

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.03.009

# 基于单火线的LED照明灯调光系统设计

陈海东, 凌云, 黄文威, 冯磊, 张曙云

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 针对目前LED照明灯调光系统难以实现多档无级调光的缺陷, 设计一套由亮度信号给定模块、亮度信号接收模块、亮度调节驱动模块来实现LED照明灯调光系统。该系统采用双向晶闸管交流移相电路输出正负半波缺失的亮度信号电压波形, 然后将其转换成2位三进制亮度数据, 再通过单火线将该亮度信号发送到亮度信号接收模块, 由微控器对亮度信号进行识别捕获并输出占空比可调的PWM信号, 最后PWM信号通过LED驱动器对LED照明灯亮度进行调节, 实现了0~100%的多档无级调光控制。通过实验验证了该调光系统的可行性, 达到了预期效果。

**关键词:** LED照明灯; 双向晶闸管; 单火线; 微控器; PWM

中图分类号: TM923.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)03-0049-05

## Design of the Dimming System of Single Live Wire LED Lighting Lamps

CHEN Haidong, LING Yun, HUANG Wenwei, FENG Lei, ZHANG Shuyun

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** A LED lighting system, based on the luminance signal sending module, the luminance signal receiving module, and the rightness adjustment module, has been designed to overcome the defects of current LED lighting dimming system, which fails to regulate the multi-grade stepless dimming. A bidirectional thyristor alternating current phase shift circuit has been adopted by this new system for an output in voltage waveform of a luminance signal with positive and negative half wave loss, which signal will be converted into luminance data based on double-digit ternary system. The converted luminance signal, then via a single live wire, will be sent to the the luminance signal receiving module, where it will be captured, identified and converted into a PWM signal with an adjustable duty ratio by a micro-controller. The PWM signal, sent out by the LED drive, is able to adjust the brightness of LED lighting lamps, thus realizing the multi-grade stepless dimming control within the range of 0~100%. The feasibility of the dimming system has thus been verified by experiments, with the desired results fully achieved.

**Keywords:** LED lamp; bidirectional thyristor; single live wire; micro-controller; PWM

## 0 引言

目前, 常用的LED照明灯调光方法有以下3种。

1) 旋钮调光控制。它使用的是分压原理, 在

110~220 V之间, 根据电压的等级进行调光。该方法应用简单, 不产生任何干扰。缺点在于不灵活、效率低, 而且在降低LED照明灯电流时, 会引起白光

收稿日期: 2016-03-31

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(15C0404), 湖南工业大学研究生创新基金资助项目(CX1502)

作者简介: 陈海东(1990-)男, 安徽砀山人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力系统自动化, E-mail: 771840845@qq.com

通信作者: 凌云(1965-)男, 湖南平江人, 湖南工业大学教授, 主要从事复杂工业过程建模与优化控制, 单片机及嵌入式系统应用等方面的研究, E-mail: l\_yun888@126.com

LED 照明灯向黄色光谱偏移, 同时还会因为分压产生过多的热量。

2) 单火线通断开关控制。例如, 采用 NU102 专用芯片, 利用普通墙面开关在规定时间内动作, 实现对 LED 照明灯的亮度调节。该方法只提供 4 档 LED 照明灯的调节亮度, 对时间也有要求。

3) 遥控器控制。遥控器控制主要以单片机为控制芯片, 利用光敏二极管采集光亮度, 并运用脉宽调制 (pulse width modulation, PWM) 技术实现照明灯的亮度调节。通过红外编码、解码实现主从机通信, 并且具有记忆存储功能, 分为睡眠 / 工作 2 种模式。外围电路具有简单、驱动能力强、效率高的特点。其缺点是一个 LED 照明灯需要配备一个遥控器, 造成了遥控器数量多、管理麻烦、成本也偏高。

目前, LED 照明灯驱动器, 主要采用 PWM 调光方法控制 LED 照明灯的亮度<sup>[1-2]</sup>。PWM 调光方法主要是采用脉冲恒流源, 通过改变脉冲宽度进而改变 LED 照明灯的亮度。因为 LED 照明灯的发光强度与 PWM 信号的占空比成正比, 所以只需改变占空比就能够改变 LED 照明灯的亮度。通过 PWM 调光可以精确地控制 LED 照明灯的亮度, 并且不会产生任何色光谱偏移。

根据当前一些调光方法存在的缺陷, 本研究设计一种灵活、高效、经济的调光系统。该系统采用 PWM 调光的方法, 通过周期性地开启和关断 LED 照明灯, 来改变导通电流的时间, 从而改变电流的平均值, 使 LED 照明灯的平均亮度发生改变。该系统不需要重新布线, 在原有单火线布线的基础上可以实现对 LED 照明灯进行多挡、无级调光。

### 1 总体方案设计

LED 照明灯调光系统结构如图 1 所示, 由亮度信号给定模块、亮度信号接收模块、亮度调节驱动模块三部分组成。

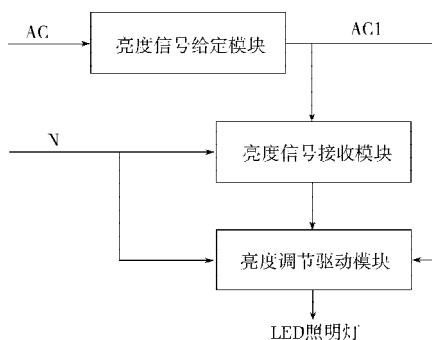


图 1 LED 照明灯调光系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of LED lamp dimming system

单火线具有传输电能和亮度信号的功能, 亮度信号给定模块产生的亮度信号通过单火线 AC1 传送给亮度信号接收模块。亮度信号接收模块接收单火线 AC1 传送的亮度信号, 并转换为 PWM 脉冲送至亮度调节驱动模块, 亮度调节驱动模块根据 PWM 脉冲控制 LED 照明灯的驱动电流<sup>[3]</sup>, 从而实现对 LED 照明灯亮度的调节。

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 亮度信号给定模块

##### 2.1.1 三进制亮度信号和引导波形

通过把正弦波交流电压的正负半波分成 3 份不同的移相角, 用 2 位三进制数值表示亮度信号等级, 如图 2 所示。移相角  $\alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$  对应的三进制数码值分别为 2, 1, 0。当亮度信号给定模块产生亮度信号时, 会造成正负半波部分波形的缺失, 它们缺失的部分所对应的移相角为  $\alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$  中的一个, 其中  $\alpha_2 < \alpha_1 < \alpha_0$ 。例如正半波移相角  $\alpha_2$  对应的部分缺失和负半波移相角  $\alpha_0$  对应的部分缺失, 所对应的 2 位三进制亮度信号等级数值为 20。因此从低到高 9 档不同的亮度信号等级所对应的 2 位三进制数值是 00, 01, 02, 10, 11, 12, 20, 21, 22。典型取值:  $\alpha_2=45^\circ, \alpha_1=90^\circ, \alpha_0=135^\circ$ , 它们对应的导通时间分别为 7.5, 5.0, 2.5 ms。

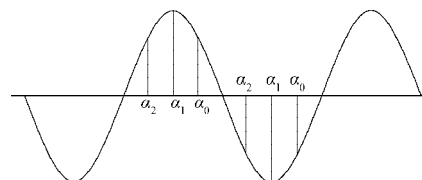


图 2 三进制  $\alpha$  角示意图

Fig. 2 Schematic diagram of alpha angles in ternary system

亮度信号接收模块根据引导波的出现来判断是否接收单火线 AC1 传送的亮度信号等级。引导波形由一个不导通的负半波或者是一个不导通的完整波形紧接着一个完整导通的正半波组成<sup>[4]</sup>, 如图 3 所示。引导波的后面跟着亮度信号波形。

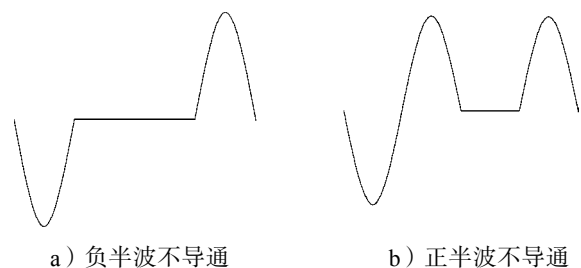


图 3 引导波形示意图

Fig. 3 Schematic diagram of guiding waveform

### 2.1.2 单火线电源模块和亮度信号的产生

亮度信号给定模块电路如图4所示。单火线电源模块主要是由稳压器U1、低压稳压器U2、电感、电容等组成。该电源模块主要是把AC端输入的220V的交流电压通过整流降压变为3.3V的直流电压,给亮度信号模块供电。U1选择的型号是MP-6V-02S, U2选择的型号是HT7233。

亮度信号给定模块主要是由BCD旋转编码器、单片机、可控硅光耦、双向晶闸管等组成。该模块是用来产生不同亮度信号等级的电压波形,然后通过单火线AC1传出去。BCD旋转编码器输出BCD编码0001~1001给单片机P2.1~P2.4的端口,其中BCD编码0001~1001对应1~9档不同的亮度等级。单片机在根据P2.0接收到的过零检测信号<sup>[5-6]</sup>,通过P1.1端口输出的触发信号控制可控硅光耦导通,根据可控硅光耦导通的时间,来控制双向晶闸管V1导通角的大小,从而控制AC1输出不同的亮度信号波形。

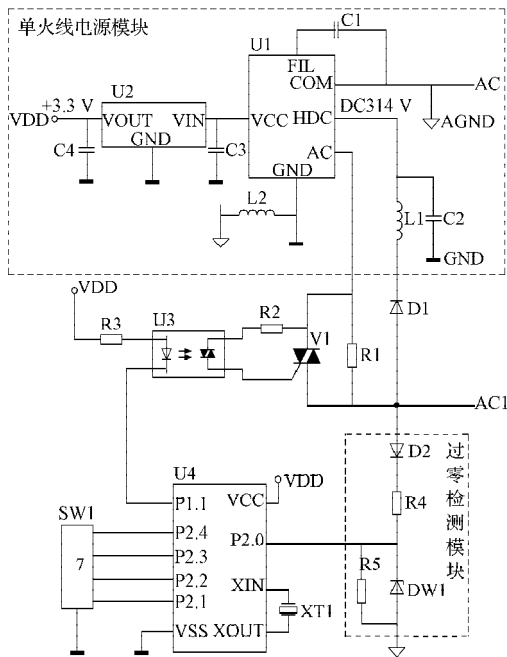


图4 亮度信号给定模块电路图

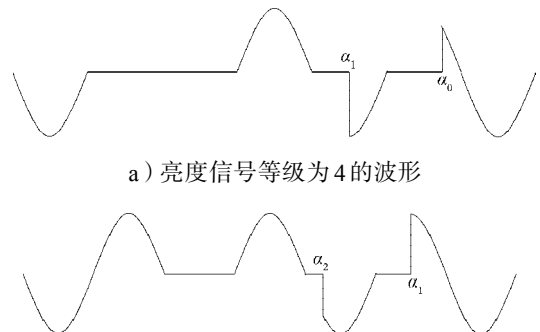
Fig. 4 Diagram of luminance signal circuit of a given module

亮度信号给定模块输入的是正弦波交流电,在没有给定亮度信号时,AC1输出的是完整的单相正弦波形。

亮度信号波形示例如图5所示,其中图5a是亮度等级为4的亮度信号波形。单片机控制模块随机停止触发信号输出的时刻在交流电压负半波期间时,单火线AC1发送由一个不导通的负半波,紧接着一个完整导通的正半波组成的引导波。过零检测模块检测到过零信号后,触发的负半波移相角 $\alpha_1$ 是 $90^\circ$ 。过零检测模块检测到下一个过零信号后,触发的正

半波移相角 $\alpha_0$ 是 $135^\circ$ 。亮度信号等级所对应的2位三进制数值为10。

图5b是亮度等级为8的亮度信号波。单片机控制模块随机停止输出触发信号的时刻在交流电压正半波期间时,单火线AC1首先发送由一个不导通的完整波,紧接着一个完整导通的正半波组成的引导波。过零检测模块检测到过零信号后,触发的负半波移相角 $\alpha_2$ 是 $45^\circ$ 。过零检测模块检测到下一个过零信号后,触发的正半波移相角 $\alpha_1$ 是 $90^\circ$ 。亮度信号等级所对应的2位三进制数值为21。



a) 亮度信号等级为4的波形

b) 亮度信号等级为8的波形

图5 亮度信号波形示例图

Fig. 5 Sample graph of luminance signal waveform

### 2.2 亮度信号接收模块

亮度信号接收模块电路如图6所示。亮度信号接收模块主要是将接收到的亮度信号转化为数字信号输入单片机,然后单片机将数字信号进行处理和存储输送给亮度控制调节驱动模块。

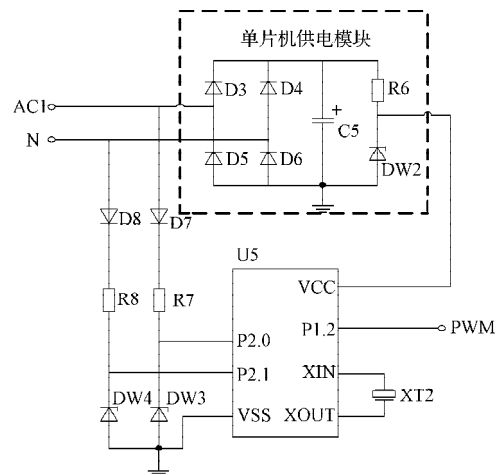


图6 亮度信号接收模块电路图

Fig. 6 Circuit diagram of luminance signal receiving module

由二极管、电容、电阻、稳压管等组成的单片机供电模块向单片机U5提供直流电源VCC,单片机U5中P2.0和P2.1具有信号的捕获功能。单片机根据正负半波导通角的大小,判断识别亮度信号等级。正负半波整流整形电路主要是把正负半波的导通角波

形形成相对应的矩形波，矩形波的宽度随着导通角大小的改变而发生变化<sup>[7]</sup>。

正半波整流整形电路由二极管D7、电阻R7、稳压管DW3组成，主要是对正半波整流整形<sup>[5]</sup>。当初始亮度等级设置为4，稳压管D3阴极得到宽度接近10 ms的低电平脉冲信号，经过10 ms得到宽度接近10 ms的高电平脉冲信号，再经过一段时间，稳压管DW3阴极得到的高电平脉冲信号宽度接近2.5 ms，该脉冲信号被送至单片机U5的捕捉比较输入端P2.0。

负半波整流整形电路由二极管D8、电阻R8、稳压管DW4组成，主要是对负半波整流整形。当初始亮度等级设置为4，稳压管DW4阴极得到宽度接近10 ms的高电平脉冲信号，经过10 ms得到宽度接近10 ms的低电平脉冲信号，再经过一段时间，稳压管DW4阴极得到的高电平脉冲信号宽度接近5 ms，该脉冲信号被送至单片机U5的捕捉比较输入端P2.1。

单片机检测出P2.0输入脉冲信号宽度为2.5 ms，检测出P2.1输入脉冲信号宽度为5 ms，对应的2位三进制数值为10，可以判断有亮度信号等级为4的控制信号。单片机U5把捕获到的亮度信号波形通过其内部A/D转换器转换成PWM脉冲波形，通过PWM输出端P1.2输送给LED驱动模块进而对LED进行调光，使LED照明灯亮度为44%。把LED亮度等级分为1~9，通过改变BCD旋转编码器输出的编码0001~1001，控制LED照明灯的亮度，从而实现了LED照明灯的亮度从0到100%的调节，也就实现了多挡、无级调光。

本研究设计的LED照明灯调光系统，采用的控制单片机型号是MSP430G2553。

### 2.3 亮度调节驱动模块

亮度信号驱动电路如图7所示。

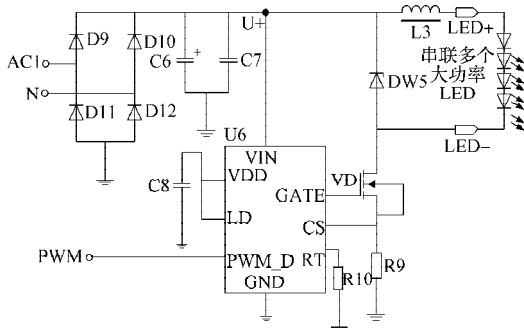


图7 亮度信号驱动电路图

Fig. 7 Circuit diagram of brightness signal drive

该电路由二极管、电容等组成的电源电路给LED驱动器U6供电。亮度调节驱动模块用于将亮度信号接收模块产生的PWM脉冲波形加以处理<sup>[8-9]</sup>，

并驱动LED照明灯显示相对应的亮度。本研究通过对LED驱动器的使能控制端PWM\_D输入PWM脉冲信号，进而通过增强型NMOS管来控制系统的开关。LED驱动器U6的型号为HV9910。

## 3 系统软件设计

通过控制单火线输出端输出的电压波形来发送亮度控制信号，其方法如图8所示。

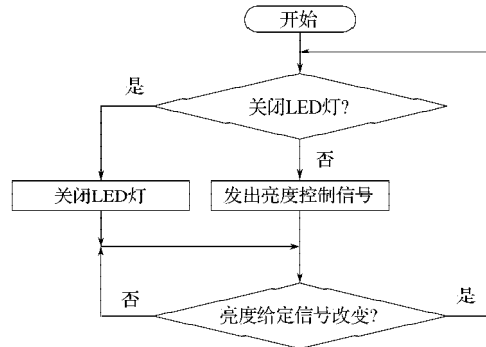


图8 亮度信号发送控制方法

Fig. 8 Brightness signal transmission control method

亮度调节驱动模块由单片机接收亮度信号<sup>[10]</sup>并控制亮度，其方法如图9所示。

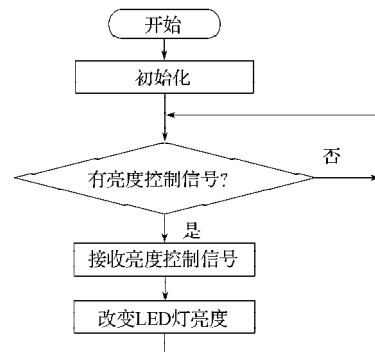


图9 亮度控制调节方法

Fig. 9 Brightness control adjustment method

## 4 系统测试结果

通过BCD旋转编码器输出0000~1001的亮度等级对LED进行调光，利用照度计测试LED灯的光照度。测试结果见表1。

表1 LED灯光照度测试结果

Table 1 Test results of LED illumination intensity

亮度等级	档位	光照度 /lx	亮度等级	档位	光照度 /lx
0000	0	0	0101	5	651.7
0001	1	10.0	0110	6	932.3
0010	2	41.1	0111	7	1 011.2
0011	3	162.4	1000	8	2 314.5
0100	4	323.1	1001	9	3 022.1

在PWM调光时，LED平均电流的最大值 $I_{max}=700$

mA, 最小值 $I_{\min}=100$  mA; 最大占空比 $D_{\max}=100\%$ , 最小占空比 $D_{\min}=10\%$ 。其关系式为

$$I_{\max}=D_{\max}I, \quad (1)$$

$$I_{\min}=D_{\min}I, \quad (2)$$

式(1)~(2)中,  $I$ 是LED照明灯在未改变占空比大小时的电流。

PWM调光时, 输出平均电流与占空比的特性曲线如图10所示。

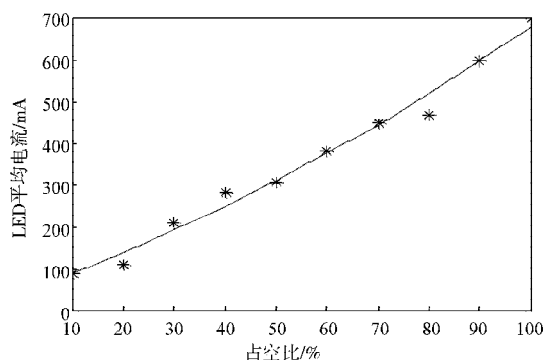


图10  $I_{\text{avg}}$  与  $D$  的关系

Fig. 10 Relationship diagram of the average output and current-duty ratio

由表1和图10可知, 本研究所设计的LED照明灯调光系统, 有较多的档位选择并且能够实现无级调光, 改变了目前调光系统无法实现多档无级调光的状况。

## 5 结语

本研究所设计的单火线LED照明灯调光系统有如下特点。

1) 采用单火线方式控制LED灯亮度, 无需遥控器, 无需控制线, 也不用重新敷设电源线。

2) 单火线上的亮度控制信号仅仅是在改变亮度时进行短时发送, LED灯处在点亮状态且不发出亮度控制信号时, 单火线输出端输出的电压波形为连续完整的单相正弦波, 没有谐波。

3) LED照明灯亮度调节共分9档, 采用旋钮装置调节, 符合操作习惯。

### 参考文献:

[1] 陈浩, 席光, 刘胜. 一种精确调光的LED电源设计[J]. 电源技术, 2011, 35(2): 218-220.  
CHEN Hao, XI Guang, LIU Sheng. Design of Precise Dimming LED Power Supply[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2011, 35(2): 218-220.

[2] 王廷宇, 郭维, 朱大中. 大功率白光LED驱动电路的双环检测方法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(4): 485-489.  
WANG Tingyu, GUO Wei, ZHU Dazhong. A Double Loop Detection Method of the Power White LED Driver Circuit[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(4): 485-489.

[3] 凌云, 肖伸平, 周维龙. 一种LED照明灯调光装置和方法: 中国, ZL201310256219.3[P]. 2015-01-07.  
LING Yun, XIAO Shenping, ZHOU Weilong. A LED Lighting Lamps Dimming Device and Its Method: China, ZL201310256219.3[P]. 2015-01-07.

[4] JANDT K D, MILLS R W. A Brief History of LED Photopolymerization[J]. Dental Materials, 2013, 29(6): 605-617.

[5] WU Xinke, WANG Zhaohui, ZHANG Junming. Design Considerations for Dual-Output Quasi-Resonant Flyback LED Driver with Current-Sharing Transformer[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(10): 4820-4830.

[6] 魏雅. 基于PWM的LED调光系统设计[J]. 无线互联科技, 2012(8): 113, 115.  
WEI Ya. LED Dimming System Design Based on the PWM[J]. Wireless Internet Technology, 2012(8): 113, 115.

[7] 翟国富, 胡泊, 张宾瑞, 等. LED路灯恒流驱动电源可靠性容差设计技术的研究[J]. 电工技术学报, 2011(1): 135-140.  
ZHAI Guofu, HU Bo, ZHANG Binrui, et al. Research on Reliability Tolerance Design Technique for the Constant-Current Power Supply of LEDs Used on Street Lamp[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011(1): 135-140.

[8] 徐华. 浅谈照明控制及智能照明控制系统[J]. 低压电器, 2008(6): 4-7.  
XU Hua. Discussion About Luminance Control and Intelligent Luminance Control System[J]. Low Voltage Apparatus, 2008(6): 4-7.

[9] 冯建功. 基于单片机的LED智能照明驱动及控制系统[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.  
FENG Jianguo. LED Intelligent Lighting Drive and Control System Based on Single Chip Microcomputer[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

[10] 罗树英, 凌云, 李勇, 等. 基于单火线的LED照明灯调光方法[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(3): 63-66.  
LUO Shuying, LING Yun, LI Yong, et al. LED Lamp Dimming Method Based on Single Power Line[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(3): 63-66.

(责任编辑: 邓光辉)

