

现场直流和交流耐压试验电压测量系统的使用导则

Guide for application of voltage
measuring system in DC&AC high voltage tests on site

DL/T 1015—2006

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2006 年行业标准项目计划的通知》(发改办工业[2006]1093 号)的安排制定的。

本标准在制定过程中参考了原专业标准 ZB F24 002-1990《现场直流和交流耐压试验电压测量系统的使用导则》。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高电压试验技术标准化委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：武汉大学、湖北省电力试验研究院、华北电力科学研究院有限责任公司、江苏雷宇高电压设备有限公司。

本标准主要起草人：关根志、张致、邓春。

杭州高电
专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

1 范围

本标准规定了对直流试验电压测量系统的要求；直流试验电压测量系统的校验；对交流试验电压测量系统的要求；交流试验电压波形的校核。同时提出了直流试验电压和交流试验电压测量误差的影响因素及减小测量误差的方法。

本标准适用于发电厂、变电所等现场及电力设备制造厂、修理车间、试验室等条件下的直流高电压和交流高电压试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 311.6 高电压测量标准空气间隙(GB/T 311.6-2005, IEC 60052:2002, IDT)
- GB/T 16927.1-1997 高电压试验技术第一部分：一般试验要求(IEC 60060-1:1989, eqv)
- GB/T 16927.2-1997 高电压试验技术第二部分：测量系统(IEC 60060-2:1994, eqv)

3 现场直流耐压试验测量系统的使用导则

3.1 对直流试验电压测量系统的要求

测量系统应满足 GB/T 16927.2-1997 中规定的要求，即直流试验电压算术平均值的测量误差应在±3%范围内。

现场直流耐压试验电压测量系统一般有：

- a) 高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统；
- b) 电阻分压器与低压电压表的测量系统；
- c) 高压静电电压表。

3.1.1 高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统

高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统具有使用方便、测量准确度高的优点，因此是直流高电压测量的主要方式之一。

使用高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统，要求电阻器的电阻值既要尽可能大，以减小测量系统的功率损耗和发热，又要考虑其阻值过大可能带来的测量误差。电阻器的阻值应该是稳定的，一般按工作电流为 0.5mA~1mA，最小不宜小于 200μA 来选择其电阻值，并应校验电阻器在工作电流下的功率损耗不得超过电阻器的额定功率。高阻值电阻器的绝缘套管最好不要分段，其高电位端应装设均压装置，低电位端应装设屏蔽装置。此外，还要求高阻值电阻器的外绝缘在测量电压下不发生沿面闪络，为此，其表面场强可按 150kV/m 设计。

图 1 是高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统的原理接线图。由直流微安表 PA 指示的电流值 I_d 得到被测的直流试验电压值为

$$U = I_d R \quad (1)$$

式中：

R——高阻值电阻器的电阻值。

3.1.2 电阻分压器与低压电压表组成的测量系统

使用电阻分压器与低压电压表的测量系统，要求电阻分压器的电阻值要稳定，分压比要准确。电阻分压器高压臂电阻的选择与3.1.1中高阻值电阻器的选择要求相同。

与电阻分压器低压臂电阻相并联的低压电压表，要求其输入电阻应不小于分压器低压臂电阻值的100倍，以减小其对电阻分压器的分压比的影响。为此，低压电压表可选用静电电压表或数字式电压表。

图2是电阻分压器与低压电压表组成的测量系统的原理接线图。由低压电压表PV的指示值 U_x 得到被测的直流试验电压值为

$$U_1 = KU_2 \quad (2)$$

$$K = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (3)$$

式中：

K——电阻分压器的分压比；

R_1 、 R_2 ——分别为电阻分压器的高压臂电阻和低压臂电阻。

低压臂电阻 R_2 中包含低压电压表的输入电阻值。如果低压电压表使用的是静电电压表或者是高输入电阻的数字式电压表，则其输入电阻对电阻分压器的分压比的影响可以忽略不计。

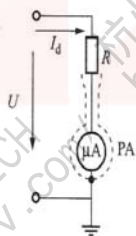


图1 高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统的原理接线图

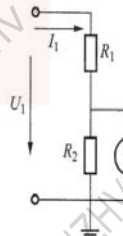


图2 电阻分压器与低压电压表组成的测量系统的原理接线图

3.1.3 高压静电电压表

由静电电压表的工作原理可知，高压静电电压表是一种直接测量电压有效值的仪表。当被测直流电压的纹波因数S满足GB/T 16927.1-1997中的规定，即S不大于3%时，使用高压静电电压表测量直流电压，这时可以把高压静电电压表的指示值作为被测直流电压的平均值。

因为高压静电电压表的指示值是被测电压的有效值，如果被测电压是纯粹的直流电压，则仪表指示的就是直流电压的大小。如果被测电压是带有纹波的直流电压，设该直流电压的平均值为 U_0 ，纹波的幅值为 δU ，则仪表指示的是纹波有效值的平方加上 U_0^2 后的平方根值。一般情况下，直流电压的纹波不是正弦波，为简单计，仅考虑其正弦基波分量，并认为其幅值就是 δU ，则纹波的有效值近似为 $\delta U / \sqrt{2}$ 。因此，仪表指示的电压值为

$$U = \sqrt{U_0^2 + (\delta U / \sqrt{2})^2} = \sqrt{U_0^2 + \delta U^2 / 2} \quad (4)$$

显然 U 与 U_0 不相等。 $S = \delta U / U_0$ 较小时，二者的差别甚小。例如，GB/T 16927.1-1997 规定的试验用直流电压的 S 应不大于 3%，即使以 $S=0.03$ 计，由式(4)可得 $U/U_0 = \sqrt{1^2 + 0.03^2} / 2 = 1.0002$ 。这就是说，用高压静电电压表测量符合国家标准规定的直流电压，其指示值实际上可认为等于被测直流电压的平均值(其误差小于 0.02%)。

在使用高压静电电压表测量直流试验电压时，应事先检查高压静电电压表的各部件是否正常，绝缘支柱表面是否清洁干燥，测试现场应无风吹和无离子流。

3.2 直流试验电压测量系统的校验

用于现场直流试验的电压测量系统应每年校验一次。

3.3 直流试验电压测量误差的影响因素及减小测量误差的方法

3.3.1 电阻器参数变化引起的测量误差

直流试验电压测量系统的电阻器的阻值变化会直接引起测量误差。因此，应保持电阻器表面干燥清洁。必要时也可将电阻器浸入绝缘油中，这样可以有效地抑制或消除电晕及表面泄漏电流的影响，并降低温升，保持电阻值的稳定，以及缩小整个电阻器的绝缘尺寸。在电阻器的高压端不应发生电晕放电，为此应在电阻器的高压端加装直径较大的屏蔽电极，电极的曲率半径应足够大，且表面光滑，屏蔽电极的直径一般为整个电阻器高度的 1/4~1/3。在测量时应注意直流微安表上的静电电荷可能引起的误差。

3.3.2 低压电压表的输入电阻引起的测量误差

当使用电阻分压器与低压电压表的测量系统时，低压电压表的输入电阻会改变所用电阻分压器按其高压臂电阻 R_1 和低压臂电阻 R_2 计算所得的分压比，从而引起测量误差。为此测出低压电压表的输入电阻 R_0 ，计算出 R_2 与 R_0 并联后的等效电阻值 R'_2 ，用 R'_2 代替 R_2 重新计算电阻分压器的分压比 $K = (R_1 + R'_2) / R'_2$ 。

3.3.3 用有效值电压表测量带有纹波的直流电压平均值引起的测量误差

用有效值电压表，比如静电电压表测量带有纹波的直流电压的平均值会存在一定的测量误差。由式(4)计算可知，当 $S > 0.35$ 时，其测量误差将大于 3%。因此，使用静电电压表测量直流电压平均值，要求被测直流电压的纹波因数 S 必须符合 GB/T 16927.1-1997 的规定。

3.3.4 现场带电物体的电场引起的测量误差

当高阻值电阻器与直流微安表串联的测量系统的电阻元件暴露在空气中，并且靠近直流高压导线时，高压导线的离子流会引起测量误差。如果电阻元件装在绝缘套管里，可以减小离子流引起的测量误差。带交流电压的导体的电场不会引起上述直流电压测量系统的电压平均值的测量误差。

当使用电阻分压器与低压有效值电压表的测量系统时，如果靠近交流高压导体，交流高压导体的电场会引起直流电压平均值的测量误差。用远离交流高压导体的办法减小或消除交流高压导体电场引起的测量误差，其估算方法见附录 A 的 A.1。

为了减小高压部分对低压测量回路的影响，必要时可将低压元件和测量仪表装设在金属屏蔽盒内，并将屏蔽盒接地，低压测量的连接导线采用屏蔽线。

4 现场交流耐压试验测量系统的使用导则

4.1 对交流试验电压测量系统的要求

GB/T 16927.1-1997 中规定：交流试验电压值是指其峰值除以 $\sqrt{2}$ 。试验电压的波形为两个半波相同的近似正弦波，且峰值与方均根(有效)值之比应在 $\sqrt{2} \pm 0.07$ 的范围内。交流试验电压测量系统应满足 GB/T 16927.2-1997 中的规定，即测量误差应在 $\pm 3\%$ 范围内。

交流试验电压的测量系统一般有：

- a) 电容分压器与低压电压表的测量系统；
- b) 电阻分压器与低压电压表的测量系统；
- c) 高压电容器与整流桥串联的测量系统；
- d) 高压电压互感器；
- e) 高压静电电压表；
- f) 高压电容器与交流毫安表串联的测量系统；
- g) 球隙。

4.1.1 电容分压器与低压电压表的测量系统

电容分压器与低压电压表的测量系统具有使用方便、测量准确度高的优点，因此是目前交流高压电压测量中使用最多的一种测量系统。

图 3 是电容分压器与低压电压表组成的测量系统的原理接线图。图中 C_1 和 C_2 分别为电容分压器的高压臂电容和低压臂电容(包括测量电缆的电容)；PV为低压电压表。由低压电压表PV的指示值 U_2 和电容 C_1 、 C_2 的值得到被测的交流试验电压为

$$U_1 = KU_2 \quad (5)$$

$$K = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (6)$$

式中：

K——电容分压器的分压比。

高压臂电容可以用便携式高压电容器、高压标准电容器以及变压器的电容式套管、断路器的均压电容或电流互感器的末屏电容。如果用便携式高压电容器作为高压臂电容，其电容值(pF)与其高度(m)之比应不小于(30~40)pF/m。

低压电压表可以用有效值电压表，也可以用峰值电压表，或者同时接这两种电压表，同时要求所用低压电压表的等效输入阻抗应不小于分压器低压臂容抗($1/\omega C_2$)的 100 倍。通常用静电电压表或数字式电压表可以满足这种要求。

当交流试验电压的波形满足要求时，可以把有效值电压表的指示值直接代入式(6)，得到试验电压值。使用峰值电压表，应将其指示值 U_2 除以 $\sqrt{2}$ 后，代入式(6)得到试验电压值。

4.1.2 电阻分压器与低压电压表的测量系统

使用电阻分压器与低压电压表的测量系统测量交流试验电压的原理接线图与图 2 相同，被测交流试验电压的计算公式与式(2)、式(3)相同。低压电压表宜选用高输入阻抗的静电电压表或数字式电压表，以避免电压表的输入阻抗对电阻分压器分压比的影响。

应该指出，电阻分压器的高压臂电阻存在对地电容，它们沿电阻高度按一定规律分布。在测量直流试验电压时，这些电容各自充电到相应的电位后，流过高压臂电阻的电流就只决定于电阻的大小；但在测量交流试验电压时，会有电流经过这些对地电容入地，从而使高压臂电阻自上而下的电流不再相同，整个高压臂电阻成了一个电阻电容构成的复杂阻抗。因此，电阻分压器高压臂上所加

的交流试验电压 U_1 和低压臂上的对地电压 U_2 之间的关系不仅在数值上和纯电阻时不同,而且还存在着相位差。显然,被测的交流试验电压愈高,电阻分压器高压臂电阻的阻值愈大,对地电容愈大,测量的误差也愈大。因此,电阻分压器与低压电压表测量系统通常只用来测量 100kV及其以下的交流试验电压,在被测交流试验电压大于 100kV时,大多采用电容分压器,而不用电阻分压器。

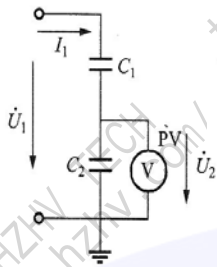


图3 电容分压器与低压电压表组成测量系统的原理接线图

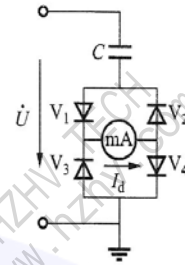


图4 高压电容器与整流桥串联的测量系统的原理接线图

4.1.3 高压电容器与整流桥串联的测量系统

当交流试验电压为非正弦电压,但正负半波对称而仅含一个波峰,这时可以用图4所示的高压电容器与整流桥串联的测量系统测量交流试验电压的峰值。由直流毫安表的指示值 I_d 和高压电容器 C 的得到交流试验电压 \dot{U} 的峰值为

$$U_m = \frac{I_d}{4Cf} \quad (7)$$

式中:

f ——被测交流电压的频率。

在读取直流毫安表的指示值时,应同时读取被测交流电压的频率。

对高压电容器 C 的要求与4.1.1中对电容分压器高压臂电容 C_1 的要求相同。

4.1.4 高压电压互感器与低压电压表的测量系统

图5是高压电压互感器与低压电压表组成的测量系统的原理接线图。由高压电压互感器的电压比 K 和低压电压表PV的指示值 U_2 得到被测的交流试验电压值为

$$U_1 = KU_2 \quad (8)$$

电压互感器的电压比 K 可以在试验室里校验得到或采用工厂提供的铭牌值。

如果高压试验变压器有测量线圈,其电压比是经过校验的,也可以用来测量交流试验电压,但应注意被试品的电容和试验变压器的漏磁电抗及电源频率可能引起的测量误差。

4.1.5 高压静电电压表

用高压静电电压表可以直接测量交流试验电压,但在测量前应当检查高压静电电压表的性能是否良好,测量时应无风吹和无电晕发生,并保持绝缘支柱表面清洁干燥。

4.1.6 高压电容器与交流毫安表串联的测量系统

图 6 是高压电容器与交流毫安表串联的测量系统的原理接线图。由高压电容器的电容值 C 和交流毫安表 PA 的指示值 I 得到被测的交流试验电压为

$$U = \frac{I}{\omega C} \quad (9)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (10)$$

式中：

ω ——被测交流试验电压的角频率；

f ——被测交流试验电压的频率。

在读取毫安表的指示值时，应同时读取被测交流试验电压的频率。

对高压电容器 C 的要求与 4.1.1 中对电容分压器的高压臂电容 C_1 的要求相同。

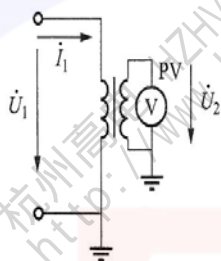


图 5 高压电压互感器与低压电压表组成的测量系统的原理接线图



图 6 高压电容与交流毫安表串联的测量系统的原理接线图

4.1.7 球隙

现场试验时，一般是把球隙作为过电压保护装置，原则上不推荐将球隙用于现场交流试验电压的测量。当需要用球隙测量交流试验电压时，应按 GB/T 311.6 的规定进行，并应注意大气条件以及风吹和日照等因素对测量结果的影响。

4.2 交流试验电压波形的校核

当对交流试验电压的波形有怀疑时，可用下列任一种方法进行校核。

4.2.1 用交流试验电压的峰值与其有效值的比值的校核方法

在图 3 所示的电容分压器的低压臂电容 C_2 上同时接低压峰值电压表和低压有效值电压表，同时读取被测交流试验电压的峰值 U_m 和有效值 U ，计算二者的比值，要求比值 U_m/U 在 $\sqrt{2} \pm 0.07$ 的范围内。

4.2.2 用谐波分析仪的校核方法

把谐波分析仪接在电容分压器的低压臂电容 C_2 上，得到被测交流试验电压的各次谐波分量的峰值和有效值，要求诸谐波方均根(有效)值不大于基波方均根(有效)值的 5%。

4.2.3 用电容分压器与数字存储示波器的校核方法

把数字存储示波器的一个输入通道接到电容分压器的低压臂电容 C_2 上，另一个输入通道接在标准正弦波电源上，调节两通道的相关增益旋钮，使两个被输入的电压峰值相等，波形基本重叠，比较这两个电压波形，分析其畸变程度。

4.3 交流试验电压测量系统的校验

现场交流耐压试验所用的交流试验电压测量系统应每年校验一次。

4.4 交流试验电压测量误差的影响因素及减小测量误差的方法

4.4.1 低压电压表输入阻抗及测量电缆的电容引起的误差

低压电压表的输入阻抗及测量电缆的电容都会影响所用分压器按分压器的元件参数计算所得的分压比。因此，这时应使用高输入阻抗的低压静电电压表或数字式电压表，并将测量电缆的容抗计入分压器的低压臂，得到低压臂的等效阻抗，重新计算分压器的分压比。使用电容分压器时，可将测量电缆的电容 C_0 并入分压器的低压臂电容 C_1 中，得到其等效电容 C_2' 后，重新计算分压器的分压比为

$$K = \frac{C_1 + C_2'}{C_1} \quad (11)$$

4.4.2 现场带交流电压导体电场引起的误差

交流试验电压测量系统中的高压电容受连接导线和带交流电压导体电场的影响，用低压电容电桥测得的电容值和试验电压下的等效电容值之间可能有差别，因此导致用电容比表示的分压比的误差增大(见附录 A 的 A.2)，所以应设法消除连接导线和带交流电压导体电场的影响。交流试验电压的测量误差的估算方法见附录 A 的 A.3 和 A.4。为了防止高压部分对低压臂测量回路的耦合，应把整个低压臂置于接地的金属屏蔽盒内，测量低压臂电压的导线采用屏蔽电缆。

4.4.3 高压连接导线上的电晕放电引起的误差

由于高压连接导线上的电晕放电会引起测量误差，因此应设法消除高压连接导线上的电晕。比如增大高压连接导线的直径，以避免发生电晕放电。

4.4.4 串联式高压电容器的寄生电容引起的误差

串联式高压电容器的寄生电容包括对高压部分的寄生电容 C_b 和对地的寄生电容 C_e ，二者都将影响串联式高压电容器在工作电压下的等效电容值，从而引起测量误差。寄生电容 C_b 的影响与 C_e 的影响相反，一般 C_b 比 C_e 小。为了平衡二者的作用，减小寄生电容引起的误差，可以在串联式高压电容器的顶端装设直径较大的屏蔽电极，必要时在电容器的分段处也装设屏蔽罩。屏蔽电极的曲率半径应足够大，且表面要光滑。顶端屏蔽电极的直径一般为电容柱高度的 $1/4 \sim 1/3$ 。

对无屏蔽的高压电容器，应适当增大其电容值，以使寄生电容的影响相对减小。

附录 A (资料性附录)

现场直流和交流耐压试验中测量误差的分析与估算方法

A.1 直流电阻分压器与周围带交流电压导体之间的耦合电容电流引起的误差的估算方法

在进行直流耐压试验时，直流试验电压的测量系统可能会受带交流电压导体电场的影响。为了确定这种影响的性质和量值的大小，可以采用图 A.1 所示的接线来测定耦合电容电流。

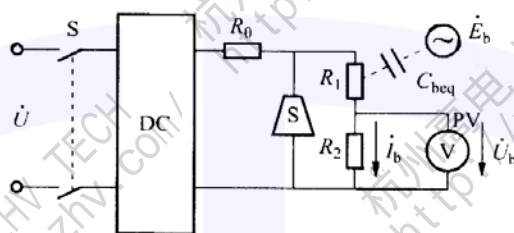


图 A.1 测量带电导体与电阻分压器之间耦合电容电流 I_b 的原理接线

图中 s 为被试品， \dot{E}_b 和 C_{beq} 分别为带交流电压导体的等效电动势和该导体与直流分压器之间的等效耦合电容，DC 为直流高压发生器， R_0 为保护电阻， R_1 、 R_2 分别为电阻分压器的高压臂电阻和低压臂电阻。

在直流高压发生器不工作电压，即直流高压发生器无输出电压的情况下，在电阻分压器低压臂电阻 R_2 上接一个小量程的高输入阻抗的有效值电压表 PV，由电压表的指示值 U_b 得到耦合电容电流的有效值为

$$I_b = \frac{U_b}{R_2} \quad (\text{A.1})$$

当存在耦合电容电流 I_b 的情况下进行直流耐压试验时，接在电阻分压器低压臂电阻 R_2 上的电压表（静电电压表或数字式电压表）的指示值为

$$U_2 = \sqrt{U_{d2}^2 + U_b^2} \quad (\text{A.2})$$

式中：

U_{d2} ——电阻分压器低压臂电阻 R_2 上直流电压的平均值。

因此，耦合电容电流，即带交流电压导体电场引起的相对测量误差为

$$\delta U_{d2} (\%) = \frac{U_2 - U_{d2}}{U_{d2}} \times 100\% \approx \frac{1}{2} \left(\frac{U_b}{U_{d2}} \right)^2 \times 100\% \quad (\text{A.3})$$

A.2 带交流电压导体电场对高压电容器实测值的影响

交流试验电压测量系统中的高压电容器如果是由许多电容元件串联而成，其电容值会受周围带电导

体电场的影响，并且还会受高压电容的高压端与被试品和高压试验变压器之间的连接导线电场的影响。

图A.2是从高压电容的低压端L看进去的等效电路图，图中 C_{ceq} 和 R_{eq} 分别为高压电容的等效电容和等效绝缘电阻； C_{ceq} 和 C_{beq} 分别为连接导线和带电导体与高压电容之间的等效耦合电容； I_b 为等效耦合电容电流。图A.3是用QS1电桥测量等效耦合电容电流 I_b 的原理接线图。

由平衡后的QS1电桥参数得到等效耦合电容电流 I_b 的有效值 I_b 和 I_b 超前电桥的测试电压 U_s 的相位角 φ_b 分别为

$$I_b = \frac{\omega C_N U_s}{R_3 \sqrt{\frac{1}{R_4^2} (\omega C_4)^2}} \quad (A.4)$$

$$\varphi_b = \text{tg}^{-1} \frac{1}{\omega C_4 R_4} \quad (A.5)$$

可以把高压电容器的等效绝缘电阻 R_{eq} 的影响忽略，这时由图A.2得到高压电容器的实测电容值为

$$C'_1 = C_{ceq} + C_{eq} + \frac{I_b \sin \varphi_b}{\omega U_s} \quad (A.6)$$

式(A.6)表明：在有带电导体电场(即电流 I_b)影响的条件下，高压电容器的实测值 C'_1 与耦合电容电流 I_b 和测试电压 U_s 有关。 I_b 愈大，使 C'_1 愈大。当 I_b 为一定值时，电桥的测试电压 U_s 愈高，会使 I_b 的影响愈小。因此，在使用QS1电桥测量 C'_1 时，应使用高电压进行测量，这时可以忽略周围带电导体电场的影响。

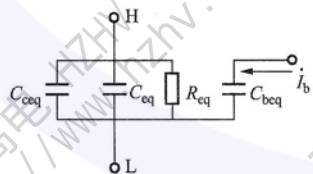


图 A.2 高压电容的等效电路

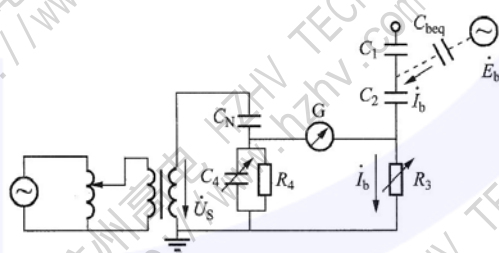


图 A.3 用 QS1 电桥测量等效耦合电容电流的原理接线图

A.3 试验电压测量误差的估算方法

图A.4是电容分压器的计算用等效电路图。由图A.4和式(A.6)得到被测交流试验电压的计算值 U'_1

$$U'_1 = \frac{C'_1 + C_2}{C'_1} U_2 = \left(1 + \frac{C_2}{C'_1} \right) U_2 \quad (A.7)$$

$$= \left(1 + \frac{C_2}{C_{ceq} + C_{eq} + I_b \sin \varphi_b / \omega U_s} \right) U_2$$

式中：

U_s ——测量高压电容 C_1 的电桥的测试电压。

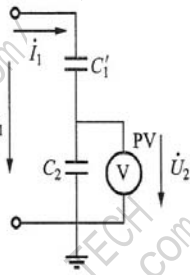


图 A.4 电容分压器计算用等效电路图

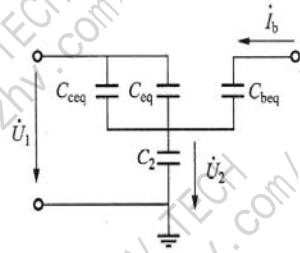


图 A.5 考虑带电导体影响的电容分压器的等效电路图

图A.5是测量交流试验电压时所用电容分压器的等效电路图。图中 U_1 为实际试验电压。由图A.5得到的交流试验电压值 U_2 为

$$U_2 = \left| \frac{(C_{ceq} + C_{eq} + C_2)\dot{U}_1 - \dot{I}_b / j\omega}{C_{ceq} + C_{eq}} \right| \quad (A.8)$$

因此，由式(A.7)和式(A.8)得到被测交流试验电压的相对测量误差为

$$\begin{aligned} \delta U_2(\%) &= \left(\frac{U_2' - U_2}{U_2} \right) \times 100\% = \left(\frac{U_2'}{U_2} - 1 \right) \times 100\% \\ &= \left[\left(1 + \frac{C_2}{C_{ceq} + C_{eq} + I_b \sin \varphi_b / \omega U_s} \right) \times \frac{(C_{ceq} + C_{eq})U_1}{|(C_{ceq} + C_{eq} + C_2)\dot{U}_1 - \dot{I}_b / j\omega|} - 1 \right] \times 100\% \end{aligned} \quad (A.9)$$

当 \dot{U}_s 与 U_2' 同相位，而 \dot{I}_b 超前 U_2' 的相位角等于 90° 时，试验电压的测量误差为最大

$$\begin{aligned} [\delta U_2(\%)]_{\max} &= \left[\left(1 + \frac{C_2}{C_{ceq} + C_{eq} + I_b / \omega U_s} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \frac{C_{ceq} + C_{eq}}{C_{ceq} + C_{eq} + C_2 - I_b / \omega U_2} - 1 \right] \times 100\% \end{aligned} \quad (A.10)$$

在进行电力变压器绝缘的感应耐压试验时，如果用变压器的电容套管作为电容分压器的高压臂电容，这时虽然没有高压连接导线，但在测量电容分压器的高压臂电容时仍会有连接导线的影响。因此，这时试验电压可能存在的最大测量误差为

$$[\delta U_1(\%)]_{\max} = \left[\left(1 + \frac{C_2}{C_{\text{ceq}} + C_{\text{eq}} + I_b / \omega U_s} \right) \times \frac{C_{\text{eq}}}{C_{\text{eq}} + C_2 - I_b / \omega U_2} - 1 \right] \times 100\% \quad (\text{A.11})$$

式中：

C_{ceq} 、 U_s ——分别为用电桥测量高压臂电容时连接导线与高压电容之间的等效耦合电容和电桥的测试电压。