

无线供电磁悬浮灯设计与制作

童雨花, 李茂林, 杨民生*, 毛小燕, 邓玉琴, 黄启文

湖南文理学院计算机与电气工程学院, 湖南 常德

Email: *yms1234@163.com

收稿日期: 2021年3月15日; 录用日期: 2021年4月16日; 发布日期: 2021年4月27日

摘要

随着互联网的高速发展, 智能灯的发展趋势也逐渐向互联网方向靠拢, 在现代生活中, 单一功能的传统灯已经满足不了智能家居的需求, 跟传统灯相比, 智能灯美观大方, 而且用户可以根据自己的需求, 去调节智能灯的亮度, 保护了用户的视力, 也避免了传统灯的功能单一问题, 并且智能灯的耗能也比较低, 使用寿命相对比较长, 触电的危险也大大地降低了。本文通过对无线供电方案、磁悬浮悬浮方式、控制方式进行论证, 结合磁悬浮悬浮技术、新兴无线供电技术, 设计了一个以STM32F103C8T6为主控制器的无线供电磁悬浮灯系统。系统主要由STM32最小系统、线圈驱动模块、无线供电模块、霍尔传感器输出电压差动比例运算电路模块、显示模块、辅助电源模块以及磁悬浮控制模块组成。根据谐振电磁耦合功率传输原理, 通过无线发射端和无线接收端电路, 对灯具进行无线供电, 同时, 利用STM32单片机产生PWM波通过线圈驱动模块, 来驱动线圈产生磁力, 通过电磁悬浮技术实现对灯具的悬浮, 再通过霍尔传感器检测磁力大小, 反馈输入到控制器STM32单片机中, 通过PID算法来实现磁悬浮系统的悬浮稳定性, 对磁悬浮系统进行控制, 从而实现灯稳定悬浮在磁悬浮装置上空。

关键词

无线供电, 磁悬浮, PWM, PID

Design and Manufacture of Magnetic Levitation Lamp for Wireless Power Supply

Yuhua Tong, Maolin Li, Minsheng Yang*, Xiaoyan Mao, Yuqin Deng, Qiwen Huang

School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Arts and Sciences, Changde Hunan

Email: *yms1234@163.com

Received: Mar. 15th, 2021; accepted: Apr. 16th, 2021; published: Apr. 27th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 童雨花, 李茂林, 杨民生, 毛小燕, 邓玉琴, 黄启文. 无线供电磁悬浮灯设计与制作[J]. 传感器技术与应用, 2021, 9(2): 89-100. DOI: 10.12677/jsta.2021.92012

Abstract

With the rapid development of the Internet, the development trend of smart lights has gradually moved closer to the Internet. In modern life, single-function traditional lights can no longer meet the needs of smart homes. Compared with traditional lights, smart lights have a more beautiful appearance, and users can adjust the brightness of smart lights according to their own needs, protecting the user's eyesight, and avoiding the single function of traditional lights, and the energy consumption of smart lights is relatively low, the service life is relatively long, and the risk of electric shock is greatly reduced. In this paper, through the demonstration of wireless power supply scheme, magnetic levitation mode, control mode, combined with magnetic levitation technology and emerging wireless power supply technology, a wireless electromagnetic levitation lamp system with STM32F103C8T6 as the main controller is designed. The system is mainly composed of STM32 minimum system, coil drive module, wireless power supply module, Hall sensor output voltage differential proportional operation circuit module, display module, auxiliary power module and magnetic suspension control module. According to the principle of resonant electromagnetic coupling power transmission, the wireless power supply is provided to the lamps through the wireless transmitter and wireless receiver circuits. At the same time, the STM32 single-chip is used to generate PWM waves through the coil drive module to drive the coil to generate magnetic force. The suspension is detected by the Hall sensor, and the feedback is input to the STM32 microcontroller. The PID algorithm is used to achieve the suspension stability of the magnetic suspension system, and the magnetic suspension system is controlled to realize the stable suspension of the lamp above the magnetic suspension device.

Keywords

Wireless Power Supply, Magnetic Levitation, PWM, PID

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着互联网的高速发展,智能灯[1]的发展趋势也逐渐向互联网方向靠拢,在现代生活中,单一功能的传统灯已经满足不了智能家居的需求,并且智能灯跟传统灯相比,外观上比较美观,而且用户可以根据自己的需求,去调节智能灯的亮度,保护了用户的视力,也避免了传统灯的功能单一问题,并且智能灯的耗能也比较低,使用寿命相对比较长,触电的危险也大大地降低了。

2. 系统方案

采用 STM32 为主控制器,选取 2 个线性霍尔传感器[2]来检测 X、Y 方向的磁密度信号,当悬浮磁体偏离中点位置时,X、Y 方向上的霍尔传感器分别检测到的 X、Y 方向磁密度信号,通过 A/D 调理电路输入到控制器,与控制器中给定的磁密度值进行比较产生偏差,作为 PID 调节器[3]的输入,输出计算得到的 PWM 占空比[4],再经过功率放大器,来控制流经线圈的电流大小和方向,从而产生磁悬浮磁场,该磁场与磁悬浮体磁场相互作用,形成使得悬浮物回到中点位置的磁拉力,使得磁悬浮磁体能够在中心点稳定悬浮。在此基础上加上无线供电模块[5]对灯具进行供电,从而达到要求。方案框图如图 1 所示。

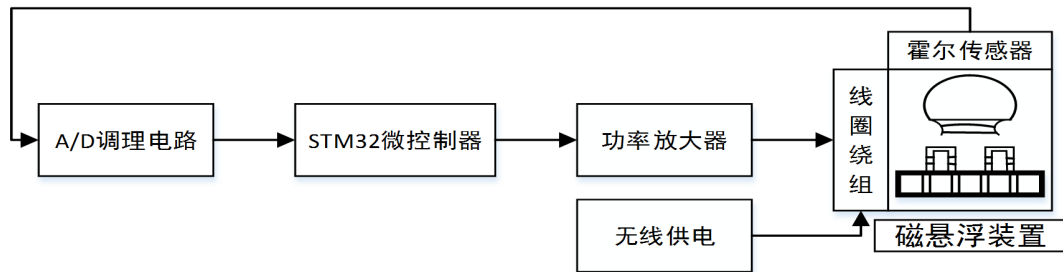


Figure 1. Solution diagram
图 1. 方案框图

根据系统的整体设计框图，确定了磁悬浮的悬浮方式采用下推式进行悬浮，其中磁悬浮装置的主视图、俯视图如图 2 所示。

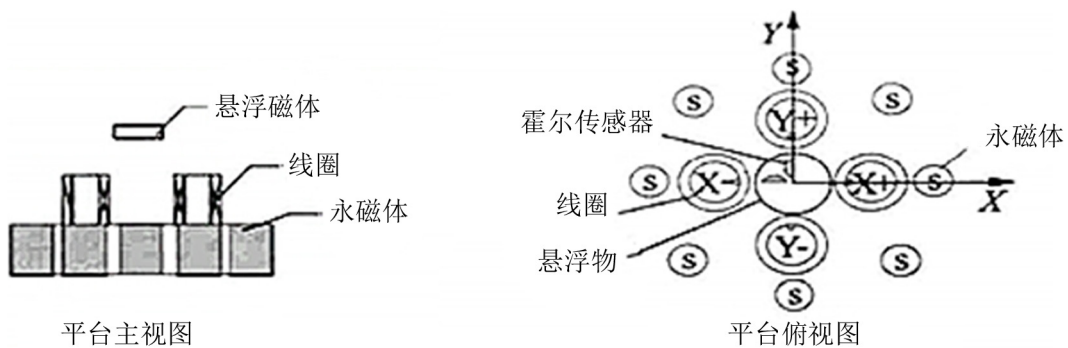


Figure 2. Main and top view of the magnetic levitation device platform
图 2. 磁悬浮装置平台的主视图和俯视图

磁悬浮装置的控制原理框图如图 3 所示，首先，通过 X、Y 方向上的霍尔信号经过反馈电路输入到 STM32 中，然后采用模糊 PID 控制[6]计算出 PWM 波，再输入到功率放大器中，驱动线圈产生磁力，从而实现课题要求。

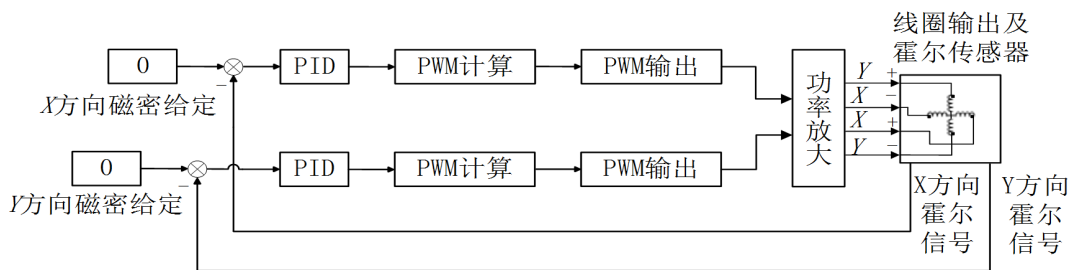


Figure 3. Control principle block diagram of magnetic levitation device platform
图 3. 磁悬浮装置平台的控制原理框图

3. 硬件设计

3.1. STM32 最小系统模块

STM32 最小系统电路图如图 4 所示。STM32 最小系统包括电源供电电路、晶振电路、复位电路以及下载仿真电路。第五号引脚 OSCIN 和第六号引脚 OSCOUT 都是 STM32 主芯片的时钟电路引脚，并且还外接了一个 8 MHz 的晶振，给主芯片进行起振，从而使主芯片工作起来。第七号引脚 NRST 是 STM32

主芯片的复位引脚，从而组成整个系统的复位电路。第三十四号引脚 SWDIO 和第三十七号引脚 SWTCK 构成 STM32 主芯片的程序下载仿真电路，可以用来进行 SWD 仿真调试。另外，STM32 主芯片上的一号引脚需要接 3.3 V 的电压，主要是给主芯片以及其他模块电路提供工作电源。

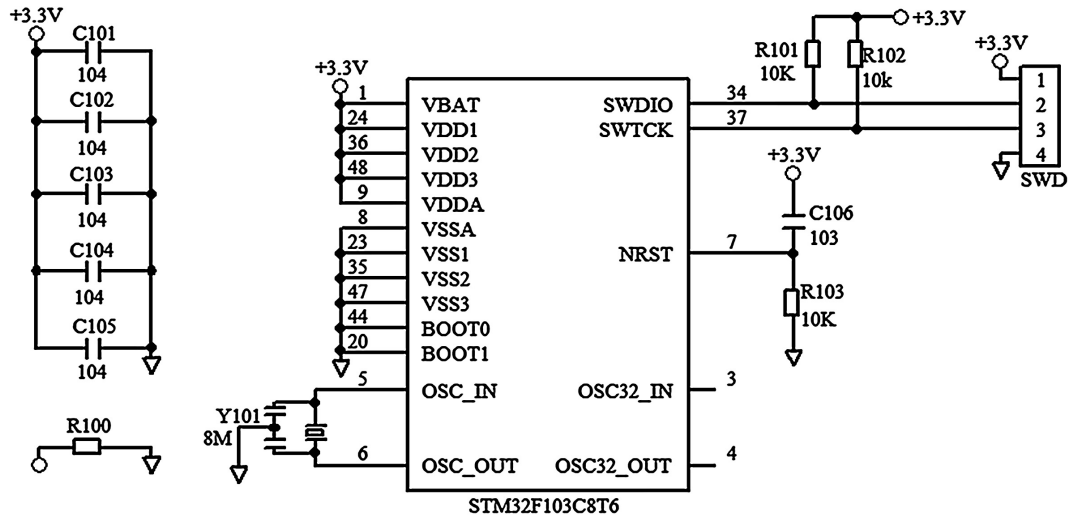


Figure 4. STM32 minimum system
图 4. STM32 最小系统

3.2. 无线供电模块

无线供电[7]发射端由芯片 XKT-412 和 XKT-335 构成，XKT-412 是一款高频大功率集成电路，其无线供电的发射端电路如图 5 所示，发射端的电路体积小但是输出功率大，XKT-412 芯片负责该系统中的无线电力传输功能。无线供电接收端由芯片 T3168 构成，T3168 芯片构成的电路能够使输出电压达到 5 V、电流达到 1.5 A。其无线供电接收端的电路图如图 6 所示。无线供电的发射端主要是采用电磁转换原理，与无线供电的接收端配合进行能量转换和对电路进行实时监控，并且能够智能的控制各种电池的快速充电。如果要创建一个非常可靠的无线快速充电器和无线电源，只需要几个外部组件就可以和 XKT-412 芯片组成高可靠的无线电源。

3.3. 线圈驱动模块

由 L298N 电机驱动模块作为电磁铁[8]的电流驱动，从而驱动线圈产生磁力[9]，对 ENA、ENB 使能之后，L298N 驱动模块可以分别从 IN1、IN2 输入 PWM 信号驱动 X 方向上的线圈产生磁能，可以分别

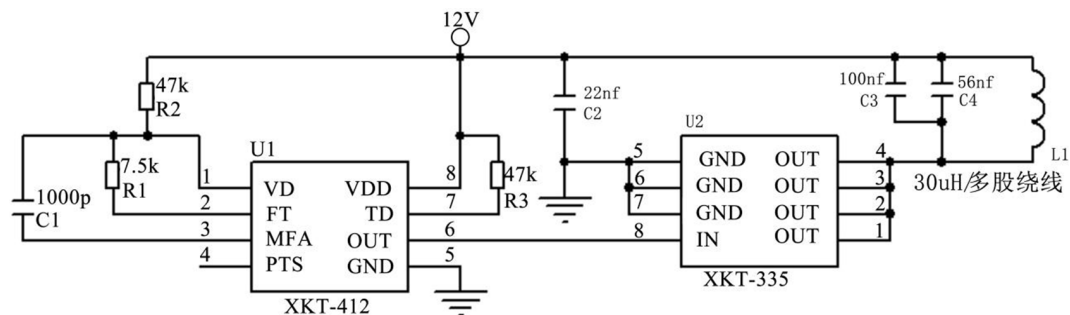


Figure 5. Schematic diagram of the transmitter
图 5. 发射端原理图

从 IN3、IN4 输入 PWM 信号驱动 Y 方向上的线圈产生磁能，并且输出的峰值电流能够达到 2A，能够满足驱动线圈产生磁能的要求。其电路原理图如图 7 所示。

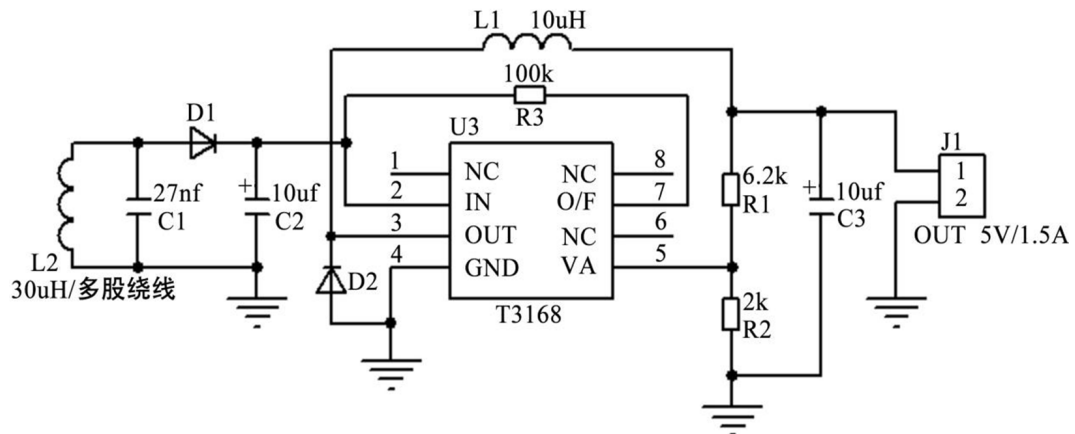


Figure 6. Receiver schematic diagram
图 6. 接收端原理图

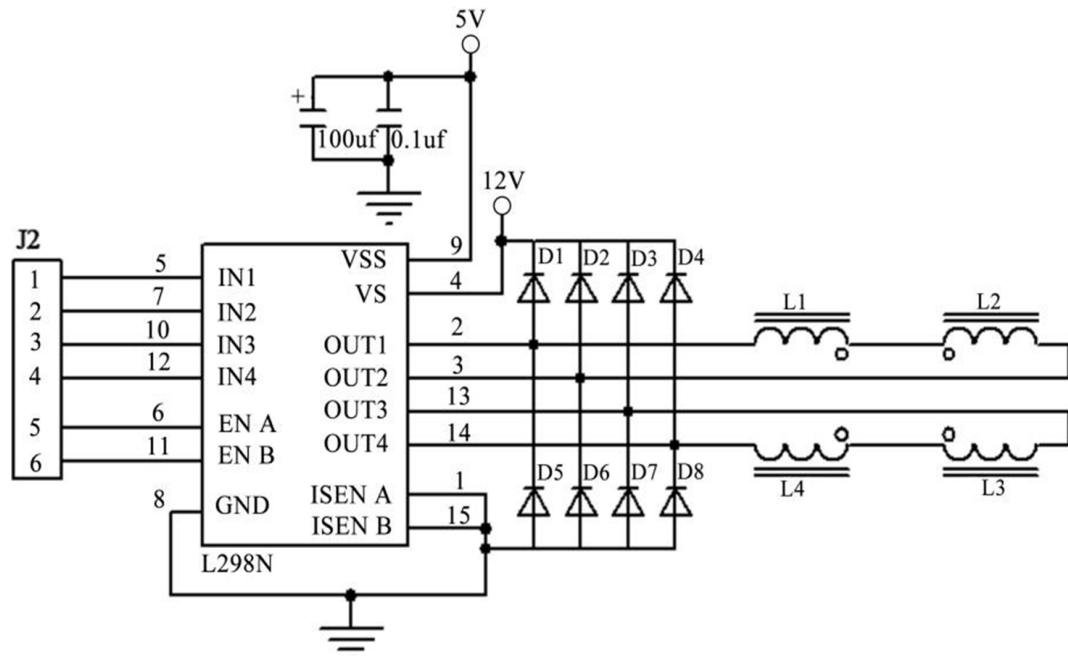


Figure 7. Coil drive circuit schematic diagram
图 7. 线圈驱动电路原理图

3.4. 霍尔传感器输出电压差动比例运算电路

霍尔传感器[10]输出电压差动比例运算电路图如图 8 所示，首先调节两个 10 K 的电位器，使得 LM358 同相输入端的偏置电压 V_{ref} 为 2.15 V，水平 X、Y 两方向的霍尔传感器输出电压 V_i 经 4.7 K 电阻传入 LM358 反相输入端，电容在电路中初步滤除尖刺噪声。由差分放大器原理易知：

$$V_o = V_{ref} + \frac{R_1}{R_2}(V_{ref} - V_i) \quad (3.1)$$

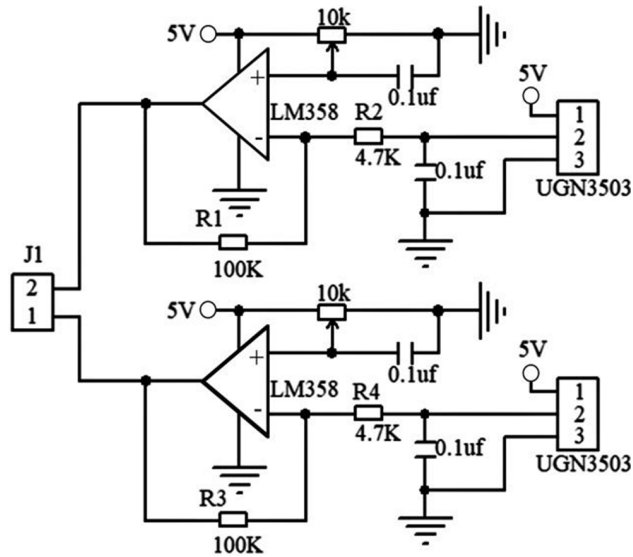


Figure 8. Hall sensor output voltage differential proportional operation circuit schematic diagram

图 8. 霍尔传感器输出电压差动比例运算电路原理图

3.5. 辅助电源电路

辅助电源电路如图 9 所示。通过对整个系统的各个模块供电电压进行分析可知，整个系统所需的电压电平分别为 12 V，5 V，3.3 V，其中，12 V 是无线供电模块发射端的额定工作电压，因此，为了给整个系统提供相对稳定的电压，选择使用 15 V 的电池对整个系统进行供电。通过 LM2576-12 这款芯片和 BUCK 型降压电路将 15 V 电池电压降至 12 V，给无线供电模块的发射端进行供电。然后，再利用 LM2576-5 这款芯片将 12 V 的电压降低到 5 V，为 L298N 线圈驱动模块和霍尔传感器进行供电，最后，再通过 LM2576 这款芯片将 5 V 的电压降至 3.3 V，对 STM32 最小系统进行供电。

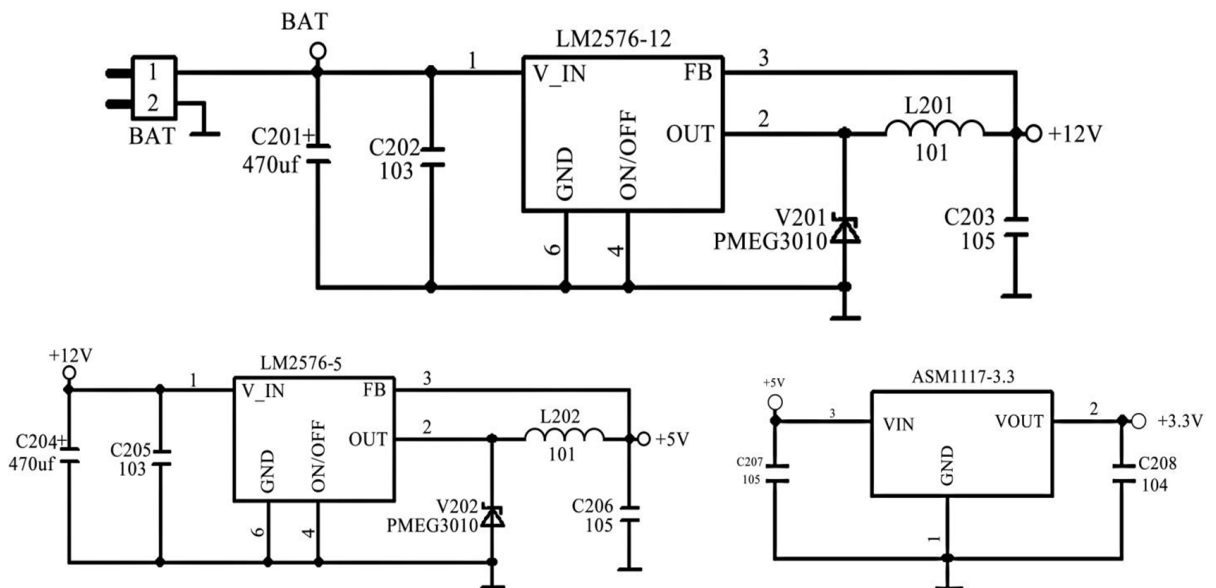


Figure 9. Auxiliary power circuit

图 9. 辅助电源电路

4. 软件设计

4.1. 模糊 PID 控制设计

如果外界有很大的干扰,则瞬时偏差会显着变化。对于最基本的 PID 调节器[11],微分部分的输出会迅速增加,从而导致系统的控制过程出现振荡,从而浮子无法稳定地在上空悬浮,导致浮子不能在线圈的中心点悬浮。为了使浮子能够在中心点进行稳定的悬浮,因此,选择模糊 PID 控制[12]系统,该控制结构能够根据设定值自动调节相关的系统参数,对 PID 参数进行优化,从而自主调节浮子的悬浮位置,使其在中心点进行稳定悬浮。其控制系统如图 10 所示。

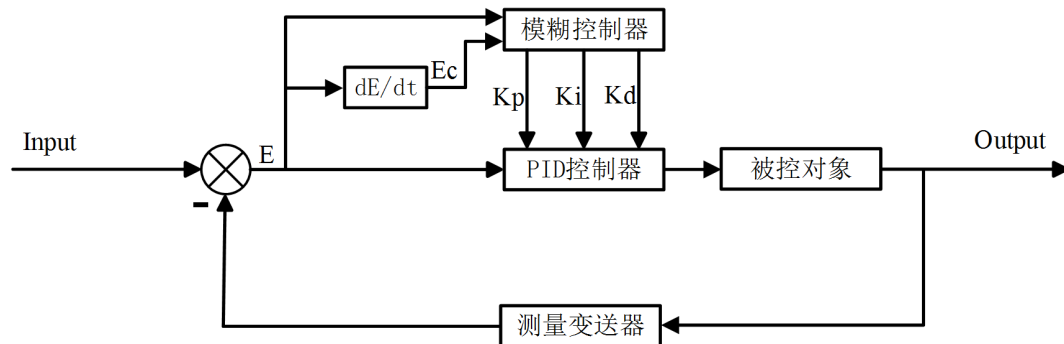


Figure 10. Fuzzy PID control system diagram
图 10. 模糊 PID 调节系统图

由图 10 可知,模糊 PID 系统是以误差 E 和误差变化率 EC 为输入变量,输入到模糊控制器和 PID 调节器里面,以 PID 调节器的系数 K_p 、 K_i 、 K_d 为输出变量,然后输出到控制对象上,构成了一个二输入三输出的模糊控制器。

4.2. 主程序和控制程序子程序

系统的主程序流程图如图 11 所示,首先对整个系统进行初始化,然后进行对相关的变量进行定义和赋初值,再对 X、Y 方向上的霍尔传感器反馈回来的信号进行滤波和采样,输入两路经过滤波的采样信号到 PID 调节器, PID 调节器对其信号进行调节,并根据产生的偏差值来计算 PWM [13],再通过 STM32F103C8T6 单片机的 PA 口输出 4 路 PWM 波到线圈驱动模块,改变线圈电流的大小,最终可以实现稳定的悬浮。其中系统的初始化是对输入输出接口、定时器寄存器、中断寄存器以及各个接口进行初始化操作;霍尔信号的滤波和采样是对 X、Y 方向上的两个霍尔传感器反馈回来的信号进行采集,并且通过数字滤波之后,进行采样;PID 调节器则采用模糊 PID 对系统进行控制,其控制系统子程序流程图如图 12 所示。

5. 系统仿真及实物制作

5.1. 系统仿真

由于当外界有较大的扰动时,会使得瞬时偏差变化较大,对于最基本的 PID 调节器,会使得微分部分的输出快速增大,从而导致控制过程会出现振荡,使得浮子在上空不能稳定悬浮,导致浮子不能在线圈的中心点悬浮。为了使浮子能够在中心点进行稳定的悬浮,因此,选择模糊 PID 控制系统,该控制结构能够根据设定值自动调节相关的系统参数,对 PID 参数进行优化,从而自主调节浮子的悬浮位置,使其在中心点进行稳定悬浮。

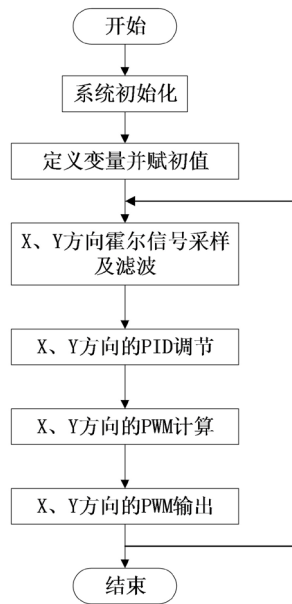


Figure 11. Main program flowchart
图 11. 主程序流程图

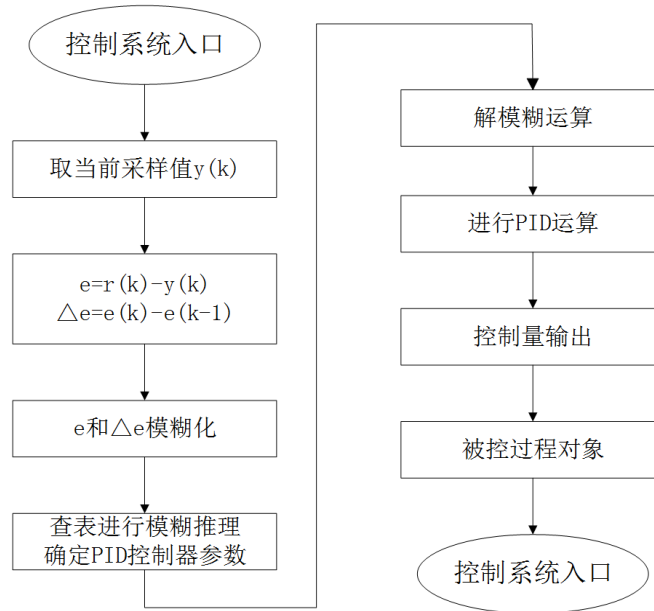


Figure 12. Control system subroutine flow chart
图 12. 控制系统子程序流程图

5.1.1. 模糊规则表建立

根据 PID 参数的作用以及在不同的偏差变化下对 PID 参数的要求, 得到针对 ΔK_p , ΔK_i 和 ΔK_d 的参数模糊子集的模糊控制表, 如表 1 所示。

5.1.2. 仿真结果

构建规则完成后, 通过模糊 PID 控制仿真系统, 得到该模糊 PID 控制器 ΔK_p , ΔK_i 和 ΔK_d 三个参数输出曲面, 如图 13、图 14、图 15 所示。

Table 1. ΔK_p , ΔK_i and ΔK_d fuzzy control of fuzzy subset of parameters
表 1. ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_d 的参数模糊子集的模糊控制表

E	Ec						
	NB	NM	MS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

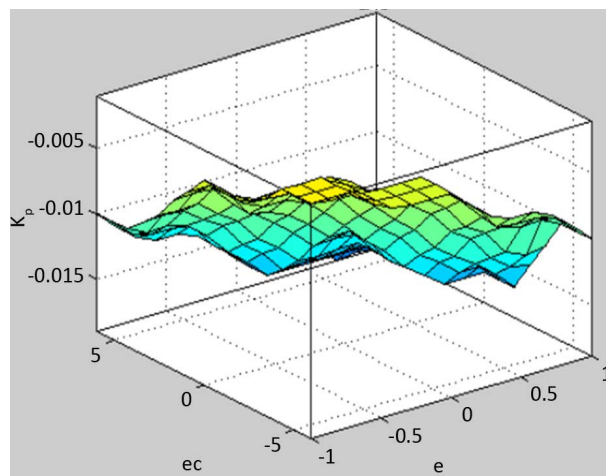


Figure 13. ΔK_p output surface diagram

图 13. ΔK_p 输出曲面图

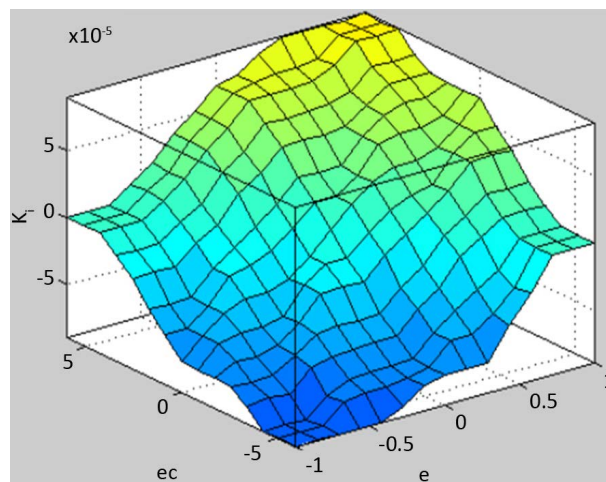


Figure 14. ΔK_i output surface diagram

图 14. ΔK_i 输出曲面图

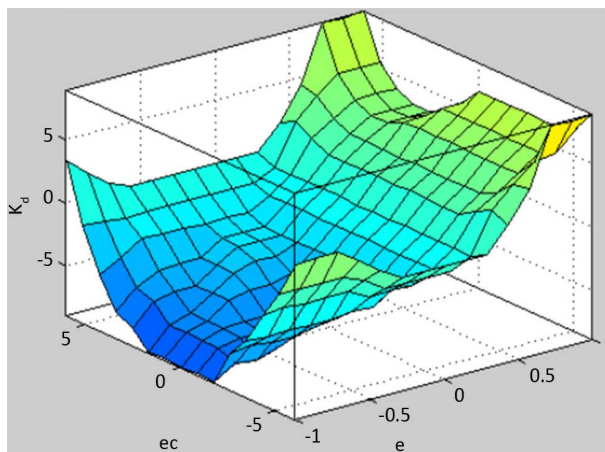


Figure 15. ΔK_d output surface diagram
图 15. ΔK_d 输出曲面图

通过 *simulink* 对模糊 PID 控制系统[14]的参数进行仿真, 得到了系统的位移阶跃响应曲线[15], 如图 16 所示。

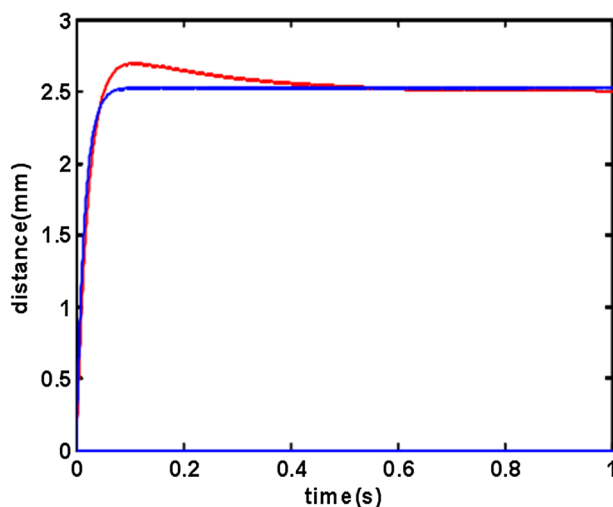


Figure 16. Displacement step response curve of the system
图 16. 系统的位移阶跃响应曲线

从图 16 可以明显看到模糊 PID 控制系统的动态性能比基本 PID 控制器的动态性能要好的多, 模糊 PID 控制系统基本上没有超调量, 调节时间也比较短, 其稳定性更加好, 表明所设计的模糊 PID 控制器是符合磁悬浮控制系统的, 能够较好的控制浮子在上空稳定悬浮, 总体来说, 基本符合课题的要求。

5.2. 实物制作

对系统的硬件原理图进行了 PCB 打板, 其 PCB 样板的正反面实物图如图 17、图 18 所示。

根据 PCB 的元件布局, 焊接好各个元器件, 然后进行调试, 实现了浮子能够稳定的悬浮在线圈的上空中心, 如图 19 所示。最后, 对无线供电模块进行通电, 实现了磁悬浮灯稳定的悬浮在线圈的上空中。如图 20 所示。

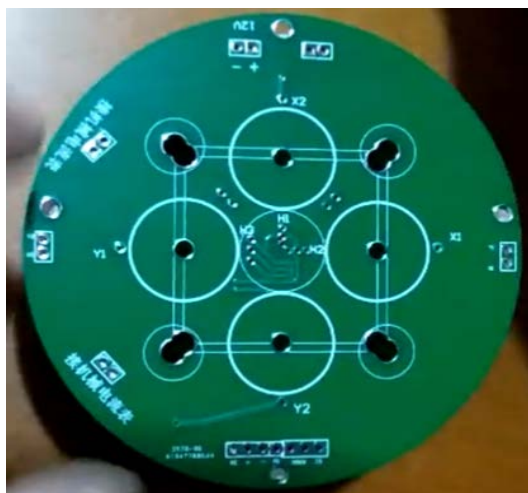


Figure 17. PCB front sample drawing
图 17. PCB 正面样板图

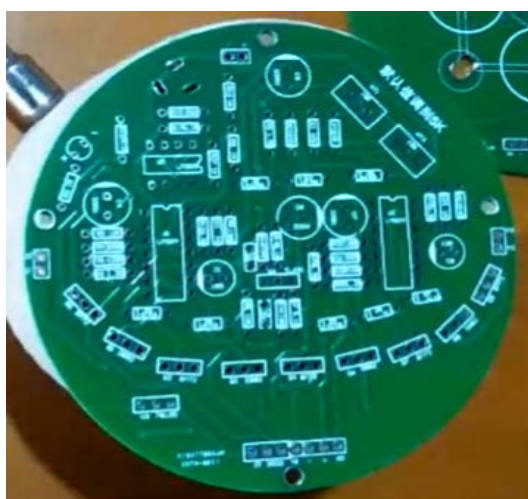


Figure 18. PCB reverse sample drawing
图 18. PCB 反面样板图



Figure 19. Magnetic levitation device to achieve stable suspension
图 19. 磁悬浮装置实现稳定悬浮

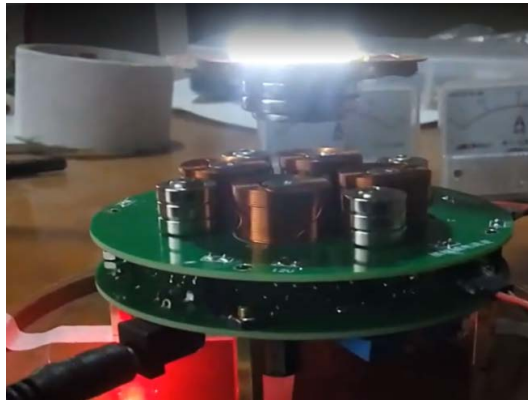


Figure 20. Wirelessly powered maglev lamps
图 20. 无线供电磁悬浮灯

6. 总结

本文对无线供电磁悬浮灯的设计、仿真与制作进行了详细的阐述。通过无线电能传输技术为灯具进行供电，灯具的负载光源部分采用磁悬浮设计，在外界有较大的扰动时，会使得瞬时偏差变化较大，并且会使 PID 微分部分的输出快速增大，从而导致控制过程会出现振荡问题，系统设计了基于模糊 PID 控制算法的控制系统，仿真和实验证明，模糊 PID 控制下，灯具部分的悬浮位置控制基本上没有超调量，调节时间也比较短，其稳定性更加好。经过实验证明，系统能较好地实现无线供电磁悬浮灯智能调控的功能。系统成本较低、操作方便、控制系统较为稳定，满足了智能灯的相关要求。

基金项目

论文的研究受到国家大学生创新创业训练项目、湖南省自然科学基金研究项目(2019JJ40200)支持。

参考文献

- [1] 张志强, 毛晓波. 新型非接触供电的磁悬浮灯饰的研制[J]. 电子器件, 2017, 40(1): 188-193.
- [2] 张驰, 陆永华, 梁立鹏, 等. 基于双霍尔传感器的磁性小球悬浮控制系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(11): 86-90.
- [3] 张雷. 磁悬浮球控制系统实验平台的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [4] 缪文南. 基于无线供电的新型磁悬浮 LED 灯的研制[J]. 电子测量技术, 2019, 42(3): 112-115.
- [5] 陈硕翼, 张丽, 唐明生, 李建福. 无线电能传输技术发展现状与趋势[J]. 科技中国, 2018(7): 7-10.
- [6] 张波. 基于 MATLAB 的磁悬浮球数字控制器的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 河海大学, 2005.
- [7] 施建喆. 电磁感应与无线充电[J]. 科技风, 2016(21): 125.
- [8] 张世伟. 平面型磁悬浮平台动力学建模与动态特性研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [9] 徐晓美, 朱思洪. 磁悬浮技术及其工程应用[J]. 农机化研究, 2005(6): 192-194.
- [10] 刘恩山, 卢光华. 霍尔传感器的应用[J]. 仪表技术与传感器, 1993(3): 14-16.
- [11] 戴利明, 齐斌, 周海波, 秦克利. 磁悬浮运动平台的 PID 控制[J]. 现代制造工程, 2008(6): 79-82.
- [12] 姚河清, 孟庆芹, 陈亚政. 磁悬浮轴承模糊 PID 控制器的设计[J]. 机械, 2004, 31(8): 39-41.
- [13] 仇志坚, 戴军, 陈小玲. 基于不完全微分 PID 的斥力型磁悬浮平台控制系统研究[J]. 微特电机, 2014, 42(10): 75-77, 88.
- [14] 陈安安. 磁悬浮平台控制系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2016.
- [15] 徐林. 基于模糊 PID 的磁悬浮控制系统研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.