

新型高效LED驱动电源

毛书凡,陈壮,韩旭

(天津理工大学 工程训练中心,天津 300384)

摘要:针对现有LED驱动电源寿命受到电解电容自身寿命限制的问题,提出了一种新型的高效LED驱动电源,通过对现有LED驱动电源的工作原理和电路组成的分析研究,采用把无极性电容器稳压电路与分压整流线性控制驱动电路有机结合的方法,将无极性电容器代替电解电容器,实现无变压器,降低了电源在工作中的磁、热损耗,延长了现有LED灯的开关频率寿命,并将现有带调节功能的LED驱动电源电能的有效利用率由50%~70%提升至80%以上,为LED驱动电源的普及及广泛应用提供了一种新的设计方法。

关键词:新型LED驱动电源;线性控制;无变压器;无极性电容器

中图分类号:TM923 **文献标识码:**A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd22054

New High-efficiency LED Driver Power Supply

MAO Shufan, CHEN Zhuang, HAN Xu

(Engineering Training Center, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: Aiming at the problem of the existing LED driver power supply which is limited by the life of the existing electrolytic capacitors, a new type of high-efficiency LED driver power supply was proposed. After analyzing and studying the working principle and circuit composition of the existing LED driver power supply, the method of combining the voltage stabilization circuit of polarity-free capacitor with the voltage dividing rectifier linear control driver circuit was adopted, the electrolytic capacitor was replaced with polarity-free capacitor, the transformerless was achieved, magnetic and thermal losses in the work of the power supply were reduced, the switching frequency life of the existing LED lights was extended, and the effective utilization rate of the existing LED drive power supply with regulation function was improved from 50%~70% to more than 80%. The new method could provide a new design method for the popularization and wide application of LED driver power supply.

Key words: new LED drive power supply; linear control; transformerless; polarity-free capacitors

近年来LED照明的普及以其节能环保、安全可靠、寿命长等优点发展迅速,正在逐步替代传统光源而成为市场上的主导产品。驱动电源是LED灯的重要组成部分,如今LED的电光转换技术取得了很大的进步,电能消耗仅为白炽灯的1/8,虽然LED照明产品具有使用寿命长的特点,但是LED驱动电源具有效率低、寿命短的缺陷,一直是困扰技术研发人员的难题。目前大部分的小功率可调直流电源模块仍依赖于国外降压稳压器芯片^[1]。

针对无电解电容LED驱动电源输入输出功率的不平衡,国内外学者提出的驱动方案主要包括以下3种:谐波调制法;脉动电流驱动LED法;

增加辅助储能元件法^[2]。

因电源中的主要关键器件电解电容在温度75℃时,电容量会因为电解液蒸发而造成使用寿命下降,只为半导体器件持续工作平均寿命的1/5,使得整个LED驱动系统的工作周期受到严重影响^[3]。故驱动电源内部的电路器件限制了LED的能效和寿命,消除电解电容是使LED照明系统与发光二极管寿命相匹配的关键^[4]。市场中LED照明均采用恒流驱动和阻容降压2种电路,其中恒流驱动依据所选的开关功率器件又分为线性恒流和开关恒流。调光电路或无或复杂,而阻容式降压虽具有结构简单、成本低的优点,但功率因数偏低,在驱动较高功率LED灯具时尤为明

基金项目:天津市高等学校国家级大学生创新创业训练计划项目(201410060012)

作者简介:毛书凡(1963—),男,本科,高级工程师,Email:maoshufan@126.com

显,满足不了LED照明市场的需求。

本文提出的新型高效LED照明灯驱动电源具有结构简单、成本低廉、体积小、功率因数高、电能转换效率高、寿命长等优点,摒弃了损耗占比较多的变压器和电感器件,是替代现有恒流驱动电源和阻容式驱动的一种技术方案。文章详细分析该驱动电路的工作原理,并通过样机测试验证了该方案的正确性。

1 电路设计基础

1.1 电容的降压及稳压

电容在一定频率的交流信号下会产生容抗,基于这一特性可以限制电路的最大工作电流,这也就是电容降压的工作原理。如果视降压电容为一个理想电容,那么流过的无功电流不消耗任何有功,所产生的功耗完全取决于这个与电容串联的阻性元件^[5]。根据负载的电流大小和交流电的工作频率可以选取适当的电容,既能实现电容器限流,又可以动态分配电容器容量,起到控制调节负载两端电压的作用^[6]。

电容稳压电路是利用电容的充放电作用,使输出电压趋于平滑,理想情况下的波形如图1所示,经过电容稳压电路之后实际的输出波形如图2所示。

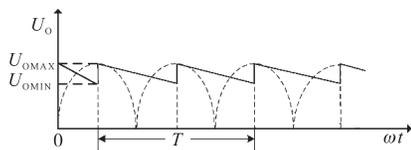


图1 理想情况下的波形
Fig.1 Ideal waveform

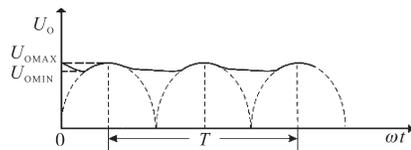


图2 经过电容稳压电路之后实际的输出波形
Fig.2 Actual output waveform after capacitor voltage stabilizing circuit

为了获得较好的滤波效果,在实际电路中,选择的滤波电容容量满足下式:

$$R_L C = (3 \sim 5) T / 2 \quad (1)$$

式中: R_L 为负载电阻; C 为滤波电容; $R_L C$ 为放电回路的时间常数; T 为周期。

放电回路的时间常数越大,其滤波效果越

好,其整流后输出的直流电波形越平滑^[7]。当电源电压高于负载(电容)两端电压时,电源向电容充电,使负载两端电压保持不变;当电源电压低于负载两端电压时,电容向负载放电;最终使负载两端电压保持稳定。

1.2 线性输出

图3为电路线性稳压原理图。

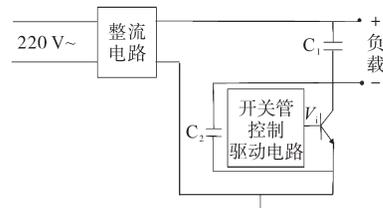


图3 电路线性稳压原理图

Fig.3 Schematic diagram of circuit linear voltage stabilizing

图3电路中,开关管控制驱动电路由输出电路、采样回路和开关控制模块组成,也是此驱动电源电路的核心部分。220 V交流电经整流电路后,形成脉动直流电,由 C_1 和 C_2 串联对负载进行分配供电。当交流电压低于等于额定启动负载输出直流电压时,控制开关电路提供驱动电压 V_1 ,适配的 C_1 端电压将直接供给负载至额定输出。当输入交流电压高于额定输出直流电压时,经采样回路控制开关电路,使工作阻抗高于 C_2 容抗,实现 C_1 和 C_2 串联并降低负载电压额定输出,以此反复采样的查询工作,实现负载电压的线性稳定输出,参考下2式:

$$X_C = 1 / (2\pi f C) \quad (2)$$

$$U_1 = U \cdot C_2 / (C_1 + C_2) \quad (3)$$

式中: X_C 为容抗; U_1 为 C_1 端电压; U 为整流电路输出电压; C_1 为负载电容; C_2 为可调节电容。

该线性稳压电源采用电容器件,不仅具有稳压功能,而且具有滤波的特点,因此输出性较理想,不会对电网产生影响。

2 电路分析

2.1 电路组成及功能

该电路主要包含3个功能电路,如图4所示。

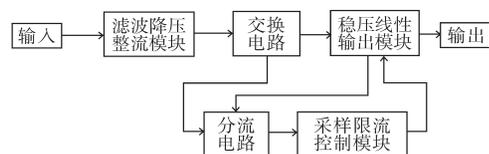


图4 电路原理框图

Fig.4 Circuit schematic frame diagram

滤波降压整流模块:采用电阻、无极性电容和整流器组成的降压整流电路,依据负载需求选择合适压降进行初次降压,再经过整流,使得220 V交流电转换成脉动的直流电。关于整流桥的选择,整流二极管的最大电压应力等于电路输入电压的最大值^[8],参考下式:

$$U_{dmax} = \sqrt{2} U_{in} = 311 V \quad (4)$$

式中: U_{dmax} 为整流二极管的最大电压; U_{in} 为电路输入电压。

该模块电路可以将降压整流后输出电压中干扰的波纹大部分滤除。

2)分流采样控制模块:此部分也是该电源设计的重点,通过对输出电压的采样,来控制开关管对电容的充放电,从而稳定输出电压。

3)稳压线性输出模块:根据稳压管在一定的范围内,电压几乎不随电流的变化而变化这一特点,调节与稳压管串联的CMOS管来控制开关管^[9],从而控制电容充放电,其频率的变化改变了串联容抗值,进而实现了对电容压降的控制。

2.2 电路结构分析

依据图4,对电路工作的流程加以分析。

市电220 V/50 Hz接入电路后,经由滤波电容、限流电阻和降压电容器组成滤波降压电路,由交换电路中的整流桥整流成脉动直流电,交换电路分流后,一部分经稳压电路中的隔离二极管、充电二极管和第2只限流电阻对第1只电容器和第2只电容器进行串联充电;另一部分流经分流电路,当交流输入电压低于输出直流电压时,分流电路中的电容对外电路进行放电,这时采样限流模块导通,通过对稳压电路的分流降低了输出电压,从而降低了由于外界电压变化而对输出电压带来的影响。其特性表现为:利用其线性跟随特性,使输出电流随输入信号的变化而线性缓慢变化;当交流输入电压高于输出直流电压时,分流电路中的电容随即对稳压电路中的电容进行充电,负载输出电压便得到了有效的补偿,从而稳定了输出电压。

在电路设计中,由于未使用变压器、电解电容等元器件,所以该LED驱动电源电路,在能耗、可靠性方面均显现出其独特的设计优势。

2.3 电路原理分析

本节对本文提出的新型高效LED照明灯驱动电源的电路原理进行分析。

图5为电路原理图。

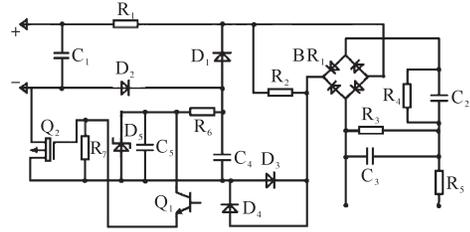


图5 电路原理图

Fig.5 Circuit schematic diagram

2.3.1 降压与限流

如图5所示,电容 C_2 的作用为降压与限流。利用电容通交流、隔直流的特性,在适配LED的功率时,可参考流过降压电路电流的计算公式: $I = U/X_C$ 。在220 V/50 Hz交流电路中,电流与电容关系近似为: $I \approx 69C$ 。与 C_2 并联的电阻 R_4 为泄放电阻,电容大小关系到泄放电阻值,电容的容量越大,残存电荷量就越大,泄放电阻的阻值相对减小,二者参考数据见表1。

表1 不同降压电容所对应的泄放电阻值

Tab.1 Discharge resistance corresponding to different step-down capacitors

降压电容 $C_2/\mu F$	泄放电阻 $R_4/M\Omega$
0.047	1.00
0.680	0.75
1.000	0.51
1.500	0.36
2.000	0.20 ~ 0.30

2.3.2 线性稳压

如图5所示,当市电电压瞬时变化并造成输出的直流电压低于设计值时,此时整流桥输出端电压减小,隔离二极管 D_3 的负极电压为正,驱动光耦二极管导通,根据其导通的强度,可以控制光耦输出端 Q_1 电流的大小,进而控制开关管 Q_2 导电沟道的宽度,从而线性控制电容 C_4 通过放电二极管 D_1 和限流电阻对电容 C_1 充电;当隔离二极管 D_3 电压低于光耦二极管驱动电压值时,其控制的光耦输出端 Q_1 无法提供开关管 Q_2 的开启电压, Q_2 关闭,电容 C_1 两端电压为负载输出电压;基于光耦电路对开关管 Q_2 开启宽度的线性变化及降压电容器产生的容抗限制了流过负载LED灯组的电流,进而实现了在输入交流电压变化的特定区间,电压的变化与输出功率呈线性关系。

利用该设计电路对输出端电流的线性控制,对输出端提供了有效稳定的电压。此外,光耦输出端 Q_1 的电流通过电阻 R_6 ,并在稳压管 D_5 作用下保持稳定压降,可精确控制 Q_2 导电沟道的宽度,

降低电流在电路中的损耗。因市电输入电压增高,造成输出直流电压高于设计值时,整流桥输出端电压增大,隔离二极管 D_3 的负极电压为负。此时电容 C_1 通过限流二极管 D_2 ,经 D_1 放电,形成通路;而串联的电容 C_1, C_4 ,通过限流二极管 D_2 、隔离二极管 D_3 同时分流组成另一通路,并对电容 C_4 、电容 C_5 充电储能,稳压管 D_5 获得反向压降,以此来保护开关管 Q_2 的控制电压不超过导通电压。基于电路中循环工作的电流,被充分利用的创新模式,使电能的利用率得以提高。

2.3.3 能量存储与释放

如图5所示,电容 C_4 、电阻 R_6 、电容 C_5 和稳压管 D_5 组成电路的主要功能如下:1)当外界电压瞬时降低时,一方面,电容 C_4 通过二极管 D_1 、电阻 R_1 为电容 C_1 充电;另一方面,电容 C_4 释放电流经 R_6 通过对光耦 Q_1 的控制,提高 Q_2 开关宽度。根据电容 C_4 释放电流的正弦变化规律,电容 C_4 两端电压的增长速率将逐渐减缓直至停止。2)当外界电压瞬时升高时,整流桥输出端对串联的电容 C_1, C_4 充电,电容 C_4 两端的电压升高。3)当 C_4 两端的电压升高至 D_5 的管压降时, C_4 的电压便不再升高,此时电容 C_4 通过稳压管 D_5 保持稳定电压。4) R_2 为保护电阻,用于交流电路断开时释放存储在降压电容器 C_4, C_5 中的电荷,防止交流电接通时,电源电压与降压电容器 C_4, C_5 存储的电压叠加造成电路内其他电子元件的损坏。

3 实验结果和对比

3.1 驱动电源参数测试及分析

表2为相同功率下,本文提出的高效LED驱动电源与其它2种主流驱动电源的输出参数对比表;表3为本文提出的高效LED驱动电源与其他品牌相同功率驱动电源的主要性能对比表。由表2和表3可以看出,与常用的阻容降压式驱动电源和恒流式驱动电源相比,该LED电源在效率方面优点较为突出,在相同功率时,高效LED驱动电源的亮度有明显的提升。

表2 相同功率下与其它2种主流驱动电源的输出参数对比

Tab.2 Comparison of output parameters with other two main driving power supply with the same power

驱动电源类型	直流输出电压/V	输出电流/mA	功率/W	效率
高效LED驱动电源	86.1	152.1	12.30	0.939
恒流LED驱动电源	24.2	500.0	12.10	0.865
阻容降压驱动电源	96.0	125.0	12.46	0.890

表3 与其他品牌相同功率驱动电源的主要性能对比

Tab.3 Main performance comparison of the same power drive power supply with other two brands

	电解电容	变压器	二次升降压	体积	输出纹波	线性输出	对电网影响
高效LED驱动电源	无	无	无	小	较小	可以	小
某品牌驱动电源1	有	无	无	小	较大	不可以	较大
某品牌驱动电源2	有	有	有	较大	较小	可以	较大

3.2 驱动电源功能优势分析

图6、图7分别为本文所提新驱动电源系统输出78V时的纹波波形实验综合数据结果及其对应曲线。

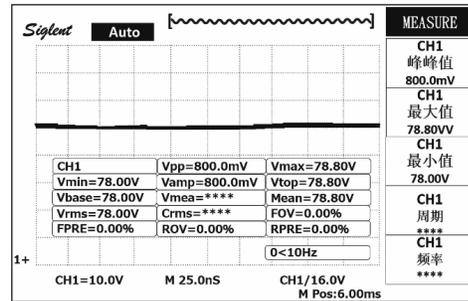
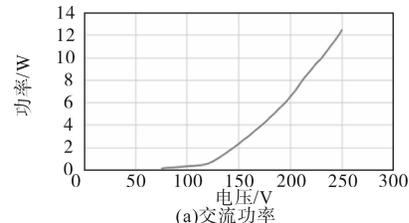
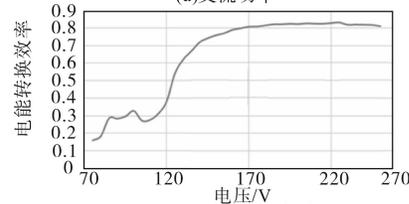


图6 系统输出78V时纹波波形

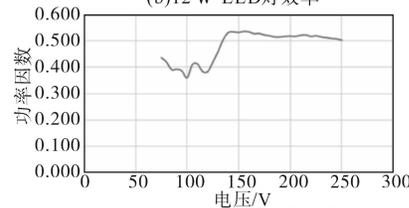
Fig.6 Ripple waveform at system output 78 V



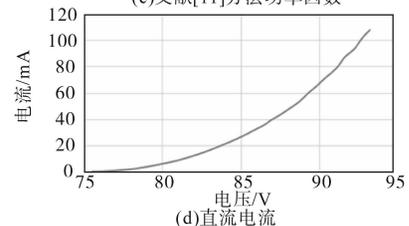
(a)交流功率



(b)12 W LED灯效率



(c)文献[11]方法功率因数



(d)直流电流

图7 系统综合数据及对应曲线

Fig.7 System comprehensive data and corresponding curves

由图6、图7实验结果可得出如下结论:

1)该设计电路实现了输入电压与输出功率的线性控制,通过使用有源缓冲电路控制电容容量,降低了纹波^[10](见图6),转换效率高、发热量低。

2)采用无极性电容器替代电解电容器,提高电源的使用寿命。因无变压器与电感器件,故无电磁能量变换损耗,开关频率寿命相对延长。

3)以12 W驱动电源为例:新驱动电源的工作范围为AC 80~260 V,且电压在AC 160~260 V时,效率始终保持在0.8左右,如图7b所示。文献[11]开关电源工作的电压范围一般在AC 110~250 V变化时,效率却下降至0.5,如图7c所示。

4 结论

由于设计电路原理的特点优势明显、器件布局合理,使得该驱动器发热量较低易于安装在灯具内。该LED驱动电源对现有LED驱动电源的选择,提供了新的技术途径。

参考文献

[1] 赵楠,乔双. 0 V起调的可调直流稳压电源的设计[J]. 东北师

大学报(自然科学版),2019,51(3):92-95.

- [2] 黄玉水,徐爽,鲍建宇,等. 一种无电解电容高压大功率LED驱动电源[J]. 电气传动,2020,50(3):102-106.
- [3] 章勇高,史献冰,高海文,等. 一种具有功率耦合电路的无电解电容LED驱动电源[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(17):58-64.
- [4] 王帅. 无电解电容器AC/DC LED驱动电源的研究与设计[D]. 南昌:华东交通大学,2018.
- [5] 李美芳. 阻容降压型直流电源的设计与仿真[J]. 电子设计工程,2017,25(17):120-123.
- [6] 翟明静,徐建刚,刘广陵,等. 基于阻容降压的稳压电路设计[J]. 电子技术应用,2015,41(10):133-135.
- [7] 朱叶廖,廖无限,胡正国,等. 基于UC3843的半波整流电路辅助电源设计[J]. 湖南工业大学学报,2016,30(3):54-57.
- [8] 马晓露. 具有PFC功能的LED驱动电源研究与设计[D]. 淮南:安徽理工大学,2018.
- [9] 林健鹏,毛行奎. 一种高功率因数可调直流开关电源的设计[J]. 电器与能效管理技术,2015,3(16):35-39.
- [10] 范莉,徐晴. 无电解电容和电感PMSM驱动系统控制研究[J]. 电气传动,2019,49(11):12-17.
- [11] 刘成惠. 一款高效的30 V直流开关电源设计[J]. 通信电源技术,2018,35(3):142-147.

收稿日期:2020-06-17

修改稿日期:2020-07-24