工频电压比例标准装置校准规范

1 范围

本规范适用于以精密感应分压器及精密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—2010 测量用电压互感器

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。

4 概述

4.1 精密感应分压器

精密感应分压器分为单盘感应分压器与多盘感应分压器两类。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，电气原理如图1和图2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。

作为工频电压比例标准器使用时，感应分压器按电压比误差定义见式（1）：

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

式中：

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；

$\dot{U}_1$——感应分压器输入电压，V；

$\dot{U}_2$——感应分压器开路输出电压，V。

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。

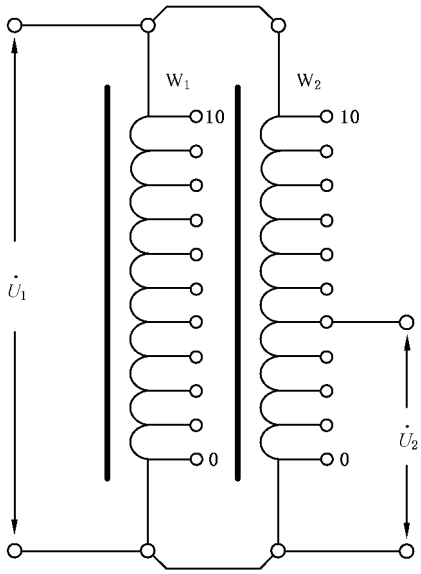


图 1　单盘感应分压器结构原理图

W_1—激磁绕组；W_2—比例绕组

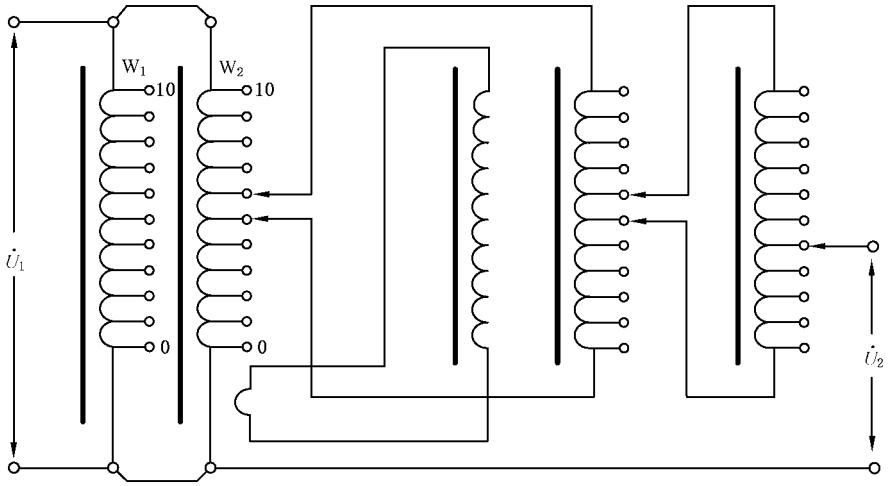


图 2　多盘感应分压器结构原理图

4.2　串联式精密电压互感器

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 3 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。

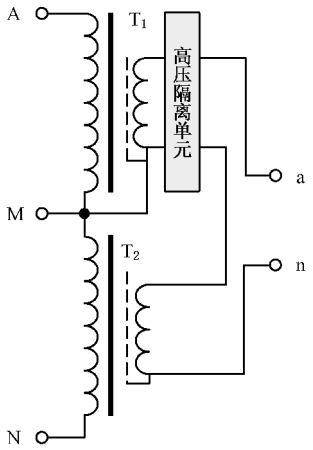


图 3　串联电压互感器结构原理图

AN—串联式互感器的一次绕组；M—一次绕组中心点；an—串联式互感器的二次绕组；

T_1—上级电压互感器；T_2—下级电压互感器

4.3　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 4 所示。图中 SSTV 为串联式标准电压互感器，由 T_1、T_2 及高压隔离单元组成，T_x 为待测标准电压互感器，其额定电压与 SSTV 相同，且 SSTV、T_1、T_2 及 T_x 的标称电压比均为 K_n。设 T_1 与高压隔离单元级联后的误差为 $\dot{\alpha}$，T_2 和 T_x 的误差分别为 $\dot{\beta}$、$\dot{\gamma}$，且 $\dot{\alpha}$、$\dot{\beta}$、$\dot{\gamma}$ 均为各自一次输入电压的函数。

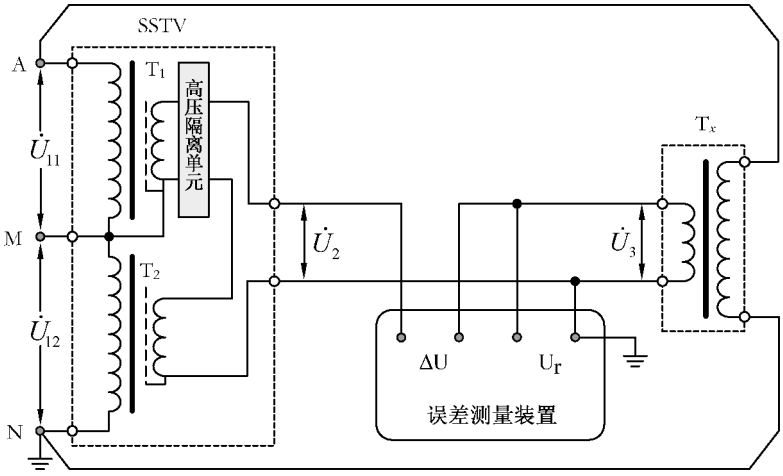


图 4　互感器串联电压加法原理线路

$\dot{U}_{11}$—上级电压互感器 T_1 输入电压；$\dot{U}_{12}$—下级电压互感器 T_2 输入电压；

$\dot{U}_2$—串联式电压互感器 SSTV 输出电压；$\dot{U}_3$—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

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：

a）$\dot{U}_{11}=\dot{U}$，$\dot{U}_{12}=0$（T_2 输入端 MN 短接），测量误差记为 $\dot{\varepsilon}_1$，根据电压互感器误差定义，$\dot{U}_2=[1+\dot{\alpha}(\dot{U})]\dot{U}_{11}/K_n$，$\dot{U}_3=[1+\dot{\gamma}(\dot{U})]\dot{U}_{11}/K_n$，可得式（2）：

$$\dot{\varepsilon}_1=\frac{\dot{U}_3-\dot{U}_2}{\dot{U}_3}=1-\frac{1+\dot{\alpha}(\dot{U})}{1+\dot{\gamma}(\dot{U})}\approx\dot{\gamma}(\dot{U})-\dot{\alpha}(\dot{U}) \tag{2}$$

b）$\dot{U}_{11}=0$，$\dot{U}_{12}=\dot{U}$（T_1 输入端 AM 短接），测量误差记为 $\dot{\varepsilon}_2$，同理可得式（3）：

$$\dot{\varepsilon}_2\approx\dot{\gamma}(\dot{U})-\dot{\beta}(\dot{U}) \tag{3}$$

c）$\dot{U}_{11}=\dot{U}_{12}=\dot{U}$，（$T_1$、$T_2$ 输入端串联），测量误差记为 $\dot{\varepsilon}_3$，同理可得式（4）：

$$\dot{\varepsilon}_3\approx\dot{\gamma}(2\dot{U})-\dot{\alpha}(\dot{U})/2-\dot{\beta}(\dot{U})/2 \tag{4}$$

综合式（2）～式（4）得式（5）：

$$\dot{\gamma}(2\dot{U})-\dot{\gamma}(\dot{U})=\dot{\varepsilon}_3-(\dot{\varepsilon}_1+\dot{\varepsilon}_2)/2 \tag{5}$$

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

4.4 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 5 所示。设 A-X 间有 N 段电压串联，各段电压依次记为 $\dot{E}_1$，$\dot{E}_2$，…，$\dot{E}_N$。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 $\dot{\varepsilon}_i$，满足式（6）：

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

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

$$N\dot{E}_s=\dot{E}-\dot{E}_s\sum_{i=1}^{N}\dot{\varepsilon}_i \tag{7}$$

$$\dot{E}_i=\dot{E}_s(1+\dot{\varepsilon}_i) \tag{8}$$

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）：

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

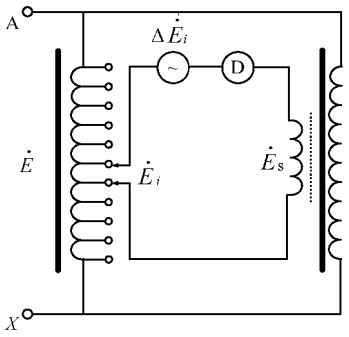


图 5　参考电势法原理线路

$\dot{E}$—输入电压；$\dot{E}_i$—第 i 段电压；$\Delta\dot{E}_i$—第 i 段补偿电压；$\dot{E}_s$—参考电势

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 0.000 1，0.000 2，0.000 5，0.001，0.002，0.005，0.01，0.02，0.05 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 的限值。

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：

$$|\varepsilon| \leqslant 4U_p \qquad (10)$$

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（′）。

表 1　工频电压比例标准器的误差限值

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
0.000 1	$\pm10^{-6}$	1	1	1	1	1	±μrad	1	1	1	1	1
0.000 2		2	2	2	2	2		2	2	2	2	2
0.000 5		5	5	5	5	5		5	5	5	5	5

表 1（续）

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
0.001	$\pm10^{-6}$	20	15	10	10	10	$\pm\mu$rad	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：额定二次负荷≤0.2 VA 时，下限负荷按 0 VA 考核。												

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。

注：如果参考电势屏蔽达不到以上要求，但可以通过某种测量方法抵偿，也允许使用。

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，能耐受 1.3[①]～1.5[②]倍额定电压 1 min 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。

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 MΩ；

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 MΩ/kV，且不小于 40 MΩ；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 MΩ。

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。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

① 适用于 10 kV 以上工频电压比例标准装置。

② 适用于 10 kV 及以下工频电压比例标准装置。

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2 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 测量标准及其他设备

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 Hz±0.5 Hz(60 Hz±0.6 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 314—2010中5.1.4的要求。

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2进行。

表2 校准试验项目一览表

项 目	首次校准	后续校准	使用中校准
外观检查	＋	＋	＋
绝缘强度试验	＋	＋	－
电压比校准	＋	＋	＋
稳定性试验	－	＋	＋
重复性试验	＋	－	－
注：“＋”表示必做试验项目，“－”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。

10 kV 及以下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 的要求。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

通过电压比校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，剔除试验中的粗差数据后，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。其他结构的参考变压器，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 $\bar{\varepsilon}$。填入表 B.1 的数据可用（$\pm a \pm b$j）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。其他表格情况相同，不再加以说明。

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

根据式（9），电压比 N/k 的误差可用式（12）计算：

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

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。

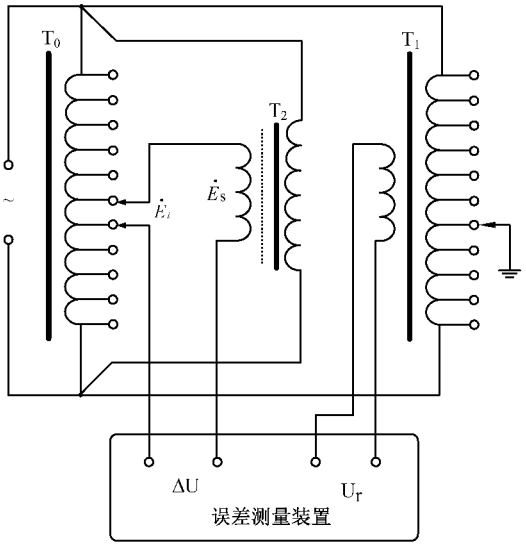


图 6　单盘感应分压器校准线路

T_1—接地与供电分压器；T_2—参考变压器；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

7.2.3.2　多盘感应分压器

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，…，10），$9/k$（$k=1$，2，…，8），$7/k$（$k=1$，2，…，6）等共 24 个标准比例，误差测量结果填入表 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。

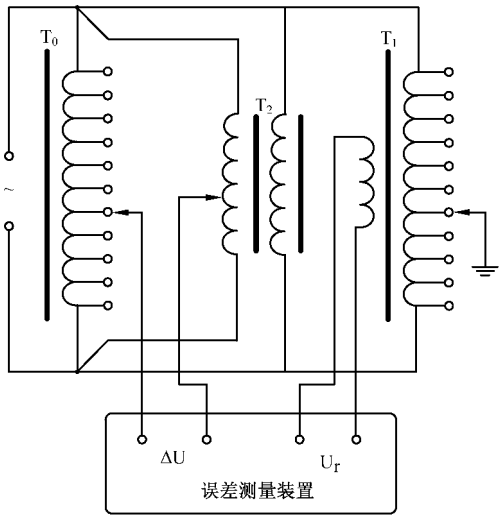


图 7　多盘感应分压器校准线路

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）

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％～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 $\dot{\varepsilon}_1$、$\dot{\varepsilon}_2$，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 $\dot{\varepsilon}_3$。测量结果填入表 B.3，并根据公式在表中计算出 $\dot{\gamma}(2\dot{U})-\dot{\gamma}(\dot{U})$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。

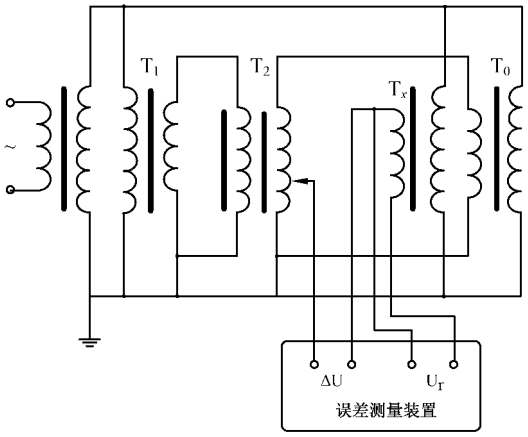


图 8　电压互感器与多盘感应分压器级联校准高压互感器参考点线路

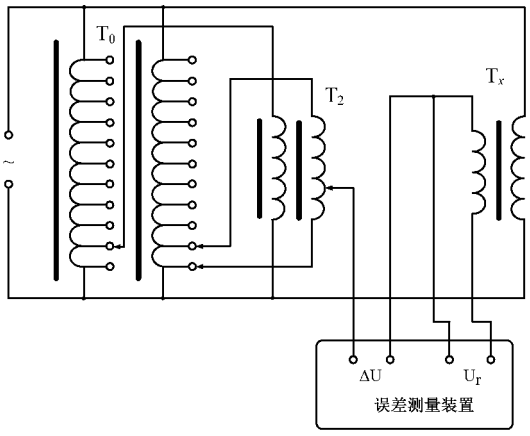


图 9　感应分压器级联校准高压互感器参考点线路

图 8 中 T_1 的电压比与 T_0 相同，用来给 T_2 的激磁绕组供电，如果 T_0 为双级电压互感器，也可用其供电绕组给 T_2 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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/697142143063006031