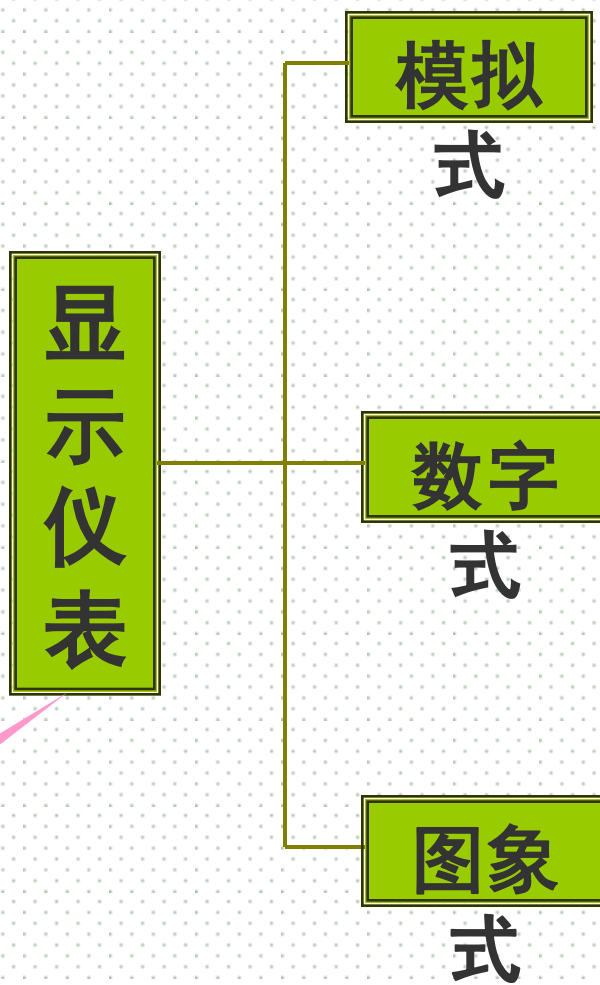


# 第七章 显示仪表

# 概述

- 功能：接受传感器、变送器等检测元件的输出信号，将测量值显示（指示、记录）出来以供观察。
- 在早期，对参数的检测和显示往往在一块仪表中完成，两者是不可分割的。
- 随着生产的发展，所需测量的参数不断增加，各参数的测量范围也视对象不同而异，从而使仪表的规格增多，而且许多信号需要远传，实行集中控制。因此，常常需要将检测和显示功能加以分开，独立设置，即检测仪表和显示仪表。



绝大多数  
是电动显  
示仪表

# 模拟式显示仪表

- 以指针或记录笔的偏转角或位移量来显示被测参数的连续变化。
- 特点：简单、可靠、价廉，且易于反映出被测参数的变化趋势，被大量使用。
- 分为直接式和平衡式两类，前者结构简单，价格低，精度差；后者结构复杂，价格贵，精度高。

# 数字式显示仪表

- 以**数字形式**直接显示被测参数。
- 特点：测量速度快、精度高，抗干扰性强，且读数直观、便于数字打印记录，被迅速发展。
- 具有自动报警，自动量程切换，自动检测，参数自整定等功能，**性能远优于模拟式显示仪表**，更实用于生产的集中监视和控制。

# 图像式显示仪表

- 不仅用文字，而且配以图像、动画等手段把工艺参数在大屏幕上显示出来。
- 具有模拟式仪表和数字式仪表两者的功能，是现代大型企业计算机控制体系的一个终端设备。

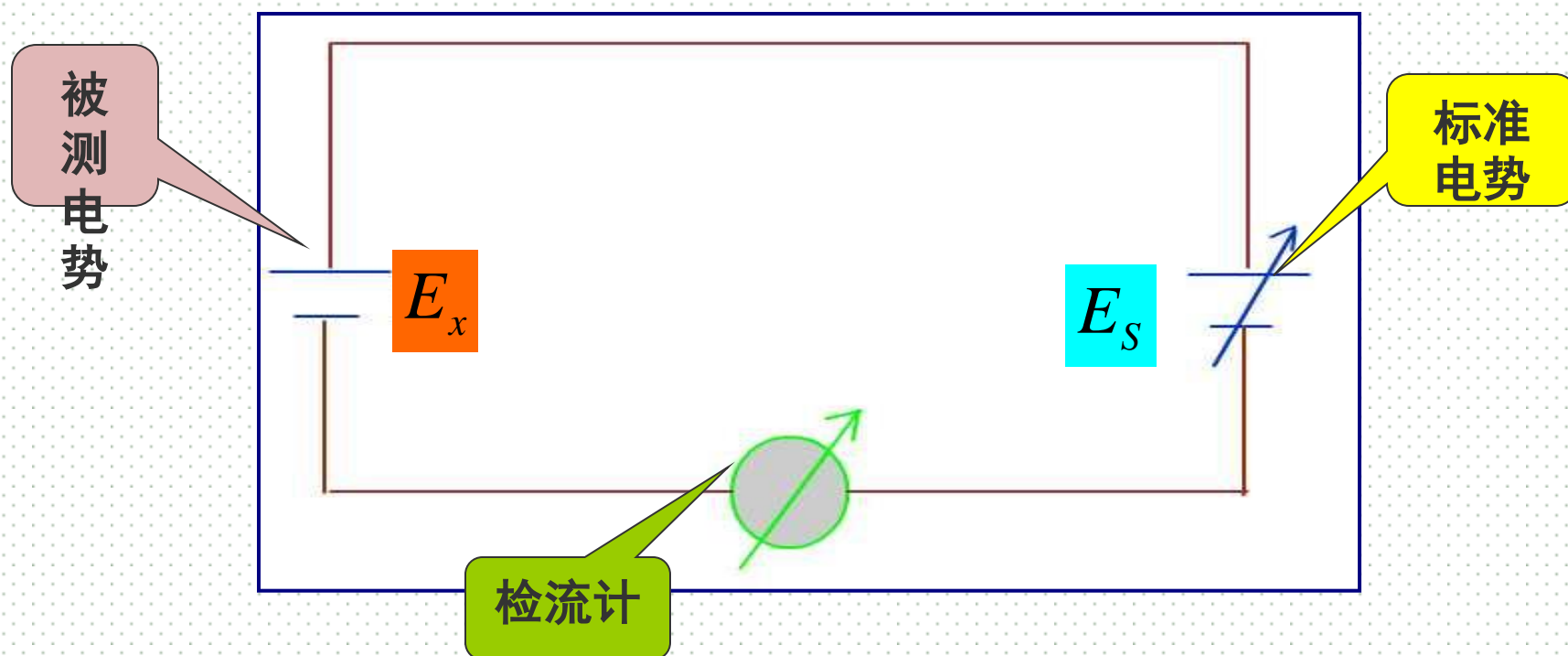
## 7.1 模拟式显示仪表

### 7.1.1 电子电位差计

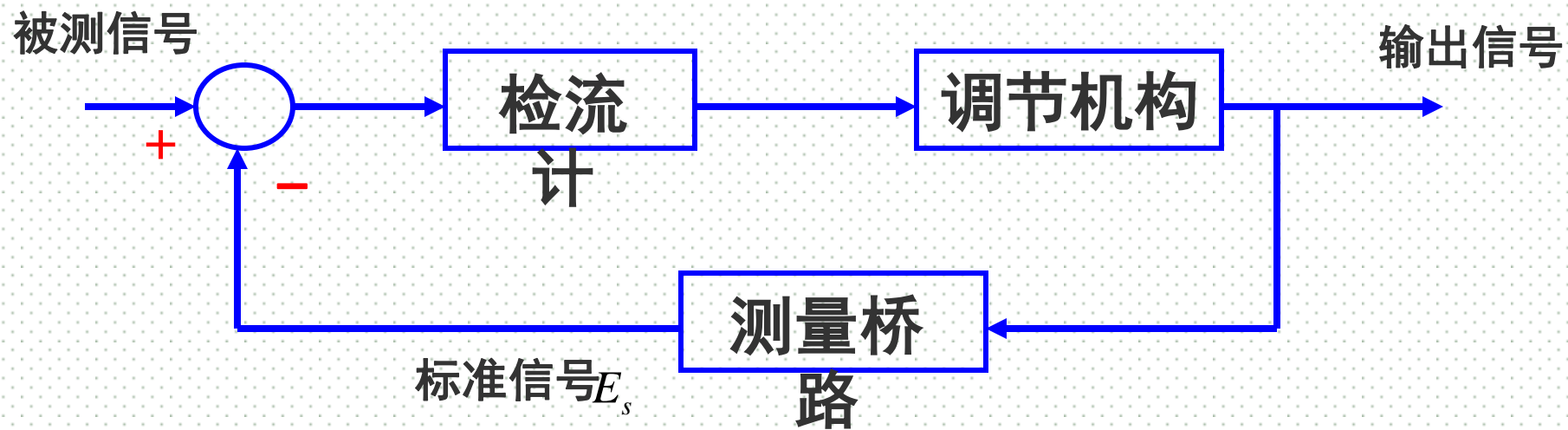
- ❖ 电子电位差计是常用的自动平衡式显示仪表。
- ❖ 与电量变送器配套后，可以测量电压；与热电偶配套后可以测量温度。
- ❖ 电子电位差计采用平衡的方法直接测量电势。

# 一. 电位差计的工作原理

电位差计是根据**平衡法**来测量微电势的，即用可变的标准电压与被测电势加以比较。两者相等时，检流计中无电流流过。







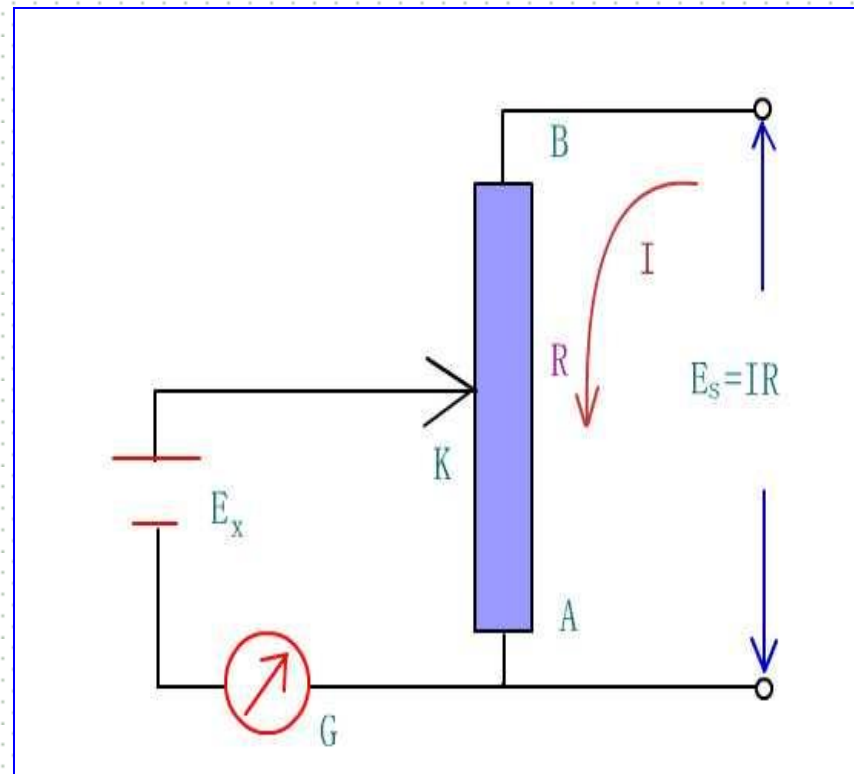
要获取**可变的标准电压**，最简单的方法是在已知的电阻上得到，即在滑线电阻上取出，即：

$$U_{KA} = IR \frac{L_{KA}}{L_{BA}}$$

移动触点，直到检流计中电流为零，就有：

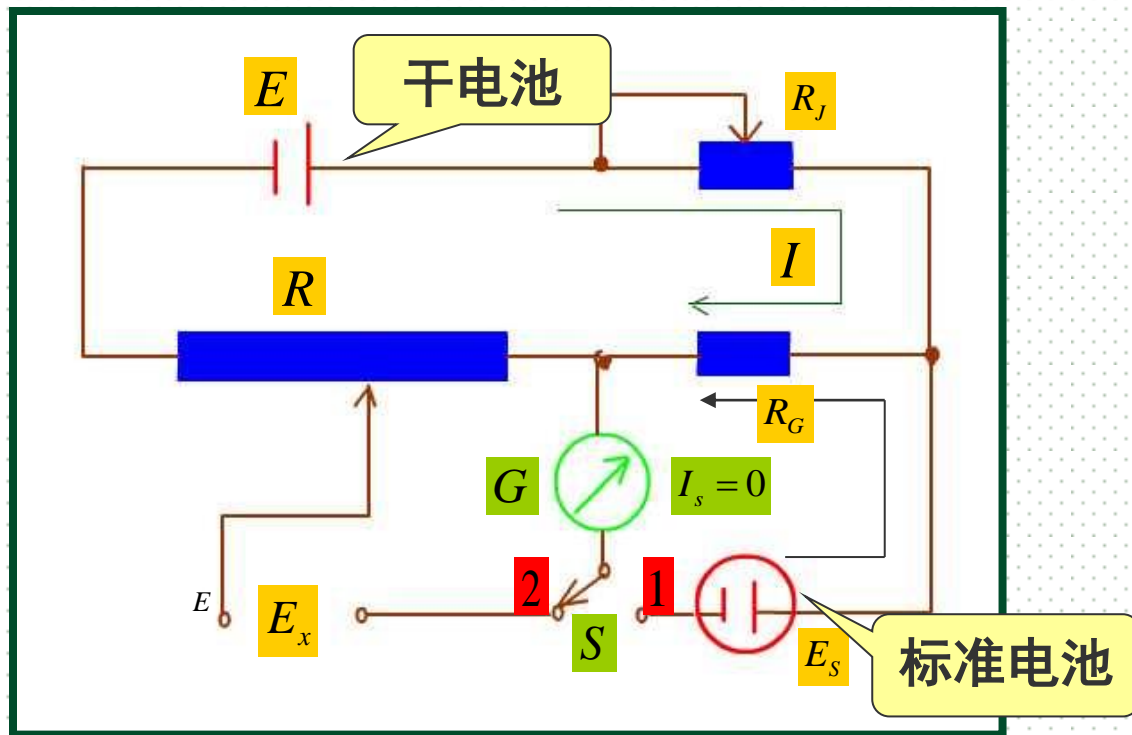
$$U_{KA} = E_x$$

如果工作电流保持不变，滑线电阻的线性度又很高，被测电势  $E_x$  就与  $L_{KA}$  有比例关系。



由于没有电流流过被测的电路，就不存在环境温度变化影响阻值的问题，使测量精度得以提高。

- 要提高测量精度，须保证工作电流  $I$  不变。
- 在便携式电位差计中，电源是干电池，内阻随使用时间的延长而有很大的变化，使工作电流也发生变化，所以需要引入工作电流校正回路。
- 在电子电位差计中，则采用由稳压电源供电的方法来保证工作电流不变。



使用时，先将开关K打在1处，调节  $R_J$ ，当检流计的电流为零时， $U_{R_G} = I \cdot R_G = E_s$

此时的工作电流为：

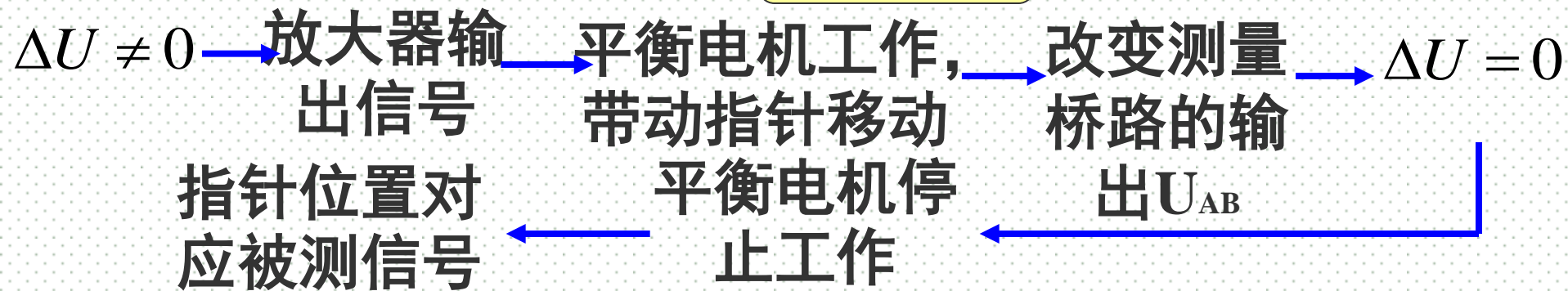
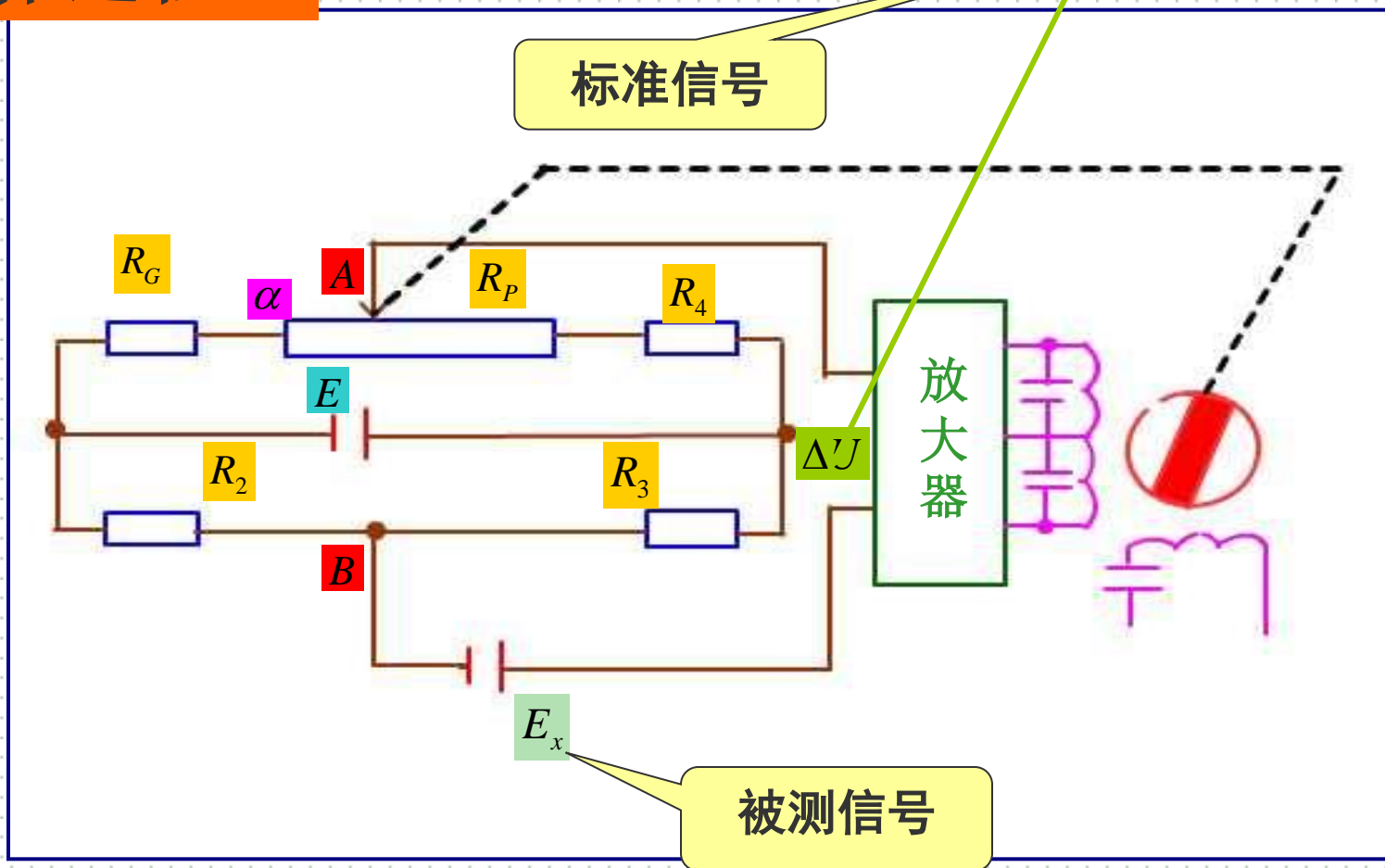
$$I = \frac{E_s}{R_G}$$

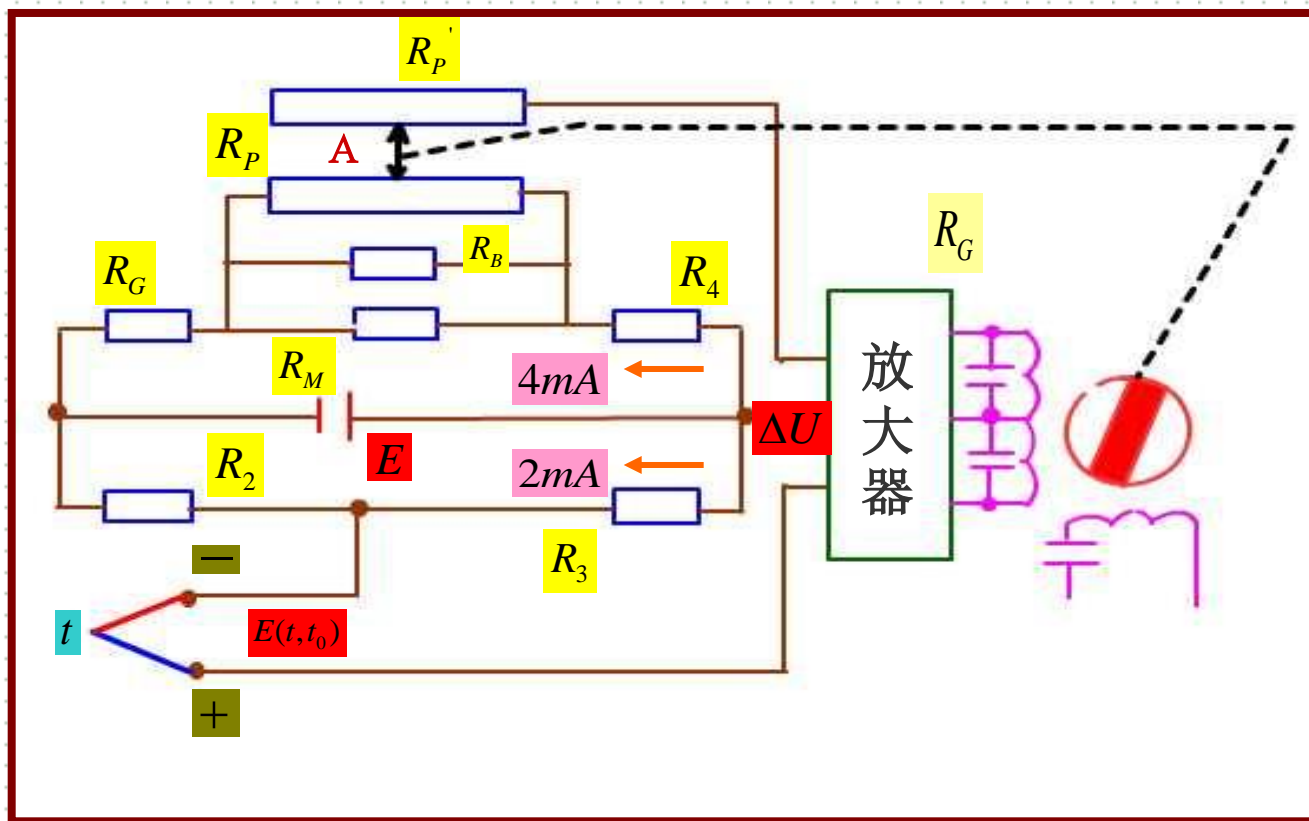
是恒定的。再将开关打向2进行电势的测量，就能保证测量的精度。

## 二. 电子电位差计的测量电路

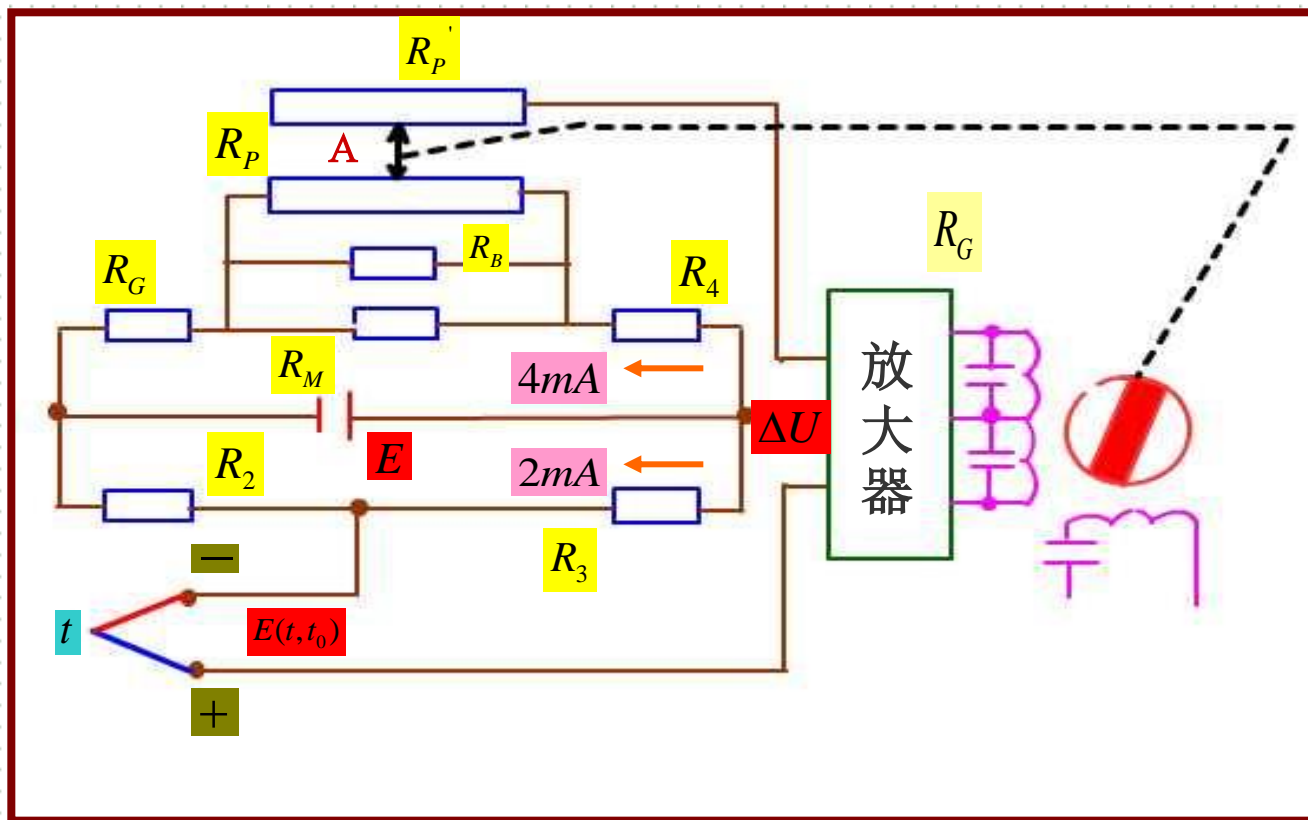
- ❖ 便携式电位差计在测量时自始至终都需要人工操作，无法满足工业上对连续测量的要求。
- ❖ 电子电位差计则用**稳压电源**供电；用**电子放大器**来代替检流计；用**可逆电机**及一套**机械传动机构**来自动调整滑线电阻的位置，从而达到自动显示和记录的目的。

# 动作过程:





与热电偶配套使用，当被测温度处于测量下限 $t_0$ 时，指针停在滑线电阻的**最左端**；当被测温度处于测量上限 $t_{\max}$ 时，指针停在滑线电阻的**最右端**。



**思考：**如果热电偶短路了，仪表指针指在何处？

如果热电偶断路了，仪表指针又该指在何处？

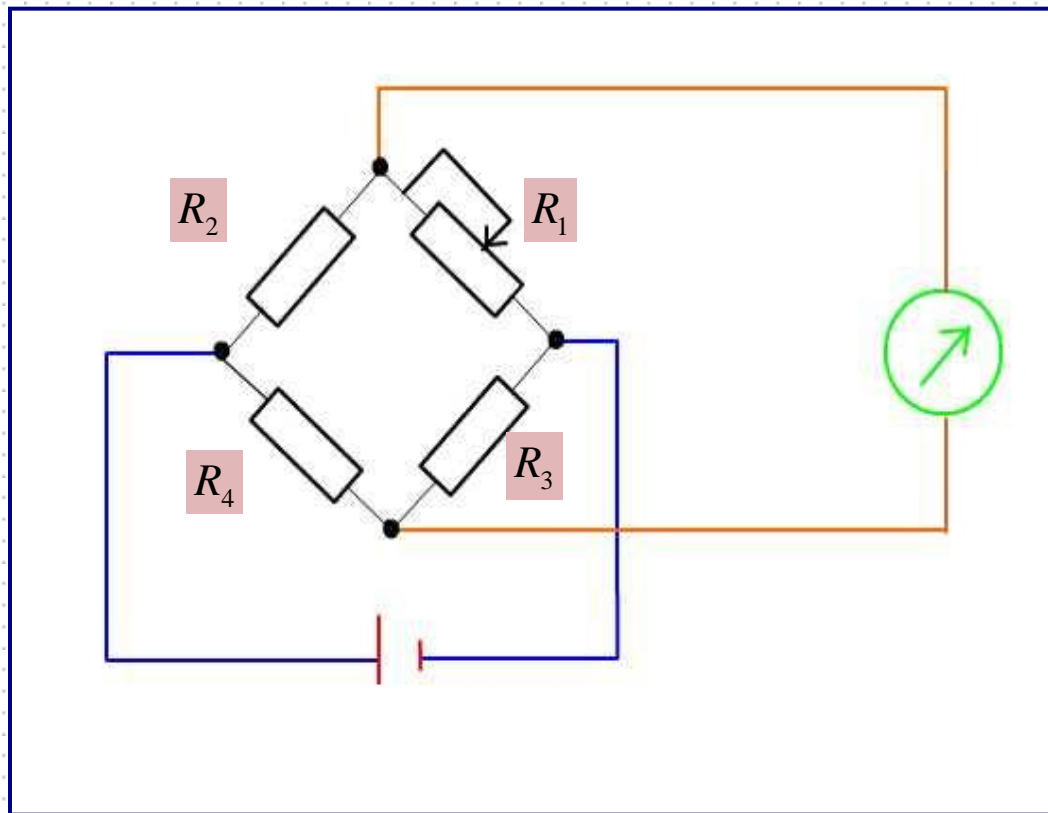


## 7.1.2 电子自动平衡电桥

- ❖ 电子平衡电桥是另一种常用的自动平衡式显示仪表，与热电阻配套后可以测量温度。
- ❖ 利用平衡式电桥来测量热电阻的阻值变化量。

# 一. 平衡电桥的工作原理

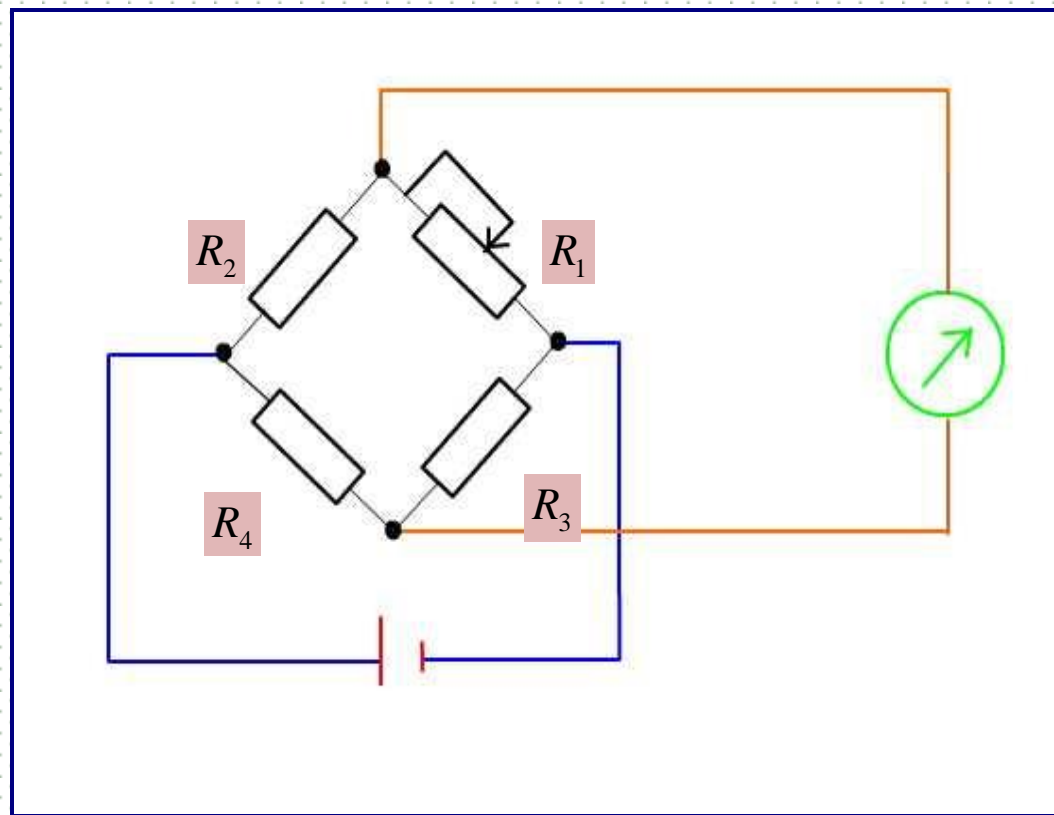
- 检流计接在电桥的输出端。当  $R_2 R_3 = R_1 R_4$  时，电桥平衡，输出电压为零，检流计中无电流通过。
- 如果某一个桥臂的阻值发生变化，则可以调整可变电阻的阻值，使电桥重新达到平衡。
- 测量可变电阻的阻值变化情况，即可得知该桥臂的阻值变化量。



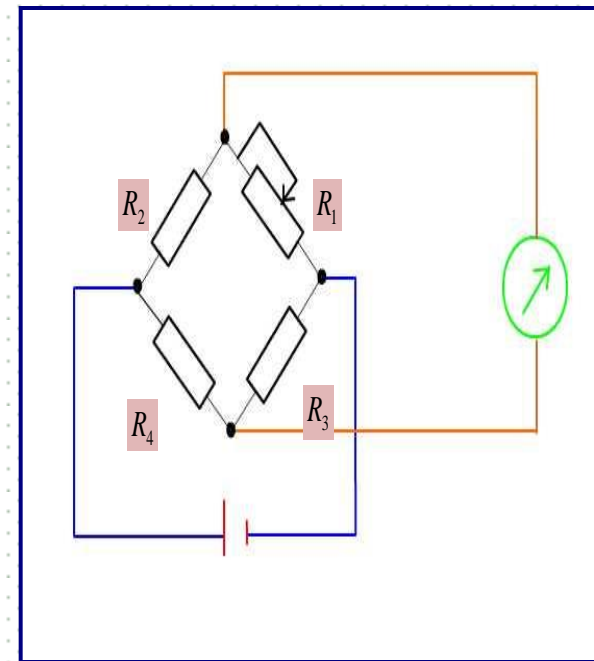
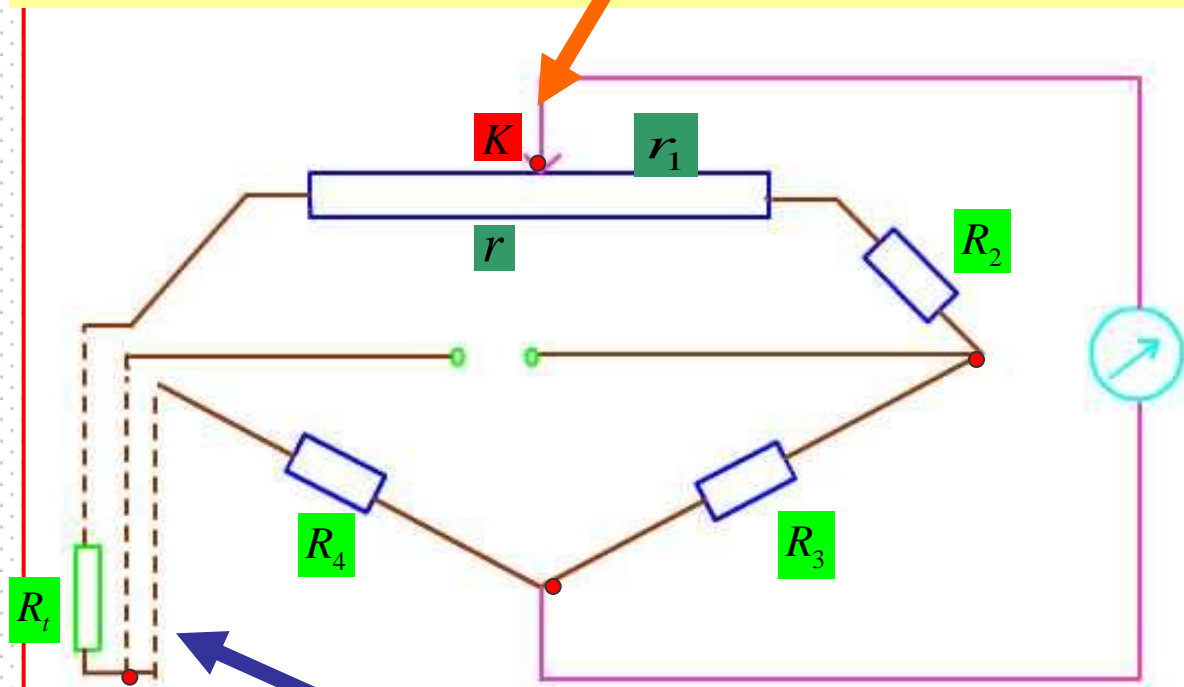
➤ 该测量线路存在很大的测量误差。

➤ 产生测量误差的原因：

可变电阻接在某一个桥臂中，从而将滑线电阻滑触点的接触电阻都包括在该桥臂里。



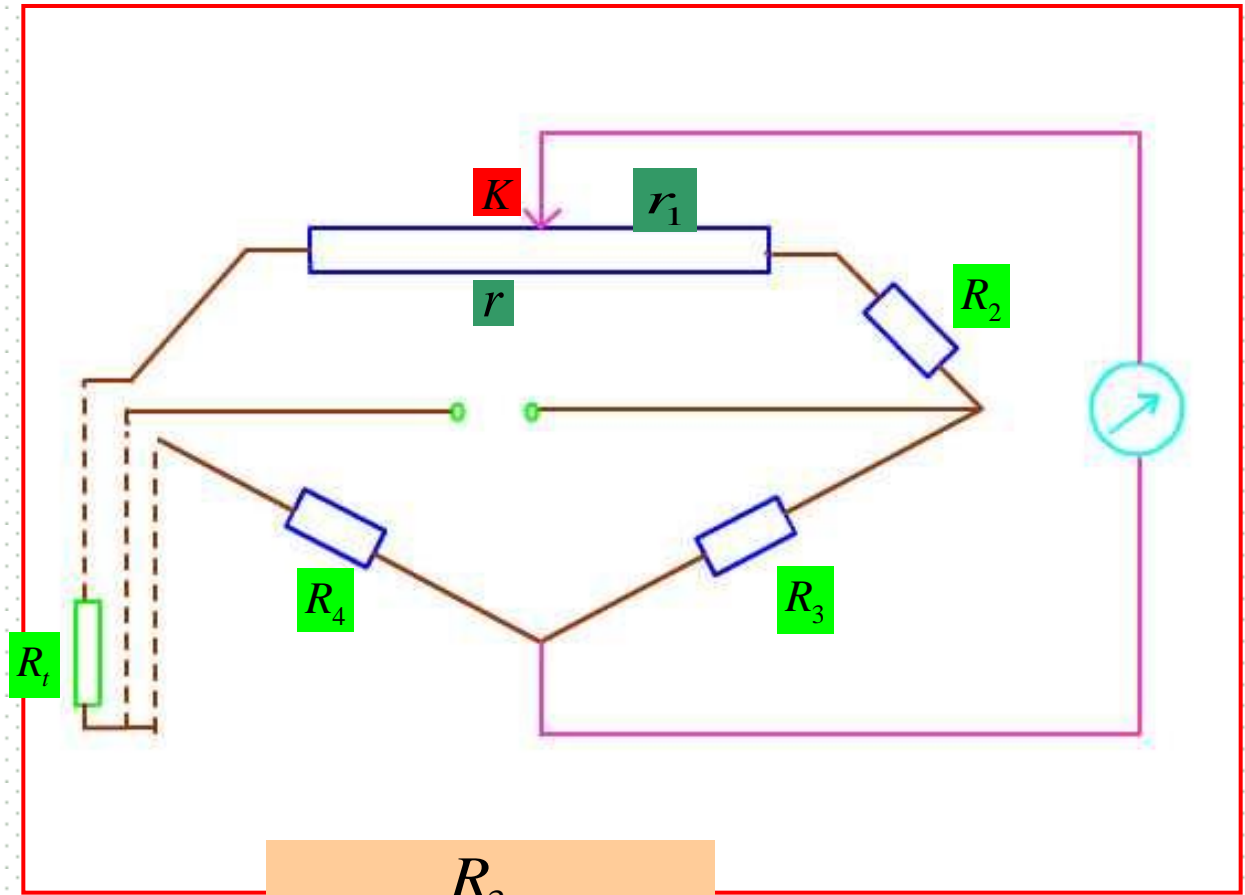
实际使用的平衡电桥的一个输出端从滑线电阻的滑触点引出，这样一来就使接触电阻不包括在任一桥臂中，从而减小了测量误差。



与热电阻配合使用测量温度时，热电阻  $R_t$  采用**三线制**方法与平衡电桥连接，且放在与滑线电阻相邻的桥臂上。

当被测温度为测量的起始值  $t_0$  时（对应的热电阻为  $R_{t_0}$ ），滑触点K的位置处于滑线电阻的最右端，电桥达到平衡。

当被测温度为测量的终点值  $t_{\max}$  时（对应的热电阻为  $R_{t_{\max}}$ ），滑触点K的位置处于滑线电阻的最左端，电桥达到平衡。

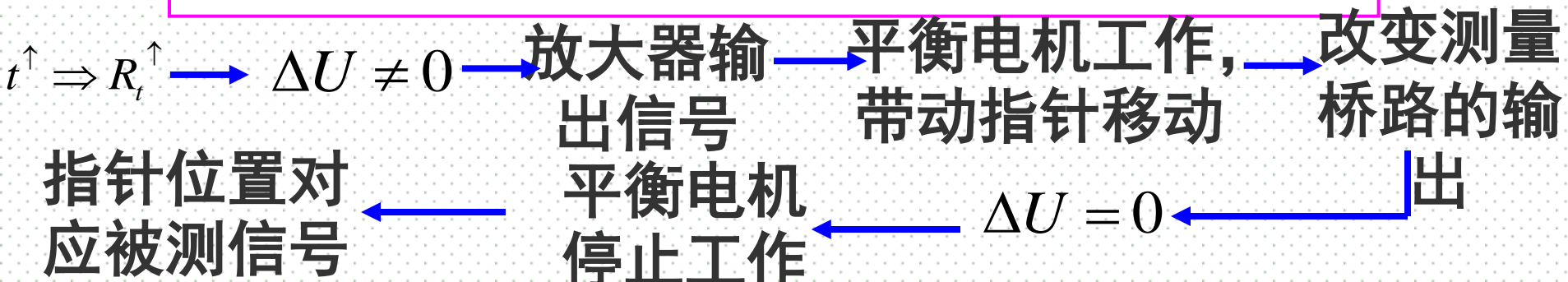
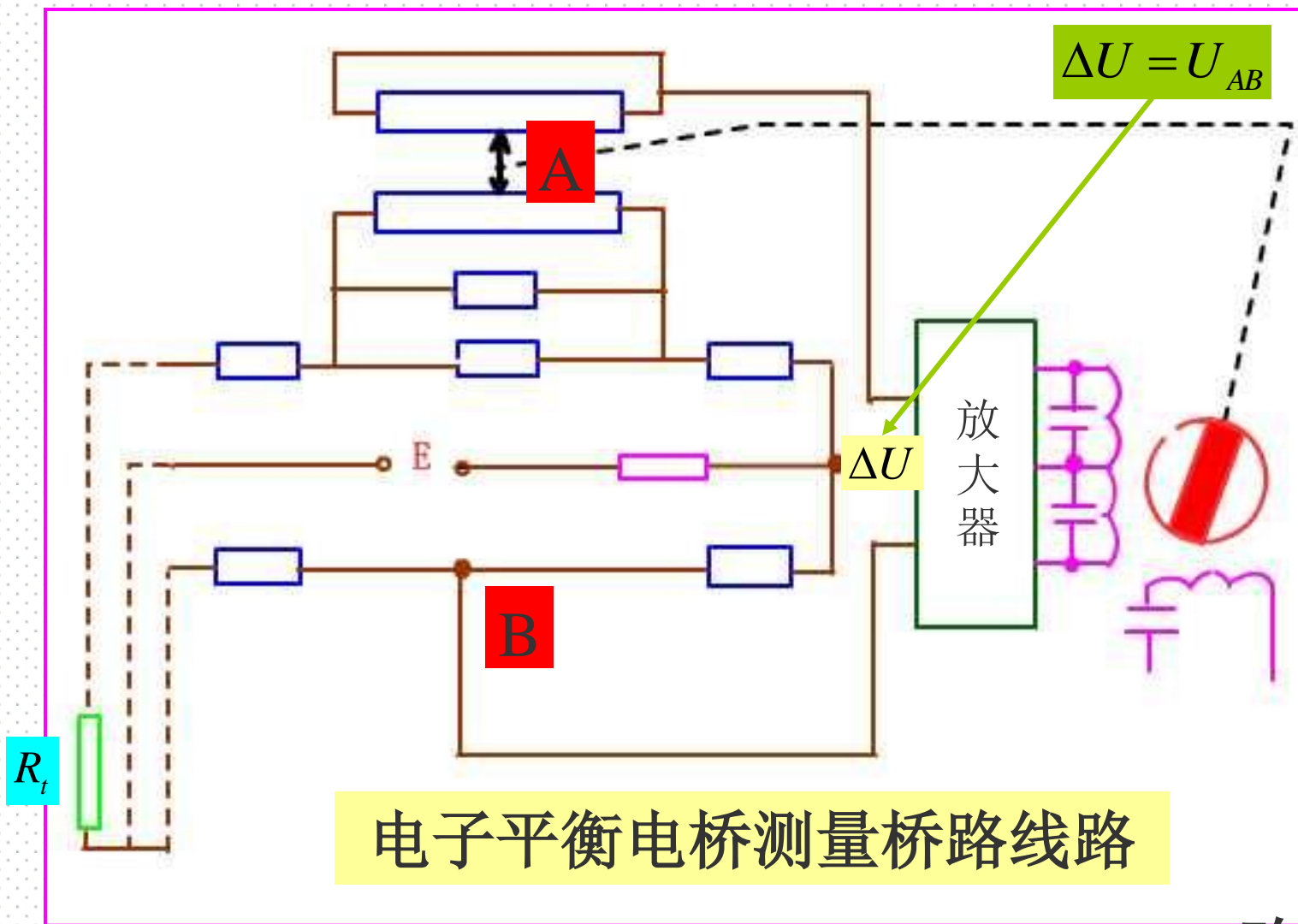


$$r_1 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot \Delta R_t$$

即滑触点移动后的电阻值 $r_1$ 与被测电阻的变化量 $\Delta R_t$ 有线性关系。

## 二. 电子平衡电桥的测量线路

- 实际使用的电子平衡电桥的测量线路的结构形式与电子电位差计一样，也是用**稳压电源**供电，用**电子放大器**来代替检流计，用**可逆电机**及一套**机械传动机构**来自动调整滑线电阻的位置，以达到自动显示和记录的目的。



## 7.2 数字式显示仪表

数字式显示仪表与模拟式显示仪表一样，与各种传感器、变送器配套后，用以显示各种不同的参数。**不同的是**，模拟式显示仪表用标尺、指针、曲线等方法显示被测定的物理量；而数字式显示仪表则**直接用数字量显示被测定的物理量**。



## 模拟式显示仪表的缺点：

1. **仪表的精度低：**动圈仪表的精度一般为1级，自动平衡式显示仪表也只有0.5级，且结构复杂，成本高。
2. **测量速度慢：**动圈仪表和自动平衡式显示仪表的显示平衡时间一般为3-5秒，对于被测参数变化极快时，无法正常工作。
3. **不利于信息处理加工：**要对记录式模拟仪表所记录的历史信息进行分析、统计及处理需要增加许多设备，花费许多时间，比较困难。
4. **传输距离受到限制，环境干扰**对此类仪表的影响也较大。

# 数字式显示仪表的优点：

1. **精度高：**通用数字电压表可达0.05%的精度，而模拟仪表要达到0.2%的精度也很困难。
2. **误差很小：**数字显示，直观、清楚，**无读数误差**，其误差主要来源于量化误差（均方值近似于量化单位的1/120）。
3. **传输距离几乎不受限制：**数字信号采用脉冲传输，以一定形式进行编码，从而有利于与计算机联机以及对数据处理。
4. 带微处理器的智能化显示仪表，除显示功能外，还有自动校正、故障诊断、参数设定等功能，且结构简单、可靠、功耗低、价格便宜。

# 一. 数字式显示仪表的组成

三个部分可以有不同的组合，以适应不同的使用要求。

1. **模数转换**：简称A/D转换，其功能是将**连续变化**的模拟量转换成**断续变化**的数字量。
2. **非线性补偿**：在数显仪表中**显示值与被测参数的函数关系必须是线性的**。在两者之间的关系呈非线性的情况下，需要采用非线性补偿环节加以线性化。
3. **标度变换**：标度变换的实质是比例尺的变更，使显示仪表能直接显示的工程值。

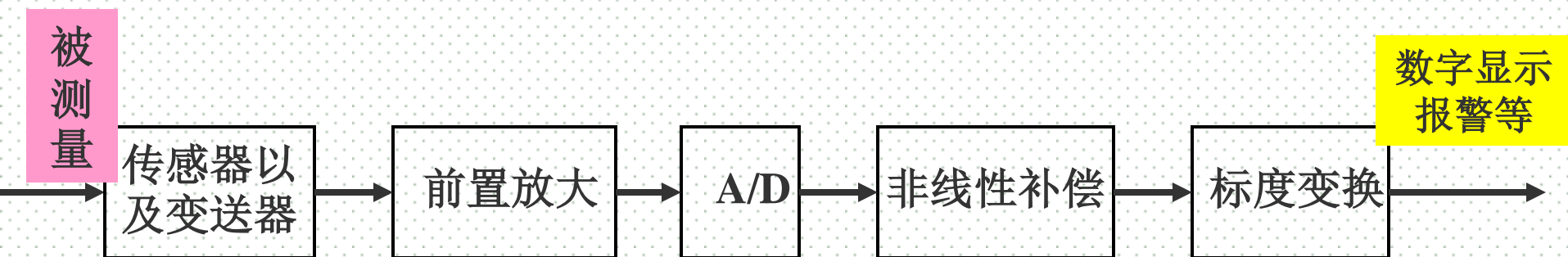


(a) 模拟非线性补偿方案

注意到：

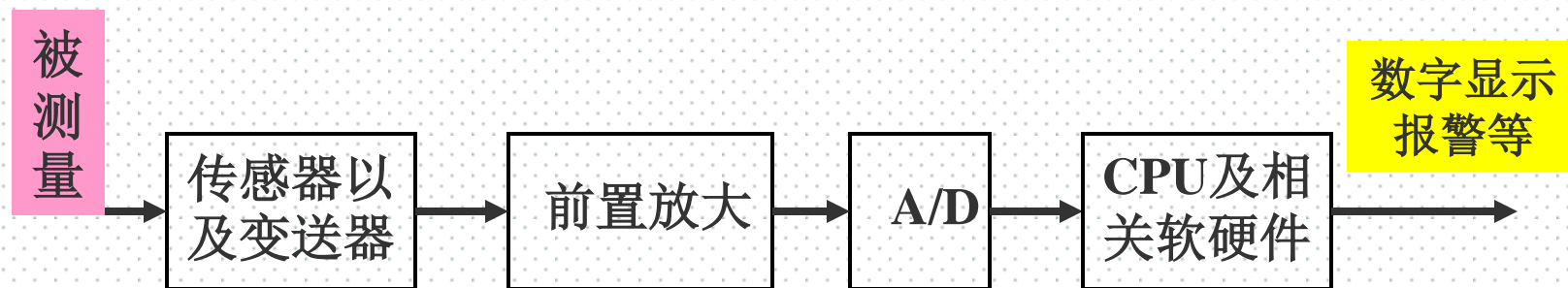
该方案是**对模拟信号进行线性化**，因而精度一般只能达到0.5%。

该方案除了A/D转换以及数字显示外，其设计思路与模拟仪表相似。



### (b) 数字非线性补偿方案

该方案先将模拟信号转换成数字信号，然后进行线性化处理，这样可以提高仪表的精度。



### (c) 智能仪表、微机化数显仪表

该方案在A/D转换器后面引入了具有强大**运算功能和逻辑判断功能**的微处理器芯片（CPU），不仅可以进行非线性补偿及标度变换，还具有保存历史数据、通讯等功能，性能好的仪表可以进一步具有故障诊断、自校正等功能。

## 二. 模-数转换

- 模数转换的任务是用一定的计量单位**将连续量整量化**，得到近似的数字量。
- 计量单位越小，整量化的精度越高；但对转换装置的频率响应、前置放大的稳定性的要求也越高。
- 模数转换（A/D）转换器实际上就是一个编码器。

# 理想A/D转换器的输入输出函数关系为：

$$D \equiv [u_x / u_R]$$

恒等号和括号的定义是D最接近比值  $u_x / u_R$

$D$  --- 数字输出信号

$u_x$  --- 模拟输入信号

$u_R$  --- 量化单位

**量化误差：** 比值  $u_x / u_R$  和  $D$  之间的差值。

- 量化误差是模数转换中不可避免的误差；
- A/D转换器的位数越多，量化误差就越小；
- A/D转换器的输入信号范围越小，量化误差也越小。



## 举例：

有一A/D转换器，输入模拟电压的范围为0—5V，输出的数字量为10位二进制数。

即当输入信号在  $0 \sim 5V$  内变换时，对应输出的二进制数在  $0 \sim (2^{10}-1)$  。

$$A/D \text{ 量化单位的电压为: } U_R = \frac{5000}{1023} = 4.888mV$$

若模拟输入电压  $U_x = 2.5V$ ，则：
$$\frac{U_x}{U_R} = 2500 / 4.888 = 511.46$$

A/D转换器的输出为：
$$D = [U_x / U_R] = 511$$

量化误差为：
$$511.46 - 511 = 0.46$$

或：
$$4.888 \times 0.46 = 2.25mV$$

量化单位越小，量化误差越小

模数转换的方法很多，在数显仪表中常用的有以下几种：

- (1) 双积分型（简称 **u-t** 转换型）；
- (2) 电压频率转换型（简称 **u-f** 转换型）；
- (3) 脉冲宽度调制型（简称调制型）；
- (4) 逐次比较电压反馈编码型（简称逐次比较型）。

具有较高的精度，且价格低廉，是目前使用较多的品种之一。

前三种属于间接法，第四种属于直接法。

# 双积分型转换原理：

- 先将输入的模拟电压信号  $u_x$  变换成与其平均值  $\bar{u}_x$  成正比的时间间隔（ $u \rightarrow t$ ），然后用脉冲发生器和计数器测量该时间间隔，从而得到与输入信号对应的数字量。

## 步骤：

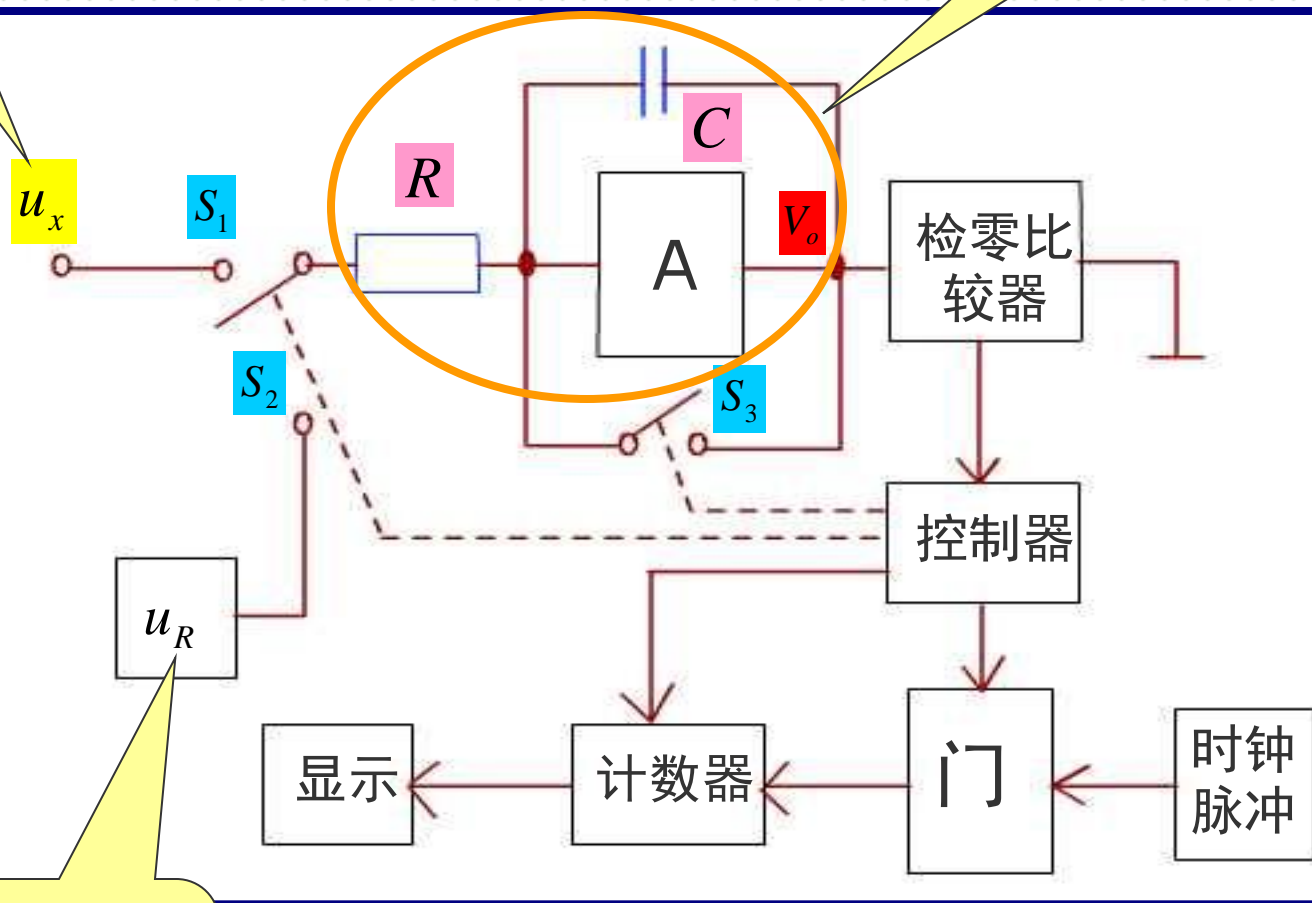
1. 在规定的~~时间间隔~~  $t_1$  内，完成被测电压  $u_x$  到平均值  $\bar{u}_x$  的转换；
2. 将平均值  $\bar{u}_x$  转换成与其成正比的时间间隔  $t_2$ ；
3. 将时间间隔  $t_2$  量化成数字量。

**动作过程分为两个阶段：**

- 1. 采样积分阶段；**
- 2. 比较阶段。**

被测电压

积分器



基准电压

极性与被测电压相反

双积分型A/D转换原理框图

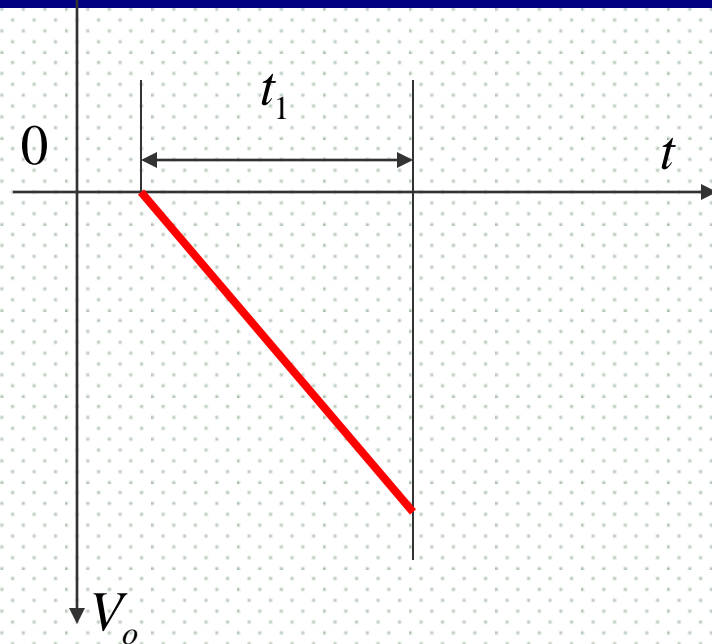
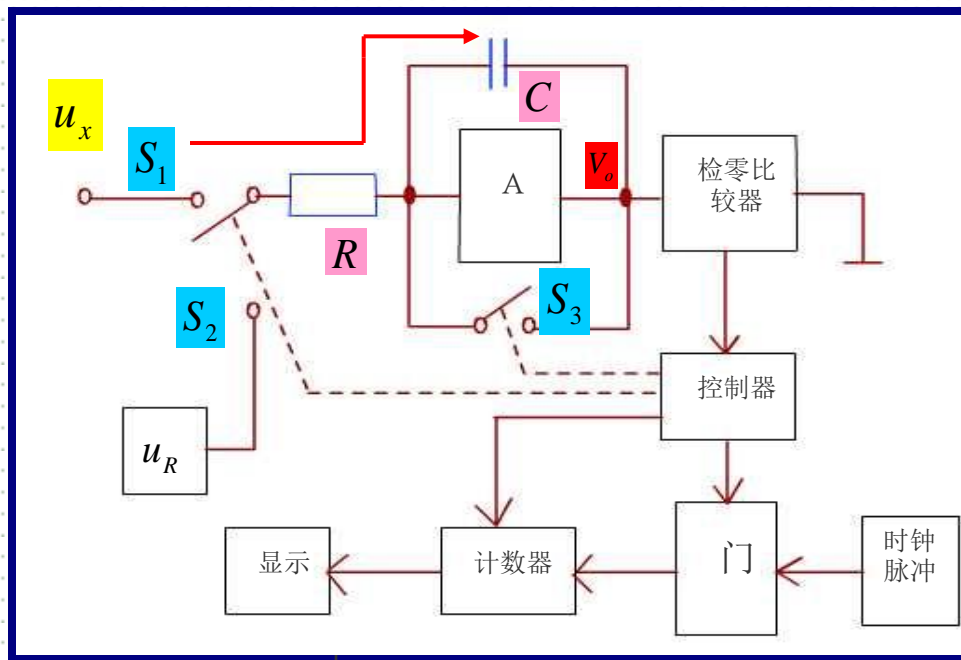
## 采样积分阶段：

**初始状态：**积分电容C上的电荷为零。

**开始时：**控制器发出脉冲指令，使计数器置“0”，同时合上 $S_1$ ，断开 $S_2$ 、 $S_3$ ，让输入电压对积分电容进行**固定时间**  $t_1$  的充电。

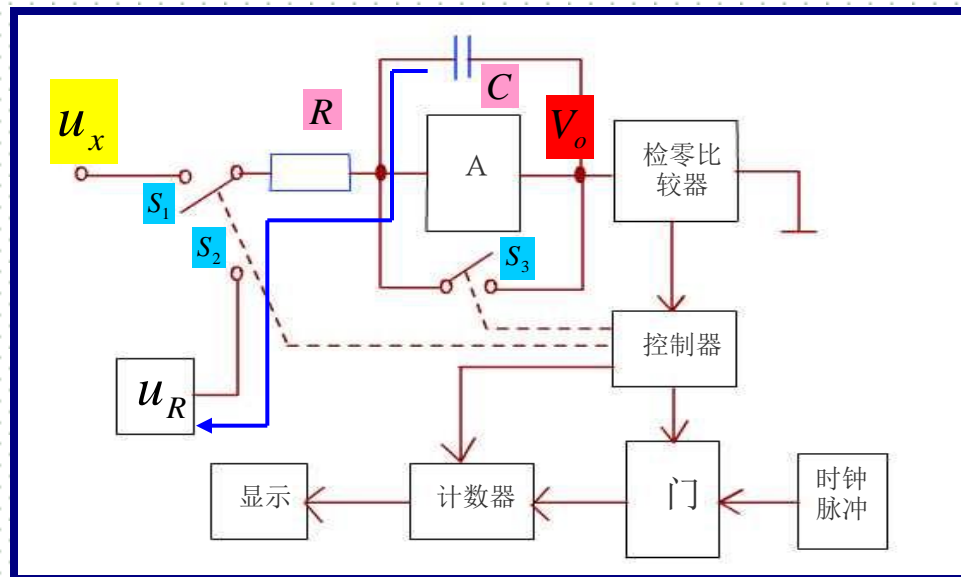
**假定**输入电压 $u_x$  是正的，则积分器的输出  $V_o$  **从零开始下降**。

$t_1$  **时间到后**，控制器再发出脉冲指令，断开 $S_1$ ，合上 $S_2$ （ $S_3$  不变），开始进入比较阶段。

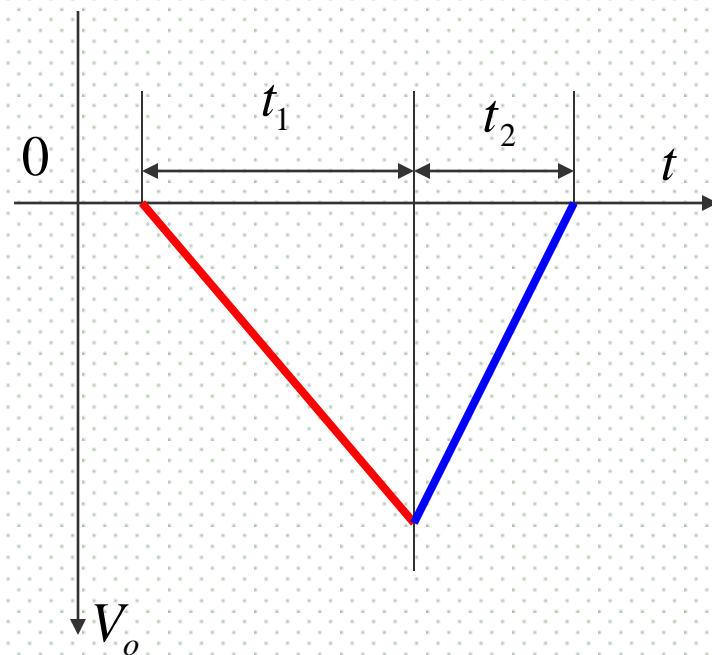


## 比较阶段：

**比较开始：**计数器开始计数，同时由极性与输入电压相反的基准电压  $u_R$  对积分电容C进行反向充电，使积分器的输出  $V_o$  上升。



**当  $V_o = 0$  时**，检零比较器动作，推动控制器发出指令：断开  $S_2$ ，停止  $u_R$  的充电；闭合  $S_3$ ，使积分电容C上的电荷仍为零；计数器停止计数  $t_2$ ，显示值为  $N$ （ $N = t_2 \cdot f_0$ ，其中  $t_2$  为反向充电时间； $f_0$  为计数频率）。



由于这种A/D转换器在一次转换过程中进行了两次积分，故称为双积分A / D转换器。



## 反向充电时间 $t_2$ 与输入电压 $u_x$ 的关系:

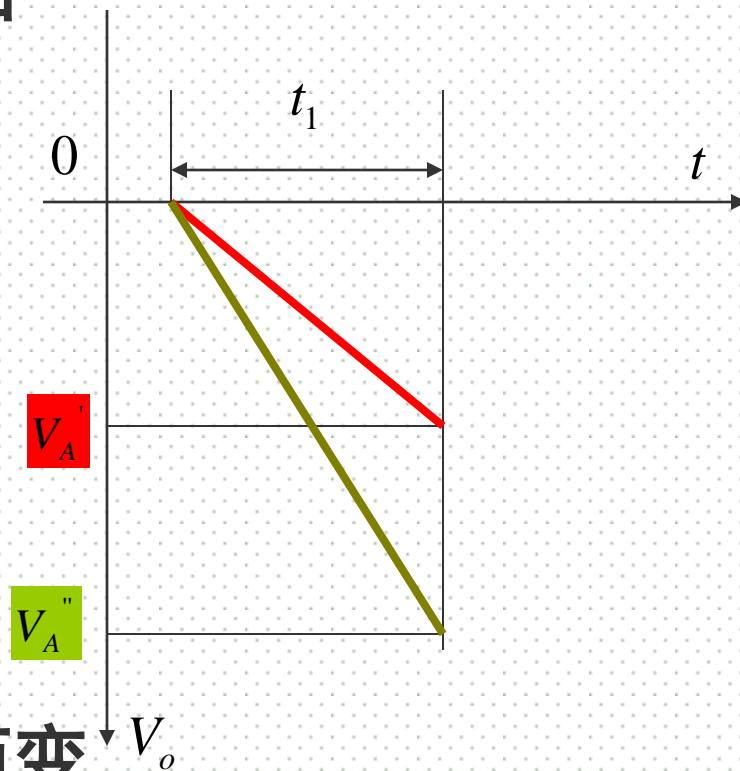
在**积分阶段**中，积分器的输出

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} u_x \cdot dt = V_A$$

$$\text{令: } \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} u_x dt = \bar{u}_x$$

斜率

$$\text{则有: } V_A = -\frac{1}{RC} \bar{u}_x \cdot t_1$$



可见正向积分时，斜率随  $u_x$  而变化。因  $t_1$  是固定的，所以当  $u_x$  越大， $V_A$  的绝对值就越大。

在比较阶段中，积分器的输出为：

$$V_o = V_A - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_1+t_2} -u_R \cdot dt$$

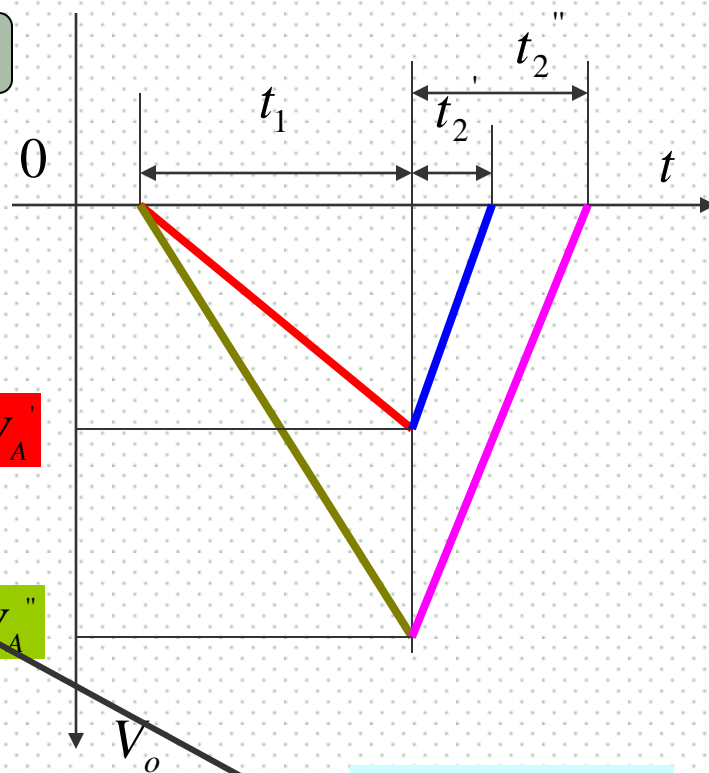
$$= V_A + \frac{1}{RC} u_R \cdot t_2 = 0$$

$$\text{解得: } t_2 = \frac{-V_A}{\frac{1}{RC} u_R} = \frac{t_1}{u_R} \cdot \bar{u}_x$$

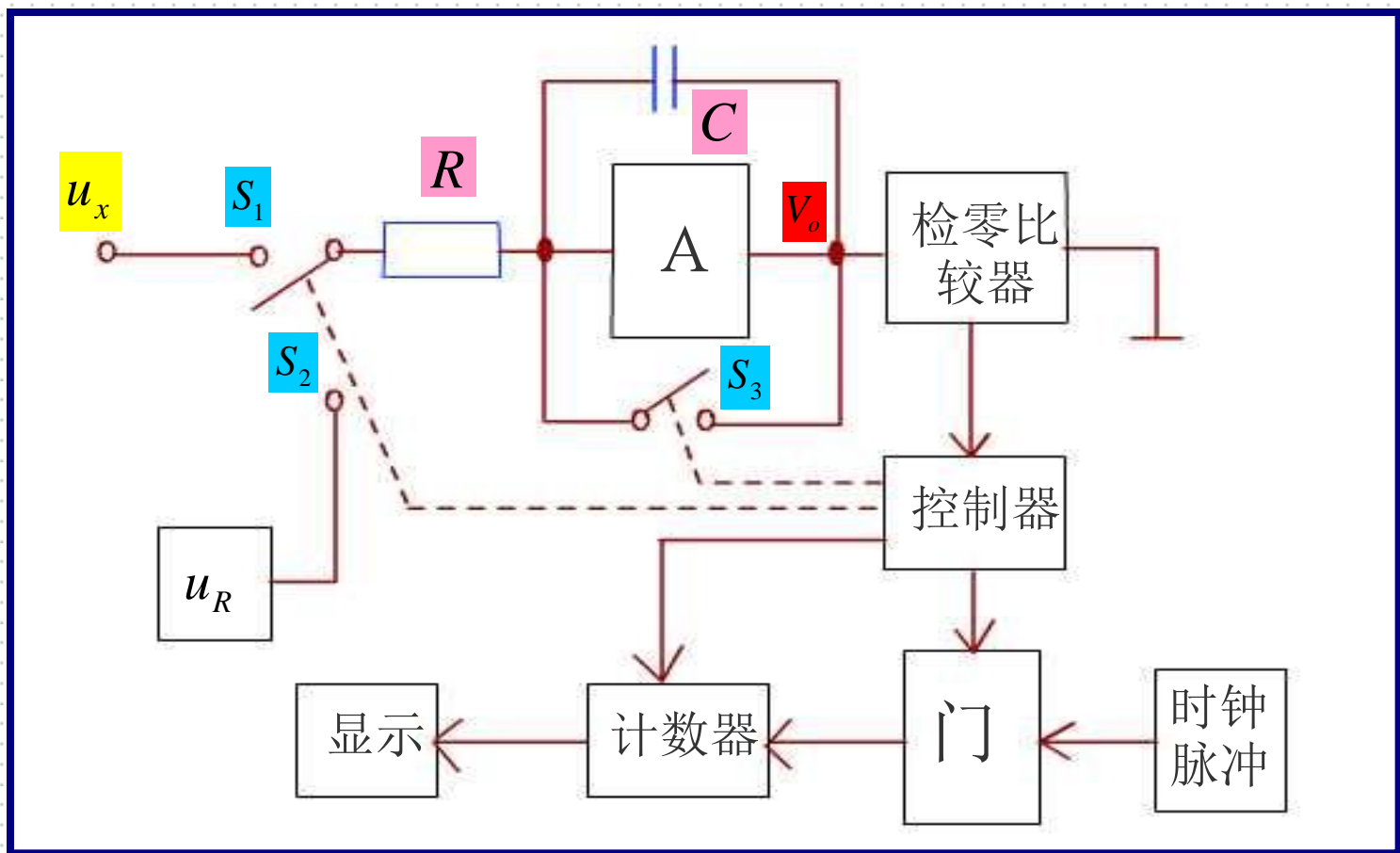
可见， $t_2$  与  $\bar{u}_x$  成正比关系。

另外，反向积分时，斜率是固定的，所以  $V_A$  的绝对值越大，反向充电时间  $t_2$ （计数时间）就越长。

斜率



$$V_A = -\frac{1}{RC} \bar{u}_x \cdot t_1$$



计数器记下  $t_2$  时间内时钟脉冲所发出的脉冲个数  $N$ ，完成从  $t_2$  到脉冲个数  $N$  的转换。

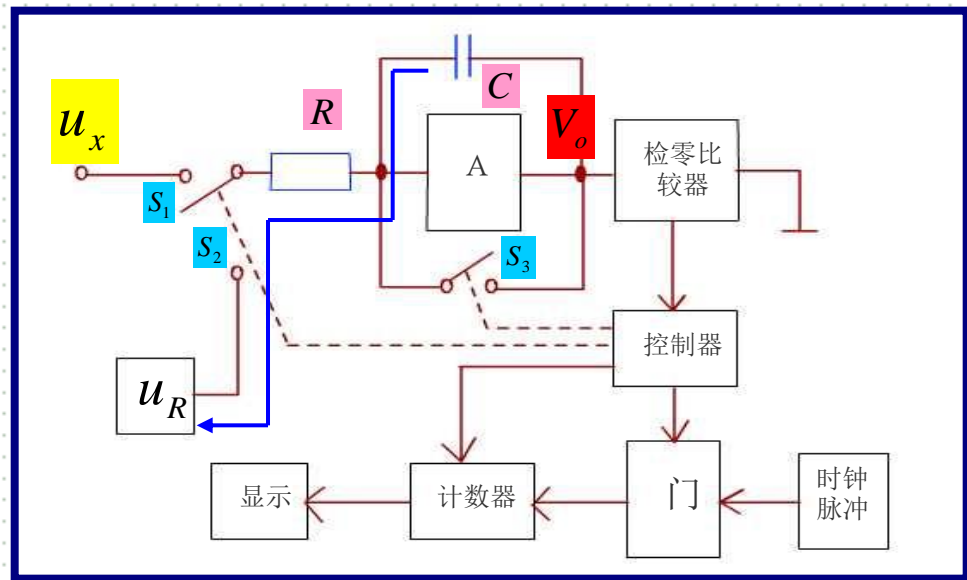
# 优点:

1. 对积分元件 $R$ 、 $C$ 的要求较低;
2. 对时标的要求大大降低;
3. 抗干扰能力强。

双向积分使得 $t_2$ 的产生与 $R, C$ 的大小无关。

$t_1$ 和 $t_2$ 采用同一脉冲源

对被测电压的平均值 $\bar{u}_x$ 进行转换



## 缺点：

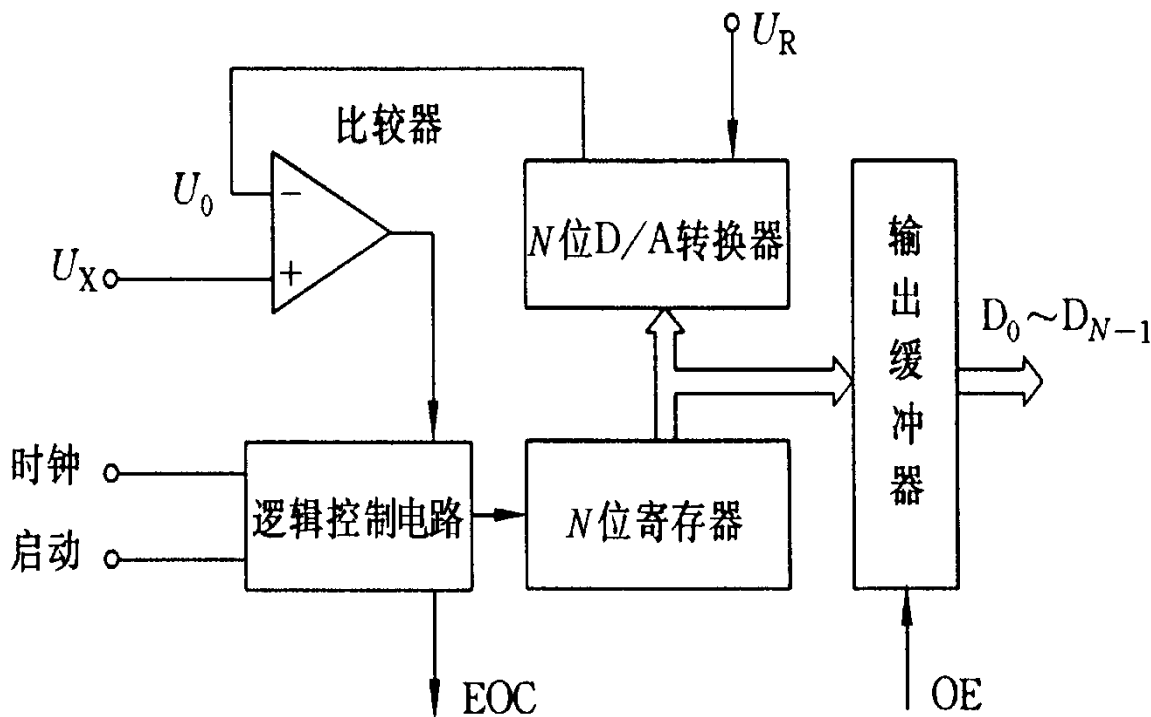
1. 测量速度慢，不宜用于快速测量采样系统；
2. 在  $t_2$  时间间隔内，被测电压被切断。若不满足  $t_2 \ll t_1$  的要求，将会造成较大的误差。

**逐次比较型：**

**具有转换速度快、精度高的特点，但抗干扰能力差；**

# 逐次比较式A / D转换器原理

它由**N**位寄存器、**N**位**D / A**转换器、比较器、逻辑控制电路、输出缓冲器 五部分组成，



逐次比较式**A / D**转换器大都做成单片集成电路形式，使用时只需发出**A / D**转换启动信号，然后在**EOC**端查知**A / D**转换过程结束后，取出数据即可。

脉冲宽度调制型：  
电压频率型：

都属于积分型的转换器，  
抗干扰能力强，但转换  
速度慢、精度差。

综合利用逐次比较型和积分型两种技术实现的复合型的A/D转换技术(高精度A/D转化技术)，在灵敏度、精度、转换速度、抗干扰能力等诸方面都大大提高。



### 三. 信号的标准化及标度变化

- 由传感器检测元件送给仪表的信号类型千差万别。将不同性质的信号，或不同电平的信号统一起来，称为输入信号的规格化，又称为**参数信号的标准化**。
- 标准化后的信号可以是电压、电流或其他形式的信号。其中将各种其他信号**变换成电压信号比较方便**。

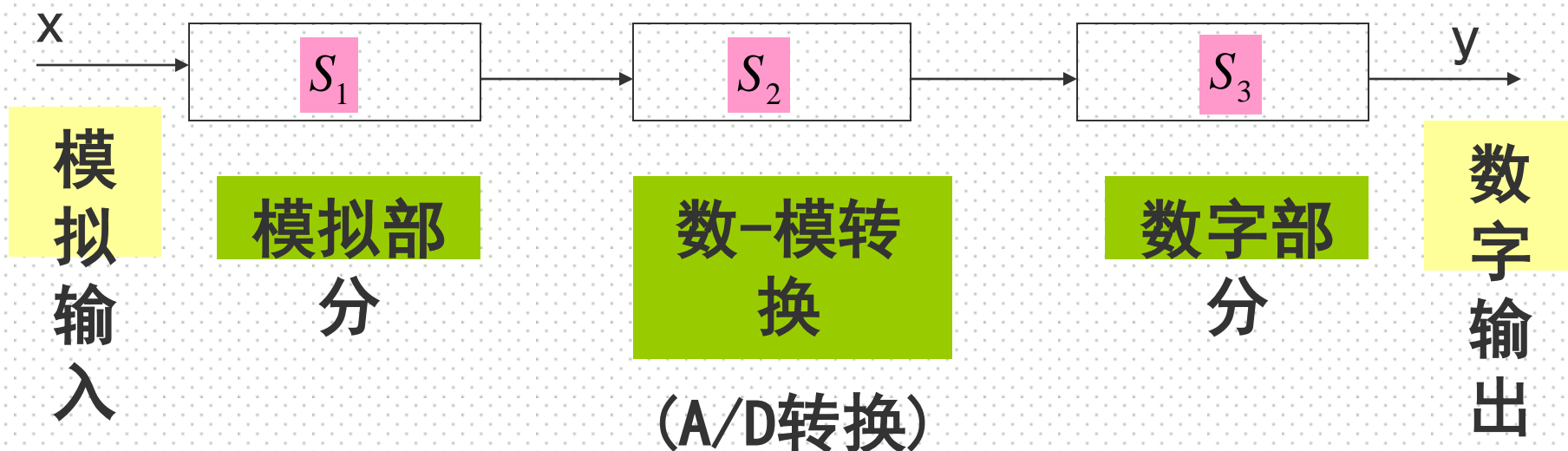
## 注意到：

对标准化后的信号进行 A / D 转换，**仅仅是将电压值以数字形式显示输出。**

实际上需要用被测参数的形式加以显示，即存在一个“**量纲还原**”的问题，使所显示数字值的单位与被测参数的单位一致。通常称为**标度变换**。

在 A/D 转换单元前改变模拟部分的转换系数，称为**模拟量的标度变换**；在 A/D 转换单元后改变数字部分的转换系数，称为**数字量的标度变换**。

# 一般数字仪表的组成原理框图



通常 A / D 转换器所采用的集成芯片的型号确定之后， $S_2$  就确定了。

若要改变仪表的标度变换系数，有两种方法：

1. 模拟量标度变换 （改变  $S_1$ ）
2. 数字量标度变换 （改变  $S_3$ ）

# 1. 模拟量标度变换

- 在模拟输入和A/D转换之间有一模拟电路，改变该电路的放大系数，即可实现标度变换。
- 当数字显示仪表以电阻、电感、电容等元件参数的变化量作为输入信号时，通常都采用电桥来进行标度变换。只要适当选择桥路电源E和桥路电阻，就可以达到标度变换的目的。
- 如果数字仪表的输入信号为热电偶的热电势，则选取前置放大器的放大倍数来实现标度变换。
- 另外，对电流信号和频率信号的标度变换也很简单。

假定用Cu100铜电阻测温，温度的显示范围为： $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，则对应的铜电阻的变化范围为：

$$100 \sim 121.40\Omega$$

$$\Delta R_t = 21.40\Omega$$

数字仪表末位跳一个字所需的输入信号

假定数字仪表的分辨率为： $100\mu\text{V}$

则仪表显示满度数字“50”时，对应的输入信号为：

$$\Delta u = 50 \times 100 = 5\text{mV}$$

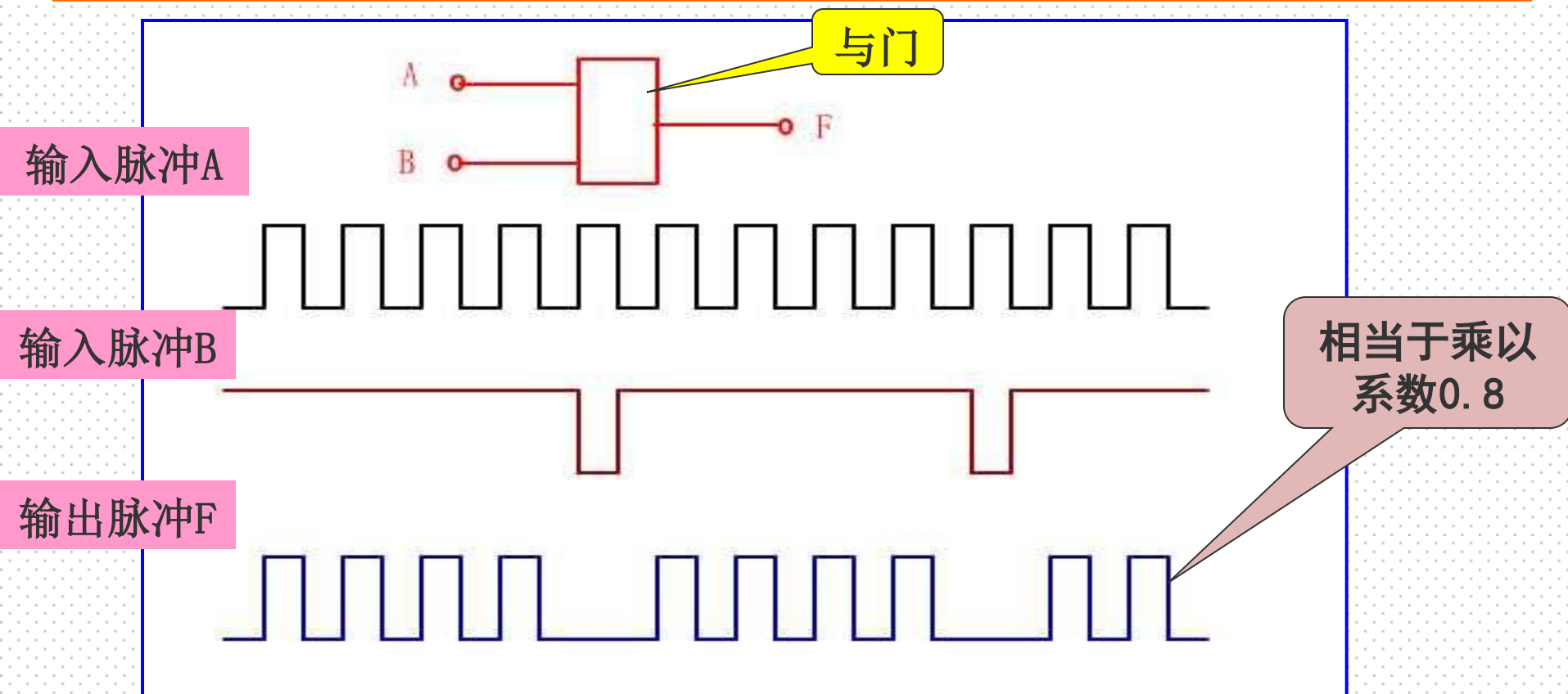
$$\because \Delta u = I \cdot (R_t - R_0) = I \cdot \Delta R_t$$

$$\therefore I = \frac{\Delta u}{\Delta R_t} = \frac{5}{21.40} = 0.23\text{mA}$$

即通过选择适当的桥路电源E或桥路电阻R便能得到该电流。

## 2. 数字量标度变换

数字量的标度变换是在 A / D 转换之后，进入计数显示之前。通过**乘以或除以**，即补足或扣除脉冲数的方法（称为系数运算）来实现。



例如：

某装置被测温度为  $1000^{\circ}\text{C}$ ，而经A/D转换器后输出1250个脉冲，不能直接加以显示。

如果通过系数运算器，乘上系数0.8，就可以显示出1000四位数，从而实现标度变换。

在智能化、微机化的显示仪表中，由于有CPU参与运算及判断，可以一体实现标度变换和非线性补偿，更能体现其优越性。

## 四. 非线性补偿

- 数字显示仪表是以**绝对值的形式**显示被测参数的，因此被测参数与仪表的输出量之间**必须有线性关系**，而许多参数之间往往是非线性关系（如温度与热电势的关系），从而需要进行非线性补偿。
- 非线性补偿的方法有两类：（1）**模拟式**非线性补偿法；（2）**数字式**非线性补偿法。
- 前者对模拟量进行非线性补偿后再转换成数字量，后者则将模拟量转换成数字量后才进行非线性补偿。



模拟式非  
线性补偿

```
graph LR; A[模拟式非线性补偿] --> B[直接采用非线性刻度]; A --> C[用数段折线来逼近原非线性曲线];
```

直接采用非线性刻度

用数段折线来逼近原非  
线性曲线

数字式非  
线性补偿

```
graph LR; A[数字式非线性补偿] --> B[非线性补偿专用电路——用于普通的数字显示仪表]; A --> C[软件编程法——用于智能化数字显示仪表];
```

非线性补偿专用电路——  
用于普通的数字显示仪表

软件编程法——用于智  
能化数字显示仪表

# 软件编程法

## (1) 查表法

将与传感器输出信号（电阻、电流或电势）对应的值存储在微处理器的存储器中，**相应的地址则与被测参数对应的值有一定的联系。**

被测参数的变化是从低到高线性增长的，存储器单元的地址也是从低到高线性增长的，**从地址中求得的价值就与被测参数成线性关系。**而被测参数与传感器输出信号之间的非线性关系则映射在存储器的表格之中。

通过查表（即将传感器的输出信号与存储器内的值加以比较），找到数值一致的单元，其**地址就将与被测参数成比例。**

## 举例：

设用铂电阻  $Pt100$  作为传感器来测温，仪表的测量范围为  $0 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，对应的电阻为  $100 \sim 194.07\Omega$ 。

在存储器的地址为1000开始的单元内，顺序存放与每一温度对应的电阻数据，各数据占据两个单元（共占用502个单元）。

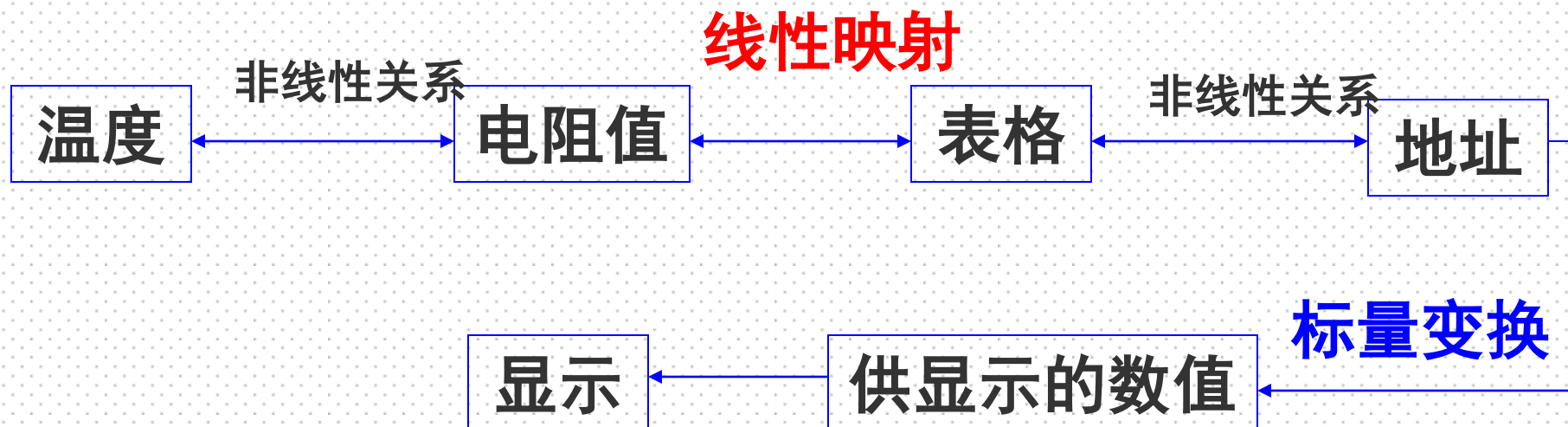
假定被测温度实际是  $200^{\circ}\text{C}$ （对应的电阻值为  $175.84\Omega$ ），计算机的搜索程序很快就能找到地址为1400和1401单元中存放着与其相等的数字量。

仪表的监控程序“抓”住这个地址“1400”不放，并进行简单的运算的结果为：

$$(1400-1000)/2=200$$

地址	存储器
1000	100.00
1002	100.39
1004	100.78
...	...
1200	138.50
...	...
1400	175.84
...	...
1500	194.07
...	...

# 线性化及标度变换的过程



## (2) 公式计算法

根据被测参数与传感器输出信号之间的（非线性的）函数关系，加以编程，从而直接计算出被测参数的大小来。

### 举例：

以铂热电阻测温为例。查有关手册，可得铂热电阻在  $0 \sim 630^{\circ}\text{C}$  范围内其温度电阻值的非线性关系可用公式表示为：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3)$$

其反函数形式为： $t = g(R_t)$

将与被测温度所对应的热电阻值  $R_t$  代入上式，立即可以计算出对应的温度来。

在智能仪表中，采用了“软件编程”后，使仪表的硬件大大减少，从而使仪表成本大大降低（往往会低于普通的数显仪表），而功能却大大增加（控制、纪录、通信等）。

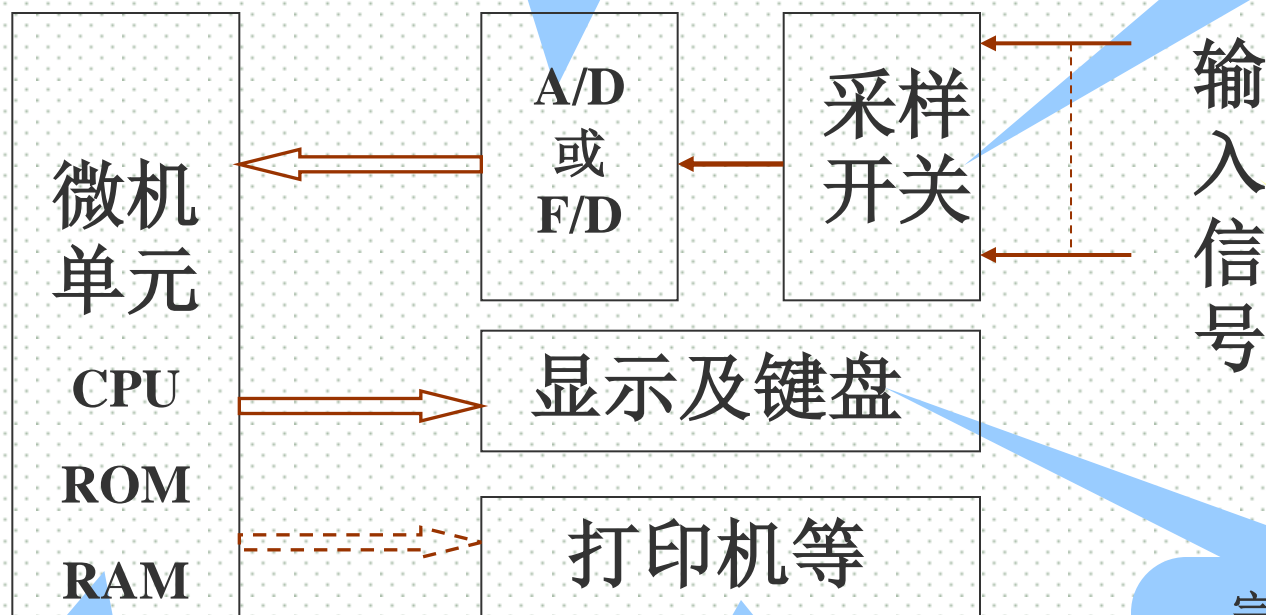
## 五. 无纸记录仪





对被测参数进行量化处理，以及对信号的标准化，以满足不同量程的测量要求

负责完成对多个被测参数的输入，实现各信号的周期采样



可以多个输入

仪表的运行支持和管理，常规数据处理，时钟维护，数据交换，故障诊断等。

实现所有记录、数据以及报警信息的输出

完成所需的各种设定和必要的命令，并以数字方式显示各种被测量、参数设置和工作状态等。

END