

Elite 平台

MEMS Super-TCXO 和振荡器

常见问题

1.0 专业术语

| | |
|---|---|
| 1.1 什么是晶体? | 3 |
| 1.2 什么是振荡器? | 3 |
| 1.3 什么是 VCXO? | 3 |
| 1.4 什么是 TCXO? | 3 |
| 1.5 什么是 OCXO? | 3 |
| 1.6 什么是 3 级钟? | 3 |
| 1.7 什么是差分振荡器? | 4 |
| 1.8 什么是特种振荡器? | 4 |
| 1.9 为什么 SiTime 在产品门类名称中使用“X” (例如 TCXO)? | 4 |

2.0 产品、市场和技术的概述

| | |
|---|---|
| 2.1 Elite 是什么? | 4 |
| 2.2 Elite 怎样工作? | 5 |
| 2.3 哪些市场从 Elite 产品中受益? | 5 |
| 2.4 Elite 的市场有多大? | 5 |
| 2.5 随着 Elite 平台的推出, 可以使用哪些产品? | 5 |
| 2.6 区分基于 Elite 产品的关键是什么? | 6 |
| 2.7 Elite 产品的主要功能和规格是什么? | 7 |
| 2.8 如何将 Elite 产品匹配到 SiTime 公司现有的产品组合? | 7 |
| 2.9 哪些市场从 Elite 产品中受益? | 7 |
| 2.10 请问 Elite 平台和产品取得了哪些行业第一? | 8 |

3.0 Elite Super-TCXO 概述

| | |
|---|----|
| 3.1 哪些设备组成了 Elite 的 Super-TCXO 系列? | 8 |
| 3.2 为什么称这些设备为 Super-TCXO? | 8 |
| 3.3 使用 Elite Super-TCXO 时的主要客户的利益是什么? | 8 |
| 3.4 Elite Super-TCXO 的目标应用是哪些? | 9 |
| 3.5 在这些应用中 Elite Super-TCXO 都是解决了客户的哪些问题? | 9 |
| 3.6 SiTime 收到了关于 Elite Super-TCXO 的哪些客户回馈? | 9 |
| 3.7 Elite Super-TCXO 和石英 TCXO 之间的主要区别是什么? | 9 |
| 3.8 对于主要的电信规范, 如 ADEV, TDEV 和 MTIE, Elite Super-TCXO 动态性能是什么? | 10 |
| 3.9 Elite Super-TCXO 如何实现其动态性能? 石英 TCXO 能做到这么多? | 10 |
| 3.10 Elite Super-TCXO 定价和可用性是什么? | 11 |
| 3.11 超越±100 ppb 的 Super-TCXO 发展路线图情况如何? | 12 |

4.0 Elite Super-TCXO 的技术细节

| | |
|--|----|
| 4.1 Elite Super-TCXO 是如何封装的? | 12 |
| 4.2 采用 SOIC-8 封装的优势是什么? | 12 |
| 4.3 使用 I2C 时, 频率变更能够达到多快? 对相位噪声的影响是什么? | 12 |
| 4.4 是否有任何的杂散信号? | 12 |
| 4.5 温度稳定性随着时间的变化是随机的还是可预测的? | 12 |
| 4.6 是否需要为 EliteSuper-TCXO 配备一个专门的 LDO 稳压器? | 13 |
| 4.7 PSNR 性能如何? | 13 |

5.0 应用场景

| | |
|--|----|
| 5.1 哪些应用能够从 Elite 精准 Super-TCXO 和它的动态性能和数字频率控制特性中受益? | 13 |
| 5.2 相比其他解决方案, SiTime 公司是如何提供这样的优势的? | 14 |
| 5.3 能否使用 EliteSuper-TCXO 来取代 IEEE 1588 的应用中使用的 OCXO? | 14 |
| 5.4 在这些应用中 Super-TCXO 提供什么的功能? | 14 |
| 5.5 在网络和电信应用中, 如何使用 EliteSuper-TCXO? | 14 |
| 5.6 Elite Super-TCXO 的动态性能对系统级性能有何影响? | 15 |
| 5.7 如何量化比较最好的石英 TCXO 与 EliteSuper-TCXO 的性能? | 15 |
| 5.8 如何利用 I2C/SPI, 这个独特功能的优势是什么? | 15 |

6.0 竞争和数据

| | |
|---|----|
| 6.1 有哪些竞争对手? | 15 |
| 6.2 Elite Super-TCXO 与竞争对手的器件相位噪声和相位抖动比较结果如何? | 16 |

1.0 专业术语

1.1 什么是晶体？

晶体 (X、XTAL) 是一种在固定频率下振动的无源谐振器。可以是石英晶体或基于 MEMS 形式。这些器件用于集成振荡器电路的半导体集成电路外部时钟参考。

1.2 什么是振荡器？

振荡器 (XO) 由谐振器和振荡电路组成，是一种能够产生时钟信号的有源器件。在不同地区，XO 也被称为 OSC 或 SPXO。XO 的常见频率稳定性 (随温度频率变化) 在 ± 10 至 ± 100 ppm 之间。

1.3 什么是 VCXO？

VCXO 是一种压控振荡器，属于有源器件。通过电压控制 (VC)，可以在一个称为拉动范围的特定范围内微调振荡器输出。VCXO 通常用于电信、宽带、视频和仪器仪表的时钟同步。

基于石英的 VCXO 的输出频率拉动或微调的范围在 ± 50 至 ± 200 ppm 之间。石英压控振荡器的拉动的线性范围变化通常在 5% 至 10% 之间。

MEMS VCXO 支持的拉动范围更是高达 ± 3600 ppm，并且拉动范围的线性偏差降至 0.1% (优于石英器件 50 倍)，使同步环路更容易实现。

1.4 什么是 TCXO？

TCXO 是一种温补振荡器，属于有源器件。此类器件通常在整个工作温度范围内的频率稳定度为 ± 0.1 ppm 至 ± 5 ppm。这种器件用于需要精确时钟参考的应用中，如高性能电信和网络设备，包括小基站、同步以太网、光传输和 GNSS 模块等。

1.5 什么是 OCXO？

OCXO 是恒温振荡器的缩写。这种器件具有很高的稳定性，通常优于 ± 50 ppb，甚至经常达到 ± 5 至 ± 20 ppb 之间。OCXO 将温度感知和补偿电路与晶体封装到一个受加热的金属盒中，创造出一个温度相对恒定的烘箱来实现高度的稳定性。双炉 OCXO (烘箱内另有一个烘箱) 的稳定性可达到 $< \pm 1$ ppb 级别。

OCXO 一般使用复杂的结构，并且功耗较大，低等级 OCXO 功耗为 350mW，而双炉 OCXO 功耗将达到 2.5W。OCXO 的性能一致性欠佳，而且容易出现各种故障。

1.6 什么是 Stratum 3？

Bellcore GR-1288 定义了五个层级 (Stratum)，不同性能水平的网络需要的参考时钟 (同步网络时钟) 内在精度不同。级数越低，时钟越准确。

- Stratum 1
- Stratum 2
- Stratum 3
- Stratum 4

Stratum 3 的自由运行稳定性为 20 年以上的偏差在 ± 4.6 ppm 之间，24 小时以上的持续偏差要求在 ± 0.37 ppm 范围内，这两个要求包括在所有条件下的频率误差。Stratum 3E 是 Stratum 3 更加精确的版本，具有相同的自由运行稳定性，即 ± 4.6 ppm，但 24 小时以上的持续偏差仅为 ± 0.01 ppm，是普通 Stratum 3 性能的 37 倍。作为 Stratum 3 时钟的主要选项，TCXO 已经取代了 OCXO，但目前 OCXO 具有 Stratum 3E 水平的稳定性。

1.7 什么是差分振荡器？

差分振荡器通常用于高性能系统如 10G/40G/100G 的以太网中来提供高频信号（100 MHz 或以上）。相对于单端振荡器，差分振荡器利用两个相位完全相反的信号，消除了共模噪声，从而产生更高的系统性能。差分振荡器用在高速系统中，以确保在具有电源噪声和其它噪声源的情况下能够获得信号的最佳完整性和稳定性。

虽然在某些情况下也会用到 CML，但是最常用的差分输出信号类型主要包括 LVPECL、LVDS 和 HCSL。通常，基于石英的差分振荡器的稳定度在 $\pm 20\text{ppm}$ 至 $\pm 100\text{ppm}$ 之间。MEMS 差分振荡器可以支持的稳定性低至 $\pm 2.5\text{ ppm}$ 的，这种器件的优点保证以太网设计时需要的频率偏移，从而产生最佳的吞吐量。

1.8 什么是特种振荡器？

利用半导体技术，可在上述有源振荡器的电路中加入独特的功能。实例包括：

- SSXO——扩频振荡器，采用扩频技术来降低 EMI。
- ISPXO——系统内可程序设计振荡器，使用 I2C/SPI 接口在系统内动态做出变更。
- DCXO——数控振荡器，数字化微调振荡器的输出频率并减少模拟噪声。
- FSXO——可选频率振荡器，允许使用者从几个已经预程序设计到设备的频率中进行选择，以及在系统中动态地进行变更。

1.9 为什么 SiTime 在产品门类名称中使用“X”（例如 TCXO）？

虽然 SiTime 公司的所有器件都使用了 MEMS 技术（而不是石英晶体技术），我们仍然决定在上述的缩写中不用字母“M”来取代“X”，这是因为这些产品门类名称已经在市场上确立了几十年，并且已经与某些时钟功能相关联。由于 SiTime 器件提供相同或更好的功能，继续使用同样的缩写将不会导致更多的混乱。

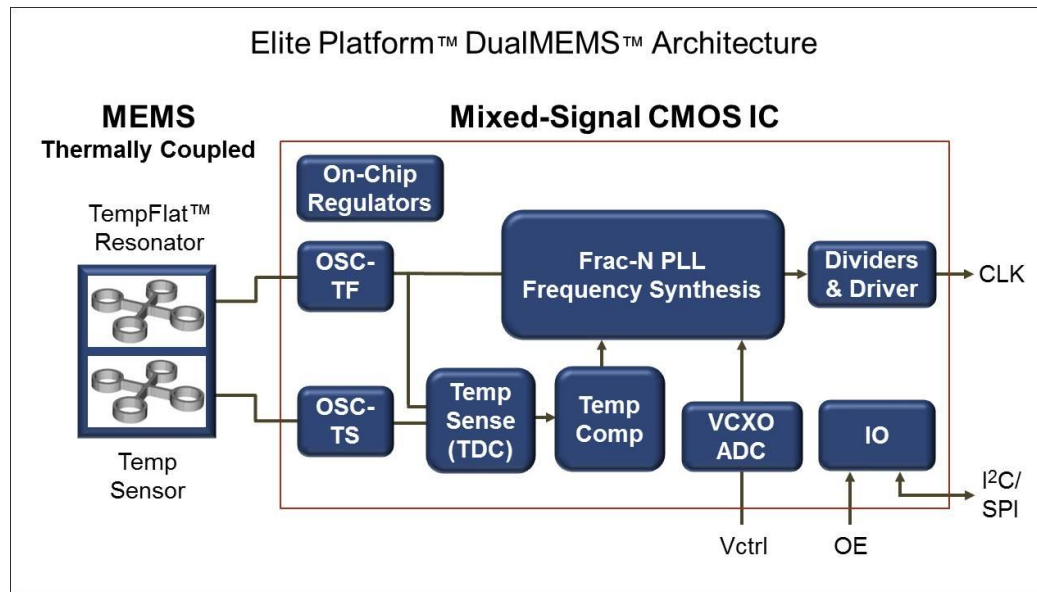
2.0 产品、市场和技术概述

2.1 Elite 是什么？

Elite 是一个专为精准 TCXO、VCXO 与低抖动振荡器器件建造的创新 MEMS 时钟平台。该平台充分利用了 SiTime 公司的具有 TurboCompensation™ 功能的独特 DualMEMS™ 架构。基于 Elite 的精准 Super-TCXO 和振荡器，面向高性能应用，如电信和网络设备中解决存在很久的计时问题。即使是在环境压力下，Elite 产品也能提供最稳定的时钟。借助 SiTime 公司的 Elite 平台，电信和网络设备可以在现实工作条件下提供其最高的性能，最佳的可靠性和最高质量的服务。

2.2 Elite 如何工作？

Elite 平台结合了世界上最精确的温度传感器，具有专门的温度补偿方案和低噪声频率合成器来提供卓越的动态稳定性、超低抖动、宽带率范围和可程序设计性能。



Elite 平台的三个关键要素包括：

- 稳健、可靠、成熟的 TempFlat MEMS™能够消除活动骤降，其抗振动性能优于石英振荡器 30 倍。
- 达到 100%热耦合的 DualMEMS 温度感应功能，温度跟踪性能提升 40 倍，确保在气流和温度急剧变化的情况下器件能够发挥最佳性能。
- 具备片上稳压器的高度集成混合信号电路，一个 TDC（温度数字转换器）与提供 5 倍更好的抗电源噪声性能和 30uK 的温度分辨率（是石英温度分辨性能的 10 倍），并且支持低噪声 0.23 ps 抖动的 1 至 700MHz 之间任意频率的 PLL。

2.3 哪些市场会从 Elite 产品中受益？

Elite 产品理想适用于网络、服务器、存储和电信（NSST）设备使用。Elite 产品也非常适用于其他高可靠性的应用，如测试用仪器仪表、智能电网、汽车 ADAS 的高精度 GNSS/GPS 定位、航空电子设备、测绘及精确农业。

2.4 Elite 的市场有多大？

Elite 平台针对 NSST 应用。所有频率控制产品，如谐振器（X、XTAL）和振荡器（XO、VCXO、TCXO、OCXO、特种振荡器），即在 NSST 采用器件的有效市场总额（TAM），超过 15 亿美元。

2.5 随着 Elite 平台的推出，将发布哪些产品？

Elite 平台发布的四个产品系列包括：

- 精准 Super-TCXO 是专为无线、有线和时间同步的应用设计的器件。
 - 1 至 220 MHz， ± 0.1 ppm 至 ± 2.5 ppm 稳定性，+105 °C
- 适用于 GNSS、工业和汽车应用的 Super-TCXO
 - 1 至 220 MHz， ± 0.5 ppm 至 ± 2.5 ppm 稳定性，+105 °C
- 用于 10G/40G/100G 应用的超低抖动差分振荡器
 - 10 至 700 MHz，0.1 ps 抖动的以太网，+95 °C
- 用于 RF 无线电、视频广播、无线中继器、和其他工业应用的高温，高可靠性的差分 VCXO
 - 10 至 700 MHz，0.1 ppb/g 抗振性，+105 °C，宽广的拉动范围 ± 25 ppm 至 ± 3600 ppm

2.6 基于 Elite 产品的关键差异化因素是什么？

每个 Elite 系列都为其目标应用提供了独到的差异化因素。

| Elite 产品 | 差异化因素 |
|-------------------|---|
| 精准 Super-TCXOs | <ul style="list-style-type: none"> • -40至+105°C, 同时保持±100 ppb频率稳定度, 所有TCXO中最宽的工作温度范围 • 高温升率10°C/分下, 1至5 ppb/°C 频率斜率 ($\Delta F / \Delta T$) • 10秒平均时间内艾伦偏差 (ADEV) 为3E-11, 优于石英TCXO性能10倍 • 无活动骤降或微跳跃 • 0.2 PS/MV电源噪声抑制 (PSNR), 淘汰了专用系统LDO • 1至220 MHz之间的任意频率 • 可选I2C频率调谐, 淘汰了外部DAC |
| Super-TCXOs | <ul style="list-style-type: none"> • -40至+105°C, 同时保持±0.5 ppm频率稳定度 • 无活动骤降或微型跳跃 • 0.1ppb/g的抗振动能力 • 1至220 MHz之间的任意频率 |
| 差分振荡器 | <ul style="list-style-type: none"> • 0.23 ps 抖动 (12 kHz 至 20 MHz) 3.0 x 2.5 mm 最小封装以太网屏蔽 0.1 ps • 0.02 ps/mv 电源噪声抑制 (PSNR) • 10 至 700 MHz 之间的任意频率 • 在-40 至+95°C 间达到±10 ppm 的频率稳定性, 提供更好的系统可靠性 |
| VCXO | <ul style="list-style-type: none"> • 0.1 ppb/g 的抗振性 • 可达+105°C, 具备优良的相位噪声性能 • 广阔的拉动范围, 从±25 ppm 至±3600 ppm • 在所有环境情况下, 0.1%频率调谐线性度具有50倍的优势 • 10 至 700 MHz 之间的任意频率 |

2.7 Elite 产品的主要功能和规格是什么？

| 设备类型 | 部件号 | 频率范围 (MHz) | 温度范围 (° C) | 稳定性 (ppm) | 输出类型 | 封装尺寸 (mm) | 特殊特性 |
|---------------|---------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|--|
| 精准 Super-TCXO | SiT5356 | 1 至 60 | -20 至 70 -40 至 85 -40 至 105 | ±0.1 至 ±0.25 | LVCMOS 削峰 正弦波 | SOIC-8: 6.0 x 4.9 | -40 至+105°C 1 至 5 ppb/°C ΔF/ΔT 10 °C/分 升温 3E-11 ADEV, 10 秒步幅 无活动骤降 无微跳跃 I2C 可程序设计 (可选) |
| | SiT5357 | 60 至 220 | | | | | |
| Super-TCXO | SiT5155 | 10 个标准 GNSS 频率。 | | ±0.5 至 ±2.5 | | | |
| | SiT5156 | 1 至 60 | | | | | |
| | SiT5157 | 60 至 220 | | | | | |
| 差分振荡器 | SiT9365 | 32 个标准频率 | | -20 至 70 -40 至 85 -40 至 95 | | | |
| | SiT9366 | 10 至 220 | | | | | |
| | SiT9367 | 220 至 700 | | | | | |
| 差分 VCXO | SiT3372 | 10 至 220 | ±25 至 ±3600 ppm 拉范围 0.1%拉线性范围 | | | | |
| | SiT3373 | 220 至 700 | 0.1 ppb/g 的抗振性 | | | | |

2.8 Elite 产品与 SiTime 公司现有的产品组合如何定位？

最初发布的 Elite 产品面向 NSST（网络、服务器、存储、电信），汽车及高精度 GNSS 和测试仪器应用中的 MEMS 时钟。

- 精度值为 ±0.1 ppm 的 Super-TCXO 将 MEMS 精准振荡器的应用领域扩大，面向系统级性能文件要求高的动态性能与 **Stratum-3** 合规应用，如小基站、IEEE 1588、以太网同步和光传输。
- 精度值为 ±0.5 ppm 的 Super-TCXO 能够胜任工业和汽车 GNSS 系统的动态稳定可靠性和性能要求。即使是常见环境压力情况下，这些产品能够使定位更加准确，卫星信号捕获更迅速。
- Elite 超低抖动差分振荡器是对我们现有差分产品的一种补充，其目标客户为那些面向 0.1 到 0.3 ps 抖动的高速数据通信用户。
- 耐高温，高可靠性的 Elite VCXO 目标应用包括：无线中继器、CMTS（电缆调制解调器终端系统）和广播系统，而 SiTime 公司现有的 VCXO 主要针对于音讯和工业应用。

2.9 哪些应用会从 Elite 产品中受益？

出色的动态性能和整体环境稳健性使 Elite 的 Super-TCXO 和振荡器理想适用于网络、服务器、存储和电信（NSST）高可靠性的应用。这些应用的实例包括：

- 受急剧温度变化影响的户外设备
- 采用风扇散热，并面临不可预知的气流波动的系统
- 受强烈振动影响的杆式安装或路旁系统
- 因电路板弯曲和弯折影响容易发生丢包的数据中心和总部办公室（CO）
- 使用具有三分之一功耗，二分之一尺寸的和更大可靠性的 OCXO 取代 IEEE 1588 系统的情况

Elite 的产品同时也非常适合如基于 GNSS-ADAS 以及建筑和农业系统高精度定位的关键任务应用。

2.10 请问 Elite 平台和产品取得了哪些行业第一？

以下是 Elite 产品率先实现的目标。

- 105° C 运行温度下，10 °C/min 温度变化时±0.1 ppm 的稳定性
- 0CX0 级别的频率温度斜率 ($\Delta F/\Delta T$)，±1 至±5 ppb，使 Elite Super-TCXO 在 IEEE 1588 应用中能够取代 0CX0
- 在气流和温度扰动的情況下，能够保持同水平的 ADEV 和漂移规格 (TDEV 和 MTIE)
- 分辨率为 0.1ppb 的 I2C 接口和数字频率调谐，提高了调整精度，并减少了对外部组件的需求 (无需外部 DAC)
- 消除对专用 LDO 的需求 (Elite 振荡器可以共享电路板上的任何开关电源，降低成本和简化设计)
- 彻底消除可能会导致掉线或链路损耗的任何活动骤降和/或微跳
- 保持±0.1 ppm 的稳定性同时，能够输出 1 MHz 至 220 MHz 之间的任何频率
- SOIC-8 引线封装，提供更优秀的抗冲击和抗振动性能，最好的焊点可靠性，可以实现低成本的视觉和/或光学检查
- 0.23 ps 的抖动与在最小 3.2 x 2.5 mm 封装下的 LVPECL、LVDS 或 HCLS 输出，可作为小尺寸应用如 SFP 模块高频，低抖动时钟参考

3.0 Elite Super-TCXO 概述

3.1 哪些器件组成了 Elite 的 Super-TCXO 系列？

Elite Super-TCXO 系列最初包括具有不同的频率稳定性等级和频率覆盖五个设备。

| 系列 | 部件编号 | 频率稳定性 | 频率 | Stratum 3 合规 |
|----------------|---------|-----------------|----------------|--------------|
| 精准 Super-TCXOs | SiT5356 | ±0.1 至±0.25 ppm | 1 至 60 MHz | 是 |
| | SiT5357 | ±0.1 至±0.25 ppm | 60 至 220 MHz | 是 |
| Super-TCXO | SiT5155 | ±0.5 ppm | 10 个标准 GNSS 频率 | - |
| | SiT5156 | ±0.5 至±2.5 ppm | 1 至 60 MHz | - |
| | SiT5157 | ±0.5 至±2.5 ppm | 60 至 220 MHz | - |

所有 Elite Super-TCXO 都具备卓越的动态性能，在常见环境危害的条件下提供最稳定的时钟。此外，所有的 Elite Super-TCXO 在 VC-TCXO 操作模式下具有的可程序设计拉动范围可以达到±6.25 ppm、±12.5 ppm 与±25ppm。

3.2 为什么称这些器件为 Super-TCXO？

在真实工作条件下，Super-TCXO 具有出色的动态性能。石英 TCXO 的一个关键问题是不能满足常见环境条件下实际系统的性能规格。Elite Super-TCXO 设计用于在环境危害，如冲击、振动、气流和嘈杂电源的情况下保持额定性能规格，如稳定性、相位噪声、抖动和艾伦偏差。Elite Super-TCXO 的动态稳定性有助于在直接影响使用者体验的情况下提供稳定的系统性能，例如减少手机呼叫掉线。

3.3 使用 Elite Super-TCXO 时客户的主要收益是什么？

- 减少各种情况下掉线链路损耗
- 通过消除 TCXO 故障减少现场服务费用
- 利用最佳的功能和性能简化系统设计

3.4 Elite Super-TCXO 的目标应用是哪些？

- SONET / SDH Stratum3 和 Stratum4
- 同步以太网 (G. 8262, 选项 1 和 2)
- 小基站, 家庭基站 (Femtocells)
- 同步以太网
- IEEE 1588
- 光传送 (OTN, OLT 等)
- 微波回程
- CMTS (电缆头端和视频配电设备)
- COSPAS/SARSAT
- 宽带卫星
- 测试仪器
- 工业 GNSS
- 基于 GNSS 的自动驾驶

3.5 在这些应用中 Elite Super-TCXO 都解决了客户的哪些问题？

- IEEE 1588 应用通常使用 OCXO, 但是 OCXO 体积非常大, 具有较高的功耗, 并且需要对电路板布局 and 系统位置做出特殊考虑, 以确保其具有最佳性能。相比基于石英的 OCXO, Elite Super-TCXO 只具有其一半安装面积和三分之一的功率。Elite Super-TCXO 可以安置在 PCB 的任何地方, 简化了系统设计。
- 在许多户外设备类型的应用中, 如小基站和微波回程, 当经受温度扰动或气流时, 石英振荡器便无法维持其应有的精度和稳定性。Elite Super-TCXO 能够在所有工作条件下提供稳定的时钟性能, 从而实现最佳的系统级性能。
- 在工业和汽车导航系统的应用中, 当 GNSS 接收器振荡器经受温度变化、冲击、振动和活动骤降时, 定位精度的维持就非常困难。Elite 产品能够消除活动骤降并能提供卓越的抗冲击和振动性能。Elite Super-TCXO 支持 GPS 系统, 无论环境压力如何, 都能保持其定位的精度, 缩短卫星锁定时间。

3.6 SiTime 收到了关于 Elite Super-TCXO 的哪些客户反馈？

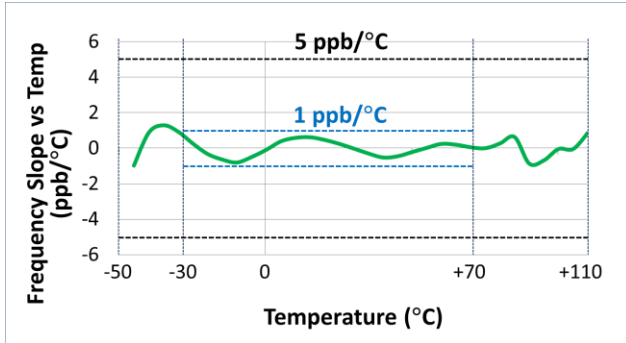
- 所有环境下的 GPS 应用中, 都具有最佳相位噪声性能
- 无与伦比动态性能, 在现实工作环境中这是确保系统级性能的关键条件, 同时, 动态性能也是石英 TCXO 长期面临的一个问题
- 消除活动骤降和微跳动便可保证系统性能在任何温度下的正常运行, 而不需要其他昂贵的接入 TCXO 测试
- 数字化特性, 如减少 BOM 和简化设计的 I2C
- 更优异的电源噪声抑制能力通过消除专用 LDO 减少 BOM

3.7 Elite Super-TCXO 和石英 TCXO 的主要区别是什么？

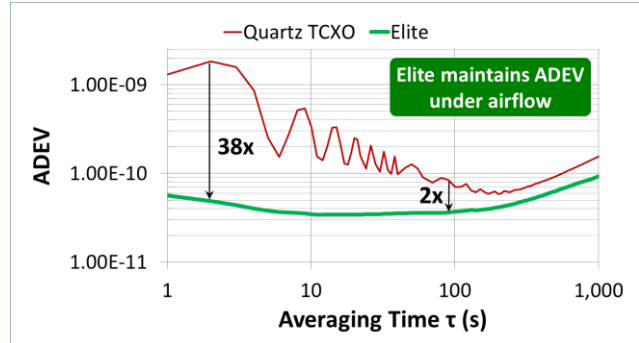
Elite Super-TCXO 通过在气流、温度快速变化、机械冲击、振动、EMI 和电源噪声的环境下提供稳定时钟带来了优异动态特性。Elite 产品还提供了许多特性, 如通过 I2C 使用数字控制提供多协议支持并简化系统设计。

3.8 对于关键性电信规范，如 ADEV, TDEV 和 MTIE, Elite Super-TCXO 动态性能又如何？

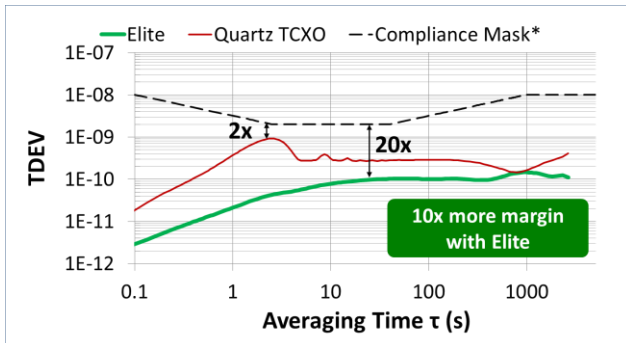
Elite Super-TCXO 设计可耐受如空气流动，热冲击和振动的环境压力。下面的 Elite 动态性能示例展示了性能区别。与业界最优的±50 ppb 石英 TCXO 对比，基于 CPU 的系统的标准冷却风扇产生的气流条件下，比较 ADEV, TDEV 和 MTIE 曲线。



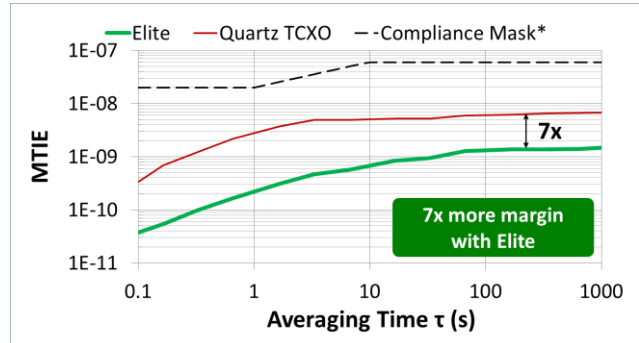
最佳动态频率稳定性；
高达 10°C/min 的温升特性



最佳的艾伦偏差 (ADEV)
静止空气中与气流中



最佳时间偏差 (TDEV)
静止空气中与气流中



最佳最大时间间隔误差 (MTIE)
静止空气中与气流中

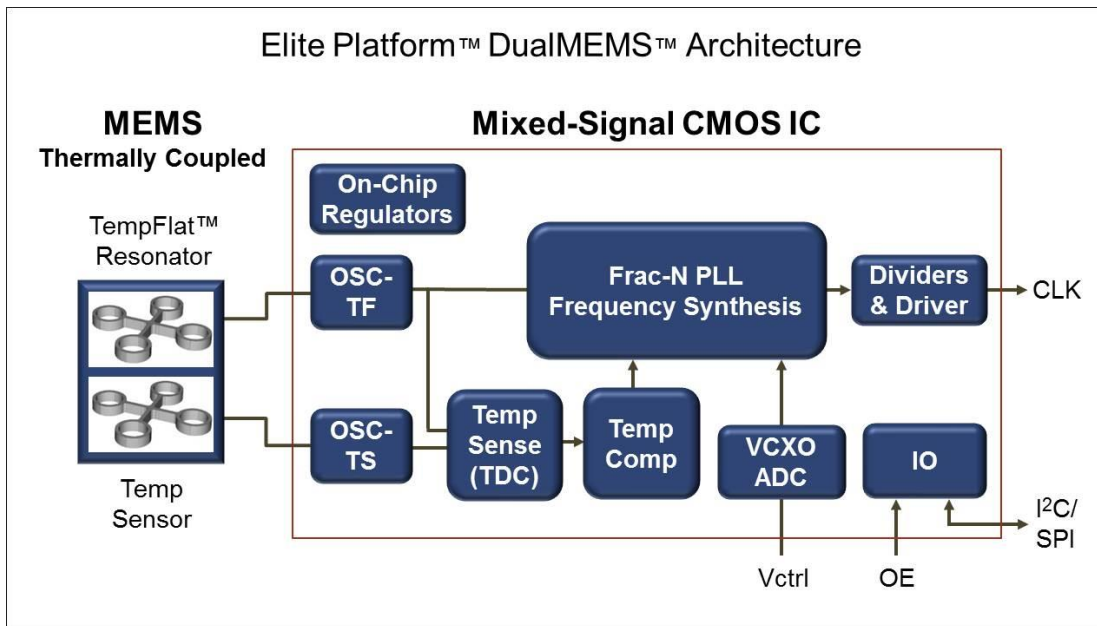
* IUTU-T G. 8262 选项 2.0 1 Hz 带宽合规屏蔽

3.9 Elite Super-TCXO 如何实现其动态性能？石英 TCXO 能否做到？

具有 TurboCompensation 功能，创新 DualMEMS 架构的 Elite Super-TCXO 旨在提供卓越的动态性能。

此架构基于世界上最精确的硅温度传感器。该温度感应方案包括在同一芯片上造出的两个 MEMS 谐振器（该独特结构只能采用半导体，无法用石英实现）。一个谐振器设计具有对温度不敏感的频率特性；第二个 MEMS 谐振器对温度变化十分敏感，作为一个温度传感器使用。这两个谐振器之间的频率比能以 30 μK 分辨率够提供精确的谐振器温度读数。

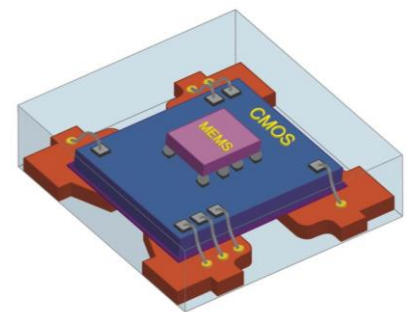
这种 DualMEMS 设计消除了谐振器和温度传感器之间的热梯度。在 MEMS 谐振器和 MEMS 温度传感器之间没有滞后，因为两个谐振器物理意义上安装与同一芯片基板，因此他们之间具有 100% 的热耦合性。



这种精确的 DualMEMS 温度感应结构与 CMOS IC 上最先进的温度补偿电路结合在一起。MEMS 芯片安装在混合信号振荡器集成电路的顶部，产生了 MEMS 和 CMOS IC 芯片之间的紧密耦合。TurboCompensation 的设计，与数百 Hz 下运行的补偿带宽，实现了远优于任何石英 TCXO 的动态性能。

因为 DualMEMS 共享相同的基板，它们是非常紧密耦合的。此外，DualMEMS 芯片是物理堆栈在振荡器/ PLL IC 的顶部的，从而创造了 MEMS 与 CMOS IC 之间的紧密耦合。借助这一紧密耦合配置，Super-TCXO 可以感知到相比基于石英解决方案更快地瞬变温度补偿。

由于使用距离谐振器较远的振荡器集成电路上的离散温度传感器，石英 TCXO 的性能受到了根本上的限制。石英晶体安装在焊盘上并且连接到所述振荡器集成电路过孔上。谐振器和振荡器 IC 之间必须保持一定分离，晶体才可以自由地振动。



谐振器和一个单独的温度传感器之间缺少晶体热耦合，导致不会出现循环稳定性问题，并且更快的温度补偿回路无法设计出来。其结果是，基于石英的 TCXO 通常具有 5 至 10Hz 的补偿带宽，不足以跟踪迅速变化，并且当面对气流和/或温度的扰动时易引起突发性跳频。

Elite DualMEMS 架构可提供石英不具备的额外动态性能：

- 由于 MEMS 谐振器的面积小，架构具备优异的抗冲击和抗振动性能——MEMS 谐振器通常为石英谐振器质量的 1/3000
- 消除活动骤降和微跳跃，MEMS 谐振器设计上不具备任何杂散信号模式
- 具有优异的老化特性，因为 MEMS 谐振不具备已知的老化机制
- 由于精心打造的内部电压调节链，MEMS 对电源电压波动和噪声具有更好的抗性

3.10 Elite Super-TCXO 定价和上市计划如何？

目前符合要求的客户会收到 Elite Super-TCXO 样品。常规样品发放计划将于 2017 年上半年开展。

如需获取更多价格信息，请联系 SiTime 销售人员。

3.11 超越±100 ppb 的 Super-TCXO 发展路线图情况如何？

由于市场需求较多，SiTime 公司±100 ppb 的装置将会第一个投入生产。SiTime 已计划开发稳定性优于±100 ppb 的产品。如需获取更多信息，请联系 SiTime 服务代表。

4.0 Elite Super-TCXO 技术细节

4.1 Elite Super-TCXO 是如何封装的？

Elite Super-TCXO 封装在 6.0×4.9 mm SOIC-8，外形细小的表面安装型集成电路封装内。

4.2 采用 SOIC-8 封装的优势是什么？

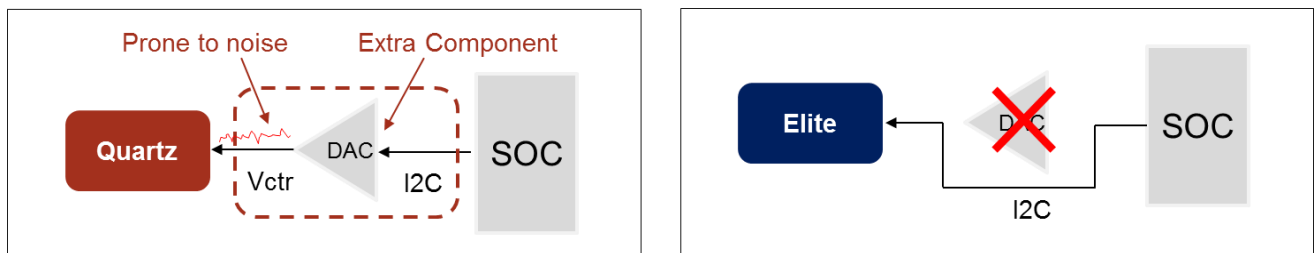
封装精准的 TCXO，相比于传统陶瓷封装，使用 SOIC-8 具有下列优势。

- 鸥翼式引线充当器件和电路板应力释放缓冲器，使得板水平应力不会影响装置，例如，由于温度变化板导致的弯曲或延展/压缩冲击。此外，这种样式的引线能够提供最优异的焊点可靠性，并有助于低成本的视觉和/或光学检查。
- SOIC-8 是拥有巨大装机能力的最常用的半导体封装之一，能够确保供货连续性和最佳的备货时间。

4.3 使用 I2C 时，频率变更能够达到多快？对相位噪声的影响是什么？

由于 0.1 ppb 的 PLL 分辨率和每秒 10 kHz 的快速更新速率，所以在低带宽的同步环路中数字拉对相位噪声没有影响。与传统的 VCTCXO 相比，数字拉动有两个好处。

- 消除近载波相位噪声的仿真 VCXO 噪声
- 消除通常需要的数字控制转换成模拟控制电压的外部 DAC 或 PWM



Elite 产品系统内可程序设计性能够提高抗噪声性能并降低 BOM。如上所示，基于石英的设计需要一个 DAC，而基于 MEMS 的设计不需要 DAC。

4.4 是否有任何的杂散信号？

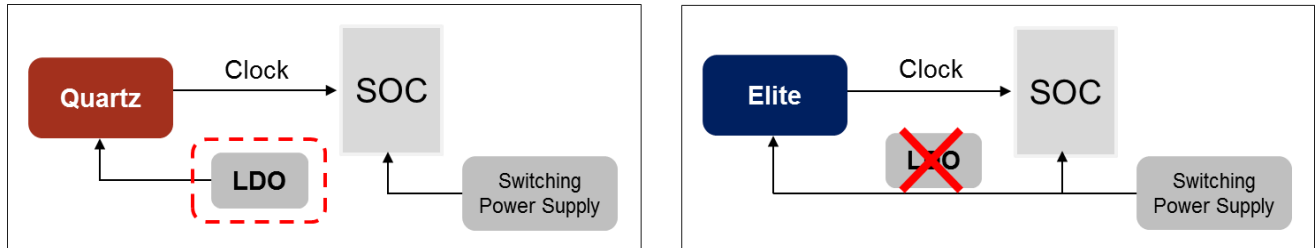
对于所有常见 TCXO 频率而言，杂散信号估计为<100 dBc/Hz，能够满足所有应用需求。

4.5 相比于石英 TCXO，Elite Super-TCXO 老化情况如何？

Elite Super-TCXO 相比同类石英晶体器件，抗老化性能显著提高，因为 MEMS 谐振不具备已知的老化机制。在基于 MEMS 的振荡器中，少量的老化是来自 CMOS 集成电路和电子电路和封装之间的相互作用。可以通过优化 CMOS 和封装设计对其进行控制。

4.6 是否需要为 EliteSuper-TCXO 配备一个专门的 LDO 稳压器？

Elite Super-TCXO 不需要专用的 LDO 稳压器，因为它们本身具有多级内部电压调节，具有优异的抗电压的变化和电源噪声性能。因为 Elite 产品具有优良的电源噪声抑制（PSNR）表现，任何板上开关电源都可用于 Super-TCXO 的供电



与此相反，石英振荡器易受电源噪声影响，并且需要专用的 LDO 稳压器

4.7 PSNR 性能如何？

Elite Super-TCXO 的 PSNR 性能为 0.2 ps 峰-峰每 mV，对于一个单端输出设备来说，其性能是最佳的。这使 Elite Super-TCXO 即使在嘈杂的电源条件下能够保持其应有的性能。

5.0 应用场景

5.1 哪些应用能够从 Elite 精准 Super-TCXO 和它的动态性能和数字频率控制特性中受益？

Elite Super-TCXO 的典型应用包括：

- SONET/SDH Stratum 3 和 Stratum 4
- 同步以太网（G. 8262，选项 1 和 2）
- 小基站与 Femtocells
- 同步以太网
- IEEE 1588
- 光传送（OTN，OLT 等）
- 微波回程
- CMTS（电缆头端和视频配电设备）
- COSPAS/SARSAT
- 宽带卫星
- 测试仪器
- 工业 GNSS
- 基于 GNSS 的自动驾驶

5.2 相比其他解决方案，SiTime 公司是如何提供这样的优势的？

Elite 平台基于 SiTime 公司具有 TurboCompensation 功能的独特 DualMEMS 架构。它的设计旨在提供石英技术无法提供的动态性能。MEMS 的固有优势包括以下几个方面。

- 10 °C/min 温度变化，105° C 工作温度下 ±0.1 ppm 的稳定性
- OCXO 级别的 ±1 至 ±5 ppb 频率温度斜率 ($\Delta F/\Delta T$)，使 Elite Super-TCXO 在 IEEE 1588 应用中能够取代 OCXO
- 优异的动态性能，能够在气流和温度扰动的情况下保持相同的 ADEV 和漂移规范
- 分辨率为 0.1ppb 的 I2C 接口和数字频率调谐，提高了调整精度，并减少了对外部组件的需求（无需外部 DAC）
- 消除对专用 LDO 的需求，Elite 振荡器可以共享电路板上的任何开关电源，降低成本和简化设计
- 消除可能会导致掉线或链路损耗的任何活动骤降和/或微跳
- 1 MHz 至 220 MHz 的频率之间进行灵活的频率规划以实现最佳的系统级性能
- SOIC-8 引线封装，提供更大的抗冲击和抗振动性能，最优的焊点可靠性，能够实现低成本的视觉和/或光学检查

5.3 能否使用 EliteSuper-TCXO 来取代 IEEE 1588 应用中使用的 OCXO？

能，在某些情况下 Elite 的 Super-TCXO 可以取代 IEEE 1588 边界时钟或 SFP 主时钟中使用的 OCXO，其中保持模式由 SyncE、GNSS 或其它源启动。在这样的实现方式中， $\Delta F/\Delta T$ （温频斜率）在 IEEE 1588 环保持时间误差规范中是最关键的。频率稳定性为 100 ppb 的 Elite Super-TCXO 具有 1 至 2 ppb/°C 之内的 $\Delta F/\Delta T$ ，与 Stratum 3E OCXO 水平相当，能够替代 OCXO。传统石英 TCXO 由于 $\Delta F/\Delta T$ 欠佳（通常为 20 至 200 ppb/°C，与 Elite 产品的差距高达 100 倍），无法在此类情况下采用。

相对于 OCXO，Elite Super-TCXO 具有以下优势：

- 3 倍至 10 倍更低的功耗
- 2 倍至 5 倍更小的尺寸
- 第一精确脉冲时间加快超过 1000 倍（100 毫秒与分钟和小时的差别）
- 卓越的可靠性和一致性

5.4 在这些应用中 Super-TCXO 提供什么功能？

Super-TCXO 为定时子系统提供稳定、精确的参考时钟。它们用于满足系统支持特定通信协议和标准指定频率稳定性和保持要求。

举一个例子，Elite Super-TCXO 可以用于 SDH 或同步以太网中，以提供跨越不同网络元素的必要同步频率，并且能够防止丢帧和/或分组。在小基站中，EliteSuper-TCXO 为基带和收发器的 SOC 实现时钟，以提供频率和相位的匹配。在这两种情况下，Super-TCXO 都能为本地系统提供保持能力，在失去其主时钟源，如 GPS 时钟、同步以太网时钟或 IEEE1588 的情况下，继续为其提供一段时间的时钟服务。

5.5 在网络和电信应用中，如何使用 EliteSuper-TCXO？

Elite Super-TCXO 通常用于高度精确的本地参考时钟。有两种实现方案：

- 直接将 Elite Super-TCXO 时钟放入 SOC 例如小基站基带芯片、无线收发机或 SyncE SOC。
- 另外，Elite Super-TCXO 可以作为多输出 PLL 的参考时钟，从而为整个系统的产生所有必要频率。

Super-TCXO 随机附带一个工厂可程序设计电压控制选项 (VCTCXO)，器件可用于在一个闭合回路中来锁定另一个时钟或在开放回路中进行定期校准。

5.6 Elite Super-TCXO 的动态性能对系统级性能有何影响？

网络致密化推动着不受控制的环境，如地下室、路边、屋顶和电线杆上设备的快速部署。机箱的设备密度在持续上升，温度越来越高的 SoC 及大功率冷却风扇摆放的越来越紧密。现在，精准时钟组件必须在非常恶劣的环境下如在高温、热冲击、振动和不可预知气流的条件下正常工作。服务提供商公然质疑传统的石英技术是否能够应对挑战。相比之下，基于 MEMS 的 EliteSuper-TCXO 能够应对环境的压力，如快速的气流或温度变化，冲击和振动。Elite 出色的动态性能使电信和网络系统在恶劣的工作环境中能够保持相同的服务质量。

这种动态性能使 Elite Super-TCXO 在任何工作条件下很少有或免受近载波相位噪声、ADEV、MTIE 和 TDEV 影响。从而确保系统具有稳定的性能，如：

- 无中断实现 GPS 锁定
- 无 SyncE 连结或丢包
- 减少小基站电话掉线

5.7 如何量化比较最好的石英 TCXO 与 EliteSuper-TCXO 的性能？

针对关键电信参数，EliteSuper-TCXO 具有有：

- 50 倍更好的拉动线性范围
- 38 倍更好的 ADEV
- 10 倍更好的 TDEV
- 10 倍更好的频率稳定度与供电电压灵敏度
- 7 倍更好 MTIE
- 5 倍更好的 $\Delta F / \Delta T$
- 4 倍更宽的频率范围
- 2 倍更好的电源噪声抑制

5.8 如何利用 I2C/SPI，这个独特功能的优势是什么？

I2C/SPI 可以代替传统的电压控制来数字化微调系统 SOC 的输出频率。这种石英 TCXO 不可能具备的新功能能够提供许多优势。

- 通过消除 SOC 和 TCXO 之间 DAC 的降低 BOM。当使用石英 TCXO 时，DAC 通常用于将数字控制转换成模拟控制电压。
- 输出频率能够以 0.1 ppb 进行微调，并且可设置为 1 MHz 至 220 MHz 之间的任意频率。这种灵活性和准确水平提供了新应用和架构的可能性。
- 消除电压控制信号的噪声干扰，提高频率调整精度和系统性能。

6.0 竞争与数据

6.1 有哪些竞争对手？

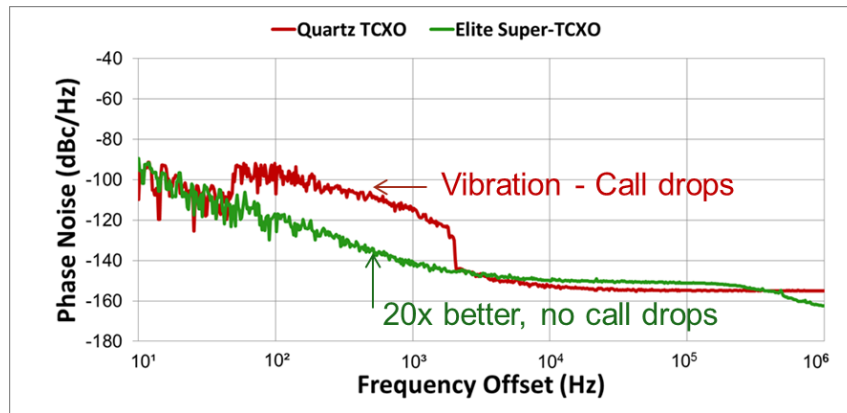
历史上，Rakon 和 Vectron 公司是电信和网络应用精准 TCXO 的两大供货商。其他供货商包括 Epson、TXC、NDK、Kyocera 和 Connor Winfield。

此外，Elite Super-TCXO 的动态稳定性能使它们适合在新兴应用中如 IEEE 1588 和 4G/5G 小基站里取代 OCXO。

6.2 EliteSuper-TCXO 与竞争对手的器件相位噪声和相位抖动比较结果如何？

Elite Super-TCXO 相位噪声是一个关键的区别要素，特别是对于普通环境压力的情况下工作的系统而言。下图对 EliteSuper-TCXO 与石英 TCXO 在振动条件下的相位噪声进行比较。Elite 展示了 20 倍更优异的性能，通过降低掉线次数显著提高通话服务质量 (QoS)。在有线应用如 OLT、DSL/G.fast 和同步以太网中，Elite 产品的抗振动性可以显著减少数据链路的损失，确保高数据吞吐量，即使这些设备安装在高振动环境中诸如路边或接近高密度的散热风扇的地方。

震动测试基于 Mil-STD-883F 标准 2026 方法，频率范围 15 Hz 至 2 Hz，总体震动强度为 7.5 g rms。



Elite Super-TCXO 还具有卓越的集成相位抖动性能：

- 0.23 ps 的集成 RMS 相位抖动 (12 kHz 至 20 MHz)
- 10G/40G/100G 以太网屏蔽下 0.1 ps 的综合 RMS 相位抖动