

Study of Voltage Monitoring and Decision Support System for Rural Distribution Network

Ke Hu¹, Xin Zhang¹, Chun Chen², Rong Zhou², Binbin Yan²

¹State Grid Chongqing Beibei Power Supply Company, Chongqing

²School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Email: zhourongnjust@163.com

Received: Dec. 11th, 2015; accepted: Dec. 23rd, 2015; published: Dec. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

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



Open Access

Abstract

To effectively solve the “low voltage” problem in rural distribution network, provide practical and reliable decision support tools, the voltage monitoring and decision support system for rural distribution network is proposed. The forward and backward substitution method is adopted to achieve the “low voltage” analysis and voltage control simulation. The improved Particle Swarm Optimization (PSO) is used to solve objective optimization and give the voltage control integrated strategies. The practical application shows that this system can provide data support and technical guidance for “low voltage” governance in rural power distribution network.

Keywords

Rural Distribution Network, “Low Voltage” Governance, Decision Support

农村配电网电压监测辅助决策系统研究

胡可¹, 张鑫¹, 陈春¹, 周荣², 严彬彬²

¹国网重庆北碚供电公司, 重庆

²南京理工大学自动化学院, 江苏 南京

Email: zhourongnjust@163.com

收稿日期：2015年12月11日；录用日期：2015年12月23日；发布日期：2015年12月30日

摘要

为有效解决农村配电网“低电压”问题，并提供实用可靠的辅助决策工具，研究了农村配电网电压监测辅助决策系统：利用前推回代潮流计算方法，实现“低电压”辅助分析和调压仿真计算；利用改进粒子群算法进行目标优化，给出电压治理综合策略。算例表明，其能为农村配电网的“低电压”治理工作提供数据支持和技术指导。

关键词

农村配电网，“低电压”治理，辅助决策

1. 引言

农村配电网建设相对落后，改造不及时，随着农村生活水平的不断提高，农村用电负荷量持续攀升，负荷种类愈加复杂，农村“低电压”现象普遍；另一方面，“低电压”治理过程中未经系统完整的分析和方案论证，在局部随意投入设备，盲目改造，对农村配电网的治理改造效果较差。为此，需要研究方便实用的“低电压”治理辅助决策系统[1]来指导农村电压治理工作。

2. 农村配电网潮流仿真计算

农村配电网包含中压(10 kV)和低压(380 V)两种电压等级。一条 10 kV 线路上 T 接台区众多，若将馈线到各台区末端负荷作为整体计算，则系统过于复杂，且影响计算速度。另一方面，低压配电网采用三相四线制供电，三相负荷不平衡比较严重；而中压配电网采用三相三相制供电，三相不平衡不明显。所以将一条 10 kV 馈线到用户端的潮流计算分为中压配网和各低压台区两部分进行。中压配网部分从变电站馈线到各 T 接配变，配变为负荷节点，采用单相等值电路模型进行潮流计算；低压台区部分从配变低压侧(台区首段)到各末端用户，用户为负荷节点，经中压部分潮流计算算出各台区首端电压后，采用三相等值电路模型对各台区进行潮流计算。通过两部分的计算便可得到整条馈线上的潮流分布。

3. 农村配电网“低电压”治理措施

导致农村配电台台区低电压问题的主要原因有：配电网线路径较小、供电半径大、配电网无功补偿配置不足、配电变压器分接头设置不合理、低压台区三相负荷不平衡等。

本文主要采取的低电压治理措施如下：

- 1) 更换部分线径小，电压损耗大的导线。为更好的达到治理效果，主要考虑更换主干线路导线。还需注意的是在分段更换配电导线时，距离电源点近的支路段导线线径不能小于远离电源点的支路段。
- 2) 安装线路调压器(SVR)。采用在 10 kV 线路中安装自动调压器(SVR)的方法，提高安装点电压，起到扩大供电半径的作用，改善线路末端低电压现象。
- 3) 无功补偿。按照集中和分散补偿相结合的原则，选择 10 kV 线路杆上无功补偿和配变低压侧无功补偿作为农村配电网无功补偿方式。

补偿点位置按网损灵敏度[2]和无功裕度[3] [4]的倒数由大到小的原则在容量大于 100 kVA 配变低压侧选择适量补偿点，采用低压分组智能补偿装置；在 10 kV 主干线路上选取 1~2 个补偿点，采用固定补

偿方式。

4) 合理设置配变分接头。通过调整分接头档位可以在一定程度上提高配变出口电压,改善台区低电压状况。

5) 进行低压三相负荷调整。降低三相负荷不平衡最直接、最根本的方法就是调整负荷的接入相序[5]。若配变三相不平衡度不满足要求要及时做好三相负荷调整工作,减小配变三相不平衡度,防止重载相电压偏低。(注:国家电网公司《配电网运行规程》规定,配变不平衡度不应大于 15%。不平衡度按(三相电流最大值 - 三相电流最小值)/三相电流最大值 × 100%计算。)

4. 电压监测辅助决策系统

在潮流计算的基础上,本文研究了农村配电网电压监测辅助决策系统。该系统主要包含导入查询配电网参数,配电网潮流计算,低电压辅助分析、“低电压”治理方案的辅助决策和结果输出几个部分,系统结构如图 1 所示。

本文的电压监测辅助决策系统通过导入配电网的拓扑信息和参数并进行潮流计算,通过潮流计算得到的各节点低压状况、负荷状态及性质、功率因数、电压降落和台区变的三相不对称度等因素辅助分析“低电压”原因。然后利用系统的辅助决策方法确定“低电压”治理的方案。

具体的,本文中提供两种辅助决策方法:

1) 考虑工程建设周期和用户具体需求,以潮流计算为基础,在系统中可分别设置每种调压手段的参数。包括:设置配电线路段导线参数、模拟安装线路调压器并设置安装位置和档位、设置无功补偿位置和容量、设置配变分接头位置和设置台区主要单相负荷的接入相别进行负荷调整。系统经过计算后给出调压效果,论证可行性,为实施治理提供数据支持,辅助用户选择合适的治理方案。

2) 低压台区负荷调整策略的制定仍按 1)中方法确定,考虑中压部分涉及更换 10 kV 配电导线,安装线路调压器,无功补偿和调整配变变比等多种治理措施。仅采用一种措施往往达不到治理目的,或者需要较高投资才能达到治理效果。为协同采用这些措施,综合考虑电压治理效果和投资效益,在保证电压偏差满足要求的前提下,以投资回报年限最短为目标函数,以配电线路型号参数,中低压无功补偿容量配置,调压器参数和配变变比为控制变量,建立配电网“低电压”综合治理优化模型。并采用改进粒子群算法对模型进行优化求解。给出中压网络综合电压治理策略、治理效果和经济效益。

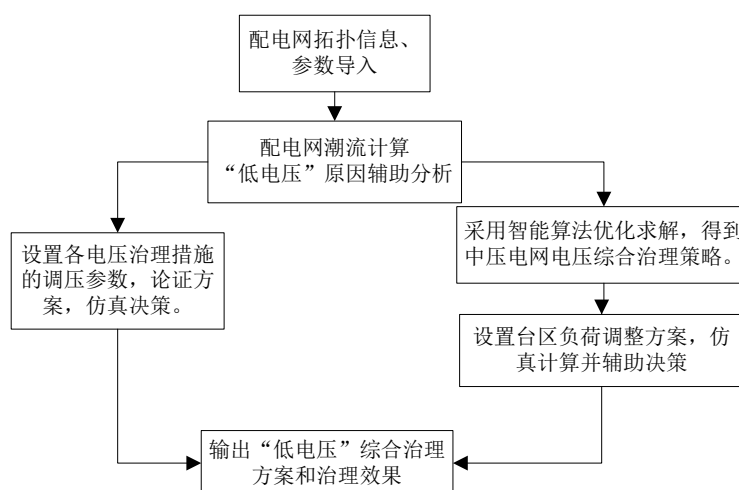


Figure 1. Structure of voltage monitoring and decision support system

图 1. 电压监测辅助决策系统结构图

① 数学模型

电压偏差满足要求是进行“低电压”治理的技术目标，为实现投资效益和低压治理效果这两大目标的统一。模型以电压治理投资回报年限最短为目标函数，并将电压偏差约束作为惩罚项加到目标函数中构成增广目标函数，即式(1)。

$$\min f = \frac{F_1}{F_p} + \lambda \sum_{i=1}^{N_A} (\Delta V_i)^2 = \frac{F_L + F_C + F_{SVR}}{\Delta P_{loss} \times K_D \times \tau} + \lambda \sum_{i=1}^{N_A} (\Delta V_i)^2 \quad (1)$$

式中： F_1 为更换导线，安装线路调压器和配置无功补偿设备的一次性总投资， F_L 为更换导线投资， F_C 为中压杆上和配变低压侧无功补偿投资，由补偿点设备固定安装费和补偿装置单价、补偿容量大小共同决定， F_{SVR} 为线路调压器安装费； F_p 为配电网年节约电能损失费， K_D 为有功电价， τ 为年最大负荷损耗小时数， ΔP_{loss} 为电压治理前后配电网网损之差； λ 为惩罚因子， N_A 为系统节点总数， ΔV_i 为各节点的电压越限值。

② 模型求解方法

中压部分的电压治理优化决策模型是典型的多变量、多约束非线性组合优化问题。粒子群算法是一种智能优化算法，具有收敛速度快，鲁棒性好的优点。本文通过粒子分组并引入交叉变异算子对基本粒子群算法进行了改进，并将其应用于求解电压治理优化决策模型。改进后的粒子群算法的流程图如图2所示。

对传统粒子群算法的具体改进措施：

a) 结合分组粒子群算法的思想[6]，从算法收敛速度和平衡全局和局部搜索能力两方面考虑，将所有粒子分为两组。第一组粒子群惯性权重 w_1 线性递增，粒子数量递减；第二组粒子群惯性权重 w_2 线性递减，粒子数量递增。在优化前期，大部分种群承担全局探索工作，加快收敛速度，优化后期大部分粒子承担局部开发工作，在后期较优的解中精细搜索，而且算法全程始终兼顾全局和局部搜索能力。

b) 为防止种群的快速趋同效应，进一步增强全局搜索性能。在粒子群算法每优化G代后，即引入一次交叉和变异操作，提高种群多样性，使算法能更有效的找出最优解。

5. 算例分析

以某地区农村配电网为例：网络接线图如图3所示，变电站低压侧母线平均电压10.5 kV，10 kV主干线路总长16.37 km，主干线采用导线型号为LGJ-70；共有配电变压器28台，最大负荷时，总有功负荷为2052 kW，总无功负荷为1573 kvar（年最大负荷损耗时间为3200小时），平均功率因数0.794，网络未安装无功补偿装置。

经潮流计算发现该网络70个节点中，电压偏差满足要求的节点仅有18个，电压合格率偏低，且网损较大。初步分析，该配网平均功率因素偏低，整体无功不足；配电线路较长且线径较小等因素可能是导致该配网“低电压”的原因。现采用本文提出的系统进行“低电压”综合治理辅助决策，经优化求解后，确定治理方案如下：

- 1) 不更换配电导线，无需经济投入。
- 2) 需在节点5和6间安装一台调压器，且调压器变比设为1:1.05；投资费用为7万元。
- 3) 在10 kV线路14节点安装补偿装置，容量为340 kvar，在配变低压侧52，64节点各安装130 kvar无功补偿。安装无功补偿设备总安装费用为8.04万元。
- 4) 调整部分台区配变的分接头，减小变比，提升配变低压侧电压。
- 5) 本实例未对各低压台区内负荷调整进行具体研究，使用时可在软件中设置负荷调整方案，指导实际调整工作，使配变不平衡度满足指标要求，同时进一步改善台区电压。

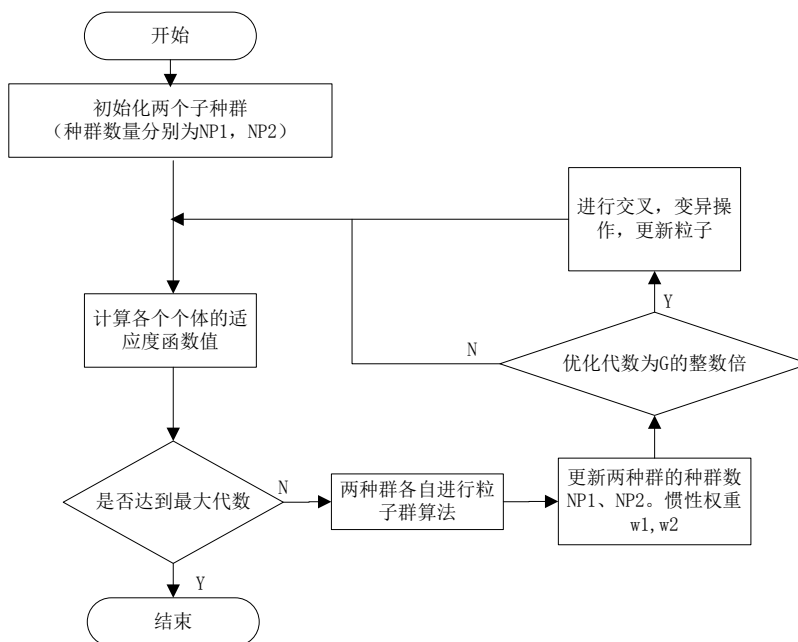


Figure 2. Flowchart of improved particle swarm optimization
图 2. 改进粒子群算法流程图

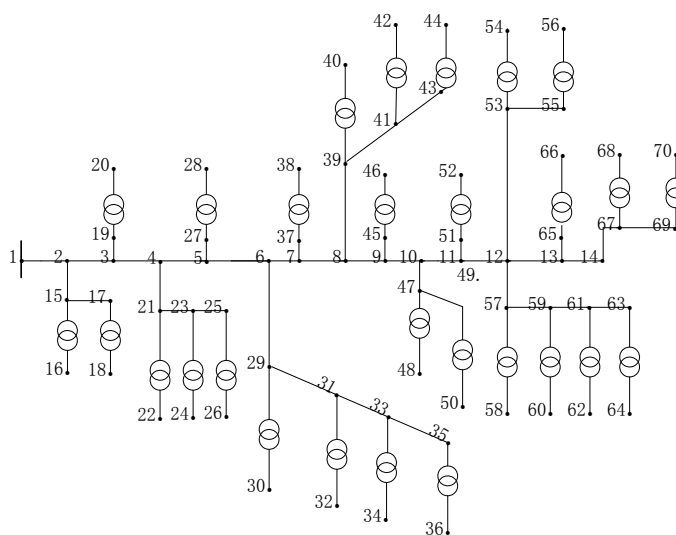


Figure 3. Wiring diagram of distribution network
图 3. 实际配电网接线图

Table 1. Technology benefits of voltage governance
表 1. 电压治理技术效益

比较项目	治理前	治理后
电压合格节点数(共 70 节点)	18	70
电压合格率	25.7%	100%
网络损耗/kW	320	215
网损率	15.6%	10.5%

Table 2. Economic benefits of voltage governance
表 2. 电压治理经济效益

项目	
更换导线投资/万元	0
调压器投资/万元	7
无功补偿投资/万元	8.04
年节约网损费用/万元	16.8
投资回收年限/年	0.895

采用以上方案进行“低电压”综合治理后的技术和经济效益如表 1 和表 2 所示。

从治理结果可以看出,应用本文辅助决策方法对该 70 节点配电网进行电压治理后,电压合格率显著上升,网损率明显减少,且投资回报年限短,达到了预期的治理效果。

6. 结论

农村配电网的“低电压”治理对改善广大农村用户的用电质量有着重要意义。经实际应用,本文研究的电压监测辅助决策软件通过潮流计算监测配电网“低电压”并辅助进行原因分析,通过对配电网各种“低电压”治理措施分析和计算,对各治理方案进行可行性论证,并可经目标优化给出可行的综合治理策略。为经济有效的治理农村“低电压”提供了数据支持和方案指导,具有很强的实用性和可行性。

基金项目

国家电网公司科技项目资助(2015 渝电科技自 39#)。

参考文献 (References)

- [1] 李峻. “低电压”治理辅助决策系统[J]. 农村电气化, 2012(s1): 64-65.
- [2] 邓权帅. 地区电网电压稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [3] 叶萌. 考虑电压质量的分布式电源选址定容[J]. 现代电力, 2010, 27(4): 30-34.
- [4] 刘传栓, 张焰. 电力系统无功补偿点及其补偿容量的确定[J]. 电网技术, 2007, 31(12): 78-81.
- [5] 张明. 低压配电网三相负荷不平衡优化模型的研究[J]. 武汉科技大学学报, 2015, 38(1): 59-62.
- [6] 居凤霞. 粒子群优化算法的改进和应用[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2014.