

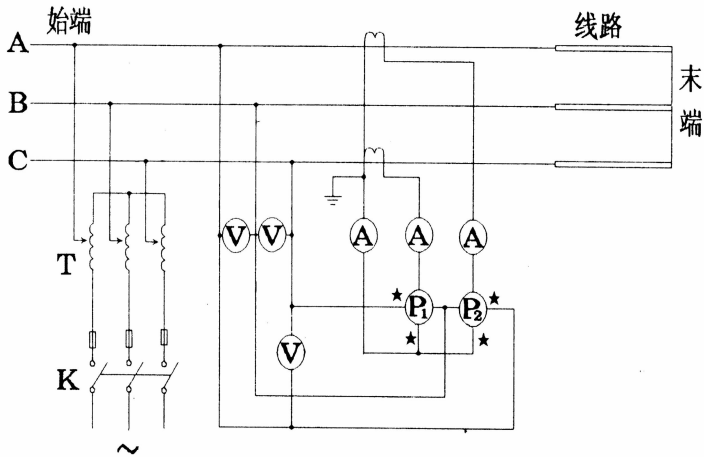
附录 B 220kV 及以上线路工频参数及变压器零序阻抗的测试方法

1 总则

- 1.1 试验用仪表不低于 0.5 级。
- 1.2 如在试验中使用电压、电流互感器，不应低于 0.5 级。附录 B 公式中均为电压、电流互感器的一次值。
- 1.3 试验所用的三相对称电源，其不平衡度
- $$\Delta U\% = \frac{|\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C|}{U_e} \times 100\% < 5\% \quad , \quad \text{频率 } 50\text{Hz} \pm 5\%。$$
- 1.4 试验 250 公里以上线路，为减少分布参数的影响，应在线路首末端都串入电流表，使用电流平均值。
- 1.5 试验中发生由于电磁场干扰使仪表指针不停摆动或抖动的情况时，应读取同一段时间（例如 1 分钟）内最大值及最小值，用平均值计算，不得用某一时刻抢读的方法读表。
- 1.6 试验用接地线、短路线应采用大于 25mm² 多股裸铜线，连接方法采用多次缠绕，保证牢固可靠、接触良好，不得用线路接地刀闸或悬挂式接地线代替。
- 1.7 试验接地线应接入变电所内的接地网上，并保证接地电阻不大于 0.5 欧姆，不得通过铁塔接地。
- 1.8 对于全线同塔或部分同塔的双回路或多回路在进行一回线路的自参数测试时，要求另一回线一端接地、一端开路。
- 1.9 进行线路工频参数测试时线路高抗刀闸应断开，应尽可能拆除线路两侧 CVT、避雷器和短接阻波器，在拆除连接线困难的情况下，计算线路电容值时应将 CVT 电容量（电容量按出厂试验值，由线路参数委托单位提供）剔除，计算线路阻抗时应将阻波器电感量（电感量按出厂试验值，由线路参数委托单位提供）剔除，并在原始

数据表格中标注。若为 GIS 内置 PT，必需解开后才能进行线路工频参数测试。

1.10 实测结果应与事先计算的估算值



比较，相差太多应查找原因，找不出原因应重测，不得用“仅供参考”的参数上报。

2 三相输电线路参数测试方法

2.1 正序阻抗

试验接线如图 B1:

计算:

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (\text{安})$$

$$U = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3} \quad (\text{伏})$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (\text{瓦})$$

图 B1 线路正序阻抗测试试验接线图

$$R_1 = \frac{P}{3I^2} \quad (\text{欧姆/每相})$$

$$Z_1 = \frac{U}{\sqrt{3}I} \quad (\text{欧姆/每相})$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} \quad (\text{欧姆/每相})$$

注意:

① 电源中性点与线路末端中性点只允许有一处接地。

② 试验电压应在 200 伏以上。

③ 试验结果估算:

0.09+j0.4 欧姆/公里/相 (单导线)

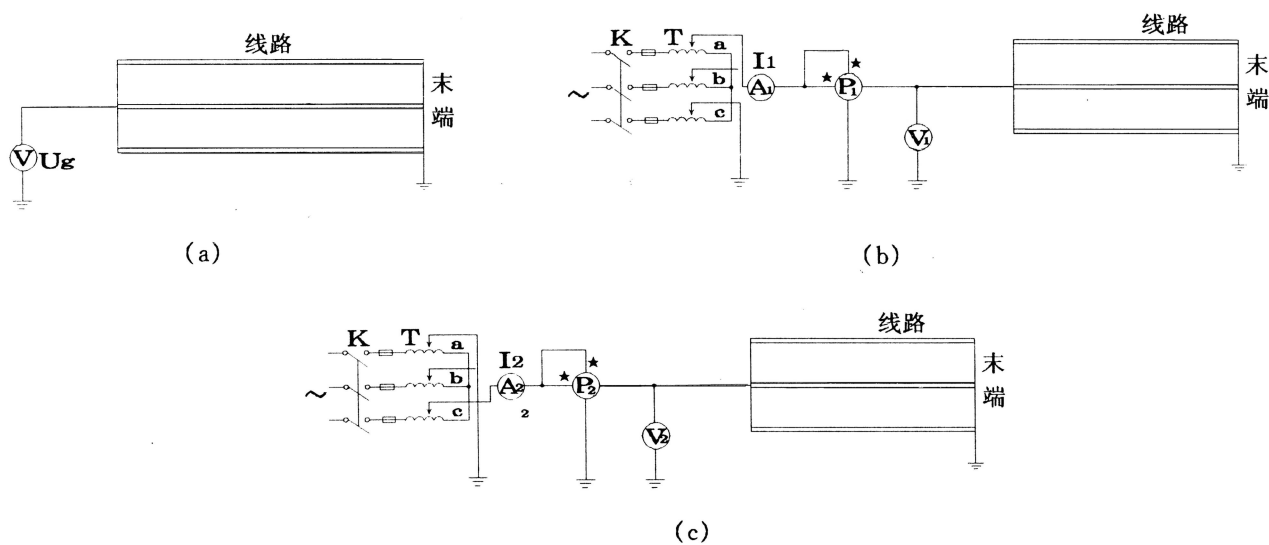
0.06+j0.3 欧姆/公里/相 (双分裂)

0.03+j0.28 欧姆/公里/相 (四分裂)

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{X_1}{R_1} \quad \text{约在 } 70^\circ \sim 85^\circ \text{ 之间}$$

2.2 零序阻抗

试验接线如图 B2 :



方法：①按图(a)测 ΔU_0

计算:

注意：① 试验中电源倒极性，必须保证 $I_2=I_1$ ：才能读数。

④ 试验电源电压应大于 200 伏。

⑤ 线路架空地线应按正常方式接地，若架空地线是绝缘的，分为：

a . 架空地线全线绝缘，沿线有多处放电间隙，应将架空地线两端接地后再测试零序阻抗。

b . 架空地线为多段，每段一点接地，其余为放电间隙，应将 1/3 — 1/2 段的架空地线每段首末端接地后再测零序阻抗。

⑥ 试验结果估算： $X_0 = (2.0 \sim 4.6) X_1$

2.3 正序电容

试验接线如图 B3 :

计算：

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (\text{安})$$

$$U = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3} \quad (\text{伏})$$

$$Y_1 = \frac{\sqrt{3}I}{U} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$B_1 \approx Y_1$$

$$C = \frac{B_1}{2\pi f} \times 10^{12} \quad (\text{微微法/相})$$

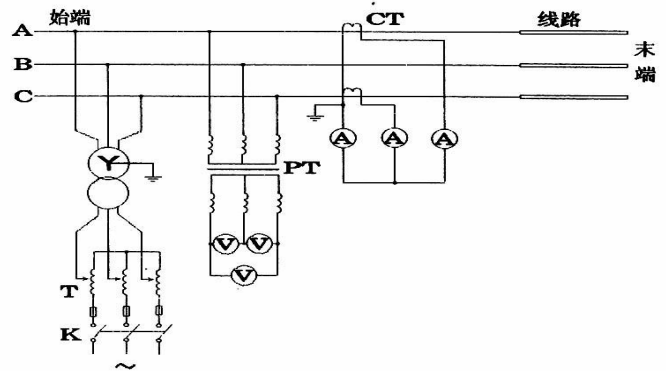


图 B3 线路正序电容测试试验接线图

注意：① 线路末端应开路。

② 试验电源电压应在 6 千伏~10 伏以上（此时电流约为几安培）。

③ 试验结果估算：

2.67×10^{-6}	姆欧/公里(单导线)
8500	微微法/公里(")
3.65×10^{-6}	姆欧/公里(复导线、双分裂)
11600	微微法/公里(")
3.95×10^{-6}	姆欧/公里(复导线、四分裂)
12600	微微法/公里(")

2.4 零序电容

接线如图 B4：

$$\text{计算: } Y_0 = \frac{I}{3U} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$B_0 \approx Y_0$$

$$C_0 = \frac{B_0}{2\pi f} \times 10^{12} \quad (\text{微微法/相})$$

注意：①试验电压应在 6~10 千伏以上。

② 试验结果约为 $Y_0 = (0.6 \sim$

$0.8) Y_1$ 。

如 $Y_0 > Y_1$ ，肯定有问题，应查找原因。

2.5 相邻线零序互感

试验接线如图 B5：

$$\text{计算: } Z_{0M} = \frac{3U_1}{I_1} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_{0M} \approx Z_{0M} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$L = \frac{X_M}{2\pi f} \times 1000 \quad (\text{毫亨/相})$$

注意：① 试验电源电压应在 300 伏以上，若 200 公里以上线路应用 1000 伏以上电源。

② 试验电源电压用 AB、BC、CA 分别各作一次，取三次平均值。

③ 全线同塔双回线之间的互感值约为 $(0.4 \sim 0.6) X_0$ (X_0 为测试线路的零序电抗值)。

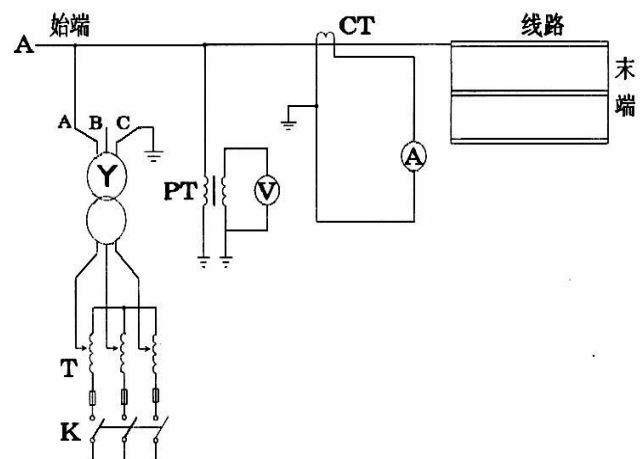


图 B4 线路零序电容测试试验接线图

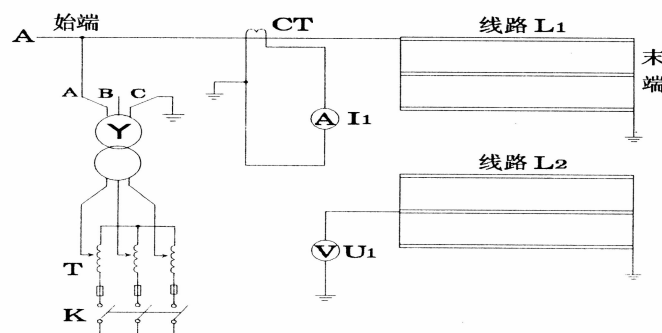


图 B5 线路零序互感测试试验接线图

3 两相式电铁线路参数测试方法

3.1 正序阻抗

测试接线如图 B6：

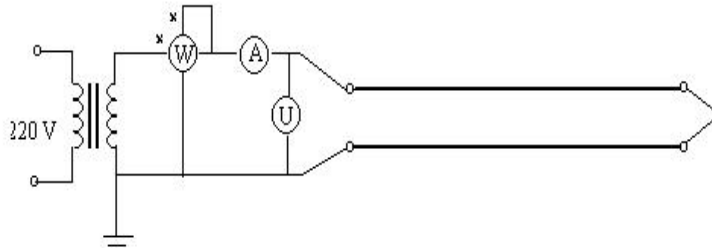


图 B6 正序阻抗测试

计算：

$$Z_1 = \frac{U}{2I} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$R_1 = \frac{P}{2I^2} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} \quad (\text{欧姆/相})$$

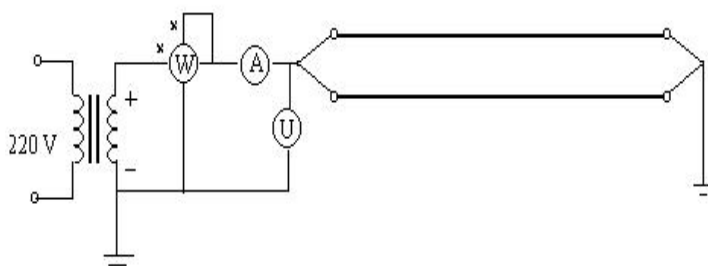
方法：① 试验时保持电源侧接地。

② 试验电压应在 200 伏以上。

③ 试验结果估算：

$$0.09 + j0.4 \quad \text{欧姆/公里/相 (单导线)}$$

3.2 零序阻抗



试验接线如图 B7：

图 B7 零序阻抗测试

零序阻抗由以下公式得出：

$$\Phi_1 = \cos^{-1} \frac{P_1}{I_1 U_1}$$

$$\Phi_2 = \cos^{-1} \frac{P_2}{I_2 U_2}$$

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2}$$

$$U_0 = \sqrt{U_1 U_2 + \Delta U_1 \Delta U_2} \quad (\text{伏})$$

$$R_0 = \frac{2U_0}{I_1} \cos \Phi_0 \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_0 = \frac{2U_0}{I_1} \sin \Phi_0 \quad (\text{欧姆/相})$$

$$Z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_0^2} \quad (\text{欧姆/相})$$

注意：

①试验电压应大于 200 伏并保证大于 $1.6 \Delta U$ 。

②测试时应按测量三相线路零序阻抗方法通过电源倒极性消除感应电压影响。

③试验结果估算： $X_0 = (2.0 \sim 4.0) X_1$

3.3 正序电容

试验接线见图 B8：

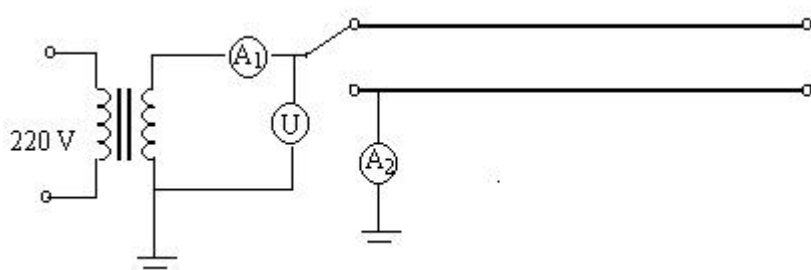


图 B8 正序电容测试

正序电容由以下公式得出：

$$I_0 = I_1 - I_2 \quad (\text{安})$$

$$C_0 = \frac{I_0}{\omega U} \times 10^{12} \quad (\text{微微法})$$

$$C_H = \frac{I_2}{\omega U} \times 10^{12} \quad (\text{微微法})$$

$$C_1 = \left(\frac{2}{3} C_0 + C_H \right) \times 10^{12} \quad (\text{微微法})$$

注意：① 试验电源电压应在 6 千伏～10 伏以上。

② 试验结果估算： 8500 微微法/公里(单导线)

3.4 零序电容

试验接线见图 B9：

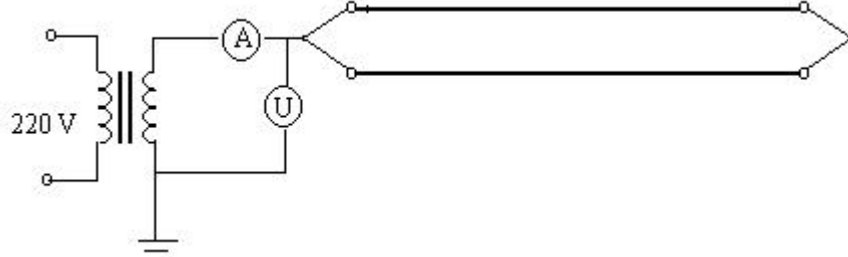


图 B9 零序电容测试

零序电容由下式得出： $C_0 = \frac{I}{2\omega U} \times 10^{12}$ （微微法）

注意：① 试验电源电压应在 6 千伏~10 伏以上。

② 试验结果约为：(0.6~0.8) C_1

3.5 零序互感

试验接线见图 B10：

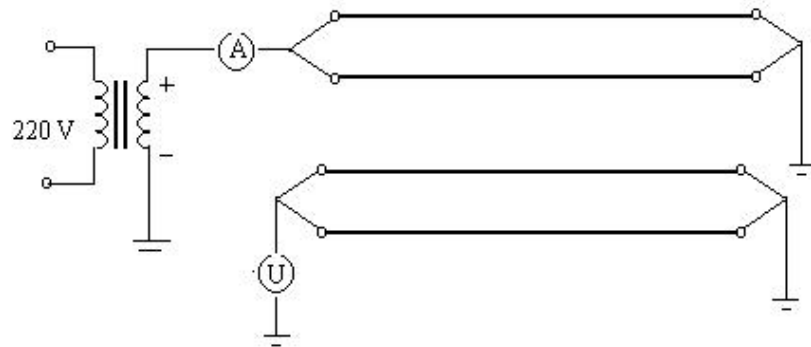


图 B10 零序互感测试

零序互感由下式得出： $Z_H = \frac{2U}{I}$ （欧姆/相）

$$X_{0M} \approx Z_{0M} \quad (\text{欧姆/相})$$

注意：① 试验电源电压应在 300 伏以上。

② 全线同塔双回线之间的互感值约为 (0.4~0.6) X_0 (X_0 为测试线路的零序电抗值)。

4 线路参数的异频测试方法

4.1 线路参数异频测试法是通过在停电测试线路施加非工频的电流、电压信号（一般 40Hz～60Hz），从而有效规避相邻运行线路的工频耦合干扰，通过有效干扰抑制和数字滤波等手段提取有效信号后，再将测试结果换算为工频参数的线路参数测试方法。

4.2 当进行线路参数测试时，如与测试线路同塔、平行或交叉跨越的运行线路不能停电，因感应电压和感应电流较大，传统仪表法测量不能满足测试安全和测试精度时，可采用异频法进行线路参数测试。

4.3 异频测试系统应满足以下技术指标

4.3.1 阻抗测量范围：0.25 Ω ～250 Ω ，误差范围：±2%

4.3.2 电容测量范围：0.05 μ F～10 μ F，误差范围：±2%

4.3.3 阻抗角测量范围：0.1°～360°，误差范围：±2%

4.3.4 抗干扰能力：测试线路首末两端接抗允许的感应电流不小于 40A，两端不接地允许的感应电流不小于 2A。

4.4 测试结果应自动折算为工频参数，计算结果应符合本规程所列各公式的计算原则。

4.5 进行参数测试前，当确定本线与其它运行线路平行或交叉跨越时，应首先测量本线路的工频感应电流，确定其数值在测试仪器的承受范围内时，才允许进行参数测试。

4.6 如线路两端接地时感应电流超过测试仪器允许值时，可采取以下措施完成测试：

4.6.1 提前向调度部门提出申请，通过改变系统运行方式降低相邻平行线路潮流以降低测试线路的感应电流和感应电压。

4.6.2 采用测试电源容量更大，抗干扰能力更强的测试仪器。

4.6.3 采用具有“正序阻抗单相轮相测试”功能的仪器。

4.6.4 将相邻运行线路停电。

5 电力变压器参数的测试方法

5.1 变压器的绝缘、变比、极性、直流电阻、空载、短路试验参见有关规程。

5.2 短路试验在条件允许时应做到额定电流，受试验设备条件限制允许做到 25%额定电流及以上。按规定，短路电压折算到额定电流（100%额定容量）对应的数值。短路损耗不必折算，但应标明对应的容量数值。

a. 如是单相变压器，可分相做短路试验，再取平均值。如是三相变压器，必须用三相对称电源做短路试验。

b. 如三绕组变压器三侧额定容量不等，短路电压应折算到 100%额定容量对应的数值，短路

损耗不必折算，但应注明对应的容量数值。

c. 自耦变压器应报三个绕组之间的短路电压，并应折算到额定容量对应的数值。

d. 分裂变压器应报穿越阻抗和低 1 与低 2 之间的阻抗（电压），也可报三个绕组之间的阻抗，但都应折算到额定容量对应的数值。对于单相分裂变压器，因高压绕组阻抗近似为零，可以只报一个穿越阻抗。分裂变压器阻抗应特别注明阻抗的名称及对应的容量数值。

5.3 变压器零序阻抗

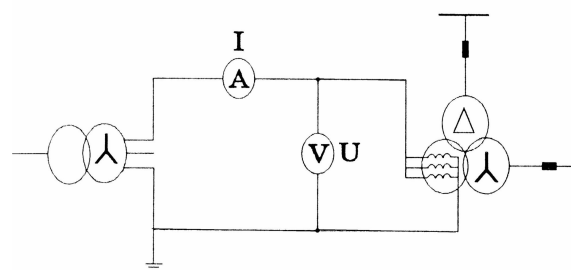
a. $Y_0/Y/\Delta$ 、 $Y_0/\Delta/Y$ 、 $Y_0/\Delta/\Delta$ 接线的三绕组变压器和 Y_0/Δ 结线的二绕组变压器试验

接线如图 B11：

计算：

$$Z_0 = \frac{3U}{I} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_0 \approx Z_0 \quad (\text{欧姆/相})$$



注意：① 试验时，变压器分接头位置应放在额定

位置，如不在额定位置应特殊注明试验时分接头位置

及所对应的电压数值。

图 B11 $Y_0/Y/\Delta$ 、 $Y_0/\Delta/Y$ 、 $Y_0/\Delta/\Delta$ 接线变压器零序阻抗试验接线图

② 低压 Δ 形接线的绕组应按实际运行情况接

好，变压器所有附件都应安装就位，套管电流互感器二次应短接，低压断路器全部断开。

③ 试验电源电压应在 300 伏以上。

④ 测试结果估算： $X_0 = (0.7 - 0.9) X_1$ ，对于 $Y_0/Y/\Delta$ 、 $Y_0/\Delta/Y$ 接线变压器的 X_1 指 Y/Δ 之间的短路阻抗。 $Y_0/\Delta/\Delta$ 接线变压器的 X_1 指高压对低₁+低₂的短路阻抗。各阻抗应归算到同一基准才能比较。如 $X_0 > X_1$ 或 $X_0 < 0.6 X_1$ 应查找原因，重新测量。

⑤ 单相或三相五柱式变压器的 $X_0 = X_1$ ，可不测零序阻抗，但应特殊说明原因。

b. $Y_0/Y_0/\Delta$ 、 Y_{0-0}/Δ 接线高中压都直接接地的三相三绕组变压器和三相自耦变压器试验接线如图 B12、图 B13：

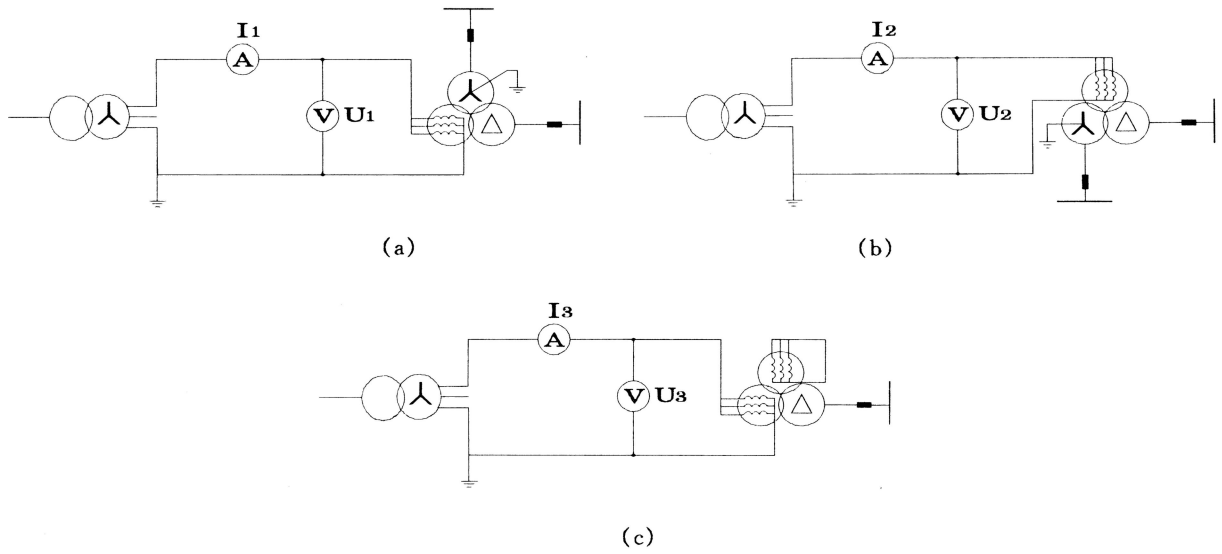


图 B12 $Y_0/Y_0/\Delta$ 接线变压器零序阻抗试验接线图

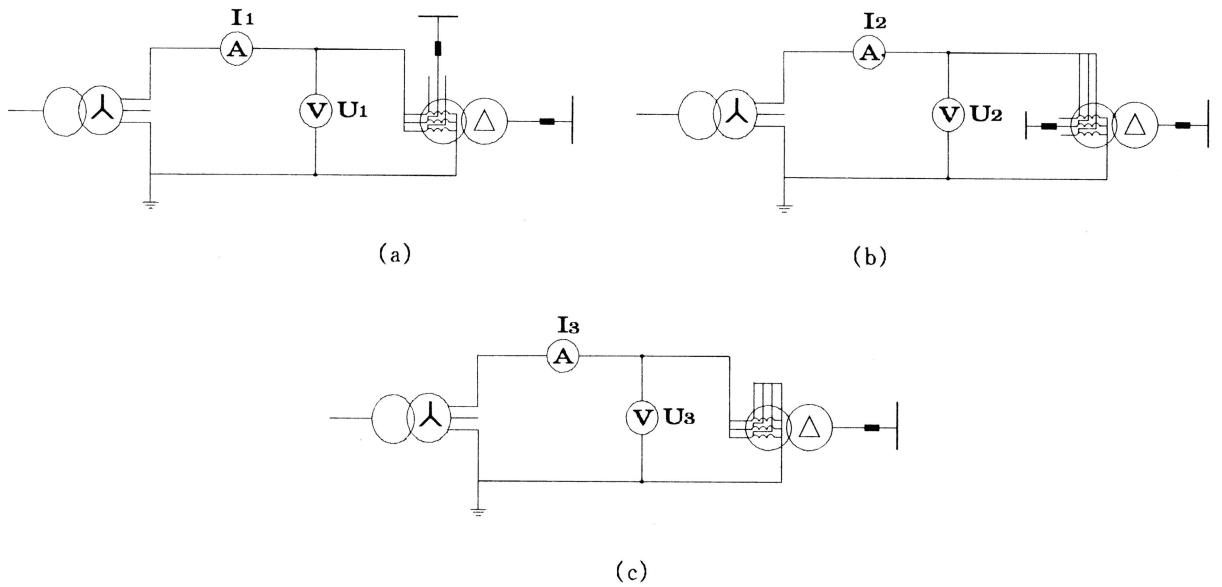


图 B13 Y_{0-0}/Δ 接线自耦变压器零序阻抗试验接线图

方法:

- ① 低压 Δ 接好,中压开路,高压三相短接加电压,测高一低之间的零序阻抗 d_{13} ,如图(a)。
- ② 低压 Δ 形不变,高压开路,中压三相短接加电压,测中一低之间的零序阻抗 d_{23} ,如图(b)。
- ③ 低压 Δ 形不变,中压三相短路并与中压中性点短接,高压三相短路加电压,测高-中+低之间的零序阻抗 $d_{1,2+3}$,如图(c)。

计算：

$$d = \frac{3U}{I} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_{\text{高}} = d_{13} - \sqrt{d_{23}(d_{13} - d_{1.2+3})} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_{\text{中}} = d_{23} - \sqrt{d_{23}(d_{13} - d_{1.2+3})} \quad (\text{欧姆/相})$$

$$X_{\text{低}} = \sqrt{d_{23}(d_{13} - d_{1.2+3})} \quad (\text{欧姆/相})$$

说明：

- ① 图 (a)、(b)、(c) 均用上述一个公式求 d 。
- ② 测试注意事项与前 $Y_0/Y/\Delta$ 接线的要求相同。
- ③ 零序阻抗报实测 d_{13} 、 d_{23} 、 $d_{1.2+3}$ 的欧姆值，不必计算 $X_{\text{高}}$ 、 $X_{\text{中}}$ 、 $X_{\text{低}}$ 。
- ④ 测试结果估算：

$$d_{13} = (0.7 \sim 0.9) X_{13} \quad X_{13} \text{ 一高低之间正序短路阻抗}$$

$$d_{23} = (0.7 \sim 0.9) X_{23} \quad X_{23} \text{ 一中低之间正序短路阻抗}$$

如 $d > X$ 或 $d < 0.6X$ 应查找原因并重新测试，所有数据应折算到同一基准才能比较。