

技工学校教材



水电厂自动化

李启荣 编

水利电力出版社

JIGONG XUEXIAO JIAOCAI

————— 技工学校教材 —————

水 电 厂 自 动 化

李 启 荣 编

水 利 电 力 出 版 社

内 容 提 要

本书共分八章，其内容包括电气二次回路、机组自动化和辅助设备自动化的基本知识；机组常用自动化元件、水轮发电机常用继电保护、同期并列和自动调节励磁等装置的工作原理；电力系统频率和有功功率的自动调节的基本方法。对水电厂的常用自动装置及计算机的应用也作了简要介绍。

本书重点讲述机组自动化、同期并列和自动调压回路中各基本环节的工作原理，取材力求密切联系我国目前大中型水电厂常用的自动化回路和装置，叙述由浅入深地进行剖析，便于自学。本书系电力技工学校“水动”专业“水电厂自动化”课程的教材，亦可作从事大中型水电厂自动控制工作的现场工人培训教材。

技 工 学 校 教 材 水 电 厂 自 动 化 李 启 荣 编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 17.25印张 391千字

1987年6月第一版 1987年6月北京第一次印刷

印数0001—6170册 定价2.50元

书号 15143·6385

前 言

自1949年以来,我国兴建了许多大中型水电站,尤其是近几年,在建和投产的大型水电站较多,已开发的梯级水电站(如黄河上游的刘家峡、青铜峡,松花江上的白山、红石等)也不少。这些水电厂的自动化水平较高,有不少水电厂(如新安江、狮子滩、富春江等)在常规自动化基础上,正逐步实现电子计算机控制的综合自动化。为了提高水电厂技术工人的运行管理水平,决定在“水动”专业设置《水电厂自动化》课程。本书根据水利电力部1982年7月颁发的技工学校“水动”专业教学计划的要求和《水电厂自动化》教学大纲规定的内容,并注意到水电厂自动控制设备和装置的运行、维修人员的实际需要编写的。

本课程属于专业课,全书内容是按三年制96学时安排的。

本书承蒙丰满水电技术学校魏殿楼同志主审。编写大纲曾请华中工学院叶鲁卿、王定一两位副教授审阅。在此一并表示衷心的感谢。

由于本人业务能力和实践经验的限制,又兼本书内容涉及面甚广,书中难免谬误之处,敬请读者赐教。

编 者

1985.8

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 二次回路基本知识	5
1-1 概述	5
1-2 电磁式继电器工作原理	5
1-3 晶体管型继电器	11
1-4 常用的自动控制系统	25
1-5 二次回路的原理图和展开图	34
1-6 断路器的控制及信号回路	37
1-7 中央音响信号回路	40
复习思考题	42
第二章 机组自动化元件及辅助设备自动化	43
2-1 信号元件	43
2-2 执行元件	58
2-3 电力拖动自动控制的基本原理	63
2-4 油压装置自动化	66
2-5 技术供水装置的自动化	70
2-6 集水井排水装置的自动化	73
2-7 空气压缩装置的自动化	75
2-8 进水口闸门的自动化	77
2-9 无触点辅助设备自动化简述	81
复习思考题	83
第三章 水轮发电机组的自动化	84
3-1 机组润滑和冷却系统自动化	84
3-2 机组制动系统自动化	87
3-3 机组调相压水和水轮机顶盖排水系统自动化	90
3-4 机组控制系统自动化	92
3-5 机组保护及信号	103
3-6 主阀的自动控制系统	108
3-7 机组操作的弱电选线控制	113
3-8 水电厂信号系统	119
复习思考题	120
第四章 同步发电机励磁的自动控制	121
4-1 概述	121

4-2 强电强行励磁、强行减磁和自动灭磁装置	124
4-3 复式励磁的工作原理	126
4-4 相复励自动调节励磁装置	131
4-5 可控硅自动调节励磁装置	142
4-6 可控硅与励磁机相结合的自动调整励磁装置	157
4-7 水电厂母线电压调节和机组间无功功率的分配	158
复习思考题	162
第五章 同步发电机的自动并列	164
5-1 概述	164
5-2 准同期法	164
5-3 手动准同期装置	170
5-4 恒定导前时间自动准同期装置	174
5-5 自同期	189
5-6 水轮发电机的调相运行	197
复习思考题	198
第六章 水轮发电机保护	199
6-1 继电保护的基本概念	199
6-2 水轮发电机的基本保护	200
6-3 发电机的过电流和过负荷保护	202
6-4 发电机的差动保护	206
6-5 发电机定子绕组单相接地保护	217
6-6 发电机的转子一点接地保护	219
6-7 过电压保护	221
6-8 水轮发电机保护接线全图举例	223
复习思考题	226
第七章 频率和有功功率的自动调节	227
7-1 概述	227
7-2 频率和有功功率自动调节的主要方法	227
7-3 频率和有功功率成组调节	237
7-4 水轮发电机低频自启动装置	242
复习思考题	243
第八章 水电厂常用自动装置及电子计算机的应用	244
8-1 问题的提出	244
8-2 厂用电备用电源自动投入装置 (BZTH)	244
8-3 电子计算机在水电厂的应用	247
8-4 水电厂电子计算机监控系统实例	252
8-5 自动巡回检测	260
8-6 自动重合闸的基本概念	263
复习思考题	269
主要参考书目	270

绪 论

电力工业是把一次能源（煤、水能、核能、石油、天然气）转化为电能的工业。电力工业是社会主义建设的基础工业，是“四化”建设中不可缺少的动力来源，与人民生活也有着密切的关系。

电能生产与其它工业生产相比，有着明显的特点，它表现在：

1. 电能不能大量贮存。

除用蓄电池可以贮存少量直流电能外，交流电能一般是不能贮存的。因而决定了电能的生产、分配和消耗是在同一时刻进行的，这就决定了电能生产是一个连续的生产过程，不允许中断，电力系统各个环节（包括发电、输送、变电、配电和用电等）构成了一个有机的不可分割的整体。同时，运行中要求发电设备的总容量中必须有裕度，即备用容量，以应付某些发电设备的故障和正常的计划检修，还要根据电力系统中负荷的不断变化进行适当调整，保持电力平衡。

2. 电能的输送极其迅速

电能的传送是以电磁波的形式进行的，电磁波的暂态过程通常以毫秒计，一般在发电机、变压器、线路和负荷的投入或切除过程中；在雷电的侵袭和发生短路故障时，对电网运行会引起扰动而产生暂态过程。前者，伴随着出现过流、过压；而后者，除产生过流、过压外，还可能造成电压与频率的崩溃以及同步发电机失去同步等，严重者会导致整个电网的瓦解，造成大面积长时间停电以及设备损坏。由于暂态过程极其迅速，单靠人来监视操作，不能满足电力生产的要求，必须装设各种自动设备，使整个电力生产过程自动化，才能使生产顺利进行。目前，一些高度自动化的水电厂已开始采用电子数字计算机进行检测和操作控制。

3. 电力工业与国民经济各个部门和人民生活有着密切的关系

随着科学技术的发展，各个工农业部门广泛利用电能进行生产，电力对人民的生活也是必不可少的。因此，电能生产的不足或停止供电，将直接影响国民经济各部门计划的完成和人民生活水平的安定。

为此，要求电网的运行安全可靠，以保证向用户连续供电，同时，也要保证良好的电能质量。在此前提下，还应降低系统的运行费用，提高经济运行指标。

电能质量的主要指标是电力系统的频率和电网中各点的电压，应在一定的允许范围内变动。目前，一些工业发达的国家规定电力系统的频率偏差 $\Delta f < \pm 0.1\text{Hz}$ 。我国规定300kW以上的系统频率 $f = 50 \pm 0.2\text{Hz}$ ；用户的电压偏差 $\Delta U < U_0.5\%$ (U_0 为额定电压)。这就需要进行频率和电压调整。为此，应设置一系列的自动装置对发电设备进行控制、调节和保护。

目前，电力系统主要由水、火电厂和核电厂组成。大多数国家中，火电厂的比重较

大,一些水力资源特别丰富的国家,如挪威、巴西、瑞士等国,水电厂的比重较大。

目前全世界生产的电能中大约有20~25%是由水电厂生产的。同时,水电厂在电网中除了提供电量外,还具有以下特殊作用。

1)担任系统调峰、调频的任务。电力系统的负荷因用户的投入和切除而经常发生变化,为了维持系统有功功率的平衡,使系统频率保持在一定范围之内,就需要电厂随之改变出力以适应负荷的变化,即所谓调峰、调频。

热力和核力机组都不适宜于负荷剧烈变化的工况下运行,而要求在效率最高的固定负荷下运行,这样既经济,又安全。水力机组却可以在负荷剧烈变化的工况下运行,对设备的安全不致有大的影响,同时,水轮机的功率在较大范围内变化时,仍能保持较高的效率。水轮发电机组的开、停比较方便,能在很短时间内(机组从静止状态启动到满负荷运行,正常情况下约4~5 min,事故时还可缩短为1 min左右),从启动到并入系统,并带上负荷。而热力机组往往需要1~2 h才能启动。所以说,水力机组特别适宜于担任系统的调峰、调频任务。

2)承担系统事故备用和旋转备用。当系统发生事故时,频率急剧下降,电力系统的安全运行遭受严重威胁。此时,需要立即启动一些备用机组,恢复系统的正常供电,即所谓事故备用。由于水轮发电机组启动快,故常将事故备用容量安排在水电厂。

为了调频的需要,要求系统中有一部分机组不带满负荷运行,其富裕容量称旋转备用。这部分容量通常也是由水电厂承担。

另外,如果系统缺乏无功功率,可利用水电厂备用机组作调相运行,即从系统吸收少量有功功率而发出大量无功功率。

3)抽水蓄能电站的作用。近些年来,一些工业发达的国家,正大量兴建抽水蓄能电站,我国也开始建设此种类型水电站。它是利用系统低谷负荷时的剩余功率,将水从下游抽到上游水库贮存起来,待系统高峰负荷时,又将上游水库的水用来发电。从能量观点看,有一定损耗,但由于高峰负荷时电价高于低谷时3~4倍,总体看是经济的。所以,美国、日本和西德等国蓄能式水电站大量涌现,有的容量达几百万kW。

为了完成在电力系统中所承担的上述任务,要求水电厂必须实现高度自动化。其生产过程中的检测和操作等都是利用各种继电保护、自动装置、电气仪表仪器和计算机进行的,并把它们联系起来成为一个不间断地检测、判断、操作、调节和处理事故的自动化生产过程;控制信号脉冲由运行人员在远离机组地点发出,或由计算机、自动装置本身发出。可见,水电厂自动化的实质是用各种仪器、仪表、保护、计算机和自动装置来代替人的体力和部分脑力劳动,对水电厂电能生产过程进行监视和控制。如机组的启动,仅需在中央控制室的控制屏上,操作控制把手,就能按原来安排好的开机程序不间断地自动进行开机操作。

水电厂自动化一般包括:机组及其辅助设备自动化;电气设备自动化;进水口闸门和主阀的自动化。其中机组的自动控制是水电厂自动化的基础。随着电厂和机组的型式以及对自动化要求的不同,内容也不同。其基本内容是:

1)自动启动机组并投入系统并列运行。根据系统的要求,还可自动地将发电转为调

相或调相转为发电运行；在事故时，或系统需要时，可自动解列并停机。

2) 自动维持和调节机组和电厂的正常工作条件。如润滑、冷却、调频、调压和调功（按给定功率调节机组或电厂的功率）等，使电厂经常处于最佳运行工况下工作。

3) 利用各种继电保护（如差动、过流、过压保护等）和自动装置（如厂用电备用电源自动投入、过速保护和自动重合闸装置等）监视水电厂的机电设备、厂用电源和输电线路的运行工况，并能处理各种不正常状态。当发生事故时，还能保护水电厂的机电设备的安全和提高输电线路工作的可靠性。

4) 当电力系统工况被破坏时，能采用反事故措施，如系统缺少功率时自动投入备用机组。而输电线过载和频率升高时，又自动切除部分机组等。

5) 为了保证机组和全电厂实现自动操作，辅助设备的自动化也是必不可少的，如自动保持油压、油面、气压，以及自动供水和排水等。

水电厂的生产过程与火电厂相比，比较简单，操作步骤较少，而且自动装置容易与现场设备有机配合。水电厂自动化的目的具体表现在下列几方面。

1. 提高设备工作的可靠性

水电厂的基本任务是安全经济地向电网和地方负荷供电。自动装置能准确而迅速地反映设备运行参数的变化，当设备出现不正常状态时，能及时发出相应的信号或紧急停机，同时自动投入备用机组，使设备免遭损坏。自动装置也可以代替运行人员直接参与设备的各项操作和调节，从而减少运行人员误操作的可能性。水电厂的机组容量越大，台数越多，设备越复杂，对自动控制的要求也就越迫切。

2. 提高电能质量和系统工作的可靠性

现代化的电网对频率和电压的质量都有较高的要求，允许的偏差很小，特别对频率的要求更高，如果依靠人工调节来维持频率恒定是难以达到的，只能依靠自动调频装置来完成。例如，当系统发生事故时，自动装置可迅速启动水电厂的备用机组投入系统，增加出力，从而很快恢复电力平衡，使系统频率维持在一定范围内。利用自动励磁调节装置可以维持发电机端电压基本恒定，还能提高系统的稳定性，在线路短路故障切除后能迅速恢复电网的电压，保证电压质量，减少用户的经济损失。

3. 加快控制、操作过程

水电厂实现自动化后，可以使机组操作过程（如开停机、发电转调相等）按预定的顺序进行，并可不断监视其过程的完成情况，从而免去了工人操作时各个操作步骤之间的“空闲”时间和检查机组工作情况需要的时间，大大加速控制、操作过程。以开机为例，若用手动开机，约需10~15min才能并入系统，而用自动开机，却只要1min就能完成开机、并网，并带上负荷。

4. 提高水能利用的效益

水电厂实现综合自动化后，可使机组经常处于最佳工况运行，即高效率区运行，在确定最佳的运行机组台数的同时，实现机组之间最经济的负荷分配。据国外的一些统计资料表明，可提高水能利用的效率约4~5%。

5. 提高劳动生产率，减少运行人员

水电厂实现自动化后，由运行人员直接参与操作、调节和检查设备，改变为由自动装置监视和调整机电设备的工作和电厂的工况，有的水电厂还实现了遥测、通讯、遥控、遥调（即四遥），这样运行人员劳动强度大大降低，甚至可实现无人值班。现在一些工业发达的国家，只有多机组的大型水电厂，在主厂房和中央控制室才有值班人员。

水电厂自动化的分类：根据各水电厂自动化的程度不同，而按水电厂发出对机组操作最初命令脉冲的方式分为以下四类。

1) 局部自动化。在水电厂的生产过程中，主要操作是由运行人员根据监测仪表和信号装置的指示，确定需要调整的操作项目，并以手动操作完成，对个别的电气设备（如发电机的开关合闸和跳闸）进行手动远方操作。农村的小型水电厂多属于这一类型。

2) 厂内集中控制的自动化。这类水电厂的生产过程是自动进行的。机组的启动、并列、解列和停机，只要运行人员发出最初的命令脉冲，即能自动完成，中间过程无需值班人员参与，但需运行人员予以监视。其辅助设备的操作也是自动进行的。目前，我国大中型水电厂的自动化多属于此种类型。

3) 四遥控制的自动化。水电厂的机组启动及停机等操作，是在水电厂以外的地点（如中调或邻近电厂等）发出操作命令脉冲的。对于四遥型水电厂，要根据设备的复杂程度，机组容量和台数等因素，考虑是否需要运行人员。

4) 自动器控制的自动化。此类水电厂的一切生产过程和操作，都是由自动器传达命令来自动执行的，如应用电子计算机来进行自动巡回检测、计算、控制和处理事故等，无需工作人员参与。当水电厂有事故发生时，自动装置可采取相应措施，并向附近的运行人员发出警报。应该说，水电厂实现电子计算机控制是今后水电厂自动化的发展方向，但在我国目前仍处于研究、试验阶段。

第一章 二次回路基本知识

1-1 概 述

众所周知, 水电厂是一个把水能转变为电能的工厂。除动力设备外, 还有电气设备。在电气设备中, 又分为一次设备和二次设备。

凡与电网或输电线路直接连接, 且通过大电流、高电压的发、变、电设备和厂用电设备, 称为一次设备, 如水轮发电机、电力变压器、断路器和隔离开关等。

凡为水电厂的水工、水文、水力机械和电气一次设备的正常运行而设置的测量监视、控制、保护、信号等电气设备, 称为二次设备, 如各种电气仪表、控制开关、信号器具、继电器和其它自动装置、直流电源等。

在水电厂中, 连接一、二次电气设备的电路, 分别称为一次结线和二次回路。所谓一次结线, 就是由发电、变电、输电、配电、用电各环节组成的电路, 它把水电厂发出的电能输送到用户那里去。而二次回路则是由测量、控制、保护和和其它自动装置组成的电路, 它的作用是保证水电站的水工、水文、水力机械和电气一次设备能安全可靠又经济地运行, 因此, 二次设备在水电站也起着非常重要的作用。二次回路的设计和使用是否正确合理, 将直接影响水电厂, 以致整个电力系统的安全运行, 为此, 我们必须认真学习二次回路的基本知识, 掌握其规律, 为学习后面各章奠定基础。

二次回路包括的内容很广、涉及的面较宽, 回路结线也较复杂。本章主要叙述二次回路中常用的继电器的结构、性能及其动作原理, 简单地介绍常用的几种控制电器和基本控制环节, 以及在检修与运行中常用到的原理接线和展开接线图。

1-2 电磁式继电器工作原理

一、电磁式继电器动作原理

继电器是构成继电保护装置的重要元件, 按继电器的构成原理可分成许多型式, 如电磁式、电动式、感应式、整流式和晶体管式等。现以电磁式为例, 对其结构与工作原理作一简要说明。电磁式继电器结构型式较多, 图1-1示出三种主要的型式: 螺管线圈式、吸引衔铁式和转动舌片式。每一种都包括电磁铁、可动衔铁或舌片、线圈、接点、反作用弹簧和支挡或止挡。可动衔铁上装有动接点, 而可动衔铁在电磁力作用下运动, 带动接点闭合或打开。

当电磁线圈中通以电流 I 时, 在铁芯中即产生磁通 Φ 。该磁通经过电磁铁、空气隙和可动衔铁而构成闭合磁路。由于可动衔铁在磁场的作用下被磁化, 因而产生电磁力 $F_{\text{吸}}$ 。电磁力 $F_{\text{吸}}$ 在衔铁上产生电磁转矩 $M_{\text{吸}}$, 当 $M_{\text{吸}}$ 足够大时, 衔铁被吸向电磁铁, 从而带动继

电器的接点闭合。如图1-1所示，由于受支挡或止挡的限制，衔铁或舌片只能在一定的范围内运动。

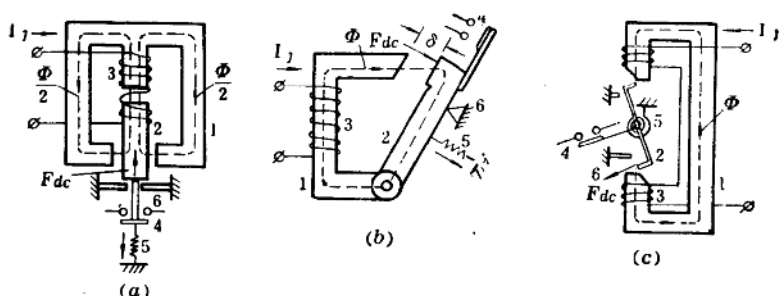


图 1-1 电磁式继电器结构型式

(a)螺管线圈式；(b)吸引衔铁式；(c)转动舌片式

1—电磁铁；2—可动衔铁；3—线圈；4—接点；5—反作用弹簧；6—止挡

由电工学的电磁路基本知识可知，电磁力 F_{dc} 与磁路中的磁通 Φ 的平方成正比，即

$$F_{dc} = K_1 \Phi^2 \quad (1-1)$$

当磁路未饱和时，磁通 Φ 与磁势 F 成正比，而磁势 $F = I_1 W_1$ 。

根据电工学中的磁路欧姆定律得

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{I_1 W_1}{R_m} \quad (1-2)$$

将式(1-2)代入式(1-1)得

$$F_{dc} = K_1 \left(\frac{I_1 W_1}{R_m} \right)^2 = K_1 \frac{W_1^2}{R_m^2} I_1^2 = K_2 I_1^2 \quad (1-3)$$

式中 W_1 ——继电器线圈的匝数；

R_m ——磁通 Φ 所经过的磁路的磁阻；

$K_2 = K \frac{W_1^2}{R_m^2}$ ，其数值与磁阻 R_m 有关，只有当空气隙不变，以及电磁铁和可动衔铁或舌片未饱和时，才保持为常数。

由电磁力所产生的电磁力矩，其值为：

$$M_{dc} = F_{dc} L = L K_2 I_1^2 = K_3 I_1^2 \quad (1-4)$$

式中 $K_3 = K_2 L$ ，而 L 为可动衔铁或舌片的长度。

由式(1-3)、式(1-4)看出，作用在继电器衔铁上的电磁力 F_{dc} 和力矩 M_{dc} 与通过继电器线圈中的电流 I_1 的平方成正比，而与电流的方向无关。这样就可以既能制成各种直流的，又能制成各种交流的电磁式继电器。常用的电流、电压、中间、信号和时间继电器都是按此种原理构成的。

二、几种基本的电磁式继电器

常用的有电磁式电流、电压、时间、信号、中间及干簧继电器，现分述如下。

1. 电流继电器

我国生产的DL-10型电流继电器采用转动舌片（即Z形衔铁）式电磁原理结构，如图

1-2(a)所示。

当继电器线圈直接或通过电流互感器接入网络电流时，Z形衔铁产生电磁力矩。这种继电器的动作行为取决于网络电流，所以称为电流继电器。其构造：由铁芯1、线圈2、转动舌片（Z形衔铁）3、反作用弹簧4、动接点5、静接点6、调整把手7和刻度8组成。

为了弄清电流继电器的特性，我们先按照图1-2(b)作一个实验。电路由调压器1、变压器2、电流表3、限流电阻器4和灯5等元件连接而成。首先把继电器的动作电流调整把手7对准10A处，调压器手柄指在零处，慢慢地旋转调压器1，使通入继电器的电流 I_j 从零开始慢慢增加，当 I_j 小于10A时，继电器Z形衔铁不动，它的常开接点仍然断开，灯不亮。继续增加通入继电器的电流，当 I_j 增到10A时，发现继电器的Z形衔铁迅速转向电磁铁，使接点闭合，灯突然亮了。如再增加电流（大于10A）继电器接点仍维持闭合状态。以上过程叫继电器的动作过程。使继电器的接点从断开到闭合的最小电流，叫做继电器的动作电流，亦称启动电流，用 $I_{dz,j}$ 表示，上述实验中 $I_{dz,j}=10A$ 。继之，将大于10A的电流慢慢减小，发现当电流减小到10A时，继电器接点仍处于闭合状态，灯仍亮着。再慢慢减小电流，当减小到9A时，发现Z形衔铁回到原始位置，接点断开，灯熄灭。以上过程叫做继电器的返回过程，使Z形衔铁由动作位置返回到原始位置的最大电流，称继电器的返回电流，用 $I_{f,j}$ 表示，实验中 $I_{f,j}=9A$ 。

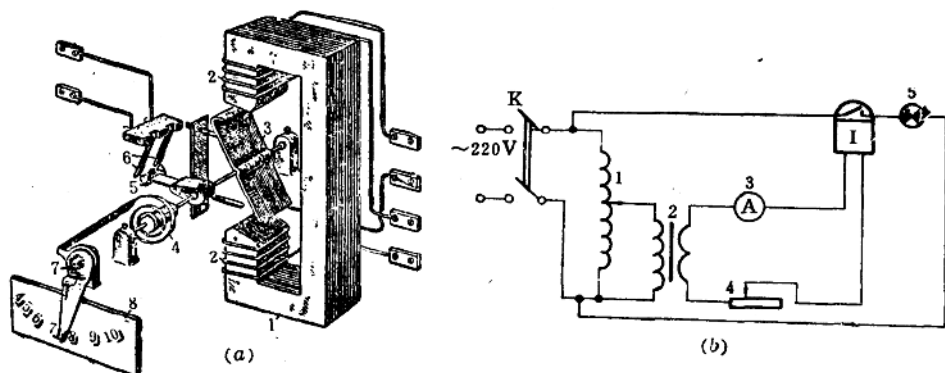


图 1-2 DL-10型电流继电器的构造及试验接线图
(a)结构；(b)试验接线图

继电器的返回电流与启动电流（即动作电流）的比值，叫做返回系数，用 K_f 表示

$$K_f = \frac{I_{f,j}}{I_{dz,j}}$$

一般对于反应电流数值增加的过电流继电器来说， $I_{dz,j} > I_{f,j}$ ，即 K_f 小于1，通常 K_f 在0.85~0.9之间。

必须指出：为了使电流继电器能准确地动作，电磁力所产生的平均电磁力矩必须大于弹簧反作用力矩及摩擦阻力所产生的机械反抗力矩之和，所以继电器动作的临界条件是：

$$M_{dc} = K_3 I_j^2 = M_f + M_m \quad (1-5)$$

式中 M_f ——弹簧的反力矩；

M_m ——摩擦力矩。

联解式(1-3)~(1-5)得：

$$I_j = \frac{R_m}{W_j} \sqrt{\frac{M_f + M_m}{K_1 L}}$$

当 I_j 达到一定数值，并满足上式条件时，继电器刚好能够动作。能使过电流继电器动作的最小电流值，叫做该继电器的动作电流，并用 $I_{dz,j}$ 表示。因此，继电器的启动电流 $I_{dz,j}$ 为：

$$I_{dz,j} = \frac{R_m}{W_j} \sqrt{\frac{M_f + M_m}{K_1 L}} \quad (1-6)$$

由此可见，继电器的启动电流可以用下列方法改变之：①改变继电器线圈 W 的匝数；

②改变反作用弹簧力；③改变空气隙的长度，也就是改变磁路的磁阻 R_m 。

2. 电压继电器

电压继电器的结构与动作原理与电流继电器相同，只不过电压继电器线圈一般通过电压互感器接在网络电压上，反应网络电压的大小。电压继电器的线圈匝数多而且导线截面小。线圈中通过的电流为

$$I_j = \frac{U_j}{Z_j}$$

式中 U_j ——电压继电器端子上的电压；

Z_j ——电压继电器线圈的阻抗。

由于继电器端子上的电压与电流成正比，所以继电器能够反应电压的变化。电压继电器可作成电压上升时动作的过电压继电器，和电压降低时动作的低电压继电器，过电压继电器通常只在个别情况使用，低电压继电器使用较多。

DJ-111型和DJ-131型是过电压继电器，前者有一对常开接点，后者比前者多一对常闭接点。水电厂的水轮发电机的过电压保护装置，使用的是过电压继电器，在正常电压时，继电器衔铁处于释放位置，其接点是打开的，当电压升高到动作电压后，衔铁被吸引，接点闭合。过电压继电器动作和返回的定义与过电流继电器一样，它的返回系数为

$$K_r = \frac{U_{r,j}}{U_{dz,j}}$$

DJ-122型是低电压继电器，只有一对常闭接点，它与过电压继电器动作相反，在正常电压作用下，继电器衔铁被吸引，接点打开，当电压降低到它的动作电压时继电器动作，衔铁释放，接点闭合。使低电压继电器动作，即接点闭合的最大电压称为继电器动作电压 $U_{dz,j}$ 。在继电器动作以后，能使它返回到起始位置，即接点打开的最低电压称为继电器返回电压 $U_{r,j}$ ，因此，低电压继电器的返回系数

$$K_r = \frac{U_{r,j}}{U_{dz,j}} > 1$$

DJ-122型电压继电器的返回系数不大于1.25。

3. 时间继电器

时间继电器在自动装置和继电保护装置中作为时限元件，用来建立必需的动作时限。如图1-3示出了DS-100型电磁式时间继电器的结构，它主要是由电磁螺管线圈和钟表机构组成。其动作原理是：当线圈接入电压后，衔铁被吸入电磁线圈中，因此放松了附在衔铁上的曲柄销，在主弹簧的作用下，使扇形齿轮顺时针方向转动，并传动齿轮，动接点与它同轴的摩擦离合器开始逆时针方向转动，通过主动齿轮传动钟表机构，钟表机构就开始走动，因此控制了接点轴的旋转角速度，于是动接点按规定时间，经过一定行程去闭合静接点。

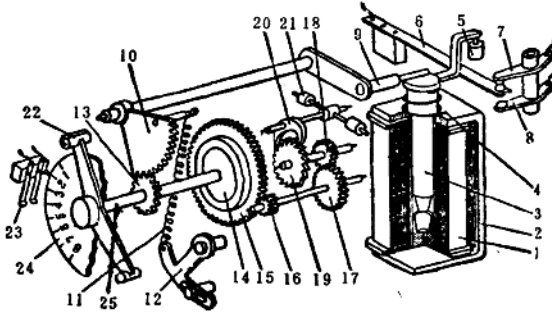


图 1-3 DS-100型电磁式时间继电器结构

- 1—线圈；2—磁路；3—衔铁；4—返回弹簧；5—扎头；6—可动瞬时接头；7、8—固定瞬时接头；9—曲柄销；10—扇形齿轮；11—主弹簧；12—改变主弹簧拉力的卡板；13—齿轮；14—摩擦离合器；15—主动齿轮；16—钟表机构的齿轮；17、18—钟表机构的中间齿轮；19—摆轮；20—摆卡；21—重锤；22—可动接点；23—固定接点；24—标度盘；25—继电器的主轴

当线圈电流消失后，在返回弹簧作用下，通过曲柄销即使扇形齿轮复原。因为此时动接点轴是顺时针方向转动，使摩擦离合器与主动齿轮脱开，钟表机构不参加工作，所以返回是瞬时的。

改变静接点的位置，也就是改变动接点的行程，即可调整时间继电器的动作时间。

4. 中间继电器

中间继电器的用途很广，如要求比较大的接点容量去闭合或断开大电流回路；或者需要同时闭合或断开几条独立回路；或者一个元件装有几套保护要用共同的继电器等，都可以采用中间继电器。通常它是接入直流电源的，且具有比较大的接点容量，可以直接动作于断路器的跳闸回路。

图1-4示出了DZ-10型中间继电器的构造，当继电器线圈中通过足够大的电流时，衔铁被吸向电磁铁，这时装在衔铁上的动接点与静接点接通，继电器便完成了动作。当线圈失磁后，衔铁受弹簧6的拉力而返回原位。

中间继电器不仅在额定电压下应当可靠地动作，而且在可能的运行条件下，例如操作电压降低15~20%时，也应当可靠地动作。在保护装置接线中，特别是在快速保护装置中所用的中间继电器，其固有动作时间很小，一般不应大于0.01~0.07s。

在中间继电器上，常设置有常开和常闭接点。所谓常开接点是指继电器线圈不励磁时，接点处于断开状态；而常闭接点恰相反，指继电器线圈不励磁时，接点处于闭合状态。

5. 信号继电器

信号继电器在继电保护和自动装置中，用作动作指示器，当信号继电器动作后，继电器本身有掉牌指示，同时接点闭合，接通灯光和音响信号回路，以便引起运行值班人员注意，进行事故分析和处理。

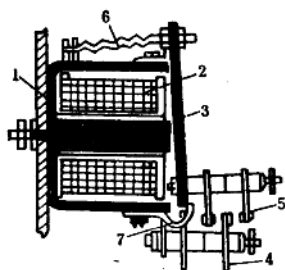


图 1-4 中间继电器的构造

1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4—静接点；5—动接点；6—反作用弹簧；7—衔铁行程限制器

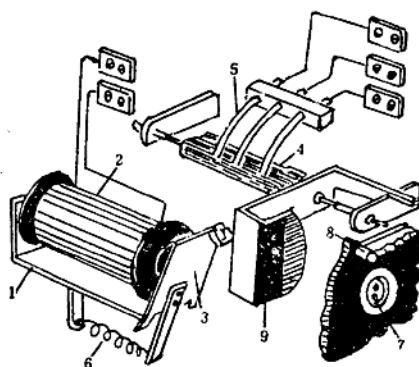


图 1-5 DX-11型信号继电器结构

1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4—动接点；5—静接点；6—弹簧；7—看信号牌小窗；8—手动复归按钮；9—信号牌

图1-5示出DX-11型信号继电器的原理结构。当线圈没有电流通过时，衔铁被弹簧拉住，并且衔铁的边缘顶住信号牌，使信号牌处于水平位置。当线圈中通过电流时，产生电磁力将衔铁吸向电磁铁，这时信号牌失去支持由本身的自重而掉落，并且停留在垂直位置，从外壳的玻璃孔上可看见带色标志。在信号牌下落时，固定信号牌的轴同时转动90°，则动接点与静接点接通，可以用作接通灯光和音响信号回路。任务完成后，运行值班员用手动复归按钮进行手动复归。

信号继电器通常分为串联信号继电器（电流型信号继电器）和并联信号继电器（电压型信号继电器）两种，它们的接线见图1-6，继电器表示符号参见本章表1-1。

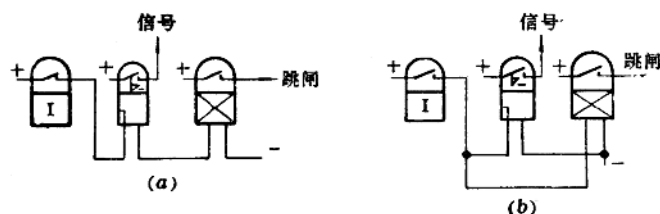


图 1-6 信号继电器的接线方式
(a) 串联信号继电器；(b) 并联信号继电器

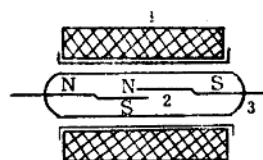


图 1-7 干簧继电器结构示意图
1—线圈；2—簧片；3—密封玻璃管

6. 干簧继电器

干簧继电器的结构示意图见图1-7，线圈绕在框架上，框架中间放一密封玻璃管，管内放有两支簧片，簧片由坡莫合金制成，它既是导磁体，又是导电的一对接点，在簧片的自由端（即管内接点）接触面上镀有金、银或铑等金属，以减小接触电阻。玻璃管内充有

干燥纯净的氮气，以防止接点表面氧化。

当线圈通电时，即产生磁通，簧片在磁通的作用下被磁化，使簧片的一端为N极，另一端为S极，如图1-7所示。由于管内两簧片自由端的极性不同，产生一相互吸引的力，当线圈中电流大到一定值时，两簧片自由端便相互吸住，即继电器接点闭合；当线圈中电流降低到一定值时，簧片借其本身的弹性而返回，接点断开。

由于干簧继电器的动作快，约为几毫秒，消耗功率也很小，而且不怕振动，工作比较可靠，因此在晶体管保护中用得比较多。但干簧接点能耐受的电压较低，在工作中超过干簧接点容量时，接点易粘连，需经常更换。

1-3 晶体管型继电器

晶体管继电保护装置通常包括测量电路、逻辑回路和输出电路三部分，其动作顺序见图1-8。

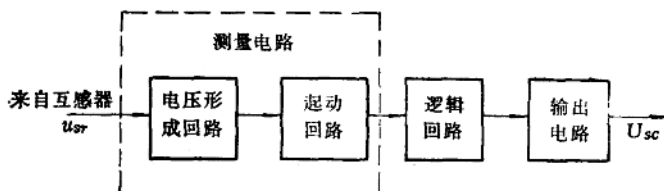


图 1-8 晶体管继电保护装置的方框图

测量电路的作用是判别被保护元件是否发生了故障，它的输入端与被保护元件的电流、电压互感器二次侧连接。反映被保护元件运行状态的电流、电压、阻抗或相位等电气量，通过测量电路的加工整理，将所得到的信号送入逻辑回路。

由前可知，电磁式继电器中，测量部分是将所测量的电气量转换成机械转矩，在转矩达到一定数值或改变方向时，继电器接点闭合，保护装置动作。在晶体管保护装置中，则是将被测量的电气量转换成弱电直流电压，当此电压达到一定数值或极性改变时，晶体管触发器翻转，从而使保护装置启动。因此，晶体管继电保护装置的测量电路，一般包括电压形成回路和启动回路。

逻辑回路的作用是对测量电路送来的信号，根据人为规定的条件进行分析、判断决定是否给输出电路发出信号，使保护装置动作。逻辑回路常由晶体管门电路和晶体管时间电路组成。

输出电路的作用是将逻辑回路送来的微弱信号加以放大，提高输出功率，然后送到执行机构实行操作，例如使断路器跳闸和发出灯光、音响信号。

一、晶体管型继电器的基本电路及其特点

晶体管型继电器一般由电压形成回路和启动回路（包括比较回路和执行回路）组成。