



○ 凌子恕 主编

高压互感器技术手册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高压互感器 技术手册

○ 凌子恕 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

随着电力工业不断建设发展,电力系统输变电容量不断增大,电压等级逐步升高,高压互感器就越成为输变电电网中的重要电气设备。在发电厂和变电所中,高压互感器是接在母线上的电器,一旦发生事故和爆炸,必然危及周围设备与人身的安全,往往会造成大面积停电,甚至酿成系统事故。笔者根据现行高压互感器的国家标准、电力行业标准和制造标准等要求,从电力系统对高压互感器运行安全、可靠性的基本要求出发,认真总结 10~500kV 高压互感器的设计、选用、试验、运行维护、检修、故障处理和事故预防等实际经验,组织编写了《高压互感器技术手册》一书,全面反映当前国内外先进技术和运行管理水平。

本手册主要介绍高压互感器现状及发展,电磁式电压互感器、电容式电压互感器、电流互感器、光电式互感器等工作原理与技术,高压互感器的产品结构、设计计算以及型式试验、特殊试验、例行试验、现场交接试验、预防性试验等方法、项目和标准,高压互感器的运行技术,高压互感器的检修技术,高压互感器的异常和缺陷处理、事故预防,高压互感器新产品的选用要求和产品质量提高措施,互感器专业常用国家标准和行业标准,常用国内外高压互感器主要技术性能参数等内容。

本手册是发供电企业、电力设计单位、电力试验研究所、电力修造厂和互感器制造厂等专业技术人员、工人和管理干部的得力助手和不可缺少的工具书,也是其他相关专业人员和专业师生的良师益友。

图书在版编目(CIP)数据

高压互感器技术手册/凌子恕主编. —北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2508-7

I. 高… II. 凌… III. 高电压互感器-技术手册
IV. TM451-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 069717 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 1 月第一版 2005 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 27 印张 667 千字

印数 0001—3000 册 定价 50.00 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

1999 年应中国电力出版社约稿,以湖南省电机工程学会名义,在学会原秘书长熊昭序先生支持关心下,成立了由湖南省电力公司、湖南省电力试验研究所、湖南省超高压输变电公司、湖南省电力电瓷电器厂等单位专业技术人员组成的编写小组,完成编写了《高压互感器技术手册》一书。

本书主要介绍常用交流高压互感器的工作原理、产品结构、设计要点、试验标准、试验方法、运行维护、事故预防以及新产品选用等。编者以当前最新国家标准和行业标准为指导,力求与时俱进,向广大读者传播最新的又具有长期参考价值的专业信息。

本书编写的目的是以我国电力系统相关专业技术人员为主要服务对象,手册力求体现时效性、正确性、先进性、实用性和可操作性,全面反映当前国内外先进的制造技术和运行维护管理水平,达到对我国电力系统互感器专业人员有正确的指导作用,为提高互感器运行可靠性作出贡献。

本书编写分工如下:

编写顾问:熊昭序

主 编:凌子恕

编写分工:凌子恕编写第一、七章,黄放辉编写第二章,隆万军、彭跃辉、邹俊彦、吴铁汉编写第三、四章,汤美云编写第五章,王志胜编写第六章。

由于编者学识水平所限,错漏之处在所难免,敬请不吝赐教、批评指正,编者将不胜感激之至。

趁本书出版之际,谨向为本书提供过大力支持的湖南省电机工程学会、湖南省电力试验研究所、湖南省超高压输变电公司、湖南省电力电瓷电器厂等单位深表谢意。

编 者

2004 年 5 月

2004.5.16

目 录

前言

第一章 高压互感器现状及展望	1
第一节 我国高压互感器制造发展过程	1
第二节 电力系统对高压互感器要求	3
一、互感器绝缘安全可靠 (3) 二、密封切实可靠 (3) 三、温度设计可靠 (3) 四、热动稳定可靠 (3) 五、限制谐振过电压发生 (3)	
第三节 高压互感器发展动向	4
第二章 互感器技术	5
第一节 互感器作用与分类	5
一、互感器作用 (5) 二、电压互感器分类 (5) 三、电流互感器分类 (6)	
第二节 电磁式电压互感器原理与技术	7
一、基本电磁关系 (7) 二、相量图与等值电路 (10) 三、误差与补偿 (11) 四、准确级与容量 (13) 五、多绕组互感器 (15) 六、串级式互感器 (19) 七、内部过电压及其防护 (23) 八、大气过电压与冲击特性 (27) 九、互感器绝缘水平确定 (31) 十、运行接线 (35) 十一、安全要求 (38)	
第三节 电容式电压互感器原理与技术	38
一、基本工作原理 (38) 二、铁磁谐振与瞬变响应 (40) 三、误差与影响因素 (42) 四、准确级与输出容量 (45) 五、运行与安全要求 (45)	
第四节 电流互感器原理与技术	46
一、基本电磁关系 (46) 二、等值电路图与相量图 (48) 三、误差及其补偿 (49) 四、准确级与额定容量 (56) 五、限值系数与保安系数 (57) 六、动热稳定电流 (58) 七、暂态特性互感器 (62) 八、组合式互感器 (68) 九、运行接线 (68) 十、安全要求 (69)	
第五节 光电式互感器原理与技术	70
一、概述 (70) 二、光电式互感器基本原理 (71) 三、光电式互感器基本结构 (73) 四、国内外光电式互感器研制情况 (74) 五、需进一步解决问题 (75)	
第三章 互感器结构	77
第一节 电磁式电压互感器结构	77
一、概述 (77) 二、铁芯与绕组 (77) 三、干式及浇注式电压互感器 (80) 四、油浸式电压互感器 (82) 五、SF ₆ 气体绝缘电压互感器 (86) 六、电磁式电压互感器外部结构组件 (87) 七、型号、端子标志及铭牌参数 (87)	

第二节 电容式电压互感器结构	90
一、概述 (90) 二、电容分压器 (90) 三、电磁单元 (91) 四、型号、端子标志及铭牌参数 (92)	
第三节 电流互感器结构	94
一、概述 (94) 二、铁芯与绕组 (94) 三、干式、树脂浇注式电流互感器 (98) 四、油浸式电流互感器 (101) 五、SF ₆ 气体绝缘电流互感器 (108) 六、型号、标志及铭牌参数 (112)	
第四章 互感器设计	115
第一节 电磁式电压互感器设计	115
一、设计流程图 (115) 二、设计条件确定 (116) 三、匝电势与额定工作磁密确定 (116) 四、铁芯参数计算 (117) 五、绕组计算 (117) 六、空载计算 (119) 七、阻抗压降计算 (126) 八、误差计算 (134) 九、励磁特性数据计算 (138) 十、短路承受能力计算 (138) 十一、设计计算实例 (139)	
第二节 电容式电压互感器设计	149
一、设计流程图 (149) 二、设计条件 (149) 三、耦合电容器选择 (149) 四、中间变压器设计 (150) 五、补偿电抗器设计 (150) 六、阻尼器设计 (151) 七、误差计算 (153)	
第三节 电流互感器设计	154
一、设计流程图 (154) 二、设计条件 (155) 三、铁芯设计 (156) 四、绕组设计 (157) 五、外绝缘瓷套管设计 (158) 六、主绝缘设计 (160) 七、误差计算 (164) 八、准确限值系数及仪表保安系数计算 (166) 九、励磁性能计算 (167) 十、动热稳定计算 (169) 十一、膨胀器选择 (170) 十二、设计计算实例 (170)	
第五章 互感器试验	178
第一节 型式试验与特殊试验项目和标准	178
一、电磁式电压互感器 (178) 二、电容式电压互感器 (180) 三、电流互感器 (182)	
第二节 例行试验项目与标准	184
一、电磁式电压互感器 (184) 二、电容式电压互感器 (187) 三、电流互感器 (188)	
第三节 现场交接试验项目与标准	189
一、电磁式电压互感器 (189) 二、电容式电压互感器 (191) 三、电流互感器 (191)	
第四节 预防性试验项目与标准	192
一、电磁式电压互感器 (192) 二、电容式电压互感器 (194) 三、电流互感器 (194)	
第五节 互感器基本试验方法	196
一、电磁式电压互感器 (196) 二、电容式电压互感器 (199) 三、串级式电压互感器绝缘支架介损测量 (201) 四、互感器局部放电测量 (202)	
第六节 试验有效性评价	204
第六章 互感器运行与检修	208
第一节 互感器正常运行基本原则	208
一、运行使用基本要求 (208) 二、运行检查 (209) 三、技术监督 (211)	
第二节 互感器检修规定	211
一、检修分类 (211) 二、检修周期 (212) 三、检修项目 (212) 四、其他有关规定 (214)	

第三节 互感器典型检修方法	214
一、互感器渗漏油处理 (214) 二、绝缘油处理 (215) 三、真空注油 (216) 四、互感器换油 (218) 五、互感器绝缘油脱气处理 (218) 六、现场更换膨胀器密封改造 (219) 七、互感器器身干燥 (220) 八、互感器 SF ₆ 气体含水量超标处理 (223)	
第四节 互感器常见故障与处理	223
一、巡视检查异常处理 (224) 二、预防性试验缺陷处理 (225)	
第五节 10~500kV 互感器预防事故措施	226
一、技术管理 (226) 二、互感器选用 (226) 三、新产品和大修后产品投运 (227) 四、检修与改造质量 (227) 五、事故预防与缺陷处理 (228)	
第七章 互感器选用与技术参数	229
第一节 高压互感器选用	229
一、互感器应符合的标准 (229) 二、互感器使用条件 (229) 三、互感器类型选择 (230) 四、互感器主要技术性能参数确定 (231) 五、提高互感器质量措施 (234) 六、制造厂向用户提供技术文件与图表 (235) 七、技术协议 (236)	
第二节 互感器专业常用国家标准和行业标准	238
第三节 常用国内外互感器主要技术性能参数	241
一、10~20kV 电压互感器 (241) 二、35~66kV 电压互感器 (241) 三、110kV 电磁式电压互感器 (241) 四、220kV 电磁式电压互感器 (242) 五、220~500kV 电容式电压互感器 (242) 六、10~35kV 电流互感器 (242) 七、110~220kV 电流互感器 (242) 八、330~500kV 电流互感器 (242) 九、主要技术性能参数 (242)	
附录一 电压互感器 (GB/T 1207—1997) 摘要	255
附录二 电流互感器 (GB/T 1208—1997) 摘要	278
附录三 电容式电压互感器 (GB/T 4703—2001) 摘要	304
附录四 耦合电容器及电容分压器 (JB/T 8169—1999) 摘要	318
附录五 互感器用金属膨胀器 (JB/T 7068—2002) 摘要	331
附录六 互感器运行检修导则 (DL/T 727—2000) 摘要	336
附录七 电流互感器和电压互感器选择及计算导则 (DL/T 866—2004) 摘要	380

第一章

高压互感器现状及展望

第一节 我国高压互感器制造发展过程

随着社会主义经济建设的进展,我国电力工业建设得到迅速的发展,电力系统输电容量不断扩大,远距离输电迅速增加,电网电压等级逐步升高,为高压电器包括互感器制造业提供了广阔的市场,并推动我国高压互感器制造业向前飞跃发展。

我国高压互感器制造的发展,经历了从建国初期的仿制,20世纪60年代的改型,到此后自行设计、逐步完善、提高、引进、消化、研制、开发,以适应我国市场不断提高的、需要的发展过程。

20世纪50年代初期,我国只生产油浸式高压互感器,基本上是仿苏制造的。产品从外形、结构,甚至技术参数都完全一致。当时全国的互感器制造厂很少,大都依附于变压器厂和开关厂,生产的品种不多、规格不全,不能满足用户的需求。直到20世纪50年代后期,沈阳变压器厂于1956年和1958年先后试制仿苏型220kV电磁式电压互感器和220kV电流互感器成功问世,从而结束了我国不能自行制造超高压互感器的历史。

20世纪60年代初,我国互感器生产厂家逐渐增多,互感器行业开始走自行设计创业道路,为适应我国国情,促进技术进步,提高产品水平做了不少努力。如我国自行设计10kV环氧树脂浇注互感器,由沈阳变压器厂和上海华通开关厂试制成功,达到了外形尺寸小、质量轻的目的。对35~220kV油浸纸绝缘互感器产品进行改型,形成国产产品系列。20世纪70年代,通过研究开发,沈阳变压器厂又先后于1972年和1979年完成了我国重点工程需要的330kV和500kV型电流互感器的试制任务。

与此同时,我国电容式电压互感器的发展也很快,我国生产此类互感器最早在1963年,由西安电力电容器厂首先研制开发,开始是生产110~220kV电容式电压互感器,随后又分别于1970年和1980年完成330kV和500kV电容式电压互感器的试制工作。电容式电压互感器是目前国内输变电设备中几乎唯一无引进技术和无引进关键生产设备的产品。

20世纪80年代初,为提高产品的设计和制造技术水平,提高互感器运行可靠性,加快互感器的发展,我国互感器行业进行了产品质量整顿,对新产品开始了两部联合鉴定。同时引进发达国家的先进设计和制造技术,逐步与国际接轨。行业等效采用IEC标准,企业通过ISO 9000系列认证,产品提高了技术含量和技术制造水平,缩短了与发达国家先进水平的差距。从20世纪80年代到90年代我国互感器制造取得了长足的进步,主要有以下标志。

(1) 500kV及以下电压等级电压、电流互感器形成完整系列。

如形成固体、油浸、SF₆气体多种绝缘产品系列。高电压、大电流具有暂态性能的电流互感器系列。具有高动、热稳定的电流互感器系列。具有高精度的测量绕组和保护绕组分开的串级式电压互感器和单级式(油箱式)电压互感器系列。具有高精度、大容量的母线用电容式电压互感器系列等。

(2) 设备技术参数逐步发展提高。

如220~500kV电流互感器额定电流达3000~5000A,热稳定达50~63kA(3s),动稳定



达 125 ~ 160kA, 测量级精度达 0.2 和 0.2S 级。保护级达 5P 级或 TP 级。

220 ~ 500 kV 电容式电压互感器准确级达 0.2 级, 总输出容量 250 ~ 400VA, 瞬变响应二次剩余电压达 5% 以下。

(3) 向无油化、小型化、免维护方向发展。

近年来, 高压互感器加快了向 SF₆ 气体绝缘发展的步伐, 20 世纪 90 年代中期我国西安高压开关厂和上海互感器厂相继开发了独立式 SF₆ 电流互感器, 随后扩展到 500 kV 电压等级。根据形势发展, 目前有较多专业厂开始转向 SF₆ 产品的生产, 以适应城网供电系统的需求。

由于不可燃、机械强度好和免维护等优势, 树脂绝缘互感器早已占领我国 35 kV 及以下户内型互感器的市场。根据需要, 现已发展为全工况户内互感器系列, 并正在向户外型发展和向更高电压等级如 110 kV 及以上方向发展。

(4) 运行可靠性逐步提高。

20 世纪 90 年代以来, 由于我国互感器产品的不断完善, 互感器运行可靠性逐年提高。统计表明, 我国 110 kV 及以上互感器事故率呈稳中有降趋势。表 1-1 为 1990 ~ 1999 年全国 110 kV 及以上电压等级互感器的平均事故率 (%)。

表 1-1 1990 ~ 1999 年 110kV 及以上互感器平均事故率

年 份	电流互感器	电磁式电压互感器	电容式电压互感器	平均事故率
1990 ~ 1994 (%)	0.009	0.021	0.060	0.013
1995 ~ 1999 (%)	0.0063	0.0138	0.0539	0.0102

互感器运行可靠性的提高, 与近年来制造厂采用金属膨胀器密封、电力系统加强技术监督、对油中溶解气体检测和红外测温技术不断推广应用相关。

(5) 互感器行业已形成一支具有相当规模的制造力量。

首先有一批重点企业, 如沈阳变压器厂、保定变压器厂、上海互感器厂、西安高压开关厂、西安电力电容器厂、桂林电力电容器厂等形成的 220 ~ 500kV 级高压互感器制造企业群, 这些企业通过近 20 年的技术改造和技术进步或与国外知名企业合资, 装备了较先进的加工设备和检测手段, 具备了生产 500kV 及以下产品的能力和经验, 可不同程度地满足国内 220 ~ 500kV 输变电设备的需求。其次有一批数量可观的生产 110 ~ 220kV 级产品的中型制造企业, 这一类企业近年来数量扩大较快。此外, 还有一批数量更大的生产 10 ~ 35kV 级产品的制造企业群, 这一群中小型企业近 20 年中发展迅猛, 一方面是企业数量的增加, 另一方面是企业规模和企业素质的发展和提高。由于相互竞争和争相扩大规模, 目前这些企业的生产能力总和已远超过国内市场需求。

上述制造队伍经过近 10 多年的经营改组, 形成国有企业、中外合资企业、民营企业和乡镇企业等多元经济成分构成的互感器制造力量。

(6) 市场竞争推动互感器行业进步。

首先使企业进一步认识到提高产品质量的重要性, 不少企业争相通过 ISO 9000 系列的认证。此外, 企业进一步认识到发展新产品、应用新技术、新工艺、新材料的重要性, 不少企业特别是行业骨干重点企业和新兴的民营企业, 非常重视新技术和新产品的开发, 一些技术含量较高的新产品不时进入市场。

第二节 电力系统对高压互感器要求

高压互感器是电网中的重要电气设备,在发电厂和变电所中,互感器是接在母线上的电器,一旦发生事故,往往会造成大面积停电,甚至酿成系统事故;互感器爆炸,必然危及周围设备,也包括对人身安全的威胁,后果是非常严重的。因此,提高互感器运行可靠性,减少事故发生几率是非常必要的。

一、互感器绝缘安全可靠

高压互感器的绝缘,应保证在电网最高工作电压(即设备最高电压)下长期安全运行,并能承受各种过电压(如暂时过电压、操作过电压、雷电过电压等)的短时作用而无损伤。为满足上述要求,高压互感器的绝缘水平,设计应严格按照国家标准(或用户要求)进行,对互感器要严格控制局放水平和对外绝缘爬电距离,不论是户外或户内产品,均应符合环境污秽条件要求。

二、密封切实可靠

高压互感器密封不良,如发生漏油、漏气、进水受潮,均会引起互感器损坏甚至爆炸事故,在事故统计中所占比例很大,因此成为多年来运行部门关注的焦点。新产品由于采用了金属膨胀器密封,因而运行情况大有改善,但还存在一些薄弱环节,如一、二次端子渗漏油和膨胀器质量不良等。通过预防性试验发现有些互感器存在介损、含水量超标和绝缘电阻下降, SF₆ 互感器工艺不良、表面不洁、气体湿度增长较快等,如有疏忽极易酿成事故。对此,制造厂还需在密封设计、材料选型和制造工艺等方面进行进一步努力改进和切实予以解决。

三、温度设计可靠

电流互感器在通过最大工作电流(即额定连续热电流)时,互感器各部位的温度不应超过允许值,以保证安全运行。当前存在较突出问题是常见引线端子内外接头接触不良造成发热故障,轻则温度异常,造成色谱不良,重则接头烧毁,甚至造成整台互感器损坏。对电压互感器而言,则要求切实做到在系统发生接地故障时,在规定的过电压倍数(即额定电压因数)下和允许持续时间(即额定时间)内,各部位温度不应超过允许值,以确保设备安全。

四、热动稳定可靠

电流互感器的选型,应按一次母线短路时的短时热电流和动稳定电流选择。电流互感器通过电流时,其电动力与一次安匝数的平方成正比,对小电流变比互感器而言,根据设计需要,一次绕组往往匝数较多,受材料强度限制,对应较多匝数的互感器将出现较小的允许动稳定电流,因而难以满足电网日益增大的母线短路容量的要求,制造厂对此需设法研究解决。对电压互感器而言,则是确保在额定一次电压下,二次侧发生短路并历时 1s 时间内,互感器无热效应和机械性损伤。

五、限制谐振过电压发生

电压互感器因谐振过电压引起损坏事故,据历年统计其数量均较大。以往主要是发生在电磁式电压互感器上,原因是过去铁芯磁密选用过高和匝绝缘薄弱等所致,目前一方面制造厂改进设计并提高制造质量,而且运行单位在倒闸操作方式上也充分注意避开产生谐振的可能条件,因此此类故障已逐渐减少。值得注意的是近年来电力系统所采用的电容式电压互感



器，又出现自身谐振问题，造成了过电压损坏较多，给电力系统带来了新的灾难。

第三节 高压互感器发展动向

不可否认，目前我国高压互感器的制造质量和技术水平，还不能完全满足电力系统不断发展的需要，与国外发达国家产品相比，仍存在一定差距。为尽快满足用户需求，赶超世界先进水平，预期我国高压互感器近期的发展有以下几个方面。

(1) 向更高电压等级进军，我国近期将出现的输电电压为 765kV，因而高压互感器应顺理成章地扩展到新的高电压等级。

(2) 随着全国电力系统联网的进展，电网容量将越来越大，要求电流互感器向更高的参数方向发展，如 220 ~ 500kV 级产品额定电流将超过 5000A，热稳定电流将达到 63kA (3s) 以上，动稳定电流将达到 160kA 以上。

(3) SF₆ 互感器将获得更为广泛应用，我国城市电网设备的选择注重小型化、无油化、免维护或少维修，而 SF₆ 高压互感器具有防爆、阻燃、体积小、质量轻、制造简单、维护方便等特点，因此将有广阔市场。但产品质量需提高，才能适应用户需求。

(4) 树脂浇注式互感器，由于其优势，将不断向更高电压领域扩展，目前树脂浇注电容型支柱式电流互感器和套管式电流互感器最高电压等级已达到 110kV，估计不久将有更高电压等级的树脂浇注式互感器出现。而树脂浇注式互感器向户外型发展将受到用户普遍欢迎。

(5) 一种全新原理的互感器——光电式互感器将很快走出科研性领域。

第二章

互感器技术

第一节 互感器作用与分类

一、互感器作用

电力系统用互感器是将电网高电压、大电流的信息传递到低电压、小电流二次侧的计量、测量仪表及继电保护、自动装置的一种特殊变压器，是一次系统和二次系统的联络元件，其一次绕组接入电网，二次绕组分别与测量仪表、保护装置等互相连接。互感器与测量仪表和计量装置配合，可以测量一次系统的电压、电流和电能；与继电保护和自动装置配合，可以构成对电网各种故障的电气保护和自动控制。互感器性能的好坏，直接影响到电力系统测量、计量的准确性和继电保护装置动作的可靠性。

互感器分为电压互感器和电流互感器两大类，其主要作用有：

- (1) 将一次系统的电压、电流信息准确地传递到二次侧相关设备；
- (2) 将一次系统的高电压、大电流变换为二次侧的低电压（标准值 100V 、 $100/\sqrt{3}\text{V}$ ）、小电流（标准值 5A 、 1A ），使测量、计量仪表和继电器等装置标准化、小型化，并降低了对二次设备的绝缘要求；
- (3) 将二次侧设备以及二次系统与一次系统高压设备在电气方面很好地隔离，从而保证了二次设备和人身的安全。

二、电压互感器分类

1. 按用途分

- (1) 测量用电压互感器（或电压互感器的测量绕组）。在正常电压范围内，向测量、计量装置提供电网电压信息。
- (2) 保护用电压互感器（或电压互感器的保护绕组）。在电网故障状态下，向继电保护等装置提供电网故障电压信息。

2. 按绝缘介质分

- (1) 干式电压互感器。由普通绝缘材料浸渍绝缘漆作为绝缘，多用在 500V 及以下低电压等级。
- (2) 浇注绝缘电压互感器。由环氧树脂或其他树脂混合材料浇注成型，多用在 35kV 及以下电压等级。
- (3) 油浸式电压互感器。由绝缘纸和绝缘油作为绝缘，是我国最常见的结构型式，常用于 220kV 及以下电压等级。
- (4) 气体绝缘电压互感器。由 SF_6 气体作主绝缘，多用在较高电压等级。

3. 按相数分

- (1) 单相电压互感器。一般 35kV 及以上电压等级采用单相式。
- (2) 三相电压互感器。一般在 35kV 及以下电压等级采用。

4. 按电压变换原理分

- (1) 电磁式电压互感器。根据电磁感应原理变换电压，我国多在 220kV 及以下电压等级



采用。

(2) 电容式电压互感器。通过电容分压原理变换电压, 目前我国 110 ~ 500kV 电压等级均有采用, 330 ~ 500kV 电压等级只生产电容式电压互感器。

(3) 光电式电压互感器。通过光电变换原理以实现电压变换, 目前还在研制中。

5. 按使用条件分

(1) 户内型电压互感器。安装在室内配电装置中, 一般用在 35kV 及以下电压等级。

(2) 户外型电压互感器。安装在户外配电装置中, 多用在 35kV 及以上电压等级。

6. 按一次绕组对地运行状态分

(1) 一次绕组接地的电压互感器。单相电压互感器一次绕组的末端或三相电压互感器一次绕组的中性点直接接地。

(2) 一次绕组不接地的电压互感器。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的各部分, 包括接线端子对地都是绝缘的, 而且绝缘水平与额定绝缘水平一致。

7. 按磁路结构分

(1) 单级式电压互感器。一次绕组和二次绕组(根据需要可设多个二次绕组)同绕在一个铁芯上, 铁芯为地电位。我国在 35kV 及以下电压等级均用单级式。

(2) 串级式电压互感器。一次绕组分成几个匝数相同的单元串接在相与地之间, 每一单元有各自独立的铁芯, 具有多个铁芯, 且铁芯带有高电压, 二次绕组(根据需要可设多个二次绕组)处在最末一个与地连接的单元。我国目前在 66 ~ 220kV 电压等级常用此种结构型式。

8. 组合式互感器

由电压互感器和电流互感器组合并形成一体的互感器称为组合式互感器, 也有把与 GIS 组合电器配套生产的互感器称为组合式互感器。

三、电流互感器分类

1. 按用途分

(1) 测量用电流互感器(或电流互感器的测量绕组)。在正常工作电流范围内, 向测量、计量等装置提供电网的电流信息。

(2) 保护用电流互感器(或电流互感器的保护绕组)。在电网故障状态下, 向继电保护等装置提供电网故障电流信息。

2. 按绝缘介质分

(1) 干式电流互感器。由普通绝缘材料经浸漆处理作为绝缘。

(2) 浇注式电流互感器。用环氧树脂或其他树脂混合材料浇注成型的电流互感器。

(3) 油浸式电流互感器。由绝缘纸和绝缘油作为绝缘, 一般为户外型。目前我国在各种电压等级均为常用。

(4) 气体绝缘电流互感器。主绝缘由 SF_6 气体构成。

3. 按电流变换原理分

(1) 电磁式电流互感器。根据电磁感应原理实现电流变换的电流互感器。

(2) 光电式电流互感器。通过光电变换原理以实现电流变换的电流互感器, 目前还在研制中。



4. 按安装方式分

- (1) 贯穿式电流互感器。用来穿过屏板或墙壁的电流互感器。
- (2) 支柱式电流互感器。安装在平面或支柱上, 兼做一次电路导体支柱用的电流互感器。
- (3) 套管式电流互感器。没有一次导体和一次绝缘, 直接套装在绝缘的套管上的一种电流互感器。

(4) 母线式电流互感器。没有一次导体但有一次绝缘, 直接套装在母线上使用的一种电流互感器。

5. 按一次绕组匝数分

- (1) 单匝式电流互感器。大电流互感器常用单匝式。
- (2) 多匝式电流互感器。中、小电流互感器常用多匝式。

6. 按二次绕组所在位置分

- (1) 正立式。二次绕组在产品下部, 是国内常用结构型式。
- (2) 倒立式。二次绕组在产品头部, 是近年来比较新型的结构型式。

7. 按电流比变换分

(1) 单电流比电流互感器。即一、二次绕组匝数固定, 电流比不能改变, 只能实现一种电流比变换的互感器。

(2) 多电流比电流互感器。即一次绕组或二次绕组匝数可改变, 电流比可以改变, 可实现不同电流比变换。

(3) 多个铁芯电流互感器。这种互感器有多个各自具有铁芯的二次绕组, 以满足不同精度的测量和多种不同的继电保护装置的需要。为了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

- (1) 稳定特性型。保证电流在稳态时的误差, 如 P、PR、RX 级等。
- (2) 暂态特性型。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

- (1) 户内型电流互感器。一般用于 35kV 及以下电压等级;
- (2) 户外型电流互感器。一般用于 35kV 及以上电压等级。

第二节 电磁式电压互感器原理与技术

电磁式电压互感器是一种特殊变压器, 其工作原理和变压器相同, 电压互感器一次绕组并联在高电压电网上, 二次绕组外部并接测量仪表和继电保护装置等负荷, 仪表和继电器的阻抗很大, 二次负荷电流小, 且负荷一般都比较恒定。电压互感器的容量很小, 接近于变压器空载运行情况, 运行中电压互感器一次电压不受二次负荷的影响, 二次电压在正常使用条件下实质上与一次电压成正比。

一、基本电磁关系

图 2-1 为单相双绕组电压互感器原理图。为了便于分析, 图 2-1 中将一次绕组和二次绕组分别画在两侧铁芯上, 实际上所有的电压互感器都是将一、二次绕组放置在同一铁芯柱上的。

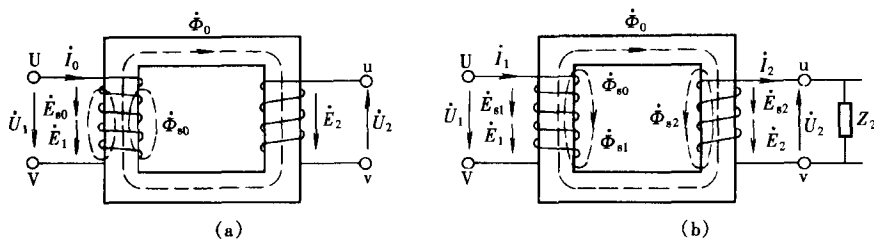


图 2-1 单相双绕组电压互感器原理图

(a) 空载运行；(b) 负荷运行

1. 空载运行

在互感器空载运行时，如图 2-1 (a) 所示它的一次绕组接在电压为 $\dot{U}_1$ 的电网，二次绕组处于开路状态。在电压 $\dot{U}_1$ 的作用下，一次绕组将流过励磁电流 $\dot{I}_0$ ，此电流通过一次绕组将产生磁势，其值为一次绕组的匝数 N_1 和 $\dot{I}_0$ 的乘积即励磁磁势 $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$ ，在 $\dot{F}_0$ 的作用下，铁芯中产生主磁通，主磁通幅值 $\dot{\Phi}_0$ 与磁路饱和情况有关。主磁通同时穿过一次绕组和二次绕组全部线匝，在一次绕组产生感应电势 $\dot{E}_1$ ，同时在二次绕组产生感应电势 $\dot{E}_2$ ，其值（有效值）分别为

$$\dot{E}_1 = 4.44 f N_1 \dot{\Phi}_0$$

$$\dot{E}_2 = 4.44 f N_2 \dot{\Phi}_0$$

将两式相除可得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (2-1)$$

式中 N_1 、 N_2 ——一次和二次绕组的匝数；

f ——电源频率，Hz；

$\dot{\Phi}_0$ ——主磁通幅值；

K ——电压互感器一次绕组对二次绕组的电压之比。

空载磁势还产生另一部分磁道 $\dot{\Phi}_{s0}$ ，主要沿非磁路闭合，与一次绕组交链，称为一次绕组的漏磁道，在一次绕组内感应电势 $\dot{E}_{s0}$ ，只起电压降作用，可用 $-j \dot{I}_0 X_{10}$ 来代替。因为漏磁通所经过的磁路大部分是在铁芯外的非磁性介质中，没有饱和现象，因此其磁路磁阻可以认为不变，其磁通大小可以认为与其产生的电流成正比，对应的漏磁电势 $\dot{E}_{s0}$ 也与电流成正比，其比值 $E_{s0}/I_0 = X_{10}$ 称为一次绕组空载漏电抗，是个常数，由此得空载时一次绕组电势平衡方程式如下

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -(\dot{E}_1 + \dot{E}_{s0}) + \dot{I}_0 R_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 R_1 + j \dot{I}_0 X_{10} \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \end{aligned} \quad (2-2)$$

式中 $Z_1 = R_1 + jX_{10}$ 为一次绕组漏阻抗，显然也是常数，由于 $I_0 Z_1$ 其值甚小， $U_1 \approx E_1$ ，而二次绕组空载时电压 $U_2 = E_2$ ，故可近似地用一、二次绕组电压之比作为互感器的变压比，

即

$$K = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (2-3)$$

如一次绕组的电压是电网的额定电压 U_{1n} ，二次绕组电压是规定标准值 U_{2n} ，则有额定电压比 K_n ，即

$$K_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad (2-4)$$

2. 负荷运行

当二次侧接入负荷 Z_2 时，如图 2-1 (b) 所示，二次绕组便有电流 $\dot{I}_2$ 流过，产生二次磁势 $\dot{F}_2 = \dot{I}_2 N_2$ ，该磁势力图使主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 去磁，根据楞次定律，一次绕组中将相应地产生一个补偿去磁作用的电流，即一次负荷电流 $\dot{I}_{1f}$ ，并建立一个与 $\dot{F}_2$ 方向相反，大小相等的补偿磁势 $\dot{I}_{1f} N_1 = -\dot{I}_2 N_2$ ，以维持铁芯中主磁道 $\dot{\Phi}_0$ 不变，这样与空载运行不同，此时一次磁势由两个分量构成，一个是产生主磁道 $\dot{\Phi}_0$ 的磁势 $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$ ，另一个是补偿二次去磁作用磁势的 $-\dot{F}_2 = -\dot{I}_2 N_2$ ，此时电压互感器磁势平衡方程式为

$$\begin{aligned} \dot{F}_1 &= \dot{F}_0 + (-\dot{F}_2) \\ \dot{I}_1 N_1 &= \dot{I}_0 N_1 + (-\dot{I}_2 N_2) \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} \right) \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 - \dot{I}_2' \end{aligned} \quad (2-6)$$

这里引入折算值概念，即在各物理量的符号上加上一个“'”来表示，一般讨论电压互感器画相量图和等值电路图时，均将二次侧参数折算到一次侧，以便于把一次和二次的物理量联系起来。

$$\text{折算到一次侧的二次电流为 } I_2' = I_2 \frac{N_2}{N_1} = I_2 / K$$

$$\text{折算到一次侧的二次电势为 } E_2' = E_2 \frac{N_2}{N_1} = K E_2$$

$$\text{折算到一次侧的二次电压为 } U_2' = U_2 \frac{N_1}{N_2} = K U_2$$

$$\text{折算到一次侧的二次阻抗为 } Z_2' = Z_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = K^2 Z_2$$

$$\text{折算到一次侧的二次电阻为 } R_2' = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = K^2 R_2$$

$$\text{折算到一次侧的二次电抗为 } X_2' = X_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = K^2 X_2$$

其余类推。

在带负荷运行时，除了空载过程分析的主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 与空载漏磁通 $\dot{\Phi}_{s0}$ 外，还存在由负荷电

流产生分别匝链一、二次绕组本身的漏磁通,前者称一次漏磁用 $\dot{\Phi}_{s1}$ 表示,后者称二次漏磁用 $\dot{\Phi}_{s2}$ 表示。与空载运行时相同,互感器在接入负荷状态下,主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 在一、二次绕组中分别产生感应电势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$,而一次绕组的漏磁通 $\dot{\Phi}_{s0}$ 加上 $\dot{\Phi}_{s1}$ 在一次绕组中产生感应电势 $\dot{E}_{s1}$,二次绕组的漏磁通 $\dot{\Phi}_{s2}$ 在二次绕组中产生感应电势 $\dot{E}_{s2}$,如上所述漏电势与电流成正比,可用漏电抗压降来代替,即 $\dot{E}_{s1} = -j\dot{I}X_1$, $\dot{E}_{s2} = -j\dot{I}X_2$ 。其中 X_1 是一次绕组的漏电抗, X_2 是二次绕组的漏电抗,都是常数。

故电压互感器在带负荷运行时,有电势平衡方程式如下

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 - \dot{E}_{s1} + \dot{I}_1 R_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 - \dot{I}'_2 Z_1\end{aligned}\quad (2-7)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{s2} - \dot{I}_2 R_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2(R_2 + jX_2) = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2\quad (2-8)$$

式中 $Z_1 = R_1 + jX_1$ 为一次绕组阻抗; $Z_2 = R_2 + jX_2$ 为二次绕组阻抗。

将二次侧各量均折算到一次侧,同时考虑到折算后 $\dot{E}_1 = \dot{E}'_2$,最后可得电压互感器在带负荷运行时电势平衡方程式为

$$\dot{U}_1 = -\dot{U}'_2 + \dot{I}_0 Z_1 - \dot{I}'_2(Z_1 + Z_2)\quad (2-9)$$

分析指出,实际上带负荷运行的电压互感器是空载与负荷两个过程的合并,二次绕组接入负荷后,空载过程依然存在,这是因为负荷电流在一、二次绕组中所造成的磁势平衡并不

影响空载过程。从理论上讲, X_{10} 要比 X_1 大得多,因在空载时 Φ_{s0} 的空间不受辐向漏磁边界的限制,而负荷时 Φ_{s1} 的空间却受到二次绕组 Φ_{s2} 的限制,但相对而言,不论是 X_{10} 或 X_1 都非常小,为了简化计算,一般都认为 $X_{10} = X_1$ 。

二、相量图与等值电路

(1) 单相双绕组电压互感器相量图如 2-2 图所示。

主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 在一、二次绕组中感应出电势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$;显然, $\dot{E}_1 = \dot{E}'_2$ 滞后于主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 一个 90° 角。

由于主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 穿过铁芯时,受磁滞和涡流损耗的影响,使得 $\dot{\Phi}_0$ 滞后于 $\dot{I}_0$ 一个铁损角 θ_0 ,又由于二次绕组阻抗压降 $\dot{I}'_2 Z'_2$ 的存在,所以二次电压 $\dot{U}'_2$ 滞后 $\dot{E}'_2$ 一个角度。

电压互感器二次负荷通常是呈感性的,图

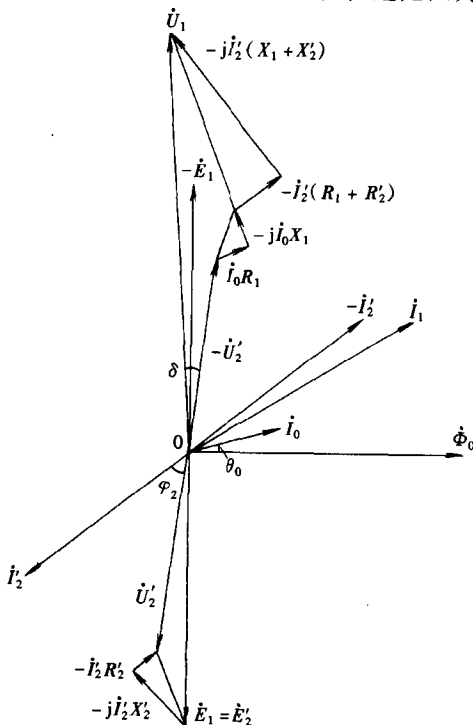


图 2-2 单相双绕组电压互感器相量图