



团体标准

T/CES XXX-XXXX

双极性直流微网安全稳定导则

Safety and Stability Guidelines of Bipolar DC Microgrids

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言 III

引 言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 双极性直流微网系统架构与接地设计 2

 4.1 架构韧性设计 2

 4.1.1 韧性要求 2

 4.1.2 架构设计 2

 4.2 接地系统设计 2

 4.2.1 接地型式选择 2

 4.2.2 共地型系统 2

 4.2.3 隔离型系统 2

5 双极性直流微网系统极性电压失衡与抑制 2

 5.1 失衡分级与应对 2

 5.2 失衡系统分层配置 2

6 双极性直流微网系统快速精准保护 2

 6.1 多原理融合的故障识别 2

 6.2 分区保护与协同 3

7 双极性直流微网系统稳定性评估与控制 3

 7.1 稳定性评估 3

 7.1.1 极性电压稳定性评估 3

 7.1.2 小信号稳定性和耦合强度评估 3

 7.2 稳定性控制 3

 7.2.1 主动阻尼控制 3

 7.2.2 紧急控制 3

T/CES XXX—XXXX

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》给出的规则起草。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位国网四川省电力公司眉山供电公司、四川大学、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院。

本文件主要起草人陈昕宇 付钦翔 陈亮 苏学能 王峰 冷敏瑞 李保宏 江琴 王睿 罗燕萍 马坤 胡彦丞 罗茜 吴浩宇 冯京 刘凡 张华 黄杨 李建 刘洋 黄敏 武颖 贺邦玮。

本文件为首次发布。

引 言

双极性直流微网可同时提供 $+V$ 、 0 、 $-V$ 三种电压制式，具有高可靠性、柔性、低损耗特征，适用于数据中心、电动汽车快充站、高端制造业园区、通信枢纽和绿色建筑等多场景。随着高比例分布式电源接入和多源能量耦合的加深，系统出现极性电压失衡、共模干扰、低频振荡及保护误动等新型安全稳定问题。针对上述问题，尚缺乏统一的技术规范，特制定本团体标准，旨在提供统一、可操作、且与已有标准体系相衔接的微网规划技术导则。

本标准在编制过程中遵循《团体标准编写规则》及《中国电工技术学会团体标准编写指南》，确保技术要求的科学性、前瞻性和可验证性。

双极性直流微网安全稳定导则

1 范围

本文件规定了双极性直流微电网在系统架构与接地设计、极性电压失衡抑制、快速精准保护、稳定性评估与控制等方面的安全稳定技术要求。

本文件适用于额定电压不超过 ± 750 Vdc 的新建、改建及扩建双极性直流微电网的规划、设计、运行和验收。

2 规范性引用文件

GB 50052 供配电系统设计规范
GB 50060 35kV 及以下配电装置设计规范
GB/T 19001 质量管理体系 要求
GB/T 38458 微电网连接至低压配电网的配置技术要求
GB/T 51341 微电网工程设计标准
IEC 61727 光伏系统并网接口特性
IEC 61850 电力自动化通信网络与系统
IEC 62116 并网光伏逆变器防孤岛措施检测规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

双极性直流微电网 bipolar DC microgrid

具备正极、负极和中性线三条母线，能同时提供正、负两种极性对中性线电压的直流配用电系统。

3.2

架构韧性 architectural resilience

系统在发生单一元件故障或单极母线故障时，通过网络重构和保护动作，利用剩余健康部分继续维持重要负荷供电的能力。

3.3

极性电压失衡 polar voltage imbalance

双极性直流微电网中，正、负母线对中性线电压的偏差超出允许范围的技术状态。按持续时间可分为暂态失衡和稳态失衡。

3.4

稳定性耦合 stability coupling

双极性直流微电网中，由于中性线耦合，正极、负极母线的动态稳定性相互关联、相互影响的现象。

3.5

稳定性评估 stability assessment

双极性直流微网在各种扰动（如负荷突变、光伏出力波动、运行模式切换）下保持稳定运行能力的分析与评价。

3.6

电压暂态 voltage transient

系统在遭受突然的、短暂的扰动时（如大负荷投切、短路故障发生与清除），直流母线电压发生的快速、剧烈的变化过程。

4 双极性直流微网系统架构与接地设计

4.1 架构韧性设计

4.1.1 韧性要求

系统主接线应具备在单极母线故障下，通过联络开关或电力电子变换器重构网络，转为单极运行模式的能力。该模式下的供电能力、电压质量及保护配合应经过校验。

4.1.2 架构要求

为关键区域供电的母线宜采用双回路或环状结构，并配置直流潮流控制器等设备管理功率分配，避免单一故障导致负荷失电。

4.2 系统接地设计

4.2.1 接地型式选择

根据应用场景选择直接接地、高阻接地或电容接地，并在系统设计中明确唯一的接地参考点。

4.2.2 共地型系统

应确保交流侧与直流侧的接地系统协调统一，防止地电位差引入的环流和腐蚀。必须配置直流剩余电流监测装置用以防范人身电击风险。

4.2.3 隔离型系统

绝缘监测装置的响应阈值应不高于 $20\text{k}\Omega/\text{V}$ （相对于系统额定电压），并能在绝缘电阻低于阈值时发出分级报警（预警、跳闸）。

5 双极性直流微网系统极性电压失衡与平衡

5.1 失衡分级与应对

系统应依据极性电压失衡度 δ 进行分级管理与控制：

- a) I级失衡（正常）： $\delta \leq 3\%$ 。系统可长期运行，平衡器处于优化调节状态。
- b) II级失衡（预警）： $3\% < \delta \leq 7\%$ 。系统需告警，平衡器应启动强化补偿模式。
- c) III级失衡（警报）： $7\% < \delta \leq 10\%$ 。系统处于临界状态，需启动切负荷准备。
- d) IV级失衡（紧急）： $\delta > 10\%$ 。系统应视作预故障状态，立即执行不对称负荷切除等紧急控制措施。

其中，极性电压失衡度 $\delta = |V_+ - V_-| / V_{N_}$ ， V_+ 为正极母线对中性线的实时电压； V_- 为负极母线对中性线的实时电压； $V_{N_}$ 系统对中性线的额定电压。

5.2 失衡系统分层配置

- a) 初级平衡：由并网变换器、储能变换器等利用自身控制自由度，承担基础的电压支撑和慢速平衡任务。
- b) 专项平衡：应配置专用电压平衡器，其动态响应时间（从指令下达到输出90%补偿电流）不应大于5 ms。
- c) 紧急控制：由中央控制器在检测到重度失衡时，执行全局性的负荷投切等策略。

6 双极性直流微网系统快速精准保护

6.1 多原理融合的故障识别

保护系统应综合利用电流差动、电压导数、方向判别等多种原理，以适应直流微网低惯量、故障发展迅速的特点，并必须具备极性判别能力。

6.2 分区保护与协同

系统应划分为设备级、支路级、区域级等保护区域。区域级保护应通过高速通信实现信息共享，形成区域联锁，确保故障隔离时间不超过 10 ms。保护系统动作后，应向系统能量管理平台发送故障信息，触发网络重构、功率再分配等恢复控制策略。

7 双极性直流微网系统稳定性评估与控制

7.1 稳定性评估

7.1.1 极性电压稳定性评估

- a) 任一母线电压暂态偏差不超过额定值的 $\pm 20\%$ ；
- b) 扰动清除后，所有母线电压在 500 ms 内恢复至额定值的 $\pm 5\%$ 范围内；
- c) 在不对称扰动下，极性电压失衡度应在 1s 内衰减至 3%以下。

7.1.2 小信号稳定性和耦合强度评估

7.1.2.1

采用频域分析法评估系统在 1 Hz 至 100 Hz 频段内的振荡风险。通过在系统关键接口进行频率扫描，获取正、负极自阻抗及互阻抗。

7.1.2.2

由于中性线耦合及电力电子变换器控制环路相互作用，在正极-负极-中性线构成的回路中引发的低频振荡现象，采用极性耦合系数 k 评估振荡风险，当 $K > 0.5$ ，互阻抗的影响已经与自阻抗处于同一量级甚至更强，极易在正-负-中性线环路中形成振荡回路。

其中， $k = |Z_{pn}(f)| / (|Z_{pp}(f)| + |Z_{nn}(f)|)$ ， $Z_{pp}(f)$ 和 $Z_{nn}(f)$ 分别为正、负极系统等效自阻抗， $Z_{pn}(f)$ 为极性间互阻抗。

7.2 稳定性控制

7.2.1 主动阻尼控制

对于评估识别出的中、高风险振荡频段，应在关键变换器中配置阻尼控制器。控制器应以中性线电流或极性电压差作为输入信号。

7.2.2 紧急控制

系统应建立稳定性预警指标。当短期极性电压失衡度持续 5 秒超过 5%，或中性线特定谐波电流超标时，应在 1 秒内启动预防性控制。当检测到 IV 级失衡时，应在 100 毫秒内执行紧急电压控制。