

MSP CapTivate™ テクノロジーを使った ノイズ耐性の高い 容量性タッチHMIの実現



Walter Schnoor

システム・アプリケーション・エンジニア MSP マイコン

テキサス・インスツルメンツ

はじめに

容量性タッチは、ヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI) 技術として、アプリケーションの範囲が毎年拡大しています。大型/小型家電、産業用制御パネル、車載用センター・スタックなどの端末装置で機械式ボタンを置き換えるテクノロジーとして急速に普及しています。設計者は、このテクノロジーによりユーザ・インターフェイスを通じた製品差別化を行う自由を新たに手にしましたが、同時に新たな課題も生まれました。それは、これらの市場では、電氣的ノイズが高レベルである、安全上重要な機能がユーザ・インターフェイスで制御される、という2つの重要な特徴が共通して多く見られるためです。

容量性タッチ・インターフェイスは、元来、さまざまな種類のノイズ影響を受けやすいため、高信頼性が求められる製品へ容量性タッチを組み込もうとする設計者にとって大きな問題となっていました。さらに事情を複雑にしているのが、各種半導体ベンダから市販されている多種多様な容量性タッチ・ソリューションが存在することです。各社は、容量変化を測定する独自の手法を採用していますが、ノイズが存在する中で異なる容量性タッチ・ソリューションの性能を評価することは困難です。これは、ノイズ耐性がシステム・レベルでの設計上の課題の1つであるためです。ソリューションのノイズ性能に寄与する要因には、容量測定テクノロジー自体と、システムのハードウェア設計、生データを解釈しタッチ状態へと処理するソフトウェアなどがあります。

CapTIvate™テクノロジー搭載MSPマイコン (MCU) は、超低電力のバッテリー駆動アプリケーションや高いノイズ耐性が求められるアプリケーション用に構成できる、機能豊富な容量センシング・ペリフェラルを設計者に提供しています。TIは、ノイズ耐性のあるソリューションを開発するためのシステム・レベルの設計原理を実証するため、容量性タッチのTI Designである **TIDM-CAPTOUCHEMREF** を、伝導性ノイズ耐性、電氣的高速過渡耐性、静電気放電耐性に対して、それぞれIEC 61000-4-6、IEC 61000-4-4、IEC 61000-4-2のシステム・レベル規格に従って認証しました。このTI Designは、CapTIvateテクノロジーを使ったノイズ耐性を設計する場合の回路図、PCBレイアウト、ソフトウェアのベスト・プラクティスのリファレンスを提供します。

MSP CapTIvate テクノロジー

テキサス・インスツルメンツのCapTIvateテクノロジーは、ボタン、スライダ、スクロール・ホイール、近接検出など、ヒュー

マン・マシン・インターフェイス・アプリケーションを特にターゲットにした容量測定ペリフェラルです。本テクノロジーでは、設計者が同一MCUを使って同じ設計で各トポロジーのメリットを活かした独自インターフェイスを作成できるよう、自己容量測定トポロジーと相互容量測定トポロジーに対応しています。

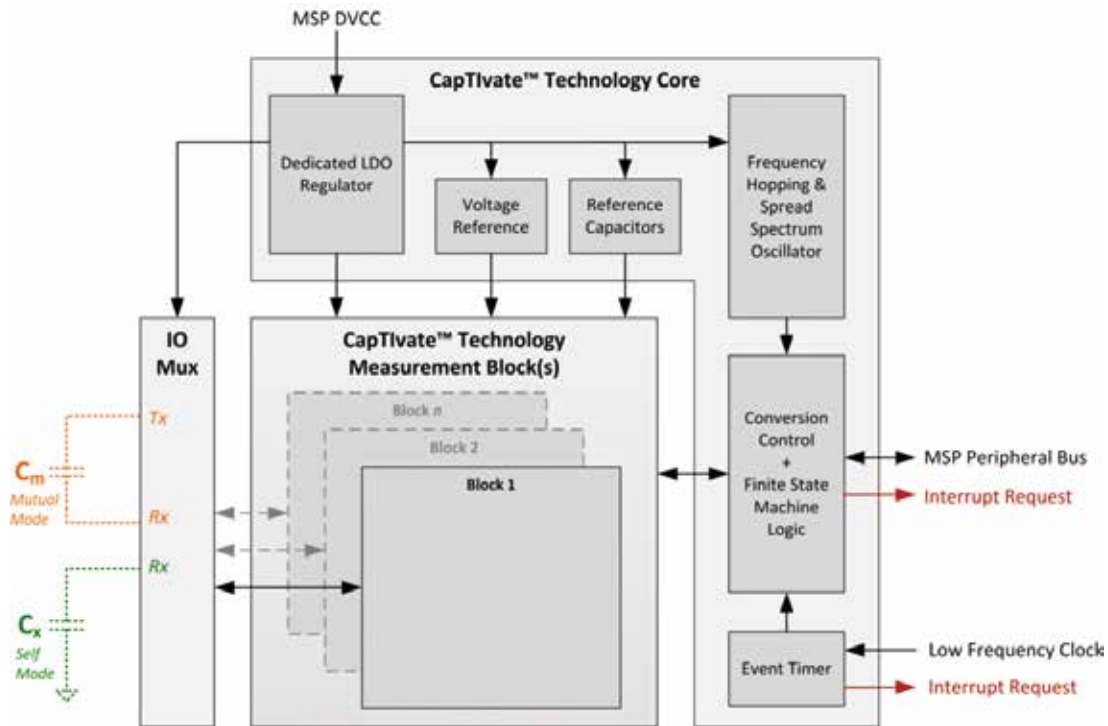


図 1：ペリフェラル構成図

CapTivateテクノロジーのペリフェラル(図1参照)には、信頼性を高めるため、アナログ部品が多数含まれています。専用のオンチップLDO電圧レギュレータがアナログ測定回路全体に電源を供給します。これにより、MCU VCC電源レール上の差動モード・ノイズを除去できます。これは、自己のVCCを基準とする他のMCUソリューションでも共通の悩みとなっている問題です。さらに電源電圧が変化しても感度は変動しません。これは、時間経過によるバッテリー放電で電源電圧が低下するバッテリー動作のシステムでは特に重要です。

MCUによっては、ペリフェラルに複数のCapTivateテクノロジー測定ブロックが含まれる場合もあります。**MSP430FR2633 MCU**には4つの測定ブロックがあります。並列に設置した測定電極によってシステム全体の変換時間が最適化され、スライダとスクロール・ホイールの実装においてコモン・モード・ノイズが除去されます。これは、ノイズ

はセンサの各要素に対して比例的に影響するからです。

CapTivateテクノロジーの測定ブロックは、積分式の電荷転送エンジンであり、電荷の転送に対してゲインとオフセットを加え、大きな寄生容量の補正を行うことができます。設計者は、このオフセット機能によりPCBに高密度のグラウンド・シールド構造を用いて周縁の電界ラインを制限することができ、ノイズへの耐性を改善できます(図2参照)。

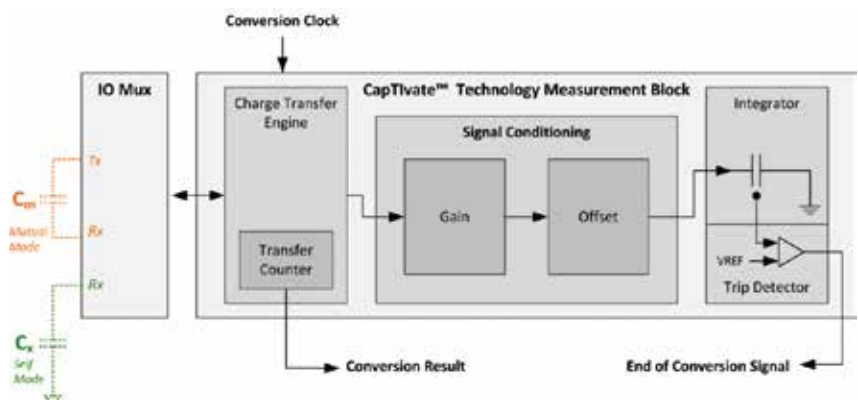


図 2: 測定ブロック図

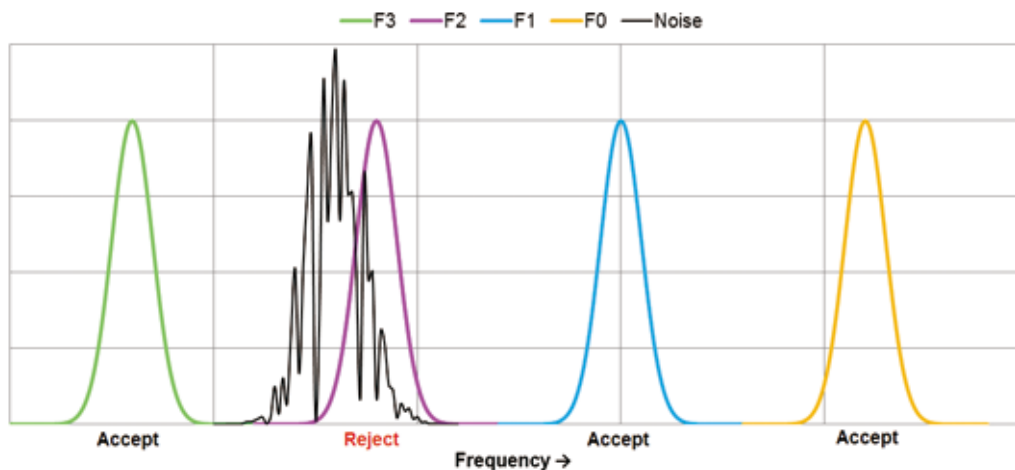


図 3: ノイズが多い周波数帯を避けるための周波数ホッピング

ノイズ耐性に優れた設計を実現できるように、キャパシタンス - デジタル変換用のクロックとして、周波数ホッピング機能とスペクトラム拡散変調による専用オシレータを使用しています。周波数ドメイン内で変換を操作できることにより、CapTIvateテクノロジーのソフトウェア・ライブラリは、製品の現在の動作環境に関して、より多くの情報を収集することができます。そのため、高速過渡事象やESDイベントが存在してもタッチの誤検出が防止され、伝導性ノイズが存在しても正確なタッチ検出が可能です。

耐性への3つのアプローチ

各種多様なノイズ源があり得る中、信頼性の高い容量性タッチ・インターフェイスを製作するには、CapTIvateテクノロジーの機能、ハードウェア設計テクニック、信号処理アルゴリズムの3つのアプローチを慎重に適用する必要があります。耐性を実現するには、3つすべての連携が必要になります。信号処理アルゴリズムだけを使っても、優れたハードウェア設計テクニックを無視すれば、良い設計にはなりません。

1. CapTIvateテクノロジーの機能

- 積分式電荷転送エンジン
- 寄生容量オフセットの減算
- 周波数ホッピング・オシレータ
- スペクトラム拡散クロック変調(自己モード)

2. ハードウェア設計テクニック

- レイアウト内の電極のグランド・シールド
- 受信センシング・ラインの68pF フィルタ・コンデンサ (相互モード)

3. 信号処理アルゴリズム

- 多周波数処理(MFP) アルゴリズム
- IIRフィルタリング + デバウンス
- 動的閾値調整(DTA) アルゴリズム(自己モード)

TIDM-CAPTOUCHEMCREFTI Design

TIDM-CAPTOUCHEMCREFTI Designは、ノイズ耐性に優れた容量性タッチ・ユーザ・インターフェイスの適切な設計方法のリファレンスとなるTI Designで、自己容量と相互容量トポロジを用います。このデザインは、CapTIvateテクノロジーのシステム・レベルIEC 61000-4の認定時にも使用されたものです。

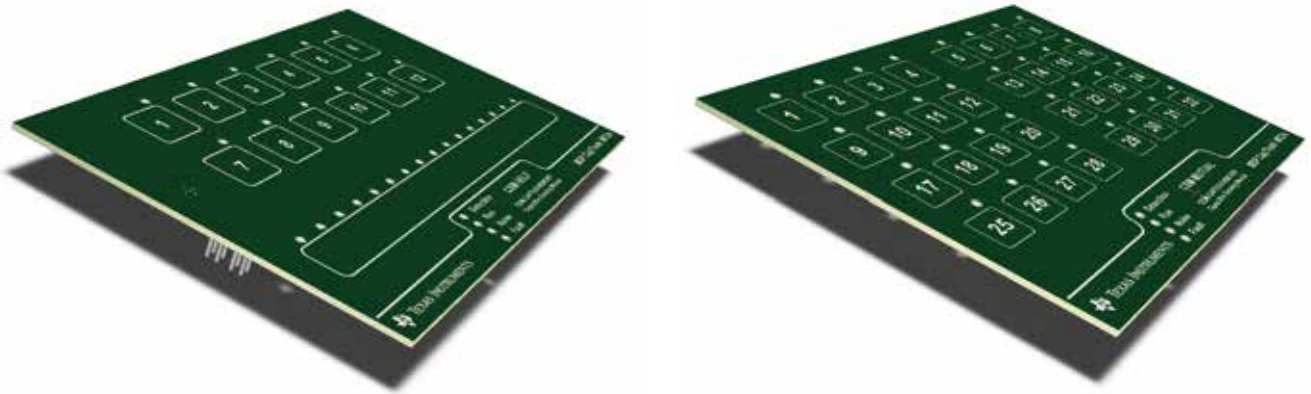


図 4: CSM-SELF、CSM-MUTUAL 容量性センシング・モジュール

TIDM-CAPTOUCHEMCREFは、ポリカーボネート製のケース（長さ9.5インチ、幅6.3インチ、高さ2.5インチ）から構成されます。ケース自体も容量性タッチ・インターフェイスのオーバーレイ素材になっています。ケースの厚さは2.54mm（0.1インチ）です。内部には、電源モジュール（PSM）と容量性センシング・モジュール（CSM）の2枚のPCBがあります（図4参照）。2枚のPCBは、4ノードのワイヤ・ハーネスを経由して筐体内で接続されています。このアセンブリ全体が、電磁環境適合性（EMC）テスト時には単独の機能ユニットと見なされます。モジュラー設計であるため、異なる種類のPSM、CSMの組み合わせが可能です。

自己容量センシング・モジュール（CSM-SELF）には、電極4個から構成された6インチのスライダと、12個のタッチ・ボタンがあり、タッチ・センス・ピンが合計16本必要です。相互容量センシング・モジュール（CSM-MUTUAL）には、4×4のマトリクス2組で構成されるタッチ・ボタン32個（ボタン16個につき、Rxラインが4本、Txラインが4本で、タッチ・センシング・ピンは合計で16本必要）があります。両モジュールにはバックファイアLEDインジケータがあり、各センサとシステム全体の状態を視覚的に表示します。両モジュールとも容量性タッチ・センシング対応のMSP430FR2633 CapTIvate MCUに加え、状態LEDの駆動用にI2C IO エキスパンダICであるTCA9535を2個使用します。

このリファレンス・デザインは、テスト用構成で、ユニバーサルAC電源（90VAC～265VAC、50/60Hz）から給電されます。このユニバーサルAC電源（PSM-UACTO3.3VDC）では、一次側レギュレーションのフライバック段で12VDC電源レールを生成した後、リニア・レギュレータで3.3VDCレールまで電圧を降下させます。フライバック・コンバータにはTIの700Vフライバック・スイッチャ UCC28910を使用しています。12VDCから3.3VDCへの降圧にはリニア・レギュレータTPS7A4533を使用します。

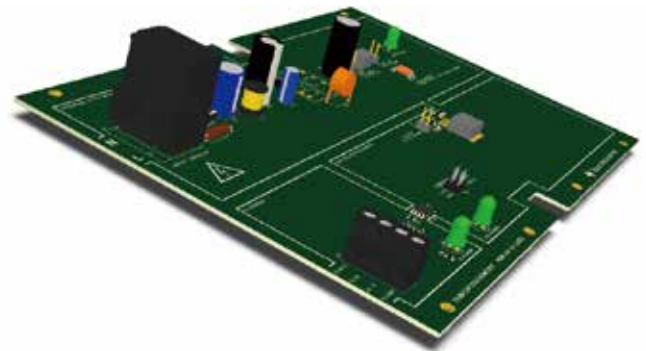


図 5: PSM-UACTO3.3VDC 電源モジュール

ノイズ試験方法

EMC（電磁環境適合性）のためのIEC（国際電気標準会議）61000-4国際規格を認証の基礎として利用しました。IEC 61000-4は、システム・レベルの試験標準であり、耐性に係わるEMCの試験手順と合否基準を定義しています。TIDM-CAPTOUCHEMCREF リファレンス・デザインには、以下の試験を適用しました。

- 伝導性RFノイズ耐性 (IEC 61000-4-6)
- 電気的高速過渡/バースト耐性 (IEC 61000-4-4)
- 静電気放電 (ESD) 耐性 (IEC 61000-4-2)

試験中は、人間の指に相当するサイズの正方形の銅箔でできた模造の指を使ってリファレンス・デザインに影響を加えます。試験中、この模造の指は、国際無線障害特別委員会 (CISPR) 規格に従って、直列に接続した220pF ±20%のコンデンサと510Ω ±10%の抵抗を通して基準グラウンドに接地されます。

試験中、リファレンス・デザインは、230VAC/50Hzの2線式 (ラインとニュートラル) 電源から給電されます。

TIの容量性タッチ・インターフェイス合否基準

試験では、以下のような容量性タッチ固有の合否基準を使用しました。

- **クラスA:** 被試験装置 (EUT) は、試験中および試験後に性能低下することなく設計通りに動作する。容量センシング・インターフェイスの関連では、**クラスA**には以下が必要となる：
 - EUTは、試験中および試験後にタッチを誤検出しない。
 - EUTは試験中および試験後に正しいタッチを常に検出する。
 - EUTにスライダまたはホイール・センサが含まれる場合、試験中および試験後にその位置を許容限度内で正確に伝える。
 - EUTでは試験中にICデバイスのリセットまたは故障が発生しない。FRAMメモリ内容の破壊、I²Cバス・エラー、I²Cバス・グリッチなど、回復不能なICエラーは許されない。

- **クラスB:** EUTは試験中、一時的な機能喪失または性能低下を示す。この性能低下は、試験後、オペレータの介入なしにEUT自体で回復後、解消される。容量センシング・インターフェイスの関連では、**クラスB**には以下が必要となる：
 - EUTは、試験中および試験後にタッチを誤検出しない。
 - EUTは試験中に正しいタッチを取りこぼしても (検出またはレポートしなくても) よいが、試験終了後にEUT自体で機能が完全回復する場合に限る。
 - EUTでは試験中にICデバイスのリセットまたは故障が発生しない。FRAMメモリ内容の破壊、I²Cバス・エラー、I²Cバス・グリッチなど、回復不能なICエラーは許されない。

- EUTは、試験中および試験後にタッチを誤検出しない。
- EUTは試験中に正しいタッチを取りこぼしても (検出またはレポートしなくても) よいが、試験終了後にEUT自体で機能が完全回復する場合に限る。
- EUTでは試験中にICデバイスのリセットまたは故障が発生しない。FRAMメモリ内容の破壊、I²Cバス・エラー、I²Cバス・グリッチなど、回復不能なICエラーは許されない。

- **クラスC:** EUTは試験中、機能喪失または性能低下を示し、試験刺激を除去後も回復しない。すべての機能は、EUTの電源を外し再接続すれば回復可能である。

伝導性ノイズ耐性

一般に、伝導性RFノイズは、容量性タッチ・インターフェイスには合格が一番難しい試験です。これは、容量測定のための多くのソリューションは、伝導性RFノイズの範囲である数100kHz ~ 数10MHzでセンシング電極を充放電する事実によるものです。伝導性ノイズ耐性試験では、製品に接続する電源ケーブルに結合するRFノイズの影響をシミュレートします。試験周波数の波長が非常に長いので、ケーブルが結合媒体として使用されます。放射性耐性試験は、対応するアンテナが大きすぎるため、実施できないでしょう。例えば、TIDM-CAPTOUCHEMCREFでは電極を1.4MHz ~ 2MHzの範囲で駆動します。1.4MHzで、半波長は100メートルを超えます。伝導性ノイズは、サンプリング中に電流が流れ込む原因となり変換結果を不正にするため、容量性タッチでは問題となります。

伝導性ノイズ耐性試験は、さまざまなスイッチング電源から給電の可能性があるシステムでも重要です。低コストのスイッチング電源は、スイッチング周波数周辺で大きなコモン・モード放射源になる傾向があります。このコモン・モード干渉は、伝導性ノイズ試験中に加えられるストレスとよく似ています。

伝導性RFノイズに対するクラスA耐性は、IEC 61000-4-6規格を適用して異なる3つの方法で試験しました。

1. 試験中に誤検出しないことを保証するため、模造の指を使用せずに、標準ノイズ周波数掃引(150kHz～80MHz、変調周波数1kHz、変調度80%の振幅変調)を実行しました。
2. 試験中にボタンが正しくタッチ検出した状態になることを保証するため、模造の指をタッチ・ボタンに接触させた状態で、標準ノイズ周波数掃引(150kHz～80MHz、変調周波数1kHz、変調度80%の振幅変調)を実行しました。
3. 特定の8周波数を保持して試験し、各周波数で、そのリファレンス・デザインのタッチ・センサがすべて、感度に変化がなく正常に動作していることが確認されました。特定のストレス周波数は、容量性センシングのワーストケースのノイズ状況に基づいて選ばれました。ワーストケースのノイズ周波数は、キャパシタンス・デジタル変換で使用する変換クロック周波数に応じて変化します。CSM-SELFとCSM-MUTUALの両パネルでは、ストレス周波数は、1.4MHz、1.6375MHz、1.8375MHz、2.0MHz、9.87MHz、14.77MHz、18.055MHz、28.05MHzの8周波数です。

電気的高速過渡 / バースト耐性

容量性タッチ・インターフェイスを備えた商用電源を用いる製品では、ほぼ確実に使用期間中のどこかの時点で電気的高速過渡事象に遭遇します。このような過渡事象は、通常数100V～数kVで、大電流の誘導性負荷をスイッチングした時に起こることが一般的です。この種のストレスは、苛酷な産業用環境ではより頻繁に見られますが、居住環境にも見られます。

高速過渡は、伝導性ノイズと同様の外乱を引き起こしますが、より広帯域の周波数で影響を及ぼします。また、過渡事象は短時間の事象であり、長くは継続しません。このような理由から、高速過渡事象に対する最善の防御策は、製品内の影響を受けやすいICを保護するための適切な電源設計、そして過渡事象の影響を受けたサンプルからの誤検出を防止するデバウンス・ロジックの採用です。

電気的高速過渡事象に対するクラスB耐性は、IEC 61000-4-4規格を適用して試験しました。リファレンス・デザインに給電するAC電源に過渡事象を印加し、ライン(L)、ニュートラル(N)、ライン+ニュートラル(L+N)結合モードで試験を行い、バースト・レートは5kHzと100kHzを適用しました。

静電気放電耐性

ESDの場合、容量性タッチ・インターフェイスの最初の防衛線は、オーバーレイ素材と機械的デザインです。アクリル、ポリカーボネート、ABSなどのプラスチック・オーバーレイの絶縁破壊電圧は高く、多くの場合、必要な保護すべてを与えてくれます。筐体設計では、ボード外のコネクタが保護されていること、放電が製品内部に広がる可能性がある未シールドのギャップがないことが確実にできるよう注意してください。

露出電極、もしくは極薄のオーバーレイがある設計には、低容量の過渡電圧抑制 (TVS) ダイオードを使用する必要があります。TVS ダイオードは電流を放電する低インピーダンスの経路になります。システム・レベルESD試験では、電流は数アンペア程度になることもあり得ます。

ICの保護とは別に、静電気放電から生じた強電界により、容量性タッチ測定が妨害されることがあります。高速過渡保護で適用したのと同じデバウンス手法は、製品付近の静電気放電によるタッチの誤検出を防止するために有効です。放電は一時的で連続しないからです。

ESD イベントに対するクラスB耐性は、IEC 61000-4-2規格を適用して試験しました。リファレンス・デザインではポリカーボネート製の絶縁筐体を使用されているため、接触放電は結合する水平面と垂直面に、気中放電はセンサ・エリア、電源コネクタ、筐体側面に加えしました。

試験結果

TIDM-CAPTOUCHEMCREF TI Designは、社内と外部で試験しました。3つの面からのアプローチをシステム設計に適用して、表1に示すように、CapTIvate™テクノロジーで伝導性ノイズ、電気的高速過渡事象、静電気放電に対し、高レベルでの耐性が実現できることが示されています。

外部試験レポート

TIDM-CAPTOUCHEMCREF に対して行われた社内試験の多くを検証するため、Northwest EMC社によって外部試験サービスが提供されました。試験レポートは、このドキュメントに添付されています。次ページの表2をご覧ください。

表 1. CapTIvate テクノロジー搭載 MSP MCU 向けノイズ試験

Test	Pass criteria	TIDM-CAPTOUCHEMCREF (CSM-SELF REV.B, PSM-UACT03.3VDC)	TIDM-CAPTOUCHEMCREF (CSM-MUTUAL REV.B, PSM-UACT03.3VDC)
Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for touch detection	Class A	10 V _{rms}	3 V _{rms}
Conducted immunity (IEC 61000-4-6) dwell at vulnerable frequencies for touch detection	Class A	10 V _{rms}	3 V _{rms}
Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for no false detects	Class B	10 V _{rms}	
Electrical fast transient/burst immunity (IEC 61000-4-4)	Class B	± 4 kV	
Electrostatic discharge immunity (IEC 61000-4-2)	Class B	± 8 kV / 15 kV contact / air	

表 2. Northwest EMC 社により実施された外部試験

Equipment under test	Test applied	Stress level	Pass criteria	Test report
TIDM-CAPTOUCHEMCREP (CSM-SELF REV.B, PSM-UACT03.3VDC)	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for touch detection	3 V _{rms}	Class A	TEXI0035, page 23
	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) dwell at vulnerable frequencies for touch detection	3 V _{rms}	Class A	TEXI0035, page 22
	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for no false detects	10 V _{rms}	Class B	TEXI0023, page 19
	Electrical fast transient/Burst immunity (IEC 61000-4-4)	± 4 kV	Class B	TEXI0023, page 16
	Electrostatic discharge immunity (IEC 61000-4-2)	± 4 kV / 8 kV contact / air	Class B	TEXI0023, page 11
TIDM-CAPTOUCHEMCREP (CSM-MUTUAL REV.B, PSM-UACT03.3VDC)	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for touch detection	3 V _{rms}	Class A	TEXI0035, page 18
	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) dwell at vulnerable frequencies for touch detection	3 V _{rms}	Class A	TEXI0035, page 17
	Conducted immunity (IEC 61000-4-6) sweep for no false detects	10 V _{rms}	Class B	TEXI0035, page 16
	Electrical fast transient/Burst immunity (IEC 61000-4-4)	± 4 kV	Class B	TEXI0035, page 27
	Electrostatic discharge immunity (IEC 61000-4-2)	± 8 kV / 15 kV contact / air	Class B	TEXI0035, page 11

S-0107

ご注意：

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



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するものです。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にのみ使用し、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どのような理由でも、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的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。