

微处理机式继电器 和保护系统

IEEE 电力工程委员会 编
[美] IEEE 电力系统继电保护委员会
孙 军 陶惠良 等译
葛耀中 叶一麟 校订

重庆大学出版社

IEEE TUTORIAL COURSE
MICROPROCESSOR RELAYS AND PROTECTION SYSTEMS

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Printed in U.S.A. 1987

微处理机式继电器和保护系统

[美] IEEE 电 力 工 程 委 员 会 编
IEEE 电力系统继电保护委员会
孙 军 陶惠良 等译
葛耀中 叶一麟 校订

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书是根据美国IEEE1987年编写出版的指导教材译出的。书中详细地介绍了国际上最新发展的微机保护技术。全书共分九章,分别讨论了微处理机继电器和保护系统的发展概况,数字式保护的硬件、算法、功能,整体分层系统中的计算机保护、行波与超高速保护及数字式保护系统的基本配套任务,还专门介绍了已投放市场和正在开发的各项保护的典型方案,给出了1969~1987年已发表的350余篇主要文献资料目录。本书阐述扼要而系统,内容深入浅出,可读性好。

本书可供大专院校电力专业作为选修课参考教材,也可供从事于继电保护设计、研究、制造、运行管理和安装调试等部门的工程技术人员自学参考。

微处理机式继电器和保护系统

孙 军 陶惠良 等译

葛耀中 叶一麟 校订

责任编辑 贾肇武

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆印制第一厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 8 字数: 200 千

1990年1月第1版 1990年1月第1次印刷

印数: 1—2200

标准书号: ISBN 7-5624-0232-9 定价: 1.67元
TM·16

译者序

本书是美国电气电子工程学会 (IEEE) 1987年编写出版的专题性指导教材。本书与该会1979年曾出版过的类似教材有很大不同, 著者们根据微机保护技术的新发展和已取得的实际运行成果, 从新的高度阐述和讨论了微机保护的基本理论和实践问题。

全书共分九章, 扼要而系统地阐述了适用于数字式保护系统的硬件结构、数字信号处理, 包括行波保护和超高速保护在内的线路保护和元件保护的不同算法和示例以及保护系统所能实现的多种功能和任务。着重探讨了微机保护各种不同算法的统一描述和分析方法 (第三章), 整体分层系统中的计算机保护和电力系统中多层组合的计算控制和保护系统的设置原则和示例 (第五章)。第八章介绍了已投放市场和正在开发的一系列微机保护的典型产品和方案。最后一章给出了从1969到1987年已发表的350余篇主要参考文献资料目录。

本书各章均由国际上从事微机保护研究的高水平专家分章撰写, 不仅充分地反映了当前国际上最新发展的微机保护新技术, 同时还指出了进一步发展的可能性和继续探讨的方向。论述深入浅出, 可读性好, 既便于自学, 又可作为深入研究有关课题的参考。

本书主编M. S. Sachdev教授是国际上从事微机保护研究的著名学者, 曾任美国IEEE微机保护分专业委员会主席。1984年曾应重庆大学邀请来我国进行过短期讲学。本书原著是他亲自赠送给译者的。

近几年来, 我国在微机保护的开发研究方面发展十分迅速, 涉及面广, 在已研制成功且已投入运行的装置中, 既有线路保护, 也有元件保护, 同时在有关故障测距、录波、变电站实时监控等方面都取得了令人鼓舞的成果。为了加速推广和发展这项新技术, 促进我国继电保护技术水平的进一步提高, 以适应电力系统日益发展的需要, 我们特将本书译出。本书既可供大专院校电力专业作为研究生、本科生选修课参考教材, 也可供从事继电保护设计、研究、制造、运行管理和安装调试等部门的工程技术人员自学参考。

本书前言及第一、二章由重庆大学孙军翻译, 第三至八章, 分别由西安交通大学李兵、王安定、张保会、徐丙垠和陶惠良翻译。西安交大葛耀中教授校阅了全书的译稿, 重庆大学叶一麟教授对全书译文进行了审阅和定稿。

由于译者水平所限, 译文中难免会有错误和不妥之处, 热诚欢迎读者批评指正。

译者

1988. 11.

前 言

人们对较高级的固态技术用于电力系统保护方面进行了持续不断的研究和探索，已经涌现出了大量的技术文献，但是到目前为止，相对说来在实际应用上还发展得不够。然而，每一代新技术及改进方案的出现，对涉及提高实际应用潜力的深入研究都提供了巨大的机会。微处理机作为一种最新的技术，已经用于一些保护设计，它在整个继电保护领域中具有不容忽视的广泛应用前景。

因此，对于继电保护工程师们来说，这本指导教程是既重要又及时的。它介绍了自1979年和1980年的指导教程以来所出现的基本的最新资料和发展过程。

参加本书编写的所有作者都是大家公认的专家。多年来，他们一直在数字保护、计算机继电保护和微机式继电器及其保护系统方面耕耘和工作。

J. 路易斯·布莱克本

1986年6月8日

教程主编:

M. S. Sachdev, Fellow IEEE
Power Systems Research Group
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan
Canada S7N 0W0

章 执笔者

前 言 J. L. Blackburn, Life Fellow IEEE
Consultant
(Formerly with the Westinghouse Electric Corp.)
21816 8th Pl. W.
Bothell, WA 98021

1. M. S. Sachdev, Fellow IEEE
Power Systems Research Group
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan
Canada S7N 0W0
2. E. O. Schweitzer, Member
Schweitzer Engineering Lab, Inc.
NE 1525 Mermar Dr.
Pullman, WA 99163
3. J. S. Thorp, Senior Member
Cornell University
Phillips Hall
Ithaca, NY 14853
4. E. A. Udren, Member IEEE
Westinghouse Electric Corporation
200 Beta Drive
Pittsburg, PA 15238
5. A. G. Phadke, Fellow IEEE
Electrical Engineering Department
VPI & SU
Blacksburg, VA 24061
6. P. G. McLaren, Member IEEE
University Engineering Department
Trumpington Street
Cambridge
U. K. CB2 1PZ
7. W. D. Breingan, Member IEEE
General Electric Company
205 Great Valley Pkwy.
Malvern, PA 19355
8. M. S. Sachdev, Fellow IEEE

and H. C. Wood, Member IEEE
Power Systems Research Group
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan
Canada S7N 0W0

9. Contributors (listed above)

目 录

第一章	微处理机继电器及保护系统导论.....	(1)
第二章	数字式保护继电器的硬件.....	(10)
第三章	保护的算法基础.....	(17)
第四章	保护的功能.....	(36)
第五章	在整体分层系统中的计算机保护.....	(54)
第六章	行波与超高速保护.....	(65)
第七章	数字式保护系统的基本配套任务.....	(77)
第八章	微处理机继电器.....	(84)
第九章	数字计算机继电保护系统文献目录.....	(99)

第一章 微处理机继电器及保护系统导论

1.1 引言

这本教材介绍了电力系统中微处理机继电器及保护系统的最新发展情况，简单描述了适用于数字式继电器的硬件，讲解了包括行波及超高速(UHS)继电器在内的保护技术及保护算法的基础知识，概述了微处理机继电器所能执行的基本功能，并分析了计算机保护在电力系统的多级组合计算机控制和保护系统中的作用。本书最后给出了范围广阔的文献目录作为参考。

自数字计算机问世以后，它早已在电力工业中得到离线应用，例如用于潮流计算、暂态和动态稳定计算以及安全性评估研究。近年来，数字计算机已被在线应用，例如状态估计、发电控制、经济调度等。

第一代计算机的运行要耗费大量的电能并需要装设空调设备（为保持计算机的温度在允许的范围之内），而且还要求很大的机房供其安装。第二代计算机较第一代计算机其性能提高，要求的空间及耗费的电能都减少了。此时小型计算机也产生了，在某些情况下，其性能超过了第一代计算机。第三代计算机应用了大规模集成电路，较第二代计算机具有更优良的性能，要求更小的空间，耗费更少的电能。微型计算机大约也在此时产生。早期的微机采用4位字长，用在过程控制中执行简单的逻辑功能。从那时以后，8位及16位字长的微机也出现了。现在，即使32位及准32位字长的微计算机也能买到。其中某些微机能作算术运算并能用高级语言编程，例如可用C语言、PASCAL语言、PLM语言等。在这些微机中已装有几千字节的随机存储器及只读存储器。

用于电力系统保护的早期继电器采用机电技术。即使今天，世界上还有几千个电力系统仍在用着这种继电器。在50年代后期出现了静态继电器。由于种种原因，前15年间使用单位几乎没有接受使用静态继电器。然而，在最近的15年里，静态继电器的使用逐渐增加。最近，数字处理机技术已经引入到继电器的设计中。目前，许多同行、研究部门以及生产厂家争相开发微处理机电力系统保护装置。众多装置已在市场上出售。这些装置运用了本书提到的某些技术。希望未来的继电器设计能利用本书中提到的原理，以及将来定会得到进一步发展的新原理。

本章是微处理机继电器及保护系统这一课题的一个导论。我们回顾了这一领域的历史发展背景，概述了使用这些装置带来的优点，然后介绍了单独的微处理机继电器及保护系统的主要元件。最后，概略地指出本书所研究的问题。

1.2 历史背景

在一篇综述文章[10]*中, Rockefeller概述了用一台计算机保护一座超高压变电站中的所有设备和从变电站引出的所有输电线路的可行性。从这篇文章可以清楚地看到, 用一台数字计算机执行一座变电站中所有保护功能时的各种问题。然而, 由于人们乐于对每个主要的保护功能采用单独的微处理机继电器, 因而利用一台计算机及其附属设备来执行多种保护的思想没有得到采用。但是, 这篇文献中指出的许多研究思想仍然是有效和有用的。在文献[10]发表后不久, Mann和Morrison[22, 24]提出了从采样信息估计电压和电流向量的采样和导数方法, 他们也给出了适用于输电线路保护的计算机程序流程图。Dr. Morrison及其同事们提出的这个方法被扩展和运用在输电线路的第一个数字计算机距离保护继电器中。这项研究成果是太平洋煤气电气公司 (the Pacific Gas and Electric Co.) 和西屋电气公司 (the Westinghouse Electric Corporation) 联合研究项目的一部分。这个命名为Prodar 70的新设计系统用于监视太平洋煤气电气公司的一条 230kV 的名叫 Tesla-Ballota 的线路。西屋公司的P-2000过程控制计算机是执行相间和接地距离保护这一系统的核心。最初, 此计算机没有用于跳开线路而只是提供观察到的现象和所作的决策信息, 包括何时进行的观察及何时作出的决策。后来, 此计算机在现场试验时允许用于跳开断路器。从这个研究项目[32]中收集到了大量有用的数据并获得了经验。

Hope, Umamaheswaran和Malik[41, 54]研究了用付里叶变换法来估计输电线路端电压及线路电流的基波频率 (60Hz) 分量, 根据这些估计得到的向量可确定继电器安装处所见的线路阻抗。正弦-余弦波以及奇-偶矩形波也都用来作为加权函数。Carr和Jackson[56]也利用了付里叶变换法, 他们的方法类似于参考文献[41]和[54]中的正弦-余弦法, 不同的是在继电器的设计中采用了协调的模拟滤波器和数字滤波器设计。他们用数字化的故障数据试验提出的这个方法并证明了它的可行性。J.W. Horton[55]将沃尔什函数用于数字式继电器设计中。这项工作除了后来的研究涉及到利用奇偶矩形波作为加权函数以外, 并未超越初始探索阶段的水平。1971年美国电力服务公司 (the American Electric Power Service Coporation) 开始跟IBM公司联合搞数字继电器研究项目。搞这个研究项目的第一年, 进行了变电站计算机系统的可行性研究[66], 并开发了警报、监测、数据记录、控制、录波以及继电保护程序。第二阶段, 开发并试验了利用对称分量法的阻抗保护[73]。在这个研究中, 作者们利用了一个判别式来鉴别各种类型的短路故障。Sachdev和Baribeau[102, 110]利用最小二乘法从原始数据中提取电压和电流的基波频率分量。用这个方法得到的电压和电流向量的实部和虚部可用来计算继电器安装处所见的阻抗。这个方法的优点是在没有预先给定系统的 X/R 比的情况下, 明显地将衰减的直流分量从输入数据中滤去。其它研究人员, 包括Ranjbar和Cory[50], McLaren和Redfern[60]、Miki等[40], 在数字式继电器的发展以及利用大约一个周波的基频数据窗技术方面也都作出了贡献。

1973年通用电气公司 (the General Electric Company) 和费城电气公司 (the Philadelphia Electric Company) 定下一个联合项目, 宗旨在于研究输电线路数字计算机保护技术的可行性。首先设计了保护系统并在实验室做了大量的试验[96], 然后将超范围方向跳

* 为参考文献的编号, 见本书第九章的文献目录。

闸逻辑加入系统中[100]。这套装置安装在费城电气公司的一条500kV长为116km的输电线路两端。该系统以监测状态保持运行达一年之久,然后作了分段故障试验以证明这个系统的适用性及充足性[99]。这项研究工作将输电线路视为一条串联的 $R-L$ 回路。利用在线路端部测得的电压和电流,求解相-相以及相-地电路的一阶微分方程,计算出继电器安装处所见的电阻和电感。此方法类似于包括Poncelet[31],Ranjbar和Cory[50]在内的其它作者早先提出并使用的方法。Davall和Au-yeung[114]扩展了这种方法,利用变化的积分周期以削减特定谐波的影响。

Girgis和Brown[159]运用卡尔曼滤波器从有噪声的电压和电流信号中提取基波频率向量。后来用这种技术设计了一个数字距离保护继电器[178]。这种技术也为Dasgupta等人采用[196],并被Sachdev, Wood和Johnson等人进一步加工和扩展[276]。

行波概念的运用已逐渐引起人们更大的注意,在初始阶段,L.N. Walker及其同事提出了非常规的方法并做了试验[8,12]。后来Takagi等人利用了行波理论[77,85]。紧接着便提出了关于技术和装置方面的许多报告,其作者有Dommel和Michels[84],Chamia和Liberman[92],Vittins[152],Engler等[263],Crossley和McLaren[198]以及Rajendre和McLaren等[273]。

检测发电机绕组故障的数字技术也已得到研究。Sachdev和Wind[36,38]提出了一种比较故障电流(绕组中性点侧与出线端的差电流)和穿越电流瞬时值的方法。差电流和穿越电流通过模拟加法电路进行预处理,以便减轻模数转换方面的困难并减少需要的CPU时间。Hope, Dash和Malik[71]利用互相关技术确定中性点侧和引出线侧电流向量的实部和虚部。他们用了二个不同的跳闸判据,其一是将中性点侧与引出线侧电流差的幅值与两者之和的幅值进行比较,如果差电流超过相应和电流的预定百分数就跳闸,其二是利用引出线电流和中性点电流的点积作为制动量。后一种跳闸判据增加了继电器对外部故障的不灵敏度。在不对称故障时,发电机的励磁电流包含有二次谐波分量。如果故障在发电机绕组内部,负序功率从发电机流向系统侧。然而,当故障在系统侧时,负序功率由系统侧流向发电机。Dash, Malik和Hope[79]在检测发电机不对称故障的一个方法中利用了这些特性。

Malik, Dash和Hope[64]也利用互相关方法来确定变压器原副边电流的基波和二次谐波分量。将变压器原边电流与二组正交函数相关,即正弦-余弦对和奇-偶矩形波对。通过模拟故障和励磁涌流对这个方法进行了试验。结果表明选择的互相关函数在励磁涌流情况下能提供足够的制动。在内部故障时,故障开始后的几毫秒内“动作”函数就将大于“制动”函数。Schweitzer, Larson和Flechsich[75,101]利用奇偶方波从变压器原副边电流的信号中提取基波和二次谐波分量信息。这项研究的特色是从基波电流和二次谐波电流的实部和虚部中识别励磁涌流现象,而不必计算基波电流和二次谐波电流的峰值或有效值。提出的这种方法已在Motorola MC6800微处理机上实施,并在实验室环境中作了试验。Sachdev和Shah[158]也提出了一种数字差动和带制动的接地故障的继电器。Thorp和Phadke[169]推导了一种三绕组变压器谐波制动的算法。这种算法利用付里叶分析计算谐波分量。后来,Phadke和Thorp[202]提出了一种用于电力变压器的基于磁通制动的电流差动式计算机继电器。最近,Rahman等人在他们的报告中[264]对用于变压器差动保护的各种数字技术作了比较。

Sachdev和Giray[88]在研究了计算频率及频率变化率的不同方法后,提出了一种数字频率和频率变化率继电器。所选择的方法包括对几个连续周波的时间间隔进行计时,由每个时间间隔的测量值计算频率,然后运用回归分析决定频率及频率变化率。这些信息被用于减

载继电器。Girgis和Ham[167]提出了一种基于快速付里叶变换的技术,用于测量电力系统母线的频率并由测量值作减载决策。Phadke等人[193]利用付里叶分析技术估计电压信号的频率。后来,Sachdev和Giray[214, 229]提出了一种用最小二乘法从采样数据中估计电压信号频率的方法。

通过这里所作的历史回顾以及对文献目录中文献的研讨,可以清楚地看到人们对输电线路的保护比电力系统中其它元件的保护作了更多的研究和开发工作。产生这种情况有两个主要原因。首先,模拟式输电线路保护系统比其它元件的保护系统要贵好几倍,研究人员认为用于输电线路保护的微处理机继电器会比相应的模拟式继电器价格便宜。然而,作为商品首先投放市场的微处理机继电器却是一个过流继电器[342],其价格仅为几百美元。第二个理由是输电线路保护功能比其它元件的保护复杂,因此大多数研究人员认为用于输电线路保护的微处理机继电器开发成功,意味着微处理机继电器能成功地被推广到其它所有保护。

除了本节叙述的内容外,数字处理机在电力系统数据收集及电力系统监视方面也有许多发展。不仅有单个使用的微处理机继电器,而且在整体分层系统方面也有报导。Deliyannides和Udren[244], Nilsson等人[258], Schnieper和Breingan[249]以及Tesseron等人[241]已报导了以微处理机为基础的整体变电站保护和控制系统的一些发展。Phadke等人[268]以及Thorp等人[270]还报导了用实时向量测量的静态估计,采用对数字继电器中采样时钟进行同步,使这些测量成为可能。引起人们注意的又一个基本任务是继电器至故障点间距离的估计方法。Takagi等人[176]提出了一种判断输电线路故障位置的算法。Eriksson等人[228]描述了一种故障定位器,它考虑了对端电流对判断故障点位置的影响。上述方法中,只需用到线路一端的测量值。Sackdev和Agarwal[253, 287]描述了一种故障定位技术,它利用线路两端的测量值,该方法并不要求所取的线路二端测量值同步。

上述历史回顾不可能是完整的。由于本书篇幅有限,文献中报导的一些重要内容不可能在此一一列举。要了解更详细的内容,读者可以参考列在文献目录中的文章以及阅读其它一些可能由于疏忽或错误判断而未收入的文献。

1.3 微处理机技术和微处理机继电器的优点

因为数字技术具有超过模拟技术的某些优点,故在数字继电器及数字系统领域中做大量的研究工作是值得的。以下是这些优点中的一部分:

- (1) 数字元件的特性不随温度和电源电压的变化以及元件的老化而变化。
- (2) 数字元件的性能不随部件不同而有差异(只要是一个数值,例如储存在存储器中的2,不管这个数储存在哪里总保持为2)。
- (3) 基于数字技术的设备设计,只需用到很少的部件和连接。
- (4) 由数字装置提供的解的精确度只取决于在算术运算中所用到的字长位数。
- (5) 不需要为了获得相同性能而对各数字装置进行个别调整。
- (6) 大多数设计上的变化,可以只通过改变软件来实现。
- (7) 在控制一个过程时,数字装置可以执行逻辑和算术两种功能。
- (8) 除非设备故障,数字装置记录的数据不会遭到破坏。

正确设计的微处理机继电器及系统在各方面优于机电型及静态式继电器,因而它日益被

工业部门所接受并得到普遍使用。应用微处理机继电系统的优点如下:

1.3.1 经济方面

任何一种技术的生命力就在于其经济性。数字继电器的价格定会比同种机电型以及静态型继电器的价格低(或者至少相等)。过去的二十年里,机电型及静态继电器的价格一直在上涨而数字装置的价格却一直在迅速下降。例如,一台家用计算机系统现时市场价约为10,000美元,它不仅有家用计算机的功能,也具有在70年代价值100,000美元的小型计算机的功能。从好几种继电器的设计来看,已达到了价格的转折。重要的是应该知道,每个数字式继电器必须使用一些非数字元件,例如、外壳、插头、开关、辅助变压器、电源、印刷电路板等等。如果把这些元件的成本从微处理机继电器的标定价格中除去,再除去包装、销售、研究经费的回收,工资以及利润,用在继电器中的数字硬件的成本就非常少了。

1.3.2 性能

正确设计的数字式继电器的性能至少可与现在使用的机电型及静态继电器一样好。这里所指的性能包括动作速度、安全性及适应性。使用数字式微处理机不必作大量的设计修改就能使某些运行特性得到改善。例如,不必做大量的设计工作就能提供数字式继电器的记忆功能;在数字式继电器中很容易对一个复杂的特性进行编程。

1.3.3 可靠性

数字设备的故障较机电型及静态继电器中元件的故障更频繁。但是,大多数数字式继电器设计有定时自检测系统,自检系统执行与事先给定的数据相关的软件,并将其结果与从执行正确功能的装置上得到的预期结果相比较。在实际结果与预期值不符时,微处理机继电器向运行人员发出设备故障或即将故障的警报。利用继电器检测其外围设备,可使系统的可靠性得到进一步的提高。这些特性提高了系统的可靠性,但可惜的是也增加了硬件和软件的成本。

1.3.4 灵活性

数字微处理机继电器较常规继电器更具有灵活性。它具有多种特性并可自由选择其中任一特性。用数字式继电器代替现在使用的同类继电器时,数字式继电器的上述灵活性减少了供检修和维护用的库存备品量。另一个灵活性的因素是数字式继电器的软件可以替换,因而可改变整个继电器的性能。因为在一个变电站中数字式继电器的某些输入是相同的,可以用一个变送器给所有的数字式继电器提供该输入信号。也可以设计数字式继电器使其能在变送器故障时从不同的装置接收输入信号。这些特性增加了硬件及软件的成本,但增加的成本是否合算,必须根据系统运行性能的改善来作判断。

1.3.5 基本配套任务

收集高压及超高压变电站的数据,并送到区域控制中心的做法是相当普遍的。采用传递监视和维护警报及其相应说明的办法已有20多年的历史。近年来,又采取把电力系统中各分散地点的电压、电流、潮流等运行数据收集起来并传送到区域和中央控制中心的办法。因为微处理机具有易于处理信号通信的功能,已设计了一些微处理机继电器和保护系统把收集数据及传送数据到指定地点作为一项基本配套任务。

一些微处理机继电器执行的另一项任务是对故障期间收集的数据进行故障后分析。继电器计算出故障的距离,如果为永久性故障,就给维护人员立即提供可用的信息,如果是暂时性故障,则此信息留着将来分析用。大多数数字式继电器也收集就地的顺序事件信息,对它

进行分析并为控制计算机提供详细情况及分析结果。

1.3.6 额外收益

如同静态继电器一样，微处理机继电器对电流和电压传感器来说是很轻的负载。况且，微处理机继电器使用数字化数据，这种数据可以从安装在高压及超高压设备处的电子变送器通过光导纤维接收。这种方法不仅节省了电缆的费用，而且也节省了目前使用的高压及超高压电流、电压互感器的昂贵费用。这将促进传感器和保护的统一系统的开发。

1.4 整体分层计算机 控制和保护系统

CIGRE第34分委员会的34.02工作组在1982至1983年度对不同国家的电力部门进行了一项调查，旨在收集电力输电变电站中使用分层结构计算机系统的现状并对发展前景作出展望。工作组的报告[223]指出，几乎所有的国家都在积极发展最终具有某种分层结构的以计算机为基础的装置和系统。这些多层结构由以微处理机为基础的装置（用于线路层次）和与这些装置相通信的中央变电站计算机所组成。图1.1和图1.2为报告中发表的二种有代表性的结构。图1.1所示的系统在四个层次上使用了数字装置。第一层为数据收集单元，这一级将模拟信号转换为数字形式，数字化的数据通过光导纤维联线传送到第二层，即保护微处理机。这些处理机执行着各自指定的功能并通过数据信息通路与本站计算机联络。变电站计算机再与系统控制中心的计算机相通信。图1.2所示的另一种结构中，模拟信号以硬导线接入到执行线路级保护和控制功能的微处理机中。分层结构将逐渐发展，首先用于新的变电站，或者用于经过大修的和要进行技术改造的变电站。我们指望其中的线路级装置类似于目前电力公司可买到的单个使用的微处理机继电器（当然将来还要发展）。这两种类型的装置的主要区别只在于单个使用的装置中不必含有与其它计算机联络所必须的硬件。

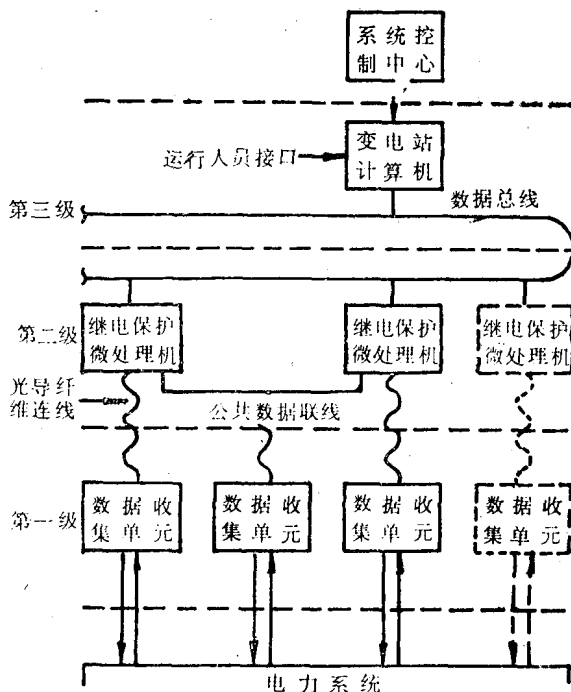


图1.1 一个四级分层变电站的计算机保护系统硬件结构图

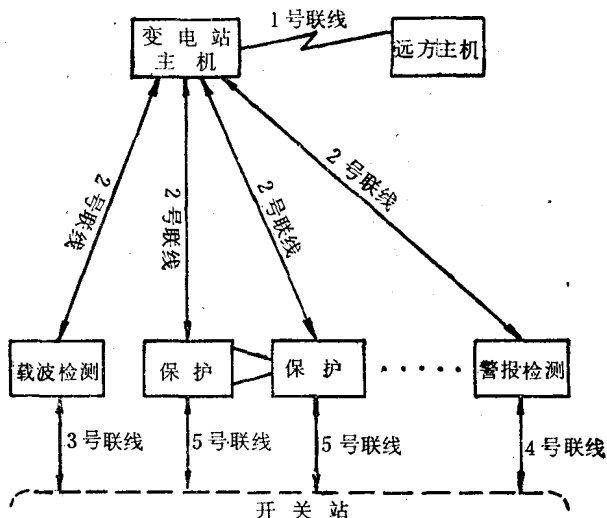


图1.2 用导线将模拟量信号接入线路级微处理机的另一种多层次变电站计算机系统

1.5 微处理机继电器的主要功能方块图

微处理机继电器的主要功能方框图示于图1.3中。各方块间的连结取决于继电器中所用的实际硬件。根据设计的继电器所执行的功能,某些方块可能不需要,而其它一些方块的重要程度也可能或多或少有些变化。除了采用行波原理的一类数字式继电器外,现在市场上可买到的大多数数字式继电器都采用这种结构。

一个数字式继电器需要用来监测电力系统的一个或多个运行参数。例如,一个过电流继电器可以用来监测三相电流以及另序电流。又如,一个母线差动继电器的输入信号可能高达30个。电压和电流是保护继电器中最常用的运行参数。这些参数是时变的连续信号,其范围可高达几百千伏和几千安。一般将这些信号降为67V(线对中性点)和5A。

由传感器提供低值信号送到模拟量输入子系统。这个子系统的目的是将保护继电器与电力系统隔离开来,以保护继电器免受瞬时过电压;充分地衰减高频分量从而将混迭现象减到最小;以及降低电压水平和将电流信号转换成等效的电压信号。电力系统的电压和电流在系统故障时含有高频分量,某些高频分量可能以基波频率(近似)分量出现,这种现象取决于信号的采样速率。如图1.4(a)所示的信号,是一个660Hz的电压信号,按每秒600次的采样速率采样。采样后的信号示于图1.4(b)中。从图1.4(c)中显然可知,在没有附加信息的情况

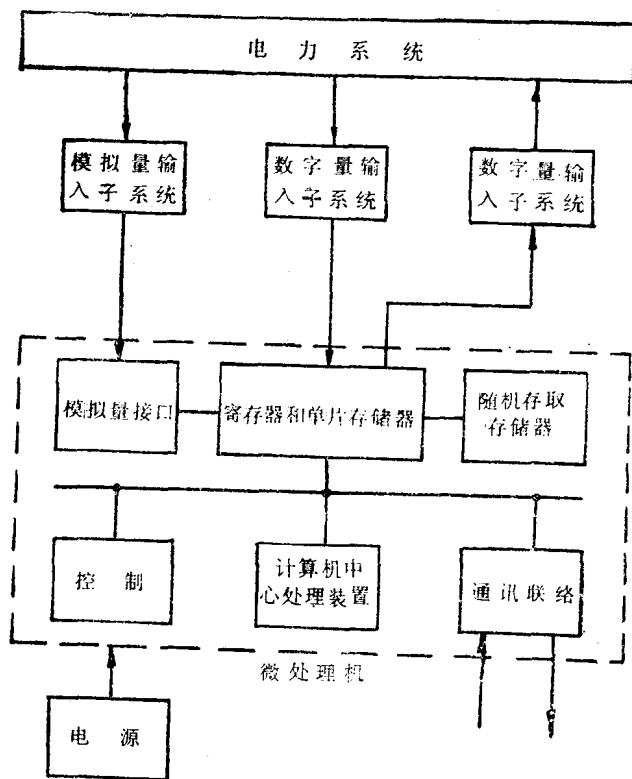
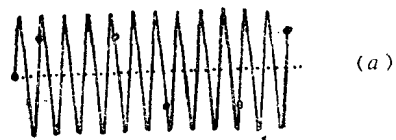
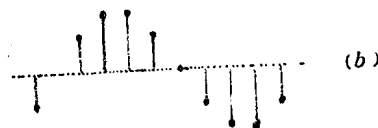


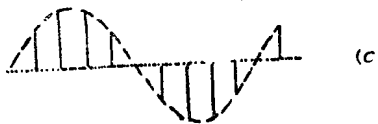
图1.3 一个单独使用的数字式继电器的功能框图



(a)



(b)



(c)

图1.4(a) 一个660Hz的电压信号按每秒600次的采样速率采样

图1.4(b) 采样后所得电压与时间的函数

图1.4(c) 采样后信息的译释

下,采样后的信号就好像一个60Hz的电压信号。这种错误的采样结果会引起数字式继电器

不正确的解释,从而增加了作出错误判断的可能性。为了避免这个问题,使用了反混迭滤波器。这些滤波器应能有效地衰减等于和高于一半采样速率的频率。

模拟量输入子系统的输出信号加到模拟量接口子系统上。模拟量接口子系统包括采样和保持,模数转换以及多路开关等硬件。这些功能可以采用不同的设计思想来实现。例如,每个模拟信号可以按控制器发出的指令采样,其采样值可以作为电容器的端压而得以保持。然后一个多路开关将每个电压依次送到模数转换器,模数转换器将模拟量的值转换成数字量并传送给计算机。另一种方法则是把每一个模拟信号经过采样,并通过专用的模数转换器转换成数字信号,然后通过一个多路开关将每个信息按顺序读入计算机中。

电力系统中断路器及隔离开关的状态,继电器掉牌及电压检测信息通过数字输入子系统供给继电器。接点状态是用一个辅助电源和检测机构来检出的。由于在数字输入线上有可能出现暂态电压,所以应安装有隔离设备、输入导线的屏蔽以及暂态防护设备。一个继电器的数字输入量的数目可多达20个左右。

数字式继电器的输出是通过数字输出子系统送到电力系统的。一个继电器提供多达10个数字输出量可能是需要的,此外,还必须包括微处理机的输出电路与电力系统间相隔离的适当措施以及暂态防护装置。

在一些继电器设计中,可以储存原始采样数据以供示波,故障后分析以及保留重要瞬间的记录作为将来使用或作参考。重要的是故障前以及故障后暂态期间的数据都要保留下来。继电器给出的适当的时间标记和信息也要保留下来。随机存取存储器可用于这个目的。原始数据要尽快地移到一个就地的或者远方的辅助存储装置中,这样使随机存取存储器空出来供下次发生的暂态用。

继电器的程序,逻辑及整定值以某种形式储存在只读存储器(EPROM, EEPROM等)中。控制器、CPU及寄存器作为一个整体依次执行一条又一条指令,有必要使用某种芯片存储器和某种随机存取存储器来达到这一目的。软件故障时则由某种监控设备(watchdog)使系统恢复。

为了测量信号的瞬时值,就需要不断地对模拟数据采样。为了得到相容的结果,采样间隔必须很小,通常为ms(毫秒级)*。但是太小了也有问题。目前采用240Hz~2kHz范围内的采样速率。最普通的采样形式是取每个采样间隔为 ΔT 秒,此时采样频率定为 $f_s\left(=\frac{1}{\Delta T}\right)$ Hz。

另一种可能的形式是按给定的采样速率(较高)对额定系统频率的一周波中的一部分进行采样,然后停止采样,处理收集到的数据,在计算结束时再重新采样。还有另外一种采样形式,它能在电力系统正常运行情况下以较低的采样速率采样,而在认为系统受到故障时切换到较高的采样速率。有同步采样也有非同步采样。同步采样模式就是对每个信号周期取整数采样数,而且采样过程由信号的过零点来同步,如果信号频率偏离正常值,采样速率就适当地改变。在非同步采样情况下,不管信号的频率高低,采样频率总维持在给定的数值上。

微计算机继电器的电源必须可靠,即使在变电站的交流电源中断的情况下也要保证可靠供电。因此微计算机继电器应该具有蓄电池、蓄电池充电器及直流-直流逆变器。

* 原文为(ns)毫微秒——译注

1.6 本教材概况

这本教材分成九章。第二章叙述了信号处理用的硬件,讨论了对信号调整的需要以及为保护设备不致处于危险状况所必须采取的措施。所描述的硬件包括滤波器、放大器、多路转换开关、模数转换器、存贮器、接口硬件以及微处理机。也分析了模拟滤波和采样的要求。

第三章概述了至今已提出的算法并对这些算法所依据的理论加以叙述。分析了付里叶算法、沃尔什算法、曲线拟合算法以及微分方程算法,探讨了输入信息的误差来源,例如,非基波分量信号的存在及器件的偏移,并讨论了由于数值计算过程产生的误差,例如运用整数算术和递推计算带来的问题。

第四章叙述了目前电力部门使用的保护技术。本章的目的是帮助继电器设计者们及其他读者从第三章描述的算法中进行选择,并用到它们的装置中去,使所选的算法获得成功。所论及的专题是距离保护技术、距离测量误差、方向和相位比较方法以及母线和变压器的保护技术。

第五章讨论整体分层系统中的计算机保护。提出了一种分层系统的结构,然后描述分层系统的主要方块图,讨论了这些系统所执行的功能,例如,保护、控制、录波以及诊断和监测,论证了其中的数字式继电器执行的功能及其对中央监测和保护所作的贡献。叙述了向量和频率测量、静态估计、动态估计及控制。然后评述自适应保护和工业实践。

第六章回顾输电线路的行波保护技术。分析了常规保护技术的局限性,并叙述超高速方向继电器,分析了输电线路保护的宽频带电流差动技术。并描述利用故障在故障点与保护安装点后面的间断点间引起的冲击波的雷达技术。然后对行波保护技术应用于故障定位作了讨论。

第七章描述了数字式继电器能够执行的并在许多情况下确实已执行的附加任务。这些任务包括很方便地与变电站内及站外的其它装置通信。概述了用于整定继电器,报告由继电器检测到的扰动信息、事件顺序记录以及监视和报警的人机接口。最后,讨论自动重合闸及断路器的失灵保护。

第八章介绍目前在市场上可买到的一些数字式继电器,虽然叙述并不全面,但为读者提供评价这些继电器功能的足够资料。这一章中叙述的数字式继电器分为二种类型。第一种类型为单输入继电器,包括用于配电馈线保护的过流继电器,用于电动机保护的过流继电器、负序过流继电器、过/欠频率继电器以及过励磁继电器。第二种类型为双输入继电器,包括方向继电器和距离继电器。

第九章提供一个全面的数字式计算机继电保护的文献目录。目录中所列文献用英文给出,在一般的图书馆服务中心均能很方便地查到。所有文献均按时间顺序排列,每一年发表的文章列为一个部分,生产厂家发表的文献单独列为一部分,放在最后。