

第八章 A/D和D/A变换

一、概念及其应用

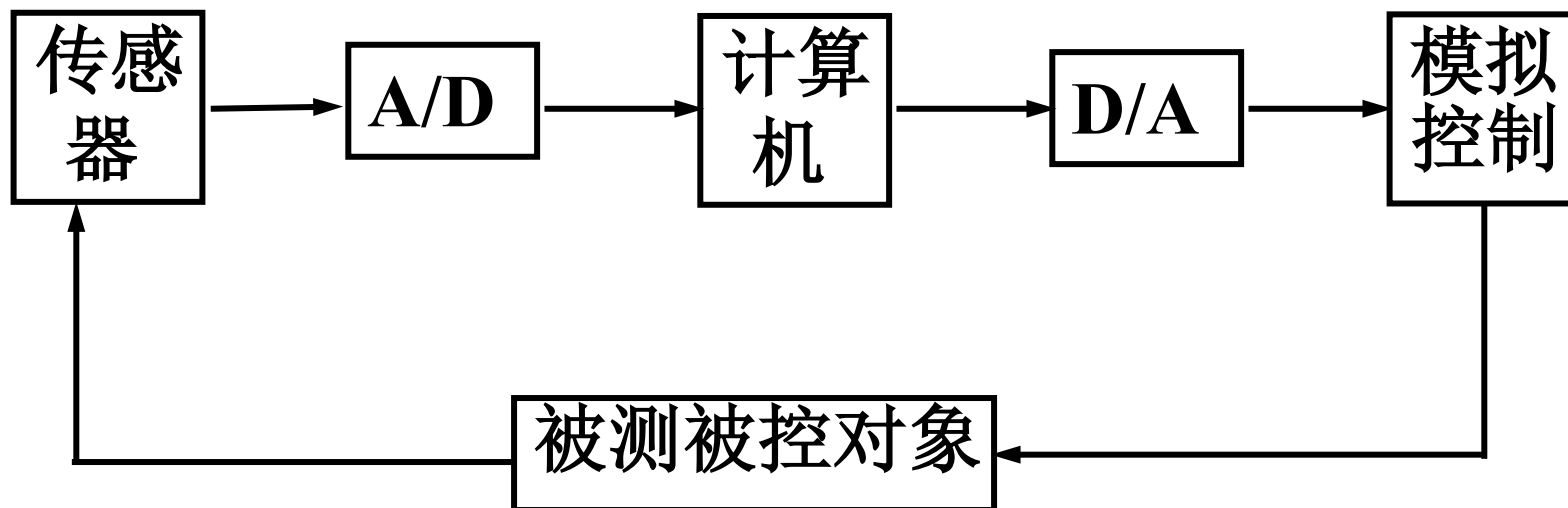
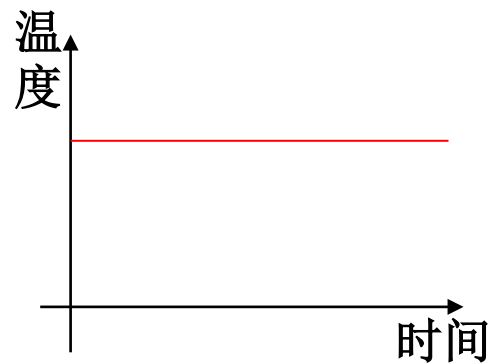
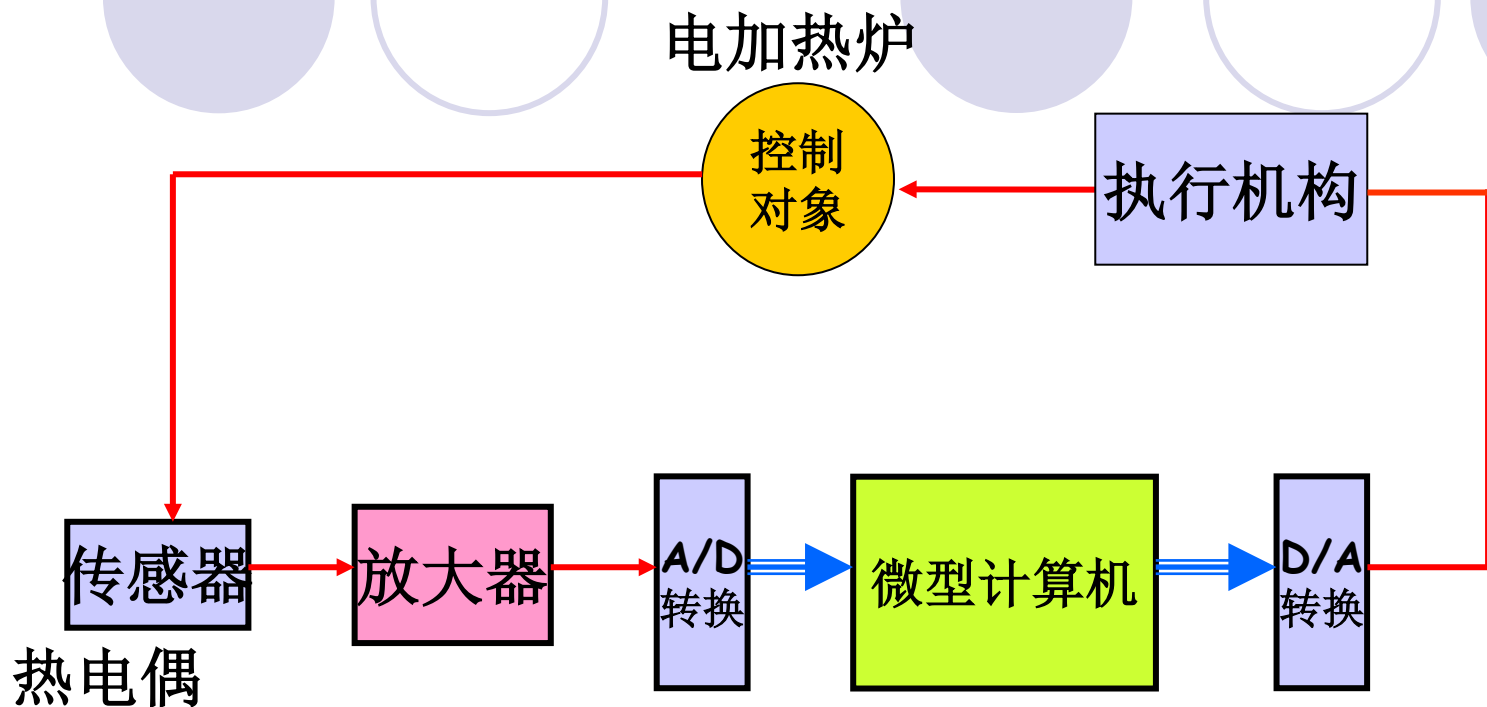


图8.0.1 典型的数字控制系统框图

一、概念及其应用



第八章 A/D和D/A变换

二、主要技术指标

1. 精度：用分辨率、转换误差表示
2. 速度：用转换时间、转换速率表示

第8.1节 DAC

一、DAC的分类

D/A { 权电阻网络DAC
倒T形电阻网络DAC
权电流型DAC
开关树型DAC
权电容网络DAC

A/D { 直接型 { 并联比较型
反馈比较型
间接型 { $V-T$ 变换型
 $V-F$ 变换型

二、DAC的基本原理

数/模转换就是将数字量转换成与它成正比的模拟量。

第8.1节 DAC

一、DAC的基本原理

组成D/A转换器的基本指导思想：**将数字量按权展开相加，即得到与数字量成正比的模拟量。**

$$u_A = KU_{REF} D = KU_{REF} \sum_{i=0}^{n-1} D_i 2^i$$

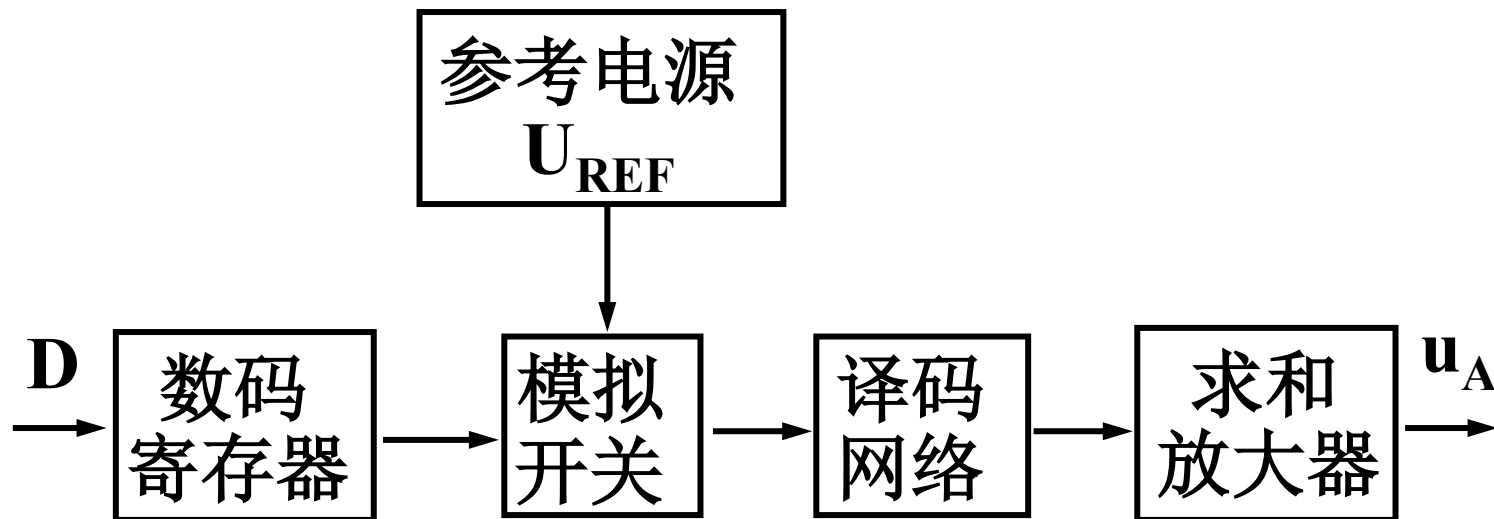


图8.1.1 DAC方框图

第8.1节 DAC

一、DAC的基本原理

DAC

权电阻网络DAC

倒T形电阻网络DAC

2^n 串联电阻网络（开关树型DAC）

权电流型DAC

权电容型DAC

Four decorative circles are arranged horizontally at the top of the slide. From left to right: a solid light purple circle, a hollow light purple circle, a solid light purple circle, and a hollow light purple circle.

第8.1节 DAC

二、倒T型R-2R电阻网络DAC

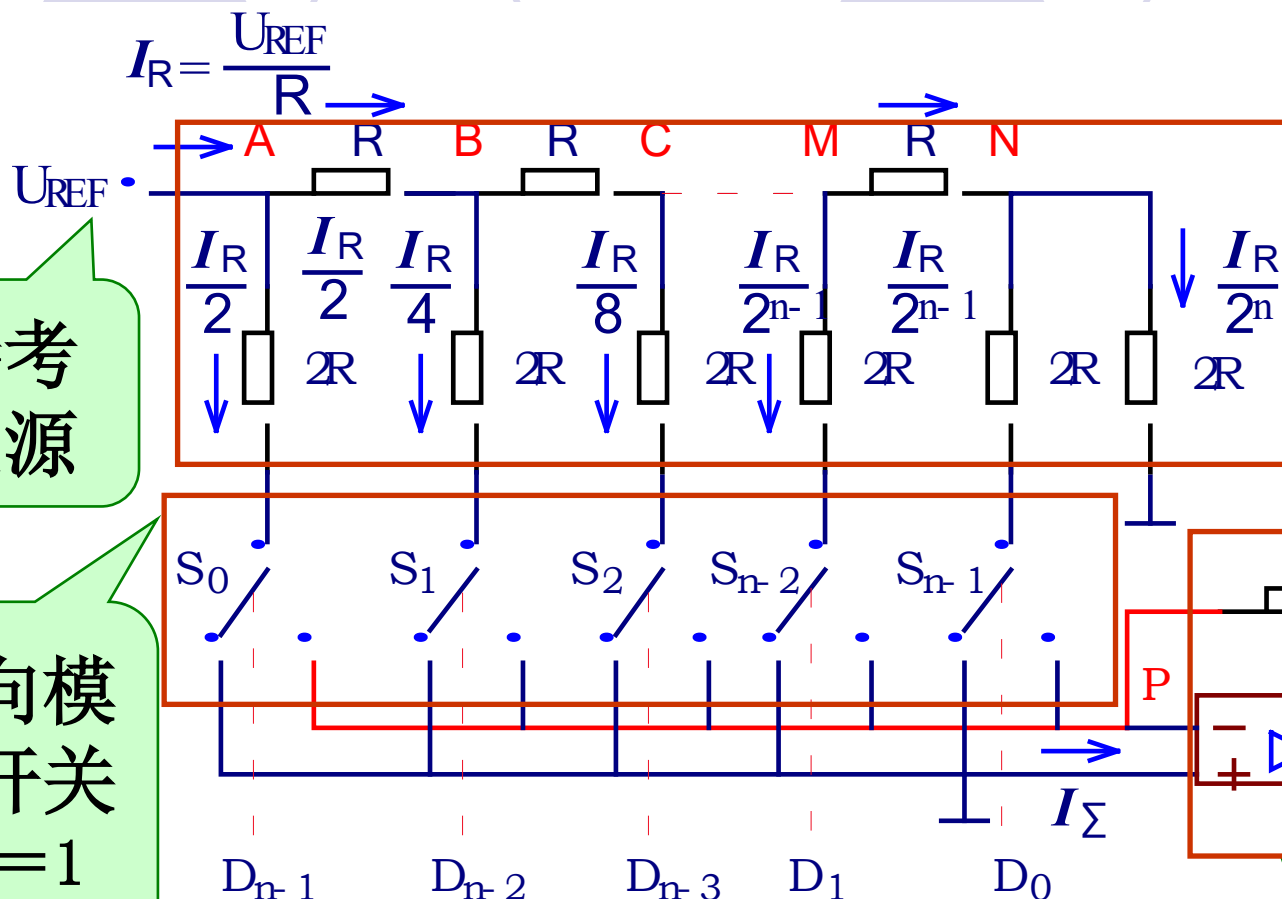
1. 构成

电阻译码网络、双向模拟开关、求和放大器、数码寄存器、参考电源

电阻译码网络

参考电源

双向模拟开关
($D=1$ 时接运放
 $D=0$ 时接地)



倒T型R-2R电阻网络D/A转换电路 求和放大器

第8.1节 DAC

二、倒T型R-2R电阻网络DAC

1. 构成

2. 工作原理

$$u_O = -\frac{U_{REF}}{2^n} \frac{R_F}{R} \sum_{i=0}^{n-1} D_i 2^i = K U_{REF} D$$

通常取 $R_F=R$ ，则：
$$u_O = -\frac{U_{REF}}{2^n} D$$

满量程电压值：

$$u_{Om} = -\frac{2^n - 1}{2^n} U_{REF}$$

例 已知4位倒T型DAC，输入数字量为1101，

$u_{REF} = -8V$ ， $R_f = R$ ，则输出模拟量 $u_O = ?$

解：

$$u_O = -\frac{U_{REF}}{2^n} D = -\frac{-8}{2^4} \times (8 + 4 + 1) = 6.5V$$

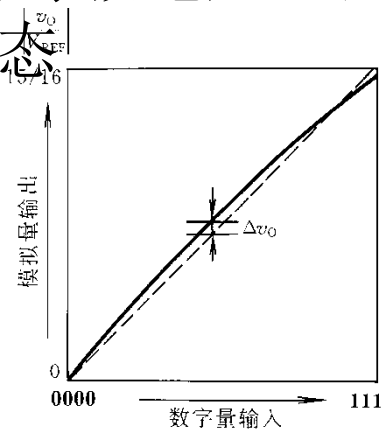
第8.1节 DAC

三、DAC的主要参数

一、转换精度

1. 分辨率（理论精度）

- 用输入数字量的二进制数码位数给出
- n 位DAC,应能输出 $0 \sim 2^n - 1$ 个不同的等级电压,区分出输入的 $00 \cdots 0$ 到 $11 \cdots 1$, $2^n - 1$ 个不同状态



2. 转换误差（实际精度）

- 用最低有效位的倍数来表示
- 有时也用绝对误差与输出电压满刻度的百分数来表示

第8.1节 DAC

三、DAC的主要参数

1. 分辨率

输入变化1LSB时，输出端产生的电压变化量 Δu 与满刻度(满量程)输出电压之比。

LSB: Least Significant Bit 最低有效位

MSB: Most Significant Bit 最高有效位

用百分比表示:

$$\text{分辨率} = \frac{\Delta u}{U_{Om}} = \frac{-\frac{U_{REF}}{2^n}}{-\frac{U_{REF}}{2^n}(2^n - 1)} = \frac{1}{2^n - 1}$$

第8.1节 DAC

三、DAC的主要参数

2. 转换精度

(1) 绝对精度：DAC输出实际值与理想值之间的差值

(2) 相对精度：绝对误差与满量程的比值

The title is centered between five circles. From left to right: a solid light purple circle, a light purple circle with a thin purple outline (containing the title), a solid light purple circle, a light purple circle with a thin purple outline, and a solid light purple circle.

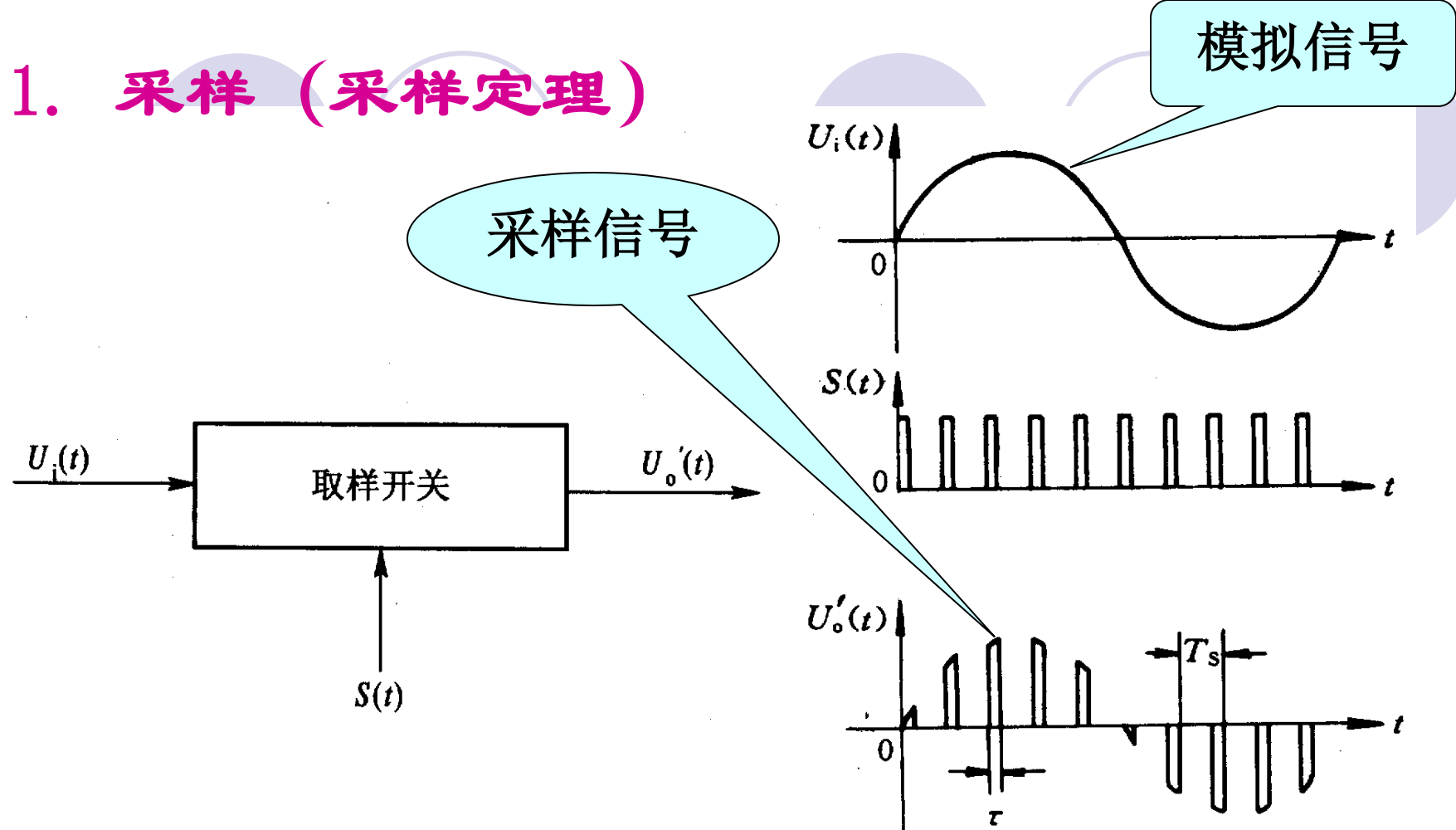
第8.3节 ADC

一、模数转换的一般过程

采样 \longrightarrow 保持 \longrightarrow 量化 \longrightarrow 编码

采样：将一个时间上连续变化的模拟量转换成时间上离散的模拟量称为采样。

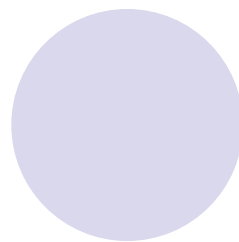
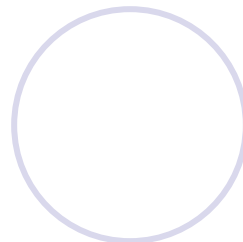
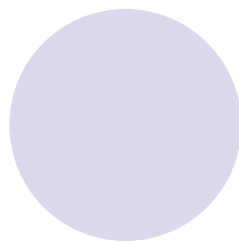
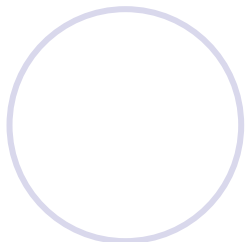
1. 采样 (采样定理)



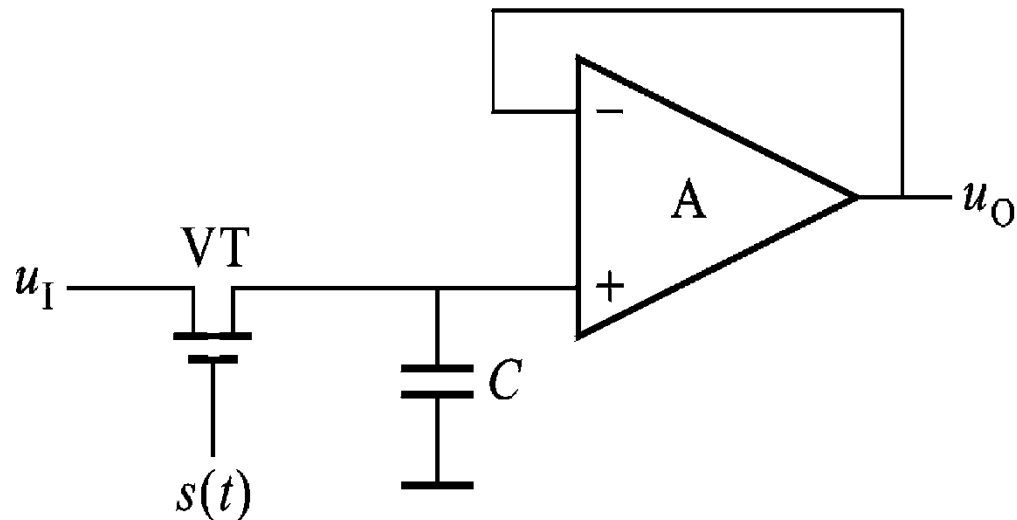
取样频率 f_s 必须大于等于输入模拟信号包含的最高频率 f_{\max} 的两倍，即：

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

2. 保持



- 由于**A/D**转换需要一定的时间，在每次采样以后，需要把采样电压保持一段时间,以便量化和编码，因此一般在采样电路后加保持电路。



采样—保持电路

$s(t)$ 有效期间，开关管VT导通， u_I 向C充电， $u_0 (=u_c)$ 跟随 u_I 的变化而变化；

$s(t)$ 无效期间，开关管VT截止， $u_0 (=u_c)$ 保持不变，直到下次采样。（由于集成运放A具有很高的输入阻抗，在保持阶段，电容C上所存电荷不易泄放。运放为跟随器，起缓冲隔离作用）

3. 量化和编码

1. 量化：将采样电压离散化为最小数量单位 (Δ) 的整数倍
2. 编码：将量化的结果用代码表示出来（二进制，二-十进制）
3. 量化误差：当采样电压不能被 Δ 整除时，将引入量化误差

输入 信号	二进制 代码	代表的模拟 电压
1V		
7/8V	111	$7\Delta = 7/8 \text{ (V)}$
6/8V	110	$6\Delta = 6/8 \text{ (V)}$
5/8V	101	$5\Delta = 5/8 \text{ (V)}$
4/8V	100	$4\Delta = 4/8 \text{ (V)}$
3/8V	011	$3\Delta = 3/8 \text{ (V)}$
2/8V	010	$2\Delta = 2/8 \text{ (V)}$
1/8V	001	$1\Delta = 1/8 \text{ (V)}$
0	000	$0 = 0 \text{ (V)}$

输入 信号	二进制 代码	代表的模拟 电压
1V		
13/15V	111	$7\Delta = 14/15 \text{ (V)}$
11/15V	110	$6\Delta = 12/15 \text{ (V)}$
9/15V	101	$5\Delta = 10/15 \text{ (V)}$
7/15V	100	$4\Delta = 8/15 \text{ (V)}$
5/15V	011	$3\Delta = 6/15 \text{ (V)}$
3/15V	010	$2\Delta = 4/15 \text{ (V)}$
1/15V	001	$1\Delta = 2/15 \text{ (V)}$
0	000	$0 = 0 \text{ (V)}$

3. 量化和编码

1. 量化：将采样电压离散化为最小数量单位 (Δ) 的整数倍
2. 编码：将量化的结果用代码表示出来（二进制，二-十进制）
3. 量化误差：当采样电压不能被 Δ 整除时，将引入量化误差

注：

(1) 最小数量单位 Δ 也叫做量化单位 Δ 。

量化后的电平是量化单位 Δ 的整数倍。

(3) 由于一个 n 位二进制数只能表示 2^n 个量化电平，并且模拟量不一定能被 Δ 整除，因此量化过程中不可避免会产生误差，这种误差称为量化误差（量化级分得越多，即 n 越大，量化误差越小）

①舍尾量化

②四舍五入量化

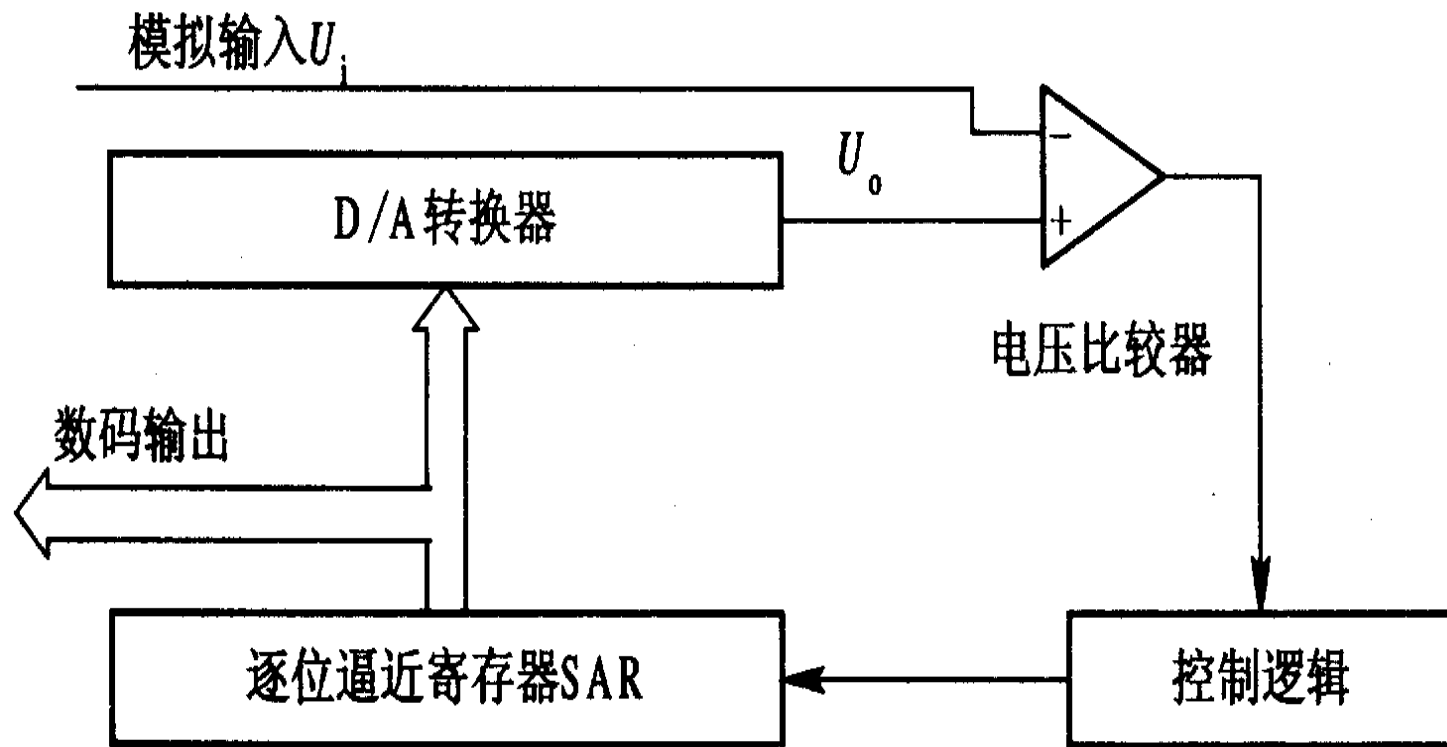
第8.3节 ADC

二、A/D转换电路

1. 逐次逼近型A/D转换器(直接AD转换电路)

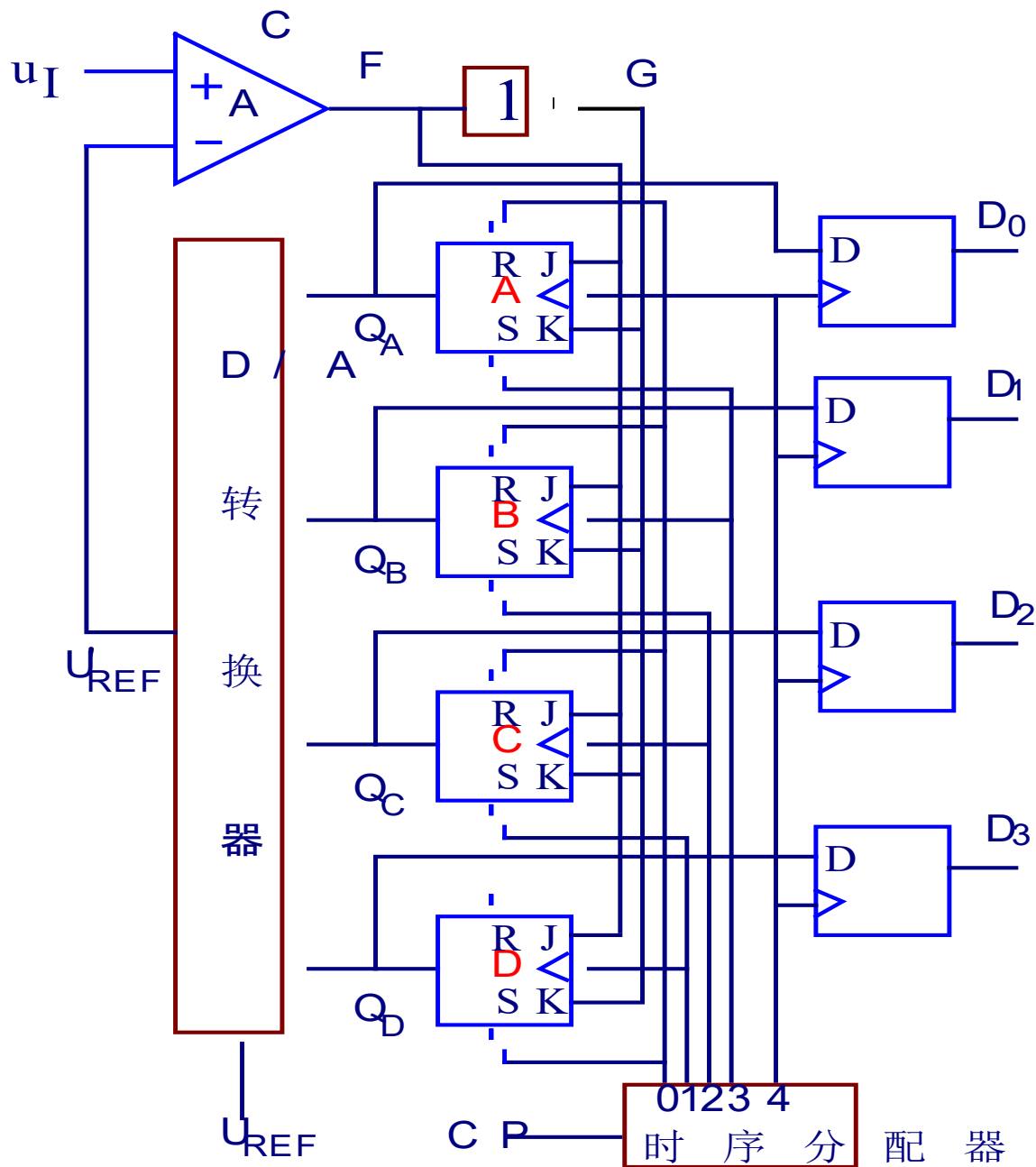
主要通过 2^n 个量化级电压与输入采样—保持模拟电压进行比较，将比较的结果直接转化为数字量。

1. 逐次逼近型A/D转换器



组成:

电压比较器、D/A转换器、时序分配器、JKFF、寄存器



比较原理： 将要转换的**模拟电压**与一系列的**基准电压**比较。

类似于天平称重过程：砝码（从最重到最轻），依次比较，保留/移去，相加。不同的基准电压——砝码。

比较规则： 比较是**从高位到低位逐位进行**，同时依次确定各位数码是**1**还是**0**。

注



工作原理:

先使JKFF的最高位为1，其余低位为0，比较，
下一CP有效沿到，决定1的去留；

再使JKFF的次高位为1，其余低位为0，比较，
下一CP有效沿到，决定1的去留；

直到最低位比较完为止。此时JKFF中所存的数码就是所求的输出数字量。

转换位数为N，则转换时间为 $(N+1)T_{cp}$ 。

The top of the slide features five circles in a horizontal row. From left to right, the first, third, and fifth circles are solid light purple. The second and fourth circles are white with a light purple outline. The second circle is the largest and is centered behind the title text.

第8.3节 ADC

三、间接A/D转换器（不作要求）

将采样—保持模拟信号先转化为时间 T 或者频率 F ，然后再将时间 T 或频率 F 转换为数字量。通常采用频率恒定的时钟脉冲通过计数器来实现转换，因此，也称为计数式方法。

第8.3节 ADC

四、ADC的主要参数

一、速度取决于电路结构类型

并联比较型：<1微秒

逐次渐近型：10~100微秒/次

双积分型：几十毫秒/次

二、转换精度

1. 分辨率：以输出二进制或十进制的位数表示，说明A/D转换器对输入信号的分辨能力。
2. 转换误差：通常以输出误差最大值的形式给出，表示实际输出的数字量和理论上应有的输出数字量之间的差别。



第8.3节 ADC

四、ADC的主要参数

1. 分辨率:

(1) 用百分比表示

$$\text{分辨率} = \frac{1}{2^n}$$

(2) 用输出二进制数的位数n表示



第8.3节 ADC

四、ADC的主要参数

1. 分辨率

2. 转换误差

(1) 绝对误差

(2) 相对误差



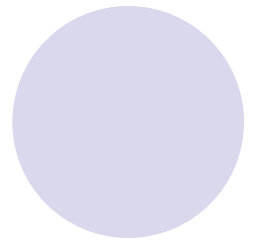
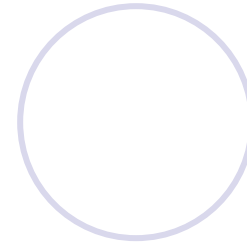
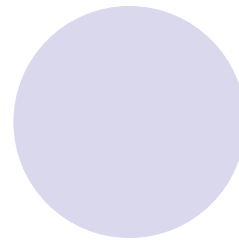
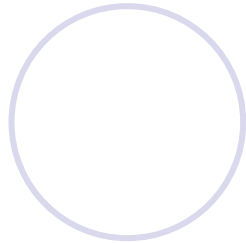
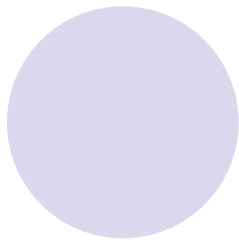
本章小结

D/A转换器和A/D转换器作为模拟量和数字量之间的转换电路，在信号检测、控制、信息处理等方面发挥着越来越重要的作用。

D/A转换的基本思想是**权电流相加**。电路通过输入的数字量控制各位电子开关，决定是否在电流求和点加入该位的权电流。倒T形电阻网络是应用较广的电路结构。

A/D转换须经过**采样、保持、量化、编码**四个步骤才能完成。采样、保持由采样—保持电路完成；量化和编码须在转换过程中实现。**逐次比较型ADC**是将输入模拟信号和DAC依次产生的比较电压逐次比较。**双积分型ADC**则是通过两次积分，将输入模拟信号转换成与之成正比的时间间隔，并在该时间间隔内对时钟脉冲进行计数来实现转换的。

可供我们选择使用的集成ADC和DAC芯片种类很多，应通过查阅手册，在理解其工作原理的基础上，重点把握这些芯片的**外部特性**以及与其它电路的**接口方法**。



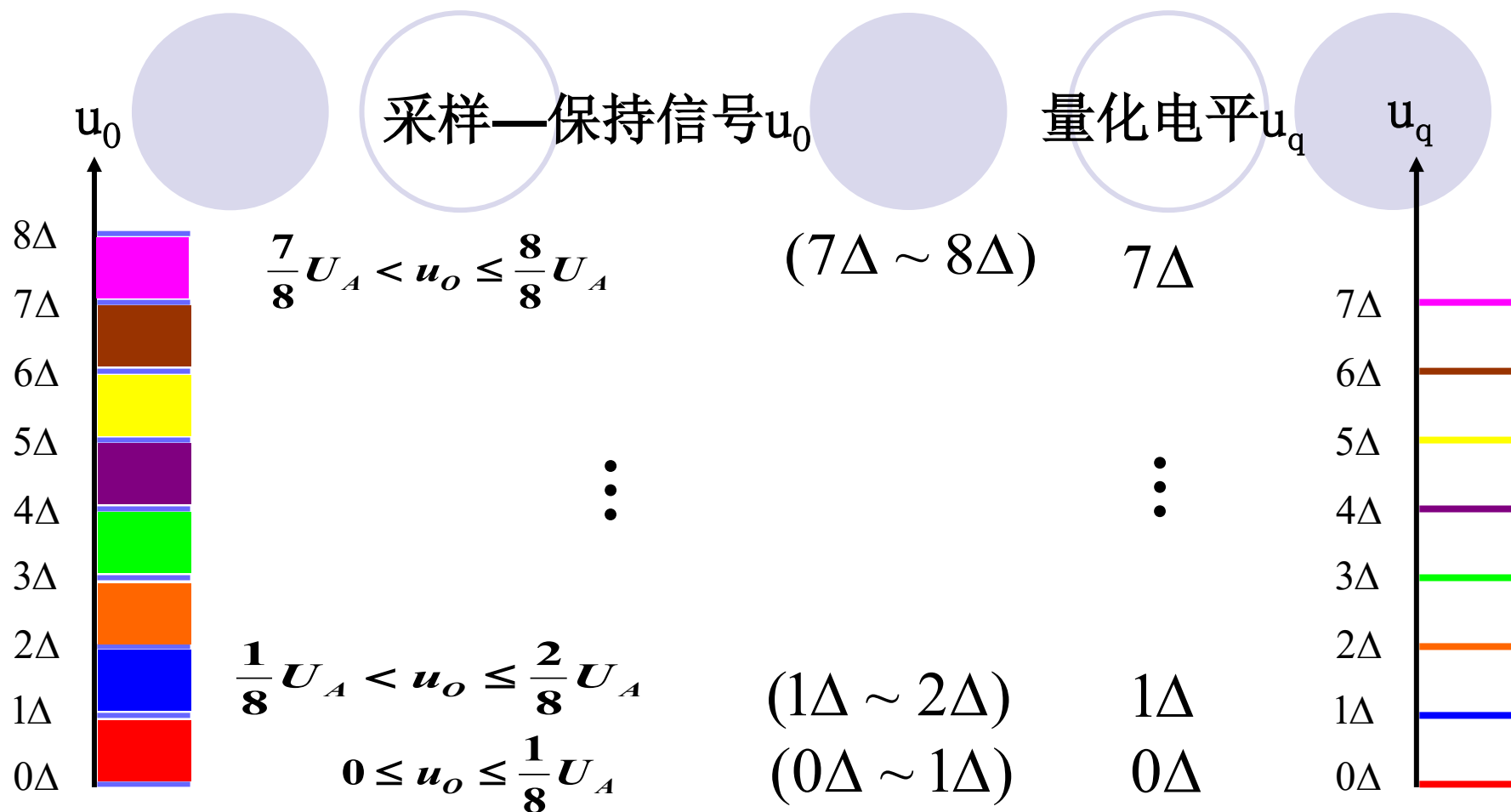
作业题

8.1

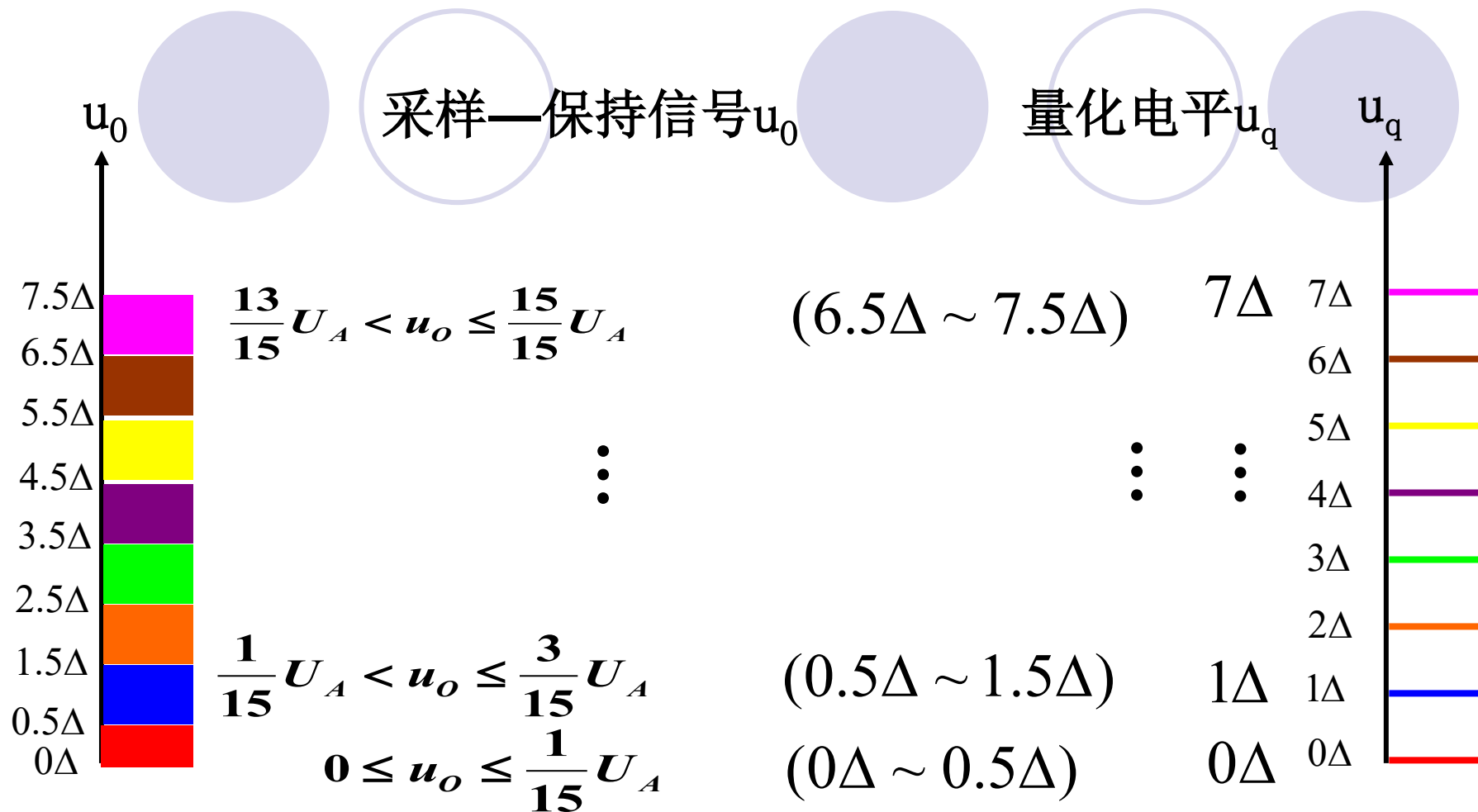
8.3

8.4

8.5



$$\Delta = \frac{U_A}{2^n} = \frac{1}{8}U_A \quad \text{最大量化误差 } \varepsilon_{\max} = 1\Delta$$



$$\Delta = \frac{2}{2^{n+1} - 1} U_A = \frac{2}{15} U_A \quad \text{最大量化误差 } \varepsilon_{\max} = \frac{\Delta}{2}$$

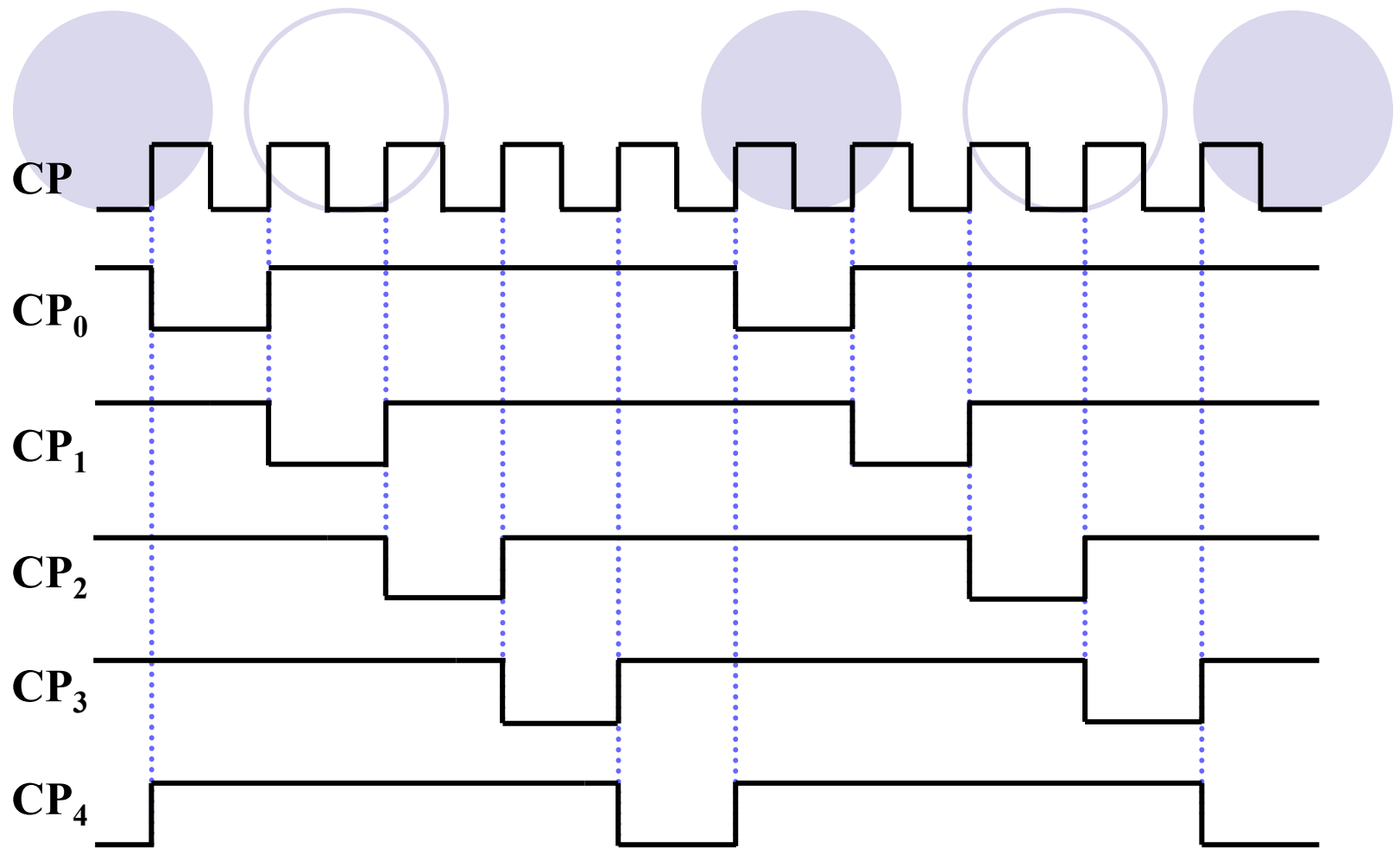
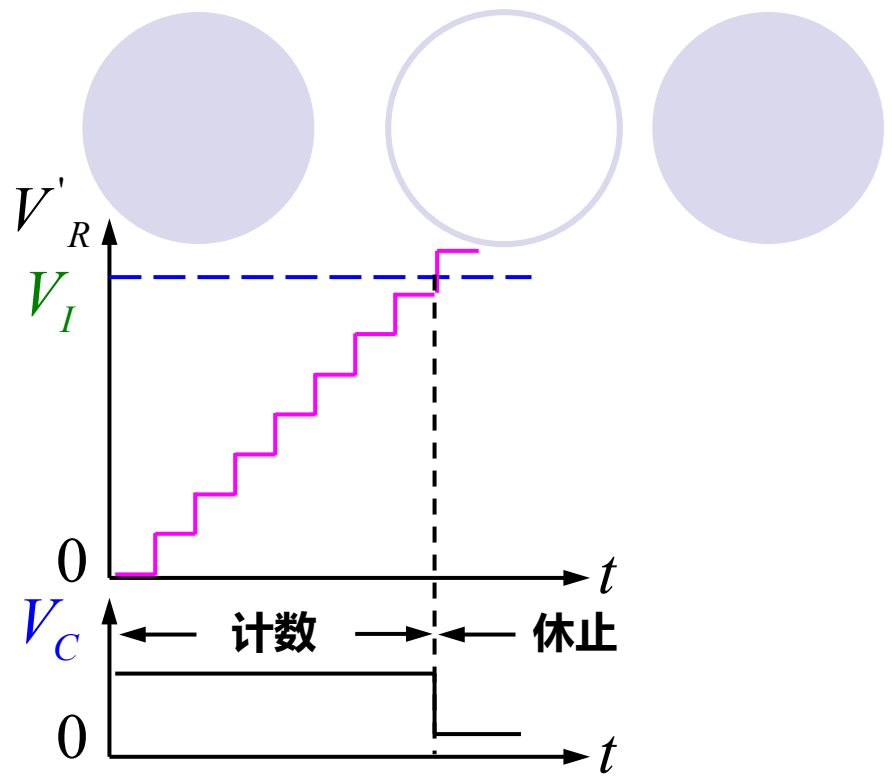
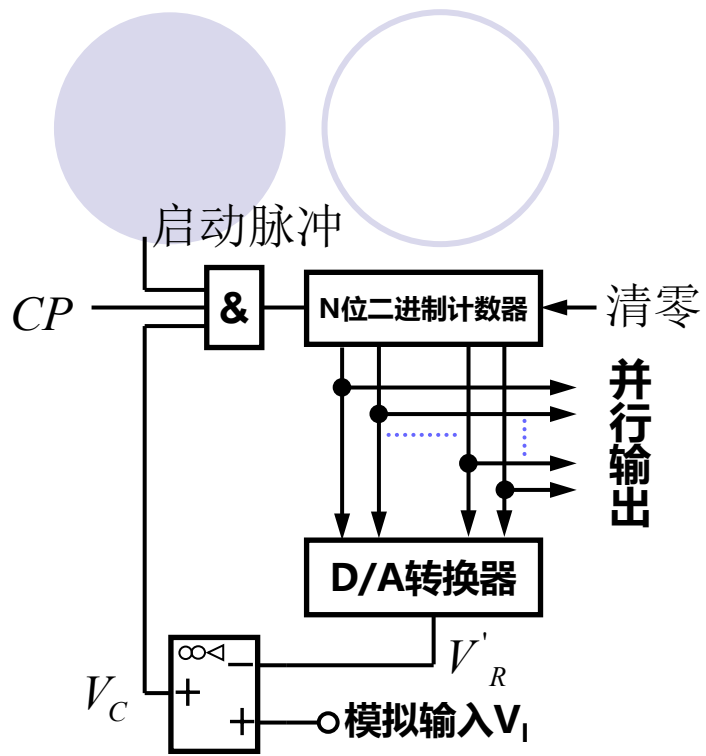
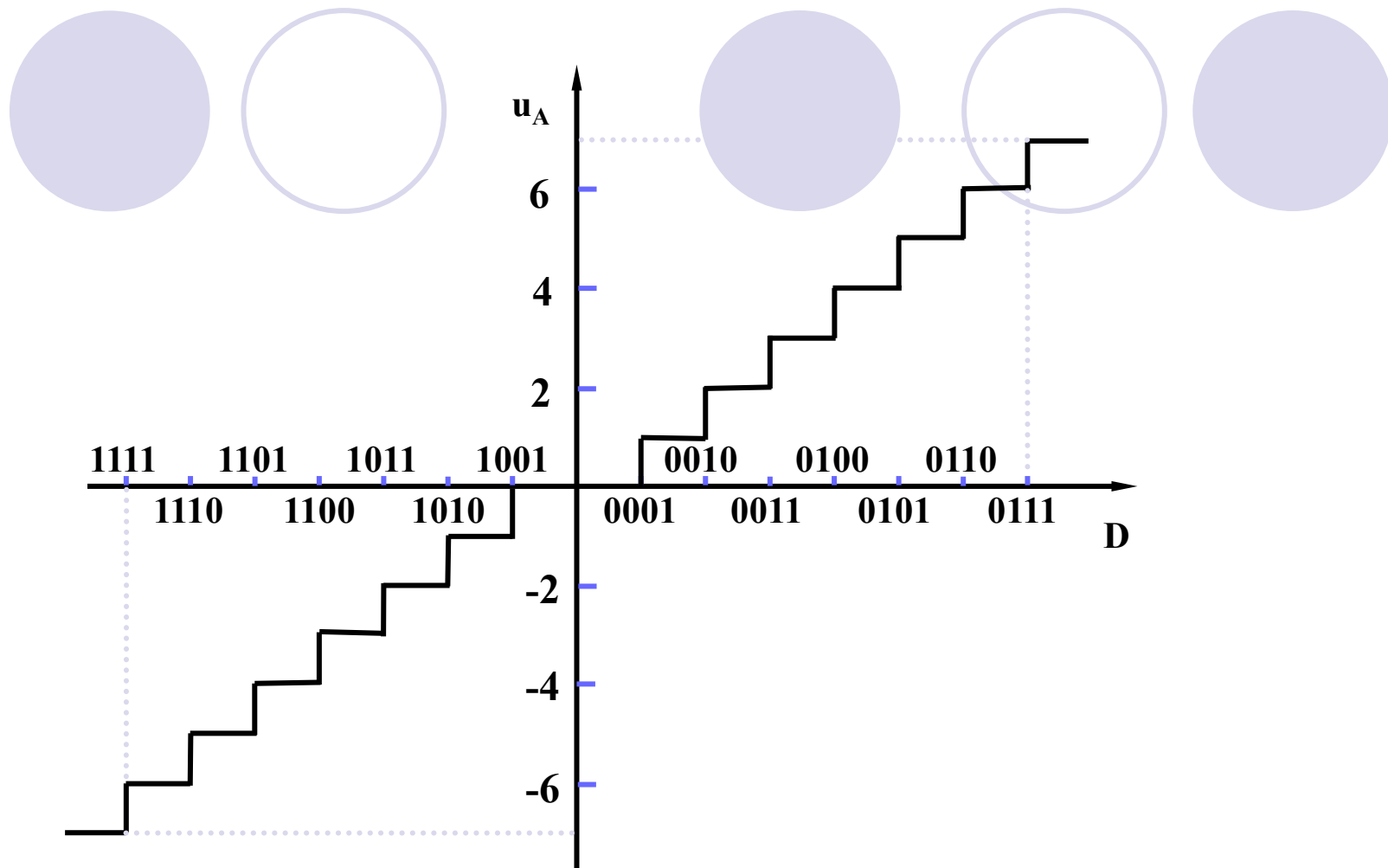


图8.3.4 时序分配器输出波形





$$u_A = KU_{REF} D = KU_{REF} \sum_{i=0}^{n-1} D_i 2^i$$

图8.1.2 D 和 u_A 的关系图