风电场接入新疆某地区电网暂态电压稳定性研究

张瑞明

(新疆电力公司昌吉电业局 新疆 昌吉 831100)

摘 要:基于电网网络特性和三相短路故障等因素,通过对普通异步风力发电机和双馈风力发电机风电场接入新疆 某地区电网的仿真计算,得出了风电场暂态电压极限功率,分析了系统的暂态电压稳定性。根据仿真结果可以得出, 短路容量大的系统暂态电压稳定性越强;双馈风力发电机组能够通过转子变频器进行无功电压调节控制,所以在三 相短路故障时其暂态电压稳定性比普通异步风力发电机组更稳定。

关键词:风电场;网络特性;电压稳定;双馈风力发电机组

Abstract: Based on the network characteristics of power grid and three – phase short – circuit fault , through the simulation calculation of a certain regional power grid connected with wind farms adopting the common asynchronous wind turbine generators and doubly – fed wind turbine generators , the transient voltage limit power of wind farm is obtained , the transient voltage stability is analyzed. It can be seen from the simulation results that the transient voltage stability is stronger as the short – circuit capacity of the system is larger. Doubly – fed wind turbine generators can regulate the reactive voltage through the rotor frequency converter , so its transient voltage stability is more stable than that of the common asynchronous wind turbine generators when there is a three – phase short – circuit fault.

Key words: wind farm; network characteristic; voltage stability; doubly – fed wind turbine generator 中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003 – 6954(2012) 06 – 0027 – 05

0 引 言

新疆是一个地大物博的地方,矿产资源丰富,因 此造就了新疆电网的特点:可用能源多,输电线路 长,用电量相对"较小",功率相对"过剩"。特别是 这几年新能源技术的发展,使得在几大风资源丰富 的地区建立了一定规模的风电场来利用洁净能源发 电。新疆电力经过长时间的努力,其网架结构也逐 步增强,发电机组容量也在增大,电网稳定性也在逐 步增强。

对于风电接入系统后暂态稳定性研究,特别是 电压稳定,已有一些文献做过分析。文献[1]对普 通异步风力发电机组进行了动态建模和仿真,从不 同的考虑因素分析了由该机组组成的风电场接入系 统后对系统的暂态稳定性影响。文献[2-4]建立 了双馈风力发电机组的暂态模型,并对它的控制策 略和暂态电压稳定性进行了仿真分析。文献[5]分 析了普通异步风力发电机组的风电场接入系统后的 暂态特性。文献[6]在 Matlab 7.0 仿真平台上建立 了含双馈异步风力发电机组和恒速异步风力发电机 组的风电场动态模型,并分析了风电场接入系统后 对电网的暂态电压影响及不同风电机组的低压穿越 能力 LVRT(low voltage ride through)。文献[7]分析 了普通异步风力发电机组和双馈风力发电机组风电 场接入系统后的静态电压稳定性,没有对暂态电压 稳定性进行分析。这些文献都进行了算例仿真分 析,但对实际电网进行仿真分析的还比较少,特别是 新疆地区电网。

1 地区电网的主要网架结构

下面所采用的算例系统为新疆某地区电网,该 电网的主要网架结构如图1所示。风电场1装机容 量为49.5 MW,风电场由66台750kW的普通异步 风力发电机组组成。风电场2由33台1.5 MW的 双馈风力发电机组组成。风力发电机组出口电压为 0.69kV,经过箱式变压器升压至10kV,再由风电 场升压变电站升压至110kV,最后由110kV输电线 路送至1变电站。该地区220kV主电网主要由1线、

• 27 •



2 线、3 线构成 再由 220 kV 的线与新疆主电网进行 功率交换。

这里主要应用时域仿真的分析方法分析风电场 接入新疆某地区电网的暂态电压稳定性,而分析了 电网本身的网络特性和最严重的扰动三相短路故障 对系统暂态电压稳定性的影响。

2 仿真分析

2.1 电网网络特性对暂态电压稳定性的影响

在风电场接入的电网中可以用风电场接入点 PCC 处的短路容量来表示该电网的强弱,其短路容 量为 PCC 处的三相短路电流与系统的额定电压(该 节点的平均电压)的乘积。短路容量大标志着电网 强,负荷、电容器组等的投切不会引起较大的电压幅 值变化;反之,短路容量小标志着电网弱,系统电压 的幅值容易受负荷、机组投切等扰动的影响。文献 [10-11]指出 PCC 处的短路容量和所接入风电场 容量的比值可用来判断风电场所接入电网的强弱。

下面分别在该地区 2010 年和 2009 年的夏大运 行方式下计算其系统短路容量。

(1) 2010 年运行夏大方式下,1 变电站、14 变电站的 220 kV 输变电工程完工开始投运,在风电场 1
 接入点 PCC 处发生三相短路故障,故障在 2 s 时刻 · 28 ·

发生 得到短路电流 $I_{Fmax1} = 4.8$ (p.u.) 则系统的短路容量为: $S_{sel} = I_{Fmax2} \times S_B = 4.8 \times 100 = 480$ MVA

(2) 2009 年夏大运行方式下,1 变电站、14 变电站的输变电工程正在施工,还没有投入运行,在风电场1 接入点 PCC 处发生三相短路故障,故障在 2 s时刻发生,得到短路电流 I_{Fmax2} = 2.97(p.u.),该运行方式下系统的短路容量为

 $S_{SC2} = I_{Fmax2} \times S_B = 2.97 \times 100 = 297$ MVA

在这两种运行方式下,接入普通异步风力发电 机风电场,风电场出力为 15 MW,在风电场接入系 统点 PCC 处发生三相短路故障,故障时间为t=1s, 故障切除时间为t=1.434s,仿真得到风力发电机 组的机端电压波形,如图 2 所示。

两方式下得出的结果可知: $S_{sel} > S_{se2}$,即 2010 年运行方式下风电场接入点短路容量比 2009 年运 行方式下大,系统的抗扰动能力更强。从图 2 知,在 相同的扰动情况下,15 MW 出力的风电场接入该地 区 2010 年夏大运行方式下的网架结构,风电机组的 机端电压在经过振荡后能回到稳定状态,稳态电压 略有降低;而接入该地区 2009 年夏大运行方式下的 网架结构时,风电机组电压经过振荡后电压跌落到 0.17 p.u.,无法恢复到原来的稳定运行状态,系统 电压失稳。



图 2 风电机组机端电压波形



在故障时间一定的情况下,风电场出力不断增加,当超过某个值时,故障清除后系统电压失稳;若风电场出力小于这个值,则故障清除后系统电压能恢复到以前运行状态或者过渡到一种新的稳定状态,那么称这个值为风电场的功率极限 P_{CR}。通过判断风电场极限功率的大小来判断系统暂态电压稳定性的强弱,若 P_{CR}大,则系统承受扰动的能力强,系统的暂态电压稳定性好。

2.2.1 普通异步风力发电机组风电场接入系统后的暂态电压稳定性

在接入风电的系统中,遭受到比较大的扰动就 是三相短路故障。在t=1s时风电场与系统的接入 点 PCC 处发生三相短路故障t=1.434s时切除故 障,仿真得到风电机组机端和部分主要母线电压波 形如图 3、4 所示,而风电场电容器组的无功补偿如 图 5 所示。

由图 3 可知,风电场接入点 PCC 处在 t = 1 s 发 生三相短路故障,故障在 t = 1.434 s 切除,如果风电 场的出力为 15 MW,风力发电机组机端电压在经过 一段时间的振荡后会恢复到稳定状态,该地区电网 电压稳定;风电场的出力为 15.01 MW,风力发电机 组机端电压在故障切除后经过振荡无法恢复到稳定 状态 机组电压失去稳定。由图 4 知与风电场联接 较近的 3 变电站 110 kV 侧的电压一直在振荡,最终 能过渡到稳定状态,但时间较长;9 变电站的负荷较 重 地区离风电场 1 较远 9 变电站 110 kV 侧的电压 在故障后经过较长时间的振荡能够回到稳定状态,



其稳态电压值略有降低; 与新疆主网相连的 7 变电 站 220 kV 侧电压在经过一定时间的振荡后也能回 到稳定状态。由此可知普通异步风力发电机组风电 场 PCC 处发生三相短路故障,故障的极限切除时间 是 0.434 s,为了使系统的电压不会发生失稳,风电 ·29· 场的出力不能超过 15 MW,即风电场功率极限 P_{cr} 为 15 MW。同理,仿真计算得到不同故障清除时间下的风电场功率极限。

表 1 普通异步风力发电机组风电场 不同故障清除时间下的极限功率 *P*_{CR}

故障清除时间 /s	风电场暂态电压极限 功率 P _{cr} /MW
0.434	15.00
0.424	24.75
0.364	49.50

从表1得出,由普通异步风力发电机组成的风 电场的故障清除时间越小时,风电场功率极限 P_{cr} 越大,其暂态电压稳定性较强,当故障清除时间的增 大,风电场功率极限值 P_{cr}在减小,即风电场接入系 统的暂态电压稳定性变差。

图 5 是风电场普通异步风力发电机组并联电容 器组输出的无功功率 在故障前电容器组的无功输 出为 26.41 MW。风电场出力为 15 MW,在风电场 PCC 处发生三相短路故障 机端电压迅速降低 在故 障中输出功率 Qc 进一步降低 故障在 0.434 s 后切 除其输出功率经振荡恢复到一定的稳定状态,而在 风电场出力为 15.01 MW 时其无功输出发生振荡。 这可以根据电容器输出无功功率公式 $Q_c = \omega C U^2$ 来 理解 电容器无功功率是随风力发电机组的机端电 压变化的 在故障时风电机组需要电容器组提供的 无功来提高机组机端电压,但机端电压低使得电容 器无功输出小 而为风机提高的无功减少进一步使 得风机机端电压降低,形成了一种恶性循环。所以 在故障时,电容器组会对系统的电压崩溃起"促进" 作用。则称电容器组不具有动态补偿特性,因此可 以通过 SVC、STATCOM 等动态无功补偿装置来给系 统 例如短路故障等大扰动时提供异步风力发电机 组需要的无功功率 以实现无功电压控制。

2.2.2 双馈异步风力发电机组风电场接入系统后的暂态电压稳定性

接入双馈风力发电机组风电场,在*t*=1 s 时风 电场与系统的接入点 PCC 处发生三相短路故障,故 障清除时间为 1.464 s,风电场出力分别为 49.50 MW、49.51 MW,仿真得到风电机组机端电压曲线 如图 6 所示。通过该方法来求得不同故障清除时间 的风电场暂态电压稳定极限功率,如表 2 所示。

从图 6 可知,风电场出力为 49.5 MW,风 力发电机组机端电压在经过一段时间的振荡后会恢 •30•



清除时间下的极限功率

故障清除时间 /s	风电场暂态电压极限 功率 P _{cR} /MW
0.504	15.00
0.474	24.75
0.464	49.50
0.434	66.00

复到稳定状态,该地区电网暂态电压稳定;风电场出 力为49.51 MW,风力发电机组机端电压在故障清 除后经过振荡无法恢复到稳定状态,机组电压失去 稳定,则其功率极限值为49.5 MW。

表 2 给出了双馈风力发电机组风电场接入系统 后在 PCC 处发生三相短路故障风电场的功率极限 值 *P_{cr}*, 同普通异步风力发电机组风电场一样,故障 清除时间较小时,风电场的功率极限值较大 *P_{cr}*,其 暂态电压稳定性较强,随故障清除时间的增加电压 稳定性变差。在故障清除时间一致的条件下,双馈 机组风电场的功率极限值 *P_{cr}*比普通异步机组风电 场大,即暂态电压稳定性更好。这是因为在系统发 生故障时,双馈风电机组利用转子变频器的控制参 与了系统的无功电压控制,以帮助风电机组机端电 压的恢复,而普通异步风力发电机组则无无功电压 调节能力。

3 结 语

伴随着接入系统的风电容量不断的增大,其对 系统的影响也越来越大,特别是系统的电压稳定性。 应用时域仿真的方法,主要分析了普通异步风力发 电机和双馈风力发电机风电场接入新疆某地区电网 的暂态电压稳定性,得到了以下结论。

1) 在相同扰动情况下,短路容量大的系统其抗 扰动的能力更强,即其暂态电压更稳定。特别是在 风电场的选址时要注意,尽量使得 PCC 处的系统短 路容量大。

2) 双馈风力发电机组能够通过转子变频器进 行无功电压调节控制,在相同故障切除时间下,其暂 态电压稳定极限功率 *P_{cr}*比普通异步风力发电机组 更大,所以其暂态电压更稳定,对扰动时的电压调节 能力更强,有利于地区电网的电压稳定。

参考文献

- Erlich ,U. Bachman. Grid Code Requirement Concerning Connection and Operation of Wind Turbines in Germany
 [J]. IEEE Engineering Society General Meeting (USA) , 2005: 784 – 789.
- [2] Friedrich W. Koch. Simulation and Analysis the Interaction of Wind Turbine and Power System [D]. Duisburg – Essen University of Germany, 2005: 27 – 52.
- [3] P. Sorensen, A. D. Hansen. Reduced Models of Doubly Fed Induction Generator System for Wind Turbine Simula-

tions [J] . Wind Energy , 2006(9) : 299 $-\,311.$

- [4] 李晶, 汪伟胜, 宋家骅. 变速恒频风力发电机组建模与 仿真[J]. 电网技术 2003 27(9):14-17.
- [5] 张瑞明 涨新燕 陈莉. 风电场接入系统后的暂态特性 研究[J]. 电气自动化 2011 33(2):45-49.
- [6] 邢文琦, 灵勤. 含不同风电机组的风电电网仿真研究[J]. 电网技术 2009 33(7):99-102.
- [7] 张瑞明,张新燕.基于普通异步风力发电机和双馈风力发电机静态数学模型的系统静态电压稳定性研究
 [J].电网技术 2011,35(1):175-180.
- [8] J. B. Ekanayake , L. Holdsworth , N. Jenkins. Comparison of 5th Order and 3rd Order Machine Models for Doubly Fed Induction Generator (DFIG) Wind Turbines. Electric Power Systems Research 67(2003): 207 – 215.
- [9] 潘文霞.大型风电场电压稳定性分析与控制研究[D].南京:河海大学 2004.
- [10] 吴捷.风力发电系统的建模、控制及仿真研究[D].广 州:华南理工大学 2004.
- [11] 李建丽.大型风电场并网对电力系统电压稳定性的 影响[D].青岛:青岛大学 2007.

作者简介:

张瑞明(1985),男,硕士研究生,研究方向为风力发电 及并网技术,主要从事电气设备实验研究。

(收稿日期: 2012-03-20)

Disturbances [C]. Proc. Power Engineering Society Summer Meeting , Jul. 1999: 794 – 799.

- [5] G. W. Chang , M. H. Shih , S. Y. Chu , et al. An Efficient Approach for Tracking Transients Generated by Utility Shunt Capacitor Switching [J]. IEEE Trans. Power Del. 2006 21(1):510-512.
- [6] A. C. Parsons , W. M. Grady , E. J. Powers , et al. A DirectionFinder for Power Quality Disturbance Based upon Disturbance Power and Energy [J]. IEEE Trans. Power Del. 2000 ,15(3):1081-1086.
- [7] J. Kim, W. M. Grady, A. Arapostathis, et al. A Time Domain Procedure for locating Switched Capacitors in Power Distribution Systems [J]. IEEE Trans. Power Del. 2002, 17(4): 1044 – 1049.
- [8] Ahmed E. B. Abu Elanien and M. M. A. Salama. Wavelet – ANN Technique for locating Switched Capacitors in Distribution Systems [J]. IEEE Trans. Power

- [9] 王继东,王成山.基于小波变换的电容器投切扰动源 定位[J].电力自动化设备 2004 24(5):20-23.
- [10] 张凯,关根志,张海龙.用小波变换和瞬时功率定位 电能质量扰动源[J].高电压技术,2008,34(3):573 -577.
- [11] 张贤达.现代信号处理(第2版) [M].北京:清华大 学出版社 2002:90-93,111.
- [12] 邓乃扬,田英杰.数据挖掘中的新方法——支持向量机[M].北京:科学出版社 2004:166-190.

- 邓扶摇(1983),女,从事电网调度自动化工作;
- 赵 静(1982),女,博士,研究方向为电网调度自动化;
- 万 力(1981),男,硕士,从事电力营销工作;

郭 亮(1982),男,硕士研究生,从事电网调度自动化 工作。

(收稿日期:2012-08-20)

作者简介: