

串联谐振恒流 LED 驱动电源的分析及设计

孙明坤, 周维维, 罗全明

(输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要:用串联谐振变换器来实现 LED 的开环恒流驱动。对串联谐振变换器开环工作状态进行等效分析,确定了开环恒流条件和谐振参数与开关频率的选择依据,以及 LED 数目、变压器变比对恒流效果的影响,为 LED 数目的确定及变压器变比的选择提供了依据。据此设计了谐振变换器,并进行了仿真与实验。结果证实了所提出的分析设计方法的正确性。

关键词:电源; 发光二极管; 串联谐振电路; 开环恒流

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2010)08-0093-02

Analysis and Design of a Series-resonant Constant Current LED Driver

SUN Ming-kun, ZHOU Luo-wei, LUO Quan-ming

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing 400044, China)

Abstract:In order to achieve open-loop constant current(OCC) driver for LED, a series-resonant converter is used.The working condition of a series-resonant converter is equivalently analyzed under OCC condition, and selection basis of resonant parameter and switching frequency are determined.The effect of LED number and transformer turns ratio to constant current is also determined, which provide scientific basis for the selection of LED number and transformer turns ratio.The series-resonant converter is designed by the analysis.The simulation and experimental results confirm the correctness of the proposed design method.

Keywords:power supply; light emitting diode; series-resonant circuits; open-loop constant current

Foundation Project:Supported by National Natural Science Foundation of China (No.50907076); Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China(No.200611012)

1 引言

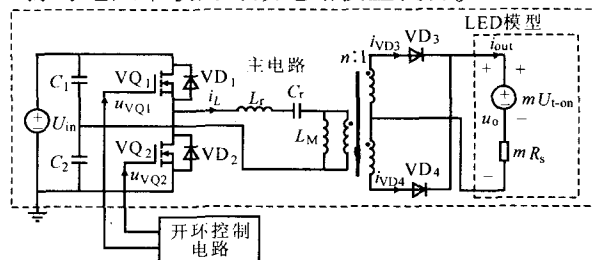
发光二极管(LED)具有光线质量高、功耗小、寿命长等优点,使其在各种领域得到广泛应用。LED 常采用恒流驱动的形式^[1],串联谐振变换器具有恒流特性,可将其用于实现 LED 的开环恒流驱动。目前谐振电路在 LED 驱动电源中应用不多。文献[2]是将谐振电路用于提供高频正弦波电压的电压源;文献[3-4]是通过串联谐振电路实现开环恒流。两者区别在于文献[3]让串联谐振电路工作在电流断续状态,但电路工作在断续状态,开关频率小于谐振频率,效率不高。文献[4]让串联谐振电路工作在连续状态下,实现开环恒流,但此文献仅对部分参数进行了设计。

此处将串联谐振电路用于两级 LED 驱动电路中的后级恒流器,并设计了一种开环恒流 LED 驱动电源,分析了电路结构,详细说明了主要参数的设计,并用样机进行了实验。

2 恒流电源的系统结构及分析

所设计的 LED 恒流驱动电源系统结构如图 1 所

示。主电路拓扑结构为半桥串联谐振电路。LED 用电压源与电阻串联的等效电路模型代替。



U_{on} 为 LED 阈值电压; R_s 为伏安特性曲线的斜率; m 为 LED 的数目

图 1 恒流电源系统结构图

开环控制电路为主电路功率开关提供固定开关频率和占空比的控制信号。

采用基波分析可得主电路输出电流的平均值:

$$I_{avg} = n \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{(-b + \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a} \quad (1)$$

式中: $a = \pi^2 \{ (n^4 m^2 R_s + [\omega L_r - 1/(\omega C_r)]^2) \}$, ω 为开关角频率, n 为变压器变比, C_r, L_r 为谐振电容、电感; $b = 4\sqrt{2} \pi n^3 m^2 U_{on} R_s$; $c = 8n^2 m^2 U_{on}^2 - 2U_{in}^2$ 。

由式(1)可见,当满足表达式:

$$U_{in}^2 \gg 4n^2 m^2 U_{on}^2, \left(\omega L_r - \frac{1}{\omega C_r} \right)^2 \gg n^4 m^2 R_s \quad (2)$$

则可以认为:若谐振频角频率 ω_0 、输入电压 U_{in} , n 及 L_r 固定,流过 LED 的平均电流值只与谐振电路的 ω 相关。

基金项目:国家自然科学基金(50907076);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200611012)

定稿日期:2010-01-25

作者简介:孙明坤(1984-),男,山东莱芜人,研究生,研究方向为 LED 驱动电源模块及电力电子变换器。

3 恒流电源系统的设计

3.1 谐振参数的设计

主电路谐振频率确定后,需要确定主电路谐振电感、谐振电容值。由于流过 LED 的电流和电压同相位,可将其等效为非线性时变电阻 R_{LED} ,此时采用基波分析,可得到谐振角频率为:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_i C_i} - \frac{R_{LED}^2}{4L_i^2}} \quad (3)$$

为减小 R_{LED} 对谐振频率的影响,可得到:

$$\frac{1}{L_i C_i} \gg \frac{R_{LED}^2}{4L_i^2} \quad (4)$$

根据式(4),可以选择谐振参数。仿真、实验时 $R_{LED}=108.3 \Omega$,设计的谐振变换器的谐振频率为 $f_0=100 \text{ kHz}$,故根据式(4),选择 $L_i=0.77 \text{ mH}$, $C_i=3.3 \text{ nF}$ 。

3.2 工作频率的选择

串联谐振开关频率 f_s 高于或低于 f_0 时,其输出电流具有恒流特性。当 $f_s < f_0$ 时,开关管为零电流关断,开通为硬开通。要实现零电流开通,需要在开关管上串联饱和电感,但是这会增加电源体积,并且在 $f_s < f_0$ 时,电感的谐振电流畸变较大;当 $f_s > f_0$ 时,开关管为零电压开通,关断时硬关断。在开关管并联吸收电容,可实现开关管零电压关断,相对串联饱和电感,更容易实现,并且谐振电流的畸变比较小,并且高频会减小变换器体积,所以选择 $f_s > f_0$ 。谐振变换器 $f_0=100 \text{ kHz}$,根据式(1)可知,要实现 0.3 A 的恒流,变换器开关频率为: $f_1=5.92 \times 10^4 \text{ Hz}$, $f_2=1.69 \times 10^5 \text{ Hz}$ 。如图 2 所示 $f_s < f_0$ 时,谐振电流 i_L 的畸变比较严重。实验选择谐振变换器 $f_s=f_2$ 。

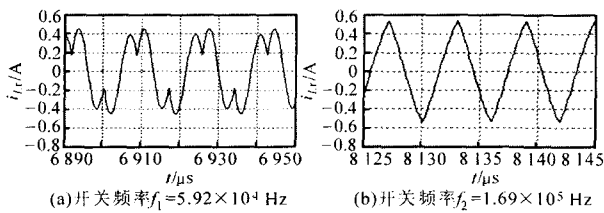


图 2 谐振电感的电流波形

3.3 变压器变比的选择

根据式(1)可得到如图 3 所示的 m 及 n 对恒流效果的影响。

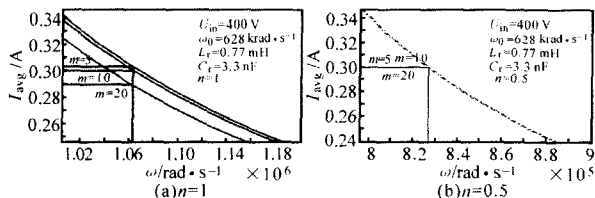


图 3 m, n 对恒流效果影响的变化曲线

从图 3a 中明显可见, m 值越大, LED 平均电流

的恒流误差就越大。为此,实现开环恒流的变换器在一定恒流误差范围下驱动的 LED 数目是有限的。对比图 3a, b 可见,相同 m 下, n 减小,恒流误差减小。因此,在保证恒流误差比较小的情况下,可通过减小 n 来增加变换器所能驱动的 m 。但是,在相同功率下, n 越小,其次级匝数越多,变压器体积变大,并且 n 越小, f_s 也越小,同样会增大变换器的体积。所以变压器的 n 要根据恒流误差要求和 m 来合理选择。实验时, $m=10, n=1$ 。

4 实验结果

实验时驱动电源输入电压 $U_{in}=400 \text{ V}$, LED 型号为 SEOUL-X42180, 并且 $U_{on}=2.6 \text{ V}$, $R_s=1.5 \Omega$, LED 工作电流 $I_f=300 \text{ mA}$, $m=10$ 。根据前面分析,谐振电路中 $\omega_0=6.28 \times 10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $f_0=100 \text{ kHz}$, $L_i=0.77 \text{ mH}$, $C_i=3.3 \text{ nF}$, 谐振变换器 $f_s=1.69 \times 10^5 \text{ Hz}$, $n=1$ 。实验结果如图 4 所示。可见, m 由 5 变为 10, LED 两端电压变为原来的 2 倍,但流过负载的电流基本不变,保持恒流。

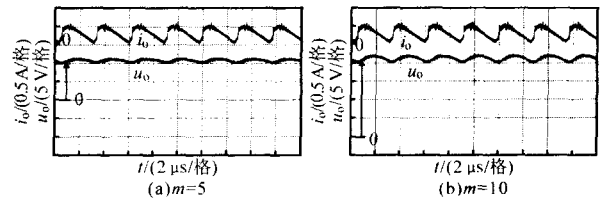


图 4 谐振变换器输出电流与电压波形

5 结论

将串联谐振电路用在 LED 级联供电机构中,实现开环恒流,减小了整体设计复杂度。确定了串联谐振电路实现开环恒流的条件,也确定了串联谐振电路参数的选择依据,分析了 LED 数目与变压器变比对恒流效果的影响,为 LED 数目与变压器变比合理选择提供了依据,实验验证了分析与设计的正确性。

参考文献

- [1] 周志敏,周纪海,纪爱华.LED 驱动电路设计与应用[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] Wing Yan Leung, Tsz Yin Man, Mansun Chan. A High-power-LED Driver with Power-efficient LED Current Sensing Circuit[A]. Solid-state Circuits Conference[C]. European, 2008: 354-357.
- [3] De Britto J R, Demian A E, De Freitas L C, et al. A Proposal of Led Lamp Driver for Universal Input Using Cuk Converter[A]. Power Electronics Specialists Conference, PESC'08[C]. 2008: 2640-2644.
- [4] Baddela S M, Zinger D S. Parallel Connected LEDs operated at High Frequency to Improve Current Sharing[A]. IEEE Industrial Applications Conference[C]. 2004: 1677-1681.