

信頼性とシステムパフォーマンスを向上した モーター制御アプリケーション用のMEMS発振器

振動子や発振器などのタイミングデバイスは安定したクロックを提供するため電子モーター制御回路で使用されています。タイミングデバイス業界は長い間、唯一の選択肢であった水晶振動子技術によって成り立っていました。しかし、近年では、水晶タイミングデバイスが弱点としていた部分を克服するシリコンMEMSタイミングデバイスが急速にそのシェアを伸ばしています。シリコンMEMSタイミングデバイスは衝撃や振動に強く、頑丈で高温環境下での優れた周波数安定性、プログラム可能な機能、短納期での提供が可能です。

過酷な環境下でも能力を発揮し続けるMEMS発振器

電子モーターは高温、高騒音、振動、衝撃など様々な過酷な環境下で使用されています。そういった環境下でも信頼性におけるタイミングデバイスであり続けるために耐久性は大きなカギです。シリコンMEMS共振器は水晶よりも本質的な構造、小さな質量、ウルトラクリーンな製造工程により信頼性が高いのが特徴です。さらに、発振器ICの高度なアナログ設計技術によりMEMS発振器の耐久性とパフォーマンスが向上。

モーター制御のニーズを満たすために、SiTime発振器は以下の機能を提供しています。

- ・高温環境下の動作：MHz発振器は最高125°C、kHz発振器は最高105°C
- ・全動作温度範囲に渡って優れた周波数の安定性
- ・水晶発振器よりも30倍優れた耐震動性（70gの振動）
- ・水晶発振器よりも25倍優れた耐衝撃性（50,000 gの衝撃）
- ・水晶発振器よりも50倍優れた低電磁感受性(EMS)
- ・水晶発振器よりも10倍優れた電源ノイズ対策（低感度）(PSNS)
- ・水晶発振器よりも30倍優れた1FIT値（10億時間MTB）以下の高い信頼性

震動や衝撃に強いMEMS発振器

水晶発振器は衝撃や振動により性能及び信頼性が低下します。

水晶共振器は一端のみが固定されている構造により、機械的な振動や力に非常に敏感で、振動によりノイズとジッタの増加に繋がり、衝撃による周波数スパイクが起りやすい傾向にあります。

対照的にMEMS共振器は水晶共振器に比べると質量は1/1000~3000と小さく、振動を受けにくい構造です。また振動により誘発される加速度によって引き起こされる共振器にかかる力も減少させます。

SiTimeのMEMS共振器はバルクモード振動で水平面内振動するため、本質的に耐振動性のある形状となっています。

ppb/gで表される振動感度またはg感度は加速力によって引き起こされる周波数の変化を表しています。図1では正弦波振動によって誘発されるノイズをppb/gで表し、水晶発振器と比較し、異なる周波数でのSiTimeのMEMS発振器の低振動感度を示しています。

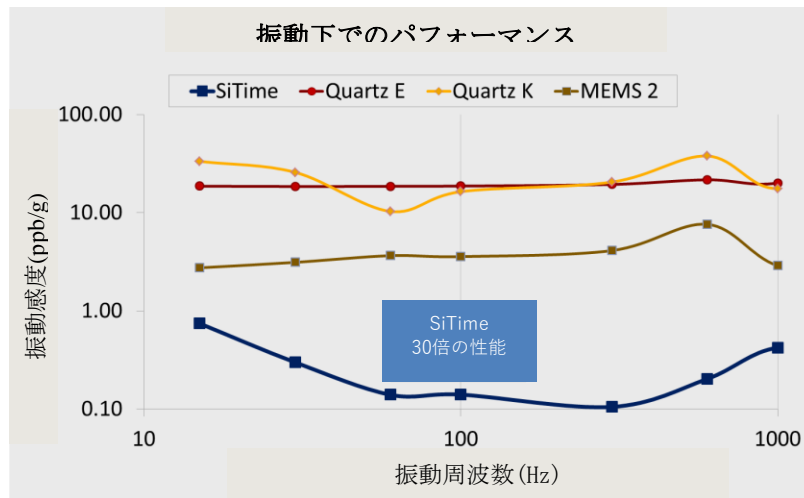


図1：正弦波振動に対する発振器の感度

さらに、kHz発振器は極小1.5×0.8mmサイズ、そしてMHz発振器は2.0×1.6QFN及びSOT23-5と極小ながら0.1ppb/gのパフォーマンスを提供できています。水晶デバイスは低g感度を提供するために専用の大きなパッケージを使用しなければいけません。

実社会での実用に向けてSiTimeはMEMSおよび水晶発振器のシミュレーションを正弦波振動（上記）、耐不規則振動、耐衝撃の状況下で行いました。測定結果と試験方法の詳細については、SiTimeが提供している論文「[MEMSと水晶発振器の衝撃と振動性能の比較](#)」および「[シリコンMEMS発振器の耐久性と信頼性](#)」をご参照ください。

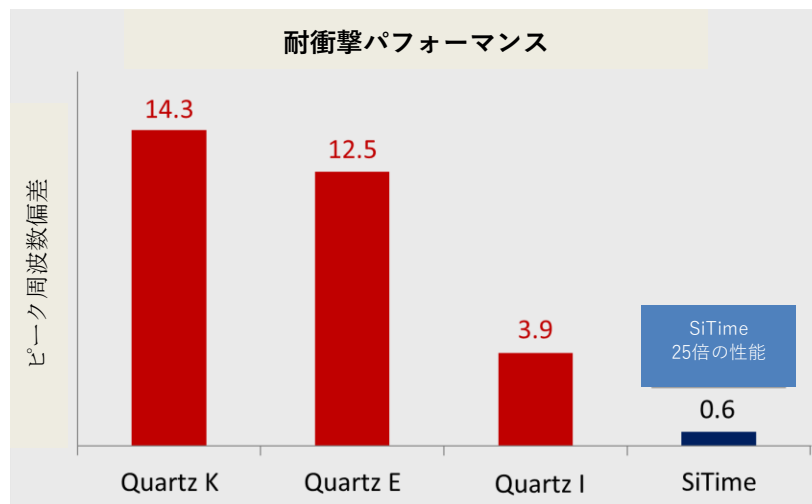


図2：500 g の衝撃に対する発振器の感度

図2は様々な発振器の衝撃試験の結果を示しています。一部の水晶デバイスは耐震性に欠けており、

大きな周波数偏差を示しています。

電磁エネルギーと電源ノイズに強いMEMS発振器

発振器のパフォーマンスに大きく関わってくる電磁エネルギー（EM）があるモーター制御の環境下では電磁感受性(EMS)が重要となります。電源モーターのスイッチの入切動作は電磁パルスなどの過度な障害の原因となる事があります。電源やその他の電子部品も電磁エネルギーを放出し、ノイズを生成し、クロック信号を低下させる可能性があります。

精密に設計されたアナログ回路が付いたMEMS発振器は水晶発振器に比べると電磁エネルギーノイズに強いのが特徴です。理由は、水晶の場合は発振器を覆う金属が電磁エネルギーから発振器を完全に保護する事が出来ないからです。EMSの性能は共振器のインピーダンスと結合メカニズム、および発振器のアナログ回路の設計に大きく関係しています。図3に示されているように、標準の試験ではSiTime発振器が他のクロックデバイスよりも優れている事が分かります。

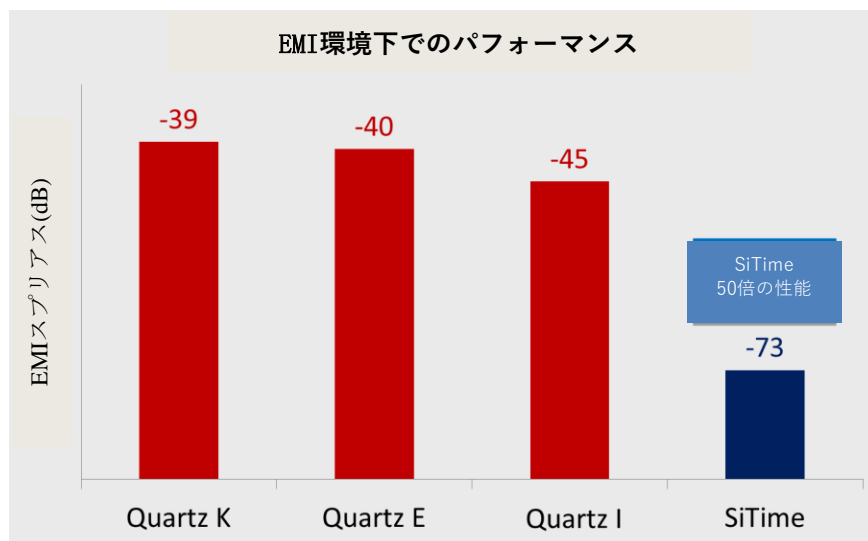


図3：発振器ごとの平均電磁エネルギーにより誘起される位相ノイズ

システム内の電源装置はシステムパフォーマンスに悪影響を与える主要なノイズ源となる可能性があり、このノイズは電源装置の入切を行うと増幅されます。ノイズの多くはパッシブフィルタとデカップリングコンデンサによって除去されます。しかしながら、一部のノイズは残ったままグラウンドバウンスなどボード上の問題がクロックジッタに悪影響を及ぼします。電源ノイズ対策(PSNS)はアナログ回路の設計で使用されるパラメータであり、回路が電源からのノイズに対してどれだけ耐久性であるかを示します。試験結果はSiTimeの発振器のPSNSは高周波数、低ジッタ条件を満たすように設計されたSAW（水晶弾性表面波）を含めた水晶発振器よりも優れているというものでした。

図4は50mVピークピーク電源ノイズに対する電源装置ノイズの周波数の関数としての積分位相ジッタを

示し、水晶発振器とSiTimeのMEMS発振器の結果を比較しています。プロットが示すように、ほぼ全てのノイズ周波数でSiTimeのMEMS発振器は低数値を示しています。一般的な水晶発振器メーカーとは異なり、SiTimeはMEMS発振器のアナログ回路を設計し、PSNS回路を含む高度なアナログ設計技術を駆使して、電源に起因するジッタから発振器を守っています。

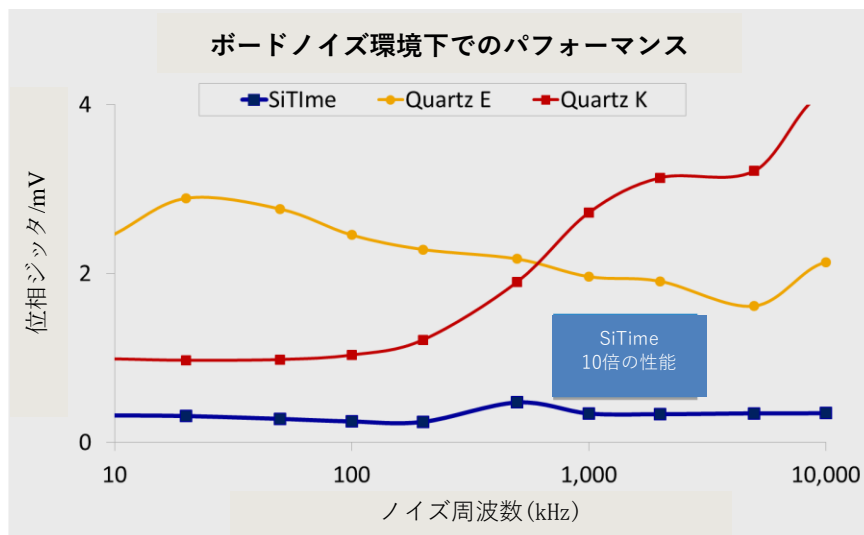


図4：電源装置ノイズ周波数の関数としてのSiTimeのMEMS発振器（下の線）および水晶発振器の50mVピークトゥピーク電源ノイズ環境下での位相ジッタ

電磁エネルギーにより誘発される位相ノイズと電源により誘発される位相ジッタの測定結果と試験方法の詳細についてはSiTimeの技術論文「MEMSと水晶発振器の電磁感受性の比較」をご参照ください。

プログラマブルなMEMS発振器

SiTimeのタイミングデバイスはプログラム可能な構造として設計されています。様々な用途、仕様に対応できるように注文に応じて工場にてプログラムされ、短納期にて納品可能で、設計者は幅広い選択設定を行う事ができます。例えば、出力周波数は小数点6桁の精度を保ちながら広い動作範囲内にプログラムするなど。SiTimeのデバイスには立上り時間と立下りの時間を制御プログラムするドライブ強化などの特別な機能も備わっています。こういった機能により設計者は出力エッジレートを変更し、システム内のEMIを減らす事も可能です。

それに加えSiTimeのMHz発振器はフィールドプログラマブル発振器とTime Machine IITM発振器プログラマーを使用すれば自身のラボ内でのプログラミングが可能です。SiTimeの発振器は業界標準として広く使用されており、プロトタイプを開発する際に水晶デバイスと簡単に交換する事ができます。

表 1 : SiTime発振器の選択可能な設計内容

項目	SiTime発振器の選択可能な設計内容
カスタマイズ可能な周波数	小数点以下6桁の精。1Hz~725MHz
周波数の安定性	kHz発振器 : ± 3 ppm、MHz TCXOs: ± 0.5 ppm
動作温度範囲	高温 (-55 ~ +125°C 及び -40 ~ +125°C)、広域産業用 (-40 ~ +105°C)、産業用 (-40 ~ +85°C)、広域商用 (-20 ~ +70°C)
供給電圧	kHz 発振器: 1.2 ~ 3.3V MHz 発振器: 1.8V (CMOS), 2.5V, 2.8V 及び 3.3V (2.5~3.3Vまでカスタマイズ可能)
出力信号	LVC MOS, LVPECL, LVDS, CML, HCSL, NanoDrive™
特別機能	スペクトラム拡散、デジタル引込、I2C/SPIを介したシステム内プログラム
プルレンジ	± 3200 ppmまで可能
ドライブ強度	EMI最適化のために低く、または複数の負荷を駆動するために高く設定可能

MEMS発振器パッケージの種類とサイズ

上記に記載した様々な機能や特性に加え、SiTimeタイミング商品はアプリケーションの用途に合わせて様々なパッケージで提供しています。

- 水晶発振器から簡単に入れ替え : SiTime業界標準のQFNプラスチックパッケージ (2012, 2016, 2520, 3225, 5032, and 7050)は水晶デバイスと交換するだけで使用可能。一般的な水晶発振器のPCBパッドレイアウトに適用できるように作られており、ボードの変更を行うだけでMEMS発振器の使用が可能
- 高品質なボードと信頼性 : SiTimeの発振器は最高のはんだ接合の信頼性を必要とする用途向けSOT23-5パッケージで提供
- 超小型 : 32kHz発振器は、2012QFNパッケージ及び超小型1508(1.5×0.8×高0.6mm)CSP (チップスケールパッケージ) にて提供

まとめ

産業用モーター制御アプリケーションは極端な温度から激しい振動、衝撃、電源に起因するノイズまで様々な過酷な動作環境にさらされています。こういった環境の条件が存在する限り、基準発振器はその環境に適用するものである必要があり、機械的または電源的な理由によって故障が起こってはいけません。耐久性の低い発振器を使用している場合、壊滅的な障害を引き起こす原因ともなりえます。MEMS発振器は従来の水晶発振器の弱点を克服し、耐久性と信頼性を高め、モーター制御機器に安定したタイミングソリューションを提供しています。