



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 1189.4—2022

## 测量用互感器 第4部分：电力电压互感器

Instrument Transformers—Part 4: Voltage Transformers in Power System

2022-12-07 发布

2023-06-07 实施

国家市场监督管理总局 发布

测量用互感器  
第4部分：电力电压互感器  
检定规程

Verification Regulation of Instrument  
Transformers Part 4: Voltage  
Transformers in Power System

JJG 1189.4—2022  
代替 JJG 1021—2007  
电力电压互感器部分

归口单位：全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会

主要起草单位：国家高电压计量站

国网浙江省电力有限公司营销服务中心

参加起草单位：国网河北省电力有限公司电力科学研究院

国网湖北省电力有限公司计量中心

苏州华电电气股份有限公司

本规程委托全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会负责解释

**本规程主要起草人：**

周 峰（国家高电压计量站）

岳长喜（国家高电压计量站）

许灵洁（国网浙江省电力有限公司营销服务中心）

**参加起草人：**

史 轮（国网河北省电力有限公司电力科学研究院）

李 俊（国网湖北省电力有限公司计量中心）

汪 建（苏州华电电气股份有限公司）



## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 2 )
5 计量性能要求 .....	( 2 )
5.1 准确度等级 .....	( 2 )
5.2 基本误差 .....	( 2 )
5.3 周期稳定性 .....	( 3 )
6 通用技术要求 .....	( 3 )
6.1 外观及标志 .....	( 3 )
6.2 绕组极性 .....	( 3 )
6.3 绝缘电阻 .....	( 3 )
7 计量器具控制 .....	( 4 )
7.1 检定条件 .....	( 4 )
7.2 计量标准器及配套设备 .....	( 4 )
7.3 检定项目 .....	( 5 )
7.4 检定方法 .....	( 5 )
7.5 检定结果的处理 .....	( 8 )
7.6 检定周期 .....	( 9 )
附录 A 检定接线影响 .....	( 10 )
附录 B 电压互感器现场检定用高压电源 .....	( 12 )
附录 C 检定原始记录格式 .....	( 16 )
附录 D 检定证书/检定结果通知书内页格式 (第 2 页) .....	( 19 )
附录 E 检定证书/检定结果通知书检定结果页式样 (第 3 页) .....	( 20 )

# 引 言

JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程制订工作的基础性系列规范。

本规程是 JJG 1189《测量用互感器》的第 4 部分。《测量用互感器》拟由 9 个部分组成：

- 第 1 部分：标准电流互感器；
- 第 2 部分：标准电压互感器；
- 第 3 部分：电力电流互感器；
- 第 4 部分：电力电压互感器；
- 第 5 部分：三相组合互感器；
- 第 6 部分：谐波电流互感器；
- 第 7 部分：谐波电压互感器；
- 第 8 部分：宽量程电流互感器；
- 第 9 部分：抗直流电流互感器。

本规程代替 JJG 1021—2007《电力互感器》的电力电压互感器部分，与 JJG 1021—2007 相比主要技术性差异如下：

- 将 JJG 1021 分为电力电流互感器、电力电压互感器、三相组合互感器三个部分；
- 删除了使用电容分压器作为标准器的有关内容；
- 删除了运行变差的有关内容；
- 删除了工频耐压试验的有关内容；
- 删除了负荷外推法的有关内容；
- 增加了数字比较法的有关内容，见 7.2 和 7.4；
- 增加了现场试验时减小检定接线影响的方法，见附录 A；
- 增加了现场试验时的高压电源升压方法，见附录 B。

本规程历次版本的发布情况：

- JJG 1021—2007。

## 测量用互感器

### 第 4 部分：电力电压互感器检定规程

#### 1 范围

本规程适用于安装在电力系统中用于计量与测量的工频电力电压互感器的首次检定、后续检定和使用中检查。

本规程不适用于电子式电压互感器。

#### 2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJG 169 互感器校验仪

JJG 314 测量用电压互感器

JJF 1701.2 测量用互感器型式评价大纲 第 2 部分：标准电压互感器

GB/T 9091 感应分压器

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

#### 3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规程。

##### 3.1 电力电压互感器 voltage transformers in power system

在电力系统中起着电气隔离和按比率进行电压变换的作用，向电气测量、电能计量、自动保护等装置提供与一次电压信号有准确比例的二次电压信号的互感器。

##### 3.2 比值差 ratio error

电压互感器在测量中由于实际变比与额定变比不相等所引入的误差。电压互感器的比值差  $f_U$  按式 (1) 计算。

$$f_U = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$K_U$ ——电压互感器的额定变比，无量纲；

$U_1$ ——一次电压有效值，V；

$U_2$ ——二次电压有效值，V。

##### 3.3 相位差 phase displacement

电压互感器的一次电压相量与二次电压相量的相位差值，相量方向以理想电压互感器的相位差为零来决定。当二次电压相量超前一次电压相量时，相位差为正，单位通常用分（'）或厘弧（mrad）表示。

##### 3.4 模拟比较法 analog comparison method

被检电压互感器与标准电压互感器的额定变比相同时，将被检电压互感器与标准电压互感器二次电压的差值输入误差测量装置，得到被检电压互感器误差的方法。

### 3.5 数字比较法 digital comparison method

误差测量装置通过同步采样，将被检电压互感器及标准电压互感器的二次电压分别转换成数字信号，采用数字信号处理方法得到两个电压的幅值和相位，进而比较计算出被检电压互感器误差的方法。

### 3.6 品质因数 quality factor

$Q$

试品（负载）所获得的无功功率与励磁变压器输出有功功率之比值。

## 4 概述

电力电压互感器（以下简称电压互感器）包括电磁式电压互感器和电容式电压互感器（CVT）。电磁式电压互感器利用电磁感应原理，将一次绕组电压传递到电气上隔离的二次绕组，电磁式电压互感器基本原理见图 1。

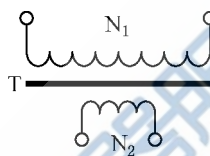


图 1 电磁式电压互感器基本原理图

T—电压互感器铁芯； $N_1$ —一次绕组； $N_2$ —二次绕组，实际的电压互感器可能有多个二次绕组

电容式电压互感器通过电容分压器将一次高电压降低为中压，通过电抗器补偿容性阻抗压降后经中压变压器传递到二次侧，电容式电压互感器基本原理见图 2。

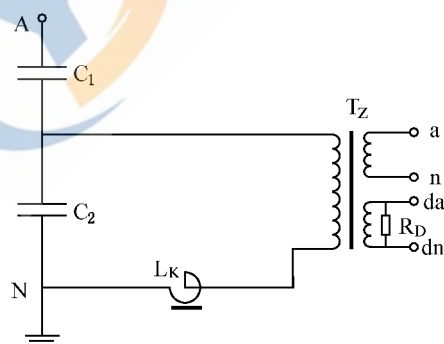


图 2 电容式电压互感器基本原理图

$C_1$ —高压电容； $C_2$ —中压电容； $T_z$ —中间变压器； $L_k$ —补偿电抗器； $R_D$ —阻尼装置；

a、n—二次绕组端子；da、dn—剩余电压绕组端子

## 5 计量性能要求

### 5.1 准确度等级

电压互感器的准确度等级分为 0.1 级，0.2 级，0.5 级，1 级。

### 5.2 基本误差

当环境温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于80%，环境电磁干扰可忽略，电压互感器在二次负荷为额定负荷和下限负荷之间的任意数值时，各准确度等级的电压互感器的误差不得超出表1给定的限值范围，实际误差曲线不得超出误差限值连线所形成的折线范围。

表1 电压互感器基本误差限值

准确度等级	电压百分数 $U_1/U_N$	80~120
	%	
1	比值差/%	$\pm 1.0$
	相位差/(')	$\pm 40$
0.5	比值差/%	$\pm 0.5$
	相位差/(')	$\pm 20$
0.2	比值差/%	$\pm 0.2$
	相位差/(')	$\pm 10$
0.1	比值差/%	$\pm 0.1$
	相位差/(')	$\pm 5$

### 5.3 周期稳定性

电压互感器在连续两个周期检定中，其误差的变化不得超过基本误差限值的2/3。

## 6 通用技术要求

### 6.1 外观及标志

电压互感器的器身上应有铭牌和标志。铭牌上应标有：型号、编号、出厂日期、接线图或接线方式说明、额定电压比、准确度等级和二次负荷等明显标志。一次和二次接线端子上应有电压接线符号标志，接地端子上应有接地标志。

### 6.2 绕组极性

电压互感器的绕组极性规定为减极性。

### 6.3 绝缘电阻

电压互感器的绝缘电阻应符合表2的要求。

表2 电压互感器绝缘电阻要求

额定电压	一次对二次及外壳绝缘电阻	二次绕组之间绝缘电阻	二次绕组对地绝缘电阻
3 kV 及以上	$>1\ 000\ \text{M}\Omega$	$>500\ \text{M}\Omega$	$>500\ \text{M}\Omega$
3 kV 以下	$>100\ \text{M}\Omega$	$>30\ \text{M}\Omega$	$>30\ \text{M}\Omega$

注：一次对二次及外壳绝缘电阻要求不适用于电容式电压互感器。



## 7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

### 7.1 检定条件

#### 7.1.1 温湿度

环境温度： $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度：不大于80%。

注：当电压互感器技术条件规定的环境温度与 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围不一致时，以技术条件规定的环境温度为检定环境温度。

#### 7.1.2 环境电磁场影响

环境电磁场干扰引起标准电压互感器的误差变化不超过被检电压互感器基本误差限值的1/20。

#### 7.1.3 检定接线影响

检定接线引起被检电压互感器误差的变化不超过被检电压互感器基本误差限值的1/10。减小检定接线影响的方法参考附录A。

#### 7.1.4 外绝缘

被检电压互感器外绝缘清洁、干燥。

### 7.2 计量标准器及配套设备

#### 7.2.1 试验电源

试验电源输出电压的频率为 $50\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ ，波形畸变系数不大于5%。高压试验的升压方法参考附录B。

#### 7.2.2 标准电压互感器

7.2.2.1 标准电压互感器应符合JJG 314和JJF 1701.2规定的要求。

7.2.2.2 采用模拟比较法进行检定时，标准电压互感器的额定变比应和被检电压互感器相同，准确度等级至少比被检互感器高两级，且在检定环境条件下的实际误差不超过被检电压互感器基本误差限值的1/5。当标准电压互感器与被检电压互感器变比不同时，应使用感应分压器，感应分压器满足GB/T 9091的要求。

7.2.2.3 采用数字比较法进行检定时，应确保被检电压互感器的检定点在标准电压互感器的有效溯源范围内，标准电压互感器准确度等级至少比被检电压互感器高三级，且在检定环境条件下的实际误差不超过被检电压互感器基本误差限值的1/10。

7.2.2.4 标准电压互感器的实际二次负荷（含差值回路负荷），应不超出其规定的上限与下限负荷范围。

#### 7.2.3 误差测量装置

7.2.3.1 误差测量装置的比值差和相位差的示值分辨力应分别不低于0.001%和 $0.01'$ 。

7.2.3.2 采用模拟比较法进行检定时，误差测量装置应符合JJG 169的要求。在检定环境条件下，误差测量装置引起的测量误差应不超过被检电压互感器基本误差限值的1/10。

7.2.3.3 采用数字比较法进行检定时，误差测量装置应对标准电压互感器和被检电压

互感器二次信号同步采样，额定采样率应不低于 4 k/s，并具有不少于 16 位的采样精度。在检定环境条件下，误差测量装置引起的测量误差应不超过被检电压互感器基本误差限值的 1/5。

7.2.3.4 误差测量装置测量回路的二次负荷对标准电压互感器和被检电压互感器误差的影响均不超过它们基本误差限值的 1/20。

#### 7.2.4 电压互感器负荷箱

用于电压互感器检定的负荷箱（以下简称电压负荷箱），在接线端子所在的面板上应有额定环境温度区间、额定频率、额定电压及额定功率因数的明确标志。本规程推荐的额定环境温度区间为：低温型  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，常温型  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，高温型  $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。检定时使用的电压负荷箱，其额定环境温度区间应能覆盖检定时实际环境温度范围。

在规定的环境温度区间，电压负荷箱在额定频率和额定电压的 80%~120% 范围内，有功和无功分量相对误差均不超出  $\pm 6\%$ ，残余无功分量（适用于功率因数等于 1 的负荷箱）不超出额定负荷的  $\pm 6\%$ 。

#### 7.2.5 监视用电压百分表

电压百分表的准确度等级不低于 1 级。在规定的测量范围内，百分表内阻抗应保持不变。

#### 7.2.6 绝缘电阻表

绝缘电阻表的额定电压为直流 500 V 和 2 500 V，准确度等级不低于 10 级。

### 7.3 检定项目

电压互感器的检定项目按表 3 规定。

表 3 电压互感器检定项目

检定项目		首次检定	后续检定	使用中检查
外观及标志检查		+	+	+
绝缘电阻		+	+	-
绕组极性		+	-	-
基本误差	比值差	+	+	+
	相位差			
周期稳定性		-	+	+
注：表中符号“+”表示必检项目，符号“-”表示可不检项目。				

### 7.4 检定方法

#### 7.4.1 外观及标志检查

被检电压互感器外观应完好，无明显机械损伤，铭牌和标志符合 6.1 的要求。

#### 7.4.2 绝缘电阻

电压互感器二次绕组之间绝缘电阻、电压互感器二次绕组对地绝缘电阻、3 kV 以下的电压互感器一次对二次及外壳绝缘电阻使用 500 V 绝缘电阻表测量；3 kV 及以上

的电压互感器一次对二次及外壳绝缘电阻使用 2 500 V 绝缘电阻表测量。测量前确定绝缘电阻表处于良好状态，在测量前后应对被试电压互感器进行充分放电，以确保设备和人身安全。检测结果应符合表 2 的要求。

#### 7.4.3 绕组极性

推荐使用误差测量装置检查绕组的极性。根据电压互感器的接线标志，完成检定接线后，电压升至额定值的 5% 以下，用误差测量装置的极性指示功能或误差测量功能，检查电压互感器的极性。

#### 7.4.4 基本误差

##### 7.4.4.1 一般要求

根据被检电压互感器的变比和准确度等级，按照 7.2 规定选用计量标准器及配套设备，并使用本规程规定的检定接线测量误差。测量时可以从最大百分数开始，也可以从最小百分数开始，应在至少一次全量程电压升降之后读取测量数据。

##### 7.4.4.2 电压测量点

电压互感器的电压测量点见表 4。

表 4 电压互感器的电压测量点

电压百分数 $U_1/U_N$ %	80	100	105 <sup>a</sup>	110 <sup>b</sup>	120 <sup>c</sup>
额定负荷 <sup>d</sup>	+	+	+	+	+
下限负荷 <sup>e</sup>	+	+	-	-	-

$U_N$ ——额定一次电压。

<sup>a</sup> 适用于 750 kV 和 1 000 kV 电压互感器；

<sup>b</sup> 适用于 330 kV 和 500 kV 电压互感器；

<sup>c</sup> 适用于 220 kV 及以下电压互感器；

<sup>d</sup> 当电压互感器有多个二次绕组时，额定负荷试验时除剩余绕组外其他绕组均应接额定负荷；

<sup>e</sup> 电压互感器的下限负荷按 2.5 VA 选取，当电压互感器有多个二次绕组时，下限负荷试验时负荷分配给被检二次绕组，其他二次绕组空载。

#### 7.4.4.3 检定接线

##### 7.4.4.3.1 模拟比较法检定接线

电压互感器模拟比较法检定接线见图 3 和图 4。图 3 中的高压试验电源是试验变压器，主要用于检定电磁式电压互感器。图 4 的高压试验电源是串联谐振升压装置，主要用于检定电容式电压互感器。

在图 3 a) 和图 4 a) 中，误差测量装置使用高端测差接法。如果使用的误差测量装置只能低端测差，可按图 3 b) 和图 4 b) 接线和测量。高端测差法不改变设备的接地方式，有利于测量安全，应优先采用。

检定接线时应确保连接误差测量装置的两条差压引线之间没有强电磁场发生设备，必要时将差压引线、工作电压引线分别绞合使用，使检定条件符合 7.1 的要求。

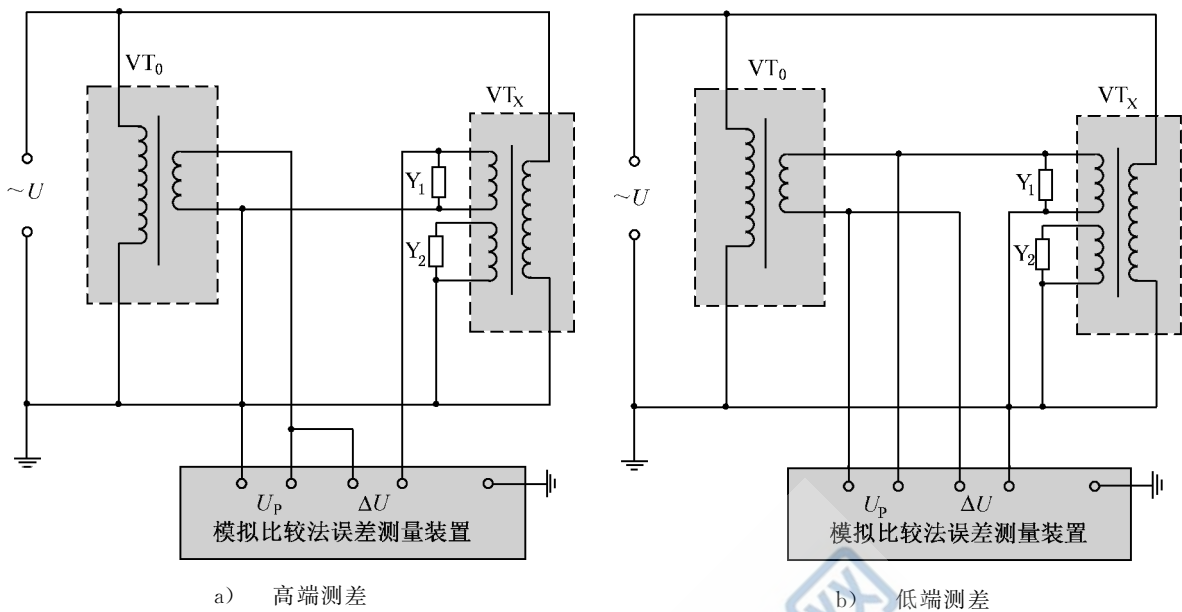


图 3 用标准电压互感器检定电磁式电压互感器的模拟比较法接线  
 VT<sub>0</sub>—标准电压互感器；VT<sub>X</sub>—被检电压互感器；Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>—电压互感器负荷箱

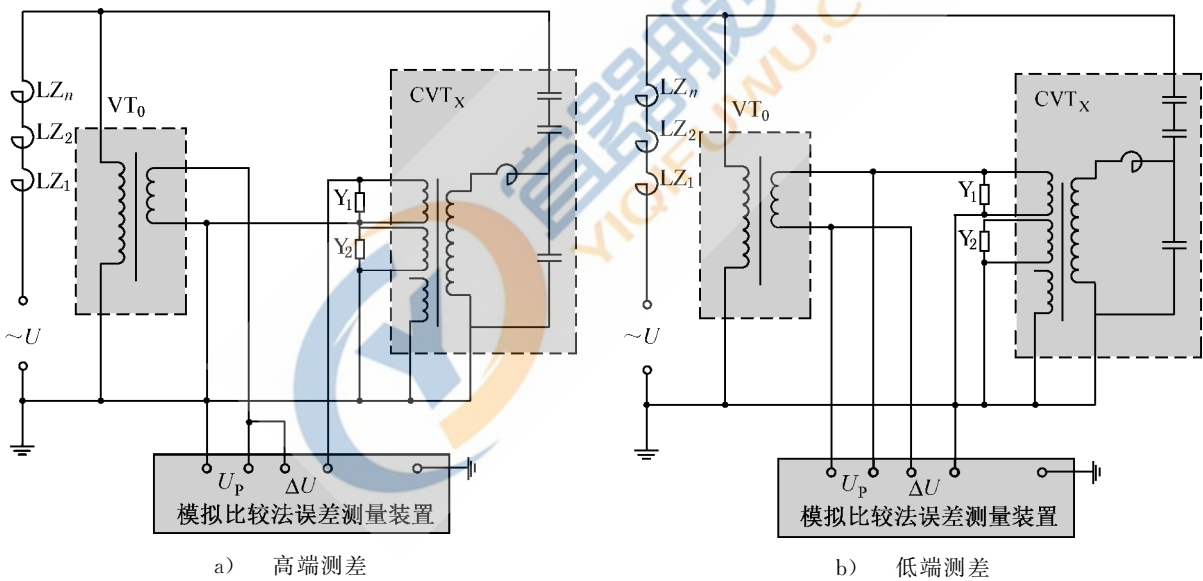


图 4 用标准电压互感器检定电容式电压互感器误差的模拟比较法接线  
 VT<sub>0</sub>—标准电压互感器；CVT<sub>X</sub>—被检电压互感器；Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>—电压互感器负荷箱

#### 7.4.4.3.2 数字比较法检定接线

数字比较法检定接线见图 5。图 5 a) 的高压试验电源是试验变压器，主要用于检定电磁式电压互感器。图 5 b) 的高压试验电源是串联谐振升压装置，主要用于检定电容式电压互感器。

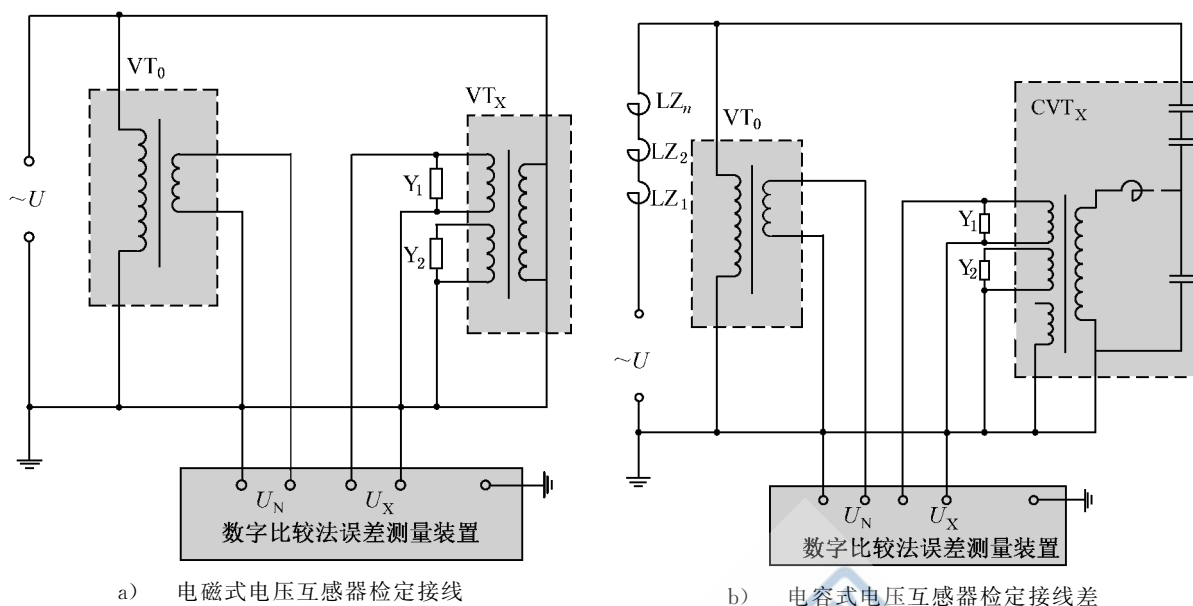


图 5 用标准电压互感器检定电压互感器误差的数字比较法接线

VT<sub>0</sub>—标准电压互感器；VT<sub>x</sub>—被检电压互感器；CVT<sub>x</sub>—被检电压互感器；Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>—电压互感器负荷箱

#### 7.4.4.4 试验步骤和基本误差计算

电压互感器基本误差测量的试验步骤如下所示：

- a) 根据误差测量装置类型，选择高端测差接法或低端测差接法进行误差测量；
- b) 当选用模拟比较法进行误差测量时，按照图 3 或图 4 进行接线，当选用数字比较法进行误差测量时，按照图 5 进行接线；
- c) 平稳地上升或下降电压，分别读取误差测量装置的比值差和相位差读数。

被检电压互感器的基本误差按式 (2) 和式 (3) 计算：

$$f_x = f_p \tag{2}$$

$$\delta_x = \delta_p \tag{3}$$

式中：

- $f_x$ ——被检电压互感器的比值差；
- $f_p$ ——电压上升或下降时误差测量装置的比值差读数；
- $\delta_x$ ——被检电压互感器的相位差；
- $\delta_p$ ——电压上升或下降时误差测量装置的相位差读数。

测量结果应符合 5.2 的要求。

#### 7.4.5 周期稳定性

电压互感器的周期稳定性取上次检定结果与当前检定结果，分别计算两次检定结果中比值差和相位差的差值，测量结果应符合 5.3 的要求。

#### 7.5 检定结果的处理

7.5.1 检定准确度等级 0.1 级和 0.2 级的电压互感器，读取的比值差保留到 0.001%，相位差保留到 0.01'。

7.5.2 检定准确度等级 0.5 级和 1 级的电压互感器，读取的比值差保留到 0.01%，相

位差保留到  $0.1'$ 。

7.5.3 检定的原始数据记录应至少包括附录 C 检定原始记录格式中的内容。原始记录应至少保存两个检定周期。

7.5.4 经检定合格，出具检定证书，检定不合格的出具检定结果通知书，并注明不合格项目。检定证书/检定结果通知书内页格式和检定结果格式见附录 D 和附录 E。

#### 7.6 检定周期

电磁式电压互感器的检定周期不超过 10 年，电容式电压互感器的检定周期不超过 4 年。



## 附录 A

## 检定接线影响

## A.1 邻近带电母线影响

高压母线与电容式电压互感器 (CVT) 之间的电容耦合会影响互感器的误差, 影响量的大小可以根据母线对地电容估算。平行于地面的架空线对地电容为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{h + \sqrt{h^2 - r^2}}{r}} \approx \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{4h}{d}} \quad (\text{A.1})$$

式中:

$l$ ——导线长度, m;

$d$ ——导线直径, m;

$h$ ——导线离地面高度, m。

底部离地面  $h$  的垂直于地面的架空线对地电容为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{l}{r} \sqrt{\frac{4h+l}{4h+3l}}} \quad (\text{A.2})$$

式中:

$r$ ——导线半径, m。

斜拉线对地等效电容介于这两种情况之间。一般情况下等效电容可以达到数 pF, 对于电容量小的电容式电压互感器, 例如 5 000 pF 的 500 kV 电容式电压互感器, 实验表明可以对比值差造成 0.01% 以上的影响。若发现测量结果异常, 必须将邻近母线停电后再进行检定。

## A.2 检定一次引线影响

CVT 高压电容单元与一次引线产生杂散电容, 影响 CVT 分压比。通常安装在线路侧的 CVT 与一次引线夹角为  $90^\circ$ , 一次引线呈水平状态; 安装在主变侧 CVT 与一次引线夹角近似  $180^\circ$ , 一次引线接近垂直于 CVT, 此时一次引线 with CVT 之间的分布电容如图 A.1 所示。而在现场进行 CVT 误差检定时, 由于现场试验条件限制和标准电压互感器的高度较低, 往往造成试验一次引线的角度小于  $90^\circ$ 。

根据图 A.1 杂散电容分布可知, CVT 电容单元的高压电容部分对一次引线产生高压分布电容  $C_{11}'$ , 对地分布电容  $C_{1}'$ 。CVT 电容单元的低压电容部分对地产生分布电容  $C_{2}'$ 。因此一次引线对电容单元的分压比可表示为

$$k = \frac{C_1 + C_{1}' + C_{11}' + C_2 + C_{2}'}{C_1 + C_{1}' + C_{11}'} \quad (\text{A.3})$$

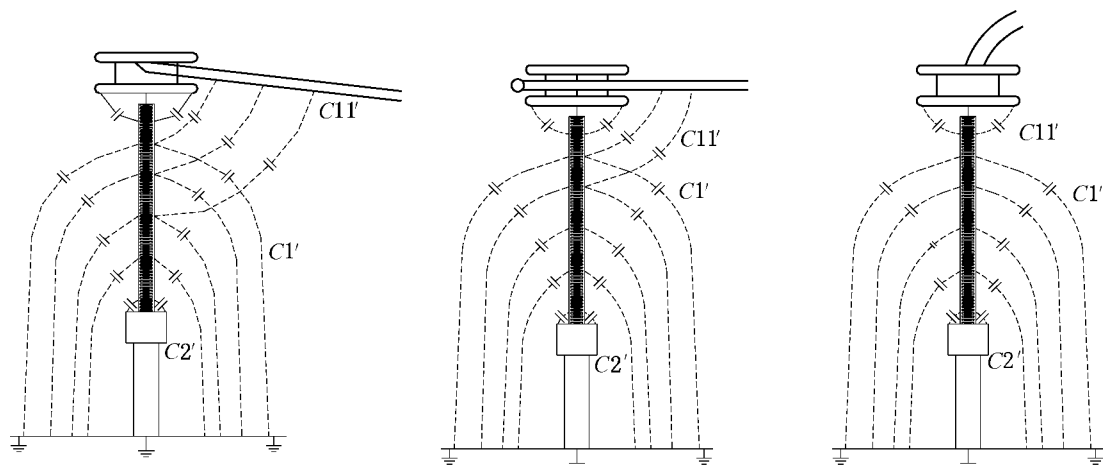


图 A.1 一次引线夹角变化与 CVT 产生杂散电容分布示意图

当试验一次引线与 CVT 夹角不断增大时  $C_{11}'$  随着夹角的增加而变小，其他杂散电容量不变，则此时电容分压器分压比  $k$  值增大，中间电压减小，CVT 比值差往负方向偏移。

试验一次引线可使用截面积  $2 \text{ mm}^2 \sim 10 \text{ mm}^2$  软裸铜线，为减小试验一次引线对测量结果的影响，其与 CVT 的夹角宜大于  $60^\circ$ 。试验表明带屏蔽罩的高压引线可有效降低杂散电容对 CVT 分压比的影响，若现场不具备角度大于  $60^\circ$  的条件时，可适当减小夹角，但应采用带屏蔽罩的高压引线，并保证夹角至少大于  $45^\circ$ 。



## 附录 B

## 电压互感器现场检定用高压电源

检定电压互感器时需要在一次侧施加试验电压，其大小为额定一次电压的 80%~120%，频率为 50 Hz，波形为正弦波。独立安装的电磁式电压互感器，所需试验电源的容量不大，可用工频试验变压器升压。

电容式电压互感器（CVT）由电容分压器和电磁单元构成，存在较大的电容量。110 kV CVT 电容量通常为 20 000 pF、10 000 pF；220 kV CVT 电容量通常为 10 000 pF；500 kV 及以上 CVT 电容量通常为 5 000 pF。以 500 kV CVT 为例，误差试验时需要施加的最高一次电压为 320 kV，其本身电容量 5 000 pF，周围物体的杂散电容按 1 000 pF 估算，需要的试验电源容量约为 200 kVA。

GIS 中的电磁式电压互感器一般不能完全独立出来进行误差试验，需要带上一次系统元器件和一定长度的 GIS 管道，才能通过出线套管把试验电压施加到电压互感器的一次绕组上。一次回路母线和其他元器件与地形成等效电容，该电容与被试电压互感器一次绕组并联。不同 GIS 管道结构、长度不一，且内部一次回路元件数量差异较大，导致试验所需电源容量差异较大。

为了降低对电源容量的要求，减小试验设备的体积，减轻试验设备的重量，在现场检定电压互感器时通常采用串联谐振或电抗器无功补偿的方法进行升压。

## B.1 串联谐振升压方法

对于电容量相对较大又比较固定的 CVT 进行现场误差试验时，通常采用工频谐振装置进行升压。

## B.1.1 串联谐振电路的原理

图 B.1 所示  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联电路，在正弦电压  $U$  作用下，其复阻抗为

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j(X_L - X_C) = R + jX \quad (\text{B.1})$$

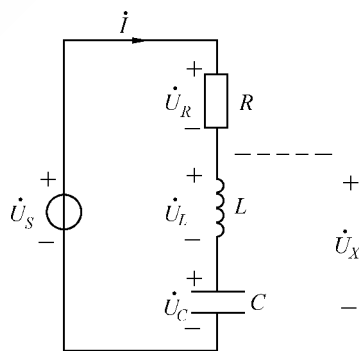


图 B.1 串联谐振电路原理图

式 (B.1) 中，电抗  $X = X_L - X_C$  是角频率  $\omega$  的函数，当  $\omega$  从零开始向  $\infty$  变化时， $X$  从  $-\infty$  向  $+\infty$  变化。在  $\omega < \omega_0$  时， $X < 0$ ，电路为容性；在  $\omega > \omega_0$  时， $X > 0$ ，电路为感性；在  $\omega = \omega_0$  时，有

$$X(\omega_0) = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (\text{B. 2})$$

此时，电路阻抗  $Z(\omega_0) = R$  为纯电阻。电压和电流同相，将电路此时的工作状态称为谐振。式 (B. 2) 就是串联电路发生谐振的条件。由式 (B. 2) 可求得谐振角频率  $\omega_0$  为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{B. 3})$$

谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{B. 4})$$

当电源频率一定时，可以调节电路参数  $L$  或  $C$  使电路发生谐振。

工程上常用特性阻抗与电阻的比值来表征谐振电路的性能，并称此比值为串联电路的品质因数，用  $Q$  表示，它是由电路参数  $R$ 、 $L$ 、 $C$  共同决定的一个无量纲的量，即

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{B. 5})$$

谐振时各元件的电压分别为

$$\begin{cases} \dot{U}_{R0} = R \dot{I}_0 = \dot{U}_s \\ \dot{U}_{L0} = j\omega_0 L \dot{I}_0 = j\omega_0 L \frac{\dot{U}_s}{R} = jQ\dot{U}_s \\ \dot{U}_{C0} = -j \frac{1}{\omega_0 C} \dot{I}_0 = -j \frac{1}{\omega_0 C} \frac{\dot{U}_s}{R} = -jQ\dot{U}_s \end{cases} \quad (\text{B. 6})$$

即谐振时电感电压和电容电压有效值相等，均为外施电压的  $Q$  倍，但电感电压超前外施电压  $90^\circ$ ，电容电压落后外施电压  $90^\circ$ 。而电阻电压和外施电压相等且同相，外施电压全部加在电阻  $R$  上，电阻上的电压达到了最大值。在电路  $Q$  值较高时，电感电压和电容电压的数值都将远大于外施电压的值。

### B.1.2 典型串联谐振升压方案

在现场检定电磁式电压互感器误差时，升压电源宜采用如图 B. 2 所示的串联谐振方式，由调压器、励磁变压器和可调电抗器组成，试验电源频率为工频 50 Hz。

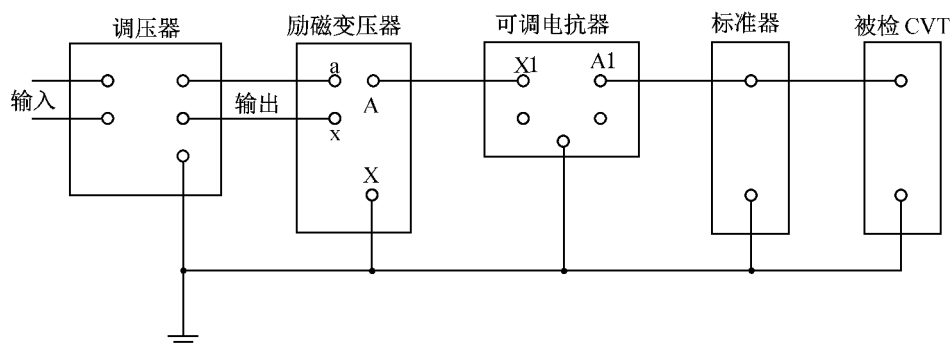


图 B. 2 串联升压电路的组成结构

以某 500 kV 电容式电压互感器现场检定用升压电源方案为例，额定电容量为

5 000 pF。谐振升压电源的配置如表 B.1 所示。

表 B.1 谐振升压电源的配置

序号	设备名称	主要技术参数	数量
1	调压器	额定容量：20 kVA	1 台
		额定电压：380 V	
2	励磁变压器	额定容量：20 kVA	1 台
		输出电压：20 kV	
3	可调电抗器	额定电压：180 kV	2 组
		电流：1 A	
		50 Hz 下匹配电容容量：2 nF~10 nF	

如表 B.1 所示，可调电抗器为两组 180 kV、1 A 的电抗器串联，电抗器调到对应的谐振电容为 5 800 pF 左右。现场使用的励磁变压器为输入 400 V 输出 20 kV，调压控制箱为输入 380 V、输出 0~400 V 电动调压变频调速的单相调压控制电源，带有一次电流监视功能。110%电压点下现场试验参数见表 B.2。

表 B.2 110%电压点下现场试验参数

调压器输出电压	调压器输出电流	励磁变输出电压	一次电压	一次电流
216 V	28.9 A	10 800 V	318 kV	578 mA

由上述参数可以计算出系统 Q 值达到了 29.4。

## B.2 试验变压器原边无功补偿方法

### B.2.1 试验变压器原边无功补偿的原理

针对一次回路对地电容量较大的 GIS 内电压互感器的现场检测，可采取工频试验变压器原边无功补偿的方式升压，以减小调压单元及试验电源的容量，实现升压需求。基于工频试验变压器输入侧无功补偿原理的升压电源包含工频调压单元、工频试验变压器单元、无功补偿电感装置，原理图如图 B.3 所示。

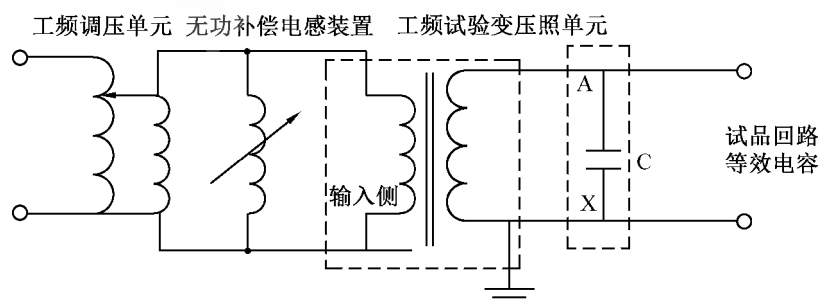


图 B.3 工频试验变压器输入侧补偿升压原理图

设计输入侧补偿电感时，同容量的补偿电感电压与电流成反比。所以在工频试验变压器输入侧电压不高的情况下可以采取增加中间侧补偿绕组的方式提高补偿电感的电压，减小补偿电感的电流，原理图如图 B.4 所示。中间侧补偿电感因为电压不高，绝缘距离小，设计相对容易，可以设计成多组，其单组容量可采用递进式的设计方式，从而实现宽范围、小细度的补偿。

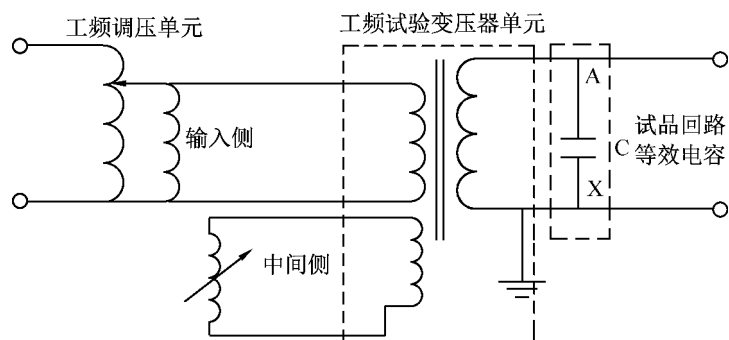


图 B.4 工频试验变压器中间侧补偿升压原理图

### B.2.2 典型试验变压器无功补偿的方案

以某 500 kV GIS 站电压互感器现场检定用升压电源方案为例，该站电压互感器均设置在 GIS 中，本体无套管引出，故不能单独拆分检定，加压点只能选在出线侧套管处，一次试验回路长度将近 200 m，电容量 10 000 pF 左右。在现场电压互感器误差检定时，基于工频试验变压器中间侧补偿的升压电源的配置如表 B.3 所示。

表 B.3 工频试验变压器中间侧补偿升压电源的配置

序号	设备名称	主要技术参数	数量
1	调压器	额定容量：50 kVA	1 台
		额定电压：380 V	
2	试验变压器	额定容量：320 kVA	1 台
		额定电压：320 V	
3	补偿电感	额定电压：4 kV	1 组（4 台）
		匹配电容量：0~10 500 pF	
		最小匹配电容细度：350 pF	

如表 B.3 所示，补偿电感到由 4 台电感组成，额定电压为 4 kV，并联于试验变压器中压绕组侧，把这组补偿电感匹配到对应的补偿电容为 10 500 pF。现场使用的调压控制箱为输入 380 V、输出 0~430 V 的电动调压控制电源，带有一次电流监视功能。在 110% 电压点下现场试验参数见表 B.4。

表 B.4 工频试验变压器中间侧补偿升压电源的配置

调压器输出电压	调压器输出电流	一次电压	一次电流
398 V	30 A	318 kV	998 mA

由上述参数可以计算出系统容量为 317.4 kVA，调压单元和电源供给容量为 11.9 kVA，补偿电感补偿了系统 314 kVA 的容性无功分量，较大地减少了对调压单元和现场电源容量需求。

附录 C

检定原始记录格式

× × × ×

原始记录

(第×××号)

委托单位：\_\_\_\_\_

试品名称：\_\_\_\_\_

制造单位：\_\_\_\_\_

型号规格：\_\_\_\_\_

试品编号：\_\_\_\_\_

检定时间：\_\_\_\_\_

试品基本信息						
厂站名称		安装位置				
型号		制造单位				
出厂编号		额定一次电压	kV			
额定功率因数		额定频率	Hz			
额定二次电压	1a—1n	_____ V	2a—2n	_____ V		
		_____ V		_____ V		
额定二次负荷	1a—1n	_____ VA	2a—2n	_____ VA		
		_____ VA		_____ VA		
准确度等级	1a—1n	_____	2a—2n	_____		
		_____		_____		
检定依据：						
检定使用的计量标准器具						
名称	型号	编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级	计量（基）标 准证书编号	有效期至
检定环境条件						
环境温度	℃	相对湿度	%			
检定项目						
<p>1. 外观及标志检查：_____</p> <p>2. 绝缘电阻测量：一次对二次及外壳绝缘电阻：_____</p> <p style="padding-left: 40px;">二次绕组之间绝缘电阻：_____ 二次绕组对地绝缘电阻：_____</p> <p>3. 绕组极性检查：_____</p> <p>4. 周期稳定性检查：_____</p> <p>5. 基本误差测量：模拟比较法 <input type="checkbox"/> 数字比较法 <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">           检定：                                记录：                                校核：         </p>						

电压互感器检定原始数据

试验：\_\_\_\_\_ 记录：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

A 相 电压互感器编号：_____ 绕组标志：_____ 电压比：_____						
电压百分数 $U_1/U_N$ %	80	100	120 (或 105、110)	二次负荷/VA $\cos\varphi =$		
				1a—1n	2a—2n	
$f/\%$						
$\delta/(')$						
$f/\%$						
$\delta/(')$						
B 相 电压互感器编号：_____ 绕组标志：_____ 电压比：_____						
电压百分数 $U_1/U_N$ %	80	100	120 (或 105、110)	二次负荷/VA $\cos\varphi =$		
				1a—1n	2a—2n	
$f/\%$						
$\delta/(')$						
$f/\%$						
$\delta/(')$						
C 相 电压互感器编号：_____ 绕组标志：_____ 电压比：_____						
电压百分数 $U_1/U_N$ %	80	100	120 (或 105、110)	二次负荷/VA $\cos\varphi =$		
				1a—1n	2a—2n	
$f/\%$						
$\delta/(')$						
$f/\%$						
$\delta/(')$						

结论及说明：

## 附录 D

## 检定证书/检定结果通知书内页格式 (第 2 页)

证书编号 ××××××—××××

检定机构授权说明：				
检定环境条件及地点：				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
检定使用的计量（基）标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
检定使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至

第×页 共×页



附录 E

检定证书/检定结果通知书检定结果页式样 (第 3 页)

E.1 检定证书第 3 页

证书编号 ××××××—××××

# 检定结果

绕组标志	电压比	电压百分数 $U_1/U_N$ %	二次负荷/VA				
			$\cos\varphi =$				
			1a—1n	2a—2n			
A 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
B 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
C 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
备注：模拟比较法 <input type="checkbox"/> 数字比较法 <input type="checkbox"/>							
以下空白							

E.2 检定结果通知书第 3 页

证书编号××××××—××××

# 检定结果

绕组标志	电压比	电压百分数 $U_1/U_N$ %	二次负荷/VA				
			$\cos\varphi =$		1a—1n	2a—2n	
A 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
B 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
C 相			电压互感器编号:				
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					
		$f/\%$					
		$\delta/(')$					

备注：模拟比较法  数字比较法

附加说明  
说明检定结果不合格项  
以下空白