

文章编号:1671-6833(2011)04-0064-04

含双馈风电机组的配电网运行模拟

武亚非, 包毅, 杨丽徙

(郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为了解决含双馈风电机组配电网的运行模拟问题,应用 HOMER 软件和 PSASP 软件,构建了风场环境模拟和交流潮流计算交替进行的含双馈风电机组配电网的运行模拟模型.通过代表日风电场环境模拟生成,双馈变速恒频风电机组的电源模型的构建,含风电机组配电网的潮流计算,实现了相应的运行模拟过程. IEEE14 节点算例表明了论文所提运行模拟方法的可行性,分析结果说明了风电机组对配电网运行指标的影响.

关键词:双馈风电机组;配电网;风场数据模拟;HOMER 软件;PSASP 软件

中图分类号: TM743

文献标志码: A

0 引言

风力发电是风能利用的重要形式,也是分布电源(Distributed Generation, DG)的重要组成部分.目前风电已成为可再生能源中发展最快、最具有发展前景的一种发电方式.针对风能的随机性、间歇性和不可调度性,开展含风电机组配电网运行模拟的研究是评估风电机组并网后对电网安全稳定运行等其它理论研究工作的基础,也是当前研究的热点问题.

目前这方面的研究成果主要包括:通过机理建模法构建的变速恒频风电机模型^[1],基于 PSASP 的双馈风电场建模及接入电网仿真^[2];考虑尾流效应的风电场建模以及随机潮流计算^[3],在风电机的随机模型基础上,利用半不变量法在随机变量之间进行卷积计算^[4],风电机组输出功率与尖速比和滑差等之间的函数关系,将异步风力发电机的滑差修正量引入到雅可比矩阵中^[5,6],对风力发电机用 RX 模型,在常规潮流迭代基础上增加了异步发电机的滑差迭代计算^[7],牛顿拉夫逊法^[8,9],前推回代法^[10]等.

在上述研究的基础上,笔者从风场环境的生成、双馈风电机组的电源特性、含风电机组配电网的潮流计算 3 个方面构建该系统的生产模拟模型,为该系统的生产运行规划提供辅助决策依据.

1 风场环境的生成

风场的风速受诸多因素的影响,具有很强的随机性和不确定性,但大致符合一个概率统计的原则.目前对于风速的模拟,主要有 3 种途径.一是 Weibull 模型^[4,11],主要取决于形状参数 k 和尺度参数 c ,而形状参数和尺度参数则主要取决于风速的均值和方差;二是蒙特卡洛模型^[12],是取形状参数 $k=2$ 时,在 $[0,1]$ 区间产生若干个均匀分布的随机数 γ ,风速跟随机数 γ 和尺度参数 c 有关;三是利用美国可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)开发的可再生电力混合优化软件(Hybrid Optimization Model for Electric Renewables, HOMER)模拟^[13,14],给定 12 个月的平均风速,自动生成每天每整点时刻的风速,实现天气条件的仿真,敏感性分析和微网优化.

笔者在运行模拟中采用第三种方式生成风场环境,根据 HOMER 软件的使用说明,从美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)网站上可以得到待分析地区每月的平均风速,代入 HOMER 软件即可模拟出当年、每天、每整点时刻的风速大小.假设风力发电机组位于北纬 34.43° ,东经 113.39° 的某个地区, HOMER 软件模拟出来的该地区某天的风速情况详细数据见表 1.

收稿日期:2011-01-07;修订日期:2011-03-20

资助基金:河南省教育厅自然科学基金资助项目(2011A470011).

作者简介:杨丽徙(1956-),女,江苏盱眙人,博士,郑州大学教授,研究方向为电力系统运行和规划, E-mail: yanglixixi

@zzu.edu.cn.

表1 代表日模拟风场24h数据

Tab.1 Representative day simulation wind field data in 24 hour

时间 (m · s ⁻¹)	风速/ (m · s ⁻¹)	时间 (m · s ⁻¹)	风速/ (m · s ⁻¹)	时间 (m · s ⁻¹)	风速/ (m · s ⁻¹)	时间 (m · s ⁻¹)	风速/ (m · s ⁻¹)
0	2.880	6	5.877	12	1.525	18	4.772
1	2.364	7	6.215	13	2.183	19	4.944
2	3.011	8	6.156	14	2.56	20	6.228
3	4.799	9	4.572	15	3.089	21	7.737
4	3.749	10	4.323	16	3.793	22	8.633
5	4.184	11	4.029	17	4.423	23	5.612

2 双馈风电机组的电源模型

变速恒频机组包括双馈异步发电机和直驱型异步发电机. 双馈异步发电机的定子绕组直接与电网相连, 转子绕组通过变频器与电网连接, 转子绕组电源的频率、电压、幅值和相位按运行要求由变频器自动调节, 机组可以在不同的转速下实现恒频发电, 满足用电负载和并网的要求. 变速恒频可以实现不同风速下的高效发电, 发电效率远高于恒速恒频风力发电机, 是未来风力发电机的主流机型和发展方向.

由于采用了交流励磁, 发电机和电力系统构成了“柔性连接”, 即可以根据电网电压、电流和发电机的转速来调节励磁电流, 精确地调节发电机输出电压, 使其能满足要求. 因此, 在含风电机组配电网运行模拟过程中, 选择变速恒频双馈风力发电机.

假设代表日整点风速为 v , v_{ci} 为风力发电机的切入启动风速, v_{co} 为风力发电机的切出风速, v_r 为额定风速; P_r 为风力发电机额定功率, P_w 为发电机随风力变化的有功出力, φ 为功率因数角.

对于变速恒频双馈风力发电机而言, 风力发电机出力与风速之间的函数关系如图1所示^[15-16]. 假如双馈风电机组的功率因数为定值, 由图1可以得到风力发电输出功率 P_w 与风速 v 之间的函数关系式, 进而推得其无功输出.

$$P_w = \begin{cases} 0 & v \leq v_{ci} \\ k_1 v + k_2 & v_{ci} < v < v_r \\ P_r & v_r \leq v < v_{co} \\ 0 & v \geq v_{co} \end{cases} \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{P_r}{v_r - v_{ci}} \quad (2)$$

$$k_2 = -k_1 v_{ci} \\ Q = P \tan \phi \quad (3)$$

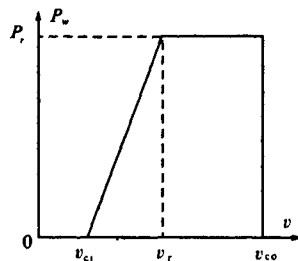


图1 风力发电机功率输出曲线

Fig.1 Active power output curve of wind generator

3 风力发电的并网方式

变速恒频发电机的并网方式有3种:空载并网方式、带孤立负载并网方式和孤岛并网方式. 并网方式的差异主要体现在并网过程中产生冲击电流的大小. 笔者主要考虑并网后含风电机组配电网的生产模拟情况, 因此, 对风电机组的并网方式及过程不做深入分析.

4 含风电机组配电网的潮流计算

由于双馈异步发电机可以自己产生无功并具有调节功能, 所以可以假设功率因数为定值, 一般取功率因数为0.95, 根据发出的有功可以计算出相应的无功; 也可将风力发电机取为PQ节点, 根据风力的大小求出相对应的有功功率, 再用式(3)求得相应的无功功率. 把风力发电当成是一个负的负荷进行潮流计算.

含风电机组的配电网潮流计算, 通常采用常规潮流计算和风电机组处理计算两部分交替进行. 笔者采用中国电力科学研究院的电力系统综合分析软件(PSASP)完成潮流计算, 用HOMER软件构建风场环境, 用双馈变速恒频风电机组的电源模型完成风电机组的有功无功出力计算; 计算过程交替进行.

5 算例及分析

算例中采用10台型号为德国Dewind D4型的风力发电机, 机组额定功率为10 × 600 kW, 切入风速为2.5 m/s、额定风速11.5 m/s、切出风速为22 m/s. 为了简化计算, 不考虑风电机组的尾流效应.

根据表1所列模拟区域代表日的风力情况, 应用式(1)~(3), 可以得到风电机组24 h整点时刻产生的有功功率和无功功率如表2所示, 风速变化和产生有功功率如图2所示.

定义风力发电机组所在位置作为PQ节点, 风电机组为负的负荷, 带入IEEE14节点典型配

表 2 风电机组 24 h 整点有功无功出力(kW/kV_{ar})

Tab.2 Wind power produced Active power and reactive power in 24 hour

时间	有功	无功	时间	有功	无功	时间	有功	无功
0	253.3	83.3	8	2 437.3	801.2	16	862.0	283.3
1	0.0	0.0	9	1 381.3	454.0	17	1 282.0	421.4
2	340.7	112.0	10	1 215.3	399.5	18	1 514.7	497.9
3	1 532.7	503.8	11	1 019.3	335.1	19	1 629.3	535.6
4	832.7	273.7	12	0.0	0.0	20	2 485.3	816.9
5	1 122.7	369.0	13	0.0	0.0	21	3 491.3	1 147.6
6	2 251.3	740.0	14	40.0	13.1	22	4 088.7	1 343.9
7	2 476.7	814.1	15	392.7	129.1	23	2 074.7	681.9

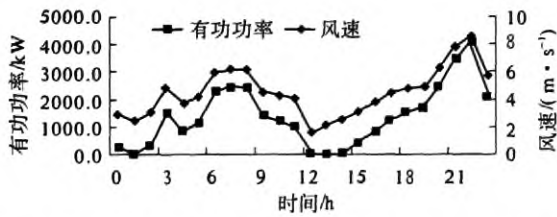


图 2 代表日 24 时整点风速及风力发电机组产生的有功功率

Fig.2 Representative day wind speed and WTG produce the active power in 24 hours

电网算例进行计算,分析风力发电的接入位置和容量对原有系统的影响大小和程度. IEEE14 节电系统如 3 图所示,详细参数参考文献[17]. 图 3 为没接入风电时电网的潮流,图 4 和图 5 依次为在节点 13 和节点 5 接入 10 台风电机组,风力最大时电网的潮流分布,图 6 为在节点 5 和 13 分别接入 5 台风电机组,风力最大时电网的潮流分布.

依次在节点 5 和 13 处接入风电机组,接入风电和没接入风电节点 5 和 13 的电压幅值对比如图 7、图 8 所示. 模拟结果表明,加入风电机组后,节点 5 和 13 的电压质量有所改善,幅值有所提高;网损有所减少,当节点 13 不接入风电时的网损为 13.894 MW,风速最大时接入电网产生的网损为 13.412 MW. 但是风电发出的功率会随着风力的大小而改变.

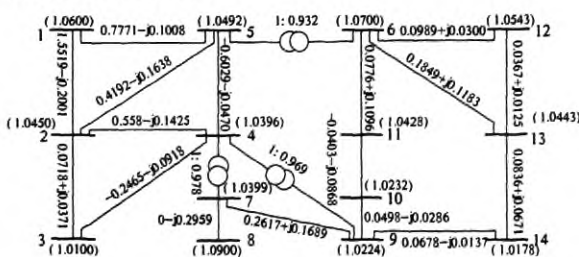


图 3 没接入风电时电网的潮流分布

Fig 3 Power distribution without wind power

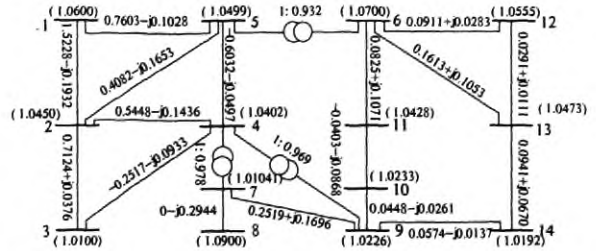


图 4 节点 13 接入风电之后风力最大时电网的潮流分布

Fig.4 Power distribution with the maximum wind of node 13

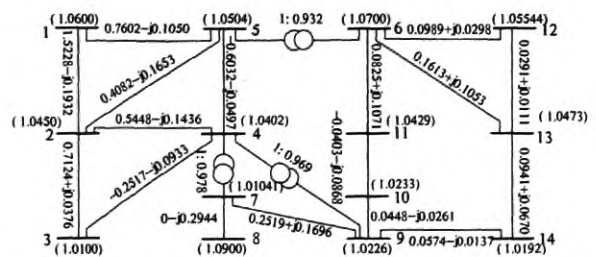


图 5 节点 5 接入风电之后风力最大时电网的潮流分布

Fig.5 Power distribution with the maximum wind of node 5

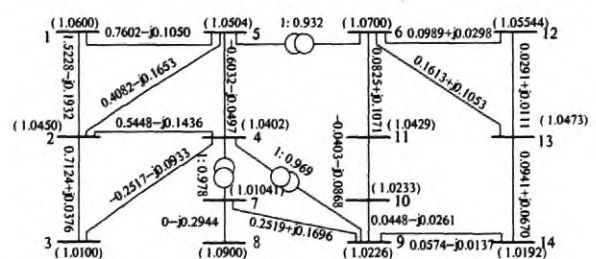


图 6 节点 5,13 接入风电之后风力最大时电网的潮流分布

Fig.6 Power distribution with the maximum wind of node 5 and 13

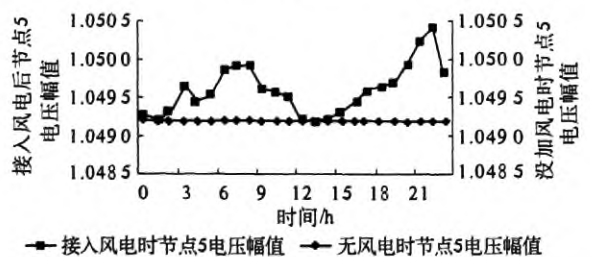


图 7 节点 5 的电压幅值变化图

Fig.7 Voltage amplitude variation of node 5

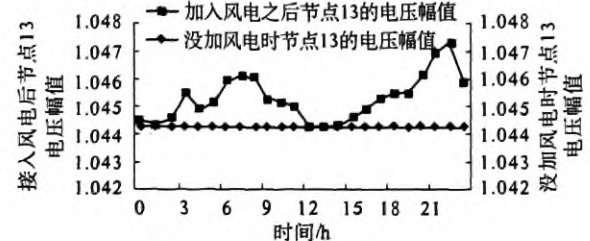


图 8 节点 13 的电压幅值变化图

Fig.8 Voltage amplitude variation of node 13

5 结论

论文构建的含双馈风电机组配电网运行模拟分析模型,应用相对成熟的 HOMER 软件和 PSASP 软件,具有方法简单、性能良好、计算速度快、可靠性高等优点;解决了风场环境生成,含随机性和不确定性风电机组配电网的运行模拟问题.在 IEEE14 节点网络的基础,加入风电机组后的运行模拟结果表明,双馈异步风电机组的加入,提高了配电网电压的质量,潮流分布更合理.

参考文献:

- [1] 肖志怀,王莺子,卢娜.变速恒频发电机组的建模和仿真[J].武汉大学学报:工学版,2010,43(5):638-641.
- [2] 魏巍,王渝红,李兴源,等.基于 PSASP 的双馈风电场建模及接入电网仿真[J].电力自动化设备,2009,29(12):68-73.
- [3] 曹娜,赵海翔,任普春,等.风电场动态分析中风速模型的建立及应用[J].中国电机工报,2007,27(36):68-72.
- [4] 王成山,郑海峰,谢莹华,等.计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J].电力系统自动化,2005,29(24):39-43.
- [5] 吴以纯,丁明,张立军.含风电场的电力系统潮流计算[J].中国电机工程学报,2005,25(4):36-39.
- [6] 郑睿敏,李建华,李作红,等.考虑尾流效应的风电场建模以及随机潮流计算[J].西安交通大学学报,2008,42(12):1515-1520.
- [7] FEIJOO A E, CIDRAS J. Modeling of wind farms in the load flow analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1): 110-115.
- [8] ABUR H S, LIU H, KLINGEN S WN. Three phase flow for distribution systems with dispersed generation [C]. Sevilla: 14th PSCC, 2002, 13(3): 1-7.
- [9] LOSI A, RUSSO M. Dispersed generation modeling for object-oriented distribution load Flow[J]. IEEE Delivery, 2005, 20(1): 1-9.
- [10] SHINGENORI N, TAKAMU G, YOSHIKAZU. Practical equipment models for fast distribution power flow considering interconnection of distributed generators [C]. Vancouver: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2001: 1007-1012.
- [11] ABOUZAHR I, RAMAKUMAR R. An approach to assess the performance of utility-interactive wind electric conversion systems [J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1991, 6(4): 627-638.
- [12] 陈琳,钟金,倪以信,等.含分布式发电的配电网无功优化[J].电力系统自动化,2006,30(14):20-24.
- [13] NREL. Optimization Model for Distributed Power Network. <http://www.nrel.gov/homer>, 2005.
- [14] HOMER Soft Web. <https://analysis.nrel.gov/homer/>.
- [15] 董雷,程卫东,杨以涵.含风电场的电力系统概率潮流计算[J].电网技术,2009,33(16):87-91.
- [16] 何禹清,彭建春,文明,等.含风电的配电网重构场景模型及算法[J].中国电机工程学报,2010,30(28):12-18.
- [17] 张伯明.高等电力系统分析[M].北京:清华大学出版社,1996.

Operation Simulation of Distribution Network Containing Double-fed Induction Wind Generators

WU Ya-fei, BAO Yi, YANG Li-xi

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the distribution network simulation problems of the wind turbine with doubly-fed operation, the wind field environment simulation and ac flow calculation alternating containing doubly-fed wind generator power operation simulation model are constructed by the application of HOMER and PSASP. The corresponding operation simulation process is realized by simulation of the representative environment of electric field generation, construction of the doubly-fed variable speed constant frequency wind generator power models, and power flow calculation including the wind generator. The example of IEEE14 nodes shows that the operation simulation method in this paper is feasible, and the analysis results show that the wind generators have influence on distribution network operation character.

Key words: double-fed induction wind generator; distribution network; the wind field data simulation; HOMER software; PSASP