

高等学校教学用书

铁路牵引变电所 自动控制及远程控制

M. Г. 薩里莫夫 著
B. M. 諾維茨基

人民铁道出版社

高等学校教学用书

铁路牵引变电所自动控制及远程控制

M. Γ. 薩里莫夫 著

B. M. 諾維茨基

卢斯 圣 等 译

人民铁道出版社

一九六〇年·北京

本書叙述电气化铁路牵引变电所的自动控制、远程控制、远程测量及远程信号的器械、电路和运用方法，以及牵引变电所在控制和选择方式的設計等。

原書曾由苏联交通部教育总局批准为高等学校的教材。

本書可供高等学校铁路电气化专业师生用書，电气化铁路工程技术人員的业务参考。

本書§1~§39及§56~68由卢斯圣譯，§40~§55由王慎勤和張錫斌譯。

高等学校教学用書

铁路牵引变电所自动控制及远程控制

АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА ТЯГОВЫХ
ПОДСТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

苏联 М. Г. ШАЛИМОВ 著
В. М. НОВИЦКИЙ

苏联国家铁路运输出版社 (1955年莫斯科俄文版)

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва 1955

卢斯圣 等譯

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第010号

新华書店发行

人民铁道出版社印刷厂印

書号'695 开本787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张11 $\frac{1}{4}$ 插頁3 字数274千

1960年5月第1版

1960年5月第1版第1次印刷

印数 0,001—3,000 册 定价(8) 1.15 元

作者的話

共产党和苏联政府一贯关怀先进技术在国民经济中的运用，因为只有在技术不断前进的条件下，在高度技术基础上，社会主义生产才能不断地发展。

苏联共产党中央委员会在七月份的全体会议上，对铁路工作人员提出的首要任务，就是在生产过程电气化、机械化和自动化的基础上，大力提高铁路运输技术革新的速度。

在为运输技术进一步发展的进程中，电气化线路牵引变电所工作的自动化和改变供电设备为远程控制，具有很大的意义。

本书已由苏联交通部教育总局批准作为铁道运输高等学校的教材，其中叙述电气化铁道牵引变电所自动控制及远程控制的设备、运行及设计的基本问题。本书的内容及叙述的程序，完全符合“电气运输”专业“电气化铁道自动控制与远程控制”课程的教学大纲。

绪论和第1～4章是技术科学副博士B·M·诺维茨基写的，第5～8章是技术科学副博士M·Г·萨里莫夫写的。

作者对于技术科学博士P·A·伏洛诺夫教授和工程师C·H·扎索林的帮助及对原稿提出的许多宝贵意见表示深切的感谢。

緒 論

自动控制这门科学，是研究不需人直接参加而对工艺过程进行自动监督和自动操縱所用的工具和方法。

由于应用自动控制的結果，出現了对整羣生产对象的集中管理和操縱，这些对象在地区上是分散的，但是属于企业的一个整体，例如大型的工业联合企业，或者共同生产过程的联合企业。

对象的集中管理和操縱問題，是由远程控制方法（包括远程操縱、远程信号、远程测量和远程調节等技术）来解决的。

在自动控制和远程控制的发展中，电工学者的貢獻很大。远在1830年，俄罗斯科学院通訊院士П·Л·史林格发明了电磁式电报机，并且应用了現代遙控設備中所广泛应用的电碼原理，沿导綫傳送了以电流脉冲組合形式表现的字母和符号。1832年，П·Л·史林格还設計并应用了所謂继电器的电气仪器，这种仪器是自动控制及远程控制一切設備的基础。

在远程控制設備中，电路自动切换器（也即分配器或选择器）起着相当重要的作用。这种切换器的試样，于1842~1844年为俄罗斯战艦軍官К·И·康士坦丁諾夫所設計。更接近現代型式的自动切换器的电话选择器，是19世紀末年С·М·阿普斯多录夫所发明的，他曾經和М·Ф·法拉僧貝尔格建造了第一座自动电话所。在上世紀80年代，Г·Г·依格那捷夫实现了沿一条导綫同时傳送交直流脉冲，也应用了現代遙控系統中所广泛应用的选择法和多次利用訊路的方法。

在自动控制与远程控制的发展中，有两个最偉大的发现曾經起了巨大的作用：1887年著名的物理学家А·Г·斯多列多夫发现光电效应的現象，并創造了光电元件；在7年之后，我們祖国偉大的科学家А·С·波波夫发明了无綫电。这些发现，都为現代自动控制与远程控制的电子系統打下了基础。

1932年，苏联成立了远程控制科学研究所，由科学院院士А·А·切尔尼雪夫主持工作。1938年，根据苏联人民委员会的指示，在苏联科学院主席团中組成自动化委员会，后来改組为苏联科学院自动控制与远程控制研究院。

苏联現在有自动控制的工厂，在工厂中全部的工艺过程，只需要人来监督，不需要人直接参加。例如制造汽車发动机活塞的自动化工厂，在該工厂中，从裝載翻沙設備开始，到包裝活塞成品并运往倉庫为止，全部生产过程都是自动化的。每昼夜的产量为3500件，工厂全部由5人照管。

自动控制与远程控制在电力部門中获得最大的发展和实际的应用。我們国家拥有几十座远程控制的水力发电厂和变电所，那里沒有常設的值班員，厂房是关闭的。

苏联正在成功地进行动力系统的綜合自动化和遙控化。例如烏茲別克动力系统有14座水力发电厂和6座热力发电厂，已經改装为集中調度站的远程控制，集中調度站离这些发电厂很远。又如莫斯科动力系统和烏拉尔动力系统，其发电系统都已經自动化了。

在铁道运输上，在自动控制与远程控制方面正进行着很多工作。苏联第一台铁路調度集中远程操縱设备于1935年安装在莫斯科——嘉桑铁路綫上，长65公里。远在1938年的时候，在莫斯科地下铁道，就已实现了牵引变电所和降压变电所的远程控制。現在具有自动化和远程控制变电所的干綫电力铁道区段已在运行中。

在国外铁路上，自动控制与远程控制设备也获得很大的发展。近年的电气化铁道和地下铁道的牵引变电所（巴黎——里昂，李奧——捷·日内依尔——列頓答区段和芝加哥的地下铁道綫等）几乎完全建造成成为广泛应用自动控制设备的遙控变电所。这些设备大致上是应用通訊设备中所采用的继电器械和分配器，也应用电子仪器。

自动控制与远程控制设备的运行工作指标非常高。根据統計資料，设备在几年中的誤动次数为所完成的操作数的几千分之一，沒有完成不正确的命令的情况。自动控制与远程控制个别设备的拒絕动作時間，不超过其工作总时数的0.2%。

目 录

緒論

第一篇 自动化系統和自动控制綫路图。自动控制与远程控制設備的器械	1
第一章 自动化系統	1
§ 1 自动化的型式及其分析	1
§ 2 自动化系統的分类	2
§ 3 自动化系統的元件及其結構	2
第二章 自动控制、远程操纵、远程信号和远程測量設備的器械	4
§ 4 继电器概述	4
§ 5 继电器的触点和消灭火花的方法	6
§ 6 电磁继电器	7
§ 7 极性继电器	13
§ 8 无触点的磁性继电器	14
§ 9 热力双金属继电器	15
§ 10 电子与离子继电器	16
§ 11 分配器	22
§ 12 发送器	25
§ 13 水銀整流器真空的自动监督与自动調节的器械	28
§ 14 水銀整流器冷却的自动調节与监督的器械	31
第三章 自动控制綫路图	36
§ 15 自动控制綫路图中的图例、字母和数字的符号	36
§ 16 綫路图的描繪和識图	38
§ 17 自动控制綫路图的元件	39
§ 18 自动控制綫路图的分析	44
第四章 发电厂和变压器变电所的自动控制元件	50
§ 19 备用电力傳輸綫和备用变压器的自动投入	50
§ 20 輸电綫路的自动重合閘	54
§ 21 变压器变电所的自动化	59
第五章 牽引变电所自动化	62
§ 22 概述	62

§ 23 牵引变电所应该自动化的部分	64
§ 24 自动控制装置系统	65
§ 25 水银整流器真空系统自动控制	68
§ 26 水银整流器冷却系统自动控制	70
§ 27 水银整流机组的自动控制	75
§ 28 直流馈电线的自动控制	85
§ 29 牵引变电所自用电的自动控制	91
§ 30 牵引变电所采暖系统的自动化	94
§ 31 半自动化和自动化烘焙	95

第二篇 远程操纵、远程信号和远程测量 97

第六章 选择理论基础 97

§ 32 概述	97
§ 33 选择方法	98
§ 34 电流性质的基本形式	103

第七章 多路制远程操纵 105

§ 35 用定性选择法的多路制远程操纵	105
§ 36 用组合选择法的多路制远程操纵	107
§ 37 组合选择法远程操纵系统的基本线路环节	107

第八章 少路制远程操纵 110

§ 38 少路制远程操纵系统的基本线路环节	110
§ 39 组选择	123
§ 40 用振幅选择的分配式远程操纵和远程信号系统	125
§ 41 带有结线图电码的分配式远程操纵和远程信号系统	139
§ 42 交通部全苏铁道科学研究所的远程操纵和远程信号系统	147

第九章 远程测量系统 157

§ 43 基本概念和定义	157
§ 44 强度远程测量系统	159
§ 45 脉冲式及频率式远程测量系统	164

第三篇 远程操纵的自动化牵引变电所的设计、设备和运行 173

第十章 自动控制牵引变电所和调度站的设备 173

§ 46 自动远程操纵牵引变电所的设备的特点	173
§ 47 调度站的设备	174

第十一章 远程控制装置的线路 177

§ 48 有线线路	177
§ 49 人工有线线路和频率复用	181

§ 50	沿高压傳輸綫的高頻訊路.....	184
§ 51	綫路继电器串联联結的綫路計算.....	186
第十二章	自动控制牽引变电所和远程控制裝置的設計.....	188
§ 52	牽引变电所的自动控制和远程控制的容量.....	188
§ 53	器械和訊路的选择.....	189
第十三章	自动控制牽引变电所和远程控制裝置的运行.....	192
§ 54	自动控制和远程控制裝置的投入运行.....	192
§ 55	继电器的电气特性和時間特性的确定.....	193
§ 56	ЭВ—ЦНИИ 型真空設備的整定和运行.....	195
§ 57	水銀整流器冷却系統的自动控制器械的整定和运行.....	197
§ 58	自动控制和远程控制設備的組織运用.....	198
	参考文献.....	200

第一篇 自动化系統和自动控制綫路圖。

自动控制与远程控制設備的器械

第一章 自动化系統

§ 1. 自动化的型式及其分析

自动化按照字面广义的来理解的話，就是不需要人直接参加而完成生产过程。在全自动化系統中，人的作用只是监督自动化系統的动作。

凡是不需要人直接参加而能实现规定机能的設備，称为自动設備。

在全自动化設備中，应用某种物理或化学的現象，起着最初命令过程（脉冲）的作用。例如在换流变电所中，水銀整流器的真空恶化就是命令过程，它引起一系列順序的或同时进行的执行过程，結果是根据真空恶化的程度而自动投入初級抽气泵，或者使整流器完全遮断。在这种情况下，人的作用只是整定和調节自动化設備。

大多数自动化設備，系根据生产过程的特点，必須由人来发送基本操縱脉冲或者中間操縱脉冲的，这种設備属于半自动化設備。例如起重机的电力操縱系統就是这样，根据起重机的工作特点，其操縱系統是不可以全自动化的。

某些生产过程非常复杂，或者还缺乏研究，不可以全自动化。例如在熔鉄炉中熔炼生鉄就是这样。由于其熔炼过程与很多因素有关，要用复杂的自动化系統使这些因素协调起来，实际上是不可能的。因此只有在管理人員直接的控制和监督下，才可以进行熔鉄的过程。但是該过程的个别部份，例如装运原料到熔鉄炉中，則是可以全自动化的。

自动电话也是半自动化設備的典型例子。为了呼叫用戶，必須用电话机发送一系列的脉冲（撥号），然后自动电话所就自动完成用戶所要求的接綫。

在很多情况下，在全自动化設備和半自动化設備之間，不能划出明确的界綫。譬如某些自动化設備，在其一次动作或一定次数动作中，是全自动化的；但在此之后，一定需要人来干預。又如某些自动化設備，它不需要人参加而完成某种工艺过程，但维护人員需要定期对其調节。例如現代化的造紙机，它利用紙的張力自动調节器来操縱，在其工作过程中，需要人来按控制按钮，以調节各个部份的紙的張力。这样看来，絕大多數的自动化設備实际上都是半自动化設備。

自动化可分为三种基本型式自动监督、自动操縱和自动調节。

凡是能够不断地監視任何过程的动作的自动化，都称为自动监督。自动监督是利用各式各样的測量仪表来实现的。由这些仪表接受代表着生产作业状态的脉冲。

根据这些测量仪表的指示，人們就可以记录生产过程变化的情况。

自动监督广泛地应用在电力装置上。当电力系统或电气化铁路区段牵引变电所具有对运行的自动监督时，采用调度操纵的方法是非常确当的。调度員可以根据集中调度站中测量仪表的指示，来监视并调节全部控制系统的运行情况。

自动监督的最简单形式，是当工艺过程正常运转破坏时发出自动信号，例如：发电机过负荷信号、水银整流器真空恶化信号、整流器温度状态反常信号等。

凡是不需要人参加而能使各种机器、器械、机组和设备按照所规定的次序或根据其过程的变化而完成操作作业的自动化，都称为自动操纵。电力传动可做为自动操纵的例子。

在工艺过程中，凡是不需要人的直接参加而能按规定的准确度保持某种量值于恒定，或者使这些量值依照所规定的规律变化的，称为自动调节。在电工学、无线电工学和有线通讯技术中，自动调节电流、电压和速率，具有特殊重大的意义。自动调节是一种最复杂的自动化形式，任何自动调节器都兼有精确监督和精确操纵的性能。

自动操纵的特点是间断地对某种过程发生作用，而自动调节则是工艺过程运行的变化的不断反应。这样看来，自动调节的实质，是一种连续作用的自动操纵。

在复杂的过程中，往往是三种自动化（自动监督、自动操纵和自动调节）互相配合。在不需要准确调节的一些过程中，只用自动监督与自动操纵；在需要准确调节的过程中，自动操纵、自动监督和自动调节联合应用。

§2. 自动化系统的分类

自动化系统可按其功能、控制站和执行机构的相对位置及作用原理分类。

自动化系统按其功能的分类，是由这些系统的用途（监督、操纵或调节）所决定的。自动化系统由于其用途的不同，应有一定的元件。自动监督系统必不可少的元件有各种测量仪表；操纵系统必不可少的元件有传动和转换装置；自动调节系统必不可少的元件是调节装置。

根据控制站和执行机构相对位置和联系方法的不同，自动化系统可分为远程操纵系统和非远程操纵系统。

自动化设备按作用原理的分类决定于自动化的方法。同一自动化系统可以应用根据不同动作原理做成的调节器。例如，蒸汽锅炉自动化过程，可以应用水力的、电子的、或任何其他调节器。

究竟应用那一种原理来构成，这是由该自动化系统的种类、复杂性和所需的精确度来决定。

§3. 自动化系统的元件及其结构

简单的工艺过程没有自动化就可以完成，故自动化往往不用于简单的工艺过程中，而是用它将这些简单的过程联系起来。

自动化设备最简单的工作情况是由命令和执行两个过程所组成的，这两个过程由一个中间环节作为互相之间的联系。

因此，任何自动化系统都是由下列三个基本元件（或者环节）所组成的：命令环节、中间环节、执行环节。

命令环节产生最初的电流脉冲或电压脉冲，由脉冲使系统启动、停止，或者改变其工作状态。

执行环节是完成自动化系统所要求的功能的整套机构。

中间环节的用途，是把命令环节的脉冲传送到执行环节，并保证按规定的次序传送。

图 1, a 是开式自动化系统。有些自动化系统的中间环节可能不止一个，而是有好几个（图 1, б）。图中的 P 是命令环节，П 是中间环节，И 是执行环节。

在较复杂的情况下采用闭式自动化系统。闭式自动化系统的命令环节和执行环节之间，用一个或若干个中间环节进行直接的联系，同时还在执行环节和命令环节之间（图 2, a），或者执行环节和一个中间环节之间（图 2, б）还有反馈联系。

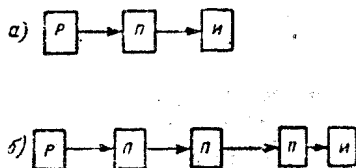


图 1

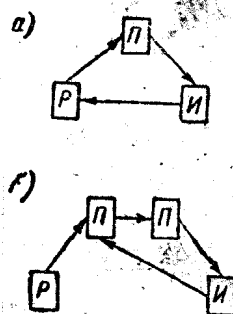


图 2

在前一种情况下，在自动化系统动作时，所有环节都参加规定的工作循环；在第二种情况下，命令环节只发送最初的脉冲，以后就不参加线路的工作。

反馈可以用机械的方法或者用电的方法，反馈能提高自动化系统工作的准确性和调节过程的稳定性。

命令环节的元件有：

1) 普通的触点设备——按钮、命令的转换器械、键、时针接触器和浮标等等；

2) 测量非电数值用的仪表——压力表、液体的浓度计、含气量计、液体或气体的流速计、温度计等；

3) 反应物理过程的继电器，电子离子设备（光电元件）；

4) 自动调节器，用它使某种工艺因素保持不变或按一定的规律变化；

5) 按照一定的规律自动调节或自动操纵的模型。

中间环节的元件有：

1) 中间继电器，作为命令环节脉冲的重复器或用以增加脉冲的数目；

2) 接触器，这是电磁的或电空气的器械，其触点功率较继电器的大；

- 3) 保持时限的元件(继电器), 它经过规定的時間之后才动作;
- 4) 电磁、电机、磁、电子-离子、水力和压缩空气等的放大器, 用它将命令环节傳来的脉冲的功率提高, 以使执行机构能够可靠地动作;
- 5) 綜合随动系統及小功率的随动傳动, 用它来确定功率較大的设备的最后工作情况;
- 6) 擇选器、分配器、信号貯备器、信号譯碼器, 它們被应用在遙控设备中, 可减少导綫数, 并增加一条訊路同时傳送的信号数;
- 7) 計算仪表, 它可以計算某种过程的进展情况, 也可以計算两个活动体的相晤地点。

执行环节的元件有:

- 1) 自动化的电力傳动;
- 2) 电磁器械——开关、接触器、制动电磁器、电磁离合器等;
- 3) 水力器械和压缩空气器械(水泵、通风机、空气压缩机等)。

必須指出, 只有在简单的自动化綫路中, 才可能明确地把自动控制元件划分为命令环节、中間环节和执行环节。在复杂的綫路中, 要把这些环节分开在实际上是不可能的, 因为在各个环节中, 可能同时应用到继电器、接触器或电子-离子器械等元件。

第二章 自动控制、远程操縱、远程信号 和远程測量设备的器械

§4 繼电器概述

自动控制与远程控制綫路最普通的元件是继电器, 它广泛应用在自动調节、生产过程自动化、继电保护系統及其他方面。

目前《继电器》这个术语所包括的范围, 已扩大到大羣的仪器中。当控制数值的某些变化能使被控制数值发生突变的仪器, 只要这两量值之一是电气量值, 該仪器就可称为继电器。

继电器在一般情况下有下列三个主要的机构: 接收机构、中間机构和执行机构。接收机构接收控制量值(电流、电压), 而使继电器发生反应, 使之以某种方式作用到中間机构。根据所接收的量值的大小, 中間机构使接收机构和执行机构发生联系, 执行机构就完成应有的工作, 也即使被控制量值发生突变。

继电器的种类很多, 但是不能以同类的特性加以区分, 因为继电器的特性是由若干特征联合决定的。

表1列出了电气化鉄道牵引变电所中所应用的继电器的分类。应当指出的是这些分类是很不完整的。例如其中沒有表示出对继电器具有很大意义的时间因素。

所有继电器的动作特性都有下列四个阶段: 动作、工作、釋放和靜止。图3表

示电气继电器的工作图解。横坐标表示时间，纵坐标表示使继电器反应的参数（电流、电压、功率）。

继电器的分类

表 1

按继电器动作的物理过程分类	电 的	热 的	液体的	气体的
按接收机构的构造分类	1. 电磁式 2. 感应式 3. 电子式和离子式	1. 利用气体或液体的热膨胀 2. 用液体的汽化 3. 双金属式	1. 用浮标的位移 2. 用薄膜的挠度 3. 用移动部份的转动	1. 用浮标的位移 2. 用电阻的变化 3. 用细丝长度的变化
按照使继电器起反应的物理过程的参数的分类	1. 电 流 2. 电 压 3. 功 率	温 度	1. 速 度 2. 水 位 3. 具有流量	1. 压 力 2. 速 度

第一阶段（继电器动作）从 $t = 0$ 的瞬间开始，即从控制量值开始作用于继电器上时开始。第一阶段的延续时间称为继电器的动作时间 t_{cp} 。在一般的情况下，动作时间由继电器的触动时间 t_{mp} （从控制量值开始作用到继电器的动作部份开始移动的时间间隔）和移动时间 t_{gs} （从继电器动作部份开始移动到作用于被控制电路时的时间间隔）所组成。

触动时间与控制电路的惯性（例如电流继电器的线圈电感）有关，移动时间决定于继电器动作部份的移动速度。

中间机构（动作部份）开始动作的控制量值的最小值称为触动值（触动电流、触动功率等），在图 3 中该数值用 x_{mp} 表示。

执行机构开始动作（闭合或者分开触点）的控制量值称为动作值 x_{cp} 。

在动作之后开始了第二个阶段——继电器工作，一直到控制量值停止作用的瞬间为止。这时控制量值可能达到其稳定值 x_{ycm} （见图 3）。

比率

$$\frac{x_{ycm}}{x_{cp}} = K,$$

表示继电器动作值的储备情况，称为继电器的储备系数。通常 K 的变化范围是 $2 \div 5$ 。

在控制量值停止作用之后，开始第三个阶段——继电器释放，这一阶段一直持续到继电器停止对被控制电路发生作用的瞬间为止。这一阶段的延续时间称为继电器的释放时间 t_{omn} 。释放时间由释放数值 x_{omn} 决定，继电器在 x_{omn} 时停止对被控制电路发生作用。

比率

$$\frac{x_{omn}}{x_{cp}} = K_s$$

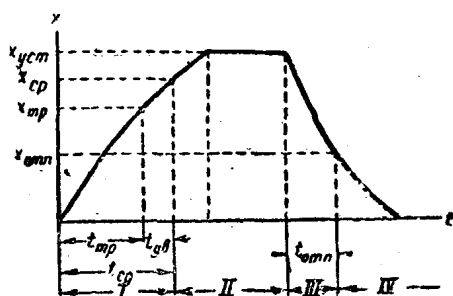


图 3

称为继电器的返回系数。

第四阶段是继电器的静止阶段。该阶段自继电器停止对被控制线路发生作用时开始，直到新的控制作用开始时为止。

还有两个表示继电器工作的系数：继电器的控制系数 K_y 和可靠系数 K_n 。

继电器的控制系数等于被控制功率 P_{yn} （继电器可靠工作时被控制电路的最大功率）和动作功率 P_{cp} （控制电路送入继电器使继电器能可靠动作的功率）之比

$$K_y = \frac{P_{yn}}{P_{cp}}.$$

控制系数是从放大效果的观点上来评定继电器。

继电器的可靠系数等于执行机构完成的操作数 m 和加于接收机构的作用次数（这些作用应当引起继电器动作的） M 之比

$$K_n = \frac{m}{M}$$

工厂为了保证继电器的动作可靠，应使可靠系数接近于 1。

§ 5. 继电器的触点和消灭火花的方法

在自动控制及远程控制设备的继电器中，点式的触点得到最广泛的应用，这种触点在不大的控制功率下，在较小的触点压力时，能保证可靠地接通电路。

触点用下列三个基本的参数作标志：长时间闭合的最大容许功率、最大容许开断功率、分开和闭合的最大容许频率。

长时间闭合的最大容许功率由被控制电路中的电流及触点电阻决定，它与触点的形状、大小、材料和结构有关。

触点的材料可以用铜、银、金、白金、钨、及铂钨合金。铜触点的价格最为低廉，但是氧化很快，因而使其电阻增加。因此铜只在不太重要的地方用作大功率的触点。金、白金和铂钨合金在正常大气条件下几乎不氧化，但由于其价格昂贵，故基本上只应用于触点压力很小（1~2 克）的高灵敏度的继电器上。

钨的机械强度和熔解温度都很高，用作为通过大电流的触点或者用作闭合和分开的频率很高的触点，此时若用较软的其他材料做触点，其机械磨损将非常强烈。

在自动控制及远程控制设备的器械中，用银作为触点是最普遍的。

为了操纵大功率的电路，有时应用水银触点。在水银触点中，由水银起动触点的作用，同时还抽真空以使不发生火花，因此容许可以切断相当大的功率。

在继电器线路中，为了减少触点间的火花，采用两种基本的方法：被控制的感应电路装设分路和触点装设分路。消灭火花的几种线路列在图 4 中。

这些线路的工作原理是使感应电路的磁场能量都消耗在所接入的辅助元件电路中，因而使触点间没有火花发生。

图 4, a 的线路中，电阻 R_1 是辅助元件，它应当比被控制电路的电阻 R 大几倍。

图4, a 线路的缺点, 是当触点闭合时在电阻 R_1 中有损耗, 若用电容器 C 串接在电阻 R_1 中, 这个缺点就解决了 (图4, d)。在这种情况下电流流经 R_1 电路, 只有在触点转换的瞬间流过 C 。为了使 R 、 R_1 、

L 和 C 回路不发生振荡, 必须遵守 $\frac{L}{C} < R^2$ 的条件。

图4, e 的线路是用固体整流器代替电容器, 整流器的导电方向与电流 i 的方向相反, 当触点分开时, 自感电动势所产生的电流 i_1 与整流器的导电方向一致, 电路的磁场能量即消耗在被控制电路和整流器的闭合回路中。

图4, z 的线路中, 触点被电阻 R_1 所分路; 在选择电阻 R 时, 应使当触点分开时在电阻上的电压降小于产生火花的电压。

图4, b 的线路是最为普遍的, 触点由电阻和电容器 (电容为 0.5 ~ 2 微法) 所组成的电路所分路。图中的电阻 R_1 在触点再度闭合时, 可防止电容的放电电流产生火花。

§ 6. 电磁继电器

电磁继电器非常广泛地应用在现代化的自动控制线路中。这种继电器构造简单, 工作可靠, 触点可以有很多对, 价格低廉, 并且可用直流或交流工作。

电磁继电器根据磁系统结构的不同, 有活瓣式 (具有可吸引的衔铁, 图5, a),

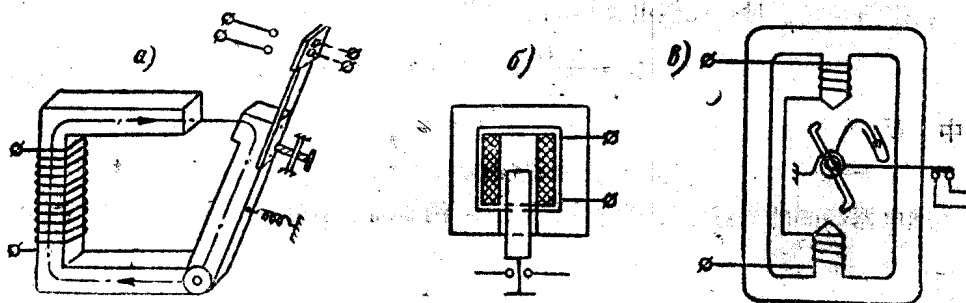


图 5

螺管式或吸心式（具有可吸引的铁心，图5，δ）转动衔铁式（图5，ε）等几种。

在自动控制设备中，活瓣式电磁继电器最为普遍。这种继电器的衔铁其移动距离不大，但作用于衔铁的力很强，在移动终了时的吸力比开始移动时大得很多。为了保持衔铁于吸引状态，所需的磁化力比吸引衔铁所需的小得多。

当研究电磁继电器的工作情况时，应当分别研究其机电特性或者牵引及机械特性。

机电特性是作用在继电器衔铁上的力 F ，与其位移 δ 的关系。当磁化力恒定时这种关系是双曲线特性。在磁化力为不同数值时作出互相类似的曲线，可得到继电器机电特性曲线族（图6）。

继电器的机械特性是当断开线圈时衔铁移动的总阻力 F_n 与衔铁的位移之间的关系。这种特性对于所有继电器都是折线，折线的段数视继电器的构造而定。

为了使继电器动作，机电特性应在机械特性上面；为了使继电器释放，机电特性则应位于其下面。

假如继电器线圈中的电流逐渐增加，即从一条机电特性转到另一条机电特性

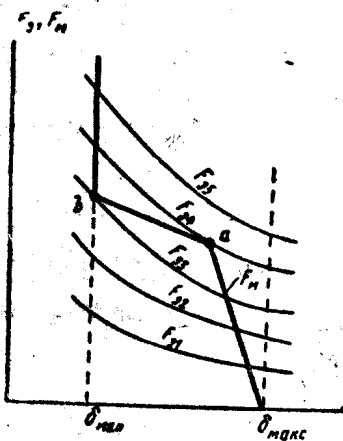


图 6

（从 F_{01} 到 F_{02} 等等），那么在碰到特性 F_{01} （点 a ）的瞬间，继电器即动作并吸引衔铁。这时继电器线圈的磁化力称为动作磁化力。

假如线圈的磁化力继续减少，那么当机电特性到达点 B 时，衔铁即释放。衔铁释放时的磁化力称为释放磁化力。

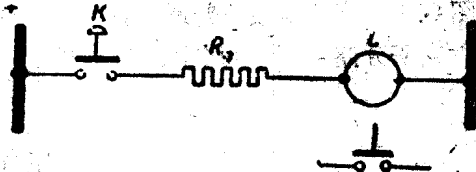


图 7

图7是电磁继电器的接线图，电磁继电器的线圈具有有效电阻及电感 L ，并接有辅助电阻 R_0 。

当按钮 K 闭合时，在继电器线圈中的电流按指数曲线增长：

$$i = \frac{U}{R + R_0} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

式中 U ——电源电压；

$$\tau = \frac{L}{R + R_0} \text{——电路的时间常数。}$$

继电器线圈的电感随衔铁的位置而变。例如扁平继电器的线圈电感由下列公式决定：

$$L = Kw^2$$

式中 w ——继电器线圈的匝数；