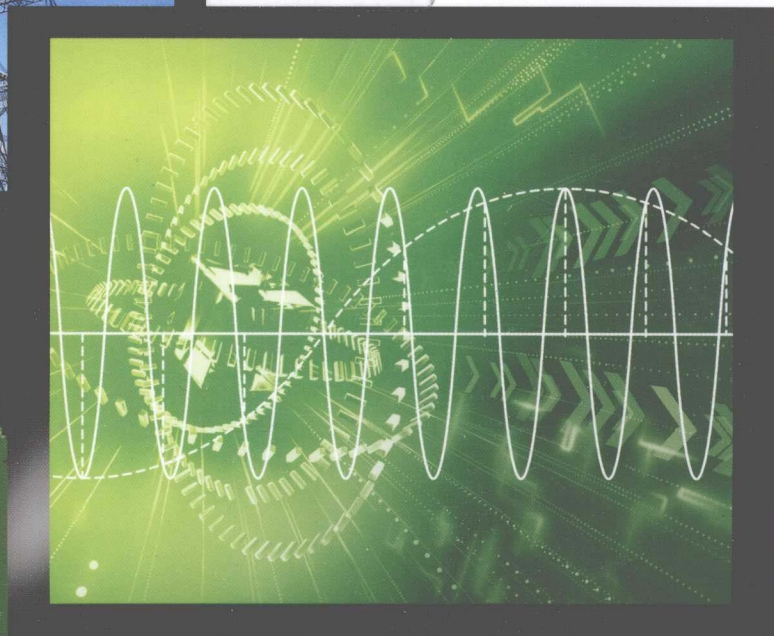
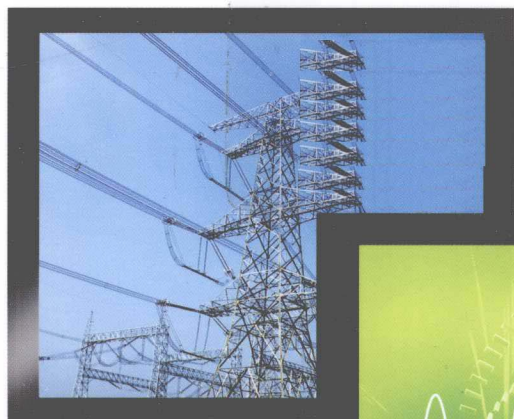


WEIJI BAOHU JISHU JIQI GONGCHENG YINGYONG

微机保护技术 及其工程应用

邵能灵 胡 炎 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

WEIJI BAOHU JISHU JIQI GONGCHENG YINGYONG

微机保护技术 及其工程应用

邵能灵 胡 炎 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统地阐述了电力系统微机继电保护的基本原理及其相关新技术。主要包括微机保护装置的硬件原理及软件实现,微机线路保护基本算法,微机线路保护基本原理,行波保护与测距,电力变压器的继电保护以及发电机的继电保护。最后以某变电站继电保护应用为实例进一步说明微机继电保护的基本原理、设计方法及其相关新技术。

本书可供电力工业规划、设计、安全监察、生产、调度、运行维护、检修调试等技术人员阅读,也可供高等院校电气工程及其相关专业的本科生、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

微机保护技术及其工程应用/郅能灵,胡炎编著. —北京:中国电力出版社,2010.7

ISBN 978-7-5123-0368-3

I. ①微… II. ①郅…②胡… III. ①计算机应用-电力系统-继电保护 IV. ①TM774-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 074761 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年9月第一版 2010年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11.25印张 269千字

印数 0001—3000册 定价 25.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本书是在教学、科研实践的基础上,为适应新世纪的技术发展需要而编写的。随着当前电子技术、通信技术、数字信号处理技术以及计算机技术的发展,微机继电保护技术得到了广泛的应用。许多新的继电保护原理和实现方法被不断提出,书中内容将继电保护原理和数字式保护有机地结合为一体,针对电力系统的各种不同元件和不同故障,在讲述继电保护基本原理和基本知识的基础上,较系统地阐述了继电保护新技术的应用。

本书共分八章。第一章概述电力系统继电保护的基本原理和要求,展望其发展趋势。第二章介绍微机保护装置的硬件原理和软件结构。第三章介绍了微机线路保护基本算法。第四章讲述电流保护、零序电流保护、距离保护的基本原理和发展,并结合当前的技术,对线路差动保护、自动重合闸以及平行线路保护等的基础知识和应用作了详细分析。第五章介绍了行波保护与测距技术。第六章和第七章分别介绍了变压器和发电机的继电保护知识。第八章以某变电站继电保护应用为实例进一步说明继电保护的基本原理、设计方法及其相关新技术。

本书主要由邵能灵和胡炎共同编写。其中第一、五~七章由邵能灵编写,第二~四章由胡炎编写,第八章由邵能灵编写。曹庆洲为本书的编写提供了大量的帮助。研究生丁浩寅和王江海参加了部分工作。在此,对以上同志表示诚挚的感谢!

限于编者水平,加上时间仓促,书中难免会有错漏及不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

作者

2010年4月

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 电力系统继电保护的任务和作用 1

第二节 电力系统继电保护的基本要求 2

第三节 继电保护的基本原理与装置的构成 4

第四节 继电保护技术的发展状况 7

第二章 硬件结构和软件结构 10

第一节 硬件结构 10

第二节 软件结构 16

第三节 硬件和软件结构的发展趋势 17

第四节 小结 19

第三章 微机线路保护基本算法 20

第一节 基本电气量 20

第二节 装置启动 27

第三节 故障选相 28

第四节 小结 35

第四章 微机线路保护基本原理 36

第一节 电流保护 36

第二节 距离保护 44

第三节 纵联保护 73

第四节 振荡闭锁 81

第五节 TA/TV 断线闭锁 87

第六节 自动重合闸 88

第七节 断路器失灵保护 94

第八节 平行线路的保护 96

第九节 小结 99

第五章 行波保护与测距	100
第一节 输电线路行波保护原理	100
第二节 行波差动保护原理	106
第三节 行波判别式方向保护原理	108
第四节 行波距离保护	109
第五节 基于暂态行波的故障定位	111
第六节 输电线路暂态保护	115
第七节 小结	117
第六章 变压器的继电保护	119
第一节 变压器的保护方式	119
第二节 变压器的纵联差动保护	120
第三节 变压器的电流保护	128
第四节 变压器的非电量保护	131
第五节 小结	133
第七章 发电机的继电保护	134
第一节 发电机的保护方式	134
第二节 发电机的纵联差动保护	135
第三节 发电机匝间短路的保护	139
第四节 发电机定子单相接地保护	144
第五节 发电机负序过电流保护	151
第六节 发电机励磁回路的接地保护	153
第七节 小结	157
第八章 变电站继电保护应用实例	159
第一节 概述	159
第二节 保护配置	160
第三节 线路保护	160
第四节 母线保护	163
第五节 变压器保护	166
第六节 10kV 部分保护	169
第七节 小结	170
参考文献	171

绪 论

第一节 电力系统继电保护的任务和作用

一、电力系统的故障及不正常运行状态

电力系统在运行中,可能出现各种故障和不正常运行状态。最常见同时也是最危险的故障是各种类型的短路,其中包括相间短路和接地短路。此外,还可能发生输电线路断线,旋发电机、变压器同一相绕组的匝间短路等,以及由上述几种故障组合而成的复杂故障。

电力系统运行中发生短路故障时,可能产生下列严重后果:

- (1) 数值较大的短路电流通过故障点时,引燃电弧,使故障设备损坏或烧毁。
- (2) 短路电流通过非故障设备时,产生发热和电动力,使其绝缘遭受到破坏或缩短其设备的使用年限。
- (3) 电力系统中部分地区电压值大幅度下降,将会破坏用户正常工作或者影响产品质量。
- (4) 破坏电力系统中各发电厂之间并联运行的稳定性,使系统发生振荡,从而使事故扩大,甚至使整个电力系统瓦解。

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏,但当没有发生故障时,这种情况属于不正常工作状态。例如,因负荷超过供电设备的额定值引起的电流升高,称为过负荷,就是一种常见的不正常工作状态。在过负荷时,使电气元件载流部分和绝缘材料温度升高而过热,加速绝缘材料老化和损坏,并有可能发展成故障。此外,系统中出现有功功率缺额而引起的频率降低,发电机突然甩负荷而产生的过电压以及电力系统振荡等,都属于不正常运行状态。

电力系统中发生不正常运行状态和故障时,都可能引起系统事故。事故是指系统或其中某一部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能允许的程度,甚至造成人身伤亡和电气设备损坏等情况。

系统事故的发生,除自然条件的因素(如遭受雷击等)以外,一般都是由设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当引起的。因此,应提高设计和运行水平,并提高制造与安装质量,这样便能大大减少事故发生的几率。但是我们知道是不可能完全避免系统故障和不正常运行状态的发生的,故障一旦发生,将影响其他非故障设备,甚至引起新的故障。为了防止系统事故扩大,保证非故障部分仍能可靠地供电,并维持电力系统运行的稳定性,要求迅速有选择性地切除故障元件。切除故障的时间有时要求短到十分之几秒到百分之几秒,显然,在这样短的时间内,由运行人员发现故障设备,并将故障设备切除是很难实现的。因此,借助于安装在每一个电气设备上的自动装置,即继电保护装置,才

能够准确的实现。

二、继电保护装置

继电保护装置是指安装在被保护元件上,反应被保护元件故障或不正常运行状态并作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护装置最初是以机电式继电器为主构成,现代继电保护装置则已发展成以电子元件、微型计算机或可编程序控制器为主构成。“继电保护”一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。

三、继电保护装置的基本任务

继电保护装置的基本任务是:

(1) 自动、迅速、有选择性地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,并保证其他无故障元件迅速地恢复正常运行。

(2) 反应电气元件不正常运行情况,并根据不正常运行情况的种类和电气元件维护条件,发出信号,由运行人员进行处理,即或自动地进行调整,或将那些继续运行会引起事故的电气元件予以切除。反应不正常运行情况的继电保护装置允许带有一定的延时动作。

(3) 继电保护装置还可以和电力系统中其他自动化装置配合,在条件允许时,采取预定措施,缩短事故停电时间,尽快恢复供电,从而提高电力系统运行的可靠性。

综上所述,继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故或缩小事故范围来提高系统运行的可靠性。继电保护装置是电力系统中重要的组成部分,是保证电力系统安全和可靠运行的重要技术措施之一。在现代化的电力系统中,如果没有继电保护装置,就无法维持电力系统的正常运行。

第二节 电力系统继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护,在技术、经济上一般应满足四个基本要求,即选择性、速动性、灵敏性、可靠性。在满足上述的基本要求外,还应该考虑经济性。现分别讨论如下。

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指当保护装置动作时,仅将故障元件从电力系统中切除,使停电范围尽量缩小,以保证系统中的无故障部分仍能继续安全运行。

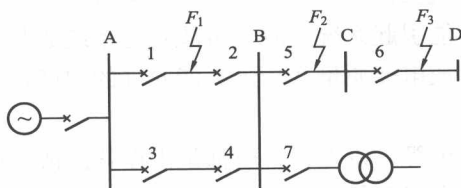


图 1-1 单侧电源网络中有选择性动作的说明

在图 1-1 所示的网络接线中,当 F_1 点短路时,应由距短路点最近的保护 1 和 2 动作跳闸,将故障线路切除,变电站 B 则仍可由另一条无故障的线路继续供电。而当 F_3 点短路时,保护 6 动作跳闸,切除线路 CD,此时只有变电站 D 停电。由此可见,继电保护有选择性的动作可将停电范围限制到最小,甚至可以做到不中断向用户供电。

2. 速动性

快速地切除故障可以提高电力系统并列运行的稳定性,减少用户在低电压情况下的工作时间,减小故障元件的损坏程度。因此,在发生故障时,力求保护装置能迅速动作并切除故障。

在一些情况下,电力系统允许保护装置在切除故障时带有一定的延时。因此,对继电保

护速动性的具体要求,应根据电力系统的接线以及被保护设备的具体情况来确定。以下是一些必须快速切除的故障:

- (1) 根据维护系统稳定性的要求,必须快速切除高压输电线路上的故障。
- (2) 导致发电厂或重要用户的母线电压低于允许值(一般为额定电压的 70%)的故障。
- (3) 大容量的发电机、变压器及电动机内部所发生的故障。
- (4) 1~10kV 线路导线截面过小,为避免过热不允许延时切除的故障等。

故障切除的总时间等于保护装置和断路器的动作时间之和。一般的快速保护的动作时间为 0.06~0.12s,最快的可达 0.01~0.04s;一般的断路器的动作时间为 0.06~0.15s,最快的可达 0.02~0.06s。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性,是指对于保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是,在事先规定的保护范围内部发生故障时,不论短路点的位置在何处,短路的类型如何以及短路是否有过渡电阻,都应灵敏感应并正常响应。保护装置的灵敏性,通常用灵敏系数来衡量,它主要决定于被保护设备和电力系统的参数以及运行方式。

4. 可靠性

保护装置的可靠性,是指在所规定的保护范围内,发生了应该动作的故障时,不应该拒绝动作;而在该保护不该动作的情况下,则不应误动作。因此可靠性包括两方面的内容,即可靠不拒动和可靠不误动。

一般说来,保护装置的元器件的质量越高,接线越简单,保护装置的工作就越可靠。同时,精细的制造工艺,正确的调整试验,良好的运行维护以及丰富的运行经验,对于提高保护的可靠性也具有非常重要的意义。

为了保证继电保护的可靠性,必须考虑继电保护或断路器拒绝动作的可能性,因此,除主保护(满足系统稳定性要求的时限内切除保护区内故障)外,还需要考虑后备保护和辅助保护的问题。如图 1-1 所示,当 F_3 点短路时,距短路点最近的保护 6 本应动作切除故障,但如果由于某种原因,该处的继电保护或断路器拒绝动作,故障便不能消除。此时,如其前面一条线路(靠近电源侧)的保护 5 能动作,故障也可消除。能起保护 5 这种作用的保护称为相邻元件的后备保护。同理,保护 1 和保护 3 又应该作为保护 5 和保护 7 的后备保护。按以上方式构成的后备保护是在远处实现的,因此又称为远后备保护。

在复杂的高压电网中,当实现远后备保护在技术上有困难时,也可以采用近后备保护的方式,即当本设备的主保护拒绝动作时,由本设备的另一套保护作为后备保护;当断路器拒绝动作时,由同一发电厂或变电站内的有关断路器动作,实现后备保护。因此,在每一元件上应装设单独的主保护和后备保护;并装设必要的断路器失灵保护。由于这种后备作用是在主保护安装处实现的,因此称它为近后备保护。

应当指出,远后备保护的性能是比较完善的,它对于由相邻设备的保护装置、断路器、二次回路和直流电源所引起的拒绝动作,均能起到后备保护作用。同时,它的实现简单、经济,因此应优先采用。只有当远后备保护不能满足要求时,才考虑采用近后备保护的方式。

选择继电保护方式除应满足上述的要求外,还应该考虑经济条件。首先应从国民经济的整体利益出发,按被保护设备在电力系统中的作用和地位来确定保护方式,而不能只从保护

装置本身的投资来考虑。这是因为保护的不完善或不可靠给国民经济所造成的损失，一般都远远超过即使是最复杂的保护装置的投资。但要注意，对较为次要的数量很多的电气设备（如小容量电动机等），不应该装设过于复杂和昂贵的保护装置。

以上四个要求是分析研究继电保护性能的基础，也是贯穿本书的一个基本线索。在它们之间，既有矛盾的一面，又有在一定条件下统一的一面。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的绝大部分工作也是围绕着如何处理好这四个要求之间的辩证统一关系而进行的。

第三节 继电保护的基本原理与装置的构成

一、继电保护的原理

为了完成继电保护的任務，首先需要正确区分电力系统正常运行、故障和不正常运行状态之间的差别，找出电力系统被保护范围内电气元件（输电线路、发电机、变压器等）发生故障或不正常运行时的特征。根据电力系统发生故障或不正常运行状态前后电气物理量的变化特征为基础构成继电保护装置。电力系统发生故障后，工频电气量变化的主要特征如下：

(1) 电流增大。短路时故障点与电源之间的电气元件上的电流，将由负荷电流值增大到大大超过额定负荷电流值。

(2) 电压降低。系统发生相间短路或接地短路故障时，系统各点的相间电压或相电压值均下降，且越靠近短路点，电压下降越多，短路点电压最低可降至零。

(3) 电压与电流之间的相位角发生改变。正常运行时，同相的电压与电流之间的相位角即负荷的功率因数角，一般约为 20° ；三相金属性短路时，同相电压与电流之间相位角即阻抗角，对于架空线路，一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$ ；而在反方向三相短路时，电压与电流之间的相位角为 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4) 测量阻抗发生变化。测量阻抗即为测量点（保护安装处）电压相量与电流相量之比值，即 $Z = \dot{U} / \dot{I}$ 。以线路故障为例，正常运行时，测量阻抗为负荷阻抗；金属性短路时，测量阻抗为线路阻抗；故障后测量阻抗模值显著减小，而阻抗角增大。

(5) 出现负序分量和零序分量。正常运行时，系统只有正序分量；当发生不对称短路时，将出现负序分量和零序分量。

(6) 电气元件流入电流和流出电流的关系发生变化。对于任一正常运行的电气元件，根据基尔霍夫定律，其流入电流应等于流出电流，但元件内部发生故障时，其流入电流不再等于流出电流。

利用故障时电气量的变化特征，可以构成各种作用原理的继电保护。例如，根据短路故障时电流增大，可构成过流保护和电流速断保护；根据短路故障时电压降低，可构成低电压保护和电压速断保护；根据短路故障时电流与电压之间相角的变化可构成功率方向保护；根据电压与电流比值的变化，可构成距离保护；根据故障时被保护元件两端电流相位和大小的变化，可构成差动保护；高频保护则是利用高频通道来传递线路两端电流相位、大小和短路功率方向信号的一种保护；根据不对称短路故障出现的相序分量，可构成灵敏的序分量保护。这些继电保护既可以作为基本的继电保护元件，也可以通过它们做进一步逻辑组合，构

成更为复杂的继电保护,例如,将过流保护与方向保护组合,构成方向电流保护。构成各种继电保护装置时,可使它们反映每相中的某一个或几个基本电气参数(如相电流或相电压等),也可以使之反映这些基本参数的一个或几个对称分量(如负序、零序或正序量),例如,利用零序量构成接地保护,利用负序量构成相间保护。另外,还可以使其反应基本参数的某次谐波分量,如发电机三次谐波定子单相接地保护等。上述的基本故障特征是故障或不正常运行时的稳态参数,即故障发生且稳定后得到的,以这些特征量构成的继电保护称作稳态保护。随着微机继电保护的深入发展,各种以电力系统故障瞬时信息为故障特征的瞬态保护应运而生,例如,建立在小波分析基础上的输电线路行波保护,它利用小波分析捕捉故障电流行波波头在故障点和两保护安装处之间的传播时间差 Δt 来确定故障点的位置,从而确定故障是否发生在区内,保护是否应该动作。

此外,除了反映各种工频电气量的保护原理外,还有反应非工频电气量的保护,如超高压输电线路的行波保护和反应非电气量的电力变压器的气体(瓦斯)保护、过热保护等。

对于反映电气元件不正常运行情况的继电保护,主要根据不正常运行情况时电压和电流变化的特征来构成。

二、继电保护装置的构成

(1) 模拟型继电保护装置。这种保护装置的构成种类很多,就一般情况而言,它们都是由测量回路、逻辑回路和执行回路三个主要部分组成,其原理如图 1-2 所示。测量回路的作用是测量与被保护电气元件工作状态有关物理量的变化,如电流、电压变化,以确定电力系统是否发生了短路故障或出现了不正常工作状态;逻辑回路的作用是当电力系统发生故障时,根据测量回路的输出信号进行逻辑判断,以确定保护装置是否应该动作,并向执行元件发出相应信号;执行回路的作用是执行逻辑回路的判断结果,发出切除故障的跳闸脉冲或指示不正常运行情况的信号。

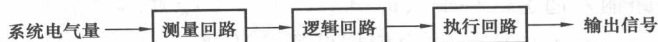


图 1-2 保护装置的构成

现以图 1-3 所示的简单的线路过电流保护装置为例,说明继电保护的组成和工作原理。

测量回路由电流互感器 TA 的二次绕组连接电流继电器 KA 组成。电流互感器的作用是将大电流变成小电流,并将保护装置与高压隔离。在正常运行时,通过被保护元件的电流为负荷电流,小于电流继电器 KA 的动作电流,电流继电器不动作,其触点不闭合。当线路发生短路故障时,流经电流继电器的电流大于继电器的动作电流,电流继电器立即动作,其触点闭合,将逻辑回路中的时间继电器 KT 绕组回路接通电源,时间继电器 KT 动作,经整定

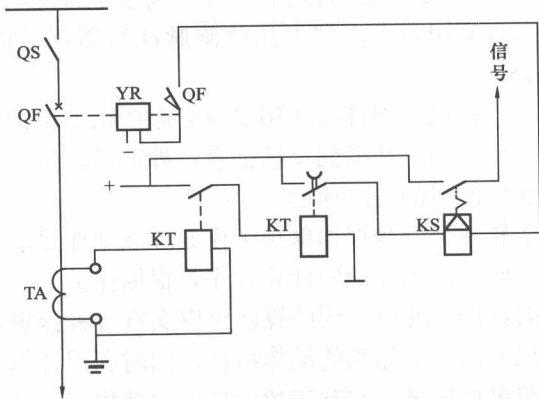


图 1-3 线路过电流保护装置单相原理接线图

时间 t_{set} 后闭合其触点，接通执行回路中的信号继电器 KS 绕组和断路器 QF 的跳闸绕组 YR 回路，使断路器 QF 跳闸，切除故障线路。同时，信号继电器 KS 动作，其触点闭合发出远方信号和就地信号，并自保持，该信号由值班人员做好记录后，手动复归。

(2) 数字型的微机继电保护装置。这种保护装置是把被保护元件输入的模拟电气量经模/数转换器 (A/D) 变换成数字量，利用计算机进行处理和判断。微机继电保护装置由硬件部分和软件部分两部分组成。图 1-4 为微机保护硬件部分原理接线图。

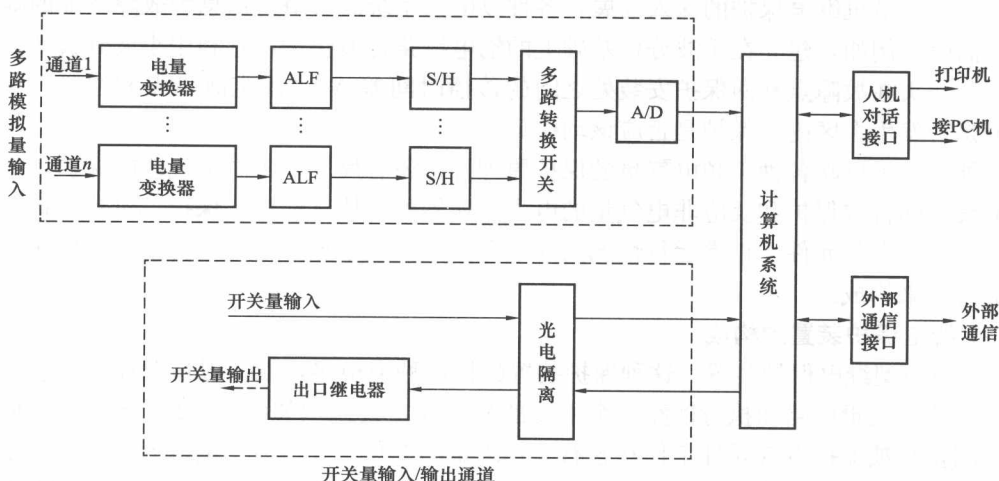


图 1-4 微机继电保护硬件部分原理接线图

被保护元件的模拟量（交流电压、交电流）经电流互感器 TA 和电压互感器 TV 进入到微机保护的模拟量输入通道。由于需要同时输入多路电压或电流（如三相电压和三相电流），因此要配置多路输入通道。在输入通道中，电量变换器将电流和电压变成适用于微机保护用的低电压量（ $\pm 5 \sim \pm 10\text{V}$ ），再由模拟低通滤波器（ALF）滤除直流分量、低频分量和高频分量及各种干扰波后，进入采样保持电路（S/H），将一个在时间上连续变化的模拟量转换为在时间上的离散量，完成对输入模拟量的采样。通过多路转换开关（MPX）将多个输入电气量按输入时间前后分开，依次送到模/数转换器（A/D），将模拟量转换为数字量进入计算机系统进行运算处理，判断是否发生故障，通过开关量输出通道输出，经光电隔离电路送到出口继电器发出跳闸脉冲给断路器跳闸绕组 YR，使断路器跳闸，切除系统故障部分。

人机接口部件的作用是建立起微型保护与使用者之间的信息联系，以便对装置进行人工操作、调试和得到反馈信息；外部通信接口部件的作用是提供计算机局域通信网络以及远程通信网络的信息通道。

软件部分是根据保护工作原理和动作要求来编制计算程序，不同原理的保护其计算程序也不同。微机保护的计算程序是根据保护工作原理的数学表达式来编制的，即计算机继电保护的算法。通过不同的算法可以实现各种保护功能。由于微机保护的動作由程序决定，易于实现某些复杂形状的动作特性；同时利用计算机的记忆功能，能够自适应系统的运行状态，保留事件记录，有利于故障后保护动作行为的分析；另外，由于采取数字运算方式处理电气量，避免了传统电气、机械元件引起的各种误差，提高了保护精度。由于计算机是一种可编

程装置,通过更换 EPROM 芯片,可以很方便地修改程序、变换保护特性、改善保护功能,以适应运行情况变化的需要。同时,各类型保护的计算机硬件和外围设备是通用的,只要计算程序不同,就可以得到不同原理的保护。使用硬件类同、所需设备减少、经济性较好、维护方便,而且计算机根据系统运行方式的改变能自动改变运作的整定值,使保护具有更大的灵敏性。保护用计算机有诊断能力,不断地检查和诊断保护本身的故障,并及时处理,大大地提高了保护装置的可靠性,并能实现快速动作的要求。计算机本身具有自检功能,可以对保护的主要部件连续不断地进行检测,能够及时发现并消除大多数随机故障,避免保护装置的误动和拒动;对于某些不能自动消除的故障也能及时报警。

电力系统继电保护根据被保护对象不同,分为发电厂、变电站电气设备的继电保护和输电线路的继电保护。前者是发电机、变压器、母线和电动机等元件的继电保护,简称为元件保护;后者是指电力网及电力系统中输电线路的继电保护,简称为线路保护。

按作用不同,继电保护又可分为主保护、后备保护和辅助保护。

第四节 继电保护技术的发展状况

继电保护技术是随着电力系统的发展和科学技术的进步而不断发展起来的。

根据短路通常会伴随着电流显著增大的特征,首先出现了电流超过预定值即动作的过电流保护。最早出现的过电流保护是熔断器,时至今日它仍被广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是集保护装置与断电装置于一体,因而简单、可靠。熔断器的主要缺点是:动作精度差,配合难度大,断流能力有限,恢复供电麻烦。随着电力系统的发展,对继电保护的性要求不断提高,于是出现了作用于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反映一次短路电流的电磁型过电流继电器。进而,继电器开始采用电流互感器和电压互感器的二次侧电量作为输入测量量,以避免与高电压、大电流直接相连。这样便形成了结构上独立于一次系统(传感器和断流器)的现代继电保护装置的雏形。

20 世纪初,继电器开始广泛应用于电力系统的保护。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 年方向性电流保护原理得到应用。1920 年输电线路距离保护装置诞生。1927 年前后,随着电力系统载波通信的发展,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。在 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量的微波保护。从继电保护诞生以来,继电保护的原理都是通过测量故障后的稳态工频量来检测故障,如距离保护、电流方向保护和传统的差动保护等,这些保护能够正确区分故障与正常工况,许多保护至今仍在电力系统中发挥着巨大作用。随着电力系统规模的扩大,电网电压等级的提高,传统的保护方式已不能满足系统稳定性和电力设备安全性对快速切除故障的要求。在长期的研究过程中人们发现,一般情况下,如果不考虑系统中饱和等因素的影响,电力系统可以作为一个线性系统来研究。对于突发性故障,根据叠加原理,故障后的系统可以认为是由故障前状态和故障分量叠加而成,而系统电量中的故障分量中含有大量的故障信息,可以用来快速检测故障,因此,基于故障分量的继电保护原理得到了广泛关注并在我国得到应用。故障分量保护一般包括行

波保护和工频变化量保护两种。早在 20 世纪 50 年代就出现了利用故障点产生的行波来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。利用工频变化量实现保护判据具有许多突出的优点,例如故障后工频变化量电流、电压不受系统电势及负荷和过渡电阻的影响;工频变化量继电器检测的是故障分量中的工频量,因而对电量变换器、采样频率等没有特殊要求;保护整定计算简便,易于运行人员掌握,故而取得了良好的运行效果。现在,由反映工频变化量的继电器构成的许多保护在电力系统中已经成功运行了多年,如方向保护、距离保护、向量差动保护以及故障测距装置等;在主设备的主保护中,工频变化量保护也有许多应用,如故障分量的差动保护,故障分量负序方向保护等。目前,随着光纤通信在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的继电保护正得到迅速的发展和广泛的应用。

从 20 世纪初至今,继电保护装置使用的元器件、材料、制造工艺以及结构型式发生了巨大的变化,促使继电保护装置经历了机电型、电子型和微型机几代变革,使得继电保护装置的实现技术不断进步,性能不断提高,功能不断完善。

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。它们都具有机械转动部件,统称为机电型继电器。由这些继电器组成的保护装置称为机电型继电保护装置。机电型继电保护装置体积大,消耗功率大,动作速度慢,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,由于半导体技术的发展,先后出现了采用整流器件制作的整流型继电保护装置和采用晶体管制作的晶体管型继电保护装置。这类保护装置体积小、功率消耗小、动作速度快,无机械转动部分,通称为电子型静态保护装置。20 世纪 70 年代是晶体管型继电保护装置在我国大量应用的时期,基本满足了当时电力系统向超高压、大容量方向发展的需要。紧接着,由于集成电路技术的发展,出现了体积更小、功耗更低、工作更可靠的集成电路元器件(如运算放大器)。这促使静态继电保护装置向集成电路化的方向发展。20 世纪 80 年代后期,集成电路型继电保护装置逐步取代了晶体管型继电保护装置,成为电子型静态继电保护装置的主要型式。

20 世纪 60 年代末,有人提出了用小型计算机实现继电保护装置的设想,因当时小型计算机在价格、体积、性能方面的种种原因而未能投入使用。但却由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究,为微型机保护的发展奠定了理论基础。20 世纪 70 年代后半期,出现了比较完善的微型机保护样机,并投入到电力系统中试运行。20 世纪 80 年代微型机保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟,在一些国家得到推广应用。我国从 20 世纪 70 年代末即已开始了计算机继电保护的研究,各高校和科研机构起着先导的作用。华中理工大学、东南大学、华北电力学院、西安交通大学、天津大学和国网南京自动化研究院都相继研制出不同原理、不同型式的微机保护装置。1984 年华北电力学院研制的微机线路保护装置首先投入试运行,揭开了我国继电保护发展史上新的一页。同年在主设备保护方面,华中理工大学、东南大学等单位研制的发电机定子不对称故障保护和失磁保护也相继投入试运行。早期的微型机保护装置在原理上只是传统模拟式保护的翻版。随着研究的深入,大量的能够充分发挥计算机优势的保护新原理得到开发应用,取得了丰硕的成果,体现了微机式元件保护的强大生命力和无可比拟的优越性。进入 20 世纪 90 年代以来,微型机保护在我国已得到大量应用,成为了继电保护装置的主要型式。

计算机及其相关技术的发展使继电保护的开发有着广阔的前景；新的数学工具的出现，新的控制技术的不断成熟，为进一步发挥计算机的潜能提供了强大支持，使得元件保护在原理上和实现上将比传统保护有更多的创新和进展；信号处理、人工智能等相关科学的不断进步，新的测量手段、技术的应用，也将使继电保护的性能得到极大地提高，继电保护必然因此而向主动化、智能化、网络化方向高速发展。

第二章

硬件结构和软件结构

第一节 硬 件 结 构

微机保护装置是一个具有继电保护功能的微机系统，它的硬件结构如图 2-1 所示，主要包括以下五个部分：

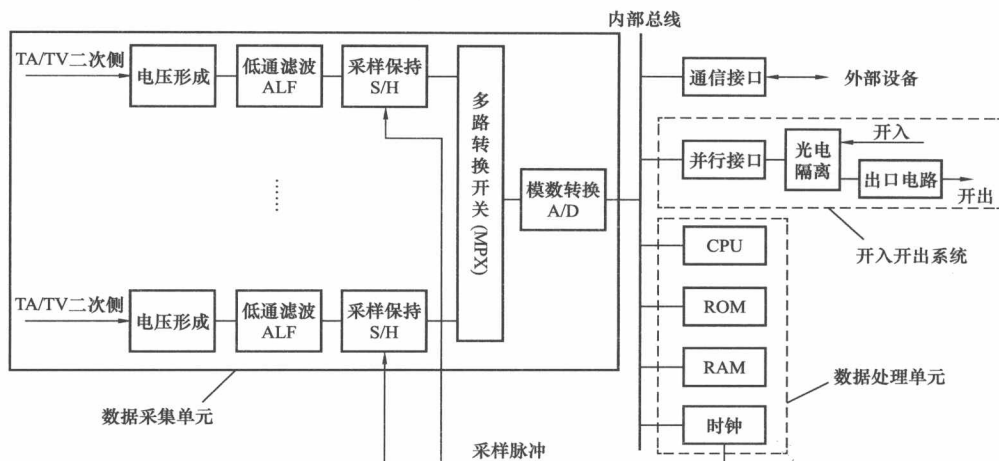


图 2-1 微机保护装置硬件结构

(1) 数据采集单元，即模拟量输入系统，它将模拟量准确地转换为微机能够识别的数字量，包括电压形成器、低通滤波器 (ALF)、采样保持器 (S/H)、多路转换开关 (MPX) 以及模数转换器 (A/D) 等器件。

(2) 数据处理单元，即微机主系统，它将数据采集单元输出的数据进行分析处理，完成各种继电保护的测量、逻辑和控制功能，包括微处理器 (CPU)、只读存储器 (ROM) 或闪存 (FLASH)、随机存取存储器 (RAM)、时钟 (CLOCK) 等器件。

(3) 开入/开出系统，完成各种外部开关量输入以及人机对话功能；保护的出口跳闸、信号显示、打印、报警等功能。它由多种输入/输出接口芯片、光电隔离器、有触点中间继电器等组成。

(4) 通信接口，负责与外部设备的通信联系。与后台系统（如保护管理机、保护信息子站等）通信时，将保护的各种信息传送到后台，或接受后台的查询及远方定值修改。在纵联保护中，与对端保护交换各种信息。

(5) 电源模块,微机保护系统对电源要求较高,统称这种电源是逆变电源,即将直流逆变为交流,再把交流整流为微机系统所需要的直流电压。这样可以把强电系统的直流电源与微机的弱电系统电源完全隔离开。通过逆变后的直流电源具有很强的抗干扰能力。

目前,随着集成电路技术的不断发展,已有许多单一芯片将微处理器、只读存储器、随机存取存储器、时钟、模数转换器、并行接口、闪存、数字信号处理单元(DSP)、通信接口等多种功能集成于一个芯片内,构成了功能齐全的单片微机系统,为微机保护的硬件设计提供了更多选择。其中,还出现了芯片对外连线没有了任何数据总线、地址总线和控制总线的微型机,实现了“总线不出芯片”的设计,有利于提高微机保护设备的可靠性和抗干扰能力。

图 2-2 为某高压线路微机保护的硬件结构图,其中光端机仅用于纵联差动保护,它采用单片机+DSP(高速数字信号处理芯片)的模块化设计,由 DSP 完成所有的数字滤波、保护算法和出口逻辑,单片机独立采样,完成装置的总启动和人机界面、后台通信及打印功能。DSP 具有运算速度快、内存大的特点,单片 DSP 就完成了所有的主后备保护功能,并有一定的冗余,不需扩展外部内存,设计简洁、可靠。它采用独立的数据采集系统,启动单元与保护测量单元的数据采样系统在电子电路上完全独立,只有总启动组件动作才能开放出口继电器正电源,从而保证了任一器件损坏不至于引起保护误动。

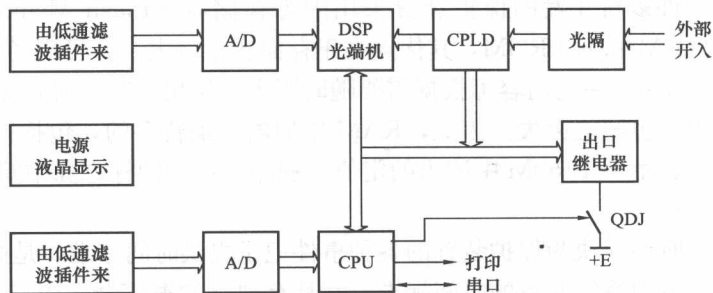


图 2-2 高压线路微机保护硬件结构

一、数据处理单元

数据处理单元即微机主系统,是微机保护装置的核心部分,包括 CPU、存储器、时钟、人机接口等。

1. CPU

微机保护的核心是单片机系统,它是由单片微机和扩展芯片构成的一台小型工业控制微机系统,除了硬件之外,还有存储在存储器里的软件系统。这些硬件和软件构成的整个单片微机系统,主要是完成数值测量、逻辑运算及控制和记录等任务。除此之外,现代的微机保护还具备各种远方监控功能,例如发送保护信息给后台,或从后台接受控制和管理信息。

一般地,主要是根据保护功能选择 CPU 类型。原理复杂,动作速度快的保护选择比较高档的 CPU。这个单片微机系统可以是单 CPU 或多 CPU。一般为了提高保护装置的容错能力,目前大多数保护装置都采用多 CPU 系统,尤其是较复杂的保护装置,其主保护和后备保护都是相互独立的微机保护系统。它们的 CPU 是相互独立的,任何一个保护的 CPU 或芯片损坏均不影响其他保护,而且整个保护的 CPU 总线均不引出,从而大大提高了保护装置运行的可靠性。但是对于比较简单的保护装置,由于保护功能较少,为了简化硬件结构,多数还是采用单 CPU 系统。

例如,图 2-2 所示的数据处理单元,是由单片机(CPU)和数字信号处理器(DSP)组成,CPU 完成装置的总启动元件和人机界面及后台通信功能,DSP 完成所有的保护算法