

单片机原理及应用



项目十：数模转换设计

知识目标

1. 掌握 A/D 转换器相关的基本知识；
2. 掌握 A/D 转换器的工作原理；
3. 掌握 A/D 转换器与单片机的接口技术；

技能目标

4. 掌握单片机控制 A/D 转换器的编程方法；
1. 会阐述 A/D 转换器相关的基本知；
2. 会设计 A/D 转换器与单片机的接口的电路；

能力目标

3. 会使用单片机控制 A/D 转换器的编程方法；
1. 能分析设计任务，正确使用 A/D 转换器；
2. 能够正确设计 A/D 转换器与单片机的接口电路；
2. 能使用 PROTUES 软件绘制电路原理图；
3. 能使用 Keil 软件编译程序控制 A/D 转换器，并与 PROTUES 联调，实现控制电路仿真；
4. 能够完成电压表电路设计和仿真；
5. 能够使用 A/D 转换器去解决实际问题。

课时建议

4 课时

1.1 任务提出

利用单片机设计一个电压测量系统，可以实现 0 — 5V 的模拟电压的检测，并在将测量结果显示出来。



1.2 方案设计

1. 单片机选择。采用 ATMEL 公司的 AT89C51 作为系统控制器的 CPU 方案。单片机算术运算功能强，软件编程灵活、自由度大，可以用软件编程实现各种算法和逻辑控制，并且由于其功耗低、体积小、技术成熟和成本低等优点，使其在各个领域应用广泛。

2. 显示电路的选择。根据题目要求，为了能够直观显示并显示更多内容，采用 LCD 液晶显示。采用 LCD 液晶显示屏，液晶显示屏显示的功能强大，可显示大量文字，图形，显示多样，清晰可见。

3. AD 转换器的选择。为了能够将电压这个模拟量转换成单片机可以处理的数字量信号，需要 AD 转换器。采用的是 TI 公司生产的一种低价位、高性能的 8 位 A/D 转换器 TLC549，具有 4MHz 片内系统时钟和软、硬件控制电路，转换时间最长 $17\mu\text{s}$ ，总失调误差最大为 $\pm 0.5\text{LSB}$ ，功耗为 6mW，抗干扰强，可按比例量程校准转换范围。

1.3 硬件设计

1. A/D 转换器

实现模 / 数转换的部件称 A/D 转换器或 ADC，其主要作用是将模拟量信号转换成数字量信号。

1.1 性能指标

（1）分辨率

分辨率定义为满刻度电压与 2^n 之比，其中 n 为 ADC 的位数。

（2）量化误差

在不计其误差的情况下，一个分辨率有限的 ADC 的阶梯状转移特性曲线与具有无限分辨率的 ADC 转移特性曲线之间的最大偏差，称为量化误差。

（3）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。

（4）满刻度误差

满刻度输出数码所对应的实际输入电压与理想输入电压之差称这满刻度误差。

（5）线性度

又称为非线性度，是指转换器实际的转移函数与理想直线的最大偏移。

1.3 硬件设计

1.1 性能指标

（6）绝对精度

在一个变换器中，任何数码所对应的实际模拟电压与其理想的电压值之差并非是一个常数，把这个差的最大值定义为绝对精度。

（7）相对精度

把绝对精度中的最大偏差表示为满刻度模拟电压的百分数。

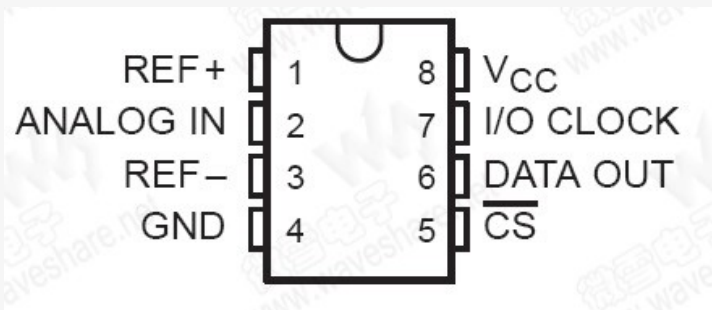
（8）转换速率

转换速率是指每秒转换的次数。完成一次 A/D 转换所需的时间，是转换速率的倒数。

1.3 硬件设计

1.2 TLC549 芯片

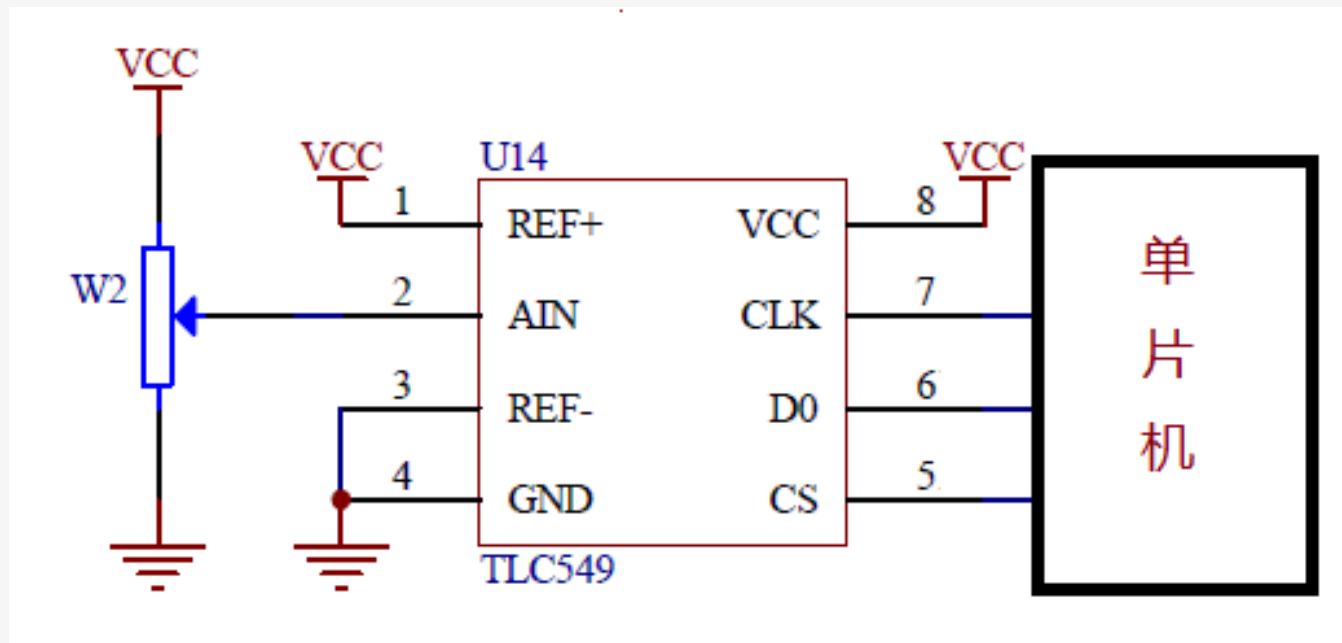
TLC549 是 TI 公司生产的采用了 CMOS 工艺以 8 位开关电容逐次逼近的方法实现 A/D 转换，具有价位低、性能高的特点。其转换速度小于 $17\mu\text{s}$ ，最大转换速率为 40000Hz ，典型内部系统时钟是 4MHz ，工作电压范围为 3V 至 6V ，它能方便地采用三线串行接口方式与各种微处理器连接，构成各种廉价的测控应用系统。



引脚名称	引脚说明	功能说明或数值要求
REF ⁺	正基准电压输入	$2.5\text{V} \leq \text{REF}^+ \leq \text{VCC} + 0.1$
REF ⁻	负基准电压输入端	$-0.1\text{V} \leq \text{REF}^- \leq 2.5\text{V}$ 。且要求： $(\text{REF}^+) - (\text{REF}^-) \geq 1\text{V}$
VCC	系统电源	$3\text{V} \leq \text{VCC} \leq 6\text{V}$
GND	接地端	
$\overline{\text{CS}}$	芯片选择输入端	要求输入高电平 $\text{VIN} \geq 2\text{V}$ ，输入低电平 $\text{VIN} \leq 0.8\text{V}$
DATA OUT	转换结果数据串行输出端	与 TTL 电平兼容，输出时高位在前，低位在后
ANALOG IN	模拟信号输入端	$0 \leq \text{ANALOG IN} \leq \text{VCC}$ ，当 $\text{ANALOG IN} \geq \text{REF}^+$ 电压时，转换结果为全“1”（0FFH）， $\text{ANALOG IN} \leq \text{REF}^-$ 电压时，转换结果为全“0”（00H）
I/O CLOCK	外接输入/输出时钟输入端	用于同步芯片的输入输出操作，无须与芯片内部系统时钟同步

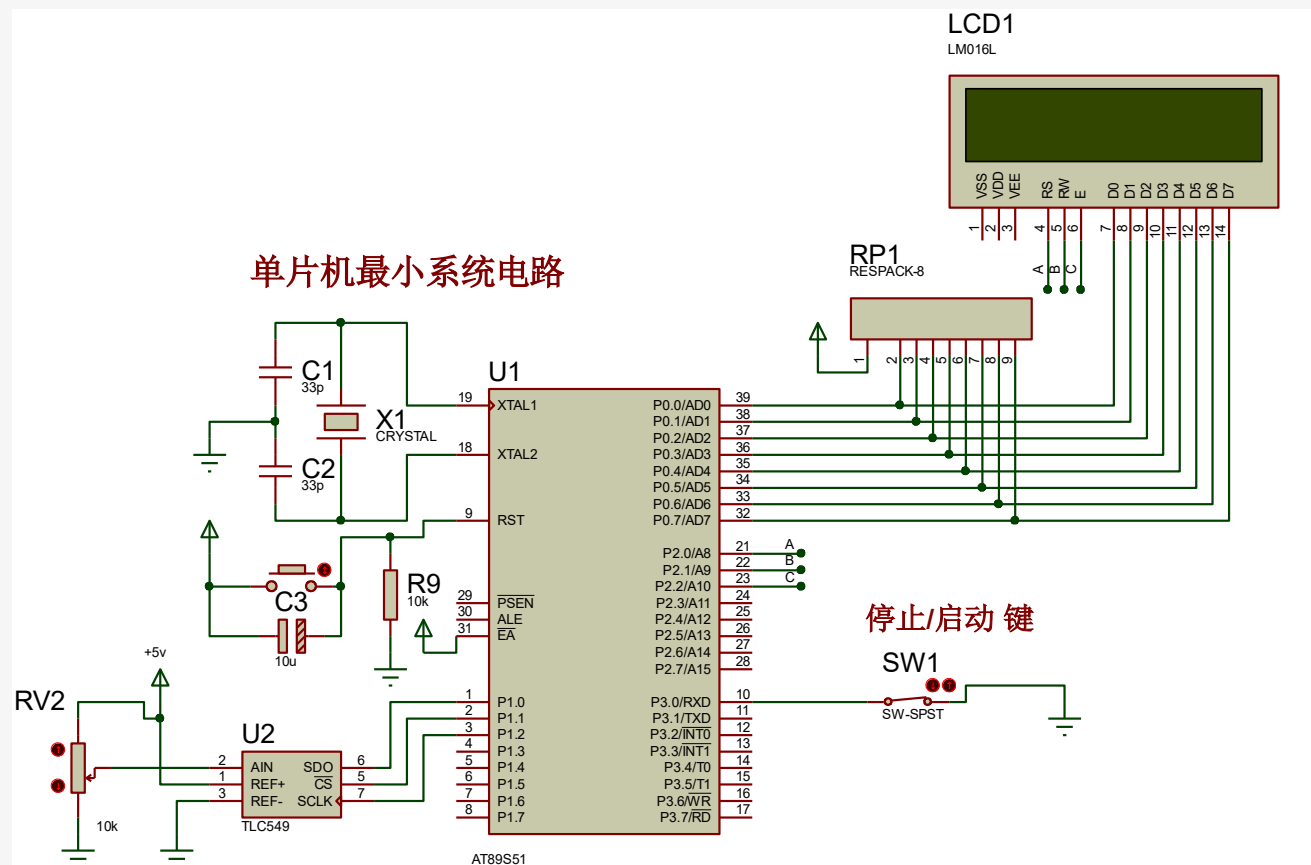
1.3 硬件设计

1.3 TLC549 典型电路



1.3 硬件设计

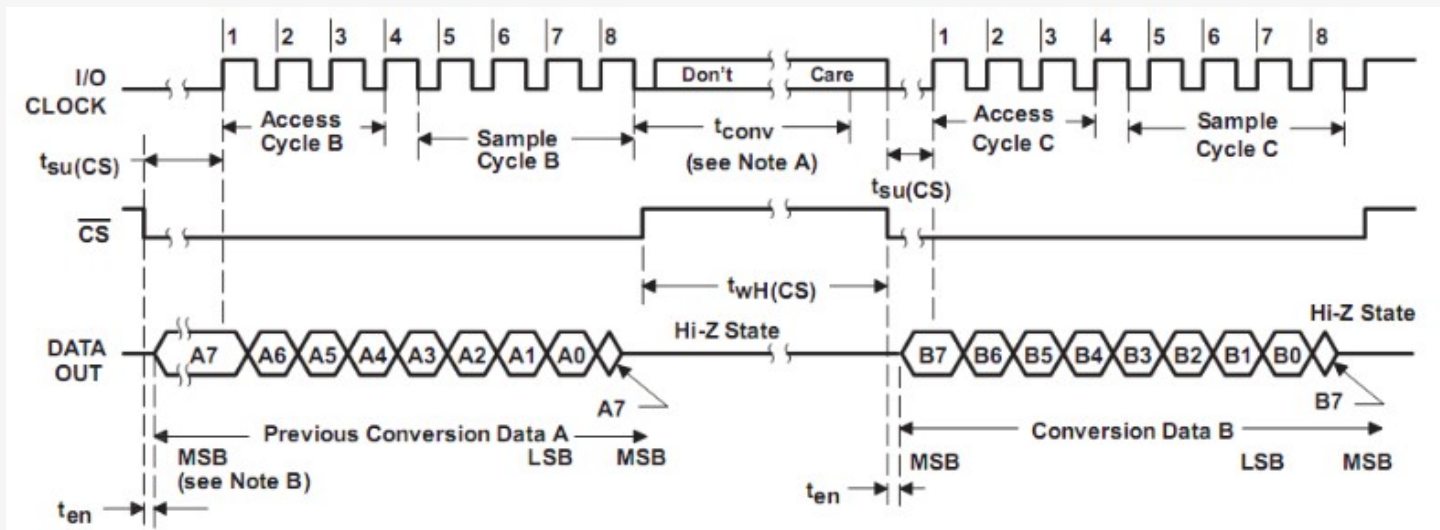
2. 硬件电路



1.3 硬件设计

3. 软件设计

1.TLC549 编程



当片选信号 $/CS$ 为低电平时，ADC 的前一次转换数据（A）的最高位 A7 立即出现在数据线 DATA_OUT 上，之后的数据在时钟 I/O_CLOCK 的下降沿改变，可在 I/O_CLOCK 上升沿读取数据。读完 8 位数据后，如果片选信号 CS 置为高电平，ADC 开始采样、保持、转换、锁存转换结果，以便下一次读取。

在进行采样控制时，要注意操作时序之间的时间间隔要足够长，以使 ADC 能完成其相应的工作。如：
： $t_{SU}(CS)$ 为 $/CS$ 拉低到低电平后 I/O_CLOCK 第一个时钟到来时的时间，至少要 $1.4\mu s$ ； t_{CONV} 为 ADC 的转换时间，至少 $17\mu s$ ；I/O_CLOCK 为系统时钟信号，不能超过 $1.1MHz$ 。其他参数请参照数据手册。

1.4 软件设计

3. 软件设计

1.TLC549 编程

由于 ADC 是 8 位的，且硬件电路上的 REF+ 为 2.5V，REF- 接 GND，所以采样的电压值为 $V=D/255*VREF$ 。

```
uchar TLC549()
{
    uchar i;
    CS = 1;
    CLK = 0;
    DAT = 1;
    CS = 0;
    i = 5;
    while ( --i != 0 );
    i = 8;
    do
    {
        d <<= 1;
        if ( DAT ) d++;
        CLK = 1;
        CLK = 0;
    }while ( --i != 0 );
    CS = 1;
    return d;
}
```

1.3 硬件设计

3. 软件设计

2.LCD 液晶显示程序

具体可以见显示章节。

3. 启动与停止程序

主要是判断按键是否按下，如果按键按下，就启动程序，可以正常采集电压并显示；如果按键未按下，停止程序，不能正确采集电压，显示器显示的数值是最后采集电压的数值。

4. 总体程序见教材或电子材料

```
while(Key == 0)
{
    temp=TLC549()*0.0196*1000;
    write_com(0x80);
    write_data(temp/1000%10+0x30);
    write_data('.');
    write_data(temp/100%10+0x30);
    write_data(temp/10%10+0x30);
    write_data(temp%10+0x30);
    write_data('V');
    delay(100);
}
```

```
while(Key==1)
{
    write_com(0x80);
    write_data(temp/1000%10+0x30);
    write_data('.');
    write_data(temp/100%10+0x30);
    write_data(temp/10%10+0x30);
    write_data(temp%10+0x30);
    write_data('V');
    delay(100);
}
```

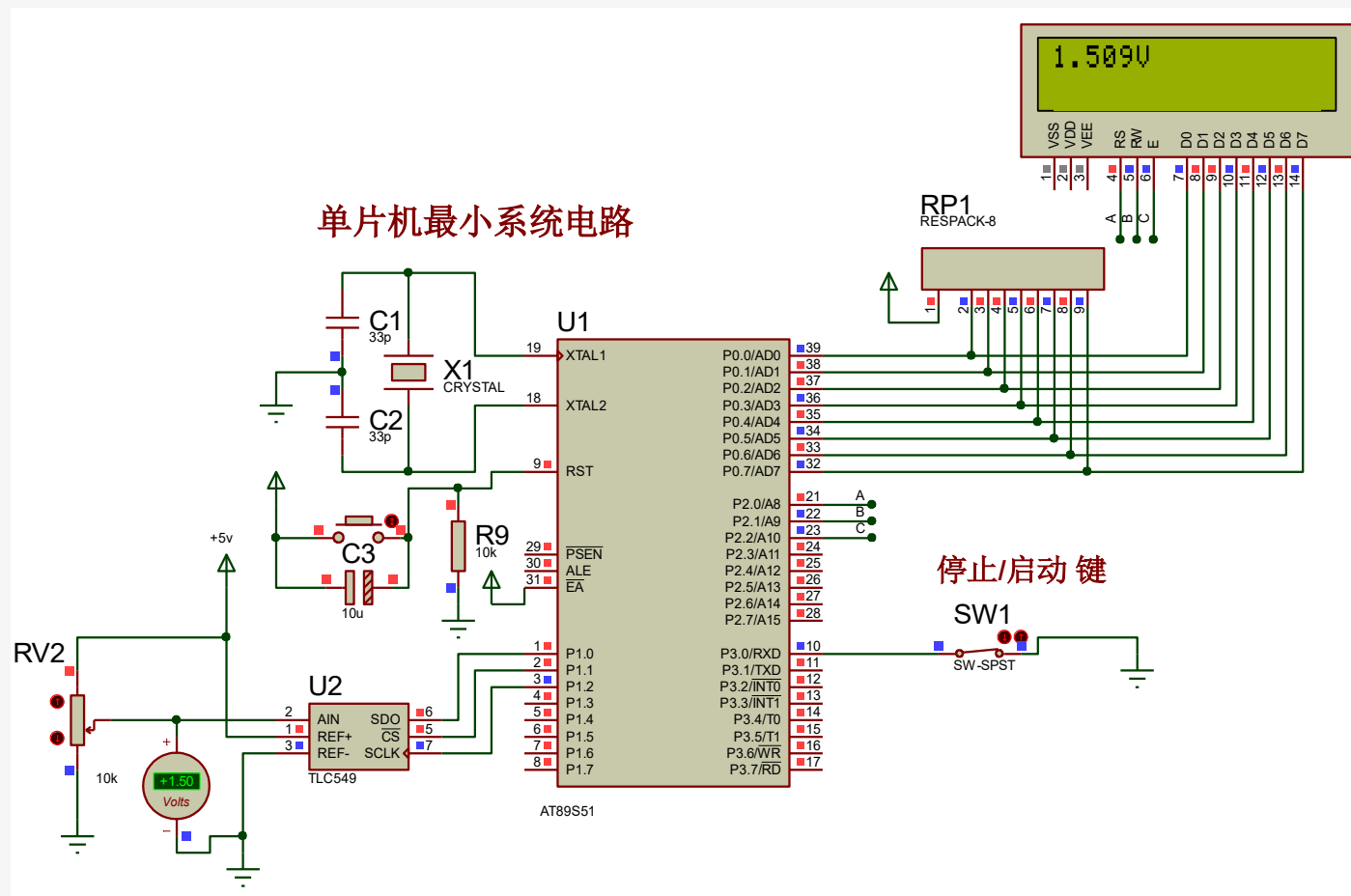
1.5 软件仿真

1. 使用 Proteus 软件，绘制如图 10-3 的硬件电路图，并保存到指定的位置。

2. 使用 KeilC51 建立一个 DIANYA 工程项目，建立一个 .c 文件，在编辑区中输入上述的源程序，并以“dianya.c”为文件名存放“数字电压表”文件夹中；进行编译，排除所有程序故障，直到无错误为止，目标代码文件“DIANYA.hex”。

3. 使用 Proteus 打开绘制好的按键电路设计图，双击电路图中 AT89S51 单片机，把编译好的“DIANYA.hex”文件下载到单片机中。点击模拟调试按钮，系统上电时，液晶显示显示 0.000V，此时调整电压输入的可调电阻器，显示的结果没有变化，说明此时不能正常采集电压；当按下按键，并调整电压输入的可调电阻器，可以看到液晶显示显示的电压数值发生变化，此时比较液晶显示电压的数值与测量输入电压的数值，误差比较小。

1.5 软件仿真



1.6 项目总结

本项目实现了数字电压表设计与仿真，介绍了 A/D 转换器的概念、作用和性能指标等知识，详细介绍了 TLC549 芯片的功能、工作原理，典型电路等，重点阐述了 TLC549 与单片机的接口技术以及编程控制的方法。

项目提升

- 1、什么是 AD 转换器？AD 转换器的作用是什么？
- 2、AD 转换器有哪些性能指标？
- 3、0 ~ 5V 的电压输入到 TLC549 输出的二进制数值是多少？假设参考电压 V_{REF} 的电压为 +5V，输入 2.5V 的电压，转换后输出的二进制数值是多少？
- 4、TLC549 的工作原理是什么？
- 5、TLC549 转换结果数据串行输出的数值有什么规定？

知识目标

1. 掌握 D/A 转换器相关的基本知识;
2. 掌握 D/A 转换器的工作原理
3. 掌握 D/A 转换器与单片机的接口技术

;

4. 掌握单片机控制 D/A 转换器的编程方法;

法;

1. 会阐述 D/A 转换器相关的基本知;
2. 会设计 D/A 转换器与单片机的接口的电路;

3. 会使用单片机控制 D/A 转换器的编程方法;

法;

1. 能分析设计任务, 正确使用 D/A 转换器;
2. 能够正确设计 D/A 转换器与单片机的接口电路;
2. 能使用 PROTUES 软件绘制电路原理图;
3. 能使用 Keil 软件编译程序控制 D/A 转换器, 并与 PROTUES 联调, 实现控制电路仿真;
4. 能够完成波形发生器设计和仿真;
5. 能够使用 D/A 转换器去解决实际问题。

能力目标

课时建议

4 课时

知识目标

1. 掌握 D/A 转换器相关的基本知识；
2. 掌握 D/A 转换器的工作原理
3. 掌握 D/A 转换器与单片机的接口技术

；

技能目标

4. 掌握单片机控制 D/A 转换器的编程方法；
1. 会阐述 D/A 转换器相关的基本知；
2. 会设计 D/A 转换器与单片机的接口的电路；

能力目标

3. 会使用单片机控制 D/A 转换器的编程方法
1. 能分析设计任务，正确使用 D/A 转换器；
2. 能够正确设计 D/A 转换器与单片机的接口电路；
2. 能使用 PROTUES 软件绘制电路原理图；
3. 能使用 Keil 软件编译程序控制 D/A 转换器，并与 PROTUES 联调，实现控制电路仿真；
4. 能够完成波形发生器设计和仿真；
5. 能够使用 D/A 转换器去解决实际问题。

课时建议

4 课时

1.1 任务提出

设计一款波形发生器，可产生方波、三角波、锯齿波、正弦波等多种波形的简易波形发生器，通过按键选择输出锯齿波、方波、三角波、正弦波等波形，并在示波器上显示。



1.2 方案设计

1. 单片机选择。采用 ATMEL 公司的 AT89S51 作为系统控制器的 CPU 方案。单片机算术运算功能强，软件编程灵活、自由度大，可以用软件编程实现各种算法和逻辑控制，并且由于其功耗低、体积小、技术成熟和成本低等优点，使其在各个领域应用广泛。

2. 按键电路的选择。根据题目的要求，采用独立式按键设计。按键的一端与单片机引脚相连，另外一端与地相连。

3. DA 转换器的选择。为了能够输出多种波形，需要 DA 转换器。采用带有简单的双线串行接口的 8 位电压输出型数模转换器 MAX517。使用简单的双线串行接口，只需要标准的微处理器提供 2 根总线与之相连，电路简单。

1.3 硬件设计

1. D/A 转换器

将数字信号再转换成模拟信号，需要一种特殊的电路将数字量变换为对应的模拟量，完成这一过程的电路称为 **DA** 转换电路，主要作用是完成将数字量转换成模拟量。

1.1 性能指标

（1）分辨率

分辨率的定义：最小输出电压与最大输出电压所对应的数字量之比，用输入二进制数的有效位数表示。在分辨率为 n 位的数模转换器中，具有 2^n 个不同的输入二进制代码状态，实现 2^n 个不同等级的输出。常见的 **DAC** 有 8 位、10 位和 12 位。

（2）转换精度

转换精度是指输出模拟电压的实际值与理想值之差。产生误差的原因主要有参考电压偏离标准值、运算放大器的零点漂移、模拟开关的压降以及电阻阻值的偏差等。

绝对精度定义为对于一个给定的数字量，其实际的模拟电压值与理论输入电压值之差。

1.3 硬件设计

1.1 性能指标

（3）建立时间

建立时间定义为从输入数字信号开始，到输出信号到达稳定值所需要的时间，是描述 D/A 转换速度快慢的一个参数。

（4）线性度

线性度是用非线性误差的大小来表示。产生非线性误差有两种原因：一是各位模拟开关的压降不一定相等，而且和接地时的压降也未必相等；二是各个电阻阻值的偏差不可能做到完全相等，而且不同位置上的电阻阻值的偏差对输出模拟电压的影响又不一样。

（5）接口形式

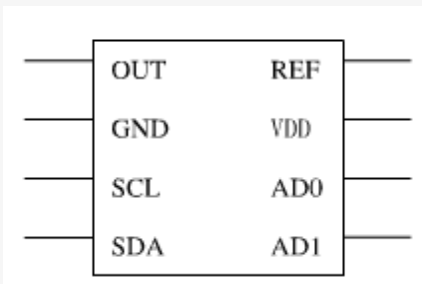
D/A 转换器的接口形式也是一个指标之一，首先是看 D/A 转换器与单片机接口连接是否方便简单，对于带有数据锁存器的 D/A 转换器，可以直接连接到数据总线上；对于不带有数据锁存器的 D/A 转换器，接口时要加一个锁存器，用于保存来自单片机的转换数据。

除了上述主要技术指标外，电源抑制比、功率消耗、温度系数以及输入高、低逻辑电平的数值等技术指标也是 DA 转换器的指标。

1.3 硬件设计

1.2 MAX57 芯片

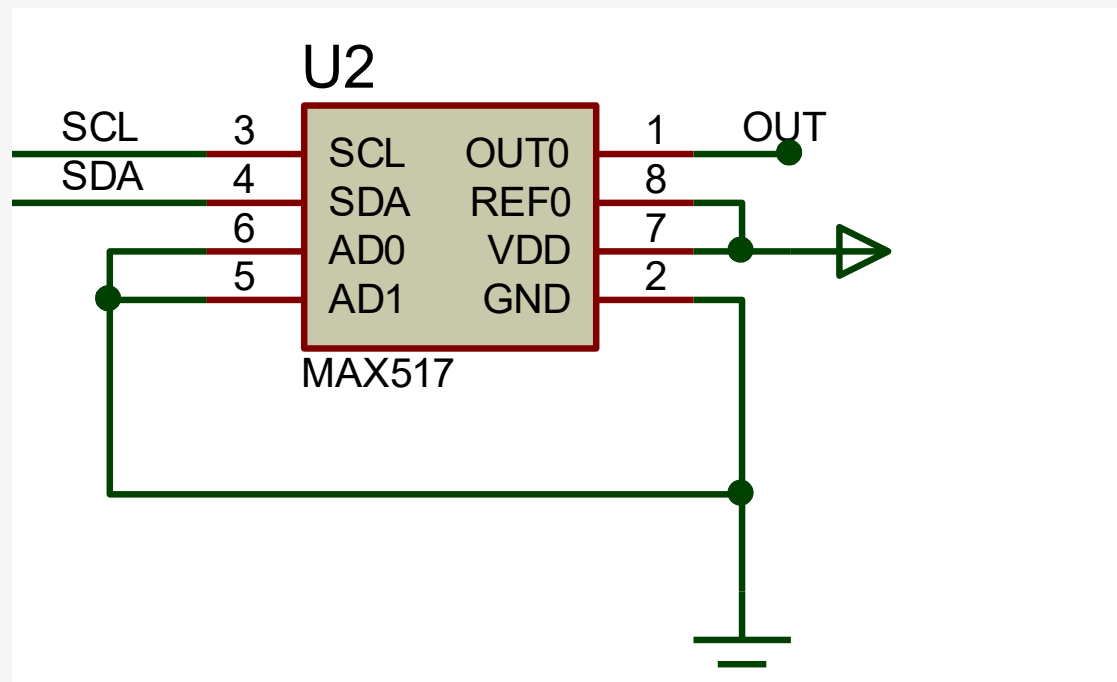
MAX517 是带有简单的双线串行接口的 8 位电压输出型数模转换器，允许多个设备之间进行通信，工作电压是 5V。MAX517 使用简单的双线串行接口，只需要标准的微处理器提供 2 根总线与之相连，电路简单，操作方便。最高频率不能超过 400kHz，即波特率不超过 400kbps。



引脚序号	引脚名称	功能说明	引脚序号	引脚名称	功能说明
1	OUT	输出端	5	ADI	用于选择 DA 通道，接地
2	GND	接地	6	AD0	
3	SCL	时钟总线	7	VCC	电源
4	SDA	数据总线	8	REF	参考值

1.3 硬件设计

1.3 TLC549 典型电路

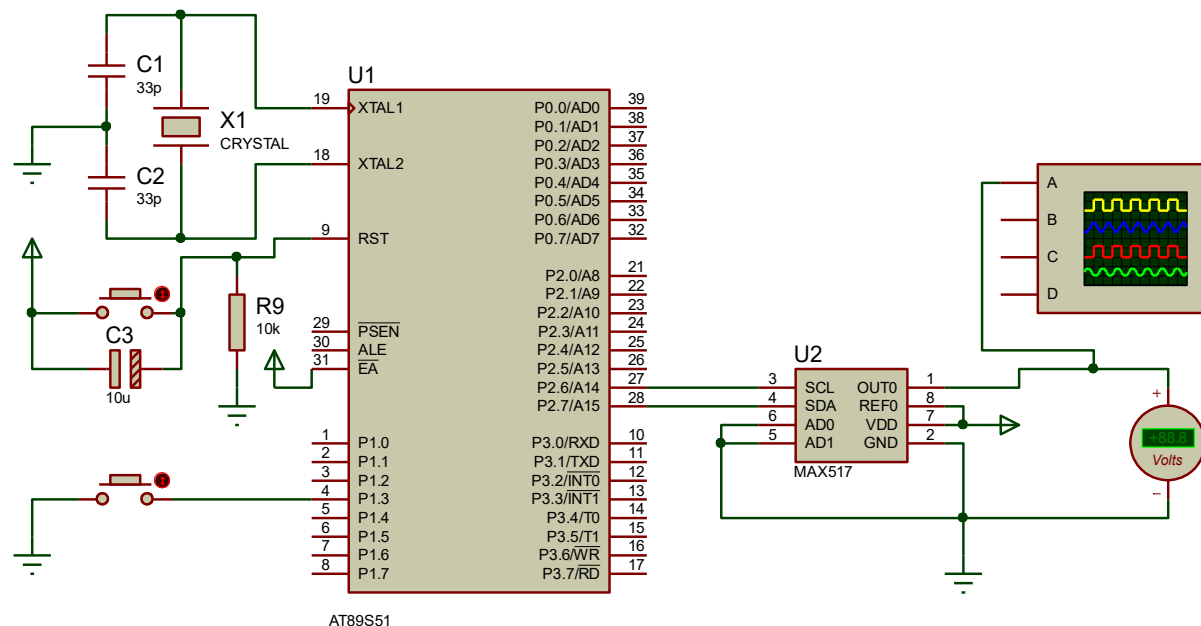


1.3 硬件设计

2. 硬件电路

波形发生器的电路由单片机最小系统、按键电路、DA 转换电路和显示电路组成。单片机最小系统主要有复位电路、晶振电路等，主要保证单片机系统能正常工作；按键电路主要用于切换输出的波形，采用独立式按键设计，连接到单片机 P1.3 引脚；DA 转换电路的核心器件是 MAX517，SCL 和 SDA 分别接到单片机的 P2.6 和 P2.7 引脚，OUT 是输出端，接到示波器上，ADO 和 ADI 接地，REF 与 VDD 连接在一起，并连接到电源上；显示电路主要由示波器，用于显示输出的信号的波形。

单片机最小系统电路



1.3 硬件设计

3. 软件设计

1. I²C 总线通信协议

I²C 是一种简单的双向二线制同步串行总线，只需要两根线即串行数据线（SDA）和串行时钟线（SCL）就可以实现器件间的信息传送，可以进行软件寻址，从而减少了硬件所占空间。由于器件内集成了总线，设计时间大大缩短。

I²C 可以作为发送器也可作为接收器，保持简单的主从关系；并且带有竞争监测和仲裁电路，从而确保了数据的正确性。

I²C 总线采用 8 位、双向串行数据传送方式，传送速率为 1 00kB/s 到 400kB/s；同步时钟可以作为停止或重新启动串行口发送的握手方式；连接到同一总线的集成电路数目只受 400pF 的最大总线电容的限制。

1.3 硬件设计

3. 软件设计

1. I²C 总线通信协议

利用 I²C 总线进行数据通信传送时，遵守如下基本操作：

（1）总线应处于不忙状态，当数据总线（SDA）和时钟总线（SCL）都为高电平时，为不忙状态；

（2）当 SCL 为高电平时，SDA 电平由高变低时，数据传送开始。所有的操作必须在开始之后进行；

（3）当 SCL 为高电平时，SDA 电平由低变为高时，数据传送结束。在结束条件下，所有的操作都不能进行；

（4）数据的有效转换开始后，当时钟线 SCL 为高电平时，数据线 SDA 必须保持稳定。若数据线 SDA 改变时，必须在时钟线 SCL 为低电平时方可进行。

1.4 软件设计

3. 软件设计

2. MAX517 通信程序

MAX517 通信过程主要有以下三种条件：

（1）起始条件

传送没有开始的时候，先将 MAX517 的 SCL=1；然后将 MAX517 的 SDA 产生负跳变，标志着传送的开始。

（2）中间过程

中间过程需要传送地址字节、命令字节和输出字节。根据 MAX517 的工作时序，当且仅当 SCL=0 时，SDA 才能产生跳变；当 SCL=1 时，SDA 状态保持不变。

（3）终止条件

当传送快要结束的时候，将 MAX517 的 SCL=1；然后控制 MAX517 的 SDA 产生正跳变，标志着传送的结束。

在普通输出方式下，不影响本系统与其他系统的串行数据通信、易于控制速度，得到普遍采用。

1.3 硬件设计

3. 软件设计

3. 不同波形的生成方法及其程序

根据锯齿三角波、方波、锯齿波、正弦波四种波形的工作原理，采用模块化结构设计方法，分别使用以下四个函数实现四种波形，然后直接调用函数就可以生成相应的波形输出。

输出三角波函数：

```
void sanjiaobo()
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<255;i++)
    {
        send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,i);
        Delay(1);
    }
}
```

输出方波函数：

```
void fangbo()
{
    send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,0);
    Delay(10);
    send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,255);
    Delay(10);
}
```

输出锯齿波函数：

```
void juchibo()
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<255;i++)
    {
        send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,i);
        Delay(1);
    }
    for(i=255;i>0;i--)
    {
        send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,i);
        Delay(1);
    }
}
```

4. 总体程序见教材或电子材料

1.3 硬件设计

3. 软件设计

3. 不同波形的生成方法及其程序

根据锯齿三角波、方波、锯齿波、正弦波四种波形的工作原理，采用模块化结构设计方法，分别使用以下四个函数实现四种波形，然后直接调用函数就可以生成相应的波形输出。

```
void zhengxianbo(void)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<255;i++)
    {
        send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,sin_num[i]);
        Delay(1);
    }
    for(i=255;i>0;i--)
    {
        send_to_byte(MAX517_I2C_ADDR,sin_num[i]);
        Delay(1);
    }
}
```

4. 总体程序见教材或电子材料

1.3 硬件设计

3. 软件设计

3. 不同波形的生成方法及其程序

根据按键控制输出波形的变化，则程序设计中应不断查询检测按键状态，以便输出对应的波形。设计一个按键来识别每种不同的功能，给每个不同的功能模块用不同的 ID 号标识，每按下一次按键，ID 的值是不相同的，单片机就很容易识别不同功能的身份了。从以上要求，输出的波形受到按键的控制，定义不同的 **flag**，输出不同的波形。当 **flag=0** 时，输出三角波，当 **flag= 1** 时，输出方波，当 **flag= 2** 时，输出锯齿波，当 **flag=3** 时，输出正弦波。因此，只要每次按下 **key** 时，分别输出不同的 **flag** 值就可完成设计任务。

```
if(key==0)
{
    while(key==0);
    flag++;
    if(flag==4)
    flag=0;
}
```

4. 总体程序见教材或电子材料

1.3 硬件设计

3. 软件设计

4. 波形发生器功能实现程序

为了实现波形发生器功能，需要编写程序。首先要通过软件模拟 I²C 通信过程。因此程序中主要有三个文件，一个主程序，另外两个是实现 I²C 通信。

1) I²C 通信程序

这个主要包含两个文件，一个 I²C.c，一个是 I²C.h。

I²C.h 主要是器件的地址、器件引脚连接以及相关的函数声明。

2) 总体程序见教材或电子材料

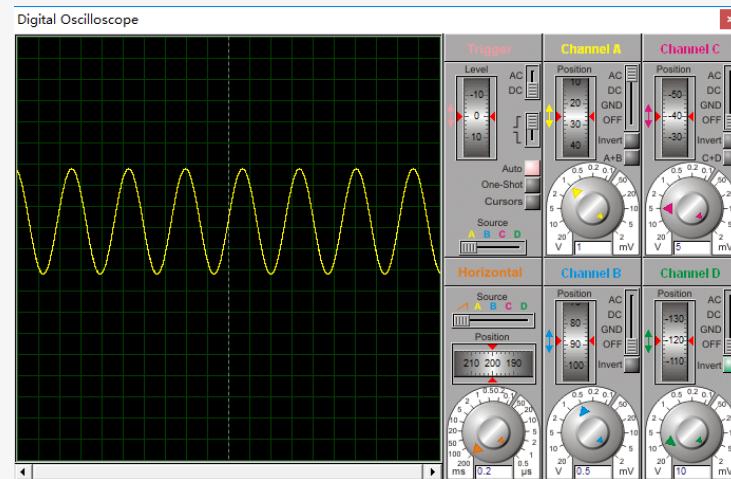
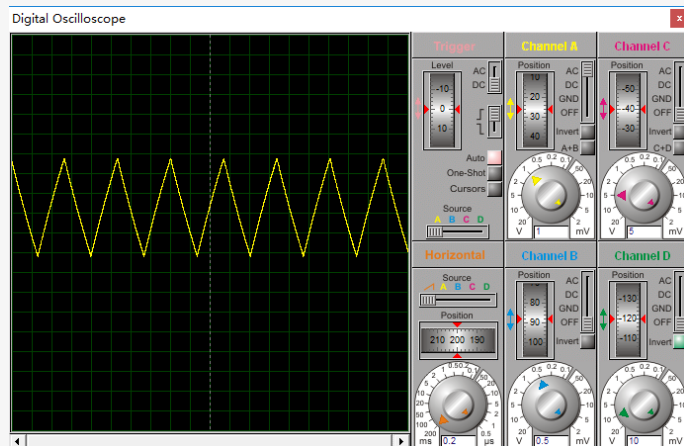
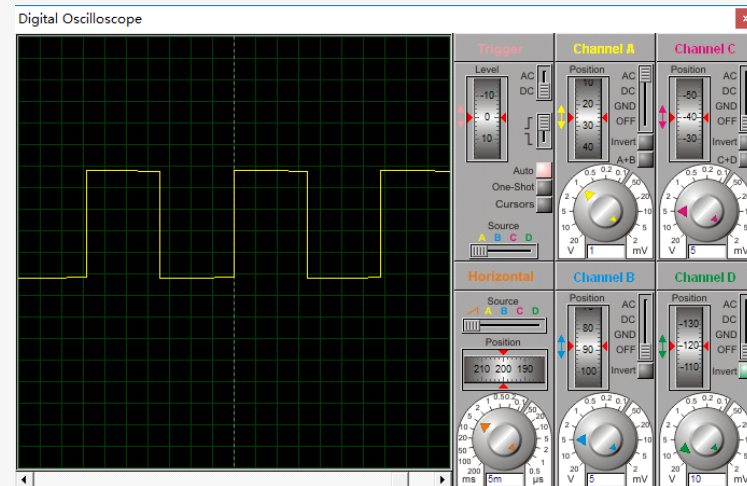
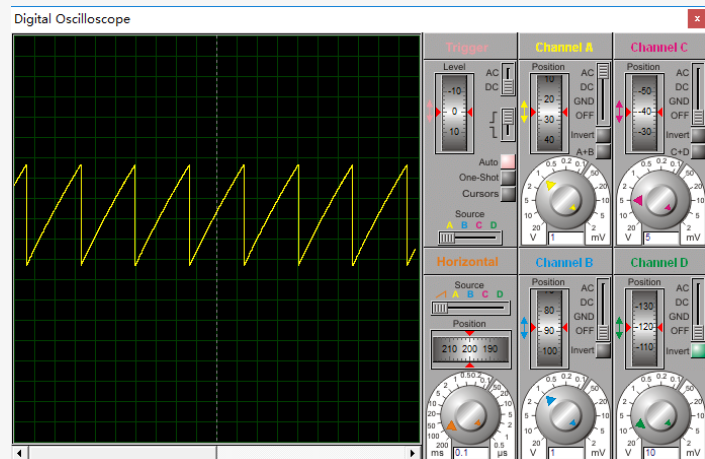
1.5 软件仿真

1. 使用 Proteus 软件，绘制硬件电路图，并保存到指定的位置。

2. 使用 KeilC51 建立一个 wave 工程项目，建立一个 .c 文件，在编辑区中输入上述的源程序，并以“wave.c”为文件名存放“波形发生器”文件夹中；进行编译，排除所有程序故障，直到无错误为止，目标代码文件“wave.hex”。

3. 使用 Proteus 打开绘制好的电路设计图，双击电路图中 AT89S51 单片机，把编译好的“wave.hex”文件下载到单片机中。点击模拟调试按钮，系统上电时，首先示波器看到是三角波，然后通过按下按键切换输出的波形，在示波器上就可以看到输出波的波形图。

1.5 软件仿真



1.6 项目总结

本项目实现了波形发生器设计与仿真，介绍了 D/A 转换器的概念、作用和主要技术指标等知识，详细介绍了 MAX517 芯片的功能、工作原理，典型电路等，详细介绍了方波、三角波、锯齿波和正弦波生成的方法，重点阐述了 MAX517 与单片机的接口技术以及编程控制的方法。

项目提升

- 1、什么是 DA 转换器？ DA 转换器的作用是什么？
- 2、 DA 转换器有哪些性能指标？
- 3、 MAX517 是什么样的数模转换器，采用的通信协议是什么？
- 4、 I2C 总线进行数据通信传送时遵守什么样的基本操作？
- 5、 MAX517 通信过程有什么条件？