

新能源电站多功能一体化并网装置设计与应用

针对新能源电站安全稳定控制、一次调频和防孤岛保护的功能需求，提出新能源电站一体化并网控制装置体系架构，阐述各功能的设计方案，基于此开发了新能源电站并网一体化装置，并在多个风电场、光伏电站投入实际运行。

陈永华^{1,2} 封科^{1,2} 唐冠军^{1,2} 刘天翼^{1,2} 孙宁^{1,2}/1.南瑞集团（国网电力科学研究院）有限公司 2.国电南瑞科技股份有限公司

0 引言

近年来，为保障能源安全、推动环境保护，中国实施了一系列新能源发展政策，鼓励新能源的大规模开发利用。截止2015年底，我国风电、光伏装机容量分别为1.31亿kW、0.42亿kW，规划到2020年，风电装机容量达2.1亿kW以上，太阳能发电装机容量达1.1亿kW以上^[1]。然而，由于新能源出力的随机性、间歇性及机组可控性差的特点，大规模新能源并网给电网的运行带来稳定、送出、调峰、调频、无功/电压和防孤岛等问题^[2-4]，威胁电网的安全稳定运行，同时新能源的利用率难以保障。

安全稳定控制装置是提高电网输送能力、保障电网安全稳定运行的重要设备，在新能源送出受限的地区，配置安全稳定控制装置可有效提高新能源送出能力^[5]。新能源参与电网一次调频可有效改善电网频率响应特性，提升电网紧急情况下的频率支撑能力，防控系统调频资源充裕性的风险，新能源参与电网一次调频是新能源高占比电网的必然趋势^[6]。随着新能源的大量并网，当电网侧故障或无故障跳闸时，新能源电站与本

地负载形成不受大电网控制的带电回路（即孤岛），由于孤岛后电能质量不受控制，会给电力设备带来潜在的危险，同时重合闸和备用电源自动投入装置无法正常动作，因此新能源电站需要具备防孤岛能力^[7]。

目前，针对新能源电站的安全稳定控制、一次调频和防孤岛功能，往往采用相互独立的系统或装置，但各功能设计和如何用一体化装置实现三个功能鲜有文献涉及。本文针对新能源电站安全稳定控制、一次调频和防孤岛的需求，设计了三个功能一体化的并网装置体系架构，具有良好的扩展型，分别阐述各功能的设计方案，基于此设计开发的装置已经在多个风电场、光伏电站投入实际运行。

1 一体化并网装置体系架构设计

装置整体架构如图1所示。包含数据采集与处理I/O单元、2M通信单元、主控单元、以太网数据处理COM单元和人机交互单元五部分。

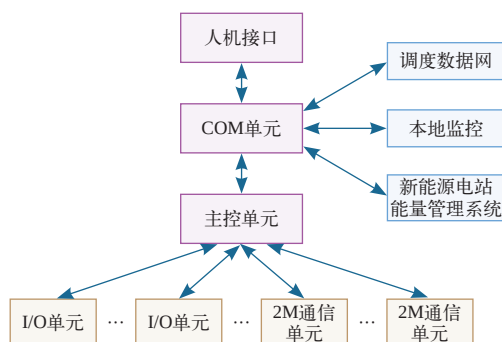


图1 整体架构

装置各单元功能如下。

1) 数据采集与处理I/O单元负责本

关键词/Keywords

新能源电站 ·
安全稳定控制 ·
一次调频 ·
防孤岛保护 ·

地模拟量、开关量采集和计算，包含频率、电压有效值、电流有效值、有功功率、无功功率和谐波等计算。

2) 2M通信单元实现与远方稳控站点通信，上传本地信息、接收远方命令等；该单元为实时控制通道，与远方装置0.833 ms交换一次数据。

3) 主控单元是整个装置的大脑，与数据采集与处理I/O单元、2M通信单元和以太网数据处理COM单元交互信息，实现安全稳定控制策略、一次调频调节量计算和孤岛判别等功能。

4) 以太网数据处理COM单元负责与站内监控系统、上级调度系统和电站能量管理系统通信。

5) 人机交互单元负责人机交互，包含实时运行数据、事件记录、异常告警记录和定值整定等界面。

2 安全稳定功能设计

设计具备以下五项控制功能，具体工程实施时，应根据电网安全稳定分析结果选择部分或全部功能。

2.1 接收上级稳定控制装置紧急有功切机指令

控制对象为风电场内35 kV或10 kV集电线路，控制方式为跳开集电线路升压站侧并网开关。

风电场一体化并网装置接收的紧急有功切机指令为切除容量时，根据此切除容量进行控制有三种方式（建议选择方式二），具体如下。

方式一：将风电场集电线路的有功功率从大到小排序，依次切除，直至满足切除容量。

方式二：将风电场集电线路的有功功率从大到小排序，依次切除，最后一个切除对象优化选择，即需切 N 条集电线路，先按从大到小切除 $N-1$ 条馈线，最后一条按照容量最接近的集电线路切除。

方式三：将风电场集电线路组合排序，选取容量最接近的组合切除。

风电场稳定控制装置接收的紧急有功切机指令为切除集电线路条数时，根据切除条数进行控制有两种方式，可根据不同安全稳定控制需求和装置调管单位的管理要求进行选择。

方式一：将风电场集电线路的有功功率从大

到小排序，依次切除至满足需切条数。

方式二：根据预先设定的风电场集电线路切除优先级，依次切除至满足需切条数。

2.2 接收上级稳定控制装置紧急无功电压控制指令

控制对象为风电场升压站内电容器、电抗器、SVC和SVG，紧急控制方式为跳开或投入其并网开关；风电场稳定控制装置接收到紧急无功电压控制指令后，应按照电容器、电抗器、SVC和SVG的先后顺序进行投切或闭锁。

2.3 就地模式的紧急无功电压控制

就地模式的紧急无功电压控制是为了抑制故障之后的电压过冲问题；监测风电场升压站高压侧母线电压，当电压高于设定值时，之前出现电压大幅下降过程，经过延时定值，则装置按照2.2的顺序依次进行控制。

接收上级稳定控制装置紧急无功电压控制功能投入时，就地控制模式的紧急无功电压控制功能应退出。

2.4 风电场送出线路过载控制

1) 对于具备低电压穿越能力的风电场，其送出线路的过载控制若采用基于响应驱动的控制方式，过载延时躲过风机低电压穿越后功率恢复的时间。

2) 对于不具备低电压穿越能力的风电场，同时风机低电压脱网后不能自动并网，其送出线路的过载控制不宜采用基于事件驱动的控制方法，可能导致多切风机。

3) 对于不具备低电压穿越能力的风电场，同时风机低电压脱网后能够快速自动并网，其送出线路的过载控制宜采用基于事件驱动的控制方法，可避免脱网风机陆续并网导致的多次过载。

4) 采用基于事件加响应的过载控制方式，判断事件即故障时，宜放宽判别条件，避免拒判故障。

2.5 作为稳态有功控制后备控制的功能

1) 接收网省调下发的有功计划值，当风电场有功功率大于有功计划值并超过设定短延时值

时,装置告警,提醒风电场运行人员。

2) 当风电场出力大于有功计划值并超过延时值时,装置按照风电场有功功率超出有功计划值的容量进行控制。

3) 当风电场出力大于有功计划值的延时值时,宜根据风电场需要调节量动态调整,延时时间的选取应结合国标GB/T 19963—2011^[8]对调节速率的要求,给风电场功率调节预留足够时间。

4) 为防止信息有误,装置实时对比升压站主变压器低压侧有功功率和风电场所有集电线路有功功率总和之间的差值,大于设定值时,装置应报警。

5) 装置接收网省调有功计划值的通道异常或断开时,装置自动将风电场有功计划值转为网省调预先设定的值,同时应闭锁本项控制功能15 min。

3 一次调频

单机一次调频需要对大量已经投运的机组进行改造,工程造价高、周期长,因此对已经投运的风电场整场一次调频实施较为简便。充分利用新能源电站现有的控制系统和通信网络,减少电

站内部改动,实现新能源电站的一次调频。以风电场为例的整体结构如图2所示,光伏电站类似。

装置采集高压侧母线电压信号,根据电网整定的一次调频参数,当频率超出死区时,计算调节量 ΔP ,计算如式(1)所示。同时,需要信息记录功能,记录一次调频响应数据,便于分析一次调频响应情况。即

$$\Delta P = P_N \frac{f - f_d}{f_N} \cdot \frac{1}{\delta\%} \quad (1)$$

式中, ΔP 为调节的功率量; f_d 为快速频率响应动作门槛; P_N 为额定功率; $\delta\%$ 为调差率。

由于新能源电站输入不受控制,因此在调节过程中,波动误差在 $\pm 2\%P_N$ 之间,这导致在调节量较小时($\Delta P < 2\%P_N$),可能出现反调节。为避免出现反调节,建议当调节量超出 $2\%P_N$ 时再调节,调整后的调节量 $\Delta P'$ 表达式为

$$\Delta P' = \begin{cases} 0 & \Delta P < 2\%P_N \\ \Delta P & \Delta P \geq 2\%P_N \end{cases} \quad (2)$$

根据上述方法,风电场参与一次调频试验效果如图3所示。

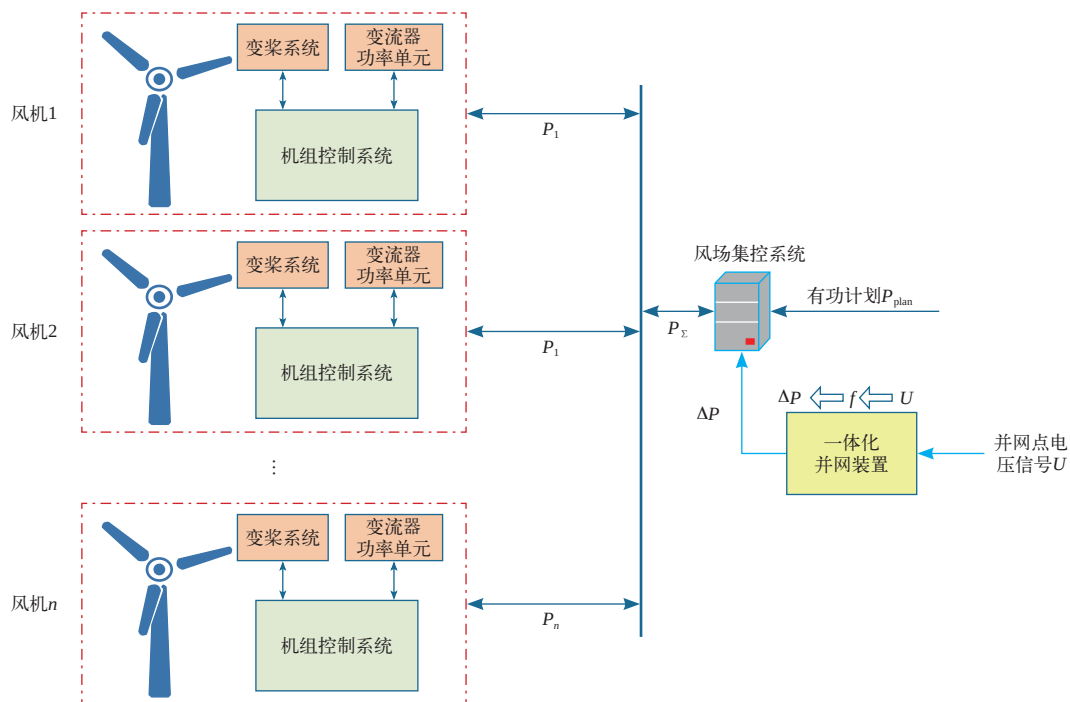


图2 风电场参与一次调频整体结构

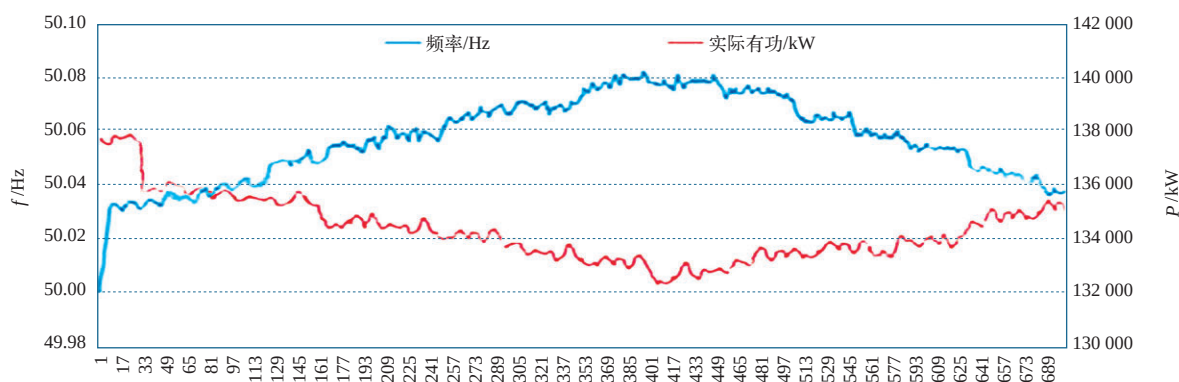


图3 某试验风电场参与一次调频效果

目前风电场设定的调节速度无法达到一次调频需求,为了提高速度需要改动风机PLC参数,提高风机响应速度,同时结合风机响应速度改动风电场能量管理系统指令周期。风电场内通信网络较慢,一次调频响应速度受到一定影响,一般3~5 s开始响应。

4 防孤岛

国标GB/T 19964—2012^[9]明确规定光伏电站应配置防孤岛保护装置,目前防孤岛保护装置大多采用过/欠频率、过/欠电压判据,该判据死区较大,并且该判据无法区分系统低频(未发生孤岛)与孤岛低频,可能导致事故扩大化。为解决这个问题,在一体化并网装置中增加谐波突变判据,该判据的基本原理:孤岛前,从光伏电站PCC点看,谐波阻抗为本地负荷与系统阻抗的并联,由于系统阻抗很小,故谐波阻抗很小,因此谐波电压较小,孤岛发生后,由于与系统阻抗断开,此时,谐波阻抗为本地负荷阻抗,本地负荷阻抗远大于系统阻抗,故PCC点谐波电压会突然增加。该判据通过谐波变化可有效区分系统低频和孤岛低频。

由于需要计算谐波,电压量输入装置后分为两路:一路经过滤波回路;另一路不经过滤波回路。

5 结束语

新能源一体化并网装置将多个功能集成在一套装置内,并可根据实际需求扩展,具有良好的经济性,还可有效降低现场施工量。基于此设计

的新能源一体化并网装置已完成开发,并在多个风电场、光伏电站投入实际运行。

参考文献

- [1] 国家发展改革委,国家能源局. 电力发展“十三五”规划(2016—2020)[R]. 2016: 1-13.
- [2] 和萍,文福拴,薛禹胜,等. 风电场并网对互联系统小干扰稳定及低频振荡特性的影响[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(22): 1-10.
- [3] 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.
- [4] 田云飞,张立涛,徐昊亮. 大规模风电并网对电力系统的影响及应对措施[J]. 电气自动化, 2013, 35(3): 54-56.
- [5] 宋锦海,李雪明,姬长安,等. 安全稳定控制装置的发展现状及展望[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 91-96.
- [6] 刘巨,姚伟,文劲宇,等. 大规模风电参与系统频率调整的技术展望[J]. 电网技术, 2014, 38(3): 638-646.
- [7] 吴盛军,徐青山,袁晓冬,等. 光伏防孤岛保护检测标准及试验影响因素分析[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 924-931.
- [8] GB/T 19963—2011 风电场接入电力系统技术规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [9] GB/T 19964—2012 光伏发电站接入电力系统技术规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

(收稿日期: 2017-07-10) EA