

MEMS 振荡器对机械应力的抵抗能力

作者: *Maurizio Gavardon*
Microchip Technology Inc.

摘要

MEMS 振荡器已得到了非常广泛的使用，并在很多应用中稳步取代晶体振荡器。MEMS 振荡器与晶体振荡器相比具有诸多显著的优势，例如提高了可靠性和对机械应力的抗力，以及在宽温度范围内保持平稳的性能。MEMS 振荡器还具备一定的灵活性，可通过编程和配置生成多个输出时钟。

简介

在过去的数十年，每当有应用需要稳定的低抖动时钟源时，我们都会使用晶体振荡器。

近年来出现了一种使用 MEMS 来构建谐振器的新技术。MEMS 振荡器与晶体振荡器相比具有一些显著的优势。首先，它们能够抵御机械冲击、振动、挠曲和坠落，因而非常坚固和可靠，这要归功于其封装结构对谐振器形成了一种自然保护。第二，MEMS 谐振器具有伪线性温度系数，因而易于补偿；这可确保谐振器整个温度范围（最高可超过 +125°C）内保持稳定的时钟频率（意味着低 ppm）。

显而易见，这两种特性让 MEMS 振荡器非常适合一些环境恶劣的工业和汽车应用。

此外，MEMS 的结构非常紧凑，因而可生产小尺寸封装的振荡器，最小尺寸为 1.6 mm x 1.2 mm。

MEMS 谐振器工作在固定频率，频率非常稳定，但无法进行编程。因此，始终需要使用 PLL 来生成可编程的输出频率。虽然这样可能产生比晶体振荡器更高的相位噪声，但 PLL 在生成宽范围频率方面具有灵活性优势，并且能够在同一器件中提供多个输出时钟。可在同一个 PLL 中生成大量时钟，或将多个 PLL 放置在同一个器件中以生成完全独立的输出。因此，MEMS 振荡器可灵活选择并编程多种参数。此特性的另一个例子是此类振荡器能够对与时钟信号的上升和下降时间相关的输出驱动强度进行编程。在对 EMI 敏感的应用中，可通过编程延长上升和下降时间。

MEMS 振荡器已得到了非常广泛的使用，并在很多应用中稳步取代晶体振荡器，包括消费、工业和汽车应用以及部分网络和电信应用。

以下章节将更详细地介绍 MEMS 振荡器对各类机械应力的抗力。

抗坠落测试

测试所采用的方式是将 MEMS 振荡器放置在 PCB 上，另外增加 200 克重量，让系统从 180 厘米的高度坠落到混凝土表面上。在两次坠落的间隔期间，我们都使用高分辨率的频率计数器对振荡器输出时钟进行三分钟的测量，以检查这段时间内的时钟稳定性。测量结果如图 1 所示，该图通过与已测量的初始频率值进行对比来显示器件的频率偏差。

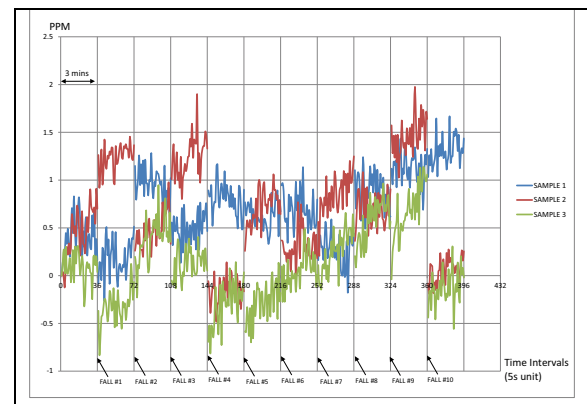


图 1: 10 次坠落前后的输出时钟稳定性（与初始频率值进行对比）

MEMS 振荡器输出时钟的偏差小于 3 ppm 的最大值，这一数据突显出 MEMS 振荡器在承受诸如反复坠落到混凝土等硬表面所造成的机械冲击时仍可保持良好的稳健性和弹性。

抗机械挠曲测试

我们还开展了进一步的测试，先将 MEMS 振荡器放在 5 cm x 5 cm 的 PCB 上，再将 PCB 的一端固定，同时使用机械力弯曲另一端。MEMS 振荡器的位置与被弯曲一端的距离为 1.5 厘米。PCB 的挠曲半径分别为 3 mm 和 6 mm，我们使用高分辨率的频率计数器在挠曲前后和期间对 MEMS 振荡器的输出时钟进行三分钟的测量。测量结果如图 2 所示，该图通过与已测量的初始频率值进行对比显示器件的稳定性。

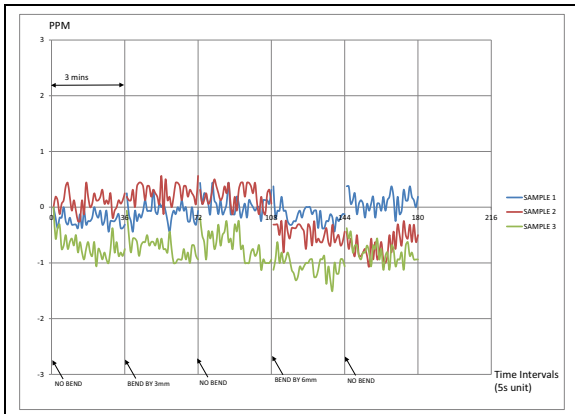


图 2: PCB 弯曲前后和期间的输出时钟稳定性（与初始频率值进行对比）

MEMS 振荡器的输出时钟的偏差小于 2 ppm 的最大值，这一数据突显出 MEMS 振荡器在承受诸如 PCB 挠曲所造成的机械应力时仍可保持良好的稳健性和弹性。

抗机械冲击测试

我们还根据军用和航空航天标准 MIL-STD-883 提供的指导准则，对 MEMS 振荡器进行了机械冲击测试。这次机械冲击测试遵循 Method 2002 的测试条件 E 中的规定：器件承受五次高达 10,000g 的冲击脉冲，每次持续 0.2 毫秒。

测量结果显示在图 3 中，该图将频率偏差（ppm）与冲击测试前的初始频率值进行对比。假设计算得出的最小值和最大值在 $\pm 3 \sigma$ 的范围内（99.73%），可以看到最大频率偏差仅为 3.85 ppm。

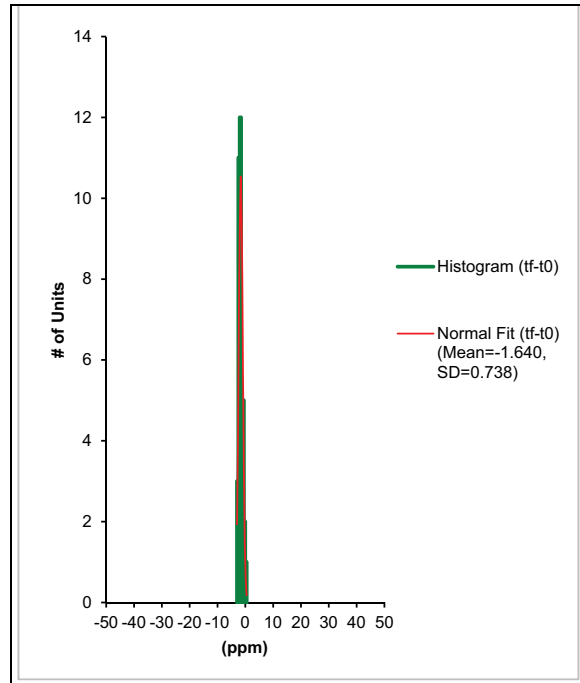


图 3: 在机械冲击测试 MIL-STD-883, Method 2002 之后的输出时钟稳定性柱状图

抗机械振动测试

我们根据军用和航空航天标准 MIL-STD-883 提供的指导准则，对 MEMS 振荡器进行了机械振动测试。这次机械振动测试遵循 Method 2007 的测试条件 C 中的规定：在充分保护连接线的前提下将器件刚性固定在振动平台上。器件以简谐运动方式振动，峰值加速度为 70g。振动频率在 20 Hz 至 2,000 Hz 之间按对数变化，持续四分钟。该测试在 X 轴、Y 轴和 Z 轴方向上各重复 4 次（总计 12 次），总时间为 48 分钟。

测量结果显示在图 4 中，该图将频率偏差（ppm）与振动测试前的初始频率值进行对比。假设计算得出的最小值和最大值在 $\pm 3 \sigma$ 的范围内（99.73%），可以看到最大频率偏差仅为 5.23 ppm。

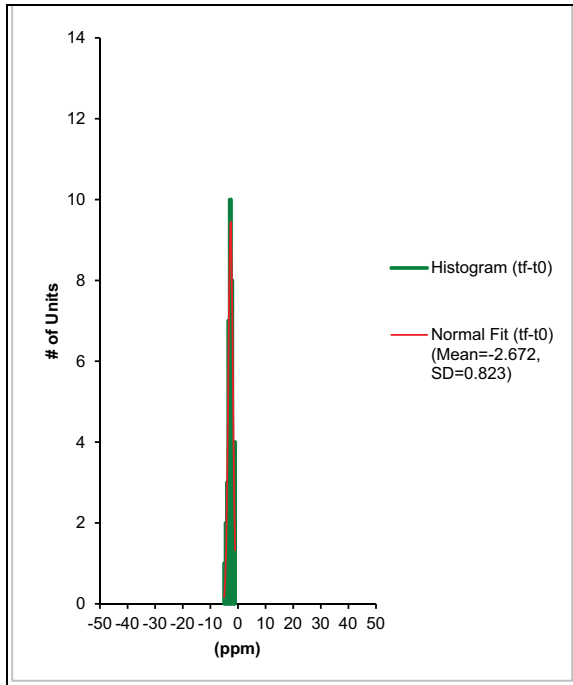


图4: 在机械振动测试 MIL-STD-883, Method 2007 之后的输出时钟稳定性柱状图

冲击和振动前后的稳定性

下面的图 5 显示了机械冲击和振动测试前后的三个样本的频率稳定性，这些测试已在前两节中详述，测试结果如图 3 和图 4 所示。

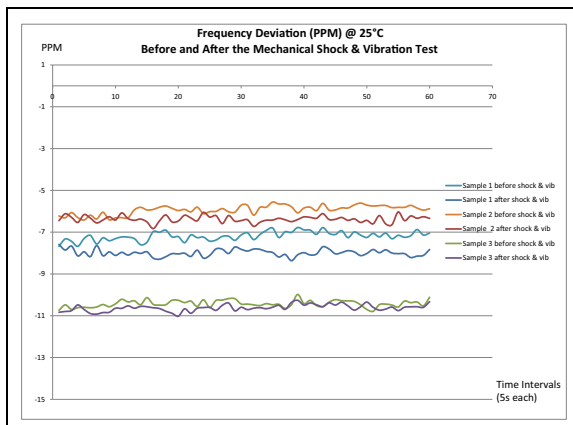


图5: 在 25°C 温度下，冲击和振动测试前后的频率偏差

MEMS 振荡器的输出时钟偏差在 1.5 ppm 范围内，这再度突显出 MEMS 振荡器在承受诸如 MIL-STD-883 冲击和振动测试所产生的高机械应力时仍可保持良好的稳健性。

结论

MEMS 振荡器对坠落、挠曲、冲击或振动导致的机械应力具有很强的抵抗能力。这种抵抗能力增强了可靠性，使其非常适合在恶劣环境下使用，例如工业和汽车应用。凭借这种重要的特性以及其他一些优势（例如宽温度范围下的平稳性、灵活性、可编程性以及小尺寸），MEMS 振荡器得到了非常广泛的使用，并在消费、工业、汽车和电信行业的很多应用中稳步取代晶体振荡器。

有关 Microchip MEMS 振荡器的更多信息，请访问：<http://www.microchip.com/design-centers/clock-and-timing/oscillators>。

AN2340

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适用性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 模拟产品 严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2720-9



全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta

Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX

Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston

Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago

Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas

Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit

Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX

Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis

Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles

Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC

Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY

Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA

Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto

Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-67-3636

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7289-7561

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820