

ICS号: 29.180  
中国标准文献分类号: K 41

# 团 体 标 准

全国团体标准信息平台

T/31SEAMTA000003-2019

短路试验变压器

short-circuit test transformer

全国团体标准信息平台

2019-01-10 发布

2019-01-28 实施

上海电器行业协会 发布



1901284680615

## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 型号及含义 .....	3
4.1 型号的组成形式 .....	3
4.2 产品型号字母排序及含义 .....	3
5 技术要求 .....	3
5.1 产品优先数系列 .....	3
5.2 电气性能要求 .....	4
5.3 机械性能要求 .....	5
5.4 热性能要求 .....	5
5.5 组件配置及要求 .....	6
6 试验项目及方法 .....	7
6.1 例行试验 .....	7
6.2 型式试验 .....	7
6.3 特殊试验 .....	9
6.4 现场试验 .....	9
7 包装、存储、运输、现场安装要求 .....	9
8 铭牌及运行要求 .....	9
附录 A (资料性附录) 电抗电阻比 $X/R$ 的计算 .....	11
附录 B (规范性附录) 相似短路试验变压器的确定 .....	12
附录 C (资料性附录) 绕组短时平均温升估算 .....	13
附录 D (资料性附录) 特殊操作冲击试验接线原理 .....	14

## 前言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由上海电器行业协会、正泰电气股份有限公司联合提出。

本标准由上海电器行业协会归口。

本标准起草单位：正泰电气股份有限公司、甘肃电器科学研究院、苏州电器科学研究院股份有限公司、中国电力科学研究院、上海电力科学研究院、山东省产品质量检验研究院、湖南电器检测所有限公司、国网电力科学研究院实验验证中心、沈阳变压器研究院股份有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司、西安孚信能源工程有限公司、国机集团中联西北工程设计院、中国启源工程设计研究院有限公司。

本标准主要起草人：李锦彪、黄华、刘刚、李平、陈奎、王琳、魏本刚、董强、李斌、洪深、关庆罡、郝宇亮、段丽萍、翟西平、李威。

本标准系首次发布。

全国团体标准信息平台

## 引言

本标准编制的主要目的在于建立一个关于短路试验变压器的产品标准，以供用户、设计院、制造方等相关方来共同遵守。

理解并执行本标准，有利于制造方为用户提供高可靠性的短路试验变压器。

短路试验变压器大多数设计成单相的，通过其外部端子形成不同的联结方式（如串联、并联、Y接、D接），可满足单相或三相电力设备的过电流试验要求；短路试验变压器也有设计成三相的，一般用于三相电力设备的过电流试验。

对于一次或二次绕组存在串联联结的短路试验变压器，当在相应的绕组端进行雷电全波冲击试验(LI)和雷电截波冲击试验(LIC)时，在不同绕组之间的连接点可能会出现远高于入波值的振荡电压，变压器内部相应部位的主、纵绝缘设计可能由此决定。

短路试验变压器的试验运行时间一般很短，绕组温升不会成为影响其可靠性的因素。对于需要长时空载运行或带负荷运行的短路试验变压器而言，铁心的温升不应被忽视。

短路试验变压器的工作常态为频繁承受过电流，此运行特性是与电力变压器的显著区别，短路试验变压器频繁承受短路的能力，尤其是动稳定能力应引起制造方以及用户足够的重视。

# 短路试验变压器

## 1 范围

本标准规定了短路试验变压器的型号及含义、技术要求、试验项目及方法、包装、运输、存储及现场安装要求、铭牌及运行要求。

本标准适用于三相及单相液浸式短路试验变压器。

注：干式短路试验变压器可参考本标准执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.1 电力变压器 第1部分：总则

GB/T 1094.2 电力变压器 第2部分：液浸式变压器的温升

GB/T 1094.3 电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 1094.5 电力变压器 第5部分：承受短路的能力

GB/T 1094.10 电力变压器 第10部分：声级测定

GB/T 6451 油浸式电力变压器性能参数和技术要求

GB/T 4109 交流电压高于1000V的绝缘套管

GB/T 10230.1 分接开关 第1部分：性能要求和试验要求

GB/T 10230.2 分接开关 第2部分：应用导则

## 3 术语和定义

GB/T 1094.1 中界定的以及下列术语与定义适用于本标准。

### 3.1

**短路试验变压器** short-circuit test transformer

用于变压器、气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）、断路器等电力设备短路试验或大电流开断及关合试验的中间电源变压器。

### 3.2

**发电机短路试验变压器** short-circuit test transformer energized by generator

一次侧接发电机电压输入，二次侧输出规定电压的短路试验变压器。

### 3.3

**网络短路试验变压器** short-circuit test transformer energized by power grid

一次侧接电网电压输入，二次侧输出规定电压的短路试验变压器。

## 3.4

**额定工作制 rated duty cycle**

短路试验变压器的通断电时间及短时工作容量为某一规定的运行方式。

## 3.5

**额定短路容量 rated short-circuit power**

短路试验变压器按额定工作制运行时所允许的最大短时工作容量。

## 3.6

**额定长时容量 rated long-time power**

短路试验变压器长期运行时所允许的最大长时工作容量。

## 3.7

**基准容量 based power**

进行负载损耗及负载温升试验时作为试验基准的容量。

注：基准容量概念的引入，主要是为了规定负载损耗测量及负载温升测量时的容量基准，不一定具备实际的物理意义。

基准容量可依据额定工作制及等效的热效应来折算，其数值可以等于额定长时容量，也可以不等于。

## 3.8

**最大额定电压 the maximum value of the rated voltage input or output**

短路试验变压器一次侧或二次侧所输入或输出规定额定电压集（不同电压组合时的一系列额定电压）中的最大值。

注：单相短路试验变压器的额定电压指相电压，三相短路试验变压器的额定电压指线电压。

## 3.9

**试验电流 test current**

被试品（如变压器、气体绝缘金属封闭开关设备、断路器等电力设备）按额定工作制进行短路试验或大电流开断及关合试验时，允许频繁通过短路试验变压器的最大稳态工作电流。

## 3.10

**故障电流 fault current**

一次侧施加规定的额定电压，二次侧出口端因故发生直接短路时通过短路试验变压器的稳态电流。

## 3.11

**故障容量 fault power**

二次侧出口端因故发生直接短路时，通过短路试验变压器一次侧的故障电流与相应电压的乘积。

## 3.12

**额定磁密 rated flux density**

短路试验变压器的一次侧或二次侧施加规定的额定电压和额定频率时，铁心心柱中的磁通密度。

注1：如无特别规定，额定磁密指峰值；

注2：根据铁心结构的不同，铁心的上、下铁轭、旁轭中的磁通密度可能与铁心心柱中的不同。

## 3.13

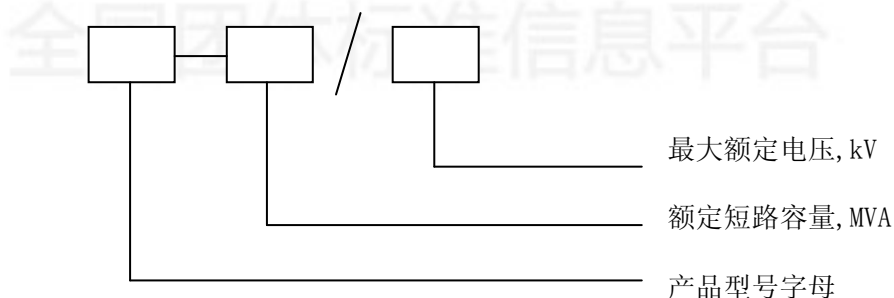
**电抗电阻比 the ratio between the reactance and resistance**

短路试验变压器中折算到某一侧的短路电抗与短路电阻的比值，记为  $X/R$ 。

## 4 型号及含义

### 4.1 型号的组成形式

短路试验变压器型号的组成形式如下所示：



### 4.2 产品型号字母排序及含义

短路试验变压器产品型号字母排列顺序及含义见表 1：

表 1 短路试验变压器产品型号字母排列顺序及含义

序号	分类	含义	代表字母
1	用途	短路试验大电流用	YL
2	相数	单相 三相	D S
3	绕组外绝缘介质	变压器油 空气(干式)	— G

注 1：短路试验变压器的冷却方式为自冷；  
注 2：短路试验变压器的绕组材质为铜。

示例：

YLD-800/345，表示一台额定短路容量为 800MVA、最大额定相电压为 345kV 的单相液浸自冷式短路试验变压器。

## 5 技术要求

### 5.1 产品优先数系列

#### 5.1.1 额定短路容量优先数系列

短路试验变压器的额定短路容量由设计院或用户根据项目需要确定，其数值宜采用系列：10MVA, 25MVA, 40MVA, 63MVA, 75MVA, 100MVA, 250MVA, 300MVA, 400MVA, 600MVA, 800MVA, 1050MVA, 1200MVA, 1350MVA, 1500MVA, 1650MVA, 1800MVA, 2000MVA 等。

注：设计院或用户根据项目需要，可选择非标的额定短路容量。

### 5.1.2 短路阻抗百分数优先数系列

短路试验变压器的短路阻抗由设计院或用户根据项目需要确定，折算至额定短路容量的短路阻抗百分数宜采用系列：6.0%，12.5%，16.7%，20.0%，25.0%，33.3%，40.0%，50.0%等。

注1：技术协议中短路试验变压器的短路阻抗一般以欧姆值的形式表示，也可能表示为基于某一容量（非额定短路容量）时的短路阻抗百分数；

注2：设计院或用户根据项目需要，可选择非标的短路阻抗百分数。

## 5.2 电气性能要求

### 5.2.1 额定频率

短路试验变压器应在工作频率 50Hz 和 60Hz 下均能正常工作且实现规定的功能。

### 5.2.2 二次侧电压

短路试验变压器的二次侧有多路电压同时输出时，如果输出电压相同，则二次侧端子应能实现规定的串、并联联结；如果输出电压不同，则二次侧端子应能实现规定的串联联结。短路试验变压器的设计应使其在规定的电压组合下均能正常运行。

不同的电压组合时，实际允许的最大短路容量可能相同，需要在铭牌上分别标识。此时，某一电压组合下实际许用短路容量的大小应以各绕组的试验电流不超过其许用值来确定。

### 5.2.3 空载损耗

相比于技术协议的要求值，在规定的频率下，短路试验变压器空载损耗的允许正偏差不应超过 15%。

注：某些情况下，空载损耗要求值的严格限制可能使短路试验变压器的其它关键性能指标的实现变得困难或整体制造变得很不经济，此时，制造方可在投标或订货阶段与用户协商合理的空载损耗要求值。

### 5.2.4 短路阻抗

相比于技术协议的要求值，在规定的频率下，短路试验变压器的短路阻抗不允许正偏差。如短路阻抗有关于负偏差范围的限制，应在技术协议中予以明确。

注1：短路试验变压器在不同的电压组合时，折算到额定短路容量下的短路阻抗百分数可能不同，因此，满足所有电压组合下短路阻抗的负偏差要求可能存在限制。此时，制造方可在投标及订货阶段与设计院、用户协商；

注2：对于采用某些结构（如多心柱串并联）的短路试验变压器，互感抗的大小是不能被忽略的。

### 5.2.5 电抗电阻比 X/R

相比于技术协议的要求值，在规定的频率下，短路试验变压器的电抗电阻比 X/R 不允许负偏差。

电抗电阻比 X/R 的计算方法参照附录 A。

注1：短路试验变压器在不同的电压组合时，电抗电阻比 X/R 的数值可能不同，因此，满足所有电压组合下电抗电阻比 X/R 的正偏差要求可能存在限制。此时，制造方可在投标及订货阶段与设计院、用户协商。

注2：电抗电阻比 X/R 的正偏差要求隐含了对负载损耗的要求。

### 5.2.6 绝缘水平

对于跨接于两相之间的单相短路试验变压器，其绕组首末端绝缘水平应一致；对于三相短路试验变压器，其绕组首末端绝缘水平可不一致。

短路试验变压器某一外部端子在试验系统中所处的位置可能是随机的、变化的，其绕组端子绝缘水平

可能高于 GB/T 1094.3 中规定的同电压等级电力变压器绕组端子的相应数值。

### 5.2.7 额定磁密

当被试品为变压器类产品时，短路试验变压器的额定磁密不宜超过 1.4T；当被试品为开关类产品时，短路试验变压器的额定磁密不宜超过 1.1T。

不同项目时，短路试验变压器额定磁密的要求值可能比上述推荐值更加严格（数值更低），应以技术协议中要求值为准。

注：短路试验变压器的额定磁密可通过励磁特性的线性度测量来间接考核。

### 5.3 机械性能要求

#### 5.3.1 短路承受能力的要求

短路试验变压器及附件应能承受下列情形下短路试验的要求：

- a) 按规定的额定短路容量施加相应的试验电流时；
- b) 按出口端直接短路施加相应的故障电流时（如有要求）；
- c) 按规定的峰值因数来确定峰值电流的大小时。

短路试验变压器承受短路的热稳定能力可通过计算的方法来验证，计算公式及结果判据按 GB/T 1094.5 中的相关规定。

短路试验变压器承受短路的动稳定能力宜通过短路试验的方法来验证。仅仅通过计算的方式来验证短路试验变压器是否具有承受短路的动稳定能力是存在风险的。

当实施短路试验存在限制时，制造方可通过提供相似短路试验变压器的短路试验报告以及该短路试验变压器的短路计算报告相结合的方式证明其承受短路的动稳定能力。

相似短路试验变压器的确定，应符合附录 B 的规定。

#### 5.3.2 机械强度的要求

如无特殊规定，短路试验变压器油箱及附件的机械强度应满足 GB/T 1094.1 以及 GB/T 6451 中的相关规定。

### 5.4 热性能要求

当短路试验变压器在规定的基准容量或额定工作制下进行负载温升试验或空载温升试验时，其各部位的温升应满足表 2 的要求。

表 2 各部位的温升限值

部 位	温升限值 (K)
变压器油顶层	55
绕组平均	65
绕组热点	78
铁心及金属结构件表面	80

注 1：实际温升限值应根据变压器运行地海拔高度及环境温度，按 GB/T 1094.2 中相关规定进行修正；  
注 2：以上温升限值适用于矿物油短路试验变压器，对于干式、天然脂绝缘油短路试验变压器，温升限制值按相应标准。

额定工作制下的绕组平均温升可通过计算的方法来验证，计算方法参见附录 C。

## 5.5 组件配置及要求

### 5.5.1 套管

套管的性能除了应满足 GB/T 4109 要求外，还应满足：

- a) 规定的绝缘水平的要求；
- b) 通过套管的最大动稳定电流、热稳定电流的要求；
- c) 额定工作制下的试验电流及持续时间的要求。

制造方应在提交给供应商的套管订货规范书中量化上述技术要求。

### 5.5.2 分接开关

分接开关的性能除了应满足 GB/T 10230.1、GB/T 10230.2 的要求外，还应满足：

- a) 规定的绝缘水平的要求；
- b) 通过分接开关的最大动稳定电流、热稳定电流的要求；
- c) 额定工作制下的试验电流及持续时间的要求。

制造方应在提交给供应商的分接开关订货规范书中量化上述技术要求。

制造方还应提供短路试验变压器在不同绝缘试验时的分接开关触头间、相间电压以及对地电位的最大数值，以作为开关供应商设计、制造及试验的重要依据之一。

### 5.5.3 散热器

短路试验变压器应采用自冷(AN)的冷却方式。所配置的散热器除了应满足规定基准容量下的温升试验的要求外，还应满足长期空载或长期负荷（如果有）以及额定工作制下运行的要求。

### 5.5.4 储油柜

短路试验变压器应配置一个储油柜，其容积应满足其在温升试验、长期负荷以及额定工作制下的体积补偿要求，并考虑环境温度的变化。

### 5.5.5 气体继电器

短路试验变压器应配置气体继电器，并置于主联管联通本体储油柜的管路上。信号接点应引出。

### 5.5.6 压力释放阀

短路试验变压器应配置至少 2 只压力释放阀，分别位于变压器长轴两端。信号接点应引出。

### 5.5.7 速动油压继电器

短路试验变压器应配置至少 1 只速动油压继电器。信号接点应引出。

### 5.5.8 测温装置

短路试验变压器应配置至少 2 只油面温控器，可以不配置绕组温控器。

### 5.5.9 其它附件

短路试验变压器其它附件的配置及要求宜按 GB/T 6451 中相同电压等级电力变压器的相关要求。

## 6 试验项目及方法

### 6.1 例行试验

短路试验变压器应在制造方的工厂进行例行试验，其试验方法、顺序及要求应按 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3、GB/T 1094.5 以及 GB/T6451 中相关规定。

短路试验变压器应实施的例行试验项目如下：

- a) 绕组频率响应测量 (FRA)；
- b) 电压比测量及联结组标号检定；
- c) 绕组电阻测量；
- d) 绕组对地及绕组间直流绝缘电阻、吸收比、极化指数测量；
- e) 介质损耗因数及绕组、套管电容测量；
- f) 液浸式变压器铁心和夹件绝缘电阻测量；
- g) 分接开关试验 (如果有)；
- h) 空载损耗和空载电流测量；
- i) 负载损耗、短路阻抗、电抗电阻比 X/R 测量；
- j) 绝缘试验项目如下：
  - 线端雷电全波冲击及雷电截波冲击试验 (LI/LIC)；
  - 操作冲击试验 (SI)；
  - 外施耐压试验 (AV)；
  - 线端交流耐压试验 (LTAC)；
  - 感应耐压试验 (IVW)；
  - 带局部放电测量的感应耐压试验 (IVPD)。
- k) 空载电流、空载电压谐波的测量；
- l) 油箱机械强度试验；
- m) 液浸式变压器压力密封试验；
- n) 绝缘液试验。

注 1：对于跨越于两相之间的单相短路试验变压器，施加规定数值的操作冲击电压 (SI) 以考核首尾之间绝缘强度时，若按常规试验方法 (一端接地，一端加压) 实施接线，可能存在其首端电位折算成工频后对地电位远大于规定工频耐压数值的情形，此时，可参见附录 D 进行操作冲击试验；

注 2：经与用户协商一致，根据产品的具体特点及运行工况，某些绝缘试验可以按型式试验实施或不实施。

### 6.2 型式试验

#### 6.2.1 声级测量

短路试验变压器仅进行空载噪声的声级测量。

短路试验变压器的声级测量方法及要求按 GB/T 1094.10 中相关规定。

#### 6.2.2 励磁特性的测量

短路试验变压器的允许过励磁电压倍数由设计院或用户根据使用条件确定，其励磁特性由线性度考核。

试验应通过施加额定频率的空载电压进行。空载电压逐级增加，每级为额定电压的 10%，直到达到规定的过电压。通过绘制空载电流  $I_0$  与空载电压  $U_0$  的关系曲线来确定线性度，曲线上任选一点与  $U_0-I_0$  坐标原点连成直线，实际曲线与该直线相交所确定的同一  $U_0$  点所对应的  $I_0$  值相差不应超过 5%。

### 6.2.3 长时间空载试验

该试验应在所有绝缘试验结束后进行。试验前，应安装好正常运行时的所配置的散热器。

试验时，在短路试验变压器的一侧施加 1.1 倍的额定电压，并持续运行 12 小时。

试验过程中，应无明显放电的声、电信号。试验前、后油中应无乙炔，总烃含量应无明显变化。

### 6.2.4 温升试验

#### 6.2.4.1 空载温升试验

空载温升试验前变压器附件的安装及环境温度的要求应符合 GB/T 1094.2 中的相关规定。

如果在不同的规定电压组合时，短路试验变压器具有不同大小的空载损耗，则空载温升试验应在具有最大空载损耗时的电压组合下进行。

短路试验变压器进行空载温升试验时的接线与测量空载损耗时接线相同。温升试验时，励磁侧施加略大于但不超过 1.1 倍的额定电压，以使此时测量的空载损耗的大小等于变压器在额定长时容量运行下的总损耗（额定电压时的空载损耗与额定长时容量下的负载损耗之和）。

试验中，要监测顶层液体和冷却介质的温度，试验需持续进行，直到液体的温升稳定为止。当顶层液体的温升变化率小于 1K/h，并至少维持 3h 时，试验可结束。如果每隔一定的时间记录离散的温度值，则读取最后 1h 内读数的平均值作为试验结果；若使用自动连续记录装置，则取最后 1h 内的平均值。

液体温升的确定应按 GB/T 1094.2 中的相关规定。

需要采用传感器（如光纤测温装置）来直接测量铁心热点温升时，传感器的探头应置于铁心的最热点部位，最热点的位置需经制造方计算且需得到用户的认可。

由于铁心热点温升的数值是基于空载励磁电压略大于额定电压时测量结果，则额定电压时的铁心热点温升宜据此测量结果向下修正。相比额定电压，励磁电压每增加 1%，热点温升宜应下修正 1K。

不具备试验条件时，经制造方与用户协商一致，铁心热点及表面温升可通过计算方式来确定。

注 1：采用光纤测温装置来测量铁心热点及表面温升时，需要用户在询价及订货阶段提出；

注 2：空载温升试验前、后应分别进行一次油中溶解气体的油色谱分析，以作为铁心是否存在局部过热或其它故障的重要判据。

#### 6.2.4.2 负载温升试验

短路试验变压器进行负载温升试验前，应规定温升试验的基准容量。基准容量的确定，宜由制造方与用户在订货阶段确定。

负载温升试验的方法及要求应按 GB/T 1094.2 中的相关规定。

注：经制造方与用户协商一致后，负载温升试验可以不进行。

#### 6.2.4.3 工作制温升试验

如试验条件许可，短路试验变压器宜进行规定工作制下的温升试验；如不具备试验条件，经制造方与用户协商一致，短路试验变压器在工作制下的温升可通过计算来确定。

注：如短路试验变压器需要在第三方实验室进行工作制下的温升试验，则用户应在询价及订货阶段提出。

### 6.3 特殊试验

短路试验变压器关于其短路承受能力的试验可视为型式试验来实施。短路试验变压器进行短路试验的方法、要求及判据应按 GB/T 1094.5 中的相关规定。

当短路试验变压器用于变压器类产品的短路试验时，应按最大故障容量进行短路试验；当短路试验变压器仅仅用于开关类产品大电流通断及关合试验时，宜按铭牌标识的额定短路容量进行短路试验。

短路试验时，对于发电机短路试验变压器，发电机的内阻抗应被计入；对于网络短路试验变压器，网络端的线路阻抗应被计入。

对于存在不同电压组合的短路试验变压器，在不同电压组合时，通过各绕组的短路电流可能是不相同的，此时，应在各绕组通过最大短路电流的情形下分别进行短路试验。

注：制造方应提供短路试验变压器各绕组在不同电压组合时的短路电流，从而可确定各绕组可能通过的最大短路电流，并以此为依据来确定短路试验应在哪一个或哪一些电压组合下进行。

### 6.4 现场试验

短路试验变压器的现场试验项目如下：

- a) 绕组频率响应测量 (FRA)；
- b) 电压比测量及联结组标号检定；
- c) 绕组电阻测量；
- d) 绕组对地及绕组间直流绝缘电阻、吸收比、极化指数测量；
- e) 介质损耗因数及绕组、套管电容测量；
- f) 液浸式变压器铁心和夹件绝缘电阻测量；
- g) 电抗电阻比 X/R 测量；
- h) 带局部放电测量的感应耐压试验 (IVPD)；
- i) 按铭牌额定短路容量的 60%~80%进行短路试验。

注：根据用户现场条件，结合产品运行工况（如运行中可能出现的各种过电压），用户可选择在现场实施其认为有必要进行的其它绝缘试验。

## 7 包装、存储、运输、现场安装要求

短路试验变压器的包装、存储、运输及现场安装的要求应按电力变压器相关标准规定执行。

## 8 铭牌及运行要求

短路试验变压器应设有铭牌，铭牌材料应不受气候影响，并且固定在明显可见位置。铭牌内容除了满足 GB/T 1094.1 中相关规定外，还应包含如下信息：

——额定短路容量；

- 额定长时容量；
- 试验电流；
- 故障电流；
- 额定工作制。

短路试验变压器运行时，不应超越铭牌规定的内容，包括额定工作制所限定的范围。

全国团体标准信息平台

全国团体标准信息平台

附录 A  
(资料性附录)  
电抗电阻比 X/R 的计算

短路试验变压器二次侧出口短路时（如实验室进行短路阻抗测量时）的“一”型等效电路见图 A.1:

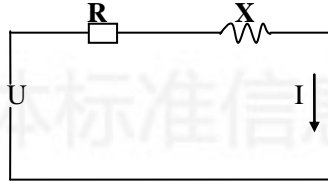


图 A. 1

图 A. 1 中,

U—一次侧电压,单位伏特(V);

I— 试验电流, 单位安培(A);

X—短路试验变压器一、二次绕组的折合到一次侧的短路电抗, 单位欧姆( $\Omega$ );

R—短路试验变压器一、二次绕组的折合到一次侧的短路电阻, 单位欧姆( $\Omega$ ).

短路试验变压器的电抗电阻比 X/R 计算如下:

$$\frac{X}{R} = \frac{I^2 X}{I^2 R} = \frac{I^2 X}{P_k} = \frac{IU}{P_k} \frac{U_x(\%)}{100} = \frac{S}{P_k} \frac{U_x(\%)}{100} \quad \dots\dots\dots(A.1)$$

$$\frac{U_x(\%)}{100} = \sqrt{\left(\frac{U_k(\%)}{100}\right)^2 - \left(\frac{U_r(\%)}{100}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(A.2)$$

$$\frac{U_r(\%)}{100} = \frac{P_k}{S} \quad \dots\dots\dots(A.2)$$

上式(A. 1)、(A. 2)、(A. 3)中,

$\frac{X}{R}$  — 短路试验变压器的电抗电阻比;

$\frac{U_x(\%)}{100}$  —基于额定短路容量的短路电抗百分数;

$\frac{U_r(\%)}{100}$  —基于额定短路容量的短路电阻百分数;

$\frac{U_k(\%)}{100}$  —基于额定短路容量的短路阻抗百分数;

S—额定短路容量, 单位千伏安(kVA);

$P_k$ —折算到额定短路容量下的负载损耗, 单位千瓦(kW)。

示例:

一台额定短路容量为 600MVA 短路试验变压器, 折算至 600MVA 时的短路阻抗百分数为 46.7%, 折算至 600MVA 时的负载损耗为 9865kW, 则该台短路试验变压器的电抗电阻比  $X/R=600000/9865 \times ((46.7\%)^2 - (9865/600000)^2)^{0.5}=28.4$ 。

## 附录 B

(规范性附录)

### 相似短路试验变压器的确定

如果一台短路试验变压器与另一台被当作参考的短路试验变压器的下列特征全部相同，则该台变压器可以看作与参考变压器相类似：

- 1) 运行方式相同，如发电机短路试验变压器、网络短路试验变压器；
- 2) 线圈结构相同，如干式、液浸式、带有同心绕组的心式、交叠式、壳式、圆形线圈、非圆形线圈；
- 3) 铁心结构相同，如单相单心柱、单相双心柱、单相四心柱、三相三柱、三相五柱；
- 4) 绕组数相同，如双绕组、三绕组、四绕组；
- 5) 器身数相同，如单器身、双器身、三器身；
- 6) 不同心柱绕组间连接方式相同，如串联、并联、串并混合连接；
- 7) 调压方式及实现方法相同，如无调压、无励磁调压、有载调压、调压通过内部或外部实现；
- 8) 所有绕组（包含调压绕组）的物理排列和几何分区顺序相同；
- 9) 绕组导线的类型相同，如扁线、组合导线、非自粘换位导线、自粘性换位导线；
- 10) 绕组绕制的类型相同，如层式、螺旋式、连续式；
- 11) 短路时实际的短路试验容量为参考变压器的 30%~130%；
- 12) 短路时轴向力和绕组的应力不超过参考变压器的 120%；
- 13) 制造工艺过程相同或更优；
- 14) 固定和支撑方式相同。

全国团体标准信息平台

## 附录 C

(资料性附录)

## 绕组短时平均温升估算

绕组在额定工作制下的短时平均温升的估算可参考 GB/T 1094.5 中规定的公式，即

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{\frac{106000}{J^2 \times t} - 1} \text{(铜绕组)}$$

式中：

$\theta_1$ —绕组短路  $t$  (s) 后的平均温度，单位为摄氏度 (°C)；

$\theta_0$ —绕组短路前的起始温度，单位为摄氏度 (°C)；

$J$ —短路电流密度，单位为安每平方毫米 (A/mm<sup>2</sup>)，按稳态对称短路电流的方均根值计算出；

$t$ —持续时间，单位为秒 (s)。

注：上述公式对于短路持续时间  $t$  不超过 10s 时有效。

对于按某一特定的工作制运行的短路试验变压器，按上式计算绕组平均温升时，应把一个周期内上一个阶段通电后的绕组短路平均温度视为下一个通电阶段的绕组起始温度，以此类推积累。整个计算过程把绕组视为一个绝热系统，尽管绕组的散热是存在的。

## 附录 D

(资料性附录)

## 特殊操作冲击试验接线原理

当跨接于两相之间的单相短路试验变压器需要考核其首尾端之间耐受操作冲击电压的能力时，若仍然采用电力变压器相关标准规定的接线方法（绕组一端接地，另一端施加电压），则可能使变压器绕组首端对地及其它绕组的绝缘电压太高（折算后远超对应的工频耐压水平），此时，可采用如下图 D.1 所示的特殊操作冲击试验接线方法。

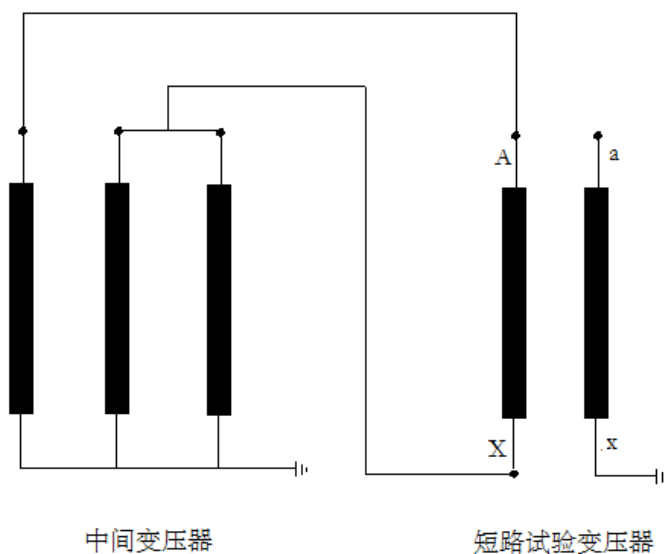


图 D.1 特殊操作冲击试验接线原理

图 D.1 中，中间变压器应是至少一侧带有三角形联结绕组的，此时，其铁心为三相三柱或三相五柱均可。如果中间变压器一次侧或二次侧均没有三角形联结绕组，则其铁心应为三相三柱。

试验的原理是当在中间变压器某一相的某一侧绕组施加相对地的操作冲击电压  $U$  时，则会在该相与其它两相（此两相需短接）对应的绕组之间感应出近似  $1.5U$  的电压差。将此  $1.5U$  的电压差施加于被试短路试验变压器绕组的首末端，可考核其首尾端耐受规定操作冲击电压的能力。

注 1：中间变压器施加操作冲击耐压时，在中间相（物理位置上位于中间铁心柱的那一相）励磁可能会获得更接近预期的波形；

注 2：施加到被试短路试验变压器首尾端的操作冲击电压是通过中间变压器的电磁感应获得的。因此，该电压波形并不一定是标准的操作冲击电压波形。试验人员可通过调试，使该波形尽可能接近标准规定。