

扩展程控电源可用的带宽，生成大功率正弦波形

编译：饶骞 安捷伦科技有限公司

概述

在许多测试应用中，要求为低阻抗的被测件输入带有功率正弦电压波形。例如，在测试汽车音响系统的抑制噪声能力时，需要仿真汽车发电机输出的、带有交流干扰的供电波形。这就需要具备低输出阻抗的直流电源，在输出直流偏置电压上，叠加高达 20kHz、0.5Vpp 的正弦交流波形。

即使是一台简单的函数信号发生器，产生 20KHz，0.5Vpp 的正弦信号都易如反掌。但问题是，这种波形是没有功率的，而且，信号发生器的输出阻抗是 50 欧姆，或者更高，根本无法满足这个测试需求。在这种高级测试应用中，一方面需要的是更高的偏置电压、足够的功率、极低的输出阻抗，以及相对较高的频率。有些工程师会通过高带宽功率放大器，提供与电源耦合的波形交流部分，叠加到直流电源的电压偏置上。然而，功率放大器输出阻抗较高，不具备足够的功率来驱动低阻抗负载，而且价格昂贵，实现起来费时费力。

另外一个更优的解决方案，就是直接使用具备调制输出能力的程控电源，直接用正弦波调制其输出的直流偏置电压，正弦波的频率可以从几赫兹到数十千赫兹。这样，利用一台电源就可以提供直流电压和交流部分，对被测件进行测试，不必选择专用的、昂贵的放大器，极大地简化了测试的复杂性。

DC 电源的带宽

DC 电源的编程带宽主要受限于控制带宽。控制带宽是指电压幅度发生衰减时的频率，它受限于电源的电压反馈系统的性能。如果对一个相对缓慢、频率低于控制带宽的正弦波形进行编程，反馈系统可使输出电压与变化中的参考输入保持一致。如果编程一个超出控制带宽的快速正弦波形，电源就无法保持相应的补偿，同时输出电压将会衰减，且参考输入会出现时延。在电源的设计中，反馈补偿是用于确保电源的稳定性。因此，除个别一些高性能专用电源外，绝大多数电源的反馈补偿是不能修改的。

所以，电源输出交流波形时，带宽会受到自身编程带宽的限制。电源在其指标规范的带宽范围内，可以保证输出正弦波的幅度。如果需要输出更高带宽的正弦波形，其波形的交流部分会出现明显的衰减。这种衰减是可以预测的，您能够在超出额定带宽的范围内对其进行量化。通过计算如何补偿每个指定频率上的衰减，您能够在超出指定编程带宽的频率上生成具有指定幅度的波形。图 1 所示的是安捷伦 N7900APS 程控电源的输出频响曲线。在高带宽工作模式下，-3dB 频率点是 2KHz。而当频率升高到 20KHz 时，幅度会衰减大约 90%。因此，如果希望得到 0.5Vpp, 20KHz 的正弦波形，就需要在设置大约 5Vpp 的正弦波形。

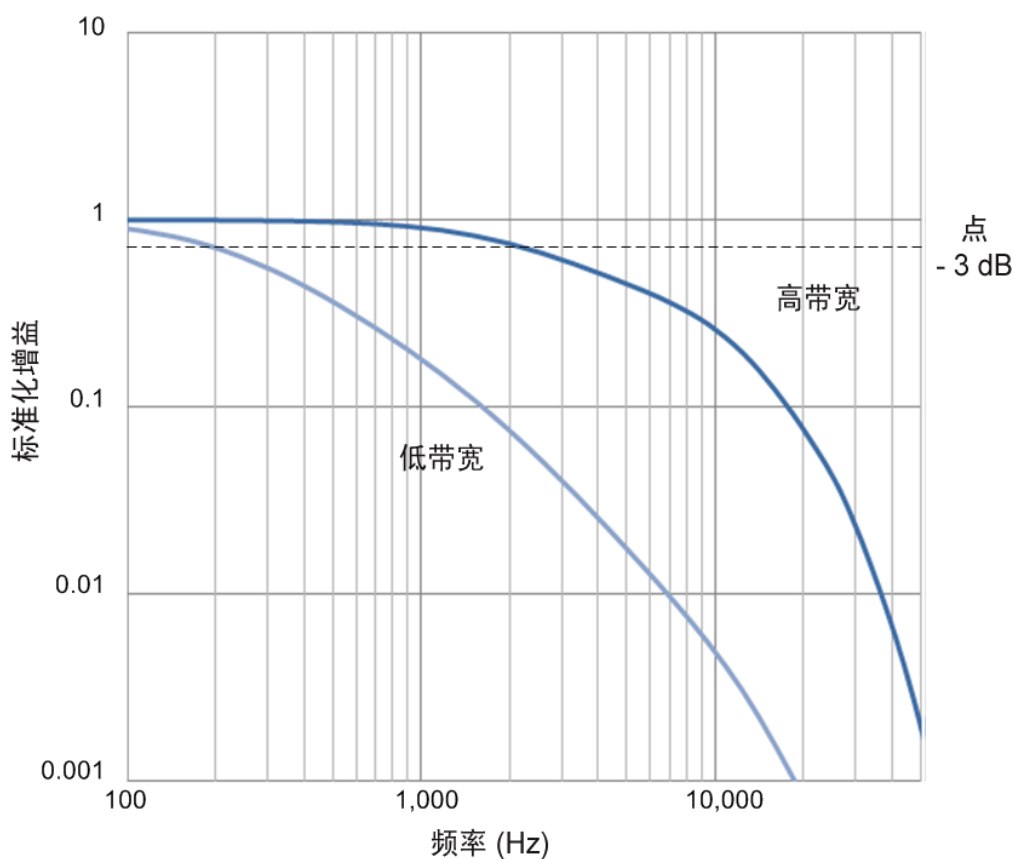


图 1: 安捷伦 N7900 APS 电源的频响曲线

图 2 所示的就是利用安捷伦 N7952A APS 先进电压系统，输出 14VDC，并在上面叠加 1Vpp, 20 KHz 正弦波形的实例。可以看出，波形的输出质量还是非常理想的。

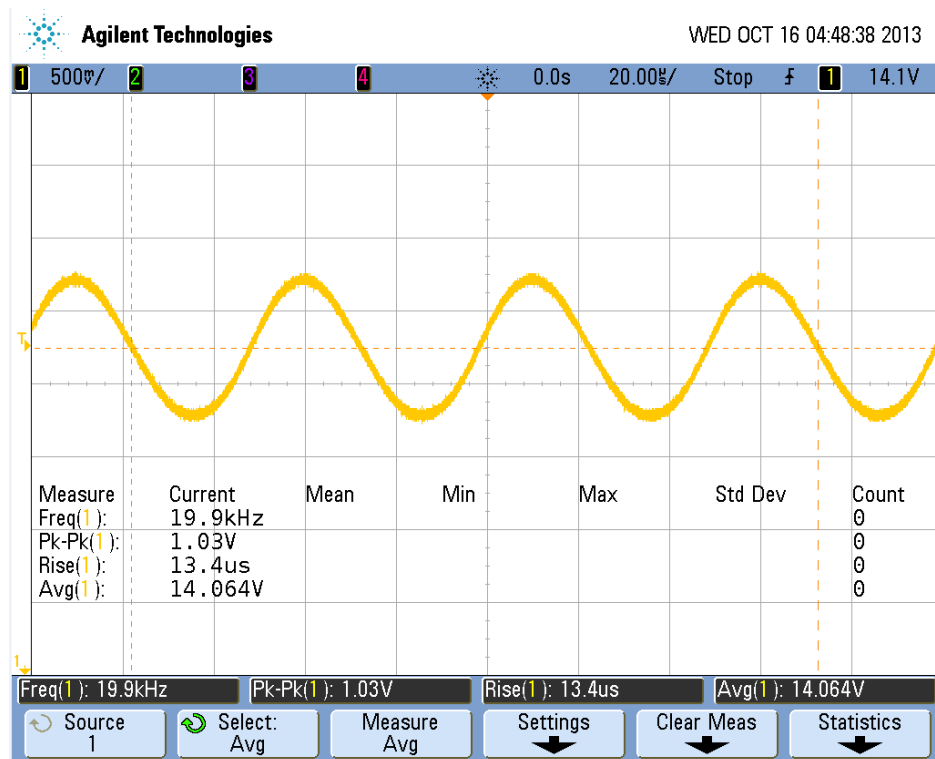


图 2：利用 N7952A APS 电源输出 14V 直流电压，并叠加了 1Vpp 的正弦波

负载设置引起的衰减

负载和引线设置也是造成衰减的来源之一。如果负载引线很长，而且有一些串联电阻和电感，以及大的电容负载，就会构成一个双极的 LC 衰减滤波器。即使电源本身是无限带宽的理想电压源，但正弦电压通过容性负载时，会在 LC 滤波器转折频率之后开始大幅度衰减。通过计算电阻器、电容器和电感器的数值，及其在所关注频率上的阻抗值，可以预测由负载配置引起的衰减频率响应。

图 3 是一个典型的实例。假设负载引线的总电感 $L=1\mu\text{H}$ ，串联电阻 $R=10\text{m}\Omega$ ， $C=20\text{mF}$ ，电源输出端至负载端电压会在 $f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 1.6 \text{ kHz}$ 时开始衰减，并且频率每升高 10 倍，交流幅度衰减比将增加 40dB。串联电阻不会干扰 f_n 数值，但可以抑制 LC 滤波器。在本例中，频率为 1.6kHz 的已编程正弦波，从输出端到负载端，交流幅度将会衰减 50%；频率达到 5kHz 时，交流幅度将衰减 95%；而对于 16kHz 波形，其衰减比更可达到 200！因此，可以由负载和引线设置产生的衰减比乘以电源控制带宽的衰减比，得到交流幅度总的衰减比。

因此，把接线中的电感和电容降至最低，可使衰减起始频率达到最高，也可降低更高频点上的衰减幅度。每英寸负载引线的电感大约 20nH，引线越短，电感越低。把正负极引线紧紧绞合在一起，可将电感削减 50%。如果使用低电感电缆，电感还会降至更低。但要减小电路中的输入电容可能会遇到一些困难，主要是因为这样做，可以降低被测件的性能。电容的等效串联电阻（ESR）会对衰减产生限制，但也会限制电容减轻负载瞬态压降和滤除电压噪声的能力。

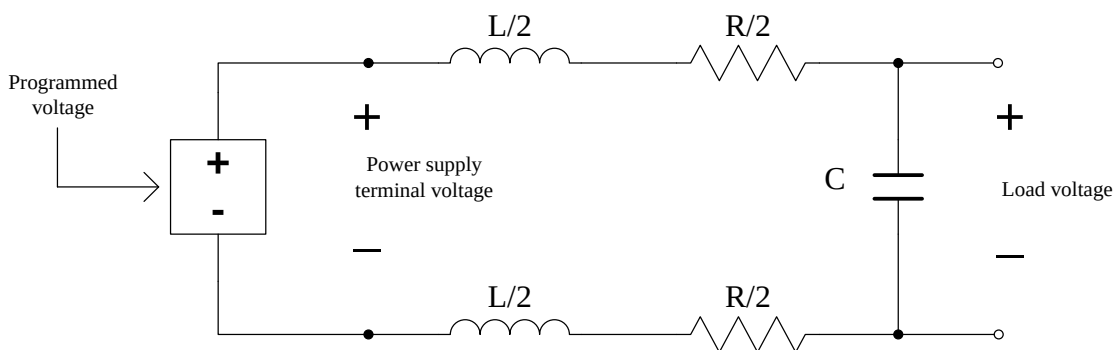


图 3：典型的程控电源供电配置的结构图

衰减补偿

如果想要在超出带宽限制的频率上进行编程，产生特定幅度和频率的正弦波形，首先需要在该频率上计算或测量出存在多少衰减比。具体方法：首先对特定频率上具有所需幅度的波形进行编程，测量负载上输出波形的交流幅度，再用编程幅度除以输出幅度就会得到衰减比。在对波形进行编程时，您需要利用衰减比补偿编程波形的幅度（参见图 4）。在给定负载配置下，生成一个针对不同频率的衰减比表格。该表格有助于您在相同负载配置下，对后续测试中的衰减进行自动补偿。

一些更高级的程控电源拥有数字化仪功能，以及超出控制带宽范围的测量带宽。它们能够独立执行测量衰减比相对与输出信号频率的关系，精度更高，而且不必使用示波器测量幅度。例如，您使用 MATLAB 或 Microsoft® Excel® VBA 编写一个程序，对指定频率上的正弦波形编程，利用电源的数字化仪测量能力来测量和计算输出电压的实际幅度，随后再计算衰减比。在测量带宽允许的频率范围内，你可以多次重复上述过程。如果在测试的时候，需要到变化的频率，那么

这种电源就会特别有用，您可以快速计算多个频率点的幅度衰减比。Agilent N7900 系列 APS 电源系统就可以具备这些功能。

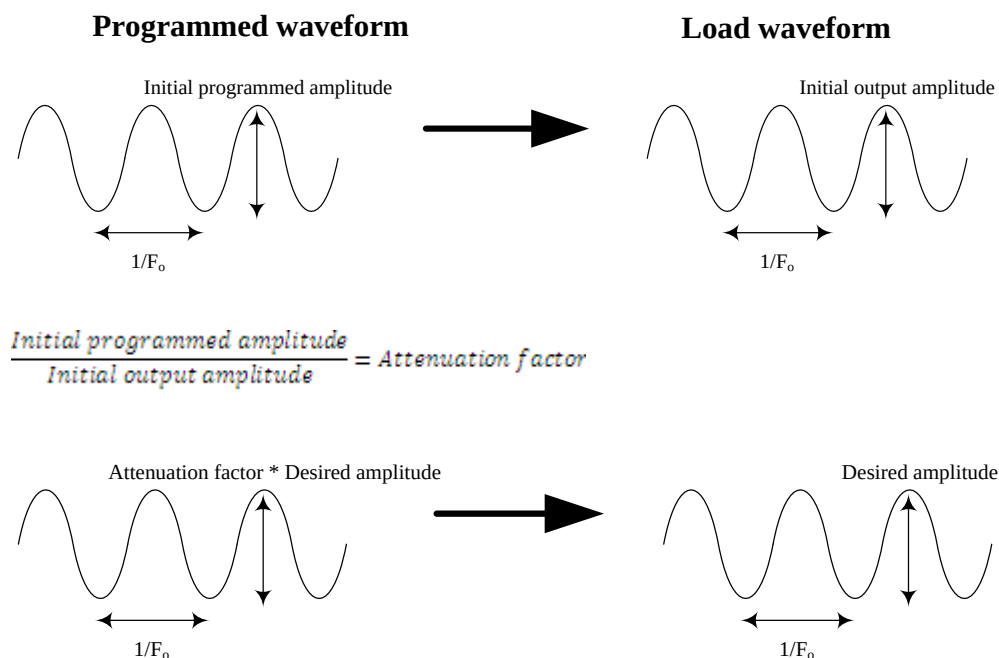


图 4：对频率为 F_0 的正弦波的幅度进行衰减补偿，使负载上的幅度达到测试要求。

实际操作过程中，幅度补偿的限制

在实际测试过程中，利用幅度衰减补偿的方法也会遇到几个限制，这点要特别注意。我们来考虑一个情景：我们利用一个最大输出电压为 30V 的直流电源上，需要输出 12VDC，并在上面叠加一个 5Vpp、20 kHz 的正弦波形，其最大负载电压是 14.5V，最小电压是 9.5V，这看上去像是在电源的额定工作范围内。但是，衰减补偿将导致这项工作无法进行。对于电源本身来讲，对于典型的控制回路，如果编程控制带宽是 2kHz，那么当频率升高到 20KHz 时，电源控制带宽所引起的衰减比约为 14。在接线回路上，如果负载引线的电感是 1μH，电阻 10mΩ，负载电容 1mF，那么在负载和引线的衰减比系数大约是 5。总衰减比=14x5=70。理论上讲，需要把波形的正弦部分设为 350Vpp，从而使输出上的波形具有指定幅度！很明显，对于最高输出电压只有 30V 的电源来讲，这是望尘莫及的。因此，在实际测试过程中，需要仔细计算和检查一下补偿的电压编程波形是否会超出电源的额定范围，否则电源不能生成所需的波形。

此外，当负载吸收功率较大时，电源的内置保护电流限制可能会限制电源输出高频波形的能力。即使已补偿编程幅度处于电源的电压额定范围内，电源也可能受到电流的限制，无法生成如此高的转换速度。如果编程此类波形，可能会出现失真，变成三角形，也可能出现不对称的波形。当负载阻抗很低、电流很高时，会让情况变得更糟。如果测试要求较低波形的失真，就有必要检查实际输出波形，以确保波形是高品质的正弦波形。

结论

扩展程控电源可用的带宽，有助于您充分利用设备的性能，利用通用的高性能电源实现专用设备或系统上才可能实现的功能，从而简化测试工作和测试降低成本。