

带功率因数校正的 LED 日光灯驱动电源

王晓林, 侯磊, 陈文芩

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 文中提出了一种带功率因数校正的 LED 日光灯驱动电源, 该电源具有电路简单、可靠的优点, 实测数据表明, 在较宽电压范围内, 驱动电源工作稳定, 其具有较高功率因数。

关键词: LED 照明; Boost 电路; 功率因数校正; 恒流源

中图分类号: TM92

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)20-0132-03

LED fluorescent lamp driver power with power factor correction

WANG Xiao-lin, HOU Lei, CHEN Wen-xiang

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper introduce a LED fluorescent lamp driver power with power factor correction, the power supply circuit has the advantages of simple, reliable, and the measured data show that in a wider voltage range, the drive power can work stably, and the power factor is higher.

Key words: LED lighting; Boost circuit; PFC; constant current source

LED 照明由于具有环保、寿命长、高可靠性等特点, 正在发展成为实施绿色节能照明工程中最具有前途的第 4 代光源。由 LED 的电学特性可知, LED 在正向导通后, 流过 LED 的电流及其两端电压对 LED 能否正常工作起着关键性的作用。所以, 设计合理的驱动电源对于 LED 照明灯就显得十分重要。

Energy Star 标准规定: 商业照明的供电设备的功率因数不得低于 0.9。因此 LED 的供电电源除了能满足上述 LED 特性要求, 还应有功率因数校正(PFC)功能。文中针对近年来迅速发展的 LED 照明驱动电路的应用, 提出一种带功率因数校正的 LED 日光灯驱动电源。

1 电路原理

图 1 为功率因数校正原理框图(虚框内为控制电路), 主电路为 Boost 升压电路, 并由控制电路实现双闭环控制: 外环电压控制环实现稳定输出电压; 内环电流环实现输入电流 $i(t)$ 跟踪输入电压 $v_g(t)$ 波形, 其中 $i(t)=i_L(t)$ 。

对于 Boost 电路, 只要输入电压低于输出电压, 电感的电流就完全受开关的控制^[1]。以下结合图 2 电感电流受控的特点进行说明。

由于开关频率远高于输入电压频率, 可认为一个开关周期内输入电压平均值与瞬时值相等, 平均值不变, 即:

$$\langle v_g(t) \rangle_{T_s} \approx v_g(t) \quad (1)$$

由于 Boost 升压电路低通滤波器的转折频率远小于开关频率时, 可认为一个开关周期内状态变量的平均值与瞬时值

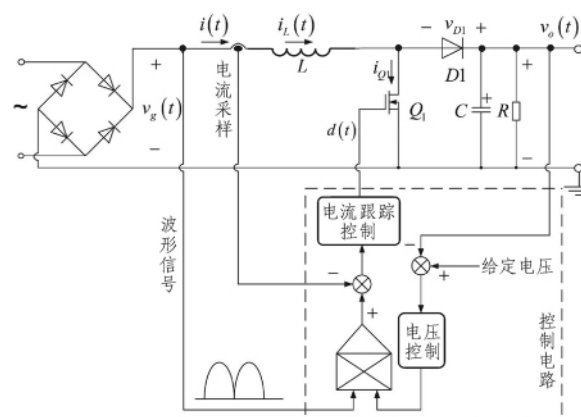


图 1 功率因数校正原理框图

Fig. 1 Power factor correction principle diagram

近似相等^[2], 平均值近似不变, 即:

$$\langle x(t) \rangle_{T_s} \approx x(t) \quad (2)$$

在满足上述条件下, 开关元件 $Q1$ 的电流 $i_{Q1}(t)$ 与开关元件 $D1$ 的端电压 $v_{D1}(t)$ 波形如图 2(c) 所示。取电感电流 $i_L(t)$ 与电容电压 $v_o(t)$ 为状态变量, 在一个开关周期 T_s 内, 可用电感电流 $i_L(t)$ 的平均值 $\langle i_L(t) \rangle_{T_s}$ 与电容电压 $v_o(t)$ 的平均值 $\langle v_o(t) \rangle_{T_s}$ 来表征 $Q1$ 的平均电流与 $D1$ 的平均端电压, 如公式 (3)、(4), 式中 $d(t)$ 为 $Q1$ 导通截止的占空比时间函数。

$$\langle i_{Q1}(t) \rangle_{T_s} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_{Q1}(\tau) d\tau = \frac{1}{T_s} \int_0^{dT_s} i_L(\tau) d\tau \approx \frac{1}{T_s} \int_0^{dT_s} \langle i_L(\tau) \rangle_{T_s} d\tau = d(t) \langle i_L(\tau) \rangle_{T_s} \approx d(t) i_L(t) \quad (3)$$

收稿日期: 2012-07-05

稿件编号: 201207044

作者简介: 王晓林(1985—), 男, 山西临汾人, 硕士。研究方向: 机械电子工程。

-132-

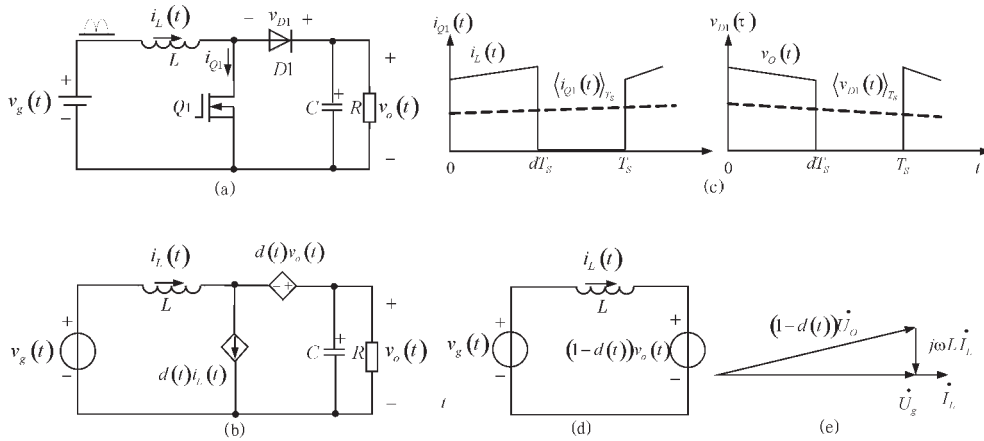


图 2 Boost 升压电路的一个开关周期内的等效电路模型建立
Fig. 2 Equivalent circuit model of Boost circuit in a switch cycle

$$\langle v_{D1}(t) \rangle_{T_s} = \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} v_{D1}(\tau) d\tau = \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} v_o(\tau) d\tau \approx \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} v_o(\tau) d\tau$$

$$\langle v_o(t) \rangle_{T_s} d\tau = d(t) (i_L(\tau))_{T_s} \approx d(t) v_o(t) \quad (4)$$

式(3)表明 Q_1 的作用可由数值为 $d(t)i_L(t)$ 的受控电流源取代在电路中的作用; 式(4)表明 $D1$ 的作用可由数值为 $d(t)v_o(t)$ 的受控电压源取代 $D1$ 在电路中的作用。从而得到图 2(b) Boost 升压电路的一个开关周期 T_s 内的等效电路模型。进一步用戴维宁定理简化为图 2(d) 简化模型, 则电感两端电压为 $v_L(t)$ 为:

$$v_L(t) = (1-d(t))v_o(t) - v_g(t) \quad (5)$$

式(5)中, 输入电压 $v_g(t)$ 为整流后的直流脉动波形, 可视作时间定义域定义在 $[0, \pi]$ 的正弦电压。结合 Boost 电路可知, 选择合理的 $d(t)$ 可使电感电压 $v_L(t)$ 也为正弦量, 由相量法可得电感两端电压超前电感电流 90° 。所以, 只要 $d(t)$ 选择的合适, 使电感 L 两端的电压 $v_L(t)$ 为正弦波, 且超前输入电压

90° , 便可以使电感电流成为与输入电压同相位的正弦波, 实现功率因数校正, 图 2(e) 为校正后电路对应的相量图。

合适的占空比 $d(t)$ 可由图(1)中控制电路实现。原理为: 整流后的脉动正弦电压波形作为输入电流的参考波形, 引入控制电路模拟乘法器。另外, 为保证输出电压恒定, 将输出电压与给定电压之间的误差经电压控制电路引入乘法器, 两信号经过乘法器运算得到幅值跟随电压控制电路输出变化的正弦绝对值信号, 作为电流跟踪环的给定信号, 电流跟踪控制电路使流经确保电感中的电流跟踪该给定信号, 从而实现功率因数校正, 且稳定了输出电压。

2 电路实现

实际驱动电源电路如图 3 所示, 图中采用电源控制器件 L6561 实现上述控制电路主要功能; 变压器初级电感量^[4-5]: $L=1.84 \text{ mH}$; 电路输出功率 $P_o=50 \text{ W}$; 输入线电压 U_{in} 范围: $85 \sim$

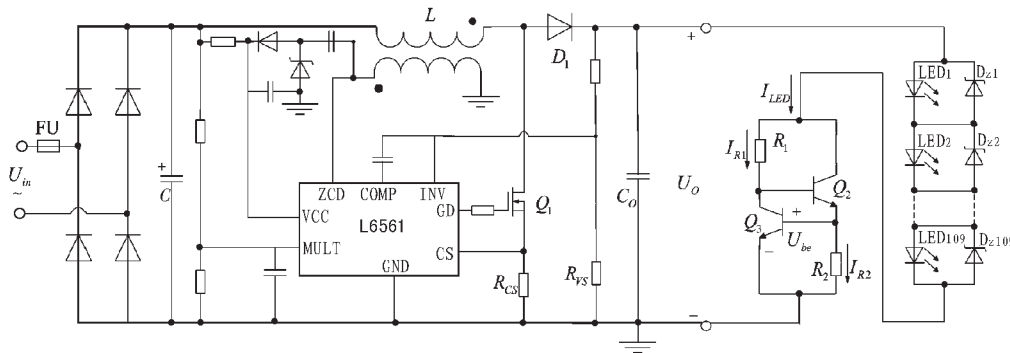


图 3 实际电路的实现
Fig. 3 Establishment of the practical circuit

250 VAC; 输出电压 $U_o=400 \text{ VDC} \pm 5\%$ 。

驱动电源电路的负载是多颗 LED 灯珠串联的灯珠串, 为防止因某几颗 LED 灯珠发生故障导致负载断路, 这里采用文献[6]中所述连接方式, 即在每个 LED 两端反向并联一个稳压管, 当灯珠发生断路, 稳压管自动接入确保负载正常工作。为实现负载 LED 灯源恒流供电, 负载串联的由 Q_1, Q_2, R_1, R_2

构成的恒流源电路, 其工作原理如下: 图 3 中有 $I_{LED} \approx I_{R1} + I_{R2}$, 当 R_1 足够大使得 $I_{R1} \ll I_{R2}$, $I_{LED} \approx I_{R2} = (U_{be}/R_2)$, 由于 U_{be} 稳定在 0.7 V , 因此精选 R_2 就能稳定驱动电流 I_{LED} 。

3 实测结果

试验电源采用图 3 电路搭建, 电源负载选用 109 颗 0.5 W

的LED灯珠组成的长串结构进行试验。图4给出了驱动电源输出电压 U_0 、流过LED灯珠串电流 I_{LED} 、单颗LED灯珠电压 U_{LED} 及电源功率因数PF值随 U_{in} 的变化情况。

当交流输入电压在85~250V之间变化时:

图4(a)表明 U_0 保持在400V,最大波动仅为12V,当输入电压高于175V后, U_0 基本保持恒定;

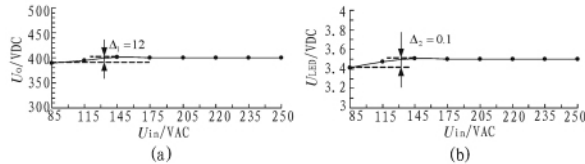


图4(b)表明 U_{LED} 保持在3.6V,最大波动仅为0.1V,当输入电压高于175V后, U_{LED} 基本保持稳定。

图4(c)表明LED灯珠电流 I_{LED} 保持在125mA,最大波动仅为15mA。

图4(d)表明,功率因数(PF)值大于,功率因数得到很大的提高。

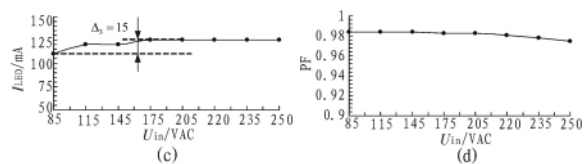


图4 实际测试数据曲线图

Fig. 4 Actual test data graphs

4 结论

文中提出的带功率因数校正的LED日光灯驱动电源,在宽输入电压范围内能保证流经负载电流恒定,实现功率因数校正功能.此外,本文方案具有控制简单可靠、电路易于实现以及高性价比的优点。

参考文献:

[1] 杨旭,裴运庆,王兆安. 开关电源技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
 [2] 张卫平. 开关变换器的建模与控制[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

[3] 秦曾煌. 电工学[M]. 北京:高教出版社,1999.
 [4] 赵修科. 实用电源技术手册磁性元器件分册 [M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
 [5] 张占松,蔡宣三. 开关电源与设计[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
 [6] 钟龙平,马智杰,徐欣歌,等. 一种线性恒流的LED驱动电路设计[J]. 电子设计工程.2011(2):116-118.
 ZHONG Long-ping, MA Zhi-jie, XU Xin-ge, et al. Design of a linear constant-current LED driver circuit[J]. Electronic Design Engineering, 2011(2):116-118.

(上接第128页)

Age, 2004(3):132-134.
 [2] 李祖布,孙宁,苏瑞丰. 锂离子电池组均衡和保护的关系研究[J]. 电子产品世界, 2007(8):72,74,97.
 LI Zu -bu, SUN Ning, SU Rui -feng. Research on the relationship between equalization and protection for Li-ion batteries[J]. Electronic Engineering & Product World, 2007(8):72,74,97.
 [3] Atmel. ATmega16 (L) Data Sheet [EB/OL]. (2010).http://

www.atmel.com/Images/doc2466.pdf.
 [4] Linear. LTC4006 Data Sheet [EB/OL]. (2003).http://cds.linear.com/docs/Datasheet/4006fa.pdf.
 [5] Linear. LTC1628 Data Sheet. [EB/OL]. (1998).http://cds.linear.com/docs/Datasheet/1628fb.pdf.
 [6] Linear. LTC3780. Datasheet [EB/OL]. (2005). http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3780fe.pdf.

(上接第131页)

GU Pei-pei, KONG Ming, LI Wen-hong. Design of a High frequency multiphase digital DC/DC controller[J]. Power Electronics, 2007, 41(7):69-71.
 [3] Bob W.PMBus-数字电源开放标准协议[J]. 今日电子, 2005, (9):49-51.
 Bob W.PMBus -digital power open standard protocols [J]. Electronic Products, 2005(9):49-51.
 [4] Dave F.PMBus: 电源系统的国际语言[J]. 电子设计应用, 2006(7):83-88.
 Dave F.PMBus:The international language of the power -134-

system[J]. Electronic Design & Application World for Design and Application Engineers, 2006(7):83-88.
 [5] Texas Instruments Inc. Using the UCD92XX digital point-of-load controller design guide[M]. Texas Instruments Inc, 2011.
 [6] Texas Instruments Inc. Digital PWM system controller with 4-bit, 6-bit, or 8-bit VID support[M]. Texas Instruments Inc, 2011.
 [7] Texas Instruments Inc. Configuration programming of UCD devices[M]. Texas Instruments Inc, 2012.