



使用 CNT-91 进行的适用于晶振制造商的时间&频率测量

Pendulum 仪器技术资料

2008 年 2 月

1. 基本情况

在振荡器制造商的不同部门中，时间或频率测量仪器被用来实现多个不同目的：

- 频率的调整和验证（生产部门）
- 按照技术指标进行频率验证（质量控制部门）
- 振荡器的长期稳定度（老化率）测量（生产/质量控制部门）
- 振荡器的温度稳定度测量（研发/质量控制部门）
- 短期稳定度测量，ADEV vs τ （研发或生产部门）
- 振荡器启动性能测量（研发/质量控制部门）
- 电信时钟模块的时钟漂移测量（TIE/TDEV）（研发/质量控制部门）
- 频率纯度的验证（找到频率细微的瞬间跳变）（研发部门）
- PLL 参数测试（研发部门）
- 频率基准时钟的相位比较（计量实验室）
- 对其他仪器的校准（计量实验室）

习惯上，不同类型的仪器被用于不同类型的测量，如：

- 单一频率功能计数器
- 时间间隔测试仪-计数器
- 相位比较器
- ADEV 测试设备
- 调制域分析仪
- SDH 同步测试仪
- 等等

为了完成所有这些测量，用户可以单独使用 Pendulum Instruments 的 CNT-91，或者将 CNT-91 与可选的调制域软件 Time View 组合使用。CNT-91 集合了上面所列出来的多个仪器的主要性能。

接下来的文章将会给出一些例子，在这些例子中，针对振荡器研发和生产制造过程中的典型测量，CNT-91 将展现出极高的性能。



2. CNT-91



- 50ps 的单个时间分辨率，有利于实现基准时钟的极高精度相位比较
- 12 位/秒分辨率，有利于实现超快速频率测量
- 零死区时间测量，能够完成快速测量以及实时频率/相位瞬间跳变捕捉
- 内置的 TIE 测量可测量网络时钟的 TIE 和 TDEV
- 连续数据流输出模式的传输速度高达 10k 组测量结果/秒
- 调制域分析（通过可选的 TimeView™ 软件）可取代现有实验室设备中的 HP53310A
- HP53132A 仿真模式，这种即插即用的特点方便了对于原有测试系统中其他品牌频率计的替换

CNT-91 是所有振荡器和时钟模块生产制造公司的理想工具。

在生产测试站，CNT-91 具有高分辨率、高测量速度以及 HP53132A GPIB 仿真模式，因此是频率调整和验证的最佳选择。

在质量控制部门，CNT-91——不论是否与 TimeView 组合使用——都能被用于各种类型的频率或时间参数检验，如：日老化率、周老化率或月老化率，由于环境的改变（如温度）所引起的频率变化，样品测试中漂移参数（TIE，TDEV）的检验，短期稳定度（ADEV）检验，等等。

在计量实验室，CNT-91 高达 50ps 的时间间隔分辨率可以实现室内频率基准之间的相位比较，并能确保比较的精确和快速。CNT-91 具有测量功能多样化的特点，因此能够对比如信号发生器，频谱分析仪等仪器的内部频率时基进行校准，同时也是时间间隔或相位的理想校准器。

在研发部门，调制域软件（TimeView™）实现了频率 vs 时间的快速和高分辨率测量，主要应用于如：描绘振荡器的启动特性，对短期稳定度（ADEV vs τ ）的自动测量，在研发部门对时钟 PLL 设计的分析，样品的漂移参数（TIE，TDEV）测试，检测频率的瞬间跳变等等。



3. TimeView™ 调制域分析软件

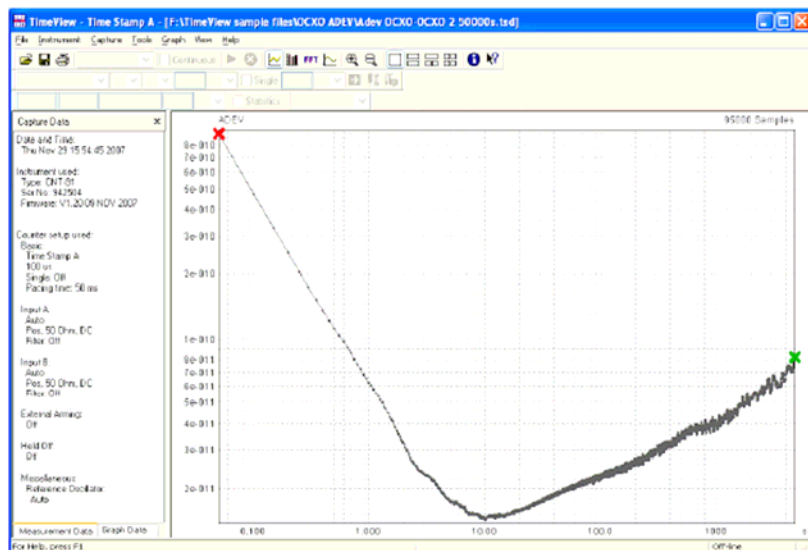


图 1 在 TimeView 中对于晶振的 ADEV vs τ 测量结果。

TimeView 能做什么：

可选的 TimeView™ 调制域分析软件向研发工程师提供了有价值的分析信息，这些信息是关于振荡器短期特性和启动特性的，而其他类型的仪器则难以提供这类分析信息。

另外，TimeView 也可监视晶振的老化率，测量 TIE（对于网络时钟）并发现振荡器中的任何频率异常（频率瞬间跳变，相移）。

TimeView 如何工作：

TimeView 从 CNT-91 处获取绝对连续的频率，时间或者相位数据，并显示和处理这些数据。

将 CNT-91 与 TimeView 组合使用形成调制域分析仪，最基本的显示模式给出了所测量的频率，时间或相位相对于时间的变化，同时也揭示了信号特性。调制域分析是对传统的时域（示波器图像）和频域（频谱分析仪图像）分析的一种补充。

统计显示模式展现出数字统计信息和直方图，可从该图中发现抖动类型和可能的调制。

FFT 显示模式检测到振荡器频率中不论是预定的还是不希望的调制。

时间标记显示模式可被用于：计算短期稳定性 ADEV vs τ ，如上图 1 所示。

4. 生产中的超快速频率调整和测试

振荡器的大量生产测试在自动测试系统中被完成，主要通过使用用户定制设计的测试模具来实现，这些模具适用于多个振荡器测试，测量可在并行和串行之间进行转换。总的吞吐率受到操作者，测量时间，振荡器转换开销，以及数据传输时间的限制。在这些测量中，关键的参数是总线测量速度和频率测量分辨率。CNT-91 提供很高的分辨率（100ms 测量时间便可达到 1E-11 的分辨率），以及很高的 GPIB 总线传输速度。

频率测量达到 8 位有效数字仅需 5ms 测量时间。

FREQ A 和 FREQ B 之间的快速转换



一种快速实现被测振荡器（DUT=被测试设备）频率测量的方法是：让操作者每次连接两个振荡器到一个计数器，分别连接到输入 A 和输入 B。这也就意味着测试顺序为：

连接 DUT1 和 2 到输入 A 和 B，测量 A，测量 B，
转接 DUT3 和 4 到输入 A 和 B，测量 A，测量 B，等等

而不是：

连接 DUT1 到输入 A，测量 A，
转接 DUT2 到输入 A，测量 A，
转接 DUT3，等等

在 CNT-91 中，在输入 A 进行第一次测量然后转换到输入 B 的转换时间 < 30ms，该时间与操作者转接 DUTs 所花费的时间相比是非常小的。

设置较短的启动超时来检测故障被测振荡器

在振荡器快速生产测试过程中的一个问题便是被测振荡器可能有故障。主要现象为：当操作者连接被测振荡器到计数器并开始测量后却没有任何显示，此时被测量振荡器应该被损坏并且无输出频率。在这种情况下，某些计数器将长时间等待直到控制器退出已开始的频率测量，具有设置超时功能的计数器能自动退出测量。

但是，对于传统的计数器中进行超时设置有一个问题：用户设置了测量应该结束的超时时间，而不是测量开始的超时时间。所以在这种情况下，设置的超时时间必须比测量时间要长。例如：如果测量时间为 500ms，则超时时间应设定为 600ms，这就意味着对于一个损坏的被测振荡器，用户需要等待 600ms。

CNT-91 能够对测量的开始和结束都设定超时，并且可以设定最少达 10ms 的开始测量超时时间，从而快速检测到故障振荡器。

低产量生产测试

在低产量生产测试中，用户可能会使用半自动测试装置，同时手动处理被测量振荡器，有时甚至需要手动读数。在这些应用中，CNT-91 具有某些独特的优点，如：

- 在显示器上可以图形显示测试极限值。
- 和运行测试软件的 PC 通过 USB 接口连接（无需额外花费购买 GPIB 卡）。

5. 振荡器启动测量

在振荡器制造的过程中普遍的一个问题便是如何确定振荡器的启动表现。换一句话说，便是振荡器加电多久以后方才能有“令人满意的”频率精度。其精度极限在标准条件下大约为 1 个或者几个 ppm。

通过独一无二的连续时间标记这一特性，Pendulum 公司的 CNT-91 时间间隔测试仪/计数器/分析仪对于上述测量问题提供了一套非常经济的解决方案。

对于较短的测量时间，CNT-91 也具有 *非常高的分辨率*，以及 *独特的频率背靠背*（FREQ BtB）测量功能。通过该功能，用户避免了测量之间的死区时间，而在一般频率测量功能中，死区时间是难以避免的。

设置

1. 将被测振荡器（DUT）与 CNT-91 和供电电源连接，如图 2 所示。
2. 将 CNT-90 或 CNT-91 通过 USB 或 GPIB 接口与运行有应用程序（如 TimeView™）的 PC 相连接。



3. 对于所需要的分辨率设定合适的测量时间。如：对于 CNT-91 的 1ppm 的测量时间为 $50\mu s$ 。
4. 设定合适的采样点数目（根据捕捉频率数据的总时间来设定）。如：200 个采样点和 $50\mu s$ 的频率背靠背测量所给出的总测量时间为： $50\mu s * 200 = 10ms$
5. 打开供电电源开始测量，并获取数据。

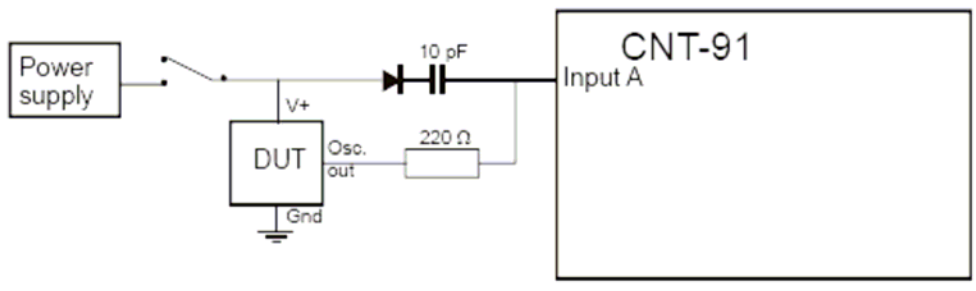


图 2 对于振荡器启动测量进行设置

供电电源的电压改变（通过电容的正向沿）将被传入计数器测量输入作为触发沿，并产生第一个时间标记（时间 0ns），接下来的时间标记则由 DUT 内的振荡器生成。

时间标记按照一定间隔标记，该间隔由设定的测量时间所决定。如图 3。

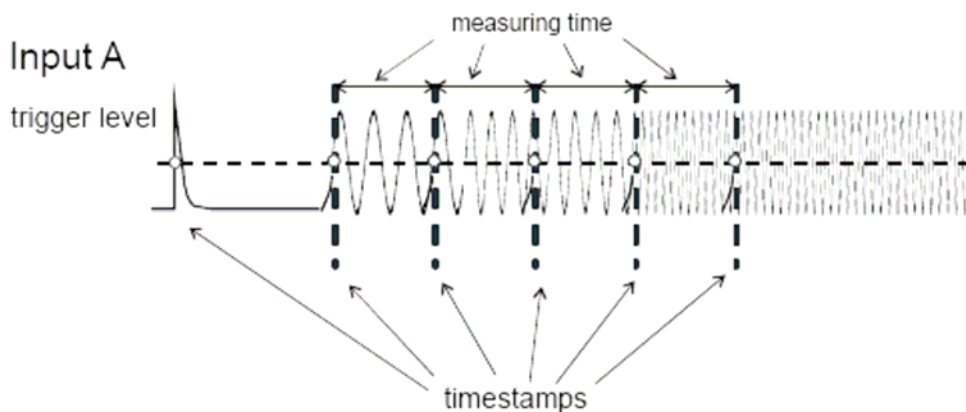


图 3 设定的测量时间决定了采样点之间的时间间隔

使用 TimeView 对振荡器启动进行测量

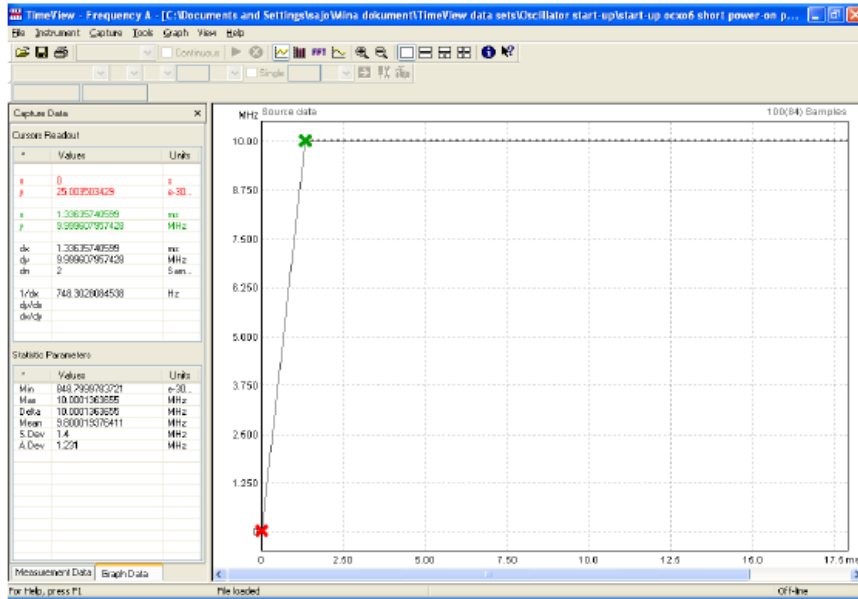


图 4 电源接通（最左端红叉处）之后 TCXO 输出频率随时间变化的曲线图

Time View 被设置为针对 **FREQ BtB** 测量以及单次捕捉。例如：使用 10MHz 的 TXCO 作为 DUT，使用 $200\mu s$ 的测量时间时，如上图所示（图 4）：

Time View 图像显示了频率采样点（Y 轴）和时间（X 轴）之间的关系。第一个采样点为时间标记电源启动触发（红叉）并且该点也是 Time View 时间域的起点。

下图是在启动后大约 1.3ms（绿叉处的 X 轴读数）以后的一串采样点，该串采样点以 $200\mu s$ 为测量时间。启动 1.3ms 后振荡器开始工作。对于图像的进一步放大可以得到更多的细节。

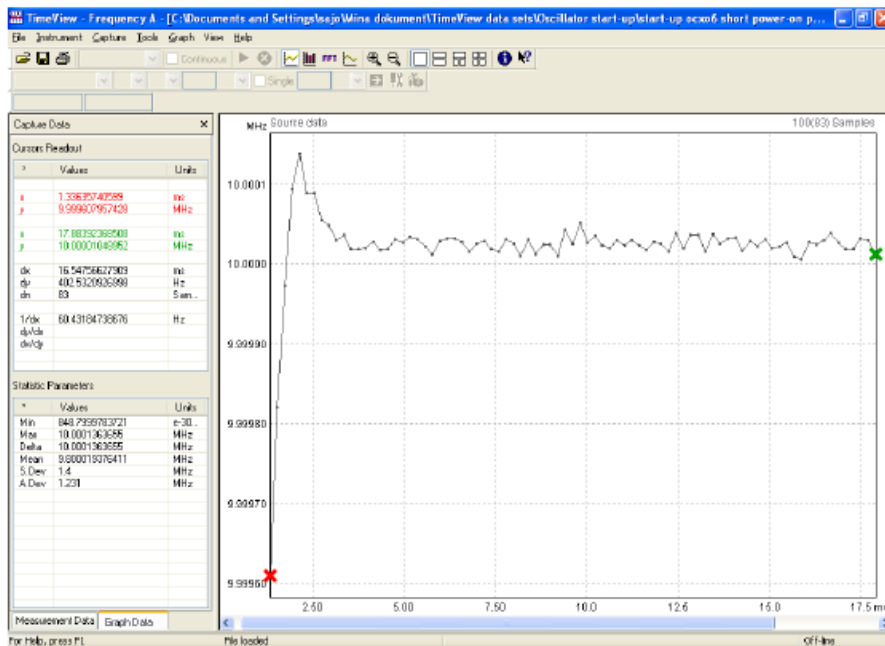


图 5 对于启动频率图的放大



6. 电信时钟模块的时钟漂移测量 (TIE/TDEV)

当振荡器和时钟模块被用于同步电信网络时，有时需要进一步获得漂移参数的技术指标，某些时候是 MTIE，但绝大多数时候是 TDEV。这些漂移参数是对基本的 **TIE-测量** (TIE=时间间隔误差) 进行后期处理的结果。实际时钟或数据信号的触发事件 (通常为跨零点) 与理想时钟信号之间的时间差就是 TIE。在时间 t=0 时取 TIE 初值为 0，此后的 TIE 便是相对于初始采样点的累积相位差。

由于采用了连续零死区时间测量原理，因此 CNT-91 是市场上唯一一款拥有内置 TIE-测量功能的计数器。在 CNT-91 中，TIE 按照以下公式计算：

$$TIE(i) = T_i - T_0 - \frac{E_i - E_0}{Freq_{nom}}$$

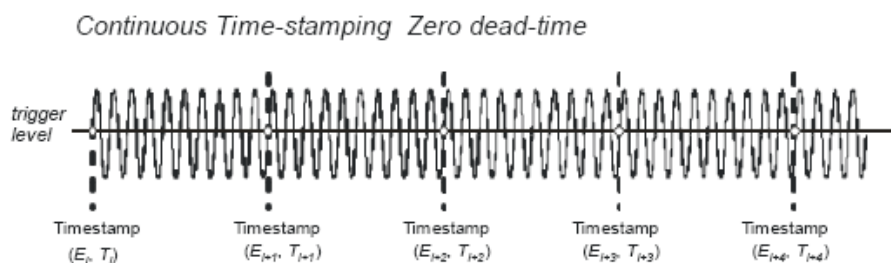


图 6 零死区时间时间标记是 TIE-测量的绝对必须

例如: Stratum-1 型 1.544MHz 时钟，在理想状况下，触发事件的每个跨零点应该精确的以 647.668393782383ns 的时间间隔出现。理想的时间标记，例如从开始测量起的第 10^7 个触发事件的时间标记，应该为 6.4766839378s。

现在假设实际信号的第 10^7 个触发事件的时间标记为 6.4766831000s。那么此时的 TIE 等于 837.8ns (实际与理想时钟之差)。

TimeView™ 软件是在实验室环境中显示 TIE 的理想工具。如下图 7 所示。TIE 文件可被导出到电子制表程序 (如: Excel) 进行更进一步的处理。

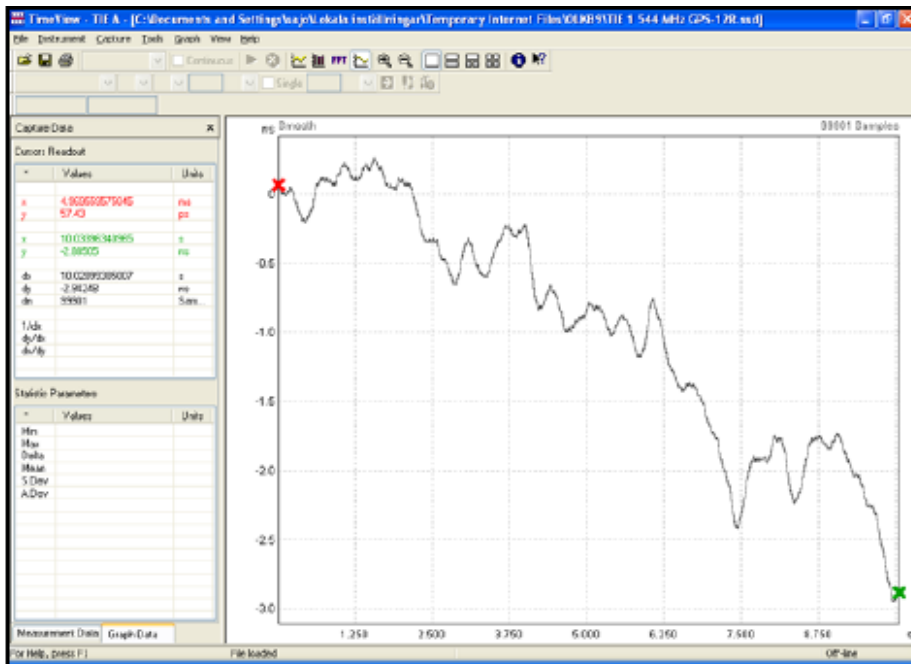


图 7 TimeView 中 TIE 随时间变化的曲线图

7. 短期稳定度测试 (ADEV vs τ)

振荡器的短期稳定度是通过多个不同测量时间 (τ) 的阿伦偏差 (ADEV) 来表征的。由于正确的 ADEV 计算要求零死区时间测量 (背靠背测量), 因此普通的计数器不能被用来测量被测振荡器的短期稳定度, 只有具有零死区时间测量功能的计数器才能被用来测量 ADEV。

ADEV 指的是在任意两个背靠背频率采样点 f_k 和 $f_k + \tau$ 之间频率的差值均方根, 每一采样点测量时间为 τ , 两个采样点总测量时间为 2τ 。

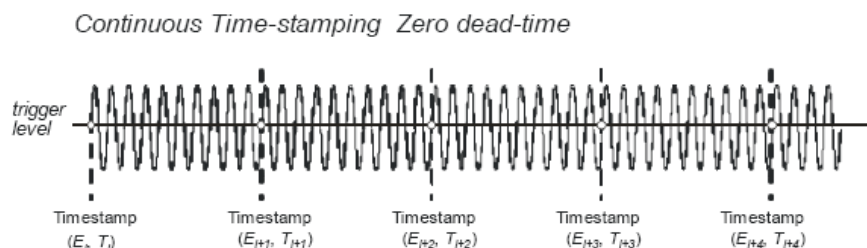


图 9 频率背靠背可由时间标记数据轻松计算得到

在每一测量时间 (τ) 上的频率背靠背测量值 f_i , 可由以下公式计算:

$$f_i = \frac{E_i - E_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

通过使用 TimeView 和 CNT-91, 对任一 20GHz 以内的频率源, 用户都能够实现短期稳定度 (σ_y 或者 ADEV vs τ) 的自动计算, 所使用的内置公式如下:



$$\sigma_y^2 \approx \frac{1}{2(n-1)} \sum_{k=0}^{n-1} (y(t_k + \tau) - y(t_k))^2$$

$y(k)$ 为频率的相对偏差[$y(k) = (f_k - f_{ref}) / f_{ref}$]

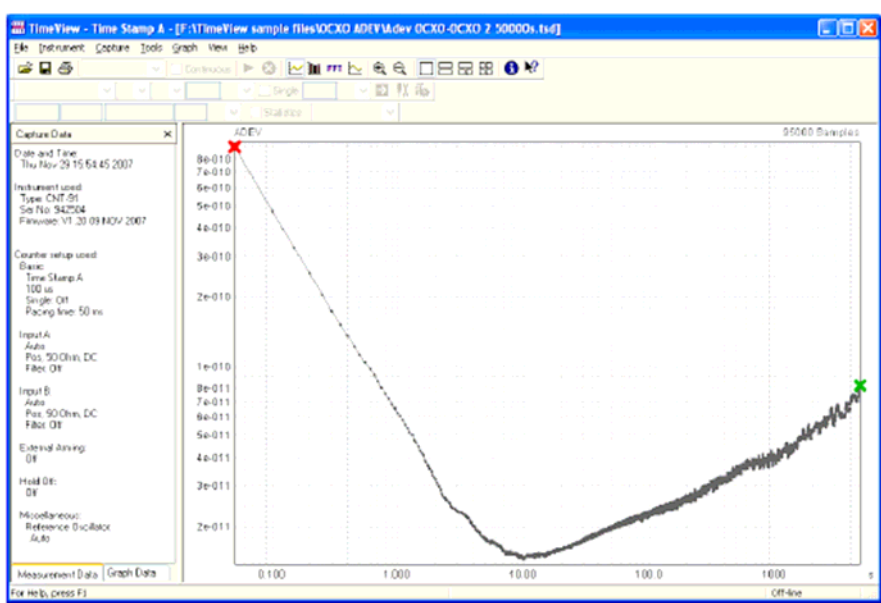


图 10 在 TimeView 中达到 5000s 时的 ADEV 测量图，表明晶振的典型特性

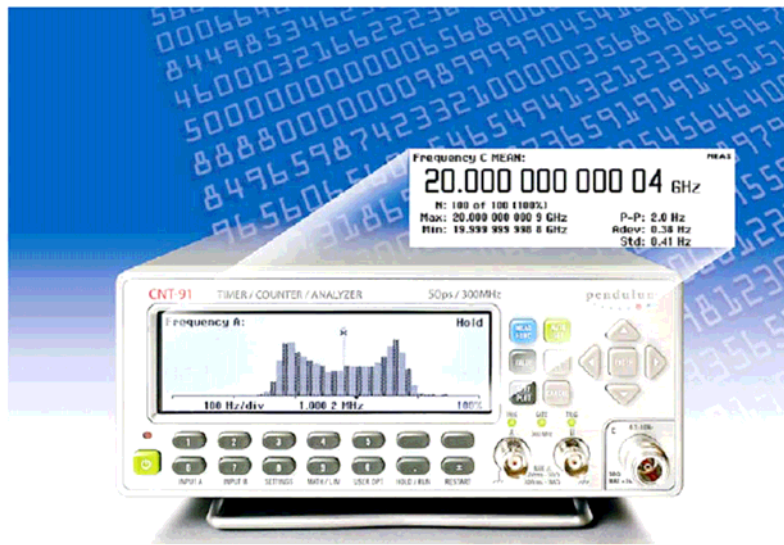
8. 结论

为了实现振荡器生产制造过程中常见的多种测量，用户可以单独使用 CNT-91，或者将 CNT-91 与可选的调制域软件 Time View 组合使用。这些测量为：

- 频率的调整和验证（生产部门）
- 按照技术指标进行频率验证（质量控制部门）
- 振荡器的长期稳定度（老化率）测量（生产/质量控制部门）
- 振荡器的温度稳定度测量（研发/质量控制部门）
- 短期稳定度测量，ADEV vs τ （研发或生产部门）
- 振荡器启动性能测量（研发/质量控制部门）
- 电信时钟模块的时钟漂移测量（TIE/TDEV）（研发/质量控制部门）
- 频率纯度的验证（找到频率细微的瞬间跳变）（研发部门）
- PLL 参数测试（研发部门）
- 频率基准时钟的相位比较（计量实验室）
- 对其他仪器的校准（计量实验室）



CNT-91 时间间隔测试仪/计数器/分析仪特性



- 具有市场上的所有时间间隔分析仪/计数器中最高测量分辨率和最快的测量速度
- 频率范围到 20GHz 的调制域分析仪
- 目前市场上仅有的具有零死区时间测量功能的频率计数器
- 市场上最低价格的 ADEV vs τ 测试仪
- 最后值得一提的是：CNT-91 提供非常经济的解决方案