

# 《固态变压器通用设计导则》

(征求意见稿)

## 编制说明

### 一、工作简况

#### (一) 任务来源

本项目根据中国欧洲经济技术合作协会 2026 年团体标准制定计划，项目名称为《固态变压器通用设计导则》项目计划号 T/CEATEC-2026-115 的任务而进行制订。

#### (二) 起草单位及主要起草人

本文件起草单位：镇江加勒智慧电力科技股份有限公司、哈尔滨变压器有限责任公司。

本文件主要起草人：马见雄、陈思远、朱恩元、金勇、钱同来，董锡山。

#### (三) 标准制定目的和意义

从产业角度分析，制定《固态变压器通用设计导则》团体标准的目的和意义主要体现在以下几个方面：

##### 1. 目的

制定本文件的核心目的是填补我国在固态变压器通用设计领域的标准空白。当前，固态变压器凭借其功率密度高、控制灵活、交直流多端口接入能力强以及易于实现电能质量调节等优势，已成为新型电力系统、数据中心供配电、新能源接入、直流配电及轨道交通等领域的重要电力电子装备。然而，由于缺乏针对固态变压器总体架构、主电路拓扑、关键参数选取、绝缘配合、热管理、保护控制、电磁兼容、接口配置及可靠性设计等方面的通用指导，行业内产品在设计边界、功能配置、模块划分、器件选型、隔离与接地、安全防护、环境适应性及可维护性等方面缺乏统一依据，导致不同产品技术路线差异较大，系统协同设计难度高，工程验证要求不一致，产品安全性、可靠性及互换兼容性难以得到有效保障。

本文件旨在统一固态变压器的分类与端口形式、总体设计原则、使用条件、参数声明与设计边界、系统架构、结构防护、绝缘安全、功率变换、热管理、运行性能、控制保护、通信监测、网络安全、可靠性与可维护性以及设计验证等方面的通用要求，为固态变压器的产品设计、设备选型、技术验证和工程应用提供明确的技术依据，推动我国固态变压器技术的规范化设计、工程化实施和规模化应用。

## 2. 意义

本文件的发布实施将有效提升固态变压器设计的安全性、可靠性、适用性和可维护性。通过统一分类与端口形式、参数声明与设计边界、系统架构、绝缘与接地、功率变换、中频或高频隔离、热管理、控制保护、通信监测及设计验证等方面的通用要求，可减少不同技术路线和产品方案之间的设计差异，降低系统集成与工程应用风险，提高设备运行性能和故障处置能力，为固态变压器在复杂运行条件下的长期稳定运行提供保障。

从产业发展角度看，本文件填补了我国固态变压器通用设计标准的空白，进一步完善了先进电力电子装备标准体系。标准的实施将引导企业规范产品设计和技术验证，推动功率模块、中频或高频隔离变压器、控制保护装置、冷却系统等关键部件向高效率、高功率密度、高可靠性和模块化方向发展，提升固态变压器产品的设计制造水平。同时，统一的设计原则和验证要求将有力支撑固态变压器在新型电力系统、数据中心供配电、新能源接入、直流配电、轨道交通及储能等领域的工程化应用，促进相关产业规范有序发展。

## （四）主要工作过程

### 1. 前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集相关的材料。同时，标准编制小组安排相关人员，多次与相关行业人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2026年4月23日本团体标准由中国欧洲经济技术合作协会正式立项，立项名称为：《固态变压器通用设计导则》。

## 2. 标准起草过程

2026 年 4 月，团体标准立项通知公示后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于 2026 年 5 月初完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

## 二、标准编制原则和依据

### （一）编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，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》的规定及相关要求编制。

### （二）标准主要内容与确定依据

#### 1. 标准主要内容

##### 1.1 范围

本文件规定了固态变压器的分类与端口形式、总体设计原则、使用条件、参数声明与设计边界、系统架构设计、结构机械与防护设计、绝缘安全接地与残余能量设计、功率变换与中频或高频隔离设计、热管理设计、运行性能设计、控制保护与继电保护配合设计、通信监测与网络安全设计、可靠性与可维护性设计、设计验证与试验分级等内容。

本文件适用于固态变压器的设计、选型和验证。

##### 1.2 规范性引用文件

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 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 7354 高电压试验技术 局部放电测量

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 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第2部分：测量系统

GB/T 16935.1 低压供电系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验

GB/T 16935.4 低压系统内设备的绝缘配合 第4部分：高频电压应力考虑事项

GB/T 20626.1 特殊环境条件 高原电工电子产品 第1部分：通用技术要求

GB/T 20626.3 特殊环境条件 高原电工电子产品 第3部分：雷电、污秽、凝露的防护要求

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 25070 信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求

GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：定义、信息和一般原则

GB/T 42151（所有部分） 电力自动化通信网络和系统

### 1.3 术语和定义

规定了固态变压器、功率模块、中频或高频隔离变压器、旁路保护、模块自动旁路共5个核心术语。

### 1.4 缩略语

本文件涉及的缩略语包括：绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、集成门极换流晶闸管（IGCT）、平均故障间隔时间（MTBF）、平均修复时间（MTTR）、脉冲宽度调制（PWM）、碳化硅（SiC）和固态变压器（SST）。

### 1.5 分类与端口形式

固态变压器可按拓扑级数、端口形式和运行方式进行分类，设计文件宜明确其具体分类，不宜仅以拓扑级数作为完整分类依据。

### 1.6 总体设计原则

固态变压器设计宜遵循安全可靠、高效低损耗、模块化、可维护、环境适应和网络安全协同原则，结合应用场景统筹确定系统拓扑、器件选型、绝缘散热、控制保护及通信方案，并采用闭环设计方法进行验证和优化。

### 1.7 使用条件

固态变压器应在规定的温度、湿度、海拔及环境条件下设计和运行，特殊环境下宜采取绝缘、温升、防护及降额措施，并明确电网接入要求和设备自身的运行边界。

### 1.8 参数声明与设计边界

固态变压器设计文件宜明确主要技术参数和设计边界，并根据运行方式、负载点及试验条件分别声明效率、过载能力、故障限流能力和环境降额边界。

### 1.9 系统架构设计

固态变压器系统架构宜结合端口形式、拓扑级数、容量电压等级和运行控制目标，合理配置功率接口、隔离能量传输、控制保护及辅助电源层，并明确各层功能边界和故障隔离、旁路或降级运行方式。

### 1.10 结构、机械与防护设计

固态变压器结构、机械与防护设计宜统筹电气安全、热管理、机械可靠性和维护安装需求，合理布置并可靠固定各部件，并根据使用环境采取相应的外壳防护、耐候、防腐及通风散热措施。

### 1.11 绝缘、安全、接地与残余能量设计

固态变压器绝缘、安全、接地与残余能量设计宜统筹外部及内部绝缘配合、高频电压应力、过电压防护、接触防护和保护接地要求，并对储能单元设置预充、放电、验电及残余能量警示措施。

### 1.12 功率变换与中频隔离设计

固态变压器功率变换与中频隔离设计宜结合电压容量等级、开关频率、损耗与可靠性要求合理选取功率器件，做好模块均压均流及热平衡设计，并统筹中频或高频隔离变压器的频率、绝缘、绕组、屏蔽、冷却和局部放电控制。

### 1.13 热管理设计

固态变压器热管理设计宜围绕主要发热部件开展损耗、温升、热点及寿命校核，合理确定冷却方式和监测保护措施，并在冷却异常时实施告警、降额运行或停机保护。

#### 1.14 运行性能设计

固态变压器运行性能设计宜根据并网、离网、构网及微电网等应用需求，合理配置有功无功控制、电压支撑、功率因数调节、并离网切换和电能质量治理等功能，并明确谐波、直流分量、稳压稳流、动态响应、输出过冲及故障恢复等性能指标和试验条件。

#### 1.15 控制、保护与继电保护配合设计

固态变压器控制与保护设计宜根据运行方式配置相应的功率控制、模式切换和故障处理功能，建立覆盖过欠电压、过电流、短路、过载、过温、绝缘、接地、冷却及通信异常的保护体系，并统筹快速保护、模块隔离旁路、降额运行及上下级继电保护配合。

#### 1.16 通信、监测与网络安全设计

固态变压器通信、监测与网络安全设计宜满足站控、调度、运维和调试需求，配置标准化通信接口和运行状态监测功能，明确数据点表、刷新周期、对时、告警及事件记录要求，并对远程通信、控制和升级过程实施身份认证、权限管理、数据保护、日志留痕及异常恢复。

#### 1.17 可靠性与可维护性设计

固态变压器可靠性与可维护性设计宜基于应用场景、负载特性、环境条件和维护要求建立任务剖面，明确设计寿命、寿命限制部件及可靠性指标，采用适当方法开展寿命预测与校核，并通过模块化、可更换设计及完善的故障诊断和维护文件提升设备可维护性。

#### 1.18 设计验证与试验分级

固态变压器设计验证宜覆盖结构、电气安全、绝缘协调、运行性能、热管理、保护、通信、网络安全、电磁兼容、环境适应性和可靠性等方面，并根据产品阶段和应用条件合理划分设计评审、计算仿真、样机试验、型式试验、例行试验、出厂试验及现场试运行等验证层级。

## 2. 确定标准主要内容的依据

标准各项技术要求主要依据固态变压器及相关电力电子装备的成熟工程经验、现行标准、行业共识和典型应用需求确定。分类与系统架构部分结合单级、两级、三级及混合型拓扑的技术特点，以及交流、直流和多端口应用形式进行规定；使用条件和环境适应性要求参考电工电子设备的常规运行条件，并依据 GB/T 20626.1、GB/T 20626.3 等标准对高海拔、污秽、凝露及其他特殊环境下的绝缘修正、防护和降额设计作出指导。绝缘、安全与接地部分依据 GB/T 1094.3、GB/T 16935.1、GB/T 16935.4、GB/T 7354 及 GB/T 16927 系列标准，重点考虑直流母线、中频或高频隔离环节承受的重复脉冲电压、高  $dv/dt$ 、局部放电和共模电压应力。功率变换与隔离设计部分结合 IGBT、SiC、IGCT 等功率器件的工程应用特性，以及中频或高频隔离变压器在损耗、温升、绝缘、集肤效应和寄生参数等方面的设计经验确定。热管理要求依据功率半导体模块、隔离变压器、电抗器、电容器及连接部件的损耗和寿命特性，规定温升校核、热点监测、冷却异常告警、降额和停机保护等内容。运行性能指标结合并网接入、电能质量、微电网、储能和新能源应用需求确定，并与 GB/T 12325、GB/T 12326、GB/T 14549、GB/T 15543 和 GB/T 15945 等标准衔接。控制保护、通信监测和网络安全要求参考电力自动化系统及网络安全通用要求，分别与 GB/T 42151、GB/T 22239 和 GB/T 25070 相协调。可靠性与可维护性要求基于同类电力电子装备的寿命分析和运行维护经验，采用设计寿命、MTBF、MTTR 及寿命限制部件声明方式进行表征；设计验证要求则通过计算、仿真、样机、型式、例行、出厂和现场试运行等分级方式，对结构、电气安全、绝缘、性能、热管理、保护、电磁兼容、环境适应性和可靠性进行系统验证。

## 三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

编制组在标准起草过程中，联合国内固态变压器研发制造单位、电力电子器件企业、高校科研机构及相关应用单位，对标准草案中的主要设计要求和关键技术指标进行了分析论证与验证。选取不同电压等级、容量等级、拓扑结构和冷却方式的典型固态变压器样机或功率模块，在实验室及工程应用条件下开展设计验证。验证内容包括系统架构与端口功能验证、功率变换性能测试、中频或高频隔离变压器绝缘与局部放电

试验、效率与损耗测试、温升及热管理验证、并网与离网运行性能测试、动态响应与模式切换试验、故障限流与模块旁路验证、控制保护及继电保护配合试验、通信监测与网络安全功能检查，以及高低温、湿热、振动、电磁兼容等环境适应性试验。

验证结果表明，符合设计要求的样机在绝缘安全、功率变换、热管理、运行性能、控制保护及环境适应性等方面能够满足标准要求，标准提出的设计原则、参数声明内容和验证方法总体合理，能够为固态变压器产品设计、技术评审和工程验证提供指导。部分设计方案在模块均压均流、中频或高频隔离绝缘、局部放电控制、热平衡、故障旁路、保护配合及通信安全等方面仍存在不足，本文件的实施将有助于规范设计过程，减少因设计边界不清和验证不充分造成的产品质量与运行风险。

从技术经济角度看，本文件统一了固态变压器在分类与端口形式、系统架构、绝缘安全、功率变换、热管理、运行性能、控制保护、通信监测、可靠性及设计验证等方面的通用设计要求，可减少企业重复论证和试制投入，降低设备选型、系统集成及工程验收中的沟通与争议成本，促进功率器件、中频或高频隔离变压器、控制保护装置和冷却系统等产业链环节协同发展。预计本文件实施后，将推动固态变压器向高效率、高功率密度、高可靠性、模块化和智能化方向发展，提升国产装备在新型电力系统、数据中心、新能源接入、直流配电、储能及轨道交通等领域的工程应用能力。同时，统一的设计验证与试验分级要求将为产品检测、技术评价和质量认证提供依据，降低用户选型与应用风险，产生良好的经济效益和社会效益。

#### **四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

#### **五、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

#### **六、废止现行有关标准的建议**

本标准不涉及对现行标准的废止。

#### **七、知识产权情况说明**

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

## 八、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

## 九、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

本标准首次制定，没有特殊要求。

## 十、其他应予说明的事项

无。

《固态变压器通用设计导则》团体标准编制组

2026 年 7 月