

水轮发电机组自动化和运行

成都水力发电学校主编

电力工业出版社

水轮发电机组自动化和运行

成都水力发电学校主编

电 力 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书内容包括水轮发电机组二次回路的基本知识、常用的自动化元件、辅助设备自动化、水轮发电机组的自动化、发电机继电保护、同步发电机自动调节励磁、机组的运行和维护、机组的事故处理等。

本书重点讲述机组自动控制及自动调节接线中各基本环节的工作原理，内容密切结合实际，由浅入深，文字通俗易懂，便于自学。本书系中等专业学校“水电站动力设备”专业水轮发电机组自动化和运行课程的教材，亦可作为中等专业学校水电类其他专业、水电技工学校的教材，并可供水电站机组运行的工程技术人员和工人参考。

水轮发电机组自动化和运行

成都水力发电学校主编

*

电力工业出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12印张 270千字 1插页

1981年8月第一版 1981年8月北京第一次印刷

印数 0001—7140册 定价 1.10元

书号 15036·4206

前 言

本书是按照“水轮发电机组自动化和运行”教学大纲编写的，作为中等专业学校“水电站动力设备”专业的教材，也可供水电有关专业的教学用书和水电站工程技术人员及工人参考。

本书内容包括二次回路基本知识、水轮发电机组常用的自动化元件、辅助设备的自动化、水轮发电机组自动化、发电机继电保护、同步发电机自动调节励磁、机组的运行和维护、机组的异常运行和事故处理等。本书重点讲述机组自动操作及自动调节接线中各基本环节的工作原理，关于机组的运行方面，则是对一些共同性的问题作了必要的阐述。

本书取材力求结合我国的生产实际，适当反映本学科的国内外先进技术水平；内容安排上注意循序渐进和少而精的原则，着重讲清基本概念和基本原理，并充分考虑到学科的系统性和完整性。

本书是一门专业技术课的教材，内容较多，涉及面也较广，在教学中，各校可根据具体情况有所取舍。

参加编写本书的是湖北省电力学校苏荣正同志（第一、五章）、贵州省电力学校谢肇渠同志（第二、三章）、成都水力发电学校耿素清同志（第四、八章）和王铁汉同志（第六、七章），并由王铁汉同志担任全书主编。

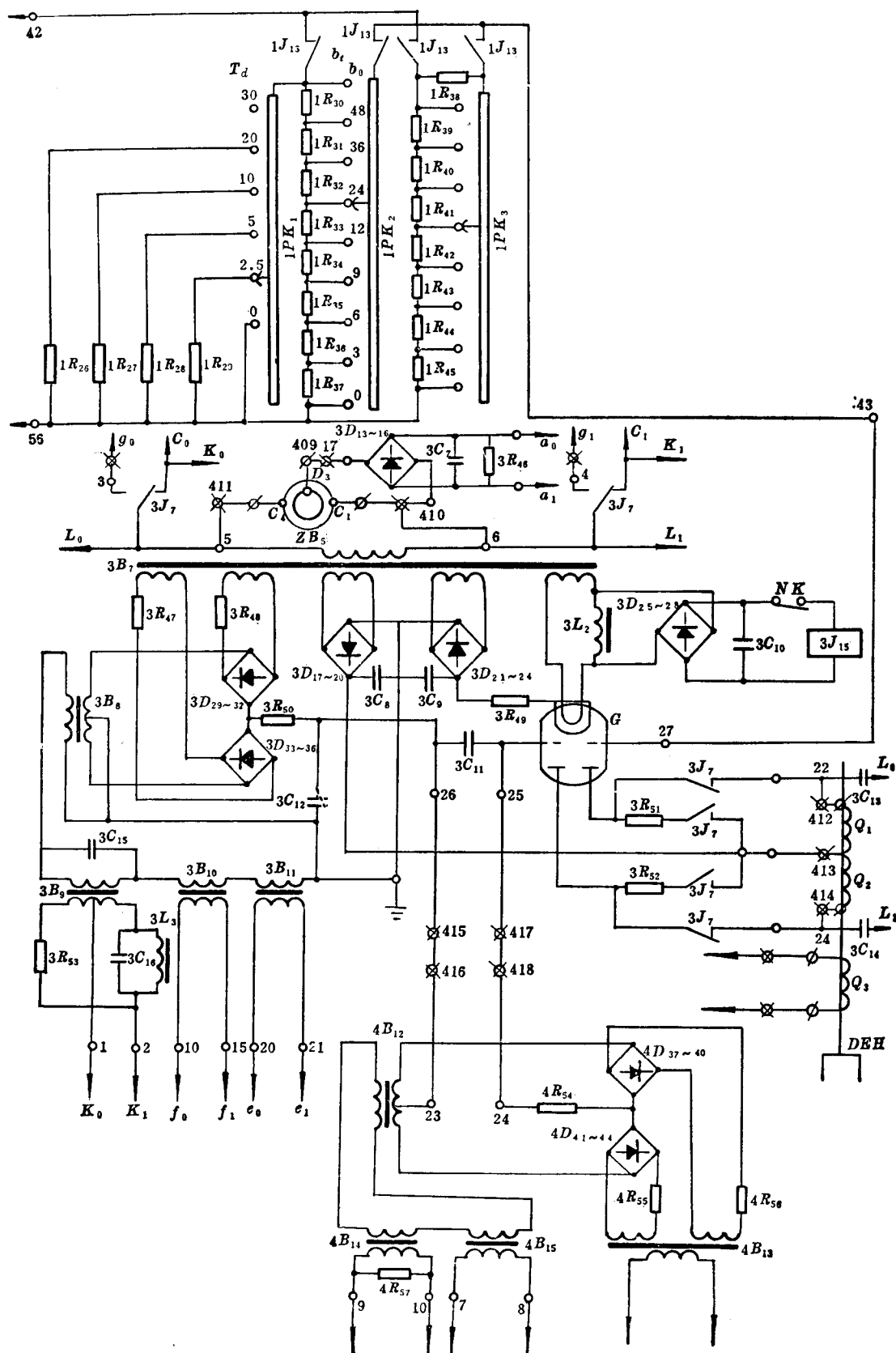
本书由东北水利水电学校邬承玉、王朝钧同志主审，参加审稿的单位除各校编写的同志外，还有丰满水力发电厂、桓仁水力发电厂、湖北省水利学校、贵州省水利学校、东北勘测设计院等单位。在编写过程中，曾得到龚嘴、映秀湾、丹江、富春江、新安江、新丰江等水力发电厂、中试所及有关兄弟学校、大专院校的支持和帮助。李淑娟、林屹同志担任制图。在此，对上述单位和有关同志表示感谢。

限于我们的水平，加上编写时间匆促，书中差错在所难免，请使用本书的师生和读者批评指正。

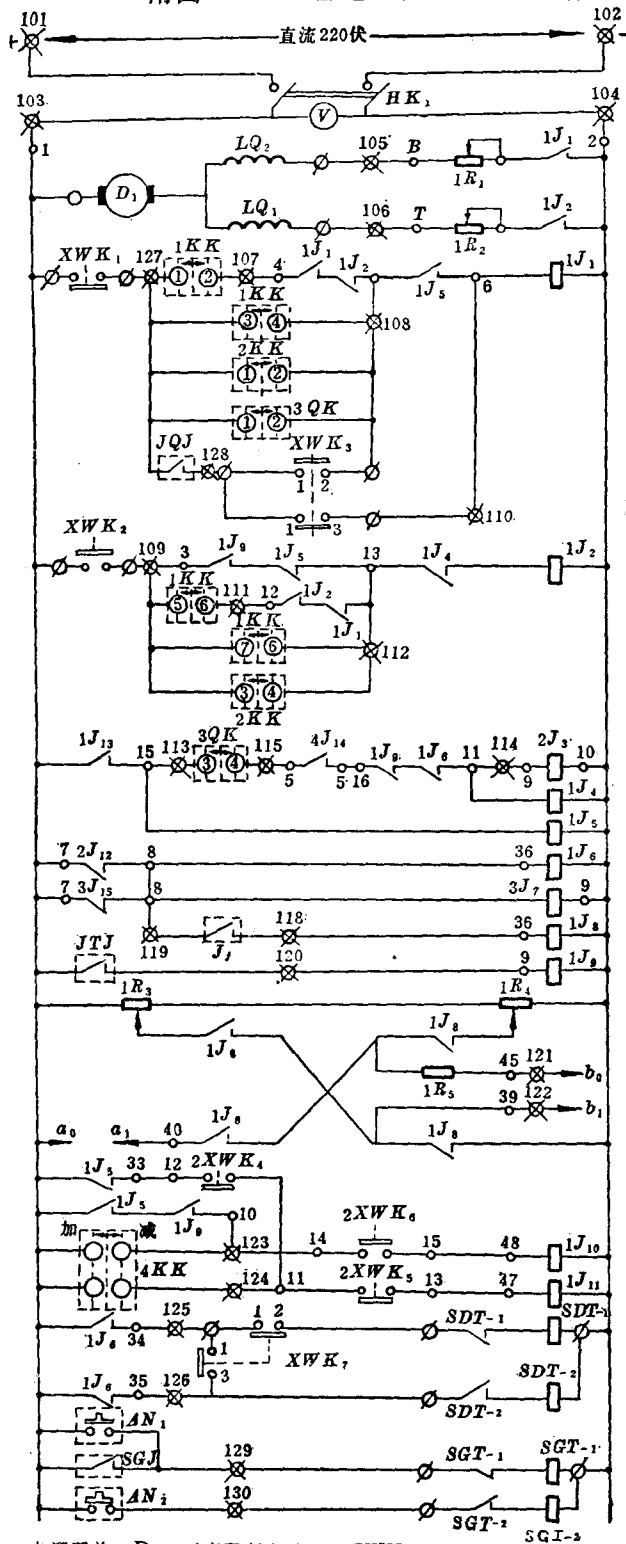
编 者

1980年12月

附图一 DT型电液



附图二 D T型电液调速器直流操作回路的工作原理图

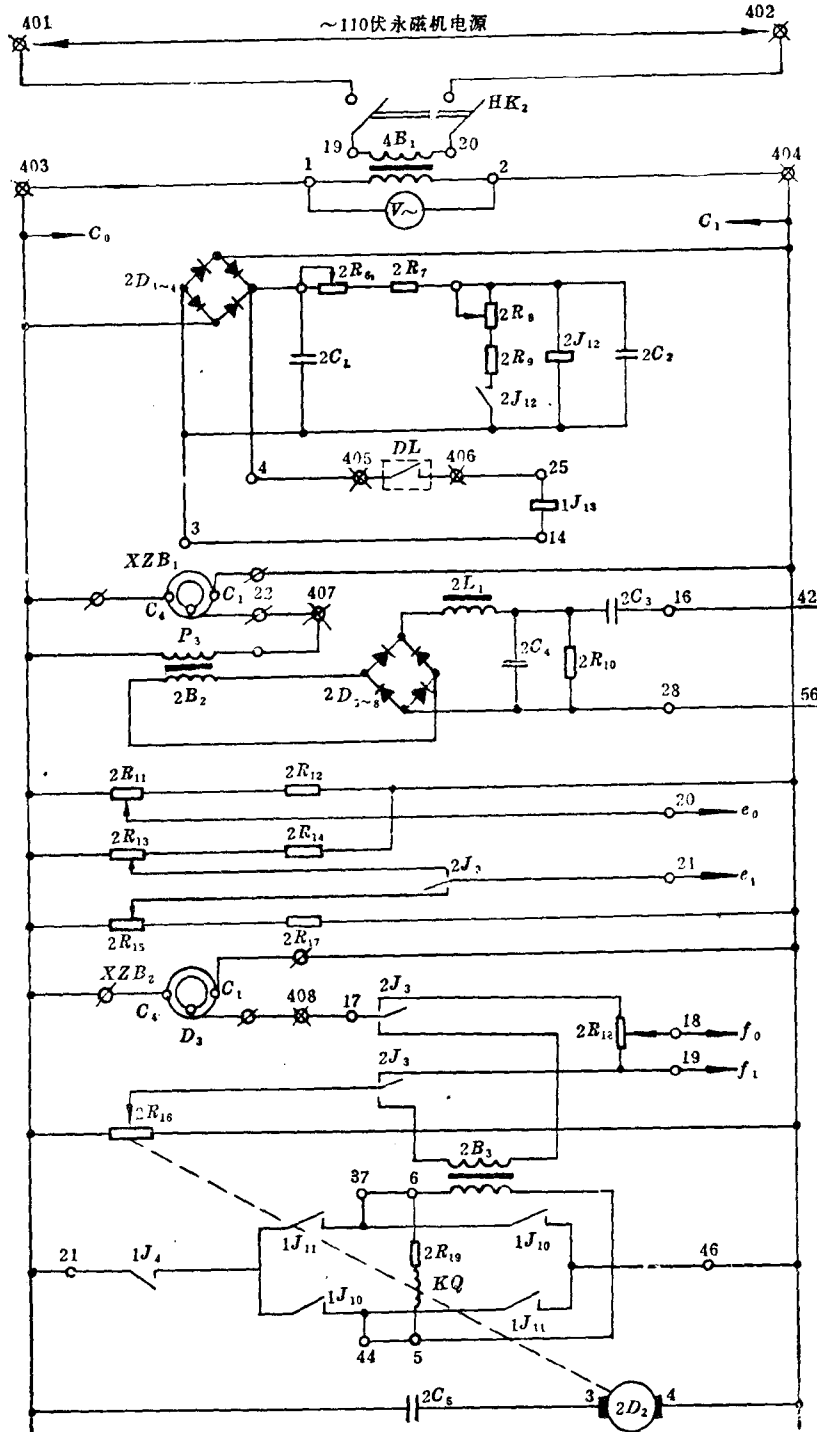


开度限制开启方向
开度限制关闭方向
开机回路
停机回路
成组调节切换继电器
电子管灯丝烧断或永磁机故障发出信号进行切换
机组停机信号
调速器故障又遇电网甩负荷调速器自动关至空载开度
增减机组负荷的变速机构引出继电器
电子管灯丝烧断或永磁机故障机组锁锭投入
紧急停机电磁铁

HK₁—电源开关, D₁—开度限制电动机, XWK₁₋₃—开度限制限位开关, XWK₄—导叶实际和给定开度重合指示开关, XWK₅₋₆—功率给定限位开关, XWK₇—开度限制锁锭位置开关, D₁—开度限制机构电动机, JQJ—机组启动继电器, 1KK, 2KK—控制开关, J₁—频率继电器(51Hz), SDT₁₋₂—锁锭电磁铁动作和释放线圈, SGT₁₋₂—事故电磁铁动作和释放线圈, SGJ—事故继电器, AN₁₋₂—按钮

[注] ⊗—总接线端子, φ—液压柜接线端子, ○—接线端子

调速器单机调节部分



永磁机电源低电压保护继电器
油开关辅助继电器
缓冲回路
单机调节回路补偿电阻
成组调节回路补偿电阻
单机频率给定电位器
单机调差率给定电位器
单机功率给定电位器
控制功率给定电动机回路以及成组运行时功率给定与接力器位置跟踪回路

a—电气部分；b—单机调节部分

4B₁—永磁机电源隔离变压器；2B₂—缓冲反馈信号输入变压器；2B₃—功率给定跟踪装置变压器；3B₇, 4B₁₃—电源变压器；3B₈, 4B₁₂—相敏输入变压器；3B₉—测频输出变压器；3B₁₁—单机频率给定输入变压器；3B₁₀—调差率输入变压器；4B₁₄—成组均衡输入变压器；4B₁₅—成组调差率输入变压器；2D₂—功率给定电动机；KQ—2D₂的控制线圈；1PK₁—空载缓冲时间波段开关；1PK₂—空载缓冲反馈强度波段开关；1PK₃—负载缓冲反馈强度波段开关；DEH—电液转换器；XZB₁, 2, 5—旋转变压器；DL—油开关辅助接点；HK₂—电源开关；2R₁₆—功率给定电位器；2R₁₈—调差率电位器；2R₁₅—频率给定电位器

[注] 1. 元件第一位数字代表此元件装在电气柜的层数；2. 各元件位置均处于不带电状态；3. 表示电气装置总接线端子；φ—表示液压柜接线端子；○—表示电气装置分层的接线端子。

目 录

前 言

第一章 二次回路基本知识.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 几种常用的电磁式继电器.....	1
第三节 晶体管型继电器.....	6
第四节 几种常用的控制电器.....	14
第五节 继电器和接触器构成的基本控制线路.....	19
第六节 二次回路原理图及展开图.....	22
第二章 水轮发电机组常用的自动化元件.....	27
第一节 概述.....	27
第二节 转速、温度和压力信号器.....	27
第三节 液位、示流和剪断销信号器.....	32
第四节 电磁阀、电磁配压阀和液压阀.....	36
第五节 机组过速保护装置.....	40
第三章 辅助设备自动化.....	43
第一节 概述.....	43
第二节 主阀控制系统的自动化.....	44
第三节 油压装置的自动化.....	48
第四节 空气压缩装置的自动化.....	51
第五节 集水井排水装置的自动化.....	54
第六节 变送器.....	56
第七节 无触点辅助设备自动化简介.....	60
第四章 水轮发电机组的自动化.....	63
第一节 水轮发电机组润滑系统的自动化.....	63
第二节 水轮发电机组冷却系统的自动化.....	66
第三节 水轮发电机组制动系统的自动化.....	68
第四节 水轮发电机组控制系统的自动化.....	69
第五章 发电机保护.....	85
第一节 发电机的过电流和过负荷保护.....	85
第二节 发电机的纵联差动保护.....	91
第三节 发电机的横联差动保护.....	95
第四节 发电机定子绕组单相接地保护.....	97
第五节 发电机的转子一点接地保护.....	100
第六节 过电压保护.....	102

第七节 水轮发电机组保护装置全图举例	103
第六章 同步发电机的自动调节励磁	106
第一节 概述	106
第二节 带电压校正器的复式励磁装置	107
第三节 快速相复励自动调节励磁装置	115
第四节 水轮发电机自动调节励磁的特点	119
第五节 同步发电机的自动灭磁装置	120
第六节 继电强行励磁和继电强行减磁装置	121
第七节 可控硅自动励磁调节装置概述	122
第八节 可控硅整流装置	123
第九节 移相触发单元	125
第十节 直流放大单元	129
第十一节 比较参考单元	131
第十二节 电压测量单元	132
第十三节 调差单元	134
第七章 水轮发电机组的运行和维护	136
第一节 概述	136
第二节 水轮发电机组的操作	136
第三节 机组的调相运行	149
第四节 机组的成组调节	150
第五节 机组运行中的监视	156
第六节 机组运行中的检查和维护	159
第七节 机组运行中轴电流的测定	160
第八章 机组的异常运行及事故处理	163
第一节 机组的异常运行	163
第二节 机组常见事故的分析及处理	169
第三节 调速器的故障及其处理	175
附录	
附表一 逻辑元件图形符号和逻辑功能	180
附表二 二次回路接线图中常见的图形符号	181
附表三 二次回路接线图中常用元件的文字符号	183
附图一 DT型电液调速器单机调节部分	184
附图二 DT型电液调速器直流操作回路的工作原理图	186

第一章 二次回路基本知识

第一节 概 述

水电站是将水能转变为电能的工厂。它的电气设备概括地可分成两大类：一次设备和二次设备。

凡与电网或输电线路直接连接的通过高压大电流的发、变、配电设备和厂用电设备，称为一次设备，如发电机、变压器、断路器、隔离开关和电动机等。

凡为了水电站的水工、水文、水力机械和电气一次设备的正常运行而设置的测量、控制、保护、信号等电气设备，称为二次设备，如电气仪表、控制开关、信号器具、继电器和其他自动装置、直流电源等。

在水电站中，由电能的发、变、配、用各环节组成的电路，即由一次设备组成的电路，称为一次回路。由测量、控制、保护和其他自动装置组成的回路，称为二次回路。二次回路的作用，是保证水电站水工、水文、水力机械和电气一次设备能安全可靠、经济运行，顺利地将水能变成电能并输送出去。因此，二次设备在电站中起着重要作用。二次回路的设计和使用是否正确合理，将直接影响电站乃至整个电网的安全运行，为此，我们必须认真学习二次回路的基本知识，掌握其规律，以便将来正确地设计、调试和使用二次回路，减少和消灭电站的运行事故，从而提高电站的自动化水平。

二次回路包括的内容很广，涉及的问题较多，回路图也很复杂。在这一章里，主要叙述二次回路中常用的几种控制电器和继电器的结构、性能及其动作原理。列举几种常用的基本控制环节，并简单地介绍二次回路原理接线图的两种形式：归总式和展开式，为大家今后学习复杂的二次回路打下基础。

第二节 几种常用的电磁式继电器

一、常用的电磁式继电器动作原理

电磁式继电器的结构型式较多，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1、可动衔铁或舌片2、接点3、反作用弹簧4和止挡5。

当电磁铁的线圈中通过电流 I_j 时，在磁导体中便产生磁通 Φ ，该磁通经过电磁铁的磁导体、空气隙和可动衔铁而形成闭合磁回路，由于可动衔铁被磁化，产生了电磁力 F_{dc} ，使图1-1(a)中衔铁2被吸上去；或产生了顺时针方向的电磁力矩 M_{dc} ，使图1-1(b)衔铁2被吸下来；或使图1-1(c)舌片2顺时针旋转。当然，只有当电磁力或电磁力矩足够大，能够克服弹簧及轴承摩擦所产生的反作用力或力矩时，衔铁(或舌片)才被吸向电磁铁，从而使继电器的动、静接点闭合。止挡5起着限制衔铁(或舌片)只在一定范围内运动的作用。

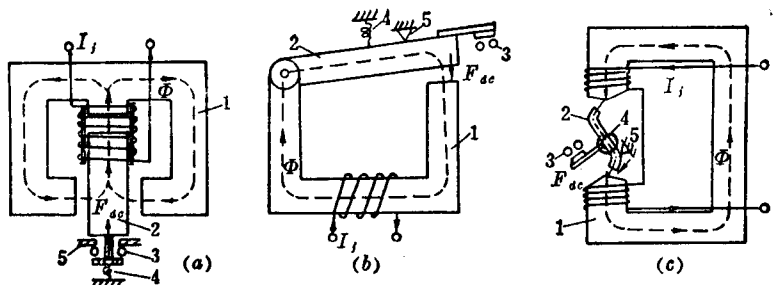


图 1-1 电磁式继电器结构型式
(a)螺管线圈式；(b)吸引衔铁式；(c)转动舌片式

根据电磁学的原理可知，电磁力 F_{dc} 与磁通 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 与线圈中通过的电流 I_j 的关系为：

$$\Phi = \frac{I_j W}{R_m} \quad (1-2)$$

式中 W ——继电器线圈的匝数；

R_m ——磁通 Φ 所经过的磁路的磁阻。

以(1-2)式代入(1-1)式得：

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

式中 $K_2 = \frac{K_1 W^2}{R_m^2} = \text{常数}$ 。

电磁力矩 M_{dc} 为：

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

式中 $K_3 = K_2 L$ ， L 为可动衔铁（或舌片）的长度。

从(1-3)和(1-4)式可以看出，系数 K_2 、 K_3 与磁阻有关。因此，只有当空气隙不变及电磁铁和衔铁（或舌片）未饱和时，才保持为常数。并且，电磁力 F_{dc} 和力矩 M_{dc} 与继电器线圈中通过的电流 I_j 的平方成正比，而与电流的方向无关。因此，根据电磁原理构成的继电器可以制成直流或交流的。常见的电流继电器、电压继电器、时间继电器、信号继电器等都是按此种原理构成的。以下我们就这几种型式的继电器作一简单介绍。

二、电磁式电流、电压、时间、信号、中间及干簧继电器

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。

为了弄清电流继电器的特性，我们先按图1-3做一个实验。

把继电器的动作电流调整把手对准10安培处，调压器手柄指在零处，慢慢地旋转调压器，使通入继电器的电流 I_j 从零开始慢慢增加，当 I_j 小于10安时，继电器Z形衔铁不动，

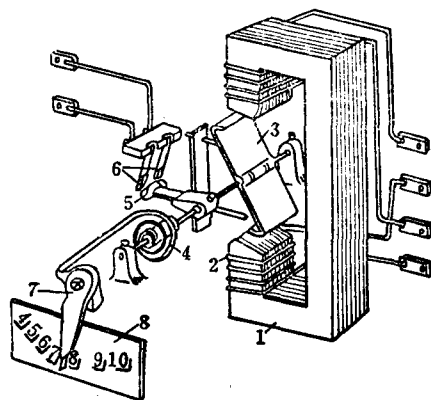


图 1-2 DL-10型电流继电器的构造

1—铁芯；2—线圈；3—转动舌片（Z形衔铁）；
4—反作用弹簧；5—动接点；6—静接点；
7—调整把手；8—刻度盘

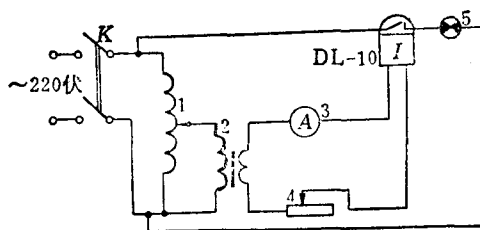


图 1-3 DL-10型电流继电器的试验接线图

1—调压器；2—变压器；3—电流
表；4—限流电阻器；5—灯

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10安培时，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10安培）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。能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（又称起动电流）用 $I_{dz.j}$ 表示，上述实验中 $I_{dz.j} = 10$ 安培。

继续进行实验，我们把大于10安培的电流慢慢减小，发现当电流减小到10安培时，继电器接点仍处于闭合状态，灯仍亮。再慢慢减小电流，当我们减小到9安培时，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，能使Z形衔铁由动作位置返回到原始位置的最大电流，叫继电器的返回电流，用 $I_{f.j}$ 表示，实验中 $I_{f.j} = 9$ 安培。

继电器的返回电流与起动电流（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。

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。电压继电器线圈匝数多而导线截面小。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是与电流成正比例，因此继电器能够反应电压的变化。

电压继电器分为过电压继电器和低电压继电器两种。过电压继电器通常只在个别情况下使用，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。水轮发电机的过电压保护装置中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：

$$K_f = \frac{U_{f.j}}{U_{dz.j}}$$

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 $U_{f.j}$ 。因此，低电压继电器的返回系数

$$K_f = \frac{U_{f.j}}{U_{dz.j}} > 1$$

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。

图1-4绘出了DS-100型电磁式时间继电器的结构，继电器基本上分为两部分，一部分是电磁螺管线圈，一部分是钟表机构。它的动作原理是：当线圈1接入电压后，衔铁3被

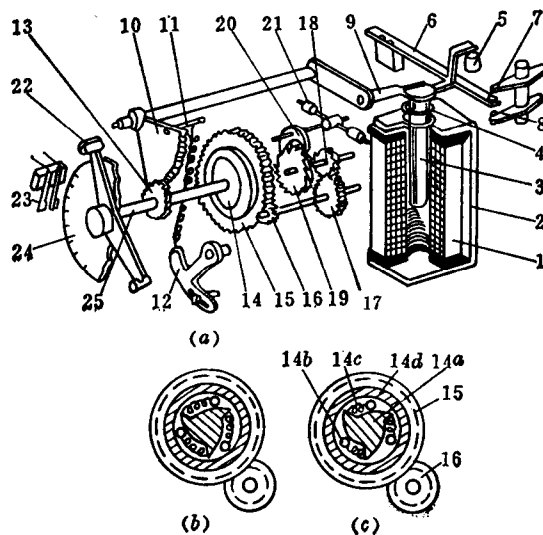


图 1-4 DS-100型电磁式时间继电器结构

(a)继电器结构图，(b)工作情况下的摩擦离合器，(c)返回情况下的摩擦离合器

1—线圈；2—磁路；3—衔铁；4—返回弹簧；5—扎头；6—可动瞬时接点；7、8—固定瞬时接点；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(14a—凸轮，14b—钢球，14c—弹簧，14d—钢环)；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

吸入电磁线圈中，因此放松了附在衔铁上的曲柄销 9，在主弹簧 11 的作用下，使扇形齿轮 10 顺时针方向转动，并传动齿轮 13，动接点 22 与它同轴的摩擦离合器 14 即开始逆时针方向转动，通过主动齿轮 15 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 22 按规定时间，经过一定行程去闭合静接点 23。

当线圈电流消失后，在返回弹簧 4 的作用下，通过曲柄销 9 立即使扇形齿轮 10 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。

图 1-5 所示为 DZ-10 型中间继电器的构造，当继电器线圈 2 中通过足够大的电流时，衔铁 3 被吸向电磁铁 1，这时装在衔铁 3 上的动接点 5 与静接点 4 接通，继电器便完成了动作。当线圈失电后，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 0.01~0.07 秒。

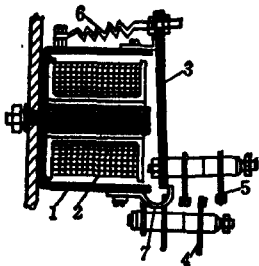


图 1-5 中间继电器

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

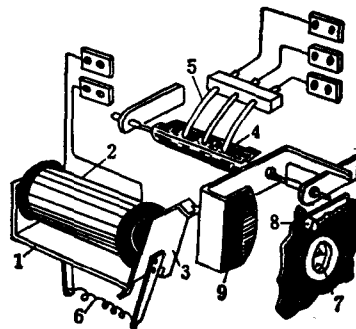


图 1-6 DX-11 型信号继电器结构

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—手动复位旋钮；9—信号牌

5. 信号继电器

信号继电器在继电保护和自动装置中，用来作为动作指示器，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 1-6 示出 DX-11 型信号继电器的原理结构。当线圈 2 没有电流时，衔铁 3 被弹簧 6 拉住，并且衔铁的边缘顶住信号牌 9，使信号牌处于水平位置。当线圈中通电流时，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4与静接点5接通，可以用来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旋钮8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，它们的接线如图1-7所示，继电器表示符号参见附录。

6. 干簧继电器

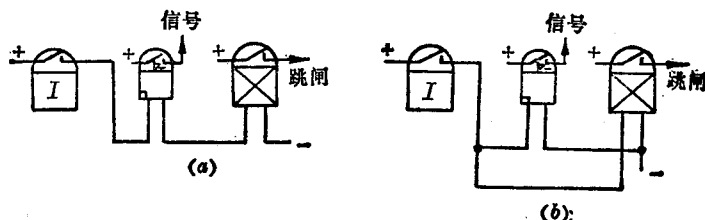


图 1-7 信号继电器的接线方式
(a)串联信号继电器；(b)并联信号继电器

干簧继电器的结构示意图如图1-8所示，线圈绕在框架上，框架中间放一密封玻璃管3，管内放有两支簧片2，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、银或铱等金属，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。

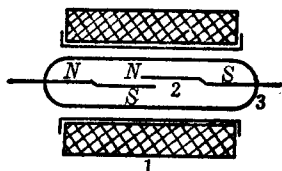


图 1-8 干簧继电器结构示意图
1—线圈，2—簧片，3—密封玻璃管

当线圈1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1-8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，接点打开。

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。

第三节 晶体管型继电器

一、构成晶体管型继电器的基本电路

晶体管型继电器一般由电压形成回路、比较回路和执行回路组成，下面将分别给予介绍。

1. 电压形成回路

在晶体管型继电器中，电压形成回路的任务是将电流互感器或电压互感器的强电交流

系统与晶体管弱电直流系统相隔离，并根据继电器动作要求，进行相应的电气变换，如把输入的交流电压或电流以及它们的相位，转换成便于测量的电压，以供给继电器需要的电压动作信号。图 1-9 表示单相式交流电压的形成回路，它由电压互感器二次侧引来的电压 $\dot{U}$ 经小型变压器 YB 降压，再整流和滤波，然后由电阻 R 分压得直流输出电压 U_{sc} 送到比较回路进行比较，最后送到执行元件，以确定继电器是否应动作。电阻 R 可以调节继电器的整定值。

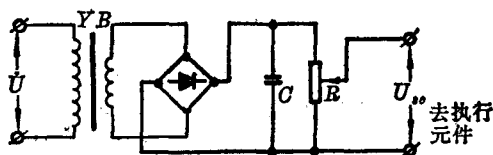


图 1-9 交流电压的形成回路

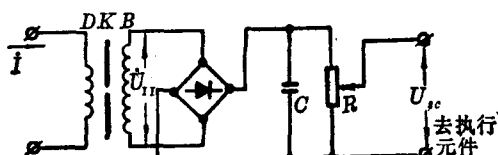


图 1-10 交流电流的形成回路

图 1-10 为交流电流的形成回路，它和图 1-9 交流电压的形成回路相同，只是中间变压器不同，这里采用电抗变压器或中间变流器，如图中采用电抗变压器 DKB 方案。 DKB 和普通变压器的差别是铁芯中有空气隙，因此励磁阻抗很小，一次电流基本上是励磁电流。 DKB 二次侧接整流滤波电路。当负载回路的等值阻抗很大时，二次线圈的电压和一次电流成正比。

交流电压的形成回路，还经常采用另一种方案，即中间变流器和电阻的方案，如图 1-11 所示，把电流互感器二次侧的输出电流 $\dot{I}$ 接到中间变流器 LB ， LB 的二次侧接一个电阻 R 。当 R 的数值比后面整流滤波等电路的等值电阻小很多时，电阻 R 上的电压降 $\dot{U}_{II}$ 与电流 $\dot{I}$ 成正比。为此，中间变流器的铁芯不应饱和，负载电阻 R 不能太大，但也不宜太小，否则灵敏度不够。

2. 比较回路

在晶体管型继电器中，通常采用绝对值比较回路，关于其原理及回路讨论如下，假设任意两电量 $\dot{A}$ 和 $\dot{B}$ ，其数学表达式为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{A} &= A e^{j\varphi_a} \\ \dot{B} &= B e^{j\varphi_b} \end{aligned} \right\}$$

比较两电量绝对值，就是只比较电量 $\dot{A}$ 、 $\dot{B}$ 幅值的大小，而不问它们的相位 φ_a 、 φ_b 的大小。向量 $\dot{A}$ 、 $\dot{B}$ 的绝对值分别用符号 $|\dot{A}|$ 与 $|\dot{B}|$ 表示。按比较两电量绝对值原理工作的继电器，其动作边界条件为：

$$|\dot{A}| = |\dot{B}|$$

当 $|\dot{A}| > |\dot{B}|$ 时，继电器动作；当 $|\dot{A}| < |\dot{B}|$ 时，继电器不动作。

常用的绝对值比较回路有两种方法，即均压法和环流法。

(1) 均压法比较回路 均压法比较回路的接线如图 1-12 所示。两电量 $\dot{A}$ 、 $\dot{B}$ 通过电压形成回路转换成电压 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ ，分别经过整流器接到电阻 R_1 和 R_2 。执行元件 JJ 用零指示器，或做成具有放大器的干簧继电器， Z_1 、 Z_2 分别为交流侧的等值阻抗，例如小变压

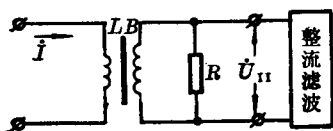


图 1-11 采用中间变流器和电阻的电压形成回路

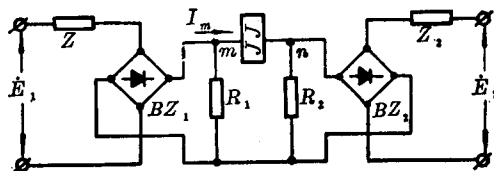


图 1-12 均压法比较回路

器的阻抗和调节用电阻等。

执行元件反应被比较量 $|\dot{E}_1|$ 与 $|\dot{E}_2|$ 差值的极性，只有当电流 I_m 如图中所示方向，即 m 点电位高于 n 点电位时，执行元件才动作；反之，则不应动作。

电阻 R_1 、 R_2 是两组整流器的负载。电阻 R_2 的另一个作用是在执行元件动作条件下，给电流 I_m 形成回路。如忽略整流器内二极管的压降，同时不考虑滤波器的作用，则电阻 R_1 、 R_2 上的电压（平均值）分别为：

$$\left. \begin{aligned} U_{R1} &= 0.9 \left| \frac{E_1 R_1}{Z_1 + R_1} \right| \\ U_{R2} &= 0.9 \left| \frac{E_2 R_2}{Z_2 + R_2} \right| \end{aligned} \right\}$$

执行元件动作的边界条件是 $U_{R1} = U_{R2}$ ， $I_m = 0$ ，故要求 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$ ，因此，均压法比较回路的参数必须满足以下平衡条件：

$$\left| \frac{R_1}{Z_1 + R_1} \right| = \left| \frac{R_2}{Z_2 + R_2} \right|$$

因此， R_1 、 R_2 不能任意选择，否则不能满足上式要求，致使均压法比较回路不能正常工作，甚至引起误动。

（2）环流法比较回路 环流法比较回路如图1-13所示，图中 $Z'_1 = Z_1 + R_1$ ， $Z'_2 = Z_2 + R_2$ ，其它元件的意义与图1-12相同。

两被比较电量 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 分别经过整流器接到执行元件，两组整流器 BZ_1 、 BZ_2 按环流法接线，执行元件并联在回路上，组成 I_1 和 I_2 电流回路，执行元件的电流 $I_m = I_1 - I_2$ ，当 $I_m > 0$ 即 $I_1 > I_2$ 时，执行元件动作。

由于晶体管型继电器中执行元件本身的电阻一般较小，当忽略整流器中二极管的压降和不考虑滤波器影响时，电流 I_1 和 I_2 可以写成：

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0.9 \left| \frac{\dot{E}_1}{Z_1 + R_1} \right| \\ I_2 &= 0.9 \left| \frac{\dot{E}_2}{Z_2 + R_2} \right| \end{aligned} \right\}$$

在动作边界条件下， $I_1 = I_2$ ，即 $I_m = 0$ ，从执行元件的动作条件，要求 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$ ，因此，环流法比较回路的参数必须满足以下平衡条件：

$$|Z_1 + R_1| = |Z_2 + R_2|$$

式中 Z_1 、 Z_2 是小变压器的阻抗，合理选择 R_1 和 R_2 ，即可满足这个要求。