第十三届

武汉理工大学电工电子创新设计大赛初赛设计报告

选 题：\_集成运算放大器的应用\_

# 一、系统方案

## 1、方案分析与比较

### 1）三角波发生器方案选择

方案一：以运算放大器为核心组成电压比较器产生方波，采用积分电路对方波进行信号处理，输出即是一个上升速率与下降速率相等的三角波，比较器与积分器首尾相连形成闭环电路，能自动产生方波与三角波。但此电路需两个运算放大器，而LM324为四运放集成芯片，无法满足后续信号处理要求。

方案二：采用方波发生器，将产生的方波，经过RC电路转化为三角波，更改方波发生器的相关参数使得方波的周期为500ms，输入到一阶RC电路中调整时间常数使得三角波在250ms时幅值达到2V，下半周期同理。该电路只使用一个运放，且三角波的波形幅值可调。

根据综合分析，为了减少运放的使用率，满足其后的信号处理要求，选择方案二。

### 2）加法电路方案选择

方案一：采用一般同相加法电路，但此电路采用的是双电源供电，不需考虑交流情况，失真现象少，但不符合题目要求的单电源供电。

方案二：采用设置静态工作电压的同相加法电路，由于只能单电源供电，需要合理设置静态工作电位，减小输出波形的失真，可结合同相加法电路，合理调整各个电阻阻值，电容耦合输出。

根据综合分析，为了减小失真，满足题目要求，选择方案二。

### 3）滤波方案选择

方案一：采用一阶有源滤波器，电路特点是电路简单，便于设计和计算，但是阻带衰减太慢，选择性较差。

方案二：简单二阶低通有源滤波器，即在一阶有源滤波器的基础上再加一节RC低通滤波环节，比一阶滤波效果好，但在截止频率之后的幅频特性下降速度不够，三角波依旧少数残余。

方案三：压控电压源二阶低通滤波电路，即第一级RC电路的电容不接地，改接到输出端。引入反馈后，使得输出电压在高频段迅速下降，对于滤除低频正弦波中的高频三角波有较好的效果，也可调节反馈电阻的大小来改变增益。

根据综合分析，滤波方案选用方案三的压控电压源二阶低通滤波电路。

### 4)比较器方案选择

方案一：采用单限电压比较器，其结构简单。但在单限比较器中，输入电压在阈值电压附近的任何微小变化，都将引起输出电压的跃变，不管这种微小变化是来源于输入信号还是外部干扰，抗干扰能力差。

方案二：采用迟滞比较器，电路中使用正反馈，使得运放处于非线性工作状态。如果输入信号在门限值附近有微小的干扰，输出电压不会有较大的起伏。在电路中引入正反馈可以实现，增强比较器的抗干扰能力。

根据综合分析，比较器选用方案二的迟滞比较器。

## 2、系统总体方案设计

结合上面各个模块的方案选择，最终得到了整个设计的总体方案。本设计是以单运放为核心的三角波发生器自激产生方波，进而经过一阶RC电路转化为三角波，与低频信号源输出的正弦波一起输入到单电源供电的加法电路中，输出，经过压控电压源二阶低通滤波电路滤除三角波，得到峰峰值为6V的正弦波，与三角波产生器输出的三角波一起输入到迟滞比较器，在的电阻上输出峰峰值为2V的方波信号。系统设计框图如图1所示。



#### 图 1 系统结构框图

# 二、理论分析与计算

## 1、三角波发生器理论分析

三角波发生器只能使用一个运算放大器，因此先利用方波发生器产生三角波，电容耦合输出到一阶RC电路产生三角波．因为电源只能使用+5V和+12V，运放使用单电源供电，需要将电路的静态工作电位调整到0.5VCC，即两个输入端及输出端的静态电位均应为0.5VCC。办法之一是通过两个10k电阻分压，提供给运放的输入端。隔直流电容远大于和，是为了让其只起隔直流作用，且基本不影响反馈回路和一阶RC电路的充放电时间的计算。在电容上并联一个100k的电阻，使得静态输出为0，并让RC的积分特性仍近似为RC确定（的影响近似忽略）。

根据RC充放电过渡过程的分析，电容电压变化应符合下面公式

（1）

此方波发生器的周期参数计算公式为：

（2）

取

则，测量波形可得

由一阶RC回路可知：

（3）

为了使得输出接近三角波，应该取较小值，考虑存在实际误差，取：

#### 图 2 三角波发生器原理图

## 2、加法电路的理论分析

由LM324的第二个运算放大器构成一个加法电路，输入的正弦波和三角波经过电容耦合输入，经过耦合输出，利用和调整静态工作电位，加法电路的公式为：

取

输出满足题目要求的

#### 图 3 加法电路

## 3、滤波电路的理论分析

滤波电路的作用是滤除ui2信号里面的三角波，输出峰峰值为6V的正弦波，因此采用压控电压源二阶低通滤波电路，如图4所示，利用和调整静态工作电位，在确保输出波形不失真后调节、、和，为方便计算，令，。调整和改变输出正弦波的幅值。

（5）

（6）

N点节点电流方程

（7）

联立求解以上三式，可得LPF的传递函数：

（8）

频率响应为

（9）

当时，上式可以化简为

（10）

令，取，可以使得输出波形不断逼近正弦波

调整和的值，令，可以使得输出正弦波的峰峰值恰好为6V

#### 图 4 压控电压源二阶低通滤波电路

## 4、比较器的理论分析

采用迟滞比较器，抗干扰能力强，经过电容耦合输入，引入正反馈回路，调节输出回路的分压，使得负载电阻的两端电压的峰峰值为2V。若以为参考电压，则上下限阈值电压为：

（11）

（12）

为了使得输出减少梯形波的产生，使之更逼近矩形波，取

调整滑动变阻器在47%的位置可以使得的负载两端矩形波的峰峰值为2V

#### 图 5 迟滞比较器

# 三、硬件电路设计

系统电路图见附页

# 四、测试方案与测试结果

## 1、系统测量方案

在接近理想的条件下，各个节点的波形测量结果如下图示波器所示：

#### 图 7

## 2、测试结果及分析

#### 图 6 节点波形

### 1）测试结果表格

表1 电压测量值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 节点 | 波形 | Vpp/V | T/ms |
|  | 三角波 | 4.10 | 0.505 |
|  | 三角波和正弦波的叠加 | 5.80 | 2.030 |
|  | 正弦波 | 6.20 | 2.030 |
|  | 方波 | 1.95 | 2.030 |

### 2）结果分析示例

根据测试数据可以看出，本系统将题目要求的所有参数均控制在5%的误差以内，完全满足题目的设计要求。

# 六、总结

本系统以LM324芯片为核心，通过理论计算得到了合理的设计方案，设计并实现了信号转化和处理等相关功能，通过仿真测试，实现了题目要求的全部功能，符合题目的所有指标，并且在电压比较器输出方波峰峰值为2V等指标上优于题目要求。

# 附录 系统电路图