

小功率开关电源传导干扰的分析

陈 群, 张卫强*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:针对便携式小功率开关电源领域中,由于受体积和成本压力限制而无法增加电磁兼容专用滤波器,导致电源电磁兼容性较差的问题,首先分析了开关电源机理和传导干扰信号的种类和来源;然后对“整流滤波电路设计、高频变压器和钳位二极管选型、线路板布局”等方面问题进行了研究,得出了在不增加额外电路的情况下,将传导干扰抑制在标准限值范围的改进措施;最后对一 5 W 的小功率开关电源产品进行整改,将其传导干扰强度降低 11 dBuV 并通过认证。研究表明,该措施对抑制小功率开关电源的传导干扰信号是有效的。

关键词:小功率;开关电源;传导干扰;案例

中图分类号:TM925.06

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)09-0096-04

Study on conduction disturbance of the low-powered switching power supply

CHEN Qun, ZHANG Wei-qiang

(College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The portable low-power switching power supply is not made use of the filters which are designed specially for electromagnetic compatibility since the power supply's small size and low cost, so the power supply is pulled in poor electromagnetic compatibility situations. Aiming at these problems, it was firstly analyzed that the general principle of switching power supply and the signal sources of conducted interference. Then, the research was done in the rectifier filter circuit, the model of high-frequency transformer and clamping diodes and the circuit board layout. Based on the research, the corrective measures were provided to suppress conducted signal without adding additional circuitry, so that the strength of conducted interference signal can be limited under the standard. At last, an example was shown about one product of 5 W switching power supply. The signal intensity was reduced by 11 dBuV and the certificates was gotten. The results indicate that the measures are effective to restrain conducted interference signal of low-power switching power supply.

Key words: low-power; switch power supply; conducted disturbance; examples

0 引 言

20 世纪 90 年代,随着单芯片控制开关电源的问世,开关电源式适配器也以强劲的发展势头超越了工频变压器式适配器。这个现象在充电电池用的便携式充电器领域更是明显的得以体现。虽然开关电源的电磁兼容性很差,但是因为其具有体积小、质量轻、效率高、集成度大、性价比高、外围电路简单等优点,仍然被工程师们所青睐^[1-2]。随之而来也产生了许多电磁兼

容(EMC)问题。针对这些问题,工程师们设计了很多解决 EMC 干扰的专用滤波器。而在便携式充电器领域,虽然 EMC 滤波器能有效地解决小功率开关电源的传导干扰问题,但是因产品结构仅只能容纳小功率开关电源本身,同时企业也无法承受增添 EMC 滤波器所带来的成本上的增加,所以要解决小功率开关电源的传导干扰就只能从电源内部开始。因此寻求一些不采用 EMC 专用滤波器又能改善电源电磁兼容性能的措施有着重要的意义。

收稿日期:2010-01-07

作者简介:陈 群(1984-),男,福建莆田人,主要从事嵌入式设计 and 应用方面的研究. E-mail: chenqun035@163.com

通信联系人:张卫强,男,副教授,硕士生导师. E-mail: zhangweiqiang@nbu.edu.cn

通常分析 EMC 问题都要从干扰源、耦合路径及敏感设备上寻找解决的方法,但是在电源领域,耦合路径与敏感设备都是未知的,所以只能通过分析干扰源(即电源)来解决^[3]。本研究通过分析小功率开关电源产品的通用机理和干扰信号的来源,寻求一些能够有效抑制小功率电源传导干扰信号的通用措施。

1 开关电源的传导干扰分析

在国际电磁认证方面以及国家 3C 认证中,电源设备的传导干扰是一个必测的指令程序。尤其是对小功率电源适配器的测试,由于功率较小,辐射干扰信号的强度较弱,不会超过标准限值,因此测试结果几乎仅取决于传导干扰幅值。

1.1 小功率开关电源的通用机理分析

目前,小功率开关电源的基本原理按电路结构分为串并联式和直流变换式,相关的框图如图 1 所示。

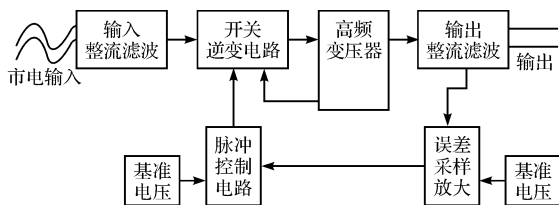


图1 开关电源原理框图

市电经过一次整流滤波后变成直流电压,送到开关逆变电路。逆变电路将直流变成几百赫兹到几千赫兹的高频矩形波,高频矩形波通过高频变压器耦合到二次线圈以得到小电压交流电,此交流电经过二次整流滤波后输出以驱动负载。同时,该输出经过误差放大电路采样取得的输出电压值又回馈给脉冲控制电路。脉冲控制电路将回馈的电压值与基准电压值比对后得出一个脉冲占空比的相应改变动作。在开关动作过程中会产生很强的噪声,它们通过电源线以共模或者差模方式向外传导。此外,开关电源也是一个敏感的器件,因此由电网侵入的外部噪声传递到内部电子电路过程中也会产生干扰。所以在设计一款开关电源之初就应该考虑到电磁干扰。

1.2 传导干扰信号分析

传导干扰信号主要分为:差模信号和共模信号。

差模传导干扰信号是由开关电源和交流输入之间的环流所造成的。这意味着差模电流将经过电源进线流入开关电源,经过中线流出开关电源进入电网。在开关电源中,大部分的差模传导干扰是由功率晶体管集电极电流波形的基波和谐波造成的。

共模传导干扰信号是由共模电流造成的。共模电流,即同时在相线和中线上流动的相位相同、幅度相等的电流,其并不在交流电源中流通,也不在电源输入之间形成环流。共模传导一般起始于开关芯片或功率管的外壳,经过其与地的寄生电容耦合,再由高频导纳和输入电源线返回^[4-5]。

2 抑制传导干扰措施

本研究先对影响电源传导干扰的主要电路进行分析,再提出针对整流电路设计、高频变压器选择、钳位二极管选择以及线路板布局等方面问题的改进措施。

2.1 整流电路滤波器

在开关电源中,工频交流电流经过整流桥后,不再是单一频率点的交流电流,而是单向的脉动直流电流,其波形如图 2 所示,利用傅里叶变换可得:

$$I = I_m \left[\frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos(2\omega t) - \frac{4}{15\pi} \cos(4\omega t) - \dots \right] \quad (1)$$

式中 I_m —峰值电流。

从上式可以看出, I 除了一直流分量之外,还包含一系列的高频谐波的交流分量^[6-7](如图 2 所示波形)。这样不但影响了电源线上的电流,并使电流发生畸变,同时也产生射频干扰。

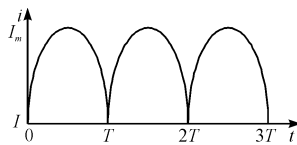


图2 整流后电流示意图

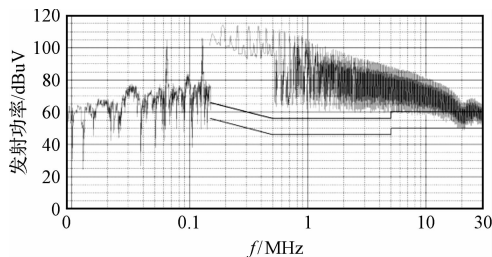


图3 缺少一次整流滤波电路测试结果

缺少一次整流滤波电路的测试结果如图 3 所示,从图 3 可以看出,这个超标的频率点不是单一的而是覆盖了整个频段。为了滤除这些干扰,将电流的畸变减小到最小,就需要在整流过后增加一级滤波电路。其中以 LC-II 型滤波电路在小功率电源中最为常用。该滤波电路既可以抑制干扰信号的共模成分,也可以抑制干扰信号的差模成分。

2.2 高频变压器的选择

一个小功率开关电源最关键的部件就是高频变压

器。它在完成电平变换、电气隔离的同时,由于本身的电感结构,会带来大量的高次谐波。它的漏感也是形成尖峰干扰的重要原因。脉冲宽度调制开关电源的工作频率通常为 $20\text{ kHz} \sim 400\text{ kHz}$ ^[8]。这样就可以将激励源看成周期性的信号,又由于磁芯的非线性特性及磁芯饱和,谐波将出现在磁场和电流中。这些谐波会极大地增强电磁干扰。抑制其电磁干扰(EMI)干扰的主要措施有:①可以选择形状偏长的变压器磁芯,尽量减少所有绕组的线包层数,从而减小变压器的漏感和绕组本身的分布电容;②将变压器的初级绕组绕在最里层,以便获得最短的每匝线包导线长度,减小初级绕组的分布电容;③功率管的漏级连接初级绕组起始部分,减小开关电源高频变压器电磁噪声发射。

2.3 钳位电路上二极管的选择

在小功率开关电源产品的设计中,对高频变压器原边绕组一般需要在并联的钳位回路里面串联一个快恢复的二极管来保证对原边绕组的充电和放电。同时,该二极管还可以起到抑制三极管或者功率开关管开关过程中出现的电压尖峰,从而抑制了电压尖峰引起电流急剧变化而产生的射频干扰的作用。在为该钳位二极管选型时主要根据可能出现的暂态过电压极性来选用单向极性管或双向极性管。同时,管子的最大钳位电压应低于被保护功率管的耐受水平,而管子的功率通常由抑制暂态过电压时可能吸收的最大功率决定。

2.4 线路板布局

在小功率开关电源中,由于结构的不一样,线路板的外形也是各不一样;同时体积较小,器件选型时对参数的要求较为苛刻。所以对整体的布局要求尽可能地按照电路原理中电流的流向来安排,并使同类元器件的方向尽量保持一致。这样的布局不但有利于电流或信号的流通,同时也便于在生产过程中检查、调试以及检修。而针对变压器体积小,引脚与引脚之间空隙不大,初级和次级的距离较小,在线路板空间允许的情况下,将初级和次级之间的线路板挖空。这样比直接线路板连接会增加爬电距离 $2 \sim 3$ 倍。

2.5 地线回路设计

在小功率开关电源中,功率管的导通和截止瞬间,电压和电流变化尤其剧烈,以至于产生了严重干扰信号。但产品一般不增加屏蔽器件,甚至有些产品的功率管都不加散热片,其产生的热量通过线路板直接散发,其产生的干扰信号幅度明显增加,因此更要合理处理好地线回路的设计。合理的地线回路主要是通过对电流流向的分析来选择,依据有:①地线中的电流是否

通过了与此电流无关的其他电路或导线;②有没有其他器件或电路中的电流流入了该电路的地线。同时,因小功率的电源功率较小,一般考虑以单点接地为主要设计思路。

3 应用案例分析

一镍氢电池充电器产品,额定功率 5 W 。在其出厂前,用实验室设备(人工电源网络为 PMM L2-16A, EMI 接收机为 PMM9010)对其进行预测试,采用的测试标准为 GB55014^[9],其结果如图 4 所示。

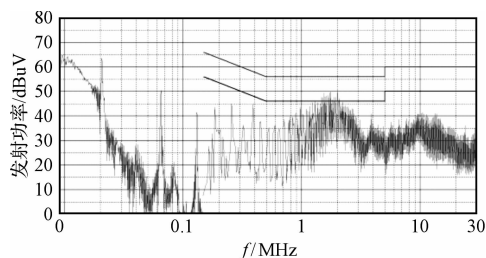


图 4 预测试结果

从图 4 中可以看出在 2 MHz 频率点附近最大超出为 5 dBuV 。为保证能够顺利通过认证机构的实验室测试,一般要求预测试结果比标准限制低 2 dBuV , 希望尽量能够比标准限值低 6 dBuV 。所以从图 4 可知该产品的预测试结果并不理想。初步分析测试图,可能性最大的原因是开关管工作时产生的干扰把 2 MHz 频率点附近的噪声电平底部悬空,从而把传导干扰的电平抬高。而在传导发射测试中, $1\text{ MHz} \sim 2\text{ MHz}$ 的频率信号干扰是由共模电流产生的占主要分量^[10]。所以初步定性为电流回路对参考地形成的干扰信号。为了能够一次性解决问题以达到标准限值要求,把可能出现问题的地方都加以改进,本研究提出了解决方案:①按照上述措施对线路板进行重新布局,原始布局如图 5(a) 所示,图中布局虽然按照主电流向排布,但缺乏考虑各个子路之间的相互关系。重新布局如图 5(b) 所示,在无法改变 PCB 板的结构下,尽可能地将器件排列整齐,方向一致,同时增大开关管与变压器之间距离。②变压器初级增加并联旁路滤波电容,并联电容值为 $1\text{ }000\text{ pF}/1\text{ kV}$,用来降低干扰信号对共模电流回路产生的影响。

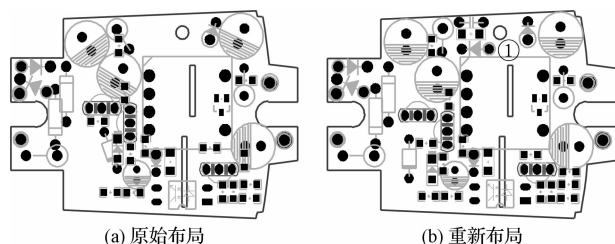


图 5 线路板布局对比

再次测试结果如图6所示。

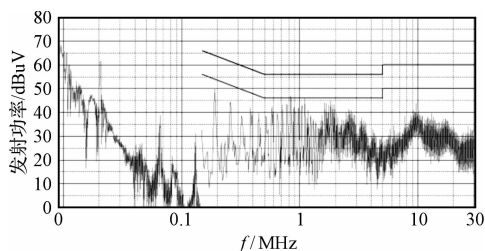
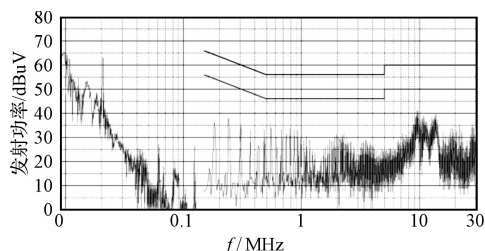


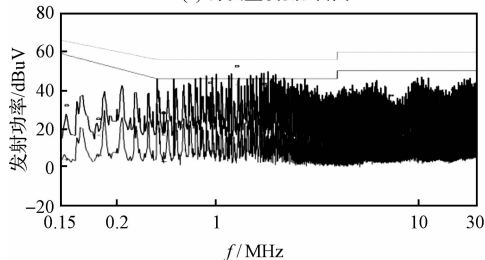
图6 初步整改测试结果

从图6测试的结果分析可知,在2 MHz附近干扰信号幅值相对原先的最大降幅为5 dBuV,但是在0.8 MHz ~ 1 MHz 频率领域干扰幅度有所增加,峰值较为靠近标准限值。虽然预测试的结果已经低于标准限值,但是为了能一次性通过认证就必须留出余量。再次改进具体措施为:①在整流后的 LC-Π 型滤波器的电感上并联 2.2 kΩ 电阻,用以防止滤波电感的磁饱和现象,同时也相当于增加了一条滤波旁路;②将钳位二极管由 1N5819 换成 1N4007,利用二极管自身的压降变大和恢复速度变慢来抑制开关管尖峰引起的电流变化。

最后测试结果如图7(a)所示。



(a) 再次整改测试结果



(b) 认证测试结果

图7 预测试与检测机构测试结果对比图

从预测试的结果图7(a)中可以明显地看出干扰信号幅值都比标准限值都要低6 dBuV 以上,这样基本能确保一次性通过认证机构专用实验室的检测。由宁波进出口检验检疫局 EMC 实验室提供的测试结果如图7(b)所示。该结果表明产品已经顺利通过测试。整改过程一般是在产品设计后进行的,而类似的小功率开关电源产品的设计最好是在产品设计之初就可将电磁兼容问题(主要包括元件选型以及线路板布局和地线回路设计)考虑进去。这样不但缩短产品开发时间,也能有效确保通过认证测试。

4 结束语

本研究通过分析小功率开关电源的通用机理和传导干扰信号的信号源,得出了针对“整流滤波器电路设计、变压器材料和参数的选择、钳位二极管选择以及线路板的布局和地线回路的设计”方面问题的改进措施。同时通过该措施的指导,为一5 W 小功率开关电源产品进行整改,并将其传导干扰信号强度降低了11 dBuV而且通过了认证。随着时间的推移,高频小功率开关电源会更多地渗透到各种电子电器领域,由此带来的电磁干扰问题也会越来越突出。所以抑制传导干扰将成为小功率开关电源电磁兼容性问题中一个比较重要的方面。如果能在产品设计之初,能够将抑制电磁干扰方法考虑进去,在产品输出过程中,引进预测试方案,这样不但能够减少由电磁干扰所带来的危害,而且可以缩短产品开发周期,避免反复整改带来的损失。

研究结果表明,该研究结果对小功率开关电源设计及传导干扰信号抑制上有一定的指导作用,在实际产品设计上有一定的实际意义。

参考文献 (References):

- [1] 黄 秋,方 方,丁卫撑,等.一种实用小功率开关电源的研制[J]. 电子设计应用,2009(5):98-100.
- [2] 吴慎山,李美凤.开关电源的电磁干扰研究与对策[J]. 电子质量,2008(10):77-78.
- [3] PAUL C R. 电磁兼容导论[M]. 闻映红,译.2版.北京:机械工业出版社,2006.
- [4] BEGHOU L, PICHON L, COSTA F. Characterization of radiated electro-magnetic fields using equivalent sources-Application to the EMC of power printed circuit boards[J]. *Comptes Rendus Physique*,2009,10(1):91-99.
- [5] 王成达.开关电源的 EMC 抗干扰设计[J]. 科技信息,2008(14):295,302.
- [6] VIVES-GILABERT Y, ARCAMBAL C, LOUIS A, et al. Modeling magnetic radiations of electronic circuits using near-field scanning method[J]. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*,2007,49(2):391-400.
- [7] IEMAN S, DEMOULIN B, MAURICE O, et al. Use of the circuit approach to solve large EMC problems[J]. *Comptes Rendus Physique*,2009,10(1):70-82.
- [8] 钱振宇.开关电源的电磁兼容性设计与测试[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [9] 国家标准化工作委员会. GB 4343.2-1999 中国标准书[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [10] 郑军奇.电子产品设计 EMC 风险评估[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

[编辑:李 辉]