



用电管理培训教材

继电 保护

水利电力部电力生产司 组编

水利电力出版社

YONGDIAN GUANLI PEIXUN JIAOCAI

内 容 提 要

本书主要叙述35千伏及6~10千伏供电的各厂矿企业等用电单位的继电保护装置及二次回路。

全书共分十二章，分别介绍了继电保护、继电器及互感器的基本知识；线路、变压器、电动机、电容器、小型水力发电机及余热小发电机等电气设备的继电保护装置；备用电源自动投入及自动重合闸装置；二次回路的基本概念、直流操作电源及所用交流电源等。

本书是电力部门用电管理人员的技术培训教材，也可作为中等专业学校、电力技工学校用电管理专业的试用教材，也可供各工业主管部门及厂矿企业等用电单位的电能管理专业人员学习参考。

用电管理培训教材

继 电 保 护

水利电力部电力生产司组编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 15.25印张 342千字

1985年2月第一版 1985年2月北京第一次印刷

印数00001—25030册 定价2.40元

书号 15143·5593

前 言

在现代社会里，电力已成为国民经济和人民生活必不可少的二次能源。但是，电力作为电力工业的一种产品，具有与其他任何产品不同的特点，这就是它的生产、输送和使用（即产、供、销）是在同一时间内完成的，三个环节互相依存、互相制约。电力工业部门的生产、用电单位的生产以及人民生活能否正常进行，不仅决定于电力生产部门本身，同时还决定于广大的用电单位。因此搞好用电管理工作，做到安全、经济、合理用电，提高全社会的经济效益，是保证电力安全生产和向用电单位正常供电的必要条件。

用电管理是电力工业部门经营管理工作的重要环节，涉及社会各个方面，因此它具有社会性很广、政策性很强、技术业务性也很强的特点。

建国以来，我们培养了一批用电管理人员，建立起一支用电管理队伍，积累了一些用电管理工作经验。但是从实现我国四个现代化的要求来看，这支队伍还有待加强，用电管理人员需要充实专业技术知识。

为了发展和壮大这支队伍，提高用电管理专业的水平，我们组织编写了一套用电管理培训教材，即《计划用电》、《节约用电》、《安全用电》、《营业管理》、《电能计量》、《电气设备》、《继电保护》等共计七册，作为用电管理专业人员的在职培训教材，也可作为中等专业学校、电业技工学校用电管理专业的专业课试用教材，还可供大专院校用电管理专业师生和工业主管部门、厂矿企业用电单位的电能管理专业人员参考。

这套用电管理专业教材的编写，限于经验和水平，加之成书时间仓促，书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

《继电保护》着重介绍用电单位35千伏及以下变电所的高压供电设备和余热发电、小水电等小型发电设备的继电保护原理及其整定计算。也介绍了用电单位常用的“自动重合闸”和“备用电源自动投入”两种自动装置。考虑到控制、信号等二次回路和操作电源是为继电保护服务的，所以本书也作了阐述。

本书由水利电力部委托华东电业管理局负责编写。由上海供电局庄思成同志执笔。初稿完成后，曾由水利电力部组织汪又雄、王昭瑜、赵国华、张万清、刘传才、耿志洲、游政君、王金根等同志参加审稿并提出修改补充意见。全书最后由北京供电局施更生和马忠同志审核。

本书在编写过程中，上海供电局万善良同志和杨敏仁同志为本书提供了许多宝贵的资料和正确的修改意见。湖北省咸宁地区电力局操有条同志和广东省湛江地区良德水电站单水群同志提供了小水电站的资料。在此表示感谢。

水利电力部电力生产司

一九八三年十一月

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
第一节 继电保护的任务和发展概况	1
第二节 电力系统的故障及不正常运行状态	2
第三节 对继电保护装置的基本要求	5
第四节 继电保护的基本原理	7
第五节 继电器和它的表示方法	8
第二章 常用继电器	11
第一节 电磁型继电器	11
第二节 感应型电流继电器	17
第三节 功率方向继电器	21
第三章 电流互感器和电压互感器	26
第一节 电流互感器的极性	26
第二节 电流互感器的接线方式	26
第三节 电流互感器的误差	31
第四节 电压互感器的极性和误差	37
第五节 电压互感器的接线方式	41
第四章 线路的电流保护	44
第一节 定时限过电流保护	44
第二节 低电压闭锁的过电流保护	47
第三节 反时限过电流保护	48
第四节 电流速断保护	50
第五节 线路三段式电流保护装置	53
第六节 电流电压联锁速断保护	55
第七节 方向过电流保护装置	57
第五章 6~10千伏中性点不接地系统的接地保护	61
第一节 中性点不接地系统中单相接地	61
第二节 中性点不接地系统的接地保护装置	62
第六章 6~10千伏电气设备继电保护	66
第一节 6~10千伏变压器保护	66
第二节 6~10千伏变压器的保护整定	73
第三节 6~10千伏高压电动机保护	77
第四节 6~10千伏高压电动机的保护整定	84
第五节 电力电容器的保护	86
第六节 电力电容器的保护整定	91
第七节 6~10千伏电气设备保护整定计算举例	94

第七章 35千伏电力变压器继电保护	101
第一节 变压器的保护要求	101
第二节 变压器的过电流保护和过负荷保护	101
第三节 变压器的电流速断保护	106
第四节 变压器的差动保护	107
第五节 变压器的瓦斯保护	119
第六节 变压器的温度信号装置	123
第七节 出口中间继电器的要求	124
第八节 变压器保护原理接线图实例	128
第九节 35千伏电力变压器保护整定计算	131
第八章 小水电及余热发电的继电保护	145
第一节 发电机的保护要求	145
第二节 发电机的主保护	147
第三节 发电机的过电流保护和过负荷保护	151
第四节 发电机的单相接地保护	157
第五节 小水电发电机的过电压保护	159
第六节 小水电发电机的失磁保护	160
第七节 发电机转子一点接地保护	160
第八节 发电机的解列保护	162
第九节 发电机的同期并列	163
第十节 发电机保护原理图实例	168
第九章 变配电所的自动装置	171
第一节 备用电源自动投入装置	171
第二节 自动重合闸装置	178
第十章 二次回路	181
第一节 二次回路基本概念	181
第二节 断路器的控制回路	189
第三节 集中信号装置	200
第十一章 直流操作电源装置	203
第一节 操作电源可靠性要求及供电方式	203
第二节 110(220)伏蓄电池组的直流电源装置	208
第三节 48伏蓄电池组及硅整流装置	214
第四节 硅整流及电容器电压补偿装置	216
第五节 复式整流跳闸装置	222
第六节 直流系统绝缘监视装置	225
第十二章 所用交流电源装置	232
第一节 所用交流电负荷	232
第二节 所用交流电回路	234

第一章 绪 论

第一节 继电保护的任务和发展概况

电力系统中的各种设备，由于内部绝缘的老化、损坏或由于工作人员的误操作，或由于雷电、外力破坏等影响，可能发生故障和不正常运行情况。

常见的故障是短路，如三相短路、两相短路、两相对地短路、中性点直接接地系统中的一相对地短路、电气设备线圈匝间短路等。各种短路会产生大于额定电流几倍到几十倍的短路电流，同时使电力系统的电压水平下降。大电流和低电压的严重后果是：

- (1) 电力系统电压水平下降，影响用电单位的生产，出现次品及废品，烧毁电动机；
- (2) 故障点产生的电弧要烧毁故障点的电气设备；
- (3) 短路电流流过电气设备的载流部分，产生很大的热效应和电动力效应，可能损坏电气设备；
- (4) 可能破坏电力系统的稳定，使系统振荡而导致崩溃。

电力系统中发生故障时，若不采取有效措施，势必给国民经济带来重大损失。因此，一旦电力系统中出现故障时，必须尽快地将故障切除，恢复正常运行，减少对用电单位的影响；而当出现不正常运行方式时要及时处理，以免引起设备故障。继电保护的任務就是自动、迅速、有选择性地将系统中的故障切除，或在系统出现不正常运行情况时，发出各种信号。

为了保证对用电单位的连续供电，故障切除后应尽快地使电气设备再次投入运行或由其他电源和设备来代替工作。因此，电力系统中除安装大量保护装置外，还需装设各种自动装置，如自动重合闸、备用电源自动投入以及自动低频减载装置等，它们虽属电力系统自动化的范畴，但与继电保护装置有密切关系。

继电保护是用来保护电力系统和用电设备安全可靠运行的一种装置。人们发现在电力系统中发生短路时，会产生很大的电流，因此，首先出现了反应电流的保护装置。最初的电流保护就是熔断器（保险丝），而且把它作为重要电气设备的保护。随着电力系统的发展，设备和系统容量都越来越大，系统接线也越来越复杂，因此在许多情况下，单靠熔断器就不能很好地满足快速、灵敏、有选择地断开故障的要求，于是就开始采用继电器作用于断路器跳闸的继电保护装置。

过去广泛采用的由机电型继电器构成的保护装置，基本上满足了220~330千伏以下电压等级电力系统对保护的要求。由于机电型继电器存在一些缺点，如体积和消耗功率较大，动作慢，触点怕受振动等。所以，近年来普遍重视新型继电器和保护装置的研究。

半导体元件在继电保护技术中的应用，近几年来有较大的发展，已利用它构成了新的

继电器和保护装置。这种保护装置具有体积小、重量轻、消耗功率小、灵敏度高等一系列优点，因此受到广大继电保护工作者的重视，并认为是继电保护发展的一个方向，但半导体元件构成的继电保护也还有一些不足，如技术要求较高，目前正确动作率还较低。在用电单位的变配电装置中，目前还未广泛应用，因此本书内容仍以机电型继电器构成的保护装置为主。

应该指出：随着电力系统和电气设备的发展，熔断器也有了不少的改进，并且熔断器仍具有简单、可靠等优点，因此500伏以下的低压配电装置中和6~10千伏的变压器、电容器以及农村线路上仍被广泛地采用，它基本上能满足保护要求，所以不能忽视熔断器的应用，凡熔断器作为保护装置能满足保护要求时应尽量优先采用。

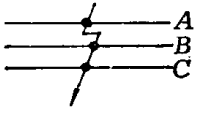
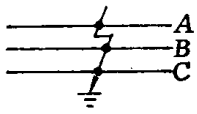
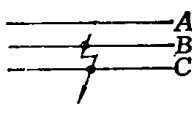
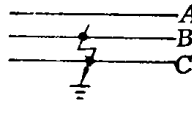
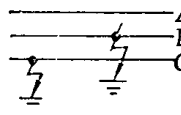
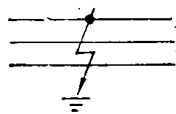
第二节 电力系统的故障及不正常运行状态

电力系统正常运行的破坏，大都由短路故障所引起，三相电网中线路上的短路故障的主要类型如表1-1所示。

在电机和电器中除上列短路类型外，还可能发生一相匝间短路。

现分析各种短路类型的电流电压关系。在分析中假设：

表 1-1 三相电网中线路故障的主要类型

故障类型		示意图	代表符号
三相故障	三相短路		$D^{(3)}$
	三相接地短路		
两相故障	两相短路		$D^{(2)}$
	两相接地短路		$D^{(2,1)}$
不同地点的两点接地			$D^{(1,1)}$
单相接地			$D^{(1)}$

- (1) 短路前认为是不带负荷的, 即不考虑负荷电流的影响;
- (2) 因电抗 x 比电阻 r 大许多, 所以在计算短路电流大小时不计电阻, 但在计算电流与电压间的相位关系时要考虑电阻;
- (3) 认为是金属性短路, 即认为短路点没有阻抗。

一、三相短路

最简单的短路是三相短路, 这种短路是对称的, 系统各相处于相同情况下, 与正常运行时的差别只是电流增大及电压下降。如图 1-1 所示。

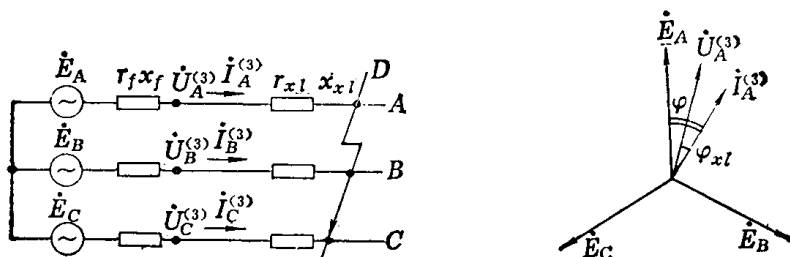


图 1-1 三相短路

短路电流和电压间的相角差与短路回路电抗和电阻的比值有关。

A 相短路电流 $\dot{I}_A^{(3)}$ 滞后于 A 相电势 $\dot{E}_A$ 一个角度 φ ;

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{x_f + x_{x1}}{r_f + r_{x1}}$$

式中 x_f 与 r_f ——发电机的电抗和电阻;

x_{x1} 与 r_{x1} ——线路的电抗和电阻。

故障点 D 的电压为

$$\dot{U}_{AD}^{(3)} = \dot{U}_{BD}^{(3)} = \dot{U}_{CD}^{(3)} = 0$$

发电机端电压 $\dot{U}_A^{(3)}$ 为

$$\dot{U}_A^{(3)} = \dot{I}_A^{(3)}(r_{x1} + jx_{x1})$$

$\dot{U}_A$ 领先于 $\dot{I}_A^{(3)}$ 一个角度 φ_{x1} , 可由下式表示:

$$\varphi_{x1} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{x_{x1}}{r_{x1}}$$

三相短路时因线路阻抗较小, 所以电压下降得最大, 对并联运行的稳定性影响也最大, 因而要求继电保护能很快地把三相短路断开。

二、二相短路

以 B、C 两相短路为例, 在不考虑负荷电流时: $\dot{I}_A^{(2)} = 0$ 。而 B、C 相形成回路, 所以 $\dot{I}_B^{(2)} = -\dot{I}_C^{(2)}$, 电流 $\dot{I}_B^{(2)}$ 滞后于电势 $\dot{E}_{BC}$ 一个角度 φ 。当发电机和线路的正序阻抗等于负序阻抗时, 则角度 φ 与三相短路时的角度 φ 一样。如图 1-2 所示。

故障点 D 的电压:

线电压

$$\dot{U}_{BCD}^{(2)} = 0$$

相电压

$$\dot{U}_{AD}^{(2)} = \dot{U}_A^{(2)} = \dot{E}_A$$

相电压

$$\dot{U}_{BD}^{(2)} = \dot{U}_{CD}^{(2)} = -\frac{1}{2} \dot{E}_A$$

发电机端相电压

$$\begin{aligned}\dot{U}_A^{(2)} &= \dot{E}_A \\ \dot{U}_B^{(2)} &= \dot{U}_{BD}^{(2)} + (r_{x1} + jx_{x1})\dot{I}_B^{(2)} \\ \dot{U}_C^{(2)} &= \dot{U}_{CD}^{(2)} + (r_{x1} + jx_{x1})\dot{I}_C^{(2)}\end{aligned}$$

两相短路由于对称性被破坏，因而电流、电压间存在正序分量和负序分量。

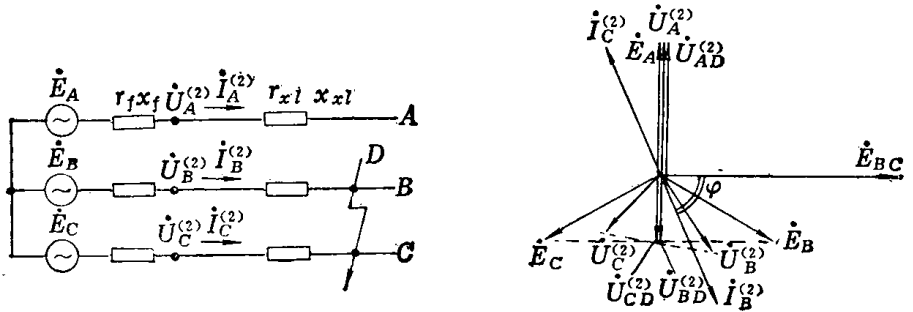


图 1-2 两相短路

三、中性点直接接地系统的单相接地短路

中性点直接接地系统中由于中性点接地，单相接地时（如A相），形成回路，就存在短路电流 $\dot{I}_A^{(1)}$ 。由于短路处的接地电阻 r_g 及线路电阻 r_{x1} ，并考虑线路与大地间的磁链增加，线路的电抗 x_{gx1} 大于 x_{x1} 。因此短路电流 $\dot{I}_A^{(1)}$ 滞后于 E_A 一个角度 φ ，如图 1-3 所示。

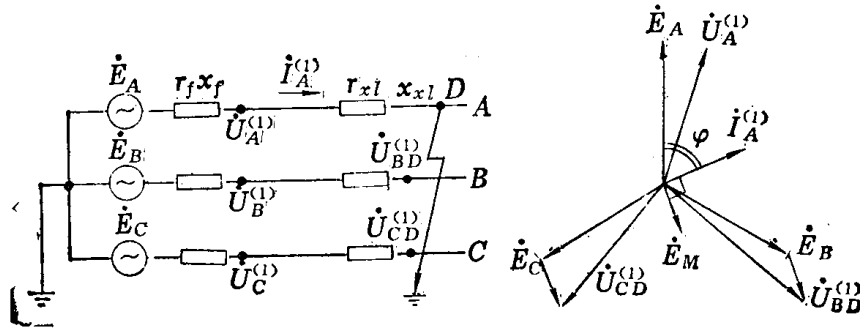


图 1-3 单相接地短路

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{x_f + x_{gx1}}{r_f + r_g + r_{x1}}$$

B相和C相不存在短路电流，即

$$\dot{I}_B^{(1)} = 0, \dot{I}_C^{(1)} = 0$$

单相接地时， $\dot{I}_A^{(1)} + \dot{I}_B^{(1)} + \dot{I}_C^{(1)} \neq 0$ ，所以存在零序电流分量。

故障点D，A相电压

$$\dot{U}_{AD}^{(1)} = r_g \dot{I}_A^{(1)} \approx 0$$

由于A相与B相、C相间有互感，则在B相、C相间会感应出电势 $\dot{E}_M$ ，由下式求得：

$$\dot{E}_M = -jx_{Mx1}\dot{I}_A^{(1)}$$

式中 x_{Mx1} ——线路互感电抗。

$$\dot{U}_{BD}^{(1)} = \dot{E}_B + \dot{E}_M = \dot{E}_B - jx_{Mx1}\dot{I}_A^{(1)}$$

$$\dot{U}_{CD}^{(1)} = \dot{E}_C + \dot{E}_M = \dot{E}_C - jx_{Mx1}\dot{I}_A^{(1)}$$

发电机端A相电压 $\dot{U}_A^{(1)}$ 为

$$\dot{U}_A^{(1)} = (r_g + jx_{gx1}) \dot{I}_A^{(1)}$$

单相接地故障在系统中产生的或然率最高。

四、中接点不接地系统或中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障

在35千伏及以下的中性点不接地或经消弧线圈接地的电网中，当发生A相单相接地时仅有很小的电容电流 $\dot{I}_A^{(1)}$ 。

由于 $\dot{I}_A^{(1)}$ 很小，因此可近似认为A相各点电压相等，并都为零，即

$$\dot{U}_{AD}^{(1)} = \dot{U}_A^{(1)} = 0$$

由于

$$\dot{U}_0^{(1)} + \dot{E}_A = 0$$

∴

$$\dot{U}_0^{(1)} = -\dot{E}_A$$

$$\dot{U}_{BD}^{(1)} = \dot{U}_B^{(1)} = \dot{E}_B + \dot{U}_0^{(1)}$$

$$\dot{U}_{CD}^{(1)} = \dot{U}_C^{(1)} = \dot{E}_C + \dot{U}_0^{(1)}$$

从上可以看到中性点不接地系统中发生单相接地，故障相电压近似于零，中性点电位升高到相电压数值，非故障相电压升高到线电压数值。如图1-4所示。

由于线路对地都存在分布电容，B相和C相分别在 $\dot{U}_{BD}^{(1)}$ 和 $\dot{U}_{CD}^{(1)}$ 电压下存在电容电流 $\dot{I}_B^{(1)}$ 和 $\dot{I}_C^{(1)}$ ：

$$\dot{I}_B^{(1)} = j\omega C \dot{U}_{BD}^{(1)}$$

$$\dot{I}_C^{(1)} = j\omega C \dot{U}_{CD}^{(1)}$$

$$\dot{I}_A^{(1)} + \dot{I}_B^{(1)} + \dot{I}_C^{(1)} = 0$$

$$\dot{I}_A^{(1)} = -(\dot{I}_B^{(1)} + \dot{I}_C^{(1)})$$

中性点不接地系统发生单相接地时，出现了零序电压和零序电流，但对用电单位影响不大，所以一旦发生故障只要求发出信号。

电力系统不正常运行状态还有系统振荡等，这里就不更多介绍了。

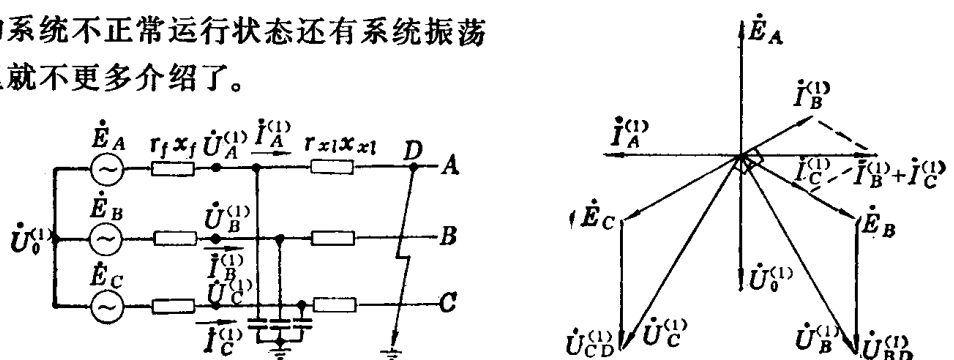


图 1-4 单相接地

第三节 对继电保护装置的基本要求

对继电保护装置的基本要求是选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

一、选择性

系统发生故障时，继电保护装置应有选择地切除故障部分，使非故障部分保持继续运行。这种性能称为继电保护装置的选择性。

如图1-5所示,当D点短路,短路电流流经DL-1、DL-2、DL-4断路器,在此情况下应只断开DL-4断路器。若DL-1、DL-2断路器断开,就无选择性了。

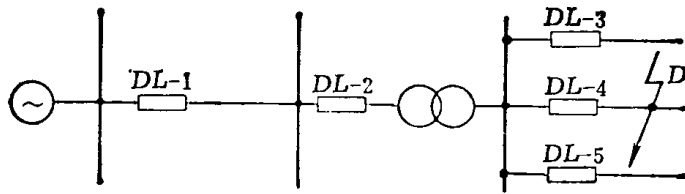


图 1-5 有选择性的切除故障图例

但应说明,当D点短路,若由某种原因使DL-4断路器拒动时,则由DL-2断路器断开,切除故障。这起着对下一相邻元件的后备保护作用,这种情况亦可认为是有选择性的。

保护装置无选择性动作,可能是由于装在DL-1、DL-2、DL-4断路器处的继电保护方案选择不合理、继电保护装置整定值不配合或断路器传动机构不良等原因所致。

继电保护的选择性,可采用下面二种方法获得:

(1) 对带阶段特性与反时限特性的保护装置,用上下级断路器之间动作时限和灵敏性相互配合来得到选择性,即由故障点至电源方向逐渐降低其灵敏性与提高时限级差。具体要求是:时限级差应有0.5秒以上;上级断路器保护整定值应比串联的下级断路器保护整定值至少大1.1~1.15倍(即配合系数 K_{ph})。

(2) 继电保护装置无选择性动作而以自动重合闸或备用电源自动投入的方法来补救。

二、速动性

短路时快速切除故障,可以缩小故障范围、减少短路电流引起的破坏程度、减少对用电单位的影响、提高电力系统的稳定。因此在可能条件下,继电保护装置应力求快速动作。上述性能称为继电保护装置的速动性。

故障切除时间等于继电保护装置动作时间与断路器跳闸时间之和。目前油断路器的跳闸时间约0.15~0.1秒,空气断路器的跳闸时间约0.05~0.06秒。一般快速保护装置的动作时间约0.08~0.12秒,现在高压电网中快速保护装置的最小动作时间约0.02~0.03秒。所以切除故障的最小时间可达0.07~0.09秒。对不同电压等级和不同结构的网络,切除故障的最小时间有不同要求。一般对220~330千伏的网络为0.04~0.1秒,对110千伏的网络为0.1~0.7秒,对配电网为0.5~1.0秒。因此,目前生产的继电保护装置,一般都可满足网络对快速切除故障的要求。

但速动性与选择性在一定情况下是有矛盾的,根据选择性相互配合的要求,在某些情况下,不能用速动保护装置。

对于仅动作于信号的保护装置,如过负荷保护,不要求速动性。

三、灵敏性

继电保护装置对被保护设备可能发生的故障和不正常运行状态的反应能力要强,要求能够灵敏地感受和动作。这种性能称为继电保护装置的灵敏性。

继电保护装置的灵敏性以灵敏系数 K_{lm} 来衡量。

(1) 对于反应故障时参数量增加的保护装置:

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置动作参数的整定值}}$$

例如: 过电流保护的灵敏系数为

$$K_{lm} = \frac{I_{D \cdot min}}{I_{dz \cdot J}}$$

式中 $I_{D \cdot min}$ ——保护区末端金属性短路时的最小短路电流二次值;

$I_{dz \cdot J}$ ——保护装置的二次动作电流。

(2) 对于反应故障时参数量降低的保护装置:

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护装置动作参数的整定值}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}}$$

例如, 低电压保护的灵敏系数为

$$K_{lm} = \frac{U_{dz \cdot J}}{U_{D \cdot max}}$$

式中 $U_{dz \cdot J}$ ——保护装置动作电压的二次值;

$U_{D \cdot max}$ ——保护区末端短路时, 在保护安装处母线上的最大残余电压二次值。

对不同作用的保护装置和被保护设备, 所要求的灵敏系数是不同的, 在《继电保护和自动装置设计技术规程》中都有规定。

一般的电流保护装置, 要求灵敏系数 K_{lm} 为1.5~2。

四、可靠性

继电保护装置对被保护范围内发生属于它应动作的各种故障和不正常运行状态, 应保证不拒绝动作; 而在正常运行或即使发生故障但不属于它应动作的情况下, 应保证不误动作。这种性能称为继电保护装置的可靠性。

保证继电保护装置能有足够的可靠性, 应注意如下几点:

(1) 要求选用的继电器质量好、结构简单、工作可靠。

(2) 设计接线时, 力求简化, 使用继电器和继电器触点最少。

(3) 正确选定继电保护的整定值。由于计算及检验的误差, 保护的整定值应是在保护的计算值上乘一个可靠系数 K_K 。一般可靠系数 K_K 取1.2~1.5。

(4) 高质量的安装、定期检验和维修继电器。

上述对继电保护装置的四个基本要求互相联系, 又互相制约。因此, 在考虑继电保护方案时应根据具体情况, 对四个基本要求统筹兼顾, 并辩证地看待和解决这四个基本要求之间的矛盾。最后, 继电保护装置在满足四个基本要求下还应尽量简单。

第四节 继电保护的基本原理

电力系统发生故障时, 会引起电流的增加和电压的降低, 以及电流、电压间相位角的变化。因此, 利用故障时这些基本参数与正常运行时参数的差别, 就可以构成各种不同原

理的继电保护。例如，反应电流增大的过电流保护，反应电压降低（或升高）的低电压（或过电压）保护，反应电流与电压间的相位角变化的方向保护等等。

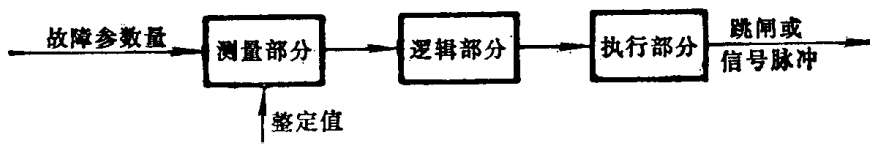


图 1-6 继电保护原理结构的方框图

继电保护装置一般有三大组成部分，其原理结构的方框图，如图1-6所示。测量部分，其作用是测量被保护对象工作状态的一个或几个物理量；逻辑部分，其作用是根据测量元

件输出量判断被保护对象工作状态是正常工作、不正常工作还是故障状态，以决定继电保护装置是否应该动作；执行部分，其作用是根据逻辑部分作出的判断，执行继电保护装置的任务，给出跳闸或信号脉冲。

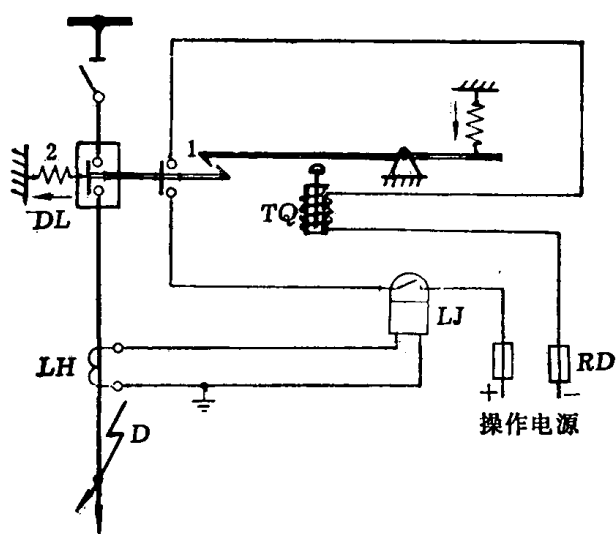


图 1-7 过电流保护的基本原理示意图

图 1-7 为过电流保护的基本原理示意图。当线路D点发生短路时，线路上电流突然增大，电流互感器LH的二次电流也按比例增大，如果流入继电器LJ的电流大于继电器的动作电流，继电器就动作，继电器触点闭合，断路器DL的跳闸线圈TQ的回路被接通操作电源，其铁芯向上吸入

线圈，撞击操作杠杆而使锁扣1脱开，于是断路器DL在弹簧2的作用下跳闸，切除短路故障。由此可见，过电流保护装置是利用短路时电流量幅值的增大而构成的。

第五节 继电器和它的表示方法

一、继电器的作用

继电保护装置由若干个继电器组成，所以继电器是继电保护的元件。

继电器的特征是当输入的物理量（电气的如电流、电压，非电气的如温度、瓦斯）达到一定数值或当某一物理量刚输入时就能自动动作。

继电器一般由三个主要部分组成——感受元件、比较元件和执行元件。

（1）感受元件：将感受到的继电器所反应的物理量（如电流、电压）的变化情况综合后送到比较元件。

（2）比较元件：将感受元件送来的物理量与预先给定的物理量（整定值）相比较，比较的结果向执行元件发出命令。

（3）执行元件：按来自比较元件的命令自动完成继电器所担负的任务，例如断开油

断路器或进行其它操作。

二、继电器的分类

继电器的种类很多，目前一般分类方法如下：

（1）按照继电器动作和构成原理来分：电磁型、感应型、磁电型、整流型、极化型、半导体型、热力型等；

（2）按照继电器反应物理量的性质来分：电流、电压、功率方向、阻抗、周波等。

这些继电器又隶属于反应电气量上升（当控制量超过给定量时继电器动作）和反应电气量下降（当控制量低于给定量时继电器动作）的两大类。前者为过量继电器如过电流继电器等，后者为低量继电器如低电压继电器等。

三、继电器的表示方法

（1）继电器的型号：继电器的型号一般用二个中文字母来表示，前一个字母表示继电器动作原理，后一个字母表示继电器反应物理量的性质即表示继电器的用途。见表1-2。继电器型号中“—”后的数字表示制造厂的设计序号。

表 1-2 常用继电器型号

用途代号 原理代号	B	C	D	G	H	J	L	N	P	S	T	X	Y	Z
电磁 D 型		DC 差流	DD 接地		DH 重合闸	DJ 电压	DL 电流			DS 时间	DT 同步 检查	DX 信号	DY 负序 电压	DZ 中间
感应 G 型		GCZ 差周率	GDZ 低周率	GG 功率 方向	GH 距离		GL 反时限 过电流		GP 平衡					GZ 阻抗
半导 B 体型			BDZ 低周率	BG 功率			BL 电流			BS 时间	BT 同步 检查		BY 电压	
整流 L 型		LCZ 差周率		LG 功率	LH 距离		LL 电流		LP 平衡					
极化 H 型		HC 冲击		HG 干簧				HN 逆流					HY 极化	
F 附件	FB 中间 变流器												FY 自耦 变流器	FZ 电阻

（2）继电器的图形符号：继电器常用一些图形符号来代表，一般常用的符号是：用一个方块，上面配有一个半圆来表示，如图1-8。设想方块里放着继电器的线圈，而在半圆里面是触点系统。继电器所反应的物理量在方块中用一个字母标志出来，例如反应电流的继电器用字母 I 来表示，反应电压的继电器用字母 U 来表示。

触点似一把闸刀如图1-9。当继电器动作时，它们向下移动，而继电器返回到起始位置时，由下向上。

在一些继电保护图中需要将继电器线圈表示出来时，则用一个长方形来表示，在长方形的左侧方框中用字母或符号表示出继电器线圈的性质。如图1-10所示。

我国对继电器的图形符号、继电器触点的图形符号和继电器线圈的图形符号都在国家标准（GB312-64）中有规定。

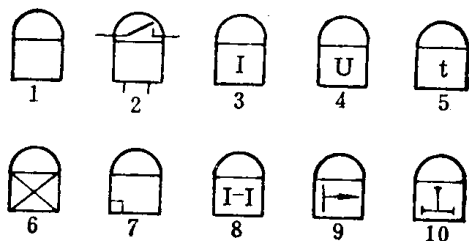


图 1-8 继电器的图形符号

1—继电器一般符号；2—继电器的触点和线圈的引出线；3—电流继电器；4—电压继电器；5—时间继电器；6—中间继电器；7—信号继电器；8—差动继电器；9—功率方向继电器；10—瓦斯继电器

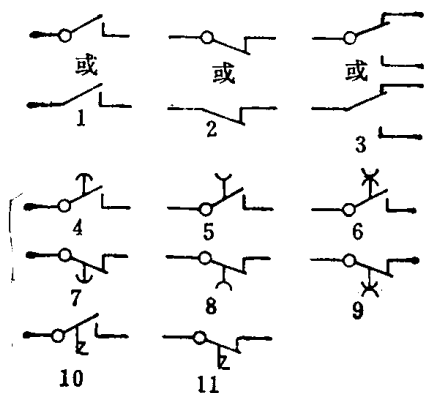
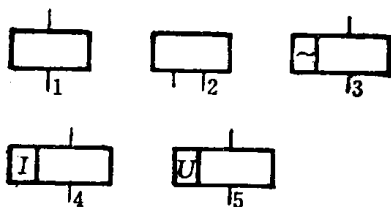


图 1-9 继电器触点的图形符号

1—动合触点(常开)；2—动断触点(常闭)；3—切换触点；4—延时闭合的动合触点(常开)；5—延时返回的动合触点(常开)；6—延时闭合和返回的动合触点(常开)；7—延时闭合的动断触点(常闭)；8—延时开启的动断触点(常闭)；9—延时闭合和开启的动断触点(常闭)；10—需人工复归的动合触点(常开)；11—需人工复归的动断触点(常闭)



1-10 继电器线圈的图形符号

1、2—继电器线圈的一般符号；3—继电器线圈是交流线圈；4—继电器线圈是电流线圈；5—继电器线圈是电压线圈

第二章 常用继电器

在35千伏及以下电网的电力线路和电气设备继电保护装置中,大量采用的是电磁型和感应型原理构成的继电器。目前国内生产并投入运行的有:电流继电器DL-10型、DL-20型和DL-30型,电压继电器DJ-100型、DY-20型和DY-30型,时间继电器DS-110型、DS-20型和DS-30型,中间继电器DZ-10型、DZ-30型和DZ-70型,信号继电器DX-11型、DX-30型和DX-41型等型号的继电器。但在供用电系统中,仍以DL-10型、DJ-100型、DS-110型、DZ-10型和DX-11型等型号的继电器用得较多,而且因各种型号的同类继电器的动作原理基本相似,所以本章将以上述用得较多的继电器为例来介绍它们的原理、结构和特性。

第一节 电磁型继电器

一、电磁型继电器的结构和原理

电磁型继电器从结构型式上分有三种:螺管线圈式、吸引衔铁式和转动衔铁式。每种结构皆包括电磁铁1、可动衔铁2、动触点3、反作用弹簧4、止档5和静触点6,见图2-1。

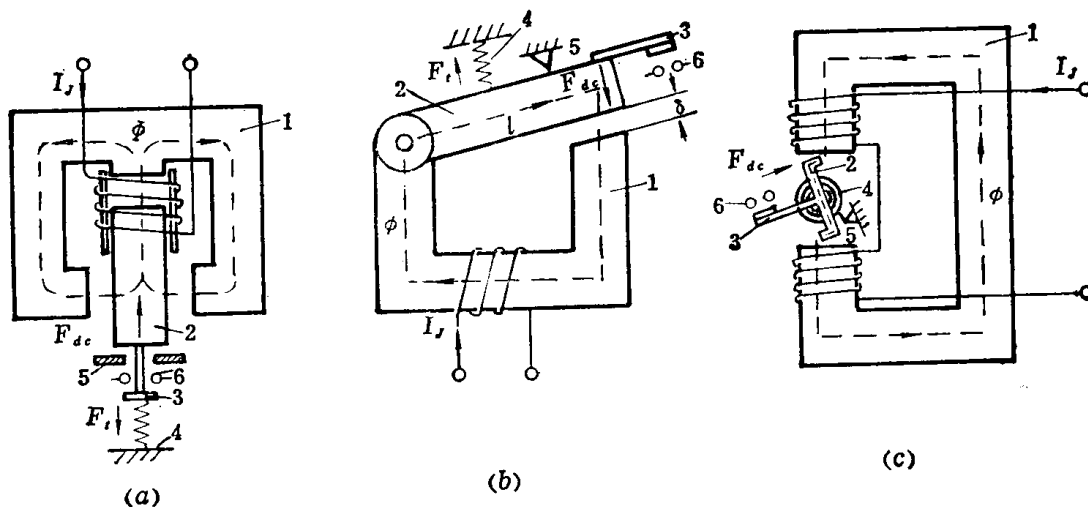


图 2-1 电磁型继电器的结构型式

(a)螺管线圈式; (b)吸引衔铁式; (c)转动衔铁式

1—电磁铁; 2—可动衔铁; 3—动触点; 4—反作用弹簧; 5—止档; 6—静触点

当电磁铁的线圈中通过电流 I_j 时,在磁导体中就立即建立起磁通 Φ ,该磁通经过电磁铁的磁导体、空气隙和衔铁而形成闭合电路。在磁场的作用下,衔铁即被磁化,产生电磁力 F_{dc} ,吸引衔铁到电磁铁的磁极上去,这时继电器的动触点闭合在静触点上。由于衔铁受到止档的限制,它只能在一个预定的范围内运动。

电磁力 F_{do} 与磁通 Φ 的平方成正比, 即

$$F_{do} = K_1 \Phi^2$$

磁通 Φ 与线圈中的电流 I_J 和线圈匝数 W_J 成正比, 而与磁路中的磁阻 R_m 成反比, 即

$$\Phi = \frac{I_J W_J}{R_m}$$

将上面二式合并, 则得

$$F_{do} = \frac{K_1 W_J^2}{R_m^2} I_J^2 = K_2 I_J^2$$

式中

$$K_2 = \frac{K_1 W_J^2}{R_m^2}$$

在吸引衔铁式或转动衔铁式继电器中, 电磁力 F_{do} 所产生的转矩 M_{do} 等于

$$M_{do} = F_{do} l = K_2 l I_J^2 = K_3 I_J^2$$

系数 K_2 、 K_3 的数值与磁阻 R_m 有关, 仅当磁导体未饱和时, 它们才是常数。

从此可知, 电磁力 F_{do} 和转矩 M_{do} 与通过线圈电流的平方成正比, 而与电流的方向无关。所以按电磁原理构成的继电器被广泛地用来制造电流继电器、电压继电器、中间继电器、信号继电器和时间继电器等。

在电流不变的情况下, 减少空气隙的长度就会使磁路中的磁阻 R_m 减小, 从而使磁通增大, 电磁力 F_{do} 随之增大; 反之, 如果增加空气隙的长度, 电磁力 F_{do} 就会减小。所以作用在衔铁上的电磁力和转矩是空气隙长度的函数。由此可知, 衔铁在运动中的速度是不均匀的。

当衔铁运动时, 总有摩擦阻力 F_m 存在。此外, 为了能够使继电器的触点闭合后还能自动地打开, 也为了使衔铁能返回到原始位置上去, 因此在衔铁或衔铁的转轴上装设反作用弹簧。当衔铁向电磁铁的磁极运动时, 弹簧的反作用拉力 F_t 是反方向的, 企图阻止衔铁的运动。在正常情况下, 衔铁被反作用弹簧拉住, 静止地停留在原始位置上, 因此要使衔铁开始动作的条件是

$$F_{do} \geq F_m + F_t \quad \text{或} \quad M_{do} \geq M_m + M_t$$

式中 M_t 和 M_m 分别表示弹簧力和摩擦阻力所产生的力矩。弹簧力 F_t 及其力矩 M_t 不是常数, 它是随着衔铁向电磁铁的磁极方向运动而增大的。

使继电器开始动作的最小电流值称为继电器的动作电流 I_{dz} , 它与电磁力 F_{do} 、磁阻 R_m 、线圈匝数 W_J 的关系如下:

$$I_{dz} = \frac{R_m}{W_J} \sqrt{\frac{F_{do}}{K_1}}$$

其中

$$F_{do} = F_t + F_m$$

从上式可知, 用以下的方法可以改变继电器的动作电流:

- (1) 改变继电器线圈的匝数 W_J ;
- (2) 改变反作用弹簧力 F_t ;
- (3) 改变空气隙长度, 也就是改变磁路中的磁阻 R_m 。

实际使用中最简便的方法是改变线圈的匝数和反作用弹簧的力矩。目前常用的电磁型