

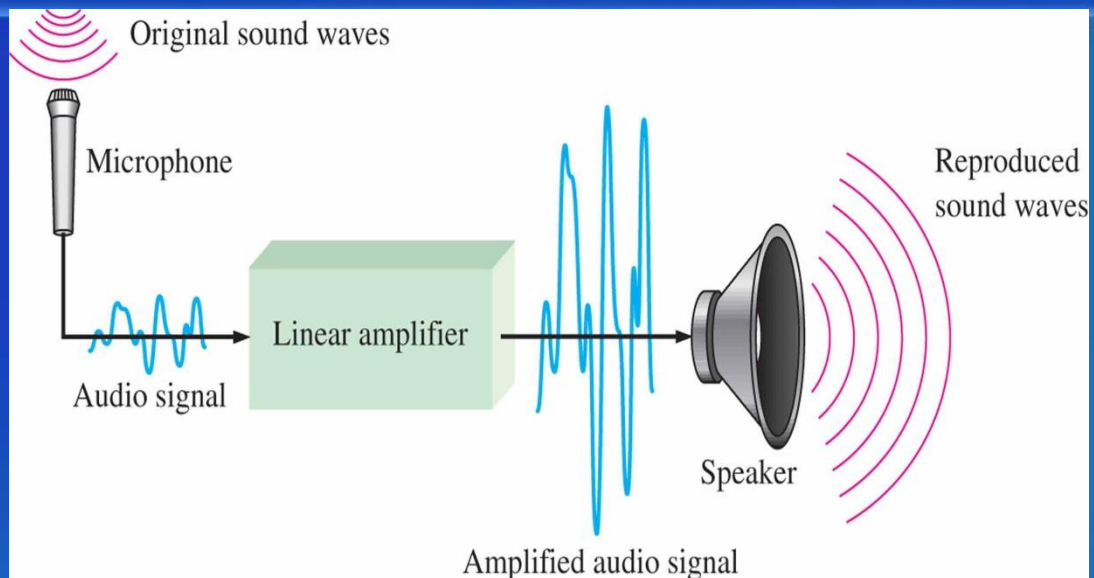
11 数 - 模和模 - 数转换

11.1 数模转换器

11.2 模数转换器

问题： 什么是模拟量？举例
 什么是数字量？
 为什么需要模数之间的相互转换？

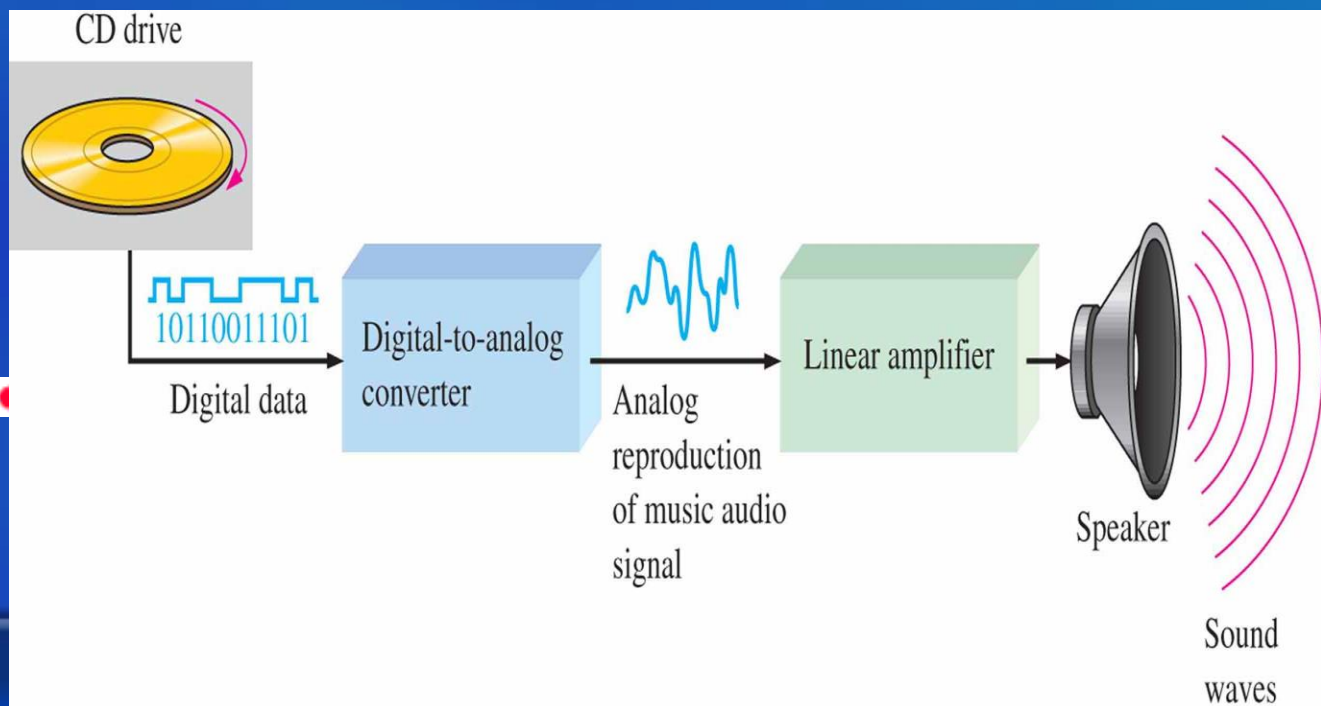
■ 模拟量——连续变化的物理量



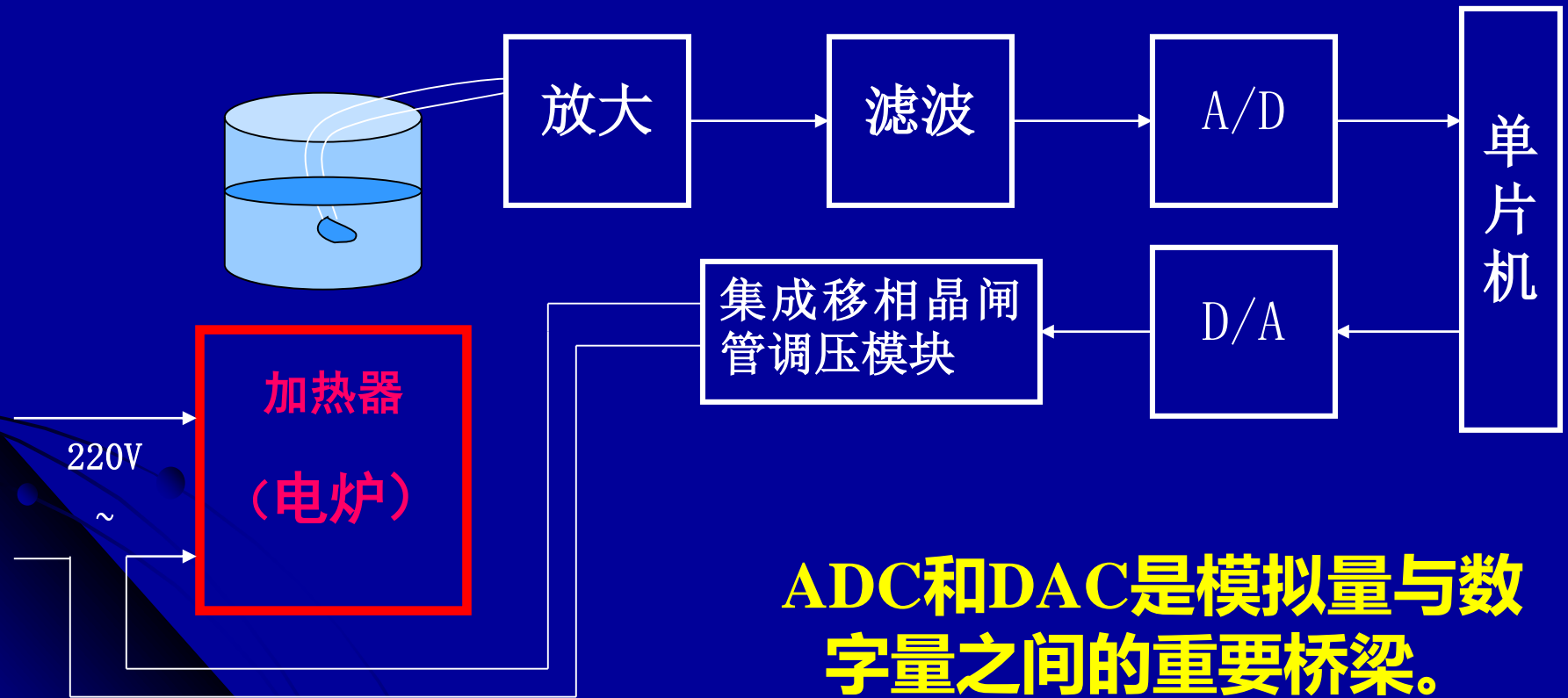
模拟/数字转换器
ADC

DAC
数字/模拟转换器

数字量——时间和数值上都离散的量



温度控制系统



ADC和DAC是模拟量与数字量之间的重要桥梁。

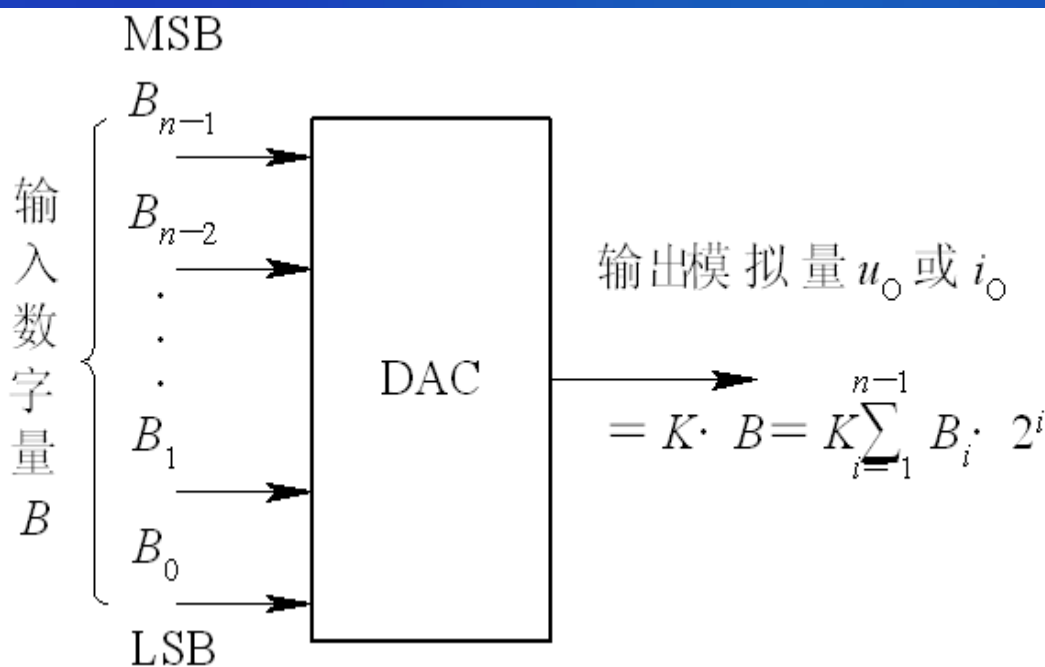


11.1 数模转换器

D/A 转换的基本原理

1. D/A 转换的基本原理

把输入数字量转换成与之成比例的输出电压或电流值。



D_n 按权展开式为

$$D_n = B_{n-1} 2^{n-1} + B_{n-2} 2^{n-2} + \cdots + B_1 2^1 + B_0 2^0$$

$$= \sum_{i=0}^{n-1} B_i \cdot 2^i$$

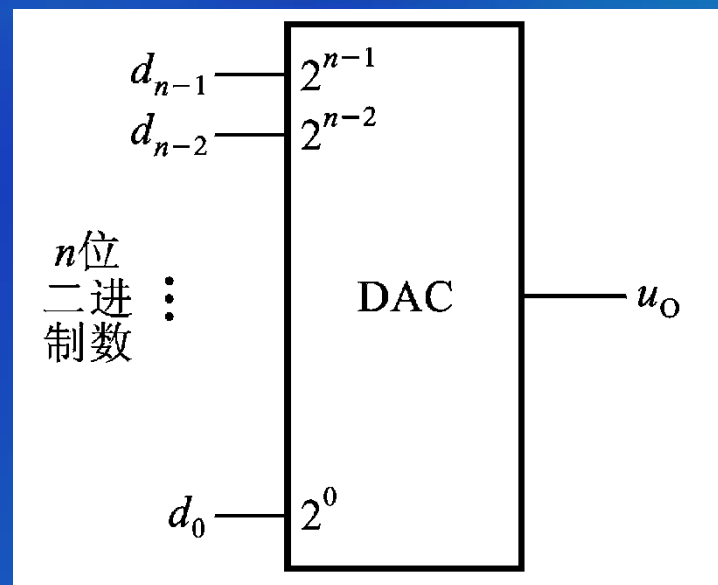
输出电压 u_O 或电流 i_O

$$u_O (\text{或 } i_O) = K \cdot D_n = K \cdot \sum_{i=0}^{n-1} B_i 2^i$$

式中K为转换比例常数。

2. 电压型DAC

输出电压值



$$u_o = (d_{n-1}2^{n-1} + d_{n-2}2^{n-2} + \dots + d_12^1 + d_02^0) U_{\Delta} = D_n U_{\Delta}$$

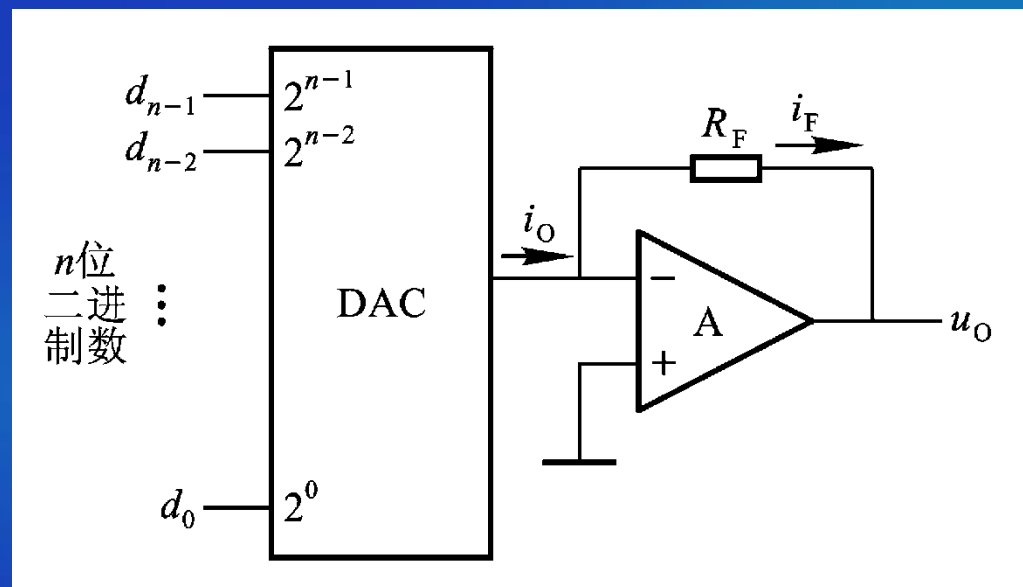
U_{Δ} 称为DAC的单位量化电压。

U_{Δ} 等于 D_n 为1时，DAC输出的模拟电压值。

DAC最大的输出电压 $u_{Omax} = (2^n - 1)U_{\Delta}$ 。

3. 电流型DAC

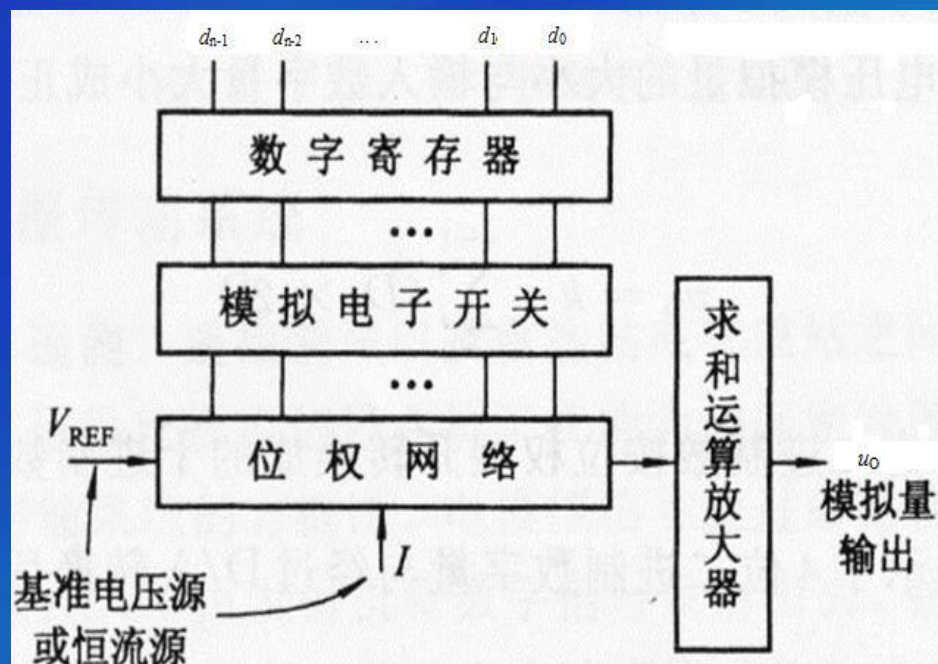
一般常见的D/A转换器多是电流输出型的，为了得到模拟电压输出，可在它的后面接一个电流电压转换(I/V)电路。



电流电压转换电路的输出电压为：
$$u_O = -i_O R_F$$

D/A 的结构框架

用存于数字寄存器的数字量的各位数码，分别控制对应位的模拟开关，使数码为1的位在位权网络上产生与其位权成正比的电流值，再由运算放大器对各电流值求和，并转换成电压值。



根据位权网络的不同划分

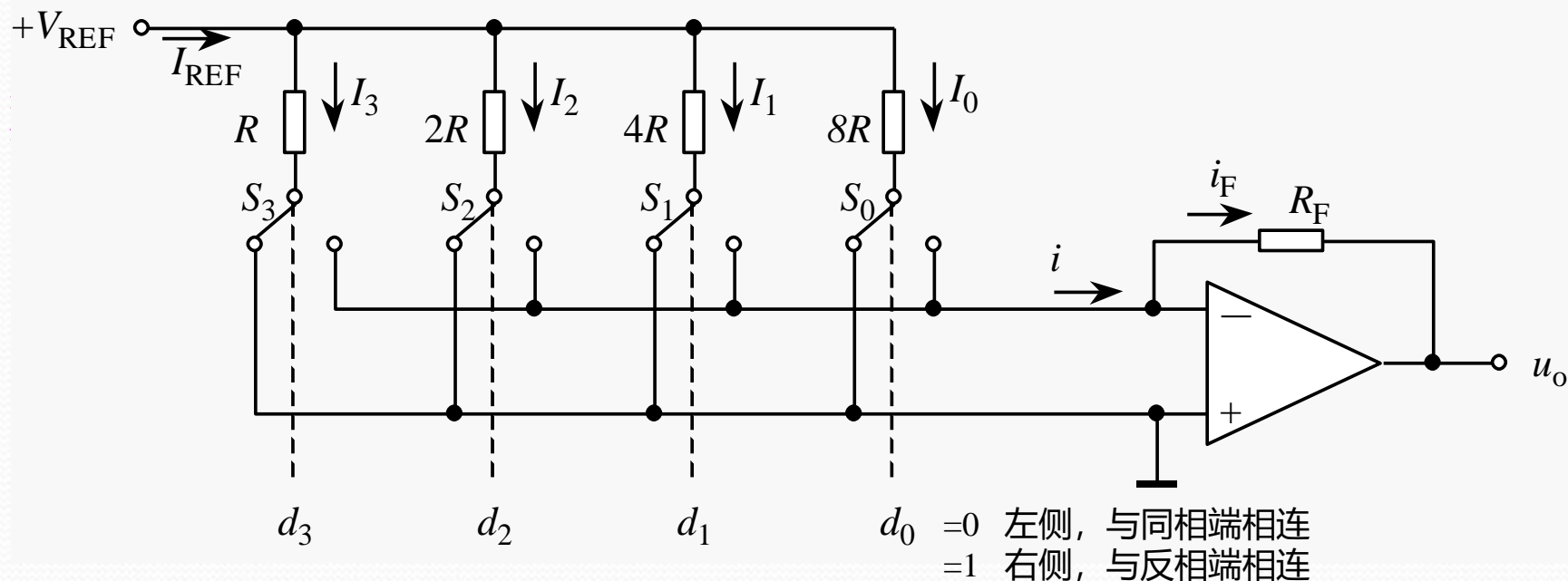
权电阻网络DAC

倒T型电阻网络DAC

权电流网络DAC

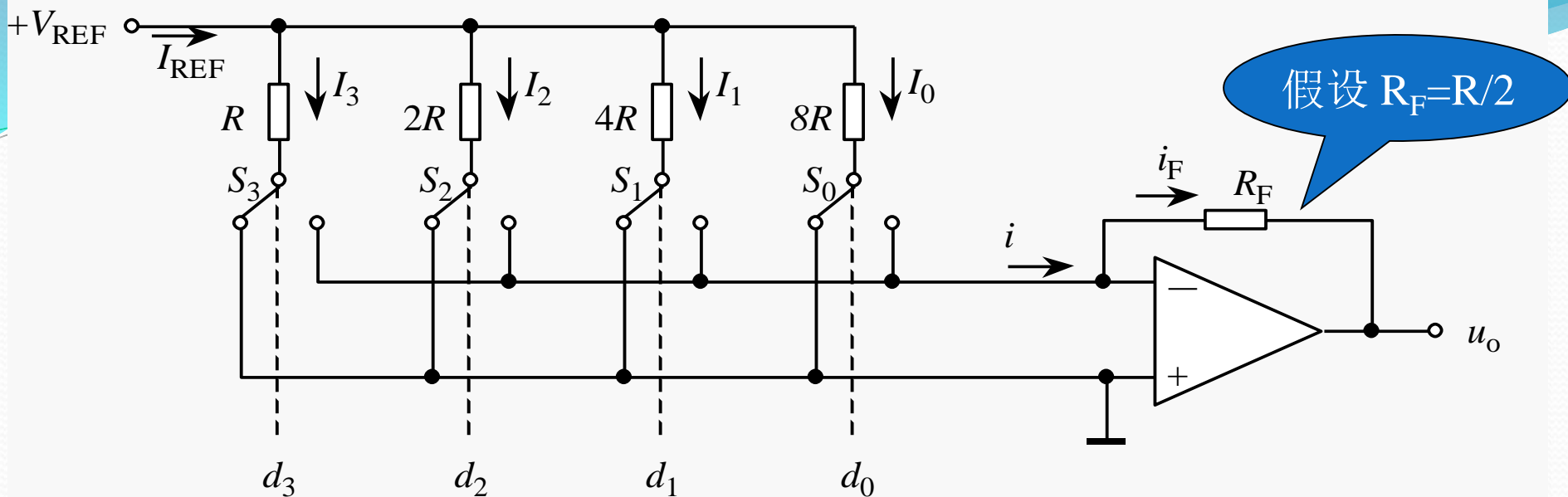
权电阻网络DAC

由电阻网络、模拟开关和一个电流电压转换电路组成。



无论开关接到同相端还是反相端，各支路电流均为：

$$I_0 = \frac{V_{REF}}{8R} \quad I_1 = \frac{V_{REF}}{4R} \quad I_2 = \frac{V_{REF}}{2R} \quad I_3 = \frac{V_{REF}}{R}$$



$$\begin{aligned}
 i &= I_0 d_0 + I_1 d_1 + I_2 d_2 + I_3 d_3 \\
 &= \frac{V_{REF}}{8R} d_0 + \frac{V_{REF}}{4R} d_1 + \frac{V_{REF}}{2R} d_2 + \frac{V_{REF}}{R} d_3 \\
 &= \frac{V_{REF}}{2^3 R} (d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)
 \end{aligned}$$

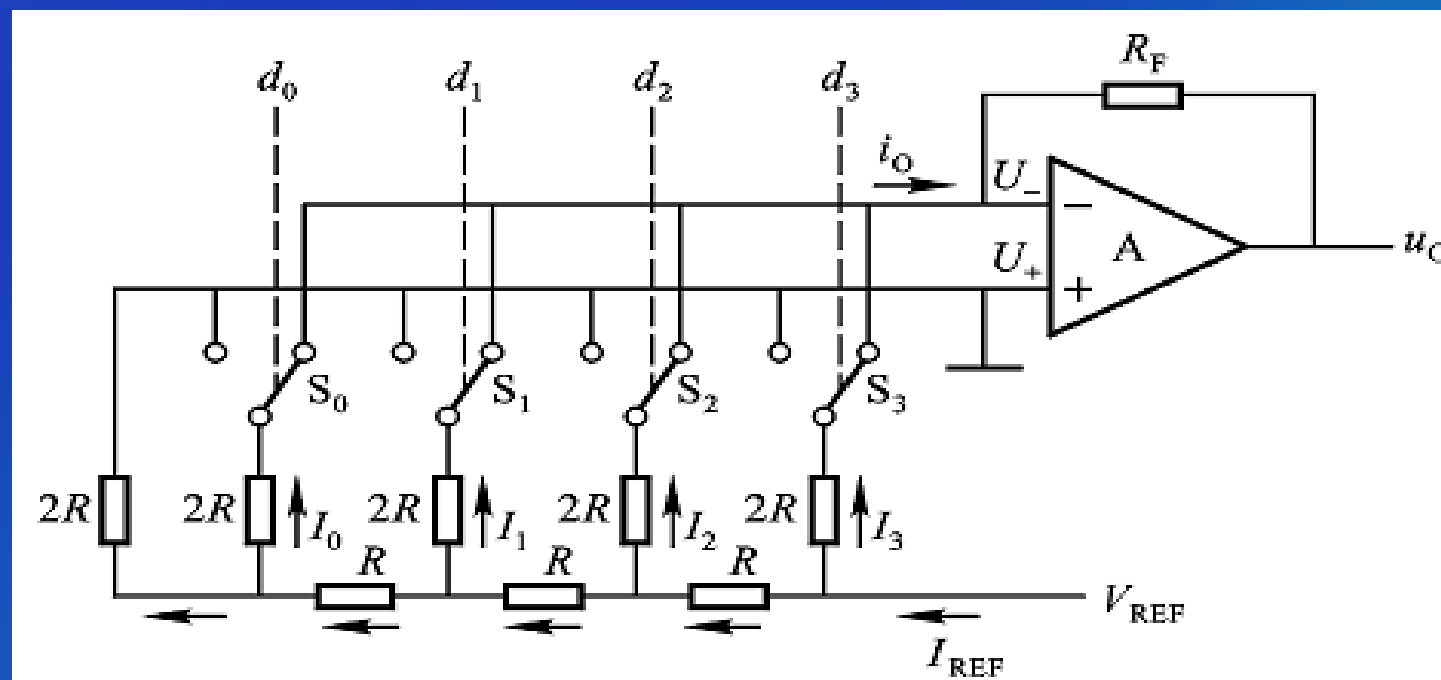
$$u_o = -R_F i_F = -\frac{R}{2} \cdot i = -\frac{V_{REF}}{2^4} (d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$

优点：结构简单

缺点：电阻种类多，不宜集成化，且转换精度低。

倒T型电阻网络D/A转换器

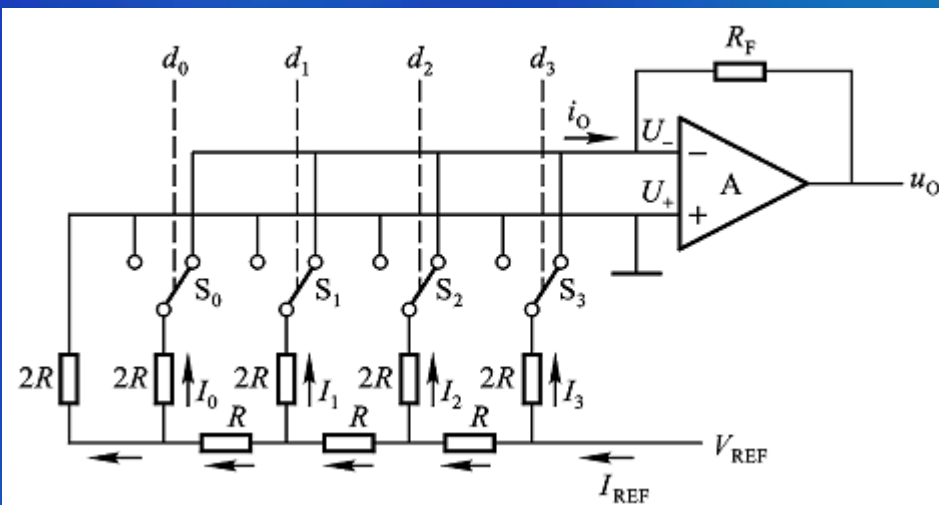
1. 4位电压输出倒T形电阻网络DAC



倒T型电阻网络DAC采用 R - $2R$ 两种电阻构成电阻网络。

倒T型电阻网络D/A转换器的基本思想是逐步分流原理和线性叠加原理。

2. 倒T形电阻网络的等效电路



从A、B、C、D分别向左看进去对地等效电阻始终为 R 。

$$I = V_{REF}/R$$

各支路电流：

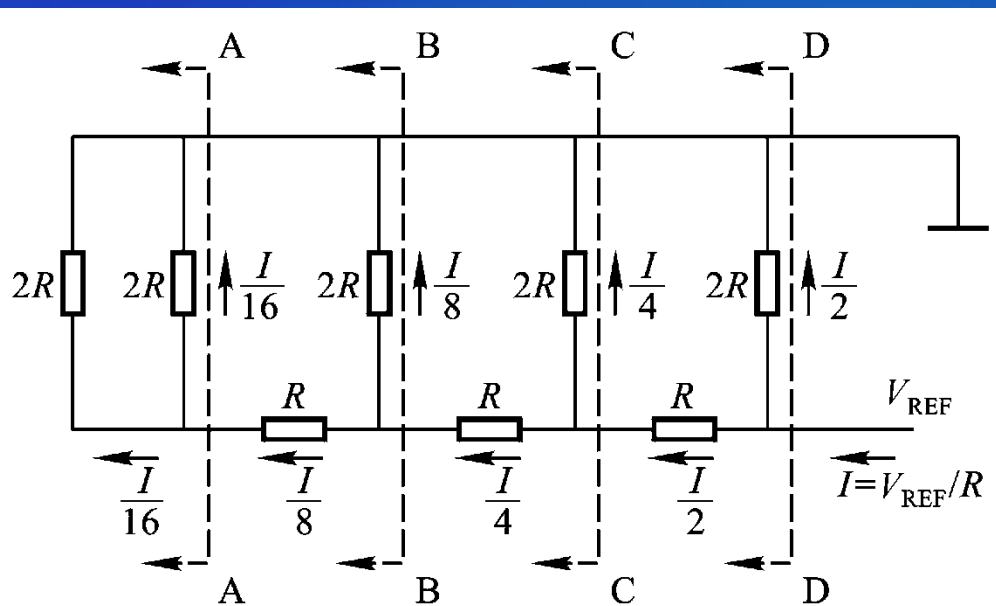
$$I_3 = I/2$$

$$I_1 = I/8$$

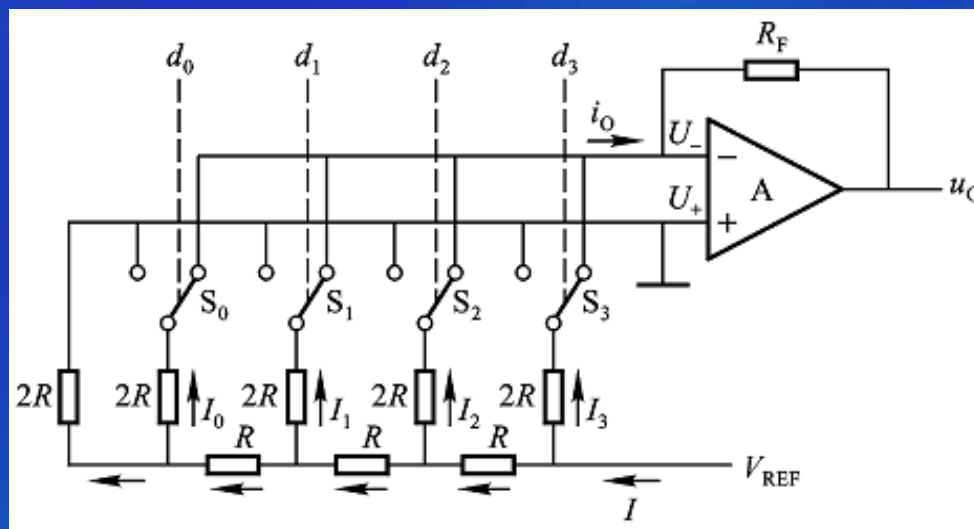
$$I_2 = I/4$$

$$I_0 = I/16$$

$$i_o = I_3 d_3 + I_2 d_2 + I_1 d_1 + I_0 d_0$$



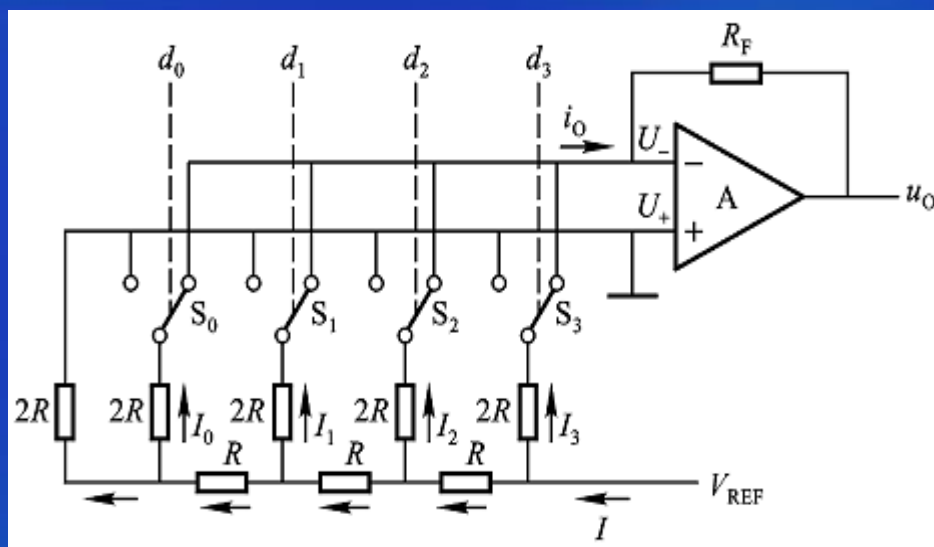
2. 输出电压



$$\begin{aligned}
 u_O &= -i_O R_F = -\left(\frac{I}{2}d_3 + \frac{I}{4}d_2 + \frac{I}{8}d_1 + \frac{I}{16}d_0\right)R_F \\
 &= -\frac{I}{2^4}R_F(d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0) = -\frac{I}{2^4}R_F \sum_{i=0}^3 d_i 2^i
 \end{aligned}$$

将 $I = V_{\text{REF}}/R$ 代入, 得

$$u_o = -\frac{V_{\text{REF}} R_F}{2^4 R} D_n$$

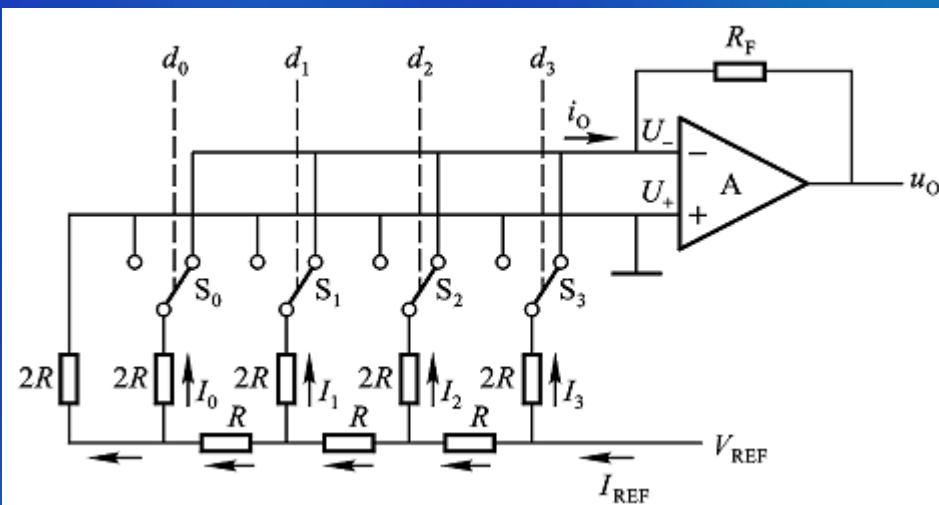


同理，n位倒T形电阻网络DAC的输出电压

$$u_O = -\frac{V_{REF} R_F}{2^n R} D_n$$

其中， $(-R_F V_{REF}/2^n R)$ 为DAC的单位量化电压。

倒T形电阻网络存在的问题：



实际的电子开关总存在一定的且不可能完全相同的导通电阻，这些电子开关与倒T形电阻网络的 $2R$ 支路连接时，不可避免地会引入转换误差，影响转化精度。

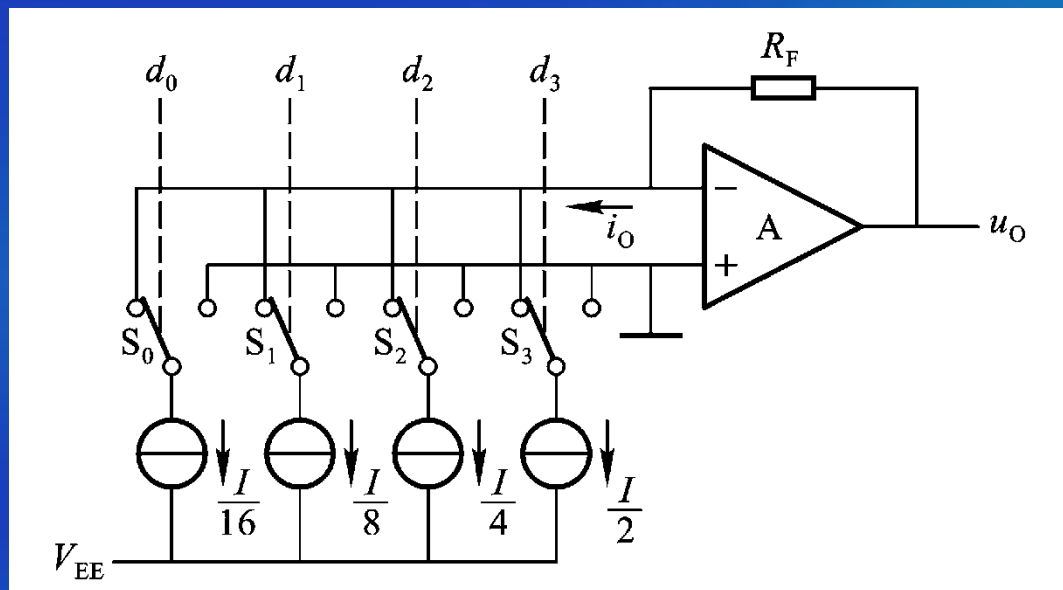
解决方法：倒T形电阻网络中各支路的电流变为恒流源。这样就构成了权电流网络D/A转换器。

权电流网络D/A转换器

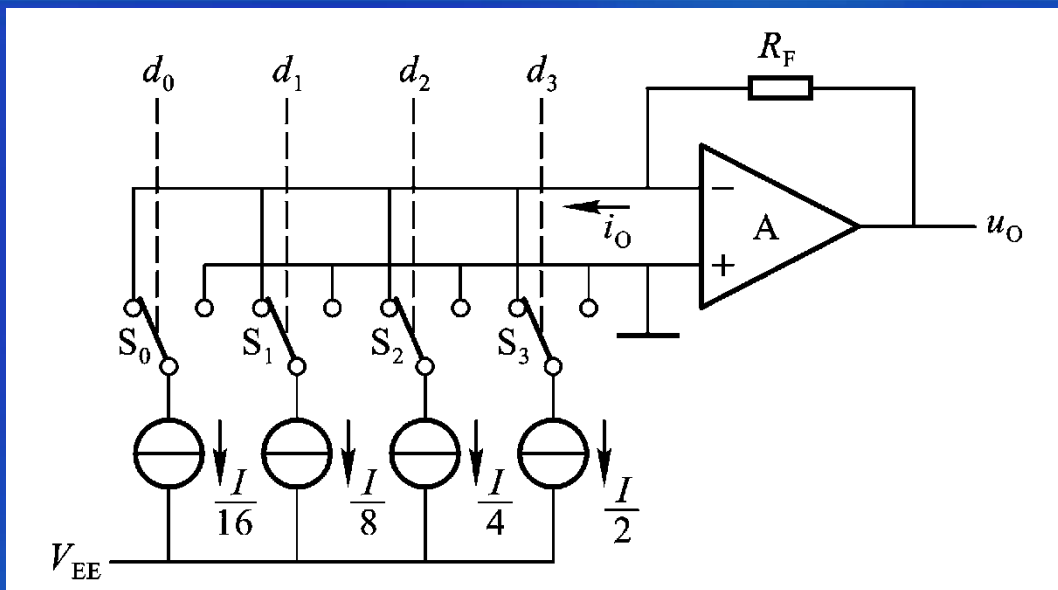
1. 四位二进制数权电流网络D/A转换器

(1) 电路主要组成

权电流网络
模拟开关
 I/V 转换电路



由于恒流源的输出电阻极大，**模拟开关导通电阻的变化对权电流的影响极小**，大大提高了转换精度。



(2) 输出电压

$$u_0 = i_o R_F = \left(\frac{I}{2} d_3 + \frac{I}{4} d_2 + \frac{I}{8} d_1 + \frac{I}{16} d_0 \right) R_F$$

$$= \frac{I}{2^4} R_F (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

$$u_0 = D_n I R_F / 16$$

式中 $I R_F / 16$ 为 D/A 转换器的单位量化电压。

D/A转换器的特性参数

1、转换精度

定义为实际输出值与理论值之差，是一种综合误差，反映了DAC的整体最大误差。它与DAC的分辨率、各种因转换电路自身产生的误差等有关。

(1) 分辨率

表示DAC可分辨的最小输出电压，表示为输入数字量只有最低有效位为1时的输出电压1LSB与输入数码为全1时输出满量程电压FSR (Full Scale Range) 之比：

$$\text{分辨率} = \frac{1 \text{ LSB}}{\text{FSR}} = \frac{1}{2^n - 1}$$

一个10位的DAC的分辨率为 $1/(2^{10}-1) \approx 0.000978$ 。

假设输出模拟电压的满量程为10V:

10位的DAC能够分辨的最小输出电压为 $10 / (2^{10}-1) = 0.009775\text{V}$ 。

8位的DAC能够分辨的最小输出电压为 $10 / (2^8-1) = 0.039125\text{V}$ 。

可见，位数越高，DAC分辨输出电压的能力就越强，转换时对输入量的微小变化的反应就越灵敏。

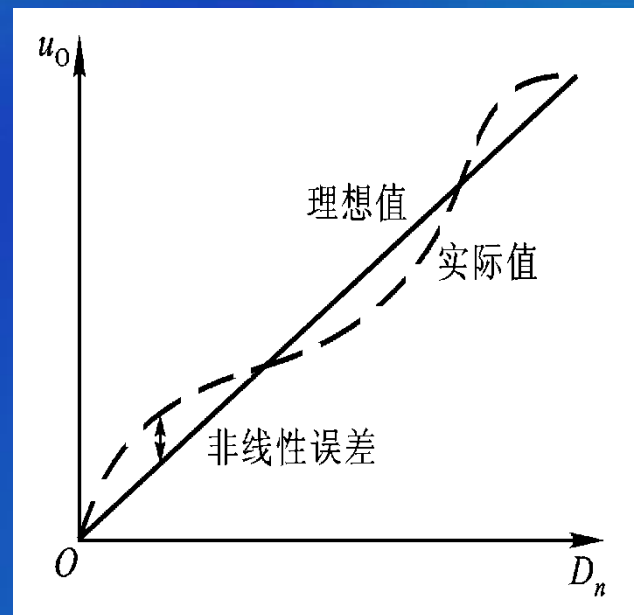
通常用二进制数码位数 n 来表示DAC的分辨能力，
如8位、10位、12位。分辨率的值越小，分辨能力越强。

(2) 转换误差

■ 非线性误差（非线性度）

理想DAC的转换特性应是线性的。实际输出值与理想值之间偏差的最大值。通常较好的DAC的非线性误差不大于 $1/2\text{LSB}$ 。

由模拟开关、运放的非线性引起。

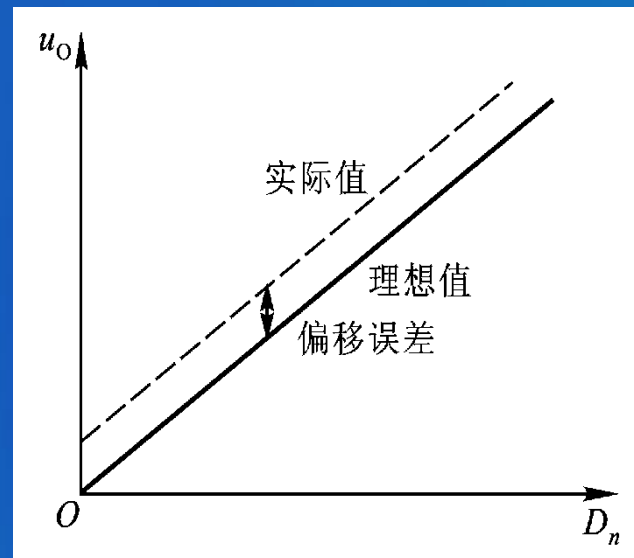


■ 偏移（或漂移）误差

数字输入为全0时，DAC的输出电压与 0V 之差，也叫系统误差。

产生原因：由运放的零点漂移造成。

消除方法：通过零点校准的方法。

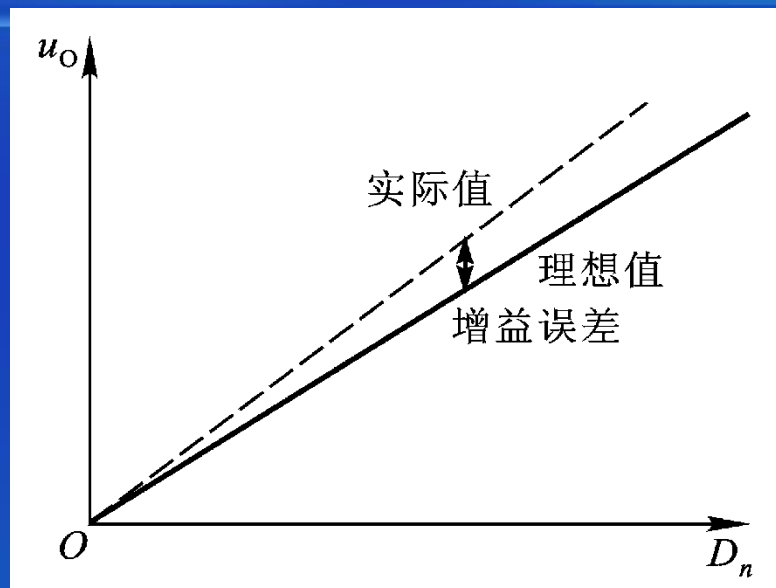


■ 增益误差

数字量由全0变为全1时，输出电压变化量与理想输出电压变化量之差。

产生原因： R_F 、 R 和 V_{REF} 精度和稳定性造成。

消除方法： 外围电阻选择精密电阻， V_{REF} 选择高精度、高稳定性电源。

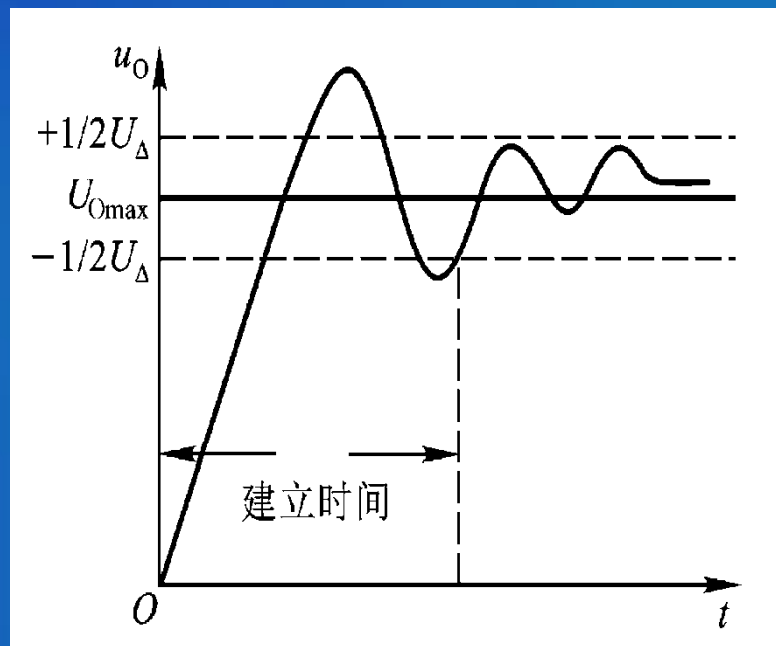


2、转换时间

转换时间一般由建立时间决定，即输入从全0到全1，D/A输出模拟量达到稳定值的规定误差带内止，所需要的时间。

规定的误差带一般为 $\pm 1/2$ 单位量化电压。

根据建立时间可将DAC分成超高速（小于 $1\mu s$ ）、高速（ $10\sim 1\mu s$ ）、中速（ $100\sim 10\mu s$ ）和低速（大于 $100\mu s$ ）。



集成D/A转换器及其应用

通常将位权网络和模拟开关集成在一块芯片。

多数为电流输出，使用时需要外接运放和电阻、电容等元器件。

8位：DAC0832、DAC0808

10位：AD561

12位：AD565。

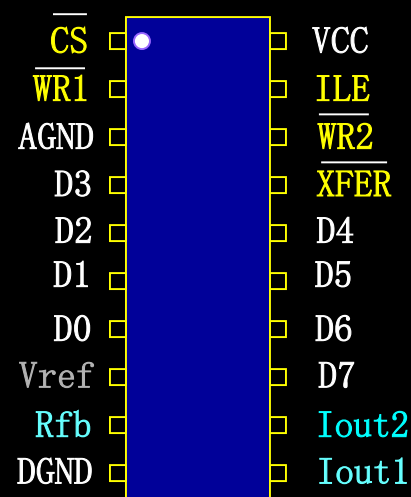
传统的芯片一般多为并行数据输入，如上述所列举的所有芯片。近年来也出现了串行数据输入的芯片，如MAX518、AD5541等。

8位CMOS数模转换芯片 DAC 0832:

属于倒T型电阻网络D/A转换器

- √ **8位D/A，分辨率=Vref/256**
- √ CMOS低功耗器件，+5 ~ +15V
单电源供电
- √ **电流输出型器件(需外接运放)**
- √ 具有双缓冲控制输出
- √ 采用T型电阻解码网络结构
- √ 参考电压源，-10 ~ +10V
- √ 转换时间1μs

DAC0832



20 PIN DIP封装



DAC 0832 引脚定义

D0—D7: 8位数字量输入端

/CS: 片选端, 低有效

ILE: 数据锁存允许, 高有效

/WR1: 写控制信号1, 低有效

/WR2: 写控制信号2, 低有效

/XFER: 数据传送控制信号

Iout1: 电流输出端1

Iout2: 电流输出端2

Rfb: 内置反馈电阻端

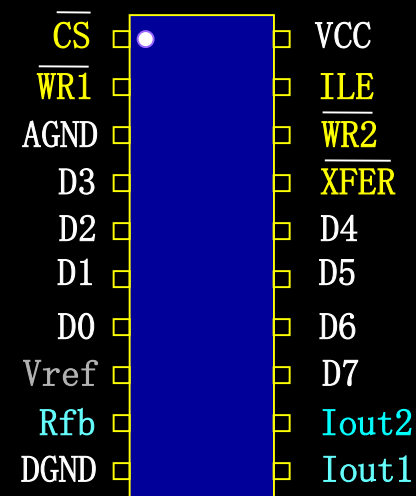
Vref: 参考电压源, -10 ~ +10V

DGND: 数字量地

AGND: 模拟量地

Vcc: +5 ~ +15V单电源供电端

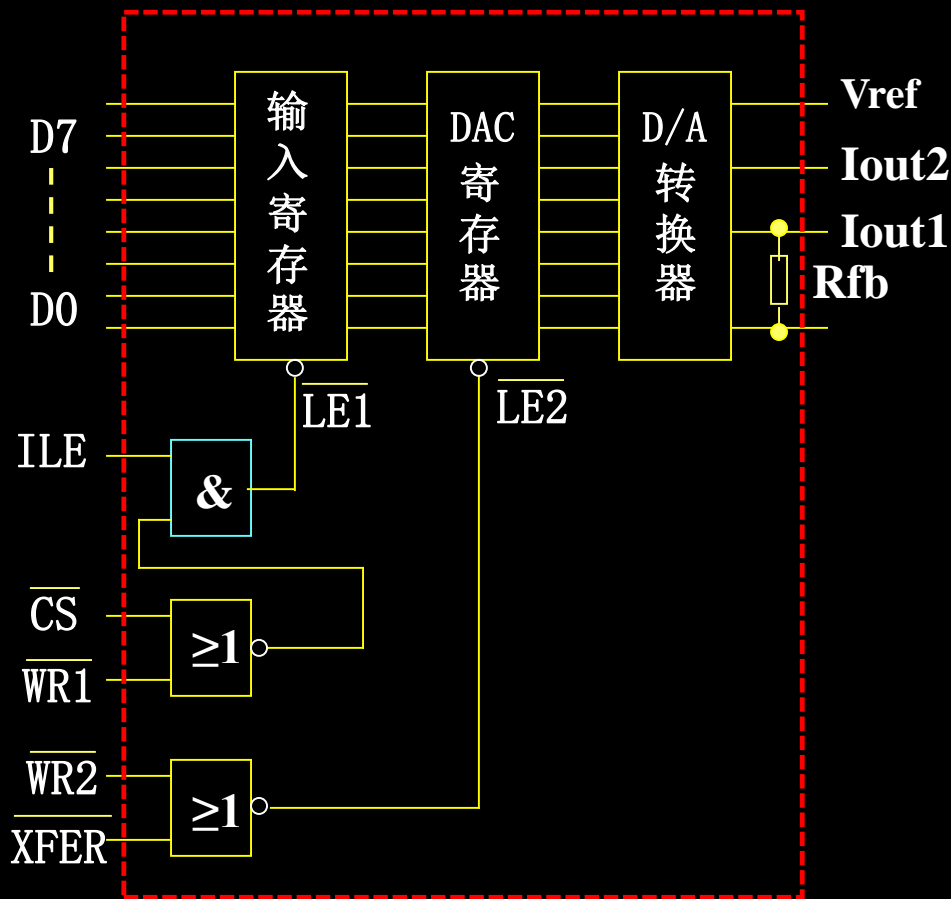
DAC0832



20 PIN DIP封装



DAC0832 内部结构



第一级输入寄存器:

ILE引脚为“1”，/CS和/WR1为“0”

→ /LE1为“1”，输入寄存器的输出跟随输入而变化。

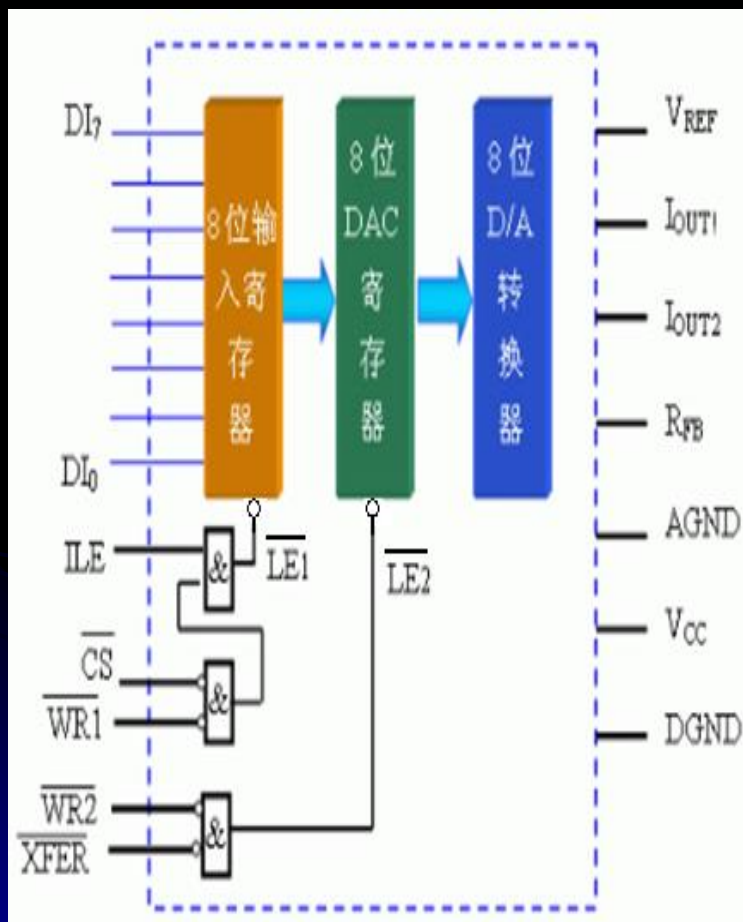
/WR1由“0”变“1” → /LE1为“0”，8位数据被锁存到输入寄存器中，输入寄存器的输出端不再跟随输入数据的变化而变化。

第二级DAC寄存器:

/XFER和/WR2同时为“0” → /LE2为“1”，DAC寄存器的输出跟随其输入而变化；

/WR2由“0”变“1” → /LE2为“0”，将输入寄存器的数据锁存到DAC寄存器。

DAC 0832 工作方式

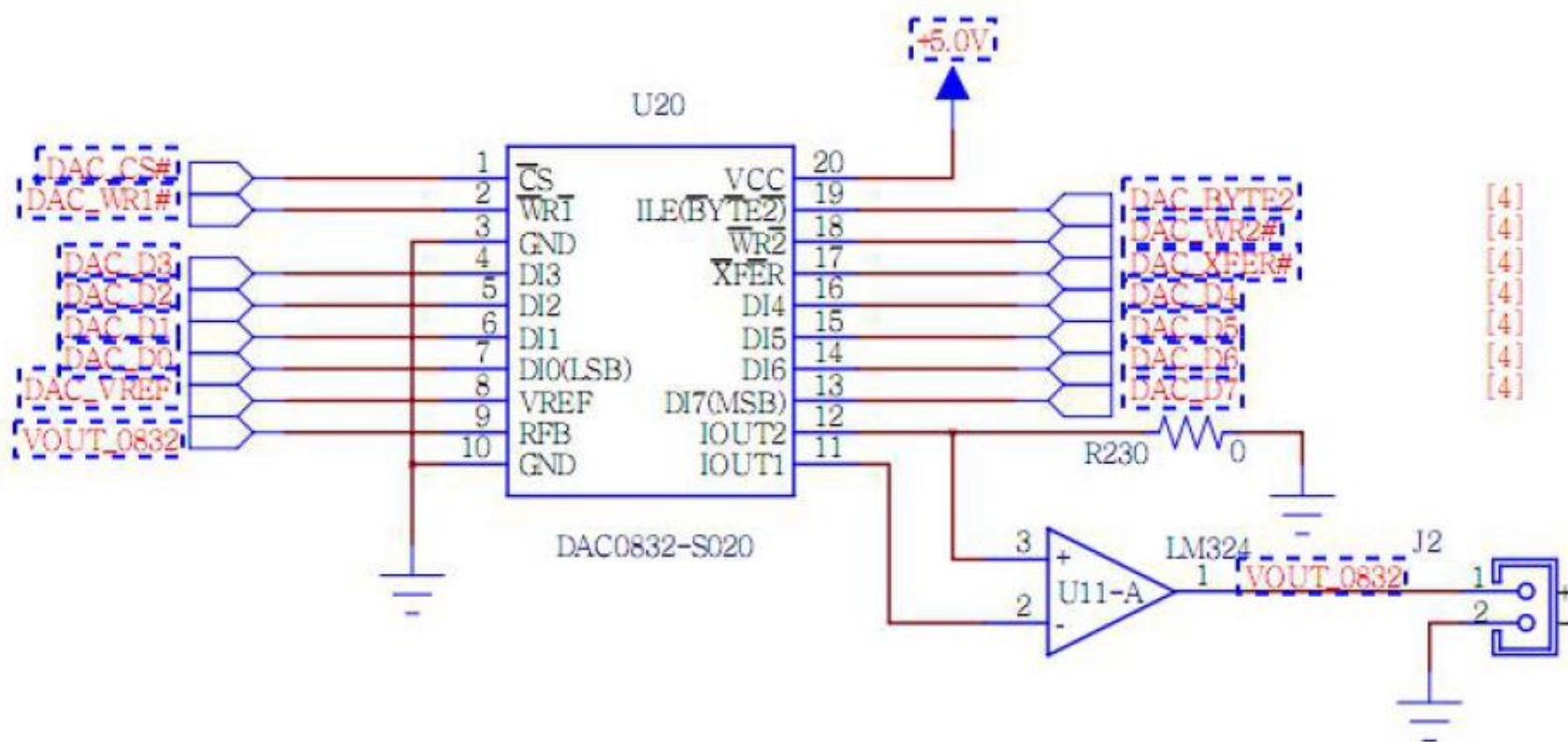


•**单缓冲方式**：输入寄存器和DAC寄存器同时接收数据，或只用输入寄存器而把DAC寄存器接成直通方式。此方式适用只有一路模拟量输出或几路模拟量异步输出的情形。

•**双缓冲方式**：先使输入寄存器接收数据，再控制输入寄存器的输出数据到DAC寄存器，即分两次锁存输入数据。在输出模拟信号的同时采集下一个数字量，这样能有效地提高转换速度。两级锁存器还可以在多个D/A同时工作时，利用第二级锁存信号实现多个转换器同步输出。

•**直通方式**：数据不经两级锁存器锁存，即 \overline{CS} ， \overline{XFER} ， $\overline{WR1}$ ， $\overline{WR2}$ 均接地， ILE 接高电平。此方式适用于连续反馈控制线路和不带微机的控制系统。

EGO1 上集成了 8 位的模数转换芯片 (DAC0832)，DAC 输出的模拟信号连接到接口 J2 上。



```

module DAC_SawtoothWave(
    input clk,
    output dac_cs_n,
    output dac_wr1_n,
    output dac_wr2_n,
    output dac_xfer_n,
    output dac_ile,
    output reg[7:0]dac_data
);
    reg [7:0]q;

```

//DAC的转换时间是1us, 所以将100MHz的时钟信号100分频,
 //每1us输出一个数据点

```

    always@(posedge clk)
    if (q==100)
    begin
        q<=0;
        dac_data<=dac_data+1;
    end
    else
        q<=q+1;

```

//将DSC0832设置成直通方式

```

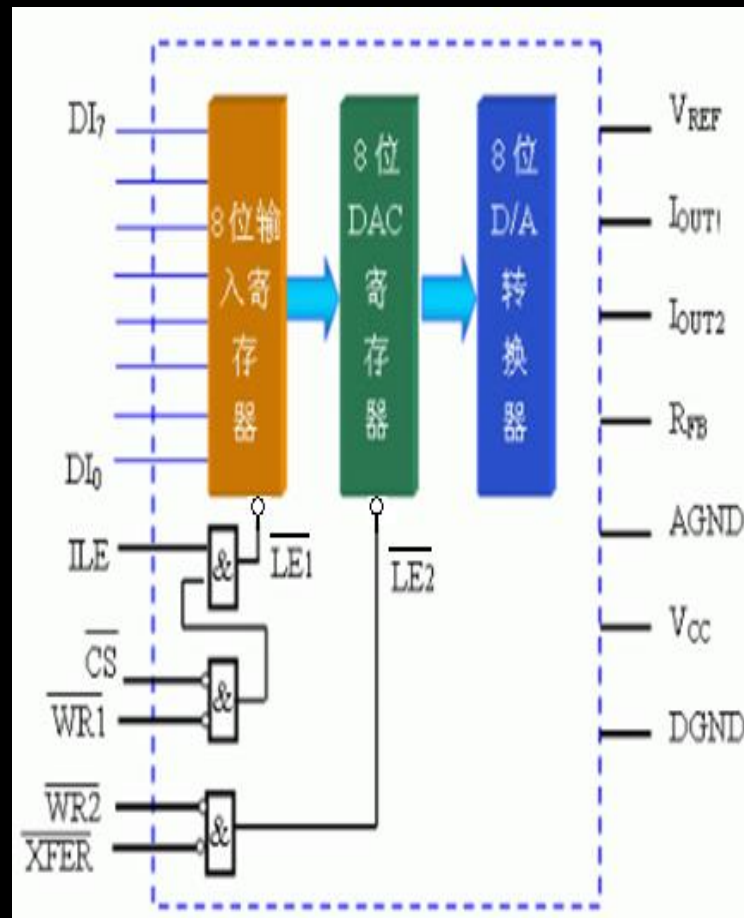
    assign dac_ile = 1;      //ILE=1, 允许输入寄存器受CS和WR1控制
    assign dac_cs_n = 0;     //片选有效
    assign dac_wr1_n = 0;    //WR1有效。 ILE=1, CS=0, WR1=0将使输入寄存器处于直通状态
    assign dac_wr2_n = 0;    //WR2有效
    assign dac_xfer_n = 0;   //XFER有效。 WR2=0, XFER=0将使DAC寄存器处于直通状态

```

```

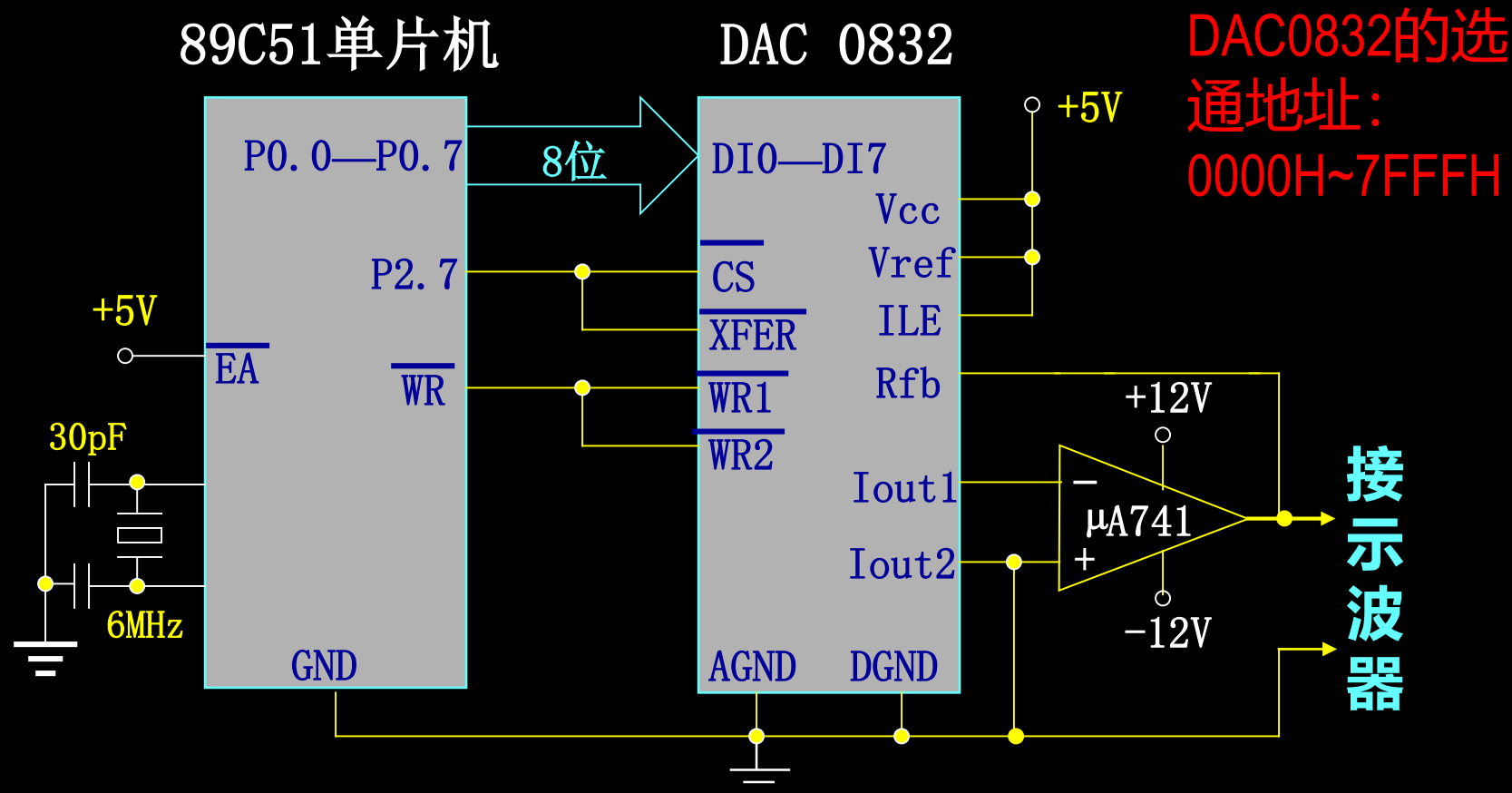
endmodule

```



**直通方式
锯齿波**

DAC0832 与单片机的连接



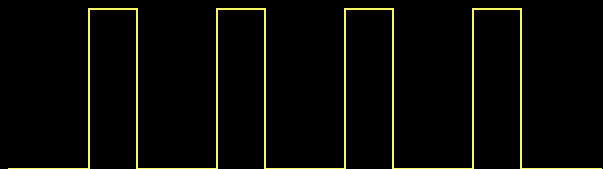
单缓冲工作方式： 输入寄存器和DAC寄存器同时接收数据。



DAC0832 的编程应用举例

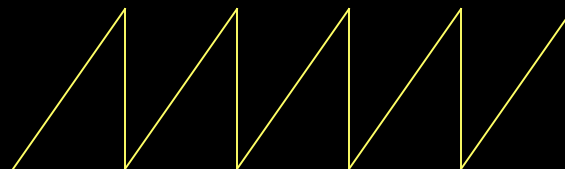
例1 产生矩形波

```
#include <reg52.h>
#include <absacc.h>
#define DAC0832 XBYTE[0x7FFF] //定义端口地址
main(void)
{unsigned char i;
  while(1)
  { for(i=0;i<30;i++)
    DAC0832=0x00; //往地址端口即0832通
                  //过P0口送00H并开始D/A转换
    for(i=0;i<30;i++)
    DAC0832=0xff; //送ffH
  }
}
```



例2 产生锯齿波

```
#include<reg52.h>
#include<absacc.h>
#define DAC0832 XBYTE[0x7FFF]
void main(void)
{unsigned char i;
  while(1)
  {
    for(i=0;i<0xff;i++)
    DAC0832=i;
  }
}
```

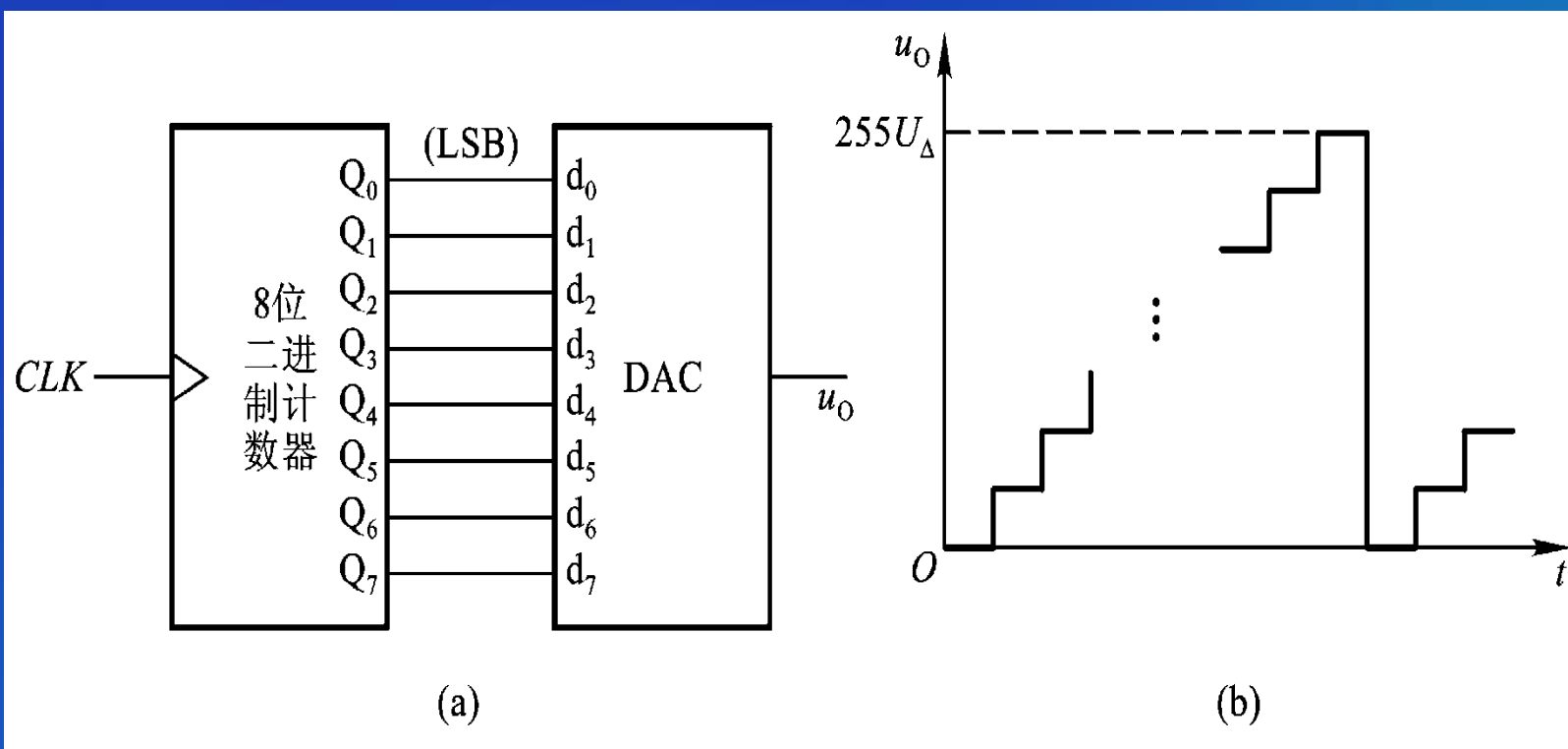


DAC0832 的编程应用举例

例3 产生正弦波

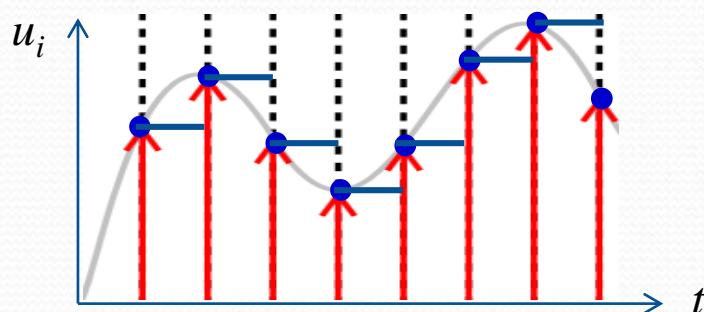
```
#include <reg52.h>
#include <absacc.h>
#include <math.h> //定义常用数学运算
#include <intrins.h>
#define fosc      11.0592                //晶振频率, 单位为MHz
#define n_constant 12    //12度一个点, 一个周期30个点, 正弦波频率为2.5KHz
#define number 360/n_constant //一个周期的点数
#define DA0832 XBYTE[0x7FFF]
unsigned char data x[number];
void main(void)
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<number;i++)
    {x[i]=100*sin(i*n_constant*3.1415/180)+128;}
    while(1){
        for(i=0;i<number;i++)
        {DA0832=x[i];}
    }
}
```

利用计数器和DAC实现锯齿或阶梯波形



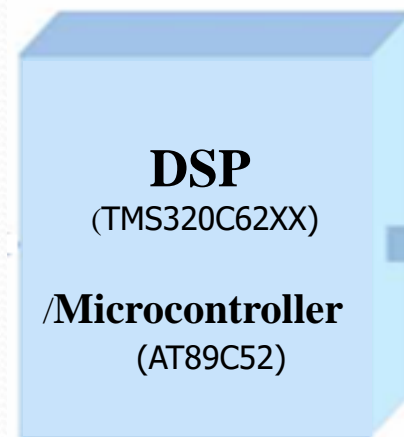
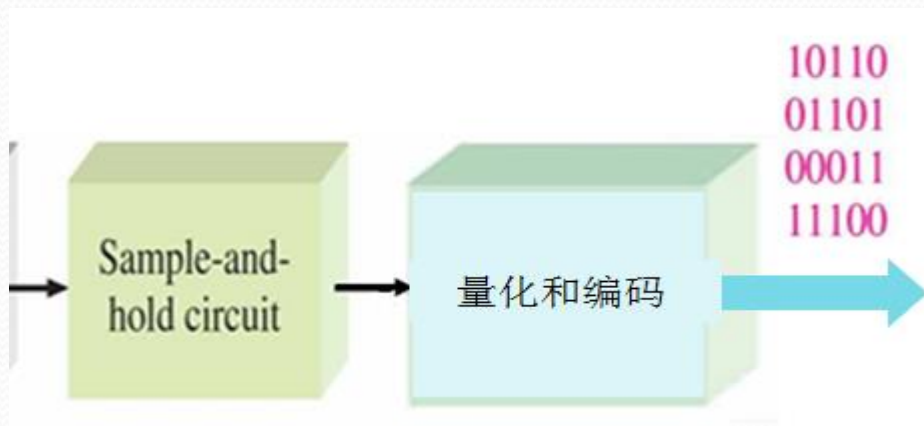
7.2 A/D转换器

保持：量化和编码要求在转换期间被转换的模拟值保持不变，以保证转换的精度。



Nyquist 采样定理

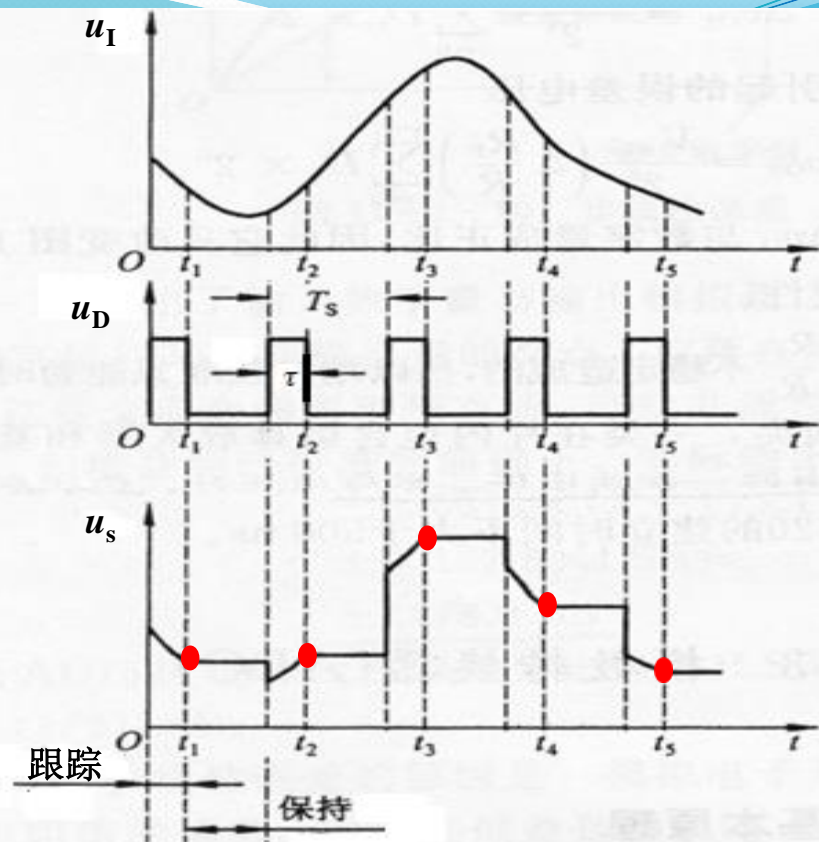
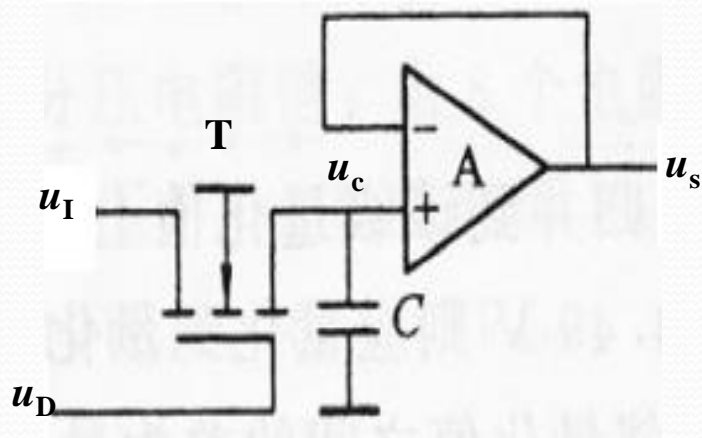
$$f_{sample} > 2f_{a(max)}$$



时间的离散化：
利用采样脉冲序列，从信号中抽取一系列离散值。

幅度的离散化：
把采样信号经过舍入变换，用一定位数的二进制数字表示的过程。

采样和保持



基本组成:

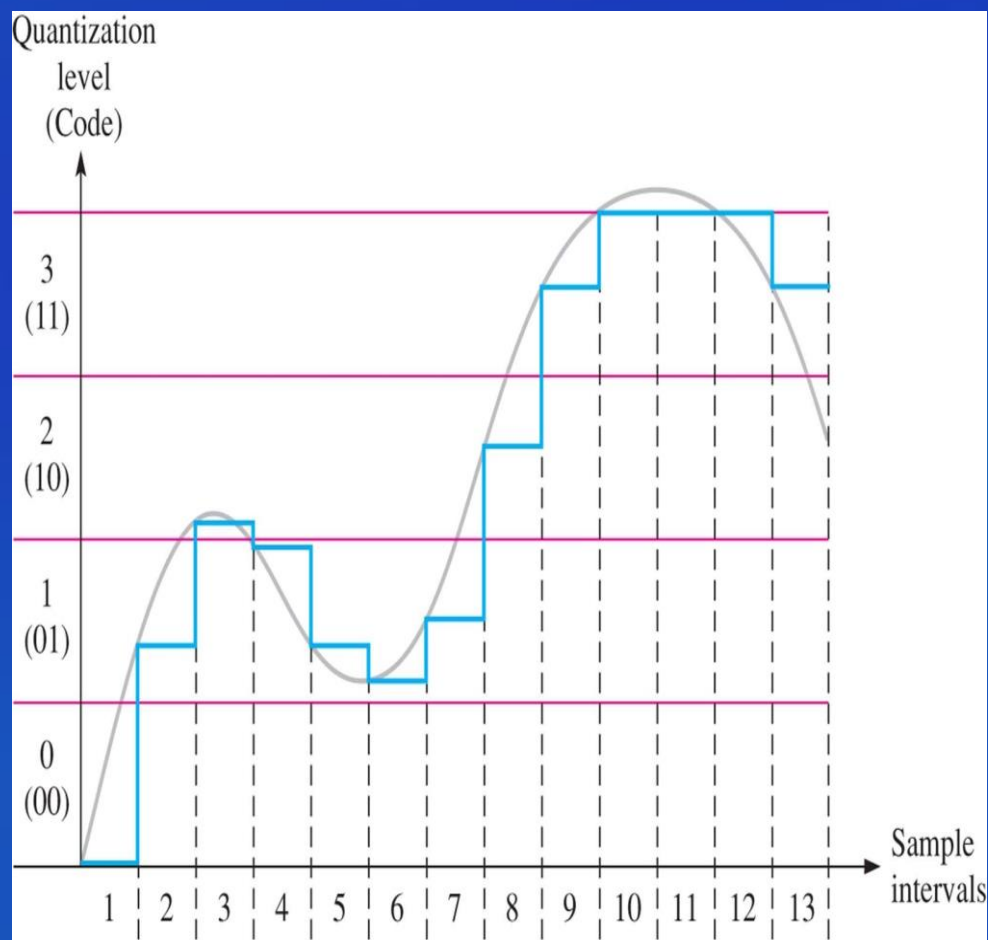
- 电压跟随器
- 保持电容
- 模拟开关(场效应管T)

(1) 当采样脉冲为高电平时, 模拟开关T导通, 电容C上的电压 u_C 即为输入电压 u_I , A的输出 u_s 与 u_I 相同。在采样时段 τ 内输出电压 u_s 跟踪 u_I ;

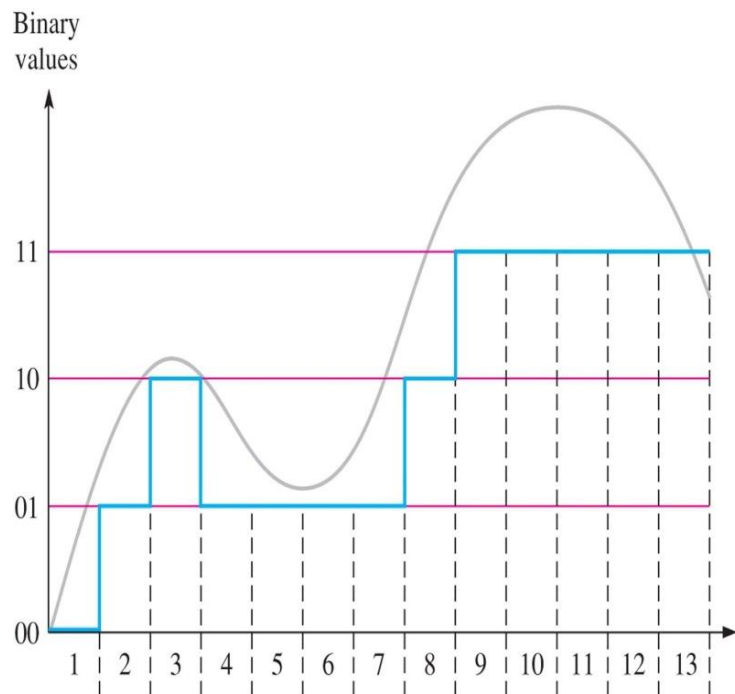
(2) 当采样控制信号为低电平时, 模拟开关截止, 保持住场效应管断开瞬间 u_I 的电压值, 直到下次采样开始。

2、量化和编码

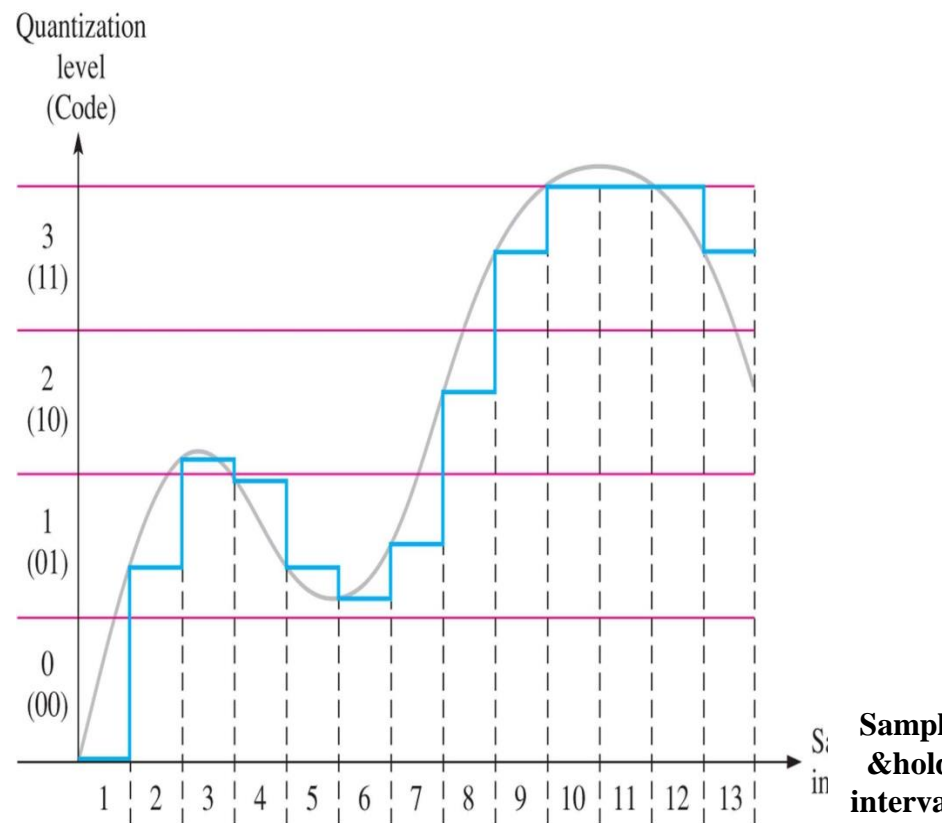
把采样点的幅度用量化电平来代替，并将其用二进制代码表示。



Sample interval	Quantization level	code
1	0	00
2	1	01
3	2	10
4	1	01
5	1	01
6	1	01
7	1	01
8	2	10
9	3	11
10	3	11
11	3	11
12	3	11
13	3	11



Sample interval	Quantization level	code
1	0	00
2	1	01
3	2	10
4	1	01
5	1	01
6	1	01
7	1	01
8	2	10
9	3	11
10	3	11
11	3	11
12	3	11
13	3	11



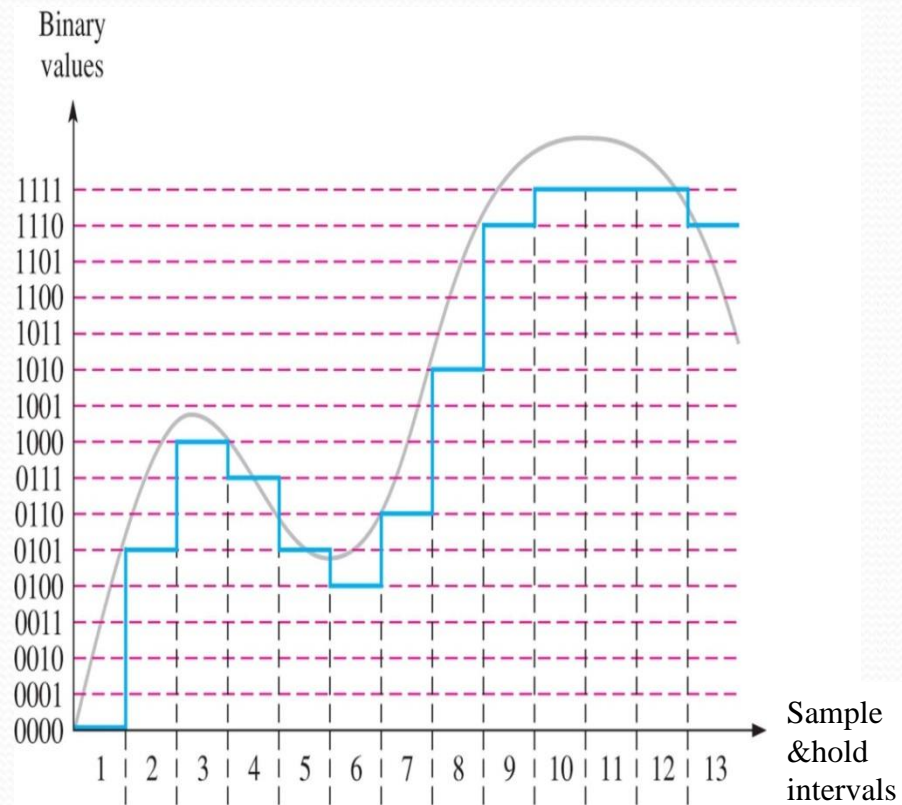
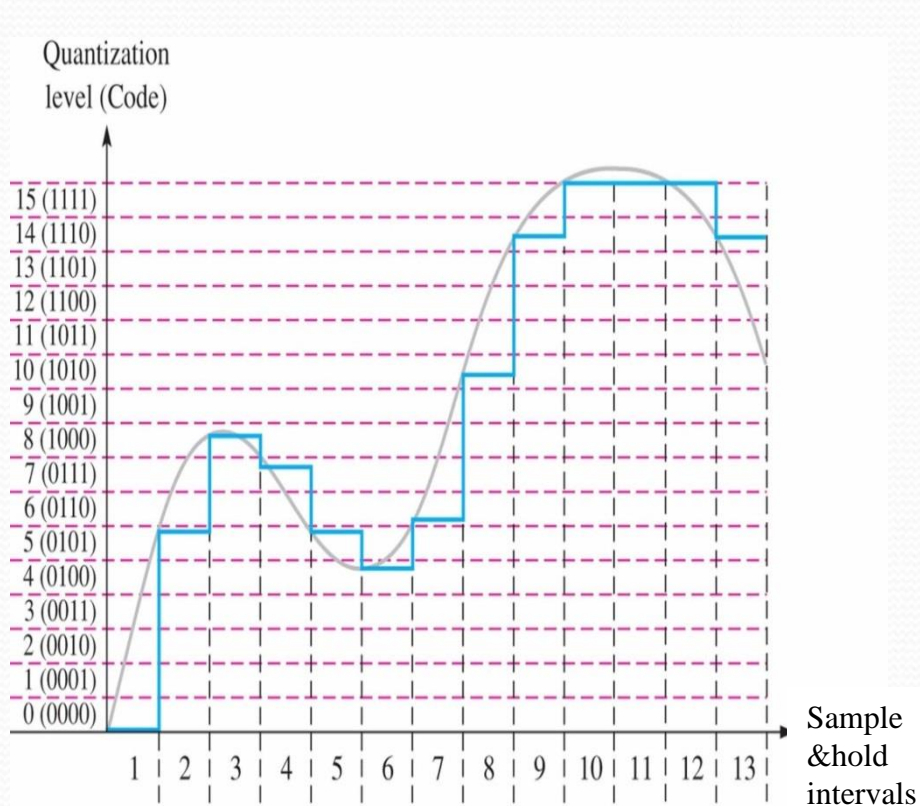
2位代码表示：与原有波形差异大，
信息丢失严重。

上页

下页

返回

ADC 量化



- 位数越多，越逼近真实值。
- 集成ADCs 从8 到 24 位。

量化的方法一般有两种：只舍不入法和有舍有入法。



图 11-3-4 量化方法之二
——舍去小数法

$$\Delta = 1V$$

$$\text{最大量化误差} = +\Delta = 1V$$



图 11-3-3 量化方法之一
——四舍五入法

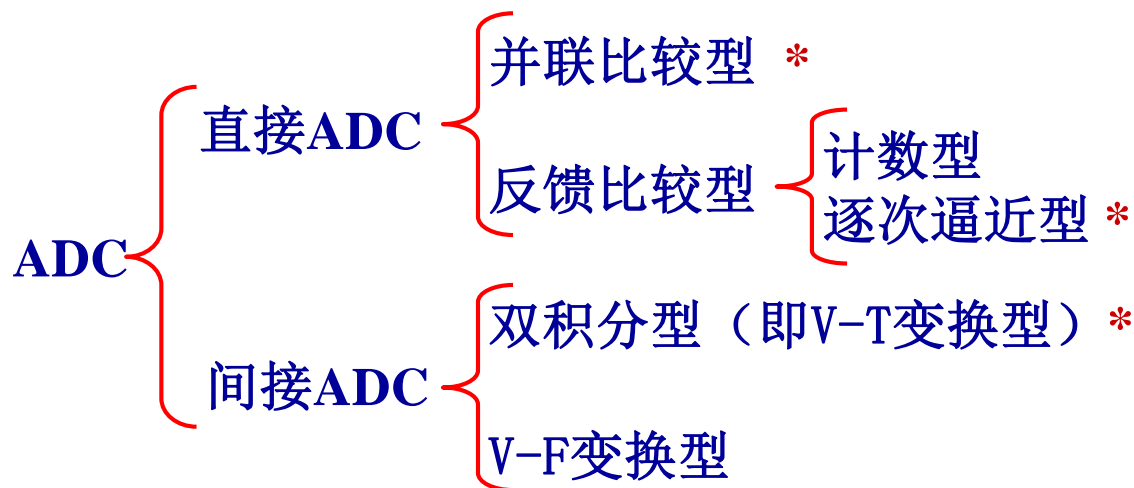
$$\Delta = 1V$$

$$\text{最大量化误差} = \pm \frac{1}{2} \Delta = \pm 0.5V$$

模数转换(量化编码) 器分类

直接ADC：将输入模拟电压直接转换为输出的数字量的转换方式。

间接ADC：先将输入模拟电压转换成与之正比的中间变量（如时间宽度、频率等），然后再将中间变量转换成与之成正比的数字信号。

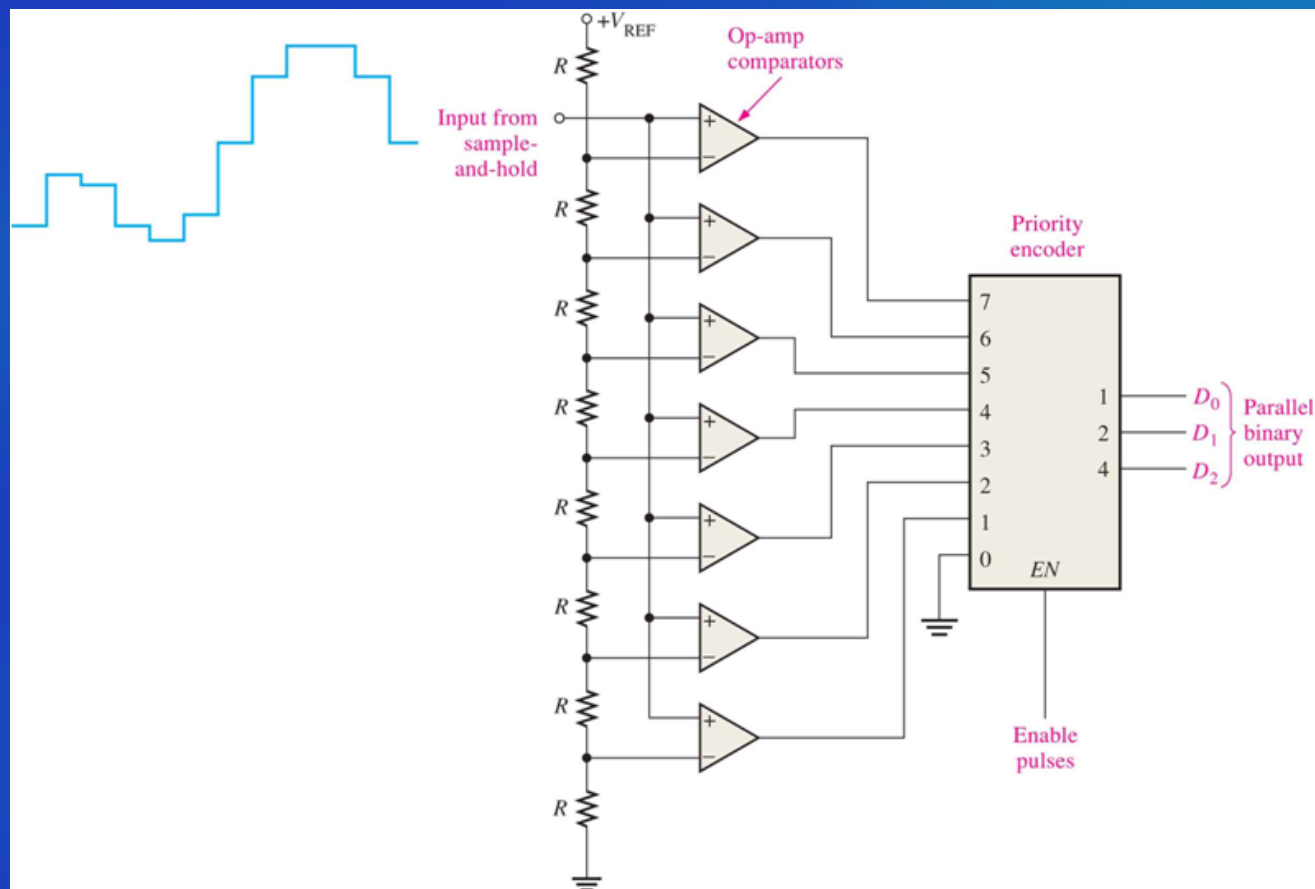


快闪型A/D转换器

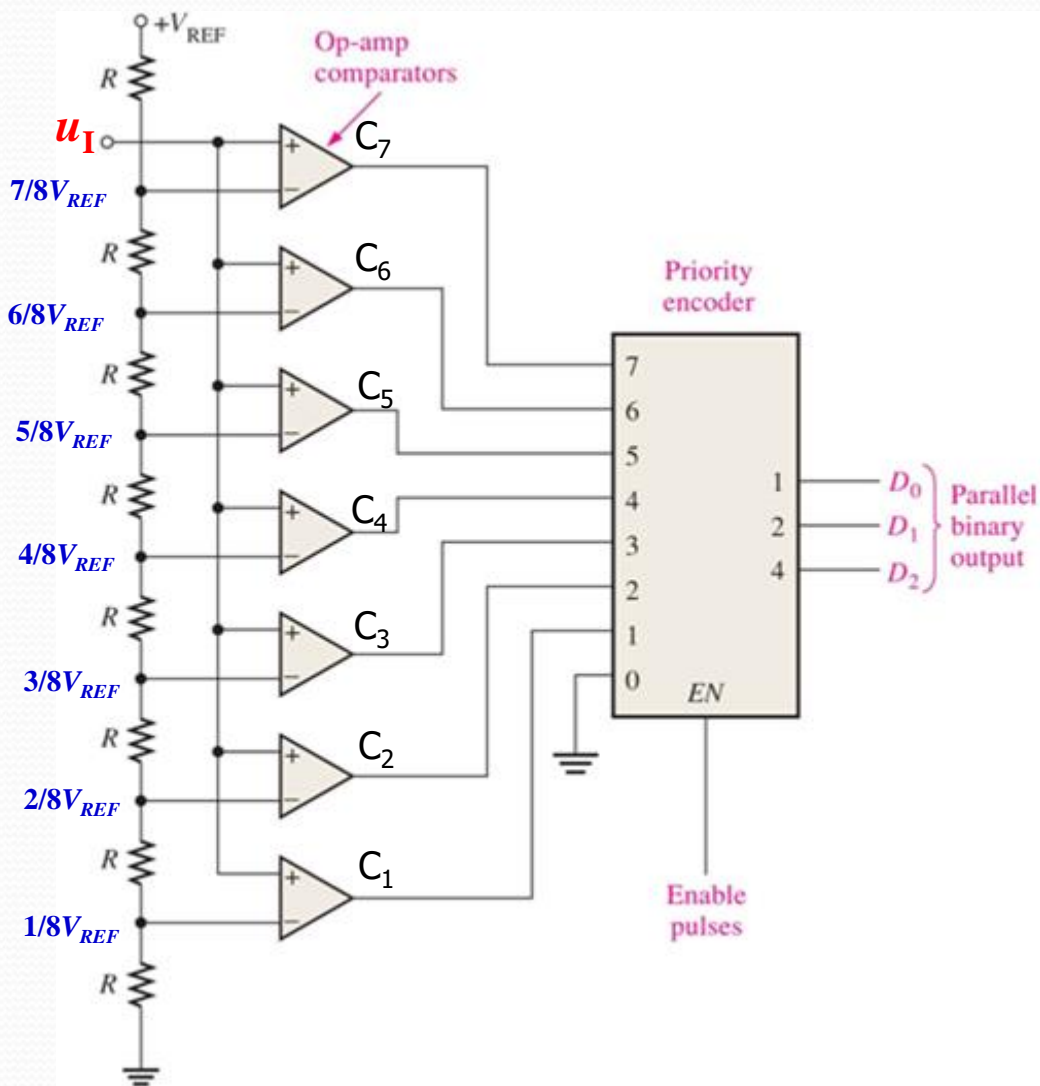
快闪型ADC (Flash ADC)，又称为全并行ADC或并行比较型ADC，它是结构最为简单且目前已知最快的ADC。

1. 原理

分压、比较和编码三部分组成。



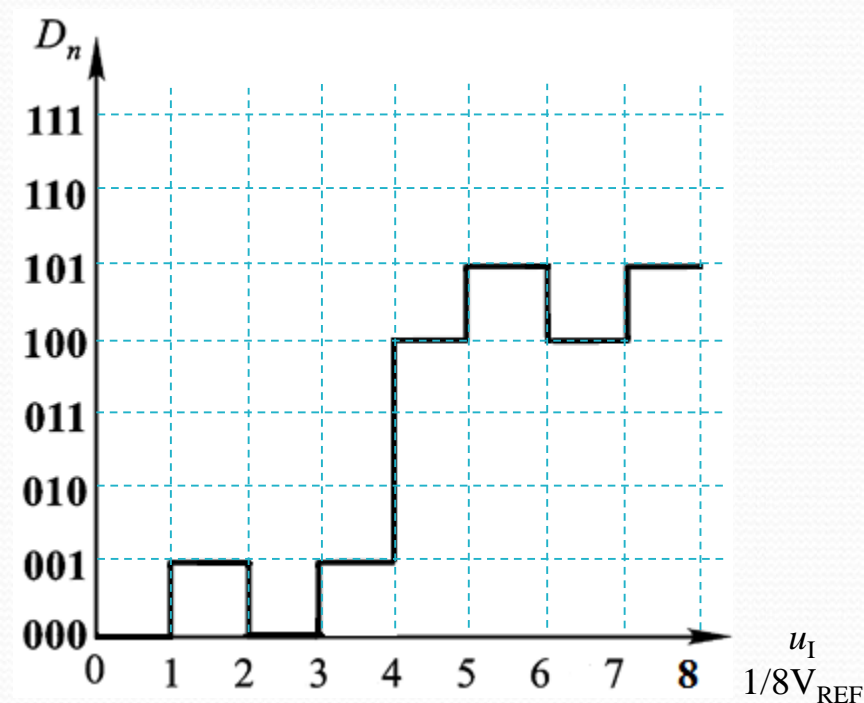
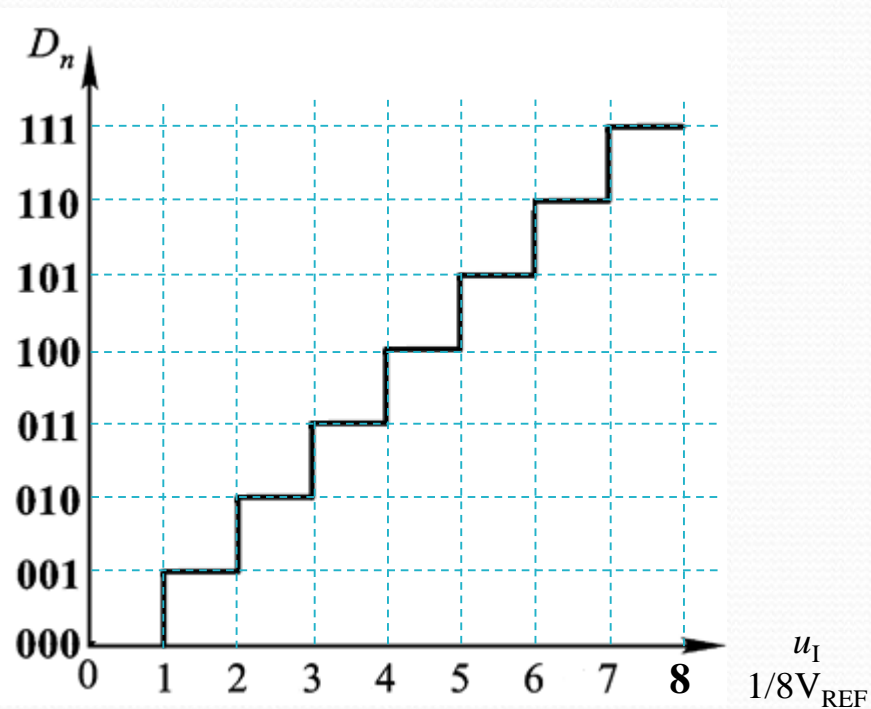
工作原理



u_I/V_{REF}	$C_7C_6C_5C_4C_3C_2C_1$	$D_2D_1D_0$
0~1/8	0000000	000
1/8~2/8	0000001	001
2/8~3/8	0000011	010
3/8~4/8	0000111	011
4/8~5/8	0001111	100
5/8~6/8	0011111	101
6/8~7/8	0111111	110
7/8~1	1111111	111

输入电压范围: $0 \sim V_{REF}$

Troubleshooting

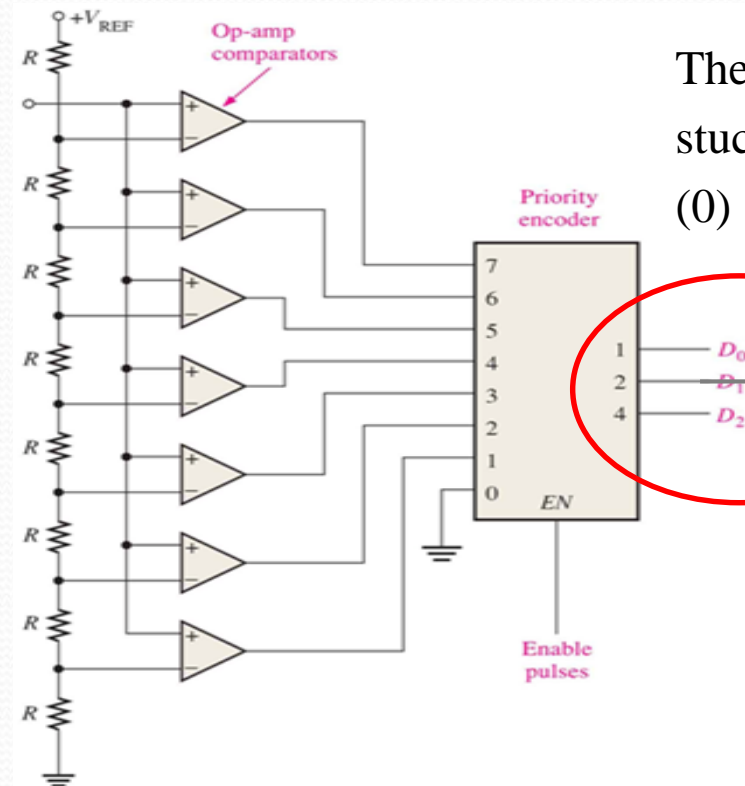


Question: 在一次实验中，一位同学用3位 flash ADC进行模数转换，得到的结果如右图所示。

请帮助他发现问题可能出现在哪里????

Solution

Input intervals	expected outputs D ₂ D ₁ D ₀	Actual outputs D ₂ D ₁ D ₀
0~1	000	000
1~2	001	001
2~3	010	000
3~4	011	001
4~5	100	100
5~6	101	101
6~7	110	100
7~8	111	101



The 2¹-bit line is stuck in the LOW (0) state.

- The ADC chip is damaged;
- Something is wrong with the circuit around the ADC chip. It could be that this pin is connected to the ground somewhere in the circuit.

2.快闪型A/D转换器的特点

优点：转换速度非常高，转换时间只取决于比较器的响应时间和编码器的延时，典型值为100ns，甚至更小。

缺点：随着分辨率的提高，比较器和有关器件按几何级数增加。 **n 位并行比较型ADC需要 2^n-1 个比较器**，因此，比较型ADC的制作成本较高。

逐次渐进型A/D转换器

1. 逐次渐进型A/D转换器的方框图

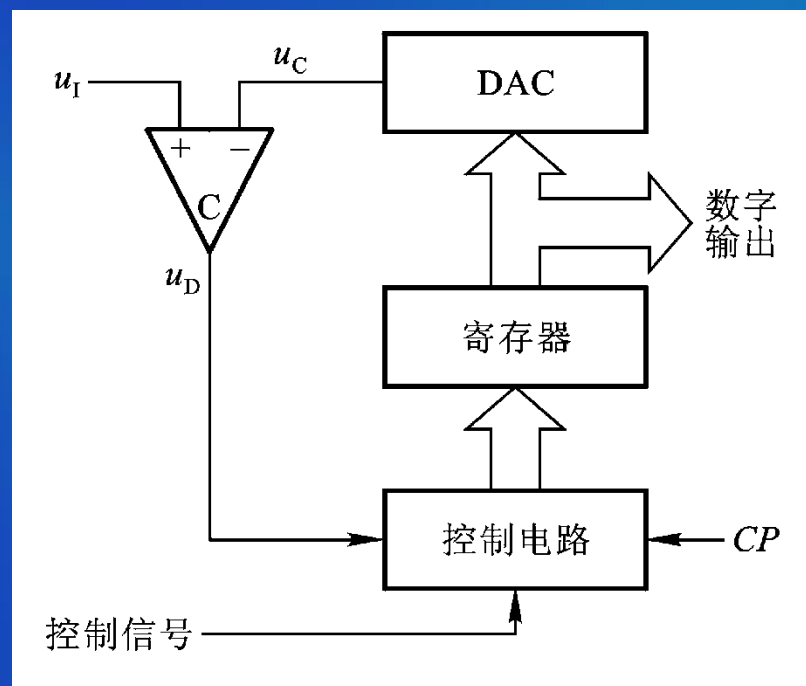
组成:

数码寄存器

D/A转换器

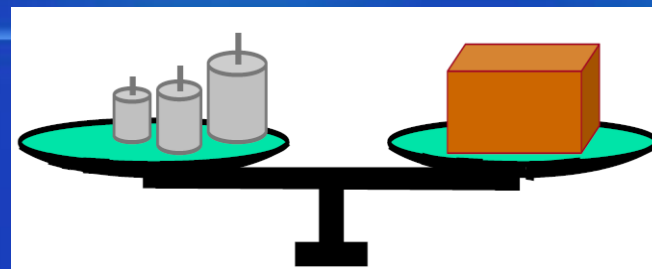
电压比较器

控制电路



2. 工作原理

类似于天平称物体重量。



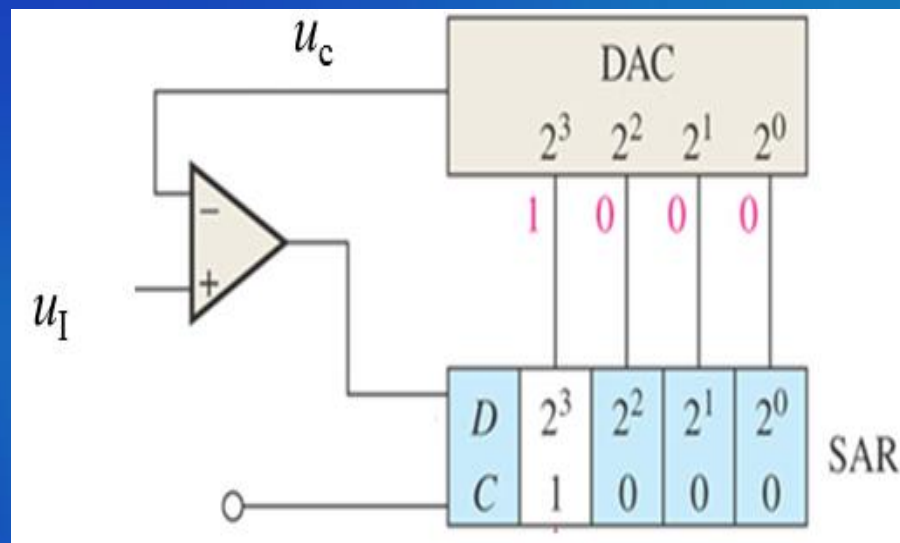
设有四个砝码共重15克，每个重量分别为8、4、2、1克。

待秤重量 $W_x = 13$ 克，秤量步骤：

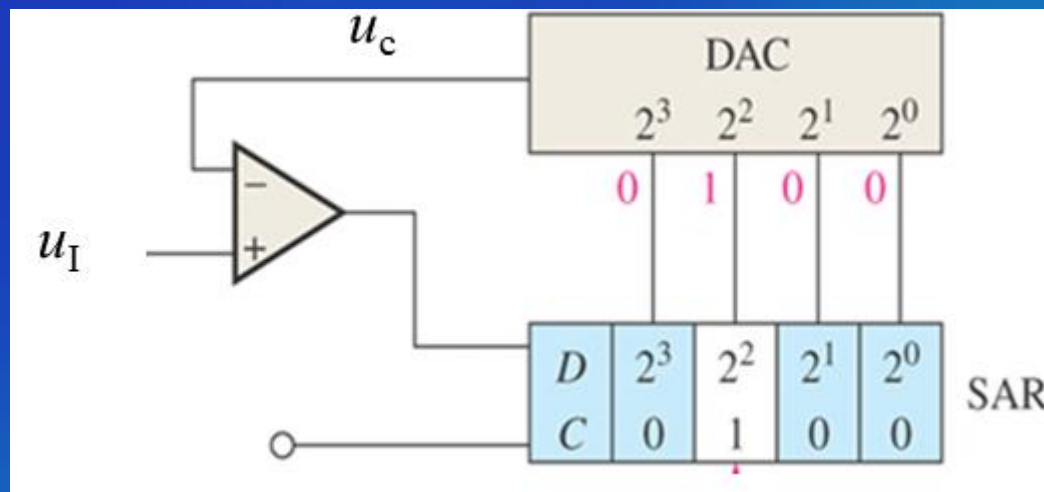
顺 序	砝 码 重	比 较 判 断
1	8 g	$8\text{g} < 13\text{g}$ 保留
2	$8\text{g} + 4\text{g}$	$12\text{g} < 13\text{g}$ 保留
3	$8\text{g} + 4\text{g} + 2\text{g}$	$14\text{g} > 13\text{g}$ 撤去
4	$8\text{g} + 4\text{g} + 1\text{g}$	$13\text{g} = 13\text{g}$ 保留

逐次渐近型A/D转换器的基本工作原理：

- 控制电路首先把寄存器的最高位置1，其它各位置0。
- D/A转换器把寄存器的这个数值转换成相应的模拟电压值 u_C ；
- 把 u_C 与输入的模拟量 u_I 相比较，如果 $u_C > u_I$ ，应该使最高位为0；如果 $u_C < u_I$ ，保留这个1。



d. 再把次高位置1，并用同样的方法判别次高位应该是1还是0。



e. 按照这样的方法，依次进行，直到最低有效位的数值被确定，就完成了一次转换。这时寄存器输出的数码就是输入的模拟信号所对应的数字量。

3. A/D转换器工作过程($u_i = 4.115\text{V}$ DAC的 $U_{\Delta} = 0.022\text{V}$)

顺序脉冲 序数	寄存器状 态 $Q_7 \cdots Q_0$	DAC输出 电压 $u_c(\text{V})$	比较器输出 状态	该位数码的留 与舍
1	10000000	2.816	1	留
2	11000000	4.224	0	舍
3	10100000	3.520	1	留
4	10110000	3.872	1	留
5	10111000	4.048	1	留
6	10111100	4.136	0	舍
7	10111010	4.092	1	留
8	10111011	4.114	1	留

4. A/D转换器的特点:

优点: 速度较快 (如 n 位完成一次转换所需时间仅为 $(n+2)$ 个时钟信号周期), 电路结构简单。 **缺点:** 抗干扰能力不理想。

双积分型A/D转换器

1. 基本概念

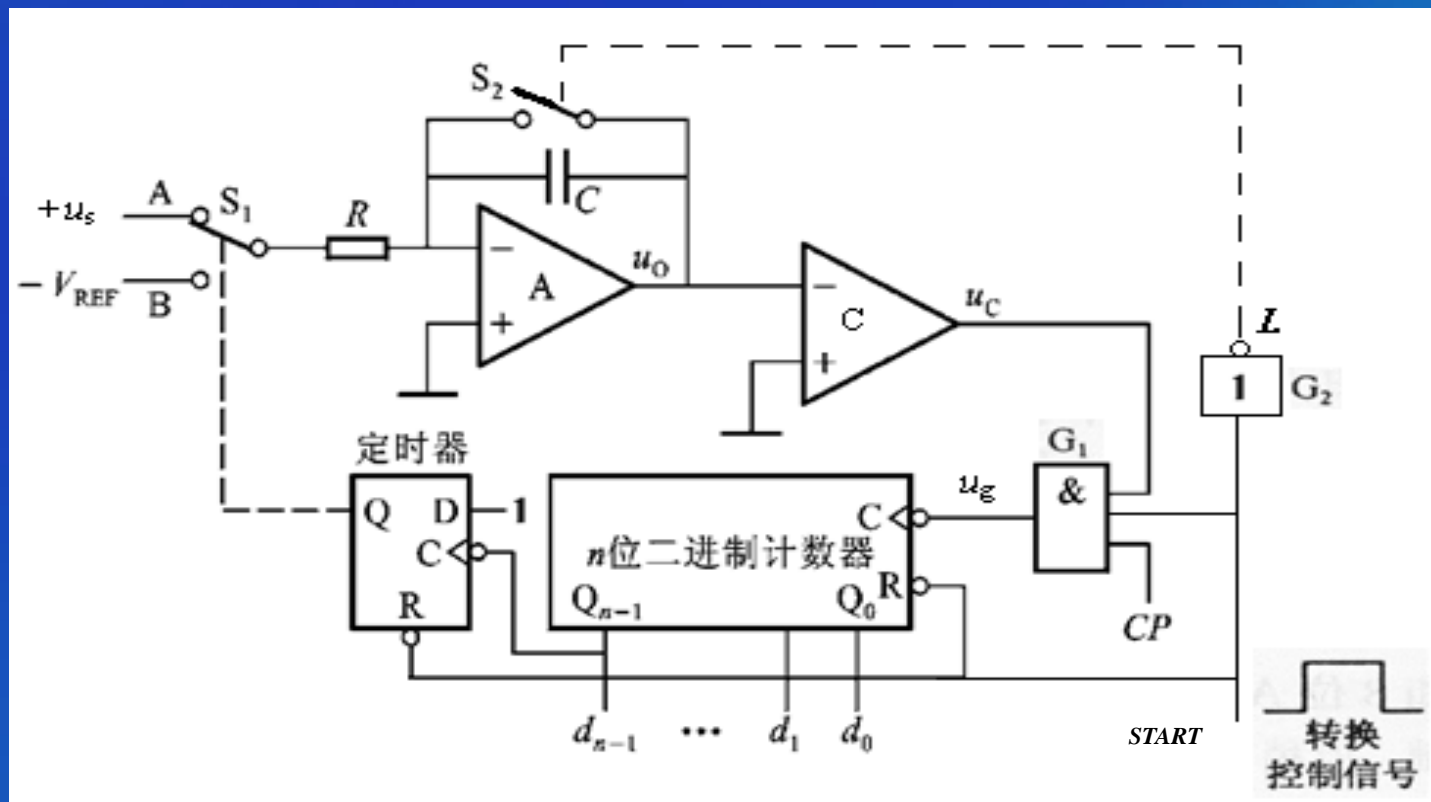
是一种电压-时间变换型ADC。

首先把被测电压先转换成与之成正比的时间间隔 Δt 。

然后利用计数器在 Δt 时间间隔内对一已知恒定频率 f_c 的脉冲进行计数。

由于计数 N 与 Δt 成正比，从而把被测电压转换成为与之成正比的数字量。

2. 双积分A/D转换器原理框图



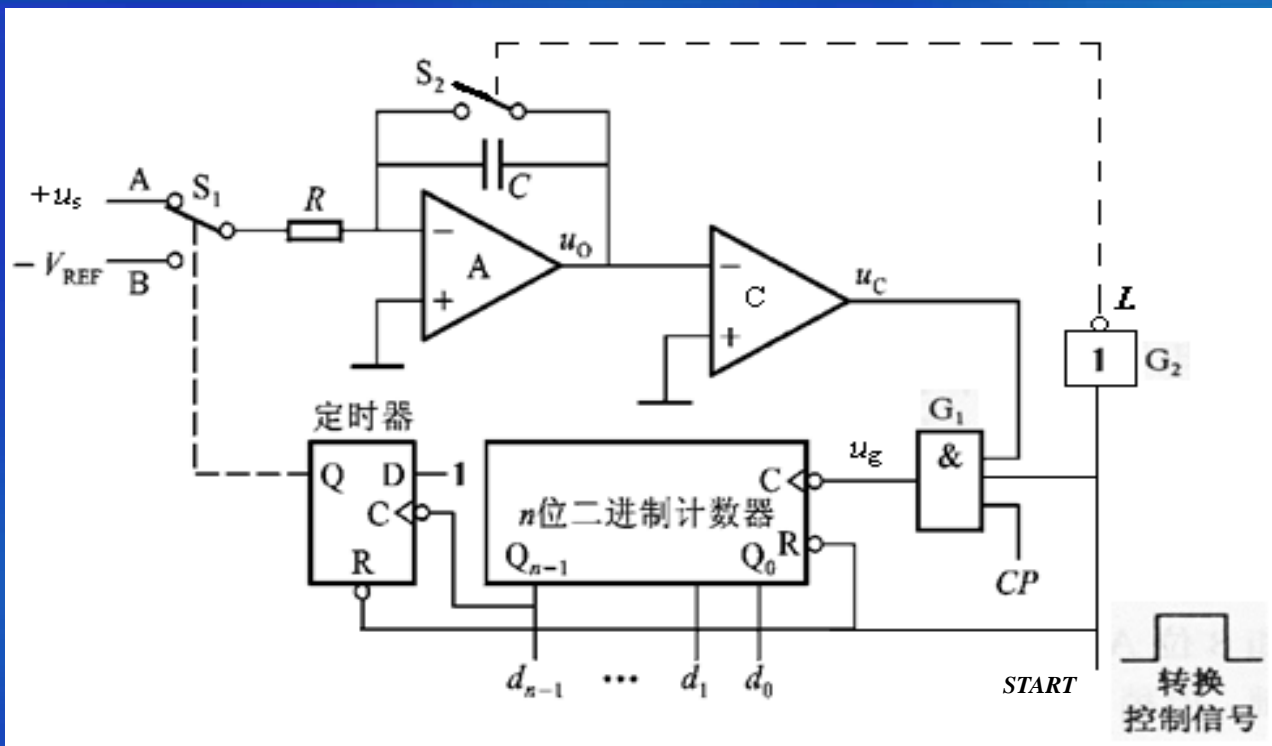
电路组成：积分器、过零比较器、时钟控制门、 n 位二进制计数器和定时器。

$Q=0$ 时 S_1 接 $+u_1$;

$Q=1$ 时 S_1 接 $-V_{REF}$ 。

双积分A/D转换器

在一次转换过程中 要进行两次积分：

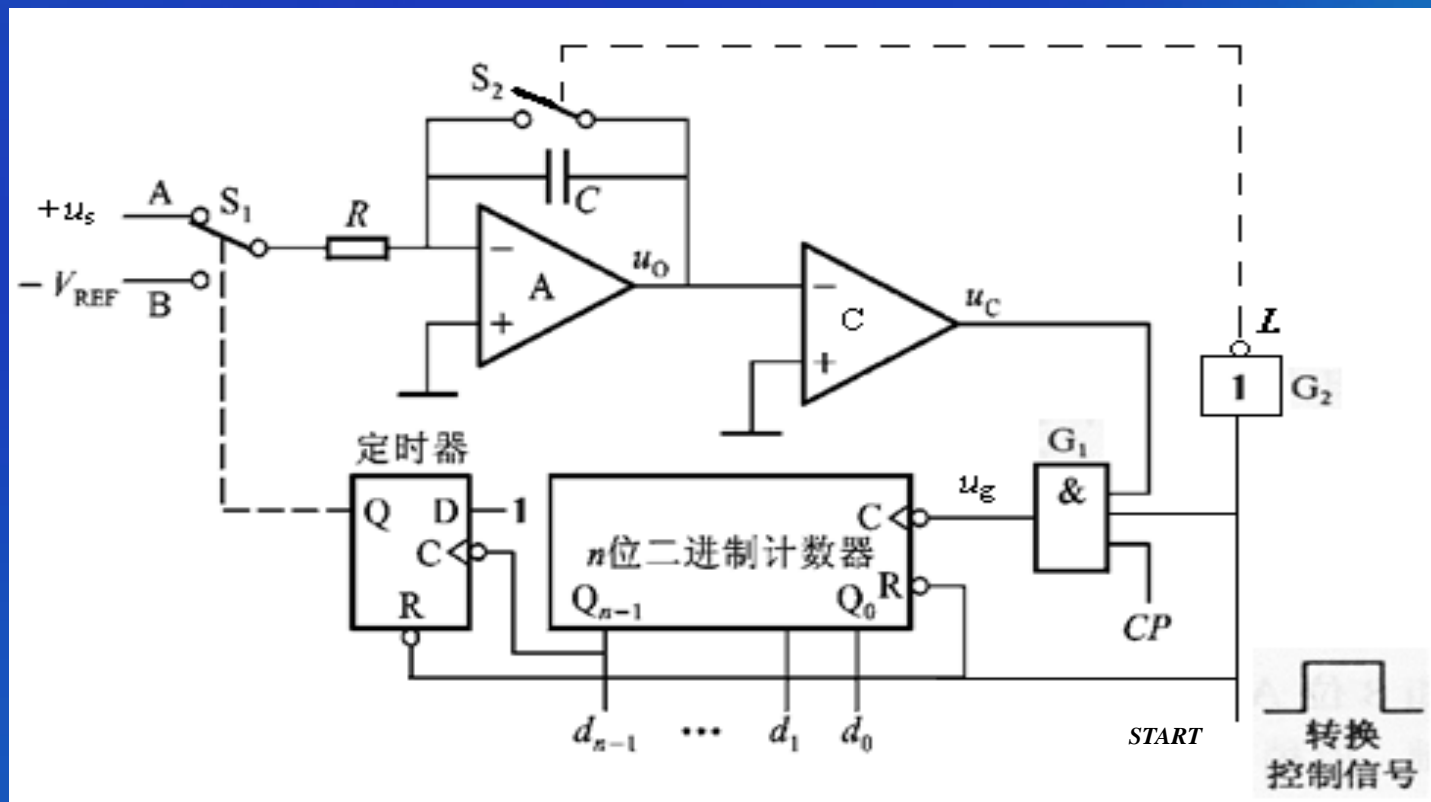


第一次，对输入电压 $+u_i$ 进行定时积分，又称为采样阶段。

第二次，对恒定基准电压 $-U_{REF}$ 进行定值积分，称为比较阶段。

两次积分具有不同的斜率，故称为双斜积分(简称为双积分)A/D转换器。

2. 工作原理



- (1) 首先由外部控制信号提供清零脉冲 CR ， n 级计数器和定时器清零。
 S_2 短时闭合，积分电容放电。

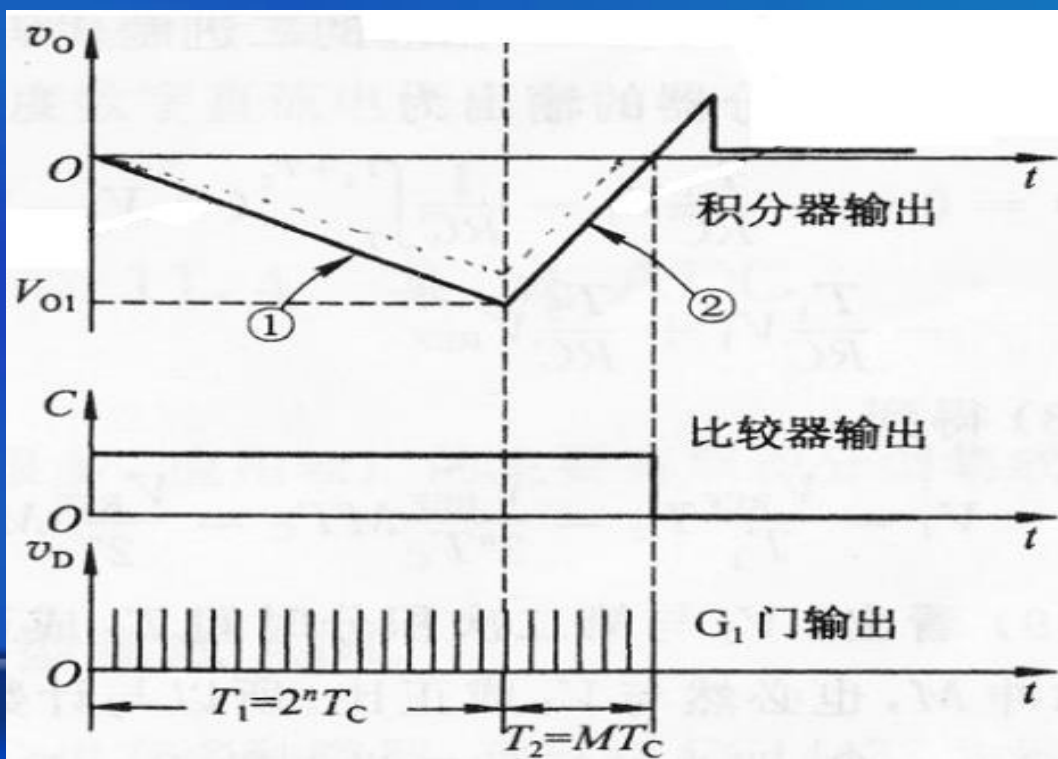
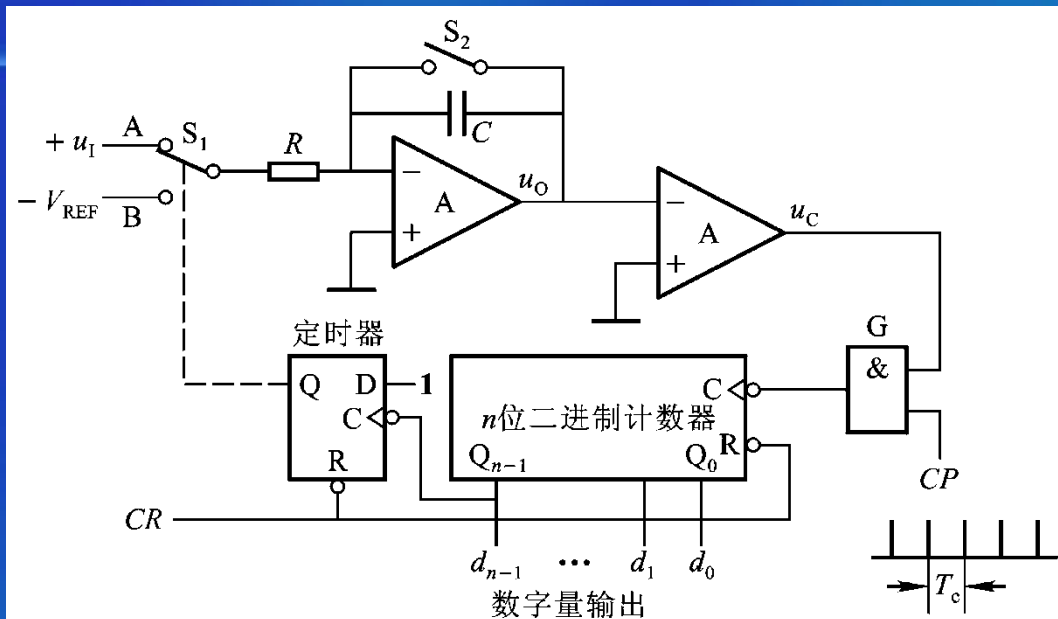
(2) $Q=0$ 时 S_1 接 $+u_I$

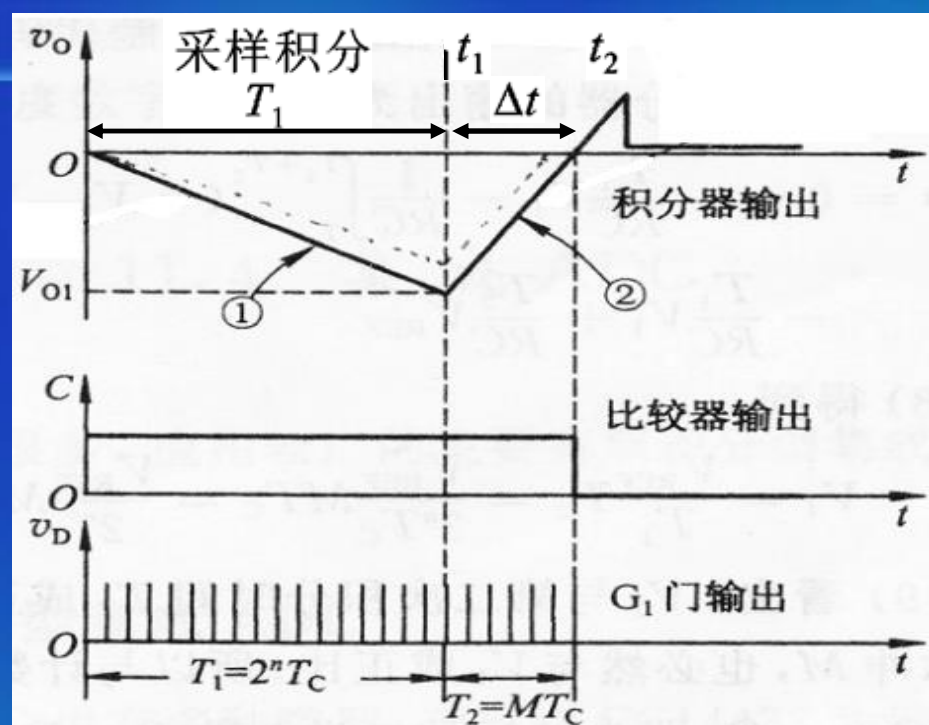
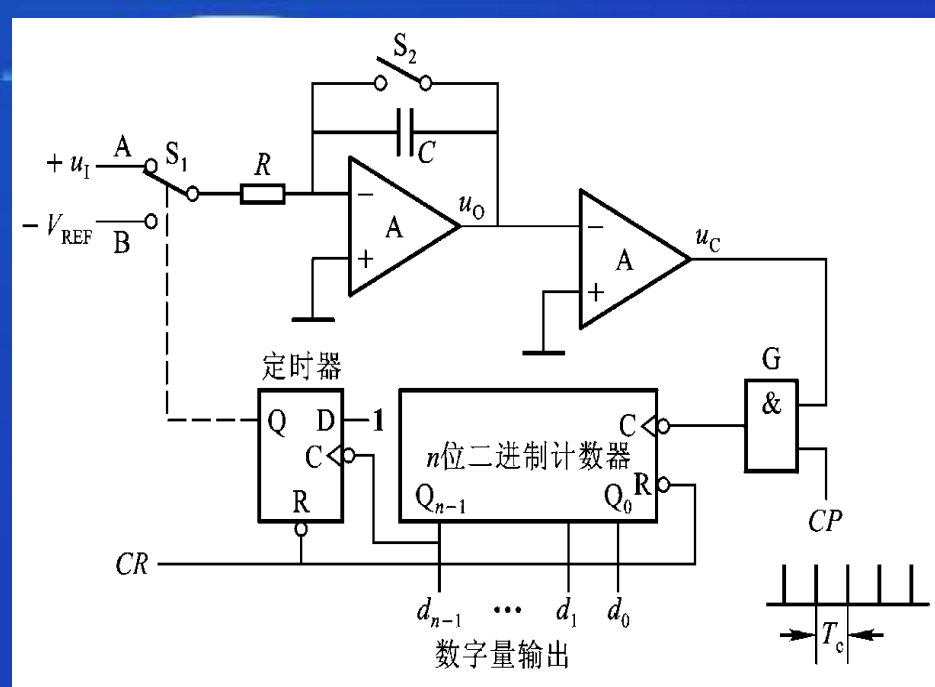
积分器对输入电压 u_I
积分, 输出电压

$$u_O = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_I dt$$

$$= -\frac{1}{RC} u_I t$$

由于此时 $u_O < 0$, 比较器的输出
 $u_C=1$, 门G打开, 计数器计数,
在 2^n 个脉冲后, 采样结束。





随着采样结束，定时器 $Q=1$ ，使电子开关 S_1 与B端接通，积分器转入下一阶段。

在采样结束时刻 t_1 ，积分器的输出电压为

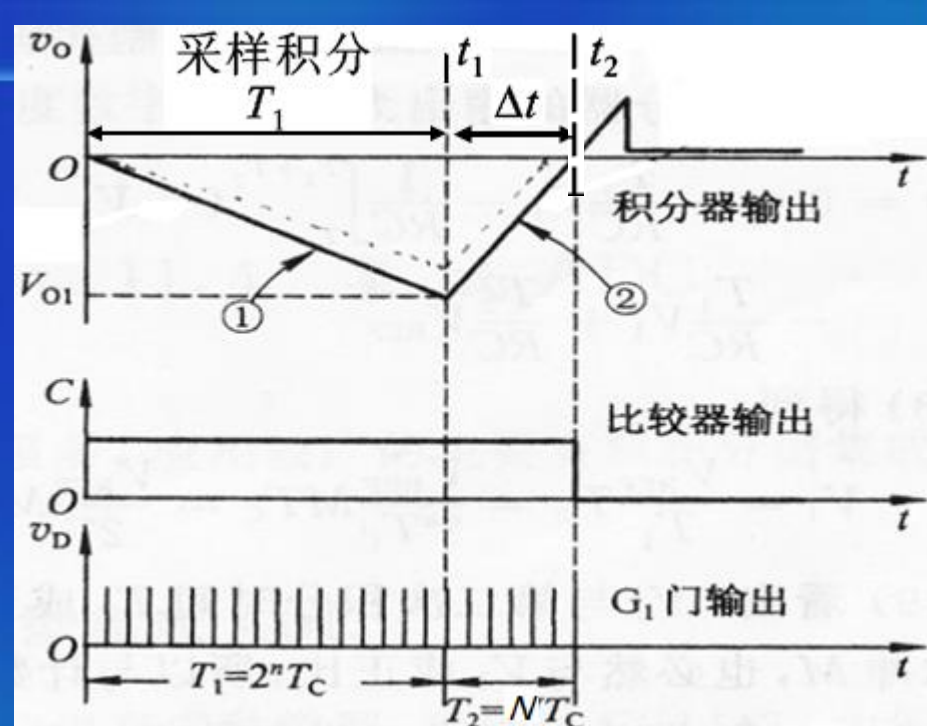
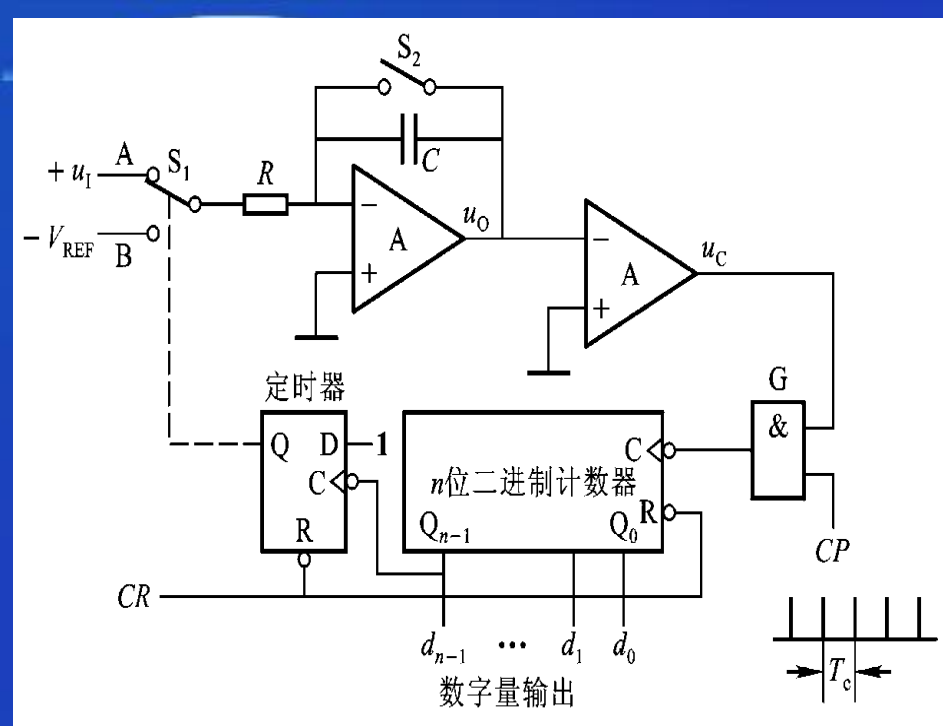
$$u_{o1} = -\frac{1}{RC} u_I t_1 = -\frac{1}{RC} u_I T_1$$

$$T_1 = 2^n T_c$$

上页

下页

返回



(3) 积分器对基准电压 $-V_{REF}$ 进行反向积分，计数器从零开始重新计数。

输出电压:
$$u_O = u_{O1} + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^t V_{REF} dt = u_{O1} + \frac{1}{RC} V_{REF} (t - t_1)$$

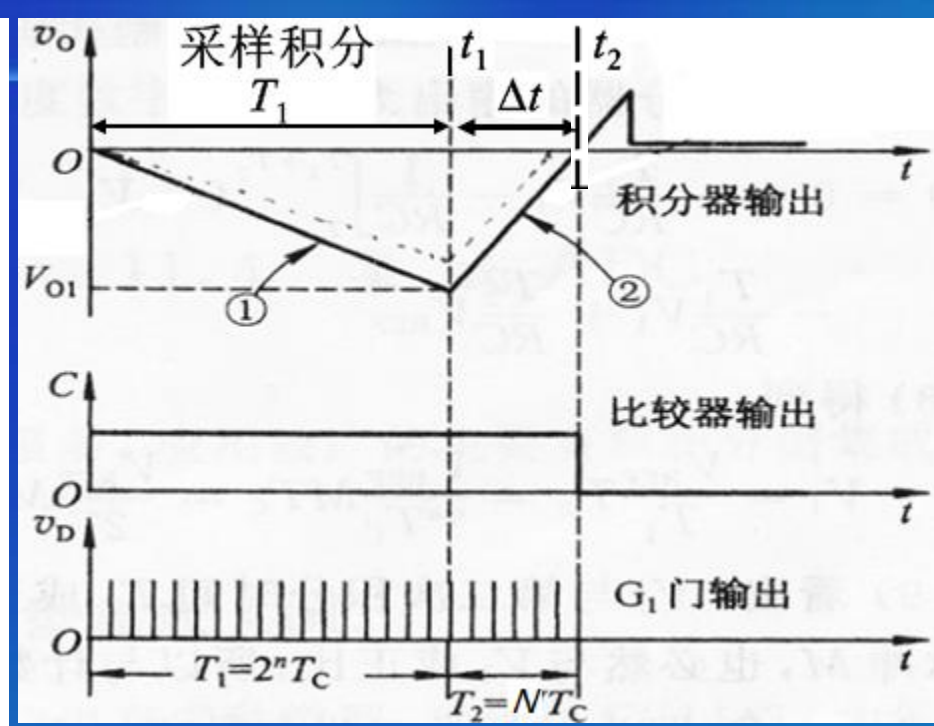
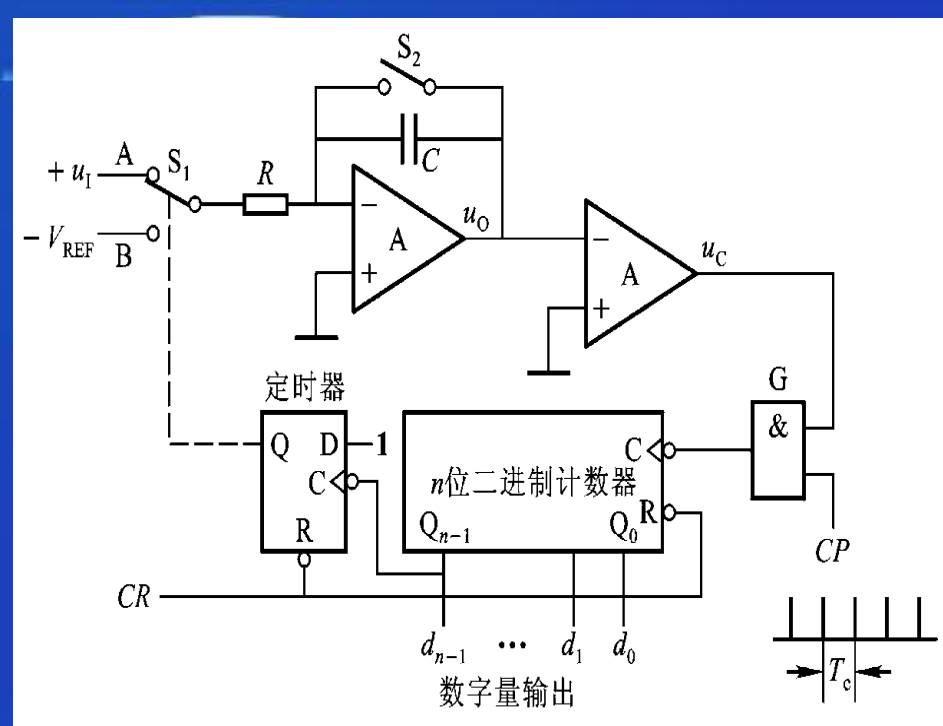
当 $t=t_2$ 时 $u_O=0$,比较器翻转为0, 计数器停止计数, 即

$$0 = u_{O1} + \frac{1}{RC} V_{REF} (t_2 - t_1)$$

上页

下页

返回



$$0 = u_{O1} + \frac{1}{RC} V_{REF} (t_2 - t_1)$$

令 $\Delta t = t_2 - t_1$, 则

$$\Delta t = \frac{RC}{V_{REF}} u_{O1} = \frac{RC}{V_{REF}} \frac{T_1}{RC} u_1 = \frac{T_1}{V_{REF}} u_1 \propto u_1$$

第二次积分结束计数器的值

$$N = \frac{\Delta t}{T_c} = \frac{T_1 u_1}{T_c V_{REF}} = 2^n \frac{u_1}{V_{REF}} \quad (T_1 = 2^n T_c)$$

上页

下页

返回

$$N = \frac{\Delta t}{T_c} = \frac{T_1 u_1}{T_c V_{REF}} = 2^n \frac{u_1}{V_{REF}} \quad (T_1 = 2^n T_c)$$

3. 特点

优点：抗干扰能力强。由于该转换电路是对输入电压的平均值进行变换，对平均值为0的各种噪声有很强的抑制能力，因此，具有极强的抗50Hz工频干扰的能力。

稳定性好，只要两次积分期间的R、C参数相同，转换结果与R、C无关，同时转换结果也与时钟周期无关。

缺点：转换速度慢完成一次A/D转换一般需几十毫秒以上。

A/D转换器的主要参数

1. 转换精度

转换精度主要是由分辨率和转换误差来决定的。

- (1) 分辨率：A/D转换器能够分辨输入信号的最小变化量： $\frac{1}{2^n} V_{REF}$
或用输出数字量位数表示。

- (2) 转换误差：主要包括量化误差（是ADC的固有误差）、
偏移误差、增益误差等（与DAC类似，由电路内部元器件产生）。

2. 转换时间

从模拟信号输入起，到达到规定的精度之内的数字输出止，转换过程所经过的时间。

并行比较型(ns) < 逐次渐近型(μ s) < 双积分型(ms)

思考问题

在某个项目中，需要设计一个电路测量床的倾角。希望当床转动至多 1° 时能给出显示。

已知传感器可测量范围为0 到 360° ，传感器输出电压范围为0 到5V。
ADC 的输入电压范围为0 到5V。

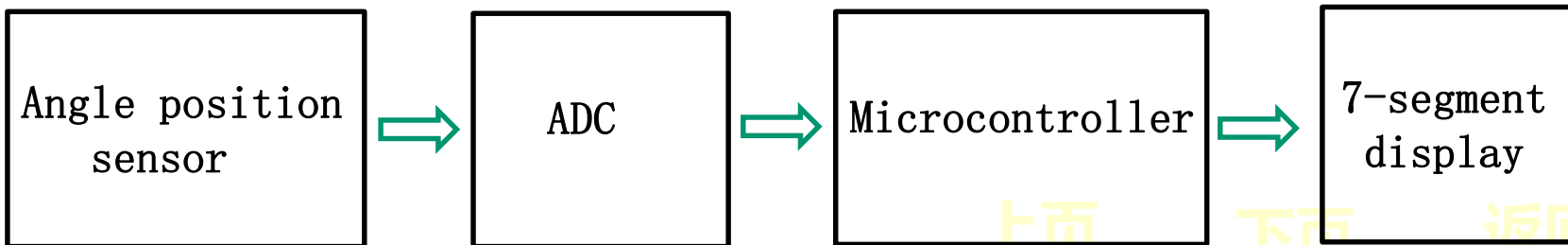
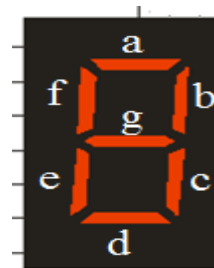
能用8位的ADC吗？

Solution $5V/360^\circ = 13.88\text{mV/degree}$

$$5V/2^8 = 19.53\text{mV}$$



输入电压每变化19.53mV才能引起输出信号的最低位（LSB）发生变化。



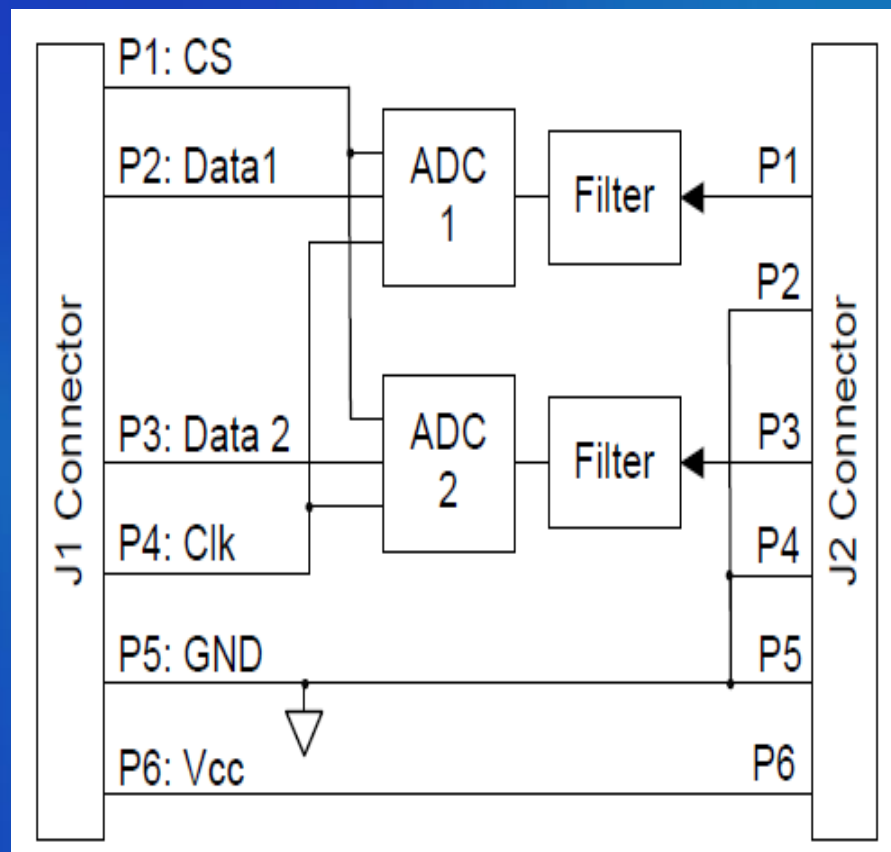
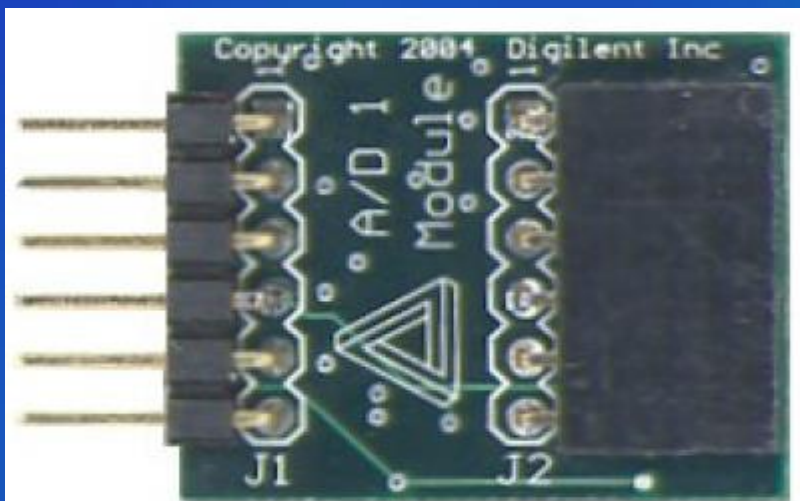
集成ADC及其应用

集成ADC种类很多。

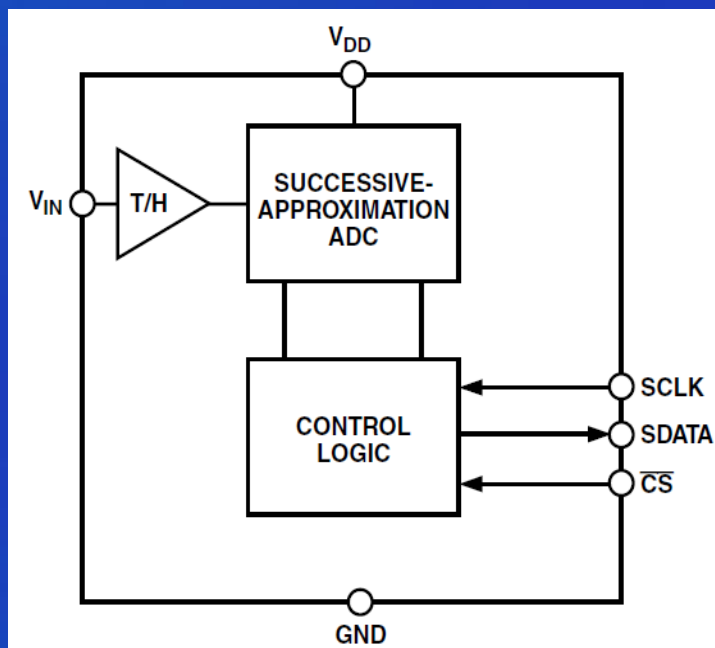
- 数字量的位数分类：8位（如ADC0809）、12位（如AD574）、16位和24位。
- 按照转换方式分类：快闪型、逐次逼近型、双积分型以及 Σ - Δ 型。
- 按照输出方式划分：并行输出和串行输出。
- 按照转换速度划分：高速、中速和低速三个层次。
- 以精度为标准：高、中和低精度三类。

AD7476A

12位高速、低功耗、单片CMOS的逐次逼近型模数转换器。该器件为Digilent（德致伦）公司开发的PmodAD1模块上的主芯片。因此，可通过PmodAD1连接器方便地与Bsays、Nexys等板卡相连，与这些板卡上Xilinx的FPGA连接实现12位的AD转换。



AD7476A的功能框图

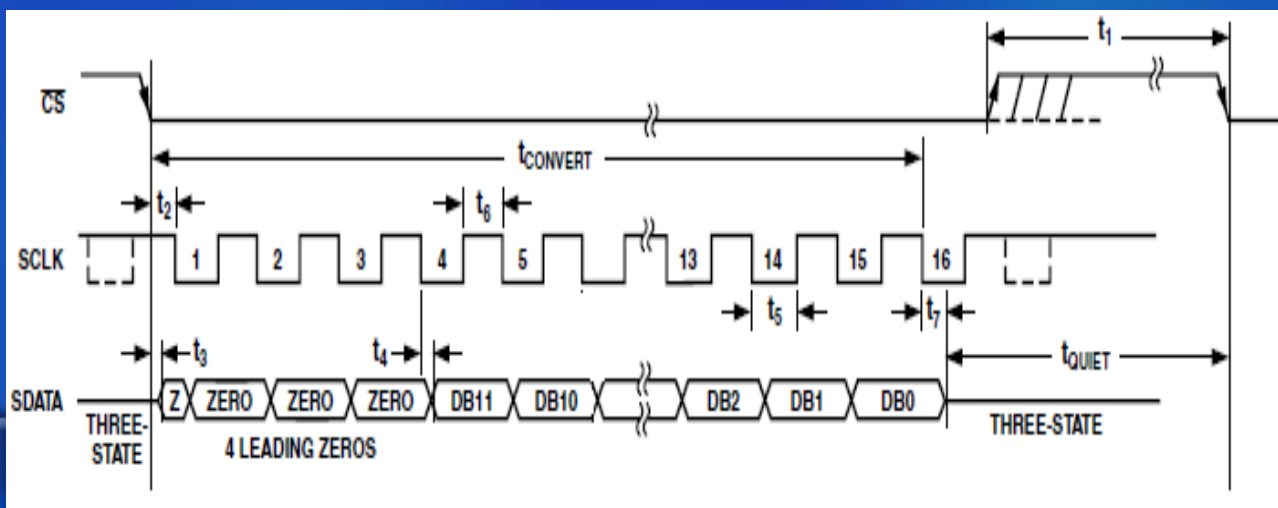


由跟踪保持 (T/H)、逐次逼近ADC以及控制逻辑三个模块构成。

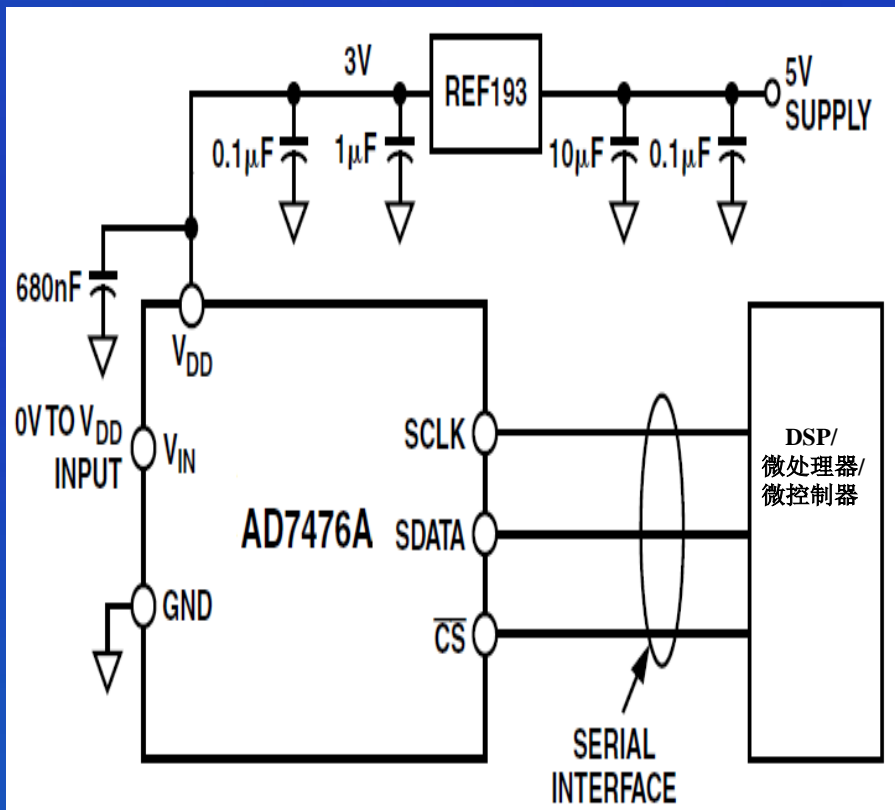
6个外部引脚:

- V_{DD} 为正电源输入端。电压范围 $+2.35 \sim +5.25V$ 。
- GND 为电源接地端。
- V_{IN} 为模拟信号输入端。电压范围 $0V \sim V_{DD}$ 。
- CS 为片选端，低电平有效。输入模拟信号在 CS 的下降沿被采样并同时启动转换。
- SCLK 为串行时钟输入端，控制转换以及数据读出的速率。时钟范围 $10kHz \sim 20MHz$ 。

- SDATA 为数据输出端。数字量以串行数据流在 SCLK 的控制下，被逐位送出。一个数据流由4个前导0和12位的转换结果组成，最高位先被送出。该引脚为一个三态的输出端口。



D7476A典型应用的连接方式



为降低干扰，获得稳定的参考源，电源引脚需通过 $0.1\mu\text{F}$ 和 $1\mu\text{F}$ 的去耦电容接地。

由于电源电流很小，因此，在使用中一般利用精密电压源给转换器提供电压。利用REF193提供+3V的电压。如果需要+5V的电压，可选用REF195。

输入模拟信号如需放大，可选用高速和低噪声的缓冲放大器，如 [AD8021](#)、[AD8031](#) 等。

作业

自练题:

11.1

11.5

11.7

作业题:

11.3

11.12

本章小结

- ◆ ADC和DAC是数字&模拟系统的桥梁，随着微处理器在检测、控制&信号处理中的广泛应用，也促进了ADC、DAC发展。A/D和D/A的参数指标是设计中正确选型和使用的重要依据，其中，**分辨率和转换时间**是特别需要关注的方面。另外，为了得到较高的转换精度，还必须**保证参考电源和供电电源有足够的稳定度**，并减小环境温度的变化。否则，即使选用了高分辨率的芯片，也难以得到应有的转换精度。
- ◆ ADC、DAC类型多，掌握转换的基本思想和原理。DAC中权电阻网络型结构简单，但电阻种类多，不宜集成化，且转换精度低；倒T型所需电阻少，相对前者精度可保证；权电流网络型则转换速度和精度都较高。
- ◆ A/D转换一般包括采样、保持、量化和编码。四种常用的转换类型，**快闪型**速度高，但精度较低，一般不超过8位的分辨率，通常只用在超高速、对精度要求不高的场合。**逐次逼近型**ADC具有速度较高和价格低的优点，工业场合多采用此种ADC。**双积分型**ADC可获得较高的精度，并具有较强的抗干扰能力，故在数字仪表中应用较多。 **Σ - Δ 型ADC**因其分辨率高、集成度高、线性度好、价格低等优点在高精度数据采集系统中应用越来越广泛。