

末端送出电网风电大规模脱网 对主电网安全稳定控制策略分析

邓梅¹ 李长福² 张颖³ 张燕² 胡仁祥²

(1. 新疆天电达坂城风力发电有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830002;

2. 吐鲁番供电公司 新疆 吐鲁番 838000; 3. 国网新疆电力有限公司 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 针对含大量风电场的末端地区电网外送通道由 220 kV 上升为 750 kV 网架后,研究风电机组大规模脱网时,地区电网和主电网电压、频率的动态过程,运用 PSASP 程序仿真分析,提出稳定控制策略。计算结果表明,变电站母线电压波动的幅度与一次性脱网的风电区域容量成线性关系。在电压振幅较大的变电站加装动态无功补偿设备,该变电站母线电压的攀升得到了有效控制。

关键词: 电力系统; 稳控; 控制策略; 风电场; 脱网

中图分类号: TM743 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0022-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.006

Analysis on Security and Stability Control Strategy after Off-grid of Large-scale Wind Turbine Units in End of Grid

Deng Mei¹, Li Changfu², Zhang Ying³, Zhang Yan², Hu Renxiang²

(1. Xijiang Tiandian Dabancheng Wind Power Generation Co., Ltd., Urumqi 830002, Xinjiang, China;

2. Turpan Electric Power Supply Company, Turpan 838000, Xinjiang, China;

3. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Aiming at a large amount of wind farms increased from 220 kV to 750 kV grid, the dynamic process of voltage and frequency problems in regional power grid and main power grid is studied after off-grid of large-scale wind turbine units, and the stability control strategy is put forward after simulation analysis with PSASP program. The calculation results show that the voltage fluctuation of substation bus is proportional to the capacity of wind power area. Dynamic reactive power compensation equipment is installed in substation with large voltage amplitude, and the voltage increase of the variable bus is effectively controlled.

Key words: power system; stability control; control strategy; wind farm; off-grid

0 前言

电力系统稳定指正常运行时,系统经受干扰(如短路、切除故障、切除线路、切机等),电网保持同步运行、不发生频率和电压崩溃的一种能力。这种抗干扰的能力就是电力系统能保证正常运行所必须具备的能力,通常用暂态稳定来判据。电力系统每一次遭受大扰动后,电网中各发电机之间的相对功角开始大幅振荡,然后快速恢复至另一个稳定状

态,电网中各变电站电压也恢复到一个合理的范围。

电网中,通过换流器并网的新能源发电设备,由于设备内换流器在受到电网扰动(如短路等)时,厂家为保护换流器的电子设备,发电设备这时将自动切机,起到保护自身的作用,但对电网将造成二次扰动。根据切机容量的不同,这种方式将增大电网运行的风险。

下面主要针对含大量风电场的末端地区电网外送通道由 220 kV 上升为 750 kV 网架后,研究风电机组大规模脱网时,地区电网和主电网电压、频率的

动态过程,提出在关键节点加装动态无功补偿设备,快速响应电网电压的变化。

1 风机和风场模型

1.1 风机模型

仿真计算的新疆某末端电网中,风电场机组以双馈风电机组占比较多、直驱式风电机组占比较少。双馈风机控制系统如图1所示。

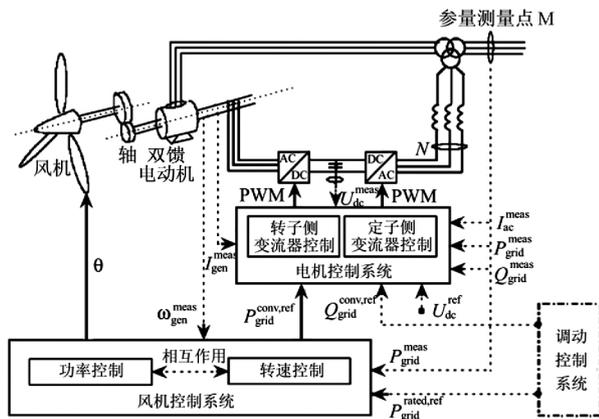


图1 双馈风机控制系统

从图1中可以看出,转子经一个背靠背脉冲宽度调制的变流器与大电网相连,这种控制系统就是双馈电动机的一个特色。

1.2 风场等效模型

大规模的风电场接入电网的系统潮流仿真分析时,为减少数据节点加速计算,采取整个风电场等效的形式参与系统潮流计算。风电场的等效包含发电机模型等效和风速分布模型等效两个方面。不计尾流效应和电场风速分布,将一个风电场按同一个风速考虑,仿真的风电场机组采用额定容量为1.5 MW的双馈感应风电机组多台并联方式接入系统,如图2所示。

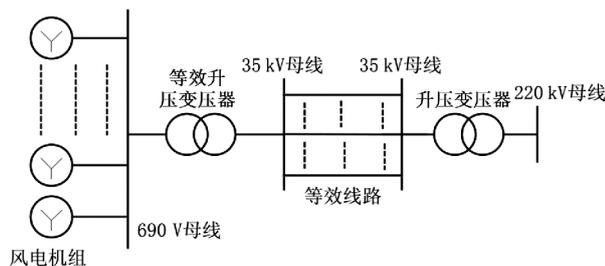


图2 风电场等效模型

风电场内的机组端电压0.69 kV,经第1级升压到35 kV,再经第2级升压到220 kV后,通过220 kV

线路并入公用电网。

风电场的有功出力等效为

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

风电场的无功出力等效为

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i \tan(\theta_i) \quad (2)$$

式中 n 为被等效风电场发电机台数。

2 有功功率波动与电压波动之间的关系

由电压变化计算公式可以推算出,当风电场送出的无功功率 Q 保持恒定时,因风电出力的间隙性,风电场送出的有功功率是一个变化的值,这个时刻为 P ,下一个时刻为 $\Delta P + P$, ΔP 即为变化值。可以推算出 ΔP 变化与 ΔU 之间的数学公式为

$$\Delta U \approx - (X/US_{sc} \Delta P^2 + 2X/US_{sc} P \Delta P) \quad (3)$$

式中: U 为送端电压; X 为联络线的电抗; S_{sc} 为母线的短路容量。

从式(3)可以得出,电压的波动变化与 ΔP 的变化十分紧密,同时与送端电压、线路电抗、母线短路容量等指标也有密切的联系。 ΔP 变化越大, ΔU 的波动幅度也越大。

由式(3)继续推导可得

$$\Delta Q = [(X/U) \times (\Delta P + 2P) \times (\Delta P/\Delta t)] \times \Delta t \quad (4)$$

因 ΔU 受 ΔP 的影响, ΔQ 的快速变化能控制 ΔU 的振幅,所以要求风电场的动态无功补偿设备能快速响应,降低 ΔU 对电网的影响。

3 有功功率波动与频率波动之间的关系

衡量电能质量的关键指标之一就是电网频率,电网频率跟电网中发出的和使用的有功功率平衡有关。因风电机组无励磁系统,不具备快速调节有功出力的能力,然而大规模风电并网后,风电的出力占据了常规能源机组的发电出力空间。当电网受到大的扰动时(如切机、切负荷等),此时电网频率势必将发生波动。因常规机组开机降低,旋转备用不足,势必导致电网频率波动恢复缓慢。若此时风电机组

因电压波动,出于自身设备原因再发生机组脱网,电网将出现大的有功缺额,电网频率恢复将更加缓慢,甚至发生频率失去稳定,造成安全自动装置低频切负荷,将电网事故进一步扩大。

4 风电脱网仿真分析

用于仿真的末端电网处于新疆电网的最北端,总装机容量约2520.5 MW,其中风电为1138.5 MW,水电为732 MW,火电为600 MW,其他为50 MW。网内负荷约800 MW。剩余电量原通过220 kV丰齐线和龙丰线与新疆主电网联络送出。750 kV塔城变电站、五家渠变电站投运后,通过750 kV塔五双线将该地区丰富的风电出力送入新疆主网、送往内地省份,如图3所示。

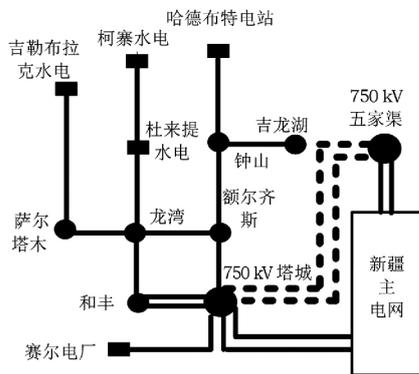


图3 某地区电网结构及与主电网联络

1) 工况1:脱网30% 约300 MW。

由图4至图6可知,当电网风机脱网300 MW时,750 kV母线电压最高达762.9 kV,波动3.26%;220 kV母线电压最高达235.8 kV,振幅3.47%,振幅最大为750 kV塔城变电站的220 kV母线电压。脱网30%风电对电网频率几乎无影响。

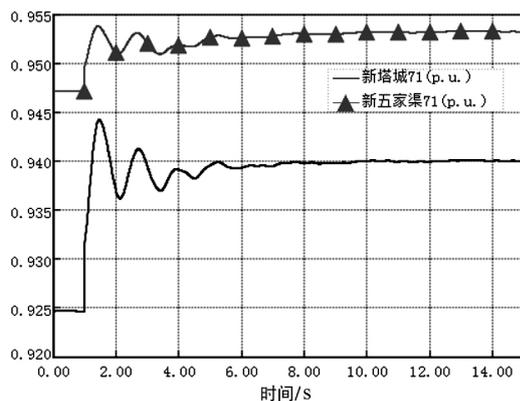


图4 750 kV 变电站母线电压波动(工况1)

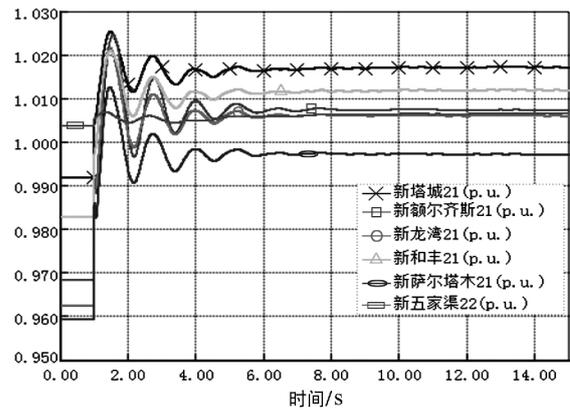


图5 220 kV 变电站母线电压波动(工况1)

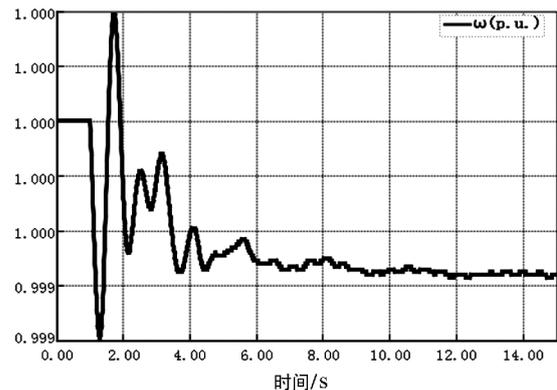


图6 电网频率波动(工况1)

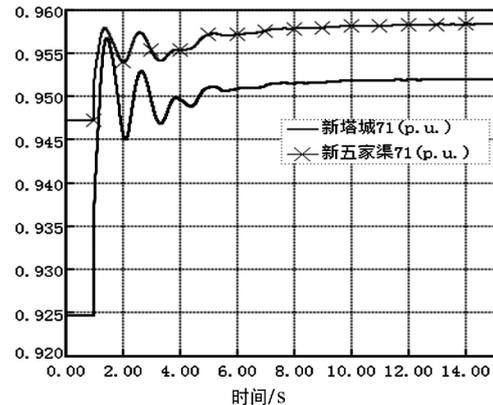


图7 750 kV 变电站母线电压波动(工况2)

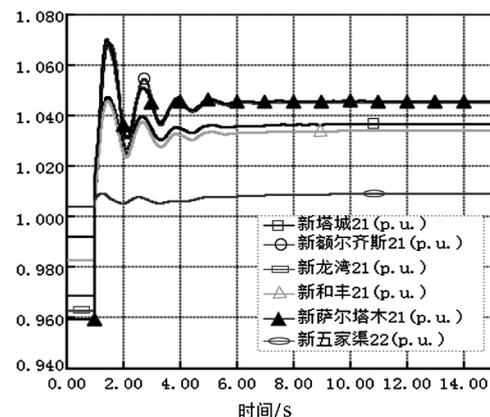


图8 220 kV 变电站母线电压波动(工况2)

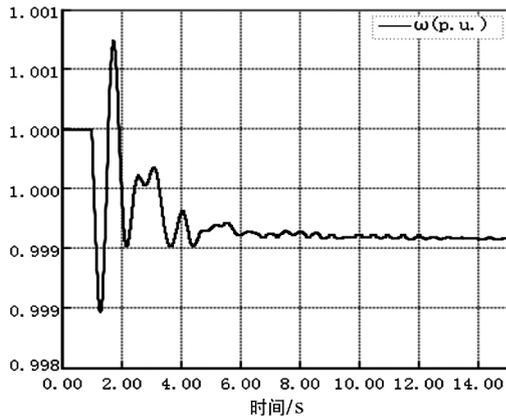


图9 电网频率波动(工况2)

2) 工况2: 脱网60% 约600 MW。

由图7至图9可知,当电压风机脱网600 MW时,750 kV 母线电压最高达765.3 kV,波动3.45%; 220 kV 母线电压最高达246.1 kV,振幅11.51%。振幅最大为220 kV 萨尔塔木变电站的220 kV 母线电压。脱网60% 风电对电网频率几乎无影响。

3) 工况3: 脱网90% 约900 MW。

由图10至图12可知,当电网风机脱网900 MW时,750 kV 母线电压最高达766.9 kV,波动3.67%;

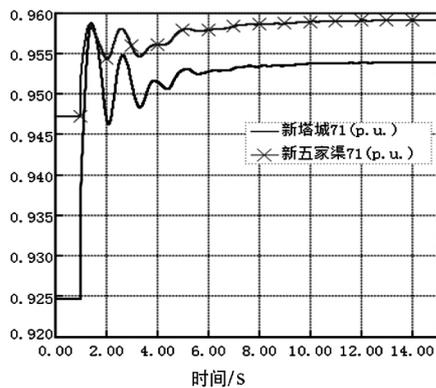


图10 750 kV 变电站母线电压波动(工况3)

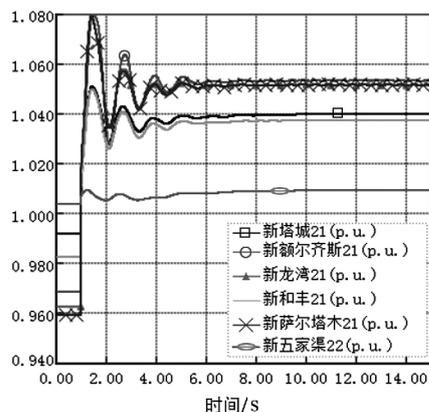


图11 220 kV 变电站母线电压波动(工况3)

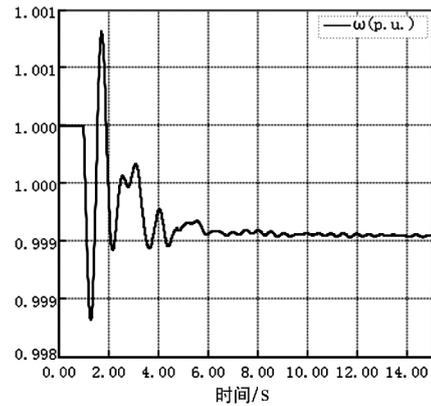


图12 电网频率波动(工况3)

220 kV 母线电压最高达248.3 kV,振幅12.48%。振幅最大为220 kV 萨尔塔木变电站的220 kV 母线电压。脱网90% 风电对电网频率几乎无影响。

各工况下数据分析如表1所示。

表1 3种工况下电网电压变化情况

仿真 工况	750 kV 最高电压		220 kV 最高电压		影响最大 变电站
	幅值/kV	振幅/kV	幅值/kV	振幅/kV	
脱网 30%	762.9	3.26	235.8	3.47	750 kV 塔城
脱网 60%	765.3	3.45	246.1	11.51	220 kV 萨 尔塔木
脱网 90%	766.9	3.67	248.3	12.48	220 kV 萨 尔塔木

从表1可以看出该末端电网风电有功出力脱网30%及以下的时候,对电网几乎无影响。但脱网60%及以上的时候,对电网220 kV 变电站的母线电压影响较大,超过运行上限,对电网一次设备的耐高压水平提出了更高的要求。此时急需动态无功补偿设备快速响应防止高电压损坏电网一次设备。

5 控制措施

采取在电压波动最大的220 kV 萨尔塔木变电站加装容量为18 MVA的SVC装置,风电脱网后的3.5 s 采取控制措施,萨尔塔木变电站220 kV 母线电压的攀升得到了控制,如图13所示。

6 结语

1) 末端风电送出电网发生机组脱网,由于地区电网潮流较轻,充电无功功率增大,导致该地区电网220 kV 以及近区的塔城变电站和对端五家渠变

(下转第49页)

法。在2018年冬季至2019年春季覆冰季节期间,已采用该方法对该区段开展直流融冰4次,OPGW光缆(地线)未发生因冰故障。

OPGW(地线)绝缘化改造需差异化进行。今后将开展不同电压等级下单回、同塔双回和交叉跨越线路的OPGW(地线)感应电压分布规律,明确地线绝缘子并联间隙取值范围,绝缘改造长度、接地方式和导线换位情况对电能损耗影响规律研究,为相关绝缘化改造工程的实施提供依据和参考。

参考文献

[1] 陈秀娟,夏潮,朱海宇,等. 光纤复合架空地线直流融冰绝缘化改造对地线绝缘子与并联放电间隙的电气要求[J]. 高压技术 2017 43(8):2733-2738.

[2] 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范:GB-50545-2010 [S] 2010.

[3] 孟志高. 光纤复合架空地线(OPGW)直流融冰过程与模型研究[D]. 重庆:重庆大学 2017.

[4] 陈绍辉,孙鹏. 输电线路架空地线直流融冰方法[J]. 云南电力技术 2017 45(5):32-36.

[5] 陈璨. 架空线路OPGW融冰技术研究[J]. 南方能源建设 2016 3(2):82-87.

[6] 胡叶舟,余绍峰,张琳,等. 输电线路架空地线融冰特性的研究[J]. 浙江电力 2015 34(9):29-33.

[7] 李丹. 并联间隙地线绝缘子覆冰网络的仿真分析与实验研究[D]. 株洲:湖南工业大学 2016.

[8] 张福泉. 光纤复合架空地线OPGW的施工技术[J]. 电气技术 2013(7):76-78.

作者简介:

邓元实(1985),高级工程师,主要从事架空输电线路抗冰除冰技术工作。

(收稿日期:2019-04-03)

(上接第25页)

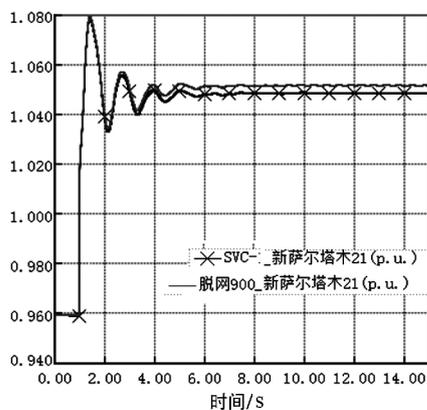


图13 脱网工况3下萨塔木变电站220kV 母线电压升高的控制效果

站750kV母线电压幅值都有一定程度增加,但相对而言,片区的220kV母线电压增长和波动幅度较750kV大些。

2)当风电区域的脱网容量由30%增长至90%时,仿真计算得出,变电站220kV母线电压波动的幅度与一次性脱网的风电区域容量成线性关系。当风电脱网60%时,220kV萨塔木变电站220kV母线电压越上限(242kV);当风电脱网达到90%时,750kV塔城变电站、220kV额尔齐斯变电站、龙湾变电站、和丰变电站、萨塔木变电站等220kV母线电压均越上限运行,给电网的安全稳定造成风险。因此,随着末端电网的风电并网规模增大,应控

制风电的接入,按照并网标准强化风电的故障穿越能力,增强其抗扰动性。

3)在风电汇集的220kV变电站加装动态无功补偿设备是控制220kV母线电压越线的有效措施。

参考文献

[1] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京:中国电力出版社,1995:223-229.

[2] 常喜强,解大,姚秀萍. 新疆阿勒泰地区电网的频率动态过程仿真[J]. 四川电力技术 2008 31(5):35-38.

[3] 张会参,秦艳辉. 基于SVC的异步风力发电机并网系统的暂态稳定性研究[J]. 电工电气 2011(2):4-7.

[4] 程旻,吴琛,李玲芳. 云南电网主网高周切机方案研究[J]. 云南电力技术 2008 36(1):1-4.

[5] 周川梅,孙斌. 贵州主网及地区电网孤网运行安全稳定措施研究[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(19):29-32.

[6] 李付强,沈卫东,王彬. 大规模风电并网对京津唐电网的影响和对策分析[J]. 电力技术 2009 18(10):44-48.

[7] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 电力系统安全稳定导则[M]. 北京:中国电力出版社 2001.

作者简介:

邓梅(1975),工程师,从事新能源发电工作;
胡仁祥(1987),硕士,从事电网调度运行工作。

(收稿日期:2019-01-19)