

互感器校验仪 的原理与整体检定

刘庆余 编著



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

互感器校验仪的原理与 整体检定

刘庆余 编著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

互感器校验仪的原理与整体检定/刘庆余编著. —北京: 中国计量出版社, 2003.10

ISBN 7-5026-1844-9

I. 互… II. 刘… III. 互感器—校验装置 IV. TM45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 072210 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了互感器校验仪的原理、应用及误差分析等, 并对互感器校验仪的整体检定概念、分类及溯源等问题进行了详细的介绍。对互感器校验仪检定规程的主要技术环节进行了深入的分析。最后讲述了互感器校验仪的常见故障及原因的分析与维修措施。

本书可供有关专业计量检定人员阅读, 也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

E-mail jilfab@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm × 1168 mm 32 开本 印张 12.5 字数 327 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 32.00 元

序 言

互感器校验仪是一种多功能与双参数的交流测量仪器，主要用来检定各种类型与各种级别的电力互感器或仪用互感器及其附属设备的基本误差，并可以对有关电气计量设备进行多功能的性能测试。故互感器校验仪是发展电力事业不可缺少的重要配套设备之一。

本书从电工基础理论出发，参照互感器校验仪检定规程 JJG 169—93，对互感器校验仪的分类、原理、组成、应用、检定方法与误差分析等问题作了较为系统的论述。第一章介绍了互感器校验仪在互感器校验装置中的作用及其与其他相关设备的关系。第二章对组成各种类型互感器校验仪的主要部件作了概括的介绍与分析。第三章对目前应用较为普遍的电工型互感器校验仪与数字型互感器校验仪进行了较深入的理论分析，并对各种应用原理与方法作了具体说明。第四章论述了互感器校验仪整体检定的概念及实际意义，分析了三种类型整体检定方法与两种半整体检定方法，进一步探讨了整体检定装置的量值溯源问题，分析了标准比例装置溯源的两套方案，并对各级整体检定装置的不确定度进行了具体评估。第五章结合互感器校验仪国家计量检定规程，逐条进行了具体阐述与分析。第六章对两类互感器校验仪的常见故障现象、故障原因的分析与诊断及维修措施提供了参考经验与方法。

本书既可作为从事互感器与互感器校验仪计量检定工作的技术人员的技术指导，又可作为有关电气设备或产品的生产调试与使用维护工作人员的参考资料，也可以供大专院校电测与仪器仪

表专业的师生作教学参考书使用。

由于本人的理论水平与经验所限，在文中难免有谬误与不妥之处，热忱希望得到读者的批评指正。

作 者
2003.8

目 录

第 1 章 互感器校验装置	(1)
§ 1.1 概述	(1)
1.1.1 电压互感器校验装置	(1)
1.1.2 电流互感器校验装置	(3)
§ 1.2 电压比例标准器	(4)
1.2.1 精密电压互感器	(4)
1.2.2 自耦式电压互感器	(9)
1.2.3 双级电压互感器	(10)
1.2.4 感应分压器	(11)
1.2.5 电子补偿式电压互感器	(13)
§ 1.3 电流比例标准器	(15)
1.3.1 精密电流互感器	(15)
1.3.2 双级电流互感器	(19)
1.3.3 电流比较仪	(20)
1.3.4 零磁通电流互感器	(24)
1.3.5 电子补偿式电流互感器	(25)
§ 1.4 互感器负载箱	(27)
1.4.1 电压负载箱	(28)
1.4.2 电流负载箱	(32)
§ 1.5 工频调试电源	(35)
1.5.1 简单的调试电源	(35)
1.5.2 双调式调试电源	(36)
1.5.3 双电刷式调试电源 [JY。]	(37)
1.5.4 电子交流稳压器	(37)
1.5.5 低失真的工频调试电源	(38)
1.5.6 二次稳压的调试电源	(39)

§ 1.6	交流指零仪	(41)
1.6.1	磁电式谐振检流计	(41)
1.6.2	电子式工频指零仪	(42)
1.6.3	示波管式工频指零仪	(43)
第 2 章	互感器校验仪的主要部件	(45)
§ 2.1	交流电阻器	(45)
§ 2.2	电感线圈	(47)
§ 2.3	电容器	(48)
§ 2.4	阻抗与导纳	(51)
§ 2.5	互感线圈	(52)
§ 2.6	同相电压变换器	(54)
2.6.1	电阻分压器	(54)
2.6.2	感应电压变换器	(54)
2.6.3	有源电压变换器	(55)
§ 2.7	同相电压/电流变换器	(56)
2.7.1	串联电阻型	(56)
2.7.2	恒流源型	(56)
§ 2.8	同相电流/电压变换器	(57)
2.8.1	电阻取样型	(57)
2.8.2	有源型 I/V 变换器	(58)
§ 2.9	正交变换器	(58)
2.9.1	阻容分压器	(58)
2.9.2	微分型正交变换器	(60)
2.9.3	积分型正交变换器	(61)
2.9.4	积分型移相滤波器	(61)
2.9.5	微分型移相滤波器	(62)
2.9.6	组合互感变换器	(63)
2.9.7	正交驱动器	(64)
§ 2.10	同步滤波器	(65)

第3章 互感器校验仪	(67)
§ 3.1 概 述	(67)
§ 3.2 电位比较型互感器校验仪	(69)
3.2.1 检定电流互感器的原理	(70)
3.2.2 检定电压互感器的原理	(71)
3.2.3 测量阻抗的原理	(73)
3.2.4 测量导纳的原理	(74)
3.2.5 电位比较型互感器校验仪典型产品	(75)
§ 3.3 电流比较型互感器校验仪	(81)
3.3.1 检定电流互感器的原理	(82)
3.3.2 检定电压互感器的原理	(83)
3.3.3 测量阻抗的原理	(84)
3.3.4 测量导纳的原理	(85)
3.3.5 电流比较型互感器校验仪典型产品	(87)
§ 3.4 磁势比较型互感器校验仪	(94)
3.4.1 检定电流互感器的工作原理	(94)
3.4.2 采用双级互感器的工作原理	(97)
3.4.3 检定电压互感器的工作原理	(98)
3.4.4 测量阻抗的工作原理	(100)
3.4.5 测量导纳的工作原理	(101)
§ 3.5 电桥比较型互感器校验仪	(102)
3.5.1 2711 型与 2722 型的组合	(103)
3.5.2 2711 型与 2723 型的组合	(105)
§ 3.6 数字式互感器校验仪	(107)
3.6.1 正交过零采样的电路	(107)
3.6.2 基准正交分离电路	(115)
3.6.3 自动平衡互感器校验仪	(128)
3.6.4 智能型电流比较式互感器校验仪	(132)
3.6.5 2761 型与 2765 型	(136)

3.6.6	微型电流互感器校验仪	(140)
3.6.7	数字移相型互感器校验仪	(144)
3.6.8	改善频率误差的电子移相器	(150)
§ 3.7	互感器校验仪的应用	(153)
3.7.1	测量向量电压	(154)
3.7.2	测量向量电流	(157)
3.7.3	测量交流相位	(158)
3.7.4	测量电感与电容	(160)
3.7.5	测试铁芯的磁性参数	(161)
3.7.6	互感器的自校方法	(163)
3.7.7	电量变换器的检定	(165)
3.7.8	双级电流互感器的应用	(167)
3.7.9	双级电压互感器的应用	(168)
3.7.10	电流比较仪在检定中的应用	(169)
3.7.11	零磁通电流互感器的应用	(170)
3.7.12	非标准化额定值互感器的检定	(171)
3.7.13	级联电路的应用	(174)
3.7.14	互感器校验仪的正确接线	(179)
第 4 章	整体检定	(182)
§ 4.1	概 述	(182)
§ 4.2	整体检定方法	(186)
4.2.1	标准比例源法	(188)
4.2.2	标准比较法	(217)
4.2.3	标准量具法	(255)
4.2.4	半整体检定方法	(263)
§ 4.3	检定装置的溯源	(277)
4.3.1	检定装置的级别与技术要求	(277)
4.3.2	标准比例装置	(279)
4.3.3	标准比例装置的溯源 (一)	(289)

4.3.4 标准比例装置的溯源 (二)	(314)
4.3.5 其他主要指标的测试	(326)
§ 4.4 整体检定装置的不确定度	(333)
4.4.1 整体检定装置的误差分析	(333)
4.4.2 整体检定装置的不确定度	(336)
第 5 章 互感器校验仪的检定规程诠释	(340)
§ 5.1 前 言	(340)
§ 5.2 技术要求	(341)
5.2.1 技术要求	(341)
5.2.2 检定条件	(346)
5.2.3 检定项目	(349)
5.2.4 检定方法	(350)
5.2.5 检定结果的处理和检定周期	(375)
第 6 章 互感器校验仪的常见故障	(378)
§ 6.1 概 述	(378)
§ 6.2 电工型互感器校验仪	(378)
§ 6.3 数字型互感器校验仪	(382)
参考文献	(389)

第 1 章

互感器校验装置

§ 1.1 概 述

互感器校验仪的主要用途，是对现场应用的或者在实验室应用的电压互感器和电流互感器进行技术性能的检定。为了实现这一目的，互感器校验仪必须与相关设备构成一套完整的互感器校验装置。由于互感器校验仪的性能指标与相关设备之间存在着密切的技术关联，因此要想正确地研究与理解互感器校验仪的整体概念，必须对互感器校验装置作一基本的了解。

1.1.1 电压互感器校验装置

电压互感器校验装置的原理框图如图 1.1 所示。图中，前四个部分是为了给检定工作提供规定的工作电压而设置的，它们应该具备的功能基本如下：

①提供按国家标准或检定规程^[1]规定的工作电压，且应保证足够的容量；

②输出电压的波形失真不大于 5%；

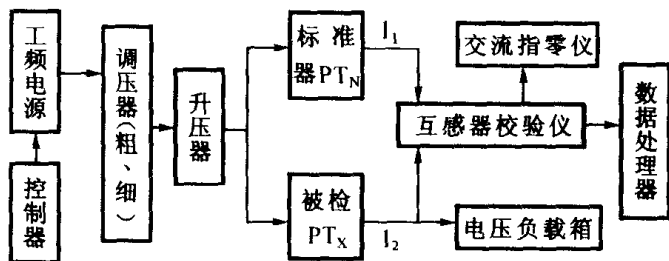


图 1.1

③输出电压的频率应该在 (50 ± 0.5) Hz 或 (60 ± 0.6) Hz 范围以内；

④输出电压的调节应该具有足够的调节细度，一般应不大于被检电压互感器 PT_X 误差限值的 $1/10$ ；

⑤它们的泄漏电磁场对互感器校验仪测量结果所引起的附加误差，应不大于被检电压互感器 PT_X 误差限值的 $1/10$ ；

⑥应该具有必要的过载保护与安全防护的控制功能。

标准器可以是标准电压互感器 PT_N ，也可以是其他类型的电压比例标准器，它与被检电压互感器 PT_X 对互感器校验仪的负载要求，应该符合检定规程的有关规定。

电压负载箱是给被检 PT_X 提供的规定负载。 I_1 与 I_2 分别为连接标准器或被检 PT_X 与互感器校验仪的专用导线，它们的导纳值大小都有具体规定，否则，将引起不应有的附加测量误差。

交流指零仪对于传统电工型的互感器校验仪是必不可少的组成部分，但对于数字型互感器校验仪来说，已经失去意义了。交流指零仪的指示灵敏度与选频性能应该满足互感器校验仪的技术要求。

数据处理器对于一般互感器校验仪来说，不是非常必要的。但对于智能型互感器校验仪而言，则是十分重要的，用它可以将测量结果即时打印出来，或者将其送入微机存储系统，并进行进一步的处理。

1.1.2 电流互感器校验装置

电流互感器校验装置的原理框图如图 1.2 所示。图中，前四个部分是为了给检定工作提供规定的工作电流而设置的，其工作要求基本如下：

①提供按国家标准或检定规程^[2]规定的工作电流，且应保证足够的容量；

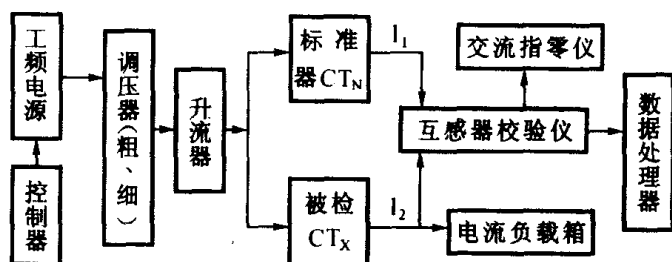


图 1.2

②输出电流的波形失真不应该大于 5%；

③输出电流的频率应该在 (50 ± 0.5) Hz 或 (60 ± 0.6) Hz 的范围以内；

④输出电流的调节细度，应不大于被检电流互感器 CT_X 误差限值的 1/10；

⑤它们的泄漏电磁场，对互感器校验仪测量结果所产生的附加误差，应不大于被检电流互感器 CT_X 误差限值的 1/10；

⑥应具有过流保护与安全防护的控制功能。

标准器可以是标准电流互感器 CT_N ，也可以是其他类型的电流比例标准器，互感器校验仪给 CT_N 与 CT_X 所构成的负载效应，应该符合检定规程的技术要求。

电流负载箱是给被检电流互感器 CT_X 提供的专用负载；

I_1 与 I_2 分别是连接互感器校验仪与 CT_N 或 CT_X 的专用导线，

其阻抗值的大小都有严格的规定，否则将给测量结果带来严重的附加误差；

交流指零仪在传统型互感器校验仪中是不可缺少的组成部分，它的指示灵敏度与选频性能均有一定的技术要求；

数据处理器只在智能型互感器校验仪中才有设置的必要，它可以将测量结果即时打印，或者将测得的数据信息传送到微机存储系统，并进一步予以处理。

§ 1.2 电压比例标准器

电压比例标准器也可称之为电压比例标准计量器具，在实际应用领域中主要有精密电压互感器、自耦式电压互感器、双级电压互感器、感应分压器、标准电容分压器、电子分压器与电子补偿式电压互感器等类型。由于它们的特点不同，其应用场合与方式也各不相同。下面仅就其常用的典型电路加以介绍。

1.2.1 精密电压互感器

所谓精密电压互感器是个相对的概念，指的是比被检电压互感器高两个级别的电压互感器，便可以作为这一级别的标准器使用。其电路结构与普通电压互感器类似，如图 1.3 所示。图中，C 为铁芯； w_1 为初级绕组，其匝数为 N_1 ； w_2 为次级绕组，其匝数为 N_2 ；Y 为次级回路的负载。

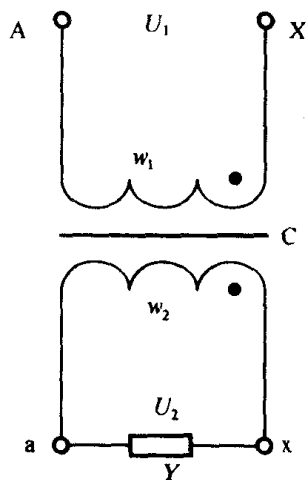


图 1.3

在电压互感器没有误差的条件下,其电压变比等于两绕组的匝数之比,可称为额定变比,即

$$K_{Un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.1)$$

但在实际情况下,由于 w_1 与 w_2 绕组中都有漏阻抗存在,而其中又流有一定的电流,这些电流在相应漏阻抗上产生的电压降,就构成了电压互感器的误差。

电压互感器既有幅值误差,也有相位误差,即具有复数误差。其定义为:当将反转 180° 的次级电压向量按额定变比折算至初级回路之后,它与实际初级电压向量之差,对实际初级电压标量的比值,该比值用百分数表示。即

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon} &= f + j\delta \\ &= \frac{-K_{Un}\dot{U}_2 - \dot{U}_1}{U_1} \times 100\% \\ &= -\frac{\Delta\dot{U}}{U_1} \times 100\% \end{aligned} \quad (1.2)$$

式中 f 为电压互感器复数误差的同相分量,称之为比值差,也可简称为比差;

δ 为电压互感器复数误差的正交分量,称之为相位差,也可简称为角差。

根据式 (1.2), 比值差可以表示为

$$f = \frac{K_{Un}U_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (1.3)$$

相位差又可以作如下的规定:将次级电压向量反向 180° 以后,与初级电压向量的相位差,以分为单位表示。当反向后的次级电压向量超前于初级电压向量时,角差值为正值;反之,若滞后于初级电压向量时,角差值为负值。

根据国家计量检定规程 JJG 314—94《测量用电压互感器》的规定,测量用电压互感器的准确度级别为:0.001, 0.002,

0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 和 1 级。在额定频率、额定功率因数及次级负载为额定值的 25% ~ 100% 之间的任一数值时, 其各级电压互感器的误差限值规定如表 1.1 所示。

表 1.1

准确 度级 别	比 值 差						相 位 差					
	倍率 因数	额定电压百分值					倍率 因数	额定电压百分值				
		20	50	80	100	120		20	50	80	100	120
1	$\pm \%$	-	-	1.0	1.0	1.0	$\pm'$	-	-	40	40	40
0.5	$\pm \%$	-	-	0.5	0.5	0.5	$\pm'$	-	-	20	20	20
0.2	$\pm \%$	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	$\pm'$	20	15	10	10	10
0.1	$\pm \%$	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	$\pm'$	10.0	7.5	5.0	5.0	5.0
0.05	$\pm \%$	0.100	0.075	0.050	0.050	0.050	$\pm'$	4	3	2	2	2
0.02	$\pm \%$	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	$\pm'$	1.2	0.9	0.6	0.6	0.6
0.01	$\pm \%$	0.020	0.015	0.010	0.010	0.010	$\pm'$	0.60	0.45	0.30	0.30	0.30
0.005	$\pm 10^{-6}$	100	75	50	50	50	$\pm 10^{-6}$ (rad)	100	75	50	50	50
0.002	$\pm 10^{-6}$	40	30	20	20	20	$\pm 10^{-6}$ (rad)	40	30	20	20	20
0.001	$\pm 10^{-6}$	20	15	10	10	10	$\pm 10^{-6}$ (rad)	20	15	10	10	10

注: 电压互感器的实际误差曲线, 不应超过表 1.1 所列误差限值连线所形成的折线范围。

根据 JJG 314—94《测量用电压互感器》的规定, 只要电压互感器的准确度级别比被检定电压互感器 PT_x 高两个级别, 且其实际误差又不大于后者误差限值的 $1/5$, 就可以作为标准电压互感器 CT_N 使用。故所谓精密电压互感器的含义乃是个相对的概念。

电压互感器的等值电路如图 1.4 所示。图中， $\dot{E}_2'$ 、 $\dot{U}_2'$ 、 $\dot{I}_2'$ 、 Z_2' 与 Y' 为折算至初级后的次级电动势、端电压、负载电流、绕组漏阻抗与负载导纳。 $\dot{E}_1$ 为初级回路的感应电动势， $\dot{I}_0$ 为激磁电流， Z_1 为初级绕组的漏阻抗， $\dot{U}_1$ 为初级绕组的端电压， $\dot{I}_1$ 为初级绕组的电流。

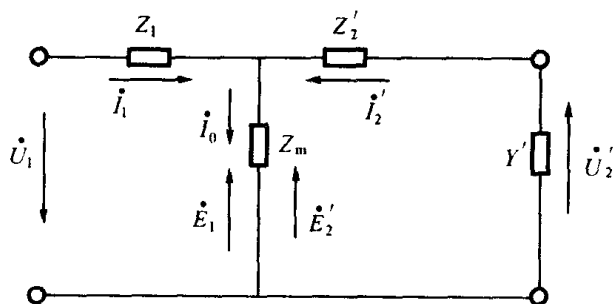


图 1.4

根据等值电路可以画出电压互感器的向量图如图 1.5 所示。图中， ψ 为铁芯的损耗角， ϕ 为次级负载的功率因数角， ϕ_1 为初级漏阻抗的阻抗角， ϕ_2 为初、次级漏阻抗的阻抗角， ϕ 为铁芯中的主磁通。

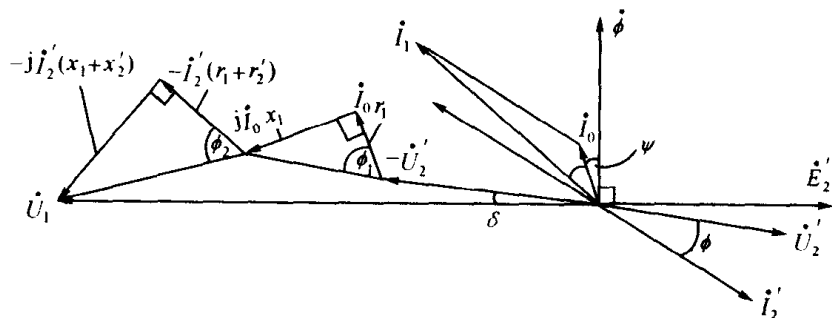


图 1.5

根据电压互感器的误差定义，由等值电路可以得到其复数误