

新能源汇集区域次同步振荡控制防线的研究与应用

戴拥民¹, 周专², 常喜强¹, 吕盼², 吴高磊¹, 徐龙秀²

(1. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830002;

2. 国网新疆电力有限公司经济技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 随着国家对新能源发展的大力支持, 风电、光伏装机规模呈现快速增长, 尤其是风能、太阳能资源丰富的区域, 新能源呈现集中式开发。但是新能源汇集区域多位于电网末端, 系统短路电流水平低, 同时新能源均通过电力电子装置并网, 从而引发了次同步振荡问题。随着电网中电力电子化元件大量采用, 元件自身、元件与元件之间相互协调影响作用进一步凸显, 次同步振荡问题进一步恶化。因此在次同步振荡机理尚不明确的前提下, 开展次同步控制防线研究, 抑制和隔离次同步振荡发生。开展了次同步振荡原因分析; 结合现有的电网防御体系, 建立新能源汇集区域次同步控制防线, 提出了基于机组模态频率的次同步振荡控制系统; 对某一次同步振荡分析, 验证了所提出的次同步控制系统的正确性。研究成果为新能源汇集区域的次同步振荡控制提供了技术方案, 保障了新能源汇集区域电网安全稳定运行。

关键词: 次同步振荡; 机组模态频率; 稳控系统; 控制系统

中图分类号: TM71 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)04-0055-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.012

Research and Application of Subsynchronous Oscillation Control Line for New Energy Centralized Area

Dai Yongmin¹, Zhou Zhuan², Chang Xiqiang¹, Lv Pan², Wu Gaolei¹, Xu Longxiu²

(1. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830002, Xinjiang, China;

2. State Grid Xinjiang Economic Research Institute, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: With the country's strong support for the development of new energy, the installed capacity in wind power and photovoltaic has a rapid growth, especially in the areas with abundant wind energy and solar energy, new energy is presented a centralized development. However, most of the new energy centralized areas are located at the end of power grid, and its short-circuit current level is low, while the new energy is integrated to power grid through power electronic devices, which causes a subsynchronous oscillation problem. With the large number of power electronic components used in power grid, the component itself, and the coordination effect between the components are further highlighted, and the problem of subsynchronous oscillation is further deteriorated. Therefore, for the premise that subsynchronous oscillation mechanism is not clear, the research of subsynchronous control line is carried out to suppress and isolate subsynchronous oscillation. The analysis on the causes of subsynchronous oscillation is carried out too, the subsynchronous oscillation control system based on modal frequency of the unit is proposed combining with the existing grid defense system, and the subsynchronous control line for the new energy centralized area is established. And then a synchronous oscillation is analyzed to verify the correctness of the proposed subsynchronous control system. The research results provide a technical scheme for subsynchronous oscillation control in the new energy centralized area, which may ensure the safe and stable operation of power grid in the new energy centralized area.

Key words: sub-synchronous oscillation; modal frequency of the unit; stability control system; control system

0 引言

新疆具有得天独厚的风能、太阳能资源, 具备大

规模开发的条件。近年来, 随着国家对新能源建设的大力推进, 新疆风电、光伏呈井喷式发展, 已成为新疆第二、第三大电源。但是受限于风能资源与负荷中心的逆向分布, 大规模新能源发电普遍采用

“集中式开发、远距离输送”的发展模式。新能源汇集系统内风电场、光伏电站多为辐射型连接,汇集线路较长,并且少有或没有负荷接入,末端网架结构单一、短路电流水平低,其实质是一个弱联接送端电网^[1-3]。同时新能源发电特性区别于常规电源,一是新能源均需通过电力电子装置实现与大电网相联;二是新能源自身无法向系统提供无功功率,需要依赖外接动态无功补偿装置,实现并网点无功电压支撑,导致大量的电力电子装置应用于电网引起次同步振荡问题无法避免^[4-6]。如何防止和解决新能源汇集区域次同步振荡对电网的影响,提高清洁能源送出的能力及可靠性已成为当前新能源送出系统必须解决的问题,也是电网企业需要着重关注的重要方面。

下面对风电并网次同步振荡的机理进行了研究,并对相关影响因素进行了深入的分析。结合现阶段对次同步振荡机理的认识以及现有的电网防御体系,从运行方式调整、风机发电模式及风电场 SVC/ SVG 的控制、功率振荡控制、次同步振荡功率控制 4 个方面,建立了新能源汇集区域次同步控制防御体系,提出了基于机组模态频率的次同步振荡控制系统,并结合某次次同步振荡案例分析,验证了次同步控制体系的正确性。

1 风电并网次同步振荡的机理

目前电网常用的风力发电机组主要为双馈风机和直驱风机,两者均需通过电力电子变换器件与系统相连。由于电网内部电气谐振、电力电子装置的快速动作、非特征次谐波等原因的影响,引发电网中含有某一频率的电气参量加大,从而导致次同步振荡发生。

1.1 双馈风机并网次同步振荡的机理

双馈异步风机经过箱式变压器-升压变压器-输电线路-串补并入系统。

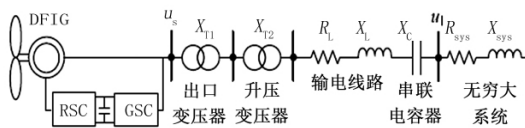


图1 双馈风机经串补并网

当DFIG定子存在次同步电流时,风机有功将产生与该次同步频率互补的振荡分量,风机采集到

的瞬时功率和电流都将发生变化,对于两相旋转dq坐标系,转子电流的dq轴分量将发生变化,转子侧控制器感受到该变化后会调节机侧变频器RSC的电压 U_r , U_r 的变化会反作用于转子电流,同时感应定子电流,产生新的次同步电流。若新的次同步电流与原始次同步电流叠加,二者相位差小于 90° ,则原始次同步电流被助增,形成一个闭环,如图2所示。

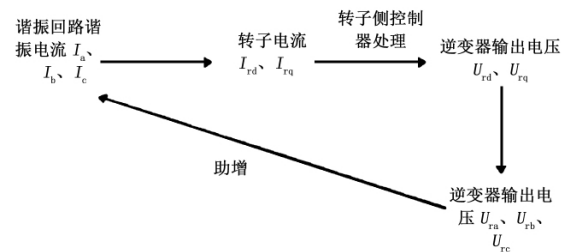


图2 风电控制引起的次同步振荡不稳定

1.2 直驱风机并网次同步振荡的机理

直驱风机通过全功率变流器并网的示意图如图3。双馈风机因为定子和电网直接相连,网侧次同步电流可以通过感应进入电机转子回路。直驱风机由于通过全功率AC/DC/AC变频器和电网相连,风机轴系难以和电气量直接耦合,即使接入串补系统,也不会发生类似感应电机效应的次同步振荡。但直驱风机网侧滤波器可能在电网的某种高次背景谐波下形成谐振回路,进而使得风机与系统产生高频的谐振。

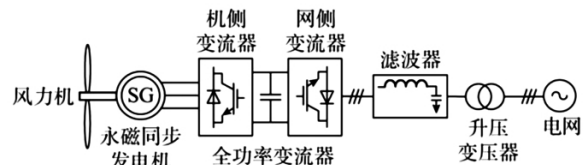


图3 永磁直驱同步机组并网

2 产生次同步振荡的影响因素

通过对大量的次同步振荡事故分析,次同步振荡的频率范围较宽,主要集中分布在7~85 Hz频率范围内,有7 Hz、25 Hz、30 Hz、75 Hz等多个频率段,且动态漂移,存在次同步、超同步两种频带,振荡分布如图4所示。

由于振荡频率发散漂移、振荡区域动态转移变化,次同步振荡源可能不止一个区域。系统多种扰动可能激发次同步振荡。风电大发、小发、正常发电均可能出现振荡,出力大振荡频率低,出力小振荡频率高。

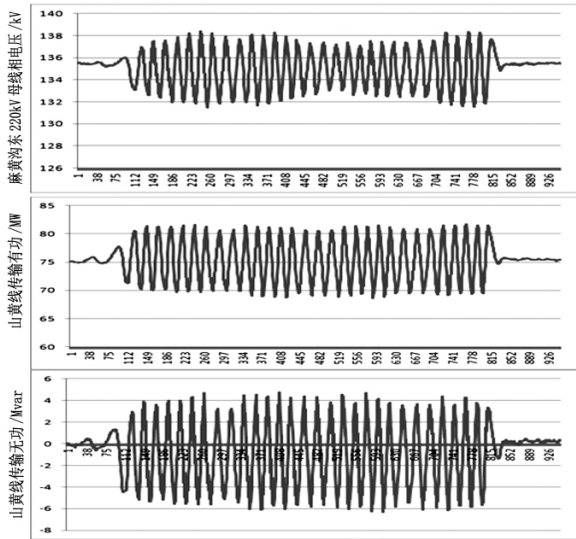


图 4 次同步振荡曲线

2015 年 9 月 3 日哈密地区次同步及超同步谐波分布如图 5 所示。

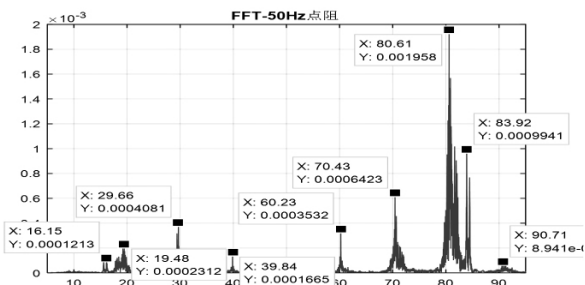


图 5 次同步及超同步谐波分布

通过分析: 次同步谐波与超同步谐波同时存在; 超同步谐波分量大于次同步谐波分量; 风电场周围线路的次同步及超同步谐波含量较多, 随着线路功率的传输及电压等级的升高, 谐波含量减少; 振荡频率呈动态漂移的趋势, 穿透能力强, 能穿越多个电压等级。

三塘湖 750 kV 变电站投运后, 望阳台东 220 kV 变电站取代麻黄沟东 220 kV 变电站成为振荡幅值最大的地点, 谐波含量减少, 主要是频率为 25 Hz 和 75 Hz 附近的谐波。三塘湖 750 kV 变电站投运后, 发现存在幅值较大的谐波通过三塘湖地区传至哈密地区, 次同步振荡传播方向如图 6 所示。

通过对大量次同步振荡数据分析, 影响新能源汇集区域发生次同步振荡的因素主要有以下 4 个方面:

1) 网架结构与风机接入系统方式及规模。新能源汇集区域风电装机规模较大, 网架结构相对薄弱, 风电场串供经长距离接入电网, 风电汇集点的短路容量较小, 风电上网汇集点短路比较小, 不利于风

电上网稳定运行。

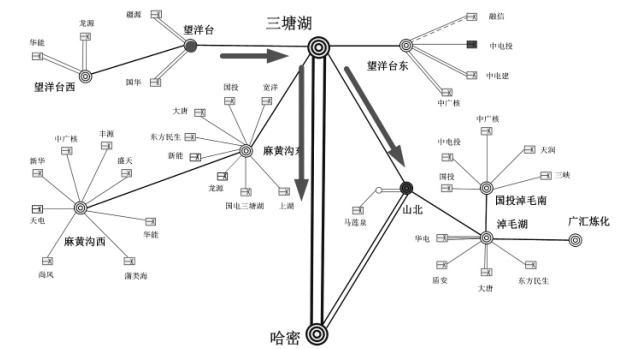


图 6 次同步振荡传播方向

2) 风机类型、风机控制模式。通过试验数据和现场运行数据分析, 次同步振荡的谐波与风机类型、风机控制模式及控制参数有一定的关联关系, 但需要进一步验证。

3) SVC、SVG 装置类型及控制模式。经多次对 SVC、SVG 进行现场和仿真试验后发现, 次同步谐波与 SVC、SVG 的装置类型、控制模式及控制参数均有一定关联关系。

4) 网源运行方式。经多次现场试验后发现, 多次次同步振荡存在一定的不确定性和偶然性因素, 但也表明振荡与网源及系统运行方式等多因素有一定的关联关系。

3 次同步振荡控制防线的构建

为隔离次同步振荡谐波, 减小次同步谐波的进一步放大对交流系统、直流系统的影响, 提出了融合机组模态频率(或机组扭振保护启动信号)的控制防线, 保证次同步控制系统的灵敏性和可靠性。

3.1 电网运行方式调整

新能源汇集区域电网网架结构较为薄弱, 系统短路电流水平以及抗扰动能力较低。为了提升新能源汇集区域短路电流容量, 在电网安全稳定运行前提下, 调整运行方式, 采用电磁环网运行, 增加次同步振荡传播路径来提高末端电网与系统的电气联系, 提升系统短路容量, 从而缓解了次同步振荡问题。

3.2 风机机端无功控制方案优化措施

针对风机自身无功调节引起的波动问题, 将哈密山北地区所有风电场风机功率因数均设置为恒功率因数 1 的模式, 保证风机在运行过程中机端无功出力恒为 0, 优化含风电场、风机、风电场汇集站、直流系统及 220 kV 交流系统在内的统一无功电压协

调控制策略,避免由于风机在有功波动过程中造成风机无功出力的波动,从而引发风电场次同步振荡。

3.3 SVC/SVG 无功控制方案优化措施

针对风机出力较小时会引起误判误调整对次同步谐波的放大问题,优化风电场及风电汇集站的SVC、SVG动态无功补偿装置的动态无功控制策略,增加了延时闭锁功能。

调整了哈密山北地区省、地电压控制曲线,优化了哈密山北地区动态补偿装置SVC、SVG的投运方式,将具有抑制功能的3套SVG投入自动方式,其余SVC、SVG均投入固定(电容器、电抗器)补偿模式。调整了动态无功补偿设备反馈模式。针对风电场及汇集站SVG、SVC的控制参数灵敏度过大和响应性过快问题,缩小了放大倍数;针对动态无功补偿设备反馈信号抗波动性弱的问题,增加了电流反馈采集回路,调整SVC、SVG的控制母线由高压改为低压,降低SVC、SVG的频繁响应。

通过改变SVC、SVG比例系数与积分时间常数降低对并网点电压造成的影响。图7分别展示的是 $K=10, T=0.002$; $K=5, T=0.002$; $K=10, T=0.004$ 时的影响情况。

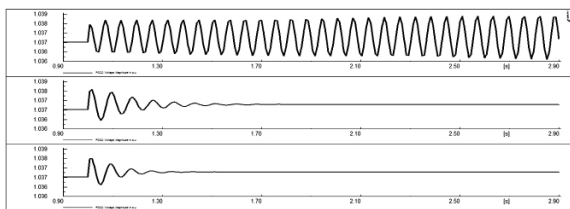


图7 并网点电压影响

($K=10, T=0.002$; $K=5, T=0.002$; $K=10, T=0.004$)

3.4 次同步振荡功率控制

根据现有的稳控系统构建次同步振荡控制系统,如图8所示:当监测到的次同步频率满足直流配

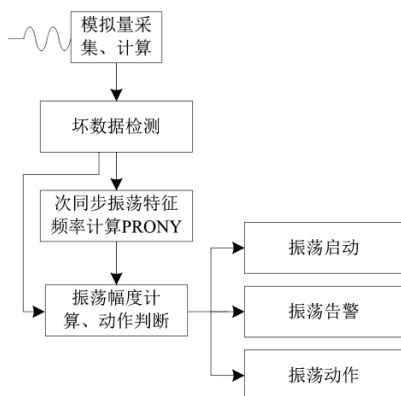


图8 次同步振荡控制系统

套火电机组扭振保护启动频率判据后,通过功率振荡幅值和振荡次数判据,分轮实现对各相关振荡风电场的切除功能;当监测到的联络线功率满足启动判据后,通过振荡幅值和振荡次数判据,分轮实现对各相关振荡风电场的切除功能;当系统振荡频率接近15.9 Hz、26.7 Hz、30.76 Hz 3个频率值时,分轮实现对各相关振荡风电场的切除功能,达到隔离次同步振荡、防范次同步振荡频率的漏监。

目前电网发生次同步振荡时,常用的手段为切除并网风电来平息振荡。为了更早发现并消除振荡,采取风机自主切机,尽量减小切机范围,减小对电网的功率扰动:第1轮,切除单个站内最大的风电场;第2轮,比较多站振幅,切除单个汇集站全部风电;第3轮,全网按比例切除风电。依据次同步振荡控制系统,制定了次同步振荡控制策略,控制策略分为启动判据和确认判据,如式(1)至式(5)所示。

$$\text{启动判据: } |P_k - P_{eqv}| > P_{setqd} \quad (1)$$

$$\text{确认判据: } dP_k = P_{maxk} - P_{mink} \quad (2)$$

$$dP_k \geq P_{setzd} \quad (3)$$

$$T_{setmin} \leq T_k \leq T_{setmax} \quad (4)$$

$$N_k \geq N_{setzd} \quad (5)$$

4 实例分析

2016年某次次同步振荡实例:望洋台东风电汇集站次同步振荡两轮动作,全切望洋台风电,损失430 MW;风电切除后花园电厂3号机组模式2启动(1号、2号、4号机组停备),17:15模式2幅值0.409 rad/s。图9为2016年某次次同步振荡分布结果。

对从三塘湖地区传播到天山换流站的次同步谐波电流进行了分流,南湖电厂和绿洲电厂次同步电流均较小,花园电厂次同步电流较大,传播路径和分流影响因素较多。通过事故分析可以看出,所提出的次同步振荡控制系统能正确动作,防止事故进一步扩大。

5 结 语

新能源汇集地区产生的次同步振荡问题影响因素较多、机理复杂,为保证新能源汇集区域电网的安全稳定运行,基于新疆电网实际网架结构及稳控系

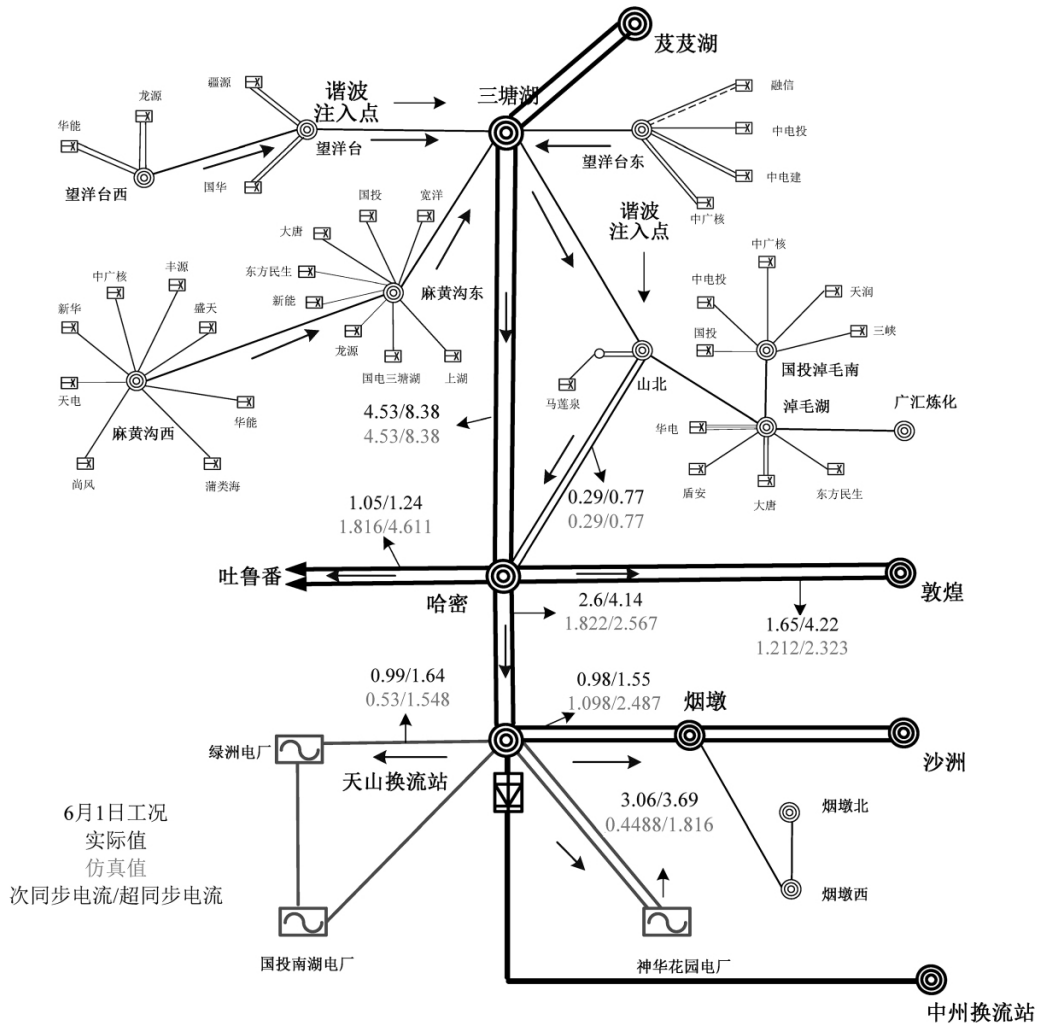


图 9 次同步振荡分布

统建立了次同步振荡控制防线,可有效隔离次同步振荡。通过研究得出以下结论:

1) 目前电网发生次同步振荡时,常用的手段为切除并网风电来平息振荡。为了更早发现并消除振荡,采取措施实现风机自主切机,并在更小范围内切除机组,减小对电网的功率扰动,需建立风电机组的次同步监测与控制。

2) 为了尽快掌握次同步振荡机理,需进一步加强新能源仿真模型的研究,提高仿真的精度。

3) 需要结合电网网架结构、新能源机组及动态无功补偿设备,进一步优化运行方式及运行参数,从源头缓解次同步振荡。

参考文献

[1] 文劲宇,孙海顺,程时杰. 电力系统的次同步振荡问题[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(12): 1-4.

[2] 徐政,罗惠群,祝瑞金. 电力系统次同步振荡问题的分析方法概述[J]. 电网技术, 1999, 23(6): 36-39.

[3] 张帆,徐政. 采用 SVC 抑制发电机次同步谐振的理论与实践[J]. 高电压技术, 2007, 33(3): 26-31.

[4] 武云生,韩俊彪. 应用静止无功补偿器抑制发电机次同步振荡的研究[J]. 电力设备, 2008, 9(1): 49-52.

[5] 肖湘宁,罗超,廖坤玉. 新能源电力系统次同步振荡问题研究综述[J]. 电工技术学报, 2017, 32(6): 85-97.

[6] 陈钦磊. 含规模化新能源的电力系统次同步振荡研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.

作者简介:

戴拥民(1963),高级工程师,研究方向为电网分析与规划;
周专(1987),工程师,研究方向为电网分析与规划;
常喜强(1976),高级工程师,研究方向为电力系统分析与控制。

(收稿日期: 2018-03-06)