

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

光储充一体化固态变压器（能量路由 器）技术规范

Specification for multi-axis cooperative motion control and dynamic
performance test of five-axis CNC machine tools

（征求意见稿）

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统结构与功能	2
4.1 系统结构	2
4.2 系统功能	2
5 工作条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 电源条件	3
6 技术要求	3
6.1 额定值	3
6.2 电气性能	3
6.3 温升限值	4
6.4 绝缘水平	4
6.5 保护功能要求	4
6.6 电磁兼容性	4
6.7 光伏输入性能	5
6.8 储能接口性能	5
6.9 电动汽车充电接口性能	5
6.10 通信与监控性能	5
6.11 外壳防护等级	6
7 试验方法	6
7.1 试验条件	6
7.2 一般检查	6
7.3 电气性能试验	6
7.4 温升试验	6
7.5 绝缘性能试验	7
7.6 保护功能试验	7
7.7 电磁兼容性试验	7
7.8 光伏输入性能试验	7
7.9 储能接口性能试验	8
7.10 电动汽车充电接口性能试验	8
7.11 通信与监控性能试验	8
7.12 外壳防护等级试验	8
7.13 环境适应性试验	8

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由特变电工电气装备集团有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：特变电工电气装备集团有限公司、西安西电电力电子有限公司、江苏华辰变压器股份有限公司、上海广电电气（集团）股份有限公司、北京中研华采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：赵道德、白世军、高冬、陈静、张宇航、石楠、乐志斌、夏卫彬。

光储充一体化固态变压器（能量路由器）技术规范

1 范围

本文件规定了光储充一体化固态变压器（能量路由器）的系统结构与功能、工作条件、技术要求和试验方法。

本文件适用于接入交流额定电压10 kV及以下配电网、光伏直流侧电压不超过1500 V、储能系统电压等级不超过1500 V、电动汽车充电端口额定输出电压不超过1000 V（直流）的光储充一体化固态变压器设备。

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/T 1094.11 电力变压器 第11部分：干式变压器
- 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 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db： 交变湿热（12h+12h循环）
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法
- 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 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 第3部分：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 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 第11部分：对每相输入电流小于或等于16 A设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验
- GB/T 19964 光伏电站接入电力系统技术规定
- GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术要求
- GB/T 35707 水电厂标识系统编码导则
- DL/T 645 多功能电能表通信协议
- NB/T 33001 电动汽车非车载传导式充电机技术条件
- NB/T 33008.1 电动汽车充电设备检验试验规范 第1部分：非车载充电机
- IEC 60076-3 电力变压器 第3部分：绝缘水平介质测试和空气中的外部间隙（Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air）
- IEC 61850 电力设施自动化的通信网络和系统 全部（Communication networks and systems for power utility automation - ALL PARTS）

3 术语和定义

GB/T 1094.11、GB/T 34120、GB/T 35707、NB/T 33001界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

固态变压器 solid-state transformer;SST

基于电力电子变换技术和高频变压器实现电能变换的新型电力变压器，具备电压变换、电气隔离、功率因数调节、谐波抑制、双向功率流动控制等功能。

3.2

能量路由器 energy router

融合固态变压器技术，具有计算、通信、精确控制、远程协调、自治及即插即用接入能力，实现分布式电源、储能系统、电动汽车充电负荷与电网之间能量的智能调度与管理的电力电子装置。

3.3

光储充一体化 integrated photovoltaic-storage-charging

将光伏发电系统、储能系统和电动汽车充电系统通过同一电气接口集成的系统配置方式。

3.4

直流母线 DC bus

固态变压器内部连接各个功率变换单元的共同直流环节，用于汇集和分配直流电能。

4 系统结构与功能

4.1 系统结构

光储充一体化固态变压器（能量路由器）采用三级式功率变换拓扑结构，由输入级、隔离级和输出级三部分组成，其中隔离级采用高频变压器实现电气隔离。

4.2 系统功能

固态变压器（能量路由器）应具备以下功能：

a) 电能变换功能：

- 1) 交流10 kV/380 V的双向电压变换与功率传输；
- 2) 交流与直流之间的双向功率变换；
- 3) 不同直流电压等级之间的变换。

b) 能量管理功能：

- 1) 光伏发电最大功率点跟踪（MPPT）；
- 2) 储能系统充放电管理；
- 3) 电动汽车充电功率控制；
- 4) 并网/离网运行模式自动切换；
- 5) 各端口功率的协调分配与削峰填谷。

c) 电能质量治理功能：

- 1) 无功功率补偿；
- 2) 谐波抑制（有源滤波功能）；
- 3) 三相不平衡调节。

d) 保护功能：

- 1) 过电压/欠电压保护；
- 2) 过电流保护；
- 3) 短路保护；
- 4) 过温保护；
- 5) 孤岛保护；
- 6) 防逆流保护（按需配置）。

e) 通信与监控功能：

- 1) 具备与上级能量管理系统（EMS）的通信接口；
- 2) 具备本地及远程监控能力；
- 3) 支持实时数据采集、运行状态显示和故障告警。

5 工作条件

5.1 环境条件

固态变压器在下列环境条件下应能正常工作：

- a) 环境温度：-25℃～50℃；
- b) 相对湿度：≤95%（无凝露）；
- c) 海拔高度：≤2000 m（超过2000 m时应按GB/T 1094.11的规定降容使用）；
- d) 安装场所：无剧烈振动和冲击、无导电及爆炸性尘埃、无腐蚀性气体的室内或户外场所。

5.2 电源条件

- a) 电网侧：额定电压10 kV，频率50 Hz；
- b) 电压偏差：±10%；
- c) 频率偏差：±2%；
- d) 三相电压不平衡度：≤4%。

6 技术要求

6.1 额定值

固态变压器的额定值应符合表1的规定。

表1 额定值参数表

参数名称	额定值	允许偏差
交流高压侧额定电压	10 kV	±10%
交流低压侧额定电压	380 V	±10%
直流母线额定电压	1500 V DC	±5%
光伏输入额定电压	1500 V DC	—
储能接口额定电压	1500 V DC	±10%
充电输出额定电压	200 V~1000 V DC	—
额定频率	50 Hz	±2%
额定容量（功率等级）	500 kW/1 MW/2 MW	±5%
开关频率	≥20 kHz	—

6.2 电气性能

固态变压器的电气性能应符合表2的规定。

表2 电气性能要求

技术指标	要求	备注
电压总谐波畸变率 (THD _u)	≤3%	并网运行时，GB/T 14549
电流总谐波畸变率 (THD _i)	≤5%	额定功率运行条件下
功率因数	≥0.99	额定负载，可调节范围-0.9~0.9
输出电压偏差	≤±3%	稳态运行时
三相电压不平衡度	≤2%	GB/T 15543
电压波动与闪变	$P_{st} \leq 1.0, P_{lt} \leq 0.8$	GB/T 12326
额定效率	≥97%	满载运行条件下
轻载效率（20%负载）	≥93%	—
功率密度	≥28 W/L	—
待机功耗	≤额定功率的0.5%	空载待机状态
输出电压精度	≤±1%	直流端口稳压精度

输出电流精度	$\leq \pm 1\%$	直流端口稳流精度
--------	----------------	----------

6.3 温升限值

固态变压器的温升限值应符合表3规定。

表3 温升限值

部件	温升限值 (K)	测量方法
高频变压器绕组 (绝缘等级F级)	≤ 100 K	电阻法
高频变压器绕组 (绝缘等级H级)	≤ 125 K	电阻法
功率开关器件 (IGBT/SiC) 结温	≤ 150 °C	热传感器
铁心 (硅钢片/非晶合金)	≤ 80 K	温度计法
内部环境空气	≤ 60 K	热电偶法
接线端子	≤ 65 K	热电偶法
外壳	≤ 40 K (可触及金属表面)	热电偶法

6.4 绝缘水平

固态变压器的绝缘水平应符合表4的规定。

表4 绝缘水平

项目	试验电压 (kV, 有效值)	持续时间	判定要求
工频耐受电压 (10 kV侧对地及相互间)	28 kV	1 min	无击穿、无闪络
工频耐受电压 (380 V侧对地及相互间)	3 kV	1 min	无击穿、无闪络
工频耐受电压 (1500 V直流侧对地)	5 kV	1 min	无击穿、无闪络
雷电冲击耐受电压 (10 kV侧)	75 kV (峰值)	1.2/50 μ s, 正负极性各3次	无击穿、无闪络
雷电冲击耐受电压 (380 V侧)	6 kV (峰值)	1.2/50 μ s, 正负极性各3次	无击穿、无闪络
绝缘电阻 (各独立电路之间及对地)	≥ 10 M Ω	500 V/1000 V兆欧表	符合要求

6.5 保护功能要求

固态变压器的保护功能应符合表5的规定。

表5 保护功能要求

保护类型	动作阈值	动作时间	恢复方式
交流过电压保护	$\geq 110\%$ 额定电压	≤ 100 ms	自动/手动
交流欠电压保护	$\leq 85\%$ 额定电压	≤ 100 ms	自动/手动
过频率保护	≥ 50.5 Hz	≤ 100 ms	自动/手动
欠频率保护	≤ 49.5 Hz	≤ 100 ms	自动/手动
过电流保护	$\geq 120\%$ 额定电流	≤ 50 ms	自动
短路保护	$\geq 200\%$ 额定电流	≤ 5 ms	自动
过温保护	≥ 85 °C (散热器)	≤ 10 s	自动恢复
孤岛保护	电网失电后	≤ 2 s	自动
防逆流保护 (可选)	功率反向	≤ 500 ms	自动
直流过电压保护	$\geq 110\%$ 额定直流电压	≤ 100 ms	自动
直流欠电压保护	$\leq 80\%$ 额定直流电压	≤ 100 ms	自动

6.6 电磁兼容性

固态变压器的电磁兼容性应符合表6的规定。

表6 电磁兼容性要求

试验项目	试验等级
静电放电抗扰度	接触放电±6 kV，空气放电±8 kV
射频电磁场辐射抗扰度	10 V/m(80 MHz~2.7 GHz)
电快速瞬变脉冲群抗扰度	±2 kV（电源端口），±1 kV（信号端口）
浪涌（冲击）抗扰度	线—线±1 kV，线—地±2 kV
射频场感应的传导骚扰抗扰度	10 V(0.15 MHz~80 MHz)
电压暂降和短时中断抗扰度	0%~70%额定电压

6.7 光伏输入性能

固态变压器的光伏端口应符合表7的规定。

表7 光伏输入性能要求

参数名称	要求
最大直流输入电压	≤1500 V
MPPT电压范围	200 V~1500 V
MPPT效率	≥99.5%
最大输入电流	按额定容量配置
允许反极性输入	具备反接保护

6.8 储能接口性能

固态变压器的储能接口应符合表8的规定。

表8 储能接口性能要求

参数名称	要求
额定直流电压	1500 V
电压工作范围	800 V~1500 V
充放电转换时间	≤200 ms
直流分量	≤0.5%额定输出电流
均流不平衡度（多模块并联）	≤±5%

6.9 电动汽车充电接口性能

固态变压器的电动汽车充电接口应符合表9规定。

表9 充电接口性能要求

参数名称	要求
额定输出电压	200 V~1000 V DC
额定输出电流	按额定容量配置（典型值：250 A/500 A）
输出电压设定误差	≤±0.5%
输出电流设定误差	≤±1%
稳压精度	≤±0.5%
稳流精度	≤±1%
纹波系数	≤±1%（有效值），≤±5%（峰值）
充电效率	≥94%

6.10 通信与监控性能

固态变压器的通信与监控性能应符合表10的规定。

表10 通信与监控性能要求

项目	要求
通信接口	至少具备RS485、以太网接口，可选配CAN、光纤接口
通信协议	支持Modbus RTU/TCIEC 61850、DL/T 645
数据刷新率	遥测量≤1 s，状态量≤500 ms
历史数据存储	至少保存90天运行数据
远程升级	具备远程固件升级功能

人机界面	本地彩色触摸屏，支持实时数据显示、参数设置、故障记录查询
时钟同步	具备GPS/北斗或网络时间同步功能，同步精度 ≤ 1 ms

6.11 外壳防护等级

固态变压器的外壳防护等级应符合表11的规定。

表11 外壳防护等级

安装方式	最低防护等级
户外安装	IP54
室内安装	IP20

7 试验方法

7.1 试验条件

除非另有规定，所有试验应在下列条件下进行：

- 环境温度：15℃~35℃；
- 相对湿度：45%~75%；
- 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- 试验电源的波形畸变率 $\leq 5\%$ 。

7.2 一般检查

7.2.1 外观和结构检查

采用目测和常规量具检查，应满足以下要求：标识清晰完整、各部件安装牢固、电气连接可靠、无机械损伤和锈蚀。

7.2.2 铭牌和标志检查

按GB/T 1094.11相关规定执行。

7.3 电气性能试验

电气性能试验应按表2的规定执行。

表12 电气性能试验方法

项目	试验方法	参考标准
电压/电流谐波畸变率试验	在额定负载条件下，使用高精度功率分析仪测量并网点电压/电流各次谐波含量	GB/T 14549
功率因数试验	在额定负载下测量输入/输出有功功率与视在功率，计算功率因数	GB/T 35707
输出电压偏差试验	测量不同负载条件下的输出电压与额定电压的偏差百分比	GB/T 12325
三相电压不平衡度试验	在额定负载下测量三相电压的负序分量与正序分量比值	GB/T 15543
电压波动和闪变试验	按GB/T 12326规定的方法测量短期闪变值 P_{st} 和长期闪变值 P_{lt}	GB/T 12326
效率试验	在额定输入电压、额定负载条件下，测量输入有功功率与输出有功功率	GB/T 35707
轻载效率试验	在20%额定负载条件下测量输入有功功率与输出有功功率	—
功率密度计算	测量设备外形尺寸（不含安装支架），计算体积，功率除以体积得功率密度	—
待机功耗试验	在空载待机状态下测量输入侧有功功率	—
直流端口稳压精度试验	调节直流负载，测量输出电压与设定值的偏差	NB/T 33001
直流端口稳流精度试验	调节直流负载，测量输出电流与设定值的偏差	NB/T 33001

7.4 温升试验

温升试验应按表13的规定执行。

表13 温升试验方法

项目	试验方法	参考标准
绕组温升	在额定负载下连续运行至热稳定状态，采用电阻法测量绕组温升	GB/T 1094.11
铁心温升	采用热电偶法或温度计法测量铁心表面温度	GB/T 1094.11
功率器件结温	通过热传感器或计算法测定	—
内部环境温升	在设备内部代表性位置布置热电偶测量	—
接线端子温升	在额定电流下测量接线端子温度与环境温度之差	GB/T 1094.11
外壳温升	在设备外壳不同位置（可触及金属表面）布置热电偶测量	—

7.5 绝缘性能试验

绝缘性能试验应按表14的规定执行。

表14 绝缘性能试验方法

试验项目	试验方法	参考标准
工频耐受电压试验	在各独立电路之间及对地之间施加规定试验电压，持续1 min	GB/T 1094.11、IEC 60076-3
雷电冲击耐受电压试验	施加1.2/50 μ s标准雷电冲击波，正负极性各3次	GB/T 1094.11、IEC 60076-3
绝缘电阻测量	使用500 V或1000 V兆欧表测量各独立电路之间及对地的绝缘电阻	GB/T 7261

7.6 保护功能试验

保护功能试验应按表15的规定执行。

表15 保护功能试验方法

试验项目	试验方法	参考标准
过/欠电压保护试验	使用可调电源模拟电网电压超限，记录保护动作阈值和动作时间	GB/T 7261
过/欠频率保护试验	使用可调频率电源模拟频率超限，记录保护动作阈值和动作时间	—
过电流保护试验	逐步增加负载电流至设定保护阈值，记录动作电流和时间	NB/T 33008.1
短路保护试验	在输出端口人为制造短路故障，记录保护动作时间	NB/T 33008.1
过温保护试验	通过加热或增大负载使设备温度达到保护阈值，记录动作时间和恢复情况	—
孤岛保护试验	断开电网侧电源，检测设备是否在2 s内停止向电网送电	GB/T 19964
防逆流保护试验	模拟功率反向条件，检查防逆流保护是否动作	—
直流过/欠电压保护试验	调节直流侧电压至保护阈值，记录动作阈值和时间	GB/T 34120

7.7 电磁兼容性试验

电磁兼容性试验应按表16的规定执行。

表16 电磁兼容性试验方法

项目	试验方法	参考标准
静电放电抗扰度试验	对设备的可接触表面进行接触放电和空气放电	GB/T 17626.2
射频电磁场辐射抗扰度试验	将设备置于10 V/m的均匀场强中进行辐射	GB/T 17626.3
电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	通过耦合夹对电源端口和信号端口施加脉冲群干扰	GB/T 17626.4
浪涌（冲击）抗扰度试验	通过耦合/去耦网络对电源端口施加浪涌电压	GB/T 17626.5
射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	通过耦合/去耦网络注入10 V传导骚扰	GB/T 17626.6
电压暂降和短时中断抗扰度试验	使用可编程交流电源模拟电压暂降和短时中断	GB/T 17626.11

7.8 光伏输入性能试验

光伏输入性能试验应按表17的规定执行。

表17 光伏输入性能试验方法

试验项目	试验方法	参考标准
最大直流输入电压试验	在光伏输入端施加1500 V直流电压，检查设备是否正常工作且无损坏	GB/T 35707

MPPT效率试验	使用光伏模拟器模拟不同辐照度和温度条件下的IV曲线，测量MPPT跟踪效率	GB/T 35707
MPPT电压范围试验	在200 V~1500 V范围内改变光伏模拟器输出电压，验证MPPT跟踪有效性	GB/T 35707
反极性保护试验	反向连接光伏输入端电源极性，检查保护功能是否正常	—

7.9 储能接口性能试验

储能接口性能试验应按表18的规定执行。

表18 储能接口性能试验方法

项目	试验方法	参考标准
电压工作范围试验	在800 V~1500 V范围内调节直流电压，检查设备运行状态	GB/T 34120
充放电转换时间试验	记录从充电状态切换为放电状态（或反之）所需的时间	GB/T 34120
直流分量试验	使用功率分析仪测量交流输出侧的直流分量	GB/T 34120
均流不平衡度试验（多模块并联）	在额定负载下测量各并联模块的输出电流，计算最大偏差与平均电流的比值	—

7.10 电动汽车充电接口性能试验

充电接口性能试验应按表19的规定执行。

表19 充电接口性能试验方法

项目	试验方法	参考标准
输出电压/电流范围试验	在额定范围内连续调节输出电压/电流，验证调节连续性	NB/T 33008.1
输出电压设定误差试验	设定不同电压值，测量实际输出电压与设定值的偏差	NB/T 33001
输出电流设定误差试验	设定不同电流值，测量实际输出电流与设定值的偏差	NB/T 33001
稳压精度试验	在额定电压下改变负载，测量输出电压的变化量	NB/T 33001
稳流精度试验	在额定电流下改变负载，测量输出电流的变化量	NB/T 33001
纹波系数试验	使用示波器测量直流输出电压的纹波有效值和峰值	NB/T 33001
充电效率试验	在额定条件下测量输入交流功率与输出直流功率，计算效率	NB/T 33001

7.11 通信与监控性能试验

通信与监控性能试验应按表20的规定执行。

表20 通信与监控性能试验方法

试验项目	试验方法	参考标准
通信接口功能试验	通过各通信接口分别连接上位机，验证数据收发功能	—
通信协议一致性试验	使用协议分析工具验证通信协议符合性	DL/T 645
数据刷新率试验	记录遥测量和状态量的数据更新时间	—
历史数据存储试验	连续运行并记录数据，检查存储容量和数据完整性	—
远程升级功能试验	通过远程方式发送固件升级包，验证升级过程	—
人机界面功能试验	手动操作触摸屏各功能界面，验证显示准确性和操作响应	—
时钟同步精度试验	将设备时钟与标准时钟源对比，测量同步精度	—

7.12 外壳防护等级试验

按GB/T 4208规定的方法进行防水和防尘试验。

7.13 环境适应性试验

环境适应性试验应按表21规定执行。

表21 环境适应性试验方法

项目	试验条件	试验方法	参考标准
低温试验	-25 °C, 16 h	设备通电状态下置于低温箱中	GB/T 2423.1
高温试验	50 °C, 16 h	设备通电状态下置于高温箱中	GB/T 2423.2
交变湿热试验	温度25 °C~55 °C，相对湿度≥95%，12 h+12 h循环，2个周期	不通电状态进行湿热循环	GB/T 2423.4

