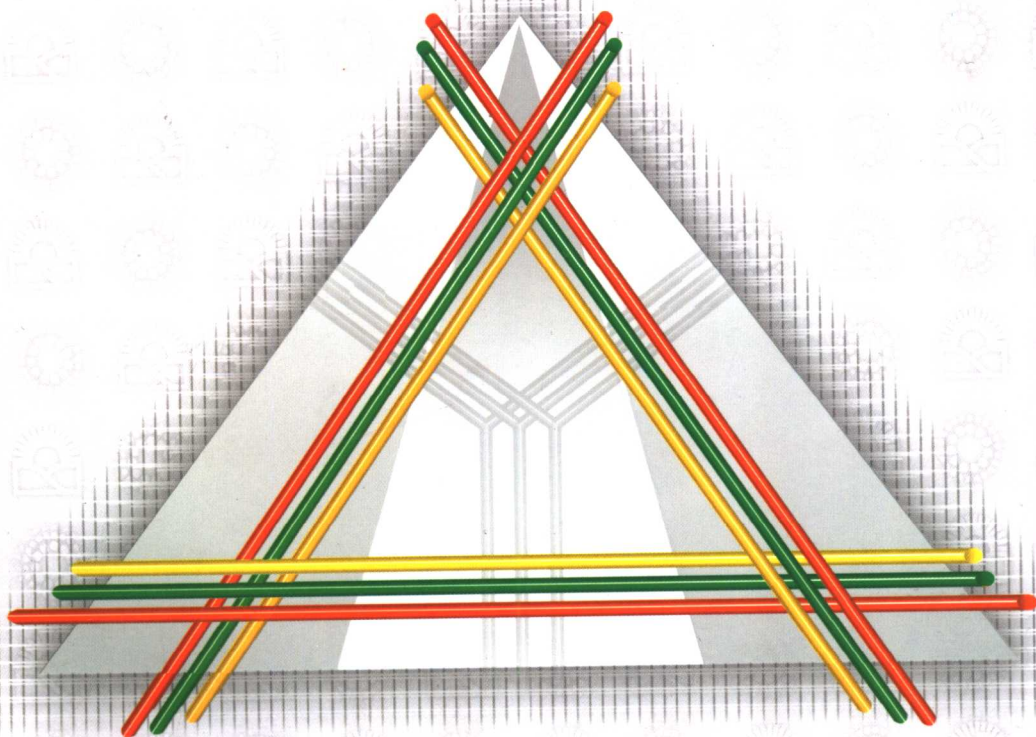


新型继电保护和故障测距 的原理与技术

(第 2 版)

葛耀中 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

责任编辑：邹林 装帧设计：伍胜

ISBN 978-7-5605-2439-9



9 787560 524399 >

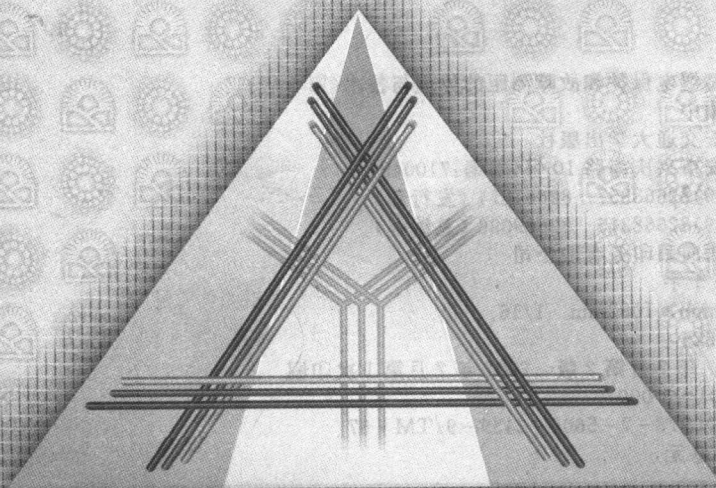
定价：40.00 元

内容简介

新型继电保护和故障测距 的原理与技术

(第2版)

葛耀中 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西 安 ·

内容简介

本书从故障信息的基本观点出发,对新型继电保护和故障测距的原理与技术进行了系统论述,是在作者及所指导的研究生的科研成果基础上写成的。全书内容分为三部分,第一部分是故障分量及利用故障分量的继电保护,第二部分是高压输电线路故障测距,第三部分是自适应继电保护和自适应自动重合闸。

本书读者对象是高等院校、科研机构、生产制造和运行单位中从事电力系统继电保护和自动化的教师、科技人员和管理人员,适合作为电力系统继电保护研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

新型继电保护和故障测距的原理与技术/葛耀中著.

—西安:西安交通大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-5605-2439-9

I. 新... II. 葛... III. 继电保护-故障检测 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 043358 号

书 名	新型继电保护和故障测距的原理与技术(第 2 版)
著 者	葛耀中
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 10 号(邮编:710049)
电 话	(029)82668357 82667874 (发行部) (029)82668315 82669096 (总编办)
印 刷	陕西向阳印务有限公司
印 数	646 千字
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	26.625
版 次	2007 年 7 月第 2 版 2007 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0 001~3 000
书 号	ISBN 978-7-5605-2439-9/TM·67
定 价	40.00 元

版权所有 侵权必究

再版序言

创新是科学技术发展的灵魂,电力系统继电保护和故障测距的原理与技术也在日新月异地更新与发展中。基于上述原因,本书从故障信息出发,以故障分量及其应用作为贯穿本书的一条总脉,对利用故障分量继电保护的基本检测原理及其在广泛采用的高压输电线路方向比较式和电流比较式纵联保护以及同杆双回线保护应用中的新进展进行了论述;同时,更着重介绍了输电线路基于暂态行波的保护、自适应继电保护、自适应自动重合闸和高压输电线路的故障测距原理和技术及其最新研究成果。因此,与第一版相比,再版后增添了许多新的内容。

本书是作者 50 年来从事电力系统继电保护与故障测距教学和科研工作的缩影,也包含了众多博士研究生和硕士研究生以及科研工作合作者集体智慧的结晶,在本书再版的过程中,西安交通大学索南加乐教授课题组的师生们给予了大量帮助,在此,作者向他们表示衷心的感谢。

由于本书涉及到从电力系统继电保护基础到相关科技领域的广泛内容,其中既有大量的理论问题,又有很多实际问题,因此本书的某些观点和内容难免有漏错之处,敬请读者多加指正。作者唯一的希望就是,本书能对读者有所帮助与启迪,从而起到抛砖引玉的作用。

作 者

2007. 3. 1

本书第一版序言

电力工业生产发展的需要和新技术的陆续出现是电力系统继电保护原理和技术发展的基本源泉。继电保护科技工作者总是在不断地根据需求和可能,对已有的继电保护装置进行改进和完善;同时努力探求实现继电保护的新原理和开发出新型的保护装置。数十年来作者致力于继电保护、故障测距新原理和新技术的研究。计算机的应用为此创造了前所未有的良机,在新型继电保护原理与技术的研究方向下,作者培养出大量的硕士生和博士生,在理论和实践上为继电保护科学技术的发展和应用做出了一定的贡献。

本书内容由三大部分组成:第一部分是利用故障分量的继电保护原理与技术,包括第1章到第7章。第1章从继电保护装置反应故障信息的特点出发,定义了故障分量并讨论了故障信息的识别与处理。第2章对利用故障分量继电保护的检测原理作了全面扼要的阐述。第3章介绍了利用故障分量实现的各种故障选相方案。第4、第5两章分别对利用故障分量的方向比较式和电流相位比较式的纵联保护特点进行了较深入的分析研究,特别对正序故障分量的计算和获取方法进行了讨论。第6章针对同杆双回线的特点和要求,重点讨论了六序分量法及其在选相保护和故障测距中的应用。第7章讨论了利用故障分量暂态成分实现的超高速保护和行波保护原理。第二部分是故障测距。在第8章内全面介绍了输电线故障测距的各种原理和算法。第三部分,即第9章讨论了自适应继电保护和自动重合闸的内容。

本书是在作者本人和作者指导的研究生研究成果的基础上写成的,其中应特别指出的是索南加乐(藏族)、王安定和徐丙垠三位博士对本书的贡献。本书不求全面,但力求概念清楚,问题阐述深入,自成系统。作者期望本书所提供的新观点和新技术将会引起同行的关注,并能进一步推动继电保护和故障测距技术的发展。

贺家李教授和陈德树教授审阅了本书并提出了很多宝贵意见。西安交通大学学术专著出版基金委员会为本书在庆祝母校100周年生日时出版给予了极大的支持。本书的研究成果得到中国国家自然科学基金和国家教委博士点基金的有力资助,也得到同行的支持和帮助。作者在此表示由衷的感谢。最后,要特别感谢我的夫人任保生给予的大力帮助和鼓励,她为作者在右眼失明的条件下写成此书作出了无私的奉献。由于本书涉及许多新的内容,且作者水平有限,错误在所难免,请读者指正。

作 者

1993年7月

目 录

再版序言

本书第一版序言

第 1 章 故障信息与继电保护	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 故障信息与故障分量	(1)
1.2.1 概述	(1)
1.2.2 故障分量	(2)
1.3 故障信息的获取与处理	(11)
1.3.1 故障信息的提取方法	(11)
1.3.2 内部和外部故障信息的提取方法	(12)
1.4 利用故障分量继电保护的发展前景	(13)
1.5 本章小结	(14)
参考文献	(14)
第 2 章 利用故障分量继电保护的检测原理	(15)
2.1 引言	(15)
2.2 利用故障分量的电流元件及电流保护原理	(15)
2.2.1 传统电流保护存在的问题	(15)
2.2.2 利用故障分量的电流保护	(16)
2.2.3 利用故障分量电流保护存在的问题及对策	(17)
2.3 利用故障分量的方向元件及方向性保护原理	(18)
2.3.1 传统方向保护存在的问题	(18)
2.3.2 利用故障分量方向元件的基本原理	(19)
2.3.3 利用故障分量方向元件的特点	(20)
2.3.4 方向判据及其算法	(20)
2.3.5 利用故障分量的方向元件	(24)
2.4 利用故障分量的电流纵联差动保护原理	(24)
2.4.1 概述	(24)
2.4.2 传统电流向量差动保护存在的问题	(25)
2.4.3 利用故障分量的电流向量差动保护原理	(26)
2.4.4 利用故障分量的电流相位差动原理	(27)
2.5 利用故障分量的距离元件	(28)
2.5.1 基本原理与判据	(28)
2.5.2 电压判据的动作分析	(30)

2.5.3 基于相量故障分量的距离元件	(31)
2.5.4 基于故障分量的对称分量距离元件	(32)
2.6 本章小结	(35)
参考文献	(35)
第3章 利用故障分量的选相元件	(37)
3.1 引言	(37)
3.2 对称分量选相元件	(37)
3.2.1 选相元件的基本原理及程序框图	(37)
3.2.2 过渡电阻对选相元件动作影响的分析	(40)
3.2.3 对对称分量选相元件的评价	(42)
3.3 模故障分量选相元件	(42)
3.3.1 故障特征分析	(42)
3.3.2 选相原理框图	(45)
3.3.3 对模故障分量选相元件的评价	(45)
3.4 相电流差工频变化量选相元件	(46)
3.4.1 基本原理	(46)
3.4.2 故障相的判别	(47)
3.4.3 动作分析	(48)
3.4.4 对相电流差工频变化量选相元件的评价	(49)
3.5 高压输电线路发展性故障判别元件	(49)
3.5.1 概述	(49)
3.5.2 对称分量法判别元件的基本原理及程序框图	(49)
3.6 系统振荡中的故障选相元件	(52)
3.6.1 在振荡中的误选相问题	(53)
3.6.2 基于故障点相间电压特征的选相元件	(53)
3.6.3 基于故障边界条件的选相元件	(55)
3.6.4 两种选相元件的评价	(57)
3.7 行波选相元件	(58)
3.7.1 基本概念	(58)
3.7.2 暂态行波的故障特征	(59)
3.7.3 选相原理	(59)
3.7.4 软件构成框图	(60)
3.7.5 基于小波变换模极大值的行波故障选相元件的仿真及评价	(61)
3.8 本章小结	(61)
参考文献	(61)
第4章 高压输电线路方向比较式纵联保护	(63)
4.1 概述	(63)
4.2 方向比较式纵联保护的构成原理	(63)

4.2.1	基本原理	(63)
4.2.2	继电保护信息及通道	(64)
4.3	利用故障分量的起动元件	(77)
4.3.1	基本原理	(78)
4.3.2	减小电网频率波影响的起动元件	(79)
4.3.3	防止系统振荡误动的起动元件	(81)
4.3.4	数字仿真	(87)
4.4	基于故障分量的方向元件	(93)
4.4.1	基本原理	(93)
4.4.2	基于故障分量方向的分类	(93)
4.4.3	动作性能分析与比较	(93)
4.4.4	正序故障分量及其计算方法	(98)
4.5	方向比较式纵联保护特殊问题的讨论	(102)
4.5.1	线路分布电容的影响	(102)
4.5.2	大电源侧电压灵敏度不足的问题	(103)
4.5.3	空载合闸故障线路的问题	(104)
4.5.4	防止振荡误动的问题	(105)
4.5.5	两相运行时的问题	(105)
4.6	本章小结	(105)
	参考文献	(106)
第5章	输电线路电流纵联差动保护原理	(107)
5.1	引言	(107)
5.2	输电线路电流向量纵联差动保护	(108)
5.2.1	基本原理	(108)
5.2.2	不平衡电流的影响及其对策	(108)
5.2.3	典型动作判据的分析	(112)
5.2.4	输电线路分布电容电流的影响及对策	(119)
5.2.5	电容电流补偿	(122)
5.2.6	数字式电流纵联差动保护的采样同步	(126)
5.2.7	电流向量差动保护的实现	(128)
5.3	输电线路电流相位纵联差动保护	(130)
5.3.1	概述	(130)
5.3.2	线路两端故障分量电流相位的基本特征	(130)
5.3.3	相位比较式纵联保护的构成方案	(133)
5.3.4	正序故障分量电流相位比较式纵联保护	(139)
5.3.5	分相式故障分量电流相位纵联差动保护	(141)
5.4	本章小结	(142)
	参考文献	(143)

第 6 章 六序故障分量及其在同杆双回线保护中的应用	(145)
6.1 概述	(145)
6.2 六序故障分量法	(146)
6.2.1 六序故障分量	(146)
6.2.2 同杆双回线的六序故障分量网络	(149)
6.3 复合序网法	(149)
6.3.1 同杆双回线故障的边界条件	(150)
6.3.2 六序网的序阻抗参数及其复合序网图	(150)
6.4 利用六序故障分量法分析同杆双回线故障	(155)
6.4.1 同杆双回线的六序故障分量特征	(155)
6.4.2 同杆双回线故障时的电流向量特征	(158)
6.5 利用六序故障分量选相的基本原理	(164)
6.5.1 同名跨线故障与其它类型故障的区别	(165)
6.5.2 单回线和非同名跨线故障中各类故障的识别	(165)
6.5.3 同名相跨线故障中各类故障的识别	(168)
6.5.4 故障相的识别	(168)
6.6 同杆双回线的故障测距原理	(171)
6.6.1 集中参数模型的同杆双回线故障测距原理	(172)
6.6.2 分布参数模型的同杆双回线故障测距原理	(178)
6.7 本章小结	(178)
参考文献	(179)
第 7 章 基于暂态故障分量的行波保护原理	(181)
7.1 概述	(181)
7.2 输电线路故障的行波过程	(182)
7.2.1 行波的基本概念	(182)
7.2.2 输电线路故障时的行波	(184)
7.2.3 波的折射与反射	(187)
7.3 行波故障信息的小波分析	(189)
7.3.1 行波中包含的故障信息	(189)
7.3.2 小波分析简介	(190)
7.3.3 利用小波变换提取行波中的故障信息	(192)
7.4 行波差动保护原理	(195)
7.5 行波判别式方向保护原理	(197)
7.6 行波极性比较式方向保护原理	(199)
7.6.1 方向比较式纵联保护	(200)
7.6.2 行波电流极性比较式纵联保护	(205)
7.7 行波幅值比较式方向保护原理	(209)
7.7.1 基本原理	(209)
7.7.2 动作判据	(209)

7.7.3	判据的实现	(210)
7.7.4	动作特性分析	(211)
7.7.5	行波幅值比较式方向保护的仿真试验	(211)
7.8	波阻抗方向继电器	(212)
7.8.1	基本原理	(212)
7.8.2	动作特性分析	(214)
7.8.3	对反射系数 ρ 和波阻抗 Z_0 的分析	(215)
7.8.4	三相线路中的波阻抗继电器	(215)
7.8.5	波阻抗继电器的整定与特点	(216)
7.8.6	故障信号的小波表示和行波提取	(217)
7.8.7	基于小波变换的继电器算法	(219)
7.9	无通信全线速动行波保护原理	(221)
7.9.1	基本原理	(222)
7.9.2	行波特征分析	(223)
7.9.3	全线速动无通信行波保护的判据	(226)
7.9.4	仿真试验	(227)
7.10	测距式行波距离保护原理	(229)
7.10.1	概述	(229)
7.10.2	基本原理	(229)
7.10.3	基本要求	(230)
7.10.4	故障距离测量元件	(231)
7.10.5	行波距离保护 I 段的实现	(234)
7.10.6	保护 I 段	(237)
7.10.7	行波距离保护 II 段	(237)
7.10.8	行波距离保护的原理方案	(238)
7.10.9	仿真试验	(239)
7.10.10	结束语	(241)
7.11	电流行波母线保护	(242)
7.11.1	基本原理	(242)
7.11.2	动作判据	(243)
7.11.3	影响因素分析	(245)
7.11.4	原理方案	(246)
7.11.5	仿真试验	(247)
7.12	本章小结	(252)
	参考文献	(253)
第 8 章	输电线路的故障测距	(256)
8.1	概述	(256)
8.1.1	故障测距的意义和作用	(256)
8.1.2	对故障测距装置的基本要求	(256)

8.1.3	故障测距的分类	(257)
8.2	故障分析法	(258)
8.2.1	概述	(258)
8.2.2	单端量法	(260)
8.2.3	两端量法	(285)
8.3	行波法	(301)
8.3.1	行波法的发展	(301)
8.3.2	行波法的主要问题	(303)
8.3.3	A 型行波测距法	(306)
8.3.4	D 型行波故障测距原理	(314)
8.3.5	B 型故障测距法的基本原理	(317)
8.3.6	C 型故障测距法	(318)
8.3.7	F 型和 E 型行波故障测距原理	(324)
8.3.8	现代行波故障测距系统举例	(327)
8.4	本章小结	(331)
	参考文献	(333)
第 9 章	自适应继电保护原理	(336)
9.1	基本概念	(336)
9.2	自适应电流速断保护	(337)
9.2.1	传统电流速断保护的问题	(337)
9.2.2	自适应电流速断保护	(337)
9.3	自适应电压速断保护	(343)
9.3.1	传统的电压速断保护存在的问题	(343)
9.3.2	自适应电压速断保护	(344)
9.3.3	保护范围	(344)
9.3.4	自适应电压速断与传统电压速断的比较	(345)
9.4	自适应电流电压综合速断保护	(346)
9.4.1	基本原理	(346)
9.4.2	保护范围	(347)
9.4.3	自适应电流电压综合速断保护的動作分析	(348)
9.5	自适应过电流保护	(354)
9.5.1	传统过电流保护的问题	(354)
9.5.2	对自适应过电流保护的要求	(355)
9.5.3	自适应过电流保护的基本原理	(355)
9.5.4	自适应过电流保护的動作时限	(356)
9.5.5	自适应电流保护的實現	(358)
9.6	自适应电流向量纵联差动保护	(360)
9.6.1	基本思路	(360)
9.6.2	自适应動作判据	(360)

9.6.3	自适应分相电流差动保护判据性能分析	(361)
9.7	自适应组合式纵联保护	(362)
9.7.1	概述	(362)
9.7.2	基本要求	(363)
9.7.3	自适应组合式纵联保护的实现	(364)
9.8	自适应横联差动保护	(368)
9.8.1	传统的电流横联差动保护存在的问题	(368)
9.8.2	自适应横联保护原理	(369)
9.8.3	断线及开关偷跳的判别方法	(371)
9.8.4	非全相运行期间及二次故障时保证横联保护正确动作的措施	(372)
9.8.5	双回线解列运行的闭锁措施	(373)
9.8.6	试验结果	(373)
9.9	自适应距离保护	(373)
9.9.1	传统距离保护存在的问题及解决途径	(373)
9.9.2	自适应距离保护的基本原理	(374)
9.9.3	距离保护的自适应控制举例	(374)
9.10	本章小结	(378)
	参考文献	(379)
第 10 章	自适应自动重合闸	(380)
10.1	概述	(380)
10.2	自适应单相自动重合闸	(381)
10.2.1	一相断开时断开相线路侧两端的电压的分析	(381)
10.2.2	瞬时故障与永久故障的判别方法	(386)
10.3	自适应三相自动重合闸	(391)
10.3.1	线路短路三相跳闸后的暂态过程分析	(391)
10.3.2	判别永久故障的方法	(397)
10.3.3	数字模拟试验	(398)
10.4	自适应分相重合闸	(406)
10.4.1	问题的提出	(406)
10.4.2	自适应分相重合闸的基本原理	(406)
10.4.3	自适应三跳分相重合闸	(407)
10.4.4	自适应选跳分相自动重合闸	(411)
10.5	本章小结	(413)
	参考文献	(413)

第 1 章 故障信息与继电保护

1.1 引言

故障信息的识别、处理和利用是继电保护技术发展的基础。为了切除系统中发生故障的元件,20 世纪 20 年代已经提出了电流差动、电流方向、距离与高频保护等一系列继电保护原理,迄今在继电保护基本原理方面没有新的突破。在电力系统不断对继电保护提出新要求的情况下,30 年代后,在继电保护中广泛而成功地应用了故障时出现的对称分量。由于传统的继电保护原理是建立在工频电气量的基础之上,故障暂态过程所产生的有用信息被视为有害的干扰而常常被滤掉。60 年代以来,开展了行波用于保护的研究,开辟了在继电保护技术中利用故障暂态信息的新途径。上述情况表明,不断发掘和利用新的故障信息对继电保护技术的进一步发展有着十分重要的意义。

当前,我们正处在计算机技术迅猛发展的时期,计算机所具有的记忆、高速运算和逻辑判断能力为我们识别和处理故障信息创造了前所未有的有利条件,并且为直接使用数学模型的方法来研究开发新型继电保护装置提供了可能性。计算机在继电保护中的应用,促进了继电保护原理和技术的进一步发展。

鉴于目前某些继电保护在故障信息的利用上不尽满意,同时考虑到开发新型保护的需要,本章将对故障信息的概念及其在继电保护技术中的应用问题进行说明和讨论。

1.2 故障信息与故障分量

1.2.1 概述

一般说来,信息不应理解为事物与过程的本身,而应理解为其表征特性。信息是抽象的,但它总是以一种具有物质能量的信息形式出现。尽管电力系统会发生各种类型的短路故障,各种故障所出现的特征也各有其特殊性,但无论如何,任何设备发生故障时必然有故障信息出现。表示故障信息的电气量称为故障分量。

根据继电保护技术的特点及要求,故障信息可以作如下分类。

(1) 按信息的性质分,故障信息可分为电气量和非电气量两类。电气量又分为稳态量(例如工频量等)和暂态量(例如行波等),非电气量有温度和瓦斯等。

(2) 按信息的用途分,故障信息可分为内部故障信息和外部故障信息两类。这两类信息是继电保护原理的根本依据,既可单独使用一类信息,也可联合使用两类信息。内部故障信息用于切除故障设备,外部故障信息用于防止切除非故障设备。利用内部故障信息或外部故障信息的特征来区分故障和非故障设备一直是对继电保护原理与装置提出的根本要求。

(3) 按信息的作用分,故障信息可分为有用信息和无用信息。有用信息和无用信息是由

保护或故障测距的原理和技术要求决定的,对于某一种保护有用的信息可能对另一种保护是有用的或无用的。例如,对于目前广泛采用的基于工频量的保护或测距来说,故障信息中的工频量是有用的,除此以外的其它频率的信息则视要求而定,其中大多数是作为无用信息而加以抛弃以免对保护造成有害作用。又如基于暂态行波原理的保护和故障测距,则要用高通滤波得到所需的故障信息,以防止工频或其它频率的无用信息对保护或测距造成不利影响。此外,还有基于三次或五次谐波的保护或者根据保护的動作原理要求某一频段的故障信息,甚至有些保护原理要求全频域的故障信息,等等。从上述观点来看,对故障信息的利用是多种多样的,不应相互排斥或厚此薄彼。问题的关键在于能否充分发挥故障信息的作用,完成继电保护或故障测距任务。

最后应该指出,故障信息虽然由故障产生,但也存在着许多来源于非故障产生的信息,它们看上去与故障信息非常相似,很难把它们与故障信息区分开来。例如系统振荡下测量阻抗的变化,空载合闸时在变压器中产生的励磁涌流以及断路器三相不同期合闸时产生的负序和零序电压、电流等。尽管如此,还是总能找到它们与故障信息的不同点而加以正确区分。

当前在电力系统继电保护和故障测距技术中还存在着许多悬而未决和有待进一步完善的问题,电力系统的发展也必然会提出更多的新问题。但同时科学技术也在迅速发展,电力系统继电保护和故障测距的原理和技术也在不断发展。我们提出故障信息并强调其重要性是基于这样一种信念,即深入研究发掘新的故障信息,充分利用故障信息就一定能提出一些新的原理和推出一些新的技术,从而把电力系统继电保护和故障测距原理和技术提升到一个更高的水平。

1.2.2 故障分量

1. 基本原理

故障分量是故障信息在电气量上的具体体现,因此,故障分量可以定义为在系统发生故障时所出现的电气量。

图 1-1 给出了一个简化的电力系统图。其中包括系统两侧综合电势 E_m 、 E_n 及系统两侧等值阻抗 Z_m 、 Z_n 。假定在线路上 F 点发生短路故障后,线路 m 端和 n 端的电压、电流分别为 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 和 $\dot{U}_n$ 、 $\dot{I}_n$,如图 1-1(a)所示,这种状态称为故障状态。

对于线性系统,可以利用叠加原理对上述故障状态进行分解。在图 1-1(a)的 F 点加上两个串接的大小相等方向相反的电压 $\dot{U}_F$, $\dot{U}_F$ 是故障发生前 F 点的电压。加上这两个电压后完全可以与 F 点发生短路等效。根据叠加原理,故障状态(图 1-1(a))可以等效为非故障状态(图 1-1(b))与故障附加状态(图 1-1(c))的叠加,由此可得,以 m 端为例有

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{mfg} + \dot{U}_{mg} \quad (1-1)$$

$$\dot{I}_m = \dot{I}_{mfg} + \dot{I}_{mg} \quad (1-2)$$

式中: $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 为故障状态下 m 端的电压、电流; $\dot{U}_{mfg}$ 、 $\dot{I}_{mfg}$ 为非故障状态下 m 端的电压、电流; $\dot{U}_{mg}$ 、 $\dot{I}_{mg}$ 为故障附加状态下 m 端的电压、电流。

由图 1-1 所示,故障状态是指发生短路故障的系统所处的实际状态,其中 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 是在短路故障存在的条件下, m 端可以实测到的电压、电流。非故障状态是指短路故障发生前系统所处的实际状态,在大多数情况下是指正常运行状态。此外还有异常运行,如系统振荡及过负载等。可见,非故障状态包含有广泛的内容, $\dot{U}_{mfg}$ 、 $\dot{I}_{mfg}$ 表示在非故障状态下 m 端的电压、电流,

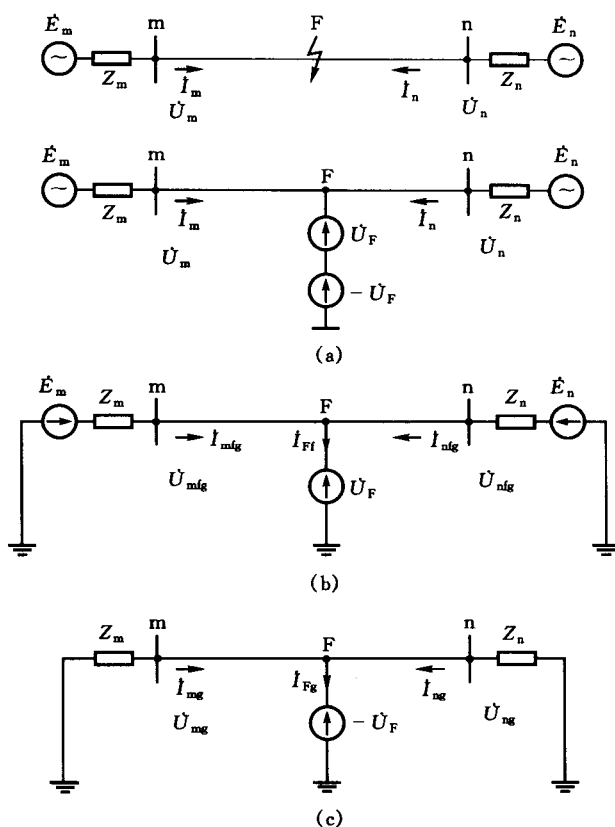


图 1-1 系统故障分解图

(a) 故障状态;(b) 非故障状态;(c) 故障附加状态

它们在故障发生前,也是可以实测到的电压、电流。故障附加状态是由于故障发生才引出的状态,在故障发生前它是不存在的,因此故障附加状态中包括的只是故障信息。故障附加状态网络中所出现的电气量,例如 $\dot{U}_{mg}$ 、 $\dot{I}_{mg}$ 、 $\dot{U}_{ng}$ 、 $\dot{I}_{ng}$ 是代表故障信息的电气量,它们都称为故障分量。由此可见,故障附加状态可以作为分析、研究故障信息的依据。

2. 故障分量的性质与特征

(1) 故障分量是实际存在的电气量,它虽然不一定能实时测量到,但总可以用计算方法求得。

由式(1-1)、式(1-2)可得出故障分量电压、电流为

$$\dot{U}_{mg} = \dot{U}_m - \dot{U}_{mfg} \quad (1-3)$$

$$\dot{I}_{mg} = \dot{I}_m - \dot{I}_{mfg} \quad (1-4)$$

式中 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 、 $\dot{U}_{mfg}$ 、 $\dot{I}_{mfg}$ 都可实测到,由此可得出故障分量 $\dot{U}_{mg}$ 、 $\dot{I}_{mg}$ 。

由式(1-4)还可以看出,在正常运行,线路空载时, $\dot{I}_{mfg} = 0$, 于是有 $\dot{I}_{mg} = \dot{I}_m$ 。这就说明在空载线路上发生短路故障时,故障状态下的实测电流 $\dot{I}_m$ 就是故障分量电流。利用这一特例可以简化仿真和实验中分析研究故障分量电流的有关问题,可以免去式(1-4)的运算。但是应该特别注意,这一结论并不适用于故障分量电压,因为在线路空载条件下, $\dot{U}_{mfg} \neq 0$ 。

(2) 凡是在非故障状态下不存在,而由故障发生才出现的电气量都属于故障分量。

由于图 1-1(b)和图 1-1(c)是相互独立的状态,在图 1-1(b)中只有非故障分量存在,短路支路电流 $I_{Ff}=0$ 。在图 1-1(c)中所出现的电气量,诸如 $\dot{U}_{mg}$ 、 $\dot{I}_{mg}$ 、 $\dot{U}_{ng}$ 、 $\dot{I}_{ng}$ 、 $\dot{I}_{Fg}$ 、 $-\dot{U}_F$ 等都是故障分量。

故障点接入的电源 $-\dot{U}_F$ 可以是工频电压,也可以是其它性质的电压,它由非故障状态下 F 点的电压性质决定。系统阻抗和线路 mn 可以是集中参数、 Π /T 模型或分布参数,由具体要求决定。因此,故障分量可以是工频量、谐波量、行波或任何稳态和暂态量。因为所有这些故障分量都是由故障产生的,所以它们都毫无例外地包含有故障信息。

在三相电力系统中,经常使用对称分量来分析、研究继电保护和故障测距问题。在三相完全对称的前提下,非故障状态下的负序、零序分量都等于零,表示为

$$\dot{I}_{mfg2} = \dot{I}_{mfg0} = 0 \quad (1-5)$$

$$\dot{U}_{mfg2} = \dot{U}_{mfg0} = 0 \quad (1-6)$$

代入式(1-3)、式(1-4)可得

$$\dot{I}_{m2} = \dot{I}_{mg2}, \quad \dot{U}_{m2} = \dot{U}_{mg2}$$

$$\dot{I}_{m0} = \dot{I}_{mg0}, \quad \dot{U}_{m0} = \dot{U}_{mg0}$$

上述关系式表明,不对称故障发生后产生的负序、零序电压和电流都是故障分量。

对于正序情况,由于在非故障状态下通常都有正序电压、正序电流存在,因此正序故障分量的电压和电流应用式(1-3)和式(1-4)求出,表示为

$$\dot{I}_{mg1} = \dot{I}_{m1} - \dot{I}_{mfg1} \quad (1-7)$$

$$\dot{U}_{mg1} = \dot{U}_{m1} - \dot{U}_{mfg1} \quad (1-8)$$

正序故障分量的电压和电流的发现是一个有价值的研究成果,由于它在所有类型的故障下都出现,因此比负序和零序分量包含有更多的故障信息。

(3) 故障点的电压故障分量幅值最大,在系统中性点处幅值为零。

故障分量电压的这一性质可以由图 1-1(c)所示的故障附加状态网络来说明,故障电压分布规律如图 1-2 所示。

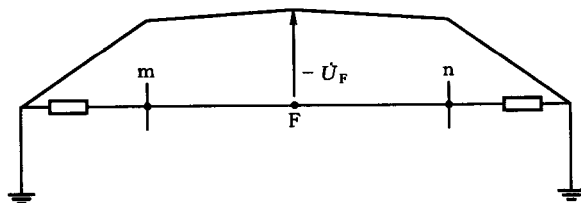


图 1-2 故障分量电压幅值分布示意图

(4) 线路 mn 各端故障分量电压和电流之间的关系分别由两侧系统阻抗所决定。

由图 1-1(c)的故障附加状态网络可知,在规定电流的正方向为由母线指向被保护线路下,式(1-9)、式(1-10)成立,即

$$\dot{U}_{mg} = -\dot{I}_{mg} Z_n \quad (1-9)$$

$$\dot{U}_{ng} = -\dot{I}_{ng} Z_n \quad (1-10)$$

换言之,m、n 两侧的系统阻抗可以由相应的故障分量电压和电流求出。