

计算机原理及继电器控制线路设计

301 叶叶 72 届学员 毕业实践的一个专题

南京航空学院

1975.6.

数字线路基本知识讲座

前言

我们知道，通常熟知的控制系统是采用模拟装置。但是模拟装置存在一个严重的缺点，就是装置本身一次只能使数据的精度变为一次，这种速度低。数字装置的精度几乎不受限制，它只决定于字长，因此这种也不会降低精度。而且数字装置能完成复杂的算术运算和逻辑运算。正是由于这个原因，数字装置已广泛应用于控制系统，成为控制系统重要组成部分。

通常一个典型的数字控制系统组成框图如。下图所示。

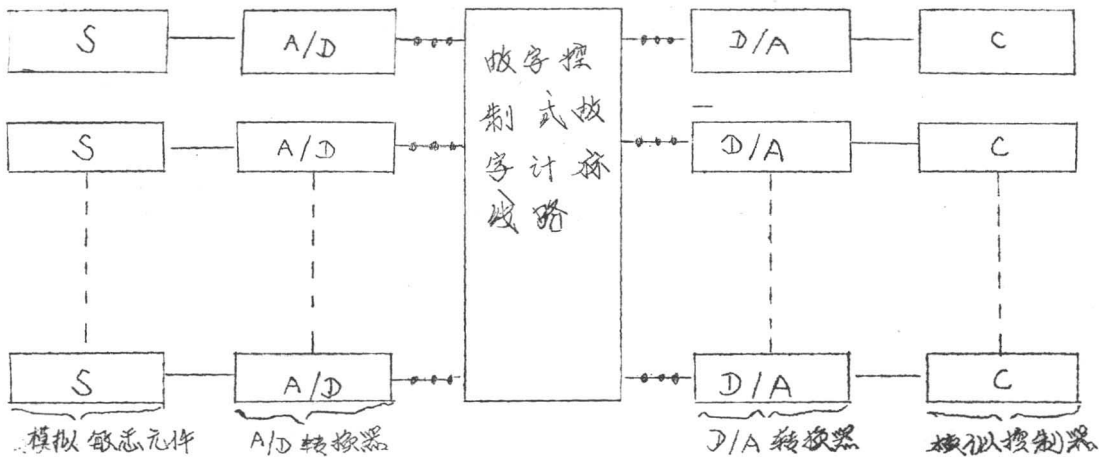


图1 典型控制系统
····· 数字信号
—— 模拟信号

其中包括：模拟敏感元件(S)；模拟到数字转换(A/D)；数字控制或数字计标线路；数字到模拟转换(D/A)和模拟控制器等五大部件。但是一个数字控制系统并不需要包括所有这些部件。

假如它仅包含敏感元件，A/D 转换器和数字计标机，这通常叫做数据处理系统。

假如这个系统仅包含数字计标机，D/A 转换器和模拟控制器，那么通常叫做程序控制系统。

而一般讲数字控制系统则包含有D/A转换器，又包含A/D转

2
换器，而且还是一个闭环系统。例如多卜勒导航系统就是一个例子。它的处理框图如图2所示。

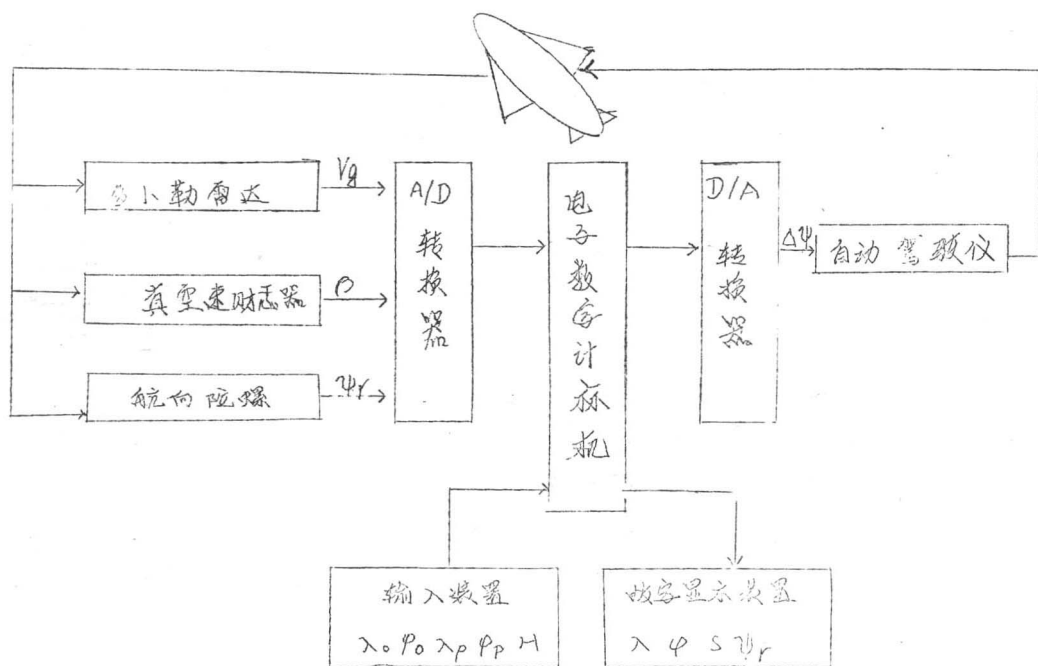


图2 多卜勒导航系统处理框图

多卜勒导航系统是由多卜勒雷达、真空速计、航向陀螺、电子计算机、模拟到数字转换器 (A/D) 和数字到模拟转换器 (D/A)、自动驾驶仪和输入输出装置等所组成。

计算机是用来求解多卜勒导航的数学方程。

A/D 转换器是将飞行仪表所测定的电压形式表示的量转换成二进制代码。

D/A 转换器的作用是将计算机的计算结果 (用二进制数表示) 转换成电压信号，並以它控制自动驾驶仪。

输入装置通常是在每次起飞前由飞行员把本次飞行的起点、经纬度和终点经纬度、平均飞行高度，从键盘输入到计算机。

输出装置是采用数字显示的方法以十进制数的形式显示出所需之领航数据。

因此我们就有关控制线路的基本知识，将主要介绍以下内容：

第一章 数制与逻辑电路

§ 1-1 二进制的概念

§ 1-2 二进制的算术运算

§ 1-3 基本逻辑电路

§ 1-4 基本逻辑部件

§ 1-5 集成电路所组成的逻辑电路

第二章 电子数字计算机基本工作原理

§ 2-1 电子数字计算机的组成

§ 2-2 电子数字计算机的运算器

§ 2-3 电子数字计算机的存储器

§ 2-4 电子数字计算机的控制器

§ 2-5 输入输出装置

§ 2-6 主机工作原理概述

§ 2-7 程序设计初步与软件简介

第三章 转换装置

§ 3-1 概述

§ 3-2 数字到模拟转换器 (D/A)

§ 3-3 模拟到数字转换器 (A/D)

§ 3-4 模拟开关和多路切换

第一章 数制与逻辑电路

§ 1-1 二进制的概念

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 1-3-1”

§ 1-2 二进制的算术运算

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 1-3-2”

§ 1-3 基本逻辑电路

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 2-1”

§ 1-4 基本部件

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 2-2”

§ 1-5 集成电路所组成的逻辑电路简介

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 2-3”

第二章 电子数字计算机基本工作原理

§ 2-1 电子数字计算机的组成

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 1-2”

§ 2-2 电子数字计算机的运算器

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 3-1”

§ 2-3 电子数字计算机的存储器

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 3-2”

§ 2-4 电子数字计算机的控制器

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 3-3”

§ 2-5 输入输出装置

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 3-4”

§ 2-6 主机工作原理概述

参“电子数字计算机入门讲座”之“§ 3-5”

§ 2-7 程序设计初步与软件简介

参“电子数字计算机入门讲座”之“第四讲”

第三章 转换装置

§ 3-1 概述

前面已经介绍过，由于数字装置有其特殊优点而被广泛用于控制系统，也正是由于数字技术这种新发众多生成新技术这一新领域。也就是说，当包含有模拟量的控制系统采用数字计算机，就带来了模拟量和数字量之间的转换问题。

被转换的量一般有两种形式，一是电压电流之类的模拟量，一是“1”和“0”的数字量。它们之间的关系可以从图3-1中看出。

纵座标是以电压值表示的模拟量，以1V表示1顿。

横座标是离散形式的数字量，以三位二进制数表示，在最高有效位前加1位表示符号并且人为规定“0”代表正值，“1”代表负值。

可以看到，如把数与数之间的间隔减少，即增加数字位数就可以使模拟量接近连续值。

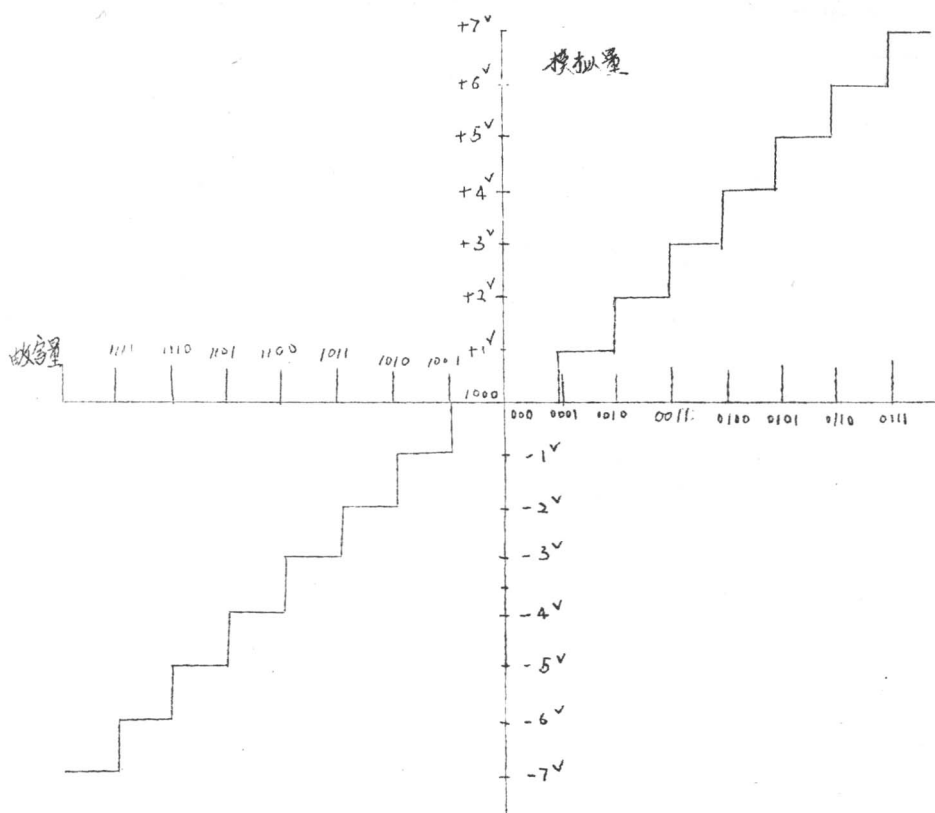


图 3-1

所谓转换装置就是实现上述模拟量与数字量之间相互转换的设备。根据信号传送方向转换装置有两种形式：一是能将模拟量转换成数字量的转换装置，（亦叫编码装置）简称A/D转换器。一是能将数字量转换成模拟量的转换装置，（亦叫解码装置）简称D/A转换器。

应当指出的是，在数字控制系统中A/D和D/A转换器将是一个薄弱环节，它们的准确度和速度将限制总的性能。因此在数字控制线路设计中对转换装置必须予以足够重视。

§3-2 数字到模拟转换器（D/A）

数字到模拟转换是把计算机处理好的数字量转换成模拟量，用以驱动模拟控制器。电子数字计算机通常采用二进制代码，所以我们以二进制代码为例来说明D/A的转换原理。

我们知道，数字量是代码按数位组合起来表示的，每一位代

的都有—定的“权”，即代表—具体的数值。例如二进制数1011，第四位代码的“权”是“八”，代码“1”表示该位数值为“8”，第三位代码的“权”是“四”，代码“0”表示这一位没有数；第二位代码的“权”是“二”，代码“1”表示该位数值为“2”。……以此类推，“1011”的总权是： $8+0+2+1=11$ ，由此可见，为了将数字量转换成模拟量，必须将每一位代码按其“权”的数值转换成相应的模拟量，然后将代表各位的模拟量相加，结果所得总模拟量就是与数字量成比例的模拟量，这样就完成了数字到模拟的转换。

—个基本的数字到模拟转换器方框图如下图所示。

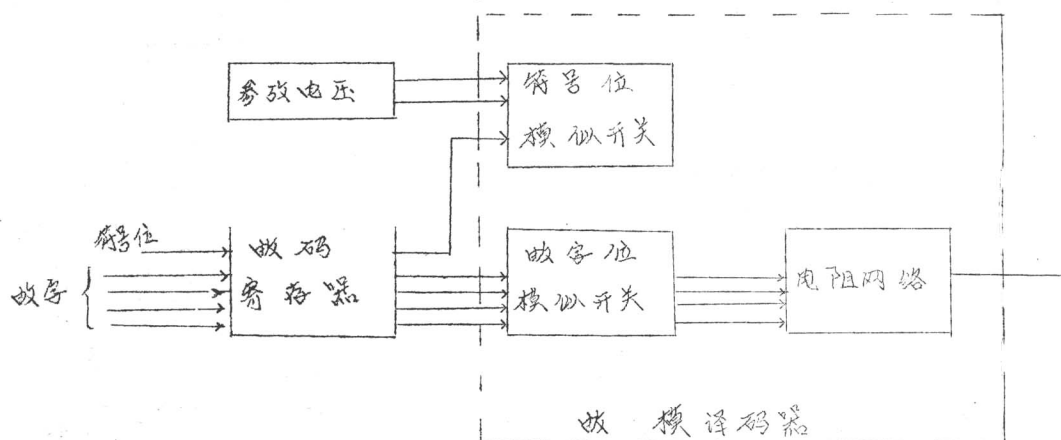


图 3-2

这种转换器的基本部分由数码寄存器、参考电压、模拟开关和电阻网络所组成。输入数字首先存储在寄存器内，寄存器的每一位驱动—只模拟开关，此开关能精确的导通参考电压或把电阻网络适当端子接地，—个符号开关是为决定模拟输出电压的正负号的。

图3-3所示是这样—个具体例子，从图中可以看出每一位的电阻值与这一位的“权”相对应的，“权”愈大阻值愈小，网络的电阻值也是二进制规律。由于阻值和每一位的权相对应，所以称为权电阻网络。权电阻网络的输出端连接直接耦合式这称放大器的Σ点上，这里首先假设放大器开环放大倍数很大，点近似为地电位，所以 $V_{\Sigma} \approx -I_f R_f$

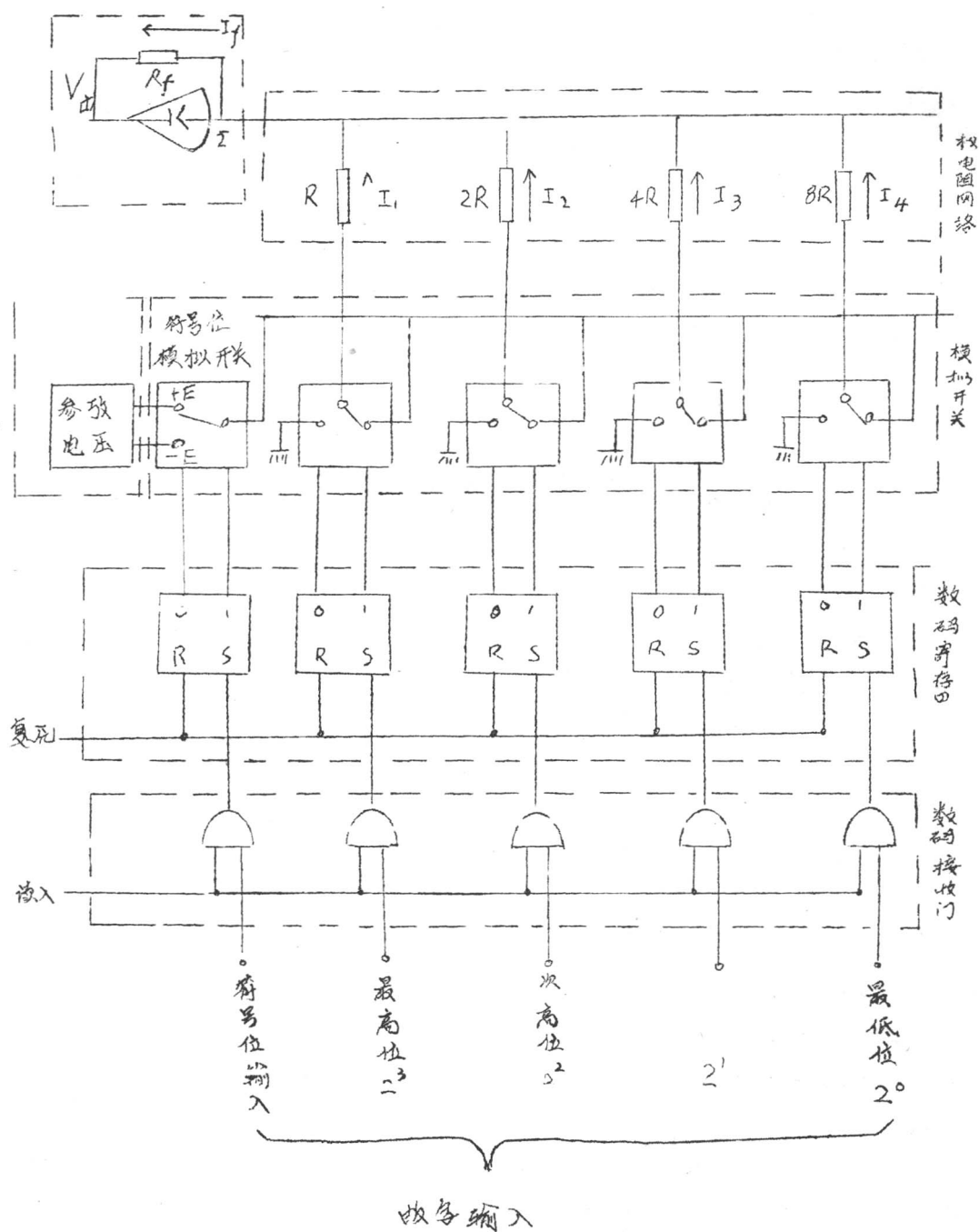


图3-3

若译码器的每一位为“1”，则“权”电阻译码网络的输出电流是每一位电流的总和，即

$$I_f = I_1 D_1 + I_2 D_2 + I_3 D_3 + I_4 D_4$$

$$= \frac{E}{R} D_1 + \frac{E}{2R} D_2 + \frac{E}{4R} D_3 + \frac{E}{8R} D_4$$

式中 D_1, D_2, D_3, D_4 是“1”或“0”决定于该位的数字输入是“1”还是“0”

因为 $V_{\text{出}} = -I_f R_f$

$$\therefore V_{\text{出}} = -\left(\frac{E}{R} D_1 + \frac{E}{2R} D_2 + \frac{E}{4R} D_3 + \frac{E}{8R} D_4\right) R_f$$

$$= -\left(\frac{1}{R} D_1 + \frac{1}{2R} D_2 + \frac{1}{4R} D_3 + \frac{1}{8R} D_4\right) \cdot E \cdot R_f$$

$$= -\frac{R_f}{R_0} E$$

式中 R_0 为译码器的输出阻抗，当所有数字位都是“1”时 $R_0 = \frac{8}{15}R$ 。这种数模转换器的转换逻辑如下：

(1) 将各位触发器的“1”使各位的模拟开关接通正模拟参考电压，而各位触发器的“0”使其模拟开关输出至电阻译码网络端为 0 电位。因此，各位触发器的“1”使其模拟开关输出正或负，决定于各位模拟开关的状态。

(2) 一开始，用复位脉冲使各位与各位都成为 0。

(3) 如接收门输入有 3 数字收入，用一个读入脉冲把数字经过接收门转到数码寄存器。

由上可见，电阻数模译码网络的本质在于它是一个受数字量控制的二进制的电阻网络。因此能产生二进制电压，实现数字到模拟的转换。从原理上说，只要位数足够多，这种转换器可以达到很高的精度，但实际上电阻值总有一定的误差，而且受温度变化的影响，开关也不可能是理想的开关，这些将成为决定转换精度的主要因素。而且由于各电阻的阻值是不相同的，当位数较多时，阻值分散性很大，又要求精确，这给生产上带来一定的困难。

下面介绍为克服此缺点而采用的 T 型电阻网络。如图 3-4 所示，电路中电阻只有 $2R$ 和 R 两种，整个电路是由相同的电路环路组成的。每节有两个电阻一个开关，相当二进制的一位开关由该位的代码所控制（与图 3-3 相同），由于电阻接成 T 型，

称T型电阻网络。

图3-4所示是一个三位二进制权的T型电阻网络。

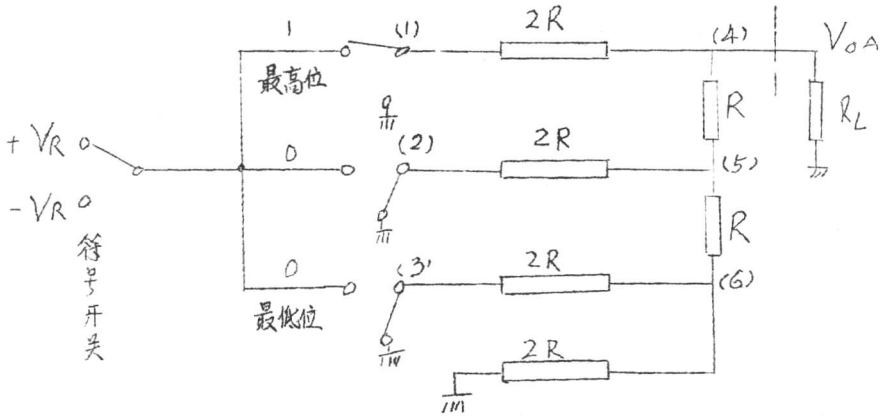
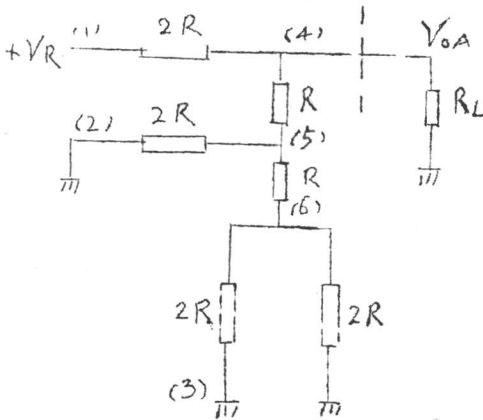


图3-4

我们来看一看，当数字输入是一个正的100数字时，考虑并联和串联电阻等效值，则简化成图3-5，节点号不变。



当 $R_L \gg R$ 时

$$V_{OA} = \frac{2R}{2R+2R} V_R = \frac{1}{2} V_R$$

图3-5

当三位二进制数字是“010”时，有如图3-6所示。

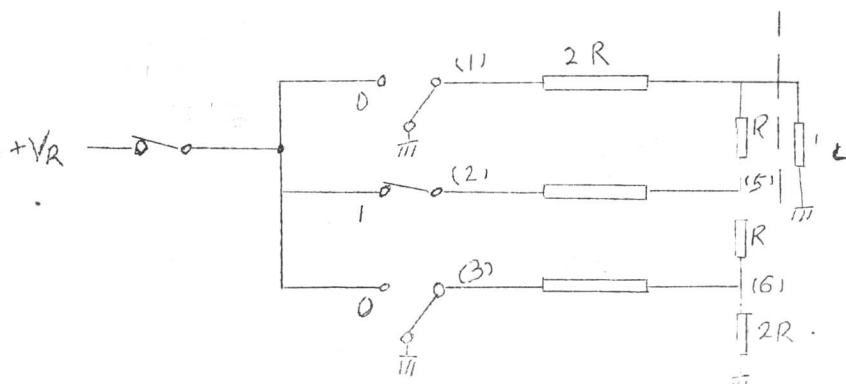
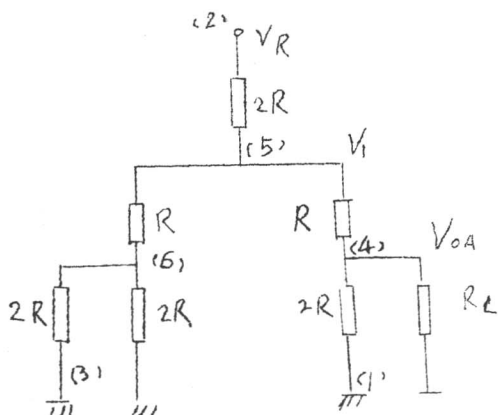


图 3-6

假设 $R_L \gg R$ ，等效电路变为图 3-7 所示。



$$V_1 = \frac{\frac{6}{5}R}{(\frac{6}{5} + \frac{10}{5})R} V_R = \frac{3}{8} V_R$$

$$V_{OA} = \left(\frac{2R}{2R+R} \right) V_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{8} V_R = \frac{1}{4} V_R$$

图 3-7

当设三位二进制数字是“001”时，有如图 3-8 所示

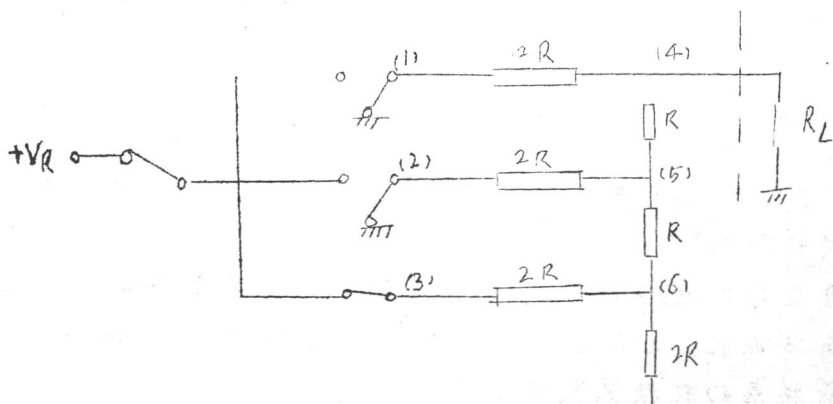


图 3-8

同样假定 $R_L \gg R$ ，则等效电路变为如图 3-9 所示。

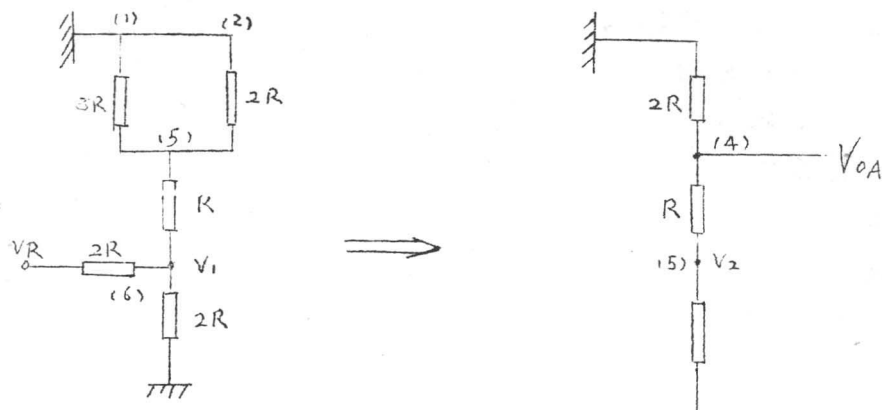


图 3-9

$$V_1 = \left[\frac{\frac{22}{21} R}{2R + \frac{22}{21} R} \right] V_R = \frac{11}{32} V_R$$

$$V_2 = \left[\frac{\frac{6}{5} R}{\frac{6}{5} R + R} \right] \cdot V_1 = \frac{6}{32} V_R$$

$$V_{OA} = \frac{2R}{2R + R} V_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{6}{32} V_R = \frac{1}{8} V_R$$

如果输入数字是“111”，并且 $R_L \gg R$ ，运用叠加定律，则模拟输出为： $\frac{1}{2} V_R + \frac{1}{4} V_R + \frac{1}{8} V_R = \frac{7}{8} V_R$

因此对于一个任何一位 n 位的数字等效模拟值可以按下式计算：

$$V_{OA} = \left(\frac{1}{2} D_1 + \frac{1}{4} D_2 + \frac{1}{8} D_3 + \dots + \frac{1}{2^n} D_n \right) \frac{R_L}{R_L + R} \cdot V_R$$

上式第一项为最高位，最后一项为最低位。因 D 表示一位数字输入状态“1”或“0”。

可见采用这种电阻网络的主要优点是显而易见的。它只有 R 、 $2R$ 两种电阻，在这种情况下很容易获得温度系数相同的电阻，这对高精度的转换器是非常重要的。

§ 3-3 模拟型数字转换器 (A/D)

我们在前面提到，由于在控制系统中採用了数字计算机，需要将连续变化的模拟量转换成数字量，才能送给数字计算机进行运算。这就是模拟到数字转换。为了使连续的模拟量变成数字量必须用一定的计量单位使连续量正量化。才能得到近似的数字量。计量单位越小，正量化的误差也越小，数字量就越接近于连续量本身的值。模拟到数字转换就是讨论使连续量正量化的方法。

连续量的范围很广，有各种各样的物理量。由于实际上经常是把很多物理量先转换成电压。如：温度可以^{白热}热电偶转换成电压；转角可用电位计转换成电压；飞机的飞行高度可用高度传感器转换成电压等，然后再由电压转换成数字。前一种转换不改变信号的连续性，这是大家熟悉的，因此我们下面讨论的是电压到数字转换。不过电压到数字的转换方法也很多，这里不一一介绍，我们仅以比较型转换器为例来说明。

反馈比较型电压到数字转换器的基本思想在于“比较”，通过事物的不断比较，不断鉴别，从而逐步认识事物，最后得到比较准确的结果。为了说清楚这个问题，我们先来看一个日常生活中用天平称东西的例子。

现有一台天平，它的砝码有 $2g$ 、 $1g$ 、 $0.5g$ 、 $0.25g$ 、 $0.125g$ 、 $0.0625g$ ，共六种，每后面一个砝码是前面一个砝码重量的 $1/2$ ，相互之间可以看成是二进制关系。

假设现在有一个要称的东西，它的重量是 $3.5625g$ 。我们怎样来称它呢？

第一步：因为预先不知道所称的东西有多重，所以把最重砝码（ $2g$ 重的）放在砝码盘上与另一盘内的重物相“比较”，发现砝码不够，于是把 $2g$ 砝码保留在盘内，我们记为“1”。

第二步：再加 $1g$ 砝码比较，仍未超过重量，保留这两个砝码，记为“11”。

第三步：再加 $0.5g$ 砝码比较，仍未超过重量，保留这三个砝码，记为“111”。

第四步：再加 $0.25g$ 砝码比较，已超重，取下 $0.25g$ 砝码，记为“1110”。

第五步：再加 $0.125g$ 砝码比较，已超重重量，取下 $0.125g$ 砝

记为“11100”

第六步：再加 0.0625g 砝码比较，未超过重量，但已很接近，保留 0.0625g 砝码，记为“111001”。

这样六步所有的砝码都试过了，就称称完了东西。若用二进制来表示这个东西的重量，就可以写成是：

↑ 表	↑ 表	↑ 表	0 表	0 表	1 表
不	不	不	不	不	不
2g	1g	0.5g	0.25g	0.125g	0.0625g
用	用	用	不	不	用
上	上	上	用	用	上

把用上的（记为“1”的）砝码加起来，就是称得的重量，等于 3.5625g ，它和实际重量相差为 $3.5627 - 3.5625 = 0.0002\text{g}$ ，这就是误差。当用上述六个砝码去称量物体时，因为最小的砝码^是 0.0625g ，所以最大正量但误差不会大于 0.0625g ，也就是说不会大于一个二进制数。如果还有更小的砝码（如： 0.0312g ， 0.0156g ……等等）就可以继续称下去。砝码越多误差越小。

基于上述想法，也可把电压转换成二进制数来表示。

设有一套标准电压，分别为 2.5V ， $\frac{1}{2}2.5\text{V}$ ， $\frac{1}{4}2.5\text{V}$ ， $\frac{1}{8}2.5\text{V}$ ，…… $\frac{1}{2^{10}}2.5\text{V}$ 共十一种电压，相邻两个电压为2倍的关系，即二进制的关系。

现在我们来研究如何把一个 3V 的电压转换成二进制数：

第一步：先用最大电压 2.5V 与 3V 比较，结果 $2.5\text{V} < 3\text{V}$ ，把它保留下来记为“1”。

第二步：在 2.5V 上，再加 1.25V 后与 3V 比较，结果是 $(2.5\text{V} + 1.25\text{V}) > 3\text{V}$ ，把 1.25V 去掉，记为“10”。

第三步：把 0.625V 加上后与 3V 比较，结果是 $(2.5\text{V} + 0.625\text{V}) > 3\text{V}$ ，把 0.625V 也去掉，记为“100”。

第四步：把 0.3125V 加上后与 3V 比较，结果是 $(2.5 + 0.3125)\text{V} < 3\text{V}$ ，把它保留记为“1001”。

依次类推，直至试到 $\frac{1}{2^{10}}2.5\text{V}$ 这个电压为止。这样就可以把 3V 电压转换成二进制数来表示，即为 10011001100 。

其中最高位“1”代表2.5V，低位逐次递减一半。

由上述过程，我们可以看出要把一个电压转换成二进制数码表示的形式必须具有以下条件：

(1) 有一套标准电压，它们之间的分比为二进制，我们把这套部件称为“分码网络”。

(2) 要有一个比较鉴别器，把由分码网络来的，每次进行试验的电压送到比较鉴别器与被转换电压进行比较，并判别谁大谁小，以决定是否保留这位电压。

(3) 要有一个寄存器，每次比较结果由它保存下来，是“1”或是“0”称之为“数码寄存器”。

(4) 要有一套相应的程序控制线路来完成下列任务：(a) 比较是由最高位开始的，由高位到低位逐位比较。

(b) 根据每一次的比较结果，使相应位数码寄存器记“1”或记“0”并由此次决定是否保留这位“从分码网络”来的电压。

所以，由数码寄存器的状态决定“分码网络”的输出电压，而这个电压反过来又要与输入的被转换电压进行比较，根据比较结果再来决定这位数码寄存器的状态。这是一个互相联系、互相依存的过程，我们称为“电压”“反馈”，而整个过程又是一位一位地进行，所以这种电压到数码的转换的方法称为“电压反馈逐位比较”。图3-10就是这种转换器的流程图。

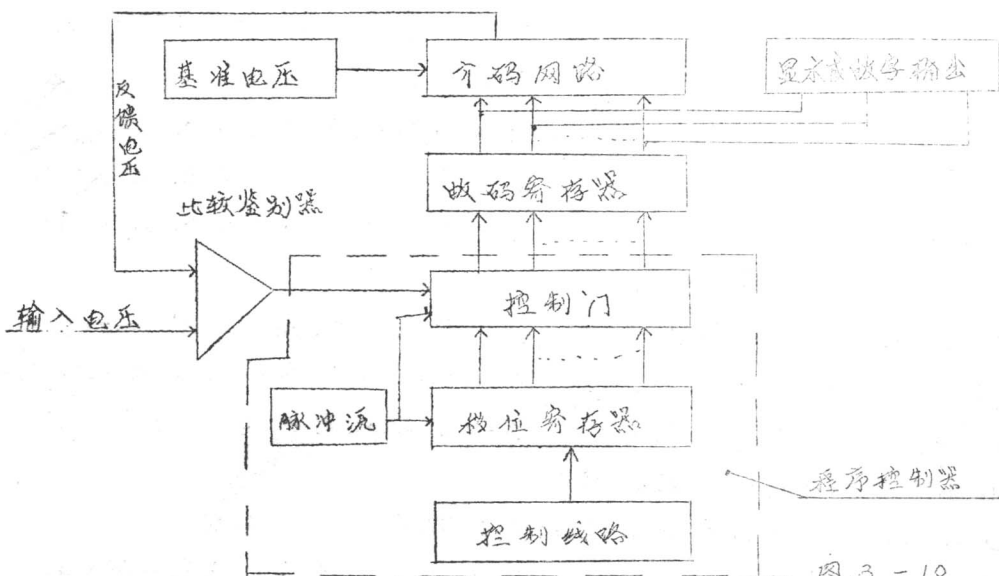


图3-10

下面我们举一个5位的转换器作为例子，如图3-11所示，它的构成

① 模拟寄存器由触发器2、4、6、8、10组成。

② 数码寄存器由触发器1、3、5、7、9组成，除输出数码并驱动模拟网络。

③ 模拟网络采用加权电阻网络。

④ 比较器及控制门 G_1 G_2 G_3 G_4 G_5 G_6

转换过程简述如下

启动脉冲使数码寄存器触发器3、5、7、9复位，使触发器2置“1”而且把数码寄存器的触发器1驱动于“1”，因而最高位模拟开关被触发器1驱动把参考电压 V_R 接到电阻网络的一端。然后此网络的输出与输入模拟电压在比较器内进行比较。

下一个时钟脉冲 当触发器2变为“0”态时与门 G_2 根据比较器的输出把最高位的“1”去掉或保留，并且把触发器3置于“1”态。同时触发器2的“1”移至触发器4，使与门 G_5 起作用，因而次高位可以接受模拟输入的试验。……这个过程一直重复下去。

§ 3-4 模拟开关和多路切换

1) 介码网络中都要用开关，它受数字量的代码所控制。在转换速度要求不是很高时，采用继电器是很合适的，因为继电器的接触电阻很小，相当于理想开关。但是介码网络通常是用在高速度转换的场所，这时继电器就不能适应了。只能采用晶体管或场效应管的电子开关。图3-12是一个用于介码网络的电子开关，输入信号是由数字量的代码来的，当输入为高电平（+3.6V）时， T_3 导通，因而使 T_2 导通 T_1 截止，相当于开关接地；当输入为低电平时， T_3 截止因而使 T_1 导通， T_2 截止，相当于开关接到参考电压上。开关管 T_1 、 T_2 组成一个双向开关。

2) 一般控制机的输入模拟量很多，模拟转换器用一个，这样如何将输入模拟量一个一个地送入模拟到数字转换器呢？这就是多路切换装置的任务。多路切换装置的逻辑框图如图3-13所示。

U_0 U_1 …… U_{15} 是被测模拟信号

U …… 是经过切换开关后的模拟输出

I_x 是电流放大器，用以放大直流小信号，再送入A/D转

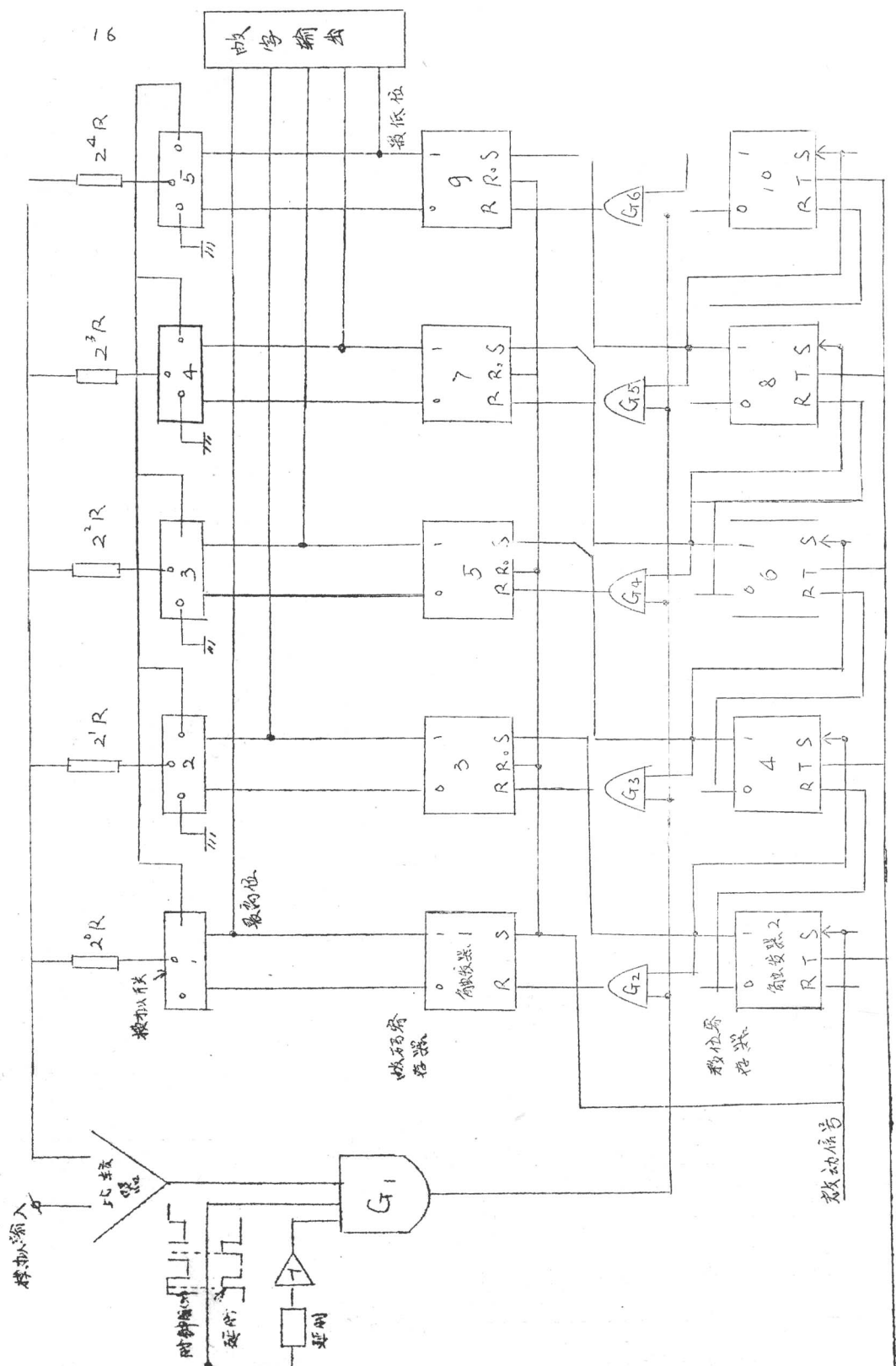


图 3-11