

提名四川省科学技术奖候选项目公示文件

一、项目名称：

新型宽频电压互感器关键技术及其应用

二、提名者及提名意见：

（一）提名者

国网四川省电力公司

（二）参与单位

哈尔滨工业大学

（三）提名意见

针对新型电力系统建设中对宽频电压电网规模测量的重大需求，该项目基于传统电容式电压互感器（CVT），创新性地提出并实现了一套综合宽频电压测量解决方案，具有性能可靠、安全可控和成本可行的特征。项目具体研究提出了基于非线性宽频模型及其反演数值算法的 CVT 宽频电压测量技术和基于 C3 额外电容设计的新型宽频 CVT 技术，并研制了配套的常规二次采集装置和基于光学的非接触式二次采集装置，通过一二次技术的灵活配置，根据现场不同情况，适配在运 CVT 和新制 CVT，技术路线科学合理，创新性强，潜在应用广泛。

项目成果已成功应用于互感器制造商及供电公司，通过产品销售和变电站现场应用，有效解决了当前电网缺乏宽频电压准确监测手段的痛点问题，为电能质量精确评估提供了关键数据支撑，为设备状态分析提供了直接依据，显著提升了设备和电网运行可靠性，对建设新型电力系统具有重要意义，经济效益和社会效益突出。

作为电网一次设备和二次设备同时进行科研创新的项目，并形成了配套产品矩阵及综合解决方案，项目成果对推动电力行业技术进步具有重要意义。

提名该项目为 2025 年度四川省科学技术进步奖。

三、项目简介：

新型电力系统建设伴随新能源大规模并网和电网向超特高压及偏远地区延伸发展，这带来了愈发常见的非工频的宽频电压波形扰动。其主要表现为：新能源并网带来的谐波污染问题（谐波含量可达 50 次），以及超特高压电网中雷击和开关操作引发的宽频暂态电压（频率范围可超过 1MHz）。这些宽频电压扰动不仅严重降低电网运行效率，更可能直接导致电力设备绝缘损坏，威胁电网安全稳定运行。实现电网规模化宽频电压准确测量是解决前述问题的基础。针对当前电网无可规模化应用的宽频电压测量手段的情况，本着电网对新产品围绕功能性、安全性和经济性的要求，本项目基于传统电容式电压互感器（CVT）创新性地研发了一套完整的宽频电压测量解决方案，形成产品矩阵，主要成果如下：

（1）提出 CVT 非线性宽频建模及其反演数值计算技术。对于在运及新制的 CVT，项目研究提出结合复杂宽频特性和非线性特性的综合模型及构建技术，并攻克复杂非线性模型反演计算的难题，实现 CVT 对于宽频电压波形在任意频带下及铁芯饱和与非饱和等多工况下的准确测量，经试验论证可实现覆盖雷电冲击波形的频带。

（2）研制基于 C3 额外电容设计的新型宽频 CVT。对于新制 CVT，项目创新设计电容单元形成 C3 分压结构，同时优

化测量线和接地线，解决了温度漂移、老化影响一致性和频带寄生参数污染等关键技术难题，保障了其可靠性测量性能。经试验论证其整体可实现覆盖雷电冲击波形的频带。

(3) 创新二次采集。一方面研制针对 CVT 的常规二次采集装置，其采用高速 ADC（最高 125MSps）和 FPGA 处理架构，集采集、暂态识别、稳态存储等功能于一体。同时，创新提出基于光学的非接触式二次采集装置，提出将电压信号转换成极板间电场信号，并通过光学传感器实现对电场的非接触式测量。通过光学高性能传感特性和传感极板的断路与高阻特性，该装置具备“两不”特性，即不对 CVT 引入额外电气连接，也没有改变 CVT 原工频测量的电路结构或性能，实现对宽频电压准确、可靠和安全地采集。

本项目构建了“数值算法+C3 额外电容设计新型 CVT”与“常规二次采集+光学非接触式二次采集”一二次融合的创新产品矩阵，形成了基于 CVT 的宽频电压测量的综合技术方案，一二次不同方案搭配适配于不同现场需求。最终综合产品体系均在不给电网引入新一次设备，CVT 本体不引入额外电气连接，不影响原 CVT 测量功能的情况下，在性能可靠、安全可控且成本可行之下实现电网对宽频电压波形的测量。

项目授权相关发明专利 9 项、计算机软件著作权 1 项，发表相关论文 13 篇。成果已应用于 CVT 制造企业及相关供电公司，通过销售及避免电网事故，创造直接与间接经济效益共 708.56 万元。基于该测量功能，项目组也在开发变电站运行及一次设备的智能在线监测技术，深化测量的应用。

四、主要知识产权和标准规范等目录：

| 序号 | 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家（地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利(标准)有效状态 |
|----|------------|--------------------------|--------|------------------|------------|----------------|---|---|--------------|
| 1 | 发明专利 | 一种基于非线性宽频模型的宽频电压测量装置与方法 | 中国 | ZL202110980338.8 | 2023-09-26 | 6361108 | 国网四川省电力公司电力科学研究院 | 穆舟、汪康康、潘飞、刘浩、王彤彤、张榆、谢施君、张晨萌、罗东辉、夏亚龙、邵千秋 | 有效 |
| 2 | 发明专利 | 基于非线性宽频模型的暂态过电压测量装置与方法 | 中国 | ZL202011425208.X | 2023-10-31 | 6447338 | 国网四川省电力公司电力科学研究院 | 穆舟、刘浩、潘飞、江波、赵伟、谢施君 | 有效 |
| 3 | 发明专利 | 一种基于光学电压传感器的混联式CVT宽频测量系统 | 中国 | ZL202211072845.2 | 2024-03-19 | 6805228 | 哈尔滨工业大学、金燕哈工工业技术研究院 | 于文斌、张雨欣、张国庆、王贵忠、李文科、莫彩云、郭志忠 | 有效 |
| 4 | 发明专利 | CVT非线性模型、基于模型的系统与测量电压的方法 | 中国 | ZL202011138279.1 | 2023-05-02 | 5938059 | 国网四川省电力公司电力科学研究院 | 穆舟、江波、赵伟、刘浩、谢施君、张榆、张晨萌、夏亚龙、罗东辉 | 有效 |
| 5 | 计算机软件著作权 | 基于时域特征的过电压识别软件V1.0 | 中国 | 2024SR0194373 | 2023-09-10 | 12598246 | 国网四川省电力公司技能培训中心、姜聿涵、穆舟、杨冰、刘燕、胡清灵、罗东辉、夏亚龙、张榆 | | 有效 |
| 6 | 发明专利 | 独立支柱式光学电流电压组合互感器 | 中国 | ZL201810496109.7 | 2024-02-09 | 6696397 | 哈尔滨工业大学、哈工大（张家口）工业技术研究院、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 | 于文斌、张国庆、郭志忠、王贵忠、郑志勤、葛维春、邵宝珠、于同伟、吴志琪 | 有效 |
| 7 | 发明专利 | 双光路光学电流传感器 | 中国 | ZL201910295795.6 | 2021-06-15 | 4488002 | 哈尔滨工业大学、哈工大（张家口）工业技术研究院、哈工大（家口）电力科学技 | 于文斌、张国庆、尹东、郭志忠、王贵忠、李洪波、侯英伟 | 有效 |

| | | | | | | | | | |
|----|------|---------------------------|----|------------------|------------|---------|---------------------------------------|--|----|
| | | | | | | | 术研究所 | | |
| 8 | 发明专利 | 一种双输出光学电流互感器及其信号处理方法 | 中国 | ZL201910359884.2 | 2021-03-05 | 4285296 | 国网经济技术研究院有限公司、哈尔滨工业大学、哈工大（张家口）工业技术研究院 | 宋璇坤、于文斌、肖智宏、韩柳、张国庆、郭志忠、谷松林、王贵忠、李洪波、侯英伟、冯腾、刘文轩、吴聪颖、蔡勇 | 有效 |
| 9 | 发明专利 | 可调式电容矩阵装置、标准冲击电流试验装置及试验方法 | 中国 | ZL202111051135.7 | 2023-05-16 | 5972530 | 国网四川省电力公司电力科学研究院 | 罗东辉、曹永兴、张榆、谢施君、张晨萌、穆舟、夏亚龙 | 有效 |
| 10 | 发明专利 | 交直流电源系统监控装置及方法 | 中国 | ZL202510072259.5 | 2025-05-13 | 7940126 | 国网四川省电力公司资阳供电公司 | 王德荣、王彬、蔡世平、廖丽娟、高航、陈刚、杨仕孟、刘登、卢林、赵强聪、田启贵、何翔宇 | 有效 |

五、论文专著目录

| 序号 | 论文（专著） 名称/刊名 /作者 | 年卷页码 （xx 年 xx 卷 xx 页） | 发表时间 （年月 日） | 通讯作 者（含 共同） | 第一作 者（含 共同） | 国内作者 | 他 引 总 次 数 | 检索 数据 库 |
|----|---|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | 电力系统暂态过电压测量技术综述/电测与仪表/穆舟、江波、赵伟、谢施君 | 2022 年 59(5) 卷 1-13 页 | 2021-04-29 | / | 穆舟 | 穆舟、江波、赵伟、谢施君 | 37 | 中文核心 |
| 2 | Feature statistics and analysis of transient overvoltage waveform measured from 220kV substation/International Journal of Electrical Power & Energy Systems/张晨萌、谢施君、陈强、穆舟、夏亚龙、周列国、欧阳勇、张建军 | 2024 年 158 卷 1-13 页 | 2024-03-08 | 谢施君 | 张晨萌 | 张晨萌、谢施君、陈强、穆舟、夏亚龙、周列国、欧阳勇、张建军 | 0 | SCI |
| 3 | 纳秒级上升沿 100 kV 方波发生装置研制/高电压技术/谢施君、穆舟、丁卫东、王嘉琛、苏芳菲、刘勇 | 2021 年 47(6) 卷 2169-2176 页 | 2020-11-25 | 丁卫东 | 谢施君 | 谢施君、穆舟、丁卫东、王嘉琛、苏芳菲、刘勇 | 4 | 中文核心 |
| 4 | 基于电压互感器非线性宽频模型的宽频电压测量/四川电力技术/穆舟、姜聿涵、张晨 | 2025 年 48(2) 卷 70-74 页 | 2025-04-01 | / | 穆舟 | 穆舟、姜聿涵、张晨萌、程铭、罗东 | 0 | / |

| | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------------|------------|---|----|--------------------------------|---|---|
| | 萌、程铭、罗东辉、谢施君、邵千秋、夏亚龙 | | | | | 辉、谢施君、邵千秋、夏亚龙 | | |
| 5 | 基于二端口散射参数的 CVT 宽频暂态模型/四川电力技术/潘飞、穆舟、刘浩、王彤彤、江波、张榆、张晨萌、谢施君、林国松 | 2021 年 44(04) 卷 1882-1890 页 | 2021-08-01 | / | 潘飞 | 潘飞、穆舟、刘浩、王彤彤、江波、张榆、张晨萌、谢施君、林国松 | 2 | / |

六、主要完成人情况：

| | | | |
|--|-----------------------------------|------|-----------|
| 姓名 | 穆舟 | 排名 | 1 |
| 行政职务 | 专责 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级工程师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2019 年 7 月 15 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 项目牵头人员，牵头研究电容式电压互感器非线性宽频模型，并研究开发其反演数值算法。提出额外电容法基本设计方案。牵头制定项目新产品试验研究方案，并牵头系列试验研究及试验验证工作。参与 CVT 样机设计和制造工作。参与宽频电压测量现场应用技术的研究论证工作。 | | | |
| 姓名 | 姜聿涵 | 排名 | 2 |
| 行政职务 | 无 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级工程师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2021 年 6 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 项目主要研究人员，牵头二次采集技术及软件开发的研究工作，参与 C3 额外电容法的设计、试验方案设计与试验论证工作。对创新点 2 和创新点 3 做出贡献。 | | | |
| 姓名 | 罗东辉 | 排名 | 4 |
| 行政职务 | 专责 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级工程师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2019 年 9 月 30 日至 2021 年 11 月 30 日 | | |

| | | | |
|---|-----------------------------------|------|-----------|
| 对本项目技术性创造贡献： 参与电容式电压互感器非线性模型计算方法的研究工作，负责试验激励源的设计论证工作。 对创新点 1 和创新点 3 做出重要贡献。 | | | |
| 姓名 | 张国庆 | 排名 | 3 |
| 行政职务 | 副所长 | 工作单位 | 哈尔滨工业大学 |
| 技术职称 | 副教授 | 完成单位 | 哈尔滨工业大学 |
| 参加本项目 起止时间 | 2021 年 12 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 主要参与交直流混联电网运行稳定风险感知及控制技术研究，是《高压直流输电系统整流侧等效模型建立方法、系统及设备》等专利的主要完成人，对创新点 2 和创新点 3 做出了重要贡献。 | | | |
| 姓名 | 廖丽娟 | 排名 | 5 |
| 行政职务 | 副主任 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级工程师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2023 年 6 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 参与装置现场应用的选址、设计等工作，以及基于现场测量提出基于宽频测量的监测与监控应用。对创新点 3 做出重要贡献。 | | | |
| 姓名 | 杨冰 | 排名 | 6 |
| 行政职务 | 副主任 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级政工师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2022 年 3 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 参与二次采集的数据处理及软件开发工作。对创新点 3 做出贡献。 | | | |
| 姓名 | 石伟宏 | 排名 | 7 |
| 行政职务 | 专责 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 工程师 | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2023 年 6 月 30 日至 2023 年 12 月 31 日 | | |

| | | | |
|---|-----------------------------------|------|-----------|
| 对本项目技术性创造贡献： 负责基于 C3 额外电容法的宽频电容式电压互感器和非接触式二次采集装置的现场应用的安全评估、设计、施工、安装、运维等应用工作。对创新点 3 做出重要贡献。 | | | |
| 姓名 | 张榆 | 排名 | 8 |
| 行政职务 | 专责 | 工作单位 | 国网四川省电力公司 |
| 技术职称 | 高级工程师（教授级） | 完成单位 | 国网四川省电力公司 |
| 参加本项目 起止时间 | 2019 年 7 月 31 日至 2022 年 12 月 31 日 | | |
| 对本项目技术性创造贡献： 参与电容式电压互感器非线性模型的研究工作，以及宽频电压测量现场应用技术的开发，对创新点 1 和创新点 3 做出贡献。 | | | |

七、主要完成单位及创新推广贡献：

| | | | |
|--|-----------|----|---|
| 单位名称 | 国网四川省电力公司 | 排名 | 1 |
| <p>国网四川省电力公司负责本项目的关键技术的研究和试验论证工作，主要贡献为：</p> <p>（1）研究提出电容式电压互感器物理模型与数值模型结合的非线性宽频模型，包括其建立技术及计算方法，并牵头完成相关研究性试验工作。</p> <p>（2）研究提出互感器二次宽频采集技术、数据处理方法及软件开发。</p> <p>（3）作为重要单位参与新技术及新产品的研究下试验方案及第三方试验方案制定，支撑开展相关试验工作。</p> <p>（4）研究提出基于电容式电压互感器的 C3 额外电容法设计，以实现宽频电压测量。</p> <p>（5）研究新技术及新产品的研究下试验方案及第三方试验方案，牵头开展相关试验工作。</p> <p>（6）负责基于 C3 额外电容法的宽频电容式电压互感器和非接触式二次采集装置的现场应用的安全应用、设计、施工、安装、运维等应用工作，并基于现场测量提出基于宽频测量的相关电源监控方法。</p> | | | |
| 单位名称 | 哈尔滨工业大学 | 排名 | 2 |
| <p>哈尔滨工业大学负责本项目的基于光学的宽频电容式电压互感器非接触式二次采集技术的研究工作和参与相关试验论证工作，主要贡献为：</p> <p>（1）研究提出基于光学的宽频电容式电压互感器非接触式二次采集技术，及其相关设备研制。</p> <p>（2）作为重要单位参与新技术及新产品的研究下试验方案及第三方试验方案制定，支撑开</p> | | | |

展相关试验工作。