

# 某弹射发控装置的可靠性设计与研究

周涛, 任勇峰, 李辉景, 王淑琴

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室 电子测试技术重点实验室, 太原 030051)

**摘要:** 主要从信号的输入, 传输以及火工品方面考虑发控装置的可靠性; 设计了有效的信号消抖方式和稳定的 422 通信链路, 确保了发控信号的可靠输入; 针对火工品点火, 设计了安全可靠的点火控制电路, 并加入了火工品保护、点火时序条件等防护和保障措施; 该弹射发控装置能提供 50ms 以上约 10A 的火工品点火电流, 目前已成功在某弹射靶场试验中使用, 具有较高的安全可靠性和应用价值。

**关键词:** 发控装置; 可靠性; 点火控制; 422; 消抖

## Reliability Design and Research of Launching Control Device on Catapulting

Zhou Tao, Ren Yongfeng, Li Huijing, Wang Shuqin

(Ministerial Key Laboratory for Instrument Science and Dynamic Test,

Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The reliability of launching control device was mainly considered from the input and transmission of signal, designs on pyrotechnics. It designs an effective way to disappear shakes of signal, a stable 422 communication circuit, ensured the reliable input of control signal. For pyrotechnics ignition, it designs a safe and reliable ignition control circuit, and joined pyrotechnics protection, ignition timing and other protective safeguards. This launching control device can provide pyrotechnic ignition current about 10A, more than 50ms. Now the device has been successfully used in a catapulting range test, having high safety and reliability and application value.

**Keywords:** launching control device; reliability; ignition control; 422; disappearing shakes

### 0 引言

弹射发控装置主要用于接收远端指挥下达的命令, 执行导弹供断电、筒弹解锁、地面保险开/闭栓、电池激活、弹动点火等操作, 并实时监测弹上反馈状态, 完成弹射试验的点火发控功能。靶场试验时, 参试人员众多, 试验环境复杂, 一旦发生失效或者火工品误操作, 将会造成巨大的损失和人员伤亡<sup>[1]</sup>。因此在设计过程中, 从信号输入、传输, 火工品点火控制和保护等环节考虑发控装置的可靠性<sup>[2]</sup>, 对弹射试验的成功尤为重要。

本文详细的给出了关于控制信号消抖, 422 可靠传输, 点火控制稳定电路, 火工品保护与安全点火等硬件和软件方面的可靠性设计, 大大提高了发控装置的安全可靠性。

### 1 发控装置工作原理

弹射发控装置总体原理如图 1 所示。指挥人员下达操控命令后, 远控终端打包编帧指令通过 422 接口芯片发送给发控端, 发控端接收解析指令后控制内部相应的继电器动作, 完成导弹供断电、筒弹解锁、地面保险开/闭栓、电池激活、弹动点火等操作, 同时发控端接收弹上状态信息反馈发送给远控终端作为实时监测和操作条件。

发控端接收远控终端下发的指令, 内部解析后驱动控制电路闭合继电器完成相应操作。大功率直流电源组收到导弹供电命令后为弹上飞控机、制导控制系统、保险栓、伺服激活等供

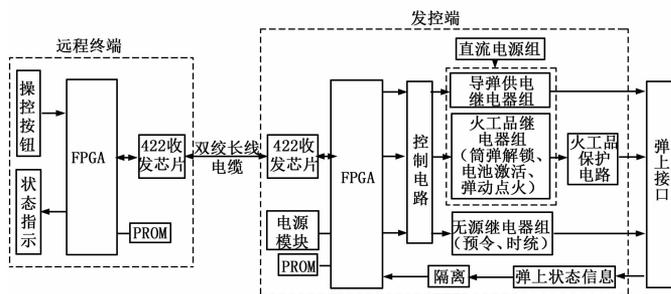


图1 弹射发控装置总体原理框图

电。同时, 收到筒弹解锁、电池激活、弹动点火命令后, 也为火工品点火提供起爆电压和电流。无源继电器组为弹上设备提供预令信号, 或开出时序信号为图像、视频、测量系统等提供时间参考。发控端实时监测弹上状态, 并将状态信号打包编帧后通过 422 上传给远控终端作为状态指示。

### 2 信号输入可靠保障

#### 2.1 信号不稳定分析

弹射试验操控命令均通过开关按钮下发, 而开关在切换的瞬间会在接触点出现来回弹跳的现象<sup>[3]</sup>。这就导致在按键稳定的前后出现了多个尖峰脉冲。如果直接将这些信号送给 FPGA 采集的话, 将可能把按键稳定前后的尖峰脉冲信号当作有效信号, 从而出现多次按键现象, 这在发控过程中是绝对不允许的。为此对操控按键信号进行可靠准确的消抖是至关重要的。弹射试验靶场的复杂电磁环境, 同样也会带来信号的脉冲干扰, 这也需要我们采取必要的消抖措施。

收稿日期: 2014-03-13; 修回日期: 2014-04-13。

作者简介: 周涛(1990-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事数据采集与存储研究方向的研究。

### 2.2 消抖方式选取

工程上常用的消抖方式是信号延时消抖，其原理是对输入信号进行高频采样，当信号发生跳变且采样计数器连续计满  $N$  个跳变点后，内部信号才随之发生有效跳变。这种方式对于抖动次数少，时间短的信号是没有问题的。但是对于间隔均等，抖动次数多，时间长的信号，就有可能出现采样计数不连续点，消抖后内部信号不随输入信号跳变，发生逻辑出错的情况，如图 2 所示。采样计数器连续计满 8 个跳变点后才认为该信号跳变有效，消抖后内部赋值信号才发生随之跳变，否则计数过程中一旦出现不连续点就会出现误判，导致逻辑出错。

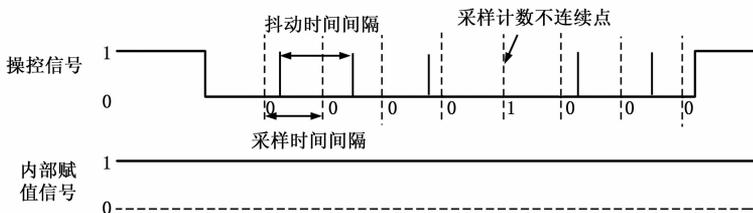


图 2 延时消抖缺陷示意图

针对延时消抖的缺陷，我们可以考虑另一种消抖方式——表决消抖。表决消抖也叫滑动窗消抖是基于“少数服从多数”的采样统计原则的。设置好  $N$  位的采样寄存器，这就相当于一个宽度为  $N$  的窗口，窗口移位过程中对输入信号进行采样，每采一个点，就对寄存器内高位个数 ( $Sum_1$ ) 进行统计，若满足  $Sum_1 > i$  (其中  $i$  为表决基数，一般取  $i = \lfloor \frac{N}{2} \rfloor + 1$ )，则认为信号为高电平，否则为低电平。

以 5 位的采样寄存器 (取  $i = 3$ ) 为例，消抖示意如图 3 所示。内部信号在滑动窗移位到状态①之前为高电平 1。到达状态①时， $Sum_1 < 3$ ，内部信号开始跳变为低电平 0。同样，滑动窗到达状态③时， $Sum_1 > 3$ ，内部信号又跳变为高电平 1。在滑动窗移位到包含异常采样点的区域 (如状态②) 时，始终有  $Sum_1 < 3$ ，信号不会发生跳变，由此可以看出，整个消抖过程中内部信号的逻辑关系始终与输入信号保持一致。

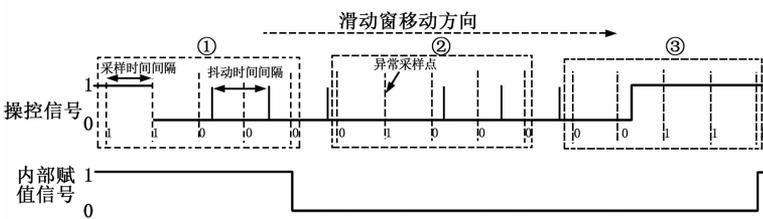


图 3 表决（滑动窗）消抖示意图

出于信号输入的可靠性考虑，本发控装置最终在软件设计中采取了先表决法统计处理，后延时法采样判定的结合消抖方式对操控信号进行消抖，起到了双保险的作用。

### 3 信号传输可靠设计

因 RS422 具有简单、传输距离远、抗干扰能力强等特点<sup>[4]</sup>,

远控终端与发控端决定采用平衡传输方式的 422 进行可靠通信。

#### 3.1 通信接口电路设计

远控终端与发控端之间通信接口包括两个相互独立的全双工传输通道，分别用于指令通信和状态通信。本发控装置采用的通信接口电路如图 4 所示。

DS26C31 和 DS26C32 两个接口芯片分别负责发送和接收串行的指令或状态信号。为了避免传输线与内部电路相互干扰，进一步提高抗干扰能力和传输效率，本接口电路加入了光电耦合器对信号进行隔离。同时，采用 150 m 的带屏蔽双绞线作为传输电缆，保证了长距离传输的可靠性。

#### 3.2 通信协议设计

远控终端与发控端之间通信波特率为 10 kbps。指令通道和状态通道的传输协议一致，协议格式包括帧头、命令字 (或状态字) 及校验和，如表 1 所示。

表 1 通信协议帧格式表

字节号	1	2	3	4	5
名称	帧头 1	帧头 2	命令字 1	命令字 2	校验和
内容	55H	AAH	XXH	XXH	字节 3 + 字节 4

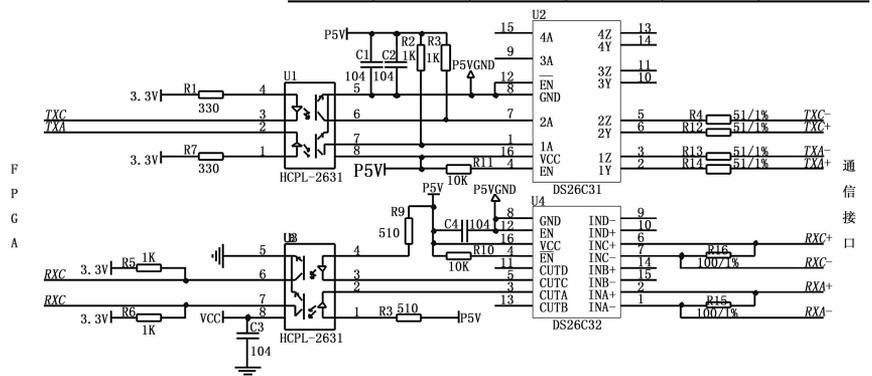


图 4 422 通信接口电路图

帧头是数据帧的标志，本协议约定为 55AA；命令字是根据操控命令状态而定的，每个操作对应两个字节的定义；校验和用来确定传送的数据是否正确。通信过程中若接收信息的帧头或校验和有误，远控终端和发控端会有接收故障指示，确保了信号的准确传输。

协议中采用异步通信模式，具体数据格式如图 5 所示。每帧数据由 12 位组成，包含 2 位起始位，8 位数据位和 2 位结束位。通信波特率为 10 kbps，决定了数据位的码片长度为 100  $\mu$ s，起始位和结束位的码片长度为 200  $\mu$ s。

### 4 火工品点火安全可靠设计

#### 4.1 点火控制电路设计

发控端共有 3 路火工品点火控制电路，分别控制筒

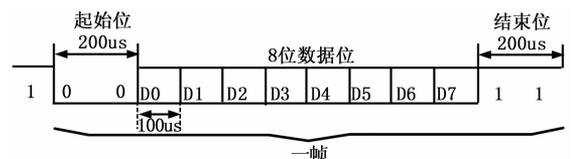


图 5 数据格式构成图

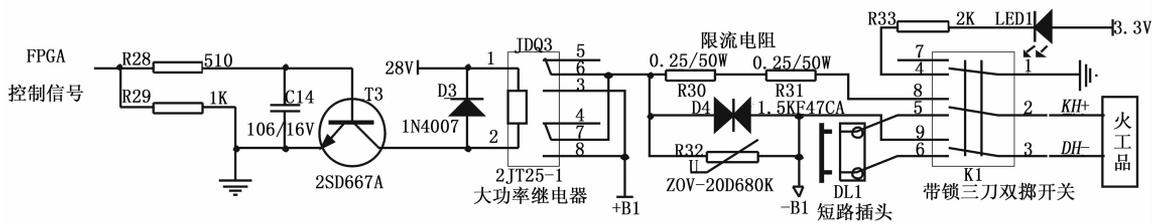


图 6 火工品点火控制电路图

弹解锁、电池激活以及弹动点火。3 路火工品发火电压均要求在 28 V 以上, 发火电流  $\geq 10$  A, 持续时间  $\geq 50$  ms。为了实现可靠安全点火, 考虑发火电流对器件及回路的要求, 设计了如图 6 所示的控制电路。

该电路通过 FPGA 逻辑信号导通三极管来驱动继电器的切换, 为点火回路提供发火电压和电流。为了减小大电流对火攻品和回路的冲击, 起到保险丝作用, 电路中加入了大功率限流电阻。考虑火工品为单发钝感电点火器, 阻值约为  $1.25 \Omega$ , 回路中电缆线阻、触点阻值总和约为  $0.5 \Omega$ , 采用两个  $0.25 \Omega$  ( $50 \text{ W}$ ) 的限流电阻串联, 计算得到的点火电流  $I = 28 \text{ V} / (1.25 + 0.5 + 0.25 \times 2) \Omega \approx 12.44 \text{ A}$ , 满足火工品所需的起爆条件。用  $2 \Omega$  ( $125 \text{ W}$ ) 大功率电阻等效火工品和电缆阻值, 通过  $30 \text{ V}$  直流电源供电, 测量弹动点火时等效电阻两端电压和时长, 得到的波形如图 7 所示, 等效的点火电流  $I \approx 28.9 \text{ V} / 2 = 14.45 \text{ A}$ , 持续时间  $T \approx 99.5 \text{ ms}$ , 实验验证满足火工品起爆条件。

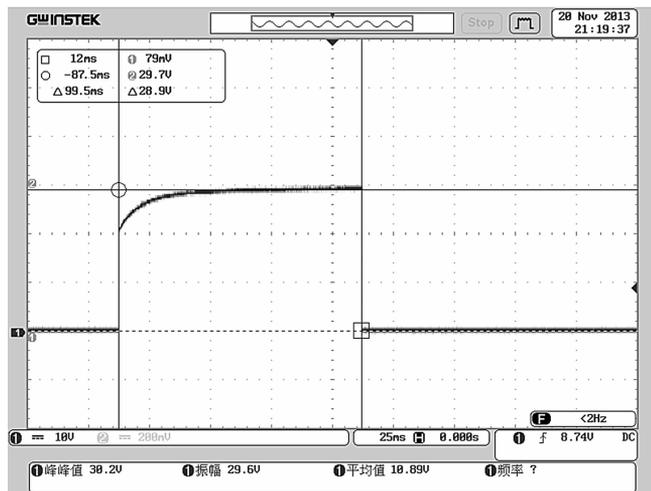


图 7 等效火工品两端电压波形图

+B1、-B1 两端加入双向二极管和压敏电阻, 可以在外接直流电源过压时导通分流, 将两端电压钳位在固定的电压阈值, 保障了点火回路上发火电压的稳定性。

另外, 物理保护和隔离在点火电路安全可靠设计中也是一个重要环节<sup>[5]</sup>。电路中带锁双掷开关可以切断火工品与控制电

路的连接, 当开关打向 4、5、6 一侧时, 火工品与控制电路连接断开且安全指示灯 LED1 亮, 短路插头开始对火工品进行短路保护, 两道防线对火工品安全点火提供了可靠保障。同时, 我们也可通过插头两端对火工品进行通断和阻抗测试, 验证设计的发火电流是否符合起爆条件, 把好点火前的最后一关。

#### 4.2 点火时序条件

3 路火工品中, 筒弹解锁点爆解锁装置两只分离螺母的单发钝感电点火器实现解锁; 电池激活点爆弹上并联的主电池激活火工品, 完成弹上设备供电; 弹动点火起爆双发单桥带钝感电发火管, 完成导弹的弹射出筒。弹动点火是整个弹射试验的最后一步, 也是最关键的一步。对此, 本发控装置在弹动点火前将筒弹解锁、电池激活、开栓、预令有效作为执行条件。只有当筒弹解锁、电池激活、开栓信号先后拉高且保持设定时长后, 相应的 3 路标志信号才置 1 有效, 之后一旦预令信号拉高, 才具备弹动点火的条件, 这在一定程度上也提高了点火的可靠性。

### 5 结语

弹射发控装置的安全可靠对于弹射试验的成功与否非常关键。本发控装置从信号输入、传输和火工品控制、保护方面考虑可靠性设计, 保障了试验过程中各环节的稳定可靠。同时, 该发控装置具有操作简单方便、快速准确及小型化等优点, 目前已在某弹射试验中成功使用。试验证明本发控装置工作稳定、安全可靠, 具有广阔的应用前景和使用价值。

#### 参考文献:

- [1] 杜 志, 甄国涌, 董小娜. 点火控制器的安全性及可靠性设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (1): 168-170.
- [2] 许 忠, 高玉水, 徐振辉, 等. 导弹测试发控系统可靠性研究 [J]. 火力与指挥控制, 2006, 31: 9-11.
- [3] 侯继红. 基于 VHDL 语言的按键消抖电路设计与仿真 [J]. 现代电子技术, 2009, (23): 201-202.
- [4] 匡敬辉, 阎兆立, 王景彬, 等. 高可靠性隔离型 RS422 接口的设计方案 [J]. 微计算机信息, 2010, 26 (4-2): 176-178.
- [5] 史洪亮, 杨登仿, 谭 勇, 等. 新型安全的点火控制系统的设计和实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (10): 1343-1345.