

BGT60LTR11AIP シールド

XENSIV™ 60 GHzレーダーシステムプラットフォーム

Board version V2.0

本書について

適用範囲と目的

このアプリケーションノートでは、インフィニオンの XENSIV™ 60 GHz レーダーシステムプラットフォームの一部である 60 GHz レーダー BGT60LTR11AIP シールドの機能、回路、および性能について説明します。このシールドは、オンボード BGT60LTR11AIP モノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) インフィニオンの 60 GHz レーダー チップセットとアンテナインパッケージ (AIP) をサポートする回路を提供します。自律モードの設定に加え、本シールドは、取得したレーダーデータをマイクロコントローラーが実装された Radar Baseboard MCU7 などに転送するためのデジタル インターフェースを提供します。

はじめに

目次

本書について.....	1
目次	2
1 はじめに	3
1.1 60 GHz レーダーシステムプラットフォーム	3
1.2 主な特長.....	4
2 システム仕様	5
2.1 BGT60LTR11AIP シールドパラメーター	5
3 ハードウェアの説明	6
3.1 概要.....	6
3.2 BGT60LTR11AIP MMIC	7
3.3 センサー電源.....	9
3.4 水晶発振子.....	10
3.5 外部コンデンサ.....	10
3.6 コネクタ.....	12
3.7 EEPROM	12
3.8 LED およびレベルシフター	13
3.9 MMIC のクアッドステート入力.....	14
3.10 PCB 層のスタックアップおよび配線.....	15
4 レーダーMMIC の設定	16
4.1 動作モード.....	16
4.2 検出器の閾値.....	18
4.3 検出器のホールド時間.....	19
4.4 動作周波数.....	20
4.5 パルス繰り返し時間.....	21
4.6 動作周波数.....	21
5 自律モード動作.....	22
5.1 バッテリー駆動の動作.....	22
5.2 Arduino MKR の動作	22
6 ファームウェア	23
6.1 概要.....	23
6.2 SPI MISO アービトレーション.....	23
6.2.1 ユースケース	23
6.2.2 実装	24
7 測定結果	27
7.1 放射パターン.....	27
7.2 動体検知エリア.....	27
7.2.1 自律モード	28
7.2.2 SPI モードと MMIC 内部検出.....	29
7.2.3 SPI モードとモーション検出アルゴリズム	30
8 消費電力の分析.....	31
8.1 デューティサイクル.....	31
8.2 適用パルス繰り返し時間.....	31
9 参考資料	34
改訂履歴	35
免責事項	36

はじめに

1 はじめに

1.1 60 GHz レーダーシステムプラットフォーム

BGT60LTR11AIP MMIC は、完全に集積されたマイクロ波モーションセンサーであり、アンテナインパッケージ、モーション検出と検出されたモーションの方向、および外部マイクロコントローラーなしで MMIC の完全自律動作を可能にするステートマシンを含みます。位相ロックループ (PLL) を備えた内蔵分周器は、VCO 周波数安定化を提供します。これらの機能により、この小型レーダーソリューションは、低電力またはバッテリー駆動のアプリケーションで、従来のパッシブ赤外線 (PIR) センサーに取って代わる魅力的でスマートで費用対効果の高い代替品となります。MMIC は、60 GHz ISM バンドでドップラーモーションセンサーとして動作するように設計されています。

MMIC には 4 つのクアッドステート (QS1-4) 入力ピンがあり、自律モードで実行する場合、柔軟にパフォーマンスのパラメーターを調整できます。これらのピンは、3.9 項で説明したように、MMIC の設定に使用されます。

MMIC は、自律モードや QS1 ピンを介して選択できる SPI モードなど、複数の動作モードをサポートしています (Table 4 を参照)。

自律モードでは、検知閾値 (または感度) が QS2 ピンを介して設定され (Table 5 を参照)、16 段階に設定可能であり、典型的な人間のターゲットの Radar Cross Section (RCS) に合わせて、0.5 m から 7 m までの検出範囲を設定できます。ホールド時間も、QS3 ピン (Table 6 を参照) を介して 16 レベルで設定可能で、検出状態を最大 30 分間ホールドできます。デバイスの動作周波数は QS4 ピンを介して設定でき (Table 8 を参照)、BGT60LTR11AIP MMIC では 61.1 ~ 61.4 GHz の 4 つの異なる周波数が可能です。このモードでは、統合された検出器は、人間のターゲットの動きの有無とその動きの方向 (接近または離脱) を示すデジタル信号を出力します。

SPI モードでは、外部マイクロコントローラーユニット (MCU) を使用して、必要な設定を MMIC レジスタに書き込むことにより、レーダー MMIC パラメーター設定 (例えば、検知閾値、ホールド時間、および動作周波数など) に関して任意に設定できます。このモードでは、内蔵された検出器が無効になっていない場合、動きと動きの方向を示すデジタル出力も提供します。さらに信号処理が必要な場合は、BGT60LTR11AIP MMIC からレーダーの生データを抽出してサンプリングし、最大のパフォーマンスを得るためのカスタマイズされたアルゴリズムの開発に使用できます。

BGT60LTR11AIP シールドは、BGT60LTR11AIP MMIC の機能を実証し、ユーザーに「プラグ アンド プレイ」レーダーソリューションを提供します。シールドは、Arduino MKR ボードまたは Infineon Radar Baseboard MCU7 にも取り付けられます。Infineon Developer Center (IDC) から Graphical User Interface (GUI) を使用して、時間および周波数ドメインで取得したデータを表示および分析できます。

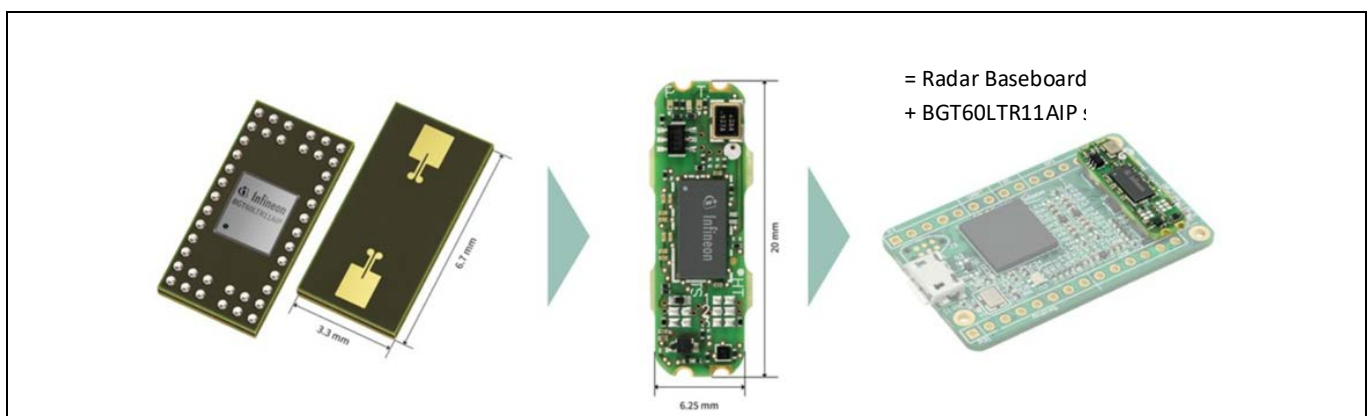


Figure 1 BGT60LTR11AIP MMIC を使用した BGT60LTR11AIP シールド

はじめに

1.2 主な特長

BGT60LTR11AIP シールドは、試作機の設計とシステム統合、および初期の製品機能評価をすばやく進めるために最適化されています。また、このデバイスは、ノートパソコン、タブレット、テレビ、スピーカーなどのシステムに組み込むことができます。モーションの検出に基づき、機器を起動させ、定義された時間以上動きがない時にスリープまたは自動ロックできます。このようにして、これらの機器のスマートな省電力機能になります。このように、上記システムのスマートな節電機能が実現でき、キーワードベースのシステム起動が不要になる可能性があります。レーダーセンサーは、非金属材料を透過して動作できるため、最終製品の内部に隠せることが可能になります。したがって、日々の生活におけるテクノロジーのシームレスに統合することが可能になります。

BGT60LTR11AIP シールドの主な特長は次のとおりです。

- BGT60LTR11AIP シールドのフォームファクターは 20 mm x 6.25 mm
- 小型 (6.7 mm x 3.3 mm x 0.56 mm) の AIP MMIC が備えているため、ユーザー側で複雑なアンテナの設計が不要
- 人間の動きとその方向 (接近または離反) を検出
- スタンドアロン (自律モード) または外部マイクロコントローラーとのインターフェースを持つ SPI モードで動作
- 動作モード、検知閾値、検知ホールド時間、動作周波数などを外部ピンで設定可能
- 低消費電力
- 柔軟性を高めるため、Arduino MKR などの他の PCB にはんだ付けも可能

2 システム仕様

2.1 BGT60LTR11AIP シールドパラメーター

Table 1 に、BGT60LTR11AIP シールドの各種パラメーターを示します。

Table 1 BGT60LTR11AIP シールド仕様

項目	単位	最小値	標準値	最大値	備考
システムパフォーマンス					
検出範囲	m	-	5	7	低閾値での人物の動き検出範囲の目安 (垂直面および水平面両方の向きで)
電源					
電源電圧	V	1.5	3.3	5.0	
消費電流	mA		3.48		3.3 V で端面スルーホールから供給 パルス繰り返し時間 (PRT) = 500 μs パルス幅 (PW) = 5 μs (LED 消灯時)
アンテナ特性 (測定)					
アンテナタイプ			1 x 1		アンテナインパッケージ (AIP)
水平- 3dB ビーム幅	度		80		周波数 = 61.25 GHz
垂直- 3dB ビーム幅	度		80		周波数 = 61.25 GHz

3 ハードウェアの説明

ここでは、BGT60LTR11AIP MMIC, 電源, 水晶発振子, およびボードインターフェースなど BGT60LTR11AIP シールドのハードウェア構築ブロックの詳細な概要を示します。

3.1 概要

BGT60LTR11AIP シールドは、20 x 6.25 mm サイズの非常に小型な PCB です。PCB の上部に取り付けられているのは、インフィニオンの 60 GHz レーダーセンサーである BGT60LTR11AIP です。アンテナはパッケージに内蔵されています。したがって、PCB は標準の FR4 積層基板を使用して製造できます。シールドの下側には、Radar Baseboard MCU7 [1]へのコネクタがあります (Figure 2 の P1 と P2)。シールドの上面には、Figure 3 に示すように、正しく接続するためにレーダーベースボード MCU7 のマーカーと位置合わせする必要があるマーカーがあります。PCB の端にある端面スルーホールは、シールドの検出器出力と電源ラインへのアクセスを提供します。これらの端面スルーホールを使用し、P1 と P2 を取り除くことにより、BGT60LTR11AIP シールドを他の PCB にはんだ付けできます。

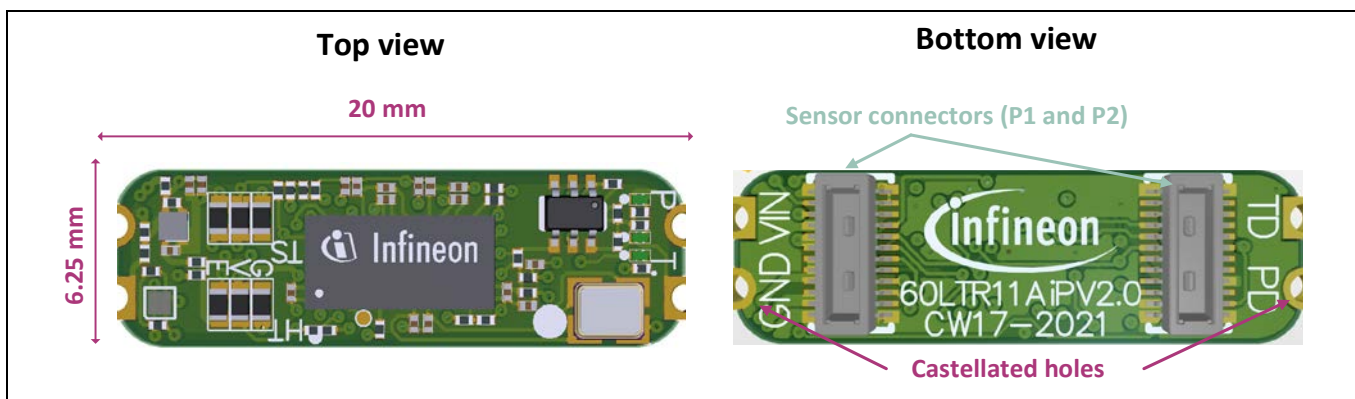


Figure 2 BGT60LTR11AIP シールドの上面図と底面図

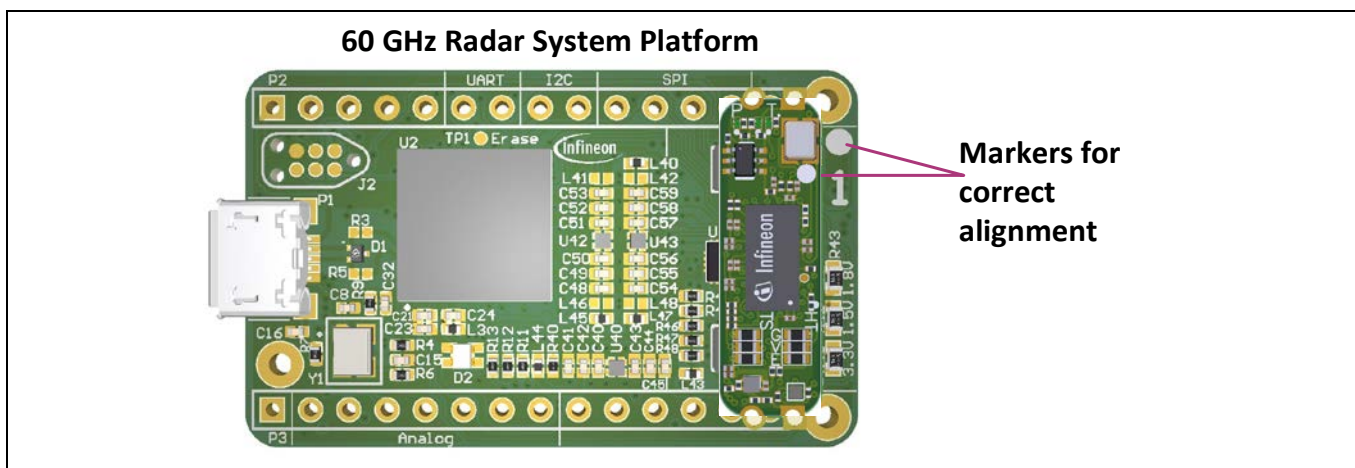


Figure 3 位置合わせ用の Radar Baseboard MCU7 および BGT60LTR11AIP シールドのマーカー

Note: 繰り返しシールドを抜き差しすると、コネクタが摩耗する危険性があります。これを防ぐためには、シールドの短辺側をコネクタから持ち上げないでください。代わりに、センサーの長辺を引っ張ることで、短辺を傾けられます。これにより、コネクタの寿命が大幅に延びます。

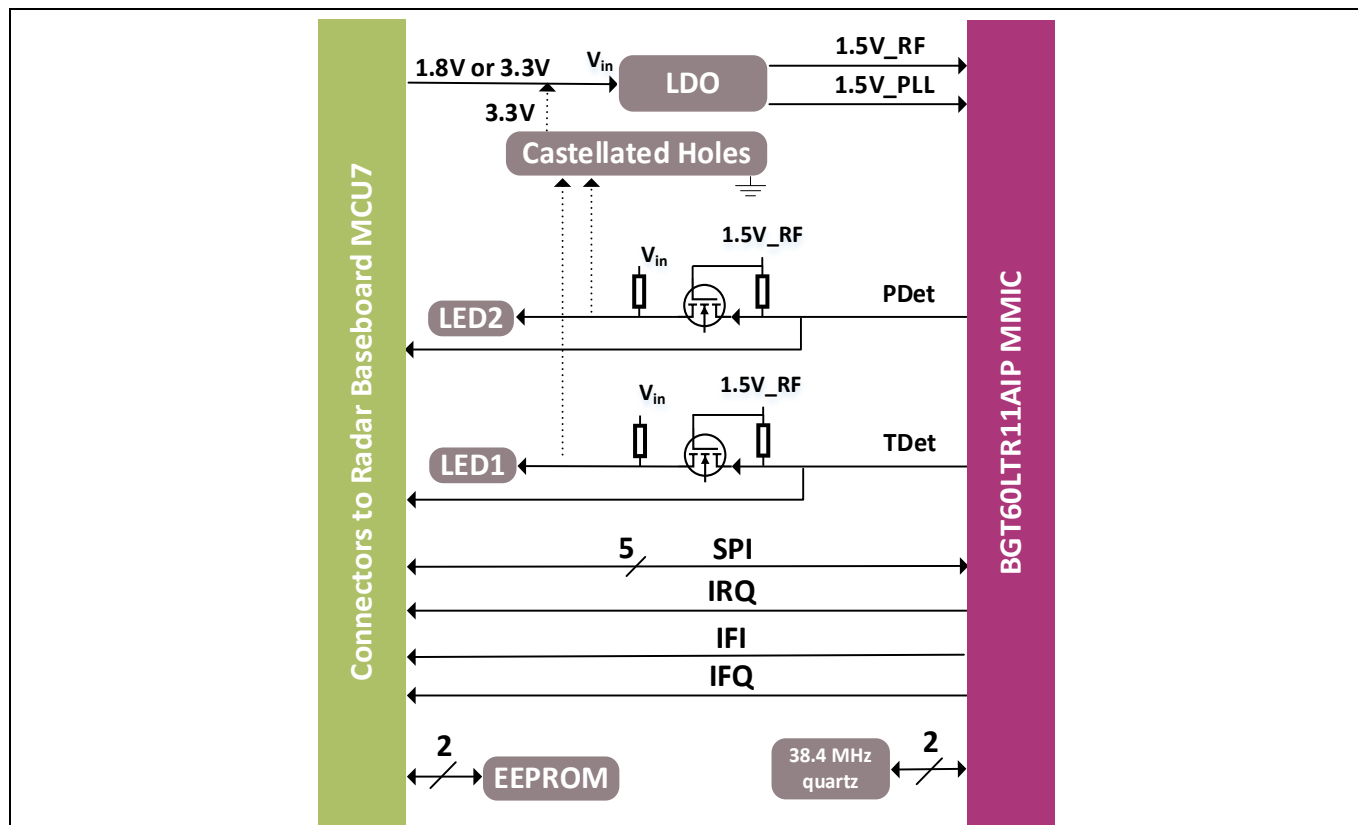


Figure 4 BGT60LTR11AIP シールドのブロック図

Figure 6 のブロック図は、シールドの構成を示します。シールドがレーダーベースボード MCU7 に接続されると、MMIC には最初、電源が供給されません。EEPROM のみに電力が供給されます。MCU は、EEPROM メモリの内容を読み出して、コネクタに接続されているシールドを判別します。MMIC の電源は、シールドが正しく識別された場合にのみアクティブになります。

MMIC との通信は、主に SPI を介して実行されます。BGT_RTSN により、MCU は MMIC のハードウェアリセットを実行します。SPI の BGT_SELECT および BGT_RTSN ラインは 10 kΩ の抵抗でプルアップされる必要があります。新しいデータを呼ぶ必要があるとき、割り込み要求 (IRQ) ラインを使用して MCU をトリガできます。

3.2 BGT60LTR11AIP MMIC

BGT60LTR11AIP MMIC (Figure 5) は、BGT60LTR11AIP シールドの主要素子として機能します。MMIC には、1 つの送信アンテナと 1 つの受信アンテナがパッケージに内蔵されています。パッケージの寸法は、Figure 6 および Figure 7 に示すように、6.7 mm (±0.1 mm) x 3.3 mm (±0.1 mm) x 0.56 mm (±0.05 mm) です。

MMIC には、高周波信号を生成するための電圧制御発振器 (VCO) とフェーズロックループ (PLL) が組み込まれています。送信セクションは、SPI を介して出力電力を設定可能な中電力増幅器 (MPA) を備えた構成です。

このチップは、低ノイズの直交受信機ステージを備えています。レシーバーは、優れたレシーバー感度を提供するために、直交ホモダイナウンドアコンバージョンミキサーの前に低ノイズアンプ (LNA) を使用します。内部 VCO 信号から生成した信号を、RC 多相フィルタ (PPF) を通し、直交ミキサー用の直交 LO 信号を生成します。

BGT60LTR11AIP シールド

XENSIV™ 60 GHz レーダーシステムプラットフォーム

ハードウェアの説明

アナログベースバンド (ABB) ユニットの、低消費電力デューティサイクル動作の内蔵サンプル&ホールド回路と、それに続く外部構成可能なハイパスフィルタ、可変ゲインアンプ (VGA) ステージ、およびローパスフィルタで構成されています。

MMIC に内蔵されたターゲット検出回路は、レーダー前方のターゲットの動作と動作の方向を 2 つのデジタル信号 (BGT_TARGET_DET および BGT_PHASE_DET) による検出を示します。詳細については、セクション 3.8 を参照してください。検出器回路は、設定の柔軟性を実現するために、ユーザーが設定可能なホールド時間を提供します。

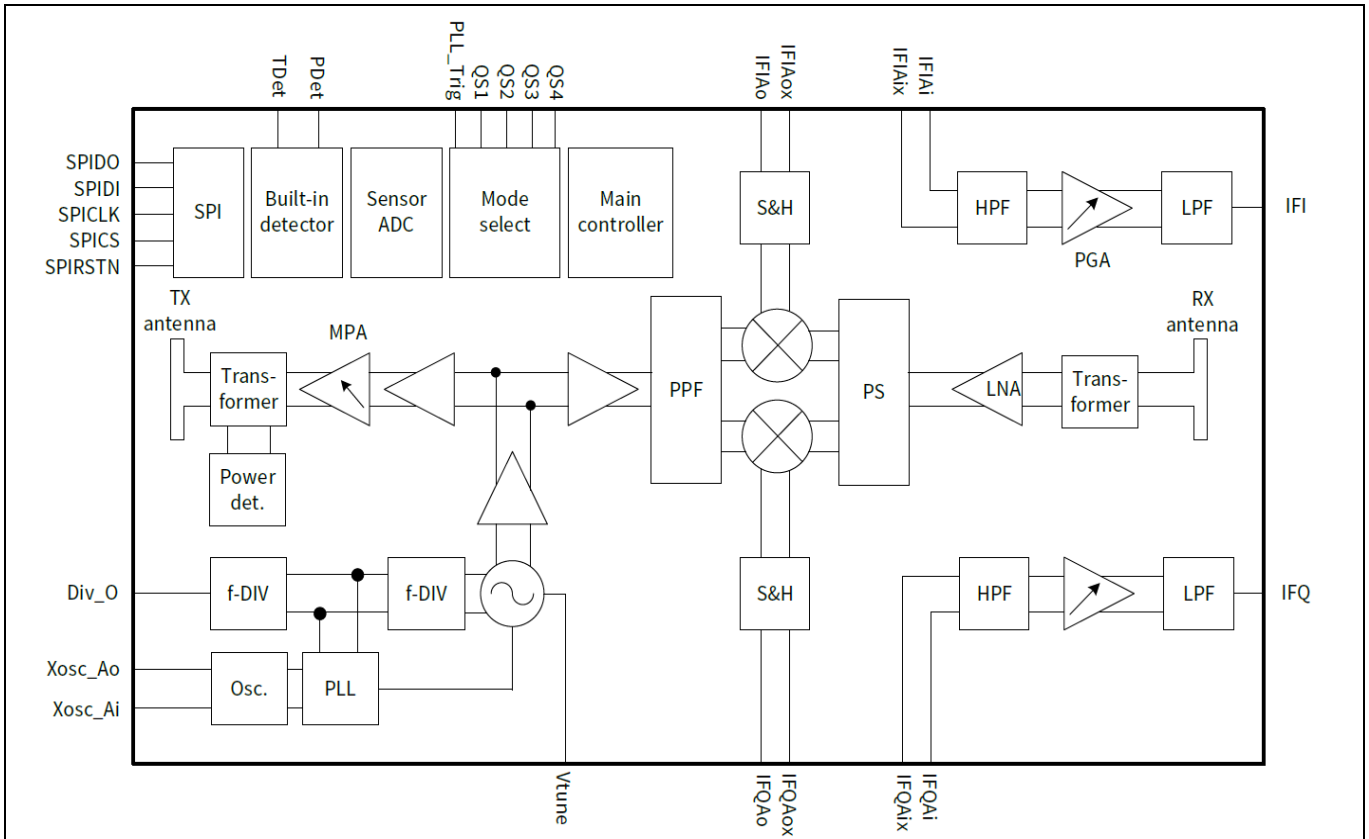


Figure 5 BGT60LTR11AIP MMIC のブロック図

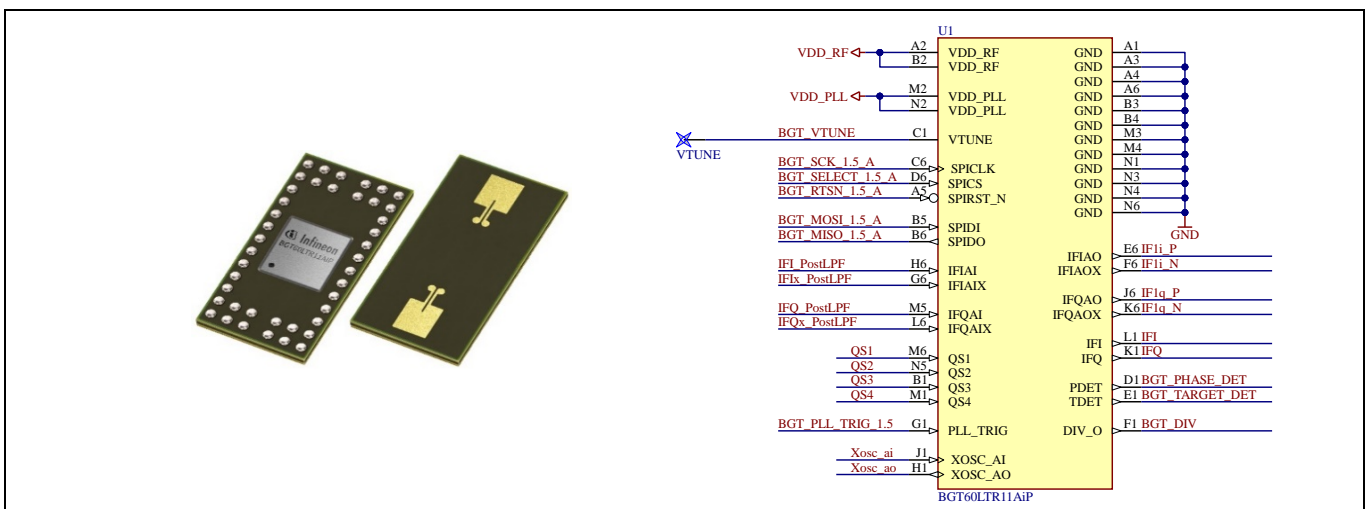


Figure 6 BGT60LTR11AIP MMIC のパッケージ外形図およびピン信号配置

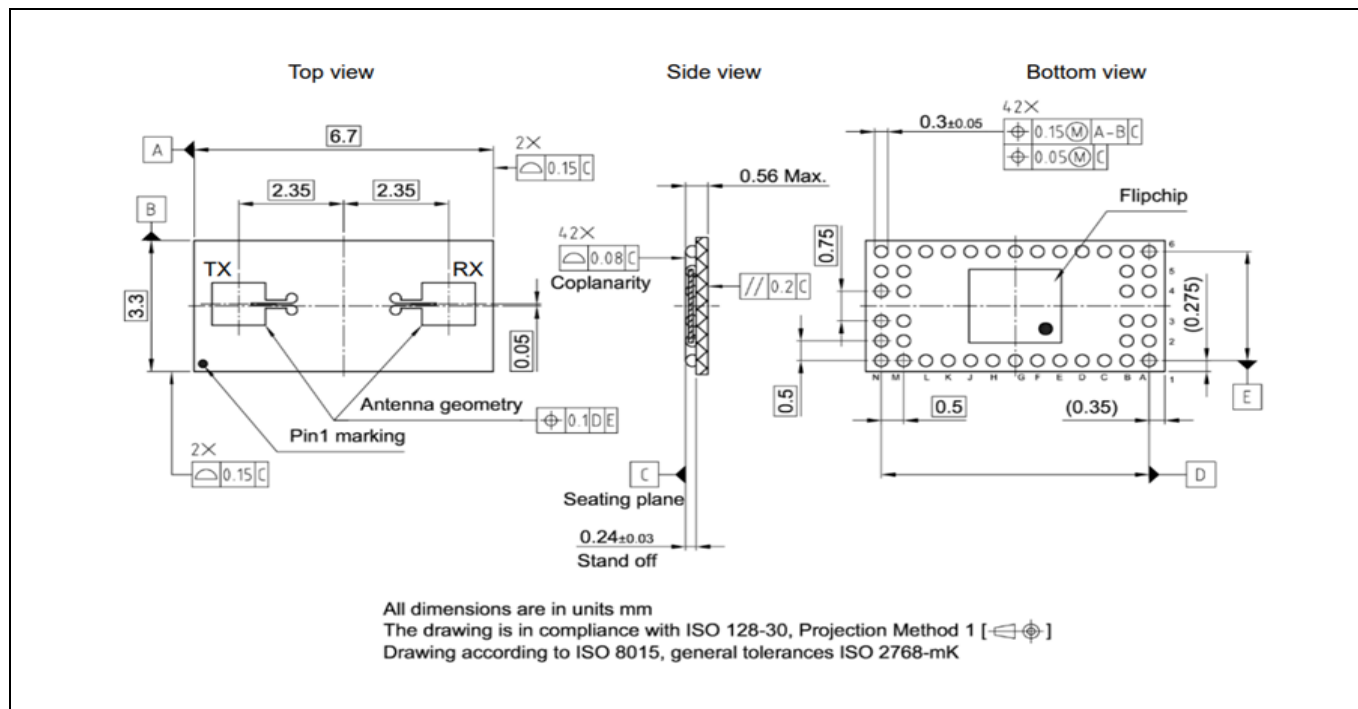


Figure 7 BGT60LTR11AIP MMIC パッケージの上面図, 側面, および底面図

3.3 センサー電源

レーダーセンサーは、電源電圧の変動や異なる電源ドメイン間のクロストークに非常に敏感であるため、低ノイズの電源と適切に分離された電源ラインは不可欠です。レーダーベースボード MCU7 は、低ノイズの電源を提供します。Figure 8 に、BGT60LTR11AIP シールドのさまざまな電源ラインの電源を分離するために使用されるローパスフィルターの概略図を示します。MHz 領域での電圧変動を大幅に減衰するため、フェライトビーズ (L1, L3, および L5) が利用されます。例えば、最大 50 MHz で動作する SPI は、デジタルドメインに電圧変動を引き起こし、デカップリングフィルタなしでアナログドメインに結合して相互干渉します。フェライトビーズは、低い DC 抵抗 (0.25Ω 未満) と可能な限り高いインダクタンスでセンサーの最大電流を処理できるように選択されます。インダクタンスが高いと、ローパスフィルターのカットオフ周波数を低下でき、低周波数でのデカップリング特性が向上します。

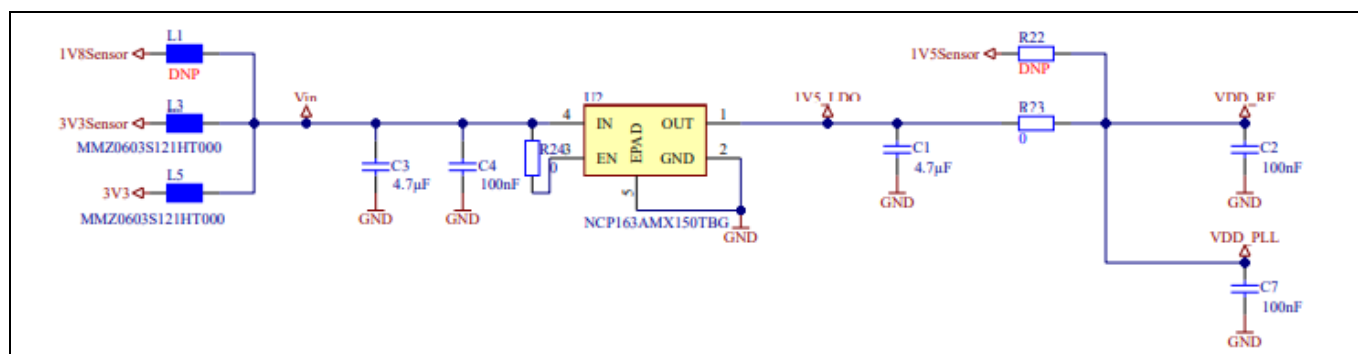


Figure 8 センサー電源およびローパスフィルターの回路図

3.4 水晶発振子

MMIC には、低位相ジッターと低位相ノイズ特性を持ち、安定した基準クロックを提供する発振器信号源が必要です。発振器回路は MMIC 内に内蔵され、この発振器により、水晶発振器は数ミリアンペア (mA) の電流しか消費せず、継続的に動作することは可能です。BGT60LTR11AIP シールドは、Figure 9 に示すように、38.4 MHz の水晶発振器を使用します。

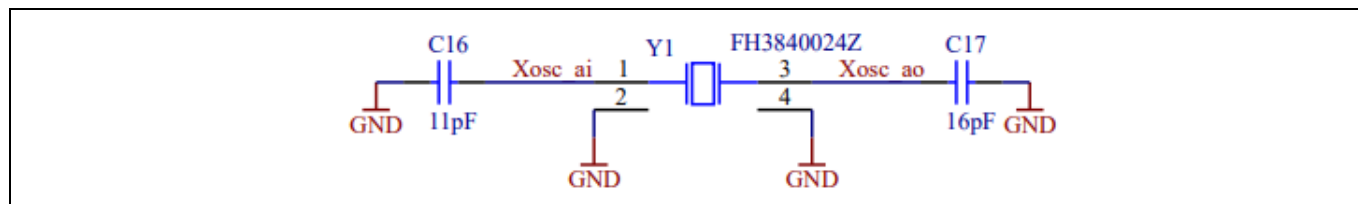


Figure 9 BGT60LTR11AIP シールドの水晶発振回路

3.5 外部コンデンサ

BGT60LTR11AIP MMIC は、低消費電力のために高デューティサイクルでかつサンプルホールド (S&H) 動作を実行します。S&H スイッチは、各差動 IQ ミキサーの出力ポートにチップ内で統合されています。これらのスイッチは、内部のステートマシンを介して同期的に制御されます。S&H とハイパスフィルタ (HPF) 間のコンデンサは外付けです (Figure 10)。C10, C11, C14, および C15 は、S&H 回路の「ホールド」コンデンサとして使用される 5.6 nF のコンデンサです。Table 2 に示すように、さまざまなパルス幅に設定できます。C8, C9, C12, および C13 は、DC ブロッキング (またはハイパス) コンデンサです。DC ブロッキング (またはハイパス) コンデンサです。これらは、4 Hz のハイパスフィルタを構成するために 10 nF の値が使用されます (内部ハイパス抵抗の場合、 $R_{HP} = 4 \text{ M}\Omega$)。アナログベースバンド (ABB) のセトリング時間に影響するため、これ以上の値を使用することは推奨しません。ミキサー出力の DC 電圧は内部 ABB と異なるため、DC ブロッキングコンデンサは重要です。Figure 10 に、差動 IQ コンフィギュレーションの 4 つのブランチすべてについて、外部ホールドコンデンサ (C_{hold}) およびハイパスコンデンサ (C_{HP}) を示します。

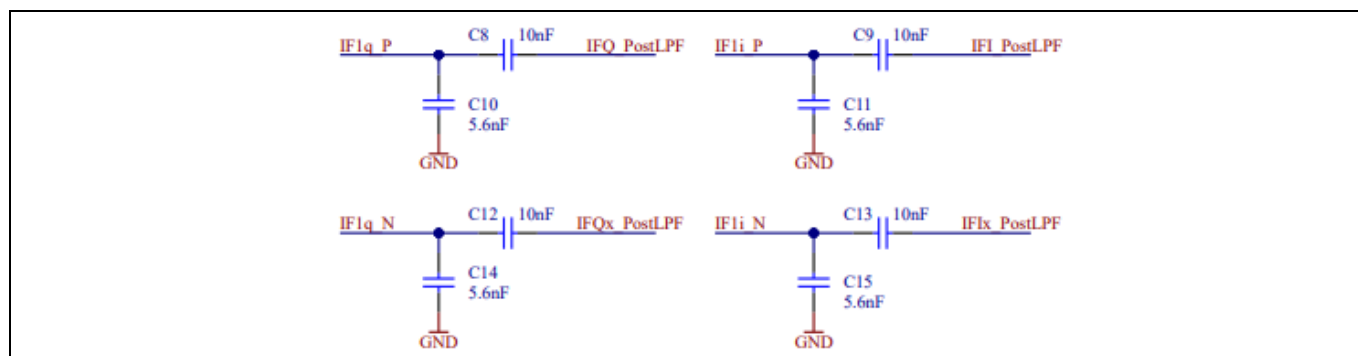


Figure 10 外部コンデンサ

Table 2 さまざまなパルス幅に対して推奨されるホールド コンデンサ (C10, C11, C14, および C15)

パルス幅 (μs)	ホールド コンデンサ値 (nF)
3	4.7
4	5.6
5 (デフォルト)	5.6 (デフォルト)
10	15

BGT60LTR11AIP シールド

XENSIV™ 60 GHz レーダーシステムプラットフォーム

ハードウェアの説明

ホールドコンデンサ (C_{hold}) の充電時間は、選択されたパルス幅に制限されます。パルス幅を短くすると 1 パルス中に ~90% 充電するためには、より小さな C_{hold} が必要です。立ち上がり時間は、 C_{hold} と各ブランチの 300Ω の内部ミキサー出力抵抗 (R_{mixer_out}) で制御されます。

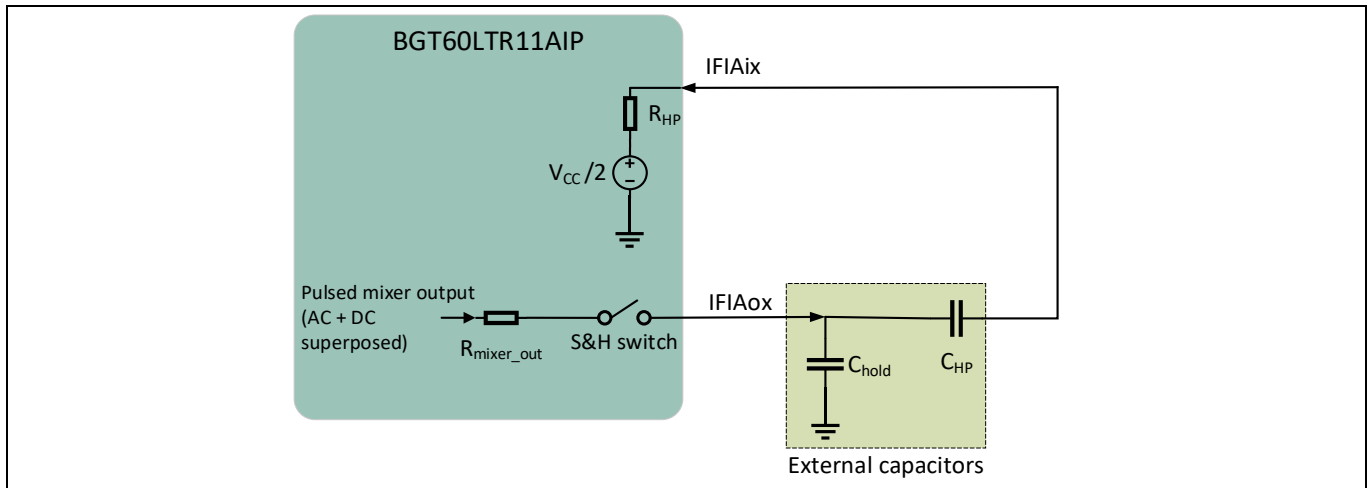


Figure 11 BGT60LTR11AIP の外付けコンデンサ

パルス幅が長いと、 C_{hold} 値が大きくなります。これは RC フィルター (R_{mixer_out} と C_{hold}) の帯域幅 (BW) の減少につながります。その結果、ノイズの折り畳み帯域幅が減少するため、ベースバンド ノイズが減少します。

この RC 構成の場合、ローパス 3dB カットオフ周波数 (f_{LP3dB}) は、以下の条件で計算できます。

$$t_{rise} = 10\% / 90\% = \text{S\&H ON 時間} = 4 \mu\text{s}$$

$$\text{パルス幅} = 5 \mu\text{s}$$

$$R_{mixer_out} = 300 \Omega$$

$$f_{LP3d} = \frac{0.35}{t_{rise}} = \frac{0.35}{4\mu\text{s}} = 87.5 \text{ kHz}$$

または式に基づいて、

$$f_{LP3dB} = \frac{1}{2\pi \times R_{mixer_out} \times C_{hold}}$$

$$C_{hold} = 6.1 \text{ nF}$$

→ 5.6 nF (E12 シリーズにもっとも近い値)

ハイパス 3 dB カットオフ周波数 (f_{HP3dB}) は以下の条件で計算できます。

$$C_{HP} = 10 \text{ nF}$$

$$R_{HP} = 4 \text{ M}\Omega$$

$$f_{HP3dB} = \frac{1}{2\pi \times R_{HP} \times C_{HP}} = \frac{1}{2\pi \times 4\text{M}\Omega \times 10\text{nF}} = 4 \text{ Hz}$$

3.6 コネクタ

BGT60LTR11AIP シールドは、P1 および P2 コネクタを備えた Radar Baseboard MCU7 と同様な MCU ボードに接続できます。PCB の上面と下面に見えるのは、端面スルーホール (P3 と P4) です。端面スルーホールの TD ピンと PD ピンは、MMIC の内蔵検出器出力に対応します。

シールドには、2 つの Hirose DF40C-20DP-0.4V コネクタ、P1 と P2 が含まれます。対応する DF40C-20DS-0.4V コネクタは、Radar Baseboard MCU7 にあります。Figure 12 に、BGT60LTR11AIP シールドのヒロセコネクタのピン配列を示します。

信号 IRQ は、R5 抵抗 (0Ω) で MMIC の分周器出力 (BGT_DIV) に接続されます。SPI パルスモードでは、BGT_DIV は、MCU が ADC の取り込みを開始するための割込み信号を生成します。BGT_DIV は、分周器の周波数を測定するためにも使用できます。

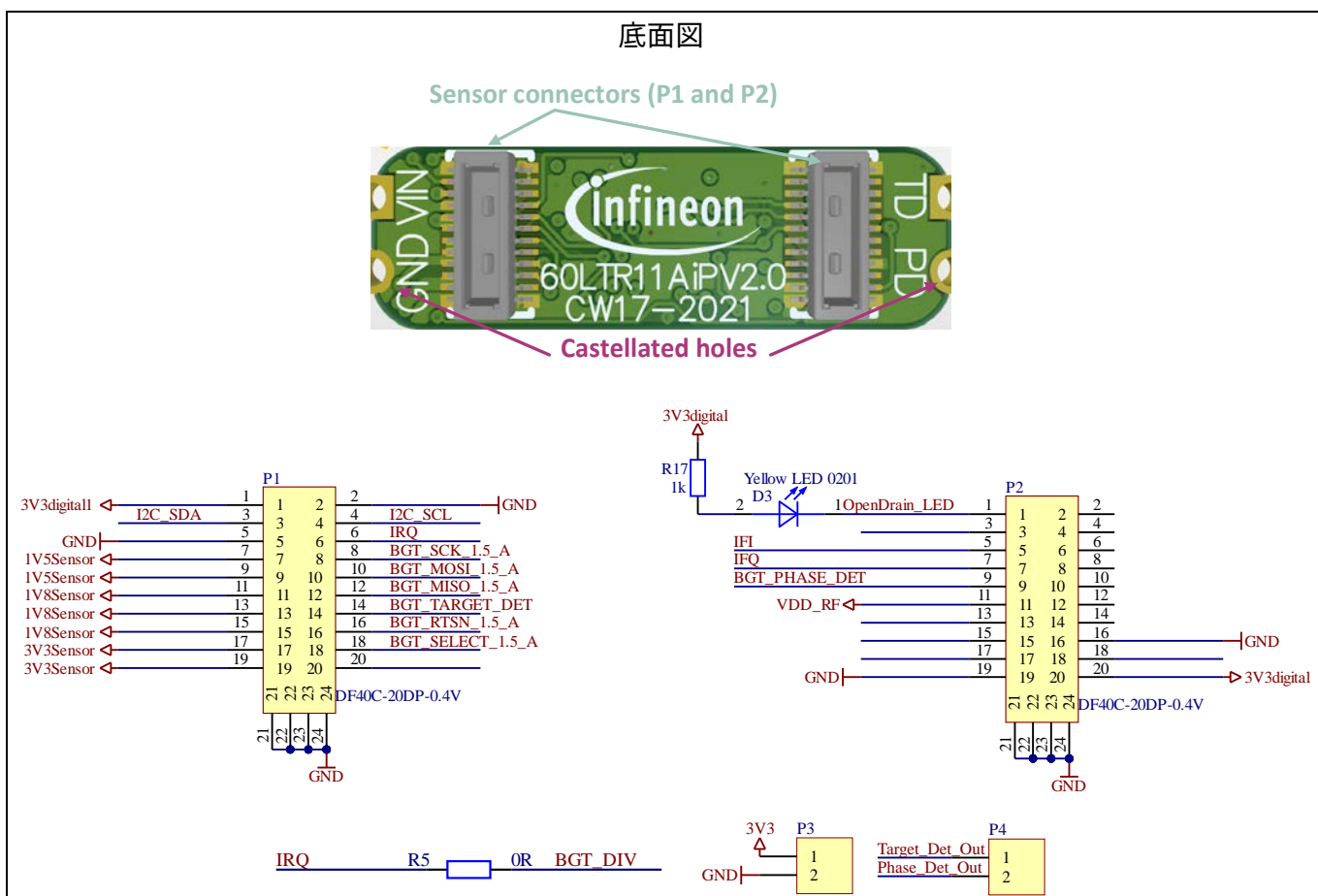


Figure 12 60LTR11AIP シールドのコネクタおよびそのピン配列

3.7 EEPROM

BGT60LTR11AIP シールドには、ボード識別子などのデータを格納するために I²C インターフェースを介して接続された EEPROM (24CW1280T-I/CS0668) が含まれます。その接続を Figure 13 に示します。この EEPROM には、シールドボードと MMIC のタイプを示す記述子が含まれます。これは、ファームウェアがシールドと適切に通信するために使用されます。

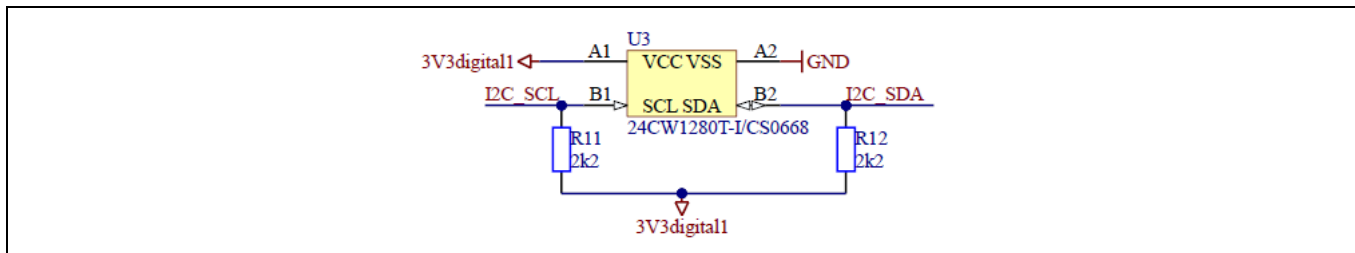


Figure 13 EEPROM の回路図

3.8 LED およびレベルシフター

Figure 14 に示すように、シールドには、モーション検出 (緑色) とターゲットのモーション方向 (赤色) を示す 2 つの LED があり、R1 と R2 は制限抵抗です。MMIC の検出器内のデジタルブロックで、BGT60LTR11AIP MMIC のターゲット検出/位相検出はターゲット動作と位相を検出し、出力します。ターゲット検出 (TDet) 出力はアクティブローです。位相検出 (PDet) 出力は、検出されたターゲットの方向を示すために使用されます。ターゲットに近づく場合は”H”に設定され、離れる場合は”L”に設定されます。PDet のデフォルト状態は”L”です。

MMIC からの出力は 1.5V の電圧です。Figure 14 に示す回路を使用して、 V_{in} の電圧レベルにレベルシフトされます。この回路では、BGT_TARGET_DET と BGT_PHASE_DET は MMIC (1.5V 電圧) の出力です。 V_{DD_RF} は 1.5V、 V_{in} は 3.3V です (Radar Baseboard MCU7 に接続されている場合)。

- BGT_TARGET_DET が”H” (1.5V) の場合、NMOS はオフ ($V_{gs} = 0V$) であり、Target_Det_Out は R14 プルアップ抵抗を介して 3.3V です。
- BGT_TARGET_DET が”L” (0V) の場合、NMOS はオン ($V_{gs} = 1.5V$) であり、Target_Det_Out は 0V にプルダウンされます。

同じことが BGT_PHASE_DET 信号にも当てはまります。

Table 3 LED 検出

LED	モード	備考
緑色	On - 対象が検出されました Off - 対象が検出されません	Target_Det_Out はアクティブロー信号です
赤色	On - 対象が離れています Off - 対象が近づいています	Phase_Det_Out はアクティブロー信号です

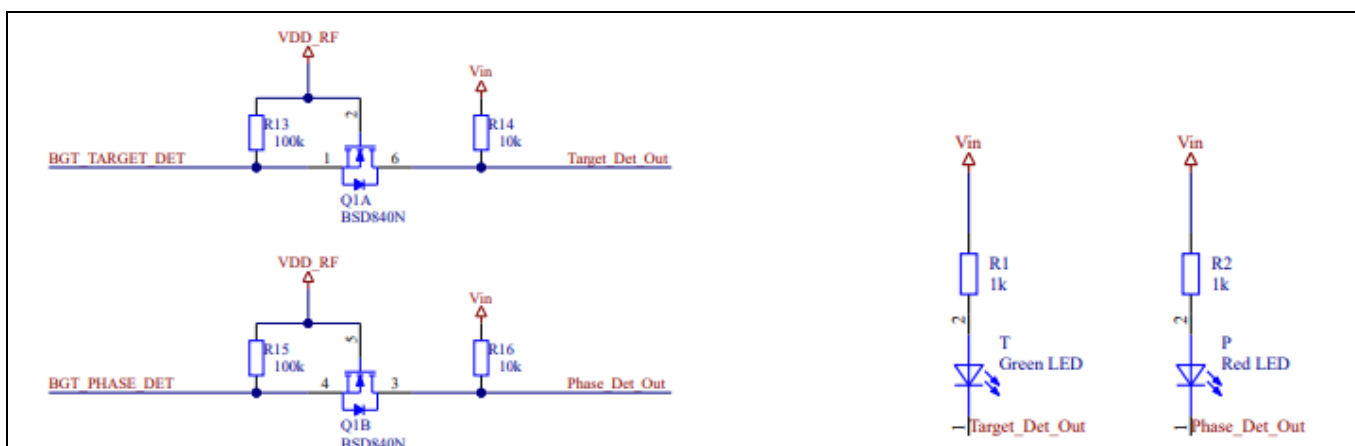


Figure 14 LED とレベルシフターの接続

3.9 MMIC のクアッドステート入力

BGT60LTR11AIP MMIC には、自律モードでデバイスを設定するために使用される 4 つのクアッドステート入力 (QS1-4) があります。Figure 15 に、BGT60LTR11AIP シールド上のこれらの QS ピンのデフォルト設定を示します。

自律モードに柔軟性を持たせるために、チップブート中に BGT_PLL_TRIG ピンが「1」に保たれ、QS1 が GND または OPEN の場合、「アドバンス モード」が有効になり、BGT_MOSI および BGT_SCK ピンもサンプリングされて PRT が決定されます。さらに、ピン QS2 と QS3 は ADC によって読み出され、各「平均ウィンドウ」の前にそれぞれ 4 ビット値に変換されます。

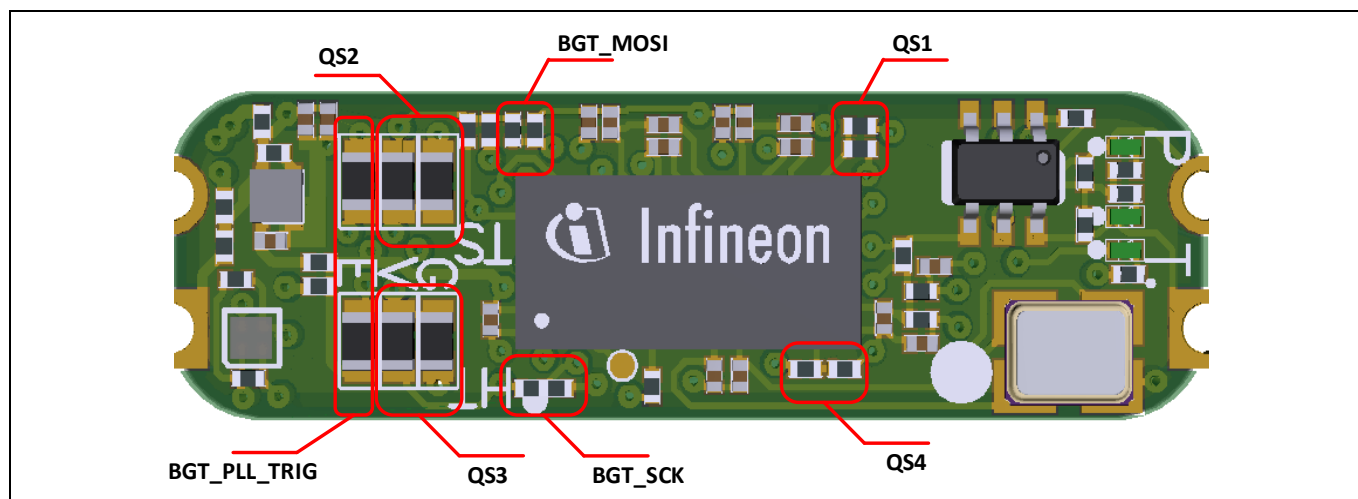


Figure 15 MMIC QS1 から QS4 のクアッドステート入力

BGT60LTR11AIP MMIC クワッドステート入力の詳細については、AN625 – User’s guide to BGT60LTR11AIP を参照してください。

3.10 PCB 層のスタックアップおよび配線

PCB は、標準の FR4 材料を使用した 4 層スタックで設計されています。Figure 16 に、各層とその厚さを示します。

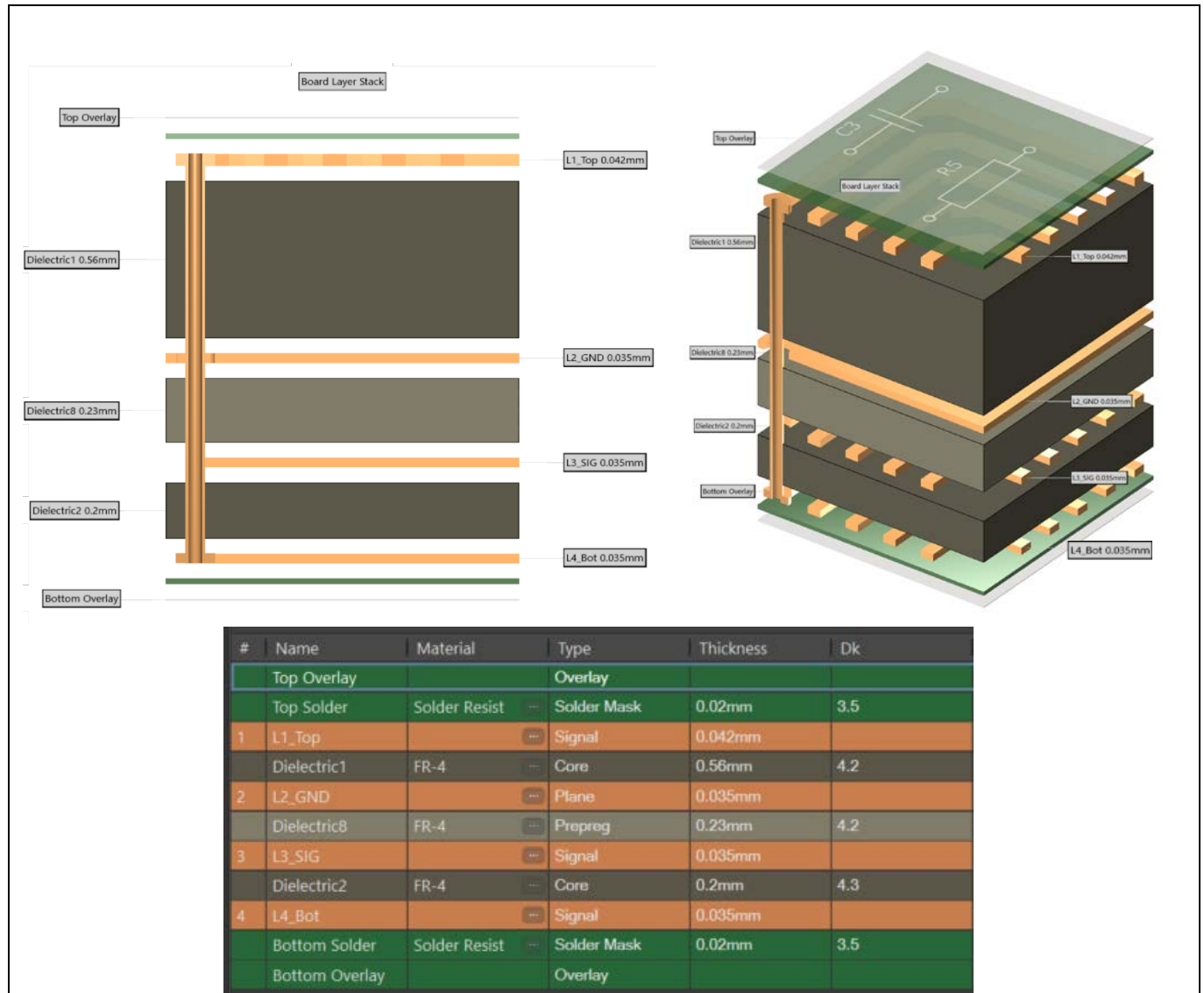


Figure 16 2D および 3D ビューでの PCB 層のスタックアップ

PCB の配線では、BGT60LTR11AIP MMIC の VTUNE ピンはフローティングのままにする必要があります。配線に部品を追加したり、長い配線を接続すると、スプリアスを引き起こす可能性があります。

4 レーダー-MMIC の設定

レーダー MMIC は、両方の動作モードで設定できます。自律モードでは、センサー設定パラメーターは QS ピンと外部抵抗を介して設定されます。SPI モードでは、マイクロコントローラーへの接続により、SPI を介して内部レジスタに書き込むことでセンサー設定パラメーターを設定できます。

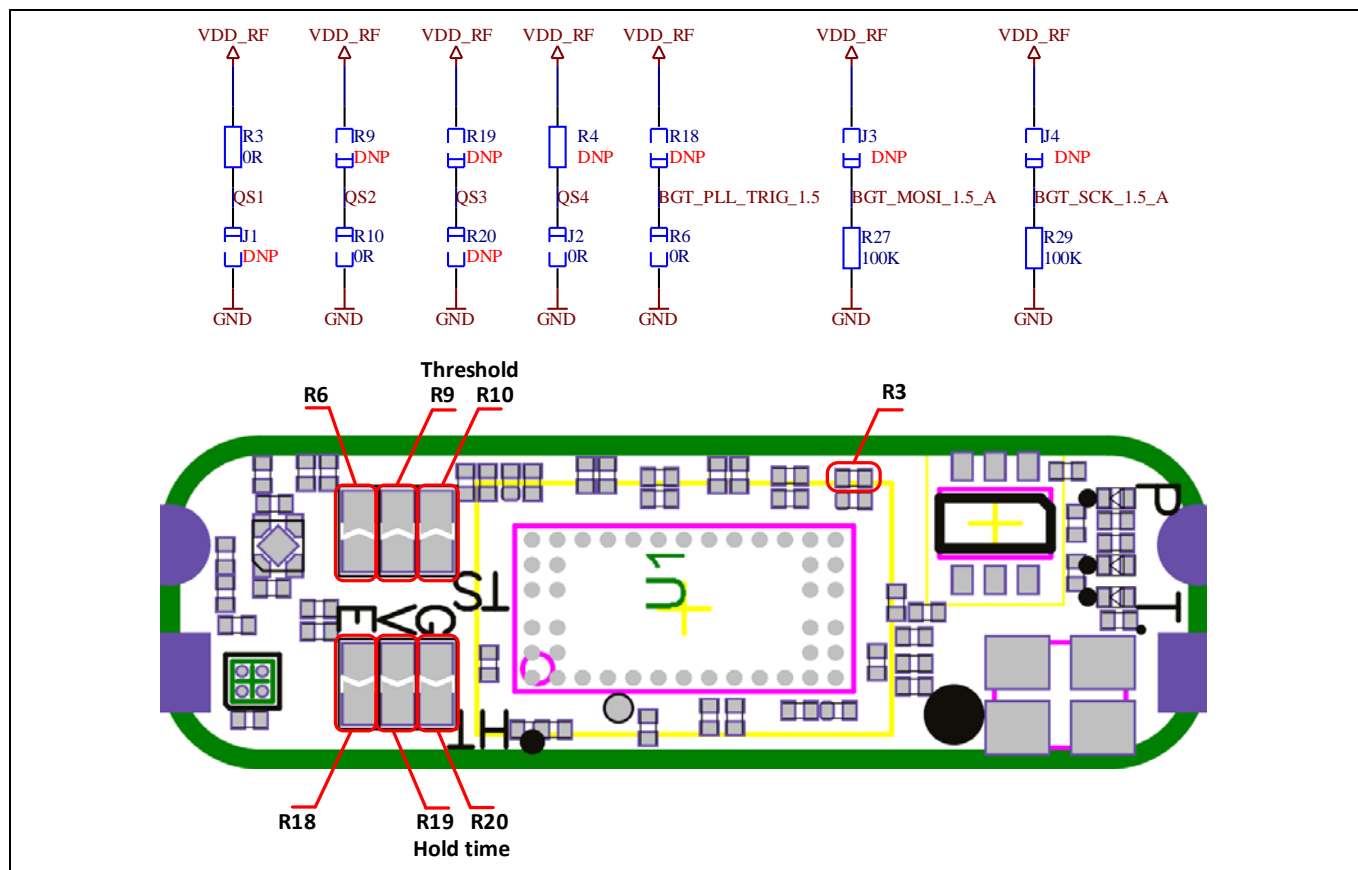


Figure 17 QS1 から QS4 の回路図および接続レイアウト

4.1 動作モード

Table 4 に示すように、QS1 ピンを使用してレーダー MMIC の動作モードを選択できます。

Table 4 QS1 設定

QS1	MMIC の動作モード	PCB 設定	
グランド	自律 (連続波) モード	J1 = 0 Ω	R3 = DNP*
オープン	自律 (パルスモード) 動作	J1 = DNP*	R3 = DNP*
100 kΩ ~ V _{DD}	外部 9.6MHz クロックが有効な SPI モード	J1 = DNP*	R3 = 100 kΩ
V _{DD} (デフォルト)	SPI モード	J1 = DNP*	R3 = 0 Ω

*DNP: Do Not Populate (実装しない) / Do Not Place (配置しない)

DEMO BGT60LTR11AIP には、SPI モードで設定された BGT60LTR11AIP シールドが付属しており、Radar Baseboard MCU7 マイクロコントローラーで実行されているファームウェアを介してレーダー MMIC 設定を有効にします。

シールドを自律モードで機能させるためには、Figure 18 に示すように R3 抵抗を取り外す必要があります。

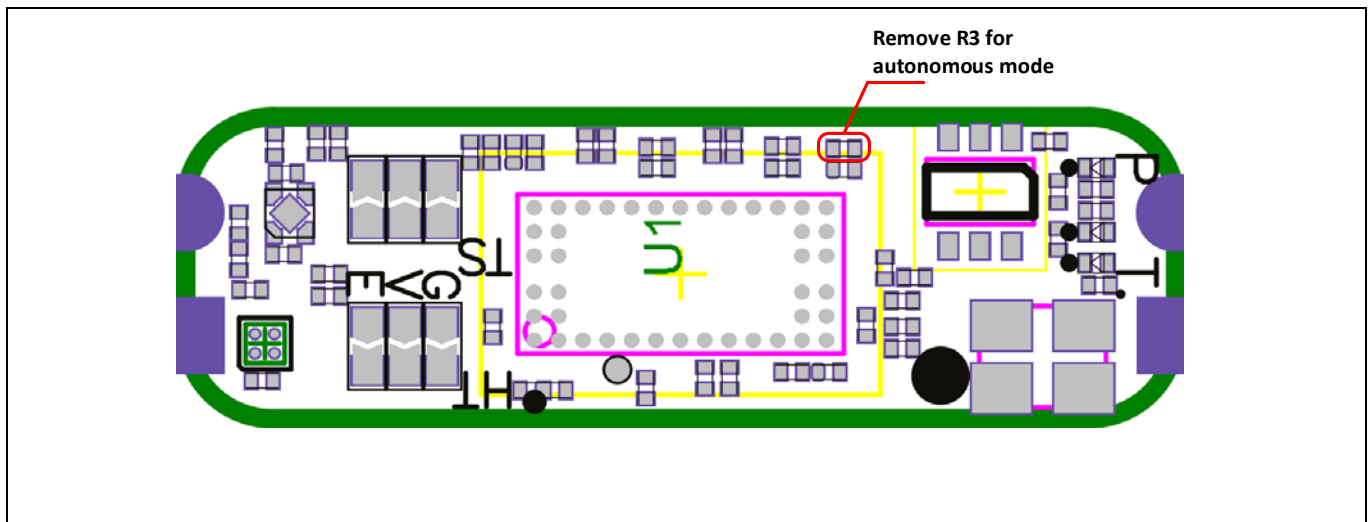


Figure 18 シールドの自律モードへの変換

Note: BGT60LTR11AIP シールドが自律モードに変換されたら、Radar Baseboard MCU7 に接続して GUI 経由で設定を変更しないでください。必要な設定を実現するためには、Table 5 と Table 6 に記載されている抵抗値のみをシールドにハンダ付けすることを推奨します。

レーダー-MMIC の設定

4.2 検出器の閾値

内部検出器の閾値は、検出イベントをトリガするために到達する必要がある最小信号強度です。設定された閾値が低いほど、感度が高くなり、したがって検出範囲も広がります。

Note: 誤検出のトリガを回避するには、特に「ノイズの多い」環境では、検出器の閾値を上げてセンサーの感度を下げることが推奨されます。

自律モード

QS2 は、自律モードの検出器の閾値を選択するために使用されます。最大 16 個の閾値を設定するには、R6 を取り外して R18=0 Ω にすることにより、PLL_TRIG を VDD に接続する必要があります。これにより、MMIC が「アドバンスモード」になります。シールドのデフォルトの QS2 設定は、閾値 80 です。

自律シールドの QS2 を変更するための推奨抵抗値を Table 5 に示します。

Table 5 QS2 設定

レジスタ設定		検出器閾値 (Radar Fusion GUI 設定)	感度 (Radar GUI 設定)
R9	R10		
10 kΩ	330 Ω	61	15*
10 kΩ	1 kΩ	66	14*
10 kΩ	1.8 kΩ	80	13
10 kΩ	2.7 kΩ	90	12
10 kΩ	3.9 kΩ	112	11
10 kΩ	5.6 kΩ	136	10
10 kΩ	6.8 kΩ	192	9
10 kΩ	8.2 kΩ	248	8
10 kΩ	12 kΩ	320	7
10 kΩ	15 kΩ	284	6
10 kΩ	18 kΩ	480	5
10 kΩ	27 kΩ	640	4
10 kΩ	39 kΩ	896	3
10 kΩ	56 kΩ	1344	2
10 kΩ	100 kΩ	1920	1
10 kΩ	220 kΩ	2560	0

*感度レベルが高いと誤検出につながる可能性があり、レーダー GUI 設定には表示されません。

SPI モード

SPI 動作モードでは、ユーザーは MMIC SPI レジスタの *thrs* (Reg2[12:0]) ビットフィールドに書き込むことにより、内部検出器の閾値を設定できます。

4.3 検出器のホールド時間

内部検出器ホールド時間は、ターゲット検出後に内部検出器出力がアクティブのままになる時間です。

自律モード

QS3 は、自律モードの検出器保持時間値を選択するために使用されます。最大 16 のホールド時間の値を設定するには、R6 を取り外して R18 = 0 Ω にすることにより、PLL_TRIG を VDD に接続する必要があります。これにより、MMIC が「アドバンスモード」になります。ホールド時間のシールドのデフォルトの QS3 設定は 1 秒です。自律シールドの QS3 を変更するための推奨抵抗値を Table 6 に示します。

Table 6 QS3 設定

レジスタ設定		検出器ホールド時間
R19	R20	
10 kΩ	330 Ω	最小値 (16 ms, 32 ms, 64 ms または 128 ms) PRT により異なる
10 kΩ	1 kΩ	500 ms
10 kΩ	1.8 kΩ	1 s
10 kΩ	2.7 kΩ	2 s
10 kΩ	3.9 kΩ	3 s
10 kΩ	5.6 kΩ	5 s
10 kΩ	6.8 kΩ	10 s
10 kΩ	8.2 kΩ	30 s
10 kΩ	12 kΩ	45 s
10 kΩ	15 kΩ	1 min
10 kΩ	18 kΩ	90 s
10 kΩ	27 kΩ	2 min
10 kΩ	39 kΩ	5 min
10 kΩ	56 kΩ	10 min
10 kΩ	100 kΩ	15 min
10 kΩ	220 kΩ	30 min

SPI モード

SPI 動作モードでは、ユーザーは MMIC SPI レジスタの *hold* (Reg10[15:0]) ビットフィールドに書き込むことにより、内部検出器のホールド時間を設定できます。

レーダー-MMIC の設定

4.4 動作周波数

自律モード

QS4 は、60 GHz ISM バンドで MMIC の動作周波数を設定するために使用されます。これは、各国の規制要件を満たすために重要です。可能な設定の詳細を Table 7 に示します。

Table 7 QS4 設定

QS4	デバイス動作周波数	PCB 設定	
		J2	R4
グラウンド (デフォルト)	61.1 GHz	J2 = 0 Ω	R4 = DNP*
オープン	61.2 GHz	J2 = DNP*	R4 = DNP*
100 kΩ ~ V _{DD}	61.3 GHz	J2 = DNP*	R4 = 100 kΩ
V _{DD}	61.4 GHz	J2 = DNP*	R4 = 0 Ω

*DNP: Do Not Populate (実装しない) /Do Not Place (配置しない)

SPI モード

SPI 動作モードでは、ユーザーは MMIC SPI レジスタの *pll_fcw* (Reg5[11:0]) ビットフィールドに書き込むことにより、デバイスの動作周波数を設定できます。BGT60LTR11AIP デバイスは、61 GHz ~ 61.5 GHz の周波数帯域で動作します。

Note: ISM バンド帯域外の放射を避けるために、バンドの端から両側に 50 MHz のガードバンドを確保してください。

Note: 同じ動作周波数で、近くで動作するセンサーは干渉する可能性があります。これを回避するには、少なくとも 12 MHz の差で、デバイスごとに異なる動作周波数を設定してください。

4.5 パルス繰り返し時間

パルス繰り返し時間 (PRT) は、デューティサイクルの繰り返し率であり、パルスモードにおいて次のパルスシーケンスが開始するまでの時間を意味します。

4.6 動作周波数

自律モード

PRT は、PLL_Trig ピンを「1」に維持することによって「アドバンスモード」が有効になっている場合のみ、自律パルスモード (Table 4 に示すように、QS1 は GND または OPEN のいずれか) で設定できます。SPI ピンの BGT_MOSI と BGT_SCK はチップの起動時にサンプリングされ、Table 8 に示すように PRT 設定を決定します。

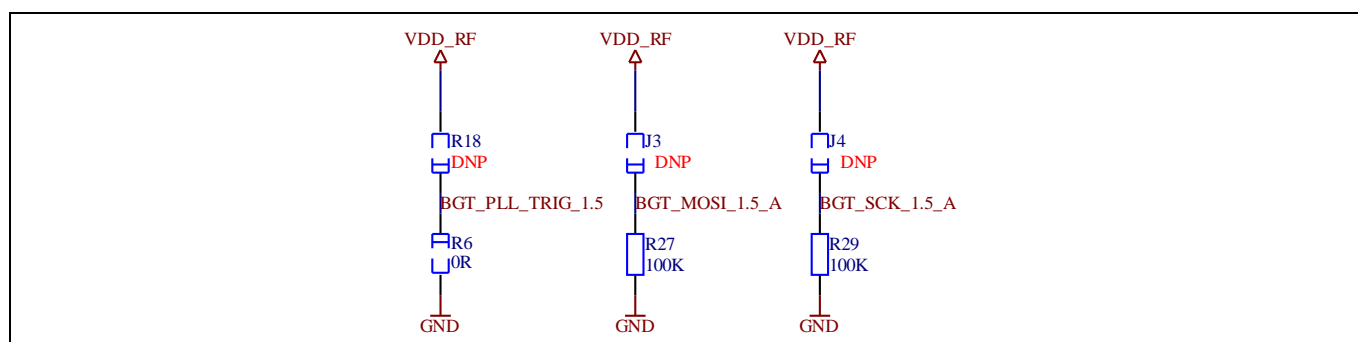


Figure 19 パルス繰り返し時間 (PRT) の設定

Table 8 (パルス) 自律モードでの PRT 設定

BGT_PLL_TRIG*	BGT_MOSI	BGT_SCK	PRT	PCB コンポーネント			
1	0	0	500 μs	J3 = DNP*	R27 = 100 kΩ	J4 = DNP*	R29 = 100 kΩ
1	0	1	2000 μs	J3 = DNP*	R27 = 100 kΩ	J4 = 100 kΩ	R29 = DNP*
1	1	0	250 μs	J3 = 100 kΩ	R27 = DNP*	J4 = DNP*	R29 = 100 kΩ
1	1	1	1000 μs	J3 = 100 kΩ	R27 = DNP*	J4 = 100 kΩ	R29 = DNP*

*R6 = DNP, R18 = 0 Ω, DNP: Do Not Populate (実装しない) /Do Not Place (配置しない)

SPI モード

SPI パルス動作モードでは、ユーザーは MMIC SPI レジスタの *dc_rep_rate* (Reg7[11:10]) ビットフィールドに書き込むことによって PRT 値を設定できます。

ユーザーは、MMIC SPI レジスタの *aprt* (Reg2[6]) ビットフィールドに書き込むことによって、適用パルス繰り返し時間 (APRT) を有効にすることもできます。2, 4, 8, または 16 の PRT 乗算係数も、*prt_mult* (Reg13[1:0]) ビットフィールドに書き込むことによって設定されます。

5 自律モード動作

自律モード動作では、MMIC は、動きと動きの方向を示すために内部検出器のみを使用します。BGT60LTR11AIP 自律型シールドは、シールドの側面にある端面スルーホールから、または Radar Baseboard MCU7 などのベースボードプラットフォームから直接給電できます。

5.1 バッテリー駆動の動作

BGT60LTR11AIP 自律シールドは、端面スルーホールの VIN、GND ピンに電源を供給するバッテリーで独立して動作し、ターゲットの動きに応じて TD (TDet) および PD (PDet) 端面スルーホールで内部検出器出力を生成します。Figure 20 に示すように、出力信号 TDet と PDet は LED に接続され、ターゲットの動き (TD) と動きの方向 (PD) に応じて点灯します。

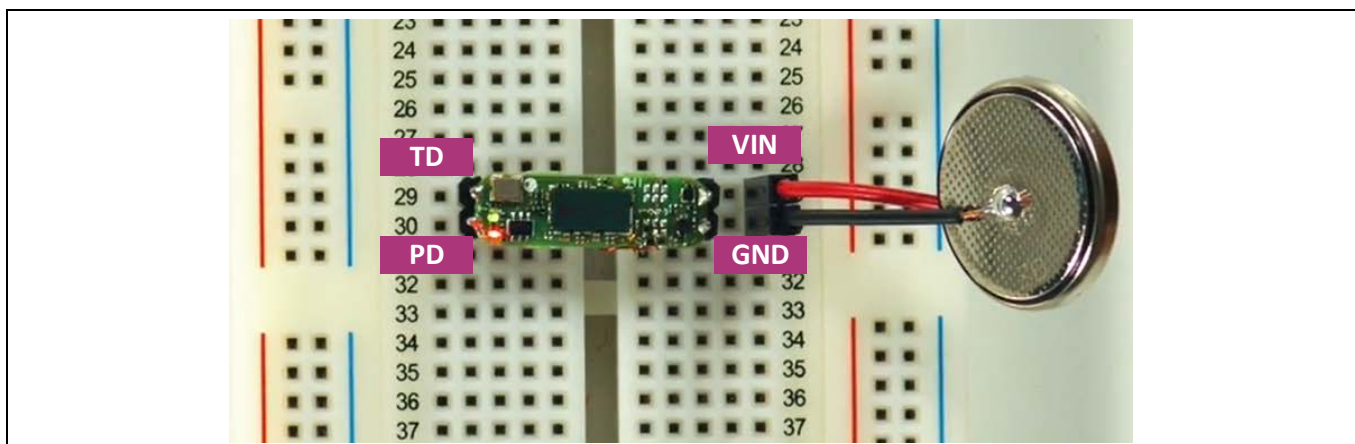


Figure 20 バッテリー電源と独立して動作するレーダーシールド

5.2 Arduino MKR の動作

シールドは、プラグオンモーションセンサーとして Figure 21 に示すように、Arduino MKR シリーズボードに取り付けられるような寸法になっています。

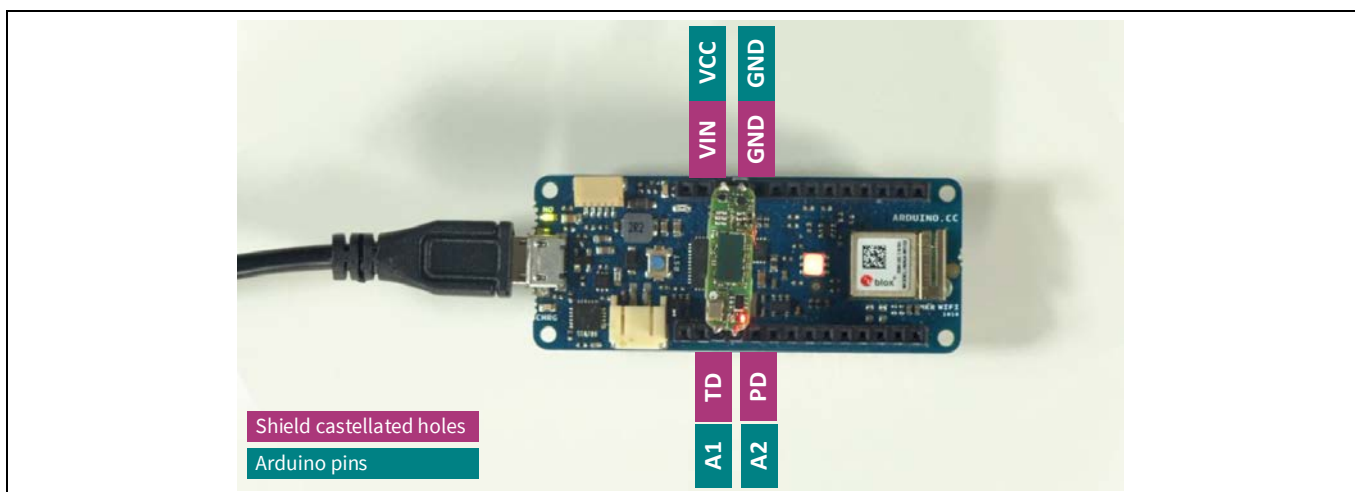


Figure 21 バッテリー電源と独立して動作するレーダーシールド

[BGT60LTR11 Radar Arduino Library](#) をサーチし、インフィニオンの GitHub リポジトリで開始手順を確認してください。

6 ファームウェア

6.1 概要

Radar Baseboard MCU7 には、ホスト (通常は PC) とセンサーコネクタに取り付けられた BGT60LTR11AIP RF シールドとの間のブリッジとして機能することを目的としたデフォルトのファームウェアが付属しています。

ファームウェアが BGT60LTR11AIP シールドを検出すると、BGT60LTR11AIP センサーのドライバー層を自動的に構成します。これには、BGT が IRQ ラインを介して新しいデータが利用可能であることを通知するときに、シリアルペリフェラルインターフェース (SPI) 転送を開始するようにチップを設定するだけでなく、MCU をセットアップすることも含まれます。ファームウェアは、レーダーおよび BGT60LTR11AIP 固有のメッセージが理解されるように、通信層も設定します。

詳細については、AN599 - Radar Baseboard MCU7 application note を参照してください。

6.2 SPI MISO アービトレーション

BGT60LTR11AIP MMIC V3.0 は、I/Q 信号からの内部 ADC サンプルを使用して、新しい内部デジタル検出器を実装します。したがって、ADC 値への内部アクセスは、「SPI MISO アービトレーション」と呼ばれるプロセスで、(Radar Baseboard MCU7 からの) 外部 SPI アクセスと多重化する必要があります。

6.2.1 ユースケース

SPI MISO ラインアービトレーションは、次の場合にアクティブになります。

- BGT60LTR11AIP デバイスは、ハードまたはソフトリセット後、および任意の自律モードでの起動時間後にアクティブになります。
- SPI 「Pulsed モード」をアクティブにした後 (start_pm (Reg15[14]) ビットを “1” に設定)
- SPI 「CW モード」をアクティブにした後 (start_pm (Reg15[14]) ビットと start_cw (Reg15[12]) ビットを “1” に設定)

SPI MISO ラインアービトレーションは、マルチクライアント SPI セットアップでの障害を回避するために、リセット後のデフォルトでは High-Z であり、*miso_drv* (Reg15[6]) ビットを 「1」 に設定して明示的に駆動モードに設定する必要があります。SPI アクセスの外でアクティブにします。

したがって、結果は次のとおりです。

- BGT60LTR11AIP レジスタを 1 回だけ設定する必要がある場合は、「Pulsed モード」がアクティブになる前に、MISO アービトレーションを無視できます。SPI アクセスを避けるために、Reg15 経由のソフトリセットの代わりにハードリセットピンを使用することを推奨します。
- デバイスが「実行中」のときに BGT60LTR11AIP レジスタを更新する必要がある場合は、MISO ラインアービトレーションを順守する必要があります。
- RF パルスへの明確な同期が必要な場合は、MISO アービトレーションを使用できます。同期は、「Pulsed モード」を開始する直前にセットアップできます。(MISO の立ち上りエッジは、適切なサンプリングポイントを示します)
- すでに “div-out”- RF-Pulse-sync が使用または実装されている場合は、引き続き使用できます。

BGT60LTR11AIP MMIC レジスタの詳細については、BGT60LTR11AIP データシートを参照してください。

6.2.2 実装

MISO アービトレーションを実装する必要がある場合は、GPIO ラインで IRQ の立ち上りエッジと立ち下りエッジが最適である必要があります。MISO ピンでの多重化を検討する必要があります。

また、ガードタイマーの実装を強く推奨します。これにより、次のパルスが必要になるまでの時間にアクセスを防げます。**定義された SPI アクセスのシーケンスのみが実行され、アービトレーションタイミングが保証されることが確認されている場合、ガードタイムの使用は無視される可能性があります。**

アクセスをパルスと同期させるための推奨手順を以下に示します。

パルス/CW モードを開始した後、立ち上りエッジ IRQ を登録して、パルスに同期させます; SPI アクセスを遮断。

1. MISO でエッジが上がるのを待ちます (IRQ 経由)
 - a) 立ち上りエッジ IRQ を無効にする
 - b) 「パルス補充率 - ガード時間」でガードタイマーを開始します。
 - c) 立ち下りエッジ IRQ を有効にする
2. 立ち下りエッジの後
 - a) 立ち下りエッジの IRQ を無効にする
 - b) MCU SPI 通信可
 - c) 必要に応じて、内部 ADC レジスタ (Reg40 および Reg41) の読み出しを開始します。
 - d) その他の SPI レジスタアクセスを実行する
3. ガードタイマーの期限が切れます
 - a) SPI 通信をブロックする
 - b) 立ち上りエッジ IRQ を有効にする

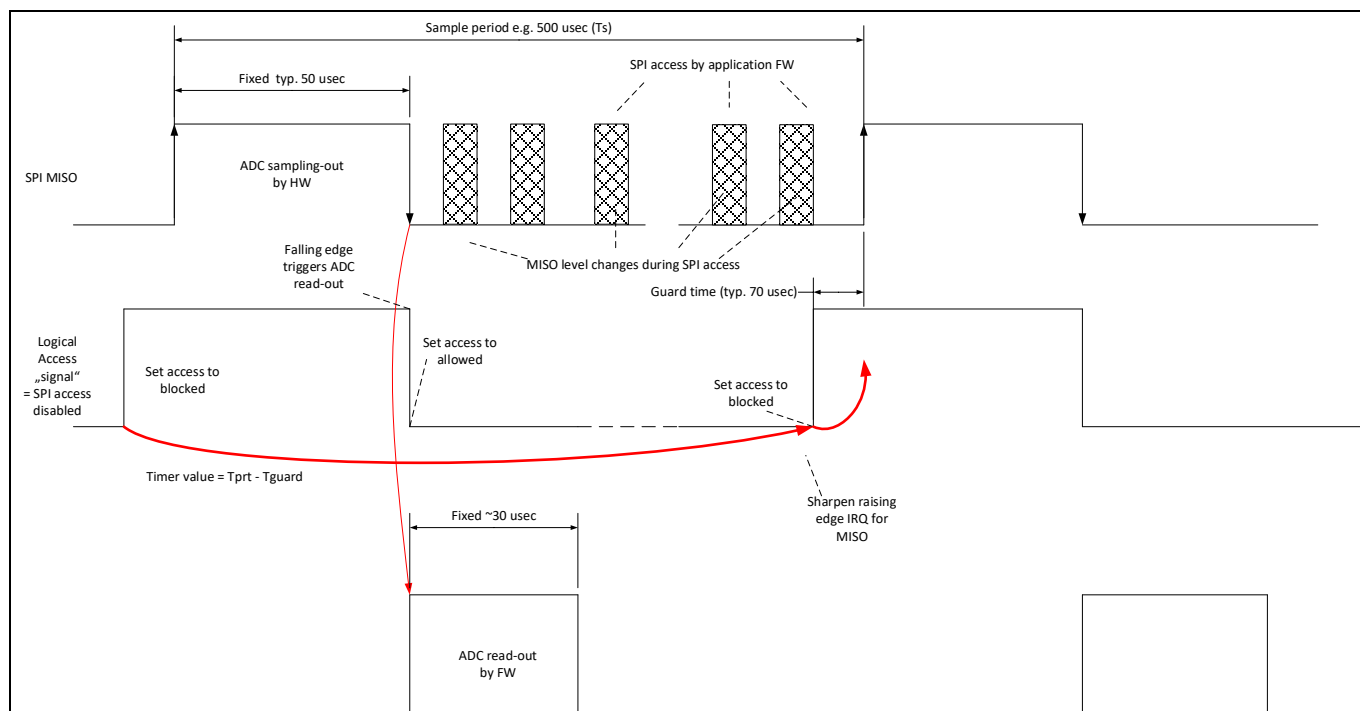


Figure 22 同期 SPI のアクセスタイム図

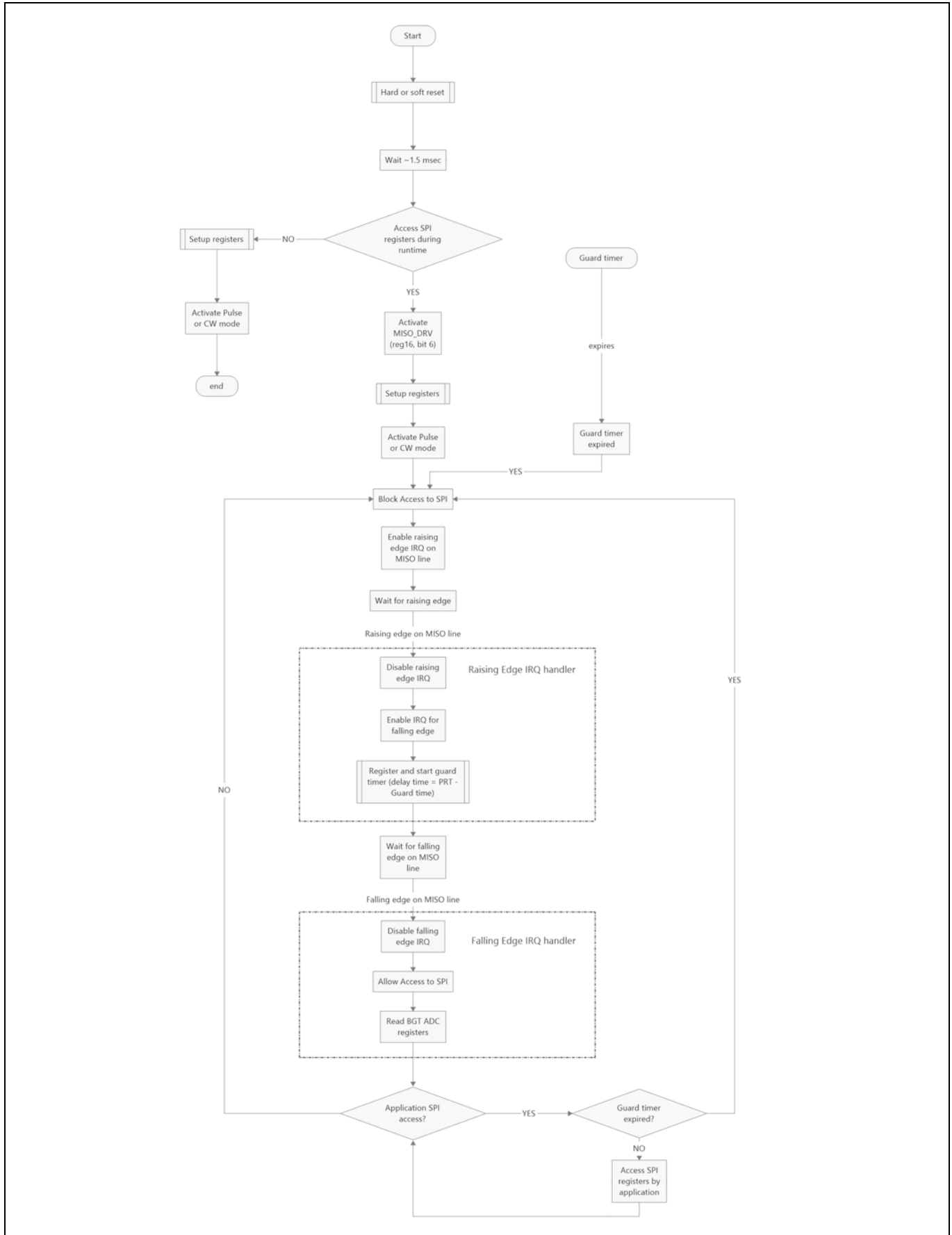


Figure 23 SPI アービトレーションのフロー

以下の点に注意してください。

- CS が非アクティブの場合、MISO ラインは High-Z です (デフォルト)。
- MISO アービトレーションは、*miso_drv* (Reg15[6]) ビットを介して有効にできます。
- MISO アービトレーションを妨げないようにしないと、デバイスの機能は保証されません。
- I/Q チャネル (Reg40 および Reg41) のみが内部ステートマシンを介してサンプリングされます。その他の ADC チャネルでは、明示的な ADC 変換を手動でトリガする必要があります。
- サンプリングに外部 ADC を使用する場合、サンプル&ホールドのアクティブ化に最適なタイミングは、MISO アービトレーション信号の立ち上がりエッジです。変換は後で行えます。

以下、Figure 24 に典型的なアクセススクリーンショットを示します。

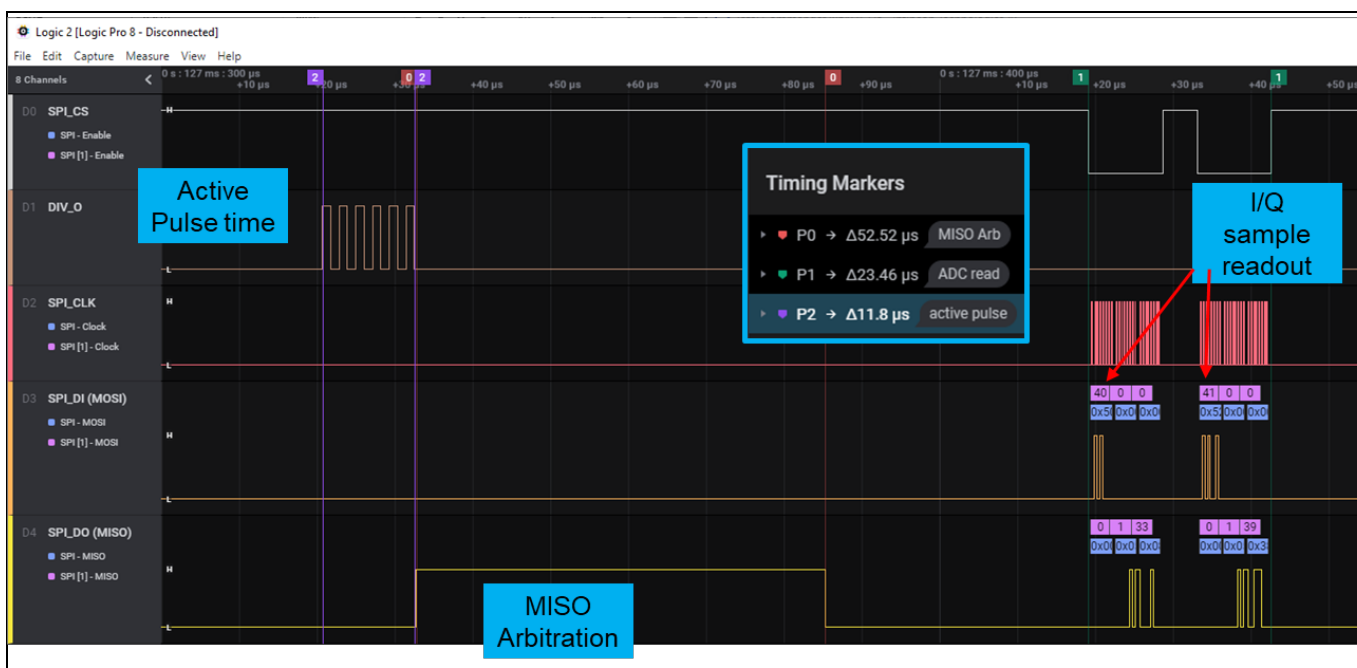


Figure 24 典型的な SPI アクセス

測定結果

7 測定結果

7.1 放射パターン

センサーの放射特性を分析するために、自律 CW モードに設定された BGT60LTR11AIP シールドの放射パターンが、センサーの H 平面と E 平面に沿ってシミュレーションされます。61 GHz の周波数での H 平面および E 平面での送信アンテナの動作ゲインを Figure 25a に示します。61 GHz の周波数での H 平面と E 平面の受信アンテナのアンテナ特性を Figure 25b に示します。

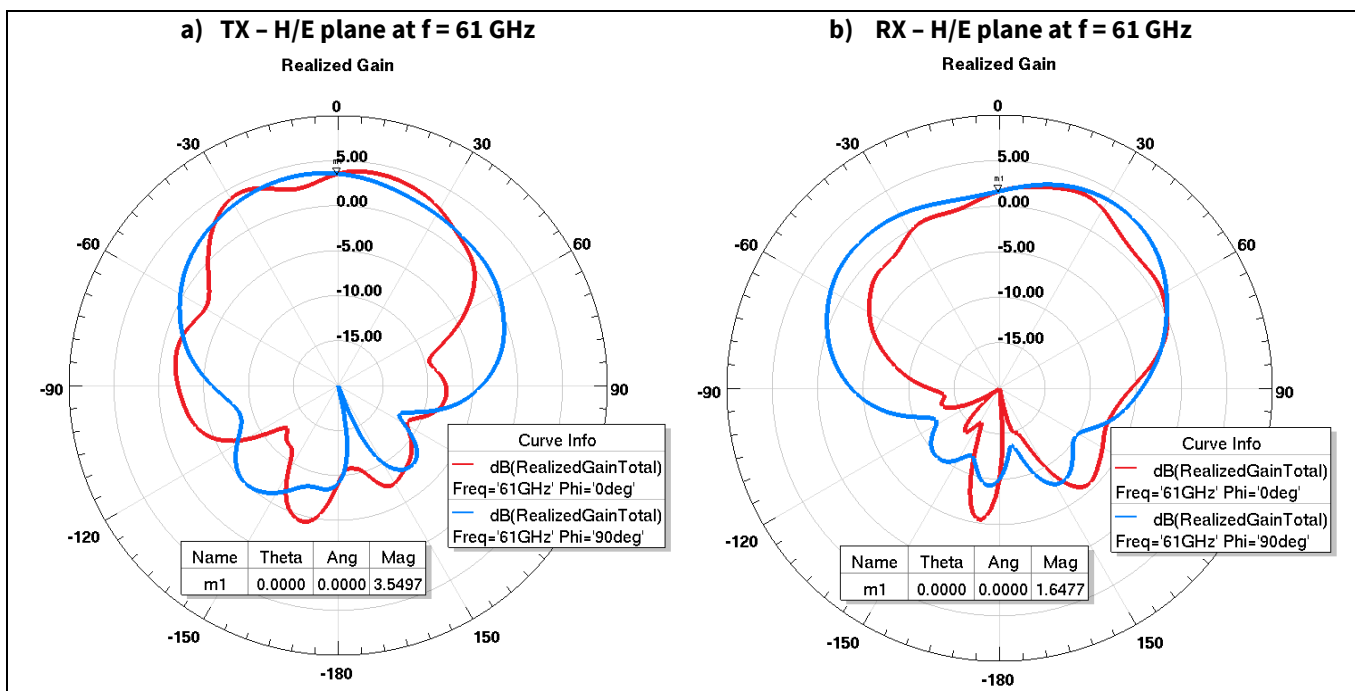


Figure 25 自律 CW モードでの BGT60LTR11AIP シールドの放射パターンシミュレーション

7.2 動体検知エリア

測定は、異なる MMIC 動作モードと設定に対して行われます。以下の Figure 26 に、可能な動作モードと、検出ステータスがどのように駆動されるかを示します。

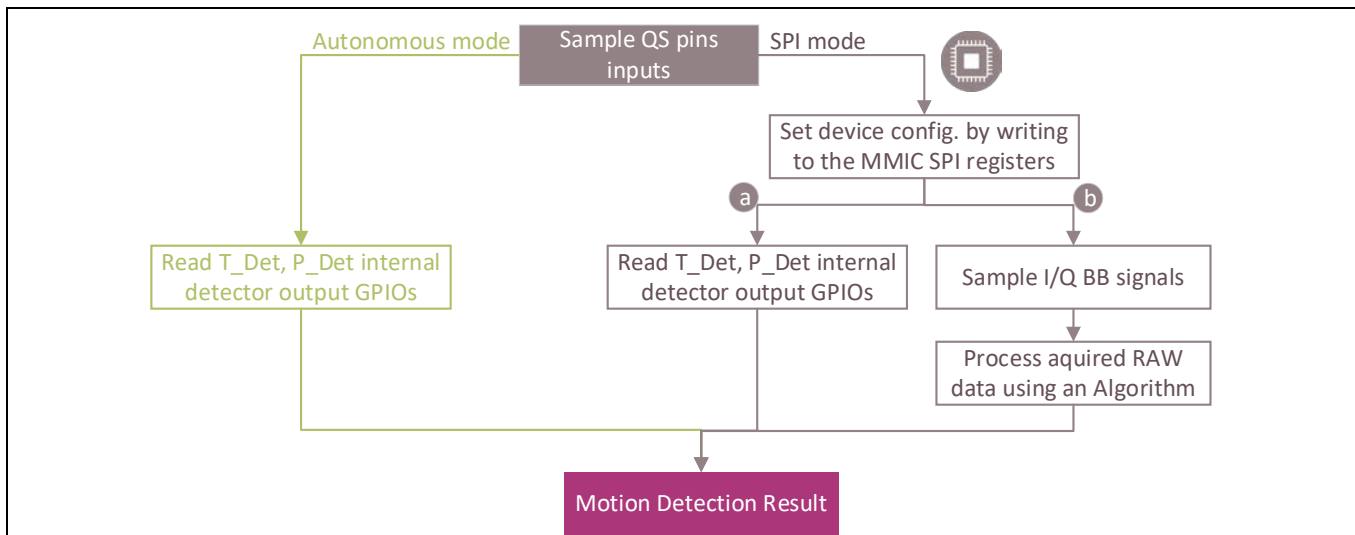


Figure 26 シールドの動作モードとモーション検出ステータス

測定結果

7.2.1 自律モード

- **ハードウェア**
BGT60LTR11AIP シールドで構成される SHIELD_AUTONOM_BGT60 (デフォルトで自律パルスモードに設定されています)。詳細については、セクション5を参照してください。
- **ファームウェア**
自律シールドにはファームウェアは必要ありません。
- **高さ**
ボードは 1.2 m に配置されます
- **シナリオ**
センサーの H 平面に沿った人間のターゲットの最大検出範囲を各角度において測定します。
- **検出ステータス**
これは、内部検出器出力 (TDet) から駆動されます。Figure 27 に、H 平面, E 平面の測定結果, およびそれぞれのシールド方向を示します。

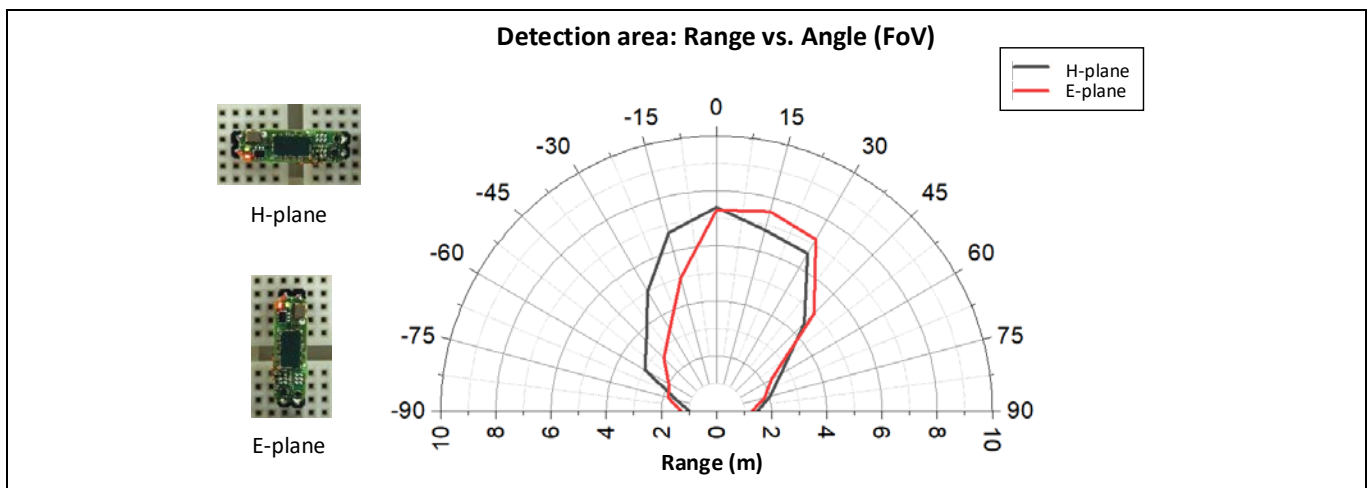


Figure 27 BGT60LTR11AIP 自律シールドの H 平面と E 平面の人体ターゲット検出エリア

測定結果

7.2.2 SPI モードと MMIC 内部検出

- ハードウェア
Radar Baseboard MCU7 + BGT60LTR11AIP シールドで構成される DEMO BGT60LTR11AIP (デフォルトで SPI パルス モードに設定されている)
- ファームウェア
Figure 26(a) に示すように、MMIC SPI レジスタに書き込むことでシールドを設定することにのみ使用されます。Radar Fusion GUI から利用できる Radar Integrated Motion Sensing アプリケーションが使用されます。
- 高さ
ボードは 1.2 m に配置されます
- シナリオ
センサーの H 平面と E 平面に沿った人間のターゲットの最大検出範囲を GUI から選択できるさまざまな閾値と各角度について測定します。
- 検出ステータス
これは、内部検出器出力 (TDet) から駆動されます。Figure 28 および Figure 29 に、H 平面、E 平面の測定結果、およびそれぞれのシールド方向を示します。

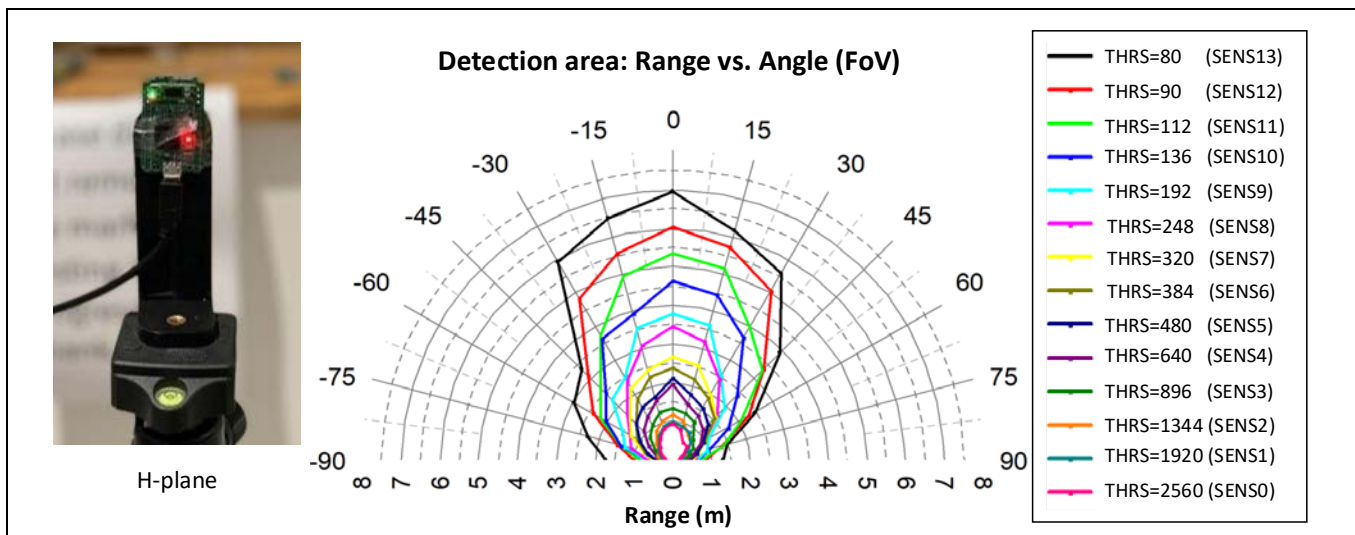


Figure 28 H 平面の人体検出エリア, SPI モード, MMIC 内部検出器を使用

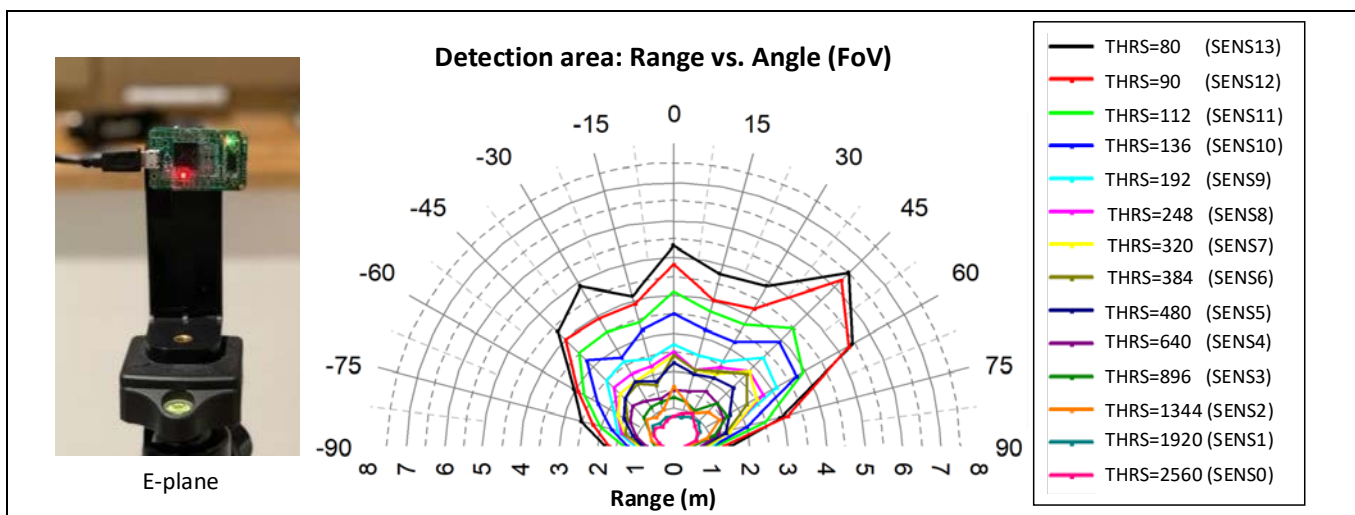


Figure 29 E 平面の人体検出エリア, SPI モード, MMIC 内部検出器を使用

測定結果

7.2.3 SPI モードとモーション検出アルゴリズム

- **ハードウェア**
Radar Baseboard MCU7 + BGT60LTR11AIP シールドで構成される DEMO BGT60LTR11AIP (デフォルトで SPI パルス モードに設定されている)
- **ファームウェア**
Figure 26b に示すように、MMIC SPI レジスタに書き込むことでシールドを設定し、I&Q ベースバンド信号をサンプリングし、取得した RAW データをモーション検出アルゴリズムで処理するために使用されます。
Radar Fusion GUI から利用できる Radar Advanced Motion Sensing with SPI アプリケーションが使用されます。
- **身長**
ボードは 1.2 m に配置されます
- **シナリオ**
センサーの H 平面と E 平面に沿った人間のターゲットの最大検出範囲を Radar Fusion GUI から選択できるアルゴリズムセットの閾値 15 を使用して、各角度について測定します。
- **検出ステータス**
これは、高度なモーション検出アルゴリズム出力から駆動されます。Figure 30 に、H 平面の測定結果とそのシールド方向を示します。

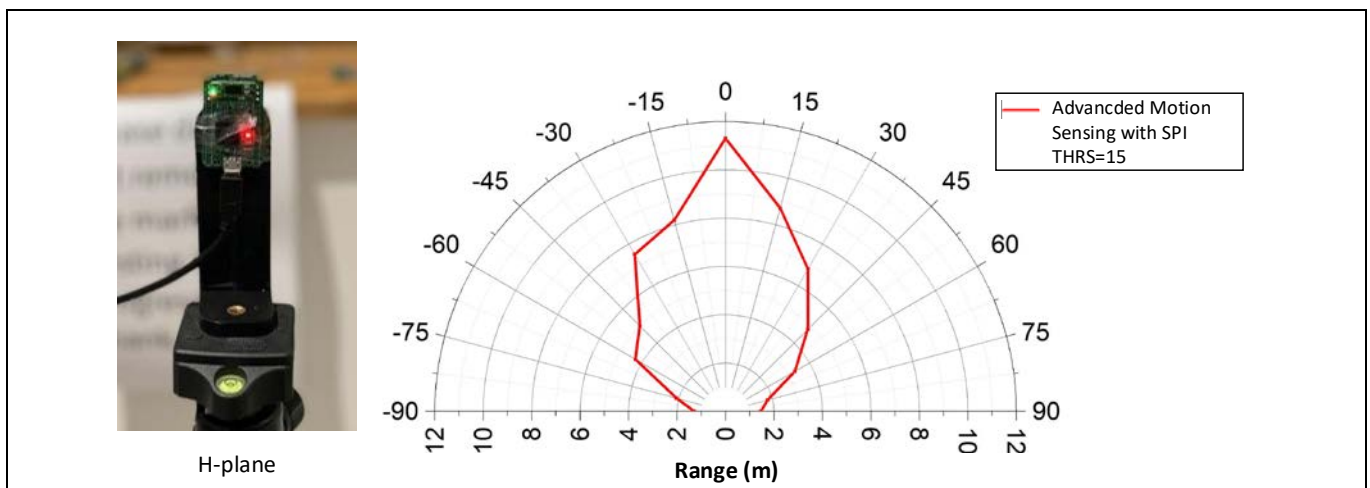


Figure 30 H 平面の人体検出エリア, SPI モード, モーション検出アルゴリズムを使用

消費電力の分析

8 消費電力の分析

8.1 デューティサイクル

BGT60LTR11AIP MMIC の消費電流は、デューティサイクルのパルス幅 (PW) とパルス繰り返し時間 (PRT) を設定することで最適化できます。デフォルトの PW が 5 μ s の場合、これは 1 つのパルスイベント中に BGT がアクティブになる時間を意味し、MMIC の消費電流値を Table 9 に示します。

Table 9 SPI パルス モードでの BGT60LTR11AIP シールドの平均消費電流

PW (μ s)	PRT (μ s)	消費電流 (mA)
5	250	6.752
5	500 (デフォルト)	3.776
5	1000	2.288
5	2000	1.544

Figure 31 に示すように、BGT60LTR11AIP シールドの消費電流が測定されます。

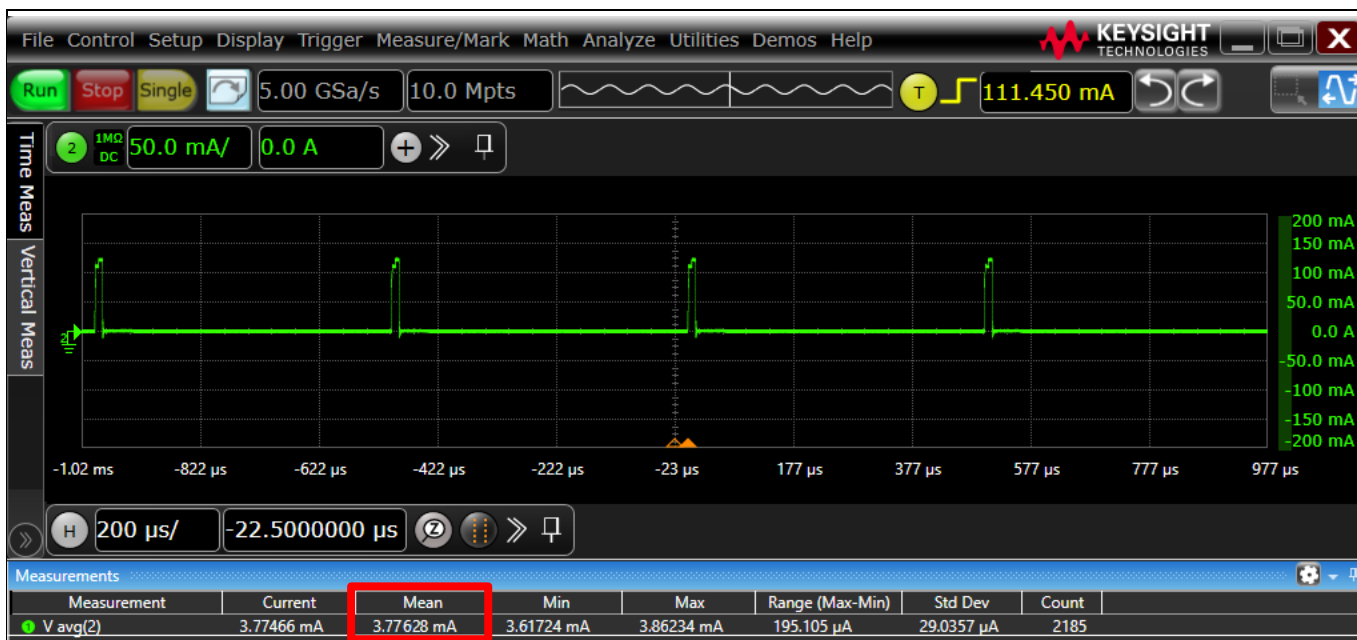


Figure 31 PW = 5 μ s および PRT = 500 μ s でのシールドの消費電流

8.2 適用パルス繰り返し時間

Adaptive Pulse Repetition Time (APRT) は、BGT60LTR11AIP MMIC の省電力オプションです。内部検出器によってターゲットが検出されない場合、PRT に 2, 4, 8, または 16 の係数を掛けることで構成されます。ターゲットが検出されると、PRT はデフォルト値に戻り、信頼性の高い検出が保証されます。

APRT を追加の省電力オプションとして有効にすると、デフォルトの PRT はターゲットが検出されたときにのみ使用されるため、MMIC のオン時間が効果的に短縮され、全体的な電力消費が削減されます。ユースケースと選択した乗数値に応じて、シールドの消費電力を大幅に削減できます。次の図は、APRT がさまざまな係数で有効になっている場合、ターゲットが検出されているかどうかにかかわらず、設定された PRT = 500 μ s がどのように変化するかを示します。

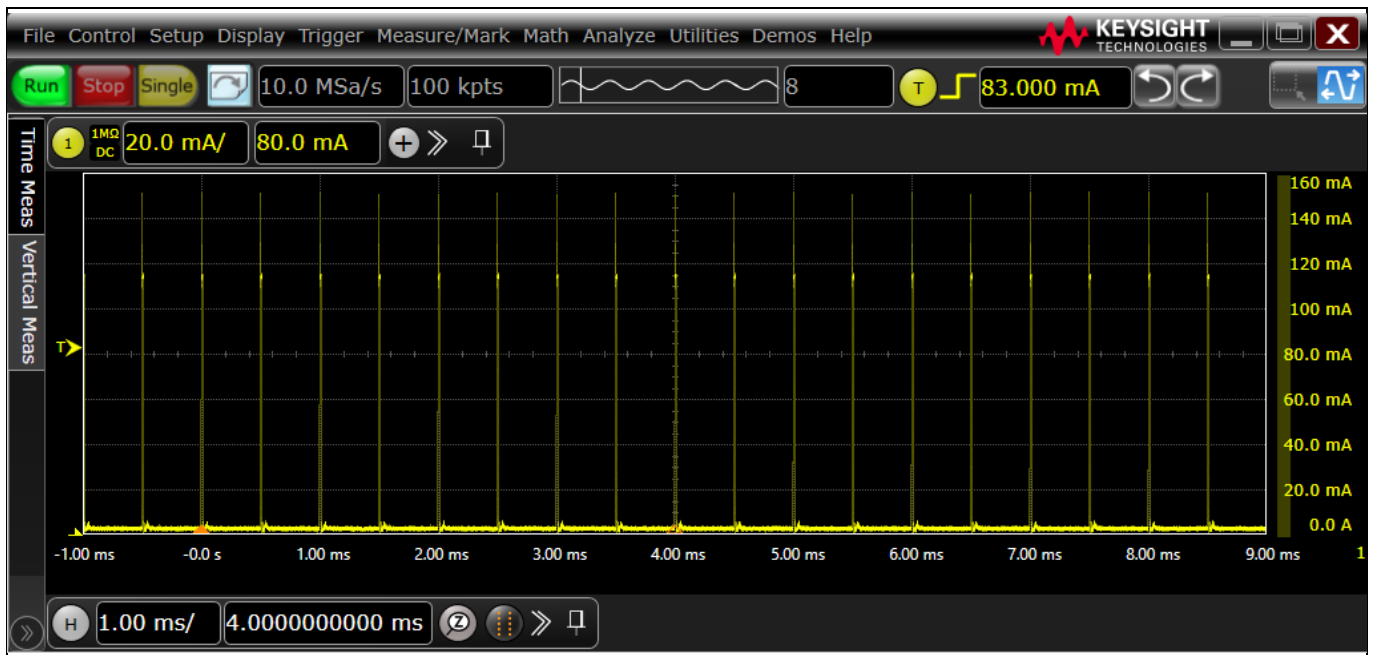


Figure 32 APRT 無効, ターゲット検出/ターゲット非検出, PRT は 500 μ s のまま

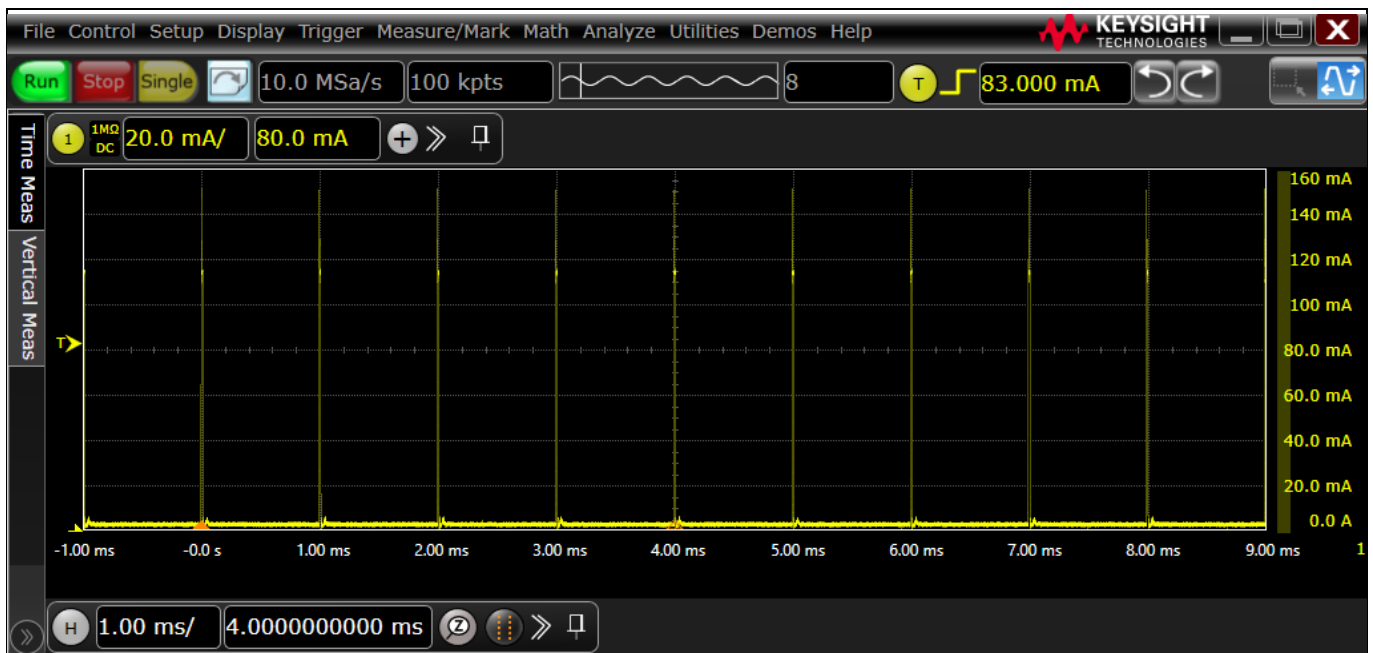


Figure 33 APRT 有効, 係数 x2, ターゲット非検出, PRT が 1ms に切り替わる

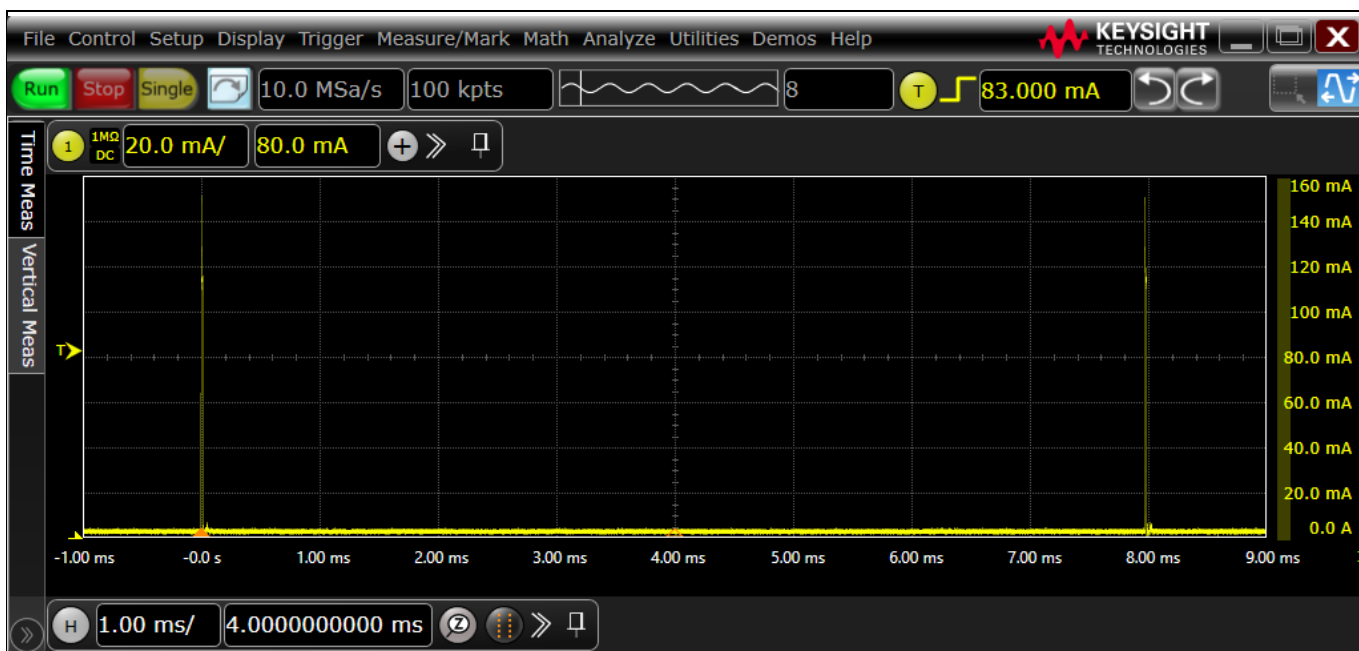


Figure 34 APRT 有効, 係数 x16, ターゲット非検出, PRT が 8ms に切り替わる

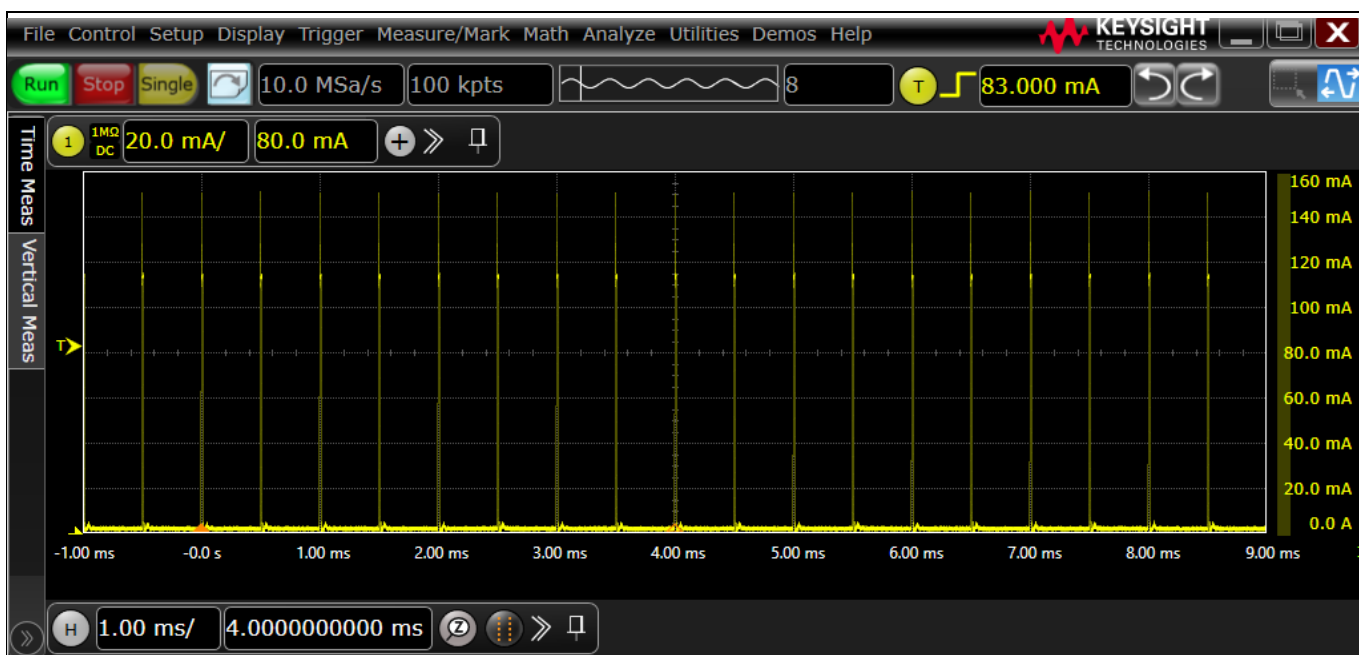


Figure 35 APRT 有効, 係数 x16, ターゲット検出, PRT が 8 ms から 500 μ s に戻る

9 参考資料

- [1] Infineon Technologies AG: *BGT60LTR11AIP MMIC datasheet*; [Available online](#)
- [2] Infineon Technologies AG: *UG124434: User guide to BGT60LTR11AIP*; [Available online](#)
- [3] Infineon Technologies AG: *UG091519: Radar Baseboard MCU7 user guide*; [Available online](#)

改訂履歴

改訂履歴

版数	発行日	変更内容
1.50	2021-12-15	本版は英語版 UG093524 XENSIV™ BGT60LTR11AIP shield 2021-07-29 <UG093524> V1.5 について、CYPRESS DEVELOPER COMMUNITY の参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。
1.60	2022-06-29	これは英語版 UG093524 XENSIV™ BGT60LTR11AIP shield 2021-10-11 <UG093524> V1.6 を翻訳した日本語版です。
1.80	2023-05-10	これは英語版 UG093524 BGT60LTR11AIP shield <UG093524> Revision 1.80 を翻訳した日本語版です。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2023-05-10

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2023 Infineon Technologies AG.

All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

UG093524

警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。