

高等学校教材

..... 专 科 适 用 .....

# 电力系统继电保护

沈阳电力高等专科学校 李骏年 主编

中国电力出版社

## 内 容 提 要

全书共分十二章,主要内容有:电力系统继电保护的基本原理、整定计算原则及构成电力系统继电保护的基本元件和电路;线路的电流保护、距离保护、差动保护、高频保护;电网继电保护的选择原则;电力变压器、发电机和母线保护;微型机继电保护。

本书可作为电力高等专科学校“发电厂及电力系统专业”的继电保护教材,亦可供从事继电保护工作的专业人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/李骏年主编.-北京:中国电力出版社,1993.10(1997重印)

高等学校教材·专科适用

ISBN 7-80125-435-X

I. 电… II. 李… III. 电力系统-继电保护-高等学校-教材 IV. TM771

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11276 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市水利局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

1993 年 10 月第一版 1997 年 7 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 462 千字

印数 13601—18640 册 定价 18.90 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前 言

本书是根据高等电力专科学校发电厂及电力系统专业的电力系统继电保护教学大纲要求编写的。

本书着重介绍继电保护的基本原理、整定计算及构成电力系统继电保护的基本元件和电路；另外还介绍了一套典型的输电线路继电保护装置。全书在内容取材上力求理论结合实际，并反映近年来继电保护的新成就。

全书共分十二章，其中：第四、六、七、八、十一章，由长春高等水利电力专科学校王朝均同志编写；其余各章均由沈阳电力高等专科学校李骏年同志编写。李骏年同志任本书主编。

上海电力学院陈曾田同志审阅了全稿，并提出了详细的修改意见；本书在编写过程中还得到东北电业管理局继电保护科毛锦庆同志和天津大学发电教研室宋从矩同志的大力协助。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，编写时间又仓促，书中错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

1992年6月

# 目 录

前言

绪论 .....	1
第一章 继电保护装置的基本元件和电路 .....	9
第一节 电流互感器的极性及相量图 .....	9
第二节 变换器 .....	10
第三节 对称分量滤波器 .....	13
第四节 综合器 .....	21
第五节 整流滤波电路 .....	23
第六节 延时电路 .....	26
第七节 集成电路构成的继电保护基本电路 .....	29
第二章 电网相间短路的电流保护 .....	41
第一节 电流、电压继电器及辅助继电器 .....	41
第二节 无时限电流速断保护 .....	45
第三节 限时电流速断保护 .....	47
第四节 定时限过电流保护 .....	49
第五节 电流保护接线方式 .....	52
第六节 阶段式电流保护 .....	54
第七节 晶体管两段式电流保护 .....	56
第八节 电流增量继电器和突变量继电器 .....	61
第九节 对电流保护的评价和应用 .....	63
第三章 电网相间短路的方向电流保护 .....	64
第一节 方向电流保护的工作原理 .....	64
第二节 功率方向继电器 .....	66
第三节 相间短路功率方向继电器接线方式 .....	71
第四节 非故障相电流的影响和按相起动 .....	74
第五节 方向电流保护的整定计算 .....	76
第四章 电网的接地保护 .....	78
第一节 大接地电流系统的零序保护 .....	78
第二节 小接地电流系统的零序保护 .....	87
第五章 电网的距离保护 .....	94
第一节 距离保护基本原理 .....	94
第二节 阻抗继电器 .....	97
第三节 整流型方向阻抗继电器 .....	104
第四节 阻抗继电器的精确工作电流 .....	114
第五节 阻抗继电器接线方式 .....	115

第六节	电力系统振荡对距离保护的影响	120
第七节	振荡闭锁和断线闭锁	125
第八节	影响距离保护正确工作的因素	128
第九节	距离保护的整定计算	131
第十节	多相补偿阻抗继电器	133
第十一节	保护装置举例	138
<b>第六章</b>	<b>电网的差动保护</b>	<b>148</b>
第一节	输电线路的纵差动保护	148
第二节	平行线路的横联差动方向保护	151
第三节	平行线路的电流平衡保护	157
<b>第七章</b>	<b>电网高频保护</b>	<b>160</b>
第一节	高频保护的基本原理	160
第二节	高频通道	161
第三节	方向高频保护	165
第四节	相差高频保护	173
<b>第八章</b>	<b>电网继电保护选择原则</b>	<b>182</b>
第一节	电网继电保护选择原则	182
第二节	主保护、后备保护和辅助保护	182
第三节	1~10kV 电网保护	184
第四节	35kV 及以上小接地电流电网保护	185
第五节	110~220kV 大接地电流电网保护	186
第六节	330~500kV 电网保护	187
<b>第九章</b>	<b>变压器保护</b>	<b>189</b>
第一节	变压器的故障和不正常工作状态	189
第二节	瓦斯保护	189
第三节	变压器差动保护	191
第四节	电流速断保护	211
第五节	变压器相间短路的后备保护和过负荷保护	212
第六节	变压器接地保护	215
第七节	变压器过励磁保护	218
<b>第十章</b>	<b>发电机保护</b>	<b>221</b>
第一节	发电机故障和不正常工作状态及其相应的保护	221
第二节	发电机纵差动保护	222
第三节	发电机定子接地保护	226
第四节	发电机匝间短路保护	233
第五节	发电机后备保护	238
第六节	发电机的过负荷保护	239
第七节	发电机失磁保护	244
第八节	发电机转子回路接地保护	255
第九节	发电机过电压保护	260

第十一章 母线保护 .....	261
第一节 概述 .....	261
第二节 母线完全差动保护和不完全差动保护 .....	262
第三节 双母线固定连接运行的完全差动保护 .....	265
第四节 母联电流比相式母线保护 .....	267
第五节 电流相位比较式母线保护 .....	274
第六节 断路器失灵保护简介 .....	277
第十二章 微型机继电保护 .....	279
第一节 概述 .....	279
第二节 基础知识 .....	280
第三节 微型机保护的算法 .....	298
第四节 硬件系统的组成及其作用原理 .....	306
第五节 微型机距离保护举例 .....	315

# 绪 论

## 一、继电保护的任务

由发电机、变压器、输电线路以及负荷所组成的总体称为电力系统。运行中的电力系统，由于雷击、倒塔、内部过电压或运行人员的误操作等原因会造成电力系统故障和不正常工作状态。

电力系统各种形式的短路故障，是电力系统最常见、同时也是最危险的故障。短路故障的主要形式有三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路。对于旋转电机和变压器来说，则可能产生匝间短路等故障；对于输电线路来说，则可能发生一相或两相断线故障，或者由短路和断线所形成的复故障。

电力系统中发生短路时，不仅电流增加，而且电压也会降低，从而造成以下后果。

(1) 电力系统短路时，有很大的短路电流通过故障点并在故障点处产生电弧，从而烧坏故障设备。

(2) 短路电流不仅通过故障设备，还要通过非故障设备，由于短路电流的热效应和电动力效应，也会损坏故障设备或非故障设备或缩短其使用寿命。

(3) 电力系统短路时，短路点附近电压降低，破坏用户正常工作。

(4) 由于电压的降低，还可能破坏发电厂间并列运行的稳定性，从而扩大事故，甚至瓦解整个电力系统。

电力系统短路后果的严重程度与短路持续时间有关。短路持续时间越长，故障设备损坏程度越严重，对用户正常工作影响越大，对电力系统并列运行的稳定性威胁也越大。

电力系统中最常见的不正常工作状态是过负荷。由于长时间的过负荷，会使电气元件载流部分和绝缘材料温度升高到超过允许值，加速绝缘老化，甚至引起故障。此外，由于系统出现功率缺额引起的频率降低，水轮发电机或大容量汽轮发电机突然甩负荷引起的过电压等，也都属于不正常工作状态。

故障状态和不正常工作状态，都可能在电力系统中引起事故。事故就是指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，并造成对用户少送电或造成人身伤亡和电气设备损坏。前者称为停电事故，后者称为人身和设备事故。

系统发生事故的原因，除自然条件的因素（如遭雷击等）以外，一般都是由于设备制造上的缺陷、设计安装的不合理、检修质量不高或运行维护不当所引起的。因此，只要正确地进行设备的设计、制造和安装，加强运行维护，就有可能把事故消灭在发生之前，即防患于未然。

当发生故障时，应采取措施尽快地将故障设备切除，确保无故障部分继续运行，缩小事故范围和保证系统稳定运行。如要求运行人员在百分之几秒的时间内发现故障并切除故障元件，这显然是不可能的。为完成这个任务，只有借助于自动装置——继电保护装置。

不是所有故障和异常工作状态，都要求保护动作切除故障元件。例如在小接地电流系统中发生单相接地时，一般要求保护动作于信号，运行人员应采取措消除接地故障。因为单相接地时的电容电流不致损坏设备，并且线电压仍然保持对称，不会影响用户正常工作。对于在有运行人员值班的设备上发生过负荷时，也仅要求保护动作于信号。因此，继电保护的任务是：

(1) 当发生故障时，应自动地、迅速地、有选择性地将故障设备从电力系统中切除，使故障设备免遭更严重损坏，保证无故障部分继续运行。

(2) 当电气设备发生异常工作状态时，根据运行维护条件（如有、无经常值班人员）确定保护是动作于信号，还是动作于减负荷或跳闸。反应异常工作状态的保护，经一定延时发出信号，以便值班人员采取措施恢复正常运行。

继电保护装置是电力系统自动化的重要组成部分，它是保证电力系统安全稳定运行必不可少的主要技术措施之一。在现代电力系统中，若没有继电保护装置，想要维持正常工作是不可能的。

## 二、对继电保护的基本要求

为使继电保护装置（特别是动作于跳闸的保护装置）能更好地完成上述两项任务，应满足以下四项基本要求：

### 1. 选择性

选择性是指当系统发生故障时，保护装置仅将故障元件切除，保证系统中非故障部分仍继续运行，使停电范围尽量缩小的性能。如图0-1所示系统中，当 $D_2$ 点发生短路时，应由距故障点最近的保护3动作，断开3DL，将故障线路BC切除，使变电所A和B继续供电。当 $D_1$ 点发生短路时，则应由保护1和2分别断开1DL和2DL，将连接于变电所A、B的故障线路切除，从而保证了系统中所有非故障部分继续运行。保护的这种动作就称为有选择性动作。

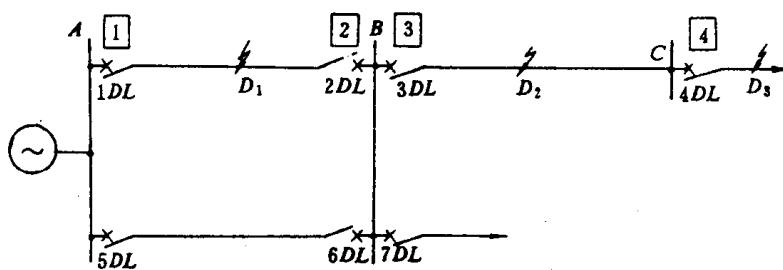


图 0-1 选择性说明图

若故障发生在 $D_3$ 点时，理应保护4动作切除故障线路，但由于保护4或断路器4DL拒动不能切除故障线路时，则由保护3动作，断开3DL，切除故障。保护的这种动作虽然切除了部分非故障元件，但是，在保护和开关拒动情况下，还是最大限度地缩小了停电范围，所以也认为是有选择性的。保护3的作用，就称为后备作用。

保护装置的选择性是保证对用户安全供电的最基本条件之一，所以这是研制、设计保护时要慎重考虑的。



## 2. 速动性

速动性就是快速切除故障。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。

保护切除故障时间越长，短路点处电弧燃烧时间越长，故障设备损坏程度也就越严重，则经济损失大、修复工期长，这点对贵重的大型发电机和变压器显得更为重要。在发生故障初期，本来属于暂时性故障，但由于电弧燃烧时间长，就有可能发展成为永久性故障，这就降低了自动重合闸动作的成功率。

若保护不能迅速切除故障，则故障点附近用户将在低电压下工作较长时间，用户电动机处于制动状态时间长，电动机的转速甚至降低为零。当故障切除后电压恢复时，电动机难于自启动恢复正常工作。若继电保护能迅速切除故障，用户在低电压下工作时间短，电动机转速还未降低很多电压就已恢复，这样电动机能很快自启动恢复正常工作，从而会大大减少对用户的影响。

快速切除故障，可提高发电厂并列运行的稳定性，可用图0-2来说明。若A发电厂母线附近D点发生三相短路时，A发电厂母线电压会大大降低，甚至降低为零卸去负荷，但汽轮发电机调速系统来不及作相应调整，则A发电

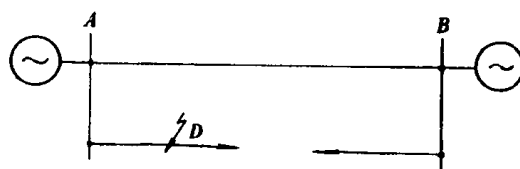


图 0-2 电力系统并列运行示意图

厂的发电机转速必然升高。此时，B发电厂母线还有较高残余电压，故B发电厂卸去或增加的负荷不多，发电机转速变化较小。这样，A、B两发电厂的发电机就产生转速差而失去同步。若短路持续时间较长，两发电厂发电机转速相差很大，则故障切除后也不能再重新拉入同步恢复正常运行。继电保护若能迅速切除故障，即在两发电厂发电机转速差尚小时就切除故障，则两发电厂发电机会很容易地重新拉入同步，恢复系统稳定运行。因此，快速切除故障是提高电力系统并列运行稳定性，防止事故进一步扩大的重要措施之一。

故障切除时间等于继电保护动作时间与断路器跳闸时间（包括灭弧时间）之和。目前，世界上正式投入运行的保护，动作速度最快的为0.02s，断路器的动作时间最快的为0.05~0.06s。因此，最快切除故障时间为0.07~0.08s。

动作既迅速又能保证选择性的保护，一般都较为复杂，且价格昂贵。在很多情况下，保护带有延时动作仍能满足系统稳定性的要求时，可采用带时限动作的简单保护。

对于反应不正常工作状态的保护，一般无要求迅速，而应按选择性条件，带延时发出信号。

## 3. 灵敏性

继电保护的灵敏性是指对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故障时，不论短路点的位置、短路的类型及系统运行方式如何，都能灵敏反应。保护装置的灵敏性，通常用灵敏系数（灵敏度） $K_{lm}$ 来衡量。灵敏系数应根据常见的不利运行方式和不利的短路形式计算。

在进行继电保护整定计算时，常用到最大运行方式和最小运行方式。所谓的最大运行

方式是指流过保护装置的短路电流为最大时的运行方式；所谓的最小运行方式是指流过保护装置的短路电流为最小时的运行方式。

反应故障参数增加的保护装置，其灵敏系数

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

式中  $I_{D \cdot \min}$ ——保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值；

$I_{DZ}$ ——保护装置的动作参数。

反应故障参数降低的保护装置，其灵敏系数

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

式中  $U_{D \cdot \max}$ ——保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值；

$U_{DZ}$ ——保护装置的动作参数。

各种保护装置灵敏系数的最小值，在电力行业标准DL 400-91《继电保护和安全自动装置技术规程》中都作了具体规定。

#### 4. 可靠性

保护装置的可靠性是指：在它的保护范围内发生属于它动作的故障时，应可靠动作，即不应拒动；而发生不属于它应动作的情况时，则应可靠不动，即不应误动。若保护不能满足可靠性要求，则保护装置本身就成为扩大事故和直接造成事故的根源，故可靠性是对保护装置最根本的要求。

一般说来：保护装置所使用的继电器和电子元件的质量愈高、接线愈简单，则保护的可靠性愈高；而良好的运行维护以及正确调试，对保护装置的可靠性也起着重要作用。

上述四项基本要求是评价、选用、研制保护的主要依据。在处理实际问题时，往往满足了选择性就满足不了速动性。在另外一些情况下，为满足选择性的要求，又往往需要适当地降低灵敏性。总之，这四项基本要求是互相联系而又互相矛盾的，故在选用、设计保护装置时，应从全局出发，统一考虑。例如在有些情况下，若保证选择性要求，可能使切除故障时间延长，影响整个系统并列运行的稳定性，这就需要牺牲部分选择性以确保系统稳定运行，然后再采用自动重合闸等措施予以补救。

### 三、继电保护的基本原理和组成

图0-3所示为一单侧电源辐射网络。在正常运行时， $M$ 、 $N$ 、 $P$ 各变电所母线上的相电压 $\dot{U}_M$ 、 $\dot{U}_N$ 、 $\dot{U}_P$ 都为额定值，一般在额定电压的 $\pm(5\% \sim 10\%)$ 范围内变化；流过每条线路的电流，都是各线路负荷电流 $\dot{I}_{fh \cdot M}$ 、 $\dot{I}_{fh \cdot N}$ 、 $\dot{I}_{fh \cdot P}$ ；而电压与电流的比值 $Z_{J \cdot M} = \dot{U}_M / \dot{I}_{fh \cdot M} = Z_{fh \cdot M}$ 和 $Z_{J \cdot N} = \dot{U}_N / \dot{I}_{fh \cdot N} = Z_{fh \cdot N}$ ，所反应的测量阻抗 $Z_J$ 即为负荷阻抗，它是包括线路阻抗在内的负荷阻抗，其阻抗角一般为 $20^\circ$ 左右。

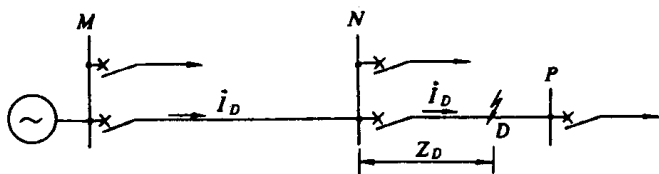


图 0-3 单侧电源辐射网络

当在图0-3所示MP线路上的D点发生三相短路时，则流过线路MN、

$NP$ 上的是短路电流 $\dot{I}_D$ ；母线 $M$ 、 $N$ 上的电压由额定电压降低为残余电压， $\dot{U}_{cy.M} = \dot{I}_D(Z_{AB} + Z_D)$ 、 $\dot{U}_{cy.N} = \dot{I}_D Z_D$ ；而此时线路始端电压与电流的比值，即测量阻抗由负荷阻抗降低为

$$Z_{J.M} = \dot{U}_{cy.M} / \dot{I}_D = Z_{AB} + Z_D$$

$$Z_{J.N} = \dot{U}_{cy.N} / \dot{I}_D = Z_D$$

由母线到短路点的线路阻抗。

由上述分析可知：当发生短路时，线路中的电流由负荷电流上升为短路电流；电压由额定电压变为残余电压；测量阻抗由负荷阻抗降低为由母线到故障点的线路阻抗。总之，根据电流、电压、阻抗等的变化，就可区分开是正常运行还是故障状态。这些电量的变化就是构成各种不同原理保护的根据。反应故障时电流升高而动作的保护称为过电流保护；反应故障时电压降低而动作的保护称为低电保护；反应故障时阻抗降低而动作的保护称为阻抗保护（距离保护）。除此以外，还可根据在被保护元件内部和外部短路时，被保护元件两端电流相位或功率方向的差别，分别构成差动保护、相差高频保护、方向高频保护等。

按上述原理构成的保护，可反应全电流、全电压，也可只反应某一对称分量的电流、电压（如负序电流、负序电压、零序电流、零序电压），构成相应的负序和零序保护。

现以图0-4所示的过电流保护原理示意图，说明保护装置的组成及其工作过程，用以建立保护的初步概念。当在线路 $D$ 点发生短路时，线路中电流由负荷电流突然增大到短路电流，通过电流互感器 $2LH$ 反应到二次侧并流过电流继电器 $3$ ，当大于继电器动作电流时，继电器所产生的电磁力矩足以克服弹簧反作用力矩，吸动衔铁，继电器的常开触点闭合，并通过断路器的常开辅助触点 $DL_1$ ，将跳闸线圈 $4$ 接入直流回路，跳闸线圈 $4$ 的铁芯被吸入线圈，从而撞开脱扣机构 $5$ ，断开断路器 $1DL$ ，切除故障线路。

继电保护可以由一个或若干个继电器组成，也可由晶体管电路或集成电路组成。通常保护装置都是由测量部分、逻辑部分和执行部分三部分组成，其方框图如图0-5所示。测量部分用于测量被保护元件的电流、电压、阻抗等，并同整定值进行比较来确定是否发生故障或不正常工作情况，然后输出相应信号至逻辑部分。逻辑部分的作用是根据由测量部分输入的信号进行逻辑判断，以确定应使断路器跳闸还是发出信号，并将此信号输入到执行部分。执行部分根据逻辑部分送来的信号去执行保护装置的任务，跳闸或发出信号。

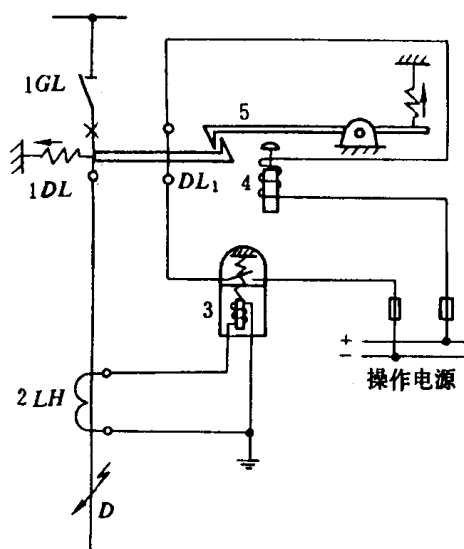


图 0-4 过电流保护原理示意图

量部分用于测量被保护元件的电流、电压、阻抗等，并同整定值进行比较来确定是否发生故障或不正常工作情况，然后输出相应信号至逻辑部分。逻辑部分的作用是根据由测量部分输入的信号进行逻辑判断，以确定应使断路器跳闸还是发出信号，并将此信号输入到执行部分。执行部分根据逻辑部分送来的信号去执行保护装置的任务，跳闸或发出信号。

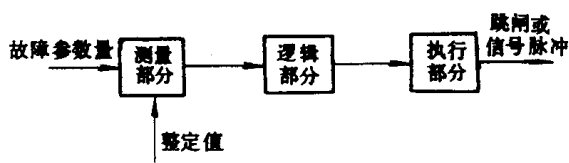


图 0-5 继电保护装置的原理方框图

#### 四、继电器分类及其图形文字符号

继电保护中所用的保护继电器，可分为机电型继电器、整流型继电器和晶体管型继电器。机电型继电器按其工作原理又可分为电磁型、感应型和磁电型继电器。

保护继电器按其动作功能又可分为测量继电器和辅助继电器（逻辑继电器）两类。测量继电器是用来反应电力系统和电力系统中各元件运行状态的，如电流继电器、电压继电器、阻抗继电器、功率方向继电器等。逻辑继电器是用来完成逻辑功能的继电器，如时间继电器、中间继电器和信号继电器等。

国产保护继电器采用汉语拼音字母表示它的型号。型号中第一个字母表示继电器的工作原理，第二个（或第三个）字母代表继电器的用途。例如DL、GL、LCD分别代表电磁型电流继电器、感应型电流继电器、整流型差动继电器。常用的继电器型号中字母含义，如表0-1所示；常用继电器的图形和文字符号，如表0-2所示；常用继电器线圈和触点的图形符号，如表0-3所示。

表 0-1 常用的继电器型号中字母含义

第一或第一、第二个字母	第二或第二、第三个字母	
D——电磁型	L——电流继电器	CD——差动继电器
G——感应型	Y——电压继电器	ZB——有保持线圈的中间继电器
L——整流型	G——功率方向继电器	CH——重合闸继电器
S——数字型	S——时间继电器	GC——过激磁继电器
J——极化型或晶体管型	X——信号继电器	NG——逆功率继电器
JC——集成电路型	Z——中间继电器	FL——负序电流继电器
	D——接地继电器	

表 0-2 常用继电器的图形和文字符号






















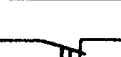

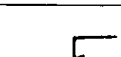



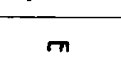
继电器名称	图形符号	文字符号	继电器名称	图形符号	文字符号
电流继电器		LJ	中间继电器		ZJ
低电压和过电压继电器		YJ	信号继电器		XJ
功率方向继电器		GJ	差动继电器		CJ
阻抗继电器		ZKJ	瓦斯继电器		QJ
时间继电器		SJ	反时限电流继电器		LJ

表 0-3

常用继电器线圈和触点图形符号

线圈类别	图形符号	触点名称	图形符号
继电器线圈		常开触点	
具有双线圈继电器的电流线圈		常闭触点	
具有双线圈继电器的电压线圈		延时闭合常开触点	
具有几个线圈继电器的电流线圈		延时断开常开触点	
具有几个线圈继电器的电压线圈		延时闭合常闭触点	
延时动作继电器的线圈		延时断开常闭触点	
延时返回继电器的线圈		切换触点	
延时动作和返回继电器的线圈		延时滑动常开触点	
极化继电器的线圈		手动复归常开触点	

## 五、继电保护技术发展概况

电力系统继电保护技术，是随着电力系统的发展而发展起来的一门专业技术。电力系统的发展，致使系统容量不断增加，电压不断升高，系统接线越来越复杂。为满足电力系统对继电保护提出的四项基本要求，继电保护也由简单的过电流保护开始，相继出现了方向电流保护、距离保护、差动保护、高频保护、微波保护和行波保护。我国在70年代以前采用的继电保护，都是由机电型继电器构成的，这种机电型继电保护，基本上满足了220~330kV以下电压等级的电力系统对继电保护的要求。

电力系统继电保护技术，不仅随电力系统的发展而发展，而且还与电子、通信、计算机和信息科学等技术的发展有着密切关系。随着电子技术的发展出现了重量轻、体积小、功耗低、灵敏度高、动作速度快、不怕震和可靠的晶体管型继电保护及整流型继电保护。近年来，为满足500kV线路对保护的要求，进一步研制出了集成电路保护。集成电路的应用，较好地解决了一些技术难题，使保护装置的性能日益完善，调试和维护工作量也大为

减少。随着计算机特别是微处理器的迅速发展，给微机在继电保护领域中的开发应用提供了条件，它的应用使继电保护技术的面貌发生了根本性的变化。以往的保护都属于模拟式的，应用微机构成的保护属于数字式的，一般来讲不同原理的计算机保护，主要决定于不同软件，不同的软件就可实现不同的保护功能。在继电保护新原理的创新领域中，微机保护有着比传统保护更为广阔的前景。超高压输电线路微机保护，近年来在我国东北电力网和华北电力网中都已相继投入正式运行。

# 第一章 继电保护装置的基本元件和电路

## 第一节 电流互感器的极性及相量图

制造厂家常在电流互感器一次绕组的两端，分别用 $L_1$ 、 $L_2$ 标记出它的始端和末端，而二次绕组的两端分别用 $K_1$ 、 $K_2$ 标记出它的始端和末端，如图1-1(a)所示。一、二次绕组的始端 $L_1$ 和 $K_1$ 、末端 $L_2$ 和 $K_2$ 分别为同极性端。我们通常用星号“\*”标记在 $L_1$ 、 $K_1$ 或 $L_2$ 、 $K_2$ 上表明它们是同极性端，如图1-1(c)所示。

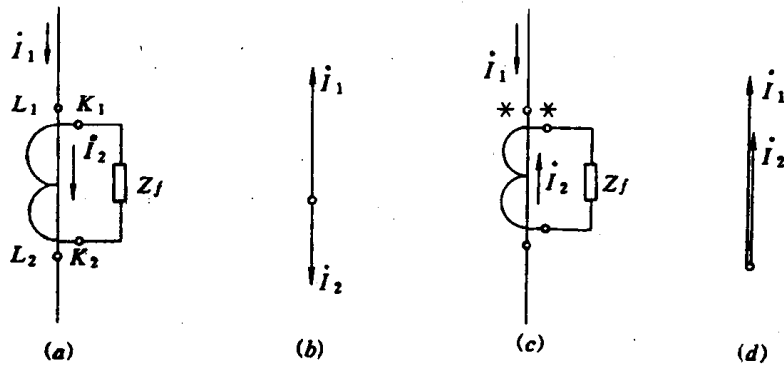


图 1-1 电流互感器的极性标示和相量图

(a)参考方向均指向同极性端；(b)为(a)的相量图；(c)参考方向指向异极性端；(d)为(c)的相量图

电流互感器一次和二次电流的假定（参考）正方向可任意选定，故相量图的绘制有两种不同的方法。

一次电流 $\dot{I}_1$ 以 $L_1$ 流向 $L_2$ 作为电流的假定正方向，二次电流 $\dot{I}_2$ 以 $K_1$ 流向 $K_2$ 作为电流的假定正方向，如图1-1(a)所示，即一次和二次电流正方向相同。当忽略电流互感器的励磁电流时，其合成磁势等于一、二次绕组安匝之和，且等于零，即

$$\dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 = 0$$

或

$$\dot{I}_2 = -\frac{1}{n_{LH}} \dot{I}_1 \quad (1-1)$$

式中  $n_{LH}$ ——电流互感器的变比， $n_{LH} = W_2/W_1$ 。

由式(1-1)可知， $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 两相量的相位相反，如图1-1(b)所示。

若一次和二次电流 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{I}_2$ 的假定正方向相反，如图1-1(c)所示时，忽略励磁电流后，其合成磁势等于一次和二次线圈安匝之差，且等于零，即

$$\dot{I}_1 W_1 - \dot{I}_2 W_2 = 0$$

或

$$\dot{I}_2 = \frac{1}{n_{LH}} \dot{I}_1 \quad (1-2)$$

由上式可见,  $I_1$  和  $I_2$  两相量是同相位, 如图1-1(d)所示。

在继电保护中,  $I_1$  和  $I_2$  的相量, 习惯于用图1-1(d) 的表示法, 即一次电流由“\*”端流入电流互感器作为它的假定正方向, 而二次电流则以由“\*”端流出电流互感器作为它的假定正方向, 即按所谓减极性原则标示。

## 第二节 变 换 器

保护装置为了完成它的任务, 首先需要判断被保护设备的工况, 为此, 需将被保护设备的电流或电压引入测量继电器。若测量继电器为机电型继电器, 一般直接由电流或电压互感器二次侧引入即可。若测量继电器为弱电元件, 如晶体管等构成时, 则必须将电流、电压互感器输出的被测量, 经变换器进行线性变换后, 再引入测量继电器。变换器的作用是:

(1) 变换电量。将互感器二次侧的强电压 (100V)、强电流 (5A), 转换成弱电压, 以适应弱电元件的要求。

(2) 隔离电路。电流、电压互感器二次侧的安全接地, 是用于保证人身和设备安全的, 而弱电元件往往与直流电源连接, 但直流回路又不允许直接接地, 故需要经变换器将交直流电路隔离。另外, 弱电元件易受干扰, 借助变换器屏蔽层以减少来自高压设备的干扰。

(3) 调节定值。通过改变变换器一次或二次线圈抽头来改变测量继电器的定值或扩大定值范围。

继电保护中常用的变换器有电压变换器(YB)、电流变换器(LB)和电抗变压器(DKB), 后两种变换器是将电流变换成与之成正比的电压。它们的原理接线如图1-2所示。图中虚线表示屏蔽接地。

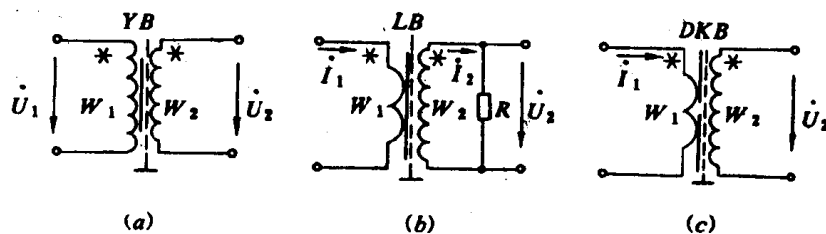


图 1-2 变换器原理接线图  
(a)电压变换器; (b)电流变换器; (c)电抗变压器

### 一、电压变换器

电压变换器的作用是按比例地降低输入电压的幅值。其工作原理与电压互感器、变压器相同。要求电压变换器和电压互感器, 能准确反映被测量电压, 即变比误差和角度误差要小。

实际上电压变换器的漏阻抗虽然很小, 由图1-3可知, 只要一、二次侧存在漏阻抗  $Z'_1$ 、



$Z_2$ , 就会由于负载电流  $i_2$  和励磁电流  $i'_{lc}$  通过漏阻抗而产生压降, 使变换器产生电压误差和角误差。因此, 为减少误差, 连接的负载  $Z_{fh}$  要大 (即二次侧应接近开路状态)、漏阻抗小、励磁阻抗大, 使铁芯工作在磁化曲线的直线部分。一般在额定工作条件下, 铁芯磁通密度取  $0.7 \sim 0.8T$  (特斯拉)。电压变换器二次侧电压  $\dot{U}_2$  与一次侧电压  $\dot{U}_1$  的关系, 可近似表示为

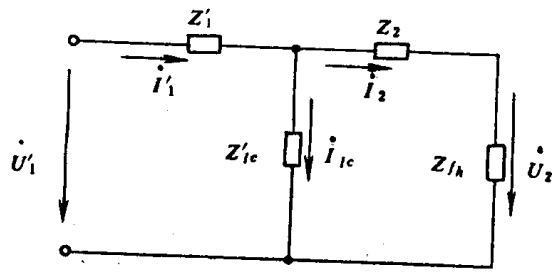


图 1-3 电压变换器等值电路

$$\dot{U}_2 = K_U \dot{U}_1$$

式中  $K_U = \frac{W_2}{W_1}$  ——电压变换器的变比。

## 二、电流变换器

电流变换器的主要作用, 是将一次侧电流  $i_1$  变换为一个与之成正比的二次侧电压  $\dot{U}_2$ 。它是由一台小型电流互感器和并联在二次侧的小负载电阻  $R$  所组成。其原理接线图如图 1-2(b) 所示。由于电流变换器属于小型变压器, 漏阻抗很小, 接近于零, 忽略漏阻抗后,

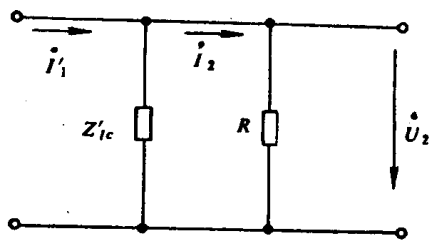


图 1-4 电流变换器等值电路

其等值电路如图 1-4 所示。由图可看出, 因励磁电流  $i'_{lc}$  的存在, 使得一、二次电流  $i_1$ 、 $i_2$  间存在数值误差和角误差, 只有当  $i'_{lc}$  很小可忽略时, 使得折算后的一次电流  $i'_1$  与  $i_2$  大小相等、相位相同, 才能在电阻  $R$  上取得一个与一次电流  $i_1$  成正比的电压  $\dot{U}_2$ 。在二次侧并联一个小电阻  $R$  的目的是, 保证等效负载阻抗小于  $R$  且远远小于励磁阻抗  $Z_{lc}$ , 使  $i'_{lc}$  可忽略, 这样二次电压可近似表示为

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= i_2 R = \frac{R}{n_{LH}} i_1 \\ &= K_L i_1 \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中  $K_L$  ——电流变换器的变换系数,  $K_L = \frac{R}{n_{LH}}$ 。若考虑负载阻抗时, 变换系数  $K_L =$

$$\frac{R Z_{fh}}{n_{LH} (R_T Z_{fh})}$$

如严格要求  $i_1$  与  $\dot{U}_2$  同相位时, 可在  $R$  上并联一小电容  $C$ , 使其容抗  $X_C$  等于励磁电抗  $X_{lc}$ , 以使励磁电流  $i'_{lc}$  被电容电流  $i_C$  所补偿, 即可实现  $\dot{U}_2$  与  $i_1$  同相位。

## 三、电抗变压器

电抗变压器  $DKB$  的主要作用, 是将电流  $i_1$  变换为一个与之成正比的电压  $\dot{U}_2$ 。

电抗变压器的结构示于图 1-5(a) 中, 其日字形铁芯中间柱上绕有三个线圈, 一个一次线圈  $W_1$  和两个二次线圈  $W_2$ 、 $W_3$ 。

为便于讨论它的工作原理, 先不考虑第三个线圈  $W_3$  的作用, 将其开路。由于铁芯有气隙, 磁路中磁阻由两部组成, 一部分是铁芯磁阻, 另一部分是气隙磁阻。若忽略较小的铁芯磁阻, 则磁阻可认为是常数且数值较大, 即励磁阻抗  $Z_{lc}$  小且为常数。又因其二次侧常