

文章编号: 1005-0523(2020)01-0101-05

## 智能交流电力电子开关的研究

徐晓玲<sup>1</sup>, 胡康荣<sup>2</sup>, 刘 珺<sup>1</sup>

(1. 华东交通大学电气与自动化工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 深圳市英威腾交通技术有限公司, 广东 深圳 518108)

**摘要:** 智能交流电力电子开关与传统机械开关相比具有极大优势, 研究一款可遥控、安全可靠、低成本智能交流电力电子开关具有极高的科研价值与商业化推广价值。基于可控硅构建的智能交流电力电子开关, 运用互联网及红外控制技术通过手机相关应用程序来实现对开关的遥控, 提高安全性与便利性, 保障人身安全的同时, 实现开关电器的人性化和智能化。从计算机仿真与实验测试来看, 电路设计合理, 功能完备。智能交流电力电子开关可以替换传统机械开关, 采用手机遥控使用简便, 可应用于智能家居; 整个系统电路简洁可靠、成本低, 易于安装与批量生产。

**关键词:** 交流电力电子开关; 驱动控制; 手机遥控; 智能家居

**中图分类号:** TM921/TP211

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.01.014

普通家用电器通常由机械开关进行通断控制, 此类开关通断电路时会有电火花产生, 不但减少使用寿命而且造成安全隐患。由于机械磨损, 传统机械式开关使用寿命短, 并且负载接入和断开时的相位是随机的, 这样容易对电网造成电磁干扰。智能交流电力电子开关是一种全部由固态电子元件组成的用在交流场合的可遥控无触点开关。与传统的机械开关相比, 智能交流电力电子开关应用于智能家居更具有优势: 可遥控控制、使用寿命长、开断电路的可靠性高、动作速度迅速、电磁干扰小、开断电路时无机械振荡无噪声、不拉弧无火花、安全性高。智能家居方兴未艾<sup>[1]</sup>, 在智能家居及安全性要求高的场所, 智能交流电力电子开关将成为一种趋势。

可控硅 (silicon-controlled rectifier, SCR) 由于其通态压降低、成本低、易驱动等原因常应用于电力电子开关<sup>[2-3]</sup>。SCR 驱动是交流电力电子开关的一项关键技术, 其有多种触发方式, 传统的触发电路由三极管脉冲放大电路和脉冲变压器脉冲输出电路组成<sup>[4]</sup>。强触发方式电路产生的波形前端高抖后端低平, 波形比较理想<sup>[5]</sup>。驱动电路也可采用 AVR 单片机根据检测到的电流电压信号去驱动 SCR, 该电路适合交流调压和电机启动<sup>[6]</sup>。SCR 采用单片机通过合适的中间电路产生所需的触发波形也比较常见<sup>[7-8]</sup>, 此类电路在电压干扰比较大时, 易产生误导通, 需要添加适当的抗干扰措施。SCR 的自驱动电路简单、成本低, 而某些固态继电器则采用电阻自驱动式触发<sup>[9]</sup>。

在施加 SCR 触发脉冲时, 往往将触发脉冲和电源电压信号进行同步处理, 需要合适的过零检测电路。过零检测电路比较经典的是用两个光耦控制器分别检测电源电压的过零时刻, 进行触发控制<sup>[10-11]</sup>。这种过零检测方式易受 SCR 两端电压波动的影响, 抗干扰措施不力的情况下, 易出现多次触发情况。采用带过零检测模块的光耦进行过零检测是一种简便方案, 但电路的过零触发不够准确, 可能误动作甚至损坏 SCR。若在 SCR 投切电容器的工作环境出现误导通, 那么会造成冲击涌流过大, SCR 和电容器将很容易遭受损坏<sup>[12]</sup>。这两种光耦过零检测电路存在过零误导通的情况, 所以设计电路时须考虑相应的解决方法。采用比较器检测电

收稿日期: 2019-06-08

基金项目: 江西省科技厅重点研发计划(20192BBE50017)

作者简介: 徐晓玲(1962—), 女, 副教授, 研究方向为电机、电器技术等。

路并通过软件设计相位补偿和零点校正的方法可提高过零检测的精度<sup>[13]</sup>,此方案成本稍高,需采用单片机。带相位补偿的高精度过零检测电路检测精度好<sup>[14]</sup>,但是电路复杂,所用芯片比较多,成本高。

国内外目前此类研究各有特色但成本稍高,不利于作为智能家居的民用电器开关进行推广;而在日益追求生活品质的今天,又因不具备手机遥控功能而显得智能性不足。因而研制一款具备可遥控、安全可靠、低成本智能交流电力电子开关具备极高的科研价值与商业化推广价值。

## 1 电路结构与与设计

电路框图如图 1 所示。

### 1.1 红外控制电路的设计

红外控制方式相较于其它控制方式简单、成本低,采用无需单片机解码的简洁红外遥控方式。具体采用将红外接收头和解调输出电路集成的 HS0038 芯片,工作频率为 38 kHz,当器件接收到信号时,器件的 OUT 端输出低电平;器件未接收到信号时,器件的 OUT 端输出高电平。

电路采用非门和 D 型触发器组成进行锁相和翻转的电路。为了配合 HS0038B 的使用,电路中所用的芯片都是 TTL 型的。非门用的是 74LS04,D 型触发器用的是 74LS74。74LS04 给 74LS74 创造与遥控按键同步的上升沿,且增强 HS0038B 的驱动能力。74LS74 的作用是实现锁相和电平翻转的功能。

### 1.2 SCR 主电路的设计

SCR 主电路是由触发电路和过零检测电路组成的,设计的 SCR 主电路图如图 2 所示。

电路中的  $R_3$  为限流电阻, $R_1$  和  $R_2$  为防误触发电阻, $RL$  为负载。该电路工作原理为:假设  $U_{LN}$  大于 0 时,表示电源在正半周, $U_{LN}$  小于 0 时,则表示为电源在负半周;若 MOC3083 的 LED 端输入信号  $F$  可以驱动 LED 导通,那么 MOC3083 的双向晶闸管输出端就可以工作,则当电源从负半周向正半周过零进入正半周时,MOC3083 输出端导通,晶闸管 VT2 正偏,电源经  $D_1$ ,MOC3083 输出端, $R_3$ , $R_2$ , $RL$  构成触发回路,VT2 的 G 极电位比 K 极电位高,故 VT2 的 G 极有触发电流流过,当电流增大到一定值时,VT2 导通;当电源从正半周向负半周过零进入负半周时,MOC3083 输出端导通,晶闸管 VT1 正偏,电源经  $D_2$ ,MOC3083 输出端, $R_3$ , $R_1$ , $RL$  构成触发回路,VT1 的 G 极电位比 K 极电位高,VT1 的门极有触发电流流过,当电流增大到一定值时,VT1 导通。整个电路通过调节  $R_3$  的值可以调节触发时间,即移相。

## 2 计算机仿真

红外控制电路仿真由美国国家仪器(NI)有限公司推出的以 Windows 为基础的仿真工具 Multisim 14。测试点的电压波形图如图 3 所示。

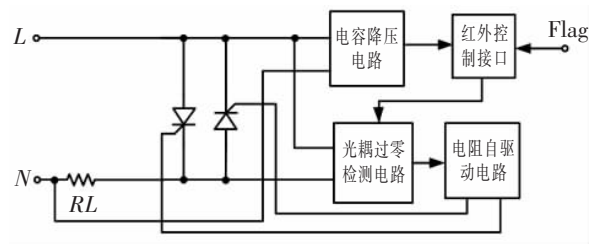


图 1 电路结构框图

Fig.1 Structure scheme of the AC power electronic switch

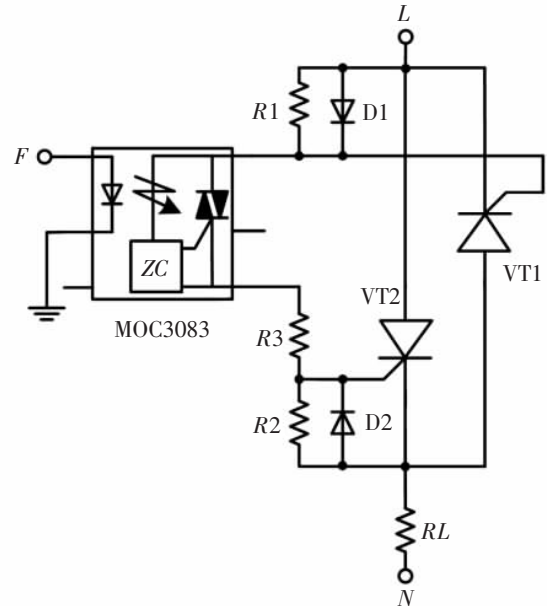


图 2 SCR 主电路图

Fig.2 SCR main circuit

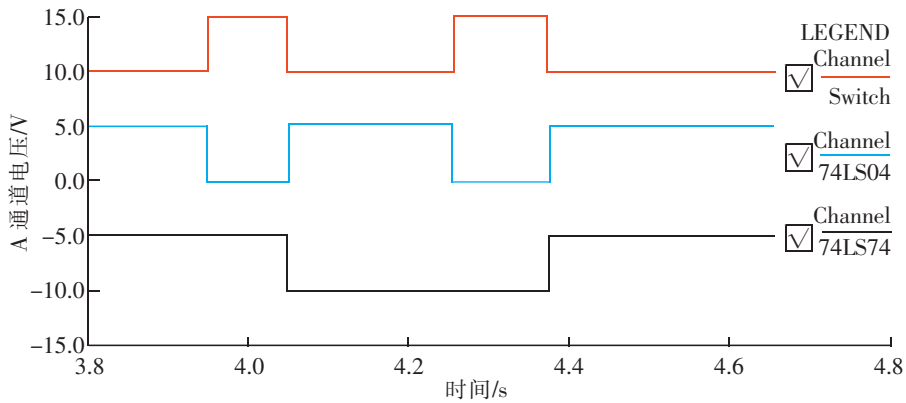


图 3 红外控制仿真波形图

Fig.3 Simulation result of infrared control circuit

当 S1 合上,相当于 HS0038B 未接收到信号;U1A 的输入端变为高电平,它的输出端变为低电平,产生了一个下降沿,U2A 的 Q 端保持上一个电平状态。当 S1 断开,相当于 HS0038B 接收到信号,U1A 输入低电平,它的输出变为高电平,产生了一个上升沿,U2A 的 Q 端电平状态翻转。观察 U2A 的输出端所接的 LED 负载工作情况,得知这个电路的工作是符合设计要求的。从仿真结果看,设计电路合理。

### 2.1 主电路的仿真

市电输入,主电路采用英国 Lab Center Electronics 公司的 Proteus7.8,如图 4 所示。

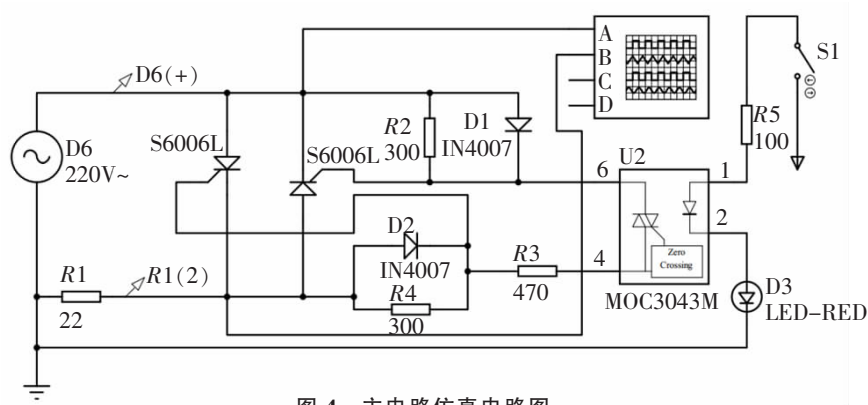


图 4 主电路仿真电路图

Fig.4 Simulation figure of main circuit

当开关未合上,即 MOC3043 的输入端没有信号时,负载端的电压波形如图 5 所示,负载 R1 两端电压幅值非常小,只有几百微伏,视为零,说明此时 SCR 未导通。

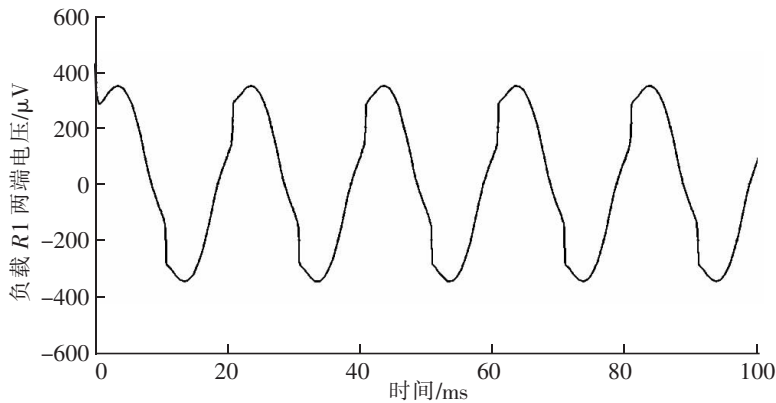


图 5 断开时负载 R1 的电压波形图

Fig.5 Voltage wave of R1 in off-state

当开关闭合时, MOC3043 的输出侧工作, 负载两端电压波形如图 6 所示, 可见负载两端的电压幅值为 310 V 左右, 与电源电压一致, 波形无畸变。

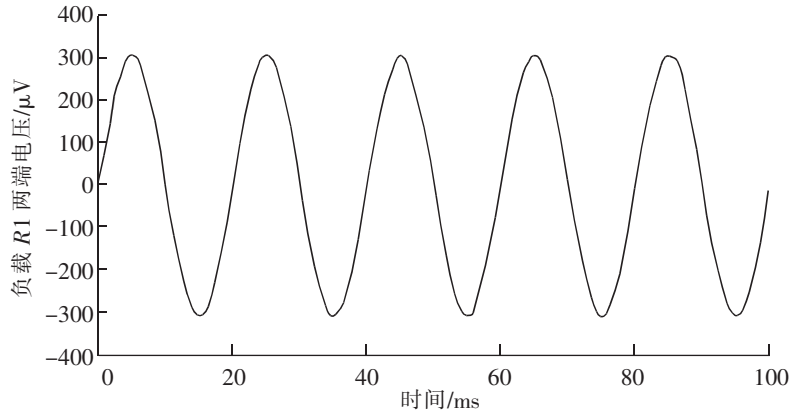


图 6 S1 闭合时 R1 的电压波形图

Fig.6 Voltage wave of R1 in on-state

各仿真结果均验证了电路的正确性和合理性, 搭建实验台进行实验测试。

### 3 实验测试

市场有众多免费智能遥控功能 APP, 实验选用了德仕电视模式。实验采用 20 W 的感性负载风扇进行测试。图 7 为红外控制接口未接收到信号时的状态, 辅助电源指示灯(蓝灯)亮, 红外控制输出电路指示灯(红灯)熄灭, 电扇的扇叶处于静止状态。

按下手机上的红外遥控按键, 电路状态转换为图 8 所示的状态, 红外控制输出电路的指示灯(红灯)变亮, 辅助电源指示灯(蓝灯)亮, 电扇扇叶正常旋转。

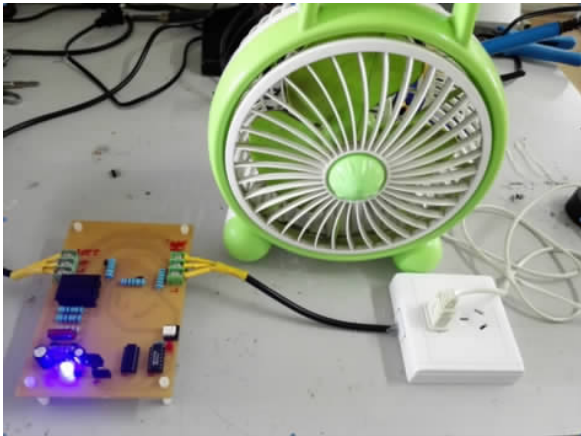


图 7 未接收开通信号时的实物图

Fig.7 The picture in off-state

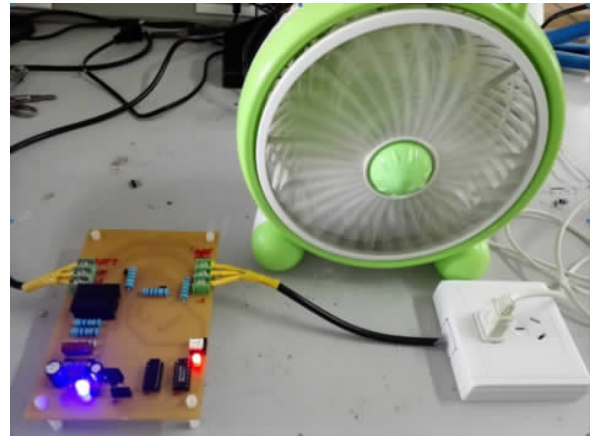


图 8 接收到开通信号时的实物图

Fig.8 The picture in on-state

实验测试证明智能交流电力电子开关具备手机遥控功能, 电路设计是合理有效的。

### 4 小结

基于 SCR 构建的智能交流电力电子开关, 运用互联网及红外控制技术通过手机或者电脑上的相关应用程序来实现对开关的遥控控制, 提高安全性与便利性, 保障人身安全的同时, 实现开关电器的人性化和智能化, 从计算机仿真与实验测试来看, 智能交流电力电子开关设计合理, 功能完备。

智能交流电力电子开关可以替换传统机械开关, 采用手机遥控使用简便, 极大增加操作的便利性, 替代

传统开关提高智能性采用过零技术无电磁干扰;不拉弧无火花、安全性高;因而其可广泛应用于智能家居与工业特别是矿业。系统电路简洁可靠、成本低,易于安装及批量生产。

#### 参考文献:

- [1] 程园,周洁,潘平安,等. 基于物联网的智能家居感知层组网算法[J]. 华东交通大学学报,2018,35(6):103-110.
- [2] M Fernández,X Perpinà,M Vellvehi and X Jordà. Analysis of Solid State Relay Solutions Based on Different Semiconductor Technologies[J]. IEEE, FERNÁNDEZ Manuel Technologies,2017:1-8.
- [3] 孙文革. IGBT与晶闸管在大功率斩波电路中的性能比较[J]. 微处理机,2014(4):26-29.
- [4] 王兆安,刘进军. 电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [5] 江智军,赵江球,伍怡兴. 一种改进的晶闸管触发电路研究[J]. 通信电源技术,2009,26(4):14-16.
- [6] 方刚,崔学深,肖刚,等. 单片机控制的 SCR 通用驱动装置及其典型应用[J]. 现代电力,2003,20(3):64-65.
- [7] 朱群峰,黄磊,王跃球. 基于 89 C51 单片机的晶闸管触发装置设计[J]. 仪表技术,2009,2:43-45.
- [8] XU WUXIONG. Design of thyristor digital trigger circuit based on microcontroller Unit[J]. IEEE Computer Society,2009:5337-5340.
- [9] 陈炳林,刘成旭,金少华. DOE 在汽车固态继电器优化设计中的应用研究[J]. 汽车电器,2019(4):33-37.
- [10] 孙福泉,张喜军,焦翠坪. 基于 MOC3083 的误触发原理分析及改进方法[J]. 电力电子技术,2009,43(1):52-54.
- [11] 魏海啸,于群. 基于 AT89C2051 的晶闸管触发电路设计[J]. 电子设计工程,2012,20(1):161-164.
- [12] 李勇,程汉湘,陈杏灿. 晶闸管投切电容器过零检测电路的改进[J]. 广东电力,2017,30(1):69-71.
- [13] 薛高飞,沈建清,李维波. 具有相位补偿功能的过零检测方法研究[J]. 船电技术,2009,29(1):49-52.
- [14] 孟彦京,种马刚,王素娥. 具有相位补偿的高精度过零检测方法研究[J]. 电子器件,2016,39(2):398-402.

## Research on Intelligent AC Power Electronic Switch

Xu Xiaoling<sup>1</sup>, Hu Kangrong<sup>2</sup>, Liu Jun<sup>1</sup>

(1.School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2.Shenzhen Ying Weiteng Transportation Technology Co., Ltd., Shenzhen 518108, China)

**Abstract:** Intelligent AC power electronic switch has a great advantage compared with traditional mechanical switch. There are high scientific researching and commercial values for developing a remote-controllable and reliable and low-cost intelligent AC power electronic switch. Based on silicon-controlled rectifier (SCR), the intelligent AC power electronic switch is researched by internet and infrared control technology through mobile phone with excellent safety and humanization. The computer simulations and experimental tests are completed. The results show that the design of the intelligent AC switch is feasible. Due to its safety and convenience, intelligent AC power electronic switch can replace the traditional mechanical switch and can be applied to smart home with the remote control of mobile phones. The circuit system is simple, reliable and easy to install with low cost and mass production.

**Key words:** AC power electronic switch; drive control; mobile phone remote control; smart home

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>