

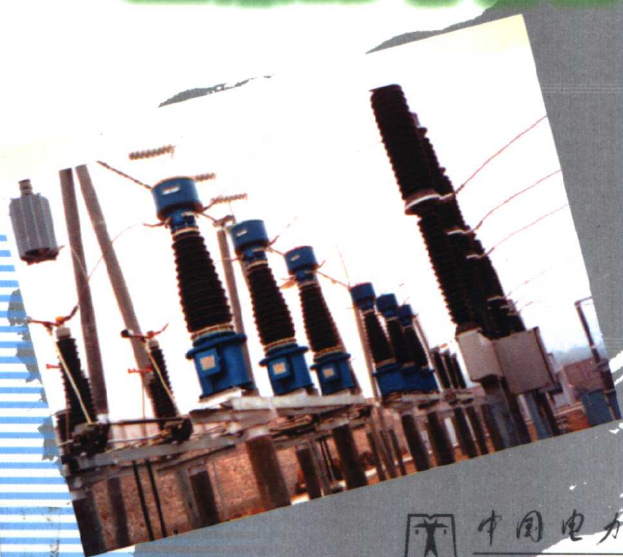
DIANLI SHEBEI
YUFANGXIN SHIYAN
JISHU
CONGSHU

电力设备预防性试验技术丛书

第三分册

何文林 编

互感器与电容器



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力设备预防性试验技术丛书

第三分册

互感器与电容器

何文林 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为进一步提高高压电气设备绝缘状况诊断的有效性和准确性,能反映每一设备的具体试验过程,结合工作实际经验和《电力设备预防性试验规程》的要求,特组织编写了这套《电力设备预防性试验技术丛书》,共8册。本套图书的特点是:①对每一设备的每一试验,均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍;②精简试验原理及有关结构的讲解,细化试验步骤;③给出一些具体的试验范例,方便读者参照进行试验;④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法;⑤附录中给出了规程中的相关条文,可便于查阅。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》的第三分册,共分4章,主要介绍互感器的绝缘电阻测量、介损测试、交流耐压及局部放电试验等,电力电容器的绝缘电阻、吸收比、电容等测量以及耐压试验。内容上注重从操作技能出发,据此能有效地指导试验。本书可供发、供电部门和电气设备制造单位从事高压设备试验技术、管理人员以及各电力试验研究院(所)技术人员使用;也可供高校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

互感器与电容器/何文林编. - 北京:中国电力出版社, 2003

(电力设备预防性试验技术丛书; 3)

ISBN 7-5083-1452-2

I. 互… II. 何… III. ①互感器 - 电工试验②电容器 - 电工试验 IV. ①TM450.6②TM530.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 019891 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003年6月第一版 2003年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 6.125印张 127千字

印数 0001—5000册 定价 13.00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)



《电力设备预防性试验技术丛书》

前 言

电力设备的绝缘预防性试验是保证设备安全运行的重要措施，是绝缘监督工作的基础。通过试验，可以掌握电力设备的绝缘状况，及时发现缺陷，进行相应的维护与检修，以免运行中的设备绝缘在工作电压或过电压作用下击穿，造成事故。为了进一步提高绝缘监督管理人员和高压试验人员技术业务素质，满足电力行业技术人员等级培训和岗位培训的需要，特组织编写了《电力设备预防性试验技术丛书》。

丛书的分册结构与《电力设备预防性试验规程》的章节对应，内容突出电力行业技术等级培训和岗位培训的特点，深入浅出，针对性、适应性较强，密切联系生产实际，反映现场新技术。本套图书的特点是：①对每一设备的每一试验，均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍；②精简试验原理及有关结构的讲解，细化试验步骤；③给出一些具体的试验范例，方便读者参照进行试验；④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法；⑤附录中给出了预规中的相关条文，可便于查阅。全书共分8册：第一分册为《旋转电机》；第二分册为《电力变压器与电抗器》；第三分册为《互感器与电容器》；第四分

册为《开关设备》；第五分册为《套管与绝缘子》；第六分册为《电线电缆》；第七分册为《避雷器与接地装置》；第八分册为《绝缘油》。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中的第三分册，由何文林编写。全书共分4章，主要介绍了互感器的绝缘电阻测量，介损测试，交流耐压及局部放电试验等电力电容器的绝缘电阻、吸收比、电容量等测量以及耐压试验。内容上注重从操作技能出发，据此能有效地指导试验。

本书由安徽省电力试验研究所郭守贤主审。在收资、编写和审查过程中，还得到华东六省一市电机工程（电力）学会联合编辑委员会陆桂婉及很多单位的领导、专家的大力支持与热心帮助，在此表示衷心感谢。

本书虽经数次审查修改，但由于编者经验所限，在编写中难免有疏漏之处，诚恳希望广大读者提出修改意见，并在教学、实践中进行调整和补充，使其更加完善。

编 者

2003年4月



目 录

前言

第一章	电流互感器	1
第一节	电流互感器的原理与结构	1
第二节	电流互感器的绝缘电阻测量	14
第三节	电流互感器的介损测试	19
第四节	交流耐压试验	42
第五节	局部放电试验	58
第六节	极性及变比检查	82
第七节	励磁特性测量	89
第二章	电磁式电压互感器	91
第一节	电压互感器的原理及结构	91
第二节	电压互感器的介损试验	99
第三节	电压互感器的局部放电试验 ..	117
第四节	电压互感器的交流耐压试验 ..	122
第三章	电容型电压互感器	129
第一节	电压互感器的结构	129
第二节	电压互感器的介损试验	132

第一节	电力电容器的原理	140
-----	----------------	-----

第二节	电力电容器绝缘电阻和 吸收比的测量	153
-----	----------------------------	-----

第三节	电力电容器的电容量测量	157
-----	-------------------	-----

第四节	电力电容器的耐压试验	161
-----	------------------	-----

第五节	起始游离电压的测量	165
-----	-----------------	-----

附录 A	DL/T 596—1996《电力设备预防性 试验规程》相关条文摘录	173
------	--	-----

参考文献	187
------------	-----



第一章

电 流 互 感 器

第一节 电流互感器的原理与结构

(一) 电流互感器的电气原理图

1. 原理图

单级电磁式电流互感器的电气原理和等效电路如图 1-1 所示。从图中可以看出，绕在同一个铁芯 3 上的一次绕组 1 和二次绕组 2 是电流互感器电流变换的基本部件。一次绕组串联地接在高压载流导线 4 上（在截断处），从而不断地通过电流 I_1 ；二次绕组接有电流表 PA 或继电器。当电流互感器工作时，二次绕组总是经负荷而闭合的。

一次绕组与高压回路一起称为一次回路。从电流互感器的二次绕组直到测量处的外部回路（即负载和连接导线）称为二次回路。由二次绕组和与其连接的二次回路所形成的回路，称为二次电流支路。

从图 1-1 可以看出，一次和二次绕组之间没有电气联系，它们彼此间按可能出现的各种过电压绝缘。这样就可

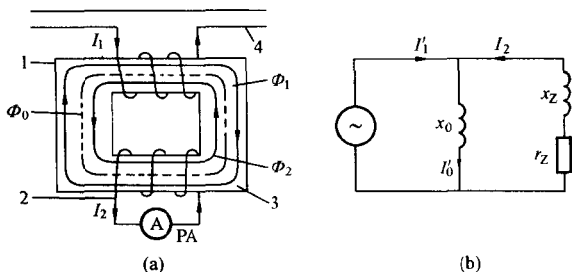


图 1-1 电流互感器的原理图

(a) 电气原理图；(b) 等效电路

1——一次绕组；2——二次绕组；3——铁芯；4——高压载流导线

以直接将测量仪表或继电器接到二次绕组上，同时使维护人员避免受到一次绕组上的高电压的作用。因为两个绕组都绕在一个铁芯上，所以它们之间有磁的联系。

图 1-1 只表示出那些参加电流变换的电流互感器的部件。当然，电流互感器还有许多其他部件，如保证绝缘水平的部件，防止大气作用的部件，安装部件和其他必要的部件等。但是，这些部件不参加电流变换，此处不再详述。

电流互感器的作用原理：流过电流互感器一次绕组的电流 I_1 ，称为一次电流。一次电流值只由一次回路的参数决定。因此在分析电流互感器的作用原理时，一次电流值可以认为是给定值。当一次绕组流过一次电流时，铁芯中产生和电流 I_1 同一频率变化的交变磁通 Φ_1 ，磁通 Φ_1 交链一次和二次绕组的线匝。当磁通 Φ_1 穿过二次绕组线匝时，由于磁通本身的作用产生感应电势。如果二次绕组经过某些负荷，即经过与其连接的二次回路闭合，那么在

“二次绕组对二次回路”这个支路里，在感应电势的作用下就有电流流过。根据楞次定律，流过二次绕组的电流 I_2 在铁芯中产生交变磁通 Φ_2 ，也与磁通 Φ_1 方向相反，因此铁芯中由一次电流产生的磁通将减少。

由于磁通 Φ_1 和 Φ_2 叠加的结果，铁芯中的合成磁通 $\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2$ ，为磁通 Φ_1 的百分之几。合成磁通 Φ_0 是在电流变换过程中从一次绕组向二次绕组传输电能的转换环节。

合成磁通 Φ_0 在穿过两个绕组线匝时，由于本身的变化，在一次绕组中感应出反电势 E_1 ，而在二次绕组中感应出电势 E_2 。因为一次和二次绕组线匝交链铁芯的磁通（如果忽略漏磁通）几乎相同，所以在两个绕组的每一线匝里就感应出同一电势。在电势 E_1 的作用下，流过二次绕组的电流 I_2 ，称为二次电流。

如果一次绕组的匝数用 W_1 表示，二次绕组的匝数用 W_2 表示，它们流过的电流分别为 I_1 和 I_2 ，则一次绕组中形成的磁势 $F_1 = I_1 W_1$ ，称为一次磁势，二次绕组中的磁势 $F_2 = I_2 W_2$ ，称为二次磁势。磁势的单位为安匝。

电流变换过程中没有能量消耗时，磁势 F_1 和 F_2 在数量上应相等，但方向相反。

电流变换过程中没有能量消耗的电流互感器，称为理想电流互感器，对于理想电流互感器，下面的相量等式成立

$$\dot{F}_1 = -\dot{F}_2 \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad \dot{I}_1 W_1 = \dot{I}_2 W_2 \quad (1-2)$$

从等式 (1-2) 得

$$W_2/W_1 = \eta \quad (1-3)$$

即理想电流互感器绕组中的电流与匝数成反比。

一次电流与二次电流比 (I_1/I_2) 或二次绕组匝数与一次绕组匝数比 (W_2/W_1), 称为理想电流互感器的电流比 η 。

等式 (1-3) 可写成

$$I_1 = I_2 \frac{W_2}{W_1} \quad (1-4)$$

即一次电流 I_1 等于二次电流 I_2 乘上电流互感器的电流比 η 。

在实际电流互感器中, 由于铁芯中产生磁通、铁芯的发热和交变励磁以及二次绕组和二次回路导线的发热, 电流变换将消耗能量。这些能量的消耗破坏了上面建立的磁势 F_1 和 F_2 绝对值的等式。在实际电流互感器中, 一次磁势应保证建立所必须的二次磁势, 以及一个同时发生并花费在铁芯励磁和补偿其他能量消耗上的附加磁势。这样, 实际电流互感器的方程式 (1-1) 具有以下形式

$$\dot{F}_1 = \dot{F}_2 + \dot{F}_0 \quad (1-5)$$

式中 F_0 ——消耗于产生铁芯磁通 Φ_0 、铁芯发热和交变励磁的全励磁磁势。

因此, 式 (1-2) 将为以下形式

$$\dot{I}_1 W_1 = \dot{I}_2 W_2 + \dot{I}_0 W_1 \quad (1-6)$$

式中 I_0 ——使铁芯中产生磁通 Φ_0 的励磁电流, 是一次电流 I_1 的一部分。

用 W_1 除式 (1-6) 的各项, 得

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \frac{W_2}{W_1} + \dot{I}_0 \quad (1-7)$$

当电流互感器的一次电流未超过额定电流时，励磁电流一般不大于一次的电流的1%~3%，因此励磁电流可忽略不计。此时，式(1-7)将与式(1-4)一样，即

$$I_1 = I_2 \eta$$

这样，电流互感器的一次电流与二次电流成正比。由式(1-4)和式(1-7)可知，要降低被测电流，必须使二次绕组的匝数大于一次绕组的匝数。

比较式(1-1)和式(1-5)可知，它们的区别在于有无 F_0 (或 I_0)，因此，实际电流互感器使测量结果稍稍失真，即具有误差。

有时要利用折算到一次绕组或二次绕组的电流。例如，如果用变流比去除一次电流，则得到折算到二次绕组的一次电流 $\dot{I}'_1 = \dot{I}_1 / \eta$ ，同理，折算的励磁电流 $\dot{I}'_0 = \dot{I}_0 / \eta$ ，则得

$$\dot{I}'_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}'_0 \quad (1-8)$$

利用这种折算方法，电流互感器可用变流比等于1的等效电流互感器代替。

由式(1-8)得出，折算的一次电流 $\dot{I}'_1$ 一部分用于铁芯励磁，其余部分变换到二次回路，就是说一次电流 $\dot{I}'_1$ 分至两个并联回路，即负荷回路和励磁回路。图1-1(b)所示的等值电路与等式(1-8)相符合，图中 $\dot{I}'_0$ 是从电流 $\dot{I}'_1$ 分到励磁支路 Z_0 里的电流。通过二次回路的电流 $\dot{I}'_1$ 的其余部分就是二次电流 $\dot{I}_2$ 。因电流互感器一次绕组的阻抗对互感器的工作没有影响，故在等值电路上没有画出。

2. 电流互感器的误差及准确度等级

所谓电流互感器的误差，是指一次电流的测量值（二

次电流乘以变流比，即 ηI_2) 与一次电流的实际值之差。电流互感器的一、二次电流之比，是在忽略了合成磁势的前提下才等于变比， ηI_2 只是近似等于 I_1 ，两者的大小存在误差。同时从相量图中可以看出，两者在相位上也存在误差。虽然这种差值并不很大，而且也不可能避免，但为了满足电气测量（尤其是电能计量准确度）的要求，对电流互感器的误差就需要有一定的限定范围和标准。电流互感器的误差分为电流误差和角误差两种，下面分别介绍。

(1) 电流误差（又称变比误差） ΔI 。电流误差是指测量值（二次电流乘以变流比，即 ηI_2 ）与一次电流的实际值 I_1 之差，并以一次实际电流值的百分数表示，即

$$\Delta I = \frac{\eta I_2 - I_1}{I_1} \times 100\% \quad (1-9)$$

将式 (1-3) 代入式 (1-9) 中得

$$\Delta I = \frac{I_2 W_2 - I_1 W_1}{I_1 W_1} \times 100\% = \frac{F_0}{F_1} \times 100\%$$

从图 1-2 相量图上 e 点向 Ob 线作垂线，则 $Ob \approx F_1$ ，可得出

$$F_2 - F_1 = -F_0 \sin(\varphi_2 + \alpha)$$

由于角 α 很小，简化 $\sin(\varphi_2 + \alpha) \approx \sin \varphi_2$ ，可以写成

$$\Delta I = -F_0 \sin(\varphi_2 + \alpha) / F_1 \times 100\% \quad (1-10)$$

(2) 角误差。角误差是一次电流相量 $\dot{I}_1$ 与转过 180° 的二次电流相量（即 $-\dot{I}_2$ ）之间的夹角 δ 。从相量图可求得

$$\lg \delta = F_0 \cos \varphi_2 / F_1$$

都与合成磁势 F_0 成正比，与一次磁势 F_1 成反比，即电流互感器的两种误差与一次电流的大小、铁芯质量、结构形式以及二次负载阻抗有关。这些影响电流互感器误差的因素，可以归结为制造因素和使用因素。

制造因素：包括铁芯质量、结构尺寸和制造工艺（磁路中的间隙）等，这些因素都影响磁路的磁阻。在其他条件不变的情况下，磁阻大的电流互感器，激磁磁势（即合成磁势 F_0 就必须大），误差将随之增大。

使用因素：包括一次电流率（实际一次电流与所选电流互感器额定电流之比）和二次负载阻抗（即负载容量）。当一次电流保持在电流互感器额定电流 I_{1n} 的 100% ~ 120% 的范围以内时，误差因 F_1 较大而减小，当一次电流远小于额定电流量，误差会因 F_1 较小而增大。但若一次电流过大，达数倍额定电流时，则由于铁芯饱和，将引起激磁磁势 F_0 的增大，因而使误差也增大。当一次电流不变，增大二次负载的阻抗 Z_2 ，会使二次端电压提高，二次感应电势、磁通也需相应提高，导致激磁磁势 F_0 增加，而使误差增大。

针对影响误差的因素，减少误差的方法为：

根据二次回路的需要选择电流互感器准确度等级；

适当选择电流互感器一次额定电流，使一次电流率经常保持较高的比率；

限定二次阻抗。

（二）电流互感器的结构

电流互感器的类型很多，按一次绕组的匝数分，有单匝（母线式、芯柱式、套管式）和多匝（线圈式、线环

式、串级式)；按一次电压分，有高压、低压两大类；按安装地点分，有户内式和户外式。

单匝的电流互感器比多匝的电流互感器结构简单，尺寸较小，短路时的稳定度较高。但在一次电流较小时，其准确度较低，只能用于一次电流较大（一般大于 400A）的电路中。

国产高压电流互感器多制成多个铁芯多个二次绕组的形式，分别用于测量仪表和继电保护，以满足测量仪表和继电保护的不同要求。电气测量对电流互感器的准确度要求较高，而且要求短路时对仪表的冲击小，因此，电流互感器供测量用的那个铁芯，在一次电路短路时，应该容易饱和，以限制二次电流增长的倍数。而用于继电保护的铁芯，一次短路时则不应饱和，以满足保护装置灵敏度的需要。

下面简要介绍一下几种常见的电流互感器的结构形式。

1. LDC-10 型电流互感器

LDC-10 型电流互感器为 10kV 户内瓷绝缘单匝穿墙式电流互感器，额定电压 10kV，其外形如图 1-3 所示。由实心圆柱导体作为一次绕组 1，借助瓷套管 2 与接地的法兰盘、铁芯和二次绕组绝缘，瓷套管固定在法兰盘 3 上。套管内壁和套有铁芯的外壁均涂有导电石墨层，内壁石墨与一次绕组连接，外壁石墨层接地，以免套管内、外壁空气间隙发生电离现象。具有两个环形铁芯，由硅钢片卷绕而成，套在瓷套管的中间部分，由薄钢板制成的外壳 4 封闭。两个二次绕组的两端分别接在端子 5 上。一次绕组通过螺母 6 与电路相连接。

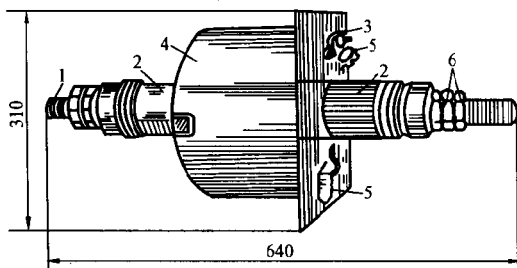


图 1-3 LDC-10 型电流互感器外形结构

1——次绕组；2—瓷套；3—法兰盘；4—外壳；
5—端子；6—螺母

2. LMC-10 型电流互感器

LMC-10 型电流互感器为母线穿墙瓷绝缘电流互感器，额定电压为 10kV，它的铁芯及二次绕组与 LDC 型电流互感器相同，并且也装在封闭外壳 5 内。它的主要特点是互感器本身不带一次载流导体，而在安装时，将母线穿入瓷套管 6 的内腔，其外形如图 1-4 所示。

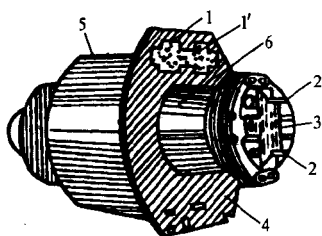


图 1-4 LMC-10 型电流
互感器外形

1—铭牌；2——次端子；3——次
导体；4—法兰；5—外壳

3. LQJ-10 型电流互感器

LQJ-10 型电流互感器为 10kV 多匝线圈式环氧树脂浇注绝缘电流互感器，一、二次绕组绝缘采用环氧树脂浇注绝缘代替老式瓷绝缘，具有体积小、质量轻、绝缘性能好、机械强度高、维护方便及防潮、