



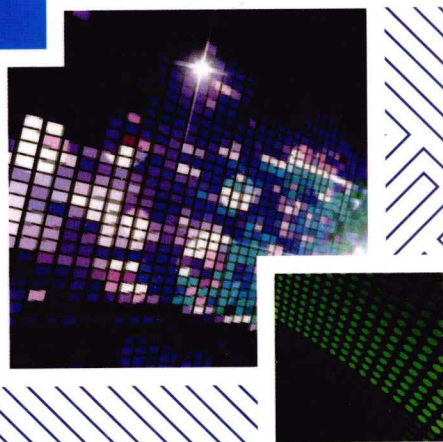
工业和信息化部普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

詹红霞 主编
王秋红 熊朝坤 副主编

电力系统继电保护 原理及新技术应用

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Electrical Engineering and Automation

Power System Relaying
and New Technology



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Electrical Engineering and Automation

电力系统继电保护 原理及新技术应用

詹红霞 主编

王秋红 熊朝坤 副主编



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

Power System Relaying
and New Technology

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护原理及新技术应用 / 詹红霞主编

— 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 9

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

ISBN 978-7-115-25582-2

I. ①电… II. ①詹… 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(2011)第150682号

内 容 提 要

本书重点介绍了继电保护的基本知识、基本保护原理、变电站综合自动化及继电保护新技术的应用,与同类教材比较,减少了继电器及传统保护装置的介绍,增加了微机保护及新型保护原理的内容,并加入了线路保护配置的实例介绍。

全书共分为 12 章,分别为电网相间短路的电流电压保护、电网的接地保护、电网的距离保护、输电线路的纵联保护、线路保护配置原则与实例、输电线路的自动重合闸、变压器保护、发电机保护、母线保护、微机保护基础知识、继电保护与变电站综合自动化和继电保护新技术。

本书主要作为高等工科院校电气工程与自动化专业的教材,也可作为本专业专科、研究生及电力系统工程技术人员的参考用书。

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材 电力系统继电保护原理及新技术应用

◆ 主 编 詹红霞

副 主 编 王秋红 熊朝坤

责任编辑 刘 博

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

中国铁道出版社印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15

2011 年 9 月第 1 版

字数: 371 千字

2011 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-25582-2

定价: 29.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

电力系统继电保护是电气工程与自动化专业的主干课程。本书是参照该专业的教学大纲，根据目前电力系统的特点及继电保护技术的发展趋势而编写的。

本书总结了作者多年从事电力系统继电保护的教学经验，在教材的编写中将常规的继电保护基本原理与现代的微机保护的新技术有机地结合在一起，去除了常规继电保护中已被淘汰的内容。重点介绍了继电保护的基本知识、基本保护原理、变电站综合自动化及继电保护新技术的应用，与同类教材比较，减少了继电器及传统保护装置的介绍，增加了微机保护及新型保护原理的内容，并加入了线路保护配置的实例介绍。

在内容的安排上从最简单的继电保护基础知识入门，逐步引入线路、主设备保护的原理以及目前电力系统采用的微机保护的新技术，结合实际，具有较强的实用性。本书也可作为本专业专科、研究生及电力系统工程技术人员教材及参考用书。

全书共 12 章。绪论，主要介绍继电保护的基本知识。第 1 章，电网相间短路的电流电压保护；第 2 章，电网的接地保护；第 3 章，电网的距离保护；第 4 章，输电线路的纵联保护；第 5 章，输电线路保护配置原则与实例；第 6 章，输电线路的自动重合闸；第 7 章，变压器保护；第 8 章，发电机保护；第 9 章，母线保护；第 10 章，微机保护基础知识；第 11 章，继电保护与变电站综合自动化；第 12 章，继电保护新技术。每章后都有复习思考题。

本书由西华大学詹红霞任主编，重庆电力高等专科学校王秋红、西华大学熊朝坤任副主编。其中绪论、第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 5 章、第 11 章、第 12 章由詹红霞编写，第 4 章、第 6 章、第 7 章、第 10 章由王秋红编写，第 8 章、第 9 章由熊朝坤编写。另外，西华大学阮文涛、瞿绪龙也参与了部分文稿的打印及绘图工作。本书得到了四川省水电工程实验教学示范中心建设项目的支持。

限于编者水平，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2011 年 5 月

目 录

绪论	1	定义及类型	19
0.1 电力系统继电保护作用	1	1.7.2 三种接线方式在各种故障时的性能分析比较	20
0.2 对电力系统继电保护的基本要求	2	1.7.3 接线方式的应用	22
0.3 继电保护的基本原理及保护装置的组成	3	1.7.4 三段式电流保护的接线图	23
第 1 章 电网相间短路的电流电压保护	5	1.8 电网相间短路的方向性电流保护	23
1.1 电流继电器	5	1.8.1 方向性电流保护的基本原理	23
1.2 无时限电流速断保护	6	1.8.2 功率方向继电器的工作原理	25
1.2.1 无时限电流速断保护的	6	1.8.3 相间短路功率方向继电器的接线方式	27
1.2.2 工作原理和整定计算的基本原则	7	1.8.4 对方向性电流保护的评价	31
1.2.3 无时限电流速断保护的单相原理接线图	8	复习思考题	34
1.2.4 影响无时限电流速断保护范围的因素	8	第 2 章 电网的接地保护	35
1.3 电流电压连锁速断保护	10	2.1 中性点直接接地电网接地短路的特点	35
1.4 限时电流速断保护	11	2.2 中性点直接接地电网的零序电流保护	36
1.4.1 限时电流速断保护的	11	2.2.1 零序电压过滤器	36
1.4.2 工作原理和整定计算的基本原则	12	2.2.2 零序电流过滤器	37
1.4.3 动作时限的计算	12	2.2.3 零序电流速断(零序 I 段)保护	39
1.4.4 保护装置灵敏性的校验	13	2.2.4 零序电流限时速断(零序 II 段)保护	39
1.4.5 限时电流速断保护的单相原理接线图	13	2.2.5 零序过电流(零序 III 段)保护	40
1.5 定时限过电流保护	14	2.2.6 方向性零序电流保护	41
1.5.1 定时限过电流保护的	14	2.2.7 对零序电流保护的评价	42
1.5.2 工作原理和整定计算的基本原则	14	2.3 中性点非直接接地电网的零序电流保护	43
1.5.3 按选择性的要求整定定时限过电流保护的	15	2.3.1 中性点非直接接地电网中单相接地故障的特点	43
1.5.4 过电流保护灵敏系数的校验	17	2.3.2 中性点经消弧线圈接地电网中单相接地故障的特点	46
1.6 阶段式电流保护	17	2.3.3 中性点不接地电网中	
1.7 电流保护的接线方式	19		
1.7.1 电流保护接线方式的			

单相接地的保护·····	48	4.6 纵联距离、零序方向保护·····	88
复习思考题·····	49	复习思考题·····	89
第3章 电网的距离保护·····	50	第5章 线路保护配置原则与实例·····	90
3.1 距离保护的基本原理·····	50	5.1 线路保护配置原则·····	90
3.1.1 基本工作原理·····	50	5.1.1 电网继电保护选择原则·····	90
3.1.2 距离保护的时限特性·····	51	5.1.2 主保护与后备保护·····	91
3.1.3 距离保护的主要组成元件·····	51	5.1.3 小接地电流电网保护配置·····	91
3.2 阻抗继电器·····	52	5.1.4 大接地电流电网保护配置·····	92
3.2.1 阻抗继电器的基本原则·····	53	5.2 线路保护实例·····	92
3.2.2 利用复数平面分析圆特性 阻抗继电器·····	54	第6章 输电线路的自动重合闸·····	99
3.2.3 具有四边形特性的 阻抗继电器·····	59	6.1 概述·····	99
3.3 阻抗继电器的接线方式·····	59	6.2 输电线路三相自动重合闸原理·····	100
3.3.1 对接线方式的基本要求·····	59	6.2.1 单侧电源线路的三相一次 自动重合闸·····	100
3.3.2 相间短路阻抗继电器的 0°接线方式·····	60	6.2.2 双侧电源线路的三相 自动重合闸·····	103
3.3.3 接地短路阻抗继电器的 接线方式·····	61	6.2.3 自动重合闸与继电保护的 配合·····	104
3.4 距离保护的整定计算·····	62	6.3 输电线路综合自动重合闸原理·····	106
3.4.1 距离保护的整定计算原则·····	62	6.3.1 综合重合闸的重合闸方式及 其选用·····	106
3.4.2 对距离保护的评价·····	65	6.3.2 一次重合闸的实现及 微机模拟方法·····	107
3.5 影响距离保护正确工作的 因素及防止方法·····	65	6.3.3 综合重合闸需要考虑的 特殊问题·····	107
复习思考题·····	69	6.3.4 综合重合闸构成的原则及 要求·····	110
第4章 输电线路的纵联保护·····	71	复习思考题·····	112
4.1 概述·····	71	第7章 变压器保护·····	113
4.2 纵联保护基本原理·····	71	7.1 电力变压器的故障不正常运行 状态及其相应的保护方式·····	113
4.3 纵联保护通道·····	73	7.2 变压器的瓦斯保护·····	114
4.4 纵联差动保护·····	77	7.3 变压器的差动保护·····	115
4.4.1 导引线保护·····	77	7.3.1 变压器差动保护的特点·····	115
4.4.2 光纤分相差动保护·····	78	7.3.2 变压器差动保护的 整定计算·····	119
4.5 纵联方向保护·····	82	7.3.3 微机型变压器差动保护·····	120
4.5.1 纵联方向保护工作原理·····	82	7.4 变压器相间短路的后备保护·····	124
4.5.2 纵联方向保护基本原则·····	83	7.4.1 复合电压过电流保护·····	124
4.5.3 “闭锁式”纵联方向保护 基本逻辑结构·····	84		
4.5.4 允许式纵联方向保护 基本逻辑结构·····	87		

7.4.2 相间阻抗保护	126	辅助判据	158
7.5 变压器零序保护	127	8.5.4 失磁保护的构成方式	159
7.5.1 中性点直接接地变压器的 零序电流保护	128	8.6 发电机的其他保护	160
7.5.2 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	129	8.6.1 发电机逆功率保护	160
7.5.3 微机型变压器零序保护	131	8.6.2 发电机低频保护	160
复习思考题	133	8.6.3 过电压保护	161
第 8 章 发电机保护	134	8.6.4 失步保护	161
8.1 发电机的故障和不正常运行状态 及其相应的保护方式	134	8.7 发电机—变压器组公用继电保护	162
8.1.1 发电机的故障和不正常运行 状态	134	复习思考题	163
8.1.2 大型发电机组的特点及 对继电保护的要求	135	第 9 章 母线保护	165
8.1.3 发电机的保护类型	136	9.1 概述	165
8.2 发电机的纵联差动和 横联差动保护	137	9.1.1 母线的故障	165
8.2.1 发电机的纵联差动保护	137	9.1.2 母线的保护方式	165
8.2.2 发电机的横联差动保护	140	9.1.3 对母线保护的基本要求	167
8.3 发电机的单相接地保护	144	9.2 母线差动保护原理	167
8.3.1 发电机定子绕组单相接地的 特点	144	9.2.1 母线完全差动电流保护	167
8.3.2 利用零序电流构成的 定子接地保护	146	9.2.2 母线电压差动保护	169
8.3.3 利用零序电压构成的 定子接地保护	147	9.2.3 具有比率制动特性的 母线电流差动保护	169
8.3.4 利用三次谐波电压构成 100% 的定子绕组单相接地保护	147	9.2.4 电流比相式母线保护	172
8.4 发电机的负序电流保护和 过负荷保护	150	9.3 双母线差动保护	172
8.4.1 发电机的负序电流保护	150	9.3.1 元件固定连接的双母线电流 差动保护	172
8.4.2 过负荷保护	152	9.3.2 母联电流比相式母线差动 保护	174
8.5 发电机失磁保护	153	9.3.3 双母线保护的其他方法	175
8.5.1 发电机失磁运行的后果	153	9.4 断路器失灵保护	176
8.5.2 发电机失磁后的机端测量 阻抗	154	复习思考题	178
8.5.3 发电机失磁保护的		第 10 章 微机保护基础知识	179
		10.1 微机保护硬件组成及作用	179
		10.2 数据采集系统	182
		10.2.1 基于逐次逼近式 A/D 转换的 模拟量输入部件的原理	182
		10.2.2 基于 V/F 转换的 数据采集系统	187
		10.3 微机保护算法	189
		10.3.1 数字滤波器	190
		10.3.2 正弦函数模型算法	196
		10.3.3 傅氏算法	200

10.3.4	计算输电线路阻抗的 微分方程算法	202	11.8	变电站综合自动化系统的 数据通信	220
10.3.5	移相算法	203	11.8.1	微机保护及测控装置与 监控系统通信的主要内容	221
10.3.6	对称分量滤过器算法	204	11.8.2	综合自动化系统与 控制中心的通信内容	221
10.4	微机保护的软件构成	205	11.8.3	远距离数据通信	222
10.4.1	主程序	205	11.8.4	串行数据通信及其接口	222
10.4.2	中断服务程序	206	11.8.5	变电站信息传输的 通信规约 1	223
10.5	提高微机保护可靠性的措施	206	11.9	变电站综合自动化的监控系统	223
10.5.1	硬件方面	207	11.9.1	监控系统的基本功能	223
10.5.2	软件方面	208	11.9.2	监控系统的基本结构	223
10.5.3	硬件与软件的自恢复	210	11.9.3	监控系统的应用软件	223
	复习思考题	211	11.10	变电站的微机保护系统	225
第 11 章	继电保护与变电站综合 自动化	212		复习思考题	225
11.1	变电站综合自动化系统概述	212	第 12 章	继电保护新技术	226
11.2	变电站综合自动化系统的 结构形式问题	213	12.1	继电保护的发展历程与 发展趋势	226
11.3	变电站综合自动化系统的 配置问题	214	12.1.1	继电保护的发展历程	226
11.4	变电站综合自动化技术的 目前发展特点	214	12.1.2	继电保护的发展趋势	226
11.5	变电站综合自动化系统 目前存在的问题	215	12.2	继电保护的新技术	227
11.6	变电站综合自动化技术的 发展趋势	216	12.2.1	信息技术在继电保护中的 应用	227
11.6.1	智能电子装置的发展及在 变电站自动化领域的应用	216	12.2.2	可编程控制器在继电保护中 的应用	227
11.6.2	非常规互感器的的发展及 应用	216	12.2.3	自适应控制技术在继电 保护中的应用	227
11.6.3	非常规互感器的优点	216	12.2.4	广域保护	228
11.6.4	IEC 61850 标准的应用	217	12.2.5	新型互感器的应用	228
11.6.5	网络通信技术的发展与应用	217	12.2.6	专家系统在继电保护中的 应用	228
11.6.6	电气设备状态监测与故障 诊断技术的发展与应用	217	12.2.7	人工神经网络在继电保护 中的应用	229
11.6.7	视频图像监视技术的 发展与应用	217	12.2.8	模糊理论在继电保护中的 应用	229
11.6.8	电能质量的在线监测技术的 发展与应用	218	12.2.9	多代理系统在继电保护中的 应用	230
11.7	变电站综合自动化系统的 间隔层装置	220	12.2.10	智能方法在继电保护中的 综合应用	230
				参考文献	232

0.1 电力系统继电保护作用

电力系统运行要求安全可靠，但是，电力系统的组成元件数量多，结构各异，运行情况复杂，覆盖的地域辽阔，因此，受自然条件、设备及人为因素的影响（如雷击、倒塔、内部过电压或运行人员误操作等），电力系统在运行中，可能发生各种故障和不正常运行，最常见同时也是最危险的故障就是各种形式的短路故障。

- （1）通过故障点的很大的短路电流所燃起的电弧，使故障元件遭到破坏。
- （2）短路电流流过非故障元件，会因为发热导致其绝缘损坏或者缩短其使用寿命。
- （3）部分地区电压大大降低，影响其产品质量。
- （4）破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使整个系统瓦解。

短路是指电力系统正常运行情况以外的一切相与相之间的短路，在中性点直接接地系统中，除了相与相之间的短接外，还指一相或多相接地。

短路发生的原因包括：过电压、雷击、绝缘老化、机械性损伤等所致的电气设备和载流导体的绝缘损伤；运行人员的误操作（带负荷拉刀闸、带接地线合闸）；飞禽或其他小动物跨越裸导体；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。

不正常运行状态是指系统的正常工作受到干扰，使运行参数偏离正常值，如一些设备过负荷、系统频率或某些地区电压异常、系统振荡等。

故障和不正常运行情况常常是难以避免的，但事故却可以防止。电力系统继电保护装置就是装设在每一个电气设备上，用来反映它们发生的故障和不正常运行情况，从而动作于断路器跳闸或发出信号的一种有效的反事故的自动装置。它的基本任务如下。

- （1）自动、有选择性、快速地将故障元件从电力系统中切除，使故障元件损坏程度尽可能降低，并保证该系统中非故障部分迅速恢复正常运行；
- （2）反映电气元件的不正常运行状态，并依据运行维护的具体条件和设备的承受能力，发出信号、减负荷或延时跳闸。

应该指出，要确保电力系统的安全运行，除了设置继电保护装置外，还应该设置电力系统安全自动装置。后者是着眼于事故后和系统不正常运行情况的紧急处理，以防止电力系统大面积停电和保证对重要负荷连续供电及恢复电力系统的正常运行。例如自动重合闸、备用电源自动投入、自动切负荷、快关气门、电气制动、远方切机、在按选定的开关上实现系统

解列、过负荷控制等。

随着电力系统的扩大，对安全运行的要求也越来越高。为此，还应设置以各级计算机为中心，用分层控制方式实施的安全监控系统，它能对包括正常运行在内的各种运行状态实施控制，这样才能更进一步地确保电力系统的安全运行。

0.2 对电力系统继电保护的基本要求

为实现其目标，作用于跳闸的继电保护装置在技术性能上必须满足以下四大要求。

1. 选择性

选择性的基本含义是保护装置动作时仅将故障元件从电力系统中切除，使停电范围尽量减小，以保证系统中非故障部分继续安全运行，如图 0-1 所示。

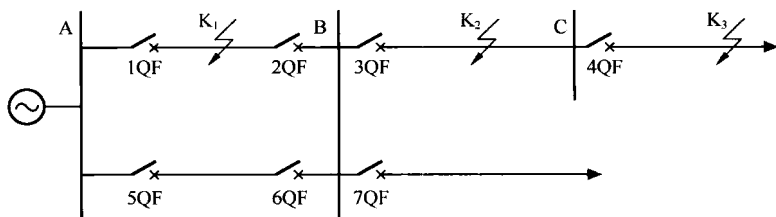


图 0-1 保护选择性说明图

当 K_3 点发生故障时，则应由保护装置 4 动作切除 4QF，仅使本线路停电，停电范围最小，其余非故障部分可继续运行，这是有选择性动作。若 K_1 点发生故障，由保护装置 1 和 2 动作，断路器 1QF、2QF 跳闸以切除故障线路，也满足选择性的要求。若此时断路器 5QF 或 6QF 也跳闸，则扩大了电网停电范围，这种情况就属于非选择性动作。

但是，当 K_3 点发生短路，如果保护装置 4 或断路器 4QF 由于某种原因拒绝动作而由保护装置 3 动作时，断路器 3QF 跳闸，从而切除故障线路 BC，也是有选择性的。此时，虽然切除了一部分非故障线路，但在断路器 4QF 或保护装置 4 拒动的情况下，也达到了尽可能限制故障的扩展、缩小停电范围的目的。因此，把它称为下一段线路保护或断路器拒动的“后备”保护。

在每个被保护元件上装设着分别起主保护和后备保护作用的独立的两套保护，“就近”实现后备，不依靠相邻的上一个元件的保护，称“近后备”保护。断路器拒动则由本站设的断路器失灵保护（也称近后备）动作切除连接在该段母线上的其他断路器。

在远处实现的“后备”称远后备。显然，远后备保护的功能比较完备，它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源故障所引起的拒动都能起到后备作用，同时它比较简单和经济。因此，远后备宜优先采用。只有当远后备保护不能满足灵敏度要求时，才考虑采用“近后备”的方式。

辅助保护是为补充主保护某种保护性能的不足（如方向性元件的电压死区）或加速切除某部分故障而装设的简单保护（如无时限电流速断）。

2. 速动性

速动性是指继电保护装置应以尽可能快的速度断开故障元件。这样就能降低故障设备的损坏程度，减少用户在低电压情况下工作的时间，提高电力系统运行的稳定性。

快速切除故障，可提高发电厂并列运行的稳定性，可用图 0-2 说明。若 A 厂母线附近 K 点发生三相短路时，A 厂母线电压会大大下降而卸去母线上负荷，但发电厂调速系统来不及作相应调整，则 A 厂发电机转速必然升高。此时，B 厂母线还有较高残余电压，故 B 厂卸去或增加的负荷不多，发电机转速变化较小。这样，A、B 两厂的发电机就产生转速差而失去同步。若切除故障时间短，则转差小，很易恢复同步运行；若切除故障时间长，则两厂解列（联络线断开）。

故障切除时间等于保护装置和断路器动作时间之和。目前保护动作速度最快约为 0.02s，加上快速断路器的动作时间，故障可在 0.05~0.06s 以内切除。

应考虑不同电网对故障切除时间的具体要求和经济性、运行维护水平等条件以便确定合理的保护动作时间。

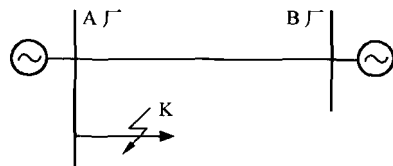


图 0-2 电力系统并列运行示意图

3. 灵敏性

保护装置对其保护范围内的故障或不正常运行状态的反应能力称为灵敏性（灵敏度）。灵敏性常用灵敏系数来衡量。它是在保护装置的测量元件确定了动作值后，按最不利的运行方式、故障类型、保护范围内的指定点校验，并满足有关规定的标准。

4. 可靠性

可靠性是指在保护装置规定的保护范围内发生了它应该反应的故障时，保护装置应可靠地动作（即不拒动）。而在不属于该保护动作的其他任何情况下，则不应该动作（即不误动）。

可靠性取决于保护装置本身的设计、制造、安装、运行维护等因素。一般来说，保护装置的组成元件质量越好、接线越简单、回路继电器的触点和接插件数越少，保护装置就越可靠。同时，保护装置恰当的配置与选用、正确的安装与调试、良好的运行维护等对于提高保护的可靠性也具有重要作用。

对继电保护装置的四大基本要求是分析研究继电保护的基础，也是贯穿全书的主线。要注意的是这四大基本要求之间往往有矛盾的一面，例如，既有选择性又有速动性的保护，其装置结构都比较复杂，可靠性就比较低；提高保护的灵敏性，却增加了误动的可能性，降低了可靠性。因此，必须从被保护对象的实际情况出发，明确矛盾的主次，采取必要的措施，通过实践是可以逐步掌握的。

除了以上四大基本要求外，还应该考虑经济性和可维护性。

(1) 经济性是指保护装置购置、安装、调试及运行维护等费用应较合理，但经济性首先要着眼于国民经济的整体利益，而不应该只着眼于节省继电保护装置的投资。另一方面，对于那些次要而数量很多的电气设备，如异步电动机的保护，也不应该装设复杂而昂贵的继电保护装置。

(2) 可维护性则是指保护装置的正常动作维护及定期维护应该比较方便。

0.3 继电保护的基本原理及保护装置的组成

继电保护装置要起到反事故的自动装置的作用，必须正确地地区分“正常”与“不正常”运行状态、被保护元件的“外部故障”与“内部故障”，以实现继电保护的功能。因此，通过检测各种状态下被保护元件所反映的各种物理量的变化并予以鉴别。依据反映的物理量的不

同，保护装置可以构成下述各种原理的保护。

1. 反映电气量的保护

电力系统发生故障时，通常伴有电流增大、电压降低以及电压与电流的比值（阻抗）和它们之间的相位角改变等现象。因此，在被保护元件的一端装设的种种变换器可以检测、比较并鉴别出发生故障时这些基本参数与正常运行时的差别，从而可以构成各种不同原理的继电保护装置。例如，反映电流增大构成的过电流保护；反映电压降低（或升高）构成的低电压（或过电压）保护。反映电流与电压间的相位角变化构成的方向保护；反映电压与电流比值的变化构成的距离保护。除此以外，还可根据在被保护元件内部和外部短路时，被保护元件两端电流相位或功率方向的差别，分别构成差动保护、高频保护等。

同理，由于序分量保护灵敏度高，因此也得到了广泛应用。

新出现的反映故障分量、突变量以及自适应原理的保护，也正在研制之中，相信不久将会面世。

2. 反映非电气量的保护

如反映温度、压力、流量等非电气量变化的可以构成电力变压器的瓦斯保护、温度保护等。

继电保护相当于一种在线的开环的自动控制装置，根据控制过程信号性质不同，可以分为模拟型（它又分为机电型和静态型）和数字型两大类。对于常规的模拟继电保护装置，一般包括测量部分、逻辑部分和执行部分，如图 0-3 所示。



图 0-3 继电保护装置组成方框图

(1) 测量部分

测量部分是指对从被保护对象输入的有关信号与给定的整定值进行比较，以判断是否发生故障或不正常运行状态。

(2) 逻辑部分

逻辑部分依据测量部分输出量的性质、出现的顺序或其组合，进行逻辑判断，以确定保护是否该动作。

(3) 执行部分

执行部分依据前面环节判断得出的结果执行断路器跳闸或发信号。

复习思考题

1. 了解电力系统中短路的定义、短路类型及短路故障发生的原因。
2. 掌握电力系统对继电保护的基本要求。
3. 掌握继电保护装置的组成。

电网在运行过程中,可能发生各种故障和不正常运行状态,最常见同时也是最危险的故障就是发生各种形式的短路。当被保护线路上发生短路故障时,其主要特征就是电流增大和电压降低。利用这两个特征,可以构成电流电压保护。电流保护主要包括:无时限电流速断保护、限时电流速断保护和定时限过电流保护。电压保护主要指低电压保护。当发生短路,保护安装处母线上的残余电压低于低电压保护的整定值时,保护就动作。由于在电压互感器二次回路断线的情况下,低电压保护也要误动作,所以很少单独采用。多数情况下与电流保护配合使用,如电流电压联锁速断保护等。

1.1 电流继电器

电网发生相间短路时,一个明显的特征就是故障相电流突然增大,因此通过检测电流的变化可以判定故障的发生,这就是作为故障测量元件之一的电流继电器的功能。

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。

电流继电器有很多类型,如电磁型、晶体管型和集成电路型等,无论何种型式的电流继电器,它们总有一个动作电流($I_{op,r}$)和一个返回电流($I_{re,r}$)。

动作电流($I_{op,r}$):能使继电器动作的最小电流值。当继电器的输入电流 $I_r < I_{op,r}$ 时,继电器根本不动作;而当 $I_r \geq I_{op,r}$ 时,继电器能够突然迅速地动作,闭合其常开触点。

返回电流($I_{re,r}$):能使继电器返回原位的最大电流值。在继电器动作以后,当电流减小到 $I_r \leq I_{re,r}$ 时,继电器能立即突然地返回原位,触点重新打开。无论启动和返回,继电器的动作都是明确干脆的,它不可能停留在某一个中间位置。这种特性我们称之为“继电器特性”。

返回系数:即继电器的返回电流与动作电流的比值。可表示为

$$K_{re} = \frac{I_{re,r}}{I_{op,r}} \quad (1-1)$$

显然,反应电气量增长而动作的继电器(如电流继电器)的 K_{re} 小于1;而反应电气量降低而动作的继电器(如低电压继电器),其 K_{re} 必大于1。在实际应用中,常常要求电流继电器有较高的返回系数,如0.8~0.9。

1.2 无时限电流速断保护

1.2.1 无时限电流速断保护的定义

无时限电流速断保护又称为电流 I 段保护或瞬时电流速断保护。

根据对继电保护速动性的要求，保护装置动作切除故障的时间，必须满足系统稳定和保证对重要用户供电的可靠性。在简单、可靠和保证选择性的前提下，原则上总是越快越好。因此，应力求装设快速动作的继电保护。无时限电流速断保护就是这样的保护。它是反应电流增大而瞬时动作的电流保护，故又简称为电流速断保护。

以图 1-1 所示的单侧电源网络接线为例，假定在每条线路上均装有电流速断保护，则当线路 AB 上发生故障时，希望保护 2 能瞬时动作，而当线路 BC 上故障时，希望保护 1 能瞬时动作，且它们的保护范围最好能达到本线路全长的 100%。但这种要求能否实现，还需具体分析。

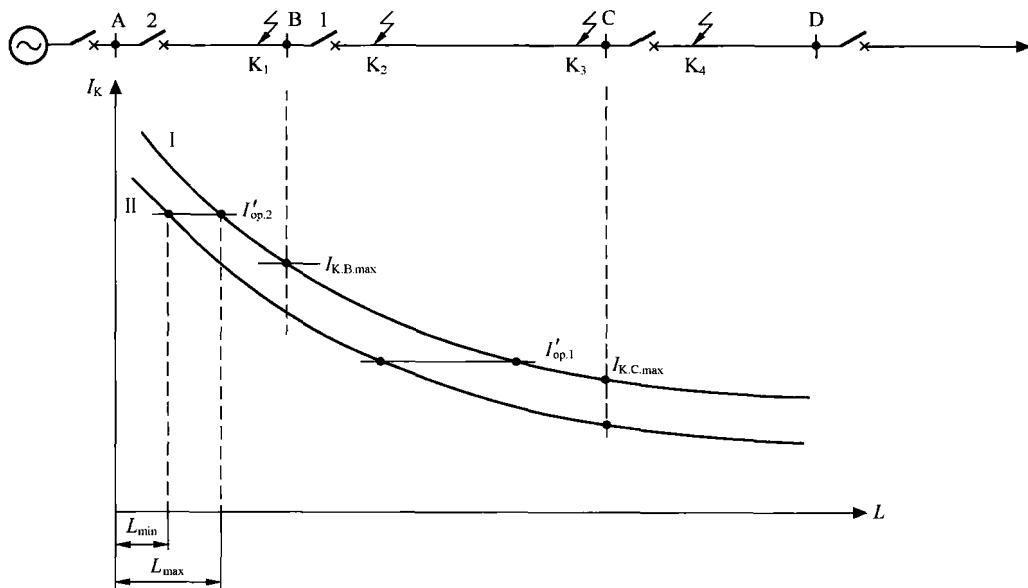


图 1-1 电流速断保护动作特性的分析

如图 1-1 所示，以保护 2 为例。当本线路末端 K_1 点短路时，希望速断保护 2 能够瞬时动作切除故障，而当相邻线路 BC 出口处 C（即 BC 线路的始端） K_2 点短路时，按照选择性的要求，速断保护 2 就不应该动作，因为该处的故障应由速断保护 1 动作切除。但实际上， K_1 点和 K_2 点短路时，从保护 2 安装处所流过短路电流的数值几乎是一样的。因此，希望 K_1 点短路时速断保护 2 能动作，而 K_2 点短路时速断保护 2 又不动作的要求不可能同时得到满足。同理，保护 1 也无法区别 K_3 和 K_4 点的短路，这就产生了矛盾。为解决这个矛盾，可采取两种办法：第一，优先保证动作的选择性，即从保护装置启动参数的整定上保证下一条线路出口处短路时不启动，在继电保护技术中，这又称为按躲开下一条线路出口处短路的条件整定；第二，当快速切除故障为首要条件时，就采用无选择性的电流速断保护，而以自动重合闸来

纠正这种无选择性动作。此处重点讲述优先保证选择性的电流速断保护。

1.2.2 工作原理和整定计算的基本原则

对反应于电流增大而瞬时动作的电流速断保护而言,保护装置的启动电流以 I'_{op} 表示,显然必须当实际的短路电流 $I_K \geq I'_{op}$ 时,保护装置才能启动。保护装置的启动电流 I'_{op} 是用电力系统一次侧的参数表示的。

现在来分析电流速断保护的整定计算原则。根据电力系统短路的分析,当电源电势一定时,短路电流的大小决定于短路点和电源之间的总阻抗 Z_Σ ,三相短路电流可表示为

$$I_K^{(3)} = \frac{E_\phi}{Z_\Sigma} = \frac{E_\phi}{Z_s + Z_K} \quad (1-2)$$

式中: E_ϕ ——系统等效电源的相电势;

Z_K ——短路点至保护安装处之间的阻抗;

Z_s ——保护安装处到系统等效电源之间的阻抗。

由式(1-2)可见,在一定的系统运行方式下, E_ϕ 和 Z_s 是常数,流过保护的三相短路电流 I_K 将随 Z_K 的增大而减小,因此,可以经计算后绘出 $I_K = f(l)$ 的变化曲线,如图 1-1 所示。当系统运行方式及故障类型改变时, I_K 将随之变化。对每一套保护装置来讲,通过该保护装置的短路电流最大的方式,称为系统最大运行方式,而短路电流最小的方式,称为系统最小运行方式。对不同安装地点的保护装置,应根据网络接线的实际情况,选取最大和最小运行方式。在系统最大运行方式下发生三相短路故障时,通过保护装置的短路电流最大,而在系统最小运行方式下发生两相短路时,则短路电流最小。这两种情况下短路电流的变化如图 1-1 中的曲线 I 和 II 所示。

为了保证电流速断保护动作的选择性,对保护 1 来讲,其启动电流必须整定得大于 K_A 点短路时可能出现的最大短路电流,即在最大运行方式下变电所 C 母线上三相短路时的电流 $I_{K.C.max}$, 亦即

$$I'_{op.1} > I_{K.C.max} \quad (1-3)$$

引入可靠系数 $K'_{rel} = 1.2 \sim 1.3$, 则上式可写为

$$I'_{op.1} = K'_{rel} \cdot I_{K.C.max} \quad (1-4)$$

式中: K'_{rel} ——考虑短路电流计算误差、继电器动作电流误差、短路电流中非周期分量的影响和必要的裕度而引入的大于 1 的系数。

对保护 2 来讲,按照同样的原则,其启动电流应整定得大于 K_2 点短路时的最大短路电流 $I_{K.B.max}$, 即

$$I'_{op.2} = K'_{rel} \cdot I_{K.B.max} \quad (1-5)$$

启动电流与 Z_K 无关,即与 l 无关,所以在图 1-1 上是直线,它与曲线 I 和 II 各有一个交点。在交点以前短路时,由于短路电流大于启动电流,保护装置都能动作。而在交点以后短路时,由于短路电流小于启动电流,保护将不能启动。对应这两点,保护有最大和最小保护范围,如图 1-1 所示 L_{max} 和 L_{min} 。由此可见,有选择性的电流速断保护不可能保护线路的全长。

因此,速断保护对被保护线路内部故障的反应能力(即灵敏性)只能用保护范围的大小

来衡量，此保护范围通常用线路全长的百分数来表示。由图 1-1 可见，当系统为最大运行方式且发生三相短路故障时，电流速断的保护范围为最大，当出现其他运行方式或两相短路时，速断的保护范围都要减小，而当出现系统最小运行方式下的两相短路时，电流速断的保护范围为最小。一般情况下，应按这种运行方式和故障类型来效验其保护范围。规程规定，最小保护范围不应小于线路全长 15%~20%。

1.2.3 无时限电流速断保护的单相原理接线图

无时限电流速断保护的单相原理接线如图 1-2 所示。它是由电流继电器（测量元件）1、中间继电器 2 和信号继电器 3 组成。

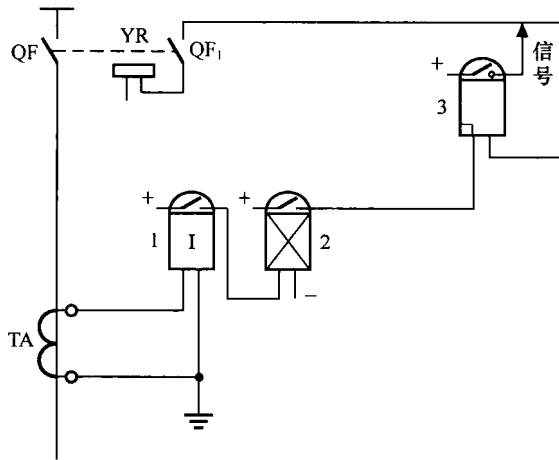


图 1-2 无时限电流速断保护的单相原理接线图

正常运行时，负荷电流流过线路，反应到电流继电器中的电流小于 1 的启动电流，1 不动作，其常开触点是断开的，2 的常开触点也是断开的，信号继电器 3 的线圈和断路器 QF 的跳闸线圈中无电流，断路器主触头闭合处于送电状态。当线路短路时，短路电流超过保护装置的启动电流，电流继电器 1 的常开触点闭合启动中间继电器 2，2 的常开触点闭合将正电源接入 3 的线圈，并通过断路器的常开辅助触点 QF₁，接到跳闸线圈 YR 构成通路，断路器 QF 执行跳闸动作。QF 跳闸后切除故障线路。

中间继电器 2 的作用，一方面是利用 2 的常开触点（大容量）代替电流继电器 LJ 的小容量触点，接通 YR 线圈；另一方面是利用带有 0.06~0.08s 延时的中间继电器，以增大保护的固有动作时间，躲过管型避雷器放电时间（一般放电时间可达 0.04~0.06s），以防止避雷器放电引起保护误动作。

信号继电器 XJ 的作用是用于指示该保护动作，以便运行人员处理和分析故障。

1.2.4 影响无时限电流速断保护范围的因素

无时限电流速断保护的主要优点是简单可靠，动作迅速，因而获得了广泛的应用。它的缺点是不可能保护线路的全长，并且保护范围直接受系统运行方式变化的影响。当系统运行方式变化很大，或者被保护线路的长度很短时，无时限电流速断保护就可能没有保护范围，因而不能采用。

如图 1-3 所示, 当系统运行方式变化很大时, 保护 1 的电流速断按最大运行方式下保护选择性的条件整定以后, 在最小运行方式下就没有保护范围了。

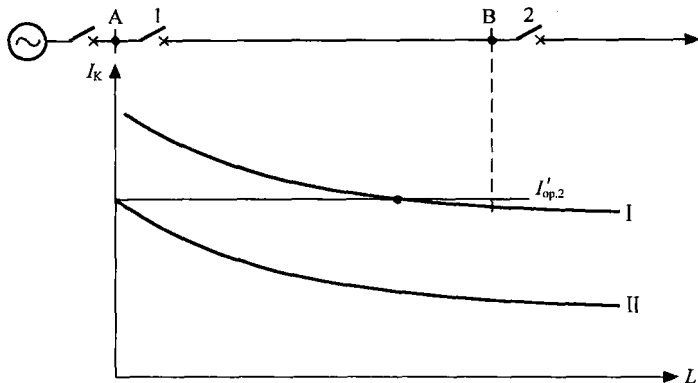


图 1-3 系统运行方式的变化对电流速断保护的影响

如图 1-4 所示, 为被保护线路长短不同的情况, 当线路较长时, 其始端和末端短路电流的差别较大, 因而短路电流变化曲线比较陡, 保护范围比较大, 如图 1-4 (a) 所示。而当线路较短时, 由于短路电流曲线变化平缓, 速断保护的整定值在考虑了可靠系数以后, 其保护范围将很小, 甚至等于零, 如图 1-4 (b) 所示。

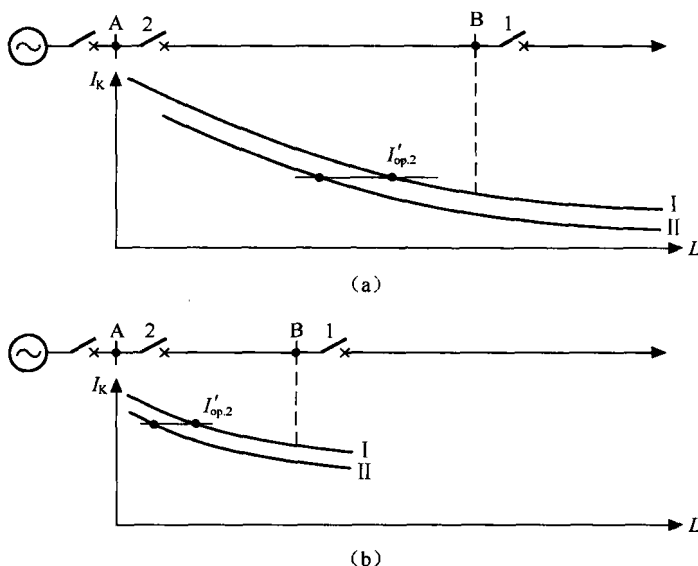


图 1-4 被保护线路长短不同对电流速断保护的影响

在个别情况下, 有选择性的电流速断也可以保护线路的全长, 例如当电网的终端线路上采用线路—变压器组的接线方式时, 如图 1-5 所示, 由于线路和变压器可以看成是一个元件, 因此速断保护就可以按照躲开变压器低压侧出口处 K_1 点的短路来整定, 由于变压器的阻抗一般较大, 因此 K_1 点的短路就大为减小, 这样整定之后, 电流速断就可以保护线路 AB 的全长, 并能保护变压器的一部分。