

## 1 引言

### 1.1 选题背景和意义

现如今随着信号发生器技术和大规模集成电路的发展，许多新型的信号发生器应运而生。用信号发生器并配置适当接口芯片产生程控正弦信号，则可替代传统的正弦信号发生器，从而有利于测试系统的集成化、程控化和智能仪表的多功能化。而信号发生器的最大特点是面向控制，由于它集成度高、运算速度快、体积小、运行可靠、价格低，因此在数据采集、智能化仪器等技术中得到广泛的应用，从而使得信号发生器的应用成为工程技术多学科知识汇集的一个专门研究领域，其应用产生了极高的经济效益和社会效益。

本次设计是以 AT89S52单片机为核心，选用 DAC0832为数模转换芯片，并辅以必要的模拟电路，设计出了一个基于 AT89S52单片机的函数信号发生器。其设计内容主要包括单片机最小系统的设计、DA 转换模块的设计、键盘控制模块的设计及 LCD 显示模块的设计。其中 DA 转换模块包括2块 DAC0832芯片；键盘控制模块采用8个按键来选择波形类型及调节频率、幅值；显示模块则采用 RT-1602C 来显示波形类型、频率及幅值；最终将设计好的函数发生器的输出接上示波器，在示波器上显示实际输出的波形。

### 1.2 信号发生器的发展和主要表现

信号发生器又称波形发生器，是一种常用的信号源，被广泛地应用于无线电通信、自动测量和自动控制等系统中。传统的信号发生器绝大部分是由模拟电路构成，借助电阻电容，电感电容、谐振腔、同轴线作为振荡回路产生正弦或其它函数波形。频率的变动由机械驱动可变元件完成，当这种模拟信号发生器用于低频信号输出往往需要的 RC 值很大，这样不但参数准确度难以保证，而且体积和功耗都很大，而由数字电路构成的低频信号发生器，虽然其低频性能好但体积较大，价格较贵。

#### 1.2.1 信号发生器的发展

单片微型计算机简称信号发生器，是指集成在一块芯片上的计算机，信号发生器的产生与发展和微处理器的产生与发展大体同步，自 1971 年美国 Intel 公司首先推出 4 位微处理器以来，它的发展到目前为止大致可分为 5 个阶段：

第 1 阶段（1971～1976）：信号发生器发展的初级阶段。发展了各种 4 位信号发生器，

第2阶段（1976~1980）：初级8位机阶段。以1976年Intel公司推出的MCS—48系列为代表，采用将8位CPU、8位并行I/O接口、8位定时/计数器、RAM和ROM等集成于一块半导体芯片上的单片结构，功能上可满足一般工业控制和智能化仪器、仪表等的需要。

第3阶段（1980~1983）：高性能信号发生器阶段。这一阶段推出的高性能8位信号发生器普遍带有串行口，有多级中断处理系统，多个16位定时器/计数器。片内RAM、ROM的容量加大，且寻址范围可达64KB。

第4阶段（1983~80年代末）：16位信号发生器阶段。1983年Intel公司又推出了高性能的16位信号发生器MCS—96系列，网络通信能力有显著提高。

第5阶段（90年代）：信号发生器在集成度、功能、速度、可靠性、应用领域等全方位高水平发展。目前，信号发生器正朝着高性能和多品种方向发展，尤其是8位信号发生器已成为当前信号发生器中的主流。

### 1.2.2 信号发生器的发展具体体现在如下四个方面：

#### 1) .CPU 功能增强

CPU 功能增强主要表现在精准度的提高和运算的速度两个方面。为了大大的提高运算的速度和精准度，信号发生器一般情况下采用把CPU增加到32位或16位字长或者是布尔处理机。例如HPCI6040和MCS—96/98等信号发生器。

2) .内部的可用资源增多，目前信号发生器ROM容量已达到32KB之大，RAM数量已达到1KB之大，并且具有以前没有的掉电保护的功能，常用I/O电路都有串/并行I/O接口，A/D和D/A转换器，定时器/计数器，定时输出和信号捕捉输入，系统故障监测和DMA通道电路等。

3) .引脚的多功能化随着芯片内部功能的增强和资源的丰富，信号发生器所需的引脚数也会相应增加，这是不可避免的。

例如：一个能寻址1MB存储空间的信号发生器需要20条地址线和8条数据线。太多的引脚不仅会增加制造时的困难，而且也会使芯片的集成度大为减小。为了减少引脚数量，提高应用灵活性，信号发生器中普遍采用一脚多用的设计方案。

4) .低电压和低功耗在许多应用场合，信号发生器不仅要有很小的体积，而且还需要较低的工作电压和极小的功耗。因此，信号发生器普遍采用CHMOS工艺，并增加空闲和掉电两种工作方式。

## 2 总体方案设计

### 2.1 设计思想

利用单片机产生方波、正弦波、三角波、锯齿波等信号的波形，波形的幅度和频率是可以调节的。将一个信号周期分离为 256 个点，按 X 轴将一个信号周期等分为 256 个点，相邻两点之间的时间间隔位 $\Delta T$ , $\Delta T=T/256$ 。四种波形对应的 256 个数据存放在以 TAB1—TAB4 为起始地址的存储器中。要到产生模拟信号的效果就必须采用 D/A 转换芯片，由基准电路来实现输出幅度可调达的波形，通过电位器来调节波形的变化。因经过 D/A 转换电路输出的是电流形式的信号，而一般要求的是电压形式的，所以需要加 I/V 转换电路来改变输出信号的形式。

### 2.2 设计内容及要求

主要功能：能产生方波、正弦波、三角波、锯齿波。

频率范围：10Hz~1000Hz。

幅值范围：0~5V。

设计要求：用液晶显示屏显示当前的波形名称、频率；用键盘选择波形类型和频率，其中 S1 表示输出锯齿波，S2 表示输出方波，S3 表示输出三角波，S4 表示输出正弦波，S5 表示 10HZ 的频率信号，S6 表示 100HZ 的频率信号，S7 表示 500HZ 的频率信号，S8 表示 1000HZ 的频率信号。

### 2.3 方案论证

方案一：用晶体管、运放 IC 等通用器件制作，或用专门的函数信号发生器 IC（如 L8083，BA205,XR2007/2009 等）产生。这种电路功能较少，精度不高，无法产生频率高于 300kHz 的信号，调节方式不够灵活，频率和占空比不能独立调节，二者相互影响。

在单函数发生器的基础上加上波形之间的变换电路，从而形成可以产生多种函数的波形发生器。方波—三角波—正弦波函数发生器电路由晶体管、运放 IC 等构成，其结构如下图所示。它利用比较器来产生方波并输出；方波通过积分来产生三角波并输出。

方案二：采用单片集成电路函数发生器 ICL8083，它的工作频率范围在几赫兹到几百赫兹之间，它可以同时输出方波、三角波、正弦波。其缺点在于：其一产生的波形都不是纯净的，会寄生一些高次谐波分量，采用其他措施也不能将其完全滤除；其二价格较高。

图 2-3 为 ICL8038 的典型应有电路原理图。

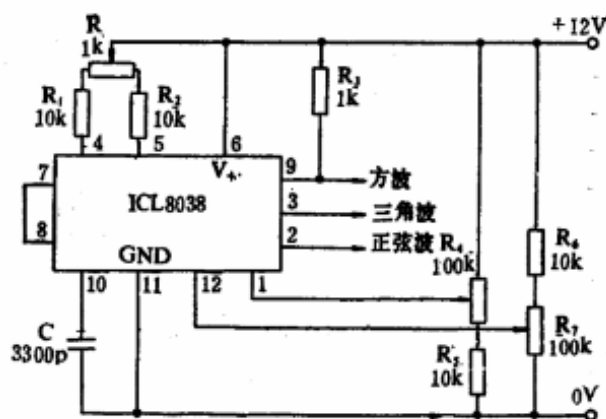


图 2-3 ICL8038 的典型应有电路原理图

方案三：采用单片机编程的方法来实现。该方法能通过编程的方法来控制波形的频率和幅度，而且能在不改变硬件电路的情况下，通过编程来实现频率的变换。此外，由于通过编程的方法产生的是数字信号，所以信号的精度可以做的很高。采用 AT89S52 单片机和 DAC0832 数模转换器相结合的电路来产生波形。它的特点是价格低、性能高，在低频范围内稳定性好、操作方便、体积小、能耗少。

经比较方案三即可满足毕业设计的基本要求又能充分发挥其优势，电路简单，易于控制，性价比高。采用软件控制硬件的方法，使得信号频率的稳定性和精度的准确性得以保证，所以采用方案三。

## 2.4 设计原理

数字信号可以通过数/模转换器转换成模拟信号，因此可以通过产生数字信号再转换成模拟信号的方法来获得所需波形。AT89S52 单片机由中央处理器（CPU）、只读存储器（ROM）、随机存储器（RAM）、I/O 接口电路、定时器/计数器以及串行通讯接口等，只要将 AT89S52 配置键盘及其接口、数模转换及波形输出、显示器及其接口、指示灯及其接口等四部分，即可得到所需的波形发生器，其信号发生器的原理框图如图 2-4 所示：

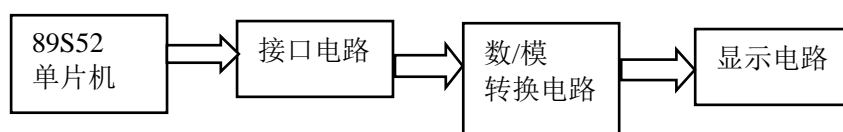


图 2-4 信号发生器原理框图

AT89S52 单片机是整个波形发生器的核心部分，通过编写和执行程序能产生各种信号，并从键盘接受数据，进行各种功能的转换和信号频率、幅度的调节。当数字信号经接口电路到达转换电路后将其转换成模拟信号，就得到所需的输出信号。

### 3 硬件电路的设计

#### 3.1 硬件原理框图

硬件原理框图如图 3-1 所示

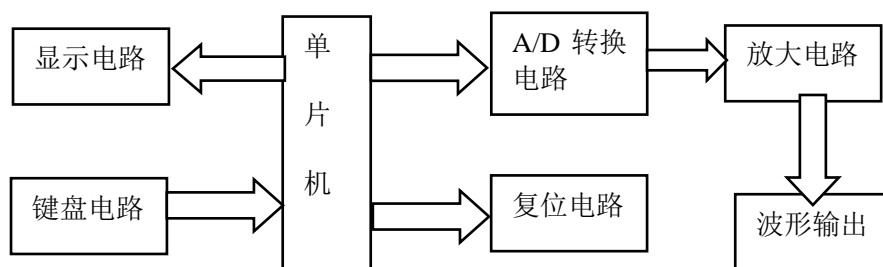


图 3-1 硬件原理框图

#### 3.2 主控电路及主控芯片的选择

本次主控电路设计选用的芯片为 AT89S52 芯片和 8255A 芯片。下面就介绍一下这两种芯片。

AT89S52 是一种低功耗、高性能 CMOS8 位微控制器，具有 8K 在系统可编程 Flash 存储器。使用 Atmel 公司高密度非易失性存储器技术制造，与工业 80C51 产品指令和引脚完全兼容。片上 Flash 允许程序存储器在系统可编程，亦适于常规编程器。在单芯片上，拥有灵巧的 8 位 CPU 和在系统可编程 Flash，使得 AT89S52 为众多嵌入式控制应用系统提供高灵活、超有效的解决方案。

AT89S52 具有以下标准功能：8k 字节 Flash，256 字节 RAM，32 位 I/O 口线，看门狗定时器，2 个数据指针，三个 16 位定时器/计数器，一个 6 向量 2 级中断结构，全双工串行口，片内晶振及时钟电路。另外，AT89S52 可降至 0Hz 静态逻辑操作，支持 2 种软件可选择节电模式。空闲模式下，CPU 停止工作，允许 RAM、定时器/计数器、串口、中断继续工作。掉电保护方式下，保存了 RAM 的内容，冻结了振荡器，单片机的一切工作都无法进行，一直到硬件复位或下一个中断到来为止。AT89S52 的引脚图实物图如图 3-2-1 所示

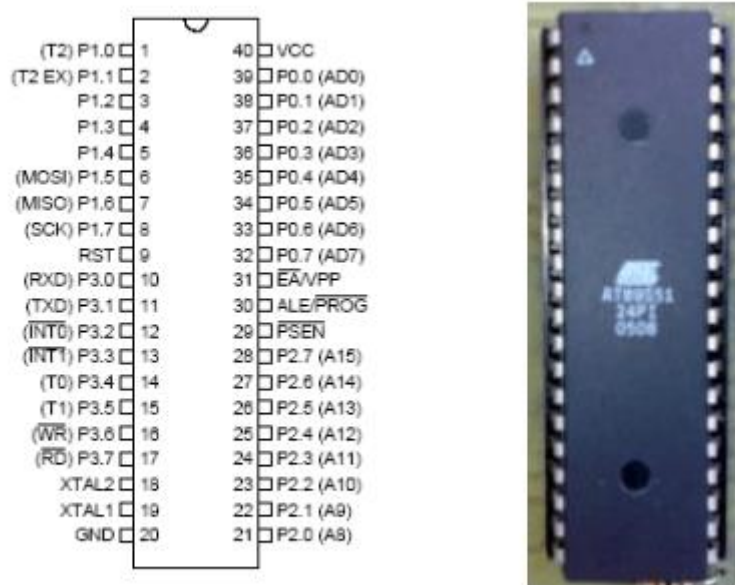


图 3-2 -1AT89S52 的引脚图实物图

### 功能特性描述

VCC：电源；GND:地

**P0 口：**P0 口是一个双向 I/O 口，有 8 位漏极开路。当为输出口时，每位开路可以驱动的 TTL 逻辑电平为 8 个。当 P0 端口为“1”时，引脚为高阻抗的输入。当访问数据存储器和外部的程序时，P0 口也是低 8 位的地址/数据合用。这种情况的 P0 内部有上拉电阻。在 flash 编程时，P0 口还可以接收指令；程序校验时，输出指令但需要外部的上拉电阻作用。

**P1 口：**P1 口是一个 8 位双向 I/O 口，其内部有上拉电阻，4 个 TTL 逻辑电平在 p1 输出缓冲器的作用下被驱动。当 P1 端口为“1”时，端口会被内部的上拉电阻拉高，这时具有输入口的功能。当输入口用时，由于内部上拉电阻的原因，被外部拉低的引脚将输出电流（IIL），此外，P1.0 为定时器/计数器 2 的外部计数输入（P1.0/T2），P1.2 为定时器/计数器 2 的触发输入（P1.1/T2EX），具体如下表所示。

引脚号	第二功能
P1.0	T2（定时器/计数器 T2 的外部计数输入），时钟输出
P1.1	T2EX（定时器/计数器 T2 的捕捉/重载触发信号和方向控制）
P1.5	MOSI（在系统编程用）
P1.6	MISO（在系统编程用）
P1.7	SCK（在系统编程用）

P2 口：P2 口是一个 8 位双向 I/O 口，其内部有上拉电阻，4 个 TTL 逻辑电平在 p2 输出缓冲器的作用下被驱动。当 P2 端口为“1”时，端口会被内部的上拉电阻拉高，这时具有输入口的功能。当输入口用时，由于内部上拉电阻的原因，被外部拉低的引脚将输出电流（IIL）。在用 16 位地址读取外部的数据存储器或者是访问外部的程序存储器时，P2 口为高八位地址。此时，P2 口要很大的内部上拉电阻才能发送 1。P2 口输出 P2 锁存器的内容是在使用 8 位地址（如 MOVX @RI）访问外部数据存储器时。

P3 口：P3 口是一个 8 位双向 I/O 口，其内部有上拉电阻，4 个 TTL 逻辑电平在 p2 输出缓冲器的作用下被驱动。当 P3 端口为“1”时，端口会被内部的上拉电阻拉高，这时具有输入口的功能。当输入口用时，由于内部上拉电阻的原因，被外部拉低的引脚将输出电流（IIL）。P3 口也可作为 AT89S52 的第二功能使用，如下表所示。

引脚号	第二功能
P3.0	RXD（串行输入）
P3.1	TXD（串行输出）
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ （外部中断 0）
P3.3	$\overline{\text{INT0}}$ （外部中断 0）
P3.4	T0（定时器 0 外部输入）
P3.5	T1（定时器 1 外部输入）
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ （外部数据存储器写选通）
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ （外部数据存储器写选通）

RST:复位输入。晶振工作时，RST 脚持续 2 个机器周期高电平将使单片机复位。看门狗



计时完成后，RST 脚输出 96 个晶振周期的高电平。特殊寄存器 AUXR(地址 8EH)上的 DISRTO 位可以使此功能无效。DISRTO 默认状态下，复位高电平有效。

**ALE/PROG:** 地址锁存控制信号（ALE）是访问外部程序存储器时，锁存低 8 位地址的输出脉冲。在 flash 编程时，此引脚（PROG）也用作编程输入脉冲。在一般情况下，ALE 的固定频率晶振频率的六分之一，可以当时钟或外部定时器。ALE 脉冲会跳过当访问外部数据存储器时。将 SFR 第 0 位置“1”时 ALE 操作将无效，ALE 只有在执行 MOVC 或 MOVX 指令的时候才会有效。当微控制器处于外部执行模式下 ALE 的这个使能标志位的设置无效。

**PSEN:**外部程序存储器选通信号。PSEN 只有在 AT89S52 执行外部程序存储器的代码时才会每个机器周期里被激活两次，其他情况下不会被激活。

**EA/VPP:**访问外部程序存储器控制信号。只有在 EA 接地的情况下，才能从外部程序存储器读取指令。在执行内部程序指令时 EA 接 VCC。EA 接+12V 电压是处于 flash 编程的状态。

**XTAL1:**振荡器反相放大器和内部时钟发生电路的输入端。

**XTAL2:**振荡器反相放大器的输出端。

下面介绍一下 AT89S52 的一些常用扩展电路的设计。

### 3.2.1 时钟电路的设计

时钟电路被形象地称为单片机系统的“心脏”，可见它在单片机系统中的作用是十分重要的，它控制着单片机的工作节奏。单片机必须附加外部电路才能和内部的振荡电路形成时钟电路。作为单片机工作的时间基准时钟电路决定了单片机的工作速度。

CPU 工作时都必须有一个时钟脉冲。有两种方式可以向 89S52 提供时钟脉冲：一是外部时钟方式，即使用外部电路向 89S52 提供始终脉冲；二是内部时钟方式，即使用晶振由 89S52 内部电路产生时钟脉冲。一般常用第二种方法，其电路如图 3-2-2

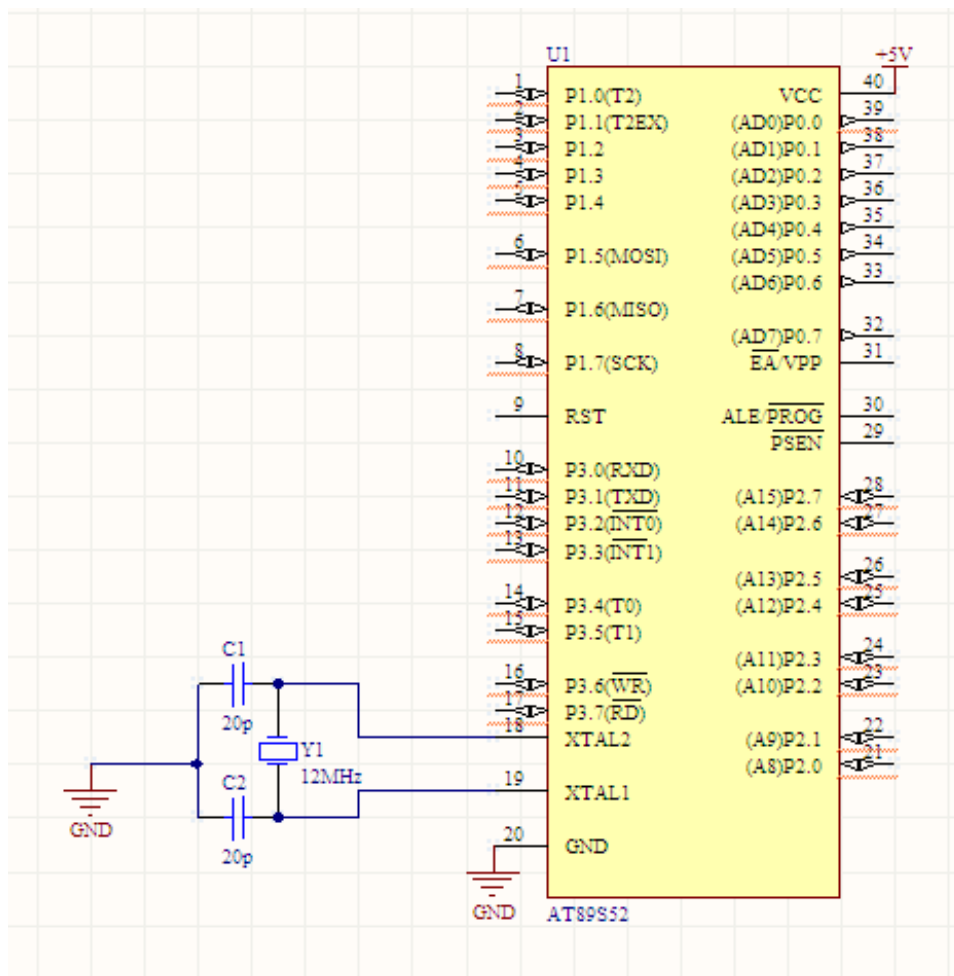


图 3-2-2 单片机时钟电路

### 3.2.2 复位电路的设计

复位信号能让 CPU 开始工作，收到复位信号后 CPU 将内部的特殊功能寄存器内容设置为默认值，让程序计数器的内容为“0000H”。复位信号一结束 CPU 就从程序存储器得“0000H”处执行程序。89S52 有 3 种复位方式且为高电平复位。

1. 接通电源为上电复位。
2. 按下所设置的复位按钮时产生复位信号的方法称为手动复位。
3. 系统能使设计的复位电路自动复位的方法称为自动复位。图 3-2-3 为最简单的上电复位和手动复位方法。

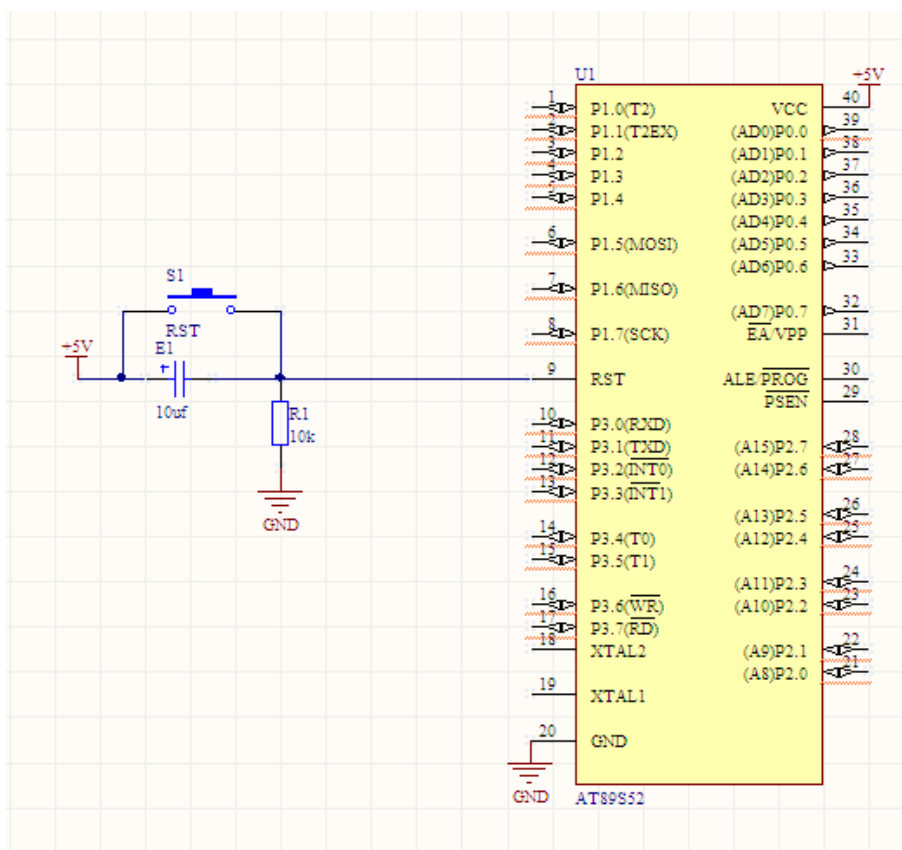


图 3-2-3 89S52 的复位电路

### 3.2.3 单片机最小应用系统的设计

单片机最小应有系统是指用最少的元件组成可以正常工作的单片机系统。对于 AT89S52 单片机来说，其最小应有系统应由如下几部分组成：单片机、时钟电路、复位电路。图 3-2-4 为 89S52 的最小系统电路图。

智能化的仪器仪表中的核心控制器均为微处理器，而得到广泛应用的是具有性能高、速度快、体积小、稳定可靠、价格低廉等特点的单片机。单片机最小应有系统是智能化的仪器仪表的基础也是监控系统和测控系统的重要组成部分。

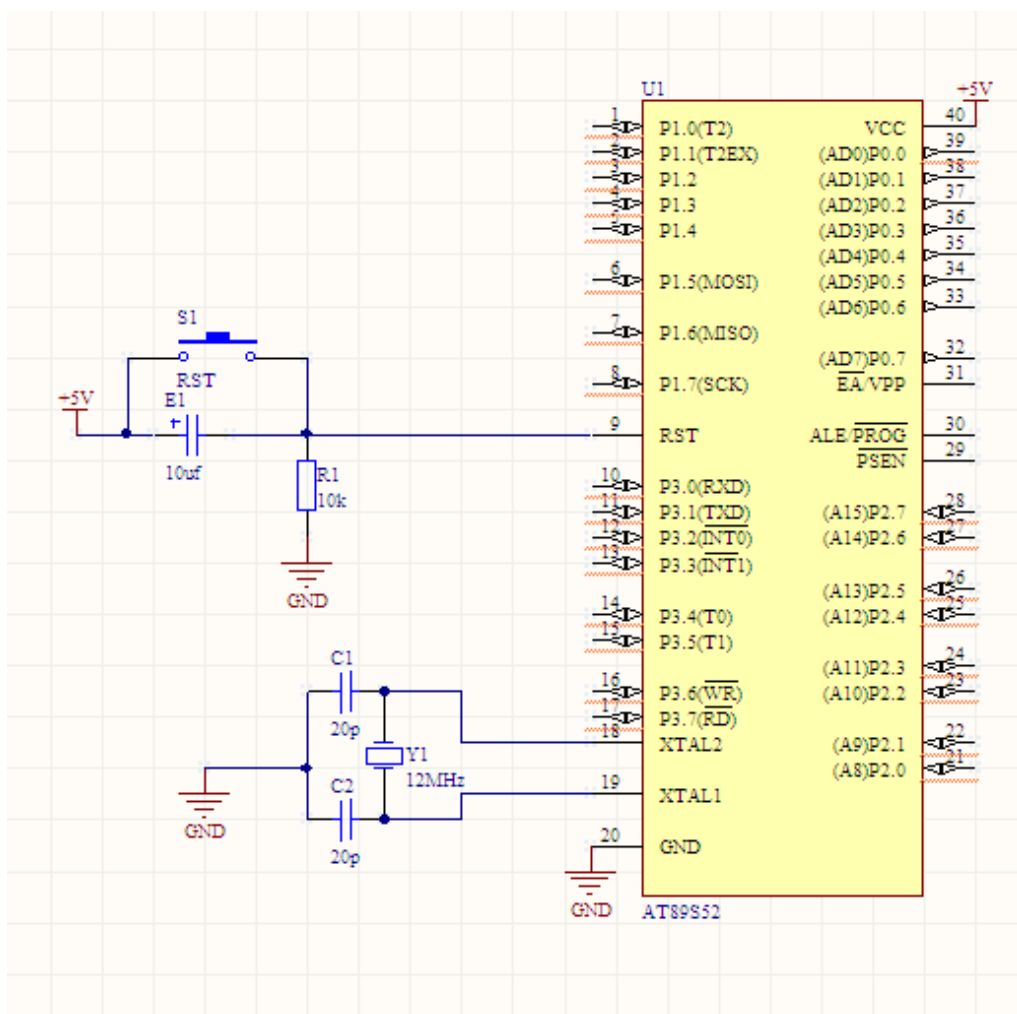


图 3-2-4 89S52 的最小系统电路图

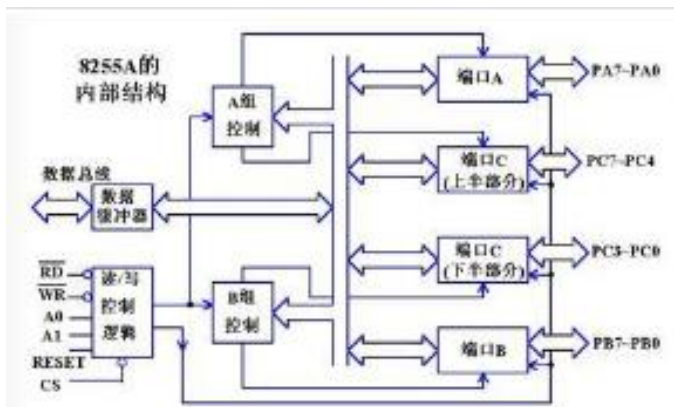
8255A 是在单片机应用系统中广泛采用的可编程 I/O 口扩展芯片。它有 3 个 8 位并行 I/O 接口 PA、PB、PC，有 3 种基本的工作方式。<sup>[1]</sup>

### 1.8255A 的结构和引脚

8255A 是 Intel 公司生产的 8 位可编程并行接口芯片有 40 个引脚，采用双列直插封装，广泛应用于 8 位计算机和 16 位计算机中，其引脚图和其内部结构图如图 3-2-5 所示。



8255A 引脚图



8255A 内部结构图

图3-2-5 8255A 引脚图和内部结构图

### 8255A 引脚功能

**RESET:**复位输入线，当该输入端外于高电平时，所有内部寄存器（包括控制寄存器）均被清除，所有 I/O 口均被置成输入方式。

**CS:**选择芯片信号线，当引脚为低电平时，表示选中芯片，8255可以和 CPU 通讯，反之两者之间则不能进行通讯。

**RD:**读信号线，当此引脚芯片和选择信号线引脚都为低电平时，CPU 可以从8255中读取数据或信息。

**WR:**写入信号，当此引脚芯片和选择信号线引脚都为低电平时，CPU 可以将控制字或数据写入8255中。

**D0~D7:**双向三态数据总线是8255与 CPU 传送数据的通道。状态信息和控制字通过数据总线传送，当 CPU 执行有关于输入输出指令的时候，也通过它来实现8位数据的读操作和写操作。

**PA0~PA7:**端口 A 的输入输出线，8位的数据输入锁存器，8位的数据输出锁存器或缓冲器。

**PB0~PB7:**端口 B 的输入输出线，8位的输入输出锁存器，8位的 I/O 缓冲器。

**PC0~PC7:**端口 C 的输入输出线，8位的数据输入缓冲器，8位的数据输出锁存器/缓冲器。端口 C 通过设定工作方式的不同而分成2个端口，每个端口都是4位的且都含有一个4位的

锁存器。与端口 A 和端口 B 配合使用的端口 C 还可以作为状态信号输入或控制信号输出端口。

A0,A1:地址选择线,选择 PA 口时 A0,A1都为0;选择 PB 口时 A0为0,A1为1;选择 PC 口时 A0为1,A1为0;选择控制寄存器时 A0, A1都为1。

2.8255A 三种工作方式:

方式1:基本输入/输出方式不需要选通信号。任何端口都能被设定为输出或输入。输入不锁存,输出锁存。

方式2:选通输入/输出方式,端口 A,B,C 分为两组。第一组包括端口 A,C 的高4位,A 口是输入口还是输出口由编程决定,同步信号和输入/输出操作的控制由 C 口的高四位决定;第二组包括端口 B,C 的低4位,B 口是输入口还是输出口由编程决定,同步信号和输入/输出操作的控制由 C 口的低四位决定。端口 A,B 的 I/O 数据被锁存。

方式3:双向总线方式,A 口为8位双向总线口,C 口的 PC3~PC7用来作为输入/输出操作的控制和同步信号;B 口和 C 口的 PC0~PC2则可编程为方式0或方式1工作。<sup>[1]</sup>

8255A 与 AT89S52 单片机的接口电路的设计

8255A 与 AT89S52 单片机的连接包含数据线、地址线、控制线的连接,其中数据线直接与 AT89S52 单片机的数据总线相连;8255A 的地址线 A0 和 A1 与 AT89S52 单片机的地址总线的地位相连,用于选择 8255A 的 4 个端口;8255A 的控制线中的读/写信号线与 AT89S52 单片机的数据存储器的读/写信号线直接连接。用于决定 8255A 内部端口地址范围的片选信号线的连接与存储器芯片的片选信号线的连接方法相同。

如图 3-2-6 所示 AT89S52 的 P1 口接收来自键盘的信号并通过 P2 口输出一些控制信号,将其输入到 8255A 的信号控制端用于控制信号的输入和输出。在有键按下的情况下,读控制端会产生一个读信号使单片机读取信号。写控制端在有信号输出的情况下会产生一个写信号,通过 8255A 的 PB 口输出所要输出的信号并在 LCD12864 上显示出来。

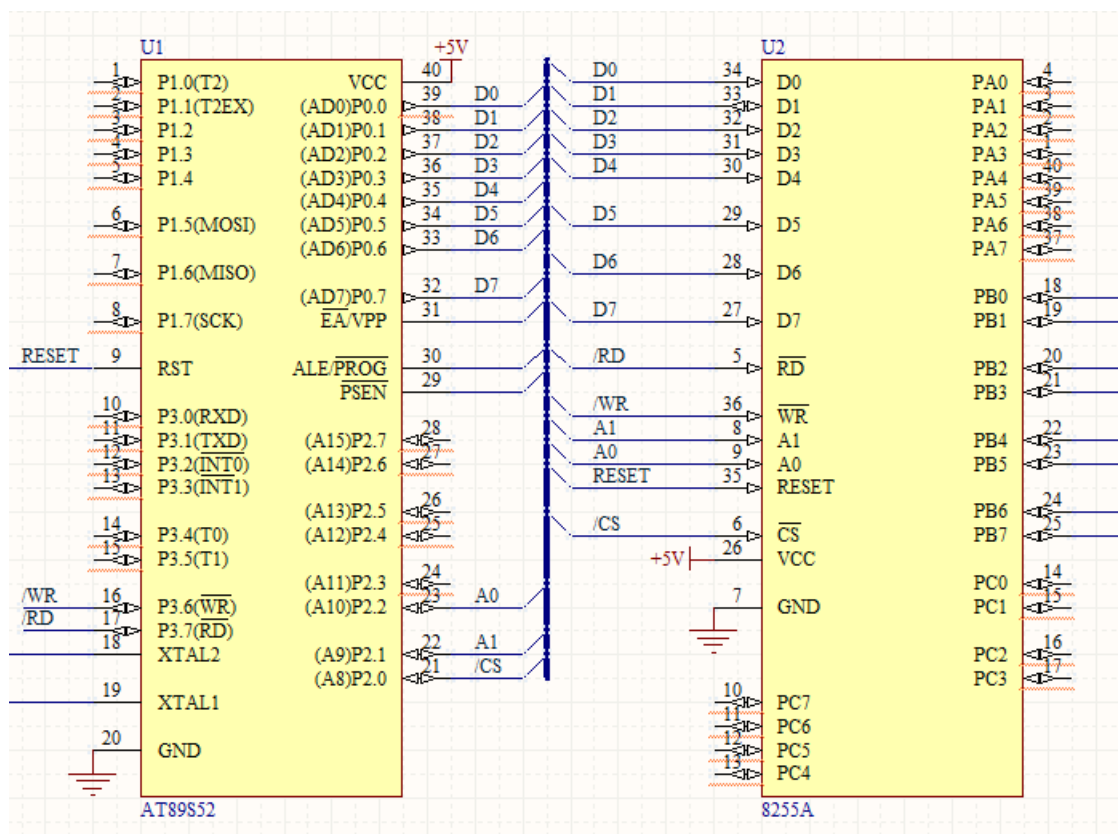


图 3-2-6 主控电路

### 3.3 数模转换电路

要想得到所需的信号（波形），就要把由单片机产生的数字信号经数模转换电路转换成模拟信号。本文采用接口简单、转换容易、价格低廉的 DAC0832。

DAC0832 是采样频率为八位的 D/A 转换器件, 下面介绍一下该器件的中文资料以及电路原理方面的知识。

DAC0832内部结构资料: 芯片有两级寄存器均为输入形式, 使其拥有三种输入方式, 分别是双冲、缓冲和直通, 这种特点能满足多种电路的要求。D/A 转换结果的输出形式是电流形式。如果要得到相应的模拟信号, 可用运算放大器实现此功能, 此运放具有高输入阻抗和线性等特点。该片逻辑输入满足 TTL 电压电平范围, 可直接与 TTL 电路或微机电路相接, 一个8位 D/A 转换器有8个输入端(其中每个输入端是8位二进制数的一位), 有一个模拟输出端。输入可有 $2^8=256$ 个不同的二进制组态, 输出为256个电压之一, 即输出电压不是整个电压范围内任意值, 而只能是256个可能值。图3-3-1是 DAC0832的逻辑框图和引脚排列。

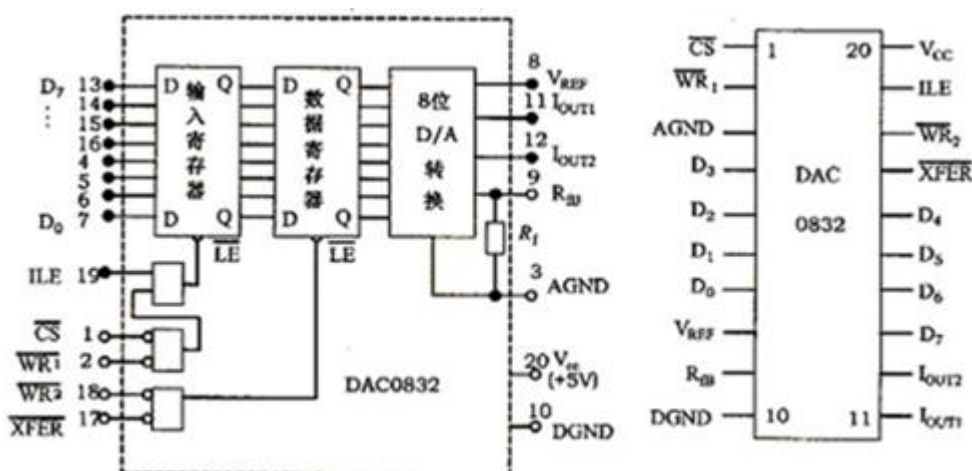


图 3-3-1 DAC0832 的逻辑框图和引脚排列

CS: 片选信号，低电平有效。

WR1: 写信号1，低电平有效。

AGND: 模拟地

D0~D7: 数字信号输入端。

Vref: 基准电压 (-10~10V)。

NGND: 数字地，可与 AGND 接在一起使用。

Vcc: 是源电压 (+5~+15V)。

Rfb: 是集成在片内的外接运放的反馈电阻。

ILE: 输入寄存器允许，高电平有效。

WR2: 写信号2，低电平有效。

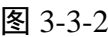
XFER: 传送控制信号，低电平有效。

IOUT1、IOUT2: DAC 电流输出端。

### I/V 转换电路

DAC0832要外接运算放大器才能转换成所需要的电压形式的波形。DAC 转换输出是以 Vref 为输出最高电压，可以理解为输出峰值，改变 Vref，也就改变了峰值的大小，运放的作用是把 DAC0832的差分电流输出变为电压输出，也就是 V-I 转换。如图3-3-2是用两级运算放大器组成的模拟电压输出电路，单极性模拟电压从第一级运算放大器中输出，双极性模拟电压从第二级运算放大器中输出。





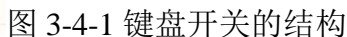
### 数模转换电路图

### 3.4 按键电路的设计

人与计算机之间建立联系、交换信息的输入/输出设备的接口就是所谓的人机互换接口。显示器、键盘和打印机等就是主要的输入/输出设备也是计算机应用系统中必不可少的输入/输出设备，是操作人员与控制系统之间的交互窗口。方便的交互能力是一个安全可靠的控制系统必须具备的。通过系统的显示内容操作人员不仅能及时掌握生产情况，还可以通过键盘将数据输入系统，传递命令从而进行人工干扰计算机应用系统，达到计算机应用系统能时时按照操作人员的意愿进行工作的效果。

在单片机应用系统中键盘是常用的输入设备，操作人员通过键盘向系统输入指令、地址和数据，进而来实现一般的人机通信。

键盘的工作原理。键盘是由一组按键开关组合形成的，一般情况下按键开关是断开的，只有在按下键时闭合。它的结构如图 3-4-1 所示



一般说来按键开关都是机械式的开关。机械式的触点有一定的弹性作用，因此按键开关在闭合和断开时不会马上稳定的接通和断开，在按键闭合和断开瞬间会产生抖动。按键开关的机械特性决定着抖动时间的长短，在 5~10ms 之间，单片机能清楚的感应到这种抖动。处理键盘涉及到以下 3 个方面。

### 1. 按键的识别

由于按键开关未按下时输出为低电平，按键开关按下时输出为低电平，因此可以通过检测输出线上电平的高低来判断按键开关有无按下。如果检测到高电平说明没有按下，如果检测到低电平则说明按键开关已按下。

### 2. 抖动的消除

一旦按键不管是松开键位或是按紧键位都会伴随产生抖动，松开键位时产生的抖动称为后沿抖动，按下键位时产生的抖动称为前沿抖动。如果不处理抖动一定会出现按一次键而有多次输入，为确保按一次键只确认一次则必须消除按键抖动。消除按键抖动一般有软件消抖和硬件消抖两种方法。

软件消抖是利用延时来跳过抖动过程，当判断有按键按下时先执行一段大于 10ms 的延时程序再判断是哪一个键位被按下，从而消除前沿抖动的影响。只需要在接收一个键位后经过一定时间再去检测有无按键，这样就能跳过后沿抖动时间，从而消除前沿抖动的影响。键盘处理一般都是采用软件消抖的方式。

硬件消抖是在按键的输出电路上添加一定的硬件线路来达到消抖的目的。一般采用单稳态电路或 R-S 触发器，如图 3-4-2 所示。在图 3-4-2 中，经过 R-S 触发器消抖后输出的信号就是标准的矩形波。

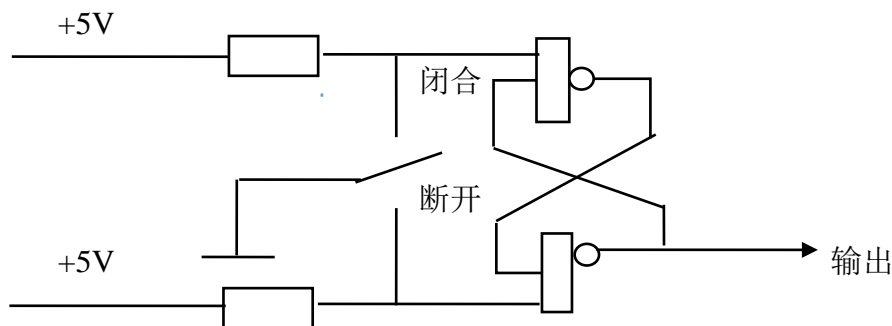


图 3-4-2 硬件消抖电路

### 3. 键位的编码

在一个单片机应用系统中有到的键盘通常都包含多个键位，这些键位都通过 I/O 线进行连接，在按下一个键后通过键盘接口电路得到该键位的编码。键盘键位的编码是键盘工作过程中一个很重要的事情。一般有以下两种方法进行编码分别是顺序排列编码和二进制组合编码。

（1）顺序排列编码。根据行线和列线进行相应的处理从而获得编码值。处理方法为，编码值=行首编码值 X+列号 Y。若一行有 K 个键则首编码值为  $n*K$ , n 为行号，从 0 开始取值；列号 Y 也从 0 开始取值。

（2）二进制组合编码是指用连接键盘的 I/O 线的二进制组合进行编码。其方法为，用 4 行线和 4 列线构成 16 个键的键盘，用一个 8 位 I/O 线的二进制的组合表示 16 个键的编码。各个键的编码分别是：88H、84H、82H、81H、48H、44H、42H、41H、28H、24H、22H、21H、18H、14H、12H、11H。这种编码的方法很简单却又不连续不便于处理。

键盘的结构形式一般有独立式键盘和矩阵式键盘两种。

独立式键盘是由各个相互独立的按键组成的，每个按键各自接一根 I/O 接口线，每根 I/O 接口线上的按键都不会影响到其他的 I/O 接口线。通过检测 I/O 接口线的电平状态就能很容易判断哪个按键被按下。独立式键盘具有电路配置灵活，软件简单等特点。但因每个按键都要占用一根 I/O 接口线，在按键比较多的情况下会很浪费 I/O 接口线。在按键不多的情况下经常采用这种形式。<sup>[1]</sup>

如图 4-3-3 所示，键盘与 8255A 的 PA 口相连，8255A 的 D 口与 AT89S52 单片机的 P0 口相连。通过 AT89S52 不断的对键盘进行扫描来确定是否有键按下，AT89S52 单片机会根据按键的情况作出相应的反应。其中 S1 表示输出锯齿波，S2 表示输出方波，S3 表示输出三角波，S4 表示输出正弦波，S5 表示 10HZ 的频率信号，S6 表示 100HZ 的频率信号，S7 表示 500HZ 的频率信号，S8 表示 1000HZ 的频率信号。

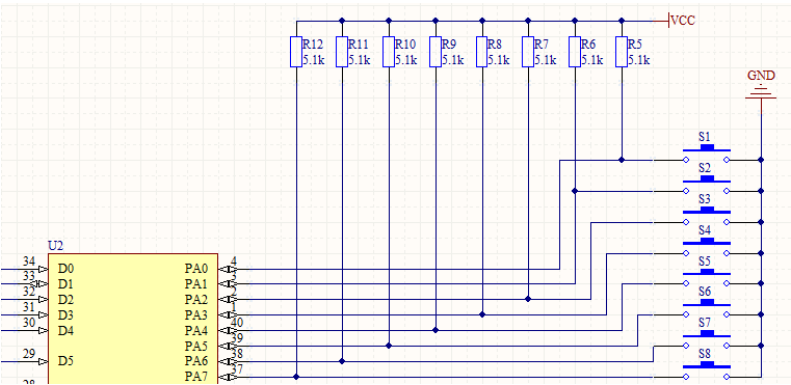


图 3-4-3 键盘接口电路 [9]

3.5 LCD 显示模块的设计

RT-1602C 字符型液晶显示模块是以两行 16 个字的 5×7 点阵图形来显示字符的液晶显示器，其引脚模块说明如下表所示。[1]

管脚号	管脚名称	管脚功能描述
1	VSS	电源地
2	VDD	电源正
3	VL	液晶显示偏压信号
4	RS	数据/命令选择端
5	R/W	读写选择端
6	E	使能端
7	DB0	H/L 数据0
8	DB1	H/L 数据1
9	DB2	H/L 数据2
10	DB3	H/L 数据3
11	DB4	H/L 数据4
12	DB5	H/L 数据5
13	DB6	H/L 数据6
14	DB7	H/L 数据7
15	BLA	背光源正极
16	BLK	背光源负极

用液晶显示屏 RT-1602C 显示输出波形及其频率，RT-1602C 的八位数据端口接 AT89S52 单片机的 P1 口，其中三个使能端分别接 AT89S52 单片机的 P2.3、P2.4、P2.5 三个接线口。液晶显示屏 RT-1602C 通过输入相应的程序可以显示波形的名称和波形的频率,因 RT-1602C 是字符点阵式的液晶显示模块只能显示数字、字符和符号等而不能显示

文字所以显示出的波形名称是英文的。电路图如图 3-5 所示

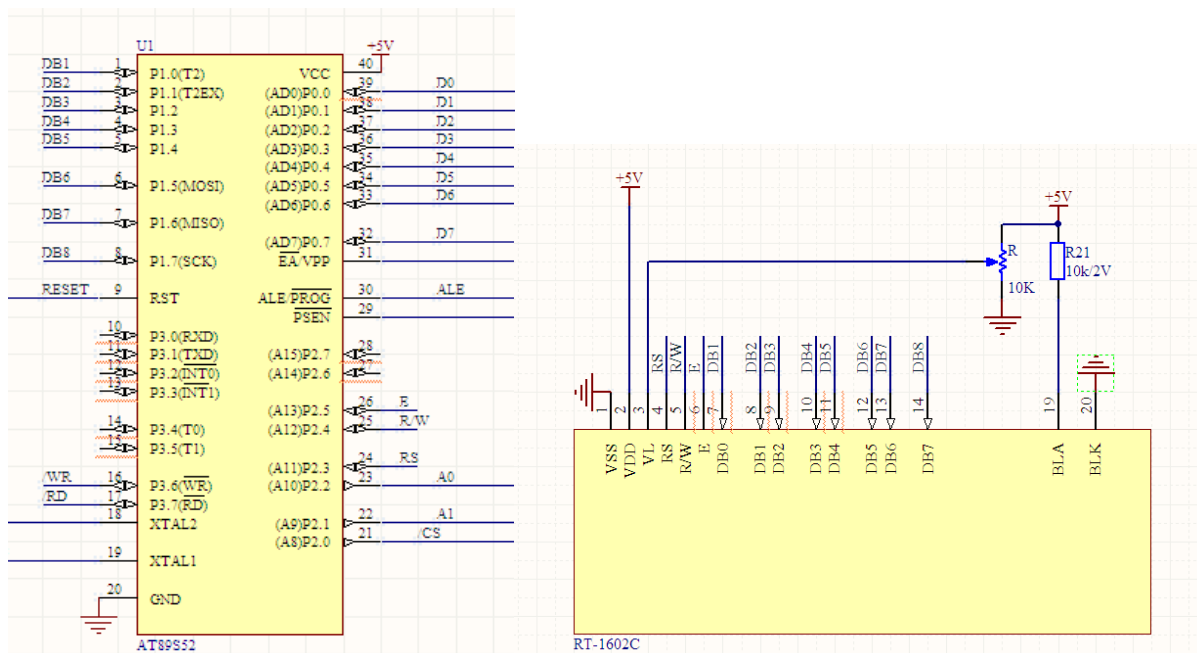


图 3-5 RT-1602C 显示电路

## 3.6 示波器的选择

示波器的用途十分广泛。它能将电信号以图像的形式显示出来，方便人们去研究各式各样的电现象的变化过程。示波器利用电子束打在荧光屏上来产生细小的光点。在被测信号的作用下，电子束能在屏面上留下被测信号瞬时值的变化曲线。用示波器能观察到不同信号的幅度随时间变化产生的波形曲线，还可以用它测试各种不同的电量，如电压、电流、频率、相位差、调幅度等等。示波器按工作方式可以分为模拟示波器和数字示波器，按显示方法可分为双线示波器和双踪示波器。由于本次设计输出的是模拟信号，而双线示波器的成本很高所以选择模拟双踪示波器来显示波形。

## 4 软件设计

根据系统功能要求设计的应用软件能实现应用系统的各种功能。一个优秀的应用系统具有以下特点：

- 1.将系统软件按软件功能分为几个独立的部分。设计出的软件整体结构，使其具有清晰的结构、合理的流程。
- 2.要树立程序设计的风格结构化，使各功能程序模块化、子程序化。即便于移植、修正，又便于调试、链接。
- 3.数学模型建立的正确性。根据各功能具体要求，描述各个输入变量和输出变量之间的数学关系，数学模型的正确与否将直接关系到整个系统好坏。
- 4.为提高软件设计的总体效率，用简单明了、直观易懂的方法对任务进行描述，应该先绘制出程序流程图，再编写应用软件。
- 5.要合理的分配各种系统资源，包括定时器/计数器、ROM、RAM、中断资源等。
- 6.为提高程序的可读性，可以在程序的相关位置上编写该程序的功能注释。
- 7.为提高系统应用可靠性，要加强软件的抗干扰能力。

本文在软件设计上，按照不同功能分了若干个模块进行编程。主要的模块有：主程序、锯齿波模、方波、三角波、正弦波、延时子程序等模块。

波形模块的显示利用了 DAC0832 的 8 位特点，以 8 位数据的形式将波形数据输入 CPU 中，通过按键的方式显示波形。

### 4.1 程序流程图

初始化程序将程序中用到的变量、数组、端口等进行初始化使得变量能上电复位为初始化的数值，再对定时器和中断进行初始化。初始化完成后开中断并进入主循环等中断，主程序流程图如图 4-1-1 所示。

#### 4.1.1 主程序流程图

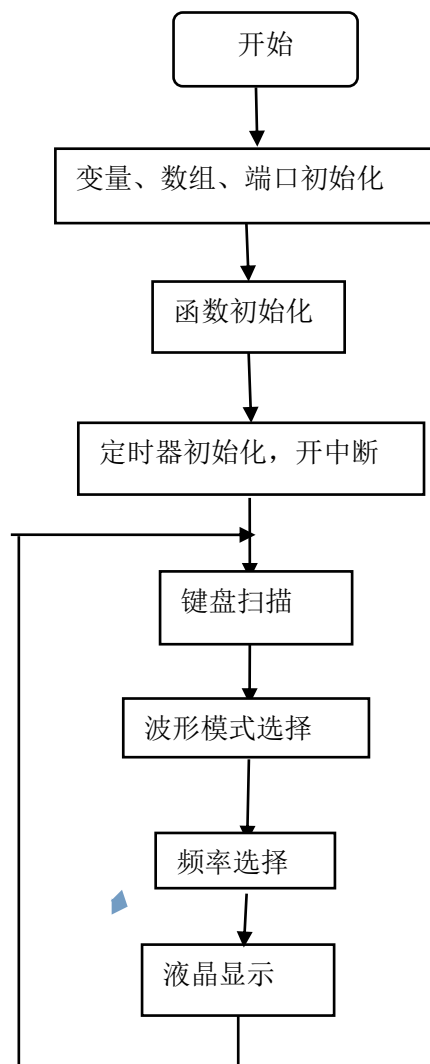


图 4-1-1 主程序流程图

其中波形模式的设计过程实现用按键来控制不同波形的输出，当按下键 1 时信号发生器就输出锯齿波；当按下键 2 时信号发生器就输出方波；当按下键 3 时信号发生器就输出三角波；当按下键 4 时信号发生器就输出正弦波。各个波形产生的程序流程图如下。

#### 4.1.2 锯齿波程序流程图

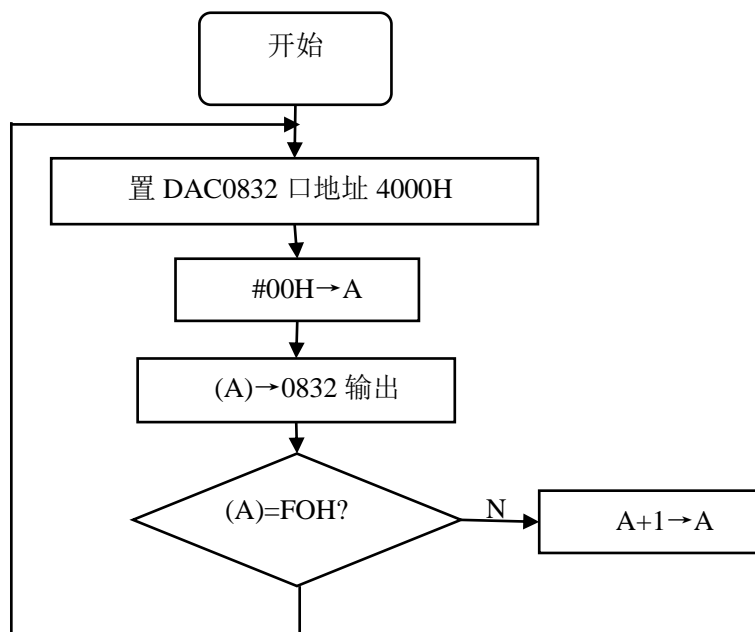


图 4-1-2 锯齿波程序流程图

锯齿波的产生先将 DAC0832 的口地址置为 4000H，然后将 00H 送入寄存器 A 中，DAC0832 输出 A 中的内容，当 A 中的内容等于 FOH 时返回开始，然而当 A 中的内容不等于 FOH 时，A 中的内容累加从而输出波形。

#### 4.1.3 方波程序流程图

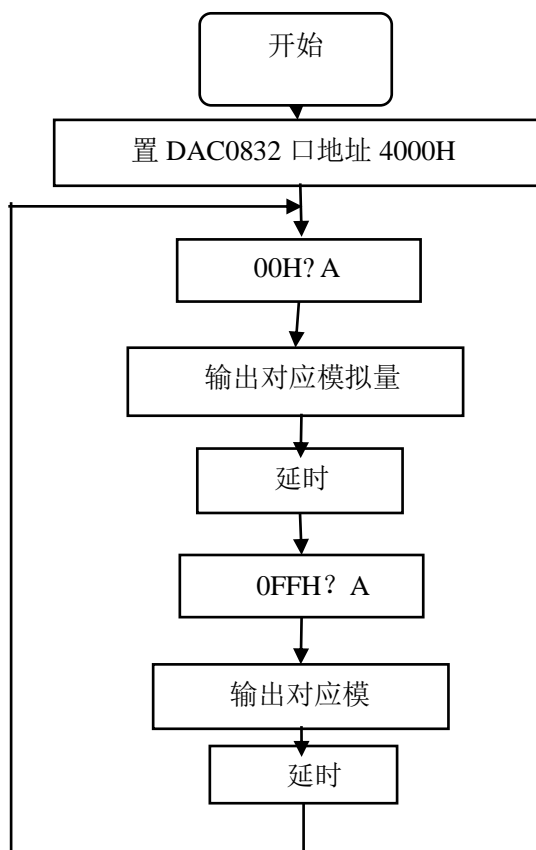


图 4-1-3 方波程序流程图



方波的产生先将 DAC0832 的口地址置为 4000H，当 A 中的内容为 0 时输出对应模拟量，然后延时。当 A 中的内容为 0FFH 时输出对应模拟量再延时，得到方波。

4.1.4 三角波程序流程图

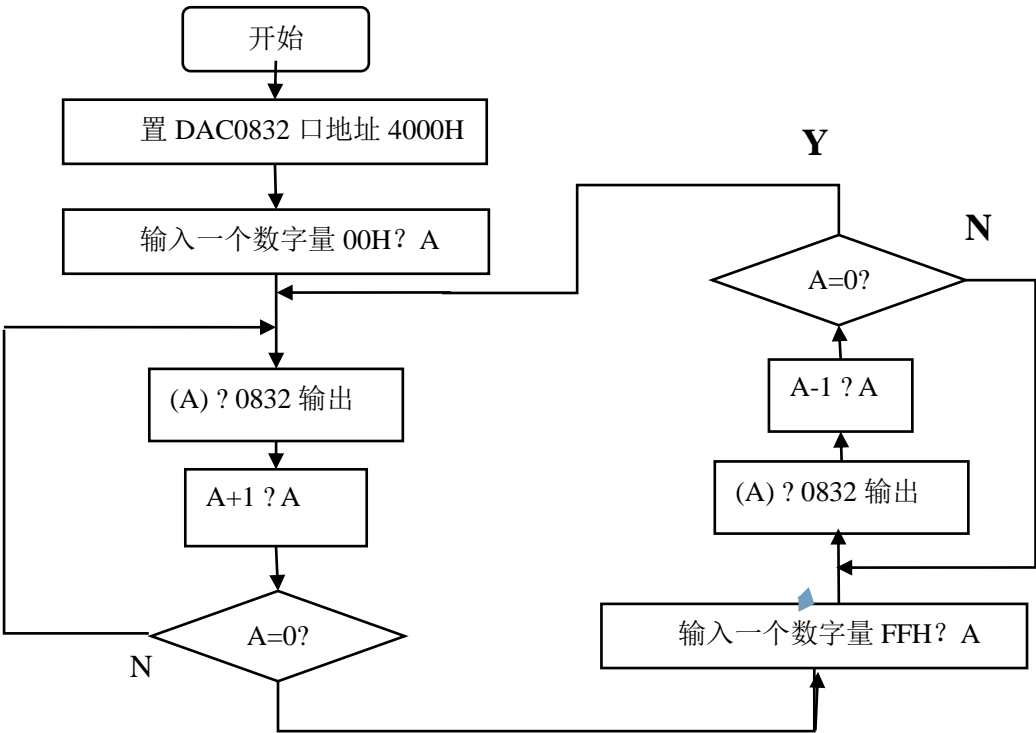
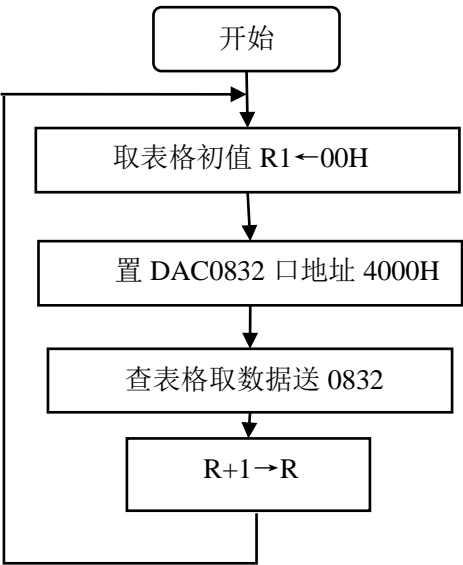


图 4-1-4 三角波程序流程图

三角波的产生先将 DAC0832 的口地址置为 4000H，A 中的数值加一递增，当 A 中的内容为 0 时与 0FFH 进行比较，相等时 A 中的数值减一递减从而循环产生三角波。

4.1.5 正弦波程序流程图



正弦波的产生通过查表指令得出。

图 4-1-5 正弦波程序流程图

#### 4.1.6 延时子程序流程图

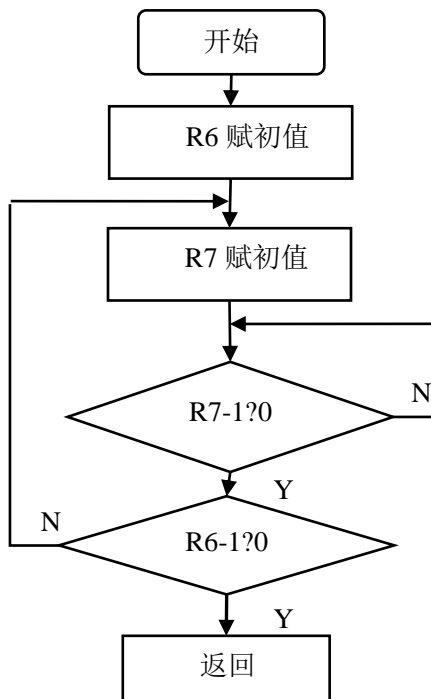


图 4-1-6 延时子程序流程图

#### 4.1.7LCD 液晶显示程序流程图

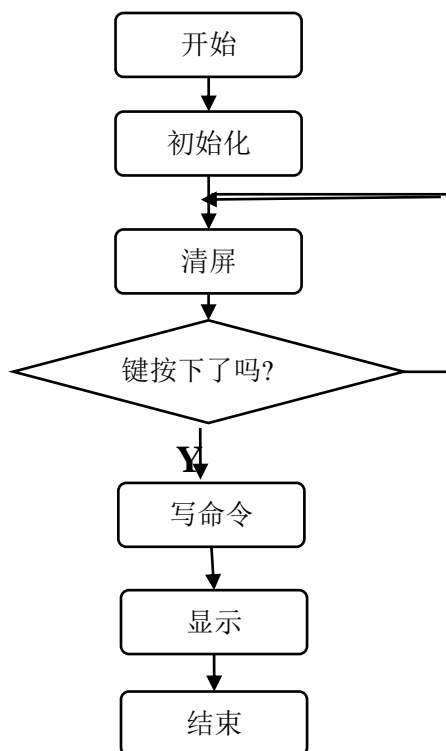


图 4-1-7LCD 液晶显示程序流程图

液晶的第一行显示波形的频率，第二行显示波形的名称。先对 RT-1206C 进行初始化清零液晶的指针，使之能以点阵的方式显示。在显示开始后指针指向第一行第一格，每显示一格后指针值自动加一。在显示完第一行后指针指向第二行第一格直到显示完成。

### 4.2 源程序的调试

```
ORG 0000H
AJM MAIN
ORG 000BH
LJMP TC0
ORG 0030H
MAIN:MOV DPTR,#0DFFFH ; 送 0832 (1) 输入锁存器地址
      MOV A,#data1 ; data1 送 0832 (1) 输入锁存器
      MOVX @DPTR,A ;
      MOV DPTR,#0BFFFH ; 送 0832 (1) 输入锁存器地址
      MOV A,#data2 ; data2 送 0832 (1) 输入锁存器
      MOVX @DPTR,A ;
      MOV DPTR,#7FFFH ; 送两路 DAC 寄存器地址
      MOVX @DPTR,A ; 两路数据同步转换输出
      JNB S1,SJB ;判断是否是 1 号键，若是则输出三角波
      JNB S2,JCB ;判断是否是 2 号键，若是则输出锯齿波
      JNB S3,FB ;判断是否是 3 号键，若是则输出方波
      JNB S4,ZXB ;判断是否是 4 号键，若是则输出正弦波
      JNB S5,K10H ;判断是否是 5 号键，若是则输出 10HZ 信号
      JNB S6,K100H ;判断是否是 6 号键，若是则输出 100HZ 信号
      JNB S7,K500H ;判断是否是 7 号键，若是则输出 500HZ 信号
      JNB S8,K1000H ;判断是否是 8 号键，若是则输出 1000HZ 信号
      AJMP MAIN
LCD:MOV SP,#50H ;设定 LCD 显示
      ACALL INIT
```

SJB:MOV A,#11000101B ;写入缓冲区首址为第 2 行第 6 列

ACALL WC51R

MOV A,“S” ;第 2 行第 6 列显示字母“S”

ACALL WC51DDR

MOV A,“J” ;第 2 行第 7 列显示字母“J”

ACALL WC51DD

RMOV A,“B” ;第 2 行第 8 列显示字母“B”

ACALL WC51DDR

JCB:MOV A,#11000101B ;写入缓冲区首址为第 2 行第 6 列

ACALL WC51R

MOV A,“J” ;第 2 行第 6 列显示字母“J”

ACALL WC51DDR

MOV A,“C” ;第 2 行第 7 列显示字母“C”

ACALL WC51DD

RMOV A,“B” ;第 2 行第 8 列显示字母“B”

ACALL WC51DDR

FB:MOV A,#11000101B ;写入缓冲区首址为第 2 行第 6 列

ACALL WC51R

MOV A,“F” ;第 2 行第 6 列显示字母“F”

ACALL WC51DD

RMOV A,“B” ;第 2 行第 7 列显示字母“B”

ACALL WC51DDR

ZXB:MOV A,#11000101B ;写入缓冲区首址为第 2 行第 6 列

ACALL WC51R

MOV A,“Z” ;第 2 行第 6 列显示字母“Z”

ACALL WC51DDR

MOV A,“X” ;第 2 行第 7 列显示字母“X”

ACALL WC51DD

RMOV A,“B” ;第 2 行第 8 列显示字母“B”

ACALL WC51DDR

K10H:MOV A,#10000000B ;写入缓冲区首址为第 1 行第 1 列  
ACALL WC51R  
MOV A,"1" ;第 1 行第 1 列显示数字 "1"  
ACALL WC51DDR  
MOV A,"0" ;第 1 行第 2 列显示数字 "0"  
  
ACALL WC51DD  
RMOV A,"H" ;第 1 行第 3 列显示字母 "H"  
ACALL WC51DDR  
K100H:MOV A,#10000000B ;写入缓冲区首址为第 1 行第 1 列  
ACALL WC51R  
MOV A,"1" ;第 1 行第 1 列显示数字 "1"  
ACALL WC51DDR  
MOV A,"0" ;第 1 行第 2 列显示数字 "0"  
ACALL WC51DD  
MOV A,"0" ;第 1 行第 3 列显示数字 "0"  
ACALL WC51DD  
RMOV A,"H" ;第 1 行第 4 列显示字母 "H"  
ACALL WC51DDR  
K500H:MOV A,#10000000B ;写入缓冲区首址为第 1 行第 1 列  
ACALL WC51R  
MOV A,"5" ;第 1 行第 1 列显示数字 "5"  
ACALL WC51DDR  
MOV A,"0" ;第 1 行第 2 列显示数字 "0"  
ACALL WC51DD  
MOV A,"0" ;第 1 行第 3 列显示数字 "0"  
ACALL WC51DD  
RMOV A,"H" ;第 1 行第 4 列显示字母 "H"  
ACALL WC51DDR  
K1000H:MOV A,#10000000B ;写入缓冲区首址为第 1 行第 1 列  
ACALL WC51R  
MOV A,"1" ;第 1 行第 1 列显示数字 "1"

```
ACALL WC51DDR
MOV A, "0" ;第 1 行第 2 列显示数字 "0"
ACALL WC51DD
MOV A, "0" ;第 1 行第 3 列显示数字 "0"
ACALL WC51DD

MOV A, "0" ;第 1 行第 4 列显示数字 "0"
ACALL WC51DD
RMOV A, "H" ;第 1 行第 5 列显示字母 "H"
ACALL WC51DDR
LOOP:AJMP LOOP
INIT:MOV A,#00000001H ;清屏
ACALL WC51R
MOV A,#00111000B ;使用 8 位数据显示两行，使用 5×7 的字型
LCALL WC51R
MOV A,#00001110B ;显示器开，光标开，字符不闪烁
LCALL WC51R
MOV A,#00000110B ; 字符不动，光标自动右移一格
LCALL WC51R
RET
F_BUSY: PUSH ACC ;保护现场
        PUSH DPH
        PUSH PSW
        ;写入命令子程序
WC51R:ACALL F_BUSY
CLR E
CLR RS
CLR RW
SETB E
MOV P1,ACC
CLR E
ACALL DELAY
```

RET

；写入数据子程序

WC51DDR:ACALL F\_BUSY

CLR E

CLR RS

CLR RW

SETB E

MOV P1,ACC

CLR E

ACALL DELAY

RET

;延时子程序

DELY: MOV R7,#07H

DLY0:MOV R6,#00H

NOP

DLY1:DJNZ R6,DLY1

DJNZ R7,DLY0

RET

### 4.3 波形的产生与控制程序

;按键 S1:锯齿波 按键 S2:方波 按键 S3:三角波 按键 S4:正弦波

MAIN:MOV SP,#50H

;利用 dac0832 产生锯齿波

B1:MOV A,#00H

LP1:SETB P0.5

SETB P0.6

SETB P0.7

CLE P0.4

MOV DPTR,#4000H

MOVX @DPTR,A

```
CJNE  A,#0F0H,MORE
JNB   S2,B2

JNB   S3,B3
JB    S4,D0
LJMP  B4
D0:SJMP B1
MORE:INC  A
      SJMPL P0
      ;利用 dac0832 产生方波
B2:MOV  A,#00H
LP2:SETB P0.4
      SETB P0.6
      SETB P0.7
      CLE  P0.5
      MOV  DPTR,#4000H
      MOVX @DPTR,A
      LCALL DELY
      MOV  A,#0F0H
      MOVX @DPTR,A
      LCALL DELY
      JB   S1,J0
      LJMP B1
J0:JB   S3,J1
      LJMP B3
J1:JB   S4,J3
      LJMP B4
J2:SJMP B2
DELY: MOV  R7,#07H
DLY0:MOV  R6,#00H
      NOP
DLY1:DJNZ  R6,DLY1
      DJNZ  R7,DLY0
```



RET

DELY: MOV R4,#100

DLY0: MOV R3,#98

NOP

DLY1: DJNZ R4,DLAY1

DJNZ R3,DLAY0

RET

;利用 dac0832 产生三角波

B3: MOV A,#00H

UP1: SETB P0.4

SETB P0.5

SETB P0.7

CLE P0.6

MOV DPTR,#4000H

MOVX @DPTR,A

INC A

JNZ UP1

DOWN1: DEC A

MOVX @DPTR,A

TNZ DOWN1

JNB S1,B1

JNB S2,B2

JNB S4,B4,C0

LJMP B4

C0: SJMP UP1

;利用 dac0832 产生正弦波

B4: MOV R1,#00H ;取表格初值

;在表格里取数送到指定的地址//////////

LOOP1: SETB P0.4

SETB P0.5

SETB P0.6

```
CLE  P0.7
MOV  A,R1
MOVC A,DPTR,#SETTAB
MOV  DPTR,#4000H
MOVX @DPTR,A
INC  R1,表格加 1
JNB  S1,B1
JNB  S2,B2
JNB  S3,B3,E0
LJMP B4
E0:AJMP LOOP1      ;循环
SETTAB:
      ;正弦波表格//////////
DB 80H,83H,86H,89H,8DH,90H,93H,96H
DB 99H,9CH,9FH,0A2H,0A5H,0A8H,0ABH,0AEH
DB 0B1H,0B4H,0B7H,0BAH,0BCH,0BFH,0C2H,0C5H
DB 0C7H,0CAH,0CCH,0CFH,0D1H, 0D4H,0D6H,0D8H
DB 0DAH,0DDH,0DFH,0E1H,0E3H, 0E5H,0E7H,0E9H
DB 0EAH,0ECH,0EEH,0EFH,0F1H, 0F2H,0F4H,0F5H
DB 0F6H,0F7H,0F8H,0F9H,0FAH, 0FBH,0FCH,0FDH
DB 0FDH,0FEH,0FFH,0FFH,0FFH, 0FFH,0FFH,0FFH
DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH, 0FFH,0FEH,0FDH
DB 0FDH,0FCH,0FBH,0FAH,0F9H, 0F8H,0F7H,0F6H
DB 0F5H,0F4H,0F2H,0F1H,0EFH, 0EEH,0ECH,0EAH
DB 0E9H,0E7H,0E5H,0E3H,0E1H, 0DEH,0DDH,0DAH
DB 0D8H,0D6H,0D4H,0D1H,0CFH, 0CCH,0CAH,0C7H
DB 0C5H,0C2H,0BFH,0BCH,0BAH, 0B7H,0B4H,0B1H
DB 0AEH,0ABH,0A8H,0A5H,0A2H, 9FH, 9CH, 99H
DB 96H, 93H, 90H, 8DH, 89H, 86H, 83H, 80H
DB 80H, 7CH, 79H, 78H, 72H, 6FH, 6CH, 69H
```

DB 66H, 63H, 60H, 5DH, 5AH, 57H, 55H, 51H

DB 4EH, 4CH, 48H, 45H, 43H, 40H, 3DH, 3AH

DB 38H, 35H, 33H, 30H, 2EH, 2BH, 29H, 27H

DB 25H, 22H, 20H, 1EH, 1CH, 1AH, 18H, 16H

DB 15H, 13H, 11H, 10H, 0EH, 0DH, 0BH, 0AH

DB 09H, 08H, 07H, 06H, 05H, 04H, 03H, 02H

DB 02H, 01H, 00H, 00H, 00H, 00H, 00H, 00H

DB 00H, 00H, 00H, 00H, 00H, 00H, 01H, 02H

DB 02H, 03H, 04H, 05H, 06H, 07H, 08H, 09H

DB 0AH, 0BH, 0DH, 0EH, 10H, 11H, 13H, 15H

DB 16H, 18H, 1AH, 1CH, 1EH, 20H, 22H, 25H

DB 27H, 29H, 2BH, 2EH, 30H, 33H, 35H, 38H

DB 3AH, 3DH, 40H, 43H, 45H, 48H, 4CH, 4EH

DB 51H, 55H, 57H, 5AH, 5DH, 60H, 63H, 66H

DB 69H, 6CH, 6FH, 72H, 76H, 79H, 7CH, 80H

S1 BIT P0.0

S2 BIT P0.1

S3 BIT P0.2

S4 BIT P0.3

END

## 5 结 论

毕业设计是培养学生综合运用所学知识去发现，提出，分析并解决实际问题的能力，是锻炼学生实践能力的重要环节。随着科学技术的飞速发展，单片机已成为当今计算机应用中空前活跃的领域，生活的各个方面都能看到单片机的身影。当代大学生尤其是自动化专业的学生掌握好单片机的开发技术是很有必要的。

回首这段做毕业设计的时间有苦有甜。从最初的选题到最后的定稿，这几个星期的时间经历了许多的困难，其中包括几次选题的更改，对各种用到的元件使用方法和工作原理的理解含糊，对绘图软件的不熟悉等，这些问题的确让我苦恼了好一阵子。有苦就有甜，尽管困难重重但天道酬勤，本着不懂就问的精神，请教老师、同学当然还有学校的图书馆和庞大的网络。渐渐的由起初的不知所措经过一知半解到最后的顺利完成，这期间将大学四年的专业课程都重温了一遍，还拓展了一下课外的知识，也明白了理论与实践的结合是比较困难的同时也是十分重要的。

由于时间和本人的能力有限，此系统也存在一些不足之处有待改进。一是本系统的核心控制芯片单片机，AT89S52 的自身晶振频率为 11.0592HZ 能调节的频率在 1-1000HZ 之间只能产生低频信号，在今后的设计中可以采用晶振频率更高的控制器来产生高频信号；二是只能输出特定频率的波形，不能输出其他频率的波形；三是加入误差检验环节，在波形输出口加上 A/D 转换模块对输出信号进行反馈进而提高输出波形的精度。

## 6 经济分析报告

本次信号发生器的设计采用 AT89S52 核心控制器, DAC0832 数/模转换器, RT-1602C 液晶显示器, 键盘选择波形的形式和频率。基于单片机的信号发生器具有结构简单、成本低、控制方便、可做成便携仪器、易于使用等优点, 具有一定的实用价值。此外, 它可用于产生被测电路所需特定参数的测试信号, 也可为某些电子器件提供时钟信号等。此外, 波形发生器产生的波形有电压输出和功率输出, 因此用途广泛。用于测试、检查以及维修多种多样的电子仪器设备中放大器的频率特性和通频带等参数, 还能作为信号源使用, 一般针对高频信号发生器。

AT89S52 是一种低功耗、高性能与工业 80C51 产品指令和引脚完全兼容的芯片, 且价格便宜一般在 5.5 元左右, 根据生产厂商和产品型号的不同价格也会有差距。8255A 是在单片机应用系统中广泛采用的可编程 I/O 扩展芯片。它有 3 个 8 位并行 I/O 接口 PA、PB、PC, 有 3 种基本的工作方式, 最低为 2.5 元, 平均价格为 19 元。芯片内有两级输入寄存器, 使 DAC0832 具备双冲、缓冲和直通三种输入方式, 以便适于各种电路的需要, 价格在 3.8-13.5 元之间。RT-1602C 液晶显示器价格在 8.5 元左右

技术含量和实用性以及性价比是衡量一个应用方案好坏的重要因素。基于 AT89S52 的信号发生器无论从技术含量还是从实用性上来看都是比较好的。由于系统操作方便, 易于维修, 安全, 对硬件以及技术要求不高, 所以便于多数大中型企业的采用, 便于大规模投产, 使资金回炉快。所以此方案是可行的。

### 元器件清单

序号	名称	参数	数量
1	AT89S52 芯片		1
2	8255A 芯片		1
3	DAC0832 芯片		2
4	RT-1602C 显示屏		1
5	OP07 运放		2
6	R 电阻	10X,5.1K	14,8
7	C 电容	0.01 $\mu$ f,10 $\mu$ f,20PF	1,1,2
8	晶振	12MHZ	1
9	开关		9

### 致谢

感谢老师这几个月的指导，我感到受益良多，虽能自己不懂得很多，但学到了大学里很多值得回味的东西。大学的时光在这段美好的时光即将划上一个完美的句号，谢谢邵老师的精心教导，我感觉自己不再那么的深沉与迷茫，我的毕业设计也顺利完成，在此，对老师表示我最真诚的祝福。毕业设计是对我们知识运用能力的一次全面的考核，也是对我们进行科学研究基本功的训练，培养我们综合运用所学知识独立地分析问题和解决问题的能力，为以后撰写专业学术论文和工作打下良好的基础。感谢四年中陪伴在我身边的同学、朋友，感谢他们为我提出的有益的建议和意见，有了他们的支持、鼓励和帮助，我才能充实的度过了四年的学习生活。

## 参 考 文 献

- [1] 谢维成, 杨加国. 单片机应用及 C51 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 15-20
- [2] 王楚, 沈伯弘. 数字逻辑电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [3] 刘福太, 梁发麦. 篮版电子电路 495 例[M]. 北京: 科学出版社, 2007:4
- [4] 高平, 傅海军. 电子设计制作完全指导[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [5] 王义军, 周军. 数字电子技术基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007
- [6] 章彬宏, 吴青萍. 模拟电子技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008
- [7] 谢自美, 罗杰. 电子线路设计·实验·测试(第二版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000:4
- [8] 邱关源, 罗先觉. 电路-5 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006 (2011.5 重印)
- [9] 王书锋, 谭建豪. 计算机控制技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011:15
- [10] 吴镇扬. 数字信号处理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [11] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996
- [12] 谭浩强. C 语言程序设计(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [13] 何大钦. 电子技术基础实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [14] 王辛之. AT89 系列单片机原理与接口技术[M]. 北京: 航天航空大学出版社, 2004
- [15] Tiemey, JRader,C.M,and Gold,B.A.Digital Frequency Synthesizer,IEEE[J]. Transactions on Audio and Electroacoustics, 2000
- [16] Van Putten, Middelheok S.Integrated silicon anemometer[J].Electronic Letters, 1974