



全国电力技能人员培训用书

全国电力继续教育规划教材

继电保护

全国电力继续教育规划教材编委会 组 编
宋志明 霍永红 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力继续教育规划教材

继电保护

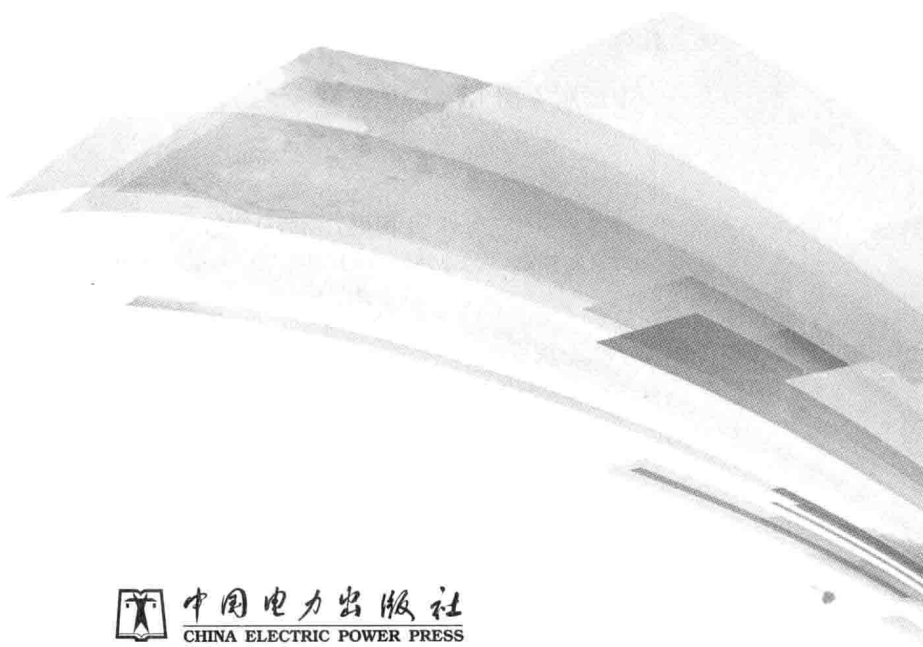
全国电力继续教育规划教材编委会 组 编

宋志明 霍永红 主 编

王 莉 毛 盾 副主编

胡铁军 刘承禄 丛 伟 李文升 李广渊 编 写

王 涛 何登森 主 审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材为全国电力继续教育规划教材，主要介绍了继电保护及自动装置的基本知识、基本原理和实际应用。

本教材沿着“基本知识→线路保护→元件保护→自动装置→新技术”构成的线索，由简到难循序渐进，理论结合实践。全书共十五章，第一章基本知识，第二、三章线路保护、线路串联补偿装置保护，第四～十章电力变压器保护、发电机保护、并联电抗器保护、母线保护、断路器辅助保护、无功补偿装置保护、电动机保护，第十一～十三章备用电源自动投入装置、系统安全稳定控制装置、故障录波与测距装置，第十四章智能变电站继电保护，第十五章典型故障及实例分析。

本教材从现场角度出发，简化理论，充实实践，补充新保护、新技术，系统性很强，知识体系完整，可用作电气类专业人员继续教育的培训教材、本科或专科继电保护专业学生的教材或参考书以及继电保护和变电运维人员的专业提升参考材料。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护/宋志明，霍永红主编；全国电力继续教育规划教材编委会组编. —北京：中国电力出版社，2014.11

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978-7-5123-6119-5

I. ①继… II. ①宋…②霍…③全… III. ①继电保护—继续教育—教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 144984 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 11 月第一版 2014 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 491 千字

定价 42.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

全国电力继续教育规划教材编委会

主 任 赵建国

副主任 张薜鸿 刘广峰 陶 明 文海荣 董传敏 朱光辉

张炯明 辛志杰 陈明祥 罗福书 赵文建 赵 斌

杨建华 张全元 李洪波

秘书长 李建强

委 员 (排名不分先后)

王立新 陈华贵 丁树文 章志刚 黄益华 李吉鹏

张红飞 罗红星 余建华 李建华 赵连政 李晓峰

高虹亮 马振良 王志平 时伟光 肖艳萍 郭 敏

徐 明 郜勇琴 王 宇 黄院臣 贺令辉 陈力耕

宋志明 霍永红 谢伟宏 孟应平 张永健 席晋鹏

常 湧 杨 龙 常 勇 周孝法 宋守信 王天君

李国胜 祝红伟

出版说明

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010~2020）》的精神，满足电力行业产业发展对高级管理人才、高技术技能型人才的需要，在中国电力企业联合会、国家电网公司的领导下，由中国电力出版社组织电力企业的资深专家、电力院校的知名教授、高级培训师，成立了全国电力继续教育规划教材编委会，启动了2010~2020年全国电力继续教育规划教材建设工作。通过统筹规划、专题研讨、集思广益、交流合作，经过两年时间的努力，完成了本套教材的编写工作。本套教材主要有以下特点：

（1）在内容设计上，以尽快培养宽口径复合型、技能型人才为原则，以使受训者拓宽、加深专业知识，了解技术与管理中的前沿内容，提升企业管理理念和技能；以专业理论为基础，国家专业技术规程、规范、标准为依据。涵盖电力专业技术、企业管理与执行、企业文化与团队建设、企业安全管理与监控等内容；突出新技术、新设备、新工艺、新方法，采用来自生产现场的第一手资料，并以理论与实践1:1的构架，形成了完整独特的培训教材体系。

（2）在编写方式上，坚持少而精的原则，立足当前，着眼未来，内容的取舍取决于高技术技能型人才培养现在与未来的实际需求。做到结构清晰、重点突出，语言精练、术语规范和标准化。教材以章节进行划分，每节按内容的走向分段落，每个段落形成一个版块，包括教学目标、任务准备、操作过程、技术标准、安全防范等环节，以便实现“教、学、做”一体化的传授模式。

（3）在传授的特点上，本套教材具有知识的系统性、连贯性、针对性，机能的实用性和可操作性等，由浅入深，从理论到实际地进行叙述，因此是电力企业高技术技能型人才继续教育、转岗、轮岗和新入职大学毕业生上岗培训首选的教科书，也是非电类专业优选的课外读物，是在职员工拓展专业知识、提升专业技术水平中具有指导性的培训教材，也是管理者继续教育不可缺少的参考资料。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，实现电力企业高端管理和技能型人才培养的重要举措；是加快电力企业培训改革创新，全面提高培训质量的具体实践，必将对电力“一强三优”“一特四大”“三集五大”步伐起到积极的推动作用。

希望读者在使用这套教材的同时，能将教材中出现的不足和问题反馈给我们，以便进行完善和修订。

全国电力继续教育规划教材编委会



前 言

随着科学技术发展,新材料、新技术、新理论不断应用,电力生产技术也在不断发展、进步,现场继电保护、变电运行等电力行业相关专业的工程技术人员迫切需要知识更新,这就使得职工培训与自我继续教育显得尤为重要,现有教材内容很难及时跟踪现场生产技术的发展,对于继电保护来说,更是如此。大部分微机保护类教材偏重于硬件及软件的内部原理,理论偏深偏难,应用技能训练不足,远远满足不了工程技术人员继续学习的需要。因而编写一套理论与实际相结合的全国电力继续教育规划教材变得非常迫切。在长期从事职工技能培训和学历教育的实践中,我们积累了一定的经验,又结合当前继续教育和电力生产的实际,编写了本教材。

本教材丰富了许多新内容:首先充分完善基础保护内容,如距离保护、光纤差动保护等均从生产现场应用出发,横向联系与对比了不同厂家的设备;母线保护、变压器保护、发电机保护等章节均考虑了多厂家设备的共性与差异特点,增加了线路串联补偿装置保护、断路器保护、并联电抗器保护、无功补偿装置保护、电动机保护、智能变电站保护;自动装置部分增加了系统稳定控制装置、故障录波与测距装置等,而重合闸部分内容则放在了线路保护中。

本教材是全国电力继续教育规划教材的一门主干专业课程,全面涵盖了继电保护岗位所需的理论知识和技能要求,注重理论与实践相结合,尤其强调生产现场实用技术的培养,为继续教育人员学习专业知识和掌握职业技能、全面提高素质、增强适应能力打下必要的坚实基础。本教材实用性及可操作性强,可作为从事继电保护专业的检修、调试、运行维护人员学习参考,也可供从事变电运行、电气运行、电力调度等专业人员学习参考。同时本教材系统性很强,可用作继电保护专业技术人员的培训教材,也可作为继电保护专业本科或专科学生的教学参考书,更适合作为电气类专业新员工培训教材。

全书共分十五章,第一章继电保护基本知识,第二章为线路保护,第三~十章是元件保护内容,依次为线路串联补偿装置保护、电力变压器保护、发电机保护、并联电抗器保护、母线保护、断路器辅助保护、无功补偿装置保护、电动机保护,第十一~十三章是自动装置内容,依次为备用电源自动投入装置、系统安全稳定控制装置、故障录波与测距装置,第十四章为智能变电站继电保护,第十五章为典型故障及实例分析。其中第一章由胡铁军编写,第二、四、十五章由宋志明编写,第三章由李广渊编写,第五、十、十二章由王莉编写,第六、九章由毛盾编写,第七、十一章由霍永红编写,第八章由刘承禄编写,第十三章由丛伟编写,第十四章由李文升编写,全书由宋志明统稿,线路串联补偿装置保护由冀北电力有限公司检修公司赵淑珍审核,智能变电站继电保护由国网技术学院李宏伟审核。全书由王涛、何登森主审,李宏伟、崔梅英、王玉莹、甘言礼、赵淑珍等参审。

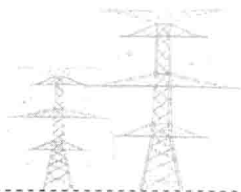
本教材得到国网电力科学研究院景敏惠、湖北省电网公司检修分公司张全元、国网天水供电局何彦平等专家的评定与审核。并提出许多宝贵意见和建议。

本教材在编写过程中，得到国网技术学院、山东电力集团公司各市供电公司、湖南超高压公司、冀北电力有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、北京博电新力电气股份有限公司、许继电气集团公司等单位的大力支持，江苏省电力公司常州供电公司刘国良，国网技术学院陶苏东、荀堂生，山东泰开电力电子有限公司庞延庆，北京博电新力电气股份有限公司窦培培等对本教材提出了许多宝贵的意见，在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限，错误与缺点在所难免，诚恳希望专家、读者批评指正！

作 者

2014年5月



目 录

出版说明

前言

第一章 基本知识	1
第一节 继电保护基本概念.....	1
第二节 继电保护基本结构.....	2
第三节 继电保护的相关元件.....	5
第二章 线路保护	16
第一节 10、20、35（66）kV 线路保护.....	16
第二节 110kV 线路保护.....	23
第三节 220kV 及以上电压等级线路保护.....	45
第四节 自动重合闸.....	66
第三章 线路串联补偿装置保护	77
第一节 基本知识与保护配置.....	77
第二节 线路串联补偿装置的典型保护.....	78
第三节 线路串联补偿装置对于线路保护的影响及解决方案.....	84
第四章 电力变压器保护	87
第一节 电力变压器的故障和保护配置.....	87
第二节 变压器纵差保护.....	90
第三节 变压器后备保护.....	105
第四节 非电量保护.....	115
第五章 发电机保护	119
第一节 发电机保护概述.....	119
第二节 定子绕组相间短路保护.....	123
第三节 定子绕组匝间短路保护.....	127
第四节 定子单相接地保护.....	130
第五节 低励失磁保护.....	133
第六节 励磁回路一点、两点接地保护.....	138

第七节	负序电流保护	140
第八节	其他保护	141
第九节	发电机—变压器组保护配置与出口方式	147
第六章	并联电抗器保护	151
第一节	并联电抗器保护配置	151
第二节	并联电抗器的主保护	152
第三节	并联电抗器匝间短路保护	156
第四节	并联电抗器过电流、零序过电流及过负荷保护	159
第七章	母线保护	161
第一节	母线保护概述	162
第二节	典型母线保护配置	166
第三节	母线差动保护	169
第四节	母线辅助保护	182
第八章	断路器辅助保护	188
第一节	断路器失灵保护	189
第二节	断路器死区保护	199
第三节	断路器三相不一致保护	201
第四节	充电及过电流保护	204
第五节	3/2 断路器接线的 T 区保护	206
第六节	断路器断口闪络保护	208
第七节	远方跳闸及过电压保护	209
第九章	无功补偿装置保护	215
第一节	电容器保护配置	215
第二节	电容器主要保护	216
第十章	电动机保护	218
第一节	电动机保护典型配置	218
第二节	电动机的电流速断或延时速断保护	220
第三节	电动机单相接地保护	221
第四节	电动机其他保护	223
第十一章	备用电源自动投入装置	226
第一节	备用电源自动投入的基本知识	226
第二节	备用电源自动投入装置应用	228
第十二章	系统安全稳定控制装置	238
第一节	概述	238
第二节	低频低压减载装置	241
第三节	稳控切机装置	246

第四节	失步解列装置·····	248
第五节	微机型智能安全稳定控制装置·····	254
第十三章	故障录波与测距装置·····	261
第一节	故障录波·····	261
第二节	故障录波装置介绍·····	267
第三节	波形在线分析工具·····	270
第四节	波形图分析方法·····	274
第五节	故障测距·····	284
第十四章	智能变电站继电保护·····	290
第一节	智能变电站继电保护特点·····	290
第二节	智能变电站继电保护及相关设备配置原则·····	294
第三节	220kV 及以上变电站双母线接线形式继电保护实施方案·····	299
第四节	110 (66) kV 变电站实施方案·····	302
第十五章	典型故障及实例分析·····	304
第一节	故障及故障处理的相关知识·····	304
第二节	典型实例分析·····	305
参考文献 ·····		311

第一章 基本知识

继电保护的基本知识包含了继电保护的分类、继电保护的任任务、电力系统对继电保护的要求、电力系统的故障类型、微机保护装置的基本结构和基本算法以及继电保护的相关元件包括互感器、对称分量滤过器等。

第一节 继电保护基本概念

一、继电保护的分类

随着电力系统继电保护的快速发展,继电保护的分类也相应发生较大变化,继电保护本身也发生了重大改变,电磁式保护已经完全被微机型保护所替代,继电保护无须强调是微机保护装置,因为它已经不再是由电磁式继电器构成的保护装置了。

依照(GB/T 14285—2006)《继电保护和安全自动装置技术规程》规定,继电保护分为反应故障和异常运行两种保护。

反应故障的保护应有主保护和后备保护,以及必要的辅助保护。

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。

后备保护是主保护或断路器拒动时,用以切除故障的保护。后备保护可分为远后备和近后备两种方式:①远后备是当主保护或断路器拒动时,由相邻电力设备或线路的保护实现后备。②近后备是当主保护拒动时,由该电力设备或线路的另一套保护实现后备的保护;当断路器拒动时,由断路器失灵保护来实现的后备保护。

辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。

异常运行保护是反应被保护电力设备或线路异常运行状态的保护。

继电保护还有多种分类方法,如:

(1)继电保护按照保护所反应故障类型可分为相间短路保护、接地短路保护、匝间短路保护、断线保护、失步保护、失磁保护、过励磁保护、断路器闪络保护等。

(2)继电保护按照保护所反应的物理量变化趋势可分为增量保护(保护反应量的增加而动作)、欠量保护(反应量的降低而动作),例如,阻抗保护。

(3)继电保护按照保护的实现原理可分为电流保护、电压保护、电流电压保护、零序保护、距离保护、纵联保护、差动保护、故障分量保护等。

(4)继电保护按照保护对象可分为线路保护、变压器保护、母线保护、发电机保护、电容器保护、电抗器保护等。

二、继电保护的任任务

电力系统继电保护和安全自动装置的功能是在合理的电网结构前提下,保证电力系统和

电力设备的安全运行。为了减轻故障和不正常工作状态对电力系统造成的影响，继电保护的任務具体表现为：

(1) 当电力系统出现故障时，继电保护应能快速、有选择地将故障元件从系统中切除，使故障元件免受损坏，保证系统其他部分继续稳定运行。

(2) 当电力系统出现不正常工作状态时，继电保护应能及时反应，一般情况下发出信号，告诉值班人员予以处理。在无人值班时，保护装置可经过延时作用于减负荷或跳闸。

三、对继电保护的基本要求

GB/T 14285—2006 与 GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》规定，继电保护装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。

四、电力系统故障

电力系统的故障有多种形式，任何一种故障对电力系统及故障设备都有很大的危害，正确分析故障对继电保护正确动作至关重要。因此分析电力系统的故障，是继电保护工作过程中必不可少的部分。

按照电网电流的流向可将电力系统的故障分为横向故障和纵向故障。

横向故障包括各种接地短路故障和相间短路故障以及同杆双回线间的跨线短路故障等，如相间短路类型的三相短路（记为 $k^{(3)}$ ）、两相短路（记为 $k^{(2)}$ ），接地短路类型有单相接地（记为 $k^{(1)}$ ）、两相接地（记为 $k^{(1,1)}$ ），发电机、变压器等设备的匝间短路、发电机的转子以及在上述故障基础上的各种转换性故障等。其中三相短路属于对称性故障，其余为不对称性故障。这些短路故障类型中，单相接地发生故障的几率最大，尤其在超高压电网中。

纵向故障包括一相断线和两相断线。断线的危害较短路故障小得多，其分析方法与短路故障分析相同。

电力系统进行故障分析通常采用对称分量法，对于采用故障分量的保护可用叠加原理分解为故障前的负荷态和故障态进行分析。

第二节 继电保护基本结构

继电保护是由若干元件组成的。微机保护与常规保护是以不同的方法来实现相同的工作原理，其最大区别在于前者不仅有实现继电保护功能的硬件电路，而且还必须有保护和管理功能的软件程序；而后者则只有硬件电路。微机保护是常规保护的发展和进化，用微型计算机来实现更为复杂的保护原理；而常规保护由功能不同的继电器来实现，所有逻辑与延时也都是由电器元件来完成。

微机保护主要有硬件和软件两部分组成，不同的保护其硬件大致是相同的，通过不同的软件来实现不同原理的保护。本节主要讲述微机保护的基本构成。典型的微机保护框图如图 1-1 所示。

一、继电保护的硬件结构

一般地，一套微机保护的硬件构成可分为四部分：数据采集系统、输出输入接口、微型计算机系统及电源，如图 1-1 所示。

二、继电保护的软件系统

保护软件系统结构框图如图 1-2 所示。

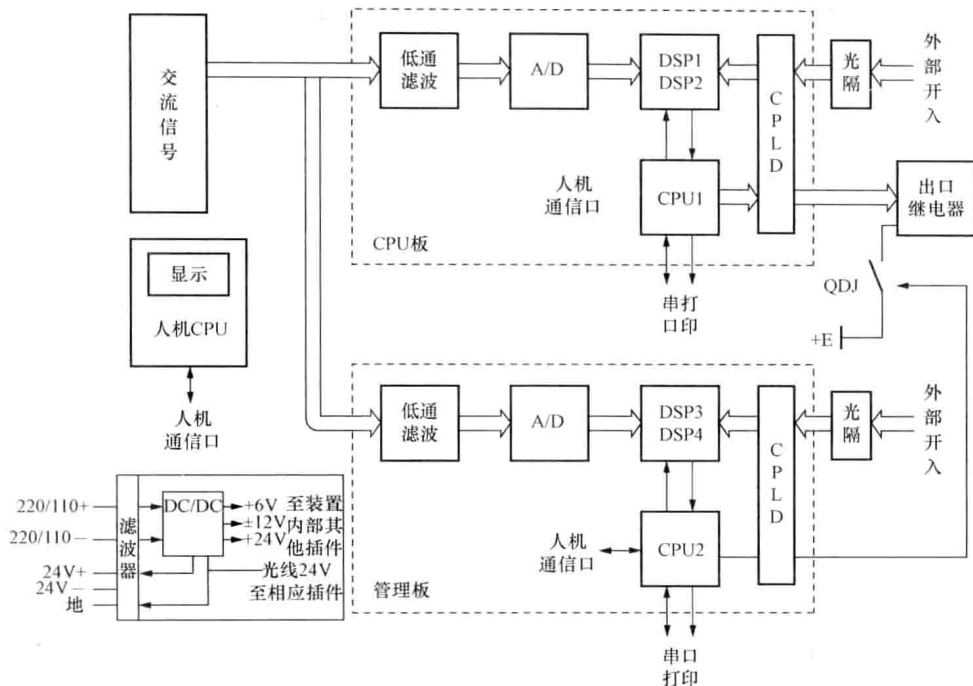


图 1-1 典型的微机保护框图

主程序按固定的采样周期接受采样中断进入采样程序，在采样程序中进行模拟量采集与滤波、开关量的采集、装置硬件自检、交流电流断线和启动判据的计算，根据是否满足启动条件而进入正常运行程序或故障计算程序。硬件自检内容包括 RAM、E²PROM、跳闸出口三极管等的自检。

正常运行程序进行采样值自动零漂调整及运行状态检查，运行状态检查包括交流电压断线、检查开关位置状态、变化量制动电压形成、重合闸充电、准备手合判别等，不正常时发告警信号。信号分两种，一种是运行异常告警，这时不闭锁装置，提醒运行人员进行相应处理；另一种是闭锁告警信号，告警同时将装置闭锁，保护退出。

故障计算程序进行各种保护的算法计算、跳闸逻辑判断、事件报告、故障报告及波形的整理。

三、微机保护的数据处理

微机保护的功能是由实时的数字信号来实现的。因此，必须对各自被保护元件的模拟信号进行必要的处理，最后转换成数字信号，输入给微处理器进行处理。微机保护对数据的处理一方面通过硬件处理，另一方面通过软件处理。本小节讲解硬件处理部分。

1. 输入模拟信号的电平变换

输入模拟信号电平变换环节，通常位于前置模拟通道之前，是微机保护信号输入的第一环节。该环节的作用有两个：一是使输入信号与微机模拟通道电平相匹配；二是实现装置内部的

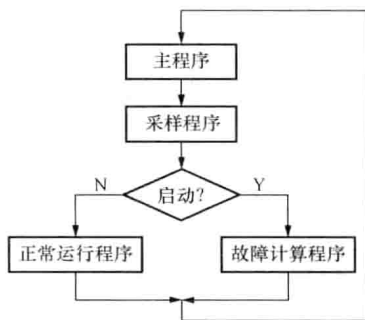


图 1-2 保护软件系统结构框图

电隔离, 即不使系统二次侧设备与微机保护装置之间存在电的联系, 以提高抗干扰能力。

输入模拟信号的电平变换, 主要由各种电压、电流变换器来实现, 与传统的保护基本相同。

由于这些输入信号从系统正常状态到故障状态, 呈现极大的动态范围, 因此电平变换部分应和低通滤波、A/D 转换部件紧密配合, 既要在保证正常运行状态下有足够的精确度, 又要保证在最严重故障时有充分的裕度。如在故障时交流电流信号可达到正常运行时的 10~20 倍, 甚至还要附加数量相同的直流分量暂态偏移值, 在这种情况下既不应该使 A/D 转换发生溢出, 又不宜使转换装置发生饱和。

2. 采样、采样定理及采样保持

模拟量输入信号经电平变换和低通滤波后, 其输出为连续信号。把连续的模拟信号变换为数字量, 首先必须进行采样, 采样过程中波形如图 1-3 所示。在采样器的输出端即可得到离散的采样信号。

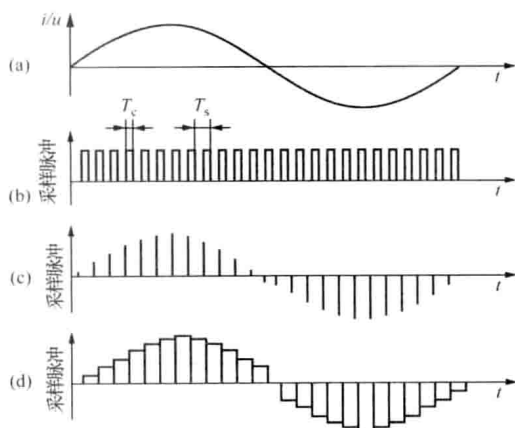


图 1-3 采样过程中波形示意图

采样是按周期性抽取或测量连续信号。每隔 Δt 采样一次, Δt 称为采样周期, $\frac{1}{\Delta t}$ 称为采样频率 f_s 。

连续信号的离散化与采样所需要的最低采样频率有一定的关系, 为了能根据采样信号完全重现原来的信号, 采样频率必须大于输入连续信号最高频率的 2 倍, 即 $f_s > 2f_{\max}$, 否则将会出现频率混叠, 不可能重现原来的信号。这就是对连续信号进行数字处理必须遵守的采样定理。目前微机保护采用的采样频率在 240~2000Hz 之间。如 RCS-900 系列快速主保护采样频率 $f_s = 24 \times 50 = 1200$ (Hz), 后备保护的

$f_s = 12 \times 50 = 600$ (Hz)。

3. 模/数 (A/D) 转换

微机保护所处理的数据是数字信号, 电流互感器与电压互感器的二次电流与电压信号通过微机保护的滤波、采样等处理后必须转变成数字信号, CPU 才能进行进一步处理。而完成这一工作的是 A/D 转换器。A/D 转换器的类型有很多, 微机保护采用的 A/D 转换器有逐次逼近式 ADC、双斜坡 ADC 和压频变换 VFC。在此, 我们不对转换器的原理进行解释, 而是说明其精确度与转换速度的关系。A/D 转换器的精确度与转换速度直接影响保护的数据采集精确度和动作速度, 因此, 微机保护需要的是转换精确度高, 转换速度快的 A/D 转换器。

A/D 转换器的转换精度决定于 A/D 芯片的位数。如果要求最大相对量化误差不超过 1%, 则应选择 14 位的 A/D 芯片。

4. 微机保护的基本算法

微机保护的基本算法是指保护装置对数据进行软件处理的过程, 包括数字滤波以及保护算法等。在微机保护中运用运算方法求出电流、电压的幅值、相位的问题就是算法要研究的问题。一个好的算法应该是运算精确度高, 所用数据窗 (需要的采样点数) 短, 运算工作量

小。显然，运算精度高可使保护装置对区内、区外故障判断准确，而算法所用数据窗短，运算工作量小，则有利于提高保护装置的動作速度。然而这两者之间是相互矛盾的。研究算法的实质是如何在速度与精度之间进行权衡。

目前在微机保护中采用的算法很多，但可以归纳为两类：一是根据输入量的若干采样点值通过一定数学公式计算出保护反应的量值，然后与整定值比较；另一类是不计算出具体量值，而是根据若干采样点值与整定值相结合直接建立动作判据方程式的方法。

由于微机保护的算法有很多种，为了区别于模拟量保护，在此仅简单的介绍突变量电流元件算法。

启动元件反应两相电流差的突变量，其公式为

$$\begin{aligned} \Delta I_{ab} &= ||i_{abK} - i_{abK-N}| - |i_{abK-N} - i_{abK-2N}|| \\ \Delta I_{bc} &= ||i_{bcK} - i_{bcK-N}| - |i_{bcK-N} - i_{bcK-2N}|| \\ \Delta I_{ca} &= ||i_{caK} - i_{caK-N}| - |i_{caK-N} - i_{caK-2N}|| \\ i_{abK} &= i_{aK} - i_{bK}, i_{bcK} = i_{bK} - i_{cK}, i_{caK} = i_{cK} - i_{aK} \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中， N 为工频每周期采样点数，对不同的保护 $N=12, 24\cdots$ ； i_{aK}, i_{bK}, i_{cK} 为各相当前时刻的采样值； $i_{aK-N}, i_{bK-N}, i_{cK-N}$ 为各相前一周时刻的采样值； $i_{aK-2N}, i_{bK-2N}, i_{cK-2N}$ 为各相前两周时刻的采样值。

以 ΔI_{ab} 为例，正常运行时， $i_{abK}, i_{abK-N}, i_{abK-2N}$ 的值相等，所以 $\Delta I_{ab}=0$ 启动元件不启动。即使频率变化，偏离50Hz时，则 $i_{abK}, i_{abK-N}, i_{abK-2N}$ 的值将不相等。这是因为采样是按等时间间隔进行的，频率变化时， i_{abK}, i_{abK-N} 两采样值将不是相差一个周期的采样值，于是 i_{abK}, i_{abK-N} 将出现差值，但同样 i_{abK-N}, i_{abK-2N} 也出现差值，并且 $|i_{abK} - i_{abK-N}|$ 与 $|i_{abK-N} - i_{abK-2N}|$ 差值接近相等，而 ΔI_{ab} 仍为零或很小，如图1-4(a)所示。

系统发生故障时，故障电流增大，由式(1-1)可见，突变量电流反映了故障电流的突变量，如图1-4(b)所示。

一些保护装置采用了这种算法作为启动元件判据。采用相电流差突变量构成启动元件比采用相电流突变量启动有两点好处：

- (1) 对各种相间故障提高了启动元件的灵敏度。例如对于两相短路灵敏度可提高一倍。
- (2) 抗共模干扰能力强。例如对讲机的无线电干扰，可能造成VFC偏置电源波动而误动，用相电流差时可在两相电流求差时抵消这种干扰。

第三节 继电保护的相关元件

继电保护的相关元件主要介绍为保护提供测量的互感器、测量变换器、对称分量滤过器

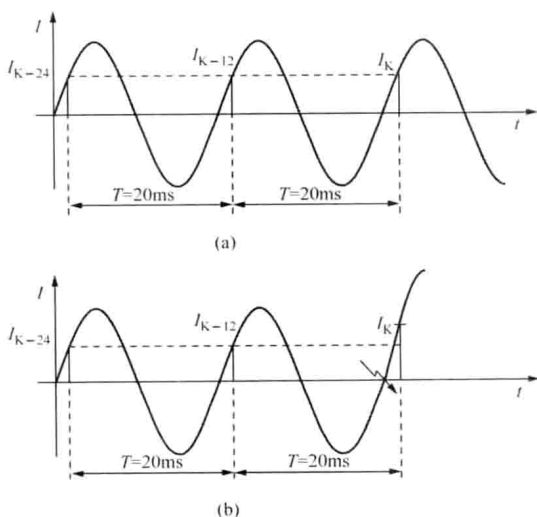


图 1-4 短路时对电流的采样
(a) 正常波形采样；(b) 故障波形采样

以及与保护装置相配合的继电器等内容。

一、互感器及其接线方式

科学技术的快速发展使得互感器的工作原理、体积、二次信号形式等都有了巨大的变化。新型电子式互感器实现了电流互感器与电压互感器的完美结合，革命性的改变了二次回路的结构，是智能电网重要的组成元件。

互感器的作用主要有以下几点：

(1) 将一次系统的高电压和大电流变换为易于测量的低电压和小电流或光信号，并且规定为标准数值，可以使测量仪表、保护控制装置标准化、小型化。

(2) 将电气二次设备与一次设备相隔离，既保证了设备和人身的安全，又使接线灵活、安装方便，并且维修时不必中断一次设备的运行。

(3) 系统运行参数由互感器二次侧采集，易于实行微机监控和远方操作，便于集中控制。

电磁式电压互感器一次侧为额定电压时，其二次侧电压为 100, $100/\sqrt{3}$ V；电磁式电流互感器当一次侧电流为额定值时，其二次侧电流为 1A 或 5A。互感器的二次侧都应有可靠的保安接地，以防互感器的一、二次绕组间绝缘损坏时，高电压对二次设备及人身的危害。运行中电磁式电流互感器的二次绕组不得开路，以防数值很大的二次绕组感应电动势造成设备和人身事故。

互感器的分类：

(1) 按用途分为测量用互感器、保护用电流互感器（短路过程为稳态时的保护用、短路过程为暂态时保护用）。

(2) 按电压等级分为对应不同的电网电压（0.5、10、20、35、66、110、220、330、500、750、1000kV）使用的互感器。

(3) 按主绝缘介质分为油纸绝缘互感器、树脂（户内或户外）绝缘互感器、气体（SF₆）绝缘互感器、有机绝缘互感器。

(4) 按电流变换原理：电流互感器分为电磁式电流互感器、光电式电流互感器，电压互感器分为电磁式电压互感器（VT）、电容式电压互感器（CVT）。

(5) 按使用条件分为户内式互感器、户外式互感器。

互感器还可以按其他方式进行分类，本书不再赘述。下面分别就电磁式电流互感器、电磁式电压互感器和电子式互感器进行讲解。

（一）电磁式电流互感器

电流互感器，现场人员通常叫它“CT”，而我国一直采用国内标准“LH”，目前应采用国际标准名称“TA”。

1. 电流互感器的极性

如图 1-5 所示，电流互感器的一次绕组两端，分别用 L_1 、 L_2 标记出它的始端和末端，而二次绕组的两端分别用 K_1 、 K_2 标记出它的始端和末端。一、二次绕组的始端 L_1 和 K_1 、末端 L_2 和 K_2 分别为同极性端。我们常用“*”或“·”标记在 L_1 、 K_1 或 L_2 、 K_2 上表明它们是同极性端。

继电保护用的电流互感器一次绕组电流 I_1 和二次绕组电流 I_2 的正方向，按照铁芯中的合成磁动势等于一次绕组和二次绕组磁动势相量差的方法确定。若忽略电流互感器的空载电流，则有

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 N_1 - \dot{I}_2 N_2 &= 0 \\ \dot{I}_2 &= \frac{1}{n_{TA}} \dot{I}_1 \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 N_1 、 N_2 ——电流互感器的一、二次绕组匝数；

n_{TA} ——电流互感器的变比， $n_{TA} = N_2/N_1$ 。

由此可见， \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 两相量同相位，即：电流互感器的一次侧电流从正极性端子“*”流入时，二次侧电流从正极性端子“*”流出；当一次电流从负极性端子流入时，二次电流也从负极性端子流出。

2. 电流互感器的选择

电流互感器的内容在《电气设备》中已经详细学习，本部分内容仅对与保护相关的参数和影响电流互感器性能的因素进行介绍。

(1) 与电流互感器有关的几个术语。依据 DL/T 866—2004《电流互感器和电压互感器选择和计算导则》，电流互感器的术语包括通用术语和专用术语。通用术语是指测量和保护用电流互感器均具有的概念，而专用术语本书指保护用电流互感器专用术语。

电流互感器的通用术语有电流互感器的额定一次电流、额定二次电流、额定连续热电流、准确度、负荷、电流误差（比误差）、相位差、复合误差等，保护用电流互感器的专用术语有额定准确限值一次电流、准确限值系数、额定二次极限电动势、额定一次短路电流、额定对称短路电流倍数、瞬时误差电流、峰值瞬时（总）误差等。

(2) 保护用电流互感器的种类。保护用电流互感器有两大类：一类的准确限值由稳态对称一次电流下的复合误差或励磁特性拐点来确定，称为 P 类（P 意为保护），包括 PR 和 PX 类。另一类称为 TP 类（TP 意为暂态条件下的保护），包括：TPS、TPX、TPY、TPZ 四种级别。该类电流互感器考虑了一次电流中同时具有周期分量和非周期分量，并按某种规定的暂态工作循环时的峰值误差来确定，适用于考虑短路电流中非周期分量暂态影响的情况。

1) P 类保护用电流互感器是准确限值规定为稳态对称一次电流下的复合误差（ ϵ_c ）的电流互感器，对剩磁无限制。其中 PR 类保护用电流互感器是剩磁系数有规定限值的电流互感器，某些情况下，也可规定二次回路时间常数值和/或二次绕组电阻的限值。PX 类保护用电流互感器是一种低漏磁的电流互感器，当已知互感器二次励磁特性、二次绕组电阻、二次负荷电阻和匝数比时，就足以确定其与所接保护系统有关的性能。

P 类及 PR 类电流互感器的准确级以在额定准确限值一次电流下的最大允许复合误差的百分数标称，标准准确级为 5P、10P、5PR 和 10PR。发电机和变压器主回路、220kV 及以上电压线路宜采用复合误差较小（波形畸变较小）的 5P 或 5PR 级电流互感器。其他回路可采用 10P 或 10PR 级电流互感器。

P 类及 PR 类电流互感器在额定频率及额定负荷下，电流误差、相位误差和复合误差应不超过表 1-1 所列限值。

PR 类电流互感器剩磁系数应小于 10%，有些情况下应规定 T_s 值以限制复合误差。

P 类及 PR 类保护用电流互感器能满足复合误差要求的准确限值系数 K_{alf} ， K_{alf} 一般可取 5、10、15、20 和 30，必要时，可与制造部门协商，采用更大的 K_{alf} 值。

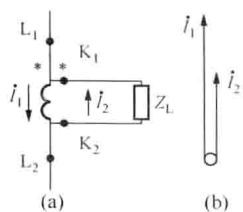


图 1-5 电流互感器的极性标示和相量图
(a) 极性标示；(b) 相量图