

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.06.005

# 基于HV9910的LED驱动电路设计

吕诗如, 屈子琦, 胡正国

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 通过对LED发光原理分析, 了解驱动电路的基本要求, 以HV9910作为控制芯片, 设计一种高效节能的LED驱动电路。设计基于该芯片的电路方案, 通过理论计算, 确定各元器件选型, 最后对驱动电路进行通电测试。测试结果表明: 在电压波动及负载变化的情况下, 驱动电路的负载端电流基本保持稳定; 驱动电路能够为LED工作提供一个稳定电流, 电路结构简单, 设计合理, 可靠性高, 基本满足要求。

**关键词:** HV9910; LED照明; 驱动电路

中图分类号: TN312<sup>·</sup>8

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)06-0023-06

## A Design of LED Drive Circuit Based on HV9910

LÜ Shiru, QU Ziqi, HU Zhengguo

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

**Abstract:** Based on an analysis of the principle of LED luminosity, and an understanding of the the basic requirements of the drive circuit, a highly-efficient and energy-saving LED driving circuit has been proposed with HV9910 as its control chip. With its design based on the circuit scheme of the chip, the components selection is to be determined through a theoretical calculation, followed by a power-on test of the drive circuit. The test results show that under the condition of voltage fluctuation and load change, the load current of the drive circuit is basically stable, guaranteeing a stable work current for the LED operation, and thus meeting the basic requirements with its simple circuit structure, professional design, and high reliability in the newly designed driving circuit.

**Keywords:** HV9910; LED lighting; driver circuit

## 0 引言

近年来, 照明用电在全国用电总量中的占比不断增大, 推广使用高效照明产品意义重大。随着半导体技术的发展, LED作为第四代光源, 因其具有工作电压低、耗电量小、发光效率高、寿命长等特点<sup>[1]</sup>, 逐渐成为节能照明领域的主流。最初因其成本相对传统照明灯具较高, 且单个功率较小, 应用范围较小。伴随行业技术的进步, LED照明灯具的缺点逐渐被改善, 发光效率及单个功率逐步提高。

在LED照明灯具中, 发光二极管是发光器件, 而驱动电路是保证发光二极管能够正常发光的关键。为了使LED能高效节能地工作, 对其驱动电路的设计就显得尤为重要。目前LED驱动器按其供电形式分为DC/DC和AC/DC两种。DC/DC驱动器一般用于直流稳压电源供电场所, 而AC/DC驱动器一般用于市电直接供电场所。DC/DC驱动器一般采用电容式电荷泵电路和电感式DC/DC电路的方法实现, AC/DC驱动器主要采用工频变压、电容降压及Buck电路降压设计<sup>[2-3]</sup>。本文所设计的驱动器用于家庭

收稿日期: 2016-09-28

作者简介: 吕诗如(1994-), 女, 湖南娄底人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力网络自动化技术及其应用,

E-mail: 512937214@qq.com

及装饰照明,其电源是由市电供给。

在满足各项要求的条件下,本文设计了一种基于HV9910的Buck电路为LED提供恒定电流驱动。该电路利用HV9910芯片输出的PWM波对MOS管门极进行控制,通过调节PWM波形占空比,从而间接控制输出电流值。该电路能够对输出电流实现较精准的控制即实现LED的恒流驱动,还能添加简单的外围电路。

## 1 LED 发光原理及驱动要求

LED即发光二极管,是一种由PN结发生正向偏置而发光的半导体器件,属于电流型器件<sup>[4]</sup>。其工作电压一般较低,工作状态受电流影响较大。若要保证LED正常工作,则需在LED上通入恒定电流,即LED工作在额定电流条件下。图1为发光二极管 $V-I$ 特性图。当电压小于2.3V时,电流近似为零,LED不发光;当电压大于2.3V时,正向电流急剧增大,使LED发光。

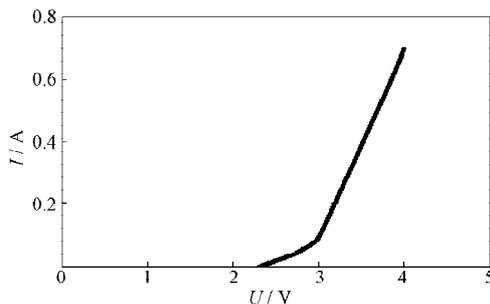


图1 发光二极管  $V-I$  特性图

Fig. 1  $V-I$  characteristic figure for light-emitting diodes

通常LED的单个功率较小,因此,采用多个LED串并联的形式组成LED模块。若采用恒压驱动,由于制作工艺问题不能保证每个发光二极管的参数均相同,势必会造成各个LED通过的电流不同,导致发光亮度不同<sup>[5]</sup>。

LED的极限功耗为LED两端电压与通入电流之积的最大值,一般要求LED的功耗小于LED的极限功耗。若LED的功耗大于LED的极限功耗,则会造成LED烧坏。在LED正常发光情况下,当电压出现波动时,会导致电流激变,容易出现功耗大于极限功耗<sup>[6]</sup>。为此要求LED驱动电路能够提供一个稳定的工作电流。

根据LED工作特性,设计的驱动电路需满足下列要求。

1) 尽可能保证输出电流恒定,且能够承受外部电压波动冲击,以提高电路可靠性。

2) 尽可能减少电路功耗,以提高电源转换效率。

3) 在不损失电路性能的情况下,简化电路结构,以降低其体积及成本。

## 2 驱动电路设计

### 2.1 控制芯片介绍

HV9910是一种高效LED驱动控制芯片<sup>[7]</sup>,其输入端电压可在DC 8~450V之间变化,内部采用开环控制方式,可以对输出电流实现较精准的控制,添加较简单的外围电路,即可实现对所需LED进行驱动。由于芯片带有调光引脚,所以能够根据实际情况对所需输出电流进行调节。图2是芯片内部结构图。当输入电压 $V_{IN}$ 大于8V时,电压调节器提供恒定的7.5V电压供芯片工作。2个电压比较器:一个是将采样端CS反馈电压值与基准电压值进行比较;另一个是将采样端CS反馈电压值与LD线性调光引脚输入的电压值进行比较。2个电压比较器的输出信号通过RS锁存器对GATE端输出电平进行控制,从而驱动外接MOS管达到控制输出电流的目的。 $R_{osc}$ 端通过外接一个振荡电阻来设定开关频率,PWM引脚用于外接一个PWM信号进行调光。

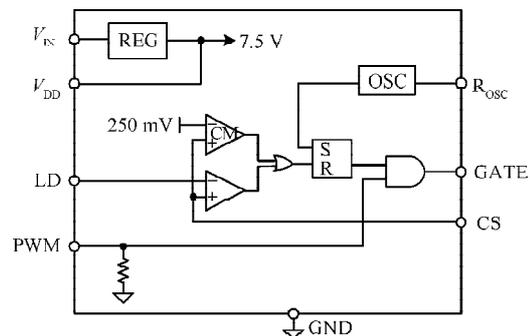


图2 芯片内部结构图

Fig. 2 An internal structure diagram of chips

### 2.2 LED驱动工作原理

LED驱动电路如图3所示。外部电网电压经整流桥堆、滤波电路之后,转换成直流电传送到芯片电压输入端,为芯片提供电压。

HV9910通过一个线性调光器LD来改变电流采样比较器的电流限制阈值<sup>[8]</sup>。当芯片正常工作即 $V_{IN}$ 大于8V时, $V_{DD}$ 引脚等于芯片内部的7.5V电压。此时GATE端输出高电平,使外部MOS管导通,形成回路,外部输入电压对电感进行储能,同时为负载供电。

在LED的驱动电路设计中,MOS管的开断和采样电路的设计也是至关重要的。当MOS管导通时,外部电源向LED供电;当MOS管关断时,储能电感向LED供电。在采样电路中,HV9910芯片通过采样

端CS接到MOS管的源极电阻,有效地保证了采样端CS对MOS管的信号输送,并通过采样电阻 $R_{cs}$ 将负载电流信号变成电压信号,反馈至主控制芯片<sup>[9-10]</sup>,基准电压250 mV与参考电压在电压比较器中进行比较。若参考电压大于250 mV,输出高电平,经逻辑电路,GATE端也输出高电平,此时 $V_{GS}>0$ 且大于开启电压 $V_{GS(th)}$ ,MOS管继续导通;若参考电压小于250 mV,GATE端输出低电平,电路断开,负载依靠电感供电,回路中电流逐渐降低,当降到一定值时,采样电阻流过的电流形成电压降,通过采样端CS反馈到电压比较器,最终使芯片的GATE端继续输出高电平,使MOS管导通。

同时, $V_{DD}$ 端电压恒定为7.5 V,在其与地之间串接电阻,将LD端连接至电阻串上。通过改变LD端反馈到芯片的电压值可以改变另一个电压比较器的参考电压,再与采样端CS电压值进行比较,从而对输出电流进行调节。

通过HV9910芯片来控制各个引脚的开通与关断,从而达到输出电流恒定的效果。而控制芯片的工作原理及实质就是在芯片的GATE端输出一系列的PWM波形,利用输出的PWM波对MOS管门极进行控制,通过调节PWM波形占空比可以间接调节输出电流值。

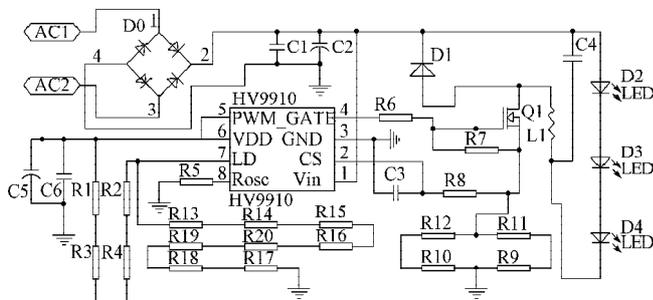


图3 电路原理图

Fig. 3 Circuit schematic diagram

### 2.3 电路元器件选取计算

本文选用10个1 W的LED串联组成负载,接在LED驱动电路的负载端。由于该负载的功率未超过25 W,暂不考虑功率因数校正。首先设置频率振荡器的频率即MOS管开关信号频率<sup>[11]</sup>,振荡频率根据需要可通过改变振荡电阻阻值设置,在此选用其参数的典型值 $f_{osc}=125$  kHz, $R_{osc}=1$  M $\Omega$ 。为方便元器件计算选型,给出驱动电路的输入输出参数如下:输入端交流电压在165~265 V之间变化;电源频率为工频50 Hz,负载输出直流电压范围在4~20 V之间;由于1 W的大功率LED顺向电流为350 mA<sup>[12]</sup>,故设定驱动电路的输出电流为350 mA。

#### 2.3.1 整流桥和滤波电容选取

二极管电压等级取决于输入电压最大值,而电流等级取决于整流器中最大平均电流的升降。

$$V_{bridge} = 1.5 \times (\sqrt{2} \times V_{MAX,ac}) = 562 \text{ V}, \quad (1)$$

$$I_{bridge} = \frac{V_{MAX,O} \times I_{MAX,O}}{V_{MIN,dc} \times \eta} = 0.175 \text{ A}, \quad (2)$$

$$R_{COLD} = \frac{V_{bridge}}{5 \times I_{bridge}} = 0.562 \text{ k}\Omega. \quad (3)$$

式(1)~(3)中: $V_{bridge}$ 为整流桥的电压值;

$V_{MAX,ac}$ 为输入交流电压最大值;

$I_{bridge}$ 为整流桥的电流值;

$V_{MAX,O}$ 为输出电压最大值;

$I_{MAX,O}$ 为输出电流最大值;

$V_{MIN,dc}$ 为整流电压最小值;

$\eta$ 为效率;

$R_{COLD}$ 为热敏电阻阻值。

根据以上计算结果,选取KBP307作为整流桥,将交流电变换成直流为芯片供电。

在整流桥堆的输出端并联电容器来进行滤波,且输出端电容器应该承受超出10%~12%安全波动范围内的输入尖峰电流<sup>[13-14]</sup>。电容的计算公式为:

$$V_{MIN,dc} = 2 \times V_{MAX,O} = 40 \text{ V}, \quad (4)$$

$$C_1 \geq \frac{V_{MAX,O} \times I_{MAX,O}}{(2 \times V_{MIN,ac}^2 - V_{MIN,dc}^2) \times \eta \times f_{req}} = 3 \mu\text{F}, \quad (5)$$

$$V_{MAX,cap} \geq \sqrt{2} \times V_{MAX,ac} = 375 \text{ V}, \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{I_{MAX,O} \times 0.25}{f_s \times (0.05 \times V_{MIN,dc})} = 17.5 \mu\text{F}. \quad (7)$$

式(4)~(7)中: $V_{MAX,cap}$ 为电容器的电压值;

$C_1$ 为整流电路的滤波电容值,单位为 $\mu\text{F}$ ;

$f_{req}$ 为50 Hz的频率;

$C_2$ 为整流电路的电解电容值,单位为 $\mu\text{F}$ ;

$f_s$ 为采样频率。

通过计算,整流部分的滤波电容 $C_1$ 选取3  $\mu\text{F}$ /375 V的电解电容;滤波电容 $C_2$ 选取17.5  $\mu\text{F}$ /375 V的电解电容。

#### 2.3.2 MOSFET和续流二极管选取

在MOS管降压电路中,加在其两端的峰值电压,即为整流桥输出端电压最大值。考虑到安全裕度,场效应管的额定电压 $V_{FET}$ 与额定电流 $I_{FET}$ 计算如下:

$$V_{FET} = 1.5 \times (\sqrt{2} \times 135) = 286 \text{ V}, \quad (8)$$

$$I_{FET} \approx I_{MAX,O} \times \sqrt{0.5} = 0.247 \text{ A}. \quad (9)$$

在实际中,场效应管中通过的电流一般为额定电流的3倍。综合上述计算结果,本文选用最大耐压500 V、最大电流5 A的IRF840作为驱动电路的开关管。

续流二极管在MOS管导通时截止,其两端承受的峰值电压应等于场效应管峰值电压。故选取最大反向耐压值500 V、平均电流1 A的快恢复二极管BYV26C进行续流。

$$V_{\text{diode}} = V_{\text{FET}} = 286 \text{ V}, \quad (10)$$

$$I_{\text{diode}} = 0.5 \times I_{\text{MAX,O}} = 0.175 \text{ A}, \quad (11)$$

式(10)~(11)中: $V_{\text{diode}}$ 为续流二极管电压;

$I_{\text{diode}}$ 为续流二极管电流。

### 2.3.3 电感 $L_1$ 计算

输出负载端串联一个电感,在开关管导通时为其充电储能,关断时为负载供应能量,因此电感取决于LED的脉动电流<sup>[15-16]</sup>。电感 $L_1$ 以及电感的尖峰电流 $I_p$ 为:

$$L_1 = \frac{V_{\text{MAX,O}} \times \left( 1 - \frac{V_{\text{MAX,O}}}{\sqrt{2} \times V_{\text{ac,nom}}} \right)}{0.3 \times I_{\text{MAX,O}} \times f_s} = 7.12 \text{ mH}, \quad (12)$$

$$I_p = 0.35 \times 1.15 = 0.4 \text{ A}. \quad (13)$$

式(12)~(13)中 $V_{\text{ac,nom}}$ 为正常输入电压值。

### 2.3.4 采样电阻计算

为保证输出电流恒定,需将通过负载的电流反馈至控制端。在采样电路中,将采样端的电流信号通过电阻转换成电压信号,再经电压比较器进行比较,最后通过RS锁存器对门极开关实现导通和关断。因此,采样端电阻尤为重要,即

$$R_2 = \frac{0.25}{1.15 \times I_{\text{MAX,O}}} = 0.62 \Omega. \quad (14)$$

在控制电路中,需要通过LD引脚对输出电流进行调节,因此在线性电源 $V_{\text{DD}}$ 和线性调光器LD之间设置分压电路。分压值 $R'_{\text{cq}}$ 为

$$\frac{R'_{\text{cq}}}{R'_{\text{cq}} + R_{\text{cq}}} \times V_{\text{DD}} \leq 250 \text{ mV}, \quad (15)$$

$$R'_{\text{cq}} \leq 2.75 \text{ k}\Omega, \quad (16)$$

式(15)~(16)中 $V_{\text{DD}}$ 为线性电源的电压。

为了更好地抑制谐波的产生,在负载端设置1个10  $\mu\text{F}/50 \text{ V}$ 的电解电容滤除低频;在线性电源 $V_{\text{DD}}$ 端并接1个电解电容和1个无极性电容,分别用于滤除高频信号和低频信号,一般选取值为0.1~0.2  $\mu\text{F}$ 。

根据以上选取的元器件进行绘图制板,实物图如图4所示。

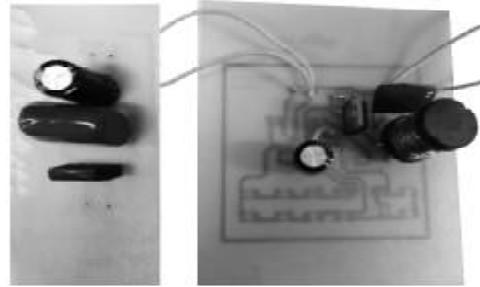


图4 实物正面图

Fig. 4 Physical map of the obverse side of the circuit

## 3 实验结果与分析

驱动电路的电源端接1个可调交流电源,输入电压在165~265 V之间,负载端接功率电阻,利用相关仪器进行实验数据测量。第一组实验是改变输入电压,测试输出电流是否稳定;第二组实验是固定输入电压并调节负载端电压,测试输出电流是否稳定;第三组实验是实测电感波形。

1) 通入相应的输出交流电压以及调试采样端电阻来控制输出直流电流稳定在350 mA。将输入端的交流电压控制在165~265 V的范围内,从165 V开始,5 V为一个步长,依次进行递增。输出电压为12 V时,测得输出电流如表1所示。根据表1数据,输入电压与输出电流的变化曲线如图5所示。

表1 输入电压和输出电流比较

Table 1 Comparison chart of the input voltage and output current

输入电压/V	输出电流/mA	输入电压/V	输出电流/mA
165	350	220	351
170	350	225	352
175	350	230	353
180	350	235	353
185	350	240	353
190	351	245	352
195	351	250	353
200	351	255	354
205	351	260	353
210	352	265	352
215	352		

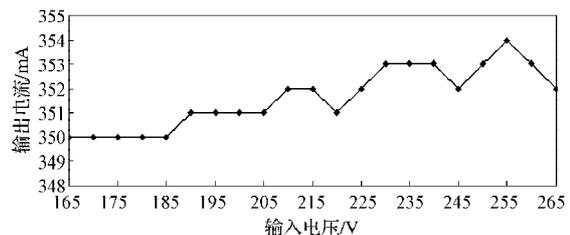


图5 输出电流变化曲线图

Fig. 5 A curve graph for the output current change

由表1和图5可知,输出电流在350~354 mA内波动,最后趋于稳定。

2) 输入电压为220 V,调整负载输出端电压从4~20 V变化,负载输出端电压从4 V开始,以4 V依次进行递增,测得电流值如表2所示。根据表2数据,负载输出端电压与输出电流之间的变化曲线如图6所示。由表2和图6可知,输出电流在348~352 mA波动,并趋于稳定。

表2 输入电压为220 V时,输出电流测试结果表

Table 2 Test results of the output current with 220 V its input voltage

负载输出端电压/V	输出电流/mA
4	351
8	348
12	352
16	350
20	350

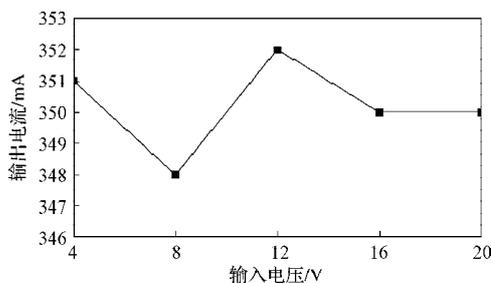


图6 输入电压为220 V时,输出电流变化曲线图

Fig. 6 An output current change curve with its input voltage being 220 V

3) 对LED恒流源输出端进行测试,示波器测得电感波形为锯齿波,如图7所示。由图7可知,在波形上升阶段,开关管导通,电感充电储能;在波形下降阶段,开关管关断,电感为负载提供能量,导致波形下降。由此可间接看出波形上升阶段即对应PWM波形的高电平。



图7 实测电感波形

Fig. 7 Measured inductive waveform

## 4 结语

通过对LED发光特性分析,了解其发光条件,进

一步明确了LED对驱动电路的要求。本文选用高效的LED驱动控制芯片HV9910设计驱动电路。先分析控制芯片HV9910的内部结构及工作原理,并设计了简单的外围电路,使芯片能为LED提供一个稳定的工作电流。对于电路元器件的选取作了详细介绍,最后进行了实物测试。通过对测试数据的分析可知:当输入电压波动时,输出电流能够稳定输出;当固定输入电压,使负载端电压变化,即负载改变时,输出电流也基本保持不变。

测试结果表明本文设计的驱动电路满足要求。驱动电路结构简单,需要的元器件较少。在不损失性能的前提下,降低了成本,提高了电路可靠性。

## 参考文献:

- [1] 黄剑平,沈汉鑫.基于HV9910B的LED降压驱动电路设计研究[J].现代电子技术,2014,37(19):139-142.  
HUANG Jianping, SHEN Hanxin. Design of LED Buck Driver Circuit Base on HV9910[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(19): 139-142.
- [2] 林渭勋.现代电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2005:431-443.  
LIN Weixun. Modern Power Electronic Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 431-443.
- [3] 张阳,肖强晖,廖无限.基于HV9910的LED恒流源设计[J].湖南工业大学学报,2012,26(4):56-58.  
ZHANG Yang, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. Design of LED Constant Current Source Based on HV9910[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(4): 56-58.
- [4] 陈景忠.一种直流LED恒流源电路分析与研究[J].电源技术,2012,36(12):1928-1930.  
CHEN Jingzhong. Analysis and Research of a LED Constant Current DC Power Supply Module[J]. China Journal of Power Sources, 2012, 36(12): 1928-1930.
- [5] 郝永龙.基于HV9910C的恒流LED降压驱动电路设计[J].中国照明电器,2014(1):7-9.  
HAO Yonglong. The Constant Current LED Driver Circuit Design Based on HV9910C[J]. China Light & Lighting, 2014(1): 7-9.
- [6] 米卫卫,杨风,徐丽丽.高精度恒流源的设计与制作[J].电子测试,2012(12):65-71.  
MI Weiwei, YANG Feng, XU Lili. High Precision Constant Current Source Design and Production[J]. Electronic Test, 2012(12): 65-71.
- [7] 陈坚.电力电子学:电力电子变换和控制技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2002:101-112.  
CHEN Jian. Power Electronics: Power Electronic Transformation and Control Technology[M]. 2nd ed.

- Beijing: Higher Education Press, 2002: 101-112.
- [8] 袁义生, 朱本玉, 罗峰. 一种恒流源功率管驱动电路[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(1): 99-104.  
YUAN Yisheng, ZHU Benyu, LUO Feng. A Constant-Current Source Drive Circuit for Power Transistors[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2015, 32(1): 99-104.
- [9] 王斯一. 高稳定度恒流源关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.  
WANG Siyi. The Study on the Key Technology of High-Stabilization Constant Current Source[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [10] 李环平. LED驱动电源的研究与设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.  
LI Huanping. Study and Design of LED Driver[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [11] 刘涛. LED恒流驱动开关电源的研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.  
LIU Tao. Development of Constant-Current LED Driver [D]. Chendu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.
- [12] 田立东, 周继军, 秦会斌. PWM调光LED驱动器设计[J]. 机电工程, 2012, 29(4): 465-468.  
TIAN Lidong, ZHOU Jijun, QIN Huibin. Design of PWM Dimming LED Driver[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012, 29(4): 465-468.
- [13] 齐家, 邓周虎, 侯明月, 等. 白光LED驱动电路的设计与实现[J]. 电子科技, 2011, 24(9): 42-44.  
QI Jia, DENG Zhouhu, HOU Mingyue, et al. Design and Implementation of White-Light LED Driving Circuit[J]. Electronic Science and Technology, 2011, 24(9): 42-44.
- [14] 刘彬. LED恒流驱动电源的研究与设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.  
LIU Bin. Study on LED Constant-Current Driving Power and Circuit Design[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [15] 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.
- [16] 陈海东, 凌云, 黄文威, 等. 基于单火线的LED照明灯调光系统设计[J]. 湖南工业大学学报, 2016, 30(3): 49-53.  
CHEN Haidong, LING Yun, HUANG Wenwei, et al. Design of the Dimming System of Single Live Wire LED Lighting Lamps[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2016, 30(3): 49-53.

(责任编辑: 邓彬)