

TI Designsリファレンス・デザイン

TIマイコンおよびCapTivate™テクノロジー搭載、64ボタン静電容量式タッチ・パネル・リファレンス・デザイン



デザイン概要

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、64個のボタンを備えた超低電力タッチ・パネルのリファレンス・デザインです。このタッチ・パネルは、CapTivate™テクノロジーを搭載した1個のMSPマイコンによって制御されます。このリファレンス・デザインは相互容量技術を使用し、64個すべてのボタンを狭い間隔で配置しており、わずか16本のマイコン・ピンで制御が可能です。このタッチ・パネルは、MSP-CAPT-FR2633マイコン開発キットに含まれているCAPTIVATE-FR2633ターゲット・マイコン・モジュールと容易にインターフェイスできるように設計されています。

設計リソース

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON	デザイン・ファイルを含むツール・フォルダ
MSP430FR2633	プロダクト・フォルダ
MSP-CAPT-FR2633開発キット	プロダクト・フォルダ
CapTivate Design Center	ツール・フォルダ



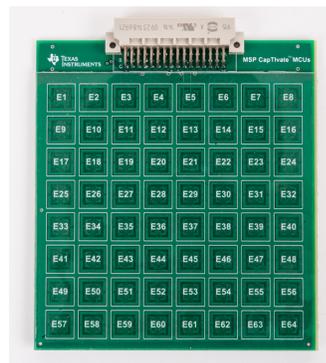
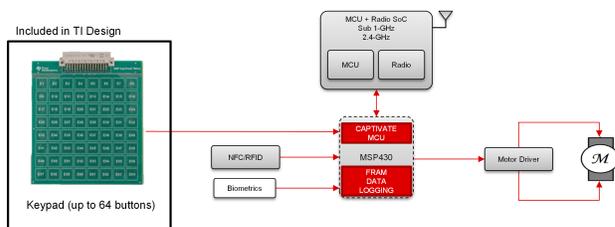
E2Eエキスパートに質問

デザインの特長

- シングルタッチおよびマルチタッチ検出
- 相互容量技術により、64個のボタンをわずか16本のマイコン・ピンで制御
- コード・サイズ/応答時間の最適化により、毎秒100サンプル以上のサンプル・レートと15msの標準応答時間
- 消費電力の最適化機能により、ボタンあたり1.75μAの平均消費電流、ウェイク・オン・タッチ・モードでボタンあたり0.23μAの平均消費電流
- CAPTIVATE-FR2633ターゲット・マイコン・モジュールと簡単にプラグ・アンド・プレイ
- CapTivate Design CenterでホストPCとのリアルタイム・センサ・チューニングをサポート

主なアプリケーション

- 電子ロック
- セキュリティ・システム
- 産業用パネル
- 家電製品
- リモート・コントロール



An IMPORTANT NOTICE at the end of this TI reference design addresses authorized use, intellectual property matters and other important disclaimers and information.

1 主なシステム仕様

機能	仕様	詳細
タッチ・パネル・サイズ	4.3インチx4.8インチ	2.1
ボタン数	64個の相互容量ボタン	4.2.1
ボタン・サイズ	10mmx10mm	
ボタン・ピッチ	2.7mm	
消費電力	低消費電力、アクティブ・モード: ボタンあたり 1.75 μ A ウェイク・オン・タッチ・モード: ボタンあたり 0.23 μ A	7.1
測定時間	応答最適化時、ボタンあたり86 μ s	7.2
応答時間	応答最適化時、標準15ms	7.2
MCU-MSP430FR2633	MSP430FR2633は、静電容量式センシング用にCapTIvateテクノロジーを内蔵した低消費電力FRAMマイコンです。	2.2

2 システム概要

2.1 マンマシン・インターフェイスの概要

マンマシン・インターフェイス(HMI)は、システムに対するユーザーの操作を解釈して適切な応答を実現することを目的としたデバイスです。一般的なHMIには、ボタン、スライダ、ホイール、その他の入力デバイスなどがあります。家電製品、ビルディング・オートメーション・システム、パーソナル/コンシューマ・エレクトロニクスなどを含め、多くのアプリケーションでHMIが使用されています。

リモート・コントロール、セキュリティ・パネル、電子ロック、家電製品、ビルディング・オートメーション・システムなどで使用されるHMIでは、多くの場合、多数のボタンを備えた小型のキーパッドを搭載することが重要となります。HMIの開発に静電容量式タッチ・センシングを使用することで、設計者は、システムのそのような物理的制約を満たすために必要な柔軟性を得ることができます。また、静電容量式タッチ・センシングを使用すると、HMI上の入力デバイスをさまざまなアプリケーションに合わせて調整することもできます。

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、64個のボタンを備えた4.3インチx4.8インチの相互容量タッチ・パネルのリファレンス・デザインです。このデザインは、CapTlvateマイコン上のわずか16個の入力を使用して、小さなスペースに多数のボタンを実装する方法を示すものです。TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、迅速なプロトタイプ作成と簡単な調整を可能にするために、CapTlvate開発キット内のCapTlvateマイコンEVMと直接インターフェイスできるよう設計されています。

2.2 MSP430FR2633

TIでは、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONをMSP430FR2633マイコンから制御するように設計しています。MSP430FR2633は、CapTlvateテクノロジーを搭載したFRAMベースの超低電力 MSP430™マイコンです。MSP430FR2633には、15.5KBのFRAMと2KBのRAMが搭載され、複雑な静電容量式タッチ・アプリケーションをサポートできます。強力なMSP430ペリフェラル・セットとCapTlvateテクノロジーの統合、および大きなメモリ容量によって、MSP430FR2633は低消費電力ユーザー・インターフェイス開発のために理想的なマイコンとなっています。

MSP430FR2633の特長:

- 16個のCapTlvateテクノロジー入力により、相互容量モードで最大64個の電極をサポート
- 一度に最大4個の電極を並列にスキャン
- 事前にプログラミング済みの12KBのROMにCapTlvateソフトウェア・ライブラリを格納
- 4個の16ビット・タイマと1個の16ビット(カウンタ専用)リアルタイム・クロック(RTC)
- UART、IrDA、SPI、I²C用の3つの拡張シリアル通信ペリフェラル
- 低消費電力モードからのウェイクアップ用に16本の割り込みピンを備えた19個のI/O
- 8チャンネルの高性能10ビットA/Dコンバータ(ADC)
- 最大16MHz動作のクロック・システム

3 ブロック図

図 1 に、電子ロック・アプリケーションにおけるこのデザインの使用例を示します。

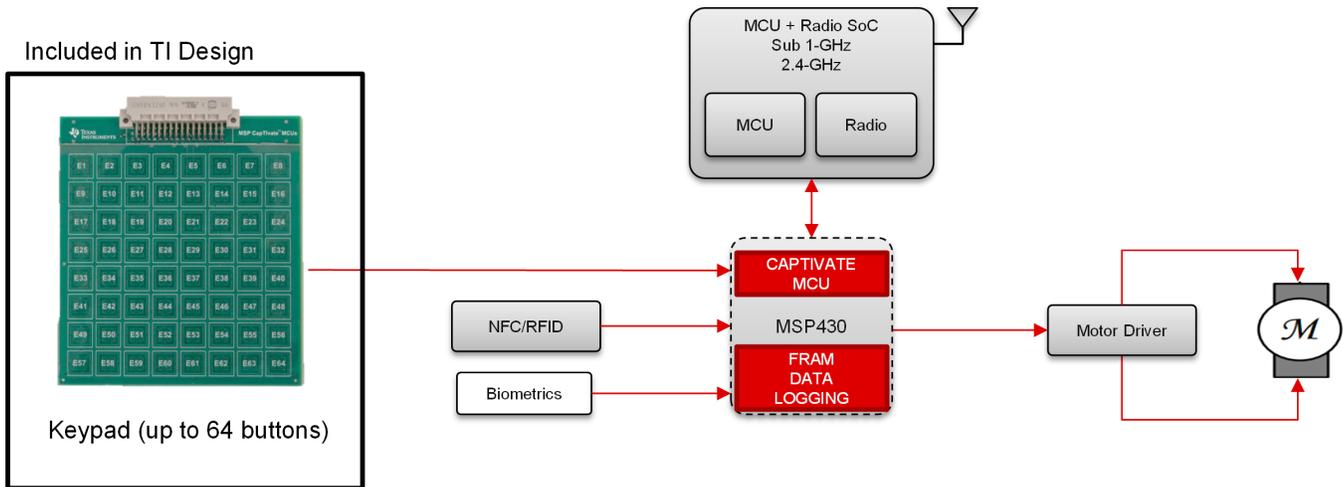


図 1. 電子ロック・アプリケーションのブロック図

3.1 MSP430FR2633 マイコン

MSP430FR2633マイコンは、多様なペリフェラル・セットを備え、多くの静電容量式センシング・アプリケーションでの使用に理想的です。図 2 に、MSP430FR2633マイコンのブロック図を示します。

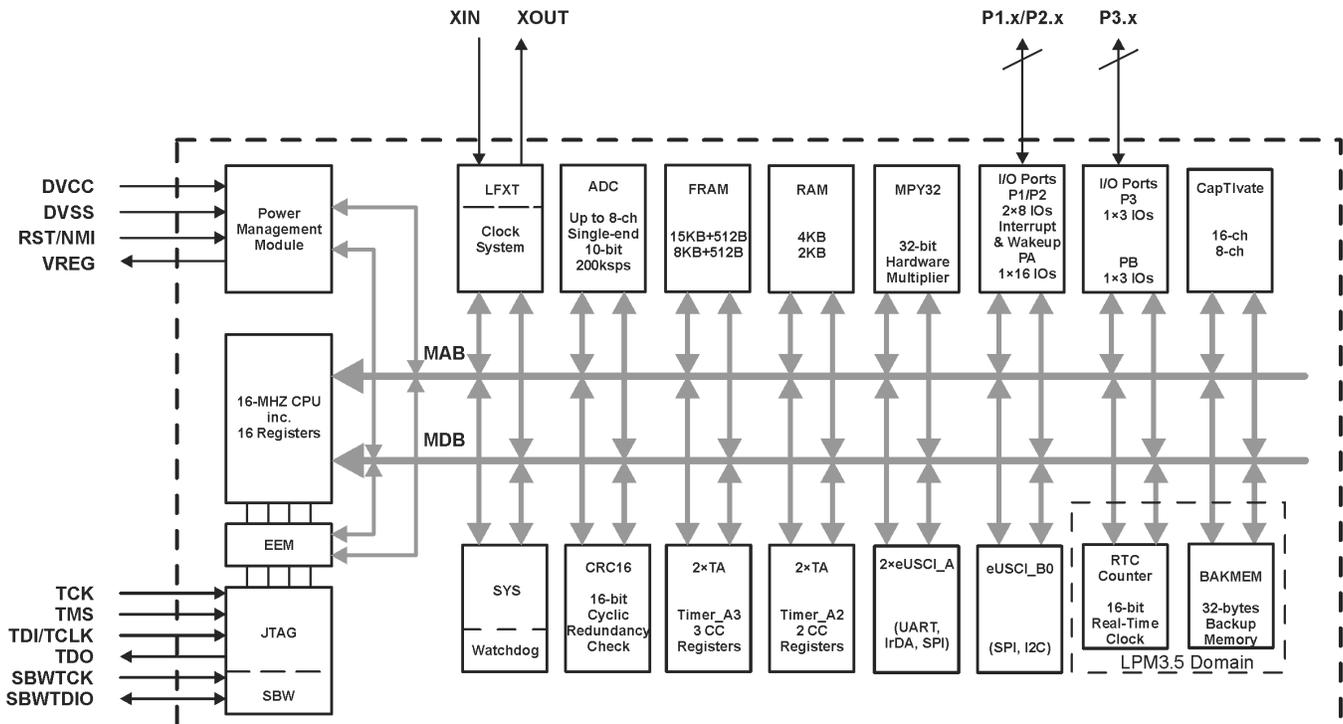


図 2. MSP430FR2633マイコンのブロック図

3.2 CapTlvateテクノロジー

TIDM-CAPTIVATE-THERMOSTAT-UIの静電容量式センシングは、CapTlvateテクノロジーによって実現されています。CapTlvateテクノロジーは、堅牢な静電容量式センシング測定のために設計されたMSP430FR2(5/6)3xペリフェラルです。図 3に、CapTlvateテクノロジー・モジュールのブロック図を示します。

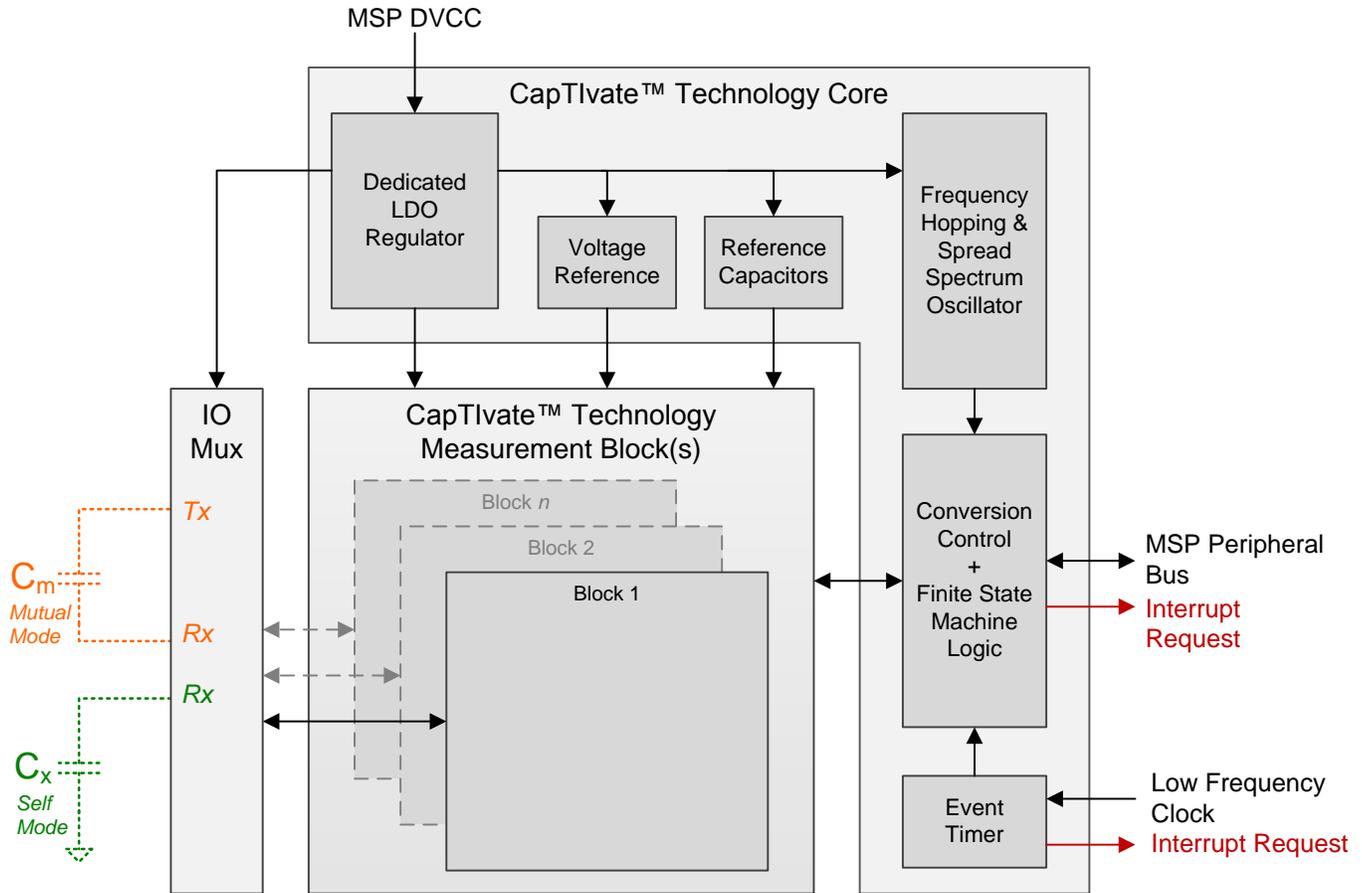


図 3. CapTlvateテクノロジーのブロック図

4 システム設計理論

4.1 静電容量式タッチ・センシング

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、静電容量式センシングを使用して64ボタンのキーパッドを実装しています。静電容量式センシングは、センサの静電容量の変化を測定および検出する機能です。この変化が人の操作によるものである場合、この技術は“静電容量式タッチ・センシング”と呼ばれます。静電容量式センシングは、ボタンの設計時に高い柔軟性を提供します。これは、静電容量式センサ素子がどのような導電体からでも作成でき、タッチの種類に応じて異なる形状にしたり、目的のアプリケーションに基づいて調整したりできるためです。このデザインでは、PCBの銅プレーンによって形成される相互容量センサを使用して、64ボタンのキーパッドを作成します。図4に、組み立て済みのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONを示します。

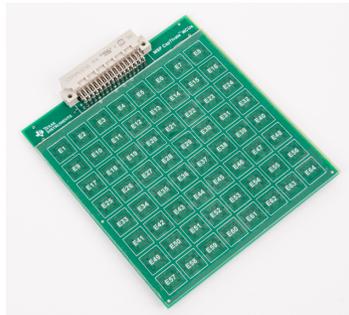


図 4. 2.5mmオーバーレイを搭載したTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON

4.2 相互容量理論

相互容量センサは、2つの個別の電極構造から構成されています。各構造がそれぞれ個別のコンデンサ・プレートとして機能します。一方の電極は送信電極(Tx)と呼ばれ、もう一方は受信電極(Rx)と呼ばれます。相互容量センサに対するユーザーの操作は、TxとRxの電極ペア間の容量の変化を検出することで識別されます。図5に、相互容量センサの概念図を示します。

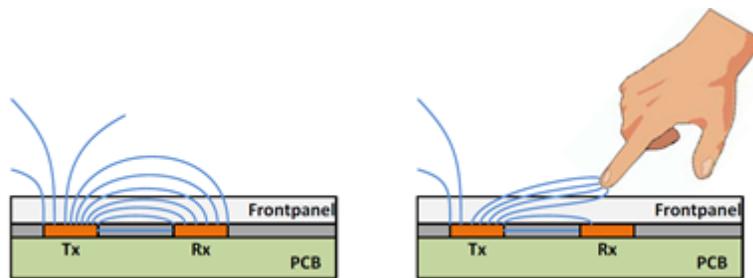


図 5. 相互容量センサの概念図と電界

操作する人は地面との間で接地されており、また人体は導体であるため、人が電極間に接触すると、電極間にグラウンドを配置したのと同様の効果があります。接触によって、電極間の電界結合が弱まり、全体の容量が低下します。接触によって容量が低下するため、TxとRxの電極ペアがセンサとして機能するには、その間にある程度の相互容量が存在する必要があります。接触による相互容量の変化は、それほど大きくありません(通常は1pF未満)。

相互容量システムを設計する際には、以下を考慮する必要があります。

- 存在する2種類の寄生容量
- 電極間で密結合する電界
- オーバーレイ材質の要件

- 相互容量の感度

4.2.1 寄生容量

相互容量システムには、“相互”と“グランド”という2種類の寄生容量があります。

寄生相互容量は、TxパターンがRxパターンの近くにあるときに形成されます。この相互容量は、電極間の相互容量とは異なり、ユーザーがセンサに触れても変化しないため、望ましくないものです。

TIでは、寄生相互容量が小さくなるように配慮してTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON上のTxおよびRxパターンを配線しています。TxパターンとRxパターンが可能な限り離れるように配線し、必要なとき以外はそれらを横切らないようにすることで、寄生相互容量を低減できます。TxパターンとRxパターンが交差するときは、90度の角度で交差するようにすることで、重なり合う面積を最小限にし、寄生容量への寄与を小さくします。相互容量設計では、Txパターンを他のTxパターンと並べて配線し、Rxパターンを他のRxパターンと並べて配線します。

対グランドの寄生容量は、パターン・ラインとグランド・パターンとの間に形成されます。ノイズ耐性を目的とした設計でなければ、グランド・パターンの表面積は小さくします。マイコンと電極の間のパターン配線はできる限り短くすることで、寄生相互容量と対グランドの寄生容量をともに減らすことができます。

4.2.2 密結合した電界

相互容量センサによって生成される電界は、2つの電極間で密結合されています。そのため、このデザイン内の64個のボタンすべてを小さな面積に詰め込むことができ、センサへの接触位置が中心から外れていてもクロス結合が生じません。密集して配置されたセンサでクロス結合の可能性を減らすことにより、接触によって意図せず複数のボタンが反応するのを防止できます。

4.2.3 オーバーレイ材質の要件

相互容量タッチ・パネルには、オーバーレイ材質が必要となります。オーバーレイ材質によって、Rx電極とTx電極の間に電界を伝播させるための領域が提供されます。オーバーレイ材質がないと、相互容量センサに触れたときにTx電極とRx電極が短絡される可能性があります。

オーバーレイは、ユーザーが触れる対象となる相互電界を外部に投影するため、相互容量電極はオーバーレイの厚さに合わせて形成し、感度を最適化する必要があります。厚いオーバーレイの設計でTx電極とRx電極を互いに近く配置しすぎると、電場のごく一部しかオーバーレイの外部に現れず、感度が低下します。このデザインでは、厚さ1.5mm～2.5mmのポリカーボネート製オーバーレイの使用を推奨します。

4.2.4 相互容量の感度

相互容量電極への接触による容量の変化は、自己容量電極の場合よりも小さくなります。容量が小さいということは、相互容量電極の測定では自己容量電極の場合よりもノイズが多いことを意味します。この理由により、相互容量電極から大きなスライダやホイールを構築することは、多数の電極を使用しない限り難しい場合があります。ノード・サイズが小さく電極密度が高いセンサでは、相互容量電極をボタン・マトリックスとして構成すると最も効果的に機能します。

4.2.5 相互容量マトリックス

相互容量センサでは、2つの個別の電極を使用してセンサを形成するため、2本のマイコン・ピンが必要です。相互容量センサの形成のために2本のマイコン・ピンが必要であることは一見短所のように見えますが、2本のピンを使用することで、センサを電極マトリックスで作成したときに独自の利点があります。電極マトリックスは、各Txが各Rxとそれぞれ1箇所ペアになるようTx電極とRx電極を配置することで、実現します。マトリックス内のすべてのTxおよびRxのペアによって、独自のセンサが形成されます。図6に、4行x3列の電極から構成される静電容量式タッチ・マトリックスを示します。

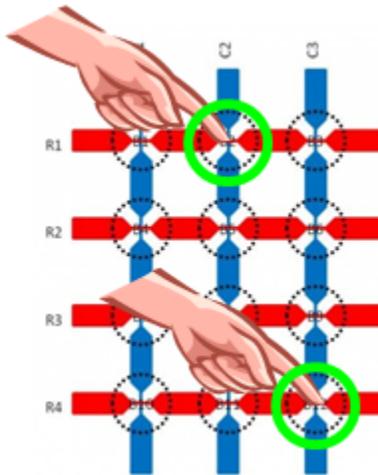


図 6. 相互容量モードの電極マトリックス

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONでは、8個のTx電極と8個のRx電極で形成される相互容量マトリックスを使用しています。このマトリックスにより、わずか16本のマイコン・ピンによる制御でマルチタッチ検出をサポートする64ボタン・タッチ・パネルが形成されています。電極マトリックスは自己容量電極でも作成できますが、自己容量マトリックスでは、ゴースト効果が生じるために、マルチタッチ検出をサポートできません。

4.3 CapTlvateテクノロジー

CapTlvateテクノロジーは、堅牢な静電容量式センシングを可能にする専用のMSP430モジュールです。容量測定は、CapTlvateテクノロジーで独自の電荷転送技法を用いて実行されます。CapTlvateテクノロジーは、コンデンサが電荷蓄積素子であるという原理に基づいて動作します。電荷蓄積素子として、静電容量式タッチ電極は、特定の電圧が印加されたときに一定量の電荷を保持します。

CapTlvateテクノロジーでは、外部コンデンサ（電極またはセンサ）に蓄積された電荷量を測定するために、DC電圧でコンデンサを充電した後、蓄積された電荷を外部コンデンサよりもずっと大きなチャージ・バケットに転送します。このチャージ・バケットは、大きな内部サンプリング・コンデンサとして実装されています。この充電と転送のプロセスをサンプリング・コンデンサが満杯になるまで繰り返すことにより、CapTlvateテクノロジーは、外部コンデンサのサイズの相対測定を可能にします。

CapTlvateテクノロジーには、幅広い範囲の外部コンデンサに対応するためのハードウェアおよびソフトウェア・ツールのセットが用意されています。また、各CapTlvateマイコンにはCapTlvateテクノロジー測定ブロックのインスタンスが4つ含まれ、複数のセンサを並列でスキャンできます。CapTlvateテクノロジーの詳細については、『CapTlvate Technology Guide』（<http://www.ti.com/CapTlvateTechGuide>）を参照してください。

5 ハードウェアの概要

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、TIストアでは販売していません。TIでは、ハードウェア・デザイン・ファイルをTIデザインの一部として提供し、複製できるようにしています。または、CapTIvateテクノロジーを幅広い範囲の静電容量式タッチ構成で評価するために、MSP-CAPT-FR2633マイコン開発キットを購入することもできます。詳細については、[図 7](#)を参照してください。



図 7. MSP-CAPT-FR2633マイコン開発キット

このキットには、CAPTIVATE-FR2633ターゲット・マイコン・モジュール、自己容量タッチ・パネル、相互容量タッチ・パネル、および近接センシング・パネルが含まれています。これらのタッチ・パネルは、CAPTIVATE-FR2633モジュールと直接インターフェイスでき、簡単にプラグ・アンド・プレイで使用できるように作成済みのデモ・プロジェクトが含まれています。

6 ファームウェアの概要

TIでは、Code Composer Studio™ (CCS) v6.1.1.0022とTI Compilerバージョン4.4.6を使用して、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONに付属のサンプル・ファームウェアを開発しました。各サンプル・ファームウェアは、ソース・ファイルのコレクションとして構成されています。表 1に、サンプル・ファームウェアの一般的な構成を示します。

表 1. サンプル・ファームウェアのコンポーネント

CCSプロジェクト・ファイルおよびフォルダ名	説明
main.c	デバイスの設定とアプリケーションの実行に使用するメイン関数
captivate	CapTIvateテクノロジーのソフトウェア・ライブラリ
captivate_app	アプリケーション層のコード
captivate_config	CapTIvateテクノロジーおよびセンサの設定
driverlib	アプリケーションで高レベルAPIを使用するためのドライバ・ライブラリ
デモ (不正タッチ検出のデモのみ)	追加のデモ用アプリケーション・コード

サンプル・ファームウェアを評価するには、次の手順に従います。

1. CCSおよびCapTIvate Design Centerの最新バージョンをダウンロードします。
2. [TIデザイン・ソフトウェアのインストール・ルート・ディレクトリ]/Software/*からプロジェクトをCCSワークスペースにインポートします。

注: TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの各サンプル・プロジェクトには、関連するCapTIvate Design Centerプロジェクト・ファイルが含まれています。

3. 同じSoftwareディレクトリから、CapTIvate Design Centerの設定ファイルを新しいDesign Centerプロジェクトにコピーします。
4. CCSを使用してCAPTIVATE-FR2633マイコン・モジュールをプログラミングします。
5. サンプル・ファームウェアを実行します。
6. Design Centerでマイコン・モジュールに接続します。

7. センサ性能を設定および調整します(オプション)。
8. デザインに対するSNR測定をリアルタイムで実行します(オプション)。

以下のセクションでは、各サンプル・プロジェクトについて説明します。詳細については、[TIデザイン・ソフトウェアのインストール・ルート・ディレクトリ]/Software/Doxygen/*を参照してください。

6.1 基本的なデモ・シングル・センサ構造

ファームウェアでTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONタッチ・パネルを設定する最も単純でメモリ効率の良い方法は、64個の独立したボタンを含む1つのセンサ構造として16ピン(Tx用に8、Rx用に8)の電極マトリクスを定義することです。この場合、センサ構造が16の測定サイクルに分割され、各サイクルにはそれぞれ異なるRx電極に接続された4つの個別のボタンが含まれます。各サイクルの4個のボタンは、CapTIvateテクノロジーの4つの測定ブロックを使用して並列に測定されます。この方法によって、センサ構造全体に対する測定時間が短くなります。

単一センサのサンプル・アプリケーションでは、シングルタッチまたはマルチタッチ・イベントがコントローラによって検出された場合に、LED1およびLED2が点灯します。シングルタッチが検出されるとLED1が点灯し、マルチタッチが検出されると両方のLEDが点灯します。

6.2 超低電力デモ

超低電力デモは、基本のデモと同じアプリケーション・コードに基づいていますが、低消費電力動作向けにセンサの構成と調整を最適化しています。キーパッドのスキャン・レートを遅くし、Rx電極を駆動するためのバイアス電流を小さくすることで、低消費電力を実現しました。超低電力構成は、タッチ・パネルをバッテリーで駆動する必要のあるアプリケーションに最適です。

超低電力デモでは、タッチ・パネルのスキャン・レートを8Hzに下げています。キーパッドを測定する周波数を低くすることで、アプリケーションが低消費電力モードで動作する時間が長くなり、全体の消費電力が減少します。ただし、周波数を下げることで、ボタンを測定する頻度が低下するので、応答時間が長くなります。

注: キーパッドの応答が遅くなるため、スキャン・レートを任意に下げることは避けてください。

バイアス電流は、相互容量センサにのみ適用されます。このバイアス電流によって、対グランド寄生容量の影響が低下します。測定サイクルのサンプル/ホールド期間中にRx電極を駆動するアンプが、このバイアス電流を供給します。これにより、TxおよびRx電極間の相互容量に関連する電荷のみが、測定中にCapTIvateテクノロジーのサンプル・コンデンサに蓄積されます。

超低電力デモでは、バイアス電流がデフォルト値の半分である10 μ Aに低減されています。このバイアス電流の低減により、測定期間中の消費電力が減少します。消費電力が問題とならない場合は、バイアス電流をデフォルトの最大値に維持します。バイアス電流を下げると感度に影響が出たりノイズが増加したりする可能性があるためです。

6.3 ウェイク・オン・タッチのデモ

CapTIvateテクノロジーには、ウェイク・オン・タッチ操作を可能にする有限ステート・マシン (FSM) が含まれています。ウェイク・オン・タッチ操作は、FSMの特別なユースケースの1つであり、CapTIvateテクノロジーに1センサ・サイクル分のコンテキストをロードして継続的に測定します。このモードでは、新しいサイクル関連値をロードしたり長期的な平均やフィルタ・カウント値を更新したりするためのCPUによる操作が不要です。デバイスがウェイク・オン・タッチ・モードのときは、検出割り込み、最大カウンタ誤差割り込み、または変換カウンタ割り込みによって、CPUがウェイクアップされます。ウェイク・オン・タッチ・モードでは、CapTIvateテクノロジーでタッチが検出されるまでの間、1サイクルの測定中にマイコンを低消費電力モードに保持することで、消費電力を低減します。

64ボタン・パネルでウェイク・オン・タッチ・モードを使用する従来の方法では、マイコン上のCapTIvateテクノロジー測定ブロックの数によって、ウェイク・オン・タッチ・モードで測定される相互容量ボタンの数が制限されます。MSP430FR2633には4つの測定ブロックがあるため、1測定サイクルは4個の相互容量ボタンに制限されます。64個すべてのボタンでアプリケーションをウェイク・オン・タッチ・モードからウェイクアップできるようにするには、ファームウェアに追加のセンサ構成を設定する必要があります。この追加のセンサ構成は、ウェイク・オン・タッチ・モード中に64ボタン・パネルを4素子の自己容量センサとして動作させるために必要となります。センサで使用されるすべてのCapTIvate IOが受信ラインとして機能し、イネーブルになっているとき、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは4素子の自己容量センサのように動作します。

IOをこのように設定してイネーブルにすると、同じCapTIvate測定ブロックに接続されたすべてのセンサ素子が、1個の自己容量ボタンのように見えます。この構成を使用すると、ブロック上の任意のIOを測定することでボタン全体の測定値が得られます。MSP430FR2633上の測定ブロックによって形成される4個のボタンを、ウェイク・オン・タッチ・モードで使用できる1測定サイクルへとグループ化します。このサイクルをウェイク・オン・タッチ・モードに使用すると、64個のボタンすべてでCPUをウェイクアップできます。

このデモ・プロジェクトでは、64ボタン・パネル用に追加の自己容量センサ構成を作成するためにファームウェアで必要となる手順を示しています。また、パネルの標準構成とアプリケーションの自己容量構成の間で切り替える方法も示しています。デモでは、アクティブ・モード中は標準構成を使用し、ウェイク・オン・タッチ・モード中は自己容量構成を使用してパネルを測定するように、CapTIvateテクノロジーが設定されています。

注: CapTIvate Design Centerを使用して、同時に両方の構成のセンサ・データを表示することはできません。ウェイク・オン・タッチ・モードのパネルの性能を調整するには、自己容量構成のみを使用する別個のアプリケーションを作成する必要があります。

CapTIvateテクノロジーがパネルを4素子の自己容量センサとして測定するよう構成されている場合、センサで実行される検出の厳密な場所と種類は特定できません。デバイスはセンサ上の一般的な近接またはタッチ・イベントを検出できます。これらのイベントの1つが識別されるまでの間、アプリケーションはウェイク・オン・タッチ・モードに保持されます。イベント後、CPUはウェイクアップし、CapTIvateテクノロジーは再度アクティブ・モード用に設定され、アクティブ・モードが再開されます。この例で実現される消費電力は、超低電力のデモよりもさらに低くなります。

6.4 コード・サイズと応答時間の最適化デモ

コード・サイズ最適化デモは、アプリケーション・コードに使用するメモリの量が最小限になるよう基本のデモを変更する方法を示します。CapTIvateテクノロジー・ソフトウェア・ライブラリの関数が、別個のアプリケーション層からではなく、メイン関数から直接呼び出されます。基板サポート・パッケージ (BSP) コードのほとんどが不要になるため、コード・サイズが削減されます。

コード・サイズ最適化の例では、変換タイマ・フラグがセットされるまでの間、メイン関数でシステムが低消費電力モード3に保持されます。変換フラグがセットされると、CAPT_updateUIが直接呼び出されてボタンの測定値が更新され、フラグがリセットされます。キーパッド・センサ測定値の更新が完了すると、コールバック関数が呼び出され、基本デモの場合と同様にLEDを点灯させます。センサ測定値が更新され、コールバック関数が完了した後、コントローラは低消費電力モード3に戻ります。

このデモでのシステム設定は、マスタ・クロック速度が他のサンプル・プロジェクトで使用されている8MHzではなく16MHzになるように変更されています。また、キーパッド・センサの調整も、スキャン・レートが高くなるよう変更されています。マスタ・クロック速度とスキャン・レートの増加によって、タッチ・パネルの応答時間が短くなります。

6.5 不正タッチ検出デモ

不正タッチ検出デモは、64ボタンのキーパッドに基づく複雑な静電容量式センシング・アプリケーションの例です。このデモ・プロジェクトは、基本のデモに基づき、コールバック関数を使ってキーパッドのタッチ・イベントを処理する方法と、システムで受け付けられるタッチの種類を制限する単純なアルゴリズムを示しています。

このアプリケーションでは、タッチ状態にあるボタンの数と検出状態にある追加ボタンの数に基づいて、タッチが有効か無効かを判断します。ボタンは、その静電容量が指定のスレッシュホールドを超えて変化したときにタッチ状態に設定され、ボタンのデバウンス・パラメータで設定された測定回数にわたり保持されます。容量の変化が近接スレッシュホールドよりも大きいとき、ボタンは検出状態となります。

有効なタッチとは、3個以下のボタンがタッチ状態で、それ以外に検出状態になっているボタンが1個以下の場合です。アプリケーションが有効なタッチを検出すると、LED1が点灯します。アプリケーションが無効なタッチを検出した場合は、LED2が点灯し、少なくとも1秒の間、有効なタッチがあっても受け付けられません。

システムで受け付けられるタッチの種類をファームウェアで制限することは、アプリケーションに安全性を付与するうえで役立ちます。オープンや洗濯機など、機器をオンにする前に制御を行うアプリケーションでは、特定のマルチタッチ・イベントが必要になる場合があります。特定のマルチタッチ・イベントを必要とすることで、不適切なタッチや偶発的な操作などで機器が作動してしまうのを防ぐことができます。ソフトウェアを使用して入力をこのように制限することは、ガード・チャンネルの使用に似ています。これは、手のひらでボタンを押すなどの不正なタッチを拒否できるようにするハードウェア設計手法の1つです。

6.6 2センサ・デモ

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONは、タッチ・パネル上の異なる領域がそれぞれ独立したセンサ構造であるかのように振る舞うよう柔軟に構成することが可能です。2センサ・サンプル・プロジェクトは、ソフトウェアでデザインを2つの32ボタン・センサ構造に分割する方法を示しています。このサンプルでは、32ボタン・グループの1つがタッチ・パネルの上半分を表し、もう1つのグループが下半分を表します。2つのセンサ構造を使用する利点の1つは、それぞれ独立して調整できるため、設計の柔軟性が高まることです。

このサンプルでは、測定サイクルの合計数が、単一センサの場合と同じになります。同じ数の測定サイクルを保持するための鍵は、一方のセンサがTx電極のうち4個を含み、もう一方が残りの4個を含むように、センサを分割することです。この構成方法を使用して、同じ測定サイクル数を保持しながら、さらにタッチ・パネルを4つの異なる象限に分割することも可能です。64ボタン・タッチ・パネルを領域別に構成することの欠点は、メモリの使用量が増えることです。1つではなく2つのセンサ構造があるため、構成パラメータを格納するのに追加のメモリが必要となります。

6.7 メモリの割り当て

各ファームウェア・サンプルは、MSP430FR2633で使用可能なメモリの消費量がそれぞれ異なります。異なるCapTIvateテクノロジー・アプリケーションで使用されるメモリは、以下に基づいて異なります。

- アプリケーションで使用される素子、サイクル、およびセンサ構造の数
- シリアル通信やノイズ耐性など、追加のCapTIvateソフトウェア・ライブラリ機能の使用
- アプリケーション・コードのサイズ

表 2 に、各サンプルのメモリ割り当てを示します。

表 2. サンプル・ファームウェアのメモリ割り当て

サンプル	RAM	FRAM
基本デモ - 単一センサ構造	3.0KB	7.2KB
超低電力デモ	2.5KB	4.7KB
ウェイク・オン・タッチ・デモ	2.7KB	5.3KB
コード・サイズと応答時間の最適化デモ	2.5KB	4.1KB
不正タッチ検出デモ	3.0KB	7.6KB
2センサ・デモ	3.0KB	6.8KB

CCSを使用したカスタムCapTIvateテクノロジー・アプリケーションで使用されるメモリ量を見るには、“View”→“Memory Allocation”を選択してください。

6.8 CapTIvate Design Centerによるサンプルの変更

CapTIvate Design Centerでは、CCSおよびIAR統合開発環境用に完全なソース・コードを生成する機能を利用できます。この機能を使用すると、センサ素子をセンサ構造にグループ化する方法や、サンプル・ソース・コードでセンサを調整する方法をすばやく変更できます。CapTIvate Design Centerのインストールには、CapTIvateソフトウェア・ライブラリAPIの完全なドキュメントが含まれています。このドキュメントを表示するには、次の手順に従います。

1. “Help”→“Topics”を選択して、Design CenterのCapTIvate Technology Guideを選択します。
2. “Software Library”→“Software Library API”を選択します。
3. リンクをクリックします。

CapTIvate Design Centerの詳細については、www.ti.com/capTIvateをご覧ください。

7 テスト

7.1 消費電力

TIでは、超低電力構成およびウェイク・オン・タッチ構成でのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの消費電力の測定値を記録しました。高分解能ソース・メーターを使用して、UART/I2C通信をディスエーブルにして測定値をキャプチャしました。図 8に、超低電力構成での測定値のスクリーンショットを示します。

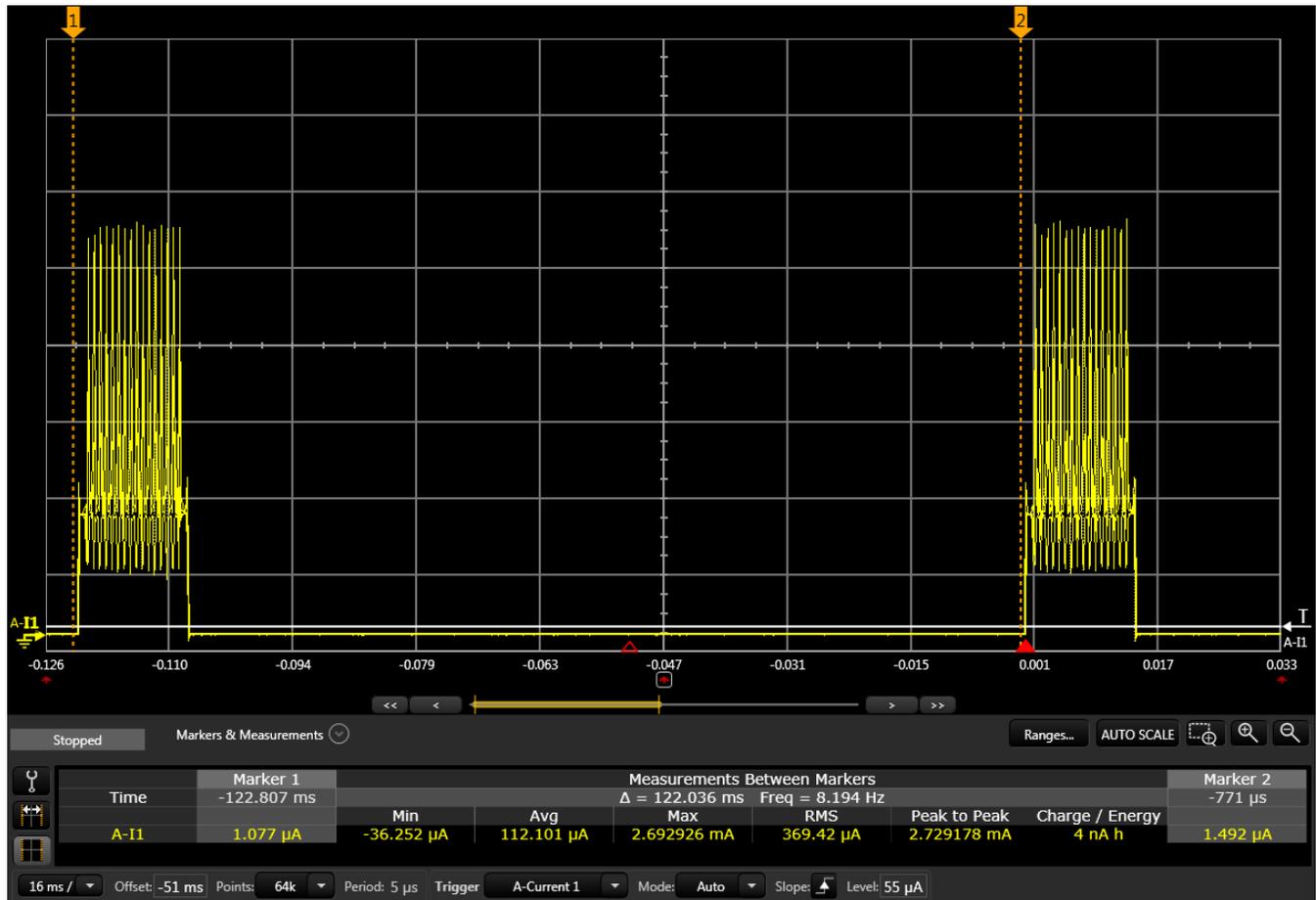


図 8. 単一測定周期、超低電力構成でのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの平均消費電力

この測定値は、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONをCAPTIVATE-FR2633ターゲット・マイコン・モジュールに接続し、ソース・メーターから3V電源を供給した状態で取得しました。図 8では、この設定で記録された平均電流が112.1 μ Aと示され、これはボタンあたりわずか1.75 μ Aに相当します。図 8に示される消費電力は、アプリケーションがアクティブ・モードのときのウェイク・オン・タッチ・サンプルでの消費電力と同じです。

図 9 には、ウェイク・オン・タッチ・モードでのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの消費電力の測定値を示します。



図 9. 単一測定周期、ウェイク・オン・タッチ構成でのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの平均消費電力

図 9 では、デバイスがウェイク・オン・タッチ・モードのときに記録された平均電流が15μAと示されています。ウェイク・オン・タッチ・モードに切り替えることで、パネルを使用していないときの電力が節減されます。平均電流が15μAのとき、このデザインは単4電池で約5.5年間の動作が可能です。

7.2 測定時間と応答時間

静電容量式タッチ・インターフェイスの設計では、最高の使い勝手を実現するために、測定時間と応答時間を短くすることが必要です。測定時間と応答時間を短くすることは、入力の数が多いインターフェイス設計では困難な場合もあります。ファームウェア・サンプルに含まれるコード・サイズ最適化デモ・プロジェクトは、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONで測定時間と応答時間を短く保つ方法を示しています。

TIでは、高分解能ソース・メーターを使用して消費電流を測定することにより、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの測定時間を取得しました。消費電流の一連の16個のピークで示される、CPUアクティビティの1周期の長さが、タッチ・パネルの測定時間を表しています。この測定周期の間、CPUはLPM3から16回ウェイクアップされて、CapTIvateテクノロジーで完了した1回の測定サイクルからの測定値データを読み取り、次のサイクルのコンテキストをロードします。図 10では、この時間が約5.5msであることが示され、これはボタンあたり約86 μ sです。

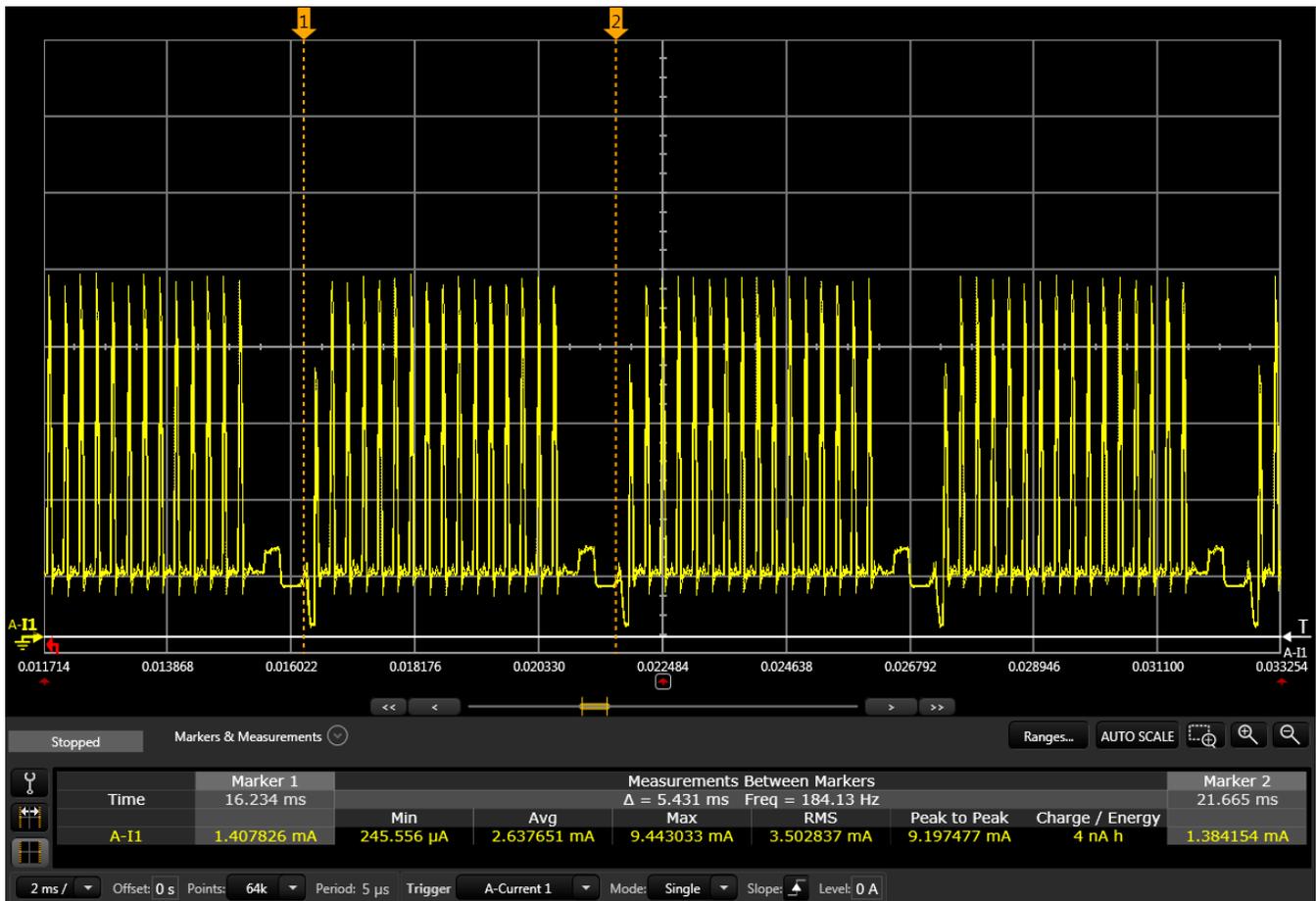


図 10. コード・サイズおよび応答時間の最適化における測定時間の長さ

この測定時間を使用して、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのワーストケースの応答時間を見積もることができます。ワーストケースの応答時間は、前の測定の完了直後にボタンがタッチされた場合に生じます。この場合、その後少なくとも1回の測定周期の間、タッチが識別されません。ワーストケースの応答時間は、次のようにテストできます。

1. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのいずれかのボタンを押します。
2. 検出フラグがセットされてからタッチ・フラグがセットされるまでの遅延時間を測定します。
3. 遅延時間と測定周期時間を加算します。

この見積もり値がワーストケースの測定値となります。なぜなら、測定値は、タッチが取得されるよりも少なくとも1サイクル前に発生していると仮定され、検出フラグは、タッチがセンサに影響を与える最初の測定時にセットされる必要があるためです。遅延時間の合計は、タッチの応答時間以上となります。表 3は、タッチ・パネルに対するこのワーストケースの応答時間の10回の測定結果をまとめたものです。

表 3. ワーストケースの応答時間の測定値

測定回	検出からタッチまでの遅延時間 (ms)	測定周期 (ms)	ワーストケースの応答時間 (ms)
1	5.6	5.5	11.1
2	5.6		11.1
3	11.1		16.6
4	5.6		11.1
5	5.6		11.1
6	27.4		32.9
7	5.6		11.1
8	16.5		22.0
9	5.6		11.1
10	5.6		11.1
平均	9.4		14.9

7.3 クロス結合

TIでは、ボタン間のタッチが一度に1個のボタンしかアクティブにしないことを確認する方法で、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの単純なクロス結合テストを実施しました。このテストは、左から右に指をすべらせるようにタッチを行いながら、キーパッド上の最初の列の各ボタンのカウント値(何も処理を行っていないそのままの値)とタッチ状態とを連続的に記録することで行いました。テスト中、基本デモのファームウェア・プロジェクトを実行しながら、CapTivate Design Centerでボタンからのデータを記録しました。図 11に、テストの結果を示します。

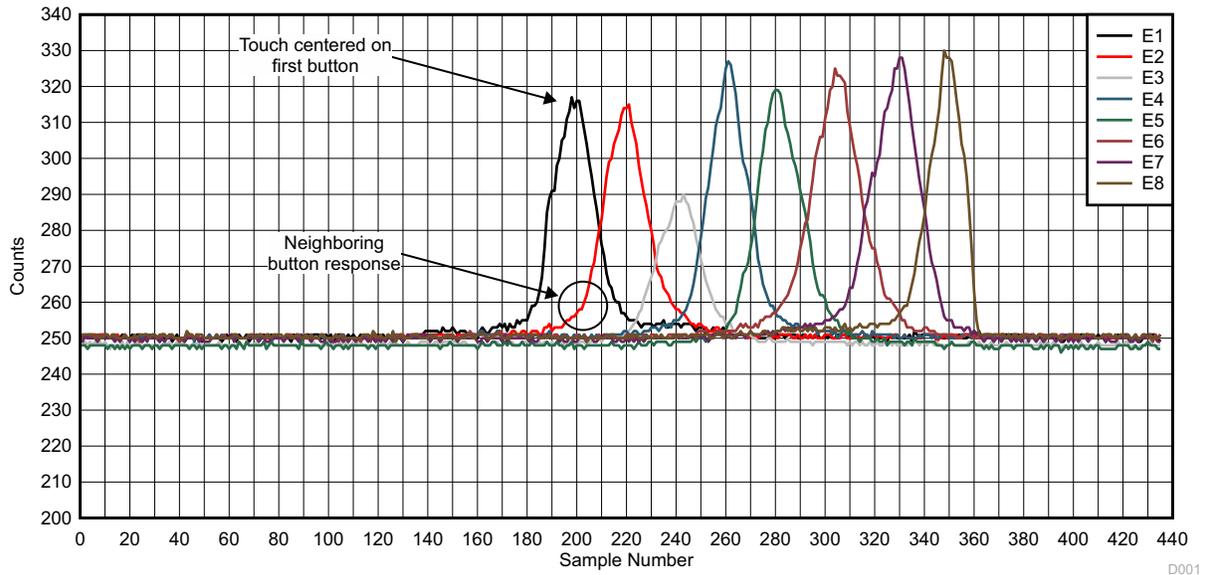


図 11. 行1の未処理カウント数 対 時間

注: 各ボタンの感度が完全に同じではないため、応答時間および未処理カウント数のピーク値は、ボタンごとにわずかに異なります。

図 11 は、指をすべらせる間にタッチが最初のボタンの中心に来た時点を示しています。この時点で、2番目のボタンのカウント数は250から257へわずかに増加しています。この7カウント分の変化は、2番目のボタンがタッチ状態に移行するために必要なカウント数の18%未満です。2番目のボタンのタッチ・スレッシュホールドは、約40カウントの増加であるためです。タッチ・スレッシュホールドの18%未満の応答は許容範囲内であり、ボタンの動作に影響を与えません。行内のすべてのボタンが、隣のボタンのタッチに対して許容範囲内の応答を示しました。これらの結果は、クロス結合の発生が最小レベルであることを示しています。図 12に、テスト中の各ボタンのタッチ状態を示します。

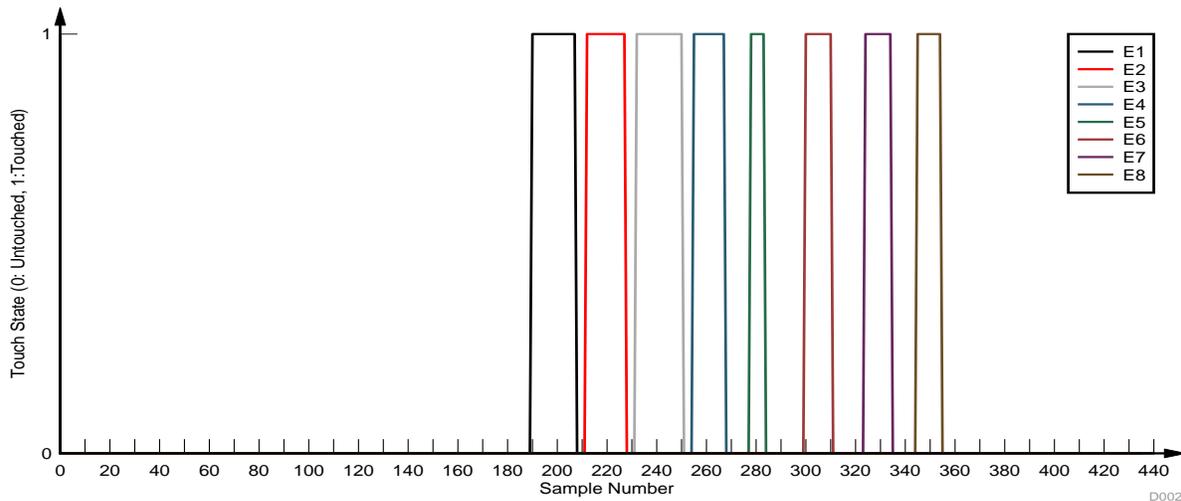


図 12. 行1のタッチ状態 対 時間

図 12 は、行全体に指をすべらせたときに、2個のボタンが同時にタッチ状態になる瞬間がなかったことを示しています。この結果は、TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの物理設計と調整によって、タッチに対する適切な応答が実現されていることを示しています。

注: このテストの結果は、タッチのサイズ、センサの調整、およびボタンの行で指をすべらせる速度によって異なります。TIでは、ボタンの最初の行全体にわたってほぼ一定の速度で指をすべらせることにより、これらの結果を取得しました。

7.4 オーバーレイの比較

相互容量タッチ・パネルで厚さの異なるオーバーレイを使用すると、パネル上のセンサの感度に影響が及びます。このテストでは、基本デモのサンプル・コードを使用して、2つの異なる厚さのオーバーレイを使用したときのTIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON上の1個のボタンの感度を比較しました。テストでは、厚さが1.5mmおよび2.5mmのポリカーボネート製オーバーレイを使用しました。タッチ時と非タッチ時のボタンの未処理カウント値を記録することで、各オーバーレイによるE1ボタンの感度を比較しました。図 13に結果を示します。

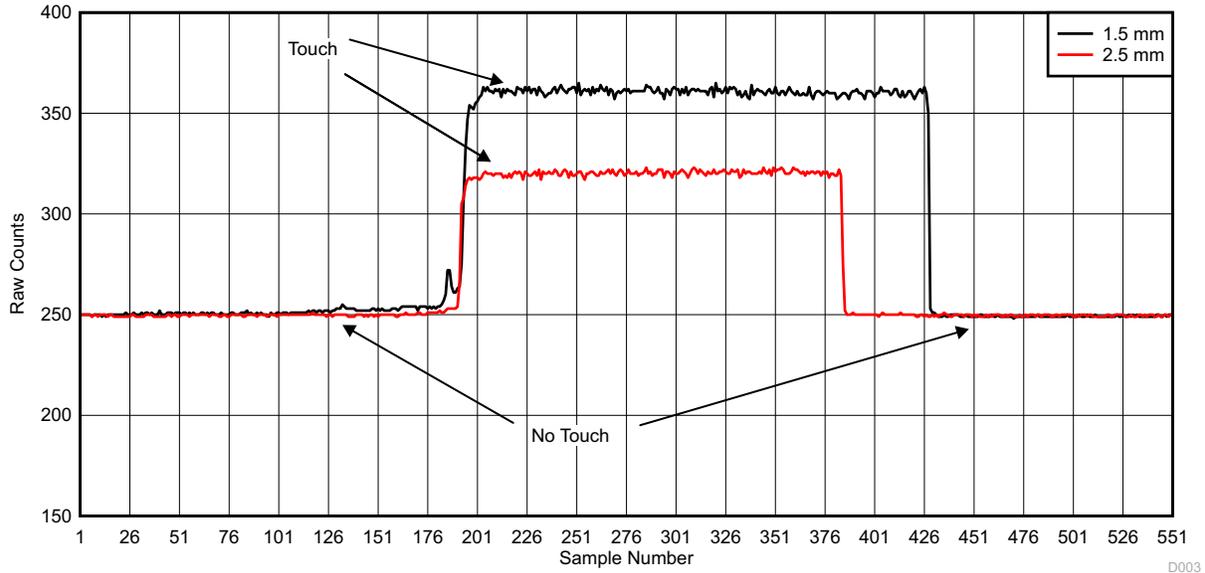


図 13. オーバーレイの厚さの比較

オーバーレイの厚さが2.5mmのとき、E1の最大カウント値は約320でした。1.5mmのオーバーレイでは、最大カウント値は約360でした。1.5mmのオーバーレイでカウント値が40増えているのは、1.5mmのオーバーレイを使用するときの方が、タッチによって生じる容量の変化が大きいことを示しています。1.5mmのオーバーレイの方が容量の変化が大きくなるのは、Tx電極とRx電極の間に露出されタッチによって影響を受ける電界が大きいためです。

8 デザイン・ファイル

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのデザイン・ファイルは、Altium Designerバージョン14.3.18を使用して作成されています。

8.1 回路図

回路図については、[図 14](#)を参照してください。タッチ・パネルの回路図をダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

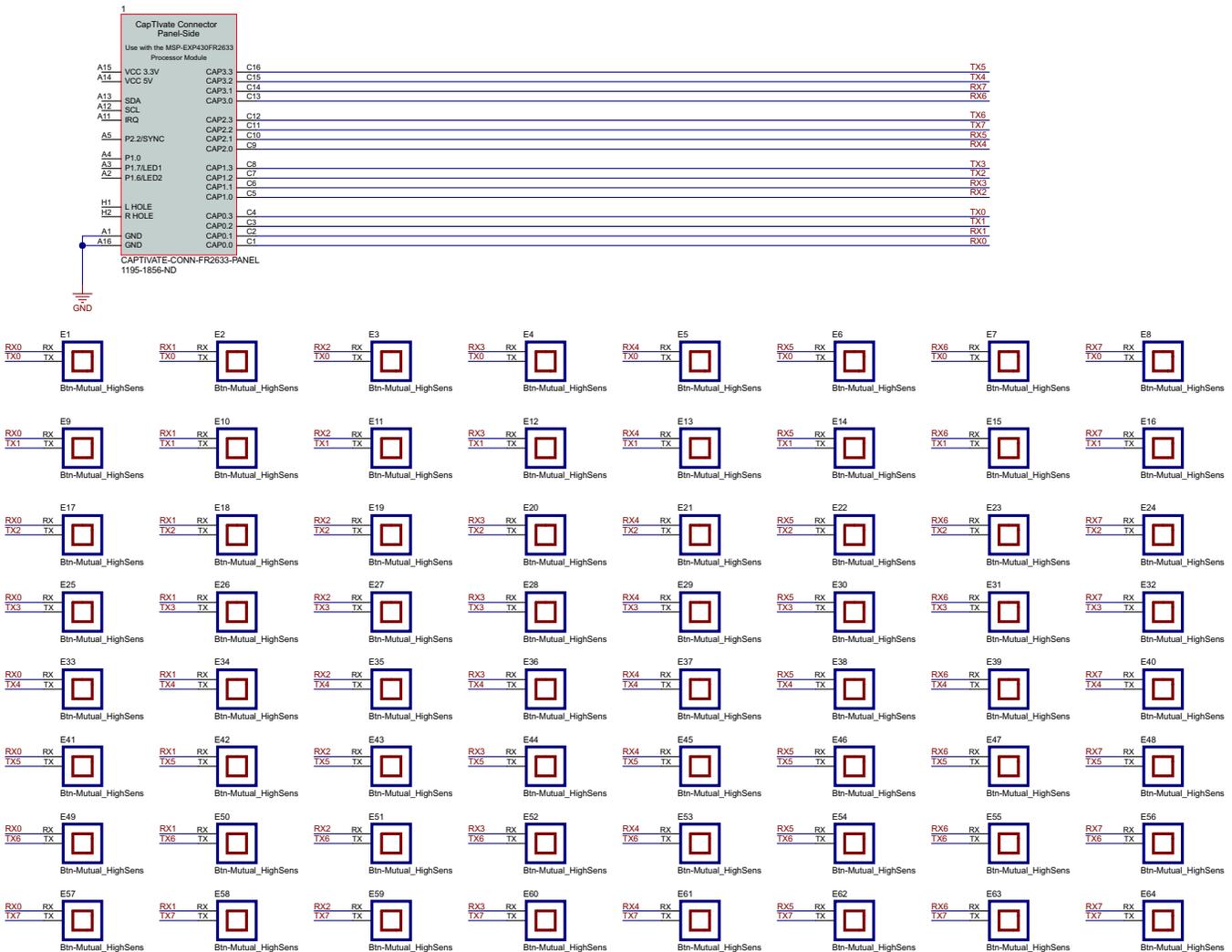


図 14. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの回路図

8.2 部品表

部品表については、表 4を参照してください。タッチ・パネルの部品表 (BOM) をダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

表 4. BOM (部品表)

コード	数量	値	説明	パッケージ 記号	型番	メーカー
PCB1	1		プリント基板		TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON	任意
1	1		CapTivate [®] パネル側コネクタ	3x16コネクタ、100milピッチ	9231486921	Harting
FID1、FID2、FID3、FID4	4		基準マーク。購入または実装が必要なものはありません。	N/A	N/A	N/A
H1、H2	2		Black Bumpon	Bumpon、円筒形、0.312x0.200、黒色	SJ61A1	3M

8.3 PCBレイアウトに関する推奨事項

静電容量式タッチPCBのレイアウトを作成する際の目標は、信号強度を最大にし、ノイズを最小にして、感度を高めることです。感度はファームウェアによっても制御できますが、ハードウェアで高い感度を実現すれば、ソリューションの消費電力の削減に役立ちます。静電容量式タッチ・レイアウトで感度に大きな影響を与える2つの要素は、パターンの配線と電極の設計です。

静電容量式タッチ・システムで信号によって得られる全体の感度は、レイアウト内の寄生容量を減らすことで向上できます。パターンは、寄生容量の主要因となる場合があります。寄生容量は、2本のパターン間や、パターンとグラウンドの間で形成されます。パターンの配線を行う際には、この2種類の寄生容量 (相互およびグラウンド) を考慮に入れる必要があります。

静電容量式タッチ・パネルの電極設計では、十分な信号を提供しながら、寄生容量も最小限に抑える必要があります。電極のサイズは、適切な大きさの信号を提供するために必要なタッチ領域の面積に基づいて決定します。相互容量センサの電極は、多くの場合、四角形であり、サイズは約10mm×10mm以下です。TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのセンサ設計では、四角形のTx電極と、四角形の4つの角によって形成されるとRx電極を使用しています。図 15に、このタイプの電極の形状を示します。

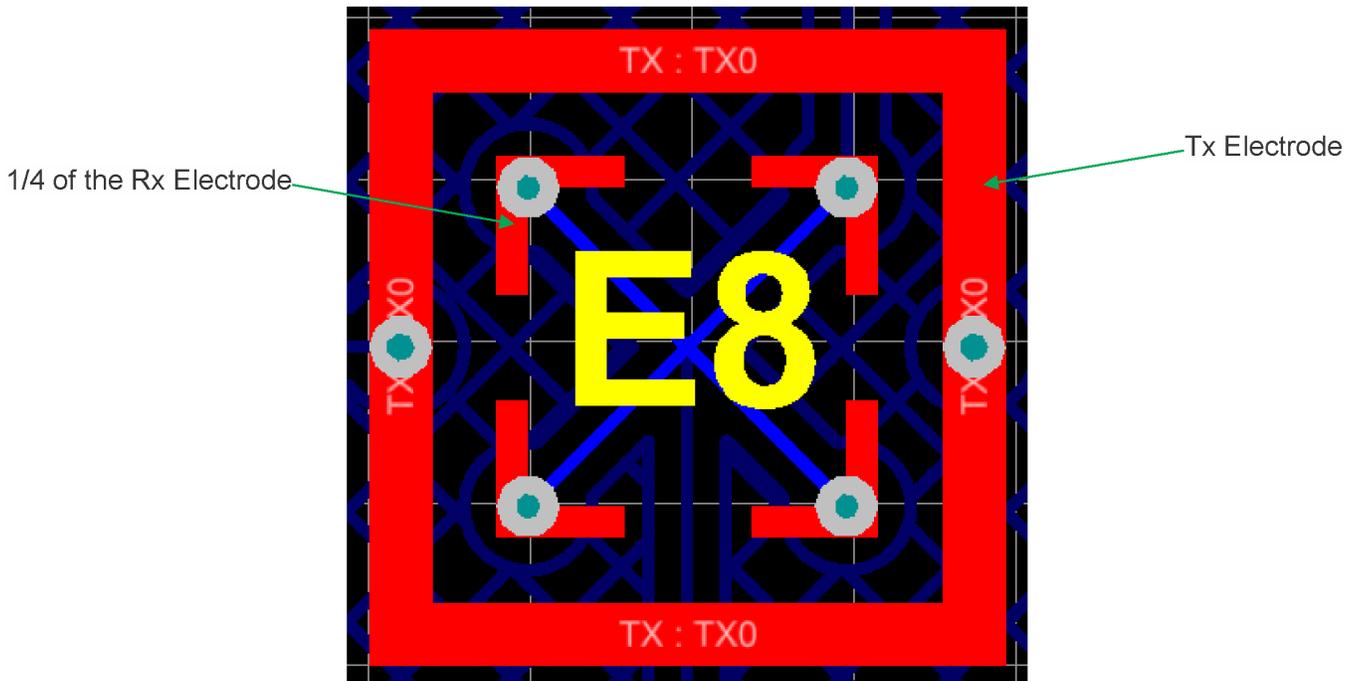


図 15. 相互容量センサの設計

Rx電極の辺の一部を除去することで、電界の電気力線がセンサの角付近に集中するため、寄生容量が減少し、感度が向上します。10mm×10mmのボタン例の厳密な寸法と、PCBレイアウトに関するその他のヒントについては、『CapTivate Technology Guide』(<http://www.ti.com/CapTivateTechGuide>)で設計のセクションを参照してください。

8.3.1 レイアウト・プリント

タッチ・パネルのレイアウト・プリントをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

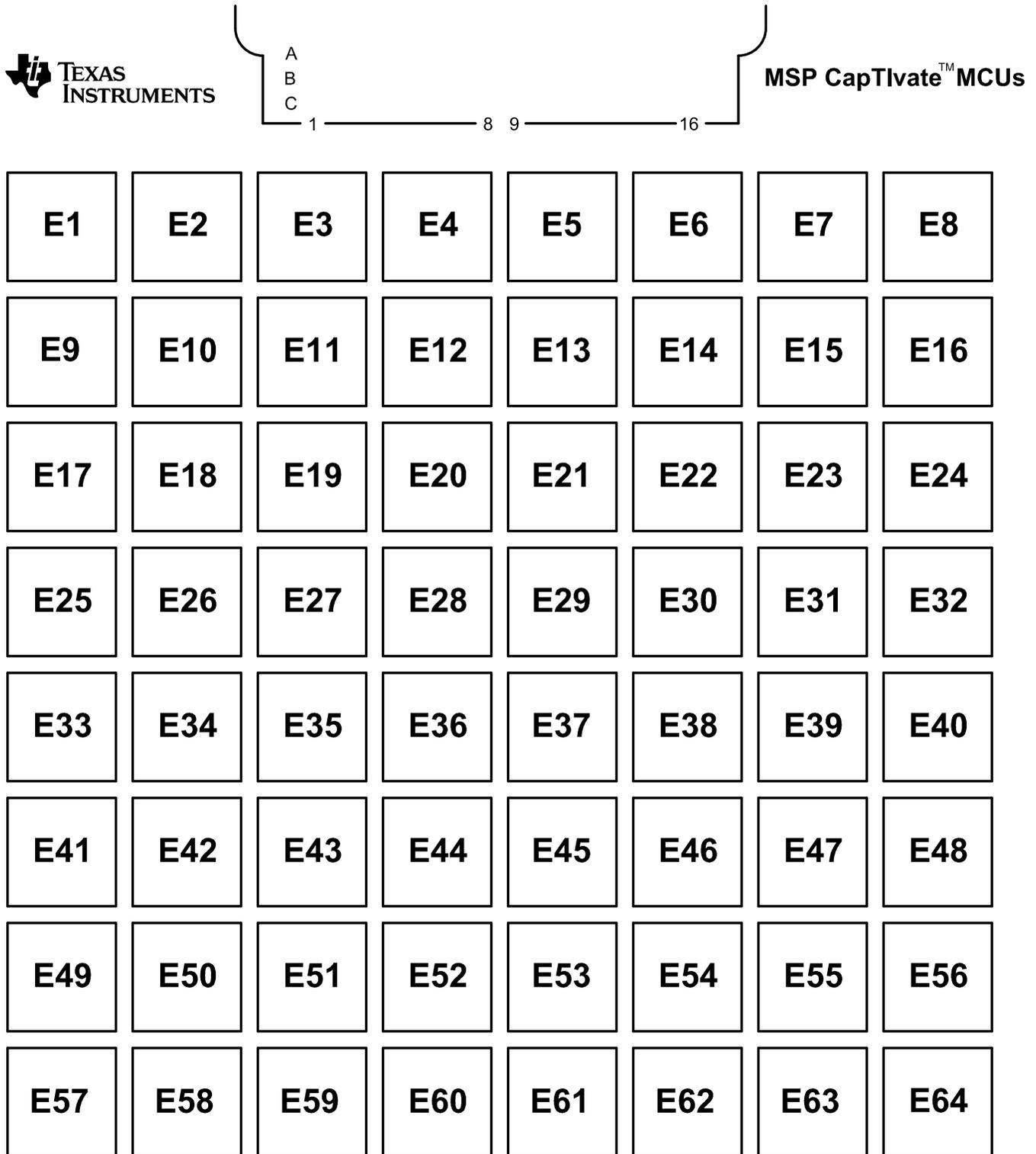


図 16. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの上面シルクスクリーン・プリント

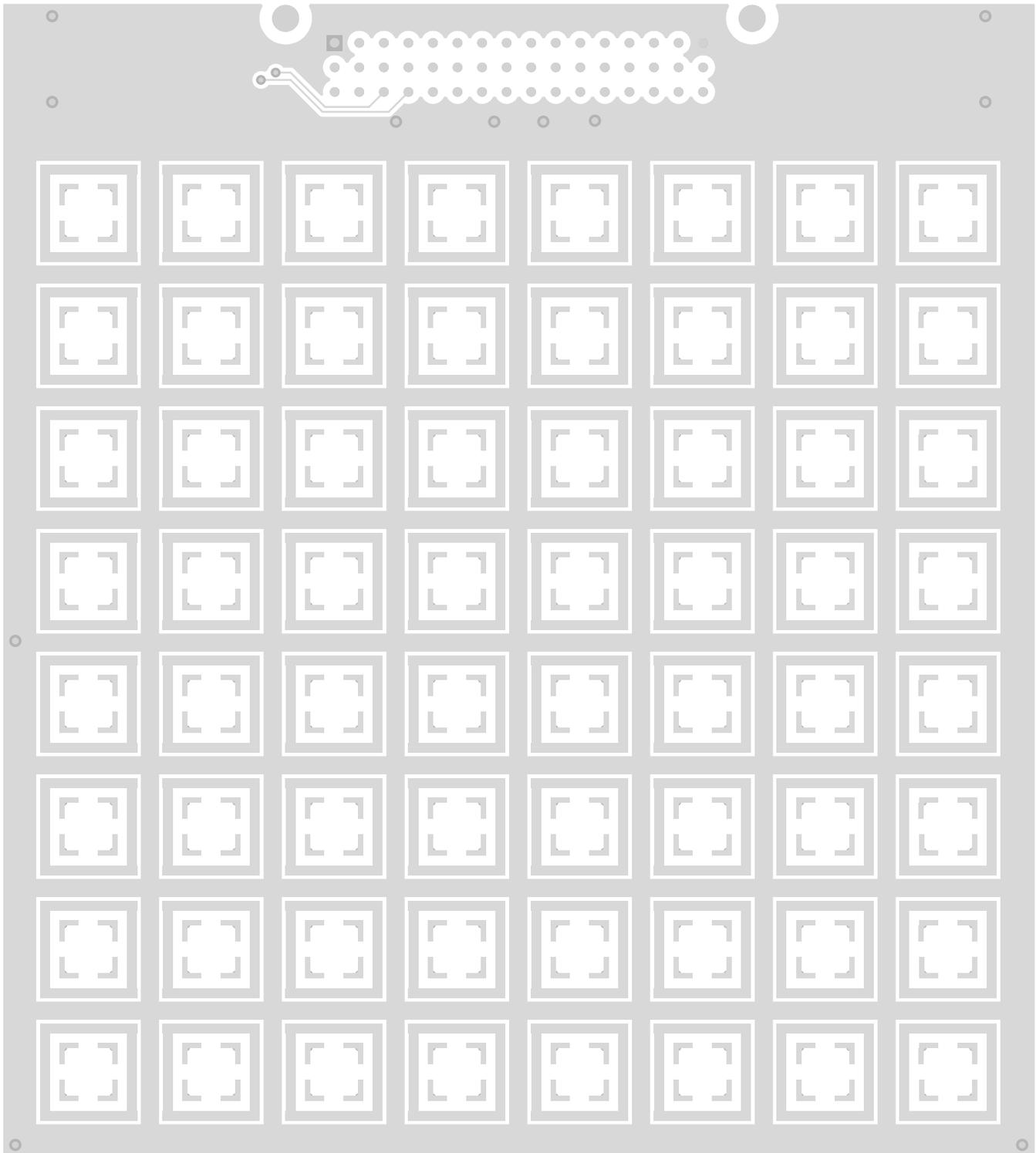


図 17. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの上層プリント

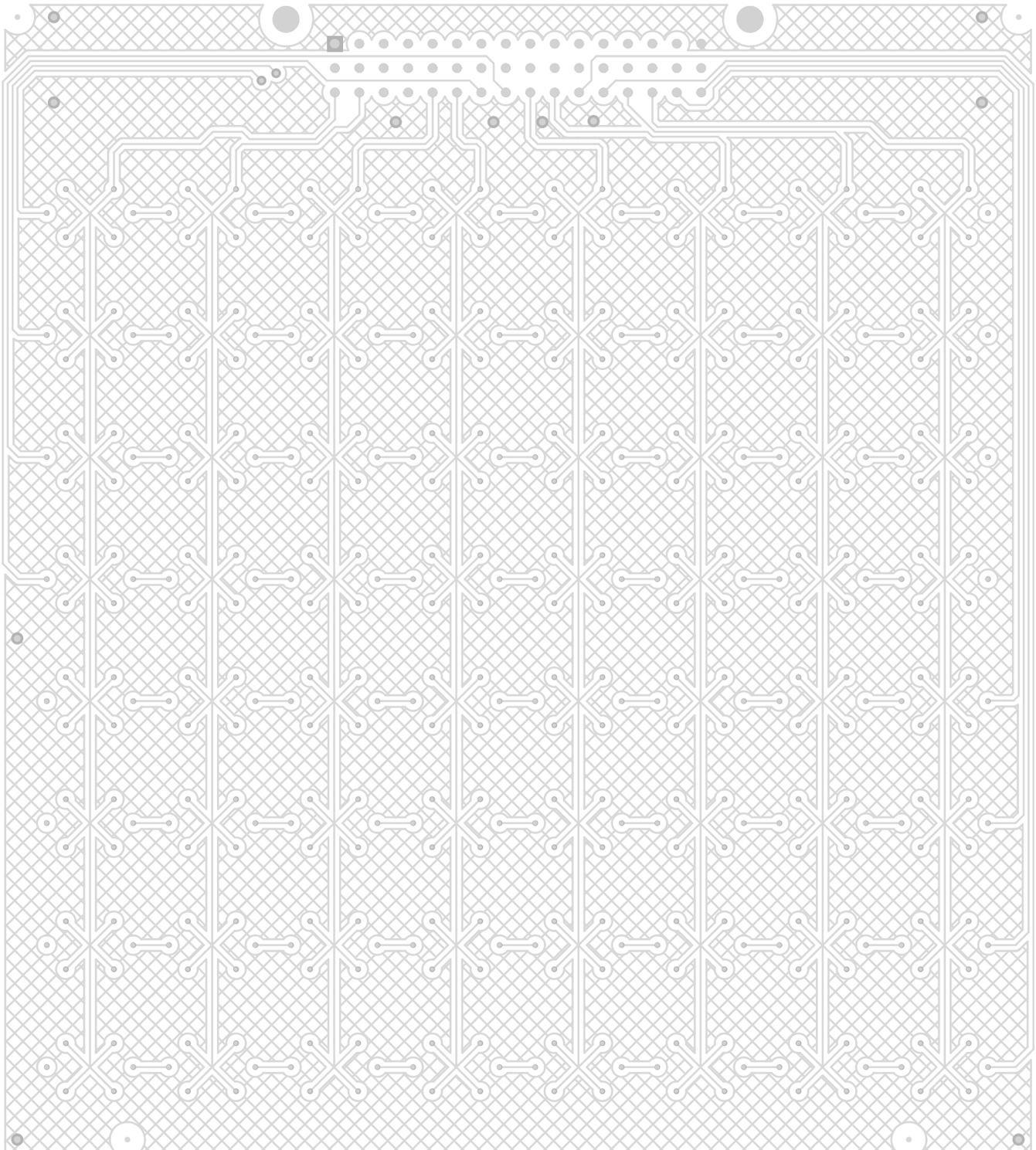
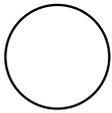


図 18. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの下層プリント

TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON

Revision 1.0



For evaluation only; not FCC approved for resale

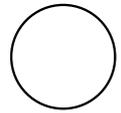


図 19. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの下面シルクスクリーン・プリント

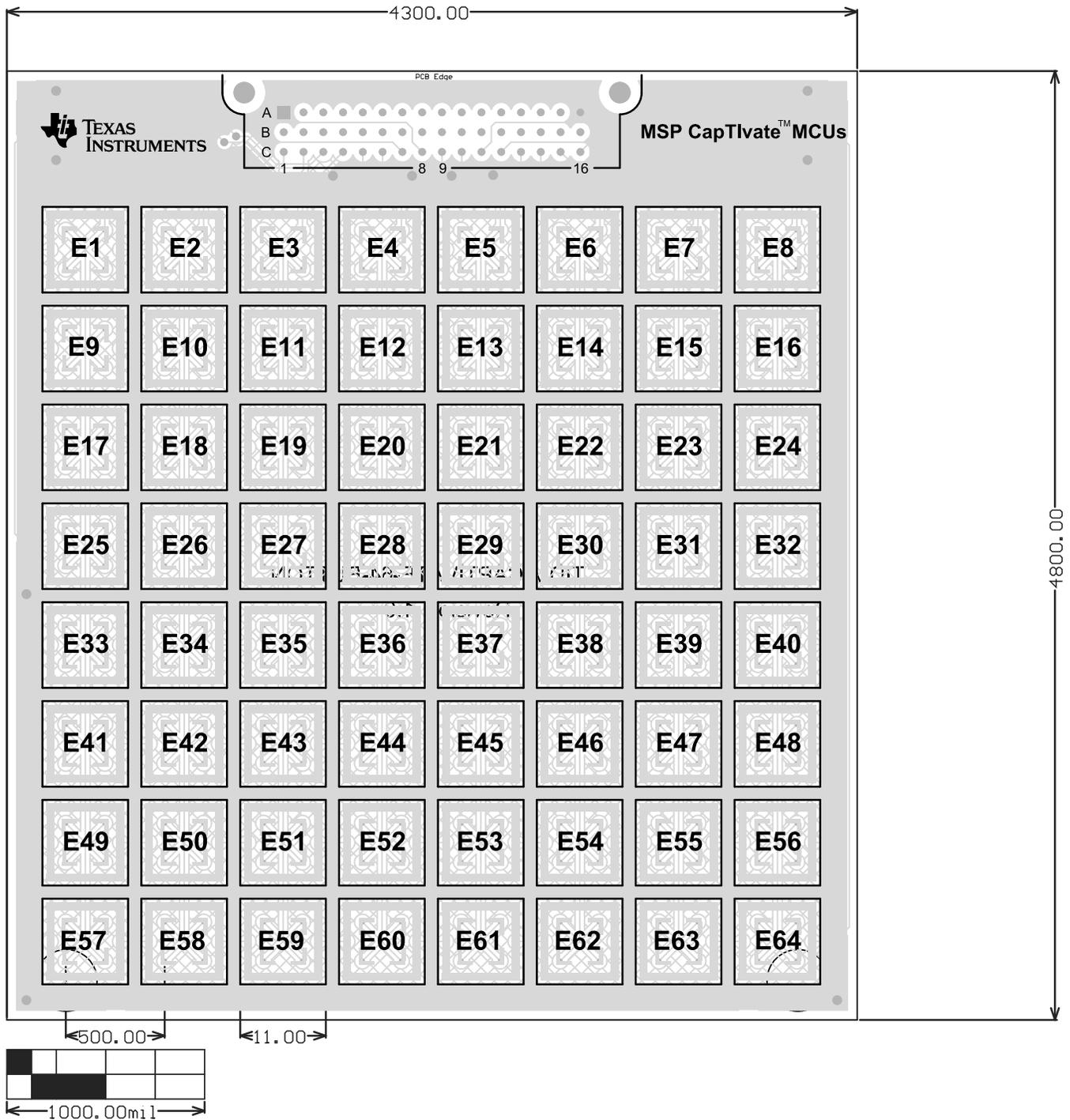


図 20. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONの全体のレイアウト・プリントと機械的寸法

8.4 Altiumプロジェクト

タッチ・パネルのAltiumプロジェクト・ファイルをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

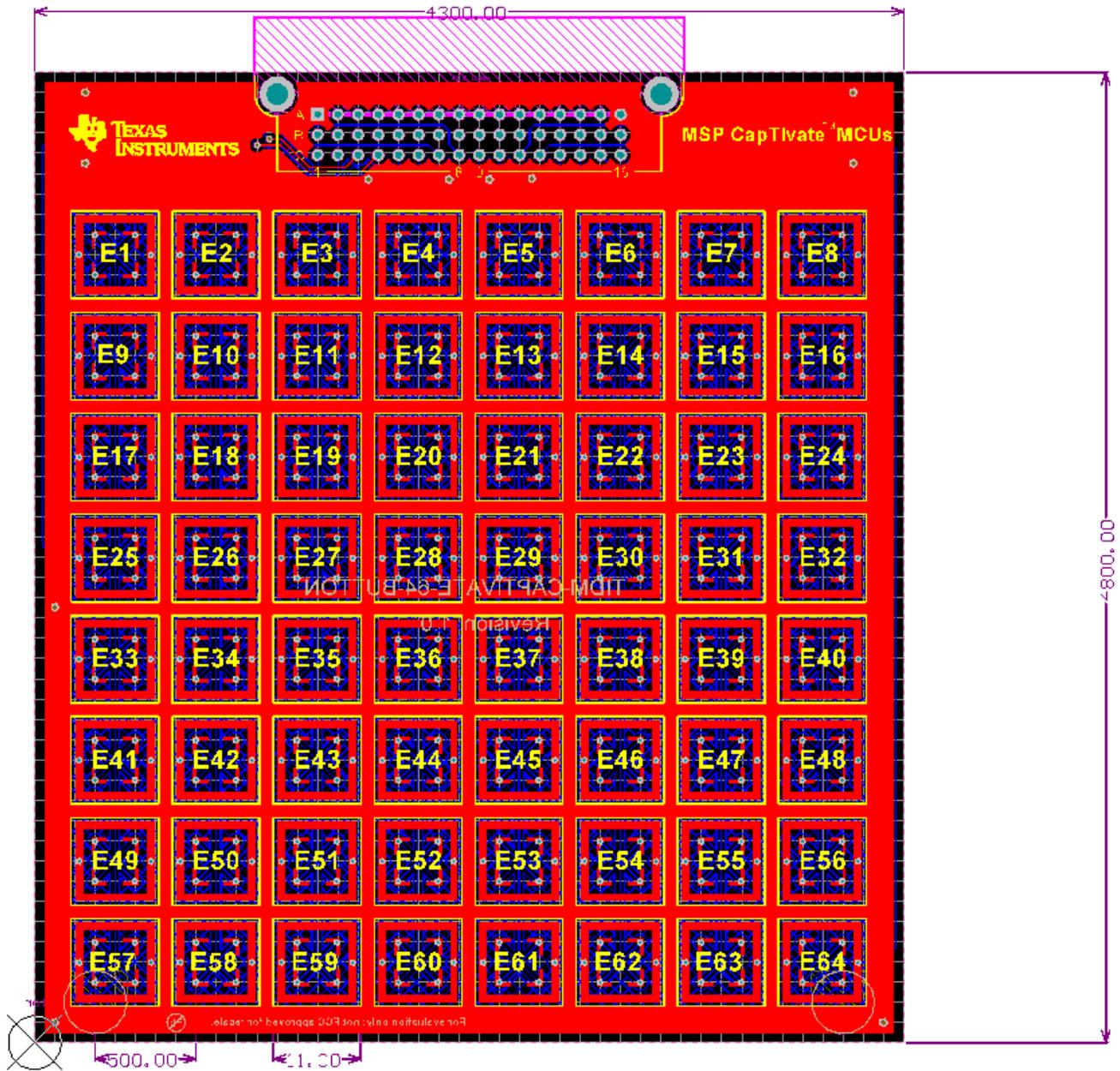


図 21. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのレイアウト - 上層

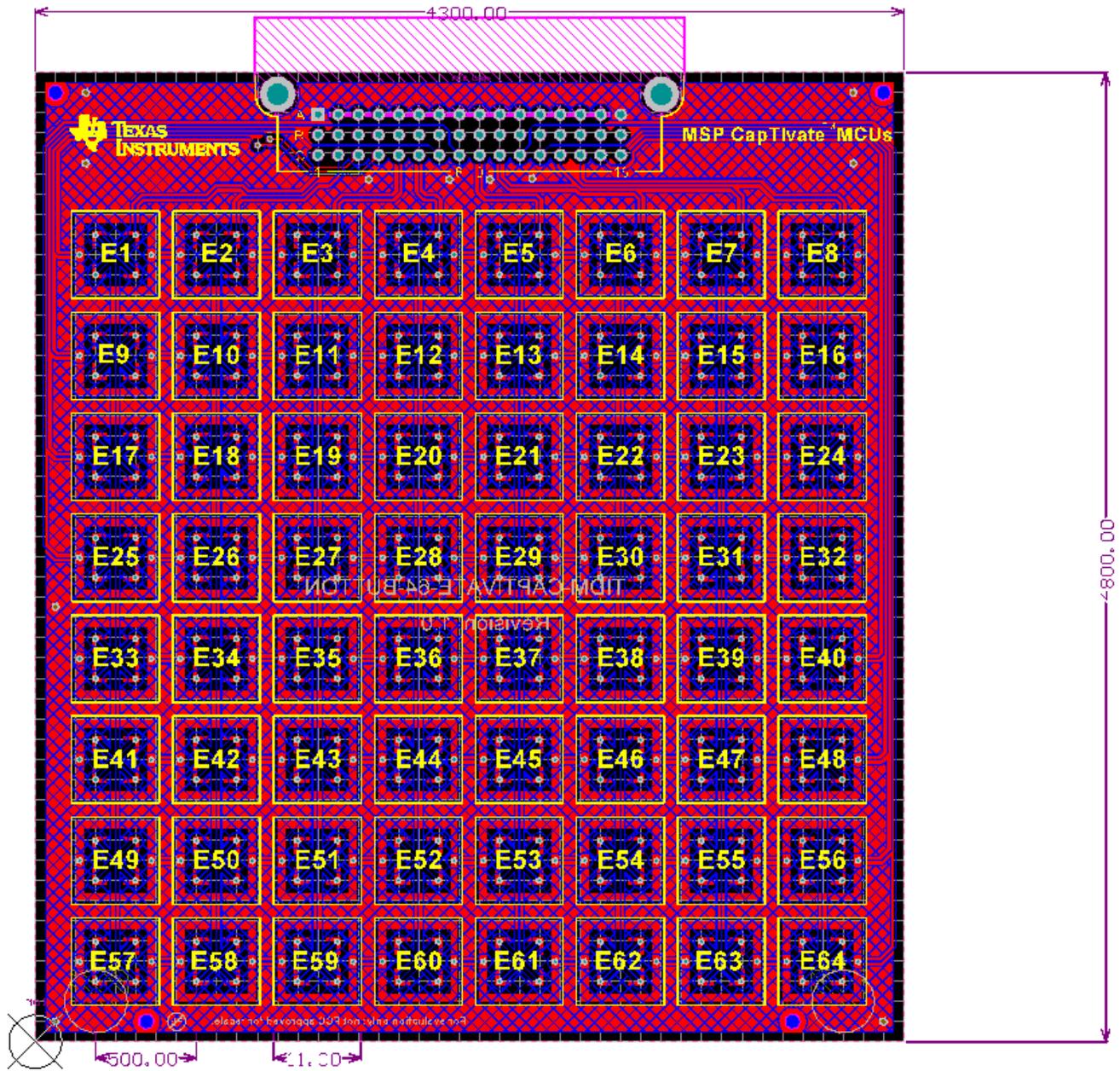


図 22. TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTONのレイアウト - 下層

8.5 レイアウトのガイドライン

タッチ・パネルのレイアウト・ガイドラインをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

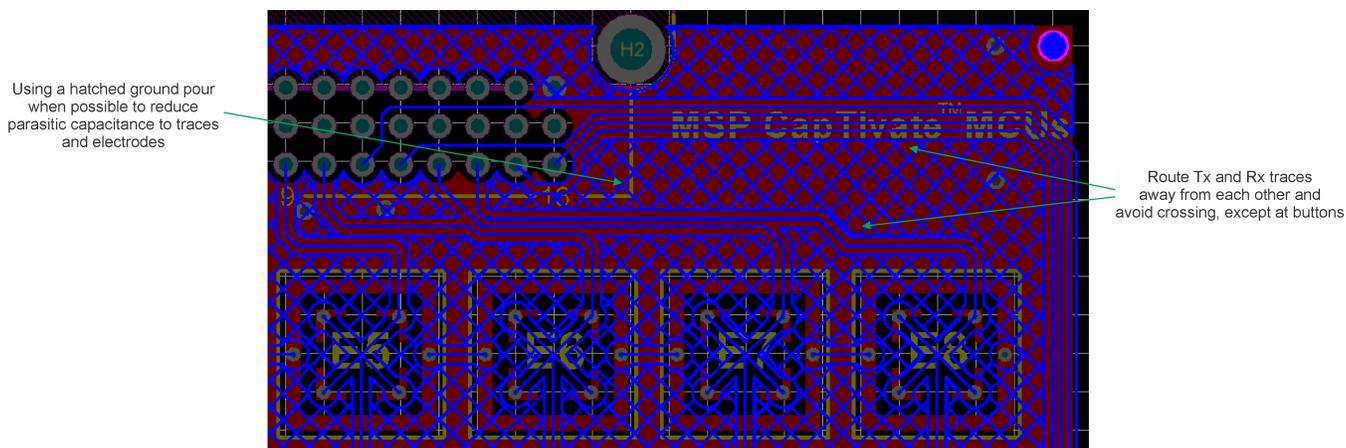


図 23. 下層のレイアウト・ガイドライン

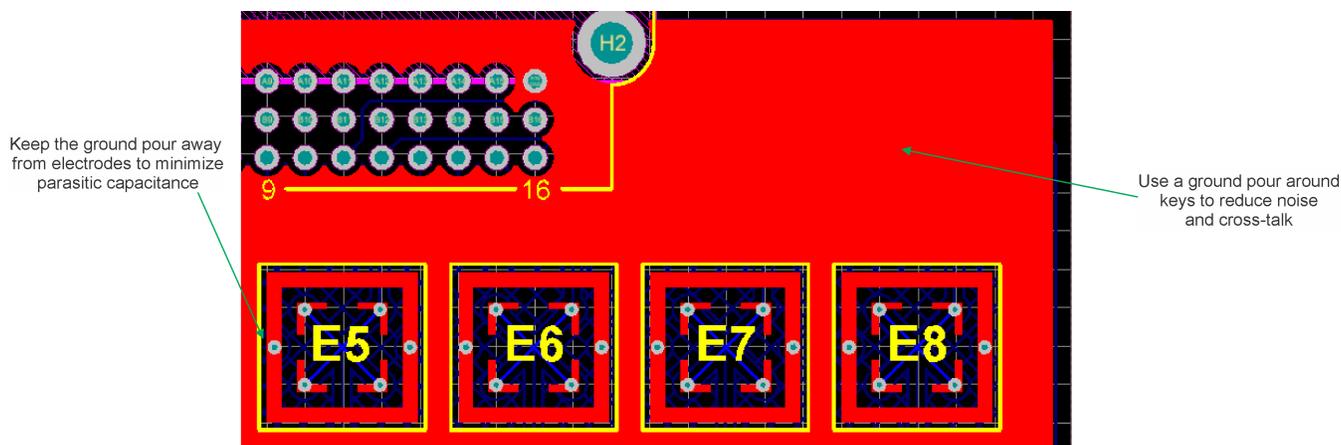


図 24. 上層のレイアウト・ガイドライン

8.6 ガーバー・ファイル

タッチ・パネルのガーバー・ファイルをダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

8.7 組立図面

タッチ・パネルの組立図面をダウンロードするには、<http://www.ti.com/tool/TIDM-CAPTIVATE-64-BUTTON>のデザイン・ファイルを参照してください。

9 参考文献

1. *TI CapTlvate Technology Guide*, <http://www.ti.com/CapTlvateTechGuide>
2. *TI CapTlvate Design Center*, <http://www.ti.com/CapTlvate>
3. *TI E2Eコミュニティ*, <http://e2e.ti.com/>

9.1 商標

CapTlvate, MSP430, Code Composer Studio are trademarks of Texas Instruments.

10 用語

自己容量 — グランド (大地) を基準とした静電容量の変化を測定する方法

相互容量 — コンデンサの両方のプレートが電極構造によって定義される場合に、センサ構造上での静電容量の変化を測定する方法

11 著者について

BENJAMIN MOOREは、TIのMSPマイコン・システム・アプリケーション・チームに属するアプリケーション・エンジニアです。オハイオ州コロンバスのオハイオ州立大学で電気およびコンピュータ工学学士 (BSECE) の学位を取得し、2013年からTIのC2000およびMSP事業部門でアプリケーション・エンジニアとして勤務しています。

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供されるものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的のみに使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他のような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。