



电力系统工程实践系列丛书

继电保护 自动装置工程实验

王永武 吴希再 等 主编

JIDIAN BAOHU

ZIDONG ZHUANGZHI

GONGCHENG SHIYAN



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

M774-33

1

电力系统工程实践系列丛书

继电保护 自动装置工程实验

王永武 吴希再 等 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容包括常规继电器特性试验, 输电线路电流电压常规保护试验, 电磁型三相一次重合闸试验, 输电线路的电流、电压微机保护试验, 输电线路距离保护试验, 变压器差动保护试验, 二次系统及光字牌说明等几部分。本书以继电器保护和微机保护相结合的方式, 一方面在概述基本保护原理的基础上, 重点讲解继电器的特性和计算, 继电器的测量、整定和现场试验, 以及在各种保护方式中的应用; 另一方面, 在以独立单元的形式讲解微机保护的基本逻辑关系的基础上, 结合部件特性, 重点讲解微机保护的应用与操作。

本书可作为高等院校本科相关专业的学生在专业基础课后的工程训练教材, 也可作为电力系统中继电保护工作人员、未上系统综自保变电站运行职工的培训和自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护自动装置工程实验/王永武等主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2007
(电力系统工程实践系列丛书)
ISBN 978-7-5084-4709-4

I. 继… II. 王… III. 继电自动装置—实验 IV.
TM774-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 077503 号

书 名	电力系统工程实践系列丛书 继电保护自动装置工程实验
作 者	王永武 吴希再 等 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 7.25 印张 172 千字
版 次	2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	19.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

高校学生参加工程训练是时代发展的要求，是培养自身综合素质，提高就业能力的要求，工程训练已经成为当代高校教育的必要环节。

本书是在作者长期从事继电保护工作的成果积累基础上，悉心设计，精选编撰而成。本书内容包括常规继电器特性试验，输电线路电流电压常规保护试验，电磁型三相一次重合闸试验，输电线路的电流电压微机保护试验，输电线路距离保护试验，变压器差动保护试验，二次系统及光字牌说明等部分。

本书涉及继电器和微机保护两种保护方式的工程训练内容，一是在介绍基本的保护原理基础上，重点讲述继电器的特性、计算、测量、整定、现场试验及其在各种保护方式中的应用；二是在介绍微机保护基本逻辑关系的基础上，结合部件特性，讲述微机保护的应用与操作。

本书可作为高等院校相关专业的本科生和研究生在完成专业基础课后的工程训练教材，也可作为涉及电力系统继电保护领域的运行、管理、维护人员的培训和自学用书。

本书在编撰过程中得到许多高校、电力行业、生产企业专家、技术人员的热心支持和帮助，并对本书内容提出了许多建设性修改意见，使本书最终顺利完成，在此向他们表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 发电厂变电所二次系统的基本概念	1
1.1.1 一次系统与二次系统的概念	1
1.1.2 断路器的控制回路和信号回路	1
1.2 继电保护的任务与作用原理及组成	1
1.2.1 作用原理	1
1.2.2 继电保护的组成	2
1.3 试验设备	3
1.3.1 试验设备	3
1.3.2 试验台面板布置	4
第 2 章 常规继电器特性试验	8
2.1 电磁型电压、电流继电器的特性试验	8
2.1.1 试验目的	8
2.1.2 继电器的类型与原理	8
2.1.3 试验内容	11
2.1.4 思考题	16
2.2 LG—11 型功率方向继电器特性试验	16
2.2.1 试验目的	16
2.2.2 LG—11 型功率方向继电器简介	16
2.2.3 试验内容	19
2.2.4 思考题	21
2.3 方向阻抗继电器特性试验	22
2.3.1 试验目的	22
2.3.2 LZ—21 型方向阻抗继电器简介	22
2.3.3 LZ—21 型方向阻抗继电器的接线方式	26
2.3.4 LZ—21 型方向阻抗继电器的特性	28
2.3.5 试验内容	30
2.3.6 思考题	34
2.4 LCD—4 型差动继电器特性试验	34
2.4.1 试验目的	34
2.4.2 LCD—4 型差动继电器简介	34

2.4.3 试验内容	36
2.4.4 思考题	39

第3章 输电线路电流电压常规保护试验 40

3.1 试验目的	40
3.2 基本原理	40
3.2.1 试验台一次系统原理图	40
3.2.2 电流电压保护试验基本原理	40
3.2.3 保护的整定值计算	46
3.2.4 常规电流保护的接线方式	47
3.3 试验内容	47
3.3.1 正常运行方式试验	47
3.3.2 短路故障方式试验	48
3.3.3 三相短路时Ⅰ段保护动作情况及灵敏度测试试验	49
3.3.4 两相短路时Ⅰ段保护动作情况及灵敏度测试试验	50
3.3.5 电流电压连锁保护试验	51
3.3.6 复合电压启动的过电流保护试验	51
3.3.7 保护动作配合试验	51
3.3.8 思考题	52

第4章 电磁型三相一次重合闸试验 53

4.1 试验目的	53
4.2 基本原理	53
4.2.1 DCH—1 重合闸继电器构成部件及作用	53
4.2.2 重合闸的动作原理	54
4.2.3 自动重合闸之前加速保护动作	55
4.2.4 自动重合闸后加速保护动作	56
4.2.5 断路器防止“跳跃”的基本概念	56
4.3 试验内容	56
4.3.1 重合闸继电器试验	56
4.3.2 三段式电流保护与自动重合闸装置综合试验	58
4.3.3 电流电压连锁保护与自动重合闸装置综合试验	59
4.3.4 复合电压启动的过电流保护与自动重合闸装置综合试验	59
4.3.5 断路器防止“跳跃”动作试验	59
4.3.6 思考题	60

第5章 输电线路的电流、电压微机保护试验 61

5.1 试验目的	61
----------------	----

5.2 基本原理	61
5.2.1 微型机保护系统的硬件	61
5.2.2 数据采集系统	62
5.2.3 输入输出回路	62
5.2.4 CPU 系统	62
5.2.5 微机保护的软件	63
5.3 试验内容	63
5.3.1 三段式电流微机保护试验	63
5.3.2 带时限电流速断保护灵敏度检查试验	65
5.3.3 过电流保护范围检验	65
5.3.4 三相短路时三段式保护各段范围检查	66
5.3.5 同站间保护配合试验	66
5.3.6 电流电压联锁微机保护试验	67
5.3.7 微机重合闸试验	68
5.3.8 微机保护与重合闸继电器配合试验	69
5.3.9 思考题	70
第 6 章 输电线路距离保护试验	71
6.1 试验目的	71
6.2 基本原理	71
6.2.1 阻抗保护的基本原理	71
6.2.2 距离保护的时限特性	72
6.2.3 阻抗继电器的基本构成原理	72
6.2.4 阻抗继电器的动作特性	73
6.3 试验内容	75
6.3.1 多边形阻抗保护动作特性试验	77
6.3.2 同站间微机距离保护动作配合试验	78
6.3.3 运行方式变化对阻抗保护动作影响的试验	79
6.3.4 微机重合闸试验	80
6.3.5 微机保护与重合闸继电器 DCH—1 配合试验	81
6.3.6 LZ—21 型阻抗继电器特性测试试验	81
6.3.7 思考题	83
第 7 章 变压器差动保护试验	84
7.1 试验目的	84
7.2 变压器纵联差动保护的基本原理	84
7.2.1 变压器保护的配置	84
7.2.2 变压器纵联差动保护基本原理	84

7.3 试验内容	87
7.3.1 微机变压器差动保护试验	87
7.3.2 用 LCD—4 差动继电器实现变压器差动保护试验	90
7.3.3 思考题	92
第 8 章 二次系统及光字牌说明	93
8.1 二次系统的基本概念	93
8.2 试验台二次系统的构成	93
8.2.1 转换开关 S_2	93
8.2.2 模拟断路器跳、合闸信号指示灯	93
8.2.3 各种光字牌指示	93
8.2.4 故障闪光灯	93
8.2.5 各种中央音像信号	94
8.2.6 连接片	94
附录 A ZNB—II 智能式多功能表使用说明	95
一、用途及特点	95
二、主要技术数据	95
三、使用方法	95
1. 频率测量方法	95
2. 相位测量方法	96
3. 时间测量方法	96
四、注意事项	97
附录 B 微机保护装置的使用方法	98
一、微机保护单元箱的面板布置	98
二、装置面板各部分的作用	98
1. 显示屏	98
2. 指示灯	100
3. 手动跳合闸操作区域	100
4. 装置电源开关	100
5. 键盘输入区域	101
三、装置整定值设置	101
四、装置整定值修改示例及注意事项	104
1. 微机保护装置整定值选组确定示例	104
2. 微机保护装置整定值修改示例	104
3. 微机保护装置使用注意事项	105
附录 C 小母线符号和回路标号	106
附录 D 二次直流回路数字标号	108

第 1 章 绪 论

1.1 发电厂变电所二次系统的基本概念

1.1.1 一次系统与二次系统的概念

发电厂和变电所的电气设备分为一次设备和二次设备。一次设备有发电机、变压器、断路器、隔离开关、电抗器、电力电缆以及母线、输电线路等。由这些设备按一定规律相互连接构成的电路称为一次接线或一次回路，它是发电、变电和输配电的主体。二次设备包括监察测量仪表、控制及信号器具、继电保护装置、自动装置、远动装置等。这些设备通常是由电流互感器、电压互感器、蓄电池组成或厂（所）用低压电源供电，表明它们互相连接关系的电路称为二次接线又称二次回路。二次回路的设备通常为低压设备。在发电厂和变电所中，虽然一次接线是主体，但是，要实现安全、可靠、优质、经济地发电、变电、输配电，二次接线同样是不可缺少的重要组成部分。特别是对于运行控制而言，二次接线显得更加重要。

1.1.2 断路器的控制回路和信号回路

在发电厂和变电所内对断路器的控制，按控制地点可分集中控制和就地控制两种。对主要设备，如发电机、主变压器、母线分段或母联、旁路断路器、35kV 及以上电压的线路以及高、低压厂用工作与备用变压器等采用集中控制，对 6~10kV 线路以及厂用电动机等采用就地控制。所谓集中控制就是集中在主控制室内进行控制，被控的断路器与主控制室之间一般都有几十米到几百米的距离。就地控制是指在断路器安装地点进行控制，可以大大地减少主控制室的建筑面积和节省控制电缆。

断路器的控制通常是通过电气回路来实现的，为此必须有相应的二次设备，在主控制室的控制屏上应当有能发出跳闸、合闸命令的控制开关，在断路器上应当有执行命令的操动机构（跳闸、合闸线圈）。

1.2 继电保护的 task 与作用原理及组成

1.2.1 作用原理

电力系统中发生故障和出现不正常运行情况时，系统正常运行遭到破坏，以致造成对用户的停止供电或少供电，有时甚至破坏设备。

为了预防事故或缩小事故范围，提高电力系统运行的可靠性，最大限度地保证向用户安全连续供电，在电力系统中，必须有专门的继电保护装置。

继电保护装置必须能正确区分被保护元件是处于正常运行还是发生故障，必须能正确区分被保护元件是处于区内故障还是区外故障，保护装置要实现这些功能，需要根据电力

系统发生故障前后电气物理量发生变化的特征为基础来构成, 举例如下。

- (1) 根据短路故障时电流的增大, 可构成过电流保护。
- (2) 根据短路故障时电压的降低, 可构成低电压保护。
- (3) 根据短路故障时电流与电压之间相角的变化, 可构成功率方向保护。
- (4) 根据短路故障时电压与电流比值 ($\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$) 的变化, 可构成距离保护。
- (5) 根据故障时, 被保护元件两端电流相位和大小的变化, 可构成差动保护。
- (6) 根据不对称短路时, 出现的电流、电压的相序分量, 可构成零序电流保护, 负序电流保护及零序和负序功率方向保护等。

1.2.2 继电保护的组成

继电保护实质上是一种自动控制装置, 根据控制过程信号性质的不同, 可以分为模拟型和数字型两大类。多年来应用的常规继电保护装置都属于模拟型, 而 20 世纪 70 年代发展的计算机保护则属于数字型, 虽然这两类保护的实现方法和构成各不相同, 但其基本原理是相同的。继电保护根据被保护的_{对象}不同, 又分为元件保护和线路保护两类。元件保护指发电机、变压器、_{母线和电动机}等元件的保护; 线路保护指电力网及电力系统中输电线路的保护。

继电保护的构成方式虽然很多, 但一般均由测量回路、逻辑回路和执行回路三部分组成, 其方框图如图 1-1 所示, 测量回路 1 的作用是测量被保护设备物理量 (如电流、电压、功率方向) 的变化, 以确定电力系统是否发生故障和不正常工作情况, 然后输出相应的信号至逻辑回路。逻辑回路 2 的作用是根据测量回路的输出信号进行逻辑判断, 以确定是否向执行回路发出相应的信号。执行回路 3 的作用是根据逻辑回路的判断执行保护的任_务, 跳闸或发出信号。

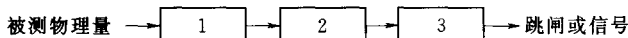


图 1-1 继电保护的方框图

现以电磁型线路过电流保护为例来说明继电保护装置的组成和作用原理。

图 1-2 示出其单相原理图。电力系统正常运行时, 测量回路 (电流继电器 KA 的线圈回路) 流过的是负荷电流, 继电器 KA 的触点不闭合, 没有输出信号至逻辑回路 (时间继电器 KT 的线圈回路), 断路器不会跳闸。当电力系统发生故障时, 测量回路电流增大, 电

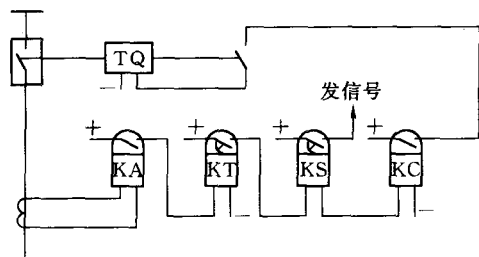


图 1-2 电磁型线路过电流保护的单相原理图

流继电器 KA 的触点闭合, 接通逻辑回路, 经逻辑判断 (此电路为延时判断) 后, 时间继电器的触点闭合, 接通执行回路 (信号继电器 KS 的线圈), 经过中间继电器 KC 使断路器跳闸。

由图 1-2 可以看到:

- (1) 电磁型继电保护是由若干个不同功能的继电器组合而成的。例如, 用电流继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器可以组合成电流保护, 用电流、低压、时间、中间、

信号等继电器可以组合成低压闭锁过流保护。同样,用阻抗继电器、差动继电器和时间、中间、信号等继电器的组合,可构成距离保护、差动保护等。

(2) 所有电磁型继电器都具有可动的触点,继电器是否动作,容易看到,对于继电保护的初学者,易于理解接受,因此,机电型继电器常常被作为继电保护的基础内容。

1.3 试验设备

1.3.1 试验设备

以 DJZ—Ⅲ型电气控制与继电保护试验台为例,DJZ—Ⅲ型电气控制与继电保护试验台是为各种继电器特性试验,变压器常规和微机差动保护试验,模拟线路电流电压常规保护和微机保护试验以及常规距离保护和微机距离保护试验的装置,试验台上设有各种常规电磁式继电器和线路模型、变压器和微机型继电保护装置等组成。

(1) 试验台上装有漏电保护,确保试验进程安全。

(2) 试验台既配有常规的各种电磁式继电器、常规和微机的电流电压保护和距离保护又有线路模型,还可以完成常规和微机的变压器差动保护。试验人可根据设置的短路点,模拟线路故障情况,还可以自行设计保护接线,提高动手能力和分析能力。

(3) 试验台的微机保护含有电流、电压保护;阻抗保护;变压器差动保护三种功能,可以分别做三种保护试验。

(4) 试验台的微机保护,具有自诊断功能、事故记录和事件顺序记录功能。能显示各种信息,调试方便,有利于试验活动。

(5) 试验台的微机保护可以进行现场手动跳闸、合闸操作,如配置上位机和有关软件包时,可实现遥测、遥信和遥控功能,可远程监测和修改下位机的整定值设置。

装置外形图如图 1-3 所示。

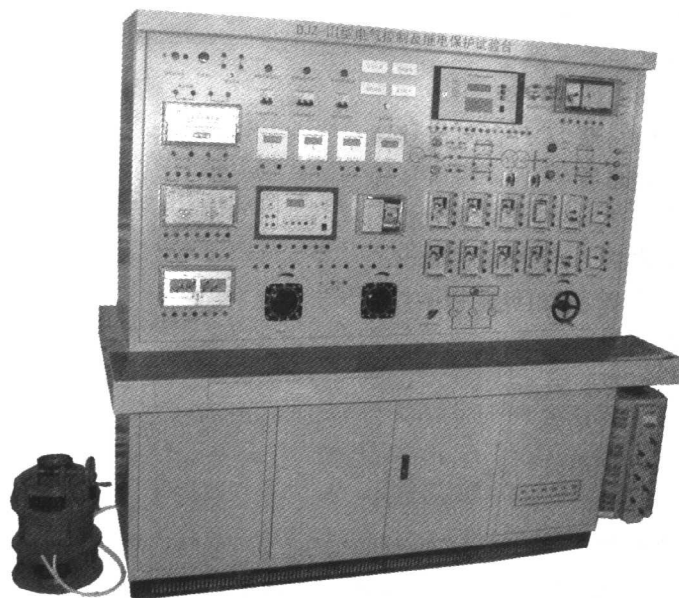


图 1-3 DJZ—Ⅲ型电气控制及继电保护试验台外形图

一次系统图如图 1-4 所示。

试验台面板布置图如图 1-5 所示。

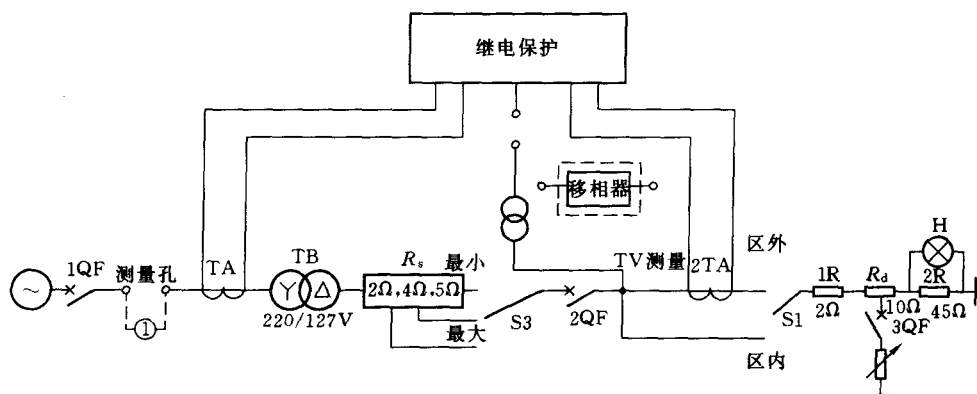


图 1-4 DJZ—Ⅲ型一次系统图

1.3.2 试验台面板布置

本书中所介绍的试验内容涉及的部分设备，其符号代号及作用定义如下：

H1	动作信号
H2	闪光灯
H3	单相电源指示灯
H4	三相电源指示灯
H5	直流电源指示灯
H6	手动合闸光字牌
H7	手动分闸光字牌
H8	故障动作光字牌
H9	重合闸动作光字牌
H10	模拟断路器 2QF 合闸信号灯
H11	模拟断路器 2QF 合闸信号灯
H12	模拟线路 L1 相负载指示灯
H13	模拟线路 L2 相负载指示灯
H14	模拟线路 L3 相负载指示灯
S	操作开关
S _D	单相电源开关
S _S	三相电源开关
S _Z	直流电源开关
S _{FT}	防跳开关
S _{CH}	重合开关
S _{JS}	加速方式选择开关（有前加速，不加速，后加速）
GLJ	功率方向继电器

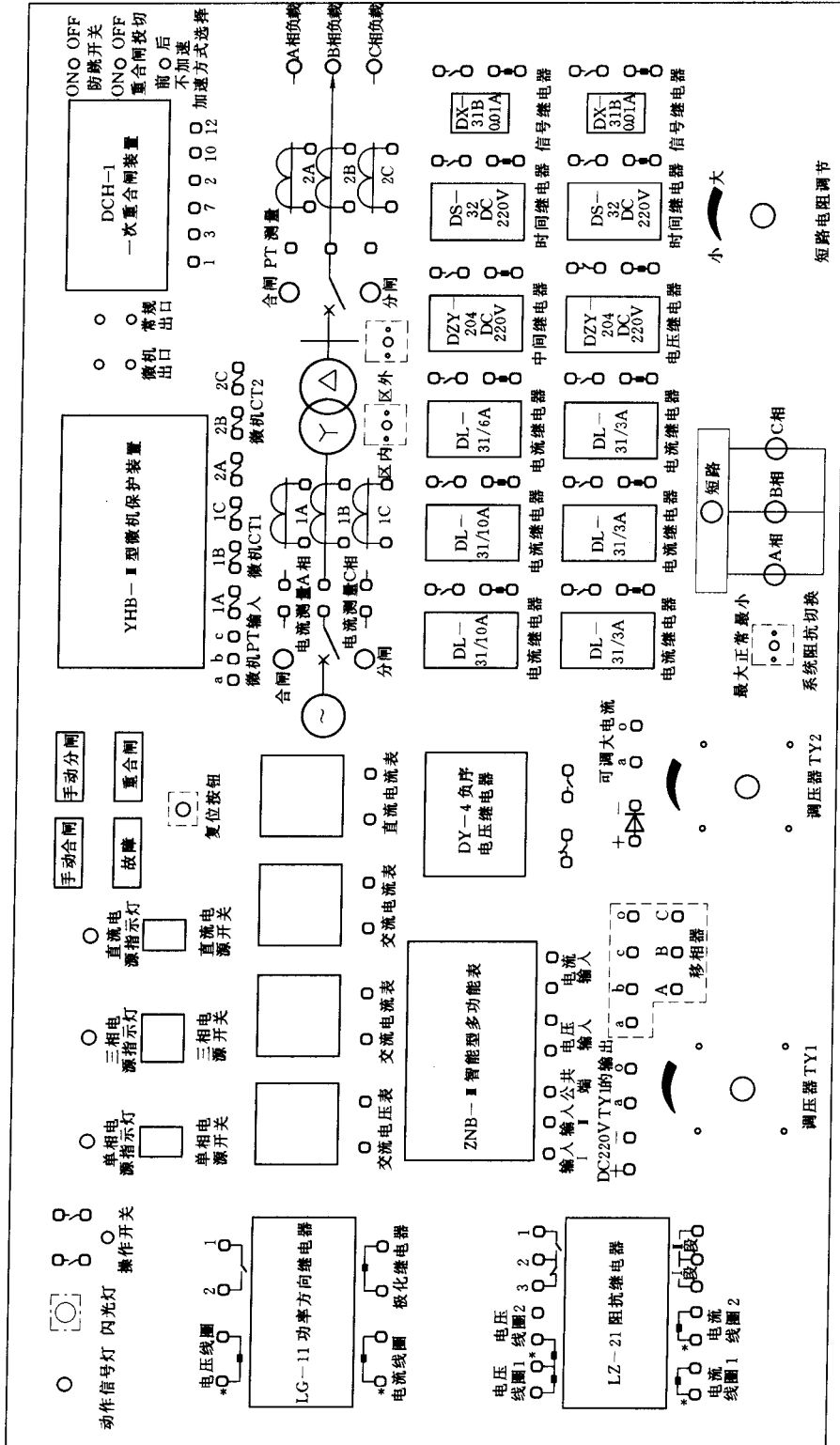


图 1-5 DJZ—III 型电气控制及继电保护试验台面板布置图

KD	差动继电器
KI	方向阻抗继电器
KVN	负序电压继电器
KRC	电磁式三相一次重合闸继电器
KA	电流继电器
KV	电压继电器
KT	时间继电器
KS	信号继电器
KC	中间继电器
GC1	交流 220V 电源 (单相调压器 TY1) 输出接线柱 (U、N)
GC2	三相交流电源输出接线柱 (U、V、W、N)
GC3	直流 220V 电源输出接线柱 (+, -)
GC4	交流 220V 电源 (单相调压器 TY2) 输出接线柱 (U、N)
GC5	移相器输出接线柱 (L1, L2, L3)
GC6	电流、电压量测试孔
GC7	1TA 二次侧测试孔
GC8	TV 测试孔
GC9	2TA 二次侧测试孔
XB1	微机保护出口投退连接片
XB2	常规保护出口投退连接片
1SK	模拟断路器 1QF 的合闸按钮
1SKP	模拟断路器 1QF 的分闸按钮
2SK	模拟短路开关
SA、SB、SC	分别是 A、B、C 三相模拟短路选择开关
S1	模拟变压器差动保护区内、区外故障转换开关, 设有“区内”、“区外”、“线路”三个选择挡
S2	手动跳合闸及信号控制开关, 设有“合闸”、“分闸”二挡, 中间为自恢复位点
S3	模拟系统阻抗切换开关, 设有“最大”、“正常”、“最小”三个选择挡
ZNB—II	型智能式多功能表 (其使用方法见附录 1 中的说明)
WB	微机保护箱 (其使用方法见附录 B 的说明)
1QF、2QF	分别为线路段两个模拟断路器
3QF	故障模拟断路器
R_d	线路段三相模拟电阻, 阻值分别为每相 10Ω
R_l	限流电阻, 阻值为每相 2Ω
R_s	系统模拟阻抗, $R_{s,\min}=2\Omega$, $R_{s,n}=4\Omega$, $R_{s,\max}=5\Omega$
TT	自耦调压器
YX	移相器

基本试验:

- (1) 模拟系统正常、最小、最大运行方式试验
- (2) 模拟系统短路运行方式试验
- (3) 学习和设计完成变电站电流保护的接线
- (4) 保护装置的動作电流校验和動作电压校验试验
- (5) 模拟系统短路保护動作试验
- (6) 低电压闭锁电流保护装置的動作试验
- (7) 保护装置的動作时间整定试验
- (8) 电流速断保护灵敏度检查试验
- (9) 低电压闭锁速断保护灵敏度检查试验
- (10) 复合电压过流保护试验
- (11) 保护動作时间配合试验
- (12) 微机线路保护（包括线路电流电压保护和阻抗保护）试验
- (13) 运行方式对保护灵敏度影响试验
- (14) 常规保护配合试验
- (15) 常规保护与微机保护配合试验
- (16) 电磁式三相一次重合闸和微机重合闸试验
- (17) 变压器差动保护试验（包括常规差动保护和微机差动保护）
- (18) 遥测、遥信和遥控试验（附加功能）
- (19) 远方控制下位机整定值的浏览和修改（附加功能）

DJZ—Ⅲ型电气控制与继电保护试验台上的 ZNB—Ⅱ智能式多功能表的使用方法见附录 A。微机保护箱的使用方法见附录 B。

第 2 章 常规继电器特性试验

2.1 电磁型电压、电流继电器的特性试验

2.1.1 试验目的

- (1) 了解继电器基本分类方法及其结构。
- (2) 熟悉几种常用继电器，如电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等的构成原理。
- (3) 学会调整、测量电磁型继电器的动作值、返回值和计算返回系数。
- (4) 测量继电器的基本特性。
- (5) 学习和设计多种继电器配合试验。

2.1.2 继电器的类型与原理

继电器是电力系统常规继电保护的主要元件，它的种类繁多，原理与作用各异。

2.1.2.1 继电器的分类

继电器按所反应的物理量的不同可分为电量与非电量两种。属于非电量的有瓦斯继电器、速度继电器等；反应电量的种类比较多，一般有如下几种分类。

- (1) 按结构原理分为：电磁型、感应型、整流型、晶体管型、微机型等。
- (2) 按继电器所反应的电量性质可分为：电流继电器、电压继电器、功率继电器、阻抗继电器、频率继电器等。
- (3) 按继电器的作用分为：启动动作继电器、中间继电器、时间继电器、信号继电器等。

近年来电力系统中已大量使用微机保护，整流型和晶体管型继电器以及感应型、电磁型继电器使用量已有减少。

2.1.2.2 电磁型继电器的构成原理

继电保护中常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、信号继电器、阻抗继电器、功率方向继电器、差动继电器等。下面仅就常用的电磁型继电器的构成及原理作简要介绍。

1. 电磁型电流继电器

电磁型继电器的典型代表是电磁型电流继电器，它既是实现电流保护的基本元件，也是反应故障电流增大而自动动作的一种电器。

下面通过对电磁型电流继电器的分析，来说明一般电磁型继电器的工作原理和特性。图 2-1 为 DL 系列电流继电器的结构图，它由固定触点 1、可动触点 2、线圈 3、铁心 4、弹簧 5、转动舌片 6、止挡 7 所组成。

当线圈中通过电流 I_{KA} 时, 铁心中产生磁通 Φ , 它通过由铁心、空气隙和转动舌片组成的磁路, 将舌片磁化, 产生电磁力 F_e , 形成一对力偶。由这对力偶所形成的电磁转矩, 将使转动舌片按磁阻减小的方向 (即顺时针方向) 转动, 从而使继电器触点闭合。电磁力 F_e 与磁通 Φ 的平方成正比, 即:

$$F_e = K_1 \Phi^2$$

其中 $\Phi = I_{KA} N_{KA} / R_C$

所以 $F_e = K_1 I_{KA}^2 N_{KA}^2 / R_C^2$

式中 N_{KA} ——继电器线圈匝数;

R_C ——磁通 Φ 所经过的磁路的磁阻。

分析表明, 电磁转矩 M_e 等于电磁力 F_e 与转动舌片力臂 l_{KA} 的乘积, 即:

$$M_e = F_e l_{KA} = K_1 l_{KA} \frac{N_{KA}^2}{R_C^2} I_{KA}^2 = K_2 I_{KA}^2 \quad (2-1)$$

式中 K_2 ——与磁阻、线圈匝数和转动舌片力臂有关的一个系数, $K_2 = K_1 l_{KA} \frac{N_{KA}^2}{R_C^2}$ 。

从式 (2-1) 可知, 作用于转动舌片上的电磁力矩与继电器线圈中的电流 I_{KA} 的平方成正比, 因此, M_e 不随电流的方向而变化, 所以, 电磁型结构可以制造成交流或直流继电器。除电流继电器之外, 应用电磁型结构的还有电压继电器、时间继电器、中间继电器和信号继电器。

为了使继电器动作 (衔铁吸持, 触点闭合), 它的平均电磁力矩 M_e 必须大于弹簧及摩擦的反抗力矩之和 ($M_s + M$)。所以由式 (2-1) 得到继电器的动作条件是:

$$M_e = l_{KA} K_1 \frac{N_{KA}^2}{R_C^2} I_{KA}^2 \geq M_s + M \quad (2-2)$$

当 I_{KA} 达到一定值后, 上式即能成立, 继电器动作。能使继电器动作的最小电流称为继电器的动作电流, 用 I_{OP} 表示, 在式 (2-2) 中用 I_{OP} 代替 I_{KA} 并取等号, 移项后得:

$$I_{OP} = \frac{R_C}{N_{KA}} \sqrt{\frac{M_s + M}{K_1 l_{KA}}} \quad (2-3)$$

从式 (2-3) 可见, I_{OP} 可用下列方法来调整:

- (1) 改变继电器线圈的匝数 N_{KA} ;
- (2) 改变弹簧的反作用力矩 M_s ;
- (3) 改变能引起磁阻 R_C 变化的气隙 δ 。

当 I_{KA} 减小时, 已经动作的继电器在弹簧力的作用下会返回到起始位置。为使继电器返回, 弹簧的作用力矩 M_s 必须大于电磁力矩 M_e 及摩擦的作用力矩 M 。继电器的返回条件是:

$$M'_s \geq M'_e + M' = K'_2 l_{KA} \frac{N_{KA}^2}{R_C'^2} I_{KA}^2 + M' \quad (2-4)$$

当 I_{KA} 减小到一定数值时, 上式即能成立, 继电器返回。能使继电器返回的最大电流称为继电器的返回电流, 并以 I_{re} 表示。在式 (2-4) 中, 用 I_{re} 代替 I_{KA} 并取等号且移项后得:

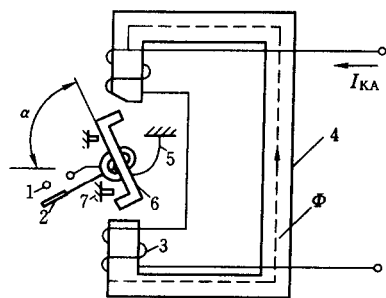


图 2-1 DL 系列电流继电器