

智能用电技术培训教材

# 电力互感器

DIANLI HUGANQI

岳国义 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能用电技术培训教材

# 电力互感器

岳国义 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

根据国家电网公司电网智能化建设规划,本套培训教材针对智能用电技术特点,详细介绍了智能电能表、电力用户用电信息采集系统和电力互感器3个方面的内容,对促进我国电网智能化建设具有积极作用。

本套培训教材共有3个分册。本书为《电力互感器》分册。本书共有5章。主要内容有概述、电力互感器测试技术、电子式互感器、电力互感器测试新技术、电力互感器相关计算案例。

本书可供从事用电技术方面电力互感器专业的技术人员以及管理人员学习和使用,也可作为对其他相关专业技术人员进行培训的教材,同时还可作为大专院校相关专业的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力互感器 / 岳国义主编. —北京: 中国电力出版社, 2012.8

智能用电技术培训教材

ISBN 978-7-5123-3421-2

I. ①电… II. ①岳… III. ①互感器—技术培训—教材 IV. ①TM45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 196356 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2012年11月第一版 2012年11月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 8印张 101千字

印数 0001—3000册 定价 21.00元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 《智能用电技术培训教材 电力互感器》

## 编写工作组

主 任 董增波

副主任 郭义辉 申洪涛 张颖琦 王永辉

委 员 史 轮 耿建坡 陶 鹏 任 鹏

许 浩 王俊龙 马红明 李 翀

冯 波

主 编 岳国义

## 前 言

2009 年,国家电网公司首次向社会公布了智能电网的发展规划,并初步制定了建设时间表。根据计划,智能电网的发展分为三个阶段逐步进行,到 2020 年全面建成。根据国家电网公司电网智能化建设规划,智能电网用电环节主要包含智能电能表推广应用、智能采集终端推广应用、用电信息采集系统建设等。

随着智能电网建设的逐步开展,为了更好地培养智能电网工程所需人才,推动智能电网建设进程,社会各界迫切需要能够系统阐述智能电网概念、介绍相关技术的作品。河北省电力科学研究院组织参与智能电网用电技术工程建设的相关专家以及技术人员,编写了《智能用电技术培训教材》,具体包括《智能电能表》、《电力用户用电信息采集》、《电力互感器》3 个分册。本套教材总结了国内各智能电网用电技术设计、建设和运行经验,力求清晰完整、严谨有序。在编写过程中,各位编者充分吸收 2009 年以来智能电网用电技术的一些科研和试验成果,从电网智能化出发,进行阐述。

本套教材的编写凝聚了各位编写专家的智慧,旨在为从事智能电网用电技术理论研究、科研试验、规划设计、设备制造、运行维护的技术人员提供培训教材使用,也可高等院校师生了解智能电网用电技术提供参考,希望借此能对从事智能用电工作的人士有所帮助。

在本书的编写过程中，对一些文献、标准进行了参考，在此感谢本书中引用文献资料的作者。由于水平所限，书中难免有疏漏及不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月

# 目 录

## 前言

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b> .....               | 1  |
| 第一节 电力互感器简介 .....                 | 1  |
| 第二节 电压互感器 .....                   | 6  |
| 第三节 电流互感器 .....                   | 13 |
| <b>第二章 电力互感器测试技术</b> .....        | 18 |
| 第一节 常规电力互感器测试技术 .....             | 18 |
| 第二节 大电流互感器现场测试技术 .....            | 19 |
| 第三节 变频技术在 GIS 电压互感器误差试验中的应用 ..... | 23 |
| 第四节 影响 CVT 误差测试的因素分析 .....        | 28 |
| 第四节 新型电容式电压互感器误差校验分析 .....        | 35 |
| 第五节 电容式电压互感器附加误差分析 .....          | 44 |
| <b>第三章 电子式互感器</b> .....           | 51 |
| 第一节 电子式互感器简介 .....                | 51 |
| 第二节 电子式互感器基本结构 .....              | 57 |
| 第三节 电子式互感器与传统式互感器误差比对 .....       | 64 |
| <b>第四章 电力互感器测试新技术</b> .....       | 73 |
| 第一节 电流外推法检定现场大电流互感器 .....         | 73 |
| 第二节 互易低压外推法检定现场大电流互感器 .....       | 86 |
| 第三节 电容式电压互感器低校高技术 .....           | 95 |
| 第四节 移动式智能型电能计量现场检定平台 .....        | 99 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第五章 电力互感器相关计算案例 .....    | 105 |
| 案例一 CVT 典型故障影响误差分析 ..... | 105 |
| 案例二 电能计量装置综合误差分析 .....   | 107 |
| 案例三 电能表失压故障认证及电量计算 ..... | 111 |
| 案例四 电能表三相失压差错电量分析 .....  | 113 |
| 案例五 电力互感器超差相关电量计算 .....  | 116 |

# 第一章

## 概 述

### 第一节 电力互感器简介

电力系统中使用的电流、电压互感器起着高压隔离和按比率进行电流、电压变换作用，给电气测量、电能计量、自动装置提供与一次回路有准确比例的电流、电压信号。电流互感器和电磁式电压互感器都是利用电磁感应原理，把一次绕组的电流和电压传递到电气上隔离的二次绕组。电容式电压互感器则通过电容分压器把一次侧的高电压降低为中压，通过电抗器补偿容性内阻压降后经中压变压器传递到二次侧。

#### 一、互感器的基本定义

##### 互感器

一种为测量仪器、仪表、继电器和其他类似电器供电的变压器。

##### 电压互感器

一种在正常使用条件下其二次电压与一次电压实际成正比、且在连接方法正确时其相位差接近于零的互感器。

##### 电磁式电压互感器

一种通过电磁感应将一次电压按比例变换成二次电压的电压互感器。这种互感器不附加其他改变一次电压的电气元件（如电容器）。

##### 电容式电压互感器

电容互感器由电容分压器及电磁单元构成，其设计和相互连接使电磁

单元的二次电压实质上正比于一次电压,且相位差在连接正确时接近于零。

### 一次绕组

施加被变换电压的绕组。

### 二次绕组

给测量仪器、仪表、继电器和其他类似电器的电压回路供电的绕组。

### 二次电路

由互感器二次绕组供电的外部电路。

### 额定一次电压

作为电压互感器性能基准的一次电压值。

### 额定二次电压

作为电压互感器性能基准的二次电压值。

### 实际电压比

实际一次电压与实际二次电压之比。

### 额定电压比

额定一次电压与额定二次电压之比。

### 电压(比值差)

互感器在测量电压时所产生的误差,它是由于实际电压比与额定电压比不相等造成的。

### 相位差

互感器的一次电压与二次电压相量的相位差。相量方向是按理想互感器的相位差为零来决定的。若二次电压相量超前一次电压相量,则相位差为正值。它通常用分(')或厘弧(crad)表示。

注:本定义只在电压为正弦波时正确。

### 负荷

二次电路的导纳,用西门子(S)和功率因数(滞后或超前)表示。

注:负荷通常以视在功率伏安(VA)值表示,它是在规定功率因数及额定二次电压

下所汲取的。

### **额定负荷**

确定电压互感器准确级所依据的负荷值。

### **额定输出**

在额定二次电压及接有额定负荷条件下，互感器所供给二次电路的视在功率值（在规定功率因数下以 VA 表示）。

### **电流互感器**

一种在正常使用条件下其二次电施与一次电流实际成正比且在连接方法正确时其相位差接近于零的互感器。

#### **一次绕组**

流过被变换电流的绕组。

#### **二次绕组**

给测量仪器、仪表、继电器和其他类似电器提供电流的绕组。

#### **二次电路**

由互感器二次绕组供电的外部电路。

#### **额定一次电流**

作为电流互感器性能基准的一次电流值。

#### **额定二次电流**

作为电流互感器性能基准的二次电流值。

#### **实际电流比**

实际一次电流与实际二次电流之比。

#### **额定电流比**

额定一次电流与额定二次电流之比。

#### **电流误差（比值差）**

互感器在测址电流时所产生的误差，它是由于实际电流比与额定电流比不相等造成的。

### 相位差

互感器的一次电流与二次电流相址的相位差。相址方向是按理想互感器的相位差为零来决定的。若二次电流相量超前一次电流相址，则相位差为正值。它通常用分（'）或厘弧（ $\text{crad}$ ）表示。

注：本定义只在电流为正弦波时正确。

### 准确级

对电流互感器所给定的等级，互感器在规定使用条件下的误差应在规定的限值内。

### 负荷

二次电路阻抗，用欧姆和功率因数表示。负荷通常以视在功率伏安（VA）值表示，它是在规定功率因数及额定二次电流下所汲取的。

### 额定负荷

确定互感器准确级所依据的负荷值。

### 额定输出

在额定二次电流及接有额定负荷条件下，互感器所供始二次电路的视在功率值（在规定功率因数下 VA 表示）。

### 额定短热电流

在二次绕组短路的情况下，电流互感器能承受 1s 且无损伤的一次电流方均根值。

### 额定动稳定电流

在二次绕组短路的情况下，电流互感器能承受住其电磁力的作用而无电气或机械损伤的最大一次电流峰放。

### 励磁电流

一次及其他绕组开路，将额定频率的正弦波电压施加到二次绕组端子上时，通过电流互感器二次绕组的电流方均根值。

## 二、电压互感器分类

(1) 按互感器用途分为测量用电压互感器、保护用电压互感器。

(2) 按绝缘介质分为干式电压互感器、浇注绝缘电压互感器、油浸式电压互感器、气体绝缘电压互感器。

(3) 按相数分为单相电压互感器、三相电压互感器。

(4) 按电压变换原理分为电磁式电压互感器、电容式电压互感器、电子式电压互感器。

(5) 按使用条件分为户内、户外电压互感器。

(6) 按一次绕组对地运行状态分为一次绕组接地的电压互感器，即单相电压互感器一次绕组末端或三相电压互感器一次绕组中性点直接接地；一次绕组不接地电压互感器，即单相电压互感器一次绕组两端子对地都是绝缘的，三相电压互感器一次绕组各部分，包括接线端子对地式绝缘的，而且绝缘水平与额定绝缘水平一致。

(7) 按磁路结构分为单级式电压互感器，即一次绕组和二次绕组同绕在一个铁芯上，铁芯为地电位。我国在 35kV 及以下采用单级式；串级式电压互感器，即一次绕组分成几个匝数相等的单元串接在相与地之间，每一单元有各自独立的铁芯，且铁芯带有高电压，二次绕组处在最末一个与地连接的单元。

组合互式互感器是由电压互感器和电流互感器组合并形成一体的互感器，与 GIS 组合配套生产的互感器也可称为组合式互感器。

## 三、电流互感器分类

(1) 按用途分为测量用电流互感器、保护用电流互感器。

(2) 按绝缘介质分为干式电流互感器、浇注电流互感器、油浸式电流互感器、气体绝缘电流互感器。

(3) 按电流变换原理分为电磁式电流互感器、电子式电流互感器。

(4) 按安装方式分为贯串式、支柱式、套管式、母线式电力互感器。

(5) 按一次绕组数分为单匝式电流互感器（大电流互感器常用单匝式）、多匝式电流互感器。

(6) 按二次绕组所在位置分为正立式（二次绕组在产品下部）、倒立式（二次绕组在产品头部）。

(7) 按电流变比变换分为单变比、多变比（一次或二次绕组均可改变）、多个铁芯电流互感器（此种电流互感器有多个各自具有铁芯的二次绕组，以满足某些装置的要求，其中某些二次绕组具有多个抽头）。

(8) 按保护用电流互感器技术性能分为稳定性型（保证电流在稳态时的误差，如 P/PR/RX 级等）、暂态性型（保证电流在暂态时的误差，如 IPX/TPY/TPZ/TPS 级等）。

(9) 按使用条件分为户内、户外电流互感器。

## 第二节 电压互感器

### 一、电磁式电压互感器

电磁感应式电压互感器其工作原理与变压器相同，基本结构也是铁芯和原、副绕组。特点是容量很小且比较恒定，正常运行时接近于空载状态。电压互感器本身的阻抗很小，一旦副边发生短路，电流将急剧增长而烧毁线圈。为此，电压互感器的原边接有熔断器，副边可靠接地，以免原、副边绝缘损毁时，副边出现对地高电位而造成人身和设备事故。

测量用电压互感器一般都做成单相双线圈结构，其原边电压为被测电压（如电力系统的线电压），可以单相使用，也可以用两台接成 V-V 形作三相使用。实验室用的电压互感器往往是原边多抽头的，以适应测量不同电压的需要。供保护接地用电压互感器还带有一个第三线圈，称三线圈电压互感器。三相的第三线圈接成开口三角形，开口三角形的两引出端与接地保护继电器的电压线圈连接。正常运行时，电力系统的三相电压对称，第三

线圈上的三相感应电动势之和为零。一旦发生单相接地时,中性点出现位移,开口三角的端子间就会出现零序电压使继电器动作,从而对电力系统起保护作用。线圈出现零序电压则相应的铁芯中就会出现零序磁通。为此,这种三相电压互感器采用旁轭式铁芯(10kV及以下时)或采用三台单相电压互感器。对于这种互感器,第三线圈的准确度要求不高,但要求有一定的过励磁特性(即当原边电压增加时,铁芯中的磁通密度也增加相应倍数而不会损坏)。

电磁感应式电压互感器的等值电路与变压器的等值电路相同。单相双绕组和单相三绕组电压互感器原理图分别如图 1-1 和图 1-2 所示。两段串级式和四级串级式电压互感器内部磁式平衡原理图分别如图 1-3 和图 1-4 所示。

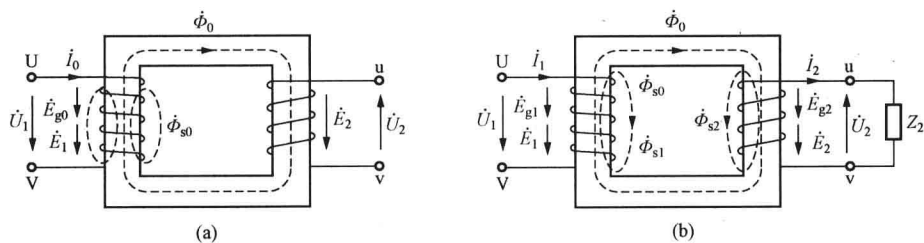


图 1-1 单相双绕组电压互感器原理图

(a) 空载运行; (b) 负荷运行

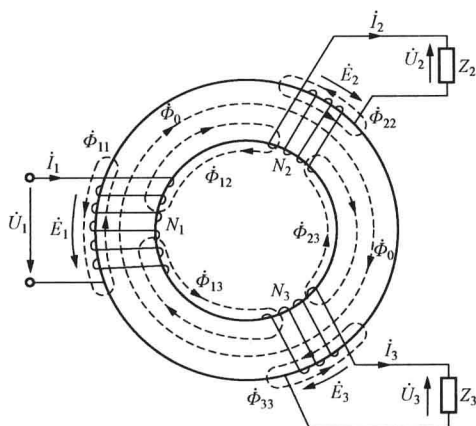


图 1-2 单相三绕组电压互感器原理图

## 二、电器式电压互感器

电容式电压互感器 (CVT) 与电磁式电压互感器作用相同, 作为一种电压变换装置是电力系统中不可或缺的单相设备, 它跨接于高压与零线之间, 将高电压转换成各种仪表的工作电压(国标规定为  $100/\sqrt{3}\text{V}$  和  $100\text{V}$ )。

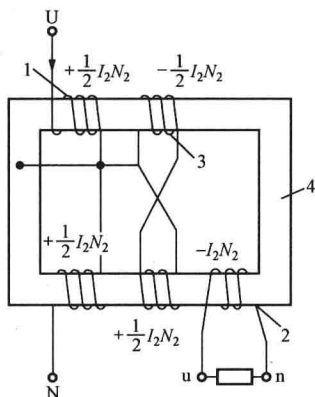


图 1-3 两级串级式电压互感器

内部磁式平衡原理图

1——一次绕组；2——二次绕组；

3——平衡绕组；4——铁芯

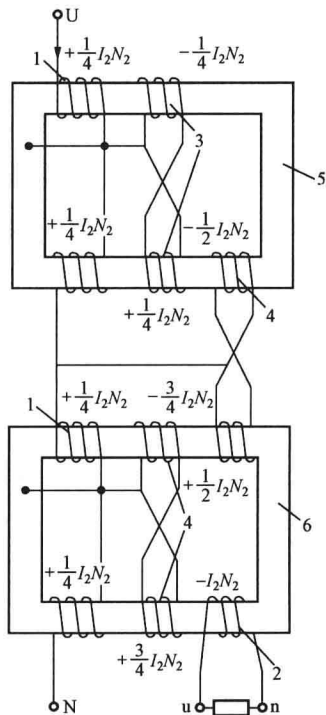


图 1-4 四级串级式电压互感器

内部磁式平衡原理图

1——一次绕组；2——二次绕组；3——平衡绕组；

4——连耦绕组；5——上铁芯；6——下铁芯

(1) 作用。可用做商业计量、继电保护的电压信号源、为合闸或重合闸检同期、检无压提供电压信号。可用于继电保护的电压信号源。可兼做耦合电容器用于高频载波通信。

(2) 分类。按安装位置分为母线型和线路型。

1) 母线型：安装于母线段。特点是电容大，准确级次高、额定负荷大等，用于计量、测量、继电保护等。

2) 线路型: 安装于线路侧。特点是电容较小, 准确级次较低、额定负荷小等, 用于测量、检同期检无压、继电保护等, 也可按要求提高准确级次, 用于计量。应用范围为 35~1000kV 电力输变电系统。

电容式电压互感器具有电磁式电压互感器的全部功能, 同时可间作载波通信的耦合电容器之作用, 其耐雷电冲击性能理论上比电磁式电压互感器优越, 可以降低雷电波的波头陡度, 对变电站电气设备有一定的保护作用, 不存在电磁式电压互感器与断路器断口电容的串联铁磁谐振问题, 价格低, 电压等级越高优势越明显。

电容式电压互感器由电容分压器和电磁单元组成。电容分压器由  $C_1$  高压电容和  $C_2$  中压电容串联组成。电磁单元由中间变压器、补偿电抗器串联组成。电容分压器可作为耦合电容器, 在其低压端 N 端子连接结合滤波器以传送高频信号。通过电容分压器的分压, 将分压后得到的中间电压 (一般为 10~20kV) 通过中间变压器降为  $100/\sqrt{3}\text{V}$  和 100V (或  $100\sqrt{3}\text{V}$ , 用于中性点非有效接地系统) 的电压, 为电压测量及继电保护装置提供电压信号。为了补偿由于负载效应引起的电容分压器的容抗压降, 使二次电压随负载变化减小, 在中压回路中串接有电抗器, 设计时使回路等效容抗和感抗值基本相等, 以便得到规定的负荷范围和准确级的电压信号。在中间变压器二次侧的一个绕组上接有阻尼器, 以能有效抑制铁磁谐振。电容式电压互感器的原理图、结构示意图和等效电路图分别如图 1-5~图 1-7 所示。

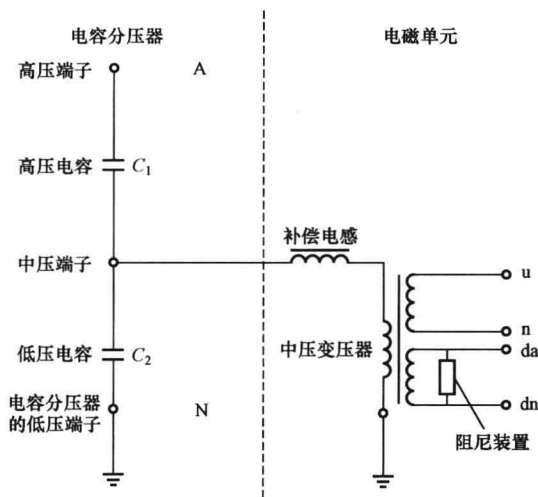


图 1-5 电容式电压互感器原理图