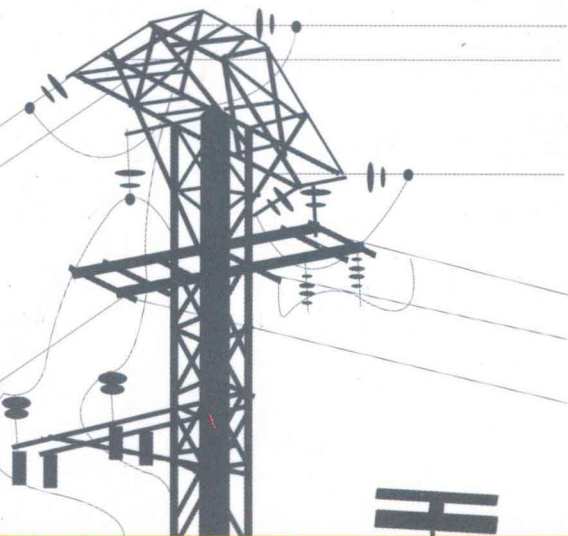

 电力系统生产技术丛书



J I D I A N B A O H U

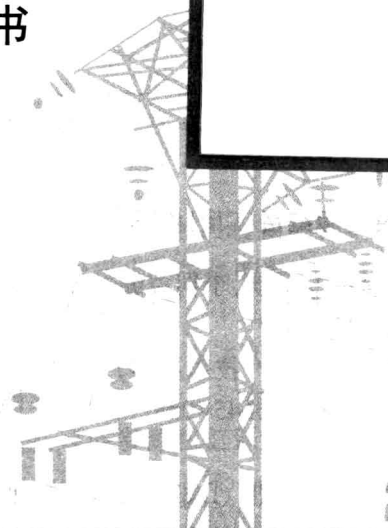
继电保护

● 主编 郑 琰 李 钊

 郑州大学出版社




电力系统生产技术丛书



J I D I A N B A O H U

继电保护

●主编 郑 琰 李 钊

 郑州大学出版社

郑 州

图书在版编目(CIP)数据

继电保护/郑琰,李钊主编. —郑州:郑州大学出版社,2012.9

(电力系统生产技术丛书)

ISBN 978-7-5645-0887-6

I. ①继… II. ①郑… ②李… III. ①继电保护
IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 116722 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

河南省公安厅文印中心印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:12

字数:294 千字

版次:2012 年 9 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2012 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0887-6

定价:35.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

作者名单

主 编	郑 琰	李 钊					
副主编	李 晨	杨 光	赵 珩				
编 委	丁同奎	侯尽然	齐国利	吴 珩	申燕萌		
	王 莉	陈 昕	李 一 宁	李宏华	李 璐		
	张 栋	景中熠	陈志刚	杨 琳	程生安		
	潘海圉	朱 峰	马 骏	丁江涛	杨 玮		

内 容 提 要

《继电保护》从继电保护和综合自动化子站系统的原理和基本应用入手,理论联系实际,既包含继电保护基础知识,又结合继电保护规程、规定和反措,讲解继电保护基本配置、概念和基本原理等。全书共分为7章。第1章基础知识,对电力系统及继电保护的基础知识进行介绍;第2章线路保护,主要包括基本的过电流保护、零序电流保护、距离保护、纵联保护和自动重合闸;第3章元件保护,主要包括母线保护、变压器保护、断路器保护、电容器保护、电抗器保护的基本构成、原理及应用;第4章安全自动装置,包括备用电源自动投入装置、电力系统低频减载装置、电力系统安全稳定控制、故障信息管理系统及小电流接地选线装置等;第5章二次回路,主要包括二次回路的接线图,继电保护用电流、电压互感器及控制回路等;第6章综合自动化,主要对变电站综合自动化的概念、发展过程和基本原理进行介绍;第7章智能变电站,主要对智能变电站的发展和技术特点进行介绍。

《继电保护》是为电力系统从事非继电保护专业的生产人员了解继电保护的基础知识编写的,可作为他们的培训教材,还可供电力系统从事继电保护专业的生产人员使用。

前 言

《继电保护》作为电力系统生产技术入门丛书之一,是为电力系统从事非继电保护专业的生产人员了解继电保护的基础知识编写的。

随着电力系统的发展,专业之间界限愈加模糊,对跨专业人员提出了新的要求。本书着重介绍继电保护的基本原理和应用,主要有以下几点:

一是,舍弃了相对复杂的计算公式和相量图;

二是,在介绍继电保护要求和基本原理的基础上,增加了继电保护应用的介绍,如继电保护的配置、专业名词解释和主要继电保护厂家的主要产品;

三是,除传统继电保护外,简要介绍了智能变电站的相关技术。

为使读者易于接受和掌握相关知识,建议读者可先参观一下变电站,对本书所涉及的电力设备有一个轮廓性、感性的认识。

本书共7章,编者均为供电企业生产一线的继电保护专业工程师,由具有长期继电保护管理经验的高级工程师负责审定,力求贴近现场实际。

限于编者水平,书中难免不当或错误之处,请读者批评指正。

编者

2011年3月

目 录

1 基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 故障分析基本方法	4
1.3 微机保护	12
2 线路保护	16
2.1 线路保护配置	16
2.2 过电流保护	19
2.3 零序过流保护	22
2.4 距离保护	26
2.5 纵联保护	33
2.6 自动重合闸	53
3 元件保护	57
3.1 变压器保护	57
3.2 母线保护	70
3.3 电容器和电抗器保护	80
4 安全自动装置	86
4.1 备用电源自动投入装置	86
4.2 电力系统低频减载装置	95
4.3 电力系统安全稳定控制装置	100
4.4 故障录波器及故障信息管理系统	104
4.5 小电流接地选线	112
5 二次回路	118
5.1 概述	118
5.2 二次回路的接线图	118

5.3	继电保护用电流、电压互感器	129
5.4	控制回路	139
6	综合自动化	152
6.1	变电站综合自动化的概念及发展	152
6.2	变电站综合自动化的特点及优点	153
6.3	变电站综合自动化的结构	154
6.4	变电站综合自动化系统的通信	157
6.5	国内典型的变电站综合自动化系统	158
6.6	变电站综合自动化系统信息异常处理	160
7	智能变电站	162
7.1	智能变电站的整体概述	162
7.2	电子式互感器的分类	168
7.3	智能一次设备	174
7.4	数字化装置	176

1 基础知识

1.1 概述

1.1.1 继电保护及安全自动装置的作用

随着计算机与自动化技术的飞速发展,在电力系统的正常运行、故障期间及故障后的恢复过程中,许多控制操作日趋高度自动化。这些控制操作的技术与装备大致可分为两大类:一类是为保证电力系统正常运行的经济性和电能质量的技术与装备;另一类是当电网(或电力设备)发生故障或出现影响安全运行的异常情况时,自动切除故障设备和消除异常情况的技术与装备,这类装备就是我们通常理解的电力系统继电保护与安全自动装置。

电力系统继电保护一词泛指继电保护技术和由各种继电保护装置组成的继电保护系统,包括继电保护的原理设计、配置、整定、调试等技术;也包括由获取电量信息的电压、电流互感器组成的二次回路,以及经过继电保护装置到断路器跳闸线圈的一整套具体设备;如果需要利用通信手段传送信息,还包括通信设备。继电保护系统的基本任务是当系统发生故障时,能够自动、快速、有选择地将故障设备从电力系统中切除,保证非故障设备继续运行,尽量缩小停电范围;当系统出现异常运行状态时,根据运行维护的要求能自动、及时、有选择地发出告警信号等。

为了在故障后迅速恢复电力系统的正常运行,或尽快消除运行中的异常情况,以防止大面积的停电和保证对重要用户的连续供电,常通过电网安全自动装置来实现。如输电线路自动重合闸、备用电源自动投入、低电压切负荷、按频率自动减负荷、电气控制、震荡解列,以及为维持系统的暂态稳定而配备的稳定性紧急控制系统等。

1.1.2 继电保护的要求

1.1.2.1 继电保护的基本要求

根据继电保护的任务和电力系统运行的特点,继电保护装置需满足可靠性、选择性、速动性和灵敏性四个基本要求。这四个基本要求之间,紧密联系,既矛盾又统一,必须根据电力系统运行的主要矛盾和矛盾的主要方面,配置、配合、整定每个电力元件的继电保护。

(1)可靠性 继电保护的可靠性包括安全性和信赖性,是对继电保护性能的最根本要求。所谓安全性,是要求继电保护在不需要它动作时可靠不动作,即不发生误动作。所谓信赖性,



2 继电保护

是要求继电保护在规定的保护范围内发生了应该动作的故障时可靠动作,即不发生拒绝动作。

(2) 选择性 继电保护的选择性是指保护装置动作时,在可能最小的区间内将故障从电力系统中断开,最大限度地保证系统中无故障部分仍能继续安全运行。它包含两种意思:其一,只应由装在故障元件上的保护装置动作切除故障;其二,要力争相邻元件的保护装置对它起后备保护的作用。继电保护选择性说明,如图 1.1 所示。

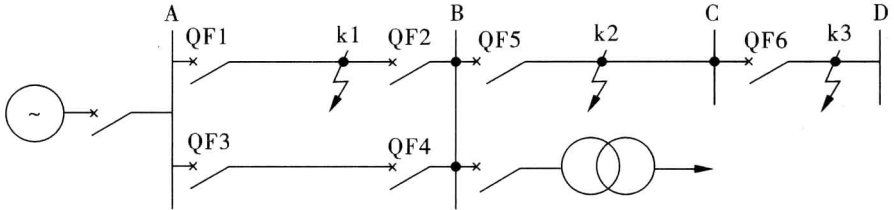


图 1.1 继电保护选择性说明

在图 1.1 所示的网络中,当线路 A—B 上 k1 点短路时,应由线路 A—B 的保护动作跳开断路器 QF1 和 QF2,故障被切除。而在线路 C—D 上 k3 点短路时,由线路 C—D 的保护动作跳开断路器 QF6,只有变电所 D 停电。故障元件上的保护装置如此有选择性地切除故障,可以使停电的范围最小,甚至不停电。若 k3 点故障时,由于种种原因造成断路器 QF6 跳不开,相邻线路 B—C 的保护动作跳开断路器 QF5,相对的停电范围也是较小的,相邻线路的保护对它起到了远后备作用,这种保护的動作也是有选择性的。若线路 B—C 的保护本来能够动作跳开断路器 QF5,而线路 A—B 的保护抢先跳开了断路器 QF1 和 QF3,则该保护动作是无选择性的。

(3) 速动性 继电保护的速动性是指尽可能快地切除故障,以减少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。

在高压电网中,维持电力系统的暂态稳定性往往成为继电保护快速性要求的决定性因素,故障切除越快,暂态稳定极限(维持故障切除后系统的稳定性所允许的故障前输送功率)越高,越能发挥电网的输电效能。图 1.2 给出了某电网同一点发生不同类型短路时,暂态稳定极限随故障切除时间的变化曲线。

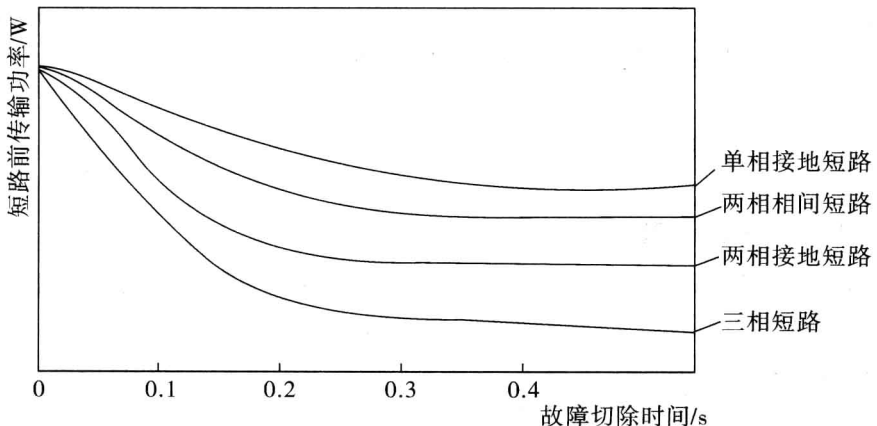


图 1.2 暂态稳定极限随故障切除时间的变化曲线



故障切除时间等于保护装置和断路器动作时间的总和,一般的快速保护的动作为 $0.06\sim 0.10\text{ s}$,最快的可达 $0.01\sim 0.04\text{ s}$;一般的断路器的动作为 $0.06\sim 0.15\text{ s}$,最快的可达 $0.02\sim 0.06\text{ s}$ 。

(4)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规定的保护范围内发生故障时,在系统任意的运行条件下,无论短路点的位置、短路的类型如何,以及短路点是否有过渡电阻,当发生短路时都能敏锐感觉、正确反应。在 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类保护的灵敏系数的要求都做了具体的规定,一般要求灵敏系数为 $1.2\sim 2$ 。

1.1.2.2 继电保护的双重化配置

所谓继电保护的双重化配置是指电力变压器和输电线路等设备的继电保护装置按两套独立并采用不同原理的能瞬时切除被保护范围内各类故障的主保护来配置。其中“独立”的含义为:各套保护的直流电源取自不同的蓄电池,各套保护用的电流和电压互感器的二次侧各自独立,各套保护分别经过断路器的两个独立的跳闸线圈出口,各套保护拥有各自独立的载波(或复用)通道等。

1.1.2.3 继电保护的配置原则

继电保护在配置上分为主保护、后备保护。主保护是满足系统稳定和设备安全要求,能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。后备保护是指主保护或断路器拒动时,用来切除故障的保护,可分为远后备和近后备两种。远后备保护是指当主保护或断路器拒动时,由相邻电力设备或线路的保护来实现的后备保护;近后备保护是当主保护拒动时,由本电力设备或线路的另一套保护来实现的后备保护,当断路器拒动时,由断路器失灵保护来实现后备保护。

1.1.3 继电保护的发展

继电保护技术是随电力系统的发展而发展起来的。电力系统发生短路是不可避免的,伴随着短路,电流增大,为避免发电机被烧坏,最早采用熔断器串联于供电线路中,当发生短路时,短路电流首先熔断熔断器,断开短路的设备从而保护发电机。这种保护方式简单,时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备。由于电力系统的发展,用电设备的功率、发电机的容量增大,电力网的接线日益复杂,熔断器已不能满足选择性和快速性的要求,于1890年出现了直接装于断路器上反应一次电流的电磁型过电流继电器。19世纪初,继电器才被广泛用于电力系统的保护,是继电保护技术发展的开端。

随着材料、器件、制造技术等相关学科的发展,继电保护装置的结构、型式和制造工艺也发生着巨大的变化,经历了机电式、晶体管式、集成电路式、微机式和数字式继电保护装置五个发展阶段。

机电式保护装置由具有机械转动部件带动触点开、合的机电式继电器(如电磁型、感应型)和电动型继电器所组成,由于其工作比较可靠不需要外加工作电源,抗干扰性能好,在相当长的时间内被广泛使用,特别是单个继电器目前仍在电力系统中被广泛使用。20世纪50



年代,随着晶体管的发展,出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小、动作速度快、无机械转动部分、无触点,20世纪70年代,晶体管式保护装置在我国被大量采用。随着集成电路技术的发展,可以将众多的晶体管集成在一块芯片上,从而出现了体积更小、工作更可靠的集成电路保护,微机保护的发展使得集成电路保护的存在时间非常短暂。随着微处理器技术的快速发展和价格的急剧下降,在20世纪70年代后期,出现了性能比较完善的微机保护样机并投入系统试运行。20世纪80年代微机保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟,进入20世纪90年代,微机保护已在我国大量应用,主运算器由8位机、16位机,发展到目前的32位机;数据转换与处理器件由模数转换器(A/D)、电压频率转换器(VFC),发展到数字处理器(DSP)。20世纪90年代后半期,在微机继电保护技术和调度自动化技术的支撑下,变电站自动化技术和无人值守运行模式得到迅速发展,集测量、控制、保护和数据通信为一体的变电站综合自动化装备,已成为目前我国变电站的二次装备。此后,继电保护技术与其他学科交叉、渗透日益深入。

1.2 故障分析基本方法

1.2.1 短路与系统振荡

1.2.1.1 短路故障的概念

短路故障指的是电力系统正常运行情况以外相与相之间或相与地之间的短路。引起短路故障的主要原因是各种形式的过电压,绝缘材料自然老化、脏污,直接机械损伤造成电气设备载流部分的绝缘损坏。线路对树枝放电,大风引起的碰线,鸟兽、树枝等掉落在导线上,以及雪、冰雹等自然现象也能引起短路故障。此外,运行人员带负荷拉隔离开关或检修线路后忘记拆除地线就加上电压等误操作也是引起短路故障的原因之一。大量的运行实践证明,短路故障中单相接地最多,相间短路较少。

电力系统发生短路时,因系统的总阻抗要减小,所以故障回路的电流剧烈增加,同时伴随着电压大幅度降低,特别是靠近短路点的母线电压降得更低,甚至为零(如三相短路)。

短路的后果是破坏性的,表现在以下几个方面:

(1)短路电流的热效应可能使设备过热而损坏,特别是短路点电弧会烧坏电气设备,短路电流的电动力效应也可能使设备受到破坏。

(2)系统电压大幅度降低,影响用户的正常工作,甚至使电动机停转、用电设备断电等。

(3)短路是对电力系统的一个严重冲击,可能使并列运行的发电厂失去同步,破坏系统稳定运行,引起大面积停电的严重后果。

(4)不对称接地短路的零序电流所产生的零序磁通会干扰附近的通信线路。

因此,短路故障的后果是严重的,所以分析研究短路故障,对电力系统安全可靠运行有着重要的现实意义。对继电保护和自动装置来说,分析短路故障就更必要了。



1.2.1.2 线路故障的分析

大量统计资料表明,高压电网的短路故障中,线路故障约占90%,母线、变压器和高压配电装置等故障约占10%。对于线路(220 kV)故障,某电力系统20年的统计数字见表1.1。

表 1.1 某电力系统 20 年的统计数字

故障原因	次数(所占总次数的比)
单相接地短路	510次(87.9%)
两相接地短路	34次(5.8%)
两相短路	8次(1.4%)
三相短路	11次(1.9%)
断线	8次(1.4%)
转换性故障	4次(0.7%)
非全相运行中又发生单相接地短路	5次(0.9%)

可以看出,线路短路故障中单相接地短路占绝大多数。线路短路故障开始发生时,绝大多数的故障可能是单相接地,又因故障常具有转变扩展性质,单相短路故障很容易发展为多相短路故障。从这点出发,缩短故障切除时间,可避免多相短路故障对电力系统造成的严重影响,并使单相重合闸充分发挥作用;同时,缩短故障切除时间,也可减轻故障点设备的损伤程度,提高系统的暂态稳定性。

两相接地短路故障比单相接地短路故障少得多,但比三相短路故障多,这合乎故障发展的特点。上述统计资料表明,对中性点直接接地的高压电力系统,单相和两相接地的短路故障占了绝大多数,所以反应接地短路故障的保护担负着十分重要的任务,任何情况下,应保证反应接地短路故障的保护有较好的性能并可靠投入运行。

1.2.1.3 系统振荡

所谓振荡就是当系统因短路故障切除太慢或遭受较大冲击时系统中各个电源之间的电势夹角在 $0^\circ\sim 360^\circ$ 周而复始地来回变化,使电网中的电流、电压和功率的幅值和相位随该夹角的不同作忽大忽小的变化,装设在电网中的电流、电压和阻抗继电器有可能误动。

振荡时系统各点电压和电流值均作往复性摆动,电流、电压值的变化速度慢;而短路时,电流、电压值是突变的,变化速度快。振荡时系统中任何一点的电流和电压之间的相位角都随公角 δ 的变化而改变;短路时电流与电压之间的角度是基本不变的。

电力系统振荡对继电保护的影响:

(1)对阻抗继电器的影响 周期性振荡时,电网中任一点和流经线路的电流将随两侧电



源电动势间相位角的变化而变化。振荡电流增大,电压下降,阻抗继电器可能动作;振荡电流减小,电压升高,阻抗继电器返回。如果阻抗继电器触点闭合的持续时间长,将造成保护装置误动作。

(2)对电流继电器的影响 当电力系统振荡时,如果保护装置的时间躲不过振荡周期的时间,保护就会误动作。当保护装置的时限大于1.5~2.0 s时,就可能躲过振荡误动作。

(3)对相差保护和电流总差动纵联保护的影响 相差保护和电流总差动纵联保护不受电力系统振荡的影响。

1.2.2 对称分量法及故障叠加原理

1.2.2.1 对称分量法

由电工基础基本原理得到,一组不对称的三个电气量可分解为正序、负序和零序三组电气分量。

假定 \dot{F}_A 、 \dot{F}_B 、 \dot{F}_C 代表不对称的三个电气量(电流或电压),用 \dot{F}_1 、 \dot{F}_2 、 \dot{F}_0 代表正序、负序和零序三个电气分量。令 A 相为基准相时,有关系式如下:

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_A &= \dot{F}_{A1} + \dot{F}_{A2} + \dot{F}_{A0} \\ \dot{F}_B &= \dot{F}_{B1} + \dot{F}_{B2} + \dot{F}_{B0} = \alpha^2 \dot{F}_{A1} + \alpha \dot{F}_{A2} + \dot{F}_{A0} \\ \dot{F}_C &= \dot{F}_{C1} + \dot{F}_{C2} + \dot{F}_{C0} = \alpha \dot{F}_{A1} + \alpha^2 \dot{F}_{A2} + \dot{F}_{A0} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_{A0} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + \dot{F}_B + \dot{F}_C) \\ \dot{F}_{A1} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + \alpha \dot{F}_B + \alpha^2 \dot{F}_C) \\ \dot{F}_{A2} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_A + \alpha^2 \dot{F}_B + \alpha \dot{F}_C) \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

式中 α ——运算符, $\alpha = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $\alpha^2 = e^{-j120^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

这是对称分量法的两组基本公式。

应用对称分量法分析不对称短路故障时,根据分析的目的不同,有不同的分析方法。

一是将不对称短路故障形成的不对称电流、电压分解为正序、负序、零序三组对称的系统,因每序系统都是对称的,故每序系统只需计算一相即可。这种分析方法最为常用,其特点是在正序网络中各支路电流(故障支路除外)包含了负荷电流分量。当然,如在空载情况下(负荷电流为零)发生短路故障,正序网络中各支路电流就没有负荷电流分量,只有故障分量电流了。

二是当电力系统某点发生不对称短路故障时,看成是在原有三相对称系统上,故障点作用了故障电动势。按对称分量法,该故障电动势可分解为正序、负序、零序分量,同样因每序



系统都是对称的,只需计算一相。当然,故障电动势作用下求得的正序分量电流不包含负荷电流分量。有时,故障分量电流也称作电流突变量。因此,这种分析方法还适用于求电流和电压的突变量。

此外,当电力系统某点发生不对称短路故障时,按对称分量概念,在故障点将原有电力系统等效成一个简单的三相电路,然后根据短路情况直接求解。这种分析方法适用于故障点存在过渡电阻的情况。

上述三种分析方法具有内在联系,可得到相同的结论。

1.2.2.2 故障叠加原理

电力系统是多电源的网络,这些电源电动势的幅值和相位都不相同,因而故障计算复杂。在假定是线性网络的前提下,为了简化计算,可采用叠加原理。对于短路故障,可在短路状态的复合序网图的故障支路中引入幅值和相位都相等但反向串联的两个电压源,如图 1.3 所示。

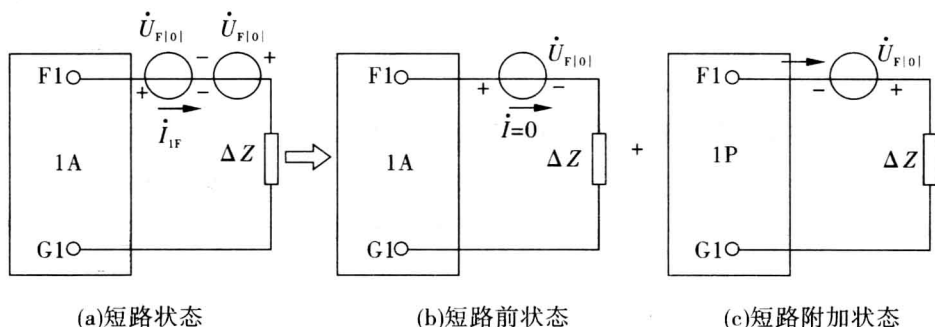


图 1.3 不对称短路复合序网的分解

令这个附加电动势的数值等于短路前 F1 点的电压 $\dot{U}_{F1|0|}$,再把图 1.3(a) 分解为图 1.3(b) 和图 1.3(c) 两种状态。图 1.3(b) 中正序网络是有源网络,外接电压源 $\dot{U}_{F1|0|}$ 与正序有源网络在 F1 点的开路电压大小相等、方向相反,因而流出电流为零,只在正序网络内部有电流(即负荷电流),所以图 1.3(b) 即短路前的负荷状态,简称短路前状态。图 1.3(c) 称为短路引起的附加状态。把短路前状态和短路附加状态叠加起来,就得到短路状态。

短路前状态对短路计算来说,可以认为是已知的,也可以引用系统潮流计算的结果。短路附加状态中的正序网络是无源网络,其中任何一支路的电流可用故障支路中的正序电流按网络分配得到。把两种状态下的电流叠加起来就得到短路状态下的电流。如果短路前状态是空载的,所有支路电流均为零,那么短路附加状态的电流就是短路状态的电流。但在计算短路状态的电压时仍需将短路前状态和短路附加状态的电压叠加起来,因为短路前状态电压不为零(空载时电压等于电源电动势)。需要指出,用叠加原理计算的只是短路初瞬间时刻($t=0$)的电气量。



1.2.3 不对称故障序网

1.2.3.1 各种元件负序阻抗和零序阻抗的特点

各种元件负序阻抗和零序阻抗有以下几种特点。

(1) 线路、变压器等静止元件的负序阻抗 系统中静止元件施以负序电压产生的负序电流与施以正序电压产生的正序电流是相同的(只是相序不同),故静止元件的正、负序阻抗相同。

(2) 线路的零序阻抗 线路的零序阻抗为对线路施以零序电压时呈现的阻抗。零序阻抗以大地构成回路,数值较大,一般为正序阻抗的 2.5~3.5 倍。

(3) 变压器的零序阻抗 变压器的零序阻抗与绕组的连接方式及磁路结构有关。系统使用的变压器一般为 YN,d 接线且 YN 侧中性点接地,从 d 侧施以零序电压,由于回路不通不产生任何电流,故从 d 侧看入的零序阻抗为 ∞ 。从 YN 侧施以零序电压,在 d 侧将形成零序环流,故对零序来讲,从 YN 侧看入几乎相当于另一侧短路,呈现的是短路阻抗 $U_k\%$,但由于三芯式三相变压器的零序磁通要经过空气隙,使励磁阻抗大为降低,一般使零序阻抗减少到 $U_k\%$ 的 80% 左右。

1.2.3.2 典型不对称故障序网的形成及故障电流计算

中性点接地系统中常见的不对称故障为单相、两相金属性接地短路故障。

(1) 单相(A相)接地短路时的接线 单相(A相)接地短路时的接线,如图 1.4 所示。

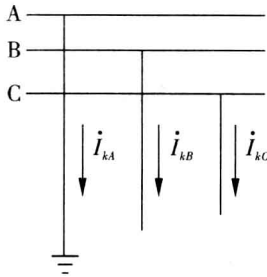


图 1.4 A 相接地短路时的接线

此时故障点的边界条件为

$$\dot{U}_{kA} = 0; \dot{i}_{kB} = 0; \dot{i}_{kC} = 0 \quad (1.3)$$

用对称分量法表示,则

$$\dot{U}_{kA} = \dot{U}_{kA1} + \dot{U}_{kA2} + \dot{U}_{k0} = 0 \quad (1.4)$$

因为

$$\dot{i}_{kA1} = \frac{1}{3}(\dot{i}_{kA} + \alpha \dot{i}_{kB} + \alpha^2 \dot{i}_{kC}) = \frac{1}{3} \dot{i}_{kA}$$



$$\dot{I}_{kA1} = \frac{1}{3}(\dot{I}_{kA} + \alpha^2 \dot{I}_{kB} + \alpha \dot{I}_{kC}) = \frac{1}{3} \dot{I}_{kA}$$

$$\dot{I}_{kA1} = \frac{1}{3}(\dot{I}_{kA} + \dot{I}_{kB} + \dot{I}_{kC}) = \frac{1}{3} \dot{I}_{kA}$$

所以

$$\dot{I}_{kA1} = \dot{I}_{kA2} = \dot{I}_{k0} \quad (1.5)$$

根据故障点的边界条件,可以将以 A 相为基准的各序网络连接成一个复合序网,如图 1.5 所示。

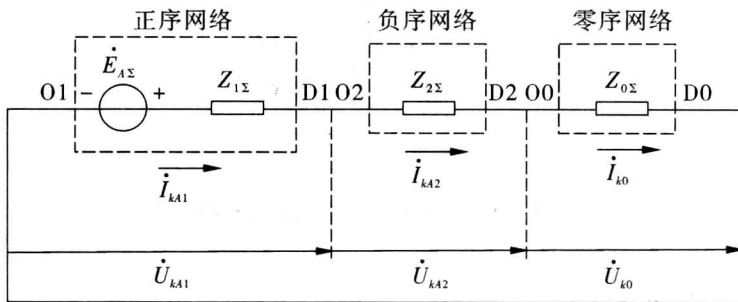


图 1.5 A 相接地短路时的 A 相复合序网

根据复合序网,可以求得故障点电流的各序对称分量为

$$\dot{I}_{kA1} = \dot{I}_{kA2} = \dot{I}_{k0} = \frac{\dot{E}_{A\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (1.6)$$

用对称分量法表示,则

$$\dot{I}_{kA} = \dot{I}_{kA1} + \dot{I}_{kA2} + \dot{I}_{k0} = 3 \dot{I}_{kA1} \quad (1.7)$$

假定:电流均以由母线流向故障点的方向为正方向;各点的各序电压均指对地电源电压,其正方向为地对母线。

应用对称分量法,可得故障点电压的各序分量为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{kA1} &= \dot{E}_{A\Sigma} - \dot{I}_{kA1} Z_{1\Sigma} = -\dot{U}_{kA2} - \dot{U}_{k0} = \dot{I}_{kA1} (Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}) \\ \dot{U}_{kA2} &= -\dot{I}_{kA2} Z_{2\Sigma} = -\dot{I}_{kA1} Z_{2\Sigma} \\ \dot{U}_{k0} &= -\dot{I}_{k0} Z_{0\Sigma} = -\dot{I}_{kA1} Z_{0\Sigma} \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

故障点各相的全电压为