第 29 卷 第 2 期
2006 年 6 月

电 子 器 件
Chinese Journal of Electron Devices

Vol. 29 No. 2
Jun. 2006

Design and Implementation of EMI-Filter to the Flyback Switching Power Supply

LIU Zheng-qing, ZENG Zhi-gang
(Dept. of Elect. Eng, Hunan Institute of Engineering, Hunan Xiangtan 411101, China)

Abstract: "The green-line" power supply is becoming pre-requisting based on the development of power supply's technology with microminiaturization、high energy efficency、high credibility. Because of the power supply's working identity, the electromagnetic jamming is very serious, power supply is so important that it's credibility determine the credibility of system. Electromagnetic interference filter is bilateral multi-point network without sourse made of inductance and capacitance, decreasing the common-mode and differential-mode jamming to increase the credibility of electronic instrument、computer、the metrial control system. based on studying the principle of EMI-FILTER, giving the design and implementation of EMI-filter to the flyback switching power supply.

Key words: electromagnetic jamming; EMI-filter; common-mode; differential-mode
EEACC: 5230; 1270

EMI 滤波器在反激式开关电源中的研究与实现

刘正青,曾志刚

(湖南工程学院电气与信息工程系,湖南 湘潭 411101)

摘 要:电源技术的发展使得体积小、高效能、高可靠性"绿色电源"成为下一代电源的发展趋势。但开关电源由于本身工作特性使得电磁干扰问题相当突出,电源作为一个电子系统中重要的部件,其可靠性决定了整个系统的可靠性。EMI(Electromagnetic Interference)滤波器是由电感、电容等构成的无源双向多端口网络,能衰减共模和差模干扰,提高电子仪器、计算机和测控系统的抗干扰能力及可靠性。在研究了 EMI 滤波器原理基础上,提出了 EMI 滤波器在反激式开关电源中的设计与实现。

关键词:电磁干扰; EMI 滤波器; 共模; 差模
中图分类号:TN973.3 **文献标识码**:B **文章编号**:1005-9490(2006)02-0462-04

前言:近年来,开关电源以其效率高、体积小、输出稳定性好的优点而迅速发展起来。已经被广泛地应用于工业、国防、家电产品等各个领域,但是,由于开关电源工作过程中的高频率、高 di/dt 和高 dv/dt 使得电磁干扰问题非常突出,如何减小产品的 EMI,使其顺利通过 FCC 或 IEC1000 等 EMC 标准论证测试,已经成为全球开关电源设计师以及电磁兼容(EMC)设计师非常关注的问题[1]。EMI 骚扰通常难以精确描述,滤波器的设计通常是通过反复迭代,计算制作以求逐步逼近设计要求。本文从 EMI 滤波原理入手,分别通过对其共模和差模噪声模型的分析,逐步给出了 EMI 滤波器在反激式开关电源中实现的方法[2]。

1 电磁干扰滤波器的构造原理

开关电源工作时,电磁干扰可分为两大类,一类是电源进线引入的外界干扰,同时开关电源本身又是一干扰源,通过耦合通道对电网、开关电源本身和其它设备产生干扰。因此电磁干扰属于双向干扰信号,电子设备既是噪声干扰的对象,又是一个干扰源。通常以共模和差模干扰对电磁干扰加以分析[3]。

共模干扰是载流体与大地之间的干扰:干扰大小和方向一致,存在于电源任何一相对大地、或中线对大地间,主要是由 $|dv/dt|$ 产生的,$|di/dt|$ 也产生

收稿日期:2005-11-16
作者简介:刘正青(1969-),女,工程师,主要研究方向为电子线路设计与制作,guoxy8820@126.com

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一定的共模骚扰。差模干扰是载流体之间的干扰:干扰大小相等,方向相反,其存在于电源相线与中线及相线与相线之间。

EMI 滤波器应符合电磁兼容性(EMC)的要求,必须是双向射频滤波器,一方面要滤除从交流电源线上引入的外部电磁干扰,另一方面还能避免本身设备向外部发出噪声干扰,以免影响同一电磁环境下其他电子设备的正常工作。EMI 滤波器应对差模、共模干扰都起到抑制作用。

EMI 滤波器是由 L、C 构成的低通器件。为了在阻带内获得最大衰减,滤波器输入端和输出端的阻抗需与之连接的噪声源阻抗相反,即对低阻抗噪声源,滤波器需为高阻抗(大的串联电感);对高阻抗噪声源,滤波器就需为低阻抗(大的并联电容)[4]。对于 EMI 滤波器,这些原则应用于共模和差模中。EMI 滤波器通常置于开关电源与电网相连的前端,是由串联电抗器和并联电容器组成的低通滤波器。如图 1 所示,噪声源等效阻抗为 Z_{source}、电网等效阻抗为 Z_{sink}。滤波器指标(f_{stop} 和 H_{stop})可以由一阶、二阶或三阶低通滤波器实现,滤波器传递函数的计算通常在高频下近似,也就是说对于 n 阶滤波器,忽略所有 ω^k 相关项(当 $k < n$),只取含 ω^n 相关项[2]。

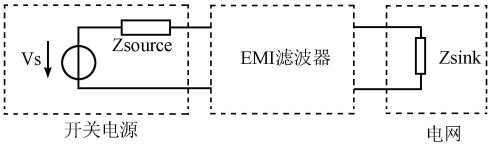


图 1　滤波器设计等效电路

2　EMI 滤波器的研究与实现

(1) 高次谐波及共模滤波处理方案

典型的反激式开关电源如图 1 所示,其全桥整流电路电流为断续状态,输入 U_i 为交流 220 V,经功率二极管整流桥变为直流,经电容 C_a 平滑后变为直流 U_o 作为反激变换器的输入[2]。

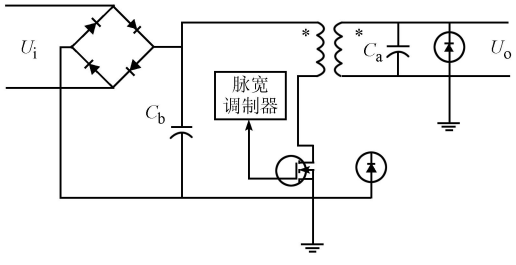


图 1　反激式开关电源

电路中,交流输入电压 U_i 经功率二极管整流桥变为正弦脉动电压,但电容 C_a 电流的波形不是正弦波而是脉冲波,如图 2 所示。

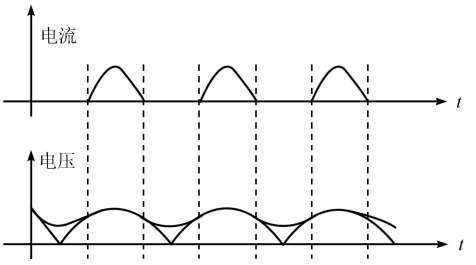


图 2　电容侧的电流电压波形

脉冲电流波含有高次谐波,大量电流谐波分量对电网的谐波污染。同时,脉冲电流波使得电源输入功率因数降低。在电网与整流桥之间插入一共模扼流圈 L_{cm} 来抑制高次谐波,扼流圈 L_{cm} 的等效电感为 L,以电源端作为输入,电网方向作为输出,则等效电路图如图 3 所示。

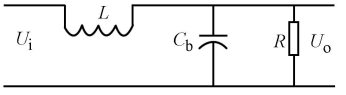


图 3　高次谐波抑制电路

其传递函数为 $G(s) = \dfrac{Uo}{Ui} = \dfrac{1}{S^2LC + S\dfrac{L}{R} + 1}$

幅值为 $A(\omega) = |G(j\omega)|$

$$= \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\frac{\omega L}{R})^2}}$$

相位为 $L(\omega) = 20\lg A(\omega)$

$$= -20\lg\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\frac{\omega L}{R})^2}$$

在低频段 $\omega << \dfrac{1}{LC}$ 时,$A(\omega) \approx 1$,$L(\omega) \approx 0$

在高频段 $\omega >> \dfrac{1}{LC}$ 时,$A(\omega) \approx \dfrac{1}{\omega^2 LC}$,$L(\omega) \approx -40\lg\omega LC$。由此可见,以上 LC 网络组成的低通滤波器,可滤除 $\omega = \dfrac{1}{LC}$ 以上的高次谐波。另外,对开关电源二根进线而言,存在共模干扰和差模干扰,该扼流圈 L1 对电网频率的差模网侧电流呈现极低的阻抗,因而对电网的压降极低;而对电源产生的高频共模噪声,等效阻抗较高,因而可以得到希望的插入损耗,抑制共模干扰[5]。

(2) 差模滤波处理方案

共模干扰存在于电源任何一相对大地、或中线对大地间,差模干扰存在于电源相线与中线及相线与相线之间[6]。由于开关电源的开关频率谐波噪声源阻抗为低阻抗,所以与之相对应的滤波器输出端应是高阻抗串联大电感 L_{dm}。AC 电网火线和零线之间是低阻抗,所以与之对应的滤波器输入端也应

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

是高阻抗串联大电感 L_{dm}。为进一步抑制差模噪声,可以在滤波器输入端并接线间电容 C_{x1},条件是它的阻抗要比 AC 电网火线、零线之间的阻抗还要低得多。开关电源工频谐波噪声源阻抗是高阻抗,所以与之相对应的滤波器输出端应是低阻抗并联大电容 C_{x2}。合成的差模滤波电路参见图 4

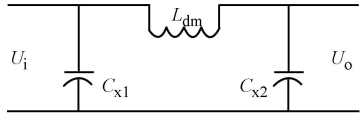


图 4 差模滤波电路

完整的共、差模滤波电路参见图 5

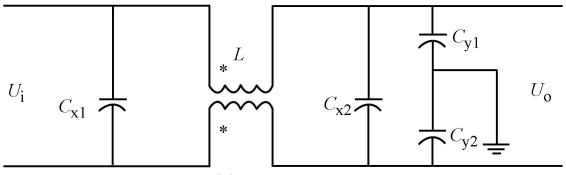


图 5 完整的共、差模滤波电路

EMI 干扰滤波器的外壳应接通大地。电路中 L 是共模电感,在一个磁环上由绕向相反、匝数相同的两个绕组构成,它的两个绕组分别绕在低损耗、高导磁率的铁氧体磁环上,当有共模干扰电流通过时,两个线圈上的磁场就会互相加强,对共模干扰呈现很大的感抗,阻碍其通过。此外,适当增加电感量,可改善低频衰减特性。L 的电感量与 EMI 滤波器的额定电流 I 有关[3],参见表 1。

表 1 额定电流与电感量的相互关系

额定电流(A)	1	3	6	10	12	15
电感量(mH)	8～23	2～4	0.4～0.8	0.2～0.3	0.1～0.15	0.0～0.08

同时,共模电感 L 两个电感绕组因绕制工艺的而存在电感差值,共模电感的差值电感与电容 C_{x1} 及 C_{x2} 构成了一个 ∏型差模干扰滤波器,对差模干扰有较好的衰减。C_{x1} 和 C_{x2} 采用薄膜电容器,容量为 0.01 mF～0.47 μF。C_{x1} 接在两根电源线之间而形成的输入滤波电路,抑制差模干扰,选择主要考虑耐压值,只要满足功率线路的耐压等级,并能承受可预料的电压冲击即可。C_{y3} 和 C_{y4} 是共模电容,亦可并联在输入端,能有效地抑制共模干扰,共模滤波的衰减在低频时主要由电感器 L 起作用,而在高频时大部分由电容 C_{y1} 及 C_{y2} 起作用。由于电容 C_{y1} 和 C_{y2} 接于电源线和地线之间,承受的电压比较高,所以,需要有高耐压、低漏电流特性。仍选用陶瓷电容,容量范围为 2 200 Pf～0.1 μF。为减小漏电流,电容量不得超过 0.1 μF,电容器中点应与大地接通[7]。

3 EMI 滤波的应用

图 6 为 Flyback 反激式电源电路,输入为交流 220 V,经功率二极管整流桥变为直流作为反激变换器的输入,输出为三组直流: + 5 V,15 V,12 V,另外有一辅助电源 5 V,用来给光耦 PC817 供电。控制电路用反馈控制,选用 TOPSwicth 系列的 TOP223Y 芯片。

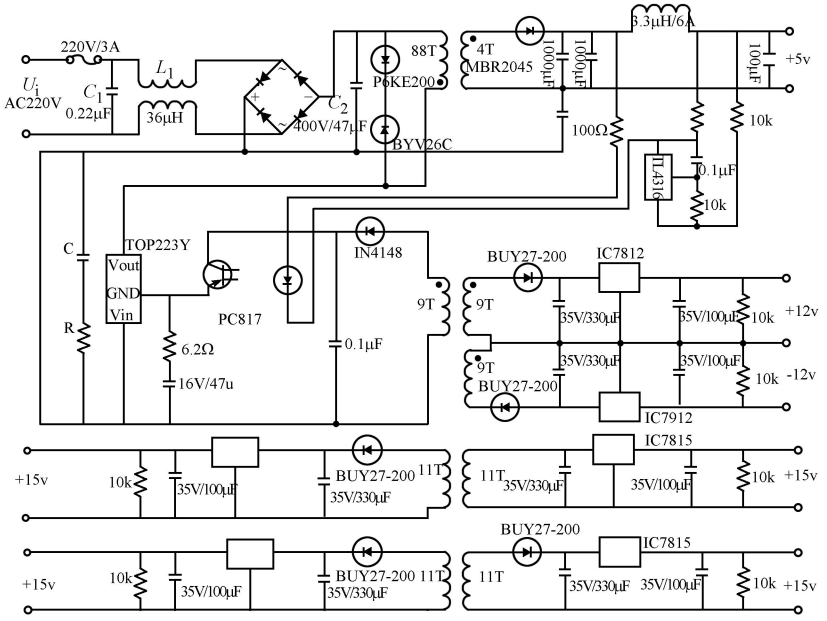


图 6 Flyback 反激式电源电路

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在电路中,采用共模扼流圈 L_1 来抑制高次谐波,扼流圈 L_1 与 C_1 组成低通滤波器,L_1 的等效电感为 L,则电路可以滤除 $\omega_0 = 1/LC_1$ 以上的高次谐波。若将共扼流圈 L_1 与电容 C_1 及 C_2 组成的滤波电路变成图 5 所示的完整的共、差模滤波电路。L 和 C_{x1}、C_{x2} 可除去差模干扰,C_{y3} 和 C_{y3} 可除去共模干扰。选定 $C = C_{y3} = C_{y3}$ 及截止频率 f_0,则可根据 $L_3 = 1/[(2\pi f_0)^2 C]$ 计算 L。该 EMI 滤波器通过实验测量,能将 0.15 MHz～30 MHz 的电磁干扰衰减 50d BμV～70 dBμV。

4　结束语

如今在开关电源体积越来越小,功率密度越来越大的趋势下,EMI/ EMC 问题成为了开关电源稳定性的一个关键因素。EMI 滤波技术是一种抑制尖脉冲干扰的有效措施,可以滤除多种原因产生的传导干扰,消除干扰源和受扰设备之间的耦合和辐射,切断电磁干扰的传播途径。EMI 滤波器从电磁干扰的传播途径出发来抑制干扰,EMI 电源滤波器是电子设备设计工程师控制传导电磁干扰和辐射电磁干扰的首选工具[8]。开关电源的 EMI 抑制技术在开关电源设计中占有很重要的位置。产生开关电源电磁干扰的因素还很多,抑制电磁干扰还有大量的工作。全面抑制开关电源的各种噪声会使开关电源得到更广泛的应用。

参考文献:

[1] 康希荣. 通信开关电源的电磁兼容性[J]. 电源技术应用,2002.

[2] 魏应冬. 开关电源 EMI 滤波器原理与设计研究[J]. 电源技术应用,2005.

[3] 沙占友. 新编实用数字化测量技术[M]. 国防工业出版社,1998,1.

[4] 林先放. 开关电源的抗干扰问题[J]. 电源技术应用,2000,8.

[5] 刘栋良. 开关电源电磁干扰分析及其抑制[J]. 电源技术应用,2004,6.

[6] 钱照明. 电磁兼容设计基础及抗干扰抑制技术[M]. 浙江大学出版社,2000.

[7] 王凡,王志强. 开关电源电磁干扰分析及抑制[J]. 电源技术应用 2004,17.

[8] 李金,粟梅. 开关电源直流 EMI 滤波器的设计及实现[J]. 电源技术应用,2004,11.

(上接第 461 页)

由于显示屏幕较多,在不同的屏幕按键的作用可能是不同,这里用屏层号来散转程序,不同的屏幕对应不同的子程序,也可能在几个屏幕,某个按键功能是相似的,可以通过调用同一个子程序来简化。下面是以确定键为例的 MSP430 的汇编部分程序。

```
CR_K:   ;确定键处理子程序
    MOV.B   &RM_PICNO,  R13   ;取出屏层号
    CALL    ENTER(R13)        ;执行对应的子程序
    RET     ;返回
    ENTER:  ;11 个屏幕下的确定键的 11 个子程序
    DW CR_1, CR_2, CR_3, CR_4, CR_5
    DW CR_6, CR_7, CR_8, CR_9, CR_10, CR_11
CR_1: ……   ;执行对应命令
    RET     ;返回
CR_2:       ;如果按键无效,直接返回
    RET
    ……
```

3　结束语

在流量计系统里采用液晶模块很好地改善了人机交互界面,流量计的大量的信息通过多层屏幕的设计得到很好地传达,而通过按键和菜单项的选择用户可以很方便操作系统,在商业化的流量计中使用非常适合。

参考文献:

[1] 阮洪富,朱善安. 液晶模块在称重控制系统中的应用及菜单的实现[J]. 机电工程,2004,21(1):45-48.

[2] 陈晓英,陈骁峰. 利用单片机实现液晶汉字显示方法的研究[J]. 辽宁工学院学报. 2001,21(3).

[3] 孟军,温作晓,魏同立. 一种带有光标显示的 LCD 驱动控制芯片的设计[J]. 电子器件,2004. 27(1):102-106.

[4] 李维醍,郭强. 液晶显示应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2000.

[5] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net