

## MEMS および水晶ベース発振器の電磁場感受率の比較

### 目次

1	はじめに.....	1
2	EMI に対する電磁場感受率の試験.....	2
3	実験結果.....	7
4	EMI 感度低下のための発振器の設計.....	8
5	結論.....	9
6	参考資料.....	9

### 1 はじめに

電源、電線、雷、コンピュータ装置および電子部品はすべて、電子部品の性能に影響を及ぼす恐れのある電磁妨害 (EMI) の潜在源です。EMI は、単一システムの電気経路を経由してあるコンポーネントから他のコンポーネントに伝わったり、放送波を通じて送信されたりする可能性があります。無線周波数 (RF) を経由して通信する必要のあるデバイスは、他の装置を妨害する可能性のある電磁信号を故意に発しますが、電磁信号を発するように設計されていないデバイスであっても、意図せずに EMI ノイズの要因となる場合があります。FCC 規制は、計算装置や電子レンジ等の特定クラスのデバイスからの許容放射量を制限していますが、これは、民生品からの EMI によって電子部品が障害を受けないことを保証するものではありません。ほとんど全ての電子デバイスや電子部品は EMI を生じえるので、タイミングデバイスをはじめとする電子部品への障害を避けるため、回路設計の一部として EMI 発生を考慮することが重要です。

外部 EMI 発生源が存在すると、発振器の位相ノイズおよび位相ジッタが著しく増加する場合があります。基板レベルでのシールドリングやフィルタリングによって発振器に到達する EMI を低減させることはできますが、この方法が常に成功するとは限りません。様々な発振器の電磁場感受率 (EMS) を評価することによって、EMS の一因となる要因を特定することができ、どのようにすれば適切な発振器の設計がクロック性能への EMI の悪影響を最小限にできるかを理解することができます。

## 2 EMI に対する電磁場感受率の試験

放射された EM ノイズは、発振器の位相ノイズ性能に悪影響を及ぼすため<sup>[1][2]</sup>、試験方法は、各被試験デバイス (DUT) を放射 EMI の固定電力に晒し、予め相関が取られたオフセット周波数における増分位相ノイズのスプリアス電力を測定しました。図 1 は、26MHz の水晶発信器について、80MHz の搬送波による EMI ノイズ有無による位相ノイズをプロットしたものです。

発振器の出力周波数に対し、オフセット量 2MHz における位相ノイズスプリアスは、下記のエイリアス周波数の公式を用いて求めることができます。

$$F_{alias} = F_{emi} - N * F_c \dots\dots\dots \text{式 1}$$

$F_{emi}$  = 注入 EMI ノイズの周波数。 $F_c$  = 発振器の公称クロック周波数。N は 1 以上の正の整数。

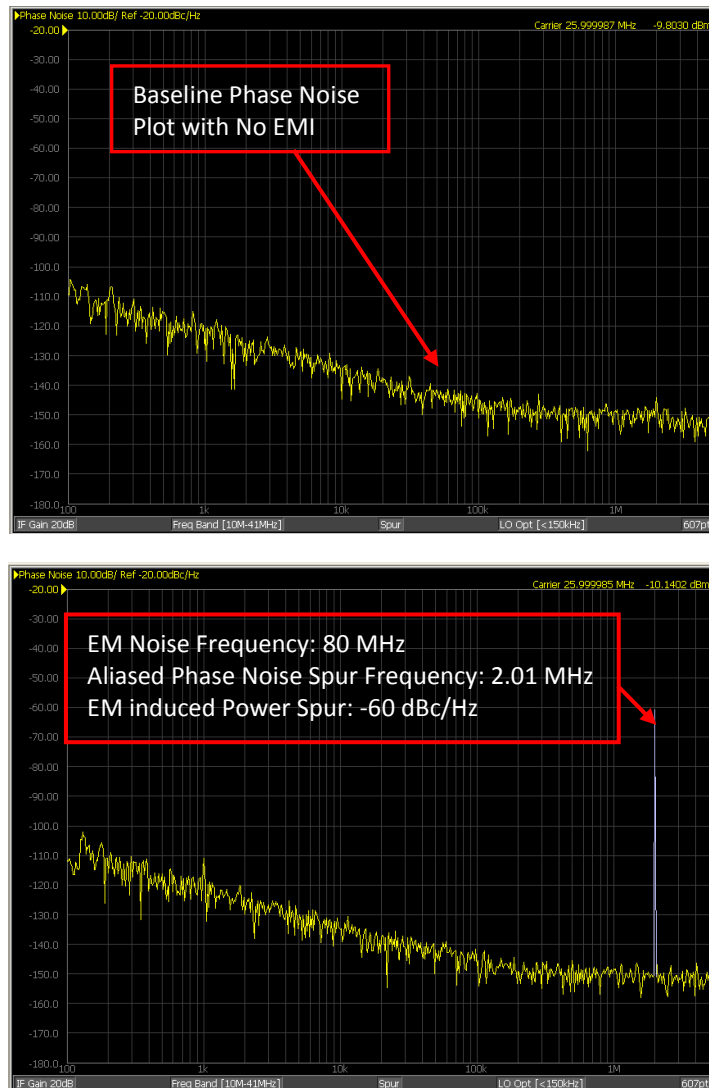


Figure 1: Phase noise of a 26 MHz quartz oscillator without and with EMI noise injection

SiTime は、いくつかの水晶と MEMS ベース発振器について、電磁界互換標準 IEC 61000-4.3 に従い、EMS 試験を行うために公認試験所を利用しました。表 1 に示すように、シングルエンド型および差動型発振器の両方の試験を行いました。IEC6100-4.3 標準<sup>[3]</sup>では、誘導電磁場は DUT において 3V/m の誘起で、搬送周波数帯域は 80MHz~1GHz の範囲で 1%刻みと定めています。本試験は、図 2 に示す配置構成の無響室で行いました。図 3 に示すように、被試験デバイスは、垂直偏波アンテナの軸と一直線になるように配置されています。

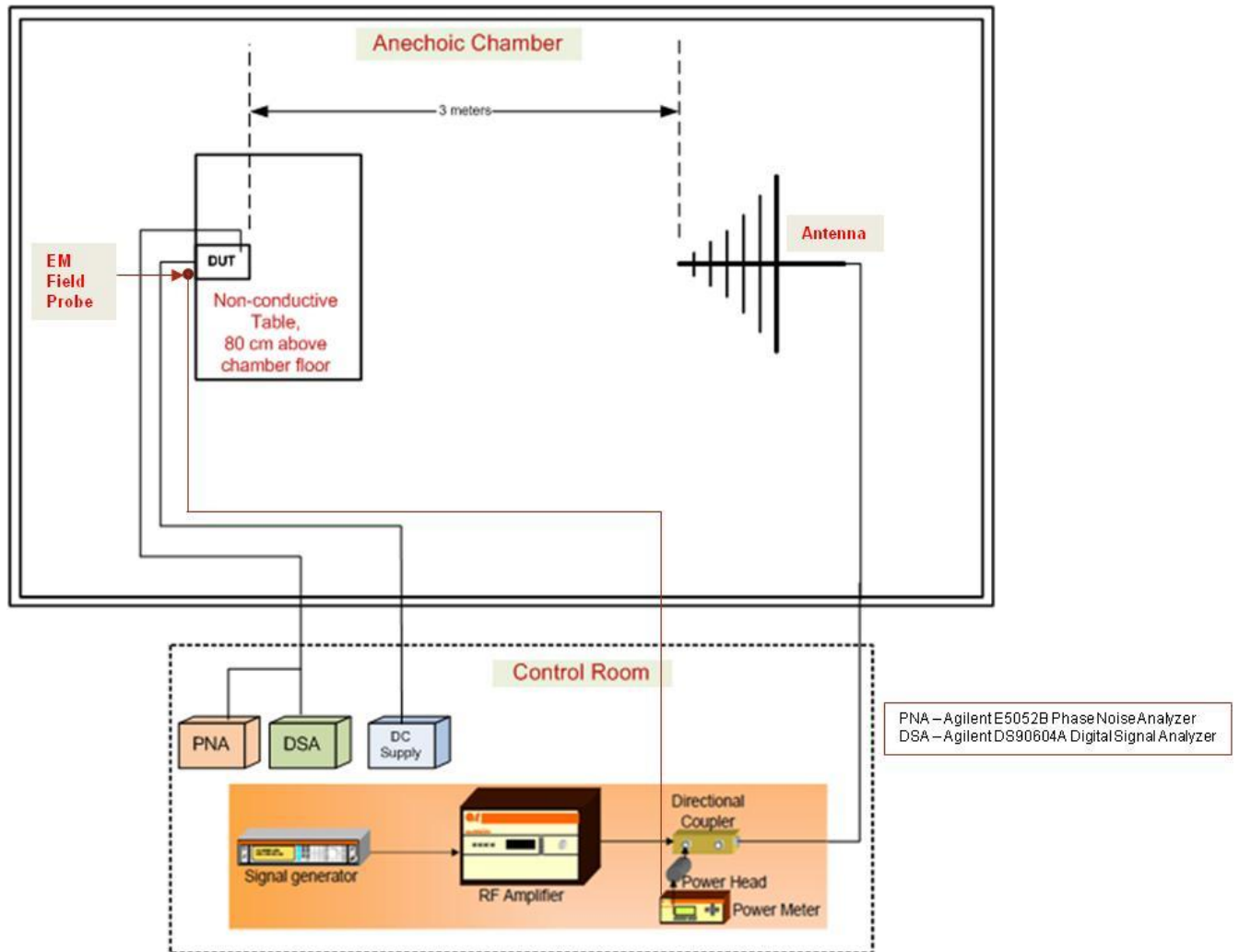


Figure 2: Setup for EMS Testing

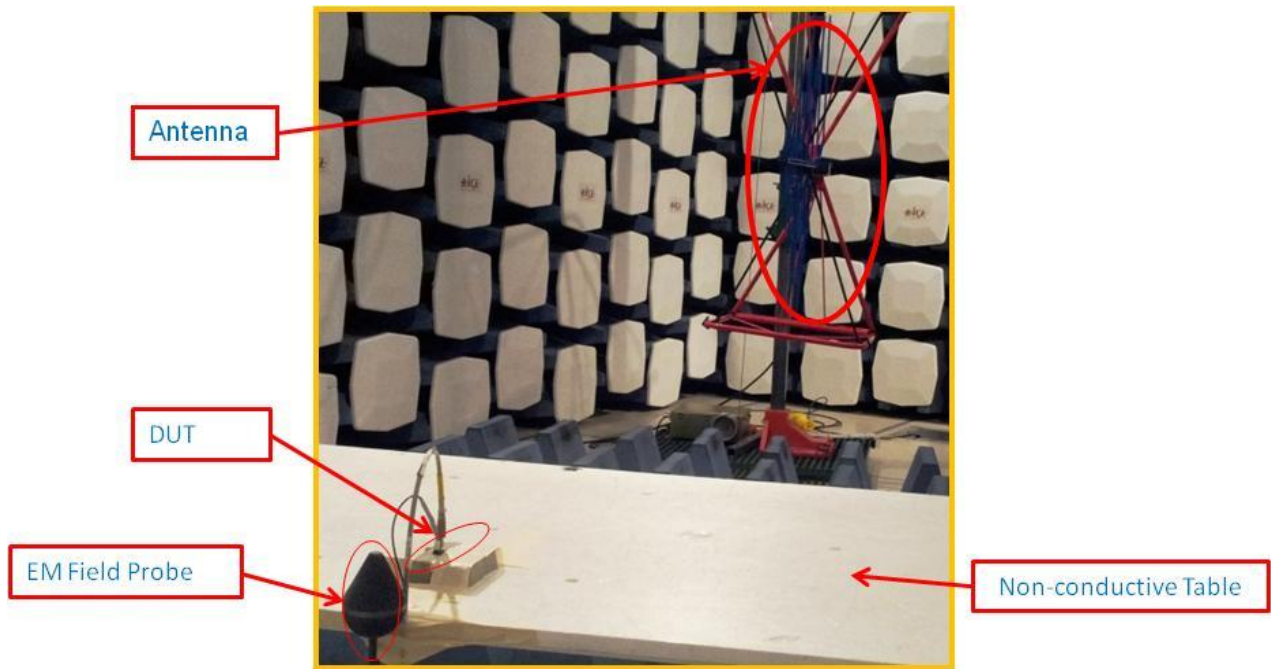
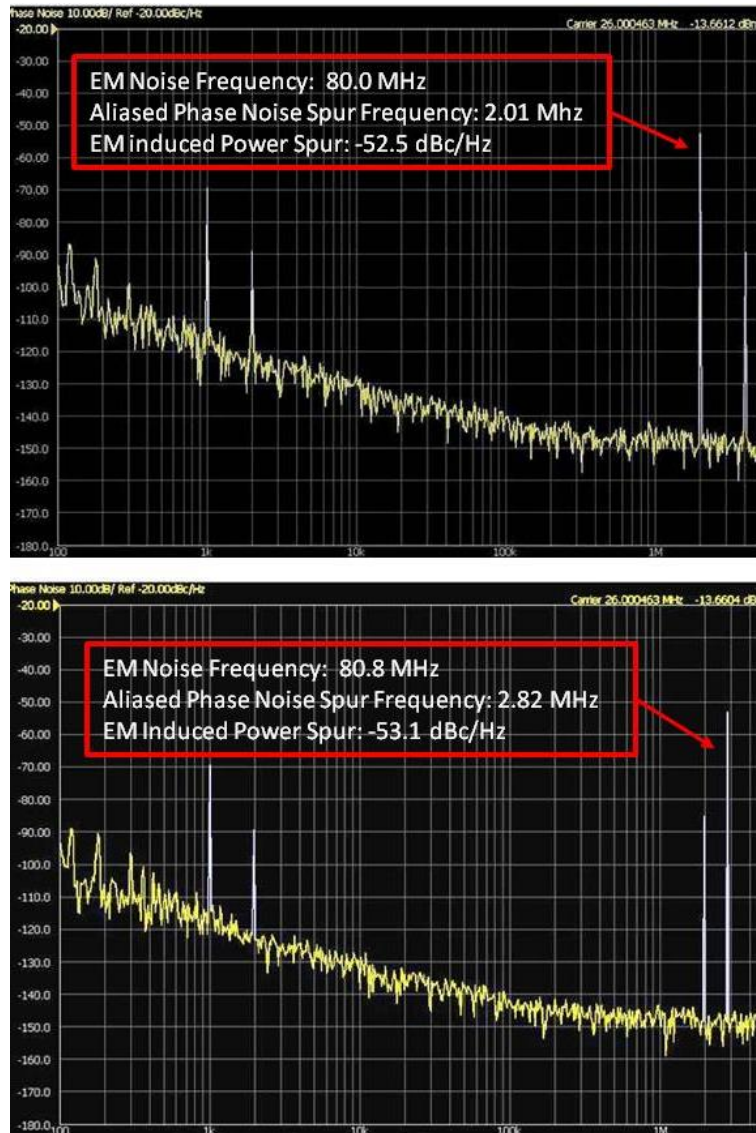


Figure 3: Photo showing the antenna and testing table inside the anechoic chamber



**Figure 4: Noise spur test results for noise generated for 3V/m EM field at 80 and 80.8 MHz in an anechoic chamber for a quartz device**

位相ノイズ分析器は、各被試験デバイスの位相ジッタと位相ノイズを取り込みます。図 4 に示すように、電磁界が誘起される環境下では、電磁妨害によりエイリアスが生じた周波数において位相ノイズプロットがより明白なスプリアスノイズまたは位相スプリアスを示します。図 4 に示す水晶発振器に対して約  $-50\text{dBc/Hz}$  の高振幅位相ノイズスプリアスは、誘導 EMI ノイズの周波数に相当するエイリアス位相ノイズスプリアス周波数に集中しています。これらのスプリアスは、EMI ノイズの周波数の変化に応じてシフトし、周波数スキャンの全範囲において平均電力への相加効果があります。二次ノイズスプリアスは振幅がかなり低く、すべての位相ノイズに対してそれほど強い効果がありません。

各デバイスの EMS を簡潔に数値化するため、式 2 を用いて 80MHz~1GHz のノイズスペリアスの平均電力「P」を計算します。本式では、Sp は各電磁ノイズ周波数に対する EMI 誘導性スペリアスの大きさを示し、N はスキャン上の周波数を示しています。

$$P = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{80MHz}^{1GHz} 10^{Sp/10} \right) \quad \text{式 2}$$

2 つの異なる搬送周波数を用い、様々な市販の水晶発振器と MEMS ベースの発振器の動作に関して EMS 試験を行いました（表 1 参照）。

Table 1. Oscillator devices under test; Single-ended parts (shaded blue) operate at 26 MHz and differential parts (shaded green) operate at 156.25 MHz

Label	Manufacturer	Part number	Technology	Output
SiTime	SiTime	SiT8208AC-22-33E-26.000000	MEMS	LVC MOS
Quartz1	TXC	7Q-26.000MBG-T	TCXO	Clipped sine
Quartz2	Kyocera	KT3225R26000ZAW28TMA	TCXO	Clipped sine
Quartz3	NDK	NT3225SA-26.000000MHZ-G8	TCXO	Clipped sine
SiTime	SiTime	SiT9120AC-1D2-33E156.250000	MEMS	LVPECL
Quartz4	Epson	EG-2102CA156.2500M-PHPAL3	SAW	LVPECL
Quartz5	TXC	BB-156.250MBE-T	3rd overtone	LVPECL
Quartz6	Conner Winfield	P123-156.25M	3rd overtone	LVPECL
Quartz7	AVX Kyocera	KC7050T156.250P30E00	SAW	LVPECL
Quartz8	SiLabs	590AB-BDG	3rd overtone + PLL	LVPECL
MEMS2	Discera	ASFLMPLP-156.25MHZ-LR-T	MEMS	LVPECL

### 3 実験結果

図 5 に示すように、SiTime の差動 MEMS 発振器は競合する差動 MEMS および水晶ベース発振器と比べ、放射電解における電磁波耐性で最大 35 dB (54 倍に相当) 優れていることを平均ノイズスプリアスに関するデータが示しています。図 6 に示すように、SiTime のシングルエンド型発振器は他社製の水晶ベース発振器よりも放射電解における電磁波耐性で最大 12dB (または 4 倍) 優れています。これは、Sitime の MEMS 発振器の一次ノイズスプリアスの幅が水晶発振器のものよりも低いからです。したがって、平均スプリアス電力 (式 2 にしたがって 2 乗和の平方根として計算したもの) はかなり低くなります。

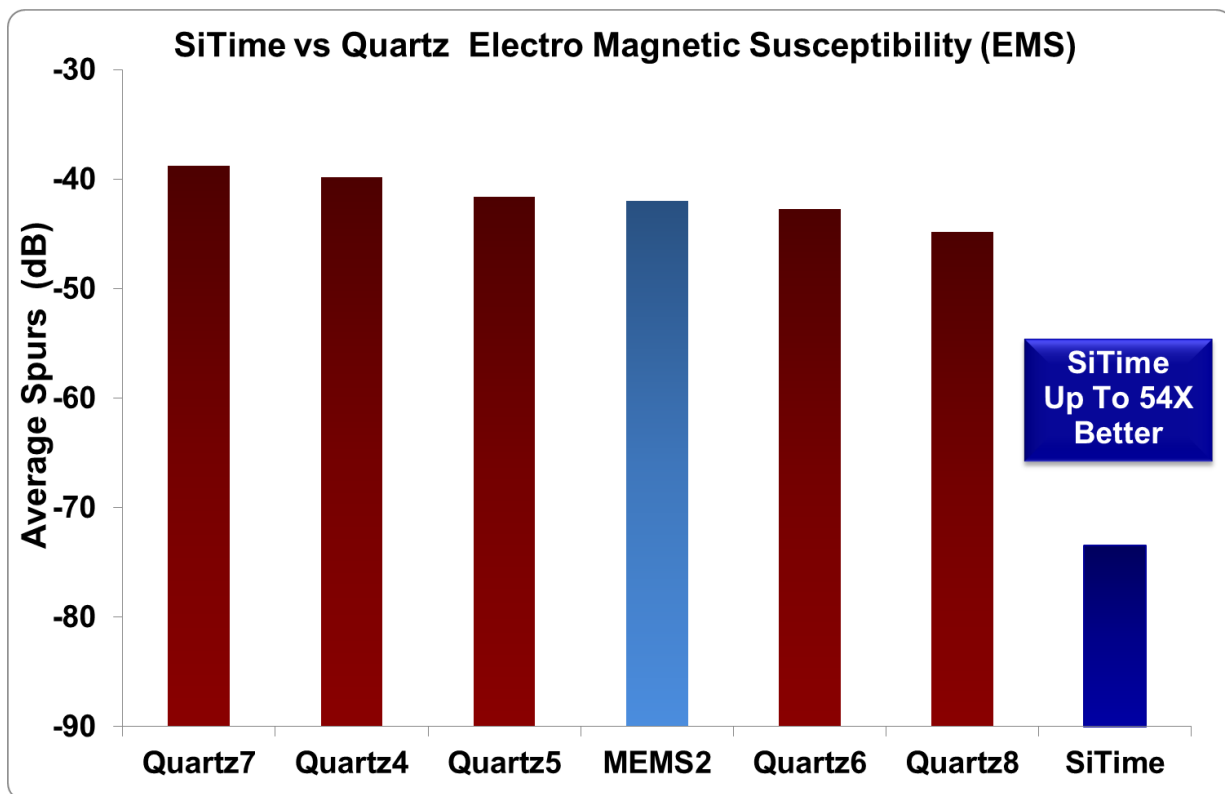


Figure 5: Susceptibility of differential oscillators to radiated electromagnetic field, 80 MHz-1 GHz



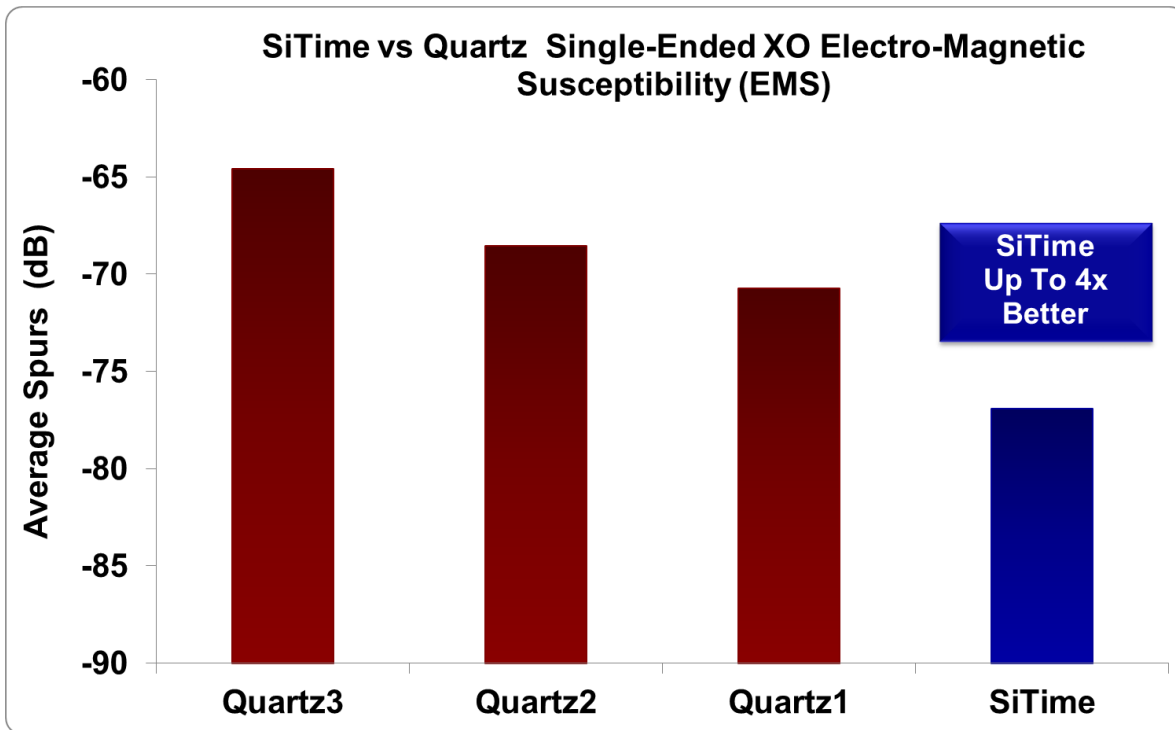


Figure 6: Susceptibility of single-ended oscillators to radiated electromagnetic field, 80 MHz-1 GHz

## 4 EMI 感度低下のための発振器の設計

結果は、プラスチック実装と比較して金属筐体に封止された水晶発振器の方が EMI から当該発振器を保護するのに優れているという予想と一致しません。SiTime の MEMS 発振器はプラスチック実装ですが、EMI 誘導ノイズスプリアスがより低いことを示しています。実装以外の何かによって MEMS ベース発振器と水晶ベース発振器の違いを説明しなければなりません。その答えは、EMI に敏感になり得る振動子または付随する発振器回路にある可能性があります。

水晶は圧電物質であり、機械的振動に反応して電荷を蓄積します。したがって、動作周波数は、クロック信号の信頼性に悪影響を及ぼす不要な EMI 等の入力電気信号の影響を受ける恐れがあります。SiTime のシリコン MEMS 振動子は、静電励起による機械的振動を示すため、必然的に入力 EMI に対して感受性が低くなります。SiTime のシリコン MEMS 振動子は、外部ノイズを排除する高い Q 値によって精密に同調されています。



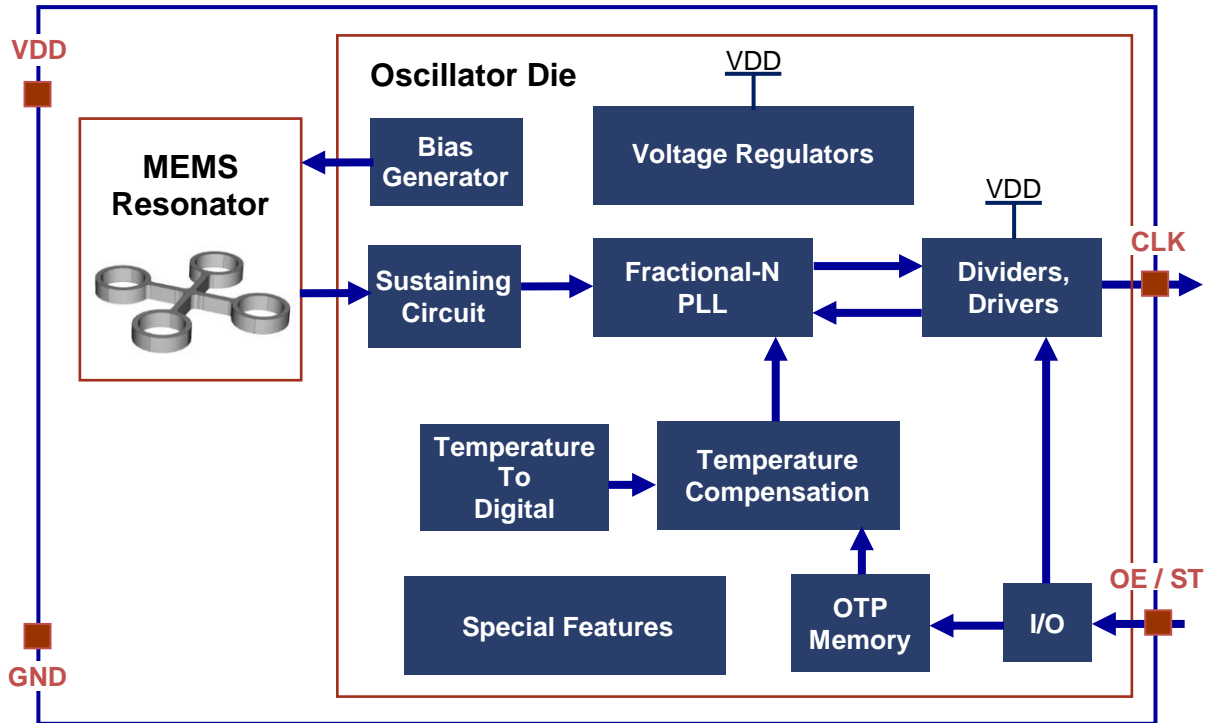


Figure 7: SiTime MEMS oscillator architecture

SiTime の MEMS 発振器に付随する駆動回路は、高レベルの EMI をはじめとする電氣的ノイズの多い状況で性能を発揮するように最適化されたアナログ回路です（図 7 参照）。当該発振器の設計には、本質的にいかなる結合コモンモードノイズも排除する差動回路が含まれています。他の水晶および MEMS 発振器の設計はノイズを抑制するアナログ回路ではなくパッケージにより遮蔽効果に頼っているため、EMI に弱くなっています。

## 5 結論

SiTime の MEMS 発振器は、特にジッタを誘発する外部 EMI 源に対して耐性があります。これは、競合他社の発振器が著しい信号劣化を引き起こすような高周波 EMI ノイズについても該当します。公認第三者試験所で行った SiTime の委託試験の結果およびその他の EMI<sup>[1][2]</sup>に関する研究が示すように、圧電水晶デバイスは EMI に対する感受率がより高いです。したがって、大きな電磁波源が存在し得る潜在的にノイズの多い予測不能な環境において信頼性の高い動作を確保するには、SiTime の発振器が最適な選択です。

## 6 参考資料

- [1] "Electromagnetic Interference and Start-up Dynamics in High Frequency Crystal Oscillator Circuits", Ulrich L. Rohde, Ajay K. Poddar, Frequency Control Symposium (FCS), 2010 IEEE International.
- [2] "Test Method Standard, Microcircuits" MIL-STD-883H, U.S. Defense Logistics Agency, 2010.
- [3] "EMI-Induced Failures in Crystal Oscillators", J.-Jacques Laurin, S. G. Zaky, K. G. Balmain, *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 33, No. 4, pp. 334-342, Nov. 1991.

- [4] "NEBS Requirements: Physical Protection", GR-63, Telcordia, 2012.
- [5] "IEC 61000-4-3 ed3.2: *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*", IEC, March 2010.

---

SiTime Corporation  
990 Almanor Avenue  
Sunnyvale, CA 94085 USA  
Phone: 408-328-4400  
<http://www.sitime.com>

© SiTime Corporation, 2008-2014. The information contained herein is subject to change at any time without notice. SiTime assumes no responsibility or liability for any loss, damage or defect of a Product which is caused in whole or in part by (i) use of any circuitry other than circuitry embodied in a SiTime product, (ii) misuse or abuse including static discharge, neglect or accident, (iii) unauthorized modification or repairs which have been soldered or altered during assembly and are not capable of being tested by SiTime under its normal test conditions, or (iv) improper installation, storage, handling, warehousing or transportation, or (v) being subjected to unusual physical, thermal, or electrical stress.

**Disclaimer:** SiTime makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this material, and specifically disclaims any and all express or implied warranties, either in fact or by operation of law, statutory or otherwise, including the implied warranties of merchantability and fitness for use or a particular purpose, and any implied warranty arising from course of dealing or usage of trade, as well as any common-law duties relating to accuracy or lack of negligence, with respect to this material, any SiTime product and any product documentation. Products sold by SiTime are not suitable or intended to be used in a life support application or component, to operate nuclear facilities, or in other mission critical applications where human life may be involved or at stake.