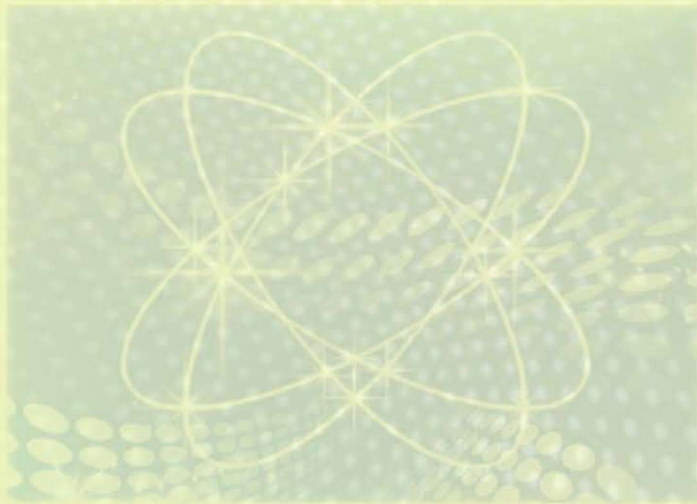


电力系统继电保护



前 言

本书作为“电力系统继电保护”课程的教材，内容囊括电力系统各方面专业知识。

在现代，电力系统继电保护装置结构已经发生了巨大的变化，微机保护装置在实际应用中已占主导地位。为能够与继电保护技术的历史相衔接，同时增强初学者的感性认识，本书根植理论与实践相统一的基础对电力保护进行系统分析。发电机、电力变压器等电力主设备在电力系统中担当极其重要的角色，随着电力系统大电源和高压变电所的大量建设，发电机继电保护的可靠运行已成为确保电力系统安全运行的重要因素，这些设备尤其是发电机结构的复杂性造成了保护的多样性。电力系统的发展使网络结构日趋复杂化和多样化，纵联保护已成为电力系统的主要保护形式。输电线路的纵联保护主要依靠先进的通信手段来保证其高性能，随着通信技术的进步，纵联保护的原理和技术也在不断地发展和完善。本书皆一一阐述。

在编写本书过程中编者参考了很多优秀的教材和著作，在此向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。

书中若有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 电力系统继电保护的概念、任务和作用	1
1.2 继电保护的基本原理及分类	3
1.3 继电保护装置的组成和结构	6
1.4 继电保护的基本要求	8
1.5 继电保护的发展历程	10
第2章 电网的电流保护	13
2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护	13
2.2 双侧电源网络相间短路的方向电流保护	36
2.3 中性点直接接地系统中的接地保护	51
2.4 中性点非直接接地电网中单相接地故障的保护	60
第3章 电网距离保护	69
3.1 距离保护的基本原理与构成	69
3.2 阻抗继电器及其实现方法	75
3.3 距离保护的整定计算及对距离保护的评价	79
第4章 输电线路纵联保护	97
4.1 概述	97
4.2 高频保护	101
4.3 光纤纵联差动保护	117
4.4 输电线路纵联差动保护	125
第5章 自动重合闸	136
5.1 自动重合闸的作用及对它的基本要求	136
5.2 三相一次自动重合闸	138
5.3 单相自动重合闸	149
5.4 综合自动重合闸	154
第6章 发电机的保护	159
6.1 发电机的故障、不正常工作状态及其保护方式	159
6.2 发电机纵差保护	161
6.3 电机匝间短路保护	163
6.4 发电机定子绕组单相接地保护	169
6.5 发电机负序过电流保护	175
6.6 发电机的失磁保护	176
第7章 母线保护	187
7.1 装设母线保护的基本原则	187
7.2 双母线同时运行时的母线差动保护	189

电力系统继电保护

7.3 中阻抗式母线差动保护	193
7.4 断路器失灵保护	197
参考文献.....	200

第1章 绪论

从学科专业的角度看，电力系统继电保护隶属于电力系统及其自动化专业领域；从工业生产的角度看，电力系统继电保护是电力工业生产中重要的组成部分，担负着保障电力系统安全运行的重要职责；从学习的角度看，电力系统继电保护是一门理论和实践并重的课程，是电力系统相关专业的一门重要的专业课。本章重点在于帮助初学者建立起继电保护的基本概念和掌握继电保护的基础知识，以便为深入学习后续内容做好必要的准备。

1.1 电力系统继电保护的概念、任务和作用

1.1.1 继电保护的概念

系统中电气元件发生故障和不正常运行状态虽然无法避免，但是系统发生事故却可以预防。一方面加强电力设备的维护和检修；另一方面在电力系统中每个元件上装设一种有效的继电保护装置，当电气元件发生故障和处于不正常运行状态时，该装置能迅速作用于断路器，切断故障元件的供电，或向值班人员发出信号以及时进行处理，就可以大大减少发生事故的几率。这就是继电保护装置的基本概念。

1.1.2 电力系统继电保护的任務和作用

电力系统在运行中可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也最危险的故障是各种类型的短路。发生短路时可能会产生以下后果。

(1) 数值较大的短路电流通过故障点时，产生电弧，使故障设备损坏或烧毁。

(2) 短路电流通过非故障元件时，使电气设备的载流部分和绝缘材料的温度超过散热条件的允许值而不断升高，造成载流导体熔断或加速绝缘老化和损坏，从而可能发展成为故障。

(3) 电力系统中部分地区的电压大大下降，破坏用户工作的稳定性或影响产品的质量。

(4) 破坏电力系统中各发电厂并列运行的稳定性，引起系统振荡，从而使事故扩大，甚至导致整个系统瓦解。

各种类型的短路包括三相短路、两相短路、两相短路接地和单相接地短路。不同类型短路发生的概率是不同的，不同类型短路电流的大小也不同，一般为额定电流的几倍到几十倍。大量的现场统计数据表明，在高压电网中，单相接地短路次数占有短路次数的85%以上，2002年我国220kV电网共有输电线路3884条，线路总长150026km，共发生故障1487次，故障率为0.99次/(100km·年)。表1-1给出了2002年我国220kV电网输电线路各种类型故障发生的次数和百分比。

电力系统继电保护

表 1-1 2002 年我国 220 kV 电网输电线路故障统计表

故障类型	三相短路	两相短路	两相短路接地	单相接地短路	其他故障
故障次数	17	28	91	1319	32
故障百分比	1.14%	1.88%	6.12%	8.87%	2.16%

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但没有发生故障，这种情况属于不正常工作状态。如因负荷超过供电设备的额定值引起的电流升高，称过负荷，就是一种常见的不正常工作状态。在过负荷时，电气设备的载流部分和绝缘材料过度发热，从而使绝缘加速老化，甚至损坏，引起故障。此外，系统中出现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发生振荡等，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。事故是指系统全部或部分正常运行遭到破坏，电能质量变到不能容许的程度，以致造成对用户的停止供电或少供电，甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏。

系统事故的发生，除了自然条件的因素（如雷击、架空线路倒杆等）外，一般都是由于设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当而引起的。因此，只有充分发挥人的主观能动性，正确地掌握客观规律，加强对设备的维护和检修，才可能大大减少事故发生的几率。

在电力系统中，除应采取各项积极措施消除或减少事故发生的可能性外，还应能做到设备或输电线路一旦发生故障时，能尽快地将故障设备或线路从系统中切除，保证非故障部分继续安全运行，缩小事故影响范围。

由于电力系统是一个整体，电能生产、传输、分配和使用是同时完成的，各设备之间都有电或磁的联系，因此，当某一设备或线路发生短路故障时，在很短的时间就影响整个电力系统的其他部分，为此要求切除故障设备或输电线路的时间必须很短，通常切除故障的时间小到十分之几秒到百分之几秒。显然要在这样短的时间内由运行人员及时发现并手动将故障切除是绝对不可能的。因此，只有借助于装设在每个电气设备或线路上的自动装置，即继电保护装置才能实现。这种装置到目前为止，有一部分仍然由单个继电器或继电器与其附属设备的组合构成，故称为继电保护装置。

在电子式静态保护装置和数字式保护装置出现以后，虽然继电器多已被电子元件或计算机取代，但仍沿用此名称。在电业部门常常用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，继电保护装置一词则指各种具体的装置。

继电保护装置就是指能反应电力系统中电气元件发生故障或处于不正常运行状态，并动作于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：

(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，保证其他无故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 反应电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件（如有无经常值班人员）而动作于信号，以便值班员及时处理，或由装置自动进行调整，或将那些继续运行就会引起损坏或发展成为事故的电气设备予以切除。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，以免短暂的运行波动造成不必要的动作和干扰而引起的误动。

(3) 继电保护装置还可以与电力系统中的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。

由此可见,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,最大限度地保证向用户安全连续供电。因此,继电保护是电力系统的重要组成部分,是保证电力系统安全可靠运行的必不可少的技术措施之一。在现代的电力系统中,如果没有专门的继电保护装置,要想维持系统的正常运行是根本不可能的。

1.2 继电保护的基本原理及分类

1.2.1 继电保护的基本原理

要完成电力系统继电保护的基本任务,首先必须“区分”电力系统的正常、不正常工作 and 故障三种运行状态,“甄别”出发生故障和出现异常的元件。而要进行“区分和甄别”,必须寻找电力元件在这三种运行状态下的可测参量(继电保护主要测电气量)的“差异”,提取和利用这些可测参量的“差异”,实现对正常、不正常工作 and 故障元件的快速“区分”。依据可测电气量的不同差异,可以构成不同原理的继电保护。目前已经发现不同运行状态下具有明显差异的电气量有:流过电力元件的相电流、序电流、功率及其方向,元件的运行相电压幅值、序电压幅值,元件的电压与电流的比值即“测量阻抗”等等。发现并正确利用能可靠区分三种运行状态的可测参量或参量的新差异,就可以形成新的继电保护原理。

对于图 1-1 (a) 所示我国常用的 110kV 及以下单侧电源供电网络,在正常运行时,每条线路上都流过由它供电的负荷电流 \dot{I}_L ,越靠近电源端,负荷电流越大。假定在线路 BC 上发生三相短路 [如图 1-1 (b) 所示],从电源到短路点之间将流过很大的短路电流 \dot{I}_k 。利用流过被保护元件中电流幅值的增大,可以构成过电流保护。

正常运行时,各变电所母线上的电压一般都在额定电压 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 范围内变化,且靠近电源端母线上的电压略高。短路后,各变电所母线电压有不同程度的降低,离短路点越近,电压降得越低,短路点的相间或对地电压降低到零。利用短路时电压幅值的降低,可以构成低电压保护。

同样,在正常运行时,线路始端的电压与电流之比反映的是该线路与供电负荷的等值阻抗及负荷阻抗角(功率因数角),其数值一般较大,阻抗角较小。短路后,线路始端的电压与电流之比反映的是该测量点到短路点之间线路段的阻抗,其值较小,如不考虑分布电容时一般正比于该线路段的距离(长度),阻抗角为线路阻抗角,较大。利用测量阻抗幅值的降低和阻抗角的变大,可以构成距离(低阻抗)保护。

如果发生的不是三相对称短路,而是不对称短路,则在供电网络中会出现某些不对称分量,如负序或零序电流和电压等,并且其幅值较大。而在正常运行时系统对称,负序和零序分量不会出现。利用这些序分量构成的保护,一般都具有良好的选择性和灵敏性,故获得了广泛的应用。

电力系统继电保护

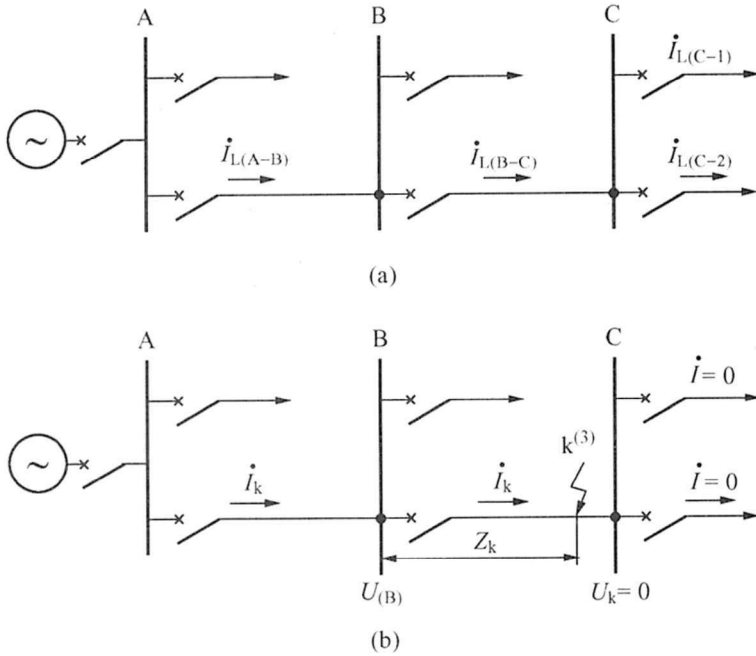


图 1-1 单侧电源供电网络接线

(a) 正常运行情况；(b) 三相短路情况

短路点到电源之间的所有元件中诸如以上的电气量，在正常运行与短路时都有相同规律的差异。利用这些差异构成的保护装置，短路时都有可能作出反应，但还需要甄别出哪一个是发生短路的元件。若是发生短路的元件，则保护动作跳开该元件，切除故障；若是短路点到电源之间的非故障元件，则保护可靠不动作。常用的方法是预先给定各电力元件保护的保护区，求出保护区末端发生短路时的电气量，考虑适当的可靠性裕度后作为保护装置的整定值，短路时测得的电气量与之进行比较，做出是否为本元件短路的判别。但当故障发生在本线路末端与下级线路的首端出口处时，在本线路首端测得的电气量差别不大，为了保证本线路短路被快速切除而下级线路短路时不动作，快速动作的保护只能保护本线路的一部分。对末端部分的短路，则采用慢速的保护，当下级线路快速保护不动作时才切除本级线路。这种利用单端电气量的保护，需要上、下级保护（离电源的近、远）动作整定值和动作时间的配合，才能完成切除任意点短路的保护任务，被称为阶段式保护特性。

对于 220kV 及以上多侧电源的输电网络中的任一电力元件，如图 1-2 中的线路 AB，在正常运行的任一瞬间，负荷电流总是从一侧流入而从另一侧流出，如图 1-2 (a) 所示。如果规定电流的正方向是从母线流向线路，那么 AB 两侧电流的大小相等，相位相差 180°，两侧电流的相量和为零。并且只要被保护的线路 AB 内部没有短路（电流没有其他的流通回路），即使发生被保护的线路 AB 外部短路，如图 1-2 (b) 所示的 k1 点短路情况下，这种关系终保持成立。

但是，当发生被保护的线路 AB 内部 k2 点短路 [如图 1-2 (c) 所示] 时，两侧电源分别向短路点供给短路电流 I'_{k2} 和 I''_{k2} ，线路 AB 两侧的电流都是由母线流向线路，此时两

个电流一般不相等，在理想条件（两侧电动势同相位且全系统的阻抗角相等）下，两个电流同相位，两个电流的相量和等于短路点的总电流，其值较大。

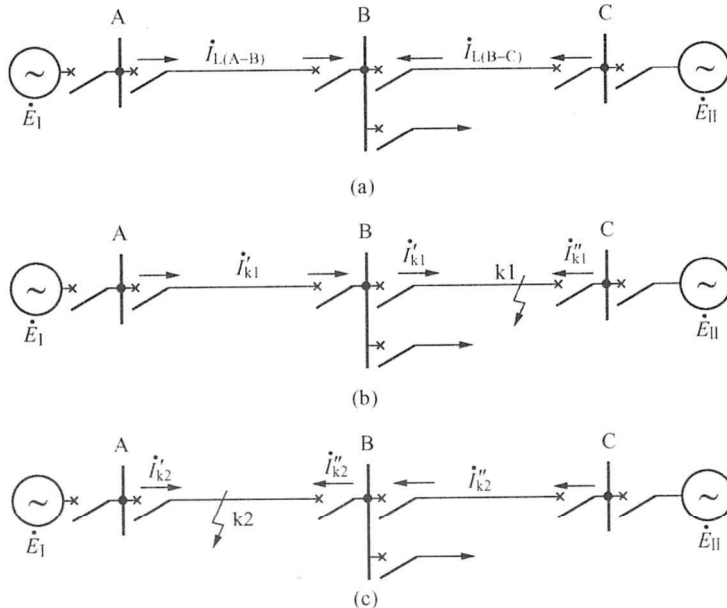


图 1-2 双侧电源网络接线

(a) 正常运行；(b) k1 点短路；(c) k2 点短路

利用每个电力元件在内部与外部短路时两侧电流相量的差别可以构成电流差动保护，利用两侧电流相位的差别可以构成电流相位差动保护，利用两侧功率方向的差别可以构成方向比较式纵联保护，利用两侧测量阻抗的大小和方向等还可以构成其他原理的纵联保护。利用某种通信通道同时比较被保护元件两侧正常运行与故障时电气量差异的保护，称为纵联保护。它们只在被保护元件内部故障时动作，可以快速切除被保护元件内部任意点的故障，被认为具有绝对的选择性，常被用作 220kV 及以上输电网络和较大容量发电机、变压器、电动机等电力元件的主保护。

除反应上述各种电气量变化特征的保护外，还可以根据电力元件的特点实现反应非电量特征的保护。例如，当变压器油箱内部的绕组短路时，反应于变压器油受热分解所产生的气体构成瓦斯保护，反应于电动机绕组温度的升高而构成的过热保护等。

1.2.2 继电保护的分类

继电保护按不同分类方法可分为以下几种常用类别：

(1) 按被保护对象的类别，继电保护可分为线路保护和元件保护两大类。按电压等级的不同，线路保护又可分为输电线路保护和配电线路保护；元件保护又可分为发电机保护、变压器保护、母线保护、电动机保护、电容器保护及电抗器保护等。

(2) 按保护原理的不同，继电保护可分为电流保护、电压保护、距离保护（阻抗保护）、纵联保护、方向保护及序分量保护等。

(3) 按故障或不正常运行状态的类型，继电保护可分为相间短路保护、接地短路保护、

电力系统继电保护

匝间短路保护及失磁保护等。

(4) 按故障时继电保护的职责，继电保护可分为主保护和后备保护。

(5) 按信号处理方式，继电保护可分为模拟型和数字型两大类保护。模拟型继电保护又可分为机电型和静态型。数字型继电保护 / 微机保护通过模 / 数转换器把测量回路的模拟信号转变为数字信号，由计算机芯片根据软件计算出结果输出到执行回路。

1.3 继电保护装置的组成和结构

1.3.1 继电保护装置的组成

继电保护的任务是判断电力系统有关设备是否发生故障从而决定是否发出跳闸命令，使发生故障的设备尽可能迅速地与电力系统隔离。为此，首先要获取与被保护设备有关的信息，再根据不同的保护原理，进行综合分析和逻辑判断，最后做出决断，并付诸执行。所以，继电保护装置大致上由信息的获取与预处理、信息的分析综合与逻辑判断和判断结果的执行输出三部分组成，如图 1-3 所示。

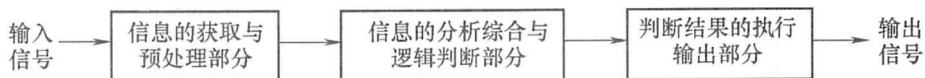


图 1-3 继电保护装置原理结构图

1. 信息的获取与预处理部分

继电保护是利用电力系统中设备发生短路或异常情况时的电气量（电流、电压、功率、频率等）的变化，构成动作的条件，也有其他的物理量，如变压器油箱内故障时伴随产生的大量瓦斯和油流速度的增大或油压强度的增高等等。

在早期的机电型保护装置中，电流、电压直接加到继电器的测量机构，变换成机械力，然后在机械力的层次上进行比较判别，中间并不需设置其他的变换、隔离等环节。随着电子技术的引入，为了适应电子器件的弱信号的要求，在电流互感器、电压互感器与电子电路之间需要设置隔离屏蔽、电平变换等处理环节，通常采用电流变换器、电压变换器以及电抗变换器等实现。在静态型继电保护和数字型继电保护中都采用类似的变换环节，称为“信息预处理”环节。

2. 信息的分析综合与逻辑判断部分

从被保护对象输入的有关参量，按照相应的继电保护原理，与已经给定的整定值进行比较，并根据比较的结果，按一定的逻辑工作关系，最后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号，并将有关命令传给执行部分。

数字型继电保护与模拟型继电保护的根区别就在于实现这部分功能的手段不同。常规的模拟型保护是靠模拟电路的构成来实现的，即用模拟电路实现各种电量的加、减、乘、除和延时与逻辑组合等要求。而数字型保护却是通过数字技术和相应软件进行数值和逻辑运算来实现上述功能的。

3. 判断结果的执行输出部分

执行部分是根据判断结果，最后完成保护装置所担负的对外操作任务的部件。继电保护的主要任务是操作、控制有关断路器，使发生故障的设备迅速与电力系统其他无故障的部分隔离开来，最大限度地减轻故障对电力系统的影响，减轻故障设备的损坏程度。这种操作是通过控制断路器跳闸线圈来实现的。目前一般采用有触点的中间继电器，组成必要的出口逻辑来完成这部分功能。如检测到故障时，发出动作信号驱动断路器跳闸；在不正常运行时，发出警告信号；在正常运行时，则不产生动作信号。

1.3.2 模拟型保护装置的基本结构

模拟型保护装置是采用各种继电器，如电流继电器、电压继电器、阻抗继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等等，按照一定的逻辑关系组合来实现的。下面以图1-4所示的线路过电流保护为例，简单说明其结构。

电流互感器 TA 将线路一次电流变换为二次电流送入电流继电器 KI，当流过电流继电器的电流大于其预先设定的门槛值（即整定值）时，其输出启动时间继电器 KT，经预先设定的延时后，时间继电器的输出启动中间继电器 KA，然后接通断路器的跳闸回路，同时使信号继电器 KS 发出保护动作的信号。

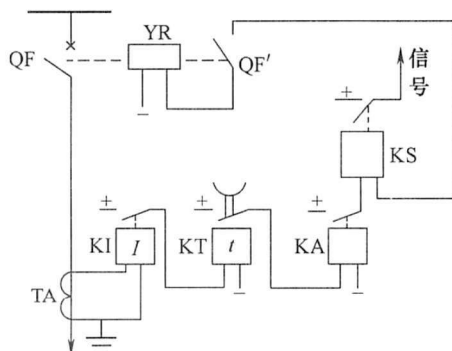


图 1-4 过电流保护的工作原理图

正常运行时，由于负荷电流的二次侧数值小于电流继电器的整定值，电流继电器不动作，整套保护不动作。当被保护的线路发生短路后，线路中流过的短路电流一般是额定负荷电流的数倍至数十倍，电流互感器二次侧输出的电流线性增大，流过电流继电器的电流大于整定电流，从而启动整套保护，经预定的延时后，保护动作跳闸，并发出相应信号。由于断路器 QF 处于合闸位置时，其位置触点 QF 是闭合的，因此断路器的跳闸线圈 YR 带电，在电磁力的作用下使脱扣机构释放，断路器在跳闸弹簧力的作用下跳开，故障设备被切除，短路电流消失，电流继电器返回，整套保护装置复归，做好下次动作的准备。如果预定的延时未到，而故障设备由其他保护装置切除，则该套保护装置不会动作，电流继电器返回，整套保护装置在启动后复归。

1.3.3 数字型保护装置的基本结构

数字型继电保护装置是由计算机来分析计算电力系统的有关电量并判定系统是否发生

电力系统继电保护

故障，然后决定是否发出跳闸信号。其硬件装置主要包括 5 个基本部分，如图 1-5 所示。各部分的基本功能如下：

(1) 数据采集单元包括电压形成和模数转换等模块，将电压互感器 TV 和电流互感器 TA 输入的模拟量转换为数字量。

(2) 数据处理单元（CPU 主系统）的基本功能是进行数值及逻辑运算。当实时的采样数据送入计算机系统后，计算机根据继电保护程序对采样数据进行实时的计算分析，判断是否发生故障、故障的范围和性质等，以完成各种继电保护功能。

(3) 开关量输入 / 输出单元经过并行接口芯片、光电隔离元件和附加电路驱动中间继电器实现跳闸、合闸、信号输出，以及通过光电隔离后实现开关状态输入等功能。

(4) 人机接口单元采用并行接口连接液晶显示屏、键盘和打印机，用于调试、定值调整等功能。通过通信接口并加以光电隔离后实现与其他设备通信或联网。

(5) 电源供给微处理器、数字电路、模数转换芯片及继电器的高可靠性的逆变电源。

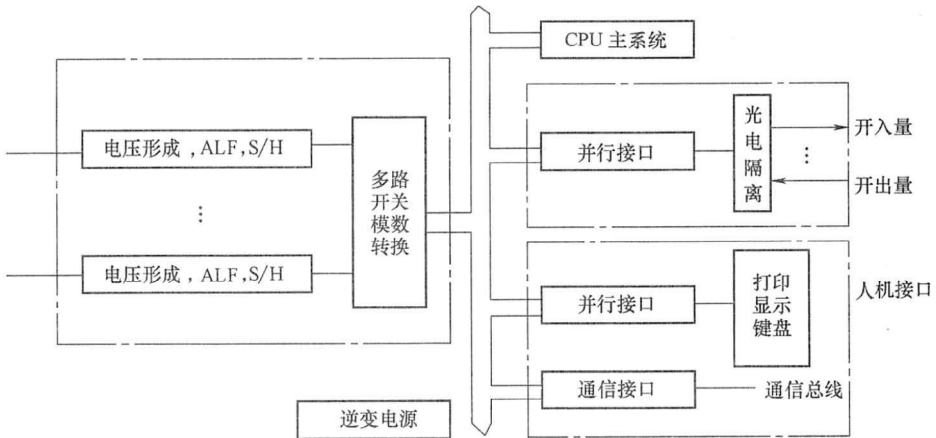


图 1-5 微机保护硬件系统构成示意图

1.4 继电保护的基本要求

1.4.1 选择性

对继电保护选择性的基本要求是，故障发生时，应当由最靠近故障点的断路器将故障快速断开，以保证其余部分的电力系统继续安全稳定地运行；而如果应当动作的继电保护或断路器因故拒绝动作时，则应由电源侧上一级的断路器将故障断开，以保证受故障影响的电力系统范围可能缩到最小，最大限度地保证系统中非故障部分能继续运行。

图 1-6 所示的单侧电源网络中，母线 E、F、G、H 代表相应的变电站，数字 1、2、3……代表相应的断路器，本书中采用继电保护装置与断路器的标号一致，即断路器处对应应有相同标号的保护装置。当发生短路时，应由距离短路点最近的保护 1 和 2 动作使断路器 1、2 跳闸，将故障线路切除。变电所 F 则仍可由另一条无故障的线路继续供电，这种情况即为有选择性动作。此时，断路器 1、2 必须都要动作，否则 E 变电所的电经过断路器 3、4

到 F 变电所，再经过断路器 2 形成短路电流。但如果 3 或 4 也同时动作，就会造成变电所 F 停电，这种情况则为无选择性动作。而当 k3 短路时，保护 6 动作跳闸，切除线路 GH，此时只有变电所 H 停电，当属有选择性动作；若此时保护 5 动作，甚至保护 1 和 3（或保护 2 和 4）也动作，就会造成变电所 H 和 G 均停电，甚至变电所 F 也停电，这属无选择性动作。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，甚至可以做到不断用户的供电。

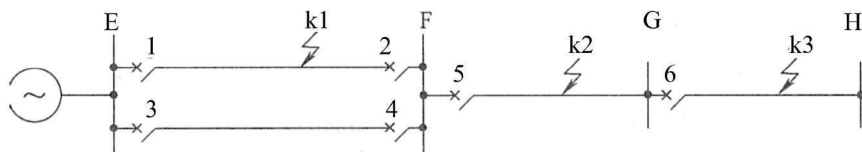


图 1-6 单侧电源网络中，有选择性动作的说明

在要求继电保护动作有选择性的同时，还必须考虑继电保护或断路器有拒绝动作的可能性，因而就需要考虑冗余配置，并增加后备保护的功能。一般地，把反映被保护元件故障，快速动作于跳闸的保护装置称为主保护，可根据需要设多套主保护装置，而把在主保护系统失效时作备用的保护装置称为后备保护。

如图 1-6 所示，当 k3 点短路时，距离短路点最近的保护 6 应该动作切除故障，若由于某种原因，该处的继电保护装置或断路器拒绝动作，故障便不能消除，此时若其前面一条线路（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 又应该作为保护 5 的后备保护。按以上方式构成的后备保护是在远离被保护设备处实现的，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。即当本元件的主保护拒绝动作时，由本元件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所内的有关断路器动作，实现后备。为此，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靠近被保护设备处实现的，因此，称它为近后备保护。

应当指出，远后备的性能是比较完善的，它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源所引起的拒绝动作，均能起到后备作用，同时它的实现简单、经济，因此得到广泛采用，当远后备不能满足要求时，应考虑采用近后备的方式。

1.4.2 速动性

对继电保护系统的基本要求之一是以可能最短的时限把故障和异常情况从电网中切除或消除。对动作于跳闸的保护，要求动作迅速的目的在于：降低短路电流对故障设备的损坏程度，减少对用户正常用电的影响，维持电力系统并列运行的稳定性。

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元件的具体情况来确定。一些必须快速切除的故障有：

- (1) 高压输电线路和大容量的发电机、变压器以及电动机内部发生的故障。
- (2) 使发电厂或重要用户的母线电压低于允许值（一般为 0.7 倍额定电压）的故障。
- (3) 中、低压线路导线截面积过小，为避免过热不允许延时切除的故障等。

电力系统继电保护

(4) 可能危及人身安全、对通信系统或铁道号标志系统有强烈干扰的故障等。

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

实际使用时, 对大量的中、低压电力元件, 允许带有一定的延时切除故障, 有些保护原理的实现也需要带有一定的延时, 所以不一定都采用快速动作的保护。

1.4.3 灵敏性

继电保护的灵敏性, 是指对于其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故障时, 不论短路点的位置、短路的类型如何, 以及短路点是否有过渡电阻, 都能敏锐感觉, 正确反应。保护装置的灵敏性通常用灵敏系数来衡量。各种保护装置灵敏系数的最小值, 在 GB 14285—1993《继电保护和安全自动装置技术规程》中都作了具体规定。

1.5 继电保护的发展历程

继电保护技术是随着电力系统的发展而发展起来的。电力系统发生短路是不可避免的, 短路必然伴随着电流的增大, 因而, 为了保护发电机免受短路电流的破坏, 首先出现了反应电流超过一预定值的过流保护。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护。这种保护方式时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是融保护装置与切断电流的装置于一体, 因而最为简单。由于电力系统的发展, 用电设备功率、发电机的容量不断增大, 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。1890年后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。19世纪初, 随着电力系统的发展, 继电器才开始广泛应用于电力系统的保护。这个时期可认为是继电器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年方向电流保护开始得到应用, 在此时期也出现了将电流与电压比较的保护原理, 并导致了1920年后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的大量采用, 利用光纤通道的继电保护必须广泛地应用。

以上是继电保护原理的发展过程。与此同时, 构成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革。经历了机电式保护装置、静态保护装置和数字式保护装置3个发展阶段。

机电式保护装置由具有机械传动部件带动触点断开、闭合的机电式继电器如电磁型、感应型和电动型组成, 由于其工作比较可靠, 不需要外加电源, 抗干扰性能好, 使用了相

第1章 绪论

当长时间，特别是单个继电器目前仍在电力系统中广泛使用。但由于这种保护装置体积大、动作速度慢、触点易磨损和粘连，调试维护比较复杂，难于满足超高压、大容量电力系统的需要。

20世纪50年代，随着晶体管的发展，出现了晶体管保护装置。这种保护装置体积小、动作速度快、无机械转动部分，经过20余年的研究与实践，晶体管式保护装置的抗干扰问题从理论和实际都得到了满意的解决。20世纪70年代，晶体管保护在我国被大量采用。随着集成电路的发展，可以将许多晶体管集成在一块芯片上，从而出现了体积更小、工作更可靠的集成电路保护。20世纪80年代后期，静态继电保护装置由晶体管式向集成电路式过渡，成为静态继电保护的主要形式。

20世纪60年代末，有人提出了用小型计算机实现继电保护的设想，但由于小型计算机当时价格昂贵，难于实际采用。由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究，这为后来微型计算机式保护的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的快速发展和价格的急剧下降，在20世纪70年代后期，便出现了性能比较完善的微机保护样机并投入运行。80年代微机保护在硬件和软件技术方面已趋成熟，进入90年代，微机保护已在我国大量应用，主运算器由8位机、16位机发展到目前的64位机；数据转换与处理器件由模数转换器（A/D）、压频转换器（VFC），发展到数字处理器（DSP）。这种由计算机技术构成的继电保护称为数字式继电保护，这种保护可用相同的硬件实现不同原理的保护，使制造大为简化，生产标准化、批量化，硬件可靠性高；具有强大的存储、记忆和运算功能，可以实现复杂原理的保护，为新原理保护的发展提高了实现条件。除了实现保护功能外，还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录和保护管理中心计算机及调度自动化系统通信等功能，这对于保护的运行管理、电网事故分析及事故后的处理等均有重要意义。另外它可以不断地对本身的硬件和软件进行自检，发现装置的异常情况并通知运行维护中心。

由于网络的发展与在电力系统中的大量采用，给微机保护提供了很大的发展空间。微机硬件和软件功能的空前强大、变电站综合自动化和调度自动化的兴起和电力系统光纤通信网络的逐步形成，从而使得微机保护不能也不应该再是一个孤立的、任务单一的、“消极待命”的装置，而应该是积极参与、共同维护电力系统整体安全稳定运行的计算机自动控制系统的的基本组成单元。微机保护不仅要能实现被保护设备的切除及自动重合，还可作为自动控制系统的终端，接收调度命令实现跳、合闸等操作，以及故障诊断、稳定预测、安全监视、无功调节、负荷控制等功能。

此外，由于计算机网络提供数据信息共享的优越性，微机保护可以占有全系统的运行数据和信息，应用自适应原理和人工智能方法使保护原理、性能和可靠性得到进一步的提高，使继电保护技术沿着网络化、智能化、自适应和保护、测量、控制、数据通信于一体的方向不断发展。

近年来，由于我国经济的迅猛发展，一个坚强庞大的电力网络已初步形成，从而也给广大的电力研发工作者提供了很好的机遇，虽然我国继电保护水平已跃居世界前列，但还应继续努力，不断提高继电保护的水平，时刻保证电网的安全可靠运行。目前现场使用的

电力系统继电保护

微机型继电保护装置如图 1-7 所示。

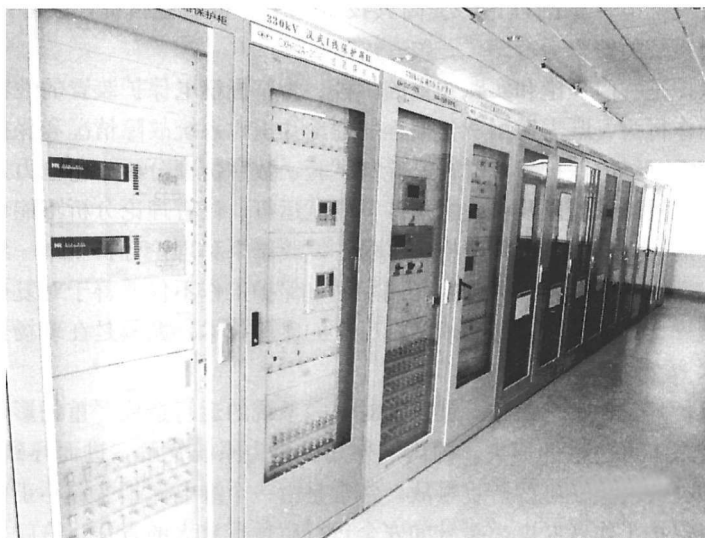


图 1-7 微机型继电保护装置

第2章 电网的电流保护

2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护

2.1.1 反应单一电气量的继电器

1. 继电器的分类

继电器是根据某种输入信号来实现自动切换电路的自动控制电器。当其输入量达到一定值时，能使其输出的被控制量发生预计的状态变化，如触点打开、闭合或电平由高变低、由低变高等，具有对被控制电路实现“通”“断”控制的作用，所以它“类似于开关”。

继电器的基本原理是：当输入信号达到某一定值或由某一定值突跳到零时，继电器就动作，使被控制电路通断。它的功能是反应输入信号的变化以实现自动控制和保护。所以，继电器也可以这样定义：能自动地使被控制量发生跳跃变化的控制元件称为继电器。

在电力系统继电保护回路中，常用继电器的实现原理随着相关技术的发展而变化。目前仍在使用的继电器按输入信号的性质可分为电气继电器（如电流继电器、电压继电器、功率继电器、阻抗继电器等）和非电气继电器（如温度继电器、压力继电器、速度继电器、瓦斯继电器等）两类，按工作原理可分为电磁式、感应式、电动式、电子式（如晶体管型）、整流式、热式（利用电流热效应的原理）、数字式等，按输出形式可分为有触点式和无触点式，按用途可分为控制继电器（用于自动控制电路中）和保护继电器（用于继电保护电路中）。

保护继电器按其在继电保护装置中的功能，可分为主继电器（如电流继电器、电压继电器、阻抗继电器等）和辅助继电器（如时间继电器、信号继电器、中间继电器等）。

2. 继电器的基本组成与原理

继电器主要由反应机构、执行机构和中间机构3个部分组成。反应机构也称输入部分，其作用是能够反应外界一定的输入信号，并将其变换成继电器动作的某种特定的物理量（也称其为感受和变换功能），如电磁式电流继电器的电磁系统，它反应输入的电流信号并将其变换为电磁力。执行机构也称输出部分，其作用是对被控制电路实现通断控制，它分为有触点式的（如电磁式电流继电器的触头系统）和无触点式的（如电子式继电器，其中的晶体管、晶闸管具有导通和截止两种状态，可实现通断控制，所以是执行机构）。比较机构也称中间部分，它处于反应机构和执行机构之间，其作用是将输入部分反应并变换的物理量与继电器的动作值进行比较，以决定执行机构是否动作（简称为比较功能）。为何要进行比较？因为继电器并不是在任意一个输入量下都可以使执行机构动作的，只有输入量达到一定值时才动作。如电磁式电流继电器的复位弹簧，事先对其调整使其具有一定的弹簧力，只有当电磁力的作用大于此弹簧力的作用时，才能使执行机构动作，所以复位弹簧就是比较机构。