

Important Transfer Power Lines Analysis under Large Scale Direct Electricity Purchases

Lili Liu¹, Jie Yu¹, Bike Xue²

¹School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu

²China Electric Power Research Institute, Nanjing Jiangsu

Email: yujie@seu.edu.cn

Received: May 24th, 2016; accepted: Jun. 11th, 2016; published: Jun. 14th, 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

It can stimulate the potential of electric power market to carry out the direct electricity purchase by large consumers, and it is a breakthrough in the electric power industry marketization. Large scale direct electricity purchases are generally inter-district inter-provincial long-distance power transactions and affect the operation mode and power flow calculation of power grid. Transfer power lines analysis of the direct electricity purchase by large consumers will provide support for the stability analysis of the electric power grid operation and congestion management of the power transmission branches. A sensitivity analysis method combined with breadth first search is proposed in this paper. Breadth first search method can search out all transfer power lines of the direct electricity purchases, and then breadth first search method combined with sensitivity analysis can get the sensitivity of the direct electricity purchase by large consumers on the transfer power lines. For large scale direct electricity purchases, the method proposed in this paper can be used to calculate the stack sensitivity of a plurality of direct electricity purchases on the transfer power lines. In this paper, based on the IEEE 118 nodes system as an example for example analysis, the results show the rationality and validity of the proposed method.

Keywords

Direct Power Purchase by Large Consumers, Breadth First Search, Sensitivity Analysis, Transfer Power Lines

大规模直购电交易的重要输电路径分析

刘莉莉¹, 喻洁¹, 薛必克²

¹东南大学电气工程学院, 江苏 南京

²中国电力科学研究院, 江苏 南京

Email: yujie@seu.edu.cn

收稿日期: 2016年5月24日; 录用日期: 2016年6月11日; 发布日期: 2016年6月14日

摘要

开展大用户直购电能够激发电力市场的潜力, 是电力工业市场化改革的突破口。大规模直购电交易一般为跨区跨省的长距离电力交易, 对电网的运行方式和潮流计算产生影响。分析大用户直购电交易的输电路径, 将为电网运行稳定性分析和支路阻塞管理提供支持。本文提出一种结合广度优先搜索的灵敏度分析方法, 广度优先搜索方法可以搜索出所有直购电交易的输电路径, 结合灵敏度分析法得到直购电交易对输电线路的灵敏度。对于大规模的直购电交易, 可以计算出多个直购电交易对输电线路的叠加灵敏度, 分析直购电交易的重要输电线路。本文以IEEE118节点系统为例进行算例分析, 结果表明了该方法的合理性和有效性。

关键词

大用户直购电, 广度优先搜索, 灵敏度分析, 输电路径

1. 引言

大用户直购电[1]-[3]指的是在厂网分开、竞价上网的前提下, 大用户和发电企业或者供电企业经过协商, 直接签订双边购售电合同, 进行电力交易的行为, 大用户企业通过直购电可以得到一定的降价, 减少生产成本, 增加企业的竞争力, 发电企业或者供电企业通过参与调节电价来调节供求关系。发电厂或者供电企业通过电网将电能输送到用户, 电进入电网之后无法确定流经路径, 为了分析大用户直购电交易对电网的稳定运行和支路的影响, 需要分析交易的输电路径。

对于输电路径的计算, 潮流跟踪法[4]-[6]可以计算出发电厂或者供电企业到用户的具体潮流流过的路径, 但是计算是基于输电成本分摊, 而输电成本是由市场规则和其他因素决定的。电气剖分法[7] [8]能够根据电网的具体的物理参数计算出发电厂或者供电企业到用户的潮流路径, 但是计算结果包含输电网络的所有输电线路, 不利于判断大用户直购电交易对支路的影响。大规模直购电交易一般为跨区跨省的长距离电力交易, 对电网运行方式和潮流计算产生影响, 需要分析多个直购电交易同时存在时对输电线路的影响程度。

针对上述问题, 本文提出结合广度优先搜索的灵敏度分析方法对大用户直购电交易的输电路径进行分析。根据交易的信息、电网网架信息等, 利用广度优先搜索方法搜索出多个大用户直购电交易的所有可能的输电路径, 结合灵敏度计算结果, 选择出输电路径的叠加灵敏度并进行排序。

2. 灵敏度分析原理

灵敏度分析法[9]是基于系统潮流方程和定性物理概念, 利用系统中某些物理量的变化关系, 来取得因变量对自变量敏感度大小的方法。

由发电机节点功率变化, 引起的输电线路的潮流, 就称为发电机节点功率对支路潮流的灵敏度。这个灵敏度[10]定义了节点功率变化对传输功率的影响。

当直购电的交易节点 i, j 之间的交易传输变化 ΔP_{ij} 时, 即节点 i, j 的有功注入功率分别变化 $+\Delta P_{ij}$ 和 $-\Delta P_{ij}$, 其他节点有功注入不变, 即节点 i, j 的有功注入功率的增减量大小相等, 方向相反。

通过灵敏度计算得出支路 k 的潮流变化为[10]:

$$\Delta P_k^{ij} = \frac{1}{x_k} M_k^T X \begin{bmatrix} e_i \\ e_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \Delta P_{ij} = \frac{X_{mi} - X_{mj} - X_{ni} + X_{nj}}{x_k} \Delta P_{ij} \quad (1)$$

即

$$\begin{cases} \Delta P_k^{ij} = S_{k-ij} \Delta P_{ij} \\ S_{k-ij} = \frac{X_{mi} - X_{mj} - X_{ni} + X_{nj}}{x_k} \end{cases} \quad (2)$$

式中:

ΔP_{ij} 为直购电交易节点 i, j 的有功注入功率变化量;

ΔP_k^{ij} 为支路 k 的潮流变化;

S_{k-ij} 为直购电交易节点 i, j 对支路 k 的灵敏度;

x_k 为支路 k 的电抗;

X 为直流潮流中 B_0 的逆矩阵, B_0 为用 $1/x$ 为支路建立的 $n \times n$ 阶电纳矩阵, X_{mi} 为矩阵 X 中的第 m 行第 i 列元素, X_{mj} 为矩阵 X 中的第 m 行第 j 列元素, X_{ni} 为矩阵 X 中的第 n 行第 i 列元素, X_{nj} 为矩阵 X 中的第 n 行第 j 列元素;

M_k 为支路 k (始末节点 m, n) 的节点-支路关联矢量, $M_k = [0 \cdots 1 \cdots -1 \cdots 0]^T$;

$m \quad n$

e_i 为单位列矢量, 只在节点 i 所对应位置有非零元素 1, 其余都是零元素;

e_j 为单位列矢量, 只在节点 j 所对应位置有非零元素 1, 其余都是零元素。

3. 结合广度优先搜索的灵敏度分析法

大用户直购电交易是发电厂到用户之间的直购电协议, 本文研究受到直购电协议影响的重要输电路径。因此基于灵敏度分析法计算得到输电线路受影响的程度, 然后结合广度优先搜索方法对重要输电路径进行遍历和排序。

3.1. 广度优先搜索理论

广度优先搜索属于图论搜索的最基本方法之一, 其基本思想是[11]:

- 1) 首先访问某指定的起始节点 N_{st} 并且标记其已访问过;
- 2) 然后由 N_{st} 出发访问与其相邻接的其他节点, 记为第一层节点 N_{11}, N_{12}, \dots , 并均标记为已访问过;
- 3) 然后再按照 N_{11}, N_{12}, \dots 的次序, 访问每个节点的所有未被访问过的邻接节点, 记为第二层节点 N_{21}, N_{22}, \dots , 并均标记为已访问过;
- 4) 下一步再从这些节点出发访问与这些节点相邻的没有被访问的节点, 并标记为已访问过;
- 5) 如此下去, 直到访问到终止节点 N_{end} 为止。

广度优先搜索方法的示意图如图 1 所示。

3.2. 结合广度优先搜索的灵敏度分析法

本文提出结合广度优先搜索的灵敏度分析法对大规模直购电交易的重要输电路径进行分析。根据交

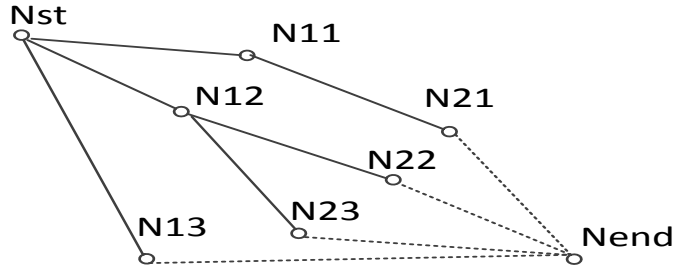


Figure 1. Sketch map of breadth first search
图 1. 广度优先搜索示意图

易的信息、电网网架信息等，利用广度优先搜索算法搜索出所有可能的直购电交易的输电路径，结合灵敏度计算结果，选择出多个大用户直购电交易的输电路径的叠加灵敏度并进行排序。

广度优先搜索方法可以搜索出从直购电交易的发电机节点 $i(N_{st})$ 到大用户节点 $j(N_{end})$ 之间的所有输电路径，然后结合灵敏度计算，即：

- 1) 从发电机节点 i 开始搜索到邻接节点 N_{11}, N_{12}, \dots ，标记为已访问，并计算灵敏度 $S_{N_{st}-N_{11}}, S_{N_{st}-N_{12}}, \dots$ ；
- 2) 然后再搜索 1) 中 N_{11}, N_{12}, \dots 的未被访问过的邻接节点 N_{21}, N_{22}, \dots ，标记为已访问，并计算灵敏度 $S_{N_{st}-N_{21}}, S_{N_{st}-N_{22}}, \dots$ ；
- 3) 如此下去，直到搜索到大用户节点 j 为止。

由式(2)可得出支路 k (始末节点 m, n) 的灵敏度为：

$$S_{k-N_{st}N_{end}} = \frac{X_{mN_{st}} - X_{mN_{end}} - X_{nN_{st}} + X_{nN_{end}}}{x_k} \quad (3)$$

当同时存在 R 个大用户直购电交易时，其中第 r 交易(交易始末节点 N_{rst}, N_{rend}) 对支路 k 的灵敏度为：

$$S_{k-N_{rst}N_{rend}} = \frac{X_{mN_{rst}} - X_{mN_{rend}} - X_{nN_{rst}} + X_{nN_{rend}}}{x_k} \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (4)$$

则支路 k 的叠加灵敏度为：

$$S_{sum} = \sum_{r=1}^R S_{k-N_{rst}N_{rend}} \quad (5)$$

当多个大用户直购电交易共同存在时，本文算法的流程图如图 2 所示。

4. 算例

为验证本文所提出方法的合理性和有效性，本文以 IEEE 118 节点系统为例。

本文以 4 个大用户直购电交易为例，在 IEEE 118 节点系统上利用广度优先搜索方法搜索直购电交易的输电路径。在 IEEE 118 节点系统上，直购电交易 1 以红颜色线标注输电路径，交易两端节点为节点 27 和节点 60；直购电交易 2 以绿颜色线标注输电路径，交易两端节点为节点 5 和节点 65；直购电交易 3 以蓝颜色线标注输电路径，交易两端节点为节点 8 和节点 79；直购电交易 4 以橙颜色线标注输电路径，交易两端节点为节点 2 和节点 77。直购电交易的公用输电通道用紫颜色线标注。如图 3 所示。

再根据灵敏度分析法，由灵敏度计算公式(3)可以计算得出直购电交易的输电路径的灵敏度，再由公式(5)计算得到多个直购电交易共同存在时的输电线路的叠加灵敏度。分析大规模直购电交易共同存在时对支路的影响，对支路的重要性进行排序(按叠加灵敏度从大到小排序)。如表 1 所示。

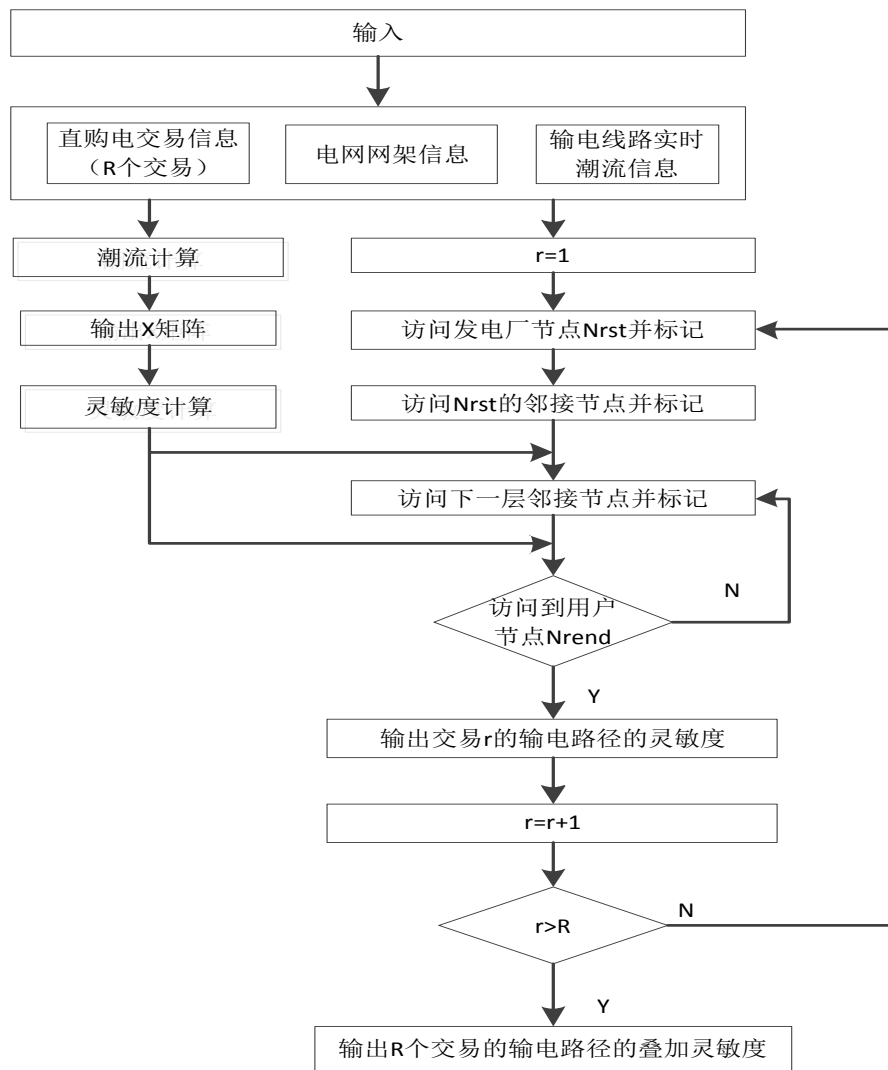


Figure 2. Direct power purchase transfer power lines flowchart
图 2. 直购电交易输电路径流程图

Table 1. Transfer power lines stack sensitivity ranking
表 1. 输电路径叠加灵敏度排序表

| 灵敏度排序 | 支路两端节点 | 支路两端节点 |
|-------|--------|--------|
| 1 | 30 | 38 |
| 2 | 38 | 65 |
| 3 | 8 | 30 |
| 4 | 24 | 70 |
| 5 | 23 | 32 |
| 6 | 70 | 69 |
| 7 | 17 | 15 |
| 8 | 68 | 69 |
| 9 | 37 | 40 |
| 10 | 15 | 19 |
| 11 | 38 | 37 |
| 12 | 16 | 17 |

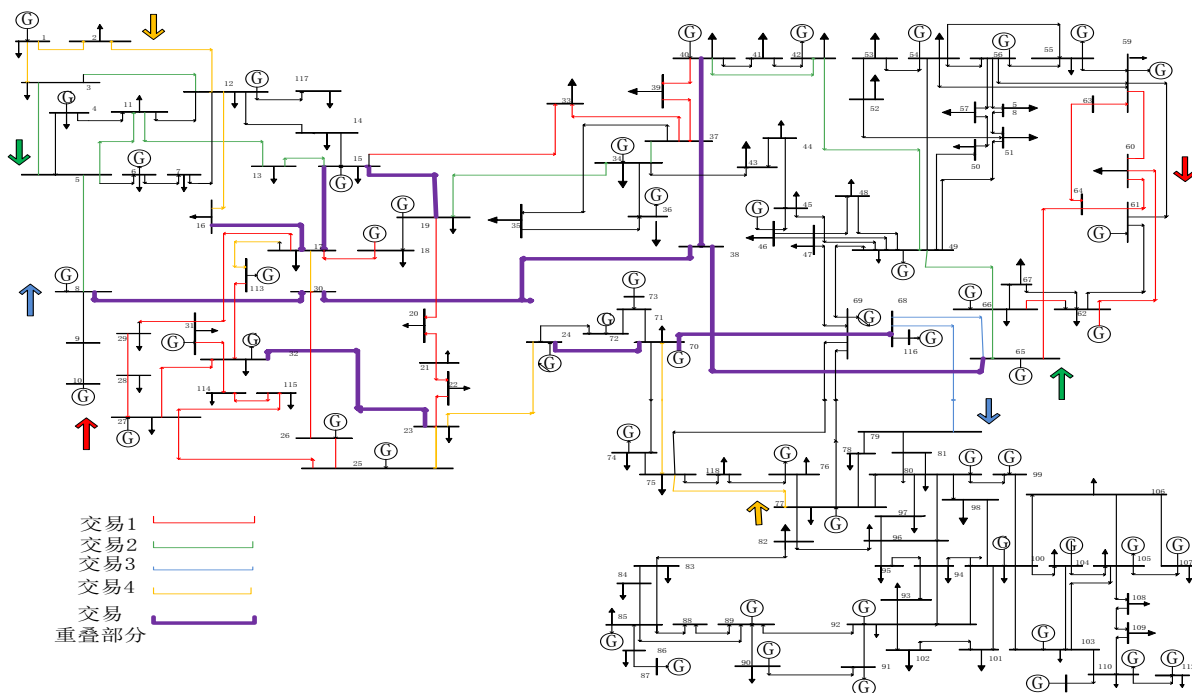


Figure 3. Direct power purchase transfer power lines
图 3. 直购电交易输电路径图

5. 小结

当大规模直购电交易进行时，影响电网的运行方式和潮流计算，需分析直购电交易对输电线路的影响。根据广度优先搜索方法可以得出直购电交易的输电路径，再结合灵敏度分析法，可以计算得到交易的输电线路的灵敏度，分析直购电交易对支路的影响。当多个直购电交易同时存在时，通过计算输电线路的叠加灵敏度，分析支路受影响的程度。通过 IEEE118 节点系统的算例分析，验证了本文所提方法的有效性。

参考文献 (References)

- [1] 夏清, 白杨, 钟海旺, 等. 中国推广大用户直购电交易的制度设计与建议[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 1-7.
- [2] 陈皓勇, 张森林, 张尧. 电力市场中大用户直购电交易模式及算法研究[J]. 电网技术, 2008, 32(21): 85-90.
- [3] 胡江溢, 陈西颖. 对大用户直购电交易的探讨[J]. 电网技术, 2007, 31(24): 40-45.
- [4] Bialek, J. (1996) Tracing the Flow of Electricity. *IEEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution*, **143**, 313-320. <http://dx.doi.org/10.1049/ip-gtd:19960461>
- [5] Kirschen, D., Allan, R. and Strbac, G. (1997) Contributions of Individual Generators to Loads and Flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, **12**, 52-60. <http://dx.doi.org/10.1109/59.574923>
- [6] 李春燕. 潮流跟踪模型和算法及其在输电阻塞管理中的应用[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学电气工程学院, 2008.
- [7] 汤奕, 袁飞, 周霞, 等. 基于电气剖分方法的阻塞费用分摊[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 14-17.
- [8] 田伟帅, 于继来. 基于电气剖分的转运电能损失估算方法[J]. 电网技术, 2010, 34(3): 123-128.
- [9] 罗键. 系统灵敏度理论导论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1990: 16-22.
- [10] 张伯明, 陈寿孙, 严正. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 202-214.
- [11] 杨智明. 图的广度优先搜索遍历算法的分析与实现[J]. 农业网络信息, 2009(12): 136-137.

再次投稿您将享受以下服务：

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>