

# MSP430を使用した 静電容量式シングルタッチ・センサ 設計の手引き

Vincent Chan, Steve UnderwoodM

MSP430

## 概要

このアプリケーション・レポートでは、MSP430マイクロコントローラを使用したRC型 静電容量式シングルタッチ・センサの設計について説明します。MSP430には、静電容量式タッチセンサとのインターフェイスをとるのに適したユニークな特長がいくつかあります。RC型方式は特別なペリフェラルを必要としない上に、MSP430製品ファミリのすべてのデバイスで実装することが可能です。この方式はまた、本質的に低消費電力であるため、非常に消費電力の低い実装を実現できます。

このアプリケーション・レポートには、製品に 静電容量式センサを実装する場合に使用するためのガイドラインが含まれています。

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 動作原理</b> .....                               | <b>2</b>  |
| <b>2 基本静電容量の測定</b> .....                          | <b>2</b>  |
| <b>3 ノイズ耐性向上と感度増大のための技法</b> .....                 | <b>3</b>  |
| 3.1 疑似差動測定 (Pseudo-Differential Measurement)..... | 4         |
| 3.2 ソフトウェア・ローパス・フィルタ .....                        | 5         |
| 3.3 基本静電容量値の追跡 .....                              | 6         |
| <b>4 測定結果の処理</b> .....                            | <b>7</b>  |
| <b>5 実験ボードの構築</b> .....                           | <b>8</b>  |
| 5.1 デモ例 .....                                     | 10        |
| <b>6 システムのリソース</b> .....                          | <b>11</b> |
| <b>7 ボード・レイアウトの考慮事項</b> .....                     | <b>11</b> |
| 7.1 回路をタッチパッドに接続する .....                          | 11        |
| 7.2 タッチパッドの形状とサイズ.....                            | 11        |
| 7.3 PCBの厚さと、アクティブでない側へのグラウンドの配置.....              | 13        |
| <b>8 オーバーレイ</b> .....                             | <b>13</b> |
| 8.1 オーバーレイの素材 .....                               | 13        |
| 8.2 オーバーレイの厚さと感度の対比.....                          | 14        |
| 8.3 粘着剤、およびその他の充填化合物 .....                        | 16        |
| 8.4 高周波(RF)放射と感受性試験の結果 .....                      | 16        |
| <b>9 参考文献</b> .....                               | <b>18</b> |

この資料は、Texas Instruments Incorporated(TI)が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ(日本TI)が英文から和文へ翻訳して作成したものです。資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI 正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。製品のご検討およびご採用にあたりましては必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。TI および日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

SLAA379 翻訳版

最新の英語版資料

<http://www.ti.com/lit/sl379>

## 1 動作原理

シングルタッチ感応静電容量センサは、導電性の異物(この場合は指)が電界に干渉できるようにコンデンサ構造を「発生させる(open up)」ことで成り立っています。

図1は、上記のようなコンデンサをPCB上に構築した例です。パッドと、パッドを取り巻くグラウンドの間にコンデンサが形成され、電界がコンデンサ真上の領域に漏出するようになっています。コンデンサ真上の領域に指を近づけると指が電界に干渉し、その結果として静電容量が変化します。

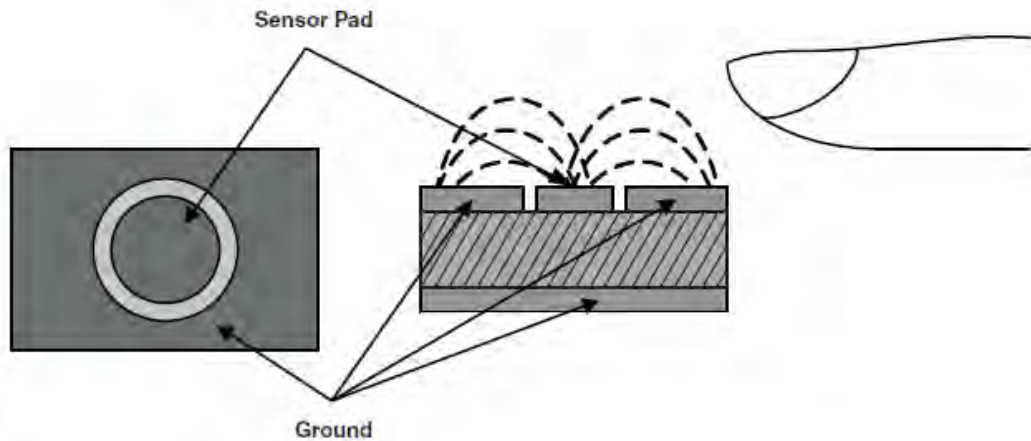


図 1 センサとして機能するオープン・コンデンサ(Open Capacitor)

多くの場合、パッドの直下には接地板(ground plate)が敷かれ、他の電子部品により生成される干渉からパッドを保護します。このタイプの設計は、PCB上の浮遊容量や、温度、湿度等の環境的な要因の影響を受けます。したがって、検出システムではこのような変化を常に監視している必要があります。

## 2 基本静電容量の測定

このセクションでは、RC充放電方式を利用した基本静電容量の測定と、ハードウェア要件について説明します。

RC放電時間を使用して、センサの静電容量を計測します。この手法は、現在では期限が切れている1976年の特許に記載されています。静電容量センサはRC回路のC部を形成します。コンデンサの電圧が閾値を超えた場合に、単一のI/Oラインを使用して充電、放電、割り込みの生成が行われます。

イベントのシーケンスを次に示します。

1. 抵抗の一方の側がセンサに、もう一方の側がグラウンドに接続されます。センサはI/Oラインに接続されます。
2. Highを出力するようにI/Oポートが設定されます。これにより、静電容量センサがV<sub>CC</sub>付近まで、非常に高速に充電されます。自励型タイマ(free-running timer)が読み出されて、開始時間が記録されます。この例では、Timer\_AのTARを使用します。
3. 立下りエッジ割り込みをイネーブルにした状態で入力するようにI/Oが設定された後、抵抗により容量センサの放電が行われます。マイクロコントローラが、低消費電力モード0になります。
4. センサの電圧がV<sub>IL</sub>を過ぎると、割り込みが生成されます。
5. 割り込みサービス・ルーチンが自励型タイマ(TAR)を再度読み取り、放電により電圧がV<sub>IL</sub>になるまでの時間を計算します。
6. マイクロコントローラが低消費電力モードから抜け、動作を継続します。

放電時間は、センサ・パッドの静電容量に比例します。したがって、測定に十分な分解能を実現するには、RC放電に十分な時間をかける必要があります。十分な放電時間を確実に得るために、約6M $\Omega$ という大きな値の抵抗を使用します。この抵抗値を使用すると、コンデンサの充電電流はわずか約500 nAになります。そのため、漏れ電流(leakage)の非常に小さいI/Oポートが必要になります。

MSP430のI/Oポート漏れ電流の最大値は50nAです。これは、上記の手法で静電容量を感知するのに適した値です。ポート1とポート2はそれぞれ8個の独立した割り込みラインを持つため、ひとつのシステムで最大16個のセンサを検知できます。

図2は、前述のイベントのシーケンスです。図2の下部のバーはマイクロコントローラの動作状況(activity)を示しています。この動作状況は、超低消費電力アプリケーションの場合は重要となります。1キーにつき10 $\mu$ A~20 $\mu$ Aしか消費しない検出回路(detector)をMSP430に構築することも可能です。マイクロコントローラの動作状況が重要であることを示す一例がリモート・コントロールです。リモート・コントロールでは、検出(detection)が常にオンになっているためです。

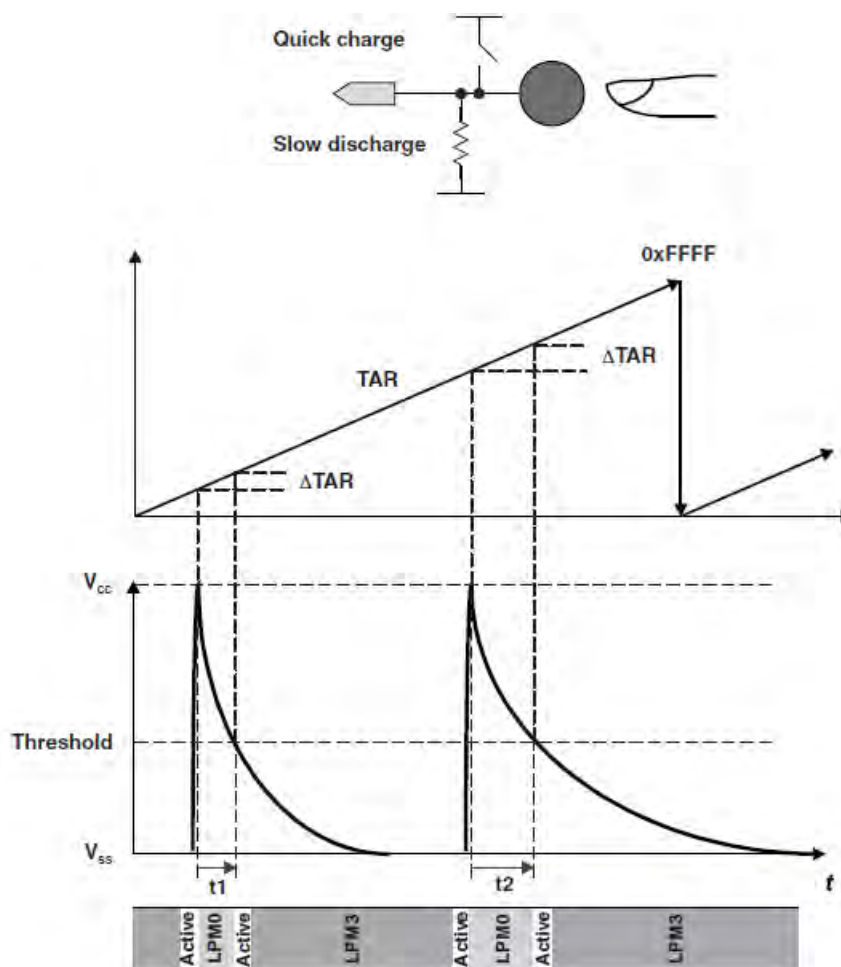


図2 充放電のシーケンス

### 3 ノイズ耐性向上と感度増大のための技法

この高インピーダンス・システムには、本質的に低消費電力であるという長所がありますが、誘導ノイズの影響を受けやすいという欠点もあります。誘導ノイズは、人体が要因となって発生する場合もあります。人体は、50/60Hzの電源干渉ノイズ(mains interference)、つまり電源ノイズを拾うためです。このノイズの問題が発生した場合に対処するために、2つの技法が開発されています。

このドキュメントでは、指がパッド領域を覆った時のカウントの差分(difference)として感度を定義しています。この差分は、 $C_{\Delta}$ とも表現されます。

### 3.1 疑似差動測定 (Pseudo-Differential Measurement)

図3に、充放電サイクルを使用して同相ノイズを除去することで静電容量を測定するためのシンプルなハードウェア的技法を示します。この図に示された2つの測定の平均値が、計算の次の段階で使用されます。

この2つの測定が短時間内に連続して行われる場合は、より時間のかかる同相ノイズと比較して、平均値が差動測定(differential measurement)のような振る舞いを示します。例えば、電源(mains)からのノイズはこの方法で低減できます。

充電と放電のサイクルは、異なる閾値レベル(different threshold levels)を持ちます。したがって残余の静的オフセット成分が存在しますが、この成分は付加的な静電容量オフセットに変わります。アプリケーションは基本値または通常値からの静電容量の変化の検出と測定を行うように設計されているため、この通常の静電容量にオフセットが付加されても検出に問題が発生することはありません。

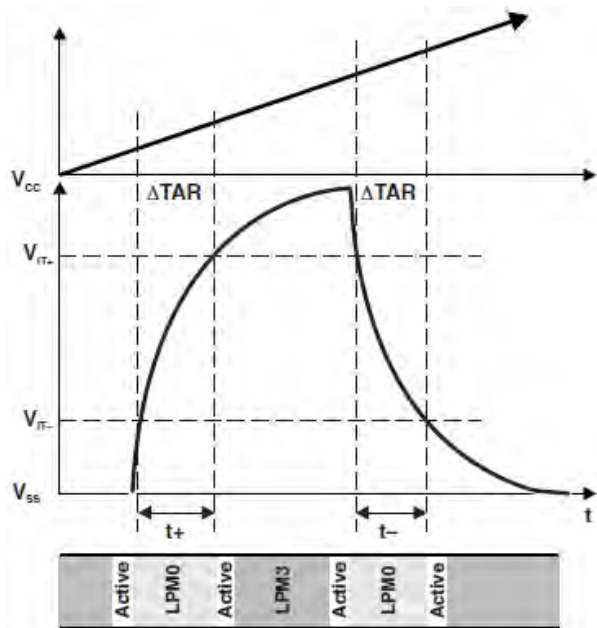


図 3 ノイズ除去の向上のための測定サイクル

このスキームを実装するために、2本のI/Oライン間に抵抗を接続します(図4参照)。P1.0を使用してタッチパッドを検知する場合は、P1.1が出力モードに変わり、充放電サイクル用のソースとシンクの供給源(supply)として機能します。P1.1を使用してタッチパッドを検知する場合は、P1.0が出力モードに変わり、充放電サイクル用のソースとシンクの供給源(supply)として機能します。これには、必要な抵抗の数が半分ですむという付加的なメリットもあります。

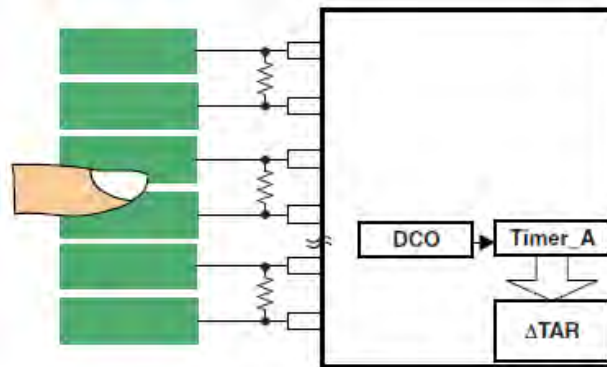


図 4 マルチセンサ式の充放電構成

### 3.2 ソフトウェア・ローパス・フィルタ

前段の出力は、追加のIIRフィルタを通ります。これは、本質的にはDC追跡フィルタです。このフィルタではあらゆる残余ノイズ(residue noise)を除去し、パッドの感度を増大させます。速度が多少犠牲になりますが、全体的としては有益な影響が得られます。図5はフィルタの構造です。

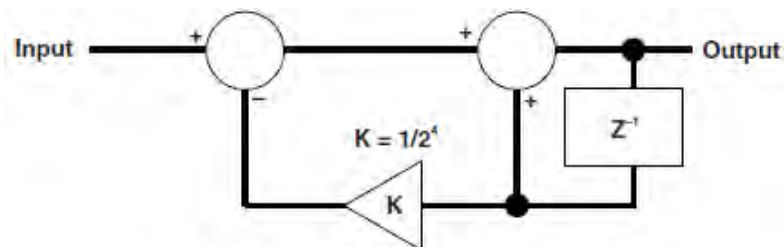


図 5 ソフトウェア・ローパス・フィルタ

入力は、パッドの瞬間静電容量の読み出し値と、パッドの基本静電容量値の差です。この基本静電容量値は、パッドが開放状態(open state)にある時に求められます。

図6は、オシロスコープ・プログラムの画面です。厚さ1mmのプラスチックのオーバーレイを持つセンサに指が触れた場合の静電容量の変化が連続的にキャプチャされています。50/60Hzの電源ピックアップ・ノイズ(mains pickup)が生じていることがはっきりと分かります。

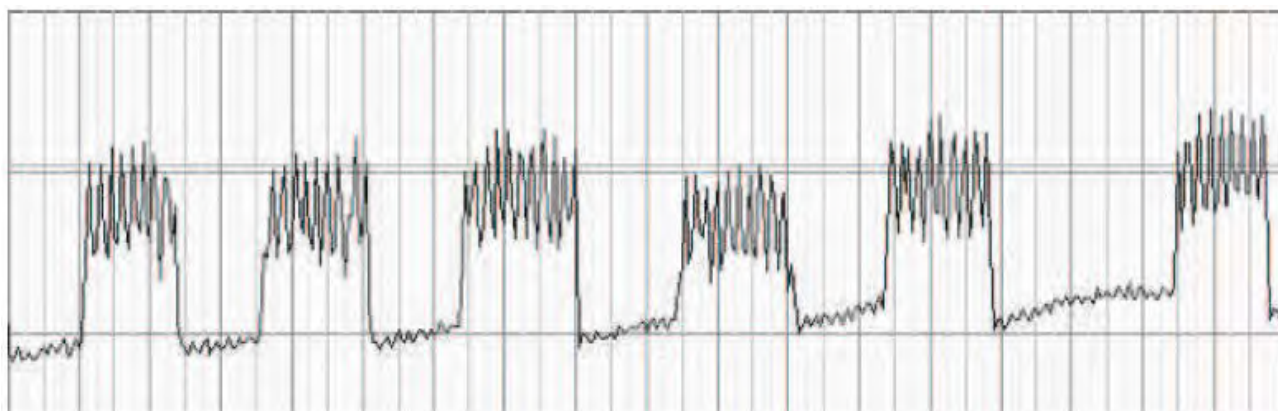


図 6 電源ノイズ(Mains Noise)が表示されたオシロスコープ

図7は、シンプルなIIRフィルタの構造と、ソフトウェア・デジタル・フィルタを追加して50/60Hzの電源ノイズ(mains noise)を除去することで大幅に向上した結果を示しています。フィルタの追加により、信号も増幅されています。

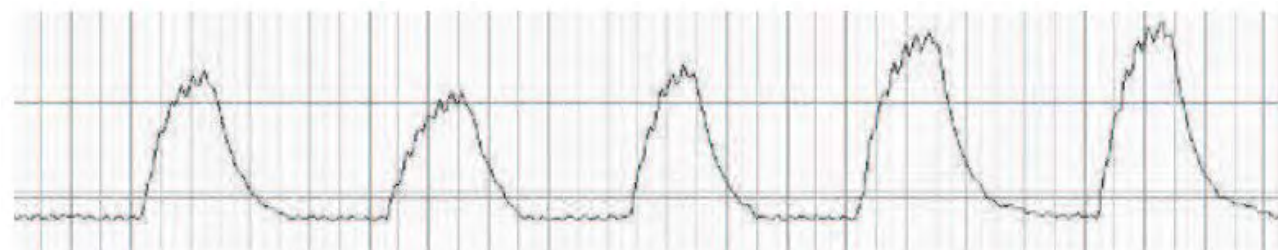


図 7 IIRフィルタのあるオシロスコープ

### 3.3 基本静電容量値の追跡

タッチパッドの基本静電容量(タッチパッドが指で覆われていない場合の静電容量)は、温度によって変化する可能性があります。したがって、この時間のかかる変化を追跡することが重要となります。追跡サイクル時間は通常、秒単位ではなく分単位になります。また、減少よりも時間のかかる増加を追跡するため、追跡速度が不均整(asymmetric)になっています(このアプリケーションでは、10の倍数が採用されています)。

例えば、指がタッチパッドにゆっくり近づく場合は、タッチパッドの感度が鈍くならないように、適応(adaptation)に十分な時間をかける必要があります。指がタッチパッドから離れる時には、適応(adaptation)が元の開放状態時の値をまで素早く追跡します。図8にこのプロセスを示します。

タッチパッドが指によりアクティベートされた時点で、適応(adaptation)が停止されます。

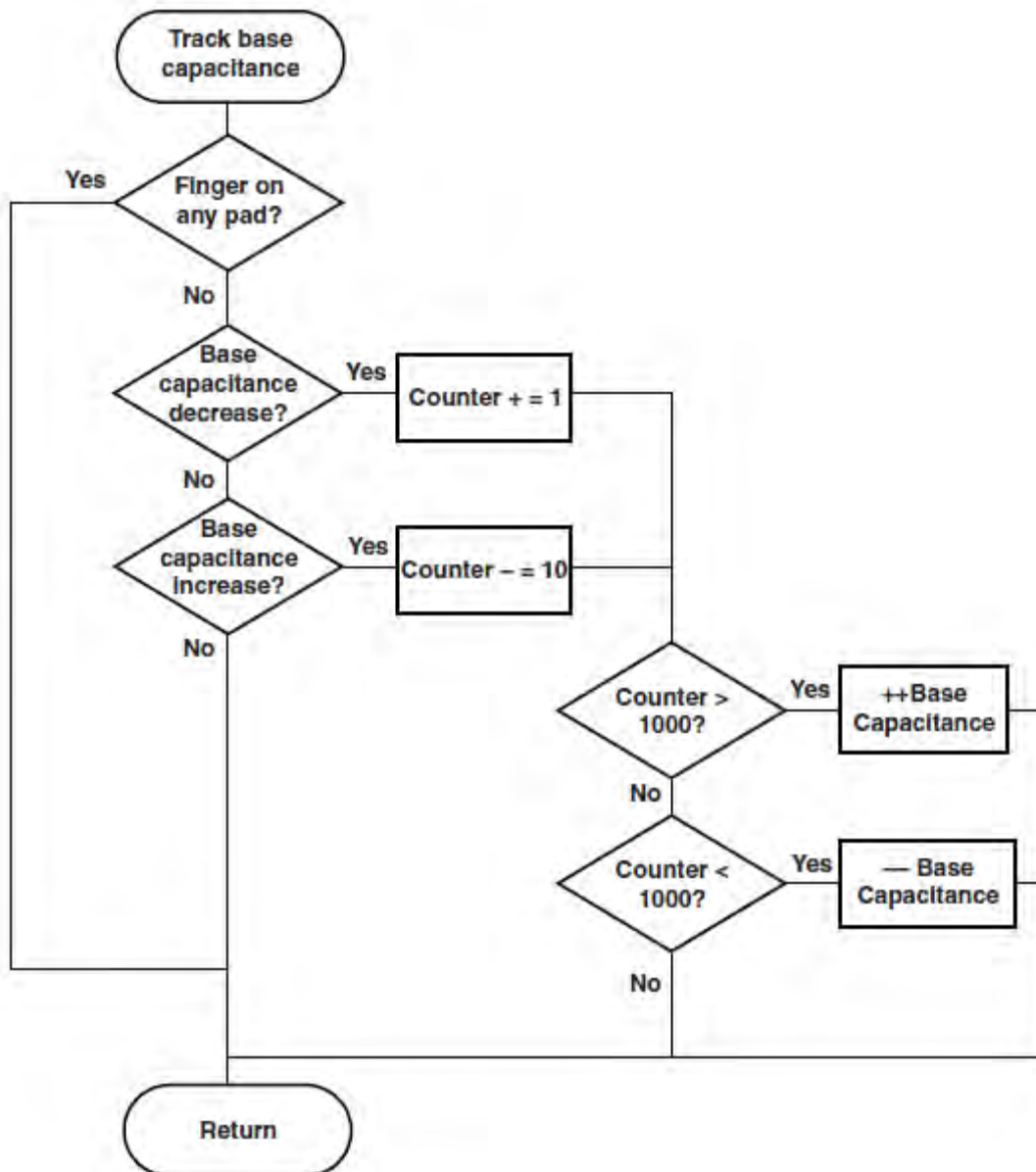


図 8 基本静電容量の追跡のフロー・チャート

## 4 測定結果の処理

IIR出力の結果は、十分な感度のあるクリーンな静電容量値である必要があります。シンプルなボタンごとの(button-by-button) 測定値またはスライダが、これらの結果をもとにして作成されます。このアプリケーション例では、電話のダイヤル状に並んだ14個のパッドを使用して、スライダが構築されています(図9)。

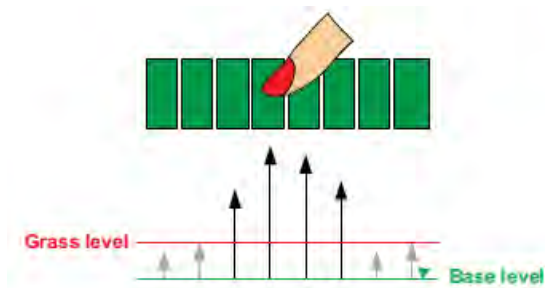


図9 スライダ機能

スライダ機能を構築するには、加重平均法(weighted averaging method)を使用します(図10参照)。この手法を使用すると、中間ステップ16段階の2つの物理パッド間の位置決め(positioning)をより細かくすることが可能になります。これにより、スライダでは16キーで合計240ステップを実現できます。

$$C_{HiRes} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(i) \times (C_{delta} [i-1] - C_{delta} \text{ min})]}{\sum_{i=1}^{i=n} (C_{delta} [i-1] - C_{delta} \text{ min})} \times \text{gain}$$

図10 加重平均法

図11は、並列静電容量パッド5個で構成されるストリップを上下になぞる指からの出力です。この結果のリニアリティ(均一性)であれば、1パッドにつき複数のステップが可能になり、その結果として生じるピーク・トゥ・ピーク(最大振幅)の差(peak-to-peak difference)は約60カウントになります。

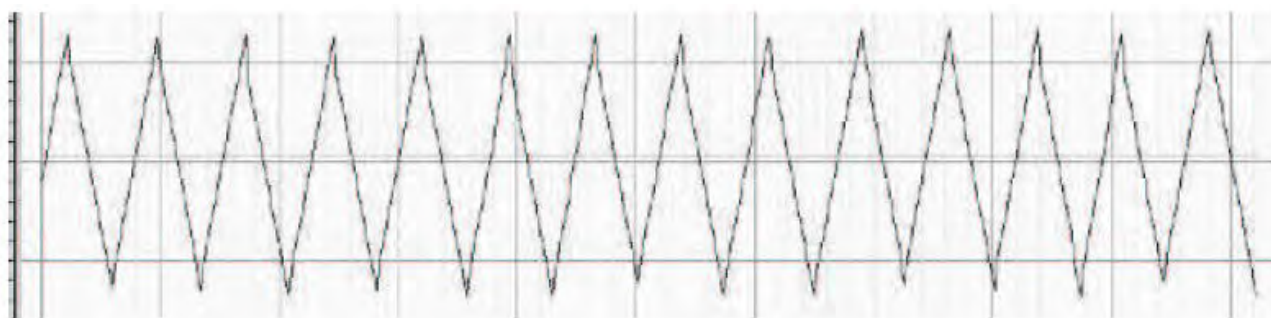


図11 スライダの出カステップ

## 5 実験ボードの構築

MSP430F2013を使用して、スライダ機能のデモを行います。F2013は、MSP-EXP430FG4618実験ボードの一部です(図12参照)。

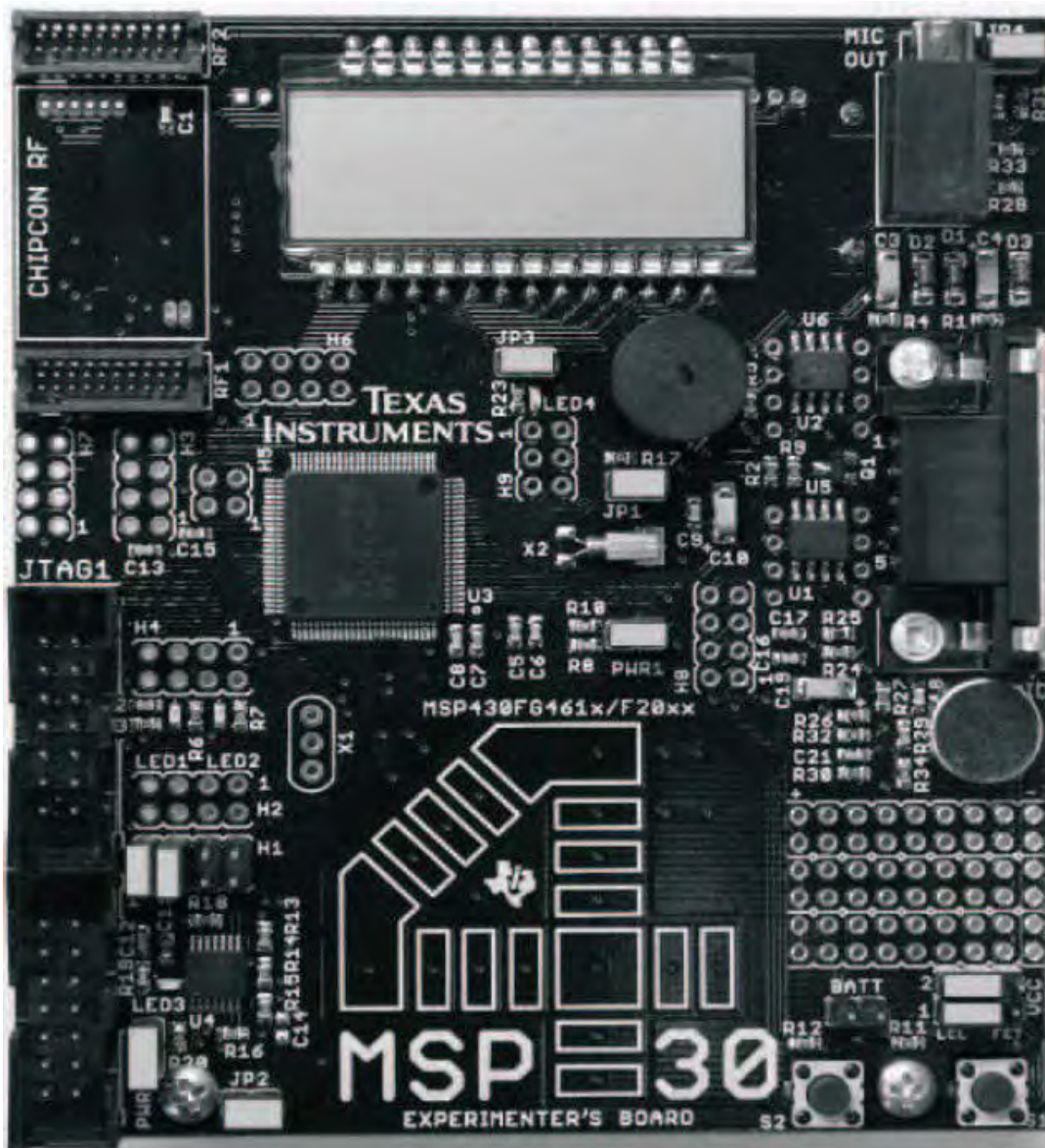


図 12 MSP430 実験ボード(Experimenter's Board)



実験ボードには、16個のパッドが4の字型に配置されています(図13参照)。これらのパッドを駆動するI/Oは再利用されます。

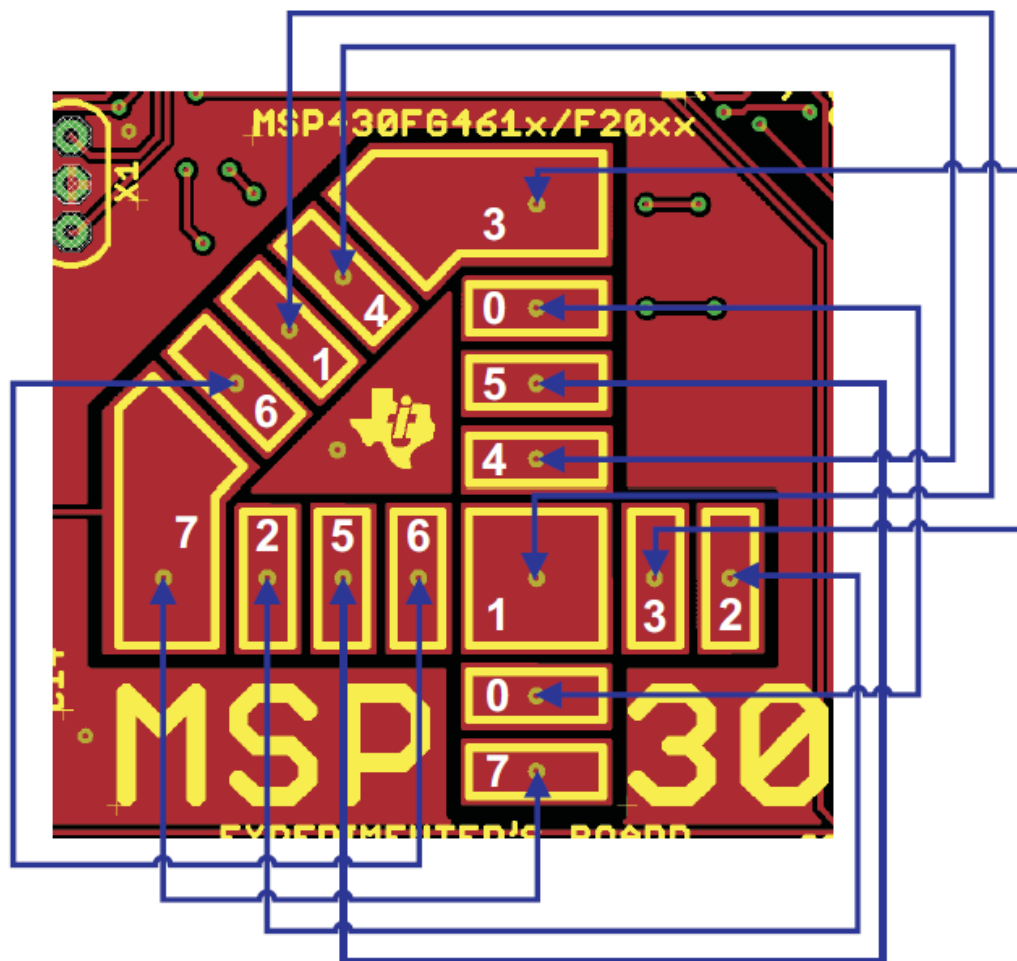


図 13 実験ボードのパッドの配置

MSP430のタッチパッド・プロセッサは、ホスト・プロセッサと接続されています。ホスト・プロセッサではタッチパッドからの出力を取得し、表示します。また、ホスト・プロセッサではデータをPCに送信します。PCでは、アプリケーション・プログラムがデータを別の形で表示します(図14参照)。

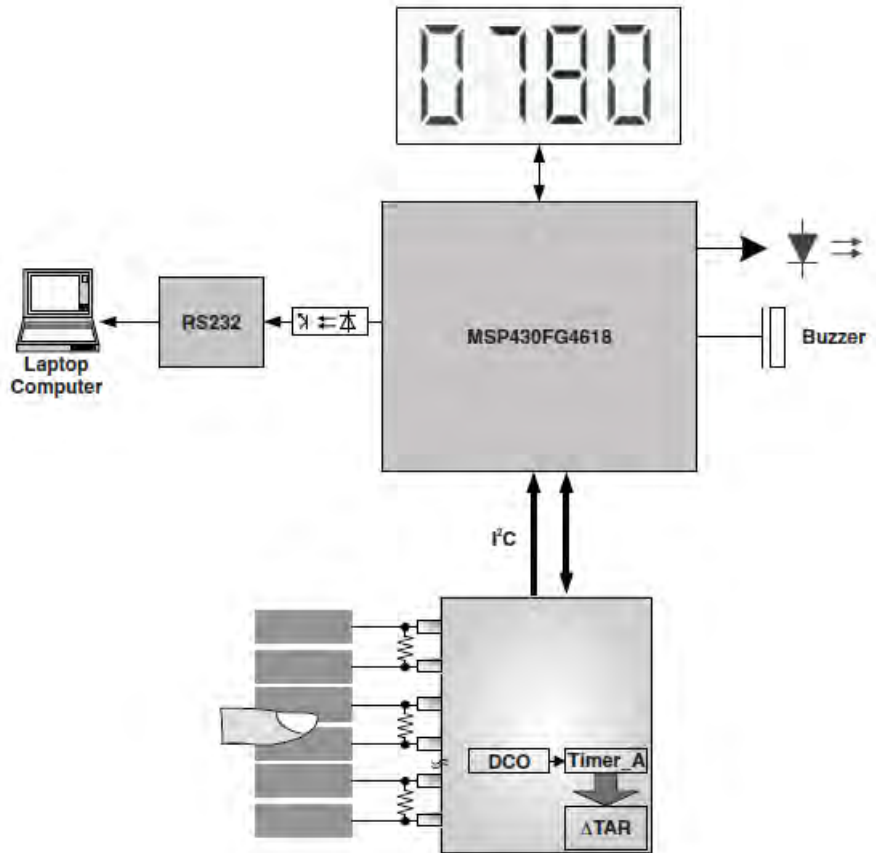


図 14 タッチパッド・プロセッサ

## 5.1 デモ例

デモ用コードは、EXP430FG4618ボード上で動作します。実験を実行するには、一番上のJTAGコネクタにFETツールを接続することで、最初にホスト・ソフトウェアFG4619\_host\_commsをU3上にロードする必要があります。また、PC上で動作するプログラム(touch\_strip.exe)は、ボードに接続されたシリアル・ポートCOM1を使用して動作します。この後、アプリケーション・プログラムをターゲット・デバイスU4上にロードできるようになります。

このアプリケーション・レポートに含まれるアプリケーション例は次の2つです。

- パッドを5個(パッド7、6、1、4、3)使用して、スライド・バー機能を生成し、1~255のカウントを出力する  
指をスライダに沿って動かすと、読み出し値(reading)がI<sup>2</sup>Cを介してホスト・プロセッサ(MSP430FG4618)に送信されます。ホスト・プロセッサにはLCDドライバがあります。数値が増分または減少する数として表示されます。また、PC上で動作するプログラム touch\_strip.exe. により、この数がボリューム・バー上に表示されます(数はUARTを介して送信されます)。
- パッドを5個(1、3、0、6、4)使用して、1~5の範囲で押されたキーを検出する  
指が各ボタンを押すと、I<sup>2</sup>C を介してホスト・プロセッサ (MSP430FG4618)に数字が送信されます。キーの数が表示され、押されたキーの方向を示す矢印(4 = 上、0 = 下、3 = 右、6 = 左)がUARTを介して、LCD画面上とPCプログラム touch\_strip.exe上に表示されます。

## 6 システムのリソース

前述の、I<sup>2</sup>C通信を使用したスライダ・アプリケーションの場合は、次に示すシステム・リソースが使用されます。

- ・ 1950バイトのROM
- ・ 96バイトのRAM
- ・ 0.1よりも小さいMIPS

実際のMIPS要件は非常に小さくなっています。プロセッサの時間の大部分はスリープ・モードになるためです。

キーの数が16に増えた場合でも、比例して増加させる必要があるのはRAMサイズのみです。

## 7 ボード・レイアウトの考慮事項

### 7.1 回路をタッチパッドに接続する

タッチパッドに接続する線は短くしておく必要があります。配線により静電容量が追加されるためです。また、接続する線の形状を可能な限り変えないことも重要です。配線の曲がり角が静電容量の変化に影響を与える可能性があるためです。

タッチパッドは回路を駆動する上に、高インピーダンスであるため、高速または大電流の駆動線をタッチパッド線の隣に配置しないようにしてください。

### 7.2 タッチパッドの形状とサイズ

通常のベタ(solid filled)の円形パッドまたは方形パッドが使用できます。パッドにドリルで穴を貫通させることにより、静電容量性能に影響を与えずにバックライティングを実現できます。

パッドは通常、グラウンド領域に囲まれています。グラウンド領域には、メッシュ(網目状)とベタの両方が使用できます。グラウンド領域までの間隔の大きさとしては、パッド・サイズの1/20という比率がよく使用されます。例えば、直径10mmのパッドを使用する場合に適した間隔は0.5mmになります(図15参照)。

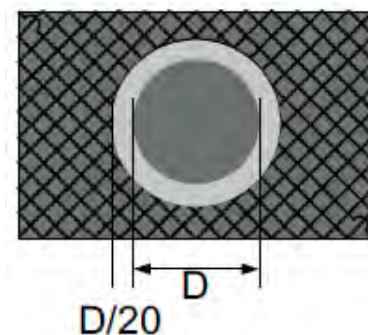


図 15 タッチパッドのサイズと形状

スクロール・バーのアプリケーションでは、パッドが狭い間隔で詰め込まれています。このような場合は、隣接するパッド同士がデバイスによりグラウンド接続されます(未使用の場合)。これにより、アクティブなパッドの周辺に動的なグラウンド・プレーンが形成されます。

通常は、パッドのサイズが大きいほど感度も高くなります。サイズを大きくしていったら、指でパッド領域を隠せなくなった時点のサイズが上限となります。それ以上パッドのサイズを大きくしても、それまで以上のメリットは得られません。パッドとグラウンド・プレーン間の間隔も、感度に影響します。

スクロール・バーの場合は、パッドが大きすぎないことが重要になります。普通の大きさの指で、タッチパッドの1.5倍 (one and one half touchpads)の領域を覆うことのできる必要があります。

図16～図18は、オーバーレイの厚さを様々に変えた場合の感度変化と、パッド・サイズ/パッド間隔の対比です。カウントの平均は、指がパッド上にある場合と無い場合を比較した場合に見られるカウント差の平均を示しています。使用されるクロック速度は8MHz (最大速度は16MHz)です。

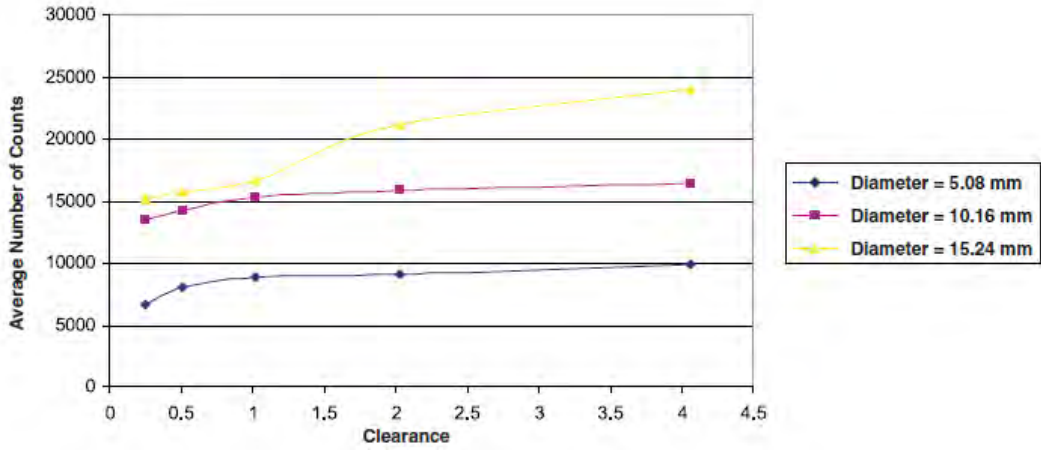


図 16 パッドの感度(オーバーレイの厚さ = 0 mm)

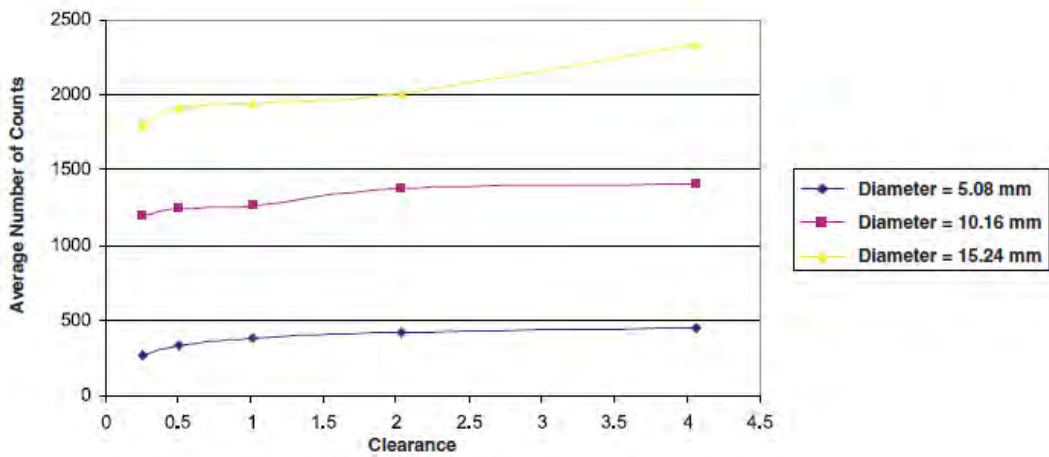


図 17 パッドの感度(オーバーレイの厚さ = 0.8 mm)

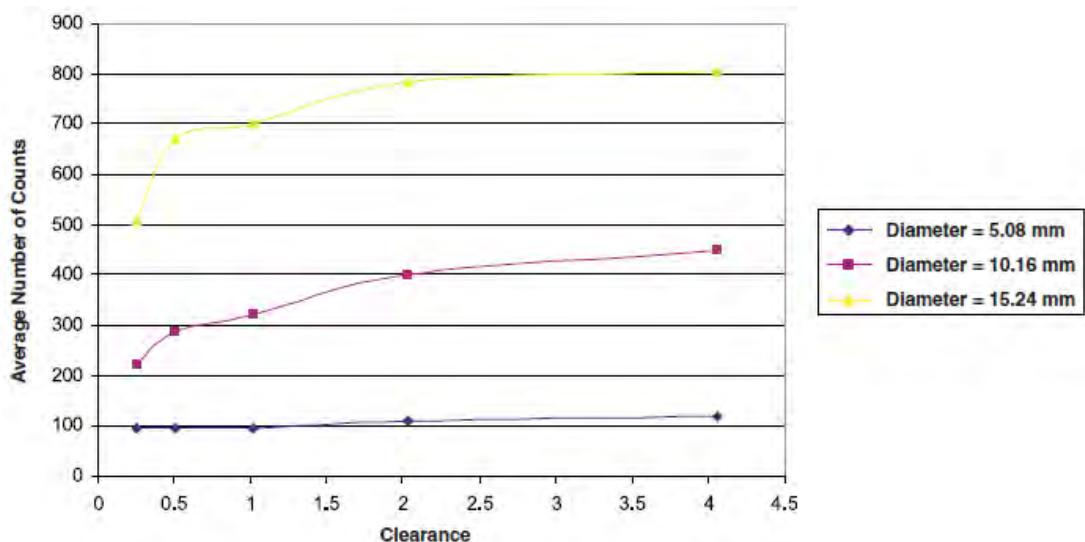


図 18 パッドの感度 (オーバーレイの厚さ = 2.4 mm)

### 7.3 PCB の厚さと、アクティブでない側へのグラウンドの配置

容量感知ボードは他の電子部品の上部に配置されることが多いため、PCBの底面にグラウンドを配置して、下の電子部品から発生する放射ノイズからセンサを保護することが役立つ場合がよくあります。

FR4素材を使用する場合は、PCBの厚さはセンサにほとんど影響しません。カプトン等のフレキシブルPCB素材を使用する場合は、素材が薄いほど、下側のグラウンド・プレートが表面のセンサ・パッドに近づいて、パッドの静電容量性能に干渉しやすくなります。この影響は、使用するメッシュ状のグラウンド接続を40%以下にして結合領域を小さくすることで低減できます。

## 8 オーバーレイ

### 8.1 オーバーレイの素材

オーバーレイの素材を選択する際には、次の2つのことを考慮する必要があります。

- ・ 容量結合性能 (誘電率)
- ・ 静的絶縁破壊特性

表1は、一般的に使用されるいくつかの素材の誘電率です。

表 1 一般的な素材の誘電率

| 素材                      | $\epsilon_r$ (絶縁定数) |
|-------------------------|---------------------|
| 空気                      | 1.0                 |
| ガラス                     | 7.6~8.0             |
| マイラー<br>(デュポン社製PETフィルム) | 3.2                 |
| ABS                     | 3.8 ~4.5            |
| 木材                      | 1.2~2.5             |

誘電体の絶縁定数が大きいほど、指とセンサ・プレート間の容量結合が向上します。空気と木材の一部を別として、上記の表に記載された素材は、オーバーレイに十分に適した素材です。

空気の容量結合特性は低いため、センサ・プレートとオーバーレイ素材の間に空隙 (air gaps) を残さないようにする必要があります。また空隙に湿気が溜まると、温度が急激に変化した場合にこの湿気がセンサ表面に凝結する可能性があります。粘着剤と充填化合物の情報については、セクション 8.3を参照してください。

表2に、一般的な素材のオーバーレイを使用した場合に、ESD(静電気放電)12kVによる損傷が起きないようにするための最低限の厚さを示します。

**表 2 12kVのESDによる損傷の回避に必要な最低限の厚さ**

| 素材       | 厚さの最小値  |
|----------|---------|
| FR-4     | 0.4 mm  |
| カプトン     | 0.04 mm |
| アクリル     | 0.9 mm  |
| ポリカーボネート | 0.8 mm  |
| ガラス      | 1.5 mm  |
| ABS      | 0.8 mm  |

ESD保護をさらに強化するために、カプトンの層を追加して、オーバーレイの絶縁破壊耐性(breakdown tolerance)を大幅に増大させることもできます。

## 8.2 オーバーレイの厚さと感度の対比

通常、オーバーレイの厚さは感度に反比例し、逆指数関数的な関係となります。

静電容量式感知パッドの感度には、次のように多くの要因が影響する可能性があります。

- ・ パッドのサイズ
- ・ オーバーレイの素材とその厚さ
- ・ 感知手法のゲイン (IIRフィルタのゲインやクロック速度等)

表3は、標準的なオーバーレイの厚さと容量・センサ・アプリケーションの種類の対比です(8MHzクロック時、IIRフィルタのゲイン4の場合)。

**表 3 標準的なオーバーレイの厚さ**

| アプリケーション | 標準的な厚さ  |
|----------|---------|
| ボタン      | <5.0 mm |
| スライダ     | <1 mm   |

図19と図20は、オーバーレイの厚さを様々に変えた場合の回路の感度です。感度は、デルタ・カウントとして表現されます(指で(パッドを)覆った状態と放した状態)。

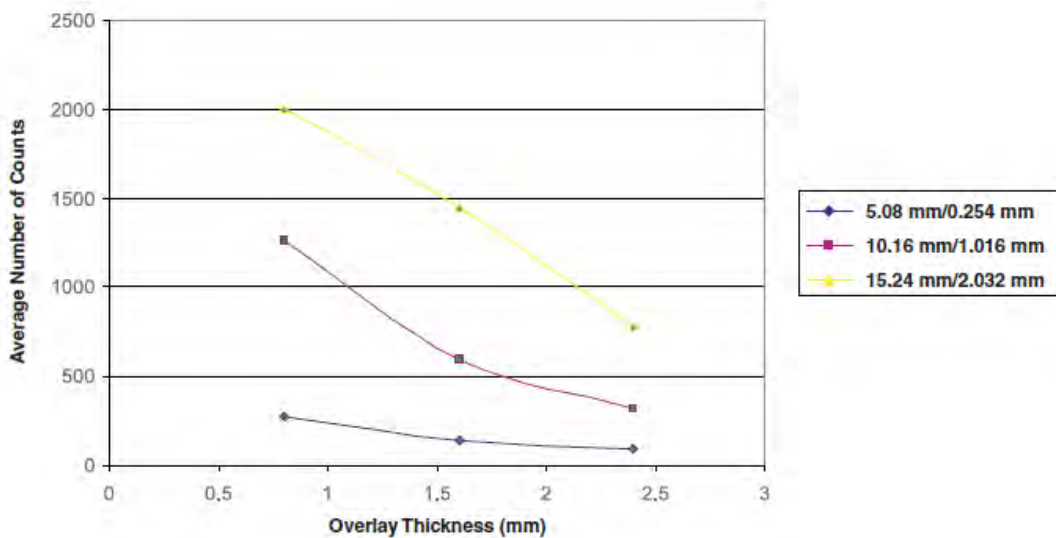


図 19 オーバーレイの厚さ vs 感度

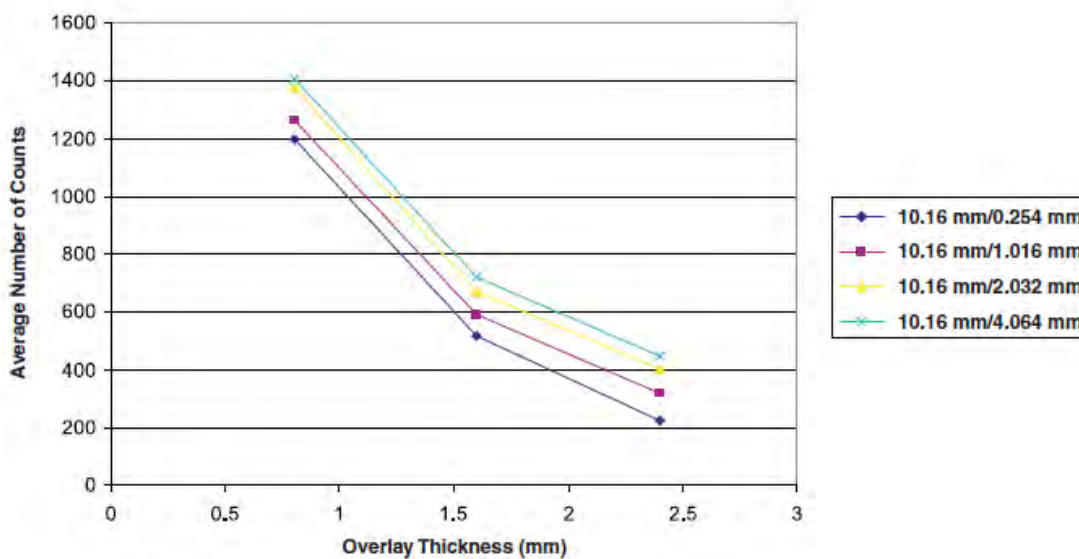


図 20 間隔とオーバーレイ厚さの影響 vs 感度

### 8.3 粘着剤、およびその他の充填化合物

大多数のアプリケーションでは、センサの電極とオーバーレイ素材の間が隙間なく密着している必要があります。設計者は、PCBボードと併せて、機械的にまたは粘着剤を使用してオーバーレイ素材に貼り付けるための充填シート(filling sheets)の種類を選択できます。粘着剤を選択する際は、次の2つのを考慮する必要があります。

- ・ 電荷を持たず、容量性能に影響を与えない素材である(したがって、誘電体である)こと
- ・ 湿気を吸収しない素材であること

このアプリケーションの場合は、4.2mil/58lbでポリエチレン塗装クラフトライナー付きの高性能アクリル両面粘着テープ製品 3M™ 467MP および468MPが、上記の考慮事項に合った選択となります。

### 8.4 高周波(RF)放射と感受性試験の結果

タッチパッド用アプリケーションの多くは個人向けポータブル製品であり、携帯電話等の強力な高周波源の近くで使用されます。そのため、高周波源に対する耐性を備えることが、タッチパッド用アプリケーションの成功には非常に重要となります。

この領域の性能を評価するための試験台として実験ボードが使用され、電磁シールドルーム内で、EN55024規格の要件に照らして、次に示すような試験が行われました。

指の存在は、高周波ノイズのピックアップと放射の両方にはっきりと影響します。試験を現実に合った条件で行うには、指の存在も試験に組み込む必要があります。ただし、周波数掃引試験には相当の時間がかかります。密閉された室内で1時間も身動きせずにいることは、実際問題として人間には不可能です。個人向けの高周波製品の試験で人体の代用物として広く利用されているのが、どこでも入手できる塩(塩化ナトリウム)の濃溶液です。ビニール袋に飽和食塩水を詰めて密封し、袋の一方の隅を薄い両面粘着テープでタッチパッドに取り付けたものを、指の代用物とします。タッチパッドのレスポンスは、実際の成人の指の場合とほぼ同じになります。

シールドルームの中には、次のような備品が置かれています。

- ・ 試験対象の実験ボード。電源として、実験ボード自体のオンボード・バッテリーを使用。
- ・ 放射(感受性試験用)及び受信(放射試験用)で使用する試験対象のボードの方向を向く様に、十分に制御されたアンテナ。
- ・ 電界強度監視用の、もうひとつのアンテナ。

放射試験の場合は、室外のスペクトル・アナライザを室内のメイン・アンテナに接続します。

感受性試験の場合は、使用する試験装置がさらに増えます。室外に高周波信号発生器を設置し、搬送周波数30MHz~1GHzを生成します。この高周波信号発生器を同じ周波数範囲を持つ高周波増幅器25Wに接続し、さらにこの高周波増幅器を室内のメイン・アンテナに接続します。電界強度計を室内のもうひとつのアンテナに取り付け、周波数掃引試験の開始から終了まで観測します。RS232Cのリード線1本を、実験ボードから室外のPCに接続します。このポートはボードの他の部分から光学的に絶縁されているため、リード線が試験に影響することはほとんどありません。

ボードからの放射は、塩水バッグを触れたり、触れない、様々な操作の時にスペアナを使用して計測されます。試験を行った結果、試験装置の基本ノイズの上方にはっきりと何かが見えたのは、塩水が無い状態で、実験ボード上の9ピンRS232Cコネクタの方をアンテナが直接向いている時のみでした。この場合に、134.5MHz時に小さなレスポンスが観察されました。このレスポンスでも、EN55024規格で許容されている放射レベルよりずっと低い値です。その多くがボード上の様々なクロックソースの周波数なので、おそらくボード上の何かが、この周波数で共振していると思われます(図21参照)。



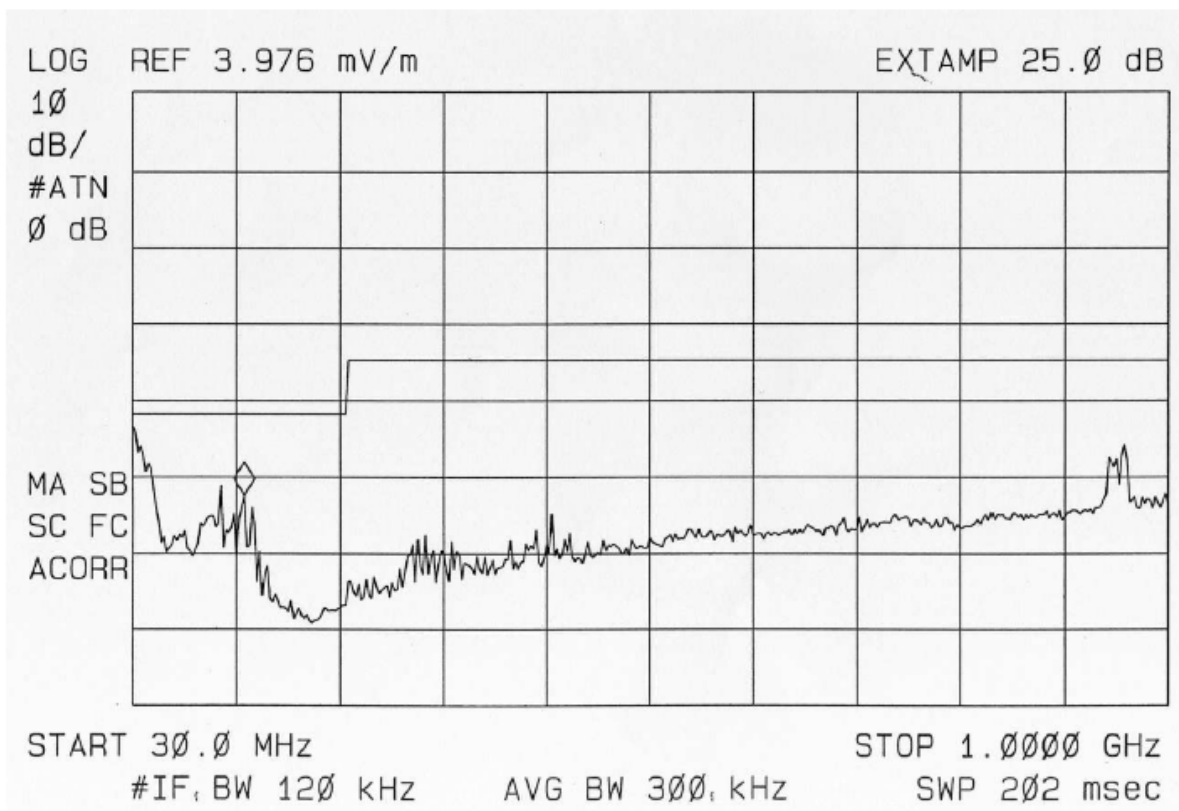


図 21 高周波の放射

感受性試験では、非常に低速で信号発生器の30MHz～1GHz範囲の掃引を繰り返すことで、十分な時間をかけた結果、存在する可能性のある狭帯域の問題が明らかになります。この掃引期間中、MSP430F2013ソフトウェアではRS232Cインターフェイスを介して、タッチパッドから外部PCに各レスポンスのサイズを送信しています。試験の結果、信号強度が一定の場合は、電界強度の測定値が発生器の周波数と連動して変化しました。EN55024規格では、3V/m以上の電界強度値で試験を行う必要があるとしています。電界強度を3V/m～4V/mに保つために、周波数の掃引中に信号強度の補正が行われました。周波数の掃引は、タッチパッドに塩水の袋を取り付けた状態と取り付けない状態で行われました。感度の限界は、最悪の周波数時で約750カウントとなります(図22参照)。

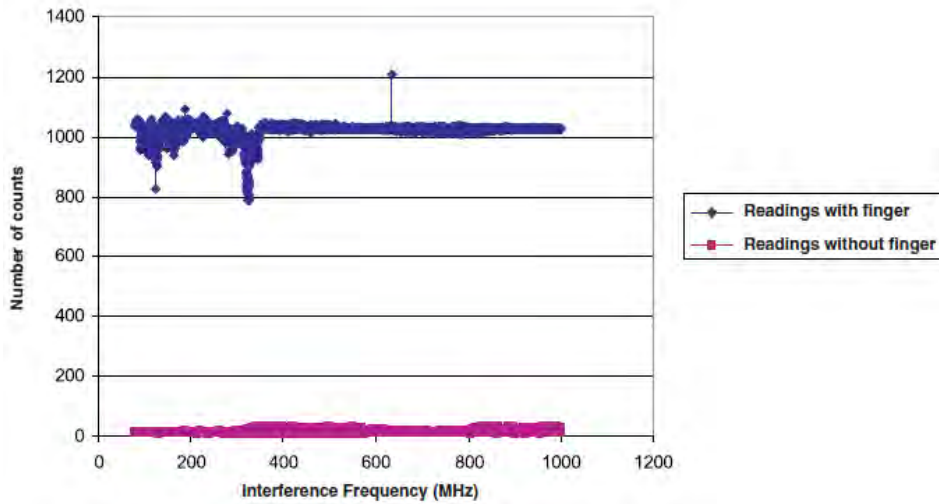


図 22 高周波干渉の感受性

## 9 参考文献

1. US Patent 3931610, Capacitive Keyswitch Sensor and Method
2. MSP430x2xx User's Guide (SLAU144)
3. Cypress Semiconductor application note (AN2992)
4. PCB-Based Capacitive Touch Sensing With MSP430 (SLAA363)

# ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治癒措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしているとして特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関する全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度: 0~40℃、相対湿度: 40~85% で保管・輸送及び取り扱を行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
    - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
  4. 機械的衝撃
    - 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
  5. 熱衝撃
    - はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
  6. 汚染
    - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
    - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上