

对大型风电场接入电网并网方式的思考

史亚娟¹,王海云¹,常喜强²

(1. 新疆大学电气工程学院,新疆 乌鲁木齐 830008; 2. 新疆电力公司,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:随着大型风电场开发建设、接入电网,结合当前大型风电场接入电网后运行存在的问题,对大型风电场接入电网并网方式进行了分析和讨论,就并网方式进行了研究,从风机运行特点、风电场并网后对电网的影响、电网故障后对风电场的影响等方面展开了讨论。通过对比分析交流输电方式与柔性轻型直流输电方式的优缺点,电网系统的稳定性及输电的可靠性以及故障时对风机的影响,提出了大型风电场接入电网方式的相关建议,为大力发展风电清洁能源,大型风电场的并网安全稳定运行,减小系统影响提供借鉴,同时也为风电接入系统设计提供参考。

关键词: 并网方式; 交流输电; 柔性轻型直流输电; 稳定性

Abstract: With the development, construction and integration of large-scale wind farms, and combined with the existing running problems after the integration of large-scale wind farms, the integration methods of large-scale wind farms when connecting to the grid are analyzed and discussed. The operating characteristics of fan, the influence of wind farms after the integration on power grid, and the influence of faulted power grid on wind farms are discussed. By comparing the advantages and disadvantages of AC transmission system with flexible light DC transmission system, the power system stability, the transmission reliability and the influence of failure on the fan, the relevant recommendations for the ways when the large-scale wind farms connecting to the grid are proposed, which provides a reference for the development of clean energy, the safe and stable integration operation of large-scale wind farms and the reduction of system influence, as well as the design of wind power integration system.

Key words: grid integration; AC transmission; flexible HVDC light transmission; stability

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)01-0044-04

0 引言

随着风电的规模不断扩大,风力发电在电力系统中占有的比例也在增加,风电对电网安全稳定运行的影响也在增大。风电场容量较大时,如发生因系统故障造成的低电压问题时,若大型风电场不具备低电压穿越能力时,则会造成风电机组大型脱网,因损失、容量过大,会产生频率、电压、稳定问题,使得系统安全运行稳定受到较大影响^[1]。此外,风机在此过程中也会因高低电压问题、频率波动而受到影响和损害。由于风电机组因自身能量转换特点,并网是采用低频率转化为50 Hz工频并网^[2]。因此就风机自身特点、风机并网运行特点、风电场并网后对电网的影响、电网故障后对风电场的影响等方面展开了讨论,通过对交流输电方式与直流输电方式的对比分析,与风电并网相结合,提出了大型风电场接入时采用不同的电网接入方式。

1 目前风电场并网运行方式

风电场接入电网一般有两种方式,一种是传统的并网方式,单个风电场容量均比较小,作为一种分布式电源,分散接入地区配电网,以就地消纳为主;另一种是在风能资源丰富区域集中开发风电基地,通过输电通道集中外送,如欧美国家规划中的海上风电和中国正在开发的内蒙古、张家口、酒泉和江苏沿海千万千瓦级风电基地。风电机组单机容量和并网运行的风电装机规模越来越大,对系统的影响也越来越明显。

2 目前风电场并网运行存在的问题

大型风电场接入电网后,风电场对电网的影响已从简单的局部电压波动等问题发展到对电网调节控制(调频调峰、经济调度)、电能质量、电网稳定等

诸多方面^[3]。

2.1 对电网调节控制的影响

电网传统的调度(发电)计划的编制及实施,完全基于电源的可靠性、负荷的可预测性。当系统风电容量达到一定的规模后,风电的随机性和不可预测性会给传统的调度(发电)计划的安排和实施带来问题。

2.2 对电网电压的影响

由于风速为随机变化的量,使得风电场的输出功率具有波动性,风电机组的频繁启停、切换,产生电压的波动、闪变,从而将影响局部电网的电能质量;风电场大量采用电子器件,给电网带来谐波,如并联电容与电抗元件发生谐振会放大谐波效应。必须重视和计算分析风电场造成局部电网的电压波动、闪变和谐波污染问题。

2.3 对电网稳定性的影响

风力发电系统通常接入电网的末端,改变了配电网功率单向流动的特点,使潮流流向和分布发生改变,这在原有电网的规划和设计时是没有预先考虑的。当风电注入功率增大时,风电场附近局部电网的电压和联络线功率可能会超出安全范围,严重时会导致电压崩溃。

2.4 对电能质量的影响

随着越来越多的风电机组并网运行,风力发电对电网电能质量的影响引起了广泛关注。风资源的不确定性和风电机组本身的运行特性使风电机组的输出功率呈波动性,可能会影响电网的电能质量,如电压偏差、电压波动和闪变、谐波等。

3 风电并网可采用的方式

3.1 交流输电

首先交流电是靠电磁感应出来的,其大小和方向随时间的变化按一定规律作周期性的变化。在波形图上,正弦交流电是正弦函数曲线。交流电的优点是它的电压可经变压器进行转变。输电时将电压升高,以减少输电线路上的功率损耗和电压损失;用电时将电压降低,可保证用电安全、并可降低设备的绝缘要求;交流电设备的造价也较低。由于风能的随机性和间歇性决定了风电机组的输出特性也是波动的和间歇的,当风电容量较小时,这些特性对电力系统的影响并不显著,但随着风电容量在系统所

占比例的增加,对系统稳定的影响就会越显著,一旦风电比重超过风电穿透功率极限值,就会引起系统失稳,出现风电机组从电网切除的情况,会使电网崩溃。交流输电必须同步运行,交流远距离输电时,电流的相位在交流输电系统的两端会产生显著的相位差;并网的各系统交流电的频率虽然规定统一为50 Hz,但实际上常产生波动。这两种因素引起交流系统不能同步运行,需要用复杂庞大的补偿系统和综合性很强的技术加以调整,否则就可能在设备中形成强大的循环电流损坏设备,或造成不同步运行的停电事故;两个交流系统若用交流线路互连,则当一侧系统发生短路时,另一侧要向故障一侧输送短路电流。因此使两侧系统原有开关切断短路电流的能力受到威胁,需要更换开关。交流输电并网方式如图1所示。

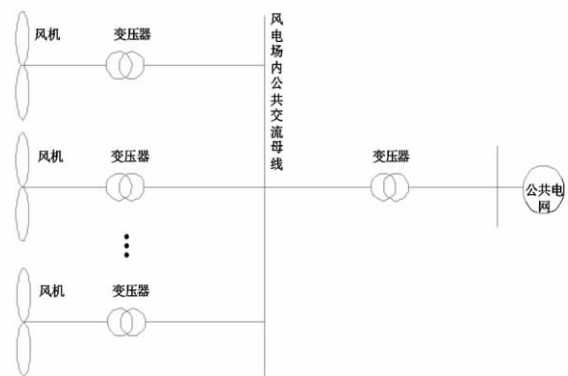


图1 交流输电并网方式

3.2 直流输电

直流电其大小和方向均不随时间变化,是一个固定值。在波形图上,直流电是平行于时间轴的直线。直流输电最显著的优点就是没有电气耦合,它将输电线路与两端设备隔离,同时也将故障进行隔离;其次,直流输电线路造价低,对于架空输电线路,当线路建设费用相近时,直流输电的功率约为交流输电的1.5倍,对于电缆线路,直流输电的功率更大于1.5倍的交流输电;在双极直流输电系统中,如果其中一级的设备发生故障,另一极能以大地作为备用回路,带半负载运行,并且系统出现故障时,短路电流对风机的影响较小;直流输电线所联系的两端交流电网不要求同步运行,直流输电本身不存在稳定问题,输送的功率不受电力网稳定问题的限制;交流电网用直流隔开,由于电网小了,其短路容量也小了,对电气设备保护有利,事故停电的影响范围也较小,提高了电网运行的安全性。首先直流输电的

换流装置的造价高;其次,大容量的换流装置本身是一个谐波源,会使电网的电压和电流波形产生畸变,因此为了减少换流器的谐波输出,在直流输电系统的换流站都装有滤波装置来吸收高次谐波,以抑制谐波分量;直流输电线路两端的换流站都要消耗无功功率,需要装设约为输电功率 40%~60% 的并联电容器进行补偿;现在直流断路器尚在研制中,直流避雷器、直流电压、电流互感器以及线路专用的直流绝缘子尚需进口,由于生产量不大,制造成本及价格较昂贵;电子装置对周边环境有影响,强磁场对于弱电信号的传输有干扰。直流输电并网方式如图 2 所示。

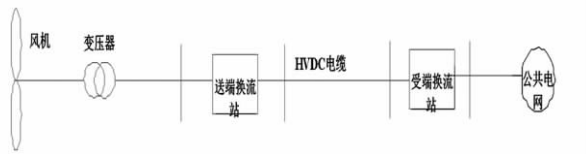


图 2 直流输电并网方式

4 柔性轻型直流输电方式在风电中的应用

4.1 两种应用方式

轻型柔性直流输电技术,它将风机与电网之间利用电力电子设备装置进行隔离,没有直接的电气连接,没有磁的变化,没有相位的变化,采取直流输电,不会影响到直流侧的电压幅值,也减小了对电网的冲击。风机运行稳定,则其输出的电压和频率是稳定的,这样电网系统也会稳定。



图 3 基于轻型 HVDC 的发电机集中控制并网方式

第一种是基于轻型 HVDC 的发电机集中控制并网,各风力发电机输出的交流电经升压变压器升压后用交流电缆送到风电场内轻型 HVDC 送端换流站的公共交流母线上,送端 VSC 将交流电转换为直流后用轻型 HVDC 电缆送到受端换流站,再经受端 VSC 转换为交流电后送入公共电网。特点是各

风电机组的有功功率和无功功率由送端集中控制,电气结构较简单,但不能达到每台机组都工作在理想的转速上。

第二种是基于轻型 HVDC 的发电机分散控制并网,各风力发电机输出的交流电经升压变压器升压后由各机组的 VSC 转换成直流电,经轻型 HVDC 电缆连接到风电场内的公共直流母线上,然后用轻型 HVDC 电缆送到受端换流站,经受端 VSC 转换为交流电后送入公共电网,实际是一个多端直流输电网络。特点是各风电机组的有功功率和无功功率分别由各自的 VSC 分散控制,电气结构较复杂,但能使得每台机组都工作在理想的转速上。

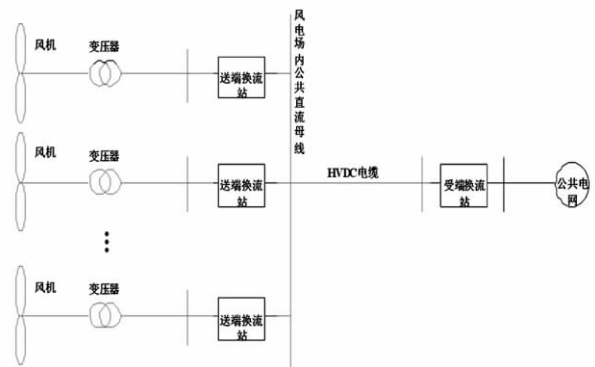


图 4 基于轻型 HVDC 的发电机分散控制并网

表 1 交流输电系统与柔性轻型直流输电系统对比

性能	输电方式	
	交流输电系统	柔性轻型直流输电系统
能否隔离故障	不能	能
能否提高系统稳定性	不能	能
传输的容量	较小	较大
故障对风机的影响	较大	较小
故障对电网的冲击	较大	较小
故障电网电压波动	较大	较小
故障电网频率波动	较大	较小
对电能质量的影响	较大	较小
噪声影响	较大	较小
谐波影响	较大	较小
配套电气件数	较少	较多
实际建设时间	稍长	稍短
工程造价	较小	较大

4.2 交流与柔性直流输电的对比

随着远距离大容量输电线路的不断增加和电网

扩大,交流输电受到同步运行稳定的限制。对比分析交流输电方式与柔性轻型直流输电方式的优缺点,电网系统的稳定性及输电的可靠性以及故障时对风机的影响,表1的对比结果表明,采用柔性轻型直流输电有较好的经济效益和优越的运行特性。

5 结 论

通过对交流与直流输电方式的比较,得出以下结论。

(1) 由于建设换流站的造价过高,考虑到风力发电场地处偏僻,人烟稀少,若线路出现故障,维护不方便,不能及时排除故障,在风机容量较大、风力发电集中地方,将多台风力发电机组接至汇流母线处,采取柔性轻型直流输电。

(2) 现在海上风电也采取柔性轻型直流输电,由于海上风电场受地理环境的影响,不能建造高压输电线路,远距离输电时,应考虑要尽可能降低损耗,故只能采用海底电缆输送直流电。

(3) 由于大容量的风电场对电网系统的影响是很大的,大规模风电并网除了对系统带来电压、稳定和调度影响外,还将对电网短路电流水平和电能质量带来较大的影响^[4],故采用直流输电技术。对于小容量风电场,由于对电网的影响较小,故采用交流

输电。故对于分散式的风力发电机,采取交流输电较适宜。

(4) 前面提出了大型风电场接入电网方式的相关建议,为大力发展风电清洁能源、大型风电场的并网安全稳定运行、减小系统影响提供了借鉴,同时也为风电接入系统设计提供了参考。

参考文献

- [1] 王新志. 现代风力发电技术以工程应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [2] 任清晨. 风力发电机组工作原理和技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 傅旭, 李海伟, 李冰寒. 大规模风电场并网对电网的影响及对策综述[J]. 陕西电力, 2010(1): 53-57.
- [4] 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 77-81.

作者简介:

史亚娟(1989),女,硕士研究生,研究方向为风力机控制与电力系统继电保护;

王海云(1974),女,教授,硕士生导师,研究方向为风力机控制与电力系统继电保护;

常喜强(1976),男,高级工程师,研究方向为电力系统稳定与控制及风力发电技术。

(收稿日期:2012-08-30)

(上接第18页)

- [3] 常鹏, 高亚静, 张琳, 等. 基于 EEMD 与时间序列法的短期风电场功率预测[J]. 电力科学与工程, 2012, 28(3): 33-39.
- [4] 王丽婕, 廖晓钟, 高阳, 等. 风电场发电功率的建模和预测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 118-121.
- [5] 陆宁, 周建中, 何耀耀. 粒子群优化的神经网络模型在短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 65-68.
- [6] 王凤霞. 风功率预测技术[J]. 云南电力技术, 2011, 39(5): 58-59.
- [7] 冯双磊, 王伟胜, 刘纯, 等. 风电场功率预测物理方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2010(2): 1-6.

- [8] 潘迪夫, 刘辉, 李燕飞. 基于时间序列分析和卡尔曼滤波算法的风电场风速预测优化模型[J]. 2008, 32(7): 82-86.
- [9] 杜颖, 卢继平, 李青, 等. 基于最小二乘法支持向量机的风电场短期风速预测[J]. 电网技术, 2008, 32(15): 62-66.

作者简介:

张涛(1979),男,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为电气系统优化与设计;

张新燕(1964),女,博士研究生,教授,硕士生导师,主要研究方向为风力机控制与电气系统优化设计;

王维庆(1959),男,硕士研究生,教授,博士生导师,主要研究方向为风能利用技术的研究和应用。

(收稿日期:2012-09-18)