

普通高等教育“十二五”规划教材  
国家级光电工程实验教学示范中心系列实验教材

# 光电探测、制导 与控制技术实验教程

主 编 韩文波  
副主编 冷 雪 赵 馨

清华大学出版社

# 光电探测、制导 与控制技术实验教程

主 编 韩文波  
副主编 冷 雪 赵 馨  
参 编 李鹏飞 郑文波 宋鸿飞

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书分为4篇。第1篇为计算机控制技术实验,包括过程通道采集与数据处理实验、开环和闭环的数字控制实验、控制系统应用等22个实验项目。第2篇为导弹制导与控制技术实验,包括三自由度直升机模拟实验、飞行器姿态测量实验等5个实验项目。第3篇为导航与定位技术实验,包括GPS定位与导航实验、平面坐标及空间坐标转换实验、惯性导航与定位实验、组合导航与定位实验、导航定位系统应用实验共5个实验项目。第4篇为遥感原理与应用实验,包括ERDAS软件介绍及视窗基本操作、遥感图像的几何校正、雷达解译及遥感图像的监督分类和非监督分类4个实验项目。

本书可作为高等学校探测制导与控制技术、信息对抗技术、测控技术与仪器专业本科生及研究生的实验教材,还可作为其他相关专业的选修课实验教学参考教材,也可供光电技术领域的科技工作者参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

光电探测、制导与控制技术实验教程/韩文波主编.--北京:清华大学出版社,2014

ISBN 978-7-302-34548-0

I. ①光… II. ①韩… III. ①光电探测—实验—高等学校—教材 ②光电制导—实验—高等学校—教材 ③光电子技术—控制系统—实验—高等学校—教材 IV. ①TN215-33 ②V448-33 ③TN29-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第282587号



责任编辑:孙 坚 洪 英

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.25 字 数:344千字

版 次:2014年5月第1版 印 次:2014年5月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:32.00元

产品编号:054130-01

实验教学是实践教学的一个重要环节。随着高校教育的深入改革和多媒体教学的普及,专业基础课和专业课教学的学时减少,实验和实践教学的学时和地位逐渐加强。学生只有通过足够的验证性实验和一定数量的综合、设计性实验才能真正理解和掌握相关理论知识。提高学生的动手能力、实践能力已经成为高校改革的主攻方向之一。如何应用实验教学环节来提高动手能力显得格外重要。我们组织在光电探测和控制领域具有较高造诣的一线教师编写了本书,以适应教学改革的需要。

本书以新的实验室建设理念为指导思想,以提高学生的动手与动脑能力为目标,努力为培养新一代创新高科技人才,以适应高速发展的现代科学技术的需要服务。本书参考了相关教学实验设备和一些具有创意性的实验仪器的说明书,并结合作者多年从事理论教学和实验教学经验编写而成。

本书共分为4篇。

第1篇计算机控制技术实验共有6章,由韩文波、宋鸿飞编写,包括过程通道采集与数据处理实验、开环和闭环的数字控制实验、数字控制器的直接设计等16个验证性实验和计算机控制系统应用的6个综合、设计性的实验。目的是使学生掌握计算机智能控制的基本原理及设计方法,并能应用基本设计方法完成计算机控制系统的综合应用,从而培养学生解决工程控制领域实际问题的能力。第2篇导弹制导与控制技术实验共有5章,由韩文波、李鹏飞编写,包括导弹制导与控制系统组成原理、光纤数字陀螺两个验证性实验和三自由度直升机模拟、飞行器姿态测量、四旋翼无人机控制三个综合、设计性实验。目的是使学生掌握导弹制导与控制技术课程中弹上控制器的模拟设计、陀螺测速及应用陀螺、加速度计组成的姿态测量元件实现姿态测量,从而加深对导弹的姿态测量系统、稳定系统及目标定位与跟踪系统的理解。第3篇导航与定位技术实验共有5章,由赵馨编写,包括GPS定位与导航、平面坐标及空间坐标转换、惯性导航与定位三个验证性实验和组合导航与定位、导航定位系统应用两个综合设计性实验。目的是使学生掌握GPS导航、惯性导航和组合导航技术,并能应用导航器件实现飞行器上导航系统的设计与应用。第4篇遥感原理与应用实验共有4章,由冷雪、郑文波编写,包括ERDAS软件介绍及视窗基本操作、遥感图像的几何校正、雷达解译及遥感图像的监督分类和非监督分类4个实验。目的是使学生在掌握遥感技术基本原理的基础上了解遥感影像处理软件及遥感影像处理方法,提高学生的实际操作技能。

本书由长春理工大学韩文波主编,并负责全书的策划与统稿。来自长春理工大学光电工程学院的韩文波、冷雪、赵馨、宋鹏飞、郑文波、宋鸿飞6名一线教师组成编写组,分别编写

了各自主讲和擅长的部分,可以说本书的出版是编写组成员集体智慧的结晶。除此之外,在本书的编写过程中,很多同行朋友提供了很多有价值的素材和建议,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2014年4月

<b>第 1 篇 计算机控制技术实验</b> .....	1
第 1 章 过程通道采集和数据处理实验 .....	1
1.1 基于 ADC0809 的数据采集系统 .....	1
1.2 过程输出通道实验 .....	5
1.3 信号的采样与保持 .....	8
1.4 数字滤波 .....	13
第 2 章 开环系统的数字程序控制 .....	17
2.1 数字脉冲分配器和步进电机调速控制 .....	17
2.2 数字 PWM 发生器和直流电机调速控制 .....	19
第 3 章 数字 PID 闭环控制 .....	23
3.1 数字 PID 控制算法 .....	23
3.2 积分分离法 PID 控制 .....	23
3.3 带死区的 PID 控制 .....	27
3.4 简易工程法整定 PID 参数 .....	29
第 4 章 数字调节器直接设计方法 .....	34
4.1 最小拍控制系统 .....	34
4.2 大林(Dahlin)算法 .....	38
第 5 章 智能控制技术 .....	43
5.1 模糊方法实现闭环控制 .....	43
5.2 单神经元自适应闭环控制 .....	47
第 6 章 控制系统应用 .....	52
6.1 直流电机闭环调速控制系统设计和实现 .....	52
6.2 温度闭环控制系统的设计和实现 .....	62
6.3 二维位移平台控制实验 .....	72
6.3.1 实验一 运动控制器的调整——PID 控制器的基本控制作用 .....	73
6.3.2 实验二 单轴电机运动控制实验 .....	76
6.3.3 实验三 二维插补原理及实现实验 .....	79
6.3.4 实验四 数控代码编程实验 .....	86
6.4 激光振镜控制实验 .....	94
<b>第 2 篇 导弹制导与控制技术实验</b> .....	115
第 7 章 导弹制导与控制系统组成原理 .....	115

第 8 章 三自由度直升机模拟实验 .....	119
第 9 章 飞行器姿态测量实验 .....	128
第 10 章 四旋翼无人机飞行控制实验 .....	137
第 11 章 干涉型光纤陀螺演示仪 .....	143
<b>第 3 篇 导航与定位技术实验 .....</b>	<b>151</b>
第 12 章 GPS 定位与导航实验 .....	151
12.1 GPS 定位实验 .....	151
12.2 GPS 导航实验 .....	154
第 13 章 平面坐标及空间坐标转换 .....	159
13.1 平面坐标转换 .....	159
13.2 空间坐标转换 .....	161
第 14 章 惯性导航与定位实验 .....	164
14.1 平台惯性导航系统 .....	164
14.2 微机械陀螺系统 .....	166
第 15 章 组合导航定位系统 .....	169
15.1 双天线组合导航定位系统 .....	169
15.2 GPS/INS 导航定位系统 .....	170
第 16 章 导航定位系统应用实验 .....	173
16.1 导航系统在激光通信系统中的应用 .....	173
16.2 导航定位在飞机自动驾驶仪中的应用 .....	176
<b>第 4 篇 遥感原理与应用实验 .....</b>	<b>179</b>
第 17 章 ERDAS 软件介绍及视窗基本操作 .....	179
第 18 章 遥感图像的几何校正 .....	182
第 19 章 雷达解译 .....	187
第 20 章 监督分类和非监督分类实验 .....	196
<b>参考文献 .....</b>	<b>220</b>

# 计算机控制技术实验

## 第 1 章 过程通道采集和数据处理实验

为了实现计算机对生产过程或现场对象的控制,需要将对象的各种测量参数按要求转换成数字信号送入计算机;经计算机运算、处理后,再转换成适合于对生产过程进行控制的模拟信号。所以在微机和生产过程之间,必须设置信息的传递和变换的连接通道,该通道称为过程通道。它包括模拟量输入通道、模拟量输出通道、数字量输入通道、数字量输出通道。

**模拟量输入通道:**主要功能是将随时间连续变化的模拟输入信号变换成数字信号送入计算机,主要由多路转化器、采样保持器和 A/D 转换器等组成。

**模拟量输出通道:**主要功能是将计算机输出的数字信号转换为连续的电压或电流信号,主要由 D/A 转换器和输出保持器组成。

**数字量输入通道:**控制系统中,以电平高低和开关通断等两位状态表示的信号称为数字量,这些数据可以作为设备的状态送往计算机。

**数字量输出通道:**有的执行机构需要开关量控制信号(如步进电机),计算机可以通过 I/O 接口电路或者继电器的开闭来进行控制。

### 1.1 基于 ADC0809 的数据采集系统

#### 1. 实验目的

- (1) 掌握 A/D 转换与单片机的接口方法。
- (2) 了解 A/D 芯片 ADC0809 转换性能及编程。
- (3) 通过实验了解单片机如何进行数据采集。

#### 2. 实验设备

- (1) 单片机微机二合一实验箱一台。
- (2) PC(带串口、USB 口)一台。
- (3) 示波器或万用表一台。

#### 3. 实验要求

利用实验板上的 ADC0809 做 A/D 转换器,实验板上的电位器提供模拟量输入,编制程



序,将模拟量转换成二进制数字量,用 8255 的 PA 口输出到发光二极管显示。

#### 4. 实验内容

A/D 转换器大致有三类:一是双积分 A/D 转换器,优点是精度高,抗干扰性好,价格便宜,但速度慢;二是逐次逼近 A/D 转换器,精度、速度、价格适中;三是并行 A/D 转换器,速度快,价格也昂贵。实验用的 ADC0809 属第二类,是 8 位 A/D 转换器,每采集一次一般需  $100\mu\text{s}$ 。

如图 1-1 所示为过程输入通道实验线路图。

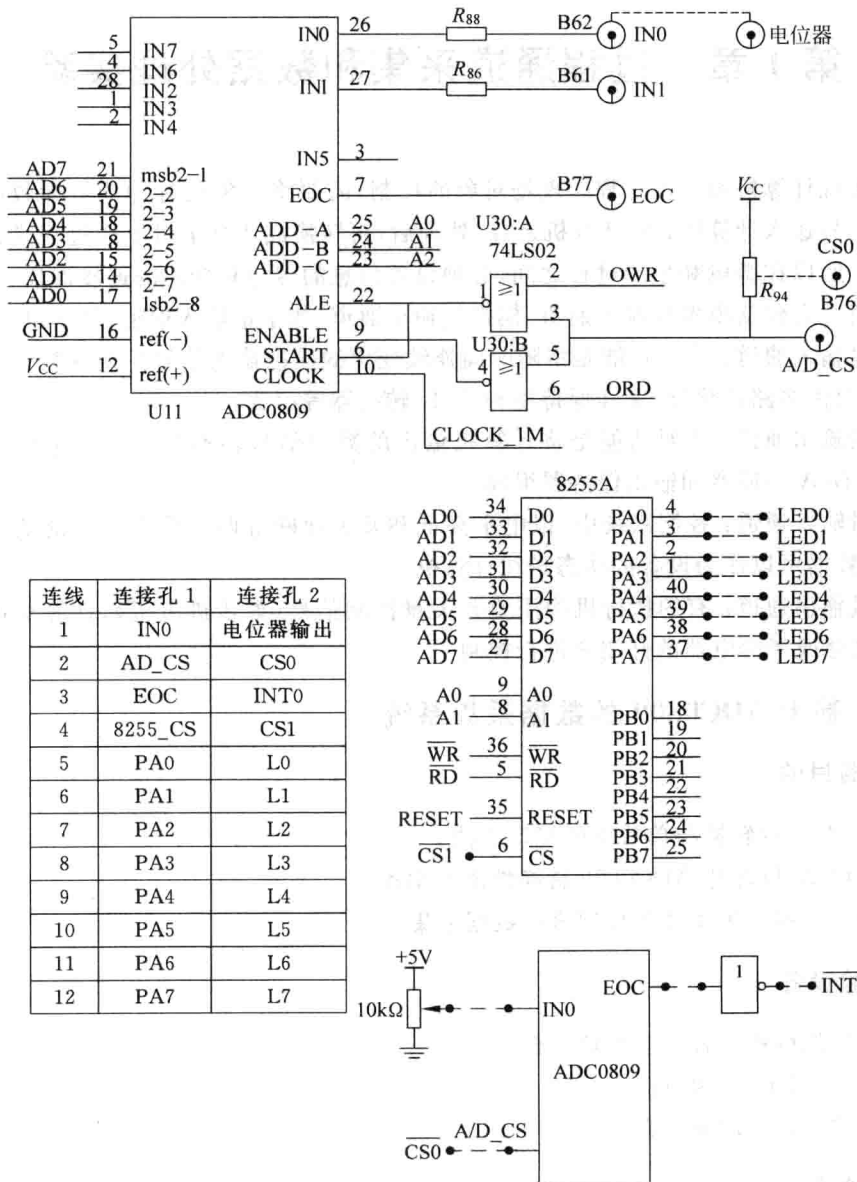


图 1-1 过程输入通道实验线路图

下面的程序是用延时查询方式读入 A/D 转换结果,也可以用中断方式读入结果,在中断方式下,A/D 转换结束后会自动产生 EOC 信号,将其与 CPU 的外部中断相接,有兴趣的同学可以试试编程用中断方式读回 A/D 结果。

(1) 单点数据采集并在 LED 上显示采集数据结果,采用等待延时方式。

程序清单如下:

```
CS0809 EQU 8000H
PORTA EQU 9000H ;PORT A
PORTB EQU 9001H ;PORT B
PORTC EQU 9002H ;PORT C
CADDR EQU 9003H ;控制字地址
ORG 0000H
MOV DPTR, # CADDR
MOV A, # MODE
MOVX @DPTR, A
MOV DPTR, # CS0809
MOV A, # 0
MOVX @DPTR, A ;启动 A/D
MOV A, # 40H
DJNZ ACC, $ ;延时>100μs
MOVX A, @DPTR ;读入结果
MOV R7, # 100
DLY: MOV DPTR, # PORTA
MOVX @DPTR, A
DJNZ R7, DLY ;延时
LJMP 0
END
```

(2) 单点数据采集并在 LED 上显示采集数据结果,采用查询方式。

说明:将 ADC0809 的 EOC 信号接入单片机的 INT0(P3.4)。

程序清单如下:

```
CS0809 EQU 8000H
PORTA EQU 9000H ;PORT A
PORTB EQU 9001H ;PORT B
PORTC EQU 9002H ;PORT C
CADDR EQU 9003H ;控制字地址
ORG 0000H
MOV DPTR, # CADDR
MOV A, # MODE
MOVX @DPTR, A
MOV DPTR, # CS0809
MOV A, # 0
MOVX @DPTR, A ;启动 A/D
WAIT: JNB P3.4, WAIT ;查询等待
MOVX A, @DPTR ;读入结果
MOV R7, # 100
DLY: MOV DPTR, # PORTA
MOVX @DPTR, A
DJNZ R7, DLY ;延时
LJMP 0
END
```

(3) 单点数据采集并在 LED 上显示采集数据结果,采用中断方式。

说明:将 ADC0809 的 EOC 信号接入单片机的 INT0(P3.4)。

程序清单如下:

```

CS0809 EQU 8000H
PORTA EQU 9000H ;PORT A
PORTB EQU 9001H ;PORT B
PORTC EQU 9002H ;PORT C
CADDR EQU 9003H ;控制字地址
ORG 0000H
LJMP MAIN
ORG 0003H
LJMP INT
ORG 0030H

MAIN:
MOV SP, #60H
MOV DPTR, #CADDR
MOV A, #MODE
MOVX @DPTR, A
SETB EA
SETB EX0
CLR IT0
MOV DPTR, #CS0809
MOV A, #0
MOVX @DPTR, A ;启动 A/D

HERE:
SJMP HERE
ORG 0100H
INT:
PUSH ACC
MOVX A, @DPTR ;读入结果
MOV R7, #100
DLY:
MOV DPTR, #PORTA
MOVX @DPTR, A
DJNZ R7, DLY ;延时
POP ACC
RETI
END

```

(4) 多点数据采集并在 LED 上显示采集数据结果,采用等待延时方式。

程序清单如下:

```

CS0809 EQU 8000H
PORTA EQU 9000H ;PORT A
PORTB EQU 9001H ;PORT B
PORTC EQU 9002H ;PORT C
CADDR EQU 9003H ;控制字地址
ORG 0000H
MOV DPTR, #CADDR
MOV A, #MODE ;80H
MOVX @DPTR, A
MOV R0, #30H ;存入内 RAM 区 30H~3FH 单元
MOV R6, #16

LOOP:

```

```

MOV    DPTR, # CS0809
MOV    A, # 0
MOVX   @DPTR, A           ;启动 A/D
MOV    A, # 40H
DJNZ   ACC, $             ;延时> 100μs
MOVX   A, @DPTR           ;读入结果
MOV    @R0, A
INC    R0
MOV    R7, # 100
DLY:
MOV    DPTR, # PORTA
MOVX   @DPTR, A
DJNZ   R7, DLY            ;延时
DJNZ   R6, LOOP
HERE:  SJMP  HERE
END

```

## 5. 实验步骤与结果

- (1) 编写实验程序,检查无误后汇编、链接并装载到单片机中。
- (2) 按图 1-1 接线(注意:图中画“o”的线需手动接线),连接好后,请仔细检查,无错误后方可接通电源。
- (3) 运行程序,改变模拟输入电压并记录屏幕上相应显示的转换值,并填写表 1-1。

表 1-1 模拟输入电压与显示数码对应表

模拟输入电压	显示数码	模拟输入电压	显示数码
0V		3V	
1V		4V	
2V		5V	

## 6. 思考题

- (1) 数码管显示结果和模数转换结果的对应关系是什么?
- (2) 程序中 A/D 芯片 ADC0809 的片选地址是否可以修改?

## 1.2 过程输出通道实验

### 1. 实验目的

- (1) 了解 D/A 转换的基本原理。
- (2) 了解 D/A 转换芯片 IAC0832 的性能及编程方法。
- (3) 了解单片机系统中扩展 D/A 转换的基本方法。

### 2. 实验设备

- (1) 单片机微机二合一实验箱一台。
- (2) PC(带串口、USB 口)一台。

(3) 示波器或万用表一台。

### 3. 实验要求

利用 DAC0832, 编制程序产生锯齿波、三角波、方波, 用示波器观看。

### 4. 实验内容

(1) D/A 转换是把数字量转换成模拟量的变换, 实验台上 D/A 电路输出的是模拟电压信号。要实现实验要求, 比较简单的方法是产生三个波形的表格, 然后通过查表来实现波形显示。

(2) 产生锯齿波和三角波的表格只需由数字量的增减来控制, 同时要注意三角波要分段来产生。D/A 转换的取值范围为一个周期, 采样点越多, 精度就越高。本例采用的采样点为 256 点/周期。

(3) 8 位 D/A 转换器的输入数据与输出电压的关系为

$$U(-5 \sim 0V) = E_{ref}/256 \times N$$

$$U(-5 \sim +5V) = 2V_{ref}/256 \times N - 5V \quad (\text{这里 } V_{ref} \text{ 为 } +5V)$$

(4) 用电压表或示波器探头接  $-5 \sim +5V$  输出, 观察显示电压或波形。

连线	连接孔 1	连接孔 2
1	DA_CS	CS2
2	$-5 \sim +5V$	电压表

如图 1-2 所示为过程输出通道实验线路图。

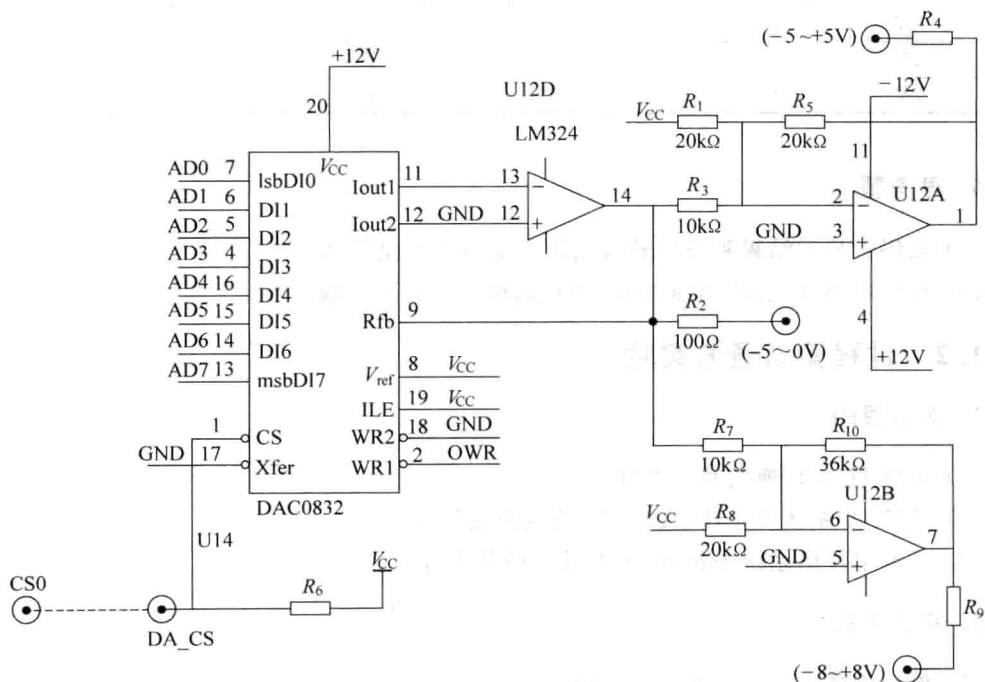


图 1-2 过程输出通道实验线路图

实验程序如下。

(1) 方波发生程序

```
CS0832 EQU 0A000H
      ORG 0000H
MOV   DPTR, #CS0832
MOV   A, #00H
MOVX  @DPTR, A
LCALL DALY
MOV   A, #0FFH
MOVX  @DPTR, A
LCALL DALY
LJMP  LOOP
END
```

(2) 锯齿波发生程序

```
      ORG 0000H
MOV   SP, #60H
CLR   A
S1:   INC   A
      MOV   DPTR, #0A000H
      MOVX  @DPTR, A
      MOV   R7, #10H
LOOP: DJNZ  R7, LOOP
      LJMP  S1
```

(3) 三角波发生程序

```
      ORG 0000H
MOV   SP, #60H
MOV   DPTR, #0A000H
CLR   A
LOOP: MOVX  @DPTR, A
      INC   A
      MOV   R7, #10H
LOOP1: DJNZ  R7, LOOP
      JNZ  LOOP
      DEC   A
LOOP1: DEC   A
      MOVX  @DPTR, A
      MOV   R7, #10H
LOOP2: DJNZ  R7, LOOP2
      JNZ  LOOP1
      INC   A
      SJMP LOOP
```

## 5. 实验步骤及结果

- (1) 编写实验程序,检查无误后汇编、链接并装载到单片机中。
- (2) 按图 1-2 连接电路图。
- (3) 运行程序,用示波器观测输出波形。利用 D/A 产生的锯齿波如图 1-3 所示。

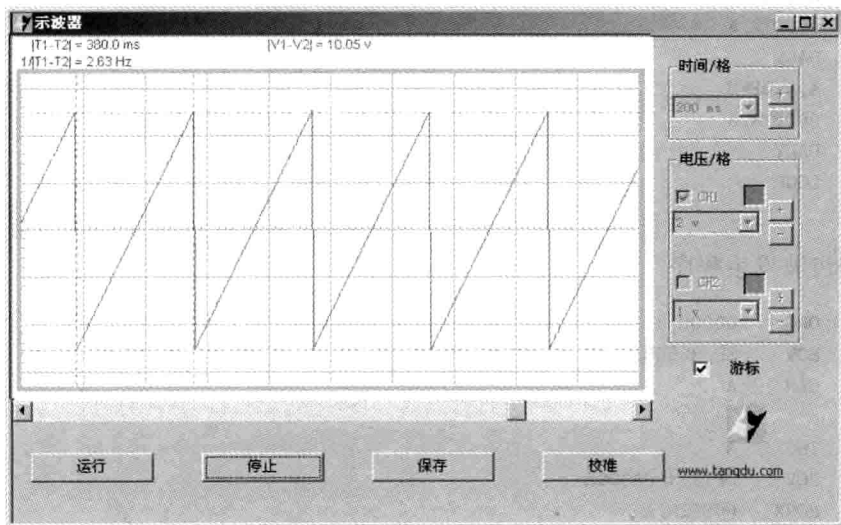


图 1-3 利用 D/A 产生的锯齿波

## 6. 思考题

- (1) 三种波形的频率和哪些参数有关?
- (2) 若希望利用此硬件线路图实现正弦波形输出,应如何实现?

### 1.3 信号的采样与保持

#### 1. 实验目的

- (1) 熟悉信号的采样和保持过程。
- (2) 学习和掌握香农(采样)定理。
- (3) 学习用直线插值法和二次曲线插值法还原信号。

#### 2. 实验设备

PC 一台,TD-ACC 系列教学实验系统一套。

#### 3. 实验要求

- (1) 编写程序,实现信号通过 A/D 转换器转换成数字量送到计算机,计算机再把数字量送到 D/A 转换器。
- (2) 编写程序,分别用直线插值法和二次曲线插值法还原信号。

## 4. 实验内容

### (1) 采样与保持

香农(采样)定理: 若对于一个具有有限频谱( $|W| = W_{\max}$ )的连续信号  $f(t)$  进行采样, 当采样频率满足  $W_s \geq 2W_{\max}$  时, 则采样函数  $f(t)$  能无失真地恢复到原来的连续信号  $f(t)$ 。 $W_{\max}$  为信号的最高频率,  $W_s$  为采样频率。

本实验中, 我们将具体来验证香农定理。可设计如图 1-4 所示的实验线路图。

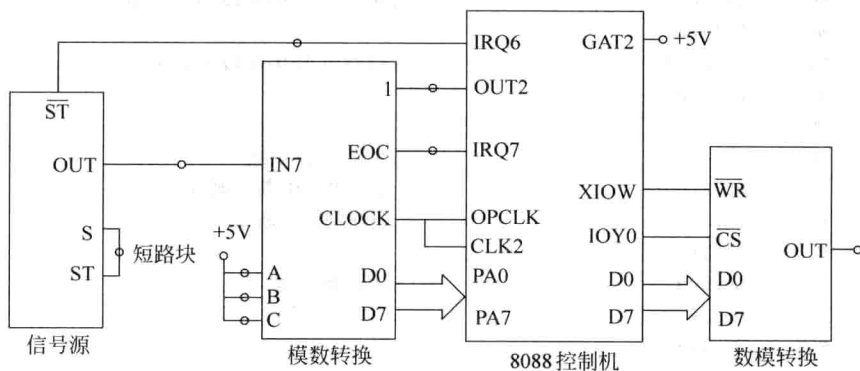


图 1-4 采样与保持实验线路图

这里, 信号源单元的 OUT 端输出周期性斜波信号, 通过 A/D 转换单元 IN7 端输入, 计算机用 8253 定时器 2 来作为基准时钟(初始化为 10ms), 定时采集 IN7 端的信号, 并通过 8259 的 IRQ7 中断 8088 控制机的运行, 从 8255A 口读入信号的数字量, 直接送到 D/A 转换单元, 在 OUT 端输出相应的模拟信号。由于 D/A 转换器有两级输出锁存能力, 所以它具有零阶保持器的作用。采样周期  $T = T_K \times 10\text{ms}$ ,  $T_K$  的范围为 01~FFH, 通过修改  $T_K$  就可以灵活地改变采样周期, 后面实验的采样周期设置也是如此。

基于上面的实验线路, 可以设计如下的参考程序流程及程序。

```

STACK   SEGMENT STACK
        DW 256 DUP(?)
STACK   ENDS
DATA    SEGMENT
TK      DB 04H
DATA    ENDS
CODE    SEGMENT
ASSUME  CS:CODE, DS:DATA
START:  MOV     AX, DATA
        MOV     DS, AX                ;数据段清零
        PUSH   DS
        MOV     AL, 90H                ;初始化 8255
        OUT    63H, AL
        MOV     AL, 0A4H              ;初始化 8253
        OUT    43H, AL
        MOV     AL, 2EH
        OUT    42H, AL

```



```

MOV     AX,0000
MOV     DS,AX
MOV     AX,2000H+OFFSET IRQ7      ;填写 8259 的 7 号中断矢量入口地址的偏移量
MOV     SI,003CH                  ;填写 8259 中断 7 的中断矢量
MOV     [SI],AX                   ;填写偏移量矢量
MOV     AX,2000H+OFFSET IRQ6      ;填写 8259 的 6 号中断矢量入口地址的偏移量
MOV     SI,0038H                  ;填写 8259 中断 6 的中断矢量
MOV     [SI],AX
MOV     AX,0000H                  ;填写 8259 中断矢量入口地址的段地址
MOV     SI,003EH                  ;填写 7 号中断段地址矢量
MOV     [SI],AX
MOV     SI,003AH                  ;填写 6 号中断段地址矢量
MOV     [SI],AX
POP     DS
CLI                                           ;关系统总中断
IN      AL,21H                      ;读 8259 中断屏蔽字
AND     AL,3FH                      ;开 8259 中断 7,6
OUT     21H,AL
MOV     AL,80H                      ;D/A 0832 置零
OUT     00H,AL
MOV     BL,01H
AGAIN:  STI
        HLT
        JMP AGAIN
IRQ7:   DEC BL                        ;IRQ7 中断服务程序
        JNZ FINISH
        IN  AL,60H                    ;采样
        OUT 00H,AL                    ;D/A 输出
        MOV BL,TK
FINISH: MOV AL,20H
        OUT 20H,AL
        IRET
IRQ6:   CALL DELAY                    ;IRQ6 中断
        MOV AL,80H ;D/A              ;清零
        OUT 00H,AL
        MOV BL,01H
        JMP FINISH
DELAY:  PUSH CX                        ;延时期序
        MOV CX,1000H
DEL1:   PUSH AX
        POP AX
        LOOP DEL1
        POP CX
        RET

```

## (2) 信号的还原

从香农定理可知,对于信号的采集,只要选择恰当的采样周期,就不会失去信号的主要特征。在实际应用中,一般总是取实际采样频率  $W_s$  比  $2W_{\max}$  大,如  $W_s \geq 10W_{\max}$ 。但是如果采用插值法恢复信号,就可以降低对采样频率的要求,香农定理给出了采样频率的下限,但是用不同的插值方法恢复信号需要的采样频率也不相同。