



王建南 主编

工厂供电系统 继电保护及 自动装置

冶金工业出版社

工厂供电系统继电 保护及自动装置

王建南 主编

北 京

冶金工业出版社

2002

内 容 简 介

本书共分十章,内容包括保护用的电流互感器、电压互感器,输电线路的相间短路保护,工厂配电网路的接地保护,变压器保护及工厂供电系统中的其他元件保护,微机继电保护以及高压断路器的控制回路,变电所的信号系统、自动装置、操作电源,变电所二次回路的设计等。

本书可作为高等学校工厂供电、自动化等专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电系统继电保护及自动装置/王建南主编. — 北京:冶金工业出版社,2002 重印

ISBN 7-5024-2041-X

I.工… II.王… III.工厂—供电—继电保护 IV.TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23797 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 宋 良 封面设计 李 心 责任印制 李玉山

北京昌平百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1998 年 6 月第 1 版,2002 年 2 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20 印张; 484 千字; 312 页; 2001—4000 册

35.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

前 言

本书是根据高等学校电气自动化及供电专业教学计划编写的,是供工业企业供电专业的“工厂供电系统继电保护及自动装置”课程使用的教材,也可作为其他学校同类专业的教学用书或供工程技术人员参考。

全书共分十章,介绍了工厂供电系统继电保护和自动装置的作用及对它们的要求,保护用电流互感器、电压互感器、变换器等的工作原理和接线。系统介绍了工业企业供电系统中各种继电保护装置的基本原理、整定计算和接线,包括反应输电线路相间短路的三段式电流保护、方向电流保护、电流电压联锁保护、阻抗保护、反应电网的接地保护、变压器的保护、工厂自备电站的发电机保护、高压电动机保护、无功补偿电容器的保护、母线的保护等。此外,还介绍了工业企业供电系统的操作电源、断路器控制回路、变电所的中央信号系统及工业企业供电系统常用的输电线路的自动重合闸装置、备用电源自动投入装置、无功补偿电容器的自动补偿装置和动态无功补偿、同步装置等多种自动装置,以及二次回路的分类和设计。最后,书中还对目前正在开始进入实用阶段的计算机继电保护的基本知识、基本理论和原理作了阐述。为方便学习,每章后面附有习题。

本书承蒙东北电力学院聂洪展同志审阅,并提出了许多宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

本书由王建南主编,其中的第一、二、九章由李华玲编写,第四、五、六章由王建南编写,第七、十章由李东辉编写,第三、八章由刘学军编写。

本书在编写过程中得到乔福海的大力帮助,对此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,对书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2001.12

5-0046104

目 录

第一章 概述	1
第一节 继电保护及自动装置的作用	1
第二节 继电保护及自动装置的基本要求	2
第三节 本课程的特点和学习方法	4
第二章 互感器及变换器	5
第一节 电流互感器	5
第二节 电压互感器	14
第三节 变换器	18
第三章 断路器的控制回路和操作电源	23
第一节 变电所的操作电源	23
第二节 控制回路的基本要求及控制开关	44
第三节 直流操作电源的断路器控制回路	47
第四节 交流操作电源的断路器控制回路	52
第四章 反应输电线路相间短路的保护	54
第一节 输电线路电流保护的基本原理	54
第二节 保护常用继电器介绍	54
第三节 输电线路定时限过流和电流速断保护	64
第四节 反时限过流保护和电流速断保护	76
第五节 电流电压联锁保护	79
第六节 输电线路的方向电流保护	82
第七节 输电线路的距离保护	92
第八节 输电线路保护的综合评价	103
第五章 电网的接地保护	105
第一节 中性点直接接地电网的接地保护	105
第二节 中性点不接地电网的单相接地保护	110
第三节 中性点经消弧线圈接地电网的单相接地保护	115
第六章 电力变压器的保护	118
第一节 变压器的故障及不正常运行状态分析	118
第二节 变压器的瓦斯保护	121
第三节 变压器的电流保护	123
第四节 变压器的差动保护	127
第五节 变压器保护计算实例	140
第七章 工厂供电系统其它元件的保护	147
第一节 工厂自备电站发电机的保护	147
第二节 工厂高压电动机的保护	153
第三节 无功补偿电容器的保护	160
第四节 母线保护	164

第八章 变电所的信号系统及自动装置	178
第一节 变电所的信号系统	178
第二节 输电线路自动重合闸装置	185
第三节 备用电源自动投入装置	193
第四节 无功补偿自动控制及动态无功补偿	199
第五节 同期装置	209
第六节 自动按频率减负荷装置	215
第七节 变电所的计算机监控	222
第九章 变电所二次回路	228
第一节 二次回路的分类	228
第二节 二次回路的设计	241
第十章 微机继电保护	257
第一节 微机保护的基本原理和结构	257
第二节 微机保护的算法引论	276
第三节 微机保护的实例	295
第四节 微机保护的综合评价	310
参考文献	311

第一章 概 述

第一节 继电保护及自动装置的作用

电力是整个国民经济的命脉，也是现代化工业生产的主要能源，电力的生产过程和其它产品的生产过程不一样，其最大特点是发电、输配电、用电都必须在同一时刻完成，因此对整个电力系统的运行有着极为严格的要求。电力系统是由发电机、变压器、输配电线路及许多电气设备组成的一个整体，工业企业供电系统是这个整体中的重要组成部分。构成电力系统和工业企业供电系统的各种元件，一方面要经常受到风雨、冰雪、雷电、鸟兽等自然现象的影响，另一方面，这些设备在制造、安装和检修过程中，难免会留下某些隐患，或由于运行过程中的老化、操作过程中的错误等，导致电力系统发生各种故障和不正常运行状态。

电力系统的故障指的是由于系统中某一元件的正常运行状态遭到破坏而无法正常工作的一种特殊状况。其中最危险也是最常见的是各种类型的短路故障。短路故障一般均有很大的短路电流产生，并且伴随有电弧，产生很大的热量和电动力，导致设备损坏，而且短路后，故障点处和附近的电压要急剧下降，影响其它用户的生产，严重的电力系统短路可导致整个系统的解列。

电力系统的不正常运行状态是指系统中电气元件的正常工作遭受破坏，但未发展成为故障时的情况。最常见的不正常运行状态是过负荷运行，电气设备如长时间的过负荷运行会加速设备的绝缘老化，严重的会损坏设备，发展成为故障。

由上所述，电力系统的故障或不正常运行都可以引起系统部分或全部的正常运行状态遭受破坏，如不及时处理，其后果是十分严重的。继电保护就是一种能够反应电力系统元件故障或不正常运行状态，并可让断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护的作用是：

(1) 被保护元件发生故障时能自动、迅速、准确而有选择性地借助断路器将故障元件从电力系统中切除，以保证系统的其它部分的正常运行，并使故障元件免受进一步的损坏。

(2) 当被保护元件出现不正常运行状态时保护装置能发出信号，以便运行值班人员采取有效措施或由其它自动装置进行自动调整，以消除不正常运行状态。

电力系统在运行中作为一个统一的整体，为了使它能更好地安全、经济运行，保证电能质量，自动化技术是必不可少的手段。电力系统自动化的实施有赖于各种自动装置的作用。继电保护实际上也属于这些自动装置，只是由于继电保护的发展，使其已自成体系，成为一门专门的学科，因此通常就不再将它列入自动装置中。

工业企业供电系统中的自动装置主要有备用电源自动投入装置，自动重合闸装置，这些装置对提高供电系统的自动化和可靠性，有着非常重要的作用。此外为改善工厂供电系统的电能质量及运行的经济性，工厂供电系统中常使用有自动调节功能的无功补偿装置和自动调压装置。为了保证同步电动机的正常运行还经常使用自动同步装置等。随着计算机

技术的发展和广泛应用,采用计算机监视、控制、调节供电系统的运行方式也已开始应用,这为减轻运行值班人员的劳动强度,提高供电自动化,为供电系统更经济、更优质、更可靠地运行创造了条件。

第二节 继电保护及自动装置的基本要求

根据工业企业供电系统的特点,继电保护和自动装置通常应具备下列特点:

(1) 继电保护和自动装置是保证企业安全可靠用电及电能质量的重要手段。在设计时,要按供电系统的可靠性要求、接线方式、运行方式的需要,并适当考虑供电系统发展的要求。一般不考虑可能性极少的故障或不必要的要求。

(2) 无论系统运行方式如何改变或发生何种类型的故障,继电保护及自动装置均应能准确地反应。

(3) 继电保护及自动装置本身应该力求简单、可靠,使用元件和触点应尽量少,维护方便,并要有配合系统运行方式变化的灵活性。

(4) 继电保护及自动装置的反应应该快速、及时、准确。

对继电保护装置的要求,主要应满足四个基本要求,即选择性、速动性、灵敏性和可靠性,有些反应不正常运行状态而作用于信号的保护可按需要对上述四个要求中的某些项作适当的放宽处理。

继电保护的选择性是指电力系统中发生故障时,继电保护在可能的最小范围内仅将故障部分从系统中切除,最大限度地保证非故障部分的继续供电。以图 1-1 为例,当 K_3 点发生短路时,图中断路器 1、3、2、4、5、7 均有短路电流通过,此时应由断路器 7 处的保护动作跳开断路器 7,保证母线 C 及以上的所有负荷的连续供电;而当 K_2 点短路时,就应由断路器 6 跳闸,将变压器 T 从整个电网中切除,保证其它所有负荷的正常供电;如 K_1 点发生短路,则断路器 1、3、2、4 中有短路电流通过,应由断路器 1、3 跳闸,将故障线路 WL_1 从电网中切除,由 WL_2 继续对以下各负荷供电。

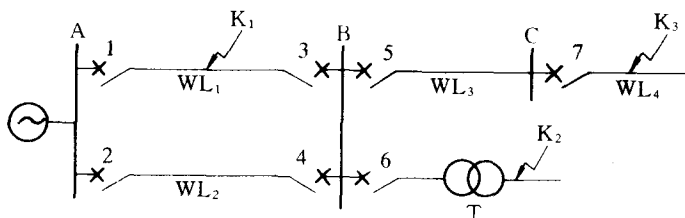


图 1-1 继电保护装置选择性动作的说明

有时在发生故障后会发生保护装置拒动或断路器失灵现象,如 K_3 点短路时,断路器 7 因本身失灵或保护拒动而不能跳开,这时就应使断路器 5 的保护动作使断路器 5 跳开,这也符合选择性要求,我们把断路器 5 的这种作用称为远后备保护,即保护 5 既作为线路 WL_3 的主保护,又作为线路 WL_4 的后备保护。具有远后备保护的方案,是较为完善的保护措施。但是并非在所有情况下都需要或能够实现远后备保护,由于技术上的原因,有时采用近后备保护。所谓近后备保护就是在一个元件上装有主保护和后备保护,当主保护拒动时,由本身的另一套后备保护动作切断故障。

速动性就是继电保护以可能的最短时限将故障从电网中切除。保护的快速动作不仅能减轻故障设备的损坏程度,缩小故障的影响范围,并可加速恢复供电系统正常运行的过程,最大限度地减小对用户的影响。所以在条件许可的情况下保护的動作时间越短越好。

速动性对工企供电网络的可靠性和稳定性影响很大。当供电系统中发生故障时,一般会使电源端的母线电压降低,而非故障回路上的电动机的工作状态的恢复与切除故障的时间密切相关。如工业企业内有些起动困难的大型空气压缩机,当电压全部消失后,只能支持 0.2s 工作。如果故障切除,电压恢复的时间不超过 0.2s,这些设备仍可工作,否则要将这类设备切除,等电压恢复后再重新投入运行,这就极大地影响了供电的可靠性。由于故障切除的时间是继电保护动作时间和断路器跳闸时间之和,所以除选定快速动作的继电保护装置之外,还应选择快速动作的断路器,目前这两者加在一起最短时间大约为 0.1s 左右。

在保护的选择中,速动性和选择性有时会发生矛盾,这时一般应在先满足选择性的前提下,再确保保护装置动作的快速性。

保护装置反应故障的能力称为灵敏性,一般又称为灵敏度。一般灵敏性以灵敏度系数 K_s 来作定量表示。它是衡量继电保护装置在供电系统中发生故障和不正常工作状态时,能否动作的一个重要指标。继电保护装置在设计计算中,灵敏度校验是必不可少的一个内容。

继电保护装置的灵敏系数一般均应根据最不利的运行方式和最不利的故障类型进行计算,但不考虑可能性极小的情况。其计算方法可分为以下两类:

(1) 在故障情况下反应参数数值上升的保护装置,如过电流保护装置等,其灵敏系数参照式 1-1 计算,即:

$$K_s = \frac{I_{kmin}}{I_{ac1}} \quad (1-1)$$

式中 I_{kmin} —— 被保护区内末端发生金属性短路时,流过保护一次侧的最小短路电流。

对反应相间短路的,因为两相短路电流较三相短路电流小,所以取两相短路电流;对反应单相接地的,取单相接地短路电流;

I_{ac1} —— 保护装置一次侧的動作电流。

(2) 在故障情况下反应参数值下降的保护装置,如低电压保护等,其灵敏系数可按式 1-2 计算,即:

$$K_s = \frac{U_{ac1}}{U_{wk}} \quad (1-2)$$

式中 U_{ac1} —— 保护装置的动作电压;

U_{wk} —— 被保护区内发生金属性短路时,保护安装处母线的最大电压。

灵敏系数表明了故障发生时,继电保护反应故障的能力,高灵敏的保护装置反应故障灵敏,但也有可能使保护装置复杂化而增加投资并降低可靠性。为满足相邻保护区末端短路时的灵敏性要求,导致保护复杂化或技术上难以实现时,可按以下原则进行处理:

(1) 后备保护的灵敏系数仅按常见的运行方式和故障类型进行计算。

(2) 后备保护和自动装置配合使用,即后备保护在一定范围内允许无选择性动作,再用备用电源自动投入装置和自动重合闸装置进行补救。

(3) 变压器低压侧的短路, 在允许时, 可缩短后备保护作用的范围。

保护的类型不同, 各自要求的最小灵敏系数也不一样, 各种保护装置的最小灵敏系数可参考国家的有关规定。

可靠性按现代科学技术的发展和理论, 已可以进行定量化描述或比较, 对继电保护装置来讲这方面的工作还有待进一步加强。目前对继电保护装置的可靠性仍停留在定性描述上, 即指保护装置在规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时, 它不应拒绝动作, 在任何其它不应由它动作的时候, 则不应误动作。

可靠性和保护装置本身的设计、制造、安装质量有关, 也与运行维护水平有关。一般, 保护装置组成元件的质量越好, 接线越简单, 回路中继电器的触点数和接插件数越少, 保护装置的工作可靠性就越高。

保护装置的误动和拒动都将给被保护设备及供电系统造成严重危害, 但是提高不误动和不拒动的可靠性措施往往是相互矛盾的。例如采用双重化(原理不同或相同的两套保护都动作才作用于跳闸)措施, 无疑提高了不误动的可靠性, 却同时降低了不拒动的可靠性。

继电保护的可靠性有赖于精心的设计、正确的调试、高质量的安装、完善而良好的维护和管理。

自动装置的基本要求和继电保护装置一样, 也应满足上述四个基本要求, 只是自动装置本身调节或动作的对象不一样, 对这些基本要求的内容有所区别, 这些将在以后的相关章节中分别介绍。

第三节 本课程的特点和学习方法

工业企业供电系统继电保护是一门专门研究供电系统故障和反事故措施的技术学科, 而自动装置是专门研究供电系统运行方式的改变及保证供电可靠性和供电高质量的技术学科。他们均属于自动化技术中自动装置的内容。这些内容和现场的联系十分密切, 学习中应提高对供电系统的故障和异常工况的分析及计算能力, 才能有针对性地使用好继电保护和自动装置。

工业企业供电系统继电保护及自动装置是理论和实践结合十分紧密的课程, 每一种保护或自动装置都有其自身的特点和相应的组成元件, 因此在学习除掌握基本理论外, 还应重视实验、实习、课程设计等动手较多的实践性环节, 并应重视通过实验来验证理论计算和理论分析的结果。

学习继电保护及自动装置的基础是电工原理、电子电路基础、电机学、微型计算机基础、电力网和变电所电气设备等专业基础课和专业课。学好这些课程, 对本课程的学习有很大帮助。此外, 在本课程的学习中, 应注意对已学过的这些课程的基础知识的理解和运用能力的提高。

习 题

1. 继电保护和自动装置的作用是什么?
2. 继电保护的基本要求有哪些? 如何理解继电保护各项基本要求之间的关系?

第二章 互感器及变换器

第一节 电流互感器

电流互感器的作用是将一次电路中的大电流按一定比例变换为二次回路的小电流，以利测量和继电保护。另外，为使测量表计和继电器的制造统一，电流互感器的二次额定电流按标准均为 5A 或 1A，这就为二次仪表和继电器等元件的标准化提供了基础。

一、电流互感器的工作原理和向量图

电流互感器的工作原理与变压器的工作原理基本相同，不同的是电流互感器的一次绕组匝数很少，并且直接串接在一次主电路中，铁芯中的交变主磁通由一次电流按一定比例产生，图 2-1 为电流互感器的原理接线，其二次绕组匝数很多，导线较细，并和各测量仪表的电流线圈及继电器的电流线圈串联成回路，工作在近于短路状态，所以二次回路的负载对一次电路基本上没有影响。

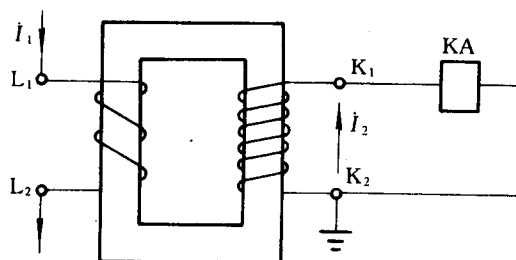


图 2-1 电流互感器原理接线图

图 2-2 为电流互感器的等值电路和向量图。等值电路中 $\dot{I}_2$ 为二次绕组中流过的电流， R_2 、 X_2 为二次绕组的电阻、电抗， R_{0L} 、 X_{0L} 为二次绕组连接的各负载的总电阻、总电抗， $\dot{I}'_1$ 为归算到二次侧的一次电流， I'_m 为归算到二次侧的励磁电流， R'_1 、 X'_1 和 R'_m 、 X'_m 分别为归算到二次侧的一次绕组的电阻、电抗和励磁电阻、电抗。由图 2-2a 可得

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 [(R_2 + R_{0L}) + j(X_2 + X_{0L})] \quad (2-1)$$

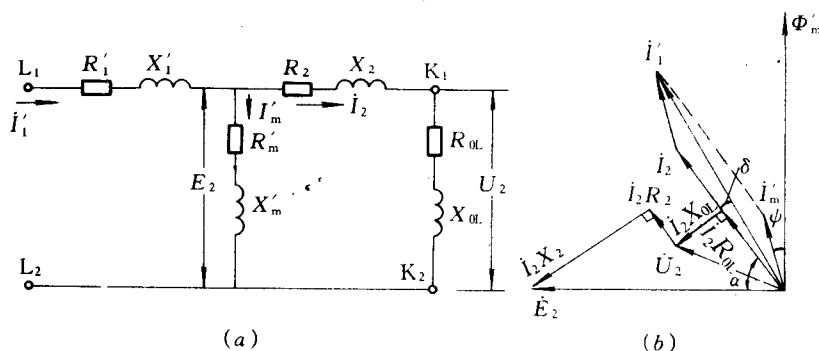


图 2-2 电流互感器的等值电路和向量图

上式表明, 当电流互感器的铁芯未饱和时, 二次的感应电势及二次电流 $\dot{I}_2$ 和二次的总阻抗成正比, 根据图 2-2a 可以画出对应的向量图。向量图的绘制可按以下步骤进行: 以二次的感应电势 $\dot{E}_2$ 为基准, 将其定位在横坐标左侧, 并以此为基准按式 2-1 作出电流 $\dot{I}_2$ 。电流 $\dot{I}_2$ 和 $\dot{E}_2$ 的夹角为二次总阻抗的夹角 α , $\alpha = \arctan \frac{X_2 + X_{0L}}{R_2 + R_{0L}}$, 再由 $\dot{I}_2$ 上截取 $\dot{I}_2 R_{0L}$, 然后作出和 $\dot{I}_2 R_{0L}$ 相垂直的 $\dot{I}_2 X_{0L}$, 则 $\dot{U}_2$ 可得, 因为 $\dot{U}_2 + \dot{I}_2 (R_2 + jX_2) = \dot{E}_2$ 所以 $\dot{E}_2$ 的数值确定, 由于产生二次感应电势的磁通 Φ'_m 与 $\dot{E}_2$ 相差 90° , 而产生 Φ'_m 的励磁电流为 $\dot{I}'_m = \frac{\dot{E}_2}{R'_m + jX'_m}$, 由图可见 $\dot{I}'_m$ 。由于励磁回路中的损耗和 Φ'_m 之间有一个很小的夹角 ψ , 作出 $\dot{I}'_m$ 后, 再根据电路的节点定律 $\dot{I}'_1 = \dot{I}'_m + \dot{I}_2$ 可求出 $\dot{I}'_1$ 。全部向量如图 2-2b 所示。

二、电流互感器的变比和误差

电流互感器的变比 K_{TA} 为一次电流 I_1 和二次电流 I_2 之间的比值, 即:

$$K_{TA} = \frac{I_1}{I_2}$$

电流互感器一次电流的额定值 I_{N1} 由生产厂家按一系列的实际需用值确定如 5, 10, $\dots\dots 50, 75, 100, 200, \dots\dots 500, 600, 800, 1000, \dots\dots$ 等, 而二次额定电流一般继电保护用的大多为 5A, 有些为 1A, 当电流互感器的 $I_{N2} = 5A$ 时, 电流互感器的变比一般记为:

$$K_{TA} = \frac{I_{N1}}{5} \quad (2-2)$$

当通入电流互感器的一次电流 I_1 为某一任意数时, 已知电流互感器的变比则可求出对应的二次电流为:

$$I_2 = \frac{I_1}{K_{TA}} = \frac{I_1}{I_{N1}} \times 5 \quad (2-3)$$

实际上由于电流互感器中的励磁电流的存在, 使电流互感器二次测得的电流和式 2-3 的结果相比存在一定的误差, 根据磁势平衡原则, 对电流互感器我们可得:

$$\dot{I}_1 W_1 - \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_m W_1$$

式中 W_1 、 W_2 —— 电流互感器的一次、二次绕组的匝数。

由上式和图 2-2b 的向量图, 我们可以看出, 由于励磁电流的影响使电流互感器二次侧测得的电流 $\dot{I}_2$ 与换算后的一次电流 $\dot{I}'_1$ 不仅在数值上不相等, 而且相位也不相同。一般把这种电流数值上的误差称为比差, 而把相位上的不同形成的角度误差称为相差。

(一) 电流互感器的比差

一般把电流互感器的比差定义为二次电流 I_2 与归算到二次侧的一次电流 I'_1 的差值对 I'_1 的比值的百分数, 用 f_1 表示, 即:

$$f_1 = \frac{I_2 - I'_1}{I'_1} \times 100 \quad (2-4)$$

理论分析可知, 电流互感器的比差一般为负数, 即由于励磁电流损耗的影响, 使电流互感器的二次电流 I_2 在数值上永远小于归算到二次侧的一次电流 I'_1 的值。即 $I_2 < I'_1 = \frac{I_1}{K_{TA}}$, 在实际中, 有时为了补偿励磁电流所引起的误差, 将电流互感器二次绕组的实际

匝数 W_2 较额定匝数减少 1 ~ 3 匝, 此时如果一次电流较小时, 电流比的误差有可能是正数。

(二) 电流互感器的相差

电流互感器的相差以二次电流 $\dot{I}_2$ 和归算到二次侧的一次电流 $\dot{I}_1'$ 之间的相位角来表示, 如图 2-2b 所示。电流互感器的相差一般较小, 且继电保护中除有些对电流相位有要求的保护之外, 一般对保护电流互感器的相差都没有严格的要求。

(三) 复合误差

复合误差是新的国家标准提出的一项指标, 它是基于电流互感器在传变电流过程中磁化特性是非线性特性的, 因此励磁电流和二次电流出现了高次谐波分量, 这时使用向量图来表达误差已不合理, 因而提出该指标, 它主要适用于保护。

复合误差的定义是在稳态情况下, 电流互感器二次电流瞬时值乘以额定变比后与一次电流瞬时值的差的有效值, 与一次电流有效值的比的百分数, 可用下式表示:

$$\varepsilon_c \% = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_{TA} i_2 - i_1)^2 dt}$$

式中 $\varepsilon_c \%$ —— 复合误差;

I_1 —— 一次电流有效值;

i_1 、 i_2 —— 一次、二次电流瞬时值;

T —— 一个周波的时间。

实际应用中, 保证电流互感器的误差在规定的范围之内的最主要方法是限制电流互感器的二次负载阻抗, 使其在规定的二次额定负载的允许值下。由于二次连接元件的阻抗一般是根据电路所需元件的情况确定的, 能够减少二次负载阻抗的有效办法就是增大电流互感器二次绕组回路中连接导线的截面, 以减少连接导线的阻抗。此外, 如将两个型号相同、变比相同的电流互感器串联使用, 可使二次负载的允许阻抗增加至单个电流互感器的两倍。

三、电流互感器的极性和常用的接线方式

(一) 电流互感器的极性

电流互感器的极性如图 2-3a 所示, 一次绕组的端子为 L_1 和 L_2 , 二次的端子为 K_1 和 K_2 。当一次电流从 L_1 端子流入从 L_2 流出时, 二次电流 $\dot{I}_2$ 的方向为从 K_2 指向 K_1 。 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{I}_2$ 的向量如图 2-3b 所示, 这种标示方式也就是变压器中的减极性标志。

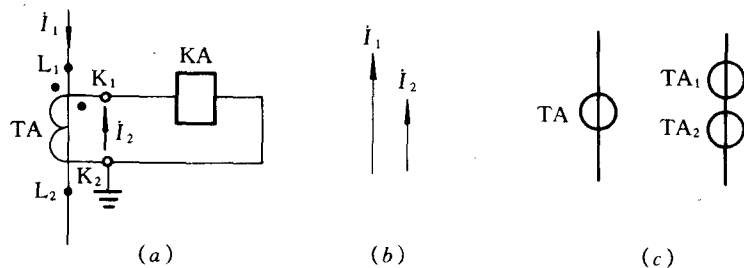


图 2-3 电流互感器的极性及其符号

如果一次电流 $\dot{I}_1$ 从 L_2 流入从 L_1 流出, 则二次电流 $\dot{I}_2$ 的方向将从 K_1 指向 K_2 , 一般称 L_1 和 K_1 为同极性端, 电流互感器的连接极性不同, 电流的方向也将不同。因此在继电保护中必须注意电流互感器的正确连接, 这样才能保证保护的正确动作, 防止误动作。本书中的电流互感器的极性今后如无说明, 均为按图 2-3a 的方式连接, 而图中的 L_1 、 K_1 、 L_2 、 K_2 不再标注。

电流互感器一般用“TA”作文字符号, 除图 2-3a 的画法外, 在主电路图中经常用图 2-3c 中的表示方法, 图 2-3c 左边表示只有一个二次绕组的电流互感器, 右边表示的为有两个二次绕组共用一次绕组的电流互感器。

(二) 电流互感器的接线方式

供电系统中, 因系统的特点不一样, 对继电保护的要求也不相同, 所以继电器和电流互感器的连接方式也有很多种, 为了分析各种接线方式中继电器的动作情况, 将继电器线圈中通过的电流 I_R 和电流互感器二次侧电流 I_2 之间的比值定义为接线系数, 用 K_w 表示, 即:

$$K_w = \frac{I_R}{I_2} \quad (2-5)$$

根据式 2-5 结合式 2-3, 我们可以得到一次电路中的电流 I_1 和继电器线圈中的电流 I_R 之间有如下关系

$$I_R = I_2 K_w = \frac{I_1}{K_{TA}} K_w \quad (2-6)$$

同样, 已知继电器的动作电流 I_R , 可求出一次电路中的动作电流, 即:

$$I_1 = \frac{I_R}{K_w} K_{TA} \quad (2-7)$$

式 2-6 和式 2-7 是分析计算各种接线方式下, 保护一次电流和继电器电流之间最基本的关系式。

1. 三相式星形接线

三相式星形接线简称三相式接线, 如图 2-4a 所示。

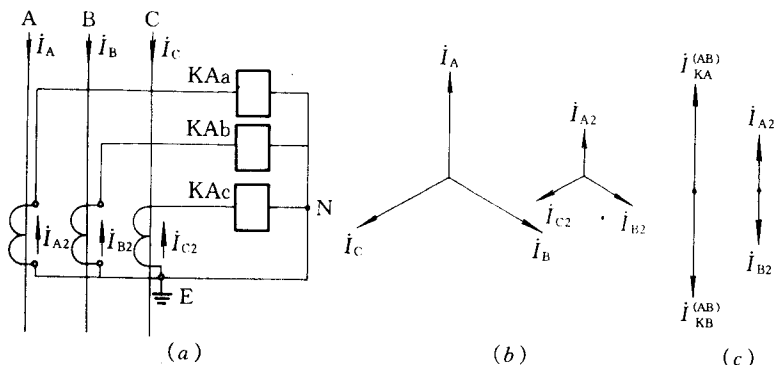


图 2-4 三相式星形接线

三相式接线是在三相供电系统的每一相上装一只电流互感器, 而三只电流互感器的二

次绕组接成星形接线，并在每一相二次回路中串入继电器的电流线圈。

当系统正常运行时，其一次电流的向量和电流互感器二次的电流向量如图 2-4b 所示。此时，流入三个继电器线圈中的电流 I_R 和三个电流互感器二次的电流 I_2 相同，所以接线系数 $K_w = 1$ 。当系统中发生三相对称短路时，一次电流的向量和电流互感器二次的电流向量和正常时的情况类似，只是在数值上要增加很多，如达到继电器的动作值，则三个继电器均可反应。如果系统发生两相短路，设为 AB 两相短路，此时一次电流 $\dot{I}_{KA}^{(AB)} = -\dot{I}_{KB}^{(AB)}$ ，对应两相电流互感器的二次电流为 $\dot{I}_{A2}$ 和 $\dot{I}_{B2}$ ，向量图如图 2-4c 所示，此时 AB 两相继电器中的线圈中有电流通过，其值分别为 $\dot{I}_{A2}$ 和 $\dot{I}_{B2}$ ，所以接线系数为 1，C 相没有故障电流，C 相继电器线圈中的电流为零。因此可有 AB 两相的两只继电器反应故障。对于其它两相短路时的情况也一样。如果系统是中性点直接接地的大接地电流系统，则任一相发生单相接地短路时，均可由该相的电流互感器将故障电流传送到二次侧的继电器中，由该相继电器加以反应，对应的接线系数也是 1，所以三相式星形接线可以反应系统中的所有相间短路和接地短路，且接线系数始终为 1。

2. 两相式不完全星形接线

两相式不完全星形接线，简称两相式接线，如图 2-5a 所示。

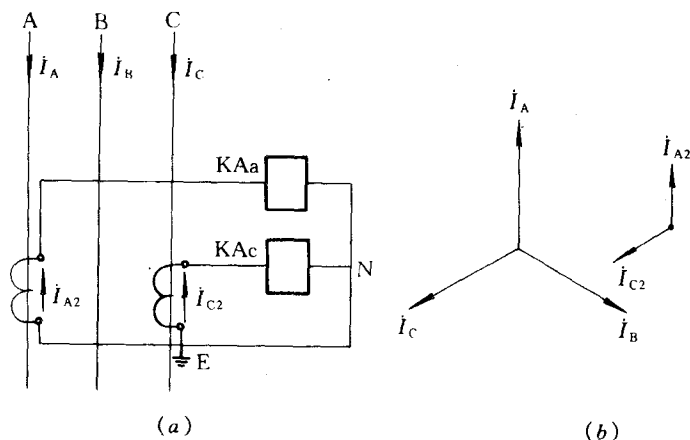


图 2-5 两相式不完全星形接线

两相式不完全星形接线和三相式接线的区别就是将三相式接线中的 B 相电流互感器和继电器均去掉，所以两相式接线和三相式接线有许多类似地方。

当系统正常运行或三相短路时，一次电路的电流向量和电流互感器二次的电流向量如图 2-5b 所示。根据对三相式接线的分析我们可以看出，两相式接线对于各种类型的相间短路至少有一个继电器可以反应，而且接线系数始终是 1。

两相式接线和三相式接线的不同之处是，当系统中发生 B 相单相接地时，由于两相式接线 B 相没有电流互感器，所以不能反应。因此两相式接线不能用于大接地电流系统中反应所有的单相接地故障。此外对于三相式接线正常运行或三相短路时，图 2-4a 中 $N \rightarrow E$ 之间的中性线上的电流为 $\dot{I}_N = \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2} = 0$ ，而对图 2-5a 所示的两相式接线中 $N \rightarrow E$ 之间的中性线上的电流为 $\dot{I}_N = \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{C2}$ ，相当于 $-\dot{I}_{B2}$ 。所以有的两相式接线在 $N \rightarrow E$ 之间的中性线上再串入一个继电器线圈，形成两相三继电器的接线方式，两相