

Design Guide: TIDA-00848

GPIO ピンを使用したセグメント LCD 制御を備えたシングルチップ
ヒート コスト アロケータのリファレンス デザイン

説明

セグメント LCD ディスプレイは、ヒートコスト アロケータ、水道メーター、暖房メーターなどの超低消費電力のメータリングやサブメータアプリケーションで広く使用されており、通常は MCU 内の専用のオンチップ LCD コントローラ モジュールで制御されます。この設計は、このようなモジュールなしで、あらゆる TI の MCU で使用できる、TI が特許申請中の代替設計を示しています。抵抗ネットワークと GPIO 制御ソフトウェアを使用することで、CC1312R ワイヤレス MCU 内部のセンサ コントローラ エンジンに LCD ドライブ機能を実装しており、7.3µA の消費電力 (LCD 接続なし) を実現しています。EN 834 規格に準拠したヒートコスト アロケータで最小の消費電力を実現するため、ユーザーは静電容量式タッチまたはプッシュ ボタン イベントを使用して LCD をアクティブにすることができます。

リソース

TIDA-00848	デザイン フォルダ
CC1312R	プロダクト フォルダ
TMP63	プロダクト フォルダ
TLV2333	プロダクト フォルダ
TIDA-00848	ツール フォルダ

特長

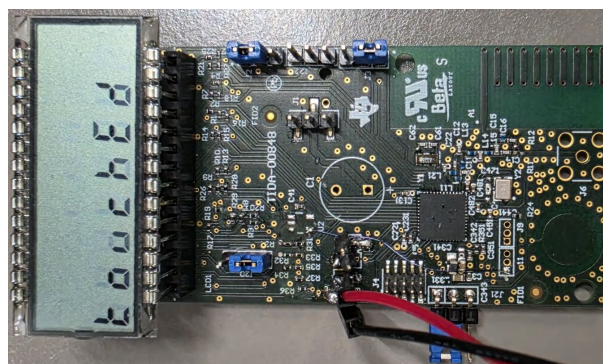
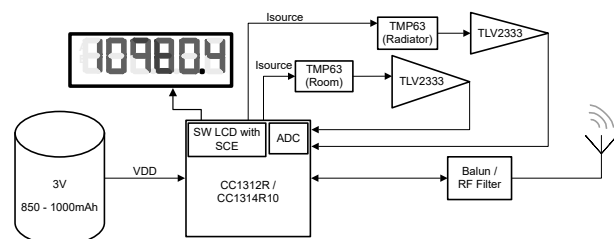
- CC1312 SimpleLink™ ワイヤレス MCU は、GPIO を使用してセグメント LCD を制御 (TI MCU 向けに TI が特許申請中の設計)
- 4 つの COM、2 つの制御、および 21 セグメント (合計 27 I/O) のみが、84 の LCD セグメント (4 マルチプレкса、1/3 バイアス) の駆動に必要な
- センサ コントローラ パリフェラルは 2 つの TMP63 センサを定期的に読み取り、CapTouch イベントをチェックして、IrDA 通信ポートを実装
- HCA フォーム ファクタ採用の 2 層 PCB、96 セグメント LCD (4 マルチプレкса) と LCD オン / オフ用の静電容量性タッチ領域を使用
- 平均電流: 3.6V で 835nA (LCD オフ)、SCE のみ 7.3µA、3.3V で 11.9µA (BT1002 の 4 つのマルチプレкса LCD で 28 セグメント オン)

アプリケーション

- ヒートコスト アロケータ
- 水道メーター
- 熱量 (熱量 / 冷却量) メーター



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



1 主なシステム仕様

CC1312 ワイヤレス MCU は 1.8 ~ 3.8V (4.1V は許容される絶対最大値) で動作し、TIDA-00848 の電源電圧範囲を定義しています。これは、3.6V の LiSoCl₂ や、公称電圧 3.0V の LiMnO₂ などの 1 次バッテリーのケミストリーに最適です。

TMP63 は正の温度係数 (PTC) を持つシリコンベースのリニア サーミスタであり、0 ~ 5.5V で動作し、25°C (R25) で 100kΩ の公称抵抗、最大 +1% (0°C ~ 70°C) です。このデバイスは、標準的な 0402 DEC パッケージで、全温度範囲にわたって TCR 許容誤差が 0.2% (代表値)、高速な熱応答が 0.6s です。

コスト重視システム用の OPA2333、デュアル低ノイズ、RRIO、CMOS オペアンプは、正の電源電圧のみを使用する場合、1.8V ~ 5.5V で動作します。

表 1-1. 主なシステム仕様

特長	説明
TI ワイヤレス MCU	CC1312R、CC1312R7、CC1314R10
LCD フレーム レート	ソフトウェアを使用して調整可能 (RTOS ティック ベース)
LCD マルチプレクサ比	4MUX、1/3 バイアス
GPIO の数 (4 COM + 2 AUX + N SEG ライン)	最大 30 (CC1312R / CC1312R7) 最大 46 (CC1314R10)
動作温度範囲 (°C)	−40 ~ 105°C (CC1312R、CC1312R7、CC1314R10) −40 ~ 150°C (TMP63) 4 マルチプレクサ LCD ユニット (データシートを参照)
消費電流	3V3 で 11.9μA (28 SEG がオン)
動作 電圧	1.8 ~ 3.8V
オペレーティングシステム (SW の例)	TI-RTOS または FreeRTOS
LCD 波形生成	センサ コントローラ エンジン (16 ビット MCU モジュール)
バッテリー (1 次側リチウムイオンセル)	3.0V LiMnO ₂ 3.6V LiSoCl ₂

2 システムの説明

ヒートコスト アロケータ (HCA) デバイスは、各施設に複数のラジエータ ユニートを備えた中央熱源 (温水など) を備えた建物で消費される暖房コストを測定するために使用されます。HCA は、物理エネルギーをキロワット時 (kWh) 単位で測定する熱量計と連携して動作します。HCA は、HCA が取り付けられているラジエーター本体の熱消費量の相対単位を記録し、テナントごとの暖房コスト総額の公平なシェアを定義できます。欧州エネルギー効率指令 (EED) によると、充電はアパートの床面積よりも実際の使用量に基づいて行われる必要があります。ヒートコスト アロケータ (HCA) は、20°C 以上の温度で登録 (測定) を開始します。

HCA は、次のような複数のサブシステムを搭載しています。

- 温度センシング (室温とラジエータ向けシングル センサまたは主にデュアル センサ)
- wM-Bus、C モードで RF (無線周波数) 868MHz (S モードおよび T モードは段階的廃止)
- 消費された相対単位を表示するためのセグメント LCD
- 現場でデータを読み出し、HCA デバイスを構成するために使用される光 (IrDA) シングルまたはデュアル LED。HCA デバイスの製造時にも使用されます
- バッテリ (約 1000mAh (代表値) の 12 年を超える寿命の容量を持つ一次セル (10 ~ 11 年の運用 + 保管期間 + 数か月の運用マージン))
- 処理機能 (超低消費電力 MCU コアは、温度センサのデータを 1 分間に数回処理し、温度の差と時間を消費単位に変換するアルゴリズムを使用します。)
- セキュリティおよび不正防止機能には、物理的なシール、電子的な改ざん防止センサ、またはラジエータからデバイスを取り外したり、取り外しを検出して記録するその他の手段が含まれます。

注

このマルチプレクサ抵抗ネットワークを使用してセグメント LCD ディスプレイを駆動するための TI の特許申請中の設計は、MSPM0+、MSPM33、C2000™、CC13xx、CC26xx および CC27xx ファミリー他などのテキサスインスツルメンツの有線またはワイヤレス MCU 製品との組み合わせでのみ、無料で使用できます。

TIDA-00848 は、868MHz 対応 HCA で wM-Bus を使用するシングルチップのリファレンス デザインであり、EN 834 の要件を満たしています。

- 室温センサとラジエータ センサで一般的に使用されている NTC を置き換える、コスト効率の優れた 2 個の TMP63 リニア サーミスタ温度センサ
- CC1312R ワイヤレス SoC は、C モード搭載、868MHz RF サブシステムで wM-Bus を実現し、mioty (tm) モードへのサポートが実証済みです。

TIDA-00848 は、専用の外部抵抗ネットワーク ([セクション 8.1](#) を参照) と専用ソフトウェアを使用してセグメント LCD ディスプレイを駆動します。これらはオープンソース コード サンプルとして提供されています。CC1312R のセンサ コントローラ ペリフェラルは、2 つの TMP63 センサの電圧を定期的に読み取り、その値を温度単位に変換します。それ以外の場合、GPIO ピンを使用して TMP63 センサの電源がオフになります。並行して、センサ コントローラは、PCB タッチ イベントを定期的に (たとえば毎秒) チェックするようにプログラムされています。このようなタッチ イベントが検出されると、LCD 機能が有効になり、プログラム可能なタイムアウトが発生するまで LCD が有効になり、最大で 84 セグメントがオンになります (可視)。LCD サポート機能は、TI の [Sensor Controller Studio](#) ツールに統合されており、4 つのマルチプレクサ LCD ディスプレイをサポートしているため、センサ コントローラ エンジン モジュールを搭載した TI のワイヤレス MCU を採用したあらゆるアプリケーションで利用できます。

2.1 CC1312R、352kB フラッシュ搭載、SimpleLink 32 ビット Arm Cortex-M4F Sub-1GHz ワイヤレス MCU

CC1312 ワイヤレス MCU にはアプリケーション開発用の ARM® Cortex®-M4F コアが搭載されています (図 2-1 を参照)。

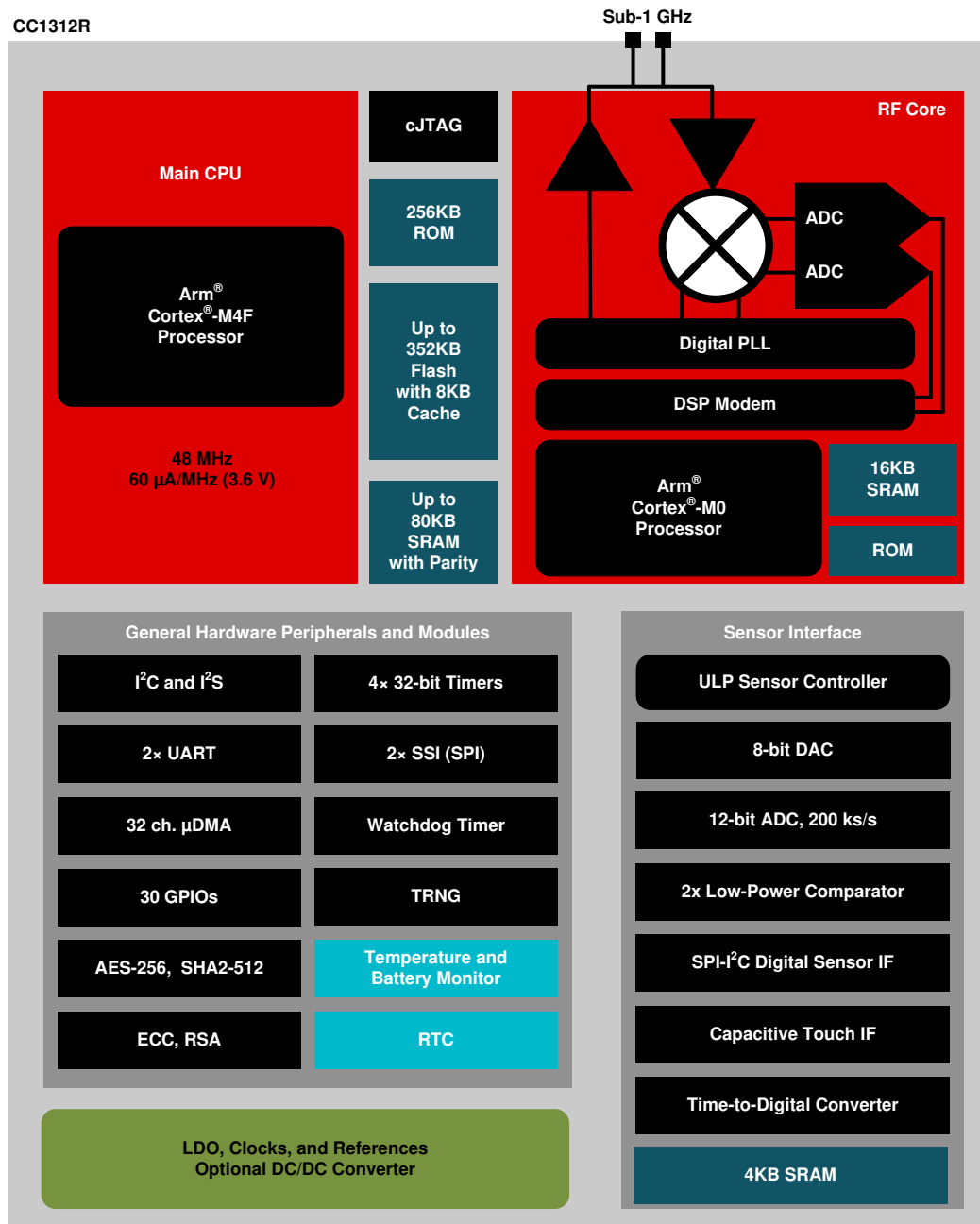


図 2-1. CC1312 のブロック図

CC1312R は、最小限のメモリ実装、低消費電力といったシステム要件を満たす、高性能で低コストのプラットフォームを提供し、極めて優れた計算性能と割り込みに対する並外れたシステム応答を実現します。Arm Cortex-M4F コアは最大 48MHz で動作し、デバイス内に 352KB のシステム内蔵プログラマブル フラッシュ、キャッシュ用の 8KB の SRAM (または汎用 RAM として)、パリティ付き 80KB の超低リーク SRAM も備えています。センサ コントローラ エンジン (SCE) は超低消費電力に最適化されており、0.4mA + 8.2µA/MHz のみを使用して、システムの他の部分から自律的に 24MHz または 2MHz 低消費電力モードで動作できます。

独自の電力最適化された 16 ビット CPU である SCE は、センサの読み取りや監視、その他のタスクを自律的に実行できるため、消費電力を大幅に削減し、メイン Cortex-M4F CPU の負荷を軽減できます。SCE は 16 ビット アーキテクチャを採用し、コードおよびデータ用に専用の 4KB の超低リーク SRAM を備えています。CC1312 のスタンバイ電流は 0.85µA (RTC がオン、80KB RAM と CPU を保持) です。SCE は TMP63 センサや静電容量式タッチ PCB 領域とシームレスに接続し、卓越した精度と非常に優れた低消費電力を実現しており、EN 834 に準拠した HCA に適しています。

センサ コントローラ エンジン (SCE) には、高い計算能力と非常に正確なタイミングに適した 24MHz モードに加えて、スタンバイ モードで選択的に有効にできる回路が含まれており、最小消費電力の使用事例向けに 2MHz 動作モードをサポートしています。

主要な CC1312 ペリフェラルの 1 つが SAR ADC モジュールであり、8 つの入力と内蔵電圧リファレンスを備えた 12 ビットの 200k サンプル / 秒の ADC です。アナログ モジュールは、最大 8 つの異なる GPIO に接続できます。CC1312R デバイスには、ADC12 の室温での 2 つのキャリブレーション値が用意されています。1 つはゲイン用、もう 1 つはオフセット用で、デバイスの製造時に TI によって専用のフラッシュ領域に書き込まれます。

2.2 TMP63、0402 パッケージの ±1% 100kΩ リニア サーミスタ

リニア サーミスタは、全温度範囲にわたって線形性と安定した感度を維持し、簡単かつ正確な方法による温度変換を実現します。消費電力が低く、サーマル マスが小さいため、自己発熱の影響は最小限です。高温時のフェイルセーフ動作機能を内蔵し、環境の変異に強い耐性を備えており、長期にわたり高性能を維持できるように設計されています。また TMP6 シリーズは、小型であるため熱源に近付けて配置でき迅速な応答が得られます。NTC サーミスタと比較して、追加の線形化回路が不要、較正がないまたは最小限、抵抗公差の偏差が小さい、変換方式が簡単などの利点があるため、時間と、MCU 内のメモリを削減できます。

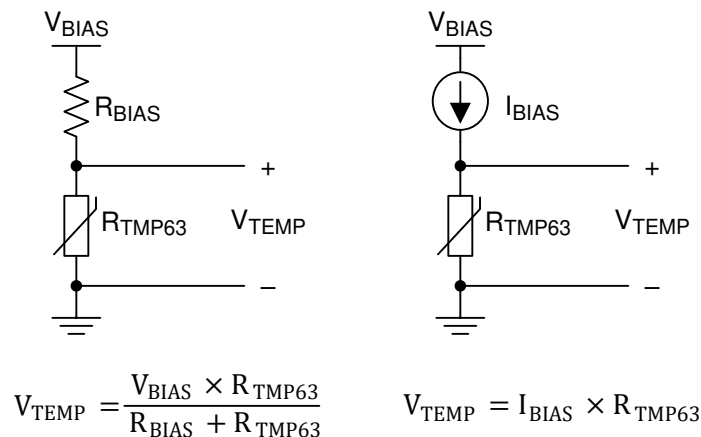


図 2-2. TMP63 # 代表的な実装

SCE 内部のプログラマブルの電流源モジュールによって 2 つの TMP63 が直接動作するため、超小型フォーム ファクタで超低コストの温度測定ソリューションを実現できます。

TMP63 シリコン リニア サーミスタは、線形の正温度係数 (PTC) により、広い動作温度範囲にわたって安定した温度係数抵抗 (TCR) を実現します。TI は、デバイスのドーピング レベルとアクティブ領域面積で主要な特性 (抵抗温度係数 (TCR)、公称抵抗値 (R25)) を制御する特殊なシリコン プロセスを採用しています。このデバイスは、極性を持つ端子に起因するアクティブ領域と基板から成ります。正の端子は高電位側に接続します。負の端子は低電位側に接続します。単なる抵抗デバイスである NTC とは異なり、TMP63 の抵抗はデバイスを流れる電流の影響を受け、その抵抗値は温度に応じて変化します。

TMP63 は、小型でコスト効率の優れた高精度 NTC および PTC サーミスタで、次のような精度で規定されています。

- 最大 ±1% (0°C ~ 70°C)
- 長期センサドリフト: 標準値 0.3%

TMP63 には、NTC サーミスタと比較して、追加の線形化回路が不要、較正が最小限、抵抗公差の偏差が小さい、高温での感度が高い、変換方式が簡単などの複数の利点があるため、時間と、マイコン内のメモリを削減できます。

TMP63 は現在、0402 フットプリント互換の X1SON パッケージで供給されているため、HCA などのサブメーター アプリケーションに理想的なソリューションです。

TLV2333、コスト重視システム向け、デュアル、350kHz、低ノイズ、RRIO (レール ツー レール入出力)、CMOS オペアンプ

CMOS オペアンプの TLVx333 シリーズは、競争力のある価格で高精度の性能を実現します。これらのデバイスは、ゼロドリフトファミリのアンプのメンバーで、専用の自動較正技術を使用して、低いオフセット電圧 (最大 15 μ V)、時間と温度に対してゼロに近いドリフト、わずか 28 μ A (最大値) の静止電流を同時に実現しています。TLVx333 ファミリは、レール ツー レールの入出力に加えて、フラットに近い 1/f ノイズが特長で、多くのアプリケーションに理想的なアンプであり、システムの設計に簡単に組み込めます。これらのデバイスは、最小 1.8V (± 0.9 V)、最大 5.5V (± 2.75 V) の低電圧で動作するよう最適化されています。TLV333 (シングル バージョン) は SC70 5、SOT23-5、SOIC-8 パッケージで供給されます。TLV2333 (デュアル バージョン) は VSSOP-8 および SOIC-8 パッケージで供給されます。TLV4333 は、標準の SOIC-14 および TSSOP-14 パッケージで提供されています。すべてのバージョンでは、-40°C ~ +125°C での動作が規定されています。

3 システム設計理論

HCA は、サポートされている最大温度は通常 90°C ~ 95°C で、20°C の温度測定を開始することが予想されます。

RF 対応システムでは、MCU + RF トランスミッタ (またはトランシーバ) が必要なため、TI の CC1312R SimpleLink ワイヤレス MCU などのシングルチップ設計が優先されます。PCB 面積が最小限、アプリケーション MCU と RF サブシステムの統合、使いやすさが理由です。CC1312R には LCD コントローラ ハードウェアモジュールが内蔵されていないため、ここで紹介する GPIO 経由で LCD を駆動するための TI 特許申請中のソリューションの開発とテストが完了しています。

3.1 メイン アプリケーション MCU としての CC1312R

温度を測定するには、CC1312R の電流源と ADC12 モジュールを使用します。CC1312 の 12 ビット ADC には、4.3V のスケールリングされたリファレンス用のスケールリングされた入力と相対リファレンス (CC1312R の公称 VDD5 電源電圧) の 2 つの基準があります。LiMnO2 バッテリの場合、時間の経過とともにこの電圧が低下し、多くの場合、バッテリーの寿命終了電圧は約 2 または 2.1V に設定されていることに注意してください。

この TI 設計では、センサ コントローラは最大電流 20μA で内蔵プログラマブルの電流源を定期的に有効にし、両方の TMP63 デバイスに電流バイアス方式を実装しています。レシオメトリック測定を維持するには、室内およびラジエータ センサを駆動する電流が同じ値で、異なるアナログ ピンに配線されている必要があります。

SCE モジュールからの正確に同じ励起電流を使用して各 TMP63 デバイスによって生成される電圧降下は、ラジエータ センサで見られるように、より高い温度で必要とされるダイナミック レンジを拡大するためにシングル ステージ アンプ回路で増幅されます。実装されている設計では、20° ~ 90°C の範囲でほぼ 4 倍の分解能を達成しています (この範囲の上限と下限の両方に 1.5°C のマージンが追加されています)。

各 TMP63 センサの増幅された信号は ADC12 オンチップ モジュールに供給され、ファームウェアによって温度値に変換されます。

メイン アプリケーションは、CC1312R 上の TI RTOS で動作します。TI RTOS は、温度測定、PCB タッチ検出、他のすべてのアプリケーション コードの正確なスケジューリングを可能にします。

3.2 TLV2333 アンプ使用 TMP63 リニア サーミスタ

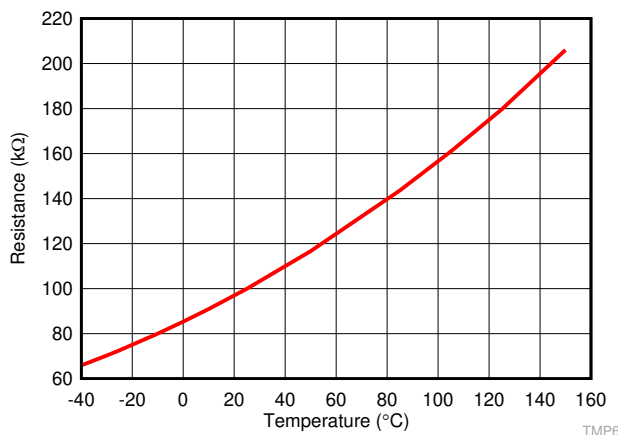


図 3-1. TMP63 の標準抵抗と周囲温度との関係

温度範囲全体にわたる TMP63 の抵抗プロットは、デバイスのデータシート (TMP63) に記載されています。サーミスタ設計ツール (TI.com で提供されている Excel ベースのツール) を使用して TMP6331DYAT に 10μA のバイアス電流を設定し、Vreference 2.1V の 12 ビット ADC を使用すると、標準的な Rvalue = 95458Ω (20°C)、Rvalue = 144779Ω (90°C) を示します。拡張範囲 18 ~ 95°C の温度差ではわずか 54,625Ω × 10μA = 0.546V です。ADC12 の全範囲は 2.1V (最小電源電圧 = 2.1V) であるため、最初の TLV2333 アンプは 4 倍近くのゲイン段を実装しています。これにより、電圧範囲が 0.051V から 2.05V に拡張され、分解能は 4 倍近くになります。

室温は 2 つの方法で測定できます。20 ~ 40°C の入力範囲を想定すると、増幅段なしでバイアス電流を 10 ~ 15μA の範囲で設定できます。より高い分解能が必要な場合は、ラジエータ センサと同様のシングルステージ アンプ回路が設計

およびシミュレーションされており、約 12 倍の高い分解能範囲が得られます。0.238V ~ 2.07V で、TLV2333 に 2 番目のアンプユニットを使用します。

3.3.4 マルチプレクサ 1/3 バイアス 7 セグメント LCD、84 セグメント

物理的な寸法が小さく、低消費電力であることから、96 セグメントおよび 4 マルチプレクサ機能の LCD BTL002 が選択されました。

LCD の仕様は、図 3-2 に示されています。

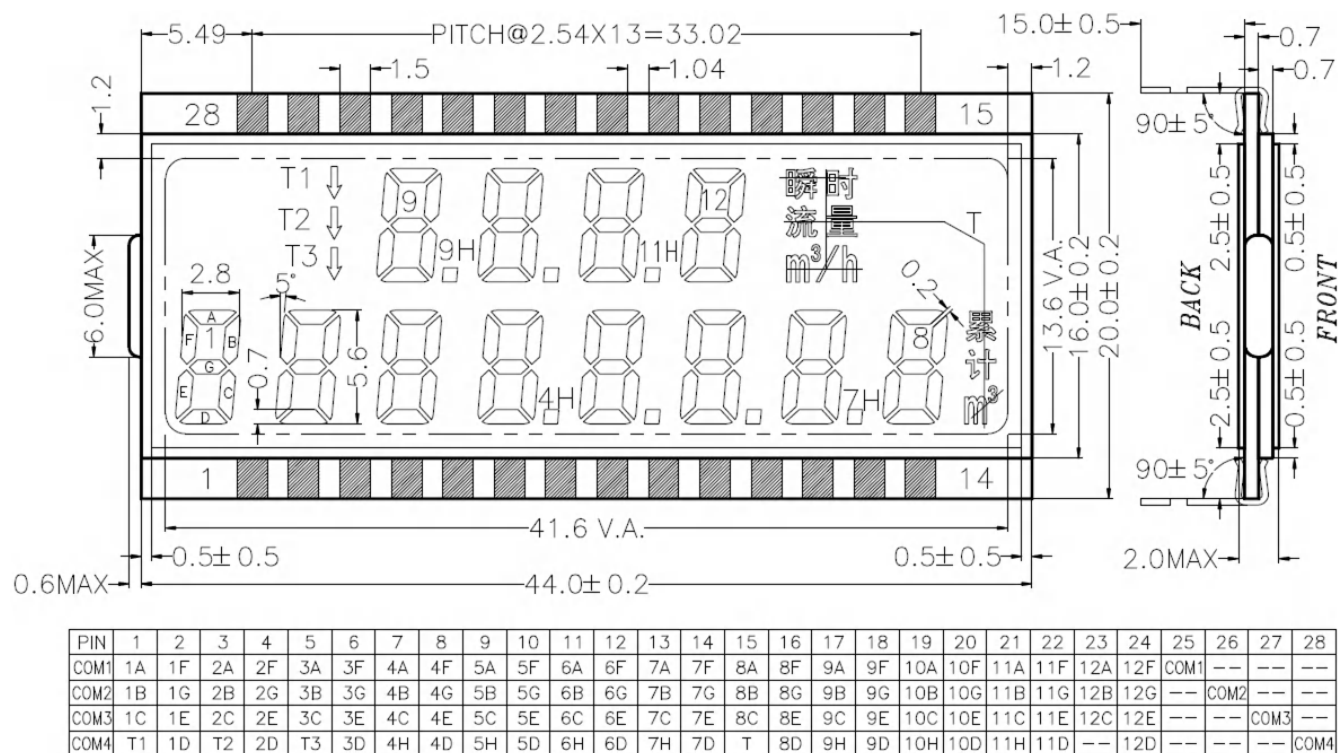


図 3-2. BTL002 仕様 (96 セグメント LCD)

3.4 GPIO によるセグメント LCD 制御の設計概要 (TI 特許申請中の設計)

図 3-3 は、4 つの COM 信号すべてと 1 つの SEG 信号を生成するための、TI 特許申請中の回路を示しています。各 SEG ラインには GPIO ピンがあり、4 つの異なる LCD セグメント (4 つのマルチプレクサ LCD を使用する場合) と、別々の抵抗 R_{seg} を介した SEG_BASE_COMMON 信号に接続されています。1 つの SEG ラインに接続されている 4 つの LCD セグメントはそれぞれ、異なる COM ラインに接続されています。

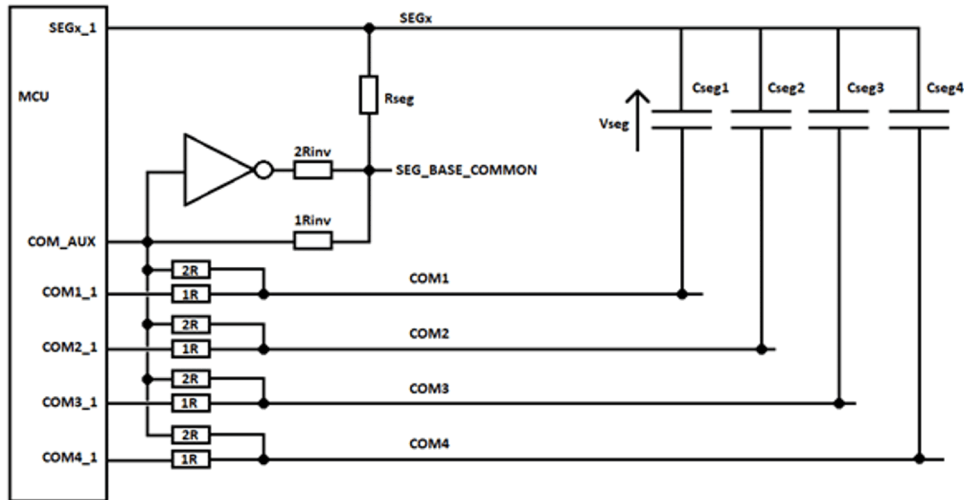


図 3-3. TI 特許申請中のマルチプレクサ LCD 信号生成、4 つの LCD セグメントを容量 Cseg1 ~ Cseg4 として記載

上記の図の抵抗 $1R$ と $2R$ は、 $2R$ の値が $1R$ の 2 倍であることを意味しています。オプションの外部インバータ デバイスの周囲の $2R_{inv}$ と $1R_{inv}$ の抵抗についても同じことが当てはまります。

COM 信号の生成に使用されるすべての GPIO、および BASE_PWM 信号と BASE_PWM_N 信号が出力として構成されます。COM 出力の信号を以下に示します。SEG_BASE_COMMON 信号を生成するために、インバータの代わりに BASE_PWM_N として別の GPIO を使用できます。任意の LCD のバイアス値は、LCD 電源電圧 (V_{LCD}) を分割する中間電圧レベルの数を定義します。たとえば、BTL002 ディスプレイの $1/3$ バイアスは、次の 4 つの異なる電圧レベルがあることを意味します。 $0V_{LCD}$ 、 $1/3V_{LCD}$ 、 $2/3V_{LCD}$ 、および $3/3V_{LCD}$ 。

3.5 GPIO を使用して方形 LCD 波形を生成 (TI 特許申請中の設計)

問題: V_{LCD} と GND を切り替えるロジック信号のみを使用して $2/3V_{LCD}$ と $1/3V_{LCD}$ を切り替える方形波信号を生成する方法は？

TI が特許申請中の設計は、抵抗性ネットワーク、インバータ、および補助クロック信号 BASE_PWM による COM 信号の重ね合わせにより、 $1/3V_{LCD}$ および $2/3V_{LCD}$ の中間 LCD 電圧レベルを生成する方法を提供します。TI が特許申請中の設計の 2 番目のバリエーションでは、インバータ機能を BASE_PWM_N と呼ばれる追加の GPIO 信号で置き換えることが定義されています。

現在存在している PWM ベースの GPIO アプローチとは異なり、TI 設計では外部コンポーネントの数は少なく済みます。抵抗とオプションのシングル インバータのみが必要です。ファームウェア側では、LCD フレーム更新周波数の 8 倍のレートで IO のスイッチングをタイマーのティック ベースにするだけで、高速な複合信号は必要ありません。これにより、PWM ベースの GPIO LCD 設計と比較して、MCU に必要なリソースが削減され、消費電流も大幅に削減されます。

3.5.1 COM ラインの生成

方形波は、BASE_PWM と呼ばれる 1 つの追加信号と、抵抗デバイダ ネットワークを使用して、BASE_PWM_N という反転バージョンを使用して生成されます。TIDA-00848 回路図の R30-R38、それぞれ $1\text{M}\Omega$ と $2\text{M}\Omega$ を参照してください。さらに、R28 と R29 の抵抗デバイダでは、この 1/3 対 2/3 の比率が再度使用され、抵抗値も $1\text{M}\Omega$ と $2\text{M}\Omega$ です。SEG_BASE_COMMON を流れる電流は、84 個の LCD セグメントすべてがオンのとき、最悪の場合、21 セグメントラインによって共有されます。

U2 SN74AHC1G04 インバータの動作テストは成功しましたが、抵抗ネットワーク R28 および R29 を流れる連続的な追加電流の大きな欠点が特定されました。そのため、最終的な実装 (低消費電力を実現するため最適化) でインバータは削除され、CC1312 の DIO_27 ピンを BASE_PWM_N 信号に転用しました。これは単純に BASE_PWM の反転版です。LCD が非アクティブのときに、DIO_27 または BASE_PWM_N を Low 状態を出力するように設定することで、R28 および R29 を流れる電流は除去されます。

セグメント化された LCD の COM 電極とセグメント電極は交点でコンデンサを形成し、液晶はその中間に誘電体として存在します。4 マルチプレクサ ディスプレイでは、1 つの LCD セグメントピンが内部的に 4 つ (またはそれ以下) のセグメントに接続されます。BTL002 のピン セグメント 1 (S1) は、ディスプレイ上の 1A、1B、1C、T1 セグメントに接続されます。ピン 1 については 図 3-2 の左側の列を参照してください。これらの各セグメントは、異なる COM プレーン (COM ライン) に接続して、各セグメントの時間マルチプレクシング制御を可能にすることに注意してください。

セグメント LCD デバイスを駆動するために必要な電圧は、 $0V_{\text{LCD}}$ に対して DC フリーである必要があるため、共通プレーン (COM 信号) を駆動した後、逆極性で 2 つ目の相が必要になります。技術情報およびアプリケーション ノートを参照してください。

したがって、BTL002 ディスプレイでは、LCD に送信される 1 つのフレームごとに 4 つの $\text{COM} \times 2 = 8$ のサブディビジョンが必要です。これは、 f_{frame} 期間の COM0 ラインに対して示されています。フレームレートは一般的に、フリッカフリーの LCD 表示のために 25 フレーム / 秒 (fps) の間で選択され、消費電流を適切な値に維持するために最大 60Hz が選択されます。

TIDA-00848 ソースコード プロジェクトでは、以下の定義が行われました。

- 2 つの BASE_PWM/BASE_PWM_N ラインと 4 つの COM ラインにより、MCU の影響を最小限に抑えて適切な波形を生成できるようにします
- 8 つのサブフェーズ (1 つは COM プレーンおよびセグメントを駆動するため、次は LCD の DC フリー制御のための逆極性)
- セグメントラインは、動的にトライステートにするか、各サブフェーズで High または Low を出力するように設定する必要があります

これらの機能はすべて、消費電力を最小限に抑えるために 2MHz で動作する SCE モジュールの LCD リソースに実装されています。

3.5.1.1 セグメントライン

TIDA-00848 では、CC1312 と BTL002 の間のセグメントラインは DIO_1 ~ DIO_21 に対応し、COM ピンは DIO22 ~ DIO25、BASE_PWM および BASE_PWM_N はそれぞれ DIO 26 と DIO27 です。LCD 機能を示すために、DIO_27 は BASE_PWM_N に割り当てられており、TMP63 センサでは使用されません。

3.5.2 セグメント ライン生成

LCD の適切なセグメント ライン波形を生成するには、対応する MCU GPIO ピンをトリステート (セグメント オフの場合) または High/Low の 2 つの出力状態 (セグメント オンの場合) に設定する必要があります。最大振幅は、LCD ピンでのセグメントと COM ライン間の差動電圧の結果です。

これらのセグメント波形の生成を可能にするために、SEG_BASE_COM 信号と呼ばれる共通のサポート信号が定義されています。この SEG_BASE_COM 信号は、同じ 8 つのサブ位相タイミングで、1/3 および 2/3V_{LCD} の値を切り替えるシンプルなパルス シーケンスを提供します。

タイミング、DC オフセット、および電圧レベルの詳細な分析

Andreas Lechner の学士論文では、LCD セグメントに印加される電圧 V_{Seg} に対するさまざまなパラメータの影響を詳細に分析しています。 V_{Seg} の RMS (V_{RMS}) は、セグメントが表示されるかどうかを決定します。さらに、LCD セグメントは DC 電圧の影響を非常に受けやすくなっています。したがって、 V_{Seg} に DC オフセットは存在しないようにする必要があります。

DC オフセット

LCD セグメントを長時間 DC 電圧にさらさないでください。そうしないと、化学プロセスで時間の経過とともに液晶が分解され始め、最終的には機能しないセグメントになります。DC 電圧が LCD セルを損傷する正確な時間を定義することはできません。数分で即座にセルを破壊することはありませんが、寿命を減らします。ディスプレイは長年動作するため、DC オフセットを回避できます。ほとんどの LCD ディスプレイでは、+/-50mV が最大許容 DC 電圧として指定されています。

したがって、ディスプレイに接続された電圧 V_{seg} には DC オフセットが含まれていない必要があります。これは、 $\frac{1}{2} V_{\text{LCD}}$ に対して COM 信号と SEG 信号の両方が DC フリーである場合に確認できます。これは、すべての信号 GPIO が同時にスイッチングされ、電圧レベルが正確である場合にのみ当てはまります。したがって、LCD フレームのタイミングが重要です。以下の部分では、DC オフセットの電位源を分析します。

COM および SEG 信号の DC オフセットに対する抵抗の許容誤差の影響

COM 信号の $\frac{1}{2}V_{\text{LCD}}$ に対する抵抗の許容誤差が DC オフセットに及ぼす影響を分析します。**Tsub-frame** が一定値であることが、以下のすべての式の基礎として想定されています。最終的な結果は、抵抗の許容誤差が COM 信号の V_{RMS} に影響を与えないため、**Tsub-frame** が一定に維持されている場合、 $\frac{1}{2}V_{\text{LCD}}$ に対する DC オフセットは発生しません。

一貫性のない Tsub-Frame が DC オフセットに及ぼす影響

Tsub-frame が一定ではない場合、電圧 DC オフセットが発生する可能性があります。このオフセットのワースト ケースは、0V から V_{LCD} までのフル スイングのタイミングが遅延した場合です。下記の許容される遅延 T_{DelayMax} の式の例を参照してください。

パラメータ: $V_{\text{LCD}} = 3.3\text{V}$

$T_{\text{Sub-frame}} = 4.1667\text{ms}$ (30Hz フレーム レート)

$V_{\text{DCoffset}} = \pm 50\text{mV}$ (最大許容 DC 電圧)

$T_{\text{DelayMax}} = V_{\text{DCoffset}} / V_{\text{LCD}} \cdot 2 \cdot T_{\text{Sub-frame}}$

$T_{\text{DelayMax}} = (0.05\text{V}) / (3.3\text{V}) \cdot 2 \cdot 4.1667\text{ms} = 126.2\mu\text{s}$

この式は、 $T_{\text{Sub-frame}}$ の遅延が $126.2\mu\text{s}$ を超えると、DC オフセットが 50mV を超える原因となり、LCD 仕様に悪影響が生じることを示しています。

COM 信号と SEG 信号間の遅延が DC オフセットに及ぼす影響

次の点は、COM ラインと SEG ラインの間の理論的遅延が結果の差分電圧 V_{Seg} に及ぼす影響です。すべての GPIO ピンが同時にスイッチングされているわけではない場合、このような遅延が発生する可能性があります。たとえば、最初にすべての COM GPIO、2 番目にすべての SEG GPIO が更新される場合です。この点は理論的な関心事項であり、実際には、Sensor Controller Studio LCD リソースは 1 つのコマンドで 30 本の GPIO すべてを同時に設定します。

この影響は LCD 信号生成をシミュレーションすることで調べ、図 3-4 に示すように COM と SEG ライン間のタイミング遅延によって DC オフセットがゼロに近いことを示しました。標準的な 10mV のセットアップで、COM ラインとセグメントライン間の 100 μ s 遅延が差電圧 V_{Seg} に及ぼす影響は最小限であり、LCD はディスプレイを損傷しないことを意味します。ただし、図 3-4 は、単一のセグメントに印加された差電圧 V_{Seg} の RMS に影響があることも示しています。つまり、遅延が多すぎる場合、単一のセグメントは完全に表示されたり見えなくなったりするのではなく、グレーのままだることがあります。許容される遅延の実用的な値または式は、使用するディスプレイと抵抗ネットワークに大きく依存するため、推定するのが困難です。これはすべてのセットアップでテストする必要がありますが、ほとんどの場合、影響はわずかです。

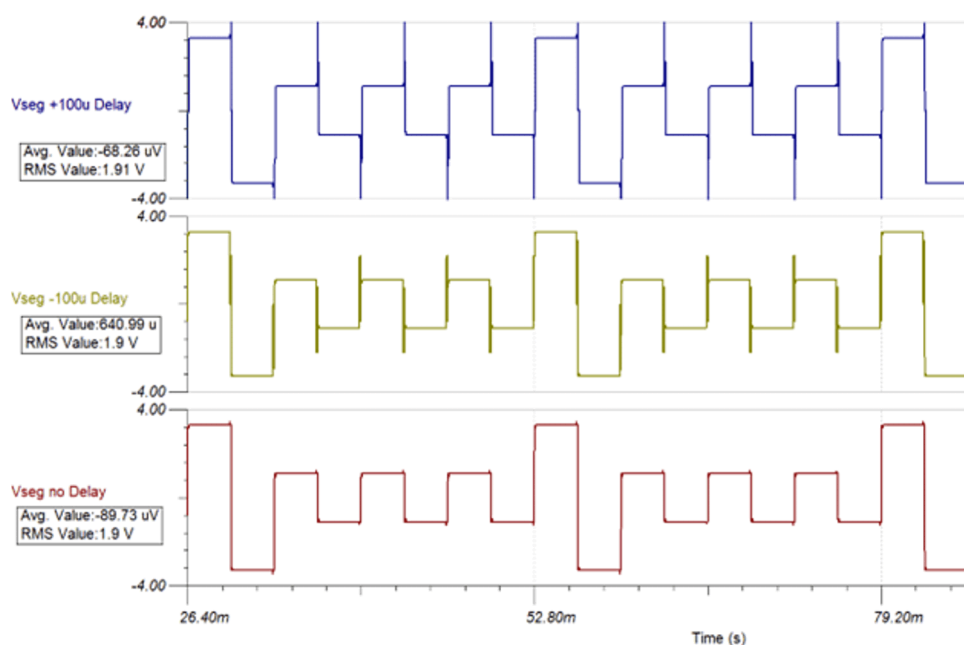


図 3-4. V_{Seg} および対応する DC オフセット (平均値) および V_{RMS} (RMS 値)、+100 μ s 遅延 (青)、-100 μ s 遅延 (緑)、および遅延なし (赤)

この遅延により、 V_{RMS} は遅延なしの 1.9V に対して 1.91V に上昇します。 V_{RMS} がわずかに高い場合は LCD 機能に問題はありますが、遅延からの復帰は V_{RMS} が低下するという逆の効果もあり、セグメントのコントラストが低下します。このシミュレーションでは、 V_{RMS} が 1.9V のままであるため、この影響はそれほど大きくありません。このシミュレーションの最も重要な結果は、COM ラインと SEG ラインの間に遅延がある波形に DC オフセットがないことです。これは、遅延によって生じる異常が互いに相殺されるためです。

3.5.3 GPIO ソフトウェア設計を他の 4 マルチプレクサ、1/3 バイアス LCD に移植する

もちろん、すべてのアプリケーションが BTL002 ディスプレイを使用しているわけではないため、コードを顧客ディスプレイに移植する必要があります。これを行う前に、次の点を考慮してください。

- **SCS** ツールに用意されている LCD コントローラリソースについて理解してください。このリソースは、通常、7 セグメント LCD (液晶ディスプレイ) などで使用するために、任意の数の GPIO ピンに対して低い更新速度で複雑な波形を生成できます。このリソースは、TI の特許申請中のマルチプレクサ LCD ソリューションをサポートするために特別に開発されたものです。
- カスタム LCD 仕様では、COM ラインと SEG ラインの割り当てが決定されます。
- 4 つの COM ラインすべて、最大 24 の SEG ラインと 2 つの PWM 補助信号を CC1312 の DIO1-DIO30 ピンにマッピングし、このマッピングが回路図と一致していることを確認します。

SCS 内の LCD リソースは、1 つのセンサ コントローラ命令で、使用されるすべての GPIO ピンの波形状態 (High、Low、またはトライステート) を同時に更新し、このリファレンス デザインで利用されている 2MHz での低消費電力動作に設計されています。詳細については、**SCS ツール** のヘルプ ビューアを確認してください。

LCD 制御は 2 つの部分で実装されていることに注意してください。SCE リソースのほかに、Cortex-M4F MCU コアで実行されるメイン アプリケーションでは追加のコードが必要です。CPU アプリケーションは、波形状態を準備し、SCE メモリ (AUX RAM) にロードします。すべての GPIO ピンがトライステートである、つまり LCD ディスプレイが駆動されない波形状態が 1 つ必要です。これがセンサ コントローラ タスクを開始するときの初期状態、センサ コントローラ タスクを停止するときの最終状態である必要があります。

注

TIDA-00848 のソースコード サンプルは、TI RTOS オペレーティング システムをベースとしており、ソフトウェアの GPIO 機能のみを提示する目的で開発されたものです。正確なタイミングはテストされておらず、使用されるタイミングの正確性は暗示されていません。

ユーザーには、特に SCE モジュール上で他のタスクが実行されている場合に、LCD に正しい波形タイミングと DC フリー電圧を供給するアプリケーション内の LCD 制御を維持する責任があります。

4 ブロック図

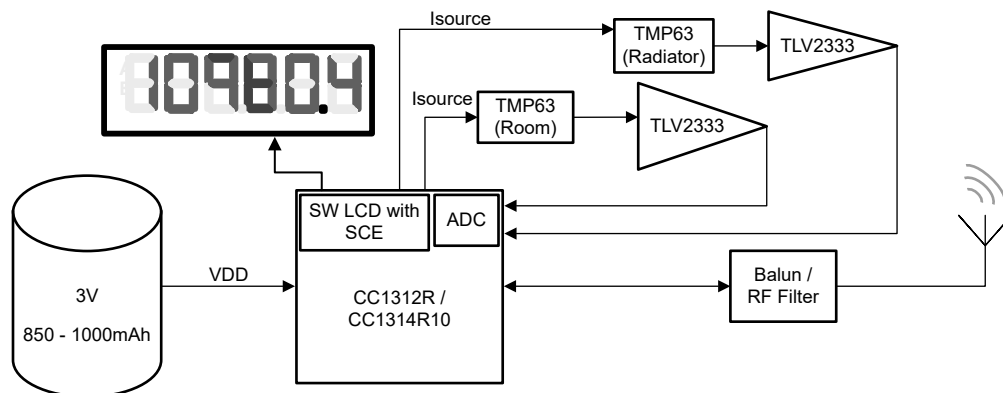


図 4-1. TIDA-00848 のブロック図

TIDA-00848 ブロック図は、HCA の差動温度測定に使用される 1 つの TLV2333 内にある 2 つの TMP63 ユニットと 2 つの OPA ユニットを示しています。このリファレンス デザインでは、以下の部品を使用しています。精度 1% の 100kΩ リニア サーミスタ デバイス TMP63 を温度センサとして使用し、各センサを TLV2333 内部の 1 つのオペアンプと組み合わせています。他のすべてのサブシステムは、CC1312R ワイヤレス MCU デバイスと、オンチップ センサ コントローラ エンジン、電流源モジュール、RTC モジュール、12 ビット ADC、COMP、30 本の GPIO 信号によって実装されています。

5 ハードウェアの概要

TIDA-00848 ハードウェアのプログラミングとデバッグは、標準的な

2×5 ピン ARM JTAG コネクタである J4 コネクタを使用して実行することもできます。1 本の 10 ピン フラットリボン ケーブルは、CC1312R のプログラミング用の XDS110 デバッガ ハードウェアを含む TI の各種 LaunchPad 評価基板に J4 とのインターフェイス接続を確立します。

CC1312R をプログラミングするときは、PCB の裏面にあるバッテリー ホルダーからバッテリー電圧を供給するジャンパ J12 を取り外します。J12 を使ってマルチメータ デバイスを接続し、おおよその平均電流を測定することもできます。電源のピークは非常に短いため、正確な消費電流測定には Agilent N6781A などの専用機器が必要であることに注意してください。代わりに、こちらに記載されている消費電力の数値を測定するために、EnergyTrace (tm) 機能を備えた TI FET430 UIF ツールを使用しています。

5.1 TMP63 回路

TIDA-00848 PCB は、拡張型フレキシブル PCB または類似のものを介して TMP63 センサに対応できます。1 つの温度センサがラジエータ本体 (またはヒーター センサ) を測定し、2 つ目のセンサが室温 (または室温センサ) をキャプチャします。HCA 装置は、ヒータ本体にしっかりと取り付けられており、ヒータ温度センサはヒータ本体と熱的 (電氣的ではない) に接触している必要があります。これに対して、室温センサは室内とは反対方向、またはヒータ本体からは反対方向に向けられています。この TI 設計で使用される 2 つのセンサ手法は、2 センサ測定方法として EN 834 に記載されています。

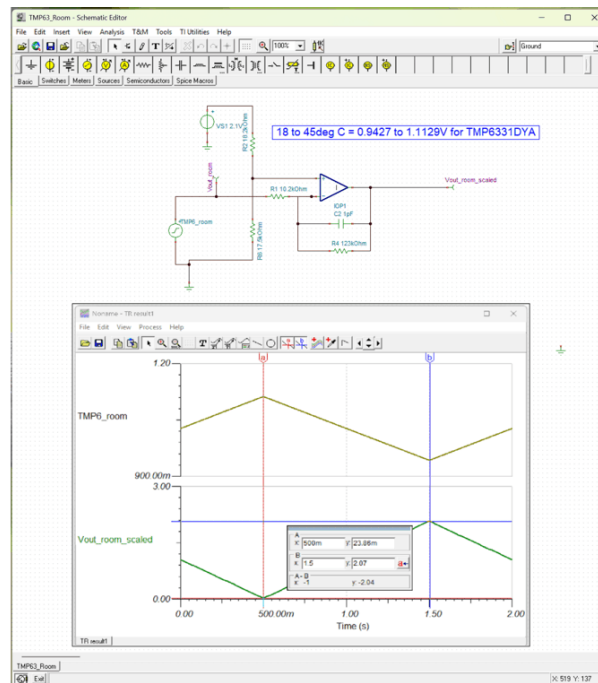


図 5-1. シミュレーションによる TMP63 室内センサ回路

2 個の TMP63 センサと TLV2333 デバイスを 2 個の拡張ヘッダ J9 および J11 経由で接続し、回路を容易に評価できます。ハードウェア設計はまだ行われていませんが、各センサ回路用の TINA TI Spice シミュレーション ファイルが提供されています。どちらのセンサも、SCE 内部のプログラマブルの電流源モジュールを使用した電流バイアス方式を採用しています。TIDA-00848 フォルダのシミュレーション ファイル例には、TMP63 センサごとに 1 つずつの 2 つのファイルが含まれています。

このシミュレーションは、CC1312R プログラマブルの電流源を TMP6331 デバイスに接続して 18 ~ 95°C および 10μA 電流源励起のプロットを示しています。x = 500m のとき、18°C の最小値は ADC12 に対して 2mV の電圧レベルであり、x = 1500m、95°C のとき、CC1312R への電源電圧として 2.1V を使用する場合、出力電圧は 2.1V です。

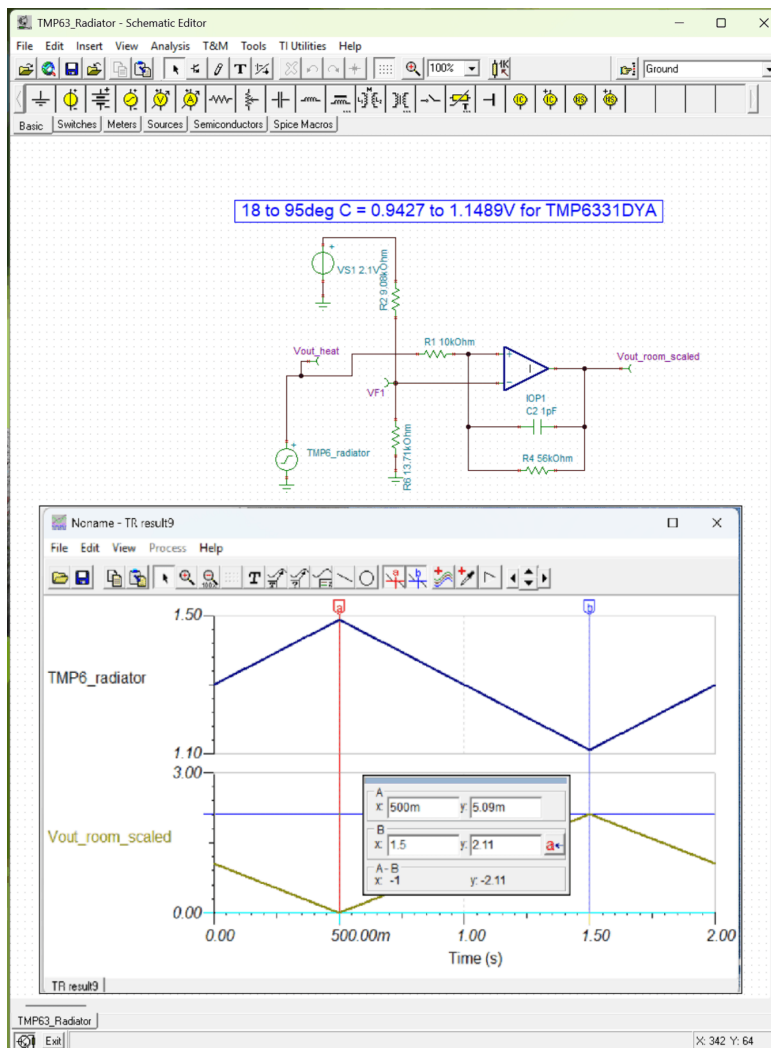


図 5-2. シミュレーションによる TMP63 ヒータ センサ回路

ヒートコスト アロケータで一般的に使用される 3V LiMnO₂ 一次セルの寿命終了時の寿命終了電圧として、2.1V 電源を選択しました。ADC12 モジュールは、VDDS をリファレンス電圧として使用することができるため、VDDS が寿命全体にわたって 3.25V (新しいセル) から 2.1V (空のバッテリー セルを表す) まで低下した場合でも、ADC のフル スケールとして 0V ~ 2.1V の範囲を利用できます。

温度センシングに利用できる TIDA-00848 PCB の信号は、次のとおりです。

- DIO_28 = Vtmpr_1
- DIO_27 = Isrc_1 (最初の TMP63 センサへのアナログ出力) - この設計では、LCD 駆動のための BASE_PWM_N 信号として転用
- DIO_29 = Iscr_2 (2 番目の TMP63 センサへのアナログ出力)

温度センシングのコードは、まだ実装およびテストされていません。メインの M4F MCU コア向けにこのコードを作成できます。通常、温度は 1 分あたり 1 ~ 2 回測定され、特に他の定期的なアプリケーション コード機能と組み合わせる場合に消費電力ペナルティは低くなります。または、タッチ タスクと LCD タスクの両方で既存の SCE RAM 使用率が 35.7% または 731 ワード (16 ビット長) であり、温度コード計算用に十分な RAM が残っているため、SCE モジュールを使用して ADC12 コードを温度値に変換することもできます。このコードに SCE を使用する場合は、LCD フレームのタイミングが最も優先される必要があるため、タスクのタイミングを慎重に調整する必要があります。LCD フレームのアクティビティの間に他のタスクをスケジュールする必要があります。

5.2 PCB 上の静電容量式タッチ領域

TIDA-00848 PCB には、静電容量式センシング アプローチに基づくタッチ イベントを検出するために、SMA アンテナ コネクタの隣に円形の PCB 領域を搭載しています。センサ コントローラ ファームウェアのサンプル プロジェクトでは、[図 5-3](#) に示すように、2 つの同時タスクをサポートしています。最初のタスクでは、PCB の静電容量式タッチ領域を 1 秒ごとにチェックします (この期間も、ユーザーがソフトウェアで設定できます)。2 番目のタスクは、SCS LCD リソースを使用して、TI が特許取得済みの LCD マルチプレクサ設計向けに、適切なタイミング設定波形を生成します。

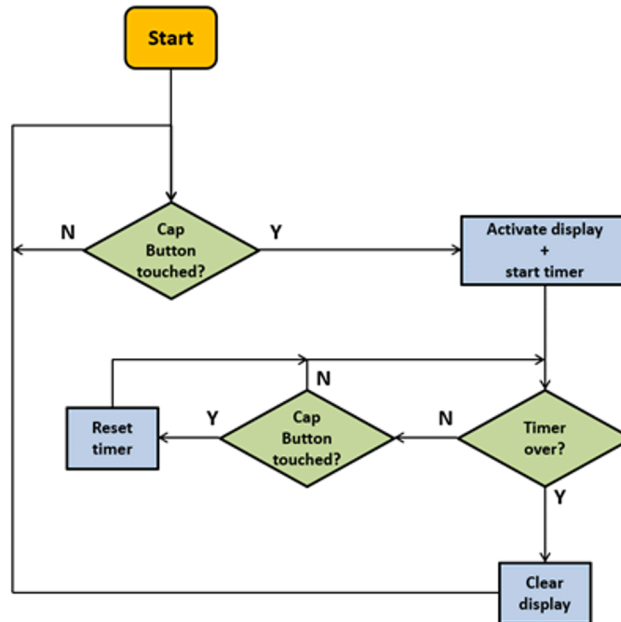


図 5-3. CapTouch を使用した LCD アクティベーション用 SCE ファームウェアのフロー チャート

5.3 バッテリ電源

TIDA-00848 は、3.0V (LiMnO₂) と 3.6V (LiSoCl₂) の両方の 1 次セル電圧をサポートすることを目標に開発されています。これらのケミストリーは、特にパルス負荷と周囲温度の下での挙動に大きな違いがあります。一般に、バッテリーに並列にバッファ コンデンサを追加すると、RF 送信時のピーク電流を吸収するのに役立ちます。ここでは、1200μF/10V に対応する Würth のデバイス WCAP-ATLI を選択しました。

タイプ FDK CR14250SE または容量の大きい FDK CR $\frac{1}{2}$ 6LHT の 3.0V バッテリーを使用する場合、寿命を劣化させることなく 20mA の周期的ピーク電流を 10ms 持続できるため、1200μF のバッファ コンデンサを減らすか完全に取り外すことができます。バッファ コンデンサの寸法を適切にするには、選択したバッテリーのメーカーに問い合わせ、アプリケーションの電流プロファイルをできるだけ正確に提示してください。

6 ファームウェアの概要

TIDA-00848 ファームウェアをコンパイルおよびデバッグするには、**TI CCS バージョン 12.8.1** (Eclipse ベース) または **CCS20.5** (Theia) のフルバージョンと **TI SIMPLELINK-LOWPOWER-F2-SDK バージョン 8.32.00.07** 以降に含まれる TI RTOS が必要です。

SCE モジュールで実行されるプログラムコードの開発を容易にするために、TI ではコントローラ用のソフトウェアを作成するための包括的なツール チェーンを提供しています。**Sensor Controller Studio (SCS) 2.0.9.208**。

これは、SCE バイナリコードを生成する IDE、コンパイラ、アセンブラ、リンカで構成されたフル統合ツールです。この包括的なファームウェアコードプロジェクトは、CC1312R 用のアプリケーションコードと SCE コードを単一のソースコード成果物 ([TIDA-00848_firmware.zip](#)) にまとめたものです。

提供されている CCS ソースコードプロジェクトには、インストールパス `/HCA-848_CC1312R1_TouchLCDOn/sce_output` にあり、「HCA-00848_CapTouch_LCDOn.scp」という名前の SCS サブプロジェクトが含まれています。

6.1 SCS コード プロジェクト

2 つのタスクが定義されています。1 つはタッチ イベント用で、もう 1 つは LCD ディスプレイ BTL002 を駆動するためです。

6.1.1 SCS タスク CapTouchButton

CapTouchButton タスクでは、COMP_A、TDC、および ISRC ブロックを使用して、「CapTouch」イベント検出を実装します。専用 PCB 領域 (小さな円形銅パッド) は DIO_30 経由で COMP_A 入力に接続されている一方で、COMP_A リファレンスは DCOUPL 信号で、公称 1.27V です。TDC は、PCB 領域 (上層と下層の間のコンデンサを表します) を COMP_A の出力が High に変化する 1.27V に充電するために必要な時間ティック (96MHz ティック単位) をカウントします。

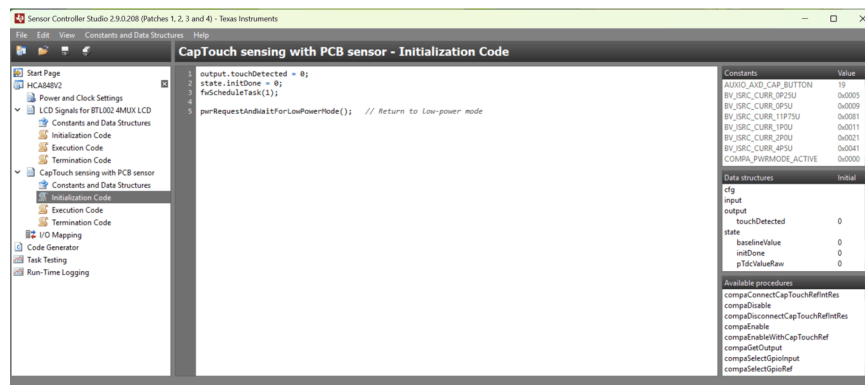


図 6-1. CC1312R 向け SCS プロジェクト: CapTouchButton タスク (初期化コード部分)

タスクの実行コード部分を 図 6-2 に示します。

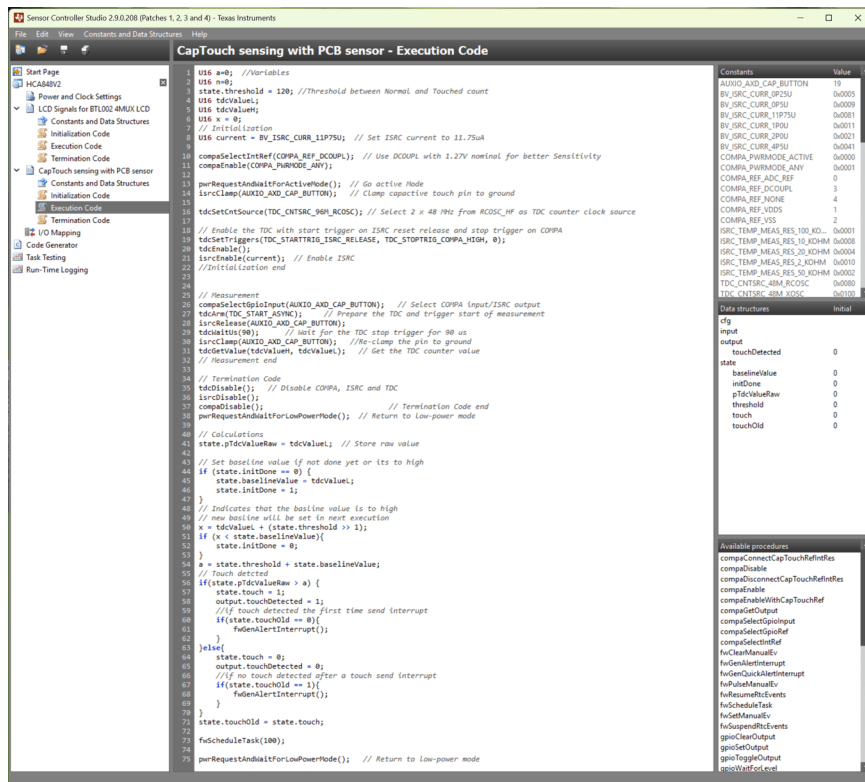


図 6-2. CC1312R 向け SCS プロジェクト: CapTouchButton タスク (実行コード部分)

変数の「スレッシュホールド」は、非タッチ イベントとタッチ イベントの差を設定します (必要に応じて、値 120 を調整できます)。このような結果が 1 回検出された場合、すぐに 2 回目の 90 μ s の測定サイクルを開始され、これが実際にタッチ イベントである (単なる外部ノイズではない) ことを確認します。

両方の測定値の差がスレッシュホールドを上回ると、fwGenAlertInterrupt() 関数を使用して Cortex-M4F コアへの割り込みが発生します。CapTouchTask は後で 1 RTOS ティックで実行されるように再スケジュールされます。ここで、RTOS ティックは 1 秒に設定されています。

6.1.2 SCS タスク LCD

HCA-00848_CAPTouch_LCDOn.scp ファイル内の LCD Signals という名前のタスクは、TIDA-00848 回路図に従った 27 本の DIO ラインを BTL002 ピンにマップします。

このタスクには、初期化、実行、終了の各コード セクションが含まれており、そこでは lcdInit()、lcdPrepareNextState()、lcdApplyNextState() などの複数の LCD リソース関数呼び出しが利用されています。

6.2 CCS コード プロジェクト

センサ コントローラのコードは、TIDA-00848 ファームウェアの /sce_output フォルダに内蔵されています。

TIDA-00848 は CC1312R と LCD ファームウェアを搭載しており、FET430 TI ツールと EnergyTrace (tm) 機能を使用して消費電力をテスト済みです。

7 テスト データ

TIDA-00848 ハードウェアは、以下の 3 つの分野に重点を置いて、複数のステップでテストされています。

- センサ コントローラ タスク (CapTouch イベント検出)
- 複数のセグメントで十分なコントラストを持つ LCD (文字列「touched」や「cc1312r」を表示するなど)
- 電圧は 3.3V ~ 2.5V (コントラストはこれより低く、寿命全体にわたってバッテリー電圧が低下した場合にフレーム レートを動的に増加させることで改善可能)

7.1 CapTouch 検出用のセンサ コントローラ タスク

下のグラフのパターン検出の変数はタッチ イベントを表します。output.pTdcValueRaw と output.pTdcValueFilt は、測定された 96MHz ティックの数 (Raw) と単純なフィルタリング後 (Filt) を示します。



図 7-1. SCS でのタスク テスト: タッチ イベントは、2 つの上部グラフのピークです

7.2 LCD

反転された BASE_PWM_N ラインの 2 つの異なる値と、セグメントラインのシリアル抵抗がテストされました。R1 ~ R4、R7 ~ R10、R13 ~ R17、R19 ~ R22、R5 ~ R27 に対して 3MΩ と 10MΩ のどちらかを使用しています。最終的な決定は、10MΩ の値を維持することで、LCD コントラストが目視では変化しない間、より低い平均電流を実現することでした。

また、Rev1 の 11kΩ の R28 および 22kΩ の R29 を 100kΩ および 200kΩ に、その後 1MΩ および 2MΩ に増加して、SEG ラインの 3MΩ または 10MΩ のシリアル抵抗をよりの確に適合させています。

7.3 TIDA-00848 の消費電流

TIDA-00848 の消費電力は、EnergyTrace テクノロジーを備えた TI の FET430 ツールで測定しました。

SEG_BASE_COMMON [R1-4、R7-10、R13-R22、R25-27]	COM1-4 [R30、R32、R34、R36]	COM1-4 [R31、R33、R35、R37]	TIDA-00848 の消費電力 [LCD オン、3V 電源]
3MΩ	100kΩ	200kΩ	128.3μA
3MΩ	1MΩ	2MΩ	11.8μA

8 デザイン ファイル

8.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

8.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

8.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

TIDA-00848 は、全体の厚さが約 1mm の 2 層 PCB です。2 層はコストが最小となるように設計されており、厚さ 1mm によって PCB の機械的安定性が向上します。このレイアウトは、上層の銅箔で変更を加え、SMA アンテナ コネクタへの RF ラインの 50Ω ストリップ ライン インピーダンスを達成しています。

8.3.1 レイアウト プリント

レイヤ プロットをダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

8.4 Altium プロジェクト

Altium プロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

8.5 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

8.6 アセンブリの図面

アセンブリの図面をダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

9 ソフトウェア ファイル

ソフトウェア ファイルをダウンロードするには、[TIDA-00848](#) のデザイン ファイルを参照してください。

10 参考資料

1. Peter Spevak、米国特許:マルチプレクサ LCD 用変調器、US 10,068,512 B2、2018 年 9 月 4 日
2. Andreas Lechner、学士論文『GPIO ピンとソフトウェアを使用したセグメント LCDcontrol の低消費電力実装』、ランツフート応用科学大学、2019 年
3. テキサス・インスツルメンツ、『CC1312R SimpleLink™ 高性能 Sub-1 GHz ワイヤレス MCU』
4. Beuth、『室内暖房ラジエータの消費量を判定するためのヒート コスト アロケータ、電気エネルギー供給を備えた家電』、DIN EN 834:2013 –12 (www.beuth.de)
5. テキサス・インスツルメンツ、『Sensor Controller Studio』(<http://www.ti.com/tool/sensor-controller-studio>)
6. テキサス・インスツルメンツ、TI-RTOS Wiki: (http://processors.wiki.ti.com/index.php/TI-RTOS_Support)
7. Saft バッテリ、LS、LSH (<http://www.saft-batteries.com/battery-search/ls-lsh>)
8. FDK、『大容量円筒型一次リチウム電池』(http://www.fdk.com/battery/lithium_e/lithium_cylindrical.html)
9. Pacific Display Devices、『技術情報およびアプリケーション ノート』(<http://www.pacificdisplay.com/technical.htm>)

11 商標

TI E2E™, SimpleLink™, and C2000™ are trademarks of Texas Instruments.

ARM® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

12 用語

ヒート コスト アロケータ (HCA)	家庭用ユニットのラジエータの比例的な熱出力を捕捉するために使用されるバッテリー駆動の電子機器
ヒータ センサ	ラジエーター (または加熱素子) に取り付けられた温度センサ
室内センサ	室温または周囲の気温を監視するための温度センサ
wM-Bus	欧州の RF メータ規格であり、169、433、および 868MHz バンド用のソリューションを実現します
LCD	液晶ディスプレイ

13 著者について

MILEN STEFANOV (M.Sc.E.E) は、TI のシステム エンジニアで、グリッド インフラストラクチャの分野で仕事をしており、RF 通信テクノロジーとメーター アプリケーションのエキスパートです。ケムニッツ工科大学 (TUC) を卒業後、同大学で 5 年間リサーチ アシスタントとして勤務しました。その後、高速光通信と有線通信の半導体業界で 3.5 年にわたってシステム エンジニアを務めた後、2003 年に TI に入社し、Wi-Fi のエキスパートとなり、主要な OEM で TI の Wi-Fi 製品をサポートしています。

Stefanov 氏は 2010 年から、欧州のグリッド インフラストラクチャ市場向けのメーター、サブメーター、Sub-1GHz RF ソリューションに注力してきました。Stefanov 氏は、欧州で wM-Bus テクノロジーに関する複数の論文を公開し、ミュンヘンで開催される Wireless Congress、および Smart Home と Smart Metering のサミットで技術資料を公開しました。

著者は、TI MGTS の元メンバーでありグループの技術スタッフである **PETER SPEVAK** に、GPIO を使用した SW 制御のセグメント LCD の特許に貢献したことと、TIDA-00848 のハードウェアとソフトウェアの設計作業への関与に特別な評価を与えたいと考えています。

ANDREAS LECHNER (M.Sc.E.E) は、テキサス インストルメンツのエネルギー インフラ チームのシステム エンジニアで、電力変換と再生可能エネルギーを中心に取り組んでいます。ランツフト応用科学大学で電気工学の修士号を取得しました。

14 Revision History

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 (June 2016) to Revision B (July 2026)	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
SCE モジュールの LCD サポートを含むソフトウェア例を更新.....	3
デュアル温度センサ TMP63 のシミュレーション ファイルを追加.....	15
CC1312R で SCH、BOM、Altium CAD プロジェクトを更新.....	21

Changes from Revision * (June 2016) to Revision A (June 2016)	Page
プレビュー ページから変更.....	1

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