

## 第一节 电力系统继电保护的作用

由生产和输送电能的设备所组成的系统叫做电力系统，包括发电机、变压器、母线、输电线路、配电线路等，或者简单说由发、变、输、配、用所组成的系统叫做电力系统。有的情况下把一次设备和二次设备统一叫做电力系统。

一次设备：直接生产电能和输送电能的设备，如发电机、变压器、母线、输电线路、断路器、电抗器、电流互感器、电压互感器、电动机及其他用电设备等。

二次设备：对一次设备的运行进行监视、测量、控制、信息处理及保护的装置，如仪表、继电器、自动装置、控制设备、通信及控制电缆等。

### 一、电力系统的三种工况

根据不同的运行条件，可以将电力系统的运行状态分为正常状态、不正常状态和故障状态。而继电保护主要是在故障状态和不正常状态起作用。

不正常运行状态：过负荷；系统中出现有功功率缺额而引起的额定频率减低；发电机突然甩负荷引起的发电机频率升高；中性点不接地系统和非有效接地系统中的单相接地引起的非接地相对地电压升高；系统振荡。

故障状态：各种形式的短路；断线故障或者几种故障同时发生的复合故障。

发生故障时可能产生的后果：

- (1) 通过故障点的很大的短路电流和所燃起的电弧，使故障元件损坏。
- (2) 短路电流通过系统中非故障元件时，由于发热和电动力作用引起它们的损坏或缩短使用寿命。

(3) 部分电力系统的电压大幅度下降, 使大量电力用户的正常工作和生活遭到破坏或产生废品。

(4) 破坏电力系统中各发电厂之间并列运行的稳定性, 引起系统振荡, 甚至使整个系统瓦解。

由于电力系统故障的后果十分严重, 它可能直接造成设备损坏, 人身伤亡和破坏电力系统安全稳定运行, 从而直接或间接地给国民经济带来难以估计的巨大损失, 因此电力系统最为关注的是: 安全可靠、稳定运行。

## 二、继电保护装置及其任务

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。

继电保护装置基本任务:

(1) 发生故障时, 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受破坏, 保证非故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 对不正常运行状态, 根据运行维护条件, 而动作于发出信号、减负荷或跳闸, 且能与自动重合闸相配合。

继电保护装置的基本任务简单说是: 故障时跳闸, 不正常运行时发信号。

## 第二节

# 继电保护的基本原理和保护装置的组成

## 一、继电保护的基本原理

完成继电保护所担负的任务, 显然应该要求它正确地区分系统正常运行与发生故障或不正常运行状态之间的差别, 以实现保护。如图 1-1 所示为单侧电源网络接线图, (这是一种最简单的系统), 图 1-1 (a) 为正常运行情况, 每条线路上都流过由它供电的负荷电流  $\dot{I}_f$  (一般比较小), 各变电所母线上的电压, 一般都在额定电压 (二次线电压 100V) 附近变化, 由电压和电流之比所代表的“测量阻抗”  $Z_f$  称为负荷阻抗, 其值一般很大。图 1-1 (b) 表示当系统发生故障时的情况, 如在线路 B-C 上发生了三相短路, 则短路点的电压  $U_d$  降低到零, 从电源到短路点之间将流过很大的短路电流  $\dot{I}_d$ , 各变电所母线上的电压也将将在不同程度上有很大的降低 (称为残压)。设以  $Z_d$  表示短路点到变电所 B 母线之间的阻抗, 根据欧姆定律很显然  $Z_d$  要远小于  $Z_f$ , 即短路阻抗要远小于负荷阻抗。

在一般情况下, 发生短路之后, 总是伴随有电流的增大、电压的降低、线路始端测量阻抗的减少, 以及电压与电流之间相位角的变化。因此, 利用正常运行与故障时这些基本参数的区别, 就可以构成各种不同原理的保护。

一般继电保护可以分为两类:

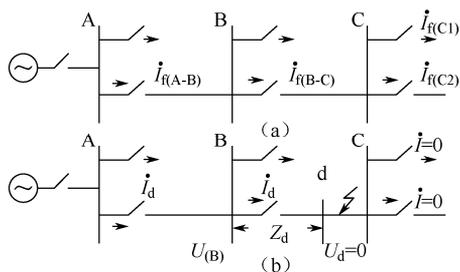


图 1-1 单侧电源网络接线

第一类：利用比较正常运行与故障时电气参量 ( $U$ 、 $I$ 、 $Z$ 、 $f$ ) 的区别，便可以构成各种不同原理的继电保护。例如，反应于电流增大而动作的过电流保护，反应于电压降低而动作的低电压保护，反应于阻抗降低而动作的距离保护，反应于频率降低而动作的低（或欠）频保护等。

第二类：首先规定两个前提：①规定电流的正方向是从母线指向线路；②一定是双端电源。例如图 1-2 所示的双端电源网络接线。分析图 1-2 (a)、(b) 中 BC 段的电流变化。

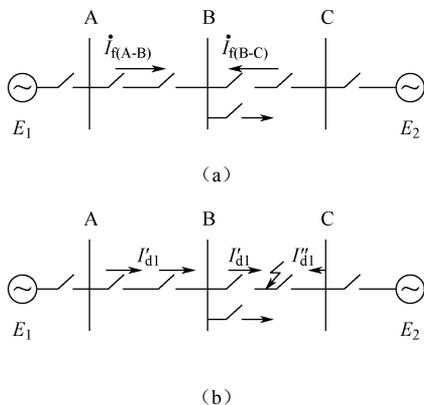


图 1-2 双侧电源网络接线

观察线路靠近 B 母线侧电流的情况，我们发现正常运行的负荷电流和故障时的短路电流的相位发生了  $180^\circ$  的变化。因此利用比较正常运行（包括外部故障）与内部故障时，两侧电流相位或功率方向的差别，就可以构成各种差动原理的保护。例如，纵联差动保护、相差高频保护、方向高频保护等。差动原理的保护只反应内部故障，不反应外部故障，因而被认为具有绝对的选择性。

总之，继电保护原理的构成，可概括为以下四类。

### 1. 利用基本电气参数的区别（图 1-3）

- (1) 过电流保护。
- (2) 低电压保护。
- (3) 距离保护。

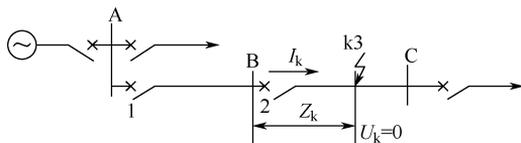
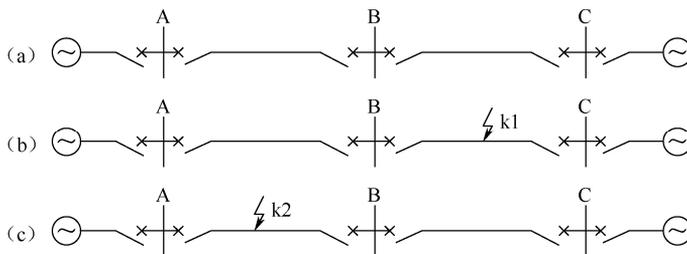


图 1-3 单侧电源网络保护原理

2. 利用内部故障和外部故障时被保护元件两侧电流相位（或功率方向）的差别（图 1-4）

规定电流的正方向：从母线流向线路。



(a) 正常运行情况；(b) 线路 AB 外部短路情况；(c) 线路 AB 内部短路情况

图 1-4 双侧电源网络保护原理

3. 序分量是否出现

电气元件在正常运行（或发生对称短路）时，负序分量和零序分量为零；在发生不对称短路时，一般负序和零序都较大。

根据这些分量的是否存在可以构成零序保护和负序保护。此种保护装置都具有良好的选择性和灵敏性。

4. 反应非电气量的保护

反应于变压器油箱内部故障时发生气体而构成瓦斯保护；反应于电动机绕组的温度升高而构成过负荷保护等。

## 二、继电保护装置的组成

继电保护装置的组成如图 1-5 所示。

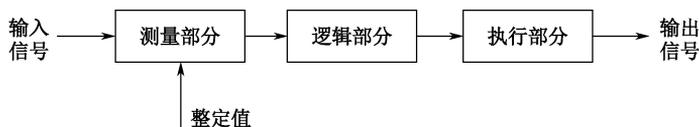


图 1-5 继电保护装置的组成

测量部分：测量被保护元件工作状态的物理量（如电流、电压等），并和已给的整定值进行比较，从而判断保护是否应该启动，给出比较结果的逻辑值。

逻辑部分：根据测量部分各输出量的大小、性质、出现的顺序、持续时间等，使保护装置按一定的逻辑程序工作，判断故障的类型和范围，最后确定保护的控制措施（跳闸、报警

或不动作), 并传到执行部分。

执行部分: 根据逻辑部分送的信号, 最后完成保护装置所担负的任务。如发出信号、跳闸或不动作等。

### 第三节 对继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护, 在技术上一般应满足四个基本要求, 即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

#### 1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时, 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。如图 1-6 所示单侧电源网络中, 当  $d_1$  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, 变电所 B 则仍可由另一条无故障的线路 3-4 继续供电。

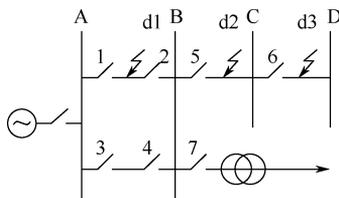


图 1-6 单侧电源网络中, 有选择性动作的说明

原则: 就近原则, 即系统短路时, 应由距离故障点最近的保护切除相应的断路器。

主保护: 能在全线范围速动的保护。

后备保护: 作为主保护的后备, 不能在全线范围速动, 要带一定的延时, 又分为远后备和近后备。

#### 2. 速动性

所谓速动性, 就是发生故障时, 保护装置能迅速动作切除故障。短路时快速切除故障, 可以缩小故障范围, 减轻短路引起的破坏程度, 减小对用户工作的影响, 提高电力系统的稳定性。因此, 在发生故障时, 应力求保护装置能迅速动作切除故障。故障切除的总时间等于保护装置和断路器动作时间之和。一般的快速保护的动作为  $0.06\text{s}\sim 0.12\text{s}$ , 最快的可达  $0.01\text{s}\sim 0.04\text{s}$ , 一般的断路器的动作为  $0.06\text{s}\sim 0.15\text{s}$ , 最快的可达  $0.02\text{s}\sim 0.06\text{s}$ 。对不同的电压等级要求不一样, 对  $110\text{kV}$  及以上的系统, 保护装置和断路器总的切故障时间为  $0.1\text{s}$ , 因此保护动作时间只有几十个毫秒 (一般  $30\text{ms}$  左右), 而对于  $35\text{kV}$  及以下的系统, 保护动作时间可以为  $0.5\text{s}$ 。

#### 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，以及短路点是否存在过渡电阻，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，灵敏系数越大，则保护的灵敏度就越高，反之就越低。有的保护是用保护范围来衡量的。

#### 4. 可靠性

保护装置的可靠性是指在该保护装置规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时，它不应该拒绝动作，而在任何其他应该保护不应该动作的情况下，则不应该误动作。简单说就是：该动的时候动，不该动的时候不动。该动的时候不动是属于拒动，不该动的时候动了是属于误动。不管是拒动还是误动，都是不可靠。

以上四个基本要求不仅要牢牢记住，而且要理解它们的内涵，其中可靠性是最重要的，选择性是关键，灵敏性必须足够，速动性则应达到必要的程度。我们所有的继电保护装置都是围绕这四个要求做文章。当然，不同的保护，对这些要求的侧重点是不一样的，有的侧重于选择性，有的侧重于速动性，有时候为了保证主要的属性可能会牺牲一些其他的属性。这些在以后讲到具体的保护时会提到。

## 第四节 继电保护技术的发展简史

继电保护技术是随着电力系统的发展以及技术水平的进步而发展起来的，最早的熔断器就是最简单的过电流保护，以后经历了机电型、整流型、晶体管型、集成电路型、微机型五个阶段，而现在微机型的继电保护又进入了第三代和第四代。

首先出现了反应电流超过一预定值的过电流保护。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护。

电力系统的发展，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年出现了装于断路器上直接反应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保护技术发展的开端。

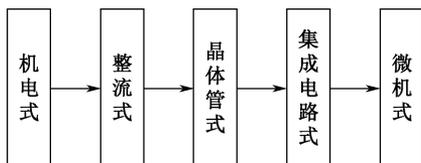
1908年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理。

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。

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。

在20世纪50年代，微波中继通讯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。在1975年前后诞生了行波保护装置。

继电保护的结构型式的发展：



## 本章总结

本章尽管没有讲具体的保护，但是对本书的主要内容作了简要的概述，是非常重要的，应掌握以下几个重点：

1. 要能正确描述什么是电力系统、一次设备、二次设备。
2. 电力系统故障有哪些严重后果？
3. 电力系统有哪三种工况？继电保护在哪些工况下起作用？起什么样的作用？
4. 继电保护可以分为几大类？它们是按什么原则划分的？
5. 对电力系统继电保护有哪些基本要求？不仅要牢记四个基本要求，更重要的是要理解其中的内涵以及它们之间的关系。
6. 什么是主保护？什么是后备保护？远后备和近后备有何区别？