

文章编号:1007-2780(2012)05-0671-06

单级 PFC LED 驱动电源的研究与设计

张建飞, 史永胜*, 宁青菊, 牛 力

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021, E-mail: zjf_052@163.com)

摘 要: 论述了单级功率因数校正(PFC)LED 驱动电源的设计思想, 分析了单级 PFC 恒压源 AC/DC 构建原理, 给出了单级 PFC 恒压源产生相关问题的解决办法, 重点设计了恒流源部分, 给出了恒流驱动芯片 BP2808 工作原理和设计步骤, 同时, 设计了手动调光部分, 运用自激多谐振荡器 NE555 产生固定频率且占空比为 $0.09\% < D < 99.91\%$ 可调的 PWM 脉冲波去调节 LED 灯串的亮度, 研究结果表明, 能够实现宽范围占空比可调的 PWM 脉冲波, 并且在满足功率因数要求的同时实现了高效率 and 低成本, 符合 LED 驱动电源发展的趋势和潮流。

关 键 词: 单级 PFC 恒压源; 恒流驱动; LED 调光

中图分类号: TN86

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122705.0671

Study and Design of Driving Power Indoor LED with Single-Stage Power Factor Corrector

ZHANG Jian-fei, SHI Yong-sheng*, NING Qing-ju, NIU Li

(College of Electric and Information Engineering, Shanxi University of Science and Technology,
Xi'an 710021, China, E-mail: zjf_052@163.com)

Abstract: The paper introduces the principle of LED drive power with the single-stage Power Factor Corrector(PFC). The structure principle of constant-voltage source AC/DC with single-stage PFC is analyzed and the solutions of the questions related to the constant-voltage source with single-stage PFC is given. It is a key part to design of constant-current, the principle and design step of constant-current drive chip BP2808 are given, meanwhile, the manual dimmable LED is added, the multi-resonant self-excited oscillator consisted by NE555 is used to generate a fixed frequency and produce $0.09\% < D < 99.91\%$ adjustable duty cycle pulse width modulation(PWM) output to adjust LED's light. The results show the design could achieve a wide range of adjustment duty cycle PWM pulse wave and it is satisfied with the requirements of the Power Factor Corrector, meanwhile, the high efficiency and low-cost is realized, the paper conform to the trend of the development of LED drive power.

Key words: single-stage PFC Constant-voltage; constant-current driving; dimming LED

1 引 言

LED 以其高效、节能、环保、寿命长等优势深

入人心, 但是 LED 驱动电路对电网产生的谐波污染不能忽视, 所以, 人们提出了用有源两级功率因数(PFC)校正技术来代替传统的无源功率因数校

收稿日期: 2012-01-11; 修订日期: 2012-02-10

基金项目: 陕西省教育厅专项研究计划(No. 11JK0837)

作者简介: 张建飞(1985—), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要从事开关电源与 LED 驱动电源的研究与设计。

* 通讯联系人, E-mail: shiys@sust.edu.cn

正,使得输入电流的总谐波失真度 THD 小于 5%,功率因数可达 0.97~0.99 甚至更高,适用于大功率的 LED 照明系统,而对于中等功率 LED 驱动电路而言,有源两级 PFC 成本高,转化效率低,为了在性能和成本之间找到一个平衡点,单级 PFC 应用于中等功率照明是一种趋势和潮流,它在满足功率因数校正的基础上,减少了一套控制电路,使得成本低,转化效率高,散热好,并且输出稳定的电压作为下一级多路恒流源的输入,而恒流源以 BP2808 芯片驱动 LED 灯串,同时运用 NE555 振荡器产生 PWM 脉冲波输入给恒流芯片去调整 LED 亮度,使得 LED 灯串的亮度随着环境的实际情况变化而变化,即节能又实用,所以,本文主要从成本、节能等方面考虑设计的中等功率 LED 驱动电源。研究结果对显示用背照明光源的驱动也有参考意义。

2 LED 驱动电路的设计思想

本文主要是完成普通照明驱动的设计,从节能、稳定性、成本问题方面考虑,完成以下设计:首先,将市电经过带有单级 PFC 的恒压开关电源转化成需要的稳压电源,供给可调光的 DC/DC 恒流芯片 BP2808,同时,通过 PWM 调光信号发生器 NE555 多谐振荡器产生 PWM 脉冲波去调节恒流芯片 BP2808 的输出,使得 LED 灯串的亮度可调,逻辑框架图如图 1 所示。

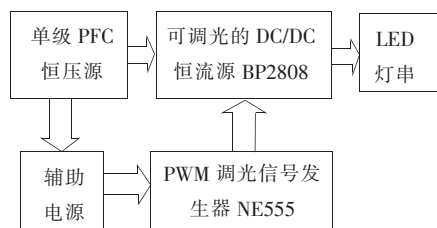


图 1 LED 驱动原理框架图

Fig. 1 Principle frame diagram of driving LED

3 LED 驱动电路的设计过程

根据图 1 逻辑框图所示,下面分别给出了恒压源、恒流源、NE555 振荡器的工作原理和设计过程。

3.1 单级 PFC 工作原理和参数计算

单级 PFC 恒压源是在两极 PFC 恒压源的基础上改进的,如图 2 所示,两极 PFC 恒压源的 PFC 控制器和 DC/DC 控制器分别对两个不同的 MOS 管 Q_1 和 Q_2 控制来实现输入电流可调(调

节输入电压电流相位,实现高功率因数),输出电压稳定,由于两极 PFC 控制的两个 MOS 管 Q_1 和 Q_2 的源级共地,所以可以用一个控制器实现输入电流可调,输出电压稳定,如图 3 所示。

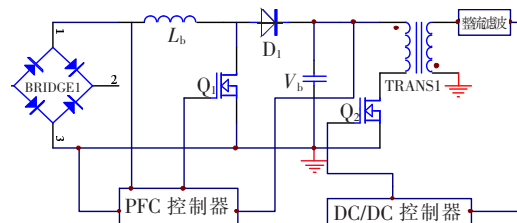


图 2 两级 PFC 恒压源

Fig. 2 Constant-voltage source with two-stage PFC

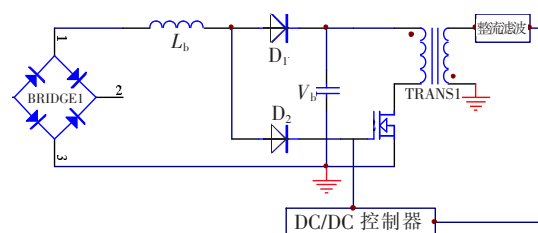


图 3 单级 PFC 恒压源

Fig. 3 Constant-voltage source with single-stage PFC

从图 2 和图 3 可以看出,图 3 单级 PFC 恒压源在图 2 两级 PFC 恒压源的基础上改进的,少用了一套控制电路,带来了许多优势,但是,单级 PFC 恒压源的平衡电容 V_b 不可控,当输入电压过大,输出轻载时,平衡电容电压很大,需要大容量高电压的储能电容,这样不仅使得驱动电路体积变大,而且影响整机的性能和寿命,采用绕组负反馈的方式抑制储能电容 V_b 的电压变化^[1-2]。

参数如图 4 所示,单级 PFC 恒压源由芯片 L6561 实现输入为 88~265 V,输出为 48 V/0.454 A,效率 $\eta_{\min}=90\%$,为恒流源提供 48 V 的稳压电源,主要参数设计如下:

①初级峰值电流:

$$I_{Pp} = \frac{2 \cdot P_{in-max}}{V_{p-min} \cdot F_2(K)} = 1.61 \text{ A}$$

②MOS 管耐压值和有效电流值:

$$I_{RMSp} = I_{Pp} \sqrt{\frac{F_2(K)}{3}} = 0.468 \text{ A}$$

$$V_{mos} = V_{p-max} + V_R + \Delta V = 543 \text{ V}$$

MOS 管选择为 SSH5N90A 型号。

③输出二极管耐压值和有效电流值:

$$V_{BR} = \frac{V_{p-max}}{n} + V_o = 225 \text{ V}$$

电流的变化, BP2808 采用独特的方法, 专门有一个管脚 LN 用来检测输入电压, 随着输入电压升高, 降低基准电压 V_{REF} 的值, LN 与 VDD 的差值 1 V, 基准电压 V_{ref} 降低 30 mV, 这样保证系统在很宽的电压范围恒流。

$$I_{rp} = \frac{10^3 \times T_{OFF} \times V_{OUT}}{L} \text{ (mA)} \quad (1)$$

$$I_{OUT} = I_P - \frac{1}{2} \times I_R \text{ (mA)} \quad (2)$$

其中, I_P 为峰值电流; I_{rp} 为纹波电流; T_{off} 为关断时间; I_{OUT} 为 LED 负载电流。

3.2.2 恒流芯片 BP2808 参数计算

恒流驱动芯片 BP2808 的输入是恒压源的输出, 电压 $V_{dc} = 48 \text{ V}$ (允许波动 $\pm 5\%$), 所以, $V_{dc\text{-max}} = 50.4 \text{ V}$, $V_{dc\text{-min}} = 45.6 \text{ V}$ 驱动 1 W ($3.3 \text{ V} \cdot 330 \text{ mA}$) 大功率 LED 灯串 9S $\times$ 2P (9 串 2 并), 具体参数如表 1 所示。

表 1 恒流驱动 LED 的基本参数

Table 1 Basic parameters of constant-current driver LED

输入基本参数	输出基本参数
$V_{dc} = 48 \text{ V}$	$V_{OUT} = 29.7 \text{ V}$
$V_{LED} = 3.3 \text{ V}$	$I_{OUT} = 660 \text{ mA}$
$I_{LED} = 330 \text{ mA}$	$P_{OUT} = 19.6 \text{ W}$
$\eta_{min} = 90\%$	$I_P = 1.089 \text{ A}$
$\Delta I_L = 60\%$	$I_{rp} = 0.858 \text{ A}$
无	$T_{off} = 10.8 \mu\text{s}$

据表 1 计算如下:

①电感线径为: $D = 0.459 \text{ mm}$;

$$L_M = \frac{V_{OUT} \cdot T_{off}}{I_{rp}} = 374 \mu\text{H}$$

②开关管 Q_1 的耐压值和平均电流:

$$V_{Q_1} = \sqrt{2} V_{IN\text{-MAX}} = 71.3 \text{ V}$$

$$I_{Q_1\text{-av}} = \frac{2 \cdot P_0}{V_{OUT} \cdot \eta} = 1.47 \text{ A}$$

选用 MOS 管 IRF620A。

③续流二极管 D1 的耐压值和平均电流和 MOS 管 Q_1 相同, 则选择快恢复的二极管 MUR815。

④采样电阻 R_{CS} 阻值为:

$$R_{CS} = \frac{V_{REF}}{I_P} = 0.25 \Omega \quad P_{CS} = \frac{U_{REF}^2}{R_{CS}} = 0.25 \text{ W}$$

其中 V_{REF} 为芯片内部参考电压值, 所以选用 4 个 $1 \Omega/0.5 \text{ W}$ 的电阻作为采样电阻。

$$\textcircled{5} \text{ 定时电阻 } R_T = \frac{T_{off}}{4 \cdot 10^{-5}} = 270 \text{ k}\Omega$$

4 LED 调光电路的设计

恒流芯片 BP2808 带有模拟调光和 PWM 调光, 模拟调光只需要在 BP2808 的 DIM 引脚上接个电位器就可以实现模拟调光, 模拟调光实际上就是改变 LED 正向电流的大小来实现调光, 这种调光方式会带来以下几点问题: ①调节正向电流会使 LED 色谱偏移和色温变化; ②调节正向电流无法得到精确的调光, 因为光通量和正向电流近似成正比, 不是真正的正比关系。所以, 本文运用 PWM 调光^[5], PWM 脉宽调制实际上是通过快速改变开关管的占空比来实现调光的, 这种调光方式不会产生色谱偏移并且有很高的调光精度和调光范围, 本文运用 NE555 自激多谐振荡器产生 PWM 波, 能够实现固定频率的 PWM 输出和连续可调的占空比, 如图 6 所示, 由 NE555 的 R_1 , R_2 , R_w , D_1 , D_2 , C_1 构成自激多谐振荡器, D_1 , D_2 是放电和充电回路的导引管, 振荡频率为 288 Hz (因为芯片 BP2808 调光频率适合为 270 Hz) 占空比 D 可调范围: $0.09\% < D < 99.91\%$, 输出 OUT 的脉冲方波接入 BP2808 的调光引脚 DIM 端, 进行 LED 的手动调光, 具体计算如下:

$$t_{\text{charge}} = 0.693(R_1 + R_{w\text{-right}})C_1$$

$$t_{\text{discharge}} = 0.693(R_1 + R_{w\text{-left}})C_1$$

$$T = t_{\text{charge}} + t_{\text{discharge}} = 3.47 \text{ ms} \quad (3)$$

$$D_{\min} = \frac{t_{\text{charge}}}{T} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_w} = 0.09\% \quad (4)$$

$$D_{\max} = \frac{t_{\text{charge}}}{T} = \frac{R_1 + R_w}{R_1 + R_2 + R_w} = 99.90\% \quad (5)$$

从式(3)~(5)可以看出, NE555 自激多谐振荡器频率为 288 Hz; 占空比接近于 0~100% 可调范围, 实现 LED 亮度可调。

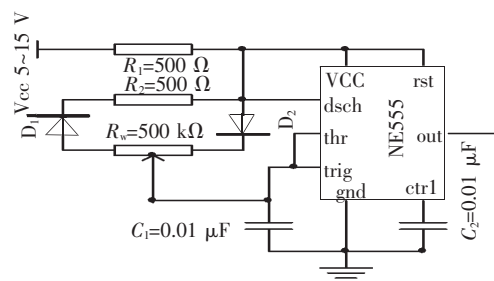


图 6 自激多谐振荡器 NE555

Fig. 6 Multi-resonant self-excited oscillator NE555

5 仿真结果与实验数据分析

仿真自激多谐振荡器产生的 PWM 波的可调范围,如图 7 所示。

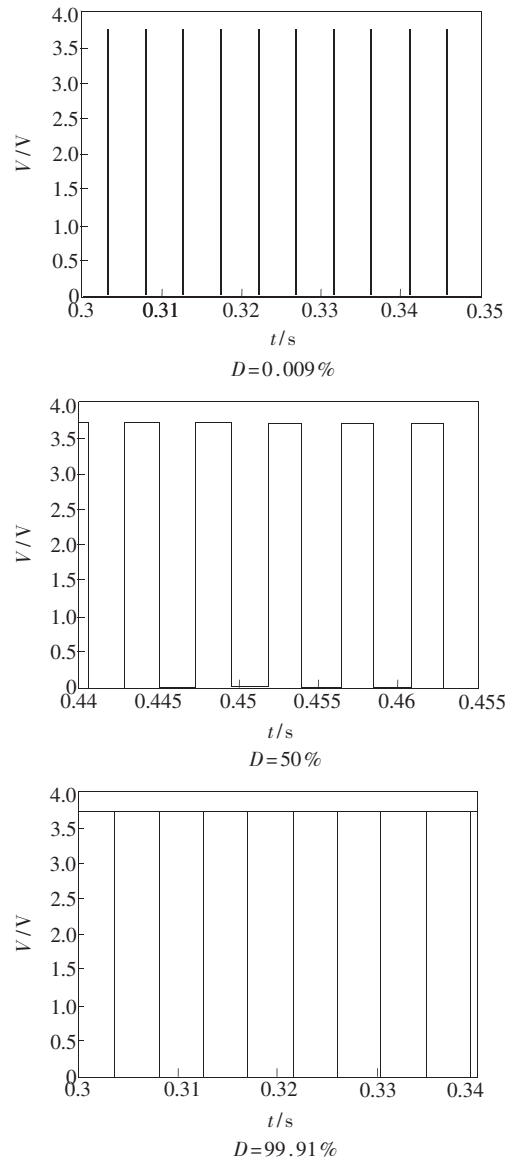


图 7 LED 调光占空比仿真图

Fig. 7 Simulation diagram of dimming LED duty cycle

图 8 为 LED 负载电流与可调占空比 D 的关系,从中可以看出,占空比近似为 100% 时,LED 负载电流为最大值 0.65 A。

表 2 为 LED 恒流驱动部分实验数据(调光占空比 99.9%),效率最大为 93%。

从图 7 可以看出,PWM 调光占空比仿真结果

和计算值相符,调光范围为: $0.09\% < D < 99.9\%$ 满足调光要求;从图 8 可以看出,占空比 D 与 LED 负载电流平均值成正比关系,最大为 650 mA,从表 2 可以看出,恒流驱动效率可达到 93%,满足高效率的要求,同时,恒压驱动部分运用了单级的 PFC,从理论上分析,少用一套控制电路必然降低成本,所以,整体满足设计要求。

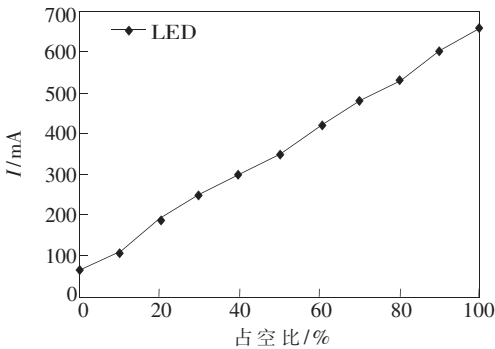


图 8 调光占空比与 LED 输出电流关系

Fig. 8 Relation table of both dimming LED duty cycle and LED output current

表 2 恒流源实验数据表

Table 2 Constant-current source experiment date tables						
输入 电压/ V	输入 电流/ A	输入 功率/ W	输出 电压/ V	输出 电流/ A	输出 功率/ W	效率
45.6	0.43	19.9	27.9	0.64	17.9	0.90
47.0	0.46	21.8	29.7	0.66	19.6	0.90
49.0	0.43	21.1	29.7	0.66	19.6	0.93
50.4	0.48	24.2	31.5	0.70	22.0	0.91

6 结 论

两级的 PFC 拓扑已经不适应中小功率的 LED 驱动使用,成本高,转化效率低,散热差,所以本文从理论上分析了牺牲部分功率因数实现低成本的单级 PFC 恒压源(少用了一套控制电路),同时,通过仿真和测量恒流源实验数据,可以得出恒流驱动的效率可达 93%,调光范围为 0.09%~99.91%,满足设计要求,能够实现低成本,高效率 and 宽范围的调光,即节能又实用,符合室内 LED 驱动发展的趋势。

参考文献:

- [1] 许化民. 单级功率因数校正技术 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2001.
- [2] Lee B H. A new single-stage PFC AC/DC converter with link-capacitor voltage [J]. *J. Power Electronics*, 2007, 7(4): 328-334.
- [3] 李渊. LED 可调光自动控制系统设计 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(1): 96-99.
- [4] 余娇. 小功率 LED 日光灯控制器设计 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2011.
- [5] 刘琦. 可单组调光的 LED 驱动设计 [J]. *机电工程*, 2011, 28(8): 992-995.

(上接 P607)

例:[12]西安电子科技大学. 光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL]. 2002-03-06[2002-05-28]. <http://211.152.9.47/sipoasp/zljs/hyis-yx-new.asp?recid=01128777.2&leixin=0>.

电子文献:[序号]主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[13]PACS-L: the public-access computer systems forum[EB/OL]. Houston, Tex: University of Houston Libraries, 1989[1995-05-17]. <http://info.lib.edu/pacsl.html>.

例:[14]Online Computer Library Center, Inc. History of OCLC [EB/OL]. [2000-01-08]. <http://www.oclc.org/about/history/default.htm>.

2. 文后参考文献应在正文中引用该文献处进行标注。
3. 关于作者姓名,姓在前,名在后(拉丁文只用缩写);作者3人以下应全部列出,4人以上仅列出前3人,其后加“等”(外文加“et al”)。
4. 注意参考文献标注的标点符号、次序,并不得缺项。
5. 参考文献著录不规范的有可能影响文章的录用。

注:文献类型和电子文献载体标志代码:

文献类型和标志代码

文献类型	标志代码	文献类型	标志代码
普通图书	M	报告	R
会议录	C	标准	S
汇编	G	专利	P
报纸	N	数据库	DB
期刊	J	计算机程序	CP
学位论文	D	电子公告	EB

电子文献载体和标志代码

载体类型	标志代码
磁带(magnetic tape)	MT
磁盘(disk)	DK
光盘(CD-ROM)	CD
联机网络(online)	OL