

21 世纪电力系统及其自动化规划教材

电力系统微机保护

赵建文 付周兴 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪电力系统及其自动化规划教材

电力系统微机保护

赵建文 付周兴 编著



机械工业出版社

全书共分8章, 主要内容包括微机继电保护概述、微机继电保护的硬件原理、数字信号处理及数字滤波器、微机继电保护的算法及其仿真、微机继电保护的软件设计、微机继电保护装置的抗干扰、微机继电保护实例、MATLAB 在微机保护仿真实验中的应用等。

本书系统性强, 内容新颖, 注重工程应用, 可作为普通高等学校电气工程及其自动化专业以及相关专业的本科生、研究生的教材, 也可作为从事继电保护工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统微机保护/赵建文, 付周兴编著. —北京: 机械工业出版社, 2016. 7

21 世纪电力系统及其自动化规划教材

ISBN 978-7-111-53993-3

I. ①电… II. ①赵…②付… III. ①计算机应用—电力系统—继电保护装置—高等学校—教材 IV. ①TM774-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 128118 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王雅新 责任编辑: 王雅新 韩 静

责任校对: 刘秀芝 封面设计: 张 静

责任印制: 李 洋

北京华正印刷有限公司印刷

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16 印张·393 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-53993-3

定价: 34.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

计算机技术、电子技术与信息技术的应用使得电力系统继电保护出现了新发展,即微机继电保护技术。近年来,微机保护技术发展很快,并趋于成熟,全面取代了传统的模拟式继电保护装置,成为主流保护技术。许多高校开设了微机继电保护的专业课程。作者结合多年从事微机继电保护教学和科研的工作,编写了本书。

本书作为教材,体现了教育的新理念,不仅培养探索科学问题的研究学者,也培养解决实际问题的工程专家。为此,本书编写时做到“四个结合”,即硬件部分的原理、设计与实验相结合;软件部分的设计、编程与测试相结合;算法部分的研究、分析与仿真相结合;章节内容的理论、实践与拓展相结合。

本书采用由一般到具体、由总体到局部的叙述方式,循序渐进、由浅入深,做到加强基础,不断拓宽知识;注重应用技能,增强解决工程实际问题的能力;符合学生认识事物和获取知识的规律。本书中的 MATLAB 在微机保护仿真实验中的应用内容,展示了微机继电保护装置对故障的处理过程,即系统的运行与故障模拟、故障信号的检测预处理、保护算法与故障判断、跳闸逻辑及信号发出等,便于读者理解微机保护的工作原理。

本书力求系统性,体系合理。书中既有对微机继电保护的硬件系统、软件系统、设计方法等基本原理的讲述;又有成熟的微机继电保护的实施方案实例;既有微机继电保护的基本构成原理,又有实现技术;采用符合教学规律和实际应用的体系。

本书独具特色的是包含仿真、实验及设计等综合实践内容,以体现微机继电保护工程性强、实用性强的特点。本书配有习题,内容不仅涵盖微机保护的基本概念、基本理论、基本方法,还配有设计应用等,以便于教师组织教学,增强学生的技术专业训练,培养学生的工程实践能力、科学研究能力和创新能力。

本书主要内容包括微机继电保护的概况、硬件原理,数字信号处理及数字滤波器,微机保护的算法、软件,提高微机保护可靠性的措施,典型微机保护装置的实例、仿真研究等。本书理论体系完整,材料选取新颖得当,适合作为高等学校电气工程及其自动化专业以及相关专业本科生、研究生的教材,也可供从事继电保护工作的工程技术人员参考。

本书为西安科技大学立项教材。全书共分8章,第1章由西安科技大学付周兴编写,第2章至第8章由西安科技大学赵建文编写。陕西电力科学研究院总工程师刘健教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。同时也感谢研究生刘永佳、梁静、刘鹏、赵斌给予的帮助。

由于作者水平有限,书中尚有不足或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 微机继电保护概述	1
1.1 微机继电保护及其发展	1
1.2 微机继电保护系统的组成	6
1.3 微机继电保护装置的特点	7
习题	9
第 2 章 微机继电保护的硬件原理	10
2.1 微机保护装置硬件概述	10
2.2 数据采集系统	10
2.3 基于 DSP 的数据采集系统	27
2.4 CPU 主系统	29
2.5 微机保护网络通信	34
2.6 开关量的输入及输出回路	40
2.7 微机保护硬件结构举例	44
习题	48
第 3 章 数字信号处理及数字滤波器	50
3.1 概述	50
3.2 离散时间信号	51
3.3 离散时间系统及其分析	57
3.4 数字滤波器的基本概念	66
3.5 简单数字滤波器	69
3.6 数字滤波器的零、极点配置设计方法	76
3.7 数字滤波器的选择	81
习题	82
第 4 章 微机继电保护的算法及其仿真	84
4.1 微机保护算法概述	84
4.2 基于正弦信号的算法	86
4.3 基于周期信号模型的傅里叶算法	110
4.4 基于非周期信号模型的 $R-L$ 模型算法	125
4.5 基于随机数学模型的递推最小二乘算法	129
4.6 移相算法及滤波算法	132
4.7 相位比较器算法	144
4.8 突变量电流算法	149
4.9 微机保护算法选择	152
习题	153
第 5 章 微机继电保护的软件设计	155
5.1 微机保护软件概述	155

5.2 微机保护装置的软件配置	156
5.3 程序流程的基本结构	160
5.4 电流保护流程图	161
习题	169
第6章 微机继电保护装置的抗干扰	170
6.1 微机保护可靠性及抗干扰	170
6.2 微机保护的干扰和干扰源	171
6.3 微机保护的硬件抗干扰措施	175
6.4 微机保护的软件抗干扰措施	180
习题	184
第7章 微机继电保护实例	186
7.1 超高压线路成套保护装置	186
7.2 微机母线保护装置	201
7.3 ARM 处理器 + DSP 构架的微机馈线保护	211
7.4 基于 DSP 和单片机双 CPU 结构的电动机保护	215
7.5 数字式变压器保护原理	219
习题	225
第8章 MATLAB 在微机保护仿真实验中的应用	227
8.1 仿真概述	227
8.2 三段式过电流保护原理简介	227
8.3 短路故障电磁暂态仿真模型的建立	229
8.4 三段式过电流保护软件设计	235
8.5 仿真实验	242
习题	248
参考文献	249

第 1 章 微机继电保护概述

1.1 微机继电保护及其发展

1.1.1 继电保护及微机继电保护

电力系统继电保护是指继电保护技术和继电保护系统；继电保护系统由继电保护装置组成。继电保护装置在电力系统中承担重要的保护任务，在系统发生故障时，自动、迅速、有选择地将故障设备从电力系统中切除，保证其他部分正常运行；在系统出现不正常工作状态时，可动作于发出信号、减负荷或跳闸。继电保护在技术上一般应满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性的基本要求。

继电保护装置发展的初期，主要是由电磁型、感应型继电器构成的继电保护装置；20 世纪 60 年代，由于半导体二极管的问世，出现了整流型继电保护装置；70 年代，由于半导体技术的进一步发展，出现了晶体管继电保护装置；80 年代，由于大规模集成电路的应用，又出现了集成电路型继电保护装置；20 世纪 80 年代中期，由于计算机技术和微型计算机的快速发展，出现了以微型控制器为主控单元的继电保护装置；电力系统的飞速发展对继电保护不断提出新的要求，电子技术、计算机技术与信息技术的飞速发展又为继电保护技术的发展不断地注入了新的活力。计算机处理的信号为数字信号，用计算机实现的继电保护也不例外，数字信号处理是以微型控制器为主控单元的继电保护装置信息处理的基本形式。

电力系统微机继电保护是指以微型计算机和微型控制器作为核心部件，基于数字信号处理技术的继电保护，简称微机继电保护或微机保护。

1.1.2 微机继电保护的发展现状

电子计算机技术特别是微型计算机技术的飞速发展，广泛深入地影响着科学技术、生产和生活等各个领域，使各行业的面貌发生了很大的变化。微机保护是基于微处理器的继电保护，它的出现和发展过程与计算机技术迅猛发展和应用息息相关。计算机及相关技术在电力系统继电保护方面的应用使得继电保护技术有了新发展，即电力系统微机继电保护，出现了微机继电保护装置的研发和应用。

1. 国外微机保护发展简况

20 世纪 60 年代末期，国外提出用计算机构成继电保护装置的倡议。在 1965 年，英国剑桥大学的 P. G. Mcalarn 及其同事提出了用计算机构成电力系统继电保护的设想，并发表了《Sampling techniques applied to derivation of Impedance characteristics for use in power-system protection》的文章。1967 年澳大利亚新南威尔士大学的 I. F. Morrison 预测了输电线路计算机控制的前景。1969 年美国西屋公司的 G. D. Rockefeller 发表了《Fault Protection with a Digital Computer》的文章。最早关于计算机保护的研究报告，揭示了用微机构成计算机继电

保护的巨大潜力,引起了各国继电保护工作者的兴趣。

20 世纪 70 年代,继电保护工作者进行了微机继电保护理论的探索和实践。70 年代初期出现大规模集成电路后,微处理器迅速发展,从简单的 4 位微处理器发展为 8 位微处理器,例如英特尔公司的 8080 芯片,摩托罗拉公司的 6800 芯片等,70 年代中期出现了单片微型计算机,微处理器和单片机的出现使计算机应用于电力系统继电保护更加容易。在这一时期的研究热潮中,仅公开发表的有关论文就达到 200 余篇,提出了各种不同的算法原理和分析方法,有个别研究机构还做了试验。1972 年美国西屋公司与 GE 公司合作研制成功一套输电线路的计算机保护装置,这是世界上第一套比较完整的用于现场的计算机保护装置,它具备了计算机保护的基本组成部分。早期的研究工作以一台小型计算机来实现多个电气设备或整个变电站的保护功能。这种想法使装置的可靠性难以得到保障,因为一旦当该台计算机出现故障时,所有的被保护设备将失去保护;同时,按照当时的计算机的接口条件和内部资源来说,实现这种设想还需努力。限于计算机硬件的制造水平以及价格过高,当时还不具备商业性生产这类保护装置的条件。

20 世纪 70 年代末,比较完善的微机保护的样机开始投入到电力系统中试运行,微机继电保护产品的实用化开始出现。这一时期,微控制器性价比和可靠性的提高为微机继电保护的实用化打下了硬件基础,一批足够强的微型机价格大幅度降低,因而无论在技术上还是经济上,已具备一台微型机来完成一个电气设备保护功能的条件。1977 年日本投入一套以微处理器为硬件的控制与继电保护装置,全部替代了原有保护,大大减少了控制室的占地面地,并于 1980 年发表了试运行结果。1979 年,国际电子电气工程师学会教育委员会组织了一次世界性的计算机继电保护的研究班,对 20 世纪 70 年代以来的计算机保护的研究成果进行了总结和交流。

20 世纪 80 年代中期,微机保护在硬件结构和软件技术方面趋于成熟,在电力系统中获得了广泛的应用。发展较快的是日本,据日本有关部门预计,1987 年微机保护装置的订货可能达到继电保护设备总产值的 70%。微机保护装置所具有的优越性和潜力,受到生产和运行人员的欢迎。

20 世纪 90 年代中期,由于单片机价格的大幅度下降,微机保护采用了多 CPU (单片机) 结构,通常使用多个下层不同子系统分担不同的保护功能。例如线路微机保护中由不同的 CPU 完成距离保护、高频闭锁保护、零序电流保护及重合闸保护功能,并采用单独的上层管理 CPU 系统对多个下层 CPU 子系统进行管理和数据交换,并完成人机对话和网络通信管理功能。采用多 CPU 结构使保护的可靠性和速动性大大提高。在单 CPU 结构保护中,CPU 插件故障会使整套装置失去保护功能。采用多 CPU 方案后,由于 CPU 插件之间相对独立,某一 CPU 插件故障时只失去相应的某一保护功能,其他 CPU 插件仍可以正常工作,因此可以保留其他的保护功能,提高保护的可靠性。在多 CPU 结构中,由于保护功能分配给不同的 CPU 插件进行处理,因此,整套装置以并行方式完成全部保护功能计算,从而提高了保护的動作速度。

20 世纪 90 年代中期以来,一些新型高性能单片机开始获得应用,同时微机保护也采用了一些新技术,使保护的性能与装置的可靠性大幅度提高,微机保护的应用更加广泛。新型高性能 32 位单片机内集成了多种通用硬件,因此无须使用片外总线扩展存储器、I/O 端口等,不但大大简化了微机保护的硬件结构,而且由于总线不出芯片的设计,大大提高了装置

的抗干扰性。专用数字信号处理器(DSP)的突出优点是计算能力强、精度高、总线速度快、吞吐量大,尤其是采用专用硬件实现定点和浮点运算,速度非常快。将数字信号处理器应用于微机保护,极大地缩短了数字滤波和傅里叶算法的计算时间,不但可以完成复杂的信号处理功能,还可以完成以往主要由单片机CPU完成的保护运算功能,甚至完成完整、独立的继电保护功能。网络通信技术在微机保护中的应用使继电保护出现了网络化特点。随着变电站综合自动化的发展,微机保护装置配置现场总线接口已经成为一种基本功能,并且新型微机保护大都提供现场总线的双网接口,互为备用。另外,基于网络通信技术的分布式保护也得到了研究和应用。

2. 国内微机保护的发展

国内在微机保护方面的研究工作起步较晚,但发展很快。我国从20世纪70年代末即已开始了计算机继电保护的研究,高等院校和科研院所起着先导的作用。原华中理工大学、东南大学、原华北电力学院、西安交通大学、天津大学、上海交通大学、重庆大学和原南京电力自动化研究院都相继研制了不同原理、不同型式的微机保护装置。1984年原华北电力学院研制的输电线路微机保护装置首先通过鉴定,并在系统中获得应用,揭开了我国继电保护发展史上新的一页,为微机保护的推广开辟了道路。在主设备保护方面,东南大学和原华中理工大学研制的发电机失磁保护、发电机保护和发电机/变压器组保护也相继于1989、1994年通过鉴定,并投入运行。原南京电力自动化研究院研制的微机线路保护装置也于1991年通过鉴定。天津大学与原南京电力自动化设备厂合作研制的微机相电压补偿式方向高频保护、西安交通大学与原许昌继电器厂合作研制的正序故障分量方向高频保护也相继于1993、1996年通过鉴定。这些微机保护装置各具特色,为电力系统提供了一批新一代性能优良、功能齐全、工作可靠的继电保护装置。随着微机保护装置的研究,在微机保护软件、算法等方面也取得了很多理论成果。可以说从20世纪90年代开始我国继电保护技术已进入了微机保护的时代。

我国微机保护的发展从硬件上看,大体上分为三个阶段。

第一阶段是单CPU工作,多插件组合的微机保护装置。这是我国继电保护工作者普遍认为的第一代微机保护。这一阶段的微机保护装置采用了8位微处理器(如MC6809)构成微机系统,由于仅仅是一个CPU,因此需要在外扩展许多硬件电路,所以总线必须引出插件,保护的存储容量小,保护和程序的定值均放在EPROM中,定值的改写十分不方便,保护装置中仅有软件时钟,当直流电源消失后时钟便停止运行,硬件不具备数据远传功能,由于仅有一个CPU,所有的保护功能只能集中于CPU处理,可靠性较低。其代表产品为WXB-01微机高压线路保护装置。

第二阶段是保护功能在单个插件内实现,总线不出插件的微机保护装置。这是我国继电保护工作者普遍认为的第二代微机保护。以多个8位单片机组成多微机系统,需要扩展的硬件电路较少,因此可以做到总线不出插件,保护装置的定值存放在EPROM中,定值的修改非常方便。硬件时钟依靠备用电源支持,当直流电源消失后,硬件时钟可继续运行,硬件上设计了数据远传的串行接口,由于硬件由多个单片机应用系统组成,因此一条输电线路的多种保护功能可分散于不同的单片机系统,增强了保护装置的可靠性。其代表产品为WXB-11系列微机保护装置。

第三阶段是保护功能集成于一个芯片,总线不出芯片的微机保护装置。这是我国第三代

微机保护。它是以 16 位单片机（如 Intel 公司的 80C196KB）构成的多微机系统，这些单片机内部资源丰富，具有较大容量的 RAM 和 EPROM，因此可以做到不需在芯片外部扩展存储器，可以做到总线不引出芯片。例如以日本三菱公司的 M77 芯片构成的微机系统，单片机内部有 2~4KB 的 RAM 容量，32~120KB 的 EPROM 或闪存以及 8 个定时器，两个串行口，因此不需要用总线扩展外部存储器。保护装置的硬件设计除了有硬件时钟外，还具备接收 GPS 全球定位系统的秒脉冲接口和完善的通信网络，可应用于变电站自动化系统中。

目前，我国的许多微机保护产品使用了性能更好的处理器，如使用 32 位处理器代替 16 位处理器，使用能够完成大量复杂保护算法的专用数字信号处理器（DSP）。多 CPU 结构的微机保护的特点表现为，一个微机保护装置中采用多个不同形式的处理器，如 DSP + 单片机系统、DSP + ARM 系统、DSP + CPLD 系统等。另外，新的保护原理及算法的研究也有了一定的进展，这些新原理有基于神经网络的保护、基于小波信号处理方法的保护、基于无线暂态电流保护的研究。

1.1.3 微机继电保护的发展动态

1. 高速数据处理芯片的更新应用

微机保护的巨大优越性不容置疑，并已被普遍接受。随着计算机硬件的迅猛发展，微机保护硬件也在不断发展。我国的微机保护装置硬件设计经历了从 8 位微处理器、16 位微处理器到 32 位微处理器的几个发展阶段。为提高微机保护的抗干扰能力，提出了总线不出板、总线不出芯片的设计思想。

电力系统对微机保护的要求不断提高。除了保护的基本功能外，还要求大容量故障信息和数据的长期存放空间，快速的数据处理功能，强大的通信能力，与其他保护或控制装置的调度联网以共享全系统数据、信息和网络资源的能力，高级语言的编程等。目前，国外和国内已研制出以 32 位数字信号处理器为硬件基础的保护、控制、测量一体化的微机保护综合控制装置。

2. 微机保护的网络化

为了适应变电站自动化的要求，微机保护的对外通信能力不断加强，从现场总线到嵌入式以太网的应用，网络技术的发展已跨越了几个阶段。变电站内分布式网络结构的设计，网络可靠性和性能的不断提高，方便灵活扩展性强的网络特点，使微机保护内部网络化的潜在优势日益明显，使网络化硬件设计的思想开始深入到保护装置内部。

实际上，在 20 世纪 90 年代中后期，国外著名继电保护制造商 GE、ABB 等公司已经在向保护测控装置网络化设计的方向发展，开始将网络设计的思想引入到装置内部硬件设计中。ABB 公司于 1998 年推出的保护是全面实现网络硬件平台设计的新一代保护，不仅具有不同的通信接口，而且内部不同模块间互联也采用了网络总线。其中，A/D 模块与主处理器模块间的数据传送采用 RS-485 总线实现，主处理器模块与其他各模块间（包括输入/输出模块）通过 CAN 总线互联，并相互交换信息。

计算机网络作为信息和数据通信工具已成为信息时代的技术支柱，使人类生产活动和社会生活的面貌发生了根本的变化。它深刻地影响着各个工业领域，也为各个工业领域提供了强有力的通信手段。到目前为止，所有继电保护装置除了纵差动保护和纵联保护外，都只能反映保护安装处的电气量。继电保护的作用也只限于切除故障元件，缩小事故影响范围，这

主要是由于缺乏强有力的数据通信手段。国外早已提出过系统保护的概念,虽然当时限于技术条件主要是指安全自动装置,但在目前的技术条件下可以为微机保护的作用赋予新的含义。即它不限于切除故障元件和限制事故影响范围(这是首要任务),还要保证全系统的安全稳定运行。这就要求每个保护单元都能共享全系统的运行和故障信息数据。各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作,以确保系统的安全稳定运行。显然实现这种系统保护的基本条件是将全系统各主要设备的保护装置通过计算机网络连接起来,即实现微机保护装置的网络化。另外,继电保护装置能够得到的系统故障信息越多,则对故障性质与位置判断和故障距离的监测越准确。

全球卫星定位系统(GPS)和光纤通信技术对网络化的微机保护装置实现同步矢量测量提供了条件。GPS在各领域中已得到广泛应用,在电力系统中主要用于同步矢量测量。光纤通信系统将各变电站的测量量收集汇总处理后,即可得到各变电站之间动态矢量的变化,并据此实施电力系统的保护与控制。

3. 继电保护的智能化及暂态保护

进入20世纪90年代,电力系统的继电保护的很多研究工作开始转至人工智能的应用。相继出现了人工神经网络、模糊理论来实现故障类型的判别、故障距离的确定、方向保护、主设备保护等新方法,出现了用小波理论的数学手段分析故障产生信号的整个频带的信息并用于实现故障检测的方法。这些人工智能技术的应用不仅提高了故障判断精确度,而且能够使某些基于单一工频信号的传统算法难以识别的问题得到解决。如20世纪80年代提出的自适应继电保护是根据电力系统的运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性或定值,它可实现保护性能的最佳化、整定计算在线化、使用简便化。通过检测故障暂态的高频信号来实现传输线及电力设备的保护是新一代电力系统继电保护思想,简称暂态保护。故障暂态产生的信号还有大量的信息,其中包括故障类型、方向、位置、持续时间等,这些信息贯穿于信号的整个频域,从直流、工频到高频分量。暂态保护首先通过特殊设计的高频检测装置及算法从故障暂态中提取所需的高频信号,利用专门设计的快速信号处理算法来判断故障性质。微处理器技术的发展使得暂态保护的实现成为可能。

然而到目前为止,人工智能的应用还不能够取代传统保护原理,而且这些方法的应用同样受到传感器频宽的限制。

4. 广域继电保护的研究

继电保护是保障大电网安全的“第一道防线”。如果保护装置在故障发生时正确、快速、可靠动作,将有效遏制系统的状态恶化,起到保障电网安全稳定运行的作用;反之,则可能扩大事故,甚至导致电网大面积停电。随着我国电力需求的与日俱增,以及电力系统规模的不断扩大,电力系统日渐接近极限运行,其运行与控制更为复杂,发生扰动以及故障的可能性更大,这些都对电力系统安全提出了更高的要求,对我国的继电保护以及安全稳定控制带来了新的挑战。与此同时,国际上已发生多起大面积长时间的停电事故,使得电力工作者更进一步认识到,应当从整体或区域电网的角度加强继电保护和安全稳定装置的功能和性能。

传统保护采用离线整定方式确定保护定值。由于系统结构复杂、需考虑的运行方式众多、难以兼顾灵敏性和选择性的要求,无法保证定值性能始终处于最佳状态;且离线整定模式下的定值修改需依靠人工完成,存在安全隐患。智能电网的建设使更精确、更快速、更完

善的通信系统以及信息共享平台成为可能,这为基于广域信息的广域保护系统的发展提供了契机。国际大电网会议对广域保护功能的描述为,广域保护集中于利用广域信息改进和提高传统继电保护的性能;引入基于广域信息的继电保护,其根本目的在于防止系统发生大范围潮流转移时,现有后备保护因线路过负荷发生误动,引发电网连锁跳闸事故;改善现有保护性能,简化传统后备保护的整定计算,消除保护失配、整定错误等危及电网稳定运行的安全隐患。

由于广域信息传递存在延时、可靠性及安全性等局限,且现有主保护的正确动作率较高,广域继电保护与传统主保护相比无明显优势。因此,将广域信息引入到后备保护更符合实际。广域后备保护应与传统主后备保护相协调,共同承担电网第一道防线的职责。广域后备保护的核心思想在于通过电网中的多点同步测量信息,确定故障元件的具体位置,在相邻保护之间通过简单的时序配合来保证保护动作的正确性。

随着广域同步测量和数字化变电站技术的应用,继电保护可利用的信息资源和通信条件都发生了根本性的变化,从而引发继电保护在配置、原理、整定以及实现技术等方面的重大变革。

1.2 微机继电保护系统的组成

微机继电保护系统是以微型计算机为核心的计算机应用系统。它由硬件系统和软件系统组成。微机保护的硬件指组成微机继电保护装置的电路的组合,它具备一般计算机应用系统硬件的特点,微机保护的硬件原理框图如图 1-1 所示。微机继电保护要能反映电力系统的故障和不正常状态,依据继电保护的原理,反映电力系统状况的继电保护物理参量,经前向检测输入回路采集输入,送给 CPU 主系统进行处理、判断,发出动作执行的命令和报警、显示、通信信息等。后向通道是微机保护控制器执行接口机构。微机保护的软件系统是指实现继电保护的程序软件。

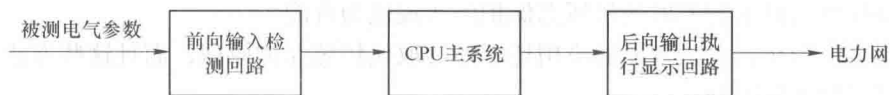


图 1-1 微机保护的硬件原理框图

软件的设计与微机保护的硬件和 CPU 的指令语言关系密切。硬件电路设计的完善程度直接影响软件的编写,软件系统常常可以实现硬件系统无法完成的功能,不同的微机 CPU 核,都有其对应的汇编语言指令系统或高级语言编程系统,这些都影响软件的设计。另外,软件的设计是以继电保护的原理和微机保护的算法为依据的。

微机继电保护系统和一般的继电保护系统一样,必须满足可靠性的要求,可靠性是指在规定的保护范围内发生了属于它应该动作的故障时,它不应该拒绝动作;而在任何不属于它应该动作的情况下,则不应该误动作。

微机保护装置工作在有诸多干扰的电力系统中,这就使得微机保护的可靠性受到影响,微机保护系统必须从硬件和软件两个方面来提高系统的抗干扰性能。抗干扰性的问题是微机继电保护系统设计运行的重要组成部分。

1.3 微机继电保护装置的特点

1.3.1 微机继电保护装置的结构

目前,微机继电保护装置由高集成度、总线不出微控制器芯片、高精度电流电压互感器、高绝缘强度出口中间继电器、高可靠开关电源模块等部件组成。微机继电保护是用于测量、控制、保护、通信为一体化的一种经济型保护,是构成智能化开关柜的理想电器单元。

微机继电保护装置一般由机箱及装在机箱内的插件电路板组成。图 1-2 是一种微机继电保护装置的整体图,前面是面板,面板上有液晶显示、指示 LED 灯及操作按键。图 1-3 是一种微机继电保护装置的背板;背板上是接线端子。一般微机保护装置的背板接线端子有模拟交流电压、电流接线端子、开关量输入/输出端子、通信端口、电源端等。每一种接线端子都与对应的插件电路板相连,图 1-4 显示了一个微机继电保护装置的多个插件从插槽中抽出的状态。一个微机保护装置一般由多个插件组成,图 1-5 为保护装置的插件电路板。



图 1-2 微机继电保护装置面板及整体图

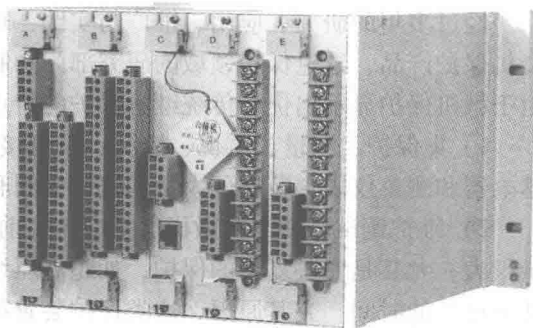


图 1-3 微机继电保护装置背板及接线端子

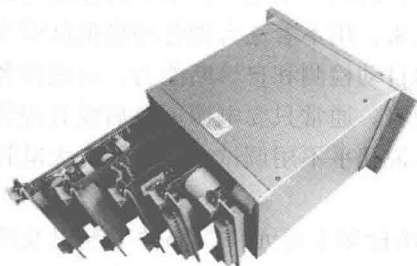


图 1-4 微机继电保护装置多个插件

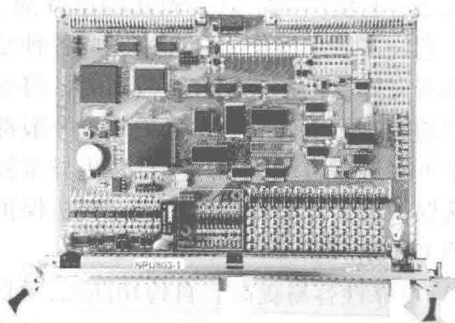


图 1-5 微机继电保护装置插件电路板

微机继电保护装置实际上就是一台高性能、多功能的计算机,是电力系统计算机网络上的智能终端。它可以从电力网上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据,也可将所获得的被保护信息和数据传送给网络中心或任一终端。因此每个微机保护装置不仅可以完成继电

保护功能,而且在无故障运行情况下还可以完成测量、控制、数据通信的功能,即实现保护、控制、测量、数据通信一体化。过去为了测量、保护和控制的需要,室外变电站的所有设备,如变压器、线路等的二次电压、电流都必须用控制电缆引到主控室。大量控制电缆的敷设不但需要大量的投资,而且使二次回路非常复杂。如果将上述的保护、控制、测量、数据通信一体化的微机保护综合装置就地安装在室外变电站的被保护设备旁,将被保护设备的电压、电流量在此装置内转换成数字量后,通过计算网络送到主控室,则可减少大量的控制电缆。而且如果采用光纤作为网络的传输介质还可以免除电磁干扰。现在光电流互感器(OCT)和光电压互感器(OPT)已开始电力系统中得到应用。OCT和OPT采集光信号输入到一体化装置中并转换成电信号后,一方面用作保护的判断,另一方面作为测量,通过网络送到主控室实现测量与监视。反之,从主控室也可通过网络将对被保护设备的操作控制命令送到一体化装置,执行断路器的操作。

一般说来,微机保护装置具有良好的人机接口,如带背光图形液晶、菜单化设计、全中文显示、合理化屏幕保护控制等。显示内容包括测量数据、开关量状态、实时波形、事件记录、故障录波、保护定值和系统参数等。

1.3.2 微机继电保护装置的应用特点

经过多年的研究、应用、推广与实践,现投入使用的各电压等级继电保护设备几乎均为微机保护产品,继电保护领域的研究部门和制造厂家完全转向微机保护的研究和制造。这是由于微机保护显示出优于传统继电保护的特点,其主要优点体现在以下几个方面:

1) 集保护、测量、监视、控制、人机接口、通信等多种功能于一体;代替了各种常规继电器和测量仪表,节省了大量的安装空间和控制电缆。

2) 维护调试方便。在微机保护应用之前,整流型或晶体管型继电保护装置的调试工作量很大,尤其是一些复杂的保护,如超高压线路的保护设备,调试一套保护常常需要一周,甚至更长的时间。究其原因,这类保护装置都是布线逻辑的,保护的每一种功能都由相应的硬件器件和连线来实现。为确认保护装置完好,就需要把所有功能通过模拟试验来校核一遍。微机保护则不同,它的硬件是一台计算机,各种复杂的功能由相应的软件程序来实现。换言之,它使用一个只会做几种单调的、简单操作(读数、写数、运算)的硬件,配以软件,把许多简单操作组合起来完成各种复杂的功能,因而只用几个简单的操作就可以检验硬件是否完好,当系统硬件有故障时,将立即表现出来,用不着逐台做各种模拟试验来检验每一种功能是否正确。微机保护装置一般都有很强的自动检测和自诊断能力,对硬件各部分和程序不断进行自动检测,一旦发生异常就会发出报警。通常只要电源上电后没有报警,就可确认保护装置是完好的。所以对微机保护装置可以说几乎不用调试,从而可大大减轻运行维护的工作量。

3) 可靠性容易提高。自检功能强,可用软件方法检测主要元件、部件工况以及功能软件本身。计算机在程序的指挥下,有极强的综合分析和判断能力,因而它可实现常规保护很难办到的自动纠错,即自动识别和排除干扰,防止由于干扰而造成的误动作。另外,它有自诊断能力,能够自动检测出本身硬件的异常部分,配合多重化可以有效地防止拒动,因此可靠性很高。数字元件的特性不易受温度变化、电源波动、使用年限的影响。

4) 可以方便地扩充其他辅助功能。通过增加软件的方法获得保护之外的功能。应用微

型机后,可以在电力系统故障后提供多种信息。如打印故障前后电量波形——故障录波、波形分析;打印故障报告:日期、时间、保护动作元件、时间先后、故障类型;随时打印运行中的保护定值;利用线路故障记录数据进行测量(故障定位);通过计算机网络、通信系统实现与厂站监控交换信息;远方改变定值。

5) 灵活性大。由于微机保护的特性主要由软件决定,不同原理的保护可以采用通用的硬件,只要改变软件就可以改变保护的特性和功能,从而灵活地适应电力系统运行方式的变化。另外,自适应继电保护就能根据电力系统运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性或定值。

6) 改善和提高保护的動作特性和性能。用数学方法构成保护的测量元件,其動作特性可以得到很大的改进,或得到常规保护(模拟式)不宜获得的特性;用它的很强的记忆功能可以更好地实现故障分析保护。容易引进自动控制新技术——自适应状态预测、模糊控制及人工神经网络(ANN)等,能够更好地改进系统性能。

微机保护装置的缺点有:

1) 与传统的保护有根本性的差别。传统继电保护装置全部由硬件构成,動作原理直观,易掌握;而构成微机保护的软件只有专门的设计人员才能改写或调试。

2) 使用者较难掌握它的操作和维护过程。

3) 要求硬件和软件有较高的可靠性。

4) 硬件容易过时。

5) 由于微机保护装置中使用了大量集成芯片,以及软硬件的不断升级,增加了用户掌握其原理的难度。

微机继电保护具有一系列优点,目前已成为继电保护的主流;随着新技术、新理论的应用,微机保护的性会会更加优良。

习 题

1. 什么是微机继电保护?电力系统对微机继电保护的要求有哪些?
2. 简要说明微机继电保护的特点。
3. 如何理解微机保护比常规继电保护性能好?
4. 相对于传统继电保护,微机继电保护的缺点有哪些?
5. 简要说明微机继电保护技术的出现及发展与哪些技术有关,为什么?
6. 微机保护的发展大体分哪几个阶段?各阶段的特点如何?
7. 我国微机保护经历了哪几代产品?它们有哪些主要特点?
8. 请说明微机继电保护装置的一般结构形式。

第2章 微机继电保护的硬件原理

2.1 微机保护装置硬件概述

从功能上讲,微机保护装置包括四个部分:数据采集系统、CPU 主系统、开关量输入/输出回路、电源回路等。开关量输入/输出系统包括触点输入回路、跳合闸回路、信号回路、人机对话回路、通信回路等。通常所说的开关量输入/输出回路主要是指触点开关量输入、跳合闸回路和信号回路。图 2-1 是一种典型的微机保护硬件系统功能模块示意图。

数据采集系统是模拟量输入系统,采集由被保护设备的电流互感器和电压互感器输入的模拟信号,并将此信号经过适当的预处理,然后转换为所需的数字量。根据数据采集系统 A/D(模/数)转换的原理不同,微机保护的模拟量输入回路有两种方式:一种是基于 A/D 转换器的数据采集系统,另一种是基于 V/F 转换的数据采集系统。

CPU 主系统包括微处理器 CPU、数据存储器、程序存储器、晶振、复位电路、定时器、并行接口和串行接口等。CPU 执行放在程序存储器中的程序,对采集的原始数据进行分析处理,完成继电保护的测量、逻辑和控制功能。

开关量的输入/输出系统中的外部触点输入回路,跳闸、合闸、信号出口回路,由并行接口、光耦合电路及有触点的中间继电器等组成,完成各种保护的出口跳闸、信号报警以及外部触点输入等工作。开关量的输入/输出系统中的人机接口部分主要包括打印、显示、键盘、各种面板开关等,其主要功能用于调试,定值调整,人对机器工作状态的干预,打印显示运行情况 & 保护执行结果,即完成人机对话功能。信号回路主要用于指示保护装置的运行状态、跳闸状态、告警等。

电源回路提供了整个装置所需的直流稳压电源,以保证整个装置的可靠供电。

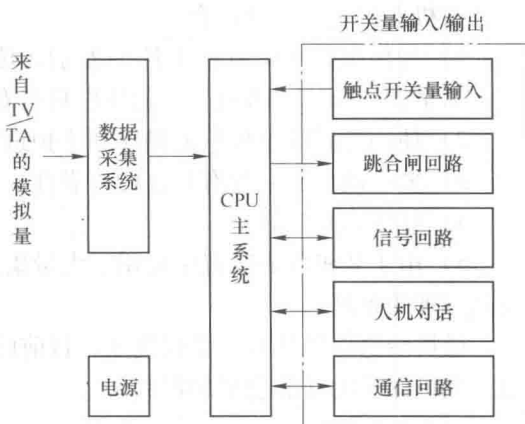


图 2-1 微机保护硬件系统功能模块示意图

2.2 数据采集系统

2.2.1 基于 A/D 转换的数据采集系统组成及结构

在微机继电保护装置中,数据采集系统的功能是将输入模拟电量转换为微机能够识别的数字量。基于 A/D 转换的数据采集系统以 A/D 转换器为模拟量到数字量的转换单元,它包

括电压形成回路、模拟低通滤波器 ALF、采样保持电路 S/H、多路转换开关 MPX 及 A/D 转换电路等。

在电力系统中,绝大多数微机继电保护装置是利用多个物理量信号的系统。例如输电线路保护通常需要的模拟量有三相电压 u_a 、 u_b 、 u_c ,三相电流 i_a 、 i_b 、 i_c ,零序电压 u_0 、零序电压 i_0 等。因此,微机继电保护的数据采集系统是多通道模拟信号的采样系统,在一个采样间隔里,对所有信号的采样和转换需合理安排。根据各通道信号采样的相互时间关系,数据采集系统有以下三种。

1. 同时采样分时转换的方式

其转换原理可用图 2-2 所示框图表示,该方式结构在每一个模拟通道中设有采样保持器,CPU 发出统一的采样脉冲,使各通道在同一时刻采样。这种采样方式可以保证各模拟信号之间的相位关系不变。这种在每一个采样周期对所有通道的信号在同一时刻采样叫同时采样。该方式下,A/D 转换通常采用一片芯片,各通道共用 A/D 转换;在模拟多路转换开关的协调下,对采样后的信号逐一进行转换。同时采样分时转换方式的经济性和时效性最为理想,是目前微机继电保护装置中应用最广泛的一种方式。

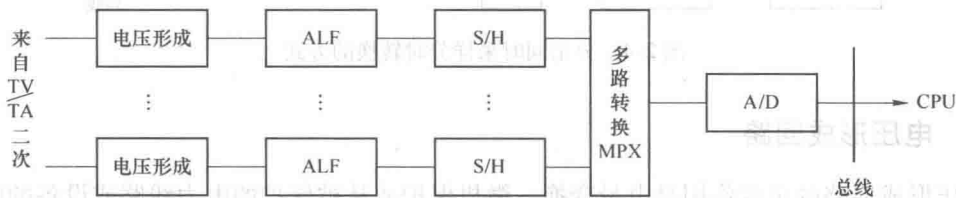


图 2-2 同时采样分时转换的方式

2. 分时采样分时转换的方式

分时采样分时转换的原理可用图 2-3 所示框图表示,该方式结构下,模拟多路转换开关置于采样保持器前端,各通道共用一个采样保持器和 A/D 转换器。在每一个采样周期内,首先对第一模拟信号进行采样,然后再对其进行 A/D 转换,接下来再对下一通道进行采样和 A/D 转换,直到所有通道模拟信号转换完毕。这种采样方式也称作顺序采样。显然,这种方式会带来通道之间的相位差。分时采样分时转换的方式其优点是只需要一个公用的采样保持器,且其技术要求较低。这种方式适用于采样保持器和 A/D 转换器的速度较高,并且系统对模拟信号的同时性要求不高的场合。



图 2-3 分时采样分时转换的方式

3. 分组同时采样分时转换的方式

分组同时采样分时转换的原理可用图 2-4 所示框图表示。该方式将模拟信号分组,在一个采样周期内对一组的模拟信号同时采样,分时转换;各组之间则分时采样。显然这种方式