

## 模块电源可靠性应用技术专题系列---纹波&噪声的正确测量与抑制

纹波和噪声是模块电源重要的技术指标，根据多年的经验并结合客户在实际应用过程中经常无法准确测量纹波和噪声的情况，本文主要从纹波和噪声的产生原因，正确的测量方法及抑制纹波和噪声的方法三个方面介绍，希望对客户在选用和测试模块电源时起到一定的帮助。

### 1、什么是纹波和噪声？

DC/DC 模块电源输出的是带有脉动交流成分的直流电压，而这些交流成分，就是纹波和噪声造成的。纹波是输出直流电压的波动，与模块电源的开关动作（开关频率，输入输出电压，拓扑结构，电感，电容等决定）有关，同时也受到各种干扰，负载波动等的影响，纹波电压是纹波的波峰与波谷之间的峰峰值，这个纹波和 PWM 控制器的开关频率是相同的，表示了模块电源输出电容上的充放电过程。这种交流成分的波动可以通过加大电源的输出电容输出电感来减小和抑制。

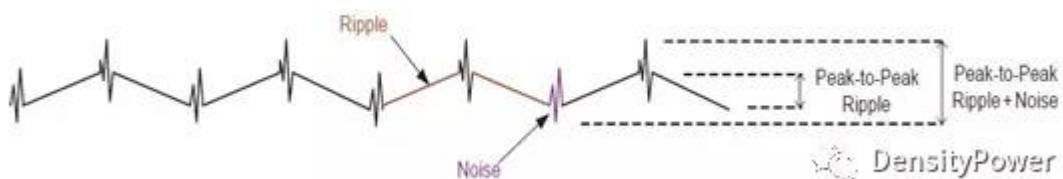


图 1. 纹波和噪声

而噪声的频率则比纹波的频率高得多，噪声的产生主要原因有两种，一种是模块电源自身产生的；另一种是外界电磁场的干扰（EMI），它能够通过辐射进入模块电源或者通过电源线输入模块电源。模块电源自身产生的噪声是一种高频的脉冲信号，由开关管导通与

截止瞬间产生的尖脉冲所造成，也称为开关噪声。此噪声电压的峰峰值振幅一般取决于电源内部 PWM 芯片、电源拓扑、电路寄生参数以及 PCB 布局等因素。

## 2、纹波噪声的危害

它主要有以下害处：

- ◇ 容易在用电器上产生谐波，而谐波会产生更多的危害；
- ◇ 降低了电源的效率；
- ◇ 较强的纹波会造成浪涌电压或电流的产生，导致烧毁用电器；
- ◇ 会干扰数字电路的逻辑关系，影响其正常工作；
- ◇ 会带来噪音干扰，使图像设备、音响设备不能正常工作。

## 3、电源输出纹波的主要来源

开关电源输出纹波主要来源于五个方面：

- ◇ 输入低频纹波（AC 输入）；
- ◇ 高频纹波；
- ◇ 寄生参数引起的共模纹波噪声；
- ◇ 功率器件开关过程中产生的超高频谐振噪声；
- ◇ 闭环调节控制引起的纹波噪声。

## 4、如何正确测量纹波和噪声？

在模块电源实际的应用过程中，经常有客户反应测试的纹波和噪声超过规格书的范围，甚至每次测试的结果都不一致，无法准确地测量模块电源的纹波和噪声。众所周知，模块电源的纹波和噪声频率较高，只有采用正确的测量方法才能准确的测量模块电源的纹波和噪声。

*错误的测试方法：*

图 2. 所示是常见的不正确的测量方法，示波器的地线较长，此地线和信号探头组成的环路构成了一个天线，从而这个天线很容易耦合外界的杂讯。此环路面积越大，示波器接收到的开关噪声就越大，也将导致用户的实际测试数据与真实的纹波、噪声存在较大差异。



图 2. 不正确的纹波、噪声测试方法

### 正确的纹波和噪声测试方法：

那么在实际测量中，为了准确测量得到最真实的纹波噪声数据，最简单可靠的方法是采用一个接地环（接地弹簧）来测量电源纹波和噪声，确保接地线长度小于 1cm 并在靠近电源输出端的 3-5cm 附近处测量，可将示波器探头和地线直接放在电源输出电容的两端。如下图 3 所示，采用这种方法可明显减小信号探头与地线之间的环路面积，这种测量方式带来误差的噪声可忽略不计。另外一种有效的方法是采用同轴电缆（50Ω 阻抗的 BNC）测量装置，如下图 4 所示。图 3. 和图 4. 两种正确测量方式所得到的测量结果较为近似。需要特别注意的是测量纹波、噪声时模块电源的输出电容，业界通用的推荐方法是在模块电源的输出端加 10uF+0.1uF 的 MLCC（低 ESR），同时示波器的带宽设置为 20M。

Density Power 的产品规格书中明确规定纹波、噪声的测试条件，实际选型，测试和应用时，根据电路的要求，请具体参考规格书规定的条件选型和测试。

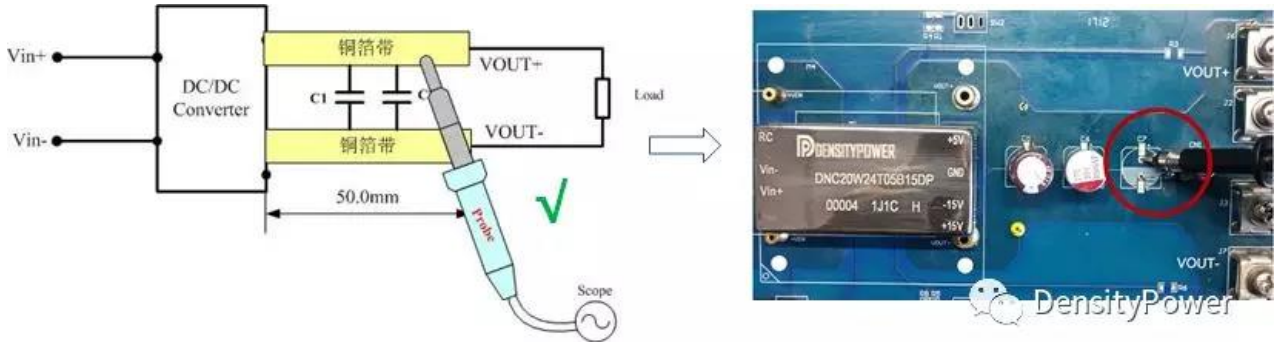


图 3. 正确的纹波、噪声测试方法（一）

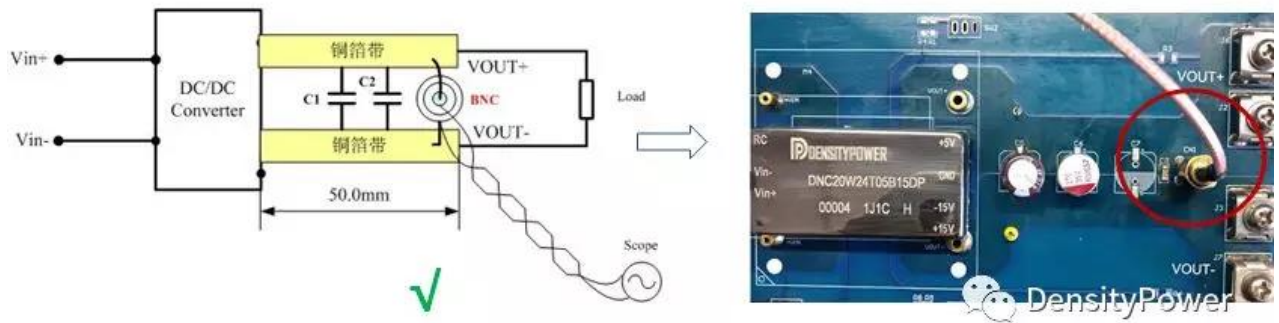


图 4. 正确的纹波、噪声测试方法（二）

下图 5. 和图 6. 为一个±15 输出的模块电源实际测量的结果，错误的测试方法测量的纹波、噪声的结果~100mV，而正确的测量方法的结果为~30mV，前者为后者的 3 倍！

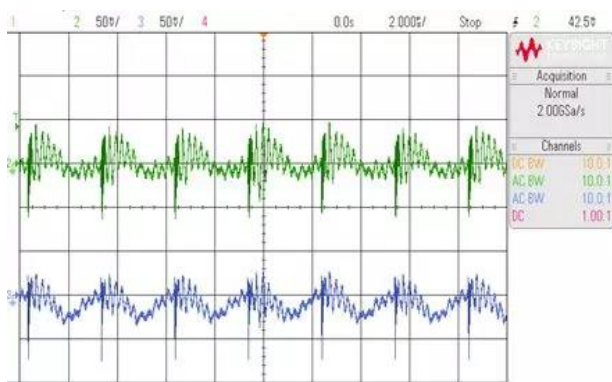


图5：错误方式下测量纹波噪声结果约100mV

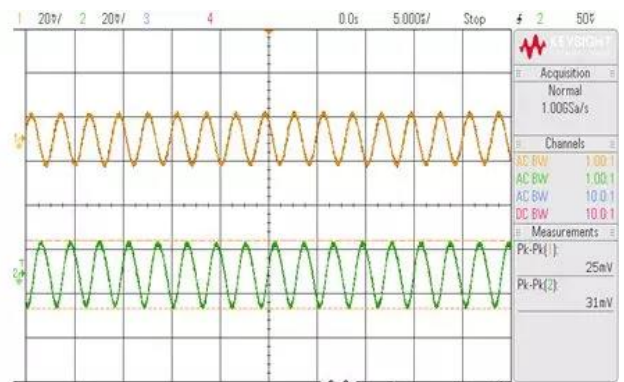


图6：正确测量纹波噪声结果约30mV



进行模块电源纹波噪声的测试时，需要注意以下几点：

- ✧ 使用示波器最灵敏的量程档；
- ✧ 使用 AC 耦合功能；
- ✧ 使用小衰减比的探头，大衰减比的探头会使得小信号幅度更加微弱，甚至淹没在示波器底噪声里，所以应该尽量使用 1:1 衰减比的探头，如 1:1 的 50Ω BNC；
- ✧ 使用探头的短地线，长的地环路会拾取更多开关电源的电磁辐射以及地噪声，因此需要使用尽可能短的地线连接，如用接地弹簧；
- ✧ 输入阻抗匹配：很多示波器有 50 欧姆和 1M 欧姆的输入阻抗选择，通常 50 欧姆输入阻抗下示波器的底噪声更低。示波器连接大部分无源探头时都会自动把阻抗切换到 1M 欧姆，选择同轴电缆时才可以设置为 50 欧姆输入阻抗；
- ✧ 根据需要使用带宽限制功能，很多电磁噪声和示波器的底噪声都是宽带的，设置合适的带宽限制可以滤除额外的噪声，一般带宽限制为 20MHz。

## 5、如何抑制纹波和噪声？

通常降低输出纹波，噪声需要两种完全不同的技术，因为纹波主要是来自不均匀的差模干扰，而噪声主要是均匀的共模干扰。模块电源的输出纹波和噪声电压的大小与其采用的拓扑结构，各部分电路的参数设计及 PCB 设计有关。例如，采用多相输出结构，可有效降低纹波输出。模块电源的开关频率越来越高，一般都在几百 kHz，而有些高的开关频率可达 1MHz 以上，因此产生的纹波电压及噪声电压的频率都很高，可考虑在模块电源外围电路中增加无源低通滤波器来改善减小纹波噪声。

### ● 高频纹波的抑制

根据输出电压纹波的计算公式  $V_{ripple} = I_{max} / (C_o * F)$  可以看出，适当增大输出电容值并选择高频特性好，ESR 值低的电容可以有效减小纹波，或者可以考虑采用电容并联的

方式来减少电容的 ESR 值,为进一步降低输出纹波,一个更加行之有效的解决办法是再添加一个输出电感  $L_{o1}$ , 使其与外部电容  $C_{o1}$  组成一个低通滤波器, 要注意的是, 输出电容值不能过大超出模块电源所容许的最大容性负载, 并且 LC 的谐振频率必须与开关频率错开防止两者互相干扰, 一般选择为模块电源开关频率的十分之一, 为避免影响到输出电压精度, 建议 L 通常选择  $\mu\text{H}$  级且低直流电阻 (DCR) 的差模电感。

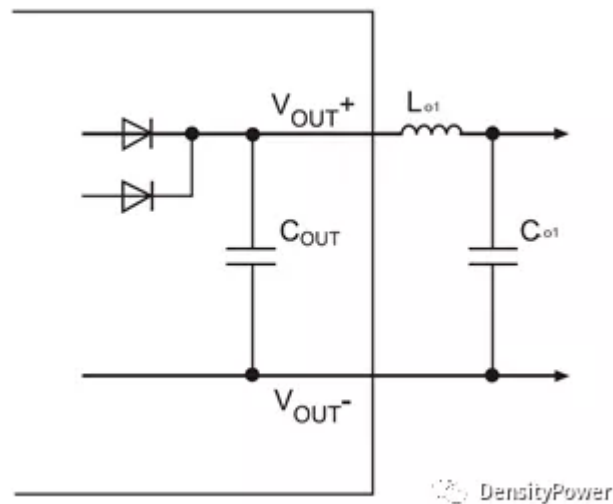


图 7. 输出加 LC 滤波抑制纹波

- **共模噪声的抑制**

如上所述, 输出电压干扰中同时存在不均匀的和均匀的两部分, 纹波主要是差模干扰而噪声主要是共模干扰, 由于噪声信号是均匀分布在输出电压中的, 它是无法被输出电容“发现的”, 通过增加 LC 滤波器也不能减小噪声干扰。共模噪声对于完全对称的线性和绝缘的负载来说不构成问题, 但是对于任何非线性的负载, 或者这种在电流通路流回地端将共模噪声“整流”并转换为差模噪声干扰实际应用电路中有较大影响, 可通过一个低阻抗的路径来短路噪声干扰源或者用共模扼流圈来减少共模干扰。

大部分的高频共模输出噪声是由于模块电源内部开关管的开关尖峰毛刺以及高频整流二极管结电容与线路寄生电感的谐振造成的, 频率一般为 1-10Mhz, 通过变压器的耦合

电容出现在输出端，为了减少这个共模干扰，必须要提供一个返回输入端的回路，通常输入输出之间是通过变压器来实现电气绝缘的，这个通路可通过一个外接电容来完成，且这个电容必须在频率特性上是低阻抗的。

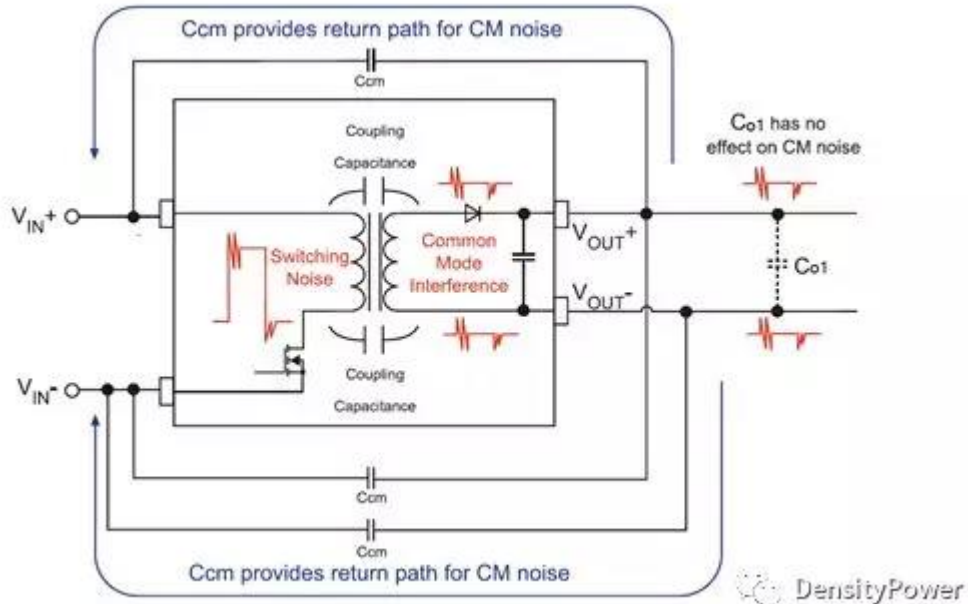


图 8. 跨接在变压器两侧的共模噪声抑制电容

为了在共模噪声回路中提供较低的阻抗来抑制各种寄生参数导致的共模噪声，一般选取在容值为 1-2nF 的范围内共模电容（常为 Y 电容），同时也需注意该电容的耐压必须满足电气绝缘的要求。另外也可以考虑在输出端增加共模抑制电感来减少输出共模噪声。

- 终极法-模块电源输出加 LDO 滤波

在实际应用中，有些特殊应用要求模块电源输出满足  $\mu\text{V}$  级的纹波、噪声，最便捷有效的方法是通过在模块电源输出端增加低噪声器件——低压差线性稳压器 (LDO)，LDO 具有较高的电压抑制比，可以有效地抑制模块电源的噪声，从而减小输出纹波噪声，以满足对噪声要求较高的应用环境，相对来说，该方案的成本较昂贵。

## 小结

综上所述，纹波、噪声的测试方法对测量结果的准确性影响重大。本文讨论了关于模块电源实际产生的电压纹波和噪声的主要因素，结合实际的测试结果介绍了两种正确测量方法和注意事项，以及抑制纹波、噪声的方法。希望对您在选择，测试和应用模块电源时有所帮助和借鉴意义。

**下期预告：**模块电源可靠性应用技术专题系列---如何正确决定和测量模块电源的绝缘耐压。敬请期待.....

## Q&A

### 上期问题回答：

**问题：**在 DC/DC 模块电源的输入浪涌防护电路中，为什么一边会选用双向 TVS？如果选择单相 TVS 会有什么问题？

**答：**在 DC 输入的系统应用中，一般需要对输入做防反接的保护，而且从浪涌抑制考虑，防反接电路一般都是加在浪涌保护电路的后端，因此如果选用单项的 TVS，在系统反接的时候，TVS 很有可能被烧坏；另外双向 TVS 对输入负线上的浪涌电压有较好的抑制作用。所以，一般的 DC/DC 浪涌防护电路中，建议选择双向 TVS。

### 本期问题：

有的 DC/DC 模块电源在测量纹波会发现存在低频纹波，请问 DC/DC 的低频纹波噪声的产生机理是什么？

--- 答案下期公布





扫一扫关注我们，  
更多精彩内容等着您！