

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.007

一种海上风电继电保护配置优化方案研究

杨源, 程劲松, 汪少勇, 谭江平, 陈亮

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 为了提升海上风电场利用效能和节省投资成本, 需要对海上风电场电气主设备的继电保护进行合理配置以及优化动作时限。[方法] 取消 220 kV 海缆出线侧的断路器, 连接海上升压站母线两侧的 220 kV 海缆纳入海缆“T”接线路的三端分相电流差动全线速动保护范围。同时, 将 35 kV 站用变和 35 kV 接地变合并, 采用简易 35 kV 母线保护, 配置主变低压侧与 35 kV 进线开关之间电缆的零序 CT 等措施。[结果] 因此, 节省了 1 台 220 kV 断路器及 2 套 220 kV 母差保护投资。同时, 节省了约 70 m² 的海上升压站空间和相应投资成本, 提高了保护配置的灵敏性和可靠性。[结论] 海上风电继电保护配置优化方案经济合理, 有望应用于工程实践中。

关键词: 海上风电场; 继电保护; T 区保护; 简易母线保护

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)01-0036-06

Research on One Optimization Relay Protection Scheme of Offshore Wind Farm

YANG Yuan, CHENG Jinsong, WANG Shaoyong, TAN Jiangping, CHEN Liang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] To improve the utilization efficiency and save the investment cost, the relay protection area and operation time in offshore wind farm need to be optimized. [Method] This paper eliminated the circuit breaker of 220 kV submarine cable outlet side, and steed the three-phase split current differential full range of rapid “T” zone protection for 220 kV submarine cable small bus. At the same time, the 35 kV station and 35 kV grounding transformer were combined, using simple 35 kV bus protection, and increasing the low pressure side of the main transformer zero sequence CT. [Result] The result shows that the optimization relay protection scheme can save a 220 kV circuit breaker and two sets of 220 kV bus differential protection investment. At the same time, the 70 m² of space and corresponding investment cost of offshore substation can be saved. And the sensitivity and reliability of the protection configuration has been improved. [Conclusion] Finally, the optimal scheme of offshore wind farm relay protection is economical and reasonable, and it is expected to be applied in engineering practice.

Key words: offshore wind farm; relay protection; T zone protection; simple bus protection

我国近海区域(水深 5~30 m、海平面以上 50 m)风电可装机容量约 20 GW, 广东省近海海上风电可装机容量 10.710 GW。目前国内试点开发的海上风力发电场总装机容量达 200 MW~300 MW, 由多台单机容量 3 MW~6 MW 的风力发电机组, 分别经电力电子设备变换及箱式干变升压至 35 kV 侧, 再经 35 kV 集电海缆汇集至海上升压站(或陆地、岛上升压站)电力变压器升压, 最终接入 110 kV 或 220 kV 大陆电网^[1-2]。

海上升压站空间有限, 海上风电场投资成本

高。研究海上风电场内继电保护合理分区, 分析各区域继电保护合理配置及动作时限配合, 提出适当优化设想, 对提升海上风电场规模建设利用效能和节省海上升压站空间很有必要。

1 主接线分析

1.1 海上风电场典型电气主接线

某海上风电场采用两台 220/35 kV 主变, 在海上升压站集合 60 台 5 MW 风电机组(共计 300 MW), 经一回 220 kV 电缆送电至陆上集控中心站, 陆上建设一座陆上集控中心, 通过 1 回架空线路送至系统电网变电站。如图 1 所示, 海上风电场电气主设备包括 60 台单机容量 5 MW 的海上风电机组, 35 kV 汇集海缆, 海上升压站主变及 35 kV 和 220 kV 开关设备, 220 kV 海缆等。

收稿日期: 2017-12-04 修回日期: 2018-02-13

基金项目: 中国能建广东院科技项目“海上风电场电气系统关键技术及电气设计”(EV02861W)

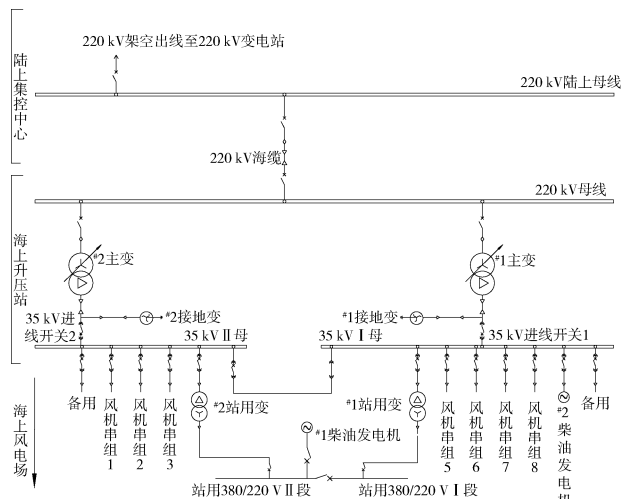


图1 某海上风电场典型电气主接线

Fig. 1 A typical electric main wiring of an offshore wind farm

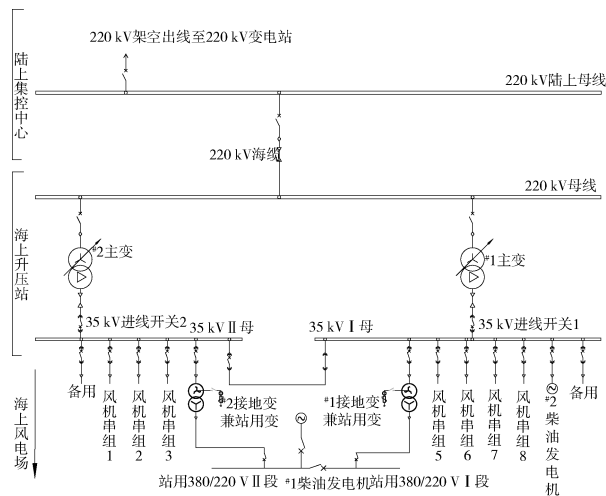


图2 某海上风电场非典型电气主接线

Fig. 2 A typical electric main wiring of an offshore wind farm

一般海上风电场与电网公司建设分界为陆上集控中心站围墙外1 m 架空线, 220 kV 架空线由电网公司配套建设, 其他由风电投资商建设。

1.2 海上风电场非典型电气主接线

为了节省海上升压站的空间, 探讨取消海上升压站出线侧220 kV 断路器的可行性。

由于220 kV 海缆与主变连接点T 接母线规模小, 海缆短线保护范围可延伸至海缆两侧连接点, 并与主变保护交叉。因此, 可取消海上升压站出线侧220 kV 断路器。同时, 将接地变和站用变合并成接地变兼站用变, 接地变兼站用变通过断路器连接至母线, 提供站用电源。

如图2所示, 可节省1台海上升压站的220 kV 断路器及其相应的保护屏柜, 同时, 可节省2台接地变和相应的保护屏柜, 有效减少了寸土寸金的海上升压站空间。

2 海上风电场的继电保护分区

按电压等级及设备相关性, 继电保护可按如下分区^[3-4]:

2.1 220 kV 架空线

220 kV 架空线路保护原则由电网配套建设对侧变电站确定, 按电源送出线路配置双重化纵向光纤差动保护及距离、零序等完善的后备保护。

2.2 220 kV 海缆

220 kV 海缆两侧连接点分别设双重化母差保护, 并将保护范围与海缆及架空线光纤差动保护交叉。

2.3 主变

主变与常规变电站主变运行工况差异不大, 可按《继电保护和安全自动装置技术规程》配置双重化差动主保护及过流、零序等后备保护, 以及非电量保护等。

2.4 35 kV 集电区

35 kV 集电拓扑的连接方式通常有以下3种基本形式: 链形、环形、星形。其中链形是已建风电场中较常用的一种内部连接方式。若干台风力发电机连接在同一条海底电缆上, 整个风电场电能通过若干条35 kV 集电海缆输送至海上升压站的汇流母线。其优点是投资成本较低、操作简单。

考虑现有35 kV 集电海缆最大截面 $3 \times 400 \text{ mm}^2$ 的载流量为500~600 A, 以及海上风电机组的功率为3 MW~6 MW的实际情况。一般情况下, 4~7台风电机组(含风机、干式变)通过链形组成一条回路接入35 kV 配电装置, 这些35 kV 集电海缆及35 kV 母线构成35 kV 集电区。汇集线中的母线设置母线保护, 每路35 kV 风电机组汇集在馈线柜分别装设综保装置, 具有过电流保护、过电压保护、零序电流保护等功能。

2.5 海上风电机组

每台海上风电机组配置过流及异常运行保护等功能。同时, 箱变高压侧配置熔断器保护、避雷器保护和负荷开关。

3 现行规程要求的继电保护配置

海上风电场风电机组及海上升压站多为无人值班, 一旦出事运维人员赶往现场处理需要一定时

间。因此,电气设备选型首先应高效可靠,力争尽量少出故障,如果出现故障,继电保护应迅速准确动作切除故障,防止故障范围扩大。按海上风电继电保护分区,根据现行国家标准《继电保护和自动装置技术规程》(GB 14285)的规定^[3],常规的风电场继电保护配置及选型方案如下:

3.1 220 kV 架空线

海上风电场在陆上集控中心站设置与对侧的双重化线路保护配置保持一致,后备保护范围应延伸至220 kV海缆以及主变内部,保护动作对象为两侧总断路器,保护动作定值由省中调确定下达。

3.2 220 kV 海缆

220 kV海缆两侧断路器范围内设置双重化海缆光纤差动主保护及零序过流等后备保护,两侧连接点分别设双重化母差保护,并将保护范围与海缆及架空线光纤差动保护交叉^[4]。

本方案优点是保护范围明晰,保护动作对象适当,代价是海缆两侧需配断路器,两侧连接点虽然

元件少也要配置完备的母差保护,增加了设备投资。

3.3 主变

变压器装设纵联差动保护作为主保护,同时高压侧装设了过负荷保护(低压侧也装设)、复合电压闭锁过流、零序过流、间隙零序电流和零序电压等保护^[5]。同时,站用、接地变压器应配置三段式相间电流保护、零序电流保护及本体保护。

3.4 35 kV 集电区

汇集线中的母线设置母线保护。35 kV集电海缆线路保护配置两段三相式电流保护及两段式零序电流保护。每路35 kV风电机组汇集在馈线柜,分别装设综保装置,具有过电流保护、过电压保护、零序电流保护等功能^[6-7]。

3.5 海上风电机组

每台海上风电机组配置过流及异常运行保护等功能。机组保护配置了电压越限保护、频率越限保护、电流保护、变流器保护。箱变高压侧配置了起到短路保护的熔断器、过电压保护的避雷器、分断

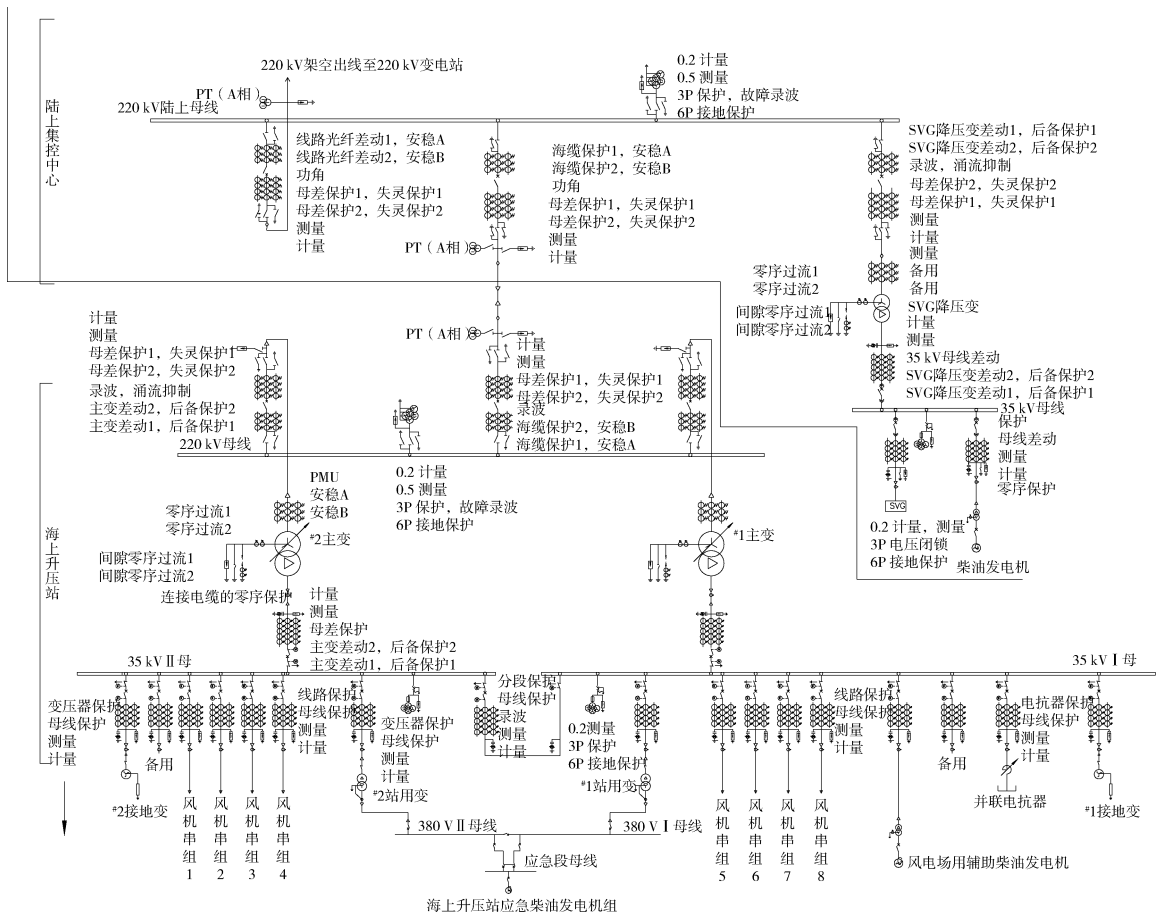


图3 某海上风电场典型电气主接线的保护配置

Fig. 3 A typical electric main wiring protection configuration of an offshore wind farm

开关的断路器^[6-7]。

海上风电场典型电气主接线的保护配置如图 3 所示;海上风电场非典型电气主接线的保护配置,如图 4 所示。

4 海上风电场的继电保护配置优化

根据简化海上升压站 220 kV 断路器,并将接地变和站用变合并成接地变兼站用变的设想,其保护配置优化如下:

4.1 220 kV 海缆, 延伸海缆光纤保护范围取代两侧连接点母差保护

4.1.1 取消 220 kV 海缆出线断路器的可行性分析

由于 220 kV 海缆与架空线及主变连接点 T 接母线规模小,如果延伸海缆保护范围至海缆两侧连接点,并与架空线进线及主变保护交叉。海上升压站的母差保护可不设,取消海上升压站出线间隔断

路器,只保留其隔离开关。采用三侧光纤纵差保护(保护对象为陆上 220 kV 断路器、海上升压站 2 台主变进线开关)作为主保护。节省了一台断路器,但带来问题是海缆保护范围扩大,海缆故障将使海上升压站完全失电,需要特别考虑备用手段。

4.1.2 取消 220 kV 海缆出线断路器的经济性分析

取消 220 kV 海缆出线断路器后,可节省 160 万元 GIS 成本。同时,可节省空间约为 40 m²,节省建筑投资约 15 万元。这对于仅 30 m×30 m(长×宽)的海上升压站来说,节省空间的意义较大。同时,节省出来的 40 m² 空间,可为优化及完善海上升压站布置提供有利依据,能进一步保障海上升压站各设备的安全距离和检修空间。

4.1.3 取消 220 kV 海缆出线断路器的继电保护分析

主保护是:零序电流差动和分相电流差动。当三侧保护均运行时,使用三侧差动的方式,实现

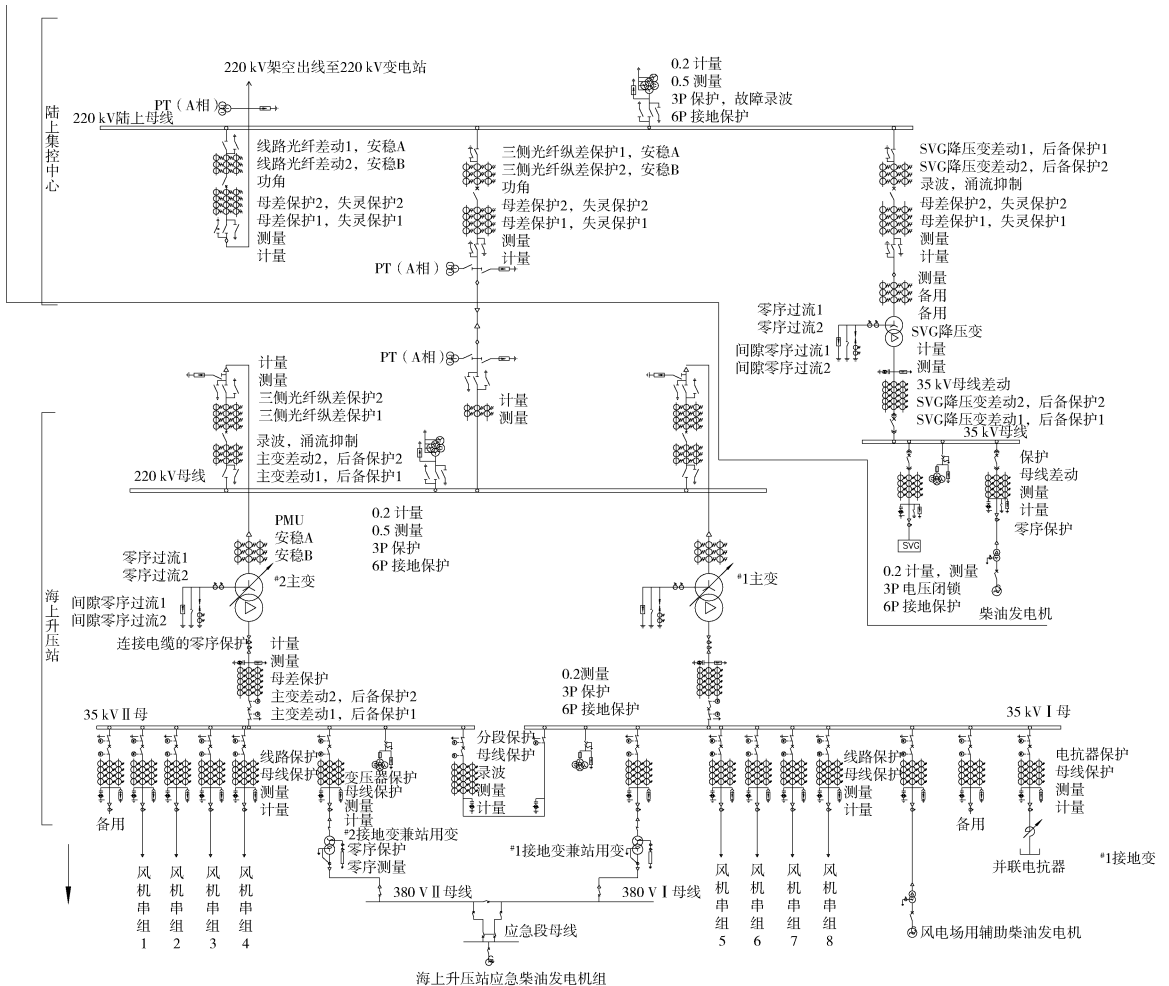


图 4 某海上风电场非典型电气主接线的保护配置

Fig. 4 A typical electric main wiring protection configuration of an offshore wind farm

“T”接线路的三端分相电流差动全线速动保护^[8-9]。其三侧差动的电流差动继电器依据是：变化量、稳态相差和零序差动。T区保护配置图如图5所示。

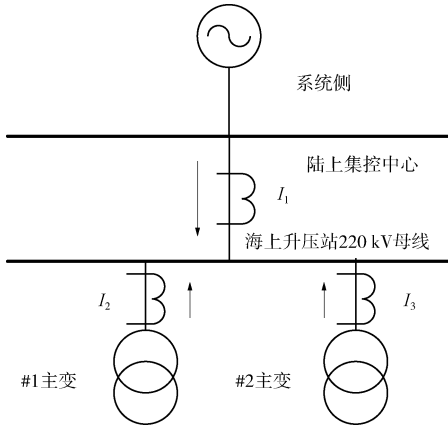


图5 某海上风电场的T区保护配置图

Fig. 5 T zone protection configuration of an offshore wind farm

其中，海缆电容电流会影响到故障的电流相量精度，有可能导致保护误动。因此，差动电流起动作值需考虑海缆电容电流的影响。

4.2 35 kV 接地变兼站用变的可行性分析及保护配置

4.2.1 接地变与站用变分别配置

IEEE-C62.92.3 标准规定变压器 10 s 的允许过载系数为额定容量的 10.5 倍，即接地变压器的容量为电阻容量的 1/10.5。

以某风电场为例，求得选择的小电阻 $R = 40.5 \Omega$ ，接地电流 $I = 581.40 \text{ A}$ (取 600 A)，流过接地变压器各相绕组的短路电流为 $600/3 = 200 \text{ (A)}$ 。

因此，接地变容量为：
$$\frac{\sqrt{3} \times 36.75 \times 200}{10.5} =$$

1 212 (kVA)，取 1 600 (kVA)。

站用变容量结合整个海上升压站电气负荷和同时系数，求得 604.3 kVA，取 630 kVA。

4.2.2 接地变兼做站用变

站用变容量为 630 kVA，站用变功率因数按 0.8 考虑，则此时的接地变容量为：

$$S = \sqrt{(630 \times \cos\varphi)^2 + (630 \times \sin\varphi + 1\ 212)^2} = 1\ 720 \text{ (kVA)}$$

取 2 000 kVA。

4.2.3 经济性分析

接地变和站用变不合并时，总投资约为 80 万元。接地变兼站用变时，总投资约为 60 万元，可节省 20 万元。

同时，每台站用变的空间约为 15 m^2 ，一共 2 台站用变，即可节省 30 m^2 的空间，节省建筑投资约 10 万元。

4.2.4 继电保护分析

一般来说，站用、接地变压器配置了三段式相间电流保护、零序电流保护及本体保护。

接地变兼站用变，以过流保护为主保护。配置了三段过流保护、高压零序过流保护、低压零序过流保护、过负荷告警、外部非电量开入保护、闭锁简易母线保护等保护，功能完善^[10-12]。

4.3 220 kV 主变低压侧的保护分析

根据工程经验，为了避免海上升压站沉降对设备的影响，主变低压侧与 35 kV 进线开关的连接，一般为软连接的电缆，而不是硬连接的母线槽。当此段电缆发生接地故障时，零序电流将通过 35 kV 接地变兼站用变的高压侧中性点、电缆接地故障点形成故障回路。与此同时，由于主变差动保护的 CT 变比较大，此时的故障电流，较难达到差动阈值。导致此段电缆无法切除故障的隐患。

因此，虽然主变的接线方式为 YN，d11，主变低压侧没有中性点，但是主变低压侧与 35 kV 进线开关之间的电缆，需配置零序 CT。主变低压侧将通过零序电流来判断此段电缆是否故障。若零序电流超过整定值，联跳主变高低压侧开关，切除主变低压侧与 35 kV 进线开关之间连接过渡段的故障。

4.4 35 kV 集电拓扑的简易母线保护

采用 35 kV 母线进线与馈线和电流原理构成简易 35 kV 母线保护。简易母线保护能识别区外、区内故障^[13]。因此，为了与馈电线路过流保护、变压器差动保护配合，35 kV 简易母线保护是经短延时动作，不能瞬时动作。其简易母线保护原理图如图 6 所示：

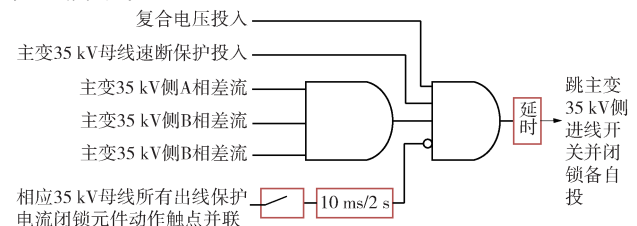


图6 35 kV 简易母线速断保护原理图

Fig. 6 The schematic diagram of 35 kV simple bus bar breaking protection

由图 6 可得, 当母线电压闭锁元件满足以上判据三个条件(低电压元件、零序电压元件、负序电压元件)中任一条件时, 电压闭锁元件动作开放相应差动保护。

5 结论

通过对海上风电继电保护的配置进行优化分析, 将 35 kV 站用变和 35 kV 接地变合并, 采用进出电流比较原理构成简易 35 kV 母线保护。同时, 把 220 kV 海缆两侧连接小型母线纳入海缆光纤差动范围, 虽有少量保护范围扩大, 但可节省 1 台 220 kV 断路器及 2 套 220 kV 母差保护投资。同时, 配置主变低压侧与 35 kV 进线开关之间电缆的零序保护, 切除主变低压侧与 35 kV 进线开关之间连接电缆的故障。

本文的海上风电继电保护配置优化方案, 简单实用, 可节省海上升压站的空间及投资成本, 有望应用于工程实践中。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 风力发电场设计技术规范: DL/T 5383—2007 [S]. 北京: 中国电力出版社出版, 2007.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. 风电场接入电力系统技术规范: GB/T 19963—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. 继电保护和安全自动装置技术规程: GB/T 14285—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
China Standardization Administration of China. Technical code for relaying protection and security automatic equipment: GB/T 14285—2006 [S]. Beijing: China Standard Press, 2006.
- [4] 闫培丽, 袁兆祥, 齐立忠, 等. 海上风电场二次系统设计关键技术 [J]. 电力建设, 2015, 36(4): 129-133.
YAN P L, YUAN Z X, QI L Z, et al. Key technology of offshore wind farm secondary system design [J]. Electric Power Construction, 2015, 36(4): 129-133.
- [5] 杨高峰. 顿丘变电站全站失压事故应急预案的研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2010.
- [6] 张保会, 王进, 李光辉, 等. 具有低电压穿越能力的风电接入电力系统继电保护的配合 [J]. 电力自动化设备, 2012, 32(3): 1-6.
ZHANG B H, WANG J, LI G H, et al. Cooperation of relay protection for grid-connected wind power with low-voltage ride-through capability [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(3): 1-6.
- [7] 张保会, 原博, 王进, 等. 风电接入对继电保护的影响(七)—风电场送出电网继电保护配置研究 [J]. 电力自动化设备, 2013, 33(7): 1-5.
ZHANG B H, YUAN B, WANG J, et al. Impact of wind farm integration on relay protection(7): analysis of relay protection configuration for wind farm outgoing power grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7): 1-5.
- [8] 汤向华, 施雄杰, 袁松. 三侧光纤纵差保护在 T 接线路上的应用 [J]. 继电器, 2008, 36(3): 64-67.
TANG X H, SHI X J, YUAN S. Application of three sides fibers longitudinal differential protection in T-connected lines [J]. Relay, 2008, 36(3): 64-67.
- [9] 徐敏. 利用光纤差动保护实现改善风井区 110 kV 线路保护性能的研究 [J]. 煤矿机电, 2011, 11(1): 25-27 + 35.
XU M. Research on the implement and improvement of the performance of protection for 110 kV line in ventilating shaft area [J]. Coal Mine Electrical, 2011, 11(1): 25-27 + 35.
- [10] 王楠, 梁伟. 10 kV 小电阻接地系统站用变配置方案研究 [J]. 电力勘测设计, 2014, 10(5): 70-74.
WANG N, LIANG W. Study on station variable configuration scheme of 10 kV low resistance grounding system [J]. Electric Power Survey and Design, 2014, 10(5): 70-74.
- [11] 陈杰明. 基于 GOOSE 的 10 kV 简易母线保护研究和应用 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 96-99.
CHEN J M. 10 kV bus protection research and application based on GOOSE [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 96-99.
- [12] 曾伟忠. 缩短变电站 10 kV 母线短路故障切除时间措施初探 [J]. 继电器, 2007, 35(16): 61-63.
ZENG W Z. Measures to shorten the time of clearing short-circuit faults on 10 kV bus [J]. Relay, 2007, 35(16): 61-63.
- [13] 王建中. 35 kV 简易母线保护动作分析 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 105-107.
WANG J Z. 35 kV simple bus protection action analysis [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 105-107.

作者简介:



YANG Y

杨源(通信作者)

1990-, 男, 广东湛江人, 工程师, 硕士, 从事海上风电新能源利用研究(email) yangyuan@gedi.com.cn.