

使用53100A相位噪声分析仪进行振荡器测量和校准

简介

时间和频率精密仪器的一些最常见应用包括测量晶体振荡器、原子频标及其他高性能信号源的输出频率、相位噪声和频率稳定性。本应用笔记展示了如何使用53100A相位噪声分析仪以前所未有的经济简便方式来执行这些基本任务，仅用这一台仪器即可完成几台仪器的工作。

测量目标

对于此次测量试验，我们选择的被测器件（device under test, DUT）是一款商用10 MHz双恒温晶体振荡器，专门用于需要低老化率和极高温度稳定性的应用。

表1显示了该器件的典型相位噪声性能数值，且下文还介绍了其他几项关键技术规范。

我们希望对DUT执行以下操作：

- 验证相位噪声性能（表1）
- 验证短期Allan偏差（ $t=1s$ 时 $2E-12$ ）
- 验证频率调谐范围（ $> \pm 2.5E-7$ ）
- 根据GPS校准振荡器频率
- 验证预热时间（15分钟内 $\pm 5E-8$ ）



图1： 被测器件

表1： 相位噪声性能

典型相位噪声（对于 5 MHz 部件）	
1 Hz	-105 dBc/Hz
10 Hz	-130 dBc/Hz
100 Hz	-145 dBc/Hz
1,000 Hz	-150 dBc/Hz
10,000 Hz	-155 dBc/Hz

仪器设置

如果参照用户提供的单个参考源测量单个被测器件（DUT），应按照出厂默认配置连接53100A前面的SMA跳线，如图2所示。



图2： 53100A的前面板

连接DUT

我们将53100A前面板上标有DUT的N-F插孔连接到被测振荡器。

由于DUT通过焊接引脚进行电源输入和10 MHz输出，因此需要格外小心，以免环境中偶然出现的10 MHz频率源产生串扰。考虑到我们将要执行的测量的敏感性，测试夹具和连接线的质量可能与被测器件本身一样重要。例如，即使在具有同轴射频输出的器件上，OCXO电源输入引脚处有时也需要额外的射频去耦。

该特定振荡器具有金属外壳，屏蔽效果良好。10圈绕线电位器连接至其电子频率控制（electronic frequency control, EFC）输入引脚以进行校准。通过RG-400双屏蔽同轴电缆连接至53100A的DUT输入插孔。

连接参考源

标有REFERENCE（参考源）的插孔需要连接到合适的参考源，详见用户手册的“选择参考源”部分。

在本试验中，我们将使用低噪声版本的Microchip GPS-3500作为10 MHz参考源（图3）。GPS-3500是一个特别不错的选择，因为它的相位噪声和Allan偏差技术规范均优于DUT的预期性能。作为基于GNSS训练的参考源，它还可以用作校准的频率标准，其不确定度远低于DUT规定的老化率。



图3: Microchip GPS-3500

如“选择参考源”部分所述，参考源和DUT均应为1 MHz至200 MHz范围内的正弦波源，并在+5 dBm至+15 dBm的功率电平下运行，以获得最佳结果。对于高性能噪声测量，优选靠近此范围上限的功率电平，因为此类电平会实现更快的平均时间和更低的最终本底噪声。DUT的输出电平仅为+7 dBm，但是由于预期的相位噪声电平并未接近53100A的性能下限，因此这不会造成问题。同样，GPS-3500大约+10 dBm的输出电平也适合此应用。

就像连接DUT一样，应使用具有良好射频隔离特性和相位稳定性的电缆来连接参考源。建议使用双屏蔽同轴电缆、Conformable或HandFlex电缆或者其他类型具有高屏蔽效率的电缆。在相位噪声图中，参考源和DUT之间的串扰可能表现为意外的低频杂散，而在Allan偏差图中，它可能导致周期性纹波伪影，在与拍频相对应的间隔处会出现零点。通常需要隔离度超过120 dB才能防止出现这些问题。

定义测试模板

在此示例中，无需对TimeLab中的默认设置进行特定的更改，但是若您的测试要求包括通过/失败评估，为DUT定义一条或多条极限线可能会有所帮助。对于我们的示例场景，我们通过将偏移量和值从表1复制到masks.txt中，来为DUT定义相位噪声模板。该表条目是针对5 MHz部件规定的，但DUT是带有内部倍频器的10 MHz器件，因此必须在所示极限上增加6 dB。

在masks.txt中生成的条目如下所示：

```
mask Commercial DUT phase noise (typical)
P (1, -99) (10, -124) (100, -139) (1000, -144) (10000, -149)
```

有关使用masks.txt文件创建和编辑极限线定义的更多信息，请参见53100A手册中的Masks（模板）菜单说明。

使用53100A的采集对话框

启动TimeLab后，打开53100A采集对话框（**Acquire > Microchip 53100A**（采集 > Microchip 53100A））。出现的对话框应与下图（图4）类似。

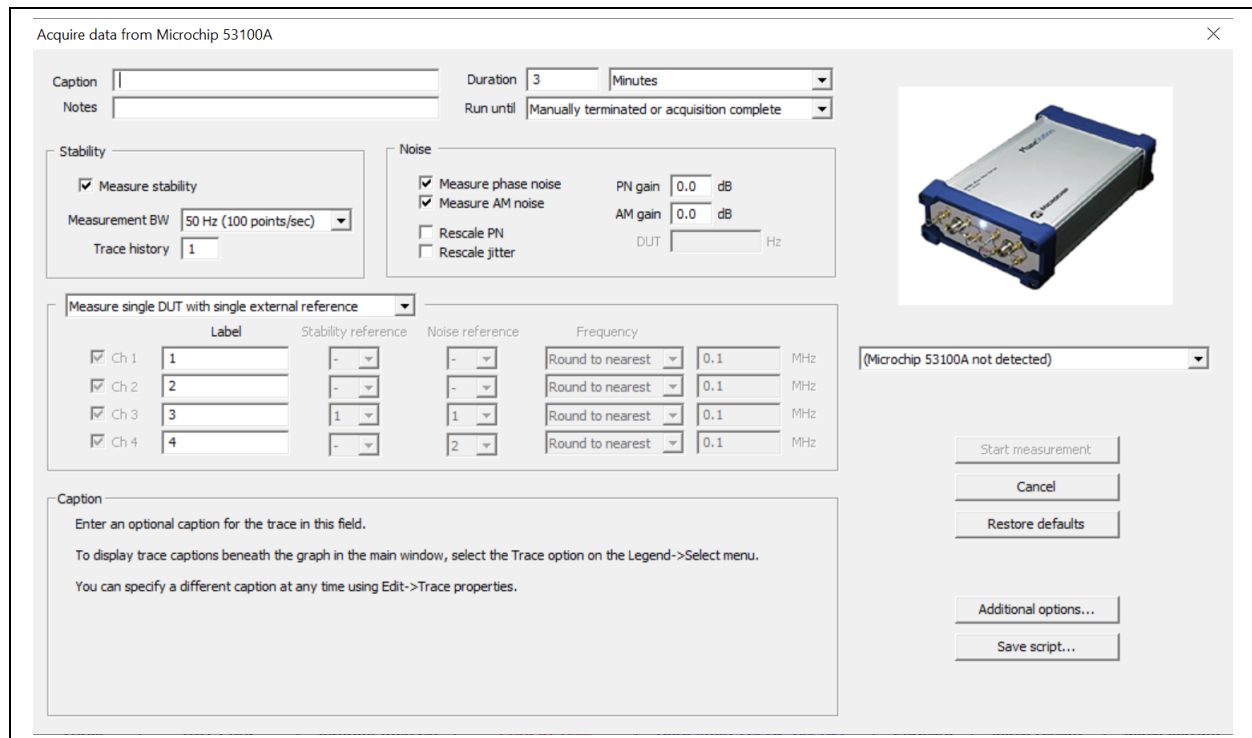


图4： 53100A采集对话框

如果以前运行过任何53100A测量，系统会保留对该对话框设置所做的所有更改。因此，您可以先按**Restore defaults**（恢复默认值）按钮，然后再继续。这会将主对话框和**Additional Options**（其他选项）对话框中的字段和控件恢复为出厂默认值，从而为后续更改设立起点。

对于我们试验中的初始相位噪声和稳定性测量，无需更改采集对话框中的任何默认控件设置。一些简要的观察提示：

- 在TimeLab中，仪器采集对话框中**Controls**（控件）和**Input**（输入）字段的主要说明文档是对话框本身中的鼠标悬停帮助功能。该帮助文本的优点是可以与您当前正在运行的软件和驱动程序版本保持同步，因此在遇到不熟悉的控件和功能时，首先应该参考该文本。
- 最好在左上方的自由格式**Caption**（标题）和**Notes**（备注）字段中输入DUT和/或参考源的名称，以及有关测量的其他任何相关详细信息。通过选中**Legend > Select**（图注 > 选择）对话框中的相应复选框，可以在图下方的图注表中显示这些字段。
- 默认的3分钟测量持续时间非常适合这种情况，因为这样不涉及极低的噪声电平或较长的 τ 间隔。
- 在每秒50 Hz/100点的默认测量带宽设置下，相位记录的大小为18,000点，需要144 KB的极小（按现代标准）RAM即可以双精度存储。如果有足够的内存，测量持续一周或更长时间是可行的，但是使用53100A，大多数测量任务仅需几分钟即可完成。
- 默认的测量任务“使用单个外部参考源测量单个DUT”会将ADC通道分配给DUT和参考输入，这些输入对应于前面显示的出厂默认SMA跳线配置。其他测量任务将在其他应用笔记中讨论。
- 默认状态下**AM Noise**（AM噪声）复选框为选中状态。由于我们的应用示例不包含AM噪声测量，因此可以根据需要取消选中此测量。如果发现由于CPU性能不足而导致采集提前终止，禁止不需要的测量类型会很有帮助。
- 同样，如果遇到性能问题，请考虑在**Additional Options**对话框中取消选中**Overlapped Acquisition**（重叠采集）。这不会对稳定性测量产生影响，但会增加在AM和相位噪声测量中达到给定测量下限所需的时间，尤其是在接近偏移量处。由于我们预计在此示例中不会出现极低的噪声电平，因此可以根据需要安全地取消选中**Overlapped Acquisition**，这对测量时间的影响很小。

- **注:** Overlapped Acquisition可以通过FFT程序更有效地利用输入数据,但这需要明显更多的CPU时间,最终产生更平滑的相位噪声和AM噪声迹线。该功能默认为关闭状态。

测量相位噪声

选择并配置了所需的采集选项后,只需按右侧的**Start Measurement** (开始测量)按钮即可关闭**Acquisition** (采集)对话框并开始采集数据。结果图应在**10到20秒**内开始在**TimeLab**中显示。

根据当前**Measurement** (测量)菜单中的选择,开始采集后,您可能会发现自己正在查看的是**Allan**偏差迹线、相位噪声迹线或其他测量视图之一。我们列表中的第一项任务是验证DUT的相位噪声性能,因此建议从下列步骤开始操作。

- 选择**Measurement > Phase Noise** (测量 > 相位噪声) (或按大写字母P)。
- (可选)在本例中选择测试模板——**Masks > Commercial DUT** (模板 > 商用DUT),以显示所需的相位噪声极限线。也可以在按下Shift键的同时左键单击相位噪声图,以在所需的偏移量处切换噪声标记。
- 使用**Legend > Select** (d)使所需的列显示在图下方的表格中。图注表列依个人偏好而定,但Trace (迹线)、Notes (备注)、DUT Freq (DUT频率)、Ref Freq (参考频率)、Input Amplitude (输入幅值)、Elapsed (所用时间)和Spot Cursor (点光标)是较常见的选择。如果测量涉及测试模板,也可以选择Mask Result (模板结果)和/或Mask Margin (模板裕度)列。
- 使用**Legend > Select**对话框配置图注表后,可以通过拖动窗口边框来调整TimeLab窗口大小。使用Ctrl-鼠标滚轮或括号键作为**Display > Increase/Decrease Font Size** (显示 > 增大/减小字体大小)的快捷方式,也可以轻松调整字体大小。

在开始数据采集后不到一分钟,相位噪声迹线将达到验证DUT性能所需的**1 Hz**最小偏移量。在指定的**3分钟**测量时间的剩余时间内,数据采集将继续进行,从而通过交叉频谱平均过程进一步改善本底噪声。结果将产生一个干净的低方差图,在所有值得关注的偏移量处都有足够的测量裕量 (图6)。

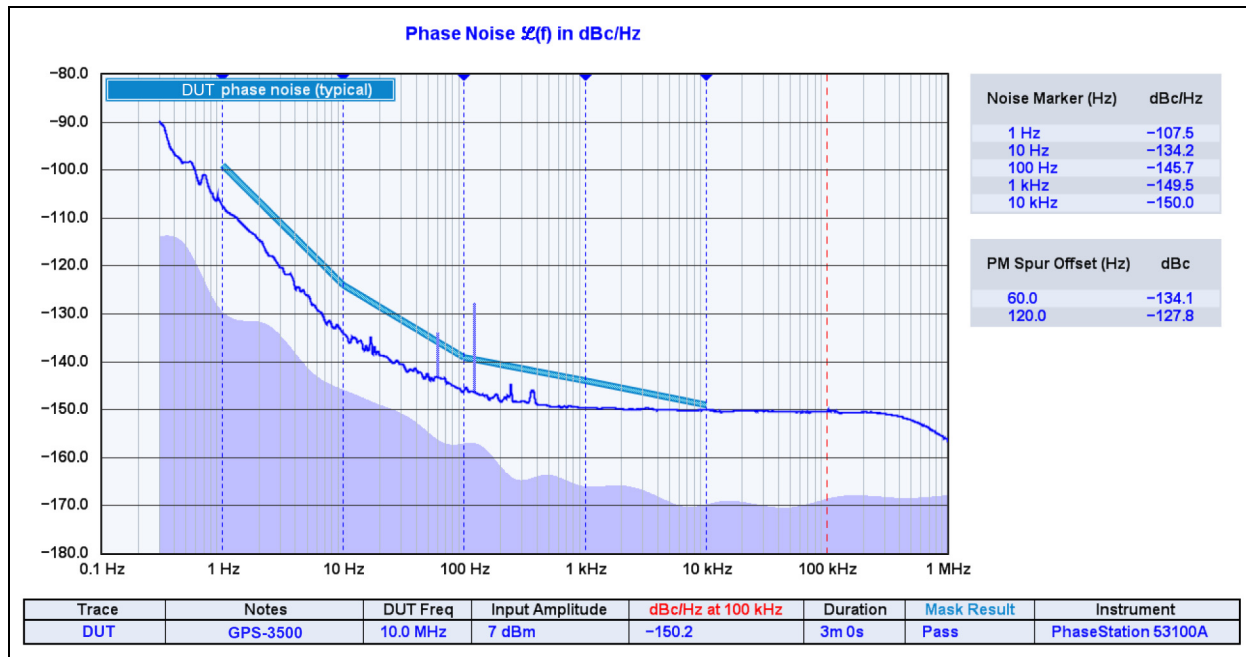


图5: 相位噪声迹线

查看迹线以及图区域下方图注表中的Mask Result列，可以看到DUT已成功通过此部分测试。振荡器的白本底噪声满足其技术规范。除了典型的低电平交流线路谐波外，没有明显的杂散。由于软件可以正确识别60 Hz和120 Hz杂散，所以它们不会导致噪声模板违规。

有趣的是，此特定示例的接近噪声性能比技术规范要求的更出色。事实上，如果在1 Hz处观察到的噪声要低得多，那么即使典型噪声电平接近-114 dBc/Hz的GPS-3500也不足以准确地检定DUT。这种情况下可能需要采用双参考配置。

通过对比迹线下方阴影区域中53100A的测量下限估计值，可以发现大多数偏移量处都有超过10 dB的裕度。可以使用 **Trace > Show Estimated Instrument Noise**（迹线 > 显示估计的仪器噪声）（F2）来关闭下限估计值，以减少显示杂乱程度（例如，当将多个保存的图加载到TimeLab中进行相互比较时就会比较杂乱）。请注意，阴影区域仅描绘了53100A自身的下限估计值，而不是单个参考源的限制值。对于双独立参考源，估计值也将反映参考源的下限。

如果DUT相位噪声测量值比参考噪声电平高出10 dB以下，则可以从相位噪声测量值中减去校正系数，以提供信号相位噪声的最佳估计值。表2列出了建议的校正系数：

表2: 幅值差和噪声校正系数

幅值差 (dB)	16	10	6	3	2	1	0
噪声校正系数 (dB)	0.1	0.4	1.2	1.8	2.1	2.5	3

有关更多详细信息，请参见53100A用户指南的“选择参考源”部分。

测量ALLAN偏差

Allan偏差图不需要测试模板，因为制造商的数据手册仅规定了单个tau间隔（t=1秒）的频率稳定性。当我们查看相位噪声显示时，ADEV测量在后台进行，因此我们可以使用快捷键（**Measurement > Allan Deviation**（测量 > Allan偏差））切换到该测量。考虑到DUT的相位噪声性能接近1 Hz，因此它也符合工厂的ADEV技术规范 $2E-12$ （t=1s时）并具有可观的备用裕度，就不足为奇了（图6）。

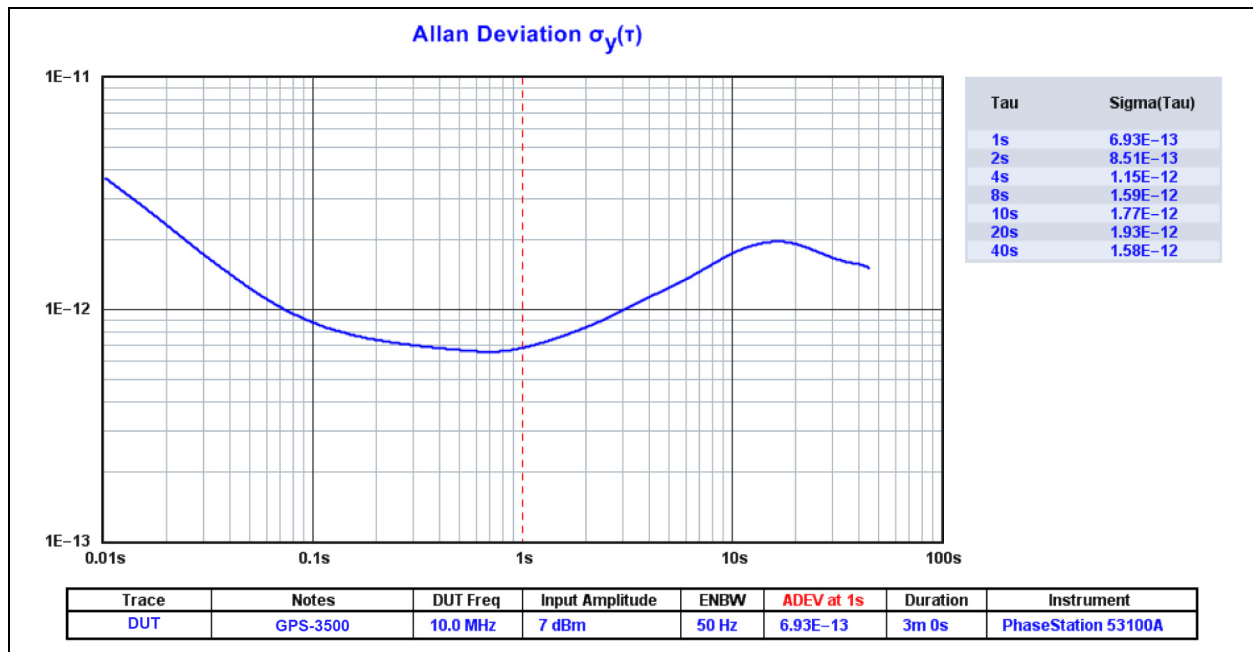


图6: Allan 偏差测量

请注意，可以通过左键单击t=1s列附近，在图中定位红色的“点光标”。相应的ADEV值显示在图下方的图注表中。事实上，仅当通过**Legend > Select**在图注表中选择要显示的点光标时，点光标才可见。我们也可以直接参考右侧图表中的1s条目。

AN3502

与相位噪声图一样，在 $t=1s$ 时，难以用单一参考源来检定DUT的真实Allan偏差，即使是此处采用的同类最佳的伽频率标准源，也不例外。事实上，仔细观察ADEV迹线，我们可以发现GPS-3500内部环路带宽与接近 $t=0.7$ 秒时DUT的可能真实性能之间的过渡。

使用微波激射器可以解决这一问题，但使用一对GPS-3500或其他高质量振荡器成本要低得多，这要归功于53100A能够使用多个参考源进行分离方差测量。在随后的应用笔记中将详细讨论这种方法。有关更多详细信息，请参见用户指南。

测量频率调谐范围

变容二极管控制的晶体振荡器或其他电子可调源的调谐范围定义为通过在其规定范围内改变电子频率控制（EFC）电压而实现的频率偏差。对于示例中的DUT，控制电压范围为0V至+5V，对应于 $\pm 2.5E-7$ 的规定频率调谐范围。从分频偏差转换为绝对项，预期调谐范围为 $10\text{ MHz}\pm 2.5\text{ Hz}$ 。

由于我们为DUT配备了连接至其电子频率控制（EFC）输入端的10圈绕线电位器，因此通过使用53100A开始测量并切换到 **Measurement > Frequency Difference**（测量 > 频差）(f) 视图，一边旋转旋钮一边观察图，可以轻松验证调谐范围。

从之前使用 **Acquire > Microchip 53100A**（采集 > Microchip 53100A）进行的相位噪声/ADEV测量返回到采集对话框，我们需要增加测量带宽以支持此测量。图7显示了一种可能的设置。由于53100A设计用于测量稳定的信号源，因此在测量过程中，如果DUT或参考源频率的变化幅度超过测量带宽的一小部分（通常为10%），TimeLab就会报告漂移警告。通过将默认的50 Hz测量带宽切换为500 Hz或更高的带宽，即使DUT的调谐范围被证明比规定范围稍宽，我们也能够避免这些警告，这种做法已普遍应用于实践中了。

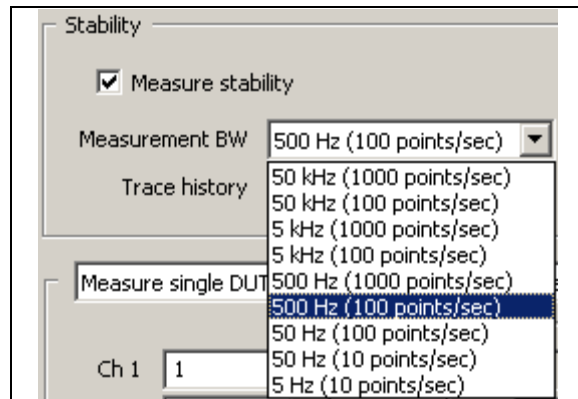


图7： 测量带宽选择

更改测量带宽后，我们可以像以前一样按Start Measurement以开始测量，这次接下来按f快捷键以访问 **Measurement > Frequency Difference** 屏幕。测量开始运行后，将10圈绕线电位器从其最小设置调整为最大设置，可以发现调谐范围满足 $\pm 2.5\text{ Hz}$ 的要求，并具有足够的线性度和裕量（图8）。

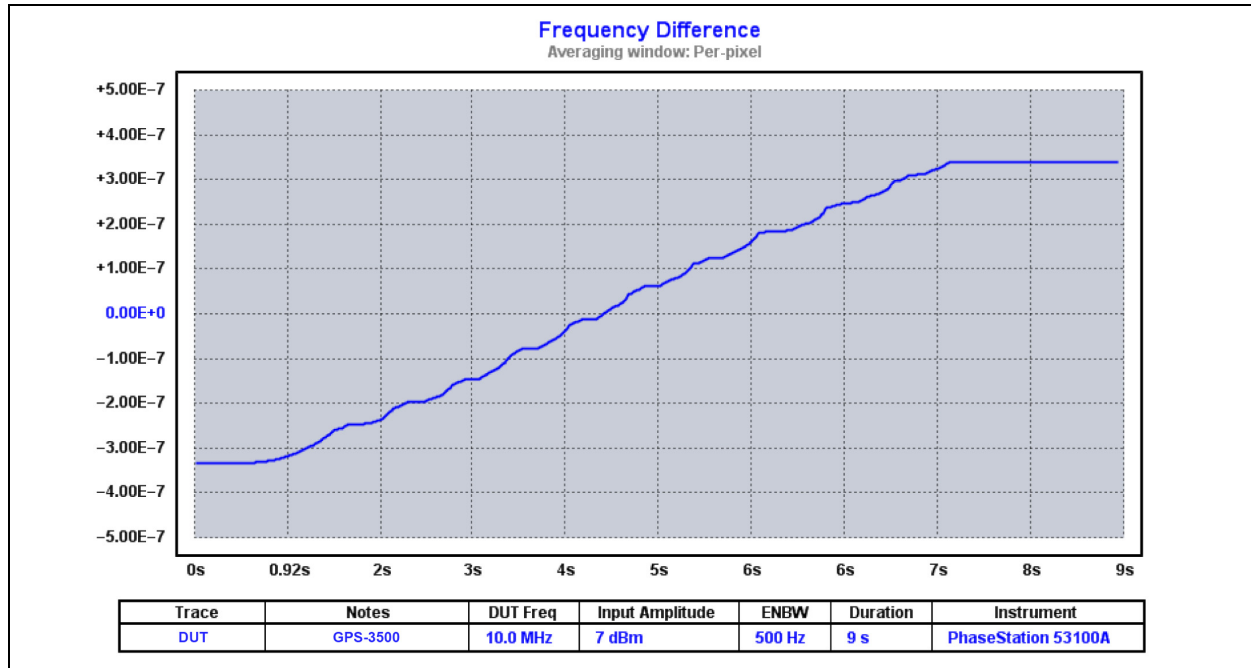


图8: 频差测量

有关此测量的一些其他要点:

- 在扫描整个控制范围后，按空格键 (**Acquire > Stop/Repeat Acquisition** (采集 > 停止/重复采集)) 以结束测量，而不要让测量持续运行指定的3分钟时间。
- 在这种性质的测试中，从噪声和Allan偏差显示中获取的有用信息并不多。原则上，线性漂移本身在相位噪声图上显示为 $1/f^6$ 的斜率，但随手动调整10圈绕线电位器而出现的短暂随机瞬变可能会对PM和AM噪声显示造成严重破坏。在运行测试之前取消选中AM噪声测量和相位噪声测量是合理的，但是没有必要这样做。
- 有关正确显示数据的注意事项：频差迹线的中心（零）基线对应于图下方图注表中DUT频率字段中显示的频率。在此示例中，该数字将仅为10 MHz，因为与“使用单个外部参考源测量单个DUT”任务相关联的频率舍入模式会舍入到最接近的0.1 MHz。
- 如果在测量开始时振荡器频率恰好非常接近其10 MHz零误差基线，则在查看频差图时，是否选择“z”模式 (**Trace > Phase/Frequency Traces Begin at Zero** (迹线 > 相位/频率迹线从零开始)) 并不重要。然而，我们不能在这里做出这样的假设。由于我们要专门检查标称10 MHz频率周围的对称调谐响应，因此应关闭“z”模式。
- “r”模式 (**Trace > Show Linear Phase/Frequency Residual** (迹线 > 显示线性相位/频率残差)) 也是如此。我们需要在不缩减其趋势线的情况下看到此测试的实际频差图，因此需要关闭“r”模式。
- 沿着频差迹线可以轻松确定任意给定时间点的绝对频率。如果不显示频率计数图表，请按Ctrl-n (**Display > Numeric Table** (显示 > 数字表)) 将其显示出来。左键单击并拖动以选择在所需时间附近结束的频差迹线的垂直或矩形部分，然后按住鼠标中键以沿X轴平移。现在，频率计数图表将显示相对于所选区域右边缘而不是整个图中最后一个数据点的各尾随平均时间处的绝对频率。
- 要在给定时间检查频率计数图表而不进行放大，请按住Shift键，同时用鼠标左键拖动以定义选择区域。拖动后，该区域将保持突出显示，如图9所示。

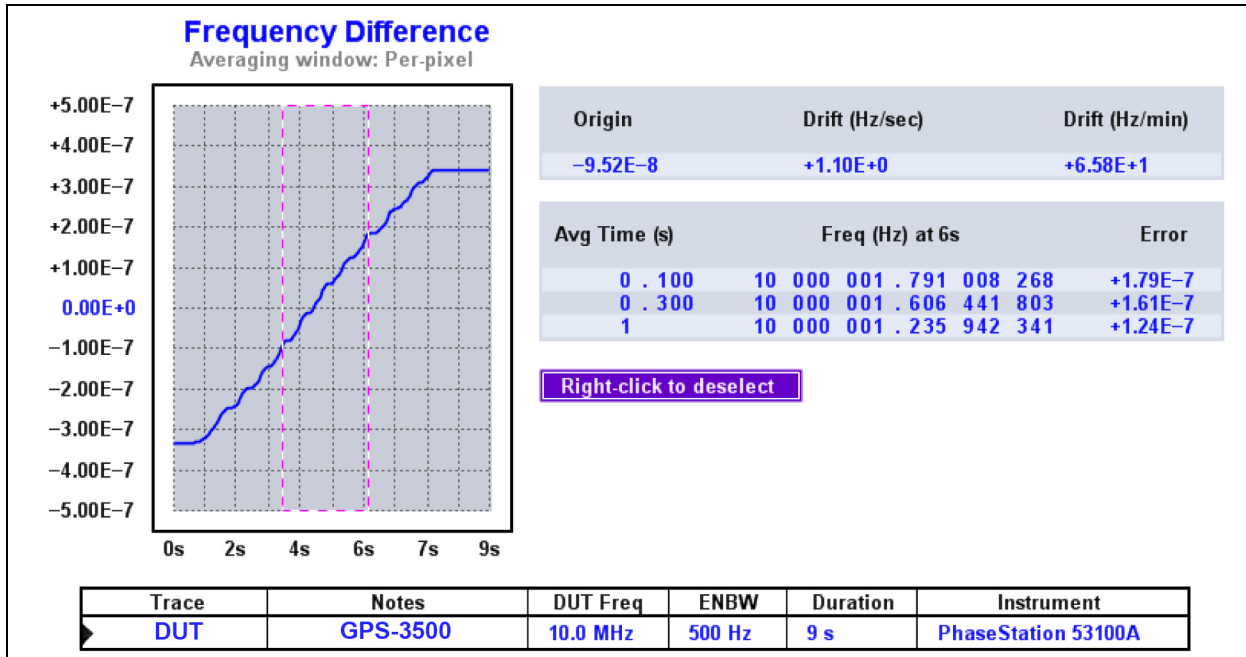


图9: 频差图

校准输出频率

务必了解，53100A的频率测量精度继承自其参考源，要注意，诸如GPS-3500之类的基于GNSS的参考源本身可以检定或认证为可追溯的校准标准。当部署在校准任务中时，53100A可以用作数字相位比较器，其固有不确定性要高于几乎所有可用参考源（包括所有基于GNSS的标准）。同样重要的是，53100A无需任何调整即可保持其规定的性能。

该操作步骤特别简单。只需从 *Acquire > Microchip 53100A Acquisition*（采集 > Microchip 53100A采集）对话框重新启动之前的测量，然后调整10圈绕线电位器使输出频率尽可能接近10 MHz即可，如 *Measurement > Frequency Difference* 屏幕中所示。

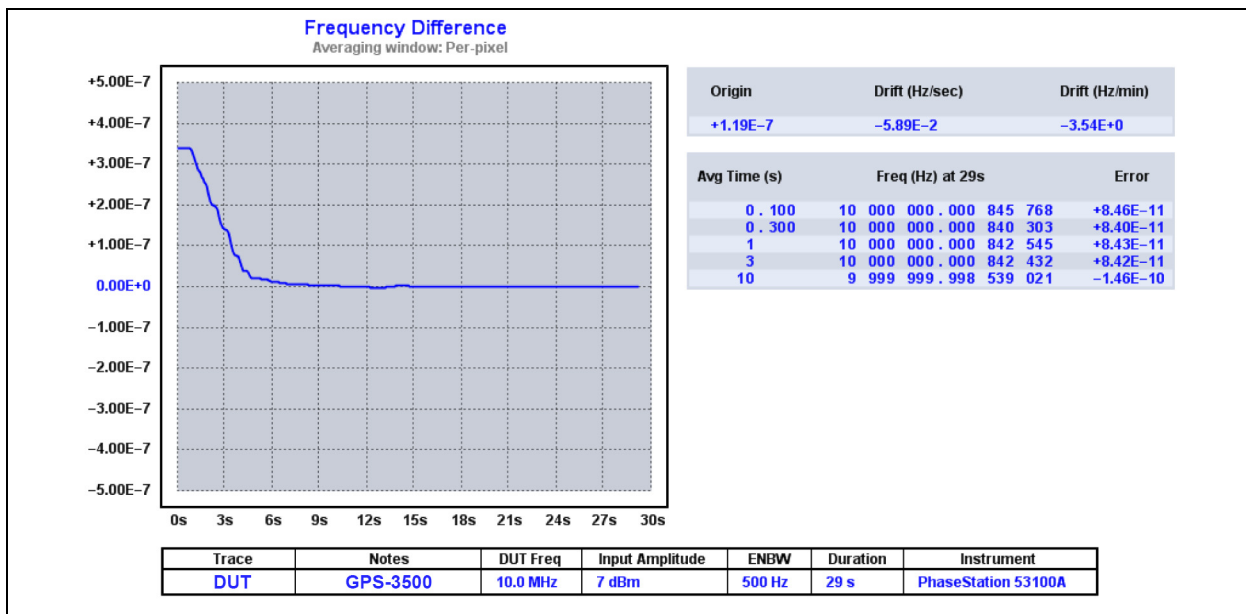


图10: 频差图

在图10中，已将DUT的输出频率调整到相对于参考振荡器大约 $\pm 1E-10$ 以内。

请注意，通过参考频率计数图表中的短期平均值而不是参考频差图来调整晶体振荡器通常更容易，因为较大的调谐偏移可以将Y轴标度扩展到难以区分较小变化的程度。如果频差测量视图中不显示计数图表，请按Ctrl-n ([Display > Numeric Table](#)) 将其显示出来，如上所示。

如前所述，在借助频差图进行校准调整时，通常需要关闭残差 (r) 和零基线 (z) 模式。

观察预热行为

校准DUT后，我们将在冷启动15分钟后评估其分频偏差来结束此试验。在这15分钟的预热期结束时，频率必须处在其校准值的 $\pm 5E-8$ 以内，对应于10 MHz时的0.5Hz。

使用53100A，我们不仅可以在15分钟标记处按照需要准确地测量频率，而且可以捕捉振荡器在几乎整个预热期间的行为。该测量结果将告诉我们振荡器实际需要多长时间进行预热，在上电时间的最初几秒钟后，振荡器的频差有多大，以及在预热期间它的总体表现如何。任何意外的频率突升或突降都可以在频差迹线上轻松发现。

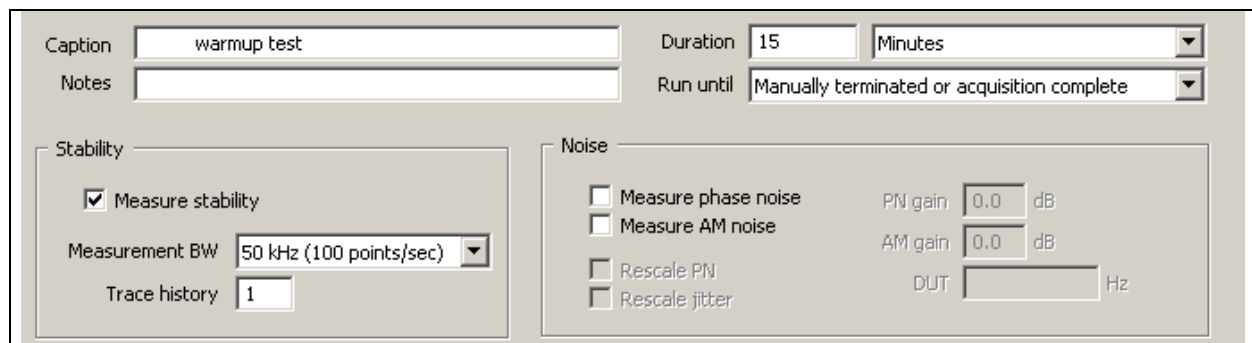


图11: Acquire > Microchip 53100A 对话框

再次打开 [Acquire > Microchip 53100A](#) 对话框 (图11)，需要将测量持续时间从默认的3分钟增加到15分钟，如上所示。此外，由于OCXO的预热漂移范围可能达到数百赫兹，因此我们需要选择最宽的可用测量带宽 (50 kHz)。

请注意，将测量带宽增加到50 kHz有一些不利影响。一个不利影响是，相位数据记录的大小将以每秒100,000点的关联数据速率迅速变得难以管理，因此，当选择500 Hz以上的测量带宽时，TimeLab会将相位数据抽取为每秒100点或每秒1000点的更合理间隔。另一个不利影响是会增加Allan偏差和其他稳定性测量的本底噪声。在任何情况下，在预热或其他快速非线性漂移期间，都无法有效地测量这些属性，因此无需担心。同样，在这些情况下，我们无需费心测量相位噪声或AM噪声。

在没有信号的情况下，53100A无法开始测量，因此我们需要在向振荡器供电后尽快按下Acquisition对话框中的Start Measurement按钮。结果图显示，在15分钟的预热期结束时，分频误差小于 $+3E-9$ (图12)。

另外，如果选择区域显示为框而不是两个垂直列，您可以按y键 ([Trace > Phase/Frequency Y Axis Unlocked in Zoom](#) (迹线 > 相位/频率Y轴在缩放模式下解锁))，将所选区域限制为仅X轴。

可以在拖动操作之前、期间或之后切换Y轴锁定。在详细检查迹线数据时，解锁Y轴通常很有用，但是垂直标度标签将采用任意值，当我们寻找 $-5E-8$ 交叉点时，可能更难遵循这些值。

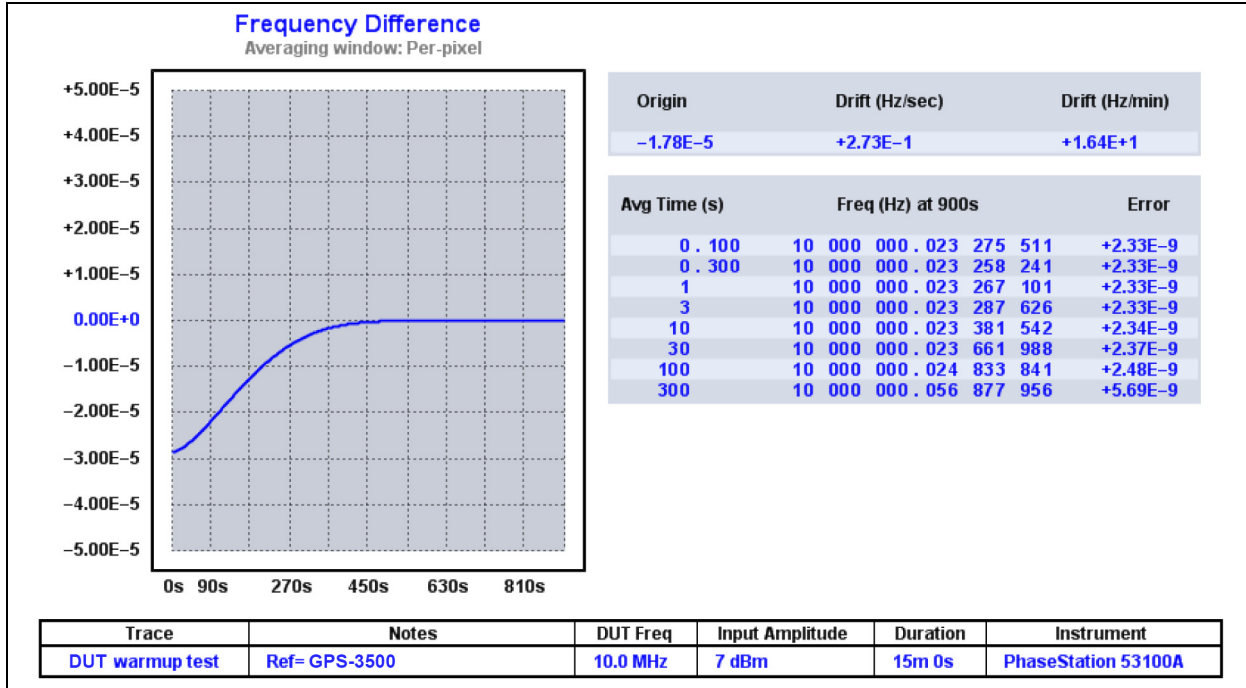


图12: 预热期间

同样，在查看此频差图时，应关闭 *Trace > Show Linear Phase/Frequency Residual (r)* 和 *Trace>Phase/Frequency Traces Begin at Zero (z)* 模式。

进行放大以仔细观察

在DUT即将首次满足其预热精度技术规范时检查其行为是有用的做法。我们要寻找图中迹线越过-5E-8的点，该图的Y轴极限是1000倍宽，因此我们需要通过左键单击并拖动以选择接近零误差基线的部分迹线来进行放大，如图13所示。

释放鼠标左键后，视图将缩放到上方显示的垂直光标之间的指定区域。现在，可以通过使用中键进行拖动来水平平移缩放区域，并可以使用滚轮扩大和缩小缩放区域。提示：您会发现Y轴标度不断调整以适应迹线的可见部分。如果不需要此行为，则可以在使用中键和滚轮操作缩放区域时切换Y轴锁定。

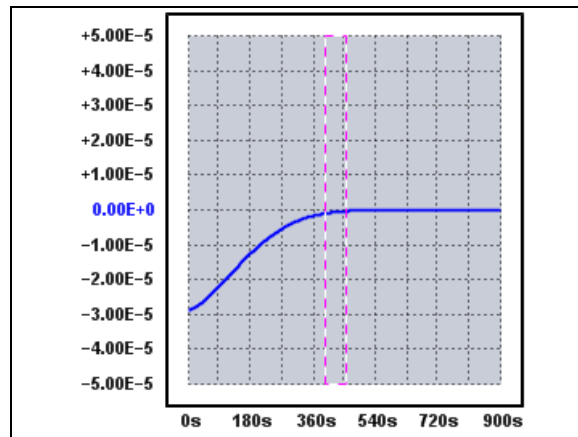


图13: 缩放选择

在本例中，我们发现迹线在15分钟的预热期间大约八分钟的时候越过-5E-8阈值（图14）。

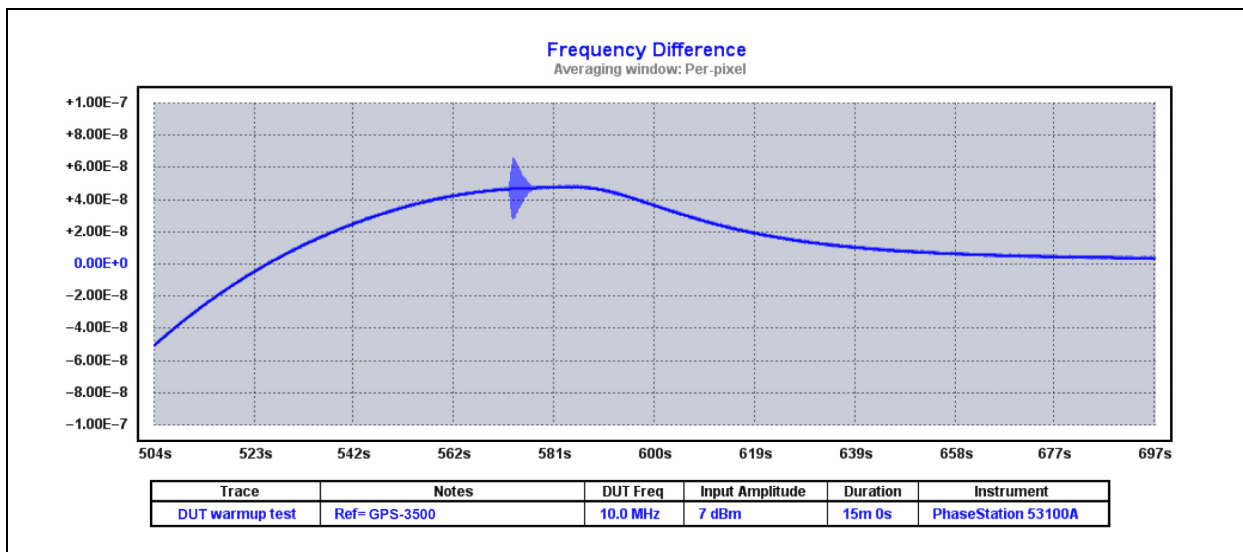


图14: 异常瞬态突发噪声

此后不久，就在t+10分钟之前，振荡器的恒温控制器功率降低并开始向其稳态温度稳定下来。

在上面的图14中还可以看到持续几秒钟的异常突发瞬态噪声或不稳定现象。在恒温控制器温度达到峰值之前发生毛刺，可能是由于热应力造成的。我们可以使用中键和滚轮来放大视图和重新调整视图的中心位置，以便更仔细地进行观察。如图15所示，使用y键盘快捷键解锁Y轴也可以实现垂直扩展。

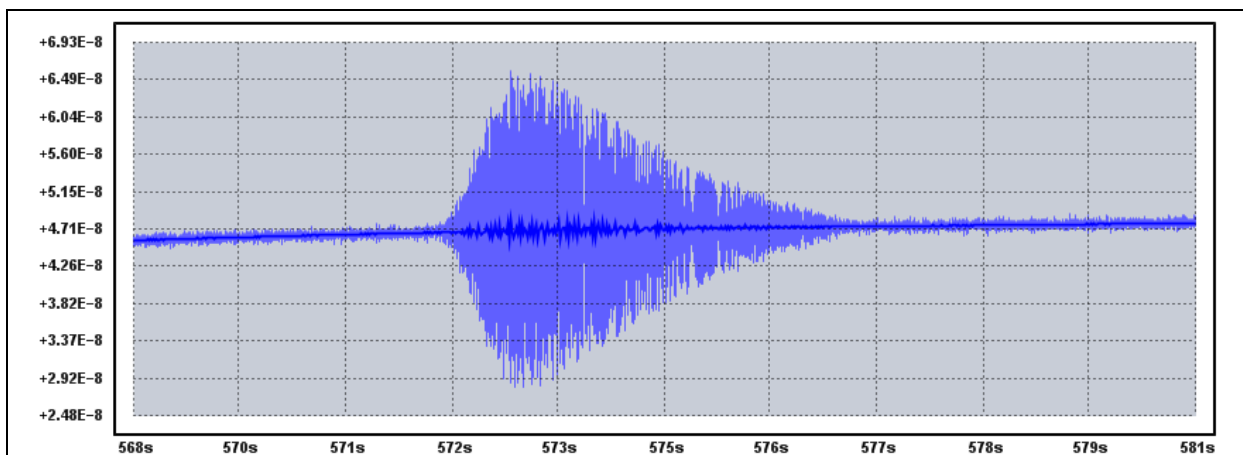


图15: 放大的突发噪声

尽管这种瞬变会导致DUT暂时超过其 $\pm 5E-8$ 的预热误差阈值，但振荡器会迅速恢复其预期行为。仔细检查其余15分钟的迹线表明这种现象没有复发。

总结

我们使用53100A按某高性能双恒温振荡器的技术规范极限及更高标准对该振荡器进行了测试，精确检定了相位噪声、频率稳定性、调谐范围、预热时间和瞬态行为，同时将传统上与这些测量相关的设置时间、额外设备和操作培训的投入降到了最低。此外，还证实了53100A在精密频率校准中的作用。

除了介绍53100A的硬件功能外，本应用笔记还对TimeLab软件应用进行了简要介绍。现在，您已按照本教程完成了操作，如果在此之前您尚未查看手册中标题为“进行首次测量”的章节，建议接下来按照该章节进行操作。

AN3502

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原本文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为了方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、QuietWire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-8116-4

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820