

毕业设计（论文）的写作规范和参考格式

一、毕业设计（论文）写作规范

论文或设计说明书内容一般应由八个主要部分组成，依次为：题目，中、英文摘要，关键词，目录，文本主体，致谢，参考文献，附录（必要时）。各部分的具体要求如下：

1、题目

题目应该用极为精炼的文字把论文的主题或总体内容表达出来。题目字数一般不宜超过 20 个汉字。有特殊要求的，如为了给题目加以补充说明，或为了强调论文所研究的某一个侧面等，则可加注副标题。

2、中、英文摘要

本科毕业设计（论文）摘要包含中文摘要与英文摘要两种。论文摘要以简要文字介绍研究课题的目的、方法、内容及主要结果。在论文摘要中，要突出本课题的创造性成果或创新见解。中文摘要一般不超过 400 个汉字，英文摘要的内容则要与中文摘要相一致。

3、关键词

本科毕业设计（论文）关键词包括中文与英文两种。关键词是表述论文主题内容信息的单词或术语，其数量一般为 3—6 个。每一个英文关键词必须与中文关键词相对应。

4、目录

目录是论文各组成部分的小标题，文字应简明扼要。一般的说，本科毕业设计（论文）目录按三级标题编写，应标明页数，以便阅读。目录中的标题应与正文中的标题一致。目前通用的标题序次结构有以下二种，文科类一般采用第一种，理工科类一般采用第二种。

第一种序次：一、（一）、1……

第二种序次：1.、1.1、1.1.1……

5、文本主体

本科毕业设计（论文）正文要符合一般学术论文的写作规范，要求文字流畅、语言准确、层次清晰、论点清楚、论据准确、论证完整严密，有独立的观点和见解，应具备学术

性，科学性和一定的创造性。

文本主体一般包括引言（或称前言、序言等）、正文和结论三部分。

引言宣示课题的“来龙”，说明本课题的意义、目的、主要研究内容、范围及应解决的问题。也有的本科毕业设计（论文）正文不用引言，而是直接从第一章写起，则第一章就相当于引言。

正文是毕业设计（论文）的核心。在正文里，作者要对课题的内容和成果做详细的表述、深入的分析 and 周密的论证。毕业论文的正文一般包括前人对课题研究的进展综述、理论分析、本课题进行的研究工作的内容、研究成果、总结和讨论等内容；毕业设计说明书的正文一般包括方案论证与比较、理论分析及计算、结构设计及软件设计、系统测试、方案校验等。对于不同学科的毕业设计（论文），其正文论述的方式和内容也有所不同，这里不作具体说明，详见《普通高等学校本科毕业设计（论文）指导》。

结论是全文的思想精髓和文章价值的体现。应概括说明所进行工作的情况和研究成果，分析其优点和特色，指出创新所在，并应指出其中存在的问题和今后的改进方向，特别是对工作中遇到的重要问题要着重指出，并提出自己的见解。它集中反映作者的研究成果和总体观点，阐明课题的“去脉”。结论要简单、明确，措词严密，篇幅不宜过长。结论部分可以用“结语”、“结束语”等标题来表明，也可以不用标题表明。

文本主体一般由标题、文字、图、表格和公式等部分组成，其书写的规范和标准如下：

（1）标题。正文中的标题也称小标题，其目的在于使文章的层次清晰。有的小标题用文字概括出本层次的中心内容，有的小标题直接使用数字，仅仅表明顺序，起到承上启下的作用。

（2）注释。正文中引述他人的观点、统计数据或计算公式等必须注明出处，有需要解释的内容也可以加注说明，这就是注释。注释用页末注，即在引用的地方写一个脚注标号，把注文放在加注处那一页稿纸的下端。也可以使用篇末注，即把全部的注文集中在论文末。注释的序号要用①、②、③等数码表示，而不能用[1]、[2]、[3]等数码表示，以免与参

考文献的序码相混淆。

(3) 标点符号。毕业论文中的标点符号应符合国家标准 GB/T15834-1995《标点符号用法》的规定。一些需要注意的地方列举如下：

①连接号中的半字线即“-”，占半个字宽，书写时不占格，写在两格之间，用于结合各种并列和从属关系。例如并列词组（温度-时间曲线），合金系统（Fe-Cr-Al），产品型号（SZB-4真空泵），化合物（甲烷-d），币制（卢布-戈比），图、表、公式的序号（图 3-1，表 2-5）。

②连接号中的一字线“—”占一个字宽，书写时应比汉字“一”略宽，书写时占一格位置。它用在化学键（如 C—H—C）、标准代号（如 137—64）、图注（如 1—低碳钢）、机械图中的剖面（如 A—A）等标注符号中。

③省略号在正文中占两格“……”，在公式中占一格“……”。

④括号一般用圆括号。有双重括号时，可以圆括号外面再加方括号。数学式中的括号分三层，即{[()]}，层次不得改变。

⑤在并列的词组和短句之中又包含并列词的较复杂情况下，为避免并列的范围混淆不清起见，外层的并列词组或短句可用逗号或分号分开，其中的并列词用顿号分开。例如：“须解决邻位效应，饱和链中的中性质交递，有机物中氢分子、卤分子的活动性，瓦耳登转化等问题。”

(4) 名词、名称

①毕业论文中的科学技术名词术语尽量采用全国自然科学名词审定委员会审定公布的科技名词或国家标准等标准中编写的名词，尚未编定和叫法有争议的，可采用惯用的名称。

②使用外文缩写代替某一名词术语时，首次出现应在括号内注明其含义，如 CPU（Central Processing Unit，计算机中央处理器）。

③除一般很熟知的外国人名（如牛顿、爱因斯坦、门捷列夫、达尔文、马克思等）只须按通常标准译法写译名外，其余采用英文原名，不译成中文。其他语种的人名可译可不译。英文人名按名在前姓在后的原则书写，如 P. Cray。

④国内工厂、机关、单位的名称应使用全称，不得简化。

(5) 量和单位

①毕业论文中量的单位必须符合我国法定计量单位。它以国际单位制(SI)为基础。请参看有关文件。如 GB3100-3102-93 等。

②有些单位的名称既可用全称,也可用简称表示(如“伏特”和“伏”等等),但在全文中用法要一致,不要两者并用。

③非物理量的单位,如件、台、人、周、月、元等,可用汉字与单位符号构成组合形式的单位,如:件/台·h,元/km。

④在文中不要用物理量符号、计量单位符号和数学符号代替相应的名称。在表示一个物理量的量值时,应在阿拉伯数字之后用计量单位符号。例如:“试样高度 h 为 25mm”不要写出“试样 h 为 25mm”。

(6) 数字

①毕业论文中的测量、统计的数据一律用阿拉伯数字。

②公历的年、月、日一律用阿拉伯数字,如“1949 年 10 月 1 日”;夏历的年、月、日一律用汉字。历史上的朝代和年号须加注公元纪年。

③普通叙述中不很大的数目,一般不宜用阿拉伯数字。例如:“他发现两颗小行星”,不宜写成“他发现 2 颗小行星”。

④大约的数目可用中文数字,也可用阿拉伯数字。例如:“约一百五十人”,也可写成“约 150 人”。

⑤分数可用阿拉伯数字表示,亦可用中文数字表示,但两者写法不同,前者要写成“5/8”或“八分之五”。

(7) 公式

①公式应另起一行书写。

②公式的编号用圆括号括起放在公式右边行末,在公式和编号之间不加虚线。公式可按全文统编序号,也可按章单独立序号,如:(49)、(7.11),采用哪一种序号应和稿中的图序、表序编法一致。子公式可不编序号,需要引用时可加编 a、b、c、…等,重复引用的公式不得另编新序号。公式序号必须连续,不得重复或跳缺。

③文中引用某一公式时,写成“由式(16.20)可见”。

(8) 表格

表是以行和列组合的形式来表达数据和统计结果的一种方式。表格的种类也很多,如示意表、统计表、说明对照表等。表中的参数应标明量和单位的符号,每个表格应有自己的表题

和表序，表题应写在表格上方正中，表序写在表题左方不加标点，空一格接写表题，表题末尾不加标点。全文的表格统一编序，也可以逐章编序，不管采用哪种方式，表序必须连续。表格允许下页接写，接写时表题省略，表头应重复书写，并在右上方写“续表××”。此外，表格应写在离正文首次出现处的近处，不应过分超前或拖后。

(9) 插图

图能直观地表示出各种事物因素之间的关系，科学研究的结果，以及事物的发展变化与趋势，起到文字难于起到的作用。图的种类很多，如条形图、线形图、流程图、示意图等。图具有自明性的特征，因此内容上不能与文字表达的东西重复。图中的术语、符号、单位等应同文字表述所使用的一致。每幅插图应有图序和图题，全文插图可以统一编序，也可以逐章单独编序，不管采用哪种方式，图序必须连续，不得重复或跳缺。由若干分图组成的插图，分图用 a, b, c…标序，分图的图名以及图中各种代号的意义，以图注形式写在图题下方，先写分图名，另起行后写代号的意义。电气图、机械图等还应符合相应的国家标准。

6、致谢

简述自己通过做毕业设计（论文）所获得的体会，并对指导教师以及相关人员进行致谢。致谢的文字虽不多，却是论文不可缺少的内容。

7、参考文献

参考文献是毕业设计（论文）不可缺少的组成部分，也是作者对他人知识成果的承认和尊重。参考文献的引用和著录应符合规范，引用的资料具有权威性，并对毕业设计（论文）有直接的参考价值。所列出的参考文献不得少于 10 篇，其中外文文献不得少于 2 篇，发表在期刊上的学术论文不得少于 4 篇。参考文献应按文中引用出现的顺序来编序，附于文末。

参考文献书写格式应符合 GB7714-1987《文后参考文献著录规则》。常用的参考文献的书写格式如下：

(1) 期刊

[序号] 主要作者. 文献题名[J]. 刊名, 出版年份, 卷号(期号): 起止页码.

例如：[1] 袁庆龙，候文义．Ni-P 合金镀层组织形貌及显微硬度研究[J]．太原理工大学学报，2001，32(1)：51-53．

(2) 专著

[序号] 著者．书名[M]．出版地：出版者，出版年：起止页码．

例如：[2] 刘国钧，王连成．图书馆史研究[M]．北京：高等教育出版社，1979：15-18，31．

(3) 论文集

[序号] 著者．文献题名[C]．编者．论文集名．出版地：出版者，出版年：起止页码．

例如：[3] 孙品一．高校学报编辑工作现代化特征[C]．中国高等学校自然科学学报研究会．科技编辑学论文集(2)．北京：北京师范大学出版社，1998：10-22．

(4) 学位论文

[序号] 作者．题名[D]．保存地：保存单位，年份．

如：[4] 张和生．地质力学系统理论[D]．太原：太原理工大学，1998．

(5) 报告

[序号] 作者．文献题名[R]．报告地：报告会主办单位，年份．

例如：[5] 冯西桥．核反应堆压力容器的LBB 分析[R]．北京：清华大学核能技术设计研究院，1997．

(6) 专利文献

[序号] 专利所有者．专利题名[P]．专利国别：专利号，发布日期．

例如：[6] 姜锡洲．一种温热外敷药制备方案[P]．中国专利：881056078，1983-08-12．

(7) 国际、国家标准

[序号] 标准代号，标准名称[S]．出版地：出版者，出版年．

例如：[7] GB/T 16159—1996，汉语拼音正词法基本规则[S]．北京：中国标准出版社，1996．

(8) 报纸文章

[序号] 作者．文献题名[N]．报纸名，出版日期(版次)．

例如：[8] 谢希德．创造学习的思路[N]．人民日报，

1998-12-25(10).

(9) 电子文献

[序号] 作者. 电子文献题名[文献类型/载体类型]. 电子文献的出版或可获得地址, 发表或更新的期/引用日期(任选).

例如: [9] 王明亮. 中国学术期刊标准化数据库系统工程的[EB/OL].

http://www.cajcd.cn/pub/wml.txt/9808_10-2.html,
1998-08-16/1998-10-04.

注: 电子文献类型

电子参考文献 类型	数据库	计算机程 序	电子公告
电子文献类型 标识	DB	CP	EB

电子载体类型

电子文献载体 类型	磁带	磁盘	光盘	联机网络
电子载体类型 标识	MT	DK	CD	OL

若在正文中引用参考文献, 在引用处最后一个字的右上角, 用方括号标明此序号。如, “XML 密钥信息服务规范[1]”

8、附录

附录包括不宜放在正文中但又直接反映工作成果的资料, 如调查问卷、公式推演、编写程序、实验数据等内容。附录的篇幅不宜过大, 若附录部分内容较多, 可单独装订成册。

二、毕业设计(论文)的参考格式

1、论文采用 A4 纸打印。页边距: 上 3 厘米, 下 2 厘米, 左 3 厘米, 右 2 厘米; 装订线 1 厘米; 页眉距边界 2 厘米, 页脚距边界 1 厘米。全文除封面、封底无页眉外, 均采用页眉“杭州电子科技大学本科毕业论文”或“杭州电子科技大学本科毕业设计”, 宋体五号字, 居中。

2、封面、封底、中文摘要、ABSTRACT、目录无需页码, 论文其余部分均采用阿拉伯数字页码, Times New Roman 五号字, 居中。

3、“摘要”、“目录”、“致谢”、“参考文献”, “附录”

等为黑体三号字，“ABSTRACT”为 Times New Roman 加黑三号字，均居中，单倍行距，段前 2 行，段后 2 行。

4、封面由学校统一制作，分为毕业设计和毕业论文两类，填写的内容均为楷体小三号字。

5、中文摘要内容为宋体小四号字，摘要内容后下空一行打印“关键词”为黑体小四号字，其后关键词为宋体小四号字；英文摘要内容为 Times New Roman 小四号字，英文摘要内容后下空一行打印“Keywords”为 Times New Roman 加黑小四号字，其后关键词为小写 Times New Roman 小四号字。行距均为 20 磅，每一关键词之间用分号分开，最后一个关键词后不打标点符号。

6、目录内容中文为宋体小四号字，英文为 Times New Roman 小四号字，依次排列各章节、致谢、参考文献、附录等。目录内容至少列出第一和第二级标题，每一级标题后应标明起始页码。目录可使用 word 系统自带的“插入目录功能”自动生成

7、正文第一级标题为黑体三号字，居中，单倍行距，段前 2 行，段后 2 行。第二级标题为黑体四号字，第三级标题为黑体小四号字，若采用第一种序次（一、（一）、1……）为靠左空两格，采用第二种序次（1.、1.1、1.1.1……）为靠左顶格。

正文内容中文为宋体小四号字，英文为 Times New Roman 小四号字，行距 20 磅，标准字符间距。每一章内容均另起一页。

8、图应有图名、图号，均为宋体五号字，居中，列在图的下方。

9、表格应有表名、表号，均为宋体五号字，居中，列在表的上方。

10、公式书写应另起一行，公式内容居中，公式后应注明序号，均为宋体五号字。

11、参考文献的内容中文为宋体小四号字，英文为 Times New Roman 小四号字居左顶格打印，行距均为 20 磅。

杭州电子科技大学

本科毕业设计

(2022 届)

题 目 _____

学 院 _____ 理学院

专 业 _____

班 级 _____

学 号 _____

学生姓名 _____

指导教师 _____

完成日期 _____ 2022 年 6 月

诚 信 承 诺

我谨在此承诺：本人所写的毕业论文《XXXXXXXX》均系本人独立完成，没有抄袭行为，凡涉及其他作者的观点和材料，均作了注释，若有不实，后果由本人承担。

承诺人（签名）：

年 月 日

摘 要

本毕业设计主要设计自主研发的激光打靶系统的信号处理过程，继而实现整个打靶系统。激光打靶系统主要包括半导体激光枪、光电探测器和信号处理电路，信号处理过程是整个系统的关键。激光打靶的打靶过程，由激光枪发射激光脉冲信号，光电靶接收激光脉冲信号，经过系列信号处理过程最终得到打靶的结果。光电靶由许多块的光电探测器组成，每块不同位置的光电探测器对应不同编号，从打靶的实际情况出发，确定了相应的编号规则。打靶的成绩由激光所击中的光电探测器的编号来判定。

激光打靶系统的主要信号处理过程包括：信号的放大、编码和数据传输。信号由光电探测器检测后传送到相应的放大电路，放大电路采用集成运算放大器。按原先对光电探测器的编码规则采用多路优先编码器对信号进行编码。最后把编码值以串口的形式传送到计算机，利用计算机的强大功能对打靶结果进行各种处理。与计算机之间的串行数据传输由 89C2051 单片机实现。89C2051 单片机的程序，使用 keil 编译器进行设计和调试完成，其主要功能是控制数据的串行传送，实现与计算机的串口通信。

该信号处理系统实现了对信号的良好检测。与计算机之间的串口通信可以实现数据在计算机上的显示、统计、储存等功能，为打靶者提供非常直接、准确的打靶结果，有利于提高打靶效果。

关键词：激光打靶；信号处理；信号编码；串行传输

ABSTRACT

The main aim of this thesis is to design and realize signal processing of a self-developed laser target shooting system and then realize the whole laser target shooting system. The laser target shooting system consists of semiconductor laser gun, photoelectric detector, and signal processing circuit, which is the key part of the whole system. Laser target shooting process go through following steps: laser gun emitted a pulse of laser, which would be received by the laser target and the results of shooting will be shown on screen of computer by series signal processing. The laser target consists of some silicon photoelectric units that were encoded with different numbers according to certain rule. The result of the shooting will be got when detecting the number of the photoelectric unit that receives the laser pulse.

The signal processing of the laser target shooting system mainly consists of signal amplification, signal encoding and data transmission. The inspected photoelectric signal was then amplified by operator amplifiers, coded by multiplex priority encoder according to the prearranged rule, and then transferred to computer by 89C2051 MCU through its serial port. And then computer can process the signal. The program of 89C2051 MCU is designed in keil and debugged using keil compiler. It is designed to control the data transmission with computer.

The designed signal processing system can detect signal effectively. Through the serial data transmission, computer can process the shooting result, such as display, statistics and storage etc. It provide direct and exact shooting result for trainer, so it can increase the efficiency of the shooting training.

Key words: laser target shooting; signal amplification; signal encode; serial data transmission

目 录

1	引言	1
2	概述	2
2.1	激光打靶系统概述	2
2.2	本设计方案思路	3
2.3	研发方向和技术关键	3
2.4	主要技术指标	3
3	总体设计	4
3.1	激光的检测	4
3.2	靶位的划分	4
3.3	编码标准	5
3.4	成绩的传送和处理	5
3.5	其他说明	5
4	硬件设计	6
4.1	信号放大电路	6
4.2	整形电路	8
4.3	编码电路	9
4.4	串行传送	11
4.5	电平转换	13
5	软件设计	14
5.1	总体方案	14
5.2	程序流程	14
5.3	模块说明	14
6	制作与调试	18
6.1	硬件电路的布线与焊接	18
6.2	调试	18
7	结论	20
	致谢	21
	参考文献	22
	附录	23

1 引言

目前的射击打靶训练，基本以实弹训练为主，国防开支大，危险系数高。传统的报靶方法是人工报靶，由报靶员根据经验确定靶数，带有很大的个人主观因素，可靠性、公正性差，效率低。因此有必要研制一种切合部队实际的，在非实弹射击条件下进行射击精度训练的打靶训练器，这样既能保证部队训练质量又能减少弹药消耗、节约国防费用，具有重大的国防意义。

以光代弹，可以模拟多种武器的射击情况，并可检验射击效果。这种新型的部队训练模拟器材是部队训练器材的一次革命，是和平时部队训练的有效手段之一。一些发达国家，如美国、英国、德国等都在积极进行激光射击模拟训练器材的研制，并已开发出多种系列产品，其中最突出的是美国的“米勒斯”系列，它可模拟 36 种武器，性能好、准确而且逼真，大大推动了部队的训练工作。

八十年代以来，我国也有单位在进行激光模拟训练器的研究和探索，将激光射击模拟器用于部队训练，取得了很好的训练效果，提高了部队的战斗力。但在可靠性和数据处理等方面尚有许多技术问题有待改进，主要是以下几点：激光光斑太大，与实际步枪子弹口径 7.62mm 相差太多；探测器数量少会导致设计精度不高；探测器数量多会使得价格昂贵，无法推广；只能粗略指示命中与否，不能准确显示命中靶环环数和方位。因此，我们拟从这些方向作进一步的研究探索。

本设计采用半导体激光器和半导体面阵列探测器来模拟子弹射击和射击靶标，具有模拟逼真，精度高等特点。主要从信号处理部分来设计实现激光打靶系统，每次射击能精确的显示 5—10 环的结果及脱靶情况，每个环数又可分为八个偏移方向。该系统简单实用，既能保证训练的质量又能减少弹药的消耗，是理想的公安、军队等部门训练使用的模拟打靶系统。

2 概述

2.1 激光打靶系统概述

激光打靶系统^[1-3]的工作原理是采用激光脉冲来模拟枪弹的射击，该系统一般包括激光发射部分、激光信号检测模块、打靶成绩处理和显示部分。如图 2-1 所示，当射手瞄准完毕扣动扳机时，半导体激光器会发出激光脉冲，射向目标上的光电探测器，如果击中目标，则激光脉冲被光电探测器接收并转换为电信号，经电路处理能识别射击的弹着点，信号经处理编码后传输到计算机。

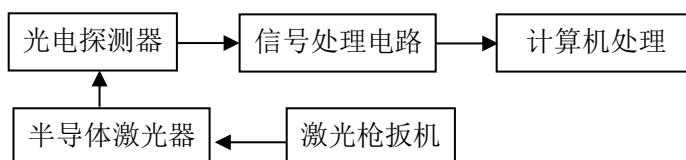


图 2-1 激光打靶系统原理图

半导体激光器^[4,5]一般平行地安装在武器装备的枪管、炮管或导弹发射架上，它可以发射一束与武器射击方向一致的激光脉冲。目前的激光器一般都采用半导体激光器，因为这种激光器的输出功率低，不会伤害眼睛，而且效率高、功耗小，不但可以摆脱大而重的电源设备，激光器本身也可以制作得很小、很轻。光电探测器^[6]具有射击靶的形状，可以是点探测器和面探测器，通常数量较多，构成多个信号检测通路。根据光电探测器的响应位置来判断激光射击击中的靶位。

激光打靶采用以光代弹的形式进行射击训练，是激光武器模拟器中最常见的一种。最初的激光打靶系统只能进行瞄准射击训练，随着计算机和微处理器技术的发展，其用途扩大到可进行多种武器的模拟训练。随着研究和探索的深入，激光打靶系统的功能将进一步完善，能够更接近于武器装备在实际使用中的表现，增强真实感。同时，通过与电子技术相结合，进一步提高激光模拟的自动化、智能化水平。

激光武器模拟器有以下几个方面的发展趋势：

（1）可以模拟的武器越来越多，激光武器模拟器正朝着系列化、组件化的方向发展，一个基本的激光射击模拟器只要稍加改动就可适用于其他武器系统。系列化、组件化的好处是便于使用、更换和维修，同时价格也便宜。

（2）从激光射击模拟器向激光交战模拟器发展，先进的激光交战模拟器能使坦克、战斗车辆、反坦克武器等有机的结合在一起进行训练，每部兵器既是攻击者，又是被攻击者，完全模仿实战中的作战环境，不仅能提高战士使用武器的技能，还可以教会他们如何在战争中保护自己。

（3）采用各种新技术增加模拟的逼真性，例如用计算机来记录、控制整个训练演习的进程，评定战士在演习中的表现等。

2.2 本设计方案思路

本设计以实现信号的良好检测和数据转换、传输为主要目的；以信号检测，信号编码和数据传输为主要设计内容。

在信号检测方面设计单脉冲小信号的放大电路和信号整形电路；在信号编码方面，要解决多路信号的编码问题，还要考虑到编码的优先选择问题；在脱靶问题的处理方法上，对打靶和信号采集传送进行同步化处理（详见第二章的硬件设计部分），把脱靶的情况与中靶的情况归为一类处理；数据传输采用 UART 串口通信。

2.3 研发方向和技术关键

- （1）合理划分激光靶的光电探测器，提高系统的精度；
- （2）单脉冲小信号的放大和整形；
- （3）多路优先编码器的扩展；
- （4）与微机进行数据传输，方便成绩的统计、保存、显示和查询。

2.4 主要技术指标

- （1）激光脉宽： 大于 1ms
- （2）激光脉冲响应幅度：约 10 mv
- （3）打靶距离： 30 米
- （4）串行输出帧格式： 射击次数 + 所击中的光电探测器的编号

3 总体设计

激光打靶系统是一种集光、电于一体的系统，其工作原理是激光枪发出的激光束，打到光电传感器上，经光电传感器将光信号转换为电信号，电信号经过信号处理后由单片机发送到计算机的串行口，然后在计算机上完成成绩显示、查询和保存等功能。

激光打靶系统结构的组成框图如图 3-1 所示。该系统包括半导体激光枪、模块式探测器、数字信号处理和发送电路、计算机数据处理程序等四部分。

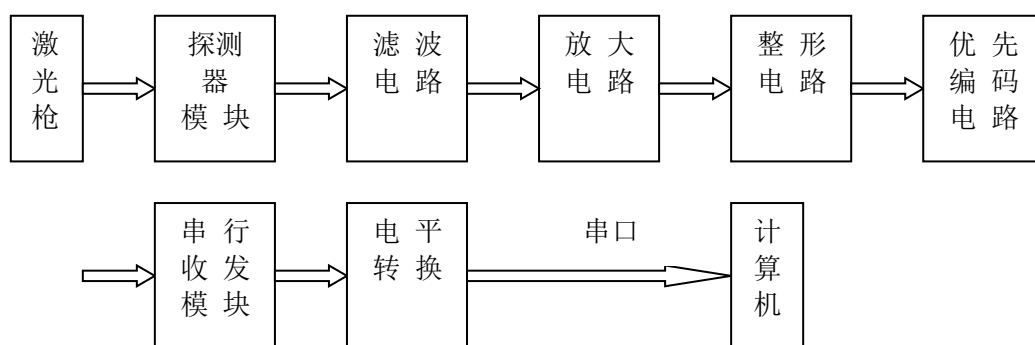


图 3-1 系统总体结构框图

3.1 激光的检测^[7,8]

每次打靶，激光枪发出一个激光脉冲。如果激光脉冲击中光电靶，利用光生伏特效应，光电靶上的探测器把光信号转换成电信号，因此激光的检测就是对探测器响应电信号的检测。光电探测器的响应是一个单脉冲小信号，整个检测过程包括：信号放大、波形整形，检测输出是标准的脉冲数字信号。

3.2 靶位的划分

把一个激光靶划分为 38 块探测器，中心 10 环为一块探测器；9. 8. 7. 6 环分别有 8 块探测器；5 环有 5 块探测器。根据不同靶位上的探测器来判断所击中的位置，包括环数：10. 9. 8. 7. 6. 5；偏离方向：上. 下. 左. 右. 左上. 左下. 右上. 右下。

若信号击中两块或四块探测器的交界，则只取其中一块为有效，记为有效的探测器满足以下条件：

- (1) 环数高；
- (2) 偏离方向为斜向（例如：上和右上两方向，选择右上）。

根据上述要求，以及硬件电路设计的需要，对不同的探测器进行编码，见图 3-2（右）。

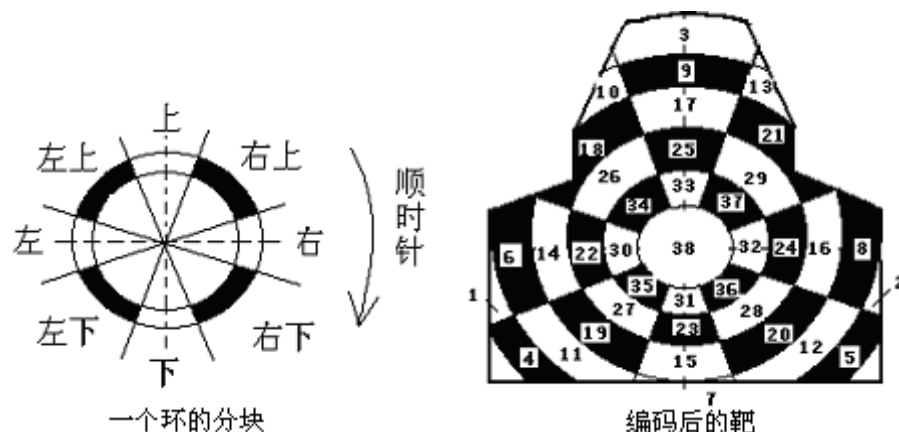


图 3-2 靶位划分与编号

3.3 编码标准

对 38 路信号按以上原则编码，编码结果如表 3-1。若脱靶无信号则记为 0 号。编码后，每一个号码对应了每一个探测器的位置信息，包括环数和偏移方向。对信号击中两块或四块探测器的交界的情况，只需取码号大的探测器为有效。这样，打靶的结果在硬件电路上的实现便可由 40—6 线优先编码器完成。

表 3-1 靶位编码

	上	右上	右	右下	下	左下	左	左上
10 环	38							
9 环	33	37	32	36	31	35	30	34
8 环	25	29	24	28	23	27	22	26
7 环	17	21	16	20	15	19	14	18
6 环	9	13	8	12	7	11	6	10
5 环	3	—	2	5	—	4	1	—

3.4 成绩的传送和处理

信号经编码后发送到计算机，由计算机进行译码，在计算机上模拟显示出射击位置，对一组结果进行统计（包括环数和方向偏移），并进行储存。

3.5 其他说明

系统分为硬件部分和软件部分。本论文主要设计制作硬件部分以及与微机的通讯的 2051 单片机程序。微机软件部分，包括数据的处理和显示等有另外一名毕业设计同学实现。

4 硬件设计

4.1 信号放大电路

在光电探测系统中，探测器输出的电信号非常微弱，一般为毫伏级。为记录每一次打靶的结果，信号放大与处理电路是打靶系统中不可或缺的。在探测器上直接进行信号处理十分困难，一种常用的解决办法是在探测器后接前置放大器，用来放大探测器的输出信号，然后成功地传输到信号处理系统的有关电路部分。前置放大器的设计 requirements 是低噪声，高增益，低输出阻抗，大的动态范围，和较好的抗噪声能力。

在激光打靶系统中，对光电池产生的脉冲信号的具体大小值要求不高，只需检测出有效的脉冲信号，因此可选用集成运放来组成运算放大电路。

通过测试，得到光电探测器对的激光脉冲的响应幅度典型值约为 5mv，若激光击中在两块或多块探测器边界处，则任何一块光电探测器的响应幅度会减少，因此所检测的脉冲幅度范围大约是 3~5mv。为使每块光电探测器均能检测出信号，使之达到 TTL 电平要求，实现信号检测，必须对信号放大约 1000 倍。单级运放难以达到这么高的放大倍数，因此采用二级运放进行放大，第一级为前置放大器。为减少前级放大器的偏移对后级放大器的影响，设计其放大倍数 $A_1 = 100$ ；从而次级放大器的放大倍数 $A_2 = 10$ 。

4.1.1 集成运算放大器（LM324）

集成运算放大器是实现高增益放大功能的一种集成器件^[9]，早期主要用来实现对模拟量进行数学运算的功能，目前随着器件性能的改进，它已成为通用的增益器件，应用范围非常广泛。

从电特性来看，集成运放接近理想的电压放大器件，它不仅有很大的输入电阻和很小的输出电阻，而且还有很高的电压增益，此外，静态工作时，它的输入和输出电位均为零，这样，在与其它集成运放连接时，就不需要考虑它们之间的电平配置问题。

LM324 是四通道的低功耗运算放大器，它的内部包含四组形式完全相同的运算放大器，除电源共用外，四组运放相互独立，其性能参数有以下几个方面：

- （1）单电源工作方式，工作电平 3V~ 30V
- （2）低消耗电流：约 0.8 mA
- （3）低输入偏移：输入电压偏移：3 mv (Typ)；输入电流偏移：2 nA (Typ)
- （4）开环增益：100V/mv = 100 dB (Typ)
- （5）宽响应频带

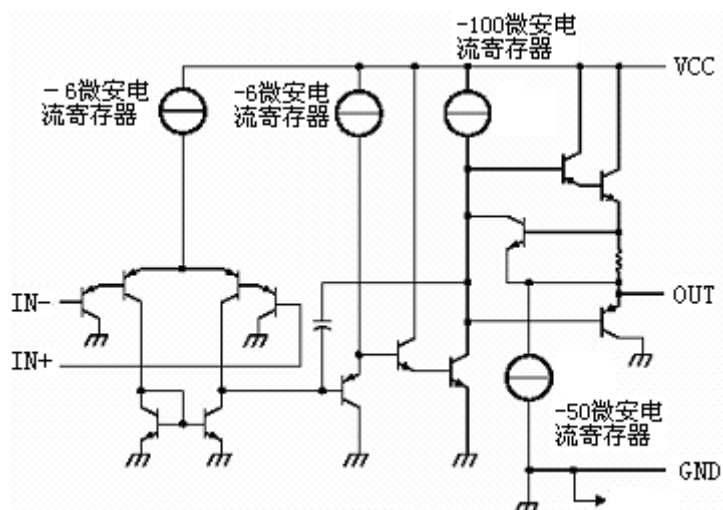


图 4-1 LM324 内部结构

4.1.2 放大电路图

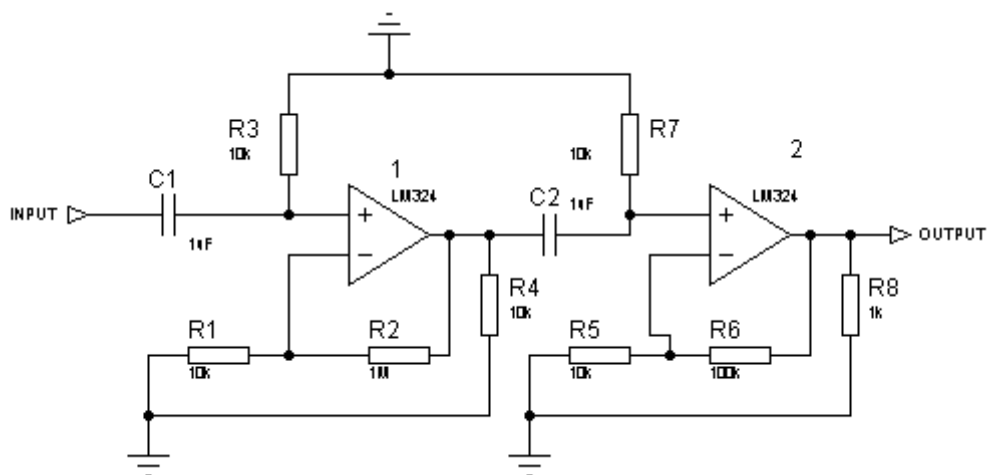


图 4-2 运算放大器电路图

放大器电路如图 4-2 所示。它由两级结构相同的同相放大器组成，集成放大器选用 LM324（图 4-1）。信号经隔直流电容 C1 从第一级放大器的正端“+”输入，经过放大后输出，再经过级间耦合电容 C2 输入第二级放大器的正端。前级的放大倍数 $A_1 = R_2/R_1 = 100$ ，后级的放大倍数 $A_2 = R_6/R_5 = 10$ ， R_3 和 R_7 为输入匹配电阻。

4.1.3 电路原理

（1）同相放大器^[10]（图 4-3）

集成运放是一种十分理想的增益器件，性能好，使用方便。该电路采用 2 级放大器级联，每级的放大器均采用同相放大。

由集成运放构成的同相放大器，其特点是输入信号加在同相输入端，而反馈信号加在反相端。根据理想化条件，由于 $v_+ = v_s$ ，因而 $v_- \approx v_s$ 。根据 $i \rightarrow 0$ （虚断）， v_- 又是 v_o 在 R_1 上的分压值，即：

$$v_- = v_o \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (4-1)$$

因而，放大器的增益：

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (4-2)$$

$\therefore A_{vf} > 0$ ，所以 v_o 与 v_s 同相。

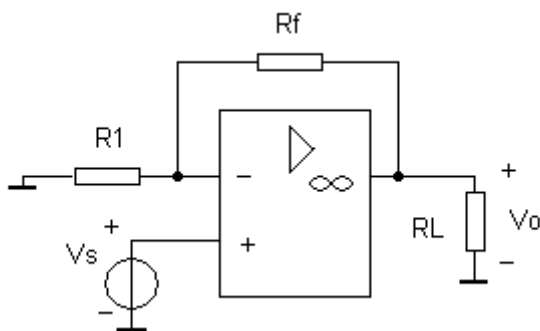


图 4-3 同相放大器

(2) 外围电路

光电传感器对外部光线也有响应，因此必须滤除这种干扰。由于背景光线是持续信号，其响应主要是直流量，在第一级放大器输入端的前面设计接入一个 1uF 电容 C1 起到隔离直流作用，能起到很好的效果。第二级的 1uF 电容 C2 用于两级放大器的耦合。

第一级放大器输入端和地之间接 R3；第二级放大器输入端和地之间接 R7。使得：

$$\begin{cases} R_3 \approx R_1 // R_2 \\ R_7 \approx R_5 // R_6 \end{cases} \quad (4-3)$$

这样，运放的正、负输入端对地的等效电阻相等，从而降低运放的电压偏移。

4.1.4 电路参数

- (1) 输入脉冲幅度： $U_i \approx 3 \sim 5\text{mv}$
- (2) 输入电阻： $R_i \approx 10\text{k}\Omega$
- (3) 输出电阻： $R_o \approx 1\text{k}\Omega$
- (4) 放大倍数： $A = A_1 \cdot A_2 \approx 10 \times 100 = 1000$
- (5) 放大器级数：两级，前级 $A_1 \approx 100$ ；后级 $A_2 \approx 10$
- (6) 耦合方法：电容耦合

4.2 整形电路^[11]

光电池的输出脉冲并不是规则的矩形脉冲信号，而是类似升余弦信号。再经放大后也会产生失真，因此必须对信号进行整形。采用常用的 CD4093 施密特触发器便可实现整形功能，改善脉冲波形，确保后续编码器的正常编码。

施密特触发器不仅可以进行波形整形，它的迟滞特性还可以有效地克服噪声

和干扰的影响，只要噪声和干扰的大小处在迟滞宽度内，就不会有错误的输出。施密特触发器属于电平触发，对于缓慢变化的信号仍然适用，当输入信号达到阈值电压时，电路状态发生转换，通过电路内部的正反馈过程使得输出电压的波形的边沿变得很陡峭。利用施密特触发器可以实现有效脉冲的识别见图 4-5。

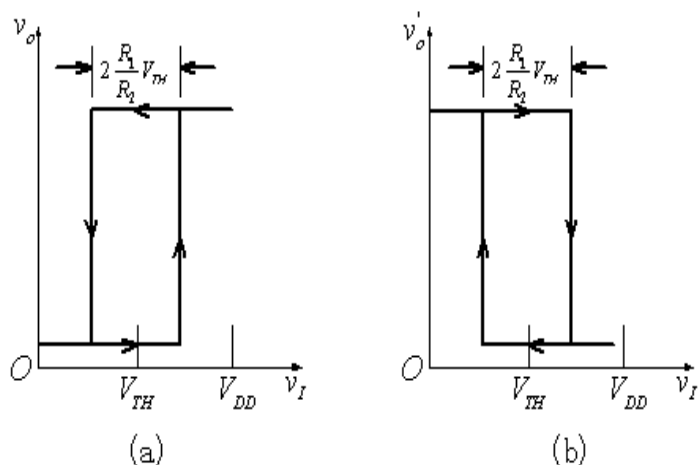


图 4-4 施密特触发器的电压传输特性 (a) 同相输出； (b) 反相输出

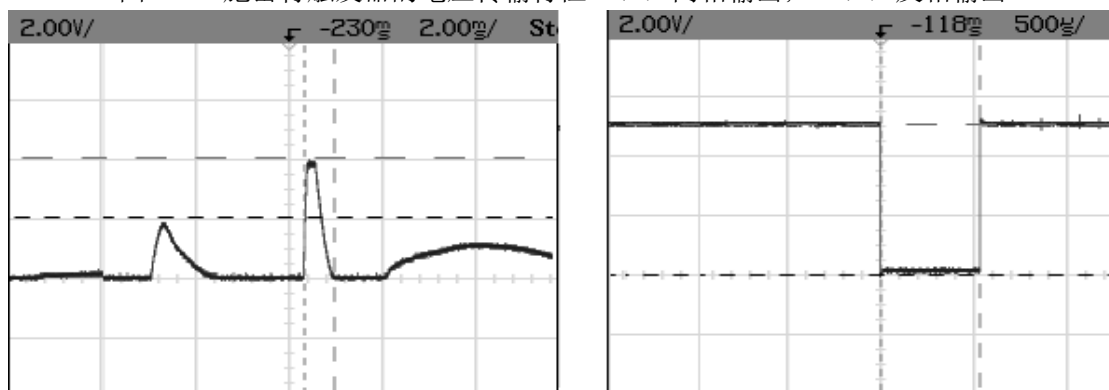


图 4-5 利用施密特触发器实现有效脉冲的识别

4.3 编码电路^[11]

对于 38 路信号通道，必须对其进行编码以便于信号识别和传输。38 路信号按照设计方案编码为 1—38 号，脱靶无信号记为 0 号。对多个探测器同时接收到信号的情况，对应于探测器的码号就是取码号大的探测器为有效，采用优先编码器便可实现编码的优先选择。

商用的单个优先编码器的编码输入最多只有 8 路，要构成更多路的优先编码器，可以采用 6 片 8—3 优先编码器进行扩展为 40—6 优先编码器。

4.3.1 编码电路图

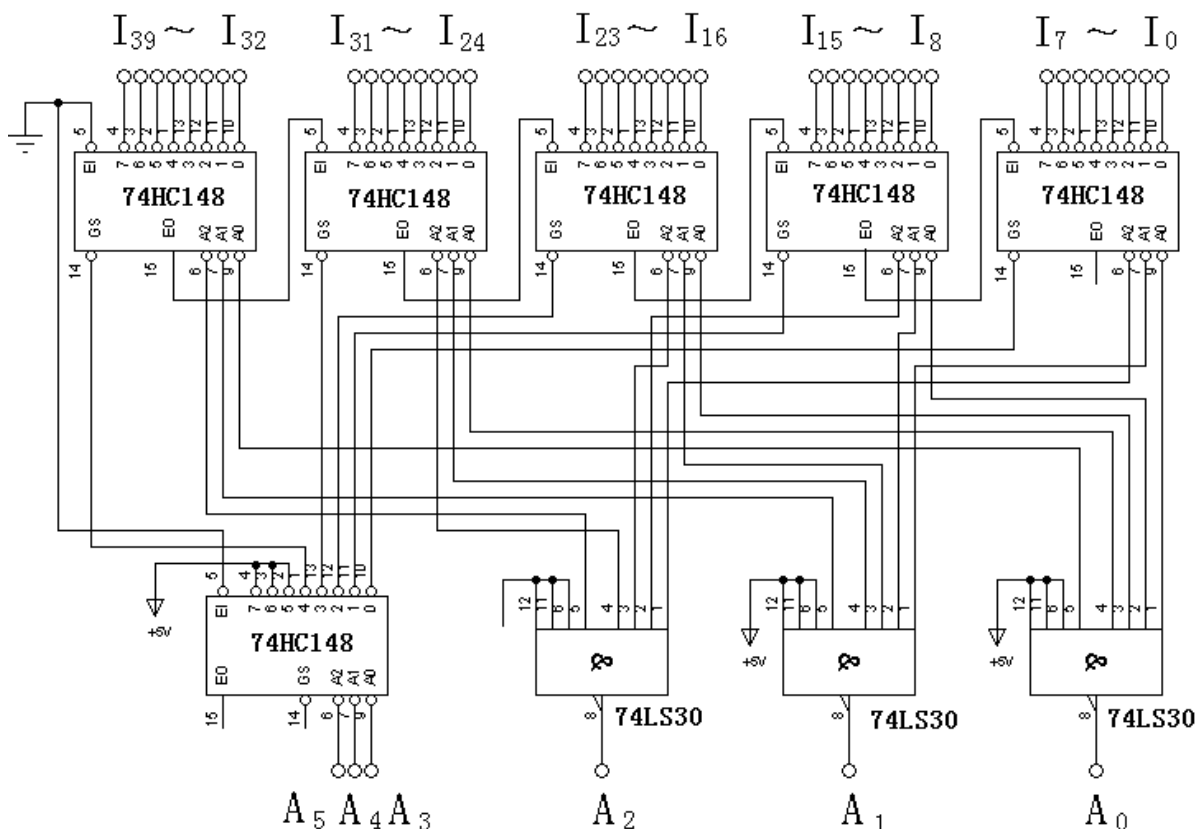


图 4-6 40-6 优先编码器电路图

4.3.2 电路原理

(1) 优先编码器 (74HC148)

8—3 线优先编码器的功能表如图 3-7。待编码的 8 条输入线 $I_7 \sim I_0$ 采用 8 中取 1 码，逻辑 0 有效，编码后的输出 $A_2 A_1 A_0$ 用反码表示。可以看出，编码器是以输入为 0 的最高优先编码的，而低位若同时输入 0，则是无意义的。此外，电路还设有选通输入，即使能端 EI，它也是逻辑 0 有效；输出还设有允许输出端 Eo 及允许扩展端 Gs，利用它们可判断出 $A_2 A_1 A_0$ 是否有效，以及是否允许扩展编码。

根据真值表，写出编码器的逻辑表达式如下：

$$\begin{aligned} \overline{A_2} &= \overline{EI} \cdot \overline{I_7} + \overline{EI} \cdot I_7 \cdot \overline{I_6} + \overline{EI} \cdot I_7 \cdot I_6 \cdot \overline{I_5} + \overline{EI} \cdot I_7 \cdot I_6 \cdot I_5 \cdot \overline{I_4} \\ &= \overline{EI}(\overline{I_7} + I_7 \overline{I_6} + I_7 I_6 \overline{I_5} + I_7 I_6 I_5 \overline{I_4}) \\ &= \overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + \overline{I_5} + \overline{I_4}) \end{aligned} \quad (4-3)$$

$$\text{故: } A_2 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + \overline{I_5} + \overline{I_4})} \quad (4-4)$$

$$\text{同理: } A_1 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + I_5 \overline{I_4} \overline{I_3} + I_5 \overline{I_4} \overline{I_2})} \quad (4-5)$$

$$A_0 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + I_6 \overline{I_4} \overline{I_3} + I_6 \overline{I_4} \overline{I_2} \overline{I_1})} \quad (4-6)$$

$$\text{而允许输出为: } E_o \ E_0 = \overline{\overline{EI} \cdot I_7 I_6 I_5 I_4 I_3 I_2 I_1 I_0} \quad (4-7)$$

$$\text{允许扩展端是: } G_s = EI + \overline{\overline{EI} \cdot I_7 I_6 I_5 I_4 I_3 I_2 I_1 I_0} = \overline{\overline{EI} \cdot E_o} \quad (4-8)$$

INPUTS									OUTPUTS				
EI	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO
H	X	X	X	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	H
L	X	X	X	X	X	X	L	H	L	L	H	L	H
L	X	X	X	X	X	L	H	H	L	H	L	L	H
L	X	X	X	X	L	H	H	H	L	H	H	L	H
L	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	L	H
L	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L	H
L	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H

图 4-7 8-3 线优先编码器真值表（74HC148）

（2）8-3 线优先编码器扩展为 40-6 线优先编码器（图 4-6）

5 片 74HC148 并排用作输入，其输入从低位片到高位片排列为 $I_0 \sim I_{39}$ 。每一个高位片的输出允许端 E_o 接其相对低位片的使能端 E_i 。这样，当总使能 $E_i=0$ 时，允许电路进行编码工作，若高位片的诸输入中有一个为 0 时，该片的 $E_o=1$ ， $G_s=0$ ，这样就禁止了低位片的编码，以此类推，5 片 74HC148 的输入端编码便具有了优先性。

5 片 74HC148 的允许扩展端 G_s 按低位片至高位片的顺序分别接到第六片 74HC148 的 I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 输入端，而 I_5 、 I_6 、 I_7 端则接高电平（表示无输入）。这样第六片 74HC148 的三位输出便表示整个 40-6 线优先编码器的高三位 A_5 、 A_4 、 A_3 。而 40-6 线优先编码器的低三位输出 A_2 、 A_1 、 A_0 与前 5 片 74HC148 的输出端一致。

由于 74HC148 的输出端不是三态门，不能直接连接在一起。而把 5 片 74HC148 的同名输出端接到 74LS30（8 输入的与非门）取与非便可以解决这个问题。同时输出取反，输出为逻辑 1 有效。为使高三位输出与低三位输出一致，用 CD4049 反相器对高三位取反。

40-6 线优先编码器的六个输出均为逻辑 1 有效，可以接到后续的 2051 单片机进行串行传输。

4.4 串行传送

为实现将编码器输出的 6 位并行信号串行传送，同时实现数据发送和打靶射击的同步性。采用 89C2051 单片机便可实现要求。

4.4.1 单片机及外围电路图

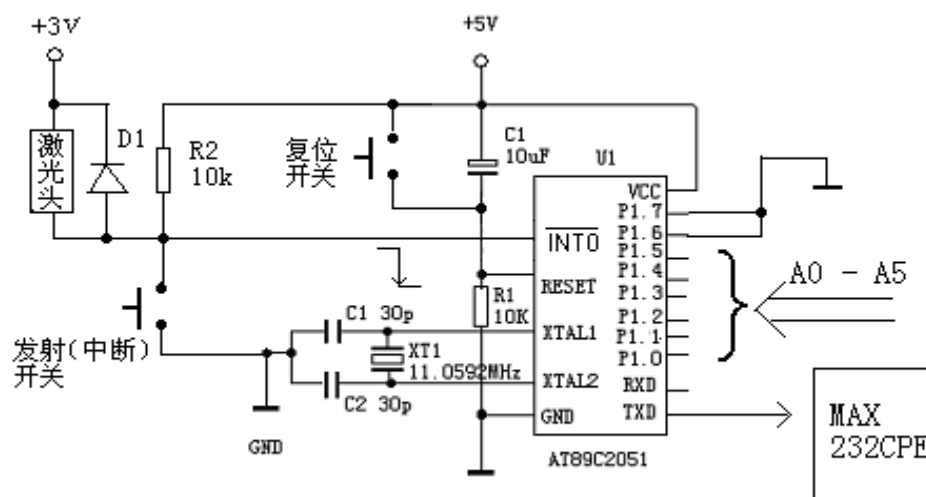


图 4-8 2051 单片机及其外围电路图

4.4.2 电路原理

- (1) 编码器的输出通过 2051 P1 口的低 6 位（高 2 位接地为逻辑 0）输入。
- (2) 选用 11.0592 MHz 的晶振构成单片机的时钟，这样在串口工作方式 1 下可得到准确的 9600bps 的串行波特率，方便计算机的接收。
- (3) 单片机接有复位开关按钮。
- (4) 实现打靶和信号采集传送的同步化。

由于采用单片机的外部中断 0 ($\overline{INT0}$) 作为数据串行传送的使能端，且 $\overline{INT0}$ 设为下降的跳变沿有效。使能开关（激光枪的开关）一端接地，另一端接 $\overline{INT0}$ ，又经上拉电阻接到电源，这样当开关按下时，便有下降沿的跳变信号输入 $\overline{INT0}$ ，产生中断。

同时，开关又要同步控制激光枪的发射。因此开关又接激光头的负端，从而控制激光头负端的接地，只有当开关按下时，激光头两端才有工作电压。

这样，同一个开关既控制单片机的中断，又同时控制激光枪的发射，从而达到打靶和信号采集传送这两个“动作”的同步化。

4.4.3 AT89C2051 单片机^[12]

AT89C2051 单片机是 AT89C51 的简化型号，其指令系统和内部 RAM 均与 AT89C51 相同。不同的是它的内部 ROM 为 2k，而 89C51 为 4k，而且 2051 比 89C51 少了 P0 和 P2 输入/输出口以及外部 ROM、RAM 的扩展端，因此在引脚上 2051 只有 20 个脚。AT89C2051 单片机主要适用于较为简单的微控制系统。在本系统中，用到 AT89C2051 的 6 个外部 I/O 口，一个外部中断和串行输出口。

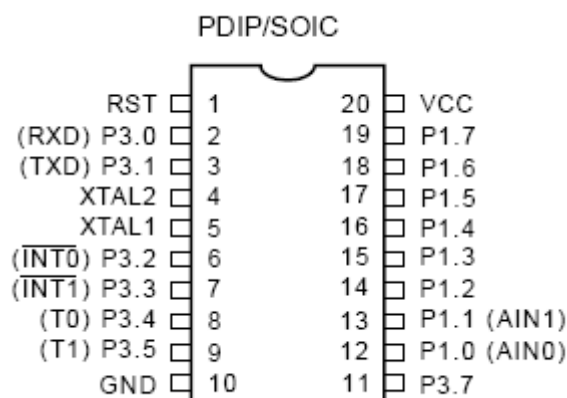


图 4-9 2051 信号引脚图

4.5 电平转换

在不同的数字系统中，其电平标准是不同的。该系统中就包括了 TTL 电平标准和 RS-232 电平标准，要实现两个标准的正常通信，必须进行电平转换。该系统采用使用简单的 MAX232CPE 芯片。

一片 MAX232CPE 芯片可完成 2 路 TTL/CMOS \sim RS-232 的电平转换和 2 路 RS-232 \sim TTL/CMOS 的电平转换。实际电路中只有一路单片机的 TXD 串口输出，不进行 RXD 串口输入。因此，选用引脚 11 接 2051 TXD 串口输出；而对应的 14 脚则接到计算机的串口输入端。

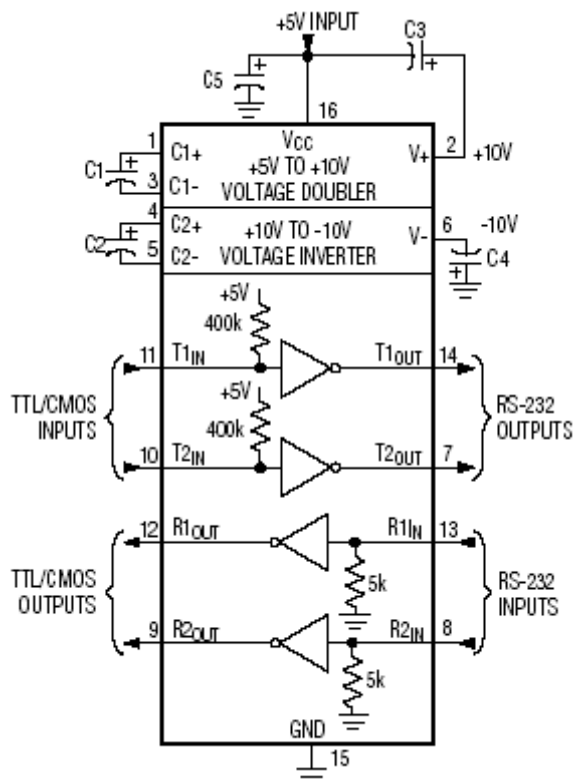


图 4-10 MAX232CPE 芯片内部结构

5 软件设计

5.1 总体方案

该系统的信号检测与数据传送部分，涉及的软件部分较少。主要是 2051 单片机数据串行通信及通信协议的程序设计。

对于 2051 的程序设计^[12]，由于所需实现的功能较简单，采用汇编的形式。编译器采用 Keil 7.02b。该编译器是 51 系列单片机程序设计的常用工具，既可用汇编，也支持 C 语言编译。同时具有完善的调试功能。

5.2 程序流图

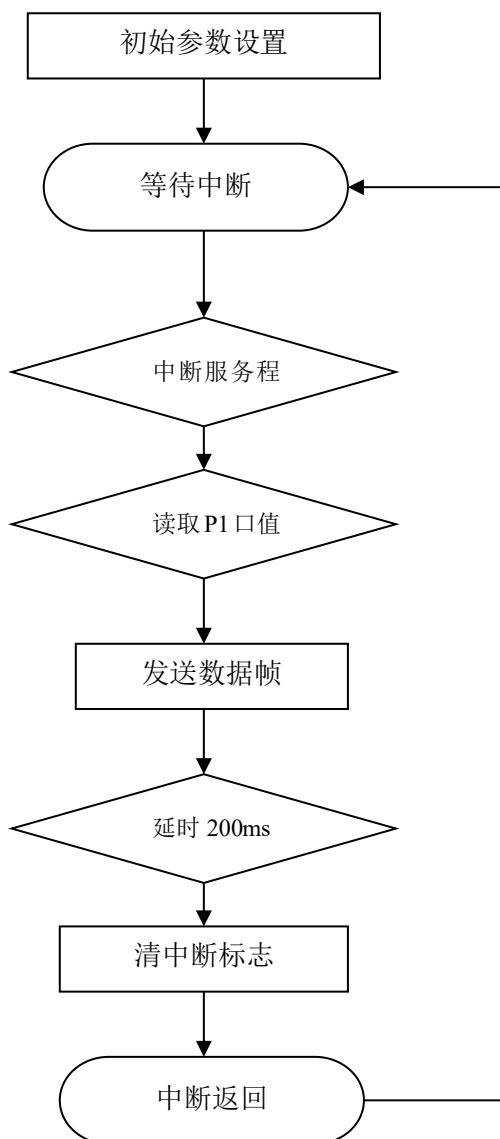


图 5-1 串行发送流程图

5.3 模块说明

(1) 主程序:

```
MAIN:
MOV SP,#0X60 ; 堆栈初始化
CALL INIT    ; 各寄存器参数设置
MOV 40H,#0x01 ; 打靶次数置 1
AJMP $       ; 等待中断
```

(2) 初始化程序:

```
INIT:
MOV TMOD,#0X21; 波特率发生器
MOV TL1,#0XFD ; 波特率 9600bps
MOV TH1,#0XFD
CLR ET1        ; 禁止 timer1
SETB PT1       ; 时钟 1 优先级:高
MOV SCON,#0x40; 串口工作模式 1, SM2=0, REN=0
MOV PCON,#0    ; 波特率 9600bps
SETB EA        ; 中断允许
CLR PS         ; 关闭串口中断
CLR ES         ; 串口优先级:低
SETB EX0       ; 开外部中断 INT0 SETB IT0      ; 下降沿有效
CLR PX0        ; INT0 优先级:低
SETB TR1       ; 时钟 1 开始计数
RET
```

(3) 中断服务程序:

```
_INT0:        ; ISR 中断服务程序
NOP
CALL DELAY_2MS ; 同步延时
MOV P1,#0xff  ; 读 P1 口前先置 1
MOV A,P1      ; 读 P1 口
CALL INT0_SEND
RET
```

(4) 数据帧传送子程序:

表 5-1 数据帧格式

标志位 SYNC	打靶次数	打靶成绩	校验位 CHECKSUM
# 0x30	TIMES	RESULT	TIMES+RESULT

例: 30 02 15 17 (十六进制)

表示第二次打靶，击中第 21 号（对应环数：7 环 偏移方向：右上）。

```

INT0_SEND:      ; 数据帧传送子程序
PUSH ACC        ; 保护 ACC
CLR A
ADD A,#0X30
CALL UART_SEND ; 发送标志位
MOV A,40H
CALL UART_SEND ; 发送打靶次数
POP ACC
CALL UART_SEND ; 发送打靶成绩
ADD A,#0X30
ADD A,0040H
CALL UART_SEND ; 发送校验位
INC 0040H      ; 打靶次数累加 1
CALL DELAY_200MS; 延时 200ms
CLR EX0        ; 关外部中断
CLR IE0        ; 清 INT0 外部中断请求标志位——防止外部中断寄存而引起多次中断。
SETB EX0       ; 开中断
RETI

```

（5）串行发送字节

```

UART_SEND:      ; 串行发送一个字节
MOV SBUF,A
JNB TI,$        ; 等待发送完毕
CLR TI
RET

```

（6）定时程序：

```

DELAY_2MS:      ; 用定时器延时 2ms
MOV R7,#21;21
DLY1:MOV R6,#42
DLY2:DJNZ R6,DLY2
DJNZ R7,DLY1
RET
DELAY_10MS:     ; 调用 DELAY_2MS，实现延时 10ms
MOV R5,#5

```

DLY: CALL DELAY_2MS

DJNZ R5,DLY

RET

6 制作与调试

6.1 硬件电路的布线与焊接

6.1.1 总体特点

该系统所涉及的各部分硬件电路，总体的特点是：

- （1）电路原理简单，所用的器件均为常用器件。
 - （2）由于路数较多（38 路），电路的规模较大，因此在制作中只做了 8 路。
- 因此，应合理布线，以降低焊接难度，降低出错率，同时防止干扰。

6.1.2 电路划分

为方便焊接与调试，把电路划分为两大块：

- （1）探测器接收，放大电路和整形电路为一块电路板；
- （2）编码器、2051 单片机和控制开关为一块电路板；

6.1.3 焊接

焊接前应熟悉各芯片的引脚，焊接时参照电路图，仔细地连接引脚。按照以下原则进行焊接：

- （1）先焊接各芯片的电源线和地线，这样确保各芯片有正确的工作电压；
- （2）同类的芯片应顺序焊接，在一片焊接并检查好之后，其他的同类芯片便可以参照第一片进行焊接。这样便可大大节省时间，也可降低出错率。

6.2 调试

（1）在 40—6 线优先编码器，由于没有详细阅读优先编码器的真值表，我认为优先编码器为低位优先，因此所设计的编码标准（取小号有效）不符合标准。不过发现错误后，对硬件电路无需修改，只要修改编码标准为取大号有效，便可以解决问题。

（2）由于光电池的响应信号经放大、编码，到达单片机 P1 口时有一定的延时，为使单片机准确地通过外部中断进行有效数据的采集，应知道延时的大概范围。编写单片机程序时，编写了一个延时 2ms 的子程序，可以调用进行一定的延时，通过延时时间不同的程序进行多次烧录并进行调试，然后比较所得的不同结果，这样便可以大概知道要采集正确的数所需的延时时间（最后程序采用的延时时间为 2ms）。

（3）电路中同时控制激光发射和单片机外部中断的开关为普通的按钮开关，因此在按下和弹起都有颤动，这样会引起单片机外部中断的多次响应，使一次“射击动作”引起多次响应，单片机输出多个值。通常的消颤方法有两种：硬消颤和软消颤。硬消颤指通过硬件上的消颤电路使开关的一次动作只能产生一个脉冲跳

变；而软消颤主要通过延时或对响应的屏蔽来实现。在该设计中采用较为简便的软消颤，具体的方案见第五章。

7 结论

本设计方案达到了任务书的要求，实现了激光信号的检测、编码和串行传输，实现了较为完整的激光打靶系统的信号处理：

（1）前端放大器的放大倍数适中，放大后，有效电压脉冲的幅度达到施密特触发器的上门限电压，背景干扰信号没有引起电路的误响应；

（2）经过调试，实现 40—6 优先编码器的扩展，编码值输出符合真值表，编码有效脉冲下降沿的波形正常；

（3）由开关按钮（模拟激光枪的扳机）控制的编码采集和串行传送也调试实现（通过与计算机的串口相连，用“串口调试程序”调试）；

（4）信号处理电路通过串口连接到计算机，应用张雪荣同学设计的“激光打靶成绩统计”软件进行总体调试，实现对打靶成绩的显示统计和储存。

由于时间、水平和经验有限，在信号的放大、编码及抗干扰等方面仍有不足之处，有改进的余地，比如电路规模的精简，其他的光干扰处理。另外在系统的调试方面，由于时间和设备的原因，只进行了短距离的调试，有待进一步的调试。

这次毕业设计对于我来说，既是一次机遇，又是一次挑战。通过这次的毕业设计，我学到了很多的东西，通过自己的实践，增强了动手能力。通过实际工程的设计也使我了解到书本知识和实际应用的差别。在实际应用中遇到很多的问题，这都需要我对问题进行具体的分析，并一步一步地去解决它。

致谢

在这几个月的时间里，从对课题的理解，方案的设计，到电路的制作，再到论文的写作，中间有着自己的努力，更有着老师和同学的关心和巨大的帮助。

感谢秦会斌老师在很忙的情况下，为我讲解课题的要点，引领设计的思路。他对学生认真负责的态度让我由衷地敬佩。

感谢唐大勇和章国平同学给予我无私的帮助，他们对我所遇到的难题的解答让我受益匪浅。

感谢罗老师对我们的关心照顾。

感谢母校和老师们在大学四年中对我的培养。

.....

参考文献

- [1] 刘伯来, 宋作本, 徐忠瑞. 激光模拟射击训练器械及其射击精度的检定方法[J]. 山东体育科技, 2002. 24 (4): 17-19.
- [2] 任宏岩, 戴炳明. 一种新型激光射击训练模拟靶的设计[J]. 大连理工大学学报, 1997, 37 (增 2): 186-187.
- [3] 戴炳明, 任宏岩, 张雏. 智能型光电打靶模拟训练系统[J]. 半导体光电, 1998. 03:196-197.
- [4] 黄德修, 刘雪峰. 半导体激光器及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999:1-27.
- [5] Jia Yi Liang, Colin.S.Aitchison. "An optical photo-detector using a distributed amplifier and P-I-N photodiode combination" [J]. IEEE MTT-S Microwave Symposium Digest, 1994, (2):1101-1104.
- [6] A. Goetzberger, C. Hebling. "Photovoltaic Materials, past, present, future" [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2000, (62):1-19.
- [7] 高稚允, 高岳. 光电检测技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995:172-212.
- [8] 江月松. 光电技术与实验[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000:119-152.
- [9] W. G. 荣格. 集成运算放大器应用手册[M]. 北京: 世界图书出版公司, 1990:3-72.
- [10] 谢嘉奎等. 电子线路[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999:321-323.
- [11] 龚之春. 数字电路[M]. 成都: 电子科技大学出版, 1999:123-127.
- [12] 李广弟. 单片机基础[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994:6-28.

附录