

含大量风电场的地区电网孤网后稳定控制策略分析

胡仁祥¹ 徐立亮¹ 王明慧¹ 赵亚南¹ 常喜强²

(1. 吐鲁番供电公司, 新疆 吐鲁番 838000; 2. 新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 针对含大量风电场的地区电网外送时联络线发生永久故障造成地区电网孤网后, 运用 PSASP 程序仿真分析电网电压、功角稳定问题的动态过程, 提出稳定控制策略, 并对不同的稳定控制策略进行了分析。结果表明, 不同运行方式下, 采用不同的控制策略, 可以保证孤网稳定运行, 该结果可为此类事故的处理提供依据。

关键词: 电力系统; 稳控; 控制策略; 风电场

Abstract: During the power delivery of regional power grid with large amount of wind farms, a permanent fault occurs in the tie line, which makes the regional power grid be isolated. The dynamic process of grid voltage and power angle stability is analyzed with PSASP simulation program, the stability control strategies are proposed, and the different stability control strategies are analyzed. The results show that under different operation modes, using different control strategies can ensure the stable operation of isolated power grid, which can provide a basis for dealing with such accidents.

Key words: power system; stability control; control strategy; wind farm

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)03-0017-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.03.004

0 前言

电力系统稳定指电力系统在正常运行时, 经受干扰而不发生非同步运行、频率崩溃和电压崩溃的能力。暂态稳定通常指保持第一或第二个振荡周期而不失步, 其判据是电力系统遭受每一次大扰动(如短路、切除故障、切除线路、切机等)后, 引起电力系统机组之间的相对功角增大, 在经过第一个最大值后作同步的衰减振荡, 系统中枢点电压逐步恢复。

电网正常运行时, 风电场变桨距风力发电机可自动调节自身的桨距来实现最大功率输出, 却不能根据电网的总负荷量自动调节功率输出, 风电所独有的随机性、间歇性特性, 使得风电的出力不可控。对于系统功率缺额, 风力发电机无能为力。

下面主要针对含大量风电场的地区电网, 两回外送联络线通道发生故障造成地区电网孤网后, 分析并采用不同的控制策略, 保证孤网稳定运行。

1 风电机组和风电场模型

1.1 基于双馈感应电机的风电机组模型

仿真分析的地区电网中, 风电机组以双馈风电机组居多, 其控制系统如图 1 所示。

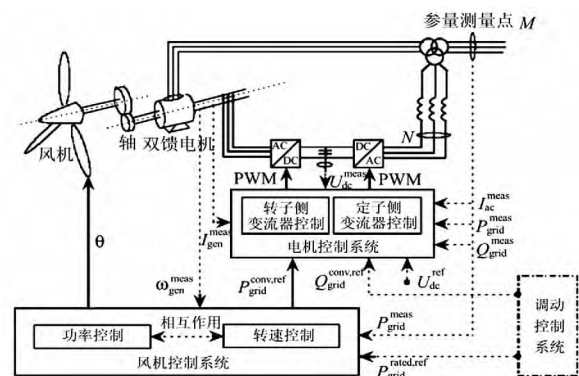


图 1 双馈变速风电机组的控制系统

双馈发电机的最大特点就是转子通过一个背靠背脉冲宽度调制变流器与电网相连。电网侧变流器的主要功能是控制电容电压使其恒定, 从而为转子侧变流器提供电源支持; 转子侧变流器为转子绕组提供幅值、相位和频率可变的励磁电流, 从而可对有功功率和无功功率进行独立控制。

1.2 风电场模型

风电机组额定容量相对较小, 这里采用额定容量为 1.5 MW 的双馈感应电机的变速风电机组进行仿真分析, 风电场装机容量较大时, 采用多台风电机组并联的方式接入系统。风电场模型如图 2 所示。

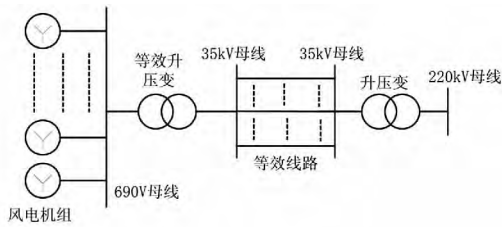


图 2 风电场等效模型

风电机组输出电压 690 V, 经过一级升压到 35 kV, 通过 35 kV 线路输入风电场升压站, 再通过 220 kV 变电站升压后, 经 220 kV 输电线路接入电网。

2 风电对系统频率的影响

频率是电力系统重要的电能质量, 由系统中有功功率的供需平衡决定。当风电大规模并网后势必替代部分常规发电机组, 在电网频率发生改变时, 风电机组无法对电网提供频率响应, 导致当电网发生功率缺额时, 电网频率下降的变化率较高, 频率跌落的幅度较大, 不利于电网的频率稳定。此外当电力系统中风电装机容量达到一定规模时, 风电功率波动或者风电场因故整体退出运行时, 可能会导致系统有功出力与负荷之间的动态不平衡, 当电网其他发电机组不能够快速响应风电功率波动时, 则有可能造成系统频率偏差, 严重时可能导致系统频率越限, 进而危及电网安全运行。

3 风电对系统电压的影响

根据电压变化经验公式, 风电场到其接入点的联络线功率在传输无功功率 Q 不变, 输送有功功率由 P 波动至 $P + \Delta P$ 时, 可得电压变化水平与有功功率变化量之间的关系为

$$\Delta U \approx -X/US_{sc} \Delta P^2 - 2X/US_{sc} P \Delta P \quad (1)$$

式中: S_{sc} 为母线短路容量; X 、 U 为联络线电抗及送端电压。

由式 (1) 可知, 电压变化与联络线传输功率、联络线潮流波动大小、线路阻抗以及母线短路容量相关。联络线有功功率变化越大, 电压变化越大; 联络线基础潮流越大, 电压变化越大。因此, 对具体风电场而言, 有功功率变化可能导致电压越限。

由于风电场出力的间歇性, 其出力的变化率也对电压的稳定性带来影响。由式 (1) 可得

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

因此, 为满足风电场出力快速增长的要求, 必须配备响应速度足够快的无功补偿装置, 才能保证电压快速稳定。无功补偿装置的响应速率受到线路电压、输送有功功率、线路参数和有功功率变化率的影响。

综合公式 (1)、(2) 可知, 单个风电场的有功送出受输送功率总值、电压水平和线路参数影响, 并且有功变化率也对无功补偿的响应速率提出了要求。

4 某地区电网简介

该电网处于新疆主电网的末端, 网内电源主要以风电、水电装机为主, 其中 6 座风电场的总装机规模为 336.5 MW, 5 座水电的总装机规模为 732 MW, 其他为 50 MW。网内用电负荷约 750 MW, 剩余电力通过 220 kV 两回线路 (龙丰线、齐丰线) 与新疆主电网联络。风电场主要集中在龙湾地区。

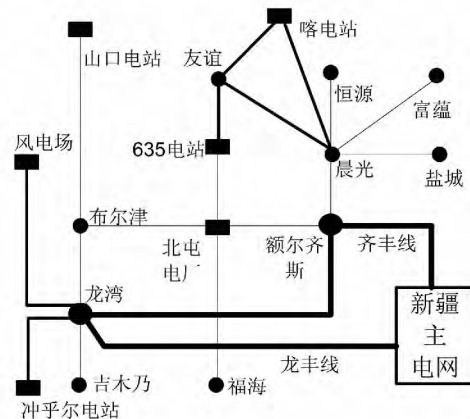


图 3 某地区电网结构及与主电网联络图

5 电源不同出力下电网发生解列分析

5.1 方式 1: 水电满发、风电出力为零

电源此种出力情况下, 地区电网通过联络线下网负荷约 220 MW。两回送出线路发生三相永久性故障 0.12 s 后切除。

控制策略: 切除地区电网内 220 MW 用电负荷后, 由于网内无功功率过剩, 及时退出部分电容器组, 电网相关变化见图 4、图 5。

从图 4、图 5 可以看出, 电网解列后, 通过安全稳定自动装置对负荷进行及时控制, 水电机组一次调频参与, 机组转速有所提高, 孤网系统可以快速稳

定运行。

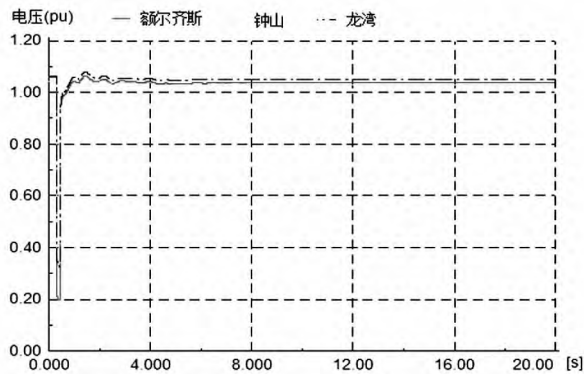


图4 方式1下地区电网中变电站母线电压变化情况

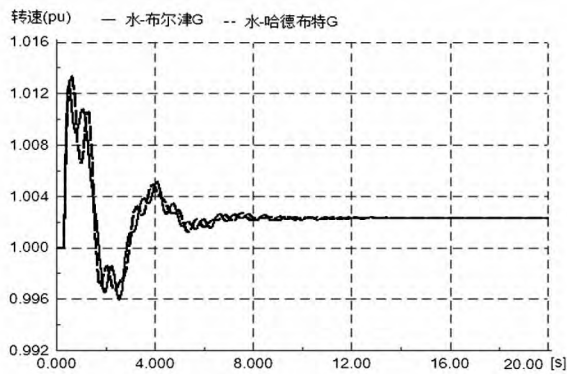


图5 方式1下地区电网中水电机组转速变化情况

5.2 方式2: 水电、风电满发

电源此种出力情况下,地区电网通过联络线外送电力约190 MW。两回送出线路发生三相永久性故障0.12 s后切除。

控制策略:地区电网孤网后,网内有功出力过剩,需切除部分机组。由于该电网发电机组主要由风电和水电构成,风电不能随负荷变化而变化,在电力平衡能力以及故障期间的电压支撑能力上都明显弱于水电。考虑切除龙湾地区风电190 MW出力。电网相关变化见图6~图9。

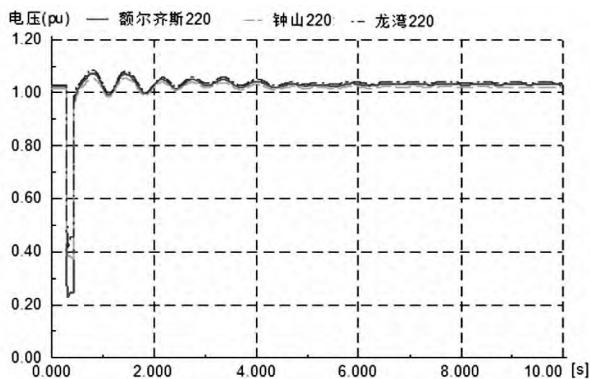


图6 方式2下地区电网变电站母线电压变化情况

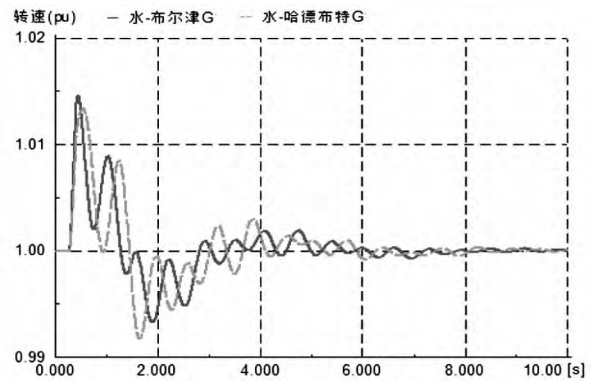


图7 方式2下地区电网中水电机组转速变化情况

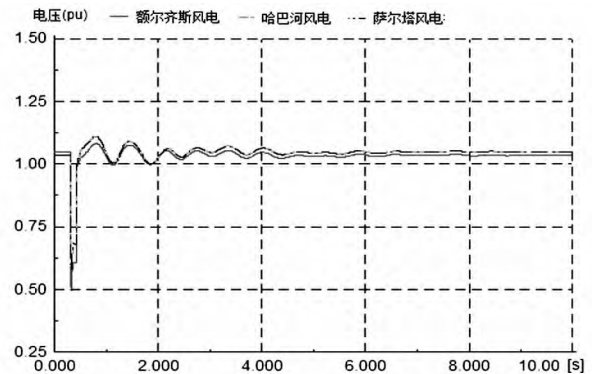


图8 方式2下地区电网中风电机组机端母线电压变化情况

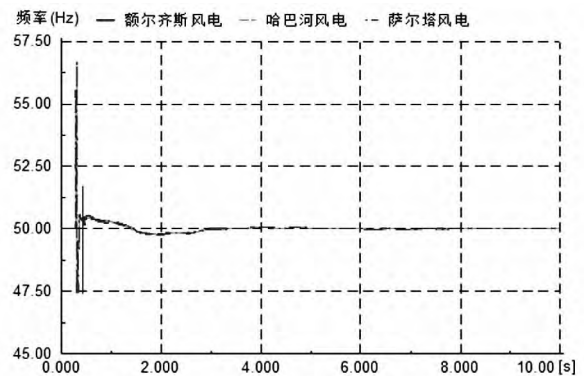


图9 方式2下地区电网中风电机组机端母线频率变化情况

从图6~图9中可以看出,故障后孤网电压、水电机组功角转速以及风电机组机端母线电压、频率,都在振荡后恢复了稳定运行。

但在故障期间,风电机组机端母线频率振荡幅度较大,最高56.5 Hz左右,最低47.5 Hz左右。这是因为电网频率改变时基于双馈发电机的变速风电机组固有的惯量对电网侧表现成为一个“隐含惯量”,因此频率的变化幅度较大。故障发生时,电网电压急剧下降,有功功率无法送出,同步发电机组转速上升,电网频率上升;故障清除时,电网电压快速

恢复,电网频率则有一个显著的下降。但这个频率的改变只在故障发生的瞬间或故障切除的瞬间产生,通常在2~3个周波以内。而风电机组变频器频率保护的时间设置一般为0.2s,所以故障瞬间产生的频率变化不会也不应导致风电机组切机。电网设备故障切除后,风电机组机端频率在49.7~50.5 Hz之间振荡,并最终恢复稳定。

所以,接入电网的风电机组必须满足GB/T 19963-2011《风电场接入电力系统技术规定》要求,风电机组应在不同电力系统频率范围内按规定的要求运行。在系统频率高于50.2 Hz时,风电场需要至少运行5 min的能力;在系统频率低于49.5 Hz时,要求风电场有至少运行30 min的能力,才能保证系统故障时不会出现大面积风电机组脱网,加剧电网事故风险。

5.3 方式3:水电小发、风电满发

电源此种出力情况下(水电小发考虑为满发的30%),地区电网通过联络线从主网下网电力约180 MW。两回送出线路发生三相永久性故障,0.12 s后切除。

控制策略:切除地区电网内180 MW用电负荷后,及时退出部分电容器组,电网相关变化见图10~图13。

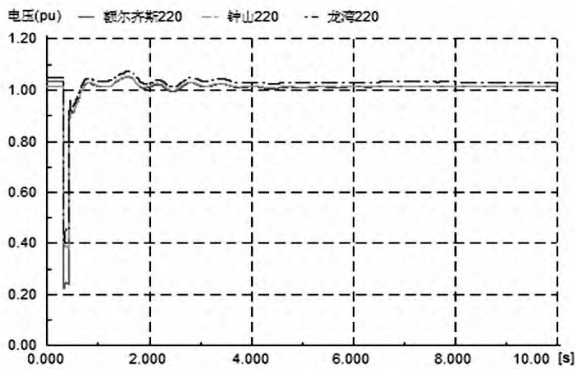


图10 方式3下地区电网变电站母线电压变化情况

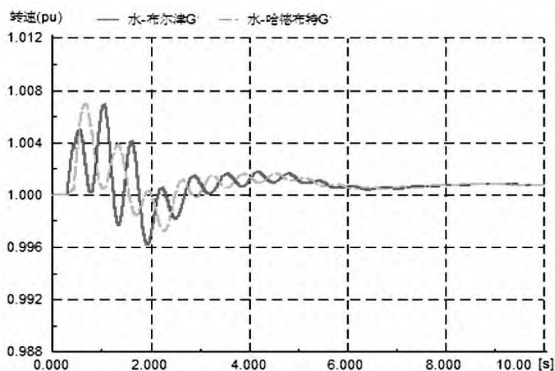


图11 方式3下地区电网中水电机组转速变化情况

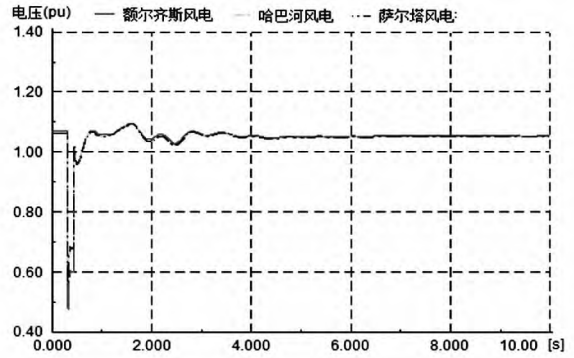


图12 方式3下地区电网中风电机组机端
母线电压变化情况

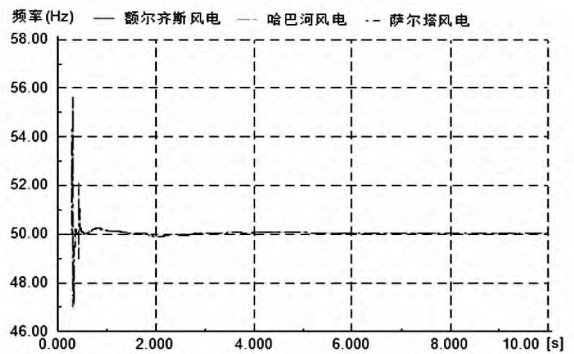


图13 方式3下地区电网中风电机组机端
母线频率变化情况

从图10~图13中可以看出,故障后孤网内的电压、水电机组转速以及风电场内机端电压、频率都在振荡后恢复了稳定运行。故障期间,风电机组机端母线频率振荡幅度较大;故障后,由于水电机组一次调频设备投入运行,网内同步电机转速略有升高。同样可以看出,风电机组必须满足《风电场接入电力系统技术规定》要求,才能保证风电机组不脱网。

5.4 小结

1) 地区电网在方式1、方式3下发生孤网时,通过联切网内多余用电负荷,水电机组一次调频设备投入运行,孤网系统可以快速稳定运行。

2) 地区电网在方式2下发生孤网时,通过快速联切风电机组出力,能保证电网稳定运行。前提是风电机组必须满足《风电场接入电力系统技术规定》要求,否则风电机组将出现大面积脱网,加剧电网事故风险。

6 结论

1) 当220 kV联络线通道(龙丰线、齐丰线)发生故障后,地区电网与主电网解列,形成孤网运行, (下转第44页)

Multi-agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Conception, Approaches, and Technical Challenges [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4): 1743–1752.

- [12] S. D. J. Mearthur, E. M. Davidson, V. M. Catterson et al. Multi-agent Systems for Power Engineering Applications—Part II: Technologies, Standards, and Tools for Building Multi-agent systems [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4): 1753–1759.
- [13] Wong S K, Kalam A. Development of a Power Protection System Using an Agent Based Architecture [C]. International Conference on Energy Management and Power Delivery, 1995, 1: 433–438.
- [14] 刘洪进, 袁斌, 戴宏伟, 等. 多代理系统及其在电力系统中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2010, 10(10): 45

(上接第 20 页)

网内电压、频率发生变化, 采取相应稳定控制策略和手段, 可以保证孤网稳定运行。

2) 由于网内主要以风电和水电组成, 风电不能随负荷变化而变化, 在电力平衡能力以及故障期间的电压支撑能力上都明显弱于水电。为保证孤网的稳定运行, 建议直接采取切除部分风电出力来维持系统稳定。

3) 在电网设备故障发生瞬间或故障切除瞬间, 风电机组机端母线频率变化幅度较大, 在 49.7 ~ 50.5 Hz 之间振荡。为保证电网安全稳定运行, 所以接入电网内的风电机组必须满足《风电场接入电力系统技术规定》要求, 才能保证电网设备故障后, 风电机组不脱网。

参考文献

- [1] 陈珩. 电力系统稳态分析 [M]. 北京: 中国电力出版

(上接第 25 页)

- [6] 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.
- [7] 宋伟伟, 李强, 袁越. 双馈风电机组接入地区电网后的电压稳定性分析 [J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(5): 36–40.
- [8] 田新首, 王伟胜, 迟永宁, 等. 双馈风电机组故障行为及对电力系统暂态稳定性的影响 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39(10): 16–21.
- [9] 李东东, 王凯凯, 叶辰升. 采用双馈机组的风电场无功功率控制研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 37–42.
- [10] 王纯琦, 吐尔逊·依布拉音, 晁勤. 基于 Matlab 的含风电电网建模与仿真 [J]. 可再生能源, 2006(5): 61–64.

– 52.

- [15] Fenghui Ren, Minjie Zhang, Danny Sutanto. A Multi-agent Solution to Distribution System Management by Considering Distributed Generators [J]. IEEE Transaction on Power Systems, 2013, 28(2): 1442–1451.
 - [16] 于文鹏, 刘东, 余南华, 等. 主动配电网的局部自治区域供蓄能力指标及其应用 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 44–50.
 - [17] 郝雨辰, 吴在军, 窦晓波, 等. 多代理系统在直流微网稳定控制中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 27–35.
 - [18] 章健, 艾芊, 王新刚, 等. 多代理系统在微电网中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 80–82.
- (收稿日期: 2016-03-28)

社, 1995: 223–229.

- [2] 常喜强, 解大, 姚秀萍, 等. 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] 徐行会, 贺仁睦, 孔祥云. 调速系统超速保护控制对电力系统稳定的影响 [J]. 现代电力, 2006, 23(6): 6–9.
- [4] 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(2): 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): 54–56.
- [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, 10(10): 44–48.
- [7] GB/T 26399–2011 电力系统安全稳定控制技术导则 [S].

作者简介:

胡仁祥(1987) 硕士, 从事电网调度运行。

(收稿日期: 2016-01-30)

- [11] 卢锦玲, 石少通, 徐超, 等. 含大型风电场系统暂态电压稳定性分析 [J]. 华北电力大学学报, 2014, 41(1): 45–52.
- [12] 马敏. 风电接入对电网暂态稳定性及调峰能力的影响研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2010: 19–22.

作者简介:

李自明(1989) 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统及其自动化;

常喜强(1976) 高级工程师, 主要研究方向为电力系统分析与控制;

王海云(1973) 教授、硕士研究生导师, 主要研究方向为可再生能源发电与并网技术;

姚秀萍(1961) 客座教授、硕士生导师、高级工程师, 主要研究方向为电网调度运行、继电保护。

(收稿日期: 2016-01-19)