

3.1 概述

- 对电压测量仪器的基本要求
- 常用的电压测量仪器
- 交流电压的表征
- 交流电压表征量之间的关系



3.1.1 对电压测量仪器的基本要求

1. 测量范围宽
2. 频率范围广
3. 测量精度高
4. 输入阻抗高
5. 抗干扰能力强
6. 准确测量各种信号波形

3.1.2 常用的电压测量仪器

1. 模拟式电压表

模拟式电压表是**指针式**的，最常见的是用**磁电式表头**作为指示器。

电子电压表

采用**磁电式表头**作为指示器，内部有由有源器件构成的放大检波电路，用于将被测交流电压变换成直流电压，并且能放大微弱的电压信号，提高灵敏度。

2. 数字式电压表 (DVM)

采用数字化测量技术，将模拟的被测电压通过模数转换器变换成离散的数字量，并采用十进制数字显示被测电压值。

根据A/D转换的方法不同，可分为：

- 非积分式数字电压表
- 积分式数字电压表
- 复合式数字电压表

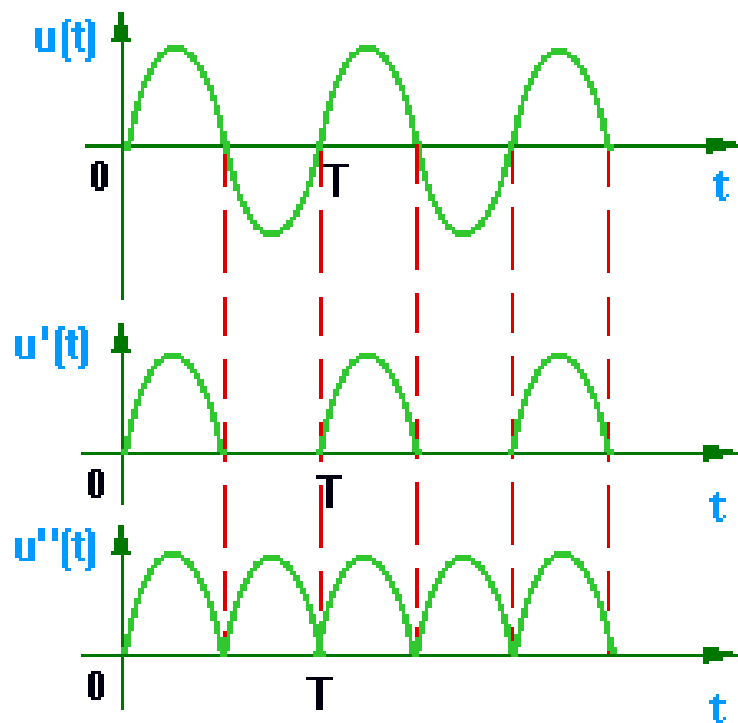
3.1.3 交流电压的表征

1. 平均值

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

按照这个定义，实质上就是周期性电压的直流分量 U_0 。

在电子测量中，平均值通常是指交流电压经**检波后的平均值**，又可分为半波平均值和全波平均值。



全波平均值定义：

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

注意：

如不另加说明，平均值一般是指**全波**平均值。

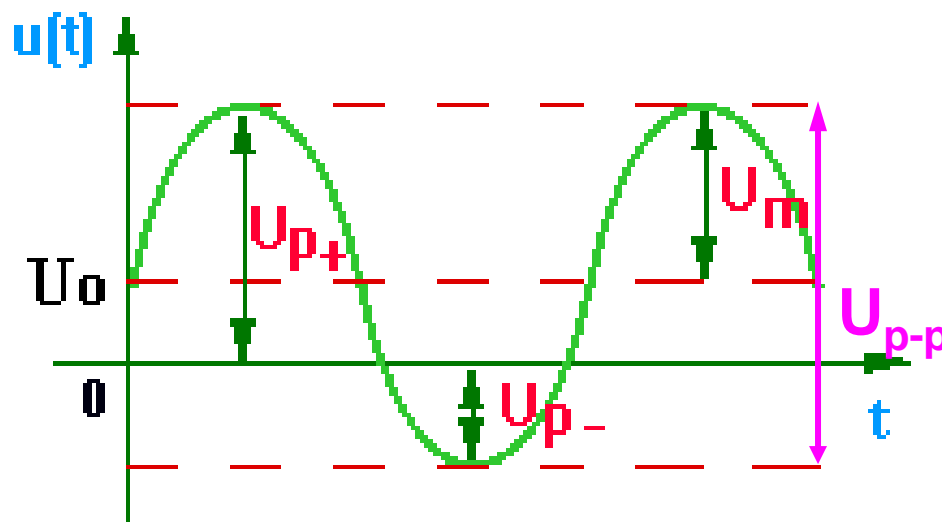
2. 有效值

在一个周期内，若交流电压通过某**纯电阻**负载产生的热量等于一个直流电压在同一个负载上产生的热量时，则该直流电压的数值就是交流电压的有效值。

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

有效值能**直接**反映交流信号能量的大小。
若无特别说明，**交流电压值均指有效值**。

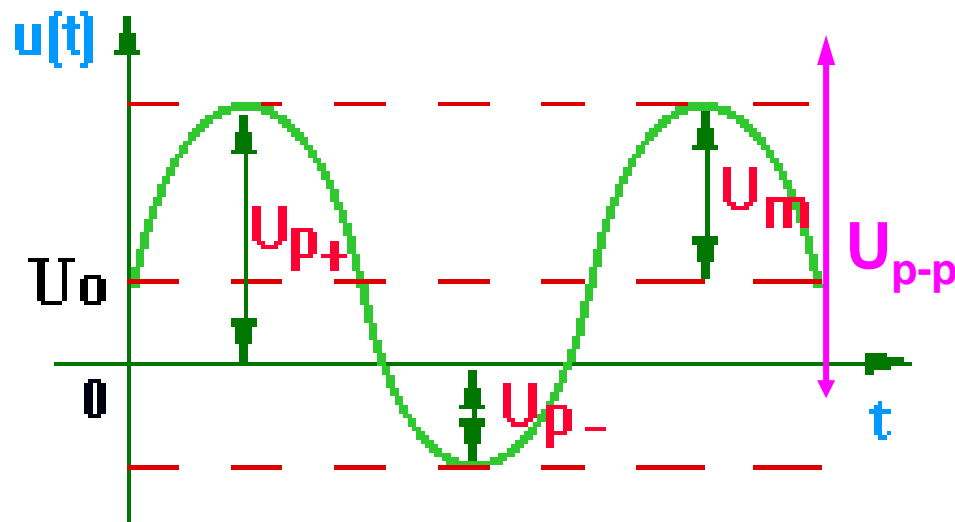
3. 峰值与幅值



峰值： 周期性交变电压在一个周期内偏离零电平的**最大值**。用 U_P 表示。

若正、负峰值不等时，分别用 U_{P+} 和 U_{P-} 来表示。

3. 峰值与幅值



幅值： 在一个周期内偏离直流分量 U_0 的最大值。

正、负幅值不等分别用 U_{m+} 和 U_{m-} 来表示。

3.1.4 交流电压表征量之间的关系

1. 有效值和平均值的关系

波形因数：

$$K_F = \frac{\text{有效值}}{\text{平均值}} = \frac{U}{\overline{U}}$$

信号的波形不同，波形因数也不同。

2. 有效值和峰值的关系

波峰因数：

$$K_P = \frac{\text{峰值}}{\text{有效值}} = \frac{U_P}{U}$$

信号的波形不同，波峰因数也不同。

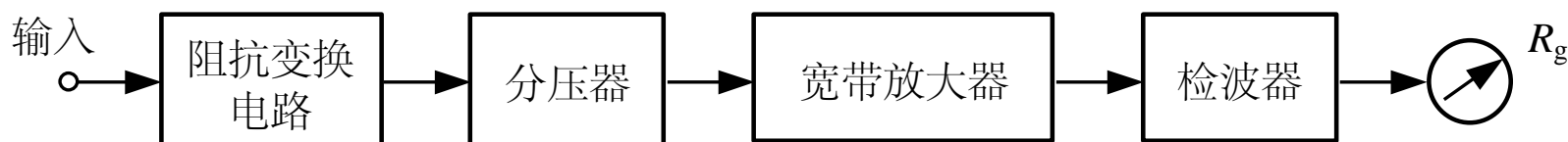
利用波形因数和波峰因数，交流电压的峰值、有效值和平均值可以相互进行转换。

3.3 电子电压表

- 电子电压表的结构
- 电子电压表的检波器
- 三种不同检波方式的电子电压表

3.3.1 电子电压表的结构

1. 放大-检波式电子电压表



**阻抗
变换电路**

提高电压表的输入阻抗

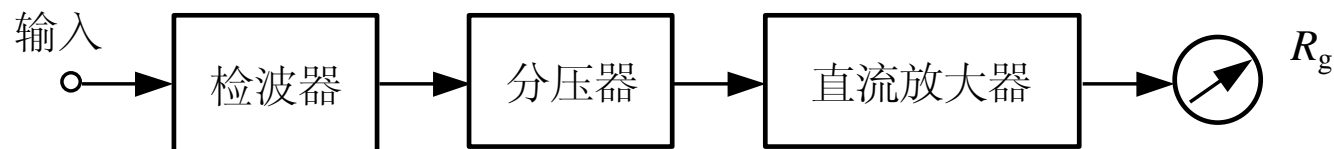
分压器

将被测高电压降为低电压

**宽带
放大器**

将微弱的被测电压放大

2. 检波-放大式电子电压表



直流放大器

桥式直流放大器



斩波式直流放大器

(直—交—直放大器)

3.3.2 电子电压表的检波器

常用的检波器主要有三种：

均值检波器

检波后的直流电流正比于输入交流电压的**平均值**。

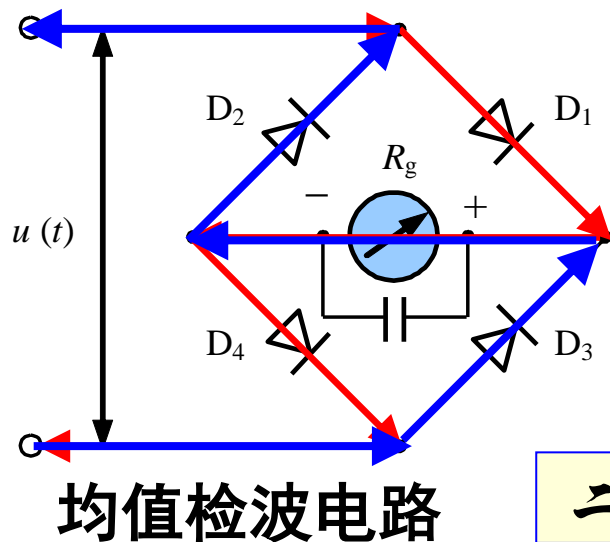
有效值检波器

检波后的直流电流正比于输入交流电压的**有效值**。

峰值检波器

检波后的直流电流正比于输入交流电压的**峰值**。

1. 均值检波器 (常用于放大-检波式电子电压表)



正半周通过表头的平均电流为

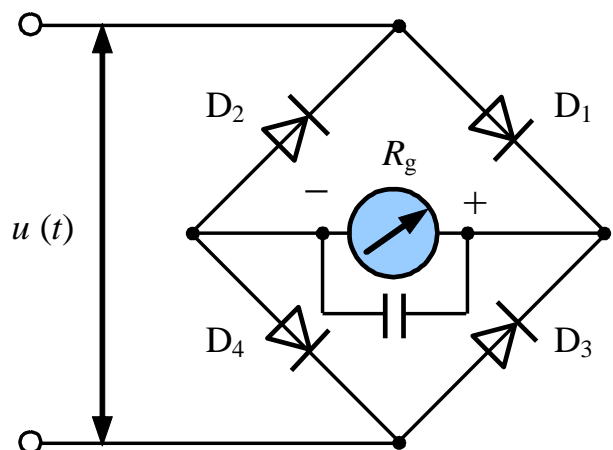
$$\bar{I}_{\text{正}} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{|u(t)|}{2R_d + R_g} dt = \frac{\bar{U}}{4R_d + 2R_g}$$

二极管的正向电阻

磁电式表
头内阻

负半周通过表头的平均电流为

$$\bar{I}_{\text{负}} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{|u(t)|}{2R_d + R_g} dt = \frac{\bar{U}}{4R_d + 2R_g}$$



均值检波电路

一个周期通过表头的平均电流为

$$\bar{I} = \bar{I}_{\text{正}} + \bar{I}_{\text{负}} = \frac{\bar{U}}{2R_d + R_g}$$

采用均值检波器进行检波，表头**指针的偏转大小**能反映输入电压平均值的大小，它与输入电压的**平均值**成正比关系。

2. 有效值检波器

(1) 平方律检波器（二极管平方律检波器）

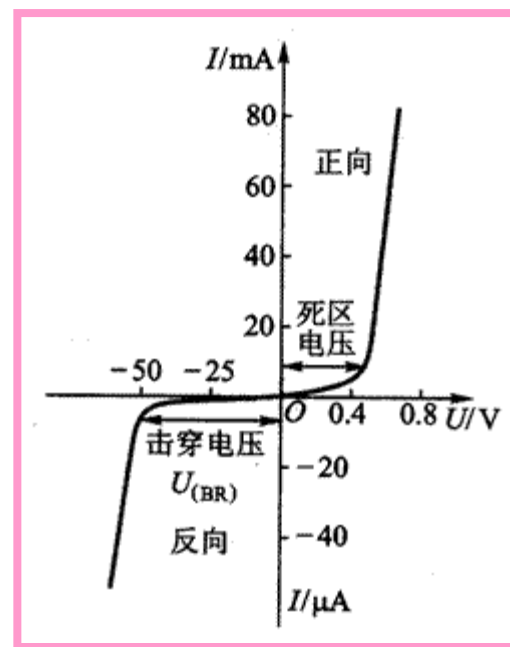
① 原理

在二极管正向特性的起始部分，具有近似的平方律关系。

② 刻度特性

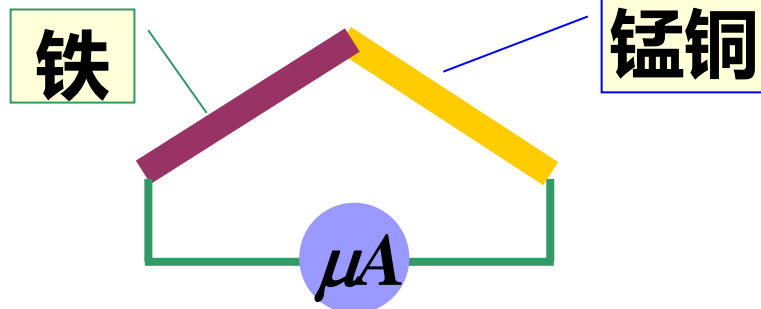
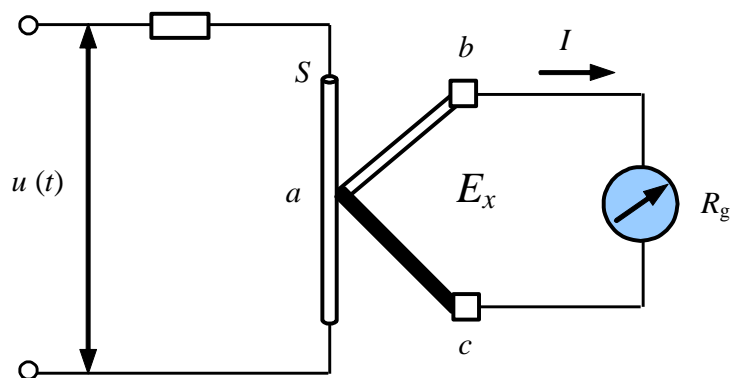
$$I = KU^2$$

有效值刻度，刻度呈非线性。



(2) 热电偶检波器

① 原理



$$E_x = KU^2$$

$$I = K'U^2$$

交流电

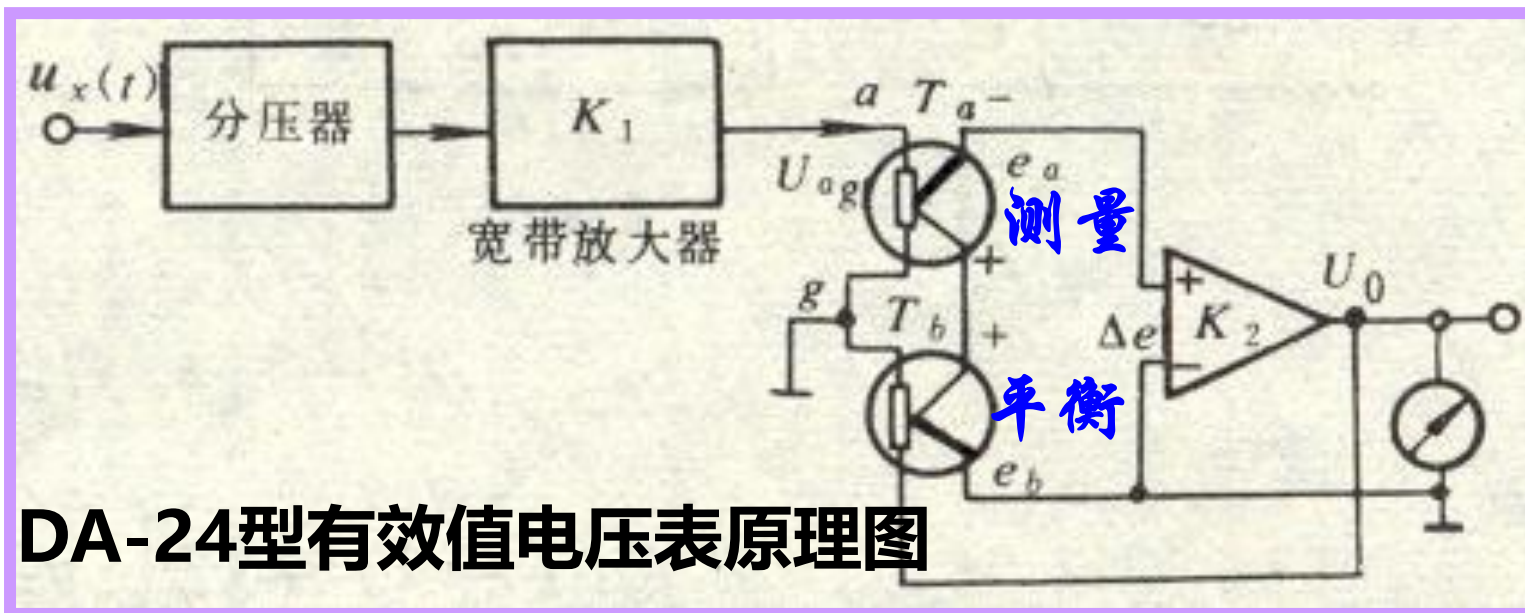


直流

② 刻度特性

这种热电变换是非线性的，故其刻度是
非线性，不均匀的。

(3) 线性刻度的热电偶有效值电压表



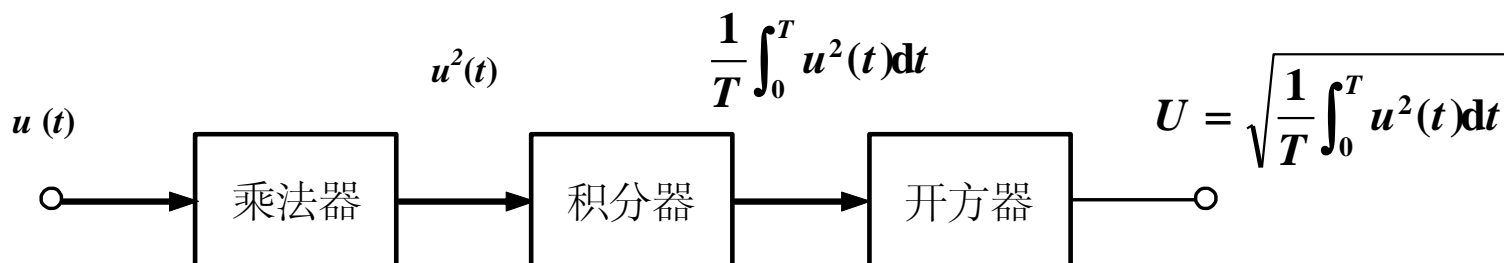
$$e_a = KU_x^2 \quad e_b = KU_0^2 \quad \Delta e = e_a - e_b$$

$$\Delta e \rightarrow 0 \quad e_a = e_b$$

$$U_0 = U_x$$

(3) 电子式真有效值转换器

利用模拟电路来实现真有效值电压测量。



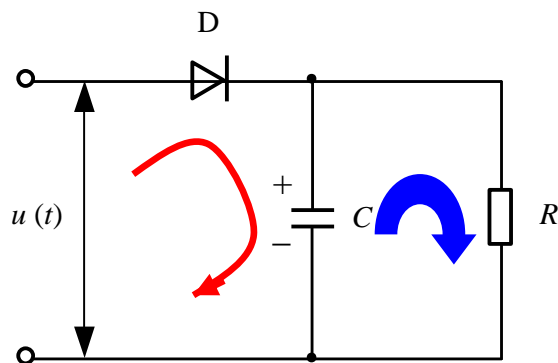
第一级是平方电路的模拟乘法器,输出为 $u^2(t)$;

第二级是RC组成的积分器,输出正比于 $\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt$;

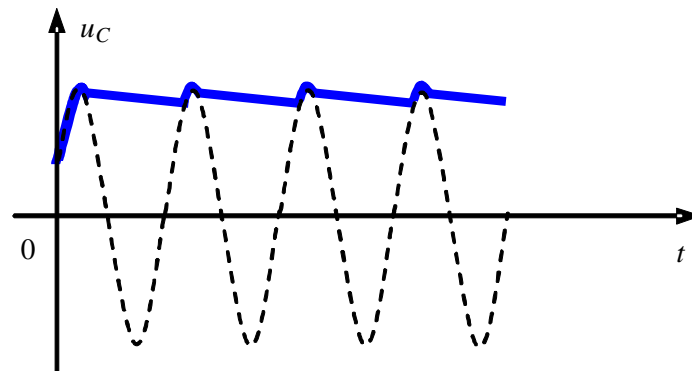
第三级是实现开方运算的电路,输出即为有效值。

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

3. 峰值检波器 (常用于检波-放大式电子电压表)



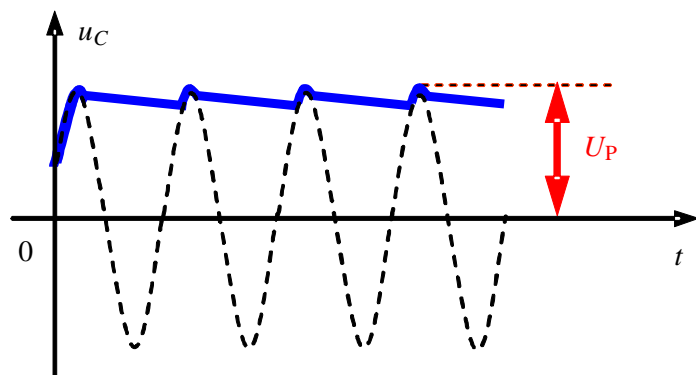
峰值检波电路



波形图

正半周，D导通，交流电压通过D对电容C充电，充电时间常数 $R_D C$ 小，C上的电压迅速上升到峰值 U_P 。

负半周，D截止，电容C通过电阻R放电，由于放电时间常数 RC 很大，因此电容上电压跌落很小。



波形图

检波器输出电压的平均值始终接近峰值 U_P 。

$$U_R = \overline{U}_c \approx U_P$$

要实现峰值检波，必须要求**充电快**而**放电慢**，即满足：

$$RC \gg T \gg R_D C$$

3.3.3 三种不同检波方式的电子电压表

1. 均值电压表

$$\alpha \propto \bar{U}$$

刻度

按正弦电压的有效值刻度。

$$\bar{U} = \frac{A}{K_{F\sim}} \approx 0.9A$$

读数

正弦信号：

$$A = U_{\sim}$$

$$\rightarrow \bar{U}_{\sim} = A / K_{F_{\sim}} = 0.9A$$

非正弦信号：

$$A \quad \Rightarrow \quad \bar{U} = A / K_{F_{\sim}}$$

$$\Rightarrow U = \bar{U} K_F$$

2. 有效值电压表

$$\alpha \propto U$$

刻度

按信号有效值刻度。

$$A = U$$

故不管是正弦电压信号还是非正弦电压信号，表头指针指示的读数就是信号的有效值。

3. 峰值电压表

$$\alpha \propto U_p$$

刻度

按正弦波的有效值刻度。

$$U_P = K_{P\sim} \cdot A = \sqrt{2}A$$

正弦信号：

$$A = U_{\sim}$$

$$\rightarrow U_{P_{\sim}} = AK_{P_{\sim}}$$

非正弦信号：

读数A无直接的物理意义

$$A \rightarrow U_P = AK_{P_{\sim}}$$

$$\rightarrow U = U_P / K_P$$



例3-1：用平均值电压表测三角波电压， $A=1V$ ，求三角波电压的有效值。

解：

$$\bar{U} = \frac{A}{K_{f\sim}} = \frac{1}{1.11} \approx 0.9 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U &= K_f \cdot \bar{U} \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \times 0.9 \\ &\approx 1.04 \text{ V} \end{aligned}$$

例3-2：用峰值电压表测三角波电压， $A=10V$ ，求峰值、有效值和平均值。

解：

$$U_P = \sqrt{2}A = 14.14 \text{ V}$$

$$U = \frac{U_p}{K_p} = \frac{14.14}{\sqrt{3}} \approx 8.17 \text{ V}$$

$$\bar{U} = \frac{U}{K_f} = \frac{8.17}{\frac{2}{\sqrt{3}}} \approx 7.07 \text{ V}$$

3.4 数字电压表

- 技术指标

- 直流数字电压表

3.4.1 技术指标

1. 精度

基本误差：

数字电压表在标准条件下的测量误差。

常用的两种基本误差表示方法：

$$\Delta U = \pm \alpha \% U_x \pm \beta \% U_m$$

被测电压值 该量程的满度值

$$\Delta U = \pm \alpha \% U_x \pm n \text{ 个字}$$

读数误差 满度误差



量程 100mV

1个字 = 0.01mV



量程 1V

1个字 = 0.0001V
= 0.1mV

例3-3 用4位DVM测量1.5V电压，分别用2V挡和200V挡测量。已知2V挡和200V挡的准确度均为 $\Delta U = \pm 0.03\% U_x \pm 1$ 个字，求两种情况下测量结果的标准不确定度各为多少？

解：(1) 用2V挡测量1.5V电压时，该数字电压表的最大允许误差为：

$$\Delta U_{x1} = \pm 0.03\% U_x \pm 1 \text{ 个字}$$

1.999V

$$= \pm 0.03\% \times 1.5 \pm 0.001 = \pm 0.00145V$$

数字电压表最大允许误差引入的B类标准不确定度为：

$$u_1(U_x) = \frac{|\Delta U_{x1}|}{\sqrt{3}} = \frac{0.00145}{\sqrt{3}} = 0.0009V$$

$$u_{1rel}(U_x) = \frac{u_1(U_x)}{U_x} = \frac{0.0009}{1.5} = 0.06\%$$

考虑被测量之值落在 $[U_x - |\Delta U_1|, U_x + |\Delta U_1|]$ 区间外的概率极小，则 $u_1(U_x)$ 的自由度为：

$$\nu_1 \rightarrow \infty$$

(2) 用200V挡测量1.5V电压时, 该数字电压表的最大允许误差为:

199.9V

$$\Delta U_{x2} = \pm 0.03\% U_x \pm 1 \text{ 个字}$$

$$= \pm 0.03\% \times 1.5 \pm 0.1 = \pm 0.10045V$$

最大允许误差引入的B类标准不确定度为:

$$u_2(U_x) = \frac{|\Delta U_{x2}|}{\sqrt{3}} = \frac{0.10045}{\sqrt{3}} = 0.06V$$

$$u_{2\text{rel}}(U_x) = \frac{u_2(U_x)}{U_x} = \frac{0.06}{1.5} = 4\%$$

$$u_2(U_x) \text{ 的自由度为: } \nu_2 \rightarrow \infty$$

$$u_1(U_x) = 0.0009V$$

$$u_{1rel}(U_x) = 0.06\%$$

$$u_2(U_x) = 0.06V$$

$$u_{2rel}(U_x) = 4\%$$

不同量程 “**个字**” 误差对测量结果的
影响不一样，测量时应选择**合适**的量程，使
被测电压数值尽量**接近于满量程**。

2. 测量范围

量程、显示位数、
超量程能力

(1) 量程

以**基本量程**（A/D转换器的电压范围）
为**基础**，借助于步进分压器和前置放大器向
两端**扩展**成多量程。

如DS-14型DVM有0.5V，5V，50V和500V
四个量程，5V为基本量程。

(2) 显示位数

DVM测量结果以多位十进制数直接进行显示。

能够显示 0~9 的十个数码的显示位。

DVM位数的整数位是指完整显示位的位数；

其分数位表示在首位还存在一非完整显示位，其中分子表示该位能显示的最大十进制数。

DVM的显示位数:

$3\frac{1}{2}$ 位

1999

$3\frac{1}{2}$ 位的数字电压表
(最大显示数字1999)



4位

9999

4位的数字电压表
(最大显示数字9999)



(3) 超量程能力 重要特性指标

超量程能力反映了数字电压表的
基本量程和最大显示值之间的关系。

若在基本量程挡，数字电压表的最大显示值大于其量程，则称该数字电压表具有超量程能力。

例3-4 (1) 基本量程为1V的4位DVM。

(2) 基本量程为1V的 $3\frac{1}{2}$ 位DVM。

(1) 最大显示为0.9999V,

没有超过量程,不具备超量程能力

(2) 最大显示为1.999V,

大于量程1V,具有超量程能力。

例3-5: 基本量程为2V的 $3\frac{1}{2}$ 位DVM。

最大显示1.999V,

没有超过量程,不具备超量程能力

3. 输入阻抗

直流DVM: $10\text{M}\Omega \sim 25\ 000\text{M}\Omega$

4. 分辨力

在**最小量程**时，数字电压表显示值**末位**跳变1个字所需的最小**输入**电压值。



例3-6 SX1842DVM, $4\frac{1}{2}$ 位, 最小量程20mV, 求分辨力。

最大显示为 **19.999mV**, 所以其分辨力为:

$$0.001\text{mV}=1\mu\text{V}$$

5. 测量速率

指每秒钟能完成的测量次数。测量速率的**快慢**主要取决于DVM所使用的**A/D**。

6. 抗干扰能力

(1) 串模抑制比

$$SMR = 20\lg \frac{U_{smp}}{\Delta U_{s\max}}$$

串模干扰电压

的峰值

一般直流数字
电压表 SMR 为
20~60dB, CMR

串模干扰所引起的为 20~60dB 差

(2) 共模抑制比

$$CMR = 20\lg \frac{U_{cmp}}{U_{smp}}$$

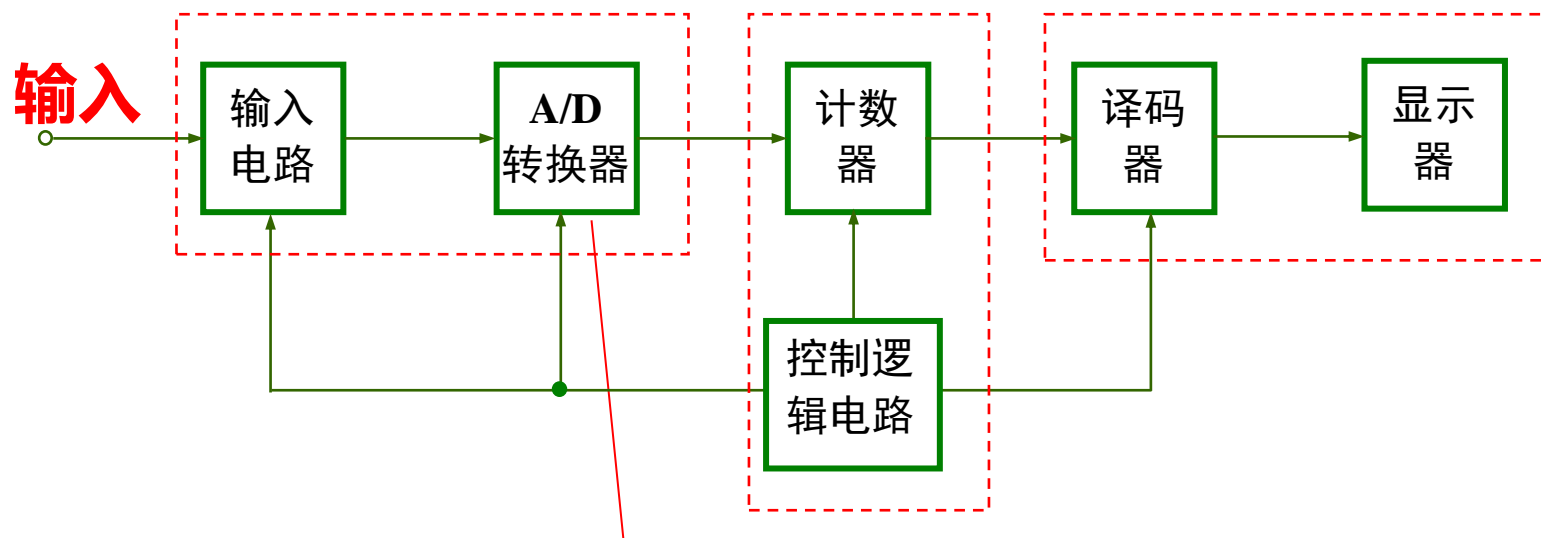
共模干扰电压的峰值

由共模干扰电压
 U_{cmp} 转化成的串模
干扰电压的峰值

3.4.2 直流数字电压表

1. 组成

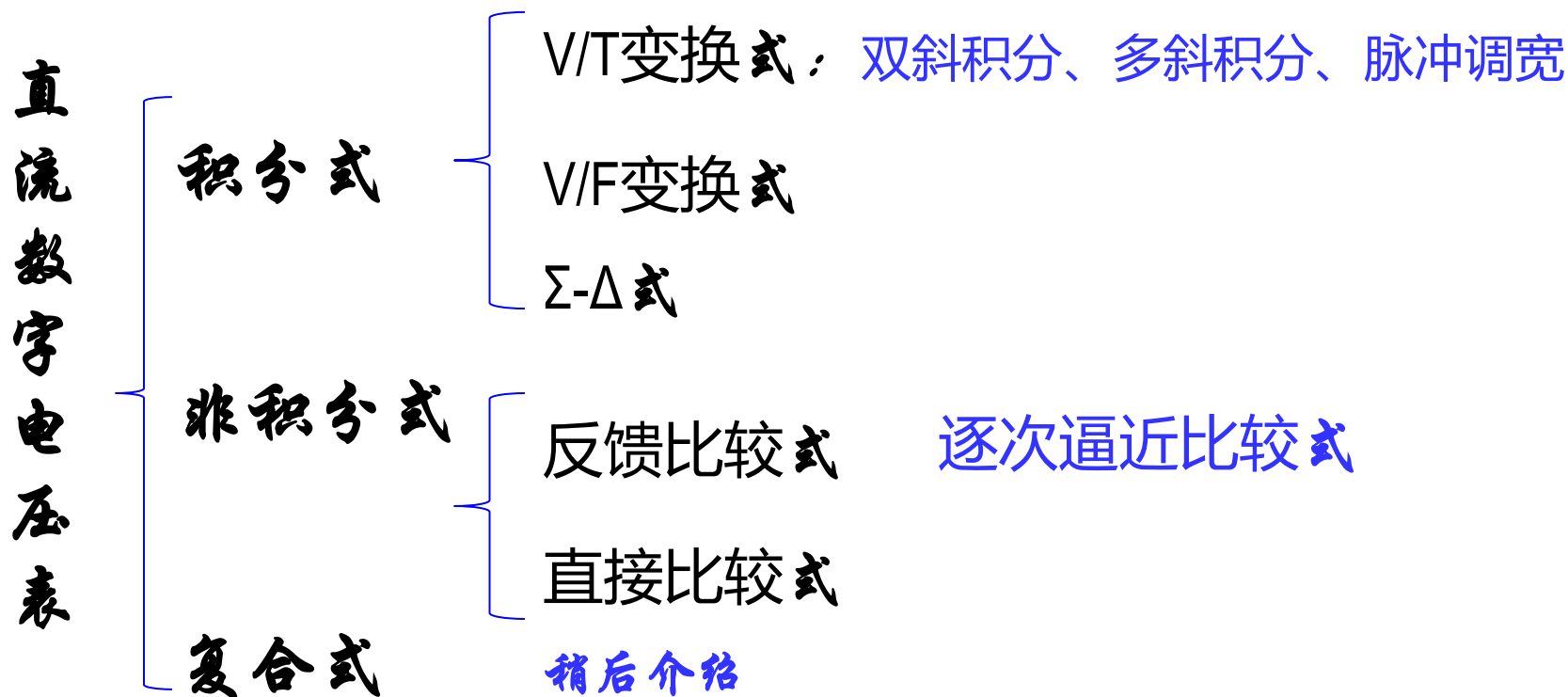
■ 模拟电路部分 ■ 数字电路部分 ■ 显示电路部分



数字电压表的核心

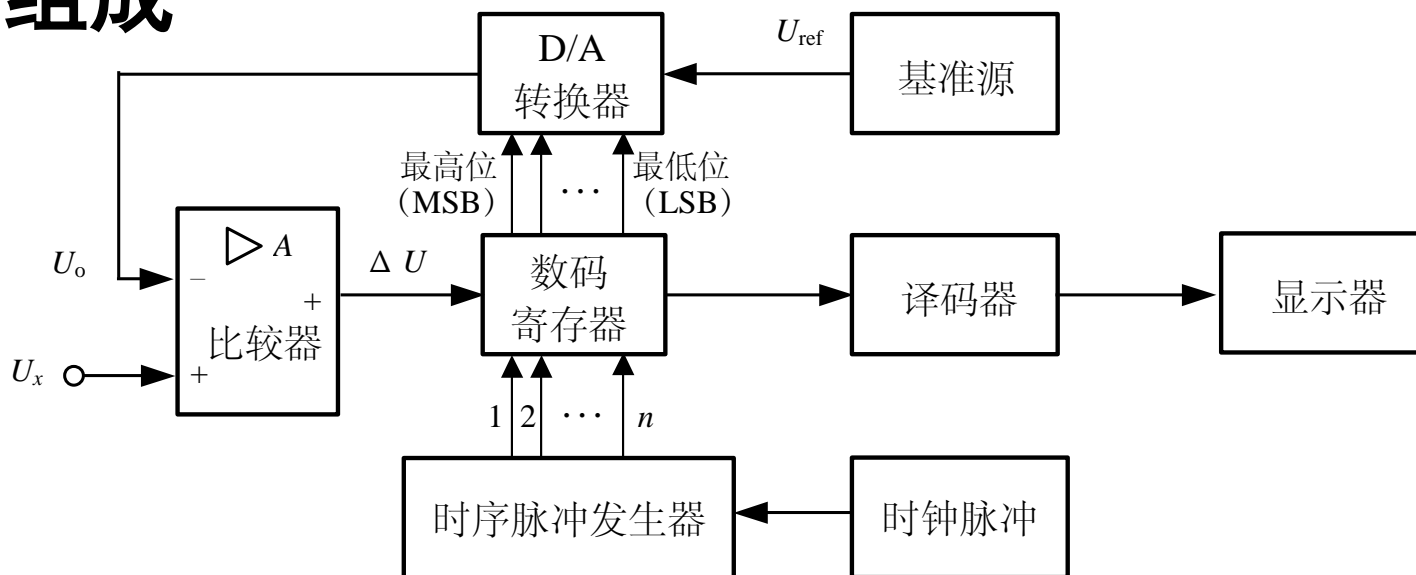
2. 分类

按A/D转换方法的不同来分类：



3. 逐次逼近比较式数字电压表

(1) 组成



■ D/A转换器

■ 数码寄存器

■ 比较环节

■ 译码器和

■ 控制环节

显示器

① D/A转换器

作用：将二进制的数字量转换成模拟量。

组成：

 基准电压源

 电阻解码网络

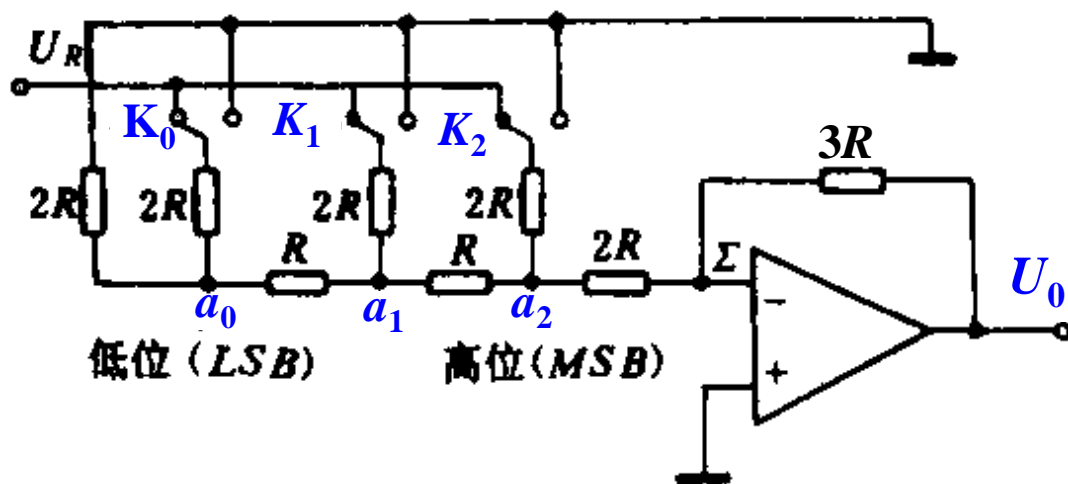
 求和放大器

T型网络

有权电阻网络

二—十进制电阻网络

具有T型网络的D/A转换器(3位)



当输入为二进制码 $a_2a_1a_0$ 时, 若某一位 $a_i=0$, 控制相应的开关 K_i 接地; 若某一位 $a_i=1$, 控制相应的开关 K_i 接基准电压 U_R 。

输出电压:
$$U_0 = \frac{U_R}{2^3} \sum_{i=0}^2 a_i \cdot 2^i$$
 ($a_i=1$ 或 $a_i=0$)

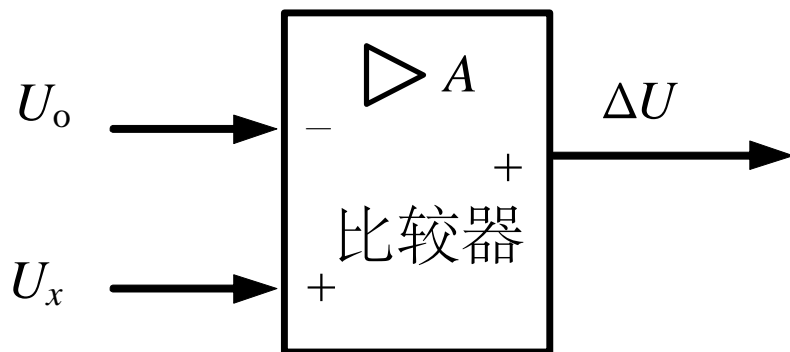
当输入为二进制码 $a_{n-1}a_{n-2} \dots a_1a_0$ 时, 若某一位 $a_i=0$, 控制相应的开关 K_i 接地; 若某一位 $a_i=1$, 控制相应的开关 K_i 接基准电压 U_{ref} , 则输出电压为

$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i \quad (a_i=1 \text{ 或 } a_i=0)$$

例3-7: 某8位的D/A转换器, 若基准电压为2.56V, 当输入二进制码为10010010时, 则该D/A转换器的输出电压为

$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i = \frac{2.56}{2^8} \times (1 \times 2^7 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^1) = 1.46V$$

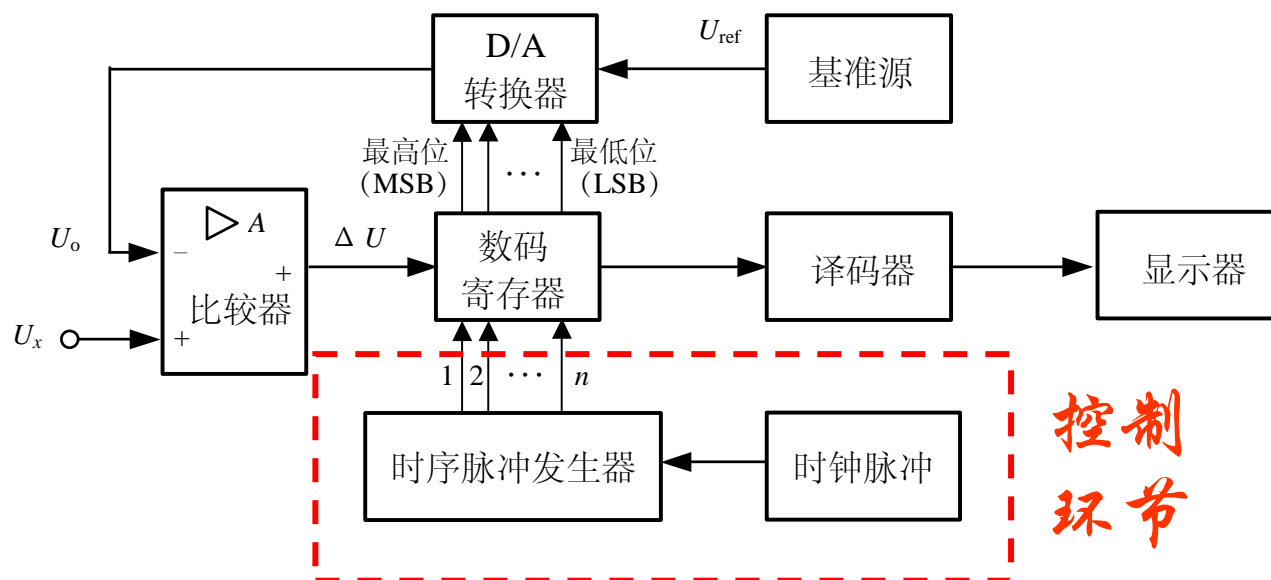
② 比较环节



采用高灵敏度的
差值放大器，完成
输入端两电压(被测
电压和步进砷码电
压)的比较运算。

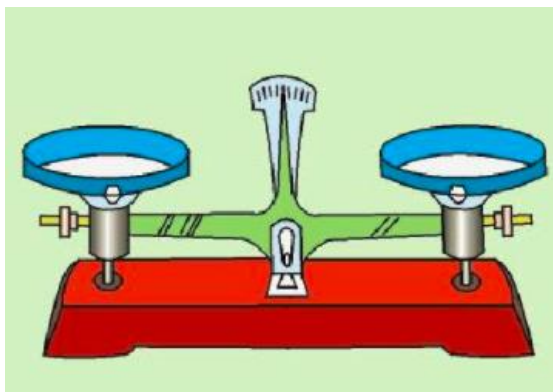
若被测电压 $U_x > U_0$ ，则差值电压 $\Delta U = U_x - U_0$ 为**正**，输出**高**电平；反之， ΔU 为**负**，输出**低**电平。

③ 控制环节



由许多逻辑部件和控制电路组成。
该环节决定整个仪表的逻辑程序和测量速度。

(2) 工作原理

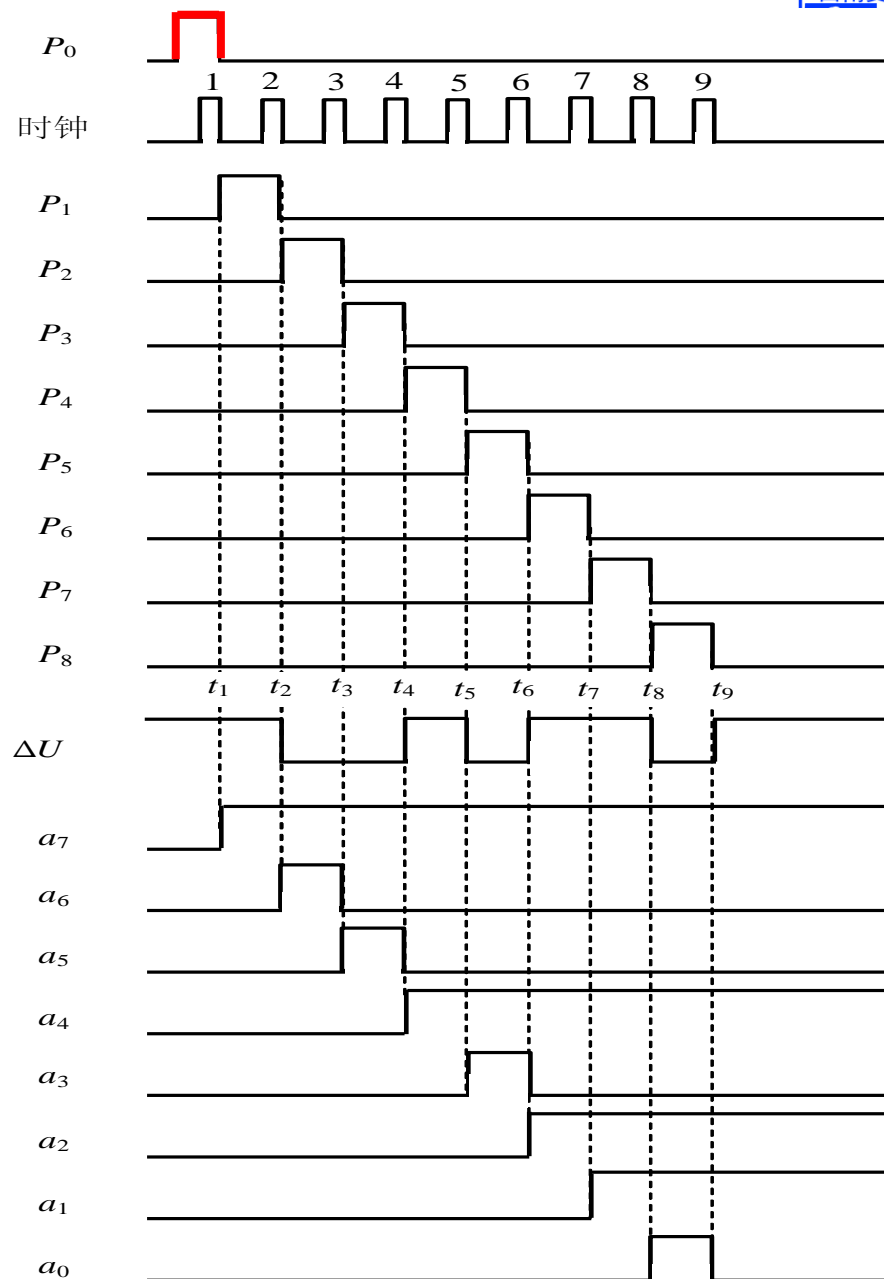


类似于天平称量过程，利用增减标准电压的方法实现与被测电压 U_x 相平衡，从而使得 U_0 逐次逼近 U_x 。

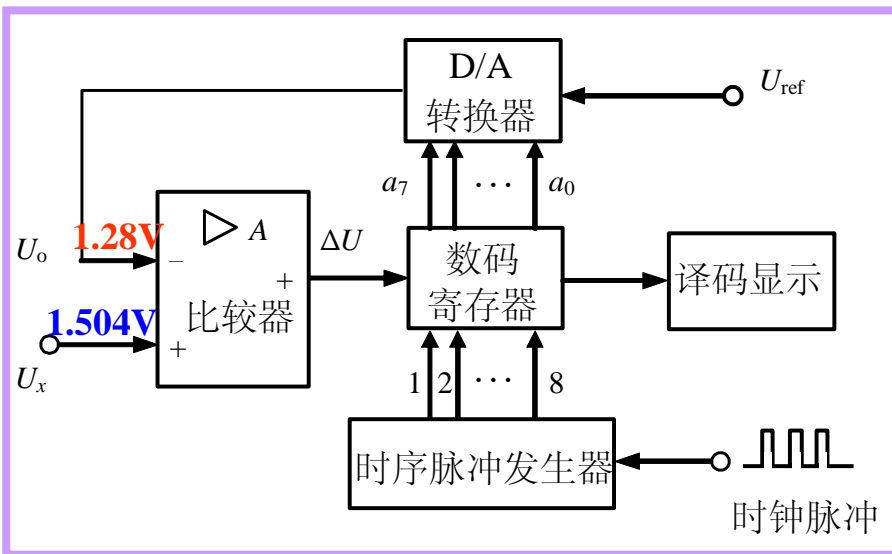
工作过程

设DVM采用8位的D/A转换器，基准电压 $U_{\text{ref}}=2.56\text{V}$ ，被测电压 U_x 为 1.504V 。

① 启动脉冲 P_0 作用，使A/D转换过程开始。在时钟脉冲作用下，时序脉冲发生器输出8个时序脉冲 P_1 、 P_2 P_8 。

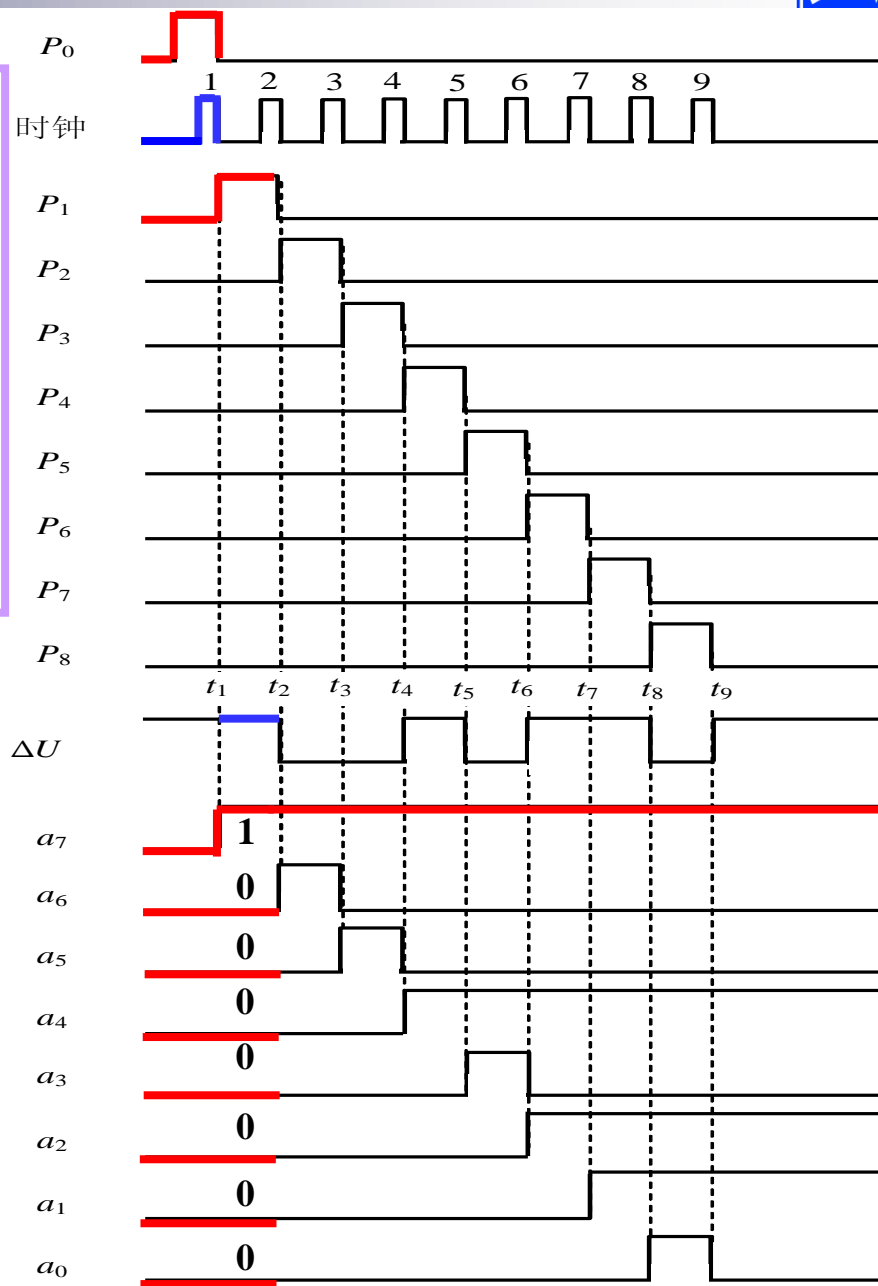


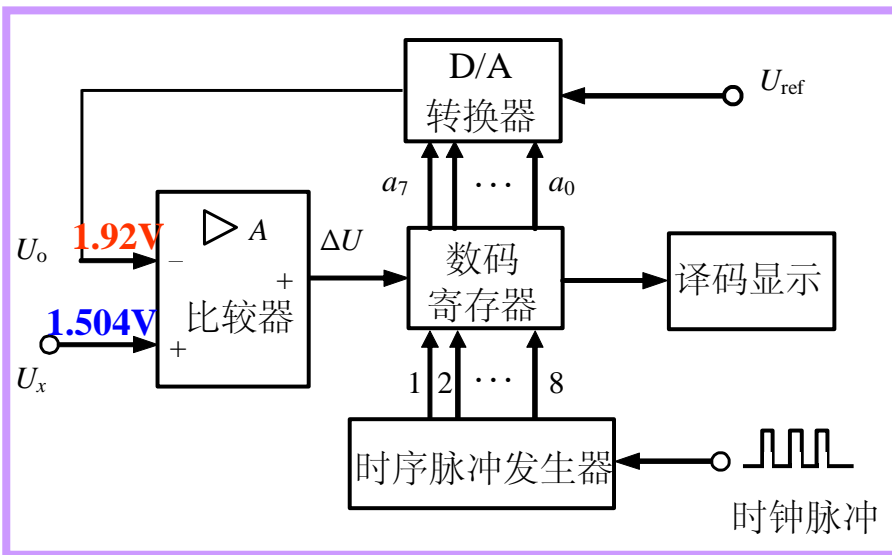
工作原理图



$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2} = 1.28V$$

$U_0 < U_x$ (1.504V), 比较器输出 ΔU 为高电平, 使数码寄存器的最高位输出 a_7 保持为1。

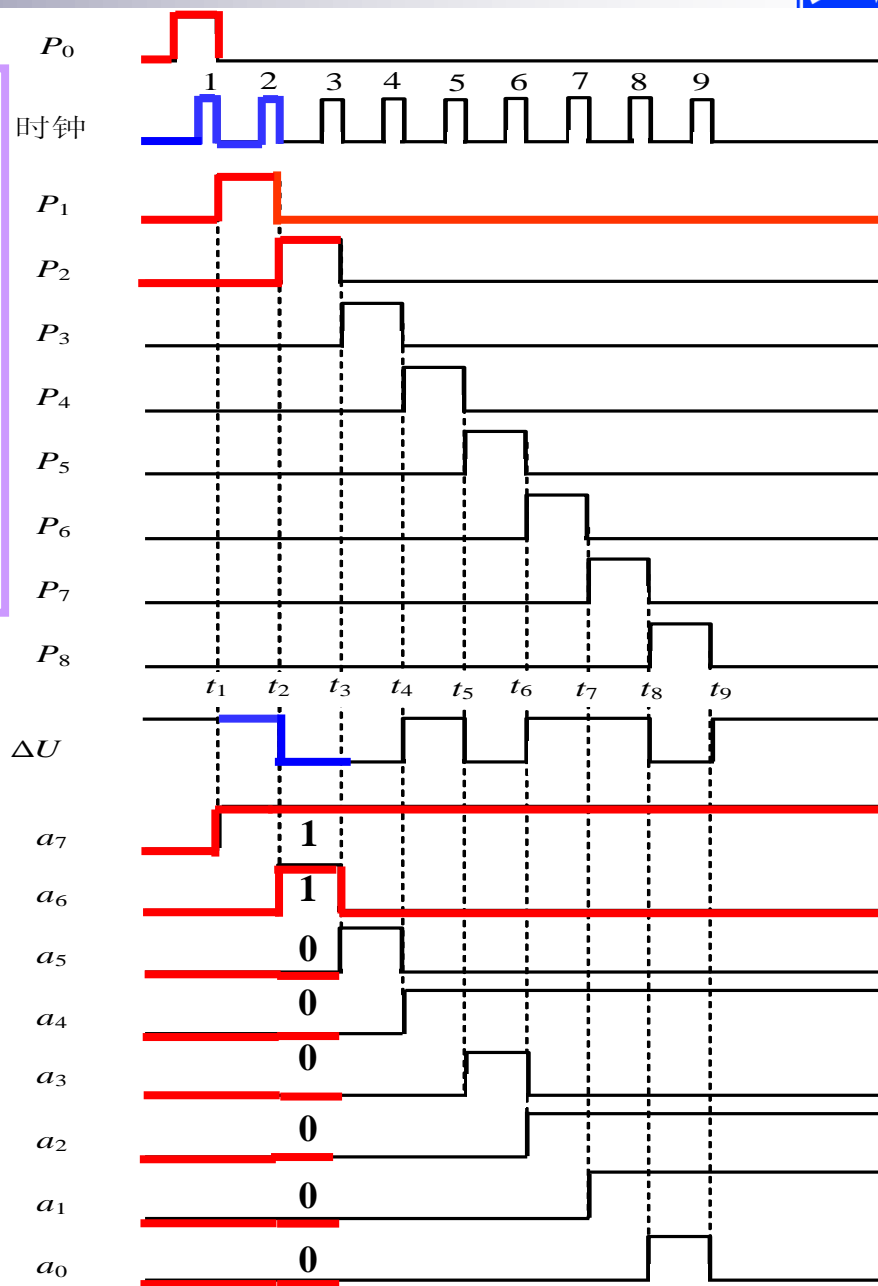




对D/A的输出电压。

$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2} + \frac{U_{ref}}{4} = 1.92V$$

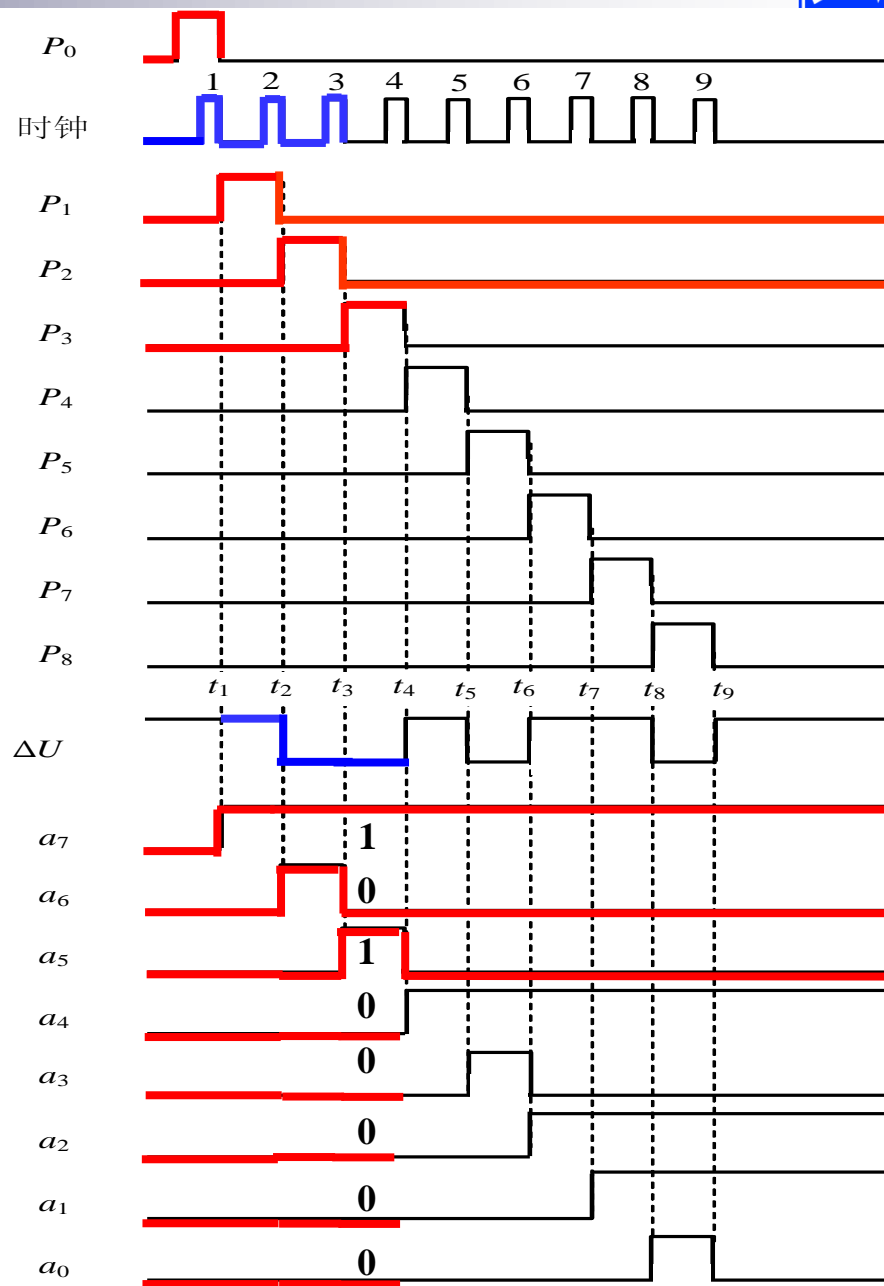
因为 $U_0 > U_x$ (1.504V), 比较器输出 $\Delta U < 0$ (低电平), 使寄存器的输出 a_6 返回到0。



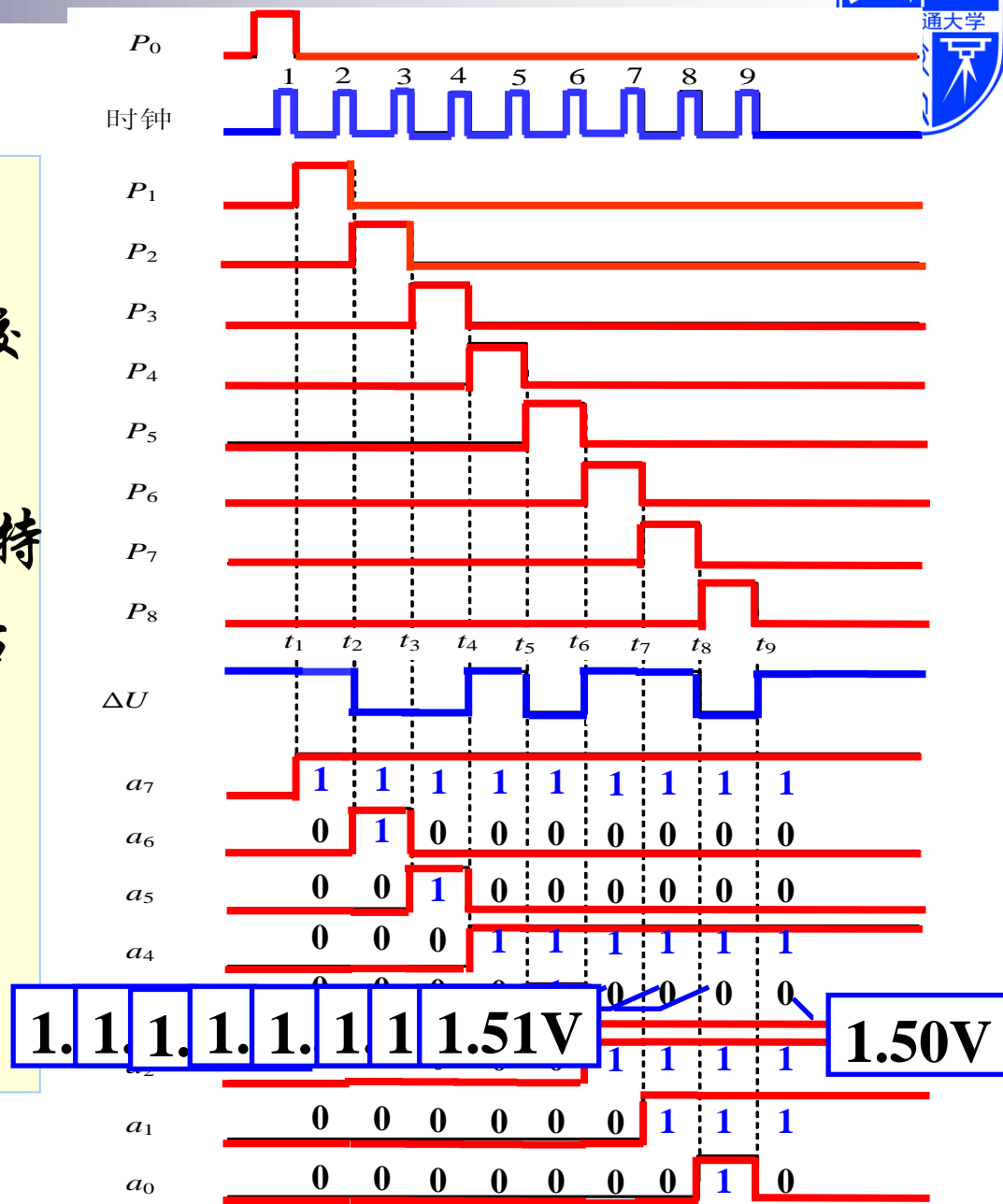
(4) 第三个时钟脉冲来到时, P_2 变为低电平, P_3 变为高电平, 数码寄存器的输出为10100000, 则D/A的输出电压:

$$U_0 = \frac{U_{ref}}{2} + \frac{U_{ref}}{8} = 1.60V$$

因为 $U_0 > U_x (1.504V)$, 比较器输出 $\Delta U < 0$ (低电平), 使寄存器的输出 a_5 返回到0。



在各时序脉冲 P_j 作用下，逐位使 a_i 置**1**，由比较器对 U_0 与 U_x 进行比较的结果，决定 a_i 是一直保持为**1**还是返回为**0**。最后得到输入电压**1.504V**的A/D转换的二进制结果为**10010110**，相应的十进制电压为**1.50V**。



(3) 特点

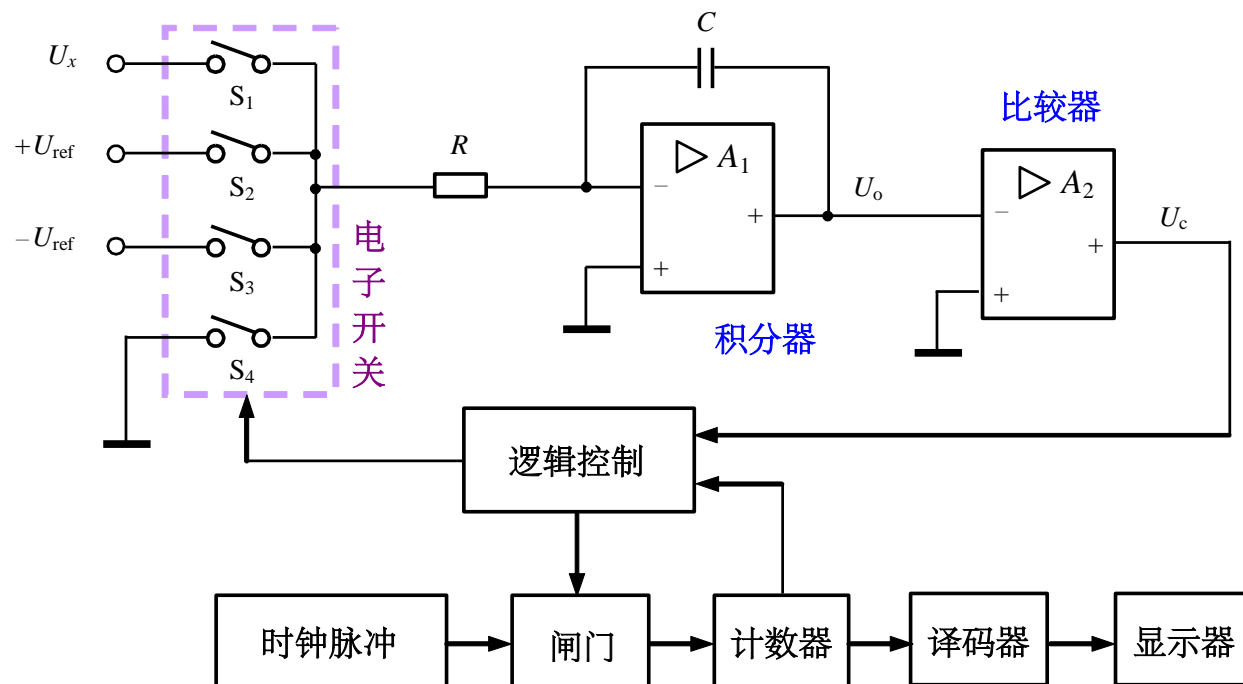
测量精度高(与基准电压、D/A转换器以及比较器的漂移有关);

测量速度快(与输出数字量的位数及时钟频率有关, 而与被测电压的大小无关);

抗干扰性差。

4. 双斜积分式数字电压表

(1) 组成



双斜积分式数字电压表的组成示意图

电子开关

积分器

比较器

逻辑控制

闸门

计数器

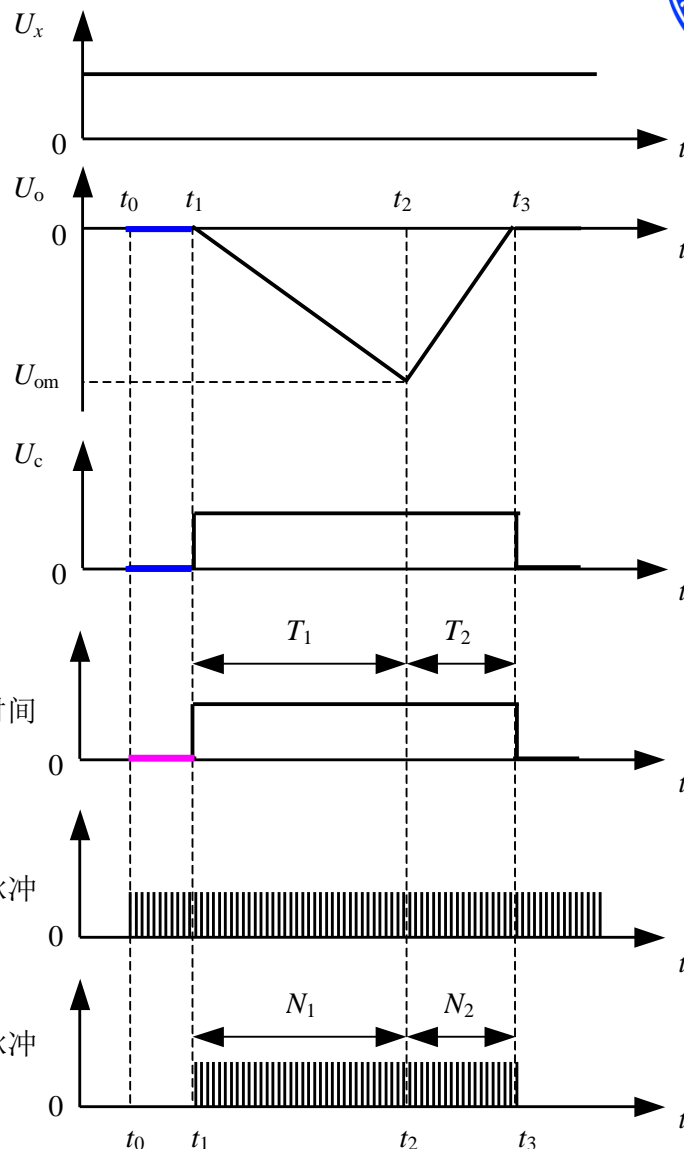
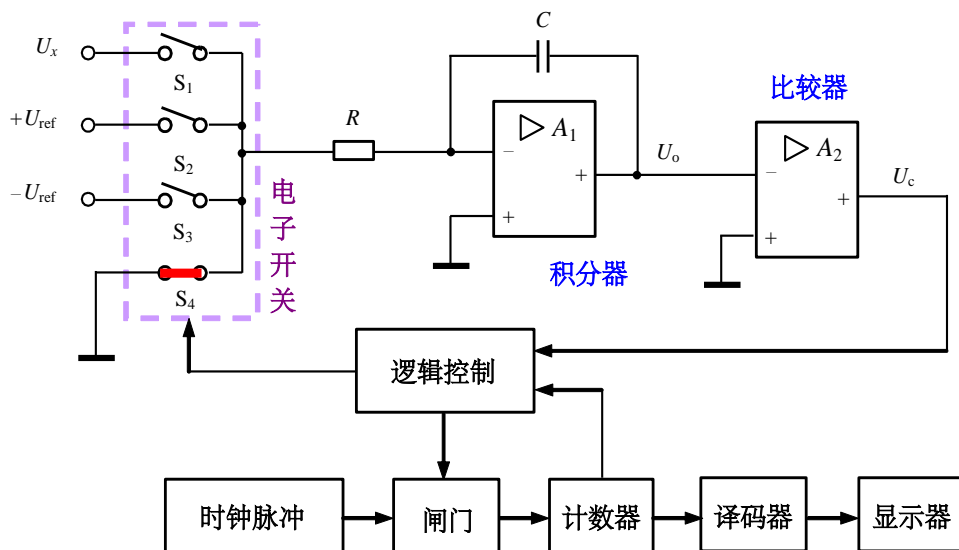
译码器

显示器

(2) 工作过程

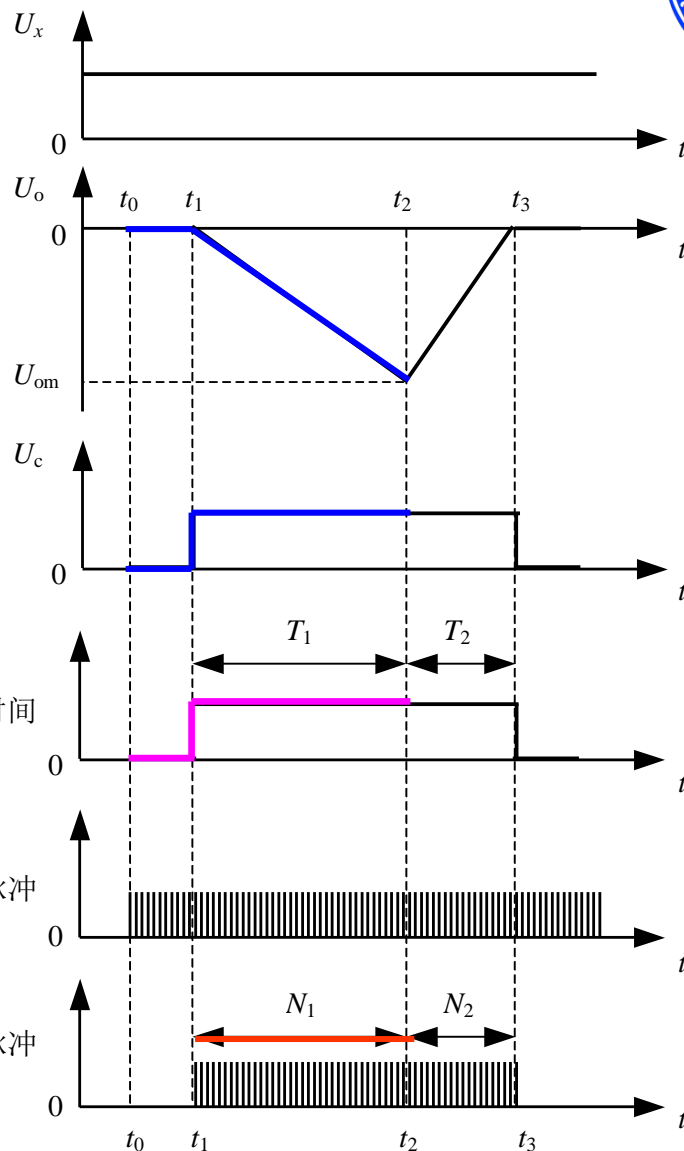
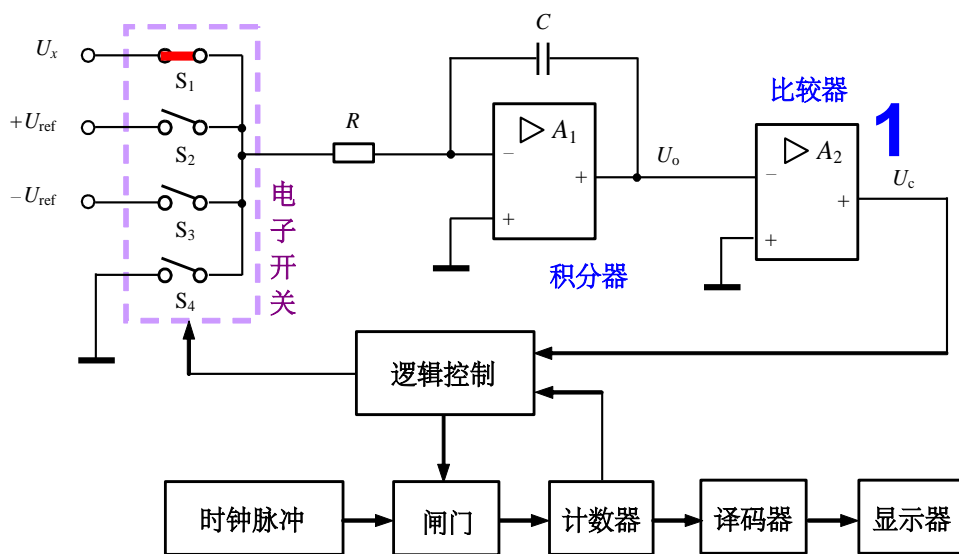
① 准备阶段 ($t_0 \sim t_1$)

S_4 接通, $S_1 \sim S_3$ 断开, 积分器输入、输出为零, 比较器输出低电平“0”, 闸门关闭, 计数器处于零初始计数状态。为测量作好准备。



② 采样阶段 ($t_1 \sim t_2$)

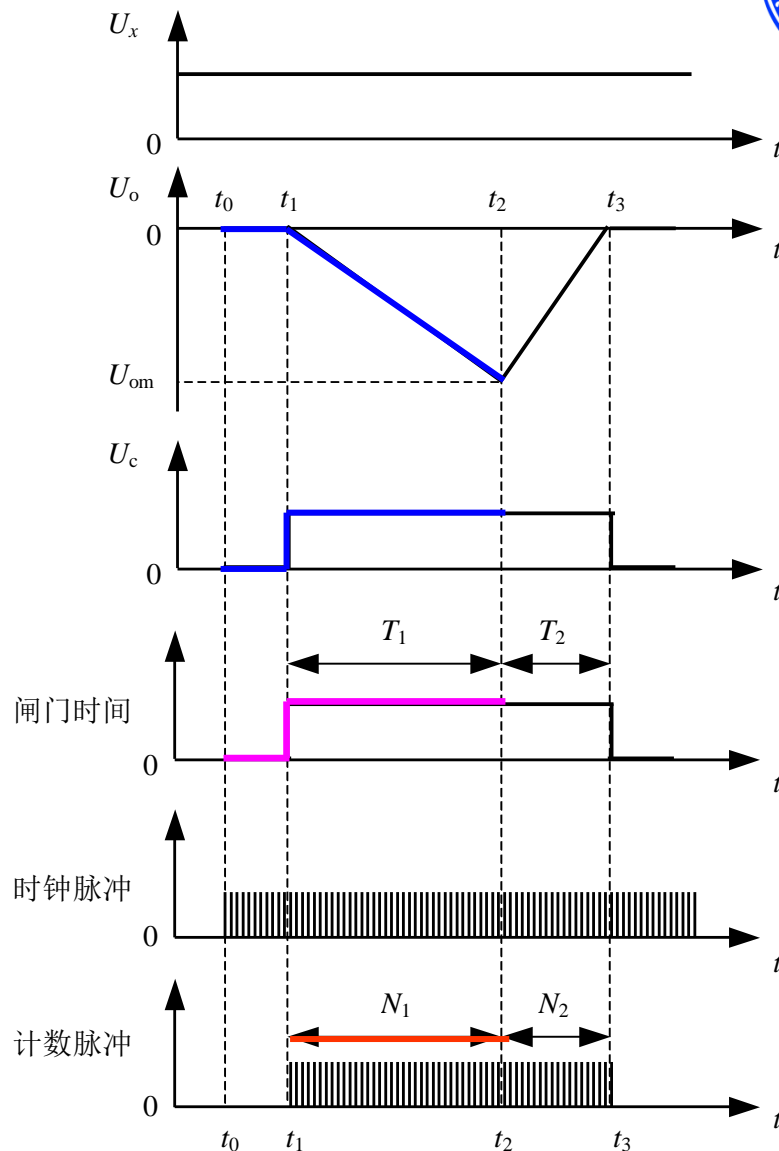
t_1 时刻, 采样阶段开始(设被测电压为正), 电子开关接通 S_1 , 其余开关 ($S_2 \sim S_4$) 断开, 被测电压送入积分器进行**定时积分**。



在采样阶段结束时
(t_2 时刻), 积分器输出达到负向的最大,

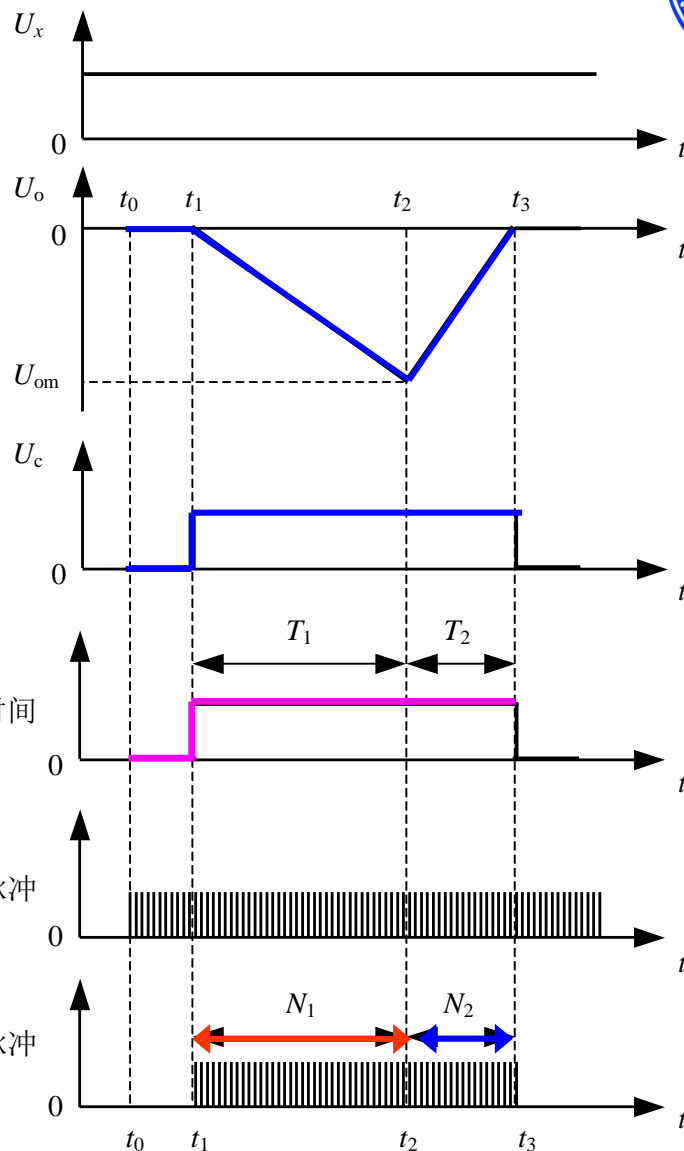
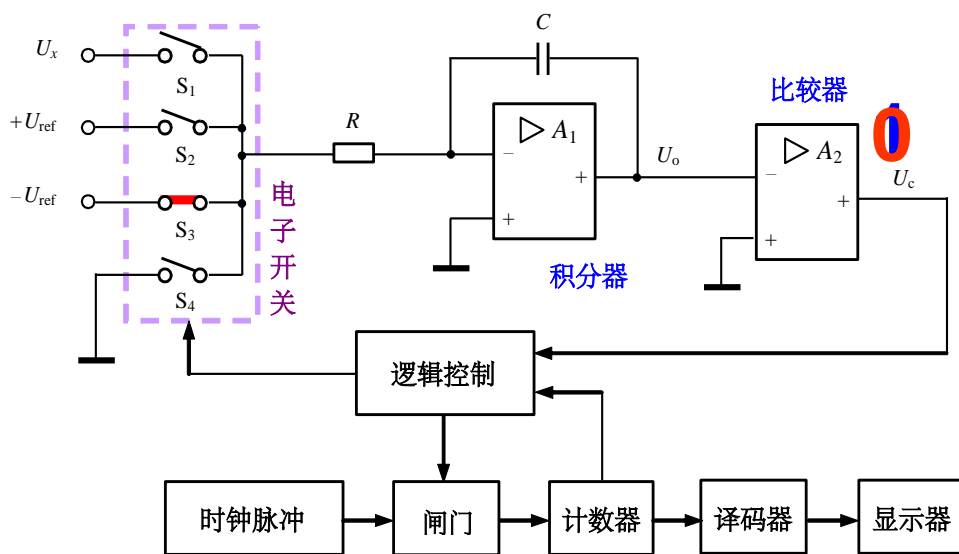
$$U_o = U_{om} = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_x dt = -\frac{T_1}{RC} U_x$$

最大反向输出电压与
被测电压成正比关系。



③ 比较阶段 ($t_2 \sim t_3$)

t_2 时刻，在采样阶段结束的同时，比较阶段开始。电子开关接通 S_3 ，其余开关断开，负极性基准电压接入积分器中进行反向定值积分。



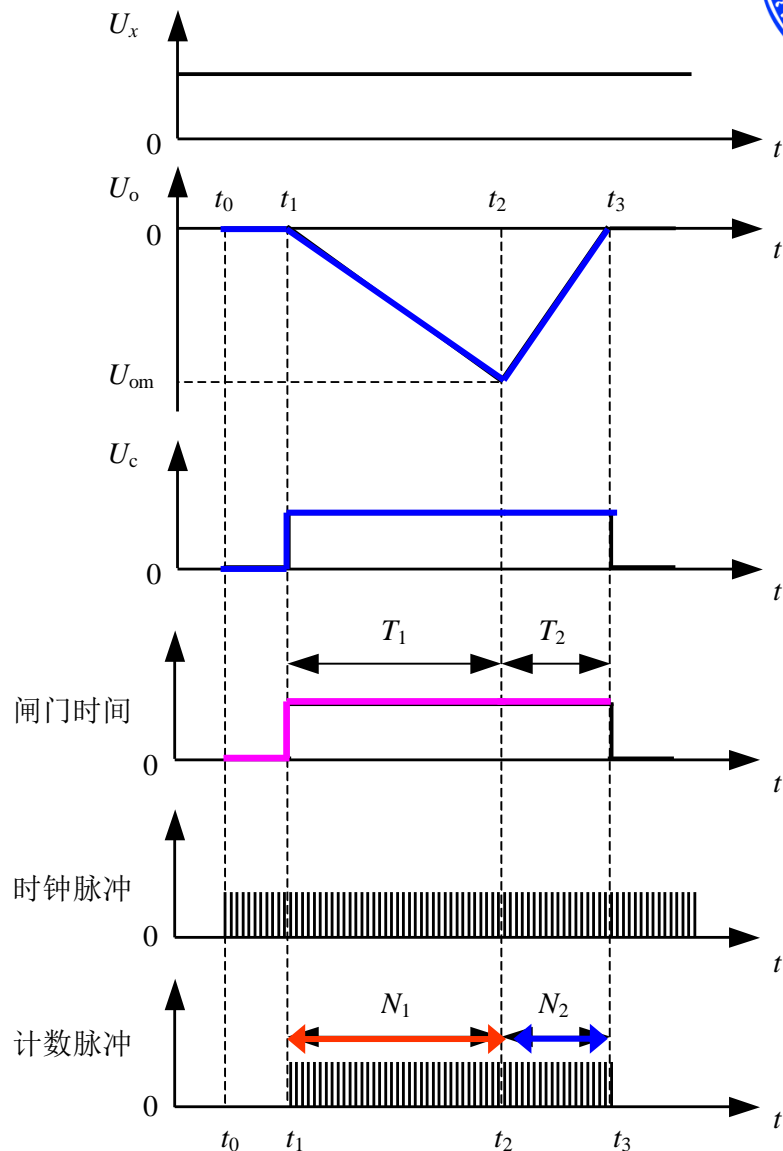
在 t_3 时刻, $U_o = 0$

$$\begin{aligned}
 U_o &= U_{om} - \frac{1}{RC} \int_{t_2}^{t_3} (-U_{ref}) dt \\
 &= -\frac{T_1}{RC} U_x + \frac{T_2}{RC} U_{ref} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

故

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{U_x}{U_{ref}}$$

反映了时间间隔 T_2 和
被测电压的正比关系。



若在 T_1 时间内，计数器计得的数为

$$N_1 = T_1 f_c$$

若在 T_2 时间内，计数器计得的数为

$$N_2 = T_2 f_c$$

则：

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{U_x}{U_{ref}}$$

由于 N_1 与 U_{ref} 是定值，所以计数值 N_2 和被测电压 U_x 成正比，从而实现了从模拟量到数字量的转换。

(3) 特点

① 抗干扰能力强。

② 对积分元件和时标信号的精度要求低

$$U_{0m} = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_2} U_x dt$$

③ 可获得较

$$\frac{U_x}{U_{ref}} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{U_{x1}}{U_{x2}} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$T_2 = T_1$$

$$U_{ref}$$

④ 易于提高转换器的共

⑤ 还可实现两电压间的

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{U_x}{U_{ref}}$$

⑥ 测量速度低。

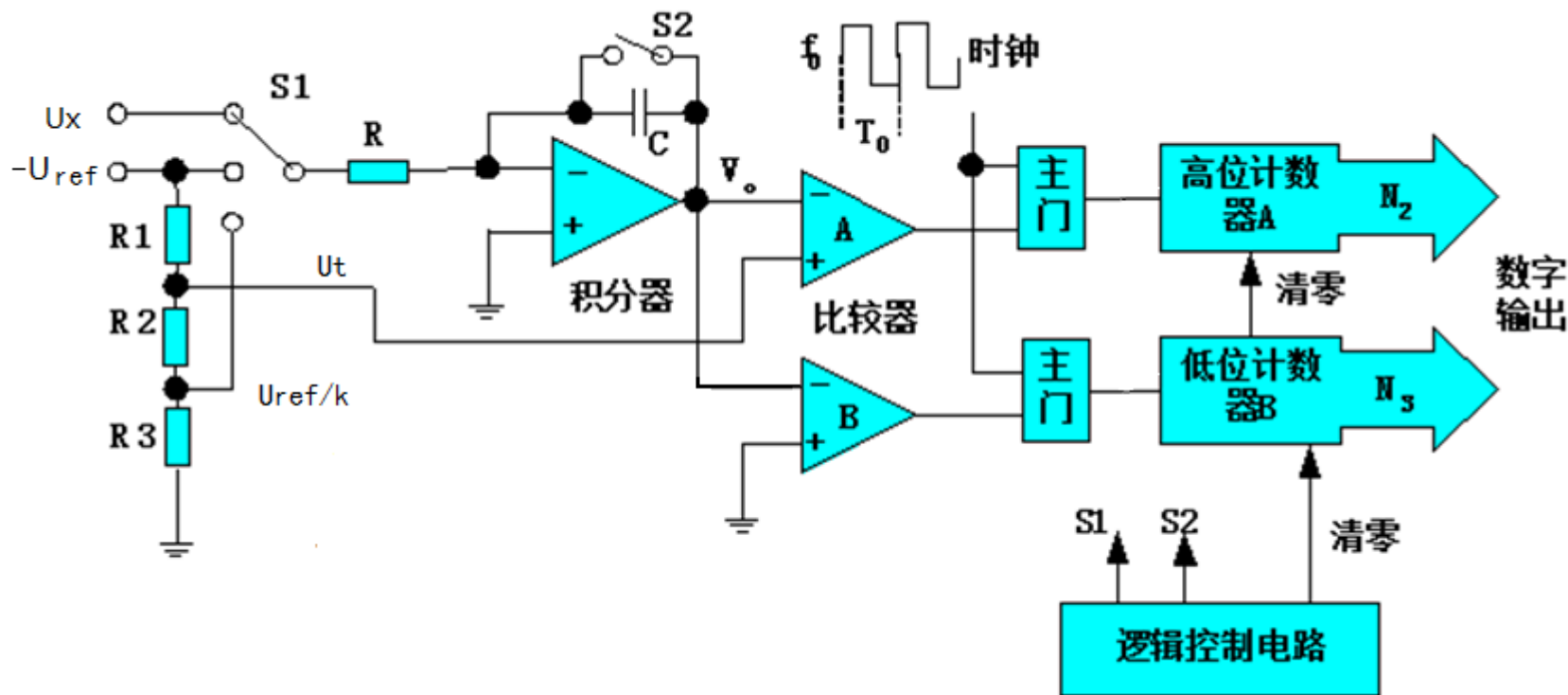
双斜积分式的不足：

- ① 精度不够高，计数误差， $3\frac{1}{2}$ ——位。 $4\frac{1}{2}$
- ② 测量速度低。

改进的措施：

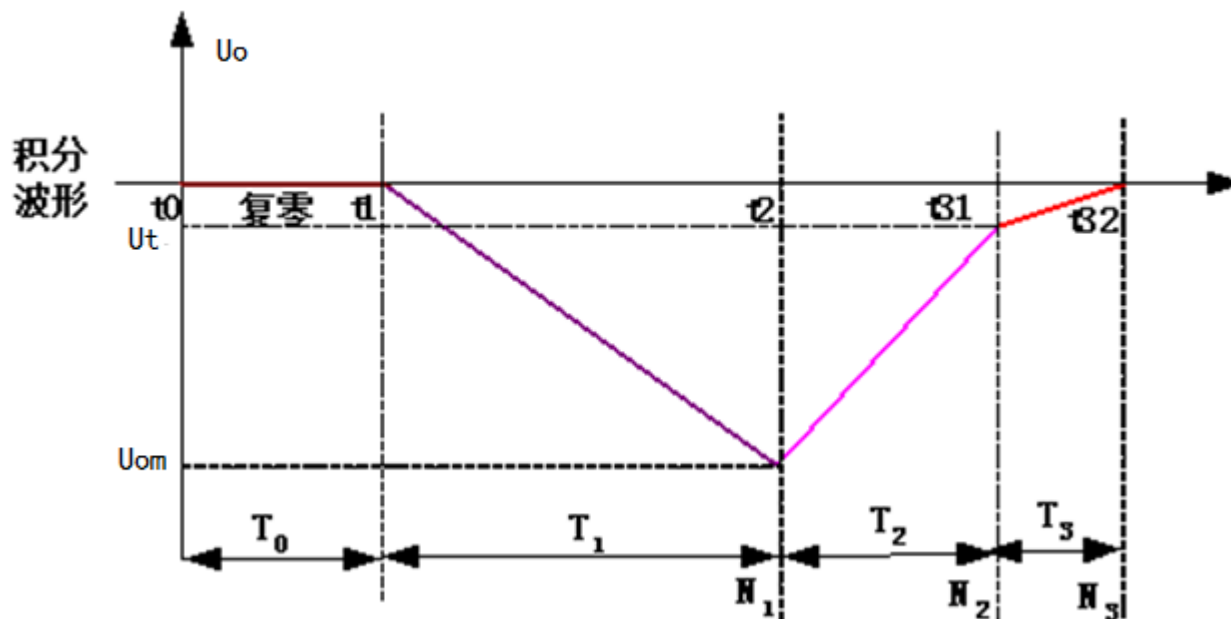
- ① 采样周期不按工频周期倍数设计，对工频干扰进行滤波、屏蔽等，缩短采样期。
- ② 三斜积分：比较期分步进行
- ③ 多斜式积分：边采样边积分

三斜积分式DVM



包括：

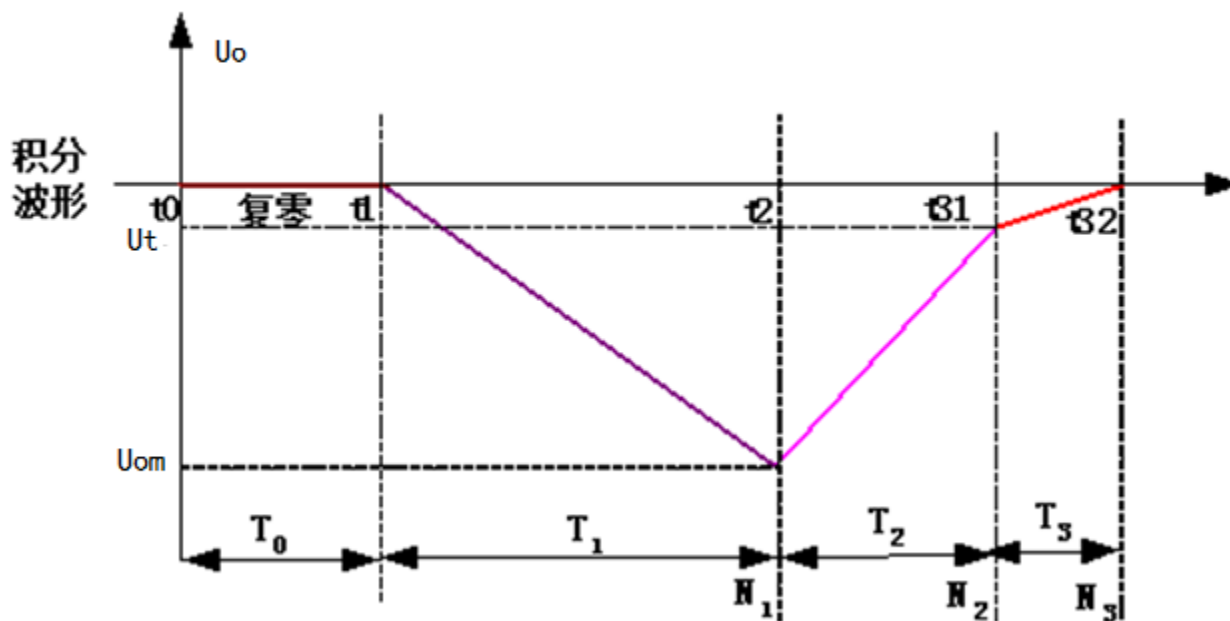
积分器、2个比较器、2个计数器及逻辑控制电路。



工作过程：

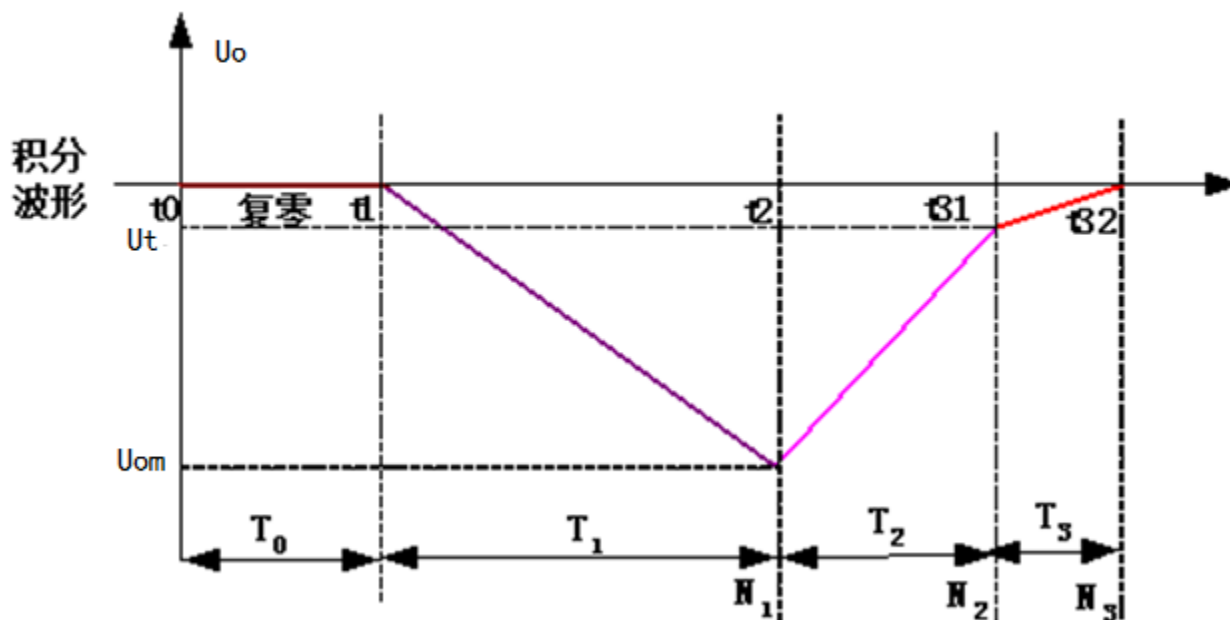
准备阶段 (t_0 — t_1)：与双斜式ADC相同。

对被测电压定时积分 (t_1 — t_2) 阶段：与双斜式ADC相同。



对参考电压反向积分($t_2—t_{32}$)分成两个阶段 $t_2—t_{31}$ 和 $t_{31}—t_{32}$ 。

$t_2—t_{31}$: 对参考电压 U_{ref} 反向积分，直至积分器输出即将到达零点前的 U_t 时（比较器翻转），设积分时间为 T_2 。在 T_2 内计数器A对时钟计数，设为 N_2 。



$t_{31} - t_{32}$: 对 U_{ref}/k 继续反向积分至零点（过零比较器翻转），设积分时间 T_3 （计数器B计数，计数值为 N_2 。）

由于 U_{ref}/k 很小，积分器输出的斜率大大降低了（降低了 k 倍），积分输出“缓慢地”进入零点。使最终达到过零的时间大大“拖长”了。

当积分完成时，有

$$\frac{T_1}{RC} U_x = \frac{T_2 + \frac{1}{k} T_3}{RC} U_{ref}$$

$$\text{又 } T_1 = N_1 T_0, T_2 = N_2 T_0, T_3 = N_3 T_0$$

时钟周期

$$\text{故 } U_x = \frac{N_2 + \frac{1}{k} N_3}{N_1} \cdot U_{ref}$$

通常 k 取 2^n 或 10^n , n 为正整数。

3.6 电压测量的应用

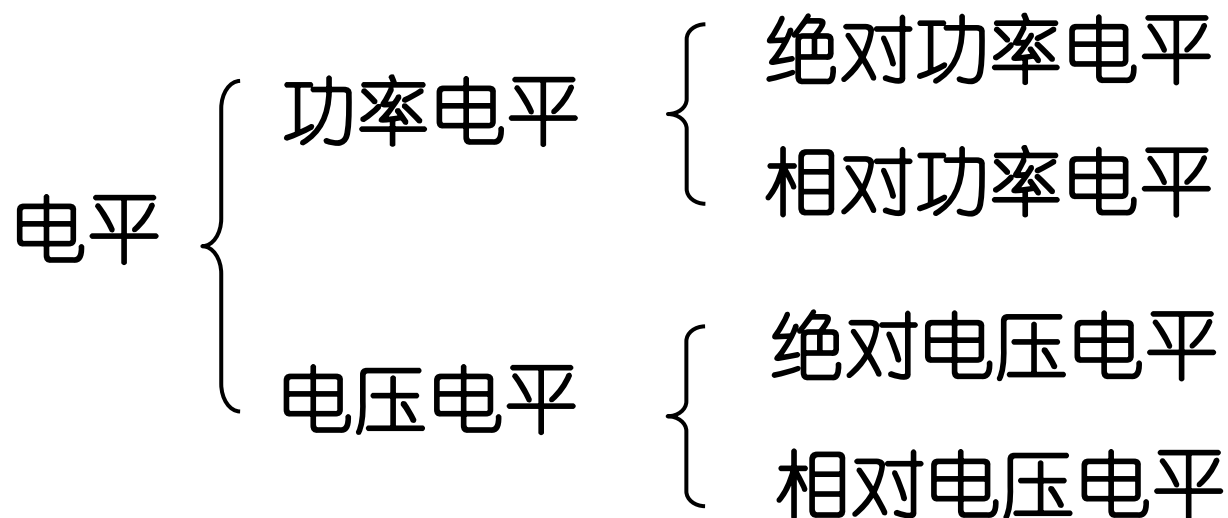
■ 电平测量

■ 噪声测量

3.5.1 电平测量

1. 电平的概念

两功率或电压比值的对数，单位为贝尔 (Bel)，实际应用中常采用分贝 (dB) 为单位。



2. 电平的计算

(1) 绝对功率电平

零电平标准功率：

在 **600 Ω** 负载上消耗的 **1 mW(0.001 W)** 功率。

功率与 **零电平标准功率** 之比的对数值。

$$L_P = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \frac{P_x}{0.001} \quad (\text{dBm})$$



(2) 相对功率电平

任意两功率之比的对数值。

$$L_{rP} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ (dB)}$$

$$L_{rP} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{P_0}{P_2} \right) = L_{P_1} - L_{P_2}$$

(3) 绝对电压电平

零电平标准电压 U_0 :

在 $600\ \Omega$ 负载上消耗 $1\ \text{mW}$ 功率时的电压。

$$U_0 = \sqrt{P_0 R_0} = \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 600} = 0.775\ \text{V}$$

被测电压（有效值）与零电平标准电压之比的对数值。

$$L_U = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} = 20 \lg \frac{U_x}{0.775} \text{ (dBm)}$$

(4) 相对电压电平

任意两电压之比的对数值。

$$L_{rU} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} \text{ (dB)}$$

$$L_{rU} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{0.775} \cdot \frac{0.775}{U_2} \right) = L_{U_1} - L_{U_2}$$

(5) 绝对功率电平和绝对电压电平的关系

$$\begin{aligned} L_P &= 10\lg \frac{P_x}{P_0} = 10\lg \frac{P_x}{0.001} = 10\lg \frac{\frac{U_x^2}{R_x}}{\frac{0.775^2}{600}} \\ &= 10\lg \left(\frac{U_x}{0.775} \right)^2 + 10\lg \frac{600}{R_x} \\ &= L_U + 10\lg \frac{600}{R_x} \end{aligned}$$

负载为600Ω

$$L_P = L_U$$

负载不为600Ω

$$L_P = L_U + 10\lg \frac{600}{R_x}$$

例3-8 有一电阻为 1200Ω ，其端电压为 $10V$ 。
问该电阻上的功率电平是多少？

解：

$$\begin{aligned} L_p &= 10\lg\left(\frac{U_x}{0.775}\right)^2 + 10\lg\frac{600}{R_x} \\ &= 10\lg\left(\frac{10}{0.775}\right)^2 + 10\lg\frac{600}{1200} \\ &= 22.2 - 3.01 = 19.19(\text{dB}) \end{aligned}$$

3. 电平表与电平测量

电平表

利用电平与电压的关系进行标尺重新刻度的电压表。

电平的测量实际是电压的测量，只是按dB刻度。

电平表和交流电压表上dB刻度线按绝对电压电平刻度。

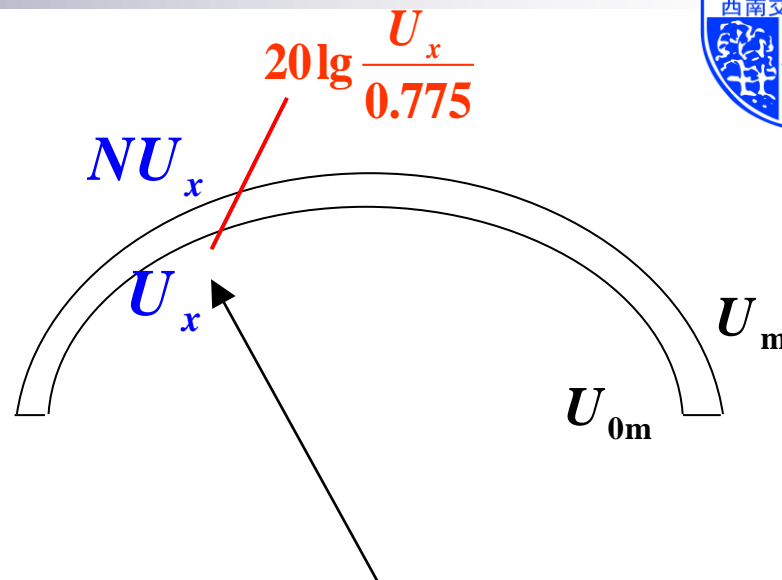
标定交流电压最低量程挡0.775 V的位置为0 dB标度点。

电压量程扩大N倍时:

$$N = \frac{U_m}{U_{0m}}$$

所选量程的量限

基准挡量限



$$L_U = 20\lg \frac{NU_x}{0.775} = 20\lg \frac{U_x}{0.775} + 20\lg N = A + 20\lg \frac{U_m}{U_{0m}}$$

读数

电平增加 $20\lg N$ 。

总结

① 选用电平基准挡（交流电压最低挡）测量时

$$L_U = A$$

$$L_P = A + 10\lg \frac{600}{R_x}$$

1版
P136

② 选用非电平基准挡（其他交流电压挡）测量时

$$L_U = A + 20\lg \frac{U_m}{U_{0m}}$$

$$L_P = A + 10\lg \frac{600}{R_x} + 20\lg \frac{U_m}{U_{0m}}$$

③ 利用电平的确量来确定功率或电压

$$A \longrightarrow L_U$$

测量点处的电压为

$$U_x = 0.775 \times 10^{\frac{L_U}{20}}$$

测量点处的功率为

$$P_x = \frac{U_x^2}{R} = \frac{0.775^2}{R} \times 10^{\frac{L_U}{10}} = \frac{0.6 \times 10^{\frac{L_U}{10}}}{R}$$

1版

P137



例3-9 某电子式多用表的电平基准为交流1 V挡，采用交流100伏电压量程挡测量6kΩ电阻上的电平，在dB尺上读得2dB。试求出该电阻的电压电平和功率电平，并计算出电阻消耗的功率值。

解： 电压电平：

$$\begin{aligned} L_U &= A + 20\lg \frac{U_m}{U_{0m}} \\ &= 2 + 20\lg \frac{100}{1} \\ &= 42 \text{ (dB)} \end{aligned}$$



功率电平:

$$\begin{aligned}L_P &= L_U + 10\lg \frac{600}{R_x} \\&= 42 + 10\lg \frac{600}{6000} \\&= 32 \text{ (dB)}\end{aligned}$$

$$L_P = 10\lg \frac{P_x}{0.001} = 32$$

故消耗功率:

$$P_x = 0.001 \cdot 10^{\frac{32}{10}} = 1.585 \text{ (W)}$$

3.6.2 噪声测量

1. 噪声

在电子测量中，习惯上把被测信号电压以外的电压称为噪声。

{ 外界干扰
内部噪声

{ 闪烁噪声
热噪声
霰弹噪声

高斯正态分布
白噪声

2. 噪声电压的测量

(1) 有效值电压表测量

读数值A就是噪声电压的**有效值**。

(2) 平均值电压表测量

先由读数A得到噪声电压的**平均值**，
再乘噪声波形因数得到噪声电压的**有效值**。

(3) 示波器测量

尤其适合测量噪声电压的峰-峰值。

耦合方式:

AC

偏转因数:

合适

扫描速度:

较低

