

中华人民共和国国家标准

电力变压器

UDC 621.314.222.6

GB 1094.1—85

第一部分 总则 代替 GB 1094—79

Power transformers Part 1:General

国家标准局 1985-11-22 发布

1986-07-01 实施

本标准参照采用国际标准 IEC 76-1(1976)《电力变压器 第一部分 总则》。

1 范围

本标准适用于电力变压器(包括自耦变压器),下列小型及特殊变压器除外:

额定容量小于 1kVA 的单相变压器及额定容量小于 5kVA 的多相变压器;

互感器;

静止变流器用变压器;

起动变压器(指供电动机降压起动用的变压器);

试验变压器;

机车变压器;

焊接用变压器。

但上述变压器或其他特殊变压器没有相应的标准时,本标准可全部或者部分适用。

2 使用条件

2.1 正常使用条件

a. 海拔

海拔不超过 1000m。

注:海拔超过 1000m 时,见本标准第 2.2 条。

b. 环境温度

最高气温+40℃;

最高日平均气温+30℃;

最高年平均气温+20℃;

最低气温-30℃(适用于户外式变压器);

最低气温-5℃(适用于户内式变压器)。

注:超过这些温度规定时见本标准第 2.2 条。

c. 冷却水最高温度

冷却器入口处+30℃。

d. 电源电压的波形

电源电压的波形近似于正弦波。

e. 多相电源电压的对称性

多相变压器的电源电压应近似对称。

2.2 特殊使用条件

使用部门应在询价及订货时提出本标准第 2.1 条正常使用条件中未包括的条件。

对不符合本标准第 2.1 条规定的正常使用条件而设计的变压器,其定额及试验方面的补充要求按以下规定:

a. 运行地点的气温超过本标准第 2.1 条规定的限值者,按 GB1094.2—85《电力变压器 第二部分 温升》第 2.2 条的规定。

b. 运行在海拔超过 1000m 的所有型式的变压器,按 GB1094.2 第 2.3 条和 GB1094.3—85《电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验》第 2 章的规定。

c. 超出本标准第 2.2 条规定的温度条件和特殊运行条件,例如冷却空气循环受到限制等,应由制造厂与使用部门协商确定。

3 名词术语

下述名词术语适用于本标准,其他有关名词术语均见 GB2900.1—82、GB2900.15—82、GB 2900.19—82《电工名词术语》的规定。

3.1 概述*

*除了自耦或增压变压器之外的变压器称为独立绕组(separate winding)变压器。双绕组变压器,可以使用双绕(double-wound)变压器一

词。

3.1.1 变压器

借助于电磁感应，以相同的频率，在两个或更多的绕组之间变换交流电压和电流的一种静止的电器。通常各绕组的电压和电流值并不相同。

3.1.2 自耦变压器

至少有两个线圈具有公共部分的变压器。

3.1.3 增压变压器

具有一个改变线路电压的串联线圈和一个励磁线圈的变压器。

3.1.4 油浸式变压器

铁心和线圈浸在绝缘油中的变压器。

注：本标准将合成绝缘液体也看作是一种油。

3.1.5 干式变压器

铁心和线圈不浸在绝缘液体中的变压器。

3.1.6 密封式变压器

一种为尽量避免变压器内所含冷却介质与外部大气间互相交换的非呼吸式变压器。

密封式变压器分两类：

- a. 在整个工作温度范围内，变压器内部的油、气体、空气或任何其他混合物的总体积保持不变。
- b. 在整个工作温度范围内，变压器内部的油、气体、空气或任何其他混合物的总体积是变化的，这种变化由一种密封的可以变形的容器或膜来调节。

3.2 端子及中性点

3.2.1 端子

把线圈与外部导体连接起来的导电件。

3.2.2 线路端子

变压器连接到系统线路导体上的端子。

3.2.3 中性点端子

- a. 对于多相变压器及单相变压器的多相组

在星形联结或曲折形联结中连接中性点的端子。

- b. 对于单相变压器

连接系统中性点的端子。

3.2.4 中性点

对称系统中正常处于零电位的点。

对星形联结或曲折形联结的多相系统而言，中性点系指公共点。

3.2.5 相应端子

以相同的字母或相应的符号标志的一台变压器中不同线圈上的端子。

3.3 绕组

3.3.1 绕组

线匝的组合，它构成变压器规定电压之一所需的电路。

对于多相变压器而言，绕组系指相线圈的组合(参见 3.3.2 款)。

3.3.2 相线圈

线匝的组合，用以形成多相绕组的一相。

注：“相线圈”一词不应用来标志某一铁心柱上的所有线圈的组装体。

3.3.3 高压绕组*

具有最高额定电压的绕组。

3.3.4 低压绕组

具有最低额定电压的绕组。

注：对于增压变压器，额定电压较低的线圈可能具有较高的绝缘水平。

3.3.5 中压绕组*

*在运行条件下，从供电系统接受有功功率的绕组称为一次绕组；向负载回路输送有功功率的绕组称为二次绕组。

多绕组变压器中，其额定电压处于最高和最低额定电压之间的绕组。

3.3.6 辅助绕组

只承担变压器额定容量中一个小负载的绕组。

3.3.7 稳定绕组

一种辅助的三角形联结的绕组，专门用来减小星形-星形联结或星形-曲折形联结变压器中的星形联结绕组的零序阻抗(见本标准第 3.7.6 款)。

注：① 降低这一阻抗有时是必要的，例如，为了减少三次谐波电压的幅值或稳定中性点电压。

②如绕组与外部线路连接的端子不引出，即使绕组的一点或三角形同一角的两点都引出(例如为接地之用)，该绕组也被认为是稳定绕组。对于三相变压器，如其他各点均被引出，则该绕组为正常绕组(见本标准 第 3.3.6 款)。

3.3.8 公共线圈

自耦变压器线圈的公共部分。

3.3.9 串联线圈

自耦变压器线圈的非公共部分或增压变压器与线路相串联的线圈。

3.3.10 励磁线圈

增压变压器中供电给串联线圈的线圈。

3.4 定额

3.4.1 定额

对变压器所指定的某些数值，用这些数值限定变压器在本标准规定条件下的运行状况。同时，这些数值也作为制造厂的保证和试验基础。

3.4.2 额定量

决定定额参数(电压、电流等)的某些数值。

注：①除非另有规定，额定量均以主分接为准(见本标准第 3.5.1.1 项)。与其他分接有关的量见 3.5 条及 GB 1094.4—85《电力变压器 第四部分分接和联结方法》。

②除非另有规定，电压和电流均以有效值表示。

3.4.3 绕组的额定电压

在多相变压器绕组的线路端子间或单相变压器绕组的端子间指定施加的电压，或当空载时产生的电压。

注：①在空载时，当某一绕组施加额定电压则变压器所有其他绕组同时都产生额定电压。

②组成三相组的单相变压器，如其绕组系星形联结，则绕组的额定电压以分数表示，其分子为线电压，分母为 $\sqrt{3}$ ，例如 $380/\sqrt{3}\text{V}$ 。设计成开口式(见本标准第 3.10.5 款)的三相增压变压器的串联线圈，其额定电压可当作星形联结来表示。

3.4.4 额定电压比

一绕组的额定电压与另一绕组的额定电压之比，后者较前者有较低的或相等的额定电压。

3.4.5 额定频率

对变压器所设计的运行频率。

3.4.6 额定容量

表观容量的惯用值(以 kVA 或 MVA 表示)。以它作为设计、制造厂的保证和试验的基础，并且当对变压器施加额定电压时，根据它来确定在本标准的规定条件下不超过温升限值的额定电流。

注：①如变压器的容量由于冷却方式的不同而变更时，则额定容量系指最大容量。

②双绕组变压器的两个绕组具有相同的额定容量，按定义，此容量即为变压器的额定容量。

③对于多绕组变压器，应对每个绕组的额定容量加以规定。各绕组额定容量算术和的一半可粗略地说明多绕组变压器与双绕组变压器对比时的尺寸大小。

3.4.7 额定电流

由绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的相系数(参见表 1)推算而得的流经绕组线路端子的电流。

注：①当三角形联结(或其他多边形联结)系由外部把两个相线圈的端子成对连成时，其额定电流为此两个端子连起来所获得的值。

②单相变压器连成三角形联结的三相组时，线圈的额定电流以分数表示，其分子为相应的线电流，分母为 $\sqrt{3}$ ，如 $500/\sqrt{3}$ 。

3.5 分接

3.5.1 分接绕组

3.5.1.1 主分接

与额定量(额定电压、额定电流、额定容量)相对应的分接。

3.5.1.2 分接因数(对应于指定分接)

指 U_d/U_N 之比值(分接因数)或 $100U_d/U_N$ (以百分数表示的分接因数)。

其中: U_N 为绕组的额定电压; U_d 为在不带分接的绕组上施加额定电压时, 处于指定分接位置的绕组端子在空载时所产生的电压。

注: “分接因数”表示当带有分接的绕组处于某一分接时, 其“有效匝数”与主分接时匝数的比值。当分接因数的值为 1 时, 说明处于主分接。

3.5.1.3 正(或负)分接

分接因数大于(或小于)1 的分接。

3.5.1.4 分接级

相邻分接间以百分数表示的分接因数之差。

注: 分接级可以用百分数表示, 其值为一级的匝数与主分接有效匝数之比。

3.5.1.5 分接范围

以百分数表示的分接因数与 100 相比的变化范围。如果这个因数在 $(100+a) \sim (100-b)$ 之间变化, 则认为分接范围是 $+a\%$, $-b\%$ 。如果 a 等于 b 则分接范围为 $\pm a\%$ 。

3.5.2 (一对绕组的)分接电压比

如为高压绕组, 分接电压比等于额定电压比与带有分接绕组的分接因数的乘积。

如为低压绕组, 分接电压比等于额定电压比与带有分接绕组的分接因数的商。

注: 按照定义, 额定电压比至少等于 1, 而分接电压比可能小于 1(对于某些分接当额定电压比接近于 1 时)。

3.5.3 有关分接的工作能力的定义(用于变压器的一个指定分接联结)

下列定义一般是根据额定值(见本标准第 3.4 条)的定义推导出的, 事实上额定值即是主分接的“分接的工作能力”。

3.5.3.1 分接的工作能力

对指定分接连接位置的某些量(电压、电流等)所规定的数值, 并以它作为制造厂的保证值和在一定情况下进行试验时的基础。

注: 除特殊情况外, 本标准对每一分接只考虑一个“分接的工作能力”, 即对主分接只考虑一个“额定值”。在计算分接量的过程中, 一个以上的分接能力可能作为一个中间步骤出现。但除极特殊的情况外, 规定一个以上的“分接的工作能力”将引起不必要的复杂化。

3.5.3.2 分接量

这些分接量的值规定了分接的工作能力。

每个绕组和每一分接的分接量包括

- a. 分接电压(见 3.5.3.3 项);
- b. 分接容量(见 3.5.3.4 项);
- c. 分接电流(见 3.5.3.5 项)。

注: 变压器指定分接的分接量系指分接容量、分接电压及分接电流。这些量适用于变压器的任何绕组, 其中包括不带分接的绕组。

3.5.3.3 绕组的分接电压

对于指定分接在多相变压器的线路端子间或单相变压器绕组的端子之间指定施加的或空载时产生的电压。

注: 在空载时, 当变压器连接在有关分接时, 所有绕组的分接电压是同时产生的。

3.5.3.4 绕组的分接容量

表观容量的惯用值。当变压器连接在相应的分接位置时, 该值作为制造厂保证值和在一定情况下试验的基础, 并由它确定分接电流的数值。

3.5.3.5 绕组的分接电流

流经绕组线路端子的电流, 其值等于该绕组的分接容量除以该绕组的分接电压和相应的相系数(见表 1)。

3.5.4 满(或降低)容量分接

分接容量等于(或小于)额定容量的分接。

3.6 损耗及空载电流

注: 除非另有规定, 损耗及空载电流值是针对主分接而言, 因此下列各定义也是针对主分接而言(其他分接见 GB 1094.4)。

3.6.1 空载损耗

当以额定频率的额定电压施加于一个绕组的端子上, 其余各绕组开路时所吸取的有功功率。

3.6.2 空载电流

当变压器的一个绕组施加额定频率的额定电压时, 其余各绕组开路, 流经该绕组线路端子的电流。

注: ①一个绕组的空载电流通常以该绕组额定电流的百分数表示。对多绕组变压器来说, 这个百分数是以最大额定容量的一个绕组为准的。

②对于多相变压器, 流经不同线路端子的空载电流可能不相等, 但不分别给出这些空载电流值, 而取其算术平均值。

3.6.3 负载损耗

a. 双绕组变压器

当额定电流流经一个绕组的线路端子，而另外一个绕组端子短接时，在额定频率下吸取的有功功率。其值应折算到参考温度(见表 5)。

b. 多绕组变压器

多绕组变压器，以指定的一对绕组为准。当电流流经该对绕组中一个绕组的线路端子，而且电流为相当于该组合的两个绕组额定功率中较小的一个，该对的另一线组的端子短接，其余的绕组开路时，在额定频率下所吸取的有功功率。各对绕组负载损耗值均应折算到参考温度(见表 5)。

3.6.4 总损耗

空载损耗及负载损耗之和。

注：多绕组变压器的总损耗应以一个指定的负载组合为准。

附属装置中的损耗不包括在总损耗之内，应另外列出。

3.7 阻抗电压、短路阻抗和电压调整率

3.7.1 额定电流下的阻抗电压(主分接)

a. 双绕组变压器

当一侧绕组的端子短路，以额定频率的电压施加于多相变压器另一侧绕组的线路端子上，或单相变压器另一侧绕组的端子上，并使其中流过额定电流时所施加的电压。

b. 多绕组变压器

多绕组变压器，以任意一对绕组组合为准。当该对绕组组合中的一侧绕组短路，以额定频率的电压施加于多相变压器该对中另一侧绕组的线路端子上，或单相变压器同一对中另一侧绕组的端子上，并使其中流过相当于该对中最小功率的额定电流时所施加的电压。

注：上述阻抗电压均应换算到参考温度(见表 5)，除特殊指明外均以施加电压绕组额定电压的百分数表示。多绕组变压器，为简化计算，各个组合下的阻抗电压，可以折算到同一功率。

3.7.2 电阻电压

阻抗电压中与电流同相位的分量。

3.7.3 电抗电压

阻抗电压中与电流成 90° 相位的分量。

3.7.4 一对绕组间的短路阻抗(折算到其中一个绕组(指定分接)的欧姆值)

额定频率下，在一个绕组的端子上测得的等值星形联结阻抗(以每相欧姆数表示)。此时，另一绕组的端子短接。此阻抗值折算到参考温度(见表 5)。

注：主分接情况下，折算到指定绕组的短路阻抗 Z_t 与以百分数表示的额定电流下的阻抗电压 U_z 之间的关系，可由下式表示：

$$Z_t = \frac{U_z}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}$$

式中 U_N ——绕组的额定电压；

S_N ——绕组的额定容量。

阻抗电压 U_z (以百分数表示)只限于主分接使用，以免当参考电流及电压不明确时与其他分接误解。

3.7.5 规定负载条件下的电压调整率

一个绕组的空载电压和同一绕组在规定负载和功率因数时的电压之差，与该绕组空载电压的比，通常以百分数表示。

此时加到另一绕组上的电压应为额定电压(主分接)或相应分接的电压值，并保持不变。

注：对于多绕组变压器，其电压的差值不仅取决于绕组自身的负载与功率因数，而且也取决于其他绕组的负载和功率因数。

3.7.6 (多相绕组的)零序阻抗

额定频率下，在多相星形联结或曲折形联结中，连接在一起的线路端子与中性点端子之间以每相欧姆数表示的阻抗。

注：①零序阻抗可能有几个值，原因是它不仅取决于绕组本身的联结方法，而且取决于其他绕组的联结方法，以及它们的中性点端子与线路端子之间的接法。例如，一台双绕组变压器，如二次绕组系星形联结并有中性点端子，则可定出两个零序阻抗：其一是由二次绕组不带负载确定(空载零序阻抗)，其二是二次绕组的中性点端子和其线路端子短接而确定(短路零序阻抗)。

②零序阻抗往往与电流值有关。

③对于自耦变压器，可以考虑其他的零序阻抗，如对连在一起的输入端与连在一起的输出端之间施加电压，而测量得的零序阻抗。

3.8 温升

对于空气冷却的变压器，系指所考虑的那部分的温度与冷却空气温度之差。对于水冷却变压器，系指所考虑的那部分的温度，与冷却器入口处的水的温度之差。

3.9 绝缘

3.9.1 变压器绕组(设备)最高电压 U_m

最高的相间电压有效值。变压器绕组绝缘是按此值设计的。

注：从绕组绝缘方面考虑， U_m 是绕组可以连接的那个系统的最高电压的有效值。

3.9.2 额定绝缘水平

a. 额定雷电冲击和短时工频耐受电压(相对地)。适用于最高电压 U_m 低于 300kV 的绕组，也适用于最高电压等于或大于 300kV 按 GB 1094.3 第 5 章“方法 1”所指定的绕组。

b. 额定雷电冲击和操作冲击耐受电压(相对地)。适用于最高电压 U_m 等于或大于 300kV 按 GB 1094.3 第 5 章“方法 2”所指定的绕组。

3.9.3 变压器绕组的全绝缘

指线圈的所有出线端都具有相同的对地工频耐受电压的绕组绝缘。

3.9.4 变压器绕组的分级绝缘

指线圈的接地端或绕组的中性点的绝缘水平较线端为低的绕组绝缘。

3.10 联结法

3.10.1 星形联结

绕组的接法如下：多相变压器各相线圈的一端，或组成多相组的单相变压器具有相同额定电压绕组的一端接成一个公共点(中性点)，其他端子接到相应的线路端子。

3.10.2 三角形联结

绕组的接法如下：三相变压器的三个相线圈，或组成三相组的单相变压器的具有相同额定电压的三个绕组互相串联，形成一个闭合的回路。

3.10.3 开口三角形联结

绕组的接法如下：三相变压器的三个相线圈，或组成三相组的单相变压器具有相同额定电压的三个绕组互相串联，但三角形的一个角不闭合。

3.10.4 曲折形联结

多相变压器的相线圈接成星形，每个相线圈由两部分组成，这两部分线圈的感应电压相位不同且通常具有相同的匝数。

3.10.5 开口线圈

多相变压器中，不在内部互相连接的那些线圈。

3.10.6 相位移

以正序电压系统施加于高压端子上，各端子依次用字母顺序或数字顺序标出。两个绕组中各相应端子与中性点(真实的或虚设的)间的电压以矢量代表，这些矢量之间的角度差异即为相位移。相位移以钟时序数来表示，均为逆时针方向旋转。其长针(分针)指向定在 12 点与高压端子和中性点(真实的或虚设的)间的电压矢量相重合，其短针(时针)与相应的低压(或中压)端子和中性点(真实的或虚设的)间的电压矢量相重合。

3.10.7 联结组标号

指出变压器高压、中压(如果有)和低压绕组的连接方法和以钟时序数表示的相对的相位移的通用标号。

3.11 试验的种类

3.11.1 出厂试验

每台变压器均需承受的试验。

3.11.2 型式试验

除出厂试验之外，为验证变压器是否与规定的技术条件符合所进行的具有代表性的试验。

注：如果一台变压器的定额及结构与该厂的其他变压器完全一致，则认为可以代表它们。如果一台变压器与该厂其他的变压器在定额或其他特性方面只有次要的差异，对其进行的型式试验也可以认为是有效的。这些变通办法必须由制造厂与使用部分协商确定。定期的型式试验应最少每 5 年进行 1 次。

3.11.3 特殊试验

除型式试验和出厂试验之外，经制造厂与使用部门商定的试验，它仅适用于一台或几台特定合同上的变压器。

4 定额

4.1 总则

制造厂应对变压器规定其定额，并将这些定额标注在铭牌(见本标准第 5 章)上。这些定额应使变压器在稳定负载条件下，假定变压器的施加电压等于额定电压且为额定频率时(见本标准第 3.4.2 款)，能够输出额定电流而不超出 GB1094.2 中规定的温升限值。

4.2 额定容量

规定的额定容量应以本标准第 2 章中规定的使用条件为准，并取额定电压、额定电流和相应的相系数的乘积。相系统在表 1 中列出。

表 1 相 系 数

相 数	相 系 数
1	1
3	$\sqrt{3}$

这里给出的额定容量是以变压器连续运行作为条件的；但是，符合于本标准的油浸式变压器可以过载。过载保证值见相应国家标准。

在负载导则规定的条件内，*对于三相的额定容量不超过 100MVA，或者对于单相或两相每柱容量不超过 33.3MVA 的变压器电流可允许小于 1.5 倍额定电流；当其容量分别超过上述值时允许小于 1.3 倍额定电流值的偶发性过载。**在这些条件下应不受到套管、有载分接开关或其他辅助设备的限制。超出 1.5 倍额定值的有规则的每日过载或急救负载，考虑可能要受到辅助设备的限制，因此应与制造厂协商确定。

*偶发性过载应按下述来理解。

a. 当在 1.5 倍变压器的额定电流下运行，所经历的时间为变压器寿命的 3%时，有载分接开关可不作分接变换。

b. 有载分接开关在 1.5 倍变压器的额定电流下进行分接变换是以操作次数的 3%为基础的。

**偶发性过载时允许绝缘的相对热损坏率超过 1。

注：变压器的一个绕组上施加额定电压时，另一个绕组(或其余绕组中的一个)流过额定电流，该绕组可以输出的表观容量与其额定容量相差一个数值，该值取决于相应的电压调整率(见本标准第 3.7.5 款)。此表观容量等于后一负载绕组的实际电压与该绕组的额定电流及相应的相系数(见表 1)的乘积。

4.3 额定容量的优先数

三相变压器额定容量应尽量采用优先数，见表 2，其数值取自 GB321—80《优先数和优先数系》。中 R10 系列。具体的容量系列见相应国家标准。

组成三相变压器组的单相变压器，额定容量推荐值为表 2 中数值的 1/3。不作为上述用途的单相变压器的额定容量的优先数与三相变压器相同。

表 2 三相变压器额定容量的优先数

5	31.5	200
6.3	40	250
8.0	50	315
10	63	400
12.5	80	500
16	100	630
20	125	800
25	160	1000 等

4.4 高于额定电压时的运行

a. 变压器应能在 105%的额定电压下输出额定电流。

注：因 5%过电压下的较高空载损耗而引起的温升的稍许增长可略去不计。

b. 对于特殊的使用情况(例如变压器的有功功率可以在任何方向流通)，用户可规定变压器在高于 105%的额定电压，但不超过 110%的额定电压下运行。对电流与电压的相互关系如无特殊的要求，当电流为额定电流的 $K0 \leq K \leq 1$ 倍时，按下面公式对电压 U 加以限制。

$$U(\%) = 110 - 5K^2$$

5 铭牌

每台变压器应装有铭牌。铭牌用不受气候影响的材料制成，并安装在明显位置。铭牌上应表示下述各项，所示项目应牢固刻出(如利用蚀刻、雕刻或打印方法)

5.1 在所有情况下都应给出的项目：

- a. 变压器名称(如电力变压器、自耦变压器、有载调压变压器等)，型号，产品代号；
- b. 标准代号；
- c. 制造厂名(包括国名)；
- d. 出厂序号；
- e. 制造年月；
- f. 相数；

- g. 额定容量(kVA 或 MVA。对多绕组变压器，应给出每个绕组的额定容量。如果一个绕组的额定容量并不是其他绕组额定容量的总和时，则要给出负载组合)；
- h. 额定频率(Hz)；
- i. 各绕组的额定电压(V 或 kV)；
- j. 各绕组的额定电流(A 对三绕组自耦变压器，还应注出公共线圈中长期允许的值)；
- k. 联结组标号，绕组联结示意图(6300kVA 以下的变压器，可不画联结示意图)；
- l. 额定电流下的阻抗电压(实测值。如果需要，应给出参考容量，对多绕组变压器应表示出相当于 100%额定容量时的阻抗电压)；
- m. 冷却方式(如果变压器具有几种冷却方式，除应表示出冷却方式外，还应以额定容量百分数表示出相应的冷却容量，如 ONAN/ONAF70/100%，见 GB 1094.2 第 1 章)；
- n. 使用条件(户内、户外使用，超过 1000m 的海拔等)；
- o. 总重量(kg 或 t)；
- p. 绝缘油重量(kg 或 t)；

注：①在设计上如已特别指明由于线圈连接的关系使得变压器有不止一个定额时，则这些定额值皆应在铭牌上给出。

②强迫油循环(风冷和水冷)的变压器，还应注出满载下停油泵及风扇电动机允许的工作时限。

5.2 在某些情况下给出的补充项目

- a. 绝缘的温度等级(油浸式变压器 A 级绝缘可不注出)；
- b. 温升(当温升不是标准规定值时)；
- c. 联结图(当联结组标号不能说明内部连接的全部情况时)。如果线圈的连接可以在变压器内部变更，则应指出变压器出厂时的联结；
- d. 绝缘水平(适用于额定电压在 3kV 及以上的绕组和分级绝缘绕组的中性端)；
- e. 运输重(kg 或 t，8000kVA 及以上的变压器)；
- f. 器身吊重(kg 或 t，当变压器总重超过 5t 时)；上节油箱重(kg 或 t，钟罩式变压器)；
- g. 如果有非矿物油需注明绝缘液体名称；
- h. 有关分接的详细说明：
 - (a) 带有分接绕组的示意图(8000kVA 及以上的变压器)；
 - (b) 标出每一绕组的分接电压、分接电流及分接容量(8000kVA 及以下的变压器只列分接电压)；
 - (c) 极限分接及主分接上的短路阻抗值，及对应于这一阻抗值的绕组的标志(8000kVA 及以上的变压器)；
 - (d) 当变压器超过相应分接的分接电压 105%时，如需要，应给出运行能力的有关数据。
- i. 空载电流(实测值，8000kVA 及以上或电压 60kV 级及以上的变压器)；
- j. 空载损耗及负载损耗(W 或 kW、实测值，8000kVA 及以上或电压 60kV 级及以上的变压器)。对多绕组变压器的负载损耗应表示各对绕组工作状态的损耗值；
- k. 套管电流互感器的技术数据(亦可采用单独的标志)。

6 其他要求

6.1 中性点引出线尺寸的确定

中性点的引出线和端子，如承担相与中性点间的负载时(例如配电变压器)，应根据相应的负载电流和接地故障电流确定其尺寸。
在相与中性点间不承担负载的变压器，其中性点引出线和端子的尺寸应根据接地故障电流确定。

6.2 发电机用变压器的甩负载

当变压器和发电机直接连接而且可承受发电机甩负载的工作条件时，在变压器与发电机相连接的端子上应能承受 1.4 倍的额定电压历时 5s。

6.3 工频电压升高时的运行持续时间

电压 110～500kV 级电力变压器(包括自耦变压器)对于额定电压的短时工频电压升高倍数的持续时间应符合表 3。

表 3

工频电压 升高倍数	相-相	1. 10	1. 25	1. 50	1. 58
	相-地	1. 10	1. 25	1. 90	2. 00
持续时间		<20min	<20s	<1s	<0. 1s

7 允许偏差

除了测量误差之外，由于主要材料的不可避免的差异和制造方法的不同，从试验中获得的数值可能与计算值有差别。所以，必须规定一个对于保证值的允许偏差。

表 4 列出了按本标准制造厂应予保证的一些额定数据及其他数据的允许偏差。当一个方向的偏差未列时，则表示该方向的允许偏差是不受

限制的。

当变压器的额定数据及其他数据不超出表 4 中列出的允许偏差时，则认为这台变压器符合本标准。

表 4 允 许 偏 差

项 目	允 许 偏 差
1 空载损耗	+15%
负载损耗*	+15%
总损耗	+10%
2 主分接上的空载电压比 (额定电压比)	取下列二值中的较小者： a. $\pm 0.5\%$ ； b. 额定电流下实际阻抗电压的 $\pm 10\%$
其他分接上的空载电压比	由制造厂与使用部门商定**
3 额定电流下主分接的阻抗电压	
a. 为主分接、中间分接或中间两分接中之一时：	该分接规定值的 $\pm 10\%$
1. 双绕组变压器	指定一对绕组的规定值的 $\pm 10\%$ ；
2. 多绕组变压器	第二对绕组规定值的 $\pm 15\%$
b. 其他情况	其他成对绕组的偏差需经协商并说明 (见 GB 1094.4 第 2.4.2 款)
4 任一分接的短路阻抗	不少于上项 a 的偏差值(见 GB 1094.4 第 2.4.2 款)
5 空载电流	+30%

*如不在询价及订货单上说明损耗偏差适用于某给定的负载条件时，则多绕组变压器的损耗偏差适用于每一对绕组。

**自耦变压器及增压变压器的阻抗值较小，因而会产生更小的偏差，故 b) 对其不能适用。

8 试 验

8.1 对出厂试验、型式试验和特殊试验的一般要求

试验应在 10~40℃的环境温度下进行。对水冷变压器，试验时的冷却器入口处的冷却水温度不超过 30℃。

如制造厂与使用部门之间无其他协议，则试验应在制造厂的车间里进行。

试验中，能够影响变压器性能的任何外部零件和附件，应安装于所在位置。

除现行标准另有规定外，凡带有分接的绕组应接在主分接上进行试验。

除绝缘试验以外的所有特性试验，均以额定条件为基础。

如果试验结果需要校正到参考温度，则参考温度应符合表 5 规定。

表 5 参 考 温 度

绝缘的耐热等级	参 考 温 度，℃
A	
E	75*
B	
其他的绝缘耐热等级	115

* 当为强迫导向油循环时为 80℃。

8.1.1 出 厂 试 验

- a. 绕组电阻测定(本标准第 8.2 条)；
- b. 电压比测量及电压矢量关系的校定(本标准第 8.3 条)；
- c. 阻抗电压(主分接)短路阻抗及负载损耗的测量(本标准第 8.4 条)；
- d. 空载损耗及空载电流的测量(本标准第 8.5 条)；
- e. 绝缘特性(绝缘电阻，吸收比，介质损失角正切)的测定(见相应国家标准)；
- f. 绝缘试验(GB 1094.3)；
- g. 有载分接开关的试验(本标准第 8.8 条)；
- h. 变压器油试验(本标准第 8.9 条)。

8.1.2 型 式 试 验

a. 温升试验(GB 1094. 2);

b. 绝缘试验(GB 1094. 3)。

8.1.3 特殊试验

a. 绝缘试验(GB 1094. 3);

b. 三相变压器零序阻抗的测量(本标准第 8.7 条);

c. 短路试验(GB 1094. 5《承受短路的能力》);

d. 声级测量(见相应国家标准);

e. 空载电流谐波的测量(本标准第 8.6 条);

f. 风扇电机和油泵电机所吸取功率的测量。

需要进行上述试验以外的其他试验时, 其试验方法应由制造厂与使用部门协定确定。

8.2 绕组电阻测定

8.2.1 一般说明

应记录绕组的被试端子间的电阻及线圈的温度。测量时应使用直流。

测量电阻时, 应注意将自感效应降低到最小程度。

在冷电阻测量过程中, 应注意测量电流达到稳定的时间, 用以指导其后的温升试验时热电阻的测量。

8.2.2 干式变压器

见相应国家标准。

8.2.3 油浸式变压器

变压器注油后不励磁静放 3h, 即可确定油的平均温度, 并认为线圈温度与油平均温度相同。油的平均温度取顶部油温和底部油温的平均值。

为了温升试验而进行冷电阻测量时(GB1094. 2 第 3.3 条中的 R1) 应尽可能准确地确定线圈的平均温度。因此顶部油与底部油的温差就应很小。为了尽快地达到这一要求, 可以用泵使油强迫循环。

8.3 电压比测量及电压矢量关系的校定

应在每一分接下进行电压比测量, 并应校定单相变压器的极性和三相变压器的联结组标号。

8.4 阻抗电压(主分接)、短路阻抗及负载损耗的测量

阻抗电压(主分接)、短路阻抗及负载损耗在额定频率下进行测量。测量时对变压器的一个绕组施加近似于正弦的电源, 另一绕组短路, 各相线圈都处于相同分接位置。测量应在 25%~100%(最好不少于 50%) 额定电流(主分接)或分接电流的任一电流下进行。测量应迅速进行, 其持续时间应足以保证产生的温升不引起明显的误差。顶部油和底部油的温差应小到能保证所要确定的平均温度的准确度符合要求。如果需要, 可用泵使油强迫循环。

阻抗电压(主分接)的测量值应按额定电流与试验电流之比相应增大, 并按表 5 所列的相应参考温度校正。

以每相欧姆数表示的短路阻抗值还应校正到如表 5 所列的相应参考温度。

应将测得的负载损耗值乘以额定电流(主分接)或分接电流与试验电流之比的平方米加以校正。然后再将该值校正到如表 5 所列的相应参考温度。

直流电阻损耗(I²R)与电阻成正比而变化, 而其余损耗与电阻成反比而变化。电阻应按本标准第 8.2 条加以确定。

三绕组变压器, 其阻抗电压(主分接)、短路阻抗及负载损耗应在成对的绕组间进行测量, 如:

在绕组 1 与绕组 2 之间;

在绕组 2 与绕组 3 之间;

在绕组 3 与绕组 1 之间。

同时, 其他绕组开路。

多于三个绕组的变压器, 绕组应成对选取, 其原则与三绕组的规定相同。

注: 试验接线的电阻应足够小, 以不影响测量。如试验接线的损耗与变压器的损耗相比难以忽略时, 则应对这些损耗加以修正。

8.5 空载损耗和空载电流的测量

空载损耗和空载电流应在变压器各绕组中的一个绕组上测量。测量时对该绕组施加额定频率的额定电压(如试验是在主分接进行)或相应的分接电压(试验在某一分接进行), 其余绕组开路, 开口三角形联结的绕组在测量时应闭合。

线电压应以平均值电压表测量, 但其刻度为具有同一平均值的正弦波形的有效值。该电压表所示的 U' 值即应作为线电压, 且空载损耗 P_m 即应在此电压下测量。

同时应将测量电压有效值的电压表和测量电压平均值的电压表相并联, 并应将前者所示电压 U 记录。

如果电压 U' 与 U 相同, 则测量的空载损耗 P_m 值不需校正, 此时 $P_m = P_0$ 。

如果电压 U' 与 U 不相同，则空载损耗值 P_0 应按下式校正：

$$P_0 = \frac{P_m}{P_1 + KP_2}$$

式中 P_1 ——磁滞损耗与总的铁心损耗之比；

P_2 ——涡流损耗与总的铁心损耗之比；

K —— $(U/U')^2$ 。

对在 50Hz 或 60Hz 下正常使用的磁感应强度， P_1 、 P_2 可采用表 6 数值。

空载电流取由有效值电流表测量的各相空载电流的平均值。

8.6 空载电流谐波的测量

表 6 磁滞损耗、涡流损耗与总的铁心损耗之比

	P1	P2
取向硅钢板	0.5	0.5
非取向硅钢板	0.7	0.3

所有各相空载电流的谐波采用谐波分析仪进行测量，谐波的大小以基波分量的百分数表示。

8.7 三相变压器零序阻抗的测量

零序阻抗应在额定频率下，在星形联结绕组或曲折形联结绕组连在一起的端子与中性点端子间测量。零序阻抗以每相欧姆数表示，其值等于 $3U/I$ ，其中 U 和 I 分别为试验电压和试验电流。

每相的试验电流应为 $I/3$ 。

应保证中性线中的电流与其承载电流的能力相符合。

当变压器带有辅助的三角形联结绕组时，考虑到电流的施加时间，试验电流值应保证三角形联结绕组中的电流不要过大。

对绕组全为星形联结的变压器，施加电压不得超过正常运行的相电压。

中性线中的电流及其施加时间应加以限制，以避免金属构件的过热。

当变压器不只一个星形联结绕组及中性线时，零序阻抗取决于连接方式(见 3.7.6 款)。此时零序阻抗的测量需经制造厂与使用部门协商确定。

带有分接的绕组，测量应在主分接下进行。经制造厂与使用部门协议后，测量可在其他分接进行。

具有一个中性点端子并将其永久接地的自耦变压器被看作为具有两个星形联结绕组的普通变压器。因而，串联线圈与公共线圈一起组成一个测量回路，公共线圈自己构成一个测量回路，测量所采用的电流应不大于低压侧的额定电流与高压侧的额定电流之差。

注：①在失去安匝平衡的情况下，电压与电流之间的关系通常不是线性的。

②零序阻抗取决于线圈和导磁元件的结构布置，因此在不同线圈上测量时可能有差异。

8.8 有载分接开关的试验

8.8.1 操作试验

当分接开关在变压器上全部装配完毕后，变压器制造厂应在 100%的额定操作电源电压(b 项除外)下进行下述试验而分接开关应不发生故障：

- a. 变压器不励磁，分接开关完成 8 个操作循环；
- b. 变压器不励磁，在 85%的额定操作电压下，完成一个操作循环；
- c. 变压器接入额定频率、额定电压空载运行，分接开关完成一个操作循环；
- d. 将变压器的一个绕组短路，并在尽可能达到变压器额定电流的情况下，在主分接两侧的 ± 2 级范围内，共完成 10 次分接变换。

8.8.2 辅助回路绝缘试验

当在变压器上将分接开关安装完毕后，应按照 GB 1094.3 第 9 章对辅助回路施加工频电压，进行耐压试验。

8.9 变压器油试验

从油箱下部取油样，试验按相应标准进行。

附 录 A

询价及订货时需提出的技术要求

(补充件)

A.1 定额及一般数据

A.1.1 双绕组变压器

A.1.1.1 正常项目

在所有情况下，都应给出下列数据：

- a. 必须符合的标准；
- b. 变压器的种类，如电力变压器、自耦变压器、有载调压变压器及增压变压器等；
- c. 相数；
- d. 频率；
- e. 绝缘液体(需指明是矿物油或是合成绝缘液体)；
- f. 户内式或户外式；
- g. 产品型号及冷却方式；
- h. 额定容量(以 kVA 表示)。当电压变化范围超过 $\pm 5\%$ 时，需指明极限分接所要求的容量；如变压器可改变冷却方式时，应给出相应的输出容量；
- i. 额定电压(对每一个绕组)；
- j. 是否带有分接，是需要有载分接开关还是无励磁分接开关，分接位置是在线端还是中性点；
- k. 系统的接地方式(对每一个绕组)；
- l. 联结组标号；
- m. 是否要中性点端子(对每一个绕组)；
- n. 安装、装配、运输及搬运过程中的特殊要求；
- o. 操作电源电压的说明(用于风扇、分接开关、报警装置等)；
- p. 所需附件及测量仪表、铭牌、油位计等的位置的说明。

A. 1. 1. 2 特殊项目

在下列情况下，需要给出的补充数据：

- a. 如需要稳定绕组，则需指明接地方式；
- b. 额定电流下的阻抗电压，如与相应国家标准不同时；
- c. 变压器是直接和发电机连接，还是通过开关装置与发电机相连接，以及是否有承受甩负载运行的要求；
- d. 如海拔超过 1000m 时，则需指明；
- e. 特殊冷却条件，如冷却介质的温度高于或低于本标准第 2. 1b 款中列出值时，或对冷却空气的循环有限制时；
- f. 如带有不平衡负载，则需详细说明；
- g. 变压器是否经常处于过电流情况下运行，例如电炉变压器和机车变压器；
- h. 除本标准第 4. 2 条之外的其他预计的有规律周期性过负载的详细说明(以便确定变压器辅助设备的定额值)；
- i. 其他特殊使用条件；
- j. 如果变压器的绕组联结方法要求变换时，则需指明出厂时的联结方法；
- k. 如果要求负载损耗和空载损耗为特定值时；
- l. 系统的短路特性(见 GB 1094. 5)；
- m. 是否进行声级测量；
- n. 变压器油箱承受真空压力的能力，如与相应国家标准参数的规定不符时；
- o. 任何其他有关的数据，包括上述特殊试验以外的要求项目；
- p. 短路电流 I 的持续时间，如果与 GB 1094. 5 第 2. 1. 3 款规定不符时。

A. 1. 2 多绕组变压器

通常按 A. 1. 1 款，除应给出与附加绕组有关的数据外，还有：

- a. 所需的负载组合，如需要时应加说明。分别提出有功输出和无功输出，尤其是在多绕组自耦变压器的情况下；
- b. 对指定的成对绕组所要求的特定阻抗电压。

A. 1. 3 绝缘水平和绝缘试验的要求

A. 1. 3. 1 对于所有绕组

- a. 设备最高电压 U_m (对每一个绕组)；
- b. 构成线端绝缘水平的额定耐受电压(见 GB1094. 3 表 1)；
- c. 绕组是全绝缘还是分级绝缘，如果是分级绝缘时，其中性点端子的 I 频耐压受电压与 GB 1094. 3 表 3 规定不同时应予注明；
- d. 在线端上进行的雷电冲击试验，是否包括截波试验；
- e. 当设备最高电压 U_m 不超过 17. 5kV 时，是否须满足冲击试验的要求；

A. 1. 3. 2 对高压绕组 $U_m \geq 300kV$ 的变压器

- a. 变压器是按方法 1 还是按方法 2 确定的规范和试验项目(见 GB1094. 3 第 5. 4 条)；

建议在试验前应对试验的接线和试验方法进行讨论。特别是对具有分级绝缘的高压绕组(见 GB1094.3 第 11.3 条的注)的复杂变压器上进行感应耐压试验时的接线问题和对大容量变压器的低压绕组和中性点端子(见 GB1094.3 第 12.3 条)进行冲击试验时采用的方法进行讨论。

如果需要与已有的变压器并联运行，应加以说明，而且应对已有的变压器给出下列数据：

- a. 额定容量；
- b. 额定电压比；
- c. 主分接以外其他分接下的电压比；
- d. 主分接时，在额定电流和额定电压下的负载损耗，指校正到相应的参考温度的值；
- e. 额定电流下的阻抗电压（主分接）；
- f. 如果带分接绕组的分接范围超过 $\pm 5\%$ ，至少要给出极限分接时的短路阻抗；
- g. 联结图或联结组标号，或两者都给出。

出厂技术文件

B.1 每台变压器(包括标准组件)应附有全套的安装使用说明书、产品合格证明书、出厂试验记录、产品外形尺寸图、运输尺寸图、产品拆卸件一览表、装箱单、铭牌图或铭牌标志图及备件一览表等。

出厂资料应妥善包装防止受潮。

B.2 出厂试验记录中应详细记录 8.1.1 款所规定的出厂试验项目中的全部试验结果。在出厂资料中，应给出变压器油的牌号及试验报告，对绕组直流电阻应给出三相各分接的实测值，并注明测量时的温度，使用关键仪表的牌号和准确度等级。

B.3 根据用户要求, 制造厂应提供 8.1.2 款和 8.1.3 款所规定项目的有关型式试验和特殊试验结果。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械工业部和水利电力部提出。

本标准由沈阳变压器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。

本标准主要起草人王肇平、凌煦。

自本标准实施之日起,原 GB 1094—79《电力变压器》中有关内容作废。

中华人民共和国国家标准

UDC 621.314.222.6

电力变压器

GB 1094.2—85

第二部分 温升

代替 GB 1094—79

Power transformers

Part 2:Temperature rise

国家标准局 1985-11-22 发布

1986-07-01 实施

本标准参照采用国际标准 IEC76-2(1976)《电力变压器 第二部分 温升》。

1 冷却方式的标志

1.1 字母代号

变压器的各种冷却方式用字母代号标志见表 1。

在强迫导向油循环的变压器中，一部分线圈内的油流是强迫导向的。但有些线圈，如单独的调压线圈、辅助线圈以及稳定线圈中流经的油流可以不导向。

1.2 代号的排列

变压器的每一种冷却方式由四个代号来标志, 每种冷却方式的定额由制造厂规定。

表 1 字母代号

冷却介质的种类	代 号
矿物油或相当的可燃性合成液体	0
不燃性合成绝缘液体	L

气体	G
水	W
空气	A
循环种类	代号
自然循环	N
强迫循环(油非导向)	F
强迫导向油循环	D

所用代号的次序如表 2 所列。不同冷却方式的代号组由斜线分开。

例如：一台强迫导向油循环，风冷的油浸式变压器标志为 ODAF。

一台油浸式变压器，在自冷与风冷交替使用的情况下，其标志为 ONAN/ONAF。

一台油浸式变压器，在自冷与强迫油循环冷却(非导向)交替使用的情况下，其标志为 ONAN/OFAF。

表 2 代号的次序

第 1 个字母	第 2 个字母	第 3 个字母	第 4 个字母
表示与线圈相接触的冷却介质		表示与外部冷却系统相接触的冷却介质	
冷却介质的种类	循环种类	冷却介质的种类	循环种类

2 温升限值

2.1 正常使用条件下的温升限值

运行海拔及冷却介质温度按 GB1094. 1—85《电力变压器 第一部分 总则》第 2. 1 条规定值而设计的变压器，当按本标准第 3 章试验时，其线圈、铁心及变压器油的温升不超过表 3 的规定。

对于多绕组变压器，顶层油的温升必须以具有最大总损耗的一个负载组合为准。单个线圈的温升应以各该线圈在规定负载组合下最严重的情况来考虑。

表 3 油浸式变压器的温升限值

部 分	温升限值，K
线圈：	65*
绝缘的耐热等级为 A(用电阻法测量的平均温升)	
顶层油(用温度计测量的温升)	55**
铁心本体	应是使相邻绝缘材料不致损伤的温度
油箱及结构件表面	80

* 线圈的温升限值(用电阻法测量的)是这样选定的，使之对于不同循环种类都能得到同样的最热点温升。通常，线圈的最热点温升不能直接测量。对于强迫导向油循环的变压器，其线圈最热点温升与其平均温升之差比自然循环或强迫循环非导向的变压器为小。因此，强迫导向油循环的变压器线圈的冷却效果确经验证时，其温升限值(用电阻法测量的)可较其他变压器高 5K。验证方法须经制造厂与使用部门协商确定。

**6300kVA 及以下的密封式变压器的顶层油温升限值允许为 60K。

浸有不燃性合成绝缘液体且所用绝缘材料的耐热等级不是 A 级的变压器，其温升可以增加。

在同心式线圈并且铁心和线圈均为轴向排列的某些类型的变压器中，两个或多个线圈可以上下排列。如这些线圈完全相同，则它们的温升的算术平均值不应超过表 3 所列的温升限值；如这些线圈不完全相同时，则对每一个线圈的轴向尺寸应加以考虑。

2.2 特殊温度条件下的温升限值

如变压器的冷却空气的温度超过 GB1094. 1 第 2. 1 条所给的温度最大值中的一个值，但超过值不大于 10℃时，则线圈、铁心及油的温升限值应予降低。

如果额定容量等于或大于 10MVA，则降低的数值相当于超过的值。对容量较小的变压器，温升限值应按如下规定降低：

当超过温度小于或等于 5℃时，应降低 5K；

当超过温度大于 5℃但小于或等于 10℃时，应降低 10K。

对空气冷却的变压器，当冷却空气温度超过 GB1094. 1 第 2. 1 条所给的温度最大值中的一个值而超过值大于 10℃，或对于水冷却的变压器，当冷却水的温度超过 30℃，则变压器的温升限值须经制造厂与使用部门协商确定。

任何可能使空气冷却受到限制或者可能产生高的环境空气温度的现场条件，应由使用部门提出。

2.3 高海拔条件下的温升限值

制造厂与用户如无其他共同规定，对于在超过 1000m 的海拔处运行，但在正常海拔试验的空气冷却的变压器，表 3 中所列温升限值应在 1000m 以上以每 500m 为一级按下列数值减少：

油浸自冷变压器 2.0%；

油浸风冷及强油风冷变压器 3.0%。

注：①当使用部门提供的高海拔运行地点的变压器环境温度比 GB1094.1 第 2.1 条规定的最高、日平均、年平均温度均有所降低，且符合每升高 1000m 降低 5℃，及更多时则认为变压器在高海拔运行时由于散热条件降低而使温升增高的影响已由环境温度的降低所补偿，因此在正常海拔试验时将不予海拔校正。

②如果空气冷却变压器运行地点高度低于 1000m，而试验地点高度高于 1000m，则测得的温升应予减少，其减少值应根据试验地点海拔超过 1000m 的高度，以每 500m 为一级按上述数值降低。

③温升限值的降低或测得的温升的降低均不适用于水冷却的变压器。

3 温升试验(属型式试验)

3.1 冷却空气温度的测量

3.1.1 概述

冷却空气温度需用几个温度计来测量，其放置位置应按本标准第 3.1.2 款及 3.1.3 款的规定。温度计应避开风吹和不正常的热辐射。

为了避免由于变压器的温度变化与冷却空气的温度变化之间因滞后而引起的误差，温度计可以插入盛有不少于 1000mL 油的杯中，其时间常数为 2h 左右。

试验所采用的冷却空气温度的值，取在试验期间的最后 1/4 时程里，在相等的时间间隔内的这些温度读数的平均值。

在整个试验期间，冷却空气的温度应尽可能保持恒定，特别是在试验期间的最后 1/4 时程里。

3.1.2 自然空气冷却

温度计(至少 3 个)应放在变压器周围的不同位置，位于冷却表面高度大约一半的地方，离开冷却表面 1~2m。

3.1.3 吹风冷却

如果有一个流向分明的气流从周围流向冷却器，而没有很多暖空气回流，则温度计应放在气流的入口处。温度计距箱身和冷却器表面应有足够的距离(1~2m)，以防热辐射的干扰。

如果不具备这些条件时，冷却空气温度应在变压器周围且避开回流测量，如果有条件，最好是放在没有冷却器的一侧。

3.2 冷却水温度的测量

冷却水的温度应在冷却器的入口处测量，其数值取在近似相等的时间间隔(不大于 1h)里所取读数(至少 3 个)的平均值。读数应在试验期间最后 1/4 的时间里读取。

3.3 线圈温度的确定

线圈温度原则上用电阻法测定。

试验结束时的线圈温度 θ_2 应根据该温度下测得的线圈电阻 R_2 以及在另一温度 θ_1 下测得的绕组电阻 R_1 按以下公式确定：

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(235 + \theta_1) - 235$$

对于铜

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(225 + \theta_1) - 225$$

对于铝

式中 θ_1 和 θ_2 系测量值，以℃表示。

电阻 R_1 指冷电阻，按 GB1094.1 第 8.2 条规定测量。电阻 R_2 可以在切断电源后测量，并按本标准第 3.9 条加以校正；也可以不切断电源用叠加法测量，即往线圈中输入一个低值的直流测量电流，叠加在负载电流上(方法见相应国家标准)。

对于同心式线圈并且铁心和线圈为轴向排列的变压器，当两个或多个相同线圈为上下布置时，在温升试验期间，所有线圈可以串联起来，所测得的串联线圈的温升应不超过表 3 的规定。

如果电阻法不适用，例如当线圈电阻较低而连接处及连接线的电阻在总电阻中占很大比例时，其测量方法应经制造厂与使用部门协商确定，但此时，仍需保持表中所列的温升限值不变。

在确定线圈温度时只能采用一种方法。

3.4 顶层油温的测量

顶层油的温度应由放在充油的温度计座中的温度计测量。温度计座装在箱盖上，或者装在流向冷却器的出油管上。如果冷却器系单独放置时，温度计座应装在靠近变压器的出油管处。当油箱不完全充满油时，温度计座应足够长，或装于油箱的合适位置，以保证顶层油温度测

量的准确性。另外也可采用开孔的方法，以便将温度计插入。这样确定的温升不应超过表 3 中对油规定的限值。

3.5 温升试验的时程

试验应连续进行直到满足下述方法之一的要求为止。采用的方法可由制造厂选择。

3.5.1 方法 a

应得到证实，即使试验连续进行到热平衡后，最高温升也不超过表 3 中所列的相应限值。在变压器的试验进程中以及切断电源后，应尽可能记录各处温度。当每小时温升增量小于 3℃，即认为试验已经完成。

确定最终温升应采取图 1 所示的方法。

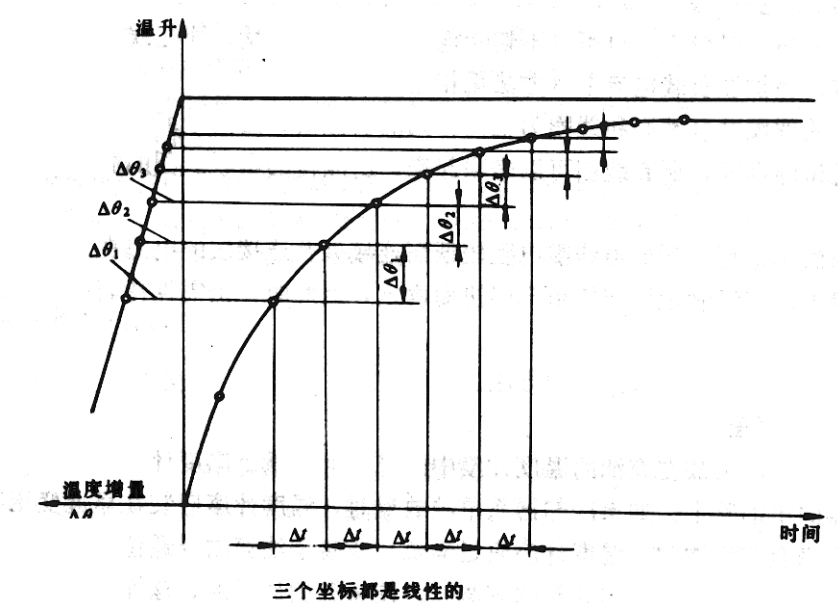


图 1 确定油的最终温升的方法

3.5.2 方法 b

试验应证明，在连续 4 次的每小时读数中，顶层油的温升变化不大于每小时 1℃。如试验起始时是采用减少冷却装置或不用任何冷却的方法进行时，则试验应在使用全部冷却装置的情况下，连续进行足够长的时间，以避免最后顶层油温升测量中的误差。

3.6 干式变压器的试验方法

试验方法(见相应国家标准)。

3.7 油浸式变压器的试验方法*

*假定变压器是不带分接。对有分接的变压器，试验应在主分接进行。如果试验是在其他分接进行的，则需要用“相应的分接电压”和“相应的分接电流”代替本文中“额定电压”和“额定电流”。

油浸式变压器的温升试验包括顶层油的温升以及线圈温升的确定。

注：①试验期间，可以测量油泵和风扇电机所需的功率。

②负载法见本标准第 3.8 条。

3.7.1 顶层油温升

顶层油的温升应由测得的顶层油的温度减去冷却介质实测温度而得到。对变压器应供以总损耗。输入功率应保持稳定。

如果达不到总损耗(指测得的负载损耗按 GB1094.1 第 8.1 条及第 8.4 条校正到参考温度的数值与测得的空载损耗之总和)时，也应尽可能接近于这一损耗值，但施加的损耗不得小于总损耗的 80%，并采用下列校正系数确定顶层油的温升：

$$\left(\frac{\text{总损耗}}{\text{试验损耗}} \right)^x$$

x 的值为：

空气自冷：0.8；

风冷及水冷：1.0。

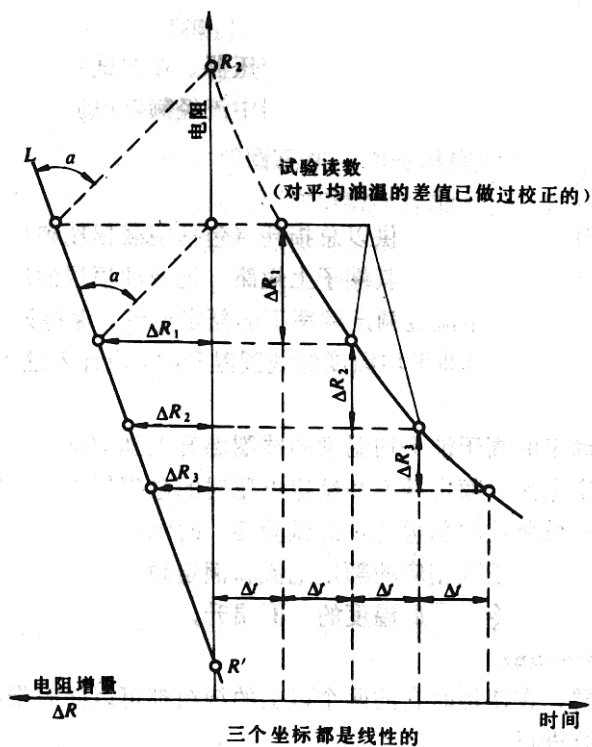


图 2 确定切断电源瞬间线圈电阻及油的平均温度的方法

3.7.2 线圈温升测量

线圈的温升，应由用电阻法测得的线圈的平均温度减去外部冷却介质实测温度而得到。试验时，绕组中应有额定频率下的额定电流流过。如果不能供以额定电流时，试验应在不小于 90% 的额定电流下进行。另外，也可采用能提供总损耗的电流。但不论哪种情况都应采用下述的校正因数来确定线圈高于油的平均温度的温升：

$$\left(\frac{\text{额定电流}}{\text{试验电流}} \right)^y$$

y 值为：

自然油循环及强迫非导向油循环：1.6；

强迫导向油循环：20。

油的平均温度可由下述方法之一确定：

a. 对所有的冷却方式而言，各线圈周围的油平均温度按图 2，根据直线 L 与纵坐标的交点 R' 计算。绕组电阻在切断电源后按本标准第 3.9 条确定。

b. 在油浸自冷 (ON)、油浸风冷 (OF) 及强迫导向油循环冷却 (OD) 的变压器中，油的平均温度等于顶层油的温度减去冷却装置中进出口油温差值的 1/2。

对于管式油箱或带散热器的油箱，温差值应取散热管或散热元件顶部与底部表面温度之差。散热管或散热元件应尽可能选取油箱某一侧的中间部分。

在单独安装冷却器的情况下，温差值应取靠近主油箱的冷却器的油入口处与冷却器出口处的温度计座中的温度计的读数之差。

c. 对于额定容量小于 2500kVA 自然油循环的平板式油箱、波纹式油箱、带有散热管的油箱或带散热器油箱等变压器，其油的平均温升近似为顶层油温升的 0.8 倍。

如果需要，应允许试验期间的油平均温度有变化，详见本标准第 3.8.3 款。

油的平均温升是随着损耗而变化的。而这一损耗是按本标准第 3.7.1 款为测定顶层油温升施加的。

3.8 加负载法*

*假定变压器不带分接。对有分接的变压器，试验应在主分接进行。如果试验是在其他分接进行的，则需要用“相应的分接电压”和“相应的分接电流”代替本文中“额定电压”和“额定电流”。

下述 3.8.1~3.8.3 款中任意一种加负载法均适用于油浸式双绕组变压器。

3.8.1 直接负载法

在变压器的一个绕组上用额定电压来励磁，在另一绕组上连接适当的负载，使两个绕组中都流过额定电流。线圈温升所采用的油平均温度不需要校正。

3.8.2 相互负载法

把两台变压器并联起来，其中一台是被试变压器。在被试变压器上施加额定电压，借助于不同变压比或输入电压的方法，使被试变压器中流经额定电流。线圈温升所采用的油平均温度不需要校正。

3.8.3 短路法

为了确定油的温升，对变压器应供以总损耗(包括空载损耗和参考温度下的负载损耗)，变压器的一个绕组励磁，另一绕组在其端子上短路。记录油顶层的温升和油的平均温升。

然后降低输入值，使绕组中流过额定频率下的额定电流，保持该值大约 1h。然后由电阻法确定线圈的温度。当计算超出油平均温度的线圈温升时，应计入这 1h 内的油平均温度的差值。

在试验第二部分确定的高于油平均温度的线圈温升上加上试验第一部分中确定的油的平均温升，即可得到额定电流、额定频率和额定电压时的总损耗下高于冷却介质温度的线圈温升。或者，从本款第一段所述的总损耗下的试验终了时测得的线圈温升中，通过把线圈的温度与油的平均温度之温差校正到相应的额定电流和额定频率下的办法，可以推算出额定电流、额定电压时总损耗下的高于冷却介质温度的线圈温升。

3.8.4 多绕组变压器的负载

对于多绕组变压器，在使用时它的两个以上的绕组都可以同时带有负载，其温升试验一般按独立的双绕组试验进行。

在某些情况下，某个绕组的额定容量可能妨碍变压器在满值的总损耗下进行试验。此时，油浸式变压器的顶层油温升应按本标准第 3.7.1 款所述方法加以校正。

为了确定该绕组在其最严重情况下指定负载组合的温升，必要时可按本标准第 3.7.2 款规定进行计算校正。在计算中制造厂可考虑该负载组合下的杂散损耗和涡流损耗。

3.9 切断电源后对变压器冷却的温度校正

3.9.1 概述

线圈温度的测量可以在变压器运行时按本标准第 3.3 条所述的叠加法进行，也可以在切断变压器的电源后采用电阻法测量。

在后一情况下，为了尽可能接近实际地取得切断变压器电源瞬间的线圈温度，应考虑切断电源的瞬间与温度测量的时间二者之间的时间间隔而对测量结果加以校正。

应尽可能在切断电源后就开始读数。但为了消除电感效应，允许留有足够的时间，如在冷电阻测量中所指出的(见 GB 1094.1 第 8.2.1 款)。

在变压器的电源切断后，风扇和水泵应停止运行，但油泵应继续运行。

由电阻法确定的线圈温升应校正到切断电源的瞬间。应根据时间-温度曲线或者时间-电阻曲线采用外推法推算到切断电源瞬间的方法进行温升校正。

3.9.2 使用线性坐标的外推法

先由电阻测量得到一系列的电阻值，并由这些电阻值画出时间-电阻曲线，将该曲线用外推法推到切断电源的瞬间，即可近似地确定校正。然后再根据切断电源瞬间的电阻来计算绕组的最高温度。

外推法可按图 2 进行，图中的电阻是在相等的时间间隔 Δt 中读取的。

在用某些电桥法进行实际电阻测量时，测定电阻降低值 ΔR 为固定变化值的时间来预先设定好电桥，当指针通过零时即可得到更精确的值。

将对应于相等的时间间隔的电阻降低值 ΔR_n 描画在相应纵轴点的水平位置上以构成直线 L0 电阻 R2 是切断电源瞬间的绕组的电阻。

3.9.3 使用对数线性坐标的外推法

把测量电阻与相应于切断电源后线圈正在冷却时温度的电阻 R' 之差即 $\Delta R'$ 画于对数线性坐标纸上，令时间在横坐标轴上而 $\Delta R'$ 在对数坐标轴上。电阻 R' 的选取应使画于坐标纸上的各试验点近似于一直线。切断电源瞬间的电阻等于 $R' + \Delta R' 0$ ，其中 $\Delta R' 0$ 系由通过坐标上的那些点划一直线，并将该直线外推到时间为零时而得到。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械工业部和水利电力部提出。

本标准由沈阳变压器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。

本标准主要起草人王肇平、凌愍。

自本标准实施之日起，原 GB 1094—79《电力变压器》中有关内容作废。

中华人民共和国国家标准

UDC 621.314.222.6

电力变压器

GB 1094.3—85

国家标准局 1985-11-22 发布

1986-07-01 实施

本标准参照采用国际标准 IEC 76-3(1980)《电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验》。

1 名词术语

见 GB 1094.1—85《电力变压器 第一部分 总则》第 3 章。

2 概述

电力变压器的绝缘要求和相应的绝缘试验，是按指定绕组及其接线端子而规定的。应符合国家标准 GB 311.1~311.6—83 的有关规定。对于油浸式变压器，这些要求仅适用于内绝缘。当需要对外绝缘提出补充要求或试验时，应由制造厂和使用部门商定。

注：在适宜的情况下，可以在合适的结构模型上进行型式试验。

当使用部门在变压器上的接线可能减小变压器原有的绝缘距离时，必须在询价订货及技术要求单上特别注明。

当油浸式变压器需要在海拔超过 1000m 外运行时，则绝缘距离应按其要求进行设计，同时也可选择绝缘水平比规定的变压器内绝缘水平高的套管。

套管和分接开关必须单独承受型式和出厂试验来验证其对地的内绝缘和外绝缘。虽然所用的套管和分接开关都是按有关的标准设计制造和试验的，但仍需在装配完好的变压器上进行绝缘试验，以便对这些部件的使用和安装是否正确进行检查。

通常，绝缘试验是在制造厂的车间里，且变压器放置在大致为规定的试验环境温度的地方进行。

试验时，变压器应和运行时一样装配完整，但对于油浸式变压器，外部冷却附件与试验无关的其他附件可不装配。

如因套管故障影响变压器试验时，允许临时用另外的套管来代替有故障的套管，并立即对变压器继续试验，直至试验完为止。当规定变压器使用这种套管时，在局部放电测量中，由于该套管介质中的局部放电量较高而使试验发生困难时，则可在试验期间用局部放电合格的套管来代替(见附录 A)。

采用电缆盒连接的变压器或直接接到 SF₆(六氟化硫)全封闭金属外壳电器装置中的变压器，应设计成必要时可用临时套管进行临时连接的结构，以便进行绝缘试验。

若在特殊情况下，制造厂需要在变压器内部或外部采用非线性元件或避雷器以限制传递的瞬变过电压时，应提请用户注意。

3 设备的最高电压和绝缘水平

对变压器的每一个绕组应指出其设备的最高电压 U_m 值(见 GB1094.1 第 3.9.1 款)。根据 U_m 的大小不同，变压器在瞬变过电压的绝缘配合规则是不相同的。当一台变压器中不同绕组的试验规则之间有矛盾时，则应采用适合于具有最高 U_m 值的绕组的试验规则。

适用于特殊情况的其他规则，在本标准第 4 章中给出。

U_m 的标准值在表 2 中列出。用于变压器绕组的 U_m 值可以等于或略大于绕组额定电压的一个值。

注：①对于打算按星形联结成变压器三相组的单相变压器，以相对地额定电压标明，例如 $500/\sqrt{3}\text{kV}$ 。而相间的电压值则决定着 U_m 的选取，在这里 $U_m=550\text{kV}$ 。

②对带有分接绕组的变压器，由于某些原因，所选绕组的分接电压可能稍高于 U_m 的标准值，但绕组所连接的系统的最高电压仍保持在这个标准值之内。由于绝缘要求必须与实际系统条件相配合，因此，这一标准值应作为变压器的 U_m 值，而不是选取最靠近的一个较大值。构成绕组绝缘水平的额定耐受电压是由一组绝缘试验来验证的，而这一组绝缘试验(见本标准第 5 章)是随 U_m 值而改变的。

变压器每个绕组上的 U_m 值和绝缘水平与 GB311.1 的规定不同时，应在询价或签定合同时提出。如果变压器的绕组是分级绝缘而且 $U_m \geq 300\text{kV}$ ，则应按“方法 1”或“方法 2”(见本标准第 5 章表 1)进行试验，并且还应进一步给出在感应耐压试验(见本标准第 11.4 条)中采用哪一种方法的说明资料。

所有绕组的额定耐受电压值应在铭牌上给出。标志的缩写原则，如以下各例所示。

注：所用缩写标志含义如下：

LI——雷电冲击耐受电压；

SI——操作冲击耐受电压；

AC——工频耐受电压。

例 1：一台具有两个绕组的变压器，绕组 U_m 值分别为 40.5kV 和 11.5kV，两个绕组都是全绝缘。绝缘水平表示如下：

绝缘水平：LI200AC85/LI75AC35

方框中不同绕组的数据用斜线分开，冲击水平写在前面。

例 2：一台变压器有以下几个绕组：高压绕组 $U_m=252\text{kV}$ ，分级绝缘，星形联结，中性点非直接接地，另一绕组 $U_m=126\text{kV}$ ，星形联结，分级绝缘；第三绕组 $U_m=11.5\text{kV}$ ，三角形联结。绝缘水平表示如下：

绝缘水平：LI850AC360-LI400AC200/LI480 AC200-LI250AC95/LI75AC35
--

方框中分级绝缘的绕组，线端的数据写在前面，在连接号后面写中性点的数据。

例 3：一台自耦变压器，按方法 2(见本标准第 5.4 条)确定规范 $U_m=363\text{kV}$ 和 126kV ，其中性点直接接地。第三绕组 $U_m=40.5\text{kV}$ 。绝缘水平表示如下：

绝缘水平：SI950LI1175-AC85/ LI480-AC85/LI200AC85
--

在本例中，方法 2 的规范也决定了 126kV 绕组的试验，对于该绕组的线端不需另行规定工频耐受电压。按本标准第 11.4 条规定的感应耐压试验适用于自耦连接的两个绕组。

表 1 对不同种类绕组的要求和试验导则

绕组种类	构成绝缘水平的耐受电压及有关条款和表格	试验项目和试验条款号	试验类别
$U_m<300\text{kV}$ 全绝缘	(1) 工频，见第 5.2 条、表 2 (2) 雷电冲击，见第 5.2 条、表 2 (3) 中性点端子上的雷电全波冲击，见第 5.5.3 款、表 2	外施耐压试验，见第 10 章	出厂
		在线端上雷电全波、截波冲击试验，见第 12 及 13 章	型式
		中性点端子上的雷电全波冲击试验，见第 12.3.2 款	型式
		感应耐压试验，见第 11.2 条	出厂
$U_m<300\text{kV}$ 分级绝缘	(1) 线端上的工频，见第 5.3 条、表 2 (2) 在线端上的雷电冲击，见第 5.3 条、表 2 (3) 中性点端子上的工频，见第 5.5 条、表 3 (4) 中性点端子上的雷电全波冲击，见第 5.5.3 款、表 3	与中性点绝缘水平相应的耐压试验，见第 10 章	出厂
		在线端上的雷电全波、截波冲击试验，见第 12 及 13 章	型式
		中性点端子上的雷电全波冲击试验，见第 12.3.2 款	型式
		感应耐压试验，见第 11.3 条	出厂
$U_m\geq 300\text{kV}$ 分级绝缘按方法 1(见第 5.4.1 款)确定的规范	(1) 在线端上的工频，见第 5.4.1 款、表 2 (2) 在线端上的雷电全波和截波冲击，见第 5.4.1 款、表 2 (3) 在中性点端子上的工频，见第 5.5 条、表 3 (4) 中性点端子的雷电全波冲击，见第 5.5.3 款、表 3	与中性点绝缘水平相应的耐压试验，见第 10 章	出厂
		在线端上的雷电全波冲击试验，见第 12 章	出厂
		在线端上的雷电截波冲击试验，见第 13 章	型式
		中性点端子上的雷电全波冲击试验，见第 12.3.2 款	型式
		感应耐压试验，见第 11.3 条	出厂
		带有局部放电测量的感应耐压试验，见第 11.4 条	出厂
$U_m\geq 300\text{kV}$ 分级绝缘按方法 2(见第 5.4.2 款)确定的规范	(1) 在线端上的雷电全波和截波冲击，见第 5.4.2 款、表 2 (2) 在线端上的操作冲击，见第 5.4.2 款、表 2 (3) 中性点端子上的工频，见第 5.5 条、表 3 (4) 中性点端子上的雷电全波冲击，见第 5.5.3 款、表 3	与中性点绝缘水平相应的耐压试验，见第 10 章	出厂
		在线端上的雷电全波冲击试验，见第 12 章	出厂
		在线端上的雷电截波冲击试验，见第 13 章	型式
		中性点端子上雷电全波冲击试验，见第 12.3.2 款	型式

		在线端上的操作冲击试验，见第 14 章	出厂
		带有局部放电测量的感应耐压试验，见第 11.4 条	出厂

4 适用于某些特殊类型变压器的规定

在变压器中，当具有不同 U_m 值的全绝缘的绕组在变压器内部连接在一起(通常是自耦变压器)时，其外施工频耐受试验电压应按具有最高 U_m 值的绕组确定。

当变压器的高压绕组具有 $U_m \geq 300\text{kV}$ 时，雷电全波冲击试验对于所有绕组都是出厂试验。 $U_m=252\text{kV}$ 的变压器见本标准表 1 注。

变压器一个或多个分级绝缘的绕组由于感应耐受试验的电压及操作冲击试验(如果采用)电压系按具有最高 U_m 值的绕组确定，因而 U_m 值较低绕组可能承受不到其相应的试验电压，这种差异一般是可以接受的。如果绕组间的匝数比是由分接来改变的，应利用适当分接，使 U_m 值较低绕组上的试验电压值尽可能接近其试验电压值。

在操作冲击试验时，不同绕组的两端产生的电压大致与其匝数比成正比。如果对几个绕组都确定了各自的额定冲击耐受电压，有关问题应按上述办法来解决。一个具有较低 U_m 值，同时未指定操作冲击耐受电压值的带有分接的绕组，当做操作冲击试验时，它最好是接在主分接位置上。

增压变压器、移相变压器等的串联线圈虽然其额定电压仅为系统电压的一小部分，但其 U_m 值仍然是相当于系统电压的一个值。严格地按本规定对这一类变压器进行试验是比较困难的，为此有关试验项目应由制造厂与使用部门商定。

5 绝缘要求和绝缘试验的基本规定

5.1 概述

绝缘要求和绝缘试验的基本规定见表 1。

注：①对全绝缘的三相变压器，当中性点不引出时，中性点的全波冲击试验为特殊试验。全波冲击施加于并联连接的三个线端上，其电压值应等于该线端冲击耐受电压值的 70%，但对电压级次为 20kV 及以下的变压器，加到线端上的电压值应等于线端冲击耐受电压值减去 $1/2$ 额定电压。

② $U_m=252\text{kV}$ ，容量等于或大于 120MVA 的变压器，雷电全波冲击试验为出厂试验。

③ $U_m=252\text{kV}$ 的变压器，带有局部放电测量的感应耐压试验为出厂试验，试验条款见本标准第 11.4 条。

询价和定货时必须提供有关变压器的绝缘要求和绝缘试验的说明资料，见 GB1094.1 附录 A。

5.2 $U_m < 300\text{kV}$ ，全绝缘绕组的绝缘要求和绝缘试验

5.2.1 绕组的额定耐受电压：

- a. 额定短时工频耐受电压见表 2；
- b. 线端的额定雷电冲击耐受电压见表 2；
- c. 中性点端子额定冲击耐受电压的峰值与线端相同。

5.2.2 额定耐受电压由下述绝缘试验来验证：

- a. 外施耐压试验见本标准第 10 章(属出厂试验)。

本试验用来检验被试绕组对其他绕组和对地的工频电压耐受强度。

- b. 感应耐压试验见本标准第 11.2 条(属出厂试验)。

本试验用来检验被试绕组对其他绕组和对地的工频电压耐受强度。

- c. 线端的雷电全波及截波冲击试验见本标准第 12 及 13 章(属型式试验)。

本试验用来检验每一线端对地、对其他绕组以及沿被试线圈本身的冲击电压耐受强度。

- d. 中性点端子的雷电全波冲击试验见本标准第 12.3.2 款(属型式试验)。

本试验用来检验中性点端子对地及对其他绕组的冲击电压耐受强度。

注：在某些地区安装的配电变压器会受到严重的大气过电压，此时经制造厂与使用部门协商，可用较高的试验电压值或增加补充试验项目。本标准不作具体规定。

表 2 电压等级为 $3 \sim 500\text{kV}$ 的变压器绕组的绝缘水平

电压等级 kV	设备的最高电压 U_m (有效值)，kV	额定短时工频耐 受电压(有效值)， kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)，kV		额定操作冲击耐受电压(相 到中性点，峰值)，kV
			全 波	截 波	
3	3.5	18	40	45	—
6	6.9	25	60	65	—
10	11.5	35	75	85	—

15	17.5	45	105	115	—
20	23.0	55	125	140	—
35	40.5	85	200	220	—
63	69.0	140	325	360	—
110	126.0	200	480	530	—
220	252.0	360 395	850 950	935 1050	—
330	363.0	460 510	1050 1175	1175 1300	850 950
500	550.0	630 680	1425 1550	1550 1675	1050 1175

5.3 $U_m < 300\text{kV}$ ，分级绝缘绕组的绝缘要求及绝缘试验

5.3.1 绕组的额定耐受电压：

- a. 线端的额定短时工频耐受电压见表 2；
- b. 线端的额定雷电冲击耐受电压见表 2；
- c. 中性点端子的额定短时工频耐受电压见本标准第 5.5 条及表 3。
- d. 中性点端子的雷电全波冲击试验见本标准第 12.3.2 款(属型式试验)。中性点端子的雷电全波冲击耐受电压见表 3。

5.3.2 额定耐受电压由下述来验证

- a. 感应耐压试验，见本标准第 11 章(属出厂试验)。

本试验用来验证受试绕组线端对地及对其他绕组的工频电压耐受强度，以及相间和沿被试绕组本身的工频电压耐受强度。试验按第 11.3 条进行。

- b. 线端的雷电全波和截波冲击试验，见本标准第 12 及 13 章(属型式试验)。

本试验目的同第 5.2.2c 条所述。

表 3 分级绝缘绕组中性点的绝缘水平

电压等级 kV	设备的最高电压 U_m (有效值)，kV	中性点接地方式	额定短时工频耐受 电压(有效值)，kV	雷电全波冲击耐受 电压(峰值)，kV
110	126	—	95	250
220	252	死接地	85	185
		不死接地	200	400
330	363	死接地	85	180
		不死接地	230	550
500	550	死接地	85	180
		经小阻抗接地	140	325

- c. 中性点端子上的外施耐压试验，见本标准第 10 章(属出厂试验)。

本试验目的是用来验证中性点端子对地的工频电压耐受强度。

- d. 中性点端子上的雷电全波冲击试验，见本标准第 12.3.2 条(属型式试验)。

本试验目的与第 5.2.2d 同。

5.4 $U_m \geq 300\text{kV}$ ，分级绝缘绕组的绝缘要求和绝缘试验

凡属于这一类绕组的变压器，其有关规范和试验有如下两种方法可供选择，应在“询价和定货时需提出的技术要求”中说明用哪一种方法。

对于带有局部放电测量的感应耐压试验，还应注明两个不同规范中选定哪一种。见本标准第 11.4 条。

5.4.1 方法 1

5.4.1.1 绕组的额定耐受电压：

- a. 线端的额定短时工频耐受电压见表 2；
- b. 线端的额定雷电冲击耐受电压见表 2；
- c. 中性点端子的额定短时工频耐受电压见表 3；
- d. 中性点端子的额定雷电全波冲击耐受电压见表 3。

5.4.1.2 耐受电压由下述绝缘试验来检验：

a. 感应耐压试验见本标准第 11 章(属出厂试验)，试验方法按本标准第 11.3 条进行。

本试验的目的如本标准第 5.3 条所述。

b. 线端的雷电全波及截波冲击试验见本标准第 12 及 13 章(属出厂和型式试验)。

本试验的目的如本标准第 5.2 条所述。

c. 中性点端子的外施耐压试验见本标准第 10 章(属出厂试验)。

本试验的目的如本标准第 5.3 条所述。

d. 中性点端子的雷电冲击试验见本标准第 12.3.2 款(属型式试验)。

本试验目的如本标准第 5.2 条所述。

5.4.1.3 带有局部放电测量的感应耐压试验见本标准第 11.4 条(属出厂试验)。

5.4.2 方法 2

5.4.2.1 绕组的额定耐受电压：

a. 线端的额定操作冲击耐受电压见表 2；

b. 线端的额定雷电冲击耐受电压见表 2；

c. 中性点端子的额定短时工频耐受电压见表 3；

d. 中性点端子的额定雷电冲击耐受电压见表 3。

5.4.2.2 额定耐受电压由下述绝缘试验检验：

a. 线端的操作冲击试验见本标准第 14 章(属出厂试验)。

本试验用来检验线端对地及三相变压器线端之间的操作冲击耐受能力。

b. 线端的雷电全波及截波冲击试验见本标准第 12 及 13 章(属出厂和型式试验)。

本试验的目的如本标准第 5.2 条所述。

c. 中性点端子的外施耐压试验见本标准第 10 章(属出厂试验)。

本试验的目的如本标准第 5.3 条所述。

d. 中性点端子的冲击试验见本标准第 12.3.2 款(属型式试验)。

本试验的目的如本标准第 5.2 条所述。

5.4.3 带有局部放电测量的感应耐压试验：

从正常运行条件下和暂时过电压下的作用电压的角度来看，变压器应承受该试验，按本标准第 11.4 条进行(属出厂试验)。

本试验规定了两个可以选择的规范，应在定货时确定。试验方法适用于分级绝缘变压器的所有绕组。

本试验应在其他绝缘试验做完之后进行。

注：在三相变压器上进行操作冲击耐受电压试验时，相间试验电压大约为相对中性点端的耐受电压的 1.5 倍(见 14.3 条)。

5.5 分级绝缘绕组中性点端子的绝缘要求和试验

5.5.1 概述

绝缘水平取决于中性点端子是否直接接地。如中性点端子不直接接地，为限制瞬变过电压，过电压保护装置必须安装在中性点端子与地之间。

注：下面的内容涉及到确定中性点端子需要的最小耐受电压。此电压值的提高，有时是容易做到的，同时能改善系统中变压器的互换性。另外由于感应耐压试验时试验接线的缘故，可能需将绕组的中性点绝缘水平设计得较高些(见 11.3 条)。

5.5.2 直接接地的中性点端子

中性点端子必须直接或通过电流互感器牢固地接地，而无任何有意接入的阻抗。在线端上进行冲击试验期间，中性点端子应直接接地。

5.5.3 不直接接地的中性点端子

中性点端子不直接接地，它可以通过相当大的阻抗(例如消弧线圈)接地。独立的相线圈的中性点端子可连接到调压变压器上。

5.5.4 中性点端子的额定雷电冲击加压方式

施加电压的方法由本标准第 12.3.2 款中所述的两种试验方法之一来检验。对中性点的截波冲击试验，本标准不予推荐。

6 带有分接绕组的变压器的试验

如分接范围等于或小于 $\pm 5\%$ ，则绝缘试验应在变压器处于主分接的情况下进行。

如分接范围大于 $\pm 5\%$ ，试验时的分接位置用感应耐压试验和操作冲击试验的要求来选择(见第 4 章)。

雷电冲击试验时，绝缘中的场强分布是随变压器分接的连接和变压器的整体设计的差异而不同。除经协议规定需在某一特殊分接上进行冲击试验外，冲击试验应在两个极限分接和主分接位置上进行，在三相变压器或变压器三相组的三个单独的相上各使用其中的一个分接进行试验。

7 干式变压器的绝缘要求和试验条件

见相应国家标准。

8 重复的绝缘试验

如果一台变压器已经全耐受了按本标准第 5.2、5.3 或 5.4 条规定的绝缘验收试验，而在其后进行重复试验时，则试验电压应降低到原来值的 85% (另有协议者除外)，同时必须以此期间内变压器的内绝缘未曾变更为条件。

注：本规则不适用变压器带有局部放电测量的感应耐压试验 (见 11.4 条)。

9 辅助接线的绝缘

除非有其他的规定，辅助电源的接线和控制回路应承受 2kV (有效值) 1min 工频耐压 (对地) 试验，辅助设备的电机和其他电器的绝缘要求应符合有关标准 (如该标准的要求低于单独对辅助接线规定的值，为了对接线进行试验，有时需临时拆除这些器件)。

注：大型变压器的辅助设备为了运输，通常在出厂时拆除。在运行地点装配完毕后，推荐用 1000V 的兆欧表进行试验。

10 外施耐压试验

外施耐压试验应采用不小于 80% 额定频率的任一适当频率其波形尽可能接近于正弦波的单相交流电压进行。

试验电压值应是测量电压的峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

试验应从不大于规定试验值的 1/3 的电压开始，并应与测量相配合尽快地增加到试验值。试验完了，应将电压迅速地降低到试验值的 1/3 以下，然后再切断电源。

加在被试绕组与接地端子 (包括其余绕组的所有端子及铁心、夹件、箱壳等连在一起并接地) 之间的全电压试验值应施加 60s。

如果未发现内部绝缘击穿或局部损伤，则试验合格。

注：对于分级绝缘的绕组，仅按中性点端子规定的试验电压进行试验。因此，绕组的线端只耐受本标准第 11.3 或 11.4 条所述的感应耐压试验。

11 感应耐压试验

11.1 概述

有三种可采用的方法供绝缘种类不同的绕组进行试验。这三种方法如第 11.2、11.3、11.4 条所述。

在变压器一个绕组的端子上施加交流电压，其波形应尽可能为正弦波。为了防止试验时励磁电流过大，试验时频率应适当大于额定频率。

试验电压值应是测量感应试验电压的峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

试验应从小于 1/3 试验电压的电压下开始，并应与测量相配合尽快地增加到试验值。试验完了，应将电压尽快地降低到试验值的 1/3 以下，然后再切断电源。

除非另有规定，在下述各条中，当试验电压的频率等于或小于 2 倍额定频率时其全电压下的施加时间应为 60s。

当试验频率超过两倍额定频率时，试验时间应为：

$$\frac{120 \times [\text{额定频率}]}{[\text{试验频率}]} (\text{s}), \text{ 但不少于 } 15\text{s}.$$

11.2 高压绕组为全绝缘的变压器的感应耐压试验

通常规定，加在变压器不带分接的线圈两端的试验电压等于两倍的额定电压，但是任一三个相线圈的相间试验电压不应超过表 2 第 3 栏中所列的额定短时 I 频耐受电压。

三个相线圈最好用对称三相电源在各相中感应出的电压来试验。如果该绕组中有中性点端子，则在试验期间可将其接地。

如果未发现内部绝缘击穿或局部损伤，则试验合格。

11.3 高压绕组为分级绝缘的变压器的相对地感应耐压试验

$U_m < 300\text{kV}$ (见 5.3 条) 或者 $\geq 300\text{kV}$ ，按方法 1 确定 (见 5.4.1 款)。线端的试验电压见表 2。

单相变压器上的试验，通常是在中性点端子接地的情况下进行的。假如绕组之间的电压比可用分接来改变，则分接就可以用来尽可能同时满足不同绕组上的试验电压的要求。在特殊情况下 (见第 4 章)，中性点端子上的电压可用将其连接到一台辅助的增压变压器上的方法加以提高，或者被试变压器的另一个绕组也可与高压绕组相串联。

三相变压器的试验程序包括三次逐相施加单相试验电压，每次将绕组的不同点接地。图 1 所示的推荐的试验连接法能避免过高的线端间的过电压。另外还有其他可行的办法。

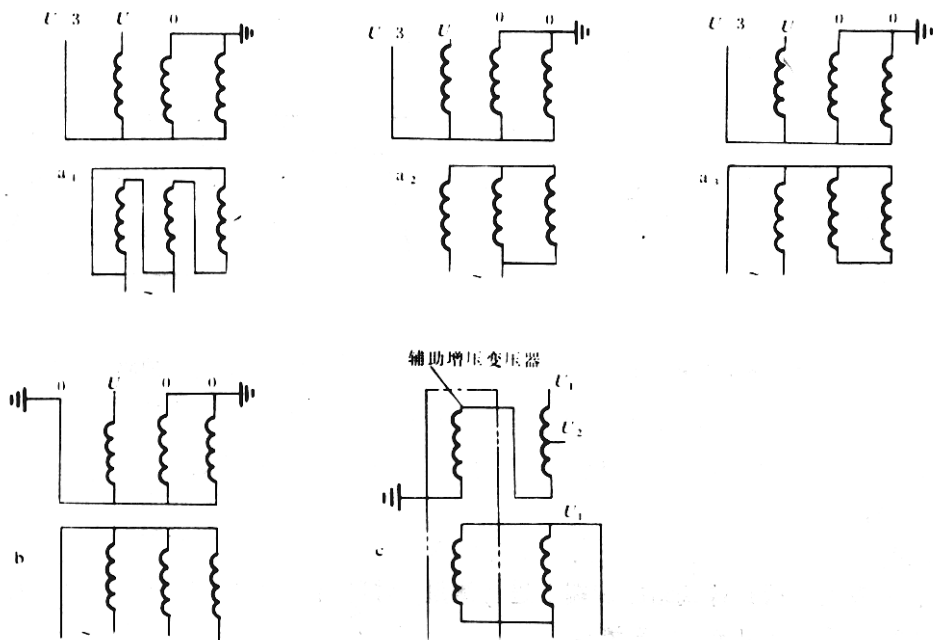


图1 分级绝缘变压器单相感应耐压试验的联结方法

一台变压器中其余的独立绕组如为星形接法，应将其中性点接地，如为三角形接法应将其中的一个端子接地。

试验时，每匝电压随试验连接法不同，所达到的值也不相同。

试验接线方法的选择应根据变压器和试验设备的特性而定。

注：当变压器的线圈布置复杂时，为了使试验尽可能代表实际运行中的各种电气作用强度的真实组合，推荐制造厂与使用部门在签订合同阶段中对试验时所有线圈的接线进行一次审查。

如果未发现内部绝缘击穿或局部损伤，则试验合格。

联结法 a1、a2、a3：当中性点端子设计成至少能耐受 $1/3U$ 的电压时，可采用图中表示的发电机连接到低压绕组的三种不同方法。如果变压器具有不套有线圈的磁回路（壳式或五柱铁心），则只有 a1 可采用。

联结法 b：如果三相变压器不套有线圈，而作为被试心柱磁通流过的磁回路，则推荐用该联结法。如变压器有三角形联结的绕组，则试验期间三角形联结的绕组必须打开。

联结法 c. 表示一台辅助增压变压器给予被试自耦变压器的中性点端以支撑电压 U_t 。两个自耦连接绕组的额定电压为 U_{N1} 、 U_{N2} ，而相应的试验电压为 U_1 、 U_2 。其关系为：

$$\frac{U_1 - U_t}{U_{N1}} = \frac{U_2 - U_t}{U_{N2}}$$

$$U_t = \frac{U_2 \cdot U_{N1} - U_1 \cdot U_{N2}}{U_{N1} - U_{N2}}$$

这种连接也可用于一台套有线圈磁回路的三相三柱铁心其中性点绝缘小于 $1/3U$ 的三相变压器。

11.4 高压绕组为分级绝缘的变压器在感应耐压下的局部放电测量

$U_m \geq 252kV$ ，见 5.4.3 款。

试验施加于变压器所有分级绝缘的绕组上，而不管这些绕组是自耦连接的或是独立的。

被试绕组的中性点端子应接地。对于其他的独立绕组如为星形联结应将其中性点端子接地，如为三角形联结应将其一个端子接地。

一台三相变压器，即可以按照图 2 用单相连接的方式逐相地将电压加在线端进行试验，也可以采用对称三相连接的方法试验。

施加试验电压应按图 3 所示的时间顺序进行。在不大于 $1/3U_2$ 的电压下接通电源并增加至 U_2 ，持续 5min，再增加至 U_1 ，保持 5s，然后，立即将 U_1 降低到 U_2 ，保持 30min，当电压再降低到 $1/3U_2$ 以下时方可切断电源。

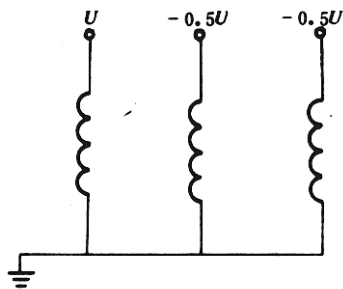


图 2 三相变压器的逐相试验

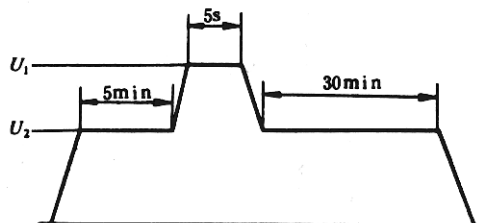


图 3 施加试验电压的时间顺序

试验持续时间与试验频率无关。

在施加试验电压的整个期间，应按下述的方法监测局部放电。线路端子与中性点端子之间的试验电压以 $U_m/3$ 表示。视在电荷量 q 值(用 pC 表示)不应大于规定值。

其值分别是：

U_1 为预加电压，其值为 $\sqrt{3}U_m/\sqrt{3} = U_m$ ；

U_2 为测量电压，当 U_2 为 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 时， q 不大于 500pC；

当 U_2 为 $1.3U_m/\sqrt{3}$ 时， q 不大于 300pC。

测量电压 U_2 值的选择，应由制造厂与使用部门在签订合同时商定。

注： q 值是暂定的，并将根据经验进行修订。

局部放电的观测如下所述(有关资料见附录 A)：

- 应在所有的分级绝缘绕组的线端上进行测量。对自耦连接的一对绕组的较高电压和较低电压的线路端子，也应同时用来测量。
- 每个测量端子都应该在线端与地之间施加重复脉冲波来校准，这种校准是用来在试验期间对读数的定量。
- 在变压器一个指定线端上测得的视在电荷量是根据经上述校准后的最高的稳态重复脉冲波计算出来的。偶然出现的尖波可以忽略不计。
- 在施加试验电压的前后，应记录所有测量端子上的背景噪声水平。
- 背景噪声水平应低于规定的视在电荷量限值 q 的一半。
- 在电压升至 U_2 及由 U_2 再降低的过程中，应记录可能出现的起始放电电压和熄灭电压值。
- 在电压 U_2 的第一阶段中应读取并记下一个读数。
- 在施加 U_1 的短时间内不要求观测。
- 在电压 U_2 的第二阶段的整个期间内，应连续地观察并按一定的时间间隔记录局部放电水平。

如果在上述局部放电的观测过程中，试验电压不产生突然下降，并在施加电压 30min 的最后 29min 内，所有测量端子上的视在电荷量的连续水平，低于规定的限值，并不表现出明显地、不断地向接近这个极限方向增长的趋势时，则试验为合格。

如果在一段时间内，视在电荷量的读数超过规定的限值，但之后又低于这个限值，则试验不必中断仍可连续进行，直到在此后的 30min 的期间内取得可以接受的读数为止。偶然出现的较高的脉冲可忽略不计。

只要不产生击穿并且不出现长时间的特别高的局部放电，则试验是非破坏性的。当局部放电不能满足验收判断标准时应尽量查明原因，使用部门不应简单地断然拒绝验收而应与制造厂协商进一步的研究试验，这方面的建议在附录 A 中给出。

试验中间，涉及到由于套管引起的困难问题见本标准第 2 章。

12 雷电冲击试验

12.1 概述

有关冲击试验名词的一般定义，对试验电路的要求，对于许可的测量设备的性能试验及定期校验均见 GB 311.2~311.6—83《高电压试验技术》。

更详细的资料见有关变压器冲击试验的国家标准。

油浸式变压器的试验电压通常是用负极性的，以减少试验电路中出现异常的外部闪络的危险。

试验期间，套管的火花间隙可以拆除或者将其增大以避免闪络。

当变压器内部或外部装了限制传递瞬变过电压用的非线性元件或避雷器时，试验过程中用示波图判断(见第 12.5 条)可能产生困难，对于这种特定情况下的冲击试验方法应在事先进行讨论。

试验冲击波应是标准雷电冲击全波： $1.2 \pm 30\%/50 \pm 20\% \mu s$ 。

有时，由于绕组电感小或对地电容大，这种标准冲击波形不能合理地得到，因而冲击波往往是振荡的。在这种情况下，经制造厂与使用部门协商，可以允许比较大的偏差。振荡冲击波的反极性峰值不应超过第一个峰的 50%。

冲击波形问题也可以在试验期间选用某一合适的接地方法来解决(见第 12.3 条)。

冲击电路及测量时的连接在校准期间和全电压试验期间应保持不变。

12.2 试验顺序

试验顺序包括电压为 50%~75%试验电压的一次冲击(标准冲击)以及其后的三次全电压的冲击。如果在任何一次冲击电压的施加期间，在电路中或在套管的火花间隙处产生了外部闪络，或者在任何规定测量通道上的示波图失效，则这一次电压冲击可以不计，需重新施加一次。可以使用大于 50%峰值的额外的校准冲击波，但不必在试验报告中说明。

12.3 试验时的连接

12.3.1 在线路端子上试验时的连接

冲击试验的顺序是将冲击波连续地施加到被试绕组的每一个线端上。对于三相变压器，绕组的其他线端应直接接地或通过一个低阻抗(例如测量电流用的分流器)接地。

如果绕组有一个中性点端子，这一中性点端子应直接接地或通过一个低阻抗(例如测量电流用的分流器)接地。油箱也应接地。

当试品为独立绕组的变压器时，所有非被试绕组的线端也应直接接地或通过阻抗接地，这样就保证在任何情况下在这些线端上产生的电压小于其额定雷电冲击耐受电压的 75%。

如为自耦变压器，当对最高电压绕组的线端试验时，如公共线圈的线端为直接接地或者通过测量电流用的分流器接地，则要合理地获得标准冲击波形可能有困难。当试验公共线圈的线端时，如高压绕组线端接地也有同样的情况。此时允许将这些未试的线端通过小于 400Ω 的电阻接地。另外在未试线端上出现的对地电压不应超过额定雷电冲击耐受电压的 75%。

在低阻抗绕组的冲击试验中，在被试线端上得到正确的冲击波形是困难的，此时，经使用部门与制造厂协商，可以允许较大的偏差(见第 12.1 条)。将绕组的非被试端子通过电阻接地也可能简化这一问题。电阻值应小于 500Ω 。而此电阻值的选择必须使在这些线端上所产生的电压小于其额定雷电冲击耐受电压的 75%。在签订合同时，经双方协商也可以采用传递冲击波的方法(见 12.3.3 款)。

12.3.2 中性点端子上的冲击试验

当一个绕组的中性点端子具有额定冲击耐受电压时，可由施加于三相绕组的任一线端上或连在一起的全部三个线端上的冲击试验来检验。中性点端子通过一个阻抗接地，并以标准的冲击波施加于线端时，该阻抗两端产生的电压峰值应等于该中性点端子本身的额定耐受电压值。施加于线端的冲击波峰值不作规定，但不应超过线端额定雷电冲击耐受电压的 75%。

另一种方法是，将中性点端的额定耐受电压直接施加于中性点端子上，此时所有的线端均应接地。在这种情况下允许波前时间较长但不得大于 $13 \mu s$ 。

12.3.3 传递冲击波的方法

当低压绕组在运行中不会遭受来自低压系统的雷电过电压时，经制造厂与使用部门协商，该绕组可以用由高压绕组传递过来的冲击波进行试验。

当直接对低压绕组施加冲击波时，高压绕组上将受到过高电压的作用，尤其是当大范围的调压线圈在结构上靠近低压绕组时更是这样。此时，用上述传递冲击波法是正确的。

当采用传递冲击波方法时，低压绕组的试验应与相邻的较高电压绕组的冲击试验同时进行。低压绕组的线端通过电阻接地，其电阻值应使线端与地之间，或不同的线端间，或一个相线圈的两端之间的传输冲击电压峰值尽可能高，但不超过额定冲击耐受电压，电阻值小于 5000Ω 。

12.4 试验记录

在校正及试验期间所得到的示波图，应能清楚地表明施加电压的冲击波形(波前时间、波尾的半峰值时间)。

至少要使用一个以上的测量通道。在大多数情况下，记录被试绕组流向地中的电流的示波图将具有最好的示伤灵敏度。记录从油箱流向地的电流或非试绕组中的传递电压，也是一种可供选择的合适的测量数值。

关于合适的扫描时间值，按相应国家标准的规定。

12.5 试验判断准则

如果全电压下所记录的电压和电流瞬变波形图与降低电压下所记录相应的瞬变波形图无明显差异时，则绝缘耐压试验合格。

详细地阐述示波图的试验记录和进行故障的真实记录与临界干扰进行鉴别，都需要有熟练的技能和丰富的经验。

如果对示波图之间可能存在的差异的分析有疑问时，则应再加三次全电压的冲击波，或者在该端子上重作全部冲击试验。

试验中可以采用辅助观察(如音响效果等)，可用它来验证所得到的示波图记录，但辅助观察办法本身不能作为直接证据。

13 在波尾截断的雷电冲击试验

13.1 概述

本试验是在绕组的线端上进行的。试验应按下述的方法和全波雷电冲击试验结合起来进行。雷电冲击截波耐受电压的峰值见表 2 及表 3。

通常，冲击电压发生器和测量设备与全波冲击试验相同，只是加一个截断间隙。标准雷电冲击截波具有 $2\sim 6\mu\text{s}$ 之间的截断时间。

13.2 截断间隙和截断特性

推荐使用可以调节时间的触发式截断间隙，也允许使用简单的棒对棒间隙。截断线路的布置应使被记录的冲击波截断后的过零系数接近于 0.3(其允许范围为 0.25~0.35)。

13.3 试验顺序和试验判断准则

如上所述，截波冲击试验和全波冲击试验合并成一个统一的试验顺序，各种冲击波的试验顺序如下：

一次降低电压的全波冲击；

一次 100%的全波冲击；

一次或几次降低电压的截波冲击；

两次 100%的截波冲击；

两次 100%的全波冲击；

截波冲击试验时所采用的测量接线及示波图记录方式与全波冲击试验相同。

原则上，截波冲击试验的故障判断主要取决于 100%截波冲击和降低电压截波冲击的示波图的比较。此时中性点电流示波图(或任何其他补充示波图)是由原全波波前部分下的瞬态现象与截断时的瞬态现象迭加后而得到的图形。因此应当考虑到截断时延可能出现的变化，虽然变化微小，振荡图形的后面部分将因此而发生变化，而要把这一效应和故障记录区分开来是困难的。

后续的 100%全波冲击试验的示波图被作为一种补充的故障判断，但是这些冲击试验本身并不难作为截波冲击试验的质量判断的依据。

14 操作冲击试验

14.1 概述

对于 $U_m \geq 300\text{kV}$ 的绕组，按方法 2 确定(见 5.4 条)。本试验为出厂试验。

有关冲击试验名词的一般定义，对试验电路的要求，对于许可的测量设备的性能试验及定期校验均见 GB 311.2~311.6—83。

冲击波是由冲击电压发生器直接加到被试的线端上，也可施加到较低电压的绕组上，再通过感应将试验电压传送到被试绕组上。应在线端和中性点端子之间出现规定的试验电压值，中性点应接地。在一台三相变压器中，试验期间线端间产生的电压应近似为线端与中性点端子之间相电压的 1.5 倍(见 14.3 条)。

通常试验电压是负极性的，以减小试验电路中出现异常的外部闪络的危险。

变压器的各个绕组两端产生的电压实质上与它们的有效匝数成正比，而试验电压将由具有最高电压 U_m 的绕组来确定(见第 4 章)。

冲击电压波形的视在波前时间至少为 $20\mu\text{s}$ ，超过 90%的规定峰值的时间至少为 $200\mu\text{s}$ ，从视在原点到第一个过零点的总时间至少为 $500\mu\text{s}$ 。

注：这一个冲击波形是有意选择得与 250/2500 μs 标准波形不同。这个标准波形是 GB 311.2~GB 311.6—83 中推荐专门用于空气外绝缘试验的。

波前时间应由制造厂选择，其值应使沿着被试绕组的电压分配实际上是均匀的，其值通常小于 $250\mu\text{s}$ 。试验期间在磁路中会增加磁通密度。

冲击电压可以维持到铁心达到饱和及变压器的励磁阻抗明显地降低的瞬间。最大可能持续的冲击时间可以用在每次全电压冲击试验之前引入反极性剩磁的办法来增加。这可用波形类似但极性相反的较低电压的冲击波或短时接通直流电源的方法来实现。

14.2 试验顺序及记录

试验应包括一次 50%~75%全试验电压下的冲击(校正冲击波)和三次连续的全电压下的冲击。如果示波图记录有问题，则这一次冲击可以不计并再补加一次冲击。示波图至少应有在被试线端上的冲击波形图。

14.3 试验时的连接

试验时，为使变压器有足够的阻抗，变压器必须处于空载条件下。试验中不使用的绕组应以适当的方法在一点接地，但不使其短路。对于单相变压器，被试绕组的中性点端子应接地。

三相变压器绕组应逐相进行试验。此外其中性点端子应予接地。变压器的试验接线方式应使其余的两个非试线端上产生一个反极性的电压，其幅值为 1/2 的施加电压(见图 2)。

14.4 试验的判断准则

注：但是磁饱和在冲击过程中产生的影响，会使得连续的示波图因这一效应而各不相同。

附录 A

(补充件)

局部放电(PD)是指引起导体之间的绝缘只发生局部桥接的一种放电。在变压器中,这种局部放电能使每一个引出的绕组端子对地电压发生瞬时的变化。

在局部放电处出现的实际放电电荷是不能直接测量的。局部放电强度的较好测量方法是测量视在电荷量 Q ，其定义见相应国家标准。

一个特定的局部放电会导致变压器各个端子上的视在电荷值有所不同。比较各个端子上同时得到的显示值，可以得到有关变压器内局部放电位置的信息(见 A.5)。

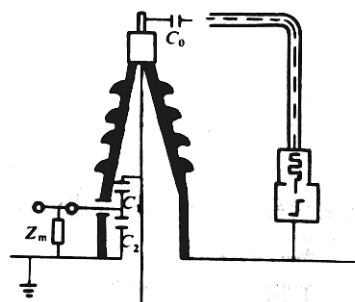
如果按照下述的推荐方法,则可认为对任何位置处的局部放电源都有足够高的灵敏度。这种暂定的、验收时许可的视在电荷量是根据已通过传统的工频绝缘试验的变压器上实际局部放电测量经验得出的。

测量仪器是用匹配的同轴电缆接到绕组端子上的, 测量阻抗的最简单的方式是电缆的匹配阻抗, 该阻抗又是测量仪器的输入阻抗。

为了改善整个测量系统的信号噪声比,利用调谐电路、脉冲变压器,以及在试品端子与电缆间使用放大器可能是方便的。当从测量端子二端观察时,测量线路在局部放电测试的整个频率范围内,应表现出一个适当的恒定的阻抗。

对绕组的线端与接地的油箱之间进行局部放电测量时，最好是将测量阻抗有效地接到电容套管的电容抽头与接地法兰(图 A1)之间。如果没有电容抽头，也可以将套管法兰与油箱绝缘，并将该法兰用作测量端子。中心导杆和测量端子之间以及测量端子和地之间的等效电容对局部放电信号起到分压的作用，但是这种分压作用在套管的顶部端子与地间进行校准时也产生。

如果必须在没有任何可以利用的电容式套管电容抽头(或绝缘的法兰)的带电端子上进行测量时,可以使用高压耦合电容器的方法。用一个无局部放电的电容器,其电容与校准发生器的电容 C_0 相比应足够大,测量阻抗(带有保护间隙)连接在该电容器的低压端子与地之间。见图 A2。



29

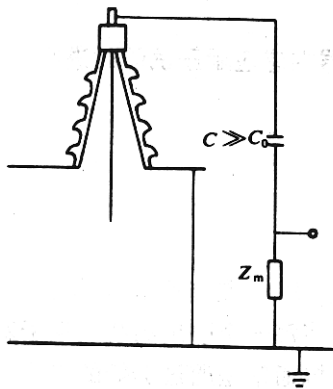


图 A2 采用高压耦合电容器的量电路局部放电测

整个测量系统的校准是在校准装置的两端输入已知的电荷来进行的。校正装置包括一台上升时间短的阶跃电压脉冲发生器(其内阻不应大于 $100\ \Omega$)和一个已知电容值为 C_0 的小的串联电容器,上升时间应不大于 $0.1\ \mu\text{s}$,而且 C_0 值应在 50pF 左右。当这个发生器接到两个校正端子上时,由于端子呈现的电容值远远大于 C_0 ,因此由脉冲发生器输入的电荷将为:

$$q_0 = U_0 \cdot C_0$$

式中 U_0 ——方波电压值,通常为 $2\sim 50\text{V}$ 。

如果校准发生器的重复频率,与变压器试验时所用的 I 频的每半周中一个脉冲时的数量级相当,那将是方便的。

如果校准端子相距较远,则连接引线上的杂散电容可能会引起误差。用于高压端子与地之间的校准的方法如图 A1 所示。在高压端子上放置电容 C_0 ,同时用备有匹配电阻的同轴电缆将 C_0 与方波电压发生器连接起来。

如果两个校准端子都不接地,则由发生器本身形成的电容也可能引起误差。发生器最好由电池供电,且几何尺寸以小些为好。

A.3 仪器、频率范围

所用测量仪器的特性应符合相应国家标准的规定。

试验时的示波器监视通常是有用的,特别是因为它可以通过观察脉冲的重复率、波形上的位置和脉冲极性差异等来区分变压器真实局部放电与某些形式的外部干扰。

读数观测可在整个试验期间连续进行或每隔一定时刻进行,不强制规定用示波器或磁带记录器作连续记录。

局部放电测量系统分为窄频道和宽频道系统。窄频道系统大约有 10kHz 带宽或在低于某一调谐频率下工作(例如无线电噪声计)。宽带系统使用的频带其上下限之间范围较大,例如 $50\sim 150\text{kHz}$ 或者甚至 $50\sim 400\text{kHz}$ 。

当采用窄带系统时,适当地调节频带的中心频率,可避免来自于地区广播电台的干扰,但必须证明在靠近测量频率时绕组的共振对测量影响不大。窄频带仪器应在不大于 500kHz 最好是在小于 300kHz 的频率下工作,这有两个原因:第一,放电脉冲的传输使较高频率分量产生大的衰减;第二,当将校准脉冲波施加于线端时,该脉冲波容易在此端子或靠近此端子处引起局部振荡,当采用频带中心频率大于 500kHz 时,这将使校准变得复杂起来。

对不同的脉冲波的衰减响应而言,宽频带系统受到的限制较少,但在没有静电屏蔽的试验场所它更易接受干扰。使用带阻滤波器能防止无线电波的影响。通过单个脉冲波形和极性的比较能够识别局部放电源。

A.4 试验判断准则,试验不合格后的判断方法

在本标准第 11.4 条的末尾给出了验收判断准则。在指定测量端子间测量的以视在电荷量表示的稳态局部放电水平不应超过规定的限值,而且在这个限值附近不应有显著的增加趋势。

如果试验电压并不发生突然下降,但因局部放电读数太高,然而尚属中等程度(在几千微微库仑或者更小)时,试验虽然不合格但仍属非破坏性的。故不应据此结果马上拒绝验收,而应对被试品再进行探查。首先应对试验环境进行探查,以便找到与局部放电源无关的任何外界干扰信号。

这时应由制造厂与使用部门进行协商,确定再进行补充试验或采取其他措施,以判明变压器是否有严重的局部放电和能否满足运行要求。

下面的一些建议,对采取上述措施时可能有用。

a. 研究测量值是否真正与试验顺序有关,还是碰巧测到外来的与局部放电无关的显示值。

试验时,采用示波器往往是很易做出上述区别的,例如,干扰就不与试验电压(波形)同步。

b. 研究局部放电是否由供电电源传输而来。试验时在电源与变压器之间接入低通滤波器对此可以有所帮助。

c. 研究确定局部放电源是在变压器内部还是在变压器外部(从大厅内悬浮电位的物体发出,从空气中带电部分发出或从变压器接地部分的尖角发出)。推荐采用临时外加屏蔽的方法来区分局部放电源是在变压器内部还是外部。

d. 按照变压器的电路图研究局部放电源的可能位置。

有几种已公认的定位方法。其中之一是根据不同成对的端子上的各个读数和校准值的相互关系来定位(用以补充各线圈端子与地之间的规定读数)，这在下面的 A. 5 条中提到。

如果使用宽频带电路记录，可用相应的校正波对试验的每一单个脉冲波形进行鉴别。

电容式套管介质中的局部放电鉴别是一种特殊情况，参见 A. 5 条后面部分。

- e. 用声波和超声波的探测方法，探测油箱内的各放电源的“地理”位置。
 - f. 根据试验电压水平、滞后效应、试验电压波形上的脉冲特性等的变化来确定局部放电源的可能的物理性质。
 - g. 绝缘系统中的局部放电，可能由于绝缘的干燥或浸油不充分而引起。因此，变压器可重新处理，或停放一个时期后重复试验。
- 众所周知，只要产生了相当高的局部放电，尽管次数有限，也可能使油局部分解，并使熄灭电压和起始电压暂时降低，但经过几小时后，可自恢复到原有起始状态。
- h. 如果局部放电的指示读数超过验收限值，但不认为是很严重时，经过协商可以重复试验，或者延长试验时间，甚至可以使用增加试验电压的方法。若试验电压增加，局部放电量增加不多，并且又不是随时间而增加的，则认为该变压器仍可投入运行。
 - i. 除非在相当长的持续时间内，出现了远大于验收限值的局部放电量，一般将变压器吊心后是难于直接观察到局部放电痕迹的。如果其他改善局部放电性能或确定局部放电位置的措施均无效时，则本方法可作为最后的判断手段。

A. 5 用“多端子测量”和“图形比较”的方法确定局部放电源的位置

任何一个局部放电源，均会向变压器的所有能在外部接线的测量端子对之间传输信号，而这些信号的图形是一种独特的“组合”，如果将校准脉冲波交替地输送给各校准端子对时，则这些脉冲波也将向成对的测量端子传输各种信号的特性组合。

如果在不同的成对测量端子上测试读数的图形，与当向一个特定的成对校准端子提供脉冲波时在前述相同测量端子上得到的图形存在着明显相关时，则认为实际局部放电源与这对校准端子密切相关。

这就意味着，通过变压器的电路图可能得出有关局部放电源的位置。“物理位置”是另外一种概念，即“电气上”位于某一特定端子附近的一个局部放电源，从物理定位的角度上则是说它可以位于与这个端子相连接导线上的任何位置或者位于该线圈结构的相应末端。

比较所取得的图形的方法如下：

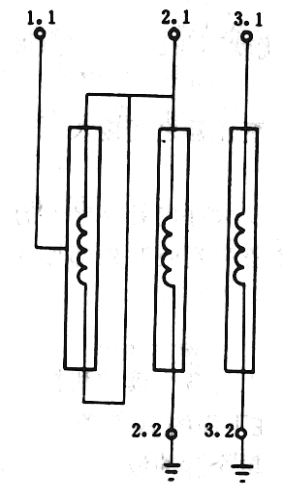


图 A3 用“多端子测量”和“图形比较”法来确定局部放电源的位置

当校准发生器接到一对规定的校准端子上时，应观察所有成对的测量端子上的显示值。然后对其他成对的校准端子重复此一程序。应在线圈的各端子与地之间进行校准，但也可以在高压套管的带电端子与它们的电容抽头之间进行校准(模拟套管介质中的局部放电)，也可以在高压端子与中性点端子之间，以及在高压绕组和低压绕组各端子之间进行校准。

成对的校准和测量端子的所有组合，形成一个“校正矩阵”，从而作为对实际试验读数进行判断的依据。

图 A3 表示一台带有第三绕组的超高压单相自耦变压器的例子，校准和试验都是在表列的端子上进行的。将 1. 5Um 这一行的试验结果与各种校正数进行对比，显然可见：它和“2. 1-地”的校准数量相当。可以认为在 2. 1 端子上出现了约 1500pC 这一数值的局部放电量，并且还可以认为是带电体对地之间的局部放电。其结构位置或许在串联线圈与公共线圈之间的连线上某一位置，也可能在邻近线圈的端部。

上述方法主要用在当一个局部放电源是明显的而且背景噪音又低的情况下。但并不是总出现这种情况的。当需确定所观察到的局部放电是否发生在高压套管介质中时，可利用由套管出线端子与套管电容抽头间的校准来研究。这一校准与套管中的局部放电图形有极密切的关系。

校 准	通 道			
	1. 1	2. 1	2. 2	3. 1
	任 意 单 位			
1. 1-地 2000pC	50	20	5	10

2.1-地 2000pC	5	50	30	8
2.2-地 2000pC	2	10	350	4
3.1-地 2000pC	3	2	35	25
试 验				
$U=0$	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
$U=U_m/\sqrt{3}$	<0.5	<0.5	0.5	0.5
$U=1.5U_m/\sqrt{3}$	6	40	25	8

附 录 B

从高压绕组向低压绕组传递的过电压
(补充件)

B.1 概述

下面说明仅涉及到特殊使用条件下与变压器本身有关的一些问题。所考虑的传递过电压是瞬变冲击波或者是工频过电压。

B.2 冲击电压的传递

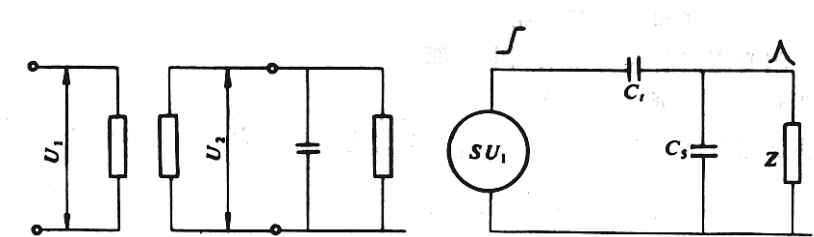
B.2.1 概述

传递的冲击过电压问题的研究，一般只在电压比大的发电机变压器(升压变压器)和具有低电压第三绕组的大容量高电压系统的变压器上进行。

研究冲击波的传递过程，有利于区分电容性传递和感应传递。

B.2.2 电容传递

传向低压绕组的过电压的传递可大体上看作是一种电容分压的方式。从低压绕组看，这个最简单的等值电路是由一个电动势和一个传递电容 Ct 串联组成(参看下图)。



过电压电容传递的等值电路

等值电动势 S 是高压侧输入冲击波的一个分数值。Ct 大约为 10-9F, S 和 Ct 的数值不好准确确定，但它们与冲击波的波头形状有关，这些值均可通过示波器测量确定。预先计算是不够可靠的。

二次线端上的负载将使传递的过电压峰值降低，作为这一负载的开关、短电缆或附加电容器(几个 10-9F)可以看成是(甚至在头一个微秒期间内)直接接到二次线端的集中电容 Cs。至于长电缆或母线，则要用其波阻抗来表示。产生的二次过电压波形与输入冲击波波前相对应，具有短时间(微秒数量级)尖峰的特性。

对传递过电压较高的变压器应采取措施。

B.2.3 感应传递

冲击电压的感应传递依靠高压绕组中的冲击电流的流动。如果二次绕组上不带有外部负载，则电压的瞬变过程波形叠加了一个阻尼振荡波，其频率由漏感和绕组电容来确定。感应传递过电压分量可用避雷器的起阻尼作用的电阻，也可用负载电容改变其振荡的方法来降低。假如使用电容器，其电容值常用 0.1 μF 数量级(当电路电感值低的时候，它们将自动地消除电容性的传递分量)。

属于感应冲击传递中的变压器的参数，比较好确定，同时与容性传递相比，它与上升率(或频率)的关系较少。其进一步的说明参见有关文献。

B.3 传递的工频过电压

如果在结构上接近于高压绕组的低压绕组并不接地或者只是通过高阻抗接地，那么当高压绕组励磁时，这个低压绕组将存在由于电容分配而引起的工频过电压的危险。

对于单相绕组而言，这种危险是明显的。但对于三相绕组而言，一次绕组电压不对称，如产生接地故障时，这种危险也存在。在某些特殊情况下，可能出现共振状态。

在大型变压器中，第三绕组和稳定绕组也会承受同样的危险。使用部门有责任防止第三绕组偶然出现的经过太高的阻抗接地。通常，稳定

绕组均采用内部或外部永久接地(接油箱)的方式。

过电压是由各绕组之间的电容以及各绕组对地之间的电容来确定的。这种电容可以在低频下在变压器的不同组合的端子上进行测量,同时也可以足够准确地来计算。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部和水利电力部提出。

本标准由沈阳变压器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。

本标准主要起草人王肇平、凌愍。

自本标准实施之日起,原 GB 1094—79《电力变压器》中有关内容作废。

中华人民共和国国家标准

UDC 621.314.222.6

电力变压器

GB 1094.4—85

第四部分 分接和联结方法

代替 1094—79

Power transformers Part 4:Tappings and connections

国家标准局 1985-11-22 发布

1986-07-01 实施

本标准参照采用国际标准 IEC 76-4(1976)《电力变压器 第四部分 分接和连接方法》。

1 范围

本标准适用于变压器的一对绕组间只在一个带分接的绕组上进行调压的情况。对于自耦变压器,分接位置在线端还是在中性点须在订货时注明。

有关电压相位移的分接变换,本标准不予考虑。

2 各种调压的要求

2.1 总则

如无明确要求,则变压器不提供分接头。当需要分接头时,应指明它们是用于无励磁调压或用于有载调压。

2.2 主分接

除非另有其他规定,当分接位置数为奇数时,主分接(见 GB1094.1—85《电力变压器 第一部分 总则》第 3.5.1 款)系指中间分接。当分接位置数为偶数时,主分接系指分接绕组的两个中间分接位置中有效匝数较多的一个。

如果这样下定义的分接不是满容量分接,则主分接应是靠近的一个满容量分接(见 GB 1094.1 第 3.5.4 款,主分接是满容量分接)。

2.3 分接范围的表示

分接绕组的分接范围按下述方式表示:

如果有正、负两种分接: $\pm a\%$ 或 $+a\%$, $-b\%$;

如果只有正分接或只有负分接: $+a\%$ 或 $-b\%$ 。

2.4 短路阻抗的表示

与短路阻抗有关的绕组应按下述方式表示:

对双绕组变压器,表示出与短路阻抗有关的绕组即可。以 H.V. 表示高压绕组阻抗, L.V. 表示低压绕组阻抗 H.V./L.V. 成对绕组间的短路阻抗,例如折算到 H.V. 绕组的,就称为 H.V./L.V. 阻抗(H.V. 下面划横线)或称为 H.V./L.V. 成对绕组间的 H.V. 侧阻抗。若折算到 L.V. 绕组的,就称为 H.V./L.V. 阻抗或称为 H.V./L.V. 成对绕组间的 L.V. 侧阻抗。

对三绕组变压器的中压绕组用 M.V. 表示,其他的表示方法同双绕组变压器。

按照系统条件,短路阻抗常常可以折算到变压器的任何一个绕组。如果功率流向仅为从高压绕组流向低压绕组,则短路阻抗折算到高压绕组是适当的。

本章下述规则不适用于三绕组变压器和电压比小的(如小于 2)自耦变压器(此类变压器需要特殊考虑)。

2.4.1 主分接位置上的短路阻抗

短路阻抗除了以百分数表示的“额定电流下的阻抗电压”之外,还要用折算到一个绕组的以每相欧姆值计算的短路阻抗来表示。

2.4.2 其他分接的短路阻抗

如果需要,可以规定其他分接(包括极限分接)位置上的短路阻抗。

在这里适用的允许偏差的定义如下所述:

a. 任一其他分接位置的短路阻抗允许偏差应在 GB1094.1 中表 4 项 3a 的规定值上,再加一个百分数,其值等于该分接与主分接间以百分数

表示的分接因数之差的 1/2。

b. 当主分接不在中间位置时，分接范围仍按对中间分接位置是平衡的来考虑，而且各分接上的短路阻抗允许偏差应按上述 a 规定计算。由于允许偏差按 GB1094.1 表 4 的规定适用于中间分接位置，这就意味着主分接上的偏差超过了 GB 1094.1 表 4 项 3a 中的值。

对于指定的分接范围而言，最简单的方法是按照上述计算规则只确定最小或最大阻抗电压值，其中包括允许偏差。

注：对于分接范围的总数超过 25% 的情况，或当所算的阻抗允许偏差可能引起阻抗电压的值不能被接受时，阻抗电压的允许偏差须经制造厂与使用部门协商确定。

2.5 负载损耗的要求

使用部门应指明除主分接外的哪些分接(包括极限分接)的负载损耗值，其值应由制造厂提供。

双绕组变压器任一分接的参考电流等于该分接的分接电流。对于多绕组变压器，参考电流或参考容量应予指明。

2.6 关于温升的保证和试验的要求

温升限值适用于所有分接。除特殊情况外，温升试验仅需在一个分接上进行。

2.7 高出分接电压条件下运行的要求

对所有分接的要求与对主分接的要求相同，但“额定电压”与“额定电流”一词须改为“分接电压”和“分接电流”。对于主分接见 GB 1094.1 第 4.4 条。

3 恒磁通调压的定义及补充要求

3.1 恒磁通调压(C. F. V. V.)的定义：

恒磁通调压定义为当分接电压为下述电压时的调压：

对不带分接的绕组为额定电压；

对有分接的绕组为额定电压乘以分接因数。

注：① 对所有分接位置磁通是相同的，所以称为“恒磁通调压”。

② 图 1a 表示分接电压随分接因数的变化情况。

3.2 对恒磁通调压的补充要求：

a. 规范应指出的内容(见附录 A.1)：

调压的种类：C. F. V. V.；

变压器的额定容量。当为多绕组变压器时，应指明每一绕组的额定容量；

额定电压；

哪个绕组为分接绕组和它的分接范围；

分接位置数或分接级。当所提的为分接位置时，则认为每个分接级近似相等；

注：在调压种类无任何表示的情况下，则认为是 C. F. V. V.。

b. 分接容量及分接电流(见图 1c、b)：

如无规定，则认为电压变化范围在 $\pm 5\%$ 时的所有分接是满容量分接(见 GB1094.1 附录 A 的 A.1.1.1)。

如果规定一个“最大电流分接”，即在这一分接之上的分接(高分接因数)是满容量分接。在这一分接之下，对分接绕组而言，分接电流是恒定的。因此，这种分接是降低分接容量的分接。

注：①在第一种情况(仅对满容量分接)下的极限负分接可称为“最大电流分接”。

②对具有独立绕组(见 GB 1094.1 第 3.1 条的注)的变压器，如无其他规定，供温升试验用的分接为“最大电流分接”。

3.3 额定容量小于和等于 3150kVA，且分接范围小于和等于 $\pm 5\%$ 的独立绕组的变压器(除非有其他规定)规定为：

主分接即为最大电流分接(对于所有的负分接，分接绕组的分接电流等于额定电流)；

短路阻抗及负载损耗的保证值均以主分接为准。

4 对变磁通调压的定义及补充要求

4.1 变磁通调压(V. F. V. V.)的定义

对于分接绕组，当分接电压为恒定而且等于其额定电压时，不带分接绕组的电压变化为变磁通调压(见图 2a)。

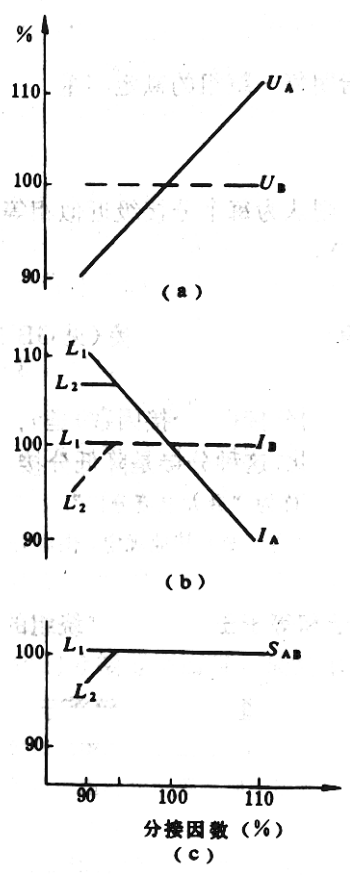


图 1 恒磁通调压

U—分接电压；I—分接电流；S—分接容量；

L1—恒容量；L2—限制电流；角注 A 指带分接绕组；角注 B 不带分接的绕组

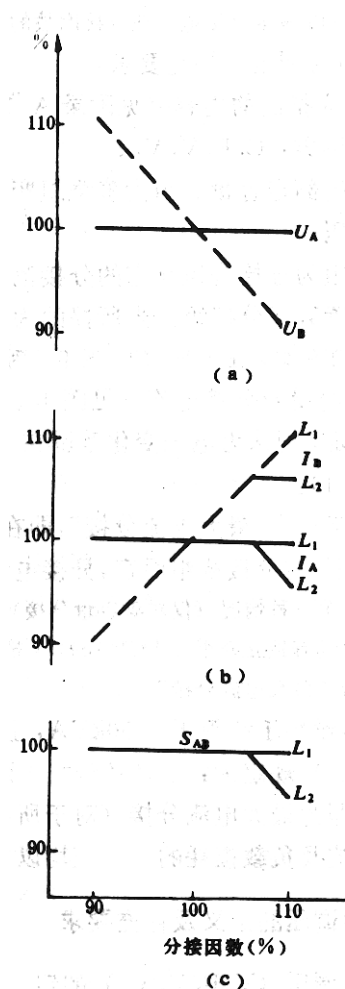


图2 变磁通调压

U—分接电压；I—分接电流；S—分接容量；

L1—恒容量；L2—限制电流；角注 A 指带分接绕组；角注 B 不带分接的绕组

4.2 对变磁通调压的补充要求

a. 应指出的规范(见附录 A. 2)：

调压的种类：V. F. V. V. ；

变压器的额定容量。对于多绕组变压器则应指明每一绕组的额定容量；

额定电压：对每一不带分接的绕组，应规定其极限分接电压并在额定电压下标横线；

哪个绕组是带分接绕组和它的分接范围；

分接位置数或分接级。当所提的为分接位置时，则认为每个分接级近似相等。

b. 分接容量和分接电流(见图 2c、b)

如无规定，则认为电压变化范围在 $\pm 5\%$ 时的所有分接是满容量分接(见 GB1094. 1 附录 A 的 A. 1. 1. 1)。

如果规定一个“最大电流分接”，即在此分接(具有较低的分接因数)以下的分接是满容量分接，而在此分接以上的分接，对于不带分接的绕组其分接电流是恒定的。

c. 与空载损耗和空载电流有关的要求

下述各项应由制造厂和使用部门协商确定：

除主分接外，哪些分接的空载损耗、哪些分接的空载电流值应由制造厂提供。

对上述分接应予考虑的电压。

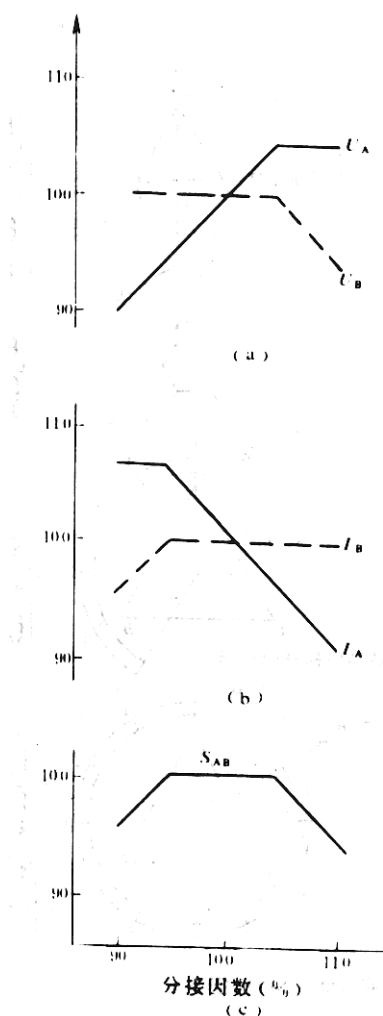


图 3 混合调压

U —分接电压； I —分接电流； S —分接容量；

5 混合调压的定义及补充要求

5.1 混合调压(cb. v. v.)的定义

混合调压定义为同时具有如下所述恒磁通调压和变磁通调压(见图 3a)的一种组合的调压方式：

在小于某一分接因数时，无分接绕组的分接电压是恒定的；

在大于这一分接因数时，分接绕组的分接电压是恒定的。

对应于上述分接因数的分接称为“最大电压分接”。

5.2 混合调压的补充要求

a. 应指出的规范(见附录 A. 3)：

调压的种类：cb. v. v. ；

变压器的额定容量。对于多绕组变压器则应指明每一绕组的额定容量；

额定电压；

哪个绕组是带分接的绕组和它的分接范围；

分接位置数或分接级。当所提的为分接位置时，则认为每个分接级近似相等；

哪个分接是“最大电压分接”(见图 3a)。

b. 分接电流及分接容量：

如果规定一个“最大电流分接”及其相应的分接电流，则认为在这一分接(低分接因数)之下，对于带分接绕组的分接电流是恒定的。在这一分接之上，对于不带分接绕组(见图 3b)的分接电流是恒定的。这一分接、最大电压分接及中间的那些分接是满容量分接。其他分接是降低容量分接(见图 3c)。

注：a 及 b 所考虑的数据类似附录 A 第 A. 3 条一样用表给出。

c. 与空载损耗和空载电流有关的要求见 4. 2c。

6 相线圈的联结方法

三相变压器的一组相线圈或连接成三相组的单相变压器的相同电压的线圈连接成星形、三角形、曲折形时，对高压绕组(H.V.)分别以字母Y、D或Z表示，中压或低压(L.V.)绕组分别以字母y、d或z表示。如果星形联结或曲折形联结的中性点是引出的，则分别以YN或ZN及yn或zn表示。

在两个线圈具有公共部分的自耦变压器中，两个线圈中额定电压较低的一个线圈以字母a表示。例如：中性点引出的星形联结的自耦变压器用YN，a表示。

单相绕组用罗马字“I”表示，按书写的先后次序分别表示高、(中)、低压绕组。

带有星三角变换绕组或分裂绕组的变压器，应在两个变换或分裂绕组间以“-”隔开表示。

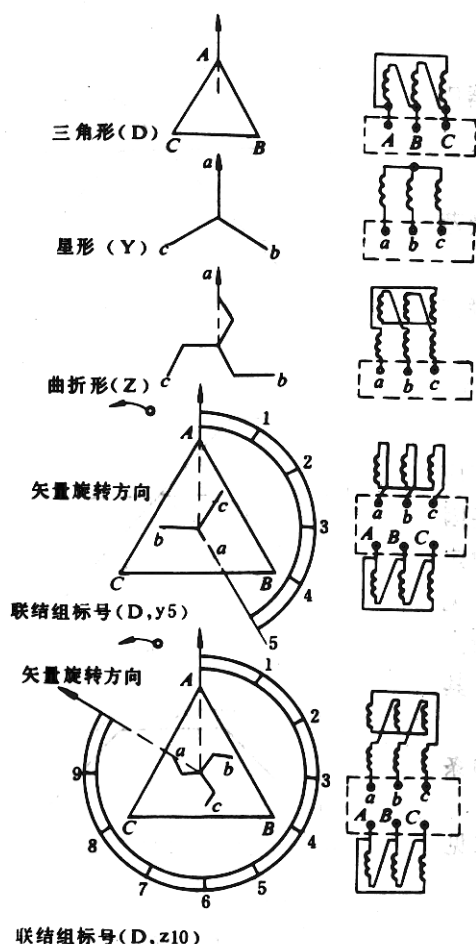


图 4 联结组标号使用说明图

7 绕组间的相位移

高压绕组的电压矢量取作原始位置。用钟时序数(见 GB 1094.1 第 3.10.6 款)表示的矢量图的一些示例，在图 4 中给出。该图仅以双绕组

为例，有关三绕组变压器示例应参照执行，其中压绕组的首末端标志应为 A_m 、 B_m 、 C_m 、 X_m 、 Y_m 、 Z_m 。高、中、低压侧绕组

中性点标志应为 0 、 0_m 、 0 。

对于多绕组变压器，高压(H.V.)绕组的电压矢量仍作为参考矢量，同时其代号排在第一位。其他代号按各绕组额定电压的递减次序排列。在两个线圈具有公共部分的自耦变压器中，相当于这两个线圈之中额定电压较低的一个线圈的代号为 a，应在这两个线圈之中额定电压较高的一个线圈的代号之后列出。如 YN，a0，d11(自耦连接的一对线圈包括高压线圈)或 D，yn11，a11(自耦连接的一对线圈中不包括 H.V. 线圈)。

注：附录 B 给出若干通用的联结方法，其中带▲符号者为我国常用的联结方法。根据订货协议亦可采用其他任何联结方法。

例 1：一台双绕组变压器，高压星形联结绕组额定电压为 10000V，低压为中性点引出的星形联结绕组，额定电压为 400V。两个星形联结绕组的电压同相位(钟时序数 0)。

其联结组标号为 Y，yn0。

例 2：一台三绕组变压器，高压为中性点引出的星形联结绕组，额定电压为 121kV；中压为中性点引出的星形联结绕组，额定电压为 38.5kV，

低压为三角形联结绕组，额定电压为 10.5kV。两个星形联结绕组的电压是同相位(钟时序数 0)，而三角形联结绕组上的电压超前于其他电压 30° (钟时序数 11)。

所以，联结组标号为 YN，yn0，d11。

例 3：一台带第三绕组的自耦变压器，自耦联结的一对绕组为中性点引出的星形联结，其额定电压分别为 220kV，121kV；第三绕组为三角形联结，额定电压为 11kV。自耦联结的一对绕组电压同相位(钟时序数 0)，而三角形联结绕组上的电压超前于星形联结绕组上的电压 30° (钟时序数 11)。

所以，联结组标号为 YN，a0，d11。

例 4：一台单相双绕组变压器，高压绕组额定电压为 550kV，低压绕组额定电压为 20kV。则，连接组标号为 I，I0。

例 5：一台双绕组变压器，高压绕组为星三角变换，低压绕组为三角形联结，低压绕组电压超前于高压为星形联结时的电压 30° (钟时序数 11)，与三角形联结时的电压同相位。

则，联结组标号为 Y-D，d11-0

例 6：一台带分裂绕组的变压器，高压绕组为星形联结有中性点引出，低压绕组为两个三角形联结的分裂绕组，低压绕组上的电压超前于星形联结绕组上的电压 30° (钟时序数 11)。

则，联结组标号为 YN，d11-d11。

附 录 A

带有分接的变压器的规范示例(适用于分接)

(补充件)

A.1 恒磁通调压

两种方案的示例：

一台额定容量为 40MVA，额定电压为 66/11kV 的三相变压器，66kV 之绕组具有 11 个分接位置，其分接范围为±10%。

a. 方案 1：所有分接都是满容量分接；

调压种类：C.F.V.V.；

额定容量：40MVA；

额定电压：66/11kV；

分接绕组：66kV(分接范围±10%)；

分接位置数：11。

b. 方案 2：当有降低容量分接时应增加一条：最大电流分接-5%。

注：除非给出补充说明，则高压绕组从-5%分接到-10%的极限分接的电流应限制到 368A，同时在 -10% 分接处分接容量应降低到 38MVA。

A.2 变磁通调压

一台额定容量为 20MVA，电压为 66/6kV 的三相变压器，其高压绕组的分接范围是+15%，-5%，但高压绕组(H.V.)分接电压保持恒定，而低

压绕组的分接电压在 $\frac{6}{0.95} = 6.32\text{kV}$ 及 $\frac{6}{1.15} = 5.22\text{kV}$ 之间变化。

方案 1：所有分接都是满容量分接；

调压种类：V.F.V.V.；

额定容量：20MVA；

额定电压：66/6kV；

66kV 绕组上的分接：分接范围+15%，-5%；

分接位置数：11；

6kV 绕组的分接电压：6.32，6，5.22kV。

方案 2：当有降低容量分接时应增加一条：最大电流分接+5%。

注：从+5%分接到极限分接+15%，不带分接绕组(L.V.)的“分接电流”限制在 2020A，同时，在+15%分接处分接容量降低到 18.2MVA。

A.3 混合调压

规范应按下表，其中：

“最大电压分接”是+6%分接；

“最大电流分接”是-9%分接。

注：①当“中间的”各行数据填写完整后，上表可以用在铭牌上。

②上述这些规范与恒磁通调压 C. F. V. V. 规范 (40MVA, 160±15%/20kV) 相比较, 差异仅是 H. V. 分接电压不超过 H. V. 系统的“系统最高电压”170kV (见 GB 1094. 3—85《电力变压器第三部分 绝缘水平和绝缘试验》第 5. 3 条), 电流值不存在差异。

混 合 调 压

额定值: 三相, 40MVA, 160kV/20kV

带分接绕组: H. V. ——分接范围±15%, 分接位置数: 21

分 接	变压比	分接电压, kV		分接电流, A		分接容量 MVA
		UHV	ULV	IHV	ILv	
1(+15%)	9. 20	169. 6	18. 43	125. 6	1155	36. 86
中 间 的	递减	169. 6	递增	递增	1155	递增
7(+6%)	8. 48	169. 6	20	136. 2	1155	40
中 间 的	递减	递减	20	递增	1155	40
11(0%)	8	160	20	144. 4	1155	40
中 间 的	递减	递减	20	递增	1155	40
17(-9%)	7. 28	145. 6	20	158. 7	1155	40
中 间 的	递减	递减	20	158. 7	递减	递减
21(-15%)	6. 80	136	20	158. 7	1080	374

附 录 B

常用的变压器联结法 (适用于联结方法)

(补充件)

B. 1 三相变压器

B. 1. 1 具有独立绕组的变压器

图 B. 1a 给出了常用的三相变压器联结组标号和变压器各绕组电压矢量间的相位移。在各种联结图中都假定所有线圈具有相同的绕向。

B. 1. 2 自耦变压器

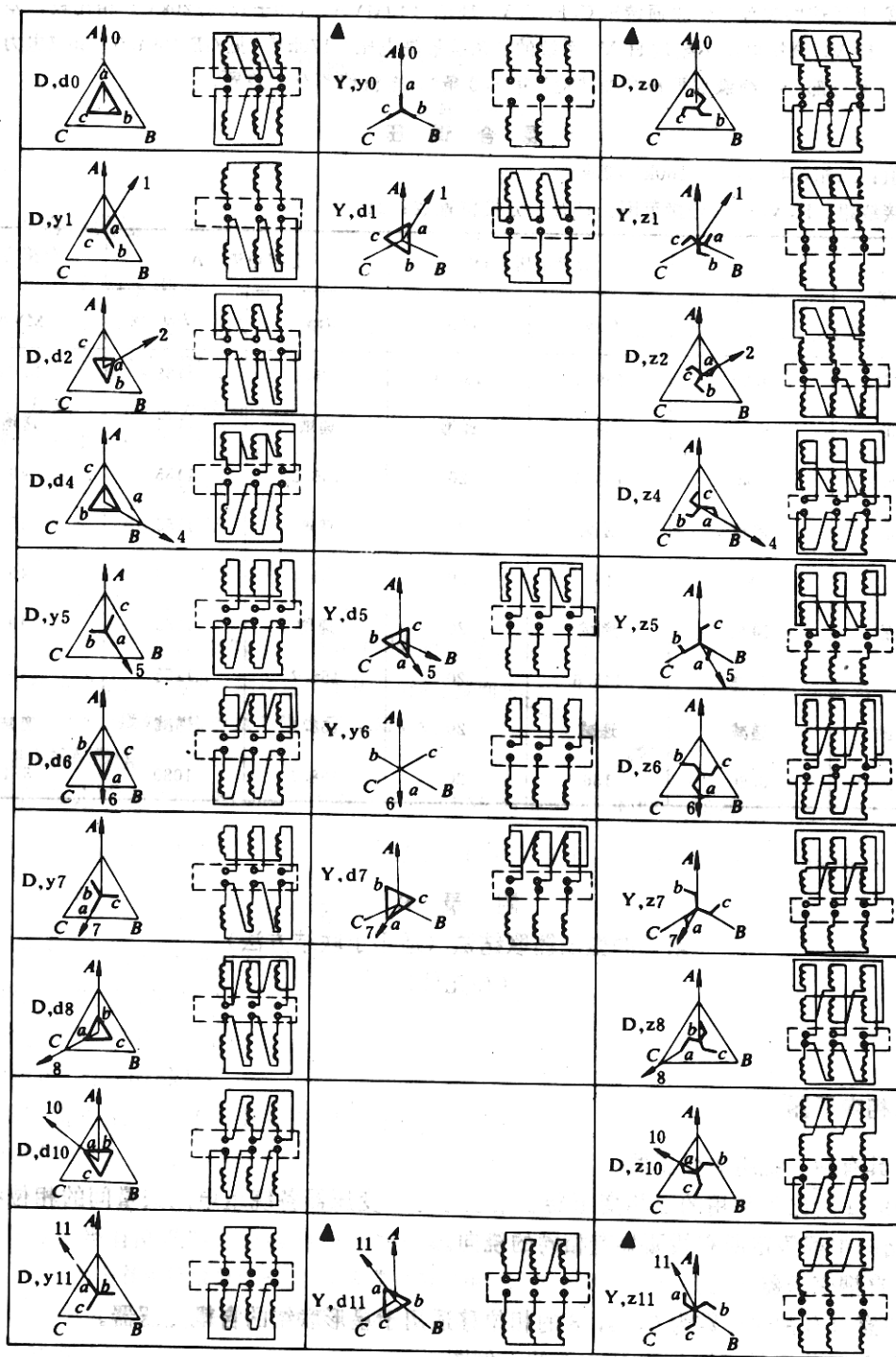


图 B1a 用联结组标号表示的三相变压器的联结标志示例

带▲符号者为常用的联结方法

应注意只有钟时序数为 0, 4, 8 的相位移适用于星形联结的自耦变压器。

图 B1b 是指联结组标号为 Y, a0 的示例图。

B.2 组成三相组的三台单相变压器的示例

此时，每台单相变压器的每一线圈的两端都引出到端子上并给以标志，这样一台三相组的联结图如图 B2 所示。

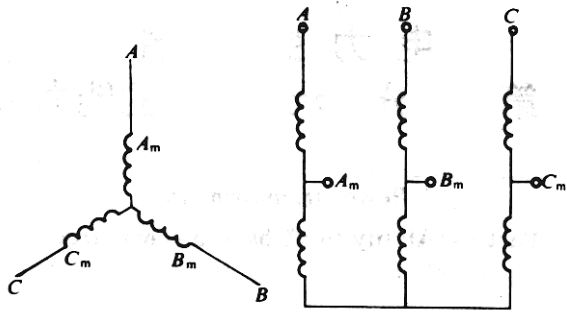


图 B1b 用联结组标号表示的三相自耦变压器的联结标志示例

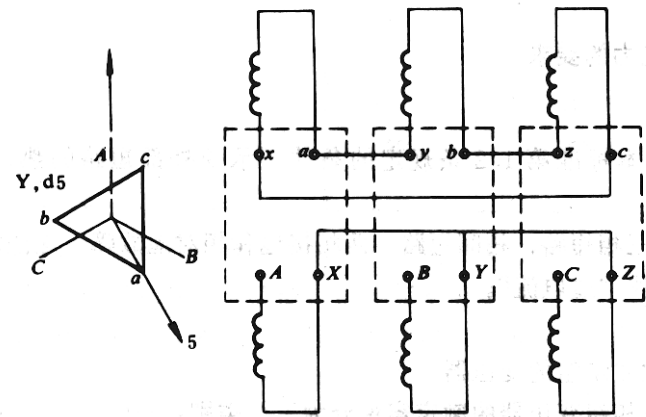


图 B2 三台单相变压器连接成三相组的示例(联结组标号 Y, d5)

附加说明：
 本标准由中华人民共和国机械工业部和水利电力部提出。
 本标准由沈阳变压器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。
 本标准主要起草人王肇平、凌愍。
 自本标准实施之日起，原 GB 1094—79《电力变压器》中有关内容作废。

中华人民共和国国家标准
 UDC 621.314.222.6
 电力变压器 GB 1094.5—85
 第五部分 承受短路的能力 代替 1094—79
 Power transformers Part 5:Ability to withstand short circuit

国家标准局 1985-11-22 发布 1986-07-01 实施

本标准参照采用国际标准 IEC 76-5(1976)《电力变压器 第五部分 承受短路的能力》。

1 对于承受短路能力的要求

1.1 概述

变压器应能在本标准第 1.2 条规定的条件下承受外部短路的热、动稳定效应而无损伤。
 外部短路包括三相短路、相间短路、两相接地和相对地故障。这些故障在绕组中引起的电流在本标准中称作“过电流”。

1.2 过电流条件

1.2.1 具有两个独立绕组的变压器

1.2.1.1 三相或三相组变压器的额定容量分为三个类别：

第 I 类：小于 3150kVA；

第Ⅱ类：3150～40000kVA；
第Ⅲ类：40000kVA 以上。

1.2.1.2 对称短路电流(有效值见本标准第 2.1.2 款)对于容量为第Ⅱ类和第Ⅲ类的变压器应使用变压器的短路阻抗加上系统的阻抗来计算。对于容量为第Ⅰ类的变压器，如系统短路阻抗大于变压器短路阻抗的 5%时，短路电流计算同上，否则系统短路阻抗忽略不计。短路电流的峰值应按照本标准第 2.2.3 款计算。

1.2.1.3 以额定电流(主分接)下的阻抗电压表示的变压器短路阻抗的典型值，在表 1 中给出。如果需要较低的阻抗电压值，则变压器承受短路的能力须经制造厂与使用部门协商确定。

1.2.1.4 为了获得设计和试验所需的对称短路电流，应由使用部门提出系统的短路表观容量，当未提出时应按表 2 选取。

1.2.2 多绕组变压器和带有稳定绕组的变压器及带有第三绕组的自耦变压器

绕组(包括稳定绕组和辅助绕组)中的过电流应根据变压器和系统的阻抗来确定。应该考虑到来自旋转电机或其他变压器以及不同型式的系统故障可能反馈的影响。这些系统故障可以在运行中产生，例如相对地和相间的故障，都与系统及变压器的接地条件有关。每个系统的特性(至少是短路水平和零序阻抗与正序阻抗之比的范围)应由使用部门在询价及订货时提出技术要求。

表 1 具有两个独立绕组的变压器的典型的阻抗电压值

额定容量，kVA	阻抗电压，%
630 及以下	4.0
631～1250	5.0
1251～3150	6.25
3151～6300	7.15
6301～12500	8.35
12501～25000	10.0
25001～200000	12.5

注：①额定容量大于 200MVA 的变压器的典型阻抗电压应另行协商确定。

②当三相组系由几台单相变压器组成时，额定容量的值适用于三相组。

③不同额定容量及电压等级的具体阻抗电压值，见相应国家标准的规定。

表 2 系统的短路表观容量

电压等级， kV	系统最高电压， kV	系统短路表观容量， MVA
6.10	6.9.11.5	500
35	40.5	1500
60	69	3000
110	121	8000
220	242	15000
330	363	30000
500	550	43300

当变压器及系统的合成阻抗导致的过电流超过按表 1 及表 2 的数据所计算的值时，制造厂应将变压器可以承受的最大过电流通知使用部门。这时，使用部门应采取措施把短路电流限制到制造厂指明的过电流值。

三相变压器的稳定绕组应能承受由不同型式的系统故障产生的过电流，这些故障可以在运行中产生，它们与相关系统的接地条件有关。对于多绕组变压器中的辅助绕组，设计成在端子上能承受短路的能力可能是不经济的。此时，必须采用适当的方法(如采用串联电抗器，或熔断器)来限制过电流的作用。尚应注意防止在变压器与其保护装置之间的线路上发生故障。

在由单相变压器组成三相组的情况下，除非使用部门已确定将采取特别保护措施以避免相间短路外，稳定绕组应能承受其端子上的短路电流。

1.2.3 增压变压器

增压变压器的阻抗值可以很低，所以绕组中的过电流主要是由变压器安装位置处的系统特性来确定。这些特性应由用户在询价及订货时提出。

当变压器与系统的合成阻抗导致的过电流超过按表 1 及表 2 的数据所计算的值时，制造厂应将变压器可承受的最大过电流通知使用部门。这时，使用部门应采取措施将短路电流限制到制造厂指明的过电流值。

1.2.4 直接与其他电器相连的变压器

当变压器直接与其他电器相连接时，这些电器的阻抗也将限制短路电流。对变压器、系统及变压器直接相连的电器的阻抗之总和可加以考虑，这一点须由制造厂和使用部门协商确定。

如果发电机与变压器之间的连接使得相间或两相接地故障的可能性在这范围内可以忽略不计时，则上述说明也适用于发电机用变压器。
注：如果发电机与变压器系按上述情况连接，同时采用中性点接地的星形-三角形联结的发电机用变压器，那么当连接到星形联结绕组的系统发生线对地故障时，就可能发生最严重的短路情况。

1.2.5 特殊变压器

变压器承受由于运行方式或特殊使用场合(如电炉变压器及牵引变压器)所引起的频繁过电流的能力，应由制造厂与使用部门协商确定。

1.2.6 分接变换装置

当变压器有分接变换时，则分接变换装置应和绕组一样能够承载由短路产生的同样的过电流。

1.2.7 中性点端子

星形联结或曲折形联结的中性点端子，应按可能流经这个端子的最大过电流设计。

2 承受短路的能力的验证

2.1 承受短路的耐热能力

2.1.1 概述

变压器承受短路的耐热能力应根据计算验证。

2.1.2 双绕组变压器对称短路电流 I 值

三相变压器对称短路电流有效值按下式计算：

$$I = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_t + Z_a)}$$
$$Z_s = \frac{U_s^2}{S}$$

式中 I——对称短路电流，kA；
ZS——系统阻抗，每相欧姆；
US——系统额定电压；
S——系统短路表观容量，MVA。

U 和 Zt 按以下规定：

a. 对于主分接

U 为所考虑的绕组的额定电压 UN，以 kV 表示。
Zt 为折算到所考虑绕组的变压器的短路阻抗，按下式计算：

$$Z_t = \frac{U_z \cdot U_N^2}{100 \cdot S_N}$$

式中 Zt——短路阻抗，每相欧姆；
US——折算到参考温度时额定电流下的阻抗电压，以百分数表示；
SN——变压器的额定容量，MVA。

b. 除主分接外的其他分接

U 为所考虑绕组在相应分接的分接电压 (kV)。
Zt 为折算到所考虑的绕组在相应分接的短路阻抗，以每相欧姆表示。
对于第 I 类容量的变压器，如果系统的短路阻抗等于或小于变压器短路阻抗的 5%，则在计算中将其忽略不计。

2.1.3 对称短路电流 I 的持续时间

当使用部门未提出其他要求时，用于计算承受短路耐热能力的电流 I 的持续时间为 2s。
注：对于自耦变压器和短路电流超过 25 倍额定电流的变压器，经制造厂与使用部门协商后，采用的短路电流的持续时间可以小于 2s。

2.1.4 最高平均温度 θ 1 的最大允许值

以线圈的起始温度 θ 0 为基础，其值为最高允许环境温度与额定条件下电阻法测量的线圈温升之和(如果这一温升值没有得到时，亦可采用与线圈绝缘耐热等级相对应的温升)，当按 2.1.2 款所计算的电流值和 2.1.3 款的持续时间承载后，线圈任意分接的最高平均温度 θ 1 不得超过表 3 中规定的 θ 2 值。

表 3 短路后，线圈平均温度 θ 2 的最大允许值

变压器型式	绝缘的耐热等级	θ 2
-------	---------	-----

		铜	铝
油 浸 式	A	250℃	200℃

2.1.5 温度 θ 1 的计算

短路后，线圈达到的最高平均温度 θ 1 由下面公式计算而得到：

$$\theta_1 = \theta_0 + a \cdot J^2 \cdot t \cdot 10^{-3}$$

式中 θ 1——最高平均温度，℃；

θ 0——线圈的起始温度，℃，它是冷却介质的最高温度与线圈温升限值之和。例如，对于空气冷却的油浸式变压器 θ 0 为 105℃，水冷却的油浸式变压器则为 95℃；

J——短路电流密度，A/mm2；

t——持续时间，s；

a——1/2(θ 2+ θ 0)的函数，见表 4。

表 4 对应于 1/2(θ 2+ θ 0)函数的 a 值

$\frac{1}{2}(\theta_2 + \theta_0), \text{℃}$	a	
	铜 线 圈	铝 线 圈
140	7.41	16.5
160	7.80	17.4
180	8.20	18.3
200	8.59	19.1
220	8.99	—
240	9.39	—
260	9.78	—

2.1.6 多绕组变压器和带有稳定绕组的变压器及带有第三绕组的自耦变压器的对称短路电流 I 值过电流按第 1.2.2 款的规定计算。每一个线圈的最高平均温度按 2.1.3、2.1.4 及 2.1.5 款计算，其值不应超过表 3 中列出的最大允许值。

2.2 承受短路的动稳定能力

2.2.1 概述

变压器承受短路的动稳定能力由试验或参考类似变压器的试验来验证。

短路试验是特殊试验，按下述各款进行。

容量为第Ⅲ类的变压器一般不能按照本标准进行试验。

多绕组变压器和自耦变压器的试验条件，通常由制造厂与使用部门协商确定。

2.2.2 短路试验前变压器的条件

2.2.2.1 如无其他规定，试验应在可投入运行的新变压器上进行。短路试验期间，对变压器性能不产生影响的附件(例如可拆卸的冷却器)可以不安装。

2.2.2.2 应在做完 GB1094.1—85《电力变压器 第一部分 总则》规定的出厂试验之后再进行短路试验。

如绕组带有分接，必须在短路试验所在的分接位置上测量电抗，需要时也对电阻进行测量。

所有电抗测量达到的复验性应在±0.2%以内。

试验报告包括出厂试验的结果，在短路试验开始前应备齐。

2.2.2.3 短路试验开始时，线圈的平均温度应在 0～40℃。

2.2.3 双绕组变压器的短路电流峰值 $\bar{I}$

非对称试验电流的第一个峰值按下式计算：

$$\bar{I} = IK\sqrt{2}$$

式中对称短路电流 I 按本标准第 1.2.1.2 项和 2.1.2 款确定。

系数 $K\sqrt{2}$ 由 X/R 的比值确定。

其中：X 为变压器的电抗与系统的电抗之和($X_t + X_s$)，以 Ω 表示。

R 为变压器的电阻与系统的电阻之和 ($R_t + R_s$), 以 Ω 表示。

如无其他规定, 系数 $K\sqrt{2}$ 限制到 $1.8\sqrt{2}=2.55$ 。

表 5 规定了对于不同 X/R 值的 $K\sqrt{2}$ 值。

表 5 系数 $K\sqrt{2}$ 的值

X/R	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	≥ 14
$K\sqrt{2}$	1.5.1	1.64	1.76	1.95	2.09	2.19	2.27	2.38	2.46	2.55

对于第 I 类容量的变压器且 $Z_s \leq 0.05Z_t$ (见 1.2.1.2 项和 2.1.2 款), X 和 R 仅与变压器 (X_t 和 R_t) 有关。当 $Z_s > 0.05Z_t$, X 和 R 与变压器和系统有关 ($X_t + X_s$ 和 $R_t + R_s$)。

注: 当 $Z_s \leq 0.05Z_t$ 时, 可用 U_x 和 U_r 代替 X_t 和 R_t (用于主分接)。

其中: U_z 为参考温度下变压器的阻抗电压, 以百分数表示;

U_x 为 U_z 的无功分量, 以百分数表示;

U_r 为参考温度下的 U_z 的有功分量, 以百分数表示。

2.2.4 双绕组变压器的短路试验电流的值和持续时间

非对称电流的第一个峰值 $\hat{I}$ (如果短路试验电流的持续时间足够长的话) 将变化到对称电流 I。

试验中所得到的峰值电流偏离规定值应不大于 5%, 而对称短路电流偏离规定值应不大于 10%。短路试验电流的持续时间按本标准第 2.2.5.4 项的规定。

2.2.5 双绕组变压器短路试验方法

2.2.5.1 为了按 2.2.4 款的要求得到试验电流, 电源的空载电压可高于施加电压绕组的额定电压。绕组的短路可在变压器另一绕组施加电压之后亦可在施加电压之前 (预先短路) 进行, 前者电压不应超过绕组额定电压的 1.15 倍。

在单同心式线圈的变压器预先短路时, 为了避免铁心的饱和, 应将电压施加于远离铁心的一个绕组, 而将靠近铁心的绕组短路。不然的话, 试验最初的几个周波中将会产生过大的磁化电流并叠加于短路电流上。

对交叠式线圈或者双同心式线圈的变压器, 经制造厂与使用部门协商后, 才能使用预先短路的方法。

2.2.5.2 为了在被试的相线圈中获得短路电流的起始峰值, 合闸时应使用同步开关来调节。

为了验证试验电流 $\hat{I}$ 和 I 值, 这些电流应使用示波图加以记录。

为了在三个相线圈中的一个线圈中获得最大的非对称电流, 应在该相线圈的电压过零时合闸。

注: ①对于星形联结绕组, 当相电压过零合闸时, 可以得到最大的非对称值。峰值电流 $\hat{I}$ 的系统 K, 可根据线电流的示波图确定。对于三角形联结绕组的三相试验, 这个条件可以在线电压过零时合闸得到。在预先调整试验期间, 以最大调试线电压过零时合闸是确定系数 K 的一种方法。此时, 可以从线电流的示波图中找到系数 K。确定三角形联结绕组相电流的另一个方法是将测量线电流的各个互感器的二次绕组适当地相互连接。可利用示波图记录相电流值。

② 对属于第 I 类容量星形-曲折形联结的恒磁通调压的变压器, 当 $U_x/\leq 3$ (见 2.2.3 款) 时, 三相可同时合闸而不使用同步开关。对于其他的星形-曲折形联结的变压器, 合闸的方式须经制造厂与使用部门协商确定。

2.2.5.3 对于三相变压器, 试验时应使用三相电源, 只要满足本标准第 2.2.4 款的要求即可。如情况与此不同, 则下述单相电源可以使用。对于三角形联结的绕组, 单相电源应施加在三角形的两个角上, 试验期间该单相电源的电压应等于三相试验时的相间电压。对于星形联结绕组, 单相电源施加于一个线端与其余两个连在一起的线端上。试验期间, 单相电压必须等于三相试验时相间电压的 $\sqrt{3}/2$ 倍。

注: ①单相电源主要用于第 II 类和第 III 类容量变压器的短路试验, 很少用于第 I 类容量变压器的短路试验。

②对于分级绝缘的星形联结变压器, 需要检查中性点绝缘是否能满足单相试验的要求。

③对于星形联结绕组, 如采用上述的单相试验, 电源容量不足而中性点是可以利用时, 则经制造厂与使用部门协商一致后, 单相试验可以在线端与中性点间进行。

2.2.5.4 在没有特定的技术规范的情况下, 对于单相变压器应进行三次试验, 其中一次为 100% 最大非对称电流, 其他二次应不低于 75% 最

大非对称电流值；对于三相变压器，每相的试验次数均为三次，其中一次应为 100%最大非对称电流。不包括用小于 70%的规定电流进行的预先调整试验。该试验用来检验试验装备的固有特性，如合闸时间、电流调整、衰减及持续时间。

对于第 I 类容量的变压器，每次试验的持续时间为 0.5s，其容许偏差为 $\pm 10\%$ 。单相变压器如无其他规定，应在不同的分接位置上做三次短路试验，即一次在最大电压比分接上，一次在主分接上，一次在最小电压比分接上。

对于三相变压器当采用单相电源时，应做九次短路试验，每一铁心柱上进行 3 次。如无其他规定，带有分接的变压器的短路试验，对每一铁心柱应在不同分接位置上进行。即在旁侧的一个铁心柱上，用最高电压比的分接位置进行 3 次；在中间心柱上，用主分接位置进行 3 次；在另一个旁侧的铁心柱上，用最低电压比的分接进行 3 次。当采用三相电源时，应做 3 次短路试验，并应在三个铁心柱的不同分接位置上进行。

对于第 II 类和第 III 类容量的变压器，其试验次数、每次试验的持续时间以及试验所在分接位置均须由制造厂与使用部门协商确定。

2.2.6 故障探测和短路试验结果的判断

2.2.6.1 短路试验前，应按本标准第 2.2.2 款要求进行测量和试验，气体继电器(如果有)亦应观察。这些测量和试验用作寻找故障的参考。

2.2.6.2 每次试验期间(其中包括预备试验)应对以下项目进行示波图记录：

施加电压(线端间)；

电流(见 2.2.5.2 项的注)。

另外，对被试变压器尚须进行目测检查。

注：可以使用补充寻找故障的方法，例如，用附加线圈法取得辐射的杂散磁通的示波记录，从噪声得来的信息。还有，特别是采用记录油箱(将油箱绝缘起来)与地之间电流的方法。

2.2.6.3 每次试验后，应对试验期间取得的示波图记录和气体继电器加以观察，并需测量短路电抗。

注：①可以使用补充寻找故障的方法，如测量电阻，将脉冲电压的示波图与起始阶段得到的示波图相比较(重复脉冲示波图法)，以及空载试验的测量(用于寻找匝间短路故障)等。

②试验前后所作测量结果间的差异可作为确定可能有缺陷的依据。在连续试验过程中，应特别注意观察每次试验后测量电抗的变化，这一电抗值可能是递增的也可能趋向于达到一个稳定的值。

2.2.6.4 试验完成后，应检查变压器和气体继电器(如果有)，应分析短路电抗测量结果和试验的不同阶段所摄取的示波图，以寻找出试验过程中出现的异常现象，尤其是短路电抗所显示的变化。

在这个阶段，对于第 I 类和第 II 或第 III 类变压器应采用下述不同的方法。

a. 第 I 类变压器

重复全部出厂试验。

除非经制造厂与使用部门协商，规定有较高的电压值外，出厂绝缘试验电压应为原试验电压值的 85%。

然后将变压器吊心，检查器身，以便能够发现可能的表面缺陷。如引线位置变动，尽管这种变动不妨碍变压器通过出厂试验，但它可能危及变压器的安全运行。

如满足下面的三条要求，则认为变压器经短路试验合格。

(a) 重复出厂试验全部合格；

(b) 短路试验的结果，短路试验期间的测量和吊心检查没有发现缺陷(如线圈连接线和支撑件结构等的明显位移、变形或放电痕迹)；

(c) 在试验完成后测量的电抗值和原先的测量值之差：

对具有圆形同心式线圈的变压器不大于 2%，然而在低压线圈是用金属箔绕制的变压器及对于阻抗电压为 3%或以上的变压器，可取不大于 4%的值。

对于具有非圆形的同心式线圈的变压器，其阻抗电压为 3%或以上者不大于 7.5%，经制造厂与使用部门协商 7.5%的值可以降低，但不低于 4%。

注：对于阻抗电压低于 3%的非圆形同心式线圈的变压器，其电抗的最大变化范围不能用普通的方法加以规定。对某些结构的经验表明，达到 $(22.5 \sim 5U_z)\%$ 的变化对这种变压器是可接受的， U_z 是以百分数表示的阻抗电压。

如果满足了短路试验合格的三条要求，则将变压器恢复到它的起始状态。同时为证明变压器适于运行所需要的任何进一步的出厂试验则在产品出厂前重复进行。

如果这三条要求中任何一条不合格，则根据情况，需要拆卸变压器以确定上述条件的变化原因。

b. 第 II 类和第 III 类变压器

重复出厂试验通常是在短路试验之后进行的，但是根据制造厂与使用部门之间的协议它可以推迟到检查完成后再进行。除非经制造厂与使用部门协商，规定有较高的电压值外，则重复出厂绝缘试验的电压值应为原试验电压值的 85%。

注：如果变压器最初是按 GB 1094.3—85《电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验》方法 2 进行的绝缘试验，则感应耐压试验所施加的电压应由制造厂与使用部门协商确定。

变压器应进行吊心，检查器身，如果满足下面两条的要求，则认为变压器经短路试验合格。第一，短路试验期间的测量，短路电抗的测量，同时在吊心检查中都没有发现表面缺陷(如线圈连线和支撑结构等的位移、变形或放电痕迹)；第二，重复出厂试验合格。对电抗测量值的任何差异的判断，需经制造厂与使用部门协商决定。

如上述证明短路试验合格的两条要求中任何一条不合格，应对变压器进行更详细的检查。必要时，应将变压器部分或全部拆卸。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械工业部和水利电力部提出。

本标准由沈阳变压器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。

本标准主要起草人王肇平、凌愍。

自本标准实施之日起，原 GB 1094—79《电力变压器》中有关内容作废。