

# Control Method and Improvement of Rural Low Voltage Distribution Network Based on Reactive Power Optimization

Yankai Yin<sup>1</sup>, Jie Ren<sup>1</sup>, Ning Wang<sup>1</sup>, Liankai Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laiwu Power Supply Company, State Power Corporation of Shandong Province, Laiwu Shandong

<sup>2</sup>State Power Corporation of Shandong Province, Liaocheng Power Supply Company, Liaocheng Shandong  
Email: yinkai6688@126.com

Received: Dec. 8<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 25<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 28<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 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

The “low voltage” produced by the terminal of the distribution network concerns the quality of thousands of households’ life. Eliminating the “low voltage” has become the most basic request in the electric power supply company. Considering the influence of low voltage on the users, based on the deep analysis of the causes of low voltage, combined with the current situation of “low voltage” problem management in region A, the effect of different technical measures is comprehensively compared. Based on the case analysis of typical three-phase load imbalance at the end of distribution network, a scheme is proposed to install low-voltage dynamic reactive power compensation device at the optimal position in the region of low-voltage distribution network. In addition, a model was established based on the Simulink simulation to verify the rationality of the scheme.

## Keywords

Low Voltage, Distribution Network, Distribute-Electricity Transformer District, Three-Phase Imbalance, Matlab Simulation

---

# 基于无功优化的农村配电网低电压治理方法及改进

尹延凯<sup>1</sup>, 任杰<sup>1</sup>, 王宁<sup>1</sup>, 张连凯<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网山东省电力公司莱芜供电公司, 山东 莱芜

<sup>2</sup>国网山东省电力公司聊城供电公司, 山东 聊城  
Email: yinkai6688@126.com

收稿日期: 2016年12月8日; 录用日期: 2016年12月25日; 发布日期: 2016年12月28日

## 摘要

农村配电网末端存在的“低电压”问题影响了用户的电能质量, 消除“低电压”问题已成为供电企业保障客户电能质量的基本要求。考虑到“低电压”问题对用户的影响, 在深入分析低电压产生原因的基础上, 结合A地区“低电压”问题治理现状, 综合对比不同技术措施的实施效果。通过对配电网末端三相负荷不平衡的典型台区进行案例分析, 提出一种在距产生“低电压”配电网线路区域内最优位置安装低压动态无功补偿装置的方案, 最后利用MATLAB建立该方案的仿真模型, 实验结果验证了方案的合理性。

## 关键词

低电压, 配电网, 配变台区, 三相不平衡, Matlab仿真

## 1. 引言

随着人民生活水平的不断提高, 农村地区在用电量急剧增加的同时, 对供电质量[1]也提出了更高的要求, 而农村电网经常出现超负荷运行, 造成电压幅值的降低, 从而出现“低电压”问题, 给人民的生产、生活带来了不利影响。因此, 研究如何改变农村电网的低电压现状、改善供电质量显得尤为重要。

10 kV 配电网中出现低电压的原因有多种, 且已经有大量的研究文献提出不同的解决方案。文献[2]是通过建立无功优化技术支撑平台, 形成了一套基于全网无功优化补偿的建设方案。文献[3]运用通用的瞬时功率理论, 在三相间进行功率分布的优化分配这一思想的合理性, 提出利用相间存在耦合的电抗器网络对三相不平衡进行补偿的方法。文献[4]介绍了安装支线末端电压提升系统, 使末端电压提升 15% 以上。文献[5]是以降低三相负荷不平衡率为目的, 合理的调整三相四线线路的负荷分配。文献[6]对三相不平衡负荷的补偿原理进行研究, 提出了使用 TCR + TSC 型 SVC 作为三相不平衡负荷的补偿装置。

本文对治理农村“低电压”的两种不同措施进行深入的分析研究, 并结合 A 地区治理经验可知, 适当的对配电网进行无功补偿, 合理的进行负荷分配和增加配变台区布点, 在治理低电压过程中起到关键作用。本文提出在配网末端选择合适电气距离, 进行低压动态无功补偿方案, 提高电容器的补偿效果, 改善电压质量。

以下为两种典型治理“低电压”现象的措施, 并对其中由三相负荷不平衡引起的配电网“低电压”, 通过增加无功补偿措施进行改进。

## 2. 新增配变布点治理低电压

### 2.1. 原理及适用范围

#### 1) 原理

新增配变布点是针对现有配变布点和低压台区负荷分布不合理、供电半径大等问题, 通过增加配变布点, 解决由于低压供电半径过长、配变重超载等造成的配网 D 类用户低电压的问题。

#### 2) 适用范围

适用于无法通过配变调档、低压三相负荷调整、投切无功补偿装置等方法解决的 D 类用户低电压问

题。该措施能有效解决因供电半径过长引起的末端用户低电压和配变重、过载引起的配变出口电压偏低等问题，配变新增布点后需要同步进行低压台区改造。

## 2.2. 新增布点实例分析

以 A 市 35kVxx 变电站 10kVxx 线陈家配变台区增加布点为例，该台区于上世纪九十年代投运，由于夏季制冷、冬季取暖引起的季节性负荷增高，导致用电负荷增长迅速。经现场分析该配变存在重负载、低压供电半径超标、末端电压低等问题，需新增配变布点以缩短供电半径，提高配变台区的供电能力和供电质量。

陈家配变台区现运行 S9-200kVA 变压器 2 台、S11-315kVA 变压器 1 台；配变负载率 75%，低压供电半径为 650 米。依据《国网山东电力生产技术改造原则》[6] 对 A 市陈家配变台区进行技术改造。

### 1) 技术实施方案

增加 3 台 200kVA 配变、10 千伏延伸架设 JKLGJYJ-95/10 绝缘导线 0.75 千米、敷设 YJV22-3×70 电缆 0.14 千米；新增配变布点接入低压网络后，切改 0.4 千伏 YJV22-4×150 电缆 0.14 千米、YJV22-4×25 电缆 1.98 公里。线路末端用户电压治理前的曲线如图 1 所示。

### 2) 应用效果

上述技术改造方案投运后，需合理调整配电变压器档位，其原则为：负荷高，电压高，下调档位；负荷低，电压低，上调档位。经现场实测，陈家配变台区在新增布点后，低压供电半径缩短为 250 m，负荷高峰期末端用户电压为 230.5 V，电压恢复正常。此方案解决了无法通过配变调档、低压三相负荷调整、投切无功补偿装置等方法治理用户低电压的问题。线路末端用户电压治理后的曲线如图 2 所示。

## 3. 配电网线路三相负荷不平衡治理

配网末端出现三相负荷不平衡问题时，可以通过无功功率补偿减小不平衡率。在 10kV 配网线路中选择最优位置合理进行就地无功补偿，不但可以提高用户配变变压器的利用率、用户的功率因数和改善电压质量，还可以减轻上一级电网补偿的压力。

### 3.1. 现场工况分析

本文以山东某市某 35kV 变电站 10kV XX 线为例对现场情况进行分析，该配变台区共有照明用户 659 户，动力用户 49 户，其中照明用户容量为 481.07 kVA；4 台容量为 200 kVA 的变压器，该配变台区的负载率为 73%，未装设无功补偿设备。

对该配变台区 XX 线路运行数据进行了详细的测量，结果显示该台区配变重过载，存在严重的三相电压不平衡、动力负荷较大等问题，导致用户的户均容量低，在配电网末端出现“低电压”问题。

### 3.2. 补偿技术方案

由三相负荷不平衡引起的三相电压不平衡的问题将降低电力系统和用户的供电质量[7]，针对该现象可对配电网进行无功补偿，其作用如下：

1) 提高供用电系统及负载的功率因数[8]。

2) 稳定电网的电压水平，改善供电质量，在长距离配电线路中找合适地点进行动态无功补偿，提高输电能力和用户电压水平[9]。

3) 在三相负载不平衡配电线路中，通过适当容量的无功补偿可以平衡三相的无功及有功负载。

基于上述分析，本文提出在产生“低电压”区域内线路投入无功补偿装置的最佳运行距离解决方案，



Figure 1. The end of the line a user voltage curve (before the governance)

图 1. 线路末端某用户电压曲线(治理前)

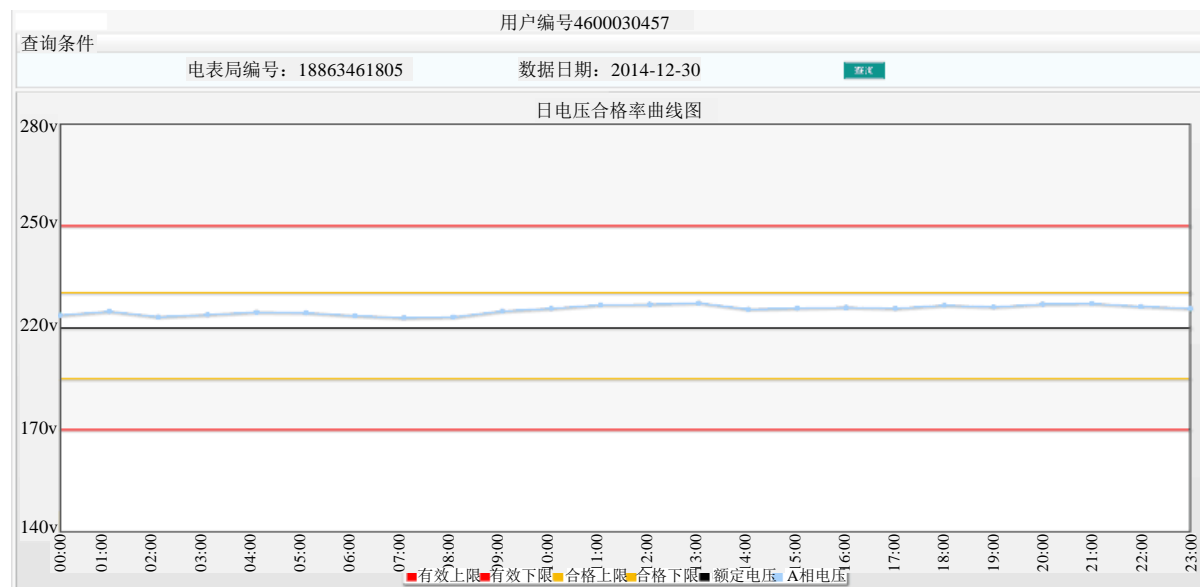


Figure 2. The end of the line a user voltage curve (after the governance)

图 2. 线路末端某用户电压曲线(治理后)

经过仿真验证，该方案可以显著提高用电设备供电回路的功率因数，改善三相电压不平衡度和用户的电压质量。此外，在合理位置安装补偿电容器对降低线路损耗也能起到较好效果。

### 3.3. 仿真验证

应用 MATLAB 仿真软件的 Simulink 模块[9]，建立 10kV 配电网中三相负荷不平衡的仿真模型，仿真模型如图 3 所示。

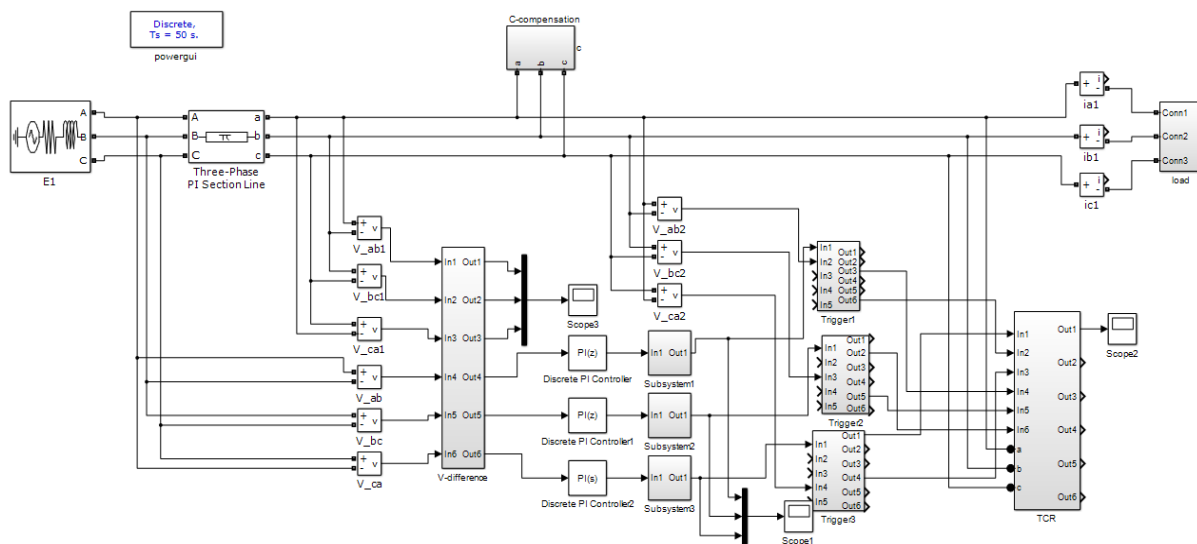


Figure 3. The three-phase unbalanced load model

图 3. 三相负荷不平衡模型

仿真模型主要包括：三相电源模块(Souce)，补偿电容模块(C-Compensation)，压差计算模块(V-Difference)，晶闸管控制电抗器模块(TCR)，负载模块(Load)，电力系统图形化用户接口(Powergui)。

首先先假设在仿真过程中 10kV 配电网具备以下理想条件[10] [11]: 1) 出口电压基本稳定, 取配网额定线电压为 380 V。2) 选取的导线型号、导线线径一致。3) 线路存在过负荷情况。

其中, A、B、C 各相有功功率及感性无功功率分别为:  $P_a = 60 \text{ kW}$ ,  $Q_a = 5.8 \text{ kvar}$ ,  $P_b = 54 \text{ kW}$ ,  $Q_a = 6.2 \text{ kvar}$ ,  $P_c = 50 \text{ kW}$ ,  $Q_a = 4.6 \text{ kvar}$ 。补偿容量为  $10 \text{ kvar} \times 6$  组。

输入 A 市 XX 线路的负荷数据, 利用模型进行仿真, 发现当配电网末端出现过载时, 仿真结果显示此时会有三相电压不平衡出现。

当配电网末端出现过过载时, 在产生“低电压”区域内线路不同位置进行电容补偿出口电压值得比较如表 1 所示:

距产生“低电压”区域内线路末端 1/3 处安装低压动态无功补偿装置, 仿真结果如图 4、图 5 所示。

线路出现过负荷时, 整个配电网线路出现三相负荷不平衡现象, 导致用户设备的电压幅值下降。通过仿真得到在距产生“低电压”线路区域内末端较远时, 电容补偿效果差, 较近时, 则会产生过电压。因此, 如图 6 所示在距产生“低电压”线路区域内的 1/3 处安装容性无功补偿装置, 其他运行条件不变时三相电压得到了明显改善并且无功补偿效果最佳。

### 3.4. 实施效果

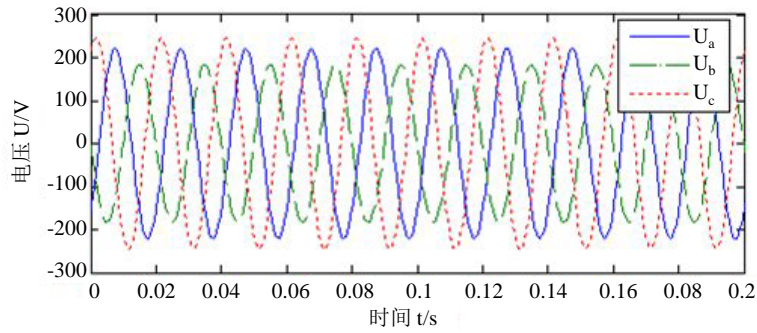
应用仿真软件对该技术方案进行仿真实验, 实验结果表明: 该方案对于配电网末端的三相电压不平衡问题起到了较好的补偿作用, 从而明显改善了低电压问题。在实施该技术方案后, 由三相负荷不平衡引起的用户端电压从原来的 0.85 倍额定电压提升到 1.05 倍额定电压, 配变功率因数从原来的 0.85 提升到 0.94。此外, 在配网末端线路 1/3 处安装并联电容器装置治理低电压, 还可有效减少变压器和线路的有功功率损耗。

## 4. 总结

本文针对低压配电网中不平衡负荷引起的电压不平衡以及对配电网末端区域内低电压问题的产生进

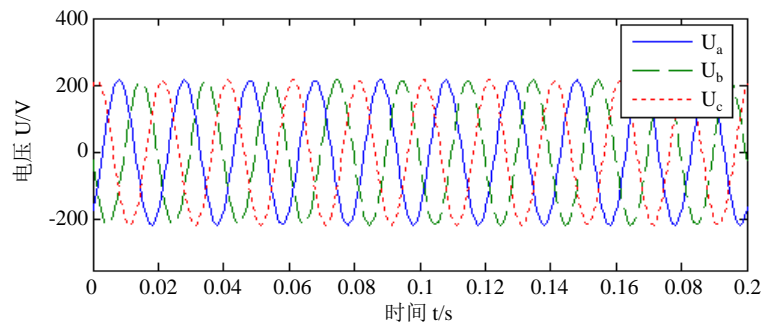
**Table 1.** The compensation effect of different positions  
**表 1.** 不同位置补偿效果

安装位置	电容补偿	10 kV 线路末端电压	配变出口电压最低值	补偿后配变出口电压最低值
区域内距线路末端 2/3 处	60 kvar	10.03 kV	185 V	191 V
区域内距线路末端 1/3 处	60 kvar	10.03 kV	185 V	231 V
区域内线路最末端	60 kvar	10.03 kV	185 V	243 V



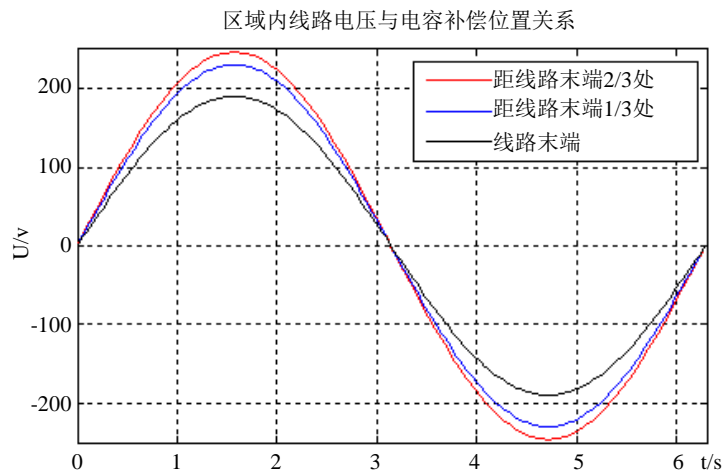
**Figure 4.** Three-phase voltage waveform before compensation

**图 4.** 补偿前的三相电压波形



**Figure 5.** Three-phase voltage waveform after compensation

**图 5.** 补偿后的三相电压波形



**Figure 6.** Compensation effect in different area line position

**图 6.** 区域内线路不同位置补偿效果图



行分析和研究，主要研究了在低压配电网产生“低电压”区域内线路中找到最优位置进行无功补偿。构建了 MATLAB 模型进行仿真和验证，归纳如下：

1) 本文对低压配电网中三相负荷不平衡系统进行了功率分析，使用全电容补偿的方法对三相不平衡无功补偿和有功平衡进行了研究，结合线路的潮流计算得到最优的线路无功补偿位置。

2) 本文借助 MATLAB/Simulink 软件工具箱搭建了上述方案的仿真模型，结合 A 地区现场收集的数据，进行仿真验证，验证了方案的可行性。

### 参考文献 (References)

- [1] 王兆安, 杨君, 刘进军, 王跃. 谐波抑制和无功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.10.
- [2] 程升平, 汪光宇, 胡玉梅, 汪健, 许东良, 吴小佳. 无功优化补偿建设[J]. 农村电气化, 2011(3): 7-9.
- [3] 王茂海, 孙元章. 通用瞬时功率理论在三相不平衡负荷补偿中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003(11): 60-63.
- [4] 傅宇宏, 侯建斌, 蔡金锭. 农村台区“低电压”整治[J]. 农村电气化, 2012(S1): 47-48.
- [5] 李海峰, 詹涛, 吴选广, 夏明, 王卫琳, 余行火. 配变三相负荷不平衡治理[J]. 农村电气化, 2011(6): 10-12.
- [6] 彭辉, 黄亦农, 王茂海. 配电网中三相不平衡负荷补偿[J]. 电力自动化设备, 2002(1): 32-34.
- [7] 张竟飞. 面向不平衡负荷的无功功率补偿研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [8] 高连强. 低压动态无功补偿装置的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2007.
- [9] GB/T 15576-1995. 低压无功功率静态补偿装置[S]. 机械工业部, 1996.
- [10] 彭思华. 广东电网低压无功配置研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [11] 王丽华. 10 kV 配电系统无功补偿技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [tdet@hanspub.org](mailto:tdet@hanspub.org)