电源纹波的正确测试姿势

电源纹波是电源设计中常见的考量参数，也是电力工程师常见的测试项目。本文将讨论电源纹波产生的原因以及电源纹波测试的正确姿势！ ZLG 示波器电源分析功能中有快捷测试输出纹波的功能，设置好配置即可快捷得出输出纹波参数，并支持导出报表。

什么是纹波和噪声

纹波和噪声是指在 DC/DC 的直流输入和输出电容器上出现的交流耦合电压信号。典型的纹波与噪声如图 1 所示。

纹波：开关电源对电容充放电而产生的电压波动，它具有较低的峰平均比，发生在基本开关频率，通常被称为均方根 (RMS) 噪声。纹波因为表征的是输入和输出电容的充放电特征，所以在开关电源的最大负载时会达到最大。纹波电压随着输入和输出电容的增大而降低。

高频噪声：开关电源的开关过程中而产生的电压毛刺，噪声的重复频率等同开关电源的开关基频，但是噪声峰值频率要比开关基频高的多。噪声的幅值取决于开关电源的拓扑结构、电路的寄生电容电感、PCB 布局等。

图 1 纹波与噪声示意图

纹波的类型

开关纹波：首先以降压（buck）电路为例进行说明。降压电路的开关器件以特定频率导通或关断。当器件开关时会产生与开关周期一致的开关纹波。开关纹波的频率范围通常为几十 kHz 至几 MHz。如图 2 所示。

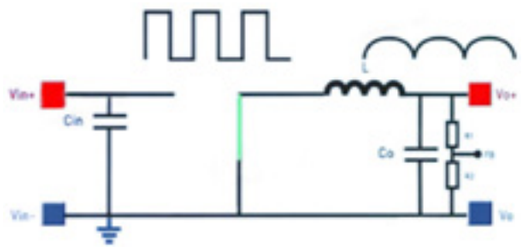


图 2 开关纹波

高频纹波：由于电路中寄生电感和电容的影响，实际中的开关电源还会随着开关管的导通和截止瞬间产生高频开关噪声。开关噪声的频率高于开关频率；其幅值与寄生参数和 PCB 布局有较大关联。如图 3 所示。

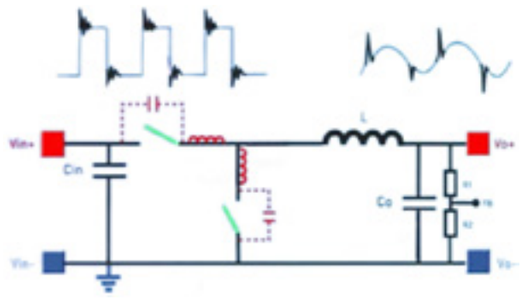


图 3 高频纹波

负载变化引入的纹波：在某些应用场景中，负载电流会快速变化。电流的剧烈变化会导致输出电压的波动。如图 4 所示。

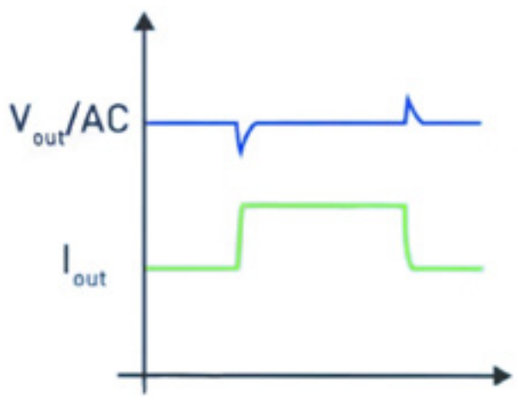


图 4 负载变化引入的纹波

纹波的危害

a. 电源中携带的纹波会在电器上产生谐波，降低电源的使用效率；

b. 较高的纹波可能会产生浪涌电压或电流，从而导致电气设备运行不正常或加速设备老化；

c. 在数字电路中纹波会干扰电路逻辑关系；

d. 纹波还会给通信、测量和计量仪器、仪表带来噪音干扰，破坏信号的正常测量、计量，甚至损坏设备。

电源纹波测试方案

示波器电源分析功能中有快捷测试输出纹波的功能，设置好配置即可快捷得出输出纹波参数，并支持导出报表。

测试步骤：

示波器与探头连接示意图如图 5 所示。输出端信号接入到示波器中，其中通道 1 接高压差分探头，通道 2 接电流探头。（注意：若输出电压较大可选用高压差分探头，若输出电压较小使用普通探头即可）

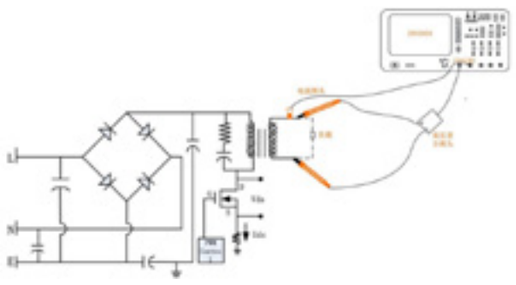


图 5 探头与电路连接示意图

调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Auto Setup】一键捕获波形信号， 波形信号以较好的效果显示在屏幕上，若看到的信号为一条直线，可将信号的垂直档位放大后看波形，因为输出纹波信号幅度比较小。点击【通道 1】进入通道界面，将通道耦合方式改为【交流】。

点击【Analyze】进入电源分析界面，功能选择【输出纹波】，点击【参数配置】进入参数配置界面，如图 6 所示。

图 6 输出纹参数设置

√信号类型：有“电流”和“电压”两个选项，若接入电流探头则测量电流信号的纹波，若接入电压探头则测量电压信号的纹波；

√电流 / 电压通道：探头接入示波器的通道号；

√测试类型：测试类型有“纹波”和“噪声”两种，可测量纹波和噪声的电流电压情况；

√截止频率：用来设置进行低通滤波的截止频率，滤除高频成分得到纹波的主要成分，包括频率和幅值。该设置用于滤波计算中，选择不同的截止频率时，得到的结果也是不一样的。故需要根据具体的使用环境，来调整该频率，以获得理想的纹波。

点击【返回】即可查看到测量结果，如图 7 所示。同时在屏幕上可以看到紫色的波形为滤除高频噪声后的纹波。滤除后的测量结果显示在示波器左下角的表格中。测量结果表格中有 4 个项目：

√纹波 / 噪声电流：滤波后的电流有效值；

√最大峰值：滤波后的电流最大峰值；

√最小峰值：滤波后的电流最小峰值；

√频率：滤波后信号的频率。

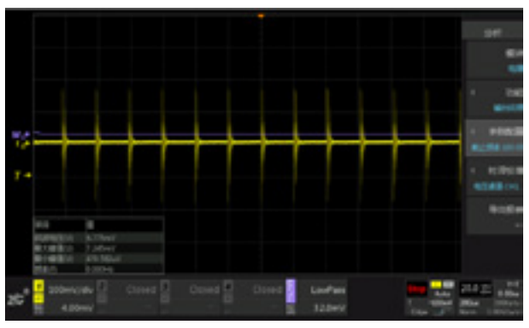


图 7 输出纹波测试结果

纹波噪声的优化

1. 确认同轴线缆周围是否有高频元件及电感器件，调整同轴线缆，观察测试结果，排除外界干扰；

2. 优化开关电源电路的输入，输出滤波电容搭配，大电容搭配小电容，一般是 100：1 的比例，因为负载运行过程会出现电流用量的频繁变化，增大电容可以显著减小纹波噪声，但到一定程度后效果甚微，根据实际测试调整电容的比例；

3. 在满足输出电流前提下可加大电感量，电感量越大，输出纹波会减小，但动态响应变差，根据实际测试情况调整电感量；

4. 优化输出到反馈端的元件，减小串联电阻，增大并联电容，可以提高开关电源的动态响应，优化纹波噪声；

5. 优化 PCB 的布局及走线，较长的走线，过孔都会引入较大的干扰，在走线中间，过孔处增加去耦电容；

6. 选择动态响应比较好的功率变换器，可以优化重载下的纹波噪声。

（本文来源： ZLG 致远仪器）

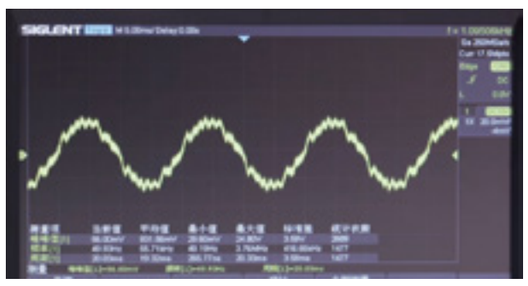
使用示波器时，如何避免工频干扰？

在工程师实际使用示波器的时候，很多人会为一个问题所困扰——示波器接上探头还没有开始测信号，屏幕中就显示了波形：

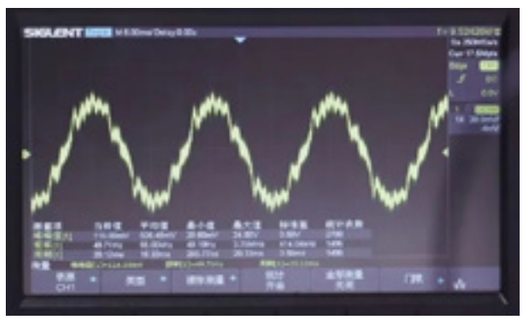
一个像正弦波，但是又有很多噪声的波形。

这是怎么回事呢？

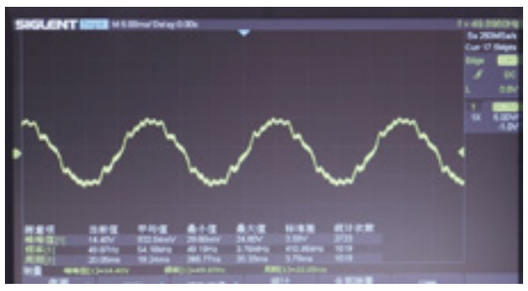
为了探究原因，当这样的波形出现时，我们对它进行测量。打开示波器的测量功能，可以看到信号的频率约为 50Hz。



这个时候，如果把探头靠近示波器或其他用电器再去观察，可以明显地观察到信号变得更加清晰，噪声也减小了。



如果我们再用手与探头的信号端接触，会发现示波器此时出现了一个更大的信号，调整垂直档位后会发现，此时的信号频率同为 50Hz，但是信号的幅度变大，噪声变小了，波形也清晰起来。



01 工频干扰

上述带噪声的信号是如何产生的？有人认为是示波器的问题，也有人认为是探头出了问题。

其实，这是 50Hz 的工频干扰，是电力系统中普遍存在的一种现象。

我们的电网供电是 220V/50Hz，而室内通常存在很多电缆或用电器，就会产生一些 50Hz 的电场。

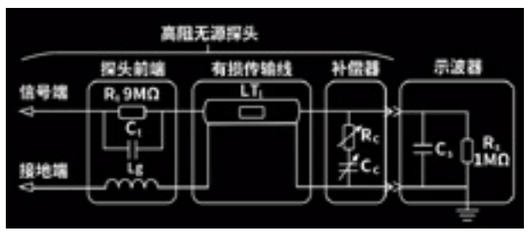
示波器导致工频干扰的原因一般有两种：

a. 经输电电缆传导进入示波器

b. 通过空间辐射由探头引入示波器

由此可见，以上所说的干扰就是通过空间辐射产生。

示波器的探头由阻容结构组成。



探头暴露在空气中时相当于一个天线，所以将探头靠近一些容易产生辐射源的设备（如示波器或者其他用电器）时，就会有明显的干扰信号引入。此外，人体也是导体，是一种电阻很大的导体，就像是一个能够接收周围电磁辐射的大天线，所以才会有工频干扰引入示波器。

这种现象会对我们的测试产生很大的影响，所以我们在测试中应该尽量减少或者避免工频干扰。

02 如何避免工频干扰

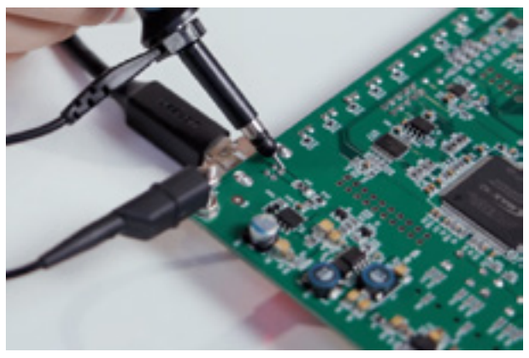
在我们示波器测量的时候，首先要保证示波器要有良好的接地。

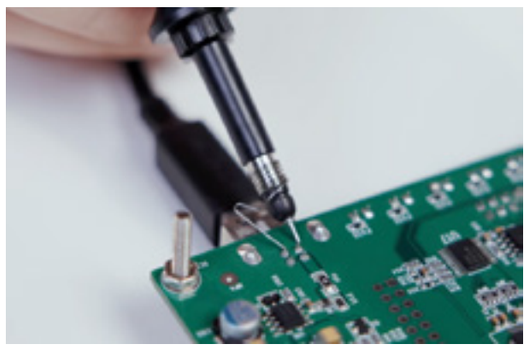
接地不单单可以保证我们的电气安全，减少触电风险，也能够使示波器和被测信号共地，屏蔽部分噪声信号。

以上述比较有代表性的人体天线为例，我们同样以手来接触探头的信号端，之后再把另一只手触到探头的地线上，这个时候可以看到信号的幅度明显减小。

另外，我们在测试信号的时候，探头的探针和地线本身也会组成一个环路，这又相当于一个小天线。

为了减少这样的天线效应，可以把探头的地线取下来，再用探头标配的一个接地弹簧进行测量，减少地线的长度来减少信号干扰。





如果尝试过以上的方法后效果依然不明显，或者所测的信号需要较长的地线接地才能够测量，所以我们无法使用接地弹簧时，可以想办法减少一些电磁辐射。

此时可以关掉旁边的一些用电器或换一个电器比较少的房间进行测试。不同的房间或者不同的地理位置，它的电磁环境可能相距甚远，测量的结果自然也会有所不同。

如果对测试的结果要求比较高，或者以上的方式效果都不好，那还有最后一种方法可以尝试：

使用滤波器对 50Hz 的工频信号进行过滤，以得到更为纯净的测试信号。

03 总结

工频干扰是工程师在实际操作中经常面临的问题，输电电缆传导和空间辐射是两种常见的原因。为了减少或避免干扰，可采取接地、减少地线长度、减少电磁辐射等方法，或者使用滤波器对信号进行过滤。

（本文来源：鼎阳硬件智库）

关于鼎阳硬件设计与测试智库

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技股份有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。鼎阳硬件智库顺时顺势，倡导“连接 - 分享 - 协作 - 创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。 鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测试测量进行聚焦。寻找“最针尖”的问题进行研讨，针对“最针尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。