



城市轨道交通系列教材

城市轨道交通供电系统继电保护

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
GONGDIAN XITONG JIDIAN BAOHU



陈丽华 李学武 主编



科学出版社

城市轨道交通系列教材

城市轨道交通供电系统继电保护

陈丽华 李学武 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以目前应用于城市轨道交通供电系统的典型继电保护及自动装置为对象,以讲解结构原理为主线,以培养形成实际应用开发能力为目的,整合工程实例,内容系统,原理、技术贴近现场发展趋势。

本书可作为应用型本科院校电气工程及其自动化专业和高职高专院校电气化铁道技术、城市轨道交通供电技术专业的教材,也可作为从事城市轨道交通、电气化铁道行业的继电保护运行维护人员的岗位培训教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供电系统继电保护 / 陈丽华,李学武主编.
—北京:科学出版社,2014.11

ISBN 978-7-03-042055-8

I. ①城… II. ①陈… ②李… III. ①城市铁路-供电系统-继电保护-高等学校-教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 225423 号

责任编辑:杨 岭 于 楠 / 封面设计:墨创文化

责任校对:贺江艳 / 责任印制:余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年11月第一次印刷 印张:12

字数:300千字

定价:29.00元

“城市轨道交通系列教材”编委会

主 编	蒋葛夫	翟婉明		
副 主 编	阎开印			
编 委	张卫华	高 波	高仕斌	
	彭其渊	董大伟	潘 炜	
	郭 进	易思蓉	张 锦	
	金炜东			

前 言

继电保护是确保城市轨道交通供电系统正常运行的重要保障,在城市轨道交通供电系统装备中占据着举足轻重的地位。为适应应用型本科院校以及职业技术教育教学发展的需求,根据现阶段城市轨道交通供电系统继电保护应用的技术装备实际情况,特编写了本书。

本书结合我国现阶段城市轨道交通供电系统继电保护的 actual 技术发展情况,较全面地介绍了相关内容。第1章,从城市轨道交通的发展概况、城轨供电系统与城轨交通的关系、继电保护对于保证城轨供电系统安全的意义等方面出发,详细讲解了继电保护的作用、原理、要求等基础知识。第2章,在介绍城轨供电系统交流系统结构、故障及不正常运行状态,以及城轨供电交流系统保护配置的基础上,讲解反应相间短路的电流保护与电压保护、反应接地短路的零序电流保护、双侧电源的方向性电流保护、光纤纵差保护等的相关原理,以及整定计算、接线等理论知识。第3章,首先简述了城轨供电系统变压器[包括主变压器、牵引变压器及动力(降压)变压器等]的运行特点、故障及不正常运行状态,然后在此基础上,详细讲解了变压器纵联差动保护、变压器非电气量保护与后备保护的相关原理、整定计算、接线等理论知识。第4章,针对城市轨道交通直流系统(牵引供电系统)的运行特点,讲解其保护配置方案,以及电流类、电压类保护基本原理、整定计算等理论知识。第5章,讲解自动重合闸装置、备用电源自投装置的作用、要求及构成原理等理论知识。第6章,讲解微计算机保护装置的基本原理、构成、保护算法、抗干扰等理论知识。第7章,主要介绍目前城市轨道交通供电系统采用的较为成熟的继电保护装置的结构、功能和应用。

本书由陈丽华、李学武担任主编并负责全书统稿,第1章和第4章由陈丽华编写,5.2节、5.3节和第6章、附录由李学武编写,第2章和5.1节、7.1节由杨洁编写,第3章和7.2节由童岩峰编写,7.3节、7.4节由陈乐瑞编写。本书在编写过程中得到城市轨道交通供电部门、继电保护产品研发部门技术人员的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

编者

2013年8月于成都

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 城市轨道交通供电系统继电保护的作用	1
1.1.1 城市轨道交通	1
1.1.2 城市轨道交通供电系统	2
1.1.3 城市轨道交通供电系统继电保护	4
1.2 城轨供电系统继电保护原理	6
1.2.1 继电保护基本原理	6
1.2.2 继电保护装置的构成	8
1.3 继电保护的基本要求	9
1.3.1 选择性	9
1.3.2 速动性	10
1.3.3 灵敏性	10
1.3.4 可靠性	11
1.4 继电保护的分类及发展概况	12
1.4.1 继电保护的分类	12
1.4.2 继电保护的发展概况	12
1.4.3 微机继电保护装置的功能编号	13
第 2 章 城轨供电交流系统保护	14
2.1 城轨供电交流系统概述	14
2.1.1 城轨供电交流系统简介	14
2.1.2 城轨供电交流系统故障及不正常运行状态	16
2.1.3 城轨供电交流系统保护配置	17
2.2 电流保护	18
2.2.1 电流速断保护	18
2.2.2 限时电流速断保护	19
2.2.3 过电流保护	20
2.2.4 三段式电流保护	23
2.2.5 零序电流保护	25
2.3 电压保护	27
2.4 光纤纵联差动保护	28

2.4.1	线路纵联保护概述	28
2.4.2	差动保护工作原理	29
2.4.3	光纤纵联差动保护	30
第3章	变压器保护	32
3.1	变压器的保护方式	32
3.1.1	变压器的故障和不正常运行状态	32
3.1.2	变压器的保护配置	33
3.2	变压器纵联差动保护	34
3.2.1	变压器纵联差动保护的基本原理与接线方式	34
3.2.2	变压器纵联差动保护的不平衡电流及减小不平衡电流的方法	35
3.2.3	常见变压器差动保护	39
3.3	变压器的非电气量保护与后备保护	42
3.3.1	变压器的非电气量保护	42
3.3.2	变压器相间短路的后备保护	47
3.3.3	变压器接地短路的后备保护	49
第4章	城轨供电直流系统保护	52
4.1	城轨供电直流系统概述	52
4.1.1	城轨供电直流系统简介	52
4.1.2	城轨供电直流系统故障及不正常运行状态	55
4.1.3	城轨供电直流系统的保护配置	56
4.2	牵引整流机组继电保护	58
4.2.1	牵引整流机组的故障和不正常运行状态	58
4.2.2	牵引整流机组的保护配置	59
4.2.3	整流变压器保护原理	59
4.2.4	整流器保护原理	61
4.3	直流牵引供电系统的电流类保护	64
4.3.1	大电流脱扣保护	64
4.3.2	DDL保护	65
4.3.3	定时限过电流保护	69
4.3.4	接触网热保护	70
4.4	直流牵引供电系统的电压类保护	72
4.4.1	低电压保护	72
4.4.2	框架泄漏保护	72
4.4.3	轨道电位限制装置	75
4.4.4	框架泄漏保护与轨道电位限制装置的关系	77
第5章	自动装置	79
5.1	备用电源自动投入装置	79
5.1.1	备用电源自动投入装置概述	79

5.1.2	备用电源自动投入装置的基本要求	80
5.1.3	备用电源自动投入装置的运行方式	81
5.2	自动重合闸	83
5.2.1	自动重合闸的作用	83
5.2.2	自动重合闸的基本要求及类型	84
5.2.3	单侧电源输电线路的三相一次自动重合闸	86
5.2.4	双侧电源线路的三相一次自动重合闸	87
5.2.5	重合闸动作时限的选择原则	89
5.2.6	自动重合闸与继电保护的配合	90
5.3	直流馈线的控制方式	92
5.3.1	分合闸操作	93
5.3.2	联跳	93
5.3.3	线路测试	96
5.3.4	自动重合闸	97
第6章	微机型继电保护原理	100
6.1	微机保护的硬件构成原理	100
6.1.1	微机保护的硬件组成	100
6.1.2	数据采集系统	101
6.1.3	CPU 主系统	108
6.1.4	开关量输入/输出电路	108
6.2	微机保护的表征量算法	110
6.2.1	数字滤波	110
6.2.2	正弦函数算法	111
6.2.3	傅里叶算法	114
6.2.4	解微分方程算法	116
6.3	微机保护装置的软件构成	117
6.3.1	接口软件	118
6.3.2	保护软件	118
6.3.3	中断服务程序	118
6.3.4	程序流程的基本结构	119
6.3.5	电流保护流程举例	120
6.4	提高微机保护可靠性的措施	124
6.4.1	干扰和干扰源	124
6.4.2	微机保护装置的硬件抗干扰措施	127
6.4.3	微机保护装置的软件抗干扰措施	130
第7章	城轨供电系统微机保护装置介绍	134
7.1	城轨供电系统电力电缆保护装置介绍	134
7.1.1	装置硬件结构与作用	134

7.1.2	装置功能与特点	135
7.1.3	装置的技术指标	136
7.1.4	装置的保护配置与原理	138
7.1.5	装置的应用接线	142
7.2	变压器保护装置介绍	144
7.2.1	装置硬件结构与作用	144
7.2.2	装置功能与特点	146
7.2.3	装置的技术指标	148
7.2.4	装置的保护配置与原理	149
7.2.5	装置的应用接线	153
7.3	牵引整流机组微机保护装置介绍	156
7.3.1	装置硬件结构与作用	156
7.3.2	装置功能与特点	159
7.4	直流牵引供电系统保护装置介绍	162
7.4.1	控制和保护系统 SEPCOS	162
7.4.2	控制与保护系统 SITRAS DPU96	166
7.4.3	装置的保护配置与原理	168
附录 A	常用继电器线圈、接点以及逻辑电路的名称和图形	175
附录 B	短路保护的最小灵敏系数	176
附录 C	主要符号说明	177
附录 D	常用继电保护功能的编号及说明	179
主要参考文献	181

第 1 章 绪 论

本章共分为四节，分别介绍城市轨道交通供电系统继电保护的作用、原理、基本要求、分类及发展概况。

通过本章内容的学习，了解城市轨道交通供电系统的功能和结构，掌握城市轨道交通供电系统继电保护的作用、工作原理和要求等。

1.1 城市轨道交通供电系统继电保护的作用

1.1.1 城市轨道交通

城市轨道交通(urban rail transit)是指采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统，包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统和市域快速轨道系统。

城市轨道交通的定义包含了两个层面的含义：①城市轨道交通是指城市公共客运交通系统中的轨道交通系统。城市客运交通可分为个体交通和公共交通。自行车、摩托车、小汽车等属于个体客运交通方式。公共汽车、公共电车、城市轨道交通等属于公共客运交通方式。这里所说的城市轨道交通是指城市公共客运交通系统中的轨道交通系统。②采用专用轨道导向运行。构成城市轨道交通的各个类别有一个共同的特点，就是由“专用轨道”来导向。轨道包括熟悉的钢轮钢轨系统中由钢轨、扣件和轨枕组成的专用轨道，也包括其他形式的专用轨道。

城市轨道交通的分类是根据城镇建设行业标准《城市公共交通分类标准》(CJJ/T114—2007)的规定确定的。在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中，将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运力公共交通之总称”。

目前城市轨道交通主要有三种：地铁、轻轨和独轨。

1) 地铁

地铁是地下铁道交通的简称，它是一种在城市中修建的快速、大运量的轨道交通，通常以电力牵引，其单向高峰小时客运能力可达 30000 人次以上，它的线路通常设在地下隧道内，有的在城市中心以外地区从地下转到地面或高架桥上。

2) 轻轨

城市轻轨交通是在老式的地面有轨电车的基础上发展起来的,与一般的铁路相比,其轨道和车辆都是轻型的,运输系统也相对比较简单,较适宜于中等运量的城市客运交通。

国外开发的城市轻轨交通系统主要有三种类型:旧车改进型、新线建设型和新交通系统型。

轻轨有以下特征。

(1)以钢轮和钢轨为车辆提供走行,车辆以电力提供牵引动力,可以采用直流、交流或线性电机驱动。

(2)建设费用比地铁少,每公里线路造价仅为地铁的 $1/5 \sim 1/2$ 。

(3)每小时单向运输能力一般为2万~4万人次,介于地铁和公共汽车之间,属于中等运能的一种公共交通形式。

(4)线路可以为地面、地下和高架混合型,一般与地面道路完全隔离,采用半封闭或全封闭专用车道。

(5)车辆有单节4轴车、双节单铰6轴车和3节双铰8轴车等。

(6)对车辆和线路的消音和减振有较高要求。

(7)电压制式以直流750V架空线(或第三轨)供电为主,也有部分采用直流1500V和直流600V供电。

(8)车站分为地面、高架和地下三种形式。

3) 独轨

独轨交通的设想早在19世纪末已经形成。1901年德国鲁尔地区的三个工业城市之间,在险峻的乌珀河谷上空建成了一条快速交通线,车辆吊在架空的导轨下面,沿着导轨行驶,后来三市合并成为乌珀塔尔市,这个独轨交通系统成为该市的一个标志。

独轨交通作为城市公共交通,开始进展比较缓慢。日本从德国引进专利后,近三十年开发了多种独轨铁路,在世界城市轨道交通中独树一帜。我国重庆市从日本引进了独轨交通系统。

独轨交通采用高架轨道结构,按结构型式分为跨坐式和悬挂式两种类型。前者车辆的走行装置(转向架)跨骑在走行轨道上,其车体重心处于走行轨道的上方。后者车体悬挂于可在轨道梁上行走的走行装置的下面,其重心处于走行轨道梁的下方。

无论采用地铁、轻轨还是独轨的方式,城市轨道交通均由多种设备系统组成,不同的设备系统担负轨道交通的不同功能。以地铁为例,包括车辆(RST)、车辆段设备(WSH)及供电设备。其中,供电设备又分为:交流高中压(HMV),牵引供电(TPS),接触网(OCS),电力监控(SCA),线路(轨道),通信(TEL),信号(SIG),车站设备监控(BAS),防灾报警(FAS),气体灭火系统(GFS),环控系统(ECS),电、扶梯(ESC),屏蔽门(PSD),自动售检票系统(AFC)等。

1.1.2 城市轨道交通供电系统

城市轨道交通供电系统是为城市轨道交通运营提供所需电能的系统,它不仅为城市

轨道交通电动列车提供牵引用电,还为城市轨道交通运营服务的其他设施提供电能,如照明、通风、空调、给排水、通信、信号、防灾报警和自动扶梯等。城市轨道交通供电系统由两大部分组成:一部分为由城市电网引入的电源;另一部分为城市轨道交通内部供电系统,即通常所说的供电系统,包括主变电所、牵引供电系统、动力照明供配电系统和电力监控系统。城市轨道交通供电系统对城市电网是用户,对城市轨道交通内部的用电设备是电源。作为城市电网的一个重要用户,城市轨道交通供电系统直接从城市电网取得电能,无须单独建设电厂。城市电网对城市轨道交通供电的电压等级有110kV、63kV、35kV和10kV,20kV电压等级也已作为方案被提出。究竟采用哪一种电压等级,由不同城市电网构成的特点和城市轨道交通的实际需要而定。

1. 城市电网对城市轨道交通的供电方式

城市电网对城市轨道交通的供电方式有三种:集中式供电、分散式供电和混合式供电。

1) 集中式供电

城市轨道交通在其线路附近建设自己专用的主变电所,由主变电所通过中压环网向各个地铁车站的变电所提供中压电能,各个车站变电所再通过整流(或降压),为地铁列车及车站动力照明设备提供电能,这种供电方式称为集中式供电。

主变电所电压等级根据地区不同而有差异,一般为110kV,东北地区为63kV。我国南方城市如上海、广州、深圳和南京等城市的轨道交通,多采用110/35kV集中式供电。

主变电所数量根据城市轨道交通线路的长短而有所调整,可以建设一座或几座。采用集中式供电方式,除了考虑主变电所的负荷平衡,还应考虑与其他城市轨道交通线路的资源共享,一个主变电所可为几条线路同时供电,其站位应尽量在几条线路的交汇点。

2) 分散式供电

沿城市轨道交通线路从城市电网直接引入城市轨道交通所需要的电源,这种供电方式称为分散式供电。因35kV电压等级在城市电网中将逐步消失,而20kV电压等级城市电网还没有确立,分散式供电引入电源的电压等级多为10kV电压等级,如北京地铁和大连轻轨等。

3) 混合式供电

混合式供电是一种以集中式供电为主,分散式供电作为补充的供电方式。这种供电方式也只能是10kV电压等级。

鉴于国内城市轨道交通供电系统绝大部分采用了集中式供电方式,本书将主要以采用此种供电方式的供电系统为基础进行内容讲解。

2. 城市轨道交通供电系统的构成

对于采用集中式供电的城轨供电系统,由以下几部分构成。

(1)主变电所,即为城市轨道交通建设的专用变电所,只有采用集中式供电时才设置,专为城市轨道交通牵引供电系统和供配电系统供电。主变电所一般沿城市轨道交通线路靠近车站的位置建设,以便于电缆线路的引入。

(2)中压网络,是联系主变电所、牵引变电所、降压变电所的供电网络,一般采用电缆线路、环网供电方式。

(3)牵引供电系统,为电动车辆提供动能,由牵引变电所,以及沿线敷设的牵引网、接地系统等组成。

(4)动力照明供配电系统,专为城市轨道交通除电动车辆以外的所有动力照明负荷供电,如车站和区间的动力、照明及其他为城市轨道交通服务的自动化用电设施,包括降压变电所、低压配电系统。

(5)电力监控系统,对全线变电所及沿线供电设备实行集中监视、控制和测量,由控制中心、通信通道和被控站系统组成。控制中心由数据服务器、通信前置机、工程师工作站及模拟盘显示器等组成,完成对采集数据的分析、计算、存储、设备状态监视以及控制命令的发送等功能。被控站系统由变电所上位 PLC 或后台计算机、所内通信通道及下位 PLC 组成,完成对设备状态、信号等数据的采集、整理、简单分析计算及所内控制等功能。

牵引供电系统和动力照明供配电系统的电源电压一般是一致的,但由于不同城市的电网结构不同,导致各城市地铁供电系统电源电压等级不同,如北京地铁、平壤地铁为 10kV,广州地铁、南京地铁为 35kV,巴黎地铁为 15kV,莫斯科地铁为 10kV,纽约地铁为 34.5kV,德黑兰地铁为 20kV。牵引供电系统和动力照明供配电系统电源电压也有不相同的,如上海地铁和香港地铁,牵引供电系统电源电压为 33kV,动力照明供配电系统电源电压为 10kV。

目前,国内一般将牵引变电所和降压变电所合建在一起。因此,牵引供电系统和供配电系统是城市轨道交通供电系统不可分割又相互联系的两个组成部分,以下统称城轨供电系统。

1.1.3 城市轨道交通供电系统继电保护

1. 继电保护的概念

包括城轨供电系统在内的电力系统在运行中,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。短路时可能产生以下后果。

(1)通过故障点的很大的短路电流及其燃起的电弧,使故障元件损毁。

(2)短路电流流过非故障元件时,由于发热和电动力的作用,引起设备损坏或使用寿命缩短。

(3)系统中部分区域的电压大大降低,破坏其他用户工作的稳定性,破坏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。

系统中电气元件的正常工作因某种原因发生故障,但没有遭到破坏,把这种情况称为不正常运行状态。例如,因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高就是一种最常见的不正常运行状态。不正常运行状态使元件载流部分和绝缘材料的温度不断升高,加速绝缘的老化和损坏,就可能发展成故障。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,以及电力振荡等,也都属于不正常运行状态。

故障和不正常运行状态,都可能在电力系统中引起事故。事故就是指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步,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(如遭受雷击等),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。因此只要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,就可以大大减少事故发生的概率,把事故消灭在发生之前。

在设计、制造、安装以及运行维护的整个生命周期内,应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性,故障一旦发生,必须迅速而且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。切除故障的时间常要求小到十分之几甚至百分之几秒,靠人工反应和操作几乎很难实现,实践证明只有在每个电气元件上装设保护装置才有可能满足这个要求。在最初这种保护装置大多是由单个继电器或继电器及其附属设备的组合构成,称为继电保护装置。在电子式静态保护装置和微机保护装置出现之后,虽然继电器已被电子元件或计算机所代替,但仍沿用此名称。在电力部门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,就是指能反应出电力系统中所发生的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。

2. 继电保护的任務

继电保护的任務包括以下三点。

(1) 自动、迅速地将故障元件从电力系统中识别并切除,使故障元件免于继续遭到破坏,同时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。

(3) 与自动重合闸配合,恢复由于瞬时自消性故障引起的保护动作跳闸,迅速恢复供电,提高供电可靠性。

3. 城轨供电系统继电保护作用

在城市轨道交通的运营中,供电一旦中断不仅会造成城市轨道交通的瘫痪,还会危及乘客生命安全和造成财产的损失。因此,高度安全、可靠而又经济合理的电力供给是城市轨道交通正常运营的重要保证和前提。

城市轨道交通供电系统作为电力系统的一个组成部分,为城市轨道交通列车提供牵引电能,为城市轨道交通车站提供动力照明电能。城轨供电系统由多个电气设备及传输线路组成,系统中各个电气设备及线路之间相互关联、相互影响。当系统中某个设备或

者某条线路由于某种原因发生短路时，可能会对短路点附近的电气设备造成不能恢复的破坏，对非近端电气设备同样有损坏或者由于大电流产生的高热量而致使电气元件使用寿命缩短的可能，这就要求在短路电流未达到稳态时，就能切除对故障点的供电以消除短路电流。然而短路电流的上升时间只有短暂的几十到几百毫秒，显然通过人工操作的方式切除供电是不现实的，配置快速准确的继电保护装置意义重大。

城轨供电系统继电保护不仅具有快速解除短路故障危害的性能，还具有对各种故障隐患进行预防和识别的能力，是确保供电系统能够正常运营的重要措施，在城市轨道交通供电系统中占据着举足轻重的地位。

1.2 城轨供电系统继电保护原理

1.2.1 继电保护基本原理

为了完成 1.1 节所述基本任务，继电保护装置必须能正确区分被保护元件的工作状态(是正常运行状态、不正常运行状态还是故障状态)，是保护区内故障还是区外故障。为实现这一功能，保护装置需要对电力系统发生故障前后电气物理量的特征变化进行识别。准确识别被保护设备的电气量在故障前后的突变信息，是构成继电保护装置的基本原理。

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急剧增加，大大超过正常运行时的负荷电流。

(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。测量阻抗即保护安装处电压与电流之比值。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，出现序分量，如两相及单相接地短路时，出现负序电流和负序电压分量；单相接地时，出现负序和零序电流和电压分量。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，根据电流的增大，可构成过电流保护；根据电压的降低，可构成电压保护；根据电流与电压之间相位角的变化，可构成功率方向保护；根据电压与电流比值的变化，可构成距离保护；根据被保护元件两端电流相位和大小的变化，可构成差动保护；根据不对称短路故障时出现的电流、电压序分量，可构成零序电流保护、负序电流保护和负序功率方向保护。

1) 根据基本电气参数的变化构成保护

单侧电源线路如图 1.1 所示, 图中保护 2 可根据电流、电压、阻抗三个电气参数故障前后特征量的变化构成电流、电压、距离保护。

当 YZ 段 k 点发生三相短路时, 从电源到短路点 k 之间均流过很大的短路电流 \dot{I}_k , 保护 2 可以反应于这个电流而动作将断路器跳闸, 切除故障部分。

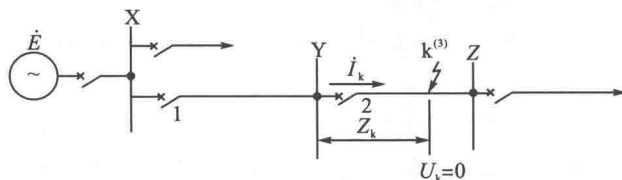


图 1.1 单侧电源线路

根据三相短路点 k 的电压 \dot{U}_Y 降低到零, 各变电所母线 X、Y 等的电压都有所下降, 保护 2 可以反应于这个下降的电压而动作。

以 Z_k 表示在线路始端测量的短路点到保护 2 (变电所 Y 母线) 之间的线路阻抗, 则 $Z_k = \dot{U}_Y / \dot{I}_k$, 显然, 此测量阻抗小于正常运行时的负荷阻抗, 其值正比于短路点到保护 2 之间的距离, 保护 2 也可以反应于下降的 Z_k 而动作跳闸。

2) 根据内部和外部故障时被保护元件两侧电流相位 (或功率方向) 的差别构成保护

双侧电源网络如图 1.2(a) 所示, 规定电流的正方向是从母线流向线路。

当线路正常运行时, 在某一瞬间, 线路 XY 的负荷电流总是从一侧流入从另一侧流出, 按照规定的正方向, XY 两侧电流的大小相等, 相位相差 180° 。在线路 XY 范围以外 k_1 短路时, 如图 1.2(b) 所示, 由电源 E_1 供给的短路电流 I'_{k1} 将流过线路 XY, 此时 XY 两侧的电流仍然是大小相等相位相反, 其特征与正常运行时一样。如果短路发生在线路 XY 的范围以内, 如图 1.2(c) 所示, 则由于两侧电源分别向短路点 k_2 供给短路电流 I'_{k2} 和 I''_{k2} , 线路 XY 两侧的电流都是由母线流向线路, 此时两电流的大小相位都不相等, 在理想情况下 (两侧电动势同相位且全系统的阻抗角相等), 两电流同相位。

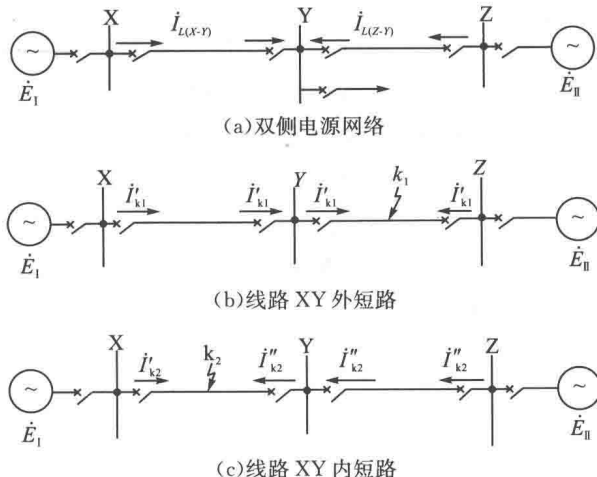


图 1.2 双侧电源线路

利用电气元件在发生内部故障与外部故障(包括正常运行情况)时,两侧电流相位或功率方向的差别,可以构成各种差动原理的保护,如差动保护、高频保护等。差动原理的保护只反应被保护元件的内部故障,不反应外部故障,因而被认为具有绝对的选择性。

3) 根据对称分量是否出现构成保护

电气元件在正常运行(或发生对称短路)时,负序分量和零序分量为零;在发生不对称接地短路时,它们都具有较大的数值,在发生不接地的不对称短路时,虽然没有零序分量,但负序分量却很大,利用这些分量构成的零序保护和负序保护,一般都具有良好的选择性和灵敏性。

4) 根据其他物理量的变化构成保护

除了反应电气量的保护,还有反应非电气量的保护,例如,当变压器油箱内部的绕组短路时,油被急剧分解产生大量气体,根据所产生的气体可以构成瓦斯保护;反应于负荷过大时电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

1.2.2 继电保护装置的构成

无论按哪种原理构成的继电保护装置,其组成可概括为图 1.3 所示的结构框图,主要包括三个部分:测量部分、逻辑部分和执行部分。

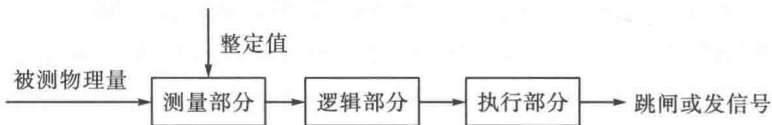


图 1.3 保护装置结构框图

1) 测量部分

测量从被保护对象输入的有关电气量,并与给定的整定值进行比较,根据比较的结果,给出“是”、“非”、“大于”、“不大于”等具有“0”或“1”性质的一组逻辑信号,从而判断保护是否应该起动。

2) 逻辑部分

根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,使保护装置按一定的逻辑关系工作,最后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号,并将有关命令传给执行部分。继电保护中常用的逻辑回路有“或”、“与”、“否”、“延时起动”、“延时返回”及“记忆”等回路。

3) 执行部分

根据逻辑部分输出的信号,执行跳闸或发信号等动作命令。例如,故障时,动作于跳闸;不正常运行时,发出信号;正常运行时,不动作等。