

DC/DC电源滤波器的优化

STEFAN KLEIN

1. 效率与EMC

为提高效率，现在的电源需要进一步降低功率损耗。采用先进技术的开关电源和 DC/DC电路可以实现高效率，但如果原理图或电路板设计有问题，会导致干扰增加。本文探讨如何系统地应用输入滤波器来降低 DC/DC 电路中的差模干扰电压。

2. 对输入滤波器的需求

无论是开关电源还是DC/DC电路，每种类型的电源都会以传导或辐射的形式产生宽带干扰，可能导致其他电子设备的运行故障。产生干扰电压的主要原因是，电源产生的开关频率的纹波电流流经输入电容。由于电容的ESR和有限容量，纹波电流引起纹波电压 V_{Ripple} 。

3. 干扰电压的测量

干扰电压可以通过输入滤波器改善，滤波器可以减小干扰电压的幅值，抑制谐波，对降低辐射发射至可接受水平也有重要作用。例如通用标准 EN61000-6-4 规定频率 150kHz处峰值限值为79 dB μ V。现在市场上有众多现成的滤波器产品，卖点都是高插入损耗，比如插入损耗标称在70dB到100dB之间。然而现实中很少能达到这个效果，因为这些滤波器是在 50 Ω 的系统中测量的，实际电源阻抗会偏离这个值。因此建议滤波器单独设计。首先需要明确干扰类型，是差模噪声还是共模噪声。在电源输入端采用滤波器来抑制差模噪声，在产品开发阶段，可以使用 LISN（线路阻抗稳定网络）和频谱仪测量干扰电压。图 1 展示了这种测量方法的装置，可以测量纯差模噪声，因为参考电位是电源的地，而非“大地”。

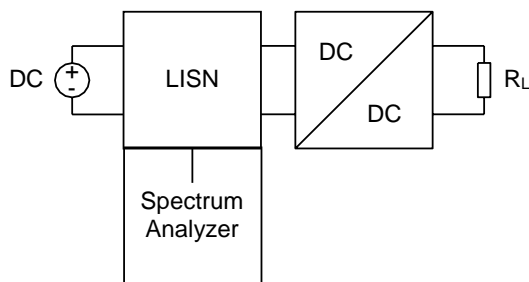


图 1: 测量装置

DC/DC电源滤波器的优化

LISN 的一个作用是将干扰电压解耦出来，同时其内部的低通滤波器可以防止其它连接到公共电源的设备发生故障。图2是测得的 DC/DC降压电源噪音 V_{noise} (dB μ V)，开关频率为 2MHz，输入电压为10V，输入电流 0.7A。

应用指南

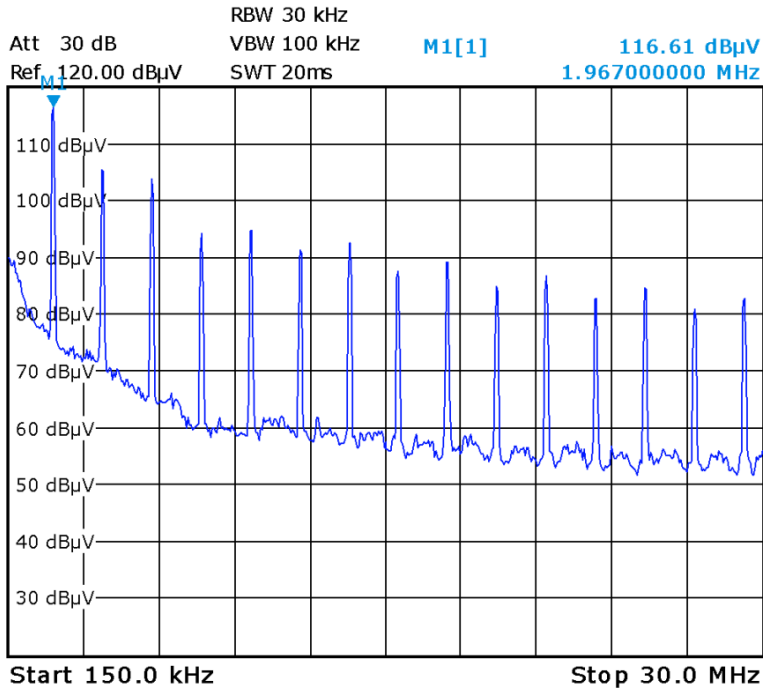


图 2: 无输入滤波器时的干扰电压

$$= 20 \log \left(\frac{V_{\text{Ripple}}}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB}\mu\text{V}$$

干扰电压 V_{noise} 以分贝形式定义:

$$V_{\text{noise}}$$

可以很明显看到开关频率的基频分量。谐波幅值随着频率升高而降低，但直到较高的MHz频段仍高于限值。最高幅值是基频处的116dB μ V。据此可以反算得到纹波电压 V_{Ripple} :

$$V_{\text{Ripple}} = \left(10^{\frac{V_{\text{noise}}}{20}} \right) \cdot 1 \mu\text{V}$$

V_{Ripple} 为631mV，显然需要使用滤波器。

应用指南



DC/DC电源滤波器的优化

4. 电源控制环路的影响

接下来我们将研究安装到上述降压电源的输入滤波器。此滤波器由一个电感（WE-PD2，非屏蔽， $L = 1 \mu\text{H}$ ， $\text{SRF} = 110 \text{ MHz}$ ， $R_{\text{DC}} = 49 \text{ m}\Omega$ ）和一个电容（FK 系列，铝电解， $C = 10 \mu\text{F}$ ， $U = 35 \text{ VDC}$ ）构成。将此滤波器置于电源的输入电容之前，滤波器的布置如图 3 所示。

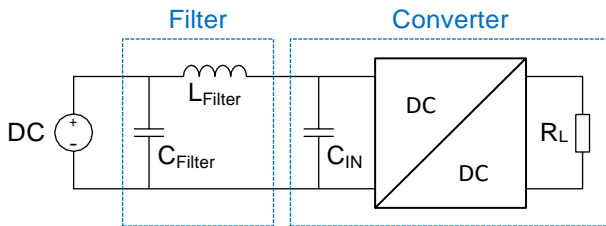


图 3: 输入滤波器的布置

首先应选择自谐振频率 (SRF) 较高的电感，避免由于寄生电容的影响，电感在较高频率失去滤波能力。考虑到磁芯饱和，电感的饱和电流应当至少比输入电流的峰值高出 10%。此外 R_{DC} 尽可能低，以最大限度减小压降。电感值的选择应确保滤波器截止频率是开关频率的十分之一，因而远低于控制环的穿越频率，达到削弱大部分基波和谐波的目的。在截止频率处，滤波器的品质因数最高，会产生谐振和过冲，因此需要衰减。滤波器的截止频率和控制环的穿越频率之间必须保持一段安全距离，确保控制环稳定。如果两个频率重叠，电源输入端会发生振荡，控制环将无法对输入电压的变化做出快速响应，这是由于开关电源的负输入阻抗特性。电源的输入功率等于输出功率，如果工作条件恒定，则输入电流 I_{in} 会随着输入电压 U_{in} 的增大而减小。输入阻抗可通过以下公式近似计算：

$$Z_{\text{in}}(\text{DC}) = -\frac{V_{\text{in}}^2}{V_{\text{in}} \cdot I_{\text{in}}}$$

这是大信号分析。由于控制环有频率特性，输入阻抗动态变化，因此需要进行小信号分析。一个值得推荐的实用技巧是将滤波器的阻抗 Z_{filter} 保持远低于电源的输入阻抗 Z_{in} ，即：

$$Z_{\text{filter}} \ll Z_{\text{in}}$$

电感通常不会直接引起辐射，因此可以选择 WE-PD2 等非屏蔽类型。

应用指南



DC/DC电源滤波器的优化

在选择滤波器电容时，应确保额定电压比电源电压高出约25%，因为电容需要考虑电压降额。随着电压的增大，电容值会减小，滤波器效果也会变差。为了确保高的自谐振频率，最好使用ESL较低的器件。作为例外，ESR可以较高，以降低滤波器的品质因数Q，减小滤波器的谐振过冲。建议选择较大的电容和较小的电感，因为大感量电感的自谐振频率较低。滤波器中推荐使用电解电容，其ESR较高。为了避免阻抗不匹配，合适的滤波器结构很重要。由于输入端电容的存在，电源的输入阻抗小，因此滤波器电感紧邻输入电容放置，滤波器电容放在电感外侧。滤波电感可阻挡纹波电流，滤波电容则可旁路干扰电压。图4是使用输入滤波器后的噪音测量结果。

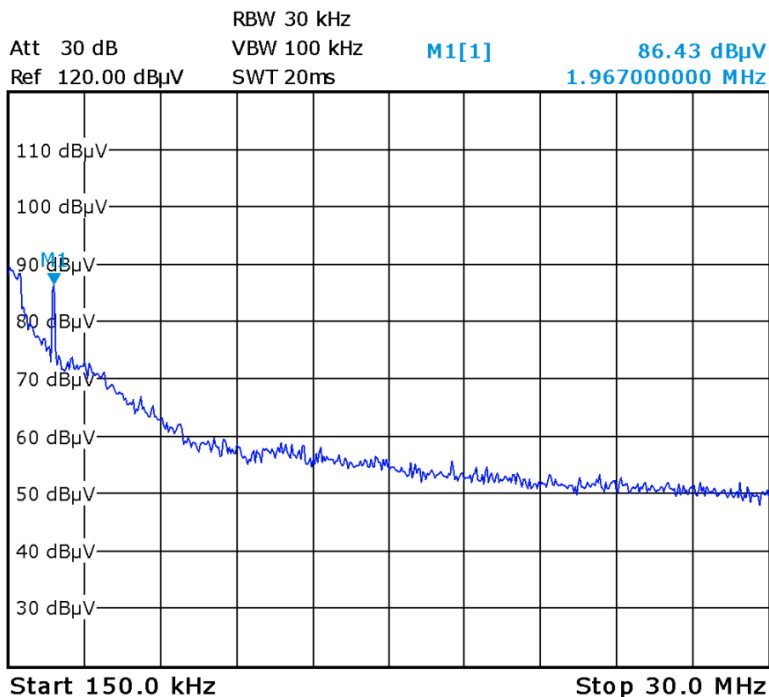


图 4：输入滤波器的效果

使用WE-PD2电感，在1 μ H的低感值和10 μ F的电容搭配下，取得了良好的效果。基频处幅值衰减了30dB。高次谐波消失在背景噪音中。增大滤波器电感WE-PD2的感值，可以更大地衰减基频和整个低频段噪音，实现高于40dB的插损是可能的。

应用指南



DC/DC电源滤波器的优化

5. 设计技巧总结

输入滤波器必不可少，在产品开发阶段就应考虑。LC滤波器可用于抑制DC/DC电路的差模噪音，降至可接受的水平。设计良好的滤波器，器件选择得当，可以在保持环路稳定的同时实现高插入损耗。

应用指南



DC/DC电源滤波器的优化

重要提示

本应用指南基于我们在这些领域积累的知识和经验，仅可作为一般性的指导，不应被解释为Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG 对客户应用的适用性承诺。本应用指南的内容如有更改，恕不另行通知。未经书面许可，不得复制或拷贝本文档及其部分内容，也不得将本文档内容传播给第三方或用于任何未经授权的目的。

WürthElektronik eiSos GmbH&Co. KG 及其子公司和附属机构 (WE) 不为任何类型的应用协助承担责任。客户可以在应用和设计利用 WE 的协助和产品建议。WE 产品在客户特定设计中的适用性和使用始终由客户全权负责。因此，客户应在适当情况下进行评估和调查，并且决定具有产品规格书所述之特定产品特性的设备是否有效并适合于相应的客户应用。

技术规格会在产品的最新数据表中给出。客户应使用数据表，并注意确认数据表是否为最新版本。最新数据表可从 www.we-online.com 下载。客户应严格遵守产品特定的所有说明、注意事项和警告。WE 保留对其产品和服务进行校正、修改、增强、改进和其他更改的权利。

WE 不保证也不声明根据任何专利权、版权、屏蔽作品权或其他与使用我们产品或服务的任何组合、机器或过程有关的知识产权授予任何明示或暗示的许可。WE 发布的有关第三方产品或服务的信息不构成 WE 授予使用此类产品或服务的许可，也不构成 WE 为其提供担保和背书。

WE 产品未被授权用于安全关键型应用，以及根据合理预期产品故障会导致严重人身伤害或死亡的应用。此外，WE 产品既不设计用于，也不适用于军事、航空航天、核控制、潜艇、运输（汽车控制、火车控制、船舶控制）、交通信号、防灾、医疗、公共信息网络等领域。客户应在设计阶段开始前将此类使用的意图告知 WE。对于某些需要极高安全水平且电子元件的故障或失效可能会危及人员生命或健康的客户应用，客户必须确保其具有与其应用的安全和监管后果相关的所有必要专业知识。客户确认并同意，尽管 WE 可能提供与应用相关的信息或支持，客户仍须对与其产品有关的所有法律要求、监管要求和安全要求，以及 WE 产品在此类安全关键型应用中的使用全权负责。客户应负责赔偿在这些安全关键型应用中使用 WE 产品而致使WE遭受的任何损害。

一些有用的链接

应用说明：

<http://www.we-online.com/app-notes>

REDEXPERT 设计工具：

<http://www.we-online.com/redexpert>

工具箱：

<http://www.we-online.com/toolbox>

产品目录：

<http://katalog.we-online.de/en/>

联系方式

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str.1, 74638 Waldenburg, Germany

电话：+49 (0) 7942 / 945 – 0

电子邮件：appnotes@we-online.de

网站：<http://www.we-online.com>