



## 概要

MSPM33 C シリーズ マイコン (マイコン) 製品ラインアップは、センシング、測定、および制御のアプリケーション用に、幅広い超低消費電力 32 ビット マイコンと統合型アナログ / デジタル ペリフェラルを提供します。このアプリケーション ノートでは、MSPM33 C シリーズ マイコンを使用したハードウェア開発に必要な情報について説明しています。これには、電源、リセット回路、クロック、デバッグ接続、主要なアナログ ペリフェラル、通信インターフェイス、GPIO、および基板レイアウトのガイダンスに関する詳細なハードウェア設計情報が含まれます。

## 目次

<b>1 MSPM33C ハードウェア設計チェック リスト</b>	<b>4</b>
<b>2 MSPM33C デバイスの電源</b>	<b>5</b>
2.1 デジタル電源	5
2.2 アナログ電源	6
2.3 電源および電圧リファレンスを内蔵	7
2.4 電源に推奨されるデカップリング回路	7
2.5 VBAT 用の推奨デカップリング回路	7
<b>3 リセットおよび電源スーパーバイザ</b>	<b>8</b>
3.1 デジタル電源	8
3.2 電源スーパーバイザ	8
<b>4 クロック システム</b>	<b>10</b>
4.1 内部発振器	10
4.2 外部発振器	12
4.3 外部クロック出力 (CLK_OUT)	13
4.4 周波数クロック カウンタ (FCC)	14
<b>5 デバッグ</b>	<b>15</b>
5.1 デバッグ ポートのピンとピン配置	15
5.2 標準 JTAG コネクタを使用したデバッグ ポート接続	15
<b>6 主要なアナログペリフェラル</b>	<b>18</b>
6.1 ADC 設計の検討事項	18
6.2 COMP 設計の検討事項	18
<b>7 主要なデジタル ペリフェラル</b>	<b>21</b>
7.1 タイマリソースと設計の検討事項	21
7.2 UART と LIN のリソースと設計の検討事項	22
7.3 MCAN 設計の検討事項	24
7.4 I2C と SPI 設計の検討事項	25
7.5 I2S/ TDM 設計の検討事項	27
7.6 QSPI 設計の検討事項	27
<b>8 GPIO</b>	<b>29</b>
8.1 GPIO 出力のスイッチング速度と負荷容量	29
8.2 GPIO 電流シンクおよびソース	29
8.3 高速 GPIO (HSIO)	30
8.4 高駆動 GPIO (HDIO)	30
8.5 レベル シフタなしで 1.8V デバイスと通信する	30
8.6 未使用ピンの接続	31
<b>9 レイアウト ガイド</b>	<b>32</b>
9.1 電源レイアウト	32
9.2 グランドレイアウトに関する検討事項	32

9.3	トレース、ビア、その他の PCB コンポーネント.....	33
9.4	基板層の選択方法と推奨されるスタックアップ.....	34
10	ブートローダー.....	35
10.1	ブートローダの紹介.....	35
10.2	ブートローダー ハードウェア設計の検討事項.....	35
11	まとめ.....	36
12	参考資料.....	36

## 図の一覧

図 1-1.	MSPM33C の代表的なアプリケーション回路.....	5
図 2-1.	V <sub>CORE</sub> レギュレータ回路.....	5
図 2-2.	VREF 回路.....	7
図 2-3.	電源デカップリング回路.....	7
図 2-4.	VBAT デカップリング回路.....	8
図 3-1.	NRST 推奨回路.....	8
図 3-2.	POR および BOR と電源電圧 (VDD) の関係.....	9
図 4-1.	MSPM33C シリーズ LFOSC.....	10
図 4-2.	MSPM33C シリーズ SYSOSC.....	10
図 4-3.	MSPM33C SYSPLL 回路.....	11
図 4-4.	MSPM33C LFXXT 回路.....	12
図 4-5.	MSPM33C HFXT 回路.....	12
図 4-6.	MSPM33C 外部クロック出力.....	13
図 4-7.	MSPM33C 周波数クロック カウンタのブロック図.....	14
図 5-1.	MSPM33C SWD 内部プル.....	15
図 5-2.	JTAG および MSPM33C 接続.....	15
図 5-3.	XDS110 プロブの高レベル ブロック図.....	16
図 5-4.	XDS110-ET 回路.....	16
図 5-5.	Arm 標準 10 ピン ケーブル.....	17
図 6-1.	ADC 入力ネットワーク.....	18
図 6-2.	コンパレータの図.....	19
図 6-3.	ウィンドウ コンパレータ モード.....	19
図 6-4.	コンパレータ ショート スイッチ.....	20
図 7-1.	標準的な LIN TLIN1021A トランシーバ.....	23
図 7-2.	MSPM33C を使用した代表的な LIN アプリケーション (コマンド).....	23
図 7-3.	MSPM33C を使用した代表的な LIN アプリケーション (レスポンス).....	24
図 7-4.	MCAN の代表的なバス配線.....	24
図 7-5.	MSPM33C を使用した代表的な CAN バス アプリケーション.....	25
図 7-6.	異なる SPI 構成に対する外部接続.....	26
図 7-7.	代表的な I2C バス接続.....	27
図 7-8.	異なる QSPI 構成に対する外部接続.....	28
図 8-1.	1.8V デバイスで推奨される通信回路.....	30
図 9-1.	推奨される電源レイアウト.....	32
図 9-2.	デジタル グランドとアナログ グランド、および共通領域.....	33
図 9-3.	トレースを直角に曲げる不適切な方法と適切な方法.....	33
図 9-4.	アナログ信号と高周波信号の不適切なクロストレースと適切なクロストレース.....	34
図 9-5.	4 層 PCB スタックアップの例.....	34
図 10-1.	構成済み GPIO ピンでの BSL エントリ シーケンス.....	35

## 表の一覧

表 1-1.	MSPM33C ハードウェア設計チェックリスト.....	4
表 5-1.	MSPM33C デバッグ ポート.....	15
表 7-1.	TIMA インスタンスの構成.....	21
表 7-2.	TIMG インスタンスの構成.....	21
表 7-3.	UART の機能.....	22
表 7-4.	MSPM33C UART 仕様.....	22
表 7-5.	SPI 機能.....	25
表 7-6.	I2C の特長.....	26
表 7-7.	MSPM33C I2C の特性.....	27

表 8-1. MSPM33C GPIO のスイッチング特性.....	29
表 8-2. MSPM33C GPIO 絶対最大定格.....	29
表 8-3. 未使用ピンの接続.....	31

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 MSPM33C ハードウェア設計チェック リスト

表 1-1 では、MSPM33C のハードウェア設計プロセスにおいて確認すべき主な内容を説明しています。詳細については、以下のセクションを参照してください。

表 1-1. MSPM33C ハードウェア設計チェック リスト

ピン	説明	要件
VDD	正の電源ピン	VDD と VSS の間に 10 $\mu$ F と 100nF のコンデンサを配置し、これらの部品を VDD ピンと VSS ピンの近くに配置します。
VSS	負の電源ピン	
VCORE	コア電圧 (標準値: 1.35V)	2.2 $\mu$ F のデカップリングコンデンサを VSS に接続してください。電圧を供給したり、VCORE ピンに外部負荷を加えたりしないでください。
VBAT	バッテリー バックアップ電源	VSS に 1 $\mu$ F のコンデンサを接続します。低周波サブシステム (LFSS) の周辺機能を使用する場合にのみ必要です。
NRST	リセットピン	10nF ~ 100nF のプルダウン コンデンサを使用して、47k $\Omega$ の外付けプルアップ抵抗を接続します。リセット ピンに適切な容量のコンデンサを追加することで、ESD による過渡干渉を抑制し、誤ってリセットしてしまうリスクを低減できます。
VREF+	リファレンス電圧電源 - 外部リファレンス電圧入力	<ul style="list-style-type: none"> <li>VREF を使用する場合は、外部リファレンス源に応じた容量のデカップリング コンデンサを、VREF+ と VREF-/ GND の間に配置する必要があります。</li> <li>アプリケーションで電圧リファレンスを使用しない場合は、オープンのままでも問題ありません。</li> </ul>
VREF-	電圧リファレンス グランド電源 - 外部リファレンス入力	
SWCLK	デバッグ プローブからのシリアル ワイヤ クロック	VSS への内部プルダウン、外部部品は不要。
SWDIO	双方向 (共有) シリアル ワイヤ データ	VDD への内部プルアップ、外部部品は不要。
PA18	デフォルトの BSL 起動ピン	リセット後に BSL モードに移行しないようにプルダウンを維持します。(BSL 起動ピンは再マッピング可能です。)
GPIO ピン	汎用 I/O	対応するピン機能を GPIO に設定します。(PINCMx.PF = 0x1)
未使用のピン	汎用 I/O	未使用のピンは、出力 Low に設定するか、内部プルアップまたはプルダウン抵抗付きの入力に設定します。
サーマル パッド	QFN パッケージのサーマル パッド	パッドの熱は、ビアを経由して PCB の連続的な銅プレーン (GND プレーンなど) に伝達されます。銅の面積が大きいほど、放熱効果は高くなります。

### 注

汎用 I/O と共有されている機能を持つ未使用ピンについては、[セクション 8.6](#) のガイドラインに従ってください。

テキサス インストルメンツでは、10 $\mu$ F と 0.1nF の低 ESR セラミック デカップリング コンデンサを組み合わせることで VDD および VSS ピンに接続することを推奨しています。より値の大きいコンデンサを使用することもできますが、電源レールの立ち上がり時間に影響を及ぼす可能性があります。デカップリング コンデンサは、デカップリングするピンのできるだけ近く (数 mm 以内) に配置する必要があります。

NRST リセット ピンは、外部の 47k $\Omega$  プルアップ抵抗を 10nF のプルダウン コンデンサに接続するために必要です。

外部水晶振動子をサポートするデバイスでは、外部水晶振動子を使用するときに、水晶発振器ピン用の外部バイパス コンデンサが必要です。

VCORE ピンには 2.2 $\mu$ F のタンク コンデンサが必要であり、デバイスのグランドとの距離を最小限に抑えてデバイスの近くに配置する必要があります。

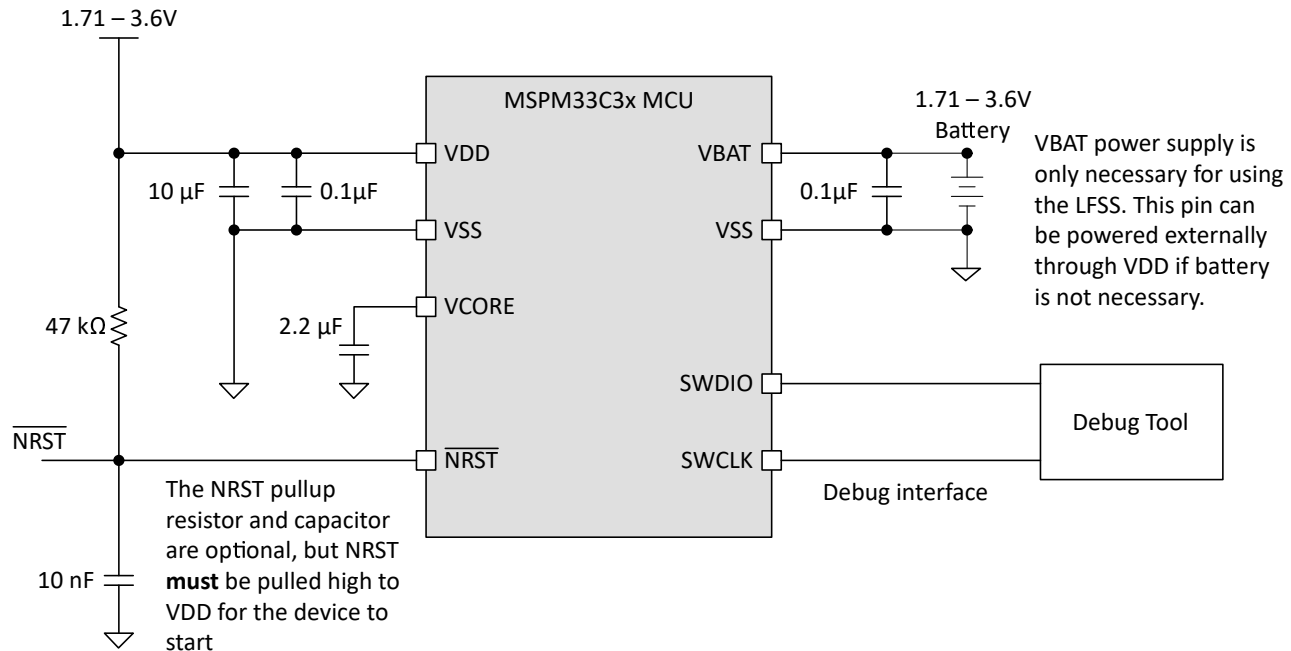


図 1-1. MSPM33C の代表的なアプリケーション回路

## 2 MSPM33C デバイスの電源

VDD および VSS 接続経路でデバイスに電力が供給されます。このデバイスは、1.62V ~ 3.6V の電源電圧での動作をサポートしており、1.62V の電源で開始できます。パワー マネージメント ユニット (PMU) は、デバイスのレギュレーション済みコア電源を生成し、外部電源の監視を行います。また、PMU や他のアナログ ペリフェラルで使用するバンドギャップ電圧リファレンスも内蔵しています。VDD は、IO 電源 (VDDIO) とアナログ電源 (VDDA) を供給するために直接使用されます。VDDIO と VDDA は内部で VDD に接続されているため、追加の電源ピンは必要ありません (詳細については、デバイスのデータシートを参照してください)。

### 2.1 デジタル電源

#### VCORE レギュレータ

内部低ドロップアウトリニア電圧レギュレータは、デバイス コアに電力を供給するために 1.35V の電源レールを生成します。一般に、コア レギュレータ出力 (VCORE) は CPU、デジタル ペリフェラル、デバイス メモリなどのコア ロジックに電力を供給します。コア レギュレータには、デバイスの VCORE ピンと VSS (グランド) の間に接続された外部コンデンサ (CVCORE) が必要です。図 2-1 を参照してください。C<sub>VCORE</sub> 正しい値と許容誤差については、デバイス固有のデータシートを参照してください。C<sub>VCORE</sub> は、VCORE ピンの近くに配置する必要があります。

コア レギュレータは、シャットダウンを除くすべての電力モードでアクティブです。他のすべての電力モード (実行、スリープ、停止、スタンバイ) では、各モードの最大負荷電流をサポートするようにレギュレータの駆動能力が自動的に構成されます。これにより、低消費電力モード使用時のレギュレータの静止電流が減少し、低消費電力性能が向上します。

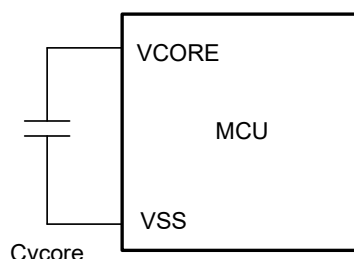


図 2-1. V<sub>CORE</sub> レギュレータ回路

## 2.2 アナログ電源

### アナログ マルチプレクサ VBOOST

PMU の VBOOST 回路は内部 VBOOST 電源を生成します。この電源は、デバイスに搭載されている場合、COMP の各アナログ マルチプレクサで使用されます。VBOOST 回路により、外部電源電圧 (VDD) 範囲全体で一貫したアナログ マルチプレクサ性能を実現できます。

### VBOOST のイネーブル / ディスエーブル

次のパラメータに基づいて、SYSCTL は VBOOST 回路のイネーブル要求を自動的に管理します。

1. COMP、ペリフェラル PWREN の設定。
2. イネーブルになっている任意の COMP のモード設定 (FAST モードと ULP モード)。
3. SYSCTL の GENCLKCFG レジスタの ANACPUMPCFG 制御ビット。
4. HFXT を HFCLK ソースとして有効にすること

VBOOST は、SYSRST の後でデフォルトでディスエーブルになります。COMP、を使用する前に、アプリケーション ソフトウェアで VBOOST 回路をイネーブルにしてください。アプリケーション ソフトウェアによって がイネーブルになると、SYSCTL は VBOOST 回路もイネーブルにしてアナログ ペリフェラルをサポートできるようにします。

#### 注

VBOOST 回路には、ディスエーブル状態からイネーブル状態に遷移するためのスタートアップ時間要件 (標準値 12 $\mu$ s) があります。COMP の起動時間が VBOOST の起動時間よりも短い場合、VBOOST の起動時間を考慮してペリフェラルの起動時間が延長されます。

### バンドギャップ リファレンス

PMU は、温度および電源電圧に対して安定したバンドギャップ電圧リファレンスを提供します。この基準電圧は、以下のような内部機能にデバイスが使用します。

- ブラウンアウトリセット回路のスレッシュホールドの駆動。
- コアレギュレータの出力電圧の設定。
- オンチップアナログペリフェラル向けのオンチップ VREF レベルの駆動。

バンドギャップリファレンスは、RUN、SLEEP、STOP モードでイネーブルになります。これは、スタンバイでサンプリングされたモードで動作することで消費電力を低減し、シャットダウンモードではディスエーブルです。ユーザー設定が不要になるように、SYSCTL はバンドギャップ状態を自動的に管理します。

## 2.3 電源および電圧リファレンスを内蔵

MSPM33C ファミリー用の VREF モジュールは、さまざまなオンボード アナログ ペリフェラルで利用できる共有電圧リファレンス モジュールです。

VREF モジュールの主な特長は次のとおりです。

- ユーザー選択可能な 1.4V および 2.5V の内部リファレンス。
- VREF+ および VREF- デバイス ピンでの外部リファレンスの受信をサポート。
- サンプル / ホールド モードは、スタンバイ動作モードまでの VREF 動作をサポートします。
- ADC、OPA の内部リファレンスをサポート。

内部 VREF を使用する場合、TI は電圧源に基づいた容量値のデカップリング コンデンサをリファレンス ピンに接続することを推奨しています (図 2-2 を参照)。

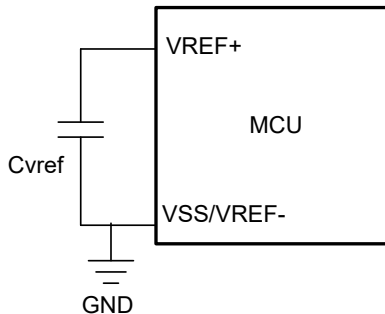


図 2-2. VREF 回路

## 2.4 電源に推奨されるデカップリング回路

TI は、10 $\mu$ F と 100nF の低 ESR セラミック デカップリング コンデンサの組み合わせを VDD ピンに接続することを推奨します (図 2-3 を参照)。より値の大きいコンデンサを使用することもできますが、電源レールの立ち上がり時間に影響を及ぼす可能性があります。デカップリング コンデンサは、デカップリングするピンのできるだけ近く (数 mm 以内) に配置する必要があります。

使用している MSPM33C に VDD ピンが 2 本ある場合でも、設計上は各 VDD ピンに 100nF のコンデンサを 1 個ずつ配置すれば十分であり、電源レールについては 10 $\mu$ F のコンデンサを共用できます。10 $\mu$ F のデカップリング コンデンサを共用するために、設計者はチップ下を通して配線し、このコンデンサを共有することができます。

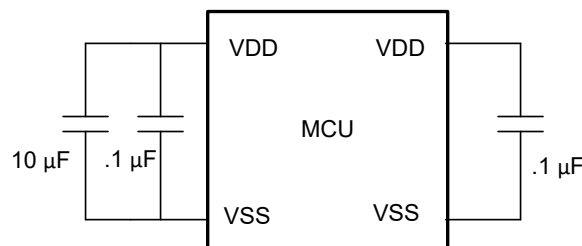


図 2-3. 電源デカップリング回路

## 2.5 VBAT 用の推奨デカップリング回路

低周波サブシステム (LFSS) 内のいずれかの周辺機能を使用するには、VBAT ピンに外部電圧を供給する必要があります。これは VDD、または別の電源でも構いません。

TI は、VBAT ピンに 1 $\mu$ F のデカップリング コンデンサを接続することを推奨しています (VBAT デカップリング回路 を参照)。より値の大きいコンデンサを使用することもできますが、電源レールの立ち上がり時間に影響を及ぼす可能性があります。デカップリング コンデンサは、デカップリングするピンのできるだけ近く (数 mm 以内) に配置する必要があります。



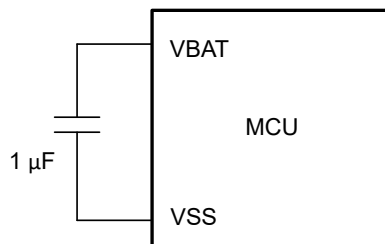


図 2-4. VBAT デカップリング回路

### 3 リセットおよび電源スーパーバイザ

#### 3.1 デジタル電源

このデバイスには 5 つのリセット レベルがあります。

- パワーオン リセット (POR)
- 電圧低下リセット (BOR)
- ブートリセット (BOOTRST)
- システム リセット (SYSRST)
- CPU リセット (CPURST)

リセット レベル間の関係の詳細については、[MSPM33 C シリーズ 160MHz マイコン](#) テクニカル リファレンス マニュアル (TRM) を参照してください。

コールド スタート後、NRST ピンは NRST モードに設定されます。デバイスが正常に起動するには、NRST ピンが HIGH である必要があります。NRST には内部プルアップ抵抗はありません。外部回路 (VDD へのプルアップ抵抗またはリセット制御回路) は、デバイスを起動するために NRST をアクティブに HIGH にする必要があります。手動リセットには、コンデンサとオープン ボタンが必要です (図 3-1 を参照)。デバイスが起動した後、持続時間が 1 秒未満の NRST の low パルスにより、BOOTRST がトリガされます。NRST に 1 秒を超える低パルスが入力されると、POR がトリガされます。

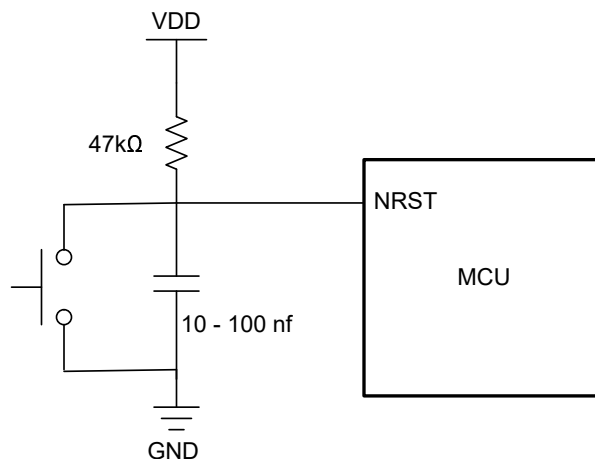


図 3-1. NRST 推奨回路

#### 3.2 電源スーパーバイザ

##### パワーオン リセット (POR) モニタ

パワーオン リセット (POR) モニタは外部電源 (VDD) を監視し、SYSCTL に対する POR 違反をアサートまたはデアサートします。コールド パワーアップ時には、VDD が POR+ を通過するまでデバイスは POR 状態に保持されます。VDD が POR+ に合格すると、POR 状態が解放され、バンドギャップ リファレンスと BOR モニタ回路が開始されます。VDD が POR レベルを下回ると、POR 違反がアサートされ、デバイスは再度 POR リセット状態に保持されます。



POR モニタは、VDD がデバイスの正常な動作をサポートするのに十分なレベルに達したことを示していません。これはブートプロセスの最初のステップであり、電源電圧がバンドギャップリファレンスと BOR 回路の電源オンに十分であるかどうかを判定するために使用されます。これを使用して、デバイスが正常に動作するのに十分なレベルに電源が達しているかどうかを判定します。POR モニタはシャットダウンを含むすべての電力モードでアクティブであり、ディスエーブルすることはできません。(POR トリガ波形を図 3-2 に示します)。

## ブラウンアウトリセット (BOR) モニタ

ブラウンアウトリセット (BOR) モニタは外部電源 (VDD) を監視し、SYSCTL に対する BOR 違反をアサートまたはデアサートします。BOR 回路の主な役割は、コアレギュレータを含む内部回路が正常に動作できるように、外部電源を十分に高く維持することです。BOR スレッショルド基準電圧は、内部バンドギャップ回路から得られます。スレッショルドはプログラム可能で、常に POR スレッショルドよりも高くなります。コールドスタート時に、VDD が POR+ スレッショルドを超えると、バンドギャップリファレンスと BOR 回路が開始されます。その後、VDD が BOR0+ スレッショルドを通過するまで、デバイスは BOR 状態に保持されます。VDD が BOR0+ を通過すると、BOR モニタはデバイスを解放してブートプロセスを続行し、PMU を開始します。(BOR トリガ波形を図 3-2 に示します)。

## 電源変更時の POR および BOR 動作

電源電圧 (VDD) が POR- を下回ると、デバイス全体の状態がクリアされます。BOR0- スレッショルドを下回っていない VDD の小さな変動は BOR 違反を引き起こさず、デバイスは引き続き動作します。BOR 回路は、BOR リセットを直ちにトリガするのではなく、割り込みを生成するように構成されています。ブラウンアウトリセットは、BOR0 レベルを横切った場合にのみトリガされます。詳細は、[MSPM33 C-Series 160MHz マイコンのテクニカルリファレンスマニュアル](#)内の電源変動時の POR および BOR の動作セクションを参照してください。

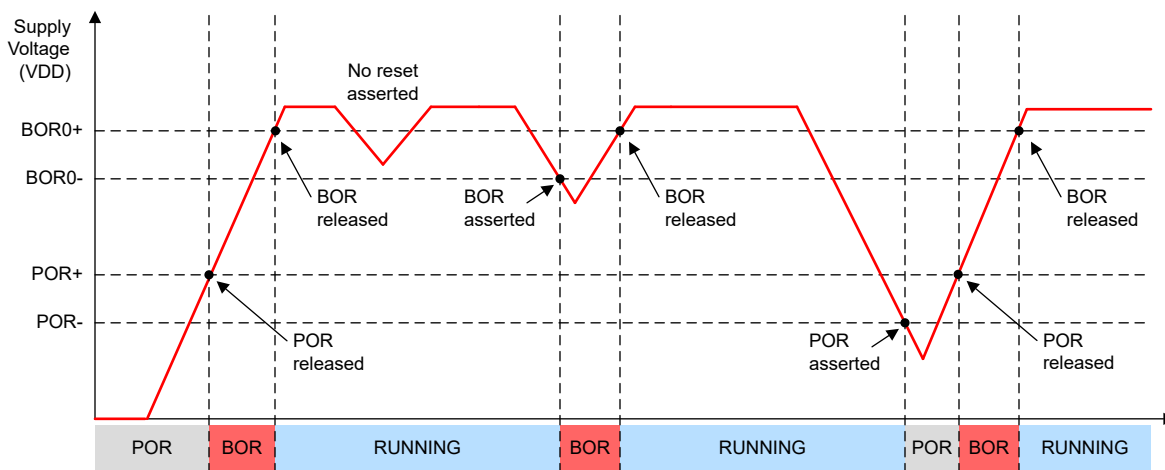


図 3-2. POR および BOR と電源電圧 (VDD) の関係

## 4 クロック システム

MSPM33C シリーズのクロック システムには、内部発振器、クロック モニタ、クロック選択および制御ロジックが含まれています。

このセクションでは、さまざまな MSPM33C ファミリー デバイスのクロック リソースと、外部信号またはデバイスとの相互作用について説明します。

### 4.1 内部発振器

#### 内部低周波数発振器 (LFOSC)

LFOSC はオンチップの低消費電力発振器で、32.768kHz の周波数に工場で調整されています。システムの低消費電力化に役立つ低周波数クロックを提供します。この発振器は、VBAT 電源レールを介して LFSS が適切に給電されている場合にのみ使用可能です。LFOSC は、低い温度範囲で使用する場合、より高い精度を実現できます。詳細については、デバイス固有のデータシートを参照してください。

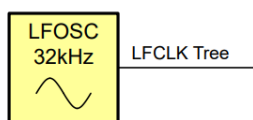


図 4-1. MSPM33C シリーズ LFOSC

#### 内部システム発振器 (SYSOSC)

SYSOSC は、オンチップで高精度かつ設定可能な発振器であり、工場出荷時にトリミングされた 32MHz (基本周波数) および 4MHz (低周波数) の周波数を備えています。コードの実行と処理性能のために CPU を高速で動作させるための高周波クロックを提供します。SYSOSC にはフィードバック ループ (FCL) も備わっており、これを有効にすると精度が向上します。FCL を有効 / 無効にした場合の SYSOSC の性能については、デバイス固有のデータシートを参照してください。

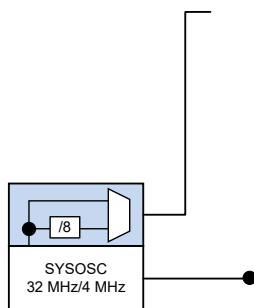


図 4-2. MSPM33C シリーズ SYSOSC

#### システム フェーズ ロック ループ (SYSPLL)

SYSPLL は、プログラム可能な周波数を備えたシステム フェーズ ロック ループであり、MSPM33C シリーズの最高速度 (160MHz) を達成するために使用されます。

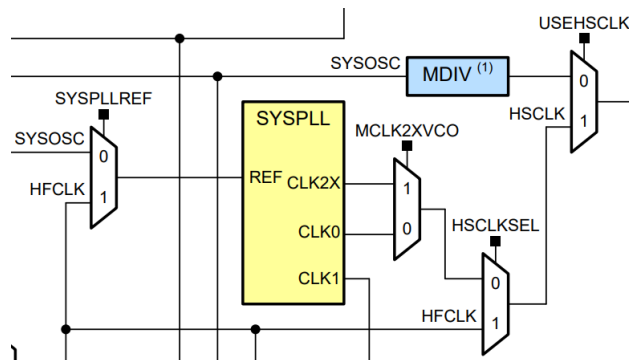


图 4-3. MSPM33C SYSPLL 回路

## 4.2 外部発振器

デバイスと温度の間でクロック精度をさらに向上させる必要があるアプリケーションでは、外部発振器を使用できます。LFXT は LFOSC を置き換え、HFXT は SYSOSC を置き換えることができます。

### 低周波数水晶発振器 (LFXT)

LFXT は超低消費電力の水晶発振器で、標準の 32.768kHz ウォッチ クリスタルの駆動をサポートしています。LFXT を使用するには、LFXIN ピンと LFXOUT ピンの間にウォッチ クリスタルを実装します。LFXIN ピンと LFXOUT ピンの両方に負荷コンデンサを配置して、回路グラウンド (VSS) に接続します。使用する水晶振動子の仕様に従って、水晶負荷コンデンサのサイズを変更します。プログラマブルなドライブ強度メカニズムにより、さまざまな種類の水晶振動子がサポートされています。LFXT は LFSS を介して給電されるため、LFXT を使用するには VBAT ピンに電源を供給する必要があります。レイアウトに関する推奨事項については、[セクション 9](#) を参照してください。

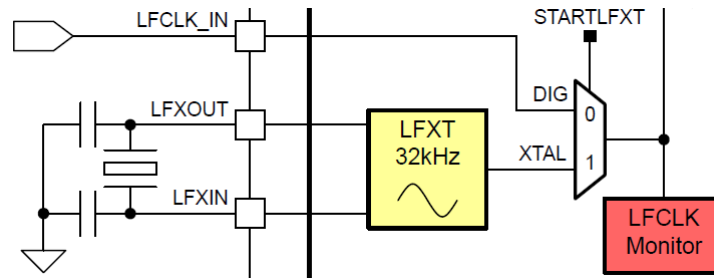


図 4-4. MSPM33C LFXT 回路

### LFCLK\_IN (デジタル クロック)

LFXT 回路はバイパス可能で、標準周波数 32.76kHz のデジタル クロックをデバイスに供給して、LFCLK ソースとして使用できます。LFCLK\_IN と LFXT は相互に排他的であり、同時にイネーブルにすることはできません。

LFCLK\_IN は、デジタル方形波 CMOS クロック入力と互換性があり、標準デューティ サイクルは 50% です。LFCLK モニタを有効にすることで、LFCLK\_IN の有効なクロック信号を確認できます。LFXT が開始されていない場合、LFCLK モニタはデフォルトで LFCLK\_IN をチェックします。

### 高周波数水晶発振器 (HFXT)

高周波数水晶発振器 (HFXT) は、4 ~ 48MHz の範囲の標準的な水晶振動子や共振器と組み合わせて使用することができます。システム用に安定した高速リファレンス クロックを生成できます。

HFXT を使用するには、HFXTIN ピンと HFXTOUT ピンの間に水晶振動子または共振器を実装します。負荷コンデンサを両方のピンに配置して、回路グラウンド (VSS) に接続します。使用する水晶振動子の仕様に従って、水晶負荷コンデンサのサイズを変更します。HFXT の起動時間をプログラム可能で、64μs の分解能を実現しています。VBOOST は HFXT でも使用されますが、HFXT が HFCLK のクロック源として選択された場合に有効になります。レイアウトに関する推奨事項については、[セクション 9](#) を参照してください。

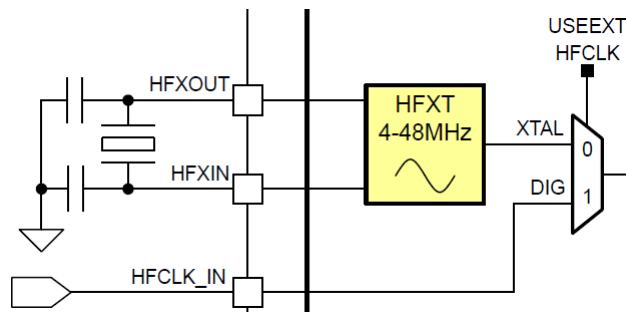


図 4-5. MSPM33C HFXT 回路

## HFCLK\_IN (デジタル クロック)

HFXT 回路をバイパスし、4 ~ 48MHz の標準周波数デジタル クロックをデバイスに入力して、HFXT ではなく HFCLK ソースとして使用することもできます。HFCLK\_IN と HFXT は相互に排他的であり、同時にイネーブルにすることはできません。

HFCLK\_IN は、デジタル方形波 CMOS クロック入力と互換性があり、標準デューティ サイクルは 50% です。

## 4.3 外部クロック出力 (CLK\_OUT)

クロック出力ユニットは、デバイスから外部回路または周波数クロック カウンタにデジタル クロックを送信できます。この機能は、クロック ソースを持たない外部 ADC などの外部回路へのクロック供給に役立ちます。クロック出力ユニットには、選択可能なソースの柔軟なセットがあり、プログラマブルな分周器が含まれています。

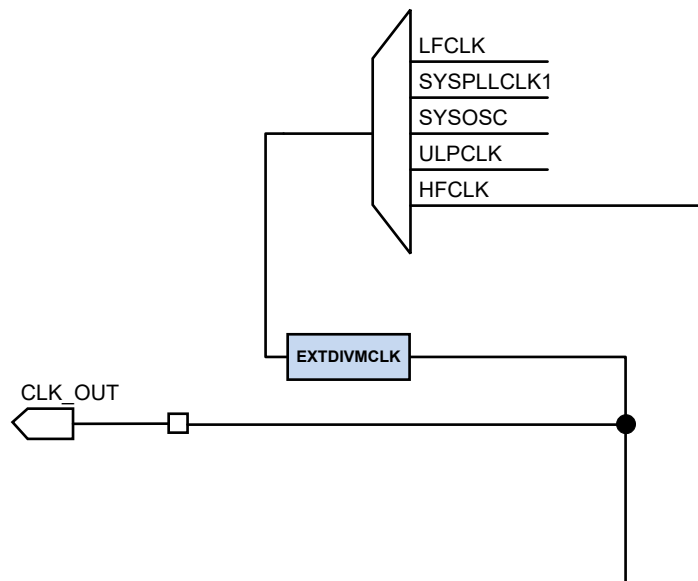


図 4-6. MSPM33C 外部クロック出力

CLK\_OUT で使用可能なクロック ソース:

- SYSPLLCLK1
- HFCLK
- SYSOSC
- ULPCLK
- LFCLK

選択したクロック ソースは、ピンまたは周波数クロック カウンタに出力する前に、1、2、4、6、8、10、12、14、または 16 で分周できます。

## 4.4 周波数クロック カウンタ (FCC)

周波数クロック カウンタ (FCC) を使用すると、デバイス上の各種発振器とクロックのテストとキャリブレーションを柔軟にインシステムで実施できます。FCC は、(2 次基準ソースから派生した) 既知の固定トリガ期間内に、選択したソース クロックで観測されるクロック周期の数をカウントし、ソース クロックの周波数を推定します。

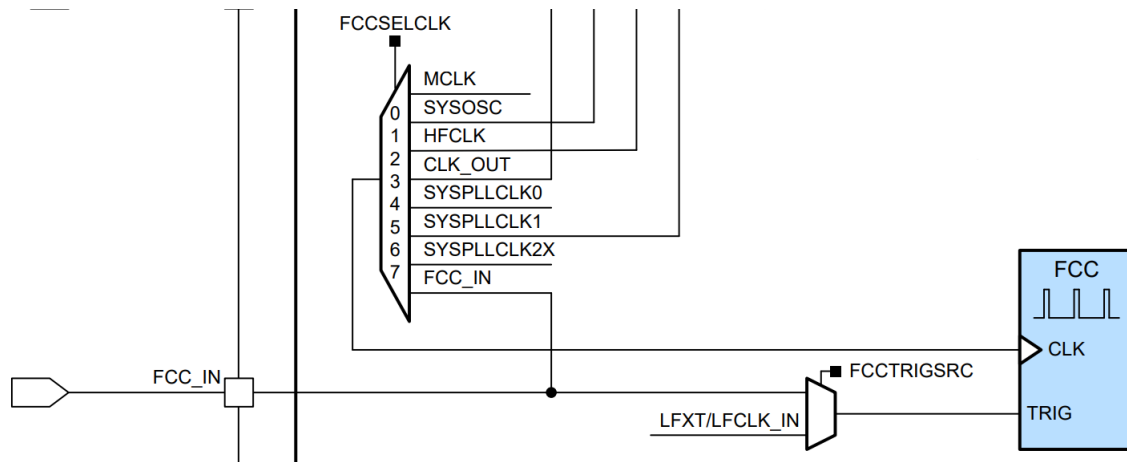


図 4-7. MSPM33C 周波数クロック カウンタのブロック図

アプリケーション ソフトウェアは、FCC を使用して、以下の発振器とクロックの周波数を測定できます。

- MCLK
- SYSOSC
- HFCLK
- CLK\_OUT
- SYSPLLCLK0
- SYSPLLCLK1
- SYSPLLCLK2X
- 外部 FCC 入力 (FCC\_IN)

### 注

外部 FCC 入力 (FCC\_IN 機能) は FCC クロック ソースまたは FCC トリガ入力として使用できますが、同じ FCC キャプチャ中に両方の機能に使用することはできません。FCC クロック ソースまたは FCC トリガとして構成する必要があります。

## 5 デバッグ

デバッグ サブシステム (DEBUGSS) は、シリアル ワイヤ デバッグ (SWD) の 2 線式物理インターフェイスを、デバイス内の複数のデバッグ機能に接続します。MSPM33C デバイスは、プロセッサの実行、デバイスの状態、電力状態 (EnergyTrace テクノロジーを使用) のデバッグをサポートしています。

### 5.1 デバッグ ポートのピンとピン配置

デバッグ ポートには、内部プルダウン抵抗とプルアップ抵抗を備えた (表 5-1 を参照) SWCLK と SWDIO が含まれています (図 5-1 を参照)。MSPM33C MCU ファミリーは、さまざまなピン数のさまざまなパッケージで提供されています。詳細については、デバイス固有のデータシートをご覧ください。

表 5-1. MSPM33C デバッグ ポート

デバイス信号	方向	SWD 機能
SWCLK	入力	デバッグ プローブからのシリアル ワイヤ クロック
SWDIO	入力 / 出力	双方向 (共有) シリアル ワイヤ データ

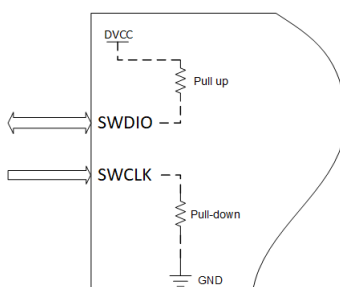


図 5-1. MSPM33C SWD 内部プル

### 5.2 標準 JTAG コネクタを使用したデバッグ ポート接続

図 5-2 に、MSPM33C ファミリー MCU SWD デバッグ ポートと標準 JTAG コネクタの接続を示します。

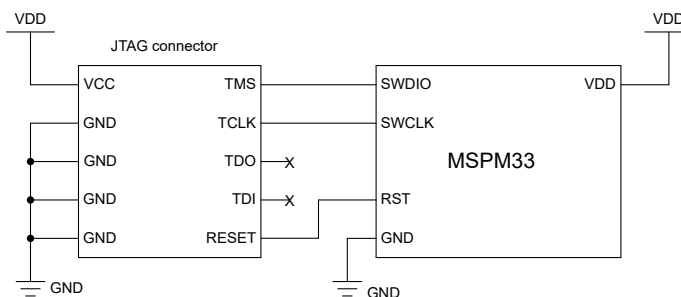


図 5-2. JTAG および MSPM33C 接続

MSPM33C デバイスの場合、XDS110 を使用してデバッグ / ダウンロード機能を実装できます。ここに XDS110 の内容のリストと、ハードウェアのインストール手順を示します。

#### 標準 XDS110

標準 XDS110 は、[ti.com](http://ti.com) から購入できます。図 5-3 に、XDS110 プローブの主要な機能領域とインターフェイスの概略図を示します。



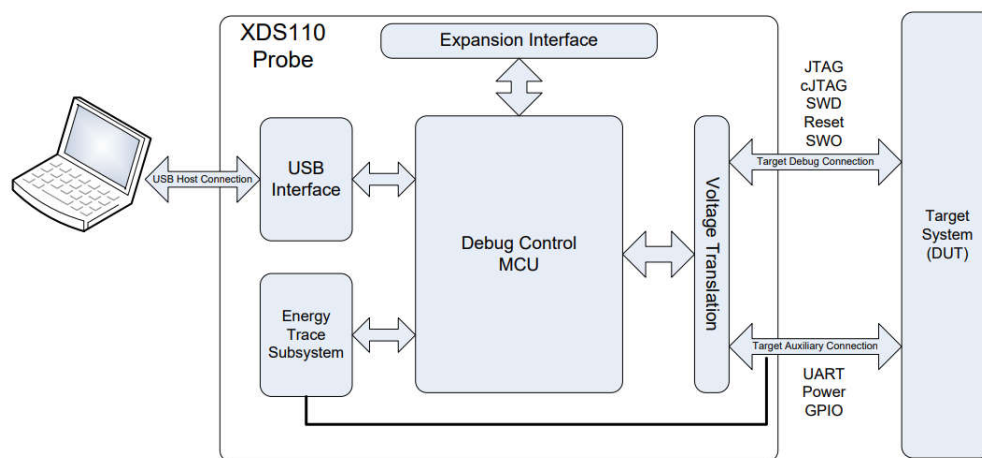


図 5-3. XDS110 プロブの高レベル ブロック図

XDS110 の詳細については、『[XDS110 デバッグ プロブ ユーザー ガイド](#)』を参照してください。

### Lite XDS110 (MSPM33C LaunchPad 開発キット)

MSPM33C LaunchPad キットには、XDS110-ET (Lite) 回路が含まれています。このデバッガを使用して、ファームウェアを MSPM33C デバイスにダウンロードできます。図 5-4 に、XDS110-ET 回路を示します。

XDS110-ET には 2 つのプロブがあります：

**2.54mm プロブ:**このポートは SWD プロトコルをサポートし、5V または 3.3V の電源を内蔵しています。SWDIO SWCLK 3V3 GND をボードに接続し、ファームウェアを MSPM33C デバイスにダウンロードできます。

また、このプロブは **EnergyTrace** テクノロジーもサポートしており、消費電力をリアルタイムで正確に測定できます。

EnergyTrace テクノロジーの詳細については、[EnergyTrace テクノロジー ツール ページ](#) を参照してください。

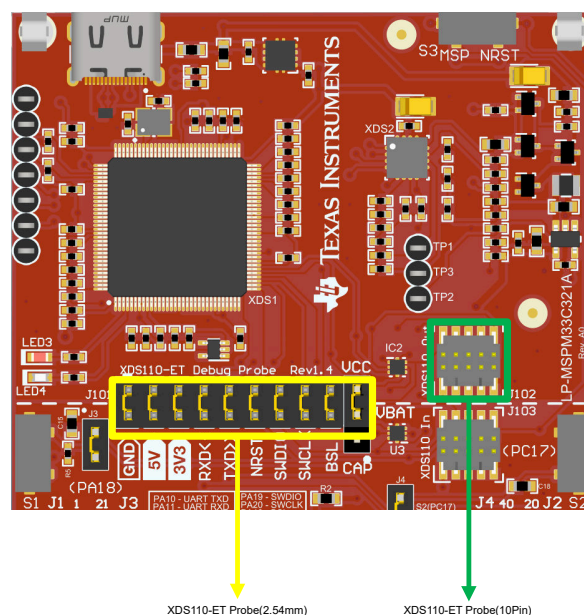


図 5-4. XDS110-ET 回路

**10 ピン プロブ:**このポートは JTAG および SWD プロトコルをサポートしており、3.3V 電源を内蔵しています。10 ピン ケーブルを使用してボードと XDS110-ET を接続し、ファームウェアを MSPM33C デバイスにダウンロードできます。図 5-5 に、10 ピン ケーブルを示します。



**図 5-5. Arm 標準 10 ピン ケーブル**

**注**

- 標準 XDS110 はデバッグ ポートのレベル シフトをサポートしており、XDS110-ET は 3.3V のプローブ レベルのみをサポートしています。
- XDS110 には電流駆動能力が制限された LDO が内蔵されているため、テキサス インストルメンツでは、MSPM33C MCU 以外の他のデバイスへの電力供給に XDS110 を使用することはお勧めしません。
- XDS110-ET 2.54mm プローブは JTAG プロトコルをサポートしていません。
- XDS110-ET 10 ピン プローブは EnergyTrace テクノロジーをサポートしていません。

## 6 主要なアナログペリフェラル

MSPM33C シリーズ MCU には、チップ内で多くのアナログ シグナル コンディショニング機能を実現できるアナログ ペリフェラル リソースが含まれています。MSPM33C のアナログ ペリフェラルの性能を最大限に活用するには、ハードウェア設計でいくつかの検討事項を考慮する必要があります。この章では、多くの代表的なアナログ回路構成に関するアナログ設計上の考慮事項について説明します。

### 6.1 ADC 設計の検討事項

MSPM33C デバイスには、12 ビット、最大 8Msps の A/D コンバータ (ADC) が搭載されています。この ADC は、12 ビットの逐次比較型コア、サンプリング / 変換モード制御、最大 12 個の独立した変換 / 制御バッファを実装しています。

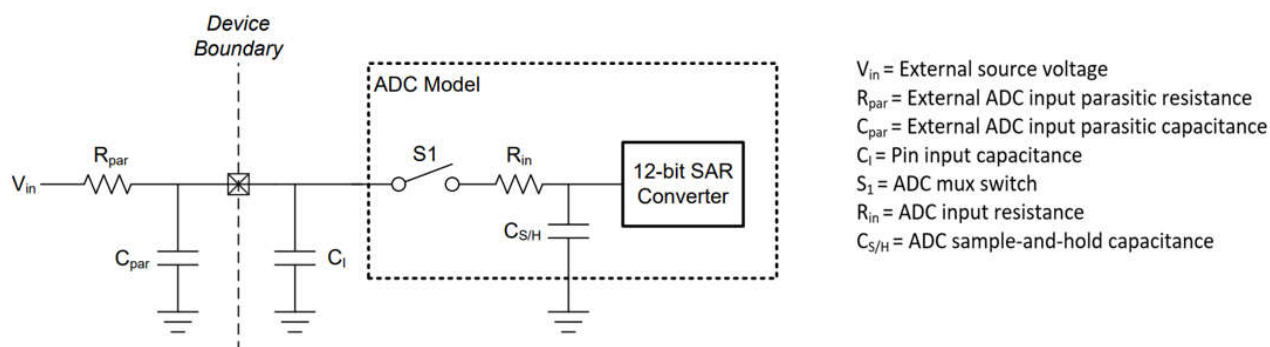


図 6-1. ADC 入力ネットワーク

希望の変換速度を達成し、高精度を維持するには、ハードウェア設計で適切なサンプリング時間を確保してください。サンプリング (サンプル アンド ホールド) 時間は、デジタル変換前に信号をサンプリングする時間を決定します。サンプル時間中は、内部スイッチにより入力コンデンサを充電できます。コンデンサを完全に充電するために必要な時間は、ADC 入力ピンに接続されている外部アナログ フロント エンド (AFE) に依存します。図 6-1 に MSPM33C MCU の代表的な ADC モデルを示します。R<sub>in</sub> と C<sub>S/H</sub> の値は、デバイス固有のデータシートから取得できます。AFE 駆動能力を理解し、信号のサンプリングに必要な最小サンプリング時間を計算してください。R<sub>Par</sub> と R<sub>in</sub> の抵抗は t<sub>sample</sub> に影響を及ぼします。式 1 は、n ビット変換の最小サンプル時間 t<sub>sample</sub> の安全な値を計算するために使用できます。

$$t_{\text{sample}} \geq (R_{\text{par}} + R_{\text{in}}) \times \ln(2^{n+2}) \times (C_{\text{S/H}} + C_1 + C_{\text{Par}}) \quad (1)$$

連続高速 (8Msps) ADC の性能を評価するには、十分な信号ソース駆動能力を確保するために、テキサス インストルメンツは外部バッファを追加することをお勧めします。設計リファレンスとして、LP-MSPM33C321A のハードウェア設計を参照してください。

### 6.2 COMP 設計の検討事項

MSPM33C コンパレータ モジュール (COMP) は、汎用コンパレータ機能を備えたアナログ電圧コンパレータです。

COMP モジュールには内部および外部入力が含まれており、アナログ信号を柔軟に処理するために使用できます。内部温度センサは、COMP への直接入力として使用できます。

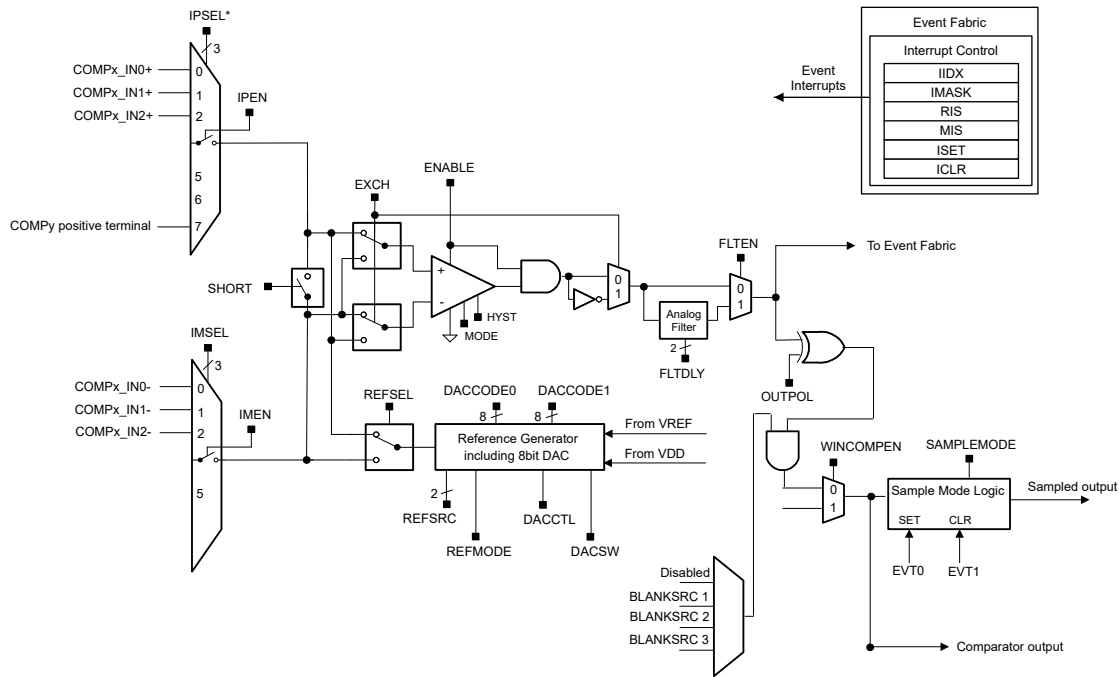


図 6-2. コンパレータの図

また、MSPM33C コンパレータ モジュールは 2 つの COMP を組み合わせて、ウィンドウ コンパレータ機能を実装しています。図 6-3 に示すように、COMP0 と COMP1 を組み合わせて構成し、ウィンドウ コンパレータを作成することができます。この構成では、入力信号が互いに接続されたコンパレータの正の端子に接続され、上側と下側のスレッショルド電圧がコンパレータの負の端子に接続されます。

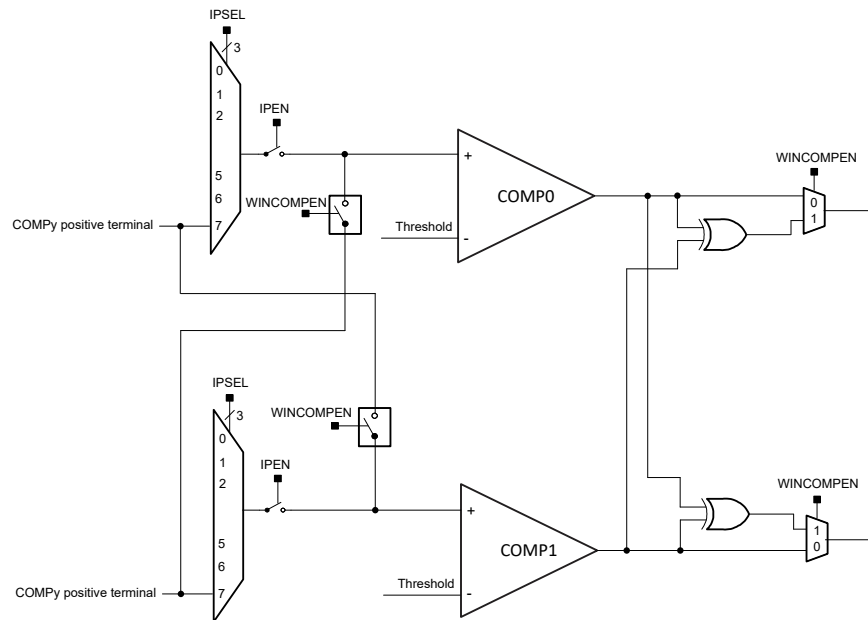


図 6-3. ウィンドウ コンパレータ モード

COMP モジュールには、コンパレータの単純なサンプル アンド ホールドの構築に使用できる短いスイッチも含まれています。

図 6-4 に示すように、必要なサンプリング時間はサンプリング コンデンサ (CS) のサイズ、短いスイッチ (R-) と直列に接続された入力スイッチの抵抗、外部ソース (RS) の抵抗に比例します。サンプリング コンデンサ CS は 100pF より大きい必要があります。サンプリング コンデンサ CS を充電する時定数  $\tau$  は、式 2 で計算できます。

$$T_{au} = (R_I + R_S) \times C_S \quad (2)$$

必要な精度に応じて、サンプリング時間として **3~10 Tau** を使用します。**3Tau** の場合、サンプリング コンデンサは入力信号の電圧レベルの約 **95%** まで充電されます。**5Tau** では、サンプリング コンデンサは **99%** 以上まで充電され、**10Tau** では、サンプリングされた電圧で **12 ビット** の精度を実現できます。

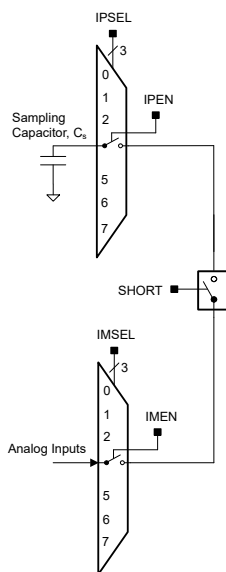


図 6-4. コンパレータ ショート スイッチ

## 7 主要なデジタル ペリフェラル

MSPM33C シリーズ マイコンには、タイマ、UART、SPI、MCAN、LIN などの豊富なデジタル周辺リソースが搭載されており、多彩な通信機能を提供します。MSPM33C のデジタル ペリフェラルを最大限に活用するには、ハードウェア設計でいくつかの検討事項を考慮する必要があります。この章では、多くの標準的なデジタル ペリフェラル構成に関する設計上の考慮事項について説明します。

### 7.1 タイマ リソースと設計の検討事項

タイマは、どの MCU でも最も基本的で重要なモジュールの 1 つであり、このリソースはすべてのアプリケーションで使用されています。タスクの定期的な処理、遅延、デバイス駆動用の PWM 波形の出力、外部パルスの幅と周波数の検出、波形出力のシミュレーションなどに使用できます。

MSPM33C シリーズ MCU には、アドバンスド タイマ (TIMA) と汎用タイマ (TIMG) の 2 種類のタイマ モジュールが搭載されています。TIMA と TIMG はタイマ カウント モジュールで、入力信号のエッジと期間の測定 (キャプチャ モード) や、PWM 信号のような出力波形の生成 (比較モード出力) など、さまざまな機能に使用できます。ただし、TIMA には、デッドバンド挿入機能を備えた相補型 PWM などの追加機能が追加されています。表 7-1 と表 7-2 に、各タイマのさまざまな機能と構成の概要を示します。

表 7-1. TIMA インスタンスの構成

インスタンス	パワー ドメイン	カウンタ分解能	プリスケアラ	リポート カウンタ	CCP チャネル	位相負荷	シャドウ負荷	パイプライン CC	デッドバンド	フォールト ハンドラ	QEI
TIMA0	PD1	16 ビット	8 ビット	8 ビット	4	あり	あり	あり	あり	あり	-
TIMA1	PD1	16 ビット	8 ビット	-	2	あり	あり	あり	あり	あり	-

表 7-2. TIMG インスタンスの構成

インスタンス	パワー ドメイン	カウンタ分解能	プリスケアラ	リポート カウンタ	CCP チャネル	位相負荷	シャドウ負荷	シャドウ CC	デッドバンド	フォールト ハンドラ	QEI / ホール入力モード
TIMG0	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	-
TIMG1	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	-
TIMG2	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	-
TIMG3	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	-
TIMG4	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	あり	あり	-	-	-
TIMG5	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	あり	あり	-	-	-
TIMG6	PD1	16 ビット	8 ビット	-	2	-	あり	あり	-	-	-
TIMG7	PD1	16 ビット	8 ビット	-	2	-	あり	あり	-	-	-
TIMG8	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	あり
TIMG9	PD0	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	あり
TIMG10	PD1	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	あり
TIMG11	PD1	16 ビット	8 ビット	-	2	-	-	-	-	-	あり
TIMG12	PD1	32 ビット	-	-	2	-	-	あり	-	-	-
TIMG13	PD1	32 ビット	-	-	2	-	-	あり	-	-	-
TIMG14	PD0	16 ビット	8 ビット	-	4	-	-	-	-	-	-

- デバイス固有のデータシートを参照して、どの TIMG インスタンスがデバイスで使用可能なか確認します
- [MSPM33 C シリーズ 160MHz マイコン テクニカル リファレンス マニュアル](#)で、各 TIMG インスタンスで利用可能な機能を確認します

## 7.2 UART と LIN のリソースと設計の検討事項

MSPM33C シリーズのマイコンには、ユニバーサル非同期レシーバトランスミッタ (UART) が搭載されています。表 7-3 に示すように、UART 周辺機能には複数のバージョンがあり、LIN、DALI、IrDA、ISO7816、マンチェスター符号化機能をサポートするものがあります。

**表 7-3. UART の機能**

UART の機能	UART アドバンスト	UART メイン + Lin	UART メイン機能
送信 FIFO と受信 FIFO を分離	あり	あり	あり
ハードウェア フロー制御をサポート	あり	あり	あり
9 ビット構成をサポート	あり	あり	あり
LIN モードをサポート	あり	あり	-
DALI をサポート	あり	-	-
IrDA をサポート	あり	-	-
ISO7816 スマート カードをサポート	あり	-	-
マンチェスター符号化をサポート	あり	-	-

MSPM33C UART モジュールは、ほぼすべての UART アプリケーションのために、パワードメイン 1 で最高 10MHz のボー レートをサポートできます。

**表 7-4. MSPM33C UART 仕様**

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$f_{\text{UART}}$	UART 入力クロック周波数	パワードメイン 1 の UART			80	MHz
$f_{\text{UART}}$	UART 入力クロック周波数	パワードメイン 0 の UART			40	MHz
$t_{\text{SP}}$	入力フィルタにより抑制されるスパイクのパルス持続時間	AGFSELx = 0		6		ns
		AGFSELx = 1		14	35	ns
		AGFSELx = 2		22	60	ns
		AGFSELx = 3		35	90	ns

ローカル相互接続ネットワーク (LIN) は一般的に使用される低速ネットワーク インターフェイスで、複数のリモートレスポンス ノードと通信するコマンド ノードで構成されています。通信に必要なのは 1 本のワイヤのみであり、一般的に車両の配線ハーネスに含まれています。

TLIN1021A-Q1 のトランスミッタは最大 20kbps のデータ レートをサポートしています。本トランシーバは、TXD ピン経由で LIN バスの状態を制御し、オープンドレインの RXD 出力ピンでバスの状態を報告します。このデバイスは、電磁放射 (EME) を低減するために電流制限付き波形整形ドライバを備えています。

TLIN1021A-Q1 は、広い入力電圧動作範囲の 12V アプリケーションに対応するように設計されています。このデバイスは低消費電力スリープ モードと、wake over LIN、WAKE ピン、EN ピンによる低消費電力モードからのウェークアップをサポートしています。このデバイスを使用すると、ノードに存在する可能性がある各種電源を TLIN1021A-Q1 の INH 出力ピンで選択的に有効にすることで、バッテリーの消費電流をシステム レベルで低減できます。図 7-1 に、テキサス・インスツルメンツ TLIN1021A LIN トランシーバを使用して実装されている代表的なインターフェイスを示します。



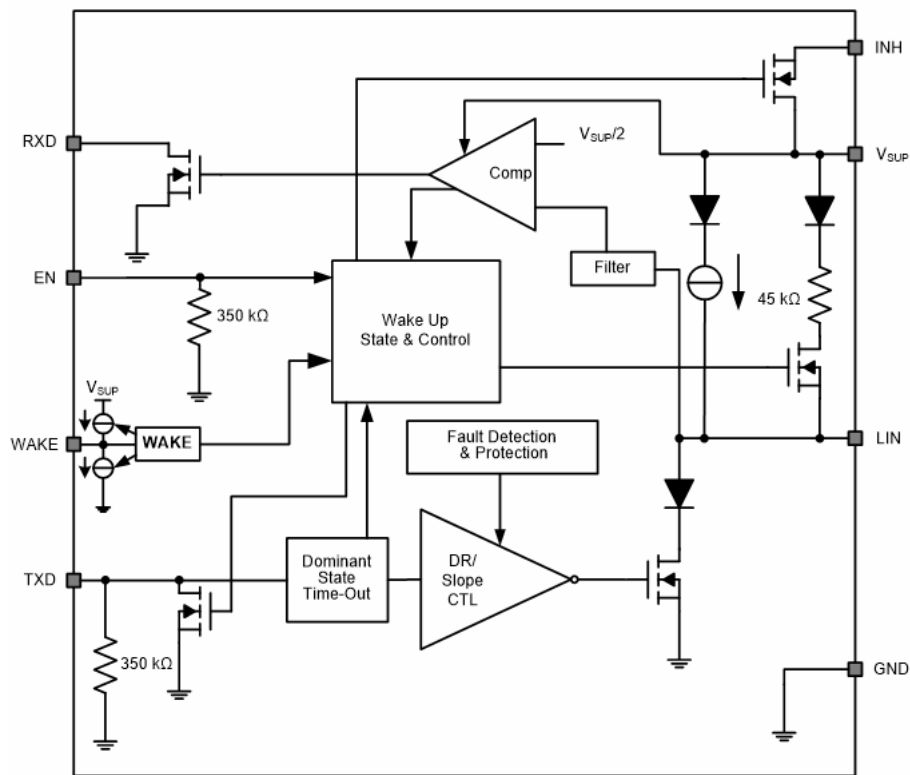


図 7-1. 標準的な LIN TLIN1021A トランシーバ

通信に必要なのは 1 本のワイヤのみであり、一般的に車両の配線ハーネスに含まれています。図 7-2 と 図 7-3 に、テキサス インスツルメンツの TLIN1021A LIN トランシーバを使用して実装されている代表的なインターフェイスを示します。詳しくは、『[TLIN1021A-Q1 故障保護 LIN トランシーバ、インビットおよびウェイク付き](#)』データシートを参照してください。

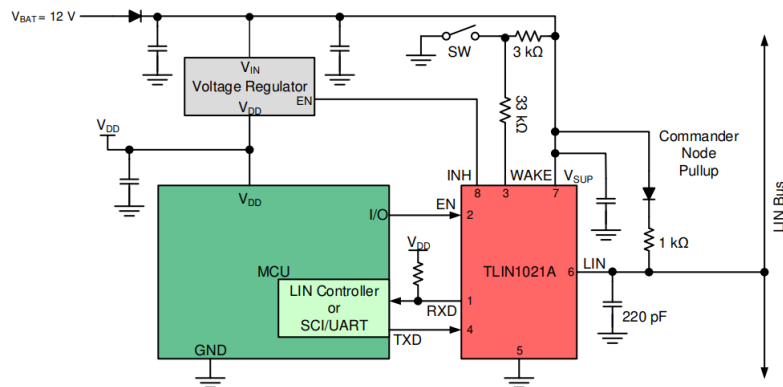


図 7-2. MSPM33C を使用した代表的な LIN アプリケーション (コマンド)

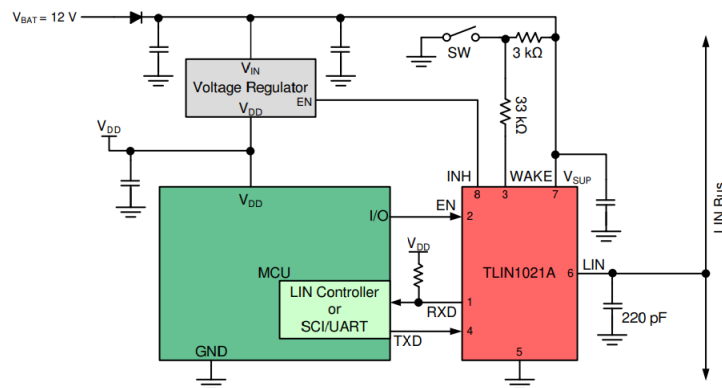


図 7-3. MSPM33C を使用した代表的な LIN アプリケーション (レスポンド)

### 7.3 MCAN 設計の検討事項

コントローラ エリア ネットワーク (CAN) は、高い信頼性で分散リアルタイム制御を効率的にサポートするシリアル通信プロトコルです。CAN は電氣的干渉に対する高い耐性を持ち、さまざまな種類のエラーを検出できます。CAN では、多くのショートメッセージがネットワーク全体にブロードキャストされるため、システムのすべてのノードでデータの整合性が確保されます。

MCAN モジュールは、従来型の CAN と CAN FD (CAN とフレキシブル データレート) の両方のプロトコルをサポートしています。CAN FD 機能により、データフレームあたりのスループットが向上し、ペイロードが増加します。従来型の CAN デバイスと CAN FD デバイスは、バス エラーを生成せずに CAN FD を検出および無視できる部分的ネットワークトランシーバが従来型の CAN デバイスで使用されている場合、競合なしで同じネットワーク上に共存できます。MCAN モジュールは、ISO 11898-1:2015 に準拠しています。

一部の MSPM33C デバイスには、MCAN および LIN モジュールが含まれています。CAN および LIN バスに通常接続するには、図 7-4 に示すように、外部 MCAN トランシーバまたは LIN トランシーバが必要です。

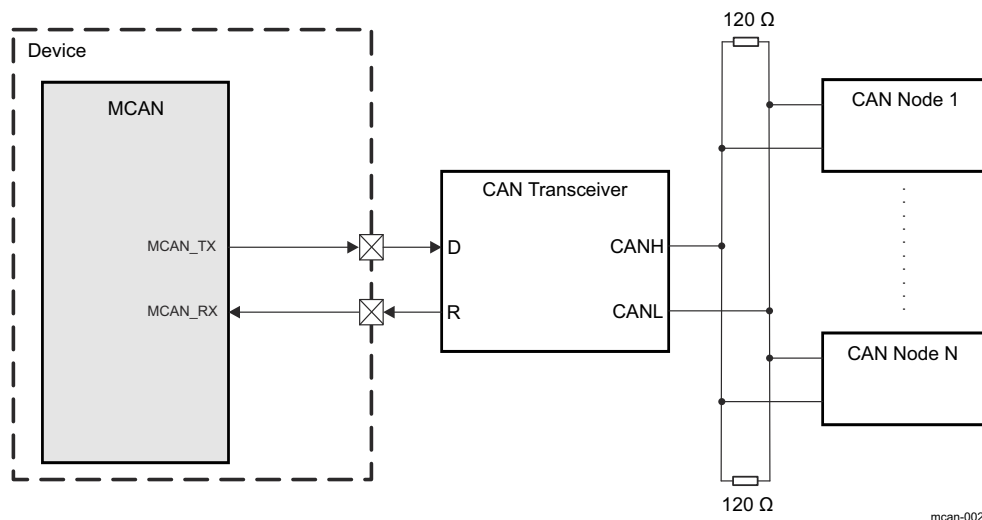


図 7-4. MCAN の代表的なバス配線

TCAN1042GV は CAN トランシーバで、ISO11898-2 (2016) 高速 CAN (コントローラ エリア ネットワーク) の物理層規格に適合しています。最大 5Mbps (メガビット/秒) の CAN FD ネットワークで使用でき、I/O レベルの 2 次電源入力により入力ピンのスレッショルドと RXD 出力レベルをシフトできます。このデバイスは、リモート ウェイク要求機能により、スタンバイモードで低い消費電力を実現しています。さらに、デバイスとネットワークの堅牢性の強化のため、このデバイスに多くの保護機能が組み込まれています。図 7-5 は、リファレンス デザイン回路を含みます。詳細については、『TCAN1042-Q1 車載、故障保護、CAN FD 付き CAN トランシーバ』データシートを参照してください。

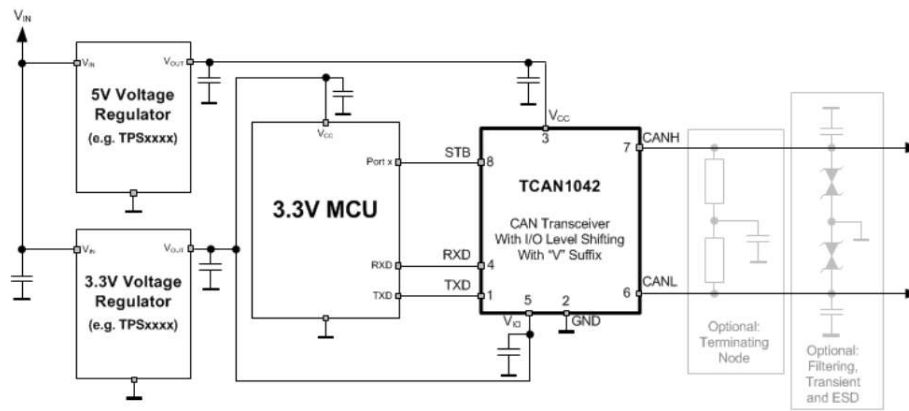


図 7-5. MSPM33C を使用した代表的な CAN バス アプリケーション

## 7.4 I2C と SPI 設計の検討事項

SPI と I2C の各プロトコルは、MCU とセンサ間のデータ交換など、デバイスまたはボード間の通信に広く使用されています。MSPM33C シリーズ MCU は、最大 40MHz の高速 SPI を搭載しており、3 線式、4 線式、チップ セレクト、コマンド モードをサポートしています。特定の要件に基づいてシステムを設計するには、[図 7-6](#) を参照してください。MSPM33C がサポートできる SPI モジュールのさまざまなバリエーションの詳細については、[表 7-5](#) を参照してください。

表 7-5. SPI 機能

SPI 機能	高度	最小
コントローラ モードとペリフェラル モード	あり	あり
パリティ関数	あり	あり
反復モードの転送をサポート	あり	-
受信タイムアウトをサポート	あり	-
コマンド/データ制御をサポート	あり	-
4 つのチップ セレクトサポート	あり	-

一部の SPI ペリフェラル デバイスは、PICO (ペリフェラル入力コントローラ出力) を高ロジックに維持する必要があります。外付けデバイスで必要な場合は、PICO ピンにプルアップ抵抗を追加します。

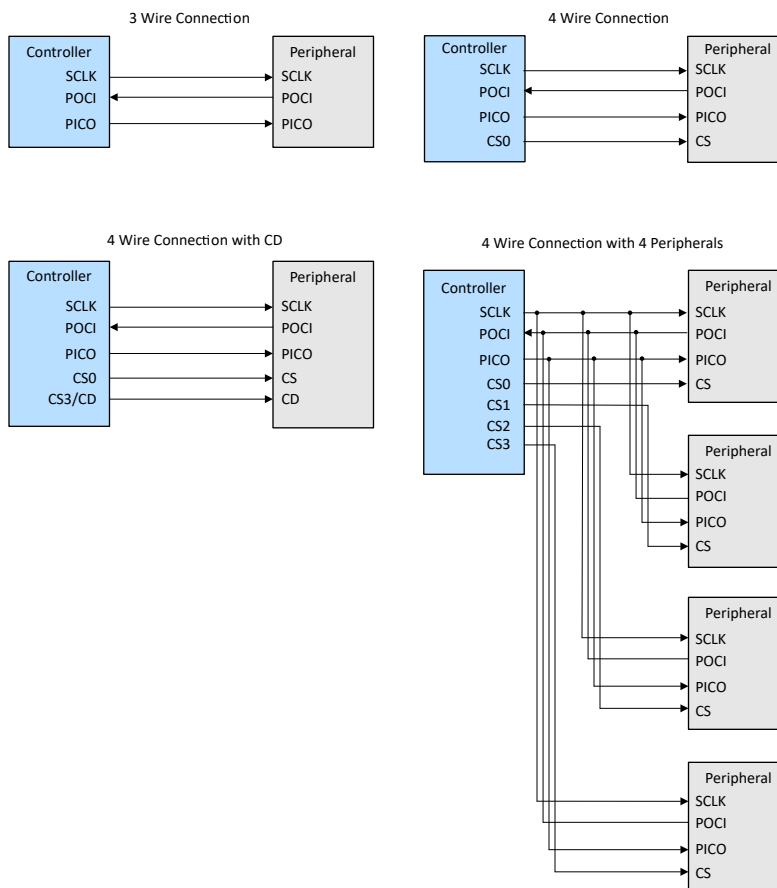


図 7-6. 異なる SPI 構成に対する外部接続

I2C バスの場合、MSPM33C デバイスは 表 7-7 に示すように、標準、高速、および高速プラス モードをサポートします。MSPM33C がサポートできる I2C モジュールのさまざまなバリエーションの詳細については、表 7-6 を参照してください。

I2C バスを使用する場合は、外部プルアップ抵抗が必要です。これらの抵抗の値は I2C の速度に依存します。テキサス インストルメンツでは、高速プラス モードをサポートするために 2.2k を推奨します。消費電力に関するシステムでは、大きな抵抗値を使用できます。

表 7-6. I2C の特長

I2C の特長	高度	最小
標準モード (Sm) をサポート	あり	あり
高速モード (Fm) をサポート	あり	あり
高速モード プラス (Fm+) をサポート	あり	あり
アナログ グリッチ フィルタをサポート	あり	-
デジタル グリッチ フィルタをサポート	あり	あり
2 番目のターゲット アドレスとマスクをサポート	あり	-
SMBus モードをサポート	あり	あり

表 7-7. MSPM33C I2C の特性

パラメータ		テスト条件	スタンダード モード		ファスト モード		ファスト モード プラス		単位
			最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	
f <sub>I2C</sub>	I2C 入力クロック周波数	パワー ドメイン 0 の I2C	40		40		40		MHz
		パワー ドメイン 1 の I2C	80		80		80		
f <sub>SCL</sub>	SCL クロック周波数		0.1		0.4		1		MHz
t <sub>HD,STA</sub>	(リピート) スタート ホールド時間		4		0.6		0.26		us
t <sub>LOW</sub>	SCL クロック Low 期間		4.7		1.3		0.5		us
t <sub>HIGH</sub>	SCL クロックの High 期間		4		0.6		0.26		us
t <sub>SU,STA</sub>	リピート スタート セットアップ時間		4.7		0.6		0.26		us
t <sub>HD,DAT</sub>	データ ホールド時間		0		0		0		us
t <sub>SU,DAT</sub>	データ セットアップ時間		250		100		50		us
t <sub>SU,STO</sub>	ストップ セットアップ時間		4		0.6		0.26		us
t <sub>BUF</sub>	STOP 条件と START 条件の間の バス フリー時間		4.7		1.3		0.5		us
t <sub>VD,DAT</sub>	データ有効時間		3.45		0.9		0.45		us
t <sub>VD,ACK</sub>	データ有効アクノリッジ時間		3.45		0.9		0.45		us

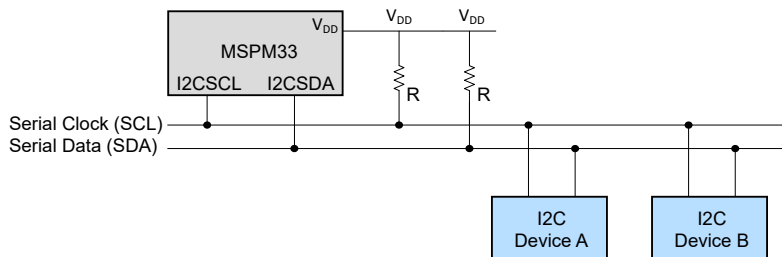


図 7-7. 代表的な I2C バス接続

## 7.5 I2S/ TDM 設計の検討事項

MSPM33C の I2S/TDM モジュールは、オーディオ データを送信するために使用される単方向のシリアル インターフェイスです。I2S は主に、オーディオ コーデック、ADC、DAC などの他のオーディオ インターフェイスとの通信に使用されます。MSPM33C では、I2S/TDM インターフェイスをターゲットまたはコントローラとして設定でき、どちらがビット クロックおよびワード クロックを駆動するかをプログラマが決定できます。

## 7.6 QSPI 設計の検討事項

QSPI ペリフェラルは、SPI の 2 本のデータラインの代わりに 4 本のデータラインを使用する単方向シリアル インターフェイスです。SPI モジュールと同様に、QSPI もチップの選択に関する複数のモードをサポートしており、1 つの QSPI インスタンスで複数のデバイスを制御できます。以下については、[図 7-8](#) セクションを参照してください

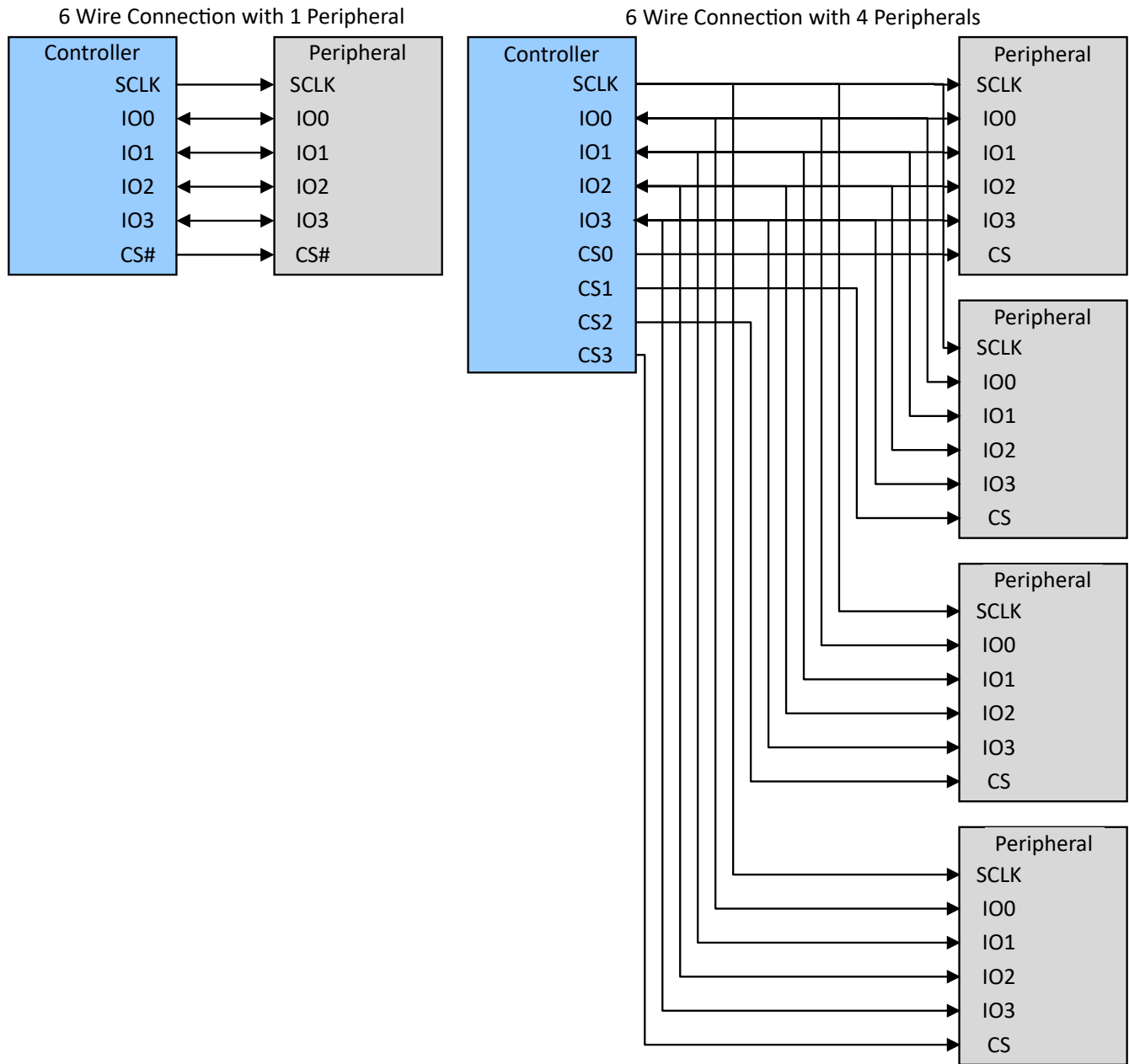


図 7-8. 異なる QSPI 構成に対する外部接続

## 8 GPIO

MSPM33C シリーズ マイコンには、標準ドライブ I/O (SDIO)、高ドライブ I/O (HDIO)、および高速 I/O (HSIO) が含まれています。ユーザーは、実際の要件に基づいて適切な I/O タイプを柔軟に選択できます。ハードウェア設計では、以下の特性を考慮する必要があります。

### 8.1 GPIO 出力のスイッチング速度と負荷容量

GPIO を I/O として使用する場合、正しい動作を検証するために設計上の検討事項を考慮する必要があります。負荷容量が大きくなると、I/O ピンの立ち上がりと立ち下がりの時間が長くなります。この容量には、ピンの寄生容量 ( $C_i = 5\text{pF}$  (標準値)) と基板のパターンの影響が含まれます。I/O 特性は、デバイス固有のデータシートに記載されています。表 8-1 に MSPM33C デバイスの I/O 出力周波数特性を示します。

表 8-1. MSPM33C GPIO のスイッチング特性

パラメータ		テスト条件		最小値	標準値	最大値	単位
$f_{\text{max}}$	ポート出力周波数	SDIO	$VDD \geq 1.71\text{V}$ , $C_L = 20\text{pF}$			16	MHz
			$VDD \geq 2.7\text{V}$ , $C_L = 20\text{pF}$			32	
		HSIO	$VDD \geq 1.71\text{V}$ , $DRV = 0$ , $C_L = 20\text{pF}$			16	
			$VDD \geq 1.71\text{V}$ , $DRV = 1$ , $C_L = 20\text{pF}$			24	
			$VDD \geq 2.7\text{V}$ , $DRV = 0$ , $C_L = 20\text{pF}$			32	
			$VDD \geq 2.7\text{V}$ , $DRV = 1$ , $C_L = 20\text{pF}$			40	
		HDIO	$VDD \geq 1.71\text{V}$ , $DRV = 0$ , $C_L = 20\text{pF}$			16	
			$VDD \geq 2.7\text{V}$ , $DRV = 0$ , $C_L = 20\text{pF}$			20	

#### 注

- 出力電圧は、指定されたトグル周波数で 10% 以上、90% VDD に達します。

### 8.2 GPIO 電流シンクおよびソース

表 8-2. MSPM33C GPIO 絶対最大定格

		最小値	公称値	最大値	単位
VDD	電源電圧	1.62		3.6	V
VCORE	VCORE ピンの電圧		1.35		V
$C_{VDD}$	VDD と VSS の間に配置されたコンデンサ		10		$\mu\text{F}$
$C_{VCORE}$	VCORE と VSS の間に配置されたコンデンサ		470		nF
$T_A$	周囲温度、T バージョン	-40		105	$^{\circ}\text{C}$
	周囲温度、S バージョン	-40		125	
$T_J$	最大接合部温度、T バージョン			125	$^{\circ}\text{C}$
$T_J$	最大接合部温度、S および Q バージョン			130	$^{\circ}\text{C}$
$f_{\text{MCLK}}$ (PD1 バス クロック)	MCLK、CPUCLK、ULPCLK 周波数、2 のフラッシュ待ち状態			80	MHz
	MCLK、CPUCLK、ULPCLK 周波数、1 のフラッシュ待ち状態			48	
	MCLK、CPUCLK、ULPCLK 周波数、0 のフラッシュ待ち状態			24	
$f_{\text{ULPCLK}}$ (PD0 バス クロック)	ULPCLK 周波数			40	MHz



### 注

- I/O の合計電流は、 $I_{VDD}$  の最大値未満である必要があります。
- HDIO、ODIO、および HSIO には固定ピンのパッチが適用されています。デバイスのデータシートを参照してください。

SDIO と HSIO は最大電流 6mA (標準値) のシンクまたはソースが可能で、標準的な LED を駆動するのに十分です。電流負荷を大きくするには、HDIO (最大電流: 20mA (標準値)) を使用します。ただし、合計結合電流は  $I_{VDD}$  (標準値 80mA) 未満である必要があります。

## 8.3 高速 GPIO (HSIO)

HSIO は最大 40MHz の周波数をサポートでき、この速度はバスクロック、電源電圧、負荷容量に関係します。また、出力の最大周波数は、DIO レジスタの DRV ビットを使用して選択することもできます。

## 8.4 高駆動 GPIO (HDIO)

HDIO は 20mA の電流を出力して負荷を駆動でき、最大ソース電流は電源電圧に関連しています。

## 8.5 レベル シフタなしで 1.8V デバイスと通信する

MSPM33C シリーズのデバイスは、3.3V のロジックレベルを使用します。1.8V デバイスと通信する必要があり、外部レベルシフタデバイスを使用しない場合、図 8-1 に 1.8V デバイスとインターフェイスするための推奨回路を示します。

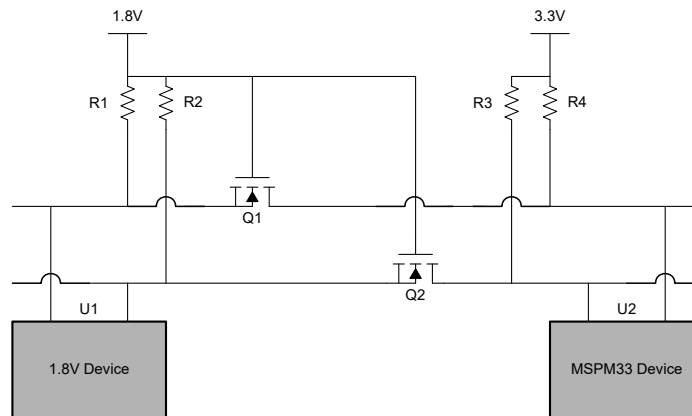


図 8-1. 1.8V デバイスで推奨される通信回路

この回路では 2 個の MOSFET を使用しています。VGS をチェックし、この MOSFET が低い  $R_{DS(on)}$  で完全にオンになることを確認します。1.8V デバイスの場合、1.8V 未満の VGS MOSFET を使用します。ただし、VGS MOSFET が低すぎると、MOSFET が非常に小さな電圧でオンになる可能性があり (MCU ロジックは 0 と判断)、通信ロジックエラーが発生します。

### U1 出力と U2 入力

1. U1 出力は「1.8V HIGH」、Q1 VGS は 0 付近のため、Q1 はオフになり、U2 は R4 で「3.3V HIGH」と表示されます。
2. U1 出力は「LOW」、Q1 VGS は 1.8V 付近のため、Q1 はオンになり、U2 は「LOW」と表示されます。

### U1 入力と U2 出力

1. U2 出力は「3.3V HIGH」、U1 は R1 で 1.8V を維持、Q1 はオフになるため、U1 は「1.8V HIGH」と表示されます。
2. U2 出力が LOW の場合、U1 を R1 で 1.8V のままに維持します。ただし、MOSFET 内のダイオードが U1 を 0.7V にプルダウンし (ダイオードの電圧降下)、その後 VGS がターンオン電圧よりも高くなり、Q1 がオンになり、U1 は「LOW」と表示されます。

## 8.6 未使用ピンの接続

すべてのマイコンはさまざまなアプリケーション向けに設計されており、多くの場合、特定のアプリケーションでは MCU リソースの 100% を使用していません。EMC 性能を向上させるため、未使用のクロック、カウンタ、I/O をフリーまたはフローティングのままにしないでください。たとえば、I/O を 0 または 1 に設定し (未使用の I/O ピンでプルアップまたはプルダウンを有効にし)、未使用の機能を無効にします。

**表 8-3. 未使用ピンの接続**

ピン	潜在的な	コメント
GPIO	オープン	対応するピン機能を GPIO (PINCMx.PF = 0x1) に設定し、未使用ピンを内部プルアップ / プルダウン抵抗で Low または入力を出力するように構成します。
NRST	VDD	NRST はアクティブ LOW のリセット信号であり、VDD にプルアップして HIGH に維持する必要があります。そうしないと、デバイスを起動できません。

### 注

- リーケージを低減するため、I/O をアナログ入力として構成するか、プッシュプルとして構成し、0 に設定します。
- リセット後に BSL モードに移行しないように、BSL 起動ピンをプルダウンする必要があります。

## 9 レイアウトガイド

### 9.1 電源レイアウト

図 9-1 には電源レイアウトにおける典型的な部品配置および配線例が示されていますが、ユーザーは MSPM33C デバイスに合わせて適切に修正する必要があります。MSPM33C の一部のデバイスには複数の VDD 電源レールがあり、各 VDD ピンに 100nF のデカップリング コンデンサが必要ですが、配線を工夫することで 10μF のコンデンサは共用でき、コスト削減が可能です。オプションとして、VCC および MCU VDD ピンと直列にフィルタ インダクタを接続できます。このインダクタを使用して、DC / DC のスイッチング ノイズ周波数をフィルタリングします。値については、DC / DC ベンダのデータシートを参照してください。MSPM33C デバイスのデータシートに掲載されている C1/C2/C3 の値とレイアウト。

#### 注

- 最小の容量は、MCU VDD ピンにできるだけ近い値 ( $C1 < C2 < C3$ ) に維持します。
- すべてのトレースをビアなしで直接配線します。

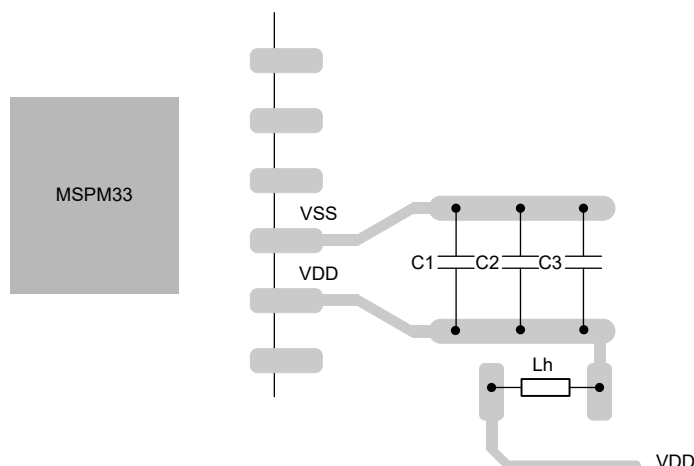


図 9-1. 推奨される電源レイアウト

### 9.2 グランドレイアウトに関する検討事項

システム グランドは、ボード上のノイズと EMI の問題に関連する最も重要な領域と基盤です。これらの問題を最小化する最も実用的な方法は、個別のグランド プレーンを用意することです。

#### グランド ノイズとは？

回路 (ドライバなど) から発生する各信号は、グランド パスを経由してソースに電流を戻します。周波数が高くなるにつれて、またはリレーのように単純で大電流のスイッチングを行う場合でも、接地方式で干渉を発生させるライン インピーダンスに起因する電圧降下が発生します。リターン パスは常に最小の抵抗を経由します。DC 信号の場合、これが最も抵抗性の低いパスになります。高周波信号の場合、これが最もインピーダンスの低いパスになります。これは、グランド プレーンを使用して問題を簡素化する方法を説明し、シグナル インテグリティを確保するための鍵となります。

テキサス インストルメンツは、デジタル復帰信号がアナログ復帰 (グランド) 領域内に伝搬することは推奨しません。したがって、設計者はグランド プレーンを分割して、すべてのデジタル信号復帰ループをグランド領域内に維持する必要があります。分割は慎重に行う必要があります。多くの設計では、単一 (コモン) の電圧レギュレータを使用して、同じ電圧レベル (3.3V など) のデジタルおよびアナログ電源を生成します。アナログ レールとデジタル電源レール、およびそれぞれのグランドを互いに絶縁する必要があります。グランドを絶縁するときは、両方のグランドをどこかに短絡する必要があるため、注意してください。図 9-2 に、デジタル信号のリターン パスがアナログ グランドを通過するループを形成できないことを示します。各設計で、部品の配置などを考慮して一般的なポイントを決めます。グランドトレースと直列にインダクタ (フェライトビーズ) や抵抗 (ゼロ Ω ではない) を追加しないでください。高周波での関連インダクタンスによりインピーダンスが増加し、電圧差が生じます。デジタル グランドを基準とする信号は、アナログ グランドまたは他の方向には配線しないでください。

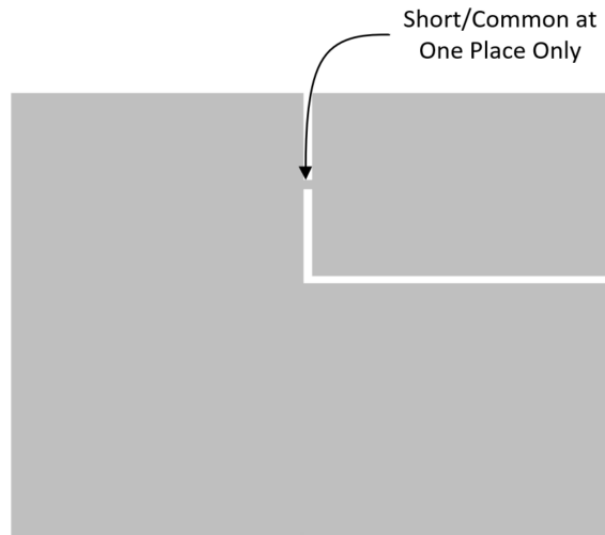


図 9-2. デジタル グランドとアナログ グランド、および共通領域

### 9.3 トレース、ビア、その他の PCB コンポーネント

トレース内で直角を使用すると、より多くの放射線が発生する可能性があります。コーナーの領域で静電容量が増加し、特性インピーダンスが変化します。このインピーダンス変化は反射を引き起こします。トレース内で直角の曲げを避け、45度のコーナーを 2 個以上使用してそれらを配線してください。インピーダンスの変化を最小限に抑えるために、図 9-3 に示すように、最適な配線は円形の曲げです。

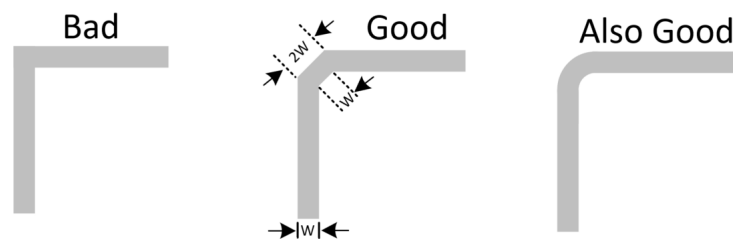


図 9-3. トレースを直角に曲げる不適切な方法と適切な方法

クロストークを最小限に抑えるために、1 つの層の 2 つの信号間だけでなく、隣接する層の間にも 90 度で配線します。より複雑な基盤では、配線時にビアを使用する必要がありますが、ビアを使用することによってインダクタンスと容量が追加されるため、注意が必要です。また、特性インピーダンスの変化により反射が発生します。また、ビアを使用するとトレースの長さも長くなります。差動信号を使用する場合は、両方のトレースにビアを使用するか、もう一方のトレースでも遅延を補償します。

信号トレースの場合、特に比較的小さいアナログ信号 (センサ信号など) に高周波パルス信号が及ぼす影響に注意を払います。クロスオーバーが多すぎると、高周波信号の電磁ノイズがアナログ信号に結合され、信号の信号対雑音比が低くなり、信号の品質に影響を及ぼします。したがって、設計時に交差しないでください。ただし、確実に回避できない交点が存在する場合、テキサス インストルメンツでは電磁ノイズの干渉を最小限に抑えるために垂直に交差することを推奨します。図 9-4 に、このノイズを低減する方法を示します。

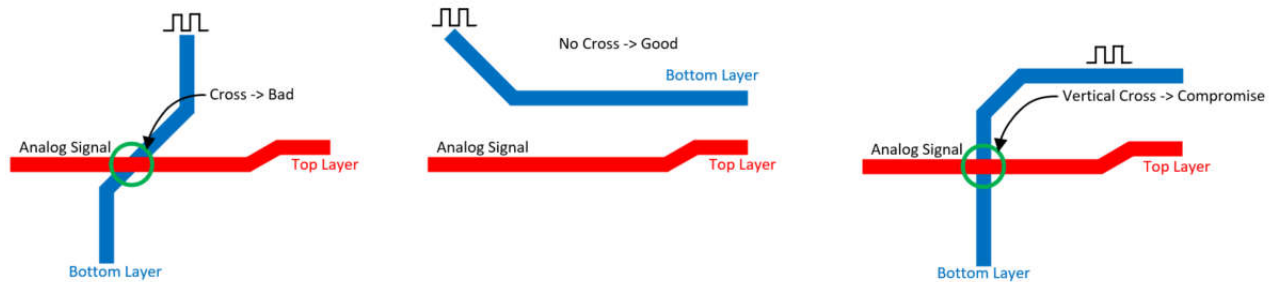


図 9-4. アナログ信号と高周波信号の不適切なクロス トレースと適切なクロス トレース

## 9.4 基板層の選択方法と推奨されるスタックアップ

高速信号の反射を低減するには、ソース、シンク、伝送ライン間のインピーダンスをマッチングします。信号トレースのインピーダンスは、その形状と、基準プレーンに対する信号トレースの位置に依存します。

特定のインピーダンス要件に対する差動ペア間のパターン幅と間隔は、選択した PCB スタックアップによって異なります。PCB テクノロジーの種類やコスト要件に応じて、最小のパターン幅と間隔に制限があるため、必要なインピーダンスをすべて実現できるように、PCB スタックアップを選択する必要があります。

使用できる最小構成は 2 つのスタックアップです。複数の高速信号を持つ高密度 PCB には、4 層または 6 層の基板が必要です。

図 9-5 に示す以下のスタックアップは、スタックアップの評価と選択の開始点として使用できる 4 層の例を意図しています。これらのスタックアップ構成では、電源プレーンに隣接する GND プレーンを使用して静電容量を増加させ、GND と電源プレーン間のギャップを小さくします。最上層の高速信号には、EMC 放射の低減に役立つソリッドな GND リファレンスプレーンがあります。層数を増やし、各 PCB 信号層に GND リファレンスを配置すると、放射 EMC 性能がさらに向上します。

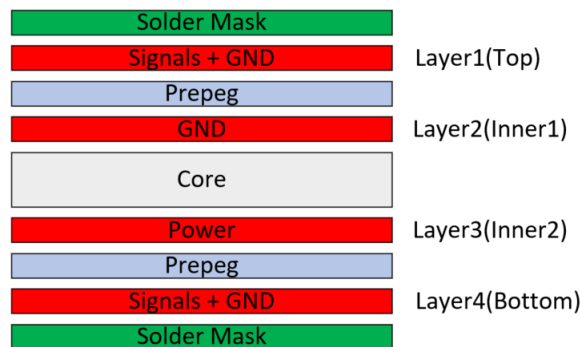


図 9-5. 4 層 PCB スタックアップの例

システムがそれほど複雑ではなく、高速信号や敏感なアナログ信号が存在しない場合、2 つのスタックアップ構造で十分です。

## 10 ブートローダー

### 10.1 ブートローダーの紹介

ブートローダーはファームウェア IP (デバイスにあらかじめ書き込まれて出荷されるソフトウェア) であり、UART、I2C、CAN などのシリアル インターフェイスを使用して SoC のメモリ (フラッシュおよび SRAM) を書き込むために使用されます。ブートローダーは通常、デバイスが顧客のアプリケーションを起動しようとするときに、ブートコードが完了した後に起動されます。量産プログラミングの使用事例をサポートするために、一部のブートローダーは SPI や CAN などのより多くのインターフェイスも提供しています。ブートローダーは、現場での更新にも使用できます。

### 10.2 ブートローダー ハードウェア設計の検討事項

#### 10.2.1 物理的通信インターフェイス

MSPM33C のブートローダー (BSL) は、UART、I2C、CAN のシリアル インターフェイス上に実装されています。MSPM33C デバイスでは、BSL はデバイスとの通信に使用するインターフェイスを自動的に選択できます。BSL 通信ピンは、ROM ベースのブートローダーで事前定義されています。使用するペリフェラル インターフェイスの具体的なインスタンスは、選択したデバイスによって異なり、デバイス固有のデータシートに掲載されています。ハードウェア設計前に BSL 通信機能にどのピンが割り当てられているかについては、デバイスのデータシートを参照してください。

#### 注

リセット後に BSL モードに移行しないように、BSL 起動ピンをプルダウンする必要があります。

#### 10.2.2 ハードウェア起動

ブートローダーは、GPIO を使用した BOOTRST 後のハードウェア起動をサポートしています。NONMAIN フラッシュ メモリの BSL 構成には、GPIO を起動するためのパッド、ピン、極性の定義が含まれています。デバイスはテキサス・インスツルメンツから特定の GPIO と極性用に構成されていますが、ソフトウェアは、NONMAIN フラッシュ メモリの BSL 構成で GPIO ピン構成を変更することで、このデフォルトを変更できます。デフォルトの BSL 起動 GPIO を決定するには、デバイス固有のデータシートを参照してください。図 10-1 に、ブートローダーをトリガするための高レベルの GPIO ピン PA18 の例を示します。

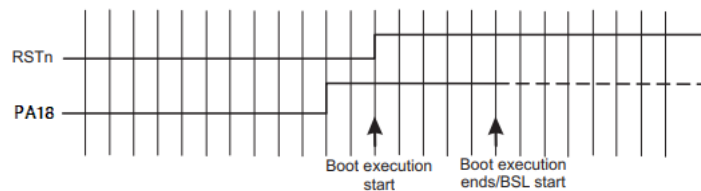


図 10-1. 構成済み GPIO ピンでの BSL エントリ シーケンス

## 11 まとめ

このアプリケーション ノートは、電源、リセット回路、クロック、デバッグ接続、アナログおよびデジタル ペリフェラル、GPIO、基板レイアウトのガイドラインなど、ハードウェア開発のあらゆる側面を説明しています。このドキュメントは、ユーザーがこのアプリケーション ノートに記載されている検討事項に従って、ハードウェア設計を迅速に開始するのに役立ちます。

## 12 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、[MSPM33C321x ミックスド シグナル マイコン](#)、データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[MSPM33 C シリーズ 160MHz マイコン](#)』、技術参照マニュアル
3. テキサス インスツルメンツ、[MSPM0 L シリーズ MCU ハードウェア開発ガイド](#)、アプリケーション ノート
4. テキサス インスツルメンツ、[TLIN1021A-Q1 故障保護 LIN トランシーバ](#)、インヒビットおよびウェイク付き、データシート
5. テキサス インスツルメンツ、[TCAN1042-Q1 車載、故障保護、CAN FD 付き CAN トランシーバ](#)、データシート



## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月