

# Influence of Large-Scale Charging Piles on Voltage Deviation of Urban Distribution Network

Bo Wang<sup>1</sup>, Nengwu Yang<sup>1</sup>, Zhifu Zhang<sup>1</sup>, Qilou Xu<sup>1</sup>, Yufei Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lianyungang Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company, Lianyungang Jiangsu

<sup>2</sup>North China Electric Power University, Beijing

Email: 18611148096@126.com

Received: Nov. 30<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 26<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

In order to solve the problem of voltage deviation caused by the large-scale charging pile connection, an IEEE33-node power system simulation model is built using Matlab/Simulink. Based on the forecast of the load growth after the large-scale charging pile connection, the load of each node under 10%, 30%, 50% permeability of the electric vehicle is obtained. Furthermore, the voltage deviation of each node under different permeability of electric vehicle is calculated by using the simulation model under the assumption that the original load of the system is all put into use. The results show that when the electric vehicle penetration is low, the node voltage is within the allowable range; and when the electric vehicle permeability reaches up to 50%, the phenomenon of part of terminal node voltage is lower than other nodes will occur.

## Keywords

Charging Pile, Electric Vehicle, Distribution Network, Voltage Deviation

# 规模化充电桩接入对城市配电网电压偏差的影响

王博<sup>1</sup>, 杨能武<sup>1</sup>, 张志福<sup>1</sup>, 许其楼<sup>1</sup>, 王宇飞<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网江苏省电力公司, 连云港供电公司, 江苏 连云港

文章引用: 王博, 杨能武, 张志福, 许其楼, 王宇飞. 规模化充电桩接入对城市配电网电压偏差的影响[J]. 电路与系统, 2016, 5(4): 68-75. <http://dx.doi.org/10.12677/ojcs.2016.54009>

<sup>2</sup>华北电力大学, 北京  
Email: 18611148096@126.com

收稿日期: 2016年11月30日; 录用日期: 2016年12月20日; 发布日期: 2016年12月26日

## 摘要

针对规模化充电桩接入对城市配电网电压偏差的影响问题, 建立了基于Matlab/Simulink的IEEE33节点系统仿真模型, 并通过对规模化充电桩接入后负载增长情况的预估, 得到电动汽车渗透率在10%、30%、50%下各节点的负载大小; 在进一步假设系统原有负载全部投入的情况下, 运用仿真模型对比研究了在电动汽车不同渗透率下各节点的电压偏差情况。结果显示, 当电动汽车的渗透率较低时, 节点电压在允许的范围以内; 而当电动汽车的渗透率达到50%时, 便会出现部分末端节点电压偏低的现象。

## 关键词

充电桩, 电动汽车, 配电网, 电压偏差

## 1. 引言

在我国, 尽管电动汽车产业起步较晚, 且电动汽车市场总量还很小, 但由于得到政府大力支持, 新能源汽车市场也开始加速发展。随着电动汽车数量的逐渐增加, 充电桩的数量也与日俱增。然而, 规模化充电桩的接入对电力系统的影响是多方面、多层次的, 而其对电力系统电压偏差影响尤为突出。

文献[1]分析了电动汽车接入配电系统充电所引起的节点电压偏移问题, 研究表明, 大量电动汽车无序充电将加重节点电压的偏移, 甚至使部分末端节点电压越限。文献[2]研究了不同电动汽车渗透率、2种不同充电时段下, 电动汽车充放电对英国典型配电系统电压的影响。结果表明, 在低谷时期充电, 配电系统最多可容纳25%渗透率的电动汽车, 否则末端电压越限, 同样渗透率下的电动汽车在高峰时期充电, 则超过一半的节点电压越限; 当考虑电动汽车放电时, 所研究的4个渗透率下电动汽车放电将使系统节点电压超过上限。文献[3]中通过建立北京某地区实际配电网模型, 运用蒙特卡罗法对该地区未来电动汽车保有量做了预测, 并分析了规模化充电桩接入对电网负荷特性、电压偏差、线路负载率及变压器负载率的影响。文献[4]通过建立仿真模型, 得到某一天19时各节点电压值的大小, 进而分析出各节点电压偏差情况。文献[5]分析了大量电动汽车充电对配电网网损的影响。结果表明, 当一天中负荷总量一定时, 日负荷曲线越平淡, 系统网损就越小, 反之, 若负荷峰谷差越大, 则网损越大。因此, 当大量电动汽车无序充电时, 将拉大配电系统负荷的峰谷差, 从而增加了系统网损。文献[6]分析了电动汽车规模化应用对临沂电网的影响。文中运用蒙特卡罗法对搭建的配网模型进行了分析, 进而得到了规模化充电桩接入对线路损耗率及变压器空载和负载损耗率的影响。文献[7]介绍了用户充电站规划的影响因素及总体布局原则, 以及基于用户需求的空间布点策略及最优选址算法。文献[8][9][10]介绍了规模化充电设施接入对电网的影响及几种有序充电策略。

本文采用Matlab/Simulink搭建出IEEE33节点电力系统仿真模型, 通过对规模化充电桩接入后负载增长情况的预估, 得到电动汽车在10%、30%、50%渗透率下各节点的负载大小, 并在假设系统原有负载全部投入的情况下, 运用仿真模型计算得到在不同电动汽车渗透率下各节点电压的偏差情况。

## 2. 规模化充电桩接入对配电网电压偏差影响的理论分析

### 2.1. 电压偏差

电压偏差，又称电压偏移，指供配电系统改变运行方式和负荷缓慢地变化使供配电系统各点的电压也随之变化，各点的实际电压与系统的额定电压之差称为电压偏差。

其具体的计算公式为：

$$\Delta U = \frac{U_{re} - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

影响电压偏差的原因有：

- 1) 供电距离超过合理的供电半径。
  - 2) 供电导线截面选择不当，电压损失过大。
  - 3) 线路过负荷运行。
  - 4) 用电功率因数过低，无功电流大，加大了电压损失。
  - 5) 冲击性负荷、非对称性负荷的影响。
  - 6) 调压措施缺乏或使用不当，如变压器分头摆放位置不当等。
  - 7) 用电单位装用的静电电容器补偿功率因数没采用自动补偿。
- 总之，无功电能的余、缺状况是影响供电电压偏差的重要因素。

### 2.2. 电动汽车渗透率

电动汽车渗透率是指接入配电网的电动汽车数量与电网中配有的充电桩总量的比值。

其具体计算公式为：

$$\text{电动汽车渗透率} = \frac{\text{接入电网的电动汽车数量}}{\text{电网中充电桩总量}} \times 100\%$$

## 3. 基于 Matlab/Simulink 的仿真模型建立

### 3.1. 建模的理论依据及仿真工具

#### 3.1.1. 建模理论依据

目前国内几乎均采用仿真方法来研究规模化充电桩接入对电网的影响，主要研究不同充电模式，不同情形或者不同充电特性下电动汽车对电网某一方面的影响。而建立电网结构模型是研究规模化充电桩接入对电网影响的基础，而对于构建电网结构模型，目前通常采用两种方法：

- 1) 构建实际结构电网，需要相应地区充电桩数量和渗透率的实际数据，并结合该地区人口数量和充电桩建设规划，对未来该地区的负荷量加以预测；
- 2) 构建 IEEE 多节点电网结构，需要提供线路、变压器参数、节点所接用户数。

本文则通过 Matlab/Simulink 搭建了一个 IEEE 33 节点电网来研究规模化充电桩接入对城市配网电压偏差的影响。

#### 3.1.2. 仿真工具

本文所用仿真工具为 Matlab2012a (矩阵实验室)，此款仿真工具是由美国 The Math Works 公司出品的商业数学软件。它作为一款集科学计算、图像处理、信号处理于一体的程序仿真开发工具，具有功能性强、简单易用及图形处理能力强等优点。

### 3.2. 仿真模型建立

本文结合 Matlab/Simulink 的部分功能，搭建出如图 1 所示的电力系统结构图来实现计算配电网各节点电压的功能。

该系统由一个恒压为 10 kV 的三相交流电压源模块供电，设电压源模块为平衡节点，其额定电压为 10 kV，频率为 50 Hz。电网输电线路均设为架空线路，分别由 L1-2、L2-3 等型号表示，在此基础上设置测量母线为 B1~B33。此外，电网中还设有 32 个阻感性负载，分别将其命名为 Load2~Load33。为了追求模拟实际电网运行情况，我们还为每个负载增添了适当的无功补偿。该系统中还设有五个联络断路器来增强电网的完整性、可靠性，其分别为 S22-12、S21-8、S9-15、S33-18、S25-29。

为准确计出每个节点的电压值，本文采用了如图 2 所示的计量模块。计量模块采用三相频率分析元件，从测量母线输出的三相电压中将幅值和相角分量提取出来。将每 5 个节点分为一组后，分别把每个节点的电压值和相角值整合连接到同一个示波器上，再在示波器上下各连接一个计数模块。再添加一个 powergui 模块后，便可以清楚地计量处每个节点的电压幅值和相角的大小。

### 3.3. 仿真案例设置

根据图 1 所示，电网中共设有 32 个阻感性负载，将其命名为 Load 2~Load 33 之后，假设各负载的最大有功功率如图 3 中所示。

## 4. 仿真结果分析

在假设接入新建充电设备后，各节点总功率变为原总功率的 2.5 倍且原有用电负荷全部投入的情况下，通过公式(1)便可计算得到电动汽车渗透率为 10%、30%、50%时各节点最大有功功率，最终得到各节点电压值及其电压偏差率。

### 4.1. 渗透率 10%

通过图 1 所示仿真模型得到的在电动汽车渗透率为 10%时，各节点最大有功功率、电压值及电压偏

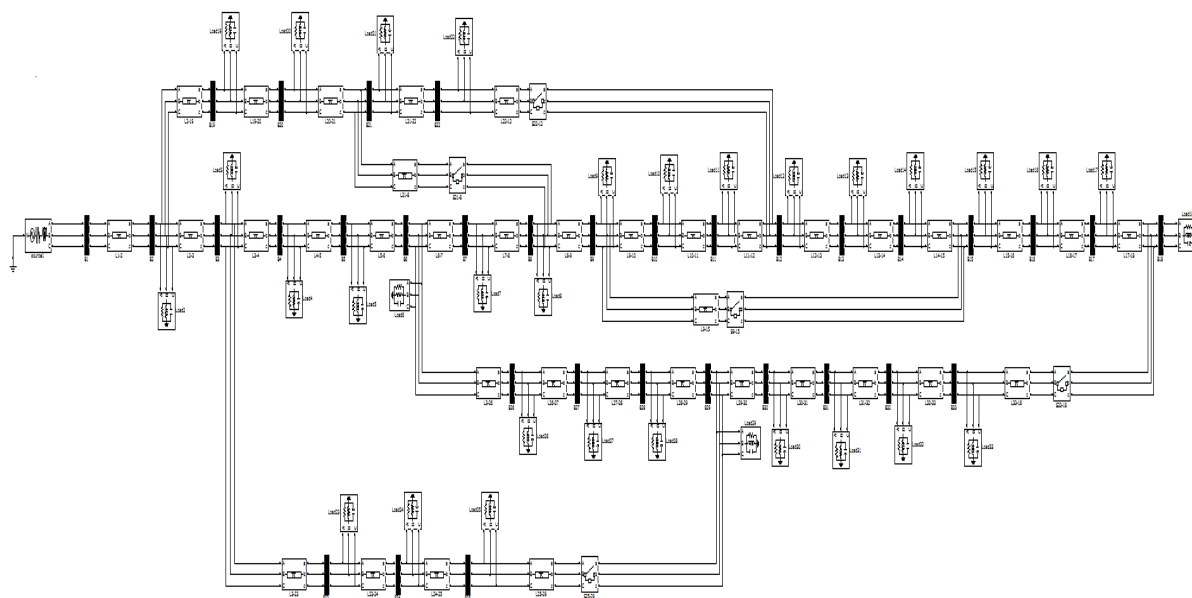


Figure 1. Simulation of IEEE33 node distribution system

图 1. IEEE33 节点配电系统仿真图

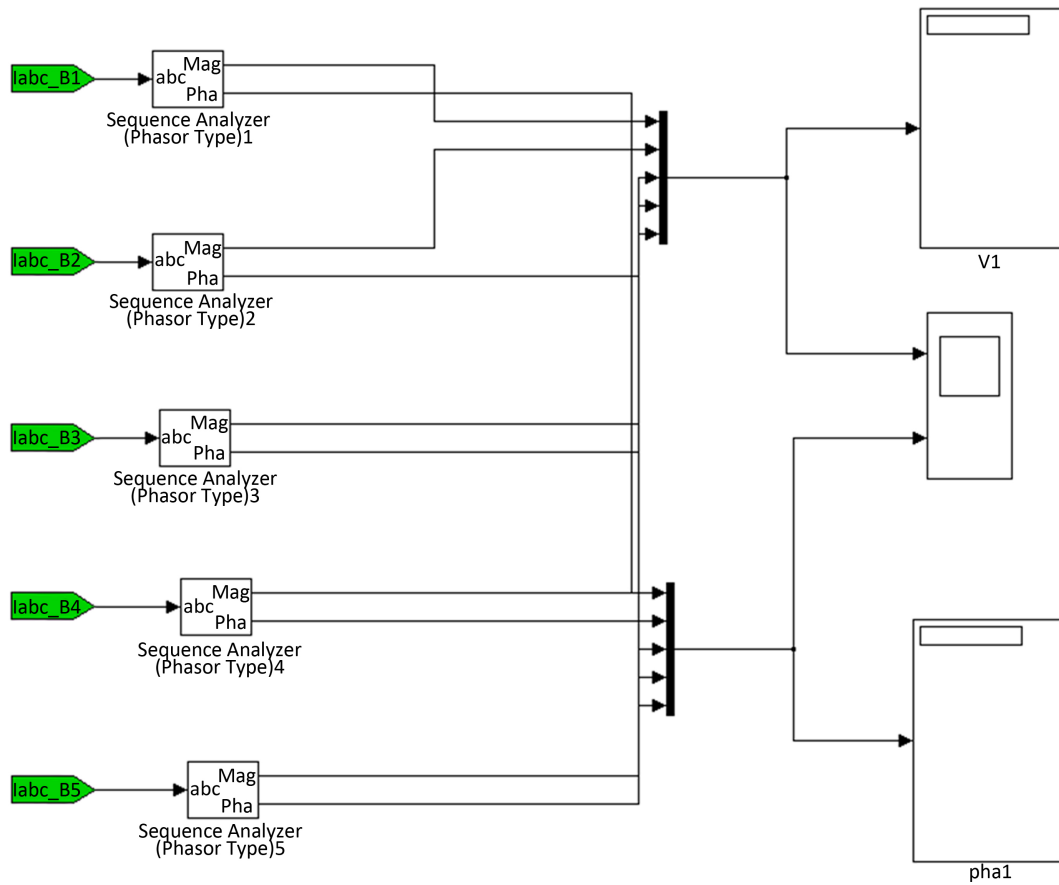


Figure 2. Node voltage measurement module  
图 2. 节点电压计量模块

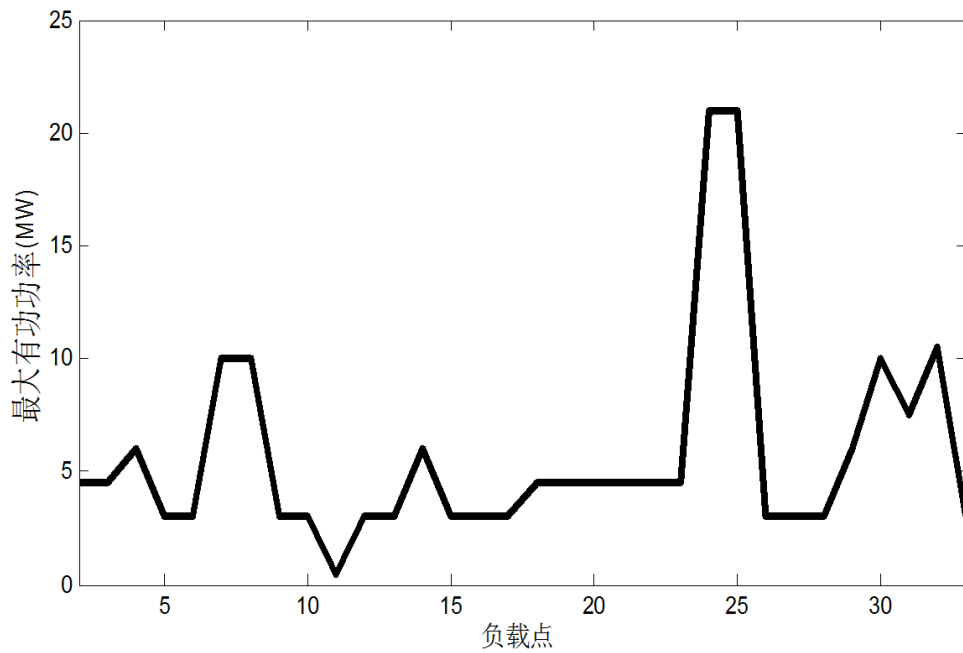


Figure 3. The maximum active power of each load  
图 3. 各负载最大有功功率

差率如图 4 所示。

从图 4 中可以看出,各节点电压均在 10 kV 左右,符合电网实际要求。各节点电压偏差率有正有负,且正偏差率较大,最大可以达到+5%左右。但图示大部分节点电压偏差率较小,在 0 附近波动。

#### 4.2. 渗透率 30%

通过图 1 所示仿真模型得到的在电动汽车渗透率为 30%时,各节点最大有功功率、电压值及电压偏差率如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,各节点电压仍维持在 10 kV 左右,各节点电压偏差率仍有正有负。但各节点电压正偏差率与图 4 相比明显减小,负偏差率与图 4 相比明显加大,最大可以达到-6%左右。从图中还可看出,大部分节点的电压偏差率相较图 4 明显增加。

#### 4.3. 渗透率 50%

通过图 1 所示仿真模型得到的在电动汽车渗透率为 50%时,各节点最大有功功率、电压值及电压偏差率如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,各节点电压与图 4、图 5 中所示相同,仍维持在 10 kV 左右。但各节点电压偏差率均变为负值,最大可以达到-10%左右。

从图中还可以看出,不同节点间电压偏差率的差值明显减小。这是因为随着电动汽车渗透率的增加,有功负载不断增大,导致系统中无功功率不足,继而引起系统电压降低。又因有功负载小的节点所占系统电压比有功负载大的节点少,进而使有功负载小的节点出电压降低的更加明显,从而产生了各节点电压偏差率的差值不断减小的现象。

### 5. 不同渗透率对电压偏差的影响

综合图 4、图 5、图 6 中各节点在不同渗透率下的电压偏差率,可得如图 7 所示。从图中可以看出,

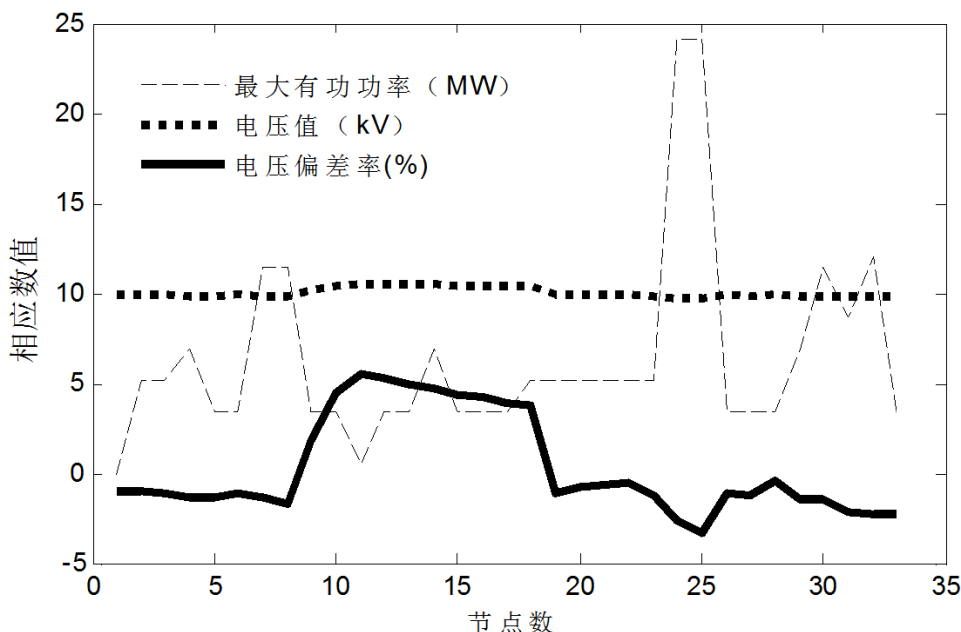


Figure 4. The maximum active power, voltage value and voltage deviation rate of each node when the permeability is 10%

图 4. 渗透率为 10%时各节点所带最大有功功率、电压值及电压偏差率

随着电动汽车渗透率的不断增大，绝大多数节点的电压偏差率逐步加大，即电压偏差程度越来越大；少数节点电压偏差率由正偏差变为负偏差，且偏差程度也随着渗透率的增加而进一步加大。

将不同渗透率下最大电压偏差率记录于表 1 中。从表 1 中可以看出，当电动汽车渗透率较低时，节点电压偏差在允许范围以内；当电动汽车渗透率达到 50% 时，会出现部分末端节点电压偏低现象。

通过查询中华人民共和国国家标准 GB/T 12325-2008《电能质量供电电压偏差》的规定可知，在电力系统正常运行情况下，用户受电端供电电压的允许偏差为：35 kV 及以上供电电压的正、负偏差的绝对值之和不超过标称电压的 10%，20 kV 及以下三相供电电压允许偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ 。

### 6. 结论

本文针对规模化充电桩接入对城市配网电压偏差的影响问题，主要进行了以下工作：

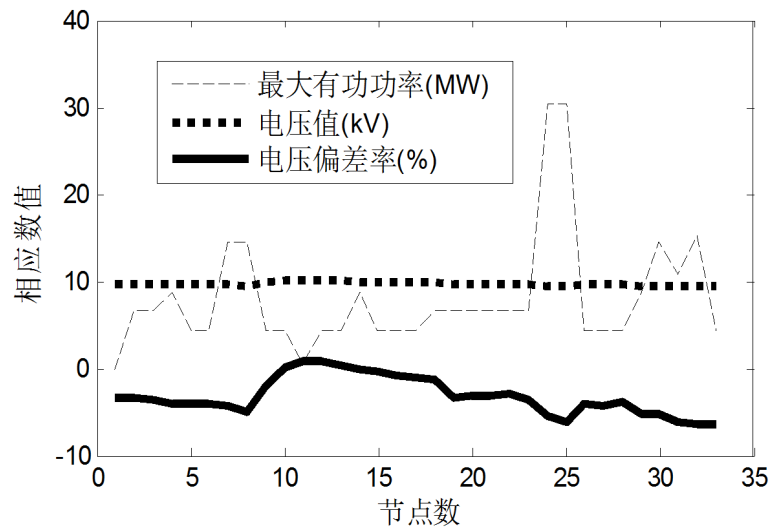


Figure 5. The maximum active power, voltage value and voltage deviation rate of each node when the permeability is 30%

图 5. 渗透率为 30% 时各节点所带最大有功功率、电压值及电压偏差率

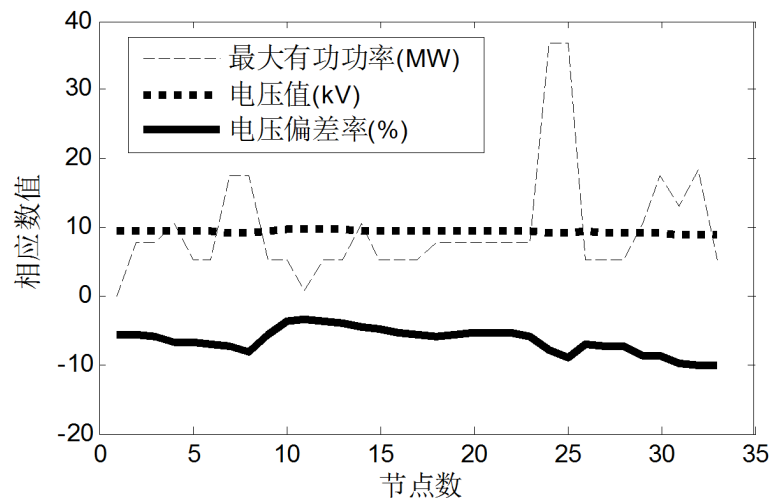


Figure 6. The maximum active power, voltage value and voltage deviation rate of each node when the permeability is 50%

图 6. 渗透率为 50% 时各节点所带最大有功功率、电压值及电压偏差率



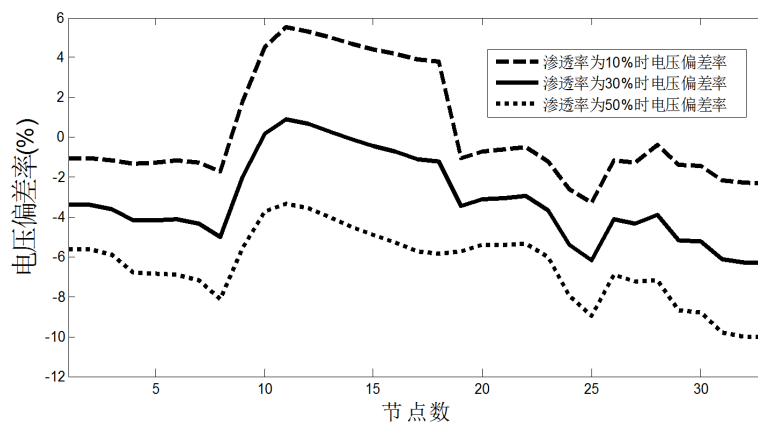


Figure 7. Voltage deviation of each node

图 7. 各个节点电压偏差

Table 1. Maximum voltage deviation rate

表 1. 最大电压偏差率

渗透率	10%	30%	50%
最大电压偏差率(%)	5.5	6.31	10.04

1) 通过 Matlab/Simulink 搭建出一个 IEEE33 节点电力系统仿真模型,并在假设接入新建充电设备后,各节点总功率变为原总功率 2.5 倍及原有用电负荷全部投入的情况下进行了仿真对比。

2) 通过对比不同渗透率下的电压偏差情况发现,当电动汽车渗透率较低时,节点电压偏差在允许范围以内;当电动汽车渗透率达到 50%时,会出现部分末端节点电压偏低现象。

本文所得结论,为研究规模化充电桩接入对城市配电网电压偏差的影响以及分析在何种电动汽车渗透率下应及时向电网补充无功功率提供了理论依据,可供其它研究单位及企业借鉴,这对今后的研究工作有很大帮助,具有重要的现实意义和实用价值。

## 参考文献 (References)

- [1] Fernandez, L.P., Roman, T.G.S., Cossent, R., *et al.* (2011) Assessment of the Impact of Plug-In Electric Vehicles on Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, **26**, 206-213. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2049133>
- [2] Papadopoulos, P., Cipcigan, L.M., Jenkins, N., *et al.* (2009) Distribution Networks with Electric Vehicles. *Proceedings of the 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Glasgow, 1-5.
- [3] 郭春林, 贾东明. 规模化电动汽车充电对配电网的影响及有序充电研究[J]. 电力建设, 2015.
- [4] 张聪, 孙海顺, 王凯, 汪亚芬. 规模化电动汽车充电负荷建模及其对配电网影响研究[C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业第 29 届学术年会, 湖北宜昌: 三峡大学, 2013.
- [5] 王辉, 文福拴, 辛建波. 电动汽车充放电特性及其对配电系统的影响分析[J]. 华北电力大学学报自然科学版, 2011, 38(5): 17-24.
- [6] 时勇. 电动汽车规模化应用对临沂电网的影响[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2015.
- [7] 谢林伟. 基于自适应粒子群算法的电动汽车充电站优化规划[J]. 新能源, 2012(11): 34-37.
- [8] 刘文霞, 张敏, 张建华, 曾博. 电动汽车负荷对配电网可靠性影响的量化分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(4): 1-6.
- [9] 刘文霞, 赵天阳, 邱威, 张建华. 基于闭环供应链的集中性充-换电系统运营优化[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(22): 3732-3742.
- [10] 刘文霞, 刘流, 赵天阳. 变电站区域充电桩接入控制模式及策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(16): 66-72.



**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：[ojcs@hanspub.org](mailto:ojcs@hanspub.org)