

电力系统继电保护

(天津大学发电专业编)

天津大学科技情报资料室印

TN71
11

前 言

伟大领袖毛主席指出：“教材要彻底改革，有的首先删繁就简。”毛主席还指出：“课程讲的太多是烦琐哲学。烦琐哲学总是要灭亡的。”

遵照毛主席的教导，我们批判地总结了旧教材的体系和内容，结合我国的实际情况，按照继电保护的工作原理，概括其内在的联系和共性的内容而重新编写了这本讲义，以适应工农兵学员教学的需要。

本讲义在编写内容上，打破了旧教材的体系，对其中烦琐、陈旧和重复的东西作了删节和合并，增加了无产阶级文化大革命以来在继电保护方面所出现的一些新生事物。在叙述上力求做到由浅入深，由表及里，按照从生产实践中提出问题、分析问题、解决问题、然后又提出新的问题的方法来介绍各种保护的原理以及它们之间的关系，尽量把问题解释清楚，以适应于自学的需要。本讲义目录中标有*号的部分，为非主要内容，可供以后工作中学习和参考之用。

在第一章里介绍了继电保护的基本知识，通过与现场教学相配合，使初学的同学能对电力系统的继电保护有一个全面概括的了解。第二章讲相间短路时三段式电流、电压和阻抗保护的工作原理，第三章则是这些保护的实现方法。第四章为利用零序或负序分量构成的电流和电压保护。在第五章里，集中介绍了应用于各种电气元件上的差动保护及相应的实现方法，通过对比和分析，更易于掌握它们的特点并加深理解。第六章是几个常用的、不宜于包括在以上原理以内的保护。第七章着重介绍影响各种原理的继电保护正确工作的因素和防止对策。第八章讲自动重合闸及其与继电保护的关系。由于以上各章的内容是按照继电保护的基本原理来组织的，因此在第九章里就结合电力系统中各主要电气元件的特点来说明各种原理的继电保护在实际中的具体应用，即电力网和电气元件保护方式的选择原则和实际上采用的保护方式。此外，在第十章里选编了一些继电保护的基本教学实验，可供参考。关于晶体管继电保护的内容，我们考虑它只是实现各种原理的继电保护方式的一种工具，因此是在结合原理讲授的过程中，有侧重、有分析、有对比地选用了机电型或晶体管型的继电器作为例子来加以说明。

本讲义在74年第一次印出后已使用三年，现根据使用中发现问题以及水电部颁发的《继电保护和自动装置设计技术规程》中的有关内容作了少量的修改和补充。

由于无产阶级教育革命正在不断深入地向前发展，加以我们编写的水平有限，考虑不周，因此必然会有不能适应要求以及错误不当之处，恳切希望阅读本讲义的工农兵学员、现场工作的工人师傅、工程技术人员和兄弟院校的同志们能给予批评指正，以利我们改进工作。



B- 033042

目 录

第一章 关于继电保护的基本知识	(1)
一、电力系统继电保护的功用	(1)
二、对继电保护的基本要求	(2)
三、继电保护的基本原理	(4)
四、继电器	(7)
*五、电力系统短路时的基本向量图	(14)
第一章思考问题	(18)
第二章 相间短路的电流、电压和阻抗保护	(19)
第一节 瞬时动作的第Ⅰ段保护(速断保护)	(19)
一、问题的提出	(19)
二、电流、电压、阻抗保护第Ⅰ段的工作原理和整定计算原则	(19)
三、第Ⅰ段保护的灵敏性(保护范围)	(23)
*四、对第Ⅰ段保护的分析和评价	(23)
*五、关于可靠系数	(25)
第二节 具有较小动作时限(0.5~1.2")的第Ⅱ段保护 (限时速断保护)	(26)
一、第Ⅱ段保护的作用	(26)
二、电流、电压、阻抗保护第Ⅱ段的工作原理和整定计算原则	(26)
三、第Ⅱ段保护灵敏性的校验	(30)
*四、电力网接线对第Ⅱ段保护的影响——分支系数的考虑	(31)
*五、三段式电流保护的单相原理接线图	(33)
第三节 按躲开负荷参数整定的电流、电压和阻抗保护(第Ⅲ段保护)	(33)
一、保护的 task	(33)
二、按躲开负荷参数选择第Ⅲ段保护的起动值	(34)
三、按选择性的要求整定第Ⅲ段保护的动作时限	(36)
*四、关于第Ⅲ段保护灵敏性的问题	(37)
第四节 继电保护动作的方向性和功率方向元件的应用	(39)
一、问题的提出	(39)
二、方向性继电保护的工作原理	(40)
三、感应型功率方向继电器	(41)
四、对方向性保护的评价和保护的应用	(44)
第五节 其它常用的电流、电压保护	(45)
一、反时限过电流保护	(45)
*二、对称过负荷保护	(49)

*三、水轮发电机的过电压保护	(49)
第六节 对电流、电压和阻抗保护的评价	(50)
一、关于电流和电压保护	(50)
二、关于阻抗保护	(51)
*三、关于三段式保护的应用和举例	(51)
第二章思考问题	(52)
第三章 阻抗继电器和功率方向继电器的特性分析以及相间短路的电流、电压和阻抗保护的接线方式	(53)
第一节 利用复数阻抗平面分析复杂继电器的工作及其特性	(53)
一、基本原则	(53)
二、全阻抗继电器	(55)
三、方向阻抗继电器	(57)
*四、偏移特性的阻抗继电器	(58)
五、功率方向继电器	(59)
*六、关于将起动特性扩大的问题	(60)
第二节 阻抗继电器和功率方向继电器的构成原理	(61)
一、比较量 A 、 B 、 C 、 D 的组成	(61)
*二、根据转矩平衡原理工作的电磁型平衡继电器	(65)
三、把两个电压整流后进行绝对值比较的整流型继电器和晶体管继电器	(67)
四、根据相位比较原理工作的感应型继电器	(69)
*五、根据相位比较原理工作的晶体管继电器	(70)
*六、方向性继电器的死区及消除死区的方法	(74)
第三节 相间短路电流保护的接线方式	(75)
一、接线方式的分类和接线系数	(75)
*二、电力系统中性点的工作方式及其对继电保护的要求	(77)
三、三种接线方式的分析和比较	(79)
*四、三段式电流保护的接线图举例	(81)
第四节 相间短路低电压保护的接线方式	(83)
第五节 相间短路阻抗继电器的接线方式	(83)
一、对接线方式的基本要求	(83)
二、阻抗继电器的 0° 接线方式	(84)
第六节 相间短路功率方向继电器的接线方式	(87)
一、对接线方式的基本要求	(87)
*二、对 90° 接线方式的分析	(88)
第三章思考问题	(90)
第四章 在不对称短路时利用零序和负序分量构成的继电保护	(91)
第一节 在不对称短路时零序和负序分量的特点以及对称分量过滤器	(91)
一、接地短路时零序分量的特点	(91)

*二、用以获得 $3U_0$ 和 $3I_0$ 的零序分量过滤器	(92)
*三、用以获得 U_2 和 I_2 的负序分量过滤器	(94)
第二节 直接接地系统中接地短路的零序电流和方向保护	(97)
一、零序电流速断保护	(97)
二、零序电流限时速断保护	(97)
三、零序过电流保护	(98)
四、方向性零序电流保护	(98)
*五、方向性零序电流保护的接线图	(100)
*六、变压器中性点接地数目与分布的选择	(100)
七、零序电流保护的优缺点和应用范围	(101)
*第三节 直接接地系统中接地短路的阻抗(距离)保护	(102)
第四节 非直接接地系统中单相接地故障的零序电压、 电流和方向保护	(104)
一、中性点不接地系统中单相接地故障的特点	(104)
二、中性点不接地系统中单相接地保护的实现方法	(107)
三、中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障及其保护 的实现方法	(109)
四、发电机内部单相接地的特点及发电机的接地保护	(111)
第五节 利用负序分量构成的继电保护	(115)
一、用于发电机和变压器上的复合电压起动的过电流保护 (后备保护)	(115)
二、用于大容量发电机(或变压器)的负序过电流和过负荷保护	(116)
*三、负序和零序分量在高压电网继电保护中的应用	(119)
第四章思考问题	(119)
第五章 差动原理的继电保护	(121)
第一节 纵联差动保护的基本原理和差动保护的不平衡电流	(121)
一、纵差动保护的基本原理	(121)
二、差动保护的不平衡电流	(123)
三、减小不平衡电流和提高差动保护灵敏性的措施	(126)
第二节 发电机的纵差动保护	(127)
一、纵差动保护的作用	(127)
二、纵差动保护的整定计算和接线方式	(127)
三、纵差动保护的灵敏性	(129)
*四、对发电机纵差动保护的评价	(130)
第三节 变压器的纵差动保护	(130)
一、建成纵差动保护的基本原则	(130)
二、变压器纵差动保护的特点	(131)
三、变压器纵差动保护的整定计算原则	(135)
四、具有制动特性的差动继电器	(136)
*五、鉴别波形原理的差动继电器	(138)

*六、具有二次谐波制动的差动继电器·····	(145)
第四节 母线的差动保护·····	(147)
一、单母线的完全差动保护·····	(148)
*二、双母线同时运行元件固定连接电流差动保护·····	(149)
三、双母线同时运行的母联相位差动保护·····	(151)
*四、电流比相式的母线保护·····	(154)
*五、1~10千伏母线的不完全电流差动保护·····	(158)
*第五节 短距离送电线路的纵差动保护·····	(159)
第六节 送电线路的高频保护·····	(160)
一、高频保护的作用原理和分类·····	(160)
二、保护的高频部分概述·····	(160)
*三、高频闭锁方向保护的基本原理·····	(161)
*四、高频闭锁距离保护的基本概念·····	(163)
五、相差高频保护的基本原理·····	(164)
六、高频保护的优缺点和应用范围·····	(168)
第七节 横联差动保护·····	(168)
一、双回线路的横差动方向保护·····	(169)
*二、用于双回线路电源端的电流平衡保护·····	(174)
三、对双回线路横差动保护的评价·····	(175)
四、发电机层间短路的横差动电流保护·····	(175)
第五章思考问题·····	(177)
第六章 电力系统中常用的其他保护 ·····	(178)
第一节 发电机励磁回路的接地保护·····	(178)
一、发电机励磁回路的接地故障·····	(178)
二、发电机励磁回路一点接地的保护·····	(179)
*三、汽轮发电机励磁回路两点接地的保护·····	(179)
*第二节 发电机的失磁保护·····	(181)
一、发电机的失磁运行及其产生的影响·····	(181)
二、失磁保护的功用以及对它的要求·····	(182)
三、失磁保护的方式及其适用范围·····	(182)
四、反应发电机失磁时定子电流电压特征的阻抗保护·····	(183)
第三节 变压器的瓦斯保护·····	(185)
一、瓦斯继电器的结构原理·····	(185)
*二、瓦斯保护的接线·····	(186)
三、对瓦斯保护的评价·····	(187)
第六章思考问题·····	(187)
第七章 影响继电保护正确工作的因素及防止对策 ·····	(188)
第一节 电流互感器和电压互感器的影响·····	(188)
*一、互感器误差的影响·····	(188)
*二、电流互感器二次回路断线的影响·····	(188)

三、电压互感器一次和二次回路断线的影响·····	(189)
第二节 短路点过渡电阻的影响·····	(190)
一、过渡电阻对各种保护的影响·····	(190)
*二、防止过渡电阻影响的方法·····	(193)
第三节 电力系统振荡的影响·····	(194)
一、系统振荡时电流、电压以及它们之间角度的变化·····	(195)
二、系统振荡时继电器测量阻抗的变化·····	(197)
*三、电力系统振荡与短路时异同的对比·····	(198)
四、电力系统振荡对各种继电保护的影响·····	(199)
五、对振荡闭锁装置的要求及其构成原理·····	(201)
*六、利用负序分量起动的振荡闭锁装置的工作原理·····	(201)
*七、利用两个整定值不同的继电器构成振荡闭锁装置的工作原理·····	(202)
*第四节 干扰对晶体管继电保护的影响·····	(203)
一、干扰信号的来源·····	(204)
二、抗干扰的措施·····	(205)
第七章 思考问题·····	(208)
第八章 自动重合闸及其与继电保护的关系·····	(209)
第一节 概论·····	(209)
一、自动重合闸在电力系统中的作用及技术经济意义·····	(209)
*二、自动重合闸的分类·····	(210)
三、对自动重合闸装置的基本要求·····	(210)
第二节 单侧电源送电线路的三相自动重合闸·····	(211)
一、电气式三相一次重合闸的接线和工作原理·····	(211)
*二、晶体管型三相一次重合闸的接线和工作原理·····	(214)
三、重合闸动作时限的选择原则·····	(215)
四、重合闸与继电保护的配合·····	(215)
*五、重合闸方式的选择原则·····	(217)
第三节 双侧电源送电线路的三相自动重合闸·····	(217)
一、双侧电源线路重合闸的方式及其选择原则·····	(218)
*二、非同步重合闸·····	(220)
*三、具有同步检定和无电压检定的重合闸·····	(222)
四、双侧电源线路三相重合闸动作时限的选择原则·····	(224)
第四节 单相自动重合闸·····	(224)
一、故障相选择元件·····	(225)
*二、单相重合闸的原理接线图举例·····	(225)
三、单相重合闸动作时限的选择·····	(228)
*四、单相重合闸的优缺点及其对继电保护的影响·····	(229)
第八章 思考问题·····	(229)
第九章 电力网和电气元件继电保护方式的选择原则·····	(230)
第一节 对一些基本问题的总结·····	(230)

一、关于继电保护技术的发展过程·····	(230)
二、关于继电器·····	(231)
*三、对继电保护的四个基本要求及其与保护方式选择原则之间的关系·····	(232)
*四、关于主保护、后备保护和辅助保护·····	(233)
第二节 电力网继电保护方式的选择·····	(234)
一、1~10千伏非直接接地电力网中架空线路及电缆线路的继电保护·····	(234)
二、35千伏及以上非直接接地电力网中架空线路和电缆线路的继电保护·····	(234)
三、110~330千伏直接接地电力网中架空线路的继电保护·····	(235)
*四、各级电压网络中实际采用的保护方式举例·····	(236)
*五、发电厂和变电所旁路断路器及母线联络断路器上的保护·····	(236)
第三节 电气元件继电保护方式的选择·····	(236)
一、发电机的继电保护·····	(236)
二、电力变压器的继电保护·····	(240)
三、发电机变压器组的继电保护·····	(244)
四、母线的继电保护·····	(244)
五、同步调相机的继电保护·····	(246)
六、异步电动机和同步电动机的继电保护·····	(246)
第九章 思考问题·····	(248)
第十章 继电保护基本教学实验 ·····	(249)
实验一 继电保护基本原理的现场教学·····	(249)
实验二 电磁型电流、电压和时间继电器的特性试验·····	(256)
实验三 感应型功率方向继电器的特性试验·····	(261)
实验四 BCH—1型差动继电器的特性试验·····	(264)
实验五 自动重合闸装置的试验·····	(267)

第一章 关于继电保护的基本知识

一、电力系统继电保护的功用

继电保护装置就是指由各种继电器按照一定的性能和要求联接在一起而组成的一种自动装置，它的主要任务是保证电力系统的安全运行，当系统中的任何电气元件发生故障时，它可以借助于断路器将故障自动切除，而当出现不正常工作状态时，则能自动发生预告信号。

这是因为在电力系统的设计和运行中，都必须考虑有发生故障和不正常工作的可能性。当这些情况出现时，将引起电流的增大，电压或频率的降低或升高，使电气元件和电能用户的正常工作遭到破坏。

在电力系统中，最常见同时也是最危险的故障就是发生各种型式的短路，其中包括三相短路、两相短路（接地或不接地）、两点接地短路以及单相接地短路等，此外，还可能发生送电线路的断线，旋转电机或变压器同一相的匝间短路，以及上述几种故障所组成的更为复杂的故障。在发生短路时，可能造成以下后果：

1. 通过故障点很大的短路电流和所燃起的电弧使故障元件遭到破坏；
2. 短路电流通过非故障的电气元件，由于发热和电动力的作用，而引起它们的损坏或缩短使用时间；
3. 系统中各点电压大量降低，破坏了用户工作的稳定性或影响产品质量；
4. 破坏电力系统并列运行的稳定性，因而影响电力系统的正常运行，甚至使整个系统瓦解，造成极为严重的后果。

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但是并没有发生故障，则属于不正常工作状态。例如因负荷超过额定值而引起的电气元件的电流升高——一般又称为过负荷，就是一种最常见的不正常工作状态，由于过负荷使电气元件载流部分和绝缘材料的温度经过某些时间以后就超过了容许数值，这将加速绝缘的老化和损坏，甚至发展成为故障。此外，由于系统发生功率缺额所引起的频率降低，发电机突然甩负荷所产生的过电压等，也都属于不正常的工作状况。

故障和不正常工作状况的发生，都可能在电力系统中引起事故，所谓事故，通常系指全部系统或其中一部分的正常工作被迫破坏，并造成对用户少送电，电能质量变坏到不能容许的地步或电气元件的损坏。

应该着重指出：系统事故的发生，一般都是由于设备制造上的缺陷，设计和安装的错误；或运行维护不当的结果，因此绝不能认为事故是不可避免的。在我们优越的社会主义制度下，用战无不胜的毛泽东思想武装起来的中国工人阶级和工程技术人员，完全有可能正确地掌握客观规律，充分发挥人的主观能动性，加强对设备的维护和检修，限制它不利的一面而利用它有利的一面，就可以防患于未然，把事故消灭在发生之前。

除了采取积极措施消除发生故障的可能性以外，在一旦发生故障之后，快速地切除故障元件，就是保证电力系统安全运行的最有效方法之一。

为了快速地切除故障元件，常常要求切除故障的时间要小到十分之几甚至百分之几秒，在这样短促的时间里，如果要求电气值班人员能及时准确地把故障元件用手动切除，实际上是无法办到的，这只有借助于装设在每个电气元件上的继电保护装置才有可能实现。

因此，继电保护的基本任务是：

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

2. 反应电力系统（或其中的电气元件）的不正常工作状况，并根据运行维护的条件（例如，有无经常值班人员），继电保护可作用于信号或将那些继续运行即会造成损坏或发展为事故的元件切除。

为了提高现代电力系统运行的可靠性和保证电能质量，除了在每个电气元件上装设继电保护装置以外，在电力系统中还广泛采用了各种自动装置，例如：

1. 在线路、母线及电力变压器等元件自动断开后进行重合的自动重合闸装置；

2. 投入备用电源或备用设备以恢复供电的备用自动投入装置；

3. 调节电压，分配发电机之间和发电厂之间的无功功率，以及在短路切除后迅速恢复系统电压的自动调节励磁装置；

4. 防止长时间不容许的事故频率降低的自动按频率减负荷装置；

5. 防止系统性事故的其他自动装置，例如自动解列装置，送电端切除部分发电机——减少送电端的过剩功率；受电端切除部分负荷——减少受电端的功率缺额；大容量发电机的电气制动装置等。

由此可见，继电保护和自动装置是保证电力系统安全运行和提高电能质量的重要工具，在现代化的电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，要想维持电力系统的正常运行，是根本不可能的。

既然继电保护装置在电力系统中担负着这样重要的作用，因此作为电力系统及自动化专业的学生以及一切从事电力系统工作的人员都有必要掌握一定的有关继电保护方面的知识，这也就是我们要学习这门课程的目的。

伟大领袖毛主席教导说：“我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。”让我们在毛主席无产阶级教育路线的指引下，为学好这门课程而共同努力。

二、对继电保护的基本要求

根据继电保护在电力系统中所担负的任务，在一般情况下，对动作于跳闸的继电保护在技术上提出了下列四个基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。对于仅动作于信号的保护装置，以及只反应于不正常工作状况的保护，这些要求中的一部分（例如速动性）就可以不包括在内。现分别讨论如下：

1. 选择性：所谓继电保护动作的选择性，就是指仅将故障元件从电力系统中切除，使停电范围限制在最小，而系统中的无故障部分仍然能够继续安全地运行。

现以我校供电网络的接线图为例（如图 1—1 所示，图中只表示了有关的主要部分），说明如下：例如当 D—1 点短路时，应由距短路点最近的保护 3 动作跳闸，切除故障，此时将使图书馆停电；又如当变压器 B—1 内部故障时（图中 D—2 点短路），则应由变压器的

保护动作使断路器 6 和 7 跳闸切除故障，此时由于变压器 B—2 仍然继续运行，因此学校的供电就不致受到影响。

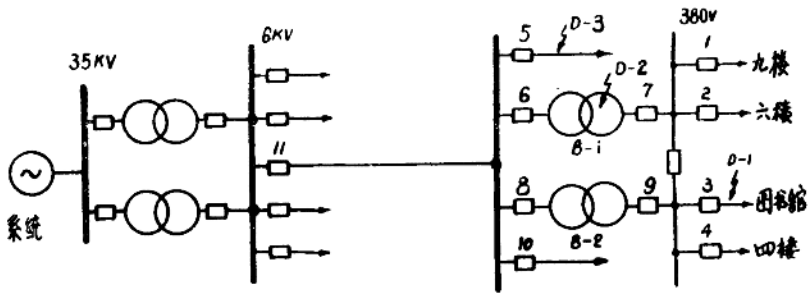


图 1—1 我校供电网络接线示意图

由此可见，当用户有两个（或两个以上的）电源供电时，继电保护有选择性的动作就可以保证用户的供电并不中断，而当用户只有一个电源供电时，则线路上的故障即使有选择性地切除，也会使用户停电。但是，运行经验表明，在架空线路上绝大部分故障都是瞬时性的，当线路上的电压消失以后，故障也就自动消除，因此在单侧电源的线路上采用自动重合闸装置作为线路继电保护的补充，就可以大大提高对用户供电的可靠性。

在要求继电保护动作有选择性的同时，还必须考虑故障元件的继电保护和断路器有拒绝动作的可能性，因此就需要考虑后备保护的问题。例如在图 1—1 中，当 D—3 点短路时，本来应该由距故障点最近的保护 5 动作切除故障，但是，如果由于某种原因，该处的继电保护或断路器拒绝动作，则故障就不能消除，当这种情况出现时，我们就要求其前面一条线路（靠近电源端）的保护 11 动作，来将故障切除，保护 11 所起的这种作用，我们称它为相邻元件的后备保护，实际上当保护 5、6、8、10 或其相应的断路器拒绝动作时，保护 11 都应该作为它们的后备。显然可见，在后备保护动作的情况下，将扩大停电范围，但是由于拒绝动作的现象还是可能发生的，因此后备保护也就是必要的，否则故障将永远无法自动消除，可能造成更加严重的后果。

继电保护动作的选择性将由合理地选择保护方式和正确地整定计算来保证，今后还将详细讨论。

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，减少用户在电压降低的情况下工作的时间，以及缩小故障元件的损坏程度，因此，在发生故障后，应力求保护装置能瞬时动作将故障切除，即保护装置不带有附加的延时，而只是它本身的固有动作时间。

但是动作迅速而同时又能满足选择性要求的保护装置，一般都是结构比较复杂，价格比较昂贵的。而另一方面，在很多情况下，电力系统也允许继电保护带有一定的延时动作切除故障，仍不致影响它的正常工作，此时，就有可能采用比较简单的保护。因此，对继电保护动作时限的要求，应根据电力系统的接线以及被保护元件工作的具体情况来确定。下面举出一些必须快速切除故障的例子：

- (1) 根据电力系统稳定运行的需要，必须快速切除线路上发生的故障；
- (2) 发生故障后使发电厂或重要用户的母线电压低于允许值（一般为 0.6 倍额定电压）；

(3) 大容量的发电机、变压器以及电动机内部发生故障；

(4) 1~10千伏线路由于导线截面过小而不允许延时切除短路故障等。

实际上故障切除的总时间等于继电保护的動作时间加上断路器的動作时间。一般的快速保护動作时间为0.08~0.12秒，最快的保护可达到0.02~0.04秒。一般的断路器動作时间为0.1~0.15秒，而最快的断路器可达到0.05~0.06秒。

对反应于不正常工作状况的保护装置，一般不要求迅速动作，而是应该按照选择性的条件，带有延时地发出信号。

3. 灵敏性：所谓继电保护的灵敏性，是指对于其保护范围以内发生故障或不正常工作状况的反应能力。能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故障时，不论短路点的位置和短路的性质如何，都能敏锐感觉，正确反应。

保护装置的灵敏与否，一般都是用灵敏系数来衡量，对各种类型保护装置灵敏系数的要求，在我国水利电力部颁发的《继电保护和自动装置设计技术规程》里都作了具体规定，如表1—1所示[注]，在以后各章中还将分别予以讨论。

4. 可靠性：主要是对保护装置本身提出的要求，它应该随时准备着动作，并在各种故障和不正常工作状况下正确地工作。

一般说来，保护装置中采用的继电器或元件（如晶体管、电容、电阻等）的质量越高，保护装置的接线越简单，回路中继电器的触点数目越少，则保护的工作就越可靠。同时正确的调整试验、良好的运行维护（例如对晶体管继电保护的定期检验等）以及丰富的运行经验也具有重要的作用。

随着电力系统的不断发展，机组和系统容量的增大，以及电网接线的日益复杂，都在上述四个方面提出了越来越高的要求，继电保护技术正是在不断满足这些要求的过程中，发展和完善起来的。继电保护是为电力系统运行服务的，它应该满足电力系统所提出的一切合理要求，而同时继电保护和自动化技术的发展和新成就的出现，又能反过来影响和推进电力系统的发展。

在按照上述四个基本要求选择继电保护方式的时候，还应该考虑经济的条件。在经济问题的考虑中，首先应从国民经济的整体利益出发，由被保护元件在电力系统中的地位和作用来决定应该采用的保护方式，必须估计到由于保护不可靠或性能不完善而给国民经济造成的损失，因为一般说来，即使是最复杂的保护装置，其价格相对于上述损失来讲，都是极小的。其次，也还应该从被保护元件本身的重要性的价格和价格来考虑，使两者互相适应，例如，在小容量（因而价格也不高）的电动机上就不应该装设十分复杂和昂贵的、适用于大容量发电机的性能完善的保护装置。上述两个条件的考虑，在一般情况下都是统一的。

三、继电保护的基本原理

在我们了解了继电保护的功用以及对它的基本要求以后，如何实现继电保护呢？毛主席教导说：“我们是马克思主义者，马克思主义叫我们看问题不要从抽象的定义出发，而要从客观存在的事实出发，从分析这些事实中找出方针、政策、办法来。”

[注]：本书中引用的均为规程（报批本）中的规定，仅供参考之用。待《规程》正式颁发后，如有与之不相适应的地方，应以正式《规程》的规定为准，谨此说明。

1. 电力系统正常运行与故障时基本参数的区别——电流、电压和阻抗（距离）保护的基本原理：以图 1—2 所示的单侧电源网络接线为例，在正常运行情况下（图 1—2, a），

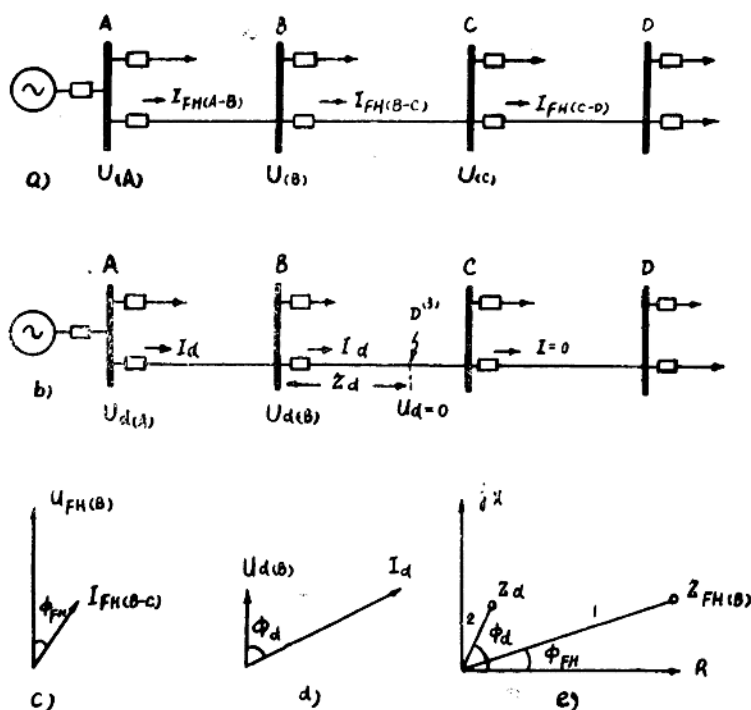


图 1—2 单侧电源的网络接线

a —— 正常运行情况；b —— 故障情况；c —— 正常运行时的向量图；
d —— 故障时的向量图；e —— 在复数阻抗平面上表示的测量阻抗图。

每条送电线路上都流过由它供给的负荷电流 (I_{FH})，越靠近电源端的线路上，其负荷电流就越大；此时每个变电所母线上的电压，一般都在额定电压 $\pm (5 \sim 10)\%$ 的范围以内，也是靠近电源端的较高。设以线路 B—C 为例，我们用 $I_{FH(B-C)}$ 表示流过它的负荷电流，用 $U_{FH(B)}$ 表示变电所 B 母线上的电压， ϕ_{FH} 表示负荷的功率因数角，也就是 $U_{FH(B)}$ 和 $I_{FH(B-C)}$ 之间的相角差（其向量图如图 1—2, c 所示），那末，我们还可以计算出线路 B—C 始端的输入阻抗（在继电保护中，今后习惯上称它为该处的测量阻抗）为：

$$Z(B) = \frac{U_{FH(B)}}{I_{FH(B-C)}} = \frac{U_{FH(B)}}{I_{FH(B-C)}} \angle \phi_{FH} = Z_{FH(B-C)} \quad (1-1)$$

式中 $Z_{FH(B-C)}$ 称为负荷阻抗，也就是在正常运行情况下，在线路 B—C 始端感受到的、由负荷所反应出来的一个等效阻抗，如果用复数阻抗平面来表示，则如图 1—2, e 中的直线 1 所示，显然可见，当负荷越大时，此负荷阻抗的数值就越小，例如，当线路空载运行时，此阻抗值约为 ∞ 。从对继电保护的基本要求来看，在这些电流、电压和阻抗等参数的作用下，各类保护装置均不应该起动。

现在我们来再看看电网中发生故障的情况，如图 1—2, b 所示，假定在线路 B—C 的

D点发生了三相短路，则短路点的电压 U_d 降低到零，由电源到短路点之间将流过很大的短路电流 I_d ，各变电所母线上的电压也将不同程度上有很大的降低，距离短路点越近，则电压降低的越严重，设以 Z_d 表示短路点到B母线之间的阻抗，则变电所B母线上的残余电压为 $\dot{U}_{(B)} = \dot{I}_d Z_d$ ，此时 $\dot{U}_{(B)}$ 和 $\dot{I}_d$ 之间的相角差将是线路B—C的阻抗角 ϕ_d ，其向量关系如图1—2，d所示。在这种情况下，线路B—C始端的测量阻抗为：

$$Z_{(B)} = \frac{\dot{U}_{(B)}}{\dot{I}_d} = \frac{U_{(B)}}{I_d} \angle \phi_d = Z_d \quad (1-2)$$

这一阻抗的大小只与短路点的位置有关，而与短路电流和残余电压的数值无直接关系，当短路点远时测量阻抗就增大，而当短路点近时则减小（例如，当在线路B—C的出口处短路时，则 $Z_{(B)} \approx 0$ ），此测量阻抗在复数阻抗平面上的表示，即如图1—2，e中的直线2。

“有比较才能鉴别。”在通常的情况下，发生短路之后，总是伴随着电流的增大，电压的降低，线路始端测量阻抗的减小，以及电流与电压之间相位角的改变（在高压送电线路通常是增大的）。因此，利用正常运行与故障时这些基本参数的差别，便可以构成各种不同原理的继电保护，例如：反应于电流的增大而构成过电流保护，反应于电压的降低而构成低电压保护，反应于测量阻抗的减小而构成低阻抗保护（又称距离保护）等。

2. 电力系统任一电气元件在内部故障与外部故障（或正常运行）时电流方向的差别——差动保护的基本原理：为分析方便起见，假设电网的接线为一个具有两端电源的网络，如图1—3所示，仍取其中的线路B—C为例，在正常运行情况下，设功率由电源I供给，则在线路的B侧，功率方向（或电流方向）是从母线流向线路，而在线路的C侧，实际上则是从线路流向母线（然后再流向负荷用电处），如图1—3，a所示。今后我们统一规定，由母线流向线路的功率称为正方向的功率，那么在上述情况下，B侧的功率就是正的，而C侧的功率就是负的，请注意，这里所谓负的功率乃是指：在线路的C侧按照规定的正方向来看，由变电所C母线流向线路B—C的功率是负的。如果用正方向的电流来看，则两侧电流的大小相等而方向相反，即两侧由母线流向线路的电流，其相位相差180°。

当在线路B—C以外的地方发生短路时，如图1—3，b的D—1点，对线路B—C本

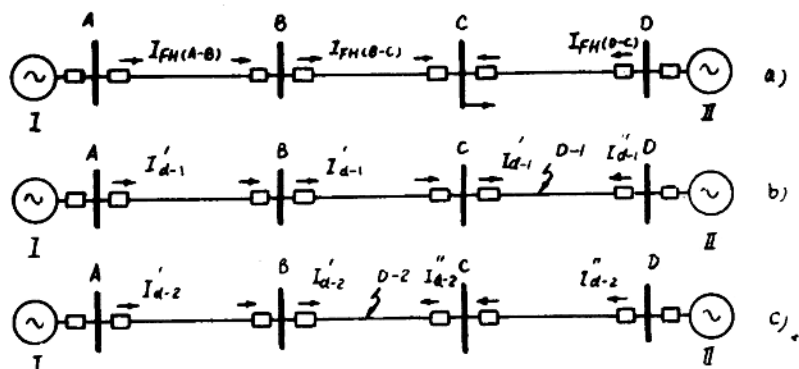


图1—3 双侧电源的网络接线

a — 正常运行情况；b — 线路C—D故障时的电流分布；
c — 线路B—C故障时的电流分布

身来讲,是一个外部故障,此时两侧电源均向 $D-1$ 点供给短路电流,其中由电源 I 所供给的短路电流 I'_{d-1} 将流过线路 $B-C$,短路功率(或电流)的方向如图1-3, b 所示,和正常运行时的功率方向是相同的,即 B 侧为正, C 侧为负,在这种情况下,功率(或电流)只有数值上的变化,而方向(或相位)关系是不变的。

当在线路 $B-C$ 的范围以内不管任何地点短路时,如图1-3, c 所示,由于两侧电源均分别向短路点 $D-2$ 供给短路电流 I'_{d-2} 和 I''_{d-2} ,因此在线路 $B-C$ 的两端,短路功率(或电流)的方向都是正的,此时两端电流的大小一般都不相等,但是方向相同,即两侧由母线流向线路的电流是同相位的。

由此可见,在正常运行以及外部故障时,线路两端的功率(或电流)是大小相等方向相反,而当内部故障时,不论短路点的位置如何,两端功率(或电流)变为方向相同而大小一般则不相等,这一结论可以推广到电力系统的任何电气元件上去。利用内部故障与外部故障(包括正常运行情况)时功率方向或电流相位的差别,就可以构成各种差动原理的保护,例如,纵向比较两端电流的幅值和相位可以构成纵联差动保护,只比较两端电流的相位可以构成相差动保护,只比较两端的功率方向可以构成方向差动保护等。所有这些保护都是根据比较始末端两个(或更多个)电量的原理实现的,因此它们只能在被保护元件的内部故障时才动作,而在外部故障时根本不起动。

3. 在按照上述原理建成各种继电保护装置的时候,可以使它们的参数反应于全电流和全电压(例如用相电流、相电压或线电压等),也可以使之仅反应于其中的某一个对称分量(例如用零序、负序或正序分量的电流和电压),在后一情况下就需要采用专门的对称分量过滤器,以获得所需要的相序分量。由于在正常运行情况下,一般不会出现负序和零序分量,而当发生一切不对称短路时,它们都能达到很大的数值,因此反应于负序或零序分量的保护装置一般都能给出很高的选择性和灵敏性,因而在高压电网以及大容量发电机和变压器的保护中获得了广泛的应用。

四、继 电 器

继电器是所有继电保护装置中的基本组成元件。在现代继电保护技术中所使用的继电器,是指一个能自动动作的电器,当作为控制它的物理量达到一定数值或进入某一定的物理量时,它能够使被控制的物理量发生突然的变化,在上述两个物理量中,应至少有一个是电气量。

继电器的工作原理与测量表计有很多相似之处,例如反应于电流的继电器与电流表相似,电压继电器与电压表相似,功率方向继电器与功率表相似,其主要的区别在于:测量表计是随着被测量的变化而指出不同的数值,而继电器则是预先调好一个定值,当作为控制的电量超过或低于这个数值时才开始动作。

对反应于物理量增大而动作的继电器称为过量继电器(例如过电流继电器),反应于物理量降低而动作的继电器称为低量继电器(例如低电压继电器、低阻抗继电器等)。

继电器可以按照下述不同方法来分类:

1. 按照继电器接入被保护元件的方法可以分为:

(1) 一次式继电器,其线圈直接接入一次回路,如图1-4, a 所示;

(2) 二次式继电器，其线圈通过电流互感器 LH 而接于它的二次侧，如图 1—4, b 所示。目前广泛采用的都是这种型式的继电器，因为它与一次回路没有直接的联系，运行检修方便，也没有高压的危险，此外它的灵敏度高，体积小，还可以划一成标准型式由继电器制造厂大规模生产。

2. 按照作用于断路器跳闸的方法可以分为：

(1) 直接作用式继电器，如图 1—5 所示，它动作后直接作用于断路器的跳闸机构，因此需要消耗很大的功率，体积笨重不够灵敏；

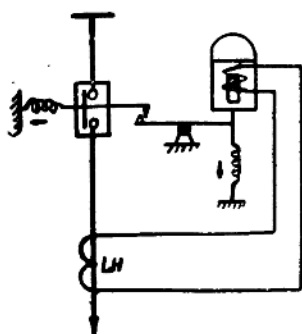


图 1—5 直接作用的二次式继电器

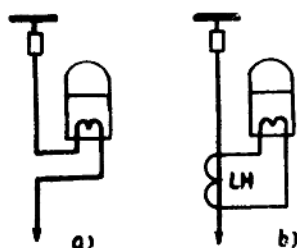


图 1—4 继电器的接入方式

a —— 一次式继电器；
 b —— 二次式继电器。

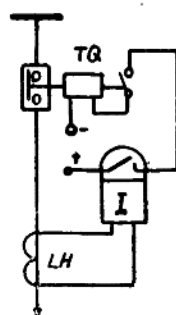


图 1—6 间接作用的二次式继电器

(2) 间接作用式继电器，如图 1—6 所示，它动作后利用触点闭合一个辅助操作回路（即接通断路器的跳闸线圈 TQ ），然后由操动机构使断路器跳闸，其优点是精确性较高和功率消耗小。在继电保护装置中，二次式间接作用的继电器获得了最广泛的应用。

3. 按照继电器的工作原理可以分为：电磁型、感应型、电动型、整流型以及晶体管型继电器等。

无论任何型式的继电器，其结构都可以分解为由感受元件、比较元件和执行元件三个主要部分组成。感受元件将继电器的控制量（例如电流、电压）的变化情况综合后送给比较元件，比较元件即将所得的量与预先规定的量（在继电保护中称为整定值）进行比较，当符合其动作的条件时，即向执行元件发出命令，执行元件随即执行命令，去完成该继电器所担负的任务，例如使断路器跳闸、发出警报信号或去起动其他的回路。

现在以电磁型和晶体管型的继电器为例，来分析说明继电器的基本原理和特性。

1、电磁型过电流继电器：其原理结构如图 1—7 所示，在线圈 I 中的电流 I_f 产生一磁通，磁通 Φ 将通过铁芯、空气隙（ δ ）和可动舌片所组成的磁路。可动舌片（由铁磁材料做成）被磁化后，即与铁芯的磁极产生电磁吸力，企图吸引可动舌片向前转动，在它上面装有继电器的可动触点，当电磁吸力足够大时，即可吸动舌片，使触点接通，也就是继电器“动作”。

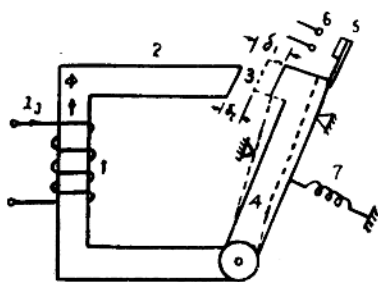


图 1-7 电磁型电流继电器的结构原理图

- 1—线圈；2—铁芯；3—空气隙；
4—被吸引的可动舌片；5—可动触点；
6—固定触点；7—弹簧。

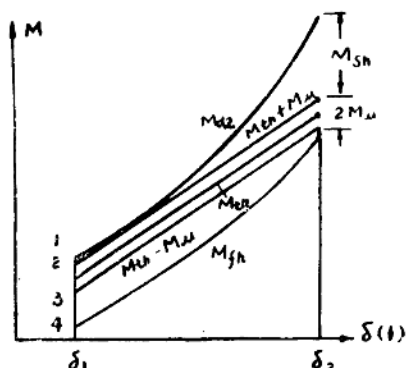


图 1-8 电磁型继电器的电磁转矩及反作用力矩与舌片行程的关系

大家知道电磁吸力是与磁通 Φ^2 成正比的，如果假设磁路的磁阻都集中在空气隙 δ 中，则气隙中的磁通 Φ 即与 I_J 成正比而与 δ 成反比，这样，由电磁吸力作用到可动舌片上的转矩即可表示为：

$$M = K_1 \Phi^2 = K_2 \frac{I_J^2}{\delta^2} \quad (1-3)$$

式中 K_1 、 K_2 ——比例常数。

为在正常运行情况下，保证继电器不动作，使其触点处于断开状态，可动舌片经常受弹簧 7 反作用力的控制而保持在原始位置，因而由弹簧产生了一个初拉力矩 $M_{th} \cdot 1$ ，此时空气隙的大小以 δ_1 表示。由于弹簧的张力与其伸长成正比，因此当舌片向前移动而使气隙减小时，例如由 δ_1 减小到 δ ，则由弹簧所产生的反抗力矩即可表示为：

$$M_{th} = M_{th} \cdot 1 + K_3 (\delta_1 - \delta) \quad (1-4)$$

式中 K_3 ——比例常数。

此外，当舌片动作时，还必须克服一个由摩擦力所产生的摩擦转矩 M_{μ} ，此转矩可认为是一个常数，不随舌片的行程而改变。

因此，阻碍继电器动作的全部机械反抗力矩将是 $M_{th} + M_{\mu}$ 。在正常运行情况下，电磁转矩 $M < M_{th} + M_{\mu}$ ，因此舌片不能被吸动，继电器处于不动作状态。

为使继电器动作并闭合其触点，就必须增大加入继电器的电流，以增大电磁转矩。继电器能够起动的条件是：

$$M \geq M_{th} + M_{\mu} \quad (1-5)$$

满足这个条件的、加入到继电器的某个最小电流值称为继电器的起动电流，以 $I_{dz} \cdot J$ 表示，对应此时的、刚好能使继电器动作的电磁转矩代入（1-3）式即为：

$$M_{dz} = K_2 \frac{I_{dz}^2 \cdot J^2}{\delta^2} \quad (1-6)$$

图 1-8 表示了当舌片由起始位置（气隙为 δ_1 ）到终端位置（气隙减小到 δ_2 ）时，电磁转矩及反作用力矩与舌片行程的关系曲线。当电流值为 $I_{dz} \cdot J$ 不变时，电磁转矩 M_{dz} 随 δ