

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1067—20××

工频电压比例标准装置校准规范

Calibration Specification for

Apparatus of Voltage Ratio Standards at Power Frequency

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

工频电压比例 标准装置校准规范

Calibration Specification for Apparatus
of Voltage Ratio Standards
at Power Frequency

JJF 1067-20xx
代替 JJF 1067-2014

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

XXXX

XXXXX

XXXX

本规范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

本规范主要起草人：xxx（国家高电压计量站）

xxx（国家高电压计量站）

xxx（xxx 研究院）

xxx（xxx 研究院）

xxx（xxx 研究院）

参加起草人：xxx（国家高电压计量站）

xx（xxxxxx 电力科学研究院）

目录

1 范围	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	1
4.1 工频感应分压器	1
4.2 双级标准电压互感器.....	3
4.3 串联式标准电压互感器.....	3
4.4 互感器串联电压加法.....	4
4.5 参考电势法	5
5 计量特性.....	6
5.1 基本误差	6
5.2 稳定性.....	7
5.3 屏蔽误差	8
5.4 绝缘强度	8
5.5 升降变差	8
6 校准条件.....	8
6.1 环境条件	8
6.2 测量标准及其他设备.....	8
7 校准项目和校准方法	9
7.1 校准项目	9
7.2 校准方法.....	9
8 校准结果表达.....	13
8.1 误差计算	13
8.2 误差修约	14
8.3 单盘感应分压器误差统计	14
8.4 多盘感应分压器误差统计	14
8.5 串联电压加法误差统计	14
9 校准证书.....	15
10 复校时间间隔.....	16
附录 A 测量不确定度评定示例	17
附录 B 试验记录/统计表.....	19
附录 C 校准证书内页格式.....	24

附录 D 校准证书校准结果页格式	25
附录 E 电容器法测量误差的电压系数	26
附录 F 互感器串联电压加法原理线路	28

引言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语与定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范与《JJF1067-2014》相比，除编辑性修改外，主要的技术变化包括：

- (1) 增加了三级感应分压器（见 4.1）和双级标准电压互感器（见 4.2）的原理概述；
- (2) 修改了串联加法的溯源线路（见 4.4）；
- (3) 增加了 1kV 感应分压器（见 5.1，表 2）和 10kV 双级电压互感器（见 5.1，表 3）的误差限值表；
- (4) 增加了 1kV 感应分压器的耐受电压值（见 5.4，表 4）；
- (5) 修订了接地电阻“不大于 0.5Ω ”（见 6.1）；增加了“多盘感应分压器的置数应大于或等于 0.1”要求（见 7.2.3.4）。

工频电压比例标准装置校准规范

1 范围

本规范适用于以工频感应分压器及标准电压互感器为主标准器、以参考电势法和串联电压加法为溯源方法的0.05级及以上准确度等级工频电压比例标准装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 314 测量用电压互感器

JJG 169 互感器校验仪检定规程

GB/T 16927.1 高电压试验技术第1部分：一般定义及试验要求

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

3 术语和计量单位

以下术语和定义适用于本规范。

3.1 升降变差variation between voltage rise and fall

工频电压比例标准装置在电压上升与电压下降过程中，相同电压百分点误差测量结果之差的绝对值。

4 概述

工频电压比例标准的校准分为感应分压器的电压比率量值复现和标准电压互感器误差的电压系数校准两大步骤。感应分压器的电压比率量值复现采用参考电势法，标准电压互感器误差的电压系数校准采用互感器串联加法，然后采用感应分压器级联方法标定电压系数曲线低端参考点的误差，再外推到高端各点的误差。

4.1 工频感应分压器

工频感应分压器分为单盘感应分压器与多盘感应分压器两类，电气原理如图 1 和图 2 所示。用作工频电压比例标准器的感应分压器通常采用自耦式双级结构或三级结构（如图 1 所示）。为减小引线压降误差，激磁绕组 W_1 与比例绕组 W_2 应使用各自的连接导线与一

次电压端子连接。

感应分压器的比率误差定义为：

$$\dot{\varepsilon} = (\dot{U}_2 - \dot{U}_0) / \dot{U}_1 = \Delta \dot{U} / \dot{U}_1 \quad (1-1)$$

作为工频电压比例标准器使用时，工频感应分压器按电压比误差定义为：

$$\dot{\varepsilon} = (\dot{U}_2 - \dot{U}_1 / K_n) / \dot{U}_2 = \Delta \dot{U} / \dot{U}_2 \quad (1-2)$$

式 (1-1) 和 (1-2) 中： \dot{U}_2 —感应分压器开路输出电压； \dot{U}_0 —感应分压器开路输出电压的标称值； \dot{U}_1 —感应分压器输入电压； $\Delta \dot{U}$ —感应分压器输出电压的误差值； K_n —感应分压器的标称电压比，与感应分压器基本传递比率成倒数关系。

注：如果在使用中需要将比例误差折算至输入侧，应在校准结果中作相应说明。

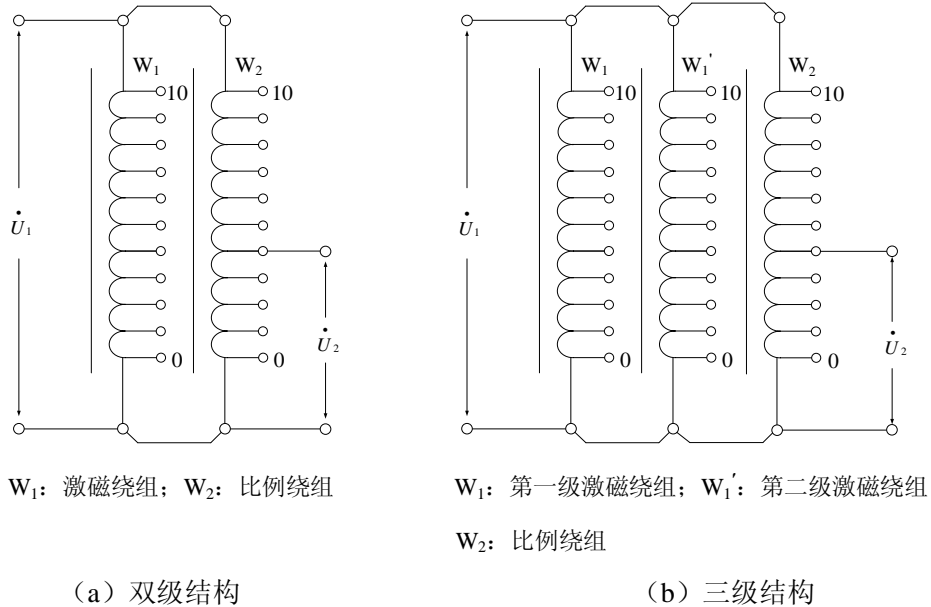


图 1 单盘感应分压器结构原理图

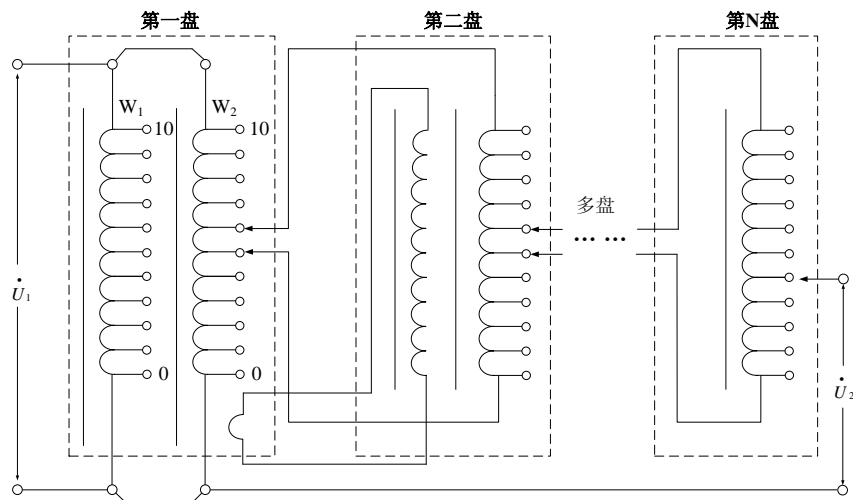


图 2 多盘感应分压器结构原理图

4.2双级标准电压互感器

双级电压互感器是由两级电压互感器组成的高精度电压互感器，按照励磁原理不同，分为高压励磁和低压励磁两种。图 3 (a) 为高压励磁原理，图中 N_{1e} 为一次励磁绕组， N_{2e} 为二次供电绕组， N_{1e} 和 N_{2e} 绕在第一级铁心 C_1 上，组成第一级电压互感器。 N_1 和 N_2 为比例绕组，绕在第一级铁心 C_1 和第二级铁心 C_2 上， N_1 和 N_2 以及铁心 C_2 构成第二级电压互感器。 N_1 、 N_2 和铁心 C_1 、 C_2 组成双级精密电压互感器。

图 3 (b) 为低压励磁原理，通过增加一台供电互感器给低压绕组供电的方式，从而在第一级铁心上少绕制一个高压绕组。图中， P_1 的结构与双级电压互感器的结构相似， N_1 和 N_2 为一次和二次比例绕组，铁心 C_1 和 C_2 分别为第一级和第二级铁心。 P_2 为增加的辅助互感器（供电互感器），且 $N_{1e}/N_{2e}=N_1/N_2$ ， P_2 互感器的二次绕组 N_{2e} 为低压励磁绕组 N_{2a} 供电，二者匝数相等。

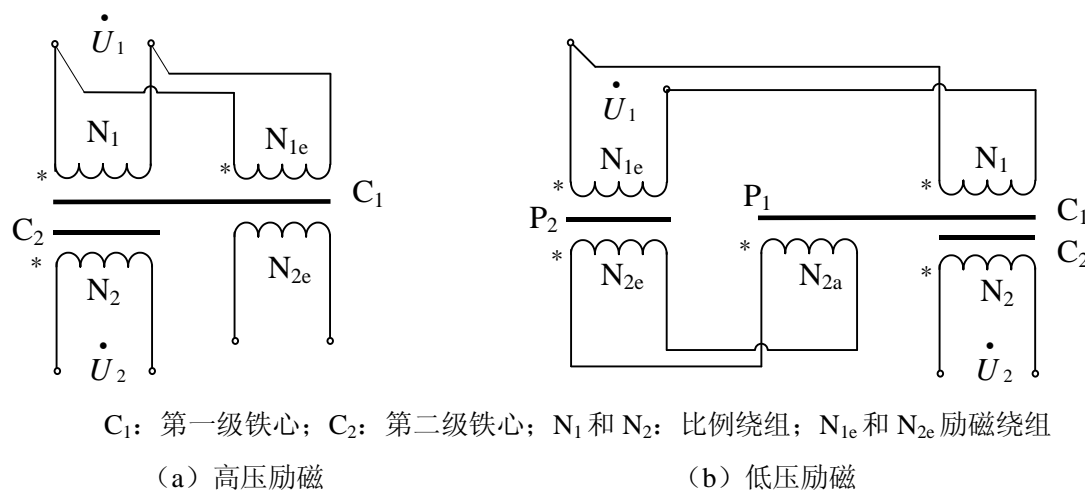
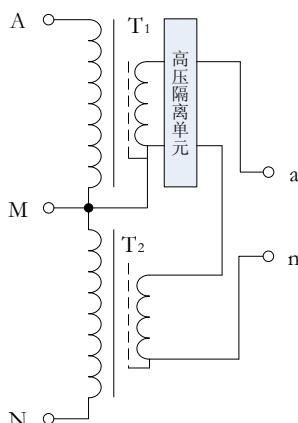


图 3 双级标准电压互感器结构原理图

4.3串联式标准电压互感器

串联式精密电压互感器由两台变比一致的电压互感器串联组成且叠加放置，实现一次侧电压串联，上级电压互感器的二次侧通过一个高压隔离单元实现与下级电压互感器二次电压的串联。图 4 中上级电压互感器 T_1 的一次绕组与下级电压互感器 T_2 的一次绕组串联，上级的二次绕组通过高压隔离单元与下级的二次绕组串联。



AN: 串联式互感器的一次绕组; M: 一次绕组中心点; a-n: 串联式互感器的二次绕组; T₁: 上级电压互感器
T₂: 下级电压互感器

图4 串联电压互感器结构原理图

4.4 互感器串联电压加法

互感器串联电压加法基于电压叠加原理, 工作原理线路如图5所示。图中SSTV为串联式标准电压互感器, 由T₁、T₂及高压隔离单元组成, T_X为待测标准电压互感器(图中为高压励磁双级电压互感器, 若T_X为单级电压互感器或低压励磁双级电压互感器, 接线图如附录F所示), 其额定电压与SSTV相同, 且SSTV、T₁、T₂及T_X的标称电压比均为K_n。设T₁与高压隔离单元级联后的误差为α, T₂和T_X的误差分别为β、γ, 且α、β、γ均为各自一次输入电压的函数。

分别在以下三种输入状态下以SSTV为参考对T_X的误差进行测量:

(i) $U_{11} = U$, $U_{12} = 0$ (T₂输入端MN短接), 测量误差记为ε₁, 根据电压互感器误差定义, $U_2 = [1 + \alpha(U)]U_{11}/K_n$, $U_3 = [1 + \gamma(U)]U_{11}/K_n$, 可得公式(2)。

$$\beta = \frac{U_3 - U_2}{U_3} = 1 - \frac{1 + \alpha(U)}{1 + \gamma(U)} \approx \gamma(U) - \alpha(U) \quad (2)$$

(ii) $U_{11} = 0$, $U_{12} = U$ (T₁输入端AM短接), 测量误差记为ε₂, 同理可得公式(3)。

$$\epsilon_2 \approx \gamma(\dot{U}) - \beta(\dot{U}) \quad (3)$$

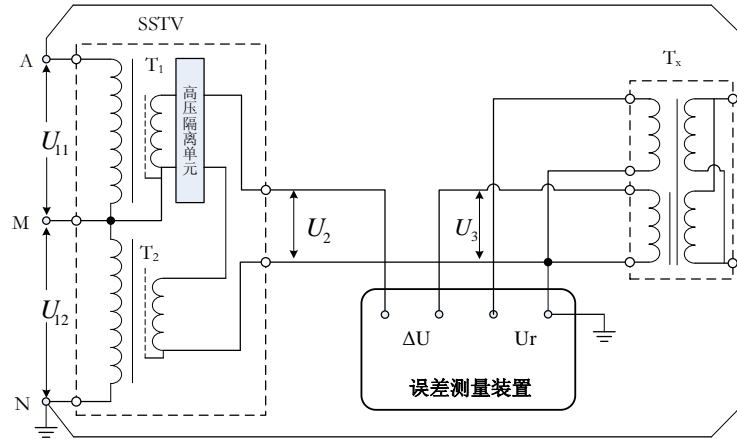
(iii) $U_{11} = U_{12} = U$, (T₁、T₂输入端串联), 测量误差记为ε₃, 同理可得公式(4)。

$$\epsilon_3 \approx \gamma(2\dot{U}) - \alpha(\dot{U})/2 - \beta(\dot{U})/2 \quad (4)$$

综合式(2)~式(4)得公式(5):

$$\gamma(2\dot{U}) - \gamma(\dot{U}) = \epsilon_3 - (\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 \quad (5)$$

这样, 通过互感器串联电压加法可以确定T_X在电压2U和U下的误差变化量, 进而可以得到T_X的电压系数曲线。

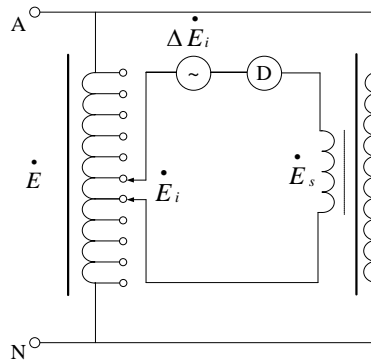


U_{11} : 上级电压互感器 T_1 输入电压; U_{12} : 下级电压互感器 T_2 输入电压; U_2 : 串联式电压互感器 SSTV 输出电压;
 U_3 : 待测标准电压互感器 T_x 输出电压; ΔU : 差压输入端口; U_r : 参考电压端口

图 5 互感器串联电压加法原理线路

4.5 参考电势法

参考电势法是一种普遍使用的工频电压加法，工作原理线路如图6所示。



\dot{E} : 输入电压; \dot{E}_i : 第 i 段电压; $\Delta \dot{E}_i$: 第 i 段补偿电压

图 6 参考电势法原理线路

设 A- X 间有 N 段电压串联，各段电压依次记为 $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dots, \dot{E}_N$ 。以 \dot{E}_s 为参考电势，用补偿法依次测量 \dot{E}_i 的相对误差，记为 $\dot{\epsilon}_i$ ，满足式 (6)。

$$\sum_{i=1}^N (\dot{E}_i - \dot{E}_s) = \dot{E}_s \sum_{i=1}^N \dot{\epsilon}_i \quad (6)$$

由 $\sum_{i=1}^N \dot{E}_i = \dot{E}$ ，得式 (7)，式 (8)。

$$N\dot{E}_s = \dot{E} - \dot{E}_s \sum_{i=1}^N \dot{\epsilon}_i \quad (7)$$

$$\dot{E}_i = \dot{E}_s (1 + \dot{\epsilon}_i) \quad (8)$$

经过 N 次测量，可以确定 \dot{E}_i 的误差，从而能计算出感应分压器第 k 个抽头的比例误差

$\dot{\varepsilon}_{(k)}$ ，见式(9)。

$$\dot{\varepsilon}_{(k)} = \frac{\frac{N}{k} \sum_{i=1}^k \dot{E}_i - \sum_{i=1}^N \dot{E}_i}{\sum_{i=1}^N \dot{E}_i} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \dot{\varepsilon}_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{\varepsilon}_i \quad (9)$$

5 计量特性

5.1 基本误差

工频电压比例标准装置计量准确度根据主标准器误差大小分为0.0001, 0.0002, 0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05九个级别, 各个级别的最大允许误差见表1。工频电压比例标准器在额定频率、额定功率因数及二次负荷为额定二次负荷的25%~100%之间的任一数值时, 各准确度级别的误差一般不超过表1-3的限值。

表 1 工频电压比例标准器的误差限值 (110kV 及以上电压等级)

准确度 级别	比值误差					相位误差						
	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
0.0001	±10 ⁻⁶	1	1	1	1	1	±rad	1	1	1	1	1
0.0002		2	2	2	2	2		2	2	2	2	
0.0005		5	5	5	5	5		5	5	5	5	
0.001		20	15	10	10	10		20	15	10	10	10
0.002		40	30	20	20	20		40	30	20	20	20
0.005		100	75	50	50	50		100	75	50	50	50
0.01	±%	0.020	0.015	0.010	0.010	0.010	±(°)	0.60	0.45	0.30	0.30	0.30
0.02		0.040	0.030	0.020	0.020	0.020		1.2	0.9	0.6	0.6	0.6
0.05		0.100	0.075	0.050	0.050	0.050		4.0	3.0	2.0	2.0	2.0

注：1、额定二次负荷小于等于 0.2VA 时, 下限负荷按 0VA 考核。

表2 1kV感应分压器误差限值表

准确度 级别	比值误差				相位误差			
	倍率 因数	额定电压百分值			倍率 因数	额定电压百分值		
		10	100	150		10	100	150
0.0001	$\pm 10^{-6}$	1	1	1	$\pm \mu\text{rad}$	1	1	1
0.0002		2	2	2		2	2	2
...	

表3 10kV双级电压互感器误差限值表

准确度 级别	比值误差							相位误差						
	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	127		20	50	80	100	120	127
0.001	$\pm 10^{-6}$	20	15	10	10	10	10	$\pm \mu\text{rad}$	20	15	10	10	10	10
0.002		40	30	20	20	20	20		40	30	20	20	20	20
...	

注：10kV 双级电压互感器增加 127% 误差值要求，与 120% 误差限值要求一致。

工频电压比例标准装置按工作电压范围设置多个主标准器时，准确度可以根据工作电压范围分段表示。

工频电压比例标准装置中的电压互感器和感应分压器，其比例误差应符合式（10）的关系。

$$|\varepsilon| \leq 4U_p \quad (10)$$

式中：

U_p ——标准器在置信概率为 p 时的扩展不确定度；

ε ——工频电压比例标准装置的比例误差，比值差 10^{-6} 或%，相位差 μrad 或(°)。

5.2 稳定性

工频电压比例标准装置中的电压互感器和感应分压器在校准间隔内的误差变化一般不大于其误差限值的 1/3。

5.3 屏蔽误差

工频电压比例标准装置中带电位屏蔽的测量绕组，校准时屏蔽电位变化对测量绕组计量性能的影响一般不大于比例修正值允许误差的1/5。

5.4 绝缘强度

5.4.1 工频耐压

工频电压比例标准装置中的电压比例标准器及辅助设备，耐受电压如表4所示，能耐受1min试验而不发生绝缘损坏或放电闪络。当恢复到正常工作电压范围时，误差无显著改变。

表4 工频耐受电压值

额定一次电压	1 kV	10 kV	大于10 kV
工频耐受电压倍数	1.7倍	1.5倍	1.3倍

5.4.2 绝缘电阻

工频电压比例标准装置中，绝缘电阻满足以下要求：

- a) 1 kV及以下的标准器用500 V兆欧表测量，一次绕组对二次绕组及接地端子之间的绝缘电阻不小于20 M Ω ；
- b) 1 kV以上的电压互感器用2.5 kV兆欧表测量，不接地互感器一次绕组对二次绕组及接地端子之间的绝缘电阻不小于10 M Ω /kV，且不小于40 M Ω ；二次绕组对接地端子之间以及二次绕组之间的绝缘电阻不小于40 M Ω 。

注：绝缘强度指标不是用于合格性判别，仅供参考。

5.5 升降变差

工频电压比例标准装置的升降变差一般不大于其误差限值的1/5。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 工频电压比例标准装置的环境条件应能满足以下要求：

- 环境温度：10℃~35℃，相对湿度不大于80%。
- 实验室应有专用的接地装置，接地电阻不大于0.5 Ω 。
- 因外界电磁场干扰引起的测量误差不大于被校设备误差限值的1/20。

6.2 其他设备

6.2.1 电源及调压设备

电源及其调压设备应具有足够的容量和调节细度，电源的频率为 $50\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ （ $60\text{ Hz}\pm 0.6\text{ Hz}$ ），波形畸变系数不超过5%。

提供中心电位的升压器，因中心电位不对称引入的测量误差不大于被校设备误差限值的1/50。

注：当校准0.01级及以上电压互感器时，应注意电源的波形失真和供电电源的中性线对地电压对测量结果的影响；当发现测量示值不稳定或异常时，应考虑采用更高质量的电源。

6.2.2 误差测量装置

误差测量装置应符合JJG 169要求。

6.2.3 监视用电压表

校准时，监视电压互感器二次工作电压用的电压表准确度级别不低于1.5级，电压表在所有误差测量点的相对误差均不大于20%。在同一量程的所有示值范围内，电压表的内阻抗应保持不变。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

装置中的电压互感器和感应分压器校准试验项目可按表5进行。

表5 项目

类别 项目	首次校准	后续校准	使用中校准
外观检查	+	+	+
电压比较准	+	+	+
稳定性试验	—	+	+
重复性试验	+	—	—

注：表中符号“+”表示必做试验项目，符号“—”表示可不做试验项目。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

被校设备外观应完好，铭牌信息齐全清晰，接线端子完整，标志正确，气压或油位符合要求。其中，铭牌信息应包括：产品编号，出厂日期，额定电压比，准确度等级，额定容量、频率等明显标志。

7.2.2 绝缘强度

7.2.2.1 工频耐压

装置中的电压互感器和感应分压器在工频耐压试验时，工频电压直接加在一次绕组上，或用二次电压感应出符合要求的一次电压。试验时一次绕组的尾端接地。

1 kV 感应分压器的试验电压不低于额定工作电压的 1.7 倍，2 kV 至 10 kV 标准器试验电压不低于额定工作电压的 1.5 倍，10 kV 以上标准器试验电压不低于额定工作电压的 1.3 倍，偏差不大于 3%。

试验设备和方法应符合 GB/T 16927.1 要求。试验过程中被试设备应无过热、放电及绝缘损坏现象。

7.2.2.2 绝缘电阻

工频电压比例标准装置中，1 kV 及以下的标准器用 500 V 兆欧表测量；1 kV 以上的电压互感器用 2.5 kV 兆欧表测量。

7.2.3 电压比

通过电压比较准得到各台标准器的电压比误差及不确定度。

首次校准应采用统计方法试验，剔除试验中的离群值数据后，试验次数不少于 6 次。后续校准和使用中的校准，若校准数据处于稳定受控状态，则可以与历史样本进行合并，确定新的量值，否则应重新进行校准。

注：本规范对试验电压百分数范围不作规定，实验室可根据装置技术条件及量值传递需要拟定，一般应控制在设备允许工作电压范围内。

7.2.3.1 单盘感应分压器

单盘感应分压器的校准可按图 6 进行。如果参考变压器 T_2 的屏蔽效果达不到 5.3 的要求，则应采用倒换极性法，用两次测量的平均值消除屏蔽误差。倒换时， T_2 的一次及二次高低端应同时换接。其它结构的参考变压器，可以采取相应的能消除屏蔽误差的换接方法。

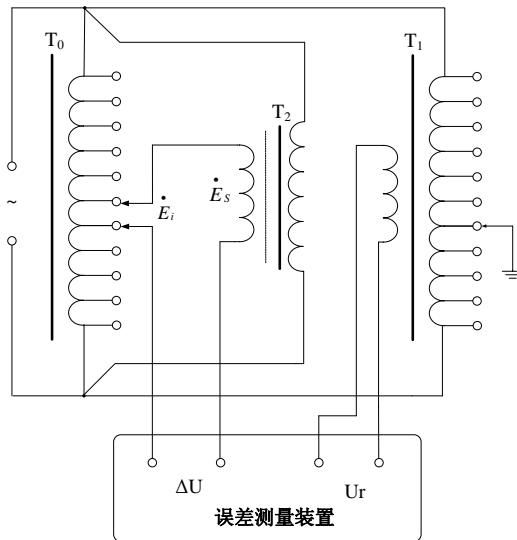
试验时，按图 6 线路逐段测量 T_0 各段电势 \dot{E}_i 相对于参考电势 \dot{E}_s 的误差，并把数据填入附录 B 中的表 B.1，然后根据式 (11) 计算出在正反极性下两次测量的平均值和各段误差平均值 $\bar{\epsilon}$ 。填入表 B.1 的数据可用 $(\pm a \pm bj)$ 的复数形式，也可以分成关于比值差 f 和相位差 δ 两个表格的形式。其它表格情况相同，不再加以说明。

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{\epsilon}_i \quad (11)$$

根据式 (9)，电压比 N/k 的误差可用式 (12) 计算：

$$\dot{\epsilon}_{(k)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \dot{\epsilon}_i - \bar{\epsilon} \quad (12)$$

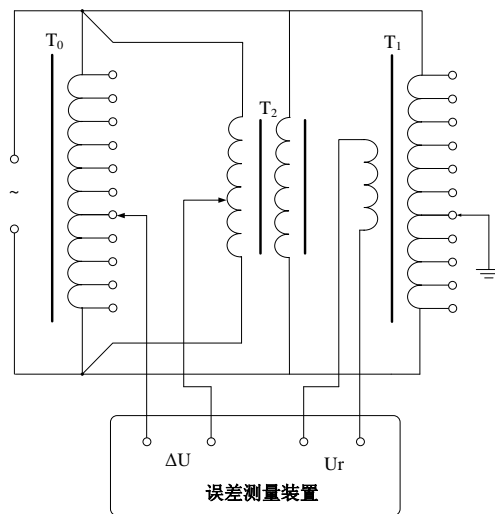
单盘感应分压器除按通常的 10 段校准外，还应进行 9 段和 7 段的校准。



T_1 : 接地与供电分压器; T_2 : 参考分压器; T_0 : 被校分压器; ΔU : 被测差压信号端口; U_r : 二次参考电压端口

图 6 单盘感应分压器校准线路

7.2.3.2 多盘感应分压器



T_1 : 接地及供电分压器; T_2 : 被校分压器; T_0 : 单盘分压器 (或多盘分压器)

图 7 多盘感应分压器校准线路

多盘感应分压器采用整体法校准，校准线路如图7所示，图中 T_0 准确度应至少比被校分压器高一级，并有已知比例误差校准值和不确定度。测量时，被校分压器金属外壳上的接地端子应与标准分压器的X端连接，并对地绝缘。用单盘分压器(或标准多盘分压器)给出 $10/k(k=1, 2, \dots, 10)$ ， $9/k(k=1, 2, \dots, 8)$ ， $7/k(k=1, 2, \dots, 6)$ 等共24个标准比例,误差

测量结果填入附录B中的表B.2。当环境干扰不能满足测量误差要求时，还需要用倒换极性方法计算出正反电源极性下测量平均值。

当应用多盘感应分压器级联测量高准确度电压互感器时，若需对多盘感应分压器误差进行修正，其修正值宜选择上述24个比例中与实际使用比例最为接近者进行修正。

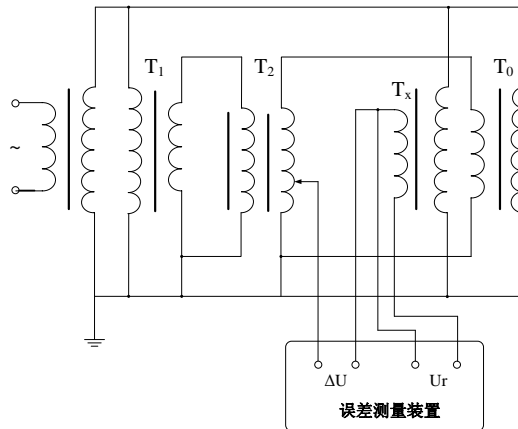
7.2.3.3 电压比误差值的电压系数

试验线路如图4所示。先以被校互感器额定电压的5%为间隔，在10%到60%额定电压范围分别测量被校互感器与串联式电压互感器上、下级相对误差 ϵ_1 、 ϵ_2 ，然后以被校互感器额定电压的10%为间隔，在(20~120)%额定电压范围测量被校互感器与串联式电压互感器的相对误差 ϵ_3 。测量结果填入附录B中的表B.3，并根据公式在表中计算出 $\gamma(2U) - \gamma(U)$ 的值。

测量时可用被校互感器作为供电互感器，使其在校准时始终以误差测量装置的工作电压回路为负荷，保持串联式电压互感器为0 VA负荷。

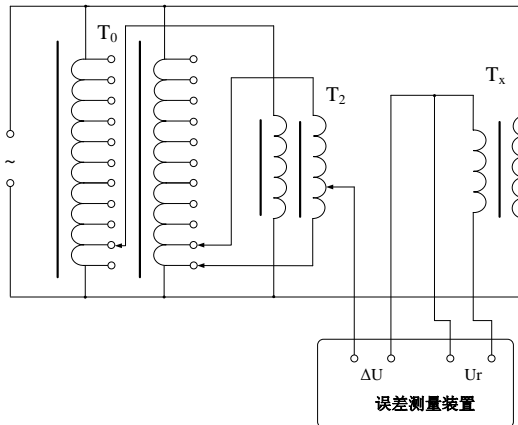
7.2.3.4 参考点误差

若被校电压互感器 T_x 的电压比大于标准器 T_0 的电压比，需要在单盘感应分压器或标准器 T_0 的二次输出端级联多盘感应分压器 T_2 ，测量线路如图8或图9所示。需要注意的是，多盘感应分压器的置数应大于或等于0.1。



T_1 : 供电互感器; T_2 : 多盘感应分压器; T_x : 被校互感器; T_0 : 标准互感器

图8 电压互感器与多盘感应分压器级联校准高压互感器参考点线路



T₀: 单盘感应分压器; T₂: 多盘感应分压器; T_x: 被校互感器

图9 感应分压器级联校准高压互感器参考点线路

图8中T₁的电压比与T₀相同,用来给T₂的激磁绕组供电,如果T₀为双级电压互感器,也可用其供电绕组给T₂的激磁绕组供电。误差测量装置依然由T_x供电。测量点可根据表B.3选取,通常为10%,15%,20%额定电压点。为了减小电磁干扰误差,可以倒换电源极性,取两次测量的平均值。测量结果填入附录B中的表B.4。如果T₀是单盘感应分压器,则可按图9的级联方法与T₂级联。

7.2.4 稳定性

将后续校准和使用中校准结果,与上一个周期校准结果比较,误差值偏差不大于标准装置误差限值的1/3。

7.2.5 重复性

在重复性条件下对被校准对象进行n次独立重复测量(n不少于6次),标准差不大于被校准对象误差限值的1/5。

8 校准结果表达

8.1 误差计算

被校对象的比值差和相位差按(13)和(14)式计算:

$$f_x = f_p + f_n \quad (13)$$

$$\delta_x = \delta_p + \delta_n \quad (14)$$

式中: f_x —被校电压互感器的比值误差, 10^{-6} 或 %;

δ_x —被校电压互感器的相位误差, μrad 或 (°);

f_p —电压上升和下降时比值误差读数的算术平均， 10^{-6} 或%；

δ_p —电压上升和下降时相位误差读数的算术平均， μrad 或(°)；

f_n —标准器的比值误差， 10^{-6} 或%；

δ_n —标准器的相位误差， μrad 或(°)。

8.2 误差修约

0.0001~0.005级工频电压比例标准装置比差误差值和相位误差均按额定电压误差限值的1/10修约，0.05级~0.01级电压互感器比值误差和相位误差按表6修约。判断标准装置是否超过允许误差时，以修约后的数据为准。

表 6 互感器的误差修约间隔

准确度级别 修约间隔	0.01	0.02	0.05
比值误差 (%)	0.001	0.002	0.005
相位误差 (°)	0.02	0.05	0.2

8.3 单盘感应分压器误差统计

单盘感应分压器的比例误差值统计如附录B中的表B.5。将表B.1中计算得到的 $\hat{\epsilon}_k$ 按测量顺序填入表B.5，再用统计方法计算出平均值和标准差s。

对应于某电压比的误差平均值就是该比例的比例误差校准值。

8.4 多盘感应分压器误差统计

多盘感应分压器整体校准数据统计如附录B中的表B.6。将表B.2中计算出的比例误差值按测量顺序填入表B.6中，然后用统计方法计算出平均值和标准差s。

对应于某电压比的误差平均值，加上标准器的误差校准值，就是该比例的比例误差校准值。

8.5 串联电压加法误差统计

8.5.1 互感器误差电压系数统计

将表B.3中计算出的值按测量顺序填入附录B中的表B.7，然后计算出表中数据的平均值和标准差s。

8.5.2 参考点误差统计

将表B.4中计算出的平均值按测量顺序填入附录B中的表B.8，然后计算出表中数据的平均值和标准差s。

8.5.3 误差校准值

以被校互感器额定电压的10%、20%、40%、80%以及15%、30%、60%、120%为基本误差校准点。将表B.7中的统计平均值加上标准器的系统误差修正值作为被校互感器的部分测量点误差。其它测量点误差则根据表B.6外推，方法如下：

30%点的误差值等于15%点误差值加上表B.6中30%栏中 $\gamma(2\dot{U}) - \gamma(\dot{U})$ 的值，60%点的误差值等于30%点误差值加上表B.6中60%栏 $\gamma(2\dot{U}) - \gamma(\dot{U})$ 的值，120%点误差值等于60%点误差值加上表B.6中120%栏中 $\gamma(2\dot{U}) - \gamma(\dot{U})$ 的值。20%、40%、80%点的误差值也可以按以上方法确定。

其它电压点可用拟合法或插值法补足。由拟合或插值引起的不确定度应不大于标准器修正值允许误差的1/5。

9 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录及统计格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C、附录 D。

10 复校时间间隔

由送校单位根据使用情况自主决定，建议复校时间间隔为 2 年。

附录 A 测量不确定度评定示例

A.1 单盘感应分压器误差校准值的合成标准不确定度

误差校准值的合成标准不确定度 u_{c1} ，由A类分量和B类分量组成。A类分量为表B.5中s的最大值，记作 s_1 。B类分量包括误差测量装置的标准不确定度 u_1 ，参考电势屏蔽不良对应的标准不确定度 u_2 。以上3项按方和根法综合，即

$$u_{c1} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n} + u_1^2 + u_2^2}$$

式中n为试验次数， $u_1=0.1\varepsilon_{max}/1.7$ ， ε_{max} 为校验仪测量读数最大绝对值。不修正屏蔽误差 ε_p 时， $u_2 = \varepsilon_p/1.7$ ；用平均法消除屏蔽误差时，取 $u_2 = 0.2\varepsilon_p/1.7$ 。

A.2 多盘感应分压器误差校准值的合成标准不确定度

整体校准时，A类分量取表B.6中最大的s值(记作 s_2)，B类分量包括标准器误差值的标准不确定度 u_3 和误差测量装置对应的标准不确定度 u_4 ，合成标准不确定度按下式综合：

$$u_{c2} = \sqrt{\frac{s_2^2}{n} + u_3^2 + u_4^2}$$

式中 u_3 根据标准器校准证书给出的标准不确定度取值。 $u_4=0.1\varepsilon_{max}/1.7$ ， ε_{max} 为校验仪测量读数最大绝对值。

A.3 标准互感器误差校准值的合成标准不确定度

把表B.7中30%、60%、120%3栏的s值用方和根法综合后(记作 s_4)，作为误差中的A类分量。A类分量还包括表B.8中s的最大值，记作(记作 s_5)。B类分量包括标准器的电压比标准不确定度 u_5 ，测量装置对应的合成标准不确定度 u_6 ，被校互感器屏蔽误差对应的合成标准不确定度 u_7 。合成标准不确定度按下式计算：

$$u_{c3} = \sqrt{\frac{s_4^2}{n} + \frac{s_5^2}{n} + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2}$$

式中， u_5 根据标准器校准证书给出的标准不确定度取值。 $u_6=0.1\varepsilon_{max}/1.7$ 。 ε_{max} 为校验仪测量读数最大绝对值。屏蔽误差取 $u_7= \varepsilon_p/1.7$ 。

A.4 扩展不确定度

各标准装置的扩展不确定度按下式计算：

$$U_p = ku_c$$

k 为置信概率为 p 时的包含因子。

附录 B 试验记录/统计表

B.1 单盘感应分压器试验记录

 $(U_r/U_n = \quad \%)^{\text{③}}$

	1	2	N	$\bar{\varepsilon}$
正					
反					
平均					
$\dot{\varepsilon}(k)$					

③ U_r 为二次参考电压， U_n 为二次额定电压，下同

B.2 多盘感应分压器试验记录

 $(U_r/U_n = \quad \%)$

10/1	9/1	7/1	7/6	10/1
正							
反							
平均							

B.3 电压串联加法试验记录

$U_r/U_n (\%)$	20	30	40	120
$\dot{\varepsilon}_3$					
$U_r/U_n (\%)$	10	15	20		60
$\dot{\varepsilon}_1$					
$\dot{\varepsilon}_2$					
$\dot{\gamma}(2\dot{U}) - \dot{\gamma}(\dot{U})$					

B.4 电压互感器参考点误差测量

U_r/U_n (%)	10	15	20	.....
正				
反				
平均				

B.5 单盘感应分压器误差数据统计表

 $(U_r/U_n = \quad \%)$

	10/1	.....	9/1	.....	7/1	.....	7/6
1							
2							
:							
:							
n							
平均							
s							

B.6 多盘感应分压器误差数据统计表

 $(U_r/U_n = \quad \%)$

	10/1	.....	9/1	.....	7/1	.....	7/6
1							
2							
:							
:							
n							
平均							
s							

B.7 互感器加法电压系数统计表

U_r/U_n (%)	20	30	40	120
1					
2					
:					
:					
n					
平均					
s					

B.8 互感器参考点误差统计表

U_r/U_n (%)	10	15	20
1				
2				
:				
:				
n				
平均				
s				

B.9 校准原始记录格式

记录编号: XXXXXX-XXXX 第 X 页共 X 页

试品主要 技术参数	额定一次电压		V	额定二次电压		V
	准确度等级		级	二次负荷		VA
	额定频率		Hz	额定功率因数		
校准时使用的主要标准器						
名 称	型 号	不确定度/最大允许误差 /准确度等级			编 号	
校准依据						
校准地点						
校准条件	温 度: °C 相对湿度: %					
校准项目						
序号	校准项目	校准结果				
1	外观检查					
2	绝缘电阻测量					
3	绕组极性					
4	工频耐压					
5	误差测量					
7	最大变差					
8	重复性					
9	稳定性					
校准说明:						
建议下次校准时间为年月日之前。						

记录编号: XXXXXX-XXXX 第 X 页共 X 页

比值差的倍率因数：相位差的倍率因数：										
量限	额定电压百分数 误差							最大 变差	二次负荷	
									VA	cosφ
	比值误差	上升								
		下降								
		平均								
		化整								
	相位误差	上升								
		下降								
		平均								
		化整								
	比值误差	上升								
		下降								
		平均								
		化整								
	相位误差	上升								
		下降								
		平均								
		化整								

记录日期：年月日

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX 第 X 页共 X 页

<ul style="list-style-type: none"> 溯源性：本次校准所使用的计量器具均可溯源到国家计量标准。 本次校准的技术依据（代号、名称）： 校准所使用的主要计量器具： 			
名称	型号	不确定度/最大允许误差 /准确度等级	编号
<ul style="list-style-type: none"> 试品的技术参数： <ul style="list-style-type: none"> 额定一次电压 V 准确度等级 级 额定二次电压 V 二次负荷 VA 额定频率 Hz 额定功率因数 校准环境条件： <ul style="list-style-type: none"> 温度 °C 相对湿度 % 校准地点： 校准说明： <p>1.绝缘电阻：</p> <p>2.绕组极性：</p> <p>3.最大变差： <u>f:</u> / ; <u>δ:</u> /</p> <p>4.重复性： 5.稳定性：</p> <p>6.其它：</p>			

注：

- 1.本实验室仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
- 2.本证书的校准结果仅对所校准器具有效。
- 3.请妥善保管此证书。

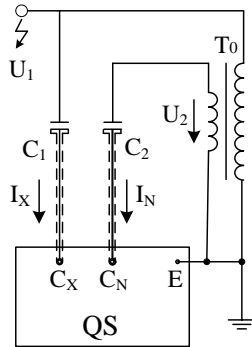
附录 D 校准证书校准结果页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX 第 X 页共 X 页

比值误差的倍率因数：相位差的倍率因数：								
量限	额定电压百分值						二次负荷	
							VA	cosφ
	比值误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
	相位误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
	比值误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
	相位误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
	比值误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
	相位误差							
	$U(\times 10^{-6})(k=)$							
结论：								

附录 E 电容器法测量误差的电压系数

电容器电压系数法是串联加法外的另一种通用技术路线，在低电压段，使用其他比率器具直接标定电容分压器的分压比，在高电压段通过确定标准电容器的电压系数来推算分压比的电压系数，原理如附图 1 所示。



附图 1 电容器法原理图

T_0 为待测互感器， C_1 为高压压缩气体电容器， C_2 为低压压缩气体电容器， QS 为电流比较仪型高压电容电桥， I_X 、 I_N 分别为高、低压标准电容器电流， U_1 、 U_2 分别为一、二次侧电压。测量原理如下：

$$\dot{I}_N = U_2 j\omega C_2 \quad (\text{附-1})$$

$$\dot{I}_X = U_1 j\omega C_1 \quad (\text{附-2})$$

根据电压互感器误差的定义有：

$$U_1 = KU_2(1 - f - j\delta) \quad (\text{附-3})$$

由式（附-1），（附-2），（附-3）得：

$$\frac{\dot{I}_X}{\dot{I}_N} = \frac{KC_1}{C_2}(1 - f - j\delta) \quad (\text{附-4})$$

式中， K 为互感器的额定电压比。

根据高压电容电桥测量原理有：

$$\frac{\dot{I}_X}{\dot{I}_N} = \frac{C_X}{C_N}(1 - jD) \quad (\text{附-5})$$

式中， D 为电桥测得的介损值，记 $N = C_X/C_N$ 。

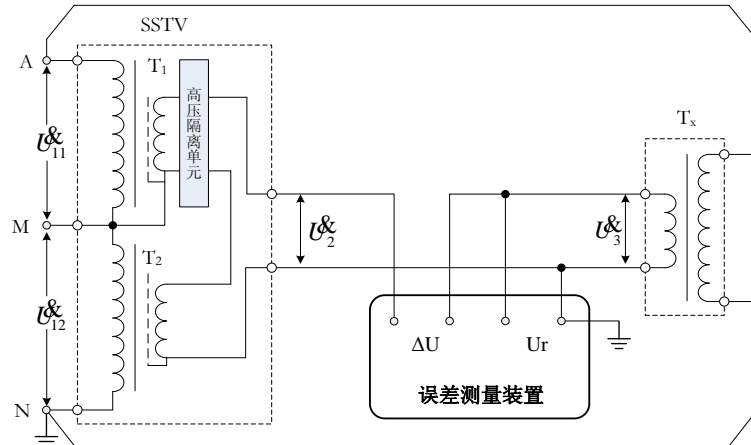
由式（附-4），（附-5）得到：

$$f = 1 - \frac{NC_2}{KC_1} \quad (\text{附-6})$$

$$\delta = D \quad (\text{附-7})$$

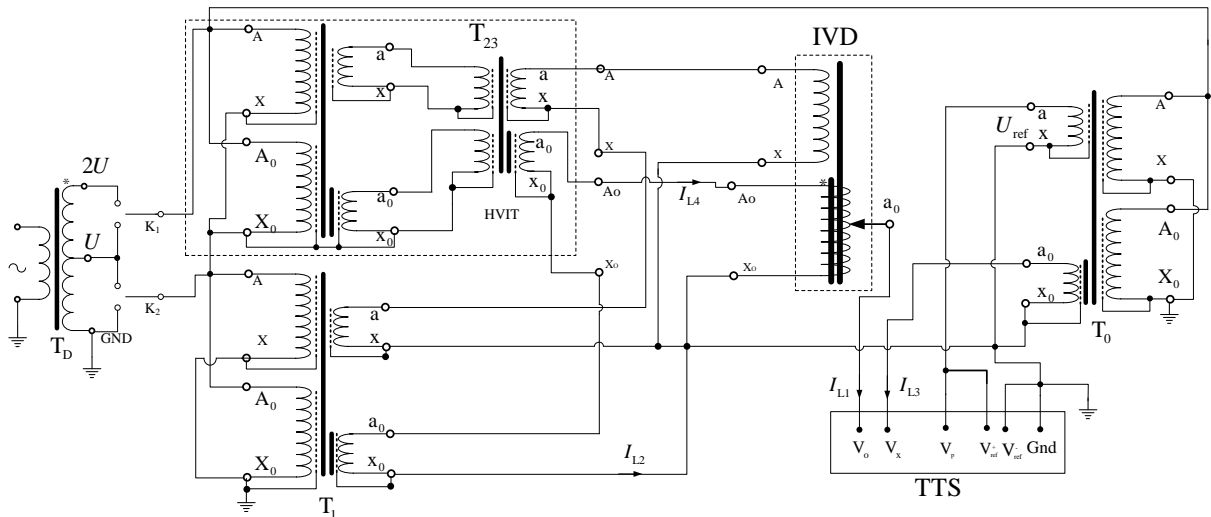
附录 F 互感器串联电压加法原理线路

正文 4.4 节中图 5 所示， T_x 为高压励磁双级互感器。若 T_x 为单级电压互感器，接线原理如附图 2 (a)，若 T_x 为低压励磁双级电压互感器，接线原理如附图 2 (b)。



U_{11} : 上级电压互感器 T_1 输入电压; U_{12} : 下级电压互感器 T_2 输入电压; U_2 : 串联式电压互感器 SSTV 输出电压;
 U_3 : 待测标准电压互感器 T_x 输出电压; ΔU : 差压输入端口; U_r : 参考电压端口

附图 2 单级电压互感器串联电压加法原理线路



T_1 : 下级电压互感器; T_{23} : 上级级电压互感器; IVD: 多盘感应分压器; T_0 : 被测电压互感器; TTS: 互感器校验仪

附图 3 低压励磁双级电压互感器串联电压加法原理线路