自動車用 CAPSENSE™アプリケーションでの放射エミッションの削減

About this document

Scope and purpose

AN72362 は、静電容量式タッチベースのアプリケーションの自動車および一般的な電磁両立性 (EMC) テストに合格するために、放射電磁エミッションを低減するさまざまなハードウェアおよびファームウェア技術について説明します。

関連製品ファミリ

CY8C21x34、CY8C21x45、CY8C22x45、CY8C24x94

関連アプリケーションノート

なし

Table of contents

About this document **1**
Table of contents **1**
1 はじめに **3**
1.1 自動車用 EMC 規格 3
2 CAPSENSE™はどのように機能しますか？ **5**
2.1 CSD アーキテクチャ 6
3 CAPSENSE™ UM の放射エミッションに影響を与える要因 **7**
4 最良の結果 **9**
5 RE を減らすためのオプション **10**
5.1 ファームウェアオプション 10
5.1.1 動作電圧 10
5.1.2 周波数の低減 11
5.1.3 シールド出力 12
5.1.4 シールド出力のスルーレート 14
5.1.5 周波数ホッピング 15
5.1.6 直列抵抗の追加 20
5.1.7 適切なグランドの確保 20
5.1.8 V_{DD} への適切なフィルタ 21
5.1.9 デカップリングコンデンサー 21
6 まとめ **23**
7 付録 A **24**
7.1 テストボードの回路図 24

Table of contents

8 付録 B 25
8.1 PCB レイアウト 25
8.1.1 上層 25
8.1.2 下層 25
改訂履歴 26

1 はじめに

すべての自動車メーカーは、直感的なヒューマンマシンインターフェース (HMI) を使用して、ダッシュボードの美観と使いやすさを向上させようとしています。インフォテインメント用の静電容量式タッチスイッチは、世界中のすべての自動車メーカーが提供する最新の製品の 1 つです。CAPSENSE™ (PSoC™ に基づく静電容量式タッチテクノロジー) は、静電容量式センシング、近接検出、および静電容量式タッチスクリーンを実装するための柔軟で費用効果の高いソリューションを提供します。

CAPSENSE™は、機械部品を排除することで製品の信頼性を高める直感的で堅牢なインターフェースを提供しますが、放射エミッション (RE) の形で電磁両立性 (EMC) の問題にも寄与する可能性があります。ハードウェアの設計時には、システムエンジニアが適切な注意を払う必要があります。電磁両立性 (EMI) または EMC は複雑な問題であり、すべてのガイドラインに従った後でも、放射を制限できない場合があります。その場合、PSoC™デバイスの柔軟性により、ファームウェアパラメーターを調整して RE をさらに削減できます。

このドキュメントでは、放射量を削減し、システムがさまざまな放射基準を満たすのに役立つ可能性のある、最良のレイアウト方法とファームウェア技術について説明します。アプリケーションノートには、典型的な CAPSENSE™ベースのアプリケーションのいくつかのテスト結果も示されています。読者は CAPSENSE™の操作についてある程度の基本的な知識があることを前提とします。そうでない場合は、**Getting Started with CAPSENSE™**を通読することを強く推奨します。

このアプリケーションノートは、以下を提供します

- CAPSENSE™の簡単な紹介
- CAPSENSE™の RE に寄与する主な要因
- 放射量を削減するためのファームウェア技術
- 放射量を削減するためのハードウェアのベストプラクティス

このアプリケーションノートでは、業界で採用されている主要な自動車用 EMC 規格のいくつかについても簡単に説明しています。

1.1 自動車用 EMC 規格

自動車アプリケーションの EMI または EMC 試験は、次の 2 つの主要な組織の基準に従います。

1. 国際標準化機構 (ISO)
2. すべての製品の放射を担当する国際電気標準会議 (IEC) の一部である電波干渉特別国際委員会 (CISPR)

すべての重要な自動車用 EMC 試験方法には、ISO および IEC 内の試験の 1 つの国際版があります。

以下にリストされているのは、自動車の主要な基準の一部です。

- 放射エミッション (RE)
  - CISPR 25
  - SAE J1113-41

これらの規格には、150 kHz～2500 MHz の周波数範囲での電波障害の測定に関する制限と手順が含まれます。この規格は、車両、トレーラー、および電子機器での使用を目的としたすべての電子部品または電気部品に適用されます。

- 放射イミュニティ (ALSE)
  - ISO 11452-2
  - SAE J1113-21

はじめに

これらの規格は、乗用車および商用車の電子部品のイミュニティをテストするための吸収体で裏打ちされたシールドエンクロージャ (ALSE) 方式を指定します。テスト対象のデバイスは、ワイヤリングハーネスとともに、ALSE 内で発生する電磁妨害にさらされます。

- バルク電流注入 (BCI)
  - ISO 11452-4
  - SAE J1113-4 伝導イミュニティ
- 静電放電 (ESD)
  - ISO 10605
  - SAE J1113-13

これらの基準に加えて、自動車メーカーは通常、独自の基準、テスト、および制限を開発および実施します。例えば、GM5097、3100 DC 10614、Ford AB/AC、BMW GS95002/3 などです。

2 CAPSENSE™はどのように機能しますか？

静電容量センサーは、隣接する電極のペアで構成されており、導電性の物体が近接または接触すると、静電容量が追加され、物体の存在を測定するために使用できます。

静電容量センシングを理解するには、まず電界 (E フィールド) に関するいくつかの基本を理解することが重要です。E フィールドがアースへの抵抗が最も少ない経路をたどることは基本的な事実です。**Figure 1** に、静電容量センシング設計における電界の一般的な形式を示します。

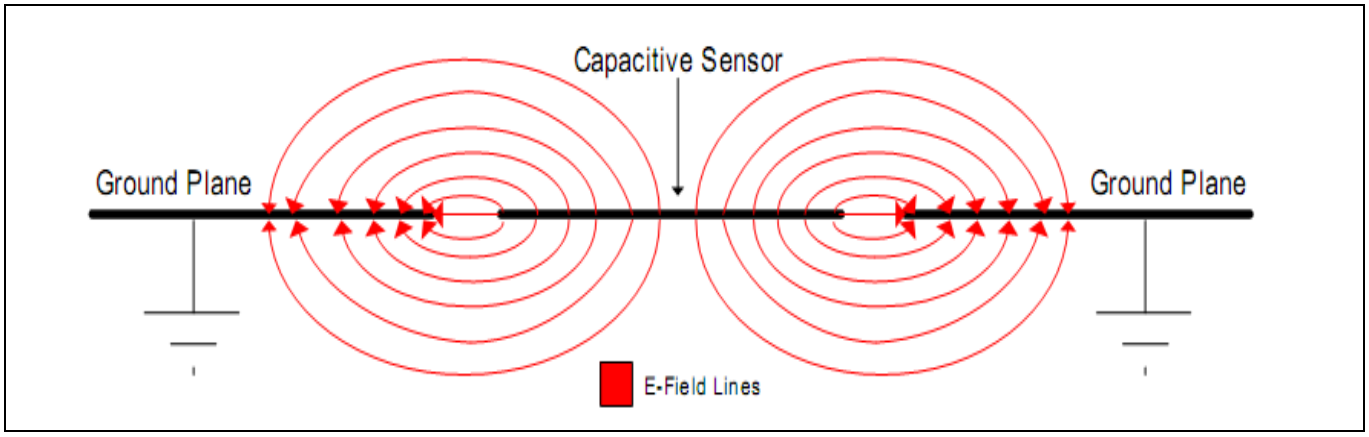


Figure 1 静電容量センサーの電界

次の図に示すように、電気力線は、静電容量センサーからグランドへの高電位から低電位へと伝播します。

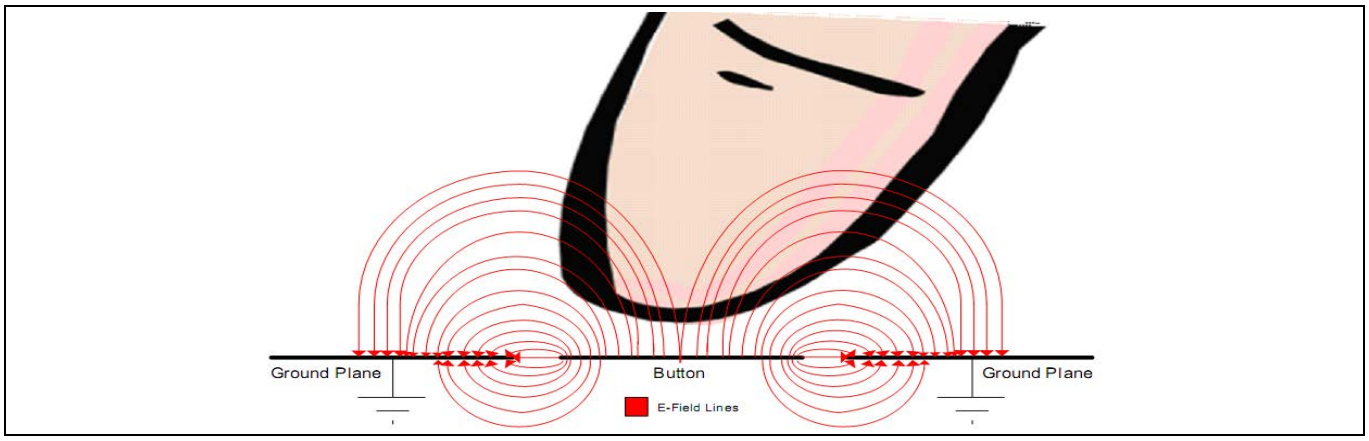


Figure 2 指の存在による電界濃度の増加

導電性の物体 (指) が存在すると、導体の誘電率が高くなるとより多くの電気力線が通過できるため、ボタンとグランドプレーンの間を移動する電気力線の数が増えます。この電界の集中が大きくなると、センサーで測定される静電容量が大きくなります。

CAPSENSE™テクノロジーは CSD アルゴリズムに基づきます。CSD のアーキテクチャについて簡単に説明します。

2.1 CSD アーキテクチャ

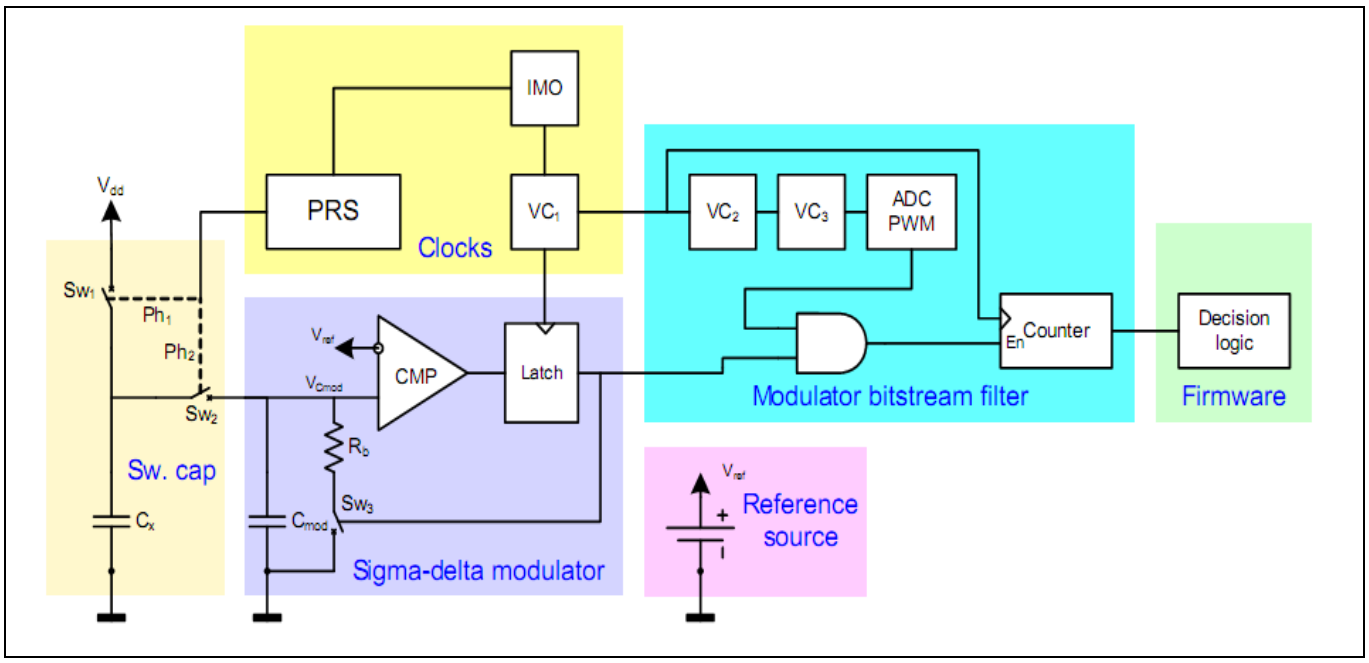


Figure 3 21x34 の CSD アーキテクチャ

CSD アルゴリズムは、スイッチドコンデンサー回路を使用して静電容量を電圧に変換し、基準電圧と比較します。センサーは CMOD コンデンサーに電荷を転送し続け、コンデンサー電圧が基準電圧に達すると、コンパレーターがブリード抵抗をトリガーし、コンデンサー (CMOD) を放電します。コンデンサーの電圧が基準電圧を下回ると、ブリード抵抗 (RB) はフローティングのままになり、コンデンサーが充電を継続できます。ブリード抵抗を継続的に切り替えるコンパレーター出力は、センサーの静電容量の変化に応じて変動するビットストリームです。ビットストリームは PWM と AND 演算され、ストリームの一貫したフレーミングを提供します。次に、各フレームのカウント数 (raw カウント) を分析して、静電容量センサーがトリガーされているかどうかを判断します。

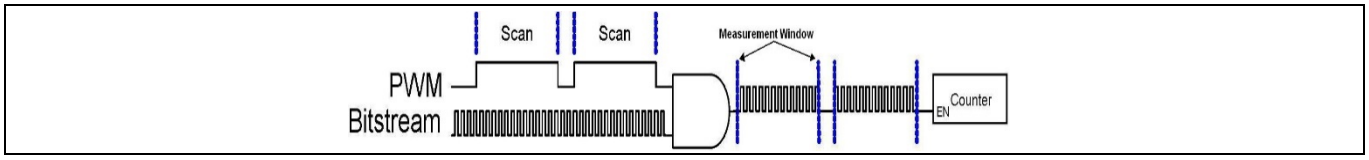


Figure 4 Raw カウントの計算

CAPSENSE™ UM の詳細については、**Getting Started with CAPSENSE™**を参照してください。

Figure 3 に、21x34 デバイスの CSD アーキテクチャを示します。ただし、24x94 および 22x45 の CSD アーキテクチャは、**Figure 3** に示されるものとは異なります。

3 CAPSENSE™ UM の放射エミッションに影響を与える要因

CAPSENSE™ UM に関する限り、RE に寄与する主なパラメーターは次のとおりです。

- デバイス動作周波数 (IMO)
- 電極変調周波数
- シールド電極

これらのパラメーターは、CAPSENSE™の使用時に発生する電磁波放射の大部分に寄与します。

Figure 3 に示すように、デバイスの動作周波数を上げると、発生するすべてのスイッチングが内部メインオシレーター (IMO) によって駆動されるため、エミッションが増加します。

電極変調周波数: CAPSENSE™電極は、スキャン中に継続的に充電および放電されます。電極変調周波数とは、電極が充電および放電される速度を指します。したがって、変調周波数を下げると RE が下がります。

CAPSENSE™は、AC 信号を使用して電極が変調されるスイッチコンデンサー回路を使用してセンサーの静電容量を測定します。このメカニズムにより、電荷はセンサー電極から C_{MOD} コンデンサーに転送され、そのあと電圧に変換され、基準と比較されます。コンデンサーは、疑似ランダムシーケンス (PRS) またはプリスケーラー出力によって決定される周波数で充電および放電されます。したがって、コンデンサーの充放電周波数 (電極変調周波数) を下げることにより、全体の RE が低下します。**周波数の低減**セクションでは、IMO 周波数と電極変調周波数を低減する方法について説明します。

シールドを有効にすると、高周波スイッチング信号がボード全体にルーティングされるため、エミッションが大幅に増加します。シールドの詳細については、**シールド出力**のセクションで説明します。

CSD からの放射量に対するさまざまなパラメーターの影響を理解するために、最適化されていないテストボードで CISPR 25 に従って RE テストを実行しました。結果は、RE を削減するためのファームウェアとハードウェアのオプションについて説明する次のセクションで報告されます。このテストボードは、放射量のさまざまなパラメーターの影響を調査するためのテスト目的で設計されており、放射量レベルは、このアプリケーションノートに示されるグラフよりも優れています。

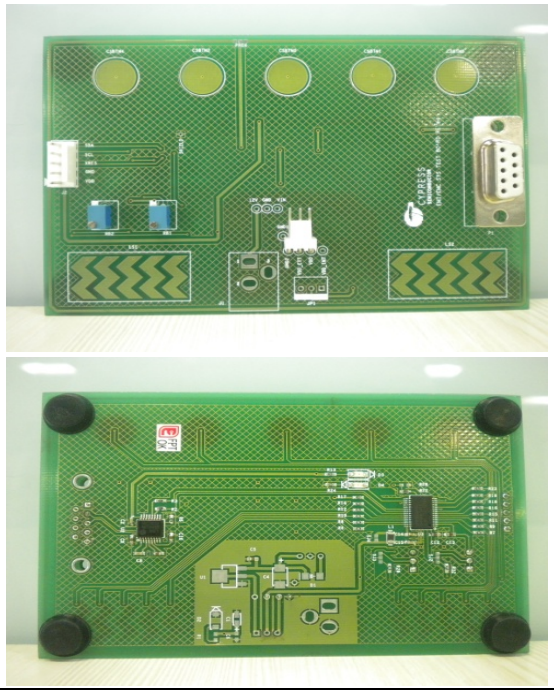


Figure 5 テストボード

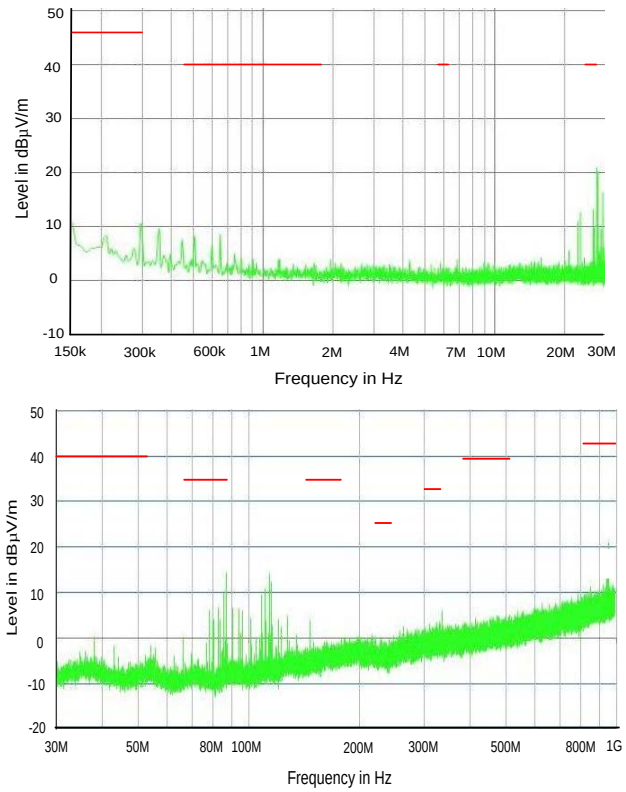
CAPSENSE™ UM の放射エミッションに影響を与える要因

スイッチング周波数と電圧とともにエミッションが増加することは既知の事実です。高性能を得るには、動作周波数を高くする必要があります。動作周波数を低くすると、スキャン時間や処理時間に影響し、システム全体のパフォーマンスが低下します。したがって、ここでの課題は、最大のパフォーマンスを得ると同時に、EMC に準拠することです。

次のセクションでは、放射量を削減するためのさまざまな方法について説明します。

4 最良の結果

以下のグラフは、最良の結果を示します。この構成での放射量は、CISPR25 規格によるクラス 5 の制限内にあります。



設定	
V_{DD}	3.3 V
直列抵抗	2.2 kΩ
シールド	無効
センサー変調周波数	375 kHz
センサー変調信号	PRS
ディザリング (周波数ホッピング)	ON

5 RE を減らすためのオプション

5.1 ファームウェアオプション

5.1.1 動作電圧

放射はスイッチングが発生する電圧レベルに正比例します。任意のピンでのスイッチング信号の振幅はデバイスの動作電圧に依存するため、動作電圧を下げると、エミッションを大幅に減らせます。**Figure 6** に示すように、PSoC™ Designer プロジェクトのグローバルリソースウィンドウで Power Setting パラメーターを変更することにより、動作電圧を下げられます。

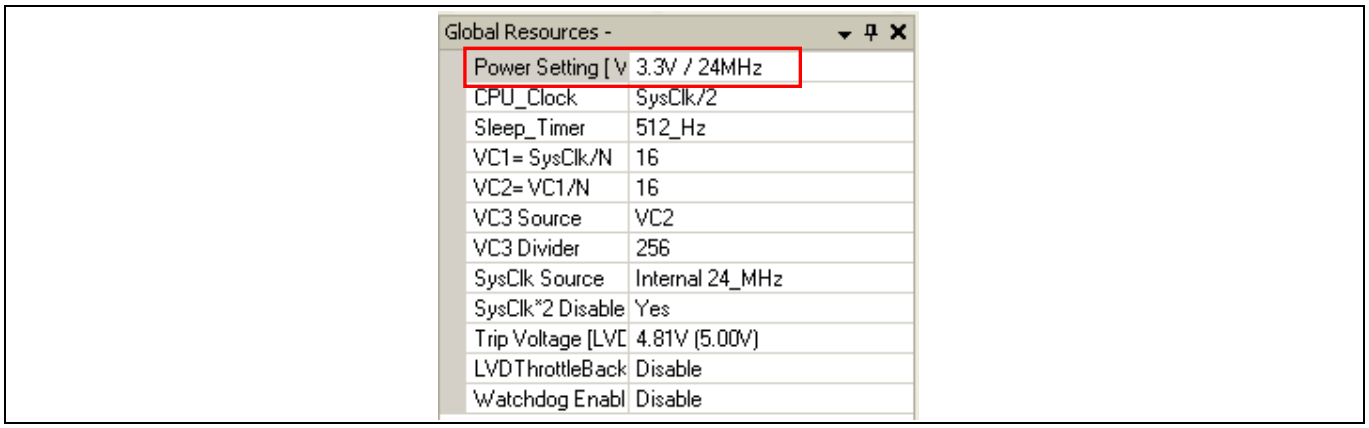


Figure 6 グローバルリソースウィンドウの電源設定とシステム設定

PSoC™を使用すると、より低い動作電圧で動作できるため、エミッションが削減されます。より低い動作電圧では、可能な最大 CPU 周波数は 12 MHz であり、5 V の動作電圧では CPU 周波数は最大 24 MHz になる可能性があります。したがって、システム要件に応じて動作電圧を選択してください。

Figure 6 に示すように、**SysClk*2** を使用しない場合は、無効にします。CAPSENSE™のみのアプリケーションの場合、グローバルリソースウィンドウでこれを無効にすることを推奨します。

Figure 7 (a) および (b) に、放射エミッションに対する動作電圧の影響を示します。この場合、CY8C22x45 デバイスの場合、センサーピンのスイッチングは Vref (基準電圧) とグランドの間で発生するため、あまり改善されません。ただし、CY8C21X34 および CY8C24X94 デバイスの場合、ここでのセンサーの切り替えは V_{DD} と Vref 間で起きるため、V_{DD} 設定はエミッションにさらに大きな影響を与える可能性があります。Vref は CSD パラメーターウィンドウで設定できます。

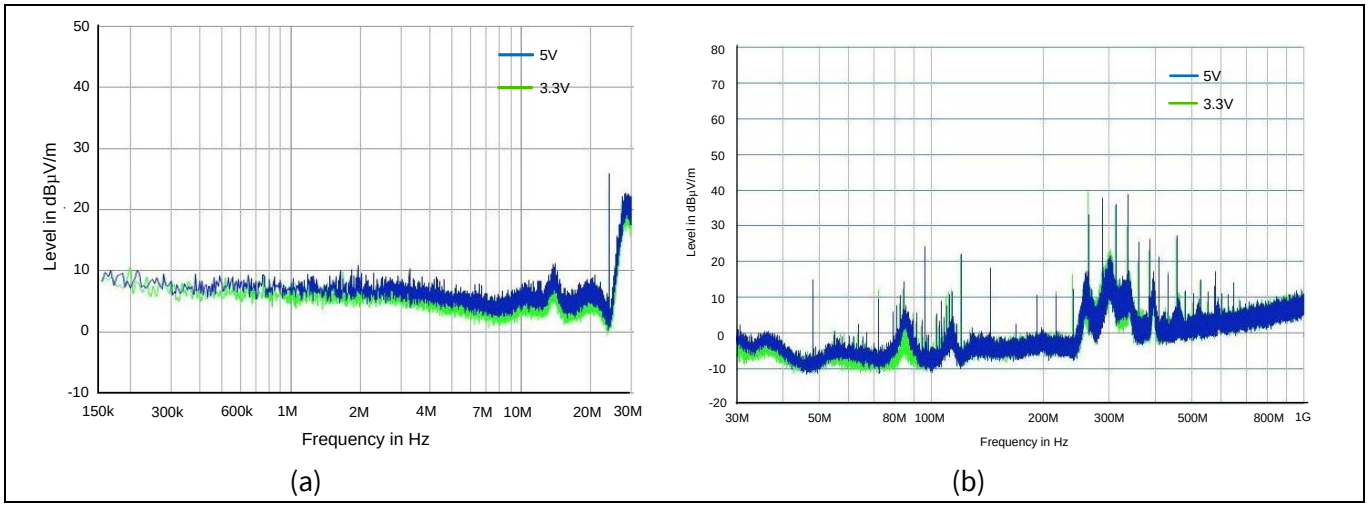


Figure 7 V_{DD} の影響

5.1.2 周波数の低減

システム発振器周波数

システムクロックを下げると、RE がかなり低下します。ただし、システムクロックを下げると、システムのパフォーマンスに影響します。IMO が低いため、センサーのスキャンと処理に時間がかかる可能性があります。したがって、アプリケーションに応じて、システム周波数を適切に下げてください。

電極スイッチング周波数

静電容量センサーはより低い周波数でスキャンされるため、プリスケーラーを増やすことによって電極スイッチングまたはセンサー変調周波数を下げることも、発光結果の改善に役立ちます。

Figure 8 と **Figure 9** に、それぞれ CSD2X UM と CSD UM のプリスケーラーを調整して電極のスイッチング周波数を下げる方法を示します。

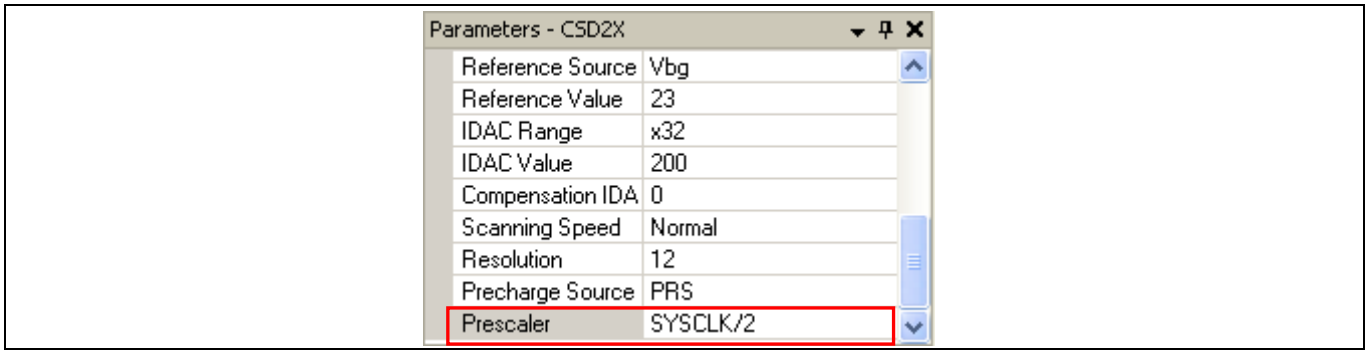


Figure 8 CSD2X UM のプリスケーラー設定

ここでは、疑似ランダムシーケンス (PRS) ソースが使用されるため、平均スキャン周波数は $F_{PRESCALER}/4$ になり、最大は $F_{PRESCALER}/2$ になります。**Figure 8** に示すプリスケーラー設定では、スキャン周波数は次のようになります。

$F_{PRESCALER} = F_{SYSCLK}/2$

$F_{SCAN\ AVERAGE} = F_{PRESCALER}/4 = F_{SYSCLK}/8$

$F_{SCAN\ MAX} = F_{PRESCALER}/2 = F_{SYSCLK}/4$

CSD ユーザーモジュールを PRS16 構成で使用する場合、プリスケーラーオプションは使用できません。プリスケーラー期間はここで自動的に設定されます。ただし、PRS8 構成で CSD ユーザーモジュールを使用している場合は、プリスケーラーオプションを使用できます。

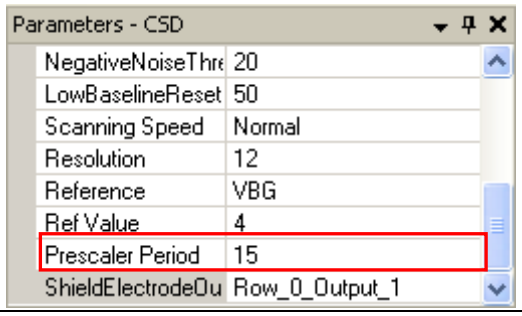


Figure 9 CSD UM のプリスケーラー設定

ここで、平均スキャン頻度は $F_{PRESCALER}/4$ で、最大は $F_{PRESCALER}/2$ です。

ここで、$F_{PRESCALER} = F_{SYSCLK}/(プリスケーラー周期+ 1)$

5.1.3 シールド出力

CAPSENSE™のベストプラクティスでは、CAPSENSE™ボタンの周囲にハッチングパターンを使用することを推奨します。ハッチングされたパターンは、以下に接続できます。

1. グランド
2. シールド

アースに接続されたハッチングパターン:

有利な点:

1. 放射量の削減

不利な点:

1. 寄生容量の増加
2. より低い感度
3. 防水が不可能

シールドに接続されたハッチングパターン:

有利な点:

1. 寄生容量の低減
2. より高い感度
3. 防水が可能

不利な点:

1. より高い放射量

シールドの働き:

シールド信号は、**Figure 10** に示すように、CAPSENSE™スイッチング信号と同期して生成される一連の方形波です。唯一の違いは信号の振幅です。シールドはグランドと V_{DD} の間で切り替えられ、CSD スキャン信号は CSD UM の場合は Vref と V_{DD} の間で、CSD2X UM の場合は Vref とグランドの間で切り替わります。

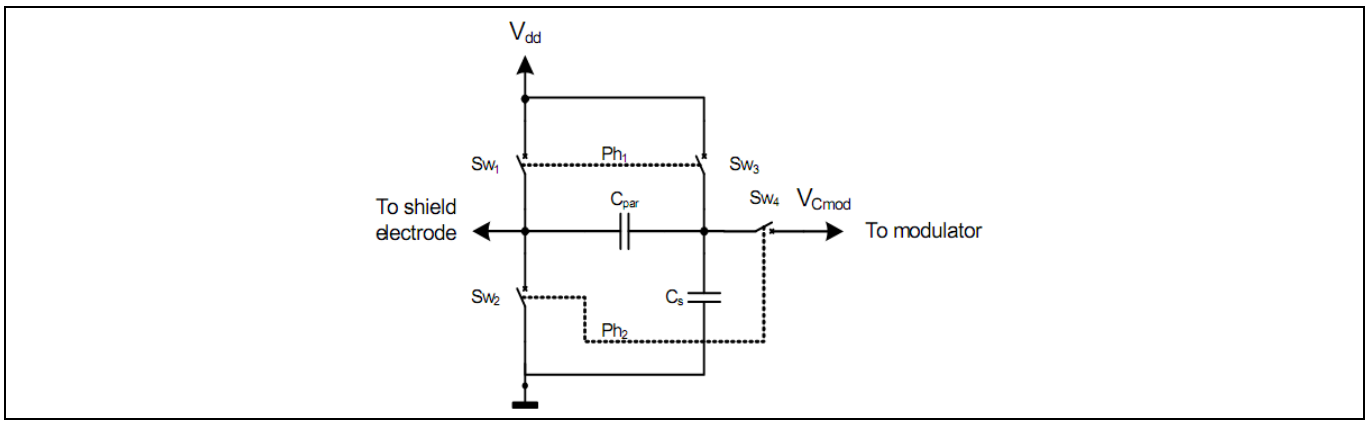


Figure 10　シールド信号出力

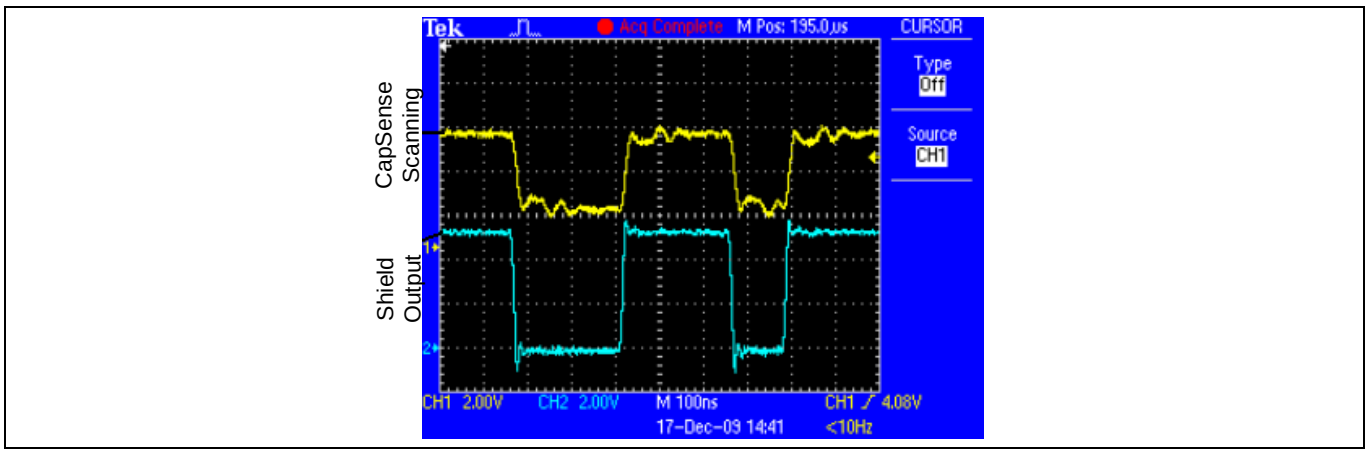


Figure 11　シールド信号

シールド電極は、センサーボタンとシールドによって駆動される周囲のハッチングパターンとの間の電位差がシールドなしの場合よりも小さいため、シグマデルタ変調器の入力電流を下げることによって寄生容量の影響も低減します。シールド出力は、水膜または水滴の存在下で信頼性の高い操作を必要とする設計で重要です。特に車載アプリケーションでは、水、氷、湿度の変化のために静電容量センサーが誤ったトリガーを与えないことが非常に重要です。例えば、キーフォブの CAPSENSE™ボタンは、どのような状況でも誤ってトリガーされるべきではありません。そのような場合、シールド信号が不可欠です。シールド信号はシールド電極に沿ってルーティングできるため、全体的な寄生容量を減らせます。

前述のように、シールド信号を使用することの主な欠点は、放射が増加することです。ただし、シールドピンに直列抵抗を配置してシールド出力にパッシブローパスフィルタ (LPF) を追加することにより、エミッションを低減できます。固有の LPF は、電極材料の抵抗と電極の寄生容量によって形成されます。したがって、直列抵抗を追加すると、フィルタの RC が増加し、形成された RC フィルタが高次周波数を排除するため、エミッションを大幅に改善するのに役立ちます。

Note: *シールドのフィルタリングが多すぎると、シールドノードと CAPSENSE™ノードの間に位相差が生じる可能性があります。位相差が 90°を超えると、シールド動作が中断する可能性があるため、推奨しません。*

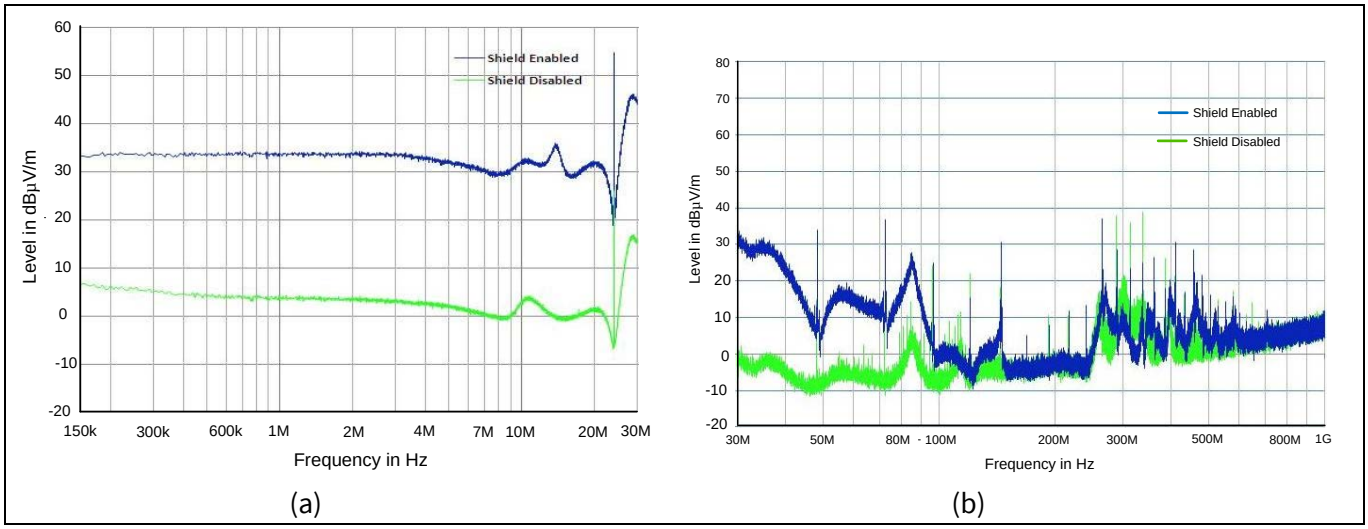


Figure 12 シールドの効果

5.1.4 シールド出力のスルーレート

スルーレートを下げると、放射を減らせます。つまり、信号の立ち上り時間を長くすると、信号の高次周波数成分がなくなるため、信号の全体的な帯域幅が狭くなります。

帯域幅 α 1/τ

ここで τ → 信号の立ち上り時間

PSoC™では、**Figure 13** に示すように、ドライブモードを **Strong から Strong Slow** に変更することで実行できます。

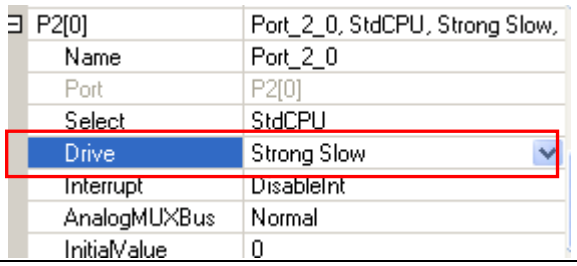


Figure 13 ドライブモードの変更

シールドピンのドライブモードをストロングからストロングスローにすると、エミッションを低減することにより、LPF がシールドピン (PSoC™の内部) に追加されます。

5.1.5 周波数ホッピング

周波数ホッピングは、入力周波数または動作周波数を狭い周波数帯域に広げる方法です。この方法は、**Figure 14** に示すように、ピークを減らし、周波数範囲全体に放射を分散させるのに役立ちます。PSoC™ で周波数ホッピングを行うためのさまざまな方法は、IMO トリミング/ディザリング、またはスペクトラム拡散 (SS) クロックの使用です。

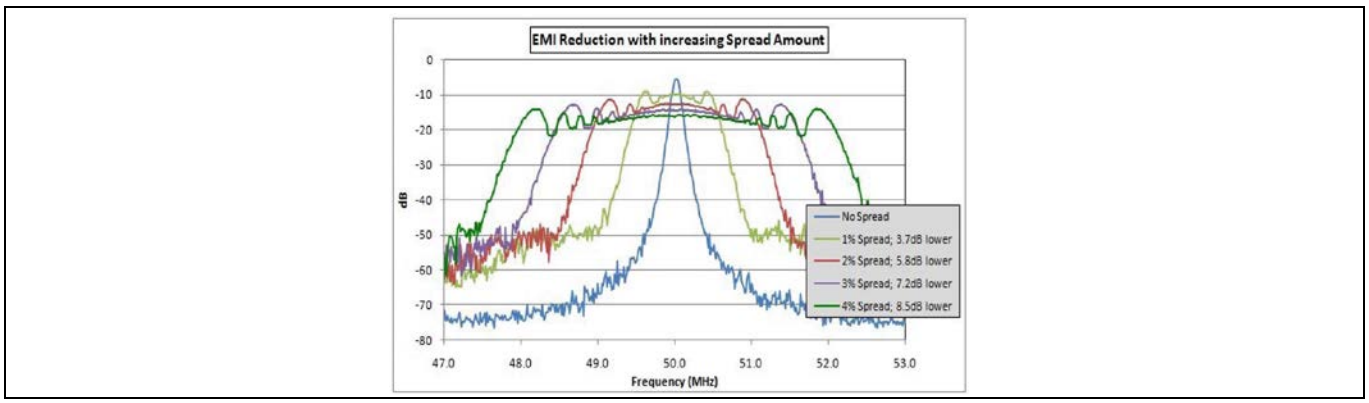


Figure 14 周波数ホッピング

IMO ディザリング– PSoC™ 1 は、最大周波数 24 MHz で動作できる内部発振器を備えているため、外部水晶振動子が機能する必要はありません。内部発振器の周波数を変更し、周波数範囲全体をスイープすることができます。これにより、**Figure 14** に示すように、放射が周波数帯域全体に広がります。これは、PSoC™ 1 の IMO_TR レジスタの値を変更することで実現できます。例えば、24～22MHz の範囲で内部発振器速度をスイープできます。

IMO ディザリングを行うときは、常に同じ周波数でセンサーをスキャンしてみてください。そして、さまざまな周波数でさまざまなセンサーをスキャンします。

IMO ディザリングを実行するためのプログラムコードを以下に示します。

```
initial_IMO = find_IMO();
temp_IMO = initial_IMO; /* Initial IMO hold the initial IMO value */
while(1)
{
for(i = 0; i < CSD_TotalSensorCount; i++)
 {
   CSD_ScanSensor(i);
   CSD_UpdateSensorBaseline ( i );
   if( i <=  CSD_TotalSensorCount/2 )
      temp_IMO--;
   else
      temp_IMO++;
   IMO_TR = temp_IMO;
 }
IMO_TR = initial_IMO; /* Restore initial IMO */
/*
Do other operations/processing
*/
}
```

RE を減らすためのオプション

このコードは、センサーの半分がスキャンされるまで段階的に IMO 周波数を下げ、次に IMO 周波数を上げ続け、すべてのセンサーがスキャンされると元の周波数に戻します。この方法により、IMO を段階的にスイープし、IMO 周波数に大きな/突然のジャンプがないことが保証されます。IMO_TR レジスタの値を 1 つ変更すると、IMO 周波数がほぼ 60kHz 変更されます。

したがって、ディザリングを実現するには、実行時に **IMO_TR** の値を変更する必要があります。このためには、初期 IMO トリム値が必要です。初期トリム値を取得するには、監視システムコール (SSC) を実行する必要があります。

初期 IMO 値を取得するためのプログラムコードを以下に示します。新しい*.asm* ファイルを作成し、このコードをその asm ファイルにコピーしてください。

```
include "m8c.inc"
include "m8ssc.inc"
include "psocapi.inc"
include "memory.inc"
include ".\lib\GlobalParams.inc"

  SROM_TABLE_1:           equ 01h
  SROM_TABLE_2:           equ 02h
  POWER_SET_5V0_24MHZ:    equ 10h
  POWER_SET_5V0_6MHZ:     equ 11h
  POWER_SET_3V3_24MHZ:    equ 08h
  POWER_SET_3V3_6MHZ:     equ 09h
;AREA bss
Initial_IMO:
        BLK 1

export _find_IMO
; Fastcall16 inputs (none)
;     A – none
; Fastcall16 return value (single byte)
;     A – read data
_find_IMO:
; To set the page pointers correctly before doing SSC operations
  mov   A, reg[MVW_PP]
  push  A
  mov   A, reg[CUR_PP]
  push  A
  mov   reg[MVW_PP], 0
  mov   reg[CUR_PP], 0

  mov A, POWER_SETTING
  cmp A, POWER_SET_3V3
  jz .Read24m3v3TrimValue
  cmp A, POWER_SET_5V0
  jz .Read24m5v0TrimValue
  cmp A, POWER_SET_5V0_6MHZ
  jz .Read6m5v0TrimValue
  cmp A, POWER_SET_3V3_6MHZ
  jz .Read6m3v3TrimValue
  jmp .Exit
```

```
.Read24m5v0TrimValue:
; Get 5V, 24MHz IMO trim value
  mov [bSSC_TABLE_TableId], SROM_TABLE_1
      SSC_Action(TABLE_READ)
  nop
  mov A, [SSCTBL1_TRIM_IMO_5V_24MHZ]
  mov [Initial_IMO], A
  jmp .Exit

.Read24m3v3TrimValue:
; Get 3.3V, 24MHz IMO trim value
  mov [bSSC_TABLE_TableId], SROM_TABLE_1
  SSC_Action(TABLE_READ)
  nop
  mov A, [SSCTBL1_TRIM_IMO_3V_24MHZ]
  mov [Initial_IMO], A
  jmp .Exit

.Read6m5v0TrimValue:
; Get 5V, 6MHz IMO trim value
  mov [bSSC_TABLE_TableId], SROM_TABLE_2
  SSC_Action(TABLE_READ)
  nop
  mov A, [SSCTBL2_TRIM_IMO_5V_6MHZ]
  mov [Initial_IMO], A
  jmp .Exit

.Read6m3v3TrimValue:
; Get 3.3V, 6MHz IMO trim value
  mov [bSSC_TABLE_TableId], SROM_TABLE_2
  SSC_Action(TABLE_READ)
  nop
  mov A, [SSCTBL2_TRIM_IMO_3V_6MHZ]
  M8C_SetBank0
  mov [Initial_IMO], A
  jmp .Exit

.Exit:
  pop   A
  mov   reg[CUR_PP], A
  pop   A
  mov   reg[MVW_PP], A
  mov A, [Initial_IMO]
  ret
```

IMO トリム値を求める関数にアクセスするには、次のコードを *main.c* に含める必要があります。

```
#include <m8c.h>        /* part specific constants and macros */
#include "PSoCAPI.h"    /* PSoC API definitions for all User Modules */
```

```
#pragma fastcall16 find_IMO
char find_IMO(void);

void main()
{
BYTE initial_IMO;
initial_IMO = find_IMO();  /* find_IMO returns the IMO trim value */
/* Do further processing*/

}
```

初期 IMO 値を取得したら、必要に応じて変更できます。ディザリングアルゴリズムでは、周波数を常に基本周波数からディザリングすることを推奨します。基本周波数からディザリングされると、速度が速すぎてデバイスの制限を超える可能性があります。また、オーバーフローまたはアンダーフローが発生するような、IMO レジスタを高すぎたり低すぎたりしないように注意してください。

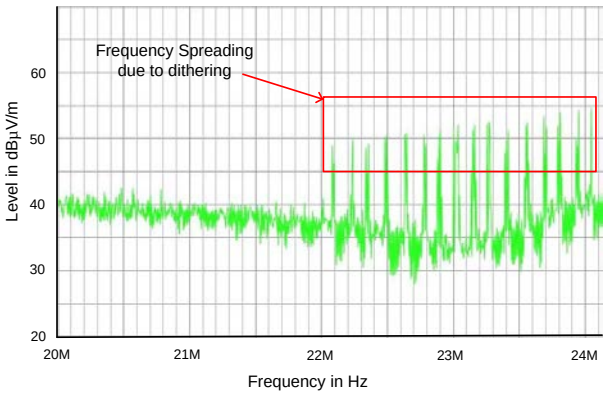


Figure 15　ディザリングの効果

ご覧のとおり、放射は周波数帯域全体に広がり、最大ピークは次のように減少します。**Figure 15** では、IMO が 24MHz から 22MHz にディザリングされています。スキャンが発生する周波数でピークを観察でき、ディザリングにより 24MHz でのピーク発光が減少します。

スペクトラム拡散クロック – PSoC™は外部クロックを使用しても動作できます。スペクトラム拡散クロックを使用する場合、これは、IMO ディザリングと同様に、より広い周波数範囲に放射を拡散するのに役立ちます。PSoC™では、ポート P1[4]のみを使用して外部クロックを供給できます。この場合、ピン P1[4]ドライブモードを HI-Z デジタルに設定する必要があります。

疑似ランダムシーケンサー (PRS) – 固定周波数ソースによって生成される EMI の量を減らし、他のソースとその高調波からの EMI 耐性を高めるために、CAPSENSE™ピンで放出されるノイズを減衰させるために固定クロックソースの代わりに PRS が使用されます。

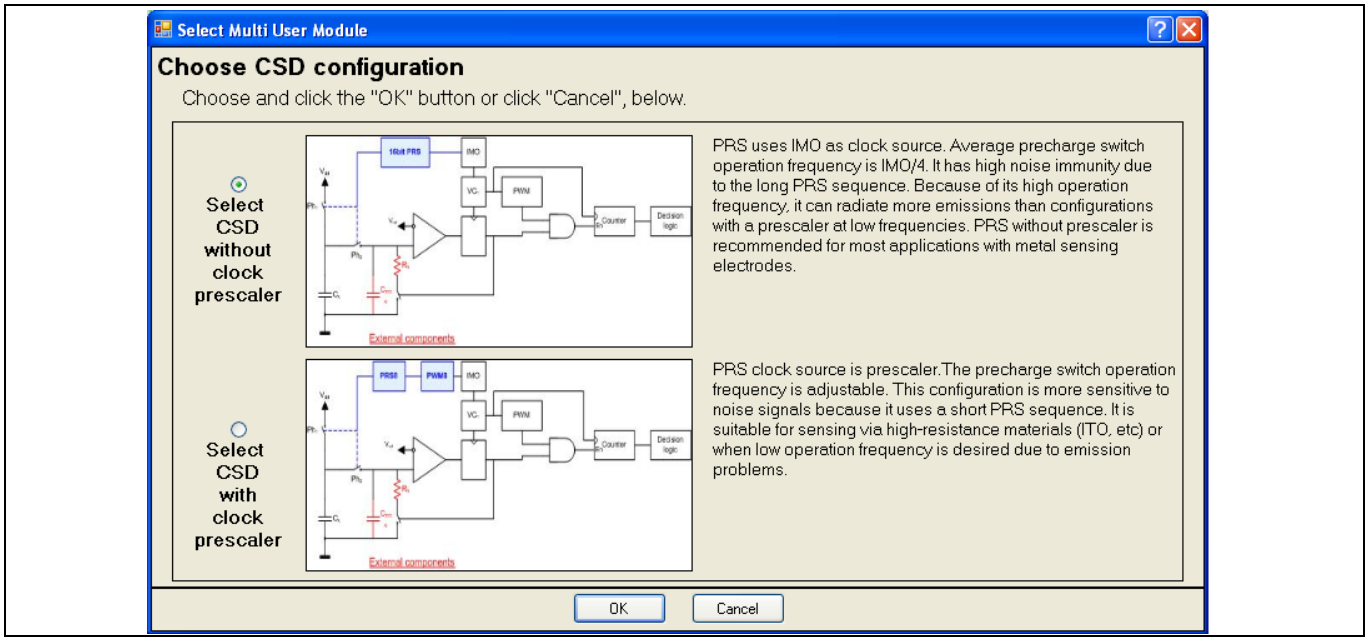


Figure 16　CSD プリスケーラー構成

CSD UM を使用する場合は、**Figure 16** に示すように、クロックプリスケーラーなしの CSD を選択することを推奨します。これは、16 ビット PRS を使用してスキャン信号を生成します。スキャン信号は、スキャン信号周波数の周囲に広がり、固定周波数クロックソースの使用に関してはるかに優れた EMI または EMC 性能を提供します。

CSD2X UM を使用している場合は、EMC の結果を向上させるために、タイマーではなくプリチャージソースを PRS として選択します。

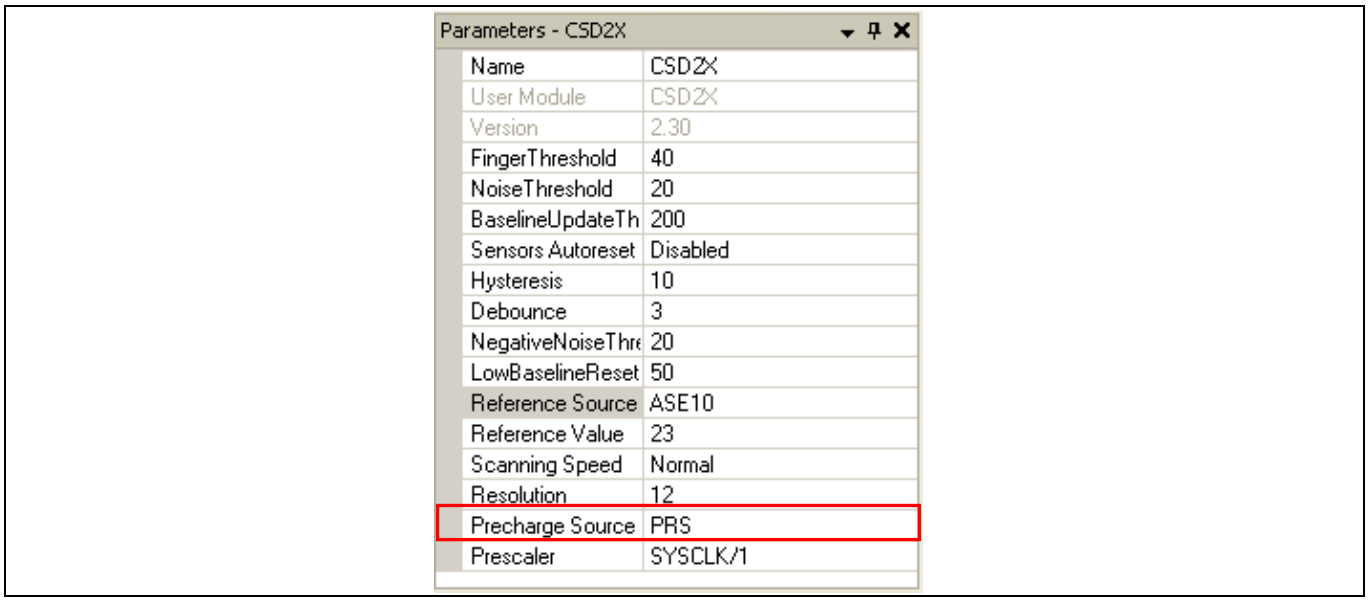


Figure 17　CSD2X UM での PRS ソースの選択

5.2 ボード設計の考慮事項/ベストプラクティス

静電容量センシングは静電容量の測定に基づいており、その過程でかなりの量の高周波スイッチングが発生します。ボードの設計に適切な注意が払われていない場合、これにより大量の放射が発生する可能性があります。CAPSENSE™の使用を開始するには、CAPSENSE™システムを設計するためのベストプラクティスを示し、CAPSENSE™のベストレイアウトプラクティスについて詳しく説明します。以下は、CAPSENSE™を含むシステムの放射量を削減するのに役立ついくつかのハードウェアガイドラインです。

5.2.1 直列抵抗の追加

各センサーラインに直列抵抗を配置すると、LPF (抵抗とセンサー電極による寄生容量の直列結合によって形成される LPF) を追加するのと同等であるため、エミッションが大幅に削減されます。これは、高次の高調波を除去し、放出を減衰させるのに役立ちます。ただし、感度に影響があります。直列抵抗値が高くなると SNR が低下するため、直列抵抗の選択は適切に行う必要があります。ITO パネルはすでに高い抵抗を提供します。値の選択にあまり柔軟性がない場合があります (範囲 100Ω～1kΩ)。一般的な銅 PCB の場合、この値は 4.7kΩ 以上になる可能性があります。直列抵抗は通常、560Ω～4.7kΩ で使用されます。

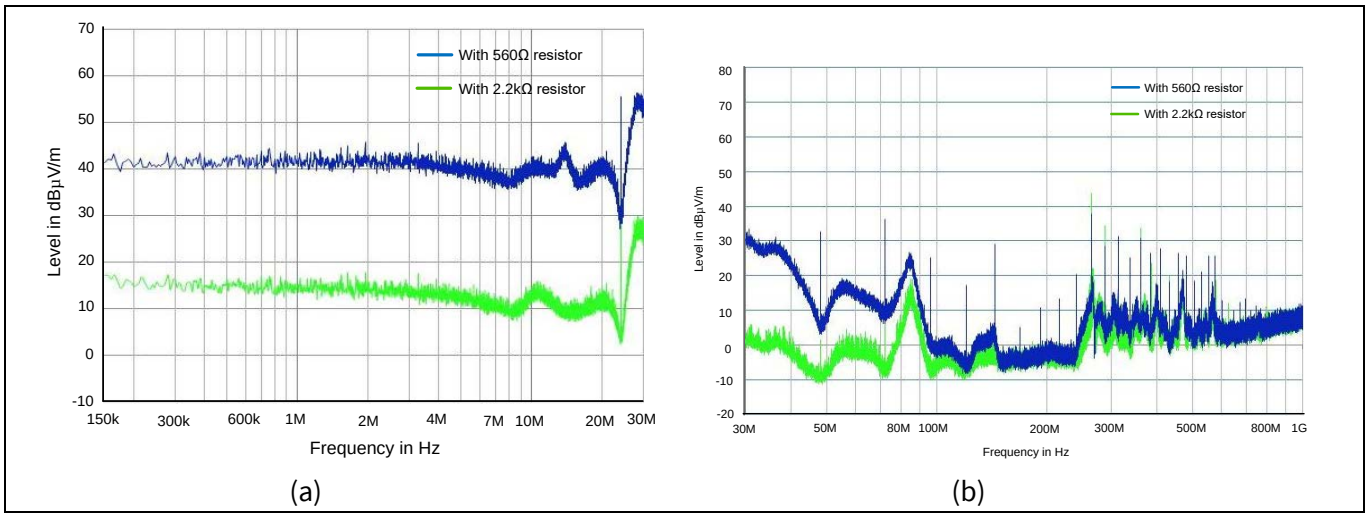


Figure 18 直列抵抗の効果

トレース長が短くなるため、直列抵抗をトレースルーティングの方向に合わせるとよいでしょう。CAPSENSE™アプリケーションの場合、トレースの長さを最小限に抑え、すべてのセンサーで可能な限り等しくすることが不可欠です。これにより、センサートレースによって追加される寄生容量が最小限に抑えられ、センサー間でのこのような静電容量の変動も最小限に抑えられます。

5.2.2 適切なグランドの確保

グランドプレーンは、全体的なグランドインピーダンスを低下させる可能性があるため、高周波のグランドバウンスを低減します。したがって、各センサーラインの適切な GND リターンパスを確保してください。電流がループを流れるため、これは重要です。高速信号の適切なリターンパスがない限り、リターン電流はより長いリターンパスを流れてより大きなループを形成します。これにより、相互インダクタンスが発生するため、信号やその他の信号に信号の問題が発生する可能性があります。IC の下のソリッド GND プレーンと、CAPSENSE™ボタン/トレースが存在するハッチングされたグランドパターンを使用します。グランドフィルの一般的なハッチングは、最上層で 25 パーセント (7mil の線、45mil の間隔)、最下層で 17 パーセント (7mil の線、70mil の間隔) です。多層基板を選択することを推奨します。4

層以上のボードを使用している場合は、地面の完全な層を提供できます。これにより、地面のデバウンスが大幅に減少するため、放射量をさらに削減できます。

デバイスパッケージに高周波電流ループが含まれている場合、エネルギーは磁場を介してデバイスから結合することもできます。磁束がデバイス内に電流ループを形成して、デバイス外の回路ループにリンクする可能性があります。この相互インダクタンスにより、外部ループに不要な電圧が発生する可能性があります。同様に、外部磁束が内部回路ループに不要な電圧を誘導する可能性があります。電力と信号のループ領域をできるだけ小さくすることで、磁場の結合を最小限に抑えることができます。できるだけ多くのビアですべての地面を繋ぎます。これにより、全体的な接地インピーダンスが低下します。

クロックおよび発振回路に使用されるような高周波トレースは、2 本の接地線に含まれている必要があります。これにより、クロストークが発生する結合がないことが保証されます。可能な限り、別々のグランドプレーンと電源プレーンを使用してください。

5.2.3 V_{DD} への適切なフィルタ

LPF は、EMC の高周波問題のほとんどを軽減するのに役立ちます。VDD の場合、複数の IC が共通の電源を共有する可能性があるため、電源から IC へのノイズとその逆のノイズを効果的に分離するため、一般に pi フィルタを推奨します。

デバイスのデータシートで推奨されているようにデカップリングコンデンサーを適切に使用すると、伝導性エミッションの問題を制限できます。さらに保護するためには、受動フィルタを使用できます。フィルタは効果的に放出される導電性ノイズを制限するだけでなく、システムにノイズが入らないようにします。したがって、システムの伝導ノイズ耐性が向上します。pi フィルタは単純な双方向 LPF です。フィルタの双方向性は非常に重要です。供給ノイズが敏感な部品に影響を与えるのを防ぐだけでなく、部品自体のスイッチングノイズが電源プレーンに結合して戻るのを防ぐこともできます。

5.2.4 デカップリングコンデンサー

デカップリングコンデンサーを使用して、電源レールの電圧を安定させます。デカップリングコンデンサーは、目的のデバイスのできるだけ近くに配置し、電流が流れるようにします。デカップリングコンデンサーをデバイスのグランドに直接接続します。**Figure 19** に、デカップリングコンデンサーを適切に配置する例を示します。デカップリングコンデンサーは、最速の信号遷移の半分までの周波数をバイパスする必要があるように選択する必要があります。

適切なデカップリングの重要な側面を以下に示します。

- チップから 1 インチ以内の大きな電解コンデンサー (通常は 10 µF～100 µF)
  - このコンデンサーの目的は、回路の瞬間的な電荷要件をローカルに供給するための電荷のリザーバであるため、電荷がパワートレースのインダクタンスを通過する必要はありません。
- チップの電源ピンに物理的にできるだけ近い小さいコンデンサー (標準。0.01 µF～0.1 µF)
  - このコンデンサーの目的は、高周波ノイズをチップから遠ざけることです。
- すべてのデカップリングコンデンサーは、インダクタンスを最小限に抑えるために、ビアまたは短いトレースを介して大面積の低インピーダンスグランドプレーンに接続する必要があります。
- オプションで、供給ピンと直列の小さなフェライトビーズ。
  - システム内のノイズを局所化します。
  - 外部高周波ノイズを IC から遠ざけます。
  - 内部で生成されたノイズがシステムの他の部分に伝播するのを防ぎます

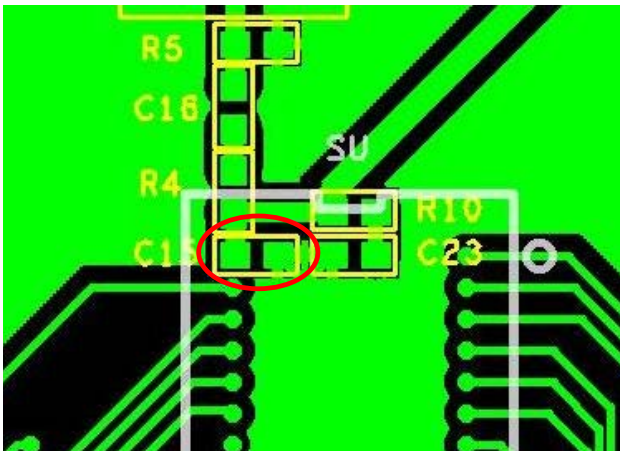


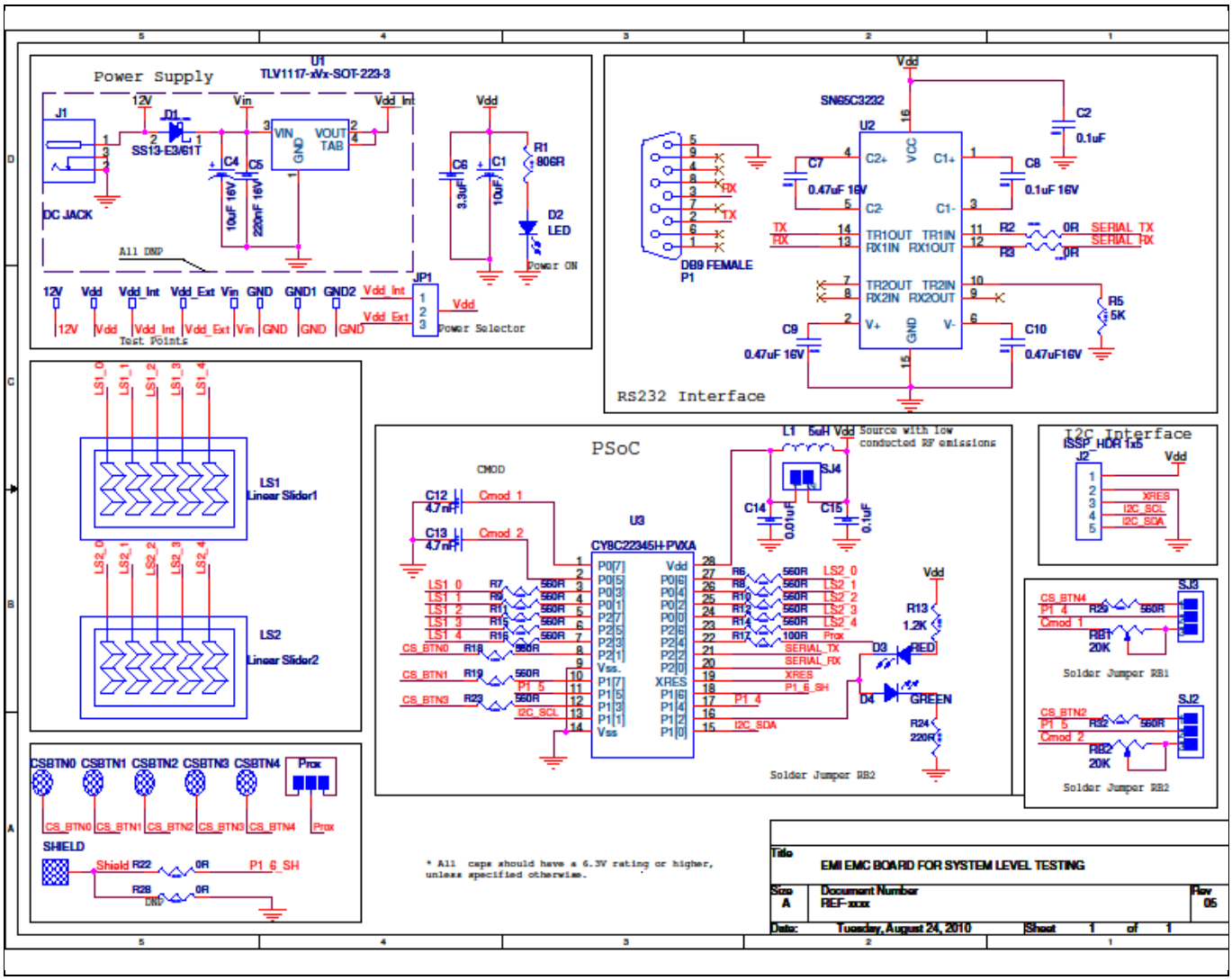
Figure 19　デカップリング コンデンサーの配置

6 まとめ

このアプリケーションノートに示されている実践は、エンジニアがシステムを設計し、システムの放射レベルを改善するのに役立つようにアプリケーションを構成するのに役立ちます。しかし、放射量は、上記の複数のパラメーターによって引き起こされる可能性があります。したがって、適切な組み合わせを作成することは、自動車分野での厳しい放射レベルを克服するのに役立ちます。

7 付録 A

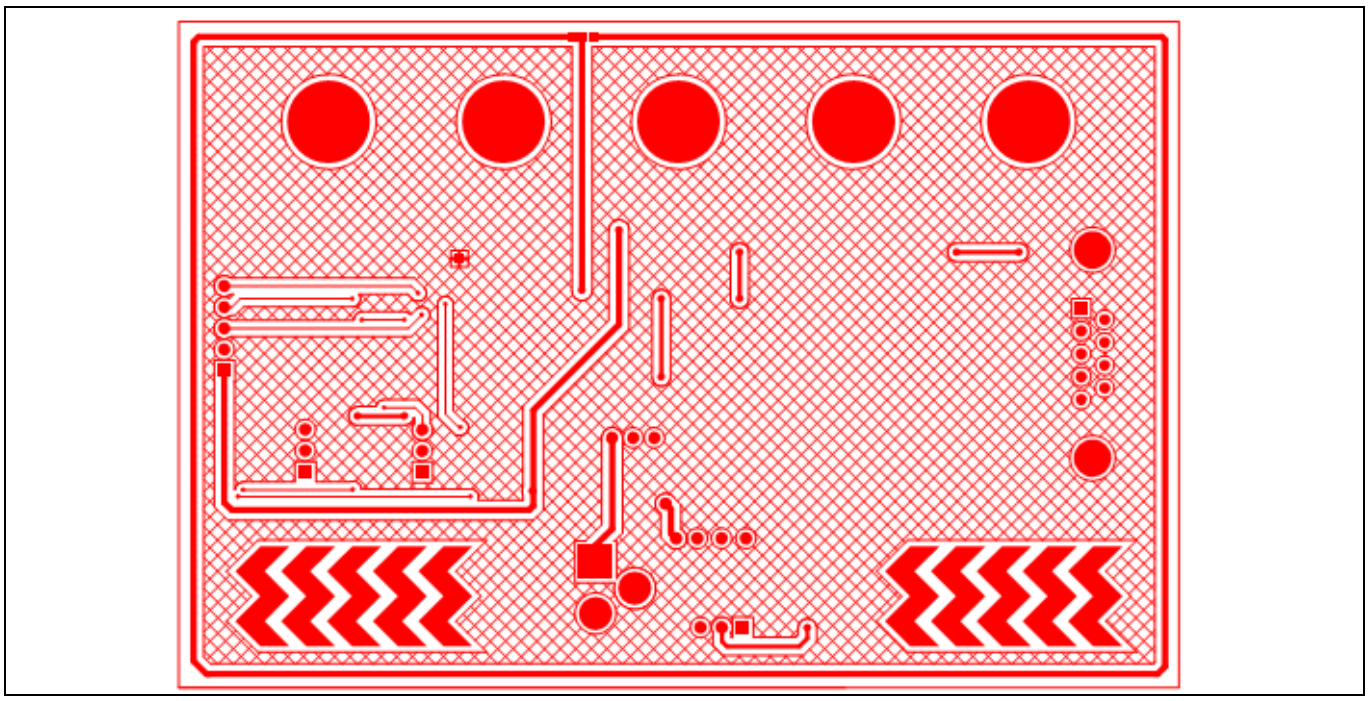
7.1 テストボードの回路図



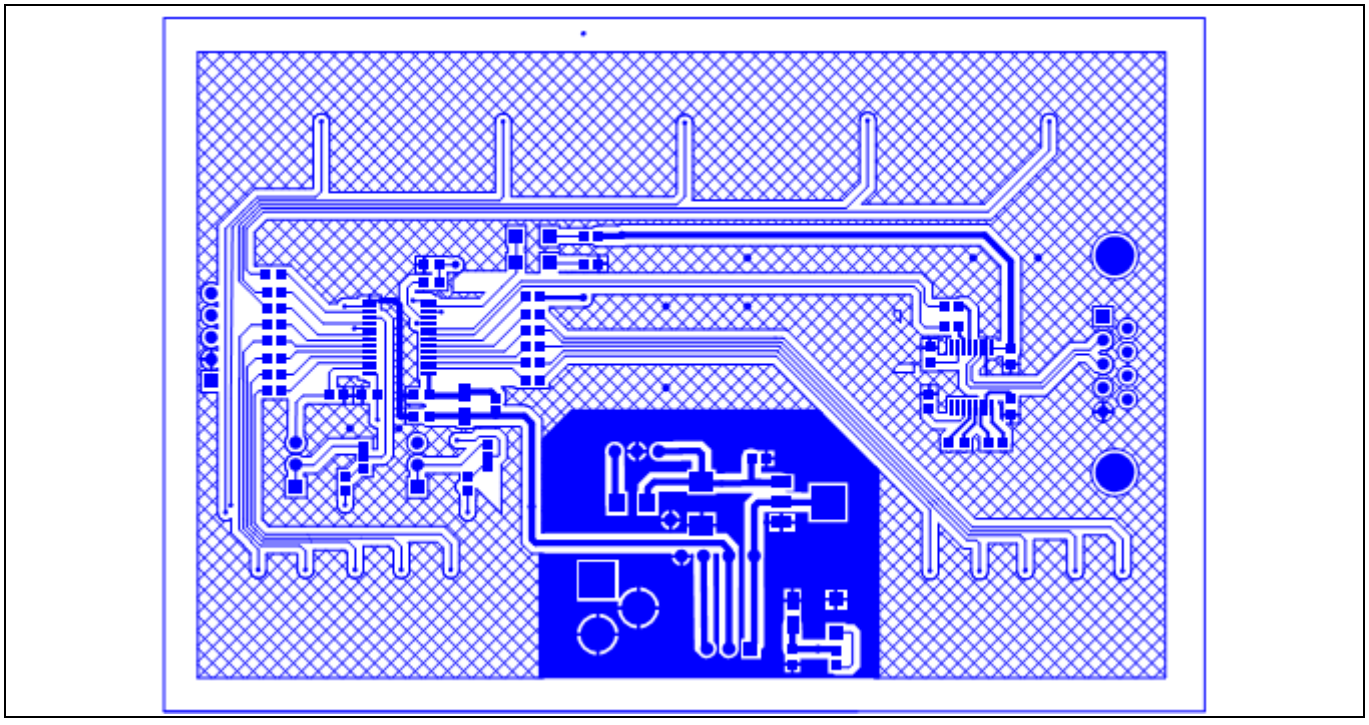
8 付録 B

8.1 PCB レイアウト

8.1.1 上層



8.1.2 下層



改訂履歴

Document version	Date of release	Description of changes
**	2021-10-01	本版は英語版 001-72362 Rev. B について、CYPRESS DEVELOPER COMMUNITY の参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2021-10-01
Published by
Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2021 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?
Go to www.cypress.com/support

Document reference
002-34066 Rev. **

重要事項
本文書に記載された情報は、いかなる場合も、条件または特性の保証とみなされるものではありません（「品質の保証」）。本文に記された一切の事例、手引き、もしくは一般的価値、および／または本製品の用途に関する一切の情報に関し、インフィニオンテクノロジーズ（以下、「インフィニオン」）はここに、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

さらに、本文書に記載された一切の情報は、お客様の用途におけるお客様の製品およびインフィニオン製品の一切の使用に関し、本文書に記載された義務ならびに一切の関連する法的要件、規範、および基準をお客様が遵守することを条件としています。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

本製品、技術、納品条件、および価格についての詳しい情報は、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください（**www.infineon.com**）。

警告事項
技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。