

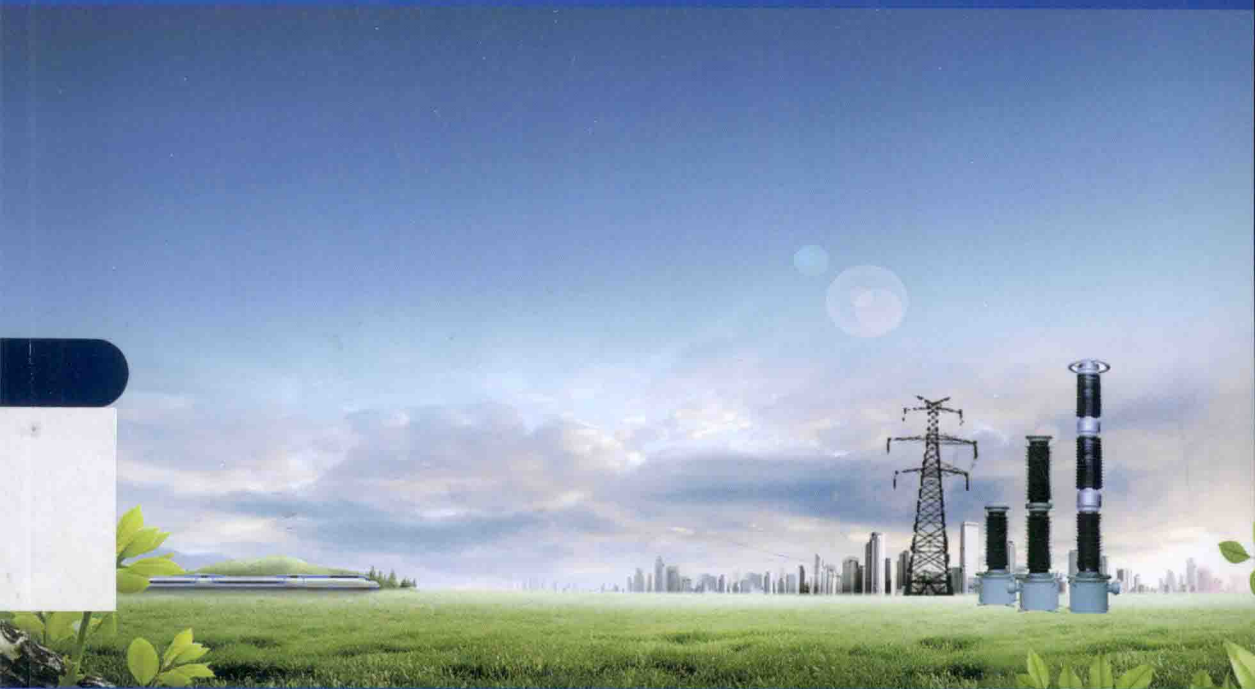
DIANYA HUGANQI

XIANCHANG YANSHOU JI YUNXING WEIHU

电压互感器

现场验收及运行维护

王世祥 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANYA HUGANQI
XIANCHANG YANSHOU JI YUNXING WEIHU

电压互感器

现场验收及运行维护

王世祥 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书通过大量实例讲解了电压互感器现场验收及运行维护的工作流程和方法。全书共6章,主要包括电压互感器基础知识、现场验收、运行维护、二次回路常见短路案例分析及防范、典型事故案例及现场反事故措施选编等内容。

本书内容与现场紧密结合,有助于提高现场运维人员的岗位技能水平,有利于提高电力员工的培训效果。本书可供电力设备现场运维人员使用,可供电力职工培训和自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电压互感器现场验收及运行维护/王世祥主编. —北京:
中国电力出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-5123-8196-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电压互感器-工程验收
②电压互感器-运行③电压互感器-维修 IV. ①TM451

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 209475 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>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 10 月第一版 2015 年 10 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 10.25 印张 186 千字

印数 0001—2000 册 定价 42.00 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

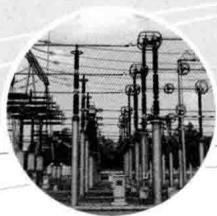
审定委员会

顾	问	赵曼勇	胡子珩			
主任委员		周红阳	刘之尧	黄明辉		
审委委员		王 玮	吴海涛	詹勤辉	黄福全	汪楦子
		王 炼	尹中华	刘惠聪		

编写委员会

主	编	王世祥				
副	主 编	钱 敏	高柳明			
参	编	余 江	刘千宽	李正红	徐 雷	周 陵
		崔志文	沈 洪	梁伟雄	刘振华	江 韬
		谷 斌	宋 华	高永强	宋传盼	李洪卫
		晋龙兴	胡 园	王 江	唐建宇	王 迪
		李钰瑜	陈星霖	任 佳	修荣堃	欧 旋
		陆成渝	孙荣乐	薛志成	湛志强	邵心元
		方丙涛	向凌晨	原振鑫	杨 磊	厉 冰
		李志航	程 硕	倪 昌	邓 鑫	张 琳
		杨柳青	刘之亮	李泽霖	罗婷尹	祝沈奇

前言



电压互感器是变电站必不可少的设备之一，电压互感器的完好性及其回路正确性是保证继电保护、测量仪器仪表等设备正常运行的关键因素，也是变电站现场维护的重要内容。由于对电压互感器验收不全面、维护不到位，二次回路因误短接、误碰、反充电等造成的事故时有发生，而且，电压互感器及其相关回路维护涉及的危险点较多，给电网安全稳定运行带来了隐患。随着设备种类的增多，电压互感器呈现出更加复杂的趋势，加大了保护装置不正确动作的风险，给现场维护人员带来了很大的困难。

本书在总结多年现场工作及培训经验的基础上编写而成，论述了现场运行维护需要开展的工作和可能遇到的实际问题，以及需要掌握的岗位技能知识。旨在提高电压互感器验收及维护工作的规范化水平，提升现场运维人员技能水平，有效应对电压互感器及其相关回路日常验收维护中可能带来的风险，供现场维护人员参考。

本书由深圳供电局有限公司王世祥主编，钱敏、高柳明任副主编，参加编写的还有中国南方电网有限责任公司电力调度控制中心余江、刘千宽、李正红3位同志，以及深圳供电局有限公司徐雷等42位同志。在此谨对在本书编辑及出版过程中给予指导和支持的同仁们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误以及疏漏之处在所难免，恳请各位专家及读者批评指正。

编者

2015年9月

目 录

前 言

第1章 电压互感器基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 原理	1
1.3 用途	4
1.4 分类	4
1.5 极性	5
1.6 变比	6
1.7 铭牌	7
1.8 基本术语	7
1.9 接线方式	8
1.10 配置要求	10
1.11 选用要求	11
1.12 工程应用注意事项	14
第2章 电压互感器现场验收	16
2.1 验收目的	16
2.2 工作前准备	16
2.3 工作内容及流程	17
2.4 工器具准备	18
2.5 危险点分析与预控	19
2.6 现场验收要点	22
第3章 电压互感器现场运行维护	40
3.1 一次回路现场运行维护	40

3.2	二次回路现场运行维护	42
3.3	现场运行维护危险点分析及防范	48
3.4	现场操作及风险点分析	60
3.5	回路缺陷处理	70
第4章	电压互感器二次回路常见短路案例分析及防范	73
4.1	电压互感器二次回路安全措施	73
4.2	施工不当	73
4.3	电压回路操作失误	75
4.4	保护定检操作不当	77
4.5	仪表仪器使用方法不正确	79
4.6	屏顶小母线操作不当	80
4.7	运行前未进行对相	84
4.8	电压端子使用不当	85
第5章	电压互感器典型事故案例分析	87
5.1	电压互感器二次空气开关跳闸事故的原因分析	87
5.2	500kV 主变压器高压侧 C 相电容式电压互感器故障原因分析	92
5.3	电压互感器多点接地造成某双回线高频方向保护不正确动作 原因分析	95
5.4	电压端子接线不规范造成跳闸原因分析	98
5.5	二次电压 N 线端子接触不良导致过电压保护动作原因分析	101
5.6	零序电压回路短接导致保护误动作原因分析	104
5.7	电压小母线 N600 回路连接不良导致保护误动作原因分析	105
5.8	电压互感器本体质量问题导致主变压器零序过电压保护动作 原因分析	108
5.9	过电压保护误动原因分析	109
5.10	电压互感器局部电容击穿造成二次电压异常升高原因分析	112
5.11	电压互感器常见故障处理	114
第6章	电压互感器反事故措施选编	124
6.1	电压互感器二次回路与三次回路电缆敷设方法	124
6.2	电压切换继电器同时动作信号的监视	126
6.3	电压互感器二次回路 N600 接地方法	129
6.4	电压互感器二次回路 N600 多点接地检测方法	136

6.5	电压互感器二次回路中性点在开关场接地的方法	142
6.6	电压互感器二次回路断线后保护装置的闭锁要求	144
6.7	微机母差、失灵保护的母线运行方式判别方法	146
6.8	变压器间隔断路器失灵时的电压闭锁方法	148
6.9	电压闭锁其他情况的反措施要求	150
6.10	110kV 线路抽取电压回路信号监视要求	152
参考文献		154

电压互感器基础知识

1.1 概 述

电压互感器 (TV) 将一次回路的高电压成正比地变换为二次低电压, 供给测量仪表、继电保护及安全自动装置设备使用。

与普通变压器不同的是, 电压互感器输出容量很小, 一般为数十伏安或数百伏安 (10~100VA)。一组电压互感器通常有多个二次绕组用于不同用途, 如保护、测量、计量等, 绕组数量需要根据不同用途和规范要求选择。

电压互感器的一次绕组通常并联于被测量的一次电路中, 二次绕组通过导线或电缆并接仪表及继电保护等二次设备。电压互感器二次电压在正常运行及规定的故障条件下, 应与一次电压成正比, 其比值和相位误差不应超过规定值。电压互感器的额定一次电压和额定二次电压作为电压互感器性能基准值。

1.2 原 理

电压互感器的一次绕组并联在高压系统中, 其作用是将一次电压变换成规定的二次电压 (有 100、100/3、100/√3V 三种)。按照变换原理可分为电磁式电压互感器 (IVT) 和电容式电压互感器 (CVT), 下面对其进行简单介绍。

电磁式电压互感器的电压转换通过电磁感应原理完成, 原理接线如图 1-1 所示。理想状态下若假定铁芯的 $B-H$ 曲线为线性, 且励磁电流很小可略去不计, 按每匝感应电动势相同原理, 则电压转换与匝数比有如下正比关系

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

式中 U_1 、 U_2 ——一、二次电压;

W_1 、 W_2 ——一、二次绕组匝数。

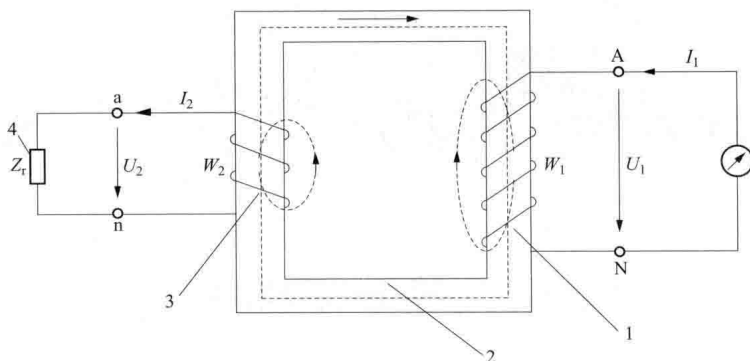


图 1-1 电磁式电压互感器原理接线示意图

1—一次绕组；2—铁芯；3—二次绕组；4—二次负载

实际工程应用中由于存在变比误差、相位差以及各种阻抗压降等因素，使得一、二次电压之比不等于一、二次绕组匝数比，其等效电路如图 1-2 所示。

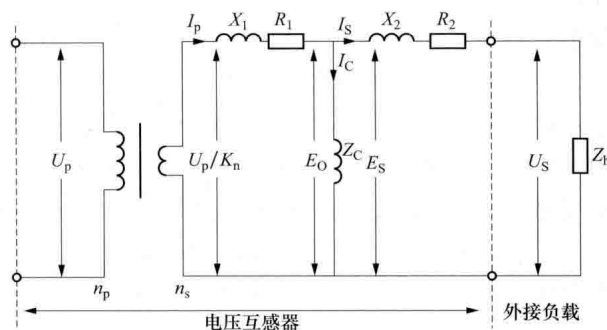


图 1-2 电磁式电压互感器等效电路图

因为电容式电压互感器造价低，变压效果又较好，目前在超高压线路上大都使用电容式电压互感器。

电容式电压互感器主要由电容分压器和电磁单元构成，其中电磁单元由补偿电抗器和中间变压器组成。中间变压器是一台一次电压为 U_C 的电磁式电压互感器，其输入为高压端和地端，输出为中压端和地端，如图 1-3 所示。当输入电压为 U_1 时，输出端开路电压为 U_C （中间电压）

$$U_C = \frac{U_1 C_1}{C_1 + C_2} = \frac{U_2}{K_C}$$

式中 K_C ——电容分压器的分压比。

将输入端短路，可得电容式电压互感器的内阻，即电容 C_1 和电容 C_2 的并联阻抗

为 $X_C = \frac{1}{\omega (C_1 + C_2)}$ ，由于 C_1 和 C_2 均是微法级的，因此并联阻抗数值很大，即内阻很大，这样当输出端负荷变化时，输出电压就不稳定，需要在输出电路串联电抗 X_L 补偿等效容抗 X_C ，使互感器内阻下降。在额定频率下，串联谐振是电容式电压互感器正常工作的基本条件。因此电压互感器误差特性受电网频率和环境变化的影响。

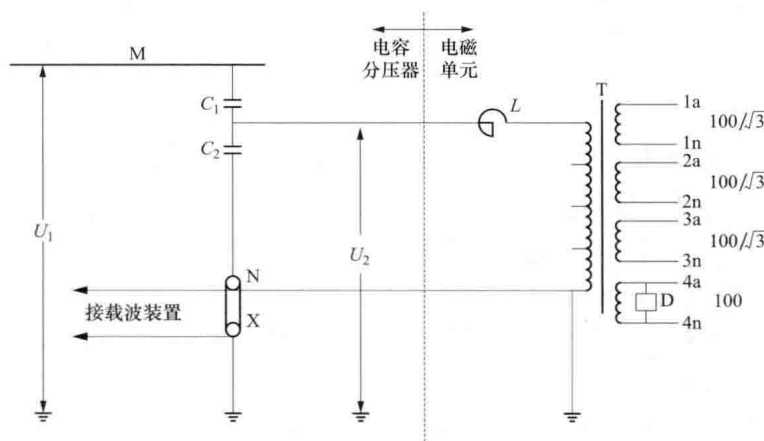


图 1-3 电容式电压互感器原理接线示意图

T—中间变压器； C_1 —高压电容器； C_2 —中压电容器； L —补偿电抗器；D—阻尼器；
M—高压母线（或线路）；N、X—连接片（不连接载波装置时连接片连上、连接载波装置时连接片断开）

电容式电压互感器等效电路如图 1-4 所示。

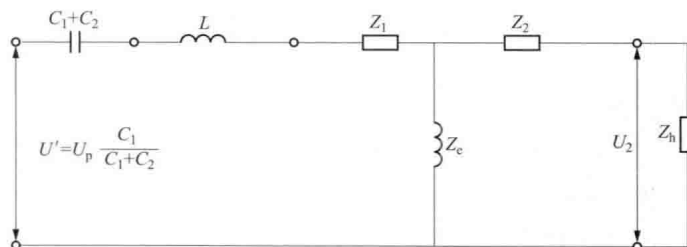


图 1-4 电容式电压互感器等效电路图

注：工频情况下， L 与 C ($=C_1 + C_2$) 谐振。

由于电容式电压互感器由非线性电感和电容器组成，因此其误差特性受电网频率和环境温度变化的影响较大，并易激发互感器内部铁磁谐振。产生铁磁谐振的原因是在中压变压器的二次（及三次）完全开路的情况下，在二次端子短路后又突然断路或二次（或三次）有直流激发能量时，中压变压器的一次侧将经历一

个暂态过程，使铁芯饱和的励磁阻抗通过 L 与并联的两部分分压电容产生分数倍或整数倍工频谐振，在中压变压器各侧端子上产生高电压，同时通过高压侧电源供给能量，能长时间地维持。这是一种不允许存在的现象，因此需要接入阻尼器和必要的过电压保护装置。阻尼装置由电阻和速饱和电抗器组成，正常情况下阻尼装置有很高的阻抗，当铁磁谐振引起过电压，在中压变压器受到影响前，电抗器已经饱和了，电阻负荷使振荡能量很快衰减。或按工频谐振条件选取 L 、 C 并联谐振再与 R 串联组成，跨接在二次绕组上，以消除长期出现铁磁谐振的可能。

1.3 用 途

电压互感器按其用途和性能特点可分为两大类：一类是测量用电压互感器，主要是在电力系统正常运行时，将相应电路的电压变换，并供给测量仪表、积分仪表和其他类似电器，用于运行状态监视、记录和电能计量等；另一类是保护用电压互感器，主要是在电力系统非正常运行和故障状态下，将相应电路的电压变换，并供给继电保护装置和其他类似电气设备，以便启动有关设备清除故障，也可进行故障监视和故障记录等。

测量用和保护用两类电压互感器的工作范围和性能不同，宜分别接入电压互感器不同的二次绕组。若测量和保护需共用电压互感器一个二次绕组时，该绕组应同时满足测量和保护的性能要求。

电压互感器的一次绕组直接并接于高电压回路，属于高压电器，其绝缘性能和结构是电压互感器设计和应用需要关注的重要问题。

1.4 分 类

1.4.1 按用途分类

按用途可分为测量用电压互感器和保护用电压互感器。

1.4.2 按电压等级分类

按电压等级，可分为对应于不同电网电压（0.38、0.6、1、3、6、10、20、35、66、110、220、330、500、750、1000kV）下使用的电压互感器。

1.4.3 按一次绕组对地状态分类

（1）接地电压互感器：在一次绕组的一端准备直接接地的单相电压互感器，或一次绕组的星形连接点——中性点准备直接接地的三相电压互感器。

（2）不接地电压互感器：一次绕组的各部分（包括接线端子）是按额定绝缘水平对地绝缘的电压互感器。

1.4.4 按二次绕组个数分类

- (1) 双绕组电压互感器：只有一个二次绕组的电压互感器。
- (2) 三绕组电压互感器：有两个分开的二次绕组电压互感器。
- (3) 四绕组电压互感器：有三个分开的二次绕组电压互感器。

1.4.5 按相数分类

- (1) 单相电压互感器。
- (2) 三相电压互感器。

1.4.6 按电压变换原理分类

- (1) 电磁式电压互感器。
- (2) 电容式电压互感器。

1.4.7 按主绝缘介质分类

- (1) 干式电压互感器：绝缘介质主要为纸、纤维编织材料或薄膜绕包，经浸漆而成。
- (2) 树脂浇铸式绝缘电压互感器：绝缘介质主要是户内或户外环氧树脂混合胶，经固化而成。
- (3) 油纸绝缘电压互感器：绝缘介质由纸、纸板等材料构成，浸在变压器油中。
- (4) 气体 (SF_6) 绝缘电压互感器：绝缘介质为具有一定压力的 SF_6 气体。

1.4.8 按使用条件分类

- (1) 户内式电压互感器。
- (2) 户外式电压互感器。

1.4.9 按结构型式分类

- (1) 单级式电压互感器：一次、二次绕组在同一铁芯柱上，绝缘不分级的电压互感器。
- (2) 串级电压互感器：一次绕组由几个匝数相等、几何尺寸相同的绕组串联而成，各级绕组对地绝缘是线路端到接地端逐级降低的电压互感器。此电压互感器中，二次绕组与一次绕组的接地端级（指最下级）在同一铁芯柱上。

任何互感器在满足互感器计量和保护的基本功能要求下，可能有多种产品型式（绝缘结构及安装方式）。因此，电压互感器的选型实质是确定其绝缘结构。

根据不同绝缘结构的设计原理，分析其绝缘性能在运行时的可靠性，以及批量生产对绝缘性能的影响程度，从而得到选型的依据。

1.5 极 性

在实际应用中，与电流互感器类似，电压互感器是按照减极性标注的。如在

图 1-1 中，从一、二次绕组的首端（或尾端）看，流过一、二次绕组的电流方向相反；在一次输入端，一次电流和一次电压同方向，与铁芯中产生的感应电动势方向相反；在二次输出端，二次电流和铁芯中产生的感应电动势同方向，与二次电压反方向。由此可知，一次电压与二次电压同相位，即电压互感器标有同一字母的大写和小写的端子在同一瞬间具有同一性，如图 1-5 中所示的 A-a、X-x 端子在同一瞬间具有同一性。

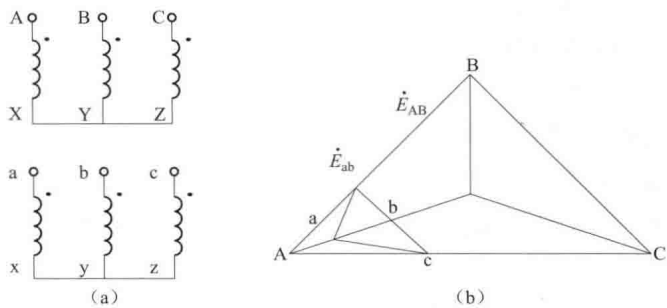


图 1-5 三相电压互感器减极性标注法相量图
(a) 接线图；(b) 相位图

1.6 变 比

当一次额定电压与二次额定电压确定后，其变比即确定。电压互感器的额定变比等于一次额定电压与二次额定电压之比，如图 1-6 所示为某 660kV 电压互感器铭牌，以准确级为 0.5 的二次绕组为例，其变比为 $K = (66000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3}) = 660$ 。在工程应用中值得注意的是由于电压互感器存在各种阻抗压降，使得一、二次电压之比不等于一、二次匝数比。



图 1-6 电压互感器铭牌

1.7 铭 牌

电压互感器的型号通常由 2~4 位字母及数字组成，它可以表示出电压互感器的相数、绝缘结构、使用场所等。例如图 1-6 所示 TYD 66/√3-0.02 HF 型电容式电压互感器，型号中的字母和数字所代表意义如下：

- (1) 第一个字母：T—装置。
- (2) 第二个字母：YD—电容式电压互感器。
- (3) 尾注字母：H—防污型；TH—湿热带型；G—高原型；F—中性点非有效接地系统用（无此字母为中性点有效接地系统用）。
- (4) 第一组数字：表示额定电压（kV）。
- (5) 第二组数字：表示额定电容（ μF ）。

1.8 基 本 术 语

在现场验收及维护工作中，需要注意电压互感器的有关参数，以满足测量仪表、保护等装置整定需要，因此对一些重要基本术语在现场验收及设备维护前要有所了解。

(1) 额定一次电压 (U_{pn})。电压互感器的额定一次电压应由所在系统的标称电压确定。

对于三相电压互感器和用于单相系统或三相系统相间的单相互感器，其额定一次电压应符合 GB/T 156—2007《额定电压》所规定的某一标准对称电压，即 6, 10, 15, 20, 35, 60, 110, 220, 330, 500kV。对于接在三相接地系统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 1/3。

(2) 额定电压因数 (K_u)。电压互感器的额定电压因数 K_u 应根据系统最高运行电压决定，而后者又与系统及电压互感器一次绕组的接地条件有关。如表 1-1 列出了与各种接地条件相对应的额定电压标准值及在最高运行电压下的允许持续时间（即额定时间）。

表 1-1 额定电压因数标准值及最高运行电压下的允许持续时间

额定电压因数	额定时间	一次绕组连接方式和系统接地方式
1.2	连续	任一电网的相间； 任一电网中的变压器中性点与地之间
1.2	连续	中性点有效接地系统中的相与地之间
1.5	30s	

续表

额定电压因数	额定时间	一次绕组连接方式和系统接地方式
1.2	连续	带有自动切除对地故障装置的中性点非有效接地系统中的相与地之间
1.9	30s	
1.2	连续	无自动切除对地故障装置的中性点绝缘系统或无自动切除时地故障装置的共振接地系统中的相与地之间
1.9	8h	

注 按制造厂与用户协议，表中所列的额定时间允许缩短。

(3) 额定二次电压 (U_{sn})。按互感器使用的实际情况来选择。接到单相系统或接到三相系统相间的单相电压互感器和三相电压互感器的标准值为 100V。

供三相接地系统中间的单相电压互感器，当其额定一次电压为某一数值除以 $\sqrt{3}$ 时，额定二次电压必须是 $100/\sqrt{3}\text{V}$ ，以保持额定电压比值不变。

接成开口三角的剩余电压为绕组额定电压，与系统中性点接地方式有关。中性点直接接地系统的接地电压互感器额定二次电压为 100V，中性点非有效接地系统的接地电压互感器额定二次电压为 $100/3\text{V}$ 。

(4) 额定输出标准值。功率因数为 0.8 (滞后)，额定输出标准值为 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100VA。大于 100VA 的额定输出值可由厂方与用户协定。对于三相电压互感器而言，其额定输出是指每相的额定输出。

(5) 额定电压因数标准值。额定电压因数是由最高运行电压决定的，而后者又与系统及电压互感器一次绕组的接地条件有关。

(6) 比误差。电压比误差等于实际二次电压乘以额定电压比后与一次电压的差值与一次电压之比的百分数。其计算公式为

$$\text{比误差} = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p} \times 100\%$$

式中 K_n ——额定电压比；

U_p ——实际一次电压，V；

U_s ——在测量条件下施加 U_p 时的实际二次电压，V。

(7) 相位差。互感器相位差是一次电压相量与二次电压相量的相位之差。相量方向是以理想电压互感器中相位差为零来决定的。

1.9 接线方式

电压互感器的接线及接地方式与电力系统的电压等级和接地方式有关，同时兼顾测量表计、继电器等负荷要求。

(1) 单相式电压互感器用于测量非有效接地的相间电压和有效接地系统的相

电压。35kV 及以上系统一般采用三个单相式电压互感器，如图 1-7 所示。

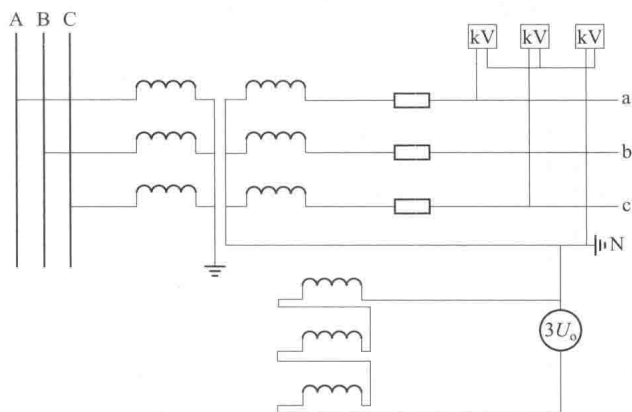


图 1-7 三个单相式电压互感器接线示意图

(2) 20kV 及以下系统一般采用单相式或三相式（三柱或五柱）电压互感器，如图 1-8、图 1-9 所示。

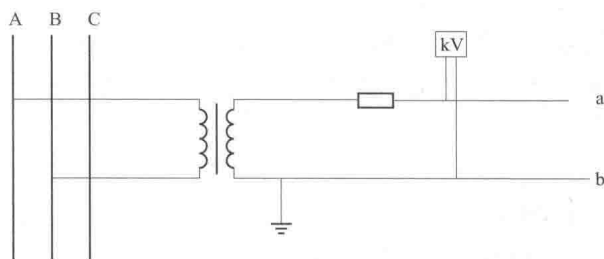


图 1-8 单相式电压互感器接线示意图

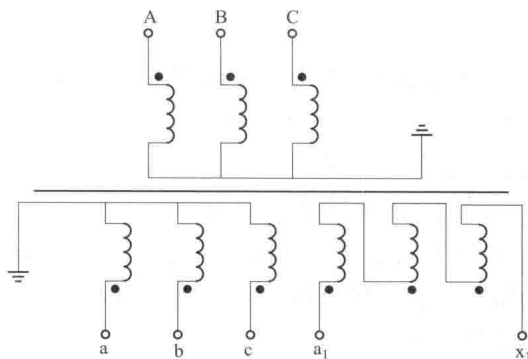


图 1-9 三柱或五柱式电压互感器的接线示意图（YNynd 接线）