

# 时域/频域的抖动测量

安森美半导体 Brijesh A Shah

如今，我们访问信息的速度大幅提升，如在互联网上访问视频流、利用各种云端应用等。这个正在被构建的超快世界的基础就是高速数据链路。系统设计人员在从初始设计及测试到标准遵从等各个应用层面面临着多种技术挑战。他们必须克服的挑战之一，就是指定工作能力足以满足多种相关串行通信标准(如PCI Express、USB、以太网、SATA及Infiniband)需求的时钟产生及分配器件。

市场上有不同类型的时钟源及分配器件。根据性能，这些元器件通常可以分类如下：

1 标准性能 针对消费类电子产品等应用，通常以时域抖动参数来指定。

2 高性能 须以频域参数来指定。时域参数在这类应用不适用，因为时域仪器呈现出更高的底噪。应用最广泛的频域参数是相位噪声及相位抖动。

## 关键抖动技术

抖动可以定义为“数字信号在有效瞬间离其理想位置的短期非累积型偏移”或“时钟沿到达时间与其实际或预计到达时间的差值”。根据不同

的测量技术及应用要求，高速设计中常用一系列的行业术语。

根据应用要求，抖动在时域或在频域测量。

时域抖动参数包括：

1 逐周期抖动 测量一定数量周期(如1k或10k个周期)内相邻周期的时钟周期差异。对于不能接受频率或周期突然变化的应用而言，这是个重要参数。

2 峰值至峰值抖动 提供一定数量周期内最大周期与最小周期之间的差异。

3 时间间隔误差(TIE) 测量各个周期之时钟周期相对理想时钟周期的

差异。

频域抖动参数包括：

相位抖动 在一定偏移频率范围内在频域测量的跟时域等同的整合相位噪声。

## 测量设备

时域设备(如高频示波器)可以测量逐周期抖动、周期抖动及TIE，以及进行逐周期、标准偏差等不同表征之测量数据的统计分析。时域测量捕获所有频率的抖动(限制在时域的信号在频域无限制)。使用数学模型，可以基于时域参数近似获得频域参数。可以应用快速傅里叶变换(FFT)及滤波来进

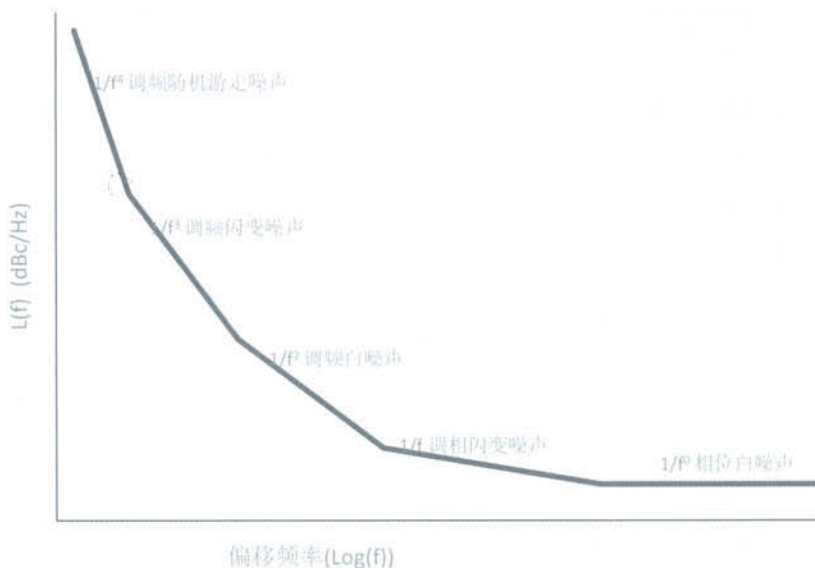


图1 使用噪声处理的相位噪声图

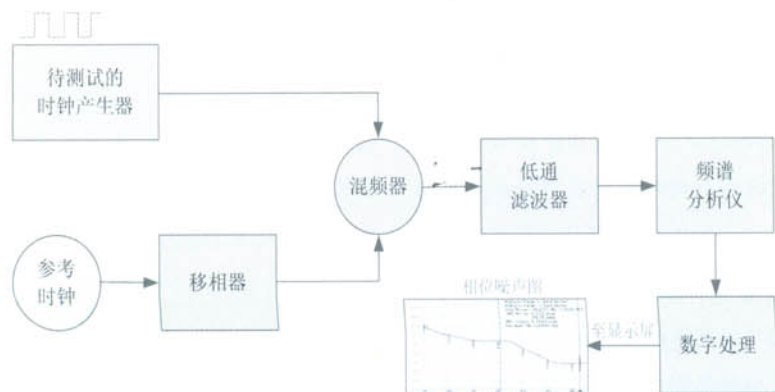


图2 相位噪声测量

行这些近似计算。时域测量对数据相关型抖动(通常在本质上呈现周期性)有用,但前面提到的时域仪器底噪通常高于频域仪器。相位噪声分析仪及频谱分析仪通常用于频域测量。

### 抖动源

知道实际抖动源有利于弄清不同频率范围内的关键抖动来源因素,以及预测测量方法的精度。时钟产生器本身可能固有时钟信号抖动。或者,它也可能被电路板上甚至是它正在被测量的环境中的周围元件影响。

抖动的产生原因可以分为两类:

1 随机抖动 随机抖动成分是时钟产生器件的固有噪声/抖动。它主要是由器件中的热噪声、散粒噪声(shot noise)或闪变噪声。数百飞秒(fs)的随机抖动无法使用示波器来测量,因为仪器的底噪相比高得多(约1ps)。当测量较低的随机噪声时,推荐使用信号源或相位噪声分析仪。

2 确定性抖动 确定性抖动成分是由电源、交流磁场或时钟产生器印

制电路板(PCB)上运行的高速半导体器件的干扰导致的。确定性抖动通常是周期性及窄带抖动。

### 相位噪声图

相位噪声图是单边频谱,显示某个频带载波信号的噪声功率密度。它可以使用幂律(power-law)噪声处理来建模。图1揭示了宽频率范围的相位噪声将怎样被特定噪声处理主导。

这些处理包括:

调频(FM)随机游走噪声( $1/f^4$ ) 出现在低频,主要由示波器的物理条件导致(温度变化、机械撞击及振动都对其长期工作性能有影响)。

调频闪变噪声( $1/f^3$ ) 通常跟时钟产生器中使用的元器件(如电源、振荡器等)的机械谐振有关。高品质振荡器中,此噪声会被标示为调频白噪声( $1/f^2$ )或调相闪变( $1/f$ )噪声。

### 测量相位噪声

相位噪声分析是通过从时钟信号移除载波并将相位噪声留在频带来操

作的。频谱分析仪显示频域信号的双边频谱或全部频谱。频谱分析仪的动态范围有限,无法测量数十飞秒或更短时间的底噪,因此,需要相位噪声分析仪或信号源分析仪来进行相位噪声分析。

如图2所示,图中产生了精确的载波频率参考信号,并移相至与载波信号混频。这就消除了载波频率的频谱能量。混频器输出透过低通滤波器传送给频谱分析仪,用于测量噪声频谱密度。进一步处理后,与载波功率频谱密度直接相关的单边噪声频谱显示在过滤器屏幕上。

还应该提及几种抖动现象。

毛刺(spur)的存在实际上很普遍。在图3所示的相位噪声图中,不同的偏移频率都出现了毛刺(spur-1及spur-2)。毛刺是周期性的,毛刺可能源自器件自身,或是测量设置中的其他源头。毛刺频率能够与其成因关联起来,如果它们源自外部环境,就可以采取预防措施。然而,如果器件包含特定频率的抖动,就可能损及效用。使用简单的数学计算,可以单独计算出均方根(RMS)抖动中各个毛刺的成分。任何低于载波频率10Hz偏移频率的抖动都称作漂移(wander)。由于漂移是低频抖动,它不会给锁相环(PLL)造成问题,因为PLL带宽能够越过漂移。由于漂移对众多应用并不重要,相位噪声图就从10Hz的最小偏移频率开始,并延伸至20~40MHz。上限通常由信号源分析仪的内置滤波器设定。 EPC