



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电力系统继电保护原理及新技术

(第二版)

李佑光 林 东 编著



科学出版社
www.sciencep.com

FM77.
L321.02

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电力系统继电保护 原理及新技术

(第二版)

李佑光 林 东 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在系统阐明电力系统继电保护基本原理的基础上,着力介绍故障分量、自适应保护等新原理和微机保护实用技术,对高压输电线路和大型发电机、变压器组的微机保护作了较深入的讨论,对电动机、电容器等电气设备的保护也作了适当介绍。

全书共分9章。第1章绪论,第2章微机继电保护基础,第3章基于单端信息的线路保护,第4章输电线快速纵联保护,第5章自动重合闸,第6、7章电力变压器、发电机的继电保护,第8章母线保护和断路器失灵保护,第9章电动机与电容器保护的整定计算。

本书可作为高等院校电气工程与自动化及相关专业的本科生、研究生教材以及电力职工培训教材,也可供电力自动化、继电保护装备厂家和电力企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护原理及新技术/李佑光,林东编著. —2版. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-024086-6

I. 电… II. ①李…②林… III. 电力系统-继电保护-高等学校-教材
IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123437 号

责任编辑:马长芳 余 江 潘继敏 / 责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年8月第 二 版 印张:16

2009年8月第七次印刷 字数:307 000

印数:10 001—14 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第一版前言

《电力系统继电保护原理及新技术》一书是在数学、科研实践的基础上,为适应21世纪教学改革的需要而编写的。本书融继电保护原理和微型计算机式(数字式)继电保护新技术为一体,将传统继电保护和微型计算机继电保护有机地结合在一起,以电力系统电气元件为主线,根据电网的不同结构、不同元件,针对各种故障和不正常运行状态,较系统地进行了理论分析,讲述了继电保护的基本原理、计算机数字信号处理方法,并重点讲述了继电保护新技术的应用。

我们在编写本书时力求全面系统地将理论基础、成熟技术和新成果一一介绍给读者,同时在结构编排上尽量考虑各章节的独立性,以方便各专业根据不同的教学计划灵活选用。本书共九章。第一章概述电力系统继电保护技术的基本任务和要求,继电保护的基本原理和继电保护装置的基本结构,展望其发展趋势;第二至第四章讲述电力系统继电保护的基础知识及基本原理;第五至第九章分别针对电力系统中不同电气元件、不同网络结构,根据不同故障特征,介绍如何应用数字技术来实现高效的继电保护功能。本书的特点是内容丰富,章节结构紧凑,叙述简明扼要,实用性强。本书可供高等院校电气工程及其相关专业的本科生、研究生作为教材使用,也可供电力工业的工程技术人员参考。

本书由李佑光、林东共同编写,第一至第五章由李佑光执笔,第六至第九章由林东执笔。华中科技大学吴希再教授主审。在编写过程中得到了重庆大学卢继平、罗建等老师的支持,在此向他们表示深切的谢意。

鉴于某些原因书中难免会有错漏之处,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2003年2月于重庆大学

第二版前言

《电力系统继电保护原理及新技术》出版使用已5年多,无论从电力生产发展的需要,还是从教学的角度都有急需调整教材内容的必要,本书旨在跟踪业内前沿,着力反映近年来的新理论、新技术。在第一版基本内容的基础上增加了故障分量、自适应保护,断路器失灵保护,电动机保护和电力电容器保护等内容。

随着高校专业教学改革的深入,个性化特点凸显,对本门课程学时数和内容的选择各有侧重,为此我们力图在内容的广度和深度上都有所体现,尽量满足不同需求的读者。本书在反映基础理论和基本概念的基础上,从实用角度出发对一些技术细节作了较深入的讨论,以期对初学者和科研人员都有建设性的启发。

本书几乎涉及电力系统发、输、配、用各环节电气设备的继电保护,采用针对不同电气设备和不同故障类型为主线的叙述方法,强调基本概念,突出新技术。其特点是内容丰富,结构紧凑,语言简练,实用性强。除可作为高等院校本科电类专业教材外,还适合于相关专业的广大科技、工程技术人员阅读和参考。

本书由李佑光、林东共同完成,李佑光执笔统稿,卢继平教授主审。在编写过程中得到了重庆大学熊小伏、罗建、沈智建等老师的大力支持,在此向他们表示深切谢意。

由于篇幅有限,个别实用技术的表述可能不够详细,同时受编者水平所限,难免有疏漏之处,敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2009年4月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 电力系统继电保护的任 务	1
1.2 电力系统继电保护的基本要 求	1
1.3 电力系统继电保护的基 本原理与分类	4
1.4 继电保护装置的基 本结构	4
1.5 继电保护的发 展历史及现状	5
第 2 章 微机继电保护基 础	7
2.1 微机继电保护的硬 件构成原理	7
2.1.1 模拟数据采 集系统	8
2.1.2 开关量输 入输出电路	17
2.2 数字滤波器设计.....	24
2.2.1 数字滤波 器的两种数学描述	25
2.2.2 用脉冲传 递函数的零点和极点配置法设计数字滤波器	28
2.2.3 数字滤波 器的主要性能指标	33
2.3 微机继电保护的基 本算法.....	34
2.3.1 周期函 数模型算法	34
2.3.2 自适应 突变变量算法	39
2.3.3 故障分 量及算法	42
2.3.4 采样频 率跟踪的自适应算法	43
第 3 章 基于单端信息的 线路保护	45
3.1 单侧电源辐射网 络相间短路的电流、电压保护	45
3.1.1 电 流速断保护	45
3.1.2 自 适应电压电流速断保护	49
3.1.3 限 时电流速断保护	51
3.1.4 定 时限过电流保护	54
3.1.5 反 时限过流保护	58
3.2 单侧电源辐射网 络相间短路的距离保护.....	58

3.2.1	阻抗继电器	59
3.2.2	阻抗继电器接线方式	62
3.2.3	距离保护基本原理、整定计算及组成元件	64
3.3	双侧电源网络相间短路保护	67
3.3.1	相间功率方向继电器及双侧电源网络电流保护特点	67
3.3.2	带方向的阻抗继电器	72
3.3.3	双侧电源复杂电网相间距离保护整定计算特点	75
3.4	中性点直接接地电网中接地短路保护	79
3.4.1	零序电压过滤器	80
3.4.2	零序电流过滤器	81
3.4.3	零序电流速断(零序Ⅰ段)保护	83
3.4.4	零序电流限时速断(零序Ⅱ段)保护	84
3.4.5	零序过电流(零序Ⅲ段)保护	85
3.4.6	方向性零序电流保护	88
3.4.7	对零序电流保护的评价	90
3.4.8	接地距离保护及其接线方式	91
3.4.9	自适应故障分量距离保护原理	92
3.5	中性点非直接接地电网单相接地保护	95
3.5.1	中性点不接地电网中单相接地故障的特点	95
3.5.2	中性点不接地电网中单相接地的保护	98
3.5.3	中性点经消弧线圈接地电网中单相接地故障的特点	99
第4章	输电线快速纵联保护	103
4.1	输电线的高频保护	103
4.1.1	高频保护的基本概念	103
4.1.2	高频通道的构成原理	103
4.1.3	高频通道的工作方式和高频信号的作用	105
4.1.4	高频闭锁方向保护的基本原理	106
4.1.5	高频闭锁方向保护的电流启动方式	107
4.1.6	高频闭锁负序方向保护	108
4.1.7	高频距离保护	110
4.2	输电线光纤纵联差动保护	117
4.2.1	纵联差动保护的基本原理	118
4.2.2	输电线纵联差动保护的動作特性	119
4.2.3	输电线比例电流差动保护動作判据分析设计	123

4.2.4	自适应标积比率制动电流差动保护基本原理	125
4.2.5	光纤差动保护装置	126
4.3	影响线路保护的主要因素及对策	137
4.3.1	短路点过渡电阻对距离保护的影响	137
4.3.2	电力系统振荡对保护的影响	141
4.3.3	电压互感器和电流互感器二次回路断线对保护的影响	145
第5章	自动重合闸	146
5.1	自动重合闸在电力系统中的作用	146
5.2	自动重合闸装置的分类及基本要求	147
5.3	双侧电源送电线路重合闸方式的选择原则	148
5.4	重合闸动作时限的选择原则	149
5.5	重合闸与继电保护的配合	150
5.6	单相自动重合闸的特点	152
5.7	综合重合闸简介	155
第6章	电力变压器的继电保护	157
6.1	概述	157
6.2	变压器的纵联差动保护	159
6.2.1	变压器纵联差动保护的原理	159
6.2.2	变压器纵联差动保护的特点	159
6.2.3	变压器纵联差动保护的整定计算原则	163
6.2.4	变压器微机比率制动差动继电器	164
6.3	变压器的电流和电压保护	168
6.3.1	变压器的过电流保护	168
6.3.2	低电压启动的过电流保护	169
6.3.3	微机复合电压启动的方向过流保护	169
6.4	变压器的接地保护	171
6.4.1	只有一台升压变压器时零序电流保护的整定原则	172
6.4.2	变压器中性点部分接地系统中分级绝缘变压器的零序保护	172
6.4.3	自耦变压器接地保护的特点	175
第7章	发电机的继电保护	176
7.1	概述	176
7.2	发电机定子相间短路和匝间短路保护	177
7.2.1	发电机纵联差动保护整定计算的一般原则	177
7.2.2	发电机微机式比率制动特性纵差保护	179

7.2.3	发电机定子匝间短路保护	181
7.3	发电机的定子单相接地保护	186
7.3.1	发电机定子绕组单相接地的特点	186
7.3.2	利用零序电流构成的定子接地保护	188
7.3.3	利用零序电压构成的定子接地保护(也可用于发电机变压器组)	188
7.3.4	利用基波零序电压和三次谐波电压构成的 100%定子接地保护	189
7.4	发电机的负序过电流和转子接地保护	192
7.4.1	负序过电流的危害	192
7.4.2	负序定时限及反时限过电流保护	194
7.4.3	转子接地保护	197
7.5	发电机的失磁保护	198
7.5.1	发电机的失磁运行及其产生的影响	198
7.5.2	发电机失磁后的机端测量阻抗	200
7.5.3	发电机在其他运行方式下的机端测量阻抗	202
7.5.4	低励失磁保护的构成方式	203
7.6	发电机其他保护	207
7.6.1	逆功率保护	207
7.6.2	低频累加保护	208
7.6.3	突加电压保护	209
7.6.4	起停机保护	210
7.7	发电机-变压器组的保护特点	211
7.7.1	发电机-变压器组接线特点	211
7.7.2	发电机-变压器组纵联差动保护及发电机电压侧单相接地保护的特点	211
7.7.3	发变组的低阻抗保护	212
7.7.4	发变组过励磁保护	213
7.7.5	发变组失步保护	214
第 8 章	母线保护和断路器失灵保护	218
8.1	装设母线保护的基本原则	218
8.2	母线差动保护及其实现	219
8.2.1	完全电流差动母线保护基本原理	220
8.2.2	双母线同时运行时母差保护实现	221
8.2.3	集中式微机母线差动保护简介	225
8.3	电流比相母线保护的基本原理	227

8.3.1	模拟式电流比相母线保护的基本原理	227
8.3.2	微机分布式母线保护基本原理	228
8.4	断路器失灵保护	229
8.4.1	对断路器失灵保护的要求	229
8.4.2	断路器失灵保护的构成及其接线	230
第9章	电动机与电容器保护的整定计算	234
9.1	电动机综合保护	234
9.1.1	电动机综合保护的配置	234
9.1.2	相电流速断保护的整定计算	234
9.1.3	反时限负序过流保护	235
9.1.4	过热保护	236
9.1.5	长启动和正序电流保护	237
9.2	电力电容器保护	238
9.2.1	电容器的电流保护	238
9.2.2	电容器的电压保护	240
9.2.3	零序电流、电压保护	243
参考文献	244

第1章 绪 论

1.1 电力系统继电保护的任务

电力工业是国民经济的基础,是重要的支柱产业。它与国家的兴盛和人民的安康有着密切的关系,因此,电力产品应该是安全、可靠、优质、经济的能源产品。

随着国民经济的飞速发展,电力系统的规模越来越大,结构越来越复杂。在整个电力生产过程中,由于人为因素或大自然的原因,会发生这样那样的故障和出现不正常的运行状态。一旦发生故障即会产生如下后果:

- (1) 数值很大的短路电流通过短路点会燃起电弧,使故障设备烧坏、烧毁。
- (2) 短路电流通过故障设备和非故障设备时会发热并产生电动力作用,使设备受到机械性损坏和绝缘损伤以至缩短设备使用寿命。
- (3) 电力系统中电压下降,使大量用户的正常工作遭受破坏或产生废品。
- (4) 破坏电力系统各发电厂之间并列运行的稳定性,导致事故扩大,甚至造成整个系统瓦解、瘫痪。

对于电力系统运行中存在的这些故障隐患,必须采取积极的预防性措施,如提高设备质量,增加可靠性和延长使用寿命。而从运行管理角度出发,应提高从业人员的安全意识和增强责任心,提高科学管理水平,增强安全措施以尽量减少事故的发生。

对于不可抗拒事故的发生应做到即时发现,并迅速有选择性地切除故障器件,隔离故障范围,以保证系统非故障部分的安全稳定运行,尽可能减小停电范围,保护设备安全。

继电保护是一种能反应电力系统故障和不正常状态,并及时动作于断路器跳闸或发出信号的自动化设备。继电保护一词是指继电保护技术或由各种继电保护装置单元组成的继电保护系统。其主要任务是:

- (1) 自动、迅速、有选择地切除故障器件,使无故障部分设备恢复正常运行,故障部分设备免遭毁坏。
- (2) 发现电气器件的不正常状态,根据运行维护条件动作于发信号、减负荷或跳闸。

1.2 电力系统继电保护的基本要求

为了使继电保护能有效地履行其任务,在技术上,对动作于跳闸的继电保护应

满足四个基本要求,即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。现分别讨论如下。

1) 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时,仅将故障器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。

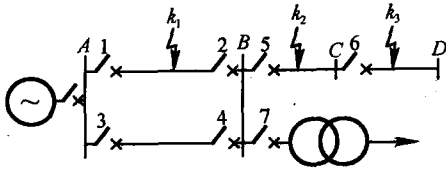


图 1-1 保护有选择性动作的说明

在图 1-1 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 和保护 2 动作跳闸,将故障线路切除,变电所 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 CD,此时只有变电所 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。

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,减少用户在低电压情况下的工作时间,减小故障器件的损坏程度。因此,速动性是指在发生故障时,保护装置力求尽可能快速动作切除故障。

在一些情况下,电力系统允许保护装置在切除故障时带有一定的延时。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器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) 根据维持系统稳定性的要求,必须快速切除高压输电线路上发生的故障;
- (2) 导致发电厂或重要用户的母线电压低于允许值(一般为额定电压的 70%)的故障;
- (3) 大容量的发电机、变压器及电动机内部所发生的故障;
- (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等;
- (5) 可能危及人身安全,对通信系统或铁道信号标志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为 0.06~0.12s,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发生故障时,不论短路点的位置在何处,短路的类型如何,系统是否发生振荡以及短路点是否有过渡电阻,都应敏锐感觉,正确反应。保护装置的灵敏性,通常用灵敏系数来衡量,它主要决定于被保护器件及电力系统的参数和运行方式。

4) 可靠性

保护装置的可靠性是指在所规定的保护范围内,发生了它应该动作的故障时,

它不应该拒绝动作；而在该保护不该动作的情况下，则不误动作。因此可靠性包括两方面的内容：可靠不拒动和可靠不误动。

一般说来，保护装置的组成器件的质量越高，接线越简单，保护装置的工作就越可靠。同时，科学的保护原理与合理配置、精细的制造工艺、正确的整定计算和调整试验、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的作用。

为了保证继电保护的可靠性，必须考虑继电保护或断路器拒绝动作的可能性，因此，除主保护（满足系统稳定性要求的时限内切除保护区内故障的保护）外，还需要考虑后备保护（当主保护拒动时用以切除该故障的另一套保护）和辅助保护（补充主保护、后备保护不足的保护）的问题。如图 1-1 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器件（线路）的后备保护。同理，保护 1 和保护 3 又应该作为保护 5 和保护 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（亦即与主保护安装位置不同的后备保护）。

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，也可以采用多重主保护和近后备保护（即与主保护同一安装位置的后备保护）的方式；当断路器拒绝动作时，就由同一发电厂或变电所内的其他有关保护和断路器动作，切除故障，该后备保护被称作断路器失灵保护。

应当指出，远后备保护的性能是比较完善的，它对于由相邻器件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源等所引起的拒绝动作，均能起到后备保护作用。同时，它的实现简单、经济，但切除故障的时限往往较长，在超高压电网中不能满足速动性的要求，因此，在高压（110kV）及以下电压等级可优先采用远后备，当远后备不能满足要求时，必须采用多重主保护、近后备和断路器失灵保护的方式；在超高压、特高压系统则应选用多重主保护、近后备和断路器失灵保护的配置方式，以满足速动性和可靠性要求。

继电保护装置除应满足以上技术层面的四项基本要求外，还应适当考虑经济条件。首先应从国民经济的整体利益出发，按被保护对象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给国民经济所造成的损失，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器件（如小容量电动机等），不应该装设过于复杂和昂贵的保护装置。

以上四个基本技术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些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

样的思想和分析方法。

1.3 电力系统继电保护的基本原理与分类

为完成继电保护的任務,首先需要正确区分电力系统正常运行与发生故障或不正常运行状态之间的差别,找出电力系统被保护范围内电气器件(输电线路、发电机、变压器等)发生故障或不正常运行时的特征,配置完善的保护以满足继电保护的要求。

电力系统不同电气器件故障或不正常运行时的特征可能是不同的,但在一般情况下,发生短路故障之后总是伴随电流增大,电压降低,电流、电压间的相位发生变化,测量阻抗发生变化等,利用正常运行时这些基本参数与故障后的稳定值间的区别,可以构成不同稳态原理的继电保护(简称稳态保护)。例如反应电流增大的过流保护,反应电压降低的低电压保护,反应故障点到保护安装处之间距离(或阻抗)的距离保护,反应电流、电压间相位的方向保护等。

随着微型计算机继电保护的深入发展,以电力系统故障过程中的瞬间信息为故障特征的瞬态保护应运而生。如输电线路行波保护,基波突变量保护、故障分量距离、故障分量方向、故障分量电流差动保护等。

构成各种继电保护装置时,可使它们反应每相中的某一个或几个基本电气参数(如相电流或相电压等),也可以使之反应这些基本参数的一个或几个对称分量(如负序、零序或正序量),例如利用零序构成接地保护,利用负序量构成相间保护。还可以使其反应基本参数的某次谐波分量,如发电机三次谐波定子单相接地保护。

除反应各电气器件电气量的保护外,还有根据各电气设备的特点实现反应非电量的保护,例如变压器油箱内部绕组短路时,反应油被分解产生气体而构成的瓦斯保护,反应电动机绕组温度升高而构成的过热保护等。

继电保护装置(或系统)是由各种继电器(机电式)或元件(静态保护和微机继电保护)组成。继电器或元件的分类方法很多,其中按不同参量的过量、欠量和差量划分的有过电流继电器、低电压继电器、电流差动继电器;若按其结构原理划分则有电磁型、整流型、晶体管型和微机型等继电器。

此外,还有保护定值随运行环境、运行方式、故障类型等因素的变化而实时自动调整或自动生成的自适应保护;以引入保护装置的现场物理量位置而分有单端信息保护、多端信息保护和基于网络通信的网络化保护等名目繁多的分类和称谓。

1.4 继电保护装置的基本结构

尽管继电保护装置的分类繁多,但就一般而言其基本结构主要包括现场信号输入部分、测量部分、逻辑判断部分和输出执行部分。原理结构框图如图 1-2 所示。

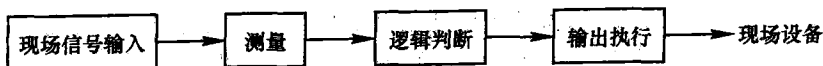


图 1-2 继电保护装置基本原理结构框图

1) 现场信号输入部分

现场信号输入继电保护装置一般要进行必要的前置处理,如隔离、电平转换、低通滤波等,使继电器能有效地检测各现场物理量。

2) 测量部分

测量部分是检测经现场信号输入电路处理后的与被保护对象有关的物理量,并与已给定的定值或自动实时生成的判据(自适应保护)进行比较,根据比较的结果给出“是”,或“非”,即“0”和“1”性质的一组逻辑信号或电平信号,经判断确定保护是否应启动。

3) 逻辑判断部分

逻辑判断部分是根据测量部分各输出量的大小、性质、逻辑状态、输出顺序等信息,按一定的逻辑关系组合、运算,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。常用逻辑一般有“或”、“与”、“非”、“延时”、“记忆”等功能。

4) 输出执行部分

输出执行部分是根据逻辑部分送来的出口信号,完成保护装置的最终任务。主要负责保护装置与现场设备的隔离、连接、电平转换、出口跳闸的功率驱动,以及现场设备状态信息的反馈等,以使继电保护装置能可靠地工作于电力设备发生故障时跳闸,不正常运行时发出信号,正常运行时不动作的理想状态。

1.5 继电保护的发展历史及现状

继电保护技术随着电力系统的发展而发展,同时也随着通信、信息、电子、计算机等相关技术的发展而不断创新。为了保护电机免受短路电流的破坏,首先出现了反应电流超过一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方式。这种保护方式至今仍广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是融保护装置与切断电流的装置于一体,其结构最为简单。由于用电设备的功率、发电机的容量不断增大,发电厂、变电站和供电网的结线不断复杂化,电力系统中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等四项基本技术要求,于是出现了作用于断路器的过电流继电器。19世纪80年代出现了用于断路器上直接反应一次短路电流的电磁型过电流继电器。

1901年出现了感应型过电流继电器。1908年提出了比较被保护器件两端电流的电流差动保护原理。1910年方向性电流保护开始得到应用,20世纪20年代初距离保护装置出现。随着电力系统载波通信的发展,在1927年前后,出现了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向或电流相位的高频

保护装置。20世纪50年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线两端故障电气量的微波保护。并提出了利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,70年代终于诞生了行波保护装置。近些年随着光纤通信的发展,光纤保护得到广泛应用,如光纤差动保护、光纤距离保护等。

继电保护装置的器件、材料和保护装置的结构型式、制造工艺等也与时俱进发生了巨大的变革。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的。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器。由机电式继电器组成的继电保护装置称为机电式保护装置。这种保护装置体积大,消耗功率大,动作速度慢,机械转动部分和触点容易损坏或粘连,调试维护比较复杂,不能满足超高压、大容量电力系统的要求。目前已基本被淘汰。

20世纪50年代,开始出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小,功率消耗小,动作速度快,无机械转动部分,称之为电子式静态保护装置。随着大规模集成电路的发展,80年代后期,集成电路继电保护装置很快取代了晶体管继电保护装置,成为静态继电保护装置的主要型式。

20世纪60年代末,电子计算机一问世,便进行了对继电保护计算机算法的大量研究,为今天微型计算机式继电保护(以下简称微机继电保护)的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的迅速发展及其价格的急剧下降,在70年代后期,出现了比较完善的微机继电保护样机,并投入到电力系统中试运行。80年代微机继电保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟。微机继电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。微机继电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,微机继电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。微机继电保护除了具有保护功能外,还有故障录波、故障测距、事件顺序记录,以及与调度计算机交换信息等辅助功能,这对于简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。进入90年代以来,在我国得到大量应用,已成为继电保护装置的主要型式,是当今电力系统安全控制、运行调度及事故处理等综合自动化系统的重要组成部分。

随着计算机技术、微电子技术、网络通信技术、信息技术的不断发展,最新研制的微机继电保护的体积更小,功能更强,性能更优,如硬件结构方面,采用具有强大数据处理功能的DSP微处理芯片、人工神经网络芯片、低功耗可编程复杂逻辑芯片(CPLD)和高集成度专用芯片(ASIC)后,装置的体积,功耗,可靠性等方面得到很大提升;近年来在保护原理、动作判据算法等新技术的推动下,我国微机继电保护正向微型化、网络化和人性化的智能保护方向高速发展。

所谓智能保护即成套保护装置的所有元件均用自适应方法实现,其目标之一是动作门槛自动生成,无须人工整定,目标之二是整套装置根据运行环境、运行方式和故障类型的变化实时调整动作门槛值,使保护装置始终工作在最佳状态。

第 2 章 微机继电保护基础

微机继电保护以微型计算机或具有强大数据处理功能的 DSP 微处理芯片为核心,用数字电路代替传统的模拟电路,用数字信号处理技术来完成各种模拟计算和逻辑功能。微机保护硬件原理、模拟信号的数字化及处理技术、电力系统的故障参数计算等均是微机继电保护的重要基础。

2.1 微机继电保护的硬件构成原理

微机继电保护是以微型计算机为核心,配置相应的外围接口,执行元件的计算机控制系统。根据保护装置微处理器的多少可分为单处理器系统和多处理器系统。其硬件构成包括以下五个部分。

1) 微机系统

微机系统的任务是对反映电力系统运行状态的电压、电流等电气量和非电气量的实时数据进行采集、分析和处理,实现各种继电保护功能。同时,在电力系统正常运行时,微机系统还实时进行工况检测和自检,以提高工作可靠性。微机系统种类较多,常用的主要有 8 位单片机、16 位单片机、32 位单片机和数字处理器(DSP)等微处理器芯片为核心的多 CPU 系统。

2) 模拟数据采集系统

模拟数据采集系统是把模拟量信号采集转换成对应的数字量的硬件电路设备,包括前置低通滤波器。

3) 开关量输入和输出系统

使用一些并行接口设备和光电隔离元件来完成各种继电保护命令(如出口跳闸、信号报警)及外部节点输入和人机对话任务的相关电路称为开关量输入和输出系统。

4) 人机对话微机系统

人机对话微机系统用一个专用的微机系统来完成微机继电保护的调试、工作方式设定、整定值输入、保护装置定期检查、保护动作行为的记录、保护装置与系统的通信等任务。

5) 电源系统

电源系统是保护装置可靠工作的基础,除精度、纹波系数等指标有一定要求外,还必须能连续可靠地供给保护系统多个不同电压的直流电源。常用的有 3V、5V、±15V、24V 等直流电源。