

# 继电保护及自动化新原理、 新技术研究及应用

罗承廉 编著

华中科技大学出版社  
<http://press.hust.edu.cn>

TM77  
23

# 继电保护及自动化新原理、 新技术研究及应用

罗承廉 编著

华中科技大学出版社  
<http://press.hust.edu.cn>

## 内 容 提 要

结合作者多年在继电保护与变电站自动化领域的研究心得与实践经验，本书系统介绍了继电保护的基本原理、整定计算、常用算法和发展趋势，探讨了电网继电保护及安全自动装置的整定计算，并对高压及超高压电网继电保护整定的特殊问题提出了自己的见解，总结了近年来继电保护中相关新原理和新技术的应用，概括分析了变电站监控系统的结构与功能。

本书可供电力部门规划、设计、基建、安监、生产、调度、运行管理人员及其他工作人员阅读，也可供大专院校相关专业师生参考。

# 前 言

继电保护是电力系统自动化的一个重要分支，也是保证电网安全、稳定、经济运行的重要屏障。继电保护装置从其诞生之日起，经历了机电型、晶体管型、集成电路型和微机型的几代发展，为电网的安全、稳定、经济运行作出了重大贡献。近年来，随着微机技术、通信技术、数字信息处理技术等的发展，继电保护从原理到技术也产生了深刻的变化，这对广大继电保护专业方面的专家、学者及工作人员而言，既展现了一个广阔的发展前景，也面临着更艰巨的任务和挑战。目前，很多新原理、新技术在此领域的应用仍处在不断的探索之中。

电力系统在运行过程中，可能发生各种故障或处于不正常的运行状态中，而继电保护则是保障电力系统安全运行的卫士。

本书综述了保护继电器的发展过程，主要讲述了目前应用较为成熟的保护新原理与新技术，以使读者能更好地把握继电保护的过去、现在及未来的发展趋势。书中第 1 章对继电保护作了综合描述，系统地介绍了继电保护的基本原理、整定计算、常用算法和发展趋势；第 2 章结合作者多年的工程实际经验，探讨了电网继电保护及安全自动装置的整定计算，并对高压及超高压电网继电保护整定的特殊问题提出了自己的见解；第 3 章讲述了在继电保护中相关新原理和新技术的应用；第 4 章介绍了变电站监控系统；第 5 章分析了变电站监控系统的结构与功能；第 6 章叙述了变电站的微机控制装置；第 7 章介绍了新型的广域后备保护系统。全书体现了本学科的先进理论和先进应用技术。

这里，作者谨向参加本书编写的华中科技大学林湘宁博士和苗世洪博士致以谢意。林湘宁博士参加了本书第 3 章和第 4 章的编写工作，第 5 章的编写过程中得到了苗世洪博士的大力协助。

由于编者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2005 年 2 月

# 目 录

<b>第 1 章 计算机继电保护综述</b> .....	(1)
1.1 继电保护的发展概况 .....	(1)
1.1.1 电力系统继电保护的作用 .....	(1)
1.1.2 继电保护的发展概况 .....	(2)
1.2 微机继电保护装置的基本构成 .....	(5)
1.2.1 概述 .....	(5)
1.2.2 模拟量输入系统(数据采集系统) .....	(6)
1.2.3 开关量输入及输出回路 .....	(9)
1.3 微机保护的常用算法 .....	(12)
1.3.1 数字滤波器 .....	(12)
1.3.2 半周积分算法 .....	(16)
1.3.3 傅里叶算法 .....	(17)
1.3.4 微分方程算法 .....	(19)
1.4 微机继电保护硬件系统的发展趋势 .....	(20)
1.4.1 数字信号处理器 .....	(21)
1.4.2 ARM 处理器 .....	(27)
1.5 微机继电保护装置的电磁兼容问题 .....	(30)
1.5.1 电磁兼容措施 .....	(31)
1.5.2 电磁兼容应用 .....	(35)
<b>第 2 章 电网保护及自动装置整定计算的探讨</b> .....	(38)
2.1 通用整定原则 .....	(38)
2.1.1 过电流保护 .....	(38)
2.1.2 无时限电流速断保护 .....	(39)

2.1.3	带时限电流速断保护 .....	(40)
2.1.4	电流闭锁电压速断保护 .....	(41)
2.1.5	方向过电流保护 .....	(44)
2.1.6	方向电流速断保护 .....	(45)
2.1.7	大接地电流系统零序电流保护 .....	(46)
2.1.8	三段式零序方向电流保护 .....	(52)
2.1.9	大接地电流系统的接地距离保护 .....	(53)
2.1.10	小接地电流系统的接地保护 .....	(55)
2.1.11	距离保护 .....	(56)
2.1.12	差动保护 .....	(62)
2.1.13	高频保护 .....	(65)
2.1.14	自动重合闸 .....	(67)
2.1.15	故障录波器 .....	(72)
2.2	220 kV 及以上电压系统继电保护整定的特殊问题 .....	(74)
2.2.1	继电保护运行整定的基本原则 .....	(74)
2.2.2	继电保护对电网接线和调度运行的配合要求 .....	(81)
2.2.3	继电保护装置的整定的具体规定 .....	(84)
<b>第 3 章 微机保护的新原理和新技术 .....</b>		<b>(104)</b>
3.1	微机继电保护原理和技术的新进展 .....	(104)
3.1.1	原理和技术的新进展 .....	(104)
3.1.2	微机保护的发展趋势 .....	(107)
3.2	自适应控制原理在微机保护中的应用 .....	(109)
3.2.1	自适应继电保护的作用和意义 .....	(110)
3.2.2	自适应继电保护发展的条件 .....	(112)
3.2.3	自适应电流保护 .....	(113)
3.3	智能控制理论在微机保护中的应用 .....	(117)
3.3.1	关于几个基本概念的讨论 .....	(118)
3.3.2	智能式微机变压器主保护系统的结构和设计 .....	(119)

3.4	现代数字信息处理技术在微机保护中的应用.....	(125)
3.4.1	离散序列小波变换在微机继电保护中的应用 .....	(125)
3.4.2	级联多分辨形态学梯度变换及其在继电保护中的 应用.....	(132)
3.5	基于新原理、新技术的微机保护装置举例.....	(141)
3.5.1	自适应理论在微机保护中的应用举例 .....	(141)
3.5.2	智能控制理论在微机保护中的应用举例 .....	(145)
3.5.3	数字信息处理技术在微机保护中的应用 .....	(149)
<b>第4章</b>	<b>变电站监控系统概述 .....</b>	<b>(155)</b>
4.1	引言 .....	(155)
4.2	变电站自动化系统典型结构、特点及其设计.....	(157)
4.2.1	变电站自动化系统典型结构和技术特点 .....	(157)
4.2.2	变电站自动化系统设计中的几点建议 .....	(160)
4.3	变电站自动化系统的基本功能和配置方式.....	(165)
4.3.1	变电站自动化系统的基本功能 .....	(165)
4.3.2	变电站自动化系统的配置方式 .....	(170)
4.4	变电站自动化系统的通信结构 .....	(172)
4.4.1	通信系统构成.....	(173)
4.4.2	通信网的选择.....	(174)
4.4.3	通信的实现.....	(175)
4.5	变电站自动化技术的现状及发展方向.....	(177)
4.5.1	目前变电站综合自动化存在的问题 .....	(177)
4.5.2	变电站综合自动化发展趋势 .....	(177)
<b>第5章</b>	<b>监控系统的结构与功能分析.....</b>	<b>(180)</b>
5.1	监控系统的设计目标与要求 .....	(180)
5.2	监控主站的功能模块设计 .....	(181)
5.2.1	综合自动化系统变电站 .....	(181)



5.2.2	监控主站的功能模块设计 .....	(183)
5.3	实时多任务的管理 .....	(193)
5.3.1	任务划分 .....	(194)
5.3.2	实时多任务管理的实现 .....	(195)
5.4	实时数据库的设计与应用 .....	(200)
5.4.1	设计思想与目标 .....	(200)
5.4.2	变电站实时数据库数据模型 .....	(200)
5.4.3	内存数据库的设计 .....	(207)
5.4.4	变电站自动化系统实时数据库的功能与特点 .....	(215)
5.5	现场总线网络的特点 .....	(220)
5.5.1	现场总线的特点及优越性 .....	(220)
5.5.2	Lon Works 和 CAN 现场总线及其在电力系统中的 应用 .....	(223)
5.6	通信方式和通信规约 .....	(228)
5.6.1	通信方式 .....	(228)
5.6.2	通信规约 .....	(232)
<b>第 6 章</b>	<b>变电站的微机控制装置 .....</b>	<b>(240)</b>
6.1	微机电压无功功率综合控制 .....	(240)
6.1.1	国内、外研究动态 .....	(241)
6.1.2	基于九区图和人工神经网络相结合的电压无功功率 控制方法 .....	(247)
6.1.3	变电站电压无功功率控制范围的整定计算方法 .....	(255)
6.1.4	变电站电压无功控制装置的设计 .....	(259)
6.2	变电站中性点接地方式综述 .....	(271)
6.2.1	各种接地方式的特点 .....	(271)
6.2.2	接地方式的选择 .....	(274)
6.3	小电流接地选线的原理研究 .....	(274)
6.3.1	关于故障选线方案的研讨 .....	(274)

6.3.2	基于小波分析的选线方法 .....	(279)
6.3.3	基于相关分析的故障选线 .....	(285)
6.4	电能质量检测的原理算法和装置实现 .....	(291)
6.4.1	电能质量 .....	(292)
6.4.2	电能质量检测的原理算法 .....	(292)
6.4.3	电能质量检测的装置实现 .....	(296)
6.5	备用电源自动投入装置 .....	(300)
6.5.1	备自投装置的作用和发展 .....	(300)
6.5.2	备自投装置的基本要求 .....	(301)
6.5.3	备自投逻辑设计方案 .....	(301)
6.5.4	备自投自适应功能的实现 .....	(307)
6.5.5	备自投装置实际应用举例 .....	(309)
<b>第 7 章</b>	<b>广域后备保护 .....</b>	<b>(312)</b>
7.1	概述 .....	(312)
7.2	传统后备保护的局限性 .....	(315)
7.3	广域后备保护简介 .....	(317)
7.3.1	与主保护的配合 .....	(318)
7.3.2	跳闸与闭锁 .....	(319)
7.3.3	输电网络后备保护专家系统 .....	(320)
7.3.4	广域后备保护作为预防控制 .....	(332)
<b>参考文献</b> .....		<b>(334)</b>

# 第 1 章 计算机继电保护综述

## 1.1 继电保护的发展概况

### 1.1.1 电力系统继电保护的作用

电力系统在运行中，可能发生各种故障或处于不正常运行状态中，最常见同时也是最危险的故障是发生各种形式的短路。在发生短路时可能产生以下后果。

故障点很大的短路电流和所燃起的电弧，使故障元件损坏。

短路电流通过非故障元件时，由于发热和电动力的作用，引起它们的损坏或缩短它们的使用寿命。

电力系统中部分地区的电压大大降低，破坏用户工作的稳定性或影响工厂产品质量。

破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使整个系统瓦解。

电力系统中电气元件的正常工作环境遭到破坏，但没有发生故障，这种情况属于不正常运行状态。例如，因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高(一般又称过负荷)，就是一种最常见的不正常运行状态。过负荷会使元件载流部分和绝缘材料的温度不断升高，加速绝缘的老化和损坏，以至可能发展成故障。此外，系统中出现因功率缺额而引起的频率降低，因发电机突然用负荷而产生的过电压，以及电力系统发生振荡等，这些情况都属于不正常运行状态。

故障和不正常运行状态，都可能在电力系统中引起事故。事故，就是指电力系统或其中某一部分的正常工作遭到破坏，造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的情况，甚至造成人身

伤亡和电气设备的损坏。

在电力系统中，除应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性以外，还应在故障一旦发生时，必须迅速而有选择性地切除故障元件，这是保证电力系统安全运行的最有效方法之一。切除故障的时间常常要求短到十分之几秒甚至百分之几秒，实践证明只有在每个电气元件上装设保护装置才有可能满足这个要求。

继电保护装置，就是指能反映电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态，并使断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。它的基本任务如下。

自动、迅速、有选择地将故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，保证其他无故障部分迅速恢复正常运行。

反映电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件而动作并发出信号、减负荷或跳闸。此时一般不要求保护迅速动作，而是根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

### 1.1.2 继电保护的发展概况

继电保护技术是随着电力系统的发展而发展起来的。电力系统中出现短路是不可避免的，短路的特征就是电流增大。为了保护发电机免受短路的破坏，首先出现了电流超过一预定值就动作的过电流保护装置。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护装置，这种保护装置时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备上。熔断器的特点是融保护装置和切断电流装置于一体，因而最为简单。由于电力系统的发展，使用电设备的功率增大，发电厂、变电站和供电网的接线不断复杂，电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大，熔断器已不能满足选择性和快速性的要求，于是出现了作用于专门的断流装置(断路器)的过电流继电器。19世

纪 90 年代出现了装于断路器上并直接作用于断路器的一次式(直接反应于一次短路电流)的电磁型过电流继电器。20 世纪初随着电力系统的发展,继电器开始广泛应用于电力系统的保护。这个时期可认为是继电保护技术发展的开端。

1901 年出现了感应型过电流继电器。1908 年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理。1910 年,方向性电流保护开始得到应用,在此时期也出现了将电流与电压相比较的保护原理,并导致 20 世纪 20 年代初距离保护装置的出现。随着电力系统载波通信的发展,在 1927 年前后,出现了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向或电流相位的高频保护装置。20 世纪 50 年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线两端故障电气参量的微波保护。早在 20 世纪 50 年代就出现了利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,经过 20 余年的研究,终于诞生了行波保护装置。显然,随着光纤通信将在电力系统中采用,利用光纤通道的继电保护必将得到广泛的应用。

以上是继电保护原理的发展过程。与此同时,继电保护装置的元件、材料、保护装置的结构形式和制造工艺也发生了巨大的变化。20 世纪 50 年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成的。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器,由这些继电器组成的继电保护装置称为机电式保护装置。机电式继电器所采用的元件、材料、结构形式和制造工艺在过去的几十年中经历了重大的改进,积累了丰富的运行经验,工作比较可靠。但这种保护装置体积大、消耗功率大、动作速度慢,且机械转动部分和触点容易磨损或粘连,调试维护比较复杂,不能满足超高压、大容量电力系统的要求。

20 世纪 50 年代后,由于半导体晶体管的发展,开始出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小、功率损耗小、动作速度快、无机械转动部分,称为电子式静态保护装置。晶体管保

护装置易受电力系统中或外界的电磁干扰的影响而误动或损坏，当时其工作可靠性低于机电式保护装置。但经过 20 余年长期的研究和实践，抗干扰问题从理论和实践上都得到了满意的解决，使晶体管继电保护装置的正确动作率达到了与机电式保护装置同样的水平。20 世纪 70 年代是晶体管继电保护装置在我国大量采用的时期，满足了当时电力系统向超高压、大容量方向发展的需要。

集成电路技术的发展，有可能将数十个或更多的晶体管集成在一个半导体芯片上，从而出现了体积更小、工作更可靠的集成运算放大器和其他集成电路元件，促使静态继电保护装置向集成电路方向发展。20 世纪 80 年代后期是静态继电保护从第一代(晶体管式)向第二代(集成电路式)的过渡时期。

20 世纪 60 年代末，有人提出用小型计算机实现继电保护的设想。因当时小型计算机价格昂贵，难以在实践中采用，但由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究，对后来微型计算机式继电保护(以下简称微机保护)的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的迅速发展及其价格急速下降，在 20 世纪 70 年代后半期出现了比较完善的微机保护的样机，并投入到电力系统中试运行。20 世纪 80 年代微机保护在硬件结构和软件技术方面已日趋成熟，并已在一些国家推广应用，这就是第三代的静态继电保护装置。微机保护具有强大的计算、分析和逻辑判断能力，有存储、记忆功能，因而可以实现任何性能完善且复杂的保护原理；微机保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检，其工作可靠性很高；微机保护可用同一硬件实现不同的保护原理，这使保护装置的制造大为简化，也容易实现保护装置标准化；微机保护除了具有保护功能外，还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录 and 调度计算机交换信息等辅助功能，这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等有重大意义。由于微机保护的巨大优越性，因而受到人们的普遍欢迎。20 世纪 90 年代以来，微机保护在我国得到大量应用，现已成为继电保护装置的主要形式。

## 1.2 微机继电保护装置的基本构成

### 1.2.1 概述

微机继电保护装置的硬件示意框图如图 1-1 所示。

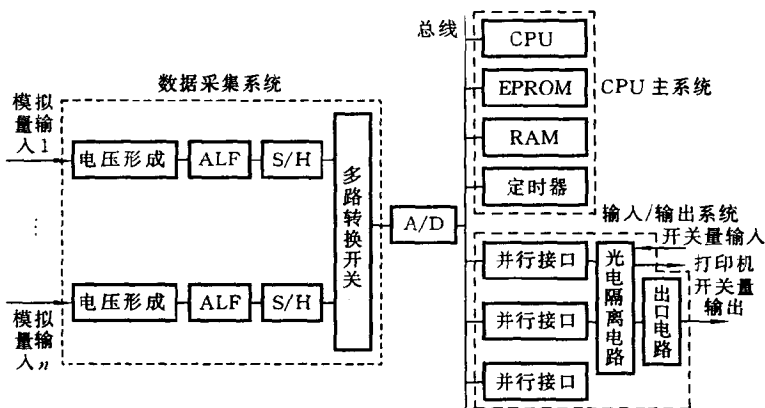


图 1-1 微机保护装置的硬件示意框图

微机继电保护装置的硬件一般包括 3 大部分。

#### (1) 模拟量输入系统（或称数据采集系统）。

包括电压形成、模拟滤波(ALF)、采样/保持(S/H)、多路转换(MPX)以及模/数(A/D)转换等功能模块，完成将模拟输入量准确地转换为所需的数字量的功能。

#### (2) CPU 主系统。

包括微处理器(CPU)、只读存储器(一般采用 EPROM)、随机存取存储器(RAM)以及定时器等。CPU 执行存放在 EPROM 中的程序，对由数据采集系统输入至 RAM 区的原始数据进行分析处理，完成各种继电保护的功能。

### (3) 开关量(或数字量)输入/输出系统。

由若干并行接口适配器(PIA 或 PIO)、光电隔离器件及有接点的中间继电器等组成,完成各种保护的出口跳闸、信号警报、外部接点输入及人机对话等功能。

## 1.2.2 模拟量输入系统(数据采集系统)

### 1. 电压形成回路

微机保护要从被保护的电力线路或设备上的电流互感器、电压互感器或其他变换器上取得信息。但这些互感器的二次侧的数值范围对典型的微机电路却不适用,故需要将其降低和变换。在微机保护中,通常要求输入为 $\pm 5\text{ V}$ 或 $\pm 10\text{ V}$ 的电压信号(具体取决于所用的 A/D 转换器),因此一般采用中间变换器来实现以上的变换。交流电流的变换,一般采用电流中间变换器并在其二次侧并联电阻以取得所需电压,此外,也有采用电抗变换器的。这二者各有优缺点,例如,电抗变换器有阻止直流、放大高频分量的作用,因此当一次侧流过非正弦电流时,其二次侧电压波形将发生严重的畸变,这是所不希望的。电抗变换器的优点是线性范围较大,铁芯不易饱和,有移相作用,另外,其抑制非周期分量的作用在某些应用中也可能成为优点。电流中间变换器的最大优点是,只要铁芯不饱和,其二次电流及并联电阻上的二次电压的波形就可基本保持与一次电流波形相同且同相,即它的传变可使原信息不失真。这点对微机保护是很重要的,因为只有在这种条件下作精确的运算或定量分析,才是有意义的。至于移相、提取某一分量或抑制某些分量等,在微机保护中,根据需要可以容易地通过软件来实现。电流中间变换器的缺点是,在非周期分量的作用下容易饱和、线性度较差、动态范围也较小,这在设计和使用中应予以注意。

此外,这些中间变换器还起到屏蔽和隔离的作用,可提高保护的可靠性。



## 2. S/H 电路和模拟低通滤波器(ALF)

S/H 电路的作用是在一个极短的时间内测量模拟输入量在该时刻的瞬时值，并在 A/D 转换器(或称 ADC)进行转换的期间内保持其输出不变，S/H 电路的工作原理可用图 1-2 来说明。S/H 电路由一个电子模拟开关 AS，电容  $C_h$  以及两个阻抗变换器组成。开关 AS 受逻辑输入端电平控制。在高电平时 AS 闭合，此时，电路处于采样状态， $C_h$  迅速充电或放电到  $u_{rr}$  在采样时刻的电压值。AS 的闭合时间应满足使  $C_h$  有足够的充电或放电时间，这个时间也称为采样时间。微机保护的过程显然希望采样时间越短越好，因而应用阻抗变换器 I，它在输入端呈现高阻抗而输出阻抗很低，使  $C_h$  上的电压能迅速跟踪到  $u_{rr}$  值。AS 打开时，电容  $C_h$  上保持住 AS 打开瞬间的电压，电路处于保持状态。为了提高保持能力，电路中应用了另一个阻抗变换器 II，它对  $C_h$  呈现高阻抗，而输出阻抗( $u_{re}$  侧)很低，以增强带负载能力。阻抗变换器可由运算放大器构成。

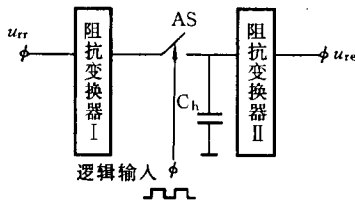


图 1-2 采样保持电路原理图

采样频率的选择是微机保护硬件设计中的一个关键问题，为此要综合考虑很多因素，并从中作出权衡。采样频率越高，就要求 CPU 的速度越高。因为微机保护是一个实时系统，数据采集系统以采样频率不断地向 CPU 输入数据，CPU 必须在两个相邻采样间隔时间 T 内处理完对每一组采样值所必须作的各种操作和运算，否则 CPU 将跟不上实时节拍而无法工作。相反，采样频率过低将不能真实地反映被采样信号的情况。可以证明，如果被采样