

正确理解时钟器件的抖动性能

Steven Shi

China Telecom Application Team

摘 要

在选择时钟器件时，抖动指标是最重要的关键参数之一。但不同的时钟器件，对抖动的描述不尽相同，如不带锁相环的时钟驱动器有附加抖动指标要求，而带锁相环实现零延时的时钟驱动器则有周期抖动和周期间抖动指标。同时，不同厂家对相关时钟器件的抖动指标定义条件也不一样，如在时钟合成器条件下测试，还是在抖动滤除条件下测试等。

为了正确理解时钟相关器件的抖动指标规格，同时选择抖动性能适合系统应用的时钟解决方案，本文详细介绍了如何理解两种类型时钟驱动器的抖动参数，以及从锁相环输出噪声特性理解时钟器件作为合成器、抖动滤除功能时的噪声特性。

目 录

1	概述	3
2	时钟抖动和锁相环噪声模型	3
2.1	抖动	3
2.2	相位噪声	4
2.3	均值抖动和相位噪声关系	5
2.4	锁相环噪声模型	7
3	时钟驱动器	8
3.1	不带锁相环的时钟驱动器	8
3.2	零延迟时钟驱动器	10
4	锁相环时钟器件	11
4.1	时钟合成器 (CSU)	11
4.2	抖动滤除器件 (Jitter Cleaner)	13

4.3 超高性能抖动滤除时钟器件	15
5 总结	16
6 参考资料	17

图

1 抖动的定义-----	3
2 相位噪声定义-----	4
3 相位噪声曲线-----	5
4 典型锁相环输出噪声分布-----	6
5 环路带宽为~10Hz 锁相环输出噪声-----	6
6 环路带宽为 100KHz 锁相环输出噪声-----	7
7 时钟驱动器噪声分布-----	7
8 附加抖动测试波形-----	8
9 系统级附加抖动测试-----	8
10 CDCE706 时钟合成器的输出抖动性能-----	9
11 CDCM6208 输出相位噪声（时钟合成器模式）-----	10
12 LMK03806 输出相位噪声-----	11
13 CDCE72010+125MHz VCXO 输出相位噪声-----	12
14 CDCM6208 作为抖动滤除应用时相应的相位噪声性能-----	12
15 LMK04XXX 系列双级级联时钟器件方框图-----	13
16 LMK04906 + VCXO 输出相位噪声-----	13

表

1 CDCU2A877 器件手册抖动规格-----	9
---------------------------	---

1 概述

随着半导体工艺速度和集成度的提高，以及模拟集成电路设计能力的提升，锁相环芯片的产品形态越来越丰富，大大提升了系统时钟方案设计的灵活性，同时降低了系统时钟方案总成本。目前，锁相环集成芯片已被广泛应用于无线通信、数据网络、消费电子、医疗设备和安防监控等领域，可以实现通信网定时同步、时钟产生、时钟恢复和抖动滤除、频率合成和转换、时钟分发和驱动等功能。

面对时钟器件供应商提供的种类繁多的芯片，为系统设计选择满足性能规格，同时总体方案成本又具有竞争力的时钟电路，是电路设计者面临的一个难题。由于时钟器件的关键指标是抖动规格，高性能的抖动指标往往价格也要高很多，本文从分析时钟器件的抖动规格入手，详细介绍了如何正确地理解在时钟芯片器件手册里该指标的含义。基于抖动指标，介绍了德州仪器（TI）所提供的一系列时钟器件及其抖动性能，帮助电路设计者选择最适合自己的时钟方案。

2 时钟抖动和锁相环噪声模型

对时钟器件而言，抖动和锁相环是两个最基本的概念。

2.1 抖动

如图 1 所示，时钟抖动可分为三种抖动类型：时间间隔误差 TIE（Time Interval Error）、周期抖动 PJ（Period Jitter）和相邻周期间抖动 CCJ（Cycle to Cycle Jitter）。周期抖动是多个周期内对时钟周期的变化进行统计与测量的结果，相邻周期间抖动是时钟相邻周期的周期差值进行统计与测量的结果，由于这两种抖动是单个周期或相邻周期的偏差，表征的是短期抖动行为。时间间隔误差又称为相位抖动（Phase Jitter），是指信号在电平转换时，其边沿与理想时间位置的偏移量，通常表征的是长期抖动行为。

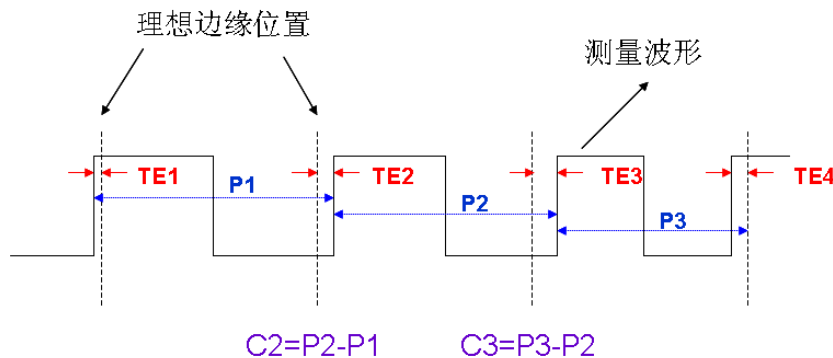


图 1 抖动定义

从时钟抖动的来源分析，可以把抖动归纳为两大类：确定性抖动和随机性抖动。确定性抖动是由可识别的各种干扰信号造成的，如 EMI 辐射、电源噪声、同步切换噪声等等，这种抖动幅度是有边界的，而且可以通过电路设计优化把干扰源消除或大幅降低，一般是不直接描述时钟器件的抖动性能。随机抖动是不能预测的噪声源，如热噪声（也称为 Johnson 噪声或散粒噪声），以及半导体加工工艺的局限性等。由于随机噪声是由多种不相关噪声源叠加的，根据统计理论可以用高斯分布来描述其特性，由此可以得到下面两种对随机抖动幅度的表征：

1. 均值（RMS）抖动，即高斯分布一阶标准偏差值 σ 。一般采用在规定的滤波器带宽内的 RMS 抖动，如光通信领域常用的积分带宽是（12KHz ~ 20MHz）。
2. 峰峰值（Peak-to-peak）抖动，即高斯正态曲线上最小测量值到最大测量值之间的差值。根据数据系统误码率要求的不同，最小和最大值的取值是不一样的，如误码率为 10^{-12} 时，峰峰值约等于 14 倍的标准偏差值，即为 14σ 。

2.2 相位噪声

相位噪声是对时钟信号噪声特性的频域表征方式，表征时钟信号频率的稳定度，是指偏离载波频率（ f_{fc} ）处 1Hz 带宽内噪声功率与载波信号总功率的比值，符号为 $L(f)$ ，单位为 dBc/Hz。图 2 是一个时钟信号的频谱特性，如果单频信号非常稳定的话，从频谱上看其边带会随着远离主频的位置逐渐降低，在偏离载波（ f_{fc} ）处，相位噪声约等于载波频率处曲线的高度与 f 处曲线的高度之差，即图中 $L(f_{fc})$ 值。

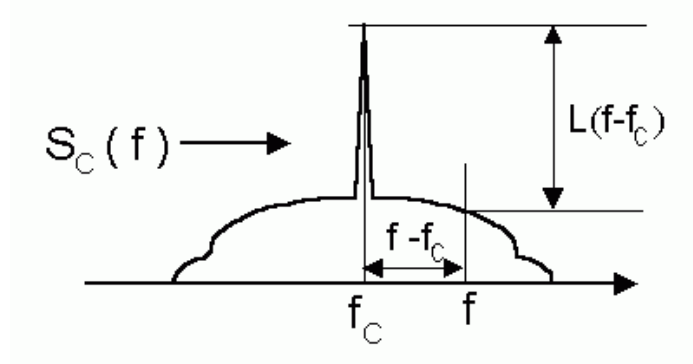


图 2 相位噪声定义

2.3 均值抖动和相位噪声关系

通过前面分析，噪声可以用时域的相位抖动指标和频域的相位噪声指标来表征，但两者反映了是同一个物理现象，故均值抖动可以通过频域的相位噪声曲线计算获得，根据相关文献，频域的相位噪声与均值抖动之间的关系如下式：

$$\sigma_{rms} = \frac{\sqrt{2 \cdot \int_{f_1}^{f_2} L_{\phi}(f) \cdot df}}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad \text{---(1)}$$

注：f1 和 f2 为抖动积分上、下限频率，f0 为信号中心频率。

下面通过一个具体例子说明频域的谱密度曲线如何转换为时域的抖动值。

图 3 是某个锁相环时钟器件输出的相位噪声，载波频率 $V_0 = 156.25\text{MHz}$ ，为计算方便，把相位噪声曲线近似为图中红色曲线段，AB 和 CD 段为常数 10^{-16}dBc/Hz ，BC 段 20dBc 衰减，幂率近似为 f^{-2} 的噪声类型。

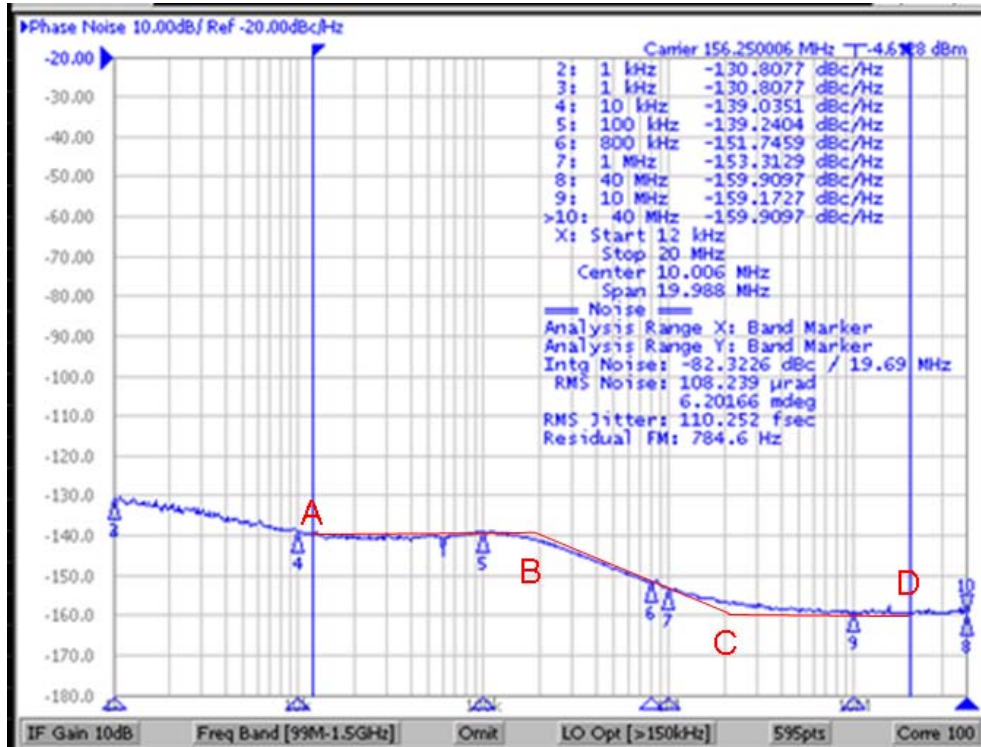


图 3 相位噪声曲线

按照式子 (1) 关于相位噪声与均值抖动间的转换关系，去积分频率取值范围为 12KHz ~ 20MHz，

则：

AB 段 (12KHz ~ 200KHz) 的近似等效均值抖动

$$\sigma_{rms_AB} = \left(\frac{1}{2\pi \times 156.26 \times 10^6} \right) \sqrt{2 \times \int_{12000}^{200000} 10^{-14} df} = 0.0624 (ps)$$

CD 段 (2MHz ~ 20MHz) 的近似等效均值抖动

$$\sigma_{rms_CD} = \left(\frac{1}{2\pi \times 156.25 \times 10^6} \right) \sqrt{2 \times \int_{2000000}^{20000000} 10^{-16} df} = 0.0611 (ps)$$

BC 段 (200KHz ~ 2MHz) 的近似等效均值抖动

$$\sigma_{rms_AB} = \left(\frac{1}{2\pi \times 156.26 \times 10^6} \right) \sqrt{2 \times \int_{200000}^{2000000} 10^{-14} \times f^{-2} df} \approx 0 (ps)$$

总的等效均值抖动为： $\sigma_{rms} \approx 0.0624 + 0.0611 = 0.1235(ps)$

2.4 锁相环噪声模型

图 4 是典型的锁相环输出噪声分布特性曲线。在锁相环环路带宽内，主要噪声成份是参考时钟噪声、分频器噪声、PFD 和电荷泵噪声等；在环路带宽外，主要噪声源来自本地振荡器 VCXO/VCO。

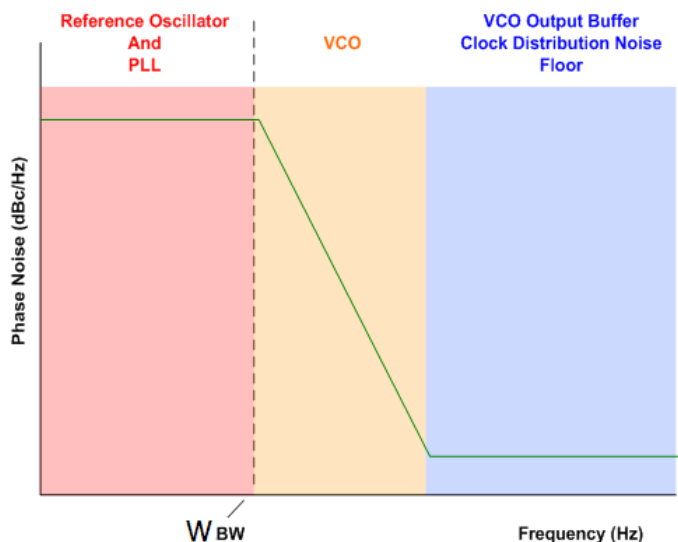


图 4 典型锁相环输出噪声分布

根据锁相环输出的噪声分布特性，对于基于锁相环电路设计的高抖动性能时钟器件，必须正确评估各部分电路的噪声特性，合理设计锁相环环路带宽 W_{BW} ，如设计电路使得环路带宽 W_{BW} 在两噪声源相位噪声交叉点对应的频率附近，保证此时环路输出的相位噪声最小，图 5 在输入参考时钟 REF 有较大噪声条件下，环路带宽为~10Hz 锁相环输出噪声性能，图 6 在参考时钟 REF 近端噪声比较干净，环路带宽设为 100KHz 附近时的输出噪声，两者在对应的应用条件下都可以得到较佳的时钟抖动性能。

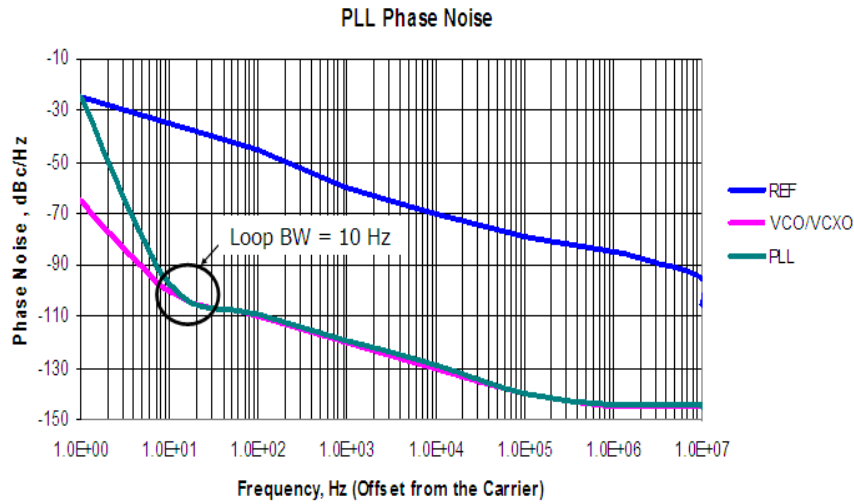


图 5 环路带宽为~10Hz 锁相环输出噪声

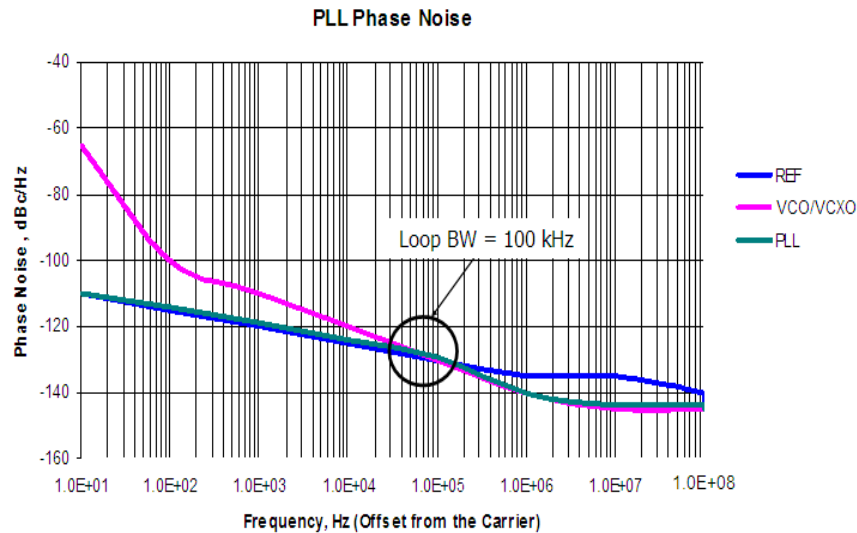


图 6 环路带宽为 100KHz 锁相环输出噪声

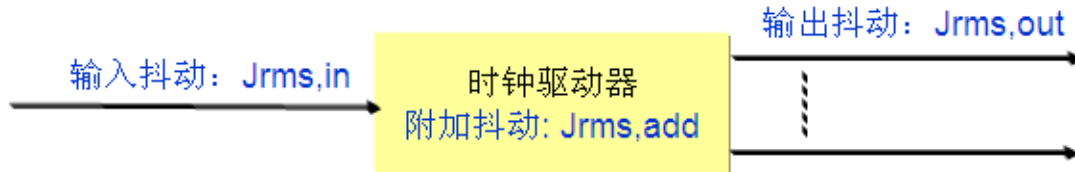
3 时钟驱动器

时钟驱动器主要功能为时钟信号分发和增强驱动能力，可分为两大类：不带锁相环的高性能时钟驱动器，和带锁相环实现零延迟等功能的时钟驱动器。

3.1 不带锁相环的时钟驱动器

对于不带锁相环的时钟驱动器，表征抖动性能通常采用的是附加抖动指标（即噪声低噪），如下图 7

所示，附加抖动被定义为： $J_{rms,add} = \sqrt{J_{rms,out}^2 - J_{rms,in}^2}$



注：默认输入随机噪声跟驱动器引起的噪声是不相关的。

图 7 时钟驱动器噪声分布

为了准确表征驱动器本身引入的抖动指标，必须要求输入均值抖动小于器件本身的附加抖动，如图 8 是基于 CDCLVC1310 器件的一个测试例子，从图中可以看出若输入信号为 100MHz 时，在 1MHz 偏置频率驱动器的低噪大概为 -157dBc，在 (12KHz ~ 20MHz) 积分带宽内对应的附加抖动指标为：

$$J_{rms,add} = \sqrt{J^2_{rms,out} - J^2_{rms,in}} = \sqrt{95.46^2 - 42.66^2} = 85.39 \text{ fs}$$

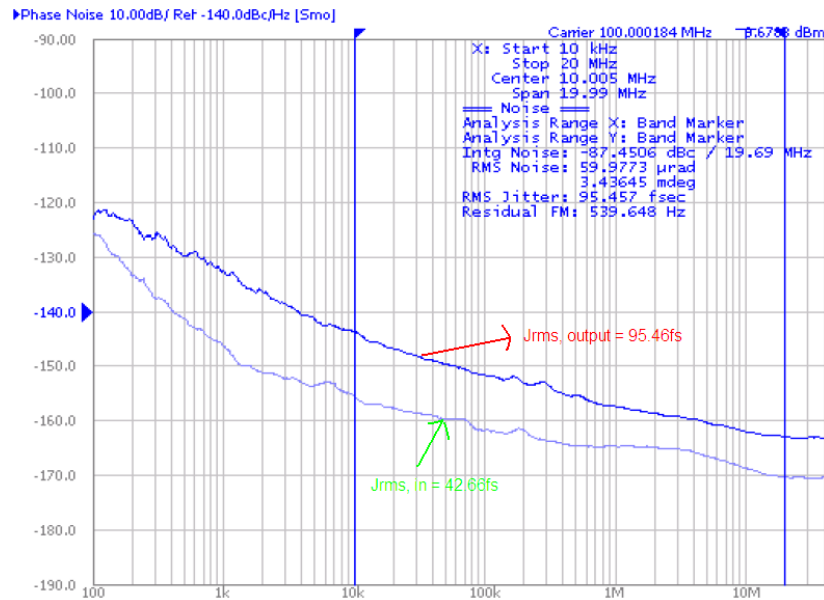


图 8 附加抖动测试波形

此外，考虑在实际应用系统中，输入时钟信号抖动性能往往比不带锁相环的时钟驱动器附加抖动差，因此不同厂家采用系统级附加抖动来表征驱动器本身的附加抖动，图 9 是一个例子，驱动器对输出时钟抖动贡献的系统附加抖动为 $J_{rms,add} = \sqrt{183.76^2 - 182.1^2} = 24.64 \text{ fs}$ 。此时，时钟驱动器输出总抖动主要由输入信号的抖动成分决定，器件本身引入的附加抖动非常小，因此器件本身的附加抖动（或称噪声低

噪) 往往比系统级的附加抖动大一些，在选择高性能时钟驱动器时，要注意正确识别附加抖动和系统级附加抖动指标。

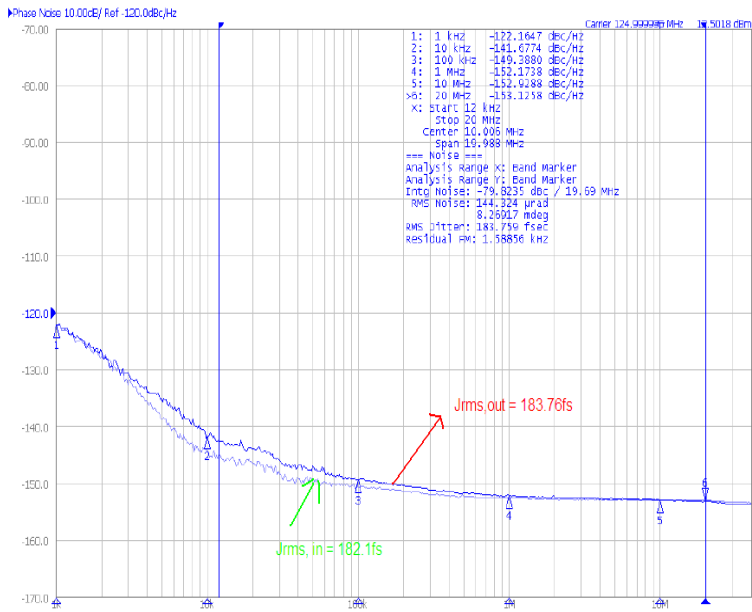


图 9 系统级附加抖动测试

3.2 零延迟时钟驱动器

零延迟时钟驱动器主要应用在集中定时并行通信系统或基于 CPU 系统的并行总线通信中，如给 DDR 等供时钟，要求输入和输出时钟的相位同步，采用内部集成 PLL 的方法实现零延迟功能，此时器件输出的抖动性能主要由器件本身决定。对于此类器件的应用场景，必须要满足并行数据通信的建立时间和保持时间规格，因此对时钟驱动器表征抖动常用的指标是相邻周期间抖动和周期抖动，下面是 CDCU2A877 器件的抖动规格，其中，考虑 DDR 存储器需要上、下边沿采样，故在 JEDEC 标准里对 DDR 器件的半周期抖动也做了约束。

表 1 CDCU2A877 器件手册抖动规格

Parameters	Test Conditions	Min	Max	Unit
Cycle to cycle jitter	160MHz - 410MHz	-40	40	ps
Period Jitter	160MHz - 270MHz	-30	30	ps
	270MHz - 410MHz	-20	20	ps
Half-period jitter	160MHz - 270MHz	-75	75	ps

	270MHz - 410MHz	-50	50	ps
--	-----------------	-----	----	----

4 锁相环时钟器件

随着半导体制造工艺的迅速发展，模拟半导体行业演进到 130nm 或 65nm 节点时，意味模拟器件的集成度可以越来越高。目前，单芯片集成锁相环时钟 IC 芯片，可以实现多锁相环集成、多 VCO 集成以及时钟分布电路于一体，时钟器件种类繁多，同时有些器件即可作为时钟合成器应用，也可用作抖动滤除功能实现高性能时钟输出。

4.1 时钟合成器 (CSU)

也称为时钟倍频器 (CMU)，对输入信号进行倍频以产生各种不同频率的输出，若参考时钟为本地振荡器或内部集成时，也称为时钟发生器 (Clock Generator)。根据应用场景的不同，目前集成 IC 内部压控振荡器通常采用采用环形振荡器和 LC 振荡器。环形振荡器的调谐范围更宽、功耗更低，而且芯片面交更小等，被大量应用在对集成度要求较高的应用场景，而 LC 振荡器具有品质因数 Q 值高的优势，噪声性能较环形振荡器好，被广泛引用于对抖动指标有较高要求的通信、医疗等领域。

当时钟器件作为时钟合成器应用时，环路带宽通常是在 100KHz~400KHz 左右，根据具体应用场景，如输入频率和输出频率不同，环路带宽和相位余量可有差异。因此，时钟合成器输出抖动主要由参考时钟噪声分布和本地振荡器的噪声分布共同决定。作为一颗在消费类终端产品应用的时钟合成器件，CDCE706 的输出相位噪声如图 8 所示，均值抖动为 1.8ps@10KHz~5MHz，可满足大多数消费类产品的应用需求。

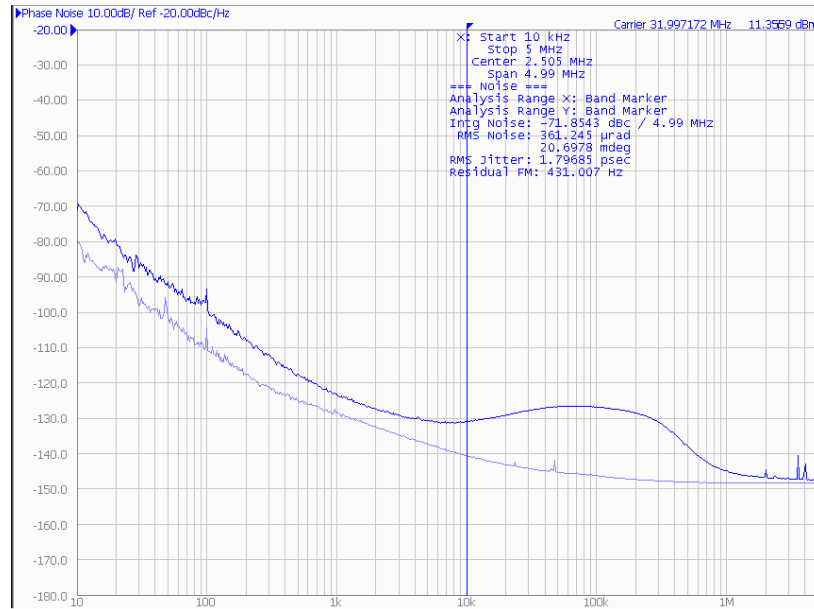


图 10 CDCE706 时钟合成器的输出抖动性能

在数据通信系统中，往往需要高抖动性能的时钟发生器，如均值抖动指标 $J_{rms} < 1ps@ (12KHz \sim 20MHz)$ ，此时可采用高性能时钟合成器。由于集成 IC 芯片内部的压控振荡器长期稳定性较差，相应的近端噪声比基于晶体的振荡器抖动性能要差，因此时钟合成器的参考输入信号可选择来自晶振或压控晶体振荡器等具有较干净近端噪声的信号源，经内部高频锁相环电路实现频率倍频和频率转换功能，如德州仪器推出的高性能集成 IC 锁相环芯片 CDCM6208、LMK03806 等，图 11 是 CDCM6208 作为时钟合成器时一个典型的输出相位噪声（输入来自 25MHz 晶体 XTAL），图 12 是 LMK03806 典型的输出相位噪声，两者都是目前抖动性能指标最优秀的频率合成器之一。

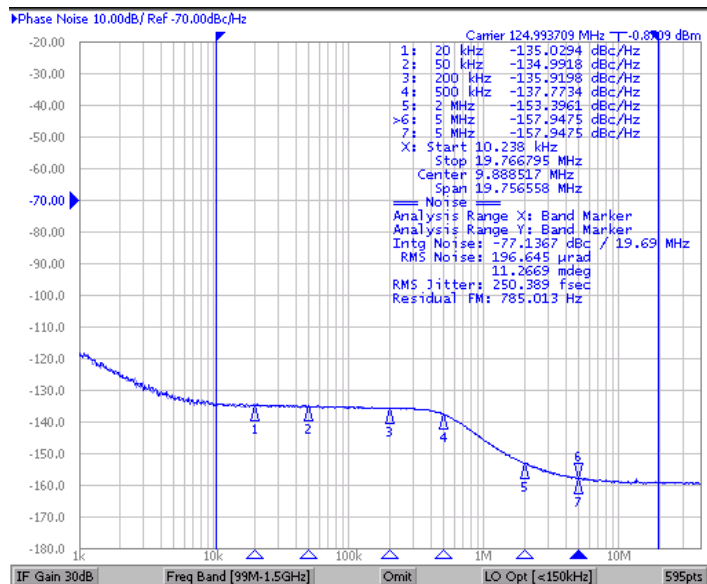


图 11 CDCM6208 输出相位噪声 (时钟合成器模式)

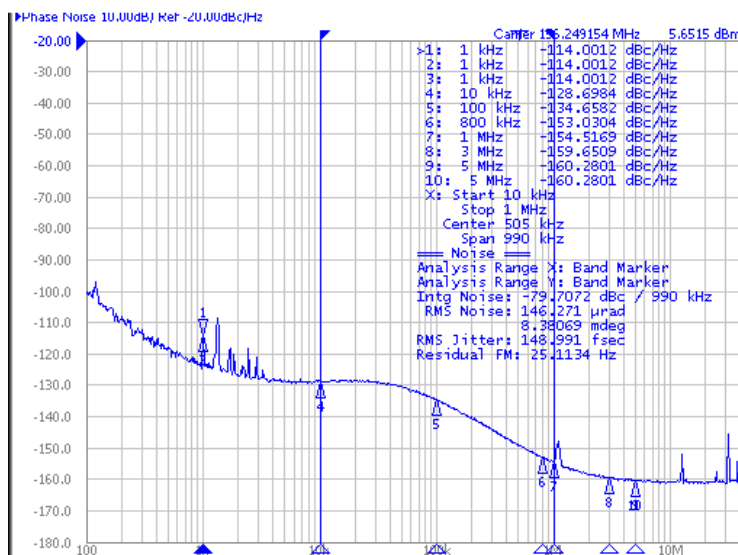


图 12 LMK03806 输出相位噪声

4.2 抖动滤除器件 (Jitter Cleaner)

当输入噪声较大时，无法满足系统时钟的设计规格，此时可以采用抖动滤除器件对输入时钟信号进行噪声滤除，实现时钟同步的基础上输出低抖动的时钟信号，以满足系统抖动的应用要求。根据前面对锁相环噪声特性分析，抖动滤除器为了实现对输入时钟噪声的滤除功能，必须要用较窄的环路带宽，如几十 Hz 到几百 Hz。

对于抖动滤除器件，多数应用场景是借助本地高性能的压控振荡器，如 VCXO、OCXO 等，可以把参考时钟输入的噪声滤除干净，锁相环输出优越于参考时钟抖动性能的时钟信号，如德州仪器的 CDCE72010、CDCM7005、LMK02000 系列的产品器件，图 13 是 CDCE72010 的一个典型相位噪声图。另外，一些集成锁相环和高性能 VCO 的时钟器件，如前面提到的 CDCM6208、LMK03806 等，也可以实现抖动滤除的功能，图 14 是 CDCM6208 作为抖动滤除功能应用时输出时钟的相位噪声特性，可以看到其均值抖动大概在 $1.2\text{ps}@ (10\text{KHz} \sim 20\text{MHz})$ ，该测试用例所用到 CDCM6208 的环路带宽为 60Hz。

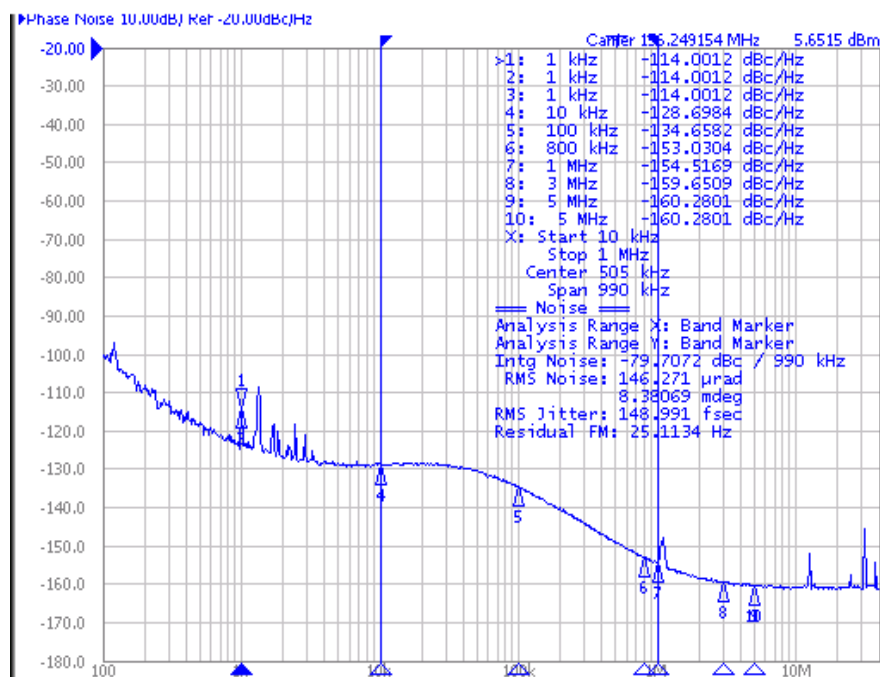


图 13 CDCE72010+125MHz VCXO 输出相位噪声

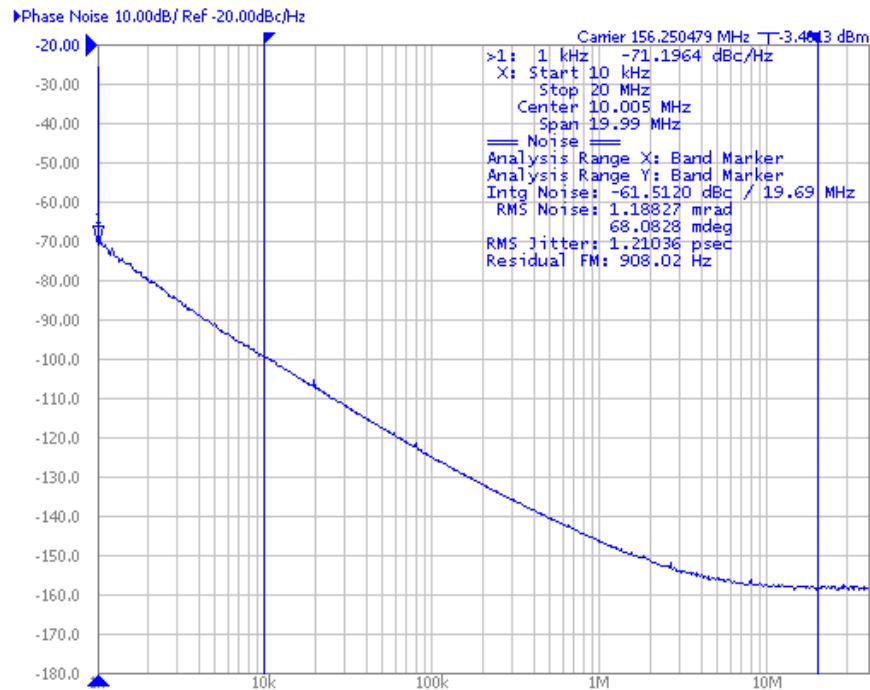


图 14 CDCM6208 作为抖动滤除应用时相应的相位噪声性能

4.3 超高性能抖动滤除时钟器件

为了满足无线通信领域高集成度、超低抖动、低功耗的时钟器件应用需求，德州仪器是业界第一家推出了实现<300fs 超低抖动输出的双级串行级联锁相环时钟器件，如 LMK04000 系列、LMK04800 系列和 LMK04906 等，即可实现抖动滤除功能，也可实现时钟频率合成，被广泛应用于无线基站、微波通信和 100GE 数据通信领域。

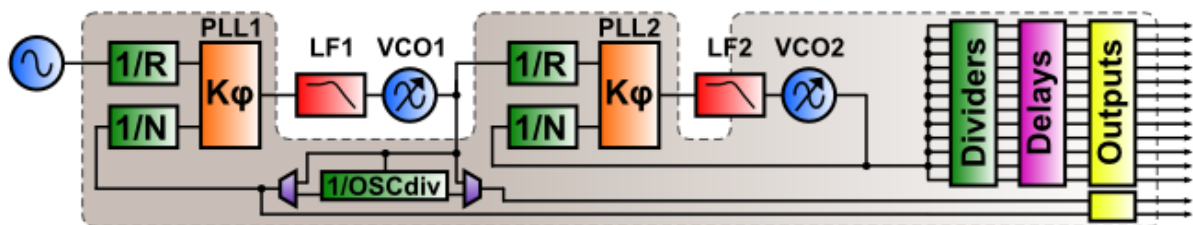


图 15 LMK04XXX 系列双级级联时钟器件方框图

LMK04XXX 系列器件内部结构如图 15 所示，包括 PLL1、PLL2、集成 VCO2、各个时钟路径的分频电路、输出时延调整和输出分发电路等，其中，第一级锁相环实现抖动滤除功能，实现输出时钟具有低抖动的近端噪声，而第二级锁相环利用内部集成高性能 LC 振荡器实现时钟倍频功能，可以实现超低抖动的

远端噪声，从而获得整个频段范围都具有极其优秀的噪声性能。图 16 是 LMK04906 时钟器件的一个相位噪声例子，可以实现~100fs 级别的抖动输出。

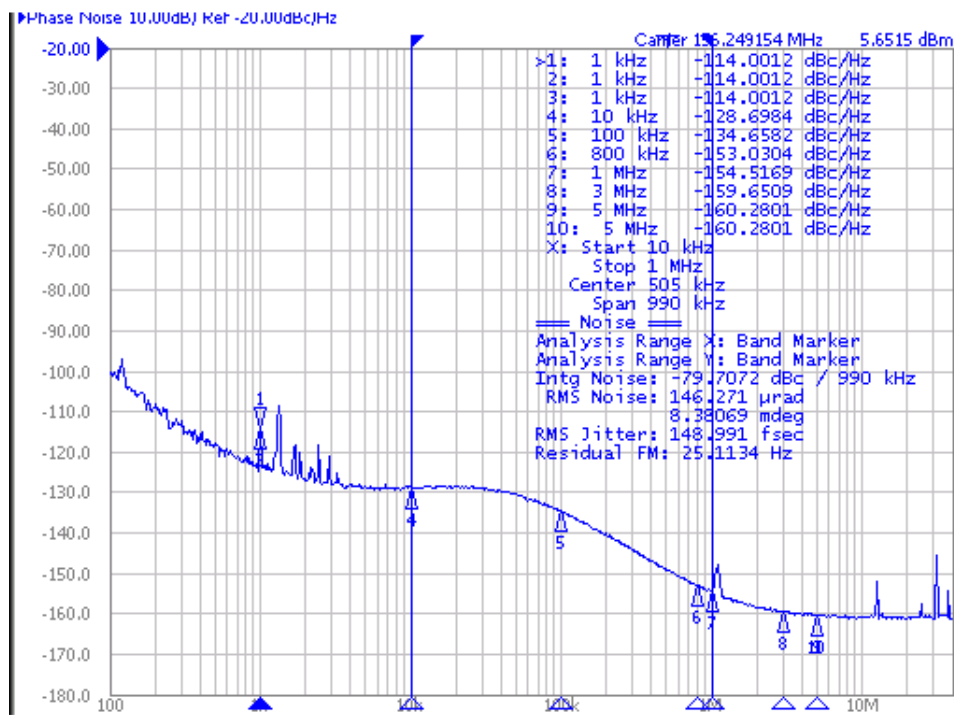


图 16 LMK04906 + VCXO 输出相位噪声

5 总结

不管在高速有线通信系统、3G/4G 的无线网络，还是在工业自动化控制系统、医疗系统以及终端消费产品和计算机产品应用中，时钟器件都是硬件电路设计中不可或缺的部件，而且时钟抖动性能往往是整个系统设计的关键参数，因此正确理解和选择适合系统应用的时钟解决方案是硬件电路设计的重要组成部分。本文详细介绍了各类时钟器件的抖动性能，旨在协助电路设计者甄别各类时钟器件的抖动性能规格，同时理解在不同应用条件下的时钟器件抖动规格差异，选择适合系统应用的时钟解决方案。

德州仪器作为目前业界最广泛时钟解决方案的供应商之一，时钟产品包括单端、差分、零延时等时钟驱动器，多种类型的时钟合成器、抖动滤除器件，以及超高抖动性能时钟器件，可以满足大多数时钟解决方案的设计需求。

6 参考资料

- 1 . Texas Instruments; CDCLVC1310 Datasheet(scas917b.pdf)
- 2 . Texas Instruments; CDCU2A877 Datasheet(scas827a.pdf)
- 3 . Texas Instruments; CDCE706 Datasheet(scas815i.pdf)
- 4 . Texas Instruments; CDCM6208 Datasheet(scas931b.pdf)
- 5 . Texas Instruments; CDCE72010 Datasheet(scas858c.pdf)
- 6 . Texas Instruments; LMK02000 Datasheet (snas390d.pdf)
- 7 . Texas Instruments; LMK03806 Datasheet(snas522h.pdf)
- 8 . Texas Instruments; LMK04000 Datasheet(snosaz8j.pdf)
- 9 . Texas Instruments; LMK04800 Datasheet(snas489i.pdf)
- 10 . Texas Instruments; LMK04906 Datasheet(snas589b.pdf)
- 11 . Roland E.Best , Phase Locked Loops: Design, Simulation, and Applications , 6th ed.,
McGraw-Hill Inc,2007

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为 有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予 的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务 的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它 知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况 下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件 或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其在应用中使用的 TI 产品 相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见 故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因 在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特 有的可满足适用的功能安全性标准 and 要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使 用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同 意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独 力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要 求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司