参考資料

Design Guide: TIDA-010967

低消費電力 2 層ミリ波レーダーのリファレンス デザイン

説明

このリファレンス デザインは、TI の IWRL6432AOP ミリ波センサの低コストおよび低消費電力特性を示します。このデザインは、鋳造ピンまたは 1.27mm ピッチ コネクタを使用して、コネクティビティ デバイスとのインターフェイスをサポートしています。このデザインは、ファームウェアのフラッシュ書き込みと、デモの実行に使用する UART-USB コンバータを使用します。リファレンス デザインは、2 層の積層 PCB を使用し、FR4 材料を使用して開発された製品です。このリファレンス デザインは、占有検出や人間以外の分類などのアプリケーションのデモを可能にします。ビジュアライザは、レーダーセンシングデータと検出結果を PC の GUI に直接表示します。

リソース

TIDA-010967	デザイン フォルダ
IWRL6432AOP、TPS628502	プロダクト フォルダ
TPS2116、TIDA-010254	プロダクト フォルダ

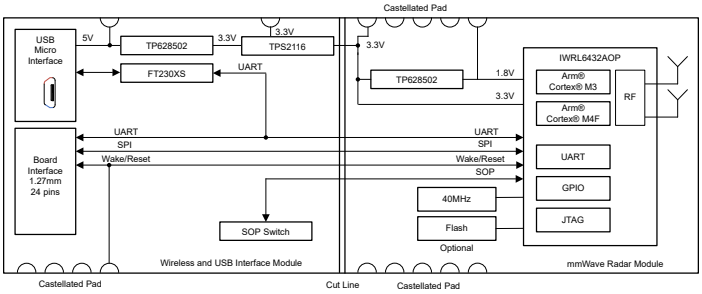
テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- 統合型アンテナ オン パッケージ(AOP)を備えた IWRL6432AOP を使用した 57GHz ～ 64GHz mmWave レーダー
- 低消費電力
- 低コスト、2 層 PCB デザイン
- 小型フォーム ファクタ:22.8mm×38mm (ミリ波レーダー センサ セクション)
- 統合モジュールをカスタマイズするためのカステルテッド パッド
- 消費電力が最適化されたテスト結果を提供
- 人間計数と人間追跡の各アプリケーションを提示します

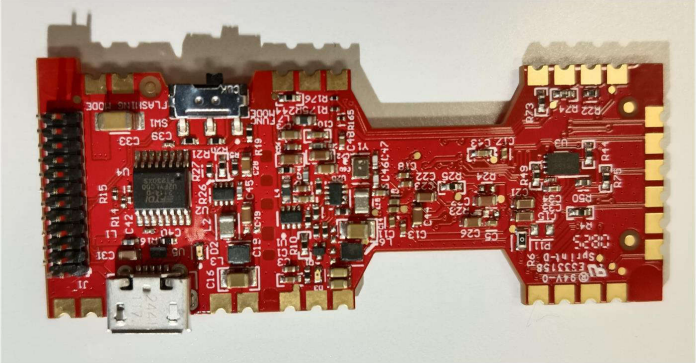
アプリケーション

- 在室検出 (人物追跡、人数計測)
- モーション検出器
- ビデオ ドアベル
- 自動ドア / ゲート
- IP ネットワーク カメラ
- サーモスタット
- エアコン室外機
- エアコン室内機
- テレビ



English Document: TIDUFE0

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 システムの説明

モーション検出器、スマート ロック、ビデオ ドアベル、IP ネットワーク カメラは、システムをスリープ モードからウェークアップするために、人間または動きを検出する必要があります。通常、このデザインは PIR センサを使用します。ミリ波レーダー テクノロジーはこのような機能を実現する一般的な技術です距離、速度、反射角度のような検出結果が良好であることは、ミリ波レーダー技術の特徴です。このリファレンス デザインでは、IWRL6432AOP 低消費電力、57GHz ～ 64GHz ミリ波レーダー センサを利用することで、モジュール デザインを実際に実行します。モジュールのサイズは 22.8mm × 59mm であり、2 層のプリント基板 (PCB) に搭載済みです。

このモジュールでは、レーダーの電源ピンと信号ピンをカスタマイズしたコントローラ ボードに接続するキャスター付きパッドを使用します。また、このモジュールは 1.27mm のインターフェイスコネクタも活用しており、TIDA-010254 ベース基板に接続できます。TIDA-010254 ベース ボードには、長距離接続と超低消費電力を実現する CC1352R マイクロ コントローラが搭載されています。CC1352R は、*Bluetooth*® 5.2 LE、IEEE 802.15.4、Zigbee® などをサポートするマルチプロトコル sub-1 GHz および 2.4GHz ワイヤレス マイコン (MCU) です。

このモジュールは、複数の電力源に対応しています。USB 5VDC 電源または DC 電源アダプタをベースとする 5VDC 電源を、主電源として使用することができます。TPS628502 降圧コンバータを使用して、5VDC 入力を 3.3VDC 出力に変換します。また、このリファレンス デザインには、1.8V 電源用のオンボード DC レギュレータも実装されており、IWRL6432AOP レーダーの 1.8V パワー ブロックに電力を供給します。さらに、このモジュールには、3.3VDC 入力のキャスター付きパッドを通して電力を供給することもできます。これらの電源は、カスタマイズしたコントローラ ボードやテスト デバイスに接続できます。

このデザイン ガイドは、このリファレンス デザインの設計理論とテスト結果について記載されています。

1.1 主なシステム仕様

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
入力電源	USB 5VDC、3.3VDC、1.8VDC
レーダーのタイプ	IWRL6432AOP ミリ波レーダー センサ
システム消費電力	平均 3.0 ～ 10.0mW (テスト環境に限定)
レーダーの視野角 (水平)	±70 °
レーダーの視野角 (垂直)	±70 °
レーダー最大距離	15m (テスト環境に限定)
レーダー距離 (分解能)	0.18m (テスト環境に限定)
レーダー最大速度	36m/s (テスト環境に限定)
レーダー速度 (分解能)	約 0.08m/s (マイナー モーション検出モード) (テスト環境に限定)

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2 システム概要

このリファレンス デザインでは、PCB の「ミリ波レーダー センサ」セクションと、「ワイヤレスおよび USB インターフェイス」セクションという 2 つのセクションで構成されています。「ミリ波レーダー センサ」セクションには、IWRL6432AOP レーダー センサと TPS628502 降圧コンバータが含まれており、3.3VDC 入力を 1.8VDC 出力に変換します。ワイヤレスおよび USB インターフェイス部には、FT230XS USB-UART コンバータと、TPS628502 降圧コンバータが含まれています。

このリファレンス デザインは、USB ポートからの 5VDC 電源から電力を供給されます。電源アダプタの 5VDC または 3.3VDC は、アプリケーション ケースによって代替電源として使用できます。

このリファレンス デザインは、ミリ波対応のプログラマブル インターフェイスとして UART インターフェイスを活用し、ポイント クラウドのデータを送信します。また、この設計では PC への接続として FT230XS USB-UART コンバータを使用しています。

カット ラインを分割することで、2 つのモジュールを分離できます。そのためミリ波レーダー モジュールをカステロレートされたパッドとともに使用しカスタマイズしたボードに統合します

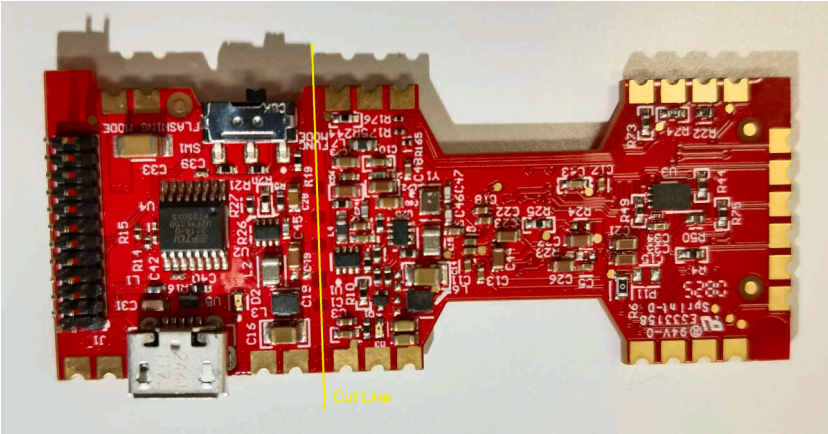


図 2-1. カット ライン

2.1 ブロック図

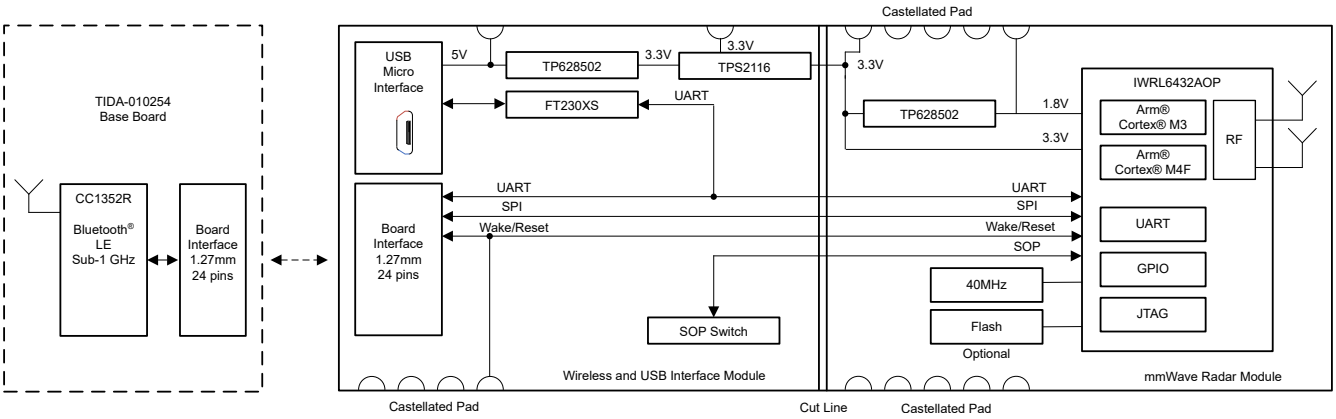


図 2-2. TIDA-010967 システム ブロック図

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.2 設計上の考慮事項

この設計では、ミリ波レーダー センサ検出データが UART ポート経由で送信されます。

2.2.1 ミリ波レーダー センサ アプリケーション

このデザインでは、人間を追跡するアプリケーションや、人間以外の分類アプリケーションを提示できます。これらのアプリケーション例は、ミリ波ソフトウェア開発キット (SDK) デモ motion_and_presence_detection プロジェクトに含まれています。設定例は *IWRL6432AOPEVM* と同じです。次のコード ブロックは構成ファイルの例です。

```
% ***************************************************************
% PresenceDetect:  Chirp configuration and Processing chain are
% optimized to detect any kind of motion, including fine movements
% (even small movements that are present while sitting still,
% such as, movement caused by typing, breathing, etc.).  However,
% there is no velocity measurement reported in this case.
% It is typically useful for applications such as identifying
% presence or absence of occupants in an indoor setting.
% Localization (Angle estimation) of the object is possible.
% ****************************************************************
sensorStop 0
channelCfg 7 3 0
chirpComnCfg 20 0 0 128 1 30 2
chirpTimingCfg 6 28 0 90 59.75
frameCfg 8 0 403 1 250 0
guiMonitor 2 2 0 0 0 1 1 0 0 0 0
sigProcChainCfg 64 8 2 0 4 4 0 .5
cfarCfg 2 4 3 2 0 12.0 0 0.8 0 1 1 1
aoaFovCfg -60 60 -40 40
rangeSelCfg 0.1 4.0
clutterRemoval 1
antGeometryCfg 1 1 1 0 0 1 1 3 1 2 0 3 2.5 2.5
compRangeBiasAndRxChanPhase 0.0 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
adcDataSource 0 adc_data_0001_CtestAdc6Ant.bin
adcLogging 0
lowPowerCfg 1
factoryCalibCfg 1 0 38 3 0x1ff000
mpdBoundaryBox 1 0 1.48 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 2 0 1.48 1.95 3.9 0 3
mpdBoundaryBox 3 -1.48 0 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 4 -1.48 0 1.95 3.9 0 3
sensorPosition 0 0 1.44 0 0
minorStateCfg 5 4 40 8 4 30 8 8
clusterCfg 1 0.5 2
baudRate 1250000
sensorStart 0 0 0 0
```

設定が送信されると、IWRL6432AOP は UART ポートを介してレーダー結果データの送信を開始します。

ミリ波による人物追跡と人数計測の例の詳細については、*『IWRL6432 人物追跡』*をご覧ください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.2.2 IWRL6432AOP の UART 通信

USB-UART コンバータ (FX230XS-R) は、115200 のボー レートの UART ポートを経由して、IWRL6432AOP デバイスと PC との通信に使用されます。

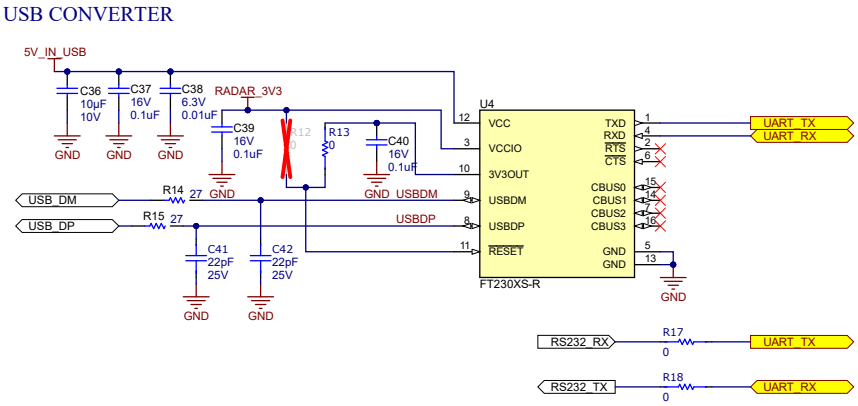


図 2-3. USB-UART コンバータの回路図

仮想 UART ポート (ユーザー UART COM ポート番号は別の PC で異なることがあります) が、「*Device Manager (デスバイマネージャー)*」プログラムに含まれています。このポートはレーダー データを Visualizer GUI で送受信できます。この仮想 UART ポートは、ファームウェアを IWRL6432AOP デバイスにアップロードするためにも使用されます。

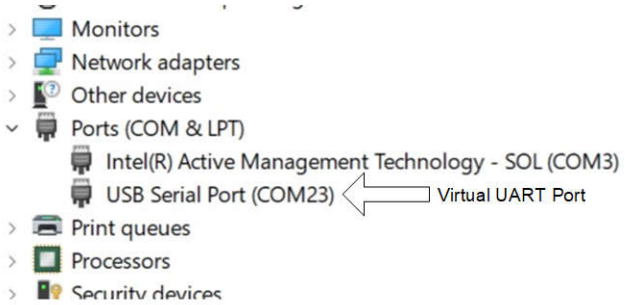


図 2-4. PC 上の仮想 UART ポート

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.2.3 ワイヤレス通信

この設計では、TIDA-010254 ベース ボードに接続する 1.27mm インターフェース コネクタを使用します。

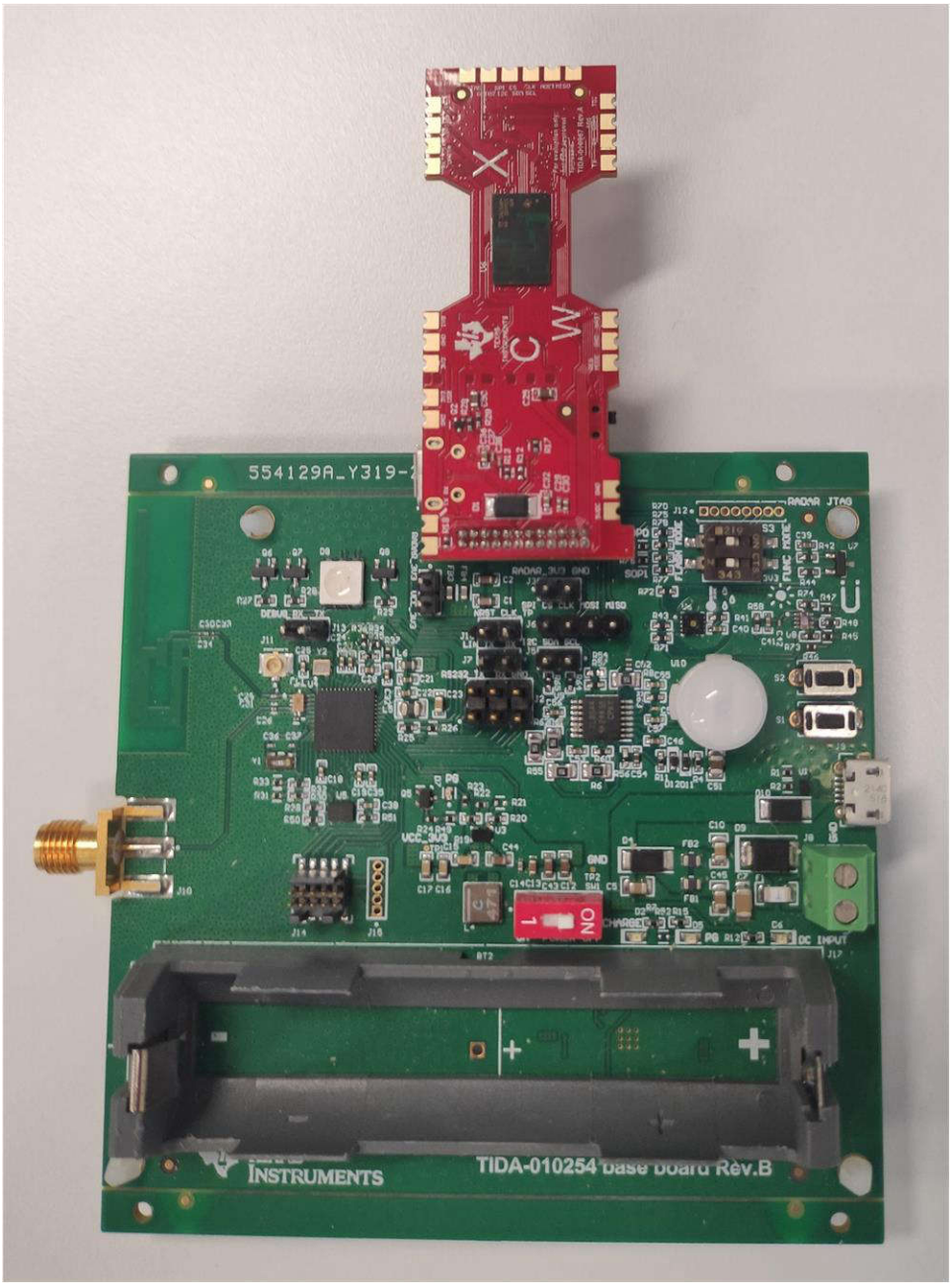


図 2-5. TIDA-010254 ベース基板に接続します

TIDA-010254 ベース ボードには CC1352R デバイスが搭載されており、Bluetooth LE または Sub-1 GHz をサポートします。

LAUNCHXLCC1352R1 ワイヤレス MCU LaunchPad™ 開発キットは、Bluetooth LE またはサブ 1 GHz クライアントとして使用され、ベース ボード上の CC1352R デバイスから生成されたレーダー データを受信します。次に LAUNCHXLCC1352R1 は、LAUNCHXLCC1352R1 の XDS110 シミュレータを使用して、仮想 UART ポートを使用してそのデータを PC に送信します。

この方法を使用すると、レーダー データはワイヤレス通信によって送信されます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.2.4 電源の設計

このリファレンス設計では、以下の電源仕様を考慮します。

- IWRL6432AOP レーダーには複数の電圧レールが必要です。この設計では 2 つの電源レールを使用します。(3.3V と 1.8V) をサポートしています。
- IWRL6432AOP レーダーの I/O 電圧は 3.3V に設定されています。R11 を取り付け、L7 をアンマウントすることで、I/O を 1.8V に変更できます。

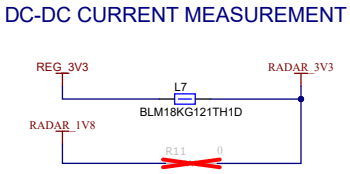


図 2-6. IWRL6432AOP GPIO 電源レールの選択

- 主電源は、USB ポートから 5.0V、またはキャスター付きパッドから 3.3V です。

2.2.5 IWRL6432AOP の電源に関する考慮事項

IWRL6432AOP レーダーは、動作に 2 つの電源レールを利用します。現在のデザインは、2 レールの BOM 最適化済み設計を実装しています。

1. デバイス内部で 1.2V デジタル、SRAM、および RF 電力を生成します
2. 3.3V IO 電源
3. 1.8V VDDA、VCO、CLK、VIOIN_18 電源

この設計では、入力電源として 3.3V と 1.8V を使用しています。表 2-1 に、各レールのピーク電流を示します。

表 2-1. 電源ソース電流の要件

電源レール	ピーク電流
5V	300mA

電圧レールごとのデバイス ピーク電流要件については、*『IWRL6432AOP シングルチップ 57 ～ 64GHz、アンテナ搭載パッケージ (AOP) 付き産業用レーダー センサ』*データ シートも参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.2.6 IWRL6432AOP ファンアウト

主な電源信号とデジタル インターフェイス信号は、IWRL6432AOP BGA パッケージから慎重に配線されます。主に、水平エッジの近くとデバイスの中央の空き領域を利用します。ビアインパッドを採用していないため、製造プロセスの簡素化、PCB コストの削減、2 層基板のコスト面で大きな利点を実現できます。

2 層 PCB 上の信号設計は、厳格な制約に起因して大きな課題をもたらします。そのため、設計に関する適切な検討事項と慎重な配線が必要になります。アンテナの視野角 (FOV) を維持するため、設計者は IWRL6432AOP のキープアウト領域の制限半径内に、高い部品を配置する際に十分な注意を払う必要があります。反対に、IWRL6432AOP の水平エッジに沿った BGA パッドは、パッケージの中央部、北セクション、南セクションを効率的に梱包します。図 2-7 に、ファンアウトの例示的な実装を示します。

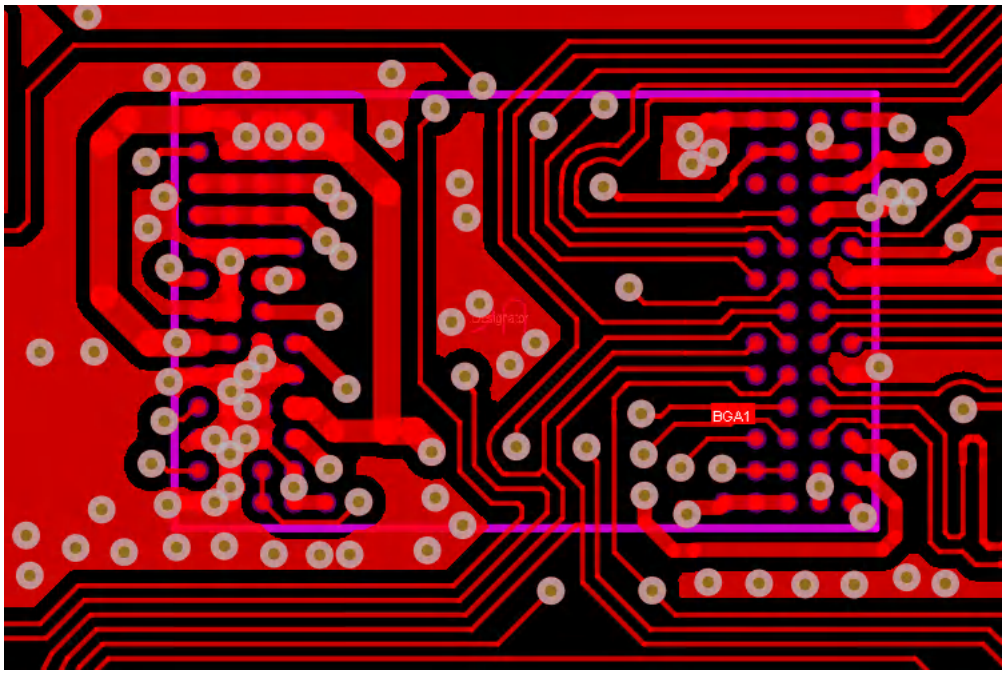


図 2-7. TIDA-010967：IWRL6432AOP ファンアウト

2.2.7 コスト最適化手法

このデザインには、複数の PCB コスト最適化手法が実装されており、手ごろな価格で PCB を実現します。コスト最適化手法については、次のリストで説明します。

1. *2 層 PCB のデザイン:*

   2 層 PCB 上に実装されているため、製造コストを大幅に削減できます。また、2 層のみを使用することで、めっきサイクル数を最小限に抑えることができるため、ターンアラウンド時間を短縮し、製造コストをさらに削減できます。簡素化されたスタックアップにより、埋込ビアやブラインド ビアが必要なくなります。そのため、歩留まりのリスクを最小限に抑えながら大量生産を行う場合には、基板が有益な選択肢になります。
2. *コスト効率の優れた基板の選択:*

   PCB は、超低コストの FR4 をコア基板として活用しています。アンテナはアンテナ搭載パッケージ (AoP) 内に統合されているため、高周波の低損失ラミネートが不要になり、さらにコストを削減できます。超低コストの FR4 により、高性能 RF 高性能材料を必要とせずに、デジタル インターフェイスと電力供給に十分な熱特性と電気的性能を達成できます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3. *ビア イン パッドの排除:*

   BGA 配線のためのドッグボーン ファンアウト戦略のため、パッド内ビアは完全に排除されています。このアプローチでは、ビア充填、平面化、およびメッキ プロセスに関連する追加コストを回避できます。通常、ビアインパッド構造に必要です。犬と骨の間に配線を取り回しているので、信頼性の高いハンダ接合部形成が保証され、特にミッドピッチの BGA を検討する場合、手直しや検査が簡素化されます。

2.2.8 TIDA-010967 と IWRL6432AOPEVM の比較

TIDA-010967 と IWRL6432AOPEVM は、IWRL6432AOP ミリ波レーダー センサを評価するための設計ですが、これらの設計は異なる目的で使用され、適宜最適化されています。このセクションでは、設計アプローチ、ハードウェア実装、使用事例の方向の違いに焦点を当てた詳細な比較を示します。

TIDA-010967 デザインには以下の利点が含まれています。

1. *簡単に量産が可能:*TIDA-010967 は量産ハードウェアに直接実装できるため、コスト重視の最終製品設計においては、このデザインが好ましいものになります。一方、IWRL6432AOPEVM は評価と開発の目的のみを目的として設計されています。
2. *コストの最適化:*TIDA-010967 は、2 個の電力レールに対応した低コストの BOM (部品表) 最適化済みデザインを採用しており、BOM (部品表) 点数とコストを低減することができます。ただし、IWRL6432AOPEVM は電力最適化されており、より幅広い評価機能をサポートできるように、より広範な部品セットを使用しています。
3. *低コストの PCB スタックアップ:*TIDA-010967 は 2 層 PCB で構築されるため、量産時にコスト上の大きな利点を提供します。評価基板は 4 層 PCB を使用しており、開発での使用には望ましいシグナル インテグリティとパワー ディストリビューションに対応します。
4. *テストが容易:*TIDA-010967 は FT230XS USB から UART へのコンバータを使用しています。これは、コスト効率に優れ、小型設計に最適です。TIDA-010967 は、カスタマイズされた量産、ハードウェア、テストとインターフェイス接続するために内蔵されたピンを備えています。IWRL6432AOPEVM は XDS110 デバッガを統合しており、包括的なデバッグを実現する UART と JTAG を提供します。
5. *小さな基板サイズと集積が容易:*TIDA-010967 のフォームファクタは小型でコンパクトで、ワイヤレス モジュールなど顧客のメイン ボードと簡単に統合できます。この EVM は比較的大きく、評価回路とデバッグ機能に対応しています。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.3 主な使用製品

2.3.1 IWRL6432AOP

IWRL6432AOP ミリ波センサ デバイスは、統合型シングル チップ ミリ波センサを備える、進化したアンテナ オン パッケージ (AOP) デバイスです。このデバイスは、周波数変調連続波 (FMCW) 技術をベースとしています。このデバイスは 57GHz～63.9GHz の帯域で動作でき、主に 4 つの電源ドメインに区分されています。

- *RF アナログ サブシステム*:このブロックには、RF 信号の送受信に必要なすべての RF およびアナログ コンポーネントが含まれています。
- *フロント エンド コントローラ サブシステム (FECSS)*:FECSS には、レーダー フロント エンドの構成、制御、較正を担当するプロセッサ Arm® Cortex®-M3 が含まれています。
- *アプリケーション サブシステム (APPSS)*:APPSS には、ユーザーによるプログラムが可能な Arm Cortex M4 が実装されており、カスタム制御やインターフェイス アプリケーションに使用できます。トップ サブシステム (TOPSS) は、APPSS 電源ドメインの一部であり、クロッキングおよびパワー マネージメント サブブロックを含んでいます。
- *ハードウェア アクセラレータ (HWA)*:HWA ブロックは、FFT (Fast Fourier Transform、高速フーリエ変換)、CFAR (Constant False Alarm Rate、一定誤警報率)、スケーリング、圧縮などの一般的なレーダー処理を負荷分担して、APPSS を補完します。

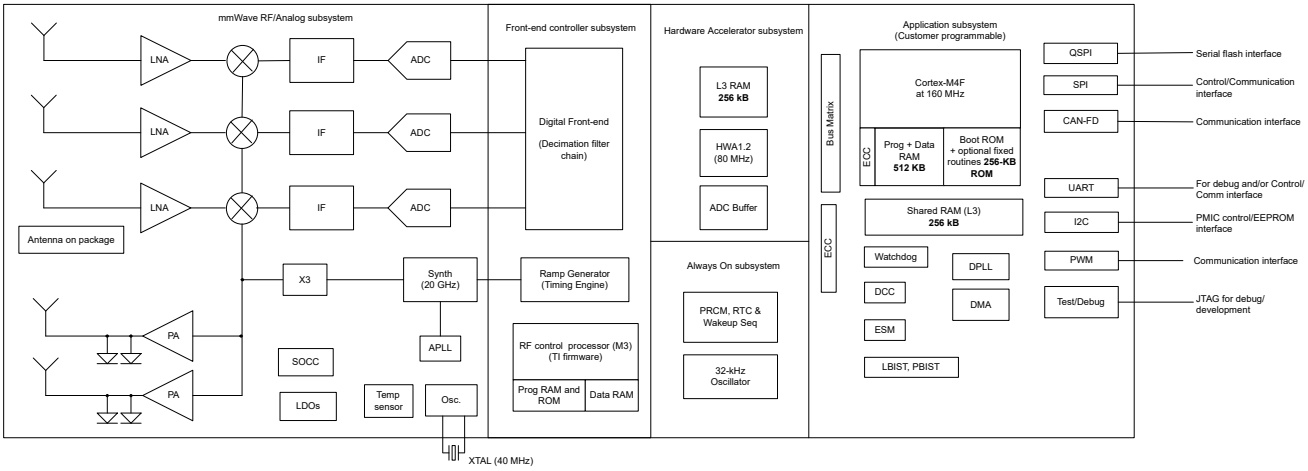


図 2-8. IWRL6432AOP のブロック図

IWRL6432AOP は、使用事例の要件に基づいて状態 (電源オンまたはオフ) を制御するため、前述の各電源ドメインを個別に制御できるように設計されています。このデバイスにはスリープやディープ スリープなどのさまざまな低消費電力状態を実行する機能もあり、クロック ゲーティングによって、また、デバイスの内部 IP ブロックをオフにすることによって、低消費電力のスリープ モードを実現しています。このデバイスでは、そのようなシナリオで保持されるアプリケーション イメージや RF プロファイルなど、デバイスの一部の内容を保持することもできます。

また、このデバイスは、テキサス インスツルメンツのローパワー 45nm RF 相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) プロセスで製造され、超小型のフォーム ファクタでかつてないレベルの統合を実現しています。IWRL6432AOP は、産業用 (および個人用電子機器) 分野における低消費電力で自己監視機能を備えた、超高精度の車載用レーダー システム向けに設計されています。

これらのシステムは、以下のようなアプリケーションを対象としています。

- ビル オートメーションまたはファクトリ オートメーション
- 商業用または住宅のセキュリティ
- パーソナル エレクトロニクス
- 存在検出または動作検出
- ヒューマン マシン インターフェイス (HMI) 向けのジェスチャ検出またはジェスチャ認識

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.3.1.1 アンテナ放射パターン測定

IWRL6432AOP センサは、3 つの受信チャネルと 2 つの送信チャネル AoP を内蔵しています。

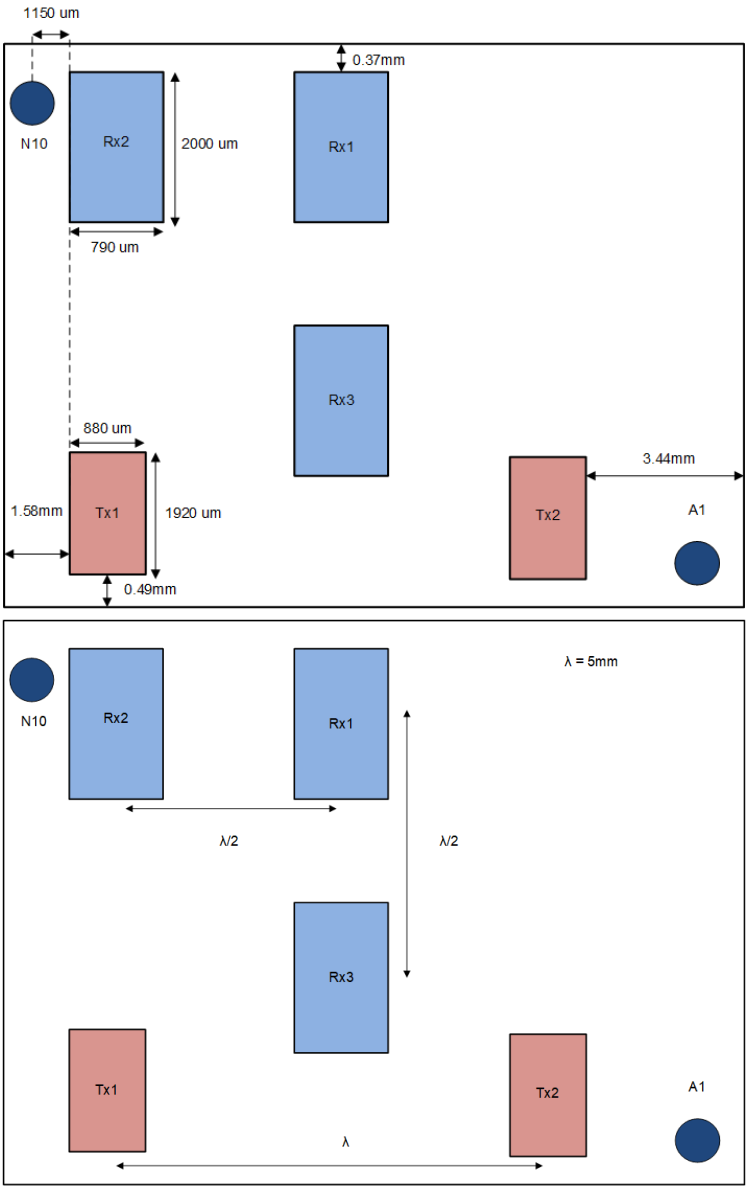
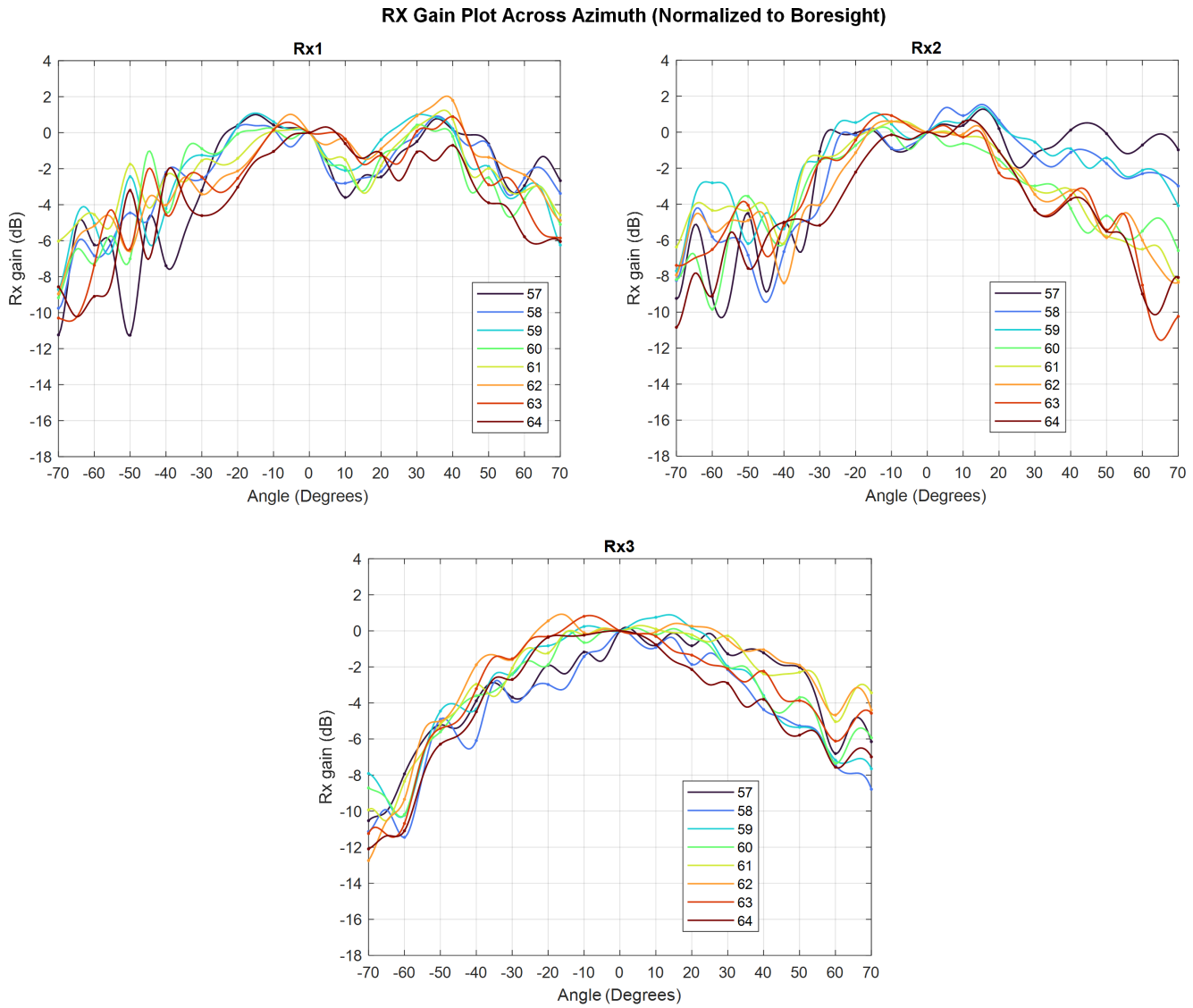


図 2-9. IWRL6432AOP の TX および RX アンテナ

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

このモジュールは は、IWRL6432AOP レーダーと同様の水平および垂直アンテナ放射パターンを持っています。



Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

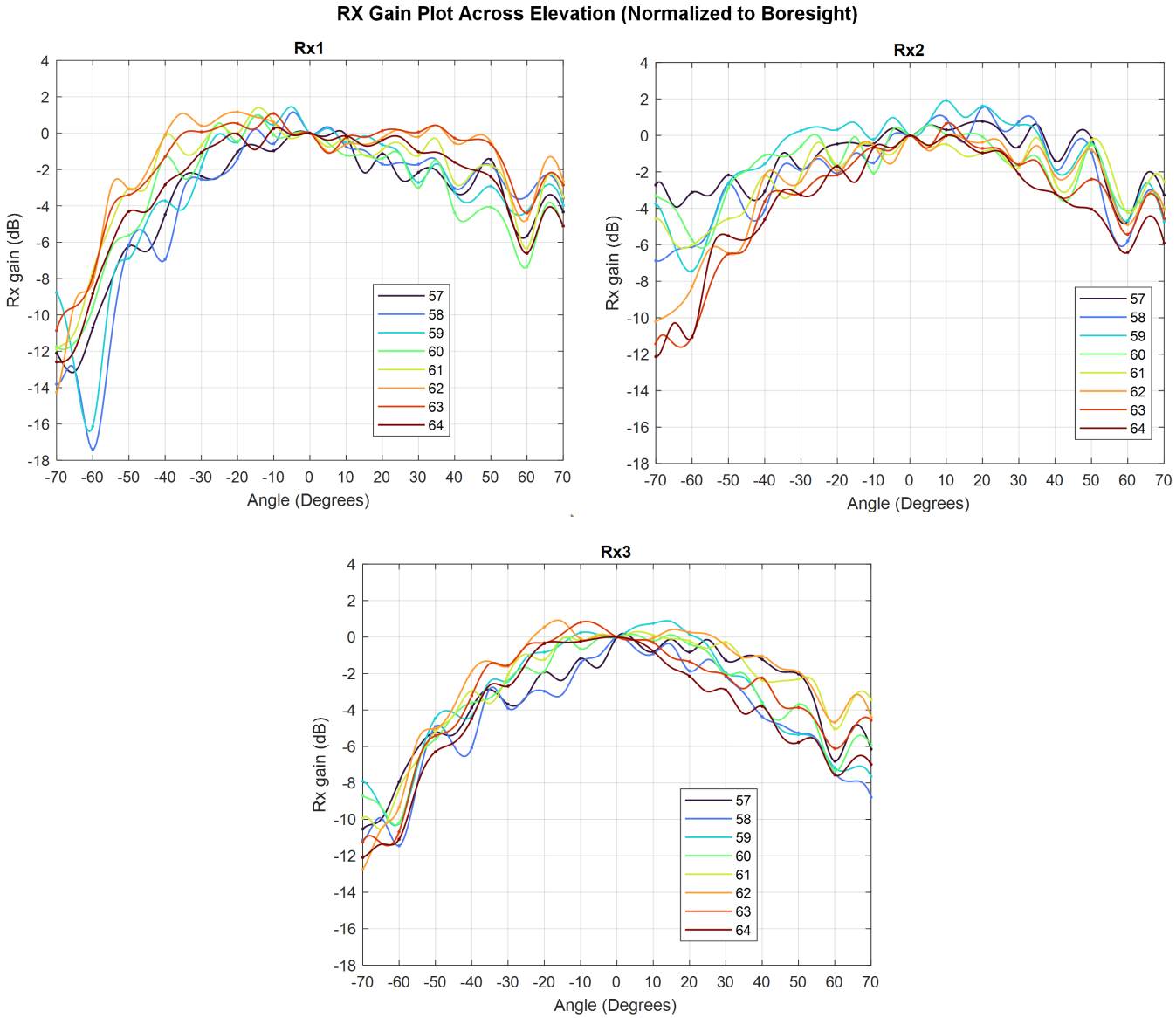


図 2-10. トランスミッタのアンテナ放射パターン

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

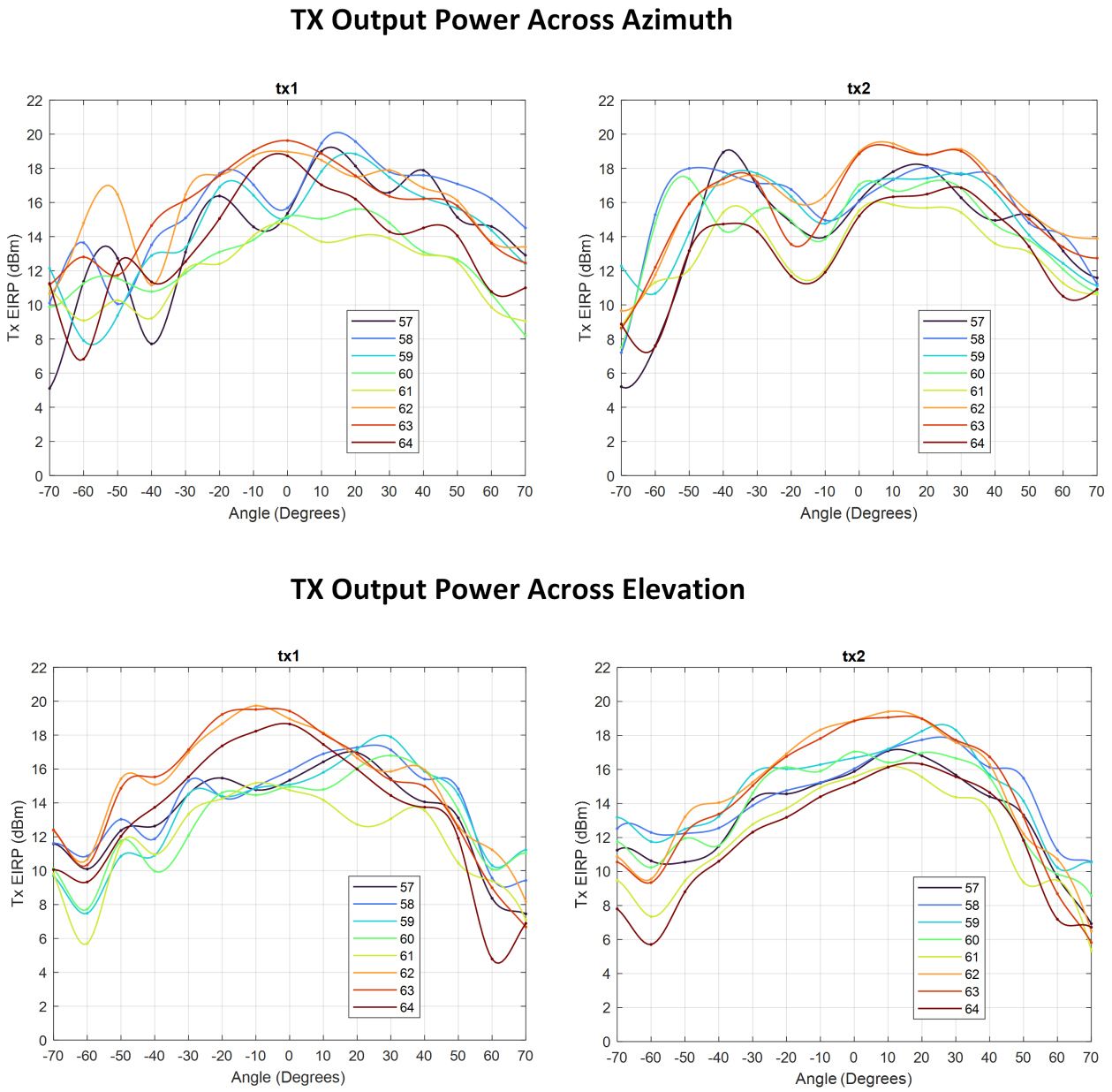


図 2-11. トランスミッタのアンテナ放射パターン

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.3.2 TPS628502

TPS62850x はピン互換で 1A、2A (連続) および 3A (ピーク) の高効率で使いやすい同期整流降圧 DC/DC コンバータファミリです。これらのデバイスは、ピーク電流モード制御方式に基づいています。低抵抗のスイッチにより、連続で最大 2A、ピークでは 3A の出力電流を供給できます。スイッチング周波数は 1.8MHz～4MHz の範囲で外部から変更でき、同じ周波数範囲の外部クロックと同期することもできます。PWM および PFM モードでは、TPS62850x は負荷が軽いときに自動的にパワーセーブ モードへ移行するため、負荷範囲全体にわたって高い効率が維持されます。このデバイスは、オプションとしてスペクトラム拡散クロックを提供します。SSC がイネーブルのとき、内部クロックの使用時に PWM モードではスイッチング周波数がランダムに変更されます。周波数変動は通常、公称スイッチング周波数と公称スイッチング周波数を上回る最大 288kHz の間であり、TPS62850x は PWM モードで 1% の出力電圧精度を実現できるため、出力電圧精度が高い電源を設計するのに適しており、デジタル プロセッサと フィールド プログラマブル ゲート アレイ (FPGA) の厳しい電源電圧要件を満たすことができます。

TPS62850x は 8 ピン、1.60mm × 2.10mm の SOT583 パッケージで供給されます。

*オンボード構成:*18kΩ の抵抗が COMP または FSET から GND に接続されています。この抵抗値により、デバイスは次の構成で設定されます。

1. スイッチング周波数は 3.3MHz に設定
2. スペクトラム拡散クロック (SSC) は有効
3. 補償設定 2 により最良の過渡応答を実現

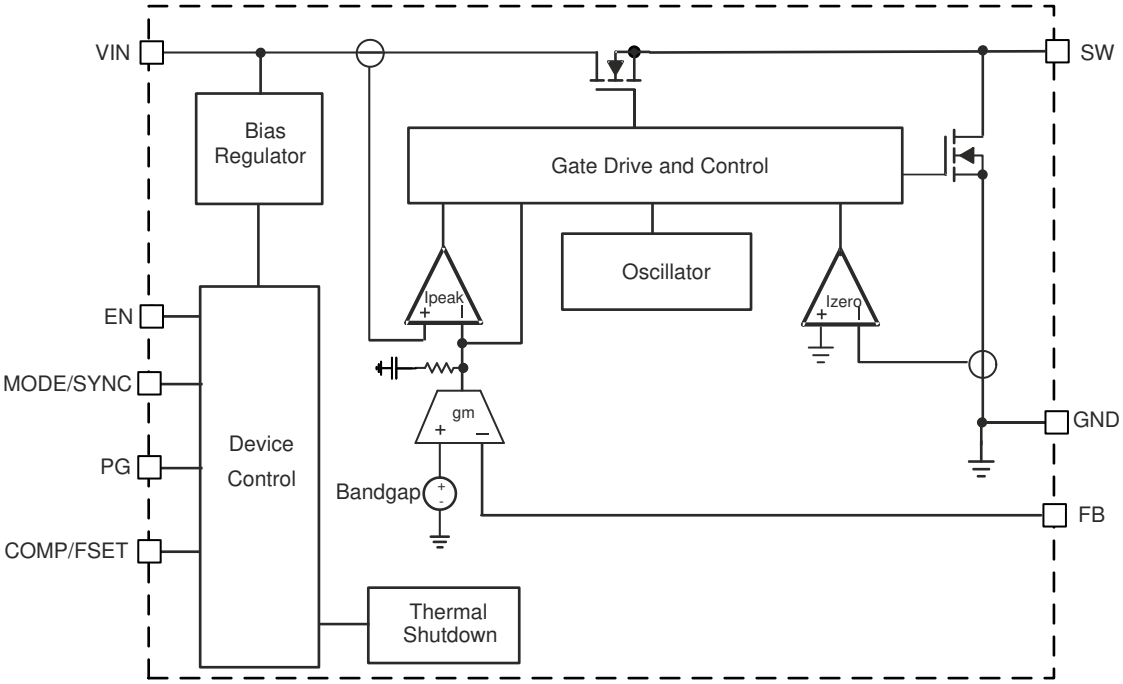


図 2-12. TPS628502 のブロック図

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.3.3 TPS2116

TPS2116 は、電圧定格が 1.6V ～ 5.5V、最大電流定格が 2.5A の電力マルチプレクサ デバイスです。このデバイスは、N チャネル MOSFET を使用して電源を切り替えながら、電圧が最初に印加されたときにスルー レートを制御します。

TPS2116 は、静止電流が 1.32µA (標準) と低く、スタンバイ電流も 50nA (標準) と低いため、入力の 1 つにバッテリーが接続されているシステムに最適です。これらの小さい電流は、使用時のバッテリ寿命を延ばします。

TPS2116 は、アプリケーションに応じて 2 通りの切り換え動作を行うように構成できます。自動優先モードでは、VIN1 に接続された電源が優先され、VIN1 が低下すると第 2 の電源 (VIN2) に切り替わります。マニュアル モードを使うと、GPIO をトグルするか信号をイネーブルして、チャネルを切り換えることができます。

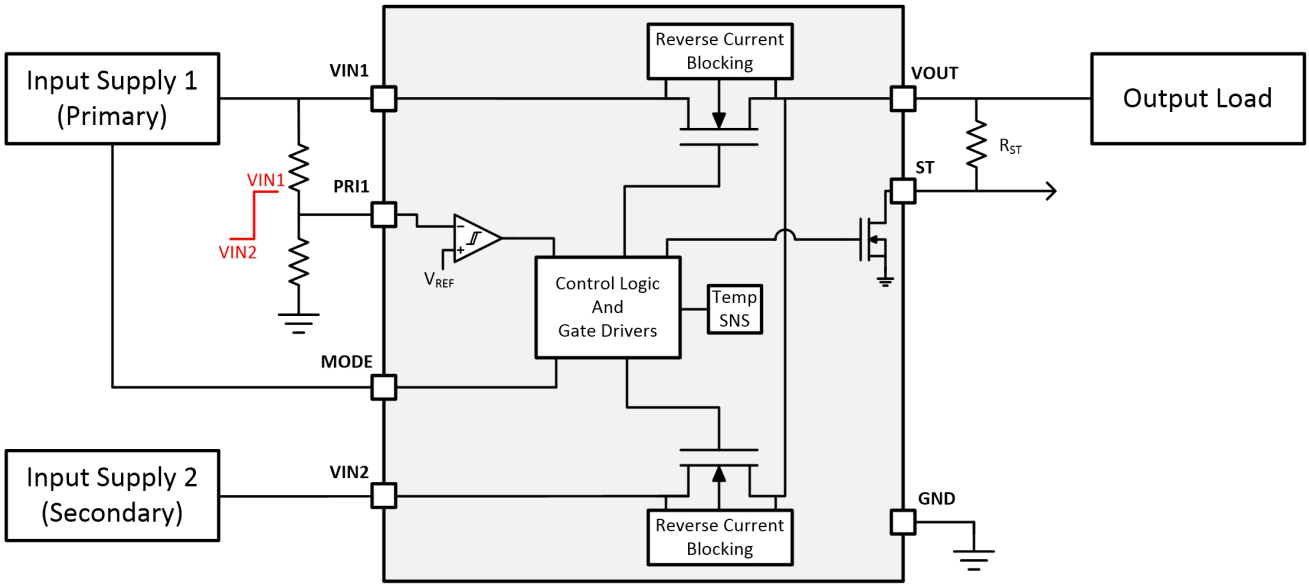


図 2-13. TPS2116 のブロック図

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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

このリファレンス デザインは以下のもので構成されます。

- このリファレンス デザイン モジュールは、IWRL6432AOP レーダー センサ、FT230XS USB から UART へのコンバータ、および 1.27mm のインターフェイス コネクタを実装したキャスター付きパッドを搭載しています。
- このリファレンス デザイン モジュールを 1.27mm インターフェイス コネクタに接続するため、TIDA-010254 ベース ボード。
- LAUNCHXLCC1352R1 ワイヤレス MCU LaunchPad™ 開発キット:PC GUI を使用した USB リンク経由の Bluetooth LE および UART エミュレーションを介して TIDA-010254 ベース ボードと通信します。
- Visualizer GUI ソフトウェアを備えた PC:レーダー センシング データと検出結果を視覚的に表示します。

3.1.1 ハードウェアの概要

3.1.1.1 デザイン モジュールの初期化:IWRL6432AOP のプログラミング

このリファレンス デザイン モジュールを初期化するには、次の手順を実行します。

1. デザイン モジュール上の SW1 を使うことで、IWRL6432AOP のセンス オン パワー (SOP) モードを選択します。表 3-1 に、SOP モードの説明を示します。「*0*」はピンを low にプルすることを表し、「*1*」はピンを High にプルすることを表します。スイッチ SW1 の位置「*右*」は「*0*」を表し、「*左*」は「*1*」を表します。

表 3-1. SOP0 モード

モード	SOP0	モードの説明
1	0	フラッシュ モード:ホストは、ユーザー アプリケーションまたはファームウェアをクワッド シリアル ペリフェラル インターフェイス (QSPI) フラッシュにフラッシュ書き込みします
2	1	機能モード:IWRL6432AOP は QSPI フラッシュから内部 RAM にユーザー アプリケーションを読み込み、RAM からアプリケーションを実行します。ユーザー構成は、UART インターフェイス経由でデバイスに送信されます。

2. SOP モードをフラッシュ モードに設定します (図 3-1 を参照)。

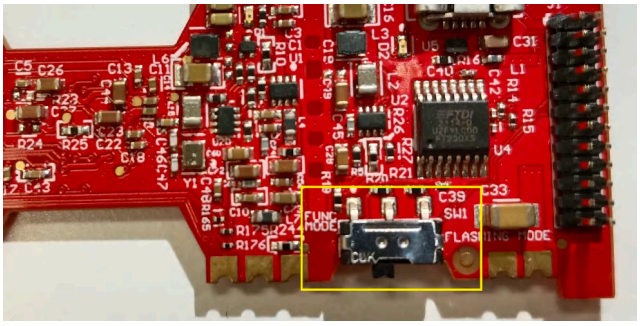


図 3-1. SOP のフラッシュ モードへの設定

3. デザイン モジュールを PC に接続します。USB ケーブルを使用して、設計モジュールのマイクロ レセプタクル USB コネクタ (J2) と PC の USB コネクタを接続します。

この設計モジュールに搭載されている IWRL6432AOP レーダー センサはプログラミングの準備ができています。

TI は、ファームウェアのプログラミングとデバッグを行うための Code Composer Studio™ ソフトウェアを提供しています。CCSTUDIO ソフトウェアを入手するには、Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE) ユーザー ガイドも参照してください。

UNIFLASH ソフトウェアは IWRL6432AOP のフラッシュ書き込みにも使用できます。

テキサス インスツルメンツは、IWRL6432AOP にバイナリ ファイルをフラッシュ書き込みするためのミリ波ソフトウェア開発キット (SDK) も提供しています。この SDK を入手するには、mmWave-L-SDK ツールのページをご覧ください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

ミリ波 SDK を使用して IWRL6432AOP 画像ファイルをフラッシュに書き込むには、次の手順を実行します。

1. SDK で Visualizer ソフトウェアを開きます。Visualizer は、SDK がインストールされているフォルダにあります。ルートディレクトリ:

```
\MMWAVE_L_SDK installed
                                        directory\tools\visualizer
```

2. 「*Flash (フラッシュ)*」タブを選択し、UART ポート番号を手動で入力します。PC の「*Enter (入力)*」キーを選択します。

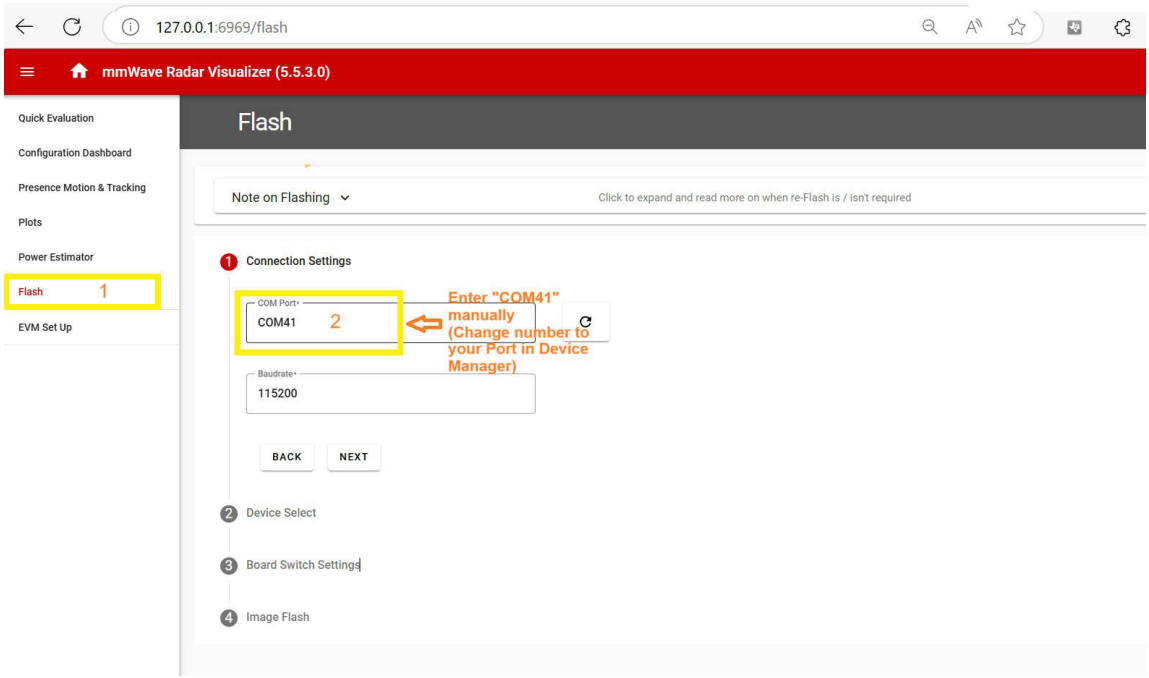


図 3-2. UART ポートを選択します

3. 「*デバイス選択*」セクションに XWRL6432AOP を選択 PC の「*Enter (入力)*」キーをクリックします。

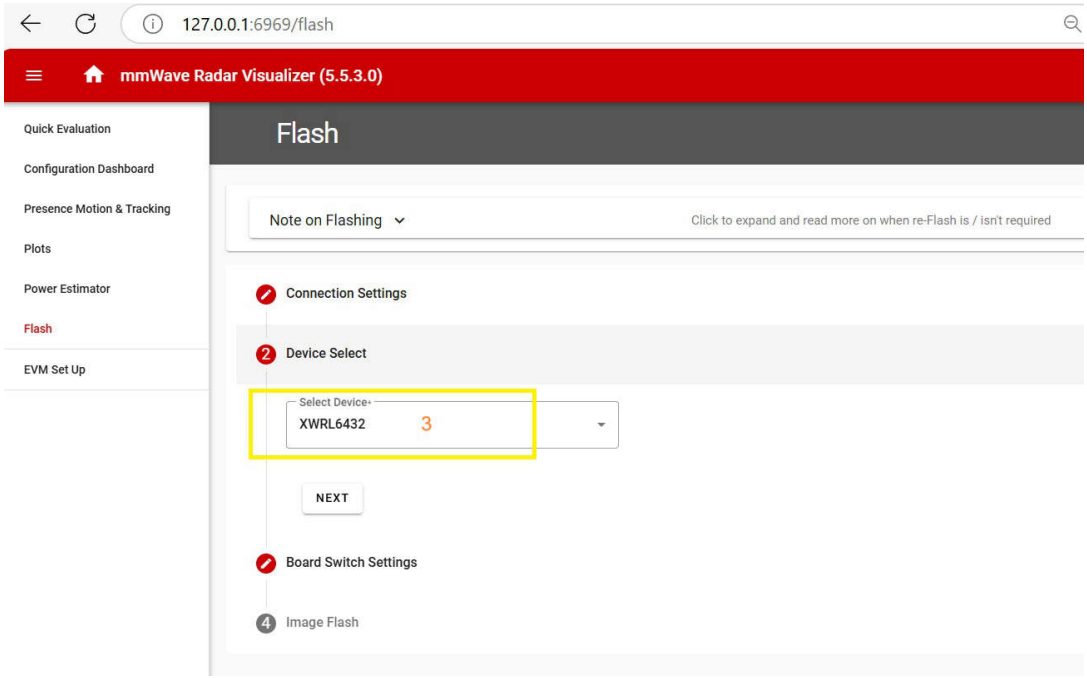


図 3-3. デバイスの選択

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4. 「*SWITCH SETTINGS CONFIRMED (ボードスイッチの設定)*」セクションで、「*スイッチの設定確認 (Board Switch Settings)*」ボタンを選択します。PC の「*Enter (入力)*」キーをクリックします。

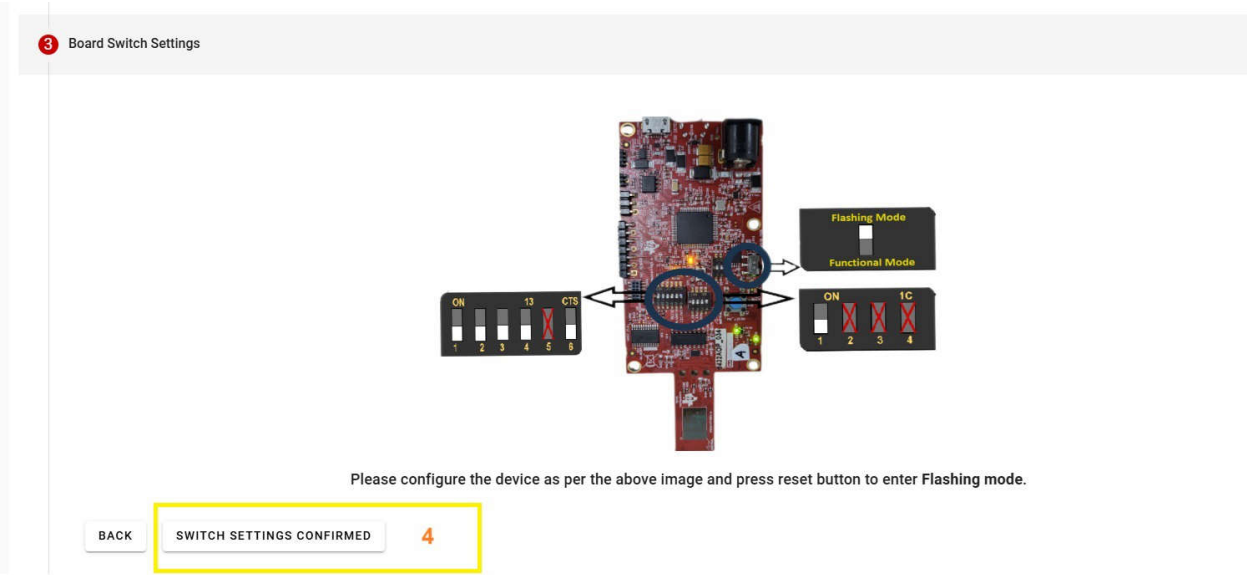


図 3-4. ボード スイッチの設定

注

この画像は、IWRL6432AOP EVM スイッチの設定を示しています。この設計のスイッチ設定は無視します。

---

1. 「*Custom Image (カスタム イメージ)*」アイコンを選択します。
2. [Upload] ボタンをクリックします。画像ファイルのステップで

   `motion_and_presence_detetion_demo_aop.release.appimage`

   最後のビルドで生成されたファイルを選択してください。このファイルをプロジェクト フォルダから取得します。

   `SDK installed directory\examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\prebuilt_binaries\xwrL64xx-aop`

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3. 「*Flash (フラッシュ)*」ボタンをクリックし、画像を IWRL6432AOP にフラッシュ書き込みします。

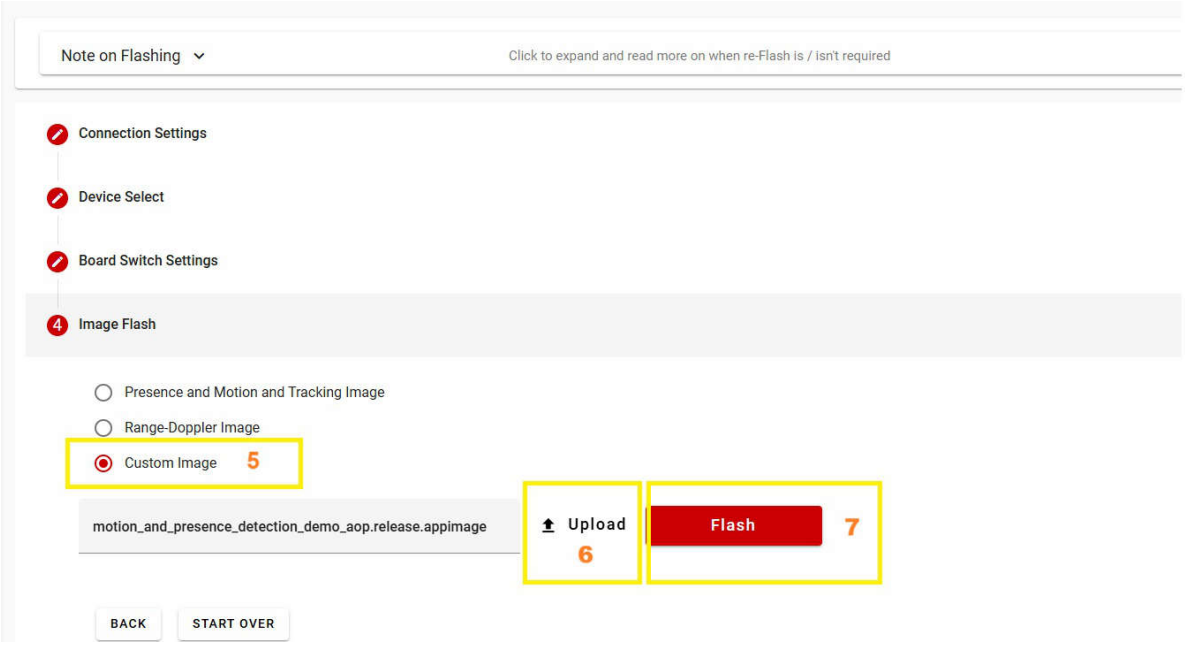


図 3-5. イメージ フラッシュ

IWRL6432AOP のプログラミングが完了した後、USB ケーブルを取り外してレーダー モジュールの電源をオフにし、SW1 を*機能*モードに切り替えます。

UniFlash を使用して IWRL6432AOP 画像ファイルをフラッシュに書き込むには、次の手順を実行します。

1. UniFlash ソフトウェアを開きます。
2. [Category] ヘッダーから [mmWave] を選択します。
3. 利用可能なデバイスのフィールドから [IWRL6432] を選択します。
4. [Start] ボタンをクリックします。

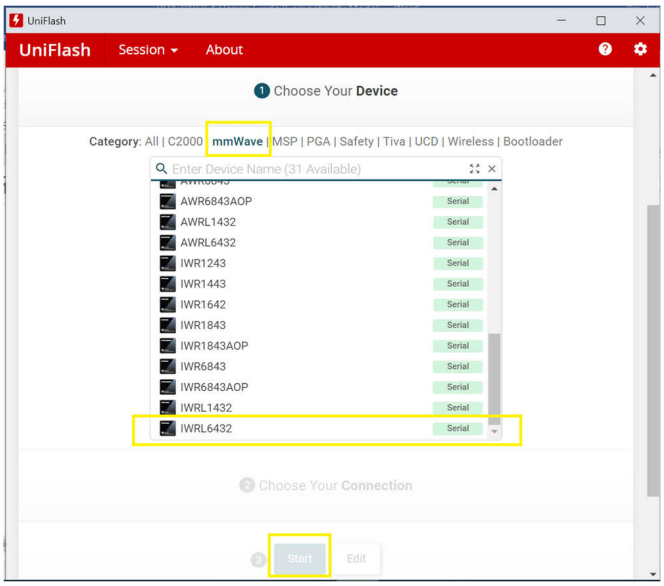


図 3-6. IWRL6432AOP のための UniFlash の設定

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5. 「*Flash Image (フラッシュ イメージ)*」の下にある「*Meta Image 1 (メタ イメージ 1)*」の緑色の「*Browse (閲覧)* 」ボタンをクリックします
6. 画像ファイルのステップで

```
motion_and_presence_detetion_demo_aop.release.appimage
```

最後のビルドで生成されたファイルを選択してください。このファイルをプロジェクト フォルダから取得します。

```
SDK
                                                    installed
directory\examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\prebuilt_binaries\xwrL64xx-aop
```

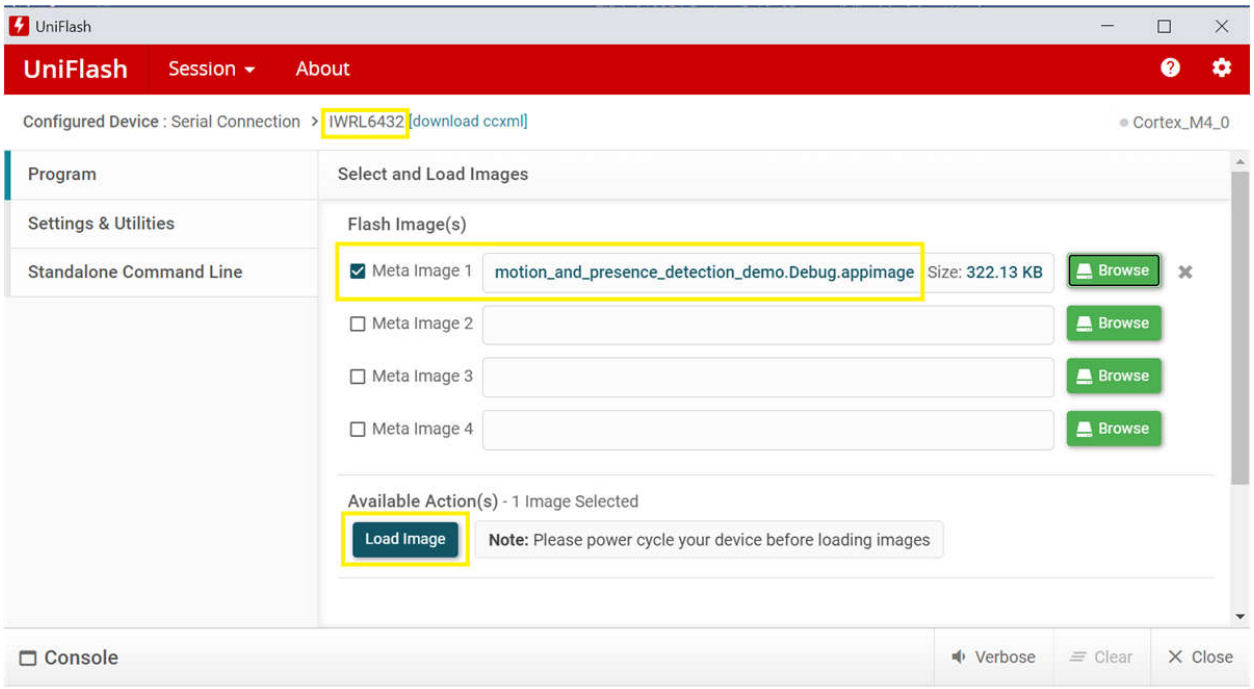


図 3-7. IWRL6432AOP のための UniFlash ソフトウェアによるイメージの書き込み

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7. 「*Quick Settings (クイック設定)*」で、*COMxx* を手動で入力します。「xx」は、PC 上のシステム マネージャ プログラムに示されている UART ポート番号で、この設計モジュールの USB-UART コンバータに接続されています。

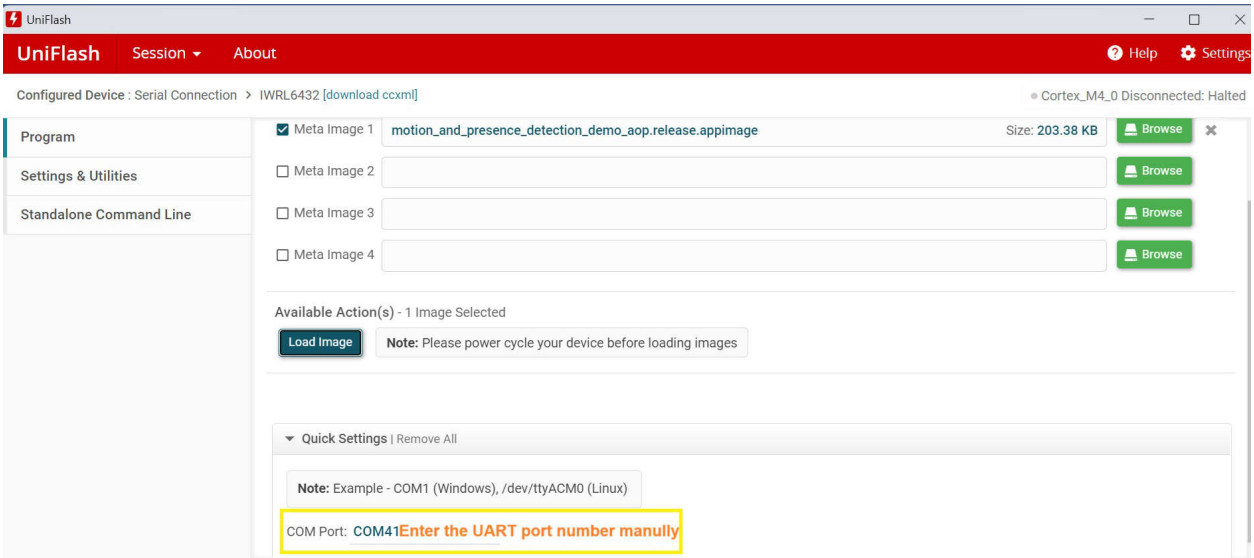


図 3-8. UniFlash ソフトウェアのクイック設定

8. 「*Load Image (画像読み込みボタン)*」ボタンをクリックし、画像を IWRL6432AOP にフラッシュします。

IWRL6432AOP のプログラミングが完了した後、USB ケーブルを取り外してレーダー モジュールの電源をオフにし、SW1 を*機能*モードに切り替えます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.2 ソフトウェア要件

このリファレンス デザイン ソフトウェアは以下のもので構成されます。

- ハードウェア セットアップ手順によって IWRL6432AOP レーダーにフラッシュされる、mmWave SDK からのモーションおよび存在検出の例。ミリ波 SDK は mmWave-SDK から入手できます。
- Visualizer GUI を使用します。ソフトウェアでレーダー データを視覚的に表示します。GUI は mmwave-Radar Toolbox から入手できます。ツール ボックスをローカル PC にダウンロードします。GUI はプロジェクト フォルダ内にあります。

```
Radar Toolbox installed
directory\tools\visualizers\Applications_Visualizer\Industrial_Visualizer\
```

UniFlash ソフトウェアまたはビジュアライザ ソフトウェアを使用して、*モーションおよび存在検出の例*のバイナリ ファイルを IWRL6432AOP レーダーにフラッシュ書き込みします。

3.3 テスト設定

3.3.1 モーションおよびプレゼンス検出デモのセットアップ

*モーションおよびプレゼンス検出*の例のデモでは、次のセットアップ手順を使用します。

1. このレーダー モジュールを三脚に固定します。高さは地上 1.8m とし、下方向の傾きはありません。(0 度)。

図 3-9. 三脚に搭載したデザイン モジュール

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2. この設計モジュールに USB ケーブルを PC に接続して、モジュールの電源をオンにし、USB-to-UART コンバータで使用されるモジュール上の IWRL6432AOP デバイスと通信します。

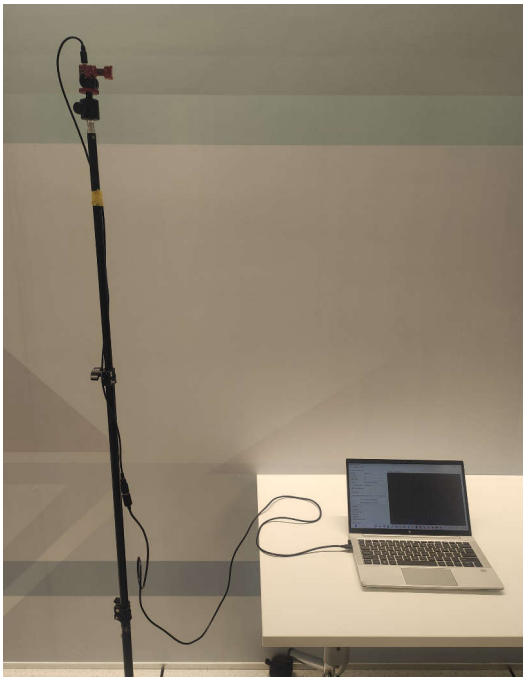


図 3-10. デモの配置の設定

3. PC で *mmWave-Radar Toolbox* から Visualizer GUI ソフトウェアを実行し、デモを開始します。図 3-11 に示す 4 つのステップでボタンをクリックします。ステップ 2 の GUI 構成ファイルは *mmWave-SDK* にあります。GUI 設定ファイルフォルダは次のとおりです。

```
Radar Toolbox installed directory
\examples\mmw_demo\motion_and_presence_detection\profiles\xwrL64xx-aop\PresenceDetect.cfg
```

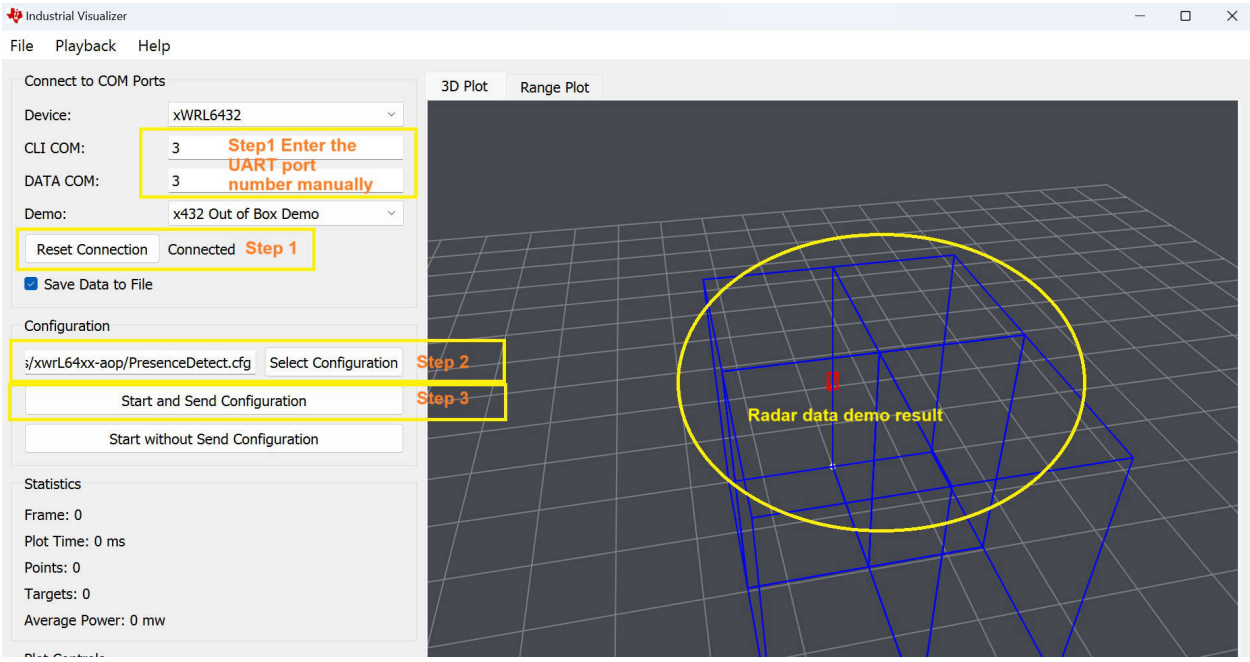


図 3-11. デモ用 Visualizer GUI ソフトウェア

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.3.2 Bluetooth®LE 通信デモのセットアップ

Bluetooth LE 通信を使用したモーションおよびプレゼンス検出のデモ用に、次の設定手順を使用します。

1. このレーダー モジュールを TIDA-010254 ベース基板に接続します。組み合わせボードを三脚に固定します。高さは地上 1.8m とし、下方向の傾きはありません(0 度)。
2. 1 本の 18650 リチウムイオン バッテリでベース基板とレーザー モジュールに電力を供給します。

図 3-12. TIDA-010254 ベース基板を三脚に搭載したデザイン モジュール

3. USB ケーブルを使って、電力の供給と、LAUNCHXLCC1352R1 ワイヤレス マイコン LaunchPad™ と PC との接続を行います。

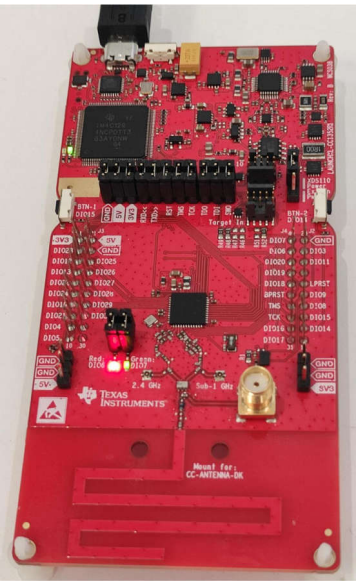


図 3-13. PC に接続された LAUNCHXLCC1352R1

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4. LAUNCHXLCC1352R1 をベース基板の近くに配置し、このリファレンス デザインのレーダー モジュールを配置します。TI は、距離を 1m 未満にすることをお勧めします。

図 3-14. Bluetooth®LE デモ位置のセットアップ

5. PC で mmWave-Radar Toolbox から Visualizer GUI ソフトウェアを実行し、デモを開始します。図 3-15 に示す 3 つのステップを使用してボタンをクリックします。

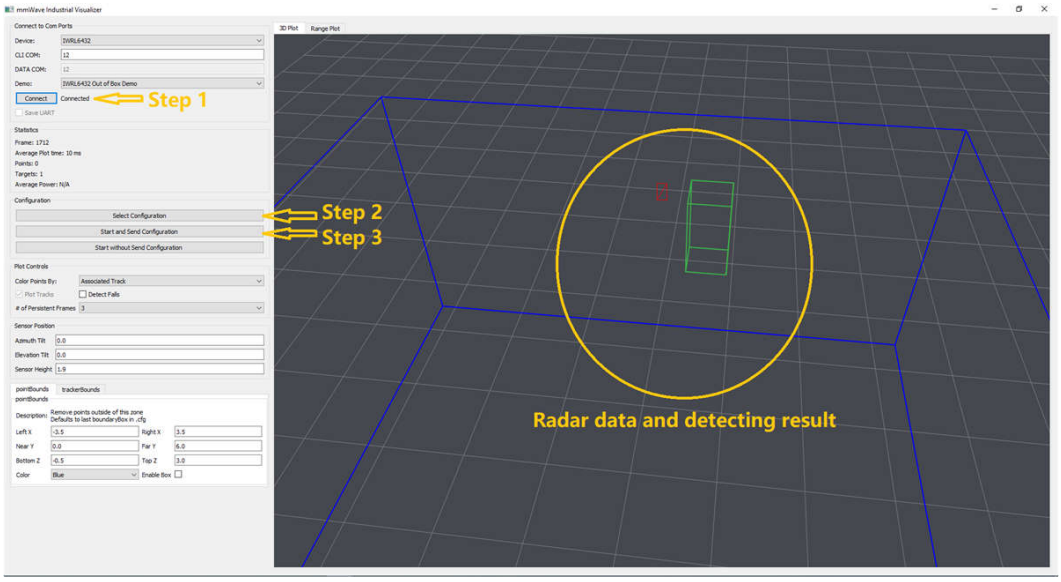


図 3-15. デモ用 Visualizer GUI ソフトウェア

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.4 テスト結果

3.4.1 モーションとプレゼンス検出に関するデモテスト結果

図 3-16 のデモでは、Visualizer GUI ソフトウェアでの人物追跡を示しています。

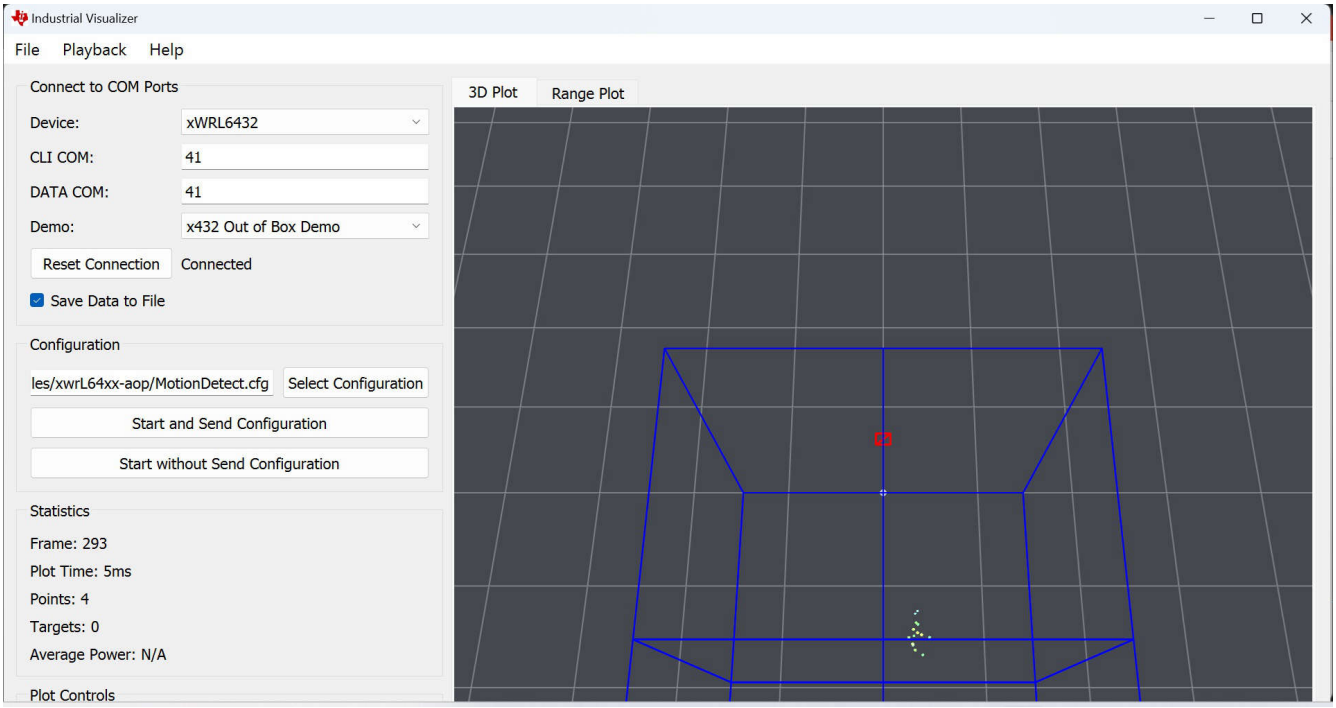


図 3-16. Visualizer GUI ソフトウェアは、モーションとプレゼンスの検出デモに適しています

検出距離は ±70 度で 8m 以上です。

ミリ波による人物追跡と人数計測のテスト結果の詳細については、*『IWRL6432 人物追跡』*ユーザー ガイドを参照してください。

注

TIDA-010967 は、PFM スイッチングと強制 PWM スイッチングを同時に行い、DC レギュレータを自動モードで動作させるように設計されています。このアプローチにより、システム レベルの消費電力を大幅に削減できますが、特定の構成条件で範囲プロファイルのパラメータ偏差が増加し、特定の状況で性能が低下する可能性があります。

3.4.2 Bluetooth®LE 通信のデモテスト結果

このデモでは、Bluetooth LE のシリアル ポート プロファイル (SPP) プロトコルを使って、レーダー検出データを Visualizer GUI ソフトウェアに送信します。

Visualizer GUI ソフトウェアのデモ結果は、モーションおよび存在検出デモのテスト結果と同じです。

Bluetooth LE 通信の距離は、屋外のオフィス環境で約 8m と測定されています。テスト構成と詳細については、*TIDA-010254* リファレンス デザインを参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.4.3 消費電力のテスト結果

消費電流のテスト ポイントは L4 です。L4 を取り外し、L4 の両端にあるデジタル マルチメータをこの設計モジュールに接続します。

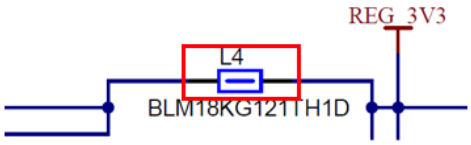


図 3-17. 消費電力回路図セットアップ

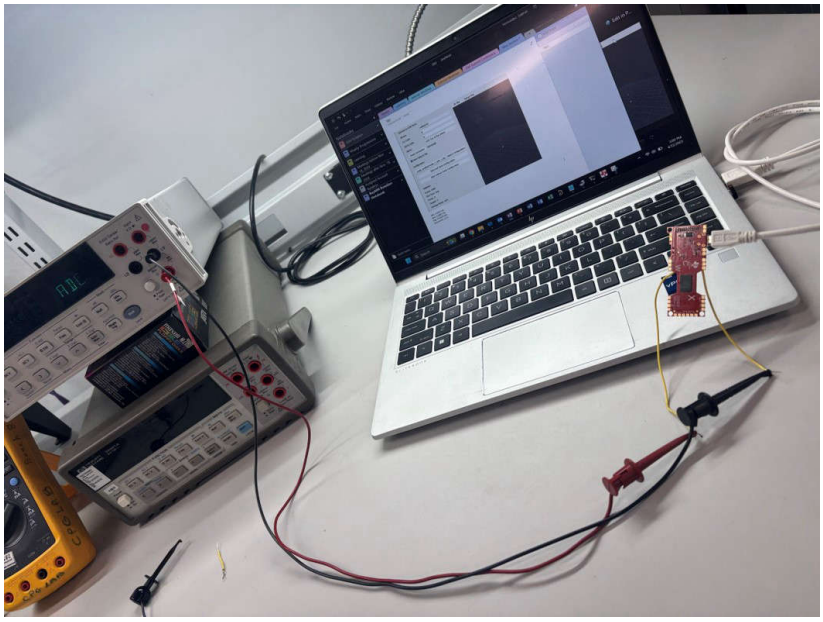


図 3-18. デバイスの設定をテストします

特別に開発された cfg ファイルが使用されているので、mmWave Radar Toolbox から提供されている Visualizer GUI ソフトウェアが PC 上で使用され、デモを開始します。

```
channelCfg 3 2 0
chirpComnCfg 50 0 1 64 0 38 1
chirpTimingCfg 6 8 0 8 62.8
frameCfg 4 0 300 1 333 0
guiMonitor 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
sigProcChainCfg 16 2 1 0 2 1 0 15
cfarCfg 2 8 4 3 0 70.0 0 0.9 0 1 1 1
aoaFovCfg -80 80 -40 40
rangeSelCfg 0.5 15
clutterRemoval 1
antGeometryCfg 1 1 1 0 0 1 1 3 1 2 0 3 2.5 2.5
compRangeBiasAndRxChanPhase 0.0 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
1.00000 0.00000 1.00000 0.00000
adcDataSource 0 adcData_1_000.bin
adcLogging 0
lowPowerCfg 1
factoryCalibCfg 1 0 40 0 0x1ff000
sensorPosition 0 0 1.44 0 0
majorStateCfg 30 2 8 300 100 1000 4 15
mpdBoundaryBox 1 0 1.48 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 2 0 1.48 1.95 3.9 0 3
mpdBoundaryBox 3 -1.48 0 0 1.95 0 3
mpdBoundaryBox 4 -1.48 0 1.95 3.9 0 3
clusterCfg 0 1 2
sensorStart 0 0 0 0
```


Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 3-2 に、電力測定の結果を示します。電流は、設計モジュールの入力電源 REG_3V3 で測定されます。

表 3-2. 消費電力

測定デバイス	最小電流	平均電流	最大電流
TIDA-010967(1)	0.450mA	1.94mA (3.3VDC)	396.42mA

(1) この設計モジュールが消費する電流は、xWRL6432AOP に送信される構成に応じて大幅に低減できます。『*xWRL6432 低消費電力レーダー - 電源最適化手法*』アプリケーション ノートも参照してください。

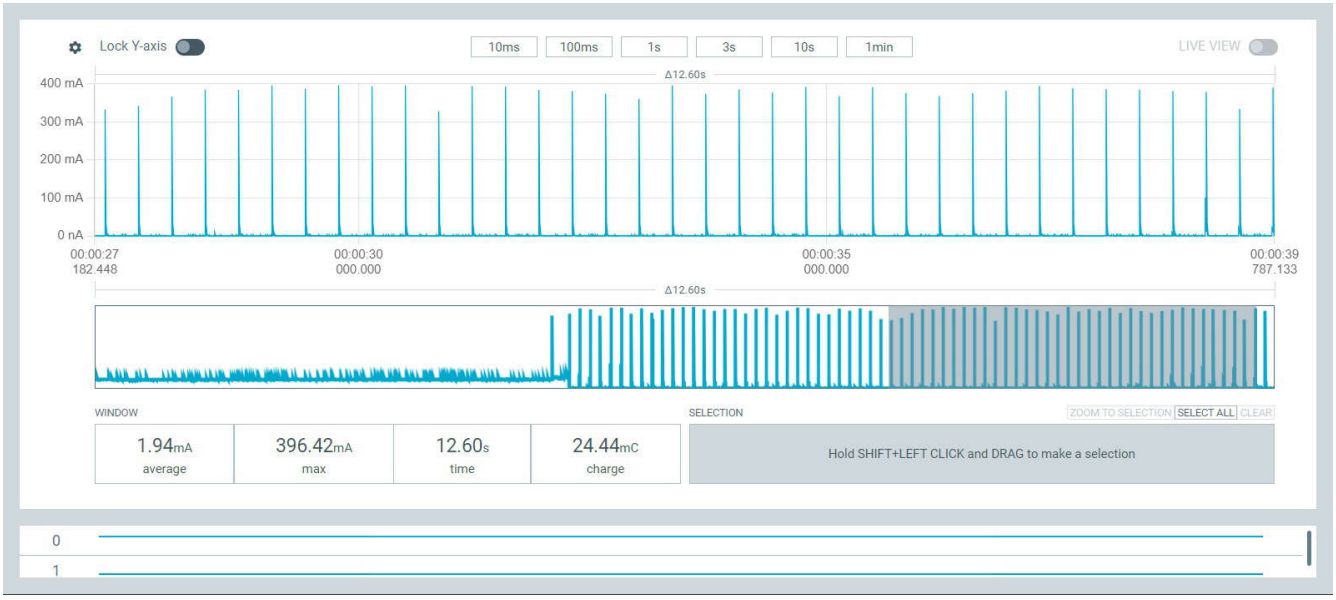


図 3-19. モジュールの電流波形

図 3-20. モジュールの最小電流波形

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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-010967 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-010967 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 モジュールは、2 層の超低コストの FR4 PCB 材料を使用しています。

	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	4.5
1	Top Layer		Signal	1oz	1.401mil	
	Dielectric 1	FR-4 High Tg135	Core		41.929mil	4.5
2	Bottom Layer		Signal	1oz	1.401mil	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	4.5
	Bottom Overlay		Overlay			

図 4-1. PCB 層スタックアップ

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-010967 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

Visualizer GUI	mmWave センサー向けレーダー ツール ボックス

ソフトウェア

MMWAVE-L-SDK	xWRL1432 と xWRL6432 向けミリ波 SDK (ソフトウェア開発キット)

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、『*IWRL6432AOP シングルチップ 57～64GHz 産業用レーダー センサ アンテナ オン パッケージ (AOP)』データ シート。*
2. テキサス インスツルメンツ、*『TPS62850x 2.7V～6V、1A/2A/3A 降圧コンバータ、SOT583 パッケージ』データシート*

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、設計で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™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.
Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.
Zigbee® is a registered trademark of ZigBee Alliance.
Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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

JUSTIN YIN は、テキサス インスツルメンツのビル オートメーション システム エンジニアリングおよびマーケティング (SEM) チームに属するシステム エンジニアであり、ビル セキュリティ システムおよび防火システム向けセンシング リファレンス デザイン ソリューションの開発を担当しています。上海交通大学で制御工学の修士号を、上海工程技術大学でオートメーションの理学士号をそれぞれ取得しました。

ANKIT MOHANTY は、産業用レーダー チームのハードウェア アプリケーション エンジニアです。国立工科大学で電子工学の学士号を取得しています。Ankit は 2023 年に TI でインターンとして勤務を開始し、その後、新卒者 (NCG) としてフルタイムの職務に移行しました。それ以来、レーダー事業部の一員として、組込みシステムの設計 応用分野における様々なレーダー製品に貢献してきました。

CHETHAN KUMAR Y. B. は、テキサス インスツルメンツに入社して 24 年になります。インド理科大学院で電子設計技術の修士号を取得し、2000 年に設計エンジニアとしてテキサス・インスツルメンツ に入社した後、これまでにアナログ、ワイヤレス、組込みプロセッシングの各グループでさまざまな職位を経験してきました。この 24 年間、シリコン、システム、アプリケーション分野でさまざまなミックスド シグナル製品に携わり、自身の専門分野で複数の特許を取得して、さまざまな学会で論文を発表しています。現在は、ミリ波ワイヤレス システムに特化したレーダー グループのハードウェア システムとアプリケーションのチームを率いています。

ADABALA PAVAN KUMAR は、レーダー チームのアナログ設計エンジニアです。彼は IISc ベンガルールで MVLSI の修士号を取得しています。Pavan は、ハードウェア アプリケーション チームのインターンとして TI に入社し、アンテナと Radome Design を担当しました。現在は、アナログおよび RF 設計チームに所属しています。

DEVA ISSA は、テキサス・インスツルメンツのビル オートメーション システム エンジニアリングおよびマーケティング (SEM) チームに属するシステム エンジニアです。彼女はテキサス A&M 大学で電気工学の学士号を取得しています。Deva は 2023 年に TI でインターンとして勤務を開始し、その後、2024 年新卒者 (NCG) としてフルタイムの職務に移行しました。

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 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 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