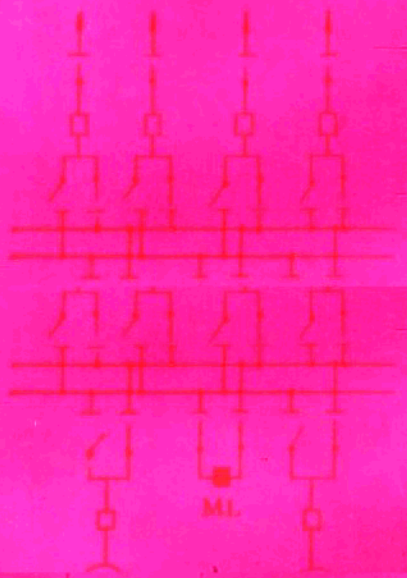


200 MW 机组  
电气培训教材

# 继电保护装置

陈继森



重庆电力学校

这套教材是受水电部生产司委托，在多期培训班使用的讲议基础上编写而成。分为三本出版。《变压器发电机》由杜明扬、郭强、易世怀等编写；《电气设备》第一篇由艾云华编写，第二篇由杨世冰编写；《继电保护装置》由陈继森编写。

本教材适用于培训初中文化程度200MW汽轮发电机组电厂电气运行人员。学员在学习《电工数学基础》、《电工基础》、《电子技术基础》等课程的基础上学习本教材。亦可单独选用任何一本进行单科培训。《变压器发电机》可安排100学时左右；《电气设备》可安排80学时左右；《继电保护装置》可安排100学时左右。使用中可根据实际情况掌握。本教材也可供有关技术人员参考。

重庆电力学校

1986年4月

# 前 言

随着国民经济的发展，电力系统日益扩大，大容量发电厂及大容量发电机组不断增加。当前，已有大量20万千瓦机组及一些更大容量的机组投入运行。今后，将有更多的20万千瓦以上机组投产。

为了加强20万千瓦机组发电厂电气运行人员的培训，提高他们的业务水平，水利电力部举办了20万千瓦机组发电厂电气运行人员短训班，本书就是在多期短训班继电保护课程讲议的基础上编写而成的，以供广大电气工作人员学习所需。

本书从实际需要出发，主要介绍大机组广泛应用的晶体管保护。着重阐明继电保护的判据及工作原理，对装置的接线图作了较为详细的说明。为便于学习，对构成保护的基本元件和电路列出两章加以讨论。

由于水平有限，掌握的资料不够充分，对某些问题缺乏深入研究，书中难免有疏漏及谬误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1986年4月19日

# 目 录

## 前言

第一章	绪论	( 1 )
第一节	继电保护的作用及其基本构成原理	( 1 )
第二节	大型机组的特点及其对继电保护的基本要求	( 2 )
第三节	大型机组继电保护的配置	( 3 )
第二章	构成机组保护的基本元件和基本电路	( 10 )
第一节	电流互感器和电压互感器	( 10 )
第二节	电流电压变换器	( 16 )
第三节	对称分量滤波器	( 19 )
第四节	整流和滤波回路	( 29 )
第三章	晶体管直流逻辑电路	( 36 )
第一节	逻辑门电路	( 36 )
第二节	继电触发器	( 42 )
第三节	延时电路	( 46 )
第四节	绝对值比较回路	( 58 )
第五节	相位比较回路	( 63 )
第六节	出口回路和信号回路	( 74 )
第七节	稳压电路	( 79 )
第四章	纵联差动保护装置	( 85 )
第一节	纵联差动保护的工作原理	( 85 )
第二节	减小不平衡电流及防止外部故障时保护误动作的措施	( 86 )
第三节	发电机的纵联差动保护装置	( 88 )
第四节	变压器的纵联差动保护装置	( 93 )
第五节	整流型差动保护	( 104 )
第五章	发电机定子绕组单相接地保护	( 108 )
第一节	发电机定子	( 108 )
第二节	定子单相接地时的零序电流和电压	( 108 )
第三节	发电机定子接地零序电压保护	( 108 )
第四节	具有100%保护区的发电机定子绕组接地保护	( 113 )
第五节	双频式100%定子绕组接地保护	( 119 )
第六章	发电机定子绕组匝间短路保护	( 122 )
第一节	匝间短路的作用	( 122 )

第二节	反应零序电压的匝间短路保护	( 122 )
第三节	反应转子回路二次谐波电流的匝间短路保护	( 125 )
第七章	失磁保护装置	( 129 )
第一节	发电机失磁运行的影响	( 129 )
第二节	失磁后的物理过程	( 130 )
第三节	失磁后机端阻抗的变化	( 132 )
第四节	失磁保护的方案	( 136 )
第五节	反应静态稳定极限的失磁保护装置	( 137 )
第八章	发电机励磁回路接地保护	( 143 )
第一节	概述	( 143 )
第二节	励磁回路一点接地保护	( 143 )
第三节	励磁回路两点接地保护	( 153 )
第九章	主变压器零序接地保护	( 156 )
第一节	接地保护的作用和基本原理	( 156 )
第二节	并联运行变压器零序接地保护的作用方式	( 156 )
第三节	零序接地保护装置	( 158 )
第四节	中性点放电间隙接地保护	( 162 )
第十章	短路故障的后备保护	( 164 )
第一节	后备保护的作用和配置方式	( 164 )
第二节	电流速断保护	( 165 )
第三节	利用正序和负荷电流电压的全阻抗后备保护	( 166 )
第十一章	发电机的反时限电流保护	( 174 )
第一节	概述	( 174 )
第二节	发电机承受负序电流的能力	( 174 )
第三节	负序及时限电流保护	( 176 )
第四节	定子绕组过负荷保护	( 183 )
第五节	转子过负荷保护	( 187 )
第十二章	发电机的过电压及逆功率保护	( 190 )
第一节	发电机的过电压保护	( 190 )
第二节	逆功率保护	( 191 )
第三节	非全相运行保护	( 194 )
第十三章	20万千瓦机组继电保护配置图例	( 195 )
第一节	概述	( 195 )
第二节	主要设备参数	( 195 )
第三节	保护的配置	( 197 )

# 第一章 绪 论

## 第一节 继电保护的作用及其基本构成原理

运行中的电力系统可能发生故障和不正常运行状态，如果不及时发现和正确予以处理会造成事故，损坏电力设备，使电能质量下降到不允许的程度，甚至使系统瓦解，大面积停电，给国民经济带来严重的损失。为了保证电力系统安全可靠工作，必须设置各种安全自动装置。随着电力系统的扩大，这种安全自动装置日益显示它的重要性。继电保护装置就是一种重要的安全自动装置，它能灵敏地反应系统的故障和不正常运行状态。故障情况下，通过断路器有选择性地使故障元件从系统中断开，保证无故障部分继续运行，切除故障的时间满足系统安全发供电的要求。在不正常运行状态下，继电保护能及时给出相应的信号，或作用于其他自动装置进行必要的处理。为了起到应有的作用，保护装置本身必须是十分可靠的，不能误动与拒绝动作。

随着电力系统的发展，科学技术的进步，继电保护装置新原理不断出现，保护的构成元件渐次更新。电磁式、感应式保护继电器依然大量存在的情况下，整流式亦被广泛应用，晶体管式保护在发展推广中，计算机保护继电器研究和应用已经开始。这些不同类型的保护，就其基本原理来说，都是反应电力系统故障或不正常运行状态时某些参数和情况的变化，即以某种故障（不正常运行状态）与正常运行有所区别的因素为保护的起动作判据，实现快速有选择性的动作。为此，继电保护须具有图1—1所示的基本结构。图中测量部分反应电力系统元件运行中某物理量，与保护的整定值进行比较，若达到整定值，即向逻辑部分输出信号；逻辑部分根据预定的要求判断保护应否动作，执行部分则根据逻辑部分的信号执行向被保护元件的断路器发出跳闸脉冲或其他信号脉冲。



图1—1 继电保护原理结构图

## 第二节 大型机组的特点及其对 继电保护的要求

由于电力负荷的增长，电力系统的规模和容量日益扩大，单机容量增长速度，由于技术和经济上的原因，超过系统容量的增长速度。大型机组在电力系统中的比重越来越大。

1953年世界上第一台20万千瓦机组问世，1958年出现了32万千瓦机组，1965年100万千瓦机组投运。单机容量以十年翻两番的速度迅猛发展。

我国动力资源极为丰富，但多数集中在西部和北部地区，而电力负荷则主要在东部、南部，自然形成西电东送的情况。大量坑口电站和大型水力枢纽工程的建设，要求采用大容量机组。20万千瓦汽轮发电机已在七十年代初投运。当前汽轮发电机单机容量发展到60万千瓦，水轮发电机为32万千瓦。

单机容量的增大，也由于大机组的运行效率高，相对造价低。若以20万千瓦发电机的单位容量为100，则30万千瓦机为90，60万千瓦机为80，80万千瓦机为77，100万千瓦机为74。大机组电厂的建设工期比同容量的中小机组发电厂的短，每千瓦的运行人员少，发电煤耗低。

运行经验证明，单机容量大，事故停机率相对增大。鉴于大型机组本身的经济价值及其在电力系统中处于重要地位，必须十分注意机组的安全运行，必须配置完备而高质量的继电保护装置，以便在机组发生故障时，能最大限度地减轻其损伤程度且保持系统安全运行。

现就大型机组本身具有的基本特点和其对继电保护的具体要求进行讨论。

一、有效材料利用率较高，相对重量轻，机组的惯性常数明显降低（表1—1），发电机易于失步，因此有必要装设失步保护。

表1—1 发电机的惯性常数和容量关系

机 型	惯性常数（秒）	百分数(以10万千瓦机为100)
TQN—100—2	2.72	100
QFQS—200—2	2.4	88.2
QFS—300—2	2.06	75.5
QFSSQ—600—2	1.70	62.5

二、有效材料利用率高，发电机的相对热容量显减小，过负荷能力下降。如容量小于20万千瓦发电机定子绕组对称过负荷能力为1.5倍额定电流，允许连续运行两分钟，转子绕组过负荷能力为2倍额定激磁电流，允许连续运行30秒；而60万千瓦发电机定子绕组通过1.5倍额定电流，只允许运行30秒，转子绕组为2倍额定电流允许运行10秒。对于承受负序电流的能力（ $I_2^2 t$ ），间接冷却的中小型机组为30（汽轮发电机）或40（水轮发电机），直接冷却方式的大型机组一般为3~8。据此特点，为了保护大型机组免于过热损坏及充分利用其带负

荷的能力，对于大型机组的定子绕组和转子绕组的过负荷保护和转子的负序电流保护都采用反时限特性的继电器，反时限特性与发电机相应的允许过热特性曲线配合。

三、为了节省有效材料及缩小体积，大型机组的定子和转子间的空气隙较小，因而 $X_d$ 、 $X_d'$ 、 $X_d''$ 等电抗增大，平均异步转矩显著降低。如中小型汽轮发电机的平均异步转矩最大值达2~3倍额定转矩，而大型机组的平均异步转矩近似等于额定转矩，因此大型机组失磁后，异步运行滑差率大，向系统吸取感性无功多，带有功负荷能力弱。为此，对大型机组需要设置性能更为完善的失磁保护。

四、由于 $X_d$ 、 $X_d'$ 、 $X_d''$ 的增大，短路电流水平下降，要求反应短路电流的保护装置的灵敏度更高。

五、大型发电机定子绕组和转子绕组的电阻相对减小，加以 $X_d$ 、 $X_d'$ 、 $X_d''$ 的增大，则定子回路的时间常数增大，使短路电流的非周期分量衰减变慢，使电流互感器工作特性和断路器的断流条件恶化，而且不对称短路时转子表层发热加重，从而对保护提出更多的要求。

六、由于 $x_d$ 的增大，使大型机组的静态稳定储备系统降低。静态稳定储备系数为：

$$k_{ch} = \frac{P_m - P_c}{P_c} \quad (1-1)$$

式中  $P_m$ —理想功率极限。

$P_c$ —额定功率

一般中小型机组的 $k_{ch} = 1.5$ ，而20万千瓦发电机的 $k_{ch}$ 仅为0.7（QFSS—200—2型），在运行中易于失步，保护装置应加注意。

七、由于大型机组定子铁心通风要求高，通风槽多而复杂，铁心损坏及检修困难，因而要求定子绕组单相接地保护性能更为完善。

八、单机容量大，轴向长度与径向长度比值增大，运行中振动加剧，绝缘磨损加快，且冷却系统可能故障，故需设置灵敏度高的匝间短路保护和水内冷机组的漏水保护。

九、大型低速水轮发电机转子直径大，而气隙的大小与中小型机基本相同，转子稍有偏心则气隙的不均匀度大，引起机组振动加剧，故须装气隙不均匀保护。

十、大型发电机，每相并联分支多，但由于其结构紧凑，不能将每一分支两端都引出，而只能每相引出两个端子，共6个引出端，因此匝间短路保护不能采用横差原理，而只能另寻求新方案。

此外，对大型机组因考虑发电机过电压，变压器的过激磁故障及低频、失步、逆功率等不正常工作状态的相应保护。应考虑到大型机组容量占系统容量的比例大，起停技术复杂，费时费钱多，在设计保护装置的出口回路时，应力求减少起动次数，尽量避免紧急跳闸停机。

总之，对于大型机组，应充分注意到其各方面的特点，有针对性的配备全面的、性能良好的继电器保护，以保证机组的安全和系统运行的可靠性。

### 第三节 大型机组继电保护的配置

大型机组的一次接线如图1—2所示。采用发电机变压器组单元接线，无发电机电压母线



和地方负荷。发电机与变压器间和厂用变复压器高压侧不设断路器，主要因为断路器遮断容量大，制造困难，价格昂贵，而厂用变压器及其引出线的故障机会很少（采用分相封闭母线）厂用变高压侧的断路器亦予省去。

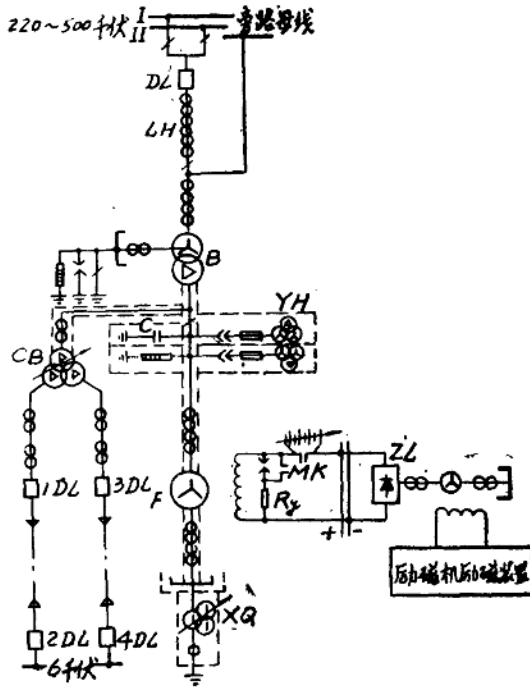


图1-2 汽轮发电机双绕组变压器组的一次接线图

表1-2 大型汽轮发电机双绕组变压器组可能配置的继电保护装置及其出口控制对象表

序号	保护装置名称	组别	保护装置出口								处理方式	
			停汽机	停锅炉	跳OL	跳MK	跳1DL 3DL	调汽门	切换励磁	跳母联		发声光信号
I	短路保护											
1	发电机差动保护	A	+	+	+	+	+					全停
2	升压变压器差动保护	A	+	+	+	+	+					全停
3	高压厂用变压器差动保护	A	+	+	+	+	+					全停
4	发变组差动保护	B	+	+	+	+	+					母线解列
5	全阻抗保护 $t_1$ $t_2$	B			+	+	+					解列灭磁

6	高压侧零序保护 $t_1$ $t_2$	B			+	+	+		+	母线解列 解列灭磁	
7	定子匝间短路保护	B	+	+	+	+	+			全停	
8	发电机励磁回路两点 接地保护	B	+	+	+	+	+			全停	
II	异常运行保护										
9	定子一点接地保护 I 段 II 段	A B							+	发信号 发信号	
10	发电机励磁回路一点接 地保护	A							+	发信号	
11	励磁机励磁回路一点接 地保护	A							+	发信号	
12	定子过负荷保护 定时限 反时限	A				+	+	+	+	发信号 解列灭磁	
13	转子表层过负荷保护 定时限 反时限	A				+	+	+	+	发信号 解列灭磁	
14	励磁回路过负荷保护 定时限 反时限	A				+	+	+	+	发信号 解列灭磁	
15	低频保护	B				+	+	+			
16	失磁保护 $t_0$ $t_1$ 、 $t_3$ $t_2$	A				+	+	+	+	+	发信号 解列灭磁 减出力
17	过电压保护	B				+	+	+			解列灭磁
18	逆功率保护 $t_1$ $t_2$	A				+	+	+			发信号 解列灭磁
19	失步保护	B							+		增、减出力
20	变压器过激磁保护	B				+	+	+			解列灭磁
21	断路器失灵保护	B				+	+	+			解列灭磁
22	非全相运行保护	B				+					解列
III	辅助装置										发信号
23	电流回路断线保护	B							+		发信号
24	电压回路断线保护	B							+		
25	出口装置	B									
26	检测装置	A,B									
27	电源装置	A,B									
IV	厂用6千伏分支保护										
28	分支线差动保护 $t_0$ $t_1$					+	+	+			跳1、2DL或3、 4DL 解列灭磁
29	分支线过流保护 $t_1$ $t_2$					+	+	+			跳1、2DL或3、 4DL 解列灭磁

大机组保护的可能配置列于表1—2中。

考虑到大型机组的价值和在系统中的地位与作用的重要性，注意到大型机组的特点，应该配置齐全的性能优良的保护。保护的配置，应该有反应短路故障的保护，和反应不正常工作状态保护两大类。前者反应被保护范围内各种短路故障，因为这些短路故障，将直接造成机组的损坏，故此保护十分重要，为防止保护装置或断路器拒动，除应配置主保护外，尚应有后备保护，后者用以反应各种可能的不正常工作状态，这些工作状态不会很快造成机组的损坏，故此保护，无需后备。

在表1—2中可见，各种保护被划分为AB两组，两组保护在结构和配线上各自独立。在运行中可分别检查修理各组保护而机组不会脱离必要的保护。

表1—2中处理方式一栏所列的内容，指的是保护出口的作用方式，这种方式应充分考虑到大型机组起停的困难。各种处理方式的内容是：

全停：停汽机、停锅炉、断开高压侧断路器、发电机灭磁、断开厂用变低压侧断路器、机炉及其辅机停止工作；

解列灭磁：断开高压侧断路器、灭磁、断开厂用变低压侧断路器；

解列：断开高压侧断路器；

减出力：减少汽机的输出功率；

发信号：发出声光信号或光信号；

母线解列：对双母线系统，断开母线联络断路器，缩小故障范围。

表1—2所列的保护是大型机组可能配置的一些保护。对于具体机组，应根据有关规程规定和实际情况决定其保护的配置。

在决定机组保护配置时，应考虑到下列一些问题。

(1)应考虑三相短路故障的可能性。

大型机组高压侧电压都在220KV以上，相间距离大，三相短路故障的机会很少。可是考虑到三相短路故障的严重性及由于带地线合闸、雷击、故障转换，形成三相短路的可能性。故障在大机组保护的配置中应考虑三相短路。

(2)应考虑到目前分相封闭母线系统相间短路故障的实际存在。

大型机组一般采用分相封闭母线。运行经验证明，封闭母线系统可能发生相间故障。在保护配置中，应考虑将封闭母线包括在有关保护的保护区内。

(3)关于机组差动保护的配置

按照系统稳定性及机组本身安全的要求，反应机组相间短路保护应具有高度快速性，因而采取差动保护。差动保护的配置有两种类型。

①发电机差动和发电机变压器组大差动。这类型式应用较多。由于大差动的保护范围不同，又有三种不同方式，如图1—3(a)，图1—3(b)和图1—3(c)所示。

在此类型中，以图1—3(b)表示的较为适宜。图1—3(a)，大差动保护范围包括厂用变在内，在厂用变低压侧短路时，保护的灵敏度可能不满足要求(应有大于2的灵敏系数)，这样，须另装一套厂用变差动，机组大差动对厂用变来说，只起到后备保护的作用。考虑到大差动是主变压器的主保护，为提高其可靠性，保护范围不宜过于扩大，且厂用变的后备保护不宜采用差动而宜采用电流保护。对于图1—3(c)，大差动保护应按躲过厂用

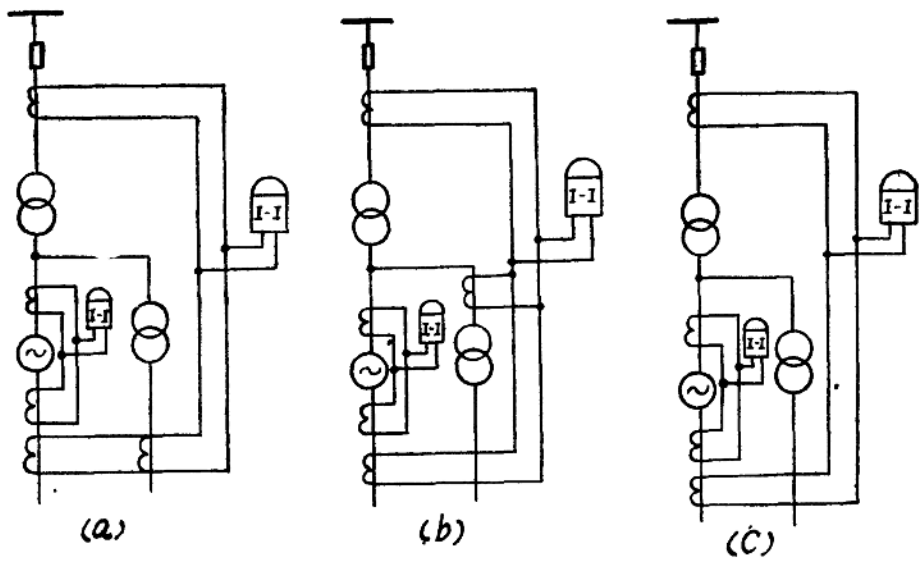


图 1—3 发电机小差动和机组大差动的配置图

分支最大负荷电流选择动作值，灵敏度将降低，早期投产的大机组有采用此种接线的。

②差动保的双重化，即发电机差动、主变压器差动、厂用变压器差动以及包括发电机、变压器和厂用变压器在内的机组大差动，如图 1—4 所示。

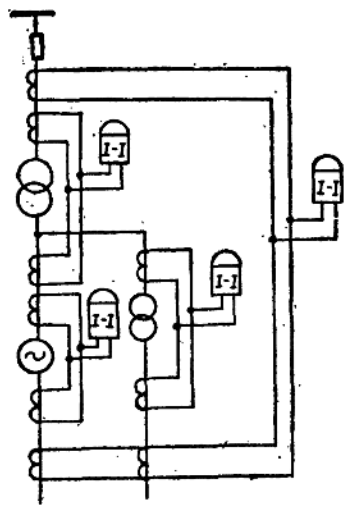


图 1—4 双重化差动保护接线图

这一方案的特点是，发电机、主变压器、厂用变压器者各以其自身的小差动保护作为主保护。机组大差动保护作为它们的后备保护。对于变压器来说，大差动和瓦斯保护已形成双重化速动保护。考虑到瓦斯保护的性能不稳定和不能反应引出线上的故障，降低了可靠性，因而采用差动保护双重化。表 1—2 所列为差动保护的双重化。

为提高保护动作的可靠性，应设闭锁。保护双重化减少保护拒绝动作的机率，设闭锁，则减少保动的机率。

(4)关于机组的后备保护的配置

若机组主保护采用差动保护双重化，则机组本身无需装设其他后备保护。

大型机组的高压侧都接到220KV以上母线。而220KV及以上线路的保护配备齐全，不要求机组装设反应线路全长故障的远后备保护；实际上，由于线路长短不一，母线上又有几台机组并列运行，远后备的整定配合困难，不易实现。因此一般不考虑装设反应邻线故障的远后备保护。至于母线，一般只有一套保护，有时可能不投入工作，需要机组装设反

应母线故障的后备保护。为提高动作灵敏度，表1—2中列出以全阻抗保护作为后备。

#### (5) 厂用变压器的保护

厂用变压器的主保护已在差动保护配置中已予讨论。至于其后备保护，若过流保护灵敏度不足，采用其他如阻抗保护等。若机组差动保护双重化，大差动的保护范围包括厂用变，如按后备保护要求，在厂用变低压侧两相短路时有足够灵敏度，则厂用变可不装设后备保护。表1—2中未列出厂用变的后备保护。

#### (6) 关于断路器失灵保护

高压侧断路器拒动时，若由远后备保护切除故障，时间过长，且可能切除所有电源。为此，大机组应装设断路器失灵保护，当高压侧断路器失灵拒动时，用以切除故障。每一母线装一套。

#### (7) 高压侧零序电流电压保护

高压超高压线路上已配置完善的接地故障零序电流的主保护和后备保护，采用差动保护双重化后，若差动保护对机组高压侧发生接地短路故障时灵敏度足够，则按照近后备的要求，对变压器高压绕组及引出线可不装设反应零序电流的后备保护。考虑到零序电流保护简单可靠高压和超高压系统接地故障机会甚多，为在某些特殊情况下，不致失去保护，一般要求在主变压器中性点装设两段零序电流保护，一段作为高压母线的后备，一段作为相邻线路的远后备。

对于主变压器，中性点可能接地运行，也可能不接地运行，且其绝缘是分级的，因此还需装设零序电流电压保护。

(8) 差动保护不能灵敏反应发电机定子绕组匝间短路。表1—2中列出了匝间短路保护。

(9) 关于反应不正常工作状态保护的配置。

按照大机组的特点，对于可能危及机组安全的各种不正常工作状态，都应装设相应的保护装置。

定子绕组一点接地保护。要求其具有100%的保护区，有足够高的灵敏度。表1—2中列出了两段的接地保护，都作用于信号。Ⅰ段为100%接地保护，Ⅱ段为90%的简单的接地保护，以便在一段退出运行时，另一段工作，一段拒动时，另一段作后备。

由于大型机的相对热容量低，机组易于因过负荷而过度发热，因而装设了反应定子绕组过负荷保护，转子绕组过负荷保护及转子表层过负荷保护。它们各自都由定时限和反时限两部分组成，全按与机组的过热特性配合来整定，不考虑与其他保护相配合。过负荷保护不宜兼作短路故障的后备保护。因为从发电机发热的角度看，过负荷保护是安全可靠的，但由于动作时间过长，对系统将造成危害。

表1—2中列出了励磁回路一点接地保护，作用于信号；设置了反应发电机低励磁，失磁故障的失磁保护；考虑到大机组过电压的危险，设置了过电压保护；针对大型发电机易失步而装设了失步保护；为防止汽轮机断汽运行使叶片损坏而设置逆功率保护；防止变压器过激磁的危害设置过激磁保护；还有电流互感器断线保护和非全相运行保护等。

#### (10) 水轮发电机保护配置的特点

对于大型水轮发电机保护的配置大部分与汽轮发电机同，主要的特点有：

a. 一般不装设励磁回路两点接地保护；

- b. 不装逆功率保护；
- c. 水轮发电机的热容量是比汽轮发电机大，一般只装设定时限负序电流保护；
- d. 失磁保护动作于跳闸。

#### (11) 励磁机差动保护

对于大型机组，励磁机故障对安全运行影响很大，且励磁机本身容量大，应得到可靠保护。如励磁机的中性点有引出线，应装差动保护。

#### (12) 厂用分支线保护

采用差动保护作为主保护，与发电机差动保护同型，两相式。保护有两级时限，瞬时跳开分支线，长的断开机组。

采用过流保护作为后备保护，二相式。

综上所述，在考虑大型机组保护总体配置时，须强调最大限度地保证机组安全和缩小故障破坏范围，尽可能避免不必要的停机，避免拒动和误动。因此不仅要有可靠性、选择性、快速性、灵敏性良好的保护继电器，且要做到保护配置完善、合理，注意避免不必要的复杂和繁琐。

## 第一章 复习思考题

- (1) 继电保护装置有哪些作用？由哪几部分构成？各部分的作用是什么？
- (2) 大型机组有哪些特点？对继电保护装置有什么特殊要求？
- (3) 机组保护有哪几种作用方式？各有什么具体内容？
- (4) 机组纵差动保护的几种方案各有什么特点？
- (5) 机组一般配置哪些继电保护装置？

## 第二章 构成机组保护的基本元件和基本电路

### 第一节 电流互感器和电压互感器

#### 一、电流互感器

##### (1) 极性与正方向

电流互感器的一次和二次绕组的极性端，按减极性原则标准。即当一二次绕组从同极性端通入电流时，在铁芯中产生的磁通方向相同，极性的标注见图 2-1。

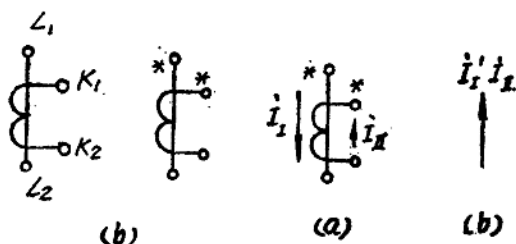
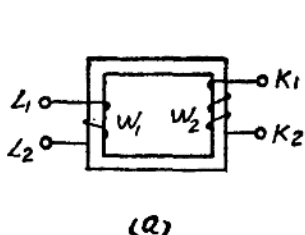


图 2-1 电流互感器的极性标注  
(a) 原理图；(b) 示意图

图 2-2 电流正方向与向量图  
(a) 正方向；(b) 向量图

一次和二次电流的正方向取相反方向，如图 2-2 所示。按此，铁芯中合成磁势为一二次绕组磁势向量差。即

$$W_1 \dot{I}_I - W_2 \dot{I}_{II} = 0$$

$$\text{或} \quad \dot{I}_{II} = \frac{W_1}{W_2} \dot{I}_I = \dot{I}'_I \quad (2-1)$$

式(2-1)表明，折合到二次侧的一次电流  $\dot{I}'_I$  与二次电流  $\dot{I}_{II}$  大小相等，相位相同（忽略激磁电流）。一二次电流相位示于图 2-2 (b)。按照这种假定正方向，可以用一个向量来表示一次电流和二次电流，较为方便。且进入一次侧电流方向和进入二次负载电流方向一致，好像一次电流直接流入负载一样，较为直观。因此常用此种表示法。

##### (2) 向量图及误差

电流互感器的运行状态与电压互感器不同。其二次回路处于接近短路状态下工作，一次电流的大小基本上不随二次负载的变化而变化，是个定流电源。其等值电路如图 2-3 (a) 所示。图中所有一次参数都已折合到二次侧。图 2-3 (b) 为其电流向量图。

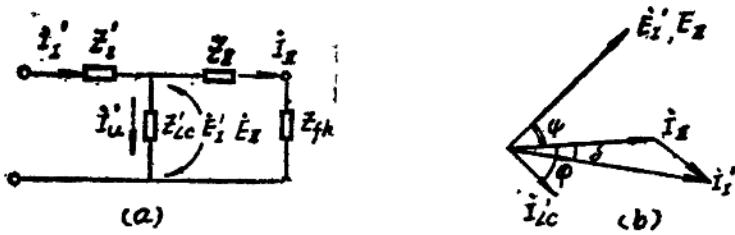


图 2—3 电流互感器的等值电路及电流向量图  
(a) 等值电路, (b) 电流向量图

$Z'_I$ 、 $Z_{II}$  为一、二次绕组的漏阻抗,  $Z'_{LC}$  为励磁回路阻抗。若互感器的一次侧接入一次回路, 二次侧接上负荷阻抗  $Z_{fh}$ , 一次线圈将通入一次电流  $\dot{I}'_I$ , 它取决于一次回路的电流, 不随二次负载的改变而改变。由图 2—3 (a) 可见。

$$\dot{I}_{II} + \dot{I}'_{LC} = \dot{I}'_I$$

若先以  $\dot{I}_{II}$  为基准向量,

$$\dot{E}_{II} \text{ (或 } \dot{E}'_I) = \dot{I}_{II} (Z_{II} + Z_{fh})$$

向量  $\dot{E}_{II}$  (或  $\dot{E}'_I$ ) 超前  $\dot{I}_{II}$  一个  $\psi$  角,

$$\psi = \text{tg}^{-1} \frac{X_{fh} + X_{II}}{\gamma_{fh} + \gamma_{II}} \quad (2-2)$$

式中  $Y_{fh}$ ,  $\gamma_{fh}$  为负荷电抗和负荷电阻

$X_{II}$ 、 $\gamma_{II}$  为二次绕组的漏电抗和电阻

忽略励磁回路的铁芯损失和涡流损失, 励磁电流  $\dot{I}'_{LC}$  应滞后于  $\dot{E}_{II}$  (或  $\dot{E}'_I$ )  $90^\circ$ , 据此,

可画出  $\dot{I}'_{LC}$  的向量, 由  $\dot{I}'_I = \dot{I}_{II} + \dot{I}'_{LC}$  可得  $\dot{I}'_I$  的向量, 见图 2—3 (b)。图中

可见  $\dot{I}_{II}$  超前  $\dot{I}'_I$  一个  $\delta$  角, 称为电流互感器的角度误差, 通常  $\delta$  的数值很小,  $\dot{I}_{II}$  和  $\dot{I}'_I$  的大小不相等, 由于  $\delta$  很小, 可以认为

$$\dot{I}'_I = \dot{I}_{II} + \dot{I}'_{LC} \text{Cos}\varphi \quad (2-3)$$

电流互感器的电流误差 (比差) 表示为



$$f_{wc} = \frac{\dot{I}_I - \dot{I}'_I}{\dot{I}'_I} \times 100\%$$

由于  $\dot{I}'_I$  的存在，电流误差  $f_{wc} < 0$ ，为了满足保护装置的要求，电流互感器的电流误差和角度误差都应限制在一定范围之内。特别是电流误差，往往超过允许的程度，需要设法降低。

减小误差的措施有：

a. 励磁电流是造成误差的基本原因。减小励磁电流的方法如

①采用高导磁材料做铁芯，增大铁芯截面，缩短磁路长度；

②减小二次负载阻抗，增大二次导线的截面；

③适当增大电流互感器的变化比  $W_I / W_{II}$ ，如将二次线圈的匝数减小 1 ~ 3 匝，则二次电流可适当增大，电流误差可以减小；

b. 现场常用的方法如

①选用变比较大的互感器；

②将两个型号相同，变比相同的互感器串联使用，以减小每个互感器的负载。

此外尚可在二次侧并接电容器，以补偿励磁电流的方法达到减小误差的目的。

(3) 电流互感器的 10% 误差曲线

用于保护装置的电流互感器，其电流误差不得大于 10%，角度误差不得大于 7°。因此必须按 10% 误差曲线来选择保护用电流互感器。所谓 10% 误差曲线，即与 10% 误差相对应的一次电流倍数  $m_{10} = \frac{I_1}{I_{1c}}$  与二次负载阻抗  $Z_{fh}$  之间的关系曲线，如图 2-4 所示。若一次电流倍数为  $m'_{10}$ ，由曲线可知，对应的负荷阻抗  $Z'_{fh}$  下，互感器的误差正好为 10%，若  $Z_{fh} > Z'_{fh}$  则误差大于 10%，若  $Z_{fh} < Z'_{fh}$  则误差小于 10%。曲线由试验测绘得。在选择互感器时，则据此曲线进行。如果在实际应用中，一次电流最大周期分量值为  $I_{Dmax}$ ，则一次电流倍数可按下式计算：

$$m = \frac{K_k I_{Dmax}}{I_{1c}} \quad (2-4)$$

式中  $K_k$  ——考虑非周期分量的系数；

$I_{1c}$  ——互感器的一次侧额定电流。

二次负载阻抗  $Z_{fh}$  可由试验或计算求得，然后以求得的  $m$  和  $Z_{fh}$  值在 10% 误差曲线上进行误差校核。若在曲线平面坐标上，点  $(m, Z_{fh})$  落在曲线之下，则该互感器在运用中的误差小于 10%，可以采用。若落在曲线之上，说明误差大于 10%，则不能采用。

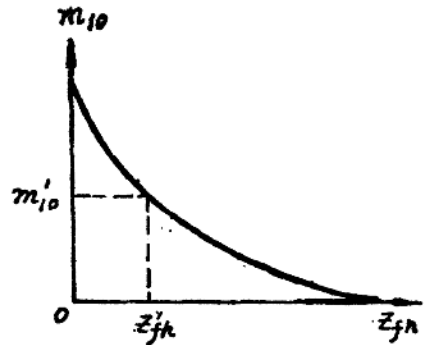


图 2-4 电流互感器的 10% 误差曲线