

doi: 10.7690/bgzd.2013.09.006

## 小口径弹药引信远距离解除保险控制电路设计

黄庆武, 席占稳, 聂伟荣, 程建建, 周织建

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 为实现引信安全保险系统具有远距离解除保险状态的功能, 分析小口径弹药引信结构特征和发射内外弹道环境, 结合几类不同环境探测传感器的适用特点与范围, 选择基于地磁环境信息的磁阻传感器, 并针对磁阻传感器芯片的使用特性, 设计了芯片的复位开关电路。弹丸发射出炮口后, 磁阻传感器输出微弱电压信号, 经信号调理后作为延时控制电路的控制开关指令信息。延时控制电路是实现远距离解除保险状态的关键部件, 控制电路通过检测信息并延时后, 输出电压信号指令给火工品拔销器, 拔销器执行隔爆板限位销的拔销动作, 解除保险系统的最后一道保险, 实现了引信远距离解除保险的目的。

**关键词:** 弹道环境; 磁阻传感器; 开关电路; 延时; 远距离

**中图分类号:** TJ430.3 **文献标志码:** A

## Small Caliber Ammunition Fuse Remote Arming Control Circuit Design

Huang Qingwu, Xi Zhanwen, Nie Weirong, Cheng Jianjian, Zhou Zhijian

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to achieve fuse security system with remote arming function, by analysis of small-caliber ammunition fuse structural features and ballistic trajectory environment, combined with the applicable characteristics and scope of several different types of environmental detection sensors, magneto resistive sensor based on the geomagnetic environment information and use characteristics of the magneto resistive sensor chip to design chip reset switch circuit. The magneto resistive sensor output weak voltage signal the projectile muzzle emitted after the instruction information as a delay control circuit controls the switch after signal conditioning. Delay control circuit is a key component of remote arming state, the detected information and delay control circuitry, the output voltage signal instructions to the EED pin puller pin puller implementation of the explosion-proof plate stopper pin pull off action, the lifting of the insurance system last line of insurance, to achieve the purpose of the fuse remote arming.

**Key words:** ballistic environment; magnetic resistance sensor; switching circuit; time delay; long distance

### 0 引言

在小口径弹药安全保险机构设计时, 为保证弹药发射的安全性, 一般要求弹丸出炮口 20 m 以上安全距离后, 再解除安全保险状态。对于小口径弹药引信, 由于受体积的限制, 传统的延期解除保险机构, 如钟表延期机构、流体延期机构、软带延期机构等在小口径弹药引信要求尺寸范围内都难以加工制造或达不到足够的安全距离或安全距离误差散布较大。借助传感器采集弹药发射弹道环境信息, 经过控制电路信息调理后, 发出解除安全保险状态的信息指令, 实现足够远距离解除保险状态的要求, 达到小口径弹药远距离解除安全保险机构设计的小、准、巧的目的。

### 1 引信远距离解除保险机构设计方案

弹药引信从生产制造出厂到发射引爆弹药整个过程, 要经历不同环境激励, 如低温、潮湿、振

动、磕碰、冲击、旋转、空气阻力、地磁、电磁、触击目标阻力等<sup>[1]</sup>, 依据国军标 GJB 373A-1997《引信安全性设计准则》, 弹药引信通过经历各种状态环境信息激励, 感知其中 2 种以上特征显著环境信息, 判断、识别弹丸自身所处的运动状态, 并适时发出控制引信工作的动作指令。对于小口径弹药引信, 特征显著的环境信息有: 5 万~7 万 g 高过载系数的后坐加速度环境信息、700~1 100 r/s 的高转速离心环境信息<sup>[2]</sup>、高低温热环境信息、高空气阻力环境信息、地磁环境信息等, 为使小口径弹药引信具有远距离解除保险状态的功能, 应选择一种持续时间长的环境信息作为引信判断识别的信息, 参考当前几种类型引信的设计成熟技术, 高过载后坐环境信息、高转速离心环境信息、高低温热环境信息、高空气阻力环境信息、地磁环境信息可供选择<sup>[3]</sup>, 但由于目前市场上的高 g 值加速度传感器由于体积大, 达不到小口径弹药引信尺寸要求, 采用微机械

收稿日期: 2013-03-11; 修回日期: 2013-04-18

作者简介: 黄庆武(1981—), 男, 湖北人, 硕士研究生, 从事武器系统与运用工程研究。

式加工工艺的延时微机构，受限我国的微加工工艺技术水平，微机械结构延时的误差散布较大，弹丸出炮口解除保险状态的炮口安全距离精度上达不到要求，测量高低温环境的温度传感器热响应时间较长，不宜采用，而地磁场强度值在弹丸从膛内到出炮口有一幅值跃迁，并且引信可检测到的地磁场在弹丸出炮口后，仍持续一段较长时间。南京理工大学尹兴滨等人对利用地磁信息作为迫弹引信安全保险机构解除保险状态做了一定的理论与实验<sup>[4]</sup>，利用 CPLD/ARM 等微控制芯片、采用逻辑数字电路的方案，实现的解除保险的功能，时间精度很高，但尺寸上还偏大，达不到 20 mm、23 mm 口径小口径弹药引信安全保险机构的尺寸要求，通过采用模拟逻辑控制电路，减少了芯片元件的数量，可减少整体尺寸，达到满足小口径弹药引信安全保险机构的尺寸要求，延时精度有所降低，但仍可以满足引信可靠、足够远距离解除保险的要求。针对磁阻传感器的物理特性，为保证电路能正常工作，需设计一套复位开关电路，在弹丸出炮口前对传感器芯片进行复位。在选择解除保险状态的微执行器上，可使用目前技术成熟、体积微小的火工品电拔销器<sup>[5]</sup>，采用机电结合的远距离解除安全保险机构方案如图 1 所示。

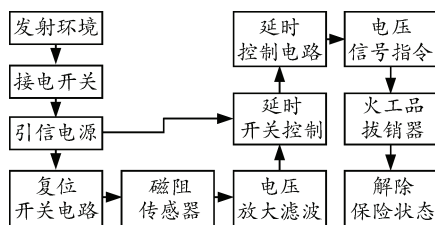


图 1 远距离解除安全保险机构方案原理

## 2 检测与信号调理电路的设计与仿真

由于火炮金属身管对地磁环境有一定的屏蔽作用，弹丸在膛内所受地磁场强度较小，弹丸在发射出炮口瞬间，引信受地磁场强度有一个很大的跃迁，这一地磁场强度变化可以被磁阻传感器所检测。磁阻传感器是基于某些薄膜合金在环境磁场强度发生变化时，电阻值随之变化的机理制成<sup>[6]</sup>。磁阻传感器有单轴、双轴、三轴 3 种类型，依据此处需要检测的是磁场强度的变化即可，结合尺寸要求，选用 HMC1021S 型贴片封装的单轴磁阻传感器。根据弹药引信使用的环境，在弹丸出炮口前，需要通过短时高电平电压冲击对磁阻传感器进行电阻阻值复位，以供在弹丸出炮口后，磁阻传感器能正常工作。

复位控制电路要求在弹药接电开关接电到弹丸出炮口前持续时间内，输出 3~5 V 的高电平，实现对磁阻传感器芯片的复位功能，弹丸出炮口后一直维持低于 3 V 低电平解除复位状态，考虑到小口径弹药电源供电先后时序和能量有限，设计为无源式上电复位控制电路，电路原理图如 2 所示，依据零状态电路理论和基尔霍夫环路电压定律：

$$\frac{1}{C} \int_0^t U dt + U - E = 0$$

$$U = Ee^{-\frac{t}{RC}} (t \geq 0)$$

为实现对后续磁阻传感器的复位，要求  $U_{TH} = Ee^{-\frac{t_L}{RC}}$ ，式中  $U_{TH}$  为磁阻传感器最小复位冲击信号电压值， $U_{TH} = 3 \text{ V}$ ， $E$  为弹药引信电源电压幅值，对于小口径弹药， $E = 5 \text{ V}$ ； $t_L$  为弹药发射后，引信电源接电到弹丸出炮口段时间值， $t_L = 1.5 \text{ ms}$ ， $R$ 、 $C$  为复位电路电阻、电容值，分别取值和  $1 \text{ k}\Omega$  和  $2.2 \mu\text{F}$ ，电路电阻的瞬态电压仿真结果如图 3 所示。

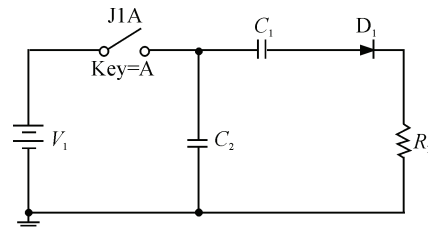


图 2 无源式上电复位电路原理

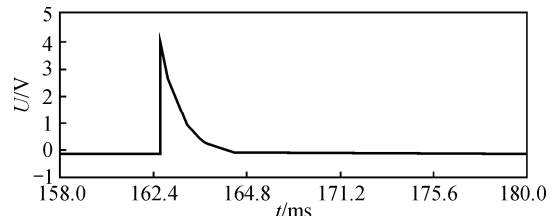


图 3 Multisim 仿真电压复位信号

磁阻薄膜片接成桥式电路，桥式电路在经历地磁强度值变化时，阻值的变化引起桥式电路的电压变化<sup>[7]</sup>。考虑现代战争的复杂电磁战场环境，还需要对传感器芯片输出的电压信号进行放大滤波调理，供后一级使用，传感器电路如 4 所示，在磁阻传感器经复位脉冲冲击后，内部电阻值发生复位变化，使桥式电路中两路电桥电阻成比例，即桥式电路中  $R_1/R_4 = R_2/R_3$ ，运算放大器的输入端电压差为 0，弹丸出炮口后，磁阻传感器阻值发生变化：

$$\nabla U = E \left( \frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$A = 1 + \frac{C}{R_5}$$

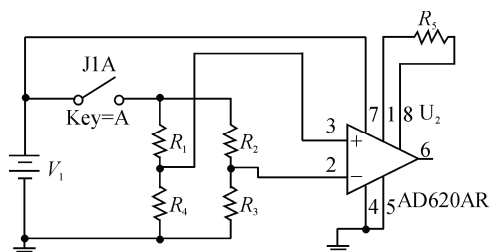


图 4 传感器放大与调理电路

桥路两端有输出电压差，经运算放大器放大，调节电阻  $R_5$  的阻值改变放大倍数，使运算饱和输出端输出高电平，式中  $\nabla U$  为弹丸出炮口后，磁阻传感器输出电压值， $A$  为仪表放大器的增益， $C$  为与仪表放大器型号有关的系数，在器件功能表上可查。在桥式电压为  $5\text{ V}$  时，HMC1021S 型单轴磁阻传感器的灵敏度系数  $(0.8\sim 1.2)\text{ mV/V/高斯}$ ，弹丸出炮口后，地磁强度有  $500\text{ m}$  高斯的一个幅值跃迁，此处选择新型低功耗仪表放大器 AD620AR， $C=49.4\text{ k}\Omega$ <sup>[5]</sup>，为使仪表放大器的输出为高电平，取  $R_5=33\ \Omega$ ，仪表放大器的输出端输出仿真结果如图 5。

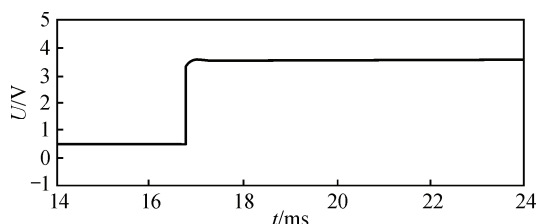


图 5 传感器电路 Multisim 仿真

### 3 延时与开关控制电路设计与仿真

弹丸出炮口后，磁阻传感器电路输出电压信号指令，打开计时器使能复位端，计时器根据计时频率开始工作，当达到预定时间时，计时器输出端发出电压指令给电火工品拔销器<sup>[3]</sup>，在考虑计时的准确性时，555 定时器的误差可达到几  $\mu\text{s}$ ，可以满足弹丸出炮口几十  $\text{ms}$  的解除保险的精度要求。考虑到小口径弹药电源能量有限，555 定时器开关采用低功耗的 MOS 管电路，555 定时器优先采用 CMOS 型 555 集成芯片。在电路的设计时，将 555 定时器连接成周期可调自激振动电路，使其输出为连续的高低电平转换的双稳态电压信号<sup>[8]</sup>，输出信号作为后续十六进制的计数器的计数脉冲输入端，当计时器计数周期到达预定值时，进位输出端  $\text{co}$  输出高电平给火工品拔销器<sup>[5]</sup>，执行解除保险动作，其电路原理图如图 6 所示，依据瞬态电路理论，

$V_t = V_\infty + (V_0 - V_\infty)e^{-\frac{t}{\tau}}$ ，式中  $V_t$  为瞬态电压值， $V_\infty$  为稳态电压值， $V_0$  为输出端电压初值， $t$  为运行时间。

由于 555 定时器的内部比较器的工作特性，该电路可分为充电和放电两个过程循环，设  $T_1$ 、 $T_2$  为电容充电和放电时间，充电时间常数  $\tau_1 = (R_1 + R_2)C$ ，放电时间常数  $\tau_2 = R_2C$ <sup>[4]</sup>，经转换后有：

$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_1)} = (R_1 + R_2)C \ln 2$$

$$T_2 = R_2C \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0^+)}{V_C(\infty) - V_C(T_2)} = R_2C \ln 2$$

故 555 定时器的定时周期为

$$T = T_1 + T_2 = (R_1 + 2R_2)C \ln 2$$

延时与开关控制电路 Multisim 仿真如图 7。通过仿真结果观察，74ls163 溢位输出端输出高电平周期约为  $30\text{ ms}$ ，根据小口径弹药出炮口速度为  $800\sim 1\ 200\text{ m/s}$ <sup>[2]</sup>，可满足弹丸出炮口大于  $20\text{ m}$  的要求，实现远距离解除安全保险的功能。

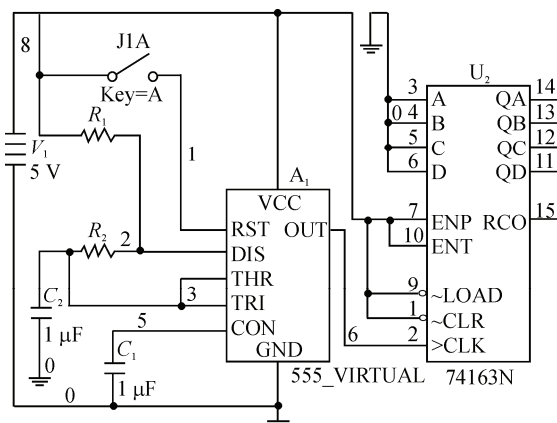


图 6 延时与开关指令控制电路

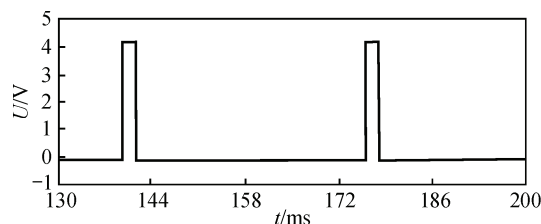


图 7 延时与开关控制电路 Multisim 仿真

根据上述的元件选择及其电路连接方式，采用 Altium09 绘制 PCB 板，结合小口径弹药引信尺寸要求和特点，将整个 PCB 板绘制成圆形，以缩小面积，同时在布置元器件时，PCB 板顶层和底层均布置元件，可用 2 块 PCB 板实现直径  $14\text{ mm}$  的要求。

### 4 结束语

在小口径弹药安全保险系统远距离解除保险机构中，结构尺寸偏大或远距离精度不高是困扰机构设计的难题。在兼顾机构尺寸和远距离精度时，采用机电结合的方式。随着现代电子技术的快速发展，

电子芯片器件的功能越来越强大，精度越来越高，而体积和功耗却可以做得很小，通过大量采用新型的电子器件，结合微型机械和火工品，应用新设计方法，满足了小口径弹药引信安全保险机构远距离解除保险的要求。

**参考文献:**

[1] 张合, 李豪杰. 引信机构学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 17-33.  
 [2] 王雨时. 引信设计用内弹道和中间弹道特性分析[J]. 探测与控制学报, 2007, 29(4): 1-4.

\*\*\*\*\*

(上接第 11 页)

由表 1~表 3 可知,  $B_x$  和  $B_z$  的衰减速率大致相当, 而  $B_y$  的衰减速率要明显小于  $B_x$  和  $B_z$ , 随着距离的增加, 场强的衰减速率逐渐变小。水平距离不变, 随着高度的增加, 场强的衰减速率也逐渐变小。经计算可知, 在 100 m 高空处, 距离源 300 m、400 m 处的  $B_y$  幅值约为 0.1 nT 和 0.06 nT, 而随着磁探技术的不断发展, 精度达 0.01 nT 的光泵磁探头早已出现, 这为将来利用低频轴频磁场探测水下活动的潜艇提供了良好的条件。

**3 结论**

与以往利用固磁探潜的方法相比, 笔者提出利用极低频轴频磁场探测水下潜艇的新方法具有可探测距离更远的优点。笔者从理论上推导了深海条件下水平时谐电流段在空气层产生的极低频磁场的公式, 并通过数值计算分析了空气层磁感应强度三分量的分布规律。仿真结果表明: 随着场源距离的增加, 轴频磁场衰减速度会变慢, 场点高度越大, 场

\*\*\*\*\*

(上接第 18 页)

根据图 5 可以看出: 散角随射距的增大而减小; 散角随敌舷角的增大而逐渐减小; 散角随目标速度的增大而增大。在潜艇实战攻击时, 若测得敌舷角、目标航速及射距便可获得控制两雷的最优散角。以此散角控制两雷齐射时, 可避免互导, 并实现最大概率的捕获目标。

**4 结论**

声自导鱼雷双雷齐射是潜艇武器系统战斗力建设的一个重要环节, 弥补了单雷射击作战能力的不足。笔者从实际作战需求出发, 对鱼雷互导现象进行了研究, 建立了避免双雷互导的数学模型, 通过理论分析和仿真计算, 解决了声自导鱼雷双雷齐射

[3] 双海军. 我国通用弹药发展的战略思考[J]. 兵工自动化, 2012, 31(7): 15-18.  
 [4] 尹兴滨. 迫击炮弹引信安全系统控制逻辑和解除保险电路设计[D]. 南京: 南京理工大学出版社, 2011: 7-15.  
 [5] 景华, 牛兰杰, 宋永强, 等. 小口径榴弹引信微机电安全系统设计与仿真方法[J]. 2010, 30(2): 129-132.  
 [6] 张兆鑫. 迫弹引信环境信息智能处理及控制电路设计[D]. 南京: 南京理工大学出版社, 2012: 24-26.  
 [7] 刘爽, 白玉贤. 耦合式电容近炸引信电极设计与电容分析[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(1): 51.  
 [8] 杨永健. 数字电子技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 286-289.

强的衰减速度也越慢; 因此, 该方法在未来的航空磁性探潜中具有良好的应用前景。

**参考文献:**

[1] 卢新城, 龚沈光, 刘胜道, 等. 舰船极低频电场的产生机理及其防护[J]. 海军工程大学学报, 2003, 15(6): 126-128.  
 [2] 梁成浩, 于楠, 黄乃宝, 等. 船舶腐蚀相关的轴频电场特征[J]. 大连海事大学学报, 2007, 33(1): 1-5.  
 [3] Holtham P. M., Jeffrey I. G. ELF signature control[C]. UDT, 1996: 486-489.  
 [4] 谢国兵, 刘卫国, 高爱华. 基于压电陶瓷的激光谐振腔长控制技术[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 75-78.  
 [5] 雷银照. 时谐电磁场解析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 73-136.  
 [6] 于丽芳, 万里兮, 高攸纲. 水平电流在双层大地中感应地电位的理论分析[J]. 电波科学学报, 1997, 12(2): 200-204.  
 [7] 卢新城, 龚沈光, 周骏, 等. 海水中极低频水平电偶极子电磁场的解析解[J]. 电波科学学报, 2004, 19(3): 290-295.  
 [8] 胡俊, 聂在平. 索末菲尔德积分新方法——快速汉克尔变换[J]. 电子学报, 1998, 26(3): 126-128.

的散角控制问题, 所得结论对于部队使用双雷齐射, 最大限度地发挥其作战效能提供了有力的参考。

**参考文献:**

[1] 沈建森, 朱书平, 周徐昌. 基于 Matlab/Simulink 的水下航行器建模与仿真[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 24-27.  
 [2] 孙祥, 徐流美, 吴清. Matlab7.0 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
 [3] 李益池, 王树宗, 等. 现代鱼雷——水下导弹[M]. 海洋出版社, 1995.  
 [4] 谢勇, 张静远, 张江, 等. 地球自转对鱼雷作战的影响[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(11): 69.  
 [5] 张静远, 孟庆玉. 鱼雷战斗使用与作战性能评定[M]. 海军工程学院出版社, 1995.  
 [6] 孟庆玉, 张静远, 宋保维. 鱼雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.