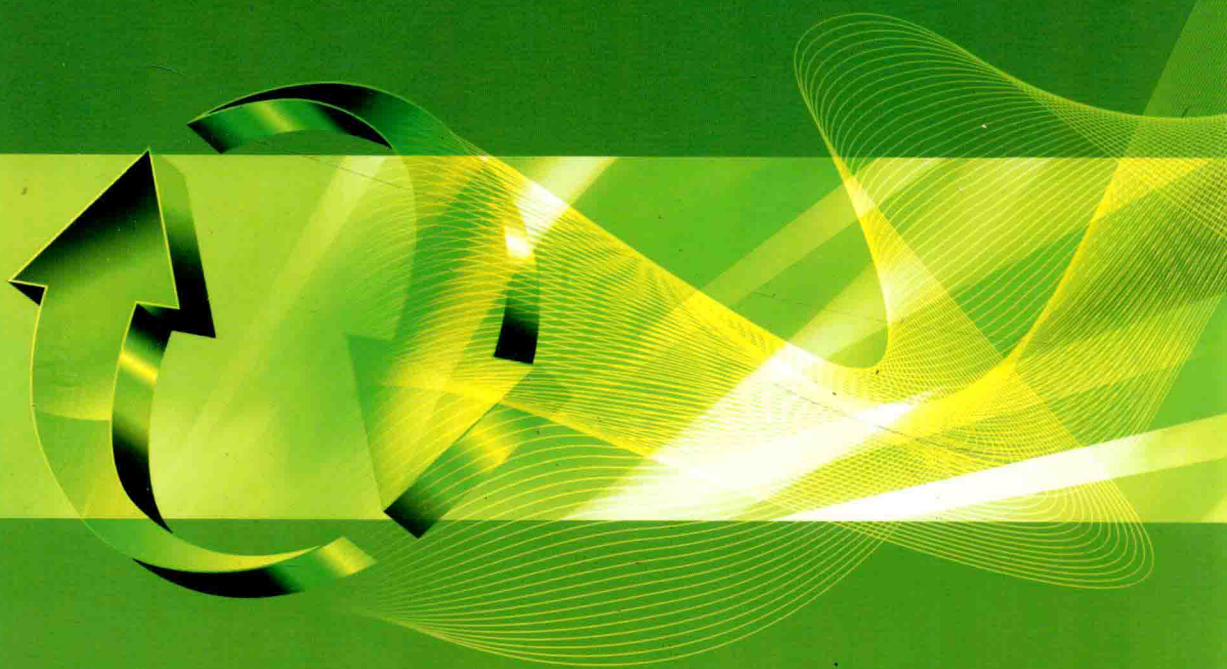




普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护原理 辅导与训练

刘晓军 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护原理 辅导与训练

刘晓军 编
邵能灵 聂洪展 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书是按照《电力系统继电保护原理》课程内容体系编写的辅导与训练教材。本书共分为十章,包括电力系统继电保护基本概念、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、电力变压器保护、发电机保护、母线保护、数字式继电保护技术基础、输电线路继电保护新技术。前九章分别按照基本内容与知识要点、典型例题、习题及答案三个部分编写;第十章则是结合现有教材及相关科技文献,以综述形式介绍输电线路继电保护新技术。本书各章内容重点突出,典型例题解答翔实,习题题型全面并附有答案,有助于读者巩固所学知识,开阔学习视野。

本书可作为高等院校电气工程及相关专业的本科辅导教材,也可作为高职、高专相关专业的辅导教材,同时也可作为从事电气工程及其自动化专业的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护原理辅导与训练/刘晓军编. —北京:中国电力出版社, 2014. 7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-5682-5

I. ①电… II. ①刘… III. ①电力系统—继电保护—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 050031 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 276 千字

定价 24.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是根据电气工程及其自动化专业特点,按照《电力系统继电保护原理》课程教学大纲及要求,参考各高校本课程最新的相关教学资料编写的辅导与训练用书。旨在帮助本专业及相关专业读者更好地掌握本课程的知识体系和主要内容,提供多角度、全方位的训练题目,在理论基础之外适当添加现场实际问题,以开阅读者的学习视野。

本书共分为十章,包括电力系统继电保护基本概念、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、电力变压器保护、发电机保护、母线保护、数字式继电保护技术基础、输电线路继电保护新技术。前九章分别按照基本内容与知识要点、典型例题、习题及答案三个部分编写,其中基本内容与知识要点对每章重点内容进行了总结,典型例题给出了详细的解题步骤,习题包括填空、名称解释、问答题和分析与计算四种类型,并附有详细答案。第十章则是结合现有教材及相关科技文献,以综述形式介绍输电线路继电保护新技术,包括超高压交流输电线路的特点与保护的配置原则;高压直流输电系统的构成及特点,直流输电系统保护的配置;以及智能电网继电保护新技术。

本书由东北电力大学刘晓军编写。全书由上海交通大学邵能灵教授和东北电力大学聂洪展教授审阅,在此特别感谢两位教授在审稿过程中提出的宝贵意见。另外,在编写过程中,还得到了许多同事及朋友的帮助和支持,在此表示感谢!限于编者的水平和经验,书中难免有不当或疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年5月



目 录

前言

第一章 电力系统继电保护基本概念	1
第一部分 基本内容与知识要点	1
第二部分 典型例题	3
第三部分 习题及答案	4
参考答案	6
第二章 电网的电流保护	9
第一部分 基本内容与知识要点	9
第二部分 典型例题	13
第三部分 习题及答案	34
参考答案	44
第三章 电网的距离保护	53
第一部分 基本内容与知识要点	53
第二部分 典型例题	57
第三部分 习题及答案	72
参考答案	78
第四章 输电线路纵联保护	87
第一部分 基本内容与知识要点	87
第二部分 典型例题	91
第三部分 习题及答案	93
参考答案	96
第五章 自动重合闸	103
第一部分 基本内容与知识要点	103
第二部分 典型例题	104
第三部分 习题及答案	105
参考答案	107
第六章 电力变压器保护	113
第一部分 基本内容与知识要点	113
第二部分 典型例题	114
第三部分 习题及答案	118
参考答案	121
第七章 发电机保护	128
第一部分 基本内容与知识要点	128

第二部分 典型例题·····	130
第三部分 习题及答案·····	132
参考答案·····	135
第八章 母线保护·····	142
第一部分 基本内容与知识要点·····	142
第二部分 典型例题·····	143
第三部分 习题及答案·····	146
参考答案·····	147
第九章 数字式继电保护技术基础·····	151
第一部分 基本内容与知识要点·····	151
第二部分 典型例题·····	151
第三部分 习题及答案·····	154
参考答案·····	155
第十章 输电线路继电保护新技术概述·····	161
思考题·····	175
参考文献·····	176

第一章 电力系统继电保护基本概念

第一部分 基本内容与知识要点

本章首先介绍了电力系统的正常、不正常和故障三种运行状态,指出故障和不正常状态可能产生的严重后果,进而引入了继电保护装置的概念和电力系统继电保护的基本任务;然后介绍了构成保护的基本原理、保护装置的基本构成,以及电力系统上下级元件保护的工作配合;并详细解释了电力系统对继电保护的四个基本要求及含义,以及它们之间的矛盾统一关系;最后概述了继电保护发展概况。

“故障信息的识别、处理和利用是一切保护原理和技术发展的基础”,这是学习继电保护原理的一种思路,也是继电保护领域的科研人员探讨、创新保护原理技术的关键。“可靠性、选择性、速动性和灵敏性”,这四个基本要求是分析研究继电保护性能的基础,它们之间既有矛盾的一面,又有统一的一面。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的绝大部分工作就是围绕着如何处理好这四个基本要求之间的辩证统一关系而进行的。四个基本要求是贯穿全课程的一个基本线索,在今后学习中应深入体会四个基本性质的含义,并注意运用它来思考、分析和评价保护原理。

随着电力系统的发展,电网规模不断扩大,特高压交、直流输电线路和超大型机组的不断出现与使用,继电保护的任务必将更加艰巨,这就需要不断完善、发展继电保护的新理论与新技术,使其达到更高的理论和技术要求,以适应不断发展的电力系统的安全经济运行的需要。

1. 一次设备与二次设备的概念

一般将电能通过的设备称为一次设备,对一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护的设备称为二次设备。

2. 电力系统运行状态以及事故的概念

电力系统运行状态指电力系统在不同运行条件(如负荷水平、功率配置、系统接线、故障等)下的系统与设备的工作状况,包括正常工作状态、不正常运行状态和故障状态。

(1) 故障状态:电力系统的所有一次设备在运行过程中由于外力、绝缘老化、过电压、误操作、设计制造缺陷等原因而发生的各种短路、断线,以及旋转电机、变压器绕组的匝间短路等。

(2) 不正常运行状态:电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏,电能质量不能满足要求,但并没有发生故障。如过负荷、过电压、频率降低、系统振荡等。

事故指电力系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送或电能质量变坏到不能允许的地步,甚至造成人身伤亡和电气设备损坏的事件。

注意三种运行状态在概念和数学模型上的差别,以及故障与事故的区别。

3. 短路故障的危害

(1) 数值较大的短路电流通过故障点时,引燃电弧,使故障元件损坏或烧毁。

- (2) 短路电流通过非故障元件, 使非故障元件绝缘损坏或缩短其使用寿命。
- (3) 系统部分地区电压值大幅度下降, 破坏用户正常生产或影响产品质量。
- (4) 破坏电力系统各发电厂之间并列运行的稳定性, 使系统发生振荡, 扩大事故范围, 甚至造成系统瓦解。

4. 继电保护装置的概念

继电保护装置是一种能够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。继电保护装置属于电力系统的二次部分, 是电力系统安全运行的重要保证。

注意区分继电保护装置与电力系统继电保护的区别。

5. 电力系统继电保护的基本任务

- (1) 发生故障时能自动、迅速、有选择性地切除故障元件, 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) 不正常运行状态时, 根据运行维护的条件, 而动作于发出信号、减负荷或跳闸。

6. 继电保护的基本原理

通过正确区分电力系统正常运行与发生故障或异常情况时电气量及非电气量的变化规律及特点, 构成常见基本保护原理如下:

- (1) 反应线路电流幅值增大的过电流保护。
- (2) 反应母线电压降低的低电压保护。
- (3) 反应电流与电压同时变化而构成的距离保护。
- (4) 反应电流与电压同时变化而构成的功率方向保护。
- (5) 反应序分量变化的序分量保护。
- (6) 反应电气元件两端电气量同时变化的纵联保护。
- (7) 反应温度升高、气体浓度增大的非电气量保护。

7. 保护装置的构成

一般包括测量比较元件、逻辑判断元件和执行输出元件三部分。

应了解三部分的任务, 以及在实际装置中对应的具体元件。并思考模拟式保护和微机式保护装置构成的不同。

8. 电力系统继电保护的工作配合

(1) 保护范围划分的原则: 任一个元件的故障都能可靠地被切除, 且停电范围最小或对系统正常运行的影响最小, 由断路器实现划分。

(2) 保护范围配合要求: 上、下级保护区间重叠, 防止保护死区; 重叠区尽量小, 缩小停电范围。

(3) 保护的多重性: 一般每个重要的电气元件必须配备两套保护: 主保护、后备保护。

可通过具体的电力系统进行保护区域划分, 以深入理解工作配合关系, 特别应注意主、后备保护的概念, 以及近后备和远后备的概念。

9. 电力系统对继电保护的基本要求

(1) 可靠性: 包括安全性和可信赖性两层含义, 即该动作时不拒动(可信赖性), 不该动作时不误动(安全性)。

注意在不同的电力系统结构和电气元件处于不同的系统位置时, 评价安全性和可信赖性

的侧重点会有差别，最终目的是尽量减小保护误动作和拒绝动作可能引起的危害程度。

(2) 选择性：保护装置动作时，在尽可能小的区间内将故障切除出去，最大限度地保证系统中无故障部分仍能继续安全运行。选择性包括两层含义：①只应有装在故障元件上的保护装置动作切除故障；②力争相邻元件的保护装置对它起后备保护作用。

(3) 速动性：指保护装置能够迅速动作切除故障。切除故障的时间包括保护装置动作时间和断路器动作时间。快速地切除故障可以提高电力系统的稳定性，减少用户在低电压情况下的工作时间，减小故障元件的损坏程度。根据电压等级不同、设备重要程度不同，对速动性的要求也不同，需要按照电力系统客观的实际需求和保护的安全性综合考虑。

(4) 灵敏性：对保护范围内故障或不正常运行状态的反应能力。用灵敏系数 K_{sen} 和最小保护范围来衡量。

在掌握电力系统对继电保护的四个基本要求的概念的同时，注意理解四个基本要求之间的矛盾统一的关系。四个基本要求是评价和研究继电保护性能的基础，也是贯穿于全书各种保护原理的一条主线。

10. 继电保护的发展概况

(1) 保护原理的发展阶段。从单个简单电气量构成的电流保护、电压保护到两个电气量构成的阻抗（距离）保护；从单侧电气量到借助通信通道的双侧电气量保护；再有行波保护、工频故障分量保护原理的出现，都在印证保护原理的不断发展。

(2) 保护装置按照结构和工艺的发展阶段。包括三个发展阶段：机电式保护装置、静态式保护装置和数字式保护装置。注意各阶段的特点与差别。特别应了解数字式保护装置的构成与特点。

另外，应根据保护发展情况，结合电力系统的不断发展，思考今后对继电保护原理与技术提出的新要求。

第二部分 典型例题

例 1 如图 1-1 所示某 35kV 电压等级系统，各断路器处均装有保护装置，且图中保护号与对应断路器号统一（如：保护 1 处的断路器表示 QF1），试回答：

(1) 线路 CD 的主保护和远后备保护。

(2) 当 k_1 点故障时，根据保护动作的选择性要求应由哪些保护动作并跳闸。

(3) 当 k_2 点故障时，保护 1 动作跳开断路器 QF1 是否属于有选择性动作？会带来什么后果？

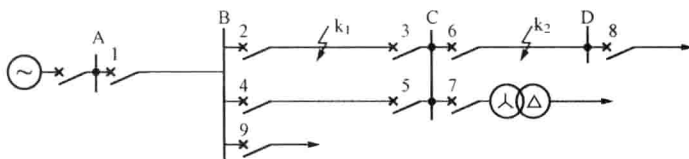


图 1-1 例 1 系统网络图

解 (1) 保护 6（电流Ⅰ段和Ⅱ段）可作为线路 CD 的主保护；保护 2 和保护 4（对应的过电流保护Ⅲ段）可作为线路 CD 的远后备保护。

(2) 当 k_1 点故障时, 根据保护动作选择性要求, 应该有保护 2 和保护 3 动作跳开断路器 QF2 和 QF3 切除故障, 以尽可能地缩小停电范围, 保证其他负荷支路的连续供电。

(3) 当 k_2 点故障时, 保护 1 动作跳开断路器 QF1 是无选择性动作, 将会使母线 B、C、D 所带负荷全部停电, 扩大停电范围。

例 2 如图 1-2 所示网络, 虚线表示发电机、母线、变压器和线路等各元件的保护区域, 试问:

(1) 保护范围划分的原则?

(2) 保护范围划分若没有重叠区或者重叠区过大会造成什么影响?

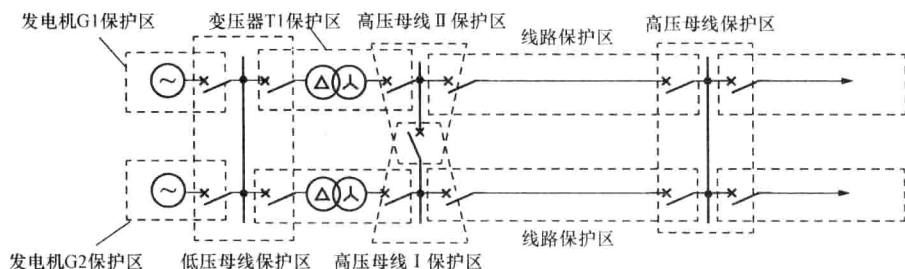


图 1-2 例 2 系统保护范围的划分

解 (1) 保护范围划分的原则: 任何一个元件的故障都能可靠地被切除, 且停电范围最小或对系统正常运行的影响最小, 保护范围由断路器实现划分。

(2) 保护范围配合要求上、下级保护区间必须有重叠, 若没有重叠区则会造成保护死区; 重叠区过大, 则将造成上、下级保护区重叠的两个元件都被切除, 从而可能扩大停电范围。

第三部分 习题及答案

一、填空题

- 电力系统常见的运行条件包括_____、_____、_____和故障等。
- 根据不同的运行条件, 可以将电力系统的运行状态分为_____、_____和_____三种状态。
- 故障和不正常运行状态都可能在电力系统中引起_____。
- 继电保护装置一般由_____、_____和_____三部分组成。
- 电力系统中对各电气元件保护范围划分的基本原则要求系统中任何一个元件的故障都能_____, 并且造成的停电范围_____。
- 为了保证系统中任意处的故障都能可靠、有选择性地被切除, 相邻上、下级元件的保护区间需要有重叠区, 以防止_____; 同时要求重叠区_____, 以缩小停电范围。
- 每个重要的电气元件一般都需要配置两套保护, 一套称为_____, 一套

称为_____。

8. 电力系统对继电保护的四个基本要求是_____、_____、_____和_____。

9. 可靠性包括两个方面：保护不需要动作时不误动作即_____和保护该动作时不拒绝动作即_____。

10. 电力系统结构不同，电气元件在系统中的位置不同，在考虑安全性和可信赖性时侧重点可能有所不同，一般对于系统联系紧密的线路保护更应注重_____；而对于母线保护则注重_____。

11. 系统中故障切除时间等于_____和_____动作时间的总和。

12. 灵敏性通常由_____或_____来衡量。

13. 按照保护装置的结构和制造工艺，经历了_____、_____和_____三个发展阶段。

二、名词解释

1. 电力系统二次设备
2. 继电保护装置
3. 电力系统继电保护
4. 主保护
5. 后备保护
6. 远后备
7. 可靠性
8. 选择性
9. 速动性
10. 灵敏性

三、分析与问答题

1. 电力系统不正常工作状态、故障和事故有何区别？又有何联系？
2. 继电保护装置在电力系统中所起的作用是什么？
3. 继电保护的基本原理有哪几种？
4. 近后备保护与远后备保护有何区别？
5. 电力系统对继电保护的速动性要求有何意义？
6. 电力系统对继电保护的四个基本要求是什么？为什么说这四个要求之间的关系是既矛盾又统一的？

7. 如图 1-3 所示，A、B 母线之间装设了四组电流互感器，试回答变压器保护和两侧的母线保护应分别接在哪组互感器上？为什么？

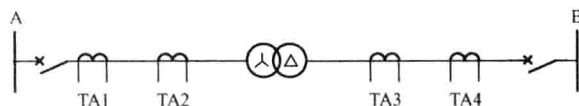


图 1-3 电流互感器选用图

8. 如图 1-4 所示，分别回答当 k_1 点故障时，按照保护的选择性，应由哪些保护动作于

断路器跳闸切除故障？如果 C 母线所在变电站保护工作电源停电， k_2 点故障时，按照选择性要求，保护动作情况如何？

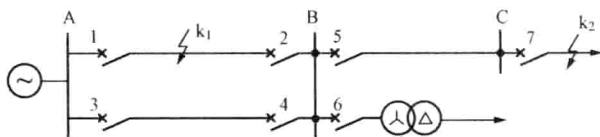


图 1-4 保护选择性动作分析

参 考 答 案

一、填空题

1. 负荷水平、功率配置、系统接线
2. 正常状态、不正常状态和故障状态
3. 事故
4. 测量比较元件、逻辑判断元件和执行输出元件
5. 可靠地被切除、最小
6. 保护死区、尽量小
7. 主保护、后备保护
8. 可靠性、选择性、速动性、灵敏性
9. 安全性、可信赖性
10. 可信赖性、安全性
11. 保护装置、断路器
12. 灵敏系数、最小保护范围
13. 机电式保护装置、静态式保护装置、数字式保护装置

二、名词解释

1. 电力系统二次设备：对电力系统一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护的装置称为电力系统二次设备。
2. 继电保护装置：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。
3. 电力系统继电保护：泛指继电保护技术和各种保护装置组成的保护系统。
4. 主保护：能快速切除本元件故障，保证系统稳定、设备安全的保护。
5. 后备保护：当主保护或断路器拒动时，用以切除故障的保护。
6. 远后备：下级电力元件的后备保护安装在上级（近电源侧）元件断路器处的保护。
7. 可靠性：该动作时不拒动（可信赖性），不该动作时不误动（安全性）。
8. 选择性：保护装置动作时，在尽可能小的区间内将故障切除出去，最大限度地保证系统中无故障部分仍能继续安全运行。
9. 速动性：指尽可能快地切除故障，以减小设备及用户在大短路电流、低电压下运行的时间，降低设备的损坏程度，提高电力系统并列运行的稳定性。

10. 灵敏性：对保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。

三、分析与问答題

1. 答：不正常工作状态指电气设备或线路正常工作遭到破坏但未形成故障，如过负荷、频率降低或升高、过电压、电力系统振荡等。不正常工作状态对设备或用户以及对电力系统的影响相对缓慢。

故障是指电力系统的所有一次设备在运行过程中由于外力、绝缘老化、过电压、误操作、设计制造缺陷等原因引起的各种短路、断线等问题。故障可直接造成电气设备损坏，用户工作和产品质量受到影响，甚至破坏电力系统稳定运行，后果十分严重。

事故指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，并造成用户电能质量下降超过允许值、停电，甚至造成人身伤亡和电气设备损坏的事件。

不正常工作状态是造成严重故障的诱因之一。故障和不正常工作状态若不及时处理，将引发事故。

2. 答：继电保护装置通过甄别电力系统的正常、不正常和故障状态之间的区别，采取合理的措施来保证电力系统运行安全。作用包括：①保证电力系统正常运行时不动作；②当系统发生故障时能自动、迅速、有选择性地切除故障元件，使故障元件免于继续遭到损坏，保证其他无故障部分迅速恢复正常运行；③不正常运行状态时，根据运行维护的条件，而动作于发出信号、减负荷或跳闸。

3. 答：继电保护的基本原理：①反应线路电流幅值增大的过电流保护；②反应母线电压降低的低电压保护；③反应电流与电压同时变化而构成的距离保护；④反应电流与电压同时变化而构成的功率方向保护；⑤反应序分量变化的序分量保护；⑥反应电力元件两端电气量同时变化的纵联保护；⑦反应温度升高、气体浓度增大的非电气量保护。

4. 答：近后备与远后备保护的区别是：近后备保护包括两层含义：当主保护拒动时，由本元件的另一套保护实现的后备；当断路器拒动时，则由断路器失灵保护启动跳开所有与故障元件所连变电站的各相关断路器以切除故障。近后备保护的优点是不会扩大停电范围；缺点是在一些情况下可靠性低，如变电站直流工作电源停电时不能正确动作，另外必须装设断路器失灵保护以防止断路器故障引起的主保护拒动。

远后备保护是指故障设备保护或断路器拒动时，由相邻的上一级设备的保护动作于跳闸切除故障，来实现后备作用。远后备保护的优点是保护范围覆盖所有下级电气元件的主保护范围，能解决远后备保护范围内所有故障元件任何原因造成的不能切除故障的问题，特别是当下级电气元件所在变电站直流工作电源停电时造成的主保护拒动、断路器失灵等。缺点是需要上、下级严密配合，并且可能扩大停电范围。

5. 答：继电保护快速动作切除故障具有以下意义：可以减少设备及用户在大的短路电流、低电压下的运行时间，从而降低设备的损坏程度；可以提高电力系统并列运行的稳定性。

6. 答：电力系统对继电保护的四个基本要求为可靠性、选择性、速动性和灵敏性。

这四个基本要求之间紧密联系，是矛盾又统一的关系。有时为了保证主保护的速动性，一些原理的保护不能保护线路全长，造成不能满足灵敏性的要求，为此需要采用较复杂的保护装置，而这又降低了可靠性；有时为了保证选择性，本线路保护要与相邻线路保护在时间上进行配合，导致本线路保护会带有动作延时，从而降低了保护的速动性。由此可见，四个

基本要求之间存在矛盾的一面。

而对整套保护装置而言,需从电力系统实际情况出发,分清主次,严格按照《继电保护和安全自动装置技术规程》的要求,全面考虑四个基本要求之间的关系,根据被保护元件在电力系统中的作用,使四个基本要求在所配置的保护中得到统一。充分考虑相同原理的保护装置在电力系统的不同位置的元件上如何配置和配合,相同的电气元件在系统不同位置安装时如何配置相应的继电保护,以最大限度地发挥被保护电力系统的运行效能,这是四个基本要求之间统一的一面。

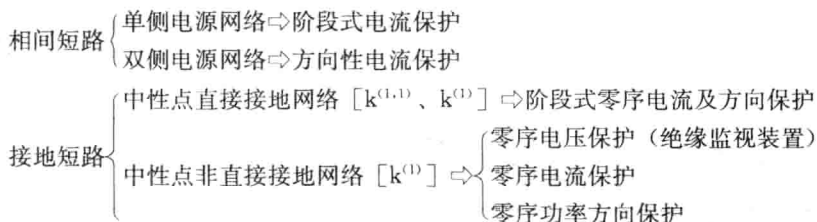
7. 答:图 1-3 中 A 母线保护应接在电流互感器 TA2 上;B 母线保护应接在电流互感器 TA3 上;变压器保护应接在电流互感器 TA1 和 TA4 上。这样接线才能够保证相邻元件母线保护和变压器保护之间有重叠区,以防止出现保护死区。

8. 答:当 k_1 点故障时,按照保护的选择性,应由保护 1 和保护 2 动作于自身断路器跳闸切除故障;如果 C 母线所在变电站直流工作电源停电, k_2 点故障时,则应由远后备保护 5 动作于自身的断路器跳闸切除故障。

第二章 电网的电流保护

第一部分 基本内容与知识要点

电流保护是反应电流幅值增大而工作的保护。本章详细介绍了不同电网结构下,对应不同的故障类型所涉及的各类电流保护,包括相间短路时的阶段式电流保护和方向性电流保护,接地短路时中性点直接接地电网中零序电流及方向保护和中性点非接地电网中单相接地故障的保护措施。知识结构总结如下:



不同电网结构下对应故障电气量的不同特点是构成各种保护原理的基础。如何满足保护的选择性、速动性、灵敏性和可靠性,实现主、后备保护的双重化配置要求,是各个保护原理整定原则的根本。因此,应特别注意以上各保护对应故障电气量的特点、保护的整定原则、接线方式和性能评价。另外,还应注意各保护之间电气量特点的比较、保护性能特点的比较。例如:中性点非直接接地网络与中性点直接接地网络单相接地故障电气量特点的比较,阶段式电流保护与阶段式零序电流保护的特点比较,单侧电源网络与双侧电源网络保护中分别如何保证保护的选择性的比较等。

一、单侧电源网络相间短路的电流保护

(1) 继电器的概念、分类和继电特性。掌握常用继电器(以电流保护的核心元件——电流继电器为例)的构成原理和基本参数,如动作电流、返回电流、返回系数等基本概念。

(2) 单侧电源网络相间短路时电流量特征。

短路工频周期分量近似计算式为

$$I_k = \frac{E_\varphi}{Z_\Sigma} = K_\varphi \frac{E_\varphi}{Z_s + Z_k}$$

式中 E_φ ——系统等效电源的相电动势,一般取平均相电动势;

Z_Σ ——短路点至系统等效电源之间的总阻抗;

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;

K_φ ——短路类型系数,三相短路取 1,两相短路取 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

结合短路工频周期分量近似计算式,理解各量值对流过保护的短路电流大小的影响,即故障点位置、系统中电源的运行方式、短路类型等因素对电流量的制约关系。结合实际网络分析理解最大、最小运行方式的含义。

(3) 三段式电流保护（电流速断保护、限时电流速断保护和定时限电流速断保护）的工作原理、整定计算原则、原理接线及评价。

以图 2-1 系统中保护 1 为例，三段式电流保护整定计算公式总结如表 2-1 所示。



图 2-1 单侧电源系统网络图

表 2-1 三段式电流保护整定计算公式

保护	动作值	灵敏性校验	动作时限
电流Ⅰ段	$I_{set1}^I = K_{rel}^I I_{k.B,max}^{(3)}$	$l_{min} \% = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} E_{\varphi} / I_{set1}^I - Z_{s,max}}{z_1 L_{AB}} \times 100 \% \geq 15 \%$	$t_1^I = 0s$
电流Ⅱ段	$I_{set1}^{II} = K_{rel}^{II} I_{set2}^I$	$K_{sen} = \frac{I_{k.B,min}^{(2)}}{I_{set2}^{II}} \geq 1.3 \sim 1.5$	$t_1^{II} = 0.5s$
电流Ⅲ段	$I_{set1}^{III} = \frac{K_{rel}^{III} K_{ss}}{K_{re}} I_{L,max}$	$K_{sen(近)} = \frac{I_{k.B,min}^{(2)}}{I_{set1}^{III}} \geq 1.3 \sim 1.5, K_{sen(远)} = \frac{I_{k.C,min}^{(2)}}{I_{set1}^{III}} \geq 1.2$	阶梯原则

注 1. 表 2-1 中， K_{rel}^I 、 K_{rel}^{II} 、 K_{rel}^{III} 分别为电流Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段的可靠系数； K_{ss} 为电动机自启动系数； K_{re} 为返回系数； K_{sen} 为灵敏系数； $K_{sen(近)}$ 、 $K_{sen(远)}$ 分别是保护作为近后备、远后备时的灵敏系数； $Z_{s,max}$ 为电源最大等值电抗； $I_{L,max}$ 为流过保护 1 的最大负荷电流； $I_{k.B,max}^{(3)}$ 、 $I_{k.B,min}^{(2)}$ 分别是 B 母线处故障时流过保护的最大、最小短路电流； $I_{k.C,min}^{(2)}$ 是 C 母线处故障时流过保护的最小短路电流。

2. 若电流Ⅱ段不满足灵敏度要求，则改与相邻线路电流Ⅱ段配合，时限亦配合。

3. 在双电源系统中，需要考虑分支系数问题，此时Ⅱ段动作值为： $I_{set1}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} I_{set2}^I}{K_{b,min}}$ ，其中 $K_{b,min}$ 为最小分支系数；Ⅲ段远后备灵敏性校验时也应考虑分支系数的影响。

注意从继电保护四个基本要求来理解各段保护的整定原则和各段保护的优缺点。虽然电流保护接线简单、可靠，但受电网接线、系统运行方式变化影响严重，而采用最大运行方式进行动作值整定，最小运行方式下进行灵敏性校验是造成电流保护一系列缺点的根本原因。

- (4) 电流保护接线方式的分类、构成及应用特点。此处在学习中应特别注意两个问题：
- 1) 各种故障类型下，不同接线方式动作性能的比较。
 - 2) 当电流保护作为 Yd11 接线降压变压器远后备，在变压器后两相短路进行灵敏度校验时，两相星形接线存在的问题及解决办法。

(5) 阶段式电流保护的配置原则及应用特点，要求能够按照继电保护的四个基本要求及保护的双重化要求，对实际网络给出相应的保护配置方案。

阶段式电流保护是利用相间短路后电流幅值增大和动作时限配合来保证有选择性地切除故障。其主要优点是接线简单、动作可靠。其缺点是受电网接线及运行方式变化的影响大，灵敏性不易满足；并且由于主保护一般需依靠电流速断（电流Ⅰ段）和限时电流速断（电流Ⅱ段）共同构成，而一般电流Ⅰ段保护范围较短，导致主保护速动性差。因此，阶段式电流保护主要适用于 35kV 及以下电压等级单侧电源网络。

(6) 通过典型三段式电流保护，了解二次回路的原理图和交直流回路展开图的绘制和阅读方法。

二、双侧电源网络相间短路的方向性电流保护

(1) 方向性电流保护的基本原理。方向性电流保护是在电流保护的基础上,通过增设功率方向判别元件来判别故障方向,正方向故障时允许保护动作,反方向故障时将保护闭锁,以保证双侧电源系统中有选择性地切除故障而实现的一种保护原理。

(2) 功率方向继电器。功率方向继电器动作特性如图 2-2 所示。功率方向继电器的动作方程为:

1) 比幅式动作方程:

$$P_r = U_r I_r \cos(\varphi_r + \alpha) \geq 0$$

式中 P_r ——功率方向继电器测得的短路功率;

U_r ——保护安装处加入到功率方向继电器的电压幅值;

I_r ——保护安装处加入到功率方向继电器的电流幅值;

φ_r ——电压 $\dot{U}_r$ 超前电流 $\dot{I}_r$ 的相角。

2) 比相式动作方程:

$$-90^\circ - \alpha \leq \arg \frac{\dot{U}_r}{\dot{I}_r} \leq 90^\circ - \alpha$$

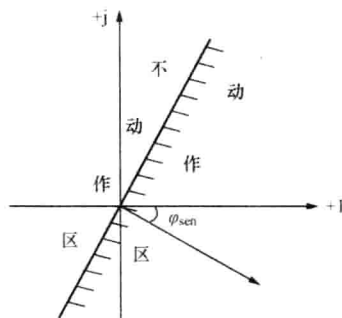


图 2-2 功率方向继电器动作特性

式中 α ——功率方向继电器的内角,微机式保护中一般取 $\alpha = 90^\circ - \varphi_k$,其中 φ_k 为线路电抗角。

掌握功率方向继电器的动作特性与动作方程,内角 α 和最大灵敏角 φ_{sen} 的意义,注意相位比较的原理和幅值比较原理的互换关系。

(3) 相间短路功率方向元件 90° 接线方式。所谓 90° 接线是指三相对称,功率因数 $\cos\varphi=1$ 时,加入功率方向继电器的电流超前电压 90° 的接线方式。对应三相系统中引入到三个功率方向继电器的电压、电流分别为: $\dot{I}_A$ 、 $\dot{U}_{BC}$, $\dot{I}_B$ 、 $\dot{U}_{CA}$, $\dot{I}_C$ 、 $\dot{U}_{AB}$ 。

掌握 90° 接线的定义、构成,各种相间故障时动作情况的分析,以及 90° 接线的特点。

(4) 结合功率方向判别元件的优缺点掌握方向性电流保护的应用特点。

(5) 各段电流保护是否加装功率方向元件的判据。方向性电流保护是在电流保护的基础上,通过增设方向判别元件,来保证多电源网络中保护有选择性动作。但方向元件的使用也使得保护接线复杂、可靠性降低;并且由于保护安装地点附近正方向发生三相短路时,方向元件存在动作“死区”,可能造成整套保护拒动。因此,该类保护一般适用于 35kV 及以下电压等级单电源环网运行或双侧电源运行的系统中使用。

三、中性点直接接地系统中接地短路的零序电流及方向保护

(1) 接地短路时零序网结构、零序电压、电流和功率分布特点。

(2) 零序电压、零序电流的获取方式。注意滤过器和互感器的差别。

(3) 阶段式零序电流保护的整定原则。

1) 零序电流灵敏 I 段保护。①躲开下一级线路出口处单相或两相接地短路时可能出现的最大零序电流 $3I_{0,max}$; ②躲开断路器三相触头不同期合闸时出现的最大零序电流 $3I_{0,unb}$ 。取以上两种情况中较大者作为整定值。