

# 基于 FAN6300 准谐振 LED 路灯电源的设计

鲍建宇, 孙林军, 何杞鑫

(浙江大学 宁波理工学院, 浙江 宁波 315100)

**摘要** 近年来,LED 由于节能环保而在路灯照明方面得到广泛应用。为满足大功率 LED 的电气特性,在传统的反激变换器的基础上,基于飞兆 FAN6300 设计了一种准谐振高压恒流 LED 路灯驱动电源。阐述了准谐振开关电源的原理和优点,给出了电路原理图,以及关键元件的参数计算和选取方法。实验结果证明了该设计的可行性和有效性。

**关键词**:路灯;反激变换器;准谐振;恒流

**中图分类号**:TM 923 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-087X(2011)09-1111-02

## Design of Quasi-resonant LED street-lamp power supply based on FAN6300

BAO Jian-yu, SUN Lin-jun, HE Qi-xin

(Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo Zhejiang 315100, China)

**Abstract**: In recent years, LED has been widely used in the street-lamp lighting for its energy-saving and environmental protection. In order to meet the electrical behavior of high-power LED, a quasi-resonant LED street-lamp power supply with high voltage and constant current was designed by fairchild FAN6300 on the basis of the traditional flyback converter. The operating principle and advantages of such power supply were illustrated. The circuit diagram was given, and the calculation and selection methods of some key parameters were presented. The feasibility and effectiveness of the whole design is verified by experimental results.

**Key words**: street-lamp; flyback converter; quasi-resonant; constant current

随着能源危机和气候变暖问题越来越严重,节能已成为全球普遍关注的话题。照明是人类消耗能源的一个重要方面,约占世界总耗能的 20%,因此研究和开发绿色节能照明技术已越来越受到重视。大功率 LED 路灯是通过直流电压点亮大功率 LED 组来实现照明需求的一种新型照明方式,因此传统的用以驱动白炽灯、日光灯、节能灯、钠灯等光源的电源并不适合直接驱动大功率 LED。本文根据大功率 LED 的工作特性(V-I 特性)和 LED 路灯的驱动要求,在通用的宽输入电压范围(90~265 V)内,利用电力电子技术和 PWM 集成控制芯片,设计了一种准谐振高压恒流 LED 路灯驱动电源,简化了电路结构,提高了电源的工作效率。

对于传统的硬开关反激式转换器<sup>[1-2]</sup>,寄生电容将与变压器原边漏感发生振荡。寄生电容上的电压数值一般都较大,当下一时钟周期的 MOSFET 再次导通时,寄生电容会通过 MOSFET 放电,并产生很大的电流尖峰。由于此时 MOSFET 漏源之间承受高电压,该电流尖峰就会产生开关损耗,同时电流尖峰含有大量的谐波含量,因而又会产生 EMI。考虑以上因素后,如能利用检测电路有效识别 MOSFET 漏源电压的谷值,并在这时开通 MOSFET,由于此时寄生电容上电压最

小,导通时的电流尖峰也将会最小化,这种工作模式常被称为准谐振开关<sup>[3]</sup>。因此,准谐振技术的基本原理就是利用 MOSFET 两端的电容(寄生电容或外接电容)与变压器原边漏感产生的谐振,通过实时检测开关器件两端的谷底电压来控制开关管的近似零电压开通,减小了 MOSFET 的开关损耗,提高了变换器的效率。此外,更软的开关特性降低了电源的 EMI 噪声,允许设计人员减少使用滤波器的数目,因而降低成本。整个电路结构简单,满载效率高,空载损耗小。

### 1 驱动电源设计要求

LED 是电流驱动元器件,它的亮度取决于它的正向电流<sup>[4]</sup>,因此用恒定电流电源驱动 LED 是最好的方法。恒流源可以避免因输入电压的波动使输出电流波动,从而使 LED 的亮度始终保持不变。对于恒流驱动方式,LED 采取串联驱动的连接方式又是最好的选择。考虑到串联方式会引起输出电压过高问题,本例选 40 个 1 W LED 进行串联连接,这样就需要设计额定功率为 40 W 的电源与之配套。根据路灯的实际照明要求,只需将 40 W 电源作为一个基本模块进行相应的功率扩展即可<sup>[5]</sup>。40 W 电源的具体设计要求如下:(1)输入电压为 90~265 V;(2)额定输出电压 132 V;(3)额定输出电流 330 mA;(4)电源效率  $\eta=90\%$ 。

### 2 基于 FAN6300 的准谐振电路设计

FAN6300 是飞兆公司推出的一款高集成度 PWM 控制芯

收稿日期:2011-03-15

基金项目:宁波市自然科学基金资助项目(2010A610184)

作者简介:鲍建宇(1976—),男,浙江省人,博士,副教授,主要研究方向为电力电子技术及其应用。

片,欧司朗也正在考虑将 FAN6300 用于其 12 W 到 60 W 的 LED 驱动器产品。FAN6300 的内部谷底电压检测器确保功率系统在较宽的家用电力范围和任何负载条件下都在接近谐振的状态运行,并减少开关损耗以最大限度地降低 MOSFET 漏极上的开关电压。FAN6300 还具备多种保护功能,如逐脉冲电流限制功能可以为系统提供短路和开路保护,增强了电源的可靠性。因此,采用 FAN6300 可以大幅度提升反激式变换器的工作性能。本文中电源主电路采用单端反激式拓扑结构,电路如图 1 所示。

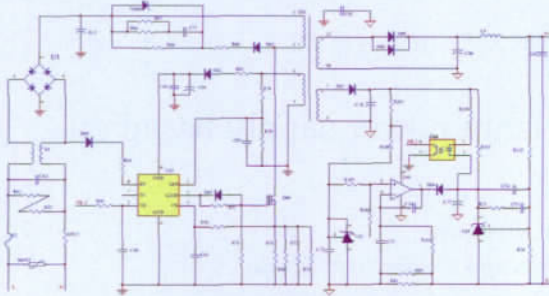


图 1 基于 FAN6300 的准谐振电源

### 3 电路参数设计

#### 3.1 变压器参数设计

(1) 确定变换器的最小工作频率  $f_{s,min}$

这是因为在准谐振模式下,工作频率  $f_s$  是变化的,通常指在最小输入电压以及额定负载情况下的频率。此处取  $f_{s,min}=50\text{ kHz}$ 。

(2) 估算初级到次级的匝数比  $n$ 。

根据  $V_{ds,max}=V_{in,max}+n(V_0+V_d)$ ,为了在尽可能大的范围内实现零电压导通,一般将次级到初级的反射电压取得大一些,因此通常会选用 800 V 的 MOSFET。考虑一定的裕量,取  $V_{ds,max}=640\text{ V}$ ,则可求得  $n=1.8$ 。

(3) 确定最大占空比  $D_{max}$ 。

$$D_{max} = \frac{n(V_0 + V_d)}{n(V_0 + V_d) + V_{in,min}} \times (1 - f_{s,min} \times t_f)$$

式中:  $t_f$  为 MOSFET 漏极电压的下降时间,数据手册提供的典型值为  $0.5\sim 1\ \mu\text{s}$ ,我们可选  $0.6\ \mu\text{s}$ 。将上述数据代入可得  $D_{max}=0.63$ 。

(4) 计算初级绕组电感值  $L_p$ 。

$$\text{根据能量守恒关系,则有: } L_p = \frac{(V_{in,min} D_{max})^2}{2P_{in} f_{s,min}}$$

代入数据,可得  $L_p=1.45\text{ mH}$ 。

(5) 计算 MOSFET 的峰值电流  $I_{ds,max}$ 。

$$I_{ds,max} = \frac{V_{in,min} D_{max}}{L_p f_{s,min}} = \frac{90\sqrt{2} \times 0.63}{1.45 \times 50} = 1.11$$

(6) 确定磁芯和最小的原边匝数  $N_{p,min}$ 。

根据变压器的功率等级选择稍大点的磁芯,结合成本因素,在此选择 PQ2625 铁氧体磁材和骨架。

$$\text{由法拉第定理有: } N_{p,min} = \frac{L_p I_{ds,max}}{B_{max} A_c} \times 10^6$$

式中:  $A_c$  为磁芯有效截面积,此处为  $118\text{ mm}^2$ ;  $B_{max}$  为最大磁感应强度,铁氧体磁芯一般可取  $0.25\text{ T}$ 。代入上式,可得

$N_{p,min}=54.6$ ,取 55 匝。

为了避免磁芯饱和,还需在磁回路中加入一定的气隙,计算如下:

$$l_g = 0.4\pi \times N_p^2 \times A_c \times 10^{-8} / L_p = 0.3\text{ mm}$$

(7) 确定副边绕组的匝数。

$$\text{副边绕组匝数计算公式如下: } \frac{N_s}{N_p} = \frac{(V_0 + V_d)(1 - D_{max})}{V_{in,min} D_{max}}$$

132 V 绕组匝数:  $N_{s1}=34$ ;

15 V 辅助电源绕组匝数:  $N_{s2}=N_{s3}=4$ 。

#### 3.2 恒压恒流控制电路设计

LED 路灯恒流驱动电源采用先稳压,再限流的混合方式。为适应负载变化,输出电压也需要保证在一定范围内变化。LED 的  $V_f$  值在  $3\sim 3.5\text{ V}$ ,40 颗 LED 串联则要求电源部分可调整的电压范围为  $120\sim 140\text{ V}$ 。恒压恒流控制电路如图 2 所示。

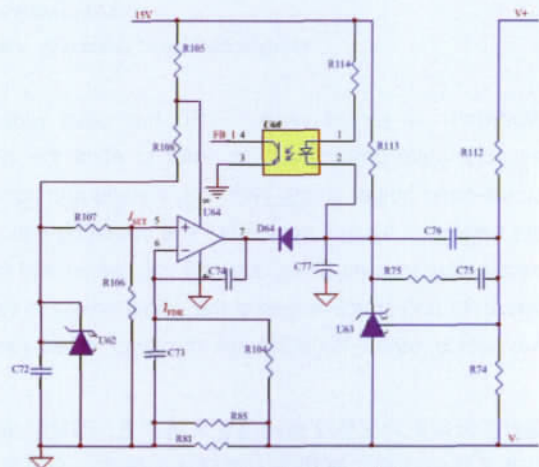


图 2 恒压恒流控制电路

##### (1) 恒压控制电路

采用光耦 PC817A 和精密宽电压稳压管 TL431 相配合,组成电压负反馈环路。以图 2 为例,当输出电压发生波动且变化量为  $\Delta U$  时,通过取样电阻分压之后,与 TL431 的内部  $2.5\text{ V}$  基准电压相比较,TL431 阴极输出电压  $U_k$  也发生相应的变化,通过光耦 PC817A 转变成误差电流,耦合到初级中,并输入到 FAN6300 的 2 脚。FAN6300 通过此反馈信号,产生相应的占空比信号来控制功率开关,从而实现恒压调节的目的。

##### (2) 恒流控制电路

采用光耦 PC817A 和运放 LM358 相配合,组成恒流调节电路。利用 TL431 产生恒流源的设定值  $I_{set}$  ( $330\text{ mA}$ ),在主回路中串入采样电阻以检测电流,若采样电阻上的电压大于恒流源的设定值  $I_{set}$  时,则运放 LM358 输出电压下降,流过光耦二极管的电流增大,耦合到 FAN6300 的 FB 端,引起 PWM 输出信号的占空比减小,从而使输出电压减小,直至整串 LED 电流达到恒流值  $330\text{ mA}$ 。反之亦然。由于采用稳压和恒流相互配合控制,电源的输出电压稳定值取决于 LED 灯的串联颗数。

### 4 实验验证

为验证电路方案的可行性,将 40 颗  $1\text{ W}$  LED 串联起来

(下转第 1174 页)

- [11] ZHANG S S ,XU K. An improved electrolyte for the LiFePO<sub>4</sub> cathode working in a wide temperature range[J]. Journal of Power Sources ,2006 ,159 :702-707.
- [12] HIROAKI K ,KYOICHI S ,TAKAMURA T. Power capability improvement of LiBOB/PC electrolyte for Li-ion batteries[J]. Journal of Power Sources ,2005 ,146 :142-145.
- [13] ZHANG S S ,XU K ,JOW T R. Enhanced performance of Li-ion cell with LiBF<sub>4</sub>-PC based electrolyte by addition of small amount of LiBOB[J]. Journal of Power Sources ,2006 ,156 :629-633.
- [14] ZHANG S S ,XU K. A new approach toward improved low temperature performance of Li-ion battery[J]. Electrochemistry Communication ,2002 ,4 :928-932.
- [15] GAO H Q ,LAI Y Q. Electrochemical behaviors of new lithium salt LiB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>F<sub>2</sub> in EC+DMC solvents[J]. Acta Physico-Chimica Sinica ,2009 ,25(5) :905-910.
- [16] ZHANG S S. An unique lithium salt for the improved electrolyte of Li-ion battery [J]. Electrochemistry Communications ,2006 ,8 (9) :1423-1428.
- [17] 邓凌峰,陈洪.锂电池用草酸二氟硼酸锂有机电解液的电化学性能[J].无机化学学报,2009,25(9):1646-1650.
- [18] FUA M H ,HUANG K L. Lithium difluoro(oxalato)borate/ethylene carbonate+propylene carbonate+ethyl(methyl) carbonate electrolyte for LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> cathode[J]. Journal of Power Sources ,2010 ,195 :862-866.
- [19] TU X H ,CHU Y Q. New ternary molten salt electrolyte based on alkali metal triflates[J]. Ionics ,2010 ,16 :81-84.
- [20] ENSLING David.A comparative XPS surface study of Li<sub>2</sub>FeSiO<sub>4</sub>/C cycled with LiTFSI-and LiPF<sub>6</sub>-based electrolytes [J]. Journal of Materials Chemistry ,2009 ,19 :82-88.
- [21] MANDAL B K. New low temperature electrolytes with thermal runaway inhibition for lithium-ion rechargeable batteries[J]. Journal of Power Sources ,2006 ,162 :690-695.



(上接第 1112 页)

作为负载,搭建了上述准谐振反激电源的实验样机。

图 3(a)所示的为满载时的实验波形,上面为 FAN6300 谷底电压检测端(引脚 1)的波形,下面为开关管的驱动脉冲信号。可以看出,当 MOSFET 两端的电容与变压器原边漏感产生的谐振电压达到最低点后,开关重新导通,实现了零电压开关。图 3(b)所示的为轻载时(约 10 W)相对应的电压波形,为了克服准谐振电路在轻载时会增加频率的缺点,FAN6300 在内部设置了一个最小关断时间,这样从波形图中可以看出,在第一次谐振到达最低电压时,如果此时关断时间没有超过内部设置的小关断时间,开关管将无法导通,将继续振荡,直到关断时间超过最小关断时间,开关管才能再次导通。有了这个功能就可减少开关次数,也即降低工作频率,从而降低开关损耗。比较图 3(a)与图 3(b),当负载变轻时,其开关频率也相应变小,开关次数减小,但开关都能在谷底值开通,保证电源工作在准谐振状态。这样开关电源的导通损耗就会减小,减少 EMI 干扰。

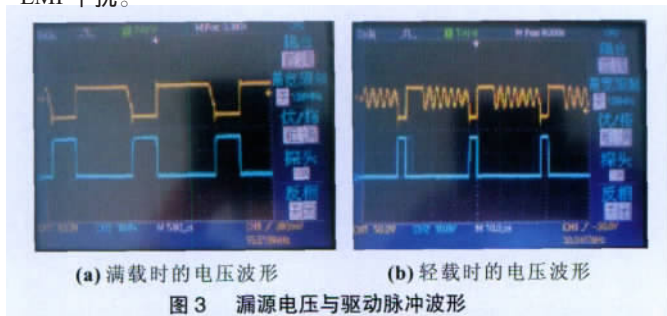
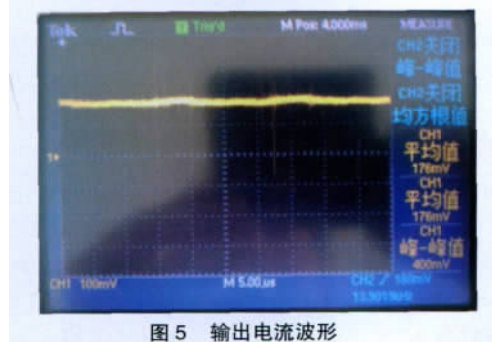
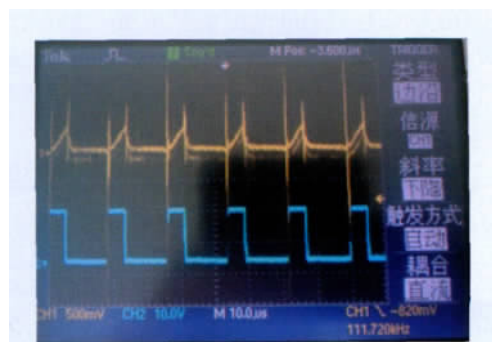


图 4 所示为满载时流经开关管的电流波形,通过 FAN6300 的 4 脚检测,达到限制峰值电流的目的。图 5 所示为满载时输出电流波形,实际波形由电路中串入采样电阻而测得,电阻值约为 0.5 Ω,不难看出,电流波形平直、纹波小,实现了恒流控制。

## 5 结论

在当今全球能源紧缺的环境下,节约能源已成为大势所趋。大功率 LED 具有光效高、低功耗、寿命长、稳定性高、光色纯、安全性好、可控性强等优点,正逐步取代传统光源,成为照明领域的新一代绿色光源。设计出电路结构简单、高效、低成本、能满足 LED 路灯要求的驱动电源尤显重要。本文通过对



准谐振开关电源的工作原理分析,提出了一种适合于 LED 路灯应用的高压恒流准谐振反激电源,并详细介绍了关键电路及其参数的设计方法。根据上述方案,设计了一款 40 W 电源样机,在实现恒流控制的同时,使电源的满载效率达到了 91%,较好地满足了 LED 路灯照明工程的要求。

## 参考文献:

- [1] 刘胜利. 现代高频开关电源实用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] ROUGER N.High-efficiency and fully integrated self-powering technique for intelligent switch-based flyback converters[J]. IEEE Trans on Industry Applications ,2008 ,44(3): 826-835.
- [3] 汪洋,林海青,常越.反激式准谐振开关电源工作频率确定及电源研制[J]. 电力电子技术 ,2005 ,39(3) :92-94.
- [4] 公文礼. 大功率 LED 灯具电源驱动的分析与研究[J]. 灯与照明 ,2009 ,33(4) :29-32.
- [5] PATTERSON J ,ZANE R.Series input modular architecture for driving multiple LEDs [C]//IEEE Conference on PESC08.Rhodes: IEEE Conference on PESC08 ,2008:2650-2656.