

高职高专“十二五”电力技术类专业规划教材

电力系统继电保护技术

许建安 路文梅 主编

DIANLI XITONG JIDIAN BAOHU JISHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十二五”电力技术类专业规划教材

电力系统继电保护技术

主 编 许建安 路文梅
副主编 张沛云 施卫华
参 编 李锦福 江 勇 李之昂



机械工业出版社

本书阐述了继电保护的基本原理,利用故障分量的继电保护基本原理,序分量的获取方法及作用,微机保护原理,利用故障分量突变量的保护原理等内容。主要内容包括:绪论,继电保护的基本元件,输电线路的电流、电压保护,输电线路的距离保护,输电线路的全线快速保护,电力变压器的继电保护,发电机保护,母线保护,输电线路的自动重合闸及中低压线路保护等。书中内容反映了继电保护的新技术与成果,文字符号和图形符号均采用最新国家标准。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

为方便教学,本书配有免费电子课件等,凡选用本书作为授课用教材的学校,均可来电索取。咨询电话:010-88379375; E-mail: wangzongf@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护技术/许建安,路文梅主编. —北京:机械工业出版社,2011.8

高职高专“十二五”电力技术类专业规划教材

ISBN 978-7-111-34427-8

I. ①电… II. ①许…②路… III. ①电力系统-继电保护-高等职业教育-教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第143993号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王宗锋
王宗锋 苑文环

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽

封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·452千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34427-8

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书阐述了电力系统继电保护的构成原理及微机继电保护技术的最新成果。由于微机技术、信息技术和通信技术的发展，使继电保护的原理和技术都发生了深刻变化。而且，微机继电保护已占据了主导地位，因此，始终将微机保护原理贯穿本书的所有内容。同时，本书编写中力求重点突出，理论结合实际，图形及文字符号均采用最新国家标准。

本书主要内容包括：绪论，继电保护的基本元件，输电线路的电流、电压保护，输电线路的距离保护，输电线路的全线快速保护，电力变压器的继电保护，发电机保护，母线保护，输电线路的自动重合闸及中低压线路保护等。

本书由福建水利电力职业技术学院许建安、河北工程技术高等专科学校路文梅任主编，山东电力高等专科学校张沛云、昆明冶金高等专科学校施卫华任副主编，参加编写的还有昆明冶金高等专科学校李之昂、尤溪电力有限公司李锦福、永安电力有限公司江勇。任务分工如下：第1章、第2章的2.2~2.6节由施卫华编写，第2章的2.1节由李之昂编写；第3章和第7章由张沛云编写；第4章由许建安编写；第5章和第9章由路文梅编写；第6章和第10章由李锦福和许建安编写；第8章由江勇编写。本书由许建安统稿。

由于作者水平有限，书中的错误和不足在所难免，请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论 1

- 1.1 电力系统继电保护的作用 1
 - 1.1.1 电力系统故障和异常运行 1
 - 1.1.2 继电保护的任務 1
- 1.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成 2
 - 1.2.1 继电保护的基本原理 2
 - 1.2.2 继电保护装置的组成 3
- 1.3 对继电保护的基本要求 3
 - 1.3.1 可靠性 4
 - 1.3.2 选择性 4
 - 1.3.3 灵敏性 5
 - 1.3.4 速动性 5
- 1.4 继电器 5
- 1.5 电力系统继电保护的发展 7
- 小结 8
- 习题 8

第2章 继电保护的基本元件 10

- 2.1 电流互感器 10
 - 2.1.1 电流互感器铭牌的标注方法 10
 - 2.1.2 电流互感器的工作原理 11
 - 2.1.3 电流互感器的极性 13
 - 2.1.4 电流互感器的10%误差曲线 14
- 2.2 测量变换器 15
 - 2.2.1 测量变换器的作用 15
 - 2.2.2 测量变换器的分类 16
 - 2.2.3 各种测量变换器的工作特性 16
- 2.3 对称分量滤过器 17
 - 2.3.1 概述 17
 - 2.3.2 零序电流滤过器 17
 - 2.3.3 零序电压滤过器 18
 - 2.3.4 负序电压滤过器 18
 - 2.3.5 负序电流滤过器 19
- 2.4 电磁式继电器 20
 - 2.4.1 基本结构 20
 - 2.4.2 基本工作原理 20

- 2.4.3 电磁式电流继电器 21
- 2.4.4 电磁式电压继电器 21
- 2.4.5 时间继电器 22
- 2.4.6 信号继电器 22
- 2.4.7 中间继电器 23
- 2.5 微机继电保护的硬件构成原理 23
 - 2.5.1 微机继电保护的硬件组成 23
 - 2.5.2 数据采集系统 24
 - 2.5.3 微型计算机主系统 29
 - 2.5.4 开关量输入/输出电路 30
- 2.6 微机保护的软件系统配置 31
 - 2.6.1 主程序 31
 - 2.6.2 采样中断服务程序 33
 - 2.6.3 故障处理程序 33
 - 2.6.4 微机保护的量算法 34
- 小结 39
- 习题 40

第3章 输电线路的电流、电压保护 41

- 3.1 单侧电源输电线路相间短路的电流、电压保护 41
 - 3.1.1 无时限电流速断保护 41
 - 3.1.2 限时电流速断保护 44
 - 3.1.3 定时限过电流保护 46
 - 3.1.4 电流保护的接线方式 47
 - 3.1.5 线路相间短路的三段式电流保护 50
 - 3.1.6 阶段式电流、电压联锁速断保护 53
- 3.2 双侧电源输电线路相间短路的方向电流保护 53
 - 3.2.1 方向电流保护问题的提出 53
 - 3.2.2 方向电流保护的工作原理 55
 - 3.2.3 功率方向继电器的工作原理 55
 - 3.2.4 功率方向继电器的接线 57
 - 3.2.5 非故障相电流的影响与按相起动 57
 - 3.2.6 方向电流保护的整定计算 58

| | | | |
|--|-----------|------------------------------|------------|
| 3.3 输电线路的接地故障保护 | 61 | 4.7.1 系统振荡时电气量的变化特点 ... | 102 |
| 3.3.1 中性点不接地电网发生单相接地故障时的特点 | 61 | 4.7.2 系统振荡时测量阻抗的特性分析 | 105 |
| 3.3.2 中性点经消弧线圈接地电网发生单相接地故障时的特点 | 63 | 4.7.3 短路故障和振荡的区分 | 107 |
| 3.3.3 中性点非直接接地系统的接地保护 | 64 | 4.7.4 振荡过程中对称短路故障的识别 | 108 |
| 3.4 中性点直接接地系统中的接地保护 | 65 | 4.7.5 振荡闭锁装置 | 110 |
| 3.4.1 中性点直接接地系统接地故障时零序分量的特点 | 65 | 4.8 断线闭锁装置 | 111 |
| 3.4.2 阶段式零序电流保护 | 66 | 4.8.1 断线失电压时阻抗继电器的动作行为 | 111 |
| 3.4.3 三段式零序电流保护的接线原理 | 70 | 4.8.2 断线闭锁元件 | 112 |
| 3.4.4 方向性零序电流保护 | 70 | 4.9 影响距离保护正确工作的因素 | 114 |
| 3.4.5 对中性点直接接地系统零序电流保护的评价 | 72 | 4.9.1 保护安装处和故障点间分支线的影响 | 114 |
| 小结 | 72 | 4.9.2 过渡电阻对距离保护的影响 | 116 |
| 习题 | 73 | 4.10 相间距离保护的整定计算原则 | 118 |
| 第4章 输电线路的距离保护 | 76 | 4.10.1 相间距离保护 I 段的整定 | 118 |
| 4.1 距离保护概述 | 76 | 4.10.2 相间距离保护 II 段的整定 | 118 |
| 4.1.1 距离保护的基本原理 | 76 | 4.10.3 相间距离保护 III 段的整定 | 119 |
| 4.1.2 距离保护的时限特性 | 78 | 4.11 工频故障分量距离保护 | 120 |
| 4.1.3 距离保护的构成 | 78 | 4.11.1 工频故障分量保护原理 | 120 |
| 4.2 阻抗继电器 | 79 | 4.11.2 工作原理和动作方程 | 122 |
| 4.2.1 圆特性阻抗继电器 | 80 | 4.11.3 保护区内、外短路故障的分析 | 123 |
| 4.2.2 多边形阻抗继电器 | 82 | 4.12 WXB—11 型线路保护装置 | 124 |
| 4.3 阻抗继电器的接线方式 | 84 | 4.12.1 WXB—11 型装置概述 | 124 |
| 4.3.1 对阻抗继电器接线的要求 | 84 | 4.12.2 距离保护软件原理 | 126 |
| 4.3.2 反映相间故障的阻抗继电器的 0° 接线方式 | 84 | 4.12.3 距离保护故障处理程序原理 | 130 |
| 4.3.3 反映接地短路故障的阻抗继电器接线 | 86 | 4.12.4 WXB—11 型装置的使用说明 | 137 |
| 4.4 反映突变量的阻抗继电器 | 87 | 小结 | 139 |
| 4.5 选相原理 | 91 | 习题 | 140 |
| 4.5.1 相电流差工频变化量选相 | 91 | 第5章 输电线路的全线快速保护 | 143 |
| 4.5.2 对称分量选相 | 93 | 5.1 输电线路纵联保护的原理及分类 | 143 |
| 4.5.3 用 Clarke 分量的故障判别 | 95 | 5.1.1 输电线路纵联保护的基本原理 | 143 |
| 4.6 距离保护起动元件 | 96 | 5.1.2 输电线路纵联保护的分类 | 144 |
| 4.6.1 起动元件的作用 | 96 | 5.2 线路的纵联差动保护 | 144 |
| 4.6.2 对起动元件的要求 | 96 | 5.2.1 线路的导引线保护 | 144 |
| 4.6.3 负序、零序电流起动元件 | 97 | 5.2.2 自适应纵联差动保护 | 147 |
| 4.6.4 序分量滤过器算法 | 97 | 5.2.3 利用故障分量的电流差动保护 | 149 |
| 4.7 距离保护的振荡闭锁 | 102 | 5.3 平行线路差动保护 | 151 |
| | | 5.3.1 平行线路内部故障的特点 | 152 |

| | | | | | |
|-----------------------|--------------------|-----|------------------|---------------------------------|-----|
| 5.3.2 | 横联差动方向保护 | 152 | 6.7.2 | 变压器零序保护的配置 | 188 |
| 5.3.3 | 电流平衡保护 | 154 | 6.7.3 | 变压器零序接地保护的逻辑框图 | 190 |
| 5.4 | 输电线路的高频保护 | 154 | 6.7.4 | 零序过电流保护的整定 | 190 |
| 5.4.1 | 电力线载波高频保护 | 155 | 6.8 | 电力变压器的微机保护举例 | 191 |
| 5.4.2 | 微波保护 | 157 | 6.8.1 | 工程概述 | 191 |
| 5.4.3 | 高频闭锁方向保护 | 158 | 6.8.2 | 主变压器保护的解决方案 | 191 |
| 5.4.4 | 相差高频保护 | 159 | 6.8.3 | 主变压器保护的接线原理 | 194 |
| 5.5 | 光纤纵联差动保护 | 160 | 小结 | 198 | |
| 5.5.1 | 架空地线复合光缆 | 161 | 习题 | 199 | |
| 5.5.2 | 光纤保护的组成及原理 | 162 | 第7章 发电机保护 | 200 | |
| 5.5.3 | 光纤差动保护装置实例 | 163 | 7.1 | 发电机的故障和不正常工作状态及其保护 | 200 |
| 小结 | | 164 | 7.2 | 发电机的纵差保护 | 202 |
| 习题 | | 164 | 7.2.1 | 微机比率制动式发电机纵差保护的原理及动作逻辑 | 203 |
| 第6章 电力变压器的继电保护 | | 166 | 7.2.2 | 发电机纵差保护的整定计算 | 205 |
| 6.1 | 电力变压器的故障类型及其保护措施 | 166 | 7.2.3 | 发电机标积制动原理的差动保护 | 205 |
| 6.2 | 电力变压器的瓦斯保护 | 167 | 7.3 | 发电机的匝间短路保护 | 206 |
| 6.2.1 | 气体继电器的构成和动作原理 | 167 | 7.3.1 | 发电机的横联差动保护 | 207 |
| 6.2.2 | 瓦斯保护的接线 | 168 | 7.3.2 | 反映零序电压的匝间短路保护 | 208 |
| 6.3 | 电力变压器的电流速断保护 | 168 | 7.3.3 | 反映转子回路2次谐波电流的匝间短路保护 | 209 |
| 6.4 | 电力变压器的纵差保护 | 169 | 7.4 | 发电机定子绕组单相接地保护 | 209 |
| 6.4.1 | 电力变压器纵差保护的基本原理 | 169 | 7.4.1 | 反映基波零序电压的接地保护 | 210 |
| 6.4.2 | 电力变压器纵差保护中的不平衡电流 | 170 | 7.4.2 | 反映基波零序电压和3次谐波电压构成的发电机定子100%接地保护 | 211 |
| 6.5 | 电力变压器的微机保护 | 177 | 7.5 | 发电机励磁回路接地保护 | 212 |
| 6.5.1 | 常规比率制动特性 | 177 | 7.5.1 | 发电机励磁回路一点接地保护 | 212 |
| 6.5.2 | 两折线式比率制动特性 | 178 | 7.5.2 | 发电机励磁回路两点接地保护 | 213 |
| 6.5.3 | 三折线式比率制动特性 | 179 | 7.6 | 发电机的失磁保护 | 214 |
| 6.5.4 | 变压器微机纵差保护的整定计算 | 180 | 7.6.1 | 发电机的失磁及原因 | 214 |
| 6.6 | 电力变压器相间短路的后备保护 | 183 | 7.6.2 | 发电机失磁后机端测量阻抗的变化规律 | 215 |
| 6.6.1 | 过电流保护 | 183 | 7.6.3 | 失磁保护的构成 | 217 |
| 6.6.2 | 复合电压起动的过电流保护 | 184 | 7.7 | 发电机负序电流保护 | 218 |
| 6.6.3 | 负序电流和单相低电压起动的过电流保护 | 186 | 7.7.1 | 发电机负序电流的形成、特征及危害 | 218 |
| 6.6.4 | 三绕组变压器后备保护的配置原则 | 186 | 7.7.2 | 发电机承受负序电流的能力 | 218 |
| 6.6.5 | 变压器的过负荷保护 | 187 | 7.7.3 | 发电机负序电流保护的原理 | 219 |
| 6.7 | 电力变压器的接地保护 | 187 | | | |
| 6.7.1 | 变压器接地保护的零序方向元件 | 188 | | | |

| | | | |
|-------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 7.8 发电机-变压器组反时限过励磁保护 | 221 | 9.2 单侧电源线路的三相一次自动重合闸 | 240 |
| 小结 | 222 | 9.2.1 电磁型单侧电源供电线路的三相一次重合闸装置 | 241 |
| 习题 | 223 | 9.2.2 软件实现的自动重合闸 | 245 |
| 第8章 母线保护 | 224 | 9.2.3 自动重合闸的闭锁 | 247 |
| 8.1 装设母线保护的基本原则 | 224 | 9.2.4 自动重合闸装置参数的整定 | 247 |
| 8.1.1 母线的短路故障 | 224 | 9.3 双侧电源供电线路的自动重合闸 | 248 |
| 8.1.2 母线故障的保护方式 | 224 | 9.3.1 三相快速自动重合闸 | 249 |
| 8.2 母线差动保护的基本原理 | 225 | 9.3.2 三相非同期自动重合闸 | 249 |
| 8.2.1 动作电流与制动电流 | 225 | 9.3.3 无电压检定和同期检定的三相自动重合闸 | 250 |
| 8.2.2 复式比率制动式母线差动保护的 动作判据 | 227 | 9.3.4 解列自动重合闸 | 253 |
| 8.3 典型微机母线保护 | 228 | 9.4 自动重合闸与继电保护的配合 | 254 |
| 8.3.1 BP—2A 微机母线保护的配置 | 229 | 9.4.1 重合闸前加速保护 | 254 |
| 8.3.2 微机母线差动保护的 TA 电流比 设置 | 229 | 9.4.2 重合闸后加速保护 | 255 |
| 8.4 BP—2A 微机母线保护程序逻辑 | 229 | 9.5 输电线路的综合自动重合闸 | 256 |
| 8.4.1 起动元件程序逻辑 | 229 | 9.5.1 综合重合闸的重合闸方式 | 256 |
| 8.4.2 母线复式比率差动保护程序 逻辑 | 230 | 9.5.2 综合重合闸的特殊问题 | 257 |
| 8.4.3 母联失灵或母线保护死区故 障的保护 | 231 | 9.5.3 综合重合闸的起动方式 | 259 |
| 8.4.4 母线充电保护逻辑 | 232 | 9.6 重合器与分段器 | 260 |
| 8.4.5 TA 和 TV 断线闭锁与报警 | 232 | 9.6.1 自动重合器的功能与特点 | 260 |
| 8.4.6 BP—2A 微机母线差动保护的程 序流程 | 232 | 9.6.2 自动分段器的功能与特点 | 260 |
| 8.5 基于故障分量综合阻抗的母线 保护原理 | 234 | 9.6.3 重合器与分段器的配合 | 261 |
| 8.5.1 基于故障分量综合阻抗母线保护的 工作原理 | 234 | 小结 | 262 |
| 8.5.2 基于故障分量综合阻抗的母线 保护判据 | 235 | 习题 | 263 |
| 8.5.3 基于故障分量综合阻抗母线保 护的性能分析 | 235 | 第10章 中低压线路保护 | 264 |
| 小结 | 235 | 10.1 中低压线路微机保护装置 | 264 |
| 习题 | 236 | 10.1.1 主要功能 | 264 |
| 第9章 输电线路的自动重合闸 | 237 | 10.1.2 保护装置的控制字及定值 整定 | 268 |
| 9.1 自动重合闸的基本要求及选择 原则 | 237 | 10.1.3 保护装置的外部接线端子图 | 270 |
| 9.1.1 自动重合闸的作用 | 237 | 10.1.4 装置跳线说明 | 270 |
| 9.1.2 自动重合闸的基本要求 | 238 | 10.1.5 端子说明 | 270 |
| 9.1.3 自动重合闸的分类 | 239 | 10.2 RCS—9615 线路距离保护测控 装置 | 272 |
| 9.1.4 自动重合闸方式的选择原则 | 239 | 10.2.1 主要结构原理 | 272 |
| | | 10.2.2 主要功能 | 277 |
| | | 10.2.3 硬件配置及逻辑框图 | 278 |
| | | 10.2.4 装置定值整定 | 282 |
| | | 10.2.5 硬件及逻辑框图中各符号的 意义 | 284 |
| | | 参考文献 | 285 |

第 1 章 绪 论

教学要求：通过本章学习，了解电力系统继电保护的涵义和任务；了解继电保护装置的基本原理及组成；熟悉对继电保护的基本要求，即所谓的“四性”——可靠性、选择性、灵敏性及速动性；熟悉继电器的图形符号表示方法、文字表示方法以及型号的表示方法；理解主保护、后备保护、辅助保护、起动、动作、复归和返回等几个重要概念。

1.1 电力系统继电保护的作用

1.1.1 电力系统故障和异常运行

电力系统由发电机、变压器、母线、输配电线路及用电设备组成。各电气元件及系统整体通常处于正常运行状态，但也可能出现故障或异常运行状态。在三相交流系统中，最常见同时也是最危险的故障是各种形式的短路。直接连接（不考虑过渡电阻）的短路一般称为金属性短路。电力系统的正常工作遭到破坏，但未形成故障，称为异常运行状态。

与其他电气元件相比较，输电线路所处的条件决定了它是电力系统中最容易发生故障的一环。在输电线路路上，还可能发生断线或几种故障同时发生的复杂故障。变压器和各种旋转电机所特有的一种故障是同一相绕组上的匝间短路。

短路总会产生很大的短路电流，同时使系统中电压大大降低。短路点的电流及短路电流的热效应和机械效应会直接损坏电气设备。电压下降会影响用户的正常工作，影响产品质量。短路更严重的后果是因电压下降可能导致了电力系统发电厂之间并列运行的稳定性遭受破坏，引起系统振荡，直至使整个系统瓦解。

最常见的异常运行状态是电气元件的电流超过其额定值，即过负荷状态。长时间的过负荷会使电气元件的载流部分和绝缘材料的温度过高，从而加速设备的绝缘老化，或者损坏设备，甚至发展成事故。此外，由于电力系统出现功率缺额而引起的频率降低、水轮发电机组突然甩负荷引起的过电压以及电力系统振荡，都属于异常运行状态。

故障和异常运行状态都可能发展成系统中的事故。所谓事故，是指整个系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，以致造成对用户送电量减少、停止送电或电能质量降低到不能容许的地步，甚至造成设备损坏和人身伤亡。

在电力系统中，为了提高供电可靠性，防止造成上述严重后果，要对电气设备进行正确地设计、制造、安装、维护和检修；对异常运行状态必须及时发现，并采取措施予以消除；一旦发生故障，必须迅速并有选择性地切除故障元件。

1.1.2 继电保护的任務

继电保护装置是一种能反映电力系统中电气元件发生的故障或异常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。它的基本任务是：

1) 当电力系统的被保护元件发生故障时, 继电保护装置应能自动、迅速、有选择地通过断路器将故障元件从电力系统中切除, 并保证无故障部分迅速恢复正常运行状态。

2) 当电力系统的被保护元件出现异常运行状态时, 继电保护装置应能及时反应, 并根据运行维护条件, 动作于发出信号、减负荷或跳闸。此时一般不要求保护装置迅速动作, 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, 以避免不必要动作和由于干扰而引起的误动作。

1.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成

1.2.1 继电保护的基本原理

继电保护的基本原理是利用被保护线路或设备故障前后某些突变的物理量为信息量, 当这些信息量达到一定值时, 继电保护装置起动逻辑控制环节, 发出相应的跳闸脉冲或信号从而切除系统中的故障元件。

1. 利用基本电气参数的区别实现保护

发生短路故障后, 利用电流、电压、线路测量阻抗、电压电流间相位、负序和零序分量的出现等的变化, 可构成过电流保护、低电压保护、距离(低阻抗)保护、功率方向保护、序分量保护等。

(1) 过电流保护 反映电流增大而动作的保护称为过电流保护。如图 1-1 所示, 若在线路 BC 上发生三相短路, 则从电源到短路点 K 之间将流过短路电流 \dot{i}_K , 保护 1 和 2 都反映到这个电流, 首先由保护 2 动作于断路器 QF₂ 跳闸。

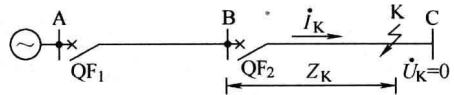


图 1-1 单侧电源电路

(2) 低电压保护 反映电压降低而动作的保护称为低电压保护。如图 1-1 所示, 线路 BC 上 K 点发生三相短路时, 短路点电压降到零, 各母线上的电压都有所下降, 保护 1 和 2 都能反映到电压下降, 首先由保护 2 动作于断路器 QF₂ 跳闸。

(3) 距离保护 距离保护也称低阻抗保护, 反映保护装置安装处到短路点之间的阻抗下降而动作的保护称为低阻抗保护。在图 1-1 中, 若以 Z_K 表示保护 2 到短路点之间的阻抗, 则母线 B 上的残余电压 $\dot{U}_{res} = \dot{i}_K Z_K$, 保护 2 的测量阻抗 $Z_m = \dot{U}_{res} / \dot{i}_K = Z_K$, 它的大小等于保护装置安装处到短路点间的阻抗, 正比于短路点到保护 2 之间的距离。

2. 利用比较线路两侧的电流相位实现保护

如图 1-2 所示的双侧电源网络, 若规定电流的正方向是从母线指向线路, 正常运行时, 线路 AB 两侧的电流大小相等相位差为 180° ; 当在线路 BC 上的 K₁ 点发生短路故障时, 线路 AB 两侧电流大小仍相等相位差仍为 180° ; 当在线路 AB 上的 K₂ 点发生短路故障时, 线路 AB

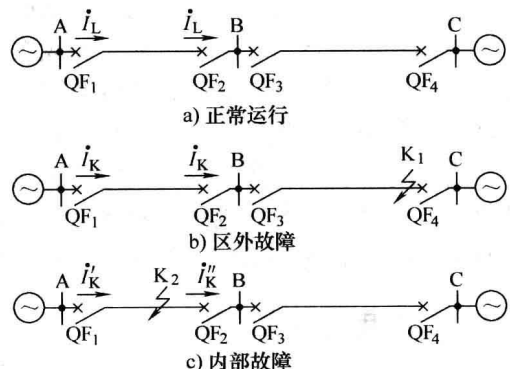


图 1-2 双侧电源网络

两侧短路电流大小一般不相等，相位相同（不计阻抗的电阻分量时）。从分析可知，若两侧电流相位（或功率方向）相同，则判断为被保护线路内部故障；若两侧电流相位（或功率方向）相反，则判断为区外短路故障。利用被保护线路两侧电流的相位差（或功率方向），可构成纵联差动保护、相差高频保护及方向保护等。

3. 利用序分量或突变量实现保护

电力系统在对称运行时，不存在负序、零序分量；当发生不对称短路时，将出现负序、零序分量；无论是对称短路，还是不对称短路，正序分量都将发生突变。因此，可以根据是否出现负序、零序分量构成负序保护和零序保护；根据正序分量是否突变构成对称短路保护、不对称短路保护。

4. 利用非电量实现保护

反映变压器油箱内部故障时所产生的瓦斯气体而构成的瓦斯保护；反映绕组温度升高而构成的过负荷保护等。

1.2.2 继电保护装置的组成

继电保护装置的构成原理虽然很多，但是在一般情况下，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，其原理框图如图 1-3 所示。



图 1-3 继电保护装置的原理框图

1. 测量部分

测量部分是测量从被保护对象输入的有关物理量，并与给定的整定值进行比较，根据比较的结果，给出“是”或“非”的一组逻辑信号，从而判断保护是否应该起动。

2. 逻辑部分

逻辑部分是依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，确定是否应该使断路器跳闸或发出信号，并将有关信号传给执行部分。继电保护中常用的逻辑回路有“或”、“与”、“否”、“延时起动”、“延时返回”以及“记忆”等。

3. 执行部分

执行部分是依据逻辑部分传送的信号，最终完成保护装置所担负的任务。如故障时，动作于跳闸；异常运行时，发出信号；正常运行时，不动作等。

1.3 对继电保护的基本要求

电力系统各电气元件之间通常用断路器互连接，每台断路器都装有相应的继电保护装置，用于向断路器发出跳闸脉冲信号。继电保护装置是以各电气元件或线路作为被保护对象的，其切除故障的范围是断路器之间的区段。

实践表明，继电保护装置或断路器有拒绝动作的可能性，因而需要考虑后备保护。实际上，每一电气元件一般都有两种继电保护装置——主保护和后备保护，必要时，还另外增设辅助保护。

反映整个被保护元件上的故障并能以最短的延时有选择性地切除故障的保护称为主保护。主保护或其断路器拒绝动作时，用来切除故障的保护称为后备保护。后备保护分为近后备保护

和远后备保护两种：主保护拒绝动作时，由被保护元件的另一套保护实现后备保护，谓之近后备保护；当主保护或其断路器拒绝动作时，由相邻元件或线路的保护实现后备保护的，谓之远后备保护。为补充主保护和后备保护的不足而增设的比较简单保护称为辅助保护。

电力系统继电保护装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的基本要求。这些要求之间，需要针对使用条件的不同，进行综合考虑。

1.3.1 可靠性

保护装置的可靠性是指在规定的保护区内发生故障时，它不应该拒绝动作，而在正常运行或保护区外发生故障时，则不应该误动作。

可靠性主要指保护装置本身的质量和运行维护水平而言，不可靠的保护本身就成了事故的根源，因此，可靠性是对继电保护装置最基本的要求。

为保证可靠性，一般来说，宜选用尽可能简单的保护方式及有运行经验的微机保护产品；应充分考虑保护装置中元件的可靠性及其自身的性能，并应采取必要的检测、闭锁和双重化等措施。当电力系统中发生故障而主保护拒绝动作时，依靠后备保护的切除故障，往往不仅扩大了停电范围，而且拖延了切除故障的时间，对电力系统的稳定运行带来了很大危害。此外，保护装置应便于整定、调试和运行维护，这对于保证其可靠性也具有重要的作用。

1.3.2 选择性

保护装置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，使停电范围尽量小，以保证电力系统中的无故障部分仍能继续安全运行。在图 1-4 所示的网络中，当线路 L_4 上 K_2 点发生短路时，保护 6 动作于断开 QF_6 ，将 L_4 切除，继电保护的这种动作体现了其选择性。当 K_2 点故障时，若保护 5 动作于断开 QF_5 ，则变电所 C 和 D 都将停电，继电保护的这种动作被视为无选择性。同样 K_1 点故障时，保护 1 和保护 2 动作于断开 QF_1 和 QF_2 ，将故障线路 L_1 切除，才是有选择性的。

如果 K_2 点故障，而保护 6 或 QF_6 拒绝动作，保护 5 动作于断开 QF_5 ，故障切除，这种情况虽然是越级跳闸，但也是尽量缩小了停电范围，限制了故障的发展，因而也认为是选择性的。

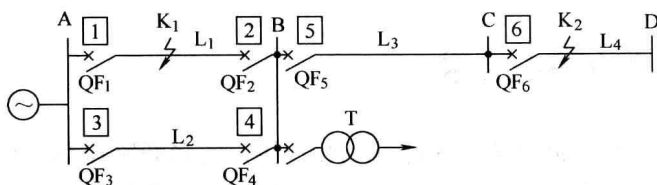


图 1-4 单侧电源网络中的保护选择性动作

运行经验表明，架空线路上发生的短路故障大多数是瞬时性的，线路上的电压消失后，短路故障会自行消除。因此，在某些条件下，为了加速切除故障线路，允许采用无选择性的保护，但必须采取相应补救措施，如采用自动重合闸或备用电源自动投入装置予以补救。

为了保证选择性，对相邻元件有后备作用的保护装置，其灵敏性与动作时间必须与相邻元件的保护相配合。

1.3.3 灵敏性

保护装置的灵敏性是指保护装置对其保护区内发生的故障或异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规定的保护区内短路时,不论短路点的位置、短路形式及系统的运行方式如何,都能灵敏反应。保护装置的灵敏性一般用灵敏系数 K_{sen} 来衡量。对于反应故障时参数增大而动作的保护装置,其灵敏系数是

$$K_{\text{sen}} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处测量到的故障参数的最小计算值}}{\text{保护整定值}}$$

对于反应故障时参数降低而动作的保护装置,其灵敏系数是

$$K_{\text{sen}} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处测量到的故障参数的最大计算值}}{\text{保护整定值}}$$

实际上,短路大多情况是非金属性的,而且故障参数在计算时会有一定误差,因此,必须要求 $K_{\text{sen}} > 1$ 。在 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类短路保护装置的灵敏系数最小值都作了具体规定。对于各种保护装置灵敏系数的校验方法,将在各保护的整定计算中分别讨论。

1.3.4 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,缩短用户在电压降低情况下的工作时间,降低故障元件的损坏程度,缩小故障的影响范围以及提高自动重合闸装置和备用电源自动投入装置的动作成功率等。因此,在发生故障时,应力求保护装置能迅速动作切除故障。

上述对作用于跳闸的保护装置的基本要求,一般也适用于反映异常运行状态的保护装置。对作用于信号的保护装置则不要求快速动作,而是按照选择性要求延时发出信号。

对继电保护的基本要求是互相联系而又互相矛盾的。如,对某些保护装置来说,选择性和速动性不可能同时实现,要保证选择性,必须使之具有一定的动作时间。

可以这样说,继电保护这门技术,是随着电力系统的发展,在不断解决保护装置应用中出现的对基本要求之间的矛盾,使之在一定条件下达到辩证统一的过程中发展起来的。因此,对继电保护的基本要求是分析研究各种继电保护装置的基础,是贯穿“电力系统继电保护技术”课程的一条基本线索。在本课程的学习过程中,应该注意学会按对保护的基本要求点,去分析每种保护装置的性能。

1.4 继电器

继电器是各种继电保护装置的基本组成元件。一般来说,按预先整定的输入量动作,并具有电路控制功能的元件称为继电器。继电器的工作特点是:用来表征外界现象的输入量达到整定值时,其输出电路中的被控电气量将发生预期的阶跃变化。

继电器的输入量和输出量之间的关系如图 1-5 所示。图中, X 是继电器线圈的输入量, Y 是继电器触点电路中的输出量。当输入量 X 从零开始增加时,在 $X < X_{\text{op}}$ (起动力)的过程中,输出量 $Y = Y_{\text{min}}$ 保持不变 ($Y_{\text{min}} \approx 0$); 当输入量 $X = X_{\text{op}}$ 时,输出量 Y 突然由 Y_{min} 变到

Y_{\max} ，此时称为继电器动作，当输入量 X 减小时，在 $X > X_{re}$ 的过程中，输出量 Y 保持不变，当输入量 X 减到 X_{re} 时，输出量 Y 突然由 Y_{\max} 变到 Y_{\min} ，称为继电器返回。返回值与动作值之比称为继电器的返回系数，以 K_{re} 表示，即

$$K_{re} = \frac{X_{re}}{X_{op}} \quad (1-1)$$

图 1-5 所示的这种输入量连续变化，而输出量总是阶跃变化的特性，称为继电特性。

通常，继电器在没有输入量（或输入量未达到整定值）的状态下，断开的触点称为常开触点；闭合的触点称为常闭触点。

使继电器的正常位置时的功能产生变化，称为起动；继电器完成所规定的任务，称为动作；继电器从动作状态回到初始位置，称为复归；继电器失去动作状态下的功能，称为返回。

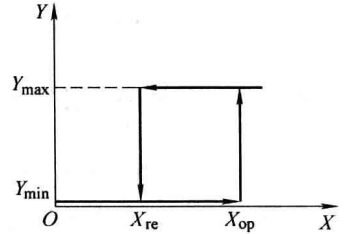


图 1-5 继电特性

电力系统继电保护装置用的继电器，称为保护继电器，按输入物理量的不同分为电气继电器与非电气继电器两类，按功能可分为测量继电器与逻辑继电器。

国产的保护继电器，一般用汉语拼音字母表示它的型号。型号中第一个字母表示继电器的工作原理，第二（或第三）个字母代表继电器的用途，如，DL 代表“电”磁型电“流”继电器。常用继电器线圈和触点的表示方法如表 1-1 所示，常用继电器和保护装置示例如表 1-2 所示。

表 1-1 继电器线圈和触点

| 名称 | 图形符号 | 说明 | 名称 | 图形符号 | 说明 |
|------------|------|-------|--------------|------|----|
| 继电器线圈 | | | 常开(动合)触点 | | |
| 具有两个线圈的继电器 | | 组合表示法 | 常闭(动断)触点 | | |
| | | 分立表示法 | 先断后合的转换触点 | | |
| 缓慢释放继电器的线圈 | | | 吸合时延时闭合的常开触点 | | |
| 缓慢吸合继电器的线圈 | | | 释放时延时断开的常开触点 | | |
| 快速继电器的线圈 | | | 吸合时延时断开的常闭触点 | | |
| 机械保持继电器的线圈 | | | 释放时延时闭合的常闭触点 | | |
| 极化继电器的线圈 | | | | | |

表 1-2 常用继电器和保护装置

| 名 称 | 图形符号 | 说 明 | 名 称 | 图形符号 | 说 明 |
|-----------|----------------|-----|--------------|--|-----|
| 欠电压继电器 | $U <$ | | 瞬时过电流保护 | $I >$ | |
| 过电压继电器 | $U >$ | | 定时限过电流保护 | $I >$ \overline{t} | |
| 欠功率继电器 | $P <$ | | 低电压起动的过电流保护 | $I >$ $U <$ \overline{t} | |
| 低阻抗继电器 | $Z <$ | | 复合电压起动的过电流保护 | $I >$ $U_1 < + U_2 >$ \overline{t} | |
| 功率方向继电器 | \overline{P} | | 线路纵联差动保护 | LGDP | |
| 接地保护 | $U \perp$ | | 距离保护 | Z | |
| 发电机定子接地保护 | $S \perp$ | | 差动保护 | I_d | |
| 发电机转子接地保护 | $R \perp$ | | 零序电流差动保护 | I_{d0} | |

1.5 电力系统继电保护的发展

电力系统继电保护技术是随着电力系统的发展而发展的。熔断器就是最早出现的简单过电流保护器件。这种保护器件时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备中。由于电力系统的发展,用电设备的功率、发电机的容量不断增大,发电厂、变电所和供电电网的接线不断复杂化,电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大,单纯采用熔断器作过电流保护已难以实现选择性和速动性要求,于是出现了作用于专门的断流装置(断路器)的过电流继电器,利用继电器和断路器的配合来实现电力系统的保护。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一次式的电磁型过电流继电器;20世纪初随着电力系统的发展,继电器开始广泛应用于电力系统的保护中,这个时期可认为是继电保护技术发展的开端。

1901年出现了感应式过电流继电器,1908年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理,1910年方向性电流保护技术开始得到应用,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路高频载波电流传送和比较输电线路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路两端故障电气量的微波保护技术。利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,经过20余年的研究,20世纪70年代诞生了行波保护装置。随着光纤通信在电力系统的大量使用,利用光纤通道的微机继电保护也将得到更为广泛的应用。

20世纪60年代末开始了对继电保护计算机算法的大量研究,为后来微型计算机式继电

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,20世纪70年代后半期出现了比较完善的微型计算机保护样机,并投入到电力系统中试运行。20世纪80年代微型计算机保护装置在硬件结构和软件技术方面已趋于成熟,并已在一些国家推广应用,这就是第三代的静态继电保护装置。微型计算机保护具有强大的计算、分析和逻辑判断能力,有存储记忆功能,因而可用以实现性能完善且复杂的保护功能。微型计算机保护装置可连续不断地对其自身的工作情况进行自检,其工作可靠性很高。此外,微型计算机保护装置可用同一个硬件实现不同的保护原理,这使保护装置的结构大为简化,也更容易实现保护装置的标准化。微型计算机保护装置除了具有保护功能外,还具有故障录波、故障测距、事故顺序记录和调度计算机交换信息等辅助功能,这对简化保护装置的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。微型计算机保护装置的优越性和巨大潜力使其受到技术人员的普遍欢迎,进入20世纪90年代,微型计算机保护装置在我国得到广泛应用,并成为继电保护装置的主要形式之一。可以说,微型计算机保护装置的发展代表着电力系统继电保护技术的未来,并将成为未来电力系统保护、控制、运行调度及事故处理的统一计算机管理系统的组成部分。

小 结

电力系统通常是处于正常运行状态,一旦发生故障电力系统的正常运行就会被破坏,对正常供电、人身安全和设备造成危害。因此要求电力系统发生短路故障时,应将系统故障部分切除。电力系统发生异常运行状态一般动作于信号,以便分析处理。

短路故障最明显的特征是电流增大、电压降低,因此可以通过电流或电压的变化构成电流、电压保护。在发生不对称短路故障时,将出现负序分量,发生接地短路故障时,将出现零序分量,可利用负序、零序分量构成反映序分量原理的保护,根据被保护线路阻抗的变化可构成距离保护;线路内部和外部短路故障时,根据被保护线路两端电流的相位不同,可构成差动保护;利用故障分量的特点,可构成各种利用分量原理的继电保护。

继电保护的基本要求是衡量继电保护装置性能的重要指标,也是评价各种原理构成的继电保护装置的主要依据。简单地说,选择性就是在保护区内发生短路故障时保护不拒绝动作,在保护区外发生短路故障时保护不误动作;灵敏性是判别保护装置反映故障能力的重要指标,不满足灵敏性要求的保护装置,是不允许装设的。对继电保护的基本要求是互相联系而又互相矛盾的,它是在不断解决保护装置应用中出现的对基本要求之间的矛盾,使之在一定条件下达到辩证统一的过程中发展起来的。因此,对继电保护的基本要求是分析研究各种继电保护装置的基础,是贯穿本课程的一条基本线索。

习 题

- 1-1 何谓电力系统的“故障”、“异常运行状态”与“事故”?
- 1-2 何谓继电保护装置?它的基本任务是什么?
- 1-3 何谓主保护、后备保护及辅助保护?何谓近后备保护和远后备保护?
- 1-4 何谓继电器与继电特性?为什么要求保护继电器必须具有继电特性?
- 1-5 继电器的常开触点与常闭触点如何区分?

1-6 继电保护装置一般有哪些组成部分？各部分有何作用？

1-7 说明“继电器”、“继电保护装置”和“继电保护”的含义和区别？

1-8 图 1-6 所示网络中，各断路器处均装设有保护装置，请回答：

(1) 当 K_1 点发生短路故障时，根据选择性要求，应起动哪些保护并断开哪台断路器？若断路器 QF_6 失灵而拒动，保护应如何动作？

(2) 当 K_2 点发生短路故障时，根据选择性要求，应起动哪些保护并断开哪些断路器？如果保护 2 拒绝动作，对保护 1 的动作又应作何评价？

1-9 在图 1-7 所示网络中，若在 K_1 、 K_2 点发生短路故障，评价保护 1、保护 2 是否满足保护的基本要求：

(1) K_1 点发生短路故障。

1) 保护 2 按整定时间先动作，断开 QF_2 ，保护 1 起动并在故障切除后返回；

2) 保护 1 和保护 2 同时起动，并断开 QF_1 和 QF_2 ；

3) 保护 1 起动，但未断开 QF_1 ，保护 2 动作，断开 QF_2 ；

4) 保护 1 动作，保护 2 未起动，断开 QF_1 ；

5) 保护 1 和保护 2 均未起动。

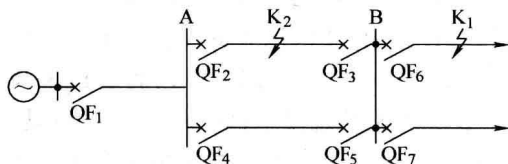


图 1-6 习题 1-8 系统接线图

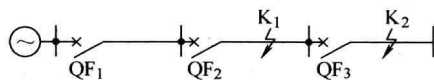


图 1-7 习题 1-9 系统接线图

(2) K_2 点发生短路故障。

1) 保护 2 和保护 3 同时将 QF_2 和 QF_3 断开；

2) 保护 3 拒绝动作或 QF_3 失灵，保护 1 将 QF_1 断开。