

供电企业岗位技能培训教材

G O N G D I A N Q I Y E

GANGWEI JINENG
PEIXUNJIAOCAI

继电保护

山西省电力公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



供电企业岗位技能培训教材

继电保护

山西省电力公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

《供电企业岗位技能培训教材》由山西省电力公司组织编写，内容涵盖了变电运行、线路运行与检修、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。

本书为《继电保护》分册，根据继电保护技术人员应具备的专业知识、实际操作技能要求进行编写。全书共分九章，主要内容包括：继电保护基础知识、线路保护、变压器保护、母线保护、电力电容器保护、安全自动装置、电力系统继电保护整定计算、故障信息系统与录波器、变电站二次回路。每章后均附有复习思考题。

本书可作为初、中级继电保护专业技术人员及其他相关电气技术人员的技能培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护 / 山西省电力公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2009
供电企业岗位技能培训教材
ISBN 978-7-5083-7992-0

I. 继… II. 山… III. 继电保护—技术培训—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 195592 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 282 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

《供电企业岗位技能培训教材》

编 委 会

- 主 任 王抒祥
- 副主任 曹福成 胡庆辉 王礼田 (常务)
- 委 员 张兴国 史更林 康成平 张 强 魏 琦
陈佩琳 左德锦 张薛鸿 霍建业 张雅明
楼鸿平 褚艳芳 王康宁 张文芳 崔作让
卢保喜 燕争上 丁少军 张学荣 韩海安
张占彪 赵文元 史小报 杨宇松 刘随胜
王文贤 王爱寿
- 主 编 丁少军
- 副主编 张冠昌 牛泓生 郭林虎
- 编 委 杨 澜 韩亚娟 齐 玮

《继电保护》编写组

组 长	张薛鸿				
副组长	王海龙	田俊杰	张 涛		
成 员	赵云峰	王小红	张建昌	宋良玉	李保安
主 编	张薛鸿				
副主编	张 涛	宋良玉	赵忠勇	李社勇	荆晓东
参编人员	王小红	马克强	闫俊杰	蔡伟伟	张 霞
	李 慧	于 龙	梁 敏	吴 英	姚 峰
	解志刚	李 峰	尉东辉	岳俊峰	陈卫华
	刘晓华	董晓刚	杜 瑞	邓晶晶	崔 嘉
	董建玲	刘耀俊			

电力工业作为关系国计民生的基础能源产业，电网的稳定运行直接关系到国民经济的发展。2008年初的南方冰雪灾害更让人们深刻体会到电网的安全运行对人民群众日常生活的重要性。当前，电力工业已进入大机组、高参数、高电压、高自动化的发展时期，新技术、新设备、新工艺不断涌现，现代电力企业对职工的专业技能水平提出了更高的要求。要实现国家电网公司“一强三优”的企业目标，广大的电力工作者就必须不断地学习新技术、新知识、新技能，全面提高自己的综合素质。

山西省电力公司一直高度重视职工的教育培训工作，把该项工作重点纳入企业的发展规划当中，不断加大培训的投入力度，努力创建学习型企业。为适应新形势下员工培训的需求，使员工培训做到有章可循、有据可依，山西省电力公司组织编写了《供电企业岗位技能培训教材》，内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。同以往的培训教材相比，本套教材具有以下特点：

(1) 在整套教材的编写中突出了对实际操作技能的要求，不再人为地划分初、中、高技术等级，不同技术等级的培训可以根据实际情况，从教材中选取相关内容。在每一章结束时，均附有复习思考题，对本章的重点和难点内容进行温故，便于读者自学参考。

(2) 教材的编写体现了为企业服务的原则，面向生产、面向实际，以提高岗位技能为导向，强调“缺什么补什么、干什么学什么”的原则。

(3) 教材力求更多地反映当前的新技术、新设备、新工艺以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态的内容。

《供电企业岗位技能培训教材》的编写人员主要由山西省电力公司的技术专家、多年从事教学工作的高级讲师组成，在编写前期经过了充分地论证，编写过程中经过了数次审定、多次修改，历时数月，终于告罄。在此，谨希望本套教材的出版，对广大电力职工技能水平的提高起到一定的指导作用，为建设“一强三优”的现代企业作出更大的贡献！

王抒祥

2008年8月

随着电力系统的发展,电力电子技术、应用软件技术、数据处理技术和通信技术的大规模应用,电力系统继电保护技术也在不断更新。运行维护人员需要与时俱进地掌握新型继电保护装置的特点和技术,才能保证新的保护装置安全稳定的运行,从而为电力系统的安全稳定提供可靠的保障。

本书是在继电保护基本原理,有关规程、规定,继电保护“反措”和保护装置实际应用的基础上编写而成的。全书共分九章,内容涉及继电保护基础知识,线路和变压器保护,常用二次回路的接线图,微机保护的基本知识,保护的整定计算等。每章后附有复习思考题。适用于初、中级保护技术人员的专业考核和培训,是在实践基础上认识继电保护和电力系统的入门教材。

本书体现了对技能培训的新要求,在内容编排上以实际应用为主线,体现知识为技能服务的原则,知识内容以相应岗位必须的专业知识为起点,不再重复过时的理论知识。突出了对实际操作技能的要求,增加了现场应用的范例,更加体现了培训为企业服务的原则,面向生产,面向实际,以提高岗位技能为导向,内容符合企业实际生产规程、规范的要求。

本书反映了当前新技术、新设备、新工艺、新材料及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态等内容。本书力求简明实用,重点突出,克服了偏深、偏难、内容繁杂等弊端,便于培训教学和自学。

另外,继电保护现场及专责人员还可借鉴参考以下规范规程:GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》、DL 497—1992《电力系统自动低频减负荷工作管理规程》、DL 428—1991《电力系统低频减负荷技术规定》、DL 400—1991《继电保护和安全自动装置技术规程》、DL/T 584—2007《3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程》、DL/T 587—2007《微机继电保护装置运行管理规程》、DL/T 684—1999《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》、《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》等。

本书在编辑过程中,限于水平,难免有错误,敬请提出宝贵意见,请多谅解。衷心希望在使用过程中得到宝贵建议,以使不断改进,日臻完善。

在此谨向为编审教材做出贡献的各位专家和支持这项工作的领导们深表谢意。

编 者

2008年8月

序	
前言	
第一章 继电保护基础知识	1
第一节 电力系统继电保护的作用及要求	1
第二节 对称分量法和序阻抗	3
第三节 电力系统常见故障及其分析	6
第四节 互感器基础	12
复习思考题	16
第二章 线路保护	17
第一节 电流电压保护	17
第二节 零序电流保护	21
第三节 距离保护	26
第四节 输电线路纵联保护	37
第五节 自动重合闸	42
复习思考题	50
第三章 变压器保护	51
第一节 变压器基础	51
第二节 变压器纵差保护	53
第三节 变压器后备保护	59
第四节 变压器非电量保护	64
第五节 变压器保护相量检查	65
第六节 PST-1200 系列微机变压器保护原理特点及使用	66
复习思考题	73
第四章 母线保护	74
第一节 母线保护的基本要求	74
第二节 母线差动保护原理	75
第三节 典型保护装置应用	78
第四节 典型案例分析	86
复习思考题	87
第五章 电力电容器保护	88
第一节 电容器电流保护	88
第二节 电容器低电压保护	89
第三节 电容器过电压保护	89
第四节 电容器不平衡保护	90
第五节 电容器保护应用实例	91

复习思考题	95
第六章 安全自动装置	96
第一节 低频低压减负荷装置	96
第二节 备用电源自动投入装置 (BZT)	100
复习思考题	105
第七章 电力系统继电保护整定计算	107
第一节 继电保护整定计算总论	107
第二节 变压器保护整定计算	114
第三节 相间距离保护整定计算	118
第四节 中性点直接接地系统的零序电流保护和接地距离保护的整定计算	122
第五节 输电线路电流、电压保护装置的整定计算	128
第六节 母线保护的整定计算	134
第七节 主要元件应用实例	136
复习思考题	149
第八章 故障信息系统与录波器	150
第一节 故障信息系统	150
第二节 微机故障录波器	155
复习思考题	163
第九章 变电站二次回路	164
第一节 二次回路的文字和图形符号	164
第二节 电流电压互感器二次回路接线	166
第三节 断路器的控制与操作箱	168
第四节 中央信号系统的配置	172
第五节 查找二次回路故障的方法	175
第六节 常见故障分析及处理	179
复习思考题	181
参考文献	182



继电保护基础知识

本章讲述了电力系统继电保护的作用和基本要求，介绍了互感器的基本原理、电力系统故障和异常分析的基础知识，对电力系统简单不对称故障进行了重点分析。

第一节 电力系统继电保护的作用及要求

一、电力系统的故障和不正常运行状态

电力系统在运行中，可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也是最危险的故障是发生各种形式的短路。在发生短路时可能产生以下的后果：

- (1) 通过故障点的很大的短路电流和所燃起的电弧，使故障元件损坏。
- (2) 短路电流通过非故障元件，由于发热和电动力的作用，使元件损坏或缩短使用寿命。
- (3) 电力系统中部分地区的电压大大降低，破坏用户工作的稳定性或影响工厂产品质量。
- (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。

另外，因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高（一般又称过负荷）、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情况下，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运行状态。

在电力系统中，除应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性以外，故障一旦发生，必须迅速而有选择性地切除故障元件，这是保证电力系统安全运行的最有效方法之一。实践证明只有在每个电气元件上装设继电保护装置才有可能满足这个要求。

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。它的基本任务是：

- (1) 自动、迅速、有选择性的将故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续损坏，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（例如有无经常值班人员），而动作于发出信号、减负荷或跳闸。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，以免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

二、电力系统继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护装置，在技术上一般应满足四个基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性，现分别讨论如下。

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时，应在最小的范围内将故障从运行的电网中

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 所示的网络接线中，当 d_1 点短路时，应由距短路点最近的保护 1 和 2 动作跳闸，将故障线路切除，变电站 B 则仍可由另一条无故障的线路继续供电。而当 d_3 点短路

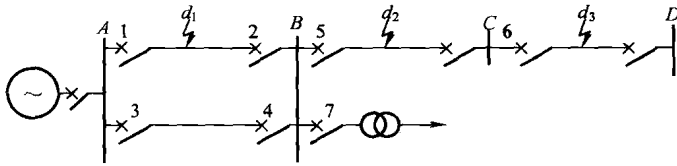


图 1-1 系统网络接线图

时，保护 6 动作跳闸，切除线路 CD，此时只有变电站 D 停电。由此可见，继电保护有选择性地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。

当 d_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，此时如果其前面一条线路（靠近电源侧）的保护 5 能动作，故障也可消除。保护 5 这种作用的保护称为相邻元件的远后备保护。虽然切除部分非故障线路，但是在故障设备的保护装置或断路器拒动的情况下，还是限制了故障的发展，缩小了停电范围，也是有选择性的。在要求继电保护动作有选择性的同时，还必须考虑继电保护或断路器有拒绝动作的可能性。

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，也可以采用近后备保护的方式。即当本元件的主保护拒绝动作时，由本元件的另一套保护作为后备保护；当断路器拒绝动作时，由同一发电厂或变电站内的有关断路器动作，实现后备。为此，在每一元件上应装设单独的主保护和后备保护，并装设必要的断路器失灵保护。由于这种后备作用是在主保护安装处实现，因此，称它为近后备保护。

应当指出，远后备的性能是比较完善的，它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源所引起的拒绝动作，均能起到后备作用，同时它的实现简单、经济，因此，应优先采用，只有当远后备不能满足要求时，才考虑采用近后备的方式。

2. 速动性

作用于断路器跳闸的保护要求动作迅速。快速地切除故障可以提高电力系统并列运行的稳定性，减少用户在电压降低情况下工作的时间，降低故障元件的损坏程度，避免故障进一步扩大。因此，在发生故障时，应力求保护装置能迅速动作切除故障。

故障切除的总时间等于保护装置和断路器动作时间之和。欲减小故障切除时间，必须采用快速动作的保护装置和断路器。一般的快速保护的动作为 0.06~0.12s，最快可达 0.01~0.04s，一般的断路器的动作为 0.06~0.15s，最快可达 0.02~0.06s。

需要指出的是，不是在任何情况下都要求这样快速切除故障，在一些情况下，允许保护装置带有一定的延时切除故障。对继电保护速动性的具体要求，应根据电力系统的接线以及被保护元件的具体情况来确定。

作用于信号的保护装置可以带一定延时。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性，是指对于其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部发生故障时，不论短路点的位置、短路的类型如何，以及短路点是否有过渡电阻，都能正确反应。保护装置的灵敏性，通常用灵敏系数来衡量。

反应数值上升的保护的灵敏系数 K_{sen} 为:

$$K_{sen} = \text{保护区内金属短路时故障参数的最小计算值} / \text{保护的動作参数}$$

反应数值下降的保护的灵敏系数 K_{sen} 为:

$$K_{sen} = \text{保护的動作参数} / \text{保护区内金属短路时故障参数的最大计算值}$$

故障参数(电压、电流、阻抗等)的计算应考虑实际最不利运行方式、故障类型和短路点的情况。

4. 可靠性

保护装置的可靠性是指保护装置在规定的保护范围内发生应该使之动作的故障时,它不应该拒绝动作;在保护装置不应动作的其他任何情况下,不应误动作。

继电保护装置的误动作和拒绝动作都会给电力系统造成严重的危害,因此可靠性是对继电保护装置性能最根本的要求。为了便于分析继电保护装置的可靠性,常将继电保护不误动的可靠性称为“安全性”,不拒动和不会非选择性动作的可靠性称为“可信赖性”。

◎ 第二节 对称分量法和序阻抗

在电力系统所发生的各类故障中,不对称故障发生的几率最大。为了保证电力系统和各种电气设备的安全运行,必须进行各种不对称故障的分析和计算,以便为正确地选择系统的接线方案,选择继电保护装置及整定其参数提供依据。

一般求解不对称故障问题常用的方法是对称分量法。在用对称分量法分析和计算问题时所采用的参数,是电力系统各元件的相序参数。

一、对称分量法

分析三相短路时,由于电路是对称的,短路电流周期分量也是对称的,只需分析其中一相就可以了。但是,在系统发生不对称短路时,电路的对称性受到破坏,网络中出现了三相不对称的电压和电流,对称电路变成了不对称电路,不能只取一相进行计算,直接地去解这种不对称的电路是相当复杂的。通常处理这种问题的方法是采用对称分量法,设法把这种不对称的电路转换成对称的电路来计算。一组不对称的三相量可以看成是三组不同的对称三相量之和。在线性电路中,可以应用叠加原理,对这三组对称分量分别按对称三相电路去解,然后将其结果叠加起来,就是不对称三相电路的解答。

在一个多相系统中,如果各相量的绝对值相等,且相邻两相间的相位差相等,这就构成了一组对称的多相量。在三相系统中,任意不对称的三相量只可能分为三组对称分量,这三组对称分量分别为:

(1) 正序分量:三相量的正序分量大小相等,相位差 120° ,且与系统在正常对称运行方式下的相序相同,这就是正序分量。正序分量通常又称为顺序分量。

$$\text{正序分量中恒有下列关系: } F_{b1} = a^2 F_{a1}, F_{c1} = a F_{b1} = a F_{a1}$$

(2) 负序分量:三相量的负序分量大小相等,相位差 120° ,且与系统在正常对称运行方式下的相序相反,这就是负序分量。负序分量通常又称为逆序分量。

$$\text{负序分量中恒有下列关系: } F_{b2} = a F_{a2}, F_{c2} = a F_{b2} = a^2 F_{a2} \quad \text{其中 } a = -1/2 + j\sqrt{3}/2$$

(3) 零序分量:由大小相等,而相位相同的相量组成。零序分量中恒有下列关系

$$F_{c0} = F_{b0} = F_{a0}$$

一组不对称的三相量可以分解成三组对称分量

$$\left. \begin{aligned} F_a &= F_{a1} + F_{a2} + F_{a0} \\ F_b &= F_{b1} + F_{b2} + F_{b0} \\ F_c &= F_{c1} + F_{c2} + F_{c0} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

经对称分量变换为

$$\left. \begin{aligned} F_a &= F_{a1} + F_{a2} + F_{a0} \\ F_b &= a^2 F_{a1} + a F_{a2} + F_{a0} \\ F_c &= a F_{a1} + a^2 F_{a2} + F_{a0} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

由此可得

$$\left. \begin{aligned} F_{a0} &= (F_a + F_b + F_c)/3 \\ F_{a1} &= (F_a + aF_b + a^2F_c)/3 \\ F_{a2} &= (F_a + a^2F_b + aF_c)/3 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

在三相系统中，若三相量的和为零，由零序分量的算式可以看出，该不对称相量组中不包含零序分量。例如三相系统中三个线电压之和等于零，则在线电压中没有零序分量。

采用三角形接法，或者在没有中线（包括以接地代替中线）的星形接法中，线电流中不存在零序分量。在三角形接法中，线电流是相电流之差，相电流中的零序分量在闭合的三角形中自成环流。在没有中线的星形接法中，根据节点电流定律，在中性点必然有 $I_a + I_b + I_c = 0$ ，因而零序电流为零。可见，零序电流必须以中线（包括以接地代替中线）作为通路，当有中线时，通过中线的电流 I_N 等于一相零序电流的 3 倍，即 $I_N = I_A + I_B + I_C = 3I_{a0}$ 。

在对称的三相电路中，每一元件的各相阻抗相等。当其中通以正序电流时，元件上的电压降也形成正序系统，任一相中的正序电压降与通过的正序电流成正比；同样，当元件通以负序（或零序）电流时，任一相的负序（或零序）电压降也与其通过的负序（或零序）电流成正比，即

$$\begin{aligned} U_1 &= Z_1 I_1 \\ U_2 &= Z_2 I_2 \\ U_0 &= Z_0 I_0 \end{aligned}$$

式中 Z_1 、 Z_2 、 Z_0 ——元件的正序、负序和零序阻抗。

二、序阻抗的基本概念

在应用对称分量法分析和计算电力系统的不对称故障时，必须首先确定各元件的正序、负序和零序阻抗。

所谓某元件的正序阻抗，指仅有正序电流通过该元件（这些元件三相是对称的）时所产生的正序电压降与此正序电流之比。设正序电流 I_1 通过某元件产生的一相的压降为 ΔU_1 ，则正序阻抗 $Z_1 = \Delta U_1 / I_1$ ；同理负序阻抗 $Z_2 = \Delta U_2 / I_2$ ；零序阻抗 $Z_0 = \Delta U_0 / I_0$ 。元件的三序阻抗可能完全不同。

电力系统元件一般可分为两类，即旋转元件和静止元件。旋转元件如发电机、电动机等。静止元件如架空线、电缆、变压器以及电抗器等。每一类元件的序阻抗都有一些共同的特点。

对于静止元件的对称三相电路，如在这个电路上施加正序电压，则电路中流过正序相电流，且中性线电流为零。此时的相电压和相电流之比就是该电路的正序阻抗，由于正序电压和电流是正常对称状态下的三相电压和电流，所以正序阻抗就是电路在正常对称运行状态下的一相等值阻抗。 $Z_{a1} = Z_{b1} = Z_{c1} = Z_s - Z_m$ ； Z_s 为三相自阻抗， Z_m 为三相互阻抗。

如在这个电路上施加负序电压，则电路中流过负序相电流，且中性线电流为零。此时相电压与相电流之比叫做该电路的负序阻抗，负序阻抗恰与正序阻抗相等， $Z_{a2} = Z_{b2} = Z_{c2} = Z_s - Z_m$ 。

如在这个电路上施加零序电压，则电路中流过零序相电流，且流过中线的电流为每相电流的 3 倍。此时的相电压与相电流之比叫做电路的零序阻抗，它们在三相中也是相同的，即

$$Z_{a0} = Z_{b0} = Z_{c0} = Z_s + 2Z_m$$

由以上的分析可得如下结论：电力系统中任何静止元件只要三相对称，当通入正序和负序电流时，由于其他两相对本相的感应电压是一样的，所以正序阻抗与负序阻抗相等。在通入零序电流时，由于三相电流同相，相间的互感影响不同，因而零序阻抗和正序（负序）阻抗不同。如果各相之间不存在互感，且中线阻抗为零，那么正序（负序）阻抗就和零序阻抗相等。

因此，对于架空输电线、电缆、变压器有 $Z_1 = Z_2$ 。对于由三个单相电抗器、电容器组成的三相电抗器、电容器以及由三个单相变压器构成的三相变压器组（如果零序电流能够流通）则有 $Z_1 = Z_2 = Z_0$ 。

对于旋转元件，如发电机和电动机，各序电流分别通过时，将引起不同的电磁过程：正序电流产生与转子旋转方向相同的旋转磁场；负序电流产生与转子旋转方向相反的旋转磁场；而零序电流产生的磁场则与转子的位置无关。因此旋转元件的正序、负序和零序阻抗互不相等。

三、序分量的应用

1. 阻容式负序电压滤过器的原理

阻容式负序电压滤过器原理接线如图 1-2 (a) 所示，其中参数 $R_A = \sqrt{3}X_A$ ， $X_C = \sqrt{3}R_C$ ，这样， I_{AB} 超前 U_{AB} 的相角为 30° ， I_{BC} 超前 U_{BC} 的相角为 60° 。

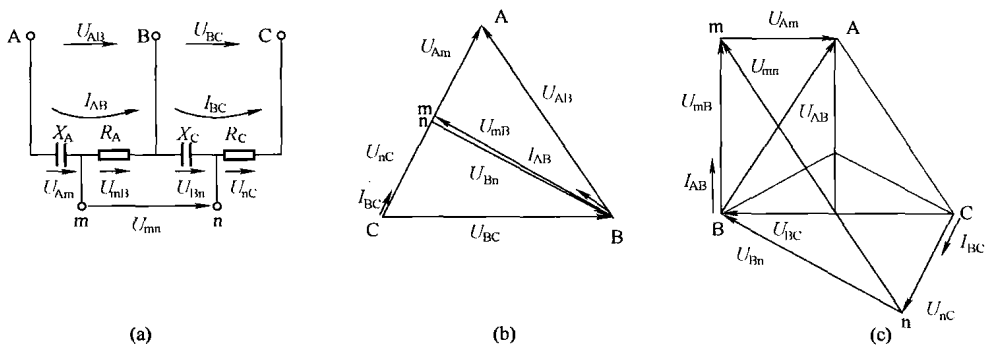


图 1-2 负序电压滤过器

(a) 原理图；(b) 加入正序电压时的相量图；(c) 加入负序电压时的相量图

(1) 加入正序三相电压时，如图 1-2 (b) 所示。 U_{mB} 为 I_{AB} 在 R_A 上的压降， U_{Am} 为 I_{AB} 在 X_A 上的电压降，落后电流 90° 。 U_{nC} 为 I_{BC} 在 R_C 上的电压降， U_{nB} 为 I_{BC} 在 X_C 上的电压降，

落后电流 90° 。根据参量计算 $A_m = 1/2AB = 1/2AC$, $nC = 1/2BC = 1/2AC$ 。 m 与 n 均为 AC 的中点, 故 $U_{mn} = 0$, 即加入正序电压时, 滤过器输出为零。

(2) 加入负序三相电压时, 如图 1-2 (c) 所示。按同样的分析方法, 由相量图得 $U_{mn} = 1.5 \times \sqrt{3} U_a e^{j30^\circ}$ 。

2. 单相电压整定负序电压继电器

负序电压继电器的动作电压, 是指在三相负序电压作用下, 继电器动作时的相间负序电压值 $U_{op.2}$ 。对继电器校验整定值, 可以用单相电压实现: 在负序电压滤过器的任一对输入电压端子间, 模拟相间短路, 例如 BC 相短路时, 即在 A 与 BC 间施加单相电压, 记录继电器的动作电压 U_{op} , 则 $U_{op.2} = U_{op} / \sqrt{3}$ 。

◎ 第三节 电力系统常见故障及其分析

在电力系统的故障中, 仅在一处发生故障称为简单故障, 两处以上同时故障时称为复杂故障。

简单故障有七种, 通常分为两类。一类叫横向故障, 包括两相短路、单相接地短路、两相接地短路和三相短路。这种故障发生在系统中某一点的一些相之间或相与地之间, 是处于网络三相支路的横向, 故称为横向不对称故障。其特点是由电力系统网络中的某一点 (节点) 和公共参考点 (地节点) 之间构成故障端口。该端口一个是高电位点, 另一个是零电位点。另一类故障是发生在网络沿三相支路的纵向, 叫纵向故障, 它包括一相断相、两相断相和全相振荡三种基本类型, 其特点是由电力系统网络中的两个高电位点之间构成故障端口。

简单故障中, 三相短路和全相振荡是对称故障, 其他的都是不对称故障。

下面来分析简单不对称故障。

1. 两相短路

如图 1-3 所示的系统接线, 假定在故障点 K 发生 BC 两相短路, 这种情况下以相量表示的边界条件为: $I_{ka} = 0$; $I_{kb} = -I_{kc}$; $U_{kb} = U_{kc}$ 。

用对称分量法转换为对称分量可得

$$\left. \begin{aligned} I_{ka0} &= (I_{ka} + I_{kb} + I_{kc}) / 3 = 0 \\ I_{ka1} &= (I_{ka} + aI_{kb} + a^2I_{kc}) / 3 = jI_{kb} / \sqrt{3} \\ I_{ka2} &= (I_{ka} + a^2I_{kb} + aI_{kc}) / 3 = -jI_{kb} / \sqrt{3} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

即

$$I_{ka1} = -I_{ka2};$$

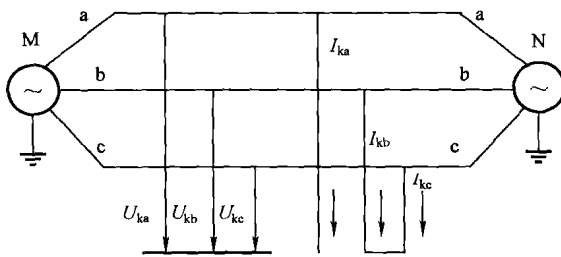


图 1-3 两相短路时的系统接线图

对电压来说

$$\left. \begin{aligned} U_{kb} &= a^2U_{ka1} + aU_{ka2} + U_{ka0} \\ U_{kc} &= aU_{ka1} + a^2U_{ka2} + U_{ka0} \\ U_{kb} &= U_{kc} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

可得 $(a^2 - a)U_{ka1} = (a^2 - a)U_{ka2}$

即 $U_{ka1} = U_{ka2}$

于是, 以序分量表示的 BC 相短路的边界条件为

$$\begin{aligned} I_{ka0} &= 0 \\ I_{ka1} &= -I_{ka2} \\ U_{ka1} &= U_{ka2} \end{aligned} \quad (1-6)$$

因为 $I_{ka0}=0$ ，在零序回路中 $U_{ka0}=0$ 。

注意，BC相短路时选基准相为A相，故障点基准相的序电流、序电压才有这样的关系，B相和C相的序电流、序电压就没有这个关系。当然，AC相短路时选B相为基准相，AB相短路时选C相为基准相，其故障点的序电流、序电压同样有这一关系。

由此可得：

$$\left. \begin{aligned} I_{ka} &= I_{ka1} + I_{ka2} + I_{ka0} = 0 \\ I_{kb} &= I_{ka1} + aI_{ka2} + I_{ka0} = (a^2 - a)I_{ka1} = -j\sqrt{3}I_{ka1} \\ I_{kc} &= aI_{ka1} + a^2I_{ka2} + I_{ka0} = (a - a^2)I_{ka1} = j\sqrt{3}I_{ka1} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{ka} &= U_{ka1} + U_{ka2} + U_{ka0} = 2U_{ka1} \\ U_{kb} &= a^2U_{ka1} + aU_{ka2} + U_{ka0} = -U_{ka1} = -1/2U_{ka} \\ U_{kc} &= aU_{ka1} + a^2U_{ka2} + U_{ka0} = -U_{ka1} = -1/2U_{ka} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

也可以用复合序网法进行分析，根据边界条件，可以作出以A相为基准相的复合序网图。

图1-4中 $E_{a1\Sigma}$ 是两相短路回路中电源电动势的总和。系统中，发电机只发出正序电动势，所以在序网络图中只有正序电动势，而没有负序、零序电动势。

由复合序网图可以求出

$$I_{ka1} = -I_{ka2} = E_{a1\Sigma} / (Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma}),$$

$$U_{ka1} = U_{ka2} = I_{ka1} \times Z_{2\Sigma}$$

当电源离故障点较远时， $Z_{1\Sigma} = Z_{2\Sigma} = Z_{\Sigma}$ ，这时

$$I_{kb} = -I_{kc} = -j\sqrt{3}I_{ka1} = -j\frac{\sqrt{3}}{2}E_{a1\Sigma} / Z_{\Sigma} = -j\frac{\sqrt{3}}{2}I_a^{(3)} \quad (1-9)$$

$I_a^{(3)}$ 为同一地点三相短路电流，即两相短路电流大小等于三相短路电流的 $\sqrt{3}/2$ 倍。

两相短路时短路点的电流、电压相量图如图1-5所示。

从以上的分析计算可知，两相短路有以下几个基本的特点：

- (1) 短路电流及电压中不存在零序分量。
- (2) 两故障相中的短路电流的绝对值相等，而方向相反，数值上为正序电流的 $\sqrt{3}$ 倍。
- (3) 短路处两故障相电压总是大小相等，数值上为非故障相电压的一半，两故障相电压相位上总是同相，但与非故障相电压方向相反。
- (4) 当电源离故障点较远时，同一地点两相短路电流大小等于三相短路电流的 $\sqrt{3}/2$ 倍。
- (5) 两相短路时正序电流，在数值上与短路点加上一个附加阻抗 $Z_{\Delta}^{(2)} = Z_{2\Sigma}$ 构成的正序网络而发生三相短路时的电流相等。

2. 单相接地短路

如图1-6所示的系统接线，假定在故障点K发生A相短路，这种情况下以相量表示的边界条件为：

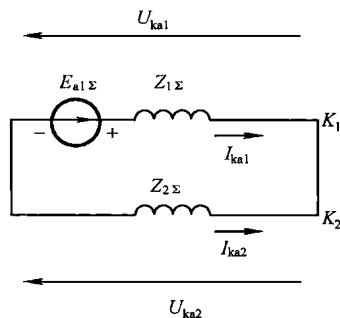


图1-4 两相短路时的复合序网图

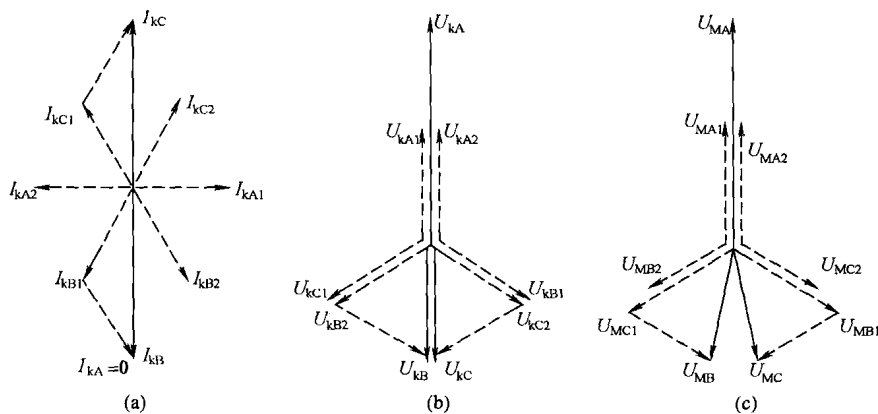


图 1-5 两相短路时的电流、电压相量图

(a) BC 相短路时故障点的电流相量图；(b) BC 相短路时故障点的电压相量图；
(c) BC 相短路时母线电压相量图

$$U_{ka} = 0; \quad I_{kb} = I_{kc} = 0 \quad (1-10)$$

转换为对称分量为

$$\left. \begin{aligned} I_{ka0} &= (I_{ka} + I_{kb} + I_{kc})/3 = I_{ka}/3 \\ I_{ka1} &= (I_{ka} + aI_{kb} + a^2I_{kc})/3 = I_{ka}/3 \\ I_{ka2} &= (I_{ka} + a^2I_{kb} + aI_{kc})/3 = I_{ka}/3 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

即

$$I_{ka1} = I_{ka2} = I_{ka0} = I_{ka}/3$$

对电压来说

$$U_{ka} = U_{ka1} + U_{ka2} + U_{ka0} = 0$$

即

$$U_{ka1} = -(U_{ka2} + U_{ka0}) \quad (1-12)$$

根据故障点边界条件，可以将 A 相为基准的各序网络连接成一个复合序网，如图 1-7 所示。

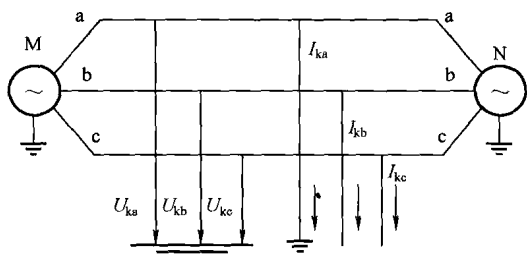


图 1-6 单相接地短路时的系统接线图

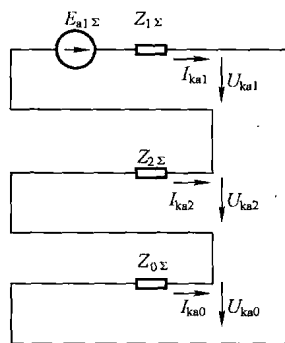


图 1-7 A 相接地短路时的 A 相复合序网图

根据复合序网，可以求得故障点电流和电压的各序对称分量为

$$I_{ka1} = I_{ka2} = I_{ka0} = E_{a1\Sigma} / (Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}) \quad (1-13)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{ka2} &= -I_{ka2} Z_{2\Sigma} = -I_{ka1} Z_{2\Sigma} \\ U_{ka0} &= -I_{ka0} Z_{0\Sigma} = -I_{ka1} Z_{0\Sigma} \\ U_{ka1} &= -(U_{ka2} + U_{ka0}) = -I_{ka1} (Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}) \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$