

电源输入端口的电磁兼容设计

白建雄

(深圳市中兴通讯股份有限公司西安研究所, 陕西 西安 710065)

摘要:分析了开关电源输入端 EMC 设计的原理,并在一些实践基础上提出了具体的抑制 EMI 的措施。

关键词:电磁兼容;电磁干扰;共模干扰;差模干扰;插入损耗;失配

1 引言

开关电源一般都采用脉冲宽度调制(PWM)技术,其特点是频率高,效率高,功率密度高,可靠性高。然而,由于其开关器件工作在高频通断状态,高频的快速瞬变过程本身就是一电磁骚扰(EMD)源,它产生的 EMI 信号有很宽的频率范围,又有一定的幅度。若把这种电源直接用于数字设备,则设备产生的 EMI 信号会变得更加强烈和复杂。

本文从开关电源的工作原理出发,探讨抑制传导干扰的 EMI 滤波器的设计以及对辐射 EMI 的抑制。

2 开关电源产生 EMI 的机理

数字设备中的逻辑关系是用脉冲信号来表示的。为便于分析,把这种脉冲信号适当简化,用图 1 所示的脉冲串表示。根据傅里叶级数展开的方法,可用式(1)计算出信号所有各次谐波的电平。

$$A_n = 2V_0 \frac{t_w}{T} \frac{\sin \frac{n\pi t_w}{T}}{\frac{n\pi t_w}{T}} \frac{\sin \frac{n\pi t_r}{T}}{\frac{n\pi t_r}{T}} \quad (1)$$

$$n=1, 2, 3, \dots$$

式中: A_n 为脉冲中第 n 次谐波的电平;

V_0 为脉冲的电平;

T 为脉冲串的周期;

t_w 为脉冲宽度;

t_r 为脉冲的上升时间和下降时间。

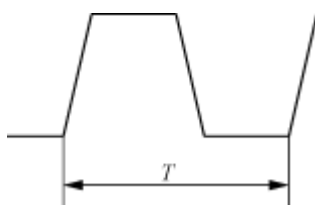


图1 脉冲信号

开关电源具有各式各样的电路形式，但它们的核心部分都是一个高电压、大电流的受控脉冲信号源。假定某PWM开关电源脉冲信号的主要参数为： $V_0=500V$ ， $T=2\times 10^{-5}s$ ， $t_w=10^{-5}s$ ， $t_r=0.4\times 10^{-6}s$ ，则其谐波电平如图2所示。

图2中开关电源内脉冲信号产生的谐波电平，对于其他电子设备来说即是EMI信号，这些谐波电平可以从对电源线的传导干扰（频率范围为0.15~30MHz）和电场辐射干扰（频率范围为30~1000MHz）的测量中反映出来。

在图2中，基波电平约160dB μ V，500MHz约30dB μ V，所以，要把开关电源的EMI电平都控制在标准规定的限值内，是有一定难度的。

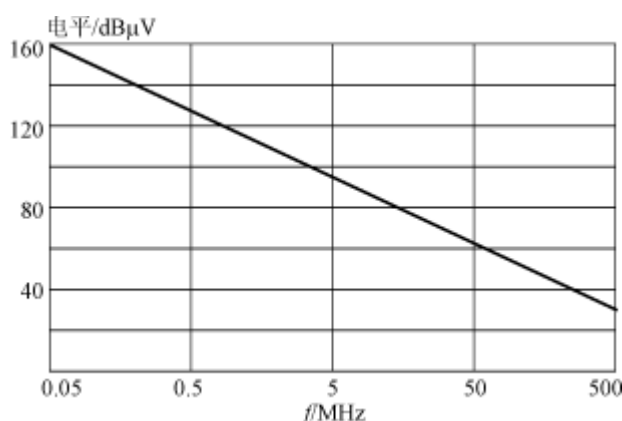


图2 开关电源的谐波电平

2 开关电源 EMI 滤波器的电路设计

当开关电源的谐波电平在低频段（频率范围0.15~30MHz）表现在电源线上时，称之为传导干扰。要抑制传导干扰相对比较容易，只要使用适当的EMI滤波器，就能将其在电源线上的EMI信号电平抑制在相关标准规定的限值内。

要使EMI滤波器对EMI信号有最佳的衰减性能，则滤波器阻抗应与电源阻抗失配，失配越厉害，实现的衰减越理想，得到的插入损耗特性就越好。也就是说，如果噪音源内阻是低阻抗的，则与之对接的EMI滤波器的输入阻抗应该是高阻抗（如电感量很大的串联电感）；如果噪音源内阻是高阻抗的，则EMI滤波器的输入阻抗应该是低阻抗（如容量很大的并联电容）。这个原则也是设计抑制开关电源EMI滤波器必须遵循的。

几乎所有设备的传导干扰都包含共模噪音和差模噪音，开关电源也不例外。共模干扰是由于载流导体与大地之间的电位差产生的，其特点是两条线上的杂讯电压是同电位同向的；而差模干扰则是由于载流导体之间的电位差产生的，其特点是两条线上的杂讯电压是同电位反向的。通常，线路上干扰电压的这两种分量是同时存在的。由于线路阻抗的不平衡，两种分量在传输中会互相转变，情况十分复杂。典型的 EMI 滤波器包含了共模杂讯和差模杂讯两部分的抑制电路，如图 3 所示。

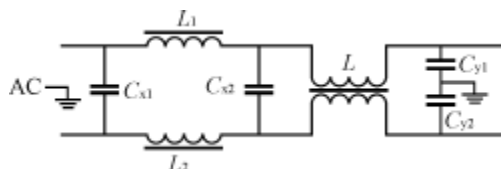


图 3 电源滤波器

图中：差模抑制电容 C_{x1}, C_{x2} $0.1 \sim 0.47\mu\text{F}$ ；

差模抑制电感 L_1, L_2 $100 \sim 130\mu\text{H}$ ；

共模抑制电容 C_{y1}, C_{y2} $<10000\text{pF}$ ；

共模抑制电感 L $15 \sim 25\text{mH}$ 。

设计时，必须使共模滤波电路和差模滤波电路的谐振频率明显低于开关电源的工作频率，一般要低于 10kHz ，即

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} < 10\text{kHz}$$

在实际使用中，由于设备所产生的共模和差模的成分不一样，可适当增加或减少滤波元件。具体电路的调整一般要经过 EMI 试验后才能有满意的结果，安装滤波电路时一定要保证接地良好，并且输入端和输出端要良好隔离，否则，起不到滤波的效果。

开关电源所产生的干扰以共模干扰为主，在设计滤波电路时可尝试去掉差模电感，再增加一级共模滤波电感。常采用如图 4 所示的滤波电路，可使开关电源的传导干扰下降了近 30dB ，比 CISOR22 标准的限值低了近 6dB 以上。

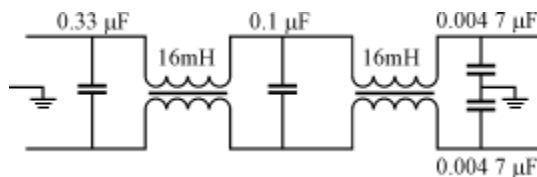


图 4 电源滤波器

还有一个设计原则是不要过于追求滤波效果而造成成本过高，只要达到 EMC 标准的限值

要求并有一定的余量（一般可控制在 6dB 左右）即可。

3 辐射 EMI 的抑制措施

如前所述，开关电源是一个很强的骚扰源，它来源于开关器件的高频通断和输出整流二极管反向恢复。很强的电磁骚扰信号通过空间辐射和电源线的传导而干扰邻近的敏感设备。除了功率开关管和高频整流二极管外，产生辐射干扰的主要元器件还有脉冲变压器及滤波电感等。

虽然，功率开关管的快速通断给开关电源带来了更高的效益，但是，也带来了更强的高频辐射。要降低辐射干扰，可应用电压缓冲电路，如在开关管两端并联 RCD 缓冲电路，或电流缓冲电路，如在开关管的集电极上串联 $20 \sim 80\mu\text{H}$ 的电感。电感在功率开关管导通时能避免集电极电流突然增大，同时也可以减少整流电路中冲击电流的影响。

功率开关管的集电极是一个强干扰源，开关管的散热片应接到开关管的发射极上，以确保集电极与散热片之间由于分布电容而产生的电流流入主电路中。为减少散热片和机壳的分布电容，散热片应尽量远离机壳，如有条件的话，可采用有屏蔽措施的开关管散热片。

整流二极管应采用恢复电荷小，且反向恢复时间短的，如肖特基管，最好是选用反向恢复呈软特性的。另外在肖特基管两端套磁珠和并联 RC 吸收网络均可减少干扰，电阻、电容的取值可为几 Ω 和数千 pF，电容引线应尽可能短，以减少引线电感。实际使用中一般采用具有软恢复特性的整流二极管，并在二极管两端并接小电容来消除电路的寄生振荡。

负载电流越大，续流结束时流经整流二极管的电流也越大，二极管反向恢复的时间也越长，则尖峰电流的影响也越大。采用多个整流二极管并联来分担负载电流，可以降低短路尖峰电流的影响。

开关电源必须屏蔽，采用模块式全密封结构，建议用 1mm 以上厚度的镀锌钢板，屏蔽层必须良好接地。在高频脉冲变压器初、次级之间加一屏蔽层并接地，可以抑制干扰的电场耦合。将高频脉冲变压器、输出滤波电感等磁性元件加上屏蔽罩，可以将磁力线限制在磁阻小的屏蔽体内。

根据以上设计思路，对辐射干扰超过标准限值 20dB 左右的某开关电源，采用了一些在实验室容易实现的措施，进行了如下的改进：

- 在所有整流二极管两端并 470pF 电容；
- 在开关管 G 极的输入端并 50pF 电容，与原有的 39Ω 电阻形成一 RC 低通滤波器；
- 在各输出滤波电容（电解电容）上并一 $0.01\mu\text{F}$ 电容；
- 在整流二极管管脚上套一小磁珠；
- 改善屏蔽体的接地。

经过上述改进后，该电源就可以通过辐射干扰测试的限值要求。

4 结语

随着电子产品的电磁兼容性日益受到重视，抑制开关电源的 EMI，提高电子产品的质量，使之符合有关标准或规范，已成为电子产品设计者越来越关注的问题。本文是在分析干扰产生机理、以及大量实践的基础上，提出了行之有效的抑制措施。

作者简介

白建雄（1971 - ），男，大连理工大学电子工程系无线电技术专业毕业，现在中兴通讯公司西安研究所工作，全面负责电源研制工作。