

Application Note

BAW と水晶発振器の放エミッションの比較



Kevin Ginunas, McKenna Strambi, Sandra Saba, Harish Ramesh

概要

今日の車載および産業用アプリケーションのエレクトロニクス製品は、さまざまな要因から、厳格な CISPR-32 放射エミッション規格への合格に対して、むずかしい課題に直面しています。より電力密度の高い電源、より高速なデジタル回路、より小型のフォームファクタによる PCB レイアウト、およびシールドの低減によるコスト削減が求められ、この各要因が電磁干渉レベルの増加を引き起こしています。クロック製品とタイミング製品は、システムレベルの電磁波性能に重要な影響を与えます。特に、放射エミッションを最小化することは、適切なシステム設計にとって不可欠な要素です。このアプリケーションノートでは、テキサス・インスツルメンツ (TI) の CDC6C バルク弾性波 (BAW) 発振器ファミリーをご紹介します。技術的なバリエーションについて解説するとともに、3 つの従来型水晶クロック水晶発振器に対する放射エミッション性能を評価します。

目次

1 はじめに.....	2
2 CDC6C BAW 発振器ファミリー.....	2
3 放射エミッション テスト結果.....	4
4 まとめ.....	8
5 参考資料.....	9

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

新製品がリリースされた場合、多くの産業分野のお客様にとって、CISPR-32 放射エミッションの許容意をクリアすることは、特に HVAC (エアコン) やモータードライブのようなアプリケーションでは、極めて重要です。クロック製品とタイミング製品は、厳格なクラス B 制限を満たすうえで重要な役割を果たします。放射エミッションレベルが低い発振器部品を選択することで、設計に余裕が生まれ、周波数帯域全体のさまざまなポイントで、スプリアスのピーク振幅が低減されます。

このアプリケーションノートでは、BAW 共振器技術を採用した TI の CDC6C 発振器について説明し、デバイスの各バリエーションにおける機能の違いについて解説します。次に、CDC6C の放射エミッション性能を分析し、現在入手可能な水晶クロック水晶発振器と比較して評価を行います。CISPR-32 プリコンプライアンステストのセットアップを使用して、BAW と水晶発振器の両方を 3 つの周波数でテストし、30MHz ~ 1GHz の周波数帯域全体でピークスプリアス値を確認します。この方法は、他の CISPR 規格にも適用可能です。

2 CDC6C BAW 発振器ファミリ

バルク弾性波 (BAW) 共振器技術は、高精度および超低ジッタのクロックを、その他の回路が含まれているパッケージに直接統合できる微小共振器技術です。BAW は、2 つの電極の間に圧電材料を挟んだ構造で、電気エネルギーを機械・音響エネルギーに変換し、信頼性の高い振動を生成し、高周波で安定したクロック出力を実現します。詳細については、『[TI BAW 共振器テクノロジーについて知っておくべき 5 つの重要事項](#)』、技術記事をご覧ください。

CDC6C は、BAW 共振器技術を採用しており、低ジッタ、低消費電力の整数出力分周器 (IOD) と LVCMOS 出力ドライバを搭載しています。これにより、250kHz ~ 200MHz の範囲で周波数出力を柔軟に設定できます。[図 2-1](#) に、CDC6C の内部ブロック図の詳細を示します。この中には、低ノイズの LDO (低ドロップアウト) レギュレータが複数内蔵されており、電源ノイズを低減し、クリーンなクロック出力を供給します。内部の高精度温度センサは、周波数制御ロジックブロックに給電して、発振周波数の変動を抑制します。これらの周波数補正により、CDC6C は内部のすべての誤差源と 10 年間の経年劣化を考慮して、出力周波数を $\pm 50\text{ppm}$ 以内に維持することができます。

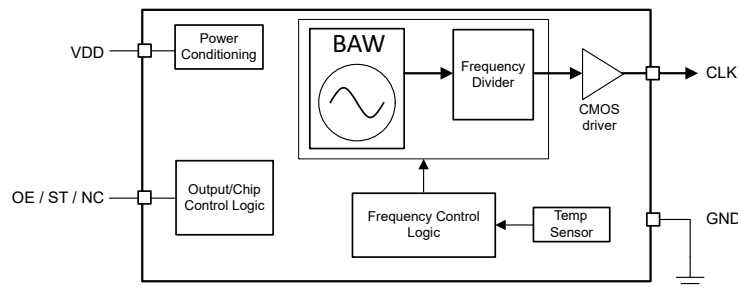


図 2-1. CDC6C の内部ブロック図

CDC6C BAW 発振器は、業界標準の小型パッケージ (3.2mm×2.5mm、2.5mm×2.0mm、2.0mm×1.6mm、および 1.6mm×1.2mm) で提供されます。パッシブの水晶振動子とは異なり、CDC6C 発振器は外付けのチューニングコンデンサを必要としないため、[図 2-2](#) に示すように、PCB サイズと BOM コストの両方を削減できます。

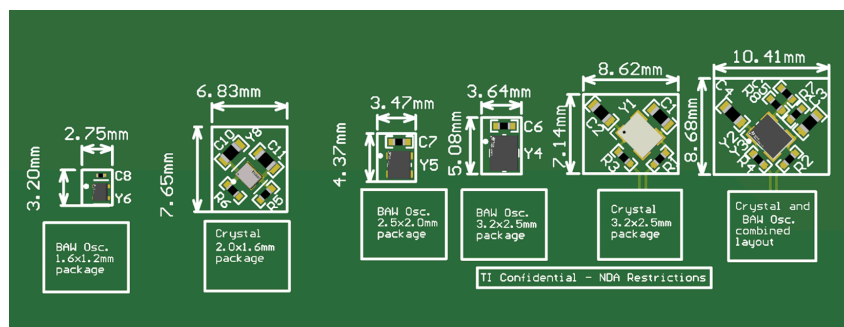


図 2-2. CDC6C 発振器が利用可能なパッケージとレイアウト例

CDC6C は、市販の多くのシングルエンド 4 ピン水晶発振器のランドパターンと互換性のあるピンとパッケージなので、多くの場合、周囲のコンポーネントを変更することなく、そのまま置き換えることができます。詳細はこちらをご覧ください：
『[BAW 発振器の汎用ランドパターン](#)』

CDC6C には、周波数の柔軟性、温度安定性、電源ノイズ耐性など、多くの利点があります。以下の表はこれらの利点をまとめたもので、一部の水晶発振器に存在する設計上の制約を BAW 発振器が解決した方法をご紹介します。以下のアプリケーションノートの追加情報：

- テキサス インスツルメンツ、『[水晶発振器に対するスタンドアロン BAW 発振器の利点](#)』アプリケーション ノート
- 『[TI の BAW 発振器の振動と機械的衝撃性能](#)』、アプリケーションノート
- 『[高信頼性 BAW 発振器の MTBF と FIT \(故障率\) レートの計算](#)』アプリケーション ノート

表 2-1 に、周波数のフレキシビリティ、温度安定性、振動と機械的衝撃に対する感度の低減に関して従来の水晶発振器と比較した場合の BAW の利点の概要を示します。

表 2-1. BAW 共振器と水晶振動子の比較

パラメータ	水晶振動子	BAW	優位
周波数の柔軟性	出力周波数は、一度カットすると変更できない機械的パラメータによって制御されます。	電源の制約が緩和され、単一の IC が、ワンタイムプログラミング (OTP) により広範な周波数帯域をサポートします。	BAW 発振器
温度安定性	補償されていない水晶発振器の周波数と温度の応答は、ppm の変動が大きい放物線曲線に似ています。	±10ppm (温度範囲とは無関係に温度安定性を維持)	BAW 発振器
振動	10ppb/g を超える場合がある。通常は MIL-STD に合格しない。	一般的な値は 1 ppb/g 。MIL_STD_883F 2002 条件 A に合格した方法	BAW 発振器
機械的衝撃	通常は MIL-STD に合格しない。2,000g で故障する可能性がある。	最大 1500g まで 0.5ppm 未満の変動。MIL_STD_883F 手法 2007 条件 B に合格した方法	BAW 発振器

表 2-2 に、電源ノイズの低減、故障レートの低減、周波数のフレキシビリティ、信頼性の高いサプライチェーン、共通ランディングパターンにおける BAW の利点について、その概要を示します。

表 2-2. BAW 発振器により水晶発振器の制限を解決

パラメータ	水晶発振器の制限	BAW 発振器の設計
電源ノイズ	通常、LDO は内蔵されていない。	内蔵 LDO により、電源ノイズ除去性能を改善 (500kHz 時、50mV のリップルに対し -72dBc PSRR)
平均故障間隔	3300 万時間 (動作時間)	33 億時間 (動作時間)
周波数の柔軟性	水晶共振器(水晶振動子)による制限；異なる周波数には、異なる水晶共振器(水晶振動子)が必要となります	LVCMOS の各製品は、250kHz ～ 200MHz の任意の周波数に対応します
サプライ チェーン	各種コンポーネント(共振器、ASIC、パッケージ)のビルドをサポートする複数のサードパーティー製品	TI が社内で組み込み、組み立て、梱包しています
ランド パターン	ランドパターンはサプライヤーによって異なります	汎用・業界標準のフットプリント

3 放射エミッション テスト結果

テスト対象の発振器デバイスごとに、低ノイズの電源基板から 3.3V の入力電圧を印加しました。図 3-1 に、電源と CDC6C EVM 発振器ボードのテスト設定のほか関連する接続を示します。

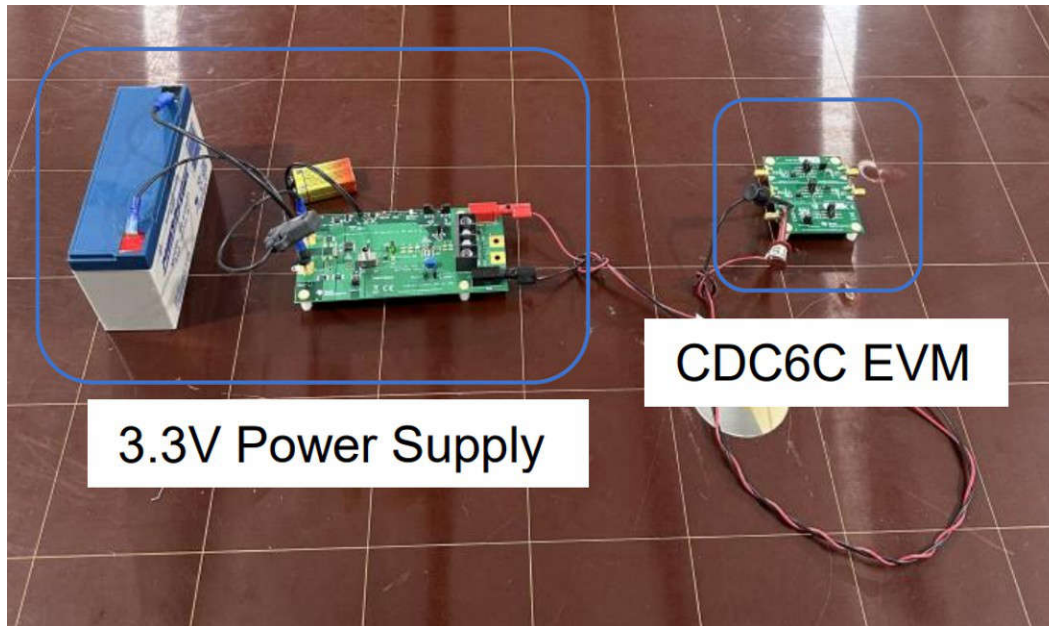


図 3-1. 放射エミッションテストのセットアップ 回路基板の接続状況

図 3-2 に、3.3V 電源のフィルタリング回路を示します。この回路は、低ノイズ LDO を 1 個搭載しており、CDC6C EVM の発振器ボードに 3.3V の電源を供給します。このボードは、ノイズフィルタリング用に追加のバイパスコンデンサを搭載しています。

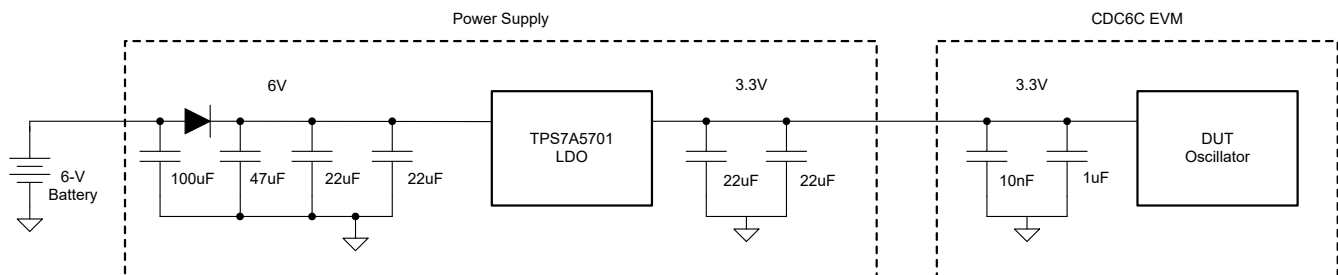


図 3-2. 放射エミッションテストのセットアップ回路図

CDC6C と他社の発振器を CDC6C EVM にはんだ付けし、一度に 1 個ずつテストしました。放射エミッションデータは、水平アンテナを使用して、プレコンプライアンス用の CISPR-32 放射エミッションセットアップから収集しました。表 3-1 に、テストした各デバイスと関連する周波数を示します。

表 3-1. テスト対象デバイス

メーカー	部品番号	周波数
TI	CDC6CE025000EDLFR	25MHz
TI	CDC6CE050000EDLER	50MHz
TI	CDC6CE024000EDLER	24MHz
A 社	A 社	25MHz
B 社	B 社	50MHz
C 社	C 社	24MHz

図 3-3 および図 3-4 に、25MHz デバイス、競合他社である A 社の水晶発振器、CDC6CE025000EDLFR BAW 発振器について、周波数全体にわたるそれぞれの放射エミッション性能を示します。表 3-2 には、テストを行った水晶発振器と比較すると、TI の BAW 発振器による 1dB ~ 4dB の放射エミッション性能の改善が見られます。

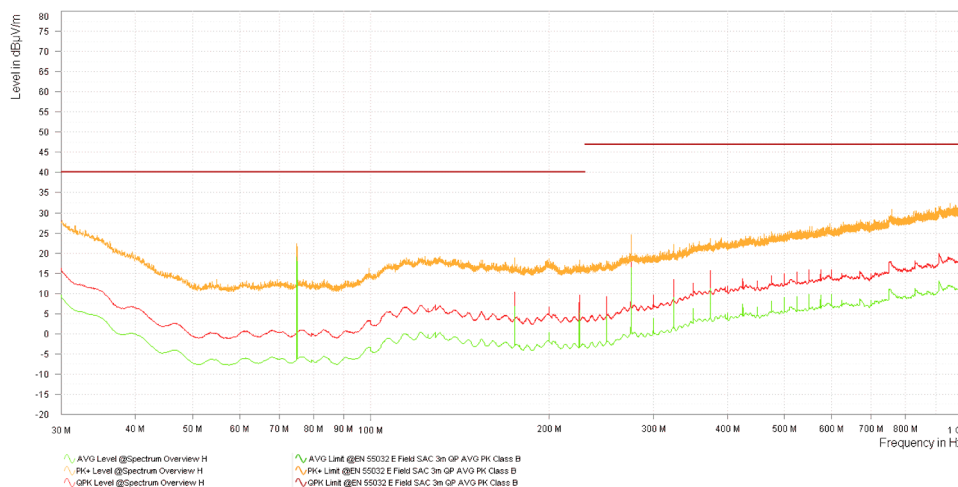


図 3-3. A 社との比較:水晶発振器

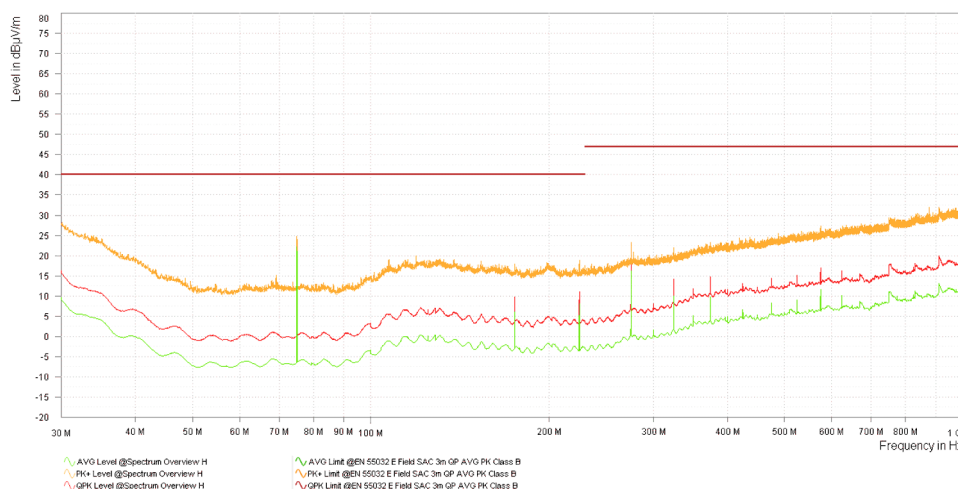


図 3-4. CDC6CE025000EDLFR (BAW 発振器)

表 3-2. A 社と CDC6CE025000EDLFR のピーク放射エミッションの比較

周波数	A 社	CDC6CE025000EDLFR	TI Delta
75MHz	23dB	25dB	+2dB 悪化
175MHz	11dB のベースラインを上回るスプリアスなし	10dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-1dB 改善
225MHz	10dB のベースラインを上回るスプリアスなし	11dB のベースラインを上回るスプリアスなし	+1dB 悪化
250MHz	9dB のベースラインを上回るスプリアスなし	5dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-4dB 改善
275MHz	25dB	24dB	-1dB 改善

図 3-5 と図 3-6 に、50MHz デバイス、B 社の水晶発振器、CDC6CE050000EDLER BAW 発振器について、周波数全体にわたるそれぞれの放射エミッション性能を示します。表 3-3 には、テストを行った水晶発振器と比較すると、TI の BAW 発振器による 2dB ~ 6dB の放射エミッション性能の改善が見られます。

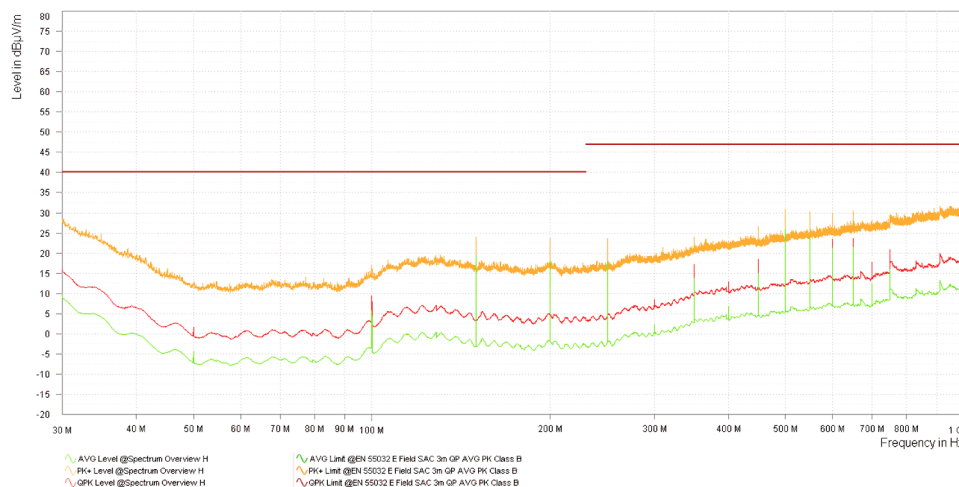


図 3-5. B 社との比較:水晶発振器

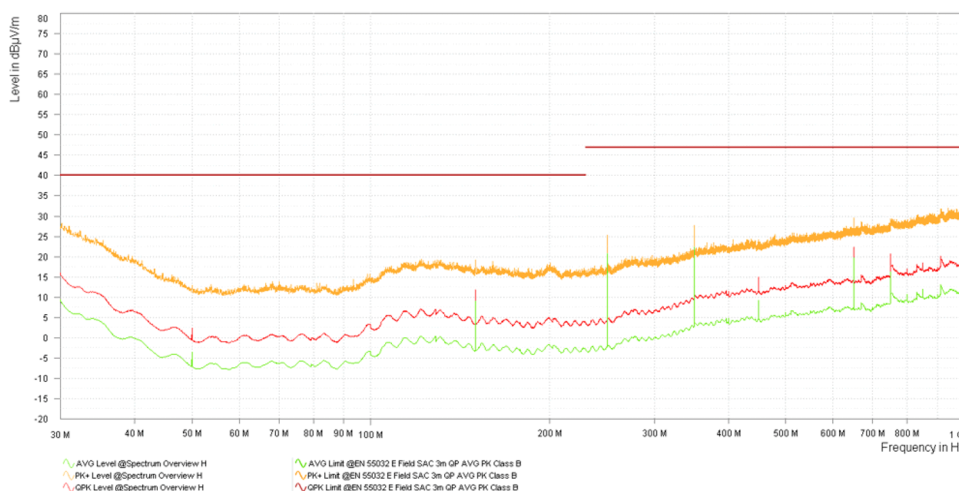


図 3-6. CDC6CE050000EDLER (BAW 発振器)

表 3-3. B 社と CDC6CE050000EDLER のピーク放射エミッションの比較

周波数	B 社	CDC6C050000EDLER	TI Delta
100MHz	17dB	15dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-2dB 改善
150MHz	24dB	19dB	-5dB 改善
200MHz	24dB	18dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-6dB 改善
250MHz	24dB	25dB	+1dB 悪化
350MHz	24dB	28dB	+4dB 悪化
450MHz	27dB	24dB	-3dB 改善
500MHz	31dB	25dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-6dB 改善
550MHz	30dB	26dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-4dB 改善
600MHz	30dB	26dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-4dB 改善
650MHz	30dB のベースラインを上回るスプリアスなし	30dB のベースラインを上回るスプリアスなし	同等

図 3-7 と図 3-8 に、24MHz デバイス、C 社の水晶発振器、CDC6CE024000EDLER BAW 発振器について、周波数全体にわたるそれぞれの放射エミッション性能を示します。表 3-4 には、テストを行った水晶発振器と比較すると、TI の BAW 発振器による 3dB ~ 18dB の放射エミッション性能の改善が見られます。

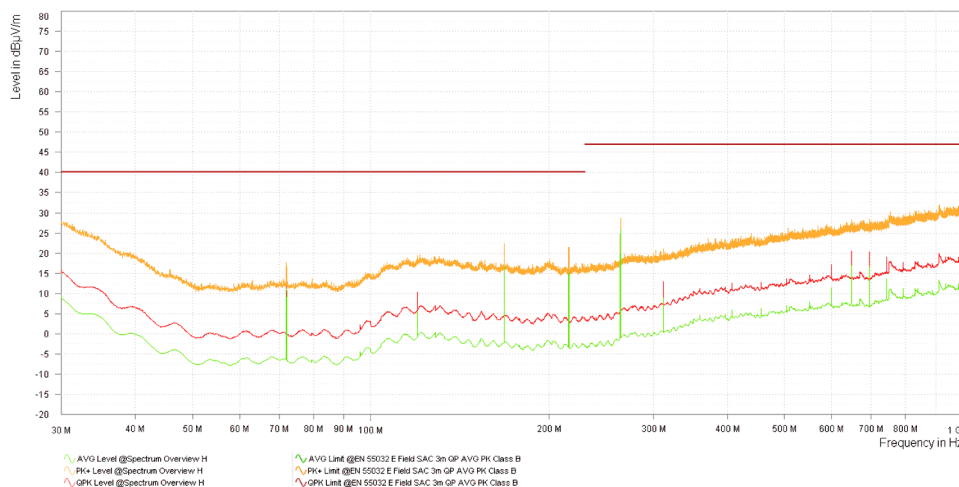


図 3-7. C 社との比較:水晶発振器

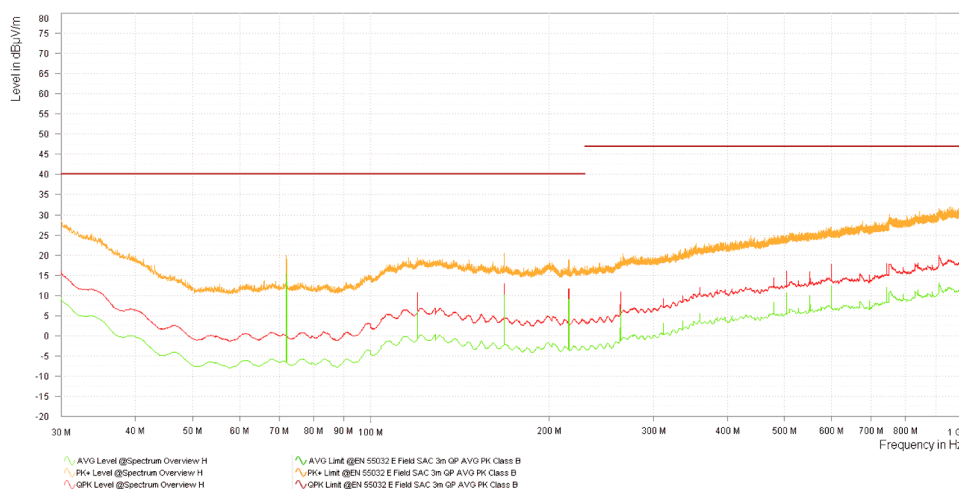


図 3-8. CDC6CE024000EDLER (BAW 発振器)

表 3-4. C 社と CDC6CE024000EDLER のピーク放射エミッションの比較

周波数	C 社	CDC6CE024000EDLER	TI Delta
72MHz	18dB	20dB	+2dB 悪化
120MHz	11dB のベースラインを上回るスプリアスなし	11dB のベースラインを上回るスプリアスなし	同等
168MHz	23dB	20dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-3dB 改善
216MHz	22dB	19dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-3dB 改善
264MHz	29dB	11dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-18dB 改善
312MHz	13dB のベースラインを上回るスプリアスなし	9dB のベースラインを上回るスプリアスなし	-4dB 改善

結果全体を分析すると、平均的な TI の CDC6C BAW 発振器は、テストを行った従来の水晶クロック水晶発振器に比べて放射エミッションレベルが低くなることが示されました。

4 まとめ

テキサス・インスツルメンツの CDC6C BAW 発振器ファミリを使用すると、市販されている一部の水晶クロック発振器と比べ、実現できる放射妨害 (エミッション) レベルが改善されます。このアプリケーションノートでは、このことについて説明しています。CISPR-32 クラス B 放射エミッション制限規格に合格するには、設計する際に追加の検討事項が必要ですが、CDC6C によってシステムレベルの EMI 性能を向上させることができます。

5 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[水晶発振器に対するスタンドアロン BAW 発振器の利点](#)』アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『[TI の BAW 共振器テクノロジーについて知っておくべき 5 つの重要事項](#)』、技術記事
- テキサス インスツルメンツ、『[高信頼性 BAW 発振器の MTBF と FIT レートの計算](#)』アプリケーションノート
- テキサス インスツルメンツ、『[TI 製 BAW 発振器の振動および機械的衝撃性能](#)』、アプリケーションノート
- テキサス インスツルメンツ、『[LMK6D、LMK6P、LMK6H BAW 発振器の汎用ランドパターン](#)』アプリケーションノート

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated