

石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的特性比较

用于电子设备及通信系统设备的振荡器应具备性能之比较

【序文】

在构建各种电子设备及通信系统设备等过程中，振荡器作为信号源，其选择十分重要，将直接影响系统本身的性能。在之前发表的《技术说明·通信系统所需信号品质与基准信号源》中，我们已经从振荡器的特征随其所使用的波源与结构的不同而变化，以及振荡器的特性对系统的影响等方面，说明了选择基准信号源的重要性。本次对以下两种振荡器用于基准信号源时的必要特性进行实际测试，通过性能比较进行说明：

- ①以石英晶体单元为波源的基波振荡器；
- ②以硅谐振单元为波源且使用锁相环（PLL）的全硅 MEMS 振荡器。

【振荡器的结构及特征】

石英晶体振荡器是以石英晶体单元的基波振荡为波源而构成的振荡器；全硅 MEMS 振荡器则以硅谐振单元为波源，并由温度补偿电路及获取任意频率的锁相环电路构成。本次进行特性比较的振荡器基本结构如《图 1》所示。从基本结构可以看出，石英晶体振荡器的结构简洁，而全硅 MEMS 振荡器的结构复杂，包括谐振单元部分、锁相环部分及温度补偿部分。受复杂结构的影响，导致振荡器在噪音增幅、消耗电流的增加等性能方面出现各种差异。下页《表 1》表示振荡器源自结构差异的不同特征。在此，我们通过石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的性能比较，介绍作为基准信号源所需特性。

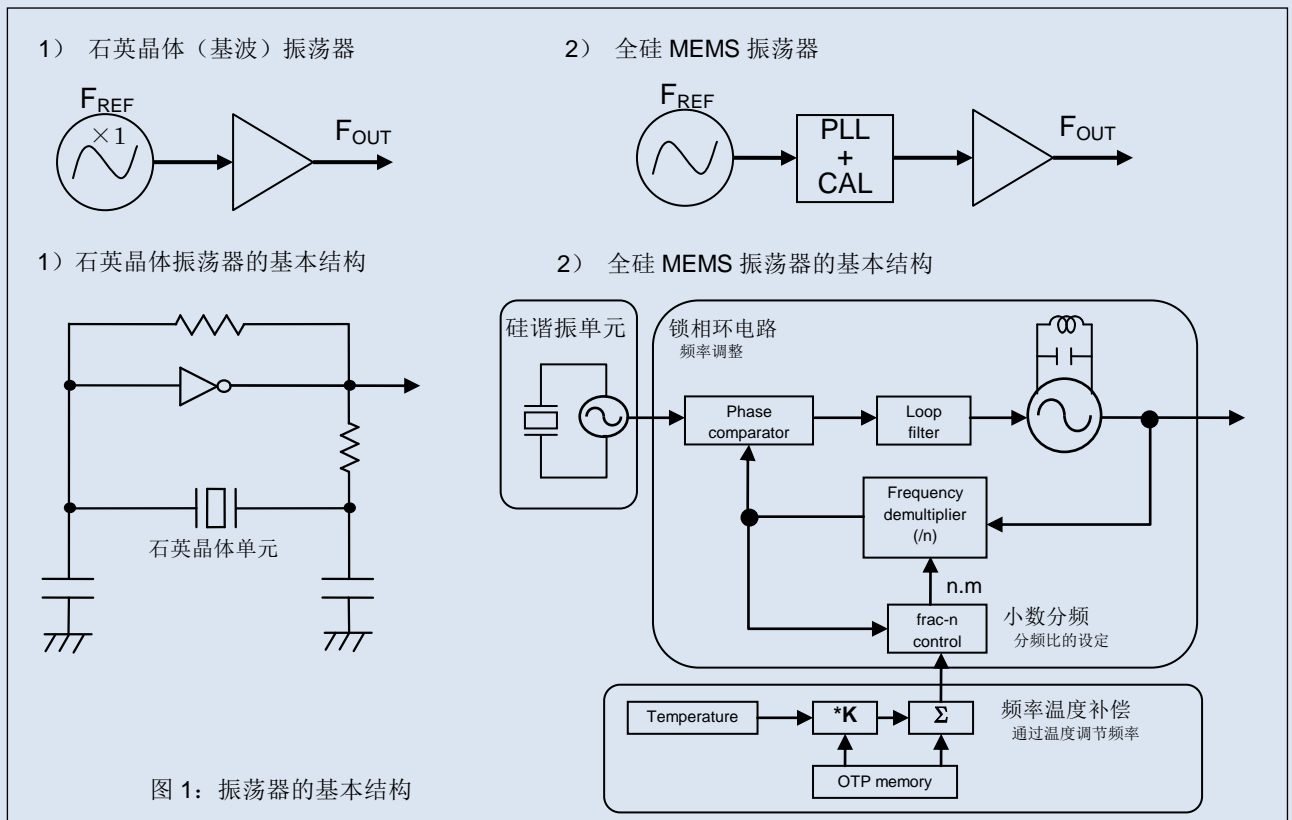


表 1: 振荡器的不同结构所引起的特征差异

振荡器的结构 (种类)	特征
石英晶体 (基波) 振荡器	利用石英的基波振荡使电路结构单纯简洁, 耗电量少, 并具有优越的噪音和抖动特性。
全硅 MEMS 振荡器	使用锁相环电路便于获得任意频率, 但电路结构复杂造成耗电量增大。而且, 全硅 MEMS 振荡器使用小数分频锁相环电路对全硅 MEMS 谐振单元进行温度补偿, 为此将产生间断性的频率跳动, 致使噪音与抖动特性变差。

【石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的特性比较】

下列项目是用于电子设备及通信系统设备的振荡器应具备的性能。通过这些项目的实际测试, 比较石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的性能。比较时使用爱普生制造的“SG-210S*B”石英晶体振荡器及两种全硅 MEMS 振荡器。

在此须提醒注意的是: 这是爱普生集团内独自实施的测试, 测试结果并不能保证实际产品的特性。

• 比较项目

- 1) 频率温度特性 → 温度变化时频率的稳定性如何?
- 2) 相位噪音与相位抖动 → 通信设备重要要素之一的噪音性能如何?
- 3) 电流消耗 → 消耗的电流大小?
- 4) 起振特性 → 通电后的起振特性与稳定性如何?
- 5) 频率稳定度 → 频率稳定性如何?

1) 频率温度特性

测试频率温度特性时, 在-40°C的低温下频率稳定后, 以+2.0°C/分的梯度使温度连续上升至+85°C, 测试该温度段中的频率, 结果如《图 2》所示。

“SG-210S*B”石英晶体振荡器的温度特性呈现 AT 型晶体特有的连续性的三次曲线。部分产品亦能够在较大的温度范围内保持特性稳定, 例如带简易温调功能的石英晶体振荡器“SG-211S*E”等。图中可以看出全硅 MEMS 振荡器与石英晶体振荡器同样, 亦能够在较大温度范围内保持良好的频率温度特性。但是, 全硅 MEMS 振荡器的硅谐振单元的温度特性为线性, 为保证频率稳定性则需要使用小数分频锁相环电路进行精密补偿。因此, 从《图 3》的放大图可以看出, 分频比切换时将产生间断性的频率跳动 (温度特性曲线中的微小折皱)。如上所示, 温度点的振荡频率的不连续性将引起输出信号相位变化, 从而对下文说明的噪音和抖动特性造成不良影响。

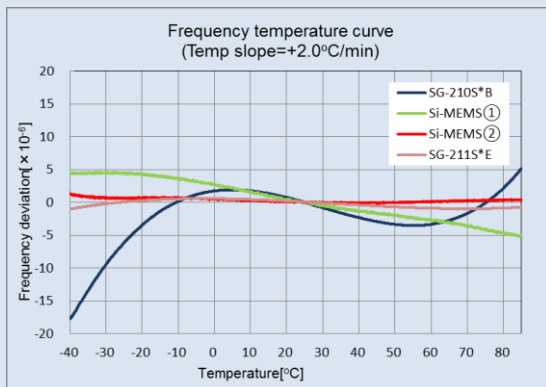


图 2: 各产品的频率温度特性测试结果

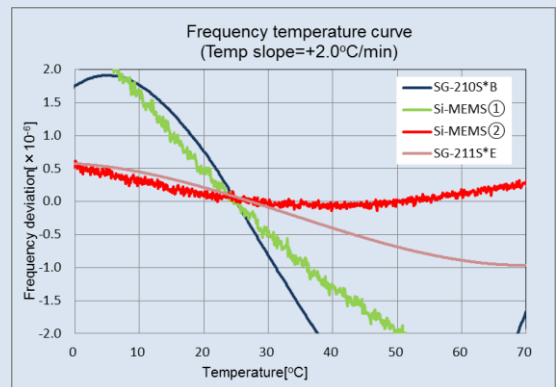


图 3: 温度特性放大图

2) 相位噪声与相位抖动

《图 4》表示 3.3V 电源电压、+25℃条件下的石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的相位噪声特性实测结果。

如《图 4》所示，全硅 MEMS 振荡器的相位噪声曲线的一部分变大，这起因于全硅 MEMS 振荡器的基本结构（《图 1》）。由于全硅 MEMS 振荡器所采用的锁相环电路的工作原理是锁定压控振荡器（以下称为“VCO”）发出的波源后输出倍频，因此这种振荡器的相位噪声特性受其振荡电路及锁相环电路的两种因素的影响。通常情况下，全硅 MEMS 振荡电路的载波周围低频的相位噪声特性不及石英晶体振荡电路；高频侧则显示出 VCO 的相位噪声特性而呈现下降趋势。

从《图 4》的全硅 MEMS 振荡器②也可以看出，部分全硅 MEMS 振荡器具有良好的相位噪声特性。这类产品为减少高频侧的相位噪声而采用了降低 VCO 与锁相环电路相位噪声的方法。在 VCO 与锁相环电路采取措施降低相位噪声时通常将使耗电量急剧增大。而且，伴随耗电量的增大，受分频比切换的影响而产生的杂散将变得更显著。

以下《表 2》表示相位抖动的实测结果。

根据 SONET/SDH 的标准，使用相位抖动的指标之一，从 12K 至 20MHz 的相位抖动量进行比较。

使用锁相环电路的振荡器的频率倍增数越大相位噪声特性越差，所产生的杂散对相位抖动造成不良影响。全硅 MEMS 振荡器②采用了有效的相位噪声特性改良方法，获得了很好的相位抖动值。但受振荡器结构的影响，亦未能达到石英晶体振荡器的数值。

无线通信设备基于相位调制技术进行通信，若在无线通信设备中使用相位抖动特性较差的振荡器作为基准信号源，则无法在产生噪音时准确调制，不能正确收发数据，亦可能导致无法发挥通信设备应有功能的恶果。

表 2：各产品的相位抖动测试结果

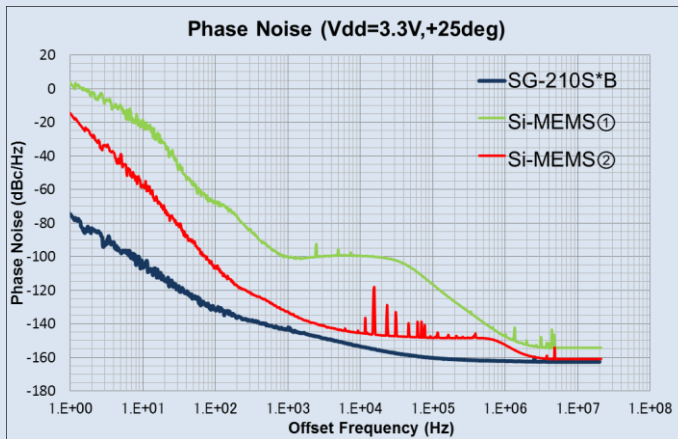


图 4：各产品的相位噪声特性测试结果

产品	频率	相位抖动 (偏离频率： 12kHz-20MHz)
“SG-210S*B” 石英晶体振荡器	25MHz	0.32ps
全硅 MEMS 振荡器①	24MHz	15.2ps
全硅 MEMS 振荡器②	19.2MHz	0.76ps

3) 电流消耗

表 3 表示 3.3V 电源电压、+25℃ 且负载电容等于 10pF 的条件下的各振荡器耗电量实测结果。

石英晶体振荡器采用波源基波振荡方式，结构简洁，耗电量受益于此而最少。

与此相对，受复杂电路的影响，全硅 MEMS 振荡器①的电流消耗为 7.1mA；在“相位噪音与相位抖动”之项中已说明的具有良好的相位噪音特性的全硅 MEMS 振荡器②竟然达到了 31.5mA。由此，需要在相位噪音的改良与维持低耗电量之间做出权衡，使用振荡器构建设备系统之际应当十分注意。

表 3: 各产品的消耗电流测试结果

产品	频率	电流消耗
“SG-210S*B” 石英晶体振荡器	25MHz	1.5mA
全硅 MEMS 振荡器①	25MHz	7.1mA
全硅 MEMS 振荡器②	19.2MHz	31.5mA

4) 起振特性

《图 5》表示以 1 毫秒为间隔的 0 至 0.5 秒时间段中，在 3.3V 电源电压、+25℃ 的条件下各振荡器通电后的起振特性。以频率偏差在 $\pm 10 \times 10^{-6}$ 以内的稳定所用时间进行比较时可以得出，石英晶体振荡器的振荡频率在 1.5 毫秒以内实现稳定，而全硅 MEMS 振荡器①约需 90 毫秒，相位抖动特性较好的全硅 MEMS 振荡器②约需 250 毫秒。并且，可以观察到全硅 MEMS 振荡器在起振之后受其频率补偿方式的影响而产生离散性的频率抖动。

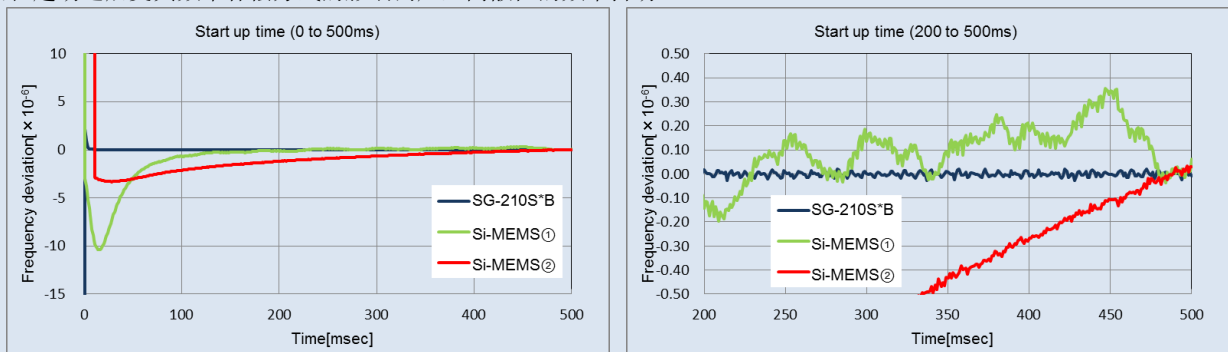


图 5: 各产品的起振特性结果

5) 频率稳定度

《图 6》表示 3.3V 电源电压、+25℃、测试时间 50 秒的条件下的各振荡器频率稳定度实测结果。

关于全硅 MEMS 振荡器的频率稳定度，与第 4) 项同样，因锁相环电路补偿而出现间断性的频率跳动。尤其是耗电量较少的全硅 MEMS 振荡器①，由于信号强度弱而随时产生 $\pm 0.6 \times 10^{-6}$ 左右的抖动。全硅 MEMS 振荡器②在这方面有所改善，仍不及石英晶体振荡器的稳定度。长时间测试时的结果亦表明全硅 MEMS 振荡器①的抖动持续不绝。

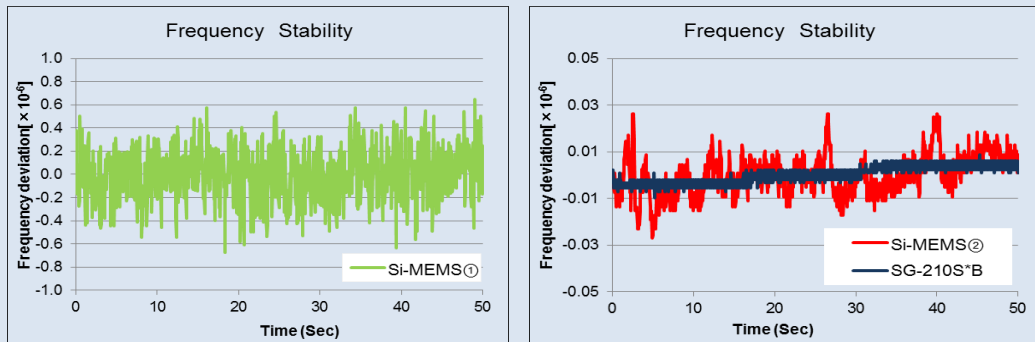


图 6: 各产品的频率稳定度测试结果

【总结】

《表 4》汇总了第 1) 至第 5) 项的评估结果。

表 4: 各产品评估结果汇总

评估项目	“SG-210S*B”石英晶体振荡器	全硅 MEMS 振荡器①	全硅 MEMS 振荡器②
1) 频率温度特性	○ 三次曲线 (“SG-211S*E”带简易温调功能)	△ 通过精密补偿确保稳定性, 但存在间断性的频率跳动	
2) 相位抖动	◎ 0.32ps	× 15.2ps	○ 0.76ps
3) 电流消耗	◎ 1.5mA	△ 7.1mA	× 31.5mA
4) 起振特性	◎ 1.5ms 以内	× 90ms 左右	× 250ms 左右
5) 频率稳定度	◎ ±0.01×10 ⁻⁶ 以下的稳定度	× ±0.6×10 ⁻⁶ 左右的稳定度, 但随时存在抖动	○ ±0.03×10 ⁻⁶ 左右的稳定度, 但随时存在抖动
综合评估	◎	×	△

以上对石英晶体振荡器与全硅 MEMS 振荡器的特性进行了比较。从《各产品评估结果汇总》可以看出, 以石英为波源的振荡器在所有项目中均显示出高精度及高稳定性, 是兼具双方优势的电子元器件。

全硅 MEMS 振荡器的风险因素较大, 可能无法正确收发数据, 有可能导致无法发挥通信设备应有功能的恶果。与其相比, 石英晶体振荡器的频率随温度变化而呈线形且相对稳定, 其相位噪音特性在载波周围低频至高频噪音高频的范围内保持稳定, 耗电量小, 起动稳定性优越并具有高的频率稳定度。因此, 石英晶体振荡器更适于高速通信系统中作为基准信号源使用, 可有助于构建高可靠性、高稳定的系统。

今后, 爱普生将充分应用石英的高精度、高稳定特性, 不断推出具备顾客应用系统所需性能的电子元件产品, 回应顾客需求。