

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.02.006

西北电网风电与光伏紧急功率控制系统设计

柯贤波¹, 郝朝辉², 霍超¹, 张振宇¹, 牛拴保¹, 张锋³

(1. 国家电网有限公司西北分部, 陕西 西安 710048; 2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106; 3. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:我国已形成新能源基地集群通过特高压直流群外送格局, 新能源消纳受直流输电能力和新能源并网功率约束。为提高新能源消纳能力, 区别于传统的馈线刚性切除控制, 首先分析了利用新能源(风电、光伏)逆变器的快速控制特性, 将新能源功率控制纳入电网紧急控制的必要性。新能源功率控制可有效降低冲击, 提高控制精细水平, 实现有功和无功解耦控制能力。其次针对新能源设备控制、通信现状和有功、无功控制能力, 研究将新能源纳入紧急控制的通信时延和可控功率实时感知的技术要求, 设计了系统架构, 研究了适用场景, 并提出了具体的实现方法及相应的控制策略。最后基于实际电网, 仿真验证了所提控制架构和控制方法的有效性, 其能够有效提高直流输电能力和新能源并网功率。

关键词:新能源消纳; 紧急控制; 实时感知; 控制策略; 适用场景

中图分类号: TM712

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2021)02-0039-07

0 引言

2018年底国家发展改革委、国家能源局出台《清洁能源消纳行动计划(2018—2020年)》并明确要求, 到2020年, 基本解决清洁能源消纳问题。2019年5月15日国家发展改革委、国家能源局联合印发了《关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知》, 其中指出, 水电、风电、光伏发电的送出和消纳问题开始显现, 迫切需要建立促进可再生能源电力发展和消纳的长期机制。目前我国风电主要集中在西北、东北、华北地区, 西北部分省份风电出力超过50%。甘肃、新疆、青海集中式光伏装机容量较大, 青海光伏/光热装机容量占比达34.7%^[1-3]。

文献[4]提出新能源设备频率、电压耐受能力不足易引发连锁故障的结论, 并指出新能源消纳的主要影响因素。文献[5]通过灵活调节电源建设、火机组改造、电网互联互通以及需求侧响应等多方面, 系统性地提出了解决我国新能源消纳问题的措施。文献[6]定量分析了新能源装机、受电量、负荷增长速度等对新能源消纳的影响程度, 给出了受端电网的新能源消纳对策。文献[7]将具有调节特性的高载能负荷作为消纳风电的重要手段, 提高风电消纳能力。文献[8]提出光伏参与紧急控制系统的快速功率控制技术, 但由于风电需要考虑载荷稳

定, 响应速度较光伏慢, 故未涉及风电紧急控制。

根据电网紧急控制要求, 提出了新能源紧急功率控制系统技术需求、架构、适用场景和控制策略。基于2020年西北目标网架数据, 仿真验证了新能源紧急功率控制系统架构的有效性和对新能源消纳能力的提高作用。

1 新能源控制现状及紧急功率控制技术需求

送端电网新能源消纳能力受电网故障后新能源并网功率和直流新能源外送功率限制。以西北电网为例, 正逐渐形成以甘肃、新疆、宁夏等为代表的新能源基地集群通过特高压直流群外送格局^[9], 在支撑国家资源优化配置的同时, 电网一体化特征不断加强^[10]。一方面, 直流近区新能源并网功率和直流外送能力耦合, 呈现“跷跷板”关系。例如受直流连续换相失败故障后近区新能源暂态压升不超过0.3 p.u.制约, 青豫直流输电能力与光伏并网出力将呈“跷跷板”耦合关系。青海小开机方式下, 近区塔拉和青南新能源出力260万kW, 青豫直流输电能力400万kW。随着近区新能源并网功率的提高, 青豫直流输电能力下降。一方面, 多直流输电功率受紧急控制资源不足约束, 直流功率无法进一步提升。例如, 吉泉直流和天中直流存在公共切机区域, 若一条直流发生闭锁故障, 安控切机后将引起疆内可切机组量大幅减少, 另一条直流存在因切机量不足而降功率运行的风险。另一方面, 电网耦合程度加强, 需要进行精细化控制。以青豫直流闭锁

收稿日期: 2020-10-19; 修回日期: 2020-12-03

基金项目: 国家电网有限公司科技项目“新能源场群集中式频率校正控制关键技术研究”(5100-202036013A-0-0-00)

故障为例,稳控系统需要全网协调控制资源,解决频率问题的同时须抑制稳态电压问题,而传统控制措施优化难以实现。青豫直流闭锁故障后大量新能源馈线切除,新能源场站内无功控制资源(即新能源逆变器、静止无功发生器等)^[11-12]也同时被切除,不利于稳态过电压控制,可通过新能源有功和无功功率调节抑制稳态过电压。同时新能源刚性切除方式对新能源集中地区的潮流、电压影响较大,极易造成正常运行的新能源大规模脱网,导致次生危害,不利于风电消纳^[13]。

1.1 新能源功率控制现状

根据 G/GDW 1392—2015《风电场接入电网技术规定》^[14]、Q/GDW 1617—2015《光伏电站接入电网技术规定》^[15],风电场和光伏具备电网有功功率连续平滑控制能力,并能够参与系统有功功率控制,具备在低电压穿越过程的动态无功支撑能力。

如表 1 所示,目前新能源电站功率控制主要是通过调度端自动发电控制(automatic generation control, AGC)主站和场站端 AGC 子站的分层分级协调控制来实现,指令通过多个通信管理单元下发至目标逆变器。整个过程通信节点多、通信规约差异造成多次规约转换,总耗时在十秒至数十秒,光伏电站通信架构、通信时延等与风电场类似。同时,风电机组设计主要以发电为主,功率响应较慢,响应速度在数秒至数十秒。因此,目前新能源功率控制的通信方式层级较多,响应速度主要应用于稳态响应控制,难以满足电网紧急功率控制技术需求,需要重新构建快速通信网络。

表 1 新能源功率控制现状

Table 1 Power control status of new energy

新能源控制	通信过程	响应过程	紧急控制
光伏功率控制	多级 AGC 转发控制	多为内部接口,慢速通信,主要用于发电,未考虑紧急控制,数秒至数十秒	不满足
风电功率控制	多级 AGC 转发控制	多为内部接口,慢速通信,主要用于发电,考虑载荷稳定性,数秒至数十秒	不满足

1.2 紧急功率控制技术需求

新能源并网功率具有波动性和随机性,其功率实时可控量随时间变化。因此,新能源设备的可控量应实时上送至紧急控制系统,防止电网故障后紧急控制措施不足。

光伏设备工作在最佳运行点时,有功功率可增加量为零,有功功率可降低量可根据光伏设备的运行约束而定。风电机组有功功率可增加量根据当

前运行方式而定,风电机组运行在压出力状态时,具备一定的有功功率增加能力。风电机组的最低运行功率一般取设备的切入风速或风机 0.8 倍额定旋转速度所对应的风机并网功率,功率可降低量为当前并网功率和最低运行功率的差值。新能源设备的无功功率可控量与当前并网无功功率和设备电流承受能力相关。因此,新能源可控量一般由新能源设备本体计算,结果更加准确。

新能源设备实时计算可控量,但紧急控制系统接收到可控量并下发控制命令直至控制命令完成仍需要延时 T_A ,电网紧急功率实际控制量可能小于控制措施量,造成欠控。时间延时 T_A 包括 T_r , T_d 和 T_z 。其中 T_r 为可控制功率计算时间,一般满足 T_r 为 80~100 ms。 T_d 为通信周期,一般满足 T_d 为 1.6 ms^[16-17]。 T_z 为控制措施完成时间,电网紧急控制系统一般满足 T_z 为 200~300 ms。按照最严重的情况考虑, $T_A = T_r + T_d + T_z \leq 402$ ms,新能源可控功率可能在 402 ms 内发生变化。例如,风速突然变化、乌云对光伏的影响。

在实际电网中,402 ms 内新能源可控量变化较小,一般不会对实际总控量造成较大影响,可不予考虑。为增加新能源紧急功率控制措施量的精确性,也可根据新能源装机容量配置一定规模的储能,从而消除 402 ms 内新能源可控量的变化。由于时间较短,实际配置的储能容量不会很大。

2 新能源紧急功率控制系统设计

2.1 新能源紧急功率控制特点及适用场景

新能源功率控制在有功和无功功率控制、适用性等方面主要有以下特点:

(1) 在目前国家新能源消纳的总体要求下,新能源机组一般不运行在压出力状态,因此新能源功率控制增加有功功率是有条件适用的。

(2) 新能源并网功率与当前自然情况相关,例如光照、风速等,因此实时有功出力具有随机性和波动性,具有控制措施量不足或过量的风险,需要实时监测可控量。

(3) 新能源逆变器可实现有功功率和无功功率的解耦控制,但是最大有功功率和无功功率存在耦合性。新能源设备并网点实时电压,新能源有功功率和无功功率受限于新能源机组并网电流约束。因此,新能源控制有功和无功功率的措施须进行协调,在解决频率和电压多类稳定问题同时出现时,具有一定优势。

(4) 能源设备紧急功率控制需要考虑高、低电

压穿越的影响,尤其是在低穿期间需要保证设备安全,无功和有功控制能力可能不足。例如直流换相失败故障时,受端电网主要为电压恢复问题,需要新能源功率控制增加无功出力。而新能源设备在较严重的低电压穿越时不具备无功控制能力,控制措施量与实际响应量可能差距较大,不宜采用紧急控制。

如表 2 所示,根据新能源功率控制有功和无功出力的特点,与电网严重故障下的电压、频率响应特性,在电网发生较严重故障时(例如跨区直流故障),新能源紧急功率控制适用于送端电网直流故障后的频率控制和后续暂态过电压控制。在受端电网直流故障后,频率控制可有条件适用。在风火打捆的功角稳定问题上,新能源紧急功率控制不降低系统惯量,能够替换传统切机控制。

表 2 新能源紧急功率控制技术适用场景

Table 2 Renewable energy emergency power control technology application scenario

序号	场景	结论	原因
1	受端电网直流故障频率控制	有条件适用	受端电网为低频问题,需要新能源增加有功出力,使用备用功率。新能源只有在压出力运行时才具备增加出力功能
2	送端电网直流故障频率控制	适用	送端电网直流故障为高频问题,新能源需要降低有功功率
3	受端电网直流故障暂态电压控制	宜采用就地控制	受端电网一般为低电压恢复慢的问题,考虑新能源低穿能力,应采用就地控制
4	送端电网直流故障暂态电压控制	适用后续暂态高压控制	送端电压连续换相失败故障时,可根据第一次换相失败信号控制后续暂态过电压,新能源降低甚至吸收无功功率
5	风火打捆送出基地电网故障后的功角失稳问题	适用	通过降低新能源有功出力,降低加速面积,提高功角稳定性

2.2 新能源紧急控制系统架构

新能源功率快速控制能力纳入电网紧急控制,须协调不同地域的紧急控制资源,结合传统的紧急控制系统,布置协控总站实现控制策略的制定。如图 1 所示,紧急控制系统自上而下分别为协控总站、协控主站、协控子站、执行站。各执行站实时采集并计算各执行终端设备的可控量或可切量,并将可控量信息逐级上送。协控主站、协控子站接收下级上送的可控量后实时计算,最终上传至协控总站。协控总站接收各子站上送的实时控制量和电网故障信息(例如直流故障),根据离线策略表制定电网控制措施。控制措施命令通过协控主站、协控子站、执行站分发、下发到各执行终端,控制命令(控

制调节量或切除命令)由各执行终端执行,完成整个控制过程,整个控制过程须在 300 ms 内完成。

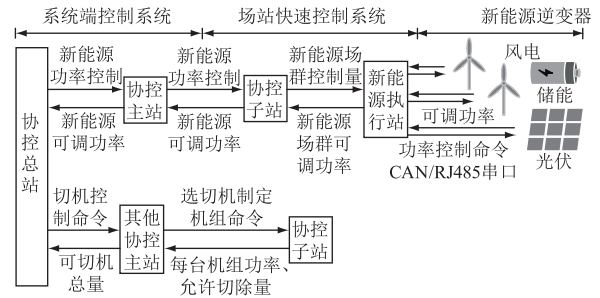


图 1 新能源参与电网紧急功率控制系统架构

Fig.1 Renewable energy participation in grid emergency power control system architecture

新能源执行站接收新能源可控量并下发紧急功率控制命令。目前新能源逆变器一般不具备电力系统的高速通信接口能力,且不同厂家设备通信接口和通信规约不一。因此为降低系统建设和改造成本,新能源执行站通信需要具备以下能力:一是需要具备多种规约的通信能力,例如 CAN 总线、RJ485 接口等,实现与新能源逆变器的数据交互和高速控制;二是单个新能源设备功率较小,新能源执行站需要具备同多个设备通信的能力。

2.3 新能源设备快速控制

根据电网控制资源的功率时间响应特性,不同紧急控制措施大致分为两类:一类为瞬时投入型控制措施,控制措施量没有逐步响应的过程。例如传统的切机、切负荷和切泵等措施,设备被切除后,控制措施量瞬时响应。另一类为逐步投入型控制措施,控制措施量随时间逐步达到目标量,例如直流功率紧急支援等。风电、光伏紧急功率响应过程需要电力电子设备控制功率逐步接近控制措施量,为逐步投入型控制措施^[18]。在电网紧急控制系统中,逐步投入型控制措施将最终达到目标量的时间作为响应时间。电网仿真时,逐步投入型控制措施可将响应时间作为系统时延的一部分,响应过程按瞬时投入型处理,该处理方式具有保守性。例如将电力电子设备控制措施量达到目标量的时间作为系统时延的一部分,然后控制措施量瞬时响应。

目前新能源功率控制需要经多级网络、多次转发,不能满足电网故障后的紧急控制要求,因此必须采用更高速、更可靠的通信模式。主要方法为统一通信规约,降低规约转换产生的时延和误码率,尽量采用直控方式替换多级转发方式以缩短时延,提高可靠性。目前稳控系统广泛采用的 2 M 光纤连接方式已被证明可靠有效,带宽也能满足数据上传与控制命令下发的要求。

结合现有安控系统动作情况的时间响应要求,电网紧急控制策略的执行、响应过程在 200~300 ms 之间^[19-22]。例如江苏精准切负荷系统为 300 ms,山东精准切负荷系统为 200 ms。新能源紧急功率控制按照 300 ms 响应时间要求,结合电力电子装置有功和无功响应时间、风电设备机械应力承受能力以及电网紧急控制安全性和可靠性要求,系统端设备、场站端设备和逆变器最大时延按照图 2 方式进行分配。

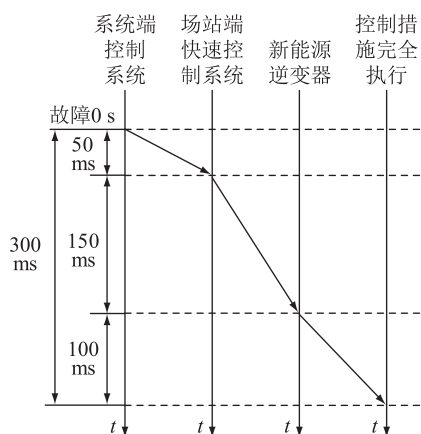


图 2 新能源紧急功率控制时间需求
Fig.2 Time requirement of renewable energy emergency power control

系统端控制系统动作时间不超过 50 ms,主要为故障识别和控制策略制定,场站端快速控制系统动作时间不超过 150 ms,主要用于不同场站控制措施量的传输、接收和防误确认。电网紧急控制系统经过多年的发展,能够满足上述要求。新能源逆变器动作为电力电子设备响应过程,要求动作时间不超过 100 ms,主要为新能源功率响应过程,响应时间与传统切机、切负荷时断路器响应时间一致,也能满足要求。新能源紧急功率控制系统动作整体时间不超过 300 ms。

风电机组在脉冲宽度调制变流器控制下,有功输出的快速控制本身容易实现。然而,有功输出突降后,因桨距角调节速度慢,机械输入不能及时下降,累积大量不平衡功率,易导致转子过转速(损害机械部分)或直流母线过电压(损害变流器),威胁风机自身的安全运行,需要引入储能或卸荷装置等方案。光伏使用的逆变器由电力电子器件和微处理器控制回路构成,有功、无功控制灵活、反应速度快。

2.4 新能源紧急控制系统策略

电网紧急控制以控制代价(如切除发电机台数或容量、切负荷量)最小为总体目标,避免系统控制措施不足或过量,保证电网安全稳定运行^[23-27]。将

风电、光伏纳入紧急控制,不改变电网紧急控制目标。目前工程上策略制定主要依据电网运行边界,仿真分析电网稳定特性,根据预想事故制定控制策略,使用多种运行方式进行校核。

控制策略制定时,若主要解决电网频率问题,由于新能源功率控制不降低系统惯量,有利于维持系统频率问题,应优先采用新能源功率控制措施,其次采用传统控制措施。例如送端直流闭锁后利用新能源调节控制替换传统切机控制可有效降低控制量。如果电网故障后存在稳态电压问题,应尽可能多保留无功控制资源,新能源场站内无功控制资源及新能源逆变器无功控制能力可有效降低电压偏差,有利于电压稳定。如果电网故障后存在暂态过电压问题,新能源功率控制可根据控制措施调节并网无功功率,例如后续换向失败后的暂态电压问题可有效解决。控制措施和故障点间具有薄弱断面时,可能造成薄弱断面功率波动,此控制措施尽量不使用,或者在薄弱断面 2 次协调控制措施。例如宁夏直流群故障导致新疆西北联网通道功率摆动,应尽可能采用故障点就地功率控制降低功率摆动,防止控制措施提高送端功率分配差额造成断面功率大幅波动。场群内控制资源分配时应考虑不引发新的稳定问题,例如考虑线路/断面过载、场群内小扰动稳定性、新能源场站内不同机组以及场站间的功率能力差异等。

3 实际电网算例分析

西北电网为典型的“哑铃型”结构,新能源基地集群通过特高压直流群外送,截止 2019 年 10 月,跨区外送电量完成 1 467.3 亿 kW·h,西北五省(区)新能源总发电量 1 296.71 亿 kW·h。将新能源紧急功率控制纳入电网紧急控制,通过紧急无功控制抑制后续换向失败压升,可有效降低新能源脱网,提高并网功率,通过紧急有功控制提高控制措施量,可有效提高直流输送能力。文中通过 2 个算例分别进行验证。

算例 1:西北电网冬季小负荷方式下,祁韶直流 650 万 kW,近区风电开机 625 万 kW。祁韶直流发生 2 次换相失败,故障时间分别为 1.0 s 和 1.2 s,暂态压升最高时刻出现在 1.1 s 和 1.3 s,压升分别为 0.26 p.u.和 0.30 p.u.。如图 3 所示,当采取直流近区风电无功出力紧急控制在故障后 300 ms 降低 1 000 Mvar 无功功率措施后,暂态压升分别为 0.26 p.u.和 0.20 p.u.。由于电网紧急控制时延(故障后约 300 ms),新能源紧急无功控制对换相失败第 1

次暂态压升峰值(故障后约 200 ms)不产生影响,降低第 2 次暂态压升峰值 0.1 p.u.。新能源脱网电网不变的情况下,降低暂态压升峰值可有效降低新能源脱网概率,维持并网功率。

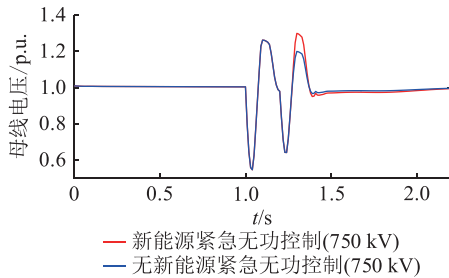


图3 祁韶直流 2 次换相失败换流站母线电压

Fig.3 Bus voltage of Qishao DC converter station for two commutation failures

算例 2:西北电网冬季小负荷方式下,吉泉直流 800 万 kW、天中直流 540 万 kW,新疆外送 300 万 kW,海西光伏外送 250 万 kW。吉泉直流、天中直流于 1.0 s 发生双级闭锁,1.3 s 切除直流全部滤波器,稳控系统按照预先控制措施动作切除机组。

如表 3 所示,如果电网方式较为恶劣,吉泉直流与天中直流发生多重故障后控制资源重合,可切资源不足,多重故障后控制资源制约直流群的输送能力,限制电网新能源接入。如可切机组为 1 060 万 kW,发生吉泉直流、天中直流双直流闭锁,吉泉直流送出 800 万 kW,天中直流最多输送 430 万 kW,系统稳定。如可切机组为 1 060 万 kW,同时紧急控制甘肃敦煌、酒泉风电下降 120 万 kW,则吉泉直流送出 800 万 kW,天中直流输送 550 万 kW,系统稳定。目前可控资源不足是制约直流群输送能力的关键因素之一,将新能源紧急功率控制 120 万 kW 纳入电网紧急控制资源,直流输送功率可提升 120 万 kW。

表 3 新能源紧急功率控制增加的直流输送功率
Table 3 DC transmission power increased by renewable energy emergency power control 万 kW

序号	可控资源		直流输送能力	
	常规可切资源	新能源紧急功率控制资源	吉泉直流	天中直流
1	1 060	0	800	430
2	1 060	120 ↑	800	550 ↑

4 结语

目前我国新能源消纳仍有进一步提升空间,须在新能源电力发展和消纳长期机制的基础上,采取更多技术手段提高消纳能力。文中梳理了新能源设备控制、通信现状,研究将新能源功率快速控制

能力纳入紧急控制的技术需求,提出了能够实现可控功率实时感知和快速功率控制的系统架构,分析了新能源随机性和波动性对紧急控制措施量的影响,并提出了应对方法。研究了新能源紧急功率控制的特点和适用场景,给出了新能源功率控制参与电网紧急控制的策略。根据电网实际仿真数据,验证了所提控制架构和控制方法在提高新能源消纳能力方面的有效性。

在西北电网中,提高新能源并网功率和直流的外送能力可有效提高新能源消纳能力。将新能源紧急功率控制用于电网紧急控制,一方面可将新能源在电网故障情况下的被动响应(脱网)转变为主动的有功和无功功率支撑,充分发挥新能源设备有功和无功控制能力,降低脱网量,有效提高消纳能力。另一方面可以在一定程度上缓解不同直流控制资源重叠的问题,降低多直流群输送能力的耦合,提高新能源消纳。同时,将新能源功率控制纳入电网紧急控制体系,从整体上提高了过渡期特高压交直流混联电网安全稳定和电网控制管理精益化水平,在解决电网故障后同时具有频率和电压问题方面,具有一定优势。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. 促进新能源发展白皮书(2016) [EB/OL]. (2016-03-14) [2020-10-19]. <http://media.china.com.cn/zgwp/2016-03-14/663530.html>.
- [2] 刘振亚,张启平,董存,等. 通过特高压直流实现大型能源基地风、光、火电力大规模高效率安全外送研究[J]. 中国电机工程学报,2014,34(16):2513-2522.
LIU Zhenya, ZHANG Qiping, DONG Cun, et al. Efficient and security transmission of wind, photovoltaic and thermal power of large-scale energy resource bases through UHVDC projects[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(16): 2513-2522.
- [3] ZHU H, WANG H F. New deadline-aware energy-consumption optimization model and genetic algorithm under cloud computing [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2016, 30(3): 1659006.
- [4] 陈国平,李明节,许涛,等. 关于新能源发展的技术瓶颈研究[J]. 中国电机工程学报,2017,37(1):20-27.
CHEN Guoping, LI Mingjie, XU Tao, et al. Study on technical bottleneck of new energy development [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 20-27.
- [5] POPP D C. The effect of new technology on energy consumption [J]. Resource and Energy Economics, 2001, 23(3): 215-239.
- [6] 张兴友,韩德顺,马杰,等. 受端电网新能源消纳影响因素分析及应对策略[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2019, 33(1): 68-72.

- ZHANG Xingyou, HAN Deshun, MA Jie, et al. Analysis of influence factors and countermeasures for renewable energy usage in terminal power grid[J]. Journal of University of Jinan (Science and Technology), 2019, 33(1): 68-72.
- [7] 刘文颖, 文晶, 谢昶, 等. 考虑风电消纳的电力系统源荷协调多目标优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(5): 1079-1088.
- LIU Wenyong, WEN Jing, XIE Chang, et al. Multi-objective optimal method considering wind power accommodation based on source-load coordination[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(5): 1079-1088.
- [8] 王淑超, 孙光辉, 俞诚生, 等. 光伏发电系统级快速功率调控技术及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(21): 6254-6263, 6487.
- WANG Shuchao, SUN Guanghui, YU Chengsheng, et al. Photovoltaic power generation system level rapid power control technology and its application[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(21): 6254-6263, 6487.
- [9] 韩平平, 陈凌琦, 胡迪, 等. 直流闭锁暂态过电压对风电外送影响及其抑制措施[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 99-105.
- HAN Pingping, CHEN Lingqi, HU Di, et al. Impact of transient overvoltage caused by DC block on wind power transmission and its suppression measure[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 99-105.
- [10] SONG M, GAO C W, SHAHIDEHPOUR M, et al. Multi-time-scale modeling and parameter estimation of TCLs for smoothing out wind power generation variability[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2019, 10(1): 105-118.
- [11] 邢正军, 林俐, 张东英. 风电集群紧急功率控制方法研究[J]. 现代电力, 2014, 31(4): 7-13.
- XING Zhengjun, LIN Li, ZHANG Dongying. Research on emergency power control for wind farms[J]. Modern Electric Power, 2014, 31(4): 7-13.
- [12] MAGDY G, SHABIB G, ELBASET A A, et al. Optimized coordinated control of LFC and SMES to enhance frequency stability of a real multi-source power system considering high renewable energy penetration[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(1): 1-15.
- [13] 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): 985-991.
- LI Mingjie. Characteristic analysis and operational control of large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 985-991.
- [14] 风电场接入电网技术规定: Q/GDW 1392—2015[S]. 北京: 国家电网公司, 2016.
- Technical rule for connecting wind farm into power grid: Q/GDW 1392—2015[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2016.
- [15] 光伏电站接入电网技术规定: Q/GDW 1617—2015[S]. 北京: 国家电网公司, 2016.
- Technical rule for connecting photovoltaic power station to power grid: Q/GDW 1617—2015[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2016.
- [16] 许涛, 励刚, 于钊, 等. 多直流馈入受端电网频率紧急协调控制系统设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(8): 98-104.
- XU Tao, LI Gang, YU Zhao, et al. Design and application of emergency coordination control system for multi-infeed HVDC receiving-end system coping with frequency stability problem[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(8): 98-104.
- [17] 李德胜, 罗剑波. 特高压直流配套安全稳定控制系统的典型设计[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 151-157.
- LI Desheng, LUO Jianbo. Typical design of security and stability control system for UHVDC transmission[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 151-157.
- [18] 石渠, 张红丽, 常海军, 等. 水轮机参与西南电网频率紧急控制协调优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(S1): 93-98.
- SHI Qu, ZHANG Hongli, CHANG Haijun, et al. Coordinated optimization method of hydropower units involved in frequency emergency control in southwest power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(S1): 93-98.
- [19] 殷伟, 颜云松, 潘琪, 等. 精准负荷控制系统的快速通信接口方案设计[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(10): 143-149.
- YIN Wei, YAN Yunsong, PAN Qi, et al. Design of fast communication interface for precision load control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(10): 143-149.
- [20] 贾成真, 王灵梅, 孟恩隆, 等. 基于风电场集中储能的风储柔性控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 30-37.
- JIA Chengzhen, WANG Lingmei, MENG Enlong, et al. Research on flexible control strategy based on the centralized storage joint with wind farm[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 30-37.
- [21] 任建锋, 颜云松, 罗剑波, 等. 毫秒级精准负荷控制系统设计与工程应用[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 45-50.
- REN Jianfeng, YAN Yunsong, LUO Jianbo, et al. The design of millisecond-level precise load control system and engineering application[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 45-50.
- [22] 董希建, 罗剑波, 崔晓丹, 等. 安全稳定控制系统全程控制时间及其构成[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(5): 163-168.
- DONG Xijian, LUO Jianbo, CUI Xiaodan, et al. Whole control time and its constitution of security and stability control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(5): 163-168.
- [23] 王超, 常海军, 摆世彬, 等. 高比例新能源与多直流场景下连锁故障防控策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 49-57.
- WANG Chao, CHANG Haijun, BAI Shibin, et al. Study on the prevention and control strategy of cascading failure of bulk power system with multi-HVDC and high proportion of renew-

- able energy[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7):49-57.
- [24] 周明,葛江北,郭飞,等. 改善连锁脱网的风电场群电压无功紧急控制策略[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(5):71-77. ZHOU Ming, GE Jiangbei, GUO Fei, et al. Voltage and reactive power emergency control strategy of wind farm cluster against cascading trip-off[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(5):71-77.
- [25] 聂聪颖,沈小军,吕洪,等. 并网型风电场氢超混合储能容量配置及控制策略研究[J]. 智慧电力, 2020, 48(9):1-8. NIE Congying, SHEN Xiaojun, LYU Hong, et al. Capacity configuration and control strategy of hydrogen super hybrid energy storage in grid connected wind farm[J]. Smart Power, 2020, 48(9):1-8.
- [26] 李佳伦,薛安成. 基于停运连续潮流和双向潮流追踪的潮流解恢复控制方法[J]. 智慧电力, 2020, 48(8):70-75. LI Jialun, XUE Ancheng. Power flow solvability recovery control method based on outage-continuation power flow and bi-directional power flow tracing[J]. Smart Power, 2020, 48(8):70-75.
- [27] 陈杰,陈家伟,龚春英. 变速风力发电系统统一功率控制策略研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(10):256-265. CHEN Jie, CHEN Jiawei, GONG Chunying. Research on a unified MPPT controller for variable-speed wind turbines [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(10):256-265.

作者简介:



柯贤波

柯贤波(1979), 硕士, 高级工程师, 从事电力系统安全稳定分析与控制相关工作 (E-mail: HelloVipse@163.com);

郅朝辉(1985), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统安全稳定分析, 备用电源自投、低频低压减载、故障解列等安稳装置开发工作;

霍超(1981), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统自动化相关工作。

Design of a wind power and photovoltaic emergency power control system for Northwest China Grid

KE Xianbo¹, QIE Zhaohui², HUO Chao¹, ZHANG Zhenyu¹, NIU Shuanbao¹, ZHANG Feng³

(1. Northwest Branch of State Grid Corporation of China, Xi'an 710048, China;

2. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106, China;

3. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830000, China)

Abstract: China has formed a cluster of renewable energy bases through the UHV DC group delivery mode, and the renewable energy consumption is constrained by the DC power transmission capacity and the new energy grid-connected power. Firstly, in order to improve the ability to absorb new energy and distinguish it from the traditional rigid cut-off control of the feeder, the necessity of using the rapid control characteristics of new energy (wind power, photovoltaic) inverters to incorporate new energy power control into the emergency control of the grid is analyzed. New energy power control can effectively reduce the impact, improve the fine level of control, and realize the decoupling control ability of active and reactive power. Secondly, for new energy equipment control, communication status and active and reactive power control capabilities, the technical requirements for including new energy in emergency control communication delay and controllable power real-time sensing are studied, the system architecture is designed, the applicable scenarios are studied, and the application scenarios are proposed. The specific implementation methods and corresponding control strategies are presented. Finally, based on the actual power grid, simulations verify the effectiveness of the proposed control architecture and control method, which can effectively improve the DC transmission capacity and the grid-connected power of renewable energy.

Keywords: renewable energy disposal; emergency control; real-time perception; control strategy; applicable scenario

(编辑 方晶)