参考資料

Application Note

CC23xx および CC27xx のハードウェア構成および PCB 設計上の検討事項

Haiatullah Gholami

概要

このアプリケーション ノートでは、CC23xx および CC27xx SimpleLink™ 超低消費電力ワイヤレス マイコン プラットフォームに関する設計ガイドラインを提示します。この資料は、さまざまなリファレンス デザインの概要と、それに続き RF フロント エンド、回路図、PCB、アンテナの設計上の検討事項を掲載しています。また、このアプリケーション ノートでは、水晶発振器のチューニング、最適な負荷インピーダンス、および各種電源構成についても説明します。この資料の最後のセクションでは、ボードの立ち上げ時に実行する手順の概要を説明します。

目次

1 はじめに....3
2 リファレンス デザイン....3
2.1 LP-EM-CC2340R53....3
2.2 LP-EM-CC2340R5....3
2.3 LP-EM-CC2340R5-Q1....3
2.4 LP-EM-CC2340R5-RGE-4x4-IS24....4
2.5 LP-EM-CC2745R10-Q1....4
3 回路図....5
3.1 回路図の概要....5
3.2 I/O ピンの駆動強度....6
3.3 ブートローダー ピン....6
3.4 シリアル ワイヤ デバッグ (SWD) ピン....8
4 PCB レイアウト....9
4.1 ボードのスタックアップ....9
4.2 LC フィルタ....9
4.3 デカップリング コンデンサ....10
4.4 水晶発振器の負荷コンデンサの配置....10
4.5 電流帰路....10
4.6 DC/DC レギュレータ....11
4.7 アンテナ マッチング部品....11
4.8 伝送ライン....11
4.9 電磁シミュレーション....11
5 アンテナ....11
6 水晶発振器のチューニング....12
6.1 CC23xx および CC27xx の水晶発振器....12
6.2 水晶振動子の選択....12
6.3 LF 水晶発振器のチューニング....12
6.4 HF 水晶発振器のチューニング....13
7 最適な負荷インピーダンス....16
8 PA テーブル....16
9 電源構成....17
9.1 電源の概要....17
9.2 DC/DC コンバータ モード....17
9.3 グローバル LDO モード....18
10 ボードの立ち上げ....20

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

10.1 電源オン....20
10.2 RF テスト:SmartRF Studio....20
10.3 RF テスト:伝導測定....20
10.4 ハードウェアのトラブルシューティング....21
11 まとめ....24
12 参考資料....24

図の一覧

図 3-1. CC2340R53 の RF セクションおよびコンポーネントを示す回路図....5
図 4-1. LP-EM-CC2745R10-Q1 ボードのスタックアップ....9
図 4-2. LC フィルタに対する PCB レイアウトの設計ガイドライン....10
図 4-3. グランドとの間のデカップリング コンデンサおよびビア....10
図 5-1. シングルバンド アンテナ用に推奨されるアンテナの π マッチ ネットワーク....11
図 6-1. ピアス型発振器....12
図 9-1. 電源システム....17
図 9-2. DC/DC モード....18
図 9-3. グローバル LDO モード....19

表の一覧

表 3-1. 最大 10mA の駆動強度を備える CC23xx/CC27xx ピン....6
表 3-2. CC23xx:シリアル インターフェースの構成....6
表 3-3. CC27xx:シリアル インターフェースの構成....8
表 3-4. デフォルトのブートローダー トリガ ピン....8
表 3-5. CC23xx および CC27xx の SWD ピン....8
表 6-1. 32kHz のクロックを出力するための I/O....13
表 6-2. コンデンサ アレイ....14

商標

SimpleLink™, LaunchPad™, and SmartRF™ are trademarks of Texas Instruments.
Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 はじめに

CC23xx および CC27xx デバイス ファミリを使用して高性能ワイヤレス製品を設計するには、ハードウェア構成および PCB レイアウトに注意する必要があります。これらのシステムの性能を最適化するには、RF 性能、電力効率、規制への準拠に関して、確立した設計慣行に従う必要があります。

このアプリケーション ノートは、CC23xx および CC27xx デバイスに対応したハードウェア構成と PCB 設計に関する包括的なガイドラインを提供します。この資料では、RF フロント エンド、水晶発振器の構成、チューニング、レイアウトなどの重要な要素について説明します。これらの推奨事項は、TI の広範な検証およびリファレンス デザインに基づいたものであるため、設計リスクを最小限に抑えると同時に、市場投入までの時間を短縮できます。

2 リファレンス デザイン

LaunchPad™ は CC23xx および CC27xx デバイス向けのメイン開発プラットフォームです。LaunchPad™ には、最適化された外付け RF コンポーネント オンボードおよび PCB アンテナが含まれており、単一の中核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、使いやすい開発環境を提供します。各 CC23xx および CC27xx デバイス ファミリは、RF マッチング ネットワークと、サポートする 1 つ以上の ISM 帯域で動作するように最適化されたアンテナを備えた、専用の LaunchPad に搭載されています。ガーバ ファイルや CAD ソースを含め、TI の LaunchPad 設計ファイルはすべて TI.com の製品ページでダウンロードできます。また、CC23xx または CC27xx をカスタム ハードウェアに統合する際にリファレンス デザインとして使用できます。

2.1 LP-EM-CC2340R53

LP-EM-CC2340R53 は 2.4GHz ISM 帯で動作するシングルエンド LaunchPad であり、BLE 5.4 およびそれ以前の LE 仕様をサポートしています。RF フロント エンドは最大 +8dBm の出力電力に対応しています。

使用デバイス	CC2340R53 RKP パッケージ
ISM 帯域:	2.4GHz
アンテナ:	*2.4GHz 反転型 F アンテナ アプリケーション ノート*
設計ファイル	*LP-EM-CC2340R53 設計ファイル*

2.2 LP-EM-CC2340R5

LP-EM-CC2340R5 は、2.4GHz ISM 帯で動作するシングルエンド LaunchPad であり、BLE 5.4 およびそれ以前の LE 仕様をサポートしています。RF フロント エンドは最大 +8dBm の出力電力に対応しています。

使用デバイス	CC2340R5 RKP パッケージ
ISM 帯域:	2.4GHz
アンテナ:	*2.4GHz 反転型 F アンテナ アプリケーション ノート*
設計ファイル	*LP-EM-CC2340R5 設計ファイル*

2.3 LP-EM-CC2340R5-Q1

LP-EM-CC2340R5-Q1 は、2.4GHz ISM 帯で動作するシングルエンド LaunchPad であり、BLE 5.4 およびそれ以前の LE 仕様をサポートしています。RF フロント エンドは最大 +8dBm の出力電力に対応しています。

使用デバイス	CC2340R5-Q1
ISM 帯域:	2.4GHz
アンテナ:	*2.4GHz 反転型 F アンテナ アプリケーション ノート*
設計ファイル	*LP-EM-CC2340R5-Q1 設計ファイル*

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2.4 LP-EM-CC2340R5-RGE-4x4-IS24

LP-EM-CC2340R5-RGE-4x4-IS24 は、2.4GHz ISM 帯で動作するシングルエンド LaunchPad であり、BLE 5.4 およびそれ以前の LE 仕様をサポートしています。RF フロント エンドは最大 +8dBm の出力電力に対応しています。

使用デバイス	CC2340R5 RGE パッケージ
ISM 帯域:	2.4GHz
アンテナ:	*2.4GHz 反転型 F アンテナ アプリケーション ノート*
設計ファイル	*LP-EM-CC2340R5-RGE-4x4-IS24 設計ファイル*

2.5 LP-EM-CC2745R10-Q1

LP-EM-CC2745R10-Q1 は、2.4GHz ISM 帯で動作するシングルエンド LaunchPad であり、BLE 5.4 およびそれ以前の LE 仕様をサポートしています。RF フロント エンドは最大 +10dBm の出力電力に対応しています。

使用デバイス	CC2745R10-Q1
ISM 帯域:	2.4GHz
アンテナ:	*2.4GHz 反転型 F アンテナ アプリケーション ノート*
設計ファイル	*LP-EM-CC2745R10-Q1 設計ファイル*

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3 回路図

3.1 回路図の概要

図 3-1 に、説明対象の RF セクションおよび部品を示します。

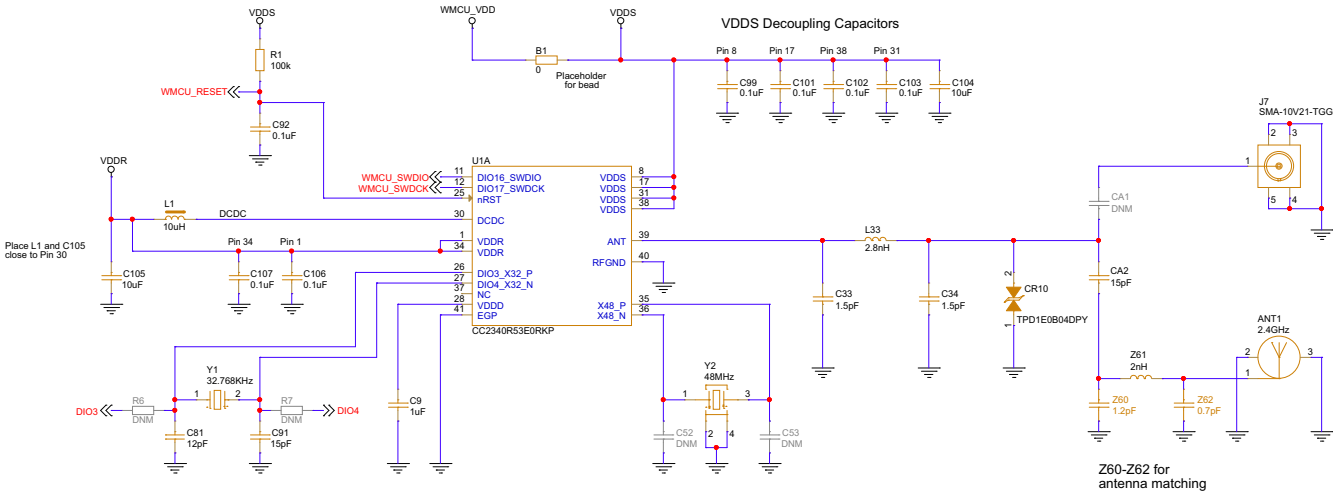

図 3-1. CC2340R53 の RF セクションおよびコンポーネントを示す回路図

3.1.1 48MHz 水晶振動子

無線の周波数基準として、48MHz 水晶振動子が必要です。CC23xx および CC27xx の場合、48MHz 水晶振動子用には外付けの負荷コンデンサの代わりに、内蔵のコンデンサ アレイを使用することができます。内蔵コンデンサ アレイの設定方法および HFXT の調整方法の詳細については、セクション 6.4 を参照してください。

3.1.2 32.768kHz 水晶振動子

32kHz 水晶振動子は、RTC クロックのリファレンスとして使用されます。CC27xx ファミリのデバイスでは 32kHz の外部水晶振動子は不要です。RC 発振器を自動的に較正することで、Bluetooth® Low Energy に対し十分高い精度のスリープ タイマを実現できます。外部水晶振動子を使用することには、接続イベントを中心とする受信ウィンドウを短くすることで、スリープ クロックの精度を向上させ、Bluetooth Low Energy の消費電力を削減できるという利点があります。

CC23xx ファミリのデバイスでは、場合によっては 32kHz 外部水晶振動子の代わりに、内部低速 RC 発振器 (32kHz) をリファレンスとして使用できます。LFOSC を使用できる場合のデバイス固有のエラッタについては、セクション 12 を参照してください。

「Low Frequency Clock Source」(低周波クロック ソース) は、*「Device Configuration」*(デバイス設定) の *「Device Configuration」*(デバイス設定) にある *「TI DEVICES」*(TI デバイス) セクションの Sysconfig で設定できます。

1. LF XOSC:外部水晶振動子
2. LF RCOSC:内部 RC 発振器、DIO23_X32P、DIO24_X32N は、フローティングのままにするか、GPIO として使用できます。
3. 外部 LF クロック:他の IC から供給される外部クロック。このクロックは、DIO23_X32P ピンに供給する必要があります。ピン DIO24_X32N はフローティングのままにするか、GPIO として使用できます。

3.1.3 フィルタ

RF ピンとアンテナの間に LC フィルタを配置します。このフィルタには高調波を減衰させる機能があります。

3.1.4 デカップリング コンデンサ

リファレンス デザインには、複数のデカップリング コンデンサがあります。デカップリング コンデンサを配置する場合は、同じ名前のピンの一部が内部で接続されていないことがあるため、注意が必要です。デカップリング コンデンサを誤ったピ

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

ンに配置すると、デカップリング コンデンサの効果が減少します。リファレンス デザインの回路図は、すべてのデバイスについて、各デカップリング コンデンサの配置場所を示しています。

3.1.5 アンテナ部品

アンテナのインピーダンス整合のため、LC フィルタとアンテナとの間には π マッチ ネットワークを用いることを推奨します。詳細については、セクション 5 を参照してください。

3.1.6 RF シールド

TI の一部のリファレンス デザインでは、RF シールドを使用して、スプリアス信号、特に 3 次高調波の放射電力レベルを低減します。設計においては、20dBm のデバイスの場合は特に、シールドのためのフットプリントを用意することを推奨します。シールドを用いなくてもスプリアス エミッションが予想範囲内にある場合、シールドは「Do Not Mount (DNM)」(実装禁止 (DNM)) に設定できます。

3.2 I/O ピンの駆動強度

I/O ピンには、駆動強度および最大電流が設定可能です。すべての I/O ピンは 2mA に対応可能で、一部のピンは最大 10mA に対応可能です。表 3-1 に高駆動能力を持つ I/O ピンを示します。

表 3-1. 最大 10mA の駆動強度を備える CC23xx/CC27xx ピン

4 x 4 (RGE)	5 x 5 (RKP)、5 x 5 (RHB)	6 x 6 (RHA)
DIO12	DIO12	DIO2
DIO16_SWDIO	DIO16_SWDIO	DIO3
DIO17_SWDCK	DIO17_SWDCK	DIO9_SWDIO
DIO24_A7	DIO18	DIO10_SWDCK
	DIO19	DIO17_A8
	DIO24_A7	DIO18_A7

3.3 ブートローダー ピン

ブートローダーは、2 ピン UART (汎用非同期レシーバおよびトランスミッタ) または 4 ピン SPI を介して外部デバイスと通信します。SPI ポートにはより高いデータ レートをより柔軟にサポートできるという利点がありますが、このポートには CC23xx および CC27xx デバイスへの接続がより多く必要になります。UART にはレートが多少低く、柔軟性が低下するという欠点があります。ただし、UART を使用すると必要なピン数が少なく、標準的な任意の UART 接続を使用して簡単に実装できます。

CC23xx デバイスのシリアル インターフェースには 3 つの設定が可能であり、CC27xx デバイスのシリアル インターフェースには 1 つの設定のみが可能です。表 3-2 および 表 3-3 に、それぞれ CC23xx および CC27xx デバイスの特定の DIO に設定されるシリアル インターフェース信号を示します。ROM ブートローダーの設定は、FCFG と CCFG の間で行われます。起動時に有効な CCFG がない場合、FCFG で設定されるデフォルト値があります。FCFG で設定されるデフォルト値を変更する場合は、目的の動作が行われるように CCFG を更新します。

表 3-2. CC23xx：シリアル インターフェースの構成

信号	ピン構成	serialloCfgIndex == 0	serialloCfgIndex == 1	serialloCfgIndex == 2
UART_RX	プルアップ付き入力	DIO20	DIO12	DIO22
UART_TX	プルなし (選択時に出力)	DIO6	DIO13	DIO20
SPI_CLK	プルアップ付き入力	DIO8	DIO24	DIO24
SPI_CS	プルアップ付き入力	DIO11	DIO11	DIO11
SPI_POCI	プルアップ付き入力	DIO12	DIO21	DIO12

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 3-2. CC23xx：シリアル インターフェースの構成 (続き)

信号	ピン構成	serialIoCfgIndex == 0	serialIoCfgIndex == 1	serialIoCfgIndex == 2
SPI_PICO	プルなし (選択時に出力)	DIO13	DIO13	DIO13

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 3-3. CC27xx：シリアル インターフェースの構成

信号	ピン構成	serialIoCfgIndex == 0
UART_RX	プルアップ付き入力	DIO2
UART_TX	プルなし (選択時に出力)	DIO1
SPI_CLK	プルアップ付き入力	DIO3
SPI_CS	プルアップ付き入力	DIO7
SPI_POCI	プルアップ付き入力	DIO5
SPI_PICO	プルなし (選択時に出力)	DIO4

ブートローダーは、無条件にトリガするように構成することも、ピンでトリガするように構成することもできます。ピントリガは、SysConfig でイネーブルできます。そのためには、「*Boot Configuration*」(ブート設定) の「*Device Configuration*」(デバイス設定) にある「*TI DEVICES*」(TI デバイス) のセクションにアクセスし、「*Enable Pin Trigger*」(ピン トリガをイネーブル) オプションを設定しますピン トリガ DIO は SysConfig の同じ場所に設定することもできます。ROM ブートローダーのデフォルト ピン トリガ DIO については、表 3-4 を参照してください。

表 3-4. デフォルトのブートローダー トリガ ピン

CC23xx	CC27xx
DIO21	DIO21

3.4 シリアル ワイヤ デバッグ (SWD) ピン

シリアル ワイヤ デバッグ (SWD) は、デバイスでのプログラミングおよびデバッグの実行に使用します。次の表に、SWD で使用する 2 つの I/O ピンを示します。

表 3-5. CC23xx および CC27xx の SWD ピン

信号	CC23xx	CC27xx
SWDIO	DIO16_SWDIO	DIO9_SWDIO
SWDCK	DIO17_SWDCK	DIO10_SWDCK

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 PCB レイアウト

4.1 ボードのスタックアップ

最上層からグランド層までの距離はリファレンス デザインに一致している必要があります。推奨されるボード スタックアップから逸脱すると、寄生容量が変化し、場合によってはフィルタの再設計が必要となる可能性があります。例として、図 4-1 にボードのスタックアップを示します。このスタックは、すべての CC27xx LaunchPad で使用されています。TI のすべてのワイヤレス デバイスのボード スタックアップは、デバイス固有のリファレンス デザインに用意されています。

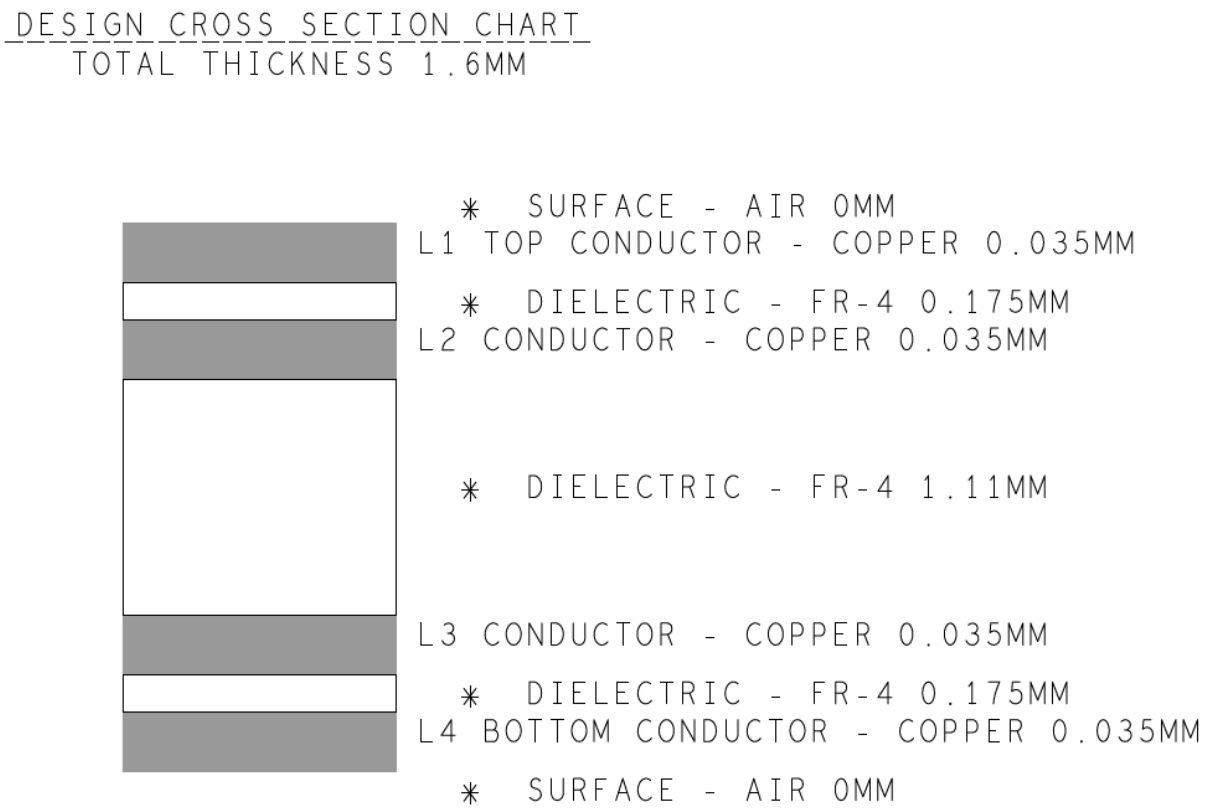

図 4-1. LP-EM-CC2745R10-Q1 ボードのスタックアップ

4.2 LC フィルタ

シャント部品間のクロストークが最小限になるように LC フィルタをレイアウトします。図 4-2 に、最も好ましくないものから最良のものまでの 3 つのレイアウトを示します。右側のレイアウトの利点は、シャント コンデンサと直列インダクタの間にある PCB パターン (黒) の寄生インダクタンスがインダクタと直列に存在することです。中央の図では、寄生インダクタンスはシャント コンデンサと直列に配置されており、直列 LC 回路を形成しています。

リファレンス デザインをそのまま使用できない場合 (異なる部品サイズを使用する場合など) は、フィルタを再チューニングすることが必要となる可能性があります。電磁シミュレータを使用して、TI のリファレンス デザインとカスタム設計の両方をシミュレーションします。2 つの設計で、S21 と S22 は同じになります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

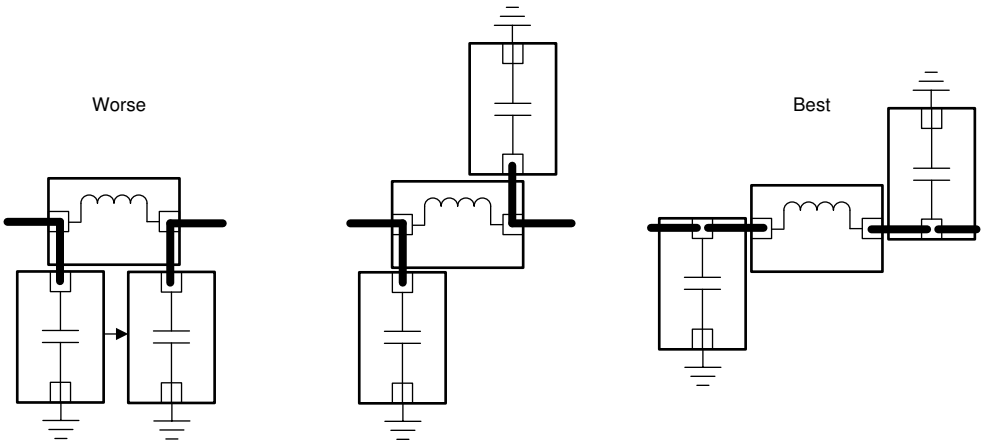

図 4-2. LC フィルタに対する PCB レイアウトの設計ガイドライン

4.3 デカップリング コンデンサ

デカップリング コンデンサの一般的なルールは、次のとおりです。

- 最良の結果を得るために、アクティブ部品と同じ層にデカップリング コンデンサを配置します。
- 電源はデカップリング コンデンサに配線し、次にアクティブ部品に配線します。
- ノイズ結合を最小限に抑えるため、各デカップリング コンデンサは個別のビアを通じてグランドに接続する必要があります (図 4-3 を参照)。
- デカップリングを実現するには、デカップリング コンデンサをピンの近くに配置します。
- デカップリング コンデンサとチップ間のグランド電流の帰路は、短く、かつ直接的 (低インピーダンス) にする必要があります。詳細については、セクション 4.5 を参照してください。

図 4-3 の右側の図では、グランドとの間に個別のビアを使用して、ノイズ結合を低減しています。

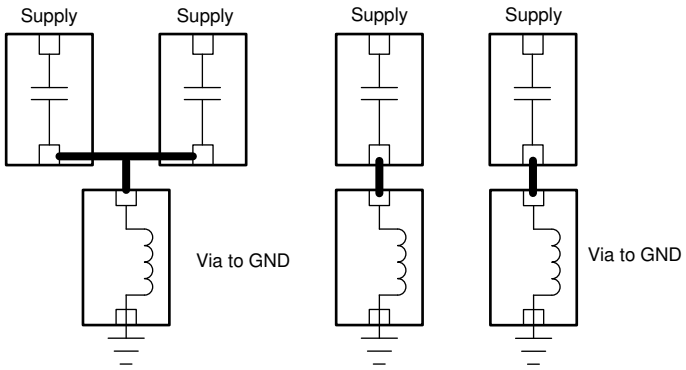

図 4-3. グランドとの間のデカップリング コンデンサおよびビア

4.4 水晶発振器の負荷コンデンサの配置

メインの発振ループ電流は、水晶振動子と負荷コンデンサの間に流れます。この信号路 (水晶振動子から $_{L1}$、$_{L2}$ を経由して水晶振動子まで) はできるだけ短くし、対称的なレイアウトを使用します。そのため、コンデンサのグランド接続は両方とも、常にできるだけ近くに配置する必要があります。この長いグランド トレースはクロストークおよび EMI の影響を受けやすいため、コンデンサの間や水晶振動子の周囲の全領域にはグランド接続を配線しないでください。

4.5 電流帰路

コンデンサのグランド パッドからチップまで、ベタのグランド プレーンが必要です。グランド プレーンに切れ目がある場合は、電流の帰路が長くなる可能性があります。帰路が長いほど、RF 性能の低下とスプリアス放射の増加につながる可能性があります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4.6 DC/DC レギュレータ

DCDC 部品は、DCDC ピンの近くに配置する必要があります。DCDC レギュレータ出力 (DCDC ピン) のコンデンサは、チップとグランドの間を短く、かつ直接的に (低インピーダンスで) 接続する必要があります。コンデンサのグランド パッドからチップまで、ベタのグランド プレーンを保持してください。

4.7 アンテナ マッチング部品

アンテナのインピーダンス マッチングには π ネットワークが推奨されます。アンテナ マッチング部品は可能な限りアンテナの近くに配置します。

4.8 伝送ライン

LC フィルタ内のパターンは非常に短いため、伝送ラインとみなすことはできませんが、LC フィルタから伸びる場合などのように、アンテナへのパターン長が長くなると、50Ω のインピーダンスを必要とします。TXLine は、PCB パターンのインピーダンス計算用の無償ツールで、次の URL から入手できます：TXLine Transmission Line Calculator。

4.9 電磁シミュレーション

設計がリファレンス デザインに従わない場合 (異なるフィルタ部品の配置や部品サイズなど) は、Advanced Design System (ADS) またはこれと同等のものを使用して、カスタム設計のインピーダンスおよび S パラメータをリファレンス デザインと比較し、シミュレートすることを推奨します。カスタム設計がリファレンス デザインから逸脱しすぎる場合は、フィルタ部品の値を変更することが必要となる場合があります。

5 アンテナ

アンテナに関して利用可能な既存の資料は、主に単一周波数で動作するアンテナを対象としています。次の 2 種類のアンテナ選択ガイド、『アンテナ選択クイック ガイド』アプリケーション ノート および『アンテナ選択ガイド』アプリケーション ノート が用意されています。『CC-Antenna-DK2 およびアンテナ測定の概要』アプリケーション ノート には、資料一式が付属しています。TI が提供するすべてのアンテナに関する資料には、『アンテナ選択クイック ガイド』アプリケーション ノート からアクセスできます。これは、すべてのアンテナの資料、アンテナ測定レポート、すべてのアンテナ リファレンス デザインへのハイパーリンクがあるためです。

チューニングし、アンテナのミスマッチ損失を低減するために、アンテナ マッチング ネットワークを含めることを推奨します。シングルバンド アンテナの場合、アンテナの前に π マッチ ネットワークを常に配置することを推奨します (図 5-1 を参照)。3 つのフットプリントまたは部品のうち 2 つのみが必要です。アンテナのインピーダンスによって、ANT1 または ANT3 のどちらのフットプリントあるいは部品を使用するかが決まります。ANT2 は常に使用します。アンテナが正確にマッチングした場合でも、ANT2 は 0Ω 抵抗として設定できます。アンテナのマッチングの詳細については、『アンテナのインピーダンス測定およびマッチング』アプリケーション ノート を参照してください。

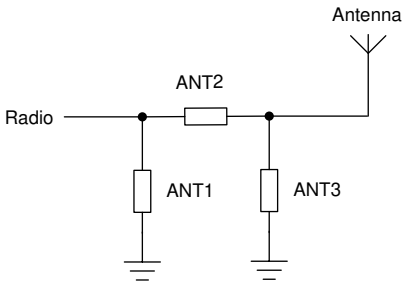

図 5-1. シングルバンド アンテナ用に推奨されるアンテナの π マッチ ネットワーク

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 水晶発振器のチューニング

6.1 CC23xx および CC27xx の水晶発振器

CC23xx および CC27xx の各デバイスには 2 つの水晶発振器があります。高周波水晶発振器 (HFXT) は 48MHz で動作し、無線を操作するために必須です。RTC のタイミングには低周波水晶発振器 (LFXT) を使用します。これは、正確な RTC タイミングが必要な場合にのみ必要です。たとえば、Bluetooth Low Energy などの同期プロトコルです (セクション 3.1.2 を参照)。

どちらの水晶発振器も 図 6-1 に示すピアス型発振器です。このタイプの発振器では、水晶振動子と負荷コンデンサが π フィルタを形成し、内部アンプに 180° の位相シフトを行って、指定された周波数に発振器がロックされた状態に維持します。この周波数が妥当なものとなるよう、水晶振動子の容量性負荷 (CL) パラメータに基づいて、負荷容量の大きさを適切に選定する必要があります。

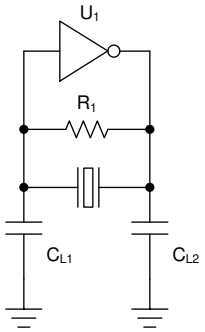

図 6-1. ピアス型発振器

2 つの発振器の主な違いは、高周波発振器が IC 内に可変負荷容量を内蔵しており、外付け負荷コンデンサが不要であることです。低周波発振器を正しく動作させるには、外付けコンデンサが必要です。

6.2 水晶振動子の選択

水晶振動子部品を選択する場合は、水晶振動子のパラメータの要件を一覧にした、セクション 12 の CC23xx および CC27xx のデバイス固有データシートを参照してください。発振器が適切に動作し、デバイスが必ず適切に動作するは、これらすべての要件を満たす必要があります。推奨する水晶振動子については、『CC13xx、CC26xx、CC23xx ワイヤレス MCU ファミリ用の水晶発振器および水晶振動子の選択』アプリケーションノート を参照してください。

6.3 LF 水晶発振器のチューニング

32kHz の水晶発振器の周波数は、水晶振動子の必要な負荷容量 CL に対して、負荷コンデンサを適切な大きさにすることで設定できます。水晶振動子から、2 つのコンデンサを直列に配置します。PCB パターンとパッドにはある程度の寄生容量が追加されます。式 1 に、実効的な容量値の合計を計算する方法を示します。

$$CL = \frac{C1xC2}{C1 + C2} + C_{parasitic} \approx \frac{load \quad capacitor \quad value}{2} + C_{parasitic} \tag{1}$$

最終的に単純な形にするには、C1 と C2 が等しいことが必要です。

発振器の周波数精度を測定する最善の方法は、32kHz のクロック信号を I/O ピンに出力することです。周波数は発振器に影響を与えずに、周波数カウンタを使用して測定できます。次のコード スニペットは、選択した 32kHz のクロック ソースを DIO19 に出力します。CC23xx と CC27xx の 32kHz クロックを出力するために使用できる特定の I/O は 1 つだけです (表 6-1 を参照)。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

```
/* INCLUDES
*/
#include <ti/drivers/GPIO.h>
#include DeviceFamily_constructPath(inc/hw_types.h)
#include DeviceFamily_constructPath(inc/hw_memmap.h)
#include DeviceFamily_constructPath(inc/hw_ckmd.h)
#include DeviceFamily_constructPath(inc/hw_ioc.h)
#include DeviceFamily_constructPath(inc/hw_pmctl.h)
// ...
int main()
{
// ...

/** Add the following after Board_init();
* Be sure IOID used below is not used by any entries in PIN or
* GPIO tables from the board files.
* The clock source can be switched with constant clockSrc.
*/

uint8_t clockSrc = 0xF; // for LF crystal clock

// drive output low first
GPIO_setConfig(19, GPIO_CFG_OUTPUT | GPIO_CFG_OUT_LOW);

// Configure the IOC.IOC19.PORTCFG MMR to select DTB
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_IOC19) &= ~IOC_IOC19_PORTCFG_M;
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_IOC19) |= IOC_IOC19_PORTCFG_DTB;

// Make sure the DTB mux selects in IOC (and if required in
// source clock IP) are reset that zero is driven on DTB0.
// ULLSEL mux select (select CKMD)
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_DTBCFG) &= ~IOC_DTBCFG_ULLSEL_M;
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_DTBCFG) |= 0x1 << IOC_DTBCFG_ULLSEL_S; // 0x1 to route CKMD to DTB0

// Enable IOC.DTBOE.EN0
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_DTBOE) &= ~IOC_DTBOE_EN0_M;
HWREG(IOC_BASE + IOC_O_DTBOE) |= IOC_DTBOE_EN0_EN;

// select which clock (CKMD) to output on DTB0 (DTB[0])
HWREG(CKMD_BASE + CKMD_O_DTBCTL) &= ~CKMD_DTBCTL_CLKSEL_M;
HWREG(CKMD_BASE + CKMD_O_DTBCTL) |= (clockSrc) << CKMD_DTBCTL_CLKSEL_S;

// enable DTB output
HWREG(CKMD_BASE + CKMD_O_DTBCTL) &= ~CKMD_DTBCTL_EN_M;
HWREG(CKMD_BASE + CKMD_O_DTBCTL) |= CKMD_DTBCTL_EN;

// ...
}
```

表 6-1. 32kHz のクロックを出力するための I/O

CC23xx	CC27xx
DIO19	DIO27

6.4 HF 水晶発振器のチューニング

HFXT は IC に可変負荷コンデンサ (コンデンサ アレイ Q1 およびコンデンサ アレイ Q2) を内蔵しており、外付けコンデンサを実装する必要はありません。負荷容量は、「*Device Configuration*」(デバイス設定) の下にある「*TI DEVICES*」(TI デバイス) のセクションにある sysconfig で、「*Override HFXT Cap Array Trims*」(HFXT コンデンサ アレイのトリムをオーバーライド) をイネーブルし、コンデンサアレイ Q1 およびコンデンサ アレイ Q2 に適切な値を設定します。水晶振動子の両側で負荷コンデンサの不均衡が発生しないようにするために、コンデンサ アレイ Q1 とコンデンサ アレイ Q2 の最大差は 1 を超えることはできません。「Override HFXT Cap Array Trims」(HFXT コンデンサ アレイのトリムをオーバーライド) がイネーブルされていない場合は、コンデンサ アレイ Q1 および コンデンサ アレイ Q2 のデフォルト値が使用されます。

表 6-2 に、評価ボードで測定した合計静電容量とコンデンサ アレイの値の関係を示します。結果として生じた静電容量値には寄生容量が含まれていることに注意してください。そのため、最小設定値は 0pF ではありません。コンデンサ アレイ値を大きくしても実効容量が変化しない領域が 2 つあります。この 2 つの領域は、コンデンサ アレイの値が 15 ～ 16

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

の場合、および、47 ～ 48 の場合です。最適なコンデンサ アレイ値を見つけるために自動検索アルゴリズムを使用する場合は、検索アルゴリズムから 15 または 16、および 47 または 48 を削除するようにしてください。

HF 水晶発振器の精度を測定する最善の方法は、無線から復調された搬送波を出力し、スペクトル アナライザを使用して、必要な周波数からの周波数オフセットを測定することです。通常、水晶振動子の周波数の相対的なオフセットは 100 万分率 (ppm) 単位で表され、RF キャリアの相対的なオフセットと同じです。

テスト目的で、SmartRF™ Studio でコンデンサ アレイの値を調整できます。これにより、負荷容量をその場で更新できるため、調整が大幅に簡単になります。SmartRF Studio にある最適な値は、該当するソフトウェア プロジェクトの SysConfig に入力できます。

表 6-2. コンデンサ アレイ

キャップ アレイ値 (Q1 = Q2)	リファレンス ボードで測定された CC23xx の容量 (pF)	リファレンス ボードで測定された CC27xx の容量 (pF)
1	3.7	3.9
2	3.7	4.0
3	3.8	4.1
4	3.9	4.1
5	4.0	4.2
6	4.1	4.3
7	4.1	4.4
8	4.2	4.4
9	4.3	4.5
10	4.4	4.6
11	4.4	4.7
12	4.5	4.7
13	4.6	4.8
14	4.6	4.9
15	4.7	5.0
16	4.7	5.0
17	4.8	5.0
18	4.9	5.1
19	5.0	5.2
20	5.1	5.3
21	5.2	5.4
22	5.3	5.5
23	5.3	5.6
24	5.4	5.7
25	5.5	5.8
26	5.6	5.9
27	5.7	6.0
28	5.8	6.1
29	5.9	6.2
30	6.0	6.3
31	6.1	6.4

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-2. コンデンサ アレイ (続き)

キャップ アレイ値 (Q1 = Q2)	リファレンス ボードで測定された CC23xx の容量 (pF)	リファレンス ボードで測定された CC27xx の容量 (pF)
32	6.3	6.6
33	6.4	6.7
34	6.5	6.8
35	6.6	6.9
36	6.7	7.0
37	6.8	7.2
38	6.9	7.3
39	7.1	7.4
40	7.2	7.5
41	7.3	7.6
42	7.4	7.8
43	7.5	7.9
44	7.6	8.0
45	7.7	8.1
46	7.8	8.2
47	7.9	8.3
48	7.9	8.3
49	8.1	8.5
50	8.3	8.7
51	8.4	8.8
52	8.6	9.0
53	8.7	9.2
54	8.9	9.3
55	9.0	9.5
56	9.2	9.7
57	9.3	9.8
58	9.5	10.0
59	9.6	10.1
60	9.8	10.3
61	9.9	10.5

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7 最適な負荷インピーダンス

最適性能を得るためのマッチング環境は、終端負荷またはソース インピーダンスとして与えられるロードプル測定とソースプル測定の組み合わせにより決まります。そのためには、RF フロント エンドの非線形応答を特性評価するための包括的な測定を行う必要があります。

考慮する必要のあるパラメータは次のとおりです。

- 送信出力電力
- 送信効率
- 送信高調波電力レベル
- 送信出力スペクトル
- レシーバ感度

考慮する必要のある動作条件は次のとおりです。

- 周波数
- 電圧範囲
- 送信電力設定
- パッケージ寄生容量

また、温度変動が送信 / 受信性能に及ぼす影響も考慮する必要があります。

これらのインピーダンス位置は通常、スミス チャートのさまざまな領域に配置されており、送信と受信の最良のトレードオフを実現する 1 つの設計空間は、特定の一連の動作条件に対して特定されます。

特定されたターゲット インピーダンスは、アプリケーション回路の電源プレーンとグランド プレーン、および正確な測定システム キャリブレーションに大きく依存する可能性があり、また、PCB レイアウトによる差動部品および一般的な電流部品からの影響にも大きく依存する可能性があります。EDA ツールを使用した PCB の詳細なシミュレーションが設計に信頼性を付加する場合もありますが、シミュレーションの不正確さ (部品モデルなど) によって誤差が増大し、考慮に値しなくなる場合もあります。

検討する必要があるパラメータの数と、堅牢な設計に必要なテストの量を考慮して、TI はこのリファレンス デザインに従うことをお勧めします。

8 PA テーブル

SmartRF Studio には、さまざまなデバイスに対応する PA テーブルが用意されています。テーブルで使用されている txpower 値は、デバイス間のバラツキを最小限に抑えるように選択されています。さらに、txpower 設定には温度補償が組み込まれているため、温度に対する出力変動が非常に小さくなります。

使用する PA は最大出力で非常に効果的になるように設計されています。最大電力の場合、PA は飽和状態となり、これによりデバイス間のバラツキは小さくなります。低電力設定の場合、PA はリニア領域にあり、出力電力はトランジスタのゲインに依存し、デバイス間のバラツキが大きくなります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9 電源構成

9.1 電源の概要

CC23xx デバイスには、外部ピンで接続される 3 つの電源レール、VDD、VDDR、VDDD があります。CC27xx デバイスには、もう 1 つの電源レール、VDDIO があります。VDDS はワイヤレス マイコンの主電源であり、1.71V ～ 3.8V で外部から供給する必要があります。VDDR は、内部 DC/DC コンバータまたは内部グローバル LDO から給電される内部電源レールです。VDDR は約 1.5V に安定化されています。VDDD は、電力状態に応じて、デジタル LDO またはマイクロ LDO によって内部で供給されます。この電源レールは約 1.28V に調整されており、1µF の外付けデカップリング コンデンサが必要です。VDDIO 電源は一部の GPIO の分割レール IO 電源に給電するもので、1.71V ～ 3.8V の電圧で外部から供給する必要があります。

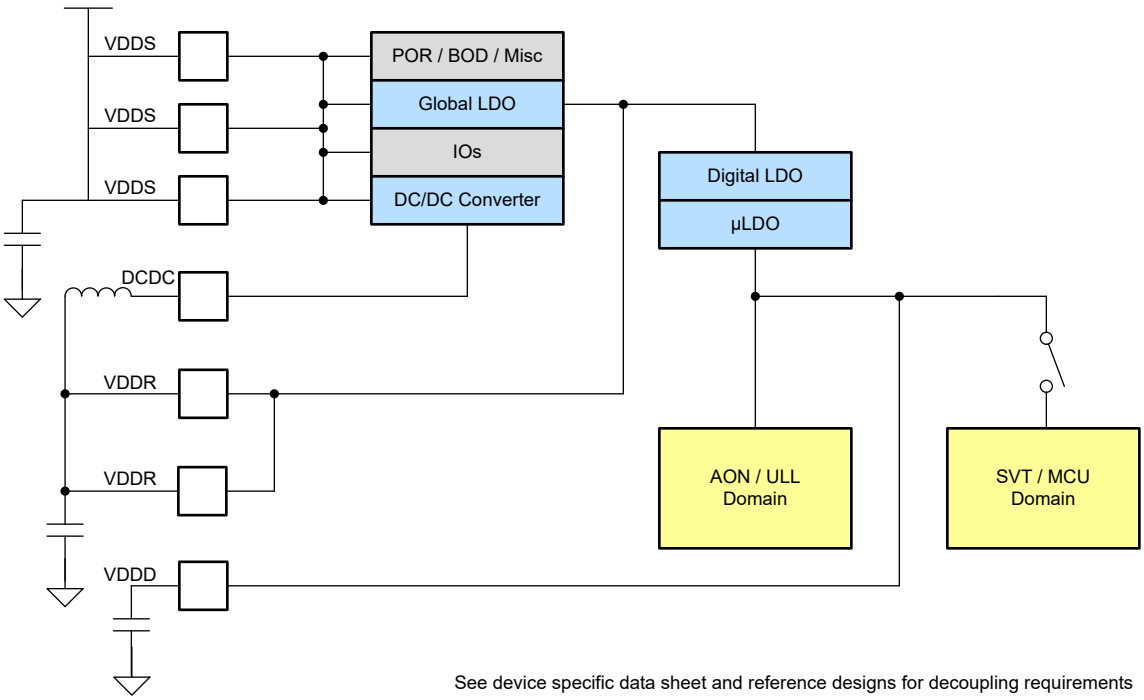

図 9-1. 電源システム

9.2 DC/DC コンバータ モード

最大の効率は、内蔵の DC/DC コンバータを使用することで得られますが、外付けのインダクタおよびコンデンサが必要です。各部品は CC23xx または CC27xx デバイスのできるだけ近くに配置し、DC/DC コンデンサのグランドからチップ上のパッドへ短い電流帰路を配置します。VDDS ピンは内部で相互に接続されてはいません。各デカップリング コンデンサの配置場所に関するリファレンス デザインを確認してください。デカップリング コンデンサと DC/DC インダクタの実際の値は、デバイスによって異なります。実際の値については、デバイス固有のリファレンス デザインを参照してください。

DC/DC モードで動作している場合、電源システムは、必要な負荷に応じてグローバル LDO と DC/DC コンバータの間で動的に切り替わり、最大の効率を実現します。VDDS が 2.2V を下回った場合、DC/DC コンバータは LDO より低効率となり、デバイスはグローバル LDO モードで動作します。VDDS が 2.2V 未満で動作するシステムでは、部品コストと基板面積を削減するため、グローバル LDO の使用を検討してください。

DC/DC コンバータを利用するには、*「TI DEVICES」* (TI デバイス) -> *「Device Configuration」* (デバイス設定) -> *「Voltage Regulator」* (電圧レギュレータ) の SysConfig で *DCDC* を選択する必要があります。詳細については、図 9-2 を参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

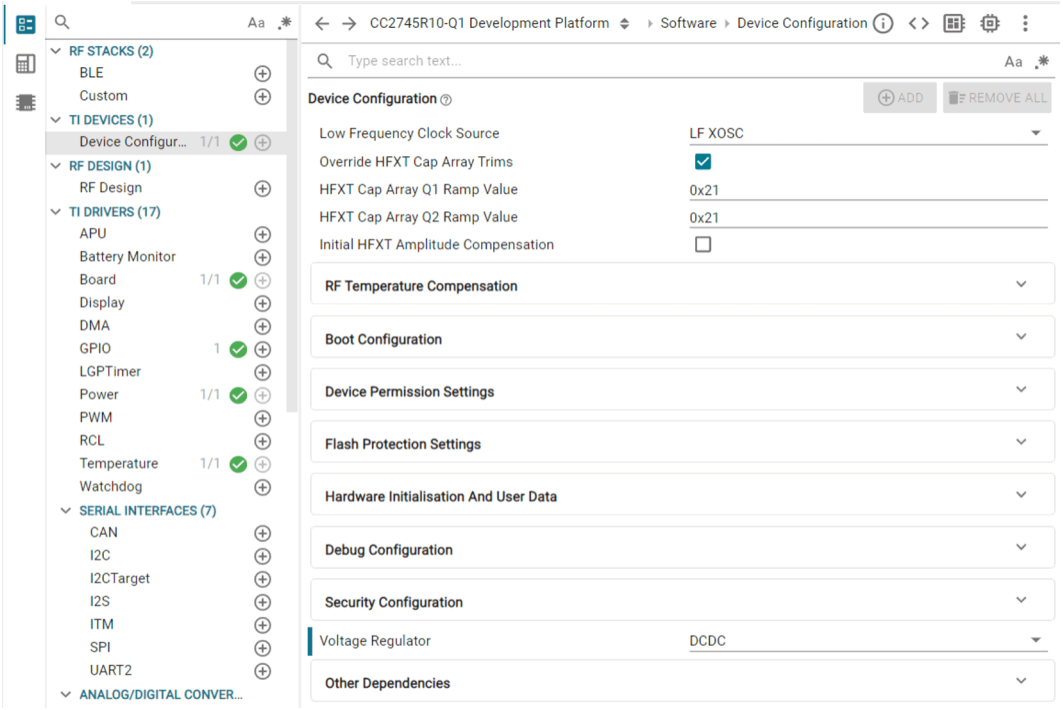

図 9-2. DC/DC モード

9.3 グローバル LDO モード

コストと PCB 面積を節約するために、DC/DC インダクタを取り外し、VDDR をグローバル LDO から供給することもできます。ただし、消費電力は増加します。予測される消費電流の増加量については、デバイス固有のデータシートを参照してください。このモードでは、依然として VDDR にバルク コンデンサを接続する必要があり、VDDR ピンの近くに配置します。

グローバル LDO を使用するには、ユーザーは「*TI Devices*」(TI デバイス) -> 「*Device Configuration*」(デバイス設定) -> 「*Voltage Regulator*」(電圧レギュレータ) の SysConfig で「*GLDO*」(GLDO) を選択する必要があります。詳細については、図 9-3 を参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

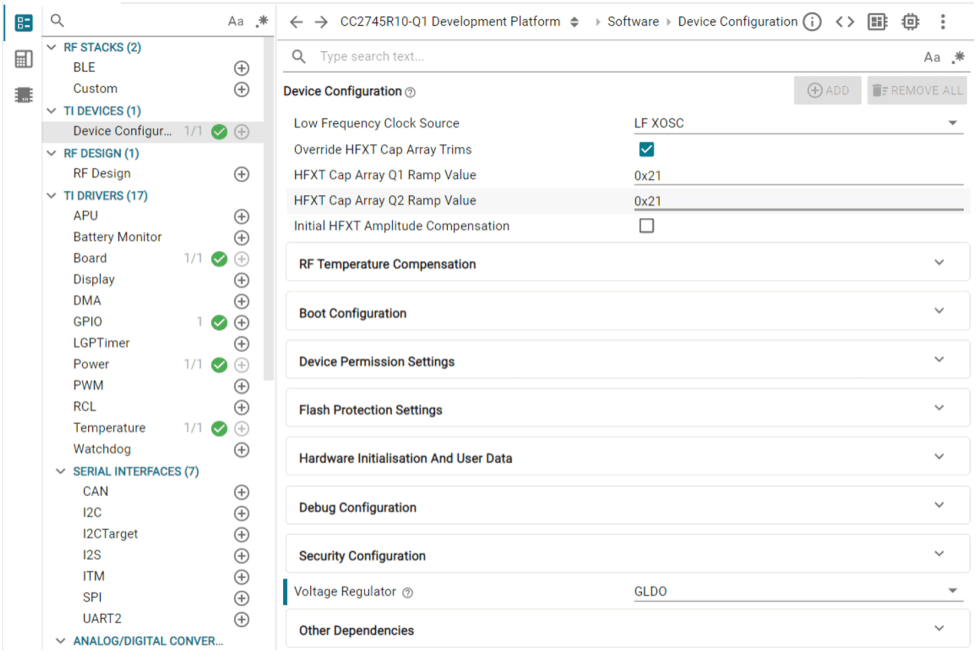

図 9-3. グローバル LDO モード

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

10 ボードの立ち上げ

ソフトウェアの開発やレンジ テストの実行を開始する前に、伝導測定を行い、基板が期待される性能を備えていることを確認することを推奨します。通常、ハードウェア設計を検証するには、感度、出力電力、高調波、消費電流を測定する必要があります。

必要な測定は、基板およびアプリケーションのタイプによって異なります。これが 10m のレンジ要件を持つ設計であれば、レンジ エクステンダを使用した設計と同じように詳細なチェックアウトを行う必要はありません。高性能を必要とするアプリケーションやその他の設計には、RF パケット送信オプション付きのスペクトル アナライザとシグナル ジェネレータを使用することを強く推奨します。

以下のセクションでは、さまざまな測定方法について説明します。ユーザーは基板に適用できる方法を選択する必要があります。詳細なテストについては、『CCxxxx デバイスの基本的な RF テスト』アプリケーション レポート を参照してください。

10.1 電源オン

ボードに初めて電源を投入するときは、以下のピンの電圧が予定どおりの値であることを確認します。

CC23xx、CC27xx

- VDDR = 1.5 V
- VDDD = 1.28 V

X48P および X48N のピンでは直接測定しないでください。デバイスが損傷する可能性があります。

10.2 RF テスト:SmartRF Studio

SmartRF Studio をテストに使用するには、ボードに、デバッガを RF チップに直接接続できるようにするコネクタが必要です。CC23xx および CC27xx には、LP-XDS110/LP-XDS110ET を使用します。接続する必要のあるピンは、VDDS (デバイスが外部から電力を供給されている場合は不要)、GND、RESET、SWDIO、SWDCK です。

1. デバッガをボードに接続します。SmartRF Studio を開き、接続されているデバイスのリストにデバイスが表示されていることを確認します。
2. 2m の距離の良好な既知のボードを 2 枚配置します。この状況では、*既知の良好なボード*とは、TI 製の LaunchPads です。最終製品で使用されている PHY に最も類似した、SmartRF Studio の事前定義済みの PHY 設定を使用します。
3. 1 つの基板を Packet RX に、もう 1 つの基板を Packet TX に設定し、100 パケットを送信します。パケットが受信されたことを確認し、受信パケットの RSSI を書き留めます。
4. TX で使用した基板を、テスト対象デバイス (DUT) と交換します。#3 で説明したテストを繰り返します。
5. RX で使用したボードを DUT に交換します。TX で使用したボードを、既知の良好なボードと交換します。#3 で説明したテストを繰り返します。
6. 可能であれば、その後最初に、*既知の良好な*アンテナを使用して測定を行い、次に、後の最終設計で使用する予定のアンテナでこの測定を繰り返す必要があります。アンテナのチューニングが不十分な場合は、感度や出力電力が大幅に低下する原因となる可能性があります。
7. 結果が満足できる場合は、事前に定義された設定から、最終製品で使用する予定の RF 設定に設定を変更します。必要な RF 設定を使用して、#3 ～ #5 で説明したテストを繰り返します。

RSSI がリファレンスから逸脱している場合は、回路図およびレイアウトを確認します。

10.3 RF テスト:伝導測定

高性能設計の場合、RF リンクを設定する前に、伝導測定を実行してパフォーマンスを検証することを推奨します。

10.3.1 感度

1. アンテナの接続を取り外して SMA コネクタで伝導測定を行うか、セミリジッド同軸ケーブルを 50Ω ポイントに半田付けします。
2. テスト対象のボードを構成し、セクション 10.2 で説明したテストと同様に、SmartRF Studio 8 の Packet RX オプションを使用します。Packet RX モードでは、予測されるパケット数を設定できます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3. LaunchPad をトランスミッタとして使用します。同軸ケーブルを使用し、LaunchPad SMA コネクタとカスタムボード上の 50Ω ポイントの間で減衰を行います。通常、出力電力と減衰の正確な値は知られていないため、この方法を使用して正確な値を得ることは困難です。一部のエネルギーは、EM から DUT に空中を経由して移動します。また、バックグラウンド ノイズが結果に影響を与える可能性もあります。より正確な結果を得るには、レシーバをシールド ボックスの中に入れます。
4. SmartRF Studio がパケット エラー レート (PER) とビット エラー レート (BER) を計算します。

伝導感度が低い場合は、次の点を確認してください。

- 設定は SmartRF Studio の推奨値と同じですか？SmartRF Studio を使用していると感度が良好で、プロジェクトで使用した設定を用いると良好でない場合は、設定を確認する必要があります。
- DUT と信号源の周波数の差はどの程度ですか？周波数オフセットは復調された連続波を送信することによって測定できます。
- 回路図は、すべての部品値を含め、リファレンス デザインに従っていますか？
- レイアウトはリファレンス デザインに従っていますか？

10.3.2 出力電力

1. アンテナの接続を取り外して SMA コネクタで伝導測定を行うか、セミリジッド同軸ケーブルを 50Ω ポイントに半田付けします。
2. 望ましい方法:スペクトル アナライザ (SA) を使用します。出力電力を測定するには、2MHz の RBW を使用します。
3. SA を利用できない場合は、SMA 接続ポイントを備えた LaunchPad を使用します。同軸ケーブルを使用し、LaunchPad SMA コネクタとカスタムボードの 50Ω ポイントの間で減衰を行います。SmartRF Studio を使用し、Launchpad を「Continuous RX」(連続 RX) に設定して、RSSI を読み取ります。RSSI には所定の公差があるため、測定の精度は望ましい方法に示した方法ほど高くありません。

RF テストの詳細については、『CCxxxx デバイスの基本的な RF テスト』を参照してください。

10.4 ハードウェアのトラブルシューティング

このセクションでは、パフォーマンスが低下する一般的な原因のいくつかを説明します。

10.4.1 リンクなし:RF の設定

2 つの RF チップ間でリンクを確立するには、2 つの RF チップが同じ周波数および同じ RF 設定で動作する必要があります。

10.4.2 リンクなし:周波数オフセット

狭帯域システムの場合、TX デバイスと RX デバイスの間に大きな周波数オフセットがあると、リンクが失われるか、リンクが非常に低下する可能性があります。受信を確実に計算するために必要な最小 RX 帯域幅は、式 2 を用いて計算できます。

$$RX\ \ BW = Signal\ \ Bandwidth + 4 \cdot ppm\ \ Crystal\ \ \cdot RF\ \ Frequency\ \ of\ \ Operation \tag{2}$$

FSK 信号帯域幅は、データ レート + 2×周波数偏差 (Carson の法則) で近似できます。

10.4.3 リンクが低品質:アンテナ

アンテナをチューニングして不整合損失を低減するには、アンテナにマッチング回路が必要です。アンテナがチューニングされていない場合、TX と RX の両方でエネルギーが失われ、リンク バジェットは小さくなります。詳細については、セクション 5 を参照してください。

10.4.4 Bluetooth Low Energy:デバイスはアドバタイズを実行するが接続できない

32kHz 水晶発振器を RTC ソースとして使用する場合、次のようになります。

- 32.768kHz の水晶振動子の負荷コンデンサが適正でないと、周波数オフセットが発生する可能性があります
- 32kHz 水晶振動子が起動しません (不適切な負荷コンデンサ、水晶振動子の欠落、半田付けの問題)

32kHz の RC 発振器を RTC ソースとして使用する場合、次のようになります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

- キャリブレーションが正しく設定されていません。詳細については、SDK に付属の『Bluetooth Low Energy Stack ユーザー ガイド』を参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

RTC 周波数が正しくないと、デバイスが接続状態でなくなり、セントラル デバイスとのリンクが切断されます。

この問題をデバッグするには、32kHz クロックを I/O ピンに出力し、周波数カウンタで測定します。詳細については、セクション 6.3 を参照してください。クロックをピンに出力することで、ユーザーは常に、選択した RTC クロック ソースを測定し、クロック ソースに影響を与えずに測定する必要があります (水晶振動子のプローブ処理で実行可能)。

32.768kHz の水晶振動子を使用する場合は、水晶振動子部品が、デバイス固有の CC234x および CC27xx データシートで概要が記載されている要件の範囲内にあることを確認します。セクション 6.3 に示すように、負荷コンデンサが適切な大きさになっていることを確認します。

BLE-Stack が適切なスリープ クロック精度で構成されていることを確認します。セントラル デバイスおよびペリフェラル デバイスのデフォルト値は、それぞれ 50ppm および 40ppm です。スリープ クロック精度は HCI_EXT_SetSCACmd API により調整できます。hci.h、または SDK に含まれている『TI ベンダ固有 API ガイド』を参照してください。

10.4.5 感度が不十分:バックグラウンド ノイズ

RF チャネルは選択した周波数範囲内にあるすべての無線トラフィックを受信します。チャネルは、目的の信号の他に、バックグラウンド ノイズも受信します。バックグラウンド ノイズの一部は、選択した帯域にある他の RF トラフィックです。RF パケットを受信するには、受信信号に所定の SNR が存在する必要があります。バックグラウンド ノイズが増加すると、実際上の感度は低くなります。

たとえば、伝導感度が -100dBm、必要な SNR が 7dB、バックグラウンド ノイズが -90dBm の場合、実際の放射感度は -83dBm になります。

レンジ テストを行う前には、バックグラウンド ノイズを測定してください。1 つの方法は、既知の TX ソースをすべてオフにし、LaunchPad または *既知の良好な* ボードを SmartRF Studio に接続し、「Continuous RX」(連続 Tx) タブを選択して、「play」(実行) を押すことです。得られたグラフの平均値を入力として使用すると、実際上の感度を求めることができます。

10.4.6 スリープ時消費電力が高い

- デバッガが接続されていると、チップの消費電力は最小にはなりません。
- ソフトウェア:関連する SDK の gpioshutdown の例を使用します。
- LaunchPad 上の消費電流を測定する場合は、すべてのジャンパを取り外します。
- ボード上のすべての IC の電源がオフになっていることを確認します。
- アプリケーションが 32kHz の水晶振動子を使用するように構成されている場合は、これが接続されており、発振器が動作していることを確認します。
- どの入力ピンもトライステートになっていないことを確認します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

11 まとめ

このアプリケーション ノートは、CC23xx および CC27xx デバイス ファミリを使用してカスタム ハードウェアを設計するためのガイドラインを提供しています。この資料では、これらのデバイスで利用可能なリファレンス デザインの概要を紹介し、その後、回路図や PCB レイアウトに関する重要な検討事項を説明しています。最後に、水晶発振器の調整に関するガイダンスと、基板の立ち上げ方法の説明があります。

12 参考資料

- Cadence、『TXLine Transmission Line Calculator』
- テキサス インスツルメンツ、『*2.4GHz 反転型 F アンテナ*』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『*LP-EM-CC2340R53 設計ファイル*』
- テキサス インスツルメンツ、『*LP-EM-CC2340R5 設計ファイル*』
- テキサス インスツルメンツ、『*LP-EM-CC2340R5-Q1 設計ファイル*』
- テキサス インスツルメンツ、『*LP-EM-CC2340R5-RGE-4x4-IS24 設計ファイル*』
- テキサス インスツルメンツ、『*LP-EM-CC2745R10-Q1 設計ファイル*』
- テキサス インスツルメンツ、『アンテナ選択クイック ガイド』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『アンテナ選択ガイド』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『CC-Antenna-DK2』
- テキサス インスツルメンツ、『CC-Antenna-DK2 およびアンテナ測定の概要』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『CCxxxx デバイスの基本的な RF テスト』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『CC13xx、CC26xx、CC23xx ワイヤレス MCU ファミリ用の水晶発振器および水晶振動子の選択』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『アンテナ インピーダンスの測定およびマッチング』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『CC2340R SimpleLink™ 2.4GHz ワイヤレス MCU ファミリ』、エラッタ
- テキサス インスツルメンツ、『CC2340R5-Q1 SimpleLink™ ワイヤレス MCU デバイス』、エラッタ
- テキサス インスツルメンツ『CC2340R SimpleLink™ 2.4GHz ワイヤレス MCU ファミリ』、データシート
- テキサス インスツルメンツ、『CC2340R5-Q1 SimpleLink™ Bluetooth® 5.3 Low Energy ワイヤレス MCU』、データシート
- テキサス インスツルメンツ、『CC274xR-Q1, CC274xP-Q1 車載用 SimpleLink™ Bluetooth® 5.4 Low Energy ワイヤレス マイコン』、データシート

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