

# 一种模拟电磁炮发射电路的设计

高伟

(芜湖职业技术学院电气与自动化学院, 安徽 芜湖 241003)

**摘要:** 为有效解决电磁炮打靶精度问题, 对电磁炮的发射控制系统进行了研究, 提出以 STM32F103ZET6 单片机作为主控系统, 通过单片机处理按键信息及 openmv3 采集的靶标信息, 实时控制电动云台调节电磁曲射炮的炮管垂直仰角及水平方位, 实现精准打靶的解决措施, 以期为相关研究提供参考。

**关键词:** STM32F103ZET6; 电动云台; 电磁发射装置; openmv3

**中图分类号:** TP368.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-7344(2023)38-0133-03

## 0 引言

以电磁发射技术为基础的电磁炮是目前世界上一种较为先进的动能杀伤武器<sup>[1]</sup>。传统大炮是用火药燃气压力发射炮弹, 而电磁炮则是利用电磁系统中电磁场产生的安培力来发射金属炮弹, 从而获得打击目标所需的能量, 与传统的大炮相比, 电磁炮的炮弹的速度和射程都得到了非常大的提高<sup>[2]</sup>。目前各国都在致力于电磁炮的研究。

本文采用 STM32F103ZET6 单片机作为主控系统, 设计了一套电磁炮射击瞄准系统, 实现了手动定点打靶、自动打靶、运动打靶等功能, 具有结构简单、触摸按键选择功能、界面美观、成本低等特点。

## 1 各单元模块选择

本系统的组成包括单片机控制模块、靶标位置采集模块、电磁发射模块、显示模块, 以下为模块设计与选择方案。

### 1.1 主控单片机选择

方案一: 采用 STC89C51 单片机。该型单片机优点是价格便宜, 结构不复杂; 缺点是系统资源不丰富, 只是 8 位处理器, 运算能力弱, 精准度低, 而且还需要连接许多外部电路, 使系统变得更加复杂, 无法满足设计要求。

方案二: 采用 STM32F103ZET6 单片机。该型单片机的优点是系统资源丰富, 32 位处理器, 主频最高可达到 72MHz, 能快速采集和处理数据, 所以 STM32F103ZET6 非常适合作为自动控制系统的控制器。

综合以上两种方案, 选择方案二的 STM32F103ZET6<sup>[3]</sup>。

### 1.2 靶标位置采集模块选择

方案一: 采用红外传感器。红外传感器分辨能力有限, 对光线要求较高, 测距精确度低。

方案二: 采用超声波测距, 对于两米以外的目标, 测距精度低, 其次抗干扰能力差, 因此超声波测距难以

满足要求。

方案三: 采用 openmv3 摄像头对靶标位置进行实时采集, 其具有分辨率高、实时性好等优点, 其能够实时反馈靶标位置及角度信息<sup>[4]</sup>。

综合以上 3 种方案, 选择方案三。

### 1.3 电磁发射装置的选择

方案一: 导轨型电磁发射器, 由两条平行导轨(初级)、电枢(次级)、发射载荷和电源组成, 而且导轨需要使用耐烧蚀、耐磨损, 并具有良好导电性的材料制作而成。此方案对于导轨的材料要求高、从而导致制造成本高, 所以不予采用。

方案二: 重接型电磁发射器, 利用两个磁场重新接触时产生的相互作用力来推动炮弹高速前进。它是一种可多级加速、无接触、有初速度的感应发射器。此方案制作要求高、成本高。

方案三: 线圈型发射器, 可以通过脉冲或交变电流产生的磁场, 从而驱动带有线圈或磁性材料的发射体的装置。其要求低, 可以手工制作切成本低, 同时完全可以达到本题设计要求。

综合以上 3 种方案, 选择方案三。

### 1.4 显示模块的选择

方案一: OLED 显示屏, 对比度高, 厚度薄、视觉广, 支持 SPI80806800 和 IIC, 但其屏幕小、不可触摸、性价比低。

方案二: TFTLCD 触摸显示屏, TFT 为有源矩阵液晶显示屏, 屏幕信息显示的速度快、亮度强、对比度高, 接口为 16 位 8080 并口 LCD 模块。可以实现触摸显示, 尺寸大, 性价比较高。

综合以上两种方案, 选择方案二。

## 2 电磁炮射击瞄准系统理论分析与计算

### 2.1 系统理论的分析

#### 2.1.1 电磁发射装置原理

利用直流稳压电源提供 12V 直流电压, 经过升压

变为 450V。继电器 K1、K2 的通断就是通过单片机 PE5、PB5 两个 IO 口分别进行控制,从而实现电解电容 C1 的充放电控制。当电容充电之后,继电器 K1 断开、K2 闭合时,电容 C1 开始放电,短时间内流过电磁炮线圈的电流激增,即电流变化率很大,导致线圈磁场增大,产生的磁力将弹丸弹出。

### 2.1.2 弹道分析

弹道是指炮弹或其他发射体质心运动的轨迹。因为炮弹理论上做的是斜抛运动,所以弹道与初速度  $v_0$  和水平面的夹角  $\beta$  有关。本设计通过控制电容放电时的初始电压相同,即电容放电时电容的初始储能相同,使得理想情况下,弹丸的初速度  $v_0$  不变,由于初始电压相同,所以通过改变夹角  $\beta$ ,达到改变弹丸射程的目的。

水平方向分速度:  $v_1=v_0\cos\beta$ 。

竖直方向分速度:  $v_2=v_0\sin\beta$ 。

空中运动时间:  $t=\frac{2v_0\sin\beta}{g}$ 。

射高:  $h=\frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2=\frac{v_0^2\sin^2\beta}{2g}$ 。

射程:  $d=\frac{v_0^2\sin 2\beta}{g}$ 。

综上所述可知,射程  $d$  与夹角  $\beta$  有关,当  $0^\circ\leq\beta\leq 45^\circ$  时,射程随着  $\beta$  角的增大而增大;当  $45^\circ\leq\beta\leq 90^\circ$  时,射程随着  $\beta$  角的增大而减小;当  $\beta=45^\circ$  时,射程最大。通过分析可知,本设计可以通过调整炮口与水平的方向的夹角  $\beta$ ,来获得不同的射程<sup>[5-6]</sup>。

## 2.2 系统参数计算

### 2.2.1 电磁发射装置参数计算

电磁发射装置电路原理如图 1 所示,线圈磁场  $H=nl$ ,其中  $l$  是通过线圈的电流, $n$  是线圈的匝数,可见磁场大小与线圈匝数和电流有关。通过实验及查阅文献易知表明,匝数在一定范围内增加,弹丸射程越大一旦超过这个范围,即使再增加匝数,弹丸射程反而会降低。通过不断地实验,线圈匝数为  $n=200$  左右时,此时电磁炮的射程为 2~3m。通过不断试验,最后选择 450V/1000 $\mu$ F 的电解电容,这种型号的电容放电速度快,且符合设计的充电电压要求。同时线圈属于感性元件,在电容放电结束时,线圈会产生一个电流阻碍电流的减少,此时电路中如未安装一个续流二极管,电感产生的电流会反向流入电解电容,容易造成电容的损坏甚至爆炸。所以选择了一个 20A/1000V 的续流二极管。

### 2.2.2 能量的计算

通过多次试验总结得出,当电容两端的电压为 161V 时,使得弹丸的初速度可以满足设计要求。电容在充电时储存能量如式(1)所示。

$$Q=\frac{1}{2}CU^2=\frac{1}{2}\times 1\times 10^{-3}\times 161^2=12.96\text{J}。 \quad (1)$$

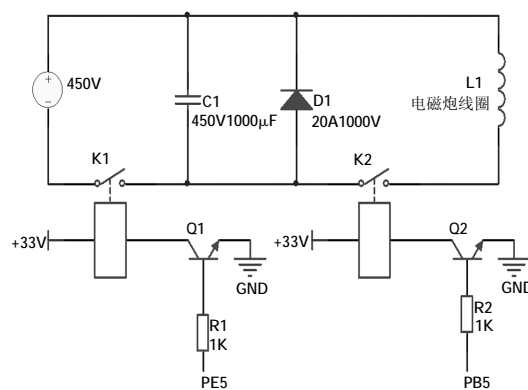


图 1 电磁发射系统电路原理

在此理想情况下电容放出的能量提供弹丸的动能。电容放电时间很短,此时线圈中短时间内电流突然增大,即  $\frac{di}{dt}$  非常大,此时通电线圈产生很大的磁场,磁场力吸着钢球以一个很大的初速度做斜抛运动。弹丸运动轨迹如图 2 所示。

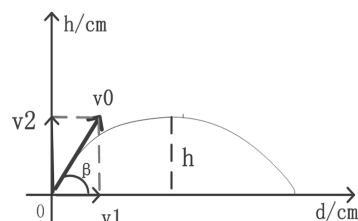


图 2 弹丸运动轨迹

## 3 电路与程序设计

### 3.1 电路的设计

电磁炮发射电路设计如图 3 所示。

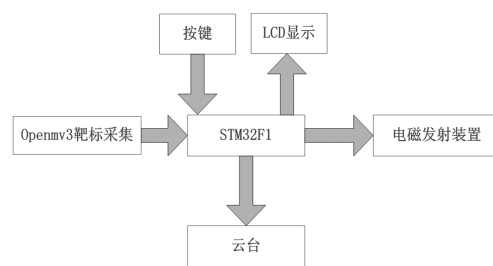


图 3 电磁炮发射电路设计

(1) 手动模式:通过按键人工输入标靶位置和角度,STM32F103ZET6 单片机控制云台调整发射角度后启动电磁发射装置。

(2) 自动模式:openmv3 摄像头对靶标位置进行实时自动采集,并将采集到的数据传送给 STM32F103ZET6 单片机,然后单片机自动控制云台调整发射角度后启动电磁发射装置。

### 3.2 程序的设计

图 4 为电磁炮射击瞄准系统工作流程。

## 4 测试数据

### 4.1 输入距离 $d$ 定点打靶

表 1 为输入距离  $d$  定点打靶测试的实际距离。

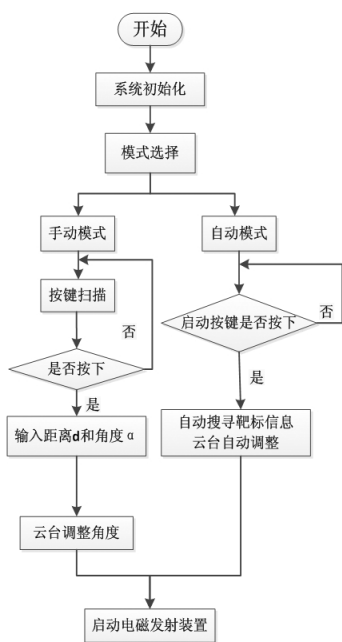


图4 电磁炮射击瞄准系统工作流程

表1 输入距离d定点打靶测试的实际距离 单位:cm

输入距离	实际打靶距离					平均值
	1	2	3	4	5	
300	296	298	292	296	296	295.6
290	285	287	286	288	286	286.4
280	281	280	278	281	280	280.0
270	264	271	265	268	267	267.0
260	257	255	261	263	259	259.0
250	240	245	246	248	245	244.8
240	240	235	237	241	238	238.2
230	227	231	232	231	230	230.2
220	216	215	212	218	215	215.2
210	202	204	209	206	205	205.2
200	198	201	202	196	201	199.6

#### 4.2 输入距离d及偏离角度α定点打靶

表2为输入距离d及偏离角度α定点打靶测试。

表2 输入距离d及偏离角度α定点打靶测试

打靶距离/cm	打靶角/度(°)	实际打靶环数					平均值
		1	2	3	4	5	
200	-30	8	9	8	10	9	8.8
220	-15	9	7	10	8	8	8.4
240	0	9	9	10	8	9	9.0
260	15	8	10	9	7	8	8.4
280	30	10	8	9	8	9	8.8

#### 4.3 指定范围内自动打靶

表3为指定范围内自动打靶测试。

#### 4.4 运动打靶

表4为运动打靶测试。

#### 4.5 测试结果分析

通过对设计的各项指标进行测试,模拟电磁曲射

表3 指定范围内自动打靶测试

打靶距离/cm	打靶角/度(°)	实际打靶环数					平均值
		1	2	3	4	5	
210	-20	7	8	8	7	7	7.4
230	-15	8	7	7	6	8	7.2
245	5	7	8	8	8	7	7.6
268	10	8	7	6	8	8	7.4
288	20	7	9	6	7	9	7.6

表4 运动打靶测试

打靶距离/cm	打靶角/度(°)	实际打靶环数					平均值
		1	2	3	4	5	
250	-30	6	4	8	2	5	5.0
250	-15	3	5	1	0	7	3.2
250	0	4	6	3	7	5	5.0
250	15	0	3	9	1	7	4.0
250	30	6	0	6	4	5	4.2

炮能够很好的实现输入距离d定点打靶、输入距离d及偏离角度α定点打靶、指定范围内自动打靶等功能,基本上实现运动打靶功能,但运动打靶精度不高,存在脱靶情况。

### 5 结语

本设计过程中,基本实现了模拟电磁曲射炮的定点打靶、输入距离及偏离角度定点打靶、指定范围内自动打靶、运动打靶等功能。但是本设计的精度有待提高,特别是运动打靶功能容易脱靶,因此下一步努力方向就是通过算法及硬件优化提高系统的稳定性、准确性,特别是运动打靶的精度。

#### 参考文献

- [1] 齐玮,范少杰.电磁发射技术的研究现状及其应用[J].电光系统,2008,1(3):62-65.
- [2] 王莹,肖锋.电炮原理[M].北京:国防工业出版社,1995:10-18.
- [3] 沈瑞冰,胡志杰,杨剑.基于STM32的模拟电磁曲射炮设计[J].电子设计工程,2020,28(17):185-188,193.
- [4] 郑桂林,姚楠,苏文鹏.基于STM32的模拟电磁曲射炮设计[J].廊坊师范学院学报(自然科学版),2020,20(1):43-47.
- [5] 贾强.电磁炮轨道技术及应用研究[D].太原:中北大学,2012.
- [6] 何大娇.电磁轨道炮内弹道优化设计[D].南京:南京理工大学,2008.

基金项目:2020年校级自然科学研究重点项目“基于终端滑模和扰动观测的Buck变换器复合控制设计的研究”(Wzyzrzd202006);2020年度安徽高校自然科学重点项目“自适应滑模控制技术在Buck型变换器中应用的研究”(KJ2020A0908)。

作者简介:高伟(1981—),男,汉族,安徽巢县人,硕士研究生,教授,研究方向为开关电源。