

互感器校验仪 的原理和应用

山西人民出版社

互感器校验仪的原理和应用

赵修民

山西人民出版社

互感器校验仪的原理和应用

山西人民出版社出版 (太原并州路七号)
山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.125 字数: 43千字
1982年3月第1版 1982年3月太原第1次印刷
印数: 1—2,000册

•

书号: 15088·139 定价: 0.36元

出版说明

本书作者赵修民是中国仪器仪表学会理事、山西省机械设计研究所工程师，长期从事互感器和互感器校验仪的设计、试验和研究工作。在1978年全国科学大会上获科研成果奖的比较仪式互感器校验仪（HEG 2型）就是以他为主研制成功的。这种新型互感器校验仪已在全国计量部门广泛使用。应读者学习使用新型互感器校验仪的需要，我社特请赵修民同志写成本书。

本书除介绍比较仪式互感器校验仪的基本原理和参数外，还介绍了电位差式互感器校验仪的基本原理和参数。本书可供从事互感器研究、设计和检定工作的技术人员、有一定经验的检定员和工人学习参考，也可供从事交流电测量的有关人员阅读。

目 录

电位差式互感器校验仪的基本原理和参数	(1)
一、电位差式互感器校验仪的基本原理.....	(1)
二、HE 5 型和HE11型互感器校验仪线路和 技术数据.....	(13)
比较仪式互感器校验仪的基本原理和参数	(26)
一、比较仪式互感器校验仪的基本原理.....	(26)
二、HEG 2 型和HEG 3 型互感器校验仪的 线路和技术数据.....	(41)
互感器的检定和检定线路	(50)
一、概述.....	(50)
二、电流互感器检定线路.....	(60)
三、电压互感器检定线路.....	(79)
电流电压比值测试线路	(91)
一、测电流电压比值基本线路.....	(92)
二、扩大量限线路.....	(103)
三、比值仪实际应用举例.....	(109)
参考文献	(128)

电位差式互感器校验仪的 基本原理和参数

一、电位差式互感器校验仪的基本原理

1. 基本测量线路

电位差式互感器校验仪的工作原理，是以工作电流下测电位差即测小电压为基础，线路如图 1 所示。

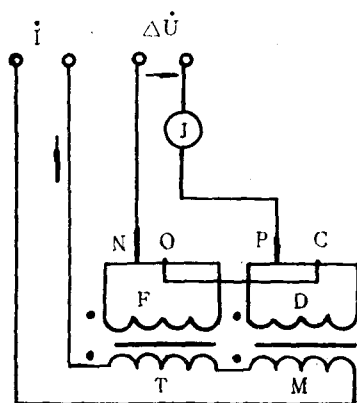


图 1 电位差式校验仪基本测量线路

图中 F 为同相盘滑线电阻，接在电流互感器 T 的二次； D 为正交盘滑线电阻，接在移相器 M 的二次。工作电

流 $\dot{I}$ 通过 T 和 M 的一次线圈, T 和 M 的二次线圈就相应产生与 $\dot{I}$ 同相和正交的电流, 分别加在滑线电阻 F 和 D 上, 产生同相和正交的电压降。如将滑线电阻 F 和 D 的中点 O 和 C 相联, 滑动同相盘的滑动触头 N , 则可得到正或负同相电压; 滑动正交盘的滑动触头 P , 则可得到正或负正交电压; 在 NP 两点上就可以得到仪器的平衡电压 $\dot{U}_{NP}$:

$$\dot{U}_{NP} = \pm K_T \dot{I} R_{NO} \pm j K_M \dot{I} R_{PC} \quad (1)$$

式中 K_T 和 K_M 分别为电流互感器 T 和移相器 M 的二次电流对一次电流的比例系数。 R_{NO} 和 R_{PC} 分别为同相盘 NO 和正交盘 PC 两点间的电阻。

被测电位差 $\dot{\Delta U}$ 输入仪器, 与仪器的平衡电压 $\dot{U}_{NP}$ 进行比较。转动同相盘和正交盘, 相应改变滑动触头 N 和 P 的位置, 即相应改变电压 $\dot{U}_{NP}$ 的大小和相位。当检流计 J 指零时, 则被测电位差 $\dot{\Delta U}$ 与仪器的平衡电压 $\dot{U}_{NP}$ 的大小相等相位相同。据此就可以求得被测电位差 $\dot{\Delta U}$ 相对于工作电流 $\dot{I}$ 的同相分量 ΔU_r 和正交分量 ΔU_x 与 $\dot{I}$ 的关系:

$$\dot{\Delta U} = \Delta U_r + j \Delta U_x = \dot{U}_{NP} \quad (2)$$

由式 (1) 和 (2) 得到:

$$\Delta U_r = \pm K_T \dot{I} R_{NO} \quad (3)$$

$$\Delta U_x = \pm K_M \dot{I} R_{PC} \quad (4)$$

电阻 R_{NO} 和 R_{PC} 的大小和正负号可分别由同相盘刻度 K_r 和正交盘刻度 K_x 来读数, $K_x = -1 \sim +1$, $K_r = -1 \sim +2$ 或 $-0.9 \sim +1.8$ (这时 C 点不在滑线电阻的中点, 而在离负号末端 $1/3$ 处, 如图 1 所示)。 K_T 和 K_M 可以包括在仪器的开关系数 K_0 内。这样:

$$\Delta U_r = K_0 K_x I \quad (5)$$

$$\Delta U_x = K_0 K_y I \quad (6)$$

这也就是仪器作为电位差计使用时，在工作电流下测电位差的线路和量限。

对于 HE 5 型互感器校验仪 $K_0 = 0.01$ 欧，当工作电流 $I = 5$ 安时，被测电位差满刻度为 $\Delta \dot{U} = \pm 0.05 \pm j_{0.1}^{0.1}$ 伏，即同相分量满刻度为 ± 0.05 伏，正交分量满刻度为 -0.05 伏， $+0.1$ 伏。

对于 HE 11 型互感器校验仪 $K_0 = 0.005$ 欧，当工作电流 $I = 5$ 安时，被测电位差满刻度为 $\Delta \dot{U} = \pm 0.025 \pm j_{0.045}^{0.045}$ 伏，即同相分量满刻度为 ± 0.025 伏，正交分量满刻度为 -0.0225 伏， $+0.045$ 伏。

当工作电压为 $\dot{U}$ 时，可以通过电阻转换为工作电流 $\dot{I}$ ，输入工作电流回路。这样就可以在工作电压下，测量电位差 $\Delta \dot{U}$ 。线路如图 2 所示。

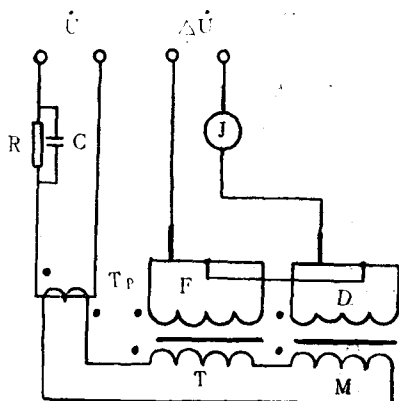


图 2 在工作电压下的基本测量线路

图中工作电压 $\dot{U}$ 转换为工作电流 $\dot{I}$ ，不是直接通过电阻来实现的，而是先通过大电阻 R ，转换为小电流 $\dot{I}_P$ ，再经过电流互感器 T_P 升流为工作电流 $\dot{I}$ ， T_P 的电流比为 $K_P = I_P/I$ ，这样就可以降低电压回路的容量。例如工作电压 100 伏转换为工作电流 1 安，直接通过 100 欧电阻，回路消耗的容量为 100 伏安；通过 2000 欧电阻转换为 0.05 安，再经过 0.05/1 互感器升流为 1 安，则回路消耗的容量只有 5 伏安。由于回路中有线圈的漏感抗存在，可在电阻 R 上并联电容，以抵销感抗，使回路为纯阻，工作电压 $\dot{U}$ 就可以转换为同相的工作电流 $\dot{I}$ 。如漏感抗很小，可略去不计，也就不需要并联电容，如 HE11 型互感器校验仪。

由此就可求得工作电压 $\dot{U}$ 与工作电流 $\dot{I}$ 的转换关系：

$$\begin{aligned} K_P \dot{I} &= \frac{\dot{U}}{R_z} \\ \frac{\dot{I}}{\dot{U}} &= \frac{1}{K_P R_z} = K_{Iv} \end{aligned} \quad (7)$$

式中 R_z 为电压回路总阻抗，包括电阻 R 和并联电容 C ，以及折算至一次的互感器 T_P 的一次总阻抗和联接导线。 K_{Iv} 为工作电压与工作电流转换系数。

这样，将式 (7) 代入式 (5) 和 (6)，就可得到被测电位差 $\Delta \dot{U}$ 相对于工作电压 $\dot{U}$ 的同相分量 ΔU ，和正交分量 ΔU_x 与 $\dot{U}$ 的关系：

$$\Delta U_r = K_0 K_x I = K_0 K_{Iv} K_x U \quad (8)$$

$$\Delta U_x = K_0 K_x I = K_0 K_{Iv} K_x U \quad (9)$$

这也就是仪器作为电位差计使用时，在工作电压下测电

位差的线路和量限。

对于 HE 5 型互感器校验仪, $K_p = 0.05/2$, $R_2 = 2000$ 欧, 转换系数 $K_{IU} = 0.02$ 姆欧, 且 $K_0 = 0.01$ 欧, 因此当工作电压 $U = 100$ 伏时, 被测电位差的满刻度为 $\Delta \dot{U} = \pm 0.02 \pm j\% \%$ 伏, 即同相分量满刻度为 ± 0.02 伏, 正交分量为 -0.02 伏, $+0.04$ 伏。

对于 HE11 型互感器校验仪, $K_p = 0.05/1$, $R_2 = 2000$ 欧, 转换系数 $K_{IU} = 0.01$ 姆欧, 且 $K_0 = 0.005$ 欧, 因此当工作电压 $U = 100$ 伏时, 被测电位差的满刻度为 $\Delta \dot{U} = \pm 0.005 \pm j\% \%$ 伏, 即同相分量满刻度为 ± 0.005 伏, 正交分量为 -0.0045 伏, $+0.009$ 伏。

2. 测电流互感器误差线路

如果将标准电流互感器 T_0 的二次电流作为工作电流, $\dot{I}_{20} = \dot{I}$, 被测电流互感器 T_x 相对于 T_0 的二次差流 $\Delta \dot{I}_2$, 作为被测小电流 $\Delta \dot{I}$, 通过电阻 R_Δ , 转换为被测电位差 $\Delta \dot{U}$,

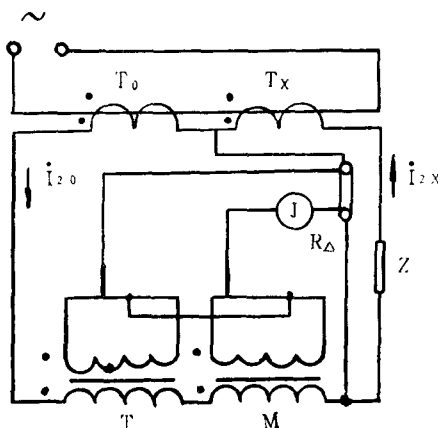


图 3 测电流互感器误差线路

就可以测电流互感器误差。线路如图3所示。

图中 T_0 和 T_x 两互感器的一次线圈串联，由电源供电。 T_0 的二次电流 $\dot{I}_{20}$ 给仪器的电流互感器 T 和移相器 M 供电， T_x 的二次电流 $\dot{I}_{2x}$ 通过二次负荷 Z ， T_x 与 T_0 的二次差流 $\dot{I}_{2x} - \dot{I}_{20}$ 通过电阻 R_d ，产生压降进行测量。

根据电流互感器误差的定义：

$$\Delta \dot{I}_2 = \dot{I}_{2x} - \dot{I}_{20} = \Delta \dot{I} \quad (10)$$

$$\Delta U = \Delta I R_d \quad (11)$$

由此也可以求得被测小电流 $\Delta \dot{I}$ 相对于工作电流 $\dot{I}$ 的同相分量 ΔI_r 和正交分量 ΔI_x 与 $\dot{I}$ 的关系：

$$\Delta \dot{I} = \Delta I_r + j \Delta I_x \quad (12)$$

由式 (11)、(12) 和式 (5) (6) 得到：

$$\Delta I_r = \frac{\Delta U_r}{R_d} = \frac{K_0 K_x I}{R_d}$$

$$\Delta I_x = \frac{\Delta U_x}{R_d} = \frac{K_0 K_x I}{R_d}$$

由电流互感器比差 f 和角差 δ 的定义得到：

$$f = \frac{\Delta I_r}{I} \times 100 = \frac{K_0 K_x}{R_d} \times 100 = K_I K_f (\%) \quad (13)$$

$$\delta = \frac{\Delta I_x}{I} \times 3440 = \frac{K_0 K_x}{R_d} \times 3440 = K_I K_\delta (\text{分}) \quad (14)$$

式中 K_I 为仪器测电流互感器误差时的开关系数，它包括 K_0 、 R_d 和系数100。 K_f 为比差盘刻度， $K_f = K_x = -1 \sim +1$ ； K_δ 为角差盘刻度， $K_\delta = -35 \sim +65$ 或 $-30 \sim +60$ ，它包括了系数34.4。

对于 HE 5 型互感器校验仪, $K_0 = 0.01$ 欧, 因此 $K_I = \frac{1}{R_d}$; 在不同量限下, R_d 与 K_I 的关系列于表1。

表1

R_d (欧)	0.1	0.333	1	3.33	10
K_I	10	3	1	0.3	0.1

对于 HE11 型互感器校验仪, $K_0 = 0.005$ 欧, 因此 $K_I = \frac{1}{2R_d}$; 在不同量限下, R_d 与 K_I 的关系列于表 2。

表2

R_d (欧)	0.1	0.5	1	5
K_I	5	1	0.5	0.1

3. 测电压互感器误差线路

如果将标准电压互感器 P_0 的二次电压作为工作电压, $\dot{U}_{20} = \dot{U}$, 被测电压互感器 P_x 相对于 P_0 的二次差压 $\Delta \dot{U}_2$, 通过电阻分压器, 转换为 $\Delta \dot{U}$, 就可以测电压互感器误差。线路如图 4 所示。

图中 P_0 和 P_x 两互感器的一次线圈并联, 由电源供电。 P_0 的二次电压 $\dot{U}_{20}$ 接仪器的工作电压回路, P_x 的二次电压 $\dot{U}_{2x}$ 接二次负荷 Y , 并与 $\dot{U}_{20}$ 相比较, 高压端对接, 低压端即差压 $\dot{U}_{2x} - \dot{U}_{20}$ 接分压器, 其电压比为 K_F , 降压后进行测量。

根据电压互感器误差的定义:

$$\Delta \dot{U}_2 = \dot{U}_{2x} - \dot{U}_{20} = K_F \Delta \dot{U} \quad (15)$$

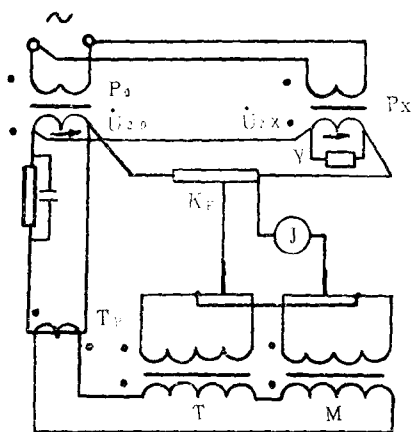


图 4 测电压互感器误差线路

由此即可求得被测电压 $\Delta \dot{U}_2$ 相对于工作电压 $\dot{U}$ 的同相分量 ΔU_{2r} 和正交分量 ΔU_{2x} 与 $\dot{U}$ 的关系:

$$\Delta \dot{U}_2 = \Delta U_{2r} + j \Delta U_{2x} \quad (16)$$

由式(15)、(16)和式(8)(9)得到:

$$\Delta U_{2r} = K_F \Delta U_r = K_F K_0 K_{IV} K_x U$$

$$\Delta U_{2x} = K_F \Delta U_x = K_F K_0 K_{IV} K_y U$$

由电压互感器比差 f 和角差 δ 的定义得到:

$$f = \frac{\Delta U_{2r}}{U} \times 100 = K_F K_0 K_{IV} K_x \times 100 = K_U K_f (\%)$$

(17)

$$\delta = \frac{\Delta U_{2x}}{U} \times 3440 = K_F K_0 K_{IV} K_y \times 3440 = K_U K_\delta (\text{分})$$

(18)

式中 K_U 为仪器测电压互感器误差时的开系数, 它包

括 K_F 、 K_0 、 K_{IU} 和系数 100。

对于 HE5 型互感器校验仪, $K_0 = 0.01$ 欧, $K_{IU} = 0.02$ 姆欧, 因此 $K_U = 0.02K_F$; 在不同量限下, K_F 和 K_U 的关系列于表 3。

表3

K_F	500/1	150/1	50/1	15/1	5/1
K_U	10	3	1	0.3	0.1

对于 HE11 型互感器校验仪, $K_0 = 0.005$ 欧, $K_{IU} = 0.01$ 姆欧, 因此 $K_U = 0.005K_F$; 在不同量限下, K_F 和 K_U 的关系列于表 4。

表4

K_F	5000/5	1000/5	500/5	100/5
K_U	5	1	0.5	0.1

4. 测阻抗线路

如工作电流 $\dot{I}$ 通过被测阻抗 Z , 产生压降 $\dot{I}Z$, 再通过分压器, 转换为 $\Delta\dot{U}$, 就可进行阻抗测量。线路如图 5 所示。

设分压器的电压比为 K_{FZ} , 则可求得被测阻抗:

$$Z = R + jx \quad (19)$$

$$Z = \frac{K_{FZ} \Delta\dot{U}}{\dot{I}} \quad (20)$$

由式(19)、(20)和式(2)、(5)、(6)得到:

$$R = \frac{K_{FZ} \Delta U_r}{I} = \frac{K_{FZ} K_0 K_s I}{I} = K_{FZ} K_0 K_s = K_z K_s \quad (21)$$

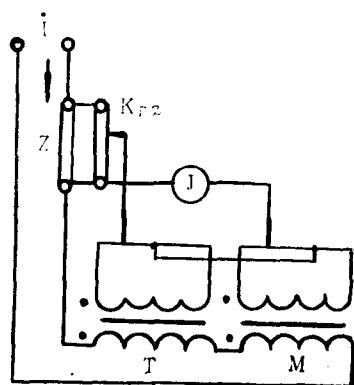


图 5 测阻抗线路

$$x = \frac{K_{FZ} \Delta U_x}{I} = \frac{K_{FZ} K_0 K_y I}{I} = K_{FZ} K_0^3 K_y = K_Z K_y \quad (22)$$

式中 K_Z 为仪器测阻抗时的开关系数。

对于 HE5 型互感器校验仪, $K_0 = 0.01$ 欧, 因此 $K_Z = 0.01 K_{FZ}$ 欧; 在不同量限下, K_{FZ} 与 K_Z 的关系列于表 5。

表5

K_{FZ}	30000/10	10000/10	3000/10	1000/10	300/10
K_Z (欧)	30	10	3	1	0.3

对 HE11 型互感器校验仪, $K_0 = 0.005$ 欧, 因此 $K_Z = 0.005 K_{FZ}$ 欧; 在不同量限下, K_{FZ} 与 K_Z 的关系列于表 6。

表6

K_{FZ}	5000/5	1000/5	500/5	100/5
K_Z (欧)	5	1	0.5	0.1

比较表 6 和表 4 可见, 在 HE11 型互感器校验仪中, 测电压互感器误差所用的分压器与测阻抗所用的分压器完全相同, 即 $K_F = K_{FZ}$, 因此, 这个分压器可以在两测量回路中共用, 这就节省了元件, 简化了线路。

5. 测导纳线路

如将工作电压 $\dot{U}$, 加在被测导纳 Y 上, 产生小电流 $\Delta \dot{I}$, 通过电阻 R_Y , 转换为 $\Delta \dot{U}$, 就可进行导纳测量。线路如图 6 所示。

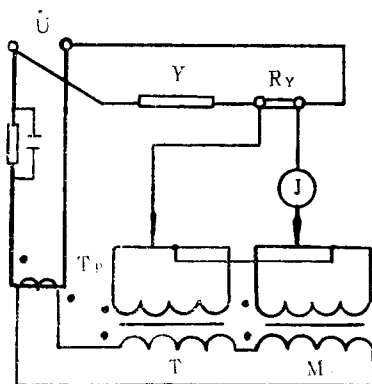


图 6 测导纳线路

$$Y = G + jb \quad (23)$$

$$Y = \frac{\Delta \dot{I}}{\dot{U}} = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{U} R_Y} \quad (24)$$

由式(23)、(24)和式(2)、(8)、(9)得到:

$$G = \frac{\Delta U_r}{U R_Y} = \frac{K_o K_{IV}}{R_Y} K_x = K_Y K_x \quad (25)$$

$$b = \frac{\Delta U_x}{U R_Y} = \frac{K_0 K_{IV}}{R_Y} K_Y = K_Y K_Y, \quad (26)$$

式中 K_Y 为仪器测导纳量限开关系数。

对于 HE 5 型互感器校验仪, $K_0 = 0.01$ 欧, $K_{IV} = 0.02$ 姆欧, 因此 $K_Y = 0.0002/R_Y$ 姆欧; 在不同量限下, R_Y 与 K_Y 的关系列于表 7。

表 7

R_Y (欧)	0.00667	0.02	0.0667	0.2	0.667
K_Y (姆欧)	300×10^{-4}	100×10^{-4}	30×10^{-4}	10×10^{-4}	3×10^{-4}

对于 HE11 型互感器校验仪, $K_0 = 0.005$ 欧, $K_{IV} = 0.01$ 姆欧, 因此 $K_Y = 0.00005/R_Y$ 姆欧; 在不同量限下, R_Y 与 K_Y 的关系列于表 8。

表 8

R_Y (欧)	0.1	0.5	1	5
K_Y (姆欧)	5×10^{-4}	1×10^{-4}	0.5×10^{-4}	0.1×10^{-4}

比较表 8 和表 2 可见, 在 HE11 型互感器校验仪中, 测电流互感器误差所用的差流电阻 R_d 与测导纳所用的电阻 R_Y 完全相同, 即 $R_Y = R_d$ 。因此, 这一组电阻可以在两测量回路中共用, 这就节省了元件, 简化了线路。