

高等学校教学用书

自动学与远动学基础

铁道部教材編輯組选編

人民铁道出版社

高等学校教学用书

自动学与远动学基础

铁道部教材編輯組选編



人民铁道出版社

一九六一年·北京

本書系鐵道部教材編輯組選編，并推荐作为高等学校教学用书，适用于鐵道自动化专业。

全書共分兩編，第一編运动学基础，第二編自动学基础，在各章节中介绍了在生产部門中实现自动化与运动化时，构成自动系統和运动系統的基本理論；在每編的最后章节里还初步地介绍了自动系統和运动系統在铁路运输生产过程中的应用。

本書主編单位：北京鐵道学院电信系信号教研組

参加編輯者：北京鐵道学院电信系自动控制教研組

主編人：吳文瀾
张凤翥

高等学校教学用书

自动学与运动学基础

鐵道部教材編輯組選組

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第010号

新华书店科技发行所发行

各地新华书店經售

人民鐵道出版社印刷厂印

书号 1814 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $8 \frac{1}{8}$ 字数 227 千

1961年9月第1版

1961年9月第1版第1次印刷

印数 0,001—1,350 册 定价 (10) 1.10 元

序

近十几年来，对研究各种生产过程中所采用设备的理论，更确切些说，控制的一般数学理论，已形成了一门独立的科学，它称为控制论。

控制论从广义来讲可以分为分析控制论和工程控制论。自动学与远动学是属于工程控制论的范畴。

自动学的中心问题是自动调整理论，它所研究的是闭环控制系统中的动态过程。在自动学中除了自动调整理论外，还包括有自动监督、自动传动及模拟理论等方面的内容。本书以介绍自动调整理论为主。

远动学与自动学的区别，在于远动系统中存在着传递信息的通信道，因此远动学是研究远距离信号的结构理论、远动系统的结构理论等方面的内容。

自动学与远动学所研究的内容，彼此之间是互相联系着的，在生产部门各个生产过程中，不仅需要生产过程的个别环节局部自动化，而且要向生产过程全盘自动化的方向发展，这样就促使自动学与远动学更加紧密地结合起来。

本书是根据1959年制定的铁道自动化专业教育计划和1960年教学实践的经验，以及本门课程教学大纲，在北京铁道学院电信系信号教研组几年来所使用的讲义基础上改编的。在改编前曾征求教过本课程的教师及本专业部分同学的意见，并经过自动学与远动学基础课教学小组的讨论，最后由全组成员集体编写的。

在教育计划中规定，学习本课程前学生除了学过高等数学、物理等基础课程外，还必须学过电工基础、电子管及晶体管电路、电路理论、自动化元件等技术基础课。为了更好地配合专业课的讲授，本课程先讲远动学基础后讲自动学基础。

几年以来，通过教学实践，对原有讲义进行了修改，但由于我们对党的教育方针体会的不够，加以水平的限制，希望读者多提出宝贵意见。

編 者

1961年6月

AS 2/66

目 录

第一編 远动学基础

第一章 远动学的一些基本概念	1
§1-1 引言	1
§1-2 远动学的任务和远动系统的结构	1
§1-3 远动系统的分类	2
§1-4 远动学的基本问题	3
第二章 图形理论	4
§2-1 接点元件图形的表示法	4
§2-2 图形的分类	4
§2-3 分析电路动作的表示方法	7
§2-4 逻辑代数的基本关系	7
§2-5 接点电路图形的一般公式	9
§2-6 II 型和 H 型图形及其变换	12
§2-7 单拍和多拍图形的综合	15
§2-8 逻辑代数在无接点电路中的应用	16
第三章 脉冲性质及选择理论	19
§3-1 脉冲的性质	19
§3-2 电码的组成方法	20
§3-3 基本选择方法	23
§3-4 分级选择	25
§3-5 电码的畸变和防护方法	28
第四章 远动系统中的逻辑单元	29
§4-1 引言	29
§4-2 与门	29
§4-3 或门	31
§4-4 反门	32
§4-5 禁门和反与门	34
§4-6 门电路的分析和综合	35
第五章 远动系统的基本环节	38
§5-1 远动系统的结构及其作用	38
§5-2 开始及启动环节	39
§5-3 脉冲形成环节	40
§5-4 分配环节	42
§5-5 编码环节	45
§5-6 线路发送和接收环节	46
§5-7 译码环节	47
第六章 通信道	48
§6-1 引言	48

§6—2 各种通信道的比較	49
§6—3 通信道的計算	52
第七章 运动系統在铁路運輸中的应用	54
§7—1 引言	54
§7—2 調度集中的基础	54
§7—3 調度監督的基础	56

第二編 自动学基础

第一章 一般概念	59
§1—1 引言	59
§1—2 自动調整的作用原理与任务	59
§1—3 自动調整系統的分类	61
§1—4 对自动調整系統的基本要求	63
第二章 自动調整系統的基本元件	64
§2—1 自动調整系統基本元件的分类	64
§2—2 自动調整系統的基本元件	65
第三章 自动調整系統的基本环节	69
§3—1 引言	69
§3—2 一阶非周期环节	69
§3—3 二阶非周期环节	71
§3—4 振蕩环节	72
§3—5 放大环节	74
§3—6 微分环节	74
§3—7 积分环节	75
第四章 自动調整系統中的調整对象、元件和整个系統的微分方程編写方法	77
§4—1 引言	77
§4—2 調整对象和元件的方程式	77
§4—3 自动調整系統的方程式編写方法	82
§4—4 自动調整系統的方程式編写的举例	84
第五章 传递函数和幅相特性	85
§5—1 引言	85
§5—2 傳遞函数的定义及其表示式	85
§5—3 基本环节的傳遞函数	85
§5—4 自动調整系統的傳遞函数	86
§5—5 幅相特性	91
§5—6 基本环节的幅相特性	92
第六章 自动調整系統的稳定性	95
§6—1 自动調整系統稳定性的基本概念	95
§6—2 系統特征方程式的根与稳定性的关系	96
§6—3 劳斯稳定判据	100
§6—4 古尔維茨稳定判据	102
§6—5 米哈依洛夫稳定判据	105
§6—6 奈魁斯特稳定判据	110
§6—7 对数稳定判据	112
§6—8 稳定域的划分	115

第七章 自动調整系統品質的分析	116
§7—1 調整过程品質的指标	116
§7—2 自动調整过程品質的分析	117
§7—3 特征方程式根的分布与穩定度、振蕩度的关系(間接方法)	118
§7—4 积分法鉴定自动調整系統的品质(間接方法)	120
第八章 随动系統	121
§8—1 引言	121
§8—2 随动系統的分类和基本参数	121
§8—3 随动系統的結構图形	123
第九章 自动調整在鐵路駝峯調車場方向的应用	123
§9—1 引言	123
§9—2 鈎車溜放速度自动調整系統的方框图	124
§9—3 緩行器的操縱与自动調整	124

第一編 远动学基础

第一章 远动学的一些基本概念

§1—1 引 言

本編的内容叙述有关远动学中的一些基本理論問題。

远动学最早应用在电力系统 and 铁道系統里，以后扩展到农业、城市工商业、規模巨大的黑色及有色金属冶金企业、煤气供应系統以及采矿、石油輸送和其它水陆空運輸系統等国民經济各部門中。

到目前为止，远动学的主要研究内容是远距离控制（遙控）、表示（遙信）和測量（遙測）問題，因此距离是一个重要因素。考虑的重点是如何保証信号的傳遞无誤差，以及如何防止干扰等。对于保証对象繁多的复杂的自动化系統设备的可靠、經濟和灵活等問題的研究，目前还不十分重要，但不久的将来会占有較大的比重。

应用遙控、遙信和遙測設備以后，人的作用主要是在于获得被控制对象状态信息的基础上，进行一些小型器件的操作。这样工人的劳动将接近于工程技术人員的劳动，从而减少体力劳动和脑力劳动之間的差別，还可以大大地提高劳动生产率，并且及时地灵活地根据設備生产情况和运营情况进行控制和調整，以保証設備的安全和正常生产。

§1—2 远动学的任务和远动系統的結構

远动学的主要内容是遙控、遙信和遙測系統中信号的变换、傳遞和抗干扰等問題，以及远动系統的結構和組成环节。

所謂遙控就是在相当的距离以外来控制一些对象（生产设备）。具体地说：例如在铁道運輸系統內控制远方車站上的道岔、信号、进路等等；在电力系统內，隔相当距离以外启动和制动电机，控制配电盘上的一些設備，調整有功与无功功率等等。因此遙控系統的結構可以用最簡單的方框图，如图 1—1—1 所表示，其中：1 为控制設備——将控制命令变换成信息。2 为通信道——无誤差地将信息由控制点傳遞到执行点。3 为接收設備——把通信道傳过来的控制命令接收下来，經過翻譯，选择所需要的对象，并把控制命令傳遞到对象上去，进行具体操纵。

所謂遙信，就是隔相当距离以外，被控制的对象自动地把自己的状态作为信息傳遞到中央控制点去。例如在铁道系統里把車站的道岔位置、信号的显示、列車的位置，以及运行的情况等等作为信息自动地傳遞到調度所里去；在电力系統中把所有电閘和仪表的状态作为信息傳遞到中央控制室去。因此，遙信系統的方框图可以用图 1—1—2 来表示，其中：1 是发送設備，把被控制对象状态的变化变成信息并开始发送；2 为傳遞信息的通信道；3 为中央控制点的接收設備。原則上方框 1 的設備是和遙控中方框 1 的設備一样的，但是

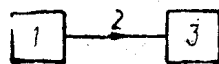


图1—1—1

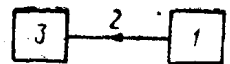


图1—1—2

遙信系統中的发送和启动設備一般都是自动化的。通信道 2 和中央控制点的接收設備 3 在原則上和遙控系統是一样的。

遙測的任务就是在相当距离以外，把一些被控制对象的量、作为信息傳遞到中央控制点来。例如在电力系统里，把一些电站的有功功率和无功功率等不断地作为信息送到中央控制

室来。水电站的水位高低等也可以作为信息送到中央控制室来。因此遥测的方框图也可以用图 1—1—2 来表示, 其中 1 包括一些把非电量变成电量的变换设备, 2 为传递信息的通信道, 3 为中央接收点的一些接收设备。

综合以上所述, 可以看出构成遥控、遥信和遥测系统的图形和绝大部分的环节都是一样的。在远动系统中采用的主要环节有: 变换环节、接收环节、执行环节和使控制点和被控制点同步动作的分配环节等等。这些环节将在下面的章节里分别详细叙述。

§1—3 远动系统的分类

在上一节中我们已经提到了遥控、遥信和遥测系统在结构方面基本上是相同的, 因此可以把它进行综合地分类。

远动系统可以从下列几种不同的角度来进行分类:

1. 按通信道的性质分为: (1) 单通信道系统和 (2) 多通信道系统。所谓单通信道系统就是信息的传递 (包括控制的和表示的) 是靠同一通信道来进行, 因此两方面的信息一般是靠时间间隔或者用不同的参数形式来区别。在多通信道中, 信息的传递可以沿着独立的通信道进行, 彼此不相干扰。

2. 按远动系统中信息的结构分为: (1) 单拍信息的远动系统, (2) 多拍信息的远动系统。所谓拍是指在某一段时间内通信道没有改变状态。因此, 单拍信息可以认为通信道上的信息传递只是一种状态的。

不论是单通信道系统或多通信道系统都可能有多拍的和单拍的, 如图 1—1—3 所示。

3. 按控制对象的分布可以分成:

(1) 对象群集中的远动系统, 如图 1—1—4 (a) 所示, 即遥控、遥信和遥测的对象都集中在一个地方, 图中 1—中央控制点, 2—通信道, 3—被控对象群。例如水电站, 大型企业等的远动系统就是属于这一类。

(2) 对象沿线分布的远动系统, 如图 1—1—4 (b), 在这种情况下, 每一个对象群 (3) 的对象数要比第一种情况少得多。例如在铁路系统内, 调度员直接控制沿线各站的道岔、信号和进路 (调度集中) 或者牵引变电站等的远动系统就是属于这一类。

(3) 对象呈辐射性分布的远动系统, 如图 1—1—4 (c) 所示。

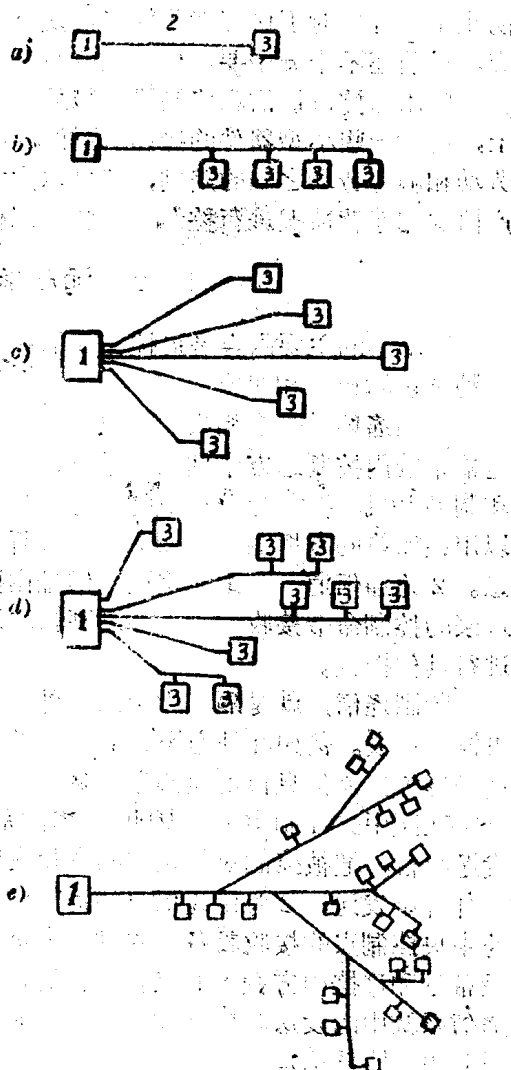


图 1—1—4

1—中央控制点 2—通信道 3—被控对象

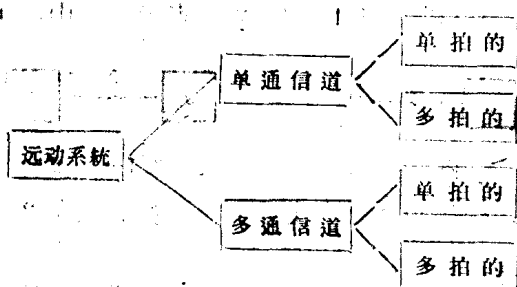


图 1—1—3

1—1—4(c), 如在大城市中照明设备及煤气网的控制等等, 就属于这一类。

(4) 对象是混合型分布的远动系统, 如图1—1—4(d)。在这种情况下, 对象群的分布一般没有什么规律, 因此通信道可能共用, 也可能是单独的。例如城市的供水系统, 输油管的遙测系统等等。

(5) 对象是呈树枝型分布的远动系统, 如图1—1—4(e)所示。在这种情况下, 对象一般是单独的, 或者两三个组成一群, 而且分布面也比较广, 因此这种情况可以认为是远动系统中最普遍的, 属于这一类的有自动水利灌溉系统等等。

除了按上面一些观点进行分类外, 还可以从控制距离等不同角度来进行分类。

远动系统的建立是根据各个系统本身的要求来决定的, 一般可以用下列一些指标来衡量:

- (1) 通信道数目;
- (2) 作为控制信息的电流种类和脉冲性质;
- (3) 单通信道上对象的容量或对象组的容量;
- (4) 传递控制信息的技术速度 (用每秒多少二位制数来表示);
- (5) 传递一个控制命令的持续时间;
- (6) 作为表示信息的电流种类和脉冲性质;
- (7) 表示信息传递的方法 (选择式的还是周期逐帧式的);
- (8) 传递表示信息的技术速度 (用每秒多少二位制数来表示);
- (9) 传递一个表示命令的持续时间;
- (10) 通信道实现双工工作的可能性。

§1—4 远动学的基本问题

远动学与自动学最根本的区别就在于前者存在着传递信息的通信道, 因此出现信息的结构和传递等许多问题。在远动学中, 除了要研究所用的元件之外, 还需要对下列一些基本问题进行研究。

1. 远动学中信息结构的理论问题。在远动系统中, 设备的参数、结构和信息传递的可靠性等等是与信息结构的制度有很大关系。信息结构的制度指二方面内容, 即量的方面和质的方面。量的方面研究控制量或被控制量应变成什么性质的脉冲, 这些脉冲应用什么方法组成信息, 才能够使它的容量最大和传递速度最快, 以及研究从一种性质的信息变换成另一种性质的条件等等。质的方面研究如何防止信息在传递中出现误差和外界干扰问题等。因此总起来说信息结构的理论就是研究如何把原始的物理量, 控制量或被控制量变成具有一定参数的信息, 在规定的时间内可靠地传递给接收设备, 也就是研究通信道的传输性质、可靠性和抗干扰性等, 以及构成信息的编码设备和翻译信息的译码设备等。在远动学中, 一般信息都是以二位制数为基础的, 把这种二位制数组成一定规律的信息。

所有以上信息结构的理论问题, 将在以后章节中详细地分析。

2. 远动系统的结构理论问题。在保证一定的信息结构的条件下, 要求:

- (1) 设备的动作速度快;
- (2) 设备动作安全可靠;
- (3) 设备的结构简单。

为了解决这一些问题, 而建立和发展了逻辑代数的理论、组合理论以及图形理论等等, 应用这些理论综合和分析远动设备的图形问题。虽然这方面已经取得一定的成就, 但是还需要进一步解决的有:

- (1) 分析用无接点元件构成图形的理论;
- (2) 分析用函数元件构成图形的理论;
- (3) 研究在图形结构中使用最少数量元件的问题;

(4) 最后是綜合和分析图形工作的自动化。

3. 远动設備中环节的通用性。因为远动系統已經逐步发展到国民經济的各个部門中，因此为了加速国民經济远动化的过程，就需要考虑远动設備中环节的通用性，使它能适用于絕大多数的系統中，以便于成批生产。

第二章 图形理論

§2—1 接点元件图形的表示法

远动系統的一些图形往往比較复杂，如何使系統的结构經济、簡單、合理、工作可靠，需要建立一套理論，来指导我們进行設計和分析图形的工作。

在这一节里主要是对一些有接点元件，即利用电磁继电器的图形表示法作一些介紹。

接点元件表示法主要有下列一些要求：

1. 对具有不同性能的接点元件，在图形中應該有不同的表示法，例如对无极继电器、有极继电器、緩放继电器等等的表示法都应该有所不同；

2. 表示法應該是簡單，易懂而且使用方便；

3. 表示法只表示其特性，并不表示元件的结构或者能量大小。

目前图形表示法基本上有三大系統：

第一系統是铁道自动控制与远程控制系統所采用的；

第二系統是电力系统所采用的；

第三系統是通訊系統所采用的。

这三大系統中又各有几种类型。它們各有优缺点，都得到广泛的应用。

表 1—2—1 是三大系統中各种接点元件的表示法。在我們的专业书刊和文件中，主要采用第一系統表示法。

§2—2 图形的分类

远动系統の图形基本上可以分成两大类，一类是单拍的图形，另一类是多拍的图形。

所謂单拍图形就是指执行电路的状态，随着外加作用而变化，它們之間沒有時間上循序动作的問題。假設我們用 $x_1, x_2, \dots, x_k$ 来代表各初級元件的状态，而 $z_1, z_2, \dots, z_n$ 来代表执行电路的状态，那末任意一个执行电路 z_i 的状态仅仅是初級元件状态的函数，即

$$z_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k)。$$

所謂多拍图形就是图形执行电路的状态不仅由外加作用决定，而且它們之間還有時間上的循序性，即

$$z_{it} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k, p_{t-1})$$

式中 p_{t-1} ——是在 t 时刻前图形的状态。

在多拍图形里，由于执行元件有時間上的循序作用，所以在图形里一般都有記憶性元件，例如中間元件。

图形从开始变化一直到恢复原来状态之間的过程称为一个周期。

在单拍图形里又分成有自保电路的和无自保电路的；而多拍图形里除了上述两种之外，还分成有周期性的和无周期性的。因此，图形的分类可以用图 1—2—1 表示。

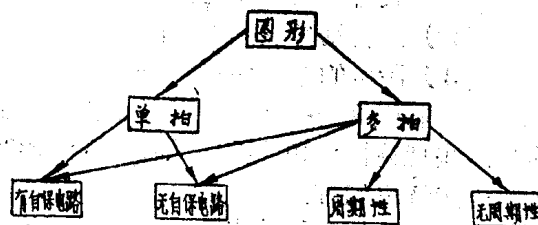


图 1—2—1

表1-2-1

編 号	接 点 元 件	铁道自动控制 远程控制系統	电 力 系 統	通 信 系 統
1.	单线圈式无极电磁继电器的线圈			
2.	无极缓放电磁继电器的线圈			
3.	无极缓吸电磁继电器的线圈			
4.	双线圈式无极电磁继电器的线圈			
5.	有极电磁继电器的线圈			
6.	自保式有极电磁继电器的线圈			
7.	偏极式有极电磁继电器的线圈			
8.	交流继电器的线圈			
9.	步进继电器的线圈			
10.	执行机构的接点 1——平时是断开着的 2——平时是闭合着的			
11.	无极电磁继电器的接点 1——平时是断开着的 2——平时是闭合着的			
12.	有极电磁继电器的接点			
13.	保留式电键或按钮的接点			
14.	自复式电键或按钮的接点			

1. 单拍无自保电路的图形如图1-2-2所示, 图1-2-2(a)为第一系统表示法, 图1-2-2(b)为第二系统表示法。从图形中可以看到, 只有当接点 a 和 b 吸起或 c 吸起后, 继电器 X 才能吸起。

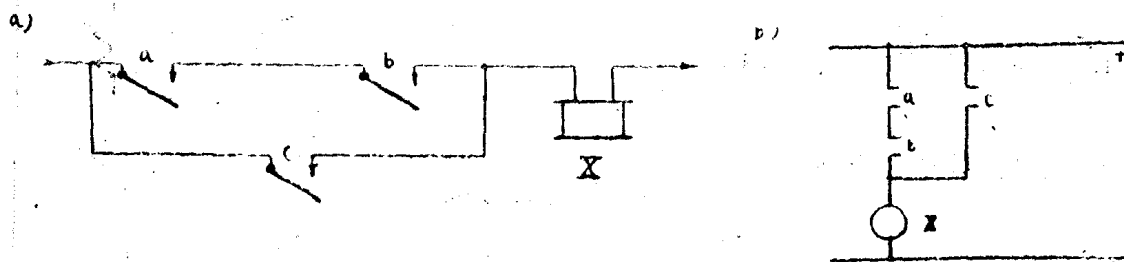


图 1-2-2

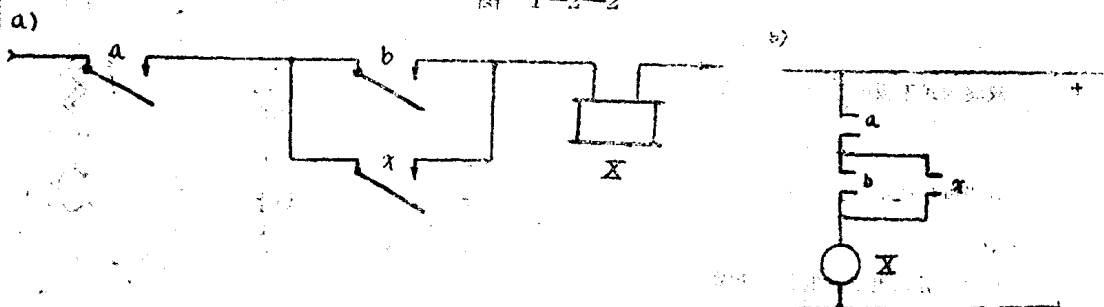


图 1-2-3

2. 单拍有自保电路的图形见图1-2-3, 这是一种最基本的记忆图形。

3. 多拍非周期图形, 如图1-2-4, 在这个图里共有三拍, 它的动作可以表1-2-2来说明, 在每拍中, 总有继电器的状态发生变化。

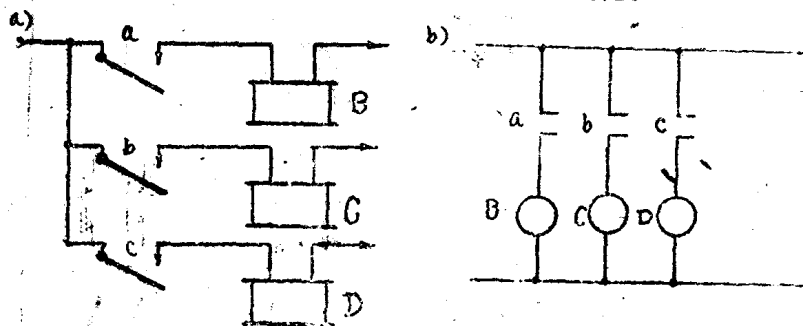


图 1-2-4

表1-2-2

拍	状 态
0	B↓ C↓ D↓
1	B↑ C↓ D↓
2	B↑ C↑ D↓
3	B↑ C↑ D↑

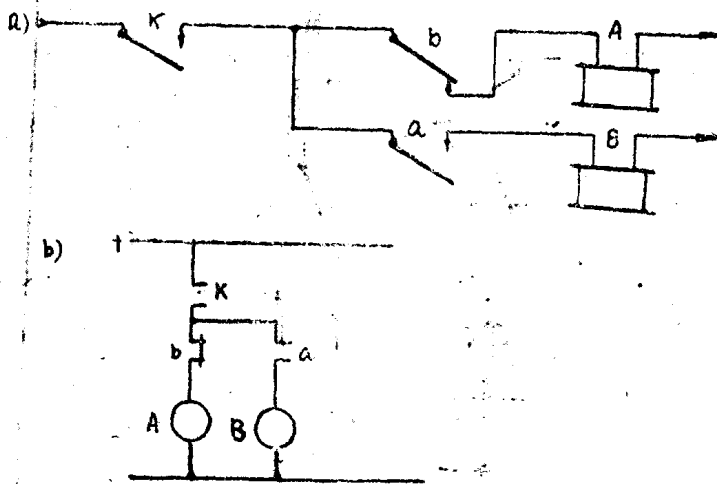


表1-2-3

拍	状 态
0	A↓ B↓
1	A↑ B↓
2	A↑ B↑
3	A↓ B↑
0	A↓ B↓

图1-2-5

4. 多拍周期图形, 如图1—2—5所示, 它是一个脉动偶电路, 总共只有三拍, 见表1—2—3, 在三拍动作完了以后, 电路又重复这个循环。

§2—3 分析电路动作的表示方法

为了说明图形中各单元间的相互关系, 分析图形结构的合理性以及是否和给定的条件相符合, 并且在电路发生错误动作时, 找出它的原因所以需要研究一下分析电路动作的方法。一般运用的电路分析法主要有三种, 下面分别加以说明:

1. **图表分析法。**就是把图形中各种单元动作的循序用图表的形式表示出来, 这样就可以很清楚地看到它们的动作。例如表1—2—4就是对图1—2—5电路动作的分析。表中1表示通电, 0表示无电。

从该图表里可以看出, 对于比较复杂的图形, 我们也可以用同样的方法来分析各种单元动作的次序。

表1—2—4

拍	0	1	2	3	0
单元					
K	1	1	1	1	1
A	0	1	1	0	0
B	0	0	1	1	0

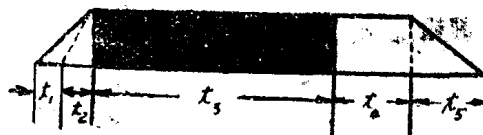


图 1—2—6

2. **时间图形分析法。**在继电器励磁吸起的过程中, 衔铁的运动可以用时间图形来描绘。

图1—2—6是继电器衔铁吸起和落下的过程。这个过程可以分成好几个阶段。 t_1 段时间内为继电器接通电源, 衔铁从完全静止状态到开始动作的时间(即起动时间)。

t_2 段时间为衔铁转换过程。 t_3 段时间为衔铁已经完全吸起。 t_4 段时间为继电器已切断电源, 但衔铁仍然保持在吸起的位置, 即继电器衔铁缓放时间。 t_5 段时间为衔铁落下的时间。图中阴影部份是继电器线圈

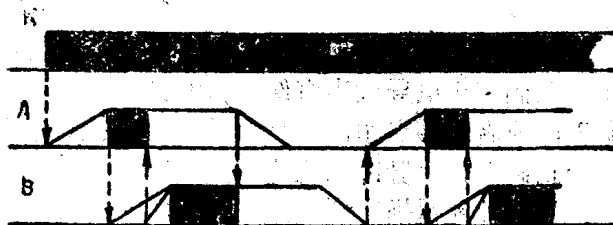
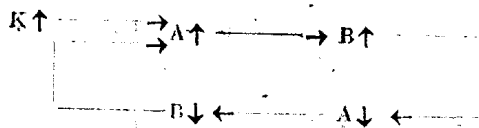


图 1—2—7

通电, 并且接点正在吸起状态的时间。有了单个继电器动作的分析, 我们就可以分析整个电路。例如图1—2—5就可以用图1—2—7的时间图形分析来表示, 图中箭头代表由于该动作而引起的别的继电器的动作。从图形中可以看到当K合上后, 首先吸起的是A, 当A的衔铁吸起后又使B励磁, 但是B的衔铁吸起后, 用它的后接点, 切断了A线圈的供电电路, 使A失磁, 后接点闭合。在A的前接点断开时, 又切断了B的供电电路。至此电路顺序工作了一个周期, 然后又开始重复上述动作。

3. **符号分析法。**就是用符号写出电路动作的过程, 这样就可以看出整个图形结构。例如图1—2—5的动作过程可以写成如右的公式, 其中符号 $\uparrow$ 表示吸起, $\downarrow$ 表示落下,



§2—4 逻辑代数的基本关系

在自动系统和远动系统中, 往往都有比较复杂的继电器电路。如何保证所设计的电路, 能够满足所提出的要求, 并且能够节约器材, 便于施工维修, 是工程技术中遇到的现实问题。近年来, 利用逻辑代数来分析或综合继电器电路, 就有可能在设计和研究某些电路过程中, 用描述电路工作条件的数学方法, 来对电路进行等效的变换, 以保证在满足所提出要求

的条件下，使得組成电路的元件最少，提高电路的质量。

在实际事件中，一般有两种可能性，一种是正确的（真理），另一种是錯誤的。那末任何两个或两个以上的事件相互作用，綜合的結果也一定可以用正确或錯誤来表示。分析和研究若干事件的綜合結果，是邏輯代数所研究的内容之一。在邏輯代数中，假定我們用 Z 来代表正确，用 C 来代表錯誤，那末任何事件都只能在 Z 和 C 两个結果或数值中变换。这种只能在两个数值中变换的变数称为二元变数。

在邏輯代数里存在着三种运算，即邏輯乘法，邏輯加法，和邏輯否定。我們把它們的定律叙述如下：

邏輯乘法。在邏輯代数中“乘”的含义是“与”的意思。两个事件的邏輯相乘，結果为：

$$\begin{aligned} Z \cdot Z &= Z \text{ (正确)} \\ Z \cdot C &= \\ C \cdot Z &= \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} C \text{ (錯誤)} \\ C \cdot C &= \end{aligned}$$

邏輯加法。邏輯代数中“加”的意义为“或”的意思。两个事的邏輯相加为：

$$\begin{aligned} Z + Z &= \\ Z + C &= \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} Z \text{ (正确)} \\ C + Z &= \\ C + C &= C \text{ (錯誤)} \end{aligned}$$

邏輯否定法。一个事件与另一个事件相反就是邏輯否定。它的表示法为在符号上面加一横划，如

$$\overline{Z} = C \quad \overline{C} = Z$$

把这种运算推广到继电器电路里去，我們就可以得到一些相似的关系。在继电器电路中，我們常用电导代表事件，当电导为0时，相当于“錯誤”，电导为 ∞ 时相当于“正确”；或者以接点閉合为“正确”，接点断开为“錯誤”；在无接点电路中，以有脉冲輸出为“正确”，无脉冲輸出为“錯誤”。

用这种邏輯推广到二位制的元件中就更加方便，可以“1”为一个稳定状态，以“0”为另一个稳定状态，即相应于“正确”与“錯誤”。

因此在继电器电路中，邏輯相加，实际上相当于并联电路，即：

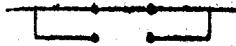
$$0 + 0 = 0;$$



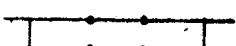
$$0 + 1 = 1;$$



$$1 + 0 = 1;$$



$$1 + 1 = 1.$$



邏輯相乘，实际上相当于串联电路，即：

$$0 \cdot 0 = 0;$$



$$0 \cdot 1 = 0;$$



$$1 \cdot 0 = 0;$$



$$1 \cdot 1 = 1。$$



除了上述一些关系外，在逻辑代数中还存在着下列一些基本定律：

1. 互换定律： $a + b = b + a;$ (1-2-1)
 $ab = ba。$ (1-2-2)
2. 组合定律： $(a + b) + c = a + (b + c);$ (1-2-3)
 $(ab)c = a(bc)。$ (1-2-4)
3. 分配定律： $(a + b)c = ac + bc;$ (1-2-5)
 $ab + c = (a + c)(b + c)。$ (1-2-6)
4. 反演定律： $\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b};$ (1-2-7)
 $\overline{ab} = \overline{a} + \overline{b}。$ (1-2-8)
5. 联乘定律： $a \cdot a \cdot a \cdots \cdots = a。$ ($a^n = a$) (1-2-9)
6. 联加定律： $a + a + a + \cdots \cdots = a。$ ($\sum a = a$) (1-2-10)

根据上述一些基本定律，我们可以推导出下列关系：

$$\begin{aligned} 0 \cdot a &= 0。 & (1-2-11) \\ 1 \cdot a &= a。 & (1-2-12) \\ 0 + a &= a。 & (1-2-13) \\ 1 + a &= 1。 & (1-2-14) \\ a + \overline{a} &= 1。 & (1-2-15) \\ a \cdot \overline{a} &= 0。 & (1-2-16) \\ ab + \overline{a}c + bc &= ab + \overline{a}c。 & (1-2-17) \end{aligned}$$

§2-5 接点电路图形的一般公式

在用接点组成的电路图中，接点不外有两种状态，就是接点闭合或电路接通(1)状态，或是接点断开或电路不通(0)状态。电路图呢，大多是用并联和串联的方式联结起来的。根据这些特点，我们可以为接点电路图推导出一般公式，以利电路的分析和综合。

假设有一电路系由 n 个不同继电器 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_n$ 的接点 $x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2} \cdots x_{n-1}, \overline{x_{n-1}}$ 所构成的，那末这个电路结构可以用一个公式来表示，这个公式就称为电路的结构公式。不管结构公式的内容如何，我们总是能够用函数的形式来表示它，例如上述假设电路的结构公式可以表示为一般公式：

$$f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \cdots x_n, \overline{x_n})$$

如果把这个结构公式中的括弧一一脱掉，那末就将成为若干个分量之和的形式，而每一个分量则是或多或少个接点的积。以继电器 X_1 为分析对象来讲，在这个分量中，可能根本没有它本身的接点 x_1 和 $\overline{x_1}$ ，可能只有 x_1 ，也可能只有 $\overline{x_1}$ ，但是决不会同时具有这两个接点，否则根据式 (1-2-16)，这个分量将等于零。把这一个特点考虑在内，那末在一般公式中，无疑可以将那些具有 x_1 接点的分量聚集在一起，而且把 x_1 作为因子提到括弧之外。同理， $\overline{x_1}$ 接点也可以提出到另一群分量的括弧之外作为共有的因子。其余那些与 x_1 和 $\overline{x_1}$ 无关的分量则另外聚集在一起。这样一来，一般公式就可以演变为：

$$\begin{aligned} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) &= x_1 f_1(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ \overline{x_1} f_2(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ f_3(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}), \end{aligned}$$

上式可以按照公式 (1-2-15) 加以改变为:

$$\begin{aligned} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) &= x_1 f_1(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ \overline{x_1} f_2(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ (x_1 + \overline{x_1}) f_3(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}). \end{aligned}$$

按照分配定律式 (1-2-5), 上式右边第三项可以分解成分别与 x_1 和 $\overline{x_1}$ 有关的新分量, 这些新分量是可以分别同第一项和第二项函数合并的。这样, 我們得到一个公式:

$$\begin{aligned} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) &= x_1 f_4(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ \overline{x_1} f_5(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}), \end{aligned} \quad (1-2-18)$$

这个函数关系, 不管 $x_1=1$ 或 $x_1=0$ 都是正确的。試先让 $x_1=1$, 那末 $\overline{x_1}=0$ 。以这些值代入式 (1-2-18), 得:

$$f_4(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) = f(1, 0, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}),$$

同理, 让 $x_1=0$, $\overline{x_1}=1$ 代入式 (1-2-18), 則得

$$f_5(x_2, \overline{x_2}, x_3, \overline{x_3}, \dots, x_n, \overline{x_n}) = f(0, 1, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}),$$

所以式 (1-2-18) 成为

$$\begin{aligned} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) &= x_1 f(1, 0, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) + \\ &+ \overline{x_1} f(0, 1, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}). \end{aligned} \quad (1-2-19)$$

如将公式 (1-2-18) 簡写为

$$f = x_1 f_4 + \overline{x_1} f_5,$$

运用式 (1-2-17)、(1-2-13) 和 (1-2-5), 得

$$\begin{aligned} f &= x_1 f_4 + \overline{x_1} f_5 = x_1 f_4 + \overline{x_1} f_5 + f_4 f_5 = \\ &= x_1 f_4 + \overline{x_1} f_5 + f_4 f_5 + x_1 \overline{x_1} = (x_1 + f_5)(\overline{x_1} + f_4), \end{aligned}$$

因此, 我們可以得到另一个函数关系:

$$\begin{aligned} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) &= [x_1 + f(0, 1, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n})] \times \\ &\times [\overline{x_1} + f(1, 0, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n})]. \end{aligned} \quad (1-2-20)$$

利用公式 (1-2-19) 和 (1-2-14), 我們得到下列几个重要的一般公式:

$$x_1 f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) = x_1 f(1, 0, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}). \quad (1-2-21)$$

从这个公式可以看出, 任何一个继电器 X 的前接点 x 如果与任何一个含有这个继电器接点的电路 $f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n})$ 相串联, 則这个电路 f 中这一继电器的所有前接点 x 都可以代之以短路 (即 1), 而这同一继电器的所有后接点 $\overline{x}$ 都可以省去 (即 0),

$$\overline{x_1} f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}) = \overline{x_1} f(0, 1, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n}). \quad (1-2-22)$$

从式 (1-2-22) 可以看出, 任何一个继电器 X 的后接点 $\overline{x}$ 如果与任何一个含有这个继电器接点的电路 $f(x_1, \overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}, \dots, x_n, \overline{x_n})$ 相串联, 則这个电路 f 中这一继电器的所有前接点 x 都可以省去 (即 0), 而这同一继电器的所有后接点 $\overline{x}$ 都可以代之以短路 (即 1),