



高等学校“十一五”精品规划教材

电力系统继电保护 及自动装置

李斌 隆贤林 主编

DIANLI XITONG JIDIAN BAOHU
JI ZIDONG ZHUANGZHI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TM77/39

2008

高等学校“十一五”精品规划教材

电力系统继电保护 及自动装置

李斌 隆贤林 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍电力系统继电保护及安全自动装置的工作原理、实际应用等内容。

全书共分9章,第1章介绍继电保护基础知识,包括电压互感器、电流互感器、变换器、微机保护硬件、软件基本知识;第2~6章介绍输电线路继电保护、安全自动装置工作原理及配置;第7章介绍主设备保护,包括变压器保护、同步发电机保护、母线保护及断路器失灵保护;第8章介绍供电网络自动装置,包括备用电源自动切换以及自动按频率减负荷装置;第9章介绍发电厂自动装置,包括同步发电机的励磁调节与自动并列装置。

本书既可以作为电气工程及其自动化专业本科教材,还可以作为电力系统、继电保护从业人员的专业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护及自动装置/李斌,隆贤林主编.

北京:中国水利水电出版社,2008

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-5274-6

I. 电… II. ①李…②隆… III. ①电力系统—继电保护—高等学校—教材②电力系统—继电自动装置—高等学校—教材 IV. TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第010892号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 电力系统继电保护及自动装置
作 者	李斌 隆贤林 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	787mm×1092mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着电力系统自动化技术的快速发展,电力系统继电保护、安全自动装置进入数字化、网络化阶段,且相互融合,如输电线路自动重合闸、按频率自动减负荷装置等已经成为实际继电保护装置中的程序模块,而备用电源自动投入装置中也加入了继电保护功能。因此本书编写时考虑融合电力系统继电保护与安全自动装置方面等内容,按照设备功能组织编写:基础知识(第1章)、输电线路用继电保护、安全自动装置(第2~6章)、电力主设备保护(第7章)、供电网络自动装置(第8章)、发电厂自动装置(第9章)。在编写过程中,力求反映当前生产实际,强调基本概念、基本原理、设备配置以及兼顾一定的整定计算原则,减少不必要的理论分析,突出实用性、可读性。对于目前实际应用较少的电磁型、整流型继电器,只介绍基本概念,略去详细的继电器结构、动作方程分析等内容。

本书是普通高等学校电力工程类的专业课教材,也可作为从事电力系统运行、管理的技术人员的专业读物及从事继电保护和安全自动装置工作的技术人员的专业培训教材。

编者除了一直承担本科的专业教学工作外,还长期从事继电保护专业技师、高级技师的培训及鉴定工作,熟悉变电站二次施工设计,因此对电力系统继电保护与安全自动装置当前的状况及发展趋势比较了解,从而为本教材具有较强的实用性、针对性提供了保证。

本书的第1、2、4、6章由南京工程学院李斌编写,第3、7章由南京工程学院隆贤林编写,第5、8、9章由南京工程学院李敏编写,李斌、隆贤林分别负责前6章和后3章的统稿工作。

国电南自、南瑞继保、南瑞科技等设备制造单位以及江苏省电力设计院为此书提供了大量的技术资料及图纸,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳切希望广大师生和读者批评指正!

编 者

2007年11月

目 录

前言

第 1 章 基础知识	1
1.1 电压互感器	1
1.2 电流互感器	7
1.3 变换器	9
1.4 电磁型继电器	11
1.5 微机保护硬件组成	14
1.6 微机保护软件组成	24
复习思考题	25
第 2 章 电网的电流保护	26
2.1 单侧电源线路的电流保护	26
2.2 电网相间短路的方向电流保护	38
2.3 电网的接地保护	47
复习思考题	58
第 3 章 电网的距离保护	59
3.1 距离保护基本原理	59
3.2 阻抗继电器分类与特性	61
3.3 阻抗继电器的接线方式	67
3.4 实用方向阻抗元件	69
3.5 距离保护的振荡闭锁	74
3.6 距离保护的电压回路断线闭锁	78
3.7 过渡电阻对距离保护的影响	79
3.8 距离保护的整定计算	81
复习思考题	84
第 4 章 电网的纵联保护	86
4.1 纵联保护的原理与分类	86
4.2 纵联保护通道	89
4.3 纵联差动保护	93
4.4 纵联方向保护	96

4.5 纵联距离、零序方向保护	99
复习思考题	103
第5章 线路自动重合闸	104
5.1 概述	104
5.2 输电线路三相重合闸	105
5.3 综合重合闸	111
复习思考题	115
第6章 线路保护配置原则与实例	117
6.1 线路保护配置原则	117
6.2 线路保护实例	121
第7章 电力主设备保护	129
7.1 变压器保护	129
7.2 同步发电机保护	141
7.3 母线保护	155
7.4 断路器失灵保护	159
复习思考题	160
第8章 备用电源自动投入装置与按频率自动减负荷装置	162
8.1 备用电源自动投入装置 (AAT)	162
8.2 按频率自动减负荷装置	170
复习思考题	174
第9章 同步发电机的励磁调节与自动并列	176
9.1 发电机自动调节励磁装置	176
9.2 同步发电机自动并列	189
复习思考题	192
参考文献	194

第 1 章 基 础 知 识

1.1 电 压 互 感 器

电压互感器是隔离高电压，供继电保护、自动装置和测量仪表获取一次电压信息的传感器。

电压互感器也是一种特殊型式的变换器，其二次电压正比与一次电压，近似为一个电压源，正常使用时电压互感器的二次负载阻抗一般较大。在二次电压一定的情况下，阻抗越小电流越大，当电压互感器二次回路短路时，二次回路的阻抗接近于零，二次电流变得非常大，如果没有保护措施，将会导致损坏电压互感器。所以，电压互感器的二次回路不能短路。

正确地选择和配置电压互感器型号、参数，严格按技术规程与保护原理连接电压互感器二次回路，对降低计量误差、确保继电保护等设备的正常运行、确保电网的安全运行具有重要意义。

1.1.1 电压互感器的型式

电压互感器的型式多种多样，按工作原理分有电磁式电压互感器、电容式电压互感器、新型的光电式互感器。其中电磁式电压互感器在结构上又可分为三相式和单相式两种。在三相式电压互感器中又分为三相三柱式和三相五柱式两种。从使用绝缘介质上又可分为干式、油浸式及六氟化硫等多种电压互感器。

1. 电磁式电压互感器

电磁式电压互感器的优点是结构简单，有长时间的制造和运行经验，产品成熟；暂态响应特性较好。其主要缺点是因铁芯的非线性特性，容易产生铁磁谐振，引起测量不准确和造成电压互感器的损坏。

2. 电容式电压互感器

电容式电压互感器的优点是没有谐振问题，装在线路上时可以兼作高频通道的结合电容器。其主要缺点是暂态响应特性较电磁式差。带载波附件的电容式电压互感器原理接线如图 1-1 所示，电容分压后的电压经 T 变换后输出。

电容式电压互感器包括电容分压器和电磁装置两部分，电容分压器的作用就是电容分压，它又包括高压电容器 C_1 （主电容器）和串联电容器 C_2 （分压电容器）。电容器组由三节套耦合电容器及电容分压器重叠组成，每节耦合电容器或电容分压器单元装有数十只串联而成的膜纸复合介质组成的电容元件，并充以十二烷基苯绝缘油密封，高压电容 C_1 的全部电容元件和中压电容 C_2 被装在 1~3 节瓷套内，由于它们保持相同的温度，所以温度

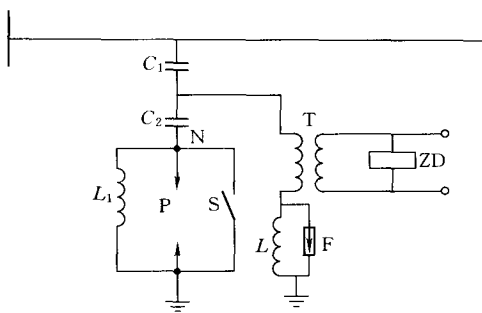


图 1-1 电容式电压互感器示意图

C_1 —高压电容； C_2 —中压电容；T—中间变压器；
ZD—阻尼器；L—补偿电抗器；F—氧化锌避雷器；
 L_1 —排流线圈；P—保护间隙；S—接地开关

引起的分压比的变化可被忽略。电容元件置于瓷套内经真空处理、热处理后已彻底脱水、脱气，注入已脱水脱气的绝缘油并密封于瓷套内。每节电容器单元顶部有一个可调节油量的金属膨胀器，以便在运行温度范围内使油压始终保持正常状态。

电磁装置由中间变压器 T 和补偿电抗器 L 组成，电磁装置是将分压电容器上的电压降低到所需的二次电压值，由于分压电容器上的电压会随负荷变化而变化，在分压回路串入电感（补偿电抗器），用以补偿电容器的内阻抗，可以使电压稳定。分压电容器经过一个电磁式电压互感器隔离后再接仪表和保护装置。

另外，电容式电压互感器还设有过压保护装置和载波耦合装置。保护装置包括保护间隙 P 和氧化锌避雷器 (F)，用来限制补偿电抗器和电磁式电压互感器与分压器的过电压；阻尼电阻 (ZD) 是用来防止持续的铁磁谐振。载波耦合装置是一种能接收载波信号的线路元件，把它接到开关 S 的两端，其阻抗在工频电压下很小，完全可以忽略，但在载波频率下其数值却很大。当不接载波耦合装置时，应闭合接地开关 S。 L_1 是排流线圈，将电容分压器的工频电流通过排流线圈入地。其工频阻抗值很小，当小于 10Ω 时，且电容电流亦小于 $0.5A$ ，这样，排流线圈两端的工频压降很小，当小于 $5V$ 时，由于排流线圈的一端接地，这样，在工频电压下，电容分压器低压端 N 对地电位就被限制得很低。另外，排流线圈两端的保护间隙可抑制 N 点出现的冲击过电压。N 点处于低电位可以保证两点：① 保证电容分压器低压引出套管、引出端子板免受过电压而损坏，当电容式电压互感器不带有载波附件，如果电容分压器低压端 N 接地不可靠，则 N 点会出现高压而损坏绝缘件；② 由于电容分压器低压端 N 直接与结合滤波器的高压端相连，N 点的低电位保证了结合滤波器始终处于低电位，即使结合滤波器内部出现故障，亦能保证结合滤波器及后置载波机免受过电压之害，保证了设备和人身安全。

3. 光电式互感器

数字式光电电流、电压互感器是一种混合式光电电流电压互感器。包括罗科夫斯基线圈实现的大电流（或高电压）变送，高电位取能，远距离激光供能，光纤数据传输，变电站自动化信息接口等多项技术，具有无饱和、高精度、线性度好、安全性高等特点。光电互感器的采集器单元（包括电流电压传变和信号处理等）与电力设备的高电压部分为等电位，高低压之间连接全部使用光纤相连，将一次电流电压传变为小电压信号，然后转换为数字量，通过光纤传输给保护、测量和监控等设备使用，减少了体积和重量的负担，提高了可靠性。

光电互感器可作为数据服务器使用，向实现保护测量等具体功能的装置提供数据，也可以根据需要集成继电保护和测控等功能。光电互感器原理如图 1-2 所示。

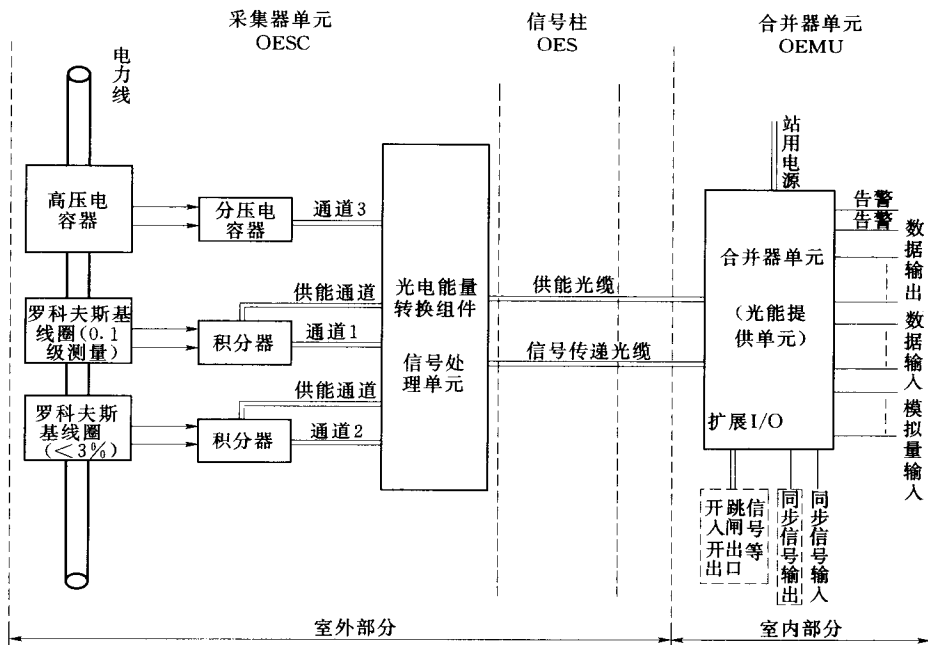


图 1-2 光电互感器原理图

1.1.2 电压互感器的基本参数

1. 一次参数

电压互感器的一次参数主要是额定电压。其一次额定电压的选择主要是满足相应电网电压的要求，其绝缘水平能够承受电网电压长期运行，并能承受可能出现的雷电过电压、操作过电压及异常运行方式下的电压，如小接地电流方式下的单相接地。

对于三相电压互感器和用于单相系统或三相系统间的单相互感器，其额定一次电压应符合 GB 156—80《额定电压》所规定的某一个标称电压，即 6kV、10kV、15kV、20kV、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV。对于接在三相系统相与地之间或中性点与地之间的单相电压互感器，其额定一次电压为上述额定电压的 $1/\sqrt{3}$ 。

2. 二次额定电压

电压互感器的二次电压标准值，对接于三相系统相间电压的单相电压互感器，二次额定电压为 100V，即系统正常运行时电压互感器二次线电压为 100V，相电压为 $100/\sqrt{3}$ V，即 57.7V。

接成开口三角形的电压绕组额定电压与系统中性点接地方式有关。大接地电流系统的接地电压互感器额定二次电压为 100V，小接地电流系统的接地互感器额定二次电压为 $100/3$ V。

3. 二次额定输出容量

电压互感器额定的容量输出标准值是 10VA、15VA、25VA、30VA、50VA、75VA、

100VA、150VA、200VA、250VA、300VA、400VA、500VA。对于三相式电压互感器，其额定输出容量是指每相的额定输出，电压互感器二次承受负载功率因数 $\cos\varphi=0.8$ （滞后），负载容量不大于额定容量时，互感器能保证幅值与相位的精度情况下的输出容量。

除额定输出外，电压互感器还有一个极限输出值。其含义是在 1.2 倍额定一次电压下，互感器各部位温升不超过规定值，二次绕组能连续输出的视在功率值（此时互感器的误差通常超过限值）。

在选择电压互感器的二次输出时，首先要进行电压互感器所接的二次负荷统计。计算出各台电压互感器的实际负荷，然后再选出与之相近并大于实际负荷的标准的输出容量，并留有一定的裕度。

4. 电压互感器的误差

电磁式电压互感器由于励磁电流、绕组的电阻及电抗的存在，当电流流过一次及二次绕组时要产生电压降和相位偏移，使电压互感器产生电压比值误差（简称变比误差）和相位误差（简称相位差）即

$$\text{变比误差} \quad \Delta U\% = \frac{n_{TV}U_2 - U_1}{U_1} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 n_{TV} ——额定电压比；

U_2 ——二次侧的实际电压；

U_1 ——一次侧电压。

$$\text{相位误差} \quad \delta = \arg \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \quad (1-2)$$

电压互感器的相位差，是指一次电压与二次电压相量的相位之差。当二次电压相量超前于一次电压相量时，相位误差为正值。相位差以分（'）或 rad 表示。

对于电容式电压互感器，由于电容分压器的分压误差以及电流流过中间变压器，补偿电抗器产生电压降等也会使电压互感器产生变比误差和相位差。

电压互感器电压的变比误差和相位误差的限值大小取决于电压互感器的准确级，具体规定如下：

(1) 对于测量用电压互感器的标准准确度级有：0.1、0.2、0.5、1.0、3.0 五个等级。满足测量用电压互感器电压误差和相位误差有一定的条件，即在额定频率下，其一次电压在 80%~120% 额定电压之间的任一电压值，二次负载的功率因数 $\cos\varphi$ 为 0.8（滞后），二次负载的容量应在 25%~100% 之间。如表 1-1 所示。

表 1-1 测量用电压互感器的误差限值

准确级	变比误差 (%)	相位差	准确级	变比误差 (%)	相位差
		(')			(')
0.1	±0.1	±5	1.0	±1.0	±40
0.2	±0.2	±10	3.0	±3.0	—
0.5	±0.5	±20			

(2) 继电保护用电压互感器的标准准确度级有 3P 和 6P 两个等级。保护用电压互感器的误差限值如表 1-2 所示。

表 1-2 保护用电压互感器的误差限值

准确度级	电压误差 (%)	相位差	准确度级	电压误差 (%)	相位差
		(')			(')
3P	±3.0	±120	6P	±6.0	±240

1.1.3 电压互感器的二次回路接线

为了满足不同测量、继电保护及安全自动装置的使用，电压互感器有多种配置与接线方式。

1. 电压互感器的配置

电压互感器一般按以下原则选择配置：

(1) 对于主接线为单母线、单母线分段、双母线等主接线时，在母线上安装三相式电压互感器；当其出线上有电源时，需要重合闸检同期或无压，需要同期并列时，应在线路侧安装单相或两相电压互感器。

(2) 对于 3/2 主接线，一般在线路或变压器侧安装三相电压互感器，而在母线上安装单相互感器以供同期并联和重合闸检无压、检同期使用。

(3) 内桥接线的电压互感器可以安装在线路侧，也可以安装在母线上，一般不同时安装。安装地点的不同对保护功能有所影响。

(4) 对 220kV 及以下的电压等级，电压互感器一般有两个次级，一组为星形接线，一组为开口三角形接线。在 500kV 系统中，为了继电保护的完全双重化，一般选用三个次级的电压互感器，其中两组接为星形，一组接为开口三角形。

(5) 当计量回路有特殊需要时，可增加专供计量的电压互感器次级或安装计量专用的电压互感器组，此时电压互感器有三个次级。

(6) 在小接地电流系统，需要检查线路电压或同期时，应在线路侧装设两相式电压互感器或装一个电压互感器接线间电压。在大接地电流系统中，线路有检查线路电压或同期要求时，应首先选用电压抽取装置。500kV 线路一般都装设三个电容式线路电压互感器，作为保护、测量和载波通信公用。

2. 继电保护和测量用电压二次回路接线

电压互感器的二次接线主要有：单相接线、单线电压接线、V/V 接线、星形接线、三角形接线、中性点接有消谐电压互感器的星形接线。各接线的连接方式如图 1-3 所示。

(1) 单相接线常用于大接地电流系统判线路无压或同期，可以接于任何一相。

(2) 单线电压接线中一个电压互感器接于两相电压间，主要用于小接地电流系统判线路无压或同期。

(3) V/V 接线主要用于小接地电流系统的母线电压测量，它只要两个接于线电压的电压互感器就能完成三相电压的测量，节约了投资。但是该接线在二次回路无法测量系统的零序电压，当需要测量零序电压时，不能使用该接线方式。

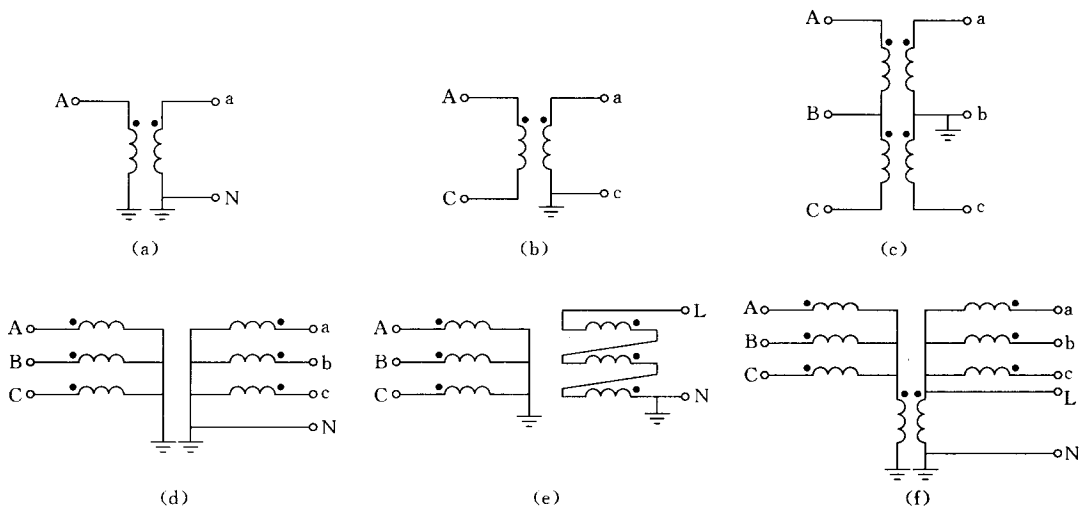


图 1-3 TV 接线方式图

(a) 单相接线；(b) 单相电压接线；(c) V/V 接线；(d) 星形接线；
(e) 三角形接线；(f) 中性点接有消谐电压互感器的星形接线

(4) 星形接线与三角形接线应用最多，常用于母线测量三相电压及零序电压。接线如图 1-3 (d)、(e) 所示，星形接线可以获得三相对地电压，三角形绕组输出电压为三相电压之和，即 3 倍零序电压。

(5) 图 1-3 (f) 为中性点安装有消弧电压互感器的星形接线。在小接地电流系统，当单相接地时允许继续运行 2h，由于非接地相的电压上升到线电压，是正常运行时的 $\sqrt{3}$ 倍，特别是间隙性接地还要产生暂态过电压，这将可能造成电压互感器铁芯饱和，引起铁磁谐振，使系统产生谐振过电压。所以，使用在小接地电流系统的电压互感器均要考虑消谐问题。消谐措施有多种，在开口三角绕组输出端子上接电阻性负载或电子型、微机型消谐器是其中之一，图 1-3 (f) 中在星形接线的中性点接一个电压互感器也能起到消谐的作用。所以，该电压互感器也称为消谐电压互感器。

3. 电压互感器二次回路的保护

电压互感器相当于一个电压源，当二次回路发生短路时将会出现很大的短路电流，如果没有选择合适的保护装置将故障切除，将会使电压互感器及其二次绕组损坏。

电压互感器二次回路的保护设备应满足：①在电压回路最大负荷时，保护设备不应动作；②当电压回路发生单相接地或相间短路时，保护设备应能可靠地切除短路；③在保护设备切除电压回路的短路过程中和切除短路之后，反应电压下降的继电保护装置不应误动作，即保护装置的動作速度要足够快；④电压回路短路保护动作后出现电压回路断线应有预告信号。

电压互感器二次回路保护设备，一般采用快速熔断器或自动空气开关。采用熔断器作为保护设备，既简单，又能满足上述选择性及快速性要求，报警信号需要在继电保护回路中得以实现。采用自动空气开关作为保护设备时，除能切除短路故障外，还能保证三相同

时切除，防止缺相运行，并可利用自动开关的辅助触点，在断开电压回路的同时也切除有关继电保护的电源，防止保护装置误动作，或由辅助接点发出断线信号。

电压互感器二次侧应在各相回路和开口三角绕组的试验芯上配置保护用的熔断器或自动开关。开口三角形绕组回路正常情况下无电压，故可不装设保护设备。熔断器或自动开关应尽可能靠近二次绕组的出口处装设，以减小保护死区。保护设备通常安装在电压互感器端子箱内，端子箱应尽可能靠近电压互感器来布置。

4. 电压二次回路的接地

电压互感器二次回路的接地，主要是防止一次高压窜至二次侧时，可能对人身及二次设备造成的伤害，一个变电所内电压二次回路只有一个接地点。

1.2 电流互感器

1.2.1 电流互感器的工作原理

电流互感器（TA）就是把大电流按比例降到可以用仪表直接测量的数值，以使用仪表直接测量，并作为各种继电保护的信号源。电流互感器的一次绕组串联在电力线路中，线路电流就是互感器的一次电流，二次绕组外部接有测量仪表和保护装置作为二次绕组的负荷。

电流互感器的一、二次绕组之间有足够的绝缘，从而保证所有低压设备与高电压相隔离。电力线路中的电流各不相同，通过电流互感器一、二次绕组不同匝数比的配置，可以将大小悬殊的线路电流变换成大小相接近、便于测量的电流值（二次电流额定值一般为5A或1A）。电流互感器相当于一个工作在短路状态下的变压器。若不计一次电流中的励磁分量，其一、二次电流之比等于匝数比。电流互感器就是利用这一点来测量一次侧的大电流。

运行中的电流互感器，二次回路必须接有负荷或直接短路，如果在一次绕组有电流的情况下，二次开路，则二次反磁势不再存在，一次电流全部用来励磁，铁芯中的磁感应急剧增加，二次感应电势急剧上升。此时，因铁芯饱和，磁通波形将变成平顶波，二次电压很高，当出现很高的开路电压时，会对二次绕组的绝缘和测量及继电保护装置构成威胁，所以电流互感器运行时，应特别注意防止二次绕组的开路。

1.2.2 电流互感器极性

电流互感器极性、参考方向规定，如图1-4所示。

电流互感器参考方向规定与《电机学》课程中变压器参考方向正好相反，因为按照TA参考方向， \dot{I}_1 与 \dot{I}_2 同相；而在变压器参考方向下， \dot{I}_1 与 \dot{I}_2 反相。

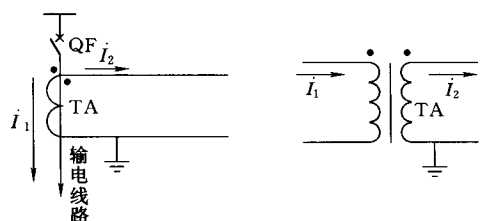


图 1-4 电流互感器参考方向示意图

1.2.3 电流互感器接线方式

电流互感器主要常见接线方式如图 1-5 所示，图中 KA 为电流继电器或继电器保护电流测量元件。

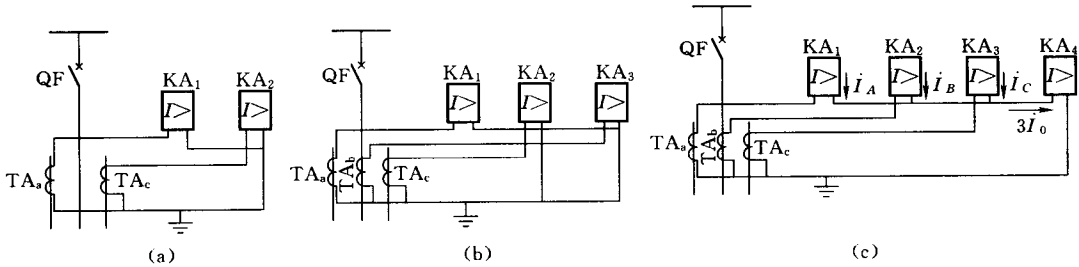


图 1-5 电流互感器接线方式

(a) 两相不完全星形接线；(b) 三相完全星形接线；(c) 零序电流获得接线

(1) 两相不完全星形接线用于 35kV 及以下电压等级小接地电流系统，可以获得 A、C 相电流，能够对各种相间故障起到保护作用。

(2) 三相完全星形接线用于 110kV 及以上电压等级大电流接地系统，可以获得三相相电流。

(3) 三相完全星形接线的中线上可以获得三相电流之和，即 3 倍的零序电流，如图 1-5 (c) 所示中的 4KA 上流过 $3\dot{I}_0$ ，反应接地故障时产生的零序电流。

1.2.4 电流互感器的误差

电流互感器符号、等效电路、相量图如图 1-6 所示。

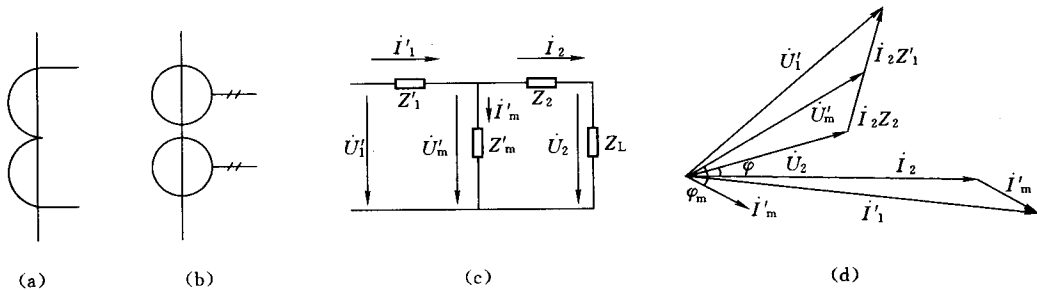


图 1-6 电流互感器符号、等效电路及相量图

(a) 接线图使用符号；(b) 配置图使用符号；(c) 等效电路；(d) 等效电路相量图

不难看出，电流互感器的误差主要来自于励磁电流，一次电流中有一部分流入励磁支路而不变换至二次侧。影响电流互感器误差的主要因素是二次负载及一次电流大小。

二次负载越大，分流到励磁回路的励磁电流也越大，造成 TA 误差增大。一次电流增大时，TA 铁芯趋向饱和，励磁阻抗下降也会导致励磁电流增大，TA 误差也会随之增大。

继电器保护使用的 TA 误差极限多为 10%，在误差为 10% 情况下二次阻抗与一次电流

的关系曲线称为 10% 曲线, 如图 1-7 所示, 图中 m 为一次电流倍数, Z_{Lmax} 为允许的最大二次阻抗。

电流互感器的准确度分为测量用电流互感器的准确度级和保护用电流互感器的准确度级。测量用电流互感器的准确度级分为 0.1、0.2、0.5、1、3、5 等 6 个标准。一般的测量用电流互感器的准确度采用 0.5 级, 计量回路可采用 0.2 级的电流互感器。

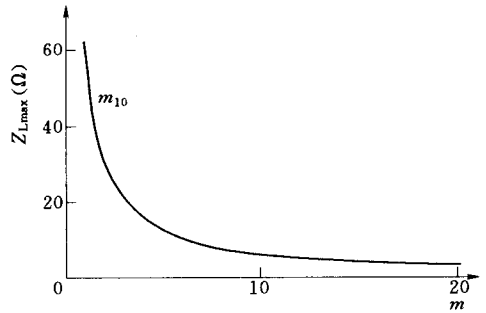


图 1-7 电流互感器 10% 误差曲线图

电流互感器由于存在电流波形畸变, 需采用复合误差来规定其误差特性。《电流互感器》

GB 1208—87 规定标准的保护用电流互感器有 5P 和 10P 两个准确度级, 如表 1-3 所示。在表示保护用电流互感器准确度级时, 通常也将准确限值系数一并写出, 例如, 某保护用电流互感器的准确度级为 5P20, 其中 20 即为准确限值系数。整个含义是: 该互感器是作为供保护用的, 在一次侧流过的最大电流为其一次额定电流 20 倍时, 该互感器的综合误差小于 5%。

表 1-3 IEC 规定 5P、10P 的误差极限

准确度级	变比值误差 (%) (额定一次电流下)	复合误差 (%) (额定准确限值的一次电流下)	额定一次电流下相位差
			(')
5P	±1	±5	±60
10P	±3	±10	—

1.3 变 换 器

1.3.1 变换器作用

保护装置动作判据主要为母线电压 (线路电压)、线路电流, 因此需要将母线 (线路) 电压互感器、电流互感器输出的二次电压、电流送入继电保护装置。若测量继电器为机电型继电器, 电流或电压互感器二次侧一般直接接到电流继电器、电压继电器的线圈。若保护装置为整流型、晶体管型、微机型的, 电流、电压互感器输出的二次电流、电压需要经变换器进行线性变换后, 再接入测量电路。变换器的基本作用如下几点:

(1) 电量变换。将互感器二次侧电压 (额定电压 100V)、电流 (额定电流 5A 或 1A), 转换成弱电电压 (数伏), 以适应弱电元件的要求。

(2) 电气隔离。电流、电压互感器二次侧的保安、工作接地, 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, 直流回路不允许直接接地, 故需要经变换器实现电气隔离, 如图 1-8 所示。

(3) 调节定值。整流型、晶体管型继电保护可以通过改变变换器一次或二次绕组抽头

来改变测量继电器的动作值。

继电器保护中常用的变换器有电压变换器 (UV)、电流变换器 (UA) 和电抗变压器 (UX), UV 作用是电压变换, UA、UX 作用是将电流变换成与之成正比的电压。

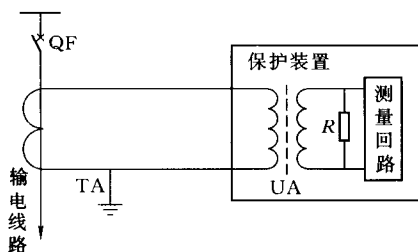


图 1-8 变换器的电气隔离作用

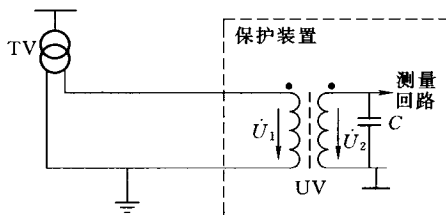


图 1-9 电压变换器应用图

1.3.2 电压变换器

电压变换器 (UV) 原理接线如图 1-9 所示, UV 原方与电压互感器相连, TV 二次侧有工作接地, UV 副方的“直流地”为保护电源的 0V, 电容 C 容量很小, 在此起抗干扰作用。

从 UV 原方看进去, 输入阻抗很大, 对于负载而言 UV 可以看出一个电压源, UV 两侧电压成正比, $\dot{U}_2 = K_U \dot{U}_1$ 。

1.3.3 电流变换器

电流变换器 (UA) 与电压变换器不同, 从 UA 原方看进去, 输入阻抗很小, 对于负载而言 UA 可以看成是一个电流源。

电流变换器应用接线如图 1-10 所示。

UA 二次电流 (一般为 mA 级) 与一次电流成正比, 二次电流在电阻上形成二次电压, $\dot{U}_2 = RK_1 \dot{I}_1$ 。

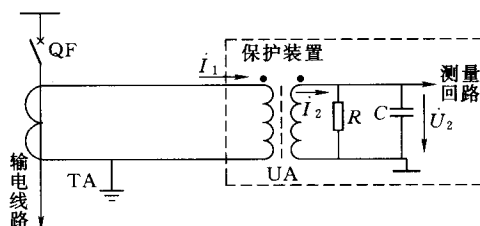


图 1-10 电流变换器应用图

1.3.4 电抗变压器

将 TA 输出二次电流转换为电压还可以采用电抗变压器 (UX), UX 等效电路如图 1-11 所示, UX 输入阻抗很小, 串于 TA 二次回路; 对于负载, UX 近似为电压源。UX 励磁阻抗相对于负载来讲很小, 可以认为一次电流全部用于励磁, 这样二次电压 $\dot{U}_2 = Z_m \dot{I}_1 = K_1 \dot{I}_1$, K_1 称为 UX 的转移阻抗。

与使 TA 的电压变换电路不同, UX 输出电压超前输入电流一定相位角, 具有电抗特性。由于 UX 励磁阻抗较小, 其铁芯一般带有气隙。

UX 转移阻抗大小通过调整铁芯气隙及一、二次线圈匝数的变化而变化; 转移阻抗的角度通过并于辅助绕组的电阻 R_ϕ 调整, R_ϕ 越大转移阻抗角越接近 90° , R_ϕ 越小则转移阻抗角越小, 如图 1-12 所示。

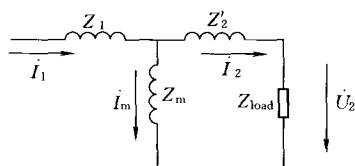


图 1-11 电抗变压器等效电路图

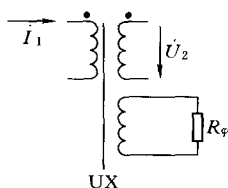


图 1-12 UX 转移阻抗角调整图

1.4 电磁型继电器

1.4.1 电磁型继电器的工作原理

电磁型继电器主要有三种不同的结构型式，即螺管线圈式、吸引衔铁式和转动舌片式，如图 1-13 所示。任何结构型式的继电器，都是由电磁铁 1、可动衔铁 2、线圈 3、触点 4、反作用弹簧 5 和止挡 6 所组成。

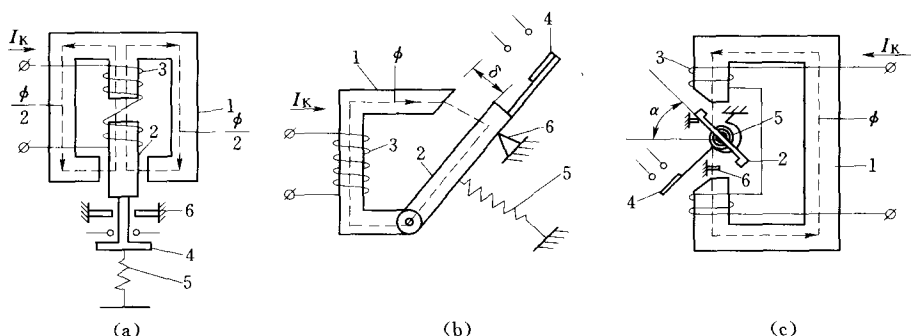


图 1-13 电磁型继电器结构原理图

(a) 螺管线圈式；(b) 吸引衔铁式；(c) 转动舌片式

1—电磁铁；2—可动衔铁；3—线圈；4—触点；5—反作用弹簧；6—止挡

当在继电器的线圈 3 中通入电流 I_K 时，就在铁芯中产生磁通 Φ ，铁芯、空气隙和衔铁构成闭合磁路。衔铁被磁化后，产生电磁力 F 和电磁力矩 M ，当 I_K 足够大时，电磁力矩足以克服弹簧的反作用力矩，衔铁被吸向电磁铁，动合触点闭合，称为继电器动作，这就是电磁型继电器的基本工作原理。

电磁力矩与电流平方成正比，与通入线圈中电流方向无关，为一恒定旋转方向的力矩。所以，采用电磁原理不仅可以构成直流继电器，也可以构成交流继电器。交流继电器主要为测量继电器，如电流、电压等继电器；直流继电器则用于获得延时或出口、信号，如时间、信号和中间继电器。

1.4.2 电磁型电流继电器

1. 电流继电器动作电流与返回电流

电流继电器多采用转动舌片式结构。有三种力矩作用于舌片：输入电流产生的电磁力