

通信系统所需信号品质与基准信号源（2）

源于振荡器结构的相位噪音特性的解说

【序文】

高速数据通信中处理的信号按照通信协议需要具备误码率等信号品质性能。误码率（以下简称为“BER”）是指进行收发信之际，收信方接收数据中的误码数除以发出的数据总字节数得出的错误率。因此，系统设计人员需要通过专用集成电路的设计、基板布局的设计以及变更部品等防止信号品质下降。为了使信号保持高品质，基准信号源自身所具有的噪音及抖动性能是重要的参数。为此，我们在上次的技术说明中介绍了基于通信设备所需的信号品质而要求振荡器具备的关键规格，并介绍了根据市场中销售的振荡器结构及特征而适用于通信设备的爱普生产品。本次将详细解说市场中销售的振荡器因结构差异而产生的不同相位噪音特性。

【市场中销售的振荡器（基准信号源）的结构与特征】

图 1 表示市场中销售的振荡器的结构（类型），表 1 表示其特征。

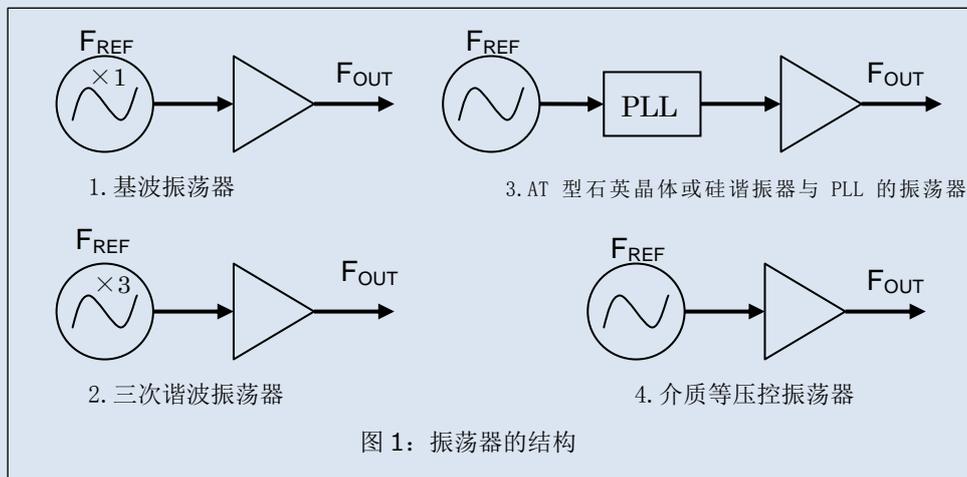


图 1: 振荡器的结构

表 1: 振荡器的结构与特征

振荡器的结构（种类）	特征
基波振荡器	噪音、抖动及失真特性优越。电路组成简洁，因此耗电量也小。
谐波振荡器	噪音、抖动及失真特性较好，但电路结构复杂、设计难度高，所以耗电量大，且电容比增大使频率可变幅度变小。
锁相环振荡器	使用锁相环电路可较为容易地获得任意频率，但电路结构复杂而造成耗电量大，并对噪音及抖动性能带来不良影响。
介质等压控振荡器	由电感和电容组成的电路结构单纯，因此可输出较大的振幅，但耗电量大，因材料自身的频率稳定度及老化特征不佳而产生大量噪音。

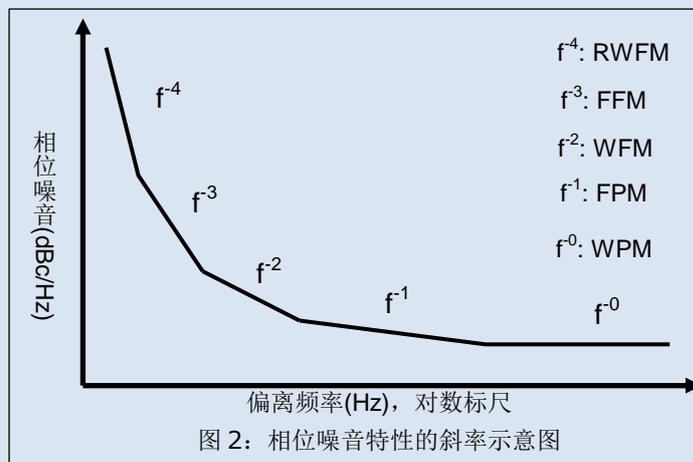
如特征栏所示，振荡器的结构不同造成其特性各有差异。本次从极大影响通信系统信号品质的噪音和抖动的角度，详细说明基波振荡器、锁相环振荡器以及介质等压控振荡器的相位噪音特征与倾向。

【相位噪声斜率的特征】

相位噪声呈现图 2 所示的斜率特征。该斜率分为五大类，分别具有以下特征，在此简单说明。

- 1) 随机游动频率调制 (RWF: Random Walk Frequency Modulation) 噪声的斜率与偏移频率的 4 次方呈反比，主要表示波源频率变动 (相位变化转换为频率变化) 的影响。
- 2) 闪烁频率调制 (FFM: Flicker Frequency Modulation) 白噪声的斜率与偏移频率的 3 次方呈反比，主要表示来自波源的闪烁噪声的影响。
- 3) 白频率调制 (WFM: White Frequency Modulation) 噪声的斜率与偏移频率的 2 次方呈反比，主要表示电路侧 Q 值的影响。
- 4) 闪烁相位 (FPM: Flicker Phase Modulation) 噪声的斜率与偏移频率呈反比，与闪烁噪声同样表示来自发出振荡侧 (电路侧) 的噪声影响。
- 5) 白相位调制 (WPM: White Phase Modulation) 噪声的斜率保持一定且与偏移频率无关，主要表示来自电路的噪声 (部件的热噪声类) 和振荡信号的 S/N 比的影响。

如上所述，相位噪声特性的斜率可分为两大类：RWF 和 FFM 噪声受波源影响；WFM、FPM 和 WPM 噪声受电路影响。

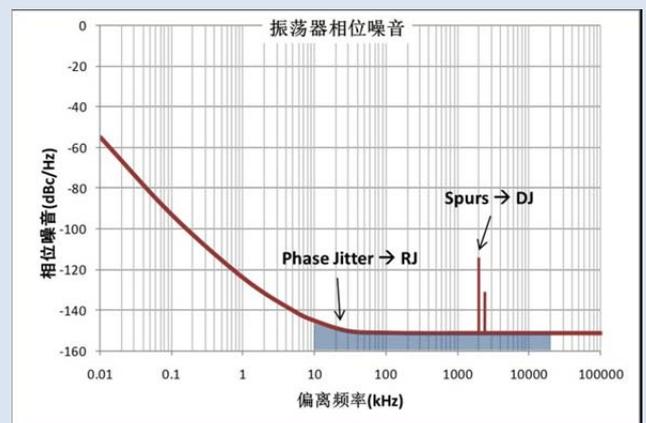


【根据相位噪声特性计算相位抖动的方法】

在以前发表的技术说明《抖动与相位噪声》中亦曾介绍过，相位抖动可通过相位噪声特性的特定偏移频率范围的积分求出。通信系统性能取决于通信环路带宽中的相位抖动量，现在已把许多通信系统通信环路带宽中的 12k-20MHz 的相位抖动量 (SONET/SDH 的标准) 作为相位抖动的重要指标之一。

图 3 表示相位噪声特性与相位抖动的关系。

总体抖动 TJ (Total Jitter) 用确定性抖动 DJ (Deterministic Jitter) 与随机抖动 RJ (Random Jitter) 之和来表示。具有类似图 3 所示的相位噪声特性的系统中，相位抖动总量相当于通信环路带宽中的 12k-20MHz 部分 (图 3 中灰蓝色部分) 的积分值 (RJ) 与失真的积分值 (DJ) 的总和。



【因振荡器结构而造成的不同相位噪声特性】

为了有助于理解因振荡器结构而造成的相位噪声特性差异，在此将以图 1 中介绍的结构为基础，说明三种振荡器的相位噪声特性倾向，这三种振荡器分别是以石英晶体单元为波源的基波振荡器、以硅谐振器为波源使用锁相环电路的 Si-MEMS 振荡器及以 LC 谐振单元为波源的介质等压控振荡器。图 4 表示作为波源的石英、硅谐振器和 LC 谐振单元各自所具有的相位噪声特性。

首先载波周围低频侧的曲线斜率不同的主要原因在于波源的 Q 值。特别是 Q 值高的石英在偏离频率为约 100kHz 为止的范围内具有相位噪声低的特性；而 LC 谐振单元的 Q 值极低，只有几十左右，在载波周围低频侧的相位噪声特性呈恶化倾向。与此相对照，斜率的高频侧与波源无关，主要受电路所产生的噪音等的影响。因此，如果信号成分大于噪音成分，本底噪音则显示出更低的倾向。尤其突出的是，LC 谐振单元的输出振幅越大信号强度越强，所以在高频侧具有相位噪声变小的特点。与此相比，硅谐振器所受功率有限而导致输出振幅小、信号强度弱，因此在高频侧与石英和 LC 谐振单元相比较为不利。当然，也可以采用增大电流的方法提高信号强度并降低本底噪音，以此减少高频侧的相位噪声。这种情况下，需要在相位噪声的改良与维持低耗电量之间做出权衡。

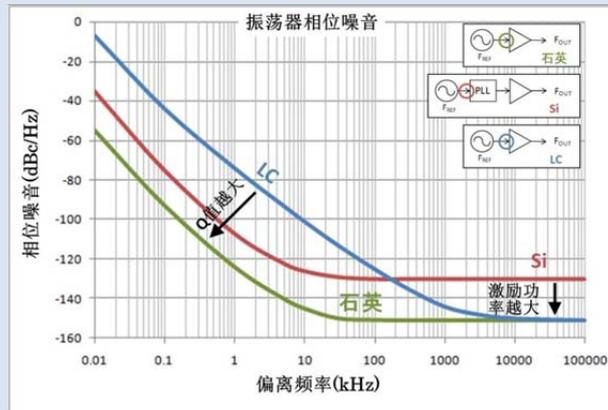


图 4: 波源所具有的相位噪声示意图

(右上方的振荡器程序块中用绿色、红色和蓝色圆圈围起部分的相位噪声特性示意)

以上，我们说明了有关波源的相位噪声特性。就其中的硅谐振器而言，硅晶体本身所具有的温度特性的变化量大，构成振荡器时必须对其温度依存性进行补偿以确保稳定性。为此，经常使用锁相环电路作为补偿电路。在此，用图 5 说明以硅谐振器为波源经过锁相环电路后的相位噪声特性。

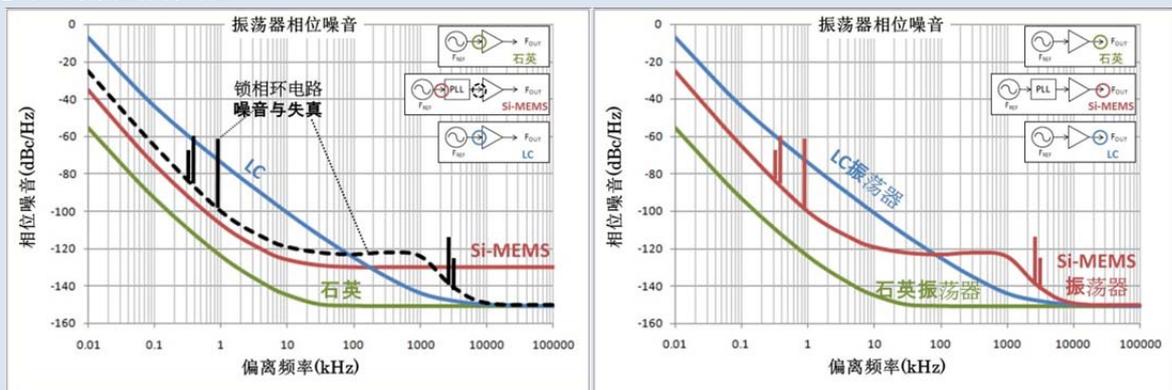


图 5: 锁相环电路的相位噪声特性示意 (左) 与因振荡器结构而引起的相位噪声特性倾向 (右)

如图 5 左所示，使用锁相环电路振荡器的相位噪声曲线的一部分将变大。锁相环电路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，因此使用锁相环电路的相位噪声特性受 VCO 和锁相环电路的两项因素的影响。通常，以 VCO 为波源的相位噪声特性比石英波源差，并将显示在锁相环电路的高频领域，所以出现上述特性。而且，频率倍增数也将改变低频的相位噪声水平，所以倍数越大相位噪声特性越差，因锁相环电路和倍增而产生的失真亦将导致相位噪声特性的恶化。同时，高频侧的特性取决于电路的输出振幅，与波源无关均将保持一定。

最后，用图 5 右汇总以石英晶体单元为波源的基波振荡器、以硅谐振器为波源使用锁相环电路的 Si-MEMS 振荡器及以 LC 谐振单元为波源的介质等压控振荡器所输出的相位噪声特性倾向。

【从相位噪声特性得出的高速通信系统所需振荡器结构】

以上篇幅中说明了相位噪声特性随振荡器结构不同而变化。设计人员进行系统设计之际，在决定所使用的电子部件、基板布局和设计专用集成电路时，应先决定是侧重于载波周围低频侧的噪音特性（图 6 左），还是侧重于 SONET/SDH 所示的通信环路带宽中的 12k-20MHz 的相位抖动量（图 6 右）。由于 Si-MEMS 振荡器具有的锁相环电路致使相位噪声曲线的一部分变大以及产生失真的问题，而介质等压控振荡器有频率不稳定的问题，因此我们认为在高速通信系统的设计中不应当使用这些风险较大的产品。以石英晶体单元为波源的基波振荡器具有低相位抖动特性且频率稳定，更适于在通信系统中使用。

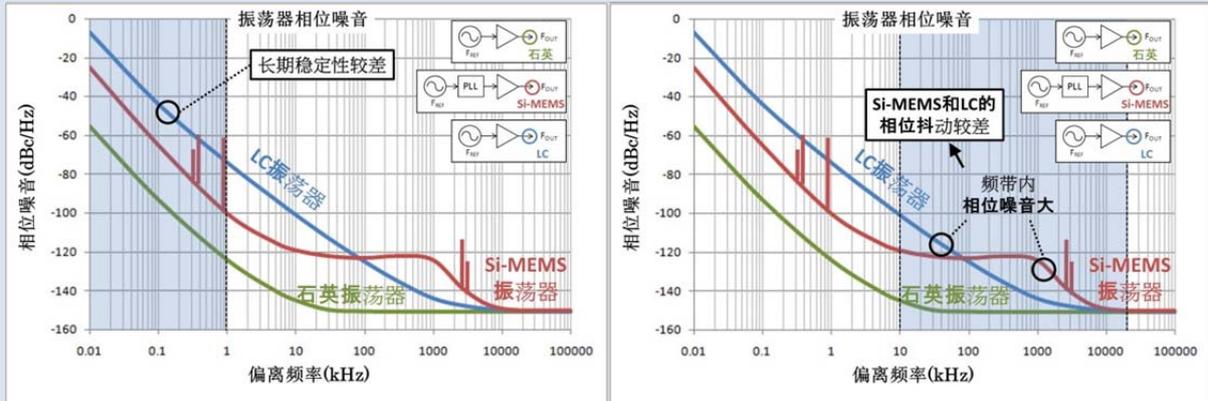


图 6: 载波周围低频侧特性（左）与高频侧（右）本底噪音特性的比较

爱普生的振荡器产品以石英晶体单元为波源，在载波周围低频至本底噪音高频的范围内保持稳定的相位噪声特性，以基波起振的电路组成也相对简单，能够把耗电量控制在较小程度。在通信速度不断提高的通信系统中，我们相信，以石英晶体单元为波源的基波振荡器将成为通信系统中不可或缺的关键部件。爱普生今后亦将不断开发拥有顾客所追求的性能的产品，满足顾客需求。