドを受信し、I2C 経由で MCF8315C-Q1 にコマンドを送信するために使われる MSPM0L1306 に電力を供給します。MSPM0L1306 は、I2C 通信を使って BLDC ファン動作のステータスを監視するためにも使用できます。VBK は、IR レシーバ TSOP32238 に電力を供給するために使います。

### 4.5.2 UCC28810 を使ったシングル ステージ PFC

TIDA-010951 では、最大 2A を供給できる絶縁型 24V レールを生成する、UCC288210 を使った 2 次側安定化シングル ステージ PFC を実現しています。このフライバック コンバータは 140VAC~265VAC RMS で動作し、35W 負荷 (24V から供給) で 0.92 を超える入力力率 (PF) と 12.5% 未満の入力電流 THD を維持しながら、厳格に安定化された 24V を供給できます。表 4-2 に、シングル ステージ PFC のライン、負荷レギュレーション、効率、入力 PF、THD を示します。

表 4-2. シングル ステージ PFC の 140VAC~265VAC でのテスト結果

V <sub>IN</sub> (AC RMS)	P <sub>IN</sub> (W)	P <sub>OUT</sub> (W)	V <sub>OUT</sub> (V)	効率 (%)	入力 PF	入力電流 THD (%)
140	8.49	6	24.15	70.68	0.867	26.5
	14.38	11	24.16	76.5	0.964	10.51
	21.19	17	24.15	80.23	0.978	9.65
	30.35	25	24.16	82.38	0.985	10.1
	42	35	24.15	83.34	0.988	11.5

**表 4-2. シングル ステージ PFC の 140VAC~265VAC でのテスト結果 (続き)**

V <sub>IN</sub> (AC RMS)	P <sub>IN</sub> (W)	P <sub>OUT</sub> (W)	V <sub>OUT</sub> (V)	効率 (%)	入力 PF	入力電流 THD (%)
230	8.49	6	24.15	70.68	0.51	45.43
	14.34	11	24.15	76.71	0.682	36
	21.25	17	24.15	80	0.826	22.5
	30.48	25	24.16	82.03	0.93	10.4
	42	35	24.15	83.34	0.95	9.6
265	8.6	6	24.15	69.77	0.426	45.1
	14.45	11	24.15	76.13	0.579	40.4
	21.32	17	24.15	79.74	0.709	32.67
	30.47	25	24.15	82.05	0.828	20.9
	42.04	35	24.16	83.26	0.92	12.2

85VAC~140VAC で TIDA-010951 を使用する場合、良好な PF と iTHD を達成するため、PCB を多少変更します。

以下の変更点と表 4-2 のテスト結果を参照してください。

- R14 = 6.8kΩ、R19 = DNP、R17 = 0.22Ω、R18 = 2.2kΩ、C16 = 47pF、R20 = 18kΩ

**表 4-3. シングル ステージ PFC の 85VAC~140VAC でのテスト結果**

V <sub>IN</sub> (AC RMS)	P <sub>IN</sub> (W)	P <sub>OUT</sub> (W)	V <sub>OUT</sub> (V)	効率 (%)	入力 PF	入力電流 THD (%)
85	8.49	6	24.11	78.9	0.968	8.5
	14.38	11	24.11	83.9	0.977	9.4
	21.19	17	24.11	84.8	0.961	9.4
	30.35	25	24.11	85.5	0.949	11.9
	42	35	24.11	85.2	0.948	12.0
110	8.49	6	24.11	78.9	0.94	14.9
	14.34	11	24.11	84.0	0.964	9.3
	21.25	17	24.11	88.6	0.965	9.6
	30.48	25	24.11	87.1	0.955	10.8
	42	35	24.11	87.0	0.951	11.6
140	8.6	6	24.11	77.9	0.86	21.1
	14.45	11	24.1	83.0	0.941	10.6
	21.32	17	24.11	84.8	0.952	9.6
	30.47	25	24.11	87.0	0.961	10.0
	42.04	35	24.11	87.3	0.956	10.5

図 4-4 に、230V<sub>RMS</sub> で 35W (24V レールから供給) を供給しているときの入力相電流を示します。入力力率は 0.95、入力電流 THD は 9.6% です。

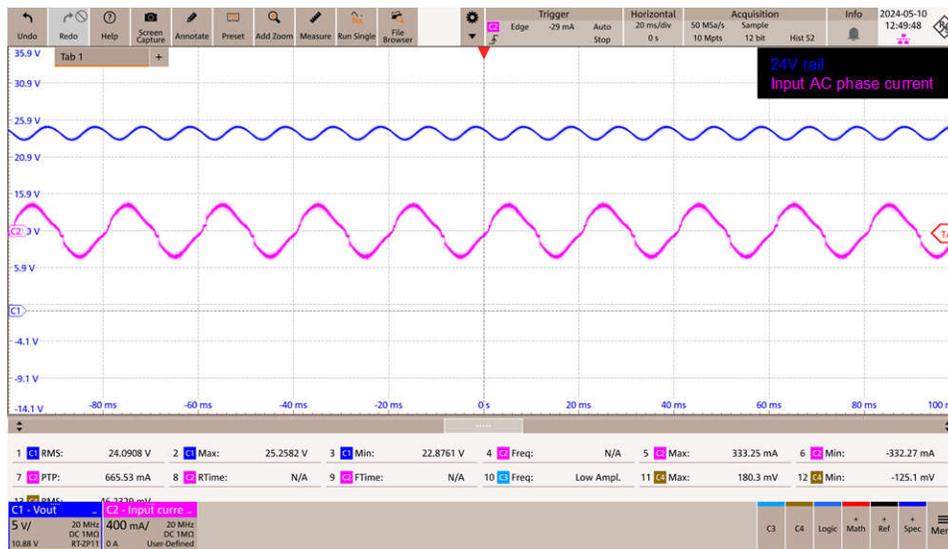


図 4-4. 230V<sub>RMS</sub>、35W 負荷 (24V レールから供給) での入力相電流

### 4.5.3 MCF8315C を使った住宅用 BLDC ファンの動作

#### 4.5.3.1 パワーアップ シーケンス

図 4-5 に、パワーアップ シーケンスと、単相電源をターンオンした後、ファンが最大速度に達するまでに要する時間を示します。このテストでは、電源オン時にデフォルトで 100% 速度コマンドを設定するため、SPEED ピンを AVDD に接続しました。

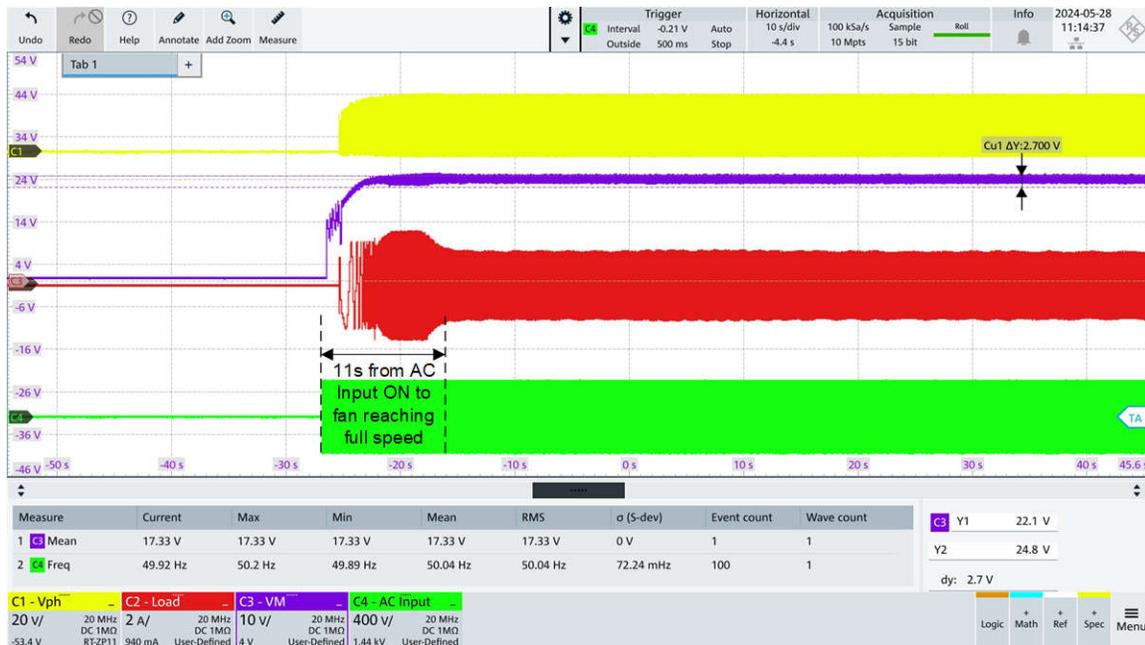


図 4-5. パワーアップ シーケンス

#### 4.5.3.2 フォワード ウィンドミリング (ISD 順方向再同期)

図 4-6 に、高 (約 90%) および低 (約 10%) ファン速度時の MCF8315C-Q1 のフォワード ウィンドミリング (ISD 順方向再同期) 機能を示します。これは、惰行減速するファンにモーター ドライバが再同期し、かつ速度設定コマンドの速度までできるだけ短時間で駆動する必要がある住宅用ファンにとって重要な使用例です。



図 4-6. フォワード ウィンドミリング (高速 ISD 順方向再同期)



図 4-7. フォワード ウィンドミリング (低速 ISD 順方向再同期)

#### 4.5.3.3 リバース ウィンドミリング (ISD 逆方向再同期)

図 4-8 に、MCF8315C-Q1 のリバース ウィンドミリング (ISD 逆方向再同期) 機能を示します。このテスト ケースでは、速度コマンドが受信されたとき、(横風によって) ファンが逆方向に惰力で回っています。MCF8315C-Q1 は逆方向に再同期し、滑らかかつ制御された方法でファンを速度ゼロまで減速させてから、順方向に設定速度まで加速します。



図 4-8. リバース ウィンドミリング (ISD 逆方向再同期)

#### 4.5.3.4 方向反転

MCF8315C は、ブレーキをかけることも、モーターの慣性モーメントを利用して惰行減速させることもしないで、ファンの回転方向を反転させることができます。これは、ファンの方向を滑らかに変更するのに便利な機能です (図 4-9 を参照)。(AVS 機能を利用して) 24V レール上の電圧スパイクを防止するため、ファンは制御されたスルーレートで減速します。そして、速度がゼロに達すると、順方向の設定速度まで加速します。



図 4-9. 方向反転

### 4.5.3.5 ファンの加速と減速

図 4-10 と図 4-11 に、ファン速度を 30 → 100% および 100 → 30% に変更したときの MCF8315C-Q1 の加速および減速特性を示します。加速度は EEPROM で設定されている一方、減速度は AVS (24V レール上の電圧スパイクを防止するため) によって決定された値と EEPROM 設定値の 2 つのうち小さい方です。加速および減速中の過電流状態を防止するため、EEPROM 設定値によって最大電流制限値が設定されています。



図 4-10. 加速

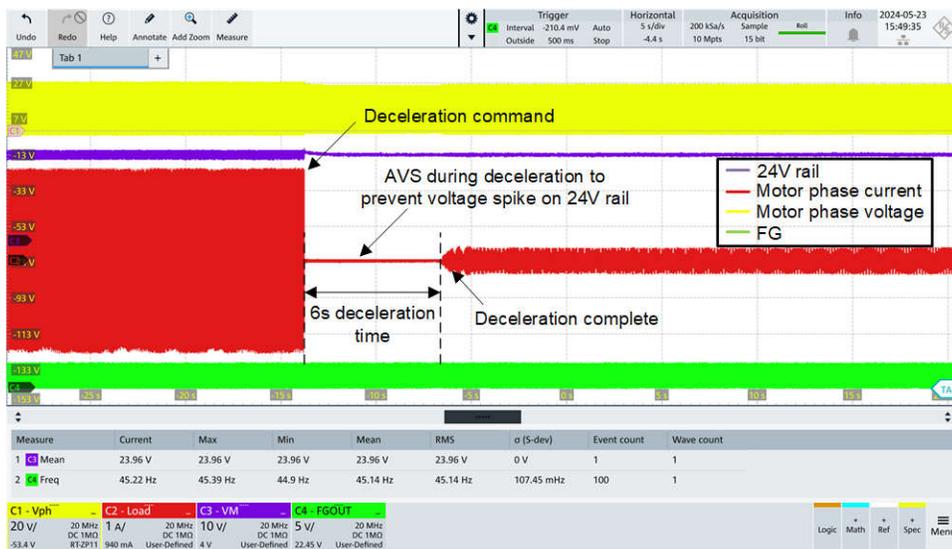


図 4-11. 減速

#### 4.5.4 熱性能

図 4-12 と図 4-13 に、TIDA-010951 上の主に電力を消費する部品の最大ケース温度を示します。テスト条件は  $-25^{\circ}\text{C}$  の周囲温度、受動的な冷却、230VAC RMS の入力、1A のモーター相電流です。これらの試験条件で 30 分間連続運転した後、熱画像を取得しました。

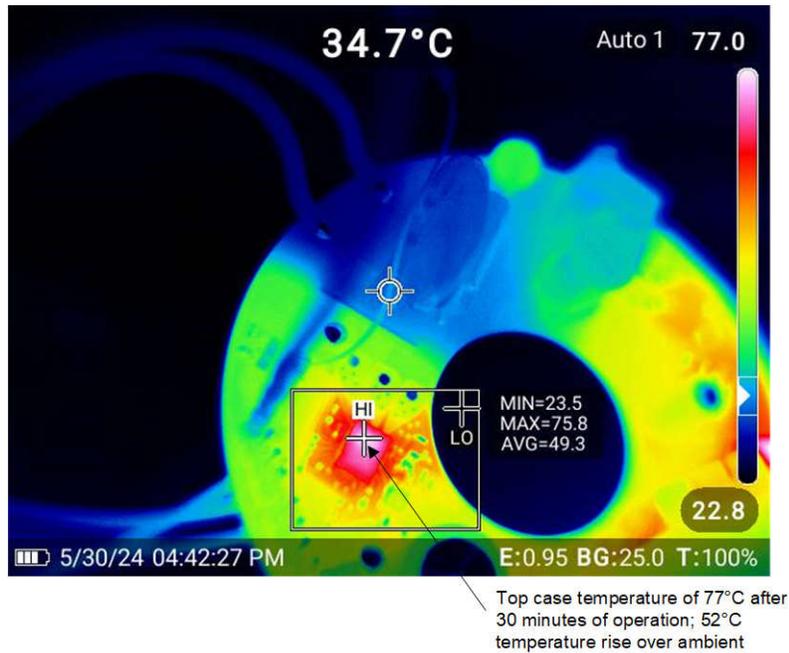


図 4-12. MCF8315C の放熱特性

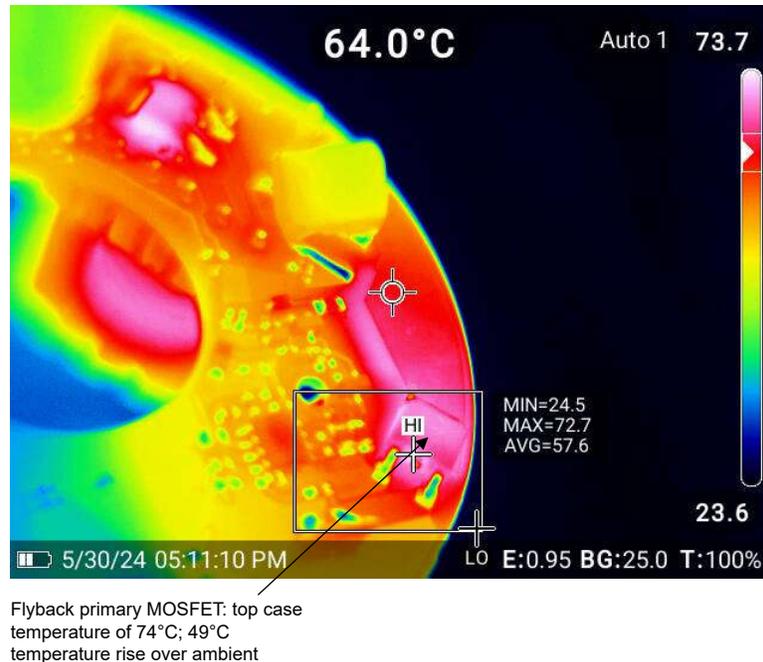


図 4-13. 電源の放熱特性

## 5 設計とドキュメントのサポート

### 5.1 デザイン ファイル

#### 5.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010951](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 5.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010951](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 5.2 ツールとソフトウェア

#### ツール

**MOTORSTUDIO** Motor Studio は、TI のブラシレス DC (BLDC) モーター ドライバのチューニング プロセスを簡素化し、デバイスの評価と製品開発期間の短縮に貢献する、使いやすいグラフィカル ユーザー インターフェイス (GUI) です。GUI を使用すると、モーターを短時間で動作させ、モーター動作のさまざまな段階を最適化して、最高クラスのモーター性能、安定したモーター起動、最小のノイズを実現できます。

**CCSTUDIO** Code Composer Studio は、テキサス・インスツルメンツのマイクロコントローラおよびプロセッサ向けの統合開発環境 (IDE) です。IDE は、組み込みアプリケーションの開発およびデバッグに必要な一連のツールで構成されています。Code Composer Studio は、Microsoft® Windows®, Linux®, macOS® のデスクトップからダウンロードできます。また、TI デベロッパー ゾーンにアクセスし、クラウド環境で実行することもできます。

### 5.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[MCF8315C、最大 40V、4A ピーク、センサレス FOC \(フィールド オリエンテッド コントロール\) 3 相 BLDC モーター ドライバ](#)』データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[UCC28810 LED ライティング用パワー コントローラ](#)』データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、『[MSPM0C110x、16KB フラッシュ、1KB SRAM、12 ビット ADC を備えた 24MHz Arm® Cortex®-M0+ MCU](#)』データシート
4. テキサス・インスツルメンツ、『[MSPM0L110x ミックスド シグナル マイクロコントローラ](#)』データシート

### 5.4 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。

### 5.5 商標

TI E2E™ and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

GW Instek® is a registered trademark of Good Will Instrument Co.

Rohde & Schwarz® is a registered trademark of reg.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies Inc.

Tektronix® is a registered trademark of Tektronix, Inc.

Fluke® is a registered trademark of Fluke Corporation.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

Linux® is a registered trademark of Linux Foundation.

macOS® is a registered trademark of Apple Inc..

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 6 著者について

**JENSON FANG** はテキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアで、モーター制御や BMS 設計、その他の機器関連システムに関する家電製品のシステム開発責任者です。

**JOYCE GAO** は、中国のフィールド アプリケーション エンジニアであり、このハードウェア設計をサポートしました。

## 7 謝辞

TIDA-010951 リファレンス デザインの ACDC 設計に貢献した **Roberto Scibilia** に感謝します。設計テストまたは設計ガイドの準備を支援した **Robert Wedan**、**Sivabalan Mohan**、**Jinesh Todawat** に感謝します。また、このリファレンス デザインを予備定義した **Shashank Meti** にも感謝します。

## 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 © 2024, 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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated