

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.01.010

PWM脉冲控制的晶闸管触发装置

陈欢, 凌云, 李飞, 彭琼林

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 为解决传统晶闸管触发装置的一系列问题, 设计了一种新型PWM脉冲控制的晶闸管触发装置。该装置由5个部分构成: 晶闸管双向电子开关、负载、过零脉冲产生及直流稳压单元、触发信号产生单元、控制信号给定单元。双向晶闸管作为双向电子开关, CMOS非门作为移相控制单元的核心器件, 其阈值电压直接作为触发基准电压, 利用PWM信号进行移相控制。测试结果表明, 该装置具有较好的抗干扰性能和良好的移相控制线性度, 且成本低, 体积小, 工作稳定可靠。

关键词: PWM; 移相触发脉冲; 晶闸管; 触发器

中图分类号: TM930

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)01-0049-04

The PWM Pulse Controlled Thyristor Trigger Device

Chen Huan, Lin Yun, Li Fei, Peng Qionglin

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

Abstract: In order to solve a series of problems of traditional thyristor trigger device, a new thyristor trigger device controlled by PWM pulse was designed. The device consisted of five part of two-way thyristor electronic switches, load, zero pulse generation and DC voltage unit, trigger signal generating unit and control signal given unit. Taking the bidirectional thyristor as two-way electronic switch, CMOS not gate as the core of phase shift control unit and its threshold voltage directly as the trigger reference voltage, applied PWM signal to phase shift control. The experimental results show that the device has strong anti-interference ability, good phase shift control linearity, which is low cost, small volume and works reliably.

Keywords: PWM; shift phase pulse; thyristor; trigger

0 引言

随着电力电子和电源技术的发展, 以及应用场合的多元化, 对晶闸管触发的控制提出了更高的要求。现有的方案存在诸多限制, 已无法满足多元化应用需求。传统模拟触发器中, 器件参数较为分散, 调试和使用不便, 可靠性差。传统数字触发器采用微控制器作为控制核心, 功能强, 但其价格高。三

相全桥可控硅焊接电源主回路的数字触发电路, 采用DSP(digital signal processor)作为触发器的控制器, 具有高速数据处理能力, 但电路复杂, 通用性不足。微处理器控制的智能触发器, 采用微处理器设计智能触发器, 电路简单, 但只能作为金属卤化物灯、高压钠灯、高压汞灯的照明控制智能触发器。晶闸管控制触发电路, 采用单片机作为触发器的控制核心, 但电路不能进行移相控制。晶闸管数字触发器, 采

收稿日期: 2013-11-26

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(13JJ9016)

作者简介: 陈欢(1988-), 男, 江苏淮安人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为现代电力电子技术及系统,

E-mail: 815823475@qq.com

用 CPLD (complex programmable logic device) 作为触发器的控制核心, 同步信号采用光耦器件直接获取, 加在光耦器件发光二极管及限流电阻上的是正弦波电压, 但移相控制的起始同步点不精确。双向晶闸管触发电路, 采用 PWM (pulse width modulation) 作为输入移相控制信号, 电路简单, 成本低, 但使用触发二极管作为触发比较器件, 移相角小时, 最小移相角不易控制, 移相角大时, 触发稳定性差。针对上述问题, 本文提出采用 CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 非门作为移相控制的核心器件。该触发装置成本低, 体积小, 稳定性较好。

1 触发电路的组成

PWM 脉冲控制的晶闸管触发装置如图 1 所示。该触发装置由负载、晶闸管双向电子开关、过零脉冲产生及直流稳压单元、触发信号产生单元、控制信号给定单元构成, 其输入电源为 220 V 的单相交流电源。

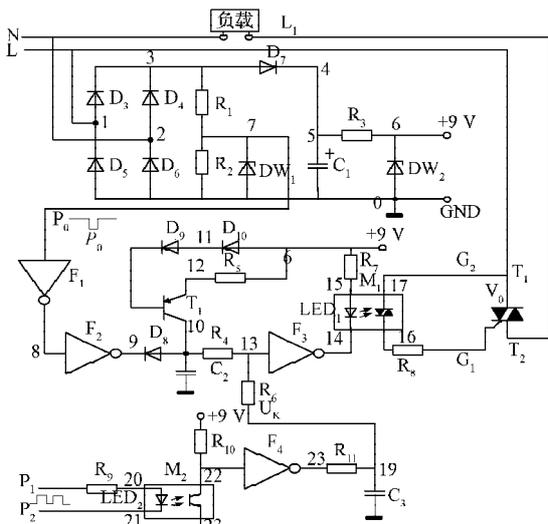


图 1 触发装置电路原理图

Fig. 1 The schematic diagram of trigger circuit

1.1 晶闸管双向电子开关

构成双向电子开关单元有 2 种方案: 1) 使用一个双向晶闸管 V_0 (见图 1); 2) 由 2 个单向晶闸管和 2 个二极管组成背靠背电路, 如图 2 所示。

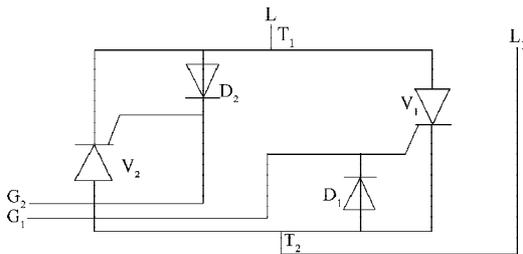


图 2 晶闸管双向电子开关单元的第二种方案电路原理图

Fig. 2 The schematic diagram of second program for thyristor bidirectional electronic switch unit

1.2 过零脉冲产生及直流稳压单元

过零脉冲产生及直流稳压单元包括整流桥、过零脉冲产生电路、直流稳压电路 3 个部分。整流桥由二极管 D_3, D_4, D_5, D_6 构成。过零脉冲产生电路由电阻 R_1, R_2 和稳压管 DW_1 组成。电阻 R_1, R_2 串联后, 再并联至整流电压输出端, R_1, R_2 的连结点 7 引出至过零脉冲信号输出端 P_0 。直流稳压电路由二极管 D_7 、电容 C_1 、电阻 R_3 、稳压管 DW_2 组成。该电路作为辅助电源为非门供电。

1.3 触发信号产生单元

由过零脉冲产生电路产生的过零脉冲信号, 经输出端 P_0 输入至过零脉冲信号输入端 P_0 。触发信号产生单元由非门 F_1, F_2, F_3 , 三极管 T_1 , 二极管 D_8, D_9, D_{10} , 电容 C_2 , 电阻 R_4, R_5, R_6, R_7, R_8 , 移相型光电隔离触发驱动器 M_1 组成。移相型光电隔离触发驱动器 M_1 采用 MOC3023 光耦器, 其内部包括发光二极管 LED_1 、光控双向晶闸管。

1.4 控制信号给定单元

移相控制电压输出端 U_k 与触发信号产生单元的移相控制电压输入端 U_k 连接。控制信号给定单元由开关型光电耦合器 M_2 , 电阻 R_9, R_{10}, R_{11} 及非门 F_4 组成。开关型光电耦合器 M_2 的型号为 4N25, 它由发光二极管 LED_2 和光控三极管构成。

1.5 非门

非门电路的型号为 CD4069, 是一个由 4 个非门 F_1, F_2, F_3, F_4 集成的 CMOS 电路。该电路由 +9 V 稳压电源供电。

2 触发电路的工作原理

PWM 控制信号经光电耦合器隔离, 转换成移相控制电压, 调节双向晶闸管的导通角, 利用过零脉冲信号决定移相控制的起点, 实现 PWM 脉冲控制。

2.1 过零脉冲信号

利用二极管桥式整流电路, 将交流电压转换成直流电压。直流电压经电阻 R_1, R_2 分压, R_2 的电压作为过零脉冲信号 P_0 , 并被稳压管 DW_1 限幅稳压为 +9 V。过零脉冲信号 P_0 作为负脉冲同步信号, 其上升沿作为触发装置移相控制的起点。改变负脉冲的宽度, 可实现最小移相控制角的控制。当增大 R_1 或减小 R_2 的阻值时, 会减小分压电路的分压比, 使负脉冲的宽度变宽, 增大最小移相控制角; 反之, 若增大分压电路的分压比, 可减小最小移相控制角。

2.2 直流工作电源

整流电压经二极管 D_7 隔离后, 通过大电容 C_1 滤波, 然后经电阻 R_3 限流, 并由 DW_2 稳压后, 得到稳

定的+9 V直流电压。该直流电压作为辅助直流工作电源,为触发信号产生单元、控制信号给定单元供电。

2.3 移相控制原理

非门 F_3 的输入电压为电容 C_2 的电压与移相控制电压 U_k 的叠加值,叠加比例由电阻 R_4 和电阻 R_6 的比值决定。

交流电源过零时,双向电子开关截止,且将过零脉冲信号 P_0 置为低电平;经非门 F_1, F_2 整形稳压后, F_2 输出低电平,二极管 D_8 导通,电容 C_2 经 D_8 迅速放电,电容电压被钳制在一个较小的初始值; F_3 输入低电平、输出高电平,这使得触发驱动器 M_1 内部的发光二极管 LED_1 和光控双向晶闸管截止,无触发信号输出。

交流电源过零后,过零脉冲信号变为高电平, F_2 输出高电平,二极管 D_8 截止。三极管 T_1 ,电阻 R_5 ,二极管 D_9, D_{10} 组成恒流源,对电容 C_2 充电, C_2 的电压线性增加^[4-7]。当过零脉冲信号 P_0 从低电平变为高电平的时刻为最小移相控制角。

若移相控制电压 U_k 固定不变,电容 C_2 充电, C_2 的电压线性增加,非门 F_3 的输入电压也线性增加。 C_2 充电, F_3 的输入电压超过其阈值电压时, F_3 的输入变为高电平,输出为低电平,这触发驱动器 M_1 内部的发光二极管 LED_1 发光,光控双向晶闸管导通。经过限流电阻 R_8 ,触发晶闸管双向电子开关导通,该触发信号将持续到下一个过零脉冲信号的负脉冲到来时消失。

当移相控制电压 U_k 增加,电容 C_2 的电压充电至较小数值时,使非门 F_3 产生触发信号,而 C_2 的电压充电到较小数值的时间短,相当于移相控制角前移;当移相控制电压 U_k 减小时,电容电压需充电增加到较大值,才能使 F_3 产生触发信号,而 C_2 充电时间长,相当于移相控制角后移。因此,相控电压决定了相控角。

2.4 PWM移相控制信号转换为移相控制电压

PWM信号输入后,利用控制信号给定单元进行输入隔离,并转换为直流移相控制电压 U_k 输出。移相控制信号的占空比与移相控制电压成正比,因此,改变移相控制信号的占空比,即可改变移相控制电压大小,从而改变移相控制角。

PWM移相控制信号为高电平时,经电阻 R_9 限流,驱动光控三极管导通,输出端电压被拉低,非门 F_4 输出高电平,通过电阻 R_{11} 对电容 C_3 充电;PWM移相控制信号为低电平时, M_2 内部的 LED_2 截止,光控三极管截止,输出集电极端被电阻 R_{10} 拉至高电平, F_4 输出低电平, C_3 经电阻 R_{11} 放电。改变PWM

移相控制信号的占空比,即改变电容 C_3 的平均电压值。由于电容 C_3 的平滑滤波作用, C_3 引出的移相控制电压 U_k 为直流电压。

3 触发装置的应用特点

本装置应用新型的控制方法,突破了传统方案的局限性。本装置经多次测试,试验结果表明其具有以下特点。

3.1 结构简单,易于实现,运行稳定

利用PWM信号进行移相控制,易于实现,且抗干扰能力强。1)晶闸管双向开关可用一个双向晶闸管,或用2个单向晶闸管加2个二极管组成。2)电容 C_2 采用恒流充放电方式,可确保移相控制信号与移相控制角之间的线性关系,且具有良好的移相线性度。3)采用光电隔离触发方式,运行安全。4)采用CMOS非门作为移相控制的核心器件,其电压传输特性接近理想开关,阈值电压近似为供电电压的二分之一,能直接作为触发比较电压,无需调整,且工作可靠、稳定。

3.2 非门输入阻抗高,装置功耗低

过零同步信号是由2个大阻值电阻和1个稳压管直接对交流电压整流后的直流电压进行分压得到。例如,电阻 R_1, R_2 均取值510 k Ω ,稳压管 DW_1 的稳压值为9 V,则 R_1 的电压有效值为211 V,其功耗为

$$P_1=211 \times 211 \div 510 \approx 87(\text{mW})。$$

R_2 的电压被 DW_1 限幅,使其功耗比 P_1 低。直流工作电源的最大负载是光电隔离触发驱动器 M_1 的输入控制电流,其额定电流为5 mA。CMOS产生电路所需的工作电流可以被控制得很小。例如,恒流源对电容 C_2 充电, C_2 容量选择0.22 μF ,最大充电时间为10 ms(对应的最大移相角为180 $^\circ$),最大充电电压为4.5 V(CMOS非门的阈值电压),充电电流为

$$I=0.22 \times 4.5 \div 10 \approx 0.1(\text{mA})。$$

U_k 平滑滤波充放电的电阻 R_{11} 的阻值选择10 k Ω ,其平均充放电电流为0.45 mA。上拉电阻 R_{10} 的阻值选择100 k Ω ,其最大电流为0.09 mA。CMOS非门的静态功耗几乎为0。

整个直流工作电源的负载电流若为6 mA,在保留一定裕量情况下,直流工作电源需要提供的最大负载电流不超过10 mA。电容 C_1, C_2 的容量分别选择10, 100 μF ,即可满足分压及滤波的要求。直流电源电路只需要使用二极管 D_7 ,电容 C_1, C_2 ,电阻 R_3 ,稳压管 DW_2 等小功率元件。因此,整个装置的功耗是较低的。

4 结语

本文提出的新型 PWM 脉冲控制的晶闸管触发装置, 解决了传统晶闸管触发装置的诸多不足, 如不稳定、可靠性差、价格昂贵、精度低、延迟等问题。该装置采用 CMOS 非门作为移相控制单元的核心器件, 利用 PWM 信号进行移相控制, 结构简单, 易于实现。同时, 具有一定抗干扰能力, 移相控制线性度较好, 且成本低, 体积小, 运行稳定。

参考文献:

- [1] Maniktala Sanjaya. Swithing Power Supplies A to Z[M]. Singapore: Newnes, 2006: 1-14.
- [2] 李中启, 肖强辉, 廖无限. 新型双BUCK恒流源的研究[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(4): 70-73.
Li Zhongqi, Xiao Qianghui, Liao Wuxian. Research on New Dual BUCK-Type Constant-Current Power[M]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(4): 70-73.
- [3] 陈德峰, 肖强辉, 廖无限. 一种BUCK型恒流源的输入特性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(6): 49-51.
Chen Defeng, Xiao Qianghui, Liao Wuxian. Input Features Research of BUCK-Type Constant-Current Power [J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(6): 49-51.
- [4] 杨杰, 肖强辉, 廖无限. 基于Saber的一种BUCK型恒流源的研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(6): 46-48.
Yang Jie, Xiao Qianghui, Liao Wuxian. Research on the BUCK-Type Constant-Current Power Based on Saber[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(6): 46-48.
- [5] 李桂丹, 高晗瓔, 张春喜. 基于SG3525的DC/DC直流变换器的研究[J]. 通信电源技术, 2008, 25(5): 28-29.
Li Guidan, Gao Hanying, Zhang Chunxi. The Research of DC/DC Converter Based on SG3525[J]. Telecom Power Technology, 2008, 25(5): 28-29.
- [6] 张波. 基于TL494的直流变换器[J]. 电子与封装, 2010, 10(12): 23-26.
Zhang Bo. DC-DC Converter Based on the TL494[J]. Electronics & Packaging, 2010, 10(12): 23-26.
- [7] 王辉, 王松林, 来新泉, 等. 一种BUCK型开关稳压器负载电流检测电路[J]. 固体电子学研究与进展, 2009, 29(1): 117-121.
Wang Hui, Wang Songlin, Lai Xinquan, et al. A Load Current Sensing Circuit for BUCK Switching Regulator[J]. Research & Progress of SSE Solid State Electronics, 2009, 29(1): 117-121.
- [8] Luo An, Zhao Wei, Deng Xia, et al. Dividing Frequency Control of Hybrid Active Power Filter with Multi-Injection Branches Using Improved i_p-i_q Algorithm[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(10): 2396-2405.
- [9] 岳云涛, 李英姿, 韩永萍. 一种新型高功率因数软开关电源[J]. 电力自动化设备, 2008, 65(5): 87-92.
Yue Yuntao, Li Yingzi, Han Yongping. High Power Factor Soft-Switch Power Supply[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 65(5): 87-92.
- [10] Watson A J, Wheeler P W, Clare J C. A Complete Harmonic Elimination Approach to DC Link Voltage Balancing for a Cascaded Multilevel Rectifier[J]. IEEE Trans. on Industrial Electronics, 2007, 54(6): 2946-2953.
- [11] Napoles J, Leon J I, Portillo R, et al. Selective Harmonic Mitigation Technique for High-Power Converters[J]. IEEE Trans. on Industrial Electronics, 2010, 57(7): 2315-2323.

(责任编辑: 邓彬)