8.1　简述一下逐次逼近型 A/D 转换器的工作原理？

答：逐次比较型 A/D 转换器是将输入模拟信号与不同的参考电压做多次比较，使转换所得的数字量在数值上逐次逼近输入模拟量的对应值。逐次逼近式 A/D 转换器中有一个逐次逼近寄存器 SAR，其数字量是由它产生的。SAR 使用对分搜索法产生数字量，以 8 位数字量为例，SAR 首先产生 8 位数字量的一半，即 10000000，试探模拟量 Vi 的大小。若 Vo>Vi，清除最高位；反之，则保留最高位。在最高位确认后，SAR 又以对分搜索法确定次高位，即以 7 位数字量的一半 y1000000（y 由前面的过程已确认）试探模拟量 Vi 的大小。依此类推，直到确定了 bit0 为止，转换结束。

8.2　查阅资料，阐述 A/D 和 D/A 转换器的性能指标有哪些？

答：（1）A/D 转换器性能指标：

①分辨率：是指数字量变化一个最小量时模拟信号的变化量，定义为满刻度与 2 的 n 次方的比值。

②相对精度：对于线性 A/D 转换器，相对精准度就是它的线性程度。相对精确度是指实际输出值与理论输出值的接近程度。

③转换速度：是指完成一次从模拟转换到数字的 AD 转换所需的时间的倒数。

④量化误差：是指 A/D 转换器的有限位数对模拟量进行量化而引起的误差。

⑤偏移误差：偏移误差是指输入信号为零时，输出信号不为零的值，所以有时又称为零值误差。

⑥满刻度误差：满度输出时对应的输入信号与理想输入信号值之差。

⑦线性度：实际转换器的转移函数与理想直线的最大偏移。

（2）D/A 转换器性能指标：

①分辨率：是指输入数字量的最低有效位（LSB）发生变化时，所对应的输出模拟量（电压或电流）的变化量，它反映了输出模拟量的最小变化值。

②线性度：是指实际转换特性曲线与理想直线特性之间的最大偏差，常以相对于满量程的百分数表示。

③绝对精度和相对精度：绝对精度是指在整个刻度范围内，任一输入数码所对应的模拟量实际输出值与理论值之间的最大误差。相对精度与绝对精度表示同一含义，用最大误差相对于满刻度的百分比表示。

④建立时间：是指输入的数字量发生满刻度变化时，输出模拟信号达到满刻度值的±1/2LSB 所需的时间，是描述 D/A 转换速率的一个动态指标。

8.3　D/A 转换器的工作过程中，哪些因素会影响到输出电压的精度？

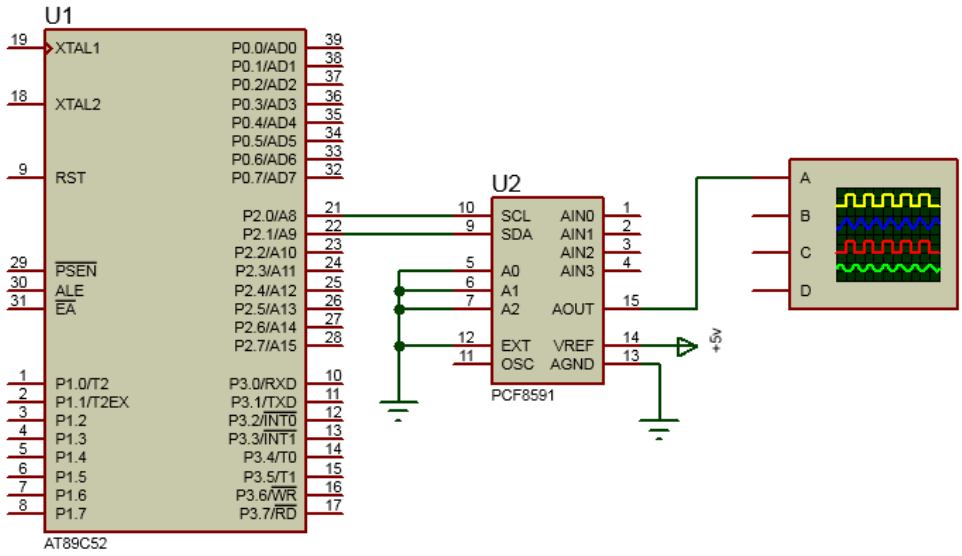
答：基准电压精度、工作电压纹波、外部干扰、工作温度等。

8.4　PCF8591 是单片低功耗 8 位 CMOS 数据采集器件，具有 4 个模拟输入、一个输出和一个串行 I2C 总线接口，查阅该芯片资料，编写完整程序，使 PCF8591 输出正弦波，波形频率为 500Hz，每个周期内波形点数不少于 64 点，通过仿真工具（Proteus）验证输出波形是否满足要求。

解答：Proteus 仿真电路如下图所示。其中，U1 为单片机，U2 为 A/D 转换芯片 PCF8591，DA 转换输出连接示波器 A 通道。A/D 转换芯片参考电压 VREF 选择与单片机工作电源相同（5V），D/A 转换频率所选择时钟采用 PCF8591 的内部时钟，因此将其管脚 EXT 接电源地。针对题目中每个周期内波形点数不少于 64，可以根据波形周期，进行动态配置点数，点数越多，波形越接近理想的正弦波。参考程序中下面两个宏定义用于确定点数和定时器中断间隔时间，可以通过修改 POINT 的数值，调整每个周期输出的 DA 数据量。

```
#define POINT 64                    //设置正弦波形点数

#define TIME (2000/POINT)     //因为 点数*定时器计数时间=2ms=2000μs（对应 500Hz）
```



参考程序

```
#include<reg52.h>
#include <intrins.h>
#include<math.h>
#define uint unsigned int       //预定义
#define uchar unsigned char
#define PI 3.1415926            //π 的值
#define POINT 64                //设置正弦波形点数
#define TIME (2000/POINT) //因为  点数*定时器计数时间=2ms=2000μs（对应 500hz）
sbit SCL=P2^0;     //I2C 时钟线
sbit SDA=P2^1;     //I2C 数据线

void Timer0_init()/*****定时器 0 初始化设置*****/
{
        TMOD=0X01;          //定时器 0，工作方式 1
        TH0=(65536-TIME)/256;
        TL0=(65536-TIME)%256;
        TR0=1;              //中断启动位
        ET0=1;              //中断允许位,1 允许中断
        EA=1;
}

void I2C_start()/*****I2C 启动*****/
{
         SDA=1;
        SCL=1;
        _nop_();      //用于延时
        _nop_();
        SDA=0;
        _nop_();
```

```
        _nop_();
        SCL=0;
}

void I2C_stop()/*****I2C 停止*****/
{
        SDA=0;
        SCL=0;
        _nop_();
        _nop_();
        SCL=1;
        _nop_();
        _nop_();
        SDA=1;
}

void I2C_ack()/*****I2C 应答*****/
{
        SCL=1;
        _nop_();
        _nop_();
        SCL=0;
}

void I2C_noack() /*****I2C 非应答*****/

{
        SDA=1;
        SCL=1;
        _nop_();
        _nop_();
        SCL=0;
        SDA=1;
}

void I2C_write_byte(uchar tmp) /*****I2C 写一个字节*****/
{
        uchar i;
        for(i=0;i<8;i++)
        {
                tmp<<=1;
                SDA=CY;
                SCL=1;
                _nop_();
```

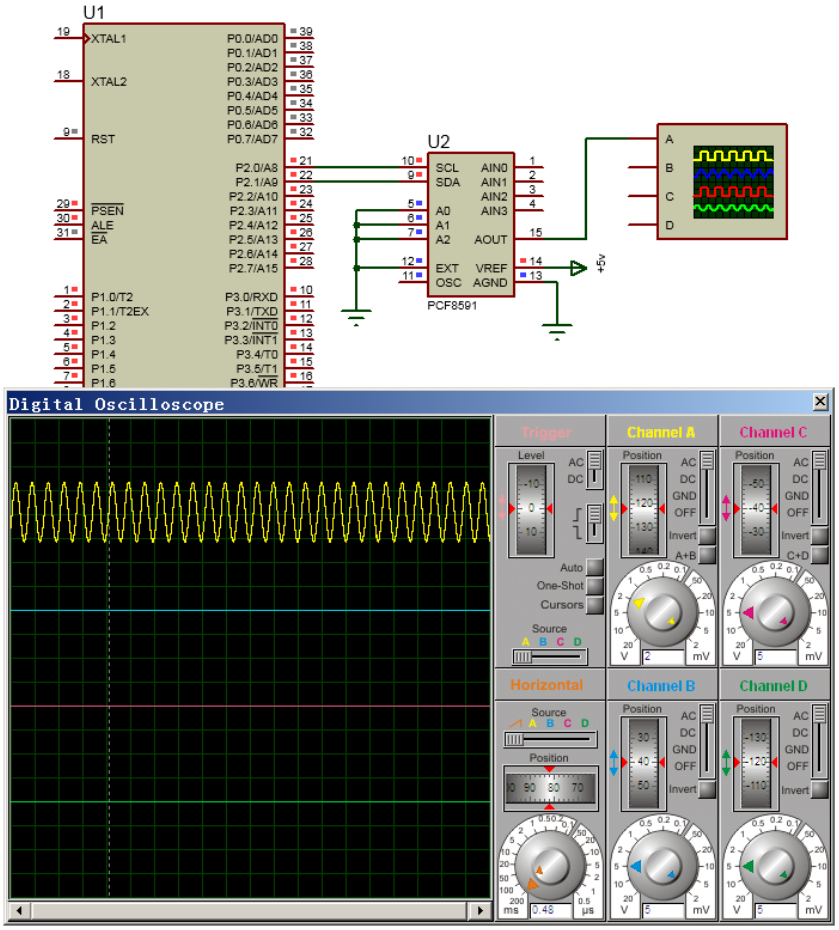
```
            _nop_();
            SCL=0;
        }
        I2C_ack();
    }

    void I2C_write_data(uchar Aout) /*****I2C 写一个 D/A 转换数据*****/
    {
        I2C_start();
        I2C_write_byte(0x90);
        I2C_write_byte(0x40);
        I2C_write_byte(Aout);
        I2C_noack();
        I2C_stop();
    }

    void main()//主函数
    {
        Timer0_init();//定时器 0 初始化
        while(1);
    }

    void Timer0IRQ () interrupt 1 /*****定时器中断 0*****/
    {
        static char DA_Data;
        static uint num = 0;
        TH0=(65536-TIME)/256;
        TL0=(65536-TIME)%256;
//π/180 表示每度的弧度值,乘以度数 num,再把度数的 sin 值乘以 127,输出成模拟电压量注意不能乘以 255,
        DA_Data =(char)((sin(PI/180*num)*127));
    //因为这里是有符号类型,最高位是符号位,所以 8 位的数值最大位 127
        if((DA_Data &0x80)!=0x80)
            DA_Data |=0x80;             //将最高位置 1
        else
            DA_Data& = 0x7f;            //将最高位清 0
        if(num==360) num =0;
        num = num + 360/POINT;
        I2C_write_data(DA_Data);
    }
```

参考程序中 I2C 的时序请参考芯片手册。以下是在 Proteus 环境下仿真效果图，其中示波器只有 A 通道有效。


U1
XTAL1
XTAL2
RST
PSEN
ALE
EA
P1.0/T2
P1.1/T2EX
P1.2
P1.3
P1.4
P1.5
P1.6
P0.0/AD0
P0.1/AD1
P0.2/AD2
P0.3/AD3
P0.4/AD4
P0.5/AD5
P0.6/AD6
P0.7/AD7
P2.0/A8
P2.1/A9
P2.2/A10
P2.3/A11
P2.4/A12
P2.5/A13
P2.6/A14
P2.7/A15
P3.0/RXD
P3.1/TXD
P3.2/INT0
P3.3/INT1
P3.4/T0
P3.5/T1
P3.6/WR
U2
SCL
SDA
A0
A1
A2
EXT
OSC
AIN0
AIN1
AIN2
AIN3
AOUT
VREF
AGND
PCF8591
+5v
A
B
C
D
Digital Oscilloscope
Trigger
Channel A
Channel C
Channel B
Channel D
Horizontal
Level
Position
Source
Auto
One-Shot
Cursors
AC
DC
GND
OFF
Invert
A+B
C+D