

Design Guide: TIDA-010244

シャントに基づく 3 相エネルギー計測のリファレンス デザイン



概要

このリファレンス デザインは、絶縁型の高性能マルチチャンネル A/D コンバータ (ADC) を使用して Class 0.2S の 3 相エネルギー測定機能を実装します。この ADC は、シャント電流センサを 4kHz でサンプリングし、AC 商用電源の各レッグの電流と電圧を測定します。このリファレンス デザインは、広い入力電流範囲 (0.05A ~ 100A) にわたって高い精度を維持し、個別の高調波分析のような電力品質機能に必要な、より高いサンプリング周波数に対応しています。TI の Arm® Cortex®-M0+ ホスト マイコンを計測パラメータに使用すると、16kSPS のより速い ADC サンプルレートを実現できます。

リソース

TIDA-010244

MSPM0-SDK

MSPM0G3507、AMC131M03

LMK1C1104、ISOUSB111

TMAG5273、MSP423E401Y

RES60A、CDC6C、CC2340R5

デザインフォルダ

ツールフォルダ

プロダクトフォルダ

プロダクトフォルダ

プロダクトフォルダ

プロダクトフォルダ



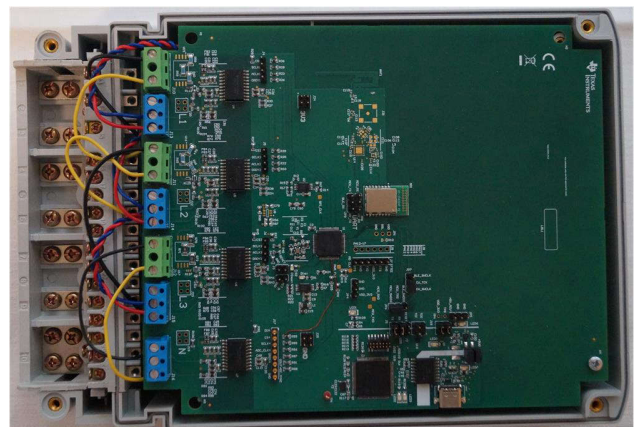
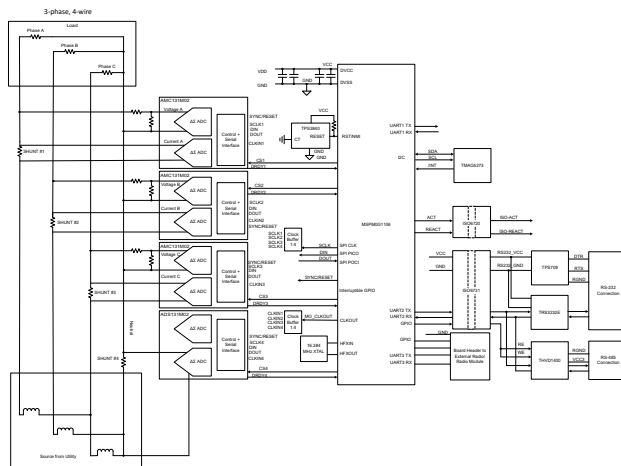
テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- 1000:1 の入力範囲にわたって Class 0.2S の有効エネルギー精度要件を満たす、電気メータ向けの 3 相計測
- シャント付きの 3 相 4 線式 (3P4W) または 3 相 3 線式 (3P3W) システムをサポート
- 有効および無効のエネルギーと電力、RMS (実効値) 電流および電圧、力率、ライン周波数の計算
- オンボード XDS110 デバッグ プローブを搭載した絶縁型 USB Type-C® は、5kV_{RMS} の絶縁能力を達成しているほか、100mA ~ 100A の入力範囲と 100V ~ 270V の範囲にわたってテスト済みです
- リニア 3D ホール効果センサを使用して、磁気による改ざんを検出可能
- Microsoft® Windows® PC の GUI に結果を表示する、リファレンス テスト システムに対するパルス出力を備えたエネルギー測定ソフトウェア

アプリケーション

- 電気メータ
- 電力品質メータ
- 電力品質分析器
- AC 充電 (パイル) ステーション



1 システムの説明

TIDA-010244 は、4 チャンネル スタンドアロン絶縁型 AMC131M03 ADC とコスト効果の高い MSPM0G3507 マイコン (MCU) を使用した、Class 0.2S の高精度 3 相シャント電気メータのリファレンス デザインです。このリファレンス デザインは、EV のチャージャや AC ウォールボックスなどの一般的な製品の電力量測定にも使用できます。3 つの絶縁型 ADC はそれぞれ (位相ごとに 1 つ) それぞれの A、B、C 相の商用電源電圧と電流を検出します。一方、非絶縁型 ADC はシャント上の中間ラインの電流監視に使用されます。

TIDA-010244 ファームウェアは、3 相のエネルギーと中性線測定を行う場合の、各種計測パラメータの計算を特にサポートしています。これらのパラメータは、キャリブレーション GUI、またはリファレンス [テスト システム](#) に接続された ACT および REACT パルス出力から確認できます。

- パルス生成出力による、全位相と位相ごとの有効エネルギー (kWh)、無効エネルギー (kvarh)、皮相エネルギー (kVAh)
- 全位相と位相ごとの有効電力 (kW)、無効電力 (kvar)、皮相電力 (kVA)
- 相ごとの電圧と電流の RMS (2 乗平均平方根、実効値)
- 力率
- ライン周波数

1.1 主なシステム仕様

特長	説明
相数	3 (各相電流はシャント経由で測定)、分圧抵抗経由の電圧
精度クラス	クラス 0.2S
ダイナミックレンジ	1:10000 (1:2000 すなわち 50mA ~ 100A で精度テストを実施しました)
電流センサ	シャント
テストした電流範囲	0.05~100A
テストした電圧範囲	100V~270V
AMC131M03 の CLKIN 周波数	8,192,000Hz
AMC131M03 のデルタシグマ変調クロック周波数	4,096,000Hz (= CLKIN / 2)
SPI クロック	19,968,000Hz
オーバーサンプリング レート (OSR)	1024
デジタル フィルタ出力のサンプル レート	4,000 サンプル / 秒
位相補償の実装	ソフトウェア
位相補償分解能	50Hz で 0.0176°、60Hz で 0.0210°
選択した CPU クロック周波数	79.87MHz
システムの公称周波数	50 Hz または 60 Hz
測定されたパラメータ	<ul style="list-style-type: none"> • アクティブ、リアクティブ、皮相電力とエネルギー • 二乗平均平方値の電流と電圧 (RMS) • 力率 • ラインの周波数
測定パラメータの更新レート	約 1 秒に相当
通信オプション	5kV _{RMS} の絶縁型 USB Type-C® または Bluetooth® Low Energy 接続を経由する PC GUI
利用している LED	2 つの LED: 有効エネルギーおよび無効エネルギー
基板の電源	5V (LDO から 3.3V への変換、または DVCC レールおよび GND への直接 3V3)

1.2 最終製品

電気メーターおよび電力品質メーターは、IEC (国際電気標準会議)、欧州標準 (EN)、ANSI (米国規格協会) の各規格に準拠した高精度エネルギー測定向けの 2 つの一般的なシステム設計であり、合計および相ごとの有効エネルギー (kWh)、無効エネルギー (kvarh)、皮相エネルギー (kVAh) などの最も重要な計測パラメータを計算する機能を共通して備えています。さらに、多相エネルギー測定システムで、次のような複数の電力品質パラメータも計算できます。

- 相ごとの電圧 THD (全高調波歪)
- 相ごとの電流 THD
- 相電圧間の位相差
- 相ごとのゼロクロス

1.3 電気メーター

電力会社とその顧客は、電気メーターに対してより多くの機能を求めています。電気メーターに期待される精度の要件と処理量が急速に増加するにつれ、単一の計測用システム オン チップ (SoC) でこの問題を解決するのはますます困難になっていきます。

一般的な答えは、ホスト マイコン (MCU) を内蔵したスタンドアロン ADC を使用して、電気メータ SoC の処理能力と精度の制限を同時に克服することです。このデュアルチップ・アプローチを使用することで、システム設計者は ADC および MCU 用に最適なデバイスを組み合わせて選択し、コストと性能を重視してシステムを最適化できます。AMC131M03 のように、電源とデータの絶縁を備えた高精度で最新のスタンドアロン ADC を使用すると、以下に示す利点があります。

- 最も厳しい精度の要件を満たすことができる
- 特定用途向け製品や計測用 SoC では実現できない場合がある最小サンプル レート要件を (精度を犠牲にすることなく) 満たせる
- デバイスはアプリケーション要件のみを満たす必要があるため、ホスト MCU を柔軟に選択できるようにします。要件は以下のとおりです：
 - MIPS の処理能力
 - RAM およびフラッシュの最小面積
 - 通信モジュールの数 (例えば、シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI)、ユニバーサル 差分レシーバトランスミッター (UART)、I2C など)、DMA と CRC モジュール、および他の一部のメーター データの整合性とセキュリティを提供するためのセキュリティ機能

エネルギー消費量を正しく測定するため、電圧および電流センサは、主要電圧および電流を、ADC が検出できる電圧範囲に変換します。多相の電力分配システムを使用する場合、ADC に損傷を与えずに、センサが 2 つ、3 つあるい 4 つの異なる線 (中性線を測定する場合) に流れる電流を正しく検出できるようにするため、電流センサを各相間から絶縁する必要があります。このデザインは、磁気改ざんに耐性のあるコスト効率の優れた 2 つ、3 つ、または 4 つのシャントセンサを使用し、オプションのニュートラル線測定を使用して三相 STAR 構成で電気メーターを実装できます。

1.4 電力品質メータ、電力品質アナライザ

この単相または多相 ADC アーキテクチャは、[電気メータ](#)に使用される以外に、[電力品質アナライザ](#)、[電力品質メータ](#)、[EV チャージャ](#)、[AC チャージャ](#) (別名:ウォールボックス) にも適用されます。この最終製品は、電圧高調波、電流高調波、電源電圧ディップ、電源電圧スウェルなど何らかの電力品質パラメータを測定して、電力会社や製造企業が電力品質の監視と制御を行うために使用されます。どのような機器でも、電力品質パラメータを算出するには多くの計算が必要です。また、さまざまな電力品質パラメータの精度要件を満たすことは重要です。高精度と計算能力の要件は、この設計で行われているように、スタンドアロン ADC と、別のホスト MCU またはマイクロプロセッサ ユニット デバイス (MPU) を使用することで、十分にサポートされます。

電力品質メータと電力品質アナライザで一般に測定されるパラメータとして、電圧と電流の高調波があります。より正確な高調波計算のために、コヒーレントサンプリングを実装します。コヒーレント サンプリングを実装する 1 つの方法は、測定された商用電源周波数に基づいてサンプリング クロックを動的に変化させ、サンプリング レートをライン周波数の正確な倍数に維持することです。このデザインのスタンドアロン ADC には、コヒーレント サンプリングをサポートするために、変動クロックを受け付ける機能があります。このデザインでは、スタンドアロン ADC へのクロックは可変ですが、ホスト MCU からスタンドアロン ADC へのサンプリング クロックを適切な精度の分解能で変化させられないため、コヒーレント サンプリングをサポートできません。

2 システム概要

2.1 ブロック図

図 2-1 は、MSPM0G3507 と AMC131M03 をベースとする 3 相エネルギー測定アプリケーションのブロック図を示しています。

各位相 (またはライン) では、ラインから中性線への電圧、および各ライン (3 相) の電流は、N (中性) 線を通して直接測定されるため、3 相、3 線 (3P3W) または 3 相、4 ワイヤ、中性 (3P4W) 構成の両方がデフォルトでサポートされています。一部の相を使用しないため、このリファレンス デザインは分割位相 (位相 C が開かれたままにする) または単相 (位相 B および C が開かれたままにする) 構成で使用できます。TIDA-010244 のブロック図では、シャント センサを電流計測用の 3 つの位相をそれぞれに接続し、シンプルな分周器を使用して各チャンネルに対応する電圧を分周しています。シャントは、エネルギー測定に必要な電流範囲に基づいて選択され、高電流時のシャントの消費電力を最小限に抑えます。150 $\mu\Omega$ ~ 200 $\mu\Omega$ の範囲の値は一般的で、位相あたり最大 100A または 120A の電流を測定すると仮定します。

このデザインでは、4 つの AMC131M03 デバイスまたは AMC131M02 デバイスが、次に示す方法で MSPM0+ MCU とやりとりします:

- 3 つの異なるクロック信号を 4 チャンネル出力の LVCMOS バッファ LMK1C1104 に入力して、CLKIN4 経由で 4 つの同じ位相内クロック信号である CLKIN1 を取得し、すべての ADC を確実に動作させ、同期したデータサンプルを収集します。
 - TI の BAW 発振器 CDC6C は、LMK1C1104 と MSPM0G3507 両方のデバイス (デフォルトオプション) に 8.192MHz で高精度クロック信号を提供します。
 - 外部 16.384MHz 水晶発振器 (XTAL) は、MSPM0G3507 の HFXIN ピンと HFXOUT ピンに信号を供給し、内部の分周器で 2 分周し、8.192MHz の M0_CLKOUT 信号を生成します (TI BAW は充填されていない場合)。その後で M0_CLKOUT は LMK1C1104 クロックバッファに接続されます。
 - MSPM0G3507 からの PWM 信号を使用して、評価のためにクロックバッファに電力を供給できます。PWM 信号を有効にするには、前述のクロックデバイスの 1 つを HFXIN および HFXOUT (選択可能) に接続する必要があります。
- LMK1C1104 の 4 つの出力は、CLKIN4 入力ピン (ADC デバイスごとに 1 つ) を経由して 4 つの CLKIN1 に供給されます。
- AMC131M03 または AMC131M02 デバイスは、CLKIN 入力を 2 分周し、この値をデルタシグマ変調クロックとして使用します。
- SPI_SCK (SPU バス クロック) 信号 (SPI コントローラとして機能する MCU からの出力) は、2 番目の 4 チャンネル出力 LVCMOS バッファ LMK1C1104 に入力し、SPI データ転送で 4 つの同一位相内クロック信号を取得します。
- 4 つの SPI_SCK ラインの SCLK1 ~ SCLK4 が各 ADC の SCLK 入力に供給され、すべての ADC が共有 SPI バス上で同期して動作するようになります。
- 4 つの独立した \overline{CS} ラインが使用されており、これらは MSPM0+ MCU の SPI ペリフェラルによって自動的に生成および制御されます。
- 新しい ADC サンプルの準備ができたとき、AMC131M03 は、 \overline{DRDY} 出力ピン ($\overline{DRDY1}$ ~ $\overline{DRDY4}$) をアサートし、新しいデータ サンプルが利用可能であることを MCU に通知します。
- \overline{DRDY} の立ち下がりエッジが検知された後、MSPM0+ MCU は SPI の 1 つと、DMA モジュール内の 2 つの DMA チャンネルを使用して、AMC131M0X デバイスから電圧と電流のサンプルを取得します。4 つのスタンドアロン ADC は 4 つの \overline{DRDY} 信号を同時に生成しますが、各 ADC は同じ SPI バスを共有するため、これらの ADC は MCU によって順番に読み出されます。
- また、MCU は、ボード上の XDS110 デバッガまたは外部 FTDI コネクタを介して USB Type-C インターフェイスを介して PC GUI と通信します。
- MCU からの ACT および REACT 出力信号は、精度測定とキャリブレーションに使用される、有効および無効エネルギー パルスを表します。どちらも、**リファレンス メーター** に対する電気メーターの較正には必要不可欠な信号です。

MSPM0+ MCU には、パワーオンリセット (POR)、POR、および 4 つの配置可能なスレッショルド電圧を対応可能なブラウザアウトリセット (BOR) 電源モニタが内蔵されています。

このリファレンス デザインに電力を供給するには、USB Type-C コネクタ経由で 5V を印加するか、またはマーキングされたヘッダピンで 3.3V を供給します。基板への電力供給のための適切なジャンパ接続の詳細については、[セクション 3.3.2](#) を参照してください。

USB Type-C インターフェイスを使用することで、MSPM0G3507 のプログラムとデバッグを実行できます。このインターフェイスは絶縁されており、USB 電源からシステムに 5V を供給するために使用できます。5V オプションを選択した場合、USB Type-C インターフェイスの絶縁は有効になりません。

このリファレンス デザインには、すべての受動部品 (ディスクリート実装) を搭載した CC2340 Bluetooth Low Energy サブシステムまたは CC2340 をベースとする Bluetooth モジュールを使用して、Bluetooth 経由で計測パラメータ データを送信するという 2 つのオプションもあります。

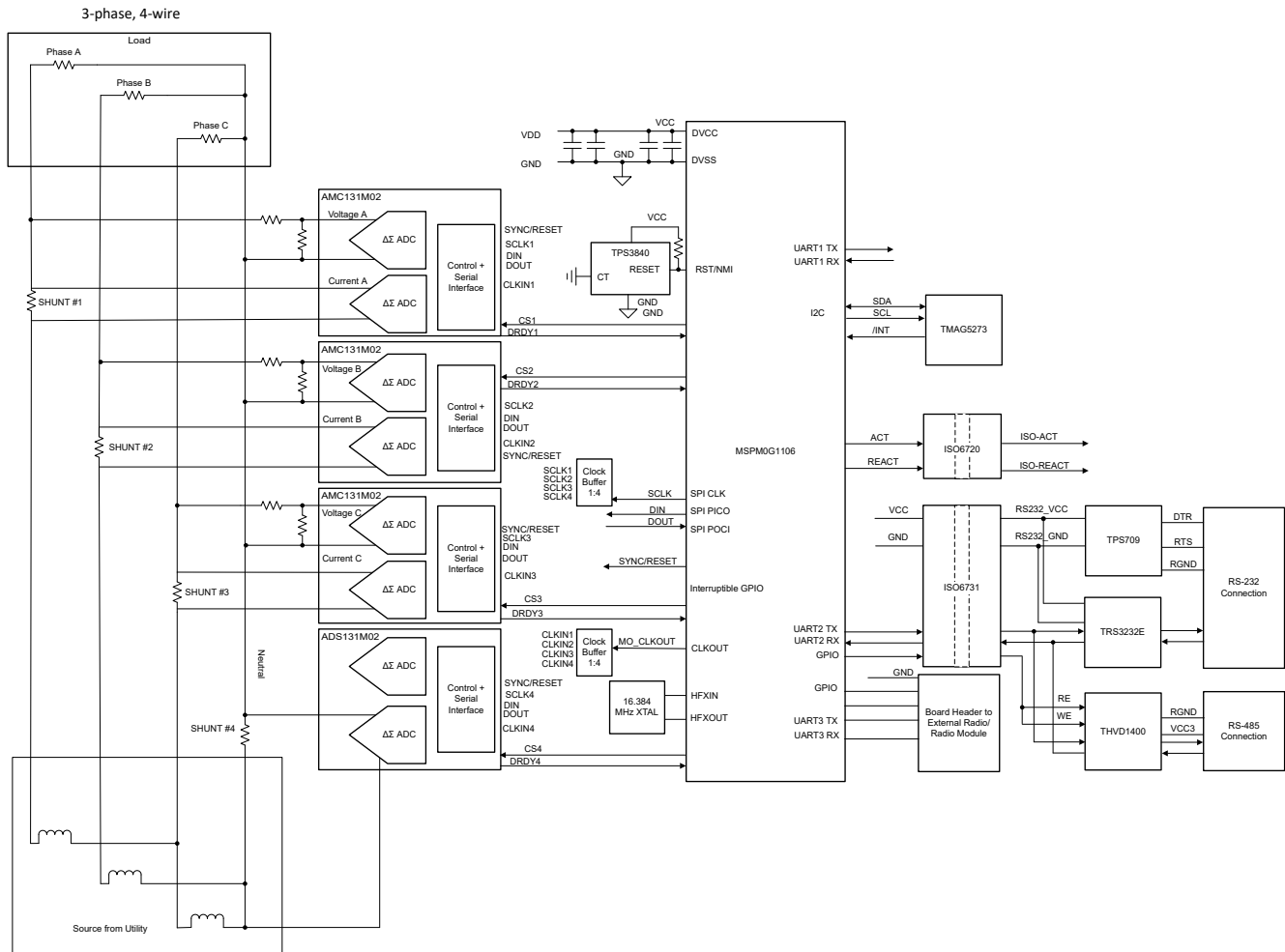


図 2-1. MSPM0G3507 と AMC131M03 をベースとする 3 相エネルギー測定のプロック図

2.2 設計上の考慮事項

この PCB では AMC131M03 を 4 回使用していますが、電流と電圧のみを測定する場合は、2 チャネルバージョンの AMC131M02 で十分です。AMC131M03 の 3 番目のチャネル (AMC131M02 で表示されません) は、必要に応じてシャント センサでの温度測定をサポートできます。

電圧チャンネル用の分周抵抗の選択により、商用電源電圧が AMC131M03 デバイスの通常の入力範囲に準拠するように分周されます。このスタンドアロン ADC はダイナミックレンジが広いが、電圧の測定に必要なダイナミックレンジはごく小さいので、電圧チャンネル ADC の入力から見た最大電圧がフルスケール電圧のごく一部になるように、電圧フロントエンド回路が意図的に選択されています。AMC131M03 の電圧入力チャンネルに供給される電圧を下げることで、電圧の精度は

低下しますが、電圧 ADC 精度よりも計測精度に実際の影響を及ぼす、電圧から電流へのクロストークが低減されるので、低電流でより正確なエネルギー測定が可能になります。

2.2.1 電圧測定のアナログフロントエンド

世界の多くの地域では、商用電源の公称電圧は 100V ~ 240V なので、ADC で検出するには電圧をスケールダウンする必要があります。この電圧スケールリングに使用されるアナログフロントエンドを 図 2-2 に示します。位相 C の J11 に電圧を印加すると、位相 A と B にも同様の回路が使用されます。

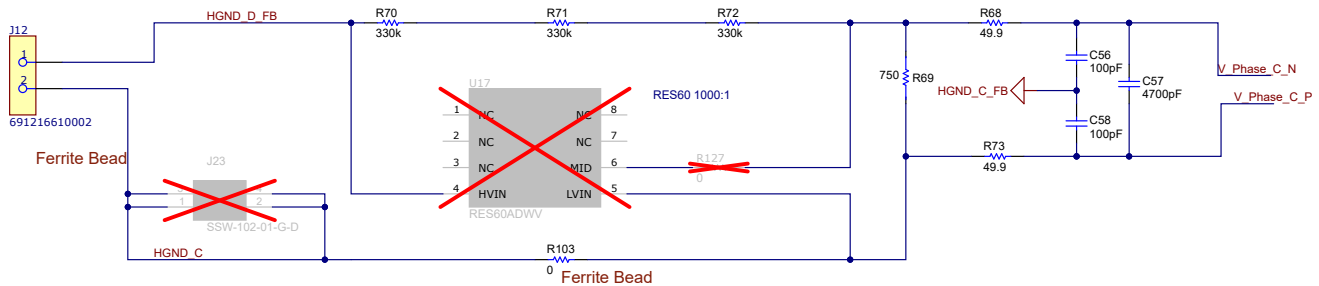


図 2-2. 電圧入力用のアナログフロントエンド

図 2-2 に示されたように、電圧入力のアナログフロントエンドは、分圧回路 (R70、R71、R72、R69) と、RC ローパスフィルタ (R68、R73、C56、C57) および C58 を備えています。

オプションとして、高精度の抵抗分圧器 RES60A (U17) を追加しました。この抵抗デバイダは、1000:1 の比率で電圧を低くします。これは、R70、R71、R72、R69 を使用する分散型分圧器の代替品になります。直列抵抗チェーン分圧器ネットワークの代わりに RES60A を使用するには、次の部品を変更します：

- R69、R70、R71、R72 を削除。
- R127 (0Ω) を配置します
- RES60A を配置します

位相 A と位相 B に対して同様の手順を実行します

電流が小さい場合、電圧から電流へのクロストークは、電力オフセットのキャリブレーションを行わなければ、電圧精度よりも有効エネルギーの精度に、はるかに大きな影響を及ぼします。これらの低電流時の精度を最大化するため、このデザインでは電圧チャンネルに ADC 範囲全体を使用していません。このデザインでは、電圧チャンネルの ADC 範囲の一部のみを使用していますが、電圧を測定するのに十分な精度を維持しています。特定の商用電源電圧と、選択した分圧抵抗の値について、電圧 ADC チャンネルに供給される差動電圧の範囲を計算する方法を、式 1 に示します。

$$V_{\text{ADC_Swing, Voltage}} = \pm V_{\text{RMS}} \times \sqrt{2} \left(\frac{R_{69}}{R_{70} + R_{71} + R_{72} + R_{69}} \right) \quad (1)$$

この式と、式 1 で選択した抵抗の値に基づいて、(ラインと中間の間で測定される) 商用電源電圧が 120V なら、電圧 ADC への入力信号の電圧スイングは $\pm 128.47\text{mV}$ ($90.8\text{mV}_{\text{RMS}}$) です。(電力線と中性線との間で測定される) 商用電源電圧が 230V であれば、フロントエンド回路に 230V を入力すると、 $\pm 246.23\text{mV}$ ($174.11\text{mV}_{\text{RMS}}$) の電圧スイングが発生します。 $\pm 128.47\text{mV}$ と $\pm 246.23\text{mV}$ の電圧範囲はどちらも、 $-1.3\text{V} \sim +2.7\text{V}$ の範囲内です(ゲイン = 1 の場合、『AMC131M03 3 チャンネル、64kSPS、同時サンプリング、24 ビット、強化絶縁型デルタシグマ ADC、DC/DC コンバータ内蔵』データシートの「推奨動作条件」セクションを参照してください)。これは、ADC での検出も可能です。

2.2.2 電流測定のアナログ フロント エンド

図 2-3 では、電流入力のアナログ フロント エンドは、電圧入力のアナログ フロント エンドとは異なることを示しています。シャント センサからの正および負のリード線は、ヘッダ J15 のピン 3 および 2 に接続されています (C 相の場合)。A 相と B 相には同一の電圧分周器回路を使用し、端子ブロック J13 と J14 を SHUNT 端子のコネクタにします。

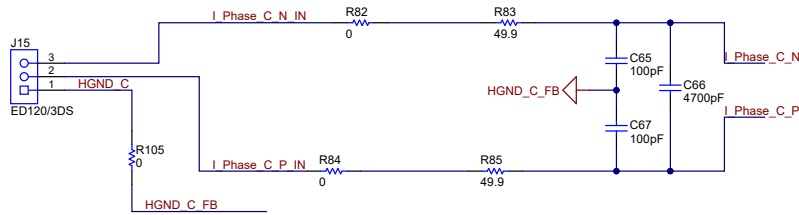


図 2-3. 電流入力のアナログ フロント エンド

電流のアナログ フロント エンドは、電磁干渉フィルタ ビーズのフットプリント (R82、R84 と R105) と、アンチエイリアス フィルタとして機能する RC ローパスフィルタ (R83、R85、C65、C66) と C67 で構成されます。

与えられた最大電流、CT 巻線比、負荷抵抗値について、電流 ADC チャンネルに供給される差動電圧の範囲を計算する方法を、式 2 に示します。

$$V_{\text{ADC}_{\text{Swing,Current,Shunt}}} = \pm\sqrt{2}(R_{\text{shunt}})I_{\text{RMS,max}} \quad (2)$$

シャントの値を $150\mu\Omega$ と仮定すると、メータの最大電流定格 (例えば、100A) が適用されたとき、電流 ADC への入力信号の電圧振幅は $\pm 21.21\text{mV}$ になります。この比較的な低電圧で、ゲイン = 32 を使用する場合、必要なフルスケール範囲である $\pm 37.5\text{mV}$ 内です。『AMC131M03 3 チャンネル、64kSPS、同時サンプリング、24 ビット、DC/DC コンバータ内蔵の強化絶縁型デルタシグマ ADC』データシートの「フルスケール範囲」の表を参照してください。

2.2.3 XDS110 エミュレータ

このリファレンス デザインには、オンボードの XDS110 エミュレータが搭載されています。このエミュレータは MSP432E401Y デバイスに実装されており、UART-USB トランスレータが含まれており、MSPM0 と CC2340 Bluetooth Low Energy デバイスの両方をプログラミングする役割も果たします。XDS110 エミュレータソフトウェアを使用して MSP432E401Y MCU デバイスをプログラムするには、ジャンパを接続して、基板が 5V の電圧に対応できるようにし、または USB Type-C コネクタ経由で PC に接続します。XDS エミュレーションソフトウェア (EMUPack) のダウンロードページから XDS110 ソフトウェアを PC にダウンロードし、『XDS110 ユーザーガイド』の内容に従い、MSP432 MCU を書き込みます。デバイスが正常に書き込む後、青色の LED 3 が点灯し、2 つの COM ポートがデバイス マネージャに表示されます。

MSPM0 または Bluetooth Low Energy モジュールまたはチップを書き込むには、専用の章『ジャンパ設定』と『Bluetooth データ送信』をご覧ください。

2.2.4 Bluetooth® データの送信

このデザインは、Bluetooth Low Energy 接続を有効にします。この接続は、HY-234004P Bluetooth Low Energy モジュールまたは CC2340 デバイスを使用することで確立できます。したがって、2 つの Bluetooth デバイス間の双方向通信と、UART 接続を介したコンピュータへの接続が可能です。

2.2.5 2つのモジュール間での Bluetooth® 接続

2つの Bluetooth デバイス間の通信をテストするには、次の手順を実行することを推奨します：

1. ジャンパ JP6 と JP7 を設定して、Bluetooth 接続を有効にします (両方の位置が 1-2)。
2. USB Type-C コネクタ付きのケーブルで PC を **SmartRF Studio 8** アプリケーションに接続します。
3. **SmartRF Studio 8** アプリケーションを起動します。
4. XDS110 接続ウィンドウに表示される **CC2340R5** をクリックします。
5. RX および TX タブで、最初に受信機で「テストを開始」をクリックし、次に「テストを開始」をクリックして送信機を起動します。

2.2.6 Bluetooth® と UART の接続

コマンドライン ツールから TI アプリケーションにデータを送信するテストを実行するには、次の手順に従います：

1. Bluetooth 接続用のジャンパ JP6 と JP7 を設定します。
2. J9 の XDS110 側にあるピンを使用して、ジャンパ線で JP8 の HY_RX と JP9 の HY_TX をそれぞれ RX と TX に接続します。
3. GitHub で利用可能な [Bluetooth Low Energy を UART に接続するサンプル](#) をダウンロードします。
4. [SimpleLink 低消費電力 F3 SDK \(7.40.00.64\)](#) をダウンロードします。
5. GitHub から `data_stream_UART_over_BLE` の例を `<root source folder>` `\simplelink_lowpower_f3_sdk_7_40_00_64\examples\rtos\LP_EM_CC2340R5\ble5stack` にコピーします。
6. Code Composer Studio™ (CCS) でプロジェクトをビルドおよびコンパイルします。
7. USB Type-C ケーブルを接続し、コードを基板に書き込みます。
8. コードを実行し、PuTTY または TerraTerm を介してコマンドライン ターミナルを開きます。
9. iPhone® または Android® スマートフォン向けの SimpleLink Connect モバイル アプリケーションをダウンロードし、**DataStream UART** に接続します。
10. アプリケーションまたは端末にテキストを書き込み、反対側のデバイスに表示されます。

2.2.7 TMAG5273 リニア 3D ホール効果センサによる磁気改ざん検出

電気を盗む一般的な非侵襲的方法の 1 つは、強力な永久磁石または AC 磁石を電気メータの近くに配置し、メータを改ざんすることです。永久磁石または AC 磁界は、トランス電流センサ、シャント電流センサ (シャントは AC 磁石のみの影響を受けます)、電源トランスなどのメータのコンポーネントに影響を及ぼす可能性があります。これらのコンポーネントは磁気改ざんに弱いので、電力会社の顧客が消費したエネルギーに対して、請求される料金が少なすぎ、結果として消費者は電気を盗むことができます。

メータは磁気改ざんを受けやすいので、電気メータでは多くの場合、磁気センサを使用して外部の磁界を検出し、メータへのサービスを切断する、または磁気改ざんに対して罰金を科すなど、適切な対応が行われます。この設計では、TMAG5273 リニア 3D ホール効果センサで磁気改ざん検出を行います。このセンサには、他の磁気センシング デバイスや設計と比較して、以下のような利点があります。

- **組み立てが簡単:** ホール センサは一般に、リード スイッチと比べて丈夫です。リード スイッチは組み立て中に破損することがあります。
- **必要な表面実装 IC は 1 つだけ:** TMAG5273 を使用して 3 方向のセンシングを行う場合、1D ホール効果センサなら 3 つの表面実装 IC が必要ですが、3D リニア ホール効果センサなら 1 つで十分です。3D リニア ホール効果センサを使用すると、よりコンパクトなプリント基板 (PCB) レイアウトを実現できます。さらに、1D ホール効果センサの実装では、方向のいくつかの検出にスルーホール センサが必要な場合があるのに比べて、表面実装のみの場合は PCB の製造コストを低減できます。
- **磁気改ざんスレッシュホールドを柔軟に定義:** 3D リニア ホール効果センサは、実際に検出された磁束密度値に関する情報を提供するため、各軸の磁気改ざんスレッシュホールドは、3D リニア ホール効果センサの磁気センシング範囲に含まれる任意の値に設定できます。これにより、何が改ざんなのかの定義を変更できます。検出される磁束密度は、磁石からセンサまでの距離や、検出対象となる外部の磁石の性質によって異なるため、この定義は設計ごとに異なります。磁気動作ポイント (B_{OP}) スレッシュホールドが固定のホール効果スイッチでは、このような柔軟な定義は行えません。磁気計算ツールを使用して、磁石からセンサまでの距離や、検出対象の磁石の種類ごとに、検出される磁束密度を判定し、磁気改ざんスレッシュホールドの適切な定義を見つけることができます。その後、定義された改ざん条件にさらされたときセンサで検出される磁束密度より低い値に、磁気スレッシュホールドを設定します。スレッシュホールドは通常、ベスト プラクティスは、

磁気改ざんを検出できるよう十分に小さく、しかしメータの機能に影響しない磁気を発生させる近くの機器によりシステムの誤検出が起きないよう、十分に大きな値に設定することです。磁石とセンサの間の距離は、PCB 上のどこにセンサが配置されているかと、e メータのケースの寸法によって異なります。システムが小さい場合、基板の中央付近に磁気センサを配置すると、メータのケース全体にわたって対称的なセンシングを行えます。または、磁気改ざんの影響を受ける部品の近くに配置することも可能です。特定の多相メータのような大きいシステムでは、1 つの磁気センサでメータの表面全体にわたる改ざんを検出できない場合があります。このような場合、PCB 上に複数の 3D ホール センサを互いに離れた場所に配置すると、広いセンシング領域をカバーできます。TMAG5273 には 4 セットの注文可能デバイスがあり、工場出荷時に異なる I2C アドレスがプログラムされているため、複数のデバイスが同じ I2C バスを共有できます。

- **複数のデバイス電力モードを切替可能:** TMAG5273 は、システムの消費電流の低減が求められるどうかに応じて、複数の電力モード間の切り替えをサポートしています。TMAG5273 には、測定用のアクティブ モード、消費電流を最小化するスリープ モード、およびアクティブ モードとスリープ モードを自動的に切り替えるデューティ サイクル モードがあります。電気メータの各種電力モードの代表的な使用例を次に示します：
 - アクティブ モードは測定に使用され、最も消費電力の大きいモードです。アクティブ モードが一般的に使用されるシナリオの例は、商用電源が利用可能で、メータが AC/DC 電源で動作している場合です。TMAG5273 のアクティブ モード消費電流 (2.3mA) は比較的多いものですが、AC/DC 電源で動作しているときは無視できます。
 - デューティ サイクル モードでは、デバイスは測定を行ってから、ユーザーが指定した時間だけ自動的にスリープ状態になります。デューティ サイクル モードは、消費電流を抑えながら磁気改ざんを検出するとき、たとえばバックアップ バッテリで動作しているときに低速で磁気改ざんの検出が必要なときなどに適しています。デューティ サイクル モードで平均消費電流を低減するには、長いスリープ時間を選択します。スリープ時間を選択するとき、スリープ時間は磁気測定に求められる応答時間よりも短く設定します。たとえば、ウェークアップとスリープ モードを使用して 2ms ごとに磁気改ざんを検出するには、スリープ時間を 1 秒ではなく 1ms に設定します。
 - スリープ モードでは、デバイスは磁気測定を行いません。ウェークアップおよびスリープ モードの代わりに、MCU がセンサをスリープ モードに設定し、目的のスリープ時間が経過した後にセンサをウェークアップするように設定することもできます。この方法を使用すると、MCU のオーバーヘッドは増えますが、MCU にウェークアップおよびスリープ モードがあり、そのサイクルごとに MCU が TMAG5273 を再構成できるなら、システム全体では消費電流を減らせることがあります。システムが、バックアップ バッテリで動作しているときは磁気改ざんを検出する必要がないなら、バッテリで動作しているときは TMA5273 を単にスリープ モードに移行してシステムの消費電流を減らし、システムが AC/DC 電源で動作できるようになったときアクティブ モードに戻すことが可能になります。
- **磁気改ざんが検出されたときの GPIO ピンの割り込み (デバイスによって異なる):** TMAG5273 には、いずれかの軸で検出された磁束密度がユーザー定義の磁気スイッチング スレッシュホールドを超えたとき、割り込みピンをセットする機能があります。ユーザーは、改ざんを検出するため、割り込みの磁気スイッチング ポイントを、目的の磁気改ざんスレッシュホールドに設定できます。ホール効果センサの割り込みピンを使用して、MCU が低消費電力モードのときにマイクロコントローラをウェークアップでき、マイクロコントローラはホール効果センサを読み取って磁気改ざんを判定する必要がないため、バックアップ電源で動作しているときは、ホール効果センサの割り込みピンでウェークアップされるまで、MCU を低消費電力モードに移行できます。汎用入出力 (GPIO) ピン割り込み機能とデューティ サイクル電力モードを併用すると、システムの消費電流を低減し、バックアップ電源の寿命を延長できます。ホール効果センサの GPIO ピンによってマイクロコントローラがウェークアップされたら、MCU は割り込みを引き起こした磁界読み取りの検出値を取得してから、GPIO 割り込みによるウェークアップおよびスリープ モードを再度イネーブルできます。
- **AC 磁界の検出:** AC 磁界は、電流トランスに影響を及ぼすだけではなくありません。AC 磁界はシャントおよび Rogowski コイルの電流センサにも影響を及ぼします。AC 磁界を検出するには、リニア 3D ホール センサも使用できます。図 2-4 に示すように、AC 磁界を検出するには、実効サンプリング期間が十分に速く、スリープ時間が十分に短くて、AC 磁界の波形のサイクルに沿って十分な数のサンプルを正しくキャプチャできる必要があります。実効サンプリング期間は、1 セットのサンプルを取得するために必要な時間に対応しており、デバイスの内部サンプリング レートによって異なります。リニア ホール センサでは、実際に検出された磁束密度の情報が得られるため、センサは低サンプル レートのホール スイッチよりも AC 磁界をよりの確に検出できます。

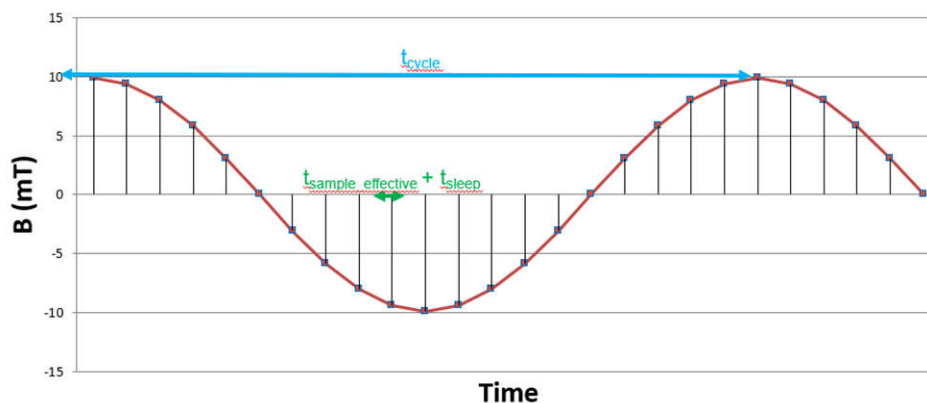


図 2-4. AC 磁界の検出

2.3 主な使用製品

2.3.1 MSPM0G3507

MSPM0G デバイス ファミリーには、Arm 32 ビット Cortex-M0+ CPU が内蔵されており、この CPU にはメモリ保護ユニットが搭載され、最高 80MHz のクロック周波数で使用でき、2 つの SPI が内蔵され、その 1 つは最大 32Mbit/s をサポートしています。エネルギー計算を実行するためのその他の関連ペリフェラルとして、カレンダー機能付きのリアルタイム クロック (RTC)、CRC-16 または CRC-32 のハードウェア モジュール、4 つの UART、速度 1Mbit/s の 2 つの I2C、最大 60 の GPIO があります。

このデザインの MSPM0+ MCU は、4 つの ADC デバイスから電圧および電流のサンプルを取得し、計測パラメータを計算します。さらに、このデバイスは RTC モジュールを使用して時間の経過を管理し、UART インターフェイスの 1 つを使って、基板上の絶縁 USB インターフェイスで PC の GUI と通信します。MSPM0+ MCU の CRC16 ハードウェア モジュールは、ADC から送信される ADC サンプルング データの整合性を検証するために必要な CRC 計算の高速化に使用されます。

MSPM0G3507 の主な特長は、拡張温度範囲です：-40°C～105°C、1.62V～3.6V の広い電源電圧範囲で動作し、エラー訂正コード (ECC) を内蔵した 64KB のフラッシュメモリと、ハードウェア パリティ付き ECC 保護の 32KB SRAM を内蔵しています。

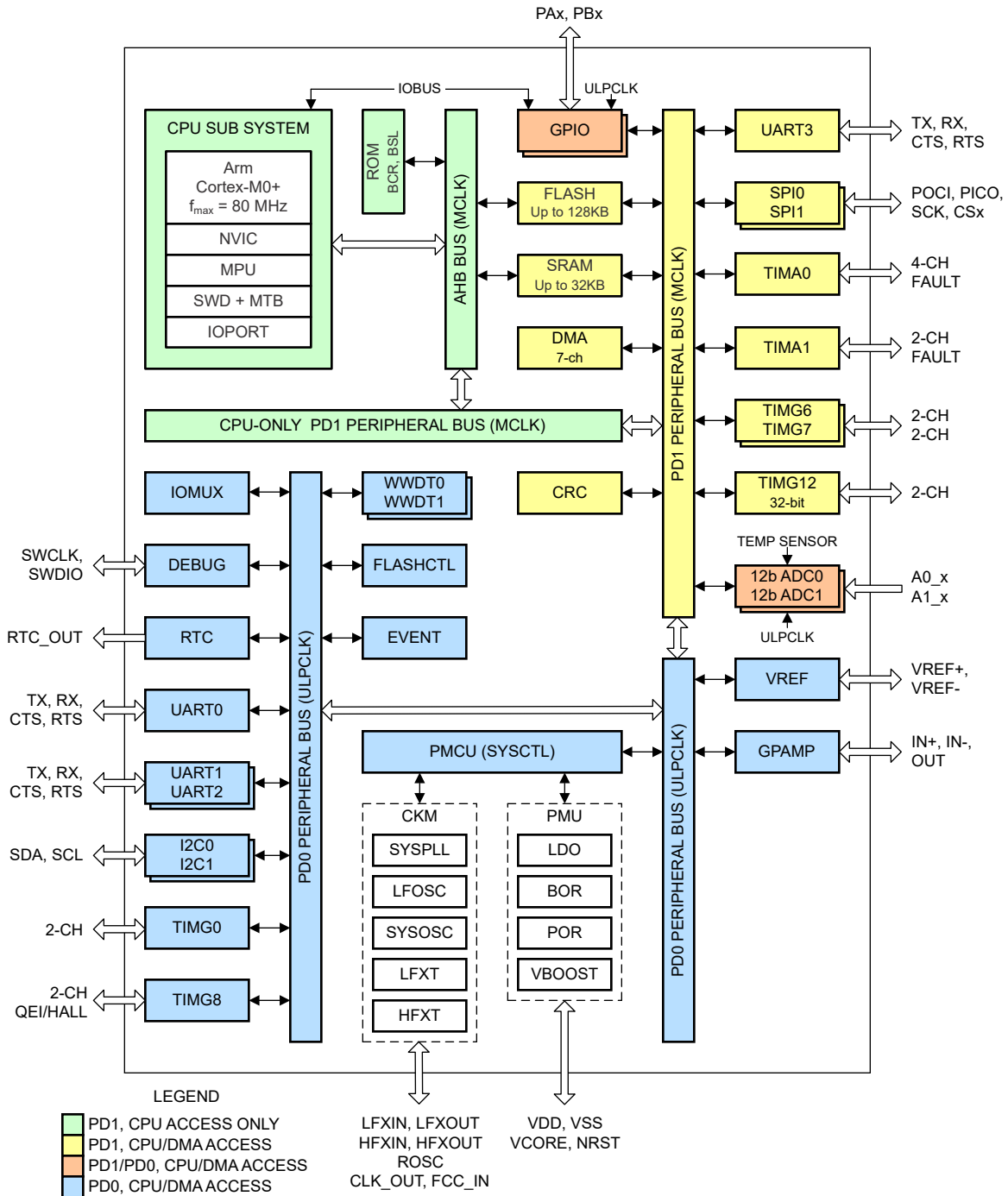


図 2-5. MSPM0G3507 の機能ブロック図

2.3.2 AMC131M03

AMC131M03 は、高精度、3 チャンネル、データ/電力絶縁型、同時サンプリング、24 ビット、デルタシグマ ($\Delta\Sigma$) A/D コンバータ (ADC) です。

AMC131M03 は、ダイナミックレンジが広く、低消費電力で、エネルギー測定固有の機能を備えているため、エネルギーメーターおよび電力計測アプリケーション向けの設計になっています。デバイスの入力インピーダンスが高いため、ADC 入力を抵抗分圧器ネットワークまたはシャント電流センサに直接接続できます。

AMC131M03 は、デバイスのローサイドから単一電源で動作できる完全統合型絶縁 DC/DC コンバータを備えています。強化容量性絶縁バリアは、VDE V 0884-11 および UL1577 に準じて認証されています。この絶縁バリアは、異なる

同相電圧レベルで動作するシステムの部品を分離し、低電圧部品を損傷から保護するため、AMC131M03 はシャント電流センサを使用する多相エネルギーメーターアプリケーションに最適です。

絶縁された 3 つの同時サンプリング $\Delta\Sigma$ ADC チャンネルは、差動入力を備えており、DC/DC コンバータ内蔵、 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ の温度範囲、単一電源動作 (3.3V または 5V) を特長としています。 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 、このデバイスは低 EMI に最適化されており、CISPR-11 および CISPR-25 規格に適合しているほか、以下に示す安全関連認証を取得しています: DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17):2021-10 に準拠した強化絶縁耐圧: 7070V_{PEAK} UL 1577 に準拠した絶縁耐圧: 5000V_{RMS} (1 分間)。

プログラム可能なデータレートは最大 64ksps、プログラム可能なゲインは最大 128 で、低ドリフトの内部基準電圧と内部温度センサが搭載されています。データおよびレジスタは、巡回冗長検査 (CRC) 付きの 4 線式 SPI によってアクセスされます。

3 番目の入力チャンネルが必要ない場合 (たとえば、1% 精度の 100k Ω リニア サーミスタ TMP63 を使用した温度測定)、非常に類似した AMC131M02 2 チャンネルデバイスをコスト効率の優れた代替品として使用できます。

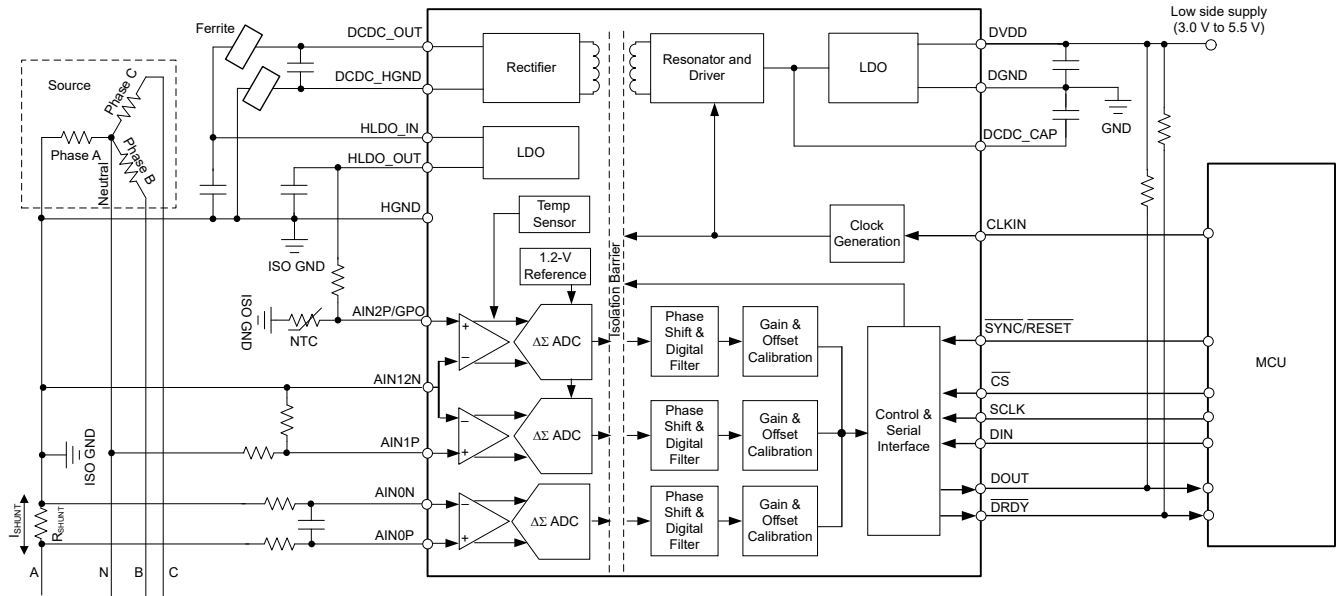


図 2-6. AMC131M03 の機能ブロック図

2.3.3 CDC6C

テキサス インストルメンツのバルク弾性波 (BAW) は、低ジッタ クロック回路を使用して高精度 BAW 共振器をパッケージに直接統合できるマイクロ共振器テクノロジーです。BAW は、シリコン ベースのその他の製造プロセスと同様に TI の工場ですべて設計および製造されています。CDC6C デバイスは、共振器源として BAW を組み込んだ低ジッタ、低消費電力の固定周波数発振器です。本デバイスは、特定の周波数および機能ピンに合わせて工場出荷時にプログラム済みです。CDC6Cx には周波数制御ロジックと出力周波数分周器が搭載されており、規定された範囲内で任意の周波数を生成できるため、1 つのデバイス ファミリーで、あらゆる周波数のニーズに対応可能です。このデバイスは高性能のクロックを供給し、機械的安定性があり、低消費電力で、小さなパッケージを選択でき、産業用、テレコム、データ、およびエンタープライズ ネットワークやパーソナル エレクトロニクス最終機器のリファレンス クロックやコア クロック用に設計されています。

2.3.4 RES60A-Q1

RES60A-Q1 は、マッチングされた抵抗分周器で、テキサス インストルメンツの最新の高性能アナログ ウェハ プロセスで薄膜 SiCr に実装されています。高品質の SiO₂ 絶縁層は抵抗器をカプセル化し、継続的動作で最大 1400VDC、HiPOT テスト (60 秒) で最大 4000VDC という非常に高い電圧で使用できるようにします。このデバイスは、公称入力抵抗 RHV = 12.5MΩ であり、幅広いシステムの要求を満たすため、いくつかの公称比率で供給されます。RES60A-Q1 シリーズは高い比率マッチング精度を特長としており、各分割器の測定比率は公称値の $\pm 0.1\%$ (最大) 以内です。この精度は、仕様温度範囲全体で維持され時間が経過しても、累積ドリフトはわずか $\pm 0.2\%$ (最大) です。したがって、キャリブレーションなしの RES60A-Q1 の生涯耐性は、 $\pm 0.3\%$ (最大) 内に収まります。RES60A-Q1 は、AEC-Q200 温度グレード 1 で車載認定済みで、 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ の仕様温度範囲を満たしています。このデバイスは、8 ピン SOIC パッケージで供給され、公称本体サイズが 7.5mm × 5.85mm で、高電圧ピンと低電圧ピンの間の沿面距離と空間距離が 8.5mm 以上あります。

2.3.5 TPS3702

TPS3702 は、小型サイズの SOT-6 パッケージで提供される、過電圧および低電圧検出付きの統合型電圧検出器です。この高精度の電圧検出器は、低電圧電源レールで動作する、電源許容差の小さいシステムにとって理想的です。スレッシュホールドのヒステリシスが 0.55% および 1.0% と小さいので、監視対象の電源電圧が通常の動作範囲内であるときに誤ってリセット信号が発生するのを防止します。内部的なグリッチ耐性およびノイズ フィルタにより、信号エラーによる誤ったリセットも回避されます。TPS3702 は、外付け抵抗なしで過電圧および低電圧リセットのスレッシュホールドを設定できるため、総合的な精度がさらに向上し、デザインのサイズとコストも削減できます。SET ピンを使用して、各デバイスに設計されている 2 つの利用可能なスレッシュホールド電圧から選択できます。SENSE 入力ピンと VDD ピンが別になっていることにより、安全が重要な高信頼性システムで求められる冗長性を実現できます。このデバイスは過電圧 (OV) ピンと低電圧 (UV) ピン用に独立したリセット出力も備えています。オープンドレイン構成なので、UV と OV を一緒に接続することもできます。このデバイスは、静止電流仕様が 7μA の標準値が小さく、 -40°C から 125°C の産業用温度範囲での使用が認定されています。

2.3.6 TPD4E05U06

TPDxE05U06 は、超低容量の単方向過渡電圧サプレッサ (TVS) ベースの静電気放電 (ESD) 保護ダイオード ファミリーです。各デバイスは、IEC 61000-4-2 国際規格で規定されている最大レベルを上回る ESD のエネルギーを消費できます。TPDxE05U06 の負荷容量は非常に小さいため、あらゆる高速信号ピンを保護するのに理想的なデバイスです。TPDxE05U06 の代表的なアプリケーションには、HDMI 1.4b、HDMI 2.0、USB 3.0、MHL、LVDS、DisplayPort、PCI-Express®、eSata および V-by-One® HS の高速信号ラインが含まれます。

2.3.7 ISOUSB111

ISOUSB111 は、低速 (1.5Mbps) および全速 (12Mbps) の信号速度をサポートする、電氣的に絶縁された USB 2.0 に準拠するのリーダーです。このデバイスは、接続および速度の自動検出、プルアップとプルダウンの反映、リンク パワー マネージメント機能をサポートしているため、ドロップインにより USB ハブ、ホスト、ペリフェラル、ケーブルを絶縁できます。また、デバイスは自動的なロール反転もサポートします。切断後にアップストリーム側ポートで新しい接続が検出されると、アップストリームおよびダウンストリームのポート定義が反転します。この機能を使って本デバイスは USB On-The-Go (OTG) と USB Type-C デュアル ロール ポート (DRP) の実装に対応できます。耐圧 5000V_{RMS} の二酸化ケイ素 (SiO₂) 絶縁バリアを採用しており、1500V_{RMS} の動作電圧を実現できます。絶縁型電源と組み合わせると、高電圧に対して保護するとともに、バスからのノイズ電流がローカル グランドに入り込むことを防止できます。ISOUSB111 デバイスは、強化絶縁に対応しています。ISOUSB111 デバイスは、 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ の広い周囲温度範囲をサポートしています。このデバイスは、SOIC-16 (16-DW) パッケージと小型の SSOP-16 (16-DWX) パッケージで供給されます。

2.3.8 LMK1C1104

LMK1C110x は、テキサス インストルメンツ製の高性能、低スキューのモジュール式汎用クロック バッファ ファミリです。このファミリはすべて、モジュール手法を考慮して設計されています。1:2、1:3、1:4 の 3 種類のファンアウト バリエーションがあります。このファミリに属するデバイスはすべて互いにピン互換であり、CDCLVC110x ファミリと後方互換性があるため扱いが簡単です。ファミリのすべての製品は、低い付加ジッタ、低いスキュー、広い動作温度範囲などの高い性能を共有しています。LMK1C110x は、1G が LOW になると出力を LOW 状態に切り換える同期出力イネーブル制御 (1G) をサポートしています。これらのデバイスにはフェイルセーフ入力があり、入力信号がない場合の出力の発振を防止し、VDD が供給される前に入力信号を受け入れます。LMK1C110x ファミリは 1.8V、2.5V、3.3V 環境で動作し、 -40°C ~ 125°C で動作が規定されています。

2.3.9 MSP432E401Y

SimpleLink MSP432E401Y Arm Cortex-M4F マイコンは、最高の性能を提供し、高度な統合を実現しています。この製品ファミリは、強力な制御処理と接続機能が必要で、優れたコスト効率を求められるようなアプリケーションを対象としています。MSP432E401Y マイコンは豊富な通信機能を数多く統合しているため、性能と電力のクリティカルなリアルタイム制御機能を備えた高度な接続対応設計を実現できます。このマイクロコントローラは、通信ペリフェラルや、他の高性能アナログおよびデジタル機能を内蔵しており、ヒューマン マシン インターフェイス(HMI)からネットワークに接続したシステム管理コントローラまで、さまざまな対象に使用できる強固な基盤となります。さらに、MSP432E401Y マイコンには、広範な開発ツール、システム オン チップ(SoC)インフラストラクチャ、Arm ベースのマイコンの大規模なユーザー コミュニティなどの利点があります。さらに、これらのマイコンは Arm Thumb[®] と互換性のある Thumb-2 説明セットを使用しているため、メモリ要件を低減することができ、それによってコストも低減できます。SimpleLink MSP432[™] SDK を使用する場合、MSP432E401Y マイコンは広範な SimpleLink ファミリのすべての製品とコードの互換性があるため、要求に対して正確かつ柔軟に対応できます。MSP432E401Y モジュールは SimpleLink マイコン (MCU) プラットフォームに属しています。本プラットフォームは、シングル コア ソフトウェア開発キット (SDK) と豊富なツール セットを備えた使いやすい共通の開発環境を共有する Wi-Fi[®]、Bluetooth[®] Low Energy、Sub-1GHz、イーサネット、ZigBee[®]、スレッド、ホスト MCU で構成されています。

2.3.10 TPS709

TPS7A37 リニア低ドロップアウト (LDO) 電圧レギュレータ ファミリは、コンデンサ NMOS パス素子を電圧フォロワ構成で使用しています。このトポロジは出力コンデンサの値と ESR の影響を比較的受けにくいいため、広範な負荷構成に対応できます。わずか $1\mu\text{F}$ のセラミック出力コンデンサを使用した場合でも、負荷過渡応答が非常に優れています。また、NMOS トポロジにより、ドロップアウトも非常に小さくなります。TPS7A37 ファミリは、非常に小さいドロップアウト電圧と小さなグラウンド ピン電流を実現すると同時に、先進の BiCMOS プロセスを使用することで高い精度を達成しています。無効時の消費電流は 20nA 未満であり、携帯型アプリケーションに相応しいです。これらのデバイスは、サーマル シャットダウンとフォールドバック電流制限で保護されています。

2.3.11 TMAG5273

TMAG5273 は、幅広い産業用およびパーソナル エレクトロニクス アプリケーション向けに設計された低消費電力のリニア 3D ホール効果センサです。このデバイスは X、Y、Z 軸に 3 つの独立したホール効果センサを内蔵しています。高精度アナログ信号チェーンと 12 ビット A/D コンバータにより、磁界のアナログ測定値をデジタル値に変換します。I2C インターフェイスは、いくつもの動作 VCC 範囲に対応するとともに、低電圧マイクロコントローラとのシームレスなデータ通信を行います。このデバイスには温度センサが内蔵されており、特定の磁界における熱履歴の確認または温度補償の計算など、各種システム機能に利用できます。TMAG5273 は、I2C インターフェイスを使用して、磁気軸と温度測定 of 自由な組み合わせに構成できます。さらに、このデバイスは各種の電力オプション (ウェークアップおよびスリープ モードを含む) を設定できるため、設計者はシステムレベルのニーズに基づいてシステムの消費電力を最適化できます。複数のセンサ変換方式と SPI 読み取りフレームにより、スループットと精度を最適化できます。専用の INT ピンは、低消費電力のウェークアップおよびスリープ モード時にシステム割り込みとして使用でき、マイクロコントローラが新しいセンサ変換をトリガするためにも使用できます。超低消費電力は、2.3mA のアクティブ モード電流、1μA のウェークアップ電流、わずか 5nA のスリープ モード電流で定義されています。

TMAG5273 は、1.7V ~ 3.6V の電源電圧、-40°C ~ +125°C の温度範囲、最高 1MHz の I2C クロック速度で動作します。

TMAG5273 は、電気メータ向けのリニア 3D ホール効果センサです。TMAG5273 は、工場出荷時に 4 つの異なる I2C アドレスがプログラムされています。また、このデバイスは、ユーザーが構成可能な I2C アドレスレジスタを変更することにより、追加の I2C アドレスにも対応できます。TMAG5273 での X、Y、Z 方向の定義を [図 2-7](#) に示します。

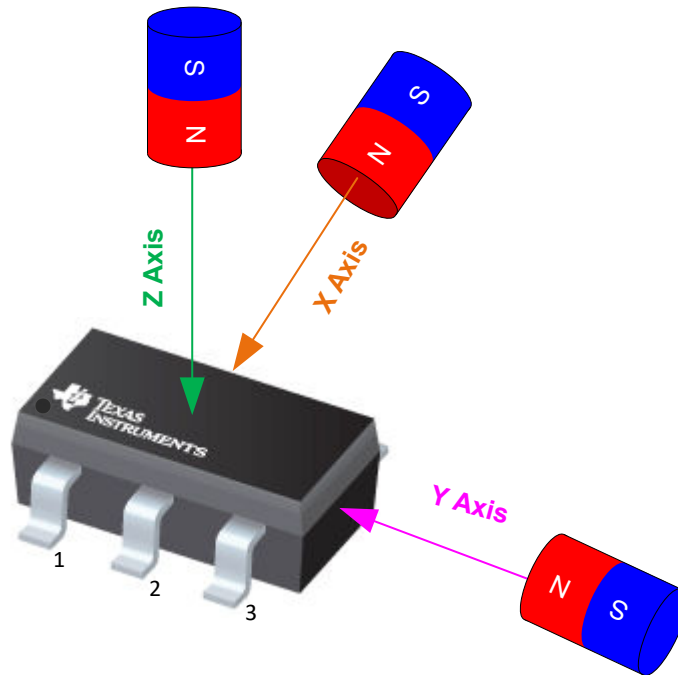


図 2-7. 磁界方向の定義

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

MSPM0G3507 デバイスは、計測ライブラリを実行するための最小限のリソースを提供し、スタンドアロン ADC および PC GUI とのインターフェイスに必要なペリフェラルを搭載しています：

- 外部 BAW または XTAL を使用した HF クロッキング サブシステム
- DMA 付き SPI (スタンドアロン ADC と MSPM0 MCU の間のデータ転送)
- DMA 付きの UART (キャリブレーションおよび計測値の読み出しのための外部 PC GUI と MSPM0 MCU 間のデータ転送)
- GPIO (割り込み付き入力、または LED および ADC 制御のための出力)
- TMAG5273 インターフェイス用 I2C
- 選択可能な RTC (内部 LFOSC からの 32.768kHz に基づくカレンダー モード)

すべてのペリフェラル モジュールまたは MCU モジュールは、グラフィカル **SYSCONFIG** ツールを利用する SDK ミドルウェアの **TIDA-010244.syscfg** ファイルによって構成されます。このツールを使用すると、GUI を使用して直感的で簡単に変更でき、従来の低レベル MCU レジスタ アクセスを置き換えることができます。

3.1.1 クロック供給システム

このリファレンス デザインには、**LMK1C1104** で **CLKIN1** から **CLKIN4** の 4 つの同一位相内クロック信号を駆動するのに必要なクロック入力を供給するための 3 つの異なるオプションが含まれています。これにより、すべての ADC が確実に動作し、互いに同期したデータ サンプルを収集できます。**BAW** と **XTAL** の両方の構成が正常にテストされましたが、**PWM** オプションはテストされませんでした。

MSPM0G3507 MCU は、CPU クロック (**MCLK**) を 79.87MHz に設定し、すべての **AMC131M03** デバイスへの **M0_CLKOUT** クロック信号を 8.192MHz に設定するように構成されています。外部の 16.384MHz または 32.768MHz **XTAL** は PLL モジュールにクロックを供給し、特定の係数を乗算および除算して、79.87MHz の **MCLK** 周波数 (CPU のクロック速度) を生成します。デバイスの補助 RTC クロック (**RTCCLK**) のクロック ソースには、32.768kHz の内部 **LFOSC** が使用されます。

3.1.1.1 BAW 発振器

TIDA-010244 のデフォルトのオプションは、バルク弾性波 (**BAW**) 発振器です：TI の **BAW CDC6C** 発振器は、周波数を 8.192MHz に設定する高精度クロック信号ジェネレータです。このデバイスは 4 ピンのパッケージで供給され、**CDC6C** デバイスからの出力クロック信号を **MSPM0** の **HFXOUT** と **LMK1C1104** からのクロック入力に並列に供給されます。**CDC6C** をメインクロック プロバイダとして使用するには、**R8**、**R9**、**C11** を実装し、**R10**、**R11**、**R16**、**R19**、**C10**、**C12** を取り外してください。**BAW** 発振器の性能が優れているため、推奨された設計になります： $F_{OUT} \geq 10\text{MHz}$ のとき、ジッターは 1ps RMS 未満。

3.1.1.2 水晶発振器

16.384MHz または 32.768MHz の外部水晶発振器 (**XTAL**) を 2 または 4 分周をすると、GPIO 高駆動ピン専用の **M0_CLKOUT** の 8.192MHz 出力周波数が生成されます。このオプションを有効にするには、**XTAL** デバイスの隣に **R10**、**R11**、**C10**、**C12** を実装し、**R8**、**R9**、**R19** と **C11** を取り外します。**C11** パッドを短くします。クロック設定は、**SYSCONFIG** ツール内のグラフィカルなクロック ツリー構成を利用して、ソフトウェア配布物に含まれている **TIDA-010244.syscfg** ファイルに実装されます。**TIDA-010244** の **XTAL** オプションは、測定精度もテストされたものであり、**BAW** をベースとするデザインと同等です。

3.1.1.3 PWM

MSPM0G3507 からの **PWM** 信号を使用して、評価のためにクロック バッファに電力を供給できます。**PWM** 信号を有効にするには、前述のクロック デバイスの 1 つを **HFXIN** および **HFXOUT** に接続する必要があります。その後、**SYSCONFIG** ツールを使用して **PWM** 信号を選択し、生成することができます。**PB10** **PWM** ピンはクロック信号をバッファに供給します。この信号をクロックバッファ入力に接続するには、**R9** と **R16** を取り外し、**R19** を取り付けます。

3.1.1.4 クロック バッファ

2 つの同期クロックを 4 つの ADC に分配する必要があるため、2 つの **LMK1C1104** クロック バッファが追加されています。1 つ目のバッファは、8.192MHz を使用する 4 つの同期 CLKIN1–4 信号を M0_CLKOUT 出力から誘導し、2 つ目のバッファは SPI ペリフェラルから SPI クロックを受け取り、4 つの SCLK1–4 信号を出力して各 ADC を個別に駆動します。

3.1.2 SPI バスの構成

SPI バスは、全部 4 つの ADC の間で共有され、MCU には SPI コントローラが搭載されています。そのコントローラには、4 つの独立したチップ セレクト (\overline{CS}) ラインがあり、それぞれが 1 つの ADC に接続されています。SPI バスは、DMA をサポートする 19.968MHz または 13.312MHz のデータレートで動作し、1 つは送信用、もう 1 つは受信用の 2 つのチャンネルを使用します。PICO および POCI データラインは共有され、一度に 1 つの \overline{CS} ラインのみがアクティブになるため、これらはシーケンシャルに駆動されます。

4 本の \overline{DRDY} ライン (各 ADC から 1 本) は、4 つの GPIO 入力に接続されており、立ち下がりエッジで割り込みがインテリジェントになります。

3 つの GPIO 出力が必要です:

1. 1 つの SYNC_RESET ラインですべての ADC を同時にトリガすると、SYNC_RESET はすべての ADC で共有されます
2. ACT 出力
3. REACT 出力

ACT および REACT パルス出力は、計測ソフトウェアによって計算されているアクティブおよびリアクティブなエネルギーを報告するために使用されます。ACT および REACT 出力を使って、これらの ACT パルスと REACT パルスを読み取る外部テストシステムを使って TIDA-010244 の精度を測定します。

TMAG5273 3D ホール センサ デバイスを接続するために、I2C インターフェイスを使用して、MCU を I2C トランスミッタとします。RTC モジュールは、電気メーターの一般的な要件であるカレンダー モードをサポートしています。デバイスの補助クロック (RTCCLK) のクロックソースには、M0+ MCU 内部の 32.768kHz LFOSC が使用されます。

3.1.3 LED と UART のジャンパ設定

TIDA-010244 ボードを実行するには、次の手順を行います:

1. 電源設定

デフォルトの電力源は USB Type-C 経由で接続されています。基板上に電力を供給するには、JP3 と J18 にジャンパを配置します。次の LED は、適切な機能を示します:

- LED0: XDS110 エミュレータに向け、3.3V
- LED1: MSPM0 MCU に向け、3.3V
- LED3: XDS110 エミュレータの適切な機能
- LED6: MSPM0 MCU では 5V が使用可能です
- LED7: USB コネクタ経由で 5V を供給します

その他の電源オプションは、『[電源オプションおよびジャンパ設定](#)』に記載されています。

2. 通信設定

デフォルトの通信は、オンボード USB Type-C インターフェイス経由で接続されています。このインターフェイスはプログラム可能で、MSPM0、オンボードの Bluetooth Low Energy チップまたは Bluetooth Low Energy モジュールからデータを送信できます。MSPM0 デバイスをプログラムするには、以下のジャンパを配置します:

- J6: MCU_TMS から MCU_SWDIO への接続
- J7: MCU_TCK から MCU_SWCLK への接続

Bluetooth Low Energy のチップまたはモジュールをプログラムするには、以下のジャンパを配置します:

- J6: MCU_TMS から BLE_SWDIO への接続
- J7: MCU_TCK から BLE_SWCLK への接続

UART 通信を使用し、エネルギー測定ライブラリで計算されたさまざまな結果を提供します。データは USB Type-C インターフェイス、ピン ヘッダー経由の FTDI デバイス、Bluetooth Low Energy チップ、または Bluetooth Low Energy モジュール経由で転送できます。

デフォルト設定では、USB Type-C インターフェイスを経由してデータを転送します。これを有効にするには、J9 のジャンパを RX と TX に接続します。

2 番目のオプションは、ヘッダー J7 上の外部 FTDI チップ経由で接続します。FTDI ケーブル変換デバイスをヘッダーに配置し、CCS プロジェクトの SysConfig ファイルを使用してハードウェア構成を確実に変更します。[『UART から PC GUI への通信』](#)も参照してください。

3 番目の選択できる設定は Bluetooth Low Energy を経由しています。データをテストおよび送信するには、いくつかのオプションがあります。

- PC から UART 経由で Bluetooth Low Energy チップおよび最終アプリケーションにデータを送信します。
- MSPM0 から UART 経由で Bluetooth Low Energy および最終アプリケーションにデータを送信します。

ケース 1 接続の場合:

- J9 RX の右側から JP8 (UART) HY_TX
- J9 TX の右側から JP8 (UART) HY_RX

ケース 2 接続の場合:

- JP8 HY_RX から BLE_TX への接続
- JP8 HY_TX から BLE_RX への接続

3.2 ソフトウェア要件

TIDA-010244 のテストに使用する計測ソフトウェアは、最新の [MSPM0 SDK](#) でのミドルウェア サンプルとして提供されています。このミドルウェアにはハードウェア抽象化レイヤが含まれており、スタンドアロン ADC と Arm Cortex-M0+ MCU との間で通信が可能になるほか、エネルギー測定用の計測計算ライブラリが含まれています。Microsoft Windows PC の GUI ソフトウェアを使用して、TIDA-010244 リファレンス デザインから取得した計測パラメータを表示します。このソフトウェアは、[MSPM0-SDK](#) に含まれています。C:\ti\msp0_sdk_2_03_00_07\tools\metrology_gui のディレクトリをご覧ください。

TIDA-010244 ミドルウェア サンプル コードの MSPM0G3507 リソース利用率は次のとおりです (TI Clang v3.2.2.LTS コンパイラを使用した CCS バージョン 12.8.1.00005):

- アプリケーション コード用の 32,912 バイトのフラッシュ
- キャリブレーション データ用の 256 バイトのフラッシュ
- 9,742 バイトの RAM メモリ

3.2.1 PC GUI 通信用の UART

MSPM0+ MCU は、この USB Type-C インタフェースの J9 UART インターフェイスを使用して、PC の GUI と通信するように構成されています。または、FTDI ピンヘッダ J7 の代わりに UART 通信用の FTDI インターフェイスを使うこともできます (別の UART ポートが利用されるため、[SysCfg](#) ファイルを変更する必要があります)。

PC の GUI は、8N1 で 115200 ボーに構成された UART モジュールを使用して、MSPM0G3507 からのデータをポーリングします。UART データをフォーマットする UART プロトコルは DLT-645 と呼ばれ、UART モジュールは、次に示す 2 つの DMA チャンネルを利用します。チャンネル 2 はデータ受信用、チャンネル 3 はデータ送信用です。DLT-645 プロトコルの詳細について、[『中国国家電網仕様に対する MSP430AFE253 テストリポート』](#) および [『MSP430I2040 を使用した单相および DC 組込み計量 \(電力モニタ\)』](#) アプリケーション ノートもご覧ください。

UART ドライバは、最小の MCU 割り込み負荷で双方向 DMA 転送をサポートします (2 つのチャンネルを使用し、1 つは送信用、もう 1 つは受信用)。UART データは、14 バイトにトリガを設定することによって、HAL_startUARTDMAReceive() 関数で処理されます。このバイトは、パケット長 (パケットごとに動的に変更可能) をコードするものです。バイト 14 をデコードすると、UART DMA 転送長の値が新しい長さに更新されます。この長さは、PC GUI によって送信される DLT-645 プロトコル パケットの残りの部分を含みます。

表 3-1 に、MSPM0G3507 の複数の UART ポートを示します。

表 3-1. UART インターフェイスの割り当て

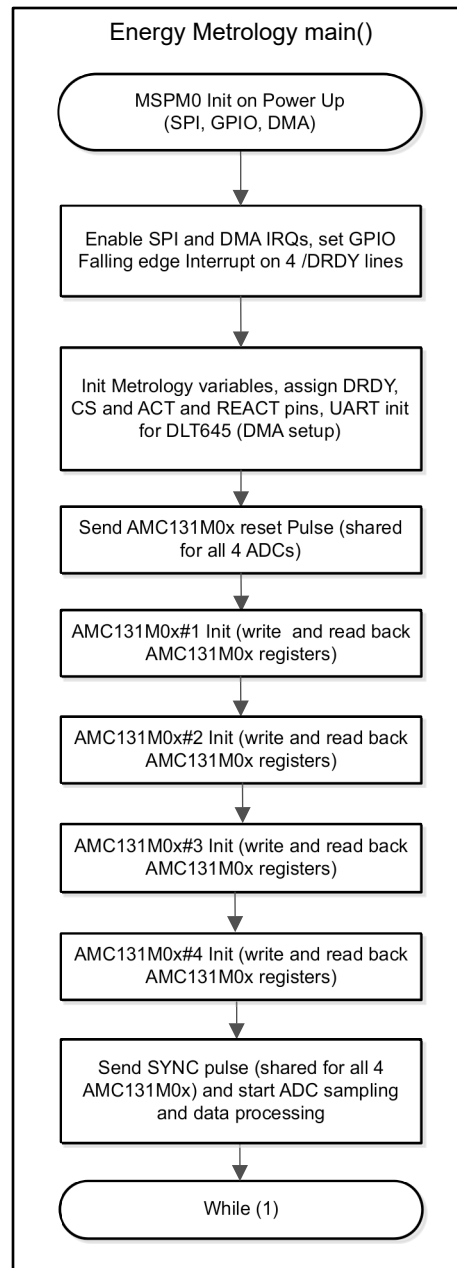
オプション	MSPM0G3507 UART ポート	ピン	ヘッダ
USB Type-C (デフォルト)	UART1	RX: PA8 TX: PA9	J9
FTDI デバイス	UART3	RX: PB13 TX: PB12	J7
Bluetooth Low Energy チップ	UART2	RX: PB18 TX: PB17	JP9

3.2.2 ダイレクト メモリ アクセス (DMA)

MCU DMA モジュールは、最小限のハードウェアリソースとタイミング オーバーヘッドで、共有 SPI バス上で MSPM0G3507 MCU と 4 つの AMC131M03 デバイスとの間でパケットを転送します。次の 2 つの DMA チャンネルが使用されます: DMA チャンネル 0 は SPI データ (0x00) を ADC への送信に使用され、DMA チャンネル 1 は共有 SPI バスを介してすべての ADC から測定データを同時に受信することに使用されます。最初の ADC から全部の SPI データ パケットを受信すると、DMA 準備完了割り込みが生成され、データ パケットの CRC16 検証が開始されます。CRC16 チェックが成功すると、データ パケットが分解され、位相ごとに電圧と電流の値が得られます。2 番目、3 番目、4 番目の ADC デバイスは順番に時間多重化されてアクセスされ、位相ごとおよび中間のデータ サンプルを読み出します。AMC131M03 からの中性線データでは、電流の値のみが処理されます。AMC131M03 は 15 バイトのパケットを転送します。

3.2.3 ADC 設定

AMC131M03 デバイスのレジスタは、すべての関連するアナログ入力チャンネルについて適切な測定データを供給するためには、初期化する必要があります。この初期化プロセスは、計測アプリケーションを開始するたび、および計測キャリブレーション手順を実行するたびに行われます。


図 3-1. TIDA-010244 ファームウェアのエネルギー測定の初期化シーケンス

MSPM0+ MCU の SPI モジュールは、4 線式モードを使用するコントローラ デバイスとして構成されています (SPI ハードウェア モジュールによって、4 つのチップ セレクト信号 CS0、CS1、CS2 と CS3 が自動的に High と Low にアサートされます)。SPI モジュールのセットアップ後、すべての割り込みがディセーブルされ、SYNC_RESET ラインのリセットパルスが MSPM0+ MCU から送信されます。その後で割り込みが再度有効され、MSPM0+ MCU は SPI 書き込みコマンドを ADC に送信し (最初は位相 A の場合は AMC131M03、次に位相 B の場合は AMC131M03、次に位相 C の場合は AMC131M03、最後に中間の場合は AMC131M03) レジスタを構成します:

- MODE レジスタの設定: 16 ビットの CCITT CRC を使用、AMC31M03 データパケットの各ワードは 24 ビット長、イネーブル中で最も遅延しているチャンネルで DRDY 信号をアサート、変換値が利用できないとき DRDY を High にアサート、変換値の準備ができたとき DRDY を Low にアサート
- GAINx レジスタの設定: 3 つのチャンネルすべてで PGA ゲイン = 1 を使用し、各 AMC デバイスのラインから中性線への電圧を測定
- GAINy レジスタの設定: PGA ゲイン = 32 は、4 つの電流測定チャンネル (シャント チャンネル) すべてで使用されます。
- CHx_CNG レジスタの設定 (x はチャンネル番号)

- 3 相モード: 7 つの ADC チャンネル入力をすべて外部 ADC ピンに接続、各チャンネルのチャンネル位相遅延を 0 に設定 (AMC131M03 ハードウェア位相補償の代わりに SDK ミドルウェアのソフトウェア位相補償を使用)
- CLOCK レジスタの設定: 1024 の OSR、すべてのチャンネルがイネーブル、高分解能変調器の電力モード

MSPM0+ MCU は、4 つの *DRDY* ピンのいずれかに立ち下がりエッジが発生するたびにポート割り込みを生成するように起動時に構成されています。この信号は、新しい測定サンプルが利用可能であることを示します。

ADC 変調器のクロックは、*CLKIN* ピンに供給されるクロックから生成されます。*CLKIN* ピンの信号は内部で 2 分周されて、ADC 変調器のクロックを生成します。したがって、ADC のサンプリング周波数は、式 3 に示すように定義されます。

$$f_s = \frac{f_M}{OSR} = \frac{f_{CLKIN}}{2 \times OSR} \quad (3)$$

ここで、

- f_s はサンプリングレートです
- f_M は変調器のクロック周波数です
- f_{CLKIN} は、AMC131M03 の *CLKIN* ピンに供給されるクロックです
- OSR は選択したオーバーサンプリング比です

この設計では、MSPM0+ MCU の *M0_CLKOUT* 信号の周波数は 8.192MHz です。オーバーサンプリング比は、適切なレジスタ設定によって 1024 に選択されます。その結果、4 つの ADC の ADC 変調器のクロックはすべて 4.096MHz に設定され、サンプルレートは毎秒 4000 サンプルに設定されます。

各ラインから中性線までの電圧を測定する 3 相システムでは、3 つの電圧と 3 つの電流、および 2 つの位相の間の絶縁性を個別に測定するため、少なくとも 3 つの AMC デバイスが必要です。この設計では、3 相構成用のソフトウェアで、以下の ADC チャンネル マッピングが使用されます。

- AMC131M03 (U4) の *AIN0P* および *AIN0N* → 電流 I1 (A 相電流)
- AMC131M03 (U4) の *AIN1P* および *AIN1N* → 電圧 V1 (位相 A のラインから中性線までの電圧)
- AMC131M03 (U5) の *AIN0P* および *AIN0N* → 電流 I2 (B 相電流)
- AMC131M03 (U5) の *AIN1P* および *AIN1N* → 電圧 V2 (位相 B のラインから中性線までの電圧)
- AMC131M03 (U6) の *AIN0P* および *AIN0N* → 電流 I3 (C 相電流)
- AMC131M03 (U6) の *AIN1P* および *AIN1N* → 電圧 V3 (位相 C のラインから中性線までの電圧)
- AMC131M03 (U7) の *AIN0P* および *AIN0N* → 電流 N (中性電流)

3.2.4 較正

PC GUI (MSPM0 SDK の `c:\ti\mspm0_sdk_2_03_00_07\tools\metrology_gui` ディレクトリを参照) は、結果の表示と、エネルギー計測機能のキャリブレーションに使用します。キャリブレーション時には、キャリブレーション係数と呼ばれるパラメータがテストソフトウェアで変更され、エネルギーの測定誤差が最小限に抑えられます。

このメータには、各位相に 6 つの主要なキャリブレーション係数があります。電圧スケーリング係数、有効電力オフセット (GUI では電圧 AC オフセットと表示されていますが、これは誤りです)、電流スケーリング係数、無効電力オフセット (GUI では電流 AC オフセットと表示されていますが、これは誤りです)、電力スケーリング係数、位相補償係数です。電圧、電流、電力のスケーリング係数は、計測ソフトウェアで測定された数量を、それぞれボルト、アンペア、ワット単位で表される実際の値に変換したものです。電力オフセットは、電圧から電流へのクロストークを減算するために使用されます。この値は一定の電力オフセットとして現れ、低電流で誤差が大きくなります。最後のキャリブレーション係数は位相補償係数で、電流センサや他の受動部品によって生じる位相シフトを補償するために使用されます。

電圧、電流、電力のキャリブレーション係数は互いに独立しています。したがって、電圧のキャリブレーションを行っても、RMS 電流または電力の測定値に影響しません。MSPM0+ MCU 上でエネルギー計測ミドルウェアを初めてフラッシュ書き込みすると、これらのキャリブレーション係数にデフォルト初期値がロードされます。これらのデフォルト値は、キャリブレーション中に GUI で変更します。キャリブレーション係数は MCU 内の FLASH セクタに保存されるため、ハードウェアを再起動しても同じ値が維持されます。いずれかのスケーリング係数のキャリブレーションを、ゲイン補正と呼びます。位相補償係数のキャリブレーションは、位相補正と呼びます。キャリブレーションプロセスの全体を通して、AC テストソースをオンにし、エネルギーパルスをリファレンスメータに接続しておく必要があります。

3.3 テスト設定

図 3-2 に、PCB の最上層でのリファレンス デザインの各部品の位置を示します。PCB の最下層には、わずかな XDS110 デバッガ サブシステム用の部品です。

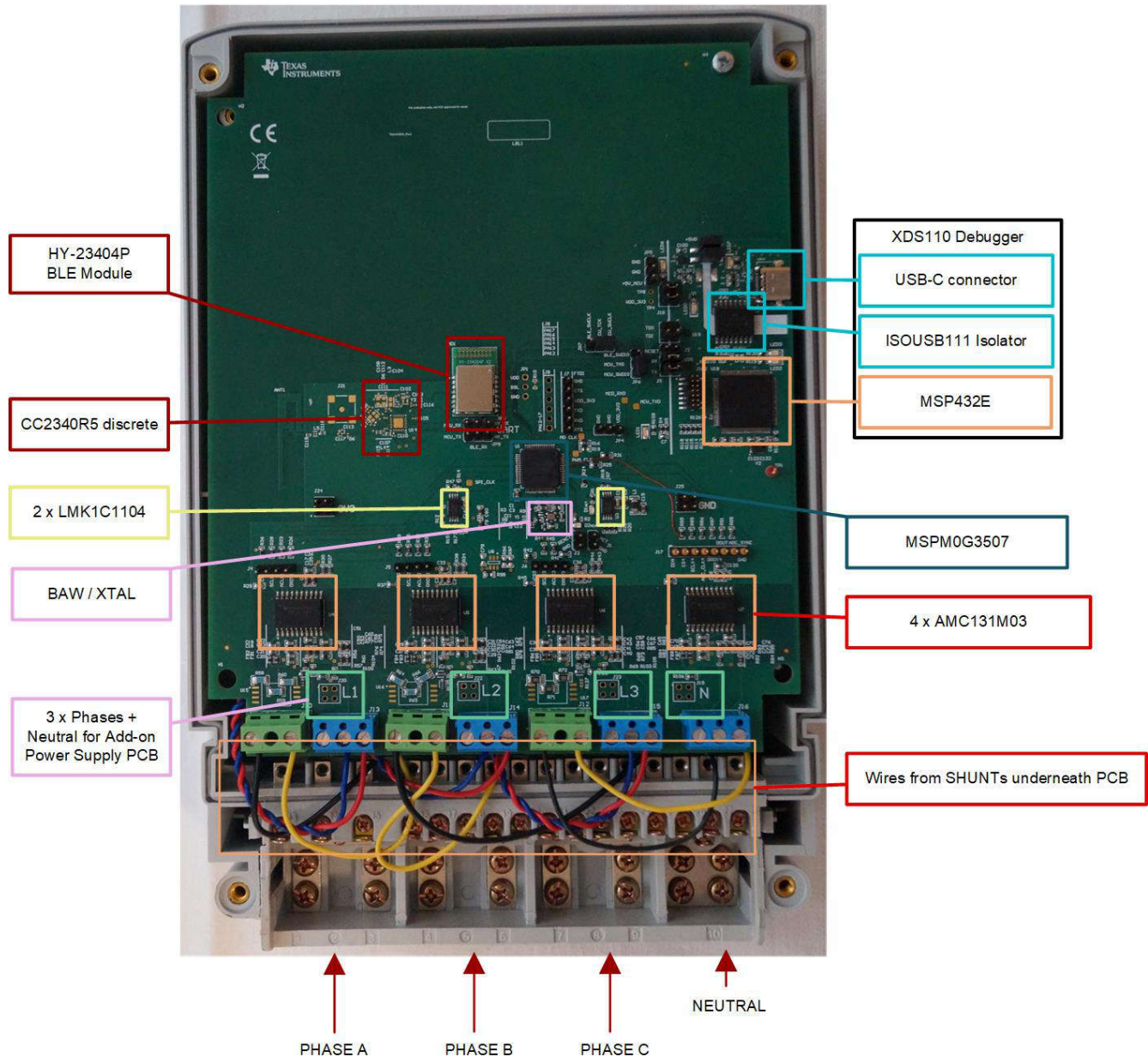


図 3-2. TIDA-010244 デザインのコンポーネントを示す上面図

3.3.1 テスト構成への接続

AC 電圧および電流を基板に印加して、次のポイント进行测试できます。

- 端子ブロック J10、J11 と J12 には、それぞれ位相ライン A、B、C に対応する 2 つ目の位置があります。1 つ目の位置を「中性」に接続します。
- 端子ブロック J13、J14 と J15 には 3 つの位置があり、各ブロックの 2 つ目と 3 つ目の位置は位相ライン A、B、C への接続に使用され、シャントは位置 1 に接続されます。1 つ目の位置はシャントへのもう 1 つの接続点です。この端子台の 1 端子と 3 端子の間の差動電圧が $\pm 37.5\text{mV}$ を超えないようにしてください。HGND 端子を使用して位相電圧を接続し、この電圧を電流回路の基準にすることができます。

- 端子ブロック **J16** は、シャントの両端に差動電圧を取得するため、**3** つの位置の端子ブロックとなります。**GND** に接続される 1 つ目の位置が中間電圧です。シャントから右端および左端の位置に差動ワイヤを接続して、通過する電流を測定します。シャントの入力に印加される電流が、許容される最大シャント電流 (**120A** など) を超えないように選択します。また、テストを実行する前に、この端子ブロックがシャントの両出力リードと安全に接続されていることを確認してください。

3.3.2 電源オプションとジャンパ設定

M0+ MCU、4 つのスタンドアロン ADC、および **TIDA-010244** 基板の残りの部分は、**3.3V** の外部電源と **GND** を接続することで、外部電源から電力を供給します。**J7** ジャンパは **FTDI** の標準 **6** ピン ヘッダーで、既製の **FTDI UART/USB** ケーブルを接続して、外部 **3V3**、**GND**、および **PC GUI** と通信するための **UART** ポートにも電力を供給できます。

各種のジャンパ ヘッダーとジャンパ設定が存在するため、基板を柔軟に設計できます。これらのヘッダーの一部は、基板が適切に機能するようにジャンパを適切に配置する必要があります。[「LED および UART のジャンパ設定」](#)セクションに、基板上の各ジャンパの機能が記載されています。

JP3 にジャンパを配置することで、**USB Type-C** ポート経由で **5V** 電源を供給できます。このような場合には、**USB** インターフェイスの絶縁が利用できなくなります。**USB** からの **5V** 電源は、オンボード **LDO** によって **3.3V** までに低減されます。

外部 **3.3V** 電源を、基板上のさまざまなヘッダ経由で接続することができます。以下のヘッダーを活用して、基板に **3.3V** の電力を直接に供給できます：

- **J7**、**P3**
- **J24**、**P1**
- **JP1**、**P1**
- **JP2**、**P4**
- **JP4**、**P1–4**

グラウンド接続は次の通り：

- **J7**、**P1**
- **J25**、**P1–4**
- **JP1**、**P3**
- **JP4**、**P2–3**
- **JP5**、**P2–3**

LED0 は、**USB Type-C** 絶縁内の **3V3** レベルを示します。**LED1** は **MSPM0 MCU** の **3V3** 電圧レベルを示し、**LED6** は **5V** レベルが基板に印加されているかどうかを示します。

また、このデザインにはジャンパヘッダー (**J19**、**J20**、**J22**、**J23**) 接続が実装されており、高電圧位相へのアクセスを提供し、外部電力コンバータ (フライバックコンバータなど) を接続することで、**3.3V** で基板に電力を供給します。

注

[表 3-2](#) では、「主な機能」の列に **(警告)** というテキストがあるヘッダーは絶縁されていないため、商用電源で動作させるときに、これらのヘッダーに測定機器を使用しないでください。この設計の基板の外部にあるアイソレータを使用してヘッダーに接続する、機器がバッテリーで動作し、商用電源に接続していない、または **AC** 商用電源が絶縁されている場合を除いて、この注意が適用されます。

表 3-2. ヘッダー名とジャンパ設定

ヘッダーまたはヘッダーのオプション名	タイプ	主な機能	有効な使用事例	備考
J10、 J11、J12	2 ピンの端子ブロック	位相 A、B、C の電圧 (警告)	ライン A、B、C の電圧入力	これらの端子ブロックは、それぞれ 1 つの端子を中間電圧に接続し、2 番目の端子はそれぞれ位相 A、B、C に接続されます。
J13、 J14、J15	3 ピンの端子ブロック	ライン A、B、C のシャントを接続 (警告)	ライン A、B、C のシャント センサ後の電流入力	この端子ブロックは 3 位置ですが、左端と右端の位置のみが使用されます。GND に接続されている中心の位置は、CT に接続されません。テストを実行する前に、この端子ブロックが CT の両方の出力リードと安全に接続されていることを確認してください。
J1	2 ピン ヘッダー	有効エネルギー パルス (警告)	ここで、累積有効エネルギー パルスを調べます。このヘッダーには GND と ACT の 2 つのピンがあり、有効エネルギー パルスはここで実際に出力されます。	このヘッダーは AC 商用電源から絶縁されていないため、測定機器をここに接続しないでください。代わりに、絶縁されている J2 の ISO_ACT ピンを参照してください。有効電力パルスのテストが求められる場合は、絶縁されている J2 の ISO_ACT ピンを使用してください。
J3	2 ピン ヘッダー	無効エネルギー パルス (警告)	ここで、累積無効エネルギー パルスを調べます。このヘッダーには GND と REACT の 2 つのピンがあり、無効エネルギー パルスはここで実際に出力されます。	このヘッダーは AC 商用電源から絶縁されていないため、測定機器をここに接続しないでください。リアクティブな電力パルスのテストが求められる場合は、絶縁されている J2 の ISO_REACT ピンを使用してください。
J102	10 ピン、2 行 のコネクタ	中継接続 (警告)	XDS110 デバッグプローブをこのコネクタに接続して、MSPM0G1106 MCU をプログラムおよびデバッグします。	XDS110 デバッグプローブは、MSPM0G35073 デバイスのプログラムに使用されます。プログラムを行うには、MSPM0 MCU に外部から電力を供給する必要があります。XDS110 は電力も供給します。このヘッダーと XDS110 は絶縁されていないため、商用電源で動作し、その商用電源が絶縁されていないときは、このヘッダーに接続しないでください。
J7	6 ピン ヘッダー	FTDI UART および電源 (警告)	商用電源を接続せずにデバッグを行う場合は、FTDI ケーブルと UART リンクを使用します。	PC の USB ポート経由で UART リンクを提供します。このヘッダーは絶縁されていないため、商用電源で動作し、その商用電源が絶縁されていないときは、このヘッダーに接続しないでください。
J4、J5、J6	4 ピン ヘッダー	AMC131M03 MSPM0G3507 通信ヘッダー (警告)	ここで、それなりの AMC131M03 デバイスの 4 線式 SPI 信号、RST 信号、CLKIN 信号、DRDY 信号への接続を調べます。	RST ピンは、すべての ADC の初期化時に MSPM0G3507 によって駆動される AMC131M03 をリセットします。各 AMC131M03 デバイスの DRDY ピンは、新しい電流サンプルが利用可能であることを MSPM0+ MCU に通知するため使用されます。CLKIN ピンは、MSPM0+ MCU の LMK クロックバッファを通じて M0_CLKOUT クロック出力から AMC131M03 デバイスに供給されます。ADS131M08 デバイスは、クロックを分周して使用する変調器クロックを生成します。 (警告) このヘッダーは AC 商用電源から絶縁されていないため、リファレンスデザインの外部にあるアイソレータを使用できる場合を除き、商用電源で動作するときは測定機器を接続しないでください。このヘッダーのピンマッピングは次のとおりです： <ul style="list-style-type: none"> • ピン 1: \overline{CS} ピン • ピン 2: SPI CLK • ピン 3: AMC131M03 CLKIN ピン • ピン 4: AMC131M03 \overline{DRDY} ピン

表 3-2. ヘッダー名とジャンパ設定 (続き)

ヘッダーまたはヘッダーのオプション名	タイプ	主な機能	有効な使用事例	備考
J17	8 ピン ヘッダー	AMC131M03 MSPM0G3507 全通信ヘッダー (警告)	ここで、AMC131M03 デバイスの 4 線式 SPI 信号、RST 信号、CLKIN 信号、DRDY 信号への接続を調べます。	ヘッダーは、J4、J5、J6 などと同等な機能を備えています。このヘッダーは、SPI データラインへのアクセスを可能にするために拡張されています。このヘッダーのピン マッピングは次のとおりです。 <ul style="list-style-type: none"> • ピン 1: AMC131M03 DIN • ピン 2: AMC131M03 CS • ピン 3: AMC131M03 SCLK • ピン 4: CLKIN • ピン 5: AMC131M03 DRDY ピン • ● ピン 6: AMC131M03 DOUT • ピン 7: AMC131M03 同期、リセットピン • ピン 8: GND
J18	4 ピンの端子ブロック	MCU TDO および TDI		
J2	2 ピン ヘッダー	リセットピン		
J9	4 ピンの端子ブロック	UART XDS から MSPM0 への接続	UART 信号または外部 MCU 向けの接続のデバッグ機能。	外部 MCU を評価する場合、ここでは外部 MCU を接続し、USB Type-C ポート経由でデータを送信します。
J16	3 ピンの端子ブロック	中間接続 (警告)	中性ラインのシャント後の電流入力 (中間電流監視が必要な場合)。	この端子ブロックは 3 位置ですが、左端と右端の位置のみが使用されます。GND に接続されている中心の位置は、シャントに接続されません。テストを実行する前に、この端子ブロックがシャントの両方の出力リードと安全に接続されていることを確認してください。
J19、J20、J22、J23	4 ピンの端子ブロック	外部パワー コンバータを取り付けるための電源接続 (警告)	測定された 3 つの相の間で、基板に電力を供給します。 警告: 高電圧を印加。	
J8	6 ピン ヘッダー	MSPM0 の未使用 GPIO ピン	このヘッダーを使用して、MSPM0 からのさらなる信号を有効にします。	SysConfig ツールで必要に応じて、これらの GPIO ヘッダーピンを有効にします。
J24	4 ピンのヘッダー ブロック	3V3 ヘッダー	このヘッダーを外部電源に使用します。	
J25	4 ピンのヘッダー ブロック	GND ヘッダー	このヘッダーをグランド接続に使用します。	
J26	4 ピン ヘッダー	MSP432 JTAG インターフェイス	これは、MSP432 デバイスをプログラムするためのバックアップ接続です。デフォルト設定は USB Type-C 経由です。	
JP1	3 ピンのジャンパ ヘッダー	MSPM0G3507 の BSL_invoke ラインを通じるブルアップまたはブルダウン	BSL_invoke が VDD_3V3 または GND のどちらかに応じて、1-2 または 2-3 の位置にジャンパを取り付けます。	
JP2	4 ピンのヘッダー ブロック	5V と 3.3V の接続	5V と 3.3V の接続です。このヘッダーを配置して、5V を基板に接続します。	
JP5	3 ピン ヘッダー	外部 5V 接続		


表 3-2. ヘッダー名とジャンパ設定 (続き)

ヘッダーまたはヘッダーのオプション名	タイプ	主な機能	有効な使用事例	備考
JP6	3ピンヘッダー	外部プログラミング接続	デバッガの接続 (SWDIO) により、MSPM0 または Bluetooth Low Energy チップをプログラミングします。	
JP7	3ピンヘッダー	外部プログラミング コネクタ	デバッガの接続 (SWCLK) により、MSPM0 または Bluetooth Low Energy チップをプログラムします。	
JP8、JP9	3ピンヘッダー	MCU、または Bluetooth Low Energy の UART RX および TX コネクタ	UART 経由で MSP から Bluetooth Low Energy チップまたはモジュールにデータを送信します。	

3.3.3 注意および警告


大電流が流れると、端子ブロックが熱くなる可能性があります。また、位相電圧は基板に供給されるため、適切な予防措置を講じてください。

警告



表面が高温になります。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。操作時には適切な予防措置を講じてください。

注意



高電圧基板を通电中の配線に接続すると、感電の危険性があります。基板は専門家が慎重に取り扱う必要があります。安全のため、過電圧 / 過電流保護機能を備え、絶縁された試験装置の使用を強くお勧めします。

3.4 テスト結果

TIDA-010244 デザインは、シャント センサを使用した最大 3 相および中間的な構成をサポートしており、この構成では 4 つの電流入力と 3 つの電圧入力への接続が必要です。

AC 電圧および電流を基板に印加して、次のポイントをテストできます。

- 端子ブロック「J5」、「J6」、「J7」は、それぞれ A、B、C 相のライン電圧接続に対応しています。これらの端子ブロックには 2 つの位置があります。
- 端子ブロック「J8」、「J9」、「J10」は、それぞれ A、B、C 相のセンサ後の電流入力に対応します。これらは 3 位置の端子ブロックですが、左端と右端の位置のみが使用されます。GND に接続されている中心の位置は、シャントに接続されません。テストの際、シャントに印加される電流が 120A を超えないことを確認してください。また、テストを実行する前に、この端子ブロックがシャントの両方の出力リードと安全に接続されていることを確認してください。
- 端子ブロック「J11」は、シャント センサ後の電流入力に対応します。この端子ブロックは 3 位置ですが、左端と右端の位置のみが使用されます。GND に接続されている中心の位置は、シャントに接続されません。テストの際、シャントに印加される電流が 120A を超えないことを確認してください。また、テストを実行する前に、この端子ブロックがシャントの両方の出力リードと安全に接続されていることを確認してください。

3.4.1 電気メータの計測精度の結果

電気メータの構成で計測精度をテストするには、ソース ジェネレータを使用して、TIDA-010244 に電圧と電流を供給します。この設計では、3 相と中性線間の 120V 公称電圧、10A のキャリブレーション電流、および 60Hz の公称周波数が 3 相それぞれに使用される同時に、位相キャリブレーションを 60° で完了します。

累積有効エネルギーと累積無効エネルギーのテストでは、各位相のエネルギー読み取り値の合計について精度がテストされます。累積有効エネルギーの誤差テストと累積無効エネルギーの誤差テストでは、電流が 100mA から 100A に変化します。累積有効エネルギーの場合、リファレンス デザインに供給される電圧波形と電流波形の間に 0° (PF = 1)、PF = 0.5i (誘導性)、PF = 0.8c (容量性) の位相シフトを適用します。有効エネルギー出力パルスからの誤差に基づき、3 つの PF 値について、有効エネルギーの % 誤差と電流との関係を示すプロットが作成されます。

累積無効エネルギーの誤差テストでも同様のプロセスが行われますが、90° (sin ϕ = 1i)、sin ϕ = 0.5i (誘導性)、sin ϕ = 0.8c (容量性) が使用され、累積無効エネルギーの誤差がプロットされます。

これらすべてのテストは、AMC131M03 の 4ksps サンプルレート設定を使用して実行しました。

A 相と B 相での V_{RMS} 精度テストでは、電流を 10A に固定した状態で、電圧を 10V ~ 270V の範囲で変化させました。A 相と B 相での I_{RMS} 精度テストでは、電圧を 120V に固定した状態で、電流を 0.025A ~ 100A の範囲で変化させました。

有効電力および無効電力に関する以下の 2 つのプロットは、クラス 0.2S と 0.5S の精度に対する IEC 62053-22 の制限に準拠しています。ここでは、 $I_{\text{nominal}} = 15\text{A}$ と想定しているため、 I_{nominal} の 5% ポイントは 750mA となります。

各測定の平均誤差は、5 つのテストシリーズから計算され、各電流値に対して順に取得されます。この 5 つの測定値からの最大偏差を計算して (以下のプロットには示されていません)、この計測サブシステムの安定性が許容される最大誤差の 10% を下回っていることを確認します。

以下のテスト結果では、ゲイン、位相、オフセットのキャリブレーションがメーターに適用されています。大電流においては、示されている % 誤差の大半は、大電流で発生する熱の増加に起因するシャント抵抗ドリフトです。

テスト データは次の較正值データと共に記録されます：

- $V_{\text{in}} = 120\text{V}$
- $I_{\text{in}} = 10\text{A}$
- 60° で較正された位相
- 位相 = 3
- ACT および REACT のエネルギーパルス = 6400
- 室温

表 3-3. 有効エネルギー % 誤差と電流との関係、 $200\mu\Omega$ シャント

電流 (A)	平均誤差 % PF = 1、 $\cos \phi = 0^\circ$	限度値 (%) [クラス 0.2] IEC 62053-22 (PF 0.5i/0.8c)	限度値 (%) [クラス 0.5] IEC 62053-22 (PF 0.5i/0.8c)	平均誤差 % PF = 0.5i、 $\cos \phi = 60^\circ$	限度値 (%) [クラス 0.2] IEC 62053-22 (PF 0.5i/0.8c)	限度値 (%) [クラス 0.5] IEC 62053-22 (PF 0.5i/0.8c)	平均誤差 % PF = 0.8c、 $\cos \phi = -36.87^\circ$
0.1	0.05	0.4	1	-0.0062	0.5	1	0.0844
0.5	0,022	0.4	1	0.0088	0.5	1	0,052
0.75	0,019	0.4	1	-0.0044	0.5	1	0.0484
1.5	0,014	0.2	0.5	-0.0126	0.3	0.6	0,044
3	0,016	0.2	0.5	-0,016	0.3	0.6	0.0522
7.5	0,008	0.2	0.5	-0.0488	0.3	0.6	0.0546
15	-0,006	0.2	0.5	-0.0556	0.3	0.6	0.0368
30	-0,013	0.2	0.5	0.0116	0.3	0.6	0.0154
60	-0,037	0.2	0.5	-0.0398	0.3	0.6	-0,018
75	-0,082	0.2	0.5	-0.1036	0.3	0.6	-0,058
100	-0,096	0.2	0.5	-0.2234	0.3	0.6	-0,118

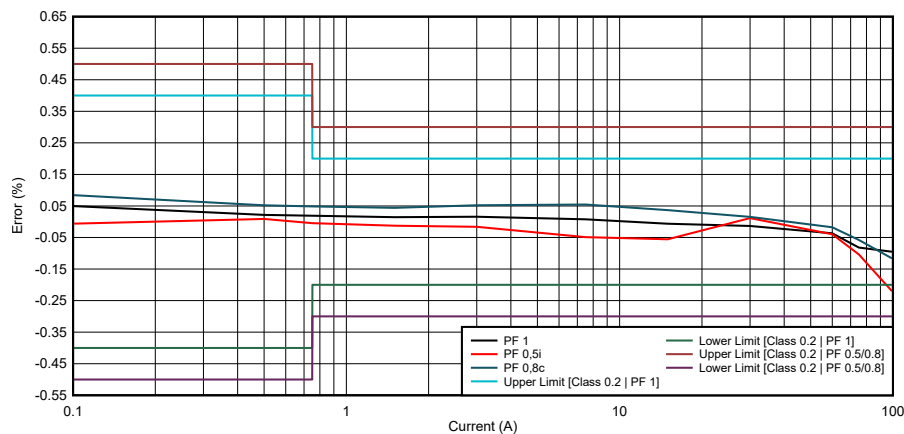


図 3-3. アクティブエネルギー % 誤差

表 3-4. 無効 % 誤差と電流との関係、200 $\mu\Omega$ シャント

CURRENT	平均誤差 % $\sin \phi = 1i$ (90°)	制限 (%) [クラス 1]	制限 (%) [クラス 0.5]	平均誤差 % $\sin \phi = 0.5i$ (30°)	制限 (%) [クラス 1]	制限 (%) [クラス 0.5]	平均誤差 % $\sin \phi = 0.8c$ (-53.13°)
0.1	-4.6028			-9.0318			6.3002
0.5	-0.8614	3	2	-1.6634			1.3914
0.75	-0.5374	3	2	-1.0236			0.9742
1.5	-0.2142	2	1	-0.4482	3	2	0,543
3	-0.0452	2	1	-0.1348	2	1	0,334
7.5	0.0504	2	1	0.0656	2	1	0,194
15	0.0796	2	1	0,112	2	1	0.1502
30	0.1006	2	1	0.1416	2	1	0.1354
60	0.0904	2	1	0.1272	2	1	0.1026
75	0.0608	2	1	0.1004	2	1	0.0746
100	-0.0642	2	1	0.0532	2	1	-0.0596

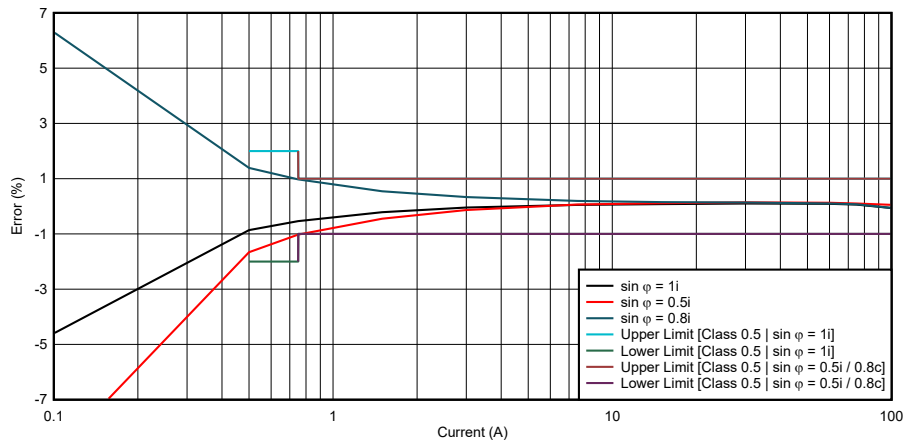


図 3-4. リアクティブ % エネルギー誤差 (3 相)

表 3-5. 120V、200 $\mu\Omega$ シャントでの電流 RMS % 誤差

電流 (A)	位相 A	位相 B	位相 C
	% DIFF	% DIFF	% DIFF
0,025	-3,583	-2,67	-6,677
0.05	-1,306	-1,051	-2,144
0.1	-0,382	-0,35	-0,268
0.25	-0,076	-0,097	-0,095
0.5	-0,021	-0,06	-0,013
1	-0,025	-0,109	-0,014
2	-0,01	-0,066	0,0025
5	-0,04	-0,093	0,0098
10	-0,051	-0,095	-0,021
20	-0,038	-0,075	0,011
30	-0,038	-0,072	0,01
40	-0,01	-0,055	-0,002
50	0,0114	-0,07	0,0006
60	-0,021	-0,071	0,0157
70	-0,015	-0,032	0,0353
80	0,0007	0,008	0,0733
90	0,03	0,063	0,0974
100	0,0462	0,05	0,0648

ここでは 3 相すべての電流誤差をプロットしています:

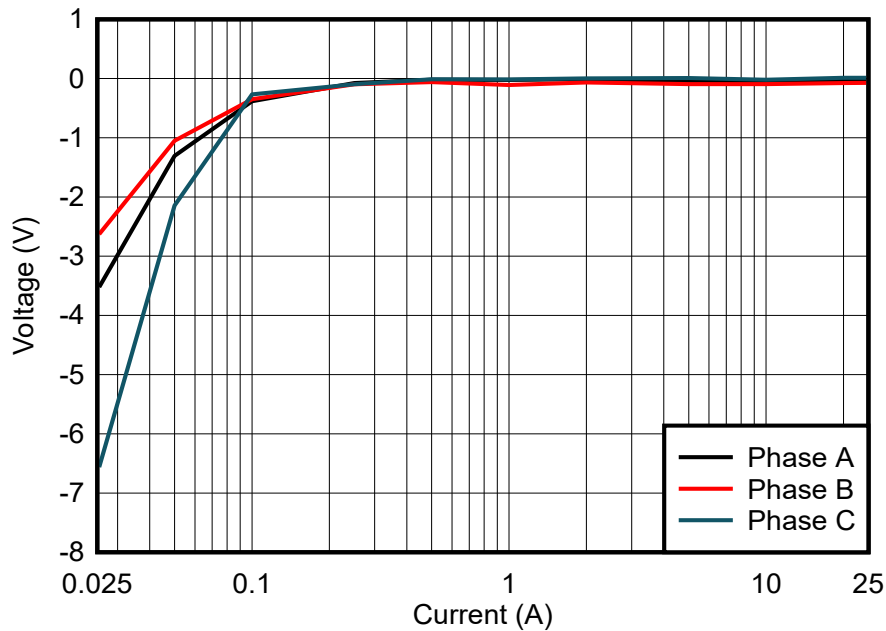


図 3-5. A 相、B 相、C 相での 120V、200 $\mu\Omega$ シャントでの電流 RMS % 誤差

表 3-6. 10A、200 $\mu\Omega$ シャントでの電圧 RMS % 誤差

電圧 (V)	位相 A	位相 B	位相 C
	% DIFF	% DIFF	% DIFF
9	0,088	0.0856	0.0633
10	0,097	0.05	0.06
30	0,093	0.0463	0,043
50	0,031	0.0238	0.0178
70	0.03	0.0027	0.0084
90	0,022	0.0059	-0,006
100	0,073	-0,013	-0,016
120	-0,013	-0,014	-0,026
140	-0,047	-0.05	-0,021
160	-0,054	-0,066	-0.05
180	-0,046	-0,069	-0,071
200	-0.07	-0,089	-0,063
220	-0,098	-0,107	-0,089
230	-0,097	-0,112	-0,096
240	-0,084	-0,108	-0.1
260	-0,137	-0,126	-0,118
270	-0.13	-0,138	-0,138

以下すべての 3 相の組み合わせプロットです:

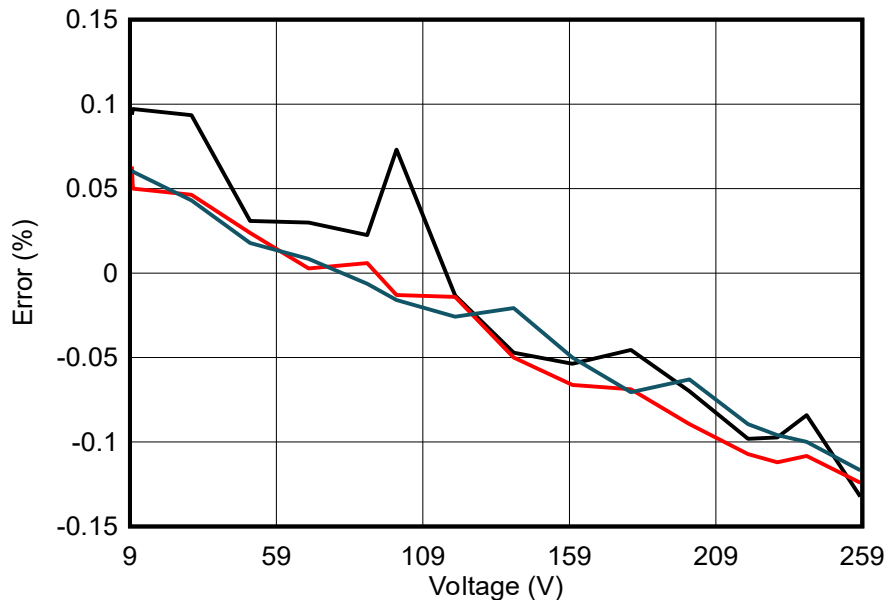


図 3-6. 位相 A、B、C で 10A、200 $\mu\Omega$ のシャントの電圧 RMS % 誤差

3.4.2 放射エミッション性能

図 3-7 と 図 3-8 内のプロットは、EN50022 標準に従い JB3 アンテナを使用した 3m CISPR チャンバー内でキャプチャされています。どちらのプロットも、アンテナが水平または垂直位置にあり、それぞれスペクトラム概要 H とスペクトラム概要 V とラベル付けされている場合の TIDA-010244 からの放射エミッション (RE) の疑似ピークキャプチャを示しています。各キャプチャ内で、ボードは垂直方向 (デバイスの上面がアンテナに面している) に配置され、ラインに接続されていますが、負荷はありません。アンテナは 0m と 1m に配置され、アンテナは基板レベルに配置され、基板レベルの高さを 1m 上回ります。各プロット内で複数の基板回転 (0、90、180、270) もキャプチャされます。アンテナの高さとボードの向きについて、プロットには最大エミッションピークのみが表示されています。

TIDA-010244 の放射エミッションは、デジタル SPI 信号と各 AMC デバイスの内部 DC/DC トランスという 2 つの主なソースから発生します。デジタル CLKIN 信号は 8.192MHz で動作し、高調波はエミッション スペクトラム全体で確認できます。また、SPI 通信も放射されるため、不規則な周期で周波数範囲の下半分のピークが広くなり、ピークが小さくなります。もう 1 つの放射ピークセットは、約 32MHz の範囲で動作する AMC デバイスの内部 DC/DC トランスにあります。これらの放射はグリッドに接続することで増幅されます。基本波 DC/DC を放射するアンテナが形成されます。AMC デバイス入力とライン接続の間にフェライトを追加し、DC-DC 基本波がラインに伝播するのをブロックして、エミッションを低減します。RE テストの中で、TIDA-010244 はバッテリーで動作します。

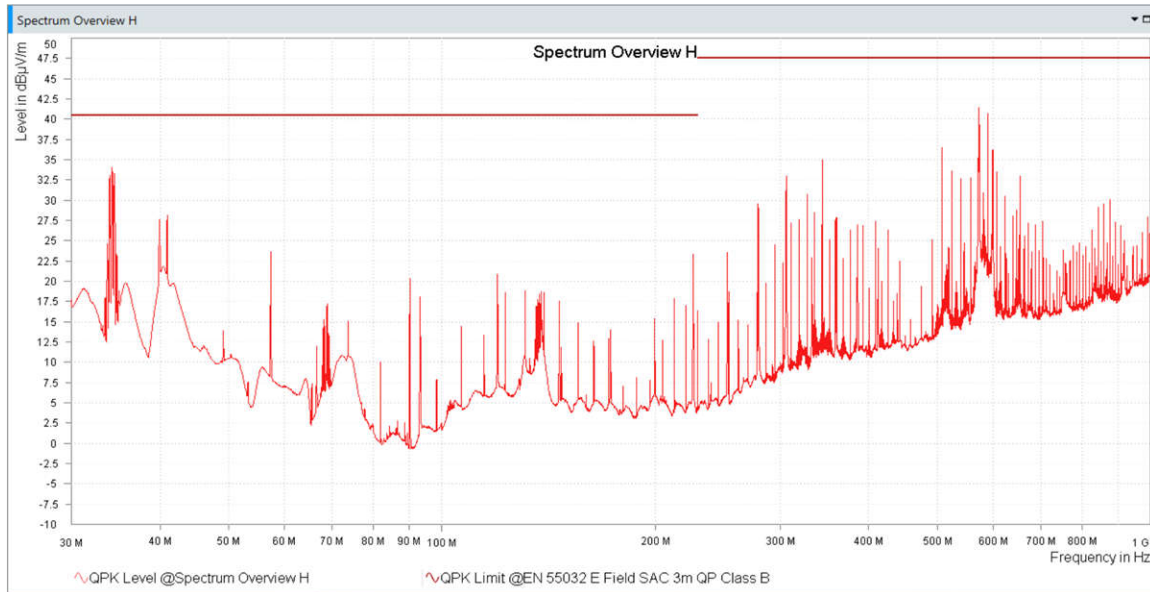


図 3-7. スペクトラム概要 H

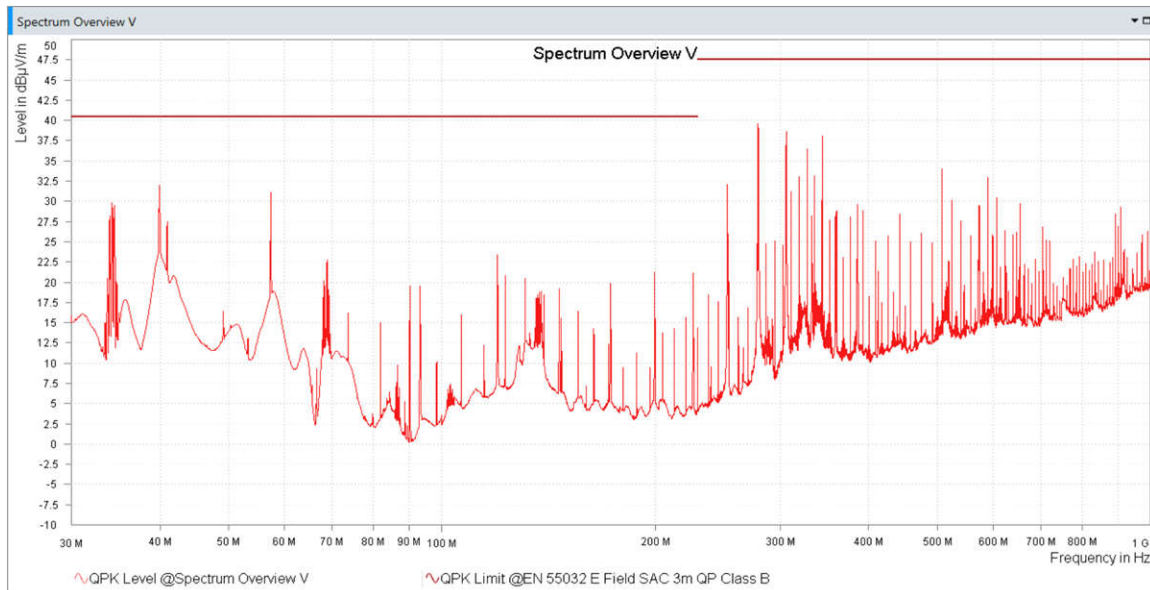


図 3-8. スペクトラム概要 V

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-010244](#) 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-010244](#) 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

このデザインでは、以下の一般的ガイドラインに従ってください。

- デカップリング コンデンサは、関連するピンの近くに配置します。
- グランドトレースの代わりにグランド プレーンを使用し、特に **AMC131M03** の近くではグランド プレーンの切れ目を最小限にします。この設計では、上層と下層の両方にグランド プレーンがあります。このような場合、ビアを自由に使用して、プレーン間に良好なステッチが存在することを保証します。
- ADC チャンネルの入力への差動配線 2 本は、対称に、互いにできる限り近い位置に配置します。
- **AMC131M03** デバイスについて、**0.1µF** のコンデンサが、**1µF** のコンデンサよりも **AVDD** ピンの近くになるように配置します。DVDD に接続される **0.1µF** と **1µF** のコンデンサも同様に配置します。
- 水晶をマイクロコントローラに接続するために使用するトレースの長さは最小限に抑えます。水晶のリードの周囲にガードリングを配置し、水晶のハウジングを接地します。また、水晶発振器 (XTAL) または **BAW** デバイスの下にはクリーンなグランドが必要なため、その下に配線を配置しないでください。また、高周波信号は **MSPM0G3507** のクロックアイランドから離して配置します。
- 電源接続には広いパターンを使用します。
- この設計に使用している **AMC131M03** および **ISOUSB111** 絶縁デバイスについて、推奨される空間距離と沿面距離の条件を満たされていることを確認します。

4.1.3.1 レイアウト プリント

レイヤ プロットをダウンロードするには、[TIDA-010244](#) 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

CCSTUDIO	Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE)
MSPM0-SDK	MSPM0 ソフトウェア開発キット (SDK)
SYSCONFIG	ピン、ペリフェラル、無線、ソフトウェア スタック、RTOS、クロック ツリーなどのコンポーネントを構成するための、直観的なグラフィカル ユーザー インターフェイスを搭載したシステム構成ツール。
エネルギー ライブラリ用のミドルウェア	ミドルウェア ソフトウェア パッケージとする SDK 計測例は、高性能マルチチャンネル A/D コンバータ (ADC) を使用し、電気メータなどエネルギーを測定するため一般的に使用されている、各種の測定パラメータを実装します。

ソフトウェア

TIDA-010244	MSPM0 SDK に収録されている TIDA-010244 向けエネルギー ライブラリのソース コード、デフォルトのインストール パッケージ
ファームウェア	C:\ti\mspm0_sdk_2_03_00_07\examples\nortos\LP_MSPM0G3507\energy_metrology\TIDA_010244\TIDA_010244_SW

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、『[AMC131M03 3 チャンネル、64kSPS、同時サンプリング、24 ビット、絶縁型デルタ シグマ ADC、DC/DC コンバータ内蔵](#)』データシート
2. テキサス インスツルメンツ、『[混合信号マイコン CAN-FD インターフェイスを搭載した MSPM0G350x](#)』データシート
3. テキサス インスツルメンツ、『[2.4GHz ワイヤレス MCU の CC2340R SimpleLink™ ファミリー](#)』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[ISOUSB111 全速/低速絶縁型 USB リピータ](#)』データシート
5. テキサス インスツルメンツ、『[TMAG5273 I2C インターフェイス搭載、低消費電力、リニア 3D ホール効果センサ](#)』データシート
6. テキサス インスツルメンツ、『[TPS7A37 逆電流保護付き、1% 高精度、1-A、低ドロップアウトレギュレータ](#)』データシート
7. テキサス インスツルメンツ、『[RES60A-Q1 車載用、1400V_{DC}、高精度分圧抵抗](#)』データシート
8. 『[電気メーターでの磁気改ざん検出の実装](#)』
9. [PTS 3.3 genX – EMH](#) ポータブル 3 相テスト システム

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

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

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

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

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

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

iPhone® is a registered trademark of Apple Inc.

Android® is a registered trademark of Google LLC.

PCI-Express® is a registered trademark of PCI-SIG.

V-by-One® is a registered trademark of Thine Electronics Kabushiki Kaisha.

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

ZigBee® is a registered trademark of ZigBee Alliance.

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

Milen Stefanov (M.Sc.E.E) は、テキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアで、グリッド インフラストラクチャ分野の仕事をしており、RF 通信テクノロジーと (スマート) メーター アプリケーションのエキスパートです。氏は TUC (University of Chemnitz、ケムニッツ工科大学) を卒業してから、研究アシスタントを 5 年間務め、その後 3 年半は半導体業界で、システム エンジニアとして高速光通信と有線通信に携わっていました。Stefanov 氏は 2003 年に テキサス・インスツルメンツに入社し、Wi-Fi® のエキスパートとなって、主要な OEM で テキサス・インスツルメンツの Wi-Fi 製品をサポートしています。Stefanov 氏は 2010 年から、欧州のグリッド インフラストラクチャ市場向けのメーターおよび Sub-1GHz RF 設計に注力してきました。Stefanov 氏は、欧州で wM-Bus テクノロジーに関する複数の論文を公開し、ミュンヘンで開催される Wireless Congress、および Smart Home と Smart Metering のサミットで技術資料を公開しました。

Gavin Loera (B.S BME) は、グリッド インフラストラクチャ分野で働いている テキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアで、電流センサ テクノロジーと計測アプリケーションを中心に取り組んでいます。Loera 氏は卒業後、Abbott Laboratories でテスト技術者としてしばらく勤務してから、2022 年に テキサス・インスツルメンツの Applications Rotation プログラムに関わる職に就きました。グリッドインフラストラクチャ SEM チームに加わり、メーターと電流センシングを中心に担当しました。Loera 氏は、高精度 A/D コンバータ (PADC) アプリケーション チームで 6 か月間働いて、電気メーターの主要なアナログ コンポーネントである高精度 ADC について学びました。

フェリックス・デバス (M. Sc.E.E.) TI のフィールド アプリケーション エンジニア。欧州の委託製造業者を取り扱う営業チームで働いています。学生時代は TI で車載トピックに関する業務に 3 年間携わって、2024 年に卒業した後フィールド アプリケーション ローテーション プログラムに合格するまでの間、一貫して業務を続けました。彼は、エネルギー インフラ チームでの職務ローテーションの間に実施したこのプログラムで、電力メータの開発に携わりました。

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