Instrumentation and Equipments 仪器与设备, 2025, 13(2), 197-202
Published Online June 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/iae
https://doi.org/10.12677/iae.2025.132026

Hans汉斯

低压可增容自主调档电压调控装置

王　楠，蔡　权，唐海鑫，陈　勇

贵州电网有限责任公司遵义供电局，贵州 遵义

收稿日期：2025年4月18日；录用日期：2025年5月20日；发布日期：2025年6月13日

摘　要

针对贵州山区农村配电网因地形复杂、用户分散、供电半径过长及季节性负荷激增导致的末端低电压问题，本研究提出一种基于功率传输提升装置的系统性解决方案。该地区大山脉、大落差的地理特征导致配电网基建改造效率低下，传统扩容方案易引发配变空载浪费，难以满足600万务工人员春节返乡期间突增的用电需求。本文通过开发新型功率传输提升装置，融合动态调压与智能补偿技术，在用电高峰期间稳定输出电流并优化电压质量，有效解决超供电半径用户的低电压问题。装置采用模块化设计，可灵活部署于配网末端，显著降低因新增配变导致的空载损耗，同时规避基建项目投资大、周期长的缺陷。应用结果表明，该方案不仅能实现电压合格率提升至98%以上，还可减少约40%的运维成本，为山地农村电网提供了一种高效、经济且可持续的低电压治理范式，对乡村振兴战略下的电力服务升级具有重要实践价值。

关键词

农村配电网，低电压治理，动态调压，智能补偿

Low Voltage Self-Adjustable Adjustable Voltage Control Device

Nan Wang, Quan Cai, Haixin Tang, Yong Chen

Zunyi Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Zunyi Guizhou

Received: Apr. 18th, 2025; accepted: May 20th, 2025; published: Jun. 13th, 2025

Abstract

Aiming at the problem of low terminal voltage caused by complex terrain, scattered users, long power supply radius and seasonal load surge in Guizhou mountainous rural distribution network, this study proposes a systematic solution based on power transmission lifting device. The geographical characteristics of large mountains and large gaps in the region lead to low efficiency of distri-

文章引用: 王楠, 蔡权, 唐海鑫, 陈勇. 低压可增容自主调档电压调控装置[J]. 仪器与设备, 2025, 13(2): 197-202.
DOI: 10.12677/iae.2025.132026

bution network infrastructure transformation. The traditional expansion scheme is easy to cause no-load waste of distribution transformers, and it is difficult to meet the sudden increase in electricity demand during the Spring Festival return of 6 million migrant workers. In this paper, by developing a new type of power transmission lifting device, integrating dynamic voltage regulation and intelligent compensation technology, the output current is stabilized and the voltage quality is optimized during the peak period of power consumption, and the low voltage problem of users with ultra-power supply radius is effectively solved. The device adopts modular design, which can be flexibly deployed at the end of the distribution network, significantly reducing the no-load loss caused by the new distribution transformer, and avoiding the defects of large investment and long cycle of infrastructure projects. The application results show that the scheme can not only improve the voltage qualification rate to more than 98%, but also reduce the operation and maintenance cost by about 40%. It provides an efficient, economical and sustainable low-voltage governance paradigm for mountainous rural power grids, and has important practical value for the upgrading of power services under the rural revitalization strategy.

Keywords

Rural Distribution Network, Low Voltage Governance, Dynamic Voltage Regulation, Intelligent Compensation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

近年来，随着农村居民生活水平的提高，用电需求呈现出快速增长的趋势。在以大山脉、大落差、大跨度为主要地形特征的贵州山区，农村配电网[1]面临用户分布分散、供电半径长等一系列问题，受到地理环境的显著制约。同时，农村地区大功率用电设备[2]的日益普及，进一步加剧了低电压问题的发生。

贵州省作为我国西南地区重要劳务输出基地，根据国家统计局数据显示，全省常年约有 600 万农村劳动力跨省务工，规模位居全国前列。每年春运期间形成的“逆向迁徙”现象，使得农村地区常住人口在短时间内激增 40%以上，由此带来的用电负荷呈几何级数增长。特别是地处黔北山区的遵义供电局辖区，由于山区电网建设成本高、供电半径长，低电压问题长期被列为南方电网重点治理区域。

面对春节期间“候鸟式”用电负荷的特殊挑战，遵义供电局通过“三提前、三保障”工作法践行央企责任：提前三个月开展农网改造升级专项行动，完成 437 个台区变压器增容；提前两个月部署智能监测系统，对返乡率超 60%的村落实施用电负荷动态跟踪；提前一个月组建“村电共建”应急响应机制，储备移动式应急发电设备 87 台。党员干部带头成立 32 支“光明卫士”服务队，在除夕夜等重要时间节点驻守偏远村寨，通过“无人机巡检 + 人工特巡”双轨模式，累计消除供电隐患 1265 处，调整三相负荷不平衡台区 289 个，用实际行动将“万家灯火、南网情深”的价值追求转化为守护黔北大地灯火通明的坚实屏障，确保返乡群众从“用上电”到“用好电”的服务升级。

农村配电网末端低电压[3]问题主要由以下因素引起：低压供电半径过长、线路线径不足、户均容量不足、负荷三相不平衡以及功率因数较低等。其中，由于农户居住分散且地形复杂，不少用户距离配变台区超过 500 米，供电半径过长成为低电压问题的主要成因。针对该问题，目前主要依赖于规划基建项目[4]予以解决。然而，基建项目通常存在流程复杂、投资规模大、时效性较差等问题。此外，根据现行规定，只有低电压用户数量达到 5 户以上，才符合通过基建方式解决的标准。这进一步限制了问题的解

决效率。

为此，本文以创新驱动为导向，结合贵州特有的地理环境与实际需求，提出符合当地特点的系统性解决方案。项目负责人长期工作于创新与生产一线，始终致力于开发能够有效解决生产实际问题的创新产品，以期通过技术手段缓解农村配网末端低电压问题，提升用户供电质量[5]，助力供电企业服务水平的全面提升。

2. 技术方案

本研究以提升供电质量为核心目标，着力开发一种功率传输提升装置[6]。该装置旨在用电高峰期间保持输出电流的稳定性，确保电压质量的可靠性，从而有效解决因超供电半径导致的偏远居民散户电压质量问题。通过永久性解决低电压的痛点和难点问题，进一步提升客户满意度，实现用户“用上好电”的目标。

此外，该装置的应用能够避免因新增配变而产生的空载问题。在春节期间，600 万返乡用户的集中用电需求使供电压力剧增，而春节后用户返工，用电量大幅降低，可能导致新增配变长期处于空载状态，从而浪费资源。功率传输提升装置的引入，为此类问题提供了一种高效、经济且可持续的解决方案。

2.1. 装置原理

本研究通过改变电能传输方式，将传统的一火一零(220 V)供电模式转换为两根火线(380 V)输送功率模式，具体见图 1。在超供电半径的线路末端，接近用户端处部署功率传输提升装置，将输入端电压 380 V 降压至 220 V，以解决远距离供电电压损耗问题。

功能模块设计

1. 并联组合功率提升模块

采用模块化设计，通过自动切换机制，使组合式装置模块以并联方式运行。根据负荷运行变化需求，模块自动调节输入端感知电压。功率提升模块基于电磁感应原理设计，在闭合铁芯上绕设两个互相绝缘的绕组，通过初级与次级绕组匝数比的差异实现变压输送功率。初级端输入两根相线(AB、AC、BC 均可)。次级端输出电压直接接入负载设备，满足用户需求。

2. 隔离变压器技术原理

引入隔离变压器技术，确保装置具备电气隔离特性。初级绕组与次级绕组匝数比设计为输入 380 V 降压至输出 220 V。次级绕组不直接接地，避免与地之间产生电位差，保障输出电压安全。利用电抗线圈技术实现接地功能，从而确保输出电压在安全范围内，满足用户用电安全标准。

3. 多变比自动调节装置

研制无感切换自动调节装置，根据实际现场电压条件自动选择适配档位。输入端设计变比范围为 350 V ± 2 × 4% (共 5 个档位可调，每档电压差 15 V，具体标准根据现场测试确定)。输出端配备电压监视装置，通过实时监控和调节，确保用户端电压达到 220 V 合格范围。适用于低压线路的正常电压范围及非正常电压波动情况，安装灵活，可根据安装位置、导线截面选择适配档位。

4. 多变比自动调压控制装置

配备自动与手动调节功能，支持用户灵活选择。电压自动调节范围设置为 230 V ± 7 V (可整定)，响应频率设定为 5 分钟(可整定)，实现快速响应供电系统变化。针对电压波动较大的供电系统，设计灵活匹配的输送功率调节功能，以保证系统运行的稳定性。

方案特点

高效可靠：通过 380 V 输电并在用户端降压为 220 V，降低线路电压损耗，提高供电质量。

模块化设计：功率提升模块与自动调节装置的结合，确保装置运行灵活、高效。

安全性强：利用隔离变压器技术和电抗线圈接地，提供安全、可靠的供电方案。

灵活性高：可根据安装位置、线路条件、负荷需求进行合理配置，适应多种使用场景。

预期成效

该技术方案不仅能够永久性解决超供电半径下的低电压问题，还能避免新增配变因空载引发的资源浪费，显著提升用户满意度和供电服务质量。

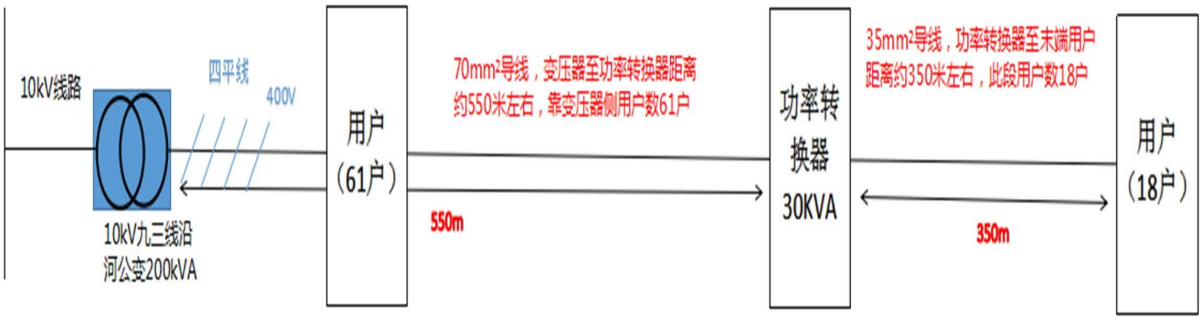

Figure 1. Power converter with two-phase fire wire transmission power diagram
图 1. 功率转换器用两相火线输送功率示意图

2.2. 创新点

本研究聚焦于解决低压配电网中超供电半径导致的居民电能质量问题。当前主流解决方案通过规划新增变压器布点，但该方式存在投资高、周期长、需跨年才能解决低电压问题的缺陷。项目创新点在于针对配电网 220 V 线路超供电半径用户电压偏低现象进行分析研究，通过在低压配电线路末端采取提升输送功率及减少用户使用大功率电器导致的电压突降的方式，同时兼顾未来居民用电需求的增长，设计可增容处理的装置。相比新增配变方式，本方案能够避免春节后用电量下降导致的配变空载问题。针对农村末端用户分散的特点，设计不符合基建准入条件(5 户以上新增配变)要求的解决方案。

1. 提升电流转换效率，采用并联组合功率提升模块。通过组合式装置模块并联运行，减少因用户使用大功率电器引起的电压突降问题，从而有效消除电压下降现象。本装置具备功率损耗小、输出电压稳定的特点，可显著提升末端电压水平，进而改善电能质量。

2. 通过电抗技术实现接地功能，确保用户用电安全。正常工作是自身变压为 220 V，将线圈末端并入一个电抗器接地，是阻碍人触电中与装置形成回路产生的电流，减少人体流过的电流，避免人身触电。本方法利用隔离与电抗降压技术相结合，采用电抗线圈技术完成接地功能，同时实现安全电压输出，保障用户安全。

3. 设计多变比自动调节功能，开发具有无感切换功能的自动调压装置。根据现场实测电压，设计输入端变比为 350 V ± 2 × 4% (共 5 个档位，每档约 15 V，可根据实际测试结果进行调整)。输出端实现电压监测，通过改变电能输送方式，将原有的一火一零(220 V)改为两根火线(380 V)，以提升输送功率。

实现在线故障诊断功能。本装置可自动辨识故障元件，与后台监控系统协同工作，实时诊断设备可靠性。

4. 采用抽屉式线圈设计，满足便携化需求。装置提供 30 kVA、50 kVA、80 kVA 的抽屉式线圈模块，可根据负荷容量变化快速实现增容或更换，检修维护更加便捷。

附：通过改变电能输送方式及变比原理设计图(图 2、图 3)：

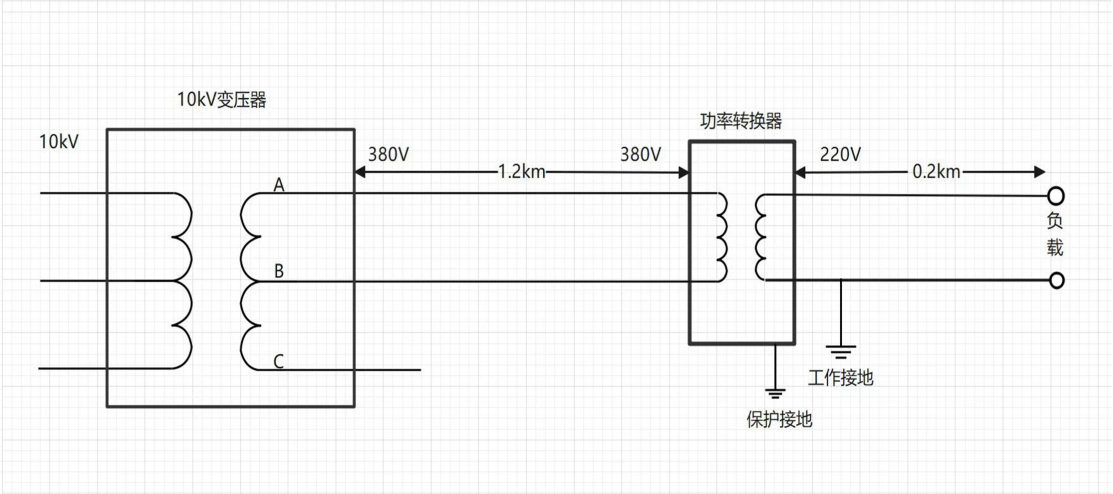

Figure 2. The schematic diagram of power transmission mode
图 2. 电能输送方式原理图

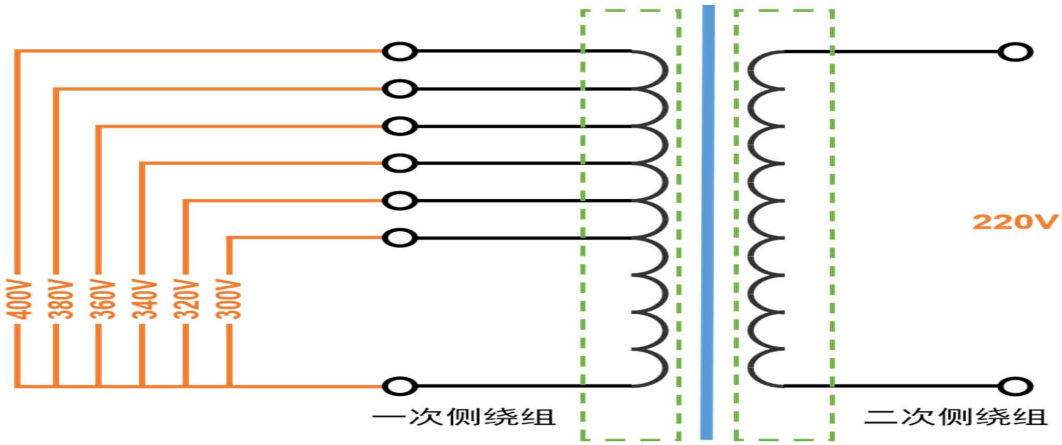

Figure 3. Multivariable ratio step-down design schematic diagram
图 3. 多变比降压设计原理图

3. 结语

研究应用前景及预期实施效益：以新增 50 kVA 变压器为例，平均投资成本约为 40 万元，而采用研发的功率传输装置(30 kVA)并结合局部线路导线更换，平均费用预计仅需 4 万元，可节约投资成本达 90%。该方案经济效益显著，适用场景广泛，适应性强，且安装便捷，投资少、见效快，具有良好的推广价值。

参考文献

[1] 张航，曹媛. 农村配电网降损节能技术探讨[J]. 农村电气化, 2025(3): 62-64.

[2] 东南大学. 大功率用电器用二次电池的正极材料[EB/OL]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=ywQ10qv17SGG8j6eVMSLUO8hHP0AA8YYIzj-d2zb_FVO8iD-mrh9rkDbGmrarQzWT8Ky9AHlevFz0VcjLtxM1gIIV6CqCQIG8IqOTb0I9G1q3uZZrQBGD3N7OPLuyUix-pORBBI7DhLS27BxNwz8aBVCKUGf__kwGzqFhgzV23pxHgTF_Uxizw3g==&uniplatform=NZKPT&language=CHS, 2025-06-11.

[3] 刘宝平，张宝，张利娟. 柔性互联型配电网末端低电压穿越控制方法[J]. 电气技术与经济, 2024(12): 400-402.

[4] 赵文欣. 基于排序机器学习的电网基建规划项目优选模型与算法研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学,

2023.
[5] 罗旻, 顾瑞卿. 10 kV 配网自动化规划建设助力供电质量提升[J]. 中国品牌与防伪, 2025(4): 171-173.
[6] 葛俊飞. 应用于谐振式无线能量传输系统的效率提升技术研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2024.