

doi: 10.7690/bgzdh.2014.05.019

脉冲点火电路设计及其安全性分析

邵苗苗¹, 顾晓辉¹, 方道红²

(1. 南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 南京 210094;
2. 中国人民解放军 78666 部队, 云南 宜良 652102)

摘要: 根据对 BAT 子弹药的运运动分析以及命中精度要求, 提出一种加装微型脉冲发动机进行末段修正的思想。介绍了 BAT 子弹药在加装末段脉冲修正机构之后整个控制系统组成及其功能, 将整个控制系统简化为探测模块、主控制器模块和点火驱动电路模块, 主要对点火驱动模块硬件电路进行了设计, 并结合安全性需求这一思想加入了保险电路, 对其点火驱动电路进行了改进与优化。分析结果表明: 该控制电路具有良好的性能, 有一定的应用价值。

关键词: 控制电路; 点火驱动; 安全性; 保险电路;

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Pulse Ignition Circuit Design and Security Analysis

Shao Miaomiao¹, Gu Xiaohui¹, Fang Daohong²

(1. Key Laboratory of National Defense for Smart Ammunition Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. No. 78666 Unit of PLA, Yiliang 652102, China)

Abstract: According to the motion analysis of the BAT sub-ammunition and its hit accuracy requirements, the installation of micro-pulse engine for terminal trajectory correction was proposed. Its entire control system components and function were introduced. The control system was divided into detection module, main control module and ignition drive circuit module, and the ignition drive circuit was designed. By analyzing the security needs, the insurance circuit was pulsed to make the old hardware circuit improved and optimized based on the security ideas. The results showed that the control circuit had a good performance and certain application value.

Keywords: control circuit; ignition driver; security; insurance circuit

0 引言

智能反坦克子弹药^[1-2](brilliant anti-tank submunition, BAT)是美国诺斯罗普公司为美军研制的一种智能型武器, 它的威力远远超过常规弹药, 可以适应多种恶劣环境飞行。它的出现及发展对未来战争的发展产生了重要的影响。为了更好地制导控制, 研究人员提出了对其加装脉冲发动机进行修正的想法^[3-4], 基于此, 笔者对 BAT 子弹药末段修正系统的点火控制电路进行了研究。

1 控制系统组成及原理分析

依据对 BAT 子弹药的运运动分析, 可将它的控制系统关系可描述为如图 1 所示。

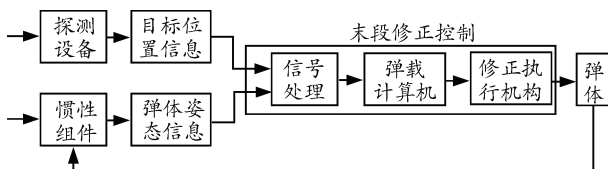


图 1 控制系统简图

BAT 子弹药在经由母弹抛出后, 首先会将尾翼

展开, 稳定飞行之后, 携带探测装置的弹翼会张开, 开始在目标上空进行探测、搜索, 并且将得到的目标信息传输给主控计算机, 主控计算机将会将此信息与经由弹体组件得到的弹体姿态信息进行一系列分析、对比和解算^[5], 并且将得到的偏差信息通过指令方式传输给点火驱动系统, 点火相应的脉冲发动机, 进行姿态调整, 进而准确地命中目标。

2 脉冲点火驱动模块电路设计

在电路设计与研究过程中, 对图 1 表述内容进行了简化, 将整个控制系统划分为 3 个主要分系统, 分别是探测模块、主控制器模块和点火驱动电路模块。3 个模块的关系如图 2 所示。

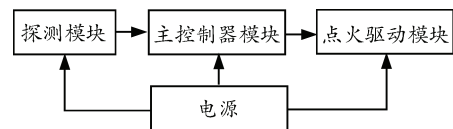


图 2 控制系统子模块关系

以上 3 个模块是整个控制系统中最为重要的 3 个环节, 这 3 个子模块的密切配合程度决定了炮弹

收稿日期: 2013-12-09; 修回日期: 2014-01-13

作者简介: 邵苗苗(1988—), 女, 山东人, 硕士, 从事制导与控制研究。

命中目标的精度。

当探测模块将获得的有效信息传输给主控制器芯片之后，主控电路会对收到的信息进行一系列的特征提取、目标分类以及高速解算等，并将处理之后的信息传输给点火驱动模块，对脉冲发动机点火，调整飞行姿态。笔者主要对点火驱动模块进行硬件设计。点火驱动模块基本组成结构如图 3 所示。

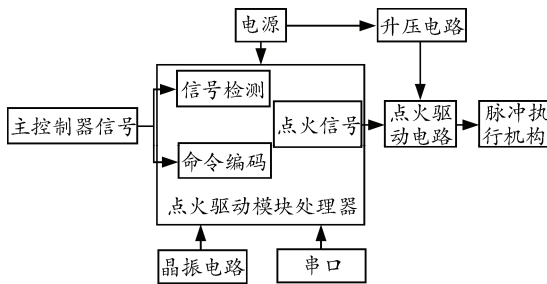


图 3 脉冲点火驱动系统组成示意图

驱动模块选择的主处理芯片为 ADuC841^[6]。由它接收并检测来自主控模块传递的信息，当判断为有效点火信号时，它会通过分析命令编码来决定相应的点火脉冲序号，执行点火命令，以完成 BAT 子弹药飞行末段的姿态调整任务。

2.1 电源电路设计

由图 2 可知，3 个模块共用 1 套电源供电，电源提供的电压为 4~9 V。但是在整个控制系统中，探测模块和点火驱动模块的主芯片采用的是 3 V 或 5 V 电压供电，主控模块采用的是 3.3 V 供电^[7]；因此，要想实现各模块正常工作，需要一个电压转换电路来实现电源电压的升降转换。其中降压电路如图 4。

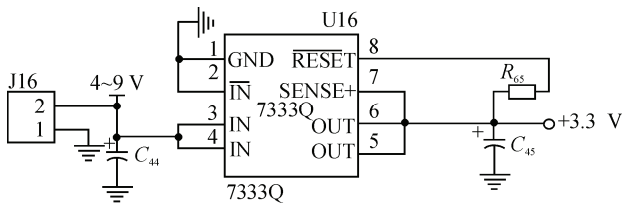


图 4 降压稳压电路

电路通过 7333Q 芯片实现降压稳压的功能。TPS7333Q 是 TPS73XX 系列中一种带集成延时复位功能的低功耗、低压差稳压器。固定输出 3.3 V 电压。通过该降压电路得到的电压可以为各模块的主芯片供电。

根据设计要求，驱动脉冲发动机点火需要达到 12 V 的电压，因此在电路中也设计了一个 DC/DC 升压电路，将降压稳压电路得到的 3.3 V 电压升至 12 V 或者更高。根据已有资料，选用 XC9119D10A

升压电路，将电压升至 12 V。其原理电路图如图 5。

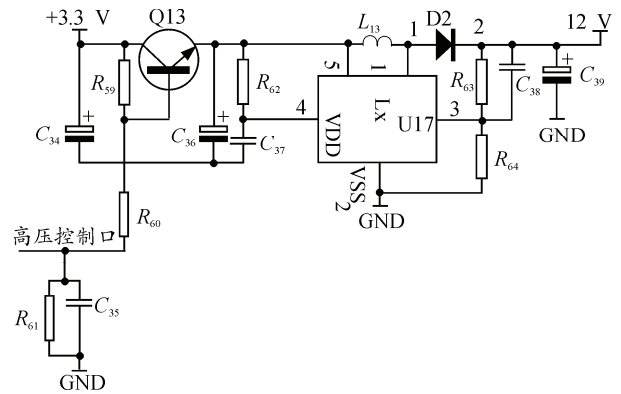


图 5 DC/DC 升压电路

XC9119D10A 系列是一种 1 MHz、PWM 控制的升压型 DC/DC 转换器，可使用陶瓷电容。通过外接二极管、电容、电感、电阻以及内置的开关管，XC9119D10A 系列可以很容易提供一个升压电路。通过升压电路得到的电压可为点火驱动电路供电。其中，高压控制口通过控制三极管的状态来控制升压电路的输出，其作用相当于一个开关，当为高脉冲时，升压电路工作，输出高压，反之，则不进行升压工作。

2.2 驱动电路

资料显示，要使脉冲发动机工作，需要在瞬时产生很高的冲击电流以引燃脉冲点火头，考虑到这一要求，决定采用电容充放电来实现。电容充放电时通常产生很高的电流，若是一般的控制开关会很容易被烧毁，而实践证明：采用可控硅开关可以导致殉爆现象^[8-9]，产生不安全因素。在借鉴众多点火试验的经验之后，决定采用场效应管控制的电容充放电来实现点火驱动，驱动电路如图 6 所示。

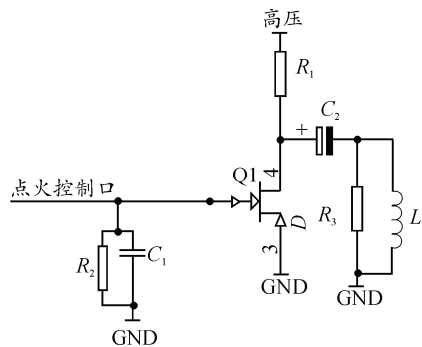


图 6 点火驱动电路

当点火控制口为低电平时，场效应管截止^[10]，电源给电容充电，主控芯片发出点火命令后，点火

控制口会相应输入一个高电平，此时，场效应管饱和，电容会与点火头构成放电回路，电容放电产生瞬时高电流，引燃脉冲点火头，进行姿态修正。

3 安全性分析

安全性是产品的一种固有属性^[11]。确保安全性是武器装备从研制生产到储存及投入使用所必须具备的首要条件。只有高的安全性，才能保证武器装备最大限度地发挥效能。

3.1 控制系统安全性需求分析

对于研究的 BAT 子弹药，按照系统工程理念，作为一个小型系统，它的控制系统追求系统整体优化的理念与提高装备整体安全性这一理念完全一致，因而，安全性理论在系统工程中得到了很广泛的应用。

对 BAT 子弹药控制系统的分析研究过程中可以发现，控制电路以及点火电路均存在着安全隐患，而这些电路是保证良好修正效果的关键，这就要求在设计中要确保排除安全隐患，以保证其可靠性。

对于笔者研究的末段修正，多脉冲发动机并不是集体工作，而是单次作用，所以为了准确修正，必须要保证脉冲点火驱动电路安全有效，不能出现连环点火以及错位式点火现象^[12]。故而为了有效完成既定作用，同时排除意外发火的可能性，驱动点火电路除了应具备引爆功能之外，还必须要设计保险环节，以保证安全。

3.2 保险电路

为了保障安全，在驱动点火电路中设计加入了一种电控制器件——光耦继电器。它是一种具有隔离功能的自动开关元件，有着能反映输入量变化的感应机构，能对电路实现“通”、“断”控制的执行机构，以及对输入量进行耦合隔离和对输出量进行驱动的中间驱动机构。每个继电器都有相应的激励量限制值，当输入量的变化达到这一数值时，输出电路会使被控制量发生阶跃变化。改进后的点火驱动电路如图 7 所示。

该电路采用的光耦继电器，能进行触发信号的隔离，其作用相当于 1 个开关，电路中采用的继电器，其导通电阻为 0.8Ω 。在无点火指令时，继电器处于导通状态，由于其导通电阻很小，电流很大，故将其看作短路，就保证了在无点火指令时，点火头一直处于短路状态，防止因其他因素导致的脉冲发动机自点火隐患，保证了点火电路的安全可靠。

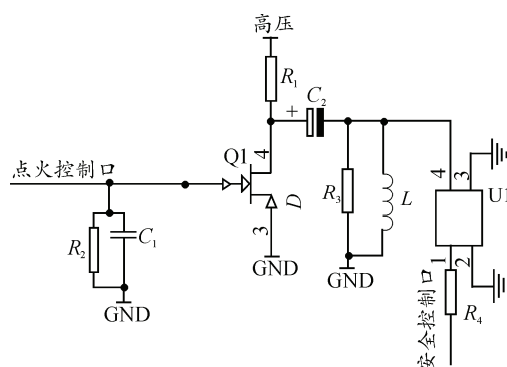


图 7 点火驱动电路

当点火驱动模块芯片检测到有效点火指令后，会将相应的脉冲发动机点火序号传输给相应的驱动电路，执行点火命令，此时，点火驱动电路的安全控制口会首先给高电平，将继电器开关打开，解除电保护，然后点火控制口再给高电平，场效应管打开，使得电容放电，与点火头形成闭合回路，脉冲发动机点火。需要注意的是，安全控制口与点火控制口并不是同时作用，而是有一定的延时 t 。即先将电保护解除，使其等待点火，并且电保护的持续时间要超过点火控制口高电平持续时间。这样，电开关的打开作用只持续到点火结束，之后即变为闭合，有利于安全。

具体的脉冲信号输入先后关系如图 8 所示。

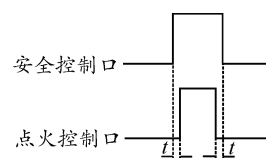


图 8 短路口和点火口脉冲输入

考虑到单个微型脉冲发动机的工作时间为 30 ms ，而研究的 BAT 子弹药转速约为 5 r/s ，要使确定点火的脉冲发动机达到修正效果，其点火工作需在时间 t_k 内完成， $t_k = \frac{30^\circ}{360^\circ} \times 200 = 16.67 \text{ ms}$ ，查阅资料以及相关手册^[13]，取延迟时间 $t = 0.5 \text{ ms}$ 。这样点火时间在 15 ms 左右，可以达到要求。

4 控制点火时序描述

BAT 子弹药整个控制系统工作时序可描述为：在正常工作模式下，由母弹携带子弹飞到目标上空指定高度时，发出开舱抛撒指令，将子弹抛出，子弹被抛出后，接电开关闭合，电池供电，子弹正常飞行，飞行稳定之后，弹翼会张开，探测装置开始工作。此时，炮弹处于机械解保状态，在机械解保

之后，为保证安全，继电器提供的电路保护依然存在，在此期间，BAT 子弹药会对目标进行一系列的搜索定位，并进行信号的传输，主控系统会根据对目标的解算分析等，发出相应的脉冲点火指令，进行末段修正。在此设计中，由点火驱动模块的主芯

片提供一个接口作为检测口，用于检测主控芯片的有效指令，在收到有效点火指令之后，主芯片会首先确定需要点火的脉冲序号，并且在点火时之前会先将驱动电路的电器保护解除，再进行驱动点火操作。时序如图 9 所示。

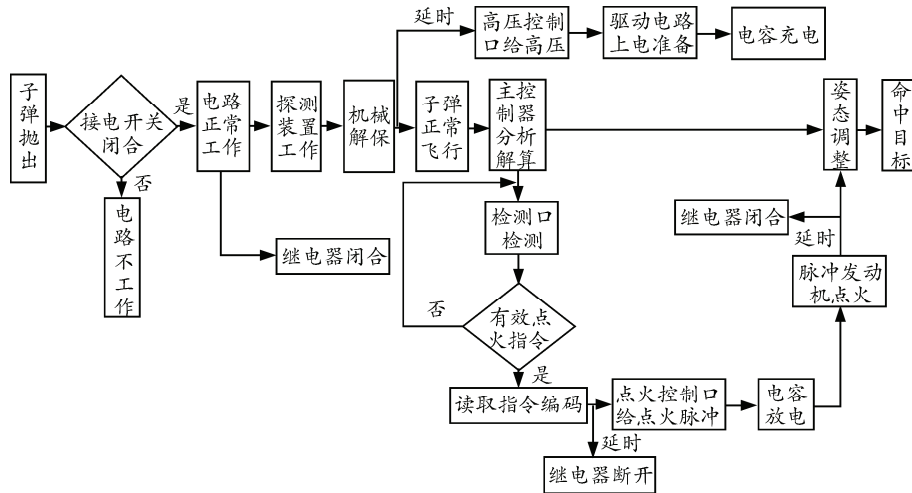


图 9 BAT 子弹药工作时序

5 结束语

笔者分析了 BAT 子弹药在加装末段脉冲修正机构之后整个控制系统组成及其功能，对简化后的 3 个主要模块进行了分析，并主要对其点火驱动模块进行了硬件设计，之后结合安全性理论，对其进行了优化与改进，确保执行过程的安全性。所设计的控制电路具有良好的性能，有一定的应用价值。

参考文献：

[1] 艾珊. 美国陆军研究 BAT 的改进型[J]. 弹箭技术, 1995(4): 51.
 [2] 张亦贵. 弹药中的“精灵鬼”——BAT 智能反装甲子弹药[J]. 聪明泉, 2003(4): 34.
 [3] 余勃彪, 严平. 弹道修正弹药现状及关键技术[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(4): 37-40.
 [4] 杨慧娟, 霍鹏飞, 黄铮. 弹道修正弹修正执行机构综述[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(1): 7-9.
 [5] 唐克, 谢保军, 应维冰. 外弹道阶段修正弹丸偏差量研

究[J]. 兵工自动化, 2012, 31(12): 15-17.
 [6] 周铁军. 声目标识别系统研究与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
 [7] 侯晓松. 基于 DSP 的弹上舵机控制系统的设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
 [8] 张奇, 徐国强, 杜发荣. 小型航空活塞发动机点火系统优化设计[J]. 航空动力学报, 2012, 27(2): 343-349.
 [9] 姚文进. 防空弹药二维脉冲修正方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
 [10] 寇戈, 蒋立平. 模拟电路与数字电路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008, 7.
 [11] 赵廷弟. 安全性设计分析与验证[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011, 4.
 [12] 王雨时, 何莹台. 弹药爆炸序列中直列爆炸元件火炸药装药的感度问题——关于弹药安全性设计的认识与思考(上)[J]. 现代引信, 1997(2): 53-61.
 [13] 王卫东, 李小红. 光 MOS 继电器的开关响应时间分析[C]. 第九届全国 LED 产业研讨与学术会议论文集. 2004.