

新能源技术

宁夏电网新能源电站快速频率响应特性研究分析

朱建军¹, 杨彦波²

- (1. 国网宁夏电力有限公司, 宁夏 银川 750001;
2. 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院, 宁夏 银川 750011)

摘要: 针对宁夏电网新能源占比不断升高, 常规水、火电机组出力逐步减少, 电网调频裕量日显不足, 且直流大功率闭锁进一步加剧电网频率安全运行风险的现状, 提出了一种适用于宁夏电网的新能源电站快速频率研究方法。通过开展试点研究, 掌握光伏电站、风电场参与电网频率调节的特性, 结合日常电网运行频率波动情况和试点场站挂网实测响应效果, 制定了快速频率响应参数设置策略, 西北全网试验验证了该方法的可行性。

关键词: 宁夏电网; 新能源电站; 快频响应; 试点研究

中图分类号: TM 732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3643(2020)06-0040-05

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2020.06.008>

Research and analysis on fast-frequency response characteristic of new energy power station in Ningxia power grid

ZHU Jianjun¹, YANG Yanbo²

- (1. State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan Ningxia 750001, China;
2. Power Research Institute of State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan Ningxia 750011, China)

Abstract: In view of the status quo of increasing proportion of new energy in Ningxia power grid, the decreasing output of conventional hydro-thermal power units, the daily insufficient frequency regulation margin and the DC high-power blocking further intensifying the risk of the power grid's safe operation, a fast-frequency research method for new energy power station was proposed which adapted to Ningxia power grid. By conducting pilot research, the characteristics of power grid frequency-regulation with the participation of photovoltaic power plants and wind farms were mastered. Combining with the daily frequency and the actual measurement response results of the pilot, the strategy for fast-frequency response parameter setting was made. The test of northwest power grid verified the feasibility of the method.

Keywords: Ningxia power grid; new energy power station; fast frequency response; pilot study

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2020.06.008

收稿日期: 2020-10-21

作者简介: 朱建军(1985), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电网调度控制管理, 并网发电厂涉网管理工作。

随着电力技术的飞速发展,新能源装机规模不断扩大。截至 2017 年底,宁夏电网新能源装机达到 1 596.6 万 kW,占全网总装机容量的 40.45%。新能源渗透率的不断升高对电网频率安全带来新的挑战^[1-3],主要体现在尚不具备参与电网频率调节的能力,因此随着其出力占比的增高,不断挤占具有转动惯量的常规能源机组出力空间^[4],导致电网调频裕量不足,宁夏电网频率扰动抑制能力持续下降;同时,地处西北大送端电网,随着特高压直流外送工程的大量投产,系统有功平衡及调频难度不断加大^[5],直流大功率闭锁对电网频率安全造成了严重威胁^[6-8]。仅 2016—2017 年,就发生了 6 次超过 0.1 Hz 的大频差扰动事件,电网安全运行形势异常严峻;因此,亟需开展新能源电站快速频率响应研究,加快并网新能源场站快速频率响应功能推广应用,从源头提升宁夏电网本质安全能力。

2017 年初,国家电网西北分中心牵头组织西北五省开展新能源电站快速频率响应研究工作。宁夏电网选取了 3 座直调新能源场站(2 座风电场、1 座光伏电站)作为试点研究对象。通过参照常规水、火电机组一次调频实现方式,重点研究了试点场站单机、汇集线有功功率在不同调频参数配置下的响应性能;充分考虑了宁夏电网日常运行过程中频率波动情况、光伏逆变器和风机桨叶连续变化调节的能力,并结合挂网实际运行测试效果,制定出了新能源场站快速频率响应参数配置方案,西北电网全网试验验证了该方案的可行性。截至 2020 年 9 月,该方案作为参考已经指导宁夏电网第 1 批次 50 余座新能源场站完成快速频率响应功能改造并投入实际运行。

1 新能源场站快频试点研究情况

1.1 快速频率响应原理

参照常规水、火电机组一次调频^[9]实现策略,试点场站频率-有功下垂曲线如图 1 所示。 $f_{\max}$ 为频率响应最大值, $f_{\min}$ 为频率响应最小值, DB_+ 为

频率正向死区, DB_- 为频率负向死区, ep 为调差率, P_{L-} 为有功负向限幅值, P_{L+} 为有功正向限幅值, P_E 为场站容量。

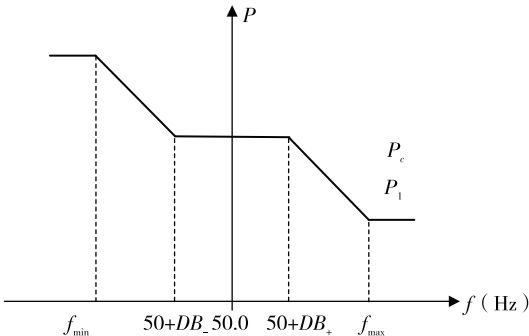


图 1 新能源场站频率-有功下垂特性曲线

新能源场站按照式(1)进行频率-有功调节:

$$P = \begin{cases} P_{L-} & f \geq f_{\max} \\ P_0 - \frac{f - (50 + DB_+)}{50} \times P_E & 50 + DB_+ < f < f_{\max} \\ P_0 - \frac{f - (50 + DB_-)}{50} \times P_E & 50 + DB_- > f > f_{\min} \\ P_{L+} & f \leq f_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

1.2 试点场站情况简介

选择宁夏电网直调风电场 A、B 和光伏电站 A 三座新能源场站为试点,试点装机容量 526 MW,如表 1 所示。由场站能量管理平台直接导入试验数据文件,采集主变 35 kV 侧汇集线、单台风机、单台逆变器 PT、CT 信号进行数据分析。

表 1 试点新能源场站信息

场站名称	场站容量/MW	快频改造方式
风电场 A	198	AGC + 快速调频柜
风电场 B	298	快速调频柜 + 单机改造
光伏电站 A	30	AGC + 快速调频柜

注:AGC 为自动发电控制系统(automatic generation control, AGC)

对比常规火电机组一次调频实现方式及参数设置,考虑新能源场站自动发电控制负荷调节速率优于火电机组,设置多组调频参数配置进行试点研究,如表 2 所示。

表 2 试点场站调频参数配置

场站名称	调频死区/Hz	调差率/%	最大限幅/%
风电场 A	0.03	2	10
	0.05	2	10
风电场 B	0.03	3	10
	0.05	2	10
光伏电站 A	0.03	2	10

1.3 试点场站响应特性分析

1.3.1 光伏电站频率响应特性

试点光伏电站频率响应特性如图 2—图 3 所示,不考虑实际运行中电网频率采集时延,光伏电站在不同频率参数配置下,频率阶跃变化超出设置死区后,负荷响应滞后时间在 0.1 ~ 1.5 s,到达理论动作量 90% 的时间均小于 3 s,且均能在 5 s 内达到稳定。

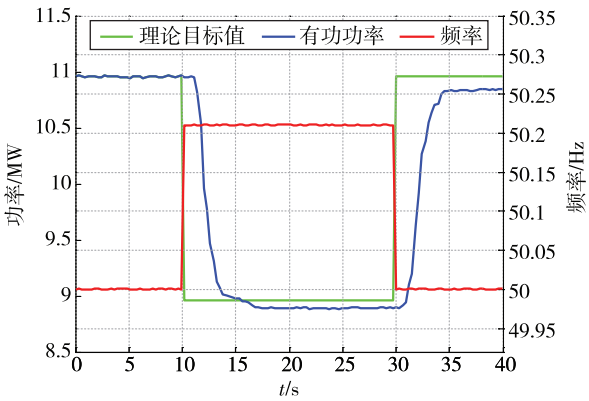


图 2 光伏电站频率阶跃试验响应曲线

通过多次导入银一东直流闭锁无尖峰频率数据试验发现,动态频率变化过程中,负荷响应滞后时间小于 2 s,3 s 以内能够响应频率峰值。

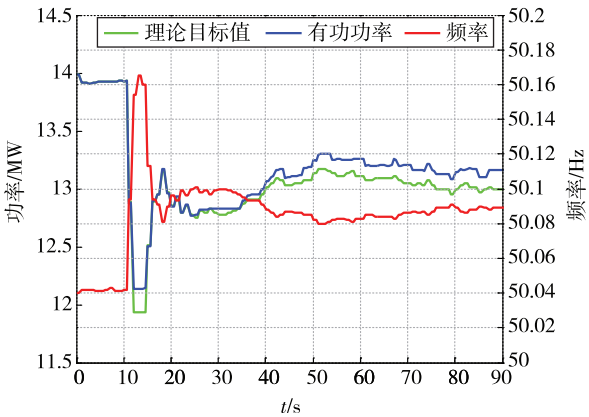


图 3 光伏电站模拟实际网频扰动试验响应曲线

1.3.2 风电场频率响应特性

试点风电场频率响应特性如图 4—图 5 所示,不考虑实际运行中电网频率采集时延,风电场在不同频率参数配置下,频率阶跃变化超出设置死区后,负荷响应滞后时间在 0.6 ~ 1.8 s,到达理论动作量 90% 的时间均小于 8 s,且均能在 12 s 内达到稳定。

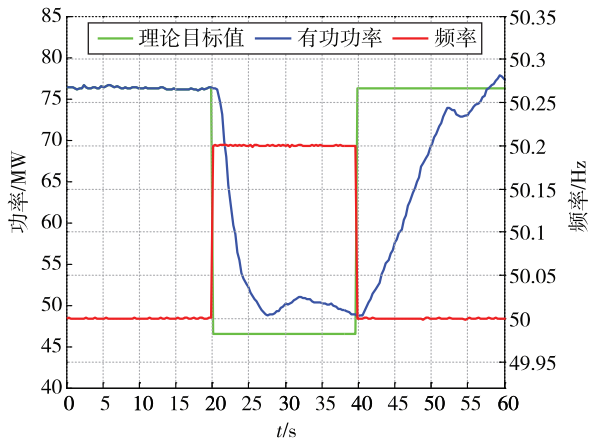


图 4 风电场频率阶跃试验响应曲线

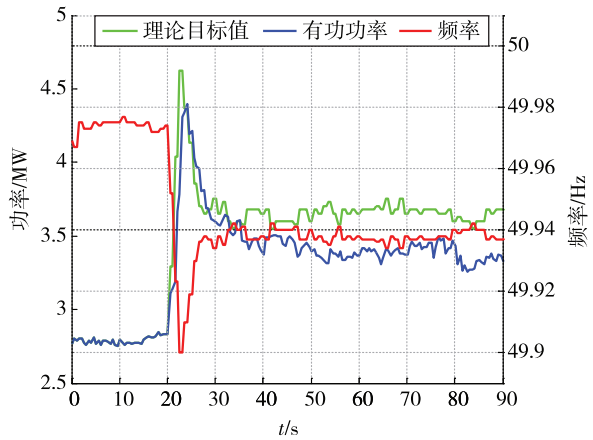


图 5 风电场模拟实际网频扰动试验响应曲线

通过多次导入拉西瓦水电机组打跳试验电网频率数据试验发现,动态频率变化激励过程中,负荷响应滞后时间小于 2 s,6 s 以内能够响应频率峰值。

1.4 试点场站挂网实测

2017 年 7 月—8 月,宁夏电网组织 3 座试点新能源场站开展快速频率响应性能挂网实测。参数按照死区 ± 0.06 Hz、调差率 2%、最大限幅 10% 设置。

如图 6—图 8 所示,挂网实测分析显示,挂网

运行期间宁夏电网单日频率超过 0.06 Hz, 次数为 1~4 次, 且调差率 2%、最大限制 10% 参数配置, 能够满足场站调频需要。

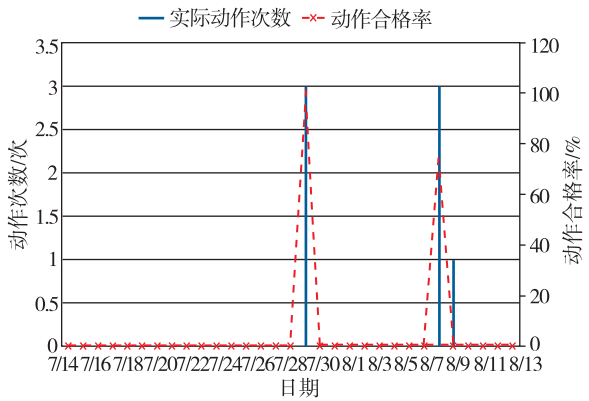


图 6 试点光伏电站月度调频动作情况

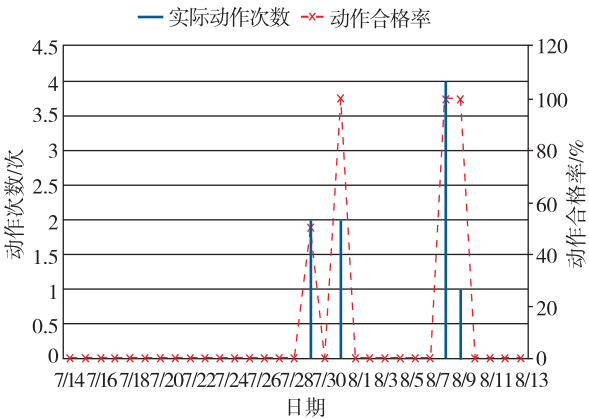


图 7 试点风电场月度调频动作情况

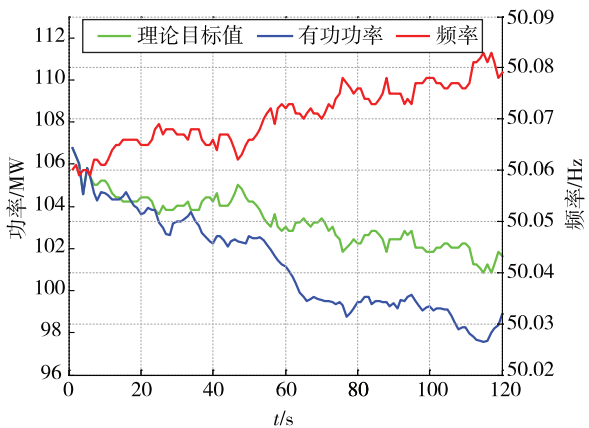


图 8 试点场站挂网实测响应典型曲线

2 快频参数配置

(1) 调频死区设置 0.06 Hz。

经统计, 宁夏电网每日频率波动超出 0.06 Hz 为 3~5 次, 超出 0.05 Hz 达 80 余次, 为避免光伏逆变器、风机桨叶控制系统频繁调节造成磨损, 设定值不宜过小。

(2) 调差率 2%~3%。

基于调频死区、调频限幅的设置情况, 确保电网最大频率偏差在 0.15~0.2 Hz 之间时新能源场站调频目标达到最大限幅。

(3) 调频限幅 10%。

风电限幅 10% 考虑夜间光伏停发, 风电定位为常规水、火电机组调频能量补充; 光伏电站考虑 10% 释放能量能够满足大功率扰动有功缺额, 且大部分新能源场站控制策略设计出力低于 10% 会出现风机或逆变器停运现象。

3 西北全网试验响应结果

2017 年 11 月, 西北电网组织开展全网一次调频试验, 通过拉西瓦水电厂水电机组快速增减出力, 产生网频扰动, 宁夏电网试点新能源电站按照本文提出的参数配置方案设置, 参与电网频率扰动试验, 如图 9 所示。

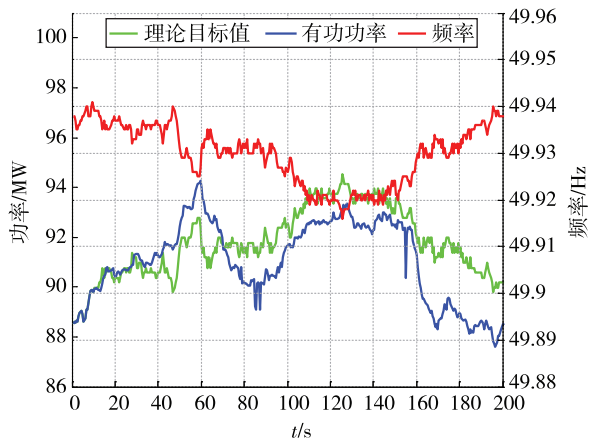


图 9 试点场站全网试验响应典型曲线

分析发现: 所有参试场站均能够快速、准确响应电网频率变化, 动作方向正确, 积分电量贡献指数、出力响应指数^[10]均大于 60%; 风机、逆变器运行稳定, 未出现异常情况, 调节性能优于同等容量的火电机组, 与水电机组相当, 能够为电网频率调节提供有效支撑。

4 结 论

(1) 试点新能源电站经快速频率响应功能改造,具有参与电网频率调节的能力。试点新能源电站快速频率响应死区设置 0.06 Hz、调差率 2% ~ 3%、调频限幅 10%,既可以满足调频需求,又可避免风机桨叶、光伏逆变器频繁调节,减小设备损害。

(2) 通过试点研究,发现同等容量的新能源电站调频性能优于火电机组,与水电机组相当。可作为电网调频的重要补充,在电网发生大频差扰动时,充分发挥快速调频优势,为常规能源机组调频动作争取时间。

参考文献

- [1] 丁明,王伟胜,王秀丽,等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报,2014,34(1): 1-14.
- [2] 刘吉臻. 大规模新能源电力安全高效利用基础问题

[J]. 中国电机工程学报,2013,33(16):1-8.

- [3] 蒋小亮,丁岩,全少理,等. 光伏渗透率对电力系统频率的影响及控制策略[J]. 武汉大学学报,2015,48(5):686-689.
- [4] 孙晓强,刘鑫,程松,等. 光伏逆变器参与西北送端大电网快速频率响应能力实测分析[J],电网技术. 2017,9:2792-2798.
- [5] 孙晓强,程松,刘鑫,等. 西北送端大电网频率特性试验方法[J]. 电力系统自动化,2018,42(2):148-153.
- [6] 李兆伟,吴雪莲,庄侃沁,等. “9.19”锦苏直流双极闭锁事故华东电网频率特性分析及思考[J]. 电力系统自动化,2017,41(7):149-155.
- [7] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术,2016,40(4):985-999.
- [8] 赵强,张丽,王琦,等. 系统负荷频率特性对电网频率稳定性的影响[J]. 电网技术,2011,35(3):69-73.
- [9] 火力发电机组一次调频试验及性能验收导则:GB/T 30370-2013[S].
- [10] 西北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则:西北能监市场[2018]66号[S].

(上接第 39 页)

3 结 论

本文提出的改进电桥法通过两次投切检测电阻来检测电桥上的不平衡电流和支路漏电流,最终计算得出接地电阻并快速找出故障支路。该方法能够有效地解决传统电桥法检测死区的问题,并且不受母线对地电容的影响,在正负母线绝缘能力下降时,仍然可以准确求出对地绝缘电阻值。通过对比分析发现改进电桥法的测量准确性也更高。

参考文献

- [1] 白忠敏,於崇干. 电力工程直流系统设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,1999.

- [2] 韩向军. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测方法[J]. 电工技术,2016(9):67-68,101.
- [3] ZHAO C, JIA X, HAO Z. The New Method of Monitoring DC System Insulation On-line[C]. The 27th Annual Conference of the IEEE, Colorado, USA: IEEE, 2001.
- [4] 李立伟,刘险峰,刘斌. 基于现场总线的分布式直流系统接地在线监测装置设计[J]. 电力自动化设备, 2006,26(12):55-58.
- [5] 宋人杰,王晓东,苏畅. 直流接地故障监测装置的设计[J]. 高电压技术, 2010,36(4):975-979.
- [6] 冯煜理,鲁炜,朱亮. 用频率偏移法检测直流系统故障[J]. 华东电力, 2013, 41(10):2098-2102.
- [7] 费万民,张艳莉,吴兆麟. 电力系统中直流感地电阻检测的新原理[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(6): 54-56.