

## Application Note

**BAW 振荡器的抖动和相位噪声测量技术**

Connor Lewis

Clocks and Timing Solutions

**摘要**

抖动和相位噪声是振荡器和其他时钟产品的一些关键性能参数。某些 TI 振荡器具有大约 100fs 的 RMS 抖动，要精确测量器件性能，可能需要先进的测量技术和设备。要准确了解时钟元件的真正系统性能，需要了解针对不同时钟格式的正确测试设备和硬件设置知识。

**内容**

<b>1 简介</b> .....	<b>2</b>
1.1 为何使用相位噪声分析仪？.....	2
<b>2 认识相位噪声图</b> .....	<b>2</b>
<b>3 相位噪声分析仪测量设置</b> .....	<b>3</b>
3.1 起始或终止频率.....	3
3.2 均值计算和相关性.....	3
3.3 持久性.....	3
3.4 杂散视图模式.....	3
3.5 其他设置.....	3
<b>4 针对不同时钟格式的硬件设置</b> .....	<b>4</b>
4.1 LVCMOS.....	4
4.2 LVDS.....	4
4.3 LVPECL/HCSL.....	4
4.4 平衡-非平衡变压器建议.....	5
<b>5 不同端接方案下的典型测量</b> .....	<b>6</b>
5.1 LVCMOS.....	6
5.2 LVDS.....	7
5.3 LVPECL.....	7
5.4 HCSL.....	8
<b>6 总结</b> .....	<b>8</b>
<b>7 参考资料</b> .....	<b>8</b>

**商标**

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

### 1.1 为何使用相位噪声分析仪？

正如 [如何测量总抖动 \(TJ\)](#) 应用手册所述，可以使用高速示波器测量时域抖动特性，如总抖动 (TJ) 和周期间抖动。但是，对于许多应用来说，时域抖动测量并不像频域中的积分抖动或相位噪声等测量那样重要。例如，在有线网络应用中，通常使用从 12kHz 至 20MHz 范围的积分 RMS 抖动来确保以太网 PHY 的误码率 (BER) 满足系统级要求。另一个例子是，医疗成像设备在接近载波频率的特定偏移 (例如 1kHz 偏移) 下，具有严格的相位噪声要求。对于这些类型的应用，应使用相位噪声分析仪 (PNA)，因为它具有低本底噪声和先进的抖动计算工具。由于高性能时钟具有高本底噪声，所以不建议使用示波器、频谱分析仪和其他设备来测量高性能时钟的相位噪声。TI 用于表征器件特性的一些 PNA 包括 Agilent E5052、R&S FSWP 和 Microchip 53100A。

## 2 认识相位噪声图

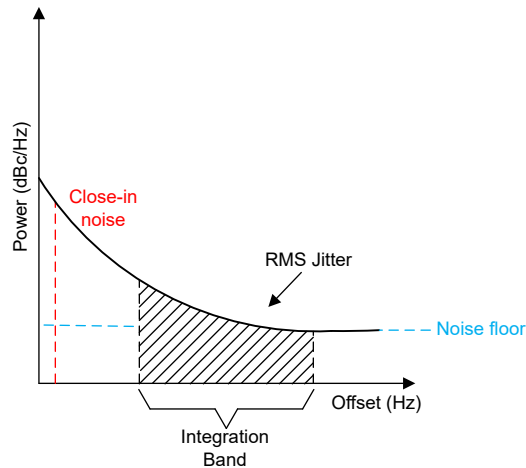


图 2-1. 相位噪声曲线

相位噪声图展示了时钟源在频域中的噪声。

Y 轴表示噪声功率，单位为 dBc/Hz，即相对于带宽为 1Hz 的载波信号的分贝值。

X 轴是相对于载波频率的偏移 (以 Hz 为单位)。

根据以下公式，通过对相位噪声曲线的一个区域进行积分运算，可以得到以秒为单位的 RMS 抖动：

$$\text{RMS Jitter} = \frac{2 \times \sqrt{10 \frac{N}{\pi \times f}}}{2 \times \pi \times f} \quad (1)$$

其中，N 是指定积分频带 (通常为 12kHz 至 20MHz) 内相位噪声曲线的积分结果，f 是载波频率 (以 Hz 为单位)。

### 3 相位噪声分析仪测量设置

#### 3.1 起始或终止频率

起始频率和终止频率会改变从载波偏移的频率范围，即所收集测量数据的频率区间。增加起始或终止频率范围（例如，将起始频率从 1kHz 降至 1Hz），可提供有关被测信号相位噪声的更多信息，但会增加测量时间。对于不需要近端相位噪声测量的应用，可以增加起始偏移以大幅提高测量速度。

请注意，设备可测量的最大终止频率可能会受到载波频率的限制。例如，对于 99MHz 至 1.5GHz 频段的载波信号，Agilent E5052B 支持高达 40MHz 的终止频率；对于 39MHz 至 101MHz 频段的载波信号，Agilent E5052B 的最大终止频率限制为 20MHz。

#### 3.2 均值计算和相关性

为了减少来自单个测量点的不确定性，可以使用均值计算。对多个测量值求均值可使相位噪声迹线变得平滑，从而在任何给定的频率偏移下提供更真实的相位噪声测量。启用均值计算后，还可以调整交叉相关性。相关性测量不同基准源下的输入信号。由于不同基准源的噪声曲线是相关的，因此会减去基准噪声，得出的测量结果能更好地表示信号，而不是来自测量设备的噪声。在测量非常干净的时钟源的本底噪声时，增加相关性设置尤为重要。

#### 3.3 持久性

持久性内存模式可用于跟踪不一致的杂散行为。例如，在极端温度、电压、辐射、振动和冲击测试等条件下对时钟源进行应力测试时。要观察任何瞬态行为，在启用持久性模式的情况下绘制图会很有用。

#### 3.4 杂散视图模式

一些 PNA 可以改变杂散在相位噪声图中的表示方式。在 *功率或杂散启用* 模式下，可以展示杂散的完整功率，且无任何滤波处理。*归一化* 模式会将杂散功率除以频率偏移，因此，与接近载波频率的杂散相比，更高频率的杂散将按比例显示为更小。*忽略或杂散关闭* 模式将完全消除相位噪声图中的杂散。以下图像对 LMK6P 156.25MHz 型号的各种杂散视图模式进行了比较。

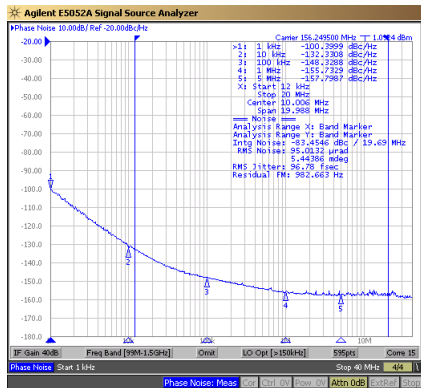


图 3-1. 忽略杂散视图

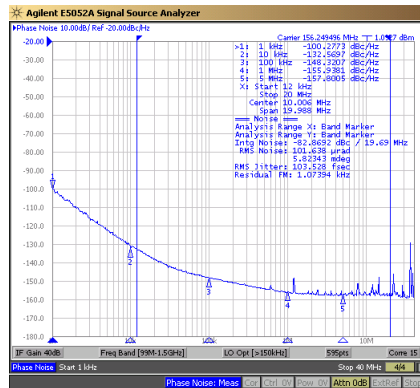


图 3-2. 归一化杂散视图

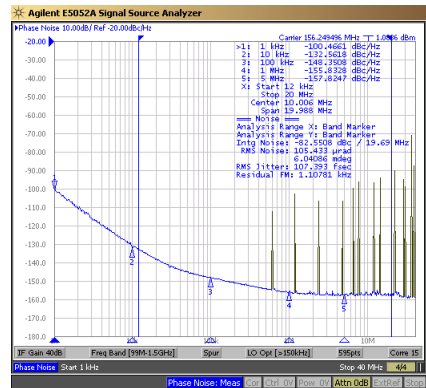


图 3-3. 功率杂散视图

#### 3.5 其他设置

其他 PNA 设置（例如 IF 增益、输入衰减等）会影响相位噪声测量。这些参数的最优设置依据载波频率和幅度来确定。如需详细了解如何调整这些设置来实现更为准确的相位噪声和抖动测量，请参阅 PNA 的操作手册。

## 4 针对不同时钟模式的硬件设置

务必对 PNA 的输入进行交流耦合，以防损坏测量设备。如果交流耦合电容器未放置在时钟源的输出端，则可以直接在 PNA 的输入端使用一个直流块。请注意，PNA 通常具有内部  $50\ \Omega$  端接，以便与大多数同轴电缆的阻抗相匹配。在确定如何端接时钟源以更大限度地提高功率和减少信号反射时，这两个都是重要考虑因素。

以下部分详细介绍了针对 TI LMK6x 系列振荡器的不同测量设置。

### 4.1 LVCMOS

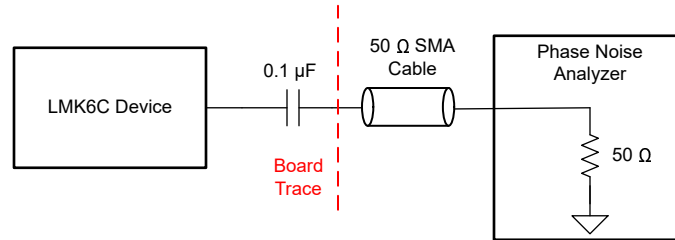


图 4-1. 用于相位噪声测量的建议 LVCMOS 端接方案

### 4.2 LVDS

需要对平衡-非平衡变压器之前的 LVDS 时钟进行交流耦合，避免时钟信号发生显著衰减。如果没有平衡-非平衡变压器，则可以进行单端测量。请注意，对于单端测量，务必正确端接输出的未使用一端，如图 4-3 所示，以确保在输出驱动器上正确加载。在没有平衡-非平衡变压器的情况下进行单端测量时，由于信号功率降低和缺乏共模噪声抑制，相位噪声性能也会有所下降。

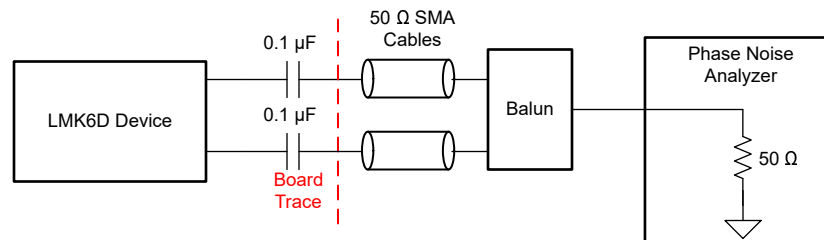


图 4-2. 用于相位噪声测量的建议 LVDS 端接方案

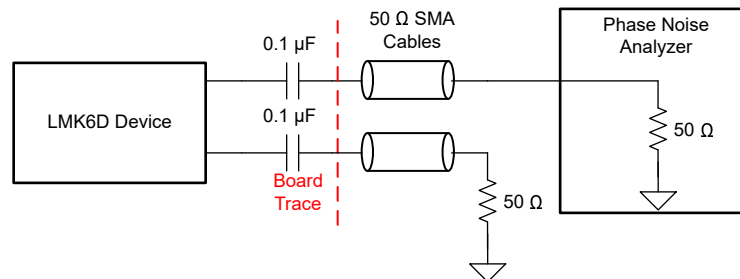


图 4-3. 用于相位噪声测量的备选 LVDS 端接方案（单端）

### 4.3 LVPECL/HCSL

如果没有平衡-非平衡变压器，则可以进行单端测量。请注意，对于单端测量，务必正确端接输出的未使用一端，如图 4-5 所示，以确保在输出驱动器上正确加载。在没有平衡-非平衡变压器的情况下进行单端测量时，由于信号功率降低和缺乏共模噪声抑制，相位噪声性能也会有所下降。

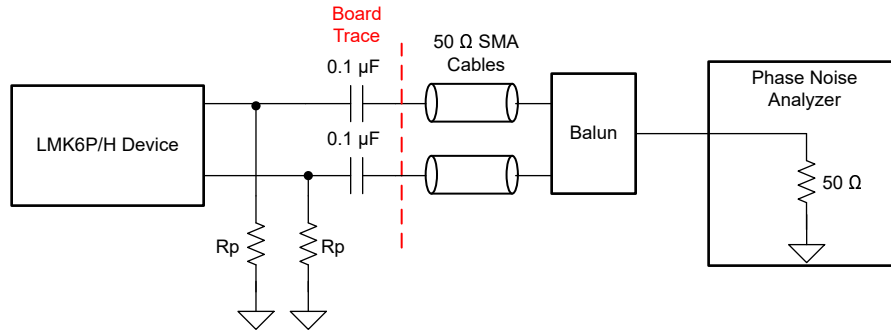


图 4-4. 用于相位噪声测量的建议 LVPECL/HCSL 端接方案

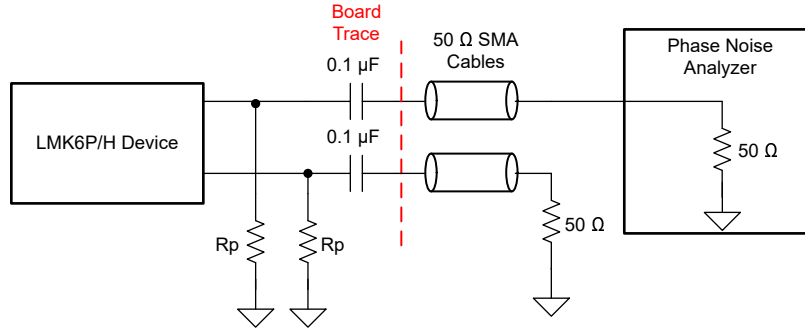


图 4-5. 用于相位噪声测量的备选 LVPECL/HCSL 端接方案（单端）

表 4-1. LMK6P 的源端接电阻值

电源电压 (V)	Rp (Ω)
3.3	207.5
2.5	112.5
1.8	83.3

表 4-2. LMK6H 的源端接电阻值

电源电压 (V)	Rp (Ω)
3.3	50
2.5	50
1.8	50

#### 4.4 平衡-非平衡变压器建议

为了保持信号完整性，建议使用电压驻波比 (VSWR) 小于 2 且相位不平衡小于 8° 的平衡-非平衡变压器。

还可使用混合耦合器将差分信号转换为单端信号，混合耦合器通常用于测量 TI 时钟器件。与平衡-非平衡变压器相比，混合耦合器通常具有更少的插入损耗，从而实现更好的本底噪声性能。TI 使用的一些混合耦合器包括 MACOM H-183-4、Mini-Circuits ZFSCJ-2-1+ 和 Mini-Circuits ZFSCJ-2-4+。

## 5 不同端接方案下的典型测量

本部分介绍了 LMK6x 器件使用不同端接方案 (如节 4 所述) 时的典型测量。在这些测量中, PNA 的相关性设置为 15, 均值计算数值个数为 4, 并采用归一化杂散视图。请注意, 与替代设置相比, 针对每种输出格式的建议端接方案可实现更好的抖动测量。

### 5.1 LVCMOS

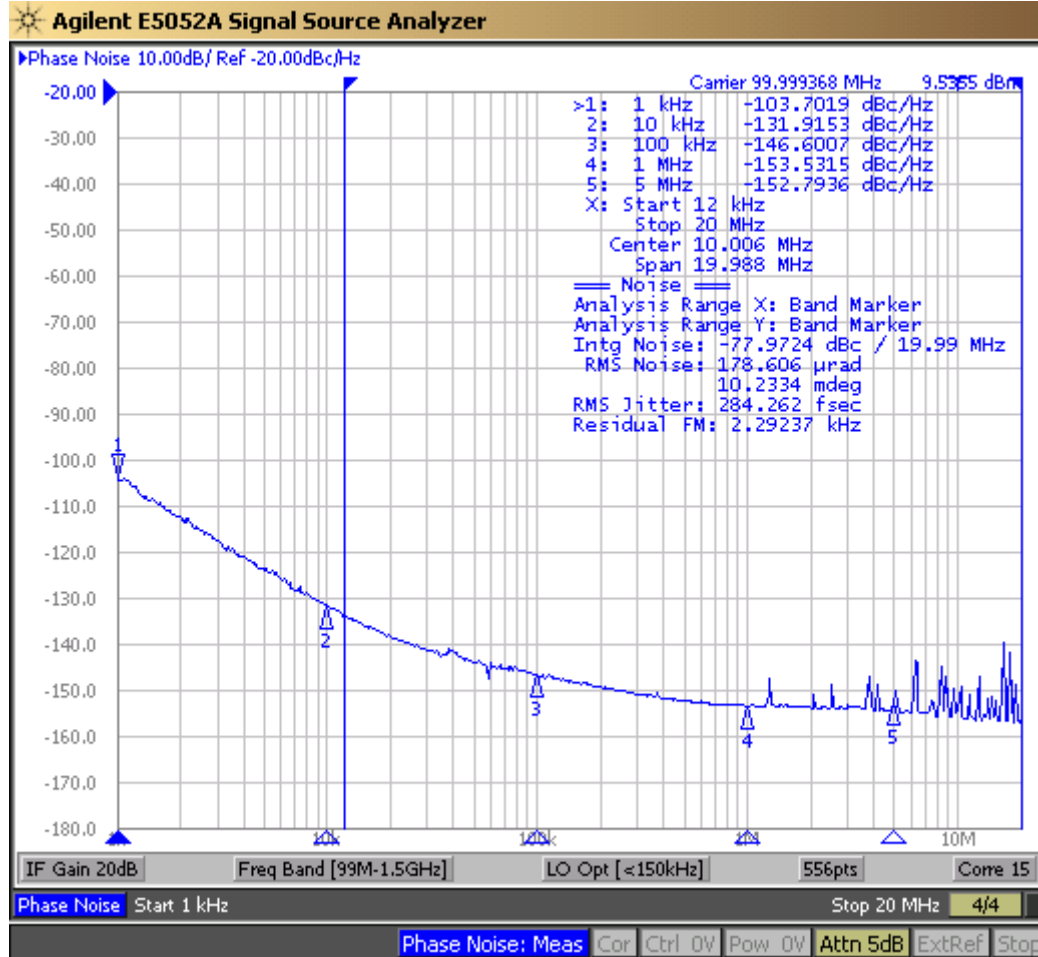


图 5-1. LMK6C 100MHz 型号采用建议端接时的相位噪声图

## 5.2 LVDS

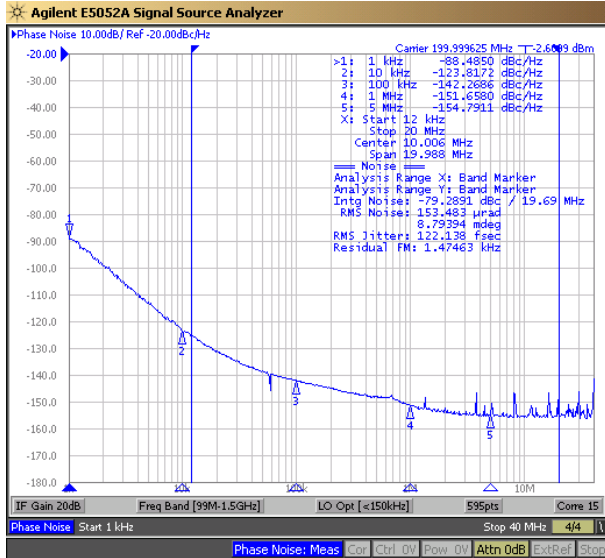


图 5-2. LMK6D 200MHz 型号采用建议端接时的相位噪声图

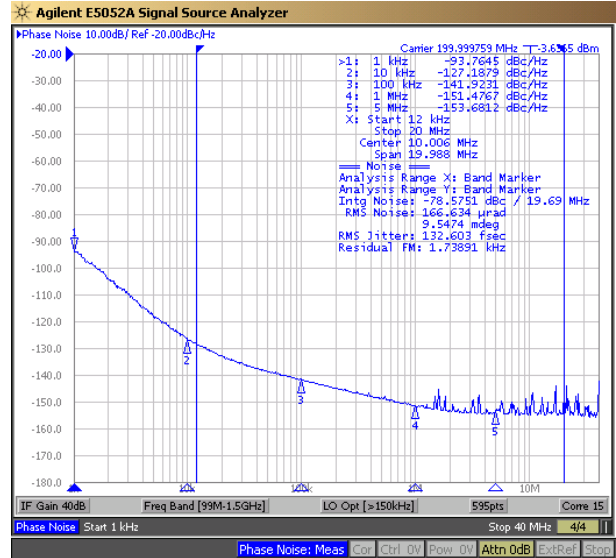


图 5-3. LMK6D 200MHz 型号采用单端端接时的相位噪声图

## 5.3 LVPECL

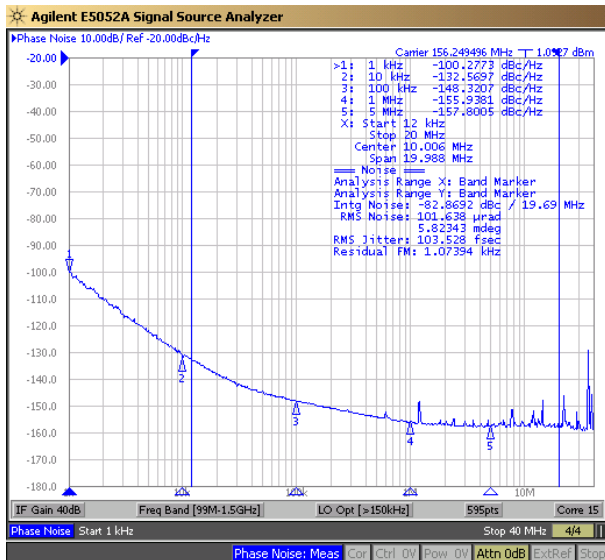


图 5-4. LMK6P 156.25MHz 型号采用建议端接时的相位噪声图

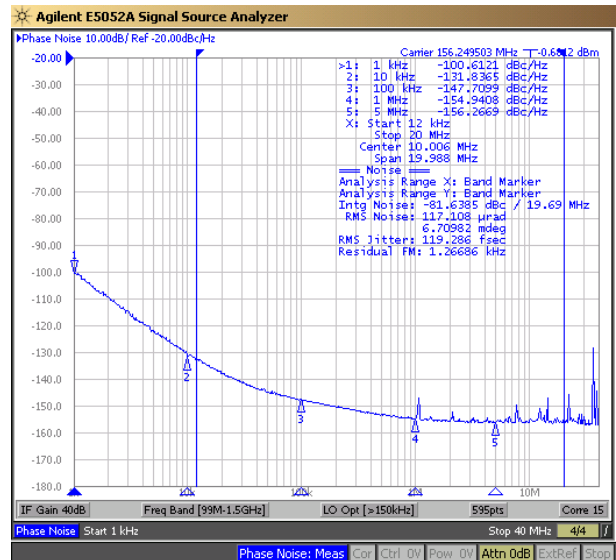


图 5-5. LMK6P 156.25MHz 型号采用单端端接时的相位噪声图

## 5.4 HCSL

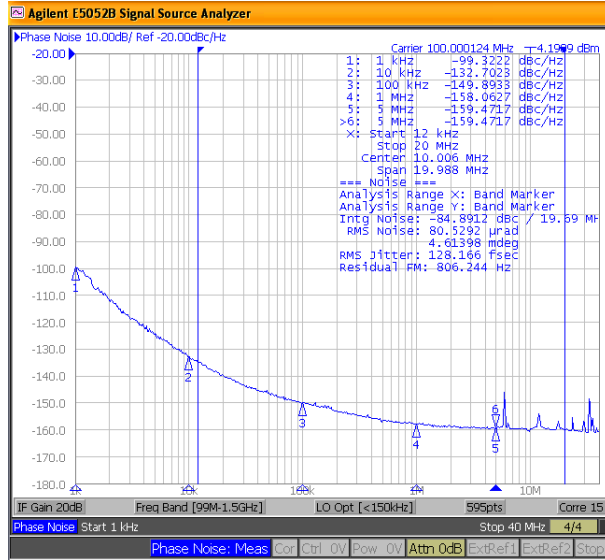


图 5-6. LMK6H 100MHz 型号采用建议端接时的相位噪声图

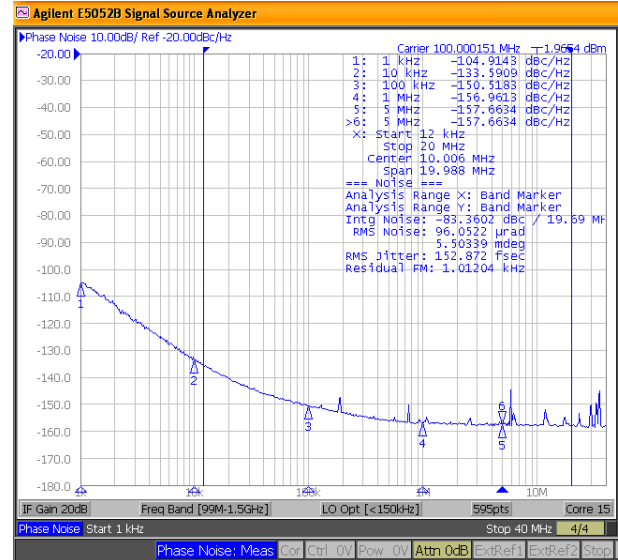


图 5-7. LMK6H 100MHz 型号采用单端端接时的相位噪声图

## 6 总结

总之，务必要考虑针对每种输出格式的信号端接，从而实现高性能时钟源（如 **LMK6x 低抖动、高性能 BAW 振荡器**）的准确测量。要测量此类器件的真正相位噪声性能，请使用正确配置且具有低本底噪声的 PNA。本应用手册中介绍的技术可更大限度地提高信号功率，并降低测量设备产生的系统级噪声和相位噪声误差。

## 7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [LMK6x 低抖动、高性能 BAW 振荡器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [如何测量总抖动 \(TJ\)](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [低噪声振荡器的时域抖动测量注意事项](#), 应用手册。



## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司