

杭州电子科技大学

本科毕业设计

(2025 届)

题 目 XXXXXXX

学 院 理学院

专 业

班 级

学 号

学生姓名

指导教师

完成日期 2024 年 10 月

诚 信 承 诺

我谨在此承诺：本人所写的毕业论文《XXXXXXX》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

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，是和平时期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。

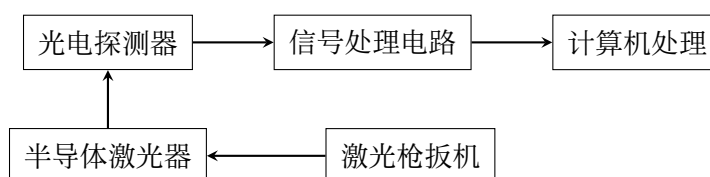


图 2-1 激光打靶系统原理图

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 1 ms
- （2）激光脉冲响应幅度：约 10 mV
- （3）打靶距离： 30 m
- （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。

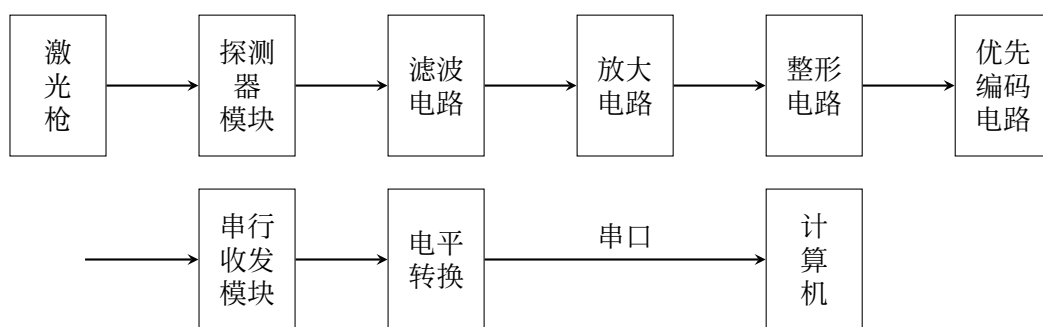


图 3-1 系统总体结构框图

3.1 激光的检测

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）。

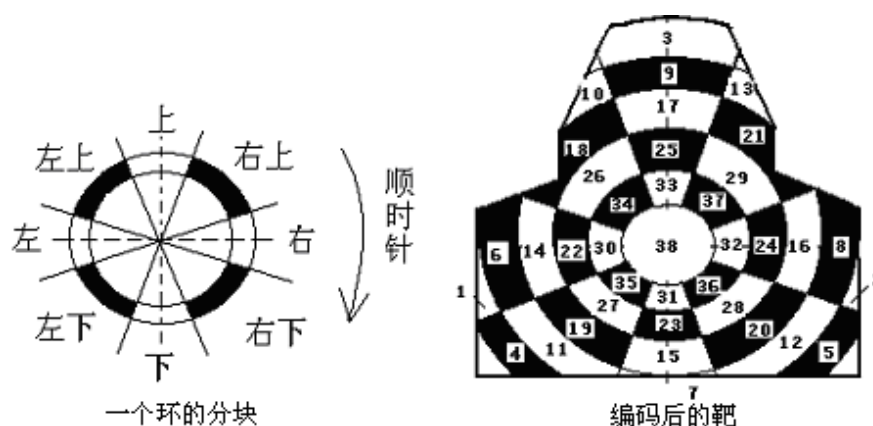


图 3-2 靶位划分与编号

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 5 mV，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 ~ 5 mV。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，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 3 V ~ 30 V
- (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：100 V/mV = 100 dB (Typ)
- (5) 宽响应频带

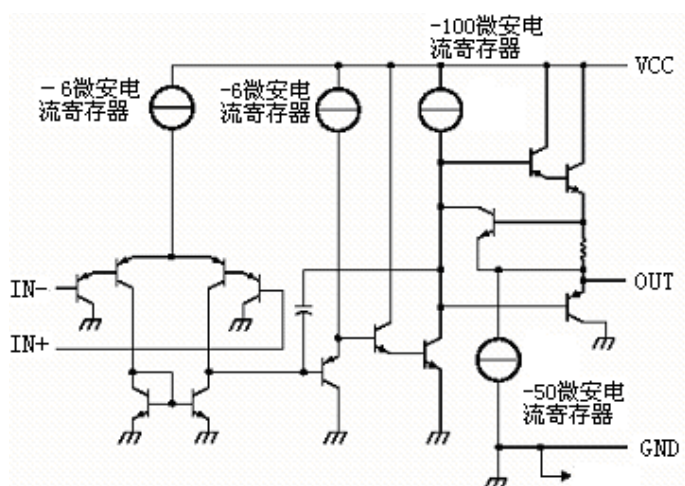


图 4-1 LM324 内部结构

4.1.2 放大电路图

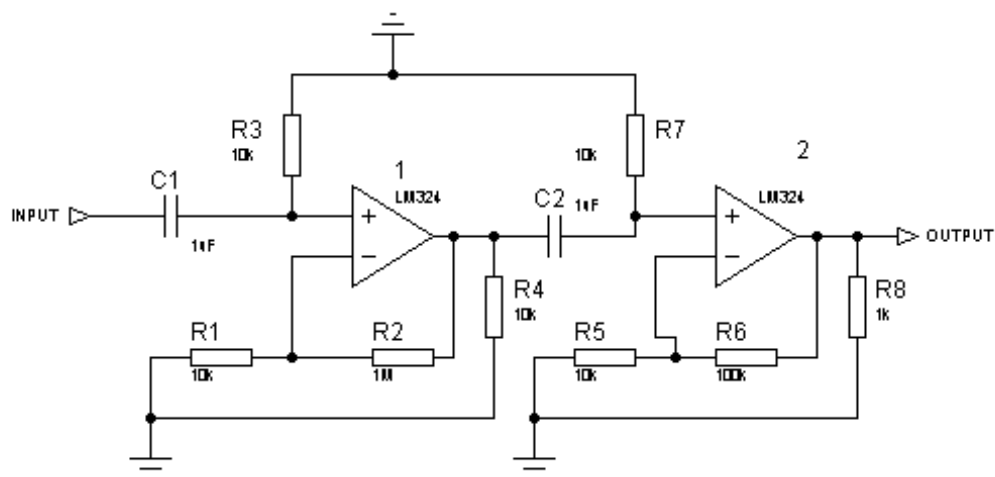


图 4-2 运算放大器电路图

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（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 $v_- \approx v_s$ 。更具 $i \rightarrow 0$ （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。

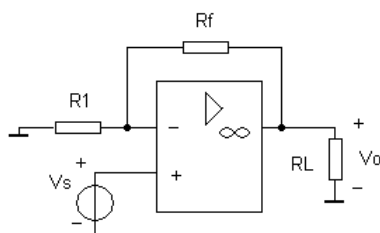


图 4-3 同相放大器

(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 $1\mu\text{F}$ 电容 C1 起到隔离直流作用, 能起到很好的效果。第二级的 $1\mu\text{F}$ 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 R_3 ; 第二级放大器输入端和地之间接 R_7 。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

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。

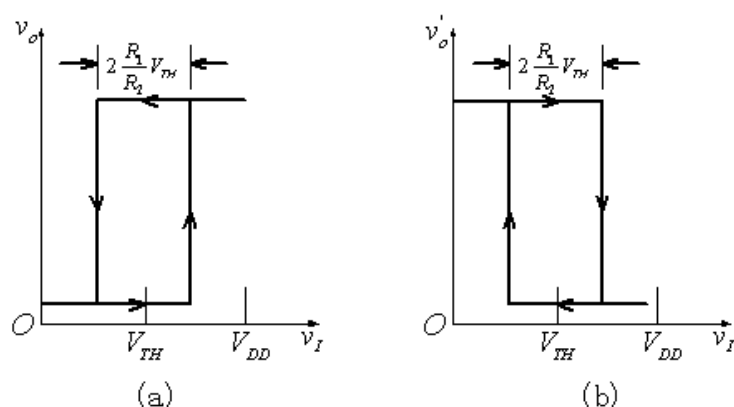


图 4-4 施密特触发器的电压传输特性 (a) 同相输出；(b) 反相输出

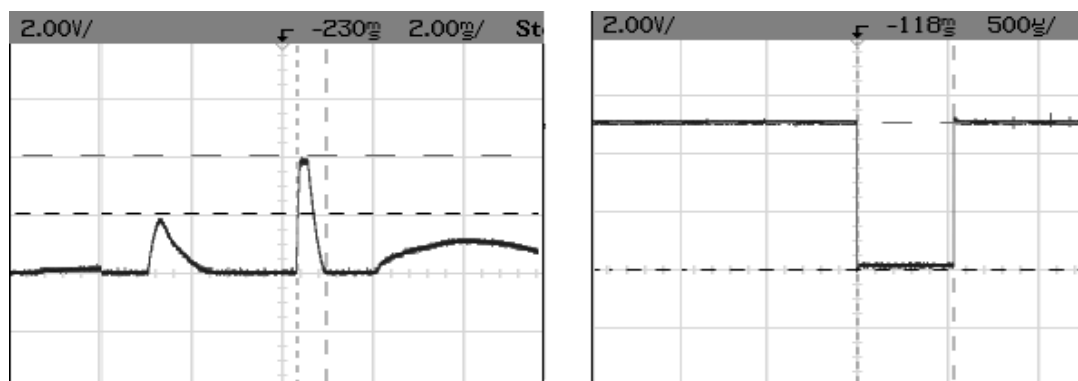


图 4-5 利用施密特触发器实现有效脉冲的识别

4.3 编码电路

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

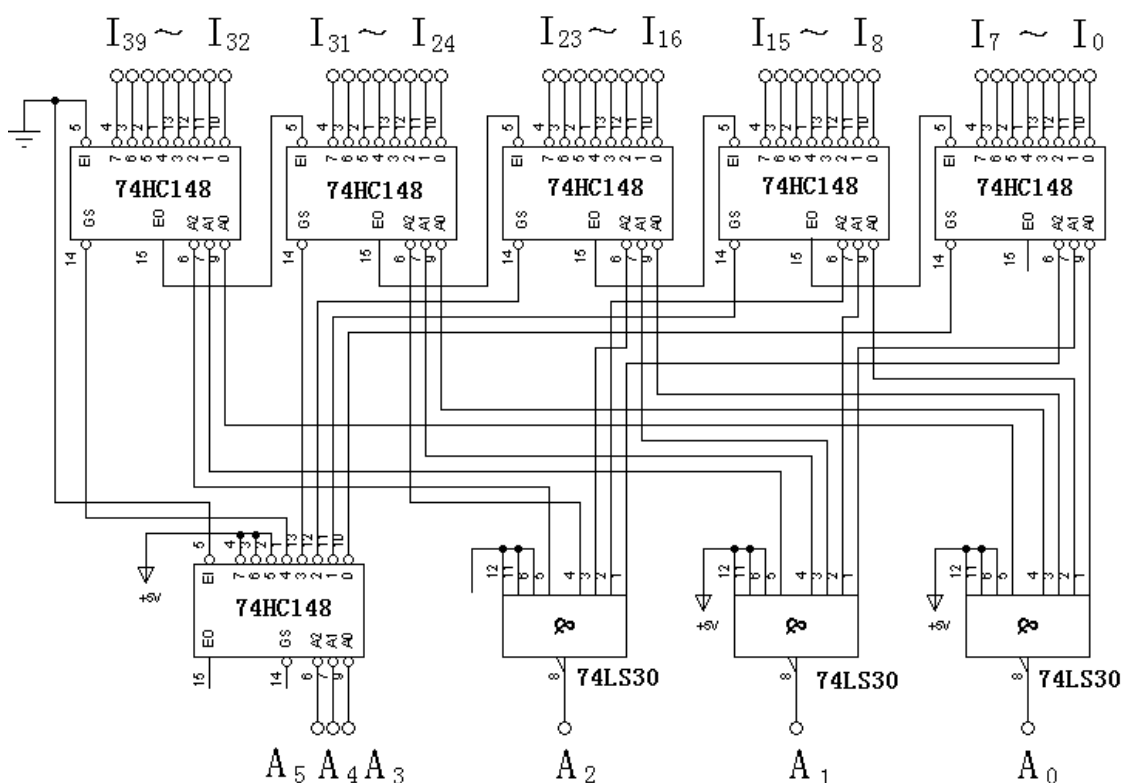


图 4-6 40-6 优先编码器电路图

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表 4-1。待编码的 8 条输入线采用 8 中取 1 码，逻辑 0 有效，编码后的输出用反码表示。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：

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

$$\text{故} \quad A_2 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + \overline{I_5} + \overline{I_4})} \quad (4-5)$$

$$\text{同理:} \quad A_1 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + \overline{I_6} + I_5 \overline{I_4} \overline{I_3} + I_5 \overline{I_4} I_2)} \quad (4-6)$$

$$A_0 = \overline{\overline{EI}(\overline{I_7} + I_6 \overline{I_5} + I_6 \overline{I_4} \overline{I_3} + I_6 \overline{I_4} I_2 \overline{I_1})} \quad (4-7)$$

$$\text{而允许输出为:} \quad E_O E_0 = \overline{\overline{EI} \cdot I_7 I_6 I_5 I_4 I_3 I_2 I_1 I_0} \quad (4-8)$$

允许扩展端是：

$$Gs = EI + \overline{\overline{EI} \cdot I_7 I_6 I_5 I_4 I_3 I_2 I_1 I_0} = \overline{\overline{EI} \cdot E_O} \quad (4-9)$$

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	L	L	H
L	X	X	X	X	L	H	H	H	L	H	L	L	H
L	X	X	X	L	H	H	H	H	X	L	L	L	H
L	X	X	L	H	H	H	H	H	X	L	H	L	H
L	X	L	H	H	H	H	H	H	X	H	L	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	X	H	H	L	H

表 4-1 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）

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。

.....