



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护原理 (第二版)

邵玉槐 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护原理 (第二版)

主编 邵玉槐
编写 秦文萍 贾燕冰
主审 张 举



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为十二章, 主要内容包括概述、电网电流保护、微机继电保护基础、电网的距离保护、变电站综合自动化、输电线路纵联保护、自动重合闸、发电机保护、电力变压器继电保护、母线保护、电动机保护和高压直流输电系统保护。每章后面附有思考题或习题。书后还附有继电器的分类、型号、表示方法和 IEEE 设备编号, 以便读者参考使用。本书着重阐述了电力系统继电保护的基本原理与特性分析的基本方法, 对各种继电保护装置做了系统分析, 还尝试将继电保护原理与微机保护融为一体; 结构体系严密, 阐述方式易于教师掌握, 便于学生理解; 内容叙述系统性, 逻辑性强。

本书主要作为高等院校电气类专业的继电保护课程教材, 也可作为高职、高专相关专业的教材以及电力工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护原理/邵玉槐主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2015. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-7104-0

I. ①电… II. ①邵… III. ①电力系统—继电保护—高等学校—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 014844 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 4 月第一版

2015 年 3 月第二版 2015 年 3 月北京第 5 次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 485 千字

定价 40.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

本书第一版于2008年出版，被全国一些高等院校相关专业采用，受到读者欢迎，将继电保护原理与微机保护融为一体的编写方法，已被同行认可或达成共识。

随着我国科学技术的进步和电力系统的发展，电力系统继电保护技术不断有新的发展。为了跟踪电力系统和电力系统继电保护技术的新发展，也为了满足电气专业继电保护课程教学需求，本书在第一版基础上进行修订，对配套课件进行调整，部分章节更新了多媒体课件。

本书的修订保证叙述的系统性与逻辑性，考虑与电力系统稳态分析、电力系统暂态分析等课程教材的衔接，在采用图形符号与文字符号的新国家标准时力求无误。

本书共分十二章，第一～六章由太原理工大学邵玉槐教授编写，第七～十章及书中例题、习题由秦文萍副教授编写，第十一、十二章由贾燕冰副教授编写，配套的新版课件由秦文萍指导硕士生制作，并附课件使用说明。邵玉槐任主编并对全书进行统稿，对课件进行审阅。

本书在编写过程中得到太原理工大学电气与动力工程学院硕士研究生的支持与帮助，也参阅了国内著名继电保护专家贺家李教授、杨奇逊教授、王维俭教授等人的研究成果和著作。在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2014年10月



第一版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书采用我国新的国家标准,如计量单位、图形符号和文字符号;其特点是结构体系严密,阐述方式易于教师掌握,便于学生理解。内容叙述系统性、逻辑性强。

本书尝试将继电保护原理与微机保护融为一体,在结构安排时,将微机保护硬件构成原理、电流保护算法、数字滤波方法及程序流程编写在电网电流保护内容之后,以期学生对微机式电流保护的原理与装置构成形成整体概念。为了给初学者一个清晰的概念和感性认识,电网电流保护用传统的继电器结构和原理框图说明继电保护原理,在介绍了微机保护的构成原理之后,逐步用微机保护算法和程序框图、逻辑框图说明继电保护原理;鉴于计算机网络在电力系统中大量采用和电力系统光纤通信网络逐步形成,微机保护成为变电站综合自动化和调度自动化中计算机自动控制系统的的基本组成单元,还编写了变电站综合自动化的内容;此外,还叙述了数字信号的调制解调、通信接口等内容,以便于采用不同的本科教学计划的学校使用。本书力求与电力系统稳态分析、电力系统暂态分析等课程教材在问题叙述方式、符号应用方面衔接。内容方面结合近年来继电保护的原理发展和微机保护工业现场实际应用情况,参考《电力系统继电保护原理》增订版等教材作了选择。在距离保护的振荡闭锁回路中介绍了当前微机保护采用的方法,在输电线路纵联保护中增加了允许式方向纵联保护,在自动重合闸一章增加了自适应单相重合闸概念。在章节结构安排时先叙述发电机后叙述变压器。

本书由太原理工大学电气与动力工程学院邵玉槐教授任主编。书中第一~六章由邵玉槐老师编写,第七~十章及书中的例题、思考题、习题、符号说明、附录由秦文萍老师编写,邵玉槐教授对全书进行了内容确定与统稿。

本书由华北电力大学张举教授审阅,提出了很多宝贵意见。在编写过程中得到了太原理工大学电力2004级和2005级硕士研究生徐英等的支持,得到了山西省电力调度中心陈佩琳等专家的帮助,还参阅了国内外著名继电保护专家们的研究成果和著作,在此一并表示感谢。

编 者

2007年11月

符 号 说 明

一、设备、元件、名词符号

T	变压器	TAM	小型中间变流器、中间电流互感器
PD	保护装置	TA	电流互感器
C	电容器	M	电动机
k	故障点、短路点	SD	发电机灭磁开关
VD	二极管	Y	断路器跳闸线圈
TX	电抗互感器（又称电抗变压器）	VS	稳压管
QF	断路器	TVM	小型中间变压器
G	发电机	TV	电压互感器
K	继电器	AR	自动重合闸装置

二、电 压 类 符 号

$E_A、E_B、E_C$	系统等效电源或发电机的三相电动势	$U_{A1}、U_{B1}、U_{C1}$	保护安装处各相的正、负、零序电压
$U_A、U_B、U_C$	系统中任一母线或保护安装处的三相电压	$U_{A2}、U_{B2}、U_{C2}$	
		$U_{A0}、U_{B0}、U_{C0}$	
$U_{kA}、U_{kB}、U_{kC}$	故障点的三相电压	U_N	额定电压
$U_{k1}、U_{k2}、U_{k0}$	故障点的正、负、零序电压	U_{unb}	不平衡电压

三、电 流 类 符 号

$I_A、I_B、I_C$	三相电流	$I_{k \cdot \min}$	最小短路电流
I_k	短路电流	I_L	负荷电流
$I_1、I_2、I_0$	正、负、零序电流	$I_{L \cdot \max}$	最大负荷电流
$I_{kA}、I_{kB}、I_{kC}$	故障点的三相短路电流	I_N	额定电流
$I_{A1}、I_{B1}、I_{C1}$	三相中的正、负、零序电流	$I_{N \cdot T}$	变压器的额定电流
$I_{A2}、I_{B2}、I_{C2}$		$I_{N \cdot G}$	发电机的额定电流
$I_{A0}、I_{B0}、I_{C0}$		I_{unb}	不平衡电流
$I_{k1}、I_{k2}、I_{k0}$	故障点的正、负、零序电流	I_e	励磁电流
$I_{k \cdot \max}$	最大短路电流		

四、阻 抗 类 符 号

R	电阻	Z_T	变压器阻抗
X	电抗	Z_G	发电机阻抗
$Z=R+jX$	阻抗	Z_s	系统阻抗

z_1	线路单位长度正序阻抗	Z_{Σ}	总阻抗
Z_M	互感阻抗	$Z_{1\Sigma}、Z_{2\Sigma}、Z_{0\Sigma}$	正、负、零序综合阻抗
R_i	过渡电阻	R_g	接地电阻

五、保护装置及继电器的有关参数

I_{act}	保护装置的启动电流	$U_{K \cdot act}$	继电器的启动电压
I_{re}	保护装置的返回电流	$U_{K \cdot re}$	继电器的返回电压
U_{act}	保护装置的启动电压	$Z_{K \cdot act}$	继电器的启动阻抗
U_{re}	保护装置的返回电压	$Z_{K \cdot re}$	继电器的返回阻抗
Z_{act}	保护装置的启动阻抗	Z_{set}	继电器的整定阻抗
Z_{re}	保护装置的返回阻抗	I_K	加入继电器中的电流
$I_{K \cdot act}$	继电器的启动电流	U_K	加入继电器中的电压
$I_{K \cdot re}$	继电器的返回电流	$Z_K = \frac{U_K}{I_K}$	继电器的测量阻抗
$I_{K \cdot bs}$	继电器的闭锁电流		

六、常 用 的 系 数

K_{rel}	可靠系数	K_{aper}	非周期分量影响系数
K_{sen}	灵敏系数	K_{ss}	同型系数
K_{re}	返回系数	K_{met}	配合系数
K_c	接线系数	K_{Ms}	电动机自启动系数
K_{bra}	分支系数	$K_1、K_2、K_3$	比例常数
K_k	故障类型系数		



目 录

前言	
第一版前言	
符号说明	
第一章 概述	1
第二章 电网电流保护	7
第一节 单侧电源网络相间短路的电流保护	7
第二节 双侧电源网络相间短路的方向电流保护	22
第三节 中性点直接接地电网中接地短路的零序电流及方向保护	35
第四节 中性点非直接接地电网中单相接地故障的零序电压、电流及方向保护	44
习题	52
第三章 微机继电保护基础	55
第一节 微机保护装置硬件系统的构成原理	55
第二节 数字滤波的基本概念	76
第三节 微机电流保护算法	84
第四节 微机电流保护程序流程	89
思考题	94
第四章 电网的距离保护	95
第一节 距离保护的作用原理	95
第二节 阻抗继电器及其动作特性	97
第三节 阻抗继电器的接线方式及故障选相	106
第四节 阻抗继电器的实现方法	115
第五节 圆特性方向阻抗继电器的动作特性分析	124
第六节 距离保护的整定计算原则及对距离保护的评价	130
第七节 影响距离保护正确动作的因素及防止方法	135
第八节 工频变化量距离继电器	148
习题	152
第五章 变电站综合自动化	154
第一节 变电站综合自动化系统的原理与结构	154
第二节 变电站综合自动化的局域网	158
第三节 现场总线	162
思考题	164
第六章 输电线路纵联保护	165
第一节 基本原理与类别	165
第二节 纵联保护的通信通道	166

第三节	分相电流纵联差动保护	171
第四节	方向纵联保护与距离纵联保护	178
	思考题	193
第七章	自动重合闸	195
第一节	自动重合闸的作用及其基本要求	195
第二节	三相一次自动重合闸的工作原理	197
第三节	重合闸动作时限的选择及重合闸与继电保护的配合	201
第四节	高压输电线路的单相自动重合闸及综合重合闸	203
	思考题	207
第八章	发电机保护	208
第一节	发电机的故障类型、不正常运行状态及其相应的保护方式	208
第二节	发电机的纵差保护和横差保护	209
第三节	发电机定子绕组单相接地保护	217
第四节	发电机负序过电流保护	223
第五节	发电机的失磁保护	225
第六节	发电机励磁回路接地保护	232
	习题	234
第九章	电力变压器继电保护	236
第一节	电力变压器的故障类型、不正常运行状态及其相应的保护方式	236
第二节	变压器纵差保护	237
第三节	变压器瓦斯保护	253
第四节	发电机和变压器的后备保护	255
第五节	大型发电机—变压器组继电保护总体配置	265
	思考题	269
第十章	母线保护	270
第一节	母线差动保护基本原理	270
第二节	微机母线保护	275
第三节	断路器失灵保护	279
	思考题	281
第十一章	电动机保护	282
第一节	电动机的故障、不正常运行状态	282
第二节	电动机的相间短路保护	283
第三节	电动机的单相接地保护	285
第四节	电动机的异常运行保护	287
	思考题	292
第十二章	高压直流输电系统保护	293
第一节	直流输电系统故障	293
第二节	直流输电系统保护原理与配置	296
第三节	直流输电系统保护装置	301

思考题..... 303

附录..... 304

参考文献..... 307



第一章 概 述

一、电力系统运行状态和继电保护基本任务

1. 电力系统运行状态

电力系统的运行状态从分析角度分类可分为稳态分析和暂态分析,从继电保护作用的角度分类可分为正常工作状态、不正常工作状态和故障状态。

在正常状态下运行的电力系统中,各发电、输电和用电设备均在规定的长期安全限额内运行,电力系统中各母线电压和频率均在允许的偏差范围内提供合格的电能。

电力系统的所有一次设备在运行过程中由于外力、绝缘老化、过电压、误操作、设计错误、制造缺陷等原因会发生如短路、断线等故障。最常见同时也是最危险的故障是发生各种类型的短路。在发生短路时可能产生以下后果^[1]:

(1) 通过故障点的数值较大的短路电流和所燃起的电弧,使故障元件损坏。

(2) 短路电流通过非故障元件时,由于发热和电动力的作用,使绝缘遭受到破坏或缩短设备的使用寿命。

(3) 电力系统中部分地区的电压大幅度降低,将破坏用户工作的稳定性或影响工厂产品质量。

(4) 破坏电力系统中各发电厂间并列运行的稳定性,引起系统振荡,甚至使整个系统瓦解。

短路电流一般为额定电流的几倍到几十倍,不同类型短路发生的概率不相同,统计数据表明在高压电网中,单相接地短路次数占所有短路次数的85%以上。

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏,但没有发生故障,这种情况属于不正常运行状态^[1]。例如,因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高(一般又称为过负荷),就是一种最常见的不正常运行状态。由于过负荷,使元件载流部分和绝缘材料的温度不断升高,加速绝缘的老化和损坏,就可能发展成故障。此外,系统中出现功率缺额而引起的频率降低,发电机突然甩负荷而产生的过电压,以及电力系统发生振荡等,都属于不正常运行状态。

故障和不正常运行状态,都可能在电力系统中引起事故。事故就是指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步,甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏的事件。

在电力系统中,除应采用各种积极措施消除或减少发生故障的可能性外,故障一旦发生,必须有选择地切除故障元件,这是保证电力系统安全运行的最有效的方法之一。这种方法既能保护电力设备免遭破坏,又能提高电力运行的稳定性。切除故障的时间通常要求小到几十毫秒到几百毫秒,实践证明只有在每个电气元件上装设继电保护装置,才有可能满足这个要求。继电保护装置就是指能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态,并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

电力系统继电保护一词泛指继电保护技术和由各种继电保护装置组成的继电保护系统。

继电保护技术包括继电保护的原理设计、配置、整定、调试等技术。继电保护系统包括获取信息量的电流、电压互感器二次回路，经继电保护装置到断路器跳闸线圈的一整套设备及其传送信息的通信设备。

2. 继电保护基本任务

- （1）自动、迅速、有选择性地故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，并保证其他无故障部分迅速恢复正常运行；
- （2）反应电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件（如有无经常值班人员），而动作于发出信号、减负荷或跳闸。此时一般不要求保护迅速动作，而是根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

二、继电保护基本原理和保护装置组成

1. 继电保护基本原理

为完成继电保护所担负的任务，显然继电保护装置应该能够正确地区分系统正常运行与发生故障或不正常运行状态之间的差别。

对于图 1-1（a）所示的单侧电源网络接线，在电力系统正常运行时，每条线路上都流过由它供电的负荷电流 $\dot{I}_L$ ，越靠近电源端的线路上的负荷电流越大。当系统发生故障时，假定在线路 B—C 上发生三相短路 [见图 1-1（b）]，从电源到短路点之间将流过很大的短路电流 $\dot{I}_k$ 。利用正常运行与故障时电流大小不同可以构成反应于电流增大而动作的过电流保护。

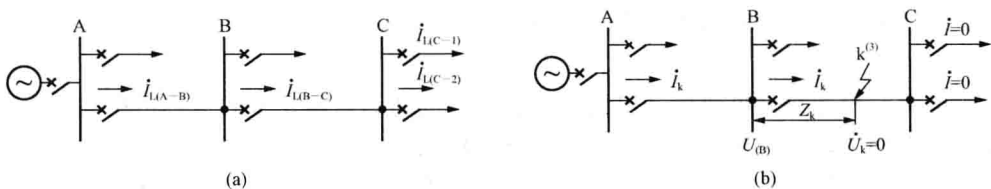


图 1-1 单侧电源网络接线
(a) 正常运行情况；(b) k 点三相短路情况

正常运行时，各变电站母线上的电压，一般都在额定电压±（5%~10%）范围内变化，且靠近电源端母线上的电压较高。三相短路时，短路点的电压 $\dot{U}_k$ 降低到零，各变电站母线上电压将在不同程度上有很大的降低，距离短路点越近时降低得越多。利用故障时电压降低可构成反应于电压降低而动作的低电压保护。

正常运行时，线路始端电压与电流的比值所代表的“测量阻抗”，反应的是线路与负荷的等值阻抗，其值一般很大，阻抗角决定于负荷的功率因数角和线路的参数，其值很小。短路发生后伴随有电流增大，电压降低，线路始端测量阻抗减小。设以 Z_k 表示短路点到变电站 B 母线之间的阻抗，则 B 母线上的残余电压为 $\dot{U}_{(B)} = \dot{I}_k \dot{Z}_k$ 。此时， $\dot{U}_{(B)}$ 与 $\dot{I}_k$ 之间的相位角就是 Z_k 的阻抗角，线路始端的测量阻抗就是 Z_k ，此测量阻抗的大小正比于短路点到变电站之间的距离。 Z_k 值比负荷阻抗小，相位角比负荷阻抗角大。利用故障时，测量阻抗减小可以构成反应于短路点到保护安装地点之间的距离（或测量阻抗）减小而动作的距离保护。

此外，就电力系统中的任一电气元件来看，如图 1-2 中的线路 A—B，在正常运行时，

在某一瞬间，负荷电流总是从一侧流入而从另一侧流出，如图 1-2 (a) 所示。如果统一规定电流的正方向都是从母线流向线路（图 1-2 中所示电流方向是实际的方向，不是假定的正方向），那么按照规定的正方向，A—B 两侧电流的大小相等，而相位相差 180° 。当在线路 A—B 的范围以外的 k1 点短路时，如图 1-2 (b) 所示，由电源 I 所供给的短路电流 I'_{k1} 将流过线路 A—B，此时 A—B 两侧的电流仍然是大小相等、相位相反，其特征与正常运行时一样。如果如图 1-2 (c) 所示，短路发生在线路 A—B 的范围以内 (k2)，由于两侧电源均分别向短路点 k2 供给短路电流 I'_{k2} 和 I''_{k2} ，因此，在线路 A—B 两侧的电流都是由母线流向线路，此时两个电流的大小一般都不相等，在理想情况下（两侧电动势同相位且全系统的阻抗角相等），两个电流同相位。

利用每个电气元件在内部故障与外部故障（包括正常运行情况）时两侧电流相位或功率方向的差别，就可以构成由各种差动原理构成的保护，如纵联差动保护、方向比较式纵联保护等。由差动原理构成的保护只能在被保护元件内部故障时动作，而不反应外部故障，因而被认为具有绝对的选择性。

在按照上述原理构成各种继电保护装置时，可以使它们的参数反应于每相中电流和电压（如相电流、相或线电压），也可以使之仅反应于其中某一个对称分量（如负序、零序和正序）的电流和电压。由于在正常运行情况下，负序和零序分量不会出现，而在发生不对称接地短路时，它们都具有较大的数值，在发生不接地的不对称短路时，虽然没有零序分量，但负序分量却很大，因此，利用这些分量构成的保护装置，一般都具有良好的选择性和灵敏性，这正是这种保护装置获得广泛应用的原因。

除上述反应于各种电气量的保护以外，还有根据电气设备的特点实现反应非电量的保护。例如，当变压器油箱内部的绕组短路时，反应于油被分解所产生的气体而构成的瓦斯保护；反应于电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

以上各种原理的保护，可以由一个或若干个继电器连接在一起组成保护装置来实现（关于继电器的分类、型号和表示方法参见附录）。

2. 继电保护装置组成

就一般情况而言，整套继电保护装置是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成的，其原理结构框图如图 1-3 所示。



图 1-3 继电保护装置的原理结构框图

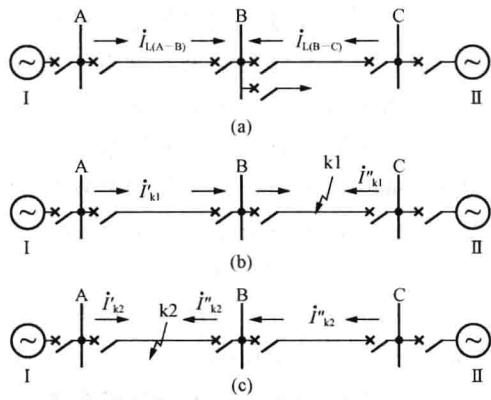


图 1-2 双侧电源网络接线

(a) 正常运行情况；(b) k1 点短路时的电流分布；
(c) k2 点短路时的电流分布

(1) 测量部分。该部分是测量从被保护对象输入的有关电气量, 并与已给定的整定值进行比较, 根据比较的结果, 给出“是”、“非”、“大于”、“不大于”、“等于”、“0”或“1”性质的一组逻辑信号, 从而判断保护是否应该启动。

(2) 逻辑部分。该部分是根据测量部分各输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合, 使保护装置按一定的逻辑关系工作, 最后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号, 并将有关命令传给执行部分。继电保护中常用的逻辑回路有“或”、“与”、“否”、“延时启动”、“延时返回”以及“记忆”等回路。

(3) 执行部分。该部分是根据逻辑部分输出的信号, 最后完成保护装置所担负的任务。如故障时, 启动于跳闸; 不正常运行时, 发出信号; 正常运行时, 不动作等。

三、对电力系统继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护, 在技术上一应满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性四个基本要求。

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时, 仅将故障元件从电力系统中切除, 使停电范围尽量缩小, 以保证系统中的无故障部分仍能继续安全运行。

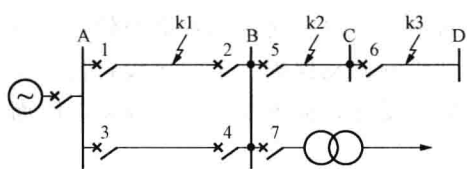


图 1-4 单侧电源网络中有
选择性动作的说明

在图 1-4 所示的网络接线中, 当 k_1 点短路时, 应由距短路点最近的保护 1 和 2 动作跳闸, 将故障线路切除, 变电站 B 则仍可由另一条无故障的线路继续供电。而当 k_3 点短路时, 保护 6 动作跳闸, 切除线路 C—D, 此时只有变电站 D 停电。由此可见, 继电保护有选择性的动作可将停电范围限制到最小, 甚至可以做到不中断向用户供电。

在要求继电保护动作有选择性的同时, 还必须考虑继电保护或断路器有拒绝动作的可能性, 因而就需要考虑后备保护的问题。如图 1-4 所示, 当 k_3 点短路时, 距短路点最近的保护 6 本应动作切除故障, 但由于某种原因, 该处的继电保护或断路器拒绝动作, 故障便不能消除, 此时如其前面一条线路 (靠近电源侧) 的保护 5 能动作, 故障也可消除。能起保护 5 这种作用的保护称为相邻元件的后备保护。同理, 保护 1 和 3 又应该作为保护 5 和 7 的后备保护。按以上方式构成的后备保护是在远处实现的, 因此又称为远后备保护。

一般情况下远后备保护动作切除故障时将使供电中断的范围扩大。

在复杂的高压电网中, 当实现远后备保护在技术上有困难时, 也可以采用近后备保护的方式, 即当本元件的主保护拒绝动作时, 由本元件的另一套保护作为后备保护; 当断路器拒绝动作时, 由同一发电厂或变电站内的有关断路器动作, 实现后备。为此, 在每一元件上应装设单独的主保护和后备保护, 并装设必要的断路器失灵保护。由于这种后备作用是在主保护安装处实现, 因此, 称它为近后备保护。

应当指出, 远后备的性能是比较完善的, 它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源所引起的拒绝动作, 均能起到后备作用, 同时它的实现简单、经济。因此, 在电压较低的线路上应优先采用, 只有当远后备不能满足灵敏度和速动性的要求时, 才考虑采用近后备的方式。

2. 速动性

快速地切除故障可以提高电力系统并列运行的稳定性,减少用户在电压降低的情况下工作的时间,以及缩小故障元件的损坏程度。因此,在发生故障时,应力求保护装置能迅速动作切除故障。

动作迅速而同时又能满足选择性要求的保护装置,一般结构都比较复杂,价格比较昂贵。在一些情况下,电力系统允许保护装置带有一定的延时切除故障。因此,对继电保护速动性的具体要求,应根据电力系统的接线以及被保护元件的具体情况来确定。下面列举一些必须快速切除的故障:

- (1) 根据维持系统稳定的要求,必须快速切除的高压输电线路上发生的故障。
- (2) 对发电厂或重要用户的母线电压低于允许值(一般为0.7倍额定电压)的故障。
- (3) 大容量的发电机、变压器以及电动机内部发生的故障。
- (4) 1~10kV线路导线截面过小,为避免过热不允许延时切除的故障。
- (5) 可能危及人身安全、对通信系统或铁道信号系统有强烈干扰的故障等。

故障切除的总时间等于保护装置和断路器动作时间之和。一般的快速保护的动作时间为0.04~0.08s,最快的可达0.01~0.04s,一般的断路器的动作时间为0.06~0.15s,最快的可达0.02~0.06s。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性是指对于其保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是在事先规定的保护范围内部故障时,不论短路点的位置、短路的类型如何,以及短路点有无过渡电阻,都能敏锐感觉,正确反应。保护装置的灵敏性通常用灵敏系数来衡量,主要决定于被保护元件和电力系统的参数和运行方式。在DL/T 400—1991《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类保护灵敏系数的要求都做了具体规定。关于这个问题在以后各章中还将分别予以讨论。

4. 可靠性

保护装置的可靠性是指在该保护装置规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时,它不应该拒绝动作,而在任何该保护不应该动作的情况下,则不应该误动作。

可靠性主要是指保护装置本身的质量和运行维护水平而言。一般来说,保护装置的组成元件的质量越高、接线越简单、回路中继电器的触点数量越少,保护装置的工作就越可靠。同时,精细的制造工艺、正确地调整试验、良好的运行维护以及丰富的运行经验,对于提高保护的可靠性也具有重要作用。

继电保护装置的误动作和拒动作都会给电力系统造成危害,但提高其不误动的可靠性和不拒动的可靠性的措施常常是相互矛盾的。由于电力系统结构和负荷性质的不同,误动和拒动的危害程度有所不同,因而提高保护装置可靠性的着重点,在各种具体情况下也应有所不同。提高保护装置的可靠性应根据电力系统和负荷的具体情况采取适当的措施。

以上四个基本要求是分析研究继电保护性能的基础,也是贯穿全课程的一个基本线索。在它们之间,既有矛盾的一面,又有在一定条件下统一的一面。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的绝大部分工作也是围绕着如何处理好这四个基本要求之间的辩证统一关系而进行的,在学习这门课程时应注意学习和运用这样的思考和分析方法。

选择继电保护方式除应满足上述的基本要求外,还应该考虑经济条件。首先应从国民经

济的整体利益出发,按被保护元件在电力系统中的作用和地位来确定保护方式,而不能只从保护装置本身的投资来考虑,这是因为保护不完善或不可靠而给国民经济造成的损失,一般都远远超过即使是最复杂的保护装置的投资。但要注意对较为次要的数量很多的电气元件(如低压配电线、小容量电动机等),也不应该装设过于复杂和昂贵的保护装置。

四、继电保护发展简介

继电保护技术是随着电力系统的发展而发展起来的,电力系统中的短路是不可避免的。短路必然伴随着电流的增大,因而为了保护发电机免受短路电流的破坏,首先出现了反应电流超过一定预定值的过电流保护。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护。熔断器的特点是融合保护装置与切断电流的装置于一体,这种保护方式时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备。

随着电力系统的发展,正常工作电流和短路电流都不断增大,熔断器已不能满足选择性和快速性的要求。19世纪90年代出现了装于断路器上并直接作用于断路器的电磁型过电流继电器,见附录中附图-1(a)。

1901年出现了感应过电流继电器。1908年提出了比较被保护两端电流的电流差动保护原理。1910年方向性电流保护得到应用。20世纪20年代距离保护装置出现。1927年前后出现了利用高压输电线上高频载波传送和比较输电线两端功率方向和电流相位的高频保护装置。1975年诞生了利用故障点产生的行波实现的快速保护装置。

20世纪50年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成,这些继电器都具有机械转动部分,统称为机电式继电器,由其构成的保护装置称为机电式继电保护装置。机电式继电器使用了相当长的时间,积累了丰富的运行经验,单个继电器目前仍在电力系统中广泛应用。

随着电子技术的发展,20世纪50年代出现了晶体管式继电保护装置,20世纪70年代晶体管继电保护装置在我国大量采用,满足了当时电力系统向超高压、大容量方向发展的需要。

20世纪80年代集成电路技术的发展,促使晶体管式继电保护装置向集成电路化方向发展。20世纪90年代继电保护向微机保护过渡,2000年时微机保护已成为静态继电保护(晶体管式、集成电路式和微机式继电保护统称为静态继电保护)的主要形式。

微机保护具有巨大的计算、分析和逻辑判断能力,有存储记忆功能,因而可用以实现任何性能完善且复杂的保护原理。微机保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检,其工作可靠性很高。此外,微机保护可用同一硬件实现不同的保护原理,这使保护装置的制造大为简化,也容易实行保护装置的标准化。微机保护除了保护功能外,还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录和调度计算机交换信息等辅助功能,这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。

随着计算机网络的发展和在电力系统中的大量采用,以及变电站综合自动化和调度自动化的兴起和电力系统光纤通信网络的逐步形成,继电保护将沿着网络化、智能化、自适应和保护、测量、控制、数据通信一体化的方向不断前进。

第二章 电网电流保护

电网中的输电线路发生短路时,电流突然增大,电压降低,利用电流突然增大使保护动作断路器跳闸而构成的保护装置称为电流保护。电流保护在 35kV 及以下输电线路中被广泛采用。

第一节 单侧电源网络相间短路的电流保护

一、电磁型电流继电器及其继电特性

电流继电器是实现电流保护的基本元件,也是反应于一个电气量而动作的简单继电器的典型,因此本节通过对它的分析来说明一般继电器的工作原理和主要特性。

电磁型电流继电器的原理结构图如图 2-1 (a) 所示,当继电器线圈通入电流 I_k 时,在磁路中产生与电流成正比的磁通 Φ ,磁通经铁芯 2、空气隙 3 和可动衔铁 4 形成回路,磁化后的衔铁与铁芯的磁极产生电磁吸力,企图吸引衔铁向左转动,衔铁上装有继电器的可动触点 5,当电流增大,电磁吸力足够大时,即可吸动衔铁并使固定触点 6 接通,称为继电器“动作”。

电磁吸力与 Φ^2 成正比。如果假定磁路的磁阻全部集中在空气隙中,设 δ 表示空气隙的长度,则磁通 Φ 就与 I_k 成正比而与 δ 成反比,这样,由电磁吸力作用在衔铁上的电磁转矩 M_e 可表示为

$$M_e = K_1 \Phi^2 = K_2 \frac{I_k^2}{\delta^2} \quad (2-1)$$

式中 K_1 、 K_2 ——比例常数;

δ ——铁芯与可动衔铁之间的空气隙长度。

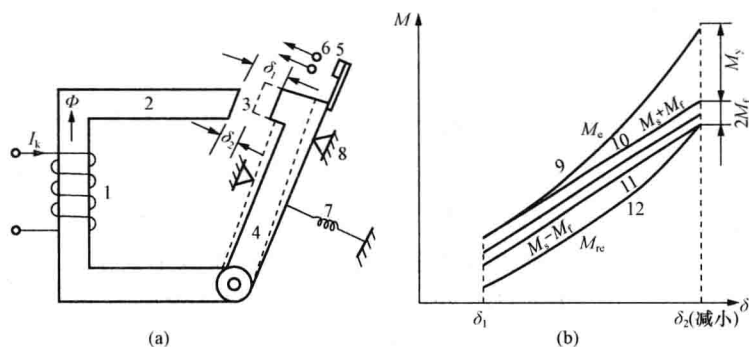


图 2-1 电磁型电流继电器的原理结构和转矩曲线

(a) 原理结构图; (b) 电磁转矩及机械反抗转矩与可动衔铁行程关系

1—线圈; 2—铁芯; 3—空气隙; 4—可动衔铁; 5—可动触点; 6—固定触点; 7—弹簧;

8—止挡; 9—启动电磁转矩曲线; 10—启动时的反作用转矩曲线;

11—返回时的反作用转矩曲线; 12—返回时的电磁转矩曲线

正常情况下,线圈中流入负荷电流,为保证继电器不动作,可动衔铁受弹簧 7 反作用力