

文章编号:1001-5078(2007)01-0079-03

# 开关电源电磁干扰滤波器设计

李 鹏,何文忠

(华北光电技术研究所,北京 100015)

**摘 要:**文章首先分析了开关电源电磁干扰问题产生的原因及种类,然后深入分析了EMI滤波器的设计原理,最后用实例验证了理论的正确性。

**关键词:**电磁干扰;滤波器;开关电源

**中图分类号:**TN713 **文献标识码:**B

## Research on the EMI Filter of the Switching Mode Power Supply

LI Peng, HE Wen-zhong

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:**In this paper, first of all, the category and causes of the switching mode power supply EMI are analyzed. Second, the theory of EMI filter is analyzed. The end, there is a example to show the effect of the EMI filter.

**Key words:**EMI;filter;the switching mode power supply

### 1 引言

开关电源的特点是频率高、效率高、功率密度高和可靠性高。然而由于其开关器件工作在高频通断状态,使得电磁干扰(EMI)非常严重。

防电磁干扰主要有三项措施,即屏蔽、滤波和接地。往往单纯采用屏蔽不能提供完整的电磁干扰防护,唯一的措施就是加滤波器,切断电磁干扰沿信号线或电源线传播的路径,与屏蔽共同构成完美的电磁干扰防护。

### 2 开关电源 EMI 的产生机理

开关电源产生的干扰,按噪声干扰源种类来分,可分为尖峰干扰和谐波干扰两种;若按耦合通路来分,可分为传导干扰和辐射干扰两种。现在按噪声干扰源来分别说明:

(1)开关管。当开关管流过大的脉冲电流时,一般会形成矩形波,该波形产生的短路电流流经的导线及这种脉冲电流流经的变压器和电感产生的电磁场都可形成噪声源;

(2)高频变压器。当原来导通的开关管关断时,高频变压器产生关断电压尖峰,从而形成传导干

扰;

(3)电容、电感器和导线。开关电源由于工作在较高频率,会使低频元器件特性发生变化,由此产生噪声;

(4)其他原因,例如外部输入电源的干扰,以及电源本身工作环境的影响。

### 3 传导 EMI 抑制

#### 3.1 传导 EMI 简介

当开关电源的谐波电平在高频段(频率范围30MHz以上)时,表现为辐射干扰,而当开关电源的谐波电平在低频段(频率范围0.15~30MHz)表现为传导干扰。

传导干扰电流按照其流动路径可以分为两类:一类是差模干扰电流,另一类是共模干扰电流。

开关电源的差模干扰和共模干扰分布在不同的频段:

**作者简介:**李 鹏(1983-),男,硕士研究生,主要从事红外图像处理研究。

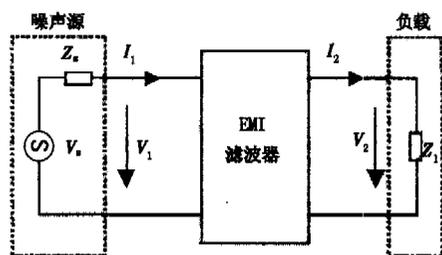
**收稿日期:**2006-08-29; **修订日期:**2006-09-05

在截止频率范围内大致可分成 3 个频段:在 0.5MHz(也有人认为在 0.1MHz)以下,主要是以抑制差模干扰为主;在 0.5MHz 至 1MHz(或 0.1MHz 至 1MHz)范围内,差模和共模干扰共存;在 1MHz 至 30MHz 范围内主要是以抑制共模干扰为主<sup>[1]</sup>。

### 3.2 EMI 滤波器设计理论

#### 3.2.1 EMI 滤波器的插入损耗

插入损耗是滤波器重要的技术性能参数之一。设计 EMI 滤波器时考虑的中心问题是,在保证滤波器满足有关标准要求的前提下,实现尽可能高的插入损耗。



$V_s$  为噪声源,  $Z_s$  为噪声源阻抗,  $Z_L$  为噪声的负载阻抗

图 1 未接滤波器时

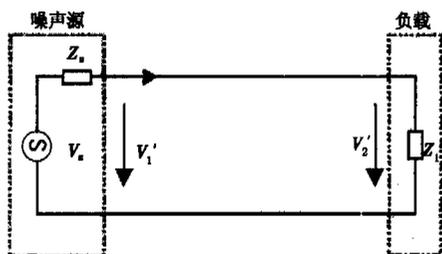


图 2 接入滤波器时

如图 1 和图 2 所示,接入滤波器前后输出电压之比即为插入损耗  $IL$ :

$$IL = V_2'/V_2$$

在分析和设计 EMI 滤波器时,为了方便起见,经常采用参数  $A_{ij}$  对其四端网络特性进行描述,即:

$$V_1 = A_{11}V_2 + A_{12}I_2$$

$$I_1 = A_{21}V_2 + A_{22}I_2$$

由此可以得到插入损耗为:

$$IL = V_2'/V_2 = (A_{11}Z_L + A_{12} + A_{21}Z_s Z_L + A_{22}Z_s) / (Z_s + Z_L)$$

插入损耗要尽可能增大,即尽可能增大信号的反射。如果设电源的输出阻抗和与之端接的滤波器的输入阻抗分别为  $Z_s$  和  $Z_1$ ,噪声源为  $V_s$ ,根据信号传输理论,当  $Z_s \neq Z_1$  时,在滤波器的输入端口会发生反射,反射系数  $P = (Z_s - Z_1)/(Z_s + Z_1)$ ,既  $Z_s$  与  $Z_1$  相差越大,反射系数就越大,插入损耗就越大<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.2 EMI 滤波器阻抗分析

EMI 滤波器主要用于抑制进出设备的电磁干扰,具有双向抑制性。

由 3.2.1 小节的分析可知,要使 EMI 滤波器对 EMI 信号有最佳的衰减效果,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。

根据上述的原理,选用 EMI 滤波器结构应遵循下列原则:

(1) EMI 滤波器的串联电感要接到低阻抗源或低阻抗负载;

(2) EMI 滤波器的并联电容要接到高阻抗源或高阻抗负载。

#### 3.2.3 EMI 滤波器的网络结构研究

开关电源 EMI 滤波器的基本网络结构如图 3 所示。

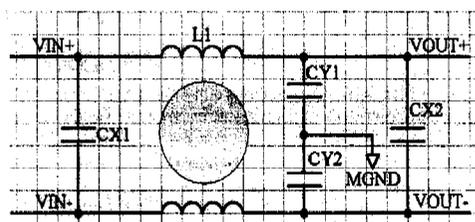


图 3 滤波电路基本结构

图 3 中差模抑制电容为  $CX1$  和  $CX2$ ,共模电感为  $L1$ ,共模抑制电容为  $CY1$  和  $CY2$ 。

滤波器是由电感和电容组成的低通滤波电路所构成。由于干扰信号有差模和共模两种,因此滤波器要对这两种干扰都具有衰减作用。其基本原理为:

(1) 利用电容通高频隔低频的特性,将电源正极、电源负极高频干扰电流导入地线(共模),或将电源正极高频干扰电流导入电源负极(差模);

(2) 利用电感线圈的阻抗特性,将高频干扰电流反射回干扰源。

#### 3.2.4 共模电感分析

##### 3.2.4.1 共模电感工作原理

如图 4 所示,共模电感是在同一个磁环上由绕向相反、匝数相同的两个绕组构成。通常使用环形磁芯,具有漏磁小、效率高等特点。当电流在两个绕组中流过时为一进一出,产生的磁场恰好抵消,使得共模电感对电流不起任何阻碍作用。如果共模噪声电流通过共模电感,这种共模噪声电流是同方向的,流经两个绕组时,产生的磁场同相叠加,使得共模电感对干扰电流呈现出较大的感抗,由此起到了抑制共模干扰的作用<sup>[2]</sup>。

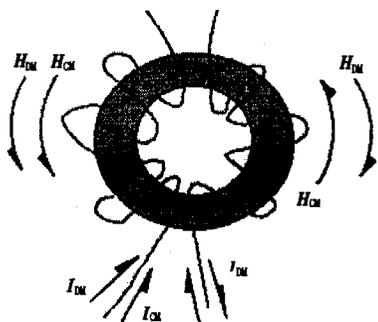


图4 共模电感的基本结构

实际使用中共模电感两个电感绕组由于绕制工艺的问题会存在电感差值,不过这种差值正好被利用作差模电感。所以,一般电路中不再设置独立的差模电感。

共模电感的漏感测量方式如图5所示,将两绕组其中一端连接,由另一端测量电感值,此测量到的感值即是共模电感的漏感量。

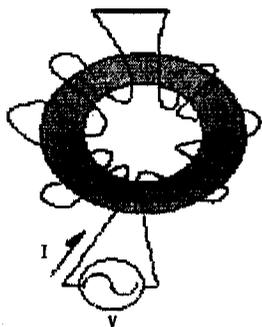


图5 共模电感的漏感测量

### 3.2.4.2 共模电感材料的选择

制作共模电感,选用何种磁芯材料,除了必须注意防止磁芯饱和问题外,还应该考虑到磁芯的恒磁导特性,当电感额定电流较大时,电感量是否减少,减少到什么程度,会不会达到饱和。

在绕制共模电感时,一般采用锰-锌铁氧体、镍-锌铁氧体和微晶磁芯。

### 3.2.4.3 共模电感值的计算

电感值的计算有三种方法,分别介绍如下:

- (1) 已知电感系数  $A_L, L = N^2 \times A_L$ ;
- (2) 已知相对磁导率  $\mu_r, L = N^2 \mu_r \mu_0 A_c / l_m$

其中,真空磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/M$ ;  $l_m$  为磁路的有效长度;  $A_c$  为磁芯的有效截面积;

- (3) 已知工作磁感应强度  $B_w$   
 $L = A_c B_w N / I$

式中,  $I$  为最大电感电流;  $A_c$  为磁芯的有效截面积<sup>[3]</sup>。

## 4 设计实例

### 4.1 滤波电路设计

本例采用的开关电源参数为:输入 24V, 输出

12V, 功率为 25W。

本滤波电路采用电源模块前后各加一级的方式。其中共模电容为 0.01 $\mu$ F, 差模电容为 6800pF, 共模电感采用锰-锌铁氧体, 每路绕 31 匝, 电感量为 3.7mH。

### 4.2 滤波结果

在示波器带宽为 20MHz 时, 测得的滤波前后纹波分别为 50mV 和 5mV, 如图 6 和图 7 所示。

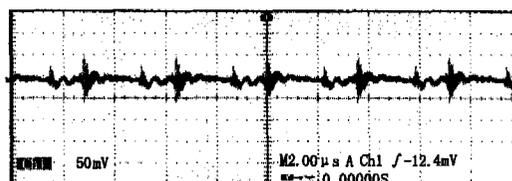


图6 滤波前电源噪声/50mV

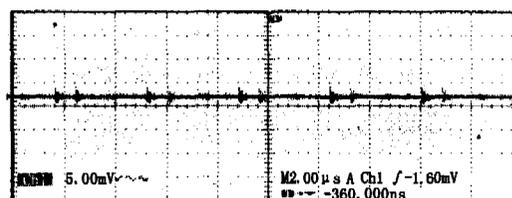


图7 滤波后电源噪声/5mV

注:以上纹波均在 80% 纯阻性负载下测得。

### 4.3 小结

由于 EMI 问题的复杂性和特殊性, 不同型号开关电源的电磁干扰是不一样的, 采用同一种 EMI 滤波器也不可能对所有的开关电源取得同样的滤波效果, 因此我们非常有必要掌握 EMI 滤波器的设计, 以取得较好的滤波效果。

## 5 结语

电磁兼容是一个十分复杂的问题, 在应用开关电源时, 应对电源可能的电磁干扰问题进行充分估计。本文首先对开关电源 EMI 的产生进行了阐述, 然后重点分析了 EMI 滤波器的设计原理, 尤其是对其中起很重要作用的共模电感进行了详细的说明, 最后在上述理论的指导下, 设计了针对某一型号开关电源的 EMI 滤波电路, 并取得了较好的效果。

### 参考文献:

- [1] 凯瑟. 电磁兼容性原理[M]. 肖华庭, 等译. 北京: 电子工业出版社, 1985.
- [2] 吕仁清, 蒋全兴. 电磁兼容性结构设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990.
- [3] 陈穷. 电磁兼容性工程设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.