

目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 前 言 | II |
| 1 范围 | 3 |
| 2 规范性引用文件 | 3 |
| 3 术语和定义 | 3 |
| 4 使用条件 | 4 |
| 4.1 正常使用条件 | 4 |
| 4.2 特殊使用条件 | 4 |
| 5 技术要求 | 5 |
| 5.1 外观与结构要求 | 5 |
| 5.2 电气性能要求 | 5 |
| 5.3 控制与保护功能要求 | 6 |
| 5.4 机械性能要求 | 6 |
| 5.5 冷却系统要求 | 6 |
| 5.6 电磁兼容要求 | 6 |
| 5.7 可靠性要求 | 7 |
| 6 试验方法 | 7 |
| 6.1 外观与结构试验 | 7 |
| 6.2 电气性能试验 | 7 |
| 6.3 控制与保护功能试验 | 8 |
| 6.4 机械性能试验 | 8 |
| 6.5 冷却系统试验 | 8 |
| 6.6 电磁兼容试验 | 8 |
| 6.7 可靠性试验 | 8 |
| 7 检验规则 | 8 |
| 7.1 检验分类 | 8 |
| 7.2 检验项目 | 8 |
| 7.3 批次 | 9 |
| 7.4 抽样 | 9 |
| 7.5 出厂检验 | 9 |
| 7.6 型式检验 | 9 |
| 7.7 判定规则 | 9 |
| 8 标志、包装、运输、贮存和技术文件 | 9 |
| 8.1 标志 | 9 |
| 8.2 包装 | 10 |
| 8.3 运输 | 10 |
| 8.4 贮存 | 10 |
| 8.5 技术文件 | 10 |

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

电力电子变压器通用技术要求及性能测试方法

1 范围

本文件规定了电力电子变压器（以下简称“变压器”）的术语和定义、使用条件、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于电力电子变压器。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 37.1 绝缘配合 第一部分：定义、原则和规则
- GB 4208 外壳防护等级
- GB 51215 通信高压直流电源设备工程设计规范
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 311.1 高压输变电设备的绝缘配合
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验B：高温
- GB/T 2423.3 - 2006 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验方法
- GB/T 2423.4 电工电子产品基本环境试验规程试验Db：交变湿热试验方法
- GB/T 2900.1 电工术语 基本术语
- GB/T 9254.1 信息技术设备、多媒体设备和接收机电磁兼容第1部分：发射要求
- GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14598.26 量度继电器和保护装置第26部分：电磁兼容要求
- GB/T 16927.1 高电压试验技术 第一部分：一般试验要求
- GB/T 16927.1.2 高压试验技术
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 40097 能源路由器功能规范和技术要求
- JB/T 14260 电能路由器技术条件
- JB/T 14261 电能路由器试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电力电子变压器 power electronic transformer

以电力电子技术为核心，通过电力电子器件实现电能的电压等级变换、频率变换、交直流变换，并具备电气隔离功能的电力设备。

3.2

功率模块 power module

实现电力电子变压器电能变换、保护功能的独立运行单元，由电力电子器件、驱动电路、保护电路等组成。

3.3

宽压型输出 wide range of output voltages

由多个电力电子变压器功率模块组合而成，实现电压升降、功率传输的功能单元。

3.4

模组 module

电压在某个范围内线性、连续可调。

3.5

待机损耗 standby loss

电力电子变压器处于待机运行状态（无负载输出、控制电路正常工作）时的功率损耗。

3.6

故障穿越 fault ride-through

电力电子变压器在电网或自身出现故障时，维持部分功能正常运行或在故障清除后快速恢复正常运行的能力。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

- 4.1.1 环境温度：-25℃~55℃，环境温度最大变化率不超过 1℃/min，最大日温差不超过 30K。
- 4.1.2 相对湿度：在 25℃时，相对湿度为 5%~95%，无凝露、无结冰；日平均相对湿度不超过 95%，月平均相对湿度不超过 90%。
- 4.1.3 污秽等级：不低于 D 级。
- 4.1.4 大气压力：70kPa~106kPa。
- 4.1.5 地震烈度：不低于Ⅷ度。
- 4.1.6 电源条件：输入电压偏差不得超过±10%，频率偏差不得超过±1%；电压波形畸变率不超过 5%（正弦波）。

4.2 特殊使用条件

- 4.2.1 高海拔环境（海拔超过 1000m）：变压器的温升限值应按 GB/T 1094.11 的规定进行修正；外绝缘水平应符合 GB 311.1 的规定，进行相应提升。
- 4.2.2 高温环境（环境温度超过 55℃）：应采取强化冷却措施，确保变压器各部件温度不超过规定限值；容量可根据实际环境温度进行修正，修正系数由制造商提供。
- 4.2.3 低温环境（环境温度低于-25℃）：应采取防冻措施，确保控制电路、冷却系统正常工作；电力电子器件的工作温度应满足其技术要求。

5 技术要求

5.1 外观与结构要求

5.1.1 外观质量

变压器的外观应满足下列要求：

- a) 设备外壳表面应平整光滑，无明显划痕、变形、锈蚀及涂层脱落现象；
- b) 金属零部件表面处理应均匀，无毛刺、裂纹及损伤；
- c) 标识、铭牌应清晰牢固，不易褪色；
- d) 所有外露紧固件应采用防松措施，且镀层均匀，无锈蚀。

5.1.2 结构要求

变压器的结构应满足下列要求：

- a) 设备结构应具有足够的机械强度，能承受正常安装、运输和运行时的机械应力；
- b) 内部元器件布局应合理，便于维护和检修，强弱电回路应有效隔离；
- c) 布线应整齐有序，导线标识清晰，固定牢固，绝缘层无损伤；
- d) 冷却系统管路连接应牢固密封，无渗漏现象，管路布置不影响其他部件维护；
- e) 门、盖板等可开启部件应具有可靠的锁紧装置，开启角度应不小于 90° ，且设有位置限位装置；
- f) 中压侧应设置防带电误开门联锁装置，当设备处于带电状态时，联锁装置应能可靠锁闭对应侧门体，防止误操作开启；门体开启后应能切断对应侧电源，确保维护人员安全。

5.2 电气性能要求

5.2.1 转换效率

变压器在额定容量下的转换效率不应低于其等级对应的最小值；在50%额定容量下的转换效率，不应低于其额定容量下效率的95%。

5.2.2 待机损耗

变压器的待机损耗不应超过整机额定容量的0.05%；待机状态下，控制电路应正常工作，唤醒响应时间不超过100ms。

5.2.3 电压调整率

变压器在额定负载范围内（0~100%额定容量），输出电压调整率应不大于 $\pm 2\%$ （相对于额定输出电压）；负载突变（从0到100%额定容量或从100%到0）时，输出电压波动幅度应不超过额定输出电压的 $\pm 5\%$ ，波动恢复时间不超过50ms。

5.2.4 谐波抑制

5.2.4.1 输入侧谐波电流：在额定工况下，输入侧总谐波畸变率（THD）应不超过5%，奇次谐波电流畸变率（THD_v）应不超过4%，偶次谐波电流畸变率应不超过2%，符合GB/T 14549-1993的规定。

5.2.4.2 输出侧谐波电压：在额定工况下，输出侧总谐波畸变率（THD）应不超过3%，符合GB/T 12325-2008的规定。

5.2.5 功率因数

在额定容量下，输入侧功率因数应不低于0.95（滞后或超前）；可根据用户需求，实现功率因数的连续可调，可调范围为0.95（滞后）~0.95（超前）。

5.2.6 绝缘性能

5.2.6.1 绝缘电阻：高压绕组对低压绕组、高压绕组对地、低压绕组对地的绝缘电阻，在25℃、相对湿度50%条件下，应不小于1000M Ω ；采用2500V兆欧表测量，测量时间不少于1min，无击穿、闪络现象。

5.2.6.2 介电强度：变压器应能承受规定的工频耐压试验和冲击耐压试验，试验后无击穿、闪络、过热现象，符合 GB 311.1 和 GB/T 16792 的规定。

5.2.6.3 电气间隙和爬电距离：高压侧电气间隙和爬电距离应符合 GB/T 11022 和 DL/T 1216 的规定；低压侧应符合 GB 5226.1 的规定。

5.3 控制与保护功能要求

5.3.1 控制功能

5.3.1.1 电压控制：可实现输出电压的手动调节和自动调节，自动调节精度不低于 $\pm 1\%$ ；具备电压稳定控制功能，当输入电压波动或负载变化时，输出电压保持稳定。

5.3.1.2 频率控制：对于需要频率变换的变压器，可实现输出频率的连续可调，可调范围为 $50\text{Hz} \pm 10\%$ （特殊要求可另行规定），频率控制精度不低于 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

5.3.1.3 功率控制：具备输出功率控制功能，功率控制精度应不大于目标功率的 $\pm 5\%$ ；可根据电网需求，实现有功功率和无功功率的独立调节。

5.3.1.4 通信功能：具备 RS485、Modbus、以太网等至少两种通信接口，可实现远程监测、控制和参数设置；通信协议应符合相关行业标准，通信稳定性可靠，数据传输延迟不超过 100ms。

5.3.2 保护功能

5.3.2.1 过流保护：当输入或输出电流超过额定电流的 1.2 倍时，应在 100ms 内发出报警信号；超过额定电流的 1.5 倍时，应在 50ms 内切断故障回路，保护设备安全。

5.3.2.2 过压保护：当输入或输出电压超过额定电压的 1.15 倍时，应发出报警信号；超过额定电压的 1.3 倍时，应立即切断电源，防止设备损坏。

5.3.2.3 欠压保护：当输入电压低于额定电压的 0.85 倍时，应发出报警信号；低于额定电压的 0.7 倍时，应切断电源，避免设备欠压运行。

5.3.2.4 过热保护：当变压器内部温度超过规定限值（根据器件特性确定）时，应发出报警信号，并自动启动冷却强化措施；温度持续升高超过极限值时，应切断电源。

5.3.2.5 短路保护：当发生短路故障时，应在 10ms 内切断故障回路，防止故障扩大；短路故障清除后，可手动或自动恢复运行。

5.3.2.6 故障穿越保护：具备电网电压暂降、暂升等故障的穿越能力，具体要求见附录 B；故障穿越期间，应保持设备不损坏，故障清除后快速恢复正常运行。

5.3.2.7 保护记忆与查询：所有保护动作应记录故障类型、故障时间、故障参数等信息，记录保存时间不小于 1 年，可通过通信接口或本地操作面板查询。

5.4 机械性能要求

5.4.1.1 结构强度：变压器的外壳、支架等结构件应具备足够的机械强度，能承受运输、安装过程中的冲击和振动，无变形、损坏；振动加速度应不超过 5m/s^2 （运行时）。

5.4.1.2 防护等级：外壳防护等级应不低于 IP54（户外使用）或 IP42（户内使用），符合 GB/T 4208 的规定；户外使用的变压器，还应具备防雨、防尘、防腐蚀功能。

5.4.1.3 安装要求：变压器应具备标准化的安装接口，安装方便、牢固；安装尺寸应符合相关行业标准，便于维护和检修。

5.5 冷却系统要求

5.5.1.1 冷却方式：可采用风冷（AF）、水冷（WF）或油冷（OF）方式，冷却系统应与变压器的容量、损耗匹配，确保在额定工况下，各部件温度不超过规定限值。

5.5.1.2 智能调节：冷却系统应具备根据变压器内部关键器件温度或实时输出功率智能调整冷却强度的功能，实现节能运行；冷却风机、水泵等部件应具备启停自动控制功能。

5.5.1.3 故障保护：冷却系统应具备故障监测功能，当冷却风机、水泵等部件发生故障时，应发出报警信号，并自动切换至备用冷却方式（如有）；无备用冷却方式时，应降低变压器输出容量，直至停机保护。

5.6 电磁兼容要求

5.6.1.1 骚扰限值：变压器的电磁骚扰应符合 GB 4824 和 GB/T 14598.26 的规定，射频骚扰、传导骚扰限值应满足相关等级要求。

5.6.1.2 抗扰度：变压器应具备一定的电磁抗扰度，能承受静电放电、射频电磁场辐射、电快速瞬变脉冲群、浪涌等电磁干扰，符合 GB/T 17626 系列标准的规定；干扰过后，设备应能正常工作，无异常、无损坏。

5.7 可靠性要求

5.7.1 平均无故障工作时间（MTBF）：不小于 20000h。

5.7.2 平均修复时间（MTTR）：不大于 2h。

5.7.3 使用寿命：在正常使用条件下，变压器的设计使用寿命不小于 15 年；关键部件（电力电子器件、控制器等）的使用寿命不小于 10 年。

6 试验方法

6.1 外观与结构试验

6.1.1 外观质量检查

采用目测法检查设备外壳、零部件表面质量及标识清晰度、外露紧固件是否有防松措施以及涂层锈蚀情况。

6.1.2 结构检查

6.1.2.1 采用目测或工具测量，检查内部布局、布线、紧固件、门盖装置是否符合本文件中 5.1.2 的规定。

6.1.2.2 带电锁闭测试：中压侧施加额定电压，使设备处于带电状态，尝试手动开启中压侧门体，验证联锁装置是否能可靠锁闭，门体无法强制开启。

6.1.2.3 开门断电测试：在设备带电状态下，解锁开启门体，检查中压侧电源能否迅速切断并报警。

6.2 电气性能试验

6.2.1 转换效率试验

转换效率试验应在额定输入电压、额定频率及额定冷却条件下进行，采用精度不低于 0.2 级的功率分析仪同时测量被测设备输入与输出三相有功功率，分别在 100% 额定容量和 50% 额定容量负载点稳定运行后读取数据，取多次测量平均值，按输出有功功率与输入有功功率的比值计算转换效率。

6.2.2 待机损耗试验

将变压器置于待机状态（无负载输出、控制电路正常工作），测量其输入功率，即为待机损耗；测量结果应符合 5.2.2 的规定。

6.2.3 电压调整率试验

在额定输入电压、额定频率下，分别测量空载（0%额定容量）、50%额定容量、100%额定容量下的输出电压，计算电压调整率；进行负载突变试验，测量输出电压波动幅度和恢复时间，试验结果应符合 5.2.3 的规定。

6.2.4 谐波抑制试验

在额定工况下，采用谐波分析仪测量输入侧谐波电流和输出侧谐波电压，记录总谐波畸变率和各次谐波畸变率，测量结果应符合 5.2.4 的规定。

6.2.5 功率因数试验

在额定输入电压、额定频率、额定容量下，采用功率因数表测量输入侧功率因数；调节负载，测量不同负载下的功率因数，验证功率因数可调范围，试验结果应符合 5.2.5 的规定。

6.2.6 绝缘电阻测量

采用2500V兆欧表，分别测量高压绕组对低压绕组、高压绕组对地、低压绕组对地的绝缘电阻，测量时间不少于1min，记录测量值；测量结果应符合5.2.6.1的规定。

6.2.7 介电强度试验

6.2.7.1 工频耐压试验：在高压绕组与低压绕组之间、高压绕组对地、低压绕组对地施加规定的工频试验电压（根据额定电压确定），试验时间为1min，无击穿、闪络、过热现象，符合GB/T 16792-2011的规定。

6.2.7.2 冲击耐压试验：施加规定的冲击试验电压（全波或截波），冲击次数为3次，无击穿、闪络现象，符合GB 311.1的规定。

6.2.8 电气间隙和爬电距离试验

高压侧电气间隙和爬电距离试验应符合GB/T 11022和DL/T 1216的规定；低压侧试验应符合GB 5226.1的规定。

6.3 控制与保护功能试验

6.3.1 控制功能试验

分别测试电压控制、频率控制、功率控制、通信功能，验证控制精度、调节范围和通信稳定性；手动调节和自动调节均应正常工作，通信数据传输准确、无丢失，试验结果应符合5.3.1的规定。

6.3.2 保护功能试验

模拟过流、过压、欠压、过热、短路等故障场景，测试保护功能的动作准确性和响应时间；保护动作应可靠、及时，故障记录清晰，试验结果应符合5.3.2的规定。

6.4 机械性能试验

6.4.1 结构强度试验：对变压器进行冲击、振动试验，冲击加速度为 10m/s^2 ，振动频率为10~100Hz，试验后检查结构件无变形、损坏，部件无松动。

6.4.2 防护等级试验：按照GB/T 4208的规定，进行防尘、防水试验，试验后检查变压器内部无灰尘、无进水，电气性能正常。

6.5 冷却系统试验

启动冷却系统，测试冷却强度调节功能和故障保护功能；模拟冷却部件故障，验证备用冷却方式（如有）的有效性和保护动作的可靠性，试验结果应符合5.5的规定。

6.6 电磁兼容试验

按照GB 4824-2013、GB/T 14598.26-2015和GB/T 17626系列标准的规定，进行电磁骚扰限值测试和电磁抗扰度测试，试验结果应符合5.6的规定。

6.7 可靠性试验

采用加速寿命试验或长期运行试验的方式，测试变压器的平均无故障工作时间（MTBF）和平均修复时间（MTTR）；试验时间不少于1000h，试验期间无故障运行，试验结果应符合5.7的规定。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 检验项目

检验项目如表1所示。检验项目可经供需双方协商确定。

表 1 检验项目

| 项目 | 试验项目 | 出厂检验 | 型式检验 |
|-----------|-------------|------|------|
| 外观与结构 | 外观检查 | √ | √ |
| | 结构检测 | | √ |
| 电气性能 | 转换效率试验 | | √ |
| | 待机损耗试验 | | √ |
| | 电压调整率 | √ | √ |
| | 谐波抑制试验 | √ | √ |
| | 功率因数试验 | | √ |
| | 试验绝缘电阻测量 | | √ |
| | 介电强度试验 | √ | √ |
| | 电气间隙和爬电距离试验 | | √ |
| 控制与保护功能试验 | 控制功能试验 | | √ |
| | 保护功能试验 | | √ |
| 机械性能 | | | √ |
| 冷却系统 | | | √ |
| 电磁兼容性 | | √ | √ |
| 可靠性 | | | √ |

7.3 批次

同一型号规格每批 ≤ 50 台时，按实际数量为一个批次； > 50 台时，每50台为一个批次；若单批次生产数量不足50台，以实际生产数量为一个批次。

7.4 抽样

同一生产批次抽取3台。

7.5 出厂检验

每台产品都应进行出厂试验。出厂试验时，只有一项不合格，允许返修后复试，复试一次仍不合格，则为试验不合格。试验合格后，填写试验记录并且出具合格证方能出厂。

7.6 型式检验

当有下列情况出现时，应进行型式检验：

- 新产品或老产品转厂的定型鉴定试验；
- 当产品的设计、工艺或所用材料的改变会影响产品性能时；
- 产品长期停产后恢复生产时；
- 出厂试验结果与上次型式试验有较大差异时；
- 用户提出特殊要求，经制造商同意时；
- 试验时，如果每个产品只有一项不合格，允许返工重试一次。如复试仍不合格，则判定该产品为不合格品。

7.7 判定规则

抽样试验有任一项不合格时，应对不合格试验项目进行加倍抽样试验，如仍不合格，应进行100%检验，其中合格的产品可以提供交货。

8 标志、包装、运输、贮存和技术文件

8.1 标志

8.1.1 产品外包装上应有明显的标志，标志应包含下列内容：

- 产品名称及商标；
- 生产商名称；
- 执行产品标准编号；

T/CWDPA XXX—XXXX

- d) 生产日期;
- e) 生产(产品)编号;
- f) 净重。

8.1.2 固态变压器应有明显的标识,宜放在显著位置,且保证铭牌字迹在整个使用期内不易磨灭,铭牌应包含下列内容:

- a) 产品名称、型号、商标或产品代号;
- b) 产品主要技术参数;
- c) 出厂(产品)编号;
- d) 制造日期(批号);
- e) 制造厂名、厂址;
- f) 使用年限。

8.2 包装

8.2.1 包装储运的图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

8.2.2 产品包装应符合 GB/T 13384 的规定。

8.3 运输

8.3.1 包装好的户内使用产品,在运输过程中,温度应在: $-25^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度不大于 90%。

8.3.2 产品在运输过程中,不应有剧烈振动、撞击、倾斜或倒置。某些部件对运输有特殊要求时应注明,以便运输时采取措施,对于 50kg 以上的设备,包装上须给出设备重心的标识,便于运输和搬运。

8.4 贮存

8.4.1 包装好的产品应贮存在温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于 90% 的环境中。

8.4.2 周围空气中不含有腐蚀性、火灾及爆炸性物质的室内。如附带有水冷却设备,应排出试验时残留的冷却水。产品运到工地后,应按制造厂规定贮存,长期存放时应按产品技术条件进行维护。

8.5 技术文件

随同产品供应的技术文件包括:

- a) 装箱清单;
 - b) 产品使用维护说明书;
 - c) 安装说明书;
 - d) 产品质量合格证;
 - e) 电气接线图;
 - f) 电气原理图;
 - g) 出厂检验记录;
 - h) 交货明细表;
 - i) 保修卡;
-