

21世纪全国高等院校 **自动化系列** 实用规划教材

电力系统继电保护

(第**2**版)

主 编 马永翔

- 内容上突出微机保护等新知识，体现新颖性
- 形式上丰富教学目标等新构架，体现可读性
- 习题更注重工程实际内容应用，体现实用性



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

电力系统继电保护 (第 2 版)

主 编 马永翔
副主编 王世荣 邵文权
主 审 董新洲



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是在《电力系统继电保护》第1版的基础上,根据继电保护技术的发展对各章的内容进行修改和充实而成的。

全书共分9章,内容包括绪论、电网的电流保护、电网的距离保护、输电线路纵联保护、自动重合闸、电力变压器的继电保护、发电机的继电保护、母线保护及微机继电保护。

本书可作为高等院校电气工程类及其相关专业学生的本科教材,同时也可供电力工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/马永翔主编.—2版.—北京:北京大学出版社,2013.1

(21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-21366-7

I. ①电… II. ①马… 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(2012)第236464号

书 名: 电力系统继电保护(第2版)

著作责任者: 马永翔 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21366-7/TP·1254

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京世知印务有限公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 22印张 507千字

2006年8月第1版 2013年1月第2版 2013年1月第1次印刷

定 价: 42.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

第 2 版前言

继电保护是一门实践性很强的技术，继电保护问题的解决既需要科学的理论，也需要处理工程问题的技巧。传统的保护退出现场运行，究其原因，并非传统保护的性能、原理不够完善，而是其实现手段上受到了限制，目前虽然广泛应用微机保护，但传统保护对当代继电保护工作者仍有很好的启发作用。因此，应对其加以改造，使之完善。

由于各人的观点不同，解决问题的方法也相异，本书在编写过程中，正是基于继承、发展和创新的观点，对继电保护知识予以介绍。

为了保证其内容的完整性，在 2 版修订过程中，仍然采用 1 版中 9 章的编写体例，但增加了以下显著特点。

在内容上，对各章均做了大量的充实，删去了目前系统已淘汰的继电器原理及相关内容的介绍，着力从微机保护要求的角度进行阐述，从而体现新颖性。

在形式上，每章前给出知识结构、教学目标及要求，正文中间给出小提示、章末附小结、关键词及与该章内容相关的阅读材料，从而体现可读性。

在题型上改变了 1 版仅有的问答题、计算题的模式，2 版不仅增加了填空题、选择题、判断题等题型，同时又充实并更新了各章的问答题、计算题。与 1 版相比，2 版题型、题量都更为丰富，而且更注重与工程现场实际及行业标准的联系，从而体现了实用性。

书末附有习题参考答案，以便读者学习和理解。

本书由马永翔担任主编。其中马永翔编写了第 1、3、7 章、答案及附录部分，王世荣编写了第 2、8 章，邵文权编写了第 4、5、6 章，赵栩编写了第 9 章。全书由马永翔进行统稿。

本书承蒙清华大学董新洲教授主审，他对本书提出了许多宝贵的意见和建议，在此深表谢意！在本书的编写过程中，编者参阅了许多国内兄弟单位的相关资料，同时还得到了西安交通大学索南加乐教授及电力系统有关技术人员的帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平和实践经验有限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2012 年 8 月

第 1 版前言

电力系统的飞速发展对继电保护不断提出新的要求，电子技术、计算机技术与通信技术的飞速发展又为继电保护技术的发展不断注入新的活力。未来继电保护的发展趋势是向计算机化，网络化，保护、控制、测量和数据通信一体化，智能化发展。

1. 计算机化

随着计算机硬件技术的迅猛发展，微机保护硬件也在不断发展。从初期的 8 位单 CPU 结构问世，不到 5 年时间就发展到多 CPU 结构，后来又发展到总线不出模块的大规模结构。除了具备“保护”的基本功能外，还具有大容量故障信息和数据的长期存放空间，快速的数据处理功能，强大的通信能力，与其他保护、控制装置和调度联网以共享全系统数据、信息和网络资源的能力，高级语言编程等。这样就使得微机保护装置具有相当于一台 PC 机的功能。在微机保护发展初期，曾设想过用一台小型计算机作成继电保护装置。由于当时小型机体积大、成本高、可靠性差，这一设想没能实现。现在，同微机保护装置大小相似的工控机的功能、速断、存储容量都大大超过当年的小型机，因此，用成套工控机作成继电保护的时机已经成熟，这将是微机保护的发展方向之一。

2. 网络化

计算机网络作为信息和数据通信工具已成为信息时代的技术支柱，使人类生产和社会生活的面貌发生了根本性的变化。它深刻影响着各个工业领域，也为各个工业领域提供了强有力的通信手段。到目前为止，除了差动保护和纵联差保护外，所有继电保护装置都只能反应保护安装处的电气量。继电保护的作用也只限于切除故障元件，缩小事故影响范围。这主要是由于缺乏强有力的通信手段。国外早已提出过系统保护的概念，这在当时主要指安全自动装置。因此保护的作用不仅限于切除故障元件和限制事故影响范围（这是首要任务），还要保证全系统的安全稳运行。这就要求每个保护单元都能共享全系统运行和故障的数据，各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作，确保系统的安全稳定运行。显然，实现这种系统保护的基本条件是将全系统各主要设备的保护装置用计算机网络连接起来，亦即实现微机保护装置的网络化。这在当前的技术条件下是完全可能的。

3. 保护、控制、测量、数据通信一体化

在实现继电保护的计算机化和网络化的条件下，保护装置实际上就是一台高性能、多功能的计算机，是整个电力系统计算机网络上的一个智能终端。它可以从网络上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据，也可将它所获得的被保护元件的任何信息和数据传送给网络控制中心或任一终端。因此，每个微机保护装置不但可完成继电保护功能，而且在无故障正常运行情况下还可完成测量、控制、数据通信功能，亦即实现保护、测量、数据通信一体化。

目前，为了测量、保护和控制的需要，室外变电站的所有设备，如变压器、线路等的二次电压、电流都必须用控制电缆引到主控室。所敷设的大量控制电缆不但需要大量投



资,而且使二次回路非常复杂。若将上述的保护、控制、测量、数据通信一体化的计算机装置就地安装在室外变电站的被保护设备旁,将被保护设备的电压、电流量在此装置内转换成数字量后,通过计算机网络送到主控室,则可免除大量的控制电缆。如果用光纤作为网络的传输介质,还可免除电磁干扰。现在光电流互感器(OTA)和光电压互感器(OTV)已在研究试验阶段,今后必将在电力系统重得到广泛应用。在采用OTA和OTV的情况下,保护装置应放在距OTA和OTV最近的地方,亦即应放在被保护设备的附近。OTA和OTV的光电信号输入到此一体化装置中并转换成电信号后,一方面用作保护的计算判断,另一方面作为测量量,通过网络送主控室。从主控室通过网络可将对被保护设备的操作控制命令送到此一体化装置,由此一体化装置执行断路器的操作。

4. 智能化

近年来,人工智能技术如神经网络、遗传算法、进化规划、模糊逻辑等在电力系统各领域的应用,在继电保护领域应用的研究也已开始。神经网络是一种非线性映射的方法,很多难以列出方程或难以求解的复杂的非线性问题,应用神经网络方法后则可迎刃而解。如在输电线路两侧系统电势角度摆开情况下发生经过渡电阻的短路就是一类非线性问题,距离保护很难正确作出故障位置的判断,从而造成误动或拒动。如果用神经网络方法,经过大量故障样本的训练,只要样本集中充分考虑了各种情况,则在发生任何故障时都可正确判断。其他如遗传算法、进化规划算法等也都有其独特的求解复杂问题的能力。将这些人工智能方法适当结合可使求解速度更快。

新中国成立以来,我国电力系统继电保护技术经历了4个时代。随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步,继电保护技术面临着进一步发展的趋势。国内继电保护技术的趋势为计算机化,网络化,保护、控制、测量、数据通信一体化和人工智能化,这对继电保护工作者提出了艰巨的任务,也开辟了活动的广阔天地。

本书由马永翔编写第1、3、6、7章,王世荣编写第2、8章,于群编写第4、5章,赵栩编写第9章。全书由马永翔统稿。

本书由李建忠教授主审,在审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议,在此衷心感谢。在编写过程中,还得到了电力系统有关部门的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平和实践经验有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2006年5月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.3.2 零序分量过滤器	52
1.1 电力系统继电保护的任务和作用	2	2.3.3 三段式零序电流保护	53
1.2 继电保护的基本原理	4	2.3.4 方向性零序电流保护	57
1.3 继电保护的组成及分类	4	2.3.5 对零序电流保护的评价	59
1.4 传统继电保护装置的要求	7	2.3.6 零序电流保护整定计算 举例	60
1.4.1 可靠性	7	2.4 小电流接地系统的单相接地保护	65
1.4.2 选择性	8	2.4.1 中性点不接地系统中单相接地 故障的特点	65
1.4.3 速动性	9	2.4.2 中性点不接地系统的接地 保护	68
1.4.4 灵敏性	9	2.4.3 中性点经消弧线圈接地 系统的特点	71
1.5 继电保护装置的新要求	10	2.4.4 补偿方式	72
1.5.1 精简性	10	2.4.5 中性点经消弧线圈接地 系统的接地保护	73
1.5.2 自适应性	11	本章小结	74
1.6 继电保护的发展历程	11	习题	75
1.7 电力系统继电保护工作者的要求	13	第 3 章 电网的距离保护	80
本章小结	14	3.1 距离保护的基本原理与组成	82
习题	15	3.1.1 距离保护的原理	82
第 2 章 电网的电流保护	18	3.1.2 三相系统中测量电压和测量 电流的选取	82
2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护	19	3.1.3 距离保护的时限特性	86
2.1.1 反应单一电气量的继电器	19	3.1.4 距离保护的组成	87
2.1.2 电流速断保护	21	3.2 阻抗继电器及其动作特性	88
2.1.3 限时电流速断保护	24	3.2.1 用复数阻抗平面分析阻抗 继电器的特性	88
2.1.4 定时限过电流保护	26	3.2.2 比幅原理和比相原理	89
2.1.5 阶段式电流保护的应用及 评价	29	3.2.3 阻抗继电器的动作特性和 动作方程	92
2.1.6 电流保护的接线方式	33	3.3 阻抗继电器的实现方法	97
2.2 电网相间短路的方向性电流保护	39	3.3.1 幅值比较原理的实现	97
2.2.1 方向性电流保护的工作 原理	39	3.3.2 相位比较原理的实现	99
2.2.2 功率方向判别元件	41	3.3.3 阻抗继电器的精确工作 电流和精确工作电压	102
2.2.3 相间短路功率方向元件的 接线方式	43	3.4 影响距离保护正确工作的因素	104
2.2.4 方向性电流保护的整定 计算	48		
2.2.5 对方向性电流保护的评价	49		
2.3 大电流接地系统的零序电流保护	49		
2.3.1 接地时零序分量的特点	50		



3.4.1	概述	104
3.4.2	过渡电阻对距离保护的 影响	105
3.4.3	分支电路对距离保护的 影响	109
3.4.4	电力系统振荡对距离保护的 影响	111
3.4.5	距离保护的振荡闭锁	117
3.5	距离保护的整定计算介绍	120
3.5.1	距离保护的整定原则	120
3.5.2	距离保护的整定计算	121
3.5.3	整定计算举例	127
3.6	对距离保护的评价及应用范围	134
	本章小结	134
	习题	137

第4章 输电线路纵联保护 141

4.1	输电线路纵联保护的基本原理与 类型	142
4.1.1	输电线路纵联保护的基本 原理	142
4.1.2	输电线路纵联保护的基本 类型	144
4.2	输电线高频保护基本概念	145
4.2.1	输电线高频通道的构成	145
4.2.2	高频通道的工作方式	147
4.2.3	高频保护的类型	148
4.3	高频闭锁方向保护	149
4.3.1	高频闭锁方向保护的基本 原理	149
4.3.2	电流启动方式的高频闭锁 方向保护	149
4.3.3	方向元件启动方式的高频 闭锁方向保护	151
4.3.4	远方启动方式的高频闭锁 方向保护	152
4.4	高频闭锁距离保护	153
4.4.1	高频闭锁距离保护的基本 原理	153
4.4.2	高频闭锁距离保护构成及 工作原理	154

4.4.3	高频闭锁距离保护的 动作特性分析	155
4.5	光纤纵联保护	155
4.5.1	光纤通道的特点	155
4.5.2	光纤纵联保护的构成	156
4.5.3	光纤保护通道方式	156
4.5.4	光纤保护的发展趋势及 应用前景	161
	本章小结	161
	习题	164

第5章 自动重合闸 167

5.1	自动重合闸的作用及基本要求	168
5.1.1	自动重合闸的作用	168
5.1.2	采用自动重合闸的不利 影响	169
5.1.3	装设重合闸的规定	169
5.1.4	对自动重合闸的基本要求	169
5.1.5	自动重合闸的类型	170
5.2	单侧电源输电线路的三相一次自动 重合闸	172
5.3	双侧电源线路的三相一次自动 重合闸	173
5.3.1	双侧电源线路自动重合闸的 特点	173
5.3.2	双侧电源线路自动重合闸的 主要方式	174
5.4	具有同步检定和无电压检定的 重合闸	176
5.5	重合闸动作时限的选择原则	178
5.5.1	单侧电源线路的三相 重合闸	178
5.5.2	双侧电源线路的三相 重合闸	179
5.6	自动重合闸装置与继电保护的 配合	179
5.6.1	自动重合闸前加速保护	179
5.6.2	重合闸后加速保护	180
5.7	单相自动重合闸	182
5.7.1	单相自动重合闸与保护的 配合关系	182



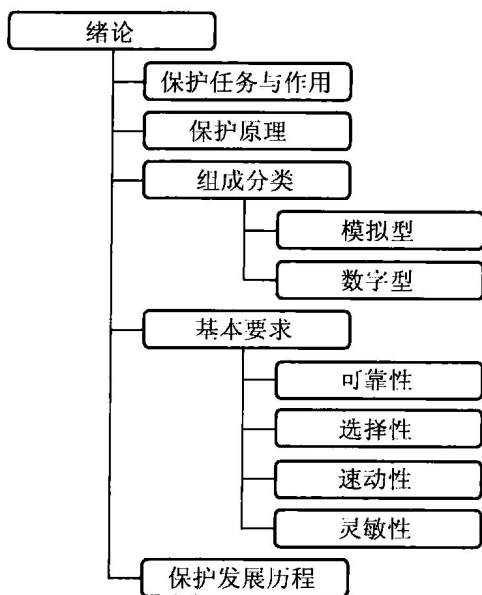
5.7.2 单相自动重合闸的特点	183	第7章 发电机的继电保护	217
5.8 综合重合闸简介	185	7.1 发电机的故障类型、不正常运行 状态及其保护方式	218
5.9 750kV及以上超高压输电线路 重合闸的应用	186	7.1.1 发电机的故障和异常运行 状态	218
5.9.1 三相重合闸在超高压输电 线路上的应用问题	186	7.1.2 大型发电机组的特点及 对继电保护的要求	218
5.9.2 单相重合闸在特高压输电 线路上的应用问题	187	7.1.3 发电机保护装设的原则	219
本章小结	187	7.2 发电机的纵差动保护	220
习题	189	7.2.1 工作原理	220
第6章 电力变压器的继电保护	190	7.2.2 整定原则	221
6.1 电力变压器的故障、异常工作 状态及其保护方式	191	7.3 发电机定子绕组匝间短路保护	224
6.2 变压器的纵差动保护	193	7.3.1 装设匝间短路保护的 必要性	224
6.2.1 变压器纵差动保护的基 本原理	193	7.3.2 单继电器横差保护	224
6.2.2 不平衡电流产生的原因	194	7.3.3 定子绕组零序电压原理的 匝间短路保护	226
6.2.3 变压器的励磁涌流	197	7.4 发电机定子绕组单相接地保护	228
6.2.4 减小不平衡电流的措施	198	7.4.1 利用零序电流构成的定子 接地保护	228
6.2.5 纵差动保护的整定计算	200	7.4.2 利用零序电压构成的定子 接地保护	229
6.3 变压器的瓦斯保护	202	7.5 发电机的失磁保护	230
6.3.1 瓦斯继电器的工作原理	202	7.5.1 发电机失磁运行的后果	230
6.3.2 瓦斯保护接线	203	7.5.2 发电机失磁保护的辅助 判据	231
6.4 变压器相间短路的后备保护及 过负荷保护	204	7.5.3 发电机失磁保护的构成 方式	232
6.4.1 过电流保护	204	7.6 发电机-变压器组继电保护的 特点及配置	232
6.4.2 低电压启动的过电流保护	205	7.6.1 发电机-变压器组继电保护的 特点	232
6.4.3 复合电压启动的过电流 保护	206	7.6.2 大容量机组保护的配置	234
6.4.4 负序过电流保护	207	7.6.3 300MW 发电机-变压器组 继电保护配置框图举例	234
6.4.5 过负荷保护	208	本章小结	236
6.5 变压器接地短路的后备保护	209	习题	237
6.5.1 中性点直接接地变压器的 零序电流保护	209	第8章 母线保护	240
6.5.2 中性点可能接地或不接地 运行时变压器的零序电流 电压保护	210	8.1 母线的故障及装设保护的 原则	241
本章小结	212		
习题	214		



8.2	母线差动保护的基本原理	243	9.3.3	微机保护算法	274
8.2.1	完全电流差动母线保护	244	9.4	提高微机保护可靠性的措施	276
8.2.2	电流比相式母线保护	245	9.4.1	干扰和干扰源	276
8.3	双母线的差动保护	246	9.4.2	微机保护装置的硬件 抗干扰措施	278
8.3.1	元件固定连接的双母线电流 差动保护	246	9.4.3	微机保护装置的软件 抗干扰措施	281
8.3.2	母联电流比相式母线差动 保护	248	9.5	微机保护的应用	284
8.3.3	双母线保护的其他方法	249	9.5.1	电力变压器的微机保护	284
8.4	一个半断路器接线的母线保护	250	9.5.2	母线的微机保护	286
8.5	断路器失灵保护简介	251	9.5.3	发电机的微机保护	288
8.6	母线保护的特殊问题及其对策	253	9.6	电力系统继电保护故障处理方法及 实例	289
8.6.1	母线运行方式的切换及 保护的自动适应	253	9.6.1	电力继电保护故障的原因	289
8.6.2	电流互感器的饱和问题及 母线保护常用的对策	254	9.6.2	电力系统继电保护故障查找 处理方法	290
本章小结		256	9.6.3	电力系统继电保护的反事故 措施	291
习题		258	9.6.4	微机保护装置故障查找 实例	291
第9章	微机继电保护	261	本章小结		292
9.1	概述	262	习题		293
9.1.1	计算机在继电保护领域中的 应用和发展概况	262	附录1	常用文字符号	295
9.1.2	微机继电保护装置的特点	262	附录2	短路保护的最小灵敏系数	298
9.2	微机保护的硬件构成原理	264	附录3	《继电保护和电网安全自动装置 现场工作保安规定》	300
9.2.1	微机保护的硬件组成	264	习题参考答案		304
9.2.2	数据采集系统	265	参考文献		336
9.2.3	CPU 主系统	270			
9.2.4	开关量输入/出电路	271			
9.3	微机保护装置的软件	273			
9.3.1	微机保护软件的基本结构和 配置	273			
9.3.2	数字滤波	274			

第 1 章 绪 论

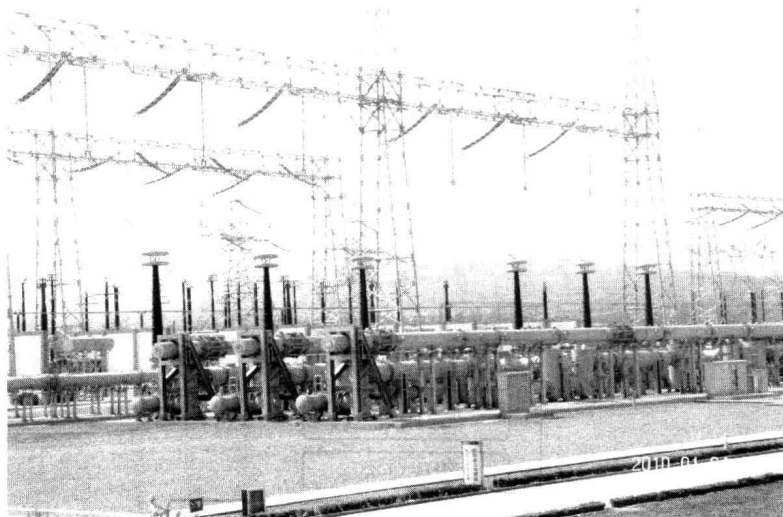
本章知识结构图



随着社会的发展，人们对电的需求越来越多，为了满足人们安全、可靠的用电需求，电力网络中装设有大量的继电保护装置，这些装置被喻为电力系统的无声卫士，时刻监控着设备的运行状况，一旦设备有不正常、故障情况，它们即刻发出报警信号或跳闸命令。这些装置如何协调工作，通过本章的学习，将会得到初步解答。

本章教学目标与要求

熟悉继电保护的任务、作用及基本原理。
掌握继电保护的组成、分类及要求。
理解继电保护工作的特点。
了解继电保护的发展历程。



本章导图 某 750kV 变电站 GIS 配电装置图

1.1 电力系统继电保护的任务和作用

电力系统在运行中可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也最危险的故障是各种类型的短路。发生短路时可能会产生以下后果。

(1) 数值较大的短路电流通过故障点时，产生电弧，使故障设备损坏或烧毁。

(2) 短路电流通过非故障元件时，使电气设备的载流部分和绝缘材料的温度超过散热条件的允许值而不断升高，造成载流导体熔断或加速绝缘老化和损坏，从而可能发展成为故障。

(3) 电力系统中部分地区的电压大大下降，破坏用户工作的稳定性或影响产品的质量。

(4) 破坏电力系统中各发电厂并列运行的稳定性，引起系统振荡，从而使事故扩大，甚至导致整个系统瓦解。

各种类型的短路包括三相短路、两相短路、两相短路接地和单相接地短路。不同类型短路发生的概率是不同的，不同类型短路电流的大小也不同，一般为额定电流的几倍到几十倍。大量的现场统计数据表明，在高压电网中，单相接地短路次数占有所有短路次数的 85% 以上，2002 年我国 220kV 电网共有输电线路 3884 条，线路总长 150026km，共发生故障 1487 次，故障率为 0.99 次/(100km·年)。表 1-1 给出了 2002 年我国 220kV 电网输电线路各种类型故障发生的次数和百分比。

表 1-1 2002 年我国 220kV 电网输电线路故障统计表

故障类型	三相短路	两相短路	两相短路接地	单相接地短路	其他故障
故障次数	17	28	91	1319	32
故障百分比	1.14%	1.88%	6.12%	88.7%	2.16%



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工作状态。如因负荷超过供电设备的额定值引起的电流升高,称过负荷,就是一种常见的不正常工作状态。在过负荷时,电气设备的载流部分和绝缘材料过度发热,从而使绝缘加速老化,甚至损坏,引起故障。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。

电力系统中发生不正常运行状态和故障时,都可能引起系统事故。事故是指系统全部或部分正常运行遭到破坏,电能质量变到不能容许的程度,以致造成对用户的停止供电或少供电,甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏。

系统事故的发生,除了自然条件的因素(如雷击、架空线路倒杆等)外,一般都是由于设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当而引起的。因此,只有充分发挥人的主观能动性,正确地掌握客观规律,加强对设备的维护和检修,才可能大大减少事故发生的几率。

在电力系统中,除应采取各项积极措施消除或减少事故发生的可能性外,还应能做到设备或输电线路一旦发生故障时,应尽快地将故障设备或线路从系统中切除,保证非故障部分继续安全运行,缩小事故影响范围。

由于电力系统是一个整体,电能生产、传输、分配和使用是同时完成的,各设备之间都有电或磁的联系,因此,当某一设备或线路发生短路故障时,在很短的时间就影响整个电力系统的其他部分,为此要求切除故障设备或输电线路的时间必须很短,通常切除故障的时间小到十分之几秒到百分之几秒。显然要在这样短的时间内由运行人员及时发现并手动将故障切除是绝对不可能的。因此,只有借助于装设在每个电气设备或线路上的自动装置,即继电保护装置才能实现。这种装置到目前为止,有一部分仍然由单个继电器或继电器与其附属设备的组合构成,故称为继电保护装置。

在电子式静态保护装置和数字式保护装置出现以后,虽然继电器多已被电子元件或计算机取代,但仍沿用此名称。在电业部门常常用继电保护一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。继电保护装置一词则指各种具体的装置。

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。它的基本任务如下。

(1) 自动、迅速、有选择性地使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,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)而动作于信号,以便值班员及时处理,或由装置自动进行调整,或将那些继续运行就会引起损坏或发展成为事故的电气设备予以切除。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,以免暂短的运行波动造成不必要的动作和干扰而引起的误动。

(3) 继电保护装置还可以与电力系统中的其他自动化装置配合,在条件允许时,采取预定措施,缩短事故停电时间,尽快恢复供电,从而提高电力系统运行的可靠性。

由此可见,继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性,最大限度地保证向用户安全连续供电。因此,继电保护是电力系统的重要组成部分,是保证电力系统安全可靠运行的必不可少的技术措施之一。在现代的电力



系统中, 如果没有专门的继电保护装置, 要想维持系统的正常运行是根本不可能的。

1.2 继电保护的基本原理

为了完成上述第一个任务, 继电保护装置必须具有正确区分被保护元件是处于正常运行状态还是发生了故障, 是保护区内故障还是区外故障的功能。保护装置要实现这一功能, 需要根据电力系统发生故障前后电气物理量变化的特征为基础来构成。

电力系统发生故障后, 工频电气量变化的主要特征如下。

(1) 电流增大。短路时故障点与电源之间的电气设备和输电线路上的电流将由负荷电流增大至大大超过负荷电流。

(2) 电压降低。当发生相间短路和接地短路故障时, 系统各点的相间电压或相电压值下降, 且越靠近短路点, 电压越低。

(3) 电流与电压之间的相位角改变。正常运行时电流与电压间的相位角是负荷的功率因数角, 一般约为 20° , 三相短路时, 电流与电压之间的相位角是由线路的阻抗角决定的, 一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$, 而在保护反方向三相短路时, 电流与电压之间的相位角则是 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4) 测量阻抗发生变化。测量阻抗即测量点(变护安装处)电压与电流的比值。正常运行时, 测量阻抗为负荷阻抗; 金属性短路时, 测量阻抗转变为线路阻抗, 故障后测量阻抗显著减小, 而阻抗角增大。

不对称短路时, 出现相序分量, 这些分量在正常运行时是不出现的。

利用短路故障时电气量的变化, 便可构成各种原理的继电保护。例如, 据短路故障时电流的增大, 可构成过电流保护; 据短路故障时电压的降低, 可构成电压保护; 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; 据电压与电流比值的变化, 可构成距离保护; 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; 据不对称短路故障时出现的电流、电压的相序分量, 可构成零序电流保护、负序电流保护和负序功率方向保护; 高频保护则是利用高频通道来传递线路两端电流相位、大小和短路功率方向信号的一种保护。

此外, 除了上述反应工频电气量的保护外, 还有反应非工频电气量的保护, 如超高压输电线路的行波保护、电力变压器的瓦斯保护及反应电动机绕组温度升高的过负荷或过热保护等。

1.3 继电保护的组成及分类

继电保护实际上是一种自动控制装置。从 20 世纪初到现在, 继电保护装置经历了机电式保护装置(包括电磁型、感应型、整流型)、静态式保护装置(包括晶体管型、集成电路型)和数字式继电保护装置三大发展阶段。

机电型继电保护由若干个不同功能的继电器所组成。继电器是一种能自动动作的电器, 只有加入某种物理量(如电流或电压等), 或者加入的物理量达到一定数值时, 它才会动作, 其常开触点闭合, 常闭触点断开, 输出信号。



每个继电器都由感受元件、比较元件和执行元件3个主要部分组成。感受元件用来测量控制量的变化,并以某种形式传送到比较元件;比较元件将接收的控制量与整定值进行比较,并将比较结果的信号输入执行元件;执行元件执行继电器动作输出信号的任务。

继电器按动作原理的不同分为电磁型、感应型、整流型等;按反应物理量的不同可分为电流、电压、功率方向和阻抗继电器等;按继电器在保护装置中的作用不同可分为主继电器(如电流、电压和阻抗继电器等)和辅助继电器(如中间、时间和信号继电器等)。

有机械的可动部分和接点的继电器称为机电型继电器。由这类继电器组成的继电保护装置称为机电型继电保护。

静态继电保护装置是应用晶体管或集成电路等电子元件来实现的,它由若干个不同功能的回路,如测量、比较或比相触发、延时、逻辑和输出等回路组成。具有体积小、重量轻、功耗小、灵敏度高、动作快和不怕震动、可以实现无触点等一系列的优点。

模拟型继电保护装置的种类很多,一般而言,它们都由测量回路、逻辑回路和执行回路3个主要部分组成,其原理框图如图1.1所示。

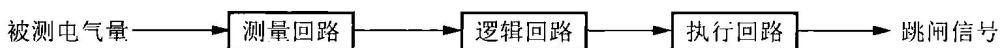


图 1.1 模拟型继电保护装置原理框图

测量回路的作用是测量与被保护电气设备或线路工作状态有关的物理量的变化的,如电流、电压等的变化,以确定电力系统是否发生了短路故障或出现不正常运行情况;逻辑部分的作用是当电力系统发生故障时,根据测量回路的输出信号进行逻辑判断,以确定保护是否应该动作,并向执行元件发出相应的信号;执行回路的作用是执行逻辑回路的判断,发出切除故障的跳闸脉冲或指示不正常运行情况的信号。

现以最简单的过电流保护装置为例来说明继电保护的组成和基本工作原理。

图1.2所示为一条线路过电流保护装置的原理接线图,图中电流继电器KA的线圈接于被保护线路电流互感器TA的二次回路,这就是保护的测量回路,它监视被保护线路的运行状态,用以测量线路中电流的大小。在正常运行情况下,线路中通过最大负荷电流时,继电器不动作;当被保护线路发生短路故障,流入继电器KA线圈回路的电流大于继电器的动作电流时,电流继电器立即动作,触点闭合,接通逻辑回路中时间继电器KT的线圈回路,时间继电器启动并经延时后触点闭合,接通执行回路中的信号继电器KS和断路器QF跳闸线圈YR回路,使断路器QF跳闸,切除故障。

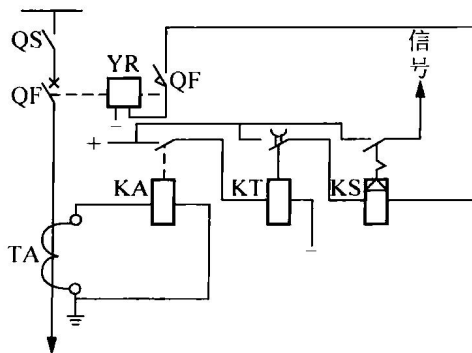


图 1.2 线路过电流保护装置单相原理接线图



数字型的计算机继电器保护是把被保护设备和线路输入的模拟电气量经模/数转换器(A/D)转换为数字量,利用计算机进行处理和判断。计算机由硬件部分和软件部分组成,硬件部分主要采用微型计算机或微处理器来实现,计算机保护硬件部分的原理框图如图 1.3 所示。

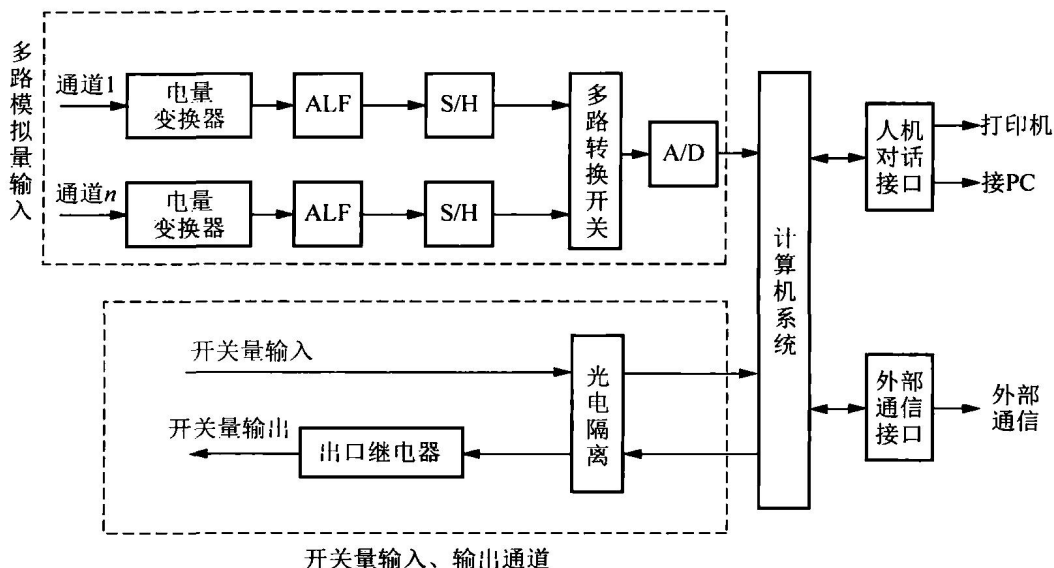


图 1.3 微机继电保护硬件部分原理框图

被保护设备或线路的交流电流、电压经电流互感器和电压互感器输入到计算机保护的输入通道。由于需要同时输入多路电压和电流(如三相电压和三相电流),因此,需要配置多路输入通道。在输入通道中,首先经变换器将电流和电压变换为适于微机保护用的低电压量($\pm 5 \sim \pm 10\text{V}$),再由模拟低通滤波器滤除直流分量、低频分量和高频及各种干扰波后,进入采样保持电路(S/H),将一个在时间上连续变化的模拟量转换为时间上的离散量,完成对输入模拟量的采样。通过多路转换开关(MPX)将多个输入电气量按输入时间前后分开,依次送到模数转换器(A/D),将模拟量转换为数字量进入计算机系统运算处理,判断是否发生故障,通过开关量输出通道输出,经光电隔离电路送到出口继电器,从而接通跳闸线圈,启动跳闸回路。

人机接口部分的作用是建立起微机保护与使用者之间的信息联系,以便对装置进行人工操作、调试和信息反馈。外部通信接口的作用是提供计算机局域网通信网络以及远程通信网络的信息通道。

软件部分是根据保护的工作原理和动作要求编制的计算程序,不同原理的保护计算程序不同。微机保护的计算程序是根据保护工作原理的数学模型即数学表达式来编制的。这种数学模型称为计算机继电保护的算法。通过不同的算法便可以实现各种保护功能。各种类型保护的计算机硬件和外围设备可以是通用的,只要计算程序不同,就可以得到不同原理的保护,而且计算机可以根据系统运行方式的改变自动改变动作的整定值,使保护具有更大的灵活性。保护用计算机有自诊断能力,不断地检查和诊断保护本身的故障,并及时进行处理,大大地提高了保护装置的可靠性,并能实现快速动作的要求。

图 1.4 为微机型线路保护装置,图 1.5 为微机型变压器保护装置。



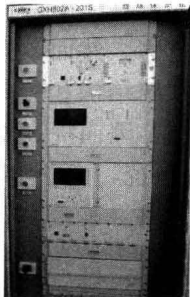


图 1.4 微机线路保护装置

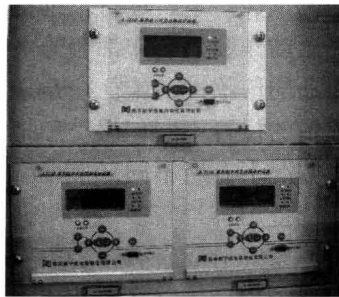


图 1.5 微机变压器保护装置

电力系统的继电保护根据被保护对象不同,分为发电厂、变电所电气设备的继电保护和输电线路的继电保护。前者是指发电机、变压器、母线和电动机等元件的继电保护,简称为元件保护;后者是指电力网及电力系统中输电线路的继电保护,简称线路保护。

按作用的不同继电保护又分为主保护、后备保护和辅助保护。主保护是指当被保护元件内部发生的各种短路故障时,能满足系统稳定及设备安全要求的、有选择地切除被保护设备或线路故障的保护。后备保护是指当主保护或断路器拒绝动作时,用以将故障切除的保护。后备保护可分为远后备和近后备保护两种,远后备是指当主保护或断路器拒绝时,由相邻元件的保护部分实现的后备;近后备是指当主保护拒绝动作时,由本元件的另一套保护来实现的后备,当断路器拒绝动作时,由断路器失灵保护实现后备。辅助保护是指为了补充主保护和后备保护的不足而增设的简单保护。

继电保护装置需有操作电源供给保护回路、断路器跳、合闸及信号等二次回路。按操作电源性质的不同,可以分为直流操作电源和交流操作电源。通常在发电厂和变电所中继电保护的操作电源是由蓄电池直流系统供电,蓄电池是一种独立电源,其最大的优点是工作可靠,但缺点是投资较大、维护麻烦。交流操作电源的优点是投资少、维护简便,但缺点是可靠性差。因此,交流操作电源的继电保护适合于中小型变电所,特别是农村小型变电所的使用。

1.4 传统继电保护装置的要求

继电保护装置为了完成它的任务,必须在技术上满足可靠性、选择性、快速性、灵敏性4个基本要求。对于作用于继电器跳闸的继电保护,应同时满足4个基本要求。对于作用于信号以及只反映不正常运行情况的继电保护装置,这4个基本要求中有些要求如速动性可以降低。现将4个基本要求分述如下。

1.4.1 可靠性

可靠性包括安全性和信赖性,是对继电保护最根本的要求。所谓安全性是要求继电保护在不需要它动作时可靠不动作,即不发生误动。所谓信赖性是要求继电保护在规定的保护范围内发生了应该动作的故障时可靠动作,即不拒动。

安全性和信赖性主要取决于保护装置本身的制造质量、保护回路的连接和运行维护的水平。一般而言,保护装置的组成元件质量越高、回路接线越简单,保护的工作就越可