



凌 阳 大 学 计 划  
Sunplus University Program

---

电子竞赛  
——波形发生器

Electron—competition Specification

---

北京北阳电子技术有限公司



## 目录

摘要 .....	3
一、方案设计与论证 .....	4
二、系统硬件电路设计 .....	5
2.1 电路方框图及说明 .....	5
2.2 各部分电路设计 .....	5
2.2.1 滤波、放大及其电流到电压的转换电路 .....	5
2.2.2 键盘控制电路 .....	6
2.2.3 显示电路 .....	7
2.2.4 语音播报电路的设计 .....	8
三、软件设计 .....	9
3.1 主程序流程图 .....	9
3.2 分块程序流程 .....	11
四、系统测试及整机指标 .....	16
五、总结 .....	16
六、参考资料 .....	16



# 波形发生器

## 摘要

单片机是实现各种控制策略和算法的载体。由台湾凌阳公司生产的 SPCE 系列单片机, 因其功耗低, 超小型, 低成本, 功能完整, 非常适用于便携式仪表和就地式显示控制仪表, 在国内越来越受到用户的重视和广泛的应用。SPCE061A 单片机功能强大, 其片内含有八路十位 A/D 转换器和两路 D/A 转换器, 该波形发生器运用单片机技术, 通过巧妙的软件设计和简易的硬件电路, 产生数字式的正弦波、方波、斜波等幅值可调的信号。信号频率, 可通过键盘输入, 并显示。与现有各类型波形发生器比较而言, 产生的数字信号干扰小, 输出稳定, 可靠性高, 特别是操作简单方便, 人机界面友好, 成本低, 非常适合于物理实验室教学与实验使用。

**关键词:** SPCE061A 单片机 波形发生器

## SPCE061A 单片机概述

SPCE061A 是继  $\mu^{\text{nSP}}$  系列产品 SPCE500A 等之后凌阳科技推出的又一个 16 位结构的微控制器。目前有两种封装形式: 84 引脚的 PLCC84 封装和 80 引脚的 LQFP80 贴片封装。

主要性能如下:

- 16 位  $\mu^{\text{nSP}}$  微处理器;
- 工作电压: VDD 为 2.4~3.6V(cpu), VDDH 为 2.4~5.5V(I/O);
- CPU 时钟: 32768Hz~49.152MHz ;
- 内置 2K 字 SRAM、内置 32K FLASH;
- 可编程音频处理;
- 32 位通用可编程输入/输出端口;
- 32768Hz 实时时钟, 锁相环 PLL 振荡器提供系统时钟信号;
- 2 个 16 位可编程定时器/计数器(可自动预置初始计数值);
- 2 个 10 位 DAC(数-模转换)输出通道;
- 7 通道 10 位电压模-数转换器(ADC)和单通道语音模-数转换器;
- 声音模-数转换器输入通道内置麦克风放大器自动增益控制(AGC)功能;
- 系统处于备用状态下(时钟处于停止状态)耗电小于  $2\mu\text{A}@3.6\text{V}$ ;
- 14 个中断源: 定时器 A / B, 2 个外部时钟源输入, 时基, 键唤醒等;



- 具备触键唤醒的功能;
- 使用凌阳音频编码 SACM\_S240 方式(2.4K 位/秒), 能容纳 210 秒的语音数据;
- 具备异步、同步串行设备接口;
- 具有低电压复位(LVR)功能和低电压监测(LVD)功能;
- 内置在线仿真电路接口 ICE (In- Circuit Emulator);
- 具有保密能力;
- 具有 WatchDog 功能 (由具体型号决定)

## 一、方案设计与论证

### 方案一:

本方案直接采用凌阳 SPCE061A 作为波形发生器。波形的具体产生是通过两路 DAC 来产生, 凌阳 SPCE061A 在这方面的设计为我们提供了极大的方便, 用它实现的好处在于, 外围电路极其简单, 另外在 DAC 的编程方面又提供及其便利的编程环境。外围电路的设计包括三大部分, 第一是键盘控制电路的设计, 这里采用 4\*4 键盘, 由 IOA 的低八位进行控制, 把键盘上的行和列分别接在 IOA0~IOA3 和 IOA4~IOA7 上, 采用外部中断二来中断所显示波形, 以便进入下一波形的编辑和输出, 在波形输出的同时利用外部中断一来实现同步的频率调节。第二是显示电路的设计, 这里为了在波形输出依然有显示, 由于单片机的局限性这里采用通常的动态 LED 显示行不通, 因为波形输出时要求 CPU 不停地为其服务而没有空闲来为 LED 进行不停更新, 解决方案是采用带数据缓存器和驱动的 LCD 来提供显示, 这样只占用八个 I/O 口即可完成设计要求, 也可放弃适时显示功能采用 LED 显示, 这里将提供两种显示方案。第三是滤波和电压转换电路的设计, 滤波采用低通滤波器, 滤除 DAC 转换过程中形成的高频小锯齿波。另外由于凌阳 SPCE061A 单片机 DAC 输出为电流输出, 为满足达到 5V 的电压输出, 外接 OP07 运算放大器进行放大, 加 1 千欧姆电阻进行电流信号到电压信号的转换。本设计的特点是全面采用数字电路方案, 因而工作稳定可靠。利用单片机控制管理, 使频率设置和占空比调整等操作可用键盘输入, 十分方便。

### 方案二:

本设计方案采用功能很强的大规模数字频率合成器 MC145151 和多波形宽频率范围信号发生器 MAX038 等新器件产生波形和频率, 控制与管理电路部分使用 SPCE061A 单片机以及键盘显示电路。MAX038 是一个精密高频波形产生器。它能产生频率高达 20MHz 的正弦波、三角波、方波等脉冲信号, 其压控振荡器的频率分粗调和细调两层控制。在本电路中, 用于粗调的控制电压(电流)由一个 12 位的 DAC 产生, 使输出频率近似等于 N 倍基准频率。而细调电压则由数字锁相电路 MC145151 和环路滤波器 MAX427 产生, 由锁相反馈环将频率  $f_o = Nf_r$  锁定。这种方案的优点是频率合成器工作更可靠, 锁定更迅速。另外 MAX038 还包括占空比调整电路、波形同步电路、相位检测电路、波形切换开关和电压基准源等电路, 所需外部元件少, 使用很方便。控制和管理电路由 SPCE061A 单片机及外围电路组成。其主要用于对键盘输入的波形和频率选择等数据进行译码, 计算出相应的控制参数, 控制频率合成器输出正确的信号, 并将其频率和波形参数用 LED 显示出来。对于小型通用信号产生器而言,



这是一个比较理想的设计方案。

#### 方案比较:

第一种方案设计外围电路简单, 能够满足电子大赛设计的要求, 这里考虑到短时间内设计既要成型, 采用第一种方案。第二种方案的设计比较完善, 由于用到专门的波形发生芯片, 产生的波形比较完美, 但外围电路复杂, 适合于作波形发生器的产品设计方案。

## 二、系统硬件电路设计

### 2.1 电路方框图及说明

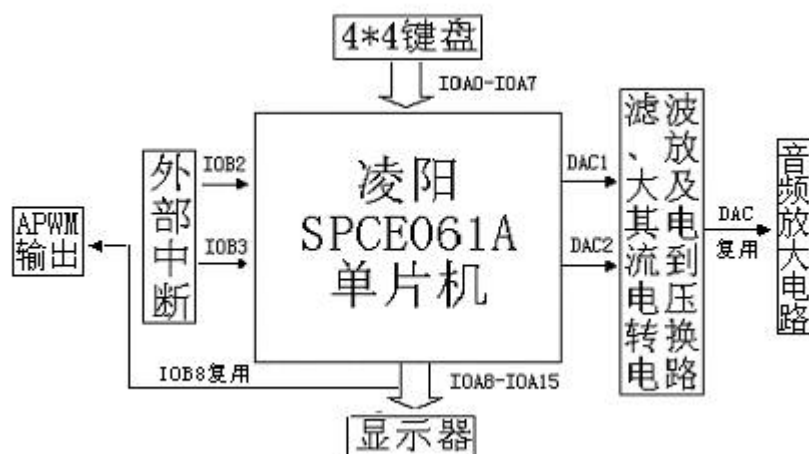


图 1 整体框图

### 2.2 各部分电路设计

#### 2.2. 滤波、放大及其电流到电压的转换电路电路

本系统采用二阶压控电压源低通滤波器, 如图 2 所示。它由两节 RC 滤波器和同向放大电路组成。其中同相放大实际上就是所谓的压控电压源, 它的电压增益就是低通滤波器的通带电压增益, 即:  $A_0 = A_{vf} = 1 + R_f/R_1$

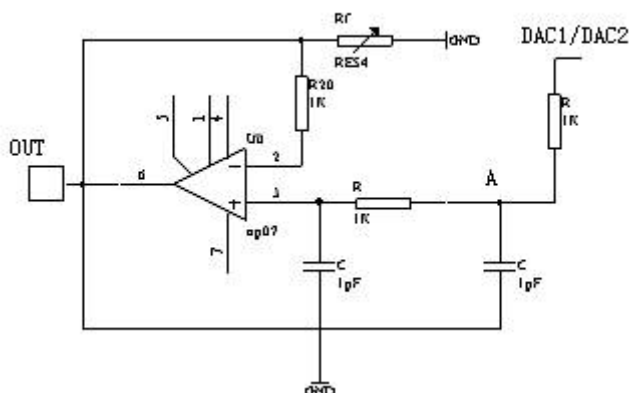


图 2 滤波电路

传递函数由图电路可知，运放同相端输入电压为：

(1)

而  $V_p(s)$  与  $V_a(s)$  的关系为：

$$V_p(s) = V_a(s) / (1 + sRC) \quad (2)$$

对于节点 A，由节点电流法可得

$$V_i(s)/R - V_a(s)/R - [V_a(s) - V_0(s)]sC - V_a(s)/R - V_p(s)/R = 0 \quad (3)$$

将式 (1)、(2) 和 (3) 连立求解，可得电路的传递函数为

$$A(s) = V_0(s) / V_i(s) = A_{vf} / [1 + (3 - A_{vf})sRC + sRC * sRC] \quad (4)$$

式 (4) 为二阶低通滤波器传递函数的表达式。其中  $1/RC$  为特征频率，而  $1/(3 - A_{vf})$  为等效品质因数。截止频率为  $1/RC$ 。通过设置  $R$ 、 $C$  可调节带通到我们需要的范围。另外调节  $R_f$  可调节幅度到我们需要的范围。

### 2.2.2 键盘控制电路

在单片机中所需按键较少，多采用独立式键盘。此种键盘结构简单，每只按键接单片机的一条 I/O 线，通过查询即可示别出每只按键的状态来。但由于本系统按键较多，在这里采用矩阵式排列键盘，如图 3 所示，这样可以合理应用硬件资源，把 16 只按键排列成 4\*4 矩阵形式，用一个 8 位 I/O 口控制，如图所示。把键盘上的行和列分别接在 IOA0~IOA3 和 IOA4~IOA7

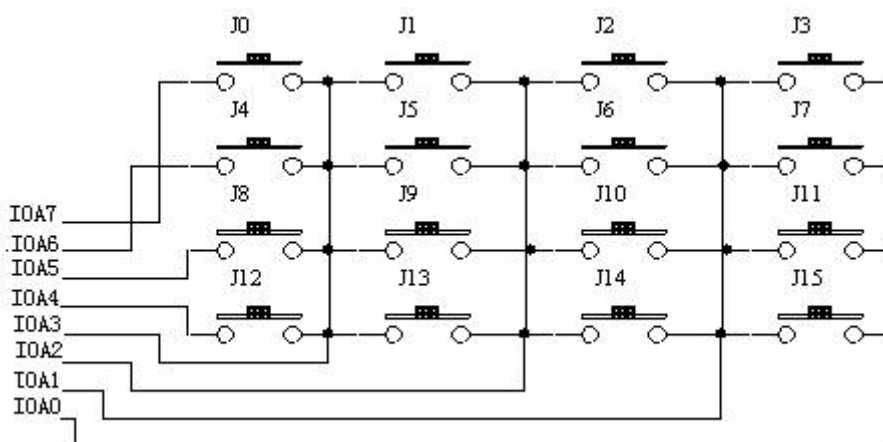


图3 按键控制电路

上。先置 IOA0~IOA3 为带数据缓存器的高电平输出，置 IOA4~IOA7 为带下拉电阻的输管脚，此时若有键按下，取 IOA4~IOA7 的数据将得到一个值，把此值保存下来，再置 IOA4~IOA7 为带数据反相器的高电平输出，置 IOA0~IOA3 为带下拉电阻的输入管脚，此时若键仍没弹起，取 IOA0~IOA3 的数据将得到另一个值，把这两个值组合就可得知是哪个键按下了，再通过查表得到键值。

### 2.2.3 显示电路电路

为了给广大单片机爱好者提供方便，在显示电路的设计方面提供两种方案，第一种是采用四个 LCD 进行适时显示，这是比较理想的方案，但由于 LCD 成本较高，这里还提供另一种方案，用六个 LED 进行显示，这种方案的缺点是不能适时显示，但也能满足一般设计要求。

第一种方案采用四个 LCD 进行动态显示，轮流显示波形和频率，直接用 SPCE061A 驱动液晶显示器，要占用较多的 I/O 口，这里采用 ICM7211M 来驱动，这样不仅节省 I/O 口而且减化了编程。用数字代表各种波形，显示波形的粗调频率。用 IOA9—IOA10 口作为位选控制，IOA8 口作为 ICM7211M 的片选信号，IOA11—IOA14 作为数据线。数据线和位选线直接接凌阳 SPCE061A 单片机的 I/O 口即可，



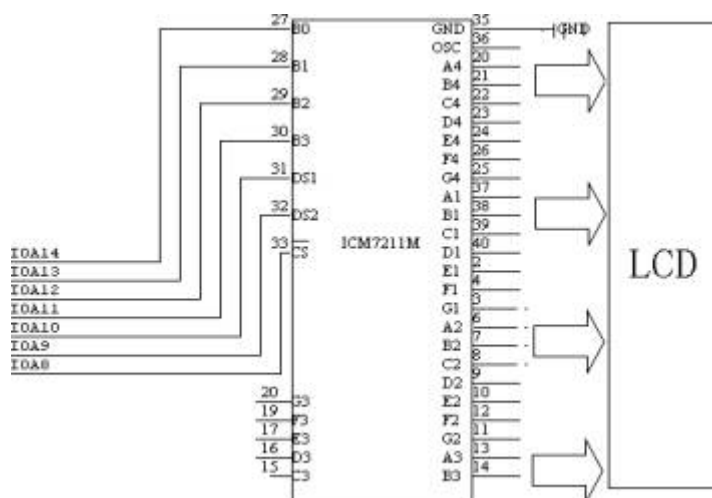


图 4 LCD 显示电路

第二种方案采用六个共阴极数码管 LED 进行动态显示波形和频率，直接用 SPCE061A 直接驱动 LED，两位提供波形显示，四位提供频率显示。用 IOB8—IOB13 口作为位选控制，IOA8—IOA14 口传输要显示的数据，数据线和位选线直接接凌阳 SPCE061A 单片机的 I/O 口即可，因为 I/O 口输出电流很小不会对 LED 造成损坏，它的电压值却足以驱动 LED，这不像别的单片机还要外接驱动电路和电阻，采用凌阳 SPCE061A 单片机大大减化了设计过程和硬件电路。硬件电路如图 5 所示。

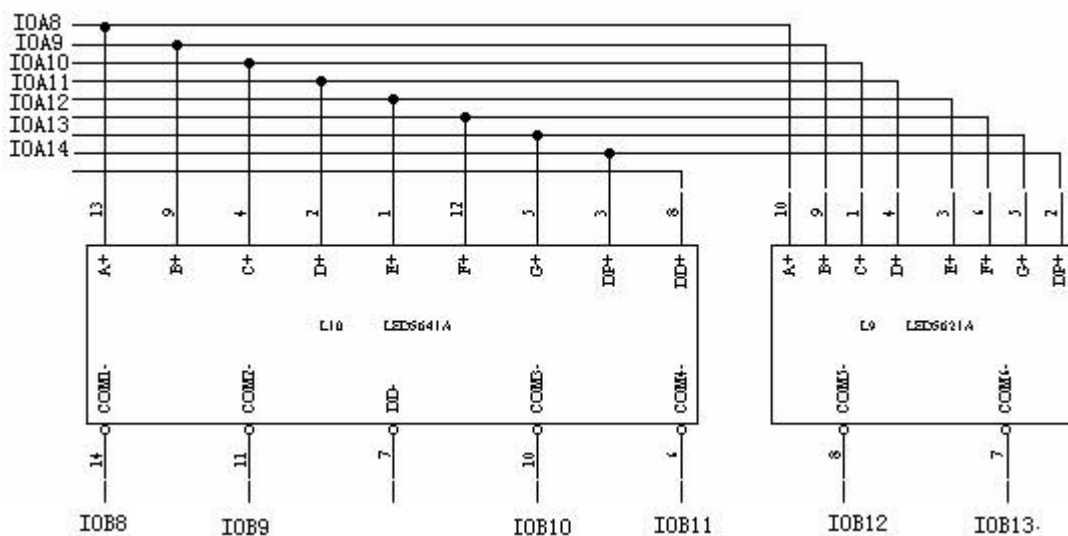


图 5 LED 显示电路

## 2.2.4 语音播报电路的设计电路





凌阳的 SPCE061A 是 16 位单片机，具有 DSP 功能，有很强的信息处理能力，最高时钟可达到 49M，具备运算速度高的优势等等，这为语音的播放、录放、合成及辨识提供了条件。另外 SPCE061A 单片机具有 32k 闪存，事先把所需要的语音信号录制好，整个语音信号经凌阳 SACM\_S480 压缩算法压缩只占有 13.2K 存储空间，对凌阳 SPCE061A 单片机的存储系统来说绰绰有余。凌阳 SPCE061A 单片机自带双通道 DAC 音频输出，DAC1、DAC2 转换输出的模拟量电流信号分别通过 AUD1 和 AUD2 管脚输出，DAC 输出为电流型输出，经 LM396 音频放大，即可驱动喇叭放音，放大电路如图 6(只列出了 DAC1,DAC2 类似)。在 DAC1、DAC2 后面接一个简单的音频放大电路和喇叭就能实现语音播报功能，这为单片机的音频设计提供了极大方便，音频的具体功能主要通过程序来实现。

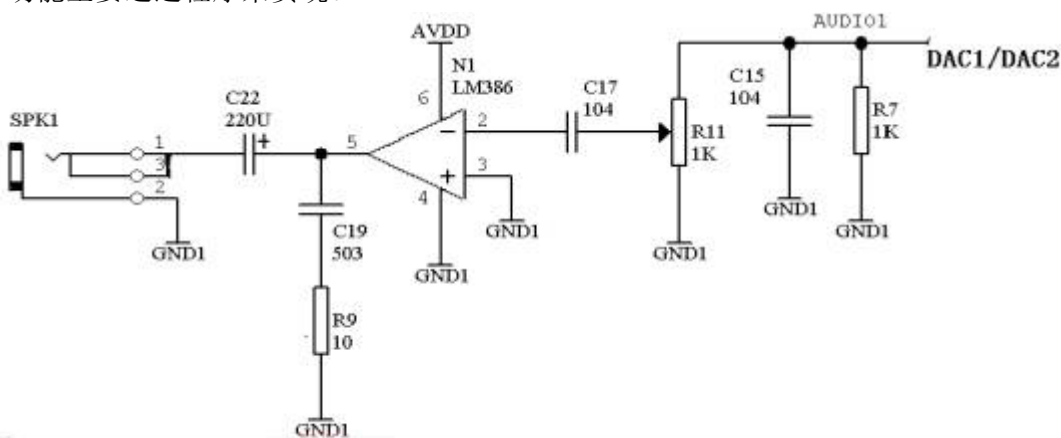


图 6 音频放大电路

### 三、软件设计

#### 3.1 主程序流程图

由于使用凌阳 SPCE061A 使外围电路变得异常简单，整个波形发生器的主体任务落到了程序编写上。整个系统的软件设计方案如图 7，采用外部中断二来中断所显示波形，以便进入下一波形的编辑和输出，在波形输出的同时利用外部中断一来实现同步的频率调节。波形的具体产生是通过两路 DAC 来产生，之所以采用这种方式，是因为凌阳 SPCE061A 在这方面的设计为我们提供了极大的方便，在 DAC 的编程方面又提供了及其便利的编程环境。用函数来产生波形是大多数设计者喜之不舍得设计方案，但在具体设计方面，因为函数在单片机的运算过程中占据了太多的时钟周期，这就给我们追求高频波形一个瓶颈，要怎样解决这个问题呢？这里我采用查表来实现，根据理论凌阳 SPCE061A 单片机可达到一百兆的要求，这就能充分满足题目设计要求了，然



而，由于函数产生波形极其方便，凌阳 SPCE061A 单片机有提供了大量函数库，在设计过程中我在低频部分依然采用函数设计。另外，波形频率随 CPU 的频率而变法，凌阳 SPCE061A 单片机的 32768 的实时时钟经过 PLL 倍频电路产生系统时钟频率(Fosc)，Fosc 再经过分频得到 CPU 时钟频率(CPUCLK)可通过对 P\_SystemClock(写)(\$7013H)单元编程来控制，这就为我们设计提供了丰富的 CPU 时钟选择。默认的 Fosc、CPUCLK 分别为 24.576MHz 和 Fosc/8。我们可以通过对 P\_SystemClock 单元编程完成对系统时钟和 CPU 时钟频率的定义，改变设置将可提供多种频率选择。在本设计中，波形编辑的第一部就是进行 CPU 频率选择，选择最高频和最低频作为粗调，在用键盘和中断进行微调，以便达到所需的频率及其幅值。下面将对各部分编程作详细说明。

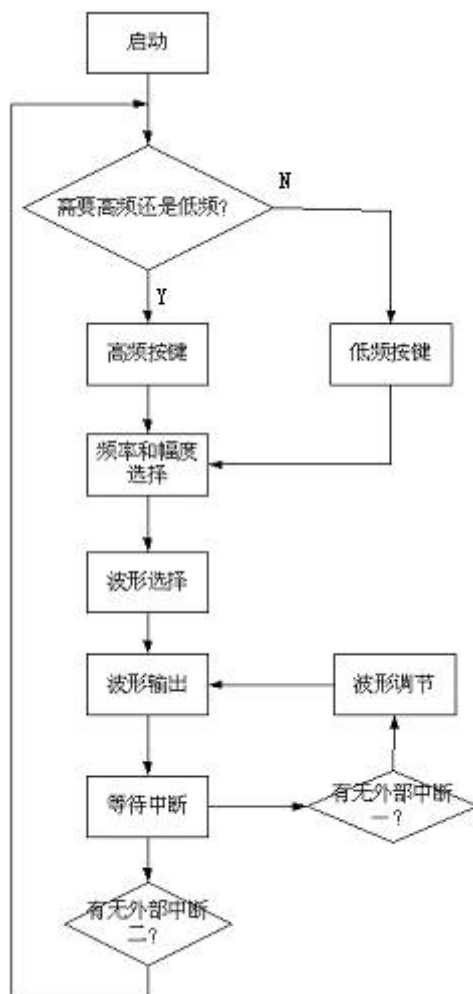


图 7 整体流程图



## 3.2 分块程序流程

### 按键控制部份

在键扫描的过程中，先置 IOA0~IOA3 为带数据缓存器的高电平输出，置 IOA4~IOA7 为带下拉电阻的输入管脚，此时若有键按下，取 IOA4~IOA7 的数据将得到一个值，把此值保存下来，再置 IOA4~IOA7 为带数据反相器的高电平输出，置 IOA0~IOA3 为带下拉电阻的输入管脚，此时若键仍没弹起，取 IOA0~IOA3 的数据将得到另一个值，把这两个值组合就可得知是哪个键按下了，再通过查表得到键值，跳转至相应程序段，执行输出相应波形或者编辑波形，从而达到控制波形的目的。整体按键过程如图 8 所示。

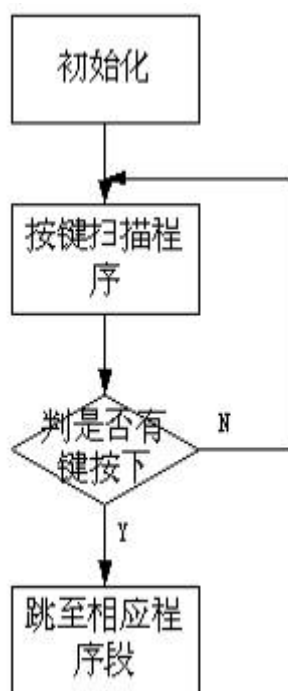


图 8 按键控制流程图

### 正弦波形的形成

在设计之初，我一直都在尝试使用函数来计算输出波形，使用这种方法，在示波器上得到了很好的波形，但是在 CPU 时钟频率没调至最高的情况下，所得到的频率只是多少毫赫兹到几十赫兹之间，基本上没有实用价值。要达到更高的频率，就得另辟蹊径了。分析一下为什么频率上不去，主要原因在于，使用单片机进行正弦函数的运算时占去了不少时间，如果去掉这一计算过程波形的频率应该大有提高，另外就是 CPU 时钟频率没有调至最高，以及 DAC 转换过

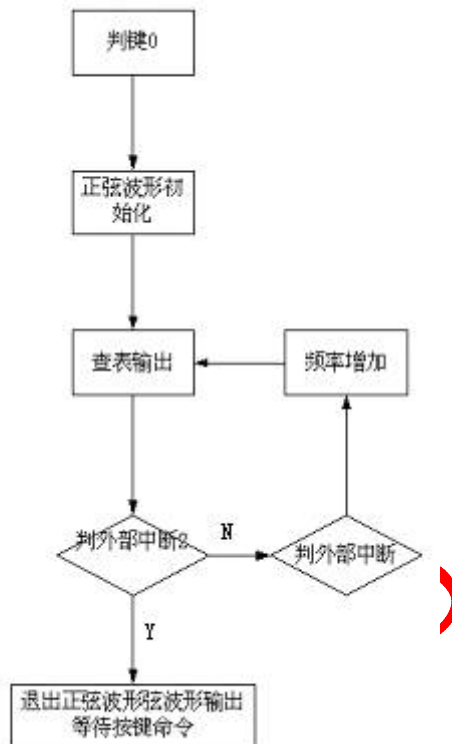


图 9 正弦波形查表形成流程图

程需要时间。为了达到更高的频率，首先就要免去单片机的计算负担，我使用的解决方法是人为计算出要输出的点，然后建一个表通过查表来进行输出，这样主要工作任务就落到了建表的过程中。这样做的好处在于，查表所耗费的时钟周期相同，这样输出的点与点之间的距离就相等了，输出的波形将更趋于完美，当然更让我们感到高兴的是它输出波形的频率将近达到了 100K 赫兹，能够满足我们设计的扩展要求了。为了实现频率的调整，我在一个正弦波周期里建了两百个点，如果我们隔一个取点的话，且在 CPU 时钟频率不改变的情形下，正弦波频率将相对于前面的频率提高将近一倍。这样我们就得到了解决频率调整的方法，首先进行 CPU 时钟频率选择，再调整一个正弦函数一个周期输出的点数，幅度的调节是通过初始幅度设置再通过外部放大电路来调节，设计程序流程图如图所示。另外，由于函数产生波形及其方便，凌阳 SPCE061A 单片机又提供了大量函数库，在设计过程中我在低频部分依然采用函数设计，因为这更有利于数字幅度和频率的调节。设计程序流程图如图 9 和 10 所示。

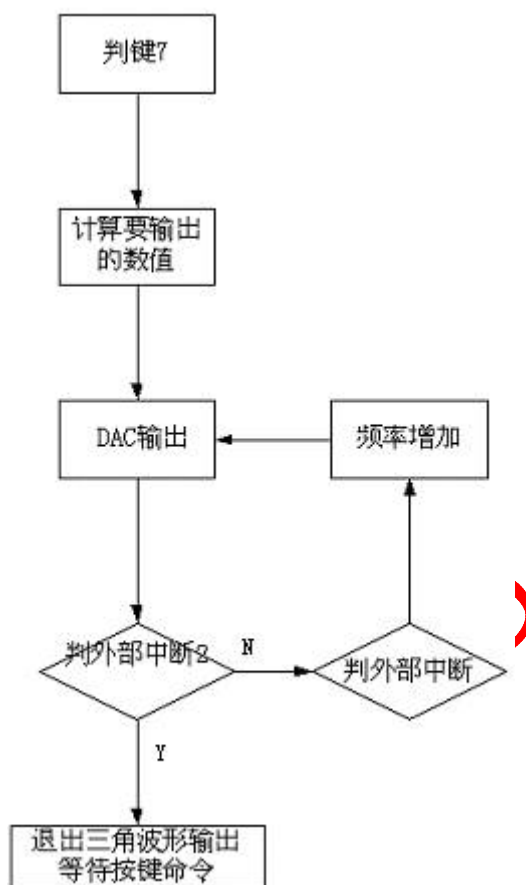


图 10 正弦函数计算形成波形流程图

### 三角波、锯齿波的形成

三角波、锯齿波形成的原理同正弦波形成的原理大致相同，在这里将不做作详细介绍，其流程图如图 11 所示。

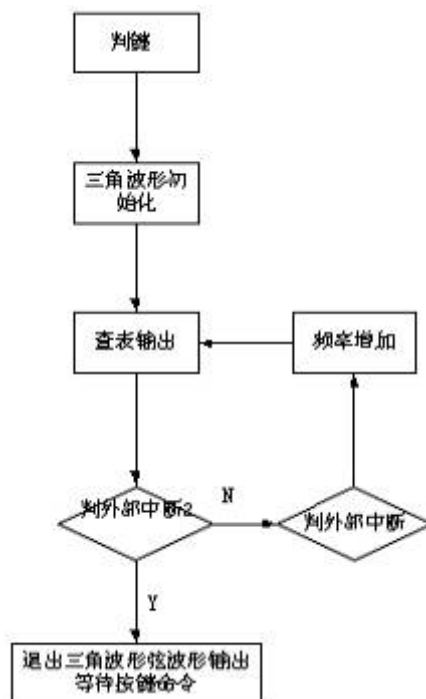


图 11 三角波查表形成流程图

### 方波的形成和实现

方波是我们最常用的一种波形，并且常常作为一种标准信号应用在各个领域，凌阳 SPCE061A 提供了一种很好的方波发生机制，就是 APWM 调制，通过写入 P\_TimerA\_Ctrl(\$700BH)单元的第 6~9 位，可选择设置 APWM 输出波形的脉宽占空比；同理，写入 P\_TimerB\_Ctrl(\$700DH)单元的第 6~9 位，便可选择设置 BPWM 输出波形的脉宽占空比。我们可以将 IOB8 设置成同相输出端口，通过设置 P\_TimerA\_Ctrl(写)(\$700BH)的第 0~5 位来选择 TimerA 的时钟源(时钟源 A、B)。设置该单元的第 6~9 位(如图 12 所示)，TimerA 将输出不同频率的脉宽调制信号，即对脉宽占空比输出 APWM 进行控制。这里为了得到最标准的波形采用这种方式来实现标准方波。如图 12 所示就是我们进行 APWM 调制的原理图。

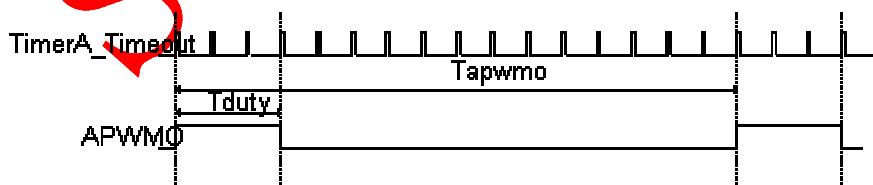


图 12 APWMO 信号时序图

在某些应用领域由于各种干扰和响应的存在，实际电路往往存在各种信号缺陷和瞬变信号，为了满足各种需要我们还设计了有频率突变的方波，如图 11 所示。具体设计方案是采用不停的输出和停止输出某一幅度的值，在一个序列周期我们总共提供八位可变数值，因为在数据传输过程中一般是八位为一帧进行传输。通过键盘的编辑可以达到我们的需求。

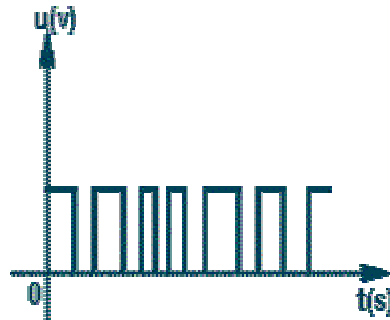


图 13 有频率突变的方波

### 显示和播报

时间和路程的显示采用动态显示，显示子程序流程图如图 14，语音播报采用凌阳 SACM\_S480 语音播报，流程图如图 15。

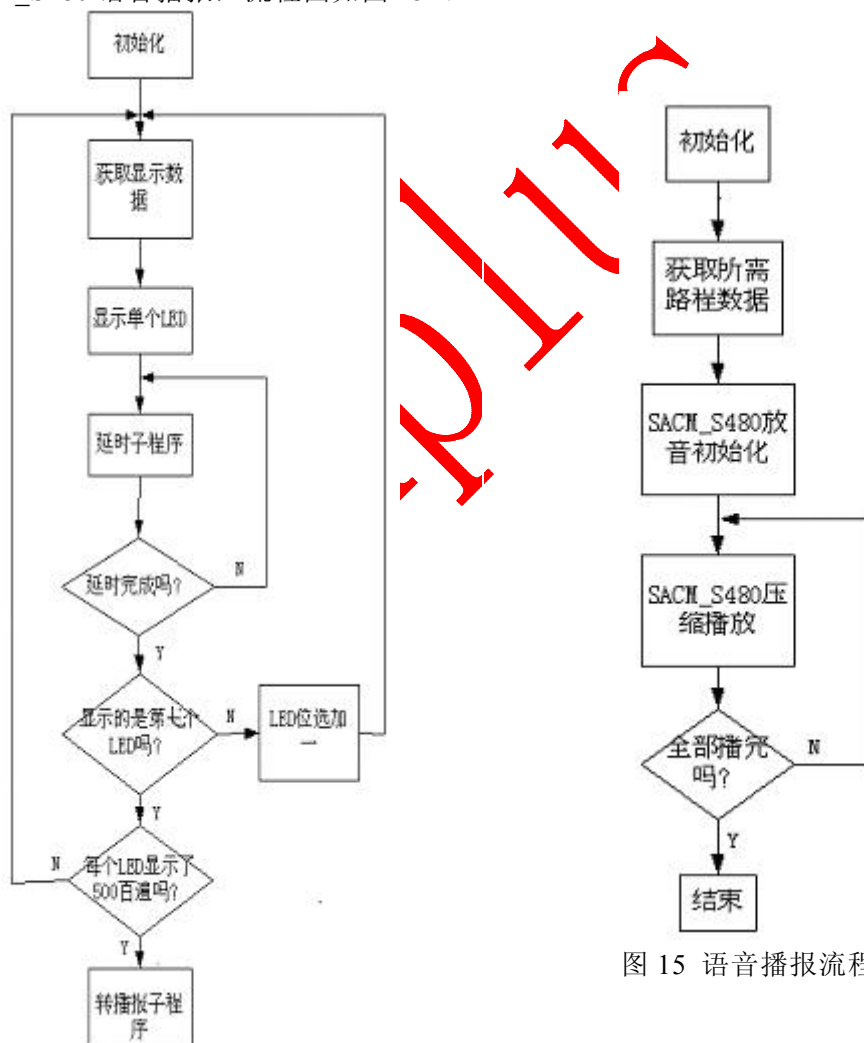


图 15 语音播报流程图





图 14 显示子程序流程图

其它

在按键控制的第 6 到第 12 个按键，都是用来改变和编辑波形参数的，这就为整个系统能输出各种波形提供了可能性，以及增加了它的实用性。另外还用外部中断一来进行同步调试，我们可在中断里写入各种参数，就可达到我们所要求的波形及其实现参数变化的目的。

## 四、系统测试及整机指标五、总结

(1) 能产生正弦波、方波、三角波、锯齿波几种周期性波形，并且可通过调节变形成其它相关波形。

(2) 用键盘输入编辑可生成正弦波由基波及其谐波线性组合的波形，以及各次谐波单独的波形。

(3) 输出波形的频率范围为 100mHz~100kHz；可以通过键盘输入粗调频率，通过外部中断一可同步调节频率，具有在低频部分调节步进小，在高频部分大的特点。

(4) 输出波形幅度范围为 0~5V（峰-峰值），可通过可变电阻任意调整调整。

(5) 具有显示输出波形的类型、及其粗调频率和幅度的功能。

(6) 具备语音提示波形和粗调频率的功能。

整个系统其性能指标均达到了要求，还增添了其它特色。通过此次设计，让我感到了凌阳 SPCE061A 十六位单片机的方便性和灵活性，通过对凌阳 SPCE061A 单片机的使用，可以使编程技能快速提高，并且认识到很多新的算法和设计思想。

## 六、参考资料

- 1、凌阳大学计划网站