

第29篇 简易电动调节仪表

主编单位:

上海工业自动化仪表所

编写单位:

上海工业自动化仪表所

上海自动化仪表六厂

合稿人:

于世奇

编写人:

于世奇 戴述祖

特约编辑:

邢震远

CAIY/2002

常用符号表

B——变压器
BG——晶体管
D——整流二极管
D_w——稳压二极管
J——继电器
K——开关
K_d——微分增益
K_i——积分增益
K₀——开环增益

M——指示表
P——比例带
T_D——微分时间
T_I——积分时间
u_f——反馈电压信号
u_i——输入电压信号
Δu_i——偏差输入信号
W——电位器
ρ——时间比值

第1章 概 论

1 主要特点和用途

简易电动调节仪表(以下简称简易仪表)主要适用于工业中单参数单回路自动调节和双参数配比调节。它具有如下几个特点:

第一个特点是品种较齐全,使用范围广。它有两位、三位、时间比例、两位PID、脉冲PID、位置反馈式PID、三位PI(D)、连续PID、配比调节器、程序调节器等品种,并且其可直接接受热电偶、热电阻等检测元件的直流电压或直流电流的标准和非标准检测信号,其输出可直接驱动各类执行器,如接触器,电磁阀、可控硅、电动执行器等等,因而它可广泛应用于各种工业参数及各种不同精度要求的控制系统中。

第二个特点是结构简单,便于生产和维修。仪表在结构设计上,采用箱体结构形式,机芯为抽斗式,便于调整参数;部件用插入式,结构牢靠,各种功能部件组件化,采用“积木式原理”,用较少的功能部件可组成较多的调节品种,使仪表便于大量生产,各种功能部件和整机都有互换性,使用维修十分方便。

第三个特点是造价低廉。这一特点可从它和动圈仪表及单元组合仪表的比较中看出。

动圈仪表结构简单,造价低廉是众所周知的,但简易仪表系列中的无指示两位调节器比动圈仪表两位调节器造价还要低廉。

简易仪表中的偏差指示调节器,造价比动圈仪表略高一些,但比单元组合仪表要低得多。在单参数单回路控制系统中,完成相同的功能,简易仪表的造价仅为单元组合仪表的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。

简易仪表之所以造价低廉,是因为在设计上一般将各种功能的电路均在一台表内完成。所以可省去重复的仪表外壳、底板和电源变压器,省去重复的指示表头和“手动—自动”切换功能。在一块表内,各种功能电路在相互连接上,不需要采用统一

信号制,因而它还可省去将各功能电路输出转换为统一信号的转换电路。以上措施,使简易仪表造价大幅度降低。

对于热电偶、热电阻等检测输入信号,简易仪表不先经变送器变为统一信号再送到调节器去,而是“先比较后放大”,即热电偶、热电阻等信号输入后,先和设定值比较,所得偏差信号经偏差放大, PID运算和信号转换后输出。这种方法的优点是可使放大器的非线性和放大倍数的漂移对控制精度几乎无影响。这样,放大器的设计和制造相对地容易了,造价也可降低。

在组成单参数单回路控制系统时,除检测元件和执行器外,选用简易仪表,一般用一台表即可。所以选用简易仪表,不仅使系统造价降低,而且仪表与外部连线数量大大减少,操作维修方便,仪表屏占地面积减少。

第四个特点是它的给定方式和显示方式颇受用户欢迎。简易仪表的给定,以数字给定方式为主,其特点是给定精度高、重复性好、给定值显示直观,并且便于和计算机连接;简易仪表的显示方式,目前以偏差指示为主,其特点是显示范围可根据用户要求灵活设置,显示单位可直接按被控参数的度量单位刻度。

简易仪表可组成定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。在定值控制系统中,它与各种检测信号和各种执行器的连接示意图如图29.1-1所示。

简易调节仪表属基地式仪表,在组成控制系统时,当然不如单元组合仪表及组装等仪表控制装置那样灵活,因此,适用于比较简单的调节系统,但在生产过程比较复杂控制系统中,作为辅助控制也是一个重要手段。

2 系列的组成

简易电动调节仪表包括TA系列简易电子调节器和精密温度调节器。为了增强其成套的能力,还设计了一些配套附件,其中有热电偶冷端补偿器、

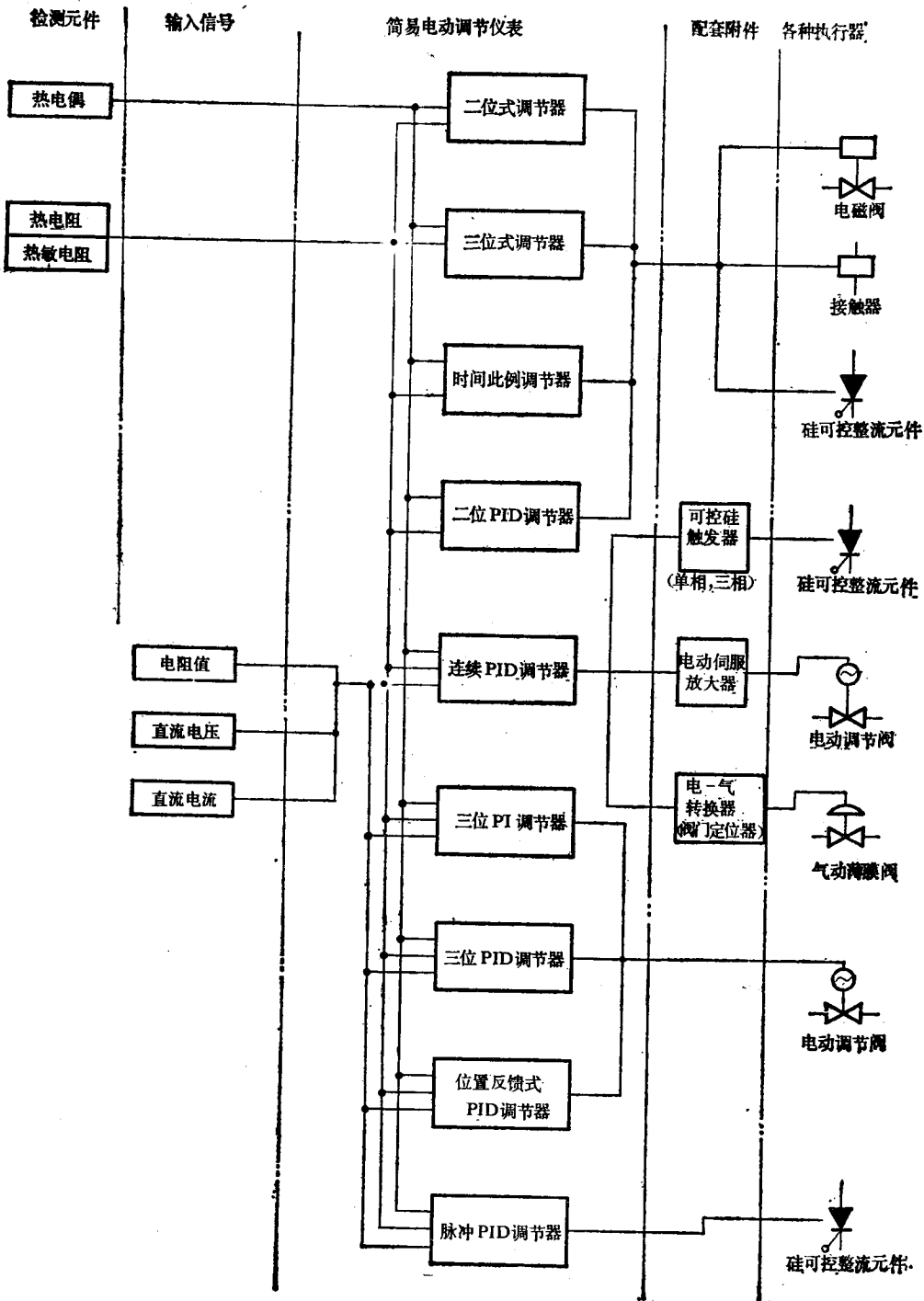


图29.1-1 简易仪表在定值控制系统中的连接示意图

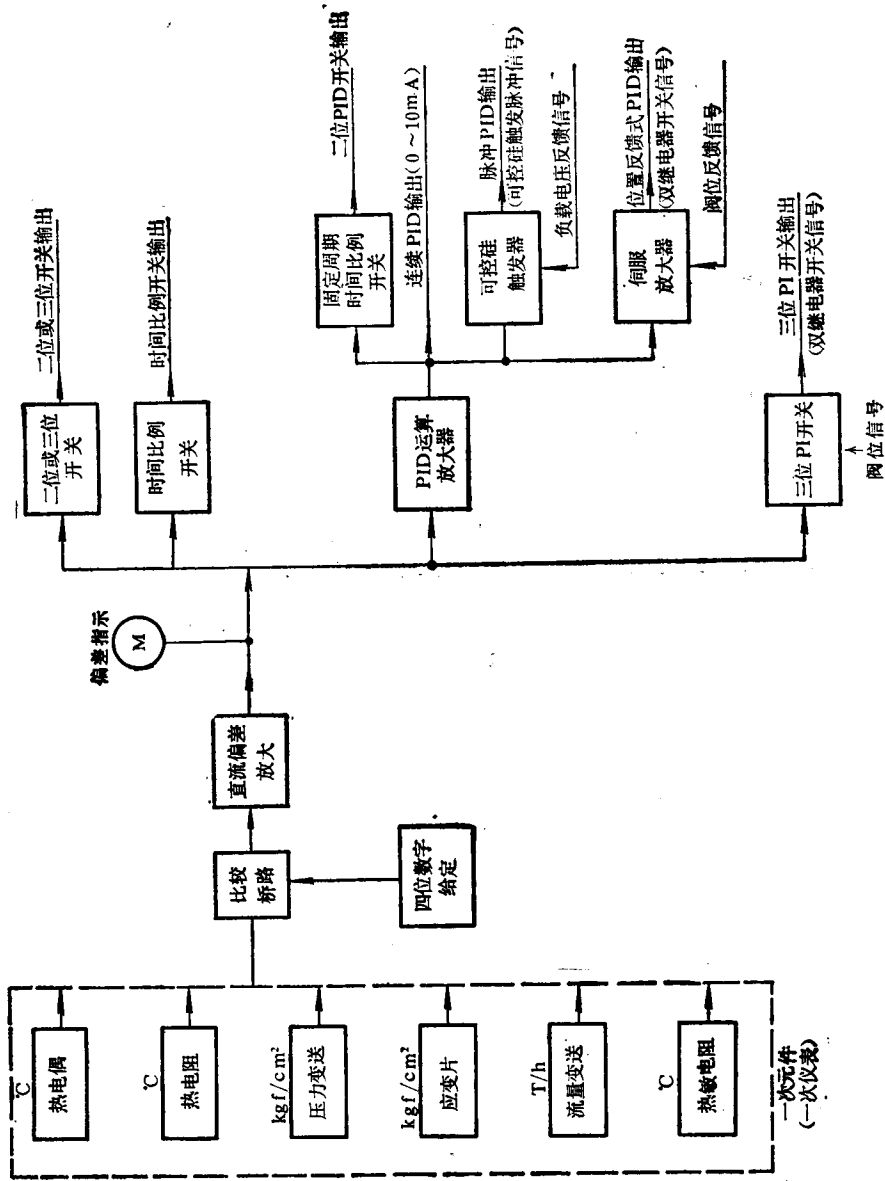


图 20.1-2 TA 系列简易电子调节器原理方框图

数字式程序定值器、电动伺服放大器、各种可控硅功率调整器和各种简易的程序控制器等。

精密温度调节器目前只有“脉冲PID”品种，其输入信号为热电偶、热电阻或直流毫伏信号，输出信号为可控硅触发脉冲，其原理方框图和TA系列仪表的脉冲PID相同；TA系列简易电子调节器的品种较全，其原理方框图如图29.1-2所示。

3 主要技术指标

3.1 TA系列简易电子调节器主要技术指标

- 1) 输入信号：直流电压或电流信号。
- 2) 给定方式：以四位数字给定方式为主。
- 3) 控制灵敏度：小于满量程的0.1%。
- 4) 输出信号：继电器触点信号、连续电流信号和可控硅触发脉冲信号等。

(1) 输出继电器触点信号时，触点容量为：纯电阻负载时，220V, 3A；电感负载时，220V, 1A。

(2) 输出0~10mA连续电流信号时，负载电阻允许变化范围为0~1kΩ。

(3) 输出可控硅移相触发脉冲时，脉冲幅度大于4V（接20Ω电阻）；脉冲宽度大于20μs；移相范围不小于150度电角度。

5) PID参数可调范围：

(1) 比例带P：1~10%连续可调，0.5~100%连续可调，0.5~200%连续可调，0.5~300%连续可调等，可根据用户要求灵活设置。

(2) 积分时间 T_i ：连续PID为0.25~7分钟连续可调；三位PI为0.3~16分钟连续可调；用户有特殊要求也可满足。

(3) 微分时间 T_D ：0~1.5分钟连续可调。

6) 二位式，窄带三位式：

(1) 不灵敏区：仪表满量程的0.5%以下。

(2) 报警给定可调范围：偏差指示全量程。

7) 时间比例及二位PID零偏差时通断周期：一般为 40 ± 10 秒。

8) 抗干扰能力：

(1) 纵向：220V, 50Hz。

(2) 横向：5mV, 50Hz。

9) 仪表供电电源：220V $\pm 1\%$ 。

10) 仪表尺寸：

(1) 仪表面板尺寸：80×160mm²(宽×高)。

(2) 表深：400mm和450mm。

(3) 仪表屏开孔尺寸：(76+1)×(152+1)mm²。

3.2 精密温度调节器主要技术指标

1) 输入信号：直流毫伏信号。

2) 给定方式：五位数字给定。

3) 输出信号：可控硅移相脉冲。其脉冲幅度大于3V（接20Ω电阻）；脉冲宽度大于20μs；移相范围不小于150度电角度。

4) 控制灵敏度：满量程的0.01%。

5) PID参数可调范围：

(1) 比例带P：0.05~7.5%连续可调。

(2) 积分时间 T_i ：0.5~10分钟连续可调。

(3) 微分时间 T_D ：0~3分钟连续可调。

6) 抗干扰能力：

(1) 抗纵向干扰能力：220V, 50Hz。

(2) 抗横向干扰能力：5mV, 50Hz。

7) 环境温度：0~45℃。

8) 供电电源：交流，220V $\pm 1\%$ 。

第2章 定值器

1 概述

定值器是调节器的一个重要组成部分，它给出被控参数的期望值。在以前的调节器中，定值器多采用模拟给定方式。在简易电动调节仪表中采用了数字定值器作为主要给定方式。本章将重点介绍数

字定值器的原理和应用，对模拟定值器仅扼要介绍热电阻输入信号定值器的原理。

2 模拟定值器原理

热电阻输入信号模拟定值器，主要用于简易电动调节仪表中的无指示调节器中。它由直流稳压电

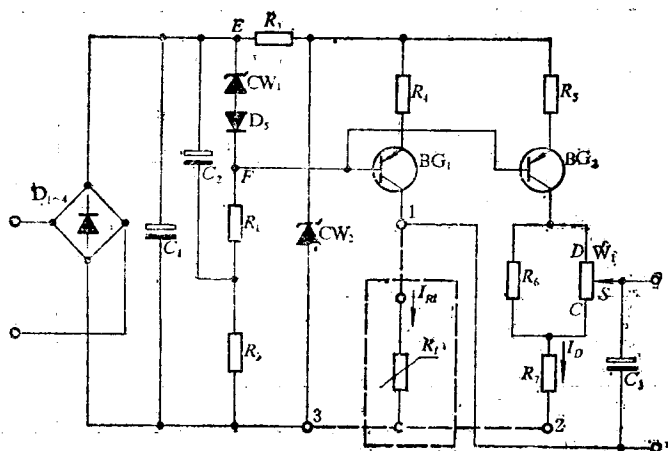


图29.2-1 模拟定值器原理图

源和热电阻桥路组成，其原理图如图29.2-1所示。

图29.2-1中， $D_{1\sim 4}$ 、 $C_{1\sim 2}$ 、 $DW_{1\sim 2}$ 和 $R_{1\sim 3}$ 等组成直流稳压电源； $BG_{1\sim 2}$ 、 R_4 和 W_1 等组成热电阻桥路。在热电阻桥路中， BG_1 向热电阻 R_7 恒流供电（一般可取 $I_{R7} = 5\text{mA}$ ），这样便将 R_7 变为等价的直流电压信号 U_{R7} 。 BG_2 向电位器 W_1 恒流供电，由 W_1 实现对被控参数的给定（取 $I_D = I_{R7}$ ）。桥路实现测量值和给定值的比较。 U_{R7} 是恒流源 I_{R7} 和 I_D 的基准稳压源。

当测量值和给定值相等时，桥路输出应为零。根据这一原理，可方便地对图29.2-1所示的热电阻输入信号模拟定值器进行量程调整。

调整量程时，可用精密电阻箱代替 R_7 接入线路中。设 W_1 的C点是定值器起点，D点是满量程终点，调整定值器起点时，先将 R_7 置于起点数值，将 W_1 滑动触点S移动到C点，然后调整 R_7 ，使桥路输出为零即可。调整定值器满量程终点时，先将 R_7 置于满量程数值，将 W_1 滑动触点S移动到D点，然后调整 W_1 的并联电阻 R_6 ，使桥路输出为零即可。

图29.2-1所示模拟定值器有二个特点。第一是定值器的调整十分方便，第二是可省去一般仪表中常有的外接调整电阻，用户使用十分方便。

3 数字定值器原理

3.1 数字定值器的数制和编码方式

数字定值器采用的数制是“二十进制”。具

体讲就是定值器的给定值用“十进制”数字显示，而每位十进制的数是由四位“二进制”的数组成的。其原理是：每位二进制数有“1”和“0”两种状态，四位二进制数可组合十六种不同状态，按一定编码方式选其中十种不同的组合状态，便可表示一位十进制数的一位。

在二十进制中，有几种编码方式。在简易电动调节仪表中，数字定值器采用的是4-2-2-1编码方式。所谓4-2-2-1编码方式，就是第四位二进制的数为“1”状态时，所表示的十进制数是4。第三位二进制数为“1”状态时，所表示的十进制数是2。第二位二进制数为“1”状态时，所表示的十进制数是2。第一位二进制数为“1”状态时，所表示的十进制数是1。这四位二进制数，不管哪一位二进制数为“0”状态时，所表示的十进制数都是“0”。十进制数的大小等于各位二进制数所代表的十进制数的和，如表29.2-1所示。

3.2 一位数字定值器原理

一位数字定值器由基准稳压电源、特制的具有十个位置的四刀双掷拨盘开关和电阻网络构成。

拨盘开关上的每把刀表示一位二进制的数，四把刀按4-2-2-1编码方式组合，可用来表示一位十进制的数。十进制数的十个数字，0、1、2……9，依次刻在拨盘开关相应的十个位置上，定值器的给定值就直接以数字方式表示出来了。

在模拟调节仪表中，要求定值器的输出是直流

表29.2-1 4-2-2-1编码方式表

| 各位二进制数的状态 序号 | 第四位二进制数的状态 | 第三位二进制数的状态 | 第二位二进制数的状态 | 第一位二进制数的状态 | 四位二进制数所表示的十进制数的大小 |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 + 0 + 0 + 0 = 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 + 0 + 0 + 1 = 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 + 0 + 2 + 0 = 2 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 + 0 + 2 + 1 = 3 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 + 0 + 0 + 0 = 4 |
| 6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 + 0 + 0 + 1 = 5 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 + 0 + 2 + 0 = 6 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 + 0 + 2 + 1 = 7 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 + 2 + 2 + 0 = 8 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 + 2 + 2 + 1 = 9 |

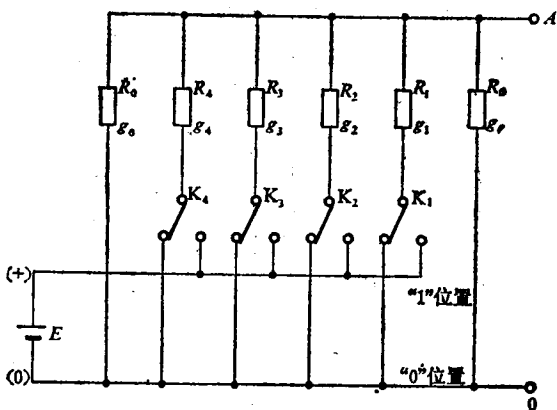


图29.2-2 一位数字定值器原理图

电压信号，所以需要把定值器输出转换为与给定数字相等价的直流电压信号，这就是通常所说的数/模转换，称为D/A转换。在数字定值器中，D/A转换是由基准稳压电源，拨盘开关和电阻网络组成的装置完成的。

一位数字定值器的原理图如图29.2-2所示。

如图29.2-2所示，拨盘开关的每把刀的两个位置分别叫做“1”位置和“0”位置，其中1位置和基准电压源的高电位（即电源的+端）联在一起，“0”位置和基准电压源的低电位（即电源的0端）联在一起。在每把刀上接有一个相应的权电阻。当把某把刀置于“1”位置时，就把该把刀所接的权电阻和基准电压源的（+）端接通，反之，置于

“0”位置时就把其权电阻和基准电压源的（+）端断开，而和基准电压源的（0）端接通。权电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 之间的关系符合4-2-2-1编码要求，即相应的权导纳之间的关系为 $g_2 = 2g_1$ 、 $g_3 = 2g_2$ 、 $g_4 = 4g_1$ ；拨盘开关的各个位置的代号和其四刀双掷开关 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 之间也符合4-2-2-1编码要求，如表29.2-2所示。

举例说明如下：

(1) 当拨盘数字为0时，由表29.2-2可知， K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 均为“0”状态，故定值器输出 $U_{A0(0)} = 0$ ；

(2) 当拨盘数字为1时， K_1 为“1”状态， K_2 、 K_3 、 K_4 均为“0”状态；图29.2-2可简化为图

表29.2-2 四刀双掷开关状态表

| 四刀双掷 拨盘开关 位置代号 | 四刀双掷 开关状态 | | | |
|----------------------|--------------|-------|-------|-------|
| | K_4 | K_3 | K_2 | K_1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 |

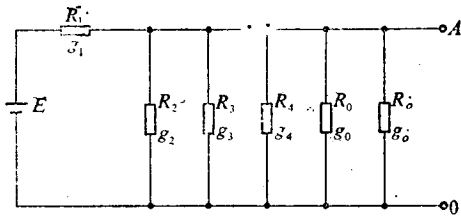


图29.2-3 拨盘数字为1时,图29.2-2的等效电路图

29.2-3所示。

由图29.2-3并经计算,整理后可得:

$$u_{0A(1)} = \frac{g_1}{\Sigma g} E$$

上式中, $\Sigma g = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_0 + g_{出}$

当拨盘数字为3时, K_1 、 K_2 为“1”状态, K_3 、 K_4 为“0”状态,图29.2-2的等效电路如图29.2-4所示。

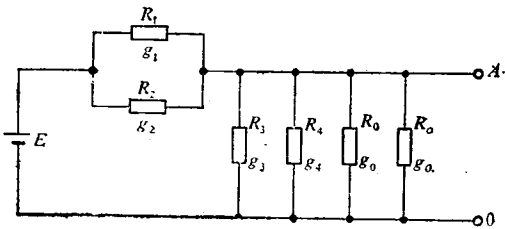


图29.2-4 拨盘数字为3时,图29.2-2的等效电路图

由图29.2-4并经计算,整理后可得:

$$u_{0A(3)} = \frac{g_1 + g_2}{\Sigma g} E = 3 \times \frac{g_1}{\Sigma g} E$$

同理可得出拨盘数字为其它数字时,定值器的输出值。拨盘数字和定值器对应输出值如表29.2-3

所示。

表29.2-3 拨盘数字和定值器对应输出值对照表

| 拨盘数字位置代号 | 定值器输出值 | 拨盘数字位置代号 | 定值器输出值 |
|----------|---|----------|---|
| 0 | $u_{A0(0)} = 0$ | 5 | $u_{A0(5)} = 5 \times (g_1 / \Sigma g) E$ |
| 1 | $u_{A0(1)} = 1 \times (g_1 / \Sigma g) E$ | 6 | $u_{A0(6)} = 6 \times (g_1 / \Sigma g) E$ |
| 2 | $u_{A0(2)} = 2 \times (g_1 / \Sigma g) E$ | 7 | $u_{A0(7)} = 7 \times (g_1 / \Sigma g) E$ |
| 3 | $u_{A0(3)} = 3 \times (g_1 / \Sigma g) E$ | 8 | $u_{A0(8)} = 8 \times (g_1 / \Sigma g) E$ |
| 4 | $u_{A0(4)} = 4 \times (g_1 / \Sigma g) E$ | 9 | $u_{A0(9)} = 9 \times (g_1 / \Sigma g) E$ |

3.3 二位数字定值器原理

二位的数字定值器由基准稳压电源、二片拨盘开关和电阻网络电路组成。其原理图如图29.2-5所示。

图29.2-5中,在第1位数和第2位数之间串联了分压电阻 R_{12} ,在第1位数电阻公共点和基准稳压电源零线之间并联了电阻 R_0 ,若使 R_{12} 和 R_0 的导纳和权导纳之间满足 $g_0 = g_1$ 和 $g_{12} = \frac{10}{9}g_1$,

则第1位数和第2位数之间便满足十进制关系。举例说明如下:

例如,当第2位拨盘数字是1,第1位是0时,图29.2-5可简化为图29.2-6所示。

图29.2-6中,设 R'_0 为 R_{12} 和 R_1 、 $\frac{1}{2}R_1$ 、 $\frac{1}{2}R_1$ 、

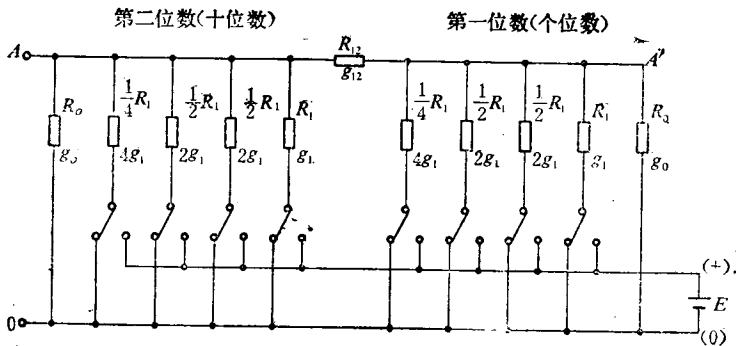


图29.2-5 二位数字定值器原理图

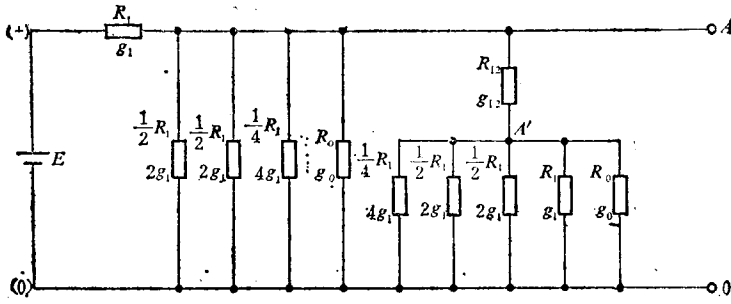


图29.2-6 第2位拨盘数字是1, 第1位是0时图29.2-5的等效电路图

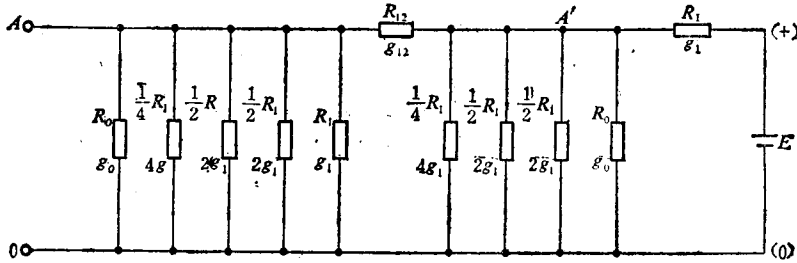


图29.2-7 拨盘数字第2位是0, 第1位是1时图29.2-5的等效电路图

$\frac{1}{4}R_1$ 、 R_0 的串并联电阻, 而 $g_{12} = \frac{10}{9} g_1 \cdot g_0 = g_1$,
 则:

$$R'_0 = \frac{1}{\frac{10}{9}g_1} + \frac{1}{g_1 + 2g_1 + 2g_1 + 4g_1 + g_1}$$

$$= \frac{1}{g_1} = R_1 = R_0$$

经运算可得出:

$$u_{AO(10)} = \frac{g_1}{10g_1 + g_0} E$$

当拨盘数字第2位是0、第1位是1时, 图29.2-5可简化为图29.2-7所示。

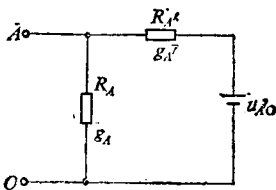


图29.2-8 图29.2-7的等效电路图

根据等值发电机原理, 图29.2-7可进一步简化为图29.2-8所示。

图29.2-8中,

$$u_{A'o} = \frac{g_1}{10g_1} E = \frac{1}{10} E$$

$$R_{A'} = R_0 = R_1$$

R_A 为 R_1 、 $\frac{1}{2}R_1$ 、 $\frac{1}{2}R_1$ 、 $\frac{1}{4}R_1$ 、 R_0 的并联电阻

由图29.2-8可得:

$$u_{AO(01)} = \frac{R_A}{R_A + R_{A'}} u_{A'o}$$

上式整理后得:

$$u_{AO(01)} = \frac{g_1}{10g_1 + g_0} u_{A'o}$$

$$= \frac{1}{10} \times \frac{g_1}{10g_1 + g_0} E$$

比较 $u_{AO(10)}$ 和 $u_{AO(01)}$ 的大小可知:

$$u_{AO(10)} = 10 u_{AO(01)}$$

不难验证, 第一位数和第二位数之间, 均满足十进制关系。根据迭加原理, 二位数字定值器输出直流电压大小和定值器拨盘数字相等价。

3.4 四位数字定值器

四位数字定值器是简易电动调节仪表的主要给定方式。按4-2-2-1编码方式设计的四位数字定值器，由基准稳压电源、四片拨盘开关和权电阻构成。为使各位数之间依次满足十进制关系，在各位十进制数之间分别串联了分压电阻 R_{12} 、 R_{23} 和 R_{34} ，并在第一位数权电阻公共点和基准稳压电源零线之间并联了电阻 R_0 ，其原理图如图29.2-9所示。

图29.2-9中， $R = 40\text{k}\Omega$ 、 $\frac{1}{2}R = 20\text{k}\Omega$ 、 $\frac{1}{4}R = 10\text{k}\Omega$ 、 $R_0 = R = 40\text{k}\Omega$ 、 $R_{12} = R_{23} = R_{34} = 36\text{k}\Omega$ 、 $r_1 = 4\text{k}\Omega$ 、 r_2 为调整电阻，用以调整数字定值器的量程。 $r_1 + r_2$ 之值即相当于图29.2-2和图29.2-5中的 R_0 。

图29.2-9中，由于各权电阻之间满足4-2-2-1编码要求，并且 $g_0 = g$ ， $g_{12} = g_{23} = g_{34} = \frac{10}{9}g$ ，

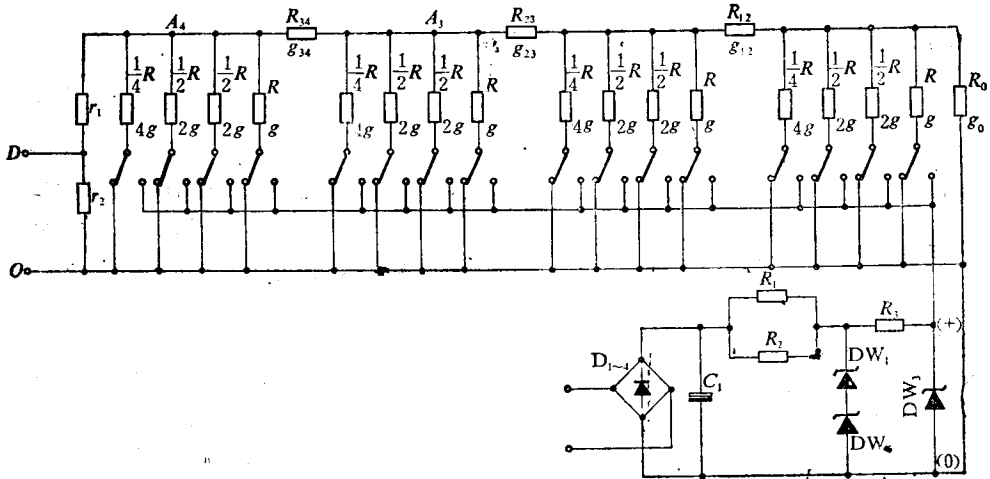


图29.2-9 四位数字定值器原理图

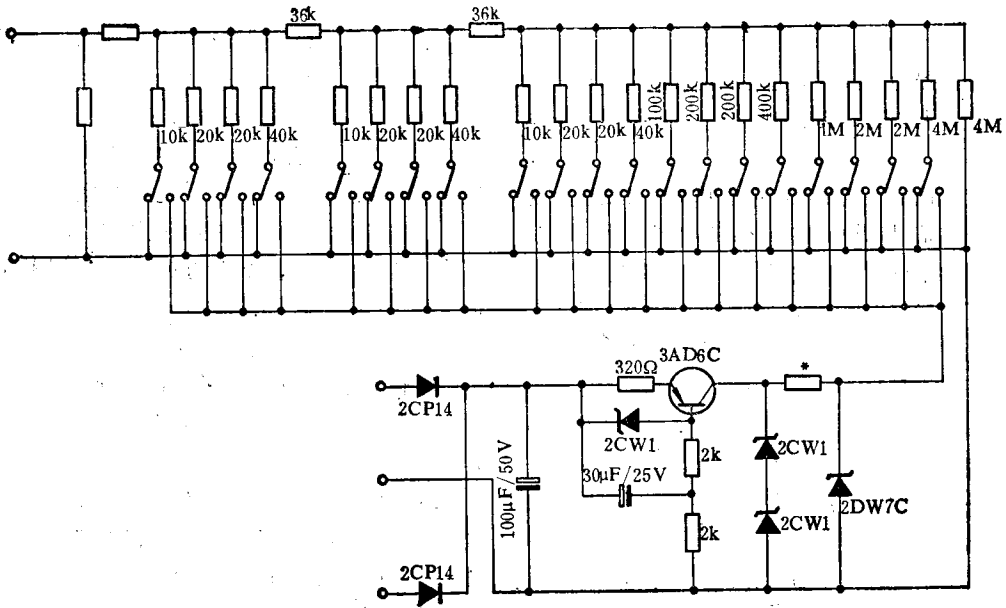


图29.2-10 五位数字定值器原理图

不难验证,四位数字定值器各位数之间都满足十进制关系。根据迭加原理,四位数字定值器直流输出信号的大小是和拨盘数字相等的。

四位数字定值器的基准稳压电源由 $D_1 \sim D_4$ 、 C_1 、 $R_1 \sim R_3$ 、 $DW_1 \sim DW_3$ 组成。由于采用了二级稳压,故基准稳压电源对电网波动具有很高的稳定度。 DW_3 采用具有温度补偿的硅标准稳压管,基准稳压电源对环境温度变化也有很高的稳定度。

3.5 五位数字定值器

五位数字定值器用于精密温度控制仪中。其原理和四位数字定值器相同。由于多了一位十进制数,提高了定值器的分辨率;另外,其基准稳压电源对电网波动和环境温度变化的稳定性也较四位数字定值器为高。其原理图如图29.2-10所示。

4 数字定值器应用

4.1 直流电压和电流信号的数字定值器

直流电压和电流信号,若其值和它所代表的被测物理量之间呈线性关系,则数字定值器的给定单位,可直接按被控参数的度量单位刻度。下面举例说明直流电压和电流信号的四位数字定值器的设计计算和调试方法。

例: 设压力变送器压力输入信号为 $0 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$, 其输出直流电压信号为 $0 \sim 20 \text{ mV}$, 问压力调节器的四位数字定值器应怎样设计?

此压力调节器的数字定值器的设计可分三步进行。

(1) 确定设定单位: 由已知条件可知压力变送器的输出信号和输入信号之间呈线性关系, 所以定值器设定单位可直接按“ kgf/cm^2 ”刻度。

(2) 确定定值器最高位拨盘数字为1时, 所代表的测量值和定值器小数点位置: 此压力变送器输入信号的满量程为 10 kgf/cm^2 , 故可选定值器第4位拨盘数字为1时, 代表 1 kgf/cm^2 。显然, 小数点位置应在第4位和第3位拨盘之间。

(3) 确定定值器最高位拨盘数字为1时, 输出电压的大小: 此压力变送器输入 $0 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 压力信号, 其对应输出为 $0 \sim 20 \text{ mV}$ 直流电压信号, 故 1 kgf/cm^2 压力的变化, 其输出直流电压信号的变化值为 2 mV , 所以定值器最高位拨盘数字为1

时, 定值器输出电压为 2 mV 。

数字定值器的调试是十分方便的, 只要将第4位拨盘数字拨为1 (其余各位都为0), 调整 r_2 , 使定值器输出为 2 mV 即可。

对于直流电流输入信号, 要先转换为电压信号。因此, 要先确定满量程电流转入时, 电压信号的大小。其余步骤与电压输入信号完全相同。

4.2 热电偶输入信号的数字定值器

4.2.1 配热电偶输入信号的数字定值器的给定单位

热电偶输入信号的数字定值器, 也可采用图29.2-9所示的四位数字定值器线路。但它的给定单位, 在一般情况下, 要按“ mV ”刻度, 而不能按“ $^{\circ}\text{C}$ ”刻度。这是因为热电偶输出的直流毫伏信号和“热端”温度之间呈非线性关系。若希望按“ $^{\circ}\text{C}$ ”刻度, 则还需要对图29.2-9所示电路略加改动。

4.2.2 热电偶冷端补偿器

热电偶输出信号还有一个特殊问题, 就是当热电偶冷端温度变化时, 热电偶输出信号也随之变化, 将引起设定误差和系统控制误差。为保证定值器的给定精度和系统控制精度, 需要对热电偶冷端温度变化引起的误差进行补偿, 这就是通常所说的“热电偶冷端补偿”。

热电偶输出信号的大小和热电偶的“热端”、“冷端”温度之间的关系可用下式表示:

$$E(t_1, t_2) = E(t_1, 0) - E(t_2, 0)$$

式中 $E(t_1, t_2)$ 是热电偶热端温度为 t_1 , 冷端温度为 t_2 时输出的热电势值; $E(t_1, 0)$ 是热电偶热端温度为 t_1 , 冷端温度为 0°C 时输出的电势值; $E(t_2, 0)$ 是热电偶热端温度为 t_2 , 冷端为 0°C 时输出的热电势值。

由上式可知, 热电偶冷端温度从 0°C 上升到 t_2 度时, 输出热电势将从 $E(t_1, 0)$ 减小到 $E(t_1, t_2)$, 减少值 $\Delta E = E(t_2, 0)$, 故热电偶冷端补偿器补偿值应为 $E(t_2, 0)$ 。

热电偶冷端的补偿, 一般是通过直流电阻桥路实现的。即将热电阻桥路和热电偶冷端置于相同的环境温度中, 当热电偶冷端温度变化时, 热电偶输出变化多少, 使桥路输出也相应向相反方向变化多少。这样, 将热电偶输出和桥路输出相加后的值便

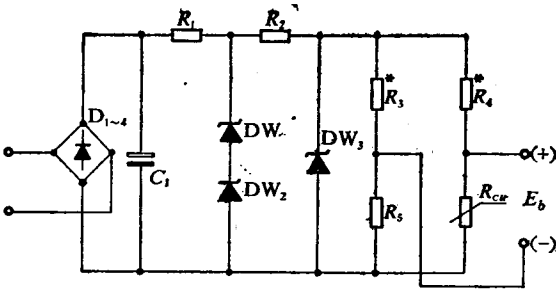


图29.2-11 热电偶冷端补偿器原理图

可近似和 $E_{(t_1, 0)}$ 相等，而和 t_2 无关了。

热电偶冷端补偿器原理图如图 29.2-11 所示。

图29.2-11中， $R_3 \sim R_5$ 和 R_{cu} 组成直流电阻桥路， $D_1 \sim D_4$ 、 C_1 、 $R_1 \sim R_2$ 、 $DW_1 \sim DW_3$ 组成桥路的直流稳压电源。桥路输出可用下式表示：

$$E_b(t_2) = u_{R_{cu}(t_2)} - u_{R_5}$$

根据补偿要求，应使 $E_b(t_2) = E(t_2, 0)$ ，代入上式得：

$$u_{R_{cu}(t_2)} - u_{R_5} = E(t_2, 0)$$

图29.2-11中， $R_3 \sim R_5$ 均为锰铜线绕电阻，当环境温度变化时， u_{R_5} 可认为是不变的。 R_{cu} 是铜电阻， $u_{R_{cu}}$ 的大小将随环境温度变化而变化。若流过铜电阻的电流可认为是不变的，则 R_{cu} 两端电压的变化值 $\Delta u_{R_{cu}}$ 可表示为：

$$\begin{aligned} \Delta u_{R_{cu}} &= I \times \Delta R_{cu} = I \times [R_{cu(0)} \alpha_0 t_2] \\ &= I R_{cu(0)} \alpha_0 t_2 = u_{R_{cu}(0)} \alpha_0 t_2 \end{aligned}$$

令 $\Delta u_{R_{cu}} = E(t_2, 0)$ ，则

$$u_{R_{cu}(0)} = \frac{E(t_2, 0)}{\alpha_0 t_2}$$

当 $t_2 = 0^\circ\text{C}$ 时， $E(t_2, 0) = 0$ ，由 $u_{R_{cu}(0)} - u_{R_5} = E(t_2, 0) = 0$

可得：

$$u_{R_5} = u_{R_{cu}(0)} = \frac{E(t_2, 0)}{\alpha_0 t_2}$$

综上所述，在图29.2-11中，只要使直流电阻

桥路满足下面条件： $u_{R_5} = u_{R_{cu}(0)} = \frac{E(t_2, 0)}{\alpha_0 t_2}$

$$u_{R_{cu}(t_2)} - u_{R_5} = E(t_2, 0)$$

便满足了上述对热电偶冷端补偿的要求。

上式中， α_0 是铜电阻在 0°C 时的温度系数；

$E(t_2, 0)$ 值的大小可查热电偶分度表。

4.3 热电阻输入信号的数字定值器

如将热电阻信号经电阻-毫伏转换器转换为直流毫伏信号，则热电阻输入信号的数字定值器便可直接采用图29.2-9所示的四位数字定值器，其给定单位改为按“ $^\circ\text{C}$ ”刻度，并附以给定值校正表即可。电阻-毫伏转换器可采用图29.2-1所示的电路形式，只要将图29.2-1中 $R_6 \sim R_7$ 和 W_1 去掉，换成一个阻值合适的固定电阻即可。

更为简单的热电阻信号数字定值器，是将热电阻和数字定值器接入一个直流电阻桥路中，由桥路实现电阻-毫伏转换及测量值和给定值的比较，其简化的框图如图29.2-12所示。

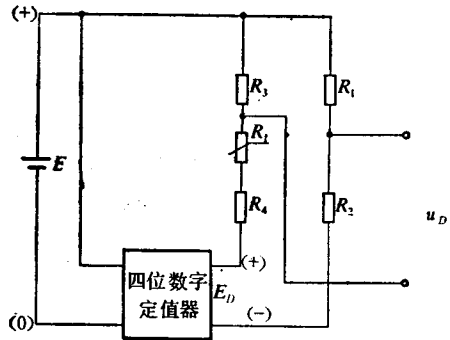


图29.2-12 热电阻输入信号数字定值器原理方框图

图29.2-12中， $R_1 \sim R_4$ 和四位数字定值器组成直流电阻桥路， E 是桥路的直流稳压电源。桥路中， E_D 是数字定值器的输出， R_1 的两端电压 u_{R_1} 是和 R_1 值对应的直流电压信号，桥臂电阻 R_2 两端电压 u_{R_2} 是测量值 u_{R_t} 和给定值 E_D 进行比较的基准电压。

图 29.2-12 所示热电阻信号的数字定值器，其测量值和给定值比较的方法是将测量值 u_{R_t} 和给定值 E_D 直接相加，然后与基准电压 u_{R_2} 进行比较，使其满足：

当 R_t 所代表被检测对象的温度值和数字定值器拨盘数字相等时，使 $(u_{R_t} + E_D + C) - u_{R_2} = 0$ 。

当 R_t 所代表被检测对象的温度值大于数字定值器拨盘数字时，使 $(u_{R_t} + E_D + C) - u_{R_2} > 0$ ；反之，使 $(u_{R_t} + E_D + C) - u_{R_2} < 0$ 。

这样，数字定值器拨盘数字便可直接代表给定值，桥路输出 u_D 就代表测量值和给定值比较的偏

差。

图29.2-12的等效电路图如图29.2-13所示。

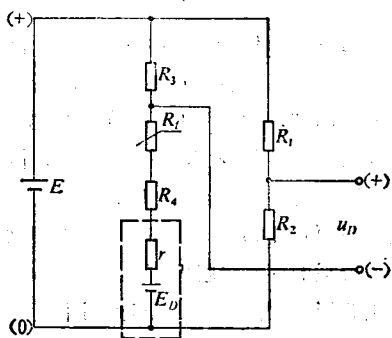


图29.2-13 图29.2-12的等效电路图

图29.2-13中， r 为四位数字定值器的等效内阻，其值是一个常数。 R_4 是一个与量程大小有关的待定电阻。

图29.2-13中，设 $R_1 = R_2 = R_3$ ，数字定值器拨盘数字为 K 时，其输出为 $E_{D(K)}$ ，被测温度 $t = K$ 时， R_1 为 R_K ， R_1 两端电压 u_{R1} 为 $u_{R(K)}$ ，则有：

$$U_D = [I \times (R_K + R_4 + r) + E_{D(K)}] - u_{R2} = 0$$

$$\text{上式中，} I R_K = u_{R(K)}, u_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E = \frac{E}{2}$$

$$\text{设 } \frac{E}{2} - I(R_4 + r) = C, \text{ 则可得：}$$

$$u_{R(K)} + E_{D(K)} = C.$$

由上式可知，图29.2-12所示的数字定值器，欲使其拨盘数字直接代表被控参数的给定值，其给定数字 K 在全量程改变时，始终要使 $u_{R(K)} + E_{D(K)}$ 等于一个常数 C 。但 $u_{R(K)}$ 的值是随着 K 值的增大而增大的，故要求 $E_{D(K)}$ 值的大小随着 K 值的增大而等价地减小。即要使

$$- \Delta E_{D(K)} = \Delta u_{R(K)}$$

为使数字定值器拨盘数字增大时，其输出 $E_{D(K)}$ 等价地减小，需要将图29.2-9所示的四位数字定值器的基准稳压源正负极性反接。为保证定值器输出信号 $E_{D(K)}$ 极性不变，图29.2-9中的 R_0 和 r_2 仍接在基准稳压源的零线上。

图29.2-9所示数字定值器的基准稳压源 E 正负极性反接后，所有二进制数位均为相反状态。以四位数字定值器某一位为例，定值器输出电压信号和

该位拨盘数字对应关系如表29.2-3所示。

表29.2-3中， ΔE_D 代表该位定值器拨盘数字变化1个数字时，定值器输出的变化值。

由表29.2-3可知，将图29.2-9中的数字定值器的基准稳压电源极性反接后，接入图29.2-12中，便可满足对热电阻输入信号的数字给定。

下面举例说明热电阻信号数字定值器的设计和计算。

例：某温度调节器所配用检测元件为热电阻 BA_1 ，给定范围为 $0 \sim 200^\circ\text{C}$ ，问数字定值器怎样设计？

按图29.2-12设计的热电阻输入信号数字定值器，可按下面步骤设计和计算。

(1) 确定数字定值器的给定单位

配用 BA_1 的数字定值器的给定单位，可按“ $^\circ\text{C}$ ”刻度。但 BA_1 的电阻数值和它所代表的对象温度之间并非呈线性关系，应附一张“给定值校正表”，以满足对给定值准确性要求较高的用户的要求。

(2) 确定数字定值器最高位拨盘数字为1时，所代表的温度值和小数点位置。

给定范围为 $0 \sim 200^\circ\text{C}$ ，故数字定值器第四位拨盘数字为1时，应代表 100°C ，小数点位置应在第二位和第一位数之间。

(3) 确定直流稳压电源 E 、流过 R_1 的电流 I_{R1} 和桥臂电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的数值。

E 和 I 的大小由设计者综合考虑有关因素后确定。若确定 $E = 8\text{V}$ ， $I_{R1} = 5\text{mA}$ ，并且使 $R = R_2 = R_3$ ，则可算出 R_1 、 R_2 和 R_3 的数值为：

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{E/2}{I_{R1}} = \frac{4}{5} = 800 \Omega$$

(4) 计算在给定范围内， BA_1 阻值变化的平均值 $\Delta R_t / ^\circ\text{C}$ ，给定值为 0°C 时，定值器输出值 $E_{D(0)}$ 以及对象温度为 0°C 时，热电阻 R_t 两端电压 $u_{R(0)}$ 。

查 BA_1 分度表知， 0°C 时， $R_0 = 46 \Omega$ ， $R_{200} = 81.43 \Omega$

$$\text{所以 } \Delta R_t / ^\circ\text{C} = \frac{R_{200} - R_0}{200} = \frac{81.43 - 46}{200} = 0.17715 (\Omega / ^\circ\text{C})$$

热电阻 R_t 两端电压变化的平均值为：

$$\Delta u_{Rt} / ^\circ\text{C} = I_{R1} \times \Delta R_t / ^\circ\text{C} = 5 \times 0.17715 = 0.88575 \text{mV}$$

表 29.2-4

| 拨盘数字 | 基准稳压电源极性正接 | | | | 定值器输出 | 基准稳压电源极性反接 | | | | 定值器输出 |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | 四刀双掷开关状态 | | | | | 拨盘开关四刀双掷开关状态 | | | | |
| | K ₄ | K ₃ | K ₂ | K ₁ | | K ₄ | K ₃ | K ₂ | K ₁ | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 × ΔE _D |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 × ΔE _D | 1 | 1 | 1 | 0 | 8 × ΔE _D |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 × ΔE _D | 1 | 1 | 0 | 1 | 7 × ΔE _D |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 × ΔE _D | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 × ΔE _D |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 × ΔE _D | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 × ΔE _D |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 × ΔE _D | 0 | 1 | 1 | 0 | 4 × ΔE _D |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 × ΔE _D | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 × ΔE _D |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 × ΔE _D | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 × ΔE _D |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 0 | 8 × ΔE _D | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 × ΔE _D |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 × ΔE _D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

数字定值器拨盘数字每变化 1°C 时，定值器输出变化应和 Δu_{R1}/°C 相等，即

$$\Delta E_D / ^\circ\text{C} = \Delta u_{R1} / ^\circ\text{C} = 0.88575 \text{ mV}$$

由表 29.2-4 可知，数字定值器四位拨盘数字均为 0 时，其输出值 E_{D(0)} 应为：

$$E_{D(0)} = 999.9^\circ\text{C} \times \Delta E_D / ^\circ\text{C} = 999.9 \times 0.88575 = 885.75 \text{ mV}$$

对象温度为 0°C 时，R₁ 两端电压 U_{R(0)} = I_{R1}R₀ = 5 × 46 = 230 (mV)。

(5) 计算 r 值和 R₄ 值

E_{D(0)} 确定之后，图 29.2-9 中 r₁ 和 r₂ 值即可确定。根据等值发电机原理，数字定值器等效内阻 r 值计算可用下式：

$$r = \frac{r_2 \times \left(r_1 + \frac{1}{10g} \right)}{r_2 + \left(r_1 + \frac{1}{10g} \right)}$$

r 值确定之后，R₄ 值由下式得出：

$$\therefore u_{R(0)} + E_{D(0)} = \frac{E}{2} - I(r + R_4)$$

$$\therefore R_4 = \frac{\frac{E}{2} - [u_{R(0)} + E_{D(0)}]}{I} - r$$

$$= \frac{4V - (0.23 + 0.88575V)}{5 \text{ mA}} - r$$

$$= 576.8 - r \quad (\Omega)$$

计算上述参数后，便可进行调试。由于 E 实际值与理论值 (8V) 的差别等因素影响，调试时，r₂ 值和 R₄ 值需稍加调整。

5 数字式比率定值器

5.1 什么是比率定值器

在工业控制系统中，常常需要两个或多个变量保持一定的比例关系，这样的控制系统，叫做比率控制系统。用在比率控制系统的调节器叫做比率调节器。比率调节器上的定值器，叫做比率定值器。

5.2 数字式比率定值器原理

以重油燃烧为例，来说明数字式比率定值器原理。

数字式比率定值器，以燃料流量信号分压后的输出作为比率调节器的给定值。选用图 29.2-9 所示四位数字定值器作为分压器，直接以拨盘上数字表示空气和重油流量比值的给定值。其原理框图如图 29.2-14 所示。

图 29.2-14 中，i₁ 是重油流量信号，在 R₁ 上可

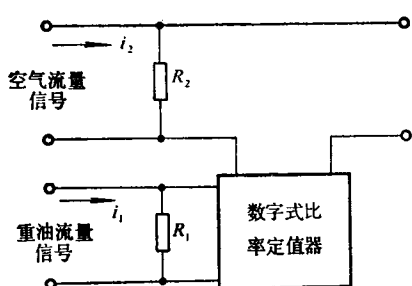


图29.2-14 数字式比率定值器原理方框图

以得到电压 $u_1 = i_1 R_1$ 。 i_2 是空气流量信号，在 R_2 上可以得到电压 $u_2 = i_2 R_2$ 。

设重油流量变送器输出 $0 \sim 10\text{mA}$ 信号时，代表的重油流量为 $0 \sim Q_1 \text{kg/小时}$ ，则电流为 i_1 时代表的重油流量 Q_1 值应为：

$$Q_1 = i_1 \frac{Q_1}{10}$$

设空气流量变送器输出 $0 \sim 10\text{mA}$ 信号时，代表的空气流量为 $0 \sim Q_2 \text{m}^3/\text{小时}$ ，则电流为 i_2 时代表的空气流量 Q_2 值应为：

$$Q_2 = i_2 \frac{Q_2}{10}$$

设空气流量和重油流量的比值单位为 m^3/kg ，并设 Q_2 和 Q_1 的比值为 $K(\text{m}^3/\text{kg})$ ，则有

$$K = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{i_2 \frac{Q_2}{10}}{i_1 \frac{Q_1}{10}}$$

$$\therefore i_2 = K \frac{Q_1}{Q_2} i_1$$

设数字式比率定值器的给定单位为 m^3/kg ，其给定值为 $1\text{m}^3/\text{kg}$ 时定值器输出为 $E_{D(1)} = \alpha u_1$ ，则拨盘数字为 K 时定值器输出值 $E_{D(K)} = K \alpha u_1 = K \alpha i_1 R_1$ 。

欲使拨盘数字 K 代表空气流量和重油流量的比值，则应使

$$u_2 - E_{D(K)} = 0$$

$$\text{即 } i_2 R_2 = K \alpha i_1 R_1$$

将 $i_2 = K \frac{Q_1}{Q_2} i_1$ 代入上式整理后可得：

$$R_2 = \alpha \frac{Q_1}{Q_2} R_1$$

综上所述，图 29.2-14 所示数字比率定值器，只要使 R_2 和 R_1 的值满足上式要求，即可以拨盘数字来代表空气流量和重油流量之比值的给定值。

6 数字式时间程序定值器

时间程序定值器，就是使定值器输出按工艺要求随时间变化，从而使被控参数按预定要求随时间变化。数字式时间程序定值器，其给定值和时间均用数码管显示，比较直观。程序的编制和修改非常方便。其原理方框图如图 29.2-15 所示。

图 29.2-15 中，数字式时间程序定值器的“数-模”转换网络仍采用二十进制，其编码方式为 8-4-2-1，表示二进制数的开关元件采用微型继电器，微型继电器的“开”和“关”由可逆计数器来控制。

数字式时间程序定值器的给定值用八划荧光数码管来显示。可逆计数器输出给译码器，由译码器直接驱动荧光数码管。

为使用户随时知道程序进行到哪一个阶段，还设置了时间显示。时间显示也采用荧光数码管。

图 29.2-15 中，所有数字逻辑电路，均用 PMOS 数字集成电路。特点是集成度较高，成本低。升降温速率用单刀十掷拨盘开关来给定，给定单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、 mV/h 等。有四个速率，每个速率有升、降两个位置，用双刀双掷拨动开关切换。每个速率给定可为 1~3 位数，直接以拨盘开关上所刻数字来表示。升温、保温、降温时间给定，也用单刀十掷拨盘开关，给定单位为小时，除起始点外，其七个给定点，每个给定点有三位数，也直接以拨盘数字表示。

图 29.2-15 中，时钟脉冲发生器，是一个频率比较稳定的振荡器，由它提供稳定的时钟脉冲。对于时间精度要求不太高的用户，此振荡器可用与非门电路和 RC 反馈电路来实现。对于时间精度要求较高的用户，可选用石英晶体振荡器。

图 29.2-15 中， K_1 为“预置-工作”切换开关。它是一个四刀双掷拨动开关。将 K_1 切到“预置”位置， K_1 将计时电路断开，同时将可逆计数器和控制门断开。分频后的时钟脉冲，通过微动开关 K_2 或 K_3 直接送到可逆计数器的 CP 端。如使定值器的预置