

一种微波感应 LED 照明控制系统的设计

汪 洋,张家龙,张震宇

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院,杭州 310023)

摘 要: 针对当前 LED 照明控制灵活性不足的现状,设计了一种基于微波感应的 LED 照明控制系统,其感应距离等工作参数可根据实际使用需要通过无线远程设置。介绍该系统的整体硬件构成及其工作原理,系统由设置端、LED 照明控制器及 LED 照明灯具等构成,设置端和 LED 照明控制器之间利用无线通信完成参数设置。给出并分析主要的功能电路,包括电源电路、微波传感器、LED 驱动控制电路、无线射频模块及单片机等;阐述控制软件的设计要点和思路,并且通过实验验证了系统的有效性。

关键词: LED 照明控制;微波感应;单片机;无线射频

中图分类号: TP273.5;TM923.34

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2017)01-0017-07

Design of a LED lighting control system based on microwave induction

WANG Yang, ZHANG Jialong, ZHANG Zhenyu

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In response to the situation that most of the current LED lighting control systems lack flexibilities, a LED lighting control system based on microwave induction is designed, with its working parameters including the induction distance remotely set by wireless communication as actually needed. Firstly, the article briefly introduces the hardware constitution and the working principle of the system, which is composed of a setting device, a LED lighting controller and a LED lamp, with the setting process accomplished through wireless communication between the setting device and the LED lighting controller. Secondly, the article presents and analyzes the main functional circuits, which consist of power supply circuit, microwave induction sensor, LED drive and control circuit, RF module and MCU. Then, the article elaborates on key design elements of control software. Finally, implementation of relevant experiments gives rise to a conclusion that the system is effective.

Keywords: LED lighting control; microwave induction; MCU; radio frequency

收稿日期: 2016-12-23

通信作者: 张震宇(1976—),男,浙江省兰溪人,副教授,硕士,硕士生导师,主要从事测量与控制、无线通信、物联网等方面的研究和应用工作。E-mail: zhangzhenyu@zust.edu.cn。

LED 具有节能、环保和长寿命等优点,近年来在照明领域得到了越来越多的应用^[1-2]。设计 LED 照明控制系统时加入人体感应传感器,能检测出是否有人靠近,从而使 LED 的照明控制更为灵活,更好地满足实际使用之需。当前,在 LED 照明控制系统中应用较多的人体传感器主要是热释电传感器和微波传感器^[3-5]。对于热释电传感器,由于其工作原理是基于环境与人体的温差而输出信号^[6],因此,当 LED 环境温度和人体温度接近时,传感器探测灵敏度明显下降,甚至出现短时失灵,技术缺陷明显。微波传感器通过发射微波信号并接收反射信号,能有效地探知是否有人靠近^[7],不受温度影响,因而较好地解决了热释电传感器所存在的问题。但是,当前绝大部分微波感应 LED 照明控制系统存在以下缺点:一是传感器的输出信号为数字式。当有人进入感应范围时,传感器输出“1”,无人时则输出“0”,这意味着不能在实际使用过程中根据需要调节感应距离,实用性不足。二是传感器的输出信号为模拟式,感应距离等工作参数不能人为设置。由于工作参数不能设置,若用户想根据实际使用需要改变感应距离、LED 点亮维持时间等工作参数时,这种方式的便利性不足的问题则凸显。

为解决上述问题,提升 LED 照明控制系统的实用性和灵活性,笔者研究设计了一种基于微波感应的 LED 照明控制系统。应用该系统,LED 照明的感应距离等工作参数可通过设置端进行无线设置。相比于同类产品,其功能上得到了一定的提升,实用性也得到了增强。

1 系统硬件构成及工作原理

系统包括设置端、LED 照明控制器及 LED 照明灯具 3 部分,系统的整体硬件构成如图 1 所示。其中,设置端由 1 台计算机和 1 个无线射频模块 A 构成,该模块型号为 APC220,通过 1 个 USB 转串口电路,连接到计算机的 USB 接口。APC220 为高度集成的收发一体式无线射频模块^[8],其工作电压为 5 V,工作频段范围为 418~455 MHz,当波特率设置为 9 600 b/s 时,在空旷地的可靠传输距离可达近 1 000 m。与此相对应,LED 照明控制器也包括一个型号为 APC220 的无线射频模块 B,它与 LED 照明控制器内的主控单片机通过串口连接,模块 A 与 B 配置身份数据为一一对应。用户操作计算机软件界面(可直接使用“串口助手”软件),通过无线射频方式向 LED 照明控制器发出工作参数的设置命令,LED 照明控制器收到命令并经校验、核对后,即把待设置的数据写入单片机内部的 EEPROM,做到掉电不丢失,然后反馈设置成功信息给设置端,计算机软件收到此反馈后,表明设置成功。否则,重新设置。若设置成功,接下来 LED 照明灯具即按前述设置开始工作,当人进入微波传感器的感应范围时,LED 灯具按无级调光方式逐步点亮,并根据设置值保持一定的时间后熄灭,以实现节能。

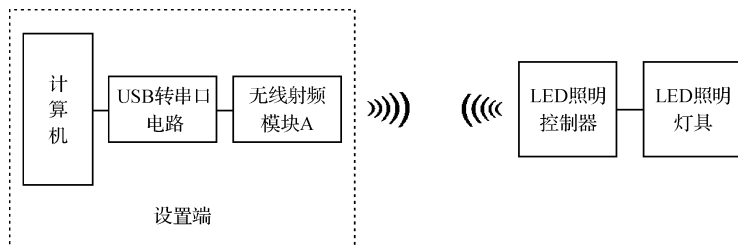


图 1 系统整体硬件构成示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the overall hardware composition for the system

2 LED 照明控制器硬件设计

LED 照明控制器在硬件上由电源电路、微波传感器、LED 驱动控制电路、无线射频模块 B 及单片机等构成,如图 2 所示。其中,LED 照明灯具连接到 LED 驱动控制电路的输出端。

电源电路将 220 V 交流市电转换成微波传感器、无线射频模块 B 及单片机等所需的电压等级,并提供合适的输出功率。单片机作为该控制器的中央处理单元,具有 2 种工作模

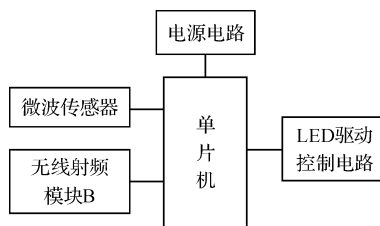


图 2 LED 照明控制器硬件构成示意图

Fig. 2 The schematic diagram of the hardware composition for the LED lighting controller

式:一是设置模式,单片机通过实时监听串口,根据无线通信协议读取并存储无线射频模块 B 接收到的工作参数设置命令数据,将这些数据写入单片机内部的 EEPROM,当设置完毕后,LED 照明控制器即从下一次循环开始按照新设置的工作参数正常工作;二是正常模式,当有人靠近时,随着人的移动,微波传感器将输出变化的模拟电压,单片机通过内部的 ADC,在设定的采样周期内连续、多次读取微波传感器输出的模拟电压值,根据软件设定的判断条件输出控制信号给 LED 驱动控制电路,使 LED 照明灯具达到无级调光、点亮及熄灭等多种控制效果。

2.1 电源电路

由于控制器要求小体积,该系统选用了 HLK-PM01 作为电源电路核心,据此设计的电源电路如图 3 所示。HLK-PM01 是一种高度集成的超薄型、超小型 AC-DC 转换模块^[9],支持的交流电压输入范围为 90~264 V,输出电压为 5 V,功率为 3 W,还具有低纹波、低噪声等优点,性价比较高,符合本系统使用的需求。为进一步确保安全性和输出电压的稳定性^[10-12],在市电输入端设计了熔断器 F1 及压敏电阻 7D471K,在输出端设计了滤波电容 C1。

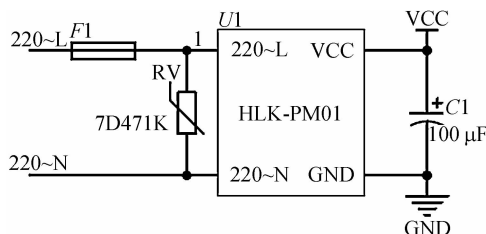


图 3 电源电路图

Fig. 3 The schematic circuit of power supply

2.2 微波传感器电路

微波传感器的工作原理基于多普勒效应,该系统使用的微波工作频率为 10.525 GHz,微波传感器发射出小功率微波信号,并接收人体反射回来的信号。当人体在信号范围内发生轻微移动时,其反射的微波频率将产生改变,从而在输出端产生变化的模拟电压^[13-14]。设计的微波传感器电路如图 4 所示,微波发生器 P7 的输出信号 OUT 经 2 级 LM358 运放电路的放大后,得到模拟电压信号 IF,将 IF 送入单片机的 ADC0 通道进行 AD 转换,即可判断出是否有人靠近。

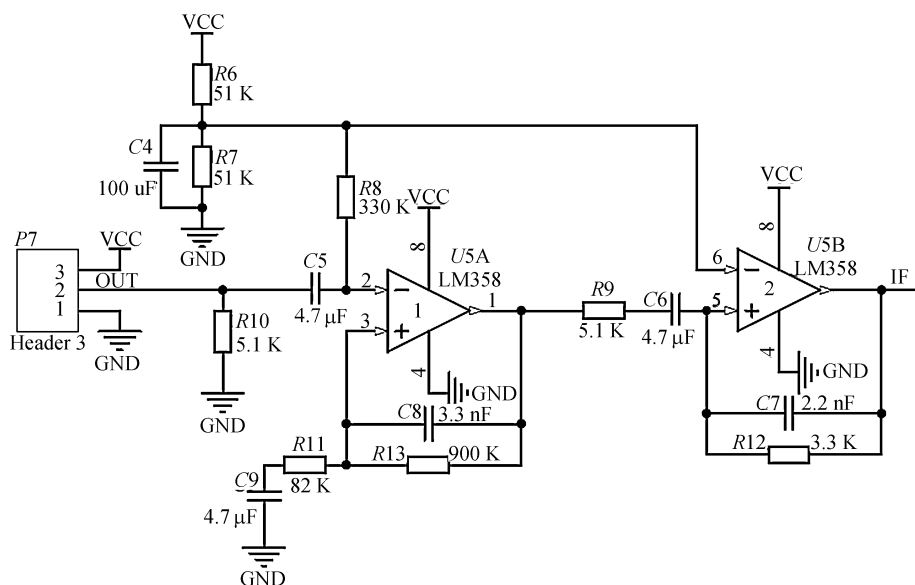


图 4 微波传感器电路图

Fig. 4 The schematic circuit of microwave sensor

2.3 LED 驱动控制电路

该系统所用的 LED 照明灯具规格为 48 V/80 W,选用了台湾明纬实业集团有限公司出品的 HLG-80H-48 作为灯具的配套驱动器^[15]。该驱动器的输出电压为 48 V,额定输出功率为 81.6 W,内部设计有调光电路,并提供了外部调光接口,该驱动器的工作原理如图 5 所示。

据此设计了如图 6 所示的 LED 驱动控制电路,单片机的 I/O 脚 RELAY 输出控制信号到 PC817 光耦,然后通过三极管 Q1 驱动继电器线圈,令继电器触点 K1 动作,使得 220 V 市电火线 220~L 与

Driver_In_L(图 6 中的 Driver_In_L 与图 5 中的 L 连接)接通或断开。由于单片机上电复位时 RELAY 输出高电平,因此使用了继电器的常开触点来通、断电路,这样可确保上电时 LED 灯具为熄灭状态。

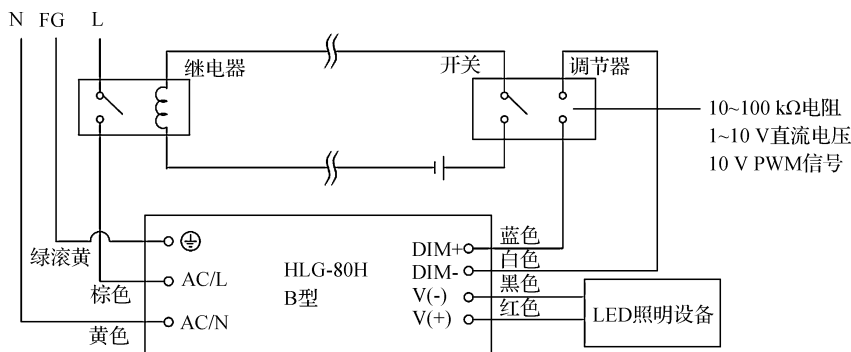


图 5 LED 驱动器工作原理示意图

Fig. 5 The working principle diagram of LED driver

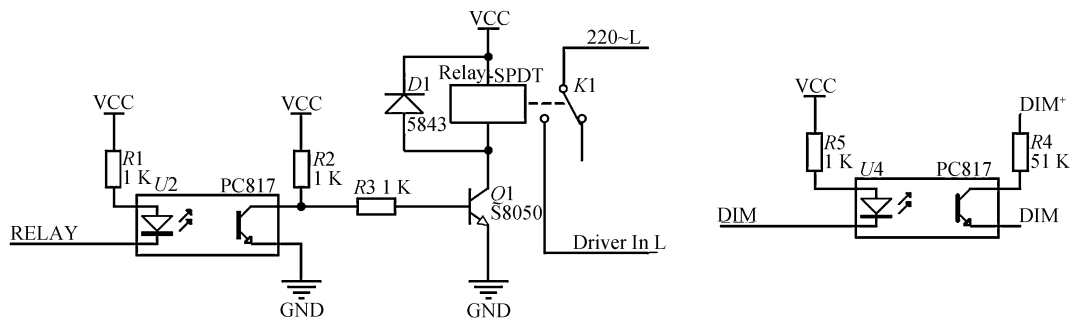


图 6 LED 驱动控制电路图

Fig. 6 The schematic circuit of LED drive and control

在驱动器接通市电火线的情况下,按照驱动器规格书的说明,在 DIM+、DIM-之间接入一个 51 kΩ 的电阻 R4,由单片机的硬件 PWM 脚 DIM 输出一个频率为 1 kHz 的 PWM 信号,占空比可调,经 PC817 光耦隔离后,这样 DIM+、DIM-之间可生成一个调光信号,从而实现 LED 灯具调光,占空比越大,LED 灯具亮度越高,当占空比达 100%(即 DIM 脚恒为高)时,DIM+、DIM-之间开路,亮度达到最高(即 100%亮度)。

2.4 单片机

该系统使用 STC15W402AS 单片机作为主控中心,单片机内置丰富的功能资源^[16],以适合本系统使用的需要。单片机电路如图 7 所示,该系统除了用 P1.3 引脚作为继电器驱动控制脚外,还使用了单片机的 CMP0 引脚作为调光控制脚,此引脚可通过程序配置直接输出 PWM 信号,使用方便;使用了 1 路内部高速 10 位 A/D 转换器,图中 IF 为微波传感器输出的模拟电压信号,将其接入单片机的 ADC0 通道进行转换;使用了 1 个 UART 串口连接 APC220 模块,其中 EN、AUX、SET 等为 APC220 模块的相关配置引脚,单片机和 APC220 模块的串口通信格式为(9600,N,8,1)。

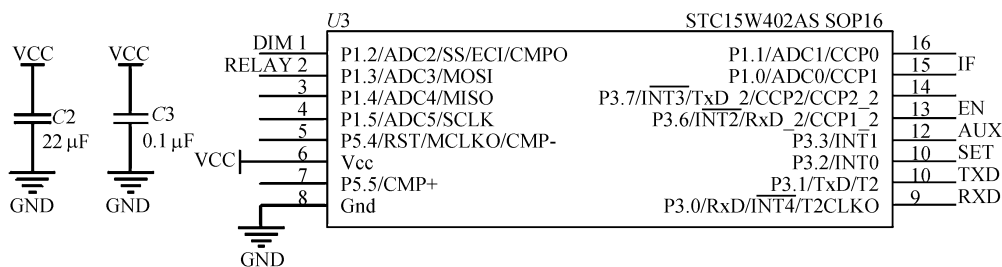


图 7 单片机原理图

Fig. 7 The schematic diagram of MCU

3 系统软件设计

该系统在使用之前,先通过 APC220 专用配置软件设置模块 A、B 的相关参数,主要包括串口通信波特率、无线传输速率及身份数据等,将模块 A 与 B 设置为一一对应。

LED 照明控制器单片机软件采用 C51 语言进行设计,在 Keil 开发环境中进行调试,LED 照明控制器具有 2 种工作模式,即设置模式和正常模式。程序可分为串口中断服务程序和主程序两部分。

3.1 串口中断服务程序

设置模式由串口中断服务程序实现。若串口读取到来自设置端的数据,即进入串口中断服务程序,首先判断该数据是否为启动设置命令,若是,则令 LED 灯具熄灭;同时回复应答数据给设置端,然后等待设置端发送工作参数设置命令数据过来,接收并保存,写入单片机内部指定的 EEPROM 地址单元,并再次回复应答数据给设置端。接下来等待设置端发送结束设置命令过来,收到后中断程序返回,退出设置模式。下次再设置时,软件将重写相应的 EEPROM 地址单元,实现设置值的刷新。

根据上述设置过程,该系统规定设置端和 LED 照明控制器之间的无线通信协议见表 1。

表 1 通信协议表

Table 1 The table of communication protocol

功能	格式	说明
启动设置	'S'	设置端发送给 LED 照明控制器
设置感应距离	'D'+Dist	设置端发送给 LED 照明控制器
设置维持时间	'T'+Time	设置端发送给 LED 照明控制器
结束设置	'E'	设置端发送给 LED 照明控制器
应答	'Y'	LED 照明控制器发送给设置端

表 1 中的参数 Dist、Time 的类型均为 unsigned char,Dist 的范围为 0x28~0x80,数值越大,表示感应距离越近;Time 范围为 0x3c~0xb4,数值越大,表示维持时间越长,若令 Time 等于 0xff,则表示将 LED 灯具设为常亮。

根据上述通信协议,设置模式时的程序流程如图 8 所示。

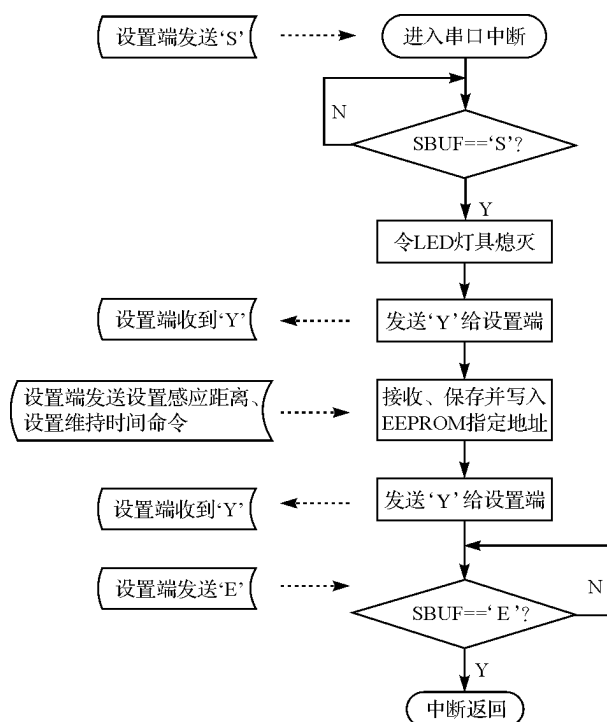


图 8 串口中断服务程序流程图

Fig. 8 The flowchart of UART ISR

3.2 主程序

正常模式由主程序实现。主程序在完成必要的初始化(主要包括令 LED 灯具为熄灭状态,以及串口、AD 转换格式及 PWM 频率等的初始配置)工作后,进入总循环。首先在 1 s 内完成 200 次 AD 采样转换,筛选出此 200 个转换结果数据的最大值 D_{\max} 、最小值 D_{\min} ,并计算出两者的差值 ΔD ,将 ΔD 与设置过程中收到、已存于 EEPROM 指定单元的触发阈值 D_{set} (即设置时的 Dist 值)进行比较,若 $\Delta D > D_{\text{set}}$,则开始无级调光,否则不响应。在无级调光过程中,在 5 s 内将 PWM 信号的占空比 ρ 从 1% 调节到 100%,每次调节增量为 1%。调光完成后 LED 灯具达到 100% 亮度,然后令 LED 灯具按设置过程中收到且已存于 EEPROM 指定内的维持时间值保持点亮状态,维持时间到后,LED 灯具熄灭,主程序流程如图 9 所示。

有必要说明的是,在主程序循环执行的过程中,不管当前运行到哪一步,一旦串口收到启动设置命令,主程序即保护现场,开始执行串口中断服务程序(即进入设置模式),直至设置过程成功结束,然后恢复现场,接着往下执行,待下一次循环开始后,按新设置的参数正常工作。

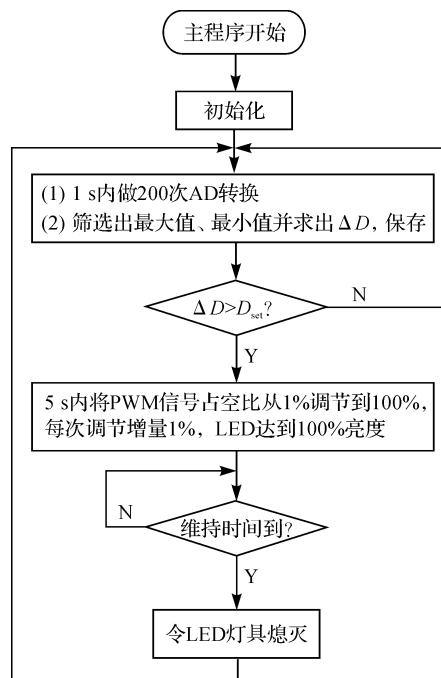


图 9 主程序流程图

Fig. 9 The flowchart of main program

4 实验测试与结论

在实验室对该系统进行了全面的测试,设置过程简单、方便,无线通信准确、可靠,实验中均设置 1 次即成功。设置的 Time 值与秒表对照结果一致,当设置为 0x3c 时,LED 点亮维持时间为 60 s,其余类推。

当微波传感器与人之间的距离在一个较小的范围内时,其 ΔD 值始终保持为一个较为稳定的饱和值(在 0x84 ~ 0x88 之间),当把 Dist 值设为 0x80 时,感应距离经实测近似在 0~3 m 内。逐渐减小 Dist 值,感应距离则相应地变远,但由于 ΔD 值并不随距离而作线性变化,因此,设置的 Dist 值与感应距离之间的关系也非线性。关于感应距离的具体实验结果见表 2,需指出的是,由于微波信号固有的传播特点,表 2 中测得的距离均为近似值。

当微波传感器与人之间距离在 8 m 及以下时,只要人体作出轻微移动,系统即可快速地响应,且无误触发现象出现。但当距离超出 8 m 后,误触发现象开始偶有出现,分析其原因,可能是由于环境因素造成微波传感器的输出电压波动,从而使得控制器作出反应。要解决此问题,后期需进一步开展数据处理方面的研究,设计合理的滤波算法,以更好地满足实际使用的需要。

5 结 语

本研究以微波传感器为基础,使用电子电路、LED 驱动器及单片机等设计了 LED 照明控制器,并采用无线射频通信的方式来设置相关工作参数,成功实现了一套完整的 LED 照明控制系统。实验整体上达到了预期的效果,相比于传统的用拨位开关设置的方式,有着更强的灵活性和实用性,比如当 LED 照明控制器安装在高处等不便人们达到的地方时,该系统的便捷性优势明显。

表 2 感应距离实验测试结果

Table 2 The table of test results of induction distance

Dist 设置值	实测感应距离(近似值)
0x80	0~3 m
0x7a	4 m
0x6b	5 m
0x55	6 m
0x49	7 m
0x3c	8 m
0x28	>8 m

参考文献:

- [1] 孙卫东. 浅谈 LED 照明现状与未来的展望[J]. 科技展望, 2016, 26(15): 311.
- [2] 窦林平. 国内 LED 照明应用探讨[J]. 照明工程学报, 2011, 22(6): 51.
- [3] 李秘, 丁时栋, 李贵柯, 等. 低成本 LED 智能照明系统的设计[J]. 电源技术, 2016, 40(1): 174.
- [4] 汪为, 杨涛, 田宝森, 等. 多功能白光 LED 智能照明系统的设计[J]. 微型机与应用, 2016, 35(15): 98.
- [5] 吕晶, 黄葛鸿, 麻莉萍, 等. 智能感应灯的设计[J]. 龙岩学院学报, 2010, 28(2): 23.
- [6] 胡大力, 朱亚民, 刘花丽, 等. 基于热释电传感器的人体辐射检测电路设计[J]. 电子技术, 2013, 40(2): 34.
- [7] 梁佩莹, 梁泽汇, 范财武, 等. 基于多普勒效应 LED 灯光控制系统[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2016, 34(2): 50.
- [8] 深圳安美通科技有限公司. APC220 说明书[EB/OL]. (2008-01-12)[2016-12-21]. <http://www.appcon.com.cn/uploads/soft/20150316/1426498348.rar>.
- [9] 深圳海凌科电子有限公司. HLK-PM01 说明书[EB/OL]. (2014-10-25)[2016-12-21]. <http://www.hlktech.com/Article/Read/158.aspx>.
- [10] 严琦龙, 陈庭勋. 基于 DPA425 的小功率无线电源设计[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(7): 29.
- [11] 何东升, 刘永强, 王端阳, 等. 基于 TOP245Y 芯片的高可靠性电源设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(28): 164.
- [12] 姚昕. 浅谈印制电路板的电磁兼容设计[J]. 电子与封装, 2009, 9(6): 35.
- [13] 陈惠明, 陆荣鉴. 微波传感器的信号识别及其应用[J]. 林业机械与木工设备, 2003, 31(10): 27.
- [14] 梁亚林, 张永立, 沈天健. 基于 PIC12F675 的低误报智能入侵探测器设计[J]. 测控技术, 2003, 22(9): 23.
- [15] 明纬公司. HLG-80H 规格书[EB/OL]. (2015-07-31)[2016-12-21]. <http://www.meanwell.com.cn/webapp/product/search.aspx?prod=HLG-80H>.
- [16] STC Micro. STC15 series MCU datasheet[EB/OL]. (2015-10-10)[2016-12-21]. <http://www.stcmicro.com/datasheet/STC15F2K60S2-en.pdf>.

~~~~~  
(上接第 16 页)

- [7] LIM C, WANG C Y. Development of high-power electrodes for a liquid-feed direct methanol fuel cell[J]. Journal of Power Sources, 2003, 113(1): 145.
- [8] AKIKI T, CHARON W, ILTCHEV M C, et al. Influence of local porosity and local permeability on the performances of a polymer electrolyte membrane fuel cell[J]. Journal of Power Sources, 2010, 195(16): 5258.
- [9] GE J, HIGIER A, LIU H T. Effect of gas diffusion layer compression on PEM fuel cell performance[J]. Journal of Power Sources, 2006, 159(2): 922.
- [10] CHANG W R, HWANG J J, WENG F B, et al. Effect of clamping pressure on the performance of a PEM fuel cell[J]. Journal of Power Sources, 2007, 166(1): 149.
- [11] BATES A, MUKHERJEE A, HWANG S, et al. Simulation and experimental analysis of the clamping pressure distribution in a PEM fuel cell stack[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2013, 38(15): 6481.
- [12] CARRAL C, Mélé P. A numerical analysis of PEMFC stack assembly through a 3D finite element model[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2014, 39(9): 4516.
- [13] 周怡博, 王建建. 装配压力对燃料电池扩散层影响的研究[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(4): 991.
- [14] JIAO K, PARK J, LI X. Experimental investigation on liquid water removal from the gas diffusion layer by reactant flow in a PEM fuel cell[J]. Applied Energy, 2010, 87(9): 2770.
- [15] TRANTER T G, BURNS A D, INGHAM D B, et al. The effects of compression on single and multiphase flow in a model polymer electrolyte membrane fuel cell gas diffusion layer[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2015, 40(1): 652.