

タッチスクリーン・コントローラに関する参考情報

バー・ブラウンでは、タッチスクリーン・アプリケーション向けにいくつかの専用A/Dコンバータを製造しています。ADS7843、ADS7845、および新製品のADS7846は、すべて特定のタッチスクリーン・アプリケーション用に設計されています。このアプリケーションノートでは、これらのデバイスを使用するアプリケーションで役に立つ情報を提供します。主にADS7843を代表例として説明していますが、説明されている技術はこれらのデバイスすべてに適用されます。

最初に抵抗性タッチスクリーンの動作理論について説明し、上記の専用A/Dコンバータと組み合わせた使用方法を説明します。また、精度を高めて誤差を最小限に抑えるための技術を紹介します。さらに、ペン割り込みライン(PENIRQ)の動作について考察し、コンバータの静電気保護対策、およびコンバータから主要なマイクロプロセッサへのインターフェースの問題についても取り上げます。

抵抗性タッチスクリーン

抵抗性タッチスクリーンは、抵抗回路に電圧を印加し、入力スタイラス、ペン、または指先で画面に触れたときのマトリクス上の特定の点における抵抗の変化を測定することで動作します。抵抗比の変化によって、タッチスクリーン上の位置が識別されます。

最も一般的な2つの抵抗性アーキテクチャとして、4線構成と5線構成があります(図1を参照)。回路では2つの座標のペア(2次元)によって位置を決定しますが、4線構成では圧力の測定用に第3の次元を追加することもできます。

4線式タッチスクリーンの座標ペア測定

4線式タッチスクリーンの構造を図2に示します。2つの透明な抵抗性層からなっています。

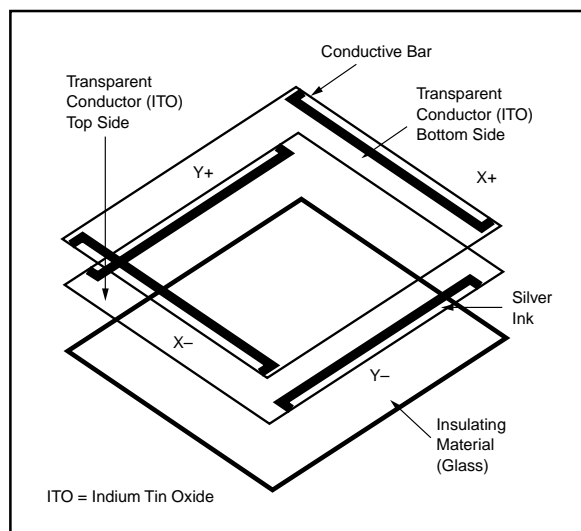


図2. 4線式タッチスクリーンの構成

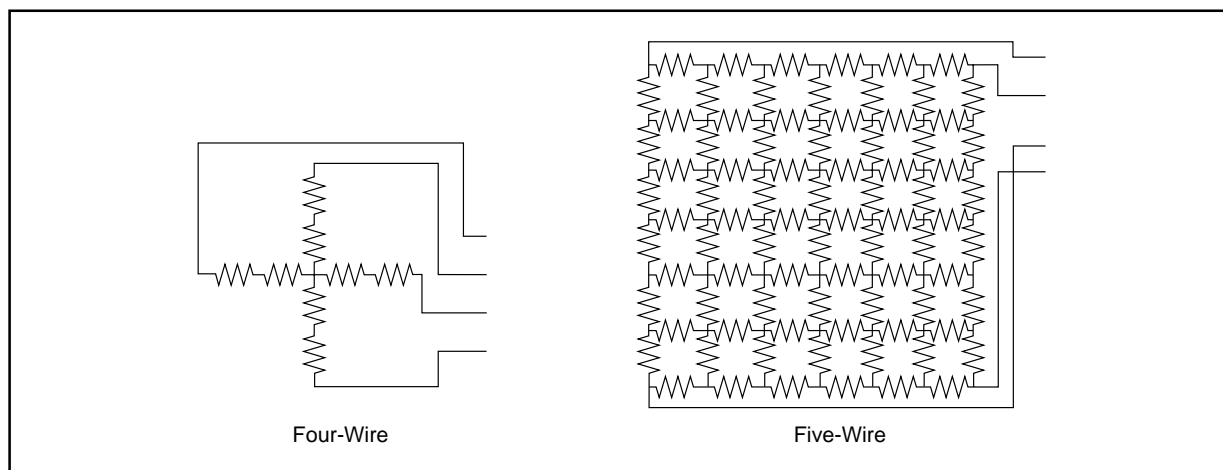


図1. 4線式および5線式のタッチスクリーン回路

4線式タッチスクリーン・パネルは、垂直方向または水平方向の抵抗性回路に電圧を印加することで動作します。パネルに触れた箇所では測定された電圧をA/Dコンバータで変換します。ポインティング・デバイスのY位置の測定は、X+入力をデータ・コンバータ・チップに接続し、Y+およびY-ドライバをオンにして、X+入力の電圧をデジタル化することによって行われます。測定される電圧は、触れた位置に形成される分圧回路によって決定されます。この測定では、A/Dコンバータの入力インピーダンスが高いため、X+リードの水平パネル抵抗は変換に影響しません。

次に、もう一方の軸に電圧が印加され、A/DコンバータはY+入力を通して画面上のX位置を示す電圧を変換します。これにより、X座標およびY座標が対応するプロセッサに提供されます。

5線式タッチスクリーンの座標ペア測定

5線式タッチスクリーンの構造を図3に示します。抵抗性パネルは、1つの透明な抵抗性層と、絶縁スペーサで隔てられた上部の金属接触領域から構成されます。

5線式タッチスクリーン・パネルは、下側の抵抗性層の四隅に電圧を印加して、ワイパー（第5の線）との垂直または水平抵抗性回路を測定することにより、動作します。A/Dコンバータは、パネルに触れた箇所のワイパー位置で測定された電圧を変換します。ポインティング・デバイスのY位置の測定は、抵抗性層の左上隅と右上隅をV+に接続し、左下隅と右下隅をグラウンドに接続することで行われます。これにより、データ・コンバータ・チップへの垂直偏向入力に対してパネルがバイアスされ、A/Dコンバータはこれをパネルへのワイパー接触位置を通して測定します。測定される電圧は、触れた位置に形成される分圧回路によって決定されます。水平測定の場合は、左上隅と左下隅がグラウンドに接続され、右上隅と右下隅がドライバを通してV+に接続されます。また、ワイパー入力は変換されてパネルの水平偏向を表します。

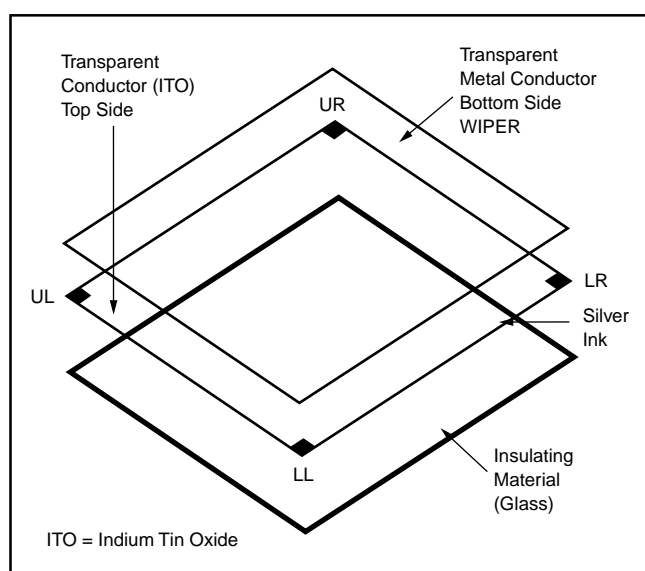


図3. 5線式タッチスクリーンの構成

差動モードとシングルエンド・モード

変換の精度と信頼性は、コンバータが連続的に変化する動作条件を補償する能力によって決まります。このような変化する条件は、XおよびY座標を表す電圧に影響を与えます。たとえば、A/Dコンバータが絶対的な電圧値に対して構成されている場合（シングルエンド・モード）、ドライバ電圧降下の変化によって入力値を誤って解釈することがあります。しかし、A/Dコンバータがレシオメトリック（差動）モードで構成されている場合、このような誤差はほとんどなくすることができます。

タッチスクリーンのセトリングタイム

タッチパネルが押された（触れられた）ときに、パネル上の接触位置における電圧レベルは2つのメカニズムによって影響を受けます。それによってタッチパネルに印加されている電圧が発振（リングング）し、その後徐々に減衰（セトリング）して安定したDC値になります。

2つのメカニズムとは、

- 1) パネルに触れたときにタッチパネルの上層シートが振動して起こる機械的なね返り（バウンス）。
- 2) タッチパネルの上層シートと下層シートの間およびADS7843の入力に存在する寄生容量による電氣的なリングング（電圧の発振）。

シングルエンド・モード

シングルエンド・モードでは、タッチパネルへの接触を検出すると、ADS7843を制御するプロセッサがADS7843に変換を指示する制御バイトを送信します。ADS7843は、アクイジション（捕捉）周期の開始時に内部FETスイッチを通してパネルへの電圧供給を開始し、接触点の電圧を上昇させます。この上昇電圧は上で説明したように一定期間発振した後で安定した電圧に落ち着きます。アクイジション周期の終了後、すべての内部FETスイッチがオフになり、A/Dコンバータは変換周期に入ります。現在の変換周期の間に次の制御バイトを受信しなければ、ADS7843はパワーダウン・モードに入るか、次の命令を待ちます。一般にノイズのフィルタリングのためにパネル全体の容量は大きくなっているため、X位置またはY位置の座標に対応する入力電圧が確実に安定しているかどうか注意が必要です。シングルエンド・モードでは、入力電圧がData Inワードの最後の3クロック・サイクル内で安定する必要があります。そうしないと、誤差が生じます。

差動モード

差動モードでの動作はシングルエンド・モードの場合と似ていますが、内部FETスイッチはアクイジション周期の始まりから変換周期の終わりまで続けてオンになっています。パネルに印加されている電圧はA/Dコンバータのリファレンス電圧としても使用され、レシオメトリックな動作を提供します。その結果、電源の変動、電源変動や温度によるドライバ・インピーダンスの変化、温度によるタッチパネル抵抗の変動などによって、パネルに印加されている電圧が変化した場合でも、その変化はA/Dコンバータのレシオメトリック動作によって補償されます。

ただし、ADS7843への次の制御バイトが現在の変換周期内に受信され、選択されているチャンネルが前の制御バイトと同じである場合は、現在の変換が完了してもスイッチはオフになりません。これにより、入力電圧のセトリングタイムが長くなり、安定後の電圧を次の制御バイトで捕捉することができます。

差動モードとシングルエンド・モードの違い

シングルエンド・モードと差動モードのいずれの場合も、ADS7843がタッチパネルからの入力アナログ電圧を捕捉(サンプリング)するのは、3クロック・サイクルの間だけです(図4の

t_{ACQ})。そのため、ADS7843が正しい電圧を捕捉するには、入力電圧が t_{ACQ} 以内に安定する必要があります。

図4に示すように、ドライバをオンにするとタッチパネルの電圧はいったん急激に上昇し、その後徐々に安定して最終値になります。変換用に正しい値を捕捉するには、タッチパネルが完全に安定したときに捕捉が完了する必要があります。これには2つの方法があります。

1つの方法を図4(a)に示します。ここでは、ADS7843をシングルエンド・モードで使用し、比較的低速のクロックを使用しています。クロックが低速であることで捕捉のための3クロック周期

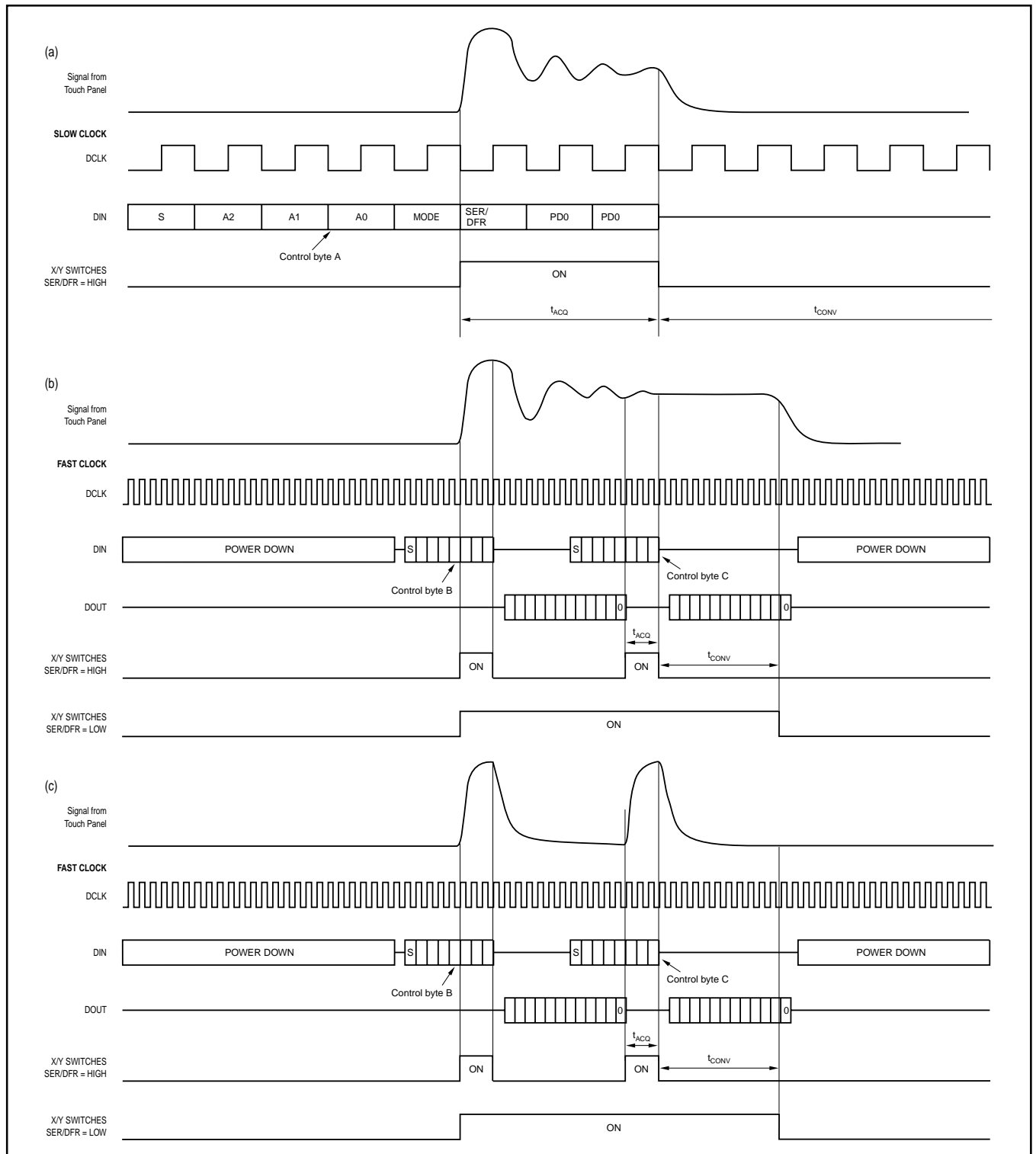


図4. ADS7843の差動およびシングルエンド・モード動作のタイミング図

が長くなるので、アキュイジション時間が長くなります。ドライバはこの3クロック周期の最初のクロックの始まりでオンになり、パネルが次の2クロックの間に完全に安定すれば、3つ目のクロックの終わりに捕捉される電圧は正確になります。

もう一つの方法を図4(b)に示します。ここでは、差動モードを使用し、ずっと高速のクロックを使用しています。制御バイトBによってドライバがオンになり、上記と同様に、タッチパネルの電圧が急激に上昇してから安定し始めます。この場合は、変換が終了してから、制御バイトCの送信によって次の変換が開始されます。制御バイトBとCが同じであれば、ADS7843の内部X/Yスイッチは制御バイトBに対する変換が完了した後もオフになりません。したがって、タッチパネル電圧は制御バイトCによる変換が開始する前に安定し、この変換は正確になります。この方法では、制御バイトBによる変換結果は不正確なため破棄する必要があります。この変換のアキュイジション周期はタッチパネル電圧がまだ発振している間に開始されたからです。

この第2の方法には、電力を節減できるという利点もあります。図4に示されるように、制御バイトCの変換周期(高速クロックを使用)は制御バイトAの変換周期(低速クロックを使用)より前に終了します。制御バイトCに対する変換が終了すると、ADS7843はパワーダウン・モードに入り、次のサンプリング周期まで待ちます。制御バイトAの低速クロックの場合は、現在の変換後すぐに次のサンプリング周期に入る必要があるため、パワーダウン・モードに入る時間がありません。

図4(c)に示すように、ドライバは変換と変換の間はオフになるため、シングルエンド・モードで高速クロックを使用する方法は有用ではありません。その場合、タッチパネルの電圧が各変換の開始時に上昇するため、タッチパネルが安定する機会がなくなります。

差動モード動作の利点

- A/Dコンバータのアキュイジション時間を長くしなくても、タッチパネルを長いセトリングタイムで処理できます。

図4に示されるように、制御バイトBとCが同じである場合、ADS7843の内部X/Yスイッチは制御バイトBに対する変換終了後もオフになりません。これにより、タッチパネル電圧が安定するまでに十分な時間が得られます。

制御バイトBに対して変換されたデータは、タッチパネル電圧がまだ発振中にアキュイジション周期が開始されているため、正しくありません。しかし、制御バイトCに対して変換されたデータは、アキュイジション時にはタッチパネル電圧が既に安定しているので、正しくなります。

- 高速クロックを使用することにより、ADS7843がパワーダウン・モードに入るための余裕時間ができ、バッテリーの節約になります。

図4に示されるように、制御バイトCの変換周期(高速クロック)は制御バイトAの変換周期(低速クロック)より前に終了します。制御バイトCに対する変換が終了すると、ADS7843はパワーダウン・モードに入り、次のサンプリング周期まで待ちます。制御バイトAの場合は、現在の変換後すぐに次のサンプリング周期に入る必要があるため、パワーダウン・モードに入る時間がありません。

雑音の多い環境

タッチスクリーン・アプリケーションでは、雑音の多い環境で測定システムの高い性能を損なわないように十分な注意が必要です。インピーダンスの高いA/Dコンバータの入力にタッチスクリーンを配置することは、システムの入力にアンテナを追加するようなものです。タッチスクリーンはLCDディスプレイのバックライト・ソースや外部のEMI/RFIソースから雑音信号を拾う可能性があります。これらの雑音源からの影響を最小限にするための最も単純な方法は、タッチスクリーン・ドライバとグラウンドとの間にキャパシタを追加して、ローパスフィルタを形成することです。最初に試みる標準的な値は、各入力/出力とグラウンドとの間に0.01 μ Fです。図5に、タッチパネルの電極抵抗と1秒あたり必要な座標ペア測定値数に応じた、フィルタ・キャパシタの選択範囲を示します。

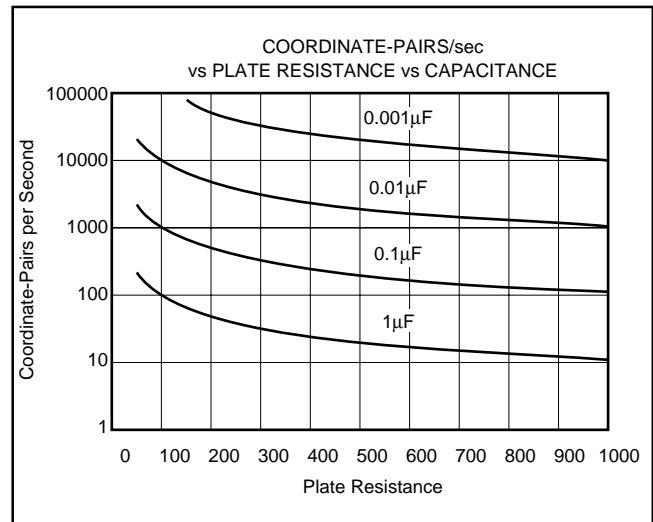


図5. 電極抵抗と1秒あたり必要な座標ペア測定値数に応じたフィルタ・キャパシタの選択範囲

最悪の処置は、ドライバからのラインに直列抵抗を配置して入力にローパスフィルタを形成することです。直列抵抗を追加すると、抵抗の両端に新たに加わる電圧降下によってコンバータの分解能が制限され、低下します。この電圧降下は、使用するタッチスクリーンのインピーダンスによっては無視できない値になる可能性があります。

フィルタリング用キャパシタを追加する場合に注意することの1つとして、ドライバがオンになったときのタッチスクリーンのセトリングタイムへの影響があります。A/Dデータレートと動作モードによっては(特に、シングルエンド・モードで動作する場合)、タッチスクリーンが正確なレベルに安定しない場合もあります。差動モードでは、アキュイジション・モードと測定モードの両方でタッチスクリーンが接続され、パワーダウン・モードへの移行を指示されない限り、ドライバを通して接続され続けています。A/Dコンバータへの入力を取得するのはやはり3クロック・サイクルの間ですが、タッチスクリーンは最終的に安定します。複数の測定にわたってドライバへの電源供給を維持することで、セトリングタイムを長くできます。タッチスクリーンのインピーダ

ンスによって設定される時定数、および雑音を許容レベルに低減するために必要なフィルタ・キャパシタに応じて、何回かの変換が必要になります。

正確な結果を得るために、いくつかのオプションがあります。1つは、アキュイジション周期(クロック6、7、8)の間クロックを遅くしてアキュイジションの時間を長くとることにより、安定のために必要な遅延時間を得る方法です。時定数を正確に測定して12ビットのセトリングタイムとして時定数の9倍の遅延時間を使用すれば、この方法でタッチスクリーンが必ず安定するようになります。これはクロック6、7、8の間だけ行うか、またはプロセス全体にわたって行うことができます。測定サイクル中にサンプル/ホールドのドロップが発生しない最低のクロック周波数は、10kHzです。もう1つのオプションとして、何回かの変換で測定された電圧のデジタル比較を行って、測定値が2回以上連続して(2回、3回など)許容制限範囲内のときに測定値を採用するという方法もあります。

アプリケーションによっては、雑音レベルが非常に大きくなり、安定した測定値を得るためにさらに別のフィルタリングが必要になる場合もあります。4つの入力/出力ラインのそれぞれにおいてL/Cパイ・フィルタを利用することで、このレベルのフィルタリングを行えます。

ペン割り込み

ペン割り込みピンの機能は、よく誤解されています。ここでは、PENIRQの機能について詳細な情報を提供し、PENIRQピンの内部ダイオードに起因するオフセット誤差についても説明します。PENIRQの誤トリガを防ぐ方法についても考察します。

PENIRQの動作

ADS7843のペン割り込み機能は、単純なアナログ回路によって実現されています。これはオープン・アノードの内蔵ダイオードです。

単にADS7843のPENIRQピンを V_{CC} にプルアップするだけで、基本的な割り込み機能が実現できます。図6に、ADS7843をパワーダウン・モードに設定してペン割り込みをイネーブルした(PD1、PD0 = 00)概略回路図を示します。

タッチパネルに触れていない間は、ADS7843の内部ダイオードはバイアスされず、電流は流れません(または無視できるリーク電流のみが流れます)。A点の電圧レベルはほぼ V_{CC} です。

タッチパネルが押されると、ADS7843の内部ダイオードは順方向にバイアスされ、電流が流れてグランドへの電流ループを形成します(図6の I_F の電流パスを参照)。ここで、A点の電圧は「ロー」になり、ダイオードの1回の順方向電圧降下の値になります。A点の電圧レベルが「ロー」になることで、プロセッサにパネルが押されたことを通知します。するとプロセッサは、割り込み処理ルーチンを実行してADS7843に変換の実行を指示します。

図6および図7に示される単純なプルアップ方法は、A/D変換に誤差を生じます。この誤差は、内部ダイオードを通したDCリーク電流(図7の I_F の電流パスを参照)に起因するため、しばしばオフセット誤差と呼ばれます。この電流はA/Dコンバータの入力の電位を上昇させ、変換誤差の原因となります。X軸の変換では内部ダイオードが逆方向バイアスになっているため、この誤差はY軸の変換時にのみ生じます。

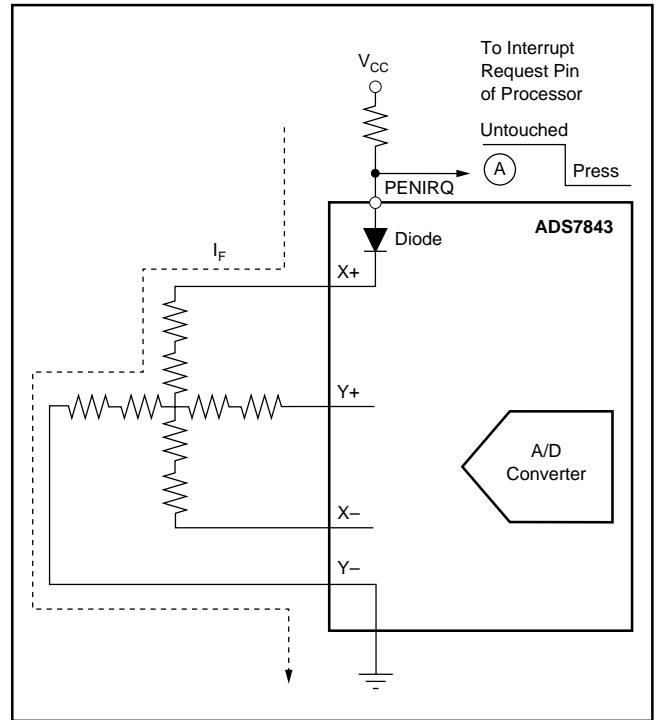


図6. PD0、PD1 = 00でのADS7843の概略回路図

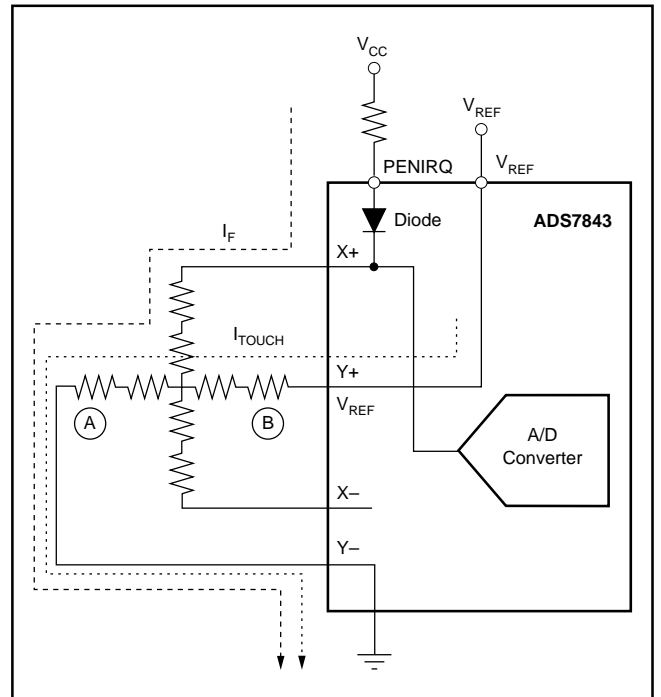


図7. A2A1A0 = 001でのADS7843の概略回路図

図7は、ADS7843をY軸変換用に設定したとき(A2A1A0 = 001)の概略回路図です。

タッチパネルが押されると、パネルを通して2つの電流パス(図7の I_F と I_{TOUCH})が形成されます。 I_{TOUCH} は押された箇所の電位を提供するために必要な電流ですが、 I_F はダイオードを通して流れる望ましくない電流で、変換にオフセット誤差を生じさせます。

電流 I_F はタッチパネル上のすべての場所で一定ではありません。押された場所がA点(図7参照)の近くであると、ダイオードの順方向バイアスが大きくなり、 I_F も大きくなるため、オフセット

誤差も増大します。しかし、押された場所がB点の近くである場合は、ダイオードは V_{REF} によってオフになり、 I_F は無視できるほど小さくなるため、オフセット誤差も同様に小さくなります。

タッチパネル上の位置によって I_F が異なるため、このオフセット誤差をソフトウェアで補償するのは困難です。

オフセット誤差の対策

図8に、このオフセット誤差を最小限に抑えるための推奨ソリューションを示します。

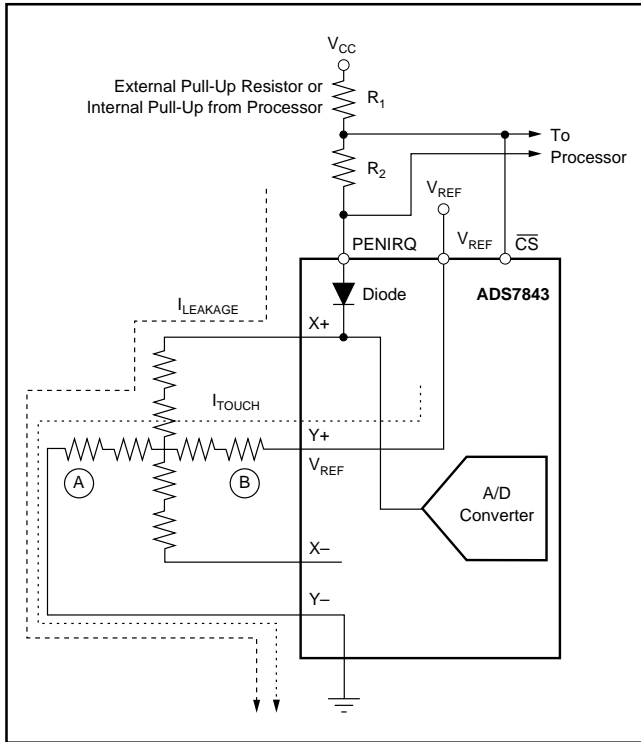


図8. オフセット誤差を最小にする推奨ソリューション

このソリューションでは、PENIRQピンが抵抗によって \overline{CS} ピンにプルアップされています(図7で V_{CC} 電源にプルアップされているのとは異なります)。 \overline{CS} ピンがローになってADS7843をアクティブにすると、この低い電圧によって内部ダイオードは逆方向バイアスになるか、またはごく低い順方向電圧でバイアスされます(パネルが押された接触点によって異なります)。これにより、ADS7843がアクティブになった時点でタッチパネルに流れるのは無視できるリーク電流だけです。

プルアップ抵抗 R_1 および R_2 の値は、次のように注意して選択する必要があります。

1) タッチパネルへの接触によってPENIRQがローになった場合、 \overline{CS} ピンの電圧レベルは、ADS7843をアクティブにするほど低下しすぎではありません。これにより、シリアルバスの共有が可能になり、DIN入力に雑音結合されて制御バイトとして解釈されるのを防ぐことができます。

ADS7843は \overline{CS} ピンの電圧が0.8V以下になったときにアクティブになるので、 R_1 と R_2 は、最悪の場合でも、 \overline{CS} ピンの電圧が0.8V以上を保つように選択する必要があります。 R_2 の標準値は20kΩです。

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{CC} - V_{DIODE}) - V_{DIODE} > 0.8V$$

$$R_2 > \frac{R_1}{11} \quad V_{DIODE} = 0.6V \text{ の場合}$$

2) R_2 の値は、パネルが押されたときのPENIRQにおける電圧レベルの立ち下がり時間(または応答時間)が最小になるように、十分小さな値に保つ必要があります。プロセッサによっては、遅い立ち下がりエッジを割り込みとして検出できません。

ADS7845およびADS7846のペン割り込み回路は、ADS7843とは異なる方法で実現されています。ADS7845およびADS7846では、XおよびY位置の測定サイクル中に、PENIRQ出力ダイオードが内部的にGNDに接続され、X+入力がPENIRQダイオードから切り離されることで、プルアップ抵抗からのリーク電流がタッチスクリーンを流れず、誤差が生じません。

誤トリガ

X+入力がペン割り込み出力に接続されているため、+-入力のノイズがタッチスクリーンへの接触を誤ってトリガする可能性があります。この出力にR/Cフィルタを使用する(たとえば、1Ωの抵抗と0.01μFのキャパシタをグランドとの間に接続する)ことで、対グランドの雑音スパイクをフィルタリングして、接触の誤検出を防ぐことができます。

ADS7843の入力保護

図9に、タッチスクリーンから高エネルギーのスパイクがデバイスに結合されることによってADS7843に障害が発生するのを防ぐための、推奨回路を示します。このスパイクは静電気によって発生する場合もあれば、バックライト電源から生じる場合もあります。フェラライト・ビーズを追加してタッチパネルのXおよびYラインのダイオードをクランプすることにより、この種類のエネルギーがADS7843に達する前に放散されるようになり、このようなスパイクの振幅が電源電圧を超えた場合の部品の損傷を防ぎます。

差動モードのソフトウェア例

ここでは、ADS7843の差動モード動作を制御するためのいくつかのアイデアとともに、2つのソフトウェア例を示します。

図10および図11に、ADS7843とプロセッサとの間のインターフェースを提供する2つのソフトウェア例のアルゴリズムを示します。2つのソフトウェア例では、ADS7843が差動モードで1変換あたり16クロックのプロトコルを使って動作するように設定されていると仮定しています(ADS7843データシートの図6を参照)。ソフトウェアはX軸座標の変換結果をDATA Xとして返し、Y軸座標の変換結果をDATA Yとして返します。

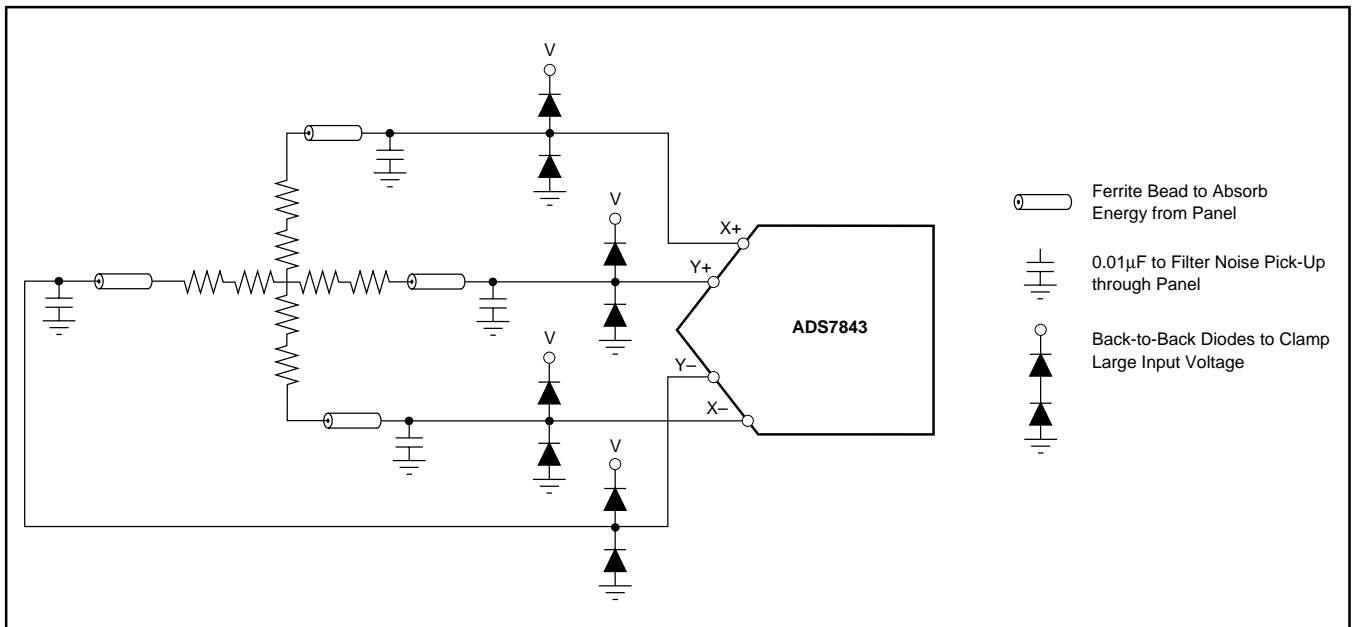


図9.ADS7843の入力保護

フローチャート1

図10には、ソフトウェア・デバウンス法を使って、タッチパネル信号が割り込み信号と変換の両方に対して発振する問題を解決する例を示しています。

このソリューションでは、DATA1を現在の変換結果の格納に使用し、DATA2を前の変換結果の格納に使用し、DATA XとDATA Yを有効なX軸およびY軸の変換結果の格納に使用しています。DATA1とDATA2を共に使用することで、現在と前の変換結果が同じであるときに変換結果を有効とするS/Wデバウンス法を実現しています。これにより、異なるセトリング特性を持つタッチパネルをソフトウェアが処理するための柔軟なアプローチが得られます。しかし、この方法では、入力電圧の発振周波数がサンプリング・レートに非常に近いときに、有効な変換を誤って解釈することがあります。

フローチャート2

図11には、もう1つの例として、割り込み信号に対する信号発振問題を解決するソフトウェア・デバウンス法・ソリューションを使用し、最後(n回目)の変換結果を有効な変換とする例を示しています。

このソリューションは前の例よりもずっと単純ですが、似通ったセトリング特性を持つタッチパネルにしか適していません。この例では、S/Wデバウンス法を使用する代わりに最後の変換結果を有効な変換結果として採用します。nの値はADS7843の入力電圧のセトリングタイムによって異なります。いくつかのタッチパネルで実際にテストしてから、nの値を決定してください。

注：PENIRQをイネーブルした状態でADS7843をパワーダウン・モードにする必要がある場合は、PD1とPD0を'00'に設定して追加の変換サイクルを実行する必要があります。ただし、15クロック変換サイクル・モードを使用している場合は、X軸とY軸の両方の変換に対してPD1とPD0を'00'に設定できます。

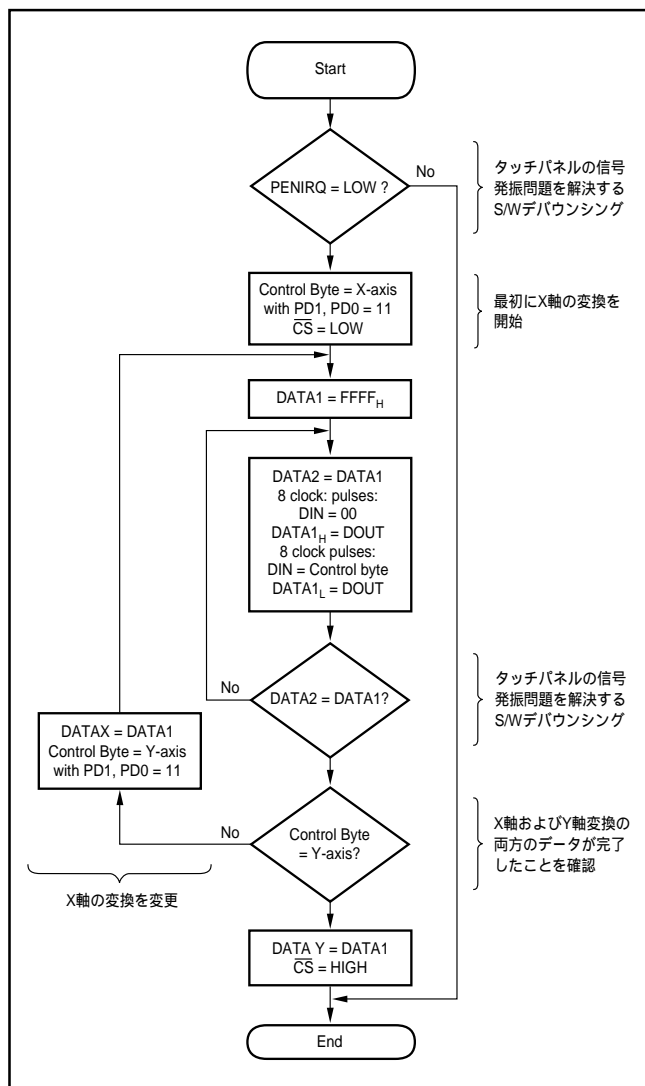


図10.

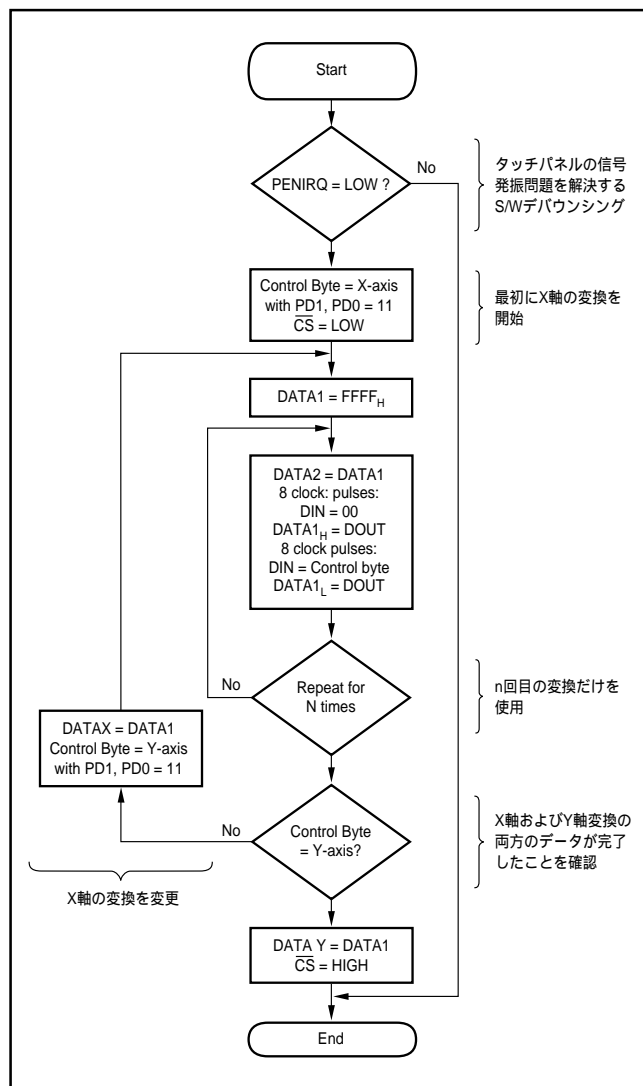


図11.

このアプリケーションノートに記載されている情報は、信頼しうるものと考えておりますが、不正確な情報や記載漏れ等に関して弊社は責任を負うものではありません。情報の使用について弊社は責任を負えませんので、各ユーザーの責任において御使用下さい。価格や仕様は予告なしに変更される場合がありますのでご了承下さい。ここに記載されているいかなる回路についても工業所有権その他の権利またはその実施権を付与したり承諾したりするものではありません。弊社は弊社製品を生命維持に関する機器またはシステムに使用することを承認しまたは保証するものではありません。

日本バー・ブラウン株式会社

<http://www.bbj.co.jp/>

本社 〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-3-12 新横浜スクエアビル ☎ 045-476-7870

大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島6-1-1 新大阪プライムタワー ☎ 06-6305-3287

フリーラインFAX

本社 ☎ FAX.0120-068801
大阪 ☎ FAX.0120-068805

万一つながらない場合は、お手数ですが弊社営業部FAX045-476-7889（有料）までご連絡くださるか、あるいはTELにてお問い合わせください。

©BBJ000801K