

电力工业学校重点教材

继电保护(I)

广东省电力工业学校 翁昭桦 主编

China Electric Power Press

中国电力出版社

继电保护(I)

广东省电力工业学校 翁昭桦 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为电力工业学校统编教材。全书分为七章,主要内容为:绪论部分;10~35kV 中性点非直接接地电网中输电线路的继电保护,其中包括阶段式不带方向或带方向的电流、电压保护、小电流接地信号装置、短线路的纵联差动保护、平行线路的横联差动保护等;110~220kV 中性点直接接地电网输电线路的继电保护,其中包括阶段式零序方向电流保护、阶段式距离保护、高频保护等;330~500kV 中性点直接接地电网的线路继电保护简介;输电线路的微机保护;电力变压器保护;发电机保护;母线保护。

本书作为电力系统继电保护课程的第Ⅰ模块教材,以介绍继电保护的基本原理为主。为了便于学生入门,本书仍多以传统的继保装置为例,并适当介绍继保的新原理和新技术。为配合教学,每章均有导读,每章附有自测题。本书可作为电力工业学校三、四年制发电厂及变电站电气运行与检修专业的电力系统继电保护课程模块教材,也可供从事电气运行工作及继电保护工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护(Ⅰ)/翁昭桦主编. —北京:中国电力出版社, 1999

电力工业学校重点教材

ISBN 7-5083-0010-6

I. 继… II. 翁… III. 继电保护—专业学校—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 05918 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1999 年 9 月第一版 2003 年 1 月北京第五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 345 千字

印数 20001—23000 册 定价 25.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

近年来,电力职业技术教育在结构改革过程中,创建了将中专和技校融为一体的新型办学模式——形成统一的电力工业学校,与此同时,进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可或缺的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足电力工业学校教学工作的急需,并促进教学质量不断提高,从1996年底开始,便着手组织力量进行教材改革的研究、探索和教材建设的安排部署,先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组,制订了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》,组建了电力工业学校教材编审委员会,并于1997年末在电力职业技术教育委员会各教学研究会和网、省电力公司教育部门推荐的基础上,经过审议,遴选确定了电力工业学校第一批(23种)重点教材编审出版计划。

为了加快教材建设步伐,繁荣教材创作局面,电力工业学校教材建设采取点面结合、统分结合的方法,以重点教材带动一般教材。重点教材的建设旨在对教材改革起重点研究、典型引路、以点带面的龙头作用。这批重点教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标,突出教材的定向性或针对性,以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求,作为界定教材内容的依据,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论同实践紧密结合,传授知识同培训技能紧密结合;精选教材内容,删繁就简,返璞归真,充实技术性、工艺性、实用性的内容,而且体现先进性和科学性的原则;注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些论证,减少不必要的数学推导;在内容的编排、组合上,一是最大限度地做到模块化,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段、不同专业采用,二是使理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际训练为轴心,把讲授、实验、实习融于一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。预期经过几年的努力,会形成一套具有电力职业技术教育特色,以职业能力培养为主线,门类比较齐全,形式比较多样,并能与其他教育相衔接,兼顾职工培训需要的教材体系。

中国电力企业联合会教育培训部
电力工业学校教材编审委员会

1998年9月

前 言

《继电保护(I)》是电力工业学校发电厂及变电站电气运行与检修专业(3、4年制)的一门主干课程,是按照中国电力企业联合会教育培训部1996年11月颁发的教学计划(试行)和电气类专业教研会组织审定过的教学大纲为依据进行编写的。

本书是电力工业学校教材编审委员会确定的重点教材。遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路,力求贯彻以能力为本位的思想。本书作为电力系统继电保护课程的第I模块教材,以介绍继电保护的基本概念、基本原理为主。因此,在继电保护装置的选型上,注意严加精选,删繁就简,多以传统保护装置为例,以便于学生对基本原理的理解和掌握。同时,教材也适当介绍继电保护的新原理和新技术,以适应电力系统继电保护技术的飞速发展。在教材的阐述方法上,注意理论与实践的结合,顾及学生的知识水平,力求循序渐进,通俗易懂。每章均有导读和自测题(自测题中带*的为附加题)。全书使用国家新标准电气设备文字符号和图形符号。

本书由广东省电力工业学校翁昭桦高级讲师主编,并编写第一、二章及第三章第一、二、三、五、六节。武汉电力学校张晓春讲师编写第三章第四节和第四、五、六、七章。成都水力发电学校郑自奎高级讲师主审全书。

本书在编写过程中,得到许昌继电器厂、南京自动化研究院等单位提供的技术资料,武汉电力学校、保定电力学校、成都水力发电学校、福州电力技术学校等单位的有关同志提出了宝贵意见,在此谨表谢意。

对于书中存在的缺点和不足之处,恳请广大读者批评指出。

编 者

1999年10月

符 号 说 明

一、设备、元件、名词符号(括号内为旧符号)

T(B)	变压器	V(D)	二极管
G(F)	发电机	V(WY)	稳压管
QF(DL)	断路器	k, k ₁ ... (d)	故障点
TA(LH)	电流互感器	C	电容器
TV(YH)	电压互感器	R _t (R _{gd})	过渡电阻
TAS(LB)	电流变换器	LT(TQ)	断路器跳闸线圈
TVS(YB)	电压变换器	U(ZB)	整流器
TX(DKB)	电抗变压器	L	输电线路、电感线圈
V(T)	晶体三极管	Z(XLG)	滤波器(正序、负序、零序)

二、电压、电流、阻抗符号(括号内为旧符号)

E_A, E_B, E_C	电源的三相电势	$I_{K \cdot \min} (I_{d \cdot \min})$	最小短路电流
U_A, U_B, U_C	母线或保护安装处三相电压	I_1, I_2, I_0	正、负、零序电流
U_{k1}, U_{k2}, U_{k0}	短路点正、负、零序电压	$I_{\text{unp}} (I_{\text{bp}})$	不平衡电流
U_N	额定电压	$I_{L \cdot \max} (I_{\text{fh} \cdot \max})$	最大负荷电流
$U_{\text{unb}} (U_{\text{bp}})$	不平衡电压	I_N	额定电流
U_{kA}, U_{kB}, U_{kC}	短路点三相电压	R	电阻
$U_p (U_x)$	相电压	X	电抗
$U_{\text{pp}} (U_{x-x})$	相间电压	Z_{Σ}	总阻抗
$U_{\text{rem}} (U_{\text{cy}})$	母线残压	$Z_{L \cdot \min}$	最小负荷阻抗
I_A, I_B, I_C	三相电流	$Z_S (Z_{\text{xt}})$	系统阻抗
$I_{K \cdot \max} (I_{d \cdot \max})$	最大短路电流	I_{ss}	静稳电流

三、保护及继电器的有关参数(括号内为旧符号)

$I_{\text{op}} (I_{\text{dz}})$	保护的動作电流	$Z_{\text{op}} (Z_{\text{dz}})$	保护的動作阻抗
$I_r (I_h)$	保护的返回电流	$Z_r (Z_h)$	保护的返回阻抗
$U_{\text{op}} (U_{\text{dz}})$	保护的動作电压	$I_{K \cdot \text{op}} (I_{\text{dz} \cdot \text{J}})$	继电器的動作电流
$U_r (U_h)$	保护的返回电压	$I_{K \cdot r} (I_{h \cdot \text{J}})$	继电器的返回电流

$U_{K\cdot op}(U_{dz\cdot J})$	继电器的动作电压	KHT (STJ)	手动跳闸继电器
$U_{K\cdot r}(U_{h\cdot J})$	继电器的返回电压	KAT (JSJ)	加速时间继电器
$Z_{K\cdot op}(Z_{dz\cdot J})$	继电器的动作阻抗	KATR(JSCJ)	加速时间继电器
$Z_{K\cdot r}(Z_{h\cdot J})$	继电器的返回阻抗	KPD (GJ)	功率方向继电器
$Z_{set}(Z_{zl})$	继电器的整定阻抗	KPDZ	零序功率方向继电器
$I_K(I_J)$	加入继电器的电流	KR (ZJ)	阻抗继电器
$U_K(U_J)$	加入继电器的电压	KSPA (FJJ)	分相后加速继电器
$Z_K(Z_J)$	继电器的测量阻抗	KSC (QHJ)	切换继电器
φ_L	线路阻抗角	KBL (DBJ)	断线闭锁继电器
$\varphi_{sen}(\varphi_{lm})$	最大灵敏角	KL (BCJ)	总闭锁继电器
$\varphi_{ld}(\varphi_{fn})$	负荷阻抗角	KLR (BJC)	总闭锁继电器重动继电器
K (J)	继电器	KOL (BZJ)	振荡闭锁继电器
KS (XJ)	信号继电器	XB (LP)	连接片
KG	气体继电器	XS (QP)	切换片
KD (CJ)	差动继电器	KSS	停信继电器
KM (ZJ)	中间继电器	KGS	起动发信接口继电器
KOM (CKJ)	保护出口继电器	KHCM	手动合闸与重合闸控制的合闸中间接口继电器
KV (YJ)	电压继电器	SD	灭磁开关
KA (LJ)	电流继电器	KOS	合闸位置继电器
KR (HJ)	簧片继电器	KTS (TG)	跳闸固定继电器
KP (JJ)	极化继电器	KVI	断线监视继电器
KST (QDJ)	起动继电器	KPC	相位比较继电器
KT (SJ)	时间继电器	KAB	电流平衡继电器
KHC (SHJ)	手动合闸继电器		

四、常用系数 (括号内为旧符号)

$K_{rel}(k_k)$	可靠系数	$K_{ast}(k_{zg})$	电动机自起动系数
$K_r(k_h)$	返回系数	$K_{ss}(k_{tx})$	同型系数
$K_{sen}(k_{lm})$	灵敏系数	$K_{aper}(k_{fq})$	非周期分量系数
$K_{con}(k_{jx})$	接线系数	$K_{TA}(n_L)$	电流互感器变比
$K_{br}(k_{fx})$	分支系数	$K_{TV}(n_Y)$	电压互感器变比
$K_{co}(k_{ph})$	配合系数		

目 录

序

前言

符号说明

第一章 绪论	1
导读	1
第一节 电力系统继电保护的的任务	1
第二节 电力系统故障状态的基本特征及继电保护的基本概念	2
第三节 电力系统对继电保护的基本要求	9
第四节 继电保护技术发展简史	12
自测题	12
第二章 10~35kV 中性点非直接接地电网中输电线路的继电保护	13
导读	13
第一节 10~35kV 中性点非直接接地电网中输电线路的继电保护基本配置	13
第二节 阶段式电流保护	14
第三节 阶段式方向电流保护	42
第四节 小电流接地信号装置	52
第五节 短线路的纵联差动保护	59
第六节 平行线路横联方向差动保护	61
第七节 对 10~35kV 中性点非直接接地电网线路保护的评价	68
自测题	70
第三章 110~220kV 中性点直接接地电网输电线路的继电保护	72
导读	72
第一节 110~220kV 中性点直接接地电网输电线路继电保护的基本配置	72
第二节 阶段式零序电流方向保护	74
第三节 阶段式距离保护	83
第四节 高频保护	129
第五节 330~500kV 中性点直接接地电网的线路继电保护简介	150
第六节 对 110~220kV 中性点直接接地电网线路保护的评价	152
自测题	153
第四章 输电线路的微机保护	156
导读	156
第一节 微机保护的构成原理	156
第二节 微机保护算法介绍	159
第三节 微机保护装置介绍	162

自测题	169
第五章 电力变压器保护	170
导读	170
第一节 概述	170
第二节 变压器的互差保护	171
第三节 变压器的纵联差动保护	73
第四节 变压器接地故障的后备保护	189
第五节 变压器相间故障的后备保护及过负荷保护	192
第六节 电力变压器保护配置举例	195
自测题	197
第六章 发电机保护	199
导读	199
第一节 概述	199
第二节 发电机的纵差动保护	201
第三节 发电机的匝间短路保护	204
第四节 发电机定子绕组单相接地保护	206
第五节 发电机励磁回路接地保护	211
第六节 发电机的失磁保护	213
第七节 发电机负序电流保护及过负荷保护	217
第八节 发电机逆功率保护及后备保护	220
第九节 发电机——变压器组保护的特点及其配置图	222
自测题	227
第七章 母线保护	228
导读	228
第一节 概述	228
第二节 完全电流差动母线保护	229
第三节 双母线同时运行时故障母线的选择	230
第四节 断路器失灵保护简介	233
自测题	234
参考文献	235

第一章 绪 论

导 读

本章阐述了电力系统继电保护在电力系统中的作用，简述了反应电力系统各种故障状态下电气量变化特征的继电保护基本构成原理，力图使读者对继电保护建立起一个初步的总体概念。对继电保护的四个基本要求是贯穿全书的一条基线，它是评价和应用继电保护的依据，应注意掌握其概念及四个基本要求之间的内在联系，并能熟练地应用，使确定的继电保护方案在技术上安全可靠，投资上经济合理。

本章的教学目的是了解继电保护的作用，继电保护装置的基本原理和构成方式、继电保护的技术发展史，掌握对继电保护的基本要求。

第一节 电力系统继电保护的任務

由于雷击等自然条件的影响，以及设备制造质量、运行维护等方面因素，电力系统在运行中将不可避免地出现故障及不正常工作状态。最常见和最危险的故障是各种类型的短路，如三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路以及电机和变压器同一相绕组不同线匝之间的匝间短路等。电力系统正常工作状态遭到破坏、但未形成故障，称为不正常工作状态。例如，电气设备的过负荷、功率缺额引起系统频率的下降，水轮发电机突然甩负荷引起的过电压等都属于不正常工作状态。

电力系统短路故障可能引起的后果：如故障设备因短路点电弧的燃烧而损坏；如故障回路中的设备因短路电流产生的热效应和电动力效应而受损；用户的正常工作因电力系统电压的大幅度下降而遭到破坏，产品质量因此受到影响；电力系统运行的稳定性因短路故障而受到破坏，引起系统振荡，甚至电力系统瓦解，造成大面积停电的恶性事故。

无论电力系统发生故障或不正常工作状态，都应及时的正确处理，否则都可能导致对用户少送电，或电能质量指标超出允许范围，甚至发生人身伤亡及设备损坏事故。

电力系统继电保护的基本任务是：

(1) 有选择性地故障元件从电力系统中快速、自动地切除，使其损坏程度减至最轻，并保证系统其他无故障部分继续运行。

(2) 反应系统的不正常工作状态，一般通过发出警报信号，提醒值班人员处理。在无人值班情况下，继电保护装置可视设备承受能力作用于减负荷或延时跳闸。

由此可见，继电保护是电力系统中的一种反事故自动装置，它在电力系统中的地位是十分重要的。电力系统的发展离不开继电保护，同时也促进了继电保护技术的发展。

第二节 电力系统故障状态的基本特征 及继电保护的基本概念

一、电力系统故障状态的基本特征

电力系统故障状态的基本特征是继电保护工作的判据。以图 1-1 (a) 为例分析电力系统正常运行时各参数量之间的关系。图中各线路均流过负荷电流, 分别为: $\dot{I}_{ML}$ 、 $\dot{I}_{NL}$ 、 $\dot{I}_{PL}$ 。各变电所母线上的电压, 一般在额定电压的 $\pm(5 \sim 10)\%$ 范围内变化。在每条线路送端的负荷阻抗可表示为

$$Z_{ML} = \dot{U}_{Mph} / \dot{I}_{ML} \quad (1-1)$$

$$Z_{NL} = \dot{U}_{Nph} / \dot{I}_{NL} \quad (1-2)$$

式中 $\dot{U}_{Mph}$ 、 $\dot{U}_{Nph}$ ——母线 M、N 的相电压;
 $\dot{I}_{ML}$ 、 $\dot{I}_{NL}$ ——线路 MN、NP 中的负荷电流。

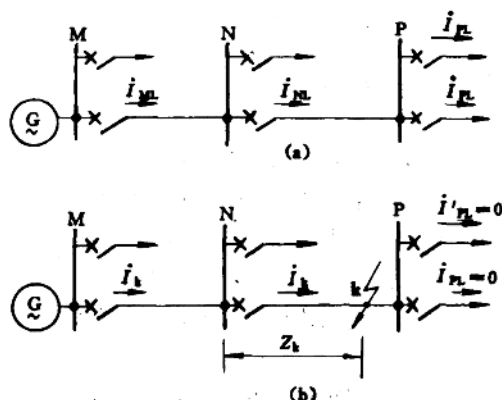


图 1-1 单侧电源网络接线

(a) 正常运行情况; (b) k 点三相短路

由式 (1-1)、式 (1-2) 可知, 正常运行时, 每条线路送端, 其电压与电流之间的相位差就是由它供电的负荷的阻抗角, 即功率因数角; 电压与电流比值所反映的测量阻抗, 即为负荷阻抗。

当电力系统发生故障时, 如图 1-1 (b) 中线路 NP 的 k 点发生三相金属性短路, 则短路点电压降低到零, 电源至短路点之间的电气元件中流过的短路电流为

$$\dot{I}_k = \frac{\dot{E}_{Mph}}{Z_M + Z_{MN} + Z_k} \quad (1-3)$$

式中 $\dot{E}_{Mph}$ ——电源 M 的相电势, kV;

Z_M 、 Z_{MN} ——电源 M 和线路 MN 的正序阻抗, Ω ;

Z_k ——母线 N 与短路点之间的线路的正序阻抗 (短路阻抗), Ω 。

母线 M、N 上的相残压分别为

$$\dot{U}_{Mrem} = \frac{Z_{MN} + Z_k}{Z_M + Z_{MN} + Z_k} \dot{E}_{Mph} \quad (1-4)$$

$$\dot{U}_{Nrem} = \frac{Z_k}{Z_M + Z_{MN} + Z_k} \dot{E}_{Mph} \quad (1-5)$$

因为 Z_k 远远小于由 N 侧看过去的线路 NP 的负荷阻抗 Z_{NL} , 所以 I_k 较负荷电流大得多, $\dot{U}_{Mrem}$ 、 $\dot{U}_{Nrem}$ 较正常运行时的电压低得多。

将式 (1-3) 代入式 (1-4)、式 (1-5) 得

$$\begin{aligned}\dot{U}_{\text{Mrem}} &= (Z_{\text{MN}} + Z_k) \dot{I}_k \\ \frac{\dot{U}_{\text{Mrem}}}{\dot{I}_k} &= Z_{\text{MN}} + Z_k\end{aligned}\quad (1-6)$$

由此得

又有

$$\dot{U}_{\text{Nrem}} = Z_k \dot{I}_k$$

即

$$\frac{\dot{U}_{\text{Nrem}}}{\dot{I}_k} = Z_k \quad (1-7)$$

由此可知, 母线残压与短路电流之比值所反映的阻抗为该母线到短路点 k 的线路阻抗。 $\dot{U}_{\text{Mrem}}$ 与 $\dot{I}_k$ 之间的相角差为阻抗 $Z_{\text{MN}} + Z_k$ 的阻抗角; $\dot{U}_{\text{Nrem}}$ 与 $\dot{I}_k$ 之间的相角差就是 Z_k 的阻抗角。短路阻抗 Z_k 也可以表示为

$$Z_k = Z_1 L \quad (1-8)$$

式中 Z_1 ——输电线路单位长度的正序阻抗, Ω ;

L ——母线 N 与故障点之间的距离, km 。

可见短路阻抗 Z_k 与母线 N 至短路点之间的距离 L 成正比。

对正常情况与故障情况比较可得出, 电力系统故障时的基本特性是:

- (1) 电流增大, 即连接短路点与电源的电气设备中的电流增大。
- (2) 电压下降, 即故障点附近电气设备上的电压降低, 而且距故障点的电气距离越近, 电压下降越严重, 甚至降为零。

(3) 线路 MN 、 NP 始端电压、电流间的相位差将发生变化。正常运行时, 其相位差为负荷功率因数角, 一般约为 20° 左右; 三相短路时, 则变为线路的正序阻抗角 (对于架空线路, 约为 $60^\circ \sim 85^\circ$)。

(4) 线路 MN 、 NP 始端电压与电流的比值, 即测量阻抗发生变化。正常运行时, 测量阻抗为负荷阻抗 Z_{ML} 、 Z_{NL} , 数值较大; 而故障时, 测量阻抗分别为 $Z_{\text{MN}} + Z_k$ 和 Z_k , 数值较小。

根据以上电力系统故障时的基本特征, 可构成不同原理的保护。例如:

- (1) 反映故障时电流上升的过电流保护;
- (2) 反映故障时电压下降的低电压保护;
- (3) 反映故障线路始端测量阻抗下降的阻抗保护, 也称距离保护;
- (4) 反映短路时始端电压、电流间的相位关系的方向保护等。

二、继电保护的基本概念

(一) 继电保护装置的构成

由上述可知, 继电保护的构成原理有多种, 而不论保护反应哪种电气量、甚至非电气量, 大多数情况下, 继电保护装置都包括测量元件、逻辑元件和执行元件三部分。其框图如图 1-2 所示。

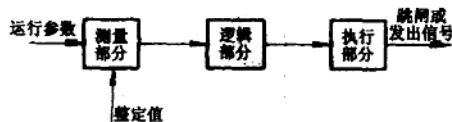


图 1-2 继电保护装置基本组成框图

测量元件的作用是测量被保护设备的物理量, 如电流、电压、阻抗、电压电流之间的相位

差等，再与给定的整定值比较，以确定电力系统是否发生故障或出现不正常工作状态，然后输出相应的信号至逻辑元件。逻辑元件的作用是根据测量元件送来的信号进行逻辑判断，以决定保护动作与否，是瞬时动作还是延时动作。执行元件的作用是根据逻辑元

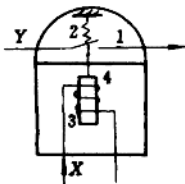


图 1-3 继电器的基本构成原理图

1—触点，2—弹簧
3—线圈，4—衔铁

件的判断，执行保护的任务，跳闸或发信号。

继电保护装置的基本组成元件之一是继电器，它是当输入量的变化达到规定要求时，在其输出电路中，使被控量发生预定阶跃变化的一种自动器件。如图 1-3 所示。

正常情况下，继电器的输入量 X （激励量）较小，其产生对衔铁 4 的吸力小于弹簧 2 的反作用力，因而触点 1 打开，继电器无信号输出。当输入量 X 变化到产生的吸引力大于弹簧的反作用力时，继电器动作，触点接通，被控制量 Y 发生阶跃变化。

继电器的种类很多。按其构成原理可分为电磁型、感应型、整流型、晶体管型（静态）等继电器；按照其反应的物理量可分为电流、电压、功率方向、阻抗、周波、气体等继电器；按照其用途可分为测量继电器与辅助继电器等。

国产常用保护继电器型号一般用汉语拼音字母表示，其符号含义如表 1-1 所示。

表 1-1 常用保护继电器型号中字母的含义

第一位（原理代号）	第二位或第三位（用途代号）	
D“电”磁型	L电“流”继电器	FL“负”序电“流”继电器
G“感”应型	Y电“压”继电器	FY“负”序电“压”继电器
L整“流”型	G“功”率方向继电器	CD“差动”继电器
B“半”导体型	S“时”间继电器	CH“重合”闸继电器
J“极”化或“晶”体管型	X“信”号继电器	ZS“中”间有延“时”继电器
Z“组”合型	Z“中”间或“阻”抗继电器	DZ“低周”继电器
W“微”机型	P“平”衡继电器	
	D接“地”继电器	

继电器一般图形符号及文字符号如表 1-2 所示。

表 1-2 常用继电器的图形符号与文字符号示例

名 称	图形符号	文字符号 (括号内为旧符号)	名 称	图形符号	文字符号 (括号内为旧符号)
电流继电器		KA (LJ)	时间继电器		KT (SJ)
电压继电器		KV (YJ)	信号继电器		KS (XJ)
功率方向继电器		KPD (GJ)	中间继电器		KM (ZJ)
阻抗继电器		KR (ZKJ)	反时限电流继电器		KA (LJ)
差动继电器		KD (CJ)	瓦斯继电器		KG (WSJ)

继电器线圈和触点符号，如表 1-3 所示。

表 1-3

继电器线圈和触点图形符号示例

名 称	图形符号		名 称	图形符号	
	新	旧		新	旧
动合触点			延时闭合的动合触点		
动断触点			延时断开的动合触点		
延时闭合的动断触点			延时断开的动断触点		
一般线圈			交流继电器线圈		
具有两个线圈继电器线圈			极化继电器的线圈		

(二) 继电保护的基本原理

继电保护最初的原理，是反应故障时电流剧增这一特征的，如熔断器保护。随着电力系统的发展，使保护的新原理、新装置不断问世。根据“大纲”要求，本教材只对继电保护的基本原理作介绍。

1. 反映电流量变化的保护

反映电流量变化的保护称为电流保护，其原理如图 1-4 所示。测量元件由电流继电器 KA 构成，被测物理量为电流互感器 TA 的二次电流。电流互感器的作用有两个：

1) 将被保护元件的大电流成比例地变成小电流；

2) 将保护装置与高压隔离，使电流继电器工作在低电压的情况下。

正常运行时，通过被保护元件的电流为负荷电流，小于电流继电器的动作电流 I_{kop} ，电流继电器不动作，其触点不闭合。只有当系统故障，流经电流继电器的电流 $I_k \geq I_{kop}$ 时，电流继

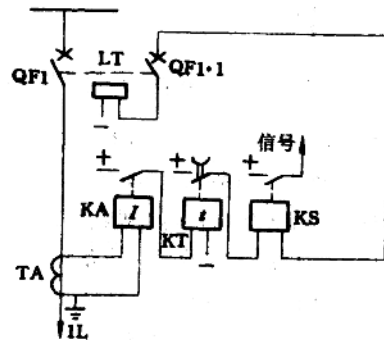


图 1-4 定时限过流保护单相原理图

电器才会动作。

逻辑元件和执行元件由时间继电器 KT (或中间继电器 KM) 担任。当电流继电器不动作时, 时间继电器线圈不励磁, 因此不动作。当电流继电器动作时, 其触点闭合, 将时间继电器的线圈接通电源, 因此时间继电器动作, 经整定时间 t_{set} 闭合其触点, 接通断路器跳闸回路 (+ 电源 → KT 延时触点 → KS 线圈 → QF1 触点 → LT 跳闸线圈 → - 电源), 断路器跳闸。

信号继电器 KS 触点构成信号回路。当保护作用于跳闸时, 跳闸电流经信号继电器的电流线圈, 使它动作并且自保持。信号继电器动作后, 通过其触点发出远方信号和就地信号, 该信号由值班员做好记录后手动复归。

电流保护的动作为可简述如下: 正常运行时, 流经被保护元件的电流为负荷电流, 因此有 $I_k < I_{kop}$, 电流继电器 KA 不动作, KA、KT、KS 触点均处于断开状态, 整套保护不动作; 当系统发生故障且 $I_k \geq I_{kop}$ 时, KA 动作, 起动 KT, 经整定时间 t_{set} 作用于断路器跳闸, 并通过 KS 发出保护动作信号。

2. 反映电压量变化的保护

反映电压量变化的保护称为电压保护, 它又分为低电压保护和过电压保护两种。低电压保护是根据故障时电压降低而构成的。过电压保护是根据故障时电压升高而构成的。现以最常用的低电压保护为例, 说明其作用原理。图 1-5 为电压速断保护的单相原理图。图中, 低电压继电器 KV 为测量元件, 被测物理量为电压互感器 TV 的二次电压。电压互感器的工作原理近似于变压器, 其作用有两个:

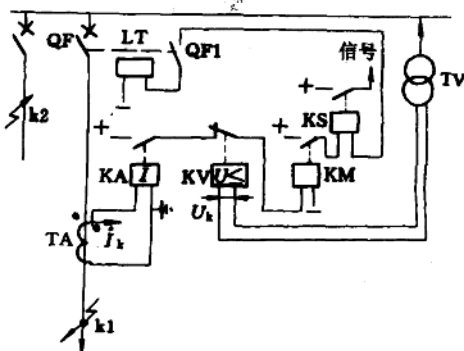


图 1-5 电压速断保护单相原理图

1) 将被保护元件上的高压成比例地变成低电压;

2) 从电路上进行隔离, 使电压继电器既工作在低压回路里又反映被保护元件电压的变化情况。

还应注意到, 图 1-5 中低电压继电器的触点是动断触点, 其他继电器的触点是动合触点。所谓动合触点, 就是继电器线圈不带电时, 触点断开 (也称常开触点); 所谓动断触点, 就是在继电器线圈不带电时, 触点闭合 (也称常闭触点)。正常运行时, 系统电压为正常工作电压, 低电压继电器在电压互感器二次正常工作电压下, 衔铁处在被吸引状态, 动断触点被断开。当系统电压降至某一数值, 如使加入低电压继电器 KV 的电压 $U_k \leq U_{kop}$ (低电压继电器动作电压) 时, 衔铁处在被释放状态, 低电压继电器的动断触点才闭合。

由于与母线相连的任一线路发生短路时, 母线电压都要下降, 因此与母线相连的各线路的低电压保护均要起动, 如图 1-5 中另一线路 k2 点短路, 被保护线路的低电压保护的电压继电器也会动作。为防止全套保护错误动作而跳闸, 该保护加入了电流继电器 KA, 它在此起闭锁元件的作用, 用以判别与母线相连的哪条线路故障。电流继电器与电压继电

器的触点互相串联，即构成“与”回路，如图 1-5 所示。这样，只有当被保护线路 k1 点故障，电流、电压继电器均动作时，保护才能作用于跳闸。这种保护实际就构成了电流电压连锁保护。该保护的执行元件是中间继电器 KM，它的作用是增加触点容量和数量，解决电流、电压继电器触点容量小，不能直接接通跳闸回路的问题。

电流电压连锁保护的动作为可简述如下：当被保护元件在 k1 点故障时，KA、KV 同时动作，起动 KM，使其作用于跳闸，跳闸回路电流又起动 KS，发出保护动作信号；当另一线路 k2 点短路时，KA 不动作，整套保护不会动作于跳闸。

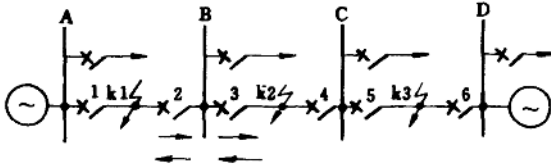


图 1-6 双电源辐射形电网

3. 方向保护

双电源辐射形网络如图 1-6 所示，它有一个特点，就是任何一个负荷都可以从两端得到供电。例如当 k1 点短路，断路器 1、2 跳开后，母线 B 上的负荷

仍能从另一端电源得到供电，可见这种网络大大提高了供电的可靠性。

根据网络的上述特点，当系统某一点发生故障时，要求继电保护装置迅速地将故障点所在线路两侧的断路器跳开。例如，k1 点故障时，应将断路器 1、2 跳开；k2 点故障时，应将断路器 3、4 跳开，使故障部分脱离系统，保证电源对无故障部分的负荷继续供电。

为了实现这个要求，保护应能做到：

(1) 使各种保护具有方向性。即如图 1-6 所示正方向故障（短路电流方向由母线指向线路）时，允许保护动作；反方向故障（短路电流的方向由线路指向母线）时，不允许保护动作。

(2) 各保护动作时间的关系为 $t_1 > t_3 > t_5$ ， $t_6 > t_4 > t_2$ 。这里 $t_1 \sim t_6$ 为相应保护动作于断路器的跳闸时间。

这样，当 k1 点故障时，保护 1 动作，保护 2、4、6 起动，因保护 4、6 的动作时间较保护 2 长，所以保护 2 起动后先动作于跳闸。保护 2 跳闸后，故障被切除，保护 4、6 自行返回，不会再作用于跳闸。结果只有断路器 1、2 跳开。同理，k2 点故障时，仅保护 1、3、6、4 起动，因 $t_6 > t_4$ 、 $t_1 > t_3$ ，所以仅断路器 3、4 跳闸。

为说明方向保护的工作原理，现以方向电流保护为例，如图 1-7 所示。它与电流保护不同的是多了一只功率方向继电器 KPD。KPD 的作用是判断短路功率的方向。当短路功率由母线流向线路时，继电器动作；而当短路功率由线路流向母线时，继电器不动作。这样，将 KA 与 KPD 的常开触点串联去起动时间继电器 KT，就能实现正方向故障时保护动作，反向故障时保护不动作。通常，功率方向继电器是

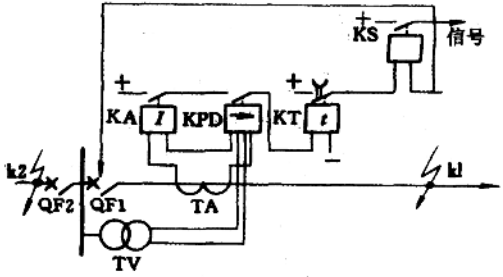


图 1-7 方向过流保护原理接线

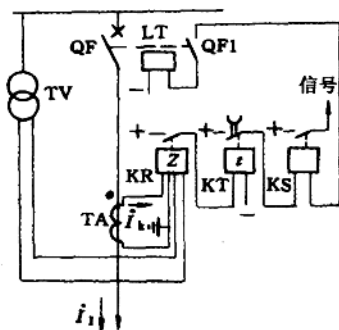


图 1-8 距离保护原理简化图

式中 $\dot{U}_K$ 、 $\dot{I}_K$ ——阻抗继电器的测量电压和测量电流；

$\dot{U}_1$ 、 $\dot{I}_1$ ——被保护元件的电压、电流；

K_{TV} 、 K_{TA} ——电压互感器和电流互感器的变比；

$Z_{K\cdot 1}$ ——阻抗继电器一次侧测量阻抗。

正常运行时， $Z_{K\cdot 1} = Z_L = \dot{U}_N / \dot{I}_L$ ，继电器感受阻抗为负荷阻抗 Z_L ，即

$$Z_K = \frac{\dot{U}_K}{\dot{I}_K} = \frac{\dot{U}_1 / K_{TV}}{\dot{I}_1 / K_{TA}} = \frac{K_{TA}}{K_{TV}} Z_{K\cdot 1} \quad (1-9)$$

被保护线路上发生故障时， $Z'_K = \dot{U}_{rem} / \dot{I}_k$ ， $\dot{U}_{rem}$ 为保护安装处母线残压， $\dot{I}_k$ 为通过被保护线路的短路电流。继电器测量阻抗

$$Z_K = \frac{K_{TA}}{K_{TV}} Z_{K\cdot 1} = \frac{K_{TA}}{K_{TV}} Z'_K \quad (1-11)$$

式中 Z'_K ——短路阻抗，也即短路点到保护安装处之间的一次阻抗。

测量元件将测得的感受阻抗 Z_K 与继电器的整定阻抗 Z_{set} (Z_{set} 对应于预先整定的保护范围) 进行比较，当 $Z_K < Z_{set}$ ，表明故障发生在保护范围内，阻抗继电器动作；当 $Z_K > Z_{set}$ ，表明故障发生在保护范围之外，阻抗继电器不动作。正常运行时， Z_L 很大，其二次值大于阻抗继电器的整定值，阻抗继电器也不动作。

因为三相短路故障时阻抗继电器测得的短路阻抗 $Z_K = \frac{K_{TA}}{K_{TV}} Z_1 L_K$ (式中 Z_1 为被保护线路单位长度正序阻抗； L_K 为短路点到保护安装地点的距离)，实际上也就是测量了短路点到保护安装点的距离，因此距离保护采用阻抗继电器作为其测量元件。不难看出，如 $Z_{set} = \frac{K_{TA}}{K_{TV}} Z_1 L_{set}$ 时 (如图 1-9 所示的 K 点)，当三相短路点 k_1 与保护安装点之间的距离 $L_1 < L_{set}$ 时， $Z_{K1} < Z_{set}$ ，阻抗继电器动

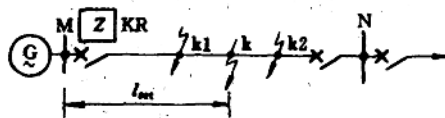


图 1-9 阻抗继电器的测量阻抗与故障点至保护安装处之间距离 L 的关系