

第九章 数-模和模-数转换

第一节 概述

第二节 D/A 转换器

第三节 A/D 转换器

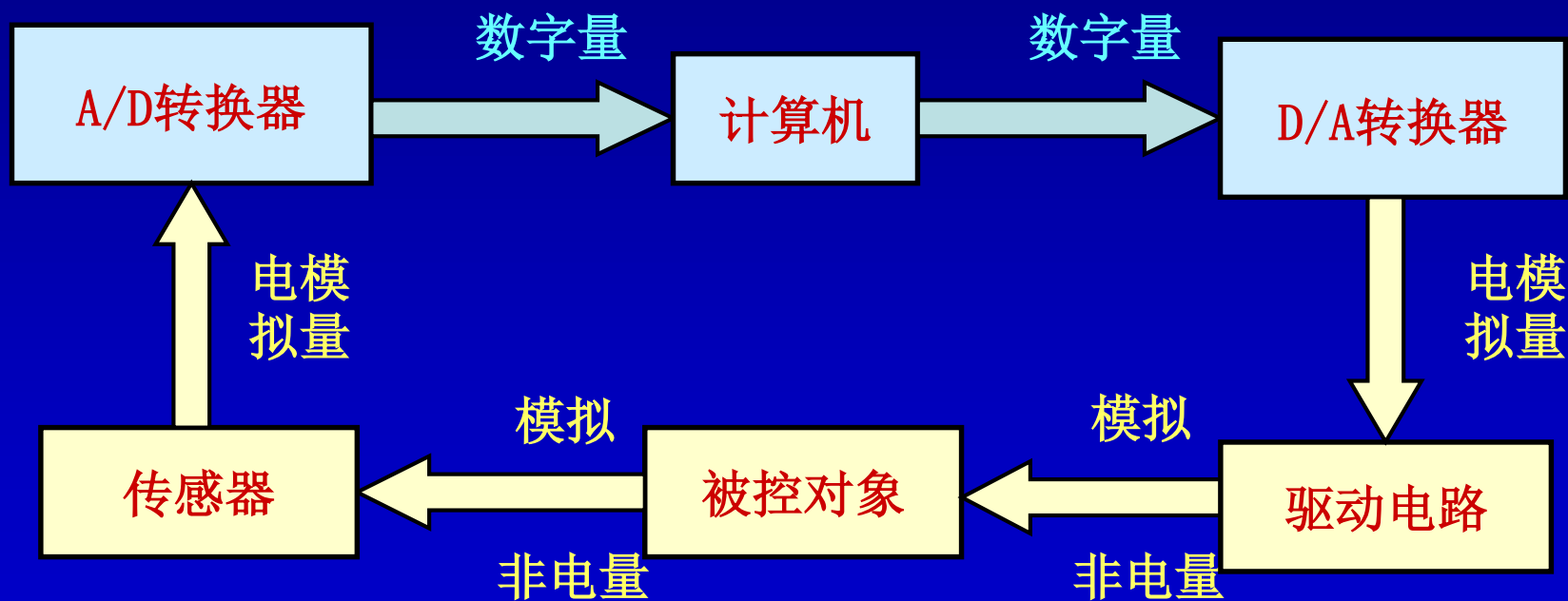
内容提要

本章介绍数-模转换和模-数转换的基本原理和常见典型电路。主要讲述：

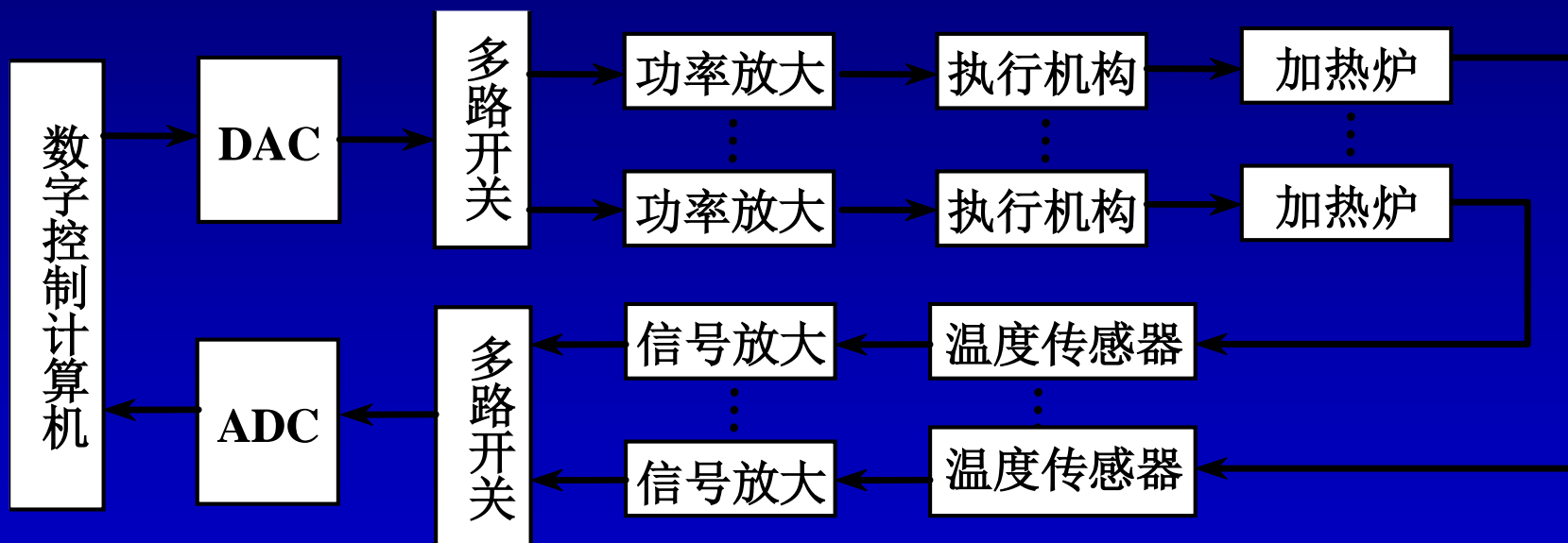
- ◆ 权电阻网络型数-模转换器；
- ◆ 倒T形电阻网络型数-模转换器；
- ◆ 逐次渐近型模-数转换器；
- ◆ 双积分型模-数转换器；
- ◆ 数-模和模-数转换的精度和速度；

第一节 概述

典型测控系统的原理框图



应用举例



温控系统中D/A和A/D运用示意图

第一节 概述

模拟信号与数字信号的接口电路

D/A (Digital to Analog Converter) 数模转换器:
将数字量转换为模拟量的电路;

A/D (Analog to Digital Converter) 模数转换器:
将模拟量转换为数字量的电路。

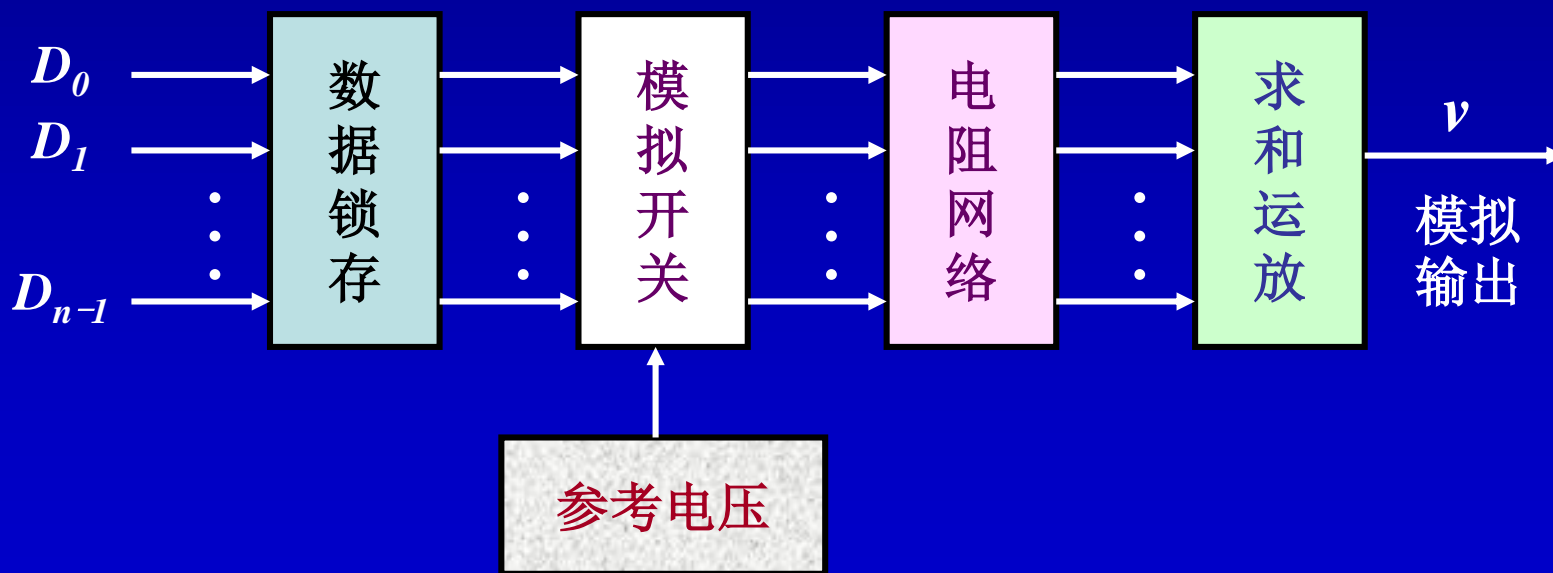
衡量A/D、D/A 性能的两个重要指标

- ◆ 转换精度-准确性
- ◆ 转换速度-快速性

第二节 D/A 转换器

一、D/A 转换的基本原理

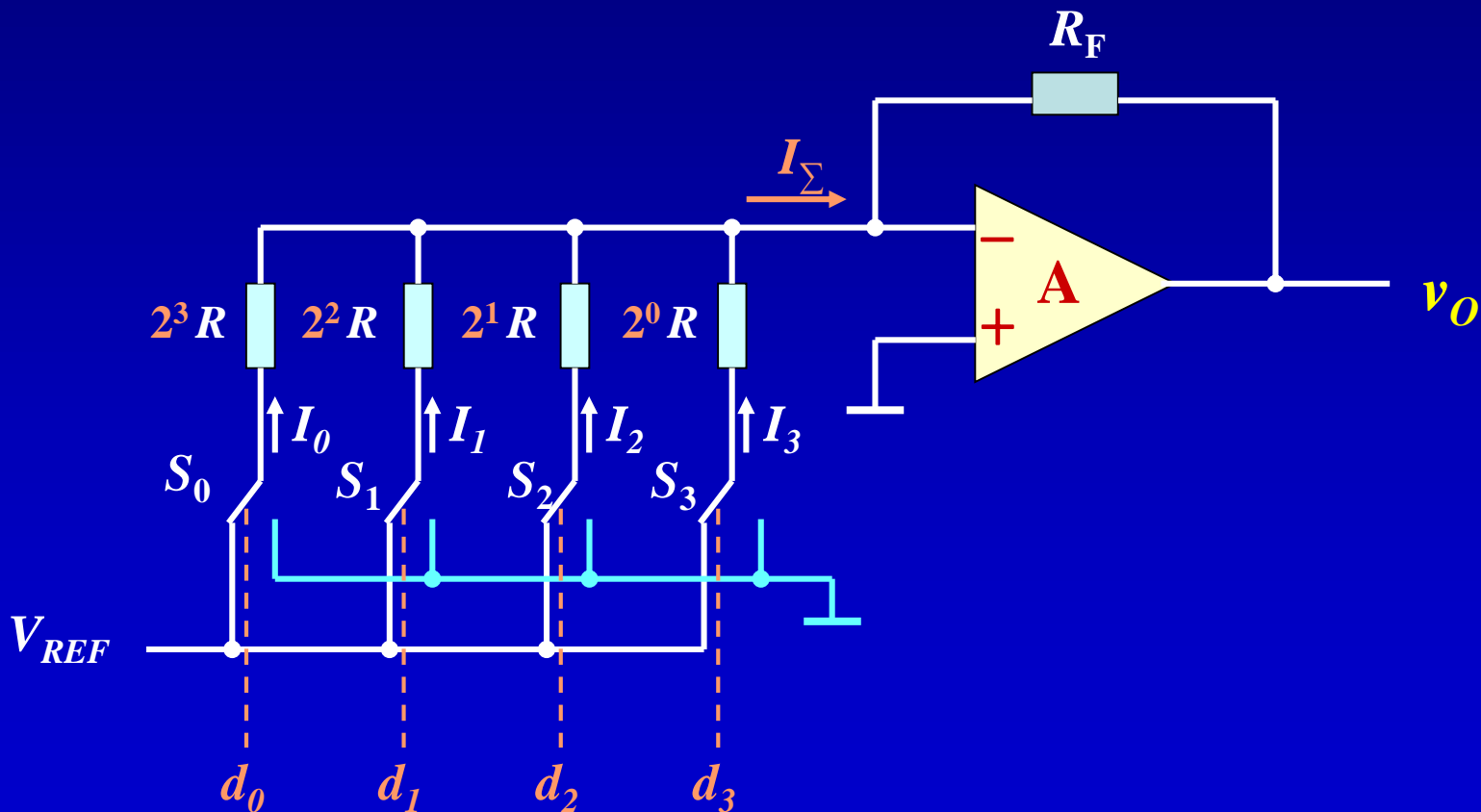
将输入的数字量转换成与之成正比的模拟量（U或I）。



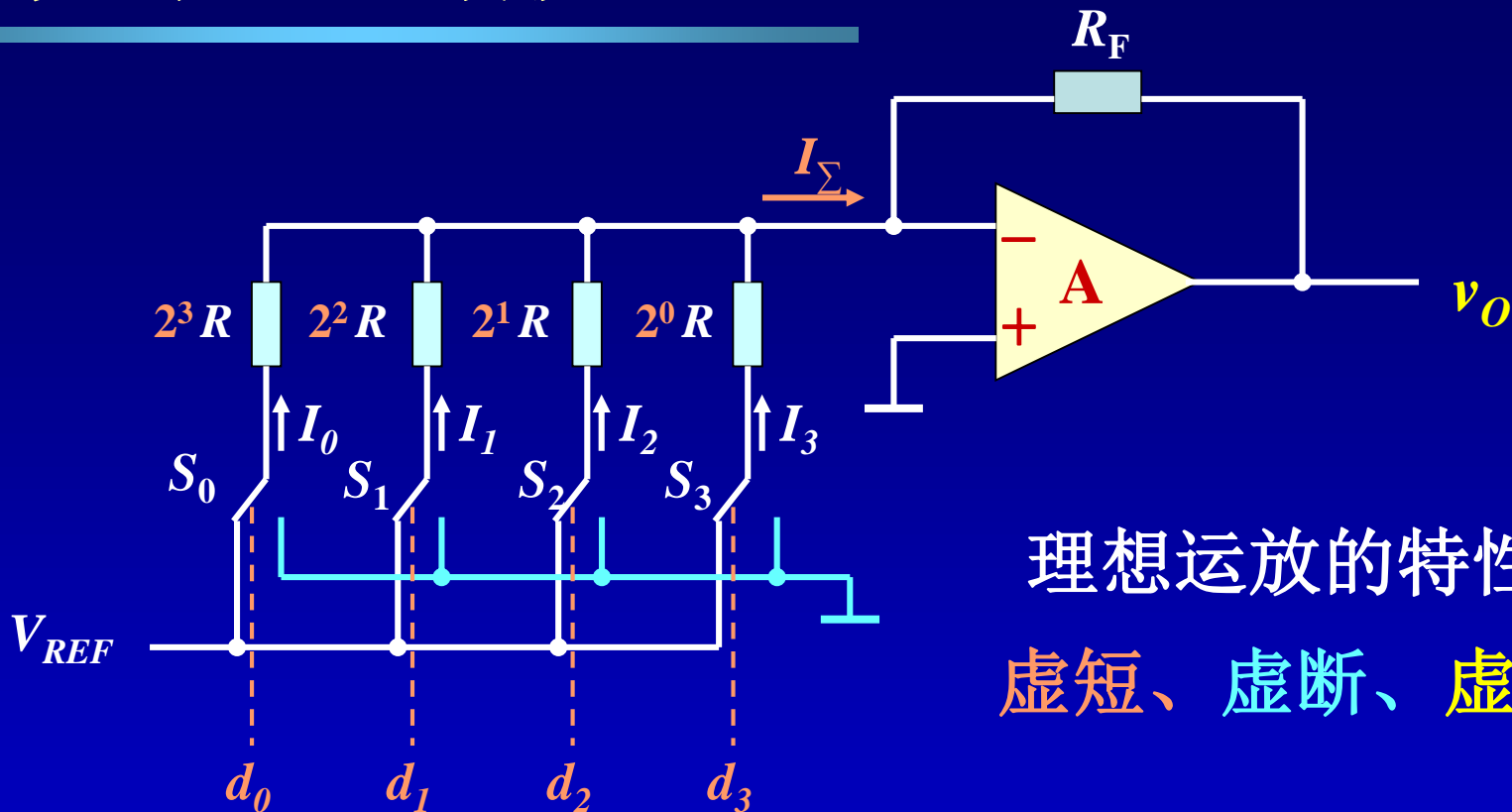
第二节 D/A 转换器

二、D/A 转换器的主要电路形式

1、二进制权电阻网络型D/A转换器



第二节 D/A 转换器



理想运放的特性：
虚短、虚断、虚地

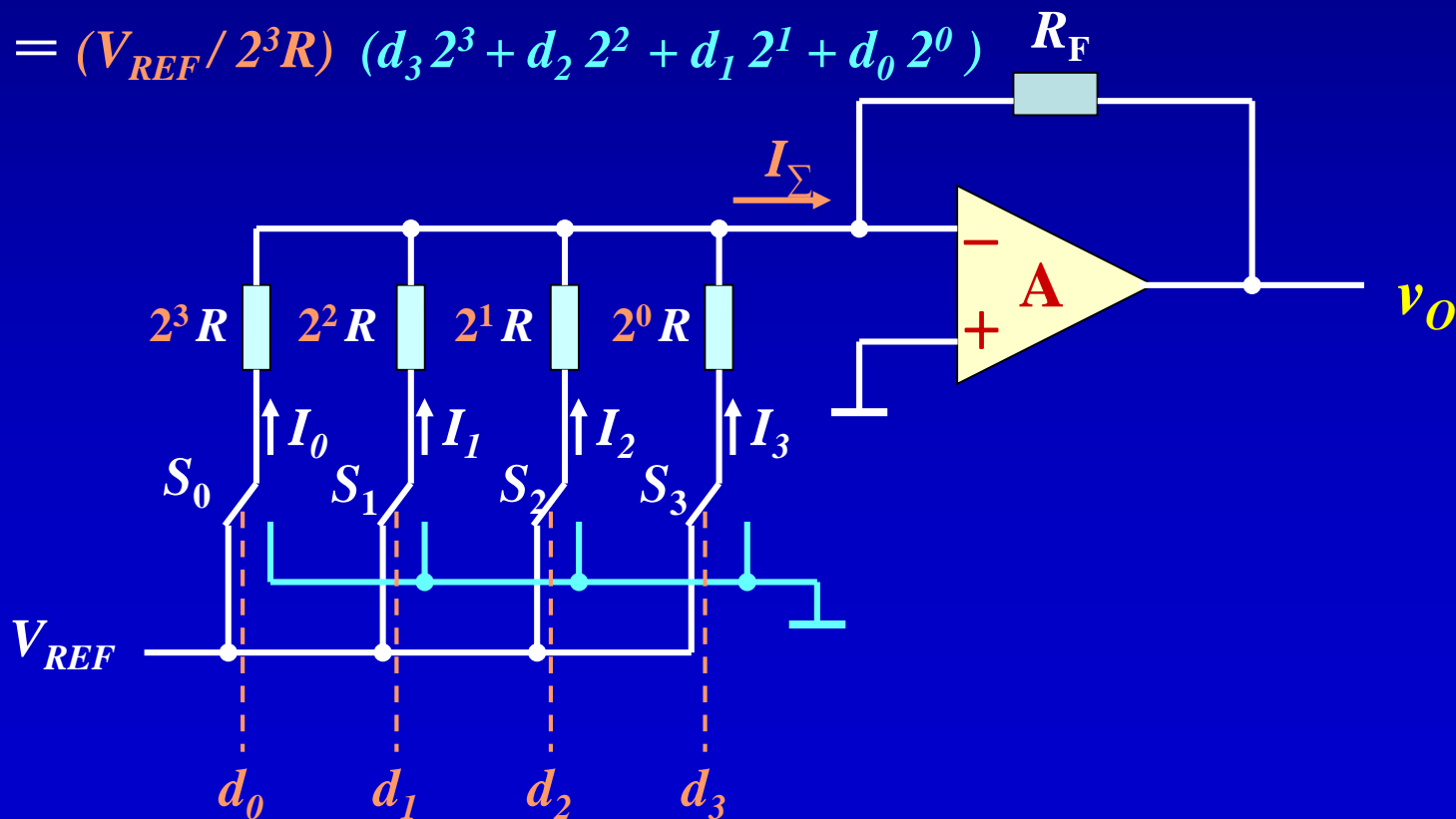
数字信号 $d_3 d_2 d_1 d_0$ 控制电子开关 $S_3 S_2 S_1 S_0$ 的位置

$\begin{cases} \text{若 } d_i = 1, \text{ 开关 } S_i \text{ 接至基准电源 } V_{REF}, I_i = V_{REF} / R_i; \\ \text{若 } d_i = 0, \text{ 开关 } S_i \text{ 接地, } I_i = 0; \end{cases}$

第二节 D/A 转换器

根据运放的虚短特性，可得

$$\begin{aligned} I_{\Sigma} &= I_3 + I_2 + I_1 + I_0 \\ &= d_3 (V_{REF}/R) + d_2 (V_{REF}/2R) + d_1 (V_{REF}/2^2R) + d_0 (V_{REF}/2^3R) \\ &= (V_{REF}/2^3R) (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0) \end{aligned}$$

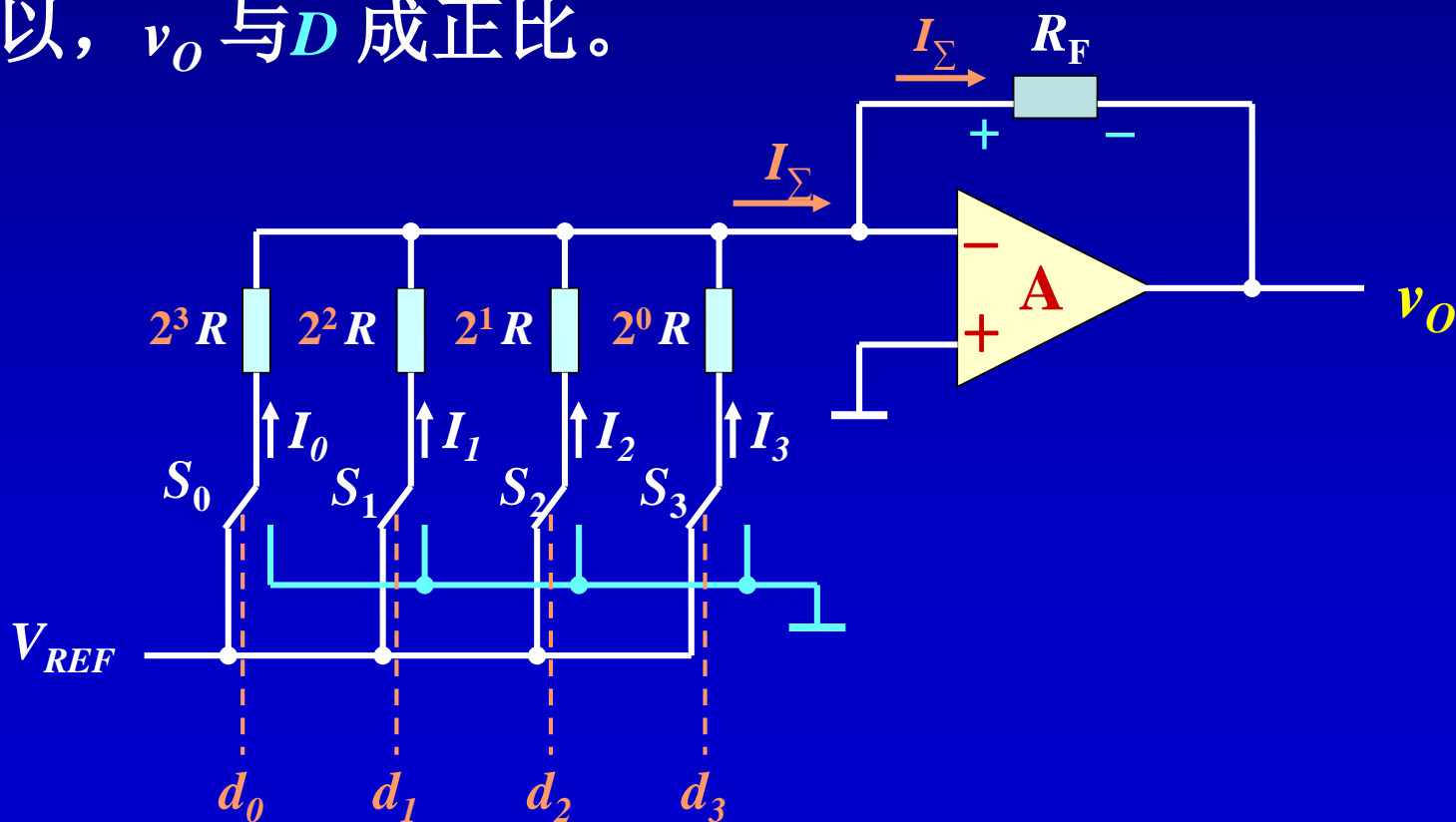


第二节 D/A 转换器

根据虚断、虚地特性，可得

$$v_O = -I_{\Sigma} R_F = -R_F (V_{REF} / 2^3 R) (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

所以， v_O 与 D 成正比。



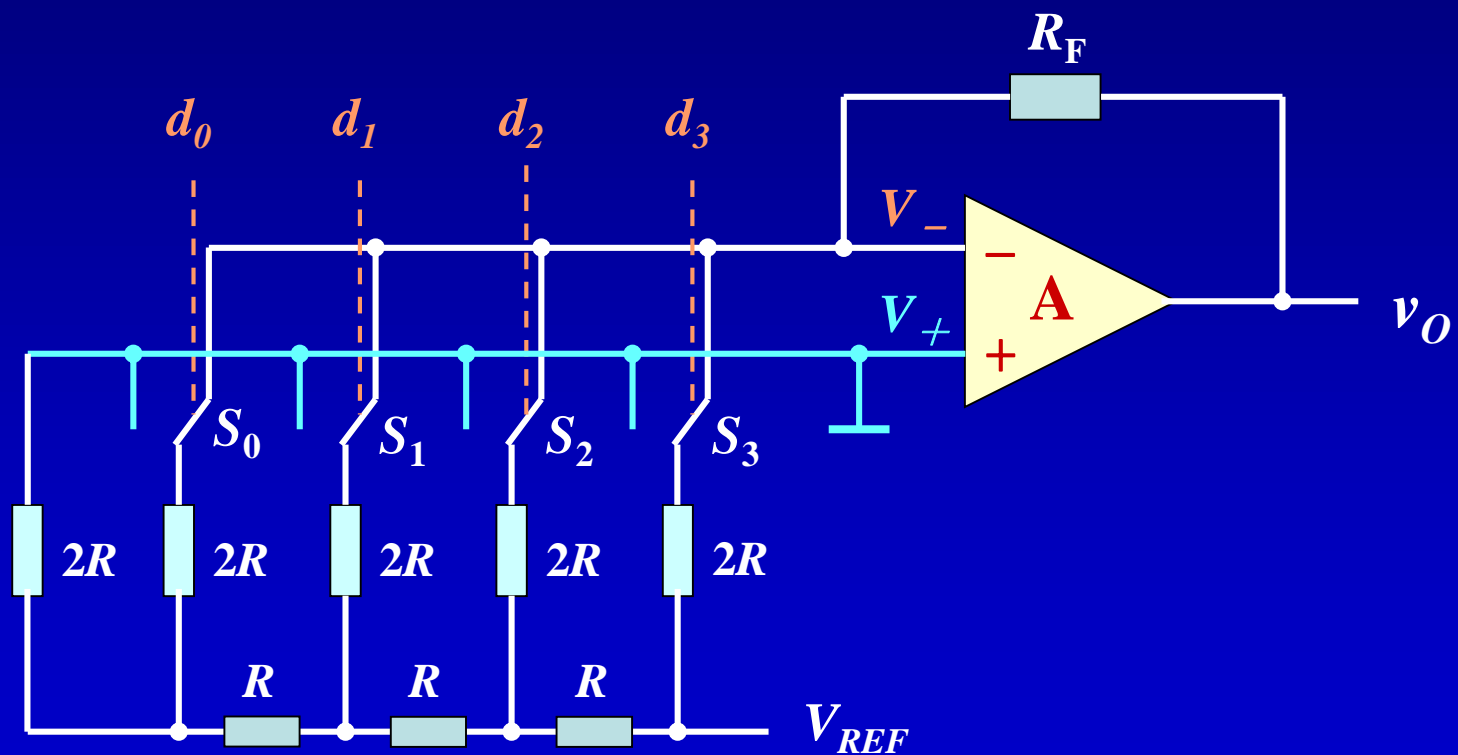
第二节 D/A 转换器

权电阻网络型D/A转换器的特点

- ◆ 结构简单，使用电阻数少；（优点）
- ◆ 电阻阻值相差大，精度难以保证。（缺点）

第二节 D/A 转换器

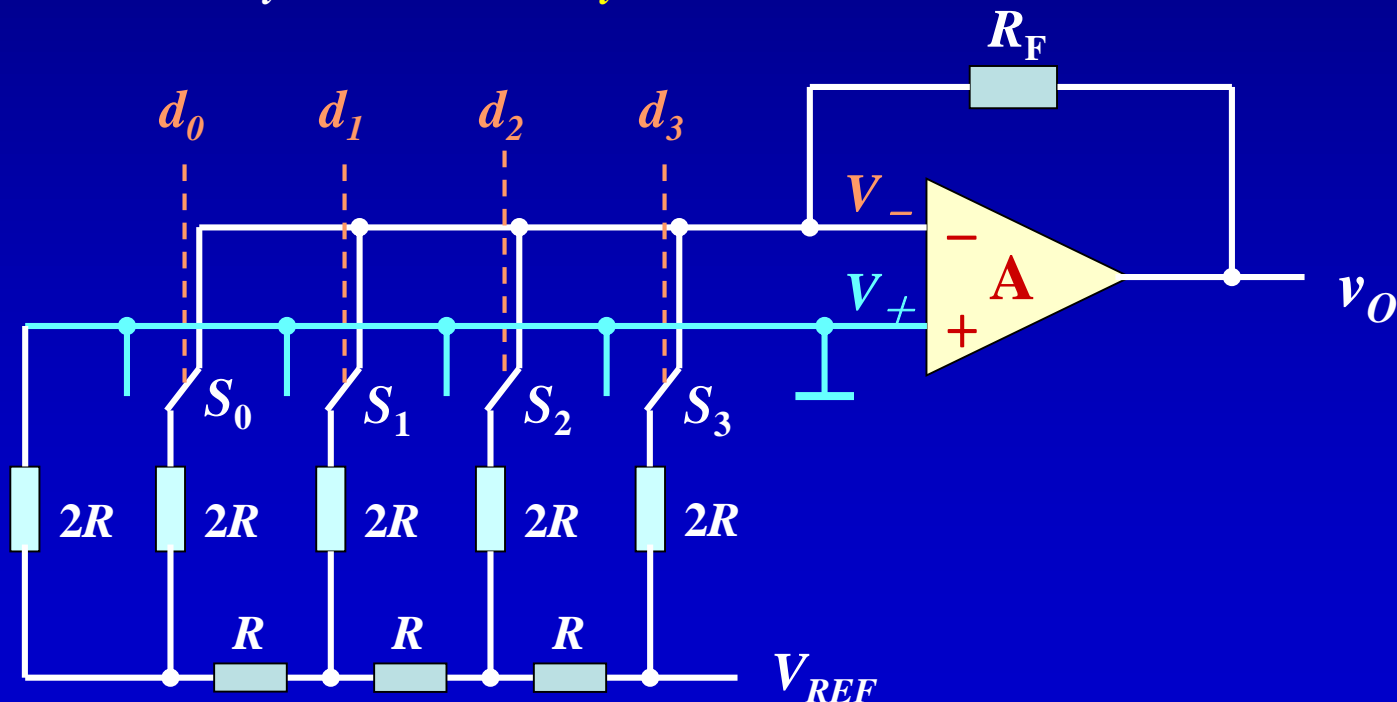
2、倒T形电阻网络型D/A转换器



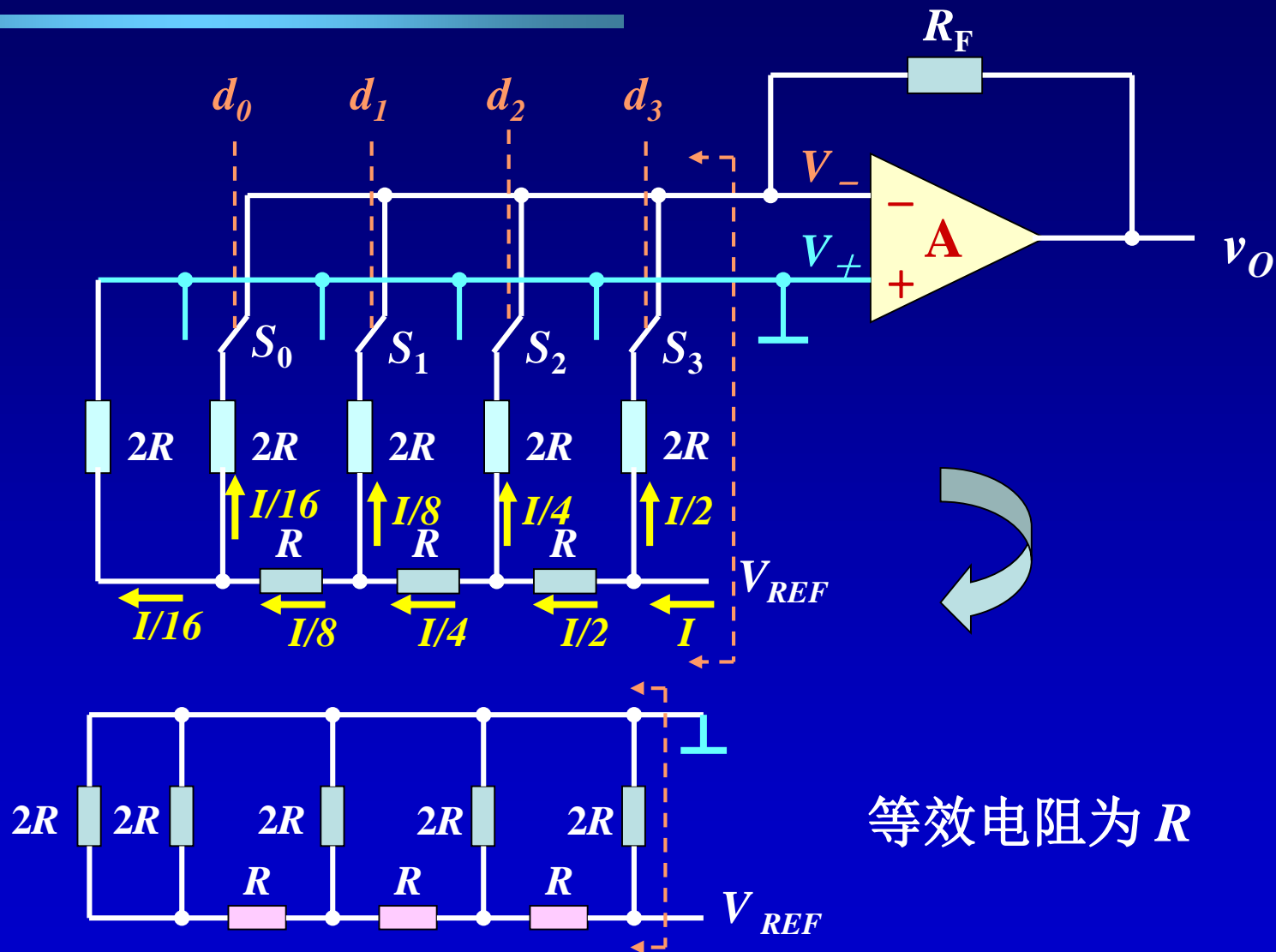
第二节 D/A 转换器

数字信号 $d_3d_2d_1d_0$ 控制开关 $S_3S_2S_1S_0$ 的位置

$\left\{ \begin{array}{l} \text{若 } d_i = 1, \text{ 开关 } S_i \text{ 接至运放的 } V_- \text{ 端;} \\ \text{若 } d_i = 0, \text{ 开关 } S_i \text{ 接地;} \end{array} \right.$

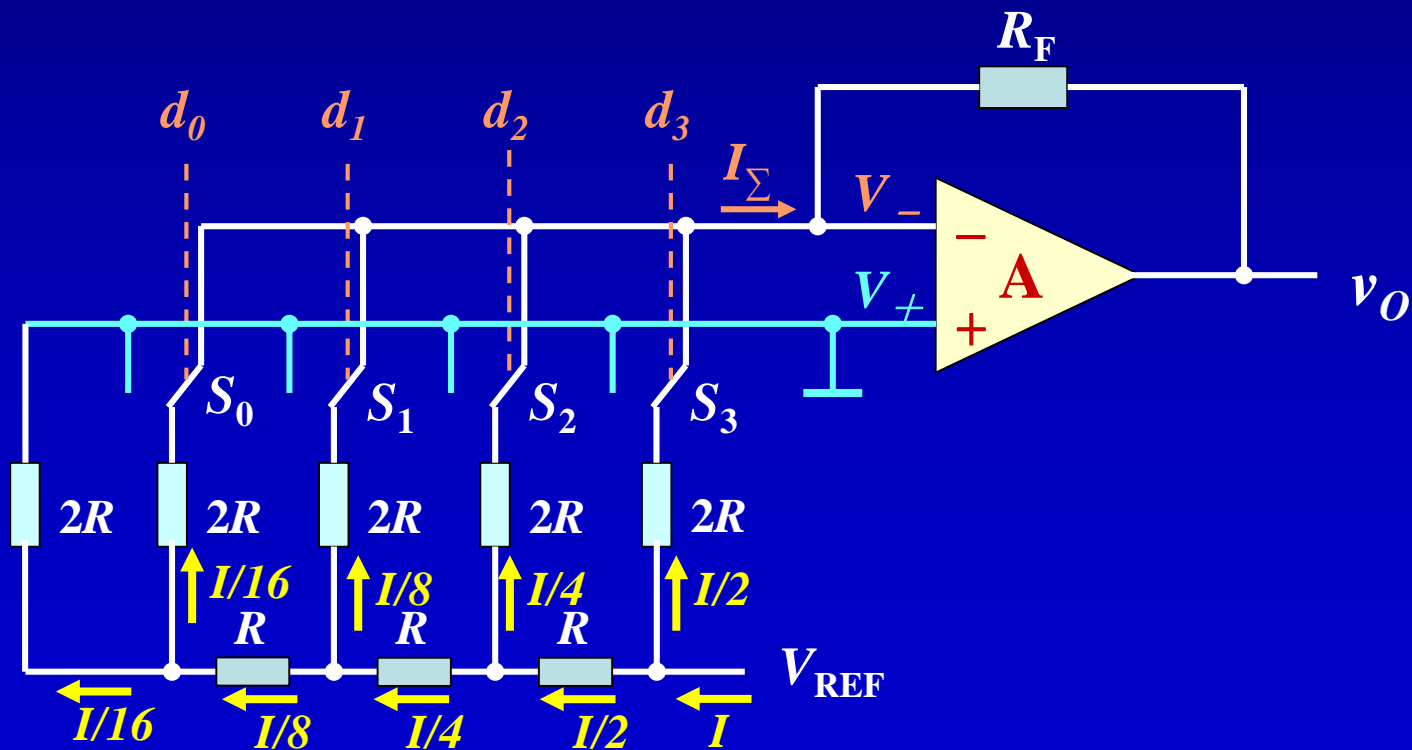


第二节 D/A 转换器



第二节 D/A 转换器

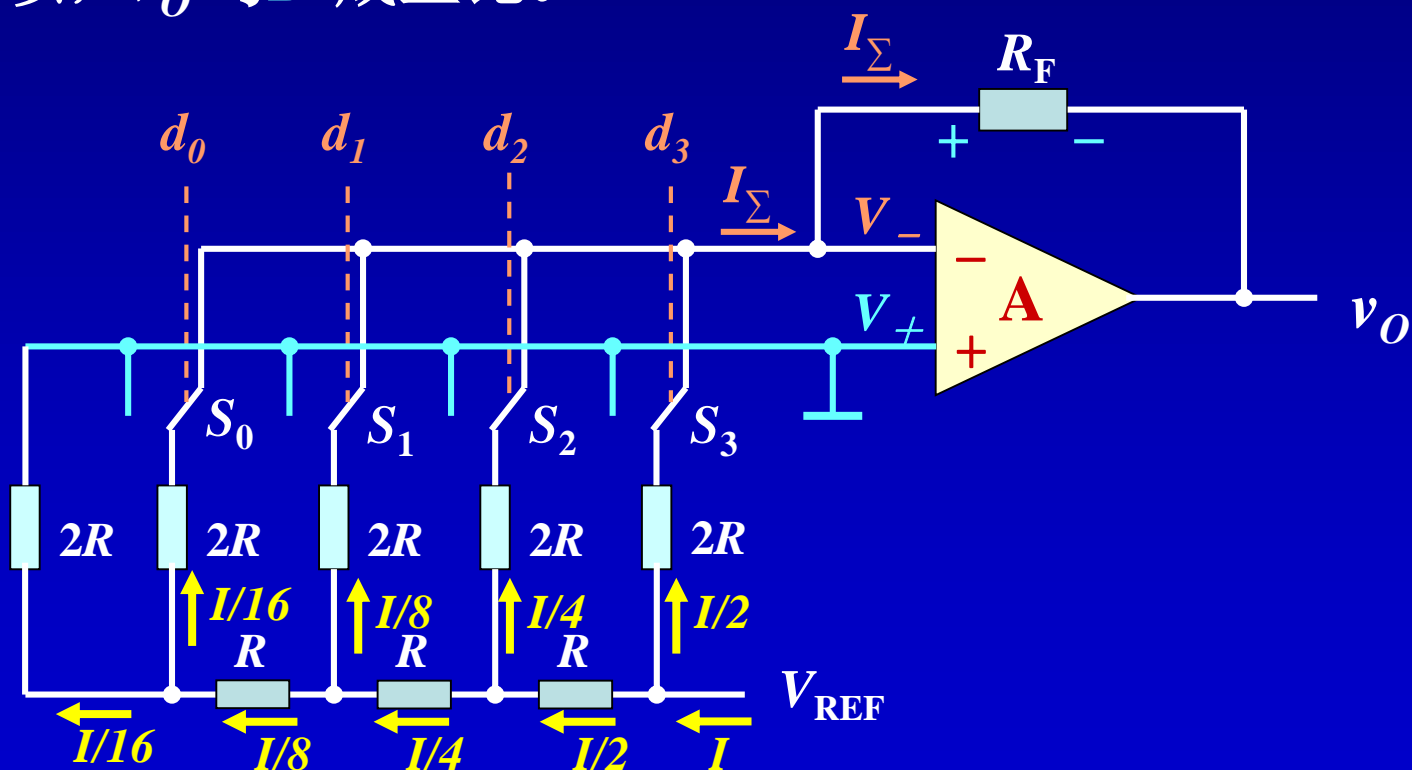
$$\begin{aligned} I_{\Sigma} &= I_3 d_3 + I_2 d_2 + I_1 d_1 + I_0 d_0 \\ &= I/2 d_3 + I/4 d_2 + I/8 d_1 + I/16 d_0 \\ &= (V_{REF}/16R) (2^3 d_3 + 2^2 d_2 + 2^1 d_1 + 2^0 d_0) \end{aligned}$$



第二节 D/A 转换器

$$v_O = -I_{\Sigma} R_F = -R_F (V_{REF}/16R) (2^3 d_3 + 2^2 d_2 + 2^1 d_1 + 2^0 d_0)$$

所以， v_O 与 D 成正比。



第二节 D/A 转换器

倒T形电阻网络型D/A转换器的特点

- ◆ 流经 $2R$ 支路的电流不随开关位置改变，不需要建立时间，转换速度快；
- ◆ 只有 R 和 $2R$ 两种电阻，便于集成化。

第二节 D/A 转换器

三、D/A 转换器的主要技术指标

1、分辨率

分辨率是D/A转换器在理论上可以达到的精度，以输入二进制数码的位数给出。

分辨率是最小分辨电压与最大输出电压之比。

$$\text{分辨率} = \frac{1}{2^n - 1}$$

10位D/A 的分辨率为：

$$\frac{1}{2^{10} - 1} = \frac{1}{1023}$$

第二节 D/A 转换器

2、转换精度

是D/A转换器实际能够达到的精度。

由于制造精度和稳定性等原因，电路实际精度达不到理论值。

转换精度常用转换误差来表示，误差主要包括：

- ◆ 非线性误差
- ◆ 增益误差
- ◆ 漂移误差

3、转换速度

第三节 A/D 转换器

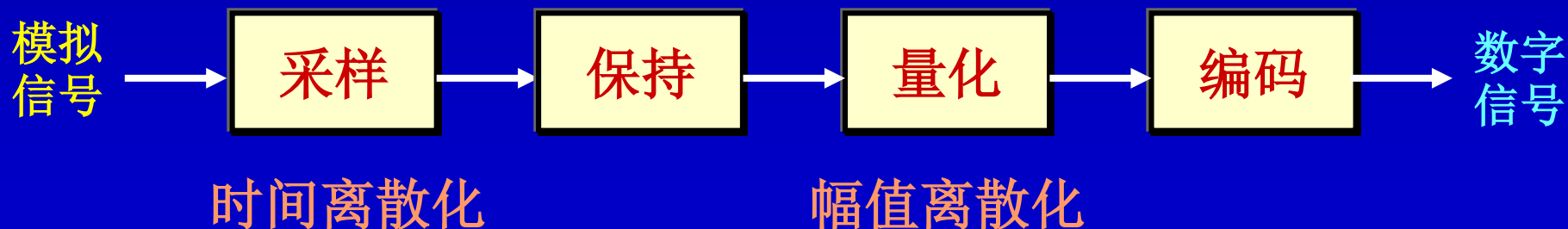
一、A/D 转换的基本原理

将输入的模拟信号转换成与之成**正比**的数字信号。

模拟信号：时间、幅值上都**连续**

数字信号：时间、幅值上都**离散**

A/D 转换的一般过程

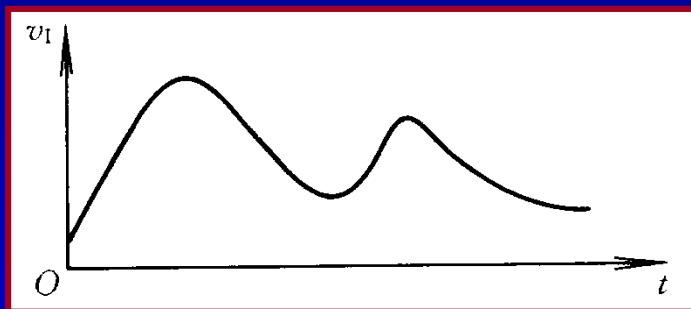


第三节 A/D 转换器

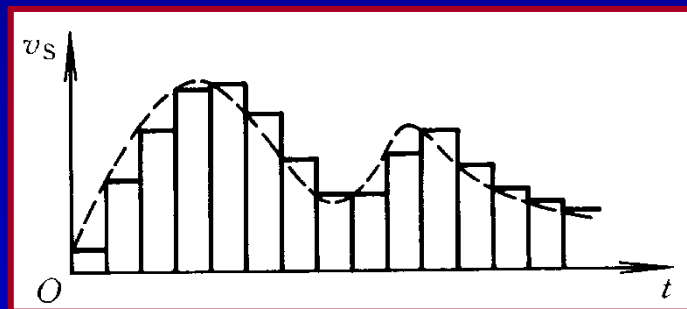
1、采样和保持

在时间上离散化

将时间连续的模拟信号转换为时间离散的模拟信号。



采样前



采样后

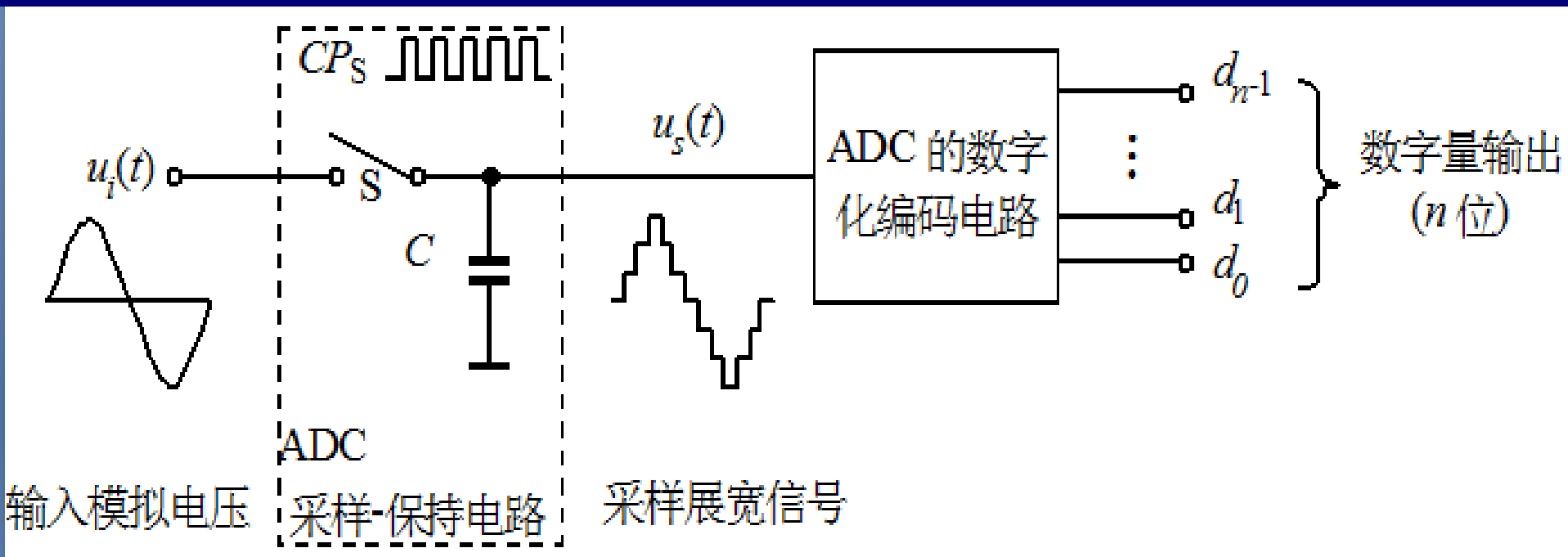
采样保持后得到一系列等距、不等幅的脉冲。

第三节 A/D 转换器

2、量化和编码

在幅值上离散化

- ◆ 量化：将采样电压表示为最小数量单位（ Δ ）的整数倍；
- ◆ 编码：将量化的结果用代码表示；



第三节 A/D 转换器

二、A/D 转换器的分类

1、直接型

将模拟量直接转换成数字量输出。

特点：速度快。

类型：并行比较型；逐次逼近型

2、间接型

将采样后的模拟量先转换成一个中间量（t或f），再将中间量转换成数字量。

特点：精度高、抗干扰性强，但速度慢。

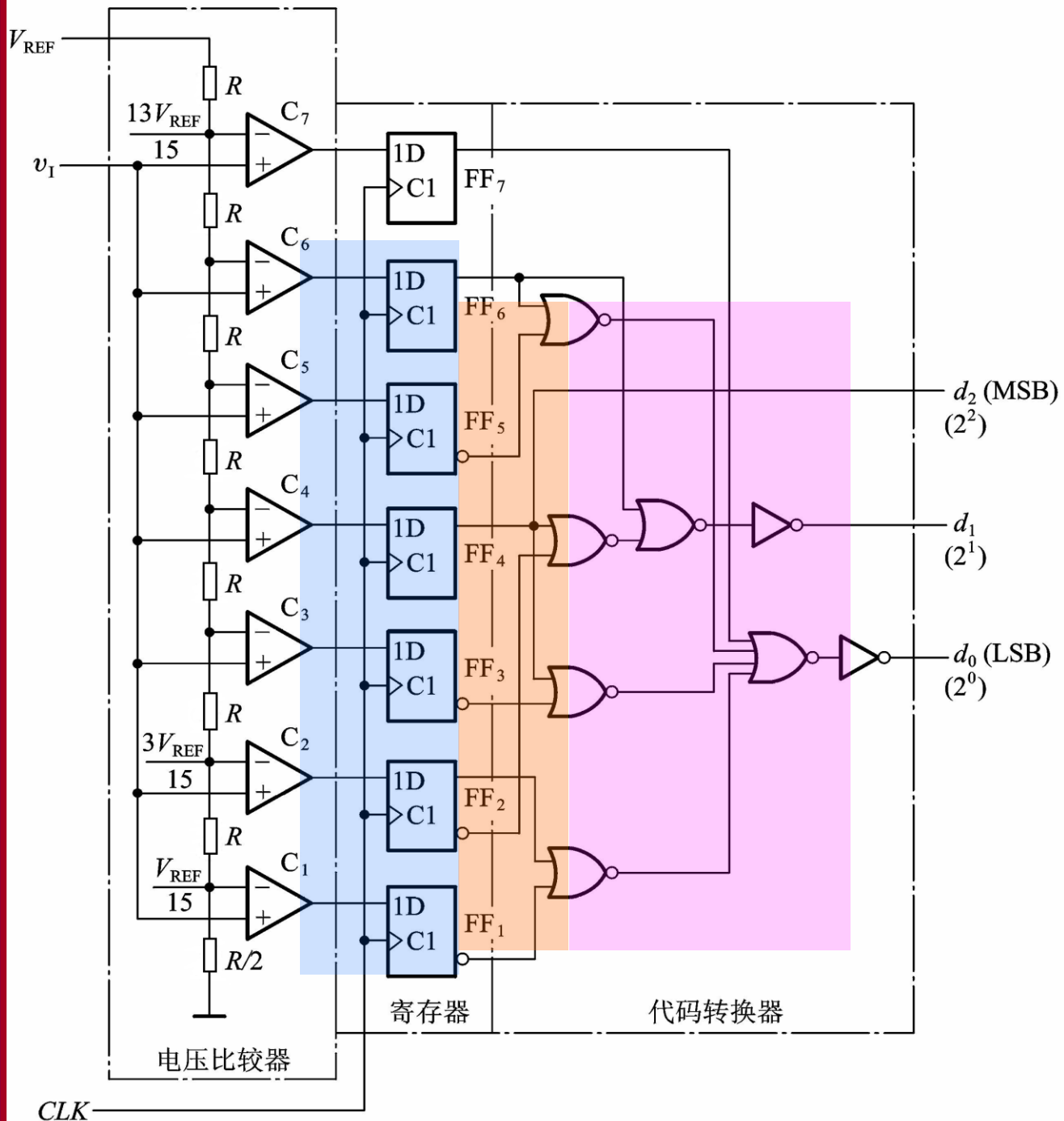
类型：双积分型；V/F转换型

三、主要电路形式

1、并行比较型 *A/D* 转换器

特点:

- 直接型
- 速度快
- 精度低



第三节 A/D 转换器

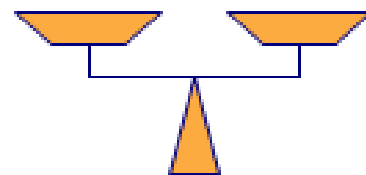
2、逐次渐近型A/D 转换器

直接型A/D，转换过程类似于称体重。

转换过程类似于天平称重的过程

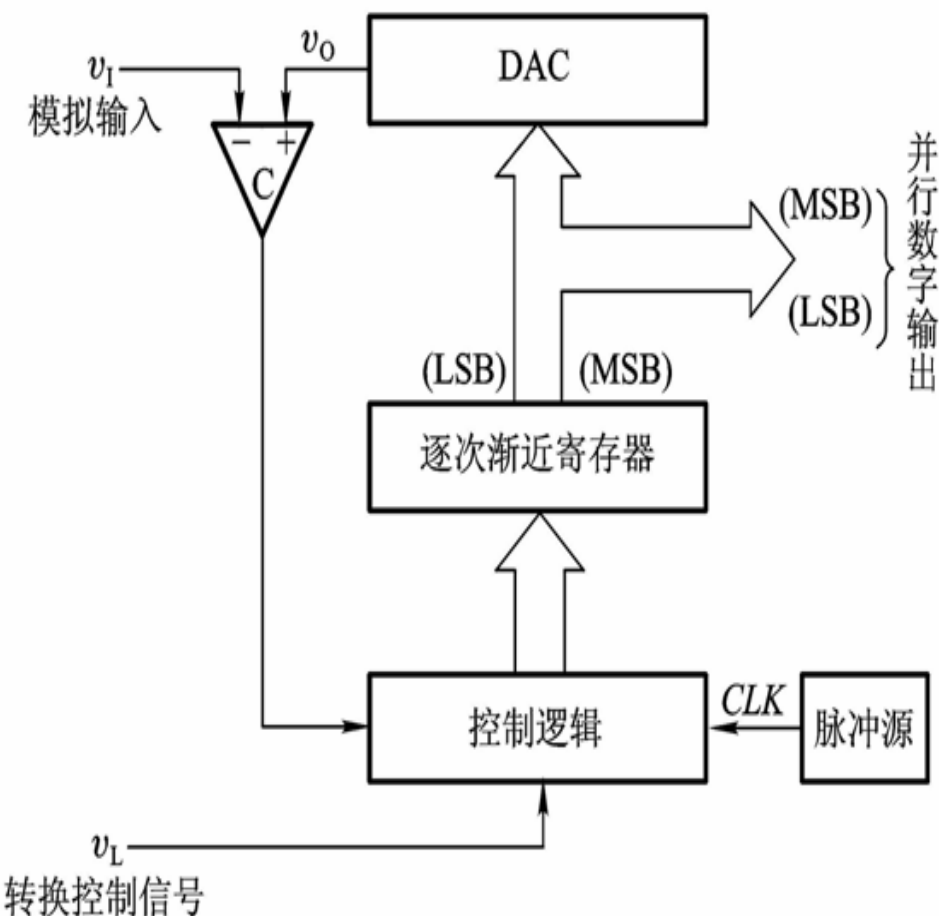
设有8g、4g、2g、1g四种砝码，被称重物为13g。

次数	砝码重量	比较判别	保留或除去该砝码
1	8g	$8g < 13g$	保留
2	8g+4g	$12g < 13g$	保留
3	8g+4g+2g	$14g > 13g$	去除
4	8g+4g+1g	$13g = 13g$	保留



第三节 A/D 转换器

基本原理：用试凑法确定逐次渐近寄存器的每一位。



先将最高位置1，比较 v_I 与DAC输出电压 v_O 的大小：

- ◆ 若 $v_I \geq v_O$ ，则保留1；
- ◆ 若 $v_I < v_O$ ，则改为0；

再将次高位置1...

第三节 A/D 转换器

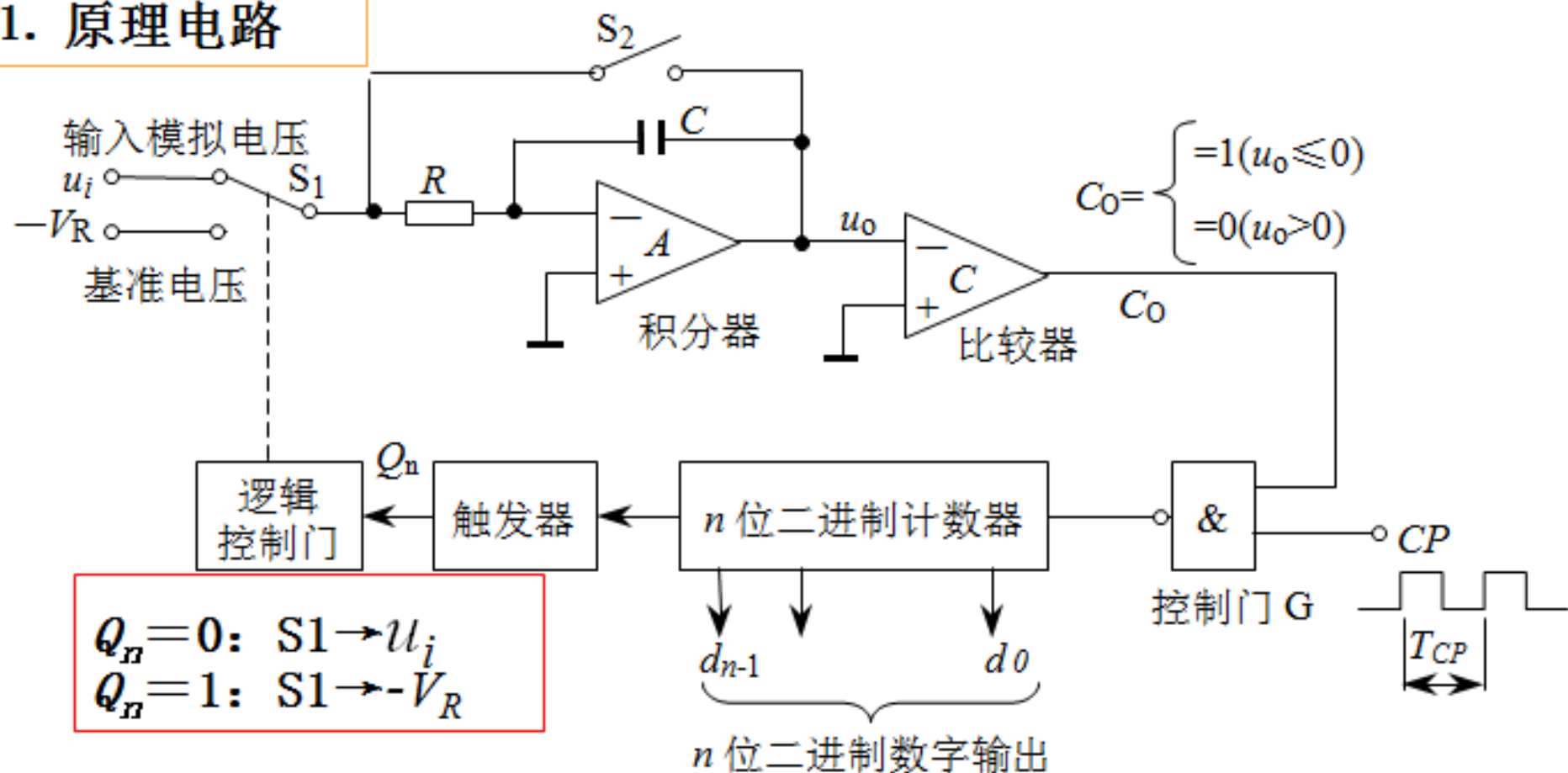
3、双积分型A/D转换器

间接型 A/D

- ◆ 将模拟电压转换成与之成正比的时间量 T ;
- ◆ 在时间 T 内对固定频率的时钟脉冲计数。

三、双积分型ADC

1. 原理电路



积分器: { 对 u_i : 定时积分。积分时间 T_1 , 为计数器由全0计到全1所需的时间。
对 V_R : 定值积分。积分时间 T_2 , 为 U_o 由反向积分到0所需的时间。

(1) 将输入的模拟电压 v_I 转换成与之成正比的 **时间量** T ;

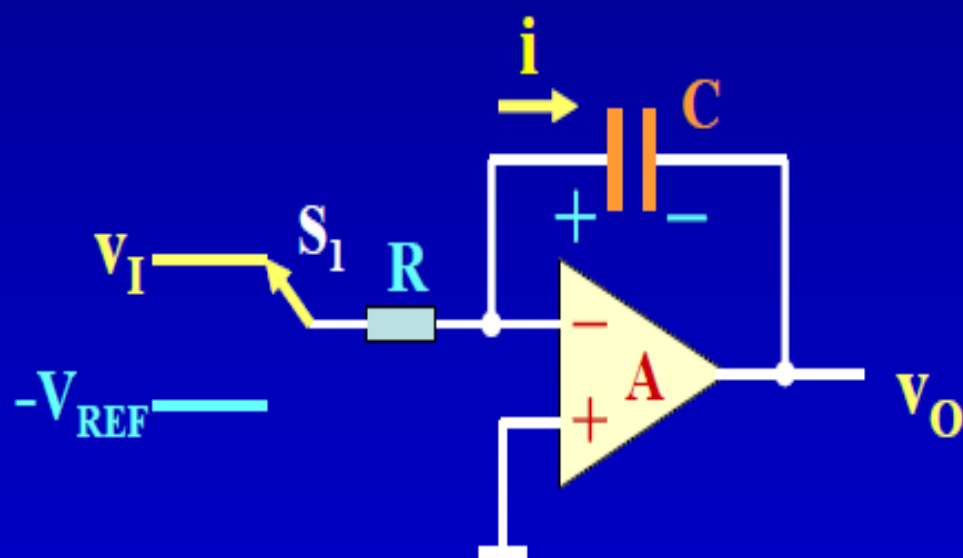
A、定时积分

将开关 S_1 接至 v_I 侧，积分器对 v_I 进行 **固定时间** T_1 的积分，积分结束时，积分器的输出电压 v_O 为：

$$v_O = -\frac{1}{C} \int_0^{T_1} i \, dt$$

$$= -\frac{1}{C} \int_0^{T_1} \left[\frac{v_I}{R} \right] dt$$

$$= -\frac{T_1}{RC} v_I$$



B、反向积分

将开关 S_1 接至 $-V_{REF}$ 侧，积分器对基准电压进行反向积分，经积分时间 T_2 ，积分器输出电压 v_O 为0。

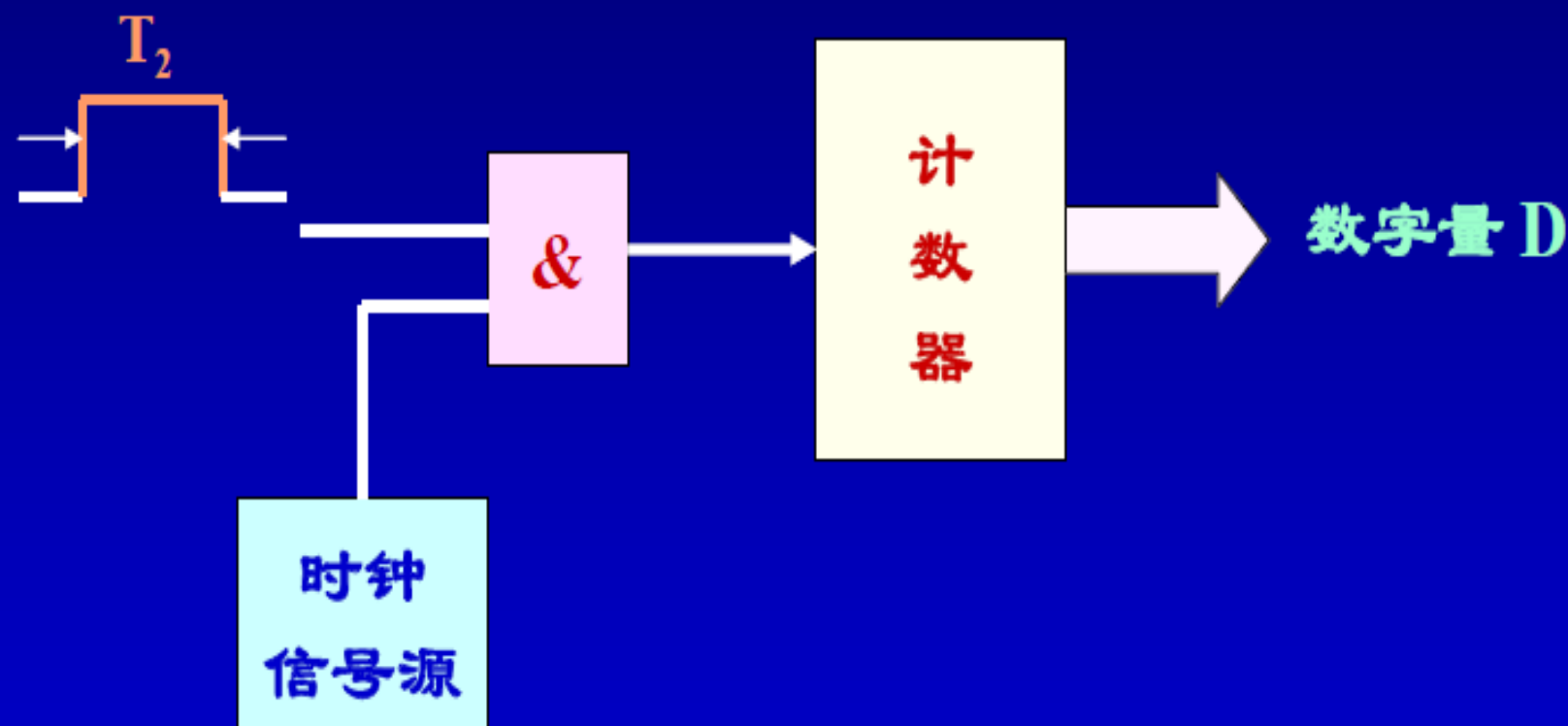
$$v_O = -\frac{T_1}{RC} v_I + \frac{1}{C} \int_0^{T_2} \frac{V_{REF}}{R} dt$$

$$= -\frac{T_1}{RC} v_I + \frac{V_{REF}}{RC} T_2 = 0$$

$$T_2 = \frac{T_1}{V_{REF}} v_I$$

反向积分时间 T_2 与输入模拟电压 v_I 成正比

(2) 在时间 T_2 内对固定频率的时钟脉冲计数，计数的结果就是一个与 v_I 成正比的数字量。



\therefore 计数结果D与 T_2 成正比，与 v_I 也成正比。

第三节 A/D 转换器

四、A/D 转换器的主要技术指标

1、转换精度

用分辨率和转换误差描述转换精度。

◆ 分辨率以输出二进制数或十进制数的位数表示，说明A/D 转换器对输入信号的分辨能力，是理论上能到达的精度。

◆ 转换误差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间的差别。

第三节 A/D 转换器

2、转换速度

主要取决于电路结构类型，不同类型相差悬殊。

◆ 并行比较型： $< 50 \text{ ns}$

◆ 逐次渐近型： $10 \sim 100 \mu\text{s}$

◆ 双积分型： 数十~ 数百ms

本章重点

- D/A 转换和 A/D 转换的基本原理
- 典型 D/A 转换器的结构和特点
 - 权电阻网络型 D/A 转换器
 - 倒 T 形电阻网络型 D/A 转换器

本章重点

- 常见A/D 转换器的结构和特点
 - 并行比较型A/D 转换器
 - 逐次渐近型A/D 转换器
 - 双积分型A/D 转换器
- D/A 转换器和A/D 转换器的技术指标
 - 转换精度
 - 转换速度