如何用 Multi-Instrument（万用仪）检测喇叭、话筒、放大器的极性

Rev. 01
2015.2.18

注意：虚仪科技保留在任何时候无需预先通知而对本使用说明书进行修改的权利。本使用说明书可能包含有文字错误。

版权所有 © 2015 虚仪科技

目录

1 绝对和相对极性及其重要性 3

2 如何测量极性 5

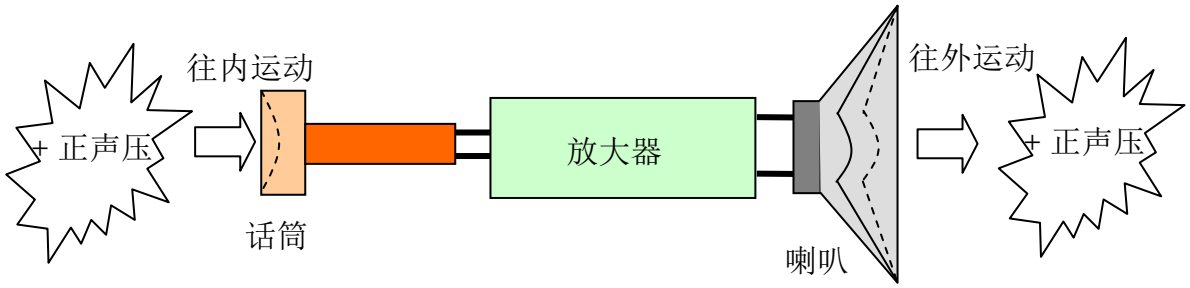
2.1 用电池测试喇叭极性 6
2.2 用 MULTI-INSTRUMENT 测试极性 6
2.2.1 非对称周期信号 6
2.2.1.1 锯齿波（或称为斜上波） 6
2.2.1.2 截短的 sinc 波 9
2.2.1.3 类 sinc 多音信号 11
2.2.2 已知初始相位的猝发信号 13
2.2.2.1 正弦猝发 13
2.2.2.2 半正弦猝发 16
2.2.2.3 半反相锯齿猝发 18
2.2.3 哪种测试信号最好 20
2.3 绝对极性校准 20
2.4 如何凭人耳检查立体声系统的极性 21
2.5 如何利用 MULTI-INSTRUMENT 制作音频测试 CD 21
2.6 如何在 MULTI-INSTRUMENT 中创建一个具有彩色显示的极性测试器 21

版权所有 © 2015 虚仪科技

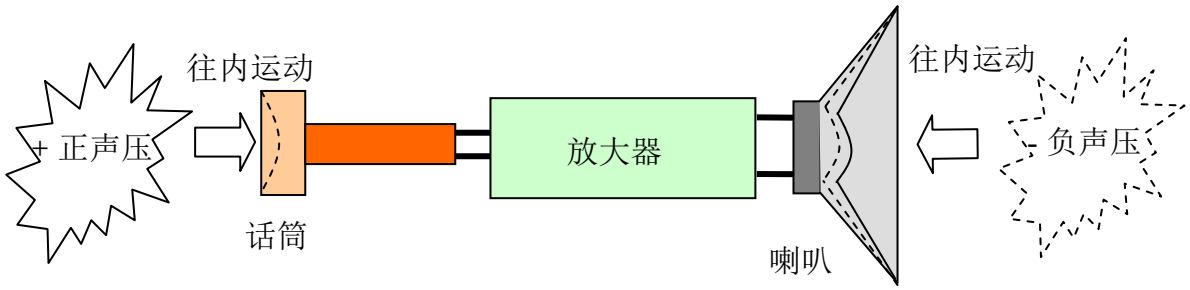
1 绝对和相对极性及其重要性

一个典型的音响系统由话筒、音频放大器和喇叭组成。所有这些组件都是有极性的。话筒的极性指的是在正负声压的激励下，它的接线端子输出的相应的电压的同相或反相的情况。当激励声压为正时，话筒的振膜被推向话筒内部，这时话筒输出电压的正极为正端（同相端）。放大器的极性指的是它的输出电压与输入电压是同相还是反相的情况。若两电压同相，则为同相放大器，否则为反相放大器。喇叭（扬声器）的极性指的是在正负电压的激励下，喇叭前方输出的相应的声压的同相或反相的情况。当喇叭在激励电压下振膜往外运动时，喇叭前方产生正声压，这时电压的正极所连接的喇叭端子为喇叭的正端。

喇叭和话筒的极性定义是一致的。若把话筒、放大器和喇叭同相相连，就能保持绝对极性的一致性。就是说，激励话筒的正声压由喇叭重放出来时也会在喇叭前方产生一个正声压。例如，当人发出爆破音“P”时，会在话筒前产生一个正声压，使话筒的振膜往话筒内部方向运动，远离发音者。相应地，喇叭的振膜向外运动，在其前方产生一个正声压，送到听音者。



绝对极性同相

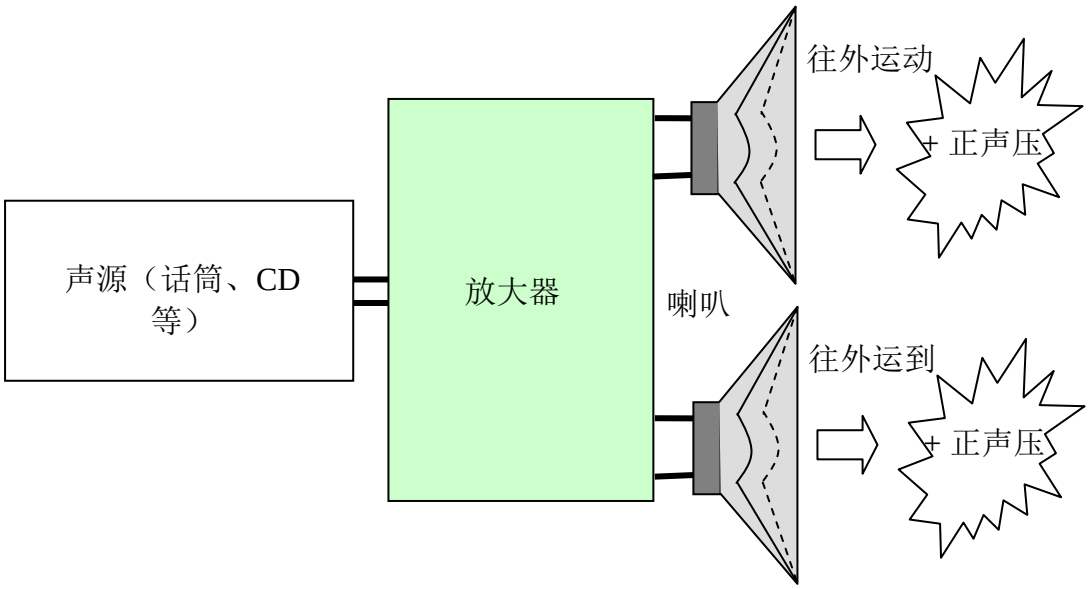


绝对极性反相

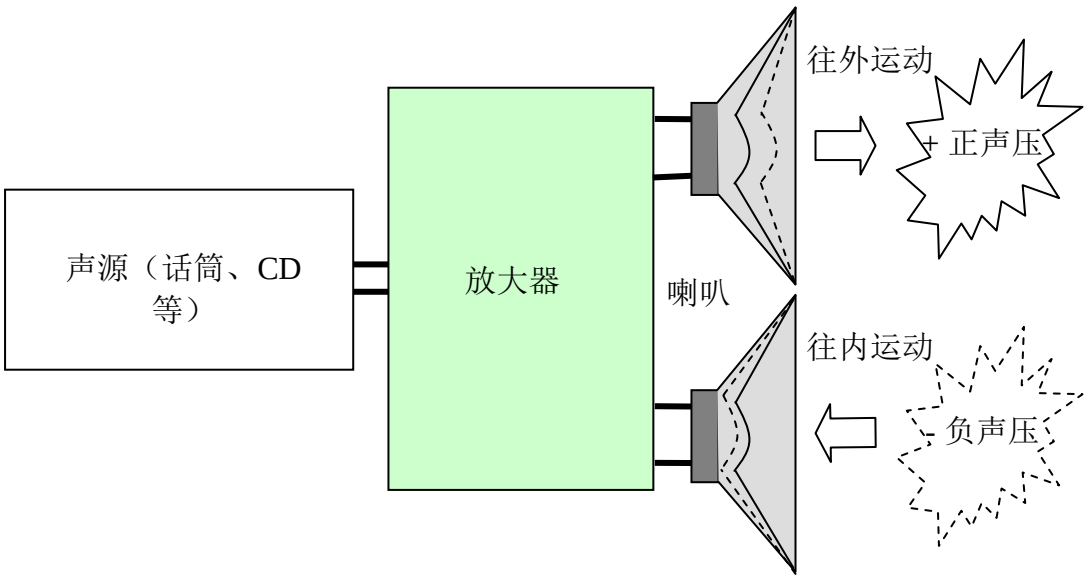
人类的听觉系统，除相当低的频率和高冲激性声音（例如：打击乐器）之外，对绝对的极性并不敏感。因此，在实践中，保持绝对极性同相并不是优先考虑的问题，能保持当然最好。当把多个话筒、放大器和喇叭连在一起时，它们之间的相对极性对最终

版权所有 © 2015 虚仪科技

所感觉到的声音有重大影响。对于放音来说，保持相对极性同相意味着所有的喇叭必须是同相的，是否与声源同相倒不在考虑之中。若有喇叭是反相的，则所产生的声场将被搅乱。例如，若两个喇叭同时发出同样的声音，但其中一个喇叭是反相的，那么，两个声音在空间中叠加后就会相互抵消。这种效应对于低频的影响更严重，会造成低频缺失并摧毁本来的立体声定位。同理，保持相对极性同相对录音来说也非常重要。例如，当用两个话筒来录制同一个声源时，对于同一正声压激励，两个话筒的反应必须是一致的，否则，所录制的两路声音混合后将变得非常单薄且缺少低频。即使两个话筒分别指向左右两方以捕获立体声，若它们的相对极性不一致，那么声音也会无法聚焦，漂浮不定，在立体声场中无法定位。

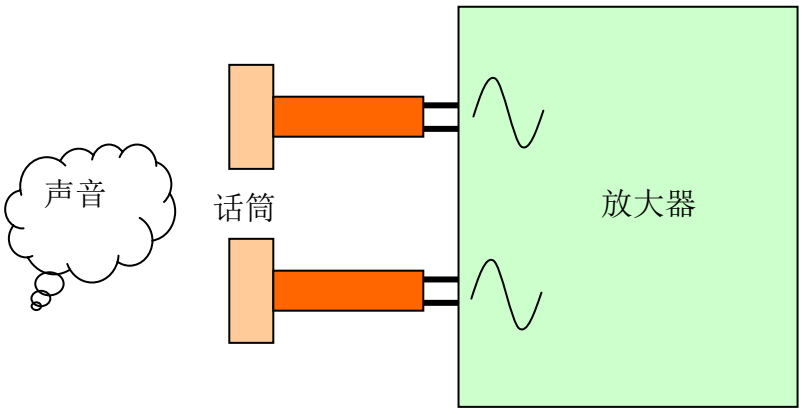


放音中相对极性同相

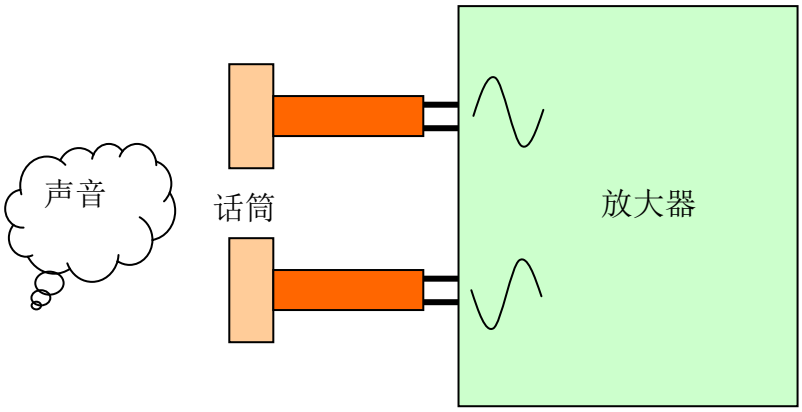


放音中相对极性反相

版权所有 © 2015 虚仪科技



录音中相对极性同相



录音中相对极性反相

应当指出的是，反相连接所导致的声音抵消效应有时会有目的地被应用于录音降噪（使用话筒）和放音消噪（使用喇叭）。

2 如何测量极性

当把不同种类的电声和音频器件连接在一起，构成一个音响系统时，若没有适当的测试工具，要想保证相对极性同相是很困难的。

版权所有 © 2015 虚仪科技

2.1 用电池检测喇叭极性

检测裸露喇叭极性的方法可能是最简单的。您可以用一个 1.5V 的电池以瞬间触碰的方式连接喇叭的两个端子，然后观察喇叭振膜的运动。若喇叭振膜初始瞬间是往外运动的，则与电池正极相连的喇叭端子是喇叭的正端。然而，这种方法不适用于喇叭振膜运动幅度很小而无法感知的情形（例如，高音喇叭），也不适用于喇叭振膜运动无法被观察到的情形（例如，号角式喇叭，或喇叭被密封在音箱中）。

2.2 用Multi-Instrument检测极性

Multi － Instrument （可去 www.virtins.com， www.multi-instrument.com 或 www.multi-tech.cn下载）是一款基于电脑的功能强大的多功能虚拟仪器软件。它包含多种虚拟仪器，例如示波器、频谱分析仪和信号发生器等。该软件在电脑声卡的配合下，可用来方便地测试话筒、放大器、喇叭以及由它们组合而成的系统的极性。您只需要向被测设备（DUT，Device Under Test）输入一个波形上下不对称的周期信号（若上下颠倒后波形看起来应非常不一样）或一个已知初始相位的猝发信号，然后在示波器上观察从被测设备输出的波形。测试信号可由信号发生器产生或由CD播放。若被测设备输出电信号（例如放大器），则可直接送入示波器；若被测设备输出声音信号（例如喇叭），则需通过话筒及其前置放大器，然后再送入示波器。从示波器上显示的波形，可看出被测设备的相对极性。

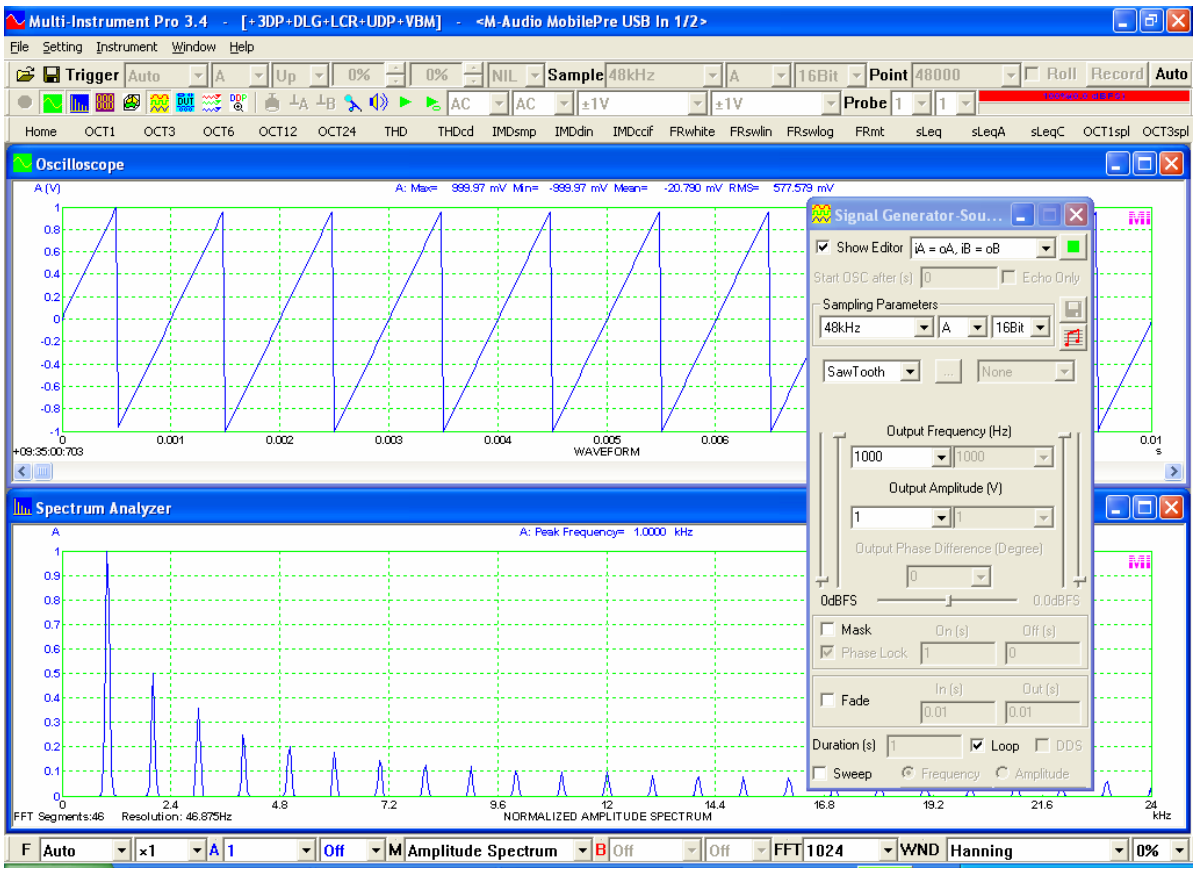
在下面几节，我们将讨论几种不同的测试信号以及它们在极性测试中的优点和缺点。您可选择其中一种或多种来进行您的极性测试。

2.2.1 非对称周期信号

2.2.1.1 锯齿波（或称为斜上波）

锯齿波的波形如锯齿一样，通常我们将以一定斜率从底部上升到顶部然后又陡然下降到底的波形称为锯齿波。反相锯齿波则正好相反，它以一定斜率从顶部下降到底部然后又陡然上升到顶部。锯齿波的频谱包含基波和无穷多个奇次和偶次谐波。第 N 阶谐波的幅度为基波幅度的 1/N。下图是一个理想的 1kHz 锯齿波的波形及其频谱。

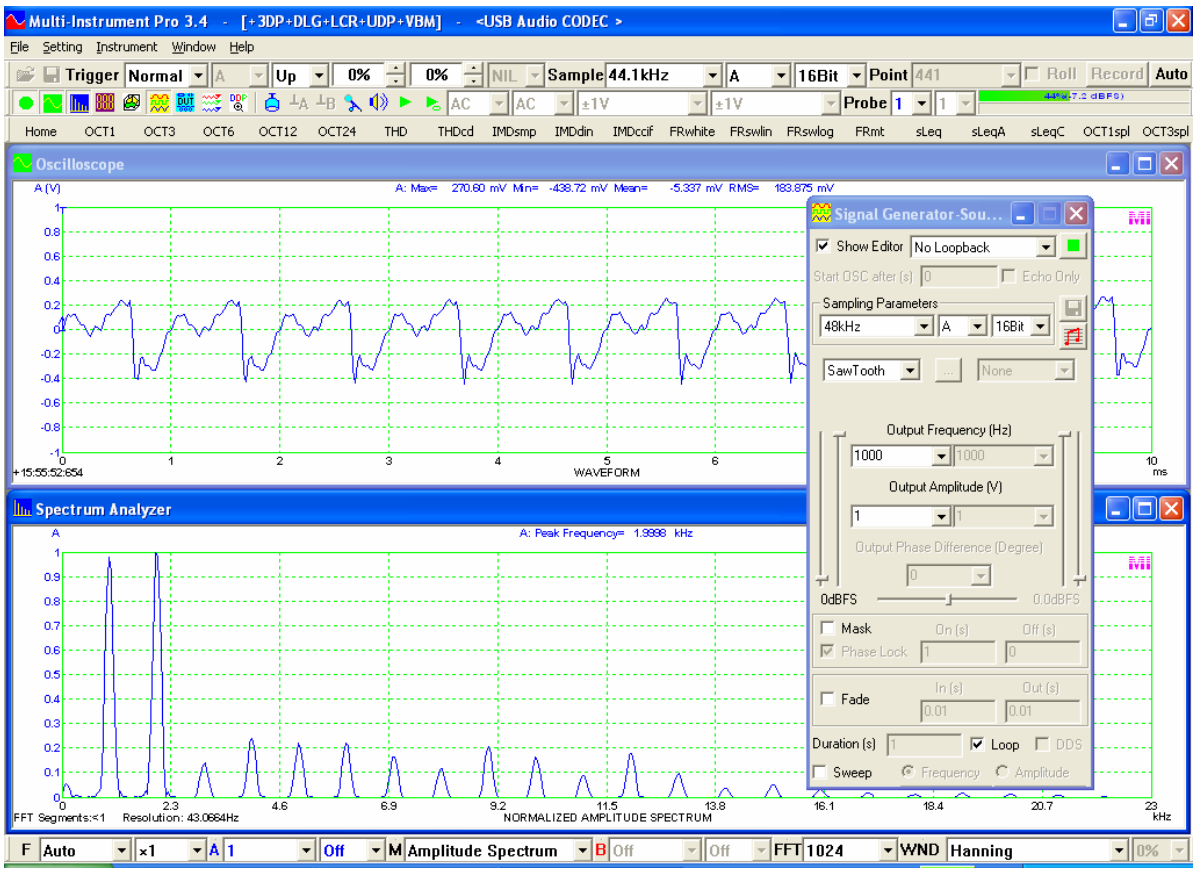
版权所有 © 2015 虚仪科技



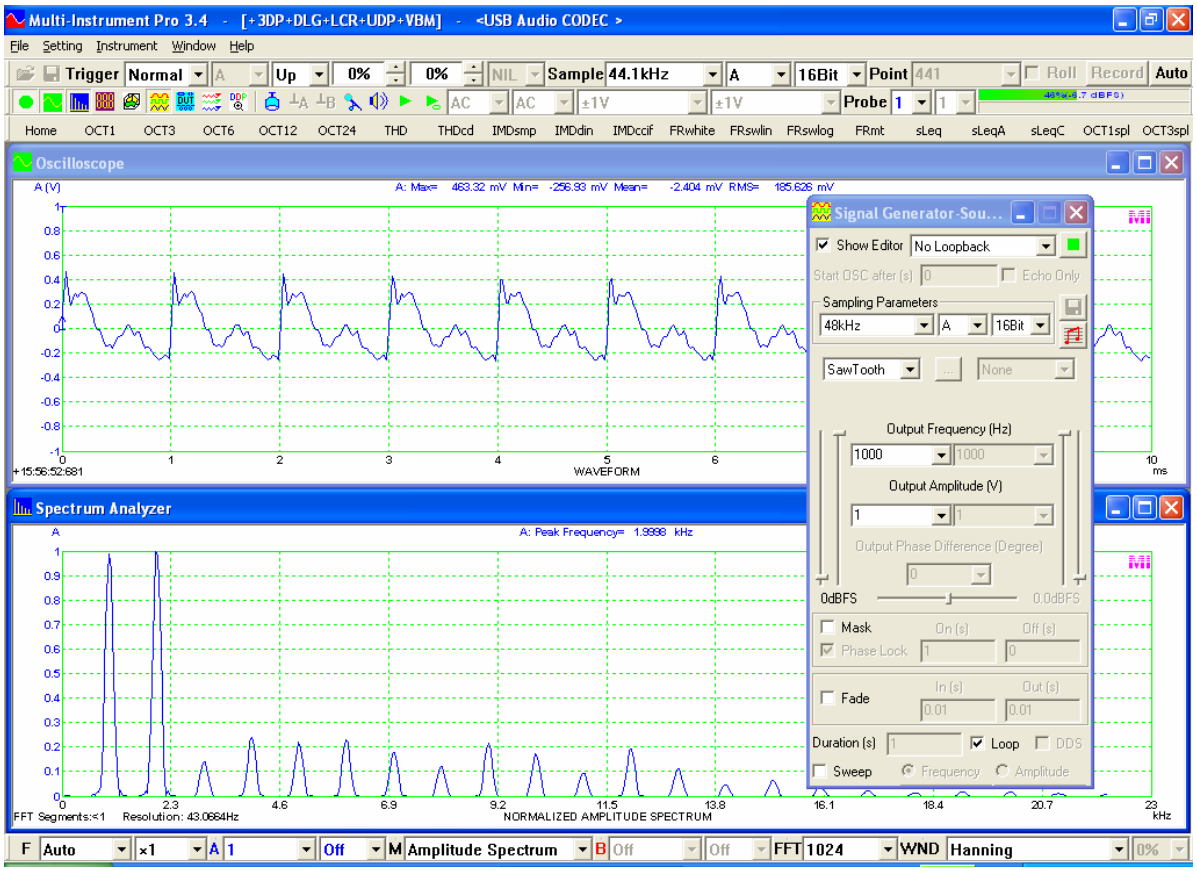
理想的 1kHz锯齿波

在实践中，从源头发出的理想的锯齿波波形总会被系统的总体频率响应（包括幅频和相频响应）所改变。这里的系统包括被测设备和测试设备。若整个系统包含有电声路径，则周围物体表面对声波的反射会影响系统的总体频率响应，因而所采集到的波形也会受到影响。若捕获的波形严重失真，可能无法区分同相和反相两种状态。以下两图是用VT　RTA－168B（www.virtins.com/VT-RTA-168.shmtl，www.multi-tech.cn/VT-RTA-168.shtml）采集到的从一个电脑喇叭放出的 1kHz锯齿波，分别通过将喇叭正、反接而得。

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个正接的电脑喇叭处测得的 1kHz锯齿波



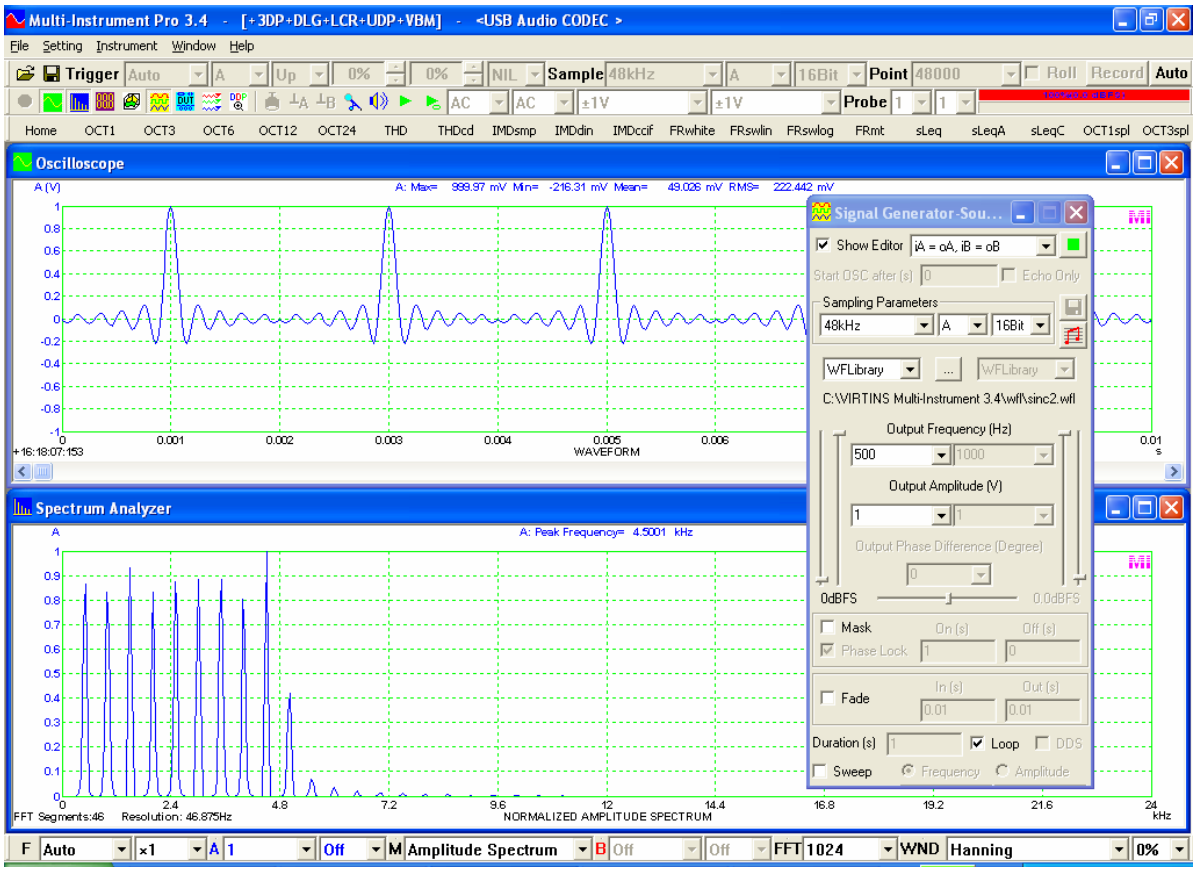
从一个反接的电脑喇叭处测得的 1kHz锯齿波

版权所有 © 2015 虚仪科技

从以上两图可见，所测得的锯齿波波形跟理想情况相比失真相当严重，这是由被测设备的有限带宽、未均衡的频率响应、相位响应以及周围环境对声波的反射造成的。尽管如此，喇叭的相对极性仍然可以清楚地从示波器上的波形辨识出来。

2.2.1.2 截短的sinc波

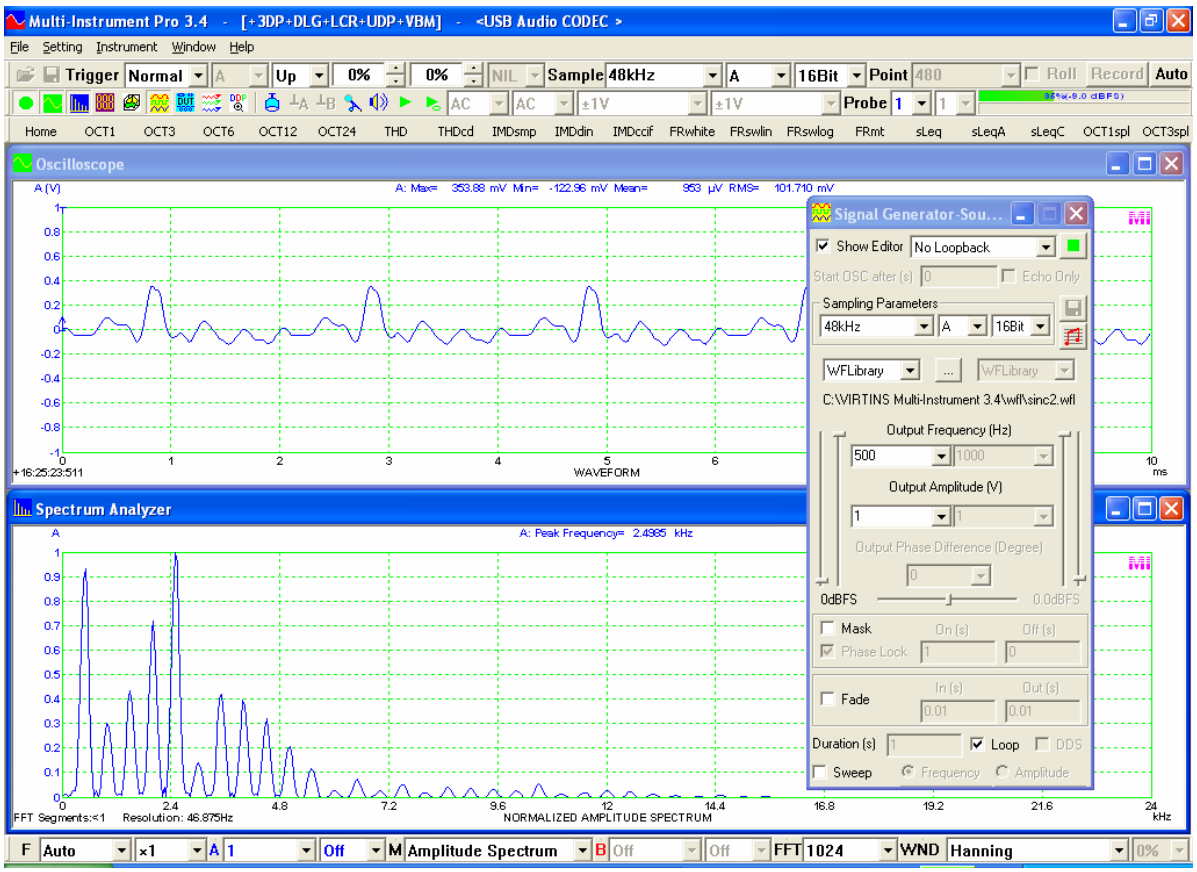
理想的 sinc 函数（无限长度）的频谱是矩形函数。当由信号发生器来生成 sinc 波时，理想的 sinc 函数被对称地截短并以指定的频率重复。所生成的信号的频谱包含基波和有限个奇次和偶次谐波，谐波的具体个数由截短的 sinc 函数一个周期中包含的波峰个数决定。所有谐波的幅度与基波的幅度相等。下图是一个 500Hz 截短的 sinc 波的理想波形及其频谱。它由 Multi－Instrument 的信号发生器的波形库功能生成，所用的波形库文件为 sinc2.wfl，包含基波和第 2 次~第 10 次谐波。若选用 sinc1.wfl 波形文件，谐波次数可到第 50 阶。



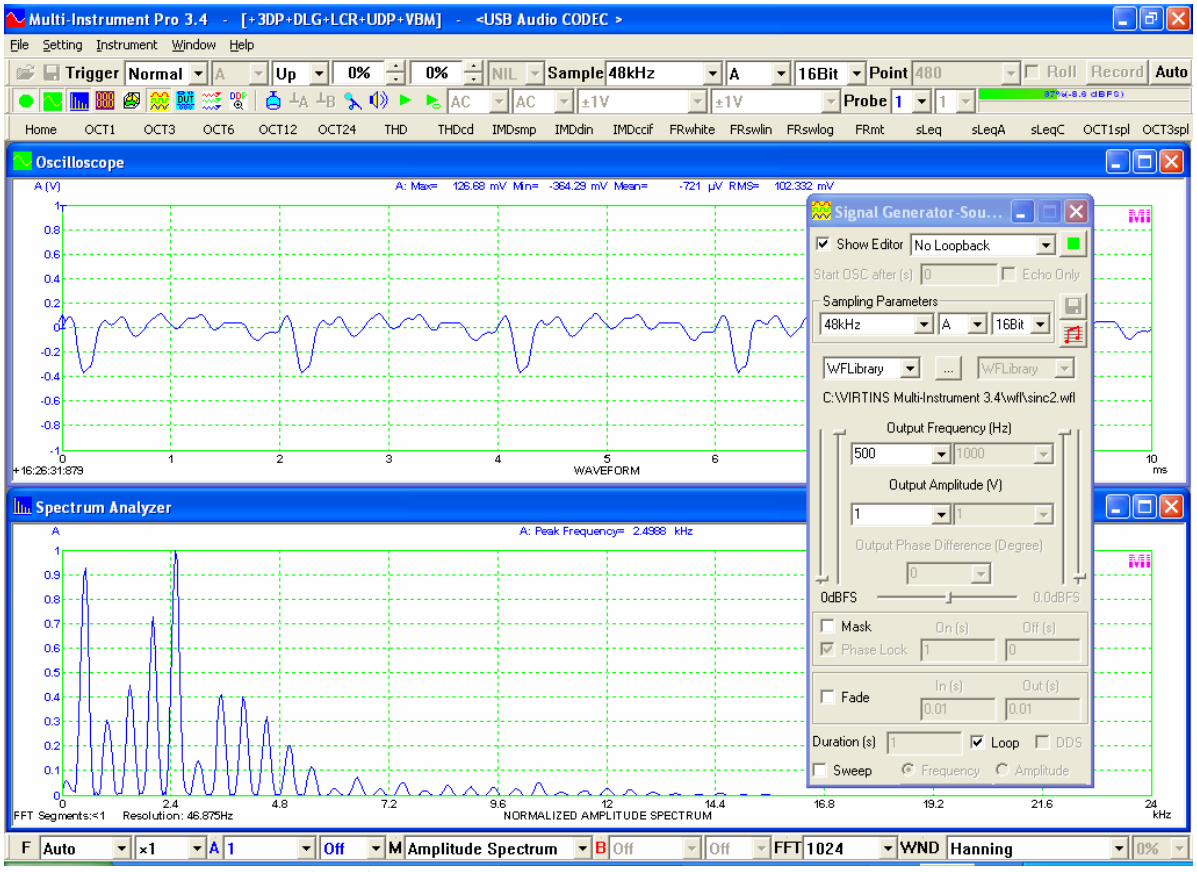
理想的 500Hz截短的sinc波

以下两图是用 VT RTA－168B 采集到的从一个电脑喇叭放出的 500Hz 截短的 sinc 波，分别通过将喇叭正、反接而得。

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个正接的电脑喇叭处测得的 500Hz截短的sinc波



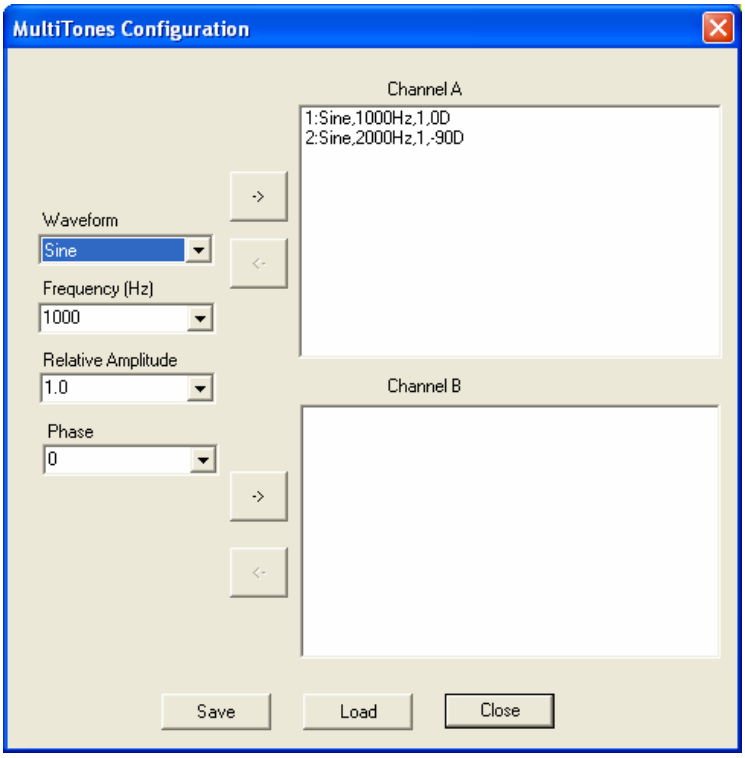
从一个反接的电脑喇叭处测得的 500Hz截短的sinc波

版权所有 © 2015 虚仪科技

从以上两图可见，所测得的截短的 sinc 波波形跟理想情况相比失真比较明显，这是由被测设备的有限带宽、未均衡的频率响应、相位响应以及周围环境对声波的反射造成的。尽管如此，喇叭的相对极性仍然可以清楚地从示波器上的波形辨识出来。

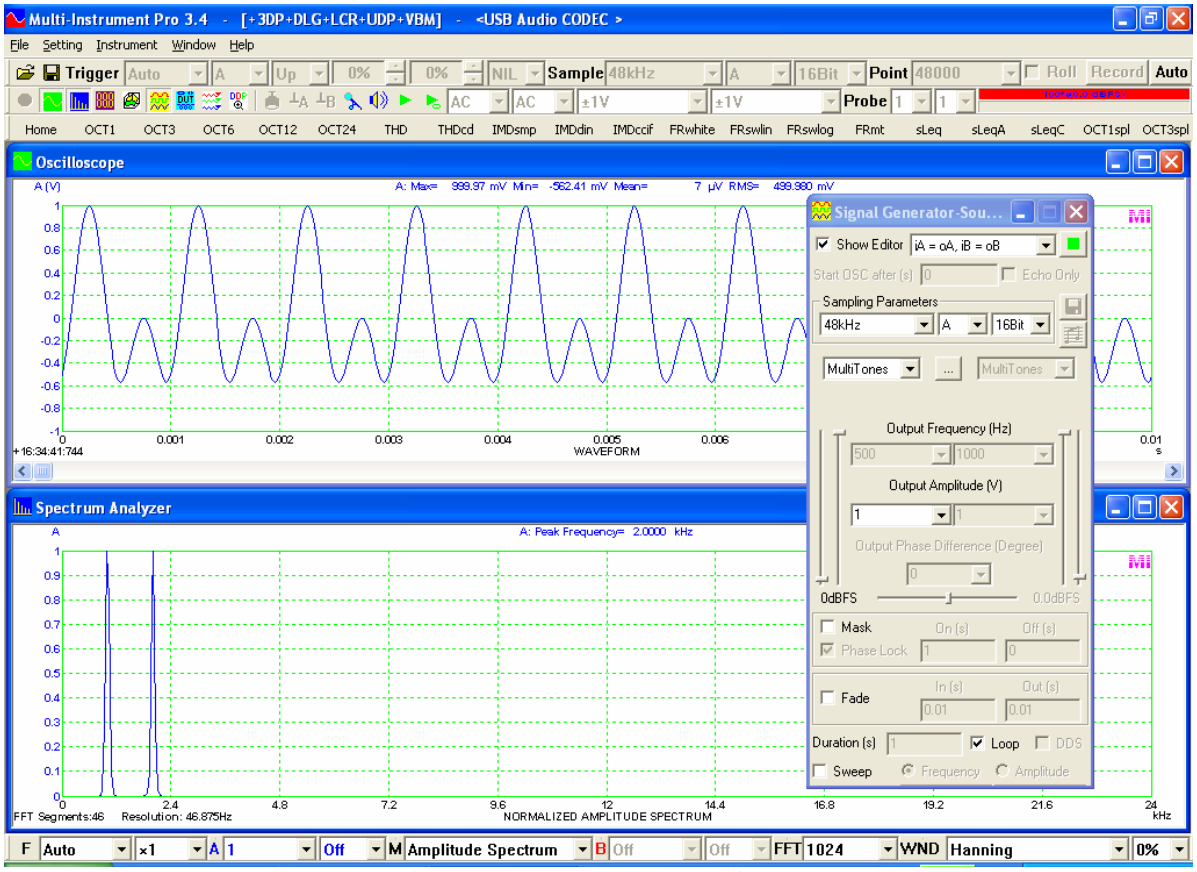
2.2.1.3 类sinc多音信号

类 sinc 多音信号由初始相位为 0°的基波和有限个初始相位为－90°×（N－1）奇次和偶次谐波组成，其中 N 为谐波次数。各次谐波的幅度与基波相同。它是理想 sinc 函数的截短和周期版。这里我们产生一个最简单的二阶类 sinc 多音信号：初始相位为 0°的 1kHz 正弦波+初始相位为-90°的 2kHz 正弦波。



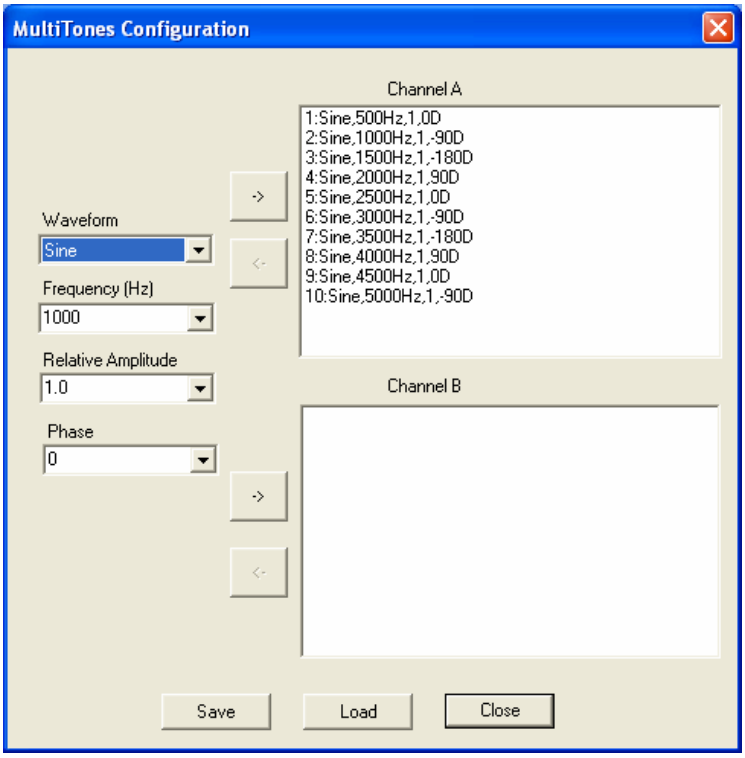
1kHz二阶类sinc多音信号配置

版权所有 © 2015 虚仪科技



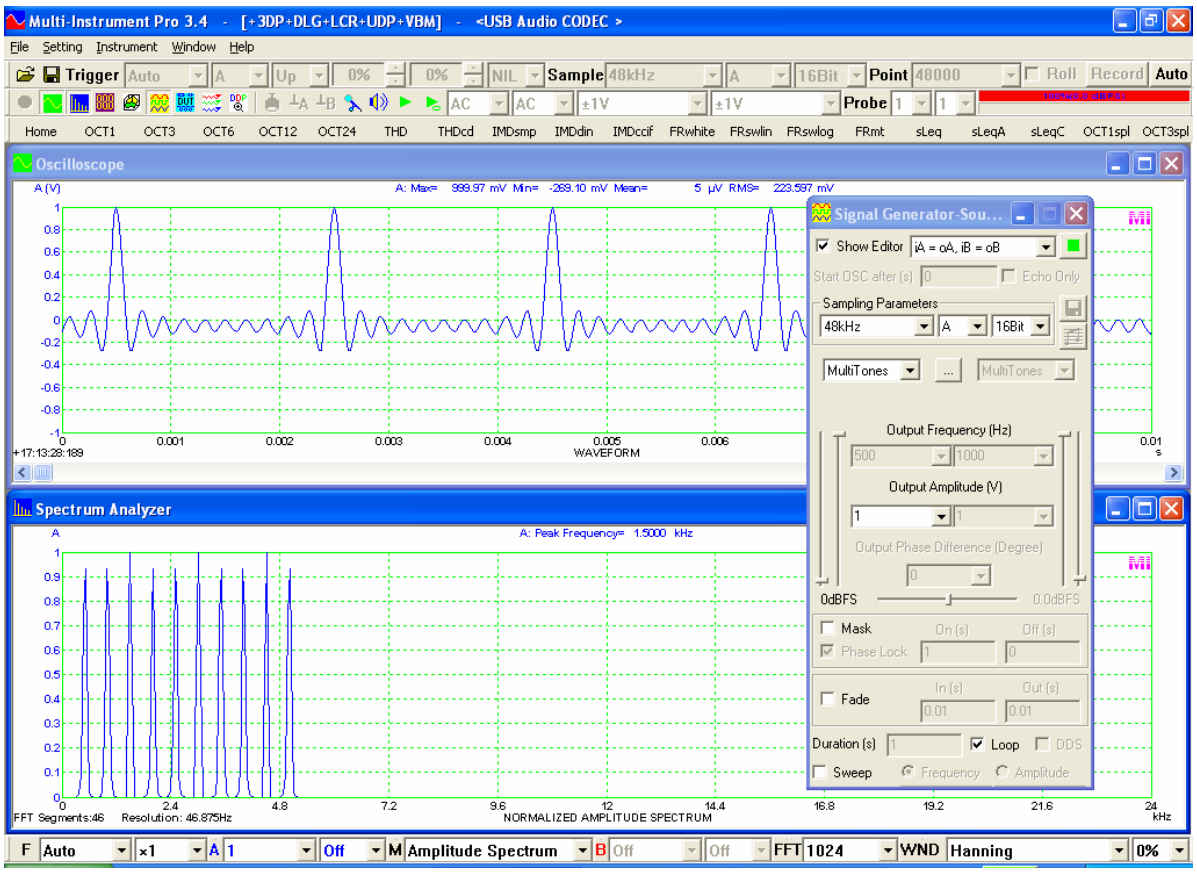
理想的 1kHz二阶类sinc多音信号

下图是理想的 500Hz 十阶类 sinc 多音信号，跟前一节的例子中的信号几乎一致。



500Hz十阶类sinc多音信号配置

版权所有 © 2015 虚仪科技



理想的 500Hz十阶类sinc多音信号

所有的类 sinc 多音信号都是上下不对称的。当所采集到的波形严重失真而无法区分极性时，可采用更高阶的类 sinc 多音信号。类 sinc 多音信号用于极性判别的一个优点是可通过比较最大值和最小值的绝对值的大小来判断极性，而无需采用更复杂的波形分析方法。这便于极性的自动测试。

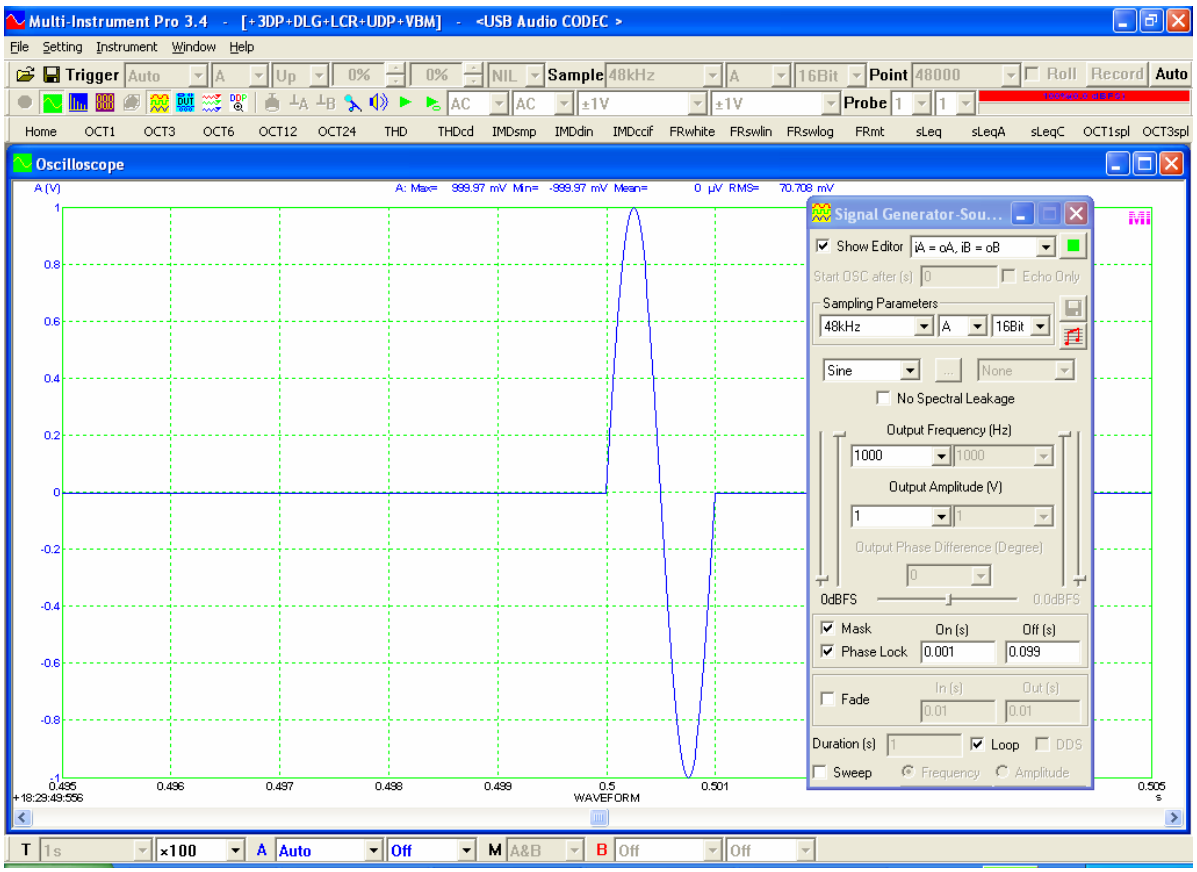
2.2.2 已知初始相位的猝发信号

猝发信号有两种状态：静态和猝发。因此很容易辨识猝发前沿的初始相位。既可采用单次猝发信号，也可采用重复猝发信号。若采用前者，则示波器必须设置为单次触发模式且触发条件必须设置妥当以准确捕获单次猝发信号。这里我们采用重复猝发信号，因此不会有错过猝发的问题。任何对称或非对称的波形都可以用来检测极性，因为猝发的初始相位是可以在猝发前沿观察到的。

2.2.2.1 正弦猝发

我们可生成一个每 0.1 秒只包含一个周期的 1kHz 正弦波的正弦猝发信号(如下图)。请注意，Multi－Instrument 的信号发生器的屏蔽周期设置为 0.1 秒，“通过”时间设置为 0.001 秒而“阻挡”时间设置为 0.099 秒，并选择了“锁相”选项。这样就为 1kHz 的连续正弦信号设置了通断时间和周期，并确保了每次猝发都以预定的初始相位开始。

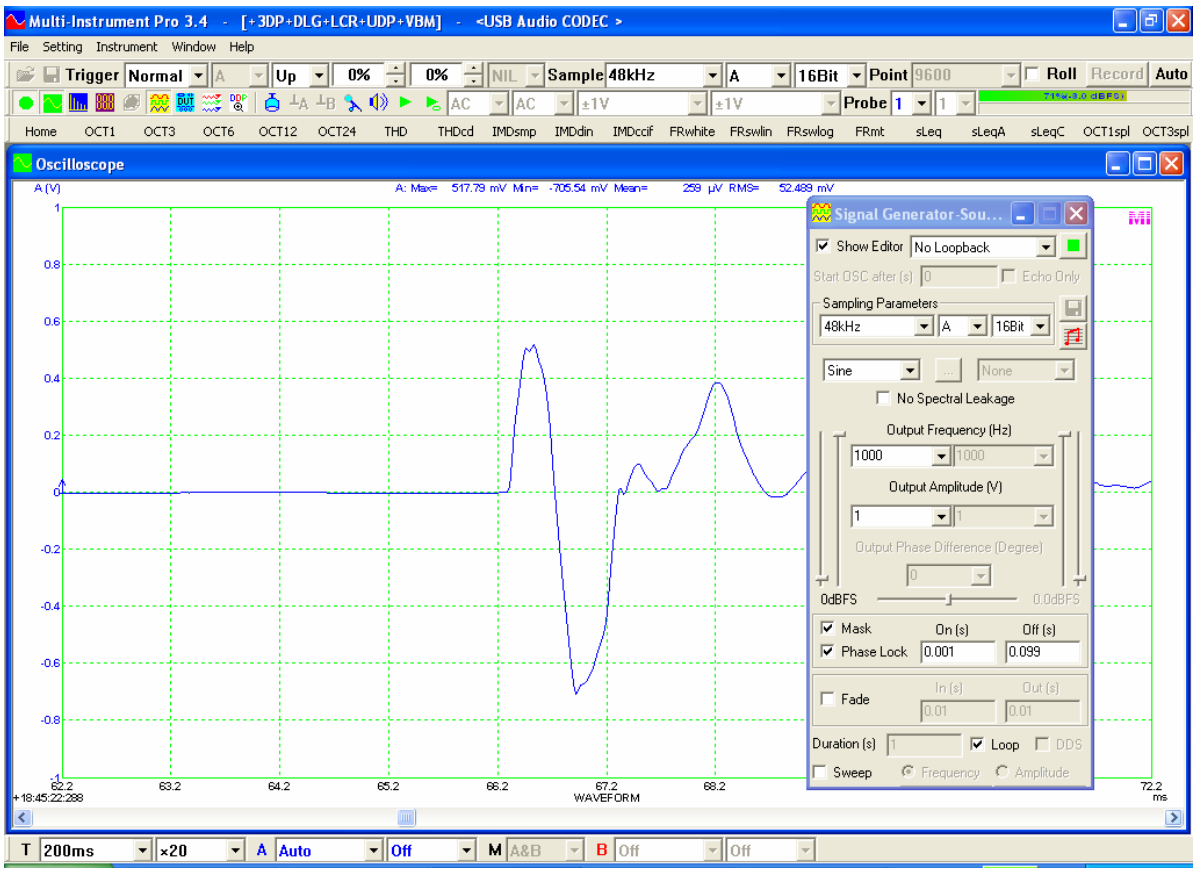
版权所有 © 2015 虚仪科技



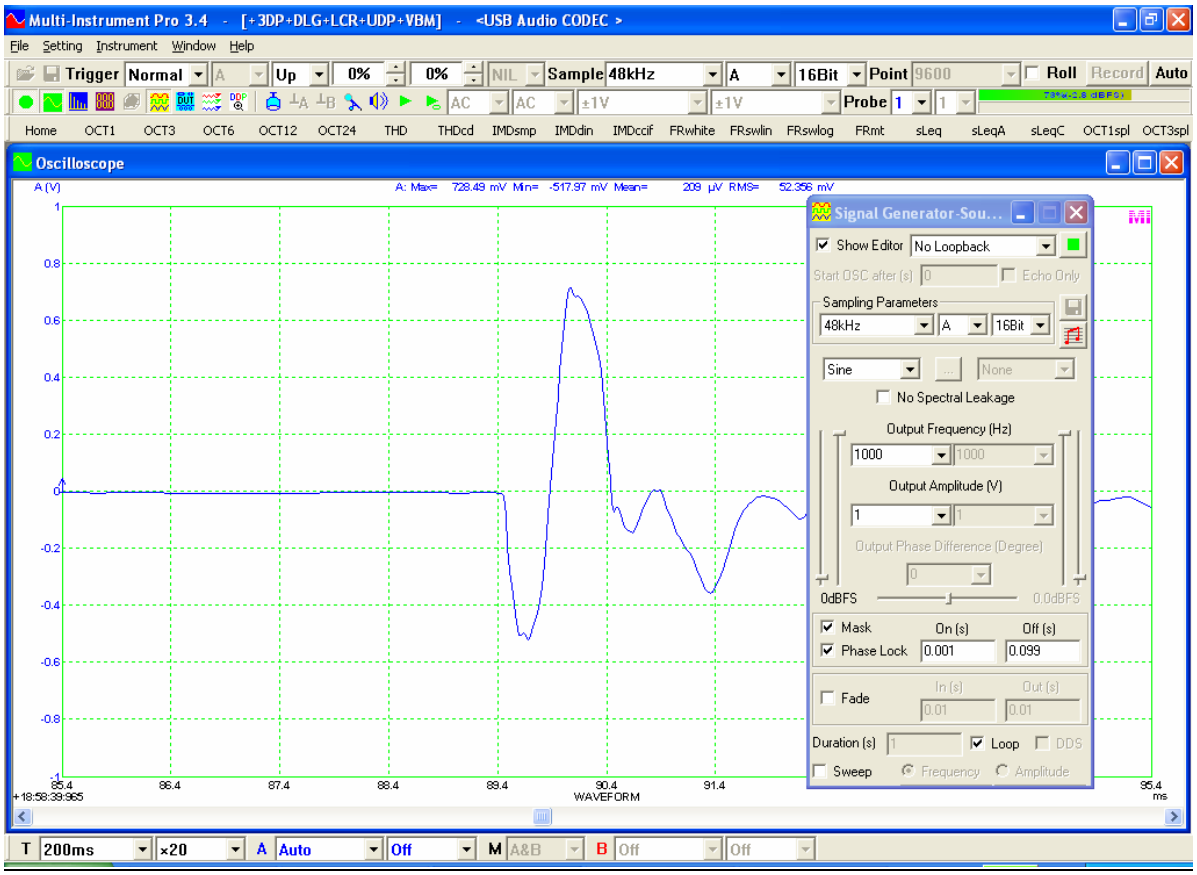
理想的重复周期为 0.1 秒的 1 毫秒 1kHz正弦猝发

以下两图是用 VT　RTA－168B 采集到的从一个电脑喇叭放出的以上信号，分别通过将喇叭正、反接而得。

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个正接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 1 毫秒 1kHz正弦猝发



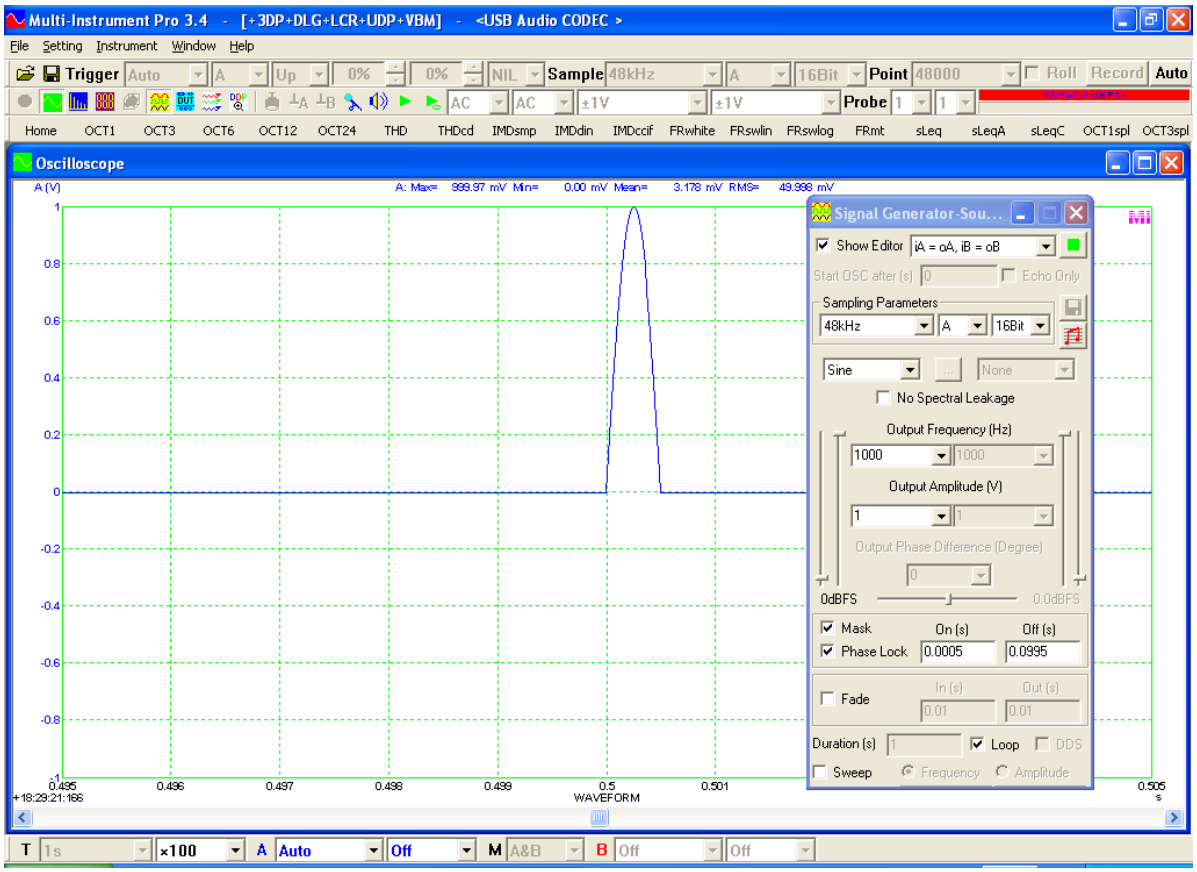
从一个反接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 1 毫秒 1kHz正弦猝发

版权所有 © 2015 虚仪科技

从以上两图可见，所测得的正弦猝发波形在第一个周期内跟理想波形相差不大。这是因为系统的频率响应不会影响纯正的正弦信号的波形，而且周围环境产生的声音反射通常会在第一个周期之后才会到来，从而不会改变第一个周期的波形。因此喇叭前方测量话筒的相对位置不会对所采集到的波形有太大影响，这有别于采用非对称的周期性信号来测试极性的情况。

2.2.2.2 半正弦猝发

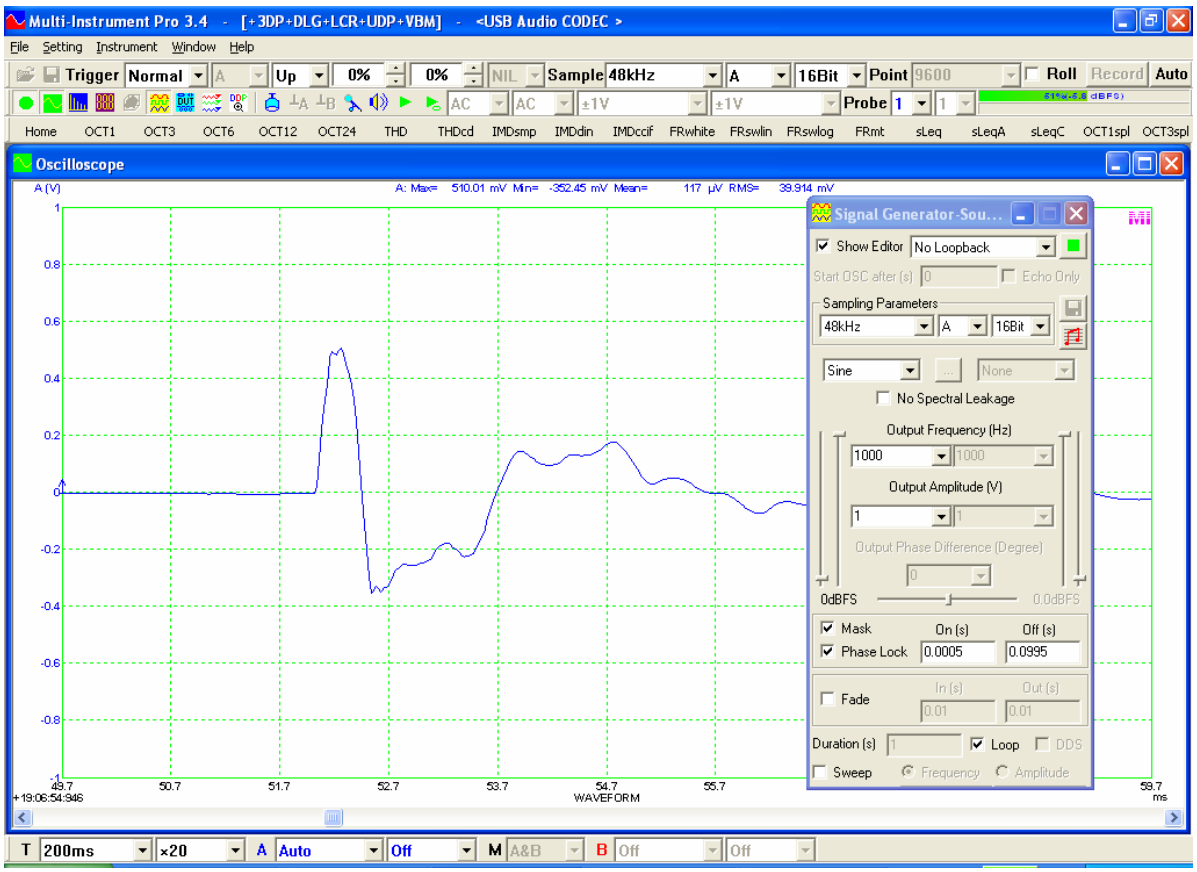
我们可生成一个每 0.1 秒只包含半个周期的 1kHz 正弦波的正弦猝发信号(如下图)。请注意，Multi－Instrument 的信号发生器的屏蔽周期设置为 0.1 秒，“通过”时间设置为 0.0005 秒而“阻挡”时间设置为 0.0995 秒，并选择了“锁相”选项。这样就为 1kHz 的连续正弦信号设置了通断时间和周期，并确保了每次猝发都以预定的初始相位开始。



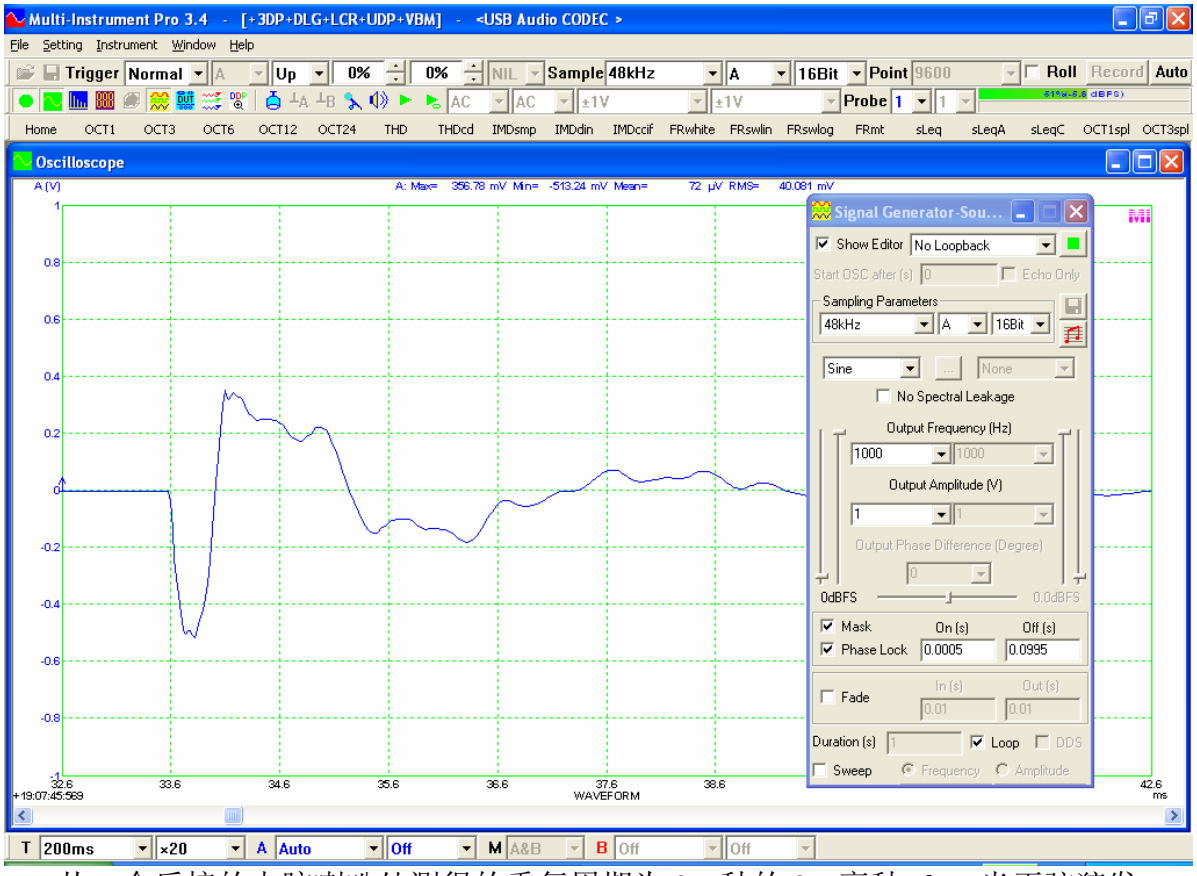
理想的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半正弦猝发

以下两图是用 VT RTA－168B 采集到的从一个电脑喇叭放出的以上信号，分别通过将喇叭正、反接而得。

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个正接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半正弦猝发



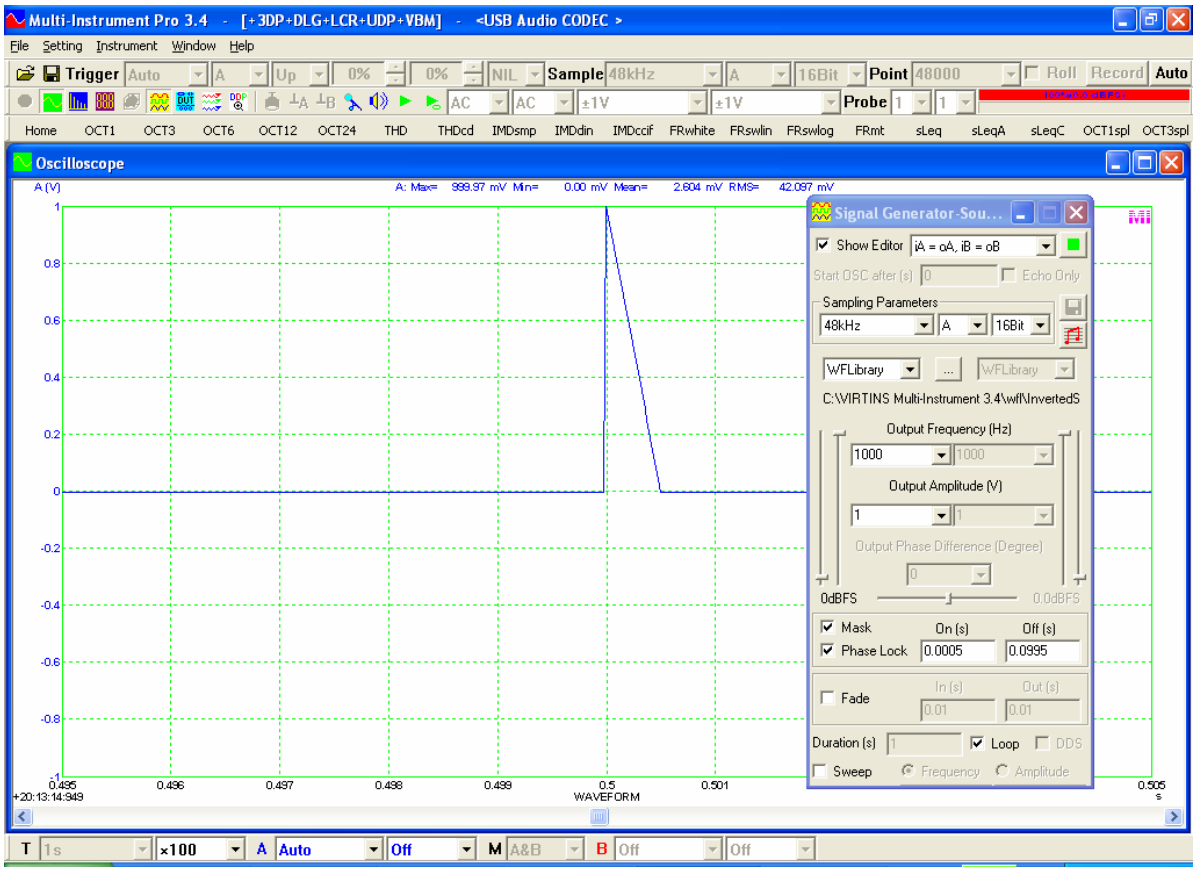
从一个反接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半正弦猝发

版权所有 © 2015 虚仪科技

从以上两图可见，所测得的半正弦猝发波形在第一个半周期内跟理想波形相差不大。这是因为系统的频率响应不会影响纯正的正弦信号的波形，而且周围环境产生的声音反射通常会在第一个半周期之后才会到来，从而不会改变第一个半周期的波形。因此喇叭前方测量话筒的相对位置不会对所采集到的波形有太大影响，这有别于采用非对称的周期性信号来测试极性的情况。半正弦猝发信号用于极性判别的一个优点是可通过比较最大值和最小值的绝对值的大小来判断极性，而无需采用更复杂的波形分析方法。这便于极性的自动测试。

2.2.2.3 半反相锯齿猝发

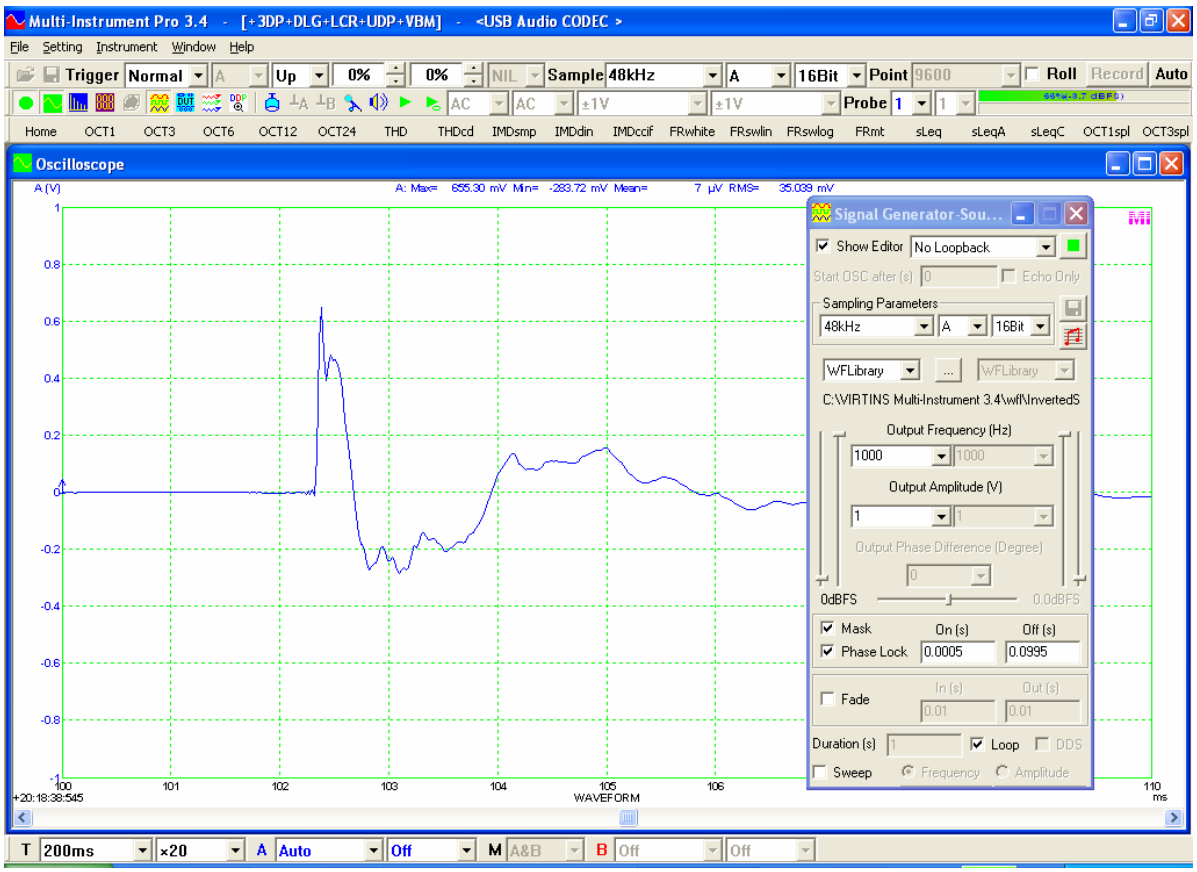
我们可生成一个每 0.1 秒只包含半个周期的 1kHz 反相锯齿波（斜下波）的猝发信号(如下图)。请注意，Multi－Instrument 的信号发生器的屏蔽周期设置为 0.1 秒，“通过”时间设置为 0.0005 秒而“阻挡”时间设置为 0.0995 秒，并选择了“锁相”选项。这样就为 1kHz 的连续反相锯齿波设置了通断时间和周期，并确保了每次猝发都以预定的初始相位开始。反相锯齿波由 Multi－Instrument 的信号发生器的波形库功能生成，所用的波形库文件为 InvertedSawtooth.wfl。



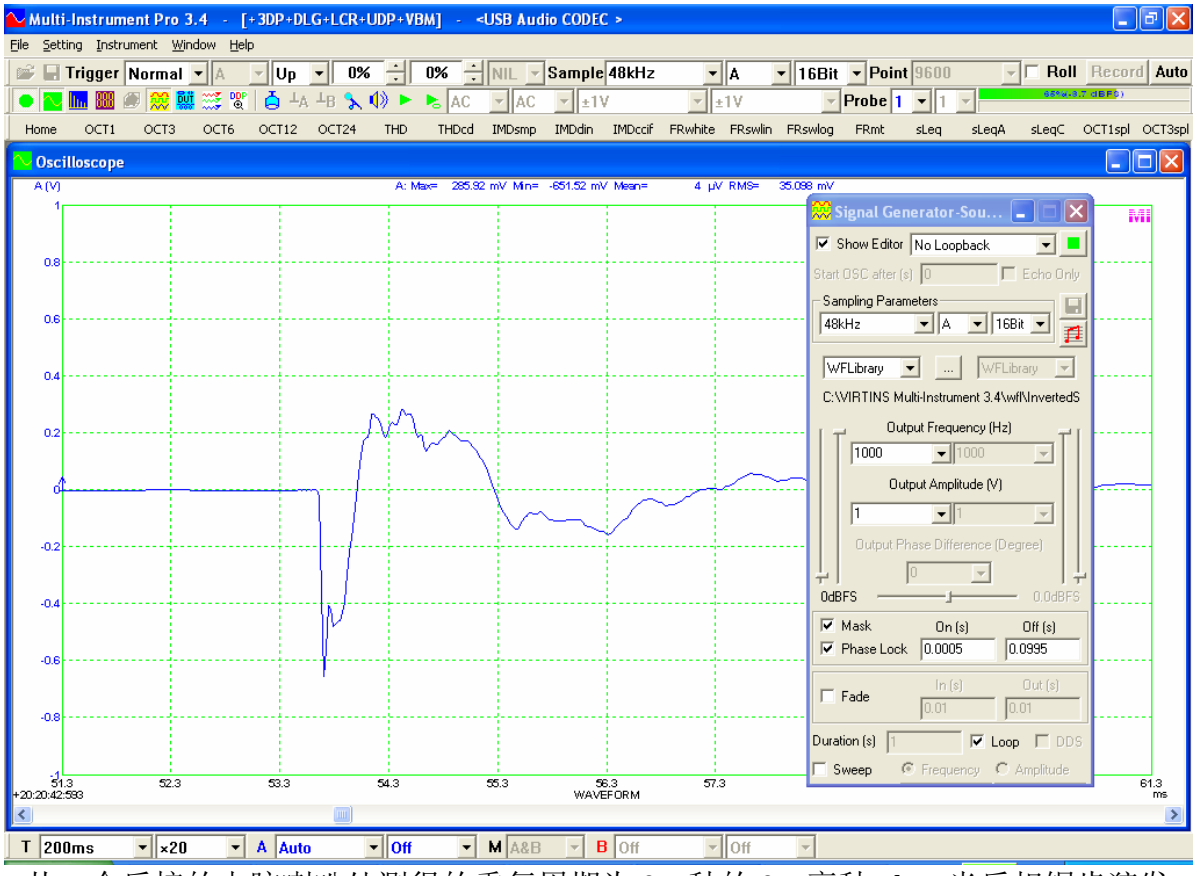
理想的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半反相锯齿猝发

以下两图是用 VT RTA－168B 采集到的从一个电脑喇叭放出的以上信号，分别通过将喇叭正、反接而得。

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个正接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半反相锯齿猝发



从一个反接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半反相锯齿猝发

版权所有 © 2015 虚仪科技

从以上两图可见，所测得的半反相锯齿波波形在第一个半周期内跟理想波形相差不太大。这是因为周围环境产生的声音反射通常会在第一个半周期之后才会到来，从而不会改变第一个半周期的波形。因此喇叭前方测量话筒的相对位置不会对所采集到的波形有太大影响，这有别于采用非对称的周期性信号来测试极性的情况。半反相锯齿猝发信号用于极性判别的一个优点是可通过比较最大值和最小值的绝对值的大小来判断极性，而无需采用更复杂的波形分析方法。这便于极性的自动测试。

2.2.3 哪种测试信号最好

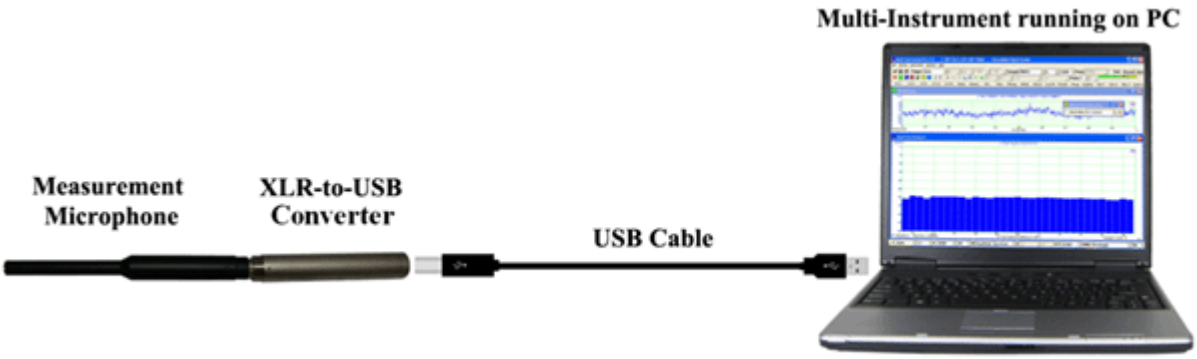
这要看具体情况。对于那些非电声的极性测试，采用非对称的周期性信号例如锯齿波或 sinc 比较简单。否则，宜采用猝发信号，以减小声音反射的影响，而且系统的频率响应也不会对识别猝发的初始相位有什么影响。建议采用半正弦猝发或半反相锯齿猝发（半斜下猝发），因为它们的最大值和最小值的绝对值差别很大, 可通过比较这两个数值的大小来判别极性而无需具体检查采集到的波形，这便于实现极性的自动测试。

您可能需要改变测试信号的频率以使它大概处于被测设备的带宽之内。

2. 3 绝对极性校准

在前面我们讨论了采用不同的测试信号来检测被测设备的极性。若您需要检测绝对极性，则测试设备必须经过校准，比如采用一个已知极性的被测设备来校准。可用前面介绍的电池测试法来获得一个已知极性的参考喇叭。若您可以看见喇叭在猝发信号激励下的初始运动（若有必要，可降低猝发的重复频率），则也可以用这样的方法来判断喇叭的绝对极性。若要判断话筒的绝对极性，可在话筒前发出爆破音“P”，它将在话筒的正面产生一个正声压，然后用示波器观察所采集到的“P”音的初始相位。

VT RTA－168（www.virtins.com/VT-RTA-168.shmtl，www.multi-tech.cn/VT-RTA-168.shtml）是经过绝对极性校准的。测量话筒上的正声压将在Multi－Instrument的示波器上显示为正波形，当然这时仪器工具条上的波形反转按钮 不能处于按下状态。



VT RTA-168

版权所有 © 2015 虚仪科技

2.4 如何凭人耳检查立体声系统的极性

首先您应当确保左右喇叭的位置放对了。您可以采用 Multi－Instrument 的信号发生器或 VT RTA－168 所带的音频测试 CD 来检查。在信号发生器的面板上，通道 A 为左声道而通道 B 为右声道。在音频测试 CD 中，有两个测试信号可用来测试左右。一个在相应的喇叭中发出“左声道”和“左声道”的声音，另一个在相应的喇叭中发出“左声道”、“左声道”、“中间声道”、和“环绕声道”的声音。

然后若您站在左右声道喇叭的中央，播放单声道信号，例如：粉红噪声、白噪声、扫频、单频或任何包含低音的信号。若喇叭的极性正确，则感受到的声音应该来自于左右喇叭的中间。否则，所感受到的声音会非常单薄，缺乏低音，且不会聚焦为一个单一声源。Multi－Instrument 的信号发生器允许您生成一个左右之间具有相对相移的立体声信号。您可以利用这个功能来体验两个声道同相（0°）或反相（180°）的感觉有什么不同。VT RTA－168 所带的音频测试 CD 中也包含有多个同相和反相的立体声测试样本。

2.5 如何利用Multi-Instrument制作音频测试CD

先在 Multi－Instrument 的信号发生器面板上设置好要生成的信号的各种参数，包括信号的持续时间，然后按动保存键 。它将被保存为 WAV 波形文件。您可用这些保存了的波形文件制作音频测试 CD。

2.6 如何在Multi-Instrument中创建一个具有彩色显示的极性测试器

在 Multi－Instrument 中若能用彩色来显示极性将非常方便。这可以通过 DDP 查看器来实现。

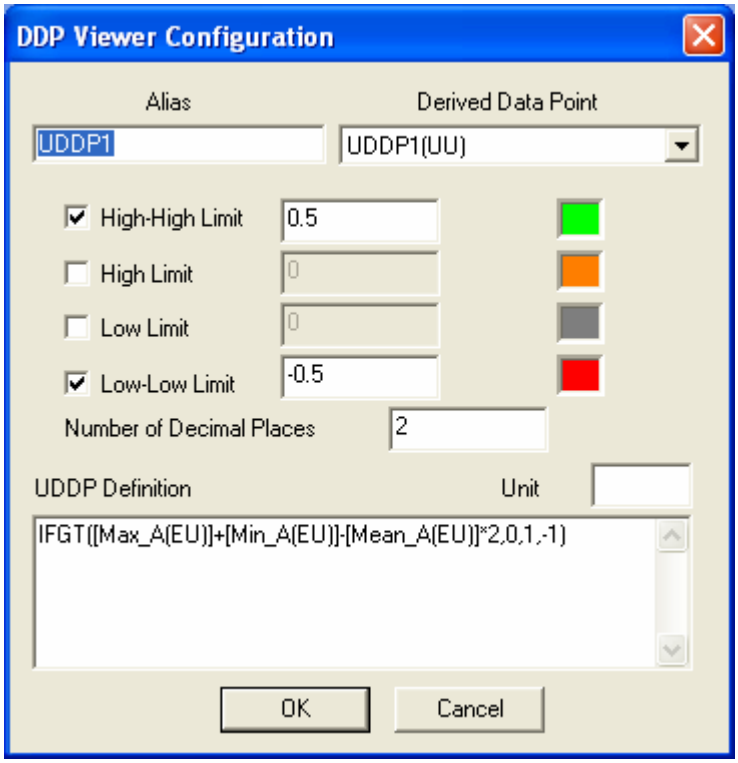
DDP 查看器的设置如下图。我们用以下公式定义了一个用户自定义的导出参数 UDDP1：

IFGT([Max_A(EU)]+[Min_A(EU)]-[Mean_A(EU)]*2,0,1,-1)

其中：[Max_A(EU)]、[Min_A(EU)]和[Mean_A(EU)]分别代表了最大值、最小值和平均值。

该公式定义了，若[Max_A(EU)]－[Mean_A(EU)]大于[Mean_A(EU)]－[Min_A(EU)]，则公式的值为 1，否则为-1。

版权所有 © 2015 虚仪科技



在这里我们用报警颜色来显示极性。当数值小于－0.5 时，显示红色（对于 VT　RTA－168 来说，这表示反相）；当数值大于 0.5 时，显示绿色（对于 VT　RTA－168 来说，这表示正相）。然而，即使在没有捕获到测试信号的情况下，上面的公式也总是会输出一个极性数值，1 或－1，容易造成混乱。峰值因素可用来检测是否捕获到测试信号。峰值因素定义为峰值与有效值之比。下图是改进后的 DDP 查看器的设置。我们用以下公式定义了一个用户自定义的导出参数 UDDP1：

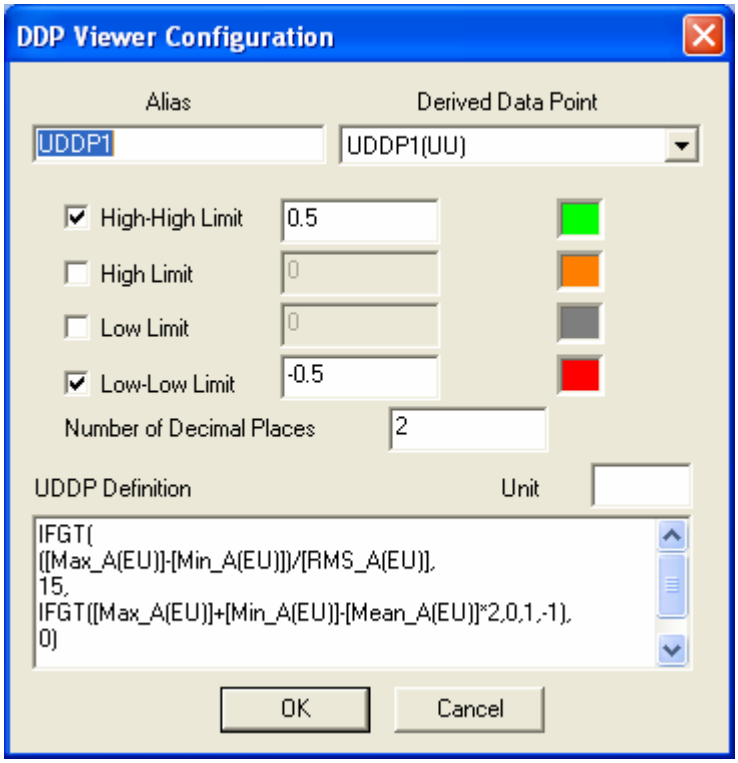
IFGT(
([Max_A(EU)]-[Min_A(EU)])/[RMS_A(EU)],
15,
IFGT([Max_A(EU)]+[Min_A(EU)]-[Mean_A(EU)]*2,0,1,-1),
0)

其中：[Max_A(EU)]、[Min_A(EU)]、[Mean_A(EU)]和[RMS_A(EU)]分别代表了最大值、最小值、平均值和有效值。

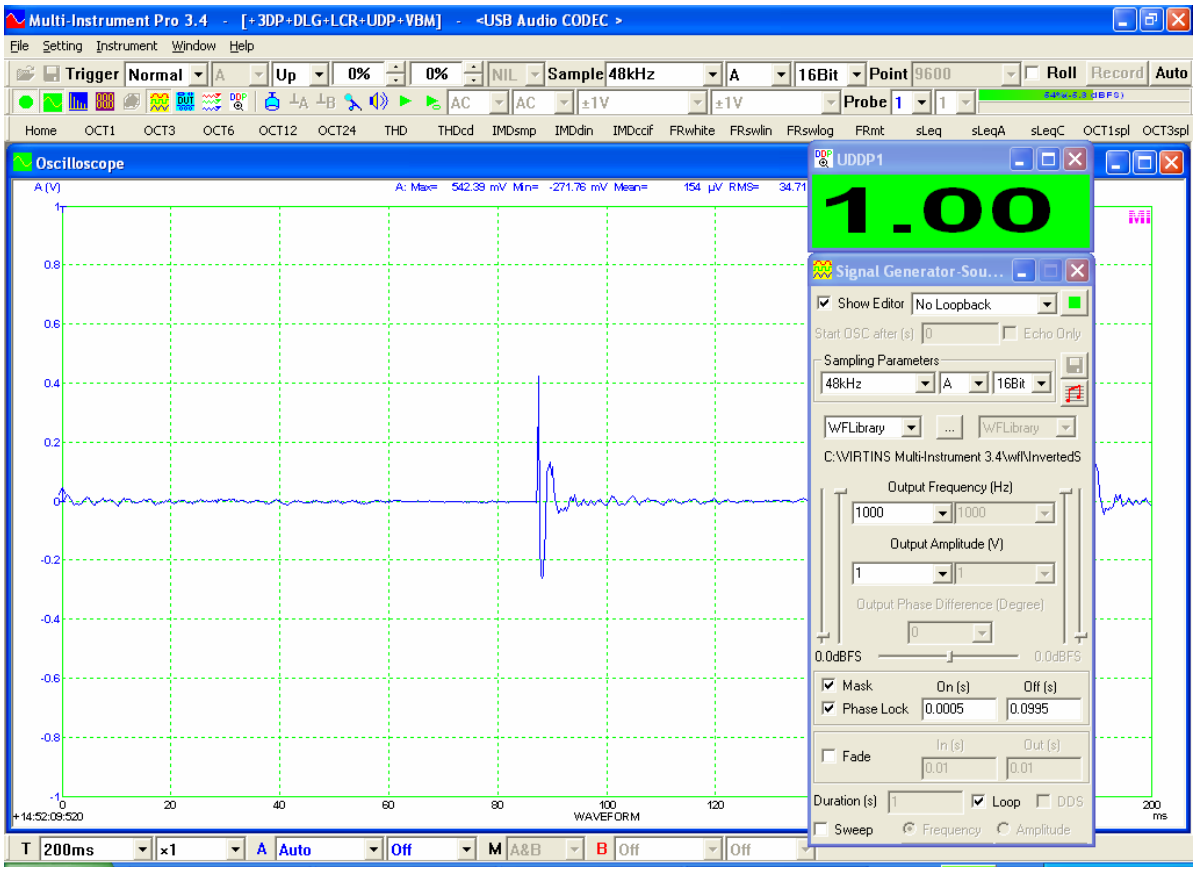
该公式定义了，若经修正后的峰值因素([Max_A(EU)]－[Min_A(EU)])/[RMS_A(EU)]大于 15，即捕获到测试信号时，则公式的值为 IFGT([Max_A(EU)]+[Min_A(EU)]－[Mean_A(EU)]*2,0,1,－1)，即 1 或－1，否则为 0。

在 Multi－Instrument 的 PSF 子目录下，有两个预配的极性测试面板文件：Polarity_Tester.psf 和 Polarity_Tester_WithCrestFactorCheck.psf，它们就采用了以上的配置方案以及半反相锯齿猝发信号。您可以通过[设置]>[加载面板设置]来调入其中一个设置。

版权所有 © 2015 虚仪科技

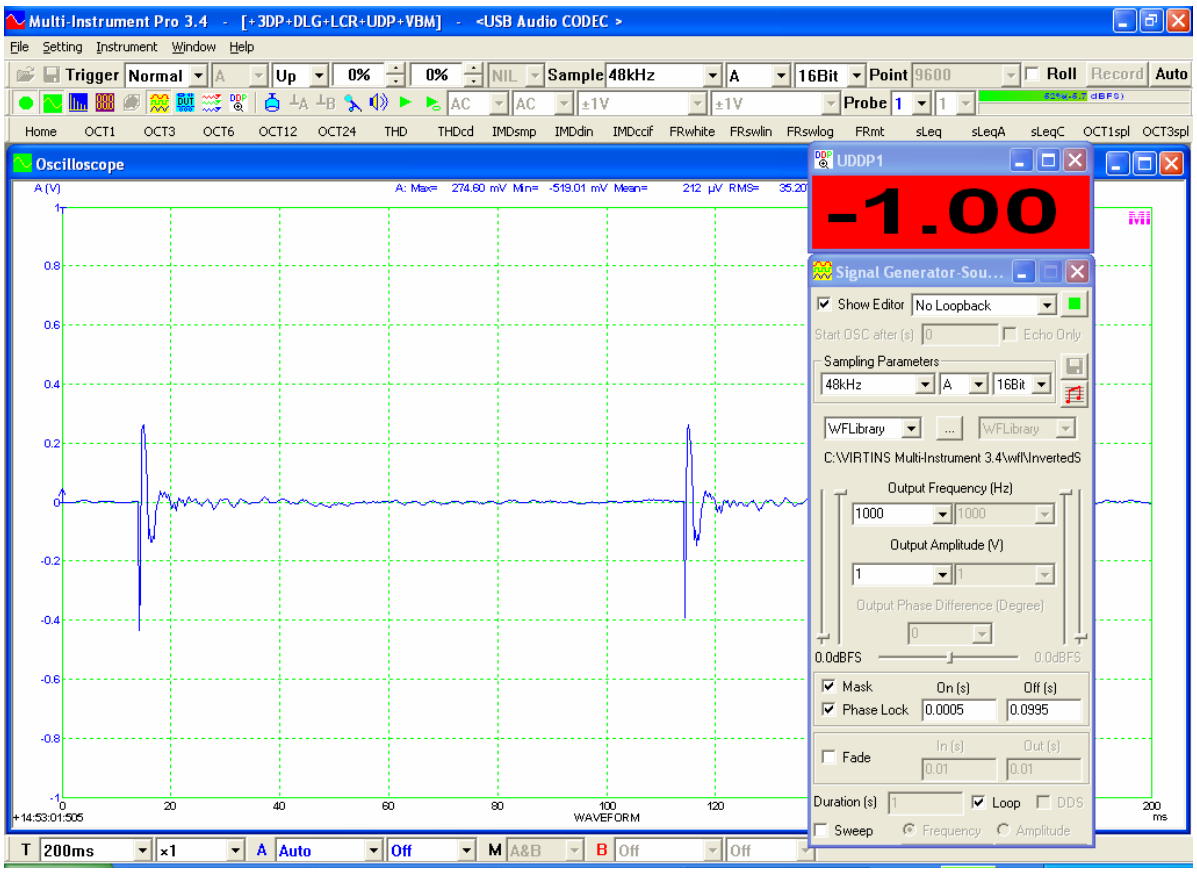


以下三图是用 VT RTA－168B 采集到的从一个电脑喇叭放出的半反相锯齿猝发信号，分别在喇叭正接、反接和无测试信号的情况下测得。

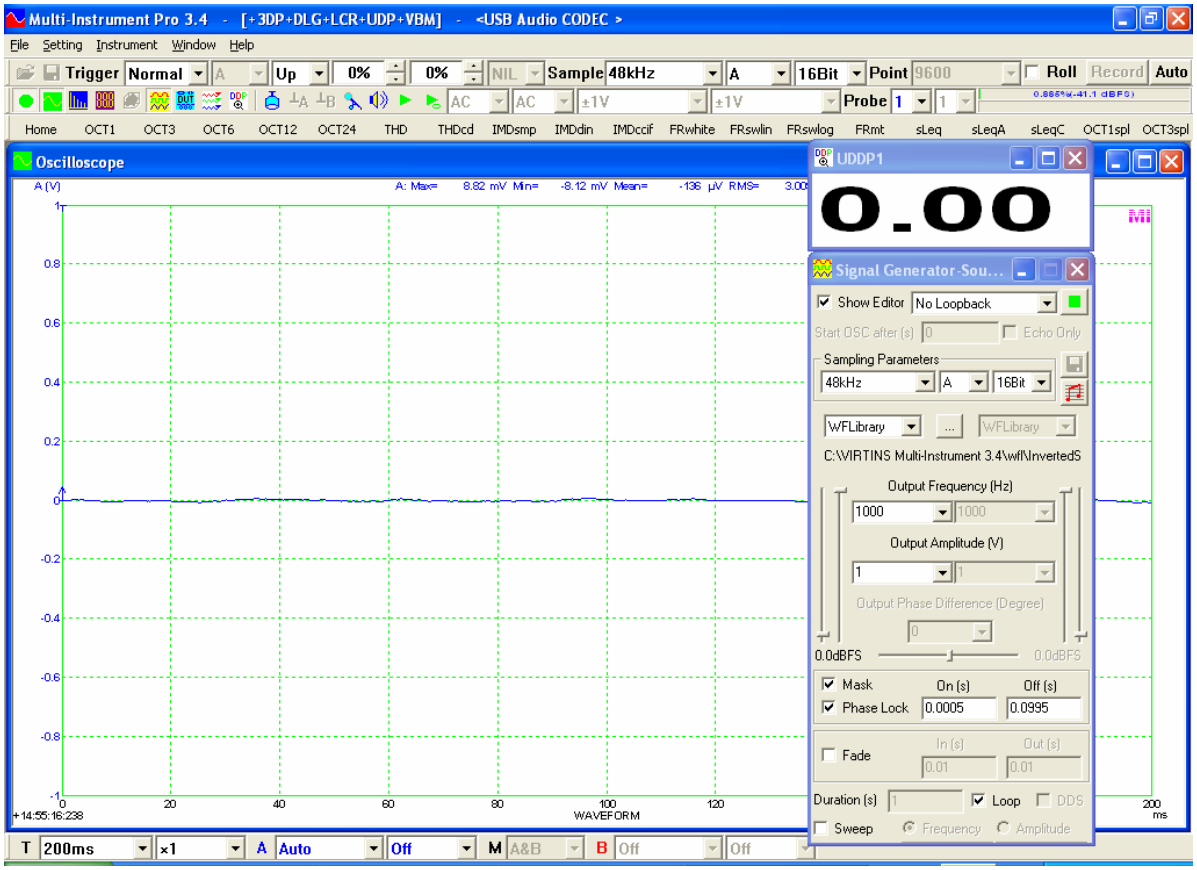


从一个正接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半反相锯齿猝发

版权所有 © 2015 虚仪科技



从一个反接的电脑喇叭处测得的重复周期为 0.1 秒的 0.5 毫秒 1kHz半反相锯齿猝发



同样的设置，但测试信号未被采集到或太弱

版权所有 © 2015 虚仪科技