

E

电力新技术丛书

ELECTRIC POWER NEW TECHNOLOGY SERIES

微机继电保护

陈德树 张哲 尹项根 编著



中国电力出版社

7-39

微机继电保护

陈德树 张哲 尹顶根 编著

中国电力出版社

内 容 提 要

本书共分五章，分别论述了微机继电保护的发展历史及其基本结构、软硬件技术原理和可靠性措施、数字滤波器与常用算法、典型的输电线路和电力设备（发电机、变压器、母线等）微机继电保护技术、微机继电保护最新发展动向等。

本书可供从事电力系统继电保护和控制工作的工程技术人员以及从事电力系统技术管理的人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

微机继电保护/陈德树，张哲，尹项根编著. -北京：中国电力出版社，2000.5

（电力新技术丛书）

ISBN 7-5083-0296-6

I. 微... I. ①陈... ②张... ③尹... II. 微型计算机-计算机应用-继电保护 N. TM77-39

中国版本图书馆CIP数据核字（2000）第06925号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

保定列电印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年7月第一版 2000年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 5.125印张 110千字

印数0001—4000册 定价 10.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

《电力新技术丛书》出版说明

我国电力工业的发展取得了举世瞩目的成就,从1978年到1997年的19年中装机容量及发电容量连续上两个台阶(1987年装机容量达1亿kW及1995年装机容量达2亿kW),到1996年底已居于世界第2位。电力工业的领导者向我们提出了建“一流电网”的号召,针对当前两个根本性转变的关键时刻,提出要进行由计划经济体制向具有中国特色的社会主义市场经济体制转变的第二次创业。其目标就是要保持电力工业持续、快速、健康地发展和电力供给与需求的平衡,从而保证国民经济的发展和社会的进步以及人民生活水平的日益提高。为达到建成“一流电网”的目的,必须有一流的人才,用一流的技术,并且得到各行业的关心、支持和理解。本套《电力新技术丛书》即是用深入浅出的叙述方法介绍有关一流电网的新技术。希望关心这些问题的有关人员可以用较短的时间理解这些问题的概要,加深对这些问题的关注和支持。

本丛书的作者们都是从事所写专题多年的工作者,并在该专题领域有开拓性的贡献。他们出于“甘为人梯”的想法,把自己的体会及资料尽可能深入浅出地写出,希望读者能用最少的投入,掌握作者的所知所得。

本丛书包括一些具有现实意义和广阔应用前景,并在国际上或国内处于前沿地位的高新技术。例如微机继电保护、电力网中的谐波、电网调度员培训模拟(DTS)、人工神经网络原理及其应用、配电系统自动化及其发展、面向对象设计的

开放式能量管理系统、模糊数学在电力系统中的应用、电力电子学在电力系统中的应用——灵活交流输电系统、直接法稳定分析、无功补偿的矢量控制等，读者可以根据需要与可能选用。

本丛书的宗旨是用读者容易理解的体系和叙述方法，深入浅出、循序渐进地就各专题题目的引出，专题的基本原理和理论及对电力系统的影响进行简要论述，并对专题的应用领域和前景及可能产生的效益作出评述。

本丛书的读者对象为：科研、教学、生产第一线的电力工程技术人员，特别是工作五年左右的年轻工程师及大、中专院校有关专业的学生。由于科学技术的飞速发展以及我们的水平有限，丛书肯定会存在许多不足，丛书的书目和内容也应当不断发展和更新。我们热诚地希望得到社会各界和广大读者的批评指正。

王平洋 周孝信

前 言

本书作为《电力新技术丛书》的一个组成部分，希望将微机继电保护的一些常用的基础知识和最新的发展情况介绍给读者。由于本领域技术的飞速发展，国内外都有大量新的成就，包括新原理、新技术、新工艺、新产品等。宥于作者知识和水平所限，疏漏、错误之处在所难免，敬请读者指正。

本书共分5章，第1章绪论、第2章硬件系统，主要介绍硬件的基本结构和常用的系统，对新的发展动向也作一些叙述。第3章继电保护的算法摘述了一些最常用的算法，以便于读者直接熟悉实际应用的微机保护。第4章以实例的方式将电力系统中最主要的4种设备的微机保护较通用的原理、结构介绍给读者，以便于举一反三，增加实际认识基础。第5章则着重介绍一些最新的发展动向，虽然不一定成熟，但其中的某些方面在不远的将来有可能变成可供实际应用的技术。

本书的第1章和第5章由陈德树编写，第2章由尹项根、陈卫编写，第3章由张哲编写，第4章由刘沛、陈德树、张哲、马天皓编写，全书由陈德树统编。

由于作者主、客观条件所限，用于执笔的时间有限，不足之处再次敬请读者提出宝贵意见，批评指正。

目 录

《电力新技术丛书》出版说明

前言

1 绪论	1
1.1 微机继电保护的发展概况	1
1.2 微机继电保护的基本构成	4
1.3 微机继电保护的特点	6
2 微机继电保护装置的硬件系统	8
2.1 微机继电保护装置硬件系统的基本构成	8
2.2 微机继电保护的输入输出通道	9
2.3 微机继电保护装置的数字核心部分	22
2.4 微机继电保护装置的电磁兼容性问题	27
2.5 微机继电保护硬件系统的发展趋势	33
3 微机继电保护算法基础	44
3.1 概述	44
3.2 数字滤波器	45
3.3 正弦函数模型算法	57
3.4 富氏算法	62
3.5 递推最小二乘算法	66
3.6 微分方程算法	71
4 微机继电保护的实际应用	76
4.1 线路距离保护	76
4.2 微机发电机保护	89

4.3	微机变压器保护	104
4.4	微机型母线保护	121
5	微机继电保护技术的新进展及发展趋势	131
5.1	自适应控制原理在继电保护中的应用	131
5.2	智能控制理论在微机继电保护中的应用	146
5.3	综合自动化(集成化)的发展趋势与微机保护 ...	148
	参考文献	152

1 绪 论

1.1 微机继电保护的发展概况

到 90 年代,很少电力系统继电保护工作者不知道继电保护已发展到计算机继电保护时代,或者叫做微机保护时代。到今天,微机保护已被相当多的继电保护工作者接受,而且愈来愈多地被大家接受。

微机式继电保护可以说是继电保护技术发展历史过程中的第四代,即从电磁型、晶体管型(又称半导体型或分立元件型)、集成电路型,到计算机型(微机型)。

按最初的技术发展,电子计算机可分为模拟式电子计算机和数字式电子计算机,但由于数字电子计算机技术的飞速发展和模拟式电子计算机技术发展的相对停滞,所以现在所称“计算机”就成为数字式电子计算机的代名词。因此,计算机继电保护或“微机保护”就是指以数字式计算机(包括微型计算机)为基础而构成的继电保护。

现在的计算机式继电保护起源于 60 年代中后期,在英国、澳大利亚和美国的一些学者的倡导下开始进行研究。首先进行的是理论计算方法和程序结构的研究。数值计算是在所谓“采样值”的基础上进行的,即是将电流、电压的模拟量在恒定时间间隔的有关时刻的样值进行数字化以后,通过计算机对这些数字量信息进行运算处理,以实现要求的继电保护功能。在整个 70 年代,各国的专家学者围绕算法理论作

了大量的工作，为计算机继电保护的发展奠定了比较完整和牢固的基础。经过 80 年代的继续努力，现在计算机保护的算法已比较完善和成熟。

另一方面，计算机的硬件在 60 年代是非常昂贵的。1972 年发表的第一台计算机保护样机——PRODAR-70 虽然投入了试运行，但距商业的实用阶段相差很远。在 70 年代初、中期出现了微处理器——微型计算机后，情况迅速改观。由于微型计算机的性能/价格比提高得非常迅速，导致了计算机继电保护的商业化程度得到了飞速的发展。在个别国家，到 80 年代中期已得到了相当普遍的采用。在其他一些国家也先后得到相应的发展。

在我国，计算机继电保护技术的研究和开发起步比较晚，比先进国家大约延后 10 年。由于我国继电保护工作者的努力，经过 10 年左右的奋斗，到 80 年代末，计算机继电保护，特别是输电线路的微机保护已达到了大量采用的程度。在东北电力系统、河北电力系统这些地方，由于运行部门的重视，其普及程度更高。到 90 年代中期，其他各个电力系统也已得到不同程度的推广。

我国计算机保护的研究最早于 1978~1980 年前后在一些高等学校和个别研究机构展开。随着我国培养研究生制度的正式建立，很多研究生以此为课题进行研究。一些在国外深造并学成回国的研究生和访问学者也以此为课题，取得了初步的成果。在此基础上，1983 年造出了我国首台微机距离保护的样机，经过反复试验和修改，1984~1985 年间投入试运行。与此同时，也有一些其他原理方案、算法以至样机陆续在研制，包括变压器保护和发电机的某些保护在内。

1984 年 11 月在华中工学院（今华中理工大学）、华北电

力学院（今华北电力大学）、南京工学院（今东南大学）等的发起下在华中工学院举行了我国第一次计算机继电保护学术会议，第一次检阅和交流了我国计算机继电保护的研究工作，探讨了我国进一步开展这方面研究的方向和发展前景。

经过几年逐步扩大范围的试运行和正式运行，积累了微机线路保护的实践经验，进一步发展成 WXB-11 型微机线路保护，这是自 80 年代末至今应用最广的一种微机线路保护。与此同时，还先后发展了好几种各有特色的微机线路保护，在各自不同的领域得到应用，到 90 年代中期，在我国的电力系统中已有几千套微机线路保护在运行。在保护的原理类型上除已能覆盖常规保护的各种类型外，还有新的发展，能满足各种输电线结构、各种电压等级的输电线的需要。

事实上，在 80 年代初期和中期，我国的一些高等学校即已开展变压器和发电机的微机保护的研究。首先是对一些较特殊或最适于用微型计算机实现的保护，例如：变压器的差动保护，发电机的匝间保护、失磁保护以及后来的发电机定子 100% 接地保护等等，有一些相应的样机在电力系统中试运行。到 80 年代后期陆续有一些变压器保护正式应用于较低电压的变压器。从 90 年代初开始，陆续有一些正式的产品用于高电压、大容量的变压器和发电机—变压器组。

我国在微机母线保护的研究方面，始于 80 年代下半期，到 90 年代中，已形成一些正式产品，可以满足电力系统的需要。

到 90 年代中叶，我国的计算机继电保护除个别品种外，基本能满足各级电压的各种电力设备对继电保护的要求。

在各种计算机保护装置发展的同时，利用计算机的特有的优势，还发展了许多新的保护原理，特别是故障分量原理

和自适应式保护原理，这些原理的引入，使继电保护的性得到很大的完善和提高。

由于继电保护研究人员、设计人员和运行维护人员的共同努力，我国的计算机保护技术得到了很大的发展和完善，在电力系统中起着重要的作用。据统计 [1]，1995 年我国电力系统中的微机型继电保护的正確动作率达 97.26%，与常规的继电保护的正確动作率相似，这象征着微机保护已达到正常使用和运行的阶段。

1.2 微机继电保护的基本构成

继电保护的任务是判断电力系统有关设备是否发生故障而决定是否发出跳闸命令，使发生故障的设备尽量迅速地同电力系统隔离。为此，首先要取得与被保护设备有关的信息，根据这些信息，根据不同的原理，进行综合和逻辑判断，最后作出决断，并付诸执行。所以，继电保护的基本结构大致上可以分为三部分：①信息获取与初步加工；②信息的综合、分析与逻辑加工、决断；③决断结果的执行。

信息要通过电压、电流传送，有时还通过一些开关量传递。早期，在机电型继电器中，电流、电压直接加到继电器的测量机构，变换成机械力，然后在机械力的层次上进行比较判别，中间并不需设置其他的变换、隔离等环节。随着电子技术的引入，为了适应电子器件的弱信号的要求，在电流互感器、电压互感器与电子电路之间要求设置一些变换环节，通常使用所谓的电流变换器、电压变换器以至电抗变换器等。在晶体管型继电保护、整流型继电保护以及集成电路型继电保护中都采用类似的变换环节。其间并没有本质的差别，

这些环节，可以称为“信息预处理”环节（图 1.1）。

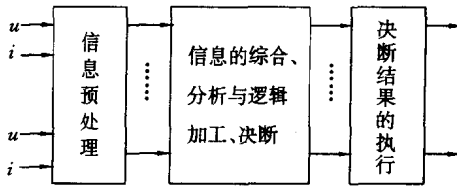


图 1.1 继电保护的基本构成

由于计算机是数字电路，其工作电平比集成电路的工作电平还低。因此，计算机继电保护同样也需要设置信息预处理环节。需要隔离屏蔽、变换电平等处理。在这个问题上计算机保护与原来的模拟式保护是一致的。换言之，在这个问题上，模拟式保护的一些经验也是适用于计算机保护的。

继电保护的主要任务是操作、控制有关断路器，使发生故障的设备迅速与电力系统其余健全的部分隔离开来，最大限度地减轻故障对电力系统的影响，减轻故障设备的损坏程度。这种操作是通过控制跳闸线圈实现的，也就是给线圈通入电流实现的。电流可以由触点控制，也可以由无触点的半导体器件控制。出于可靠性的考虑，目前基本上仍是采用有触点的小型中间继电器，组成必要的出口逻辑。这个方面，计算机继电保护与模拟式继电保护也是基本一致的。

计算机继电保护与常规的模拟式保护的根区别是在中间部分，即信息的综合、分析与逻辑加工、决断的环节。区别是在于实现上述功能的手段。常规的模拟式保护是靠模拟电路的构成来实现的，即用模拟电路实现各种电量的加、减、乘、除和延时与逻辑组合等要求。而计算机保护，即数字式继电保护却是用数字技术进行数值（包括逻辑）运算来实现

上述功能的。数字式电子计算机上的数字和逻辑运算是通过软件进行的，即这些运算要通过预先按一定的规则（语言）制定的计算程序进行的。这是与模拟式继电保护截然不同的工作模式。也就是说，计算机式继电保护是由“硬件”和“软件”两部分组成的，硬件是实现继电保护功能的基础。而继电保护原理是直接由软件，即由计算程序来实现的，程序的不同可以实现不同的原理。程序的好坏、正确与错误都直接影响着保护性能的优劣、正确或错误。

1.3 微机继电保护的特点

研究和实践证明，微机保护有许多优点。其主要的特点如下：

1.3.1 改善和提高继电保护的動作特性和性能

(1) 用数学方程的数字方法构成保护的测量元件，其动作特性可以得到很大的改进，或得到常规保护（模拟式）不易获得的特性。

(2) 用它的很强的记忆功能更好地实现故障分量保护。

(3) 可引进自动控制、新的数学理论和技术——自适应、状态预测、模糊控制及人工神经网络（ANN）等等。

1.3.2 可以方便地扩充其他辅助功能

(1) 打印故障前后电量波形——故障录波、波形分析。

(2) 打印故障报告：日期、时间、保护动作元件、时间先后、故障类型。

(3) 随时打印运行中的保护定值。

(4) 利用线路故障记录数据进行测距（故障定位）。

(5) 通过计算机网络、通信系统实现与厂站监控交换信

息。

(6) 远方改变定值或工作模式。

1.3.3 工艺结构条件优越

(1) 硬件比较通用，制造容易统一标准。

(2) 装置体积小，减少盘位数量。

(3) 功耗低。

1.3.4 可靠性容易提高

(1) 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，不易受元件更换的影响。

(2) 自检能力强，可用软件方法检测主要元件、部件工况以及功能软件本身。

1.3.5 使用方便

(1) 维护调试方便，缩短维修时间。

(2) 依据运行经验，在现场可通过软件方法改变特性、结构。

1.3.6 保护的内部动作过程不像模拟式保护那样直观

2 微机继电保护装置 的硬件系统

2.1 微机继电保护装置硬件系统 的基本构成

微机继电保护装置是以微处理器为核心，根据数据采集系统所采集到的电力系统的实时状态数据，按照给定算法来检测电力系统是否发生故障以及故障性质、范围等，并由此做出是否需要跳闸或报警等判断的一种安全装置。微机保护主要包括进行数据采集的输入通道（如模拟量输入变换与低通滤波回路、采样保持与多路转换、模数转换系统以及开关量输入通道等）、进行数据处理及相应判断的数字核心部分（如 CPU、存储器、实时时钟、WATCHDOG 等）以及输出通道（如开关量输出通道等）。除此以外，还包括人机接口（如键盘、显示器及打印机等）。近些年来，随着网络及通信技术在电力系统中的广泛应用，通信系统也日益成为微机保护装置必不可少的部分。图 2.1 给出了微机保护的典型硬件结构图。

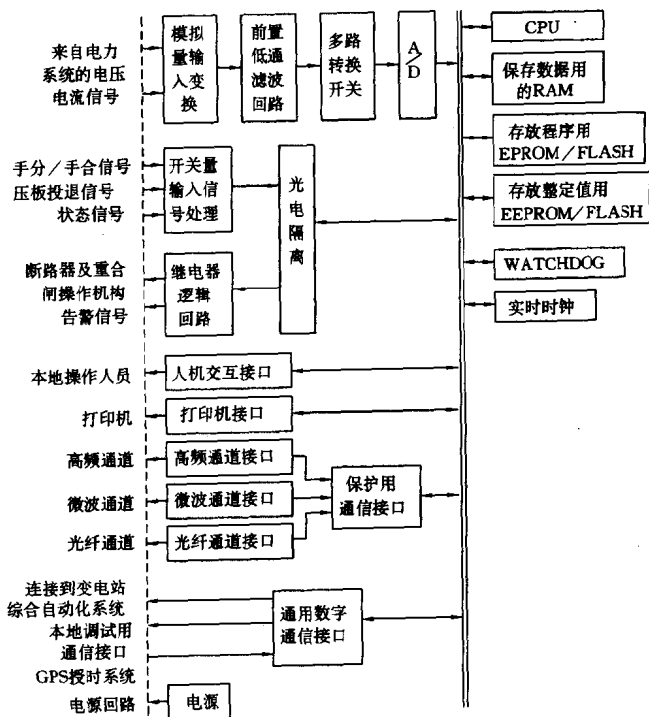


图 2.1 微机保护的典型硬件结构图

2.2 微机继电保护的输入输出通道

2.2.1 数据采集系统

微机保护的数据采集系统一般包括：模拟量输入变换回路、低通滤波回路、采样保持回路和多路转换器以及模数转换（A/D）回路。