

# 使用 LMK03000C 来清除恢复时钟的抖动

美国国家半导体公司  
应用注释1734  
Dean Banerjee  
2007年10月



使用 LMK03000C 来清除恢复时钟的抖动

## 引言

在有线通信中，需要从数据中恢复时钟。将时钟编码到数据中的优点是可以省却发送时钟的线路，也有助于处理偏移问题。

SERDES（串行器-解串器）器件诸如SCAN25100可以接收一组并行数据并将其转化为一组串行数据，而后通过单个线路传送。在接收端采用另一个SERDES器件从已接收的串行数据中再生并行数据。这是长距离传送数据的一种极为有效的技术，但是相对于用来产生串行数据的原始时钟，恢复的时钟会增加相位噪声（抖动）。

在长电缆上传输数据时，信号会越来越弱，信噪比也会变低。如果电缆太长，则不可能再恢复时钟信号。正因为此，可将SERDES器件作为一个转发器，用来接收串行数据，恢复时钟，然后采用已恢复的时钟或者清除了抖动的时钟来重新定时。以这种方法，可以在距离长很多的电缆上传送数据。

时钟调节器，如LMK03000C，可用来接收这种“脏”时钟（有较高的相位噪声/抖动）并产生一种频率完全相同的干净时钟（有较低的相位噪声/抖动）。本应用注释研究了每一步以及最后清除时钟抖动的影响。

本应用注释以SCAN25100 SERDES和LMK03001C时钟调节器为实例，说明了如何实现清理的过程。

## SCAN25100的恢复时钟

为了解恢复时钟的现象，采用SCAN25100来产生一个恢复的时钟，并用E5052相位噪声分析仪来测量。采用SCAN25100与LMK03001C时钟调节器创建了一个电路板。为了测量没有清除抖动的恢复时钟，将LMK03001C关闭。

开始时，用HP83712B信号发生器产生一个30.72 MHz信号，将它用作一个“干净的”参考时钟。将SCAN25100设置在BIST（内建自测试）模式，使其产生可传送的伪随机数据。在实际例子中，会产生并行格式的数据，但是需要较多的设备，也更加复杂，这超出了本应用注释的范围。

一旦在SCAN25100内部创建了伪随机数据，器件会产生一组串行数据，通过评估板的Dout+/Dout-引脚传出去。然后通过双绞线将该数据传送到下一个电路板。以这种方式，就可研究SCAN25100的恢复时钟。

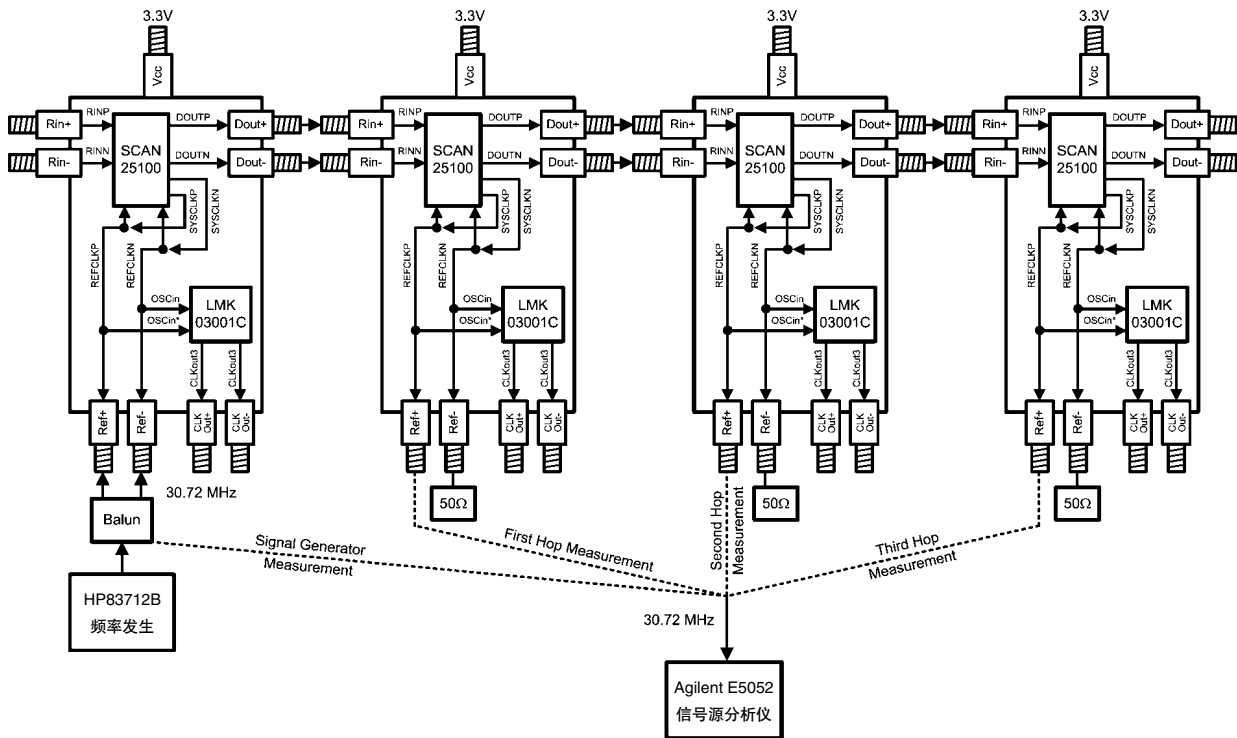


图1. 测量SCAN25100的恢复时钟的设置

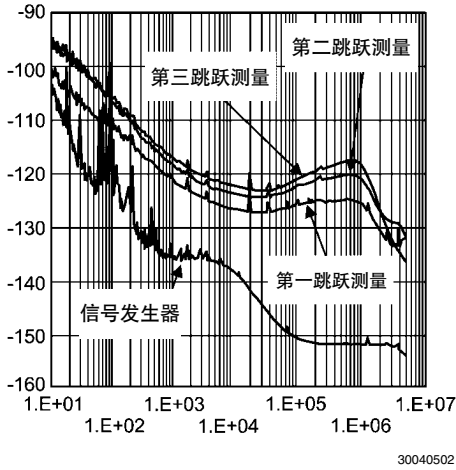


图2. SCAN25100的恢复时钟

图2所示为SCAN25100的未经处理的恢复时钟。将它与信号发生器输出的原始时钟相比，显然，恢复时钟具有更多的相位噪声。

表1. 抖动作为积分下限 (LowerLimit) 的函数

		抖动 (ps) 与下限以及测量点的关系			
		信号源	一个跳接	两个跳接	三个跳接
下 限	10 Hz	0.467	5.921	9.245	10.887
	100 Hz	0.437	5.913	9.227	10.869
	1 kHz	0.432	5.905	9.216	10.858
	10 kHz	0.420	5.892	9.201	10.840
	100 kHz	0.406	5.793	9.073	10.693
	1 MHz	0.362	4.272	6.261	6.262

从表中还可观察到下限的选择对于抖动的影响很小。对于第一跳接，假定下限的选择为100 kHz 或者更低，这是大多数应用的实际情况，抖动约为6 ps。抖动以均方根RMS的形式迭加，所以这意味着两种来源的抖动如下所示迭加。

$$Jitter_{Total} = \sqrt{(Jitter_{Source1})^2 + (Jitter_{Source2})^2}$$

在这种情况下，经过首个SCAN25100的信号源所产生的抖动相比恢复时钟产生的抖动较小。所以使用这个规则，就可得到用于N个串联SCAN25100器件的经验法则。

$$Jitter_{Total} \approx 6 \text{ ps} \times \sqrt{n}$$

**在一个多跳结构中的残余相位噪声和抖动**

除了理解来自所有跳接的总体抖动之外，知道每个跳接的噪声贡献也非常有用。这方面知识可用于将这个结果推广到更多的跳接，也可得到有关LMK-SCAN25100电路板的板与板之间差异的一些概念。残余相位噪声这个术语被用来说明仅由一个器件所增加的相位噪声，与总体相位噪声相反，后者可适用于整个系统。

通过观察第一跳接测量和第二跳接测量之间的差别，可以发现将跳接加倍的通用方式增加了约3 dB的相位噪声。

**抖动的计算**

由此相位噪声特性图，一旦确立了积分的界限，就可计算得到抖动值。

图2所示分别为一个跳接，两个跳接和三个跳接的测量结果。基于相位噪声，可按照下面等式计算出抖动。在表1的计算中，我们为以下等式的上限 (UpperLimit) 选择了5 MHz 的固定值，然后用选择的下限来计算抖动值：

$$Jitter = \frac{\sqrt{\int_{LowerLimit}^{UpperLimit} 10^{PhaseNoise(Offset)/10} \cdot dOffset}}{2 \cdot \pi \cdot Frequency}$$

残余相位噪声的设置与相位噪声的设置完全相同，如图1所示。实际上，所有与残余相位噪声相关的结果都可通过图2中的相位噪声结果进行计算。注意这种计算对于噪声非常敏感。

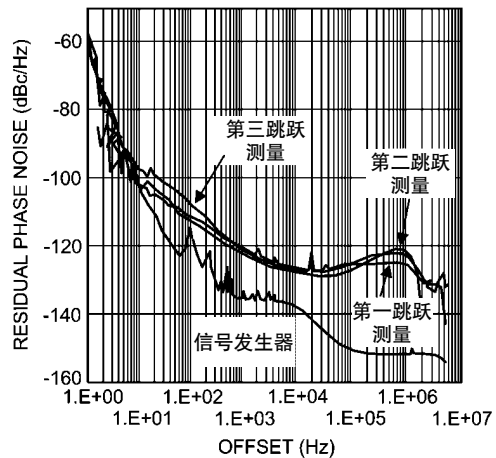


图3. 计算的残余相位噪声

从这些抖动数值中，可以计算出每级的迭加抖动量。公式如下：

$$(\text{Jitter}_{\text{Total}})^2 = (\text{Jitter}_{\text{Additive}})^2 + (\text{Jitter}_{\text{Original}})^2$$

$$\Rightarrow \text{Jitter}_{\text{Additive}} = \sqrt{(\text{Jitter}_{\text{Total}})^2 - (\text{Jitter}_{\text{Original}})^2}$$

表2. 计算的残余抖动

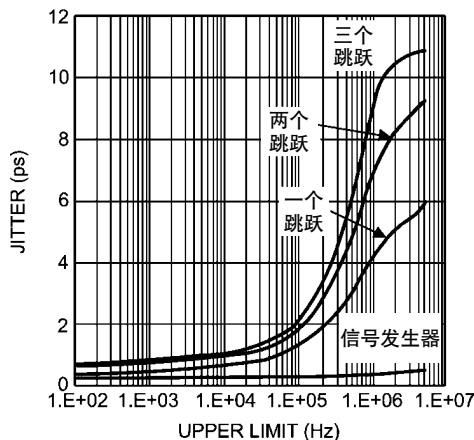
		残余抖动 (ps) 偏移频率下限和测量点的关系			
		信号源	一个跳接	两个跳接	三个跳接
限 下	10 Hz	0.467	5.902	7.100	5.749
	100 Hz	0.437	5.896	7.083	5.745
	1 kHz	0.432	5.889	7.076	5.740
	10 kHz	0.420	5.878	7.067	5.730
	100 kHz	0.406	5.778	6.983	5.660

关于图3和表2的一个重要观察结果是，每一级迭加的抖动形状是类似的，至少低于1 MHz。即使这种形状通过1 MHz各不相同，对于每一级而言，与曲线下方面积有关的抖动是相同量级的。

## 理解清除时钟抖动的影响

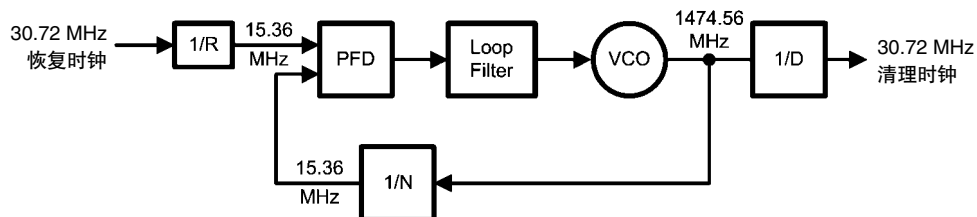
### 时钟调节器

考虑到恢复时钟相位噪声如图2所示。将上限 (UpperLimit) 作为变量进行积分，可计算出这种相位噪声的抖动量。计算之后，能获得下图。



30040508

图4. 抖动作为积分上限的函数



30040509

图5. 时钟调节器结构

下表所示为计算的抖动数值，它是关于偏移频率下限和测量点的函数。可以发现每一级的数值都大致相同。

从图4中能观察到很重要的一点是，如果能以某种方式限制积分的上限，就可显著降低抖动。这激发了关于时钟滤波器的讨论。时钟滤波器本质上是一个将超出截止频率的噪声滤除的滤波器。在这种情况下，若能设计滤波器使得超过约10 kHz的噪声产生滚降，则可充分降低抖动。如果这种滤波器可以滤除噪声，则会考虑是什么原因无法将截止点频率设得更低，如1 Hz。原因是这种滤波器在实际上很难实现。这种滤波器不是低通滤波器，而是一种带通滤波器，可以对其编程将中心频率设定在30.72 MHz。换句话说，这种滤波器是一个时钟调节器。

时钟调节器由PLL、VCO和分配单元组成。为了清理时钟，将30.72 MHz的恢复时钟除以R（在本例中为2），目的是得到15.36 MHz的相位检测频率。这里，压控振荡器（VCO）的频率为1474.56 MHz。将VCO频率除以N（本例中为96），其目的是产生15.36 MHz的反馈信号。通过相位频率检测器（PFD）比较N和R计数器的输出。PFD输出一个纠正电流到环路滤波器，然后将这种纠正电流转换为电压，从而去控制VCO。可将环路滤波器看作是一种低通滤波器，将来自PFD的这些纠正电流进行积分。

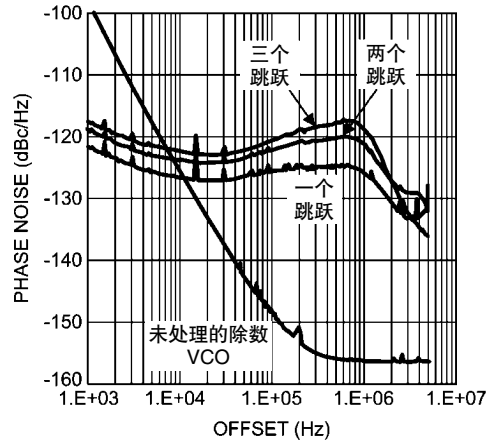
**选择最佳的环路带宽**

采用一个外部电阻和两个外部电容来实现环路滤波器。选择这些器件可以调节系统的环路带宽。在低于环路带宽的频率处，来自30.72 MHz恢复时钟的噪声得以通过，但是VCO噪声被削弱。在高于环路带宽的频率处，30.72 MHz恢复时钟的噪声被衰减，但是VCO噪声可以通过。因此，环路带宽的最佳设计选择取决于VCO和恢复时钟的噪声。在这种情况下，采用的VCO是LMK03001C时钟调节器的内置VCO。恢复时钟来自SCAN25100，在图6中分别以一个跳接，两个跳接和三个跳接所示。通常可找到这样的频率，此处VCO的自由噪声等于其它带内噪声源，并在此基础上增加25%，从而找到最佳的抖动。

增加25%是因为环路滤波器不是一个规则的“砖墙”滤波器，在环路带宽附近会有一些尖峰。在恢复时钟的情况下，增加25%会更好一些，因为能增加更多的跳接。因此，应选择这些曲线交叉点的频率。

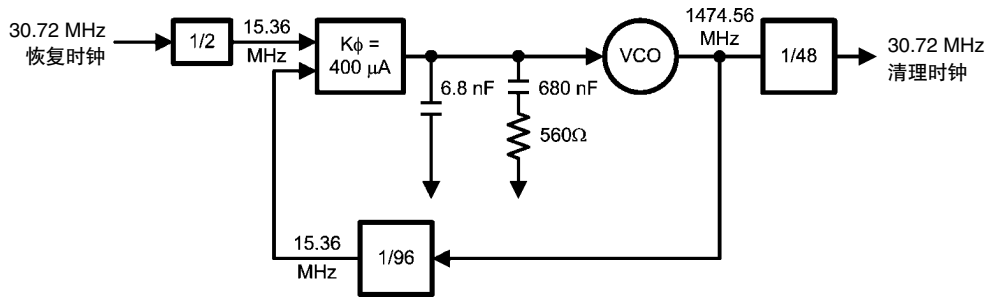
由图6意味着，如果采用一个跳接，大约11 kHz的环路

带宽是最佳的，对于两个跳接而言，则最佳环路带宽大约是8.5 kHz，对于三个跳接，最佳环路带宽约为7.2 kHz。



30040510

**图6. 确定使用的环路带宽**

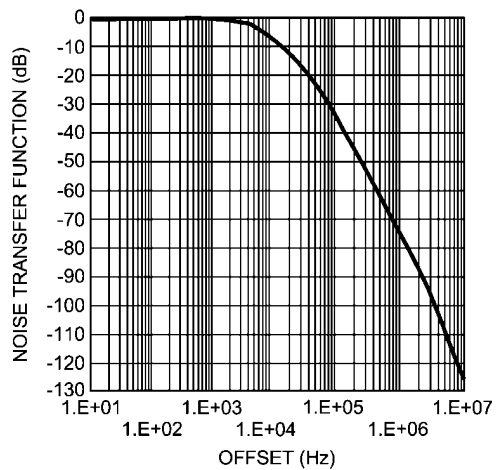


30040511

**图7. 为清理30.72 MHz恢复时钟而创建的LMK03001C的设置**

**在实际设计中实现这些设计技术**

为了说明所有这些技术，采用三个跳接的SCAN25100，最后一级采用LMK03001C时钟调节器清理抖动。从图6中，我们看到三个跳接的最佳环路带宽大约是7.2 kHz。然而，选择三个跳接是随意的，也可能采用更多的跳接。



30040512

**图8. 环路滤波器对恢复时钟噪声的抑制**

为此，采用较窄的4 kHz环路带宽，以确保如果采用更多跳接时这种解决方案具有鲁棒性。同样，它使设计较少地依

赖于在恢复时钟中采用的数据模式和用来驱动SCAN25100的晶振的频谱纯度。

图8表示系统的环路滤波器可以抑制多少恢复时钟的噪声。在大于4 kHz的偏移频率处，恢复时钟噪声得到衰减。根据图6，环路带宽的最佳值更靠近7.2 kHz，但是会把它降低至4 kHz，因为三跳分析的结果对于三个跳接是足够的，如果迭加了更多跳接，更窄的环路带宽可使设计更加灵活。

也可在这个应用中选择LMK03000C，但是采用了LMK03001C，因为可使用1474.56 MHz的VCO频率。对于LMK系列的器件，为输出频率调节的VCO相位噪声，在较低频率范围表现最佳，因为有更多的内部VCO电容切换以产生这个较低的VCO频率。由于LMK03001C有较低的1474.56 MHz的VCO界限，这是一个好选择。

LMK03001C也具有16级的电荷泵电流。如果电荷泵电流在大约400 uA以下，会使相位噪声变得稍差。增加电荷泵电流使之超过400 uA，测量相位噪声没有提高，但会增加环路滤波器电容的尺寸。为此，选择电荷泵电流为400 uA。至于相位检测器频率的选择，要在PLL相位噪声的贡献，环路滤波器的电容尺寸和周期滑动之间取得平衡。在15.36 MHz的相位检测频率点，使得如LMK03001C的PLL相位噪声远低于恢复时钟的相位噪声。尽管采用30.72 MHz的相位检测频率，实际上不会改善带内相位噪声，因为噪声由其它原因主导。同样，它会增加电容尺寸，由于周期滑动也会劣化锁定时间。

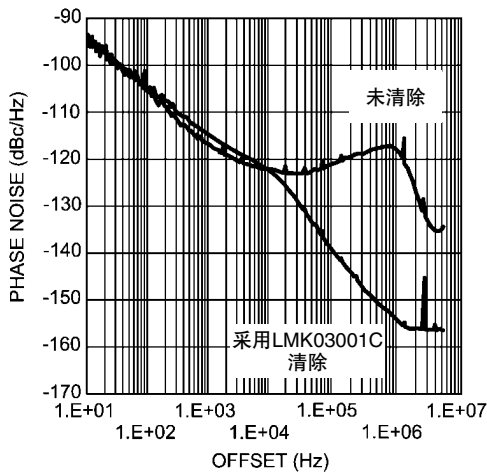


图9. 为清理30.72 MHz恢复时钟的抖动而创建的LMK03001C设置

注意到，在图9中恢复时钟具有更低的抖动值。如果采用100 Hz至5 MHz的积分边界，恢复时钟具有5.3 ps的抖动，清理后的恢复时钟则有1.4 ps的抖动。注意到在100 Hz到大约8 kHz的范围内，时钟调节器实际上增加很少相位噪声。这是因为只有VCO噪声的贡献。如果这是一个考虑的主要问题，则应增加环路带宽。这项设计亦采用了更宽的环路带宽，并将抖动减少到大约900 fs。

## 结论

SCAN25100和LMK03001C系列器件是传送和恢复数据的极好选择。在多跳结构中，由于SCAN25100具有一个内置的参考时钟，使之除了串联中用来使数据串行化的第一个器件外，再没有必要为其他SCAN25100器件提供参考时钟。

LMK03001C是清除时钟抖动的理想选择，因为其在偏移频率高端有极佳的相位噪声性能。这一点比较重要，因为恢复时钟噪声会是在较高偏移频率处的噪声。

当增加跳接的数目时，SCAN25100的参考时钟噪声主要在较高的相位噪声偏移频率处出现劣化，所以要在每个跳接处作滤波，这与仅在最后跳接处滤波相反，但仅为抖动清除提供了少量好处，因为最后跳接处的滤波肯定会清除这种噪声。然而，除非要在每个跳接处而不是仅在最后跳接使用这种恢复时钟，才有理由需要在每个跳接处清除时钟抖动。

如果是出于系统需要而不是数据定时的要求，LMK02000时钟调节器使用户能运用VCXO来获得改善的，接近载波质量的相位噪声的性能。

## 注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。  
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：[www.national.com](http://www.national.com)。

### 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

### 禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。  
无铅产品符合RoHS指令。



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560