

计算机继电保护技术的现状与展望

华中工学院 陈德树 张之哲

引言

电力系统继电保护的发展，决定于两个方面：电力系统的发展和实现继电保护功能的技术手段的发展。计算机继电保护，就是随着近代大电力系统的发展，和数字计算机技术的发展而发展起来的。

从六十年代后期，计算机在线控制开始进入继电保护领域〔65—1〕〔66—1〕。十多年来，人们在理论上和实践上进行了大量的研究，使计算机保护不断在广度和深度上发展，在八十年代初终于达到实用化阶段〔81—19〕。目前，在美、英、日、加、澳、西德、法国、印度一些大学、研究所和厂家进行研究外，从文献上看，还有苏联、瑞典、瑞士、奥地利、比利时、东德、荷兰、意大利、南斯拉夫、捷、葡、西班牙、南非、以色列、沙特阿拉伯和香港地区在进行这方面的工作。我国一些大学和研究所也已开展研究。根据搜集到的1965——1982年间发表的385篇文献或摘要（国外363篇，国内22篇，不包括学位论文）各年分布情况看，计算机保护文献数量基本上逐年上升，而且近年来数量已相当可观。十多年来的发展历史表明，计算机保护正受到日益广泛的、愈来愈大的重视。

年 度	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
文献数量	1	1	2	2	3	12	8	11	9	10	28	25	32	35	44	59	57	46 (未全)

一、计算机保护的发展趋势——根据文献的统计分析

1. 由开发性研究向实用化研究的发展

研究计算机保护，使用了三种实验方式：

（1）离线模拟计算：用于在线实验条件不具备，或对算法、软件作初步原理性研究；

（2）实验室在线试验：将计算机与被保护对象的物理模型联机实验，研究保护原理、软硬件设备与技术；

（3）装置现场试验：在现场情况下，对初步装置作长时间连续的综合性考验。

这三种方式，后一种比前一种更接近实际情况。文献的分布情况如下表所示：

年 度	65~69	70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 (年)
模拟计算		4 3 3 3 4 4 5 5 2 1 4 5+8(国内)
在线试验		1 1 2 1 2 3 5 6 7 6 3 8
现场试验		2 3 4 5 9 10 16 10 (未全)
实际使用		2 5

可见实验方式由开发性研究向实用化研究发展的趋势:

模拟计算→在线试验→现场试验→实用运行

计算机保护装置投入实际使用首先是在日本〔31—19〕〔82—4〕。

2. 计算机保护随着电子计算机技术的发展而发展

在计算机保护中使用的有小型机、微型机和多微系统, 可见

(1) 微处理机问世后, 使用小型机减少, 微型机增多;

(2) 近几年基本上主张用微型机, 并出现采用多微系统方式(多微处理机分担计算量、分布式微机网络)。

年 度	65~69, 70	71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 (年)
小型机	5	5 7 3 3 4 3 6 4 4 3 1 2 (国内)
微型机		1 2 6 10 17 23 20 28
多微系统		1 4 2 6 6 7
计算机发展	小型机	

3. 计算机保护随着电力系统应用计算机控制技术而发展

计算机保护从系统结构上看有三种方式:

(1) 集中方式: 用一台小型机执行所(厂)中多种或全部保护功能〔71—1〕、〔72—5〕、〔75—20〕、〔76—4〕、〔77—10〕、〔79—21〕;

(2) 分散方式: 用一个或多个微处理机的系统执行一种保护功能;

(3) 综合方式: 用一个主机和多个取分散方式的微处理机子系统接成一统一的系统, 对所(厂)实行综合性控制与保护〔74—4〕、〔78—4〕、〔78—5〕、〔80—3〕、〔80—10〕、〔80—16〕、〔80—20〕、〔80—21〕、〔80—35〕、〔82—3〕、〔82—4〕。

年 度	65~68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82
集中方式	1 2 1 2 2 1 5 3 3 0 2 2 0 0
综合方式	1 0 1 1 3 4 4 3 6

可见: 用综合方式趋于增加, 用集中方式趋于衰微。因综合方式兼有另两种方式的长

处，而集中方式在技术经济比较中不能和用微型机的另两种方式抗衡。目前研究最多的，是经济上可行的分散方式的计算机保护装置。

4. 保护对象的扩展与研究内容的深化

计算机保护文献所涉及保护对象情况，统计如下表：

对象	输 电 线			发 变 母		断 路 器	电 动 机	电 水 配	工 业	煤 矿	平 行 双 回 线	故 障 测 距			
	距 离	高 频	过 流	电 压 器	线										
文献数量	90	20	2	10	21	5	6	3	1	1	8	1	1	7	16

研究对象一直主要是输电线距离保护与高频保护，但近几年向常规保护对象的各个方面扩展，研究内容也不断深化。

二、计算机保护的可行性问题

计算机保护是否可行？一直备受关注，讨论很多。继电保护领域引入一种全新的技术，这是一种自然的现象。只有通过长期研究实践积累丰富材料，由此进行充分的技术经济可行性研究，才可能逐渐得出清楚的结论。这可能是计算机保护虽已研究多年进展似乎不快的一个主要原因。

1. 对可行性问题的探讨，基本上按两种方式进行：

(1) 对计算机保护和常规保护作技术经济比较。

计算机保护只有证明其优于常规保护才能被接受，所以作这种比较是必然的。大量文献作了讨论，对计算机保护的优点得到渐趋一致的认识〔78—35〕、〔79—4〕、〔79—18〕、〔79—39〕、〔80—24〕、〔81—20〕、〔81—53〕，主要是：功能改进，自检能力，适应性和扩展性，系统间信息交换，装置的标准化、小型化、低功率化。尚未取得一致意见的是可靠性、经济性、使用维护的难易等问题，这正是继电保护最重要的问题。对此有两点值得注意：

i 比较只可能就现状言，计算机保护尚在随计算机技术发展，因而评价比较的讨论将会继续下去；

ii 可靠性等问题最终必须由实践作答，结论尚需长期大量的工作。

文献〔81—53〕指出，现阶段不宜对计算机保护做很高评价，应对存在的问题进一步深入踏实探讨。这样利于加快计算机保护发展的速度。

(2) 开发原理，制作装置，进行试验，从实践中来研究计算机保护是否可行。

可行性问题从根本上说是一个实践的问题。研究中已反映出一种趋势即愈来愈注重实践，而不停留于评价比较。至今，在研究实践中已做了大量工作：

i 原理上的开发和验证。已提出和验证了许多实际可行的算法和软件设计技术。但在保护原理上还未见对常规保护有重大突破，也许这是计算机保护发展不够快的又一原因。

ii 装置的研制和试验。为综合地考察提出的原理，向实用目的靠近，必须制作装

置, 并通过充分的实验室模拟试验和长期的现场考验〔72—5〕、〔75—20〕、〔78—23〕、〔78—26〕、〔79—12〕、〔80—3〕、〔81—6〕、〔82—4〕、〔82—23〕。一方面为揭露问题积累经验改进装置, 另一方面为证明计算机保护实际可行以取得人们的信任〔72—5〕、〔75—20〕、〔81—35〕。

装置通过反复试验与改进, 经受长期现场考验之后, 合乎逻辑的结果是有一些装置投入了实际的运行〔81—19〕、〔82—4〕。虽然这尚未最后一般性地证明计算机保护优于常规保护而普遍可行, 但在这些具体场合证明了它的切实可行和优越之处。值得注意, 已投入实用的装置, 是用常规保护难以满足要求的情况(都市地区的多端输电线)。发挥了计算机保护的某些长处(信息交换能力)。

2. 可靠性

可靠性对继电保护最重要, 涉及因素又最复杂。大量文献讨论了计算机保护的可靠性问题, 提出种种提高可靠性的措施〔71—3〕、〔79—18〕、〔79—27〕、〔79—34〕、〔80—7〕、〔80—34〕、〔80—53〕、〔81—35〕、〔81—50〕、〔82—12〕。

作技术经济比较时, 可靠性问题可分为三个方面作为比较的基础, 即综合可靠性、不拒动的可靠性、不误动的可靠性〔79—18〕。从严格的定量观点看, 可靠性是统计的概念, 有赖于大量经验数据。计算机保护装置尚未大量投入实际运行, 虽有用概率统计方法分析可靠性的尝试〔80—34〕, 但还不可能作出有说服力的可靠性定量分析。目前, 就可靠性问题, 对计算机保护和常规保护孰优孰劣, 还没有作出可信的结论。这方面的进一步探讨是一件重要的工作。

现阶段, 计算机保护研究所关注的, 主要是可靠性对策问题〔81—35〕, 主要有:

- (1) 系统的可靠性设计;
- (2) 软件的可靠性措施, 如软件的冗余结构和软件的标准化等;
- (3) 装置耐环境的可靠性措施, 如用光缆对付电磁干扰〔81—7〕。已有装置在变电所现场考验相当时期, 表明足以耐受热、尘、湿、冲击波和噪声干扰〔82—4〕;
- (4) 计算机的连续监视与自检。这是许多文献所主张, 并已为另一些装置所实现的重要可靠性措施〔79—20〕、〔81—6〕、〔81—19〕、〔81—39〕、〔81—41〕、〔82—4〕。普遍认为这是计算机保护胜于常规保护的一个重要优点, 对提高继电保护可靠性非常有利。其揭露装置隐患的能力, 在一些装置的现场试验中已得到证实〔81—6〕、〔81—19〕。这一长处可能将在今后的研究和设计中受到进一步的注意和发挥。

3. 经济性

经济性是计算机保护可行性问题另一重要方面, 最终分析时是最重要的因素〔79—4〕。十多年来计算机一直在迅速发展, 这直接决定着计算机保护发展趋势和速度的变化, 及人们对其经济性的评价。主要的因素有〔79—18〕、〔80—40〕:

- (1) 计算机硬件价格一直下降, 国际市场上七十年代下降了约一个数量级;
- (2) 常规保护装置价格在同期内一直上升, 增加了一倍左右;
- (3) 微型机保护系统的价格/性能比一直下降, 而常规保护的却一直上升, 尤以机电型为甚;

(4) 随着电力系统的发展,用多微系统兼作测量、控制和保护带来的综合经济效益,这是过去评价中有所忽视之处;

(5) 在工业发达国家和发展中国家电力工业与计算机发展情况有很大差别,故不能用同一的经济尺度来衡量计算机保护的经济性问题。这种差别,是造成世界各国计算机保护发展状况不平衡的主要原因之一。

回顾计算机保护的发展历史,可以看出:

(1) 小型机价格昂贵,故初期自然要采用集中方式的系统结构。即使如此,在七十年代后也无法与微型机抗衡而趋于衰微。

(2) 由于微型机价格上的竞争力,利于大量使用,问世后即受到重视并往综合方式的系统结构发展。综合方式具有技术经济上的优点,将进一步促进计算机保护的发展〔79—4〕、〔80—16〕。

目前,研制计算机保护装置的花费仍比购买常规保护装置的花费多,但已有文献指出,在最近的将来数字式继电保护和控制系统的价格就会降到常规设备的水平〔82—4〕。还应提出,采用新技术的设备的研制费,较之成熟产品的购买费,所含的费用复杂得多,不宜作简单的比较,这是在评价时应当注意的问题。

我国是一个经济上发展中国家,对于计算机保护宜于采取适合我国情况的发展方针,即“积极研究,稳重发展,重点布点,微型入手,发挥优势”〔81—53〕。计算机和大规模集成电路技术的发展,正受到国家的高度重视,这必将有力地促进计算机继电保护在我国的发展。

三、输电线保护

输电线保护是计算机保护研究的重点,发表文献最多。其主要原因可能是:

- (1) 输电线保护机理最复杂,对应用计算机的技术可行性是最大的考验;
- (2) 输电线常规保护装置最昂贵,用微型机取代的企图在经济上显得更有价值;
- (3) 初期用小型机作变电所集中控制的历史发展所致。

迄今作成装置并接受现场试验的几乎都是输电线保护有:

(1) 距离保护——研究最多〔75—20〕、〔76—5〕、〔78—23〕、〔79—34〕、〔80—6〕、〔80—40〕、〔80—56〕、〔81—16〕、〔81—24〕、〔81—34〕、〔81—39〕、〔81—40〕、〔81—41〕、〔81—42〕、〔81—48〕、〔81—49〕、〔82—12〕、〔82—23〕。

(2) 高频保护〔77—26〕、〔78—26〕、〔79—10〕、〔79—12〕、〔79—20〕、〔79—30〕、〔79—31〕、〔79—36〕、〔80—46〕、〔81—6〕、〔81—19〕、〔81—33〕。对输电线的过流保护〔76—13〕、〔81—8〕与后备保护、故障测距、故障录波也作了不少研究。平行双回线的保护受到注意〔79—36〕、〔81—19〕、〔81—23〕、〔81—40〕、〔81—41〕、〔81—42〕、〔82—28〕,某些用常规保护难以解决问题的场合特别适于用计算机保护〔81—23〕。

近几年有采用综合方式的趋势,将输电线保护的功能纳入变电所综合式控制保护系

统中去〔80—3〕、〔80—44〕、〔81—13〕、〔82—3〕、〔82—4〕、〔82—20〕。

1. 硬件:

由于计算机尚在发展之中而且各国情况不一,使用硬件情况比较复杂。目前比较趋于一致的基本考虑是:

(1) 硬件结构必须包括五个部分:输入部分,运算处理部分,存储部分,输出部分和人机联系部分(整定和显示等);

(2) 一般认为使用至少16位字长微处理机比较合适,目前多用M68000、Z8000、Intel8086机型;

(3) 使用12位以上的A/D转换器,尽可能采用DMA通道传送A/D数据;

(4) 采样率因所用算法及运算量而异,一般为工频每周采样4—40次。

一般认为硬件结构将渐趋一致可广泛实现标准化,是计算机保护一长处。但微型机发展换代很快,这利于保护性能的提高,但不利于保护装置的定型标准化及推广使用。如何解决这个矛盾,可能是今后会遇到的一个问题。

为适应计算机保护的需要,近年有一种趋势,将电流互感器、A/D转换器、光纤传输设备等组装在一起制成数字式传感器〔80—48〕、〔80—49〕、〔81—7〕作为装置的输入部分,这有利于提高硬件可靠性和实现装置标准化。

2. 软件

继电保护功能由软件实现,是计算机保护异于常规保护的基本特点。由此导致计算机保护有如下特点:

(1) 继电保护系统的设计制作,主要工作量在于软件;

(2) 装置成本包括硬件成本和软件成本,软件成本是主要部分;

(3) 软件开发为新原理新技术新方法提供了广阔场地。

算法是软件的核心问题,表现出计算机保护在运算功能上的优越性及有待开发的潜力。程序设计是算法的具体实现,需要丰富的经验,涉及广泛的知识。目前,程序设计一般使用汇编语言,也有认为用高级语言(PASCAL)是降低软件成本的一条途径〔82—3〕。

距离保护的程序包括四个基本部分,即故障检查、故障分类、故障测定和跳闸判定程序〔70—6〕、〔77—20〕、〔79—37〕、〔80—38〕、〔82—16〕。比较注意利用计算机的长记忆能力、复杂运算能力等来提高继电保护性能,例如:

(1) 用记忆数值方法检查电压变化〔70—6〕、频率变化〔81—24〕、〔81—35〕、〔82—23〕、〔82—24〕和确定近区故障〔75—14〕、〔77—7〕、〔77—20〕等;

(2) 用各种算法计算故障检测量和实现各种继电器特性;

(3) 在跳闸判定程序中提高可靠性的各种措施〔80—38〕、〔80—40〕、〔80—3〕、〔81—24〕。

行波差动保护对传送的数据码用软件检错〔79—31〕,用“查表法”实现过电流继电器特性〔82—9〕等都反映出软件的广泛用途。

目前,输电线的计算机保护基本上是用软件模仿执行常规保护功能,还没有原理上

的重大突破，这可能是由于两个原因：

- (1) 研究注意于和常规保护作比较，以证明其可行性；
- (2) 对软件技术这一完全不同于硬件技术的新领域缺乏经验。

充分发挥计算机长处，注意开发和应用软件技术，以提高和发展继电保护性能，这是一个可能将最终决定计算机保护前途的重要问题，会引起愈来愈大的重视。随着计算机保护进入实用阶段，系统地研究软件，设计和配置标准化的程序包，也是要面临的实际问题。

3. 算法。

算法是讨论最多的问题。一般文献所说的距离保护的算法，指行波法和从故障暂态量中抽取（或滤出）基频电流电压，从而算出视在阻抗的算法。

任何一种算法，都从某种输电线模型出发，对故障暂态量作了某种假定，并考虑相应的前置滤波措施。输电线保护算法可概括如下表所示（见附表“模型—算法—滤波”）。

(附表) 模型——算法——滤波

线路模型		集中参数模型			分布参数模型
算法类型	基频分量 计算法	相关法	微分方程法	最小平方 拟合法	行波法
有效的(暂 态量)成分	基频分量	基频分量, 直流分量, 高次谐波	基频分量 直流分量	基频分量, 直流分量, 有限个高次谐波	暂态量的 全部成分
应由滤波器 滤除的成分	直流分量 高次谐波	无	高次谐波	未考虑的高次 谐波	无
滤波方法	模拟低 通滤波	需要, 因为: ①采样定理	需要, 因为 ①采样定理 ②滤高次谐波	需要, 因为 ①采样定理 ②滤高次谐波	需要, 因为 ①采样定理
	数字 滤波	不必要	需要: 滤高次谐 波, 但可 不用。	可不用	不需要
文		[68-1][72-1] [75-1][75-15] [75-17][75-25] [76-7][76-9] [76-19][76-22] [77-15][78-13] [78-28][79-13]	[70-8][75-1] [75-19][77-15] [77-20][78-3] [78-15][78-32] [79-1][79-8] [80-27][80-45] [80-57][81-47]	[75-24][77-8] [77-15][79-13] [82-13][82-23] [82-38]	[77-4][77-17] [78-9][78-10] [78-14][78-23] [79-10][79-31] [80-4][80-27] [80-44][81-36] [82-44]
献		[80-57][80-59] [81-14][81-55] [82-33][82-40] [82-45]	[82-45]		

注：此外还有一类不算出基频正弦量幅值，直接用采样值实现继电器动作方程的算法〔77-7〕、〔77-27〕、〔82-41〕。

为选用最好的算法，作了大量评价比较工作〔75—1〕、〔76—19〕、〔77—15〕、〔78—8〕、〔78—13〕、〔79—2〕、〔79—6〕、〔79—24〕、〔79—28〕、〔79—32〕、〔81—10〕、〔82—7〕。评价的指标主要是速度和准确度。至今，这种评价比较基本上还是经验的和定性的，没有得出完全一致的结论。这可能因为：

(1) 影响速度和准确度的因素多而复杂，排开其他因素单纯分析算法的影响比较困难；

(2) 软硬件未标准化，不能提供便于比较算法的统一的实验手段；

(3) 对保护的速度和准确度在理论上深入探讨不够，尚未建立它们和各主要影响因素间的定量关系。

比较一致的认识是：选用一种算法，必须在速度和准确度两者间加以权衡作出折衷，并结合现有处理机的能力和采样率的选择等考虑〔79—4〕。

算法影响速度的主要因素是数据窗和运算量，这两者因各种算法采用不同的数学原理与数值处理方法而异。

算法影响准确度的主要因素，是算法滤除故障暂态量中非基频成分的能力。从数字信号处理的观点，算法也是数字滤波器〔76—9〕、〔78—8〕、〔79—13〕、〔79—24〕、〔81—10〕，在这方面进行了许多研究：

(1) 用数字滤波器（及模拟滤波器）与算法配合，以消除暂态量中非基频成分〔69—2〕、〔79—13〕、〔82—39〕；

(2) 寻求各种消除非基频分量的数字滤波器〔75—23〕、〔77—29〕、〔82—39〕；

(3) 把算法看作数字滤波器，从这一观点对算法作统一的分析、比较和评价〔79—13〕、〔79—24〕。

应当注意，以上研究都基于这一假定：暂态量中高频分量的频率是基频的正整数倍。显然这种假定与实际情况不符，会导至误差。针对这一情况，近年有文献提出使用卡尔曼滤波方法，把非工频分量作为随机噪声来处理〔81—1〕、〔82—16〕。

对于算法的比较选择，至今仍是一个有吸引力的问题。根据文献发表数量看，相关法（付氏法与沃尔什函数法）、微分方程法、最小二乘法、乘法（日本）和行波法用得较多（见下表）。

算 法	微分方程法	采样导数法	付氏算法	沃尔什函数法	正弦曲线拟合法	最小二乘法	多项式曲线拟合法	乘法	面积法	两采样值法	过零法	直接相位比较	直接用采样值实现动作方程	行波法
文献数量	15	5	15	6	4	8	2	9	4	3	1	2	3	14

四、变压器、发电机、母线的保护

所作研究远比输电线的保护少，这可能由于两个原因：

(1) 输电线保护对使用计算机的可行性考验更严重, 其研究更具代表性;

(2) 一般倾向于将变压器、发电机、母线保护功能纳入所(厂)的计算机控制、保护系统作统一考虑〔76—3〕,〔76—18〕、〔80—16〕、〔80—33〕、〔82—3〕,对研制专用的上述计算机保护装置不大注重。

但是值得强调,根据我国国情,实现所(厂)的综合式控制、保护系统还要相当时期,而研制变压器、发电机的专用式微型机保护装置比较现实可行。这方面工作有待加强。

1. 变压器保护

变压器计算机保护目前尚处于可行性研究,未达到实用阶段。主要研究算法,在实验室作模拟试验,未见有作成装置接受现场考验的报导。一般研究单相变压器和三相两绕组变压器保护,近年对三相三绕组变压器的保护也有探讨〔82—10〕。所研究的方案主要是二次谐波制动的差动保护,对其他的差动保护也有探讨〔72—7〕、〔78—7〕、〔81—36〕、〔82—17〕。

同常规保护一样,变压器的计算机差动保护面临的一个关键问题,仍是如何正确区分励磁涌流和内部故障电流。算法的研究工作重心在此,从以下三方面提出了计算二次谐波和基波分量或其比值的各种方法:

(1) 用数字滤波器:使用了递归带通滤波器〔72—9〕、〔81—38〕和有限长单位脉冲响应滤波器〔77—14〕;

(2) 相关方法:用正余弦函数或奇偶方波函数作正交样品函数〔76—6〕、〔77—5〕、〔79—28〕、〔82—8〕、〔82—43〕;

(3) 最小二乘曲线拟合法〔81—3〕、〔82—6〕。

有文献注意到二次谐波比值在故障电流和涌流中的概率密度不同,认为可用于故障判定〔81—36〕。用概率统计方法给保护原理开辟了一条新途径,可能使保护性能得到较大提高。

2. 发电机保护

尚处于实验室模拟试验的可行性研究阶段,发表文献很少。所涉及的保护有:

(1) 纵差保护〔73—4〕、〔73—7〕、〔77—11〕;

(2) 匝间短路保护(发电机内部短路保护):用励磁电流二次谐波分量作动作信号,用发电机端负序功率作制动信号〔77—16〕;

(3) 负序电流保护〔79—6〕。

有文献提出新的差动保护方案,借助计算机记忆能力对故障前的信息加以利用〔82—17〕。看来,关于发电机的计算机保护有大量工作待于开发,今后可能会受到更大重视。

3. 母线保护和断路器失灵保护

母线的计算机保护,专门的研究文献极少〔70—2〕,但是在变电所统一的计算机保护系统的功能中,一般都考虑了母线保护的功能〔69—2〕、〔80—16〕、〔82—3〕。已有文献报导研制出专用的数字式母线保护装置,并通过了实验室模拟试验和现场考验

〔82—30〕。

断路器失灵保护受到一定的注意〔69—2〕、〔74—4〕、〔77—2〕、〔77—3〕、〔80—21〕、〔82—21〕。主要提出了两种方案：用一个专用的计算机系统执行多台断路器的失灵保护功能〔77—2〕、〔80—21〕，或由变电所的一个计算机后备保护系统把断路器失灵保护的功能包括进去〔82—21〕。目前，断路器的计算机式失灵保护仅处于实验室研究阶段。

五、计算机保护引入的新原理、新技术和新方法

数字计算机的应用，给整个工业生产造成了巨大的变革。计算机在线应用于继电保护领域，引入了一系列的新原理、新技术和新方法，为继电保护在理论和技术上的发展打开了一个有着广阔发展前景的新天地。

1. 计算机的硬件和软件技术：

计算机继电保护的软硬件设计包括：

(1) 关于计算机总体结构的考虑；

(2) 微型机系统设计，涉及微处理器、存储器、输入输出设备和接口，及作为调试手段的开发系统。一般是用现成的微型机系统或单板机作基础进行修改和配备需要的外部设备。

(3) 软件，包括系统软件和应用软件。软件工作的重点是应用软件的建立。

2. 模/数变换技术

把时间上连续的电量波形变换为离散的数字量并送入计算机，涉及模拟滤波、采样和保持、多路转换器和A/D转换器。只有各个部分设计配合适当，并与继电保护运算相配合，才能得到良好的总体性能。

其中，采样率涉及因素复杂，其选择十分重要，对计算机保护的速度和准确度有重要影响〔71—3〕、〔75—22〕、〔76—14〕、〔77—5〕、〔77—31〕、〔78—32〕、〔79—4〕、〔82—23〕。

3. 数值方法

计算机只能执行算术的和逻辑的运算，因此任何涉及连续变量的计算问题都要通过离散化后，用某种近似的方法即数值计算方法才能解决。

计算机保护文献中使用了数值微分〔70—6〕、〔72—5〕、数值积分〔79—19〕、〔71—4〕、〔70—8〕、最小平方拟合〔75—24〕、〔77—8〕等数值方法。对于一种继电保护原理的实现，寻求可能的数值方法、误差小的数值方法、最优的数值方法，是有实际意义的重要问题，这是算法研究的内容。还应该注意应用非数值计算的方法〔78—17〕。

4. 频域分析

继电保护中涉及的电压和电流信号，在常规保护中一般用时域方法表示和分析，在计算机保护中还可利用频域方法表示和分析〔75—16〕、〔79—13〕、〔79—43〕、〔81—52〕。

信号的频谱通常是原始信号的一种更为简单的表达方式,易于解释和表征。在计算机保护中,象模拟滤波、数据窗长短和采样率等都是根据频率特性选择,所涉及的信号处理技术是按保护要求在频域中进行分析。频域分析利于探讨与设计新的算法,提供了分析与设计继电保护的一条新的途径。

5. 正交函数与变换方法

具有相当一般性质的一类函数,可用关于正交函数系的展开来描述。继电保护涉及的暂态量信号的数学形式也如此。计算机保护中,求出作为特征分量的某些谐波分量的一种方法,就是用正交函数作样品函数,与暂态量时变函数作相关计算〔74—5〕、〔76—6〕、〔81—14〕。使用了正(余)弦函数、沃尔什函数等正交函数。

为了便于从暂态量时变信号中抽取和处理特征信号,通常将其变换为频域中的等价形式。用到的变换方法主要是付氏变换〔78—12〕、〔81—36〕、〔82—15〕和拉氏变换〔80—29〕、〔82—18〕。

作相关计算,用付氏级数逼近暂态量,信号收敛较快,但运算要作乘法,而用沃尔什级数逼近,只作加减法,但收敛慢。可以探讨用其他正交函数的级数形式,以取两者之长而避其短。

6. 数字滤波

数字滤波是用数学的运算,对输入计算机的数据进行程序滤波处理的一种滤波方法。在计算机保护中用作从暂态量信号中取得特征分量的又一种方法。从数字滤波观点分析和评价算法,也是一条有特色的途径〔79—13〕、〔79—24〕。如何从数字信号处理角度更深入研究计算机保护的机理,是值得关注的问题。

对研究数字滤波器等离散系统的重要工具——Z变换,文献也有涉及〔76—7〕、〔77—7〕、〔77—29〕、〔82—39〕。

7. 随机分析方法与卡尔曼滤波

在常规保护中,由于运算能力限制,无法利用统计处理方法,有一些明显的随机现象受到了忽视,例如:

(1) 在保护区边界上,影响判定的因素的随机性质;

(2) 由于故障地点、故障类型等的随机性,暂态量中的非基频分量实际上是随机信号。

计算机保护可以发挥其长处,利用(1)的随机性质,用统计判定方法来判定故障,可提高判定的准确性〔80—37〕。把非基频分量视为迭加在基频分量上的随机噪声,用卡尔曼滤波方法对基频分量作最佳估计运算,其收敛可能比其他算法更快〔81—1〕、〔82—16〕。

在计算机保护中应用概率统计的方法,这是对常规保护的突破,可能使保护性能获得大的改观。这明显地表现出计算机保护的信息处理能力优于常规保护。

六、对于计算机保护前景的展望

随着微型计算机价格性能比不断降低,随着近代大电力系统对于应用计算机实时控

制的要求不断增强,计算机继电保护作为电力系统综合性监测、控制和保护系统中的重要一环,将会受到愈来愈大的重视。在终于达到实用化阶段的八十年代,发展速度将会较前更快,可能表现在以下方面:

(1) 输电线微型机继电保护装置在工业发达国家将会愈来愈多投入实用,某些类型的装置在八十年代后期可能达到商品化阶段,出现在继电保护设备的国际市场上;

(2) 发电机、变压器的微型机保护可能会引起重视,得到较快发展,作出一批样机并接受现场考验;

(3) 电流电压保护装置,在发达国家的工业中可能会很快达到实用化阶段;

(4) 变电所综合式控制、保护系统将显示出愈来愈大的吸引力,受到深入的研究。

计算机保护在技术上可能会迅速发展,在以下方面可能会受到较大的关注:

(1) 充分利用和发挥计算机长处,注意于常规保护解决困难的问题,不断提高继电保护的性能;

(2) 力求对常规保护在原理上有更大的重要突破,注意于计算机保护已被承认但尚未证实的优越性(例如适应性等)的具体实现;

(3) 可靠性问题尤其是可靠性对策的进一步探讨,对连续监视和自检的软硬件技术作系统研究与应用,并对其实效加以总结;

(4) 根据现场考验与实际运行经验,对装置进行全面评价,探讨问题与对策,以求不断改进;

(5) 对于电力系统状态变化、谐波、互感器饱和等因素对计算机保护性能的影响,作进一步的探讨并寻求对策;

(6) 对变电所综合式控制与保护系统的主要问题作系统和深入研究,提出解决的原则与具体办法。逐步探讨一些新问题,例如:

i 综合式控制、保护系统中信息的综合优化利用,保护功能与监测、控制功能的综合实现问题;

ii 分层控制系统中,继电保护功能的作用与地位,及整体优化问题;

iii 分布式多微系统中,微处理机网络的结构与功能设计问题。

参考文献(略)

本文根据1965—1982年间关于计算机继电保护的参考文献385篇(主要为英文文献,还包括日文43篇,俄文27篇,德文13篇,国内文献22篇),此略。如需查阅,请参看华中工学院所印“计算机继电保护文献目录”一文。