

模拟长过程控制仪表

(上)

第四章 模拟信号的变换

本章讨论用于过程控制系统中系统元件之间的信息的标准统一信号的形成原理及其互相转换。

§ 4 - 1 信号体制

一、概述

根据“IEC/TC 65”的定义，所谓过程控制系统元件是指对被测量值、控制量、被控变量和参比变量进行转换、传输和处理的元件即变送器、指示仪、调节器、记录仪、计算机、执行机构等。大家知道，目前生产过程控制的一个主要特点是广泛采用仪表控制。也就是说，广泛采用系统元件。因而在过程控制系统中，系统元件（仪表）之间的传送信息的信号体制是否合理，是一个十分重要的问题。为了促进国内和国际的统一，应当有一个科学的适用的标准统一信号。通过标准联络信号，把系统元件有机地组织起来，形成各种调节和控制系统。

但是，实际情况是，由于各国的情况不同，目前各国采用的标准联络信号也不尽一致。多数是以采用直流电流制为多数。一般认为，直流与交流比较，直流的优点很多，如在信号传输线中不受交流感应的影响；不受传输线路电感、电容和负载性质的限制，不发生相移问题，使接线简化；容易与多数为直流信号输入的数据处理和计算机配合。而电流与电压信号比较，则电流信号的优点较多，如电流与磁作用，容易变换为机械力；传输导线的电阻在一定范围内变化，不会影响电流值，因而适用于远距离传输信号；对于接受电压输入信号的系统元件亦能适应，在电流回路中串入一电阻，即可在电阻两端得到输入电压，所以使用

关于信号电流的强弱各国也不，

克弱一点，

上限低一点，有的主要不从零开始。一般说来，对于采用力平衡机构的参量变送器来说，希望电流越大越好，因为这样产生的电磁平衡力大，有利于设计和制造；为了减少信号在传输线路中的损失和缩小仪表的体积，同时提高仪表的安全性和防爆性，希望信号电流越小越好；为了实施模拟量的加、减、乘、除、开方、乘方等运算和采用通用刻度的显示或记录仪表，希望信号的下限从零开始；为便于检验信号传输线有否断线，并有利于设计变送器放大装置，简化结构，当上下限电流比为5时，与气动单元组合仪表的0.2~1.0 kgf/cm²的标准信号相对应，便于电—气转换，希望下限不从零开始。

根据 IEC/TC65 的定义，模拟直流电流信号的范围是由信号的下限和上限所确定的。信号电流的下限是对应于直流信号最小值的电流。被测量值的下限可用一个零信号或一个定值信号表示。当用零信号时，称为“真零”；当用定值信号时，称为“活零”。信号电流的上限是对应于直流信号最大值的电流。

模拟直流电流信号的范围规定如表 4-1 所示。

表 4-1

上 限 mA	上 限 mA
4	20*
0	20

二、我国采用的信号体制

我国目前并存着两种标准信号制度，在 DDZ-I 型和 DDZ-II 型仪表中采用 0-10 毫安直流电流作为标准信号，而在 DDZ-III 型仪表中，采用 IEC/TC65 规定的 4-20 毫安直流电流作为标准信号。

* 优先标准

可见，采用了“灵活点”的安排，除了有利于识别仪表断电、断线等故障外，为现场变送器实现两线制提供了可能性。所谓两线制变送器就是将供电的电源线与信号的输出线合并起来，一共只用两根导线。由于信号为零时，变送器内部总要消耗一定的电流，所以用零电流表示零信号时是无法实现两线制的。在工艺上使用两线制变送器不仅节省电缆，布线方便，且大大有利于安全防爆。因为减少一根通往危险现场的导线，就减少了一个窜进危险火花的门户。

此外，控制室内各仪表之间的联络信号为直流电压 $1-5\text{V}$ （TF型装置中采用 $0-10\text{V}$ ）。这样，系统元件之间信息传递信号是电流传送与电压接收的并联制。如图 4-1 所示。使用现场与控

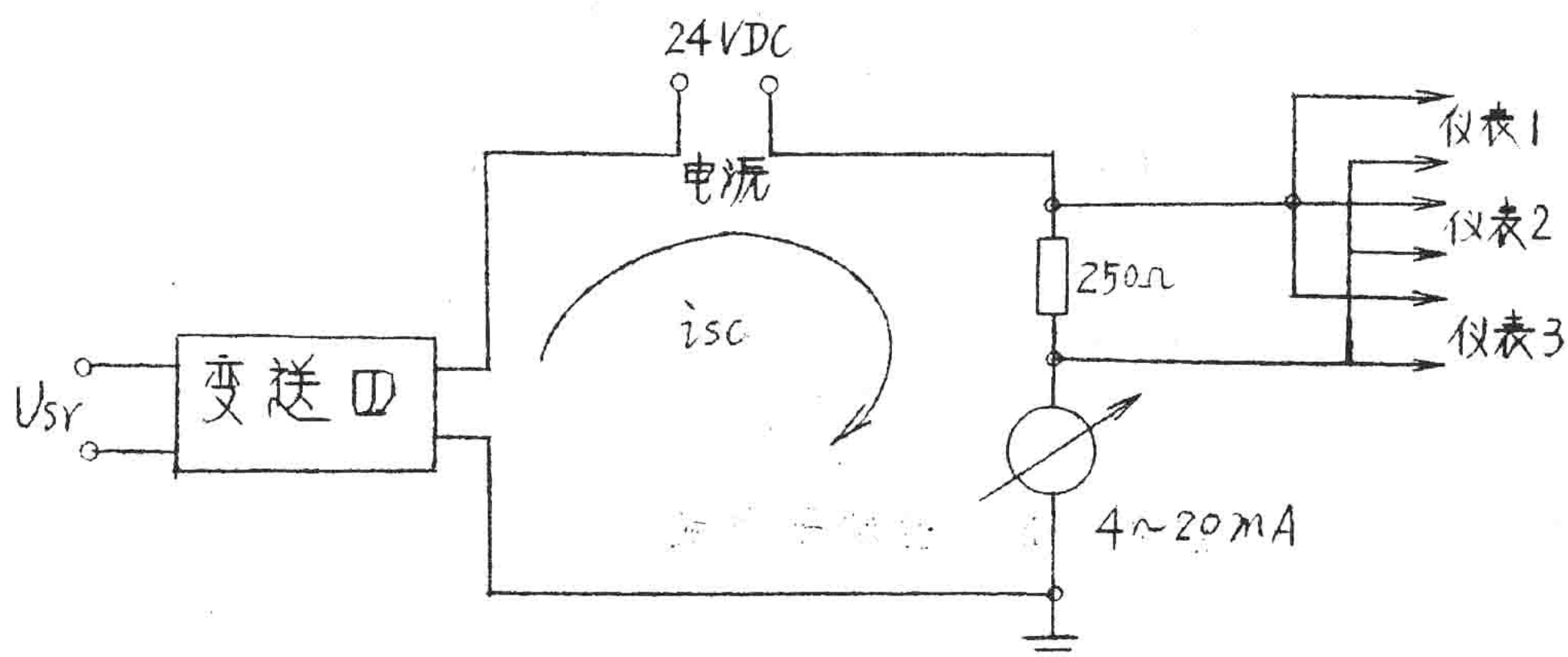


图 4-1 仪表并联工况

制室之间的联络信号为直流电流 $4\sim 20\text{mA}$ ，所有进入控制室的电流信号，都经过一个 250Ω 的转换电阻转换成 $1-5\text{V}$ 的电压信号。控制室内各仪表同时接受 $1-5\text{V}$ 的输入电压而工作。

§ 4-2 变送器的构成原理

接受物理量信息（即输入量），并根据一定的定律变换为同样或别种物理量的装置称为传感器。把输出为一个标准化了的信号的

传感器称为变送器。可见，标准信号是由变送器来实现的。

通常，变送器的构成必须采用反馈平衡手段，其反馈的具体形式是发展的。目前大致采用以下几种反馈平衡形式的变送器：即位移平衡式，力（力矩）平衡式、电平衡式等等。

一、位移平衡式：

许多检测元件感受被测量之后产生位移变化，因而可以将位移量作为变送器的信号输入，同时把位移量作为反馈与输入位移相平衡，这种反馈平衡称为位移平衡。如图 4-2 所示。

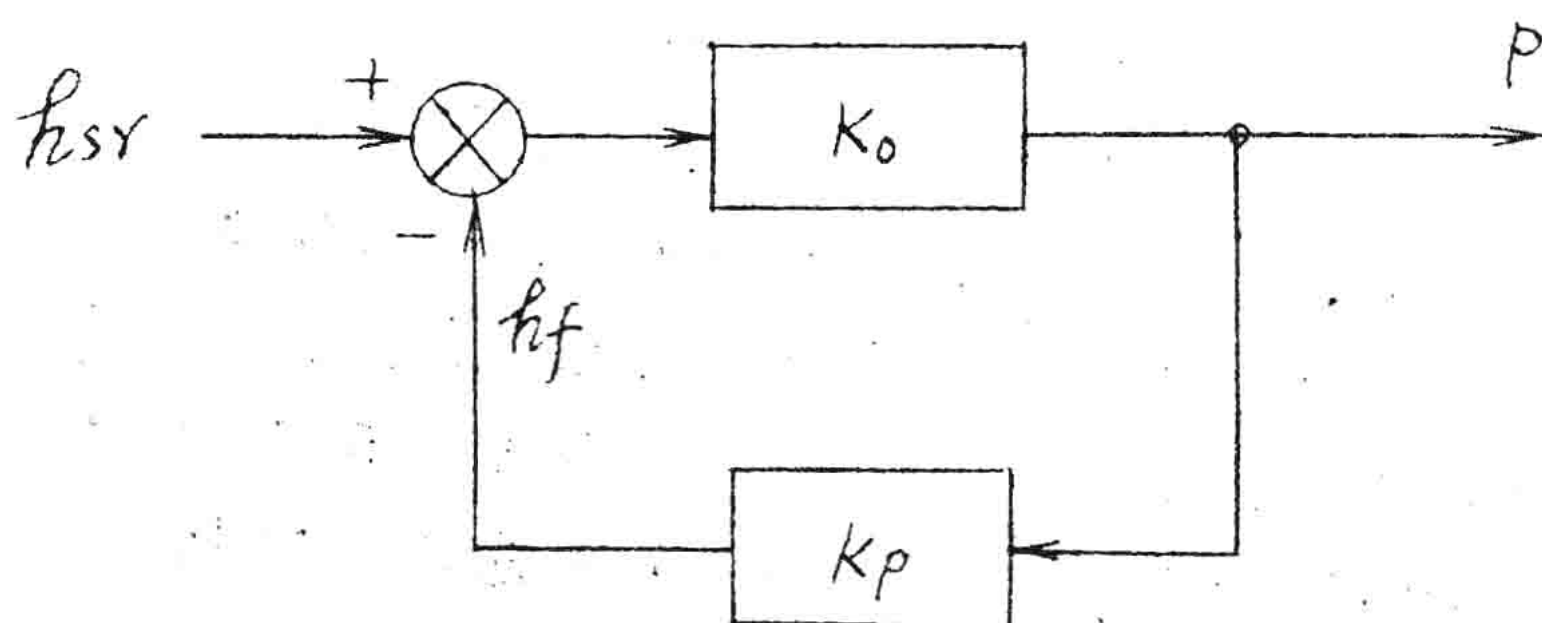
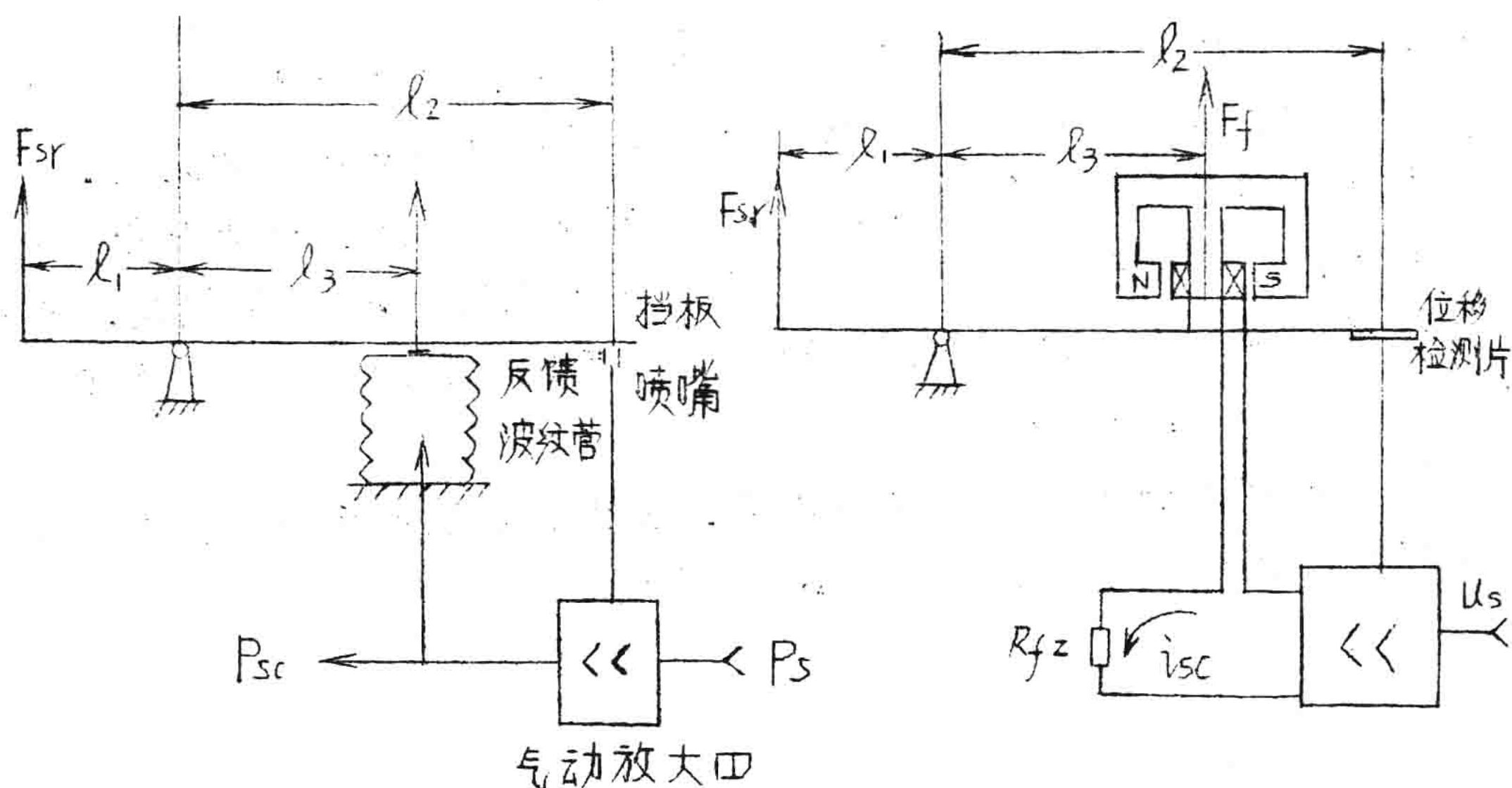


图 4-2 位移平衡式

输入信号 h_{sr} 是一位移量。 h_f 是反馈位移量，输出是气压 P 。这是一个气动转子流量变送器。这种位移反馈方式的变送器用在精度要求不高的场合。它有结构简单、工作稳定可靠的优点。发展较早，仍将得到发展。

二、力（力矩）平衡式：

力平衡式是目前普遍采用的一种反馈平衡方式，其工作原理是基于测量力和反馈力的平衡，确切地说，是基于测量力矩和反馈力矩的平衡。这类变送器，测量力和反馈力是通过杠杆机构来实现的。如图 4-3 所示。



(a) 气动平衡式

(b) 电动平衡式

图 4-3 力平衡式变送器

平衡时，

$$F_{sr} \cdot l_1 = F_f \cdot l_3$$

(4-1)

对于图 4-3(b) 有

$$F_f = K_f I_m$$

式中， K_f ——电磁结构常数，于是

$$F_{sr} \cdot l_1 = K_f I_m \cdot l_3$$

$$I_m = \frac{l_1}{K_f l_3} F_{sr}$$

(4-2)

在力平衡变送器中，杠杆处于平衡状态，测量元件与反馈元件仅有极微小的位移。因此，力平衡变送器在精度、灵敏度和反应速度等方面均比位移平衡式优越。

三、电平衡式：

许多物理量的变化可以转换为某一电量的输出，在仪表中如能产生反馈电量和被测参数转换来的电量直接比较平衡，即能实现闭环形式的以标准信号输出的变送器。这种输入电量和反馈电量平衡

的形式称为电平衡。电子反馈技术的应用，使得这类变送器较易实现。如图 4-4 所示，以热电偶发出的热电势 e 作为输入量，通过放大器转换成直流输出电流 I_m 。它在电阻 R_f 上产生反馈电压 $u_f = R_f I_m$ ，此反馈电压 u_f 和输入信号电压 u_{sr} 极性相反，其偏差信号作为放大器的输入。通过这样的反馈平衡过程，最后使之

$$u_{sr} \approx u_f$$

此时，若合理选择电路参数，放大器就能获得对应温度变化范围的标准信号输出，并与 u_{sr} 成比例。

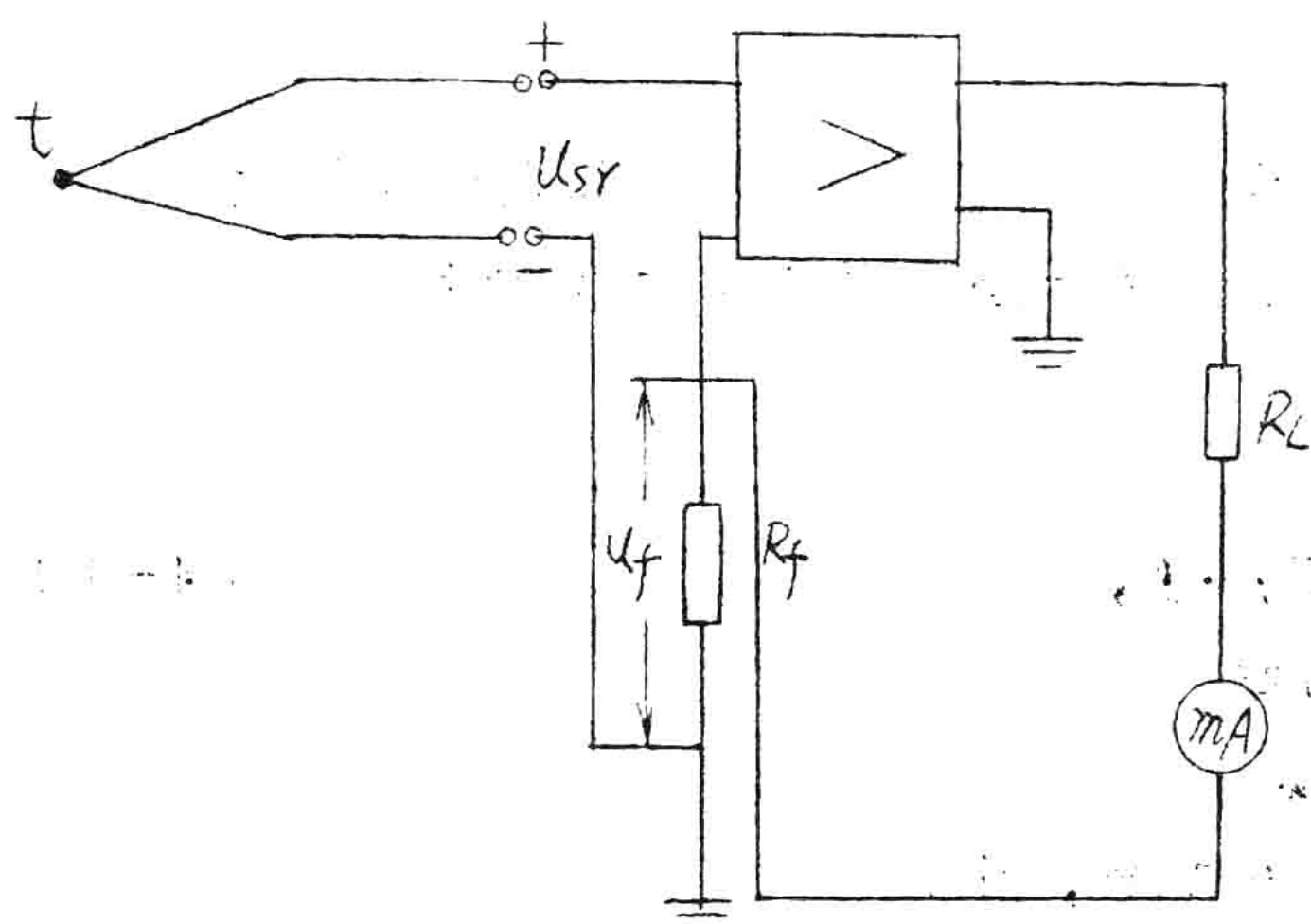


图 4-4 电平衡式变送器

§ 4-3 电平衡式变送器

以电平衡原理制成的变送器很多，这里讨论温度变送器。

一、概述

在温度变送器中，根据所用的检测元件及参数的不同有不同的品种，但它们的基本组成是相同的，核心都是一个直流电平—电流变换器（mV—mA）。大致分为输入电路、放大电路和反馈电路三部分，如图 4-5 所示。

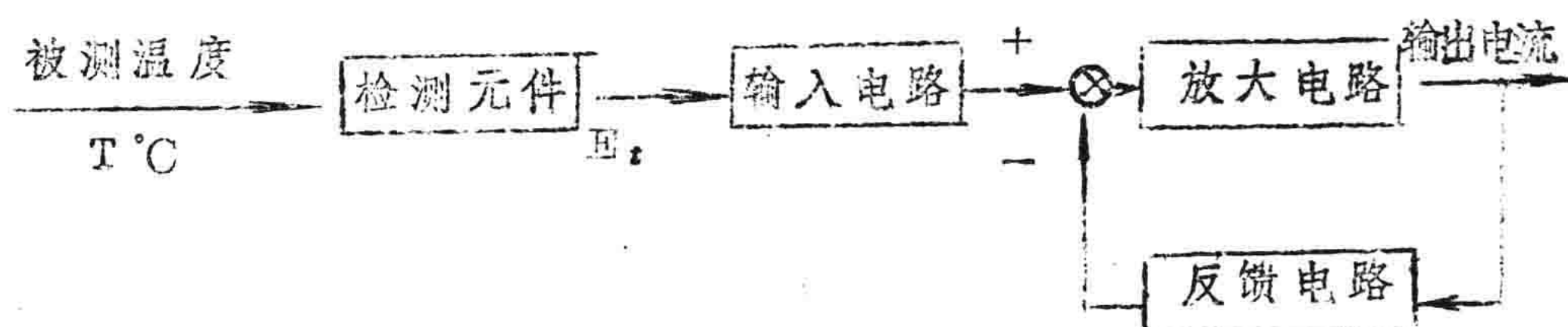


图 4 - 5 温度变送器方框图

图中的输入回路，主要解决零点调整，量程变化以及对于热电偶温度变送器进行冷端温度使补偿等问题。例如一个热电偶温度变送器，其输入回路如图 4 - 6 所示。它是一个大家熟知的输入电桥。它的左半边是产生冷端温度补偿电势的。铜电阻 R_{cu} 安装在热电偶冷端接点处。由图可见，当热电偶冷端温度升高时，热电势 E_t 下降，但由于 R_{cu} 增值，在 R_{cu} 上的压降增加，只要铜电阻选择适当便可得到较好的补偿。例如对铂—铂热电偶，其冷端温度在 $0-100^{\circ}\text{C}$ 间变化时的平均热电势为 $6\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ，设钢的电阻温度系数为 $\alpha = 0.004/^{\circ}\text{C}$ ，则全补偿条件为：

$$i_2 (\text{mA}) R_{cu} (\mu) \times 0.004 (1/\%) = 6 (\mu\text{V}/^{\circ}\text{C})$$

如 $i_2 = 0.5\text{mA}$

则 $R_{cu} = 3\Omega$ 。

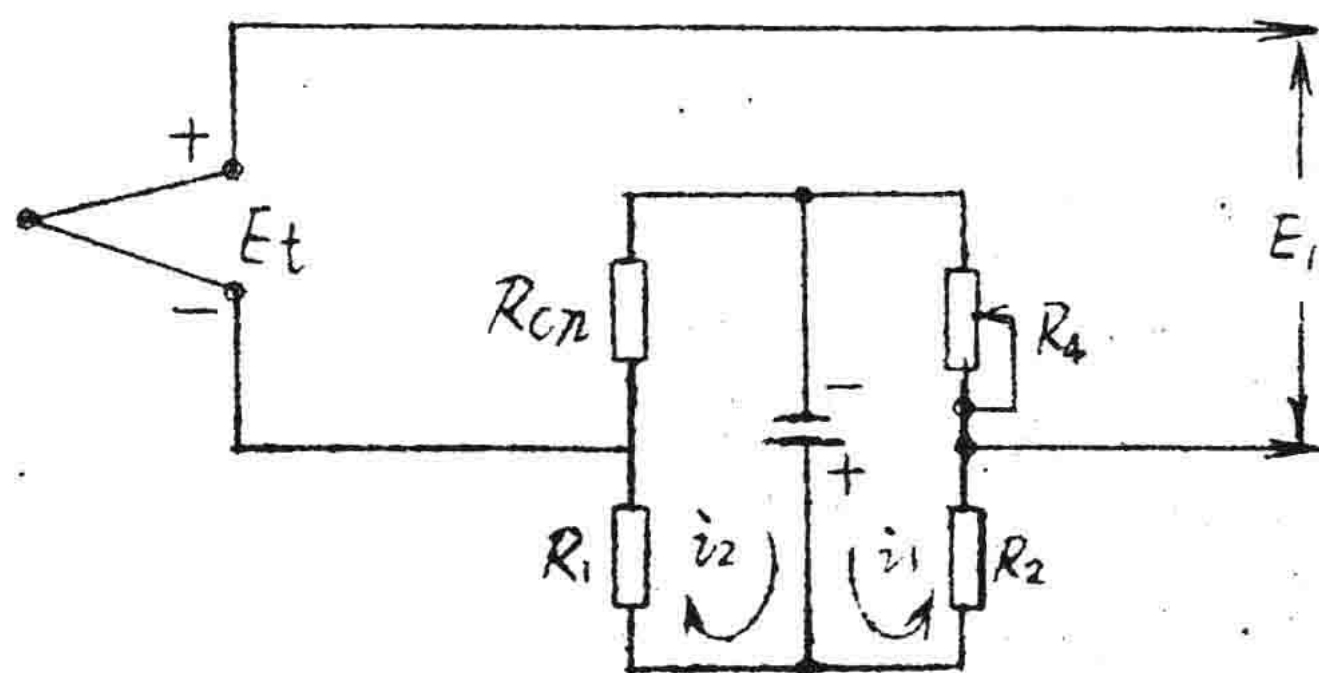


图 4 - 6 热电偶输入回路

严格地说，热电势的温度特性是非线性的，而铜电阻与温度的关系曲线却接近线性，两者不可能取得完全补偿，但在冷端温度变化范围不大时，这样的补偿亦可令人满意的了。

桥路的右半部分是调零电路（或称零点迁移电路）。调整 R_4 ，可以自由地改变桥路输出零点。对于大幅度的零点调整，必须进行零点的迁移。如图 4-7 所示。

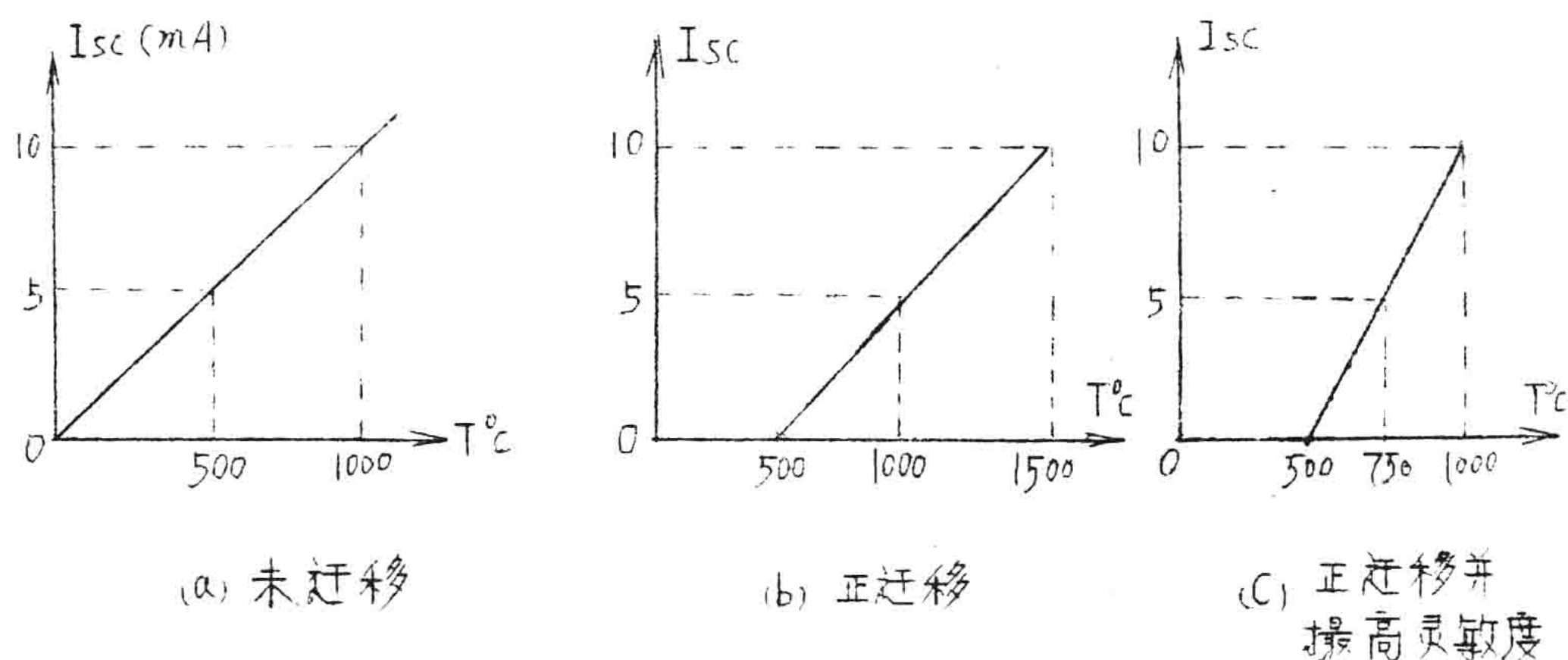


图 4-7 温度变送器的零点迁移

图 4-7 (a) 为零点不迁移的情况。图 4-7 (b) 为正迁移，给热电势反向加上一个相当于 500°C 的附加电势，因此只有当温度超过 500°C 时，变送器才有输出，由未灵敏度未变，输入输出特性只是向右平移。图 4-7 (c) 的情况是在零点迁移 500°C 之间，又把灵敏度提高一倍，这样变送器不仅反映的起始温度变了，而且量程范围也变了，成为 $500^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。

作为温度变送器的放大电路必须是高增益和低漂移的直流放大器。因而对放大电路要求较高，在早期，一般都采用调制—解调制式直流放大器，近来由于半导体工业的迅速发展，出现了高水平的集成运算放大器，因而在变送器中采用低漂移、高增益的集成运算放大器成为现实。

除了对增益和漂移的要求以外，温度变送器的放大器还应当具

有较高的抗干扰能力，尤其是抗模干扰的能力。

图 4-8 是目前较为广泛采用的一种抗共模干扰的原理线路。

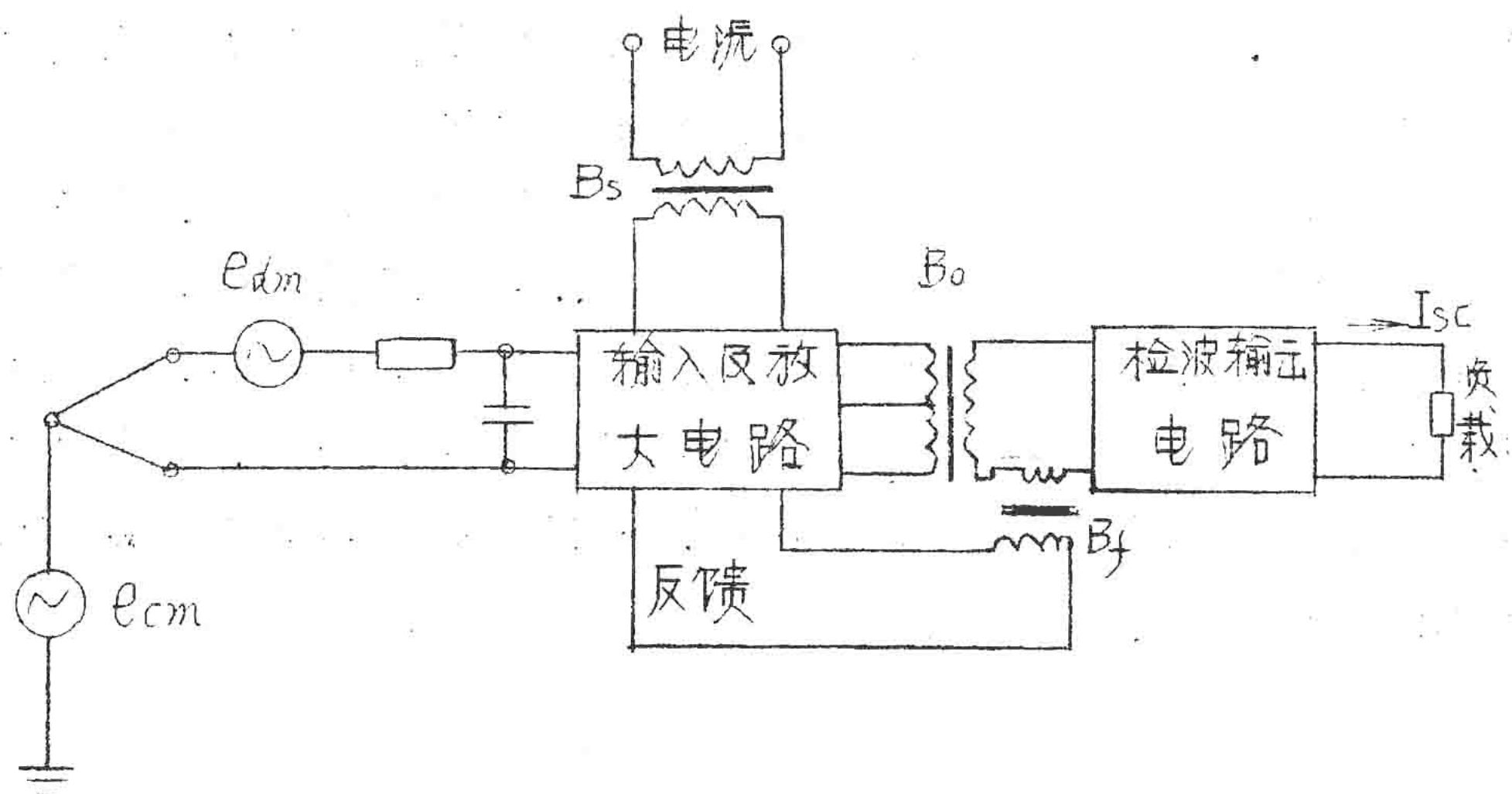


图 4-8 变送器的抗干扰措施

图中， e_{cm} —— 共模干扰电压；

e_{dm} —— 差模干扰电压。

变送器用隔离变压器分为互相绝缘的两部分，其中输入和放大电路部分与检测元件相连，但对地浮空；另一部分检波输出电路与负载相连，可以接地或不接地。仪表工作时，热电势直流输入信号先经放大电路放大以后，再由变流器变换为交流，经输出变压器 B_0 以磁耦合供给输出电路。同样，电源和输出电流反馈信号也分别通过变压器 B_s 、 B_f 供给放大电路，这种将放大器浮空的办法能切断共模干扰电压的通路，或者说把它完全降落在隔离变压器的绝缘层上。

我们已知，为了克服放大电路的非线性以及增益、负载变化引起的误差，温度变送器都采用闭环方式构成，这时只要保持输入和反馈电路的参数稳定，在放大电路增益足够高时，其闭环传递函数可保证十分稳定。

考虑测温检测元件的非线性，例如铂—铂热电偶在 $0 - 1000^{\circ}\text{C}$ 间，电势与温度关系的非线性约为 6% ，如果变送器的输入回路和反馈回路都是线性的话，变送器的输出将随输入毫伏信号作线性变化，它与温度的关系就是非线性的了。这是目前国内工业上使用的温度变送器的多数情况。为了使输出能直接与被测温度成线性关系，以便指示及控制，特别是便于和计算机配合，需在变送器的输入或反馈电路中加入线性化电路，对检测元件的非线性给予修正。图 4-9 就是使用非线性反馈的电路。如图所示，当温度高时，热电偶灵敏度偏高的区域，使负反馈作用强一些，这样以反馈电路的非线性补偿热电偶的非线性，可以获得输出电流 I_{sc} 与温度 $T^{\circ}\text{C}$ 的线性关系。

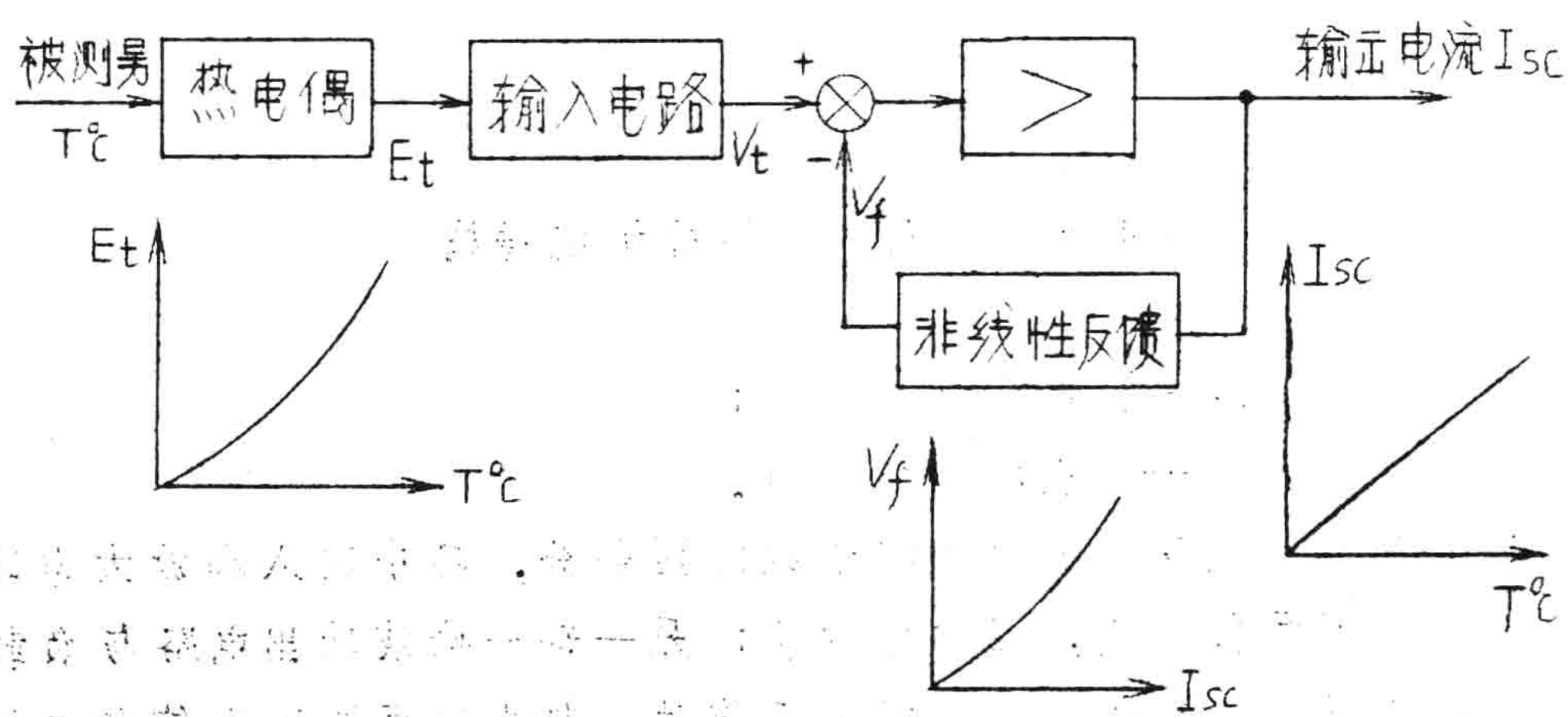


图 4-9 温度变送器的线性化方法

由上述可知，如果把反馈电路归并到放大电路之中，整个变送器可归结为由两大单元组成，即量程单元和放大单元。

温度变送器一般分为三个品种，即直流毫伏变送器、电阻体（热电阻）温度变送器、热电偶温度变送器。它们在结构上都分为量程单元和放大单元两部分。其中放大单元是通用的，而量程单元

则品种和测量范围不同而不同。

三种变送器的结构框图如图 4-10、图 4-11、图 4-12 所示。

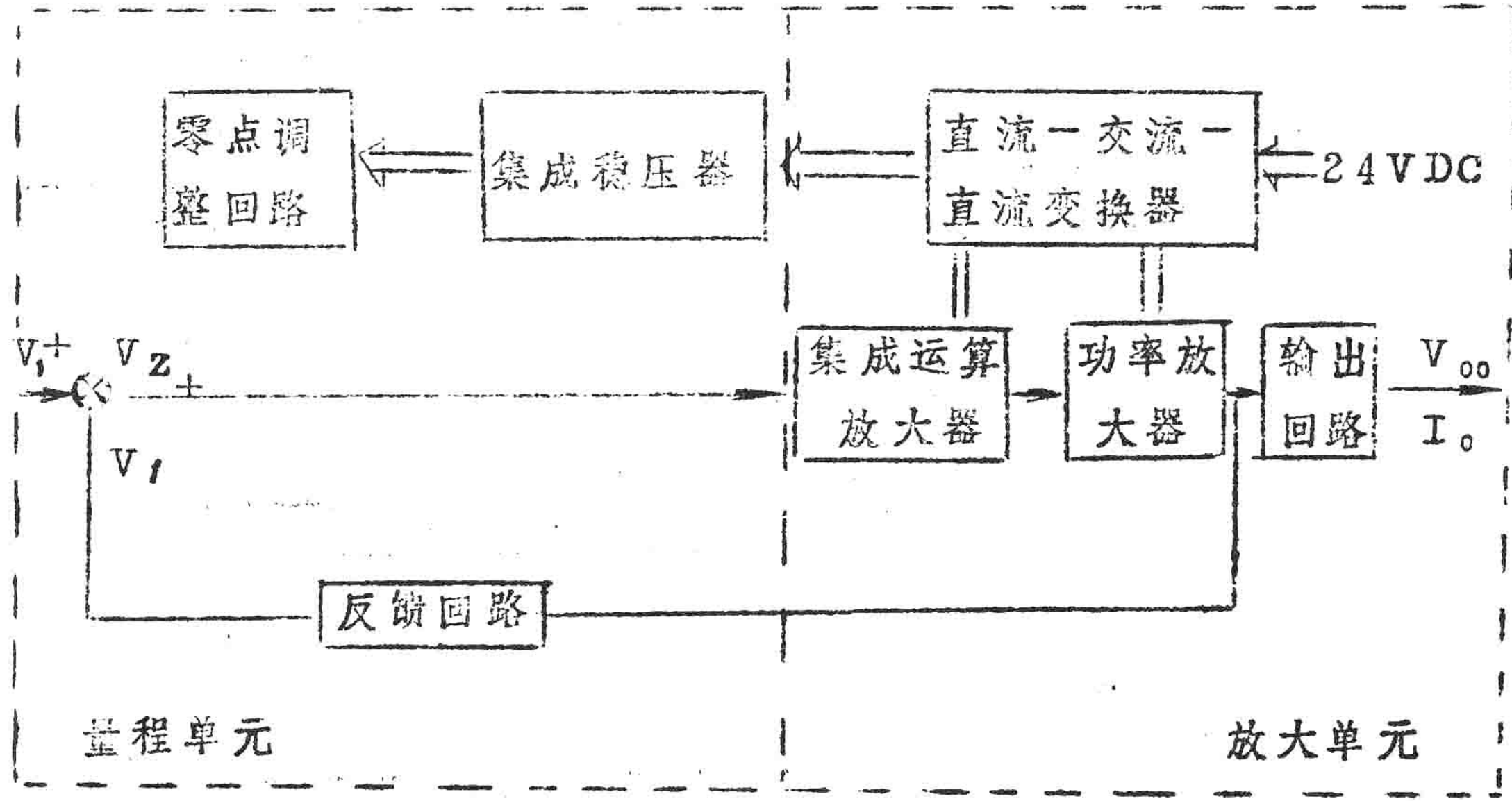


图 4-10 直流毫伏变送器结构方块图

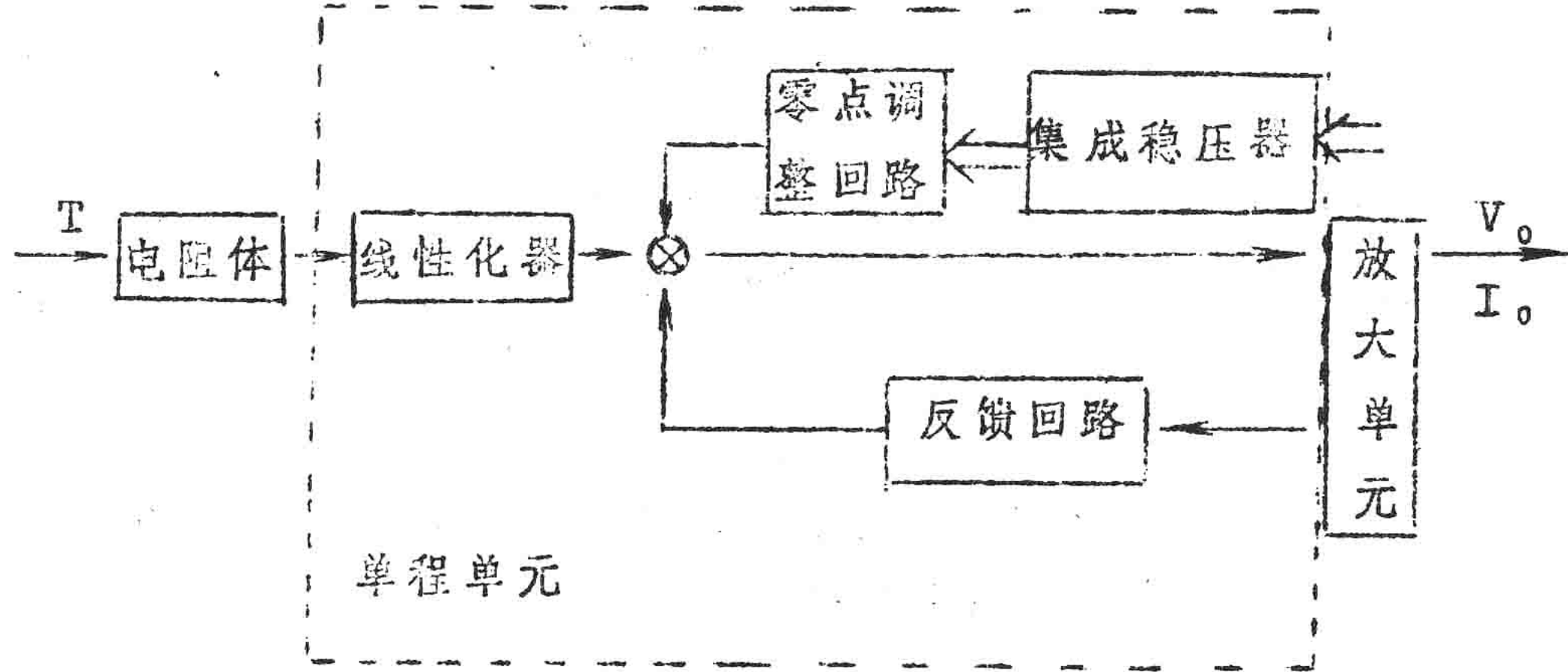


图 4-11 电阻体温度变送器结构方块图

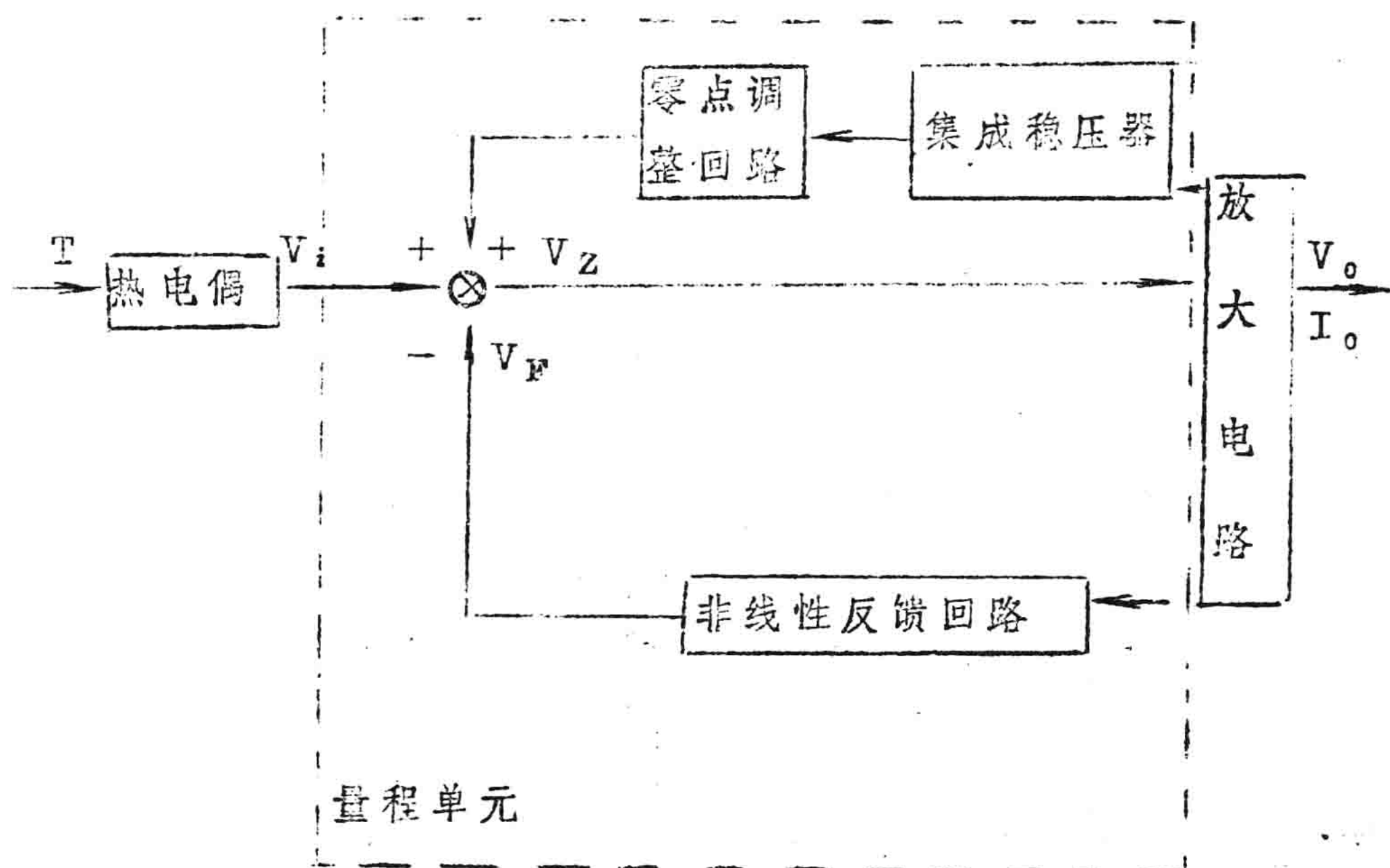


图 4 - 12 热电偶温度变送器结构方块图

二、放大单元的工作原理

放大单元由集成运算放大器、功率放大器、输出回路、直流—交流变换器等部分组成。其原理线路如图 4 - 13 所示。

由前已知，温度变送器对于集成运算放大器的要求是高增益和低漂移。一般要求其电压增益 $10^4 \sim 10^5$ ，失调电压温度漂移应小于 $0.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

1. 功率放大器

功率放大器的作用是把电压信号转换为具有一定负载能力的电流信号。其原理如图 4 - 14 所示。

由复合管 T_{a1} 、 T_{a2} 及其射极回路电阻 R_a ，电流互感器 B_0 等元件组成。它是来自于直流—交流—直流变换器的方波电压供电的乙类放大器，不仅具有放大作用而且具有调制作用。

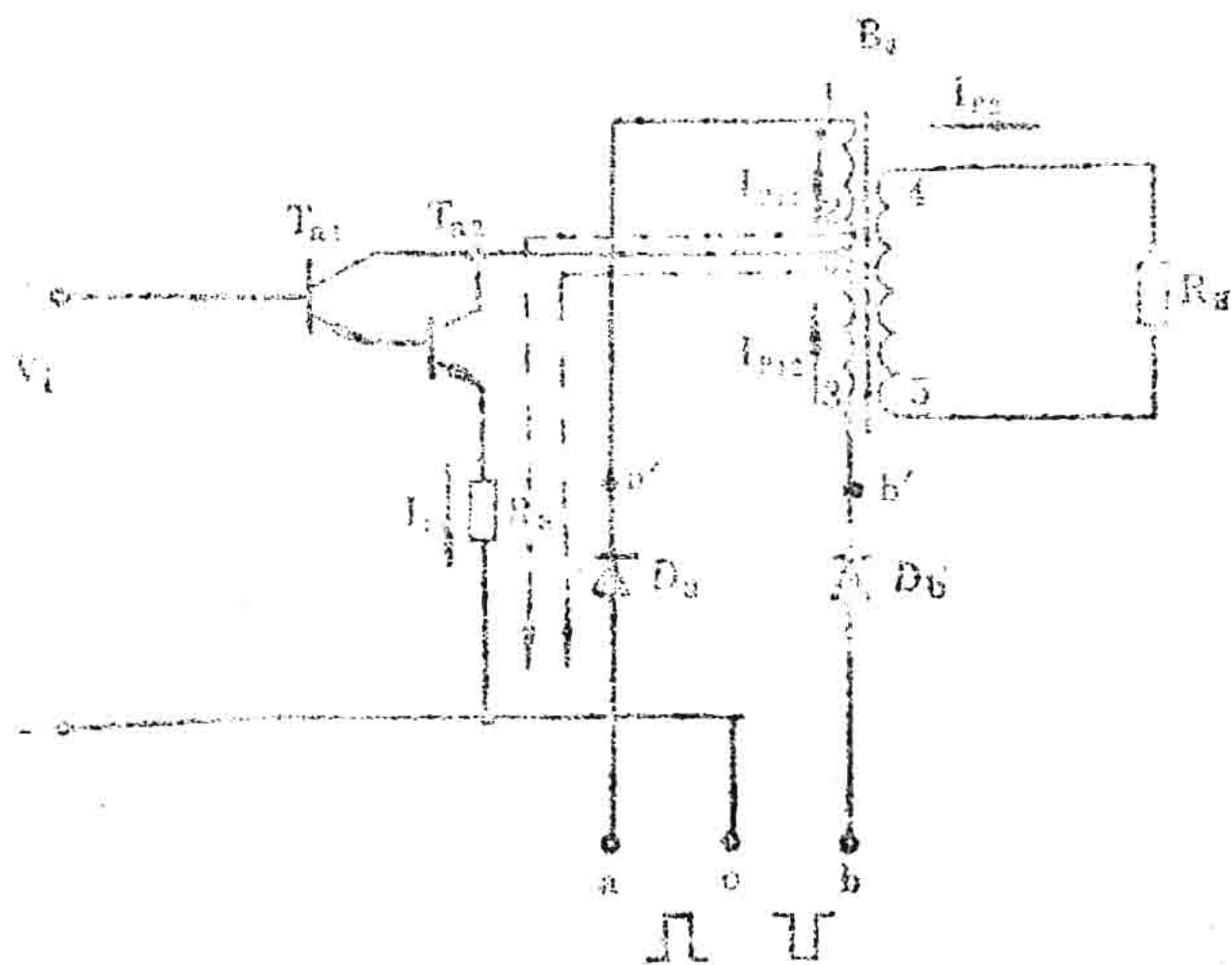


图 4 - 14 功率放大器原理线路图

功率放大器的工作过程是（见图 4 - 15）：

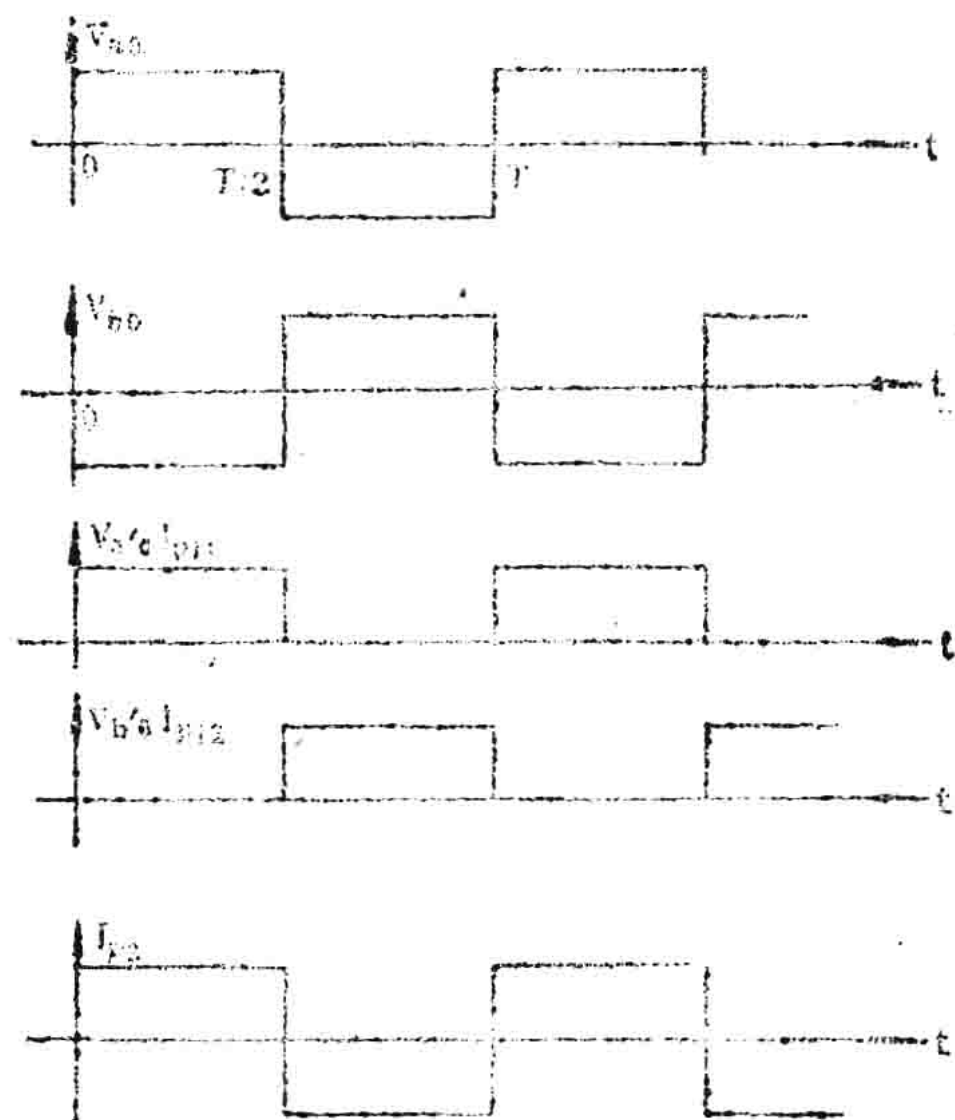


图 4 - 15 功率放大器参数波形图

在方波的前半个周期内 ($t=0 \sim \frac{T}{2}$)，二极管 D_a 导通， D_b 截止，由输入信号 V_i 产生电流 I_{P11} ；而在后半周期内 ($t=\frac{T}{2} \sim T$)，则 D_b 导通， D_a 截止，从而产生了 I_{P12} ，由于 I_{P11} 和 I_{P12} 轮流通过电流互感器 B_0 “1-2”、“3-2”两个绕组，其结果就在铁芯中产生交变磁通，因而使 B_0 的副边产生交流电流 I_{P2} ，这样就完成了放大和调制作用。

采用复合管是为了提高输入阻抗，引入射极电阻 R_e 的主要目的是稳定功率放大器的工作状态。

2. 输出回路

输出回路如图 4-16 所示。

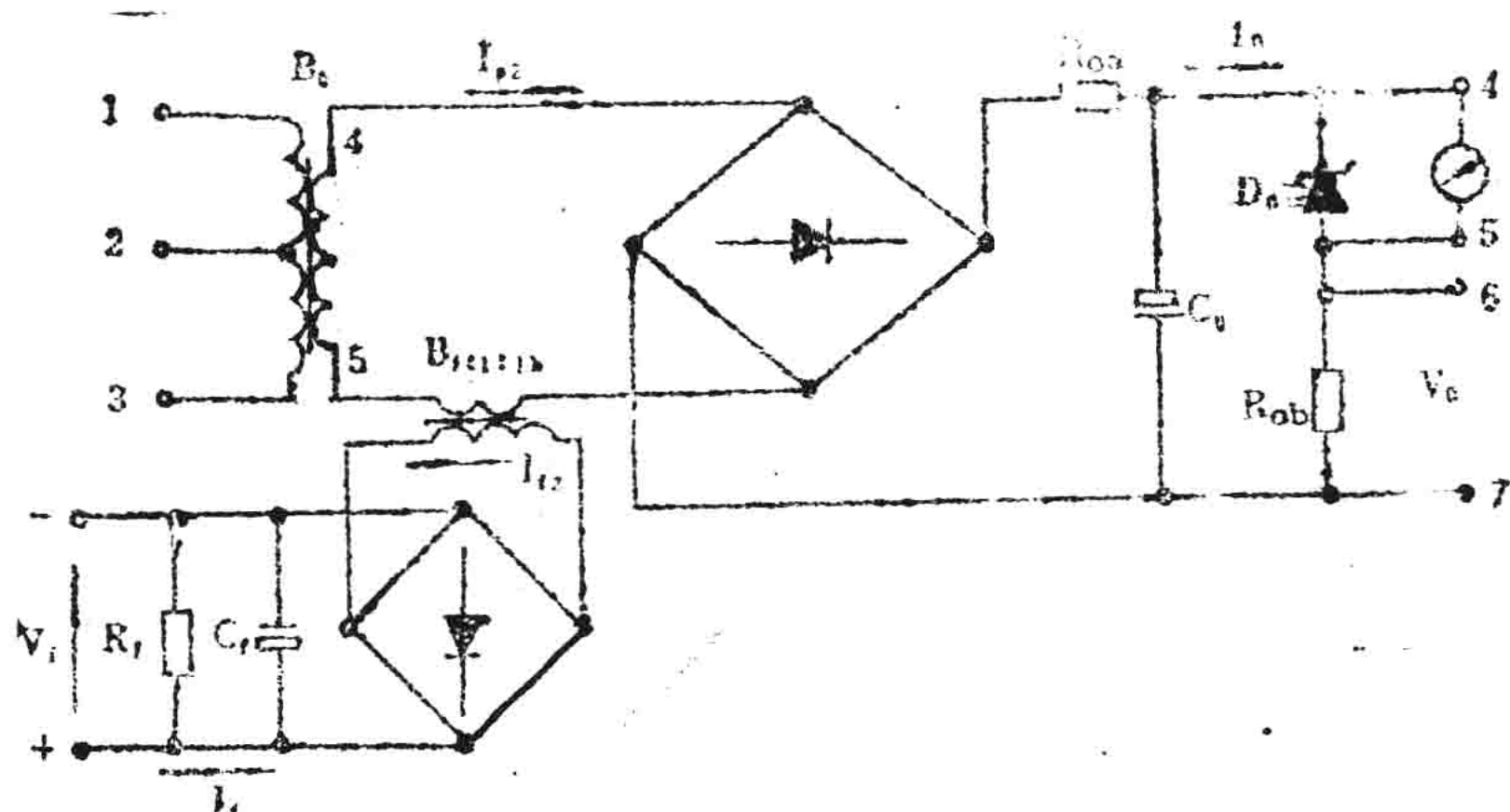


图 4-16 输出回路原理线路

由图可见，电流互感器 B_0 的输出电 I_{P2} 经桥式整流阻容滤波 (R_{0a} 、 C_0) 而得到输出电流 I_0 ($4 \sim 20 \text{mA}$)， I_0 作为指示表头的输入信号， I_0 在 R_{0b} (250Ω) 上的电压降 V_0 ($1 \sim 5 \text{V}$) 作为记录仪表或调节器的输入信号。

稳压管 D_0 的作用在于当电流输出回路断线时，输出电流 I_0 可以通过 D_0 而流向 R_{0b} ，从而保证电压输出信号不受影响。

另外，电流 I_{P2} 电流互感器 B_1 转换成 I_{f2} ， I_{f2} 经过桥式整流，电容 C_f 滤波而变成 I_f ， I_f 在 R_f 上的压降 V_f 成为反馈路的输入信号。由于 B_1 的变比为 1，所以 $I_f = I_o = 4 \sim 20 \text{mA}$ 。因为 R_{ob} 为 250Ω ， R_f 为 250Ω ，因而

$$V_o = 5V_f \quad (4-3)$$

3. 直流—交流—直流变换器

温度变送器中采用的 DC/AC/DC 变换器是一种共发射极推挽式变换器，其原理线路如图 4-17。

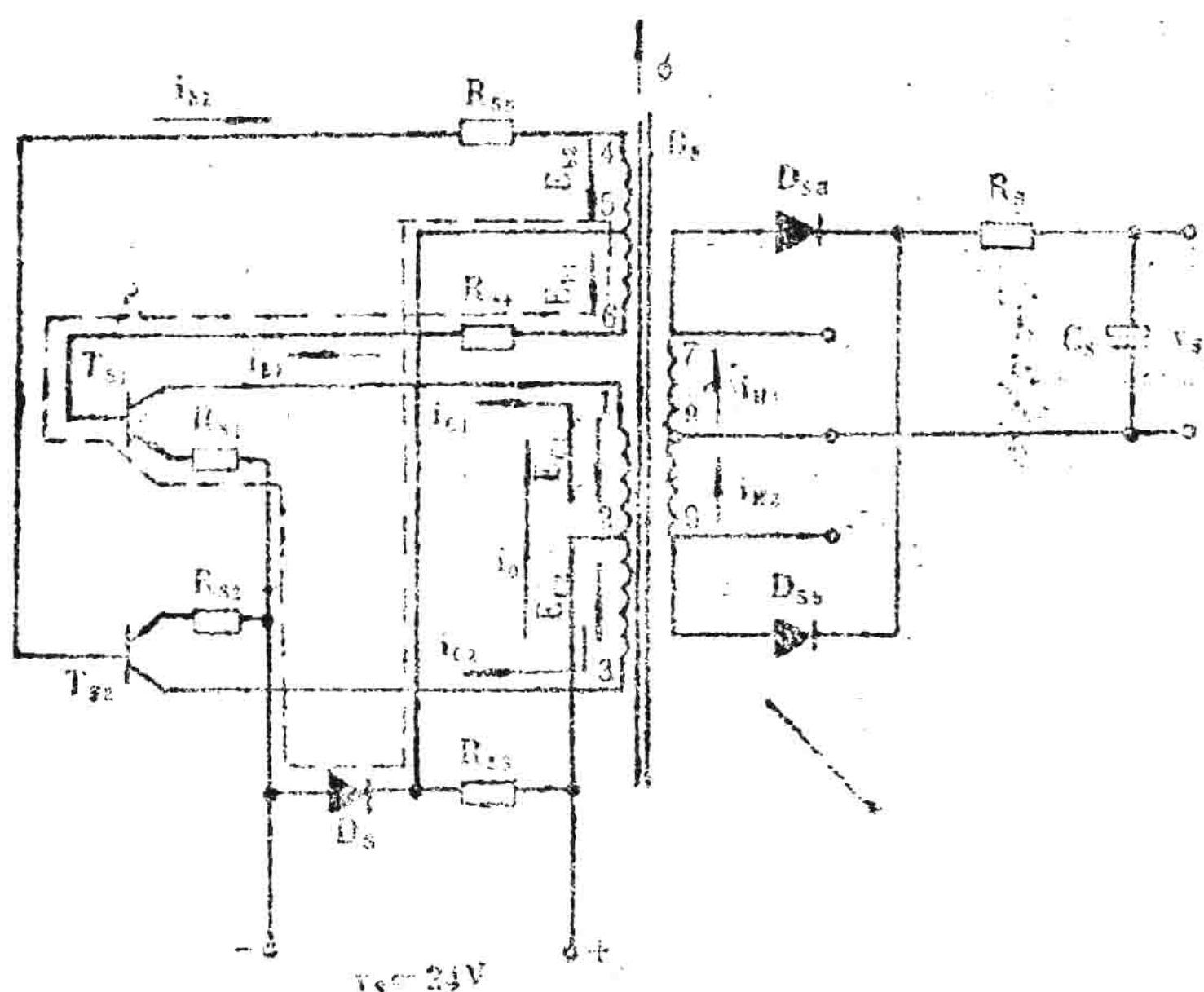


图 4-17 直流—交流—直流变换器原理图

$$W_{45} = W_{56} = W_b$$

$$W_{12} = W_{23} = W_c$$

$$W_{78} = W_{89} = W_{11}$$

①工作过程：接通电源后，电源电压 V_s 通过 R_s 为两个晶体管提供基极偏流，使它们的集电极电流都具有增加的趋势，假定 T_{s1} 的集电极电流 i_{c1} 增长的快，则磁 Φ 向正方向增加，在两个