

便携智能温度仪中小体积电源抗干扰设计

吴国忠, 徐小

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对便携式智能温度仪中辅助电源设计, 考虑其产品体积要求与温度、湿度等多路测量精度要求, 选择 flyback(反激式 DC/DC 变换器)为设计基础, 就其体积要求很小所带来的一系列的干扰给出了一些有用的抑制方法. 通过优化变压器设计、电路结构设计 PCB 板设计以及保护控制电路, 提出一种具有尝试性的变换器设计方案. 实验结果证明, 该设计方案可以很好的满足温度测量要求.

关键词: 反激式直流变换器; 开关电源; 抗干扰; 智能温度仪

中图分类号: TP312

文献标识码: A

文章编号: 1008-973X(2002)04-0441-04

Anti-interference design of power supply in intelligent thermometer

WU Guo-zhong, XU Xiao-jun

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Presents the design of a miniaturized auxiliary power supply in handy intelligent thermometer, discusses some anti-interference applications using a single switch flyback DC/DC converter with optimal construction of the circuits and PCB design. The paper also presents a method for the design of the transformer. By using this method, high-frequency voltage interference can be greatly reduced. Experiments indicated that this intelligent thermometer can satisfy well the precision requirement of a temperature meter.

Key words: flyback DC/DC converter; switch power supply; anti-interference; intelligent thermometer

便携式智能温度仪主要是应用于大型工矿企业等恶劣环境中的温度监控, 如锅炉、汽轮机、化学反应等的温度检测, 要求反应灵敏, 精确度高, 体积小, 重量轻. 而传统的温度仪中生产厂家大多采用工频电源, 功率为 12 W 的工频电源变压器体积很大, 在一个面板规格为 4 cm×4 cm 的温度仪中, 难以满足要求. 因此采用高频开关电源, 通过提高工作频率和电源效率, 提高功率密度, 减小体积.

由于温度仪测量精度要求较高, 电源电压纹波极易引起 A/D 变换的误操作. 由图 1 的例子可以看出, 由于电源电压的不稳定导致了后续电路的误操作以及测量精度的误差. 对于该系统来说, 主要的电压纹波来自于电源系统自身的干扰, 高频纹波的

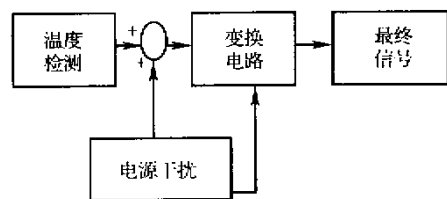


图 1 电源纹波对温度检测的影响

Fig. 1 Influence of the voltage interference to the temperature measure

消除成为设计的一个重点.

1 干扰原因

对于该小功率的电源首先要考虑的是其体积的

减小,而由于体积的减小所带来的干扰抑制是不可忽视的一个问题.在小功率的 DC/DC 变换器中,主要的干扰源是人为干扰源,而不是自然干扰源.而人为干扰源大致分为五大类元器件噪声:固有噪声、电化学过程噪声、放电噪声、电磁感应噪声、非线性开关过程噪声.其中:元器件的固有噪声、电化学过程噪声对直流变换器影响比较小,而主要干扰来自电磁感应噪声和非线性开关过程噪声.

在图 2 反激式电路中,变换器中的隔离变压器是产生电磁感应噪声的主要因素,变压器线圈产生的漏感,导致直流变换器输出电压的漏感是由于原副边绕组耦合系数不为 1,漏磁通释放到空气中,当这些漏磁通穿过别的闭合回路时,在这些闭合回路中形成感应电压,对后续电路产生干扰,也就产生了电磁感应噪声,表现在设计上就是变压器的漏感越大,电磁感应噪声越大.^[1]

图 2 为所采用的 flyback(DC/DC 变换器)的原理图

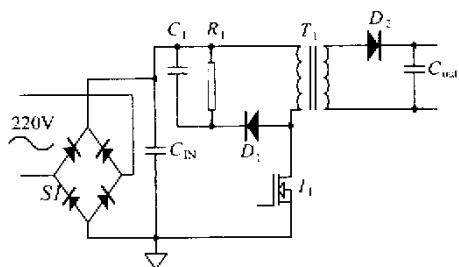


图 2 反激式电路

Fig. 2 Flyback circuit

针对漏感不同变压器进行电路 Psim 仿真,如图 3,其中图 3(a)是漏感为最大激磁电感 2.5% 的开关管的电压波形;图 3(b)是漏感为最大激磁电感 10% 的开关管的电压波形,明显可以看出:漏感大的,电压波形中的高频振荡要大得多,这种高频振荡对后续电路的影响很大.

该智能温度计要求测量精度较高,因此对电源电压要求很高,且纹波要求很小,而连续工作模式(CCM)有利于减小整流二极管与电感谐振对输出电压纹波的影响.

当工作在电流断续状态时,变压器存贮足够的能量原边所需要的最小电流为

$$i_{pk-min} = \frac{2P_{out}}{V_{in-min} \cdot \delta_{max}}, \quad (1)$$

在导通时间内产生所需电流的最大电感为

$$L_{pri-max} = \frac{V_{in-min} \cdot \delta_{max}}{I_{pk} \cdot f}. \quad (2)$$

根据以上两个公式可以计算出使该电路工作于

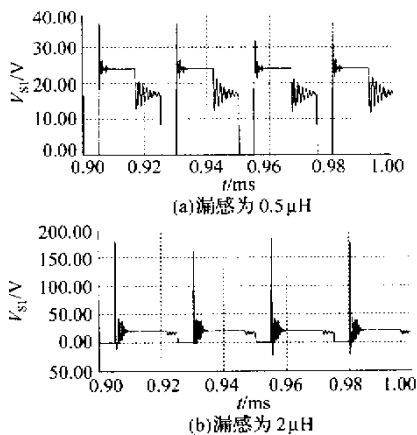


图 3 在不同漏感情况下的电压波形

Fig. 3 Wave of the voltage

连续状态的临界电感值,选择合适的电感大小、合理的变压器设计,有利于提高效率和减小输出纹波.^[2]

在 DC/DC 变换器中,半导体器件也是很重要的干扰源,它们在高速开关过程中引起的 di/dt 和 du/dt 会对电路中其他元件产生很大的干扰.例如在反激式拓扑中,开关管和副边续流二极管都会成为这样的干扰源.以 MOSFET 为例,MOSFET 属于多子导电器件,不存在反向恢复的问题,但由于开关频率很高,开关过程中的 di/dt 会达到很高的数值,作用于线路中的寄生电感或寄生电容上,产生很高的瞬态电压或者电流,从而引起振荡.^[1,3]

在反激式电路中,副边二极管同样是一个相当重要的干扰源.二极管导通时,电流迅速增大,但是其管压降不会立即下降,反而会出现一个快速的上冲,其原因是在开通过程中,二极管 PN 节的长基区注入足够多的少数载流子,电导调制需要一定的时间.该电压上升会导致一个宽带的电磁噪声.而关断时,存在于 PN 节长基区中的大量过剩少数载流子需要一定的时间恢复到平衡状态,从而导致了很大的反向恢复电流,形成一个非常窄的尖脉冲,产生的电磁噪声比开通时要强.在设计电路时,选择恢复时间短、关断特性软的二极管是很重要的.同时为了减小该电源的体积,提高开关频率要选择反向恢复时间很短的肖特基二极管.

2 抑制方法

首先对于变压器的干扰抑制,最重要的就是使变压器的原边绕组和副边绕组耦合系数接近 1,减小漏感.实现减小漏感的本质做法是,使原边绕组和副边绕组所包含的磁通相等,这样漏磁通会减到最

小。根据这个原则,最好的绕法是原副边并绕,这样才能达到漏感最小的目的。但是在实际应用中,变压器还要考虑高压隔离,如果原副边绕组并绕,原边与副边很难做到高压隔离,同时如果原副边变比不合适,不易做到原副边并绕。实际应用中更多的是“三明治”绕法,即绕一层原边,一层副边;一层原边,或者一层副边,再绕一层原边,最后绕一层副边,这能使原副边之间的耦合很好,减少漏感,降低由于漏感引起的电磁感应噪声。同时,为了减小较小原边和副边的耦合电容,层与层之间要加 3 或 4 层的绝缘胶布。图 4 是两种不同变压器绕法时得到的 flyback 小功率电源中开关管上的电压波形。由图 4 可见,变压器的夹心绕法比普通绕法好,夹心绕法使得电压降波形的振荡更小。

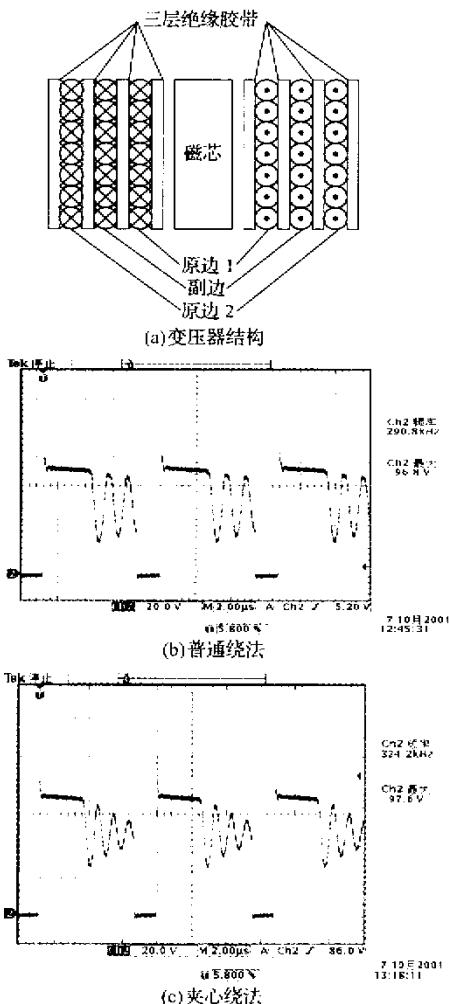


图 4 不同变压器绕法下的电压波形

Fig. 4 Waveform of the voltage in difference transformer

高频变压器 EE 或 EI 型磁芯之间的吸引力,能使两个磁芯发生位移,绕组电流相互间的引力或斥力,也能使线圈产生偏移。此外,受机械振动时能导致周期性的形变。上述因素均会使高频变压器在工作时发出音频噪声。因此在进行变压器制作时,应该用环氧树脂将分离的磁芯粘接在一起以减小音频噪声。同时给线圈浸入清漆后烘干,有助于减小音频噪声。^[3]

在小功率直流变换模块中,变压器的有用信号和噪声信号都可以通过磁路耦合传输到被干扰电路或系统中。变压器产生的辐射磁场与被干扰回路发生磁通交链,以互感的形式产生传导性干扰。要抑制这种干扰,除了前面提到的减小变压器漏感的方法外,还可以通过屏蔽来切断耦合途径抑制干扰。用铜皮将整个磁芯包住(包括原边和副边),然后将铜皮接到稳定的电平或者大地上(根据式(3)、(4)),使铜皮短路,回路内部的磁通变化率为零。

$$u = N \times \frac{\partial \phi_m}{\partial t}, \quad (3)$$

$$u = 0 (\text{铜皮短路}). \quad (4)$$

这样可以较好的抑制变压器对周围电路的干扰。在放置变压器位置时,要考虑漏磁通的方向,减少电路回路与漏磁通耦合的可能性。

在减小干扰源的干扰时,还要考虑对干扰途径的抑制。电源模块中干扰源把噪声能量耦合到被干扰对象主要有两种方式:传导方式和辐射方式。传导方式又分为直接传导、公共阻抗传导和转移阻抗传导,辐射方式分为近场辐射和远场辐射。而在小功率 DC/DC 模块中,对传导方式的耦合途径抑制,主要在于印刷电路板的设计。

连接两个元件或设备之间的导线并不是一个电阻为零的理想导体或者是一个有一定阻值的纯电阻。实际上,导线不但有电阻,而且有电感、漏感和杂散电容,这就引起了电导性耦合。尤其是在小体积、高频率的小电源中,这些杂散参数更不可忽视。在印刷电路板的设计中,尽可能减小导线的寄生参数,以减小对电路的干扰。在允许的情况下,尽量布宽导线,以减小电阻;布线时,使导线接近地,这样可以减小导线的外电感。在小功率直流变换模块中,公共阻抗耦合主要是公共地阻抗耦合。布置印刷电路板时,将功率地与信号地分开布置,防止通过大电流的功率地对控制回路造成干扰。每一部分电路都应该将它们的地连在一起后再接到大地上。同时将地线布宽,减小地线电阻,也可以减小公共地阻抗耦合。

在小功率直流变换器中,最易受干扰的是控制芯片。在布置印刷电路板时,应考虑将控制芯片放在

远离主要干扰源的位置,也就是远离变压器、开关管和副边二极管.同时芯片的供电要加去耦电容,去耦电容的位置要靠近控制芯片,使与芯片有关控制信号的地都过去耦电容的地,以达到良好的去耦效果.同时,由芯片引出的导通开关管的驱动电路的引线要尽量短,以减小引线电感.在布置电路板时,原边电路和副边电路要有适当的间隔,控制电路与功率电路不仅仅是为了良好的隔离,同时也可以防止原边电路和副边电路互相串扰.^[1]

3 实验结果

在根据前文所提的设计方法和原则基础上,设计了一个针对温度采集仪的小体积、低纹波的小功率电源,图 5 为该电源最后的输出纹波,由图中可以看出,该电源输出的低频纹波 $<0.02\text{ V}$,超高频的电压尖刺 $<100\text{ mV}$,足以满足系统的要求.

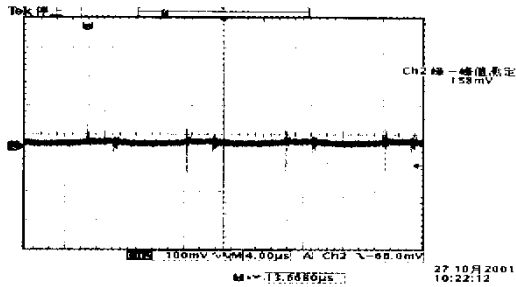


图 5 输出电压纹波

Fig. 5 Output wave of voltage

图 6 为实际设计完成的便携式智能温度仪中的小体积电源.

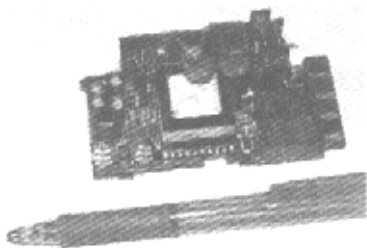


图 6 电源实物

Fig. 6 Photo of the convertor

该电源在实际应用中能够很好地满足温度仪的纹波以及体积的要求,使得温度测量误差可以控制在规定的范围内,并可以很好的持续工作.

4 结 论

由前文的讨论以及实验结果可以看出,在小体积、小功率、高精度的电源设计中,减小输出纹波,抗干扰设计是非常重要的.本文通过对小功率开关电源中的主要干扰源、干扰耦合途径以及易受干扰电路的讨论,提出了如下解决方法:

(1) 优化变压器设计,减小漏感,以减小变压器引起的干扰.

(2) 优化电路结构设计,减小由于半导体器件开关过程引起的干扰.

(3) 优化 PCB 板的设计,减小引线电感和公共地阻抗耦合引起的干扰.

(4) 通过合理的保护控制电路,防止控制电路被干扰.

通过以上措施,减小了电源的输出纹波,使该电源达到了智能温度仪对电源的体积以及纹波要求.

参考文献(References):

- [1] 吴昕,钱照明.开关电源印刷电路板电磁兼容问题的研究[J].电子信息学报,2001,2:181-186.
WU Xin, QIAN Zhao-ming. Study in electromagnetic compatibility on printed circuit board of switching power supply [J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2001, 2: 181-186.
- [2] 金树福,夏雨人.单端反激 PWM 开关稳压电源[J].上海交通大学学报,1996,6:130-134.
JIN Shu-fu, XIA Yu-ren. A PWM switching power supply of flyback mode [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1996, 6: 130-134.
- [3] PREITO R, COBOS J A, GARCIA O, et al. High frequency resistance in flyback type transformers[A]. *IEEE APEC* [C]. New Orleans, Louisiana; [s. n.], 2000.