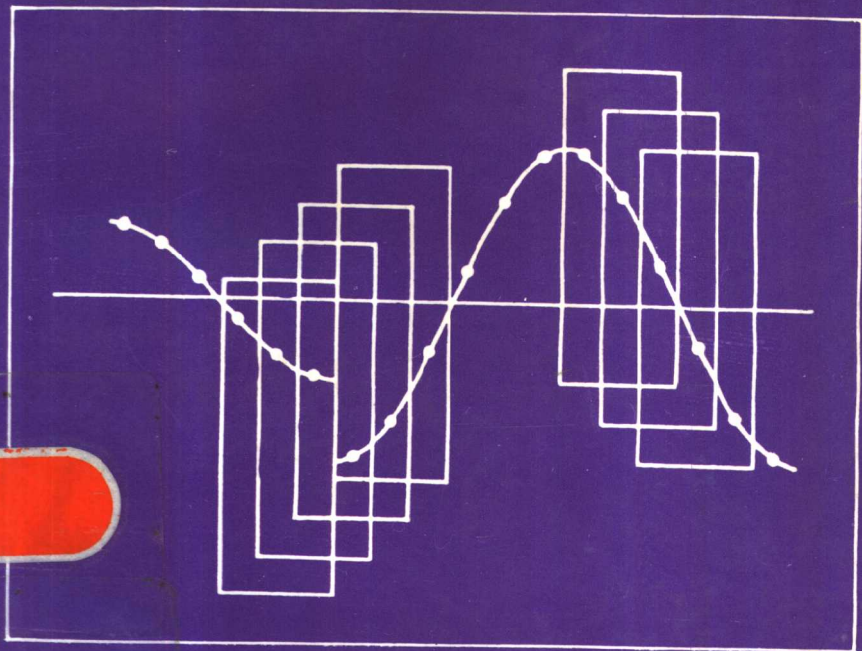


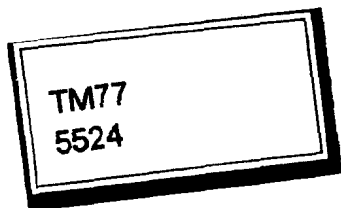
Computer Relaying for Power Systems

电力系统计算机继电保护

王建平 译
路盛元



成都出版社



电力系统计算机继电保护

(美) A. G. 费德克 著
J. S. 索 普

成都出版社

(川) 新登字 011 号

内容简介

本书对计算机继电保护最近的进展做了第一次的统一说明。作者在这一领域已工作了二十年。他们首先提出的许多新的概念已在现场成功地得到应用。

本书包括关于目前继电保护实践的介绍材料和继电保护算法的数学基础。书中使用许多图表说明重要的概念,每章的末尾有习题。本书可作为高级课程的教科书,也可作为研究人员和现场专业人员的参考书。

电力系统计算机继电保护
[美] A. G. 费德克 J. S. 索普 著
王建平 路盛元 译

成都出版社出版发行
(成都市十二桥街 30 号)
南京京新印刷厂印刷

开本: 787×1092mm 1/32 印张: 11.25 字数: 240 千
1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷
印数: 1—3, 000 册

ISBN 7—80575—419—5/TP·2 定价: 9.60 元

序 言

该书—Computer Relaying for Power Systems, 英国 Research Studies Press 1988 出版, 为目前国外第一本公开出版的计算机继电保护的书籍。作者 Phadke 及 Thorp 二氏系美国著名计算机继电保护教授, 在国际会议及专业刊物上发表过多篇论文, 曾参与美国电气及电子工程师学会 (IEEE) 计算机继电保护讲习班讲义 (一、二版) 的编写。那本讲义, 虽已引入我国, 但本书与其相比, 则具有更多的优点。

1. 本书不仅全面讲述了计算机保护的构成原理、算法及误差分析等基本知识及理论, 还充分反映了近年来的最新成就, 如变压器保护磁通及电压制动算法, 线路行波式方向、距离及差动保护以及故障定位算法等。

2. 本书对微机保护的重要问题——可靠性, 在理论及实践上作了全面论述, 如冗余技术、抗干扰测试方法及仪器等。

3. 本书对新发展的变电站微机保护控制系统有关理论、算法作了详细介绍, 如频率、相位测定, 动静态状态估计及监控等。

4. 本书讲解清晰, 深入浅出, 且每章附有习题, 便于教学, 适宜作高校教材, 也便于自学, 如用于在职科技人员继

续教育等。

译者路盛元副译审多年从事继电保护论文译述工作，成果甚丰，近年译作见《电力自动化设备》各期译文集，《第四届国际电力系统保护进展会议论文译文全集》等，译文信达流畅，在继电保护科技人员中享有盛誉。王建平副教授，曾在国外进修，专业及英文水平均较高，曾在第四届国际电力系统保护进展会议上发表论文。

二人合译此书，译文质量较高，并如实表达原书专业内容。

计算机继电保护为目前我国继电保护科研开发的重要方面，本书的出版，对计算机继电保护的发展，必将有很大的帮助。

东南大学电气工程系教授

史世文

1991年1月10日

译者的话

在科学技术方面，本世纪内令人瞩目的一件大事便是计算机的出现。60年代以来，计算机开始应用于自然科学的各个领域。到了70年代末及80年代，计算机的应用得到了迅猛的发展。特别是由于微处理机的出现，给工业自动控制带来了深刻的变革。电力系统的计算机继电保护恰恰反映了这一技术发展潮流的一个方面。

电力系统继电保护是电网安全稳定控制的一个重要领域。在这一领域中，就继电保护装置的发展而言，历史上曾经历了电磁型—晶体管型—集成电路型—微处理机型这四个主要阶段。世界发达国家早在60年代末70年代初便开始了计算机继电保护的研究。70年代中期至80年代仍是计算机继电保护突飞猛进发展的时期，目前，计算机继电保护装置已经被国外电网普遍接受并已开发出第二代新型产品。在这一技术推动下，我国的电力科技工作者们也于70年代开始了这一领域的研究试验工作并于80年代后期研制出可直接用于高压电网的微处理机继电保护样机。在这方面，南京电力自动化设备总厂等继电保护设备制造厂也已经生产出多种计

计算机继电保护产品并用于我国电力系统。对应于上述技术的发展,计算机继电保护的理论及技术普及则成为国内外保护工程师们所急需解决的一个问题。为此,IEEE 及我国电力工程界的科技工作者均先后编写过培训教材,尽管这些教材在某种程度上能够满足初学者的部分需要,但仍然存在系统性不强或内容偏难等不足。在这一情况下,美国佛吉尼亚州立大学教授 A. G. Phadke 和康乃尔大学教授 J. S. Thorp 两人于 1988 年出版了专著“Computer Relaying for Power Systems”。这本书的出版,给广大计算机继电保护研究和使用人员传来了福音,可以说它是迄今为止这一领域中唯一的一本系统化阐述电力系统计算机继电保护的好书。

“Computer Relaying for Power Systems”一书共包括 8 章内容。其中,第 1 章详细讨论了计算机继电保护的硬件系统;第 2 章介绍了传统继电保护的一些原理;第 3 章给出了计算机继电保护的数学基础,包括傅里叶变换及参数估计;第 4 章重点讨论了输电线路距离保护;第 5 章探讨元件保护的算法及问题,第 6 章和第 7 章叙述了综合系统的硬件、环境及计算机保护功能扩展的一些问题;最后一章则详细地讨论了由计算机继电保护而可能带来的新的保护原理。

本书内容新颖,系统性强,每章后面均附有习题和参考文献,特别适合于初学者自学或作为高等院校的教学用书。有鉴于此,我们全文翻译了这一著作,希望能将这一崭新的领域介绍给国内有志于电力系统继电保护技术进步的同仁们。为使读者易于理解,我们在翻译过程中力求文字的浅显性及易读性。此外,对原作的一些公式错误进行了纠正并在适当地方加了注解。

在本书的翻译和出版过程中，我们曾受到东南大学史世文教授的热情鼓励与支持，还得到南京电力自动化设备总厂情报室岳启超主任等许多同志的帮助，杨赞和杨跃同志亦为本书的出版做了大量工作，在此一并致谢。

本书前言和 1—4 章由西南交通大学王建平副教授翻译，5—8 章和附录由南京电力自动化设备总厂路盛元副译审翻译。由于我们水平有限，译文难免有不当之处，欢迎读者批评指正。

铁道部西南交通大学 王建平
能源部南京电力自动化设备总厂 路盛元
1991 年 8 月成都

目 录

序	1
译者的话	1
前言	1
第 1 章 计算机继电保护绪论	4
1.1 计算机继电保护的发展过程	4
1.2 历史背景	5
1.3 计算机继电保护的预期优点	7
1.4 计算机继电保护的总体结构	12
1.5 模—数转换器	21
1.6 抗混迭滤波器	25
1.7 变电站计算机的分层结构	31
1.8 结束语	33
习题	33
参考文献	35
第 2 章 继电保护的实践	38

2.1	保护系统绪论	38
2.2	保护系统的功能	40
2.3	输电线路保护	46
2.4	变压器、电抗器和发电机保护	58
2.5	母线保护	64
2.6	电流和电压互感器的特征	66
2.7	结束语	70
	习题	71
	参考文献	73
第3章	继电保护算法的数学基础	75
3.1	绪论	75
3.2	傅里叶级数	76
3.3	其它正交函数展开式	82
3.4	傅里叶变换	87
3.5	傅里叶变换的使用	105
3.6	离散傅里叶变换	109
3.7	概率和随机过程绪论	113
3.8	随机过程	123
3.9	卡尔曼滤波	127
3.10	结束语	132
	习题	133
	参考文献	138

第 4 章 输电线路继电保护	140
4.1 绪论	140
4.2 误差源	147
4.3 参数估计中的继电保护	153
4.4 参数估计的外围问题	179
4.5 对称分量距离继电器	185
4.6 串联补偿线路的保护	199
4.7 结束语	202
习题	203
参考文献	204
第 5 章 变压器、电机和母线的保护	208
5.1 绪论	208
5.2 电力变压器算法	209
5.3 发电机保护	221
5.4 电动机保护	225
5.5 数字式母线保护	227
5.6 结束语	232
习题	233
参考文献	234
第 6 章 综合系统中的硬件结构	237
6.1 硬件问题的性质	237

6.2	用于继电保护的计算机	238
6.3	变电站环境	241
6.4	工业环境标准	243
6.5	抗电磁干扰的措施	247
6.6	辅助设备	249
6.7	冗余度和后备	251
6.8	使用、培训和维护	254
6.9	结束语	255
	参考文献	256
第7章	系统继电保护和控制	258
7.1	绪论	258
7.2	频率和相位的测量	259
7.3	采样时钟同步	263
7.4	相量测量在状态估计中的应用	264
7.5	相量测量在动态估计中的应用	276
7.6	监视	279
7.7	结束语	281
	习题	282
	参考文献	283
第8章	继电保护新原理的发展	286
8.1	绪论	286
8.2	单相线路上的行波	287

8.3	三相线路上的行波	295
8.4	故障产生的行波	299
8.5	方向波继电器	302
8.6	行波距离继电器	305
8.7	相量差动继电器	309
8.8	行波差动继电器	312
8.9	自适应继电保护	313
8.10	自适应继电保护实例	315
8.11	故障定位算法	322
8.12	其它最近的发展	324
8.13	结束语	326
	习题	326
	参考文献	328
附录 I	代表性系统数据	332
附录 II	建议的标准取样率	336
附录 III	不同取样率之间的转换	340
附录 IV	暂态数据交换的建议标准	345

前 言

使用计算机进行继电保护的概念始于 25 年前。从那时起，这一领域已经得到了飞速的发展。与此同时，计算机也经历了一系列有意义的变化——它们已经变得更加便宜、功能更强且更坚实。今天，无论是从经济上还是技术上的原因来看，人们都更喜欢使用计算机。上述这些涉及计算机硬件上的进步均伴随着继电保护领域内原理上的进展。通过工业组织及大学里的有关研究工作者参与，电力系统继电保护的·理论已经被建立在一个数学的基础上。值得注意的是，在大多数情况下，数学研究已经证明了这样一个事实，即对于继电保护问题而言，传统的继电器设计已经达到了最优解或接近最优解。需要再次确认的是，继电保护的理论和实践已经被人们同时强调。

有关这些发展的叙述散见在各种技术文献之中，例如，各种会议的会议录、工程学会的汇刊以及许多设备制造厂的技术出版物中。我们编写本书的目的就是要为读者提供有关计算机保护这一领域的一系列相关的内容。自从 70 年代中期以来，我们已经在在这方面做了大量工作。这些工作的大部分

内容相互之间的联系是很紧密的。在这本书的描述中，有时读者会看到，我们已经给出了涉及我们自己在这一领域中以往论文的全部描述。但是，我们将努力为读者提供有关这一领域的一个平衡完整的阐述。如果读者在本书中感觉到某种偏重的话，希望能够原谅我们。

本书是为电力工程专业的研究生以及这一领域中的研究者而写的。当然，本书也适合于那些期望了解这些新发展的计算机保护的制造厂或未来的用户们。在教授本书的过程中，我们建议按本书材料的次序讲授。如果学生以前学过传统电力系统继电保护课程，那么，本书第2章可以略去不讲。第3章的内容是计算机保护的数学基础，这些内容主要是为那些目前并不在学术圈上的那些人而写的。对于获得有关继电保护算法为什么能够按设计的那样工作？怎样运行？等等问题的理解；上述这些材料是基本的。换言之，读者可以在不必了解全部数学知识的前提下理解算法的过程结构。如果读者的有限目标仅仅是了解算法的过程结构，那么，他可以浏览一下第3章的数学基础后，直接进入他们感兴趣的章节。

我们在计算机保护中持续如此长时间兴趣的一个非常重要的因素就是我们与美国电力服务公司(AEP)的长期合作关系。在 Tony Gabrielle 领导下的 AEP 原有的计算机应用部所创造的那种空气，非常适合于工程上的技术革新工作。Tony Gabrielle 不仅将我们引入到这一领域，而且还在我们的实际结果很难于在未来实施的时候给了我们所必须的大量资助。我们同样要感谢目前 AEP 的领导人 Stan Horowitz，他是我们的同事和教师。没有他的帮助，我们就不可能与作

为实际工程企业的继电器实施部门相接触。Stan Horowitz, Eric Udren 以及 Peter McLaren 均通读了本书的初稿并且提供了许多建议性的意见。在此,我们向他表示诚挚的谢意。有关本书的责任及本书所存在一切错误,均由我们自己承担。

我们将在这一领域中继续投入大量的热情进行工作。我们期望,通过这本书,能够与读者分享这方面的快乐。

A. G. 费德克

J. S. 索 普

1988 年 3 月 15 日

第 1 章

计算机继电保护绪论

1.1 计算机继电保护的发展过程

计算机保护这一领域起始于这样一种研究的尝试：即电力系统的继电保护功能是否可以用数字计算机实现。这方面的研究始于 60 年代。在这一时期内，数字计算机正在缓慢地且系统化地代替着传统的分析电力系统工程工具。在这一阶段中，电力系统规划人员主要关注的问题，如短路计算、负荷流及稳定等问题的求解，被转化为计算机程序，从而代替了直流计算台及网络分析器。当时，继电保护被认为是下一个激动人心且充满前途的计算机化的领域。在初始阶段，人们都清楚地认识到当时的数字计算机无法满足高速继电保护功能的技术需求。计算机的经济性也不存在任何诱惑力。计算机价格的数量级也太昂贵。然而，这时期的计算机保护的算法开发及测试方面的研究却吸引了一些科学工作者。通过这样一些基本的学术上的好奇心，人们开发了这一肥沃的学术领域。