



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

第三版

李佑光 钟加勇 编著
林 东 罗 平



科学出版社

普通高等学

科教材

电力系统继电保护 原理及新技术

(第三版)

李佑光 钟加勇
林 东 罗 平 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在系统全面讲述继电保护基本原理和整定计算方法的基础上,着力体现故障分量、自适应和智能电网数字化继电保护等新技术的应用。对智能变电站继电保护、高压输电线路和大型发电机、变压器的微机保护做了较深入的讨论,对电动机、电容器等电气设备的保护也做了适当介绍。

全书共 11 章。内容包括绪论,微机、数字化继电保护基础,基于单端信息的输电线路相间短路保护,基于单端信息的线路接地短路保护,输电线路全线快速保护,自动重合闸,电力变压器的继电保护,发电机保护,母线保护及断路器失灵保护,高压电动机、电容器保护,智能变电站继电保护新技术。

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/李佑光等编著. —3 版. —北京:科学出版社,2017. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-051844-6

I. ①电… II. ①李… 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(2017)第 033591 号

责任编辑:余 江 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底书装

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 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:787×1092 1/16

2009 年 8 月第 二 版 印张:15 3/4

2017 年 2 月第 三 版 字数:356 000

— 2017 年 2 月第十二次印刷

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

《电力系统继电保护原理及新技术》(第二版)出版使用7年来,随着通信、信息处理等新技术的不断发展,继电保护从原理到技术也有了较大变化。在我国智能电网、智能发电厂和智能变电站建设中,数字化继电保护新技术起到了至关重要的作用,这对广大从事继电保护专业的工作人员既是机遇,也是挑战,只有不断学习、坚持创新,才能跟上知识爆炸时代的步伐。

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,着力反映近几年来继电保护的新技术。除对第二版基本内容适当调整外,增加了智能变电站继电保护新技术内容。

高校专业教学改革的深入,个性化特点凸显,使本门课程学时数和内容的选择各有侧重,为此编者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。本书除了介绍基础理论和基本概念,还从实用角度出发对一些技术细节做了较深入的讨论,以期对初学者和科研人员都有建设性的帮助。

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原理,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。既可作为高等院校本科电类专业教材,还适合相关专业的广大科技人员、工程技术人员阅读和参考。

本书由李佑光、钟加勇、林东、罗平共同完成,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

2016年11月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 电力系统继电保护的任务与要求	1
1.2 电力系统继电保护的基本原理及分类	3
1.3 继电保护装置的基本结构与配置原则	3
1.3.1 基本结构	3
1.3.2 配置原则	4
1.4 继电保护的历史、现状与发展趋势	5
练习与思考	6
第 2 章 微机、数字化继电保护基础	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	16
2.1.3 人机对话系统的硬件原理	17
2.1.4 时钟同步系统基本概念	23
2.2 微机继电保护的基本算法	24
2.2.1 周期函数模型算法	24
2.2.2 自适应突变变量算法	29
2.2.3 故障分量及算法	31
2.2.4 采样频率跟踪的自适应算法	32
练习与思考	33
第 3 章 基于单端信息的输电线路相间短路保护	34
3.1 单侧电源辐射网络线路相间短路的电流、电压保护	34
3.1.1 单侧电源辐射网络线路的保护配置与组成逻辑	34
3.1.2 电流速断保护	35
3.1.3 自适应电压、电流速断保护	38
3.1.4 限时电流速断保护	39
3.1.5 定时限过电流保护	42
3.1.6 反时限电流保护	44
3.2 单侧电源辐射线路相间距离保护	46
3.2.1 阻抗继电器	46
3.2.2 单侧电源辐射线路相间距离保护的配置与组成逻辑	49
3.2.3 距离保护基本原理及整定计算	50
3.3 双侧电源复杂网络线路相间短路保护	51
3.3.1 相间功率方向继电器的工作原理及接线方式	52

3.3.2	双侧电源网络线路中电流保护整定的特点	54
3.3.3	三相线路电流保护的互感器连接方式	57
3.3.4	带方向的阻抗继电器动作特性	59
3.3.5	双侧电源复杂网络线路距离保护整定计算与特点	62
	练习与思考	66
第4章	基于单端信息的线路接地短路保护	67
4.1	大电流接地系统高压线路接地短路保护	67
4.1.1	零序电压过滤器	68
4.1.2	零序电流过滤器	69
4.1.3	零序电流速断(零序电流Ⅰ段)保护	71
4.1.4	零序电流限时速断(零序电流Ⅱ段)保护	71
4.1.5	零序过电流(零序电流Ⅲ段)保护	72
4.1.6	方向性零序电流保护	75
4.1.7	对零序电流保护的评价	76
4.1.8	接地距离保护及其接线方式	77
4.1.9	自适应故障分量距离保护原理	78
4.2	小电流接地电网单相接地保护	81
4.2.1	中性点不接地电网中单相接地故障的特点	81
4.2.2	中性点不接地电网中单相接地保护	83
4.2.3	中性点经消弧线圈接地电网中单相接地故障的特点	84
4.2.4	中性点经电阻接地系统中线路接地保护	86
	练习与思考	87
第5章	输电线路全线快速保护	88
5.1	概述	88
5.1.1	220kV及以上超高压线路的特点及保护配置	88
5.1.2	输电线路纵联快速保护的组成	89
5.1.3	输电线路纵联保护的分类	89
5.1.4	输电线路纵联保护的发展趋势	91
5.2	线路的光纤差动保护	91
5.2.1	无制动特性的线路纵差保护	91
5.2.2	线路的光纤比率制动电流纵差保护	93
5.2.3	线路横差保护	100
5.3	线路高频电流保护	104
5.3.1	高频保护的基本概念	104
5.3.2	高频通道的构成原理	105
5.3.3	高频通道的工作方式和高频信号的种类	107
5.3.4	高频闭锁方向保护的基本原理	109
5.3.5	高频闭锁方向保护的启动方式	110
5.4	线路纵联距离、零序保护	111
5.5	影响线路保护性能的因数及对策	113

5.5.1	短路点过渡电阻对距离保护的影响	113
5.5.2	电力系统振荡对保护的影响	115
	练习与思考	118
第6章	自动重合闸	120
6.1	自动重合闸在电力系统中的作用与要求	120
6.1.1	自动重合闸的作用	120
6.1.2	使用自动重合闸的负面影响	120
6.1.3	对自动重合闸装置的基本要求	121
6.2	双侧电源送电线路重合闸的方式及选择原则	121
6.2.1	双侧电源的送电线路重合闸的特点	121
6.2.2	双侧电源送电线路重合闸的主要方式	122
6.3	重合闸动作时限的选择原则	122
6.3.1	单侧电源线路的三相重合闸	122
6.3.2	双侧电源线路的三相重合闸	123
6.4	重合闸与继电保护的配合	123
6.4.1	重合闸前加速保护	123
6.4.2	重合闸后加速保护	124
6.5	单相自动重合闸	125
6.5.1	故障相选择元件	125
6.5.2	动作时限的选择	125
6.5.3	对单相重合闸的评价	127
6.6	综合重合闸简介	127
	练习与思考	128
第7章	电力变压器的继电保护	129
7.1	变压器保护配置	129
7.2	变压器的非电气量保护	131
7.2.1	温度保护	131
7.2.2	压力保护	133
7.3	变压器的差动保护	134
7.3.1	变压器结构特点及其对纵联差动保护的影响	134
7.3.2	变压器无制动特性纵联差动	137
7.3.3	变压器微机比率制动纵差保护	138
7.4	变压器的电流电压保护	142
7.4.1	过电流保护	142
7.4.2	低电压启动的过流保护	142
7.4.3	复合电压启动的方向过流保护	143
7.5	变压器的接地保护	144
7.5.1	变压器中性点直接接地的零序电流保护	144
7.5.2	中性点部分接地运行系统中分级绝缘变压器的零序保护	145
7.5.3	自耦变压器接地保护的特点	147

练习与思考	147
第 8 章 发电机保护	148
8.1 发电机保护配置	148
8.2 发电机定子绕组的相间、匝间故障保护	149
8.2.1 发电机无制动特性纵差保护	149
8.2.2 发电机微机比率制动特性纵差保护原理	150
8.2.3 发电机标量积制动特性纵差保护原理	152
8.2.4 发电机定子匝间短路保护	152
8.3 发电机定子接地故障保护	155
8.3.1 定子绕组单相接地故障的特点	155
8.3.2 零序电流接地保护	156
8.3.3 零序电压接地保护	157
8.3.4 三次谐波电压接地保护	158
8.4 发电机转子故障保护	159
8.4.1 发电机转子发热保护	159
8.4.2 发电机转子接地保护	161
8.5 发电机低励失磁保护	163
8.5.1 发电机失磁运行的后果	163
8.5.2 发电机端测量阻抗原理的失磁保护	163
8.5.3 发电机失磁保护的綜合解决方案	166
8.6 发电机的其他保护简介	170
8.6.1 逆功率保护	170
8.6.2 低频累加、突加电压和启停机保护	171
8.7 发变组保护特点	172
8.7.1 发变组纵差保护及发电机电压侧接地保护的特点	173
8.7.2 发变组阻抗保护及过激磁保护	173
8.7.3 发变组振荡失步保护	176
练习与思考	179
第 9 章 母线保护及断路器失灵保护	180
9.1 母线保护配置	180
9.1.1 母线故障的原因及处理方法	180
9.1.2 专用的母线保护配置	182
9.2 母线电流幅值差动保护	182
9.2.1 单母线完全电流幅值差动保护原理	183
9.2.2 双母线同时运行时母差保护实现	184
9.2.3 母联充电保护	186
9.2.4 母联过流保护	187
9.2.5 母联失灵与母联死区保护	188
9.2.6 母线运行方式识别	188
9.2.7 3/2 断路器接线母线保护的特点	189

9.3	电流比相母线保护	190
9.4	断路器失灵保护	191
	练习与思考	195
第 10 章	高压电动机、电容器保护	196
10.1	电动机综合保护	196
10.1.1	电动机综合保护的配置	196
10.1.2	相电流速断保护的整定计算	196
10.1.3	反时限负序过流保护	197
10.1.4	过热保护	198
10.1.5	长启动和正序电流保护	199
10.2	电力电容器保护	199
10.2.1	电容器的电流保护	199
10.2.2	电容器的电压保护	201
10.2.3	零序电流、电压保护	203
	练习与思考	204
第 11 章	智能变电站继电保护新技术	205
11.1	智能变电站体系架构	205
11.2	智能变电站继电保护系统	206
11.2.1	非常规互感器	206
11.2.2	合并单元	207
11.2.3	智能操作箱	208
11.3	智能变电站继电保护建模技术	209
11.3.1	IEC 61850 标准体系结构	209
11.3.2	智能变电站配置描述语言	211
11.3.3	智能变电站继电保护模型	213
11.4	智能变电站继电保护 GOOSE 传输	221
11.5	继电保护调试实例	224
11.5.1	测试仪 PNF800 的使用操作方法	224
11.5.2	220kV 线路保护调试	235
11.5.3	母线保护调试	237
11.5.4	变压器保护	239
	练习与思考	239
	参考文献	240

第 1 章 绪 论

1.1 电力系统继电保护的 task 与要求

1. 电力系统继电保护的 task

电力工业是国民经济基础,能源战略支柱,它与国家的兴盛和人民安康幸福有着密切的关系,因此,要求电力产品必须安全、可靠、优质、经济。

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,难免会发生这样那样的故障和不正常运行状态。

电力系统非正常运行可能引发故障,一旦发生故障会产生以下严重后果。

- (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、损毁。
- (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,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。从运行管理角度出发,应提高从业人员的专业水平、安全意识和增强责任心,提高科学管理水平,强化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及时发现,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。

继电保护就是一种能及时反应电力系统故障和不正常状态,并动作于断路器跳闸或发出信号的自动化设备,也是研究电力系统故障和危及安全运行的异常工况,以探讨其对策的反事故自动化措施。继电保护一词是指继电保护技术或由各种继电保护装置(或单元)组成的继电保护系统。其主要 task 如下。

- (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) 及时发现电气器件的不正常状态,根据运行维护条件发信号、减负荷或跳闸。

2. 对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 task,在技术上,对动作于跳闸的继电保护应满足四个基本要求,即灵敏性、选择性、速动性和可靠性。现分别讨论如下。

1) 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,无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元件及电力系统的参数、故障类型和运行方式。

2) 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。

在图 1-1 所示的网络中,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。

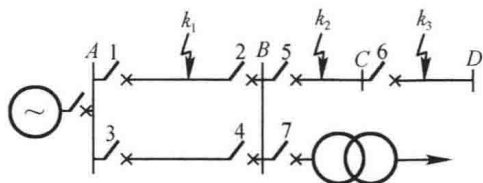


图 1-1 保护的选择性说明图

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。

3) 速动性

快速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。

在某些情况下,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,需快速切除高压输电电路上发生的故障;
- (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。

4) 可靠性

保护装置的可靠性是指在规定的保护范围内,发生了应该动作的故障时,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。因此可靠性包含两方面的内容:可靠不拒动和可靠不误动,从这一层面讲,灵敏性和选择性又可看作是可靠性的细分指标。

一般来说,保护装置的组成硬件的质量越高,现场接线越简单,保护装置的工作就越可靠。同时,科学的保护原理与合理的保护配置、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均具有重要的作用。

继电保护装置除应满足以上技术层面的 4 个基本要求外,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配置方式,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。

以上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脉络。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要求之间的辩证统一关系而进行的。学习中,应注意运用这样的思想和分析方法。

1.2 电力系统继电保护的基本原理及分类

要完成继电保护的任务,首先应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设备(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,有针对性配置完善的保护以满足继电保护技术要求。

电力系统不同电气元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。例如,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、零序或正序等)。例如,利用零序构成接地保护,利用负序量构成相间保护。

绝大多数保护启动量是基于工频的基波信号,也有一些利用反映基本参数的某次谐波分量的保护。例如,发电机三次谐波定子单相接地保护,变压器保护的二次、五次谐波制动等。

除反应各电气元件电气量的保护外,还有根据电气设备的特点实现反应非电气量的保护。例如,变压器油箱内部绕组短路时,反应油被分解产生气体压力而构成的瓦斯保护,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(微机电保护)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。从继电保护系统的规模和检测控制方式可分为集中式和分布式。

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调整或自动生成的自适应保护;根据引入保护装置的现场物理量位置不同又有单端信息保护、多端信息的纵联保护;直接引入数字化物理量的数字化保护、智能保护等名目繁多的分类和称谓。

1.3 继电保护装置的基本结构与配置原则

1.3.1 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。

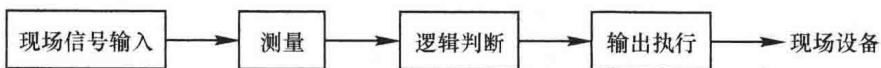


图 1-2 继电保护装置基本原理结构框图

1) 现场信号输入部分

现场物理量有电气量和非电气量,有状态量和模拟量,微机保护中,如果现场模拟量由传统电磁型互感器引入需要如电平转换、低通滤波等前置处理后再转换成数字量。如果现场模拟量是由电子互感器、光电互感器等数字传感器引入则前置处理、A/D 转换均由互感器实现,保护装置硬件得到简化。

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

非智能电器系统继电保护的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、出口跳闸功率驱动等。

1.3.2 配置原则

电力系统继电保护配置指的是对被保护对象,选用恰当的保护元件(或继电器)组成满足基本技术要求的高效保护系统。因此,针对不同的保护个体配置方案可能是不同的,但总的配置原则仍是从四个技术基本要求出发。

从可靠性考虑,必然会想到继电保护或断路器拒绝动作的可能性。应对继电保护拒动常用双重主保护或配置主保护和后备保护的方案解决。所谓主保护是指按系统稳定性要求的时限内切除保护区内故障的保护,如阶段式电流速断和限时速断,而后备保护则是指当主保护拒动时用以切除该故障的另一套保护,如定时限过流保护。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 C 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。此外在某些特殊情况下可能存在主保护和后被保护均不起作用的死区,这时还应配置用以补充主保护、后备保护不足的辅助保护。

应当指出,在保护配置过程中除了考虑可靠性,还应兼顾速动性指标。阶段式配置中的远后备性能比较完善,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、特高压电网中不能满足速动性指标的要求,因此,在高压(110kV)及以下

电压等级可优先采用远后备,当远后备不能满足速动性指标要求时,必须配置断路器失灵保护;目前在超高压、特高压系统均选用多重主保护、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。

1.4 继电保护的历史、现状与发展趋势

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。最初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,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和电网的接线不断复杂化,熔断器不能满足选择性和速动性等技术要求,19世纪80年代出现了在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年方向保护开始应用,20世纪20年代距离保护出现。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。20世纪50年代出现利用微波中继通信的微波保护。20世纪70年代又诞生了行波保护。近些年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形式、制造工艺等也在与时俱进不停变革。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。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器或机电式保护装置。这种保护装置因体积大、能耗大、动作速度慢,转动部分和触点容易损坏或粘连,调试维护复杂而被淘汰。20世纪50年代,曾短时出现过晶体管式继电保护,也称为电子式静态保护装置。但随着大规模集成电路、计算机技术的发展,20世纪80年代后期很快被微机继电保护装置取代。

20世纪60年代末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,有存储记忆和自检功能,因而可用以实现任何性能完善且复杂的保护原理,可靠性很高,可用同一硬件实现不同的保护原理,制造大为简化,易于保护装置的标准化。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,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20世纪90年代以来,在我国得到大量应用。当今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微处理芯片和FPGA等芯片后,装置的体积、功耗、可靠性等方面得到很大提升,基于国际通信标准IEC 61850的新一代数字化保护已在国内多个变电站推广应用,整体综合性能已跻身世界先进行列。

在建设坚强智能电网的新形势下,保护原理、动作判据算法等技术必然会不断创新,我国继电保护必将向测量数字化、事件GOOSE化、状态可视化、功能一体化、信息互动化和界面人性化的智能保护方向高速发展。智能保护的重要特征之一是保护装置的所有功能件均能自适应。所谓自适应,即是保护动作门槛无需人工整定,根据运行环境、运行方式和故障类型的变化自动实时生成或调整,使保护装置始终工作在最佳状态。随着IEC 61850通信标准的规范实施,打通了不同保护系统、自动化装备、智能电器设备间资源共享,事件、信息互联互通、控制操作互动的瓶颈。继电保护的功能大大延伸并与其他自动化、测控装备和功

能融合一体。保护系统结构将以高速可靠的通信网为支撑,以智能电气设备为目标节点的分布式网络形式出现。一般主保护由智能电气设备就地完成,后备保护则多由网络保护实现。智能保护无疑是高压智能器、智能厂站、智能电网不可缺失的核心技术之一。

练习与思考

- 1.1 继电保护的任务是什么?
- 1.2 对电力系统继电保护有哪些基本技术要求? 简述它们的含义。
- 1.3 什么是主保护、远后备保护、辅助保护、断路器失灵保护?
- 1.4 220kV 及以上电压等级电网的保护配置一般原则是什么?
- 1.5 请你展望电力系统继电保护未来的发展趋势。

第 2 章 微机、数字化继电保护基础

近年来电力系统自动化设备全面进入数字时代,微机继电保护、数字化继电保护(数字式、智能变电站继电保护的简称)是以单片机、DSP 为核心的安全自动化设备。微机继电保护的现场输入信号一般由传统电磁式互感器提供,输出命令由开关量输出电路执行;数字化继电保护的现场输入信号则主要是由电子互感器或合并器提供的数字量采样值(Sampled Value, SV),输出功能是以面向通用对象的变电站事件(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE)报文形式用通信方式来实现的。当下大量运行的仍是微机继电保护,数字化继电保护正在快速推广应用,新一代保护装置一般兼有二者功能,以便适应不同用户的需要。本章重点介绍微机保护基础知识,数字化继电保护将在第 11 章中详细介绍。

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)等以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等。

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,还必须能有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。

微机继电保护的硬件构成原理框图如图 2-1 所示。本章将对数据采集系统和开关量输入输出系统的构成原理及作用进行详细的讨论,对人机对话微机系统的基本作用做简要的

介绍。关于微机系统的组成原理已有专门的课程介绍,这里不再讨论。

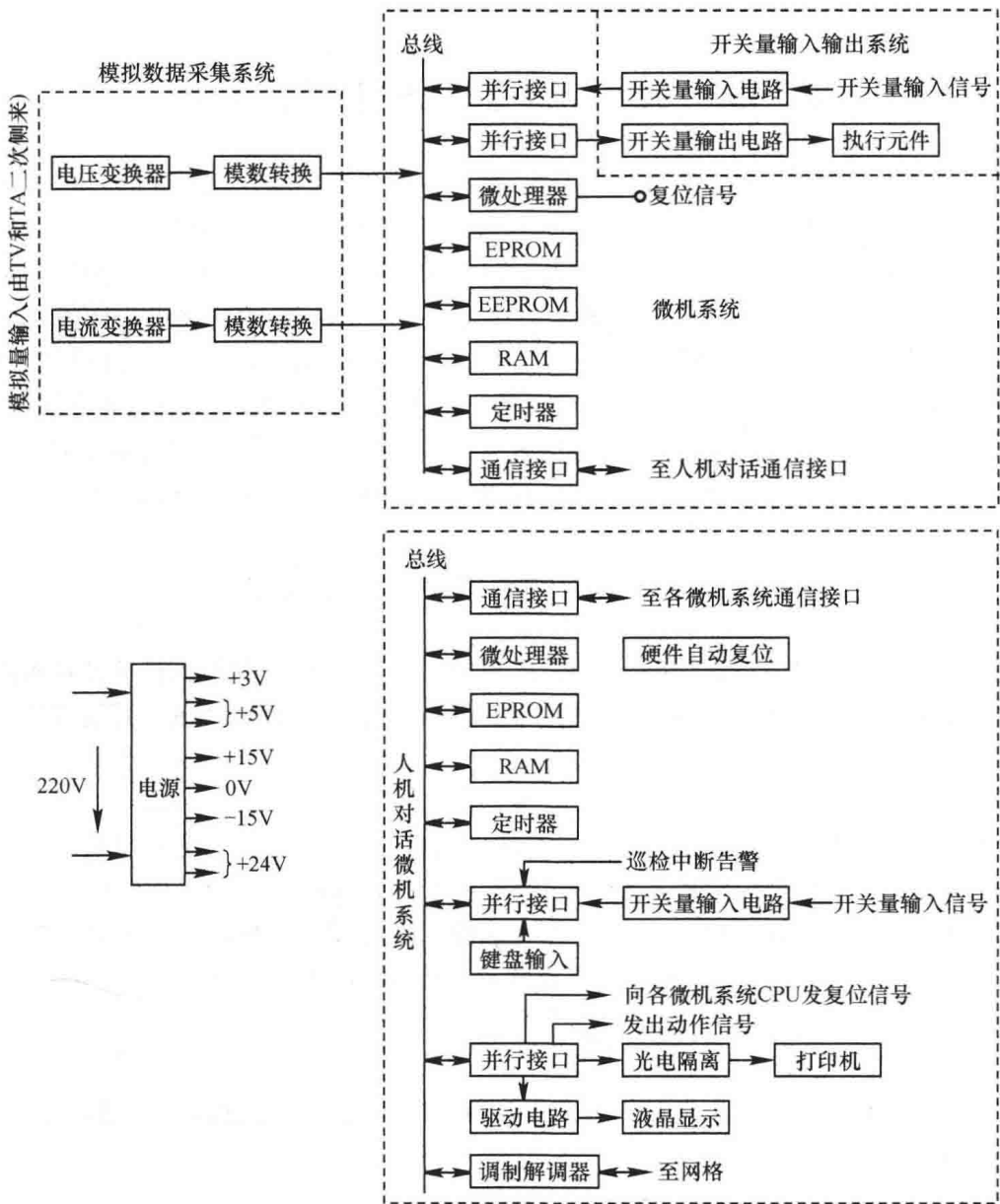


图 2-1 微机继电保护的硬件构成原理框图

2.1.1 模拟数据采集系统

电力系统运行时,各运行变量如节点电压和线路上的电流都是时间的连续函数,即都是模拟量,而数字式的微机继电保护只能接收和处理数字信号。为此,首先必须将来自被保护对象的现场模拟信号(交、直流电压和电流等)进行采样和模数转换(A/D)处理,将模拟量转换成对应的数字量。

所谓采样,即将连续时间信号变为对应的离散信号的过程。

将时间上连续的模拟信号转换成与之对应的在时间上离散的信号的理论基础就是采样定理。采样定理的内容是:对连续时间信号 $x(t)$ 进行采样时,周期采样频率 f_s 必须大于被