

现场测试抖动和漂移——是否必要？

Bruno Giguere, 传输和数据通讯业务部门技术组成员

长期以来，对于抖动和漂移都存在着争议：这些参数真的需要测试吗？在每条电路上测试？在试运行、业务开通和故障诊断时进行测试？从研发、制造时、在运营商实验室内和/或现场对每个网元进行测试？

本应用说明从多方面对抖动和漂移进行讨论——原理、原因、对网络的影响以及相关的现场测试。

定义

根据ITU-T G.810^[1]标准，抖动被定义为“定时信号在有效瞬间内相对于其理想时间位置的短期变化（其中‘短期’指这些变化的频率大于或等于10 Hz）”。而漂移则被定义为“数字信号在有效瞬间内相对于其理想时间位置的长期变化（其中‘长期’指这些变化的频率小于10 Hz）”。

图 1 显示了完美的时钟同有相位变化的时钟之间的比较。这两个时钟之间的定时差异代表时间间隔误差（TIE），该误差是用来所有抖动和漂移的基础。

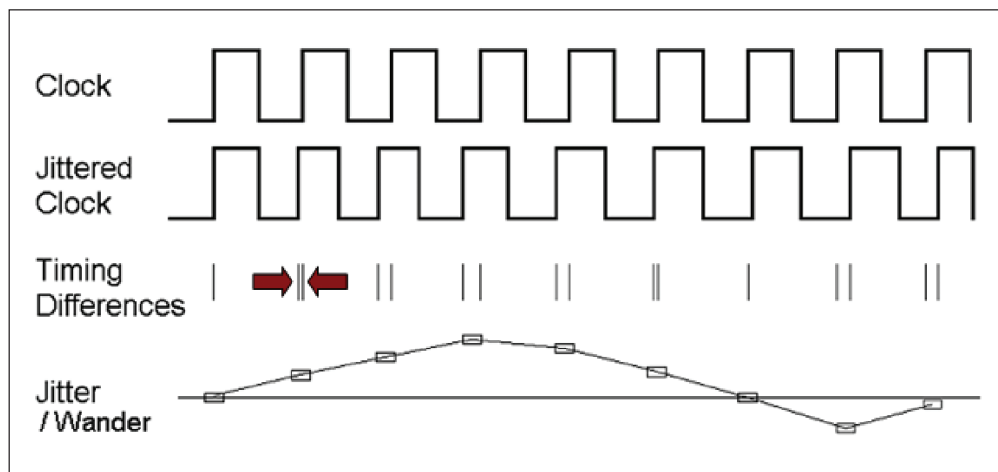


图 1：两个信号间时钟的时间变化示例^[2]

图 2以图形的方式说明了抖动和漂移之间区别。如果TIE的变化率大于10 Hz，那么损伤被称为抖动；如果变化率低于10 Hz，则损伤被称为漂移。除了损伤频率外，频率的幅度也可以用单位间隔（UI）来量化。因此此单位与比特时间相关，所以可以比较多个频率的抖动。图 3显示了抖动信号的 UI。

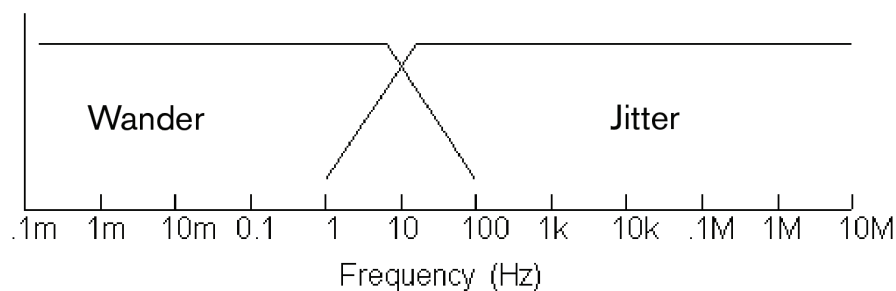


图 2：抖动与漂移之间的频率差异图示^[3]

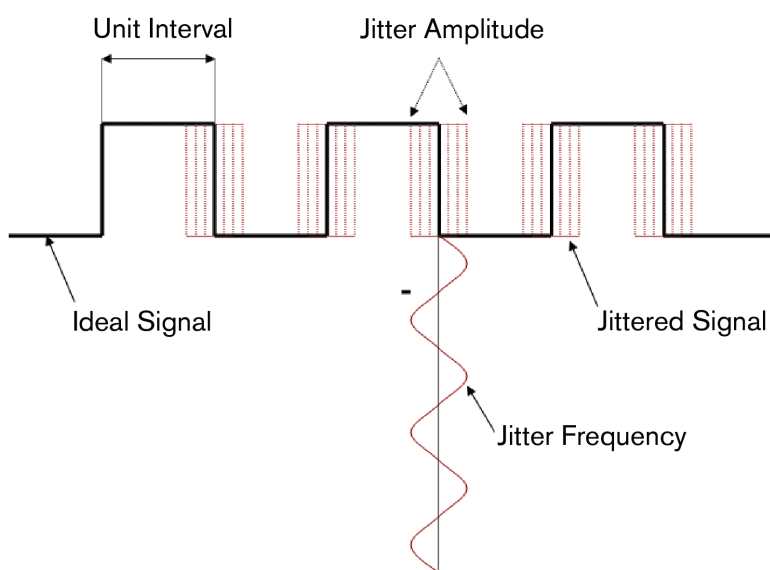


图 3. 抖动的特点：幅度与频率

一般而言，抖动的频率高，幅度小，而漂移的频率低，幅度大。该原则将在下一节中说明最大抖动容限的模板规范和抖动传递函数标准测量时予以证实。

抖动：常见原因

有多种常见原因会导致网络中出现抖动和漂移。

模式依赖性

某些比特模式更易受到由信号失真引起的码间干扰的影响，基本上会在相邻脉冲间引起串扰干扰，这种现象被称为模式依赖性抖动。

干扰

导致相位变化的串扰和脉冲噪声会引起干扰，从而导致抖动。

位填充

在复用阶段，必须通过插入填充位使异步信号适应高速率系统的速度。填充位在解复用时会被去除。随后产生的间隙在时钟出口接口处被平均分配。这种补偿始终都不会完美，因此任何剩余间隙都会导致我们所知的位填充抖动。

映射

PDH和T-载波信号还会通过使用比特或字节填充技术映射到SONET/SDH同步容器中，然后在终端多路复用器处被解包。由于进行了填充，所以恢复信号中存在间隙，该间隙通过使用锁相环（PLL）电路加以补偿。因为这个过程并非始终完美，所以仍有一些剩余相位调制，这被称为映射抖动。

指针移动

SONET/SDH网元间的计时差通过移动指针来补偿。这些指针移动与引起相位突变的8比特或24比特的突然变化相对应。支路信号在端点被解映射后，这些相位突变仍然存在，但使用PLL电路使其变得平滑。同样，由于这个过程并非始终完美，因此仍有一些剩余相位调制，这被称为指针抖动。

映射与指针移动组合

因为加载到同步净荷的支路的速率与容器速率始终不一致，所以在出口支路处始终有映射抖动。由于SONET/SDH定时会在整个网络上随时间而变化，因此会发生指针移动，并在支路处引起指针抖动。如果被解包的信号同时具有指针抖动和映射抖动，那么整个抖动被称为结合抖动。

相位噪声

在SDH/SONET系统中，线路信号发生器通常与参考时钟同步（使用PLL）；由于振荡器中存在热噪声或偏离，相位仍会出现波动。噪声引起的较快相位变化会导致抖动。

漂移：常见原因

相位噪声

相位噪声也可引起漂移。当PLL因温度变化或老化而开始发生偏离时，就会在网络中引起漂移。

延迟波动

传输路径中的延迟变化会导致通常相对较慢的相位波动。例如，在长光纤路径上，日常温度的波动会导致此类延迟变化，这通常会引起漂移。

抖动和漂移的测量

对于网络和网元中抖动与漂移的测量，已经有预定义测试方案。抖动测量包括三个主要测试：输出抖动、最大抖动容限（MTJ）和抖动传递函数（JTF）。漂移测试的主要部分是测量相对于参考时钟的时钟（或接口）偏离。

输出抖动

虽然影响网络的抖动主要有两种（映射和指针抖动），但在测试实际网络时，只分析结合抖动。按照ITU-T 0.171^[4]标准，用于评估结合抖动的测量是输出抖动测量。虽然在线测试或中断业务测试都可以测量输出抖动，但我们更趋向于使用在线测试方法，因为这种方法不会影响用户信息流。

在线测试技术包括解调网络接口支路处实时信息流中的抖动，选择性地过滤抖动，以及以指定的测量时间间隔（最多15分钟）来测量抖动的均方根（RMS）或峰间幅度。

最大抖动容限

最大抖动容限是一种中断业务测量，用于量化网元在一定抖动负荷下的运行能力。向网元输入带有已知抖动频率和幅度的信号，然后对输出信号进行误码分析。如果没有误码，增加幅度直到检测到误码为止。按图 4所示，绘制最后已知的无误码抖动频率和幅度，然后重复此方法来测试其它抖动频率。抖动掩模与实测抖动之间的幅度差被称为运行抖动裕度。裕度越大，网元抗抖动性就越强。

重复的次数视实施情况而定。由于对重复没有严格的次数要求，因此应该有足够的测量来鉴定容限掩模的各个部分，这通常需要重复此测试10到55次。

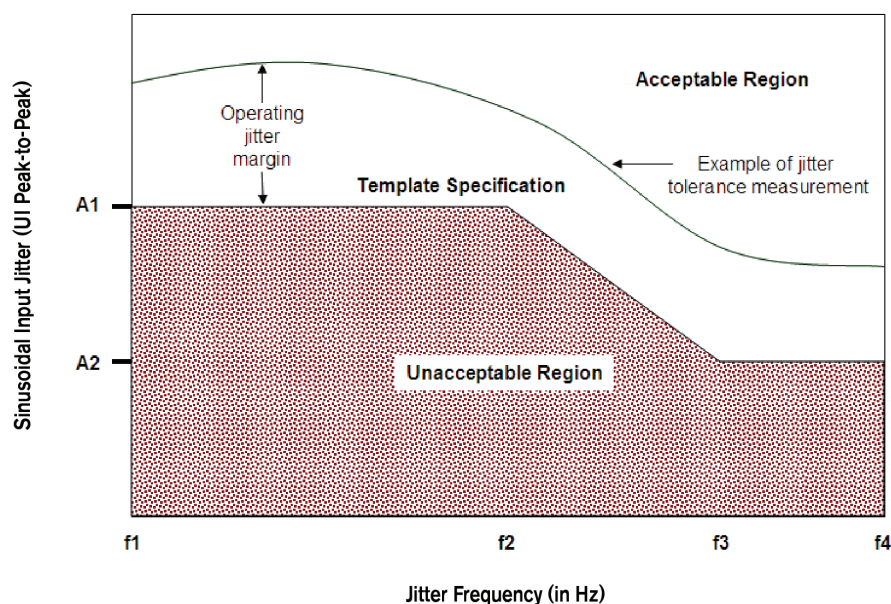


图 4: G.783 实际容限测量和容限模板 [5]

抖动传递函数

抖动传递函数是另一种中断业务测量，用于量化网元的抖动衰减能力。网元的时钟恢复能力除了必须能适应较低抖动频率的输入信号外，还必须尽可能多地衰减高频抖动。向网元输入幅度和频率已知的抖动信号，然后测量输出，获得抖动幅度。接下来在图表上绘制输出抖动对施加的输入抖动的比率。图5给出了一个实例。然后重复测量其它抖动频率和幅度。

同样，不同的标准并未定义重复测量的次数。必须检查适当数量的测试点才能验证抖动传递掩模。

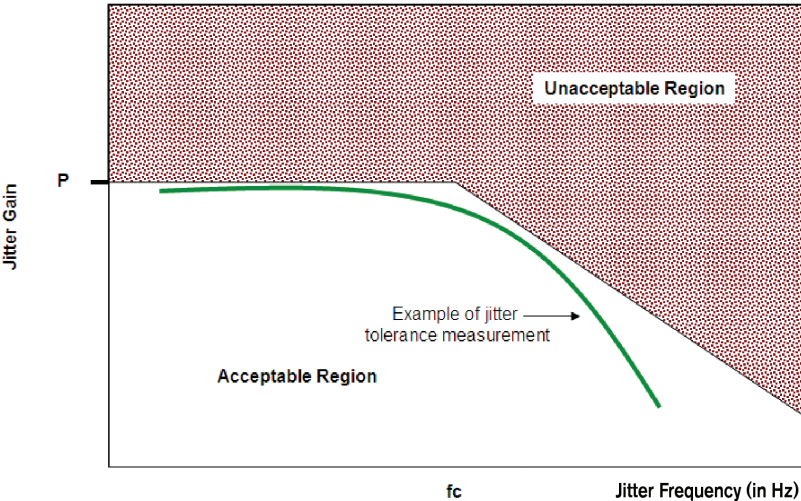


图 5: G.783——抖动传递测量实例 [5]

漂移的测量

如前文所述，漂移是数字信号在有效瞬间内相对于其理想时间位置的长期变化，只会引起时钟相对于其原始值非常缓慢的偏离。但是，评估该时间变化的唯一方法是使用非常稳定而且准确的时钟源（即Stratum 1/PRC铯钟、GPS接收器或铷钟），并将该稳定时钟与被测试接口进行比较。使用高分辨率的时间间隔计数器来测量TIE，可以最好地测量具有相同额定频率的两个稳定频率源之间的频率偏移。时间间隔测量可得出信号之间的相位差；重复该测量可得出信号间随时间变化而出现的相位漂移（如图6所示）。由于频率是相位的时间导数，因此信号间的频率差等于TIE曲线始末点之间的斜率。

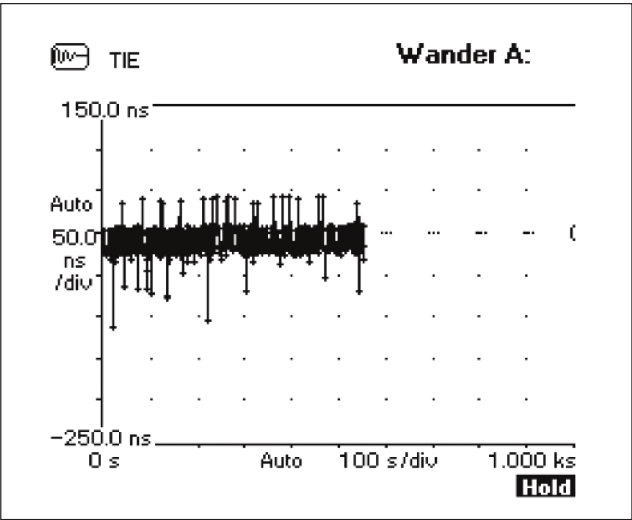


图 6: 时间间隔误差图实例

一旦记录了TIE值，需要对其进行分析，从而了解时钟漂移是否在控制范围内还是超出了规定，这一点很重要。为此，标准组织提出了两种方法来评估漂移：最大时间间隔误差和时间偏差。

最大时间间隔误差 (MTIE)

MTIE通过测得的TIE曲线来计算，表示不同观察期 τ (tau) 内可能的最大TIE变化。假设我们每隔一秒测量一次TIE值，并绘出TIE曲线，那么最小观察期 τ 为一秒，包括两个相邻的测量点。假设自始至终都有一扇“宽度”为1 s的窗口，扫描数据的整体。保存两个TIE值间的最大差值，该值即为 $\tau = 1$ s时的MTIE值。然后将窗口宽度增加到10 s，并再次扫描整个数据。在10 s窗口的各个位置内，记录最大和最小TIE值之间的差值。扫描完整个数据后，最大差值即为 $\tau = 10$ s时的MTIE值，依此类推。因此，MTIE图显示整个观察期最大的TIE差值。MTIE可以精确表示为以纳秒或微秒为单位的TIE，它是单调递增曲线（更大 τ 值的MTIE不可能低于更小 τ 值的MTIE）。然后将该曲线与掩模进行比较，从而评估已测时钟的质量。图7示出了MTIE测量和掩模的实例。

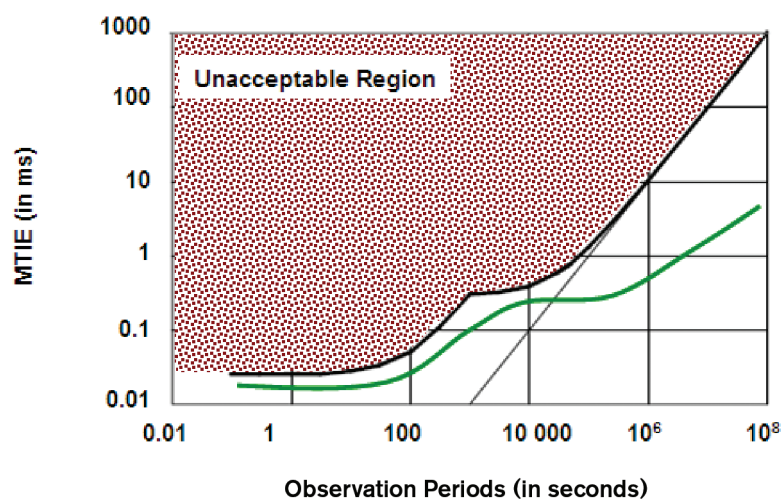


图 7: G.81——MTIE为观察期 τ 的函数（积分）^[6]

时间偏差 (TDEV)

TDEV也可由测得的TIE曲线计算。它表示不同观察间隔 τ 内的“TIE均方根变化”。TIE曲线中的周期性在TDEV曲线中显示为“凸起”。例如，TIE曲线中的10 s周期性在 $\tau = 10$ s的TDEV曲线中将显示为峰值。

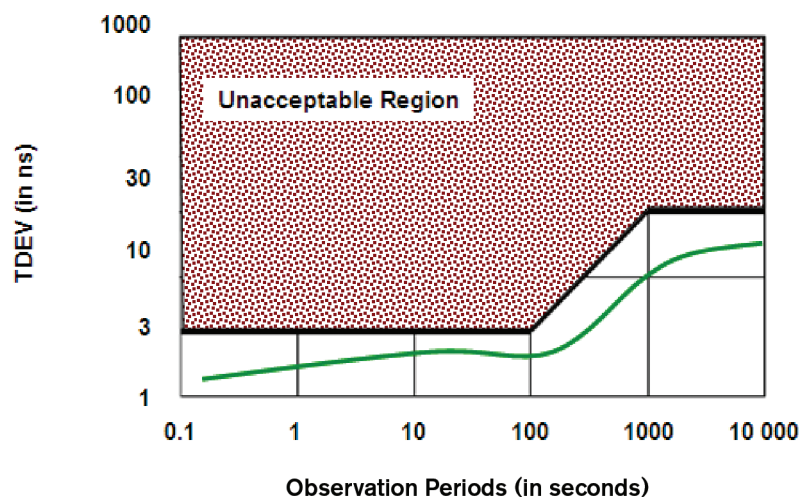


图 8: G.811——TDEV为观察期 τ 的函数（积分）^[6]

抖动/漂移问题的症状

由于已经定义了产生抖动和漂移的原因，接下来让我们来了解它们在网络上会引起哪些症状。

如果抖动是产生网络问题的根本原因，则会出现以下症状：

- 误码
- 突发错误（B1/B2/B3）
- 帧丢失/帧失序告警

另一方面，如果漂移太多也会造成各种问题，具体视信号类型而定。其结果是造成网络服务不可靠，反过来会导致运营成本增加而收入减少。以下是一些高漂移带来的问题实例：

- 传真字符无法读取
- 语音呼叫中突然出现咔哒声
- 数据重传（吞吐量低）
- GSM网络中呼叫丢失

故障诊断程序

对实时网络进行故障诊断的主要目的在于，使服务恢复正常。根据如表1所述的典型服务等级协议（SLA），服务提供商在提供服务遇到问题时应记住一点：解决问题，以避免SLA罚金。

参数	名称	描述	备注
延迟	端对端单向延迟	通常为50–60 ms	取决于距离，长距离服务的标准值
BER	误码率	从1x10–11	
服务中断	服务中断测量	50 ms	从第1层来看
网络可用性	SONET/SDH保护芯	从99.995到99.999%	每年的停机时间为26.28–5.26分钟
MTTR	平均修复时间	目标为2–4小时	

表 1：TDM服务的典型SLA

分层方法是对网络进行故障诊断的常用方法。服务专业人员从物理层开始，通过使用网络管理系统来确定故障原因。确定故障后，首先要找到其原因（例如板卡、收发器、光纤损坏、配置问题等）。通过将测试设备与实时信号连接，就可得出有助于查找问题的有用信息。

利用SONET/SDH开销，便可能找到导致问题的链路。服务专业人员可通过观察B1/B2/B3开销字节、指针移动、时钟频率偏移和同步消息传递等，从而确定导致问题的设备并采取相应的解决措施。

总结

真的有必要对抖动和漂移进行现场测试吗？从抖动的角度来看，所有标准都指向网络和网元对包括抖动和漂移在内的指定参数的符合性问题。不幸的是，丝毫未提及在研发、制造时、在服务供应商实验室内（符合性验证）或现场对这种符合性进行测试的问题。

网元针对衰减抖动（尤其是高频率抖动）而设计。抖动传递函数测试和最大抖动容限掩模无疑说明了必须降低或抑制SONET/SDH网元链上的抖动。因此，抖动具有网元依赖性，而漂移则具有网络依赖性。

对于网元的生命周期，不同的网元制造商有着不同标准的验证。在从设计到系统验证再到制造的所有步骤，网元制造商都必须确保推向市场的产品质量符合不同的标准。服务供应商不仅要对其网络的质量负责，还必须验证在其网络中布署的设备符合相关标准。使用新硬件时，必须对其进行验证；此外，对于软件的各个版本，也必须进行验证。如果网元制造商和运营商实验室验证团队都对其进行了验证，还需要对每条开通的用户线路进行验证吗？由于SONET/SDH网元可以传输以太网服务，因此抖动测量的相关性已越来越小。就定义而言，由于以太网帧本身的异步性（帧的同步通过读取附加到帧的前导来完成），所以不能在这些类型的接口上进行传统的抖动测量。

漂移与抖动

漂移与抖动测量是不同的应用。如前文所述，抖动旨在确保网元被设计在抖动的环境中运行。由于网元被设计用于降低整个网络中传输的抖动并阻止其传播，因此可控制的其他参数就只有漂移，而不是抖动。

如上所述，低频抖动几乎不会衰减，而高频抖动会衰减，从而不会在整个网络上传播。不幸的是，由于漂移是频率非常低的抖动，它会在网络上传播。通过了解抖动的影响，可发现抖动只会引起小范围内的传输问题，而漂移由于可在网络上传播，因此可能导致同步问题，甚至完全失去同步。

发生抖动问题的网元会产生误码、大范围的指针移动、时钟偏离、开销误差等。因此，显然不必为了仅仅查明原因是抖动而再花上10到15分钟继续进行故障诊断。典型SLA允许的停机时间最多为3个小时，如果超过这个时间，就会产生罚金（月费用的10%到40%）。从可用性的角度来看，尤其对于99.999%的可用性而言，这意味着网络每年的停机时间不能超过5.26分钟；否则将向用户返还高达年费用10%的罚金。您真的可以承受抖动测试吗？

您的运营团队真的了解抖动问题吗？他们是否凭借对故障诊断的一般常识来找到问题所在，并通过常规误码率测试和开销分析来隔离问题？如果他们知道板卡坏了，您会要求为供应商（网元制造商）进行故障诊断，或将问题留给他们自己处理呢？图9提供了同一个OC-48/STM-16电路在无抖动和有抖动时的眼图实例。

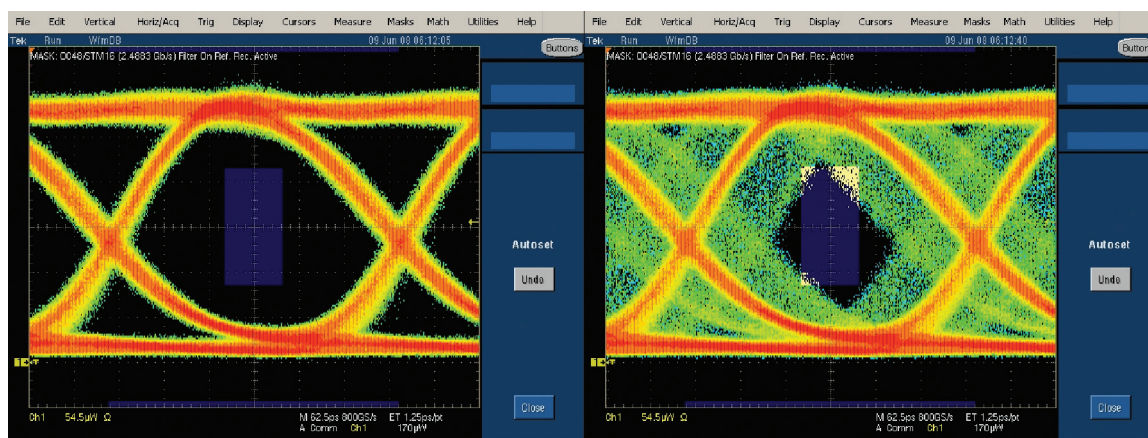


图 9：有抖动与无抖动 OC-48/STM-16电路的眼图

如图10和11所示，通过使用SDH分析仪来监测有抖动电路，便可测量比特、B1和B2误码。

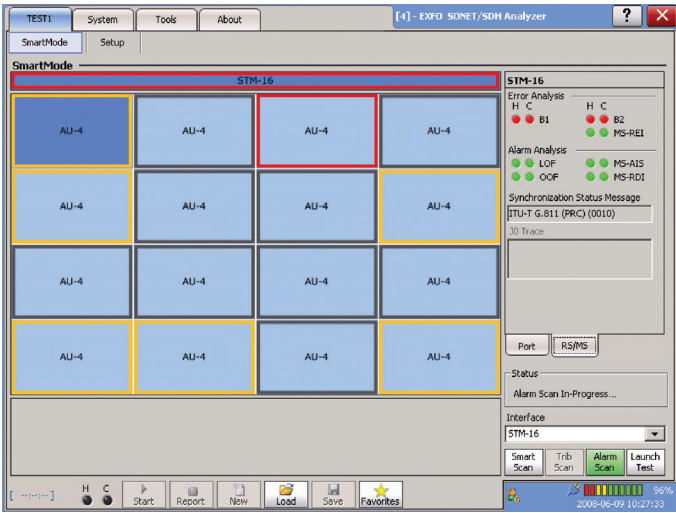


图 11: EXFO的 FTB-8130NG提供抖动信号告警分析的Smart Mode™视图

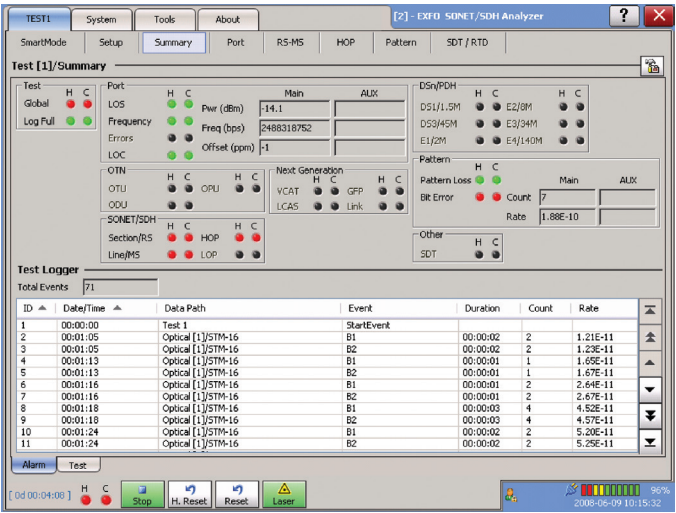


图 10: EXFO的 FTB-8130NG提供抖动信号告警及错误分析的概要视图

一旦确定了网络问题的原因，就没必要再进行其它抖动测试来确定抖动问题是否存在。测试结果可能如表2所示，但可能还需要至少15分钟（以及设置时间）。您或许承受不起那些额外时间。

抖动测量		当前值（UIpp）	最大值（UIpp）
峰峰抖动		0.38	0.23
抖动	正峰值	0.21	0.31
	负峰值	0.17	0.23
滤波器测量带宽		依据ITU-T O.172	

表 2: 抖动产生的测量实例

我们认为，抖动是对研发、系统验证、制造以及服务供应商实验室进行的符合性测量，而不是每天对线路开通、运行以及故障诊断进行的测量。线路开通时进行抖动测量不仅费时，而且还会导致隐含成本。测试完成后，需要整理并保存这些结果。保存这些附加测试所需的额外IT基础设施会直接影响服务提供商的运营费用（OPEX）。

一旦用户服务中断，服务供应商应尽快恢复服务，以降低SLA中规定的罚金，这一点至关重要。虽然从理论上来说，能够了解用户服务中断是由于抖动问题造成的这一点是重要的，但从客户角度来看却不会有任何附加值。

虽然漂移对网络的影响占主要方面，但或许专用仪器才能解决问题，因为它可对漂移进行24小时的测试，同时让SDH分析仪能够完成更专业的任务。

参考资料

- [1] ITU-T Recommendation G.810 (08/1996), Definitions and terminology for synchronization networks.
- [2, 3] Principles & Metrics of Jitter and Wander, Technical Article from William Pacino, <http://users.rcn.com/wpacino/jitwtutr/jitwtutr.htm>, March 1997
- [4] ITU-T Recommendation O.171 (10/2000), Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks
- [5] ITU-T Recommendation G.783 (03/2006), Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks
- [6] ITU-T Recommendation G.811 (09/1997), Timing characteristics of primary reference clocks

EXFO 公司总部 > 400 Godin Avenue, Quebec City (Quebec) G1M 2K2 CANADA | 电话: +1 418 683-0211 | 传真: +1 418 683-2170 | info@EXFO.com

免费电话: +1 800 663-3936 (美国和加拿大) | www.EXFO.com

EXFO 美洲	3701 Plano Parkway, Suite 160	Plano, TX 75075 USA	电话: +1 800 663-3936	传真: +1 972 836-0164
EXFO 亚洲	151 Chin Swee Road, #03-29 Manhattan House	SINGAPORE 169876	电话: +65 6333 8241	传真: +65 6333 8242
EXFO 中国	北京市东城区北三环东路 36 号 环球贸易中心 C 栋 1207 室	邮编: 100013	电话: +86 (10) 5825 7755	传真: +86 (10) 5825 7722
EXFO 欧洲	Omega Enterprise Park, Electron Way	Chandlers Ford, Hampshire S053 4SE ENGLAND	电话: +44 2380 246810	传真: +44 2380 246801
EXFO 服务保障部门	285 Mill Road	Chelmsford, MA 01824 USA	电话: +1 978 367-5600	传真: +1 978 367-5700