

互感器

翁东波劳模创新工作室
2020年2月

第一节 互感器概述

- 互感器(包括电压互感器和电流互感器)是一次系统(主电路)和二次系统(控制电路、测量回路)间的联络元件;是电力系统中供测量和保护用的重要电气设备。互感器与电力系统之间的连接关系如图3—1所示。
- 互感器在电力系统中的作用是:
- (1)将二次电气设备(如仪表、继电器等)与高电压、强电流的一次电路隔离,以解决其测量中的绝缘问题,保证人身和设备的安全(如果用仪表、电流继电器直接测量最大也就侧到100A左右,对于几百安,上万伏的测量就不能直接测量了)。
- (2)准确的变换电压、电流。将一次电路中的高电压、大电流变为二次回路的低电压(一般为100V)和小电流(一般为5A、1A)向测量仪表和继电器的电压线圈和电流线圈供电,即做二次设备的交流电源。
- (3)使二次电气设备标准化、系列化、小型化,接线灵活、方便,不受主电路的限制,便于实现远距离集中控制、测量、保护。

第一节 互感器概述

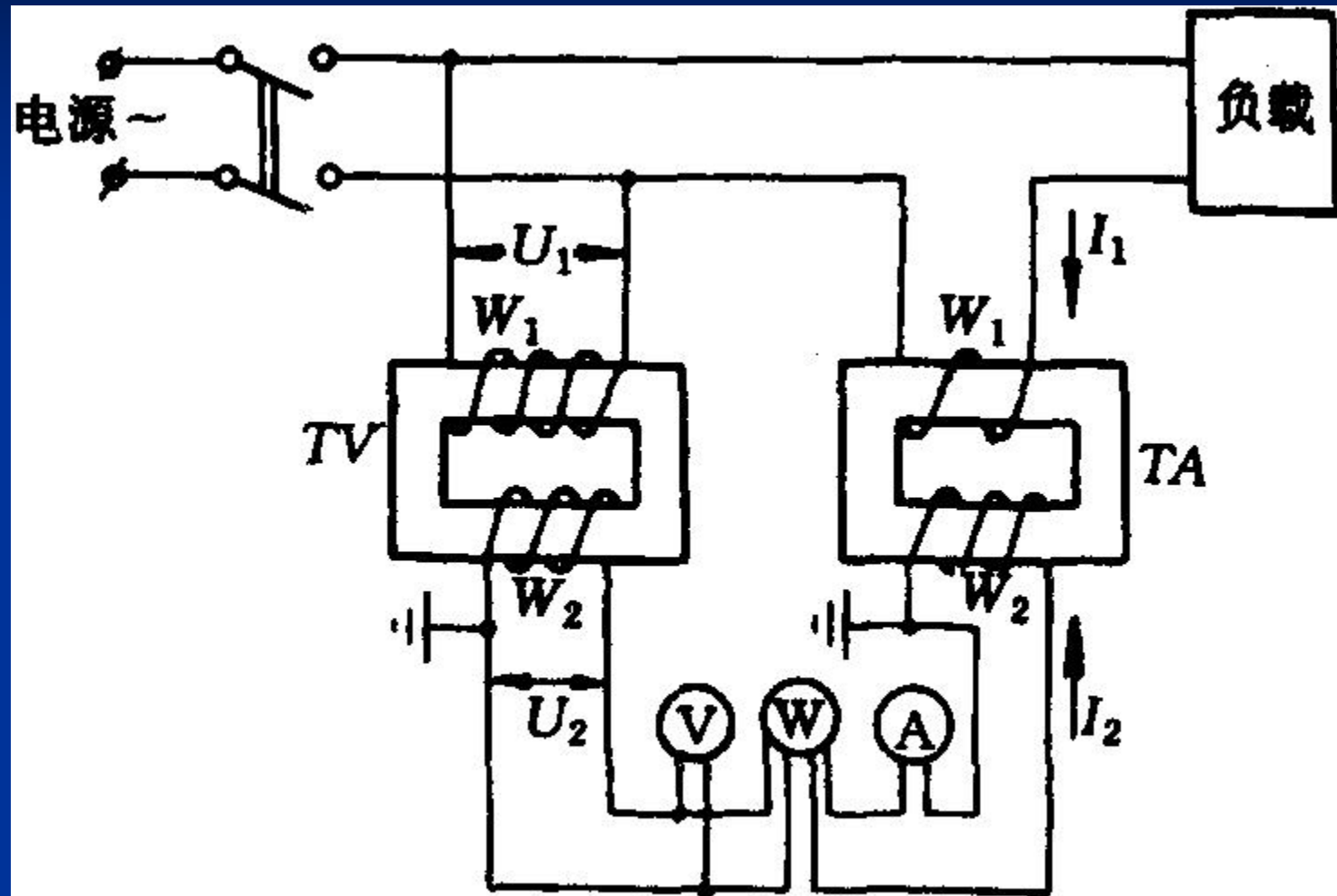


图 3—1 电压互感器和电流互感器的联接

第二节 电流互感器

一、电流互感器的工作特性

- 电流互感器的原绕组串联于一次电路内，并且其匝数 W_1 很少，通常仅一匝或几匝。因此，原绕组中的电流完全取决于一次电路内的负荷电流，而与电流互感器副绕组内的电流无关。电流互感器副绕组的匝数 W_2 较多，为原绕组的若干倍。因此，二次电路内的电流 I_2 远小于一次电路内的电流 I_1 。电流互感器的额定电流比(互感比) K_i 定义为原、副绕组额定电流之比，即 $K_i = I_N / I_n \approx W_2 / W_1$ 式中 W_1 、 W_2 ——原、副绕组匝数。
- 例：一电流互感器一次侧1匝，二次侧10匝，问此电流互感器的变比是多少？如果一次电缆流过100A，问二次仪表中的电流是多少？二次回路电流5A,一次侧电流是多少？

$$K_i = W_2 / W_1 = 10 / 1 = 10 \quad I_n = I_N / K_i = 100 / 10 = 10A$$

$$I_N = I_n * K_i = 5 * 10 = 50A$$

- 电流互感器原绕组额定电流在设计时已标准化(如 $I_N=200A$ 、 $400A$ 、 $600A$...), 副绕组额定电流 I_n 一般统一为 $5A$ ，故 K_i 亦标准化。
- 电流互感器副绕组所接负载全是仪表和继电器的电流线圈，其阻抗值很小，与副绕组本身阻抗相比，可忽略不计，所以，电流互感器正常工作时，其副边工作在近似短路状态，相当于变压器副边短路运行。

按正常运行状态设计电流互感器时，在原边电流为额定值及副边成闭合回路的条件下，电流互感器二次端电压 U_2 值很低，以保证电流互感器二次额定电流为5A。

运行中当电流互感器副绕组不慎或事故开路时，二次负荷电流 $I_2=0$ ，反向去磁磁势 $F_2=0$ ，磁通的迅速变化将在副绕组上感生一个峰值达数千伏(随原边额定电流的增大而增大)的电势，危及人身和设备的安全；其二，由于铁心中磁通的骤增，引起电流互感器的铁损迅速增加，使铁心剧烈发热，导致电流互感器损坏；其三、急剧增加的磁通导致铁心严重磁化，使剩磁增加，从而加大了电流互感器的误差。

因此，电流互感器在运行中绝不允许副绕组开路，电流互感器副绕组一端必须接地；电流互感器二次侧不允许加装熔断器。

三、电流互感器的主要参数

1. 额定电流变比

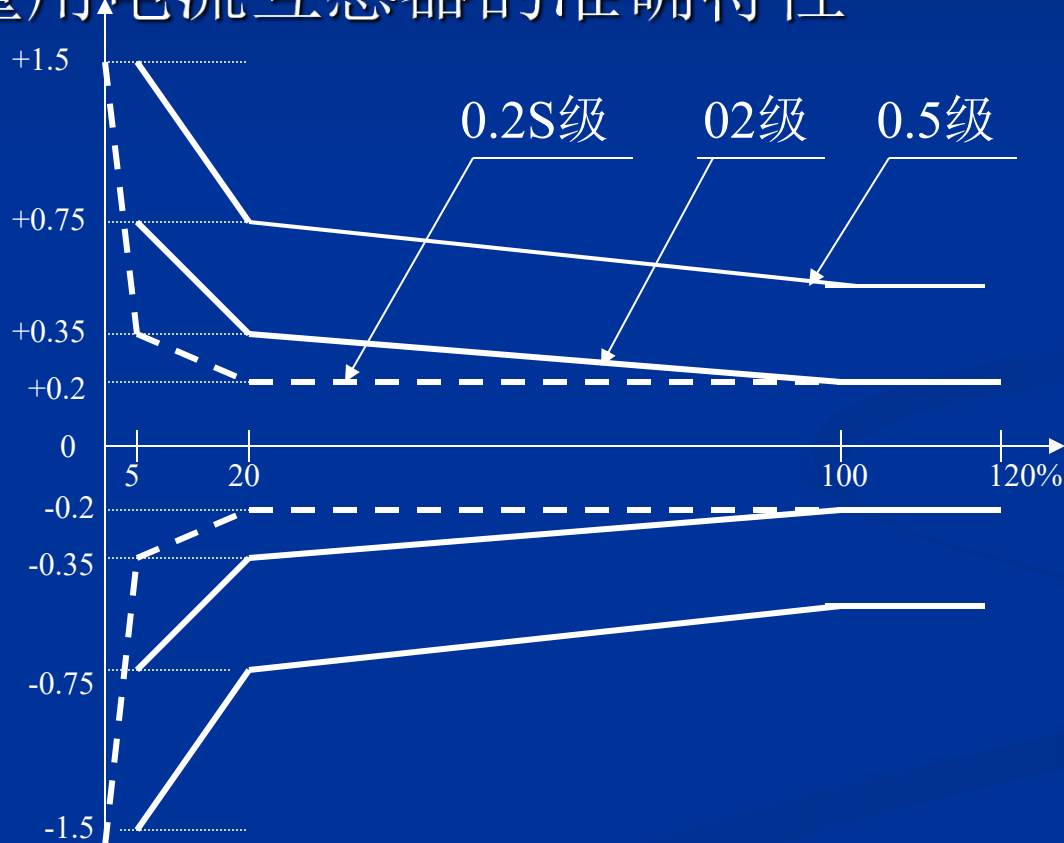
额定电流变比是指一次额定电流与二次额定电流之比（有时简称电流比或电流变比）；额定电流比一般用不约分的分数形式表示如 $100\text{A} / 5\text{A}$ 。

额定电流，就是在这个电流下，互感器可以长期运行而不会因发热损坏。当负载电流超过额定电流时，叫作过负载。

2. 准确度等级

电流互感器根据测量时误差的大小而划分为不同的准确度级。准确度级是指在规定的二次负荷范围内，一次电流为额定值时的最大误差。国产电流互感器的准确度等级有0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、3.0、5.0、0.2S级及0.5S级P21

■ 测量用电流互感器的准确特性



- 负荷电流变化范围大时应采用S级电流互感器

3. 额定容量

电流互感器的额定容量系指电流互感器在额定二次电流和额定二次阻抗下运行时，二次线圈输出的容量。

$$S_{N2} = I_{N2}^2 Z_{N2}$$

由于电流互感器的二次电流为标准值（5A或1A），故其容量也常用额定二次阻抗来表示。因电流互感器的误差和二次负荷有关，故同一台电流互感器使用在不同准确级时，会有不同的额定容量。

电流互感器对负载的要求就是负载阻抗之和不能超过互感器的额定二次阻抗值。

4. 额定电压

是指一次绕组长期能够承受的最大电压（有效值），它只是说明电流互感器的绝缘强度，而和电流互感器额定容量没有任何关系。

5. 极性标志

(1) 一次绕组首端标为L1，末端标为L2。当一次绕组带有抽头时，首端标为L1

(2) 二次绕组首端标为K1，末端标为K2。当二次绕组带有中间抽头时，首端标为K1，

(3) 标志符号的排列应当使一次电流自L1端流向L2端时，二次电流自K1流出，经外部回路流回到K2

6. 二次负荷选择

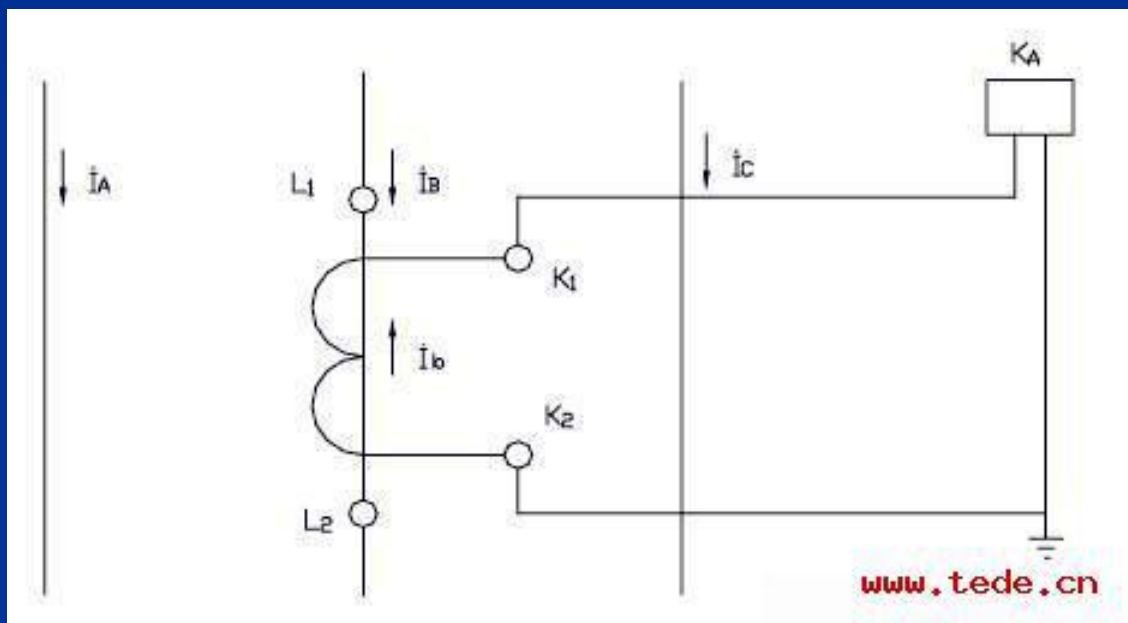
电流互感器的二次负荷可用阻抗 $Z_b(\Omega)$ 或容量 $S_b(\text{VA})$ 表示，两者之间关系为：

$$Z_b = \frac{S_b}{I^2}$$

电流互感器的二次负荷额定值可根据实际负荷需要选用2.5、5、7.5、10、15、20、30VA。

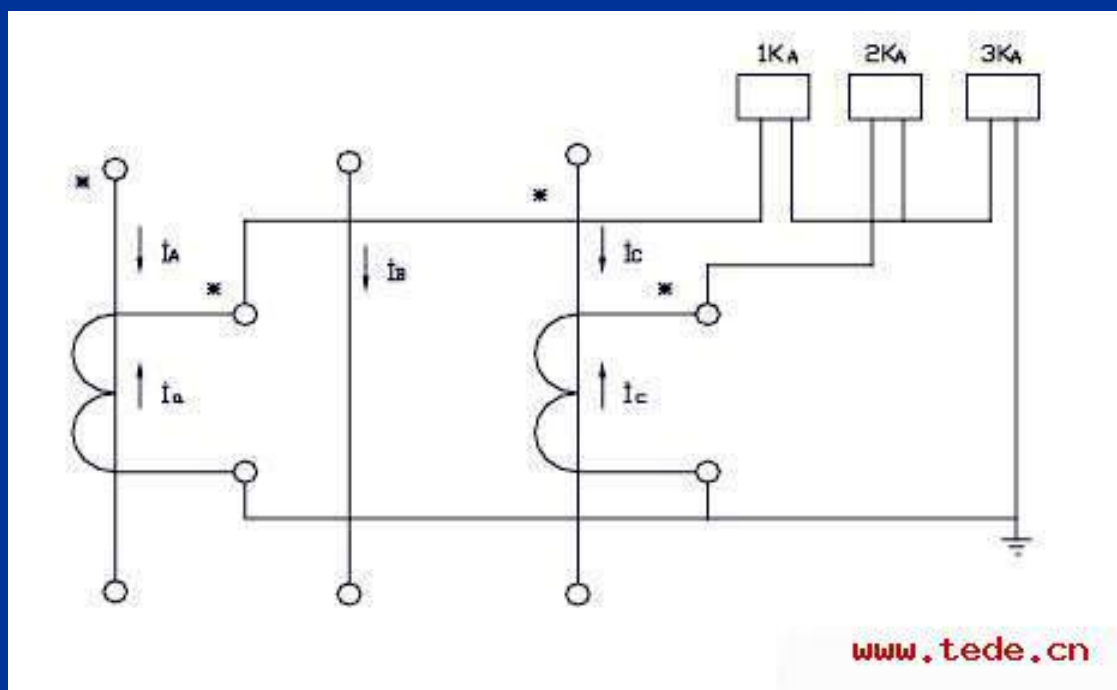
三、电流互感器的接线方式

单相接线



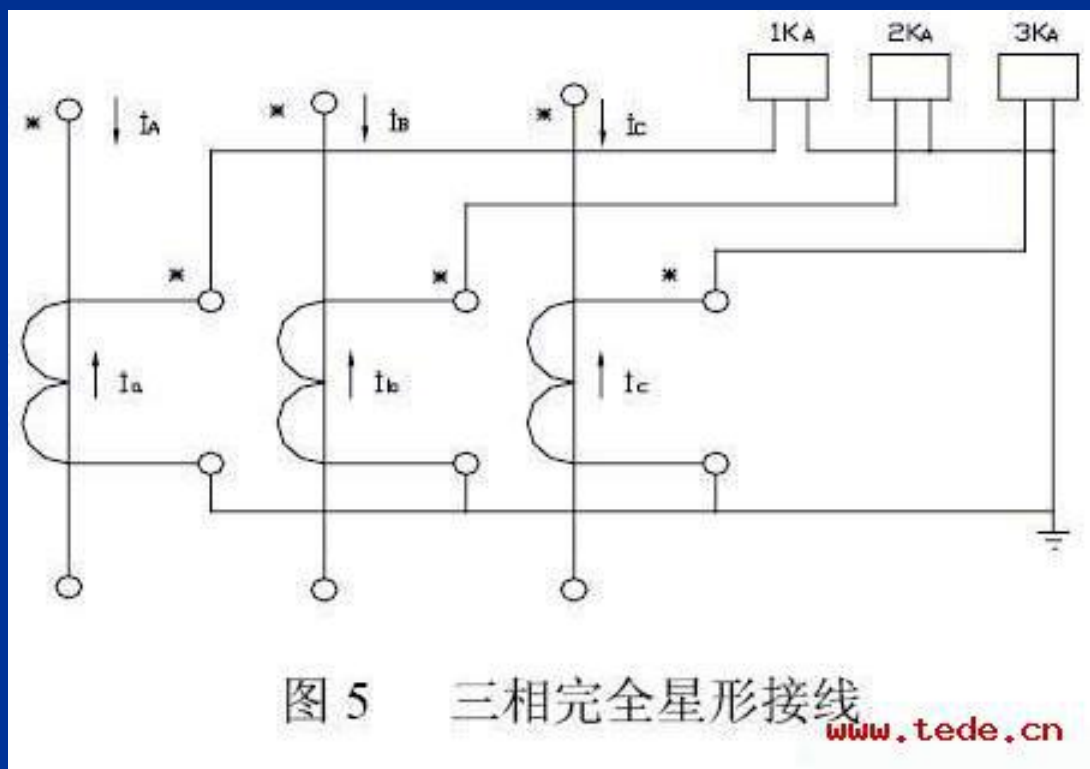
三、电流互感器的接线方式

两相式不完全星形接线用于相负荷平衡和不平衡的三相系统中。



三、电流互感器的接线方式

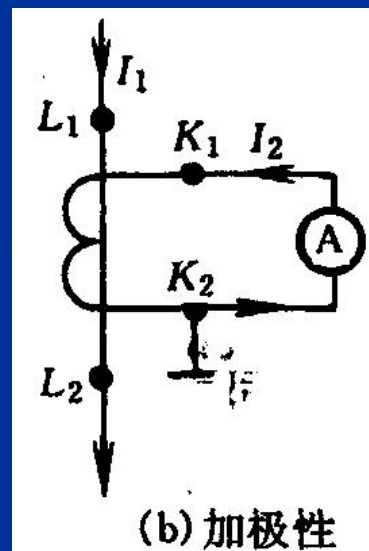
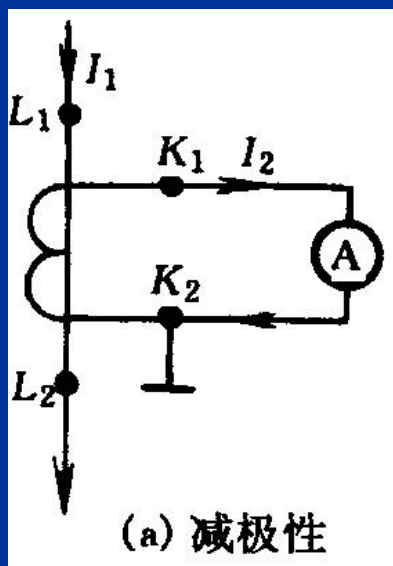
两相式不完全星形接线用于相负荷平衡和不平衡的三相系统中。



只有确认了电流互感器的极性后，电流互感器副边才能正确的接线，如图3—10所示。

当认为 I_1 是从 L_1 流入， L_2 流出时， I_2 是从 K_1 流出，由 K_2 流入，则电流互感器为减极性，即 L_1 和 K_1 是同名端。

当认为 I_1 是从 L_1 流入， L_2 流出时， I_2 是从 K_1 流入，由 K_2 流出，则电流互感器为加极性，即 L_1 和 K_1 是异名端。



二、电流互感器的误差

分为：比差和角差

(一)电流误差(比值差)

电流误差是以电流互感器副边测出的一次电流近似值 $K_1 I_2$ 和一次电流实际值 I_1 之差对一次电流实际值的百分比表示。

即：
$$I = (K_1 I_2 - I_1) / I_1 \times 100\%$$

电流误差能引起所有仪表和继电器产生误差。

(二)角误差(相角差)

角误差为旋转 180° 的二次电流相量与一次电流相量之间的夹角 δ 。并规定 I_2 旋转后超前 I_1 时， δ 值为正；反之， δ 值为负。

角误差对功率型测量仪表和继电器及反映相位保护的装置都有影响。

(三)影响电流互感器误差的因素

1. 一次电流 I_1 对电流互感器误差的影响

- (1)当 I_1 过大，如 $I_1 \gg 1.2I_N$ 或通过短路电流时，由于：① W_1 上的铜耗增大；②引起 $F_1=I_1W_1$ 过大，使 F_e 过大，即 I_e 、 Φ_e 过大，但铁心磁路已经饱和， Φ_e 的增加不与 I_1 成正比增加，电流互感器二次绕组中产生的感生电势 E_2 也不与 I_1 成正比增加， I_2 值将增加甚小。即出现误差。
- (2)当 I_1 过小，如 $I_1 \ll I_N$ 时，引起 F_1 过小。使 F_e 过小，即 I_e 、 ψ_e 过小，在理想状态下 E_2 也应过小，在二次负载不变的条件下， I_2 也应该减小，但由于铁心具有磁滞现象，铁心中剩磁将起主导作用，此时， ψ_e 将不随 I_1 的减小而成正比的减少，或者说 ψ_e 在 I_1 过小时变化甚小，这将造成 E_2 近似不变，即 I_2 值近似不变，电流互感器出现误差。

2. 二次负载阻抗及功率因数对误差的影响

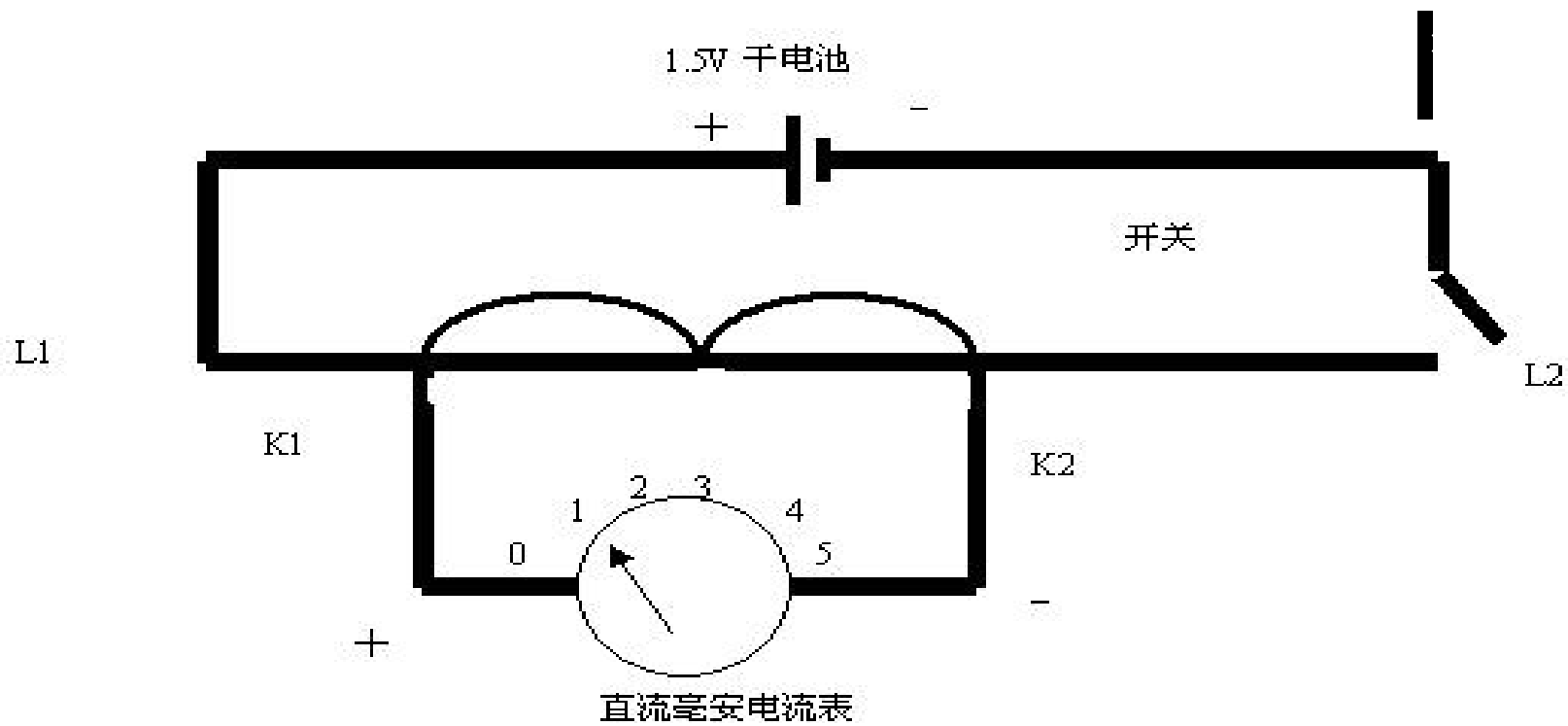
当一次电流不变，过多增加二次负载时($\cos \Phi$ 不变)， I_2 将减小， ΔI 和 δ 均增大。所以电流互感器要定期测量二次回路电阻，应保证阻值小于规定值。

- (四)电流互感器的准确度和二次额定负载
- 电流互感器根据测量时误差的大小划分为不同的准确度等级。
- 准确度是指在规定的二次负载范围内，一次电流为额定值时，最大电流误差的百分数，如表3—1所示。
- 准确度为0.2S级的电流互感器一般用于精密测量；电度表一般应采用0.2S级；
- 电流互感器在某一准确度级下，有额定的二次负载，超过二次额定负载，电流互感器的准确度等级将降低。

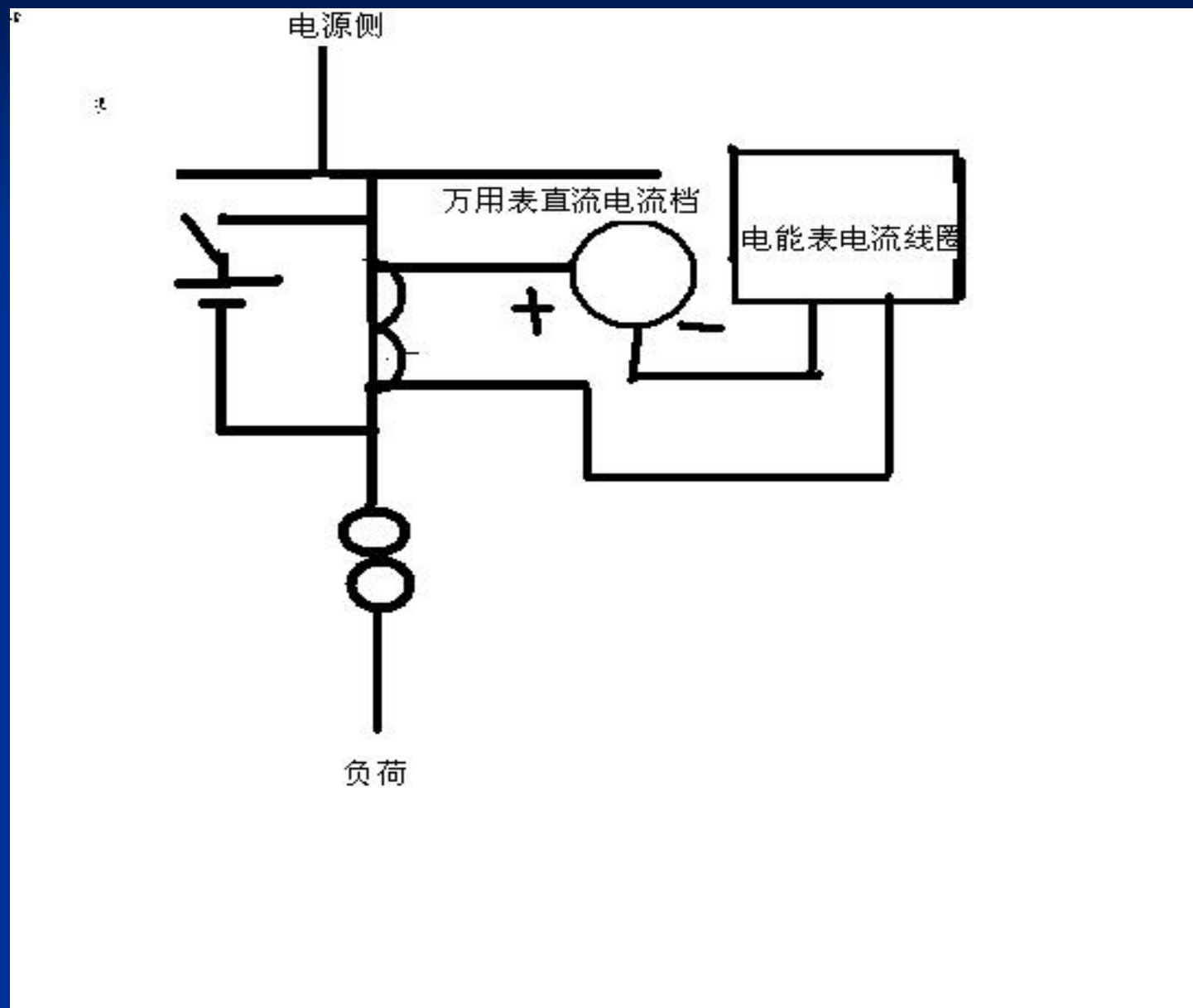
电流互感器的极性试验

试验接线如图所示。开关、干电池（如1.5V）和电流互感器一次绕组互相串联，电流互感器的二次绕组接万用表（选用直流毫安量程）。若为减极性，则在合开关的瞬间万用表指针应从零位往正向偏转。

当开关合上瞬间，毫安表或万用表指针向“+”方向偏转，则表明毫安表或万用表“+”端子所接的互感器二次端子K1与接在电池正极的互感器一次端子L1为同极性。若开关合上瞬间，毫安表或万用表指针向“-”端子方向偏转，则表明L1与L2两点的极性相反。



在实际设备上应用



穿心是电流互感器的使用

■ 正确穿绕的方法

我们首先应根据负荷的大小确定互感器的倍率，然后将一次线按要求从互感器的中心穿绕，注意不能以绕在外圈的匝数为绕线匝数，应以穿入电流互感器内中的匝数为准。如最大变流比为150/5的电流互感器，其一次最高额定电流为150A，如需作为50/5的互感器来用，导线应穿绕

$$150/50=3\text{匝}$$

，即内圈穿绕3匝，此时外圈为仅有2匝(即不论内圈多少匝，只要你是从内往外穿，那么外圈的匝数总是比内圈少1匝的，当然如果导线是从外往内穿则反之)，此时若以外圈匝数计，外圈3匝则内圈实际穿芯匝数为4匝，变换的一次电流为 $150/4=37.5\text{A}$ ，变成了37.5/5的电流互感器。

电压互感器

电压互感器是将一次侧的高电压按比例变为适合仪表或继电器使用的额定电压为100V的变换设备。

1. 电磁式电压互感器

(1) 电磁式电压互感器的工作原理和变压器相同。

电压互感器的特点

1) 容量很小，类似一台小容量变压器，但结构上要求有较高的安全系数；

2) 电压互感器二次绕组所接仪表的电流线圈阻抗很大，正常情况下，电压互感器在近于空载的状态下运行。

(2) 额定变比

电压互感器一、二次绕组电压之比称为电压互感器的额定互感比。

$$K_u = \frac{U_{N1}}{U_{N2}} \quad (4-11-5)$$

式中 U_{N1} —— 等于电网的额定电压，kV；
 U_{N2} —— 额定电压为100V。

11.1.2 电压互感器

(3) 电压互感器误差

电压误差为二次电压的测量值 U_2 与额定互感比 K_u 的乘积与实际一次电压 U_1 之差，以百分数表示；

$$f_u = \frac{K_u U_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (4-11-6)$$

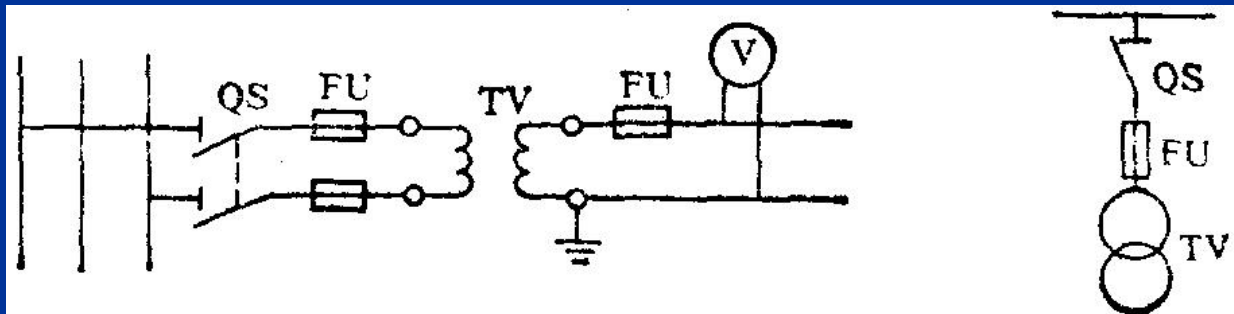
相位差为旋转 180° 的二次电压相量 $-\dot{U}_2$ 与一次电压相量 \dot{U}_1 之间的夹角 δ_u ，并规定 $-\dot{U}_2$ 超前于 \dot{U}_1 时相位差 δ_u 为正，反之为负。

电压互感器的误差与二次负载、功率因数和一次电压等运行参数有关。

3. 电压互感器的接线形式

(1) 单相接线

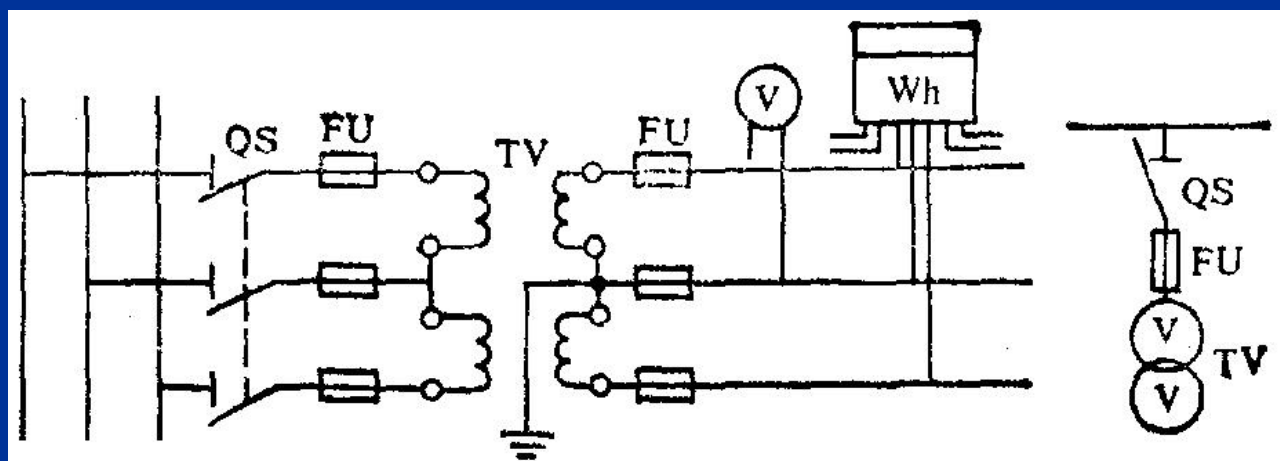
该接法仅适用于测量相间电压。如果互感器一次绕组的一端接在线路上，另一端接地，互感器可测量某一对地电压。



单相接线

(2) V—V接线

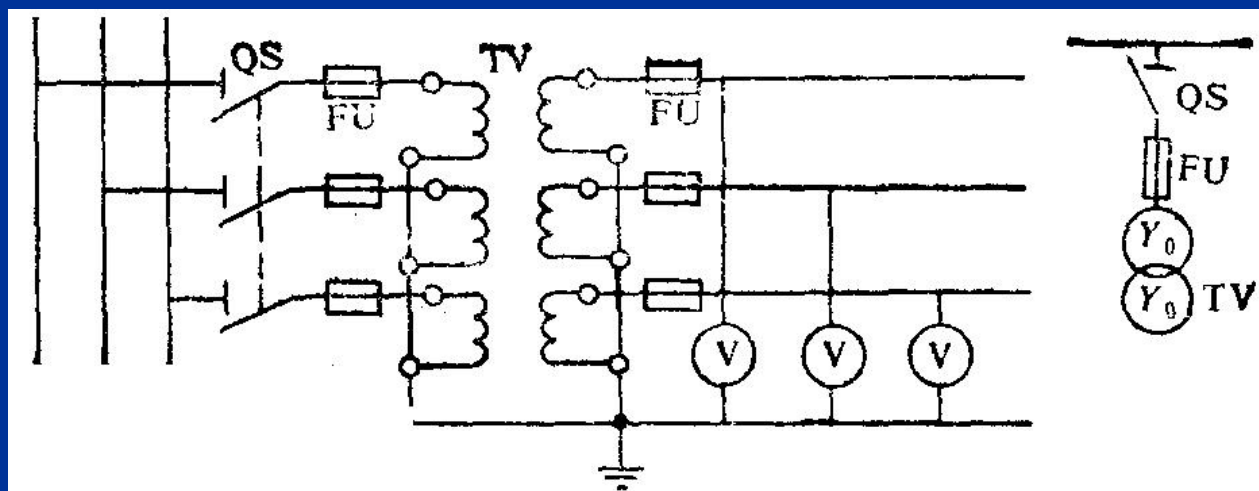
由两个单相互感器接线成不完全星形（V—V形），用来测量各相间电压，但不能测量相对地电压，它广泛应用于20kV以下中性点不接地或经消弧线图接地的电网中。



V—V接线

(3) Y—Y接线

由三个单相互感器一、二次侧均接成Y形，可供要求线电压的仪表和继电器以及要求相电压的绝缘监视电压表。



Y—Y接线

使用电压互感器应注意以下事项：

1) 电压互感器的二次侧在工作时不能短路。在正常工作时，其二次侧的电流很小，近于开路状态，当二次侧短路时，其电流很大（二次侧阻抗很小）将烧毁设备。

2) 电压互感器的二次侧必须有一端接地，防止一、二次侧击穿时，高压窜入二次侧，危及人身和设备安全。

3) 电压互感器接线时，应注意一、二次侧接线端子的极性。以保证测量的准确性。

4) 电压互感器的一、二次侧通常都应装设熔丝作为短路保护，同时一次侧应装设隔离开关作为安全检修用。

5) 一次侧并接在线路中。

4. 电压互感器准确级和容量

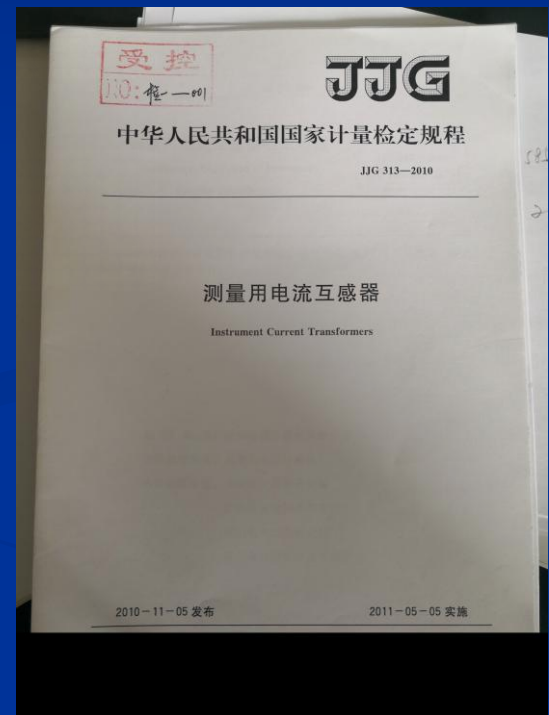
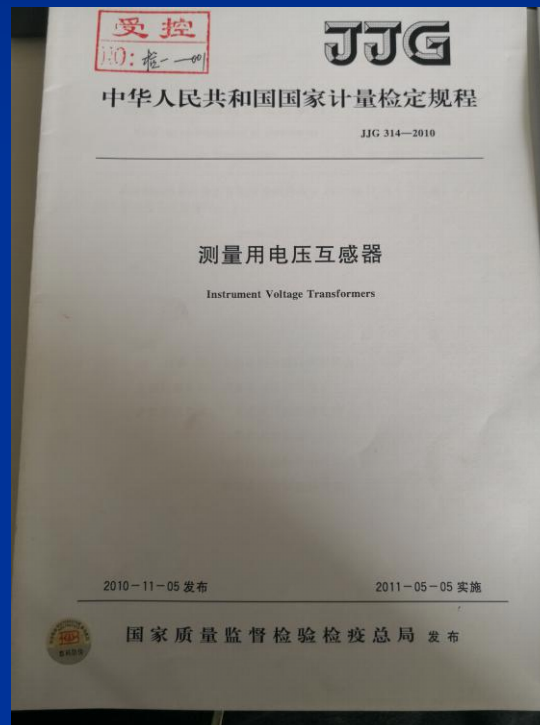
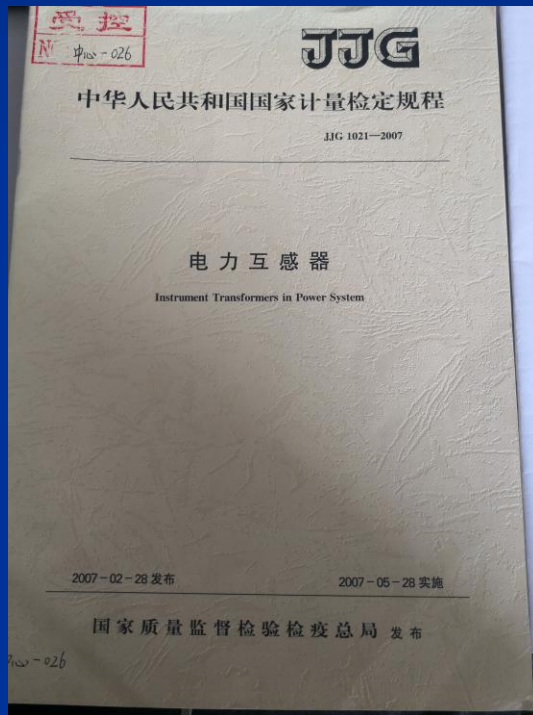
电压互感器的准确级，是指在规定的二次电压和二次负荷变化范围内，负荷功率因数为额定值时，电压误差的最大值。

由于电压互感器误差与负荷有关，所以同一台电压互感器对应于不同的准确级便有不同的容量。通常额定容量是指对应于最高准确级的容量。电压互感器按照在最高工作电压下长期工作允许的发热条件，还规定了最大容量。

电压互感器的负载要求就是负载容量之和不能超过互感器的额定二次容量值。

互感器检定

互感器检定规程



测量用电流互感器

3.1 基本误差

环境温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80% ，环境电磁干扰和机械振动可忽略时，测量用电流互感器在额定频率、额定功率因数及二次负荷为额定二次负荷 $25\%\sim 100\%$ 之间的任一数值时，各准确度等级的误差不得超过表 1 的限值。为满足特殊使用要求制造的 S 级电流互感器，各准确度等级的误差不得超过表 2 的限值。

电流互感器的实际误差曲线，不应超过表 1 或表 2 所列误差限值连线所形成的折线范围。

表 1 测量用电流互感器的误差限值

准确度 级别	比值误差 (±)					相位误差 (±)				
	倍率 因数	额定电流下的百分数值				倍率 因数	额定电流下的百分数值			
		5	20	100	120		5	20	100	120
0.5	%	1.5	0.75	0.5	0.5	(')	90	45	30	30
0.2		0.75	0.35	0.2	0.2		30	15	10	10
0.1		0.4	0.2	0.1	0.1		15	8	5	5
0.05		0.10	0.05	0.05	0.05		4	2	2	2
0.02		0.04	0.02	0.02	0.02		1.2	0.6	0.6	0.6
0.01		0.02	0.01	0.01	0.01		0.6	0.3	0.3	0.3
0.005		10^{-6}	100	50	50		50	10^{-6} (rad)	100	50
0.002	40		20	20	20	40	20		20	20
0.001	20		10	10	10	20	10		10	10

注 1: 额定二次电流 5 A ，额定负荷 7.5 VA 及以下的互感器，下限负荷由制造厂规定；制造厂未规定下限负荷的，下限负荷为 2.5 VA 。

注 2: 额定负荷电阻小于 $0.2\ \Omega$ 的电流互感器下限负荷为 $0.1\ \Omega$ 。

注 3: 制造厂规定为固定负荷的电流互感器，在固定负荷的 $\pm 10\%$ 范围内误差应满足本表要求。

5.4.5 检定证书及检定结果通知书

5.4.5.1 表3所列项目及全部电流比检定合格的电流互感器，方可发给检定证书或标

5.4.5.2 检定证书上应给出检定时所用各种负荷下的误差数值，作标准用的还应给出最大升降变差值。

5.4.5.3 误差检定结果超出表1限值，但能符合本规程其他级别全部技术条件的电流互感器，允许降级使用，发给检定证书或标注检定合格标志。

5.4.5.4 经检定不合格的电流互感器，应发给检定结果通知书，并指明不合格项。

5.5 检定周期

检定周期一般为2年。在连续2个周期3次检定中，最后一次检定结果与前2次检定结果中的任何一次比较，误差变化不大于其误差限值的1/3，检定周期可以延长至4年。

测量用电压互感器

3.1 基本误差

当环境温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80% ，环境电磁干扰和机械振动可忽略，测量用电压互感器在额定频率、额定功率因数及二次负荷为额定二次负荷的 $25\%\sim 100\%$ 之间的任一数值时，各准确度等级的误差不得超过表 1 的限值。

电压互感器的实际误差曲线，不应超过表 1 所列误差限值连线所形成的折线范围。

表 1 测量用电压互感器的误差限值

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
0.5	%	—	—	0.5	0.5	0.5	(')	—	—	20	20	20
0.2		0.4	0.3	0.2	0.2	0.2		20	15	10	10	10
0.1		0.20	0.15	0.10	0.10	0.10		10.0	7.5	5.0	5.0	5.0
0.05		0.100	0.075	0.050	0.050	0.050		4.0	3.0	2.0	2.0	2.0
0.02		0.040	0.030	0.020	0.020	0.020		1.2	0.9	0.6	0.6	0.6
0.01		0.020	0.015	0.010	0.010	0.010		0.60	0.45	0.30	0.30	0.30
0.005	$\times 10^{-6}$	100	75	50	50	50	$\times 10^{-6}$ (rad)	100	75	50	50	50
0.002		40	30	20	20	20		40	30	20	20	20
0.001		20	15	10	10	10		20	15	10	10	10

注：额定二次负荷小于等于 0.2 VA 时，下限负荷按 0 VA 考核。

5.1.2 电源及调节设备

电源及其调节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%。

注：当检定 0.01 级及以上电压互感器时，要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。

5.4.5 检定证书及检定结果通知书

5.4.5.1 表 2 所列项目及全部电压比检定合格的电压互感器，方可发给检定证书并标注检定合格标志。

5.4.5.2 检定证书上应给出检定时所用各种负荷下的误差数值，0.1 级及以上电压互感器还应给出最大升降变差值。

5.4.5.3 误差检定结果超出表 1 的限值，经用户要求，并符合本规程某级别全部技术条件的电压互感器，可按所能达到的等级发给检定证书，降级使用。

5.4.5.4 经检定不合格的电压互感器，可发给检定结果通知书，并指明不合格项。

5.5 检定周期

检定周期为 2 年。在连续 2 个周期 3 次检定中，最后一次检定结果与前 2 次检定结果中的任何一次比较，误差变化不大于其误差限值的 $1/3$ ，检定周期可以延长至 4 年。

电力互感器

6.3.4 误差测量

6.3.4.1 一般要求

根据被检互感器的变比和准确度等级，参照第 6.1.3 条选用标准器并使用本规程推荐的试验线路测量误差。测量时可以从最大的百分数开始，也可以从最小的百分数开始。大电流和高电压互感器宜在至少一次全量程升降之后读取检定数据。

电流互感器的测量点参见表 9；电压互感器的测量点参见表 10。组合互感器参照表 7 和表 8 分别测量其中的电流和电压互感器误差。

表 9 电流互感器误差测量点

$\frac{I_p}{I_n} / (\%)$	1 ^①	5	20	100	120
上限负荷	+	+	+	+	+
下限负荷	+	+	+	+	-

注①：只对 S 级。

表 10 电压互感器误差测量点

$\frac{U_p}{U_n} / (\%)$	80	100	110 ^①	115 ^②
上限负荷	+	+	+	+
下限负荷	+	+	-	-

注①：适用于 330kV 和 500kV 电压互感器；
注②：适用于 220kV 及以下电压互感器。

6.4.3 被检互感器外观检查、极性试验和绝缘试验合格，各项误差符合第 6.4.2 条要求，则互感器检定合格并发给检定证书。并在检定证书上给出互感器的误差检定结果。

检定结果有不合格项目的互感器，如降级后能符合所在级别全部技术要求，允许降级使用。不适合降级使用的互感器，发给检定结果通知书。并在通知书中说明不合格的项目并给出检定数据。

6.5 检定周期

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