

电力系统中性点过电压分析与保护研究

胡 涛

浙江浙能电力工程技术有限公司 浙江宁波

【摘要】在现代电力系统中，中性点过电压问题一直是影响电网安全稳定运行的关键因素之一。随着电力系统规模的不断扩大和电压等级的逐步提升，中性点过电压现象愈发复杂多样，其危害也日益显著。过电压不仅可能导致电气设备绝缘损坏，还可能引发系统故障，甚至造成大面积停电事故。因此，深入研究电力系统中性点过电压的形成机理、特性分析以及有效的保护技术，对于保障电力系统的安全可靠运行具有极其重要的理论和现实意义。

【关键词】电力系统；中性点；过电压；保护技术；智能监测

【收稿日期】2025 年 1 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250058

Analysis and protection research of neutral point overvoltage in power system

Tao Hu

Zhejiang Zheneng Electric Power Engineering Technology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang

【Abstract】In modern power systems, the problem of neutral point overvoltage has always been one of the key factors affecting the safe and stable operation of the power grid. With the continuous expansion of the power system scale and the gradual improvement of voltage levels, the phenomenon of neutral point overvoltage has become increasingly complex and diverse, and its harm has become increasingly significant. Overvoltage can not only cause insulation damage to electrical equipment, but also lead to system failures and even cause widespread power outages. Therefore, in-depth research on the formation mechanism, characteristic analysis, and effective protection technology of neutral point overvoltage in power systems is of great theoretical and practical significance for ensuring the safe and reliable operation of power systems.

【Keywords】Power system; Neutral point; Overvoltage; Protecting technology; Intelligent monitoring

引言

在现代电力系统中，中性点运行方式的选择直接影响系统过电压水平与绝缘配合。过电压作为威胁电力设备安全运行的关键因素，其产生机理复杂，涉及电磁暂态过程、系统参数匹配及外部环境影响等多方面因素。随着电网规模扩大与电压等级提升，过电压问题愈发突出，不仅可能导致设备绝缘击穿、引发停电事故，还会对整个电力系统的稳定性造成严重冲击^[1]。

因此，深入研究电力系统中性点过电压形成机制，探索有效的保护技术与措施，对保障电网安全、经济运行具有重要的现实意义。

1 电力系统中性点运行方式及过电压基础理论

1.1 中性点不同接地方式对比分析

电力系统中性点接地方式的选择对系统的安全性和稳定性具有重要影响。常见的接地方式包括直接接地、经消弧线圈接地、经电阻接地和不接地四种。直接接地方式在系统发生单相接地故障时，接地电流较大，但过电压水平较低，适用于高电压、大容量的系统，能够快速切除故障，保障系统稳定运行。经消弧线圈接地则通过补偿电容电流，降低接地电流，减少弧光过电压，适用于中压系统。经电阻接地方式通过限制接地电流，降低过电压风险，适用于对过电压敏感的系统^[2]。而不接地方式在单相

接地故障时，系统仍可短时运行，但过电压水平较高，适用于对供电可靠性要求较高的小容量系统。以下是四种接地方式的对比分析表，如表 1 所示。

1.2 过电压形成机理与分类体系

过电压是电力系统中一种常见的电磁现象，其形成机理复杂多样，主要源于系统内部能量的突然释放或外部能量的侵入。内部过电压通常由系统操作（如开关操作、故障切除）或电磁谐振引起，而外部过电压则主要由雷电侵入导致。操作过电压的形

成与开关动作密切相关，例如断路器的分合操作可能引发瞬态过电压，其幅值高、持续时间短，但对设备绝缘威胁大^[3]。

谐振过电压则是由于系统电感和电容参数的特定组合，在特定条件下形成持续的过电压，其频率通常较低，但持续时间长，危害较大。雷电过电压则是由于雷电直接击中输电线路或通过感应作用引发的。根据过电压的形成原因和特性，可以将其分为以下几类，如表 2 所示。

表 1 四种接地方式的对比

接地方式	接地电流大小	过电压水平	适用场景	优点	缺点
直接接地	大	低	高电压、大容量系统	快速切除故障，稳定性好	接地电流大，需快速保护
经消弧线圈接地	小	低	中压系统	补偿电容电流，降低过电压	设备复杂，需维护
经电阻接地	较小	较低	对过电压敏感的系统	限制接地电流，降低过电压	接地电阻需精确配置
不接地	小	高	小容量、高可靠性要求系统	系统可短时带故障运行	过电压风险高

表 2 三种分类对比

过电压类型	形成原因	特点	危害	防护措施
操作过电压	开关操作、故障切除	幅值高、持续时间短、波形陡峭	损坏设备绝缘、引发系统故障	安装避雷器、优化开关操作
谐振过电压	电感与电容参数匹配	幅值高、持续时间长、频率较低	引起设备过热、绝缘老化	配置阻尼电阻、优化系统参数
雷电过电压	雷电击中或感应	幅值极高、波前陡峭、传播速度快	破坏设备绝缘、引发火灾	安装避雷针、避雷线、避雷器

2 电力系统中性点过电压类型及特性分析

2.1 操作过电压产生条件与波形特征

开断空载线路时，断路器触头分离瞬间，线路电容电流突然截断，电感元件中的磁场能量转化为电场能量，使线路电压升高，形成操作过电压。其波形具有高频振荡特性，电压幅值可达系统相电压的 3-4 倍。合空载变压器时，由于励磁涌流的存在，变压器绕组电感发生变化，也会产生操作过电压，该过电压波形起始阶段包含丰富的谐波成分，随后逐渐衰减。不同的操作场景和系统参数会导致操作过电压的幅值、波形和持续时间存在差异，其对设备绝缘的考验不容小觑。

2.2 谐振过电压诱发因素及频率特性

铁磁谐振过电压是常见的谐振过电压类型，当变压器、电压互感器等设备的铁芯饱和时，其电感呈现非线性特性，与系统电容形成谐振回路。在一定的电源电压和回路参数条件下，可能发生分频、工频或高频谐振，产生过电压。分频谐振时，过电压频率低于工频，通常在 5-25Hz 之间，过电压持续时

间长，可能导致电压互感器烧毁、绝缘闪络等事故^[4]。工频谐振时，过电压频率与工频相同，幅值相对较高，对设备绝缘造成较大压力。高频谐振过电压频率高于工频，一般在 100-1000Hz，其波形变化快，能量集中，危害同样不可忽视。

2.3 雷电过电压传播规律与幅值分布

雷电过电压是电力系统中最具危害性的过电压类型之一，其传播规律和幅值分布对电力系统的绝缘设计和防雷措施至关重要 5-6。雷电过电压主要通过直击雷和感应雷两种方式侵入电力系统。直击雷是指雷电直接击中输电线路或变电站设备，产生高幅值的冲击电流和电压。感应雷则是由于雷电放电在附近线路或设备上感应出的过电压，其幅值相对较小，但传播范围更广^[7]。雷电过电压的传播过程中，波形会因线路参数和接地条件的不同而发生衰减和变形。一般来说，雷电过电压的幅值在靠近雷击点处最高，随着传播距离的增加而逐渐降低。以下是雷电过电压传播规律与幅值分布的特性分析表，如表 3 所示。

表3 雷电过电压传播规律与幅值分布的特性分析

特性参数	直击雷过电压	感应雷过电压
产生方式	雷电直接击中线路或设备	雷电放电在附近线路或设备上感应产生
幅值范围	极高（可达数百万伏）	较低（通常为数十万伏）
传播速度	光速（约 3×10^8 m/s）	光速（约 3×10^8 m/s）
衰减特性	随传播距离增加而衰减	衰减较慢，传播范围广
接地影响	接地电阻越大，过电压幅值越高	接地电阻影响较小
防护措施	安装避雷针、避雷线	安装避雷器、加强绝缘

3 电力系统中性点过电压保护技术与措施

3.1 避雷器等限制过电压设备选型原则

避雷器作为限制过电压的关键设备，其选型需综合考虑系统电压等级、过电压类型及幅值、持续时间等因素^[8-9]。对于操作过电压，应选择通流能力强、残压低的氧化锌避雷器，以快速吸收操作过电压能量，限制过电压幅值。针对雷电过电压，需根据线路雷电活动强度和设备绝缘水平，选择合适保护水平的避雷器，确保在雷击时能有效保护设备。

3.2 接地电阻优化配置与参数计算方法

合理配置接地电阻是降低中性点过电压的重要措施。在中性点直接接地系统中，接地电阻阻值直接影响短路电流大小和地电位升，需根据系统短路容量和设备热稳定要求，通过计算确定合适的接地电阻值。对于中性点经消弧线圈接地系统，接地电阻与消弧线圈配合使用，可有效抑制谐振过电压^[10]。通过分析系统电容电流、消弧线圈补偿度等参数，优化接地电阻配置，既能保证故障时有效补偿接地电流，又能避免因接地电阻过小引发新的过电压问题。

4 结语

电力系统中性点过电压问题复杂且关键，本研究剖析其运行方式、过电压特性并提出防护策略。但随着电网技术革新，新挑战不断出现。未来需持续探索先进监测手段，优化保护技术，融合多学科知识，为电力系统安全运行筑牢防线。

参考文献

- [1] 孙越.基于参数辨识的光伏聚合等值模型及其在中性点过电压分析中的应用[D].重庆大学,2023.

- [2] 杨子岳.基于电力变压器中性点过电压分析及绝缘防护技术研究[D].山东理工大学,2022.
- [3] 毛超玉.船舶中压电力系统接地方式及其原理分析[J].上海船舶运输科学研究所学报,2022,45(02):38-44.
- [4] 康胜阳,冯伟,秦召磊,等.故障后中性点不接地变压器快速送电的过电压分析[J].河北电力技术,2019,38(01):5-8.
- [5] 杨子岳.基于电力变压器中性点过电压分析及绝缘防护技术研究[D].山东理工大学,2022.
- [6] 李玉敦,李晨昊,王安宁,薛永端,范荣奇,王昕.10kV 配电变压器碰壳故障转移过电压分析及试验研究[J].供用电,2021,38(11):27-32.
- [7] 孙福鹏,宋建成,田慕琴等.基于多模态数据融合与深度学习的矿用高压开关故障诊断[J].煤炭学报,2022,47(01): 391-399.
- [8] 王耀南,张辉,张洁.基于深度学习的电气设备故障诊断研究综述[J].控制理论与应用,2020,37(08):1533-1546.
- [9] 吴在军,陈楷,胡敏强等.基于深度学习的电力设备故障诊断技术综述[J].电力系统自动化,2019,43(14):215-225.
- [10] 文福拴,薛禹胜,董朝阳等.人工智能在电力系统中的应用综述[J].电力系统自动化,2019,43(12):2-21.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS