

doi: 10.7690/bgzdh.2018.06.005

基于超级电容充放电的火工品启爆仪

玄立伟, 陈超波, 张彬彬, 毕雪芹

(西安工业大学电子信息工程学院, 西安 710021)

摘要: 为解决传统火工品启爆仪存在体积与质量较大、输出电压不可调, 难以满足复杂起爆要求的问题, 提出一种新型火工品启爆仪。采用基于超级电容模组的充放电电路, 阐述总体方案设计, 分别进行软、硬件设计, 并以某型火工品启爆要求为基准进行样机测试。实验结果表明: 该装置具有输出电压可调且易于携带的优点, 具有广泛的应用前景。

关键词: 超级电容模组; 火工品启爆仪; 充放电电路; 便携

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Explosive Initiating Device Blaster Based on Super Capacitor Charging and Discharging

Xuan Liwei, Chen Chaobo, Zhang Binbin, Bi Xueqin

(School of Electronics Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to solve the problem that the blaster of traditional explosive device has large volume and mass, and the output voltage is not adjustable, and it is difficult to meet the requirement of complex initiation, the new blaster for initiating explosive device is introduced. The charging and discharging circuit based on super capacitor module is used. The design of the overall scheme is described. The design of software and hardware is carried out separately, and the prototype test is carried out on the basis of blasting requirement of some initiating explosive device. The experimental results show that the device has the advantages of adjustable output voltage and portability, and has wide application prospects.

Keywords: super capacitor module; initiating explosive device blaster; charge and discharge circuit; portable

0 引言

火工品是装有火药或者炸药, 受外界刺激后产生燃烧或者爆炸, 以引燃火药、引爆炸药或做机械功的一次性使用的元器件^[1-4]。常用于引燃火药、引爆炸药, 还可做小型驱动装置, 用以快速打开活门、解除保险及火箭间分离等^[5-6]。在民用和军用领域, 特别是在航天领域得到广泛应用^[7-8]。

在大部分火工品启爆场合, 火工品的启爆装置普遍采用电启爆。电启爆的工作原理: 电能通过具有一定阻值的桥丝转化为热能, 从而加热桥丝周围的点火药并起爆主装药^[9]。为此, 火工品启爆需要较大的点火电流和瞬间的大功率才能实现正常启爆。目前大部分火工品启爆仪的设计方案是采用恒压电源供电, 通过控制电磁继电器或电子开关^[10], 为火工品提供启爆电流。该方案具有原理简单, 操作方便的优点, 是目前火工品启爆仪的主流方案^[11]。但

是采用大容量的电池和开关电源直接放电会使火工品启爆仪的体积和质量增大, 难于满足一些对质量和体积都有严格要求的环境。另外, 大容量电池需要经常更换, 从而产生较高的维修费用, 同时, 大容量的电池和开关电源无法对启爆电压进行调节, 难以满足日益复杂的火工品启爆要求。

为了解决上述问题, 笔者提供一种利用超级电容模组的新型火工品发火装置, 利用大容量超级电容作为动力源, 能快速大电流充电和放电, 以达到节能、环保、便携的目的; 因此, 利用超级电容的瞬间放电能力实现对电启爆器的激活, 可以达到减小点火电路的质量和体积的目的。

1 基于超级电容的充放电电路设计

超级电容火工品启爆仪点火电路的充放电原理如图 1 所示, 包括二极管、充电电磁开关 S1、限流电阻 R_1 和 R_2 、维持电磁开关 S3、超级电容模组 C、

收稿日期: 2018-03-17; 修回日期: 2018-04-14

基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(17JK1069)

作者简介: 玄立伟(1989—), 男, 吉林人, 学士, 从事控制工程研究。

启爆电磁开关 S_3 和输出端子 R_3 。充放电电路的输入端连接有二极管目的是利用二极管的单向导电性防止逆流，防止各个支路的相互干扰；限流电阻是为了避免过大的超级电容充电电流；超级电容模组由耐压 2.7 V，单体容量 30 F 的 40 个超级电容组成；图中 U_s 为直流电源电压。

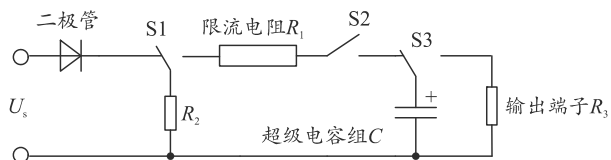


图 1 超级电容火工品充放电原理

充电电采用恒压电压源为超级电容充电，充放

电电路的工作原理：当接收到点或指令时，充电电磁开关 S_1 和维持电磁开关 S_2 闭合，电压源为超级电容 C ，开始充电；当超级电容的储能满足启爆要求时，充电电磁开关 S_1 断开，维持电磁开关 S_2 闭合，此时超级电容停止充电。当接收到点火指令时，启爆电磁开关 S_3 闭合，完成启爆。

2 总体方案设计

2.1 总体方案及原理

一种使用超级电容模组的火工品启爆装置，如图 2 所示，包括依次连接的电源模块、充电起爆模块和主控模块。

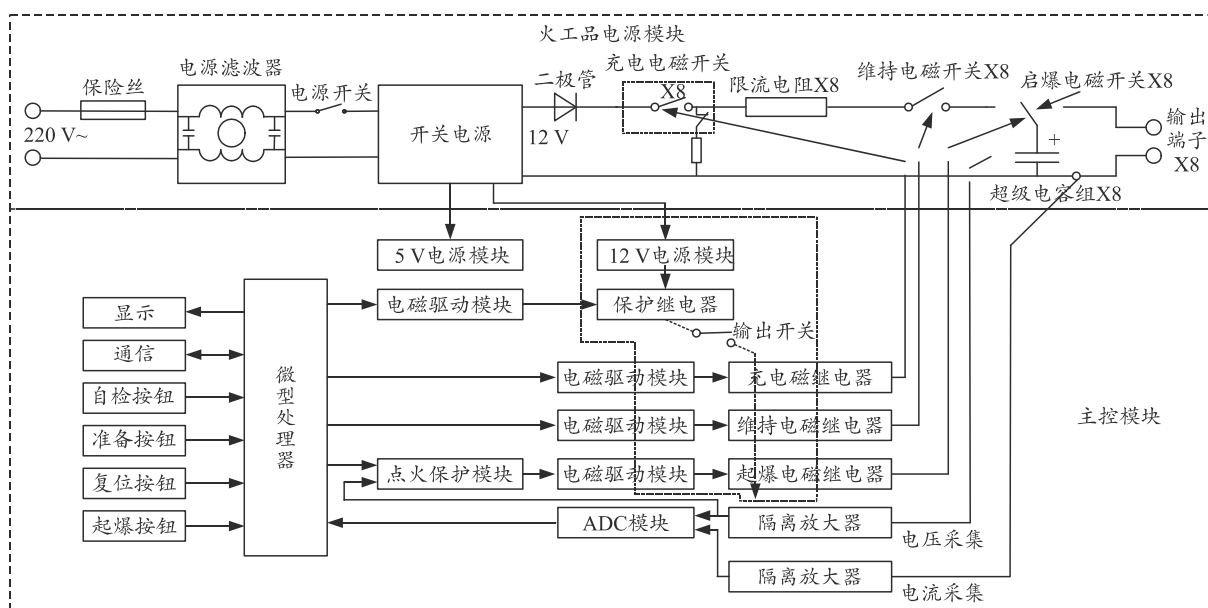


图 2 超级电容模组火工品启爆装置

在未接到点火准备指令前，超级电容模组处于断电状态；当主控系统收到点火准备执行命令时，充电电磁继电器控制充电电磁开关导通，超级电容模组充电，超级电容模组的电压会通过显示模块显示出来，当超级电容两端的端电压满足起爆要求时，发送点火指令，起爆电磁继电器控制启爆电磁开关并使启爆电磁开关导通，此时系统提供起爆脉冲和起爆电流，从输出端输出，保证火工品正常起爆；当系统出现意外情况时，按下急停开关火工品断电，确保安全。

2.2 方案特点

笔者设计的超级电容火工品控制电路方案特点如下：

1) 该火工品启爆装置可以应对在需要较大电流放电环境的火工品起爆要求，其适用电压和温度范围宽，解决了传统火工品起爆器在低温情况下容易失效的缺点；

2) 相比传统火工品，该火工品启爆装置的体积和质量大大减小，便于携带，安全性好，不产生电池污染，使用寿命长、维护保养方便，极大地降低了维护和保养的成本；

3) 该火工品启爆装置能够精确获得火工品启爆电流，为提高系统可靠性、降低风险提供依据，而传统的火工品无法实现对火工品启爆电流的精确测试。

2.3 电源模块

输入模块包括输入端口、保险丝、电源滤波器和电源开关，如图 3 所示。输入端口接 220 V 交流电源；电源滤波器是防止设备本身的电磁干扰进入电源线，以及电源线上的干扰进入设备；开关电源采用防水、稳定电流 10 A，分别有 5 V 电源模块和 12 V 电源模块。5 V 电源模块接主控模块的微型处理器，12 V 电源分别给电磁继电器和超级电容供电。

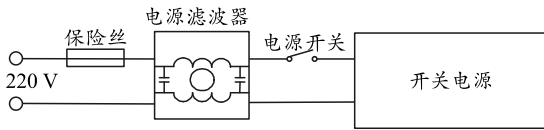


图 3 电源模块原理

2.4 数据采集

充电反馈模块包括依次连接的 AD 隔离放大器和 ADC 模块，AD 采样模块原理如图 4 所示。隔离放大器与超级电容模组和点火保护模块连接，可以给点火保护模块反馈超级电容模组的电压状态。ADC 模块与微型处理器连接，ADC 模块用于数据的采集，通过 ADC 模块将超级电容模组的电压模拟信号转换为数字信号传送给微型处理器，并通过显示模块显示出来。AD 采样模块完成对电源输出电压的采集，采用 8 路单端路 ADS7828 来测量输出端的电压值，18 bit 分辨率电压采样范围在 0~5 V、最大采样频率为 250 kHz，能满足在短时间内对火工品启爆仪的输出电压的采集。

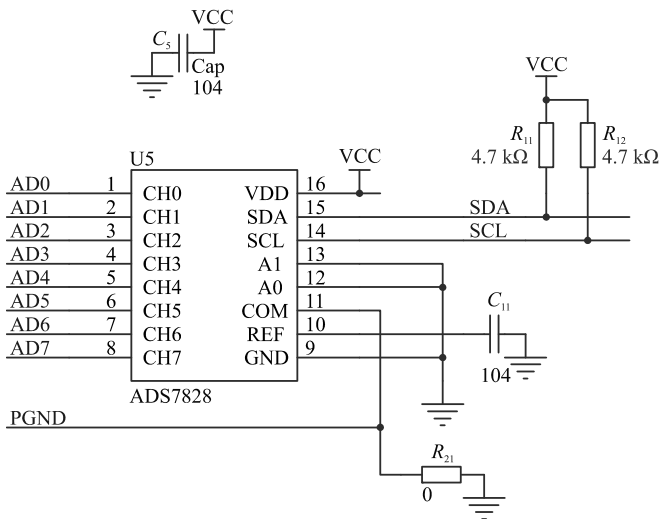


图 4 AD 模块原理

2.5 继电器驱动模块

本设计开关均采用电磁继电器，具有控制系统和被控系统，是用较小电流和电压来控制较大的电流和电压的一种自动开关。继电器的驱动是使用晶体管驱动原理，如图 5 所示。当输出为低电平时，光耦 TLP521-1 的输出三极管导通，同时驱动三极管 Q₁ 导通，此时继电器线圈通电。当输出为高电平时，光耦 TLP521-1 的输出三极截止，同时三极管 Q₁ 截止，此时继电器线圈断电。与继电器线圈并联的二极管 D₁ 的作用是在 Q₁ 截止时，吸收继电器线圈电感产生的反电动势，保护三极管 Q₁。

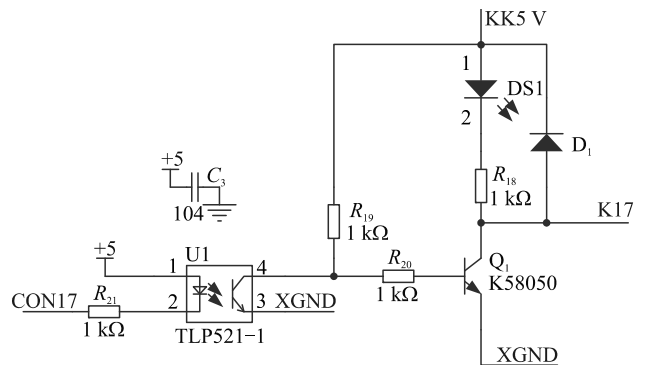


图 5 晶体管驱动电路原理

主控模块包括微型处理器及与微型处理器连接的充电电磁开关控制模块、起爆电磁开关控制模块、保护模块和 ADC 模块；微型处理器规格为 1 个串口、4 个定时器、工作频率大于 20 M 的工业级微型处理器，能根据指令的功能产生操作控制信号，并发给相应的部件，从而控制这些部件按指令的要求进行动作。

2.6 微控制器

本系统采用单片机作为系统核心控制器的微型控制器。火工启爆仪的各种电磁开关、显示和通信等模块，均采用单片机控制。单片机选择的是 AT89LP52RD 来完成对火工品装置的时序输出。AT89LP52RD 的优点在于它与 MCS-51 系统兼容；2 K 的可编程空间；供电电源为 2.7~6 V；工作频率为 0~24 Hz；128×8 bit 内部 RAM；15 个可编程 I/O 口；2 个 16 位定时/计数器；6 个中断源；可编程串行传输通道；可直接驱动 LED；双列直插窄封装 DIP20。原理如图 6 所示。

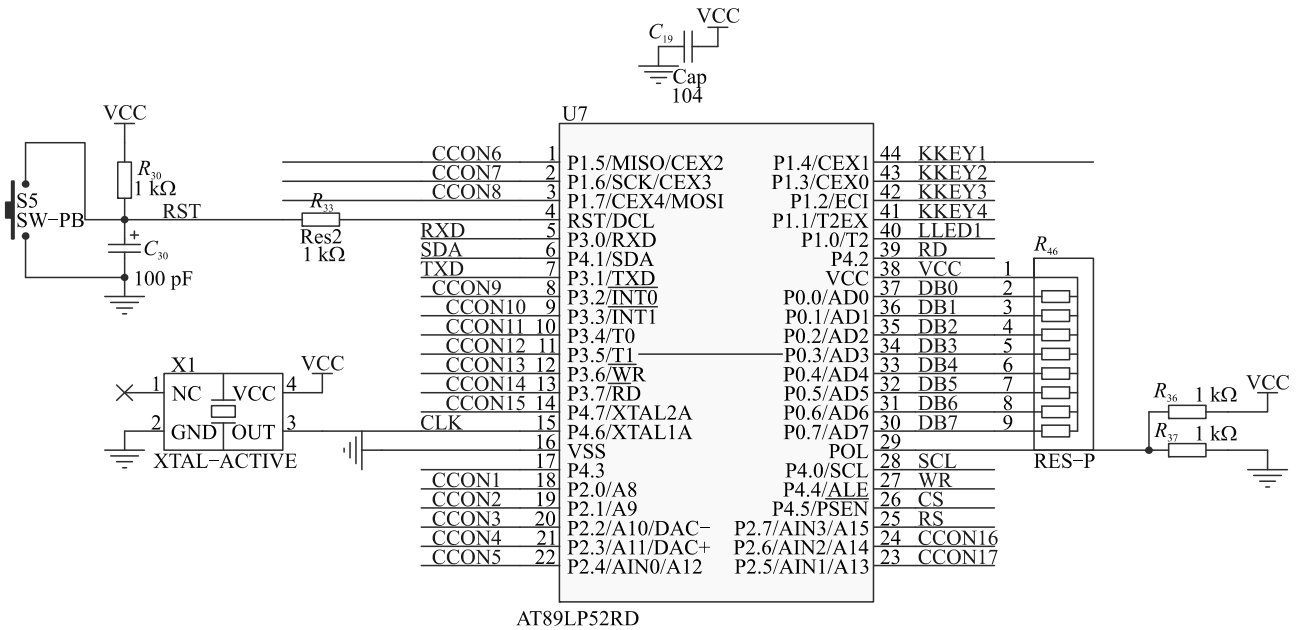


图 6 AT89LP52RD 原理

3 软件设计

该系统的流程如图 7 所示。系统上电后首先进行初始化，同时对按键采集进行充电，确保按键功能正常使用。系统在使用过程中，按下复位按键，维持电磁开关闭合，充电电磁开关断开，启爆电磁开关断开，超级电容停止充电。按下自检开关，充电电磁开关和维持电磁开关闭合，启爆电磁开关闭合，系统为超级电容进行充电，并在 LED 屏幕中显示电压量。按下准备开关，系统开始为超级电容进行充电，当超级电容电压满足启爆要求时，指示灯闪烁，提示超级电容充电完毕，可以进行启爆，按下启爆按钮完成启爆。

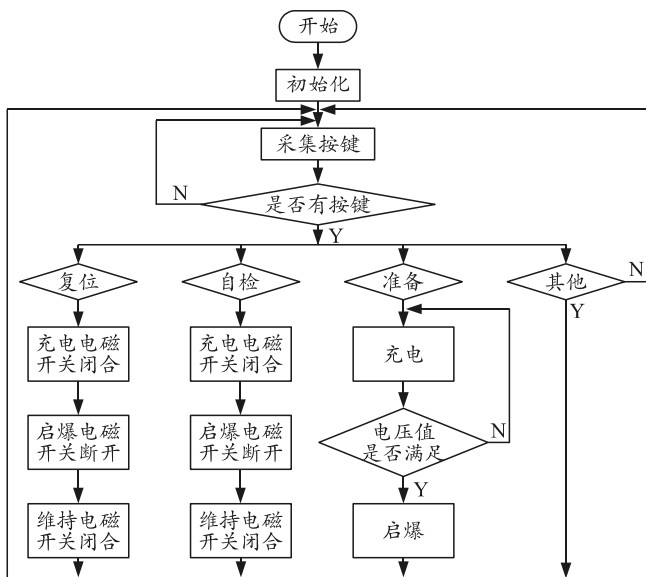


图 7 系统流程

4 火工品启爆仪样机测试与验证

火工品启爆仪样机如图 8 所示，以某型火工品启爆要求为基准，完成样机测试。



图 8 火工品启爆仪样机

该火工品启爆电压要求为 (12 ± 2) V，脉冲持续时间为 (100 ± 20) ms。对 8 个支路进行测试，测试仪为 TBS1052B 示波器，对 2 W、 6.2Ω 的等效电阻进行测试。测试结果如表 1 所示。

表 1 火工品启爆仪 8 路启爆测试

支路	电压/V	脉冲时间/ms	支路	电压/V	脉冲时间/ms
1	10.6	100	5	11.2	97
2	11.2	99	6	11.2	101
3	11.0	97	7	11.4	99
4	11.2	97	8	11.4	97

从表 1 可知：由于每路的超级电容模组参数、继电器的参数等不完全一致，导致每路的实际电压输出不相同。但从实验测试结果看，该火工品启爆

仪完全满足应对各种的启爆要求。并且满足了火工品的多路启爆。

5 结束语

笔者针对目前火工品启爆仪的缺点，提出了一种基于超级电容的火工品启爆仪。该启爆仪主要有硬件和软件 2 个部分：硬件包括主电路模块和控制模块，主要完成超级电容的充电和放电；软件主要完成对火工品起爆仪的充放电的控制和对数据进行采集与分析，是人机交互的枢纽。该装置不仅克服了传统火工品起爆仪的缺点，而且输出电压在保证火工品安全可靠启爆的前提下，使火工品启爆仪的体积、质量大大减小，同时输出电压可调。该装置具有广泛的应用前景和实用价值。

参考文献：

[1] 赵金芳, 程耀瑜. 火工品测试电路的设计[J]. 电子测试, 2010(10): 72-75.

[2] 孟翔宇, 戴宜霖, 徐超, 等. 一种火工品自动测试仪的设计[J]. 宇航计测技术, 2016, 36(6): 77-81.

[3] 张晶威, 孟立凡. 电容放电式火工品发火电压检测仪[J]. 电子测试, 2012(5): 80-84.

[4] 沈超, 付丽璋, 吴世通, 等. 电容放电式火工品点火电路参数设计与仿真[J]. 航天返回与遥感, 2011, 32(1): 67-73.

[5] 王广海, 李国新, 阿苏娜. 薄膜桥火工品的制备与性能研究[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 543-546.

[6] 刘小龙, 王牧丁, 姜海坚, 等. 基于 FPGA 的智能火工品等效器设计实现[J]. 电子测量技术, 2012, 35(5): 78-82.

[7] 武杰, 陈灿辉, 朱红, 等. 高精度火工品控制电路测试方案的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3427-3429.

[8] 张晶威, 孟立凡. 电容放电式火工品发火电压检测仪[J]. 电子测试, 2012(5): 80-84.

[9] 祝逢春, 徐振相, 周彬, 等. SCB 火工品的研究与发展[J]. 爆破器材, 2003, 32(1): 18-23.

[10] 马佰振, 金凌锋, 王昊. 一种多组火工品时序电爆控制装置: CN, CN103557754A[P]. 2014.

[11] 刘灵箫, 陈建刚, 杨飞, 等. 一种火工品点火电路及装置: CN203489796U[P]. 2014.

(上接第 9 页)

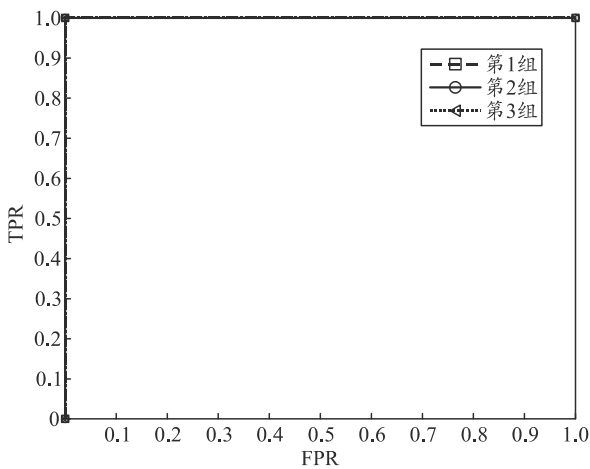


图 7 七帧对称差分法与 Top-Hat 融合目标检测 ROC 曲线

4 结束语

笔者提出的七帧对称差分法与 Top-Hat 融合检测算法为复杂图像序列中运动目标的检测提供了一种新的解决方法。该算法可在不同的背景复杂程度下可靠且有效地检测出目标信息，同时能较好地消除目标检测时出现的“空洞”现象，具有实时性好、性能稳定的特点，可应用于地对空情形红外目标的检测。

参考文献：

[1] 郝慧琴, 王耀力. 基于帧间差分和金字塔光流法的运动目标检测[J]. 电视技术, 2016, 40(7): 134-138.

[2] 李小鹏, 严严, 章毓晋. 若干背景建模方法的分析和比较[C]//第十三届全国图像图形学学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2006: 469-473.

[3] WONG K, SPETSAKIS M. Tracking based motion segmentation under relaxed statistical assumptions[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 101(1): 45-64.

[4] 赵建. 基于三帧差法的运动目标检测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013: 2-4.

[5] 张小建, 徐慧. 基于视频处理的运动车辆检测算法的研究[J]. 液晶与显示, 2012, 1(27): 108-113.

[6] 郑世友. 动态场景图像序列中运动目标检测与跟踪[D]. 南京: 东南大学, 2006: 4-7.

[7] 罗寰, 王芳, 陈中起. 基于对称差分和光流估计的红外弱小目标检测[J]. 液晶与显示光学学报, 2010, 30(6): 1715-1720.

[8] 李波, 李亚南, 李健. 基于 FPGA+DSP 架构异步 FIFO 视频图像数据采集实现[J]. 兵工自动化, 2016, 35(9): 31-34.

[9] 张铮, 徐超, 任淑霞. 数字图像处理与机器视觉—Visual C++与 Matlab 实现[M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 392-393.