

全国电子大赛二等奖作品——

# 正弦信号发生器的设计与制作

◆大连理工大学创新院 赵亮 尹书杨 王鹤 指导教师吴振宇

本文是笔者参加全国大学生电子设计竞赛的论文,最终获得了辽宁省特等奖、全国二等奖的好成绩。

本设计以 AT89C52 单片机为核心控制器件,采用直接数字频率合成(DDS)芯片 AD9851 来完成正弦信号发生器的设计。系统主要由键盘输入、波形产生、调制波形产生、实时信息显示等功能模块组成。实现了题目中的基本部分和大部分技术要求。

## 核心模块的方案论证与比较

### 1. 正弦信号发生器的设计

方案一:采用直接模拟频率合成技术,直接模拟合成利用倍频(乘法)、分频(除法)、混频(加减法)和滤波技术,从一个或多个高稳定性和精确度的参考频率源产生所需的频率。该方案的优点是频率转换时间短(小于 100ns),载频相位噪声好等。缺点是硬件电路体积大、功耗大且易产生过多的杂散分量,频谱纯度不高,合成的正弦波的幅度、相位等参数难以控制。

方案二:采用基于 PLL 的频率合成技术。利用锁相环完成对参考频率源的加、减、乘、除运算,从而得到预期的频率输出。锁相环技术具有良好的窄带跟踪特性,可以根据需要选择频率信号。相对于直接模拟频率合成而言,锁相环具有

频谱纯度高、能有效抑制杂散分量、电路结构简单等优点。但是,锁相环在高分辨率和高速转换之间存在矛盾,因而一般用于步进较大的频率合成技术中。

方案三:采用 DDS(直接数字频率合成)技术,DDS 的工作原理是在采样时钟的控制下,通过有频率编码控制的相位累加器输出相位码,将存储于只读存储器中的波形量化采样数据值按一定规律读出,经 D/A 转换器和低通滤波器后输出正弦波信号。其主要组成单元为:相位累加器、相位相加器、波形存储器、数字相乘器和 D/A 转换器。该方案简单易行,电路简单,输出波形精度高,易于控制。

DDS 原理框图如图 1:

它的输出频率可以由下面公式推导:

$$f = K * f_{clk} / 2^N$$

其中: $f$  为输出频率, $K$  为频率控制字, $f_{clk}$  为时钟频率, $N$  为相位累加器的位数。

对比以上几种方案的优缺点,在本系统中,我们采用了方案三。

### 2. 正弦信号幅度控制

方案一:采用高速宽带运放直接对 1K 到 10M 信号进行放大,但是在实际测试了几种宽带放大器之后发现,当信号频率达到 10M 时,很难对信号进行放大,而且输出波形极不稳定,易受外界干

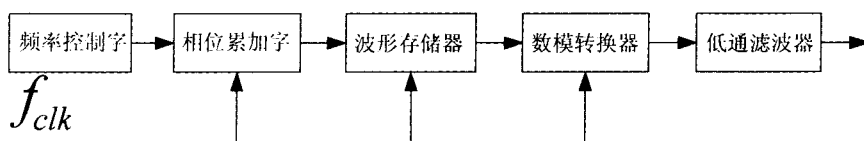


图 A-1 DDS 原理框图

扰。当遇到黑色轨迹时对应传感器无返回信号,这样信号端变为低电平输出。传感器寻迹示意图 6 如下:

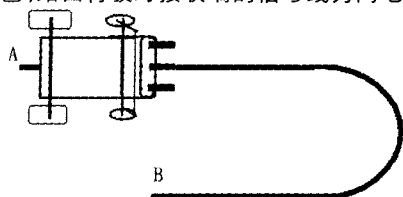


图 6 小车从 A-B 沿黑色轨迹行驶

平,当遇到黑色轨迹时对应传感器无返回信号,这样信号端变为低电平输出。传感器寻迹示意图 6 如下:

## 三、软件流程设计

软件设计采用外部中断 INT0、INT1,通过传感器外部下降沿触发,从而产生 PWM 调制脉冲调节小车速度和转向,同时用液晶时时显示小车运行状态。流程图如图 7。

## 四、小结

本设计基本讲述普通步进电机的原理应用以及驱动电路,同时应用当前流行的 8 位高档单片机 ATMEGA128 的在片外设 PWM 功能对电机速度进行控制,红外反射式光电传感器在自主式寻迹、避障智能小车上的应用,更进一步融合了这几个模块之间的应用连贯性。

扰,容易产生自激振荡;而且,高频放大器的低频特性都较差,低频放大器的低频特性也不理想。

方案二:采用高频特性较好的三极管放大外加阻容等分立器件搭接,这是一种通用的电路,而且在理论上是可行的,但是由于信号频带太宽,分离元件电路调试复杂,参数很难控制,所以这种方案也很难实现。

方案三:采用分档放大的方法,当信号频率小于 100k 时采用低频放大器 NE5532,它有 10M 带宽,在 100k 时可以放大 15~20 倍左右,当信号频率大于 100k 时采用宽带程控放大器 AD603 对信号进行自动增益控制,构成 AGC 电路。该方案不仅克服了方案一中的弊端,而且还能有效的改善增益和带宽二者不可得兼得缺点。因此,我们选用了该方案。

### 3. 正弦调制信号产生

方案一:采用 RC 振荡电路来设计一个正弦波调制信号,产生一个 1K 的正弦波信号,但是题目要求在 1MHz~10MHz 范围内调制度 ma 可在 10%~100%之间程控调节、步进量 10%,则必须实现调制信号幅度可调。若采用在反馈端加数字电位器程控调节的方法,会引入噪声干扰,而且精度也不是很高。

方案二:采用高精度 DA 转换器来设计正弦波,后级加一个低通滤波器使波形变得平滑,没有高次谐波的干扰,这样就可以用 DA 来实现信号幅度的程控,这样做的优点是可以简化硬件结构,易于系统调试,利用软件实现对调制信号幅度控制,编程灵活,切合题目要求。

比较以上两种方案,我们采用方案二。

### 4. 二进制基带序列的产生

方案一:采用 555 定时芯片来产生 1K 的方波信号,其优点是,硬件结构简单,调试相对容易,但是,由于它的振荡周期由外部电路的阻容器件直接决定,精度相对较差。基于这方面的考虑,我们排除了此方案。

方案二:采用运算放大器搭接多谐

振荡电路,同样,它的硬件结构也是比较简单的,只是在迟滞比较器的基础上,外加一个 RC 组成的积分电路。但是调试相对复杂,要产生精准的方波信号,不仅要性能较好的运算放大器,而且还需要高精度的电位器调节,这样自然会增加成本。

方案三:直接用单片机通过软件编程来实现二进制基带序列,这样的话,不仅精度能满足题目要求,而且成本大大降低了,还有利于单片机对整个系统的协调控制,所以在系统中我们选择了该方案。

## 5. 调幅波的设计

方案一:采用晶体管以及阻容元件搭接,晶体管是一种非线性器件,只要让其工作在非线性(甲乙类,乙类或丙类)状态下,即可用它构成调幅电路。一般总是把高频载波信号和调制信号分别加在谐振功率放大器的晶体管的某个电极上,利用晶体管的发射结进行频率变换,并通过选频放大,从而达到调幅的目的。应该说这是一个较为传统的方法,其优点是成本较低,但是缺点是调试起来极其复杂。这样,我们排除了此方案。

方案二:采用集成模拟乘法器 MC1496 来设计条幅波电路,MC1496 中包含了由带双电流源的标准差动放大,大器驱动四个高位放大器 L 输出集电极交叉耦合,故产生了两输入电压的全波平衡调制乘积现象。也就是说输出信号是一个常数乘以两输入信号的乘积。

即为

$$V_o = KV_1V_2$$

这样的话,将载波和调制信号加在 MC1496 上,只需简单的外围电路,就可以实现调幅功能。其优点是,电路设计相对简单,调试起来也相对容易,而且稳定性较好。有利于调制度程控调节的实现。基于这些方面的考虑,我们最后选择了该方案。

## 6. 调频波的设计

调频波产生原理:首先要用高速

AD 转换器对调制信号在一个或者几个周期内采样量化,并整理采集得到的数据,根据信号的幅度计算得到相应的频偏。最后通过单片机计算得到最后的频率控制字送给 DDS 芯片输出。

由于题目中只要求对 1k 频率的调制信号进行调频,我们在系统中可以采用软件模拟的办法,直接计算调制信号幅度并得出相应的频率控制字,送给 DDS 芯片输出,这样达到了题目的要求,又节省了硬件电路。调制过程中,载波信号有键盘直接控制输出,调制频偏只需要键盘设定是 5k 或者是 10k 即可,这样在载波信号的基础上加上调制信号在送给 DDS 输出,就可以得到调频波了。

## 7. PSK 和 ASK 的设计

方案一:利用 MCU 控制 D/A 实现,先在 EEPROM 中存放着正弦波的离散值,由 MCU 将这些值顺序送给波形合成 D/A,通过调节从 EEPROM 中读出的速率,可以改变输出正弦波的频率。电路中波形合成 D/A 转换器的参考电压由幅值调节 D/A 转换器的输出提供,从而可以通过改变幅值调节 D/A 转换器的数值来调节载波的幅值。这样可以完成 ASK 调制;同时,通过预置初值,可以改变正弦波初始相位,又可以方便地实现 PSK 调制。如图所示,但是缺点是,输出的正弦信号频率受 MCU 和 EEPROM 通信速度的限制。对于普通的 MCU 和 EPROM 难以实现题目中 100KHz 固定频率载波的要求。

方案二:采用数字电路,选用高速模拟开关选择不同的通路,同时有控制电路控制模拟开关。当模拟开关在指定的时间内分别接通载波信号和地信号,就可以完成 ASK 调制;当模拟开关分别接通载波同相输入和反向输入,就可以实现 PSK 调制。这种方法大大减轻了

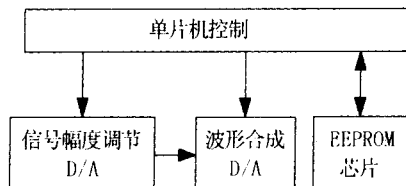


图 A-2

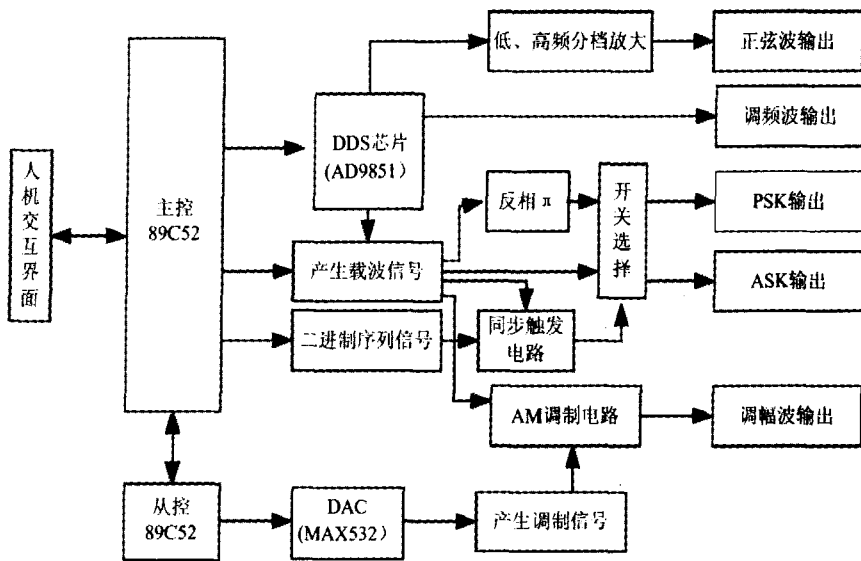


图 A-3 系统框图

MCU 的负担，并可以轻易的设计单片机的接口电路。

尽管方案一简单易行，但是对 MCU 的速度要求过高，考虑到实际的情况，采用方案二。

### 8. 人机接口电路设计

方案一：采用传统的 LED 界面显示以及键盘控制，这种方法只能显示有限的符号和数字，人机界面不好，系统不好操作（无提示信息），而且 LED 功耗较高，需要驱动芯片。

方案二：采用字符型 LCD 显示外加 HD7279 键盘控制模块，这样我们不

仅可以实时显示一些数字信息，同时还可以清晰的显示一些相关的提示信息，使得人机界面友好、功耗降低，并且可以直接与单片机接口。而且，采用 HD7279 键盘控制模块，还可以节省单片机口线资源。无论是从软件还是硬件上，都更加切合模块化设计思想。

比较以上两种方案，系统中采用方案二。

## 系统的具体设计与实现

### (一) 总体设计思路

本系统由单片机作为控制核心，控

制外围信号放大、幅度调制、频率调制、PSK 及 ASK 二进制数字键控调频、显示模块、键盘处理模块等等。系统框图如图 A-3 所示：

### (二) 主要电路原理分析

#### 1. 稳压电源模块

电源的硬件结构简单，制作技术难度较低，但是它在整个系统中的作用举足轻重。由于信号频率的带宽达到兆级，所以对电源的稳定性提出了严格的要求，本系统中共需

+5V、-5V、+9V、-9V、+12V、-12V 电源供电。电源前级采用桥式全波整流，大电容滤波，后面采用 78/79 系列三端稳压器稳压的方法，最后再加一级电容滤波，从而使电源输出电压稳定，纹波较小。

#### 2. DDS——正弦信号产生模块

采用了 AD 公司的 AD9851 作为核心器件，它是 AD 公司生产的具有高集成度的 DDS 器件。其内部有高速、高性能的 D/A 转换器和高速比较器，可作全数字编程控制的频率合成器和时钟发生器。外接参考频率源时，AD9851 可以产生一个频谱纯净、频率和相位都可以控制的模拟正弦波。这个正弦波可以直接作为信号源，或通过其内部的高速比较器转换成为方波输出，作为灵敏的时钟产生器。

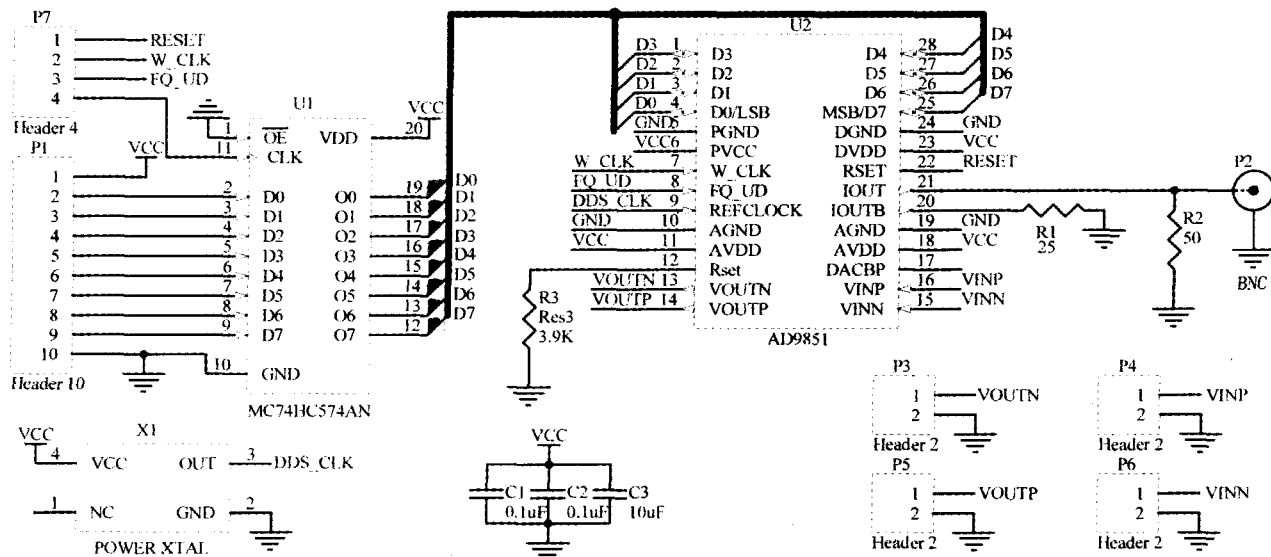


图 A-4 正弦波信号产生电路

注意事项:

1. 100 $\mu$ F的电容选用铝电容, 其它选用瓷片电容。
2. 电源必须滤波良好。
3. 43k和4.7k电阻采用精密电阻。
4. 1.42k的电阻用5k的电位器。

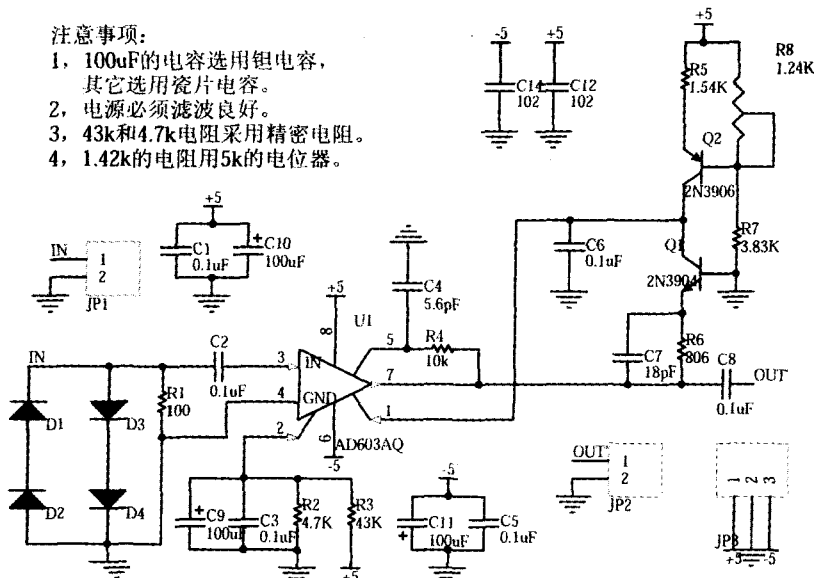


图 A-5 信号放大电路 1

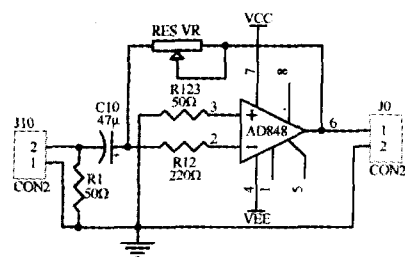


图 A-6 信号放大电路 2

中采用单片机控制继电器选通的方法。将继电器作为可控的单刀双掷开关控制选择通路,由于继电器接通的时候触点间是可靠连接的,而且没有延时等问题,因此可以达到不衰减信号的目的,同时考虑到信号传输过程中的干扰,两路信号传输全部采用屏蔽线,可以有效的抑制其它干扰信号的串入。

#### 4. 调幅模块

该模块的核心器件是模拟乘法器 MC1496。

采用 MC1496 设计调幅电路时要注意载波馈通和抑制、静态偏置、共模摆幅、互导纳带宽、耦合和旁路电容、输出信号端口的稳定性等因素的影响。系统中我们将调制信号和载波信号分别接入到 MD\_IN1 和 RF\_IN1 上,而后从 AM\_OUT1 就可以得到调幅信号。

电路图如图 A-7:

#### 5. PSK 和 ASK 调制模块

二进制振幅键控(ASK)的原理是正弦载波的幅度随数字基带信号而变化的数字调制方法。这是最简单的一种数字调制方法,调制电路也比较简单,即利用数字基带信号控制模拟开关选通正弦载波或信号地。原理框图如图 A-8:

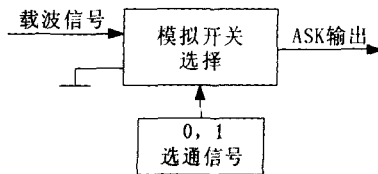


图 A-8 振幅键控原理框图

二进制移相键控(PSK)是载波的相位随数字基带信号变化的数字调制方法。由于 PSK 要求起始点同步,所以调制电路比较复杂,主要由反相器、过零检测、分频器、触发控制和模拟开

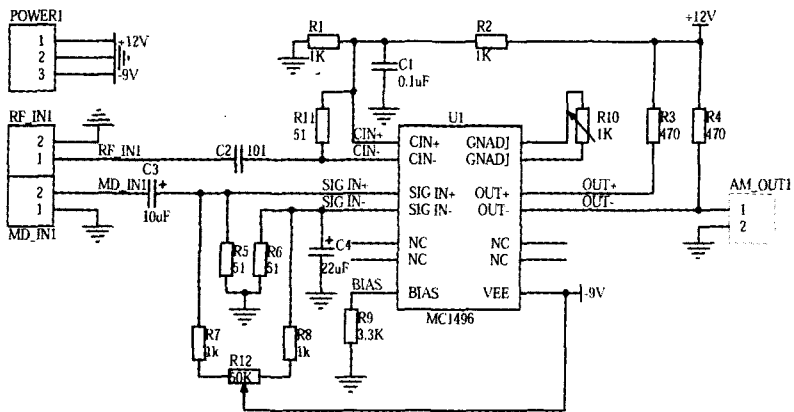


图 A-7 调幅信号处理电路

AD9851 的主要特性有:

- (1) 允许最高输入时钟频率 180MHz, 同时提供可选择的片内 6 倍频乘法器
- (2) 内置高性能的 10 位数模转换器
- (3) 内含一个高速比较器
- (4) 具有简单的控制接口, 允许串 / 并行异步输入控制字
- (5) 采用 32 位频率控制字
- (6) 内部使用 5 位相位调制字

电路图如图 A-4:

#### 3. 信号放大模块

##### (1) 基本电路设计

此部分电路功能是将 DDS 芯片输出的正弦波信号放大至题目要求的幅度。考虑到题目中的带宽要求是从 1kHz 到 10MHz, 单一的放大电路很难满足要求, 所以本系统中采用分档放大

的方法。设计中根据信号的频率共分低频和中高频两档。低频部分从 1kHz 到 100kHz, 用 NE5532 放大 20 倍左右输出; 中高频部分从 100kHz 到 10MHz, 采用两级放大, 第一级采用程控放大器 AD603 构成 AGC 自动增益控制电路, 将信号幅度放大至峰峰值 2V, 第二级采用高速运放 AD848 做成增益为 +3 的高频放大器, 两级放大后可将信号放大到 6V 左右。

电路图如图 A-5、图 A-6:

##### (2) 换档电路

换档控制可以采用单片机控制模拟开关, 选择两条放大通路。但是要受到模拟开关速度的限制, 实际测试中发现当信号频率在 5M 以上的时候, 模拟开关对信号有相当大的衰减, 选用高速的模拟开关也不能令人满意。所以设计

## 24 路单片机 LED 流水控制电路

## 设计与制作

◆湖南省永州职业技术学院 龙安国 曾德志

发光二极管(LED)是近几年来迅速崛起的半导体光电器件,它具有体积小、重量轻、电压低、电流小、亮度高和发光响应速度快等优点,容易与晶体管和集成电路配套使用,可以在许多领域得到应用。

发光二极管(LED)具有正偏导通时能够发光,正偏不足、零偏或者反偏时截止的单向导电性和光学特性。这种基于二极管单向导电性的光学特性应用很广,例如信号指示、电平指示、工作状态指示、电子产品装饰、显示屏电子

广告、数码与字符显示、节能灯等方面有着不可替代的作用。

本文使用单片机(AT89C51)设计制作出 24 路 LED 流水发光电路,既满足了广大电子爱好者热衷于 LED 有关制作的需要,又能帮助大家认识单片机的基本结构、工作原理及应用方法。

一定的发光规律依次工作发光,具有周期性和可视性的特点;

- LED 二极管的布局合理、美观;
- 设置按键可选择发光规律;
- 发光规律能够实现可编程修改。

## 二、电路组成及工作原理

考虑到设计要求,本产品拟采用以 AT89S51 单片机为核心芯片的电路来实现,主要由 AT89S51 芯片、时钟电路、复位电路、按键控制电路、24 路 LED 电

## 一、设计要求

- 共有 24 路 LED 二极管,按照

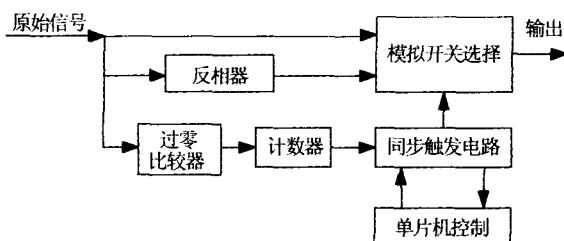


图 A-9 移相键控原理框图

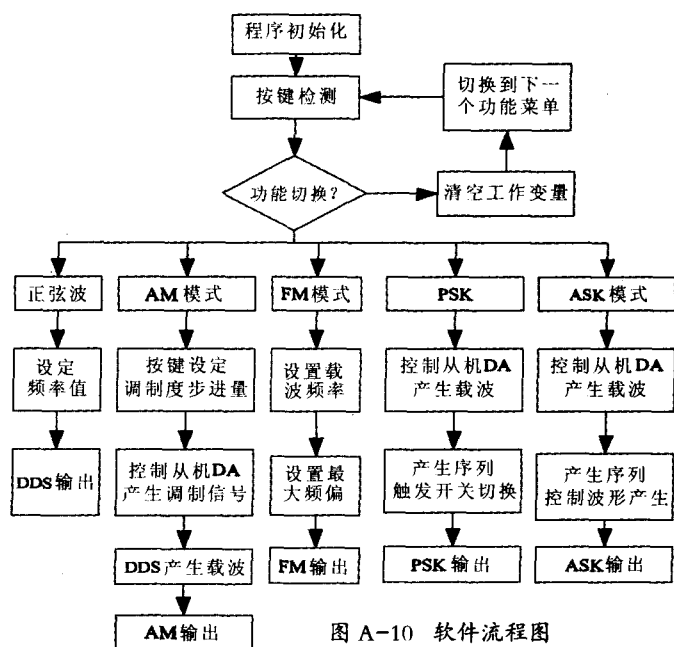


图 A-10 软件流程图

关等几部分电路组成。其原理框图如图 A-9:

## 系统软件设计

该部分设计的目标是:制定友好的人机接口界面,设定频率输出;设定调幅波载波频率和调制度;设定调频波载波频率和频偏;设定 PSK、ASK 波形的输出等。

软件流程图如图 A-10:

## 系统抗干扰措施的设计

由于系统的频带宽度为 1KHz~10MHz,在该频率范围内,要求最大放大达 20 倍,因此抗干扰措施必须要很好才能避免自激和减少噪声。我们采用下述方法减少干扰,避免自激:

(1)构建闭环:在信号的方大部分,将整个运放用较粗的地线包围,可吸收高频信号减少噪声,而且在信号的输入端口还采用环路屏蔽的措施,有效的抑制了一些噪声信号进入信道。

(2)数模隔离:在 PCB 布线中,采用数字地和模拟地之间总体隔离,局部连接的方案,也就是数字地和模拟地分别单布,最后在一点连接。从而有效的抑制了相互干扰。

(3)高频信号线的传输全部采用屏蔽线,可有效的抑制外界的干扰。