

Design Guide: TIDM-1WIREEEPROM

1-Wire® 通信プロトコルを使用するメモリ エミュレーションのリファレンス デザイン



概要

TI Designs リファレンス デザインは、システムの迅速な評価とカスタム化に必要な方法、試験結果、設計ファイルなどを提供しています。TI Designs は、お客様の市場投入までの開発期間短縮に貢献します。

リソース

TIDM-1WIREEEPROM

デザイン フォルダ

MSP-EXP430FR5969

ツール フォルダ



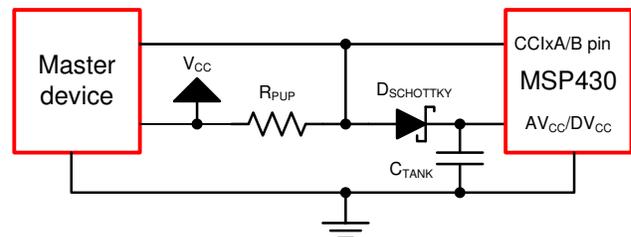
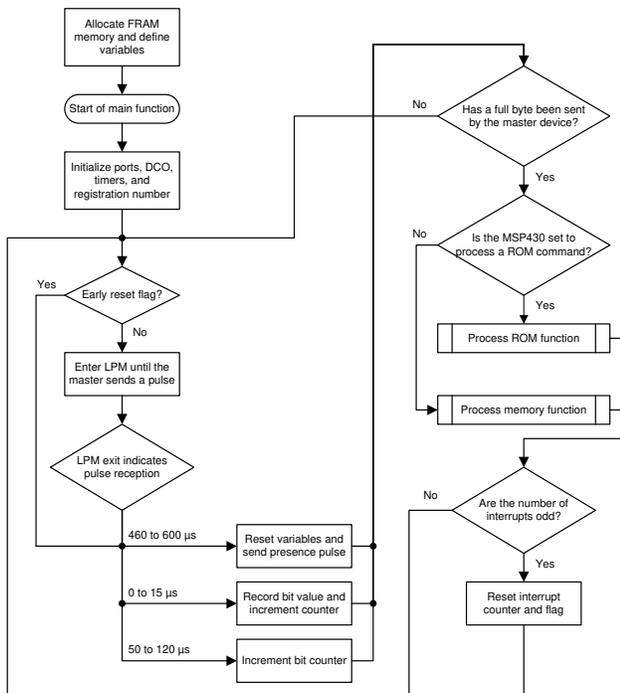
テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- 完全な 1-Wire® プロトコルのサポートにより、遷移が簡単で、類似 EEPROM デバイスの代替も簡単です
- LPM を使用して、スタンバイ モードで平均スタンバイ消費電流 600nA を実現しています
- 任意の MSP430™ FRAM デバイスで設計を実現でき、使用可能な EEPROM メモリ領域でフレキシビリティを確保できます
- 専用電源または寄生電源など、選択可能な動作モードがあります
- 提供済みのファームウェアを、他の 1-Wire® アプリケーションで使用するために変更することもできます

アプリケーション

- 追加のデバイス メモリ ストレージ
- デバイス識別と認証
- パーソナル エレクトロニクス ペリフェラル



1 システムの説明

TIDM-1WIREEEPROM は、1-Wire® 通信プロトコルと互換性のある MSP430 強誘電体 RAM (FRAM) デバイス上で EEPROM 機能をエミュレートするファームウェア ベースのリファレンス デザインです。1-Wire® はその名の通り、抵抗でプルアップされる共通ラインを介してマスタ デバイスとスレーブ デバイス間の通信を実現します。通信速度を規定する 1-Wire® プロトコルに従うことで、スレーブ デバイスは、マスタによってポーリングされるときにデータラインの極性に影響を与えます。1-Wire® スレーブ デバイスは、シングルワイヤを使用してコマンドを正常に受信し、応答を送信します。このバスシステムのもう 1 つの独自の利点は、システムが必要とするのはデータとグラウンドの 2 本のワイヤのみであることで、これはデバイス間接続においてデータラインから直接電源を供給するからです。この動作モードを、(標準的な専用電源と比較して) 寄生電源と呼びます。寄生電源を確保するには、データラインがアクティブ ローになっている間に、ショットキー ダイオードとタンク コンデンサを挿入してスレーブ デバイスに電力を供給します。

低消費電力モード (LPM) と FRAM 技術を適用することにより、MSP430 デバイス上で 1-Wire® EEPROM 機能を複製できます。MSP430 デバイス上での 1-Wire® EEPROM 機能の複製は、MSP-EXP430FR5969 LaunchPad™ と TM4C129XNCZAD 開発ボードを、1-Wire® マスタ デバイスとして使用してテストを実施済みです。LPM 内で効率的に動作することにより、MSP430FR5969 デバイスは寄生電源モードを採用することも、専用電源モードを維持することもできます。通信が発生しないスタンバイ モードでも、マイコンはより経済的な LPM へ移行することで、システム消費電流を最小限に抑えます。また、EEPROM メモリのために FRAM の空き容量を柔軟に割り当てることができることから、この設計では、利用可能な他の 1-Wire® デバイスと比較して、フレキシビリティが高くなり、データ ストレージも向上しています。

この TI 設計には、MSP430 FRAM デバイスの 1-Wire® EEPROM 機能をエミュレートするためのリソースが含まれています。この設計では、必要なシンプルなハードウェア接続と、提供されている Code Composer Studio™ C コード アプリケーション ファームウェアの両方について説明しています。セクション 3 とセクション 4 では、ハードウェアとソフトウェアの両方の専用電源と寄生電源を切り替える方法と、EEPROM メモリを使うために FRAM 領域を割り当てる方法を説明します。また、1-Wire® プロトコルにおける各 ROM およびメモリ機能コマンドの目的と用途、およびターゲット 1-Wire® マスタ デバイスとの通信を開始する方法についても説明します。

1-Wire® マスタと MSP430 FRAM スレーブ デバイス間の 1-Wire® 通信プロトコルをテストおよび確認するために、Saleae® ロジック アナライザを使用しました。このガイドのセクション 5 では、ロジック アナライザの読み取り値のスクリーンショットをいくつか示します。消費電力の測定は、Keysight N670 5B DC パワー アナライザで実施しました。EnergyTrace™ ソフトウェアを使用して、CPU とペリフェラルの状態も記録しました。

1.1 MSP-EXP430FR5969

MSP-EXP430FR5969 (FR5969 LaunchPad™ と呼ばれます) は、MSP430 FRAM 技術を評価および適用するための安価な評価基板です。MSP430 デバイスのプログラミングとデバッグに使用できるオンボード eZ-FET エミュレータにより、開発を容易に開始でき、USB 経由で PC にバックチャネル UART を提供し、EnergyTrace++ との通信を実行できます。ユーザー操作のために 2 個のユーザー ボタンと LED を内蔵しており、ハードウェアを追加する必要はありません。この LaunchPad が搭載している MSP430FR5969 16 ビットマイコンは、64KB の FRAM、2KB の SRAM、最大 16MHz の CPU 速度、5 個のタイマ ブロック、16 チャンネル 12 ビット A/D コンバータ (ADC)、AES256、CRC、MA、HW MPY32 などの追加のデジタル ペリフェラルを搭載しています。0.1F の SuperCap によりスタンドアロン電源を選択できます。また、20 ピンのブースタパック拡張ヘッダーと、ブースタパック エコシステムで網羅される広範囲なプラグイン モジュールを使用して、迅速なプロトタイピングを実現できます。

このリファレンス デザインで使用されているペリフェラルは、2 つの独立したタイマのみです。1 つのタイマ TA1 がデータラインに接続され、CClxA および CClxB 機能を使用して、マスタ 1-Wire® デバイスから送信されるパルス幅を測定します。このピンは、データラインをプルして応答できるように、汎用出力動作に切り替えることもできる必要があります。このリファレンス デザインで供給されるアプリケーション ファームウェアは、MSP430FR5969 CCI1A モジュールの入力信号をピン P1.2 の TA1 から使用してこのタスクを実現しますが、実際には、任意の CClxA ピンまたは CClxB ピンを使用するようにコードを変更することもできます。もう 1 つのタイマ TA0 は、遅延やその他の一般的なクロック メカニズムに使用されます。MPU を使用して、FRAM に格納されている EEPROM メモリを、意図しない CPU 実行や読み取り / 書き込みアクセスから保護します。

2 ブロック図

2.1 TIDM-1WIREEEPROM システム ブロック図

図 2-1 に、1-Wire®EEPROM 機能を複製するマスタ デバイスと対応する MSP430 スレーブ デバイス間の代表的な接続を示します。寄生電源モードの代わりに専用電源モードが必要な場合は、AV_{CC}/DV_{CC} ピンを V_{CC} に直接接続することもできます。

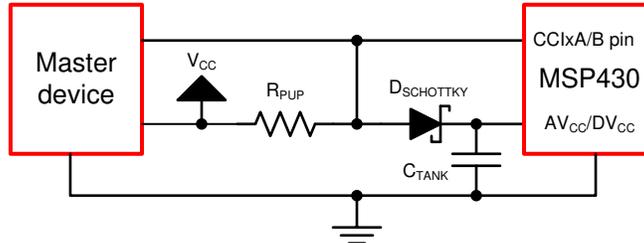


図 2-1. TIDM-1WIREEEPROM システム ブロック図

2.1.1 MSP-EXP430FR5969 の機能図

図 2-2 に、MSP430FR5869 デバイスの機能図を示します。図 2-3 に、MSP-EXP430DF5969 LaunchPad ボードの機能図を示します。点線の上半分は eZ-FET を、点線の下半分はターゲット接続を表します。

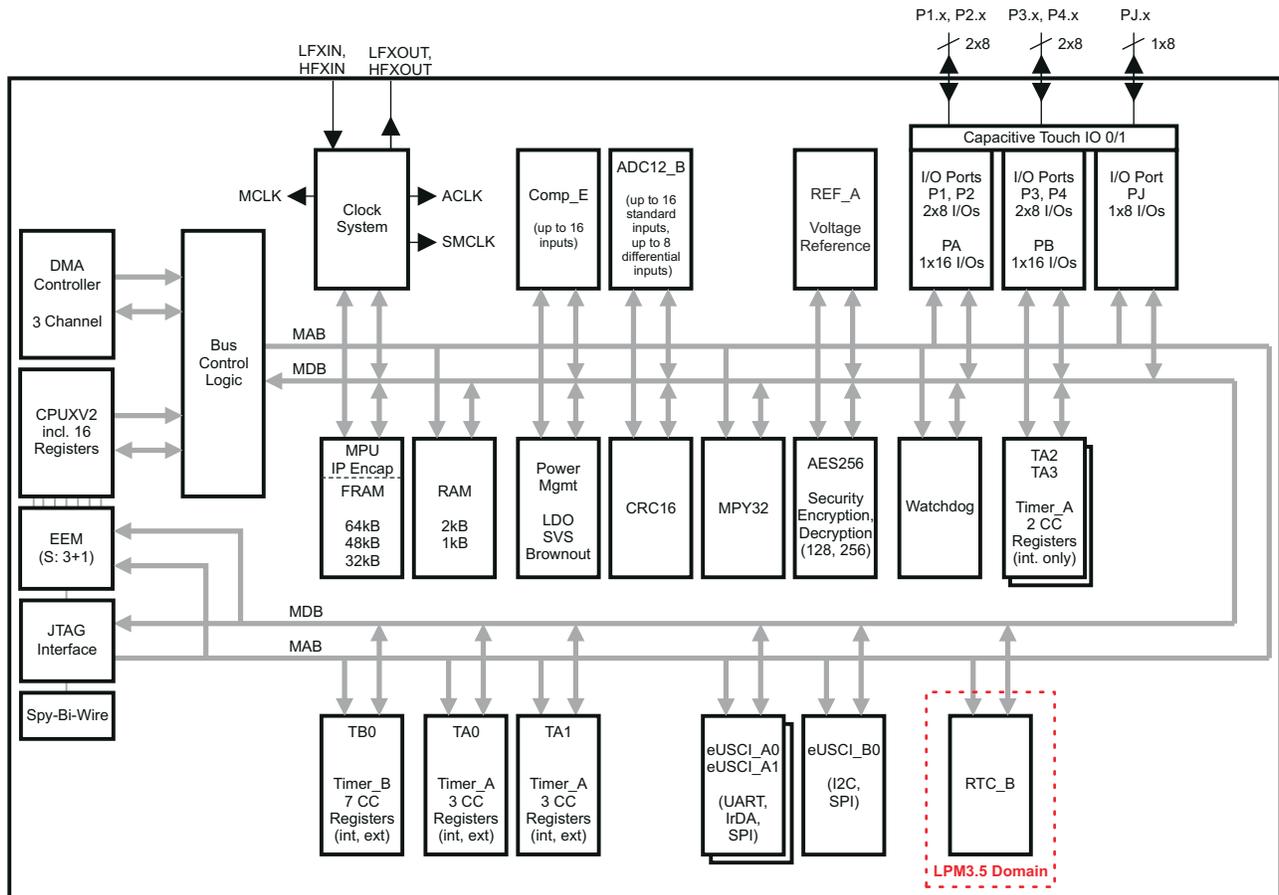


図 2-2. MSP430FR5969 の機能図

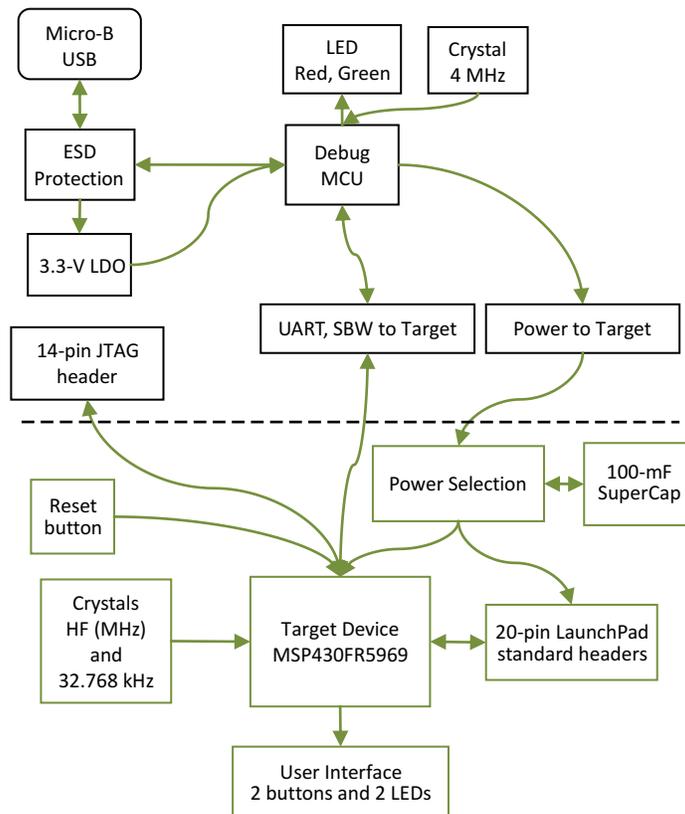


図 2-3. MSP-EXP430FR5969 の機能図

3 ハードウェアの検討事項

3.1 専用電源動作

専用電源モードで 1-Wire[®] 動作用に MSP-EXP430FR5969 LaunchPad ハードウェアを設定するのに必要な接続は、電源、グラウンド、データの 3 つだけです。GND は、MSP430 デバイスと 1-Wire[®] マスタ デバイスの間で共通である必要がありますが、それぞれの電源は共有することも、個別に供給することもできます。データラインは、タイマ CCIx/A/B 機能と GPIO 機能を切り替える MSP430 デバイスピンから供給する必要があります。この設計のデフォルトピンとして、CCI1A タイマ モジュール入力付きの P1.2 を選択しました。データラインをマスタの動作可能な 1-Wire[®] ピンに接続し、270Ω ~ 2200Ω の抵抗値 R_{PUP} を使用してデータラインをプルアップします。

EnergyTrace の読み取り値、または MSP-EXP430FR5969 オンボード micro-USB コネクタからの電源が必要な場合、MSP430FR5969 デバイスを基板の eZ-FET 部分に接続するために、LaunchPad ジャンパを適切に向ける必要があります。J2 をバイパスに、J10 をデバッグに設定します。J13 ジャンパバンクの J9 と、GND、V+、RST、TST の最小値を実装する必要があります。J11 は、スーパー コンデンサに実装されていない状態で、この設計では調査したり、使用したりしないでください。ただし、外部電源が必要な場合は、J10 を外部に切り替え、J13 バンクのすべてのジャンパを未実装にする必要があります。外部電源使用時にデバッグ機能が必要な場合は、J13 の GND、RST、TST のみを実装する必要があります。図 3-1 に、LaunchPad ヘッダの配置を示します。

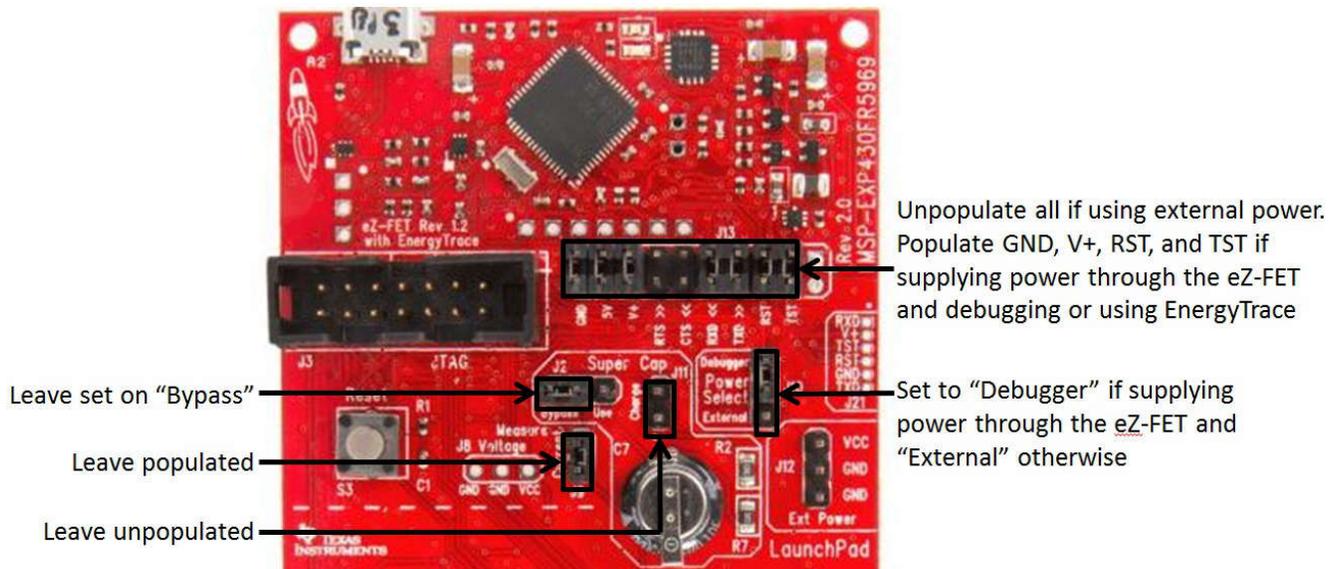


図 3-1. MSP-EXP430FR5969 ヘッダの向き

3.2 寄生電源動作

寄生電源動作時には、専用電源セクションのすべてのルールも適用されますが、ハードウェア回路図は若干変更され、独立した電源と比較して、MSP430FR5969 デバイスはデータラインからの電力ハーベストを可能にします。低ドロップアウト電圧の観点で選択されたショットキー ダイオードを使用して V_{CC} をデータラインに接続することにより、デバイスは電源に直接接続されません。次に、タンクコンデンサ C_{TANK} を V_{CC} から GND に接続して、追加の電荷を蓄積します。その間、通信目的でデータラインが Low に保持されます。このアプリケーションで使用されるショットキー ダイオードは、ダイオードが V_{CC} と GPIO 間の MSP430 デバイスの電圧定格を超えないように、250mV 未満の順方向電圧降下をする必要があります。寄生電源モードで動作するために必要なハードウェアの変更を確実にご理解いただくために、図 2-2 をご確認ください。表 6-1 に、推奨値と型番を示します。

R_{PUP} と C_{TANK} の値により RC 時定数 (コンデンサの充電と放電に必要な時間) が決定され、ワーストケースのシナリオで必要なバイト転送数に応じてわずかに変更できます。この場合、 C_{TANK} を消費させることなく MSP430 デバイスがリセット状態に移行します。寄生電源動作の詳細については、セクション 4 を参照してください。

4 ファームウェアの検討事項

4.1 コードの概要

この TI の設計にはソフトウェア パッケージが含まれており、このパッケージには、MSP430FR5969 デバイスで 1-Wire®EEPROM エミュレーションを目的として設計されたアプリケーション ファームウェアが含まれています。TIDM-1WIREEEPROM ファームウェアを評価するには、CCS V6.0.1 (またはそれ以降) を使用して CCS プロジェクトをインポートし、MSP-EXP430FR5969 ボードに読み込む必要があります。この設計に含まれるペリフェラルの制約が少ないため、MSP430 FRAM デバイスに実装するため、ファームウェアを簡単に再編成できます。RTC、バッテリー監視、温度検出アプリケーションなど、その他の 1-Wire® アプリケーションで動作するようにコードをさらに変更できます。図 4-1 に、このファームウェアのブロック図を示します。

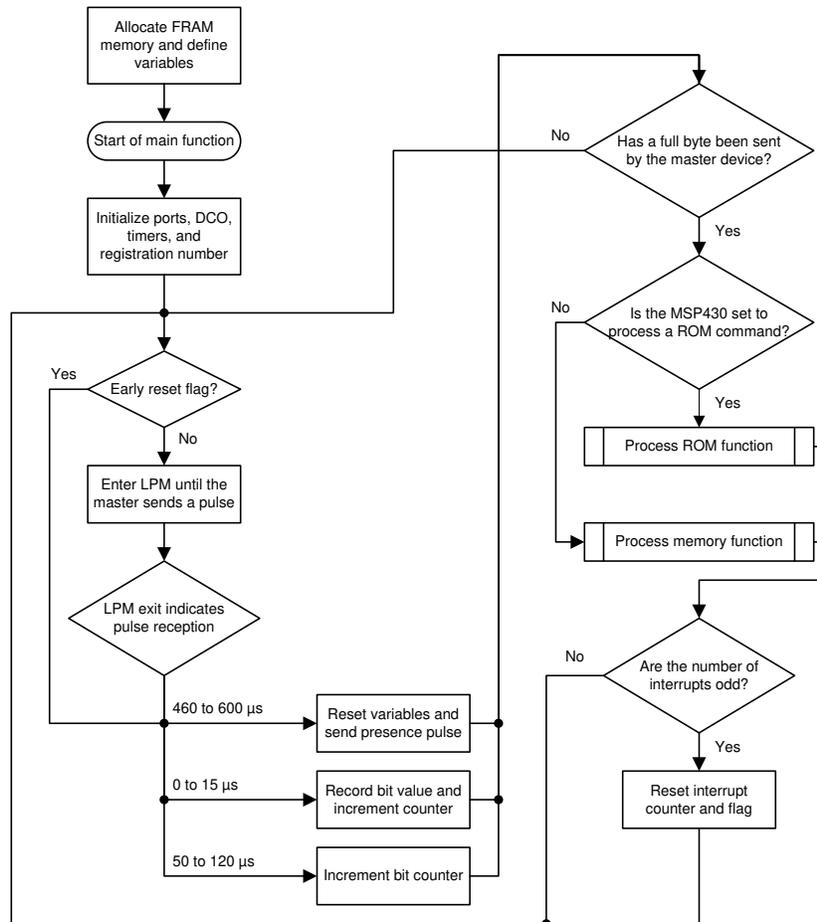


図 4-1. ファームウェアのメイン ブロック図

マスタ デバイスが通信を要求しない間に、このコードは、スタンバイ モード中に LPM4 を使用して低消費電力を実現します。LPM4 からのウェークアップは、マスタがリセット パルスを送信することで通信が開始され、CCI1A モジュールを使用して長さが測定されます。初期化後に受信されたすべてのパルスにより、別のリセット コマンド、値がゼロに設定されたビット、値 1 のビットの 3 つのオプションうち、いずれかが得られる可能性があります。リセットコマンドの場合、プレゼンス応答が発生し、その後カウンタがリセットされます。それ以外の場合は、ビット値が保存され、1 バイトが完全に埋まるまでカウンタは次のビットのためにインクリメントされ、コマンドのサブ機能に入ります。デバイスは再びスタンバイ モードに移行し、プロセス全体を繰り返します。以下のセクションでは、登録番号およびアドレスレジスタの目的、適切なトランザクション シーケンス、通信の初期化方法、ROM およびメモリ機能コマンドに関する詳細情報など、デバイス動作のフローについて説明します。また、ユーザーが認識できるように、設計上の制約もいくつか挙げています。

4.2 設計上の制約

1-Wire[®] プロトコルに準拠するために必要なサンプリング分解能のため、MSP430 デバイスは 16MHz という最低プロセッサ周波数で動作する必要があります。この周波数用にファームウェアが最適化されており、これを変更するには、コードのタイミングに複数の変更を加える必要があります。より生産的な LPM には、送信される最短パルスを適切に測定し応答するのに十分なウェークアップ時間がないため、MSP430 デバイスはマスタがアクティブな間のみ LPM0 に移行する必要があります。このデバイスは、リセットパルスが検出されると必ず LPM4 に入ります。

注

オーバードライブ モードは、MSP430 デバイス上の 1-Wire[®] 設計では実現できず、ファームウェアにオプションとして含まれていません。

寄生モードで動作している場合、 C_{Tank} が放電される前に、ワーストケースの最大バイト数 (00h はデータラインを最も長く保持するため) を連続して送信できます。MSP430 デバイスに連続動作するのに十分な電力がなくなると、リセット状態に入ります。最大値は、RC 時定数を定義する R_{PUP} と C_{Tank} の両方に依存し、さらにマスタ デバイスの VCC レベルとプルダウン強度にも依存します。TM4C129XNCZAD 開発ボードに関するテスト設定では、 R_{PUP} の値は 1k Ω 、 C_{Tank} の値は 22 μF です。ワーストケース転送の最大数は約 100 バイトでした。この結果は、 R_{PUP} の値を 280 Ω 未満に下げ、 C_{Tank} の値を設計で現実的に許容できる最大値まで上げることで、さらに改善できます。ただし、ほとんどのアプリケーションでは、この不一致により、EEPROM の内容全体を一度に送信することはできません。代わりに、 C_{Tank} を再充電するためには、メモリをあらかじめ決められたサイズに分割して、遅延を挟んで送信する必要があります。このプロセスに関する詳細なガイダンスとして、[セクション 4.8](#) に記載のファームウェア設計が含まれます。専用電源モードでは、EEPROM の内容全体を連続して送信できます。

MSP-EXP430FR5969 を使用するこの設計ガイドのように、MSP430FR5969 デバイスを使用して 1-Wire[®] EEPROM 機能をエミュレートする場合、考慮すべき独自の動作条件があります。1 回の C_{Tank} 電荷で送信可能な EEPROM メモリの量を適切に考慮せずに、寄生電源モードでメモリ読み取りコマンドに応答した場合、MSP430 デバイスが SVSH パワーダウン レベルを超えて電源レールを下回り、デバイスがリセットされる可能性があります。デバイスがリセットされると、MSP430 デバイスは共有データ V_{CC} ラインをプルダウンしなくなり、電源レールは動作電圧に戻ります。ただし、マスタは、MSP430 デバイスがすでにリセット状態になっている直後にリセットパルスを発行することで、この事態を防ぎます。リセットパルスにより、MSP430 デバイスが BOR 状態に移行する可能性があります。この状態は『[MSP430FR596x](#)、[MSP430FR594x](#) ミクスト シグナル マイコン』データシートの「ブラウニアウトおよびデバイスリセット電源ランプ要件」表に示されており、BOR 状態では、デバイスの V_{CC} が GND まで下がった後、再度パワーアップする必要があります。この問題を軽減するために、マスタはメモリ読み取りコマンドが完了した後、リセットコマンドを発行する前に、(R_{PUP} と C_{Tank} の値に応じた) 追加の待機時間を取る必要があります。それ以外の場合で、BOR 状態にすでに入っている場合、マスタは共有データおよび V_{CC} ラインを、MSP430 デバイスの電源レールが GND に達するまでホールドし、その後解放することで、デバイスが通常の動作電圧に戻れるようにします。これは、MSP430FR5969 デバイスを使用中に寄生電源モードが必要な場合にのみ有効であることに注意してください。

4.3 登録番号

ファームウェアの初期化段階では、64 ビットのデバイス固有の登録番号が作成されることで、データラインに接続された 1-Wire[®] スレーブ デバイスを区別して検証できます。これは、[セクション 4.6](#) で説明されているいくつかの ROM 機能コマンドによって呼び出されます。最下位バイト (LSByte) は、ユーザーがファミリ定数の値を変更することによって決定できるファミリコードです。次の 6 バイトは、ロットまたはウェハー ID と、ダイ X と Y 位置の両方の LSBytes で構成されます。これらの値は、MSP430FR5969 デバイスのメモリにおけるデバイス記述子 (TLV) 表の「ダイレコード」セクションにあり、デバイスごとに一意です。この値は、デバイスの有効期間中は一定の値として維持されるため、いかなる状況においても登録番号の交換や代用はしないでください。最上位バイトは、前の 7 バイトを CRC8 アルゴリズムにロードして生成される CRC コードです。

4.4 アドレスレジスタ

ファームウェアによっては、2 バイトのターゲットアドレス (TA) とデータステータス付きの終了アドレス (E/S) バイトという 2 つのアドレスレジスタが使用されます。TA は、データの書き込み先または読み取り元のアドレスを表します。TA レジスタの長さは 2 バイトで、最大アドレス 0xFFFF に拡張することができます。これは、ファームウェアで定義された

MEMORY_SIZE によって決まる EEPROM メモリ ストレージに割り当てられる FRAM 領域の量によって制限されます。ファームウェアは、アプリケーションの要件に応じて変更できます。終了アドレスは、32 ビット長のスクラッチパッドに書き込むときのターゲット アドレスからのオフセットを表し、長さが 5 ビット (最大オフセット 31) である理由を説明します。

E/S バイトの 6 番目と 8 番目のビットは、承認 (AA) とパーシャル バイト フラグ (PF) という 2 つの異なるデータのステータス フラグを表します。AA は、スクラッチパッドに保存されたデータがターゲット メモリ アドレスに正常にコピーされたことを示します。一方、セット PF は、最後の試行でデータがスクラッチパッドに正しく書き込まれなかったことを示します。7 番目の E/S ビットは空で、読み取り値は常にゼロです。これらのフラグの詳細については、[セクション 4.7](#) を参照してください。

4.5 トランザクション シーケンス

1-Wire[®]EEPROM デバイスとのすべての通信は、次のプロトコルに従う必要があります。

1. 初期化
2. ROM 機能コマンド
3. メモリ機能コマンド
4. トランザクション / データ

その後、マスタがスレーブ デバイスに対して命令を送信する必要がなくなるか、追加の情報を要求することがなくなるまで、このプロセスが繰り返されます。次のセクションでは、トランザクション シーケンスの各ステップについて詳しく説明します。

4.6 初期化

1-Wire[®] プロトコル上のすべてのトランザクションは初期化シーケンスから開始されます。初期化シーケンスは、マスタから発行されたリセット パルスとスレーブから送信されるプレゼンス パルスで構成されます。このパルス交換により、データラインの両側が同期し、新しいトランザクションを開始するためにパルスを準備します。ファームウェアは、460 μ s から 600 μ s までのリセット パルス幅を認識して、(30 μ s 遅延後に) パルス幅 100 μ s で応答するように設計されています。その後、ファームウェアは LPM0 に移行して電力を節約しますが、ROM 機能コマンドとして想定される次のバイトをマスタからすばやく収集する準備もできています。

4.7 ROM 機能コマンド

このコマンドは、目的の 1-Wire[®] デバイスが適切に接続され、マスタからメモリ機能コマンドを受信できる状態になっていることを確認することが目的です。このタスクは主に、スレーブの一意的登録番号を使用して実行されます。この番号は、マスタが接続されているデバイスを区別するのに役立ちます。不要な場合に識別をスキップするための代替コマンドも用意されています。ROM 機能コマンドのブロック図を、[図 4-2](#) に示します。

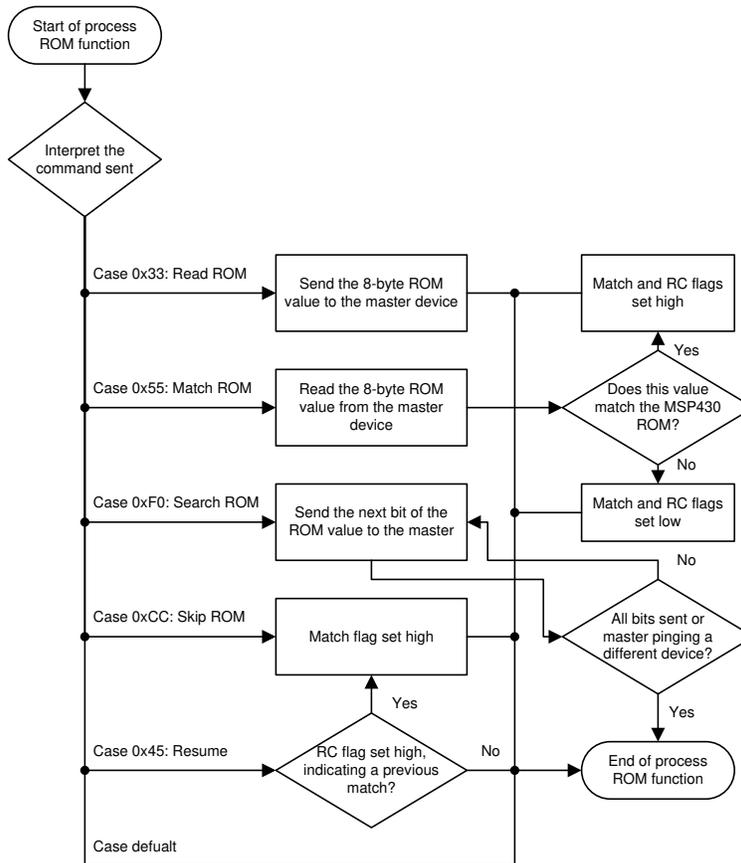


図 4-2. ROM コマンド機能ブロック図

各 ROM コマンドについて、以下に説明します。

- **Read ROM (0x33)** (読み取りコマンド): MSP430 デバイスは、64 ビットの登録番号をマスタ デバイスに送信することによって応答します。このコマンドは、バス上にスレーブが 1 つ存在する場合にのみ使用できます。それ以外の場合、データの衝突が起こります。
- **Match ROM (0x55)** (一致コマンド): マスタは 64 ビットの登録番号を付けてこのコマンドの後に続き、この ROM シーケンスと正確に一致するスレーブ デバイスのみが、次のメモリ機能コマンドに応答します。また、**Resume** コマンドに関連する目的のために、RC フラグは **High** に設定されます。バス上の他のすべてのスレーブ デバイスは、それぞれの RC フラグを **Low** にホールドし、リセットパルスを待ちます。
- **Resume (0xA5)** (再開コマンド): **Match ROM** コマンドを使用してマスタに最後に接続されたスレーブ デバイス (つまり、RC フラグが **High** に設定されます) のみが以後のメモリ機能コマンドに応答します。残りのスレーブは、リセットが発生するまで休止状態のままです。
- **Skip ROM (0xCC)** (スキップ コマンド): シングル バス システムでスレーブ 識別が不要な場合、このコマンドを使用すると、64 ビット ROM コードを提供せずにメモリ機能にアクセスできます。このコマンドは、バス上の複数のスレーブでは使用できません。これは、転送の混乱を引き起こすためです。
- **Search ROM (0xF0)** (検索コマンド): バス上に複数のスレーブ デバイスがある場合に使用する際、このコマンドを使用すると、マスタは除外プロセスを適用して各スレーブ デバイスの登録番号を区別できます。まず、各スレーブ デバイスはそのスレーブ デバイスの ROM の最下位ビット (LSB) を送信し、続いてそのビットの補数を送信します。その後、マスタはビット値で応答します。マスタから送信されたビットがスレーブのビット値と一致する場合、64 ビットの登録番号全体が送信されるまでプロセスは続行されます。ただし、いずれかのポイントでビット値が一致しない場合、リセットパルスが発生するまで、スレーブ デバイスは動作を停止します。たいてい、マスタはバス上のすべてのスレーブ デバイスが識別されるまでこのコマンドを繰り返します。

MSP430 1-Wire® 互換デバイスが要求されたと仮定すると、一致フラグが設定され、マスタが受信した次のバイトには、情報のトランザクションが発生した後のメモリ機能コマンドが必要です。バイトが ROM 機能コマンドに正しく変換されない場合、デフォルトアクションでは、MSP430 デバイスは適切な ROM コマンドを受信するか、リセットパルスを受信するまで、

バイトの読み取りを続行します。セクション 4.6 で説明しているように、ファームウェアはメモリ コマンド バイトを待機する間 LPM0 を使用するため、効率的に電力を節約できます。

4.8 メモリ機能コマンド

正しい 1-Wire® 対応デバイスが正しく識別され、アドレス指定されると、正当な EEPROM 機能を開始できます。これは、スクラッチパッドの内容を変更するか、デバイスのメモリを読み書きすることで実行されます。コマンドを実行する前に、一致フラグをリセットすることで、次の処理バイトが、新しいトランザクション シーケンス中に ROM 機能コマンドになるようにする必要があります。マスタ デバイスから無効なメモリ コマンドが送信された場合、次に送信されるバイトは、リセット パルスまたは ROM コマンドの再送である必要があります。メモリ コマンド機能ブロック図を、図 4-3 に示します。

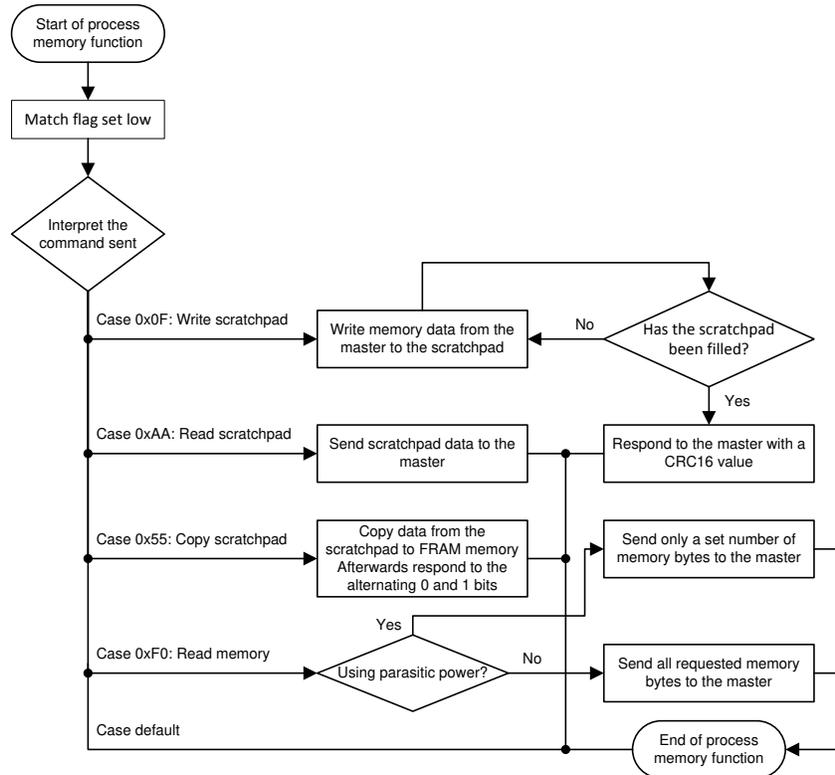


図 4-3. メモリ コマンド機能ブロック図

各メモリ コマンドを以下で説明します。

- Write Scratchpad (0x0F) (スクラッチパッド書き込みコマンド):** マスタは、このコマンドの直後に、2 バイトのターゲット アドレスとスクラッチパッドに書き込むデータを送信します。スクラッチパッドに書き込むデータは、TA の下位 5 ビットで示されるオフセットから開始されます。この値は、E/S バイトの終了アドレス ビットに最初にロードされたものと同じ値です。その後、E/S の値はスクラッチパッドに書き込まれるバイトごとに増加します。スクラッチパッドが埋まると、MSP430 デバイスは 16 ビットの CRC アルゴリズムを実行し (コマンド コードから開始して最後のデータ バイトで終了)、CRC16 値の反転値をマスタに返します。Read Scratchpad コマンドを実行するとき、マスタはスレーブ デバイスから受信したバイトで計算された値と 1 対 1 で比較できます。これはすべて、Copy Scratchpad コマンドでデバイス メモリに書き込む前に、スクラッチパッドの内容を検証するためのものです。マスタ デバイスは任意のタイミングで Write Scratchpad コマンドを終了でき、スクラッチパッドを完全に埋める必要はありません。この場合、スレーブ デバイスは CRC16 機能を実行しません。部分フラグ (PF) ビットは、このメモリ コマンドの開始時に High にセットされ、スクラッチパッドへの書き込みが完了した後にのみリセットされます。したがって、プロセス中に通信が中断された場合は、ユーザーに通知します。
- Copy Scratchpad (0x55) (スクラッチパッドのコピー コマンド):** このコマンドは、スクラッチパッドから FRAM メモリにデータをコピーするために使用されます。マスタは最初に、先行する Read Scratchpad コマンドで取得した適切な TA および E/S アドレス レジスタを送信する必要があります。これが成功すると E/S レジスタの AA フラグが設定され、デ

バイスはデータの書き込みを開始します。この形式では、EEPROM ストレージはスクラッチパッドと同じ長さの 32 バイトセクションに分割されていると考えることができ、各コピー コマンドで書き込むことができるのは 1 つのセクションだけです。MSP430 デバイスは、完了するとビット値 1 と 0 を交互にマスタに応答し、リセット パルスが検出されるまでその応答を続けます。寄生電源モードでは、交互ビット パターンが最終的に C_{Tank} を消耗し、デバイスリセットが発生して応答が終了します。ただし、FRAM メモリに正常に書き込まれたデータには影響はありません。

- **Read Scratchpad (0×AA)** (スクラッチパッドの読み取りコマンド): スレーブは、ターゲット アドレス (TA) の下位 5 ビットで決定されるオフセットから、2 バイトの TA、E/S バイト、およびスクラッチパッドの内容を送信して応答します。これにより、アドレスレジスタとスクラッチパッド データの両方を検証できます。
- **Read Memory (0×F0)** (メモリの読み取りコマンド): これは、EEPROM データ ストレージに割り当てられた MSP430 FRAM メモリを読み取るために使用される一般的なコマンドです。マスタは、このコマンドを、定義されたメモリ サイズ範囲内で目的の 2 バイトのターゲット アドレスに置き換える必要があります。専用電源モードで動作している場合、スレーブはターゲット アドレスから始まるすべてのデータ バイトを返信し、指定されたメモリの末尾に達するまで続行します。寄生電源モードでは、USE_PARASITE_POWER と PARASITE_BYTES の値がファームウェアによって定義され、ターゲット アドレスから始まり、MSP430 デバイスは PARASITE_BYTES で設定されたバイト数のみを送信して応答します。これにより、 C_{Tank} が消耗し、デバイスがリセット状態になる前に、あらかじめ決められたメモリのセグメントが送信されるようになります。通信はマスタにより一時停止され、プロセスを繰り返す前に C_{Tank} が再度完全に充電されます。今回は、ターゲット アドレスをすでにアクセスされたバイトからオフセットして、目的の FRAM メモリの読み取りを完了します。

メモリ コマンドを受信し、それに応じてトランザクションやデータを処理した後、デバイスは LPM0 に再移行し (Copy Scratchpad コマンドを除く)、必要なときはトランザクション シーケンスを再起動できます。非アクティブ状態が 1 ミリ秒以上続くと、デバイスは LPM4 に移行してスタンバイ モードを開始し、消費電力をさらに削減できます。ただし、Copy Scratchpad コマンドの場合、MSP430 デバイスは LPM に入ることなく、交互にビット値を送信して完了を通知する必要があります。マスタがリセット パルスを発行するか、寄生電源モードの場合は C_{Tank} が完全に放電され、MSP430 デバイスが強制的にリセット状態に移行するまで、デバイスはこの動作を継続します。この場合、デバイスはデータラインのプルアップを続けなくなり、 C_{Tank} が再充電されて MSP430 デバイスが再起動します。この時点で、デバイスは別のトランザクション シーケンスを開始できる準備が整います。

5 テスト データ

5.1 トランザクション シーケンスの例

以下のセクションに示すロジック アナライザのスクリーンショットと EnergyTrace の記録をさらに補助するために、一連のトランザクション シーケンスの例が生成されました。この例では、次の目的を持つ 5 つの個々のシーケンスがあります。

- Search ROM コマンドを使用してスレーブ デバイスを識別します。
- スクラッチパッドに書き込みます。
- スクラッチパッドの内容を読み取り、確認します。
- 割り当てられた FRAM メモリにスクラッチパッドをコピーします。
- EEPROM メモリ全体を読み戻します。

適用可能な動作を確認するために、Skip ROM コマンドが含まれていますが、バスには 1 つのスレーブ デバイスのみが接続されている必要があります。図 5-1 に、これらのシーケンスの適用に関する説明を示します。

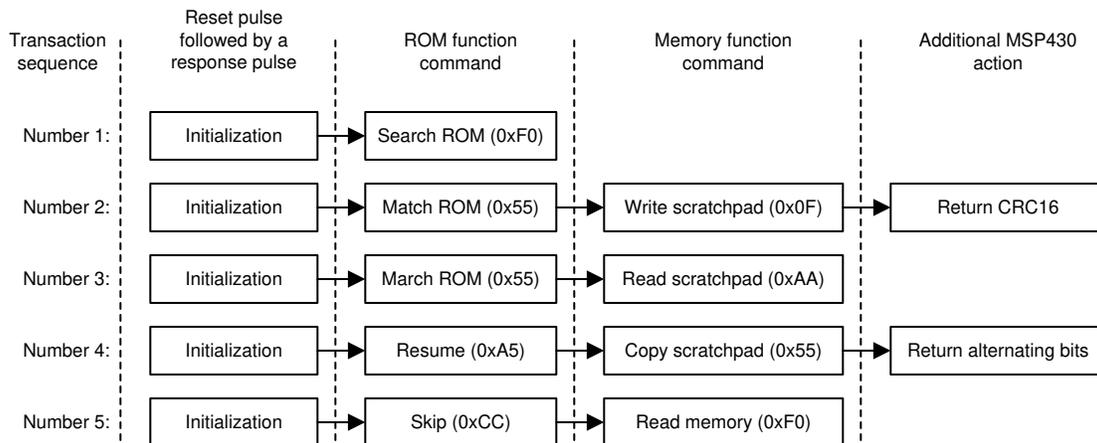


図 5-1. トランザクション シーケンス例の説明

5.2 ロジック アナライザのスクリーンショット

MSP430FR5969 デバイスの動作が 1-Wire® プロトコルと互換性があることをテストおよび確認するため、ロジック アナライザを使用しました。このセットアップは、MSP430 デバイスのシナリオを他の 1-Wire® EEPROM デバイスと比較して、同一の通信と機能を実証する際にも効果的です。一般的な 1-Wire® ROM およびメモリ コマンドを使用して、設計の動作と有効性を検証するためのスクリーンショットが複数用意されています。

図 5-2 に、マスタから送信されるリセットパルスで始まり、MSP430 デバイスからのプレゼンスパルスで応答するトランザクション シーケンスの開始を示します。ロジックアナライザ環境の測定タブを確認すると、リセットパルスの長さは約 480µs です。MSP430 デバイスはさらに 40µs を待機してから、約 120µs のプレゼンスパルスで応答します。その後、マスタはバス上にスレーブ デバイスの存在を認識し、有効な ROM 機能コマンドを送信し続けます。



図 5-2. プレゼンスパルスの例

図 5-3 に、write scratchpad コマンドの終了を示します。ここで、0x02 は、スクラッチパッドを埋めるために必要なマスタから送信された最後のデータバイトです。MSP430 デバイスは、メモリ コマンドコードから始まり、最後のデータバイトで終わるマスタから送信されるすべてのバイトに対して、CRC16 アルゴリズムを採用するようになりました。次に、図 5-3 で示されるように、0xEA および 0x9C バイトで反転した CRC16 値をマスタ デバイスに返します。MSP430 デバイスのファームウェアによって出力される値は、CRC16 アルゴリズムや他の 1-Wire® デバイスとクロスチェックされ、適切な動作が


 図 5-6. 寄生電源動作 C_{Tank} ドレインの例

5.3 Keysight EnergyTrace の記録

MSP430 デバイスのエネルギー要件をさらに理解するため、Keysight N6705B DC 電源アナライザを使用して、アクティブモードとスタンバイモードの両方の消費電力静電容量を測定しました。EnergyTrace は、エネルギーを基準としたコード解析ツールで、アプリケーションのエネルギー プロファイルを測定して表示し、消費電力が極めて低くなるようアプリケーションを最適化するため役立ちます。

セクション 5.1 に説明したトランザクション シーケンス例中の MSP430 デバイスのアクティブモードとスタンバイモードにおいて、それぞれの消費電流測定値を図 5-7 および図 5-8 に示します。図 5-7 に示すように、このプロセス全体が完了するまでに 340ms 近くかかります。図 5-8 に示すように、スタンバイモードで消費される 570nA と比較して、アクティブモードでは平均 640 μ A の電流が必要とされます。スタンバイモード時の平均電流と表示波形には、26.6ms ごとに SVS 動作を示す瞬間的なスパイクが現れ、『MSP430FR596x, MSP430FR594x ミックスド シグナル マイコン』データシートの「低消費電力モードの供給電流」セクションに記載されている LPM4 の予想電流値を密接に反映しています。



図 5-7. アクティブ 1-Wire[®] 動作時の電力 (mW)

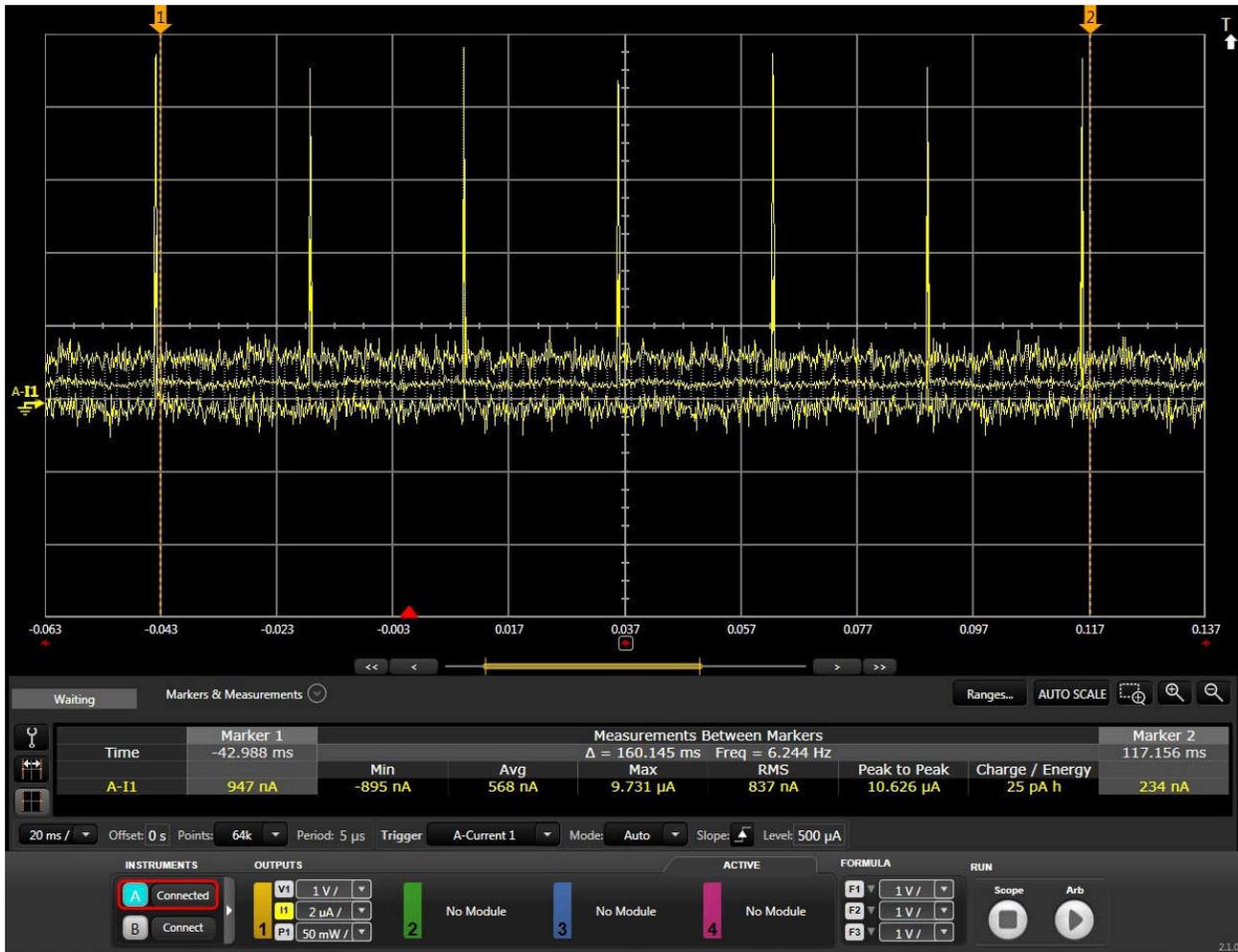


図 5-8. アクティブ 1-Wire® 動作時のエネルギー (μJ)

MSP-EXP430FR5969 eZ-FET には EnergyTrace++ サポートが内蔵されているため、マイコンの内部状態に関する情報を含めることもできます。これらの状態には、ペリフェラルのオン / オフ ステータスや、現在使用されているすべてのシステム クロックおよび LPM が含まれます。このツールを使用すると、特定のアクティビティ後にペリフェラルの電源がオフになっていることや、目的の LPM が正しく入力されていることを確認するなど、期待される動作をコード内の正しいポイントでアプリケーションがデモできているかどうかを直接検証できます。EnergyTrace++ 技術の全ガイドは、『MSP430™ マイコン向け Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE)』ユーザー ガイドの「開発フロー」セクションに記載されています。EnergyTrace++ では、MSP430 デバイスの電源が MSP-EXP430FR5969 LaunchPad の eZ-FET 部分にあるソフトウェア制御 DC/DC コンバータから供給される必要があるため、デバイスを専用電源モードで使用して、以下の読み取り値を取得しました。

図 5-9 に、アクティブ モード時の MSP430 1-Wire® 機能を示します。この設計で使用されているペリフェラルは、EEPROM メモリを保存する FRAM、パルス幅を測定する TA0、一般的な遅延およびその他の時間測定に使用される TA1 のみです。図 5-9 には、アクティブ サイクルの大部分が LPM0 で消費され、その後、マスタが通信を要求しなくなったときデバイスが LPM4 に移行することを示しています。この設計では、超低消費電力能力を最適化しています。TIDM-1WIREEEPROM の回路図を図 6-1 に示します。



図 5-9. アクティブ 1-Wire® 動作時の CPU とペリフェラルの状態

6 デザイン ファイル

6.1 回路図

各ボードの回路図をダウンロードするには、[TIDM-1WIREEEPROM](#) の設計ファイルを参照してください。

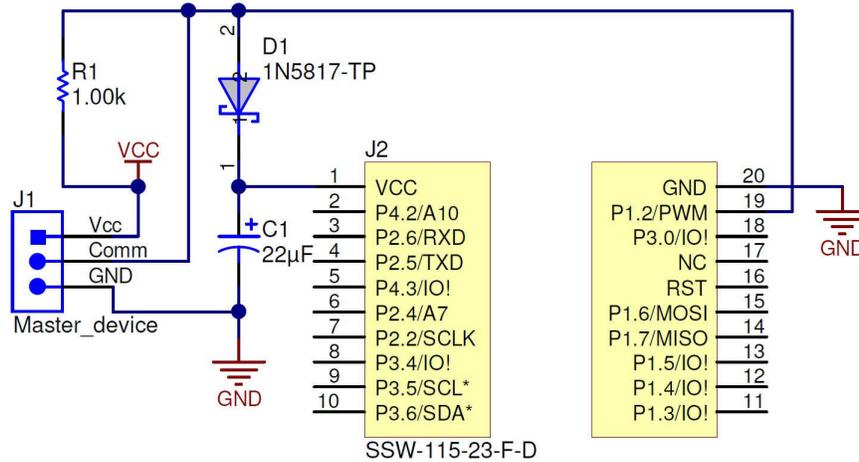


図 6-1. TIDM-1WIREEEPROM の回路図

6.2 部品表 (BOM)

各ボード用の部品表をダウンロードするには、[TIDM-1WIREEEPROM](#) の設計ファイルを参照してください。

表 6-1. TIDM-1WIREEEPROM 部品表

項目	数量	リファレンス、識別子	値	部品の説明	製造元	メーカー型番	代替部品	Altium のフットプリント
1	1	C1	22µF	コンデンサ、AL、22µF、25V、±20%、TH	Panasonic™	20SEP22M		M:_500×500
2	1	D1		ダイオード、ショットキー、800mA、20V、SM	東芝™	CUS08F30、H3F		SOD-323
3	1	J1		ヘッダ、100mil、3×1、スズ、TH	ウルトエレクトロニクス®	61300311121		5-146278-3
4	1	J2		ヘッダ、100mil、15×1、スズ、TH	Samtec™	SSW-115-23-F-S		カスタム
5	1	R1	1.00kΩ	RES、1.00kΩ、1%、0.25W、TH	Stackpole Electronics™	CF14JT1K00		CMF50

6.3 寄生電源モードのレイアウトに関する推奨事項

この設計は、MSP430 デバイス ファームウェアを重視しており、動作のためにハードウェアを複数追加する必要がないため、PCB レイアウトは開発されていません。ただし、[セクション 3.1](#) および [図 2-1](#) に示すように、寄生電源モードを使用して MSP-EXP430FR5969 LaunchPad をデバイスに接続することもできます。設計を評価する際には、Samtec SSW-115-23-F-S と同様のメス型ヘッダを使用することを推奨します。

この 15 ポジションの細長いリード ヘッダを、MSP-EXP430FR5969 の右側のヘッダと、基板の右下にある追加の V_{CC}/GND ヘッダの間に取り付けます。次に、R_{PUP} を P1.2 (CC11A/ データライン入力) が配置されている場所 から未実装のヘッダに接続します。次に、未実装のヘッダを D_{Schottky} のカソード側に接続し、そのアノード側を V_{CC} ヘッダに接続します。C_{Tank} を V_{CC} ヘッダと G_{ND} ヘッダの間に接続します。標準のジャンパケーブルを使用して、の V_{CC} を R_{PUP}/D_{Schottky} 未実装ヘッダに接続し、データラインを P1.2 に、G_{ND} を G_{ND} に接続します。表 6-1 に、推奨されるハードウェアの型番を示します。

6.4 MSP430 FRAM デバイスの移植に関する考慮事項

1-Wire[®] EEPROM エミュレーションに使用する MSP430FR5969 デバイスよりも FRAM MSP430 デバイスが必要な場合、ペリフェラル移植ガイドラインをいくつか考慮する必要があります。まず、代替の MSP430 デバイスは 16MHz の CPU 速度で動作できる必要があります。このデバイスには、汎用クロック供給用に 1 つ以上の CCIxA または CCIxB 割り込み対応ピンと個別のタイマが必要です。TI Designs のファームウェアのクロック システムとタイマの両方を適宜初期化し直す必要があります。FR2xx および FR4xx ファミリーに関しては、MPU コードを SYSCFG0 レジスタにある FRAM 書き込み保護に置き換える必要があります。FRAM 書き込み保護の詳細については、『[MSP430FR4xx および MSP430FR2xx ファミリー](#)』ユーザー ガイドの「FRAM 書き込み保護」セクションを参照してください。この TI Designs に含まれるソフトウェア パッケージには、MSP430FR4133 デバイスを使用した 1-Wire[®] EEPROM 動作の CCS v6.1 プロジェクトがすでに含まれています。

7 ソフトウェア ファイル

このリファレンス デザインのソフトウェア ファイルをダウンロードするには、[TIDM-1WIREEEPROM](#) のリンクを参照してください。

8 参考資料

1. テキサス インストルメンツ、『[TMP1826 および TM4C129x マイコンによる 1-Wire[®] プロトコルの実装一覧](#)』アプリケーションノート

9 サポート・リソース

テキサス・インストルメンツ [E2E™ サポート・フォーラム](#)は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インストルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インストルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インストルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

10 商標

E2E™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, EnergyTrace™, and テキサス・インストルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Panasonic™ is a trademark of Panasonic Corporation.

東芝™ is a trademark of Toshiba Corporation.

Samtec™ is a trademark of Samtec Inc.

Stackpole Electronics™ is a trademark of Stackpole Electronics Inc.

1-Wire[®] is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Saleae[®] is a registered trademark of Saleae, Inc.

ウルトエレクトロニクス[®] is a registered trademark of Würth International AG.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

11 著者について

Ryan M. BROWN は、テキサス インストルメンツの MSP430 デバイスのカスタマ アプリケーション エンジニアであり、さまざまなアプリケーションにおけるお客様の設計の開発サポートを担当しています。PCB 設計ソフトウェア、MSP430 アーキテクチャ、LaunchPad とブースタパック プロトコルに関する経験を活かして、この職務に就いています。Ryan は、テキサス州ラボックのテキサス工科大学で電気工学の理学修士 (MSEE) を取得しています。

12 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (July 2016) to Revision B (February 2025)

Page

- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新。..... 1

-
- ドキュメント全体を通して有線半二重シリアル バスの用語を更新。..... 1
-

重要なお知らせと免責事項

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

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

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

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

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

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

重要なお知らせと免責事項

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

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

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

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

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

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