

基于梯形积分 PI 控制的 LED 反激式开关电源的研究

孙大洋, 章国宝

(东南大学 自动化学院, 江苏 南京 210096)

摘要: LED 照明具有节能、安全、环保的特性, 作为一个新兴的技术领域, 在最近几年得到很大发展。LED 是典型的电流驱动器件, 精确控制驱动电流, 可决定光效、电源效率、散热等许多参数。为了降低电流纹波系数, 在高频反激式开关电源中, 采用梯形积分 PI 控制方法。通过搭建基于 MATLAB/Simulink 的反激式开关电源模型, 对梯形积分 PI 控制方法进行了仿真。仿真结果表明, 梯形积分 PI 控制方法能有效的减小电源的纹波电流, 电流纹波系数降低到 1.5%, 达到了控制目的。

关键词: 电流纹波系数; 反激式开关电源; 梯形积分; PI 控制

中图分类号: TM923.02

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)17-0066-03

Research on LED flyback switching power supply based on trapezoidal integration PI control

SUN Da-yang, ZHANG Guo-bao

(School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: LED illumination has characteristics of energy conservation, safety, environment protection. As a new technical field, it has made great progress. LED is a typical current driving device. Precise current controlling can determine many parameters such as luminous efficacy, power supply efficiency, heat dissipation and so on. To reduce current ripple coefficient, trapezoidal integration PI control is introduced into high-frequency switching power supply. It built the model of fly-back switching power supply based on MATLAB/Simulink to simulate trapezoidal integration PI control method. Simulation results show that trapezoidal integration PI control method can decrease the ripple current effectively. Ripple coefficient of current reduce to one point five percent, and achieve the control purpose.

Key words: ripple coefficient of current; fly-back switching power; trapezoidal integration; PI control

纹波电流是 LED 恒流驱动电源的一个重要指标, 它影响 LED 的寿命、光效、功率损耗、散热等许多参数。高纹波电流可能造成 LED 过早光衰; 使 LED 产生较大的阻性功耗, 降低电源的工作效率; 降低 LED 使用寿命。光效在直流驱动 LED 时可以达到最高, 纹波电流会造成光效的降低, 纹波电流越高, 光效越低。

合理设计驱动电源, 降低电流纹波系数, 即可以节约成本, 又可以节省能源, 意义重大。市场上流行的 LED 驱动电源方案一般采用纯硬件电路实现脉冲宽度调制(PWM), 达到恒流效果, 但是产生的恒流纹波系数大, 较好的产品的纹波系数也在 5% 左右。

软硬件结合的方式将带来 LED 应用技术的飞跃。软件控制 LED 恒流值, 可大幅度提升 LED 电流精度。软件的使用也将促进 LED 的智能控制的发展。笔者设计了一个 30 W, 1 A 的 LED 反激式高频开关电源, 引入梯形积分 PI 控制来减小电流纹波系数, 并对普通 PI 控制和梯形积分 PI 控制做了仿真比较。

收稿日期: 2012-05-11

稿件编号: 201205083

作者简介: 孙大洋(1988—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生。研究方向: 电力电子。

-66-

1 梯形积分 PI 控制产生 PWM 波原理

PWM 波产生原理如图 1 所示。电流设定值与电源的电流输出值进行比较, 经过 PI 计算之后, 输出电流控制量, 由电流控制量计算出 PWM 波占空比, 然后生成 PWM 波去控制开关管的通断, 产生需要的电流。

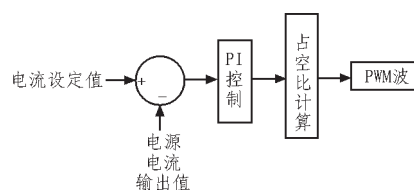


图 1 产生 PWM 波原理框图
Fig. 1 Block diagram of PWM

1.1 梯形积分 PID 控制算法

PID 控制虽然是最简单的控制算法, 却能达到很好的控制效果。因为系统对快速性没有特殊要求, 所以采用 PI 调节。模拟 PI 积分的公式为:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

要利用单片机或者其他数字信号处理器进行运算, 需要把公式离散化。在 PI 控制中积分项的作用是消除余差。普通 PI 控制是矩形积分, 设 T 为采样周期, i 为采样序列号, $i=0, 1, \dots, k$, 即

$$\int_0^t e(\tau) d\tau = \sum_{i=0}^k e(i)T \quad (1)$$

为了提高积分项的运算精度, 将矩形积分改成梯形积分。则有:

$$\int_0^t e(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^k T [e(i) + e(i-1)]/2 \quad (2)$$

$$u_k = k_p e_k + k_i \sum_{i=1}^k T [e(i) + e(i-1)]/2 \quad (3)$$

$$u_k = u_{k-1} + k_p [e(k) - e(k-1)] + k_i T [e(k) + e(k-1)]/2 \quad (4)$$

按公式(4)进行计算, 方便数字信号处理器编程, 提高了积分精度。

1.2 PWM 波占空比算法

变压器原边线圈两端产生的电动势为

$$e_p = L_p di_p/dt, \text{ 即 } i_p = e_p t/L_p$$

$$i_{pmax} = e_p t_{on}/L_p \text{——MOS 管关断瞬间} \quad (5)$$

变压器副边线圈两端产生的电动势为

$$e_s = L_s di_s/dt, \text{ 即 } i_s = e_s t/L_s$$

$$i_{smax} = e_s t_{off}/L_s \text{——MOS 管关断瞬间} \quad (6)$$

$$\text{因为 } i_{pmax} = i_{smax}, L_p/L_s = n^2 \text{ 所以 } e_s = e_p D/n^2(1-D) \quad (7)$$

$$i_s = e_p D/n^2(1-D)R_L \quad (8)$$

因为电流采样周期 T 很小, 所以可以认为 $e_{p1} = e_{p2}$

$$i_{s1}/i_{s2} = D_1(1-D_2)/D_2(1-D_1) \quad (9)$$

2 反激式高频开关电源

反激式高频开关电源^[1]属于隔离型高频开关电源, 用变压器实现输入与输出的电气隔离, 更为安全。电路简单, 效率高, 非常适用于小功率电源。

2.1 反激式变压器原理

反激式变压器原理如图 2 所示。



图 2 反激式变压器

Fig. 2 Flyback transformer

当开关 S 闭合时, 输入电压施加到变压器原边绕组上, 副边绕组的感应电压方向相反, 二极管反向偏置, 不导通, 能量储存在原边绕组中, 同时, 电容中储存的能量释放给负载, 例如 LED。当开关 S 断开时, 两边绕组的电压都反向, 二极管导通, 能量以磁通形式传递到副边, 储存在电容中。

2.2 反激式开关电源电路组成

反激式开关电源由 EMI(电磁干扰)滤波电路、整流电路、

功率因数校正 (PFC) 电路、反激式变压器、功率开关管 MOSFET、PI 控制电路组成, 框图如图 3 所示。

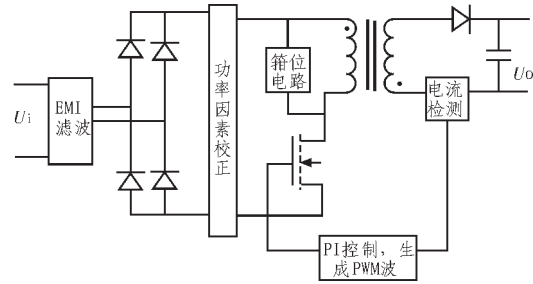


图 3 反激式开关电源框图

Fig. 3 Block diagram of flyback switching power supply

功率器件的高频率、高 du/dt 和高 di/dt 是开关电源的主要的电磁干扰源。加入 EMI 滤波器^[2], 既可以抑制交流电网中的传导性电磁干扰进入电源, 也可以抑制电源的传导性电磁干扰进入电网, 污染电网。

功率因数是有效功率与总耗电量的比值, 反映了电力被有效利用的程度。传统的整流加电容滤波电路, 功率因数很低, 谐波电流大, 严重污染电网, 加重电力公司的负担。很多国家已经将 PFC 规定为电力电子设备的标准配备, 包括我国。功率因数校正分为主动式(有源式)和被动式(无源式)^[3]。主动式通过专用 IC 对电流电压的相位进行补偿, 可使功率因数接近 100%, 但电路复杂。被动式使用电容等组成的电路, 来减小基波电流和电压之间的相位差, 增加有功功率在功率中的比重, 结构简单, 功耗低, 适用于小功率电源。

反激式开关电源的变压器^[4]设计是个重点和难点。脉宽调制(PWM)信号控制 MOSFET 的通断。在 MOSFET 关断瞬间, 变压器的漏感会与 MOSFET 的寄生电容形成串联谐振电路, 在漏极产生电压尖峰。为了防止 MOSFET 被击穿, 要尽量减小变压器原边漏感, 或者增加箝位电路^[5], 用来消耗 MOSFET 关断瞬间漏感的能量。

3 MATLAB/simulink 仿真模型及结果分析

对 LED 反激式开关电源所建立的仿真模型如图 4 所示。电流为 1 A 时, 最大占空比是 0.5。PWM 波频率是 50 kHz。在 EMI 滤波电路前面加一个阻值很小的电阻, 是因为在 MATLAB/Simulink^[6]中电源不能直接连接电容。在 MATLAB/Simulink 的 SimPowerSystems 库中, 单相变压器有 3 种, 选择多绕组变压器, 将其设置为原、副边各一个绕组, 其中参数 L_m 是励磁电感, 参数 R_m 是磁路磁阻。PID 环节封装成子系统, 即图中的 Subsystem1。LED 是发光二极管, 其伏安特性与二极管很相似, 所以用二极管代替 LED。

仿真参数设置: Start time 是 0, Stop time 是 1, Solver options 为 Fixed-step 和 ode3 (Bogacki Shampine), 步长是 $1e-6$, 其他参数为默认值。

普通 PI 控制仿真波形如图 5、图 6。梯形积分 PI 控制仿真波形如图 7、图 8。

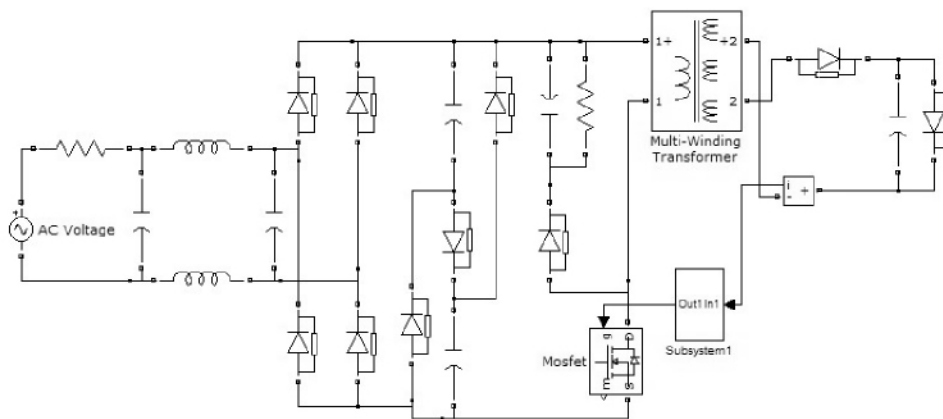


图4 电源仿真模型

Fig. 4 Model of power supply

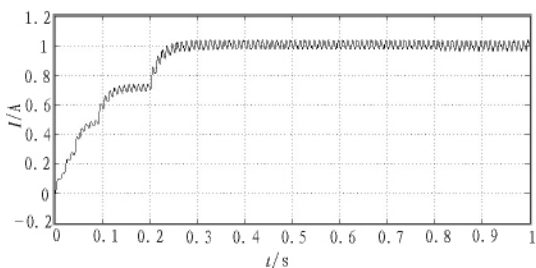


图5 普通PI控制LED电流仿真波形

Fig. 5 Current waveform of LED based on Common PI control

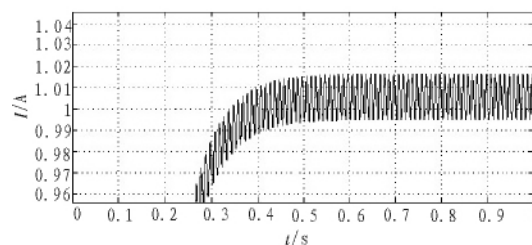


图8 梯形积分纹波电流

Fig. 8 Ripple current waveform of LED based on trapezoidal integration

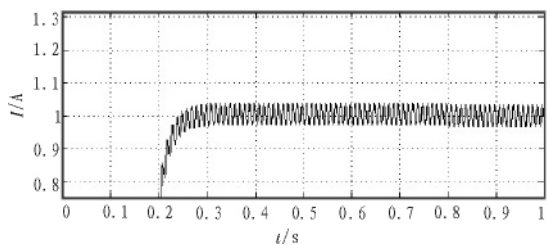


图6 普通PI控制纹波电流

Fig. 6 Ripple current waveform of LED based on Common PI control

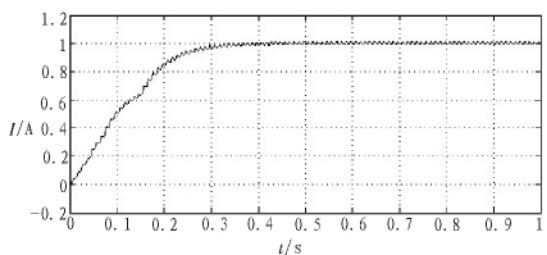


图7 梯形积分LED电流仿真波形

Fig. 7 Current waveform of LED based on trapezoidal integration

从仿真模型可以看出,反激式开关电源电路简单,有利于降低驱动电源成本。从仿真波形可以看出,电流上升时间快,没有超调。梯形积分PI控制比普通PI控制的电流上升稍慢一些,但纹波电流更小,纹波系数为1.5%,能更好满足

LED对驱动电流的纹波的要求,即不增加电源成本的基础上,纹波电流越小越好。结果较为满意。

4 结束语

本文在高频反激式开关电源脉冲宽度调制(PWM)原理的基础上,引入梯形积分PI控制算法,通过修正PI控制器参数 k_p 和 k_i ,使输出电流动态性能好,上升时间快,无超调,实现更高的电流控制精度。利用单片机可以很容易的编程实现PI控制,成本低,效果好。另外,单片机的使用还可以为LED驱动电源另外增加很多功能,比如根据外部光线调节输出电流,进而调节LED的发光强度,这样即可以延长LED寿命,又可以节省能源,有利于实现LED驱动电源的智能化控制。

参考文献:

- [1] 刘胜利. 现代高频开关电源使用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 魏应东, 吴燮华. 开关电源EMI滤波器原理与设计研究[J]. 电源技术应用, 2005, 8(2):36-40.
WEI Ying-dong, WU Xie-hua. Study on principle and design for EMI filters of switching power supply[J]. Power Supply Technologies and Applications, 2005, 8(2):36-40.
- [3] 郑艳丽, 秦会斌. 无源PFC电路在LED驱动电路中的应用研究[J]. 机电工程, 2011, 28(6):753-756.

(下转第71页)

锂离子电池正极材料一直是限制锂离子电池发展的关键。和负极材料相比,正极材料能量密度和功率密度低,并且也是引发锂离子电池安全隐患的主要原因。正负极材料的结构对锂离子的嵌入和脱嵌有决定性影响,因而影响着电池的寿命。因此,寻找热稳定性较好的正极材料是锂离子动力电池的关键;锂化过渡金属氮化物及过度金属磷族化合物有可能为锂离子电池负极材料的发展注入新的活力;隔膜本身是电子的非良导体,但也允许电解质离子通过。此外,隔膜材料还必须具备良好的化学、电化学稳定性和机械性能,而有机电解液具有良好的热稳定性。从根本上解决锂离子电池安全性问题应为离子液体电解液。

3) 制造工艺及制造过程与电池的安全性。锂离子电池的制造工艺分为液态和聚合物锂离子电池的制造工艺,无论是什么结构的锂离子电池,电极制造、电池装配等制造过程都会对电池的安全性产生影响。如正极和负极混料、涂布、辊压、裁片或冲切、组装、加注电解液的量、封口、化成等诸道工序的质量控制,无一不影响电池的性能和安全性。

4) 电池使用安全与保护^[7]。对于锂离子动力电池,无论单体容量高低,必然采用电池的组合应用,如果不能精确控制,对某个单体来说,无异于滥用。锂离子电池在实际应用中为了提高安全性,需要保护电路以防止单体的过充或过放,为此,各有关电源管理控制集成电路生产厂商都推出了自己的多节锂电池(电池组)保护集成电路芯片,它可监控3、4节锂离子电池的充放电状态,并防止电池性能劣化。锂离子电池的保护主要包括:①过充电保护。当充电器对锂离子电池过充电时,为防止因温度上升所导致的内压上升,需终止充电状态。为此,保护器件需监测电池电压,当其达到电池过充电电压时,即激活过充电保护功能,中止充电;②过放电保护。为了防止锂离子电池的过放电状态,当锂离子电池电压低于其过放电电压检测点时,即激活过放电保护,中止放电,并将电池保持在低静态电流的待机模式;③过电流及短路保护。当锂离子电池的放电电流过大或短路情况产生时,保护器件将激活过电流保护功能。

4 结 论

锂离子电池是最晚研究而商品化进程最快的一种高性

能电池,它以其独特的优势目前已成为各个领域广泛应用的新能源。锂离子电池具有电压高、比能量高、循环性能好等优点。此外,它还有自放电流小、无记忆效应和无环境污染等优点。锂离子蓄电池经过近年来的发展,取得了长足的进步,而锂离子动力电池虽已在市场上出现,但尚处于发展阶段,越来越广泛应用于3G领域、电动车和混合型电动车市场领域。随着电池体系、电池材料等安全性问题的深入研究,需从设计、生产、使用方的共同努力解决锂离子电池安全性,避免不安全因素的发生,促进锂离子动力电池的健康发展。

参考文献:

- [1] 电池的合理选择[EB/OL]. [2012-04-13]. <http://www.chinaaet.com/article/index.aspx?id=27487>.
- [2] 王铭,李建军,吴开,等. 锂离子电池模型研究进展[J]. 电源技术,2011(7):862-865.
WANG Ming, LI Jian-jun, WU Han, et al. Advances on mathematical modeling of lithium-ion battery[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2011(7):862-865.
- [3] 有锂有忧,如何正确选择动力锂电池产品[EB/OL]. [2012-04-13]. <http://www.chinaaet.com/article/index.aspx?id=27761>.
- [4] 李明月,陈科峰. 新型锂离子电池材料研究进展[J]. 化工生产与技术,2010(4):46-49.
LI Ming-yue, CHEN Ke-feng. Progress in new lithium ion battery of materials[J]. Chemical Production and Technology, 2010(4):46-49.
- [5] 如何提升电池性能? 期待石墨烯纳米材料[EB/OL]. [2011-08-04]. http://www.eeworld.com.cn/qcdz/2011/0804/article_4107.html.
- [6] 东莞贝尔实验设备有限公司,锂离子电池动力电池安全性研究进展[EB/OL]. [2011-06]. http://www.bell0769.com.cn/bell0769_Article_466796.html.
- [7] 吴凯,张耀,曾毓群,等. 锂离子电池安全性能研究[J]. 化学进展,2011(2):401-409.
WU Kai, ZHANG Yao, ZENG Liu-qun, et al. Research of safety performance of Lithium-ion battery[J]. Progress In Chemistry, 2011(2):401-409.
- [8] ZHENG Yan-li, QIN Hui-bin. Research of passive PFC circuits in LED driver circuit[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2011, 28(6):753-756.
- [9] 王明炎. 单端反激式开关电源高频变压器设计[J]. 中国科技信息, 2010(4):124-128.
WANG Ming-yan. Design of high-frequency transformer in single-ended flyback switching power supply[J]. China Science and Technology Information, 2010(4):124-128.
- [10] 刘国伟,董纪清. 反激变换器中RCD箝位电路的研究[J]. 电工电气, 2011(1):20-33.
LIU Guo-wei, DONG Ji-qing. Study of RCD clamp circuit in flyback converter[J]. Electrotechnics Electric, 2011(1):20-33.
- [11] 林飞,杜欣. 电力电子应用技术的MATLAB仿真[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

(上接第68页)