

Intelligent loss reduction device for distribution networks based on flexible regulation

Yongxi Lv

State Grid Shandong Electric Power Company, Dezhou Lingcheng District Power Supply Company, Dezhou, Shandong, 253500, China

Abstract

To address the challenge of line loss management in power supply enterprises, this project has developed an intelligent loss reduction device for distribution networks targeting three core pain points: Firstly, the comprehensive line loss rate of the enterprise is approximately 3.5%, leaving room for voltage reduction compared to advanced units, and technological breakthroughs are needed to enhance efficiency. Second, the capacitor compensation in existing substations or transformer areas is only 1 to 6 groups, which is prone to overcompensation and undercompensation, and it is difficult to precisely control the power factor. Thirdly, the average three-phase unbalance rate in low-voltage transformer areas reaches 50.37%, with only 1.27% of transformer areas having an unbalance rate of no more than 15%. The current measures can only control it at around 25%. The device takes flexible regulation as its core, aiming to solve the problems of reactive power compensation and the accuracy of three-phase imbalance, and achieve intelligent reduction of distribution network line losses. It has laid a solid foundation for building a more efficient, intelligent and reliable modern energy system.

Keywords

Flexible regulation ;Intelligent loss reduction; Reactive power compensation

基于柔性调控的配网智能降损装置

吕永喜

国网山东省电力公司德州市陵城区供电公司, 中国·山东德州 253500

摘要

为破解供电企业线损管理难题, 该项目针对三大核心痛点研发配网智能降损装置: 一是企业综合线损率约3.5%, 较先进单位有压降空间, 需技术突破增效; 二是现有变电站或台区电容补偿仅1-6组, 易过补、欠补, 功率因数难精准控制; 三是低压台区三相不平衡率均值达50.37%, 仅1.27%台区 $\leq 15\%$, 现有手段仅能控制在25%左右。装置以柔性调控为核心, 旨在解决无功补偿与三相不平衡精准度问题, 实现配网线损智能降低。为构建更高效、更智能、更可靠的现代能源体系奠定了坚实基础。

关键词

柔性调控; 智能降损; 无功补偿

1 项目背景

线损管理是提升企业经济效益的关键。随着我国经济发展进入新常态, 经济上行压力加大, 电量增速逐步放缓, 降损增效成为供电企业提升经济效益的关键抓手。在管理手段日益完善的情况下, 公司综合线损率仍在3.5%左右, 较先进单位还存在压降空间, 亟需技术突破实现降损。

无功补偿精准度有待进一步提升。现有的变电站或台区电容补偿大致分为1-6组, 存在过补和欠补问题, 补偿后

功率因数在0.8-1之间, 无法实现准确补偿。

三相不平衡补偿精准有待进一步提升。由于配变台区单相用户的不可控增容、大功率单相负载的接入以及单相负载用电的不同特性造成低压台区出现三相不平衡。经统计, 三相不平衡 $\leq 15\%$ 台区仅占1.27%, 三相不平衡率平均值为50.37%, 目前主要采用人工改线、换相开关等方法, 三相不平衡控制在25%左右, 无法精准调整三相不平衡。

2 工作原理

2.1 调整三相不平衡的工作原理

设备启动后, 通过外接电流互感器(CT)实时检测系统电流, 并将系统电流信息发送给内部控制器进行处理分析, 以判断系统是否处于不平衡状态, 同时计算出达到平衡状态时各相所需转换的电流值, 然后将信号发送给内部

【作者简介】吕永喜(1987-), 男, 中国山东德州人, 硕士, 高级工程师, 从事侧重电网规划、配电网管理、新型电力系统研究。

IGBT 并驱动其动作，将不平衡电流从电流大的相转移到电流小的相，最后达到三相平衡状态。三相不平衡工作原理图如图 1 所示。

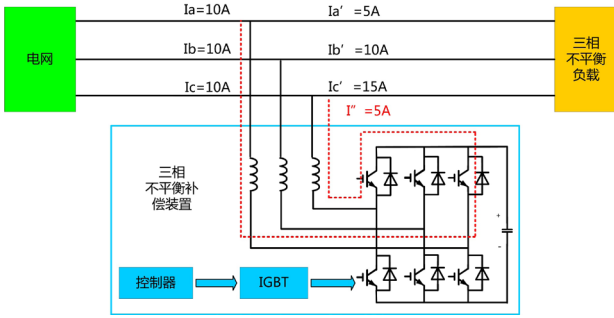


图 1 三相不平衡工作原理图

2.2 无功补偿的工作原理

设备启动后，通过外部电流互感器（CT），实时检测负载电流，并通过内部 DSP 计算来分析负载电流的无功含量，然后根据设置值来控制 PWM 信号发生器发出控制信号给内部 IGBT 使逆变器产生满足要求的无功补偿电流，最终实现动态无功补偿的目的。补偿工作原理图如图 2、图 3 所示^[1]。

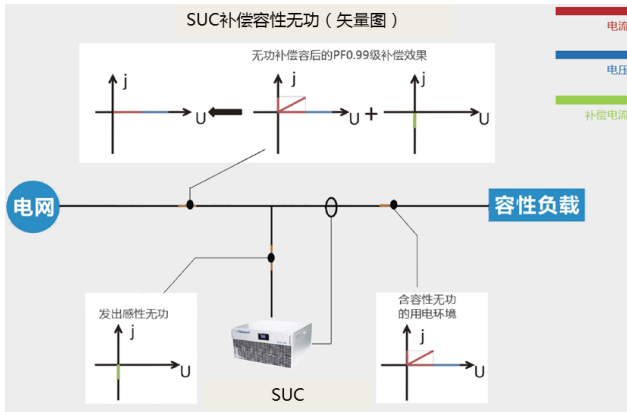


图 2 容性无功补偿工作原理图

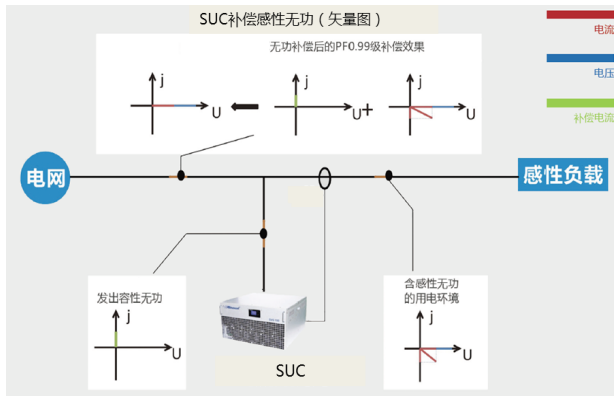


图 3 感性无功补偿工作原理图

3 创新亮点

创新点一：采用独有的非线性饱和和切换控制方法，加

快了三相不平衡补偿设备的响应速度，提升了补偿能力。采用独有的非线性饱和和切换控制方法，在负载不平衡度很大且超过补偿装置本身补偿容量时，能够对输出的补偿电流进行饱和和限幅，限制在额定容量范围内输出，有效保证系统在过电压和过负荷情况下的稳定性。

创新点二：采用双 DSP+FPGA 控制器的硬件架构，尽可能快速地完成算法计算，短时间内针对不同故障快速做出相应动作，提高系统运行效率。采用双 DSP+FPGA 控制器的硬件架构，尽可能快速地完成算法计算，提高了响应速率，达到了快速保护、快速控制的目标。双 DSP+FPGA 控制器的硬件架构图如图 4 所示。

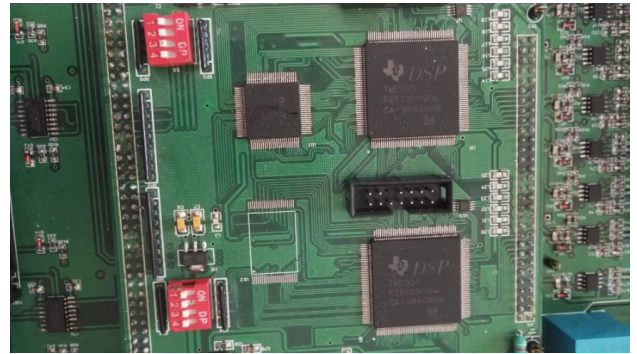


图 4 双 DSP+FPGA 控制器的硬件架构图

创新点三：基于瞬时功率法的电流检测技术，能快速实时的检测出指令电流，提升了装置的补偿精度与响应速度。基于瞬时无功功率的谐波电流检测方法通过坐标变换把基波电流从负载电流中分离出来，然后将负载电流与分离出来的基波电流相减，求出的电流即为需要补偿的谐波电流及无功电流。通过该技术进行三相不平衡补偿前后的电流波形对比如下，可以看到谐波成分得到有效滤除。现场效果图如图 5 所示。

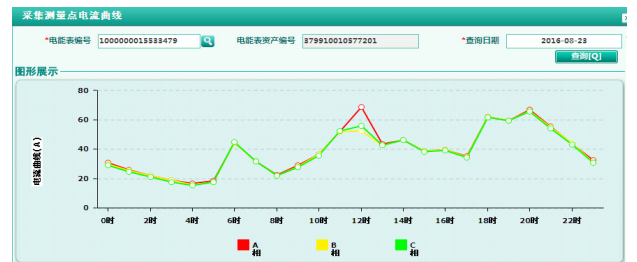


图 5 现场效果图

创新点四：基于一体化电量与线损管理系统的配电网路线损分析方法和基于一体化电量与线损管理系统的台区线损分析方法，精准定位高损原因。结合一体化电量与线损管理系统中线路关口、用户电量、下辖区台区线损率、线路母平等数据，通过大数据分析和智能算法进行处理，判断设备线损是否在合理范围内，通过逻辑关系定向识别设备线损异常原因，便于管理和分类统计，为设备安装位置及容量选择提供依据^[2]。

4 技术先进性和实用性

4.1 先进性

项目所采用的基于瞬时功率法的电流检测技术、非线性饱和切换控制方法等技术处于国内先进水平，加快了三相不平衡补偿设备的响应速度，提升了装置的补偿精度与响应速度，远高于传统的AVG补偿精度与响应速度，具备较高的技术含量和竞争力。

4.2 实用性

该项目成果具有良好地可操作性，体积小，便于安装，可以安装在现有电线杆上，也可以放在配电室内。同时具有很强的实用性，该装置适用于存在供电半径长、负荷分布不均匀、功率因数低、低电压、谐波等原因造成高线损的10千伏线路，通过补偿无功功率、提升功率因数、提升线路电压、减少谐波含量等因素从投切点就近向线路输送补偿和调节电压，达到降低线损和提升线路电压的目的；也适用于存在低电压、三相不平衡、功率因数低、谐波的台区，通过提升功率因数、调节三相不平衡、改善台区电压分布达到降损目标。该项目成果能够广泛用于电力行业的所有10千伏线路及配电台区，解决线损过、电压低等问题，提升企业的效益和电能质量，服务企业高质量用电。

4.3 实用效果

三相不平衡由最大值82.78%调节至8%以内，功率因数由最小值0.6补偿至1，台区线损率由5.03%下降至4.03%，10千伏线损率由3.6%下降至2.5%左右^[9]。

5 经济社会效益

5.1 经济效益

该项目成果已成功应用于国网德州市陵城区供电公司 and 国网聊城茌平供电公司合计12条线路、12个台区，节约了两公司线路和台区改造费用，同时降低了线损，减少了经济损失，为企业带来了1846.32万元的经济效益。

5.2 社会效益

通过该项目成果的实施，在提升企业经济效益的同时，2024年减少了约600万千瓦时电量损耗，节约2424吨标煤，减排二氧化碳6496吨，落实了国家“双碳”战略，为人类应对全球变暖贡献了力量；改善了电压质量、消除了电网谐波，为企业生产提供了优质电能，助力企业提升产品质量，为中国智制保驾护航；该项目成果的实施推动了电力电子技

术和智能技术的应用，促进了电力行业在降损方面的技术进步和相关产业升级，提升了电力企业的数智化水平。

6 结论

该项目成果已应用于本单位4条线路和5个台区，并推广应用于聊城茌平公司，对企业降损增效发挥了重要作用，该项目成果的实施推动了电力电子技术和数智技术的应用，促进了电力行业在降损方面的技术进步和相关产业升级。

6.1 推动电力电子技术和数智技术在电力行业的应用

本项目成果应用了电力电子技术和大数据智能技术，通过对电力设备相关数据的大量采集和智能分析，为项目成果的安装位置和型号选择提供了更科学的数据依据；通过应用电力电子技术，提升了设备的响应速度和补偿精度，使问题解决更彻底、更精准，推动电力电子技术和数智技术在电力行业的应用。

6.2 推动降损技术的进步

传统的线路或台区电容补偿大致分为1-4组，存在过补和欠补问题，而该成果采用电力电子技术，通过调节IGBT桥的运行方式按需进行补偿，不存在过补和欠补问题；传统三相不平衡通过换相开关调节，存在调节不精准、开关动作次数有限、开关动作速度影响用户供电等问题，而该成果通过调节IGBT桥的运行方式来调节三相不平衡，解决了上述问题，推动了降损技术向更快更准进步。

6.3 推动相关产业的升级

从传统手段向先进电力电子技术解决功率因数和三相平衡问题的转变，绝非简单的设备替换，而是降损理念和技术的深刻变革。这一变革强力驱动着从核心元器件、关键装备制造到系统集成、技术服务乃至标准规范的整个产业链条，向高技术、高附加值、智能化方向全面升级演进，为构建更高效、更智能、更可靠的现代能源体系奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 王红燕.探究配网自动化建设对供电可靠性的影响.通信电源技术[J].2020(10)
- [2] 刘玮.配网自动化中故障处理模式的分析比较探究[J].中国科技投资,2021(02)
- [3] 刘玉宝.配网自动化故障定位问题的研究及应用[J].通信电源技术,2019(12)