

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.03.005

# 风电场经 VSC-HVDC 并网故障穿越协调控制策略

鲁裕婷, 赵天乐, 都洪基

(南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:**近年来基于电压源换流器的高压直流(VSC-HVDC)输电技术发展迅速,为保证电网安全运行,经VSC-HVDC并网的风电场必须具备故障穿越能力。文中研究风电场经VSC-HVDC并网时的故障穿越能力,针对并网点故障换流站传输有功降低使得交流系统和直流系统功率不平衡,造成直流电压迅速升高影响系统运行的问题,设计了一种基于传统耗能电阻电路而改进的耗能电阻拓扑结构。当电网侧发生故障时,通过投入耗能电阻吸收功率差额并且结合风电机组进行协调控制,使得VSC-HVDC风电并网系统能够顺利平稳地穿越故障。最后,在PSCAD/EMTDC搭建基于VSC-HVDC的风电场并网模型,验证了所提方法的有效性。

**关键词:**基于电压源换流器的高压直流(VSC-HVDC);风电场;故障穿越能力;耗能电阻拓扑;协调控制

**中图分类号:**TM641

**文献标志码:**A

**文章编号:**2096-3203(2020)03-0030-06

## 0 引言

随着风力发电技术的不断发展,基于电压源换流器的高压直流输电(voltage source converter based high voltage direct current, VSC-HVDC)技术被广泛应用于风力发电<sup>[1-3]</sup>。我国风电并网技术规范对风电场低电压穿越能力的要求为:风电场并网点电压跌落至20%标称电压时,风电场内风力发电机组能够保证不脱网连续运行625 ms。因此,在基于VSC-HVDC的风电场中,故障穿越能力<sup>[4-6]</sup>具有重要意义。

目前有以下几种故障穿越策略。第一种是为了满足不脱网运行的高要求,提出将Crowbar电路加入到双馈风力发电机转子侧,该方法需要考虑发电机吸收大量无功功率以及对并网点电压恢复产生的不利影响<sup>[7]</sup>。文献[8]提出改善机组无功特性的变阻值撬棒保护方法,用以减少撬棒投入时风电机组吸收的无功,从而改善出口电压。文献[9]从理论上分析风机撬棒的投切对电力系统暂态稳定性的影响,为撬棒保护的動作提供参考。第二种方法是通过检测故障时的电网参数来控制风电场的输出功率。文献[10]通过这种方式在故障时向风机发送降低输出有功指令,但是这种方式对风机的响应时间要求很高,也对高带宽通信介质提出了更高的要求,并且在使用时会有大电流流过换流器<sup>[11-12]</sup>。第三种策略是使用带有耗能电阻的直流

斩波器<sup>[13-14]</sup>。文献[15]通过投切耗能电阻消耗剩余功率,避免风机受电网侧故障的影响,保证风电场运行的稳定性,不影响风电场机械系统,可靠且实行简单。文献[16-19]则是综合第一和第三种方法,在传统撬棒保护的基础上加入主动式直流耗能电阻进行协调控制,提升系统低电压穿越能力。

文中研究基于VSC-HVDC并网的风电场故障穿越特性,采用传统耗能电阻具有所需电阻容量大及占地面积大等缺点,在此基础上提出模块化耗能电阻拓扑结构,电压下降时提出结合风电机组进行协调控制的策略。最后在电磁暂态仿真软件PSCAD/EMTDC中搭建于基于VSC-HVDC的风电场并网模型,通过仿真验证了所提策略的有效性。

## 1 VSC-HVDC 风电系统概述

风电场经VSC-HVDC并网的系统结构如图1所示,风电场采用集中式并网方式,选用双馈式感应发电机(doubly-fed induction generator, DFIG),靠近转子侧的变频器为转子侧变频器(rotor side converter, RSC),靠近电网侧的变频器为电网侧变频器(grid side converter, GSC)。并网系统主要由风场侧换流站(wind farm VSC, WFVSC)、电网侧换流站(grid side VSC, GSVSC)和直流线路组成。

### 1.1 风电机组控制

DFIG机组转子变频器的控制系统中<sup>[20]</sup>,RSC采用功率外环和电流内环的控制方式,需要独立地控制发电机组与电网传输的有功功率与无功功率,实现最大风能捕获使得发电机维持最高效率;GSC对无功功率进行控制并稳定换流器输出的直流电压。为了避免直流侧的电压产生波动以及确保功

收稿日期:2019-11-28;修回日期:2019-12-23

基金项目:国家电网有限公司总部科技项目“适应交直流互联受端电网的大规模海上风电接入方式优化及运行控制技术研究”

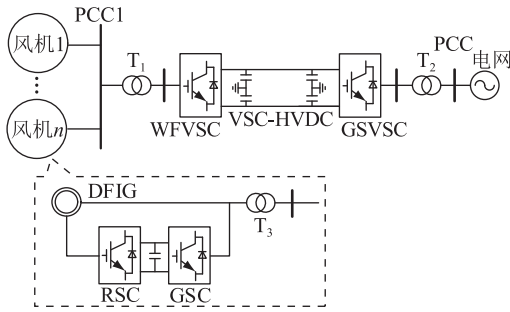


图1 VSC-HVDC 风电系统模型

Fig.1 Wind power system model based VSC-HVDC

率因数维持在单位功率因数,电网侧变流器采用电压外环和电流内环的双闭环控制方式<sup>[21]</sup>。

## 1.2 VSC-HVDC 系统控制

风电场经 VSC-HVDC 并网的控制系统原理如图 2 所示。WFVSC 控制目标是实现有功和无功功率的解耦控制以及抑制风电场并联公共点传输功率的波动,采用外环定有功功率、定无功功率以及内环电流控制的方式;GSVSC 实现电压稳定输出以及为交流系统提供必要的无功支撑,采用外环定无功功率、定直流电压以及内环电流控制。

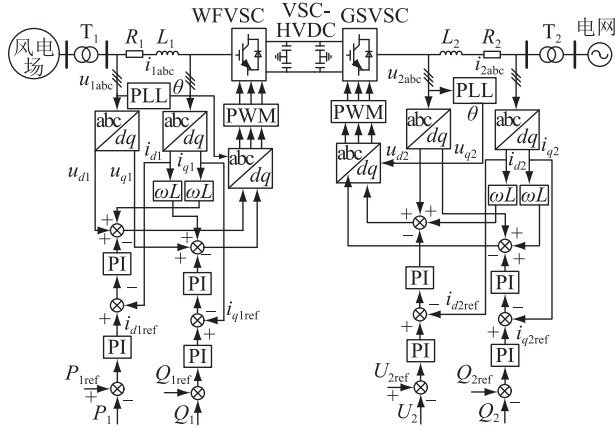


图2 系统控制原理

Fig.2 Control principle of system

## 2 基于 VSC-HVDC 并网的风电机组故障穿越控制策略

### 2.1 电网故障时的运行特性

风电场经 VSC-HVDC 并网,电网发生故障而导致电网电压跌落,电网侧换流站的有功传输能力下降,传输到电网侧的有功功率将会减少。由于两侧换流站运行的独立性,此时风场侧换流站仍会全部吸收风电场发出的功率,造成直流输电系统两侧的有功不平衡。巨大的功率差额会导致直流电压迅速升高,影响系统的正常运行,严重时会导致保护误动使得风电机组脱网。

### 2.2 耗能电阻拓扑结构设计

由以上分析可以看到,在受端电网公共连接点 (point of common coupling, PCC) 处发生故障导致电压跌落时,消除直流侧与电网侧差额功率就能够保证系统穿越故障运行。因此,可以在直流侧与电网侧换流站之间投入可控耗能电阻  $R_{ch}$  来吸收故障期间的差额功率,维持故障期间直流电压的稳定,保证系统故障穿越运行,具体如图 3 所示。

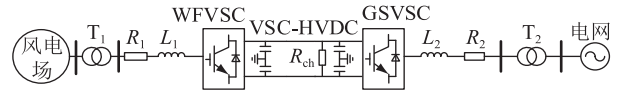


图3 系统中投入耗能电阻

Fig.3 Input energy dissipation resistor in the system

文中提出将耗能电阻  $R_{ch}$  拆分成  $n$  个阻值相同的电阻  $R_n$  并联而成,每一个单独的电阻  $R_n$  都可以独立投入和切除,拓扑结构如图 4 所示。由这样一系列的子模块并联起来可以构成模块化的耗能电路。每一个子模块在独立开通时所消耗的功率为:

$$P_n = \frac{U_{dc}^2}{R_n} \quad (1)$$

其中,  $U_{dc}$  为直流侧的额定电压。即使交流电网侧发生严重故障使 PCC 点电压跌落为 0,导致 GSVSC 不能传输功率,风电场依然传输功率。

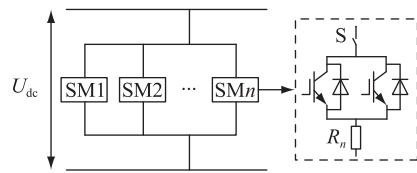


图4 新型耗能电阻结构

Fig. 4 Structure of new energy dissipation resistor

若共有  $n$  个子模块,当所有子模块都开通时,应全部消耗在电网侧发生最严重故障时的功率差额,即直流系统的额定有功功率  $P_{dc}$ ,则:

$$P_{dc} = nP_n \quad (2)$$

可以得到每个子模块对应的电阻元件取值为:

$$R_n = n \frac{U_{dc}^2}{P_{dc}} \quad (3)$$

每个子模块的内部由一个单独的电阻  $R_n$  与 2 个并联的 IGBT 串联组成,2 个 IGBT 也可以互为备用。当 IGBT 导通时,该模块被投入使用并消耗有功,控制投入的子模块数目可以调节电路消耗的功率。设置当直流电压超过设计阈值  $U'_{dc}$  时,模块化耗能电路开始被触发。严重程度不同的故障会产生不同的功率差额  $\Delta P$ ,模块化耗能电路根据此时  $\Delta P$  可以得到当前需要被投入的子模块数目  $n_a$ 。通过上述设计,每一个子模块的耗能电阻的容量仅为

原直流耗能电阻的  $1/n$ , 改进了原直流耗能电阻最大的缺点。设计的子模块数目越多, 每个子模块对应的电阻容量越小, 更有利于电阻的散热。在 PCC 处没有发生最严重的故障时, 各个子模块还可互为备用, 旁路开关 S 能在子模块发生内部故障时将其切除, 以便及时地对子模块进行检修更换。

### 2.3 结合风电机组的协调控制策略

为了能够实现故障期间有功功率的平衡, 在上述模块化耗能电阻的基础上同时调整风电场的有功输出, 对双馈风电机组转子侧变频器的有功功率外环进行改造。对于双馈风力发电机, 有以下关系:

$$\begin{cases} P_s = P_e - P_{cus} - P_{fes} \\ P_e = \frac{P_m - P'_m}{1-s} = \frac{P_{mec}}{1-s} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $P_s$  为双馈风力发电机定子输出的有功功率;  $P_e$  为发电机的电磁功率;  $P_{cus}$ ,  $P_{fes}$  分别为定子铜耗和定子铁耗;  $P_m$ ,  $P'_m$  分别为双馈电机的输入机械功率和机械功率损耗;  $P_{mec}$  为双馈电机吸收的净机械功率;  $s$  为转差率。

为了实现风力机的最大功率跟踪, 根据风力机的最佳功率曲线和风力机转速  $\omega_r$  来实时计算发电机输出的有功功率指令  $P^*$ , 以风机输出机械功率  $P_w$  代替式(4)中的  $P_m$  可以得到:

$$\begin{cases} P^* = \frac{P_w}{1-s} - \Delta P' \\ \Delta P' = P_{cus} + P_{fes} + \frac{P'_m}{1-s} \\ P_w = \frac{1}{2} C_p \rho S v^3 \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $C_p$  为风能利用系数;  $\rho$  为空气密度;  $S$  为风机叶片扫过的面积;  $v$  为风速;  $\Delta P'$  为新的功率缺额。

采用协调故障穿越策略时, 在电网侧发生故障, 直流电压超过设定的阈值  $U'_{dc}$ , 计算此时应该投入的子模块数  $n_a$ 。由于模块数为整数, 还会剩余功率无法消耗, 这时会产生新的功率缺额, 这部分由风电机组减载运行承担, 新的功率缺额  $\Delta P^* = \Delta P - n_a P_n$ , 这时会给风电场发出减载指令, 新的指令值  $P_1^* = P^* - \Delta P^*$ , 风电机组不再按照最大功率曲线运行, 而是进行减载运行, 其电磁转矩下降, 风机的转速会短暂上升, 但是配合耗能电阻时, 大部分的功率缺额被耗能电阻消耗, 风电机组得到的减载指令值很小, 风机转速上升值有限, 风电机组可以平稳运行。直流电压超过设定的阈值  $U'_{dc}$ , 耗能电阻被投入, 而当直流电压低于  $U'_{dc}$ , 耗能电阻便会退出运行。但是在故障清除的瞬间, 直流电压发生增大

的情况, 由于耗能电阻没有及时退出运行而导致耗能电阻从电网吸收功率, 所以需要设置更加可靠的耗能电阻退出控制方法。耗能电阻正常退出时 GSVSC 传输的有功功率将会增大, 而如果在耗能电阻非正常退出运行时, GSVSC 传输的有功将减小, 所以此时提高耗能电阻退出运行时的电压阈值, 设置为  $U'_{dc1}$ , 并结合 GSVSC 传输的有功功率设置更为可靠的耗能电阻退出方法, 耗能电阻退出的控制框图如图 5 所示。其中,  $K_c = 1$  表示耗能电阻投入, 如果延时  $t_p$  后, 传输的有功功率平均值  $P_m$  大于其参考值  $P_{ref}$ , 并且电压值大于设定的阈值  $U'_{dc1}$ , 则耗能电阻退出运行。

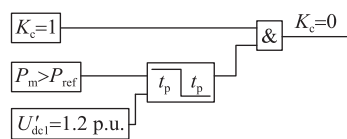


图 5 耗能电阻退出控制

Fig.5 The control of energy dissipation resistance quitting

### 3 仿真与分析

在仿真软件 PSCAD/EMTDC 中建立风电场经 VSC-HVDC 并网的仿真模型, 仿真参数如表 1 所示, 搭建的仿真模型如图 6 所示。设置在 4 s 时 PCC 处发生三相接地故障, 电压从 1 p.u. 跌落至 0.2 p.u., 如图 7 所示, 持续时间为 625 ms, 仿真对比分析未采用与采用协调控制策略的情况。

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数	取值
基准容量/(MV·A)	100
基准电压/kV	400
变压器容量/(MV·A)	1 500
变压器 T <sub>1</sub> 变比	33 kV/420 kV
变压器 T <sub>2</sub> 变比	420 kV/33 kV
变压器漏抗/p.u.	0.1
HVDC 系统额定功率/MW	400
电缆长度/km	100
直流侧电容/ $\mu$ F	300
$U'_{dc}$ /p.u.	1.05
$U'_{dc1}$ /p.u.	1.2

#### 3.1 未采用协调控制策略仿真结果

图 8 为受端 PCC 处电压跌落, 直流母线电压的变化情况, 由于 GSVSC 的有功传输能力下降, 有功功率不平衡导致直流母线电压迅速上升, 这与理论分析结果一致。



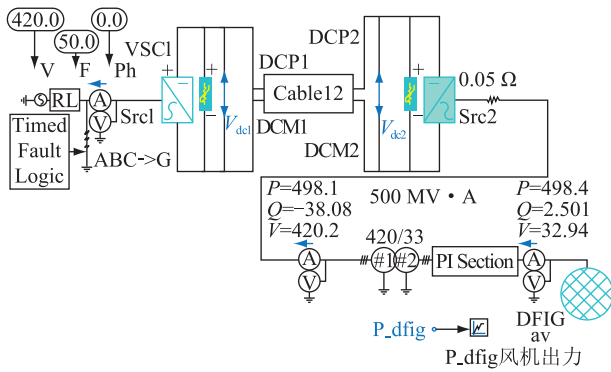


图 6 仿真模型  
Fig.6 Simulation model

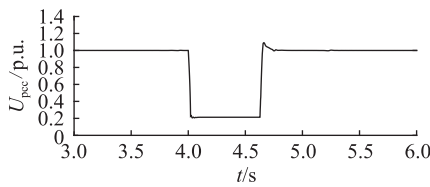


图 7 受端 PCC 点电压跌落情况  
Fig.7 Voltage drop at PCC

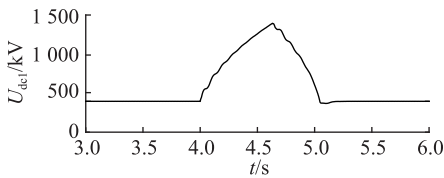


图 8 直流母线电压变化情况  
Fig.8 The voltage of DC bus

图 9 为未调控时 GSVSC 传输的有功和无功率的变化情况,故障期间传输的有功功率下降,故障后由于直流电容存储的能量以及 Wfvsc 吸收的有功功率一起经过 GSVSC 传输到电网,造成故障恢复瞬间传输到电网的有功功率瞬时增大,直到母线电压降到额定值后才恢复正常。

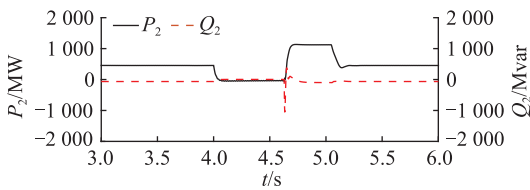


图 9 未调控时 GSVSC 传输的有功和无功率  
Fig.9 Active power and reactive power of GSVSC before regulation

图 10 为未调控时 Wfvsc 传输的有功和无功率,在故障期间, Wfvsc 仍接收风电场传输功率向 GSVSC 传输出功率,所以其有功功率和无功率几乎不变。

可见故障期间如不采取措施,直流母线电压将升高,对电网产生很大冲击,不利于电网稳定运行。

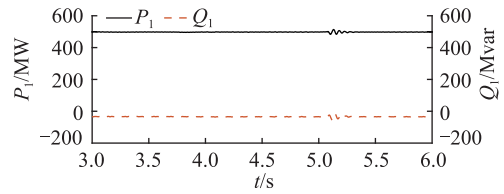


图 10 未调控时 Wfvsc 传输的有功和无功率  
Fig.10 Active power and reactive power of Wfvsc before regulation

### 3.2 采用协调控制策略仿真结果

采用基于耗能电阻拓扑结构的协调控制策略,设计系统中有 10 个子模块,每个子模块耗能电阻大小为 1 800 Ω,额定容量为 2 MW,仿真结果如下。

发生故障时计算得到 DFIG 的减载指令为 0.5 MW,计算得到投入子模块 4 个。图 11 为直流母线电压的变化情况,采用协调控制策略时,直流母线电压波动值较小,取得十分平稳的故障穿越效果。此时由于大部分差额功率都由耗能电阻消耗,从而 DFIG 的有功减载并不明显,所以从图 12 可以看出,风电机组输出的功率在故障期间逐渐减小,故障恢复后输出恢复到正常值,并没有出现瞬时增减的情况,这与理论分析结果一致。

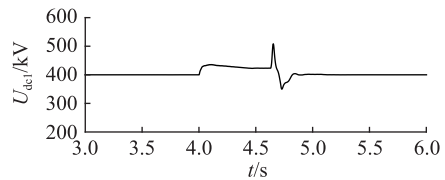


图 11 调控后母线电压变化情况  
Fig.11 The voltage of DC bus after regulation

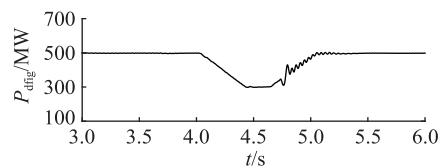


图 12 风机出力情况  
Fig.12 Output of Wind Turbine

图 13 为调控后 GSVSC 传输的有功和无功率,与图 9 进行对比可以看到,功率的波动减小,GSVSC 输出的有功功率相对来说较为平稳。

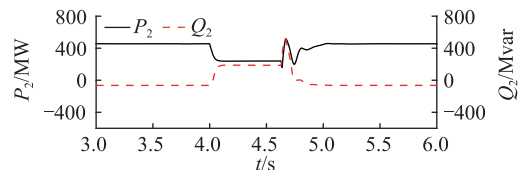


图 13 调控后 GSVSC 传输的有功和无功率  
Fig.13 Active power and reactive power of GSVSC after regulation

图 14 为调控后 WFVSC 传输的有功和无功率,在故障期间,所传输的有功功率减少,而无功率的变化不大,这与文中理论分析的结果相符合。

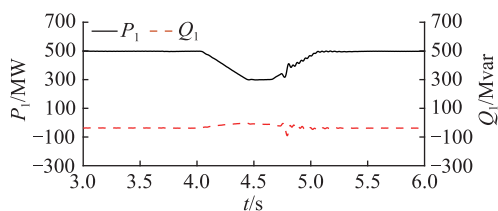


图 14 调控后 WFVSC 传输的有功功率和无功率

Fig.14 Active power and reactive power of WFVSC after regulation

#### 4 结语

文中主要分析基于 VSC-HVDC 并网的风电场在受端系统发生故障的运行特性,研究基于直流耗能电阻的穿越方法,提出改进的耗能电阻拓扑结构。针对此拓扑结构设计发生故障时结合风电机组协调控制策略,维持系统在故障时刻的功率平衡,改善了并网系统的故障穿越能力。

(1) 正常运行时,与耗能电阻串联的 IGBT 并不导通,发生故障后当直流电压超过设置的阈值,模块化耗能电路将会被触发,投入直流耗能电阻,这种方法可以有效抑制直流电压的上升,改善并网系统的故障穿越能力。

(2) 协调控制策略操作简单,在同一系统内把风电直流并网、故障穿越功能结合在一起,提高了系统的电压稳定性和电能质量,耗能电阻拓扑结构具有较高的利用率。

#### 参考文献:

[1] HAN Minxiao, NGUYEN Phuchuy, YAN Wenli. Interharmonics in multi-terminal VSC-based HVDC systems [ J ]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2016, 4(2) : 282-291.

[2] TAN Jiancheng, GAO Haili, CHEN Guangzong. [ IEEE 2017 China International Electrical and Energy Conference (CIEEC)-Beijing, China (2017.10.25—2017.10.27) ] 2017 China International Electrical and Energy Conference (CIEEC)-LVRT control strategy of VSC-HVDC connected large PV plant [ C ] // 2017 : 504-509.

[3] 杨智豪, 牟龙华, 刘仲. 含 VSC-HVDC 并网风电场的电力系统最优潮流计算 [ J ]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12) : 36-41.

YANG Zhihao, MOU Longhua, LIU Zhong. Optimal power flow of wind farm grid-connected system based on VSC-HVDC [ J ]. Power System Protection Control, 2016, 44(12) : 36-41.

[4] 吕敬, 施刚, 蔡旭, 等. 风电场经 VSC-HVDC 交直流并联系统并网的运行控制策略 [ J ]. 电网技术, 2015, 39(3) : 639-646.

LYU Jing, Shi Gang, CAI Xu, et al. Control strategies of large

wind farms integration through AC/DC parallel transmission system based on VSC-HVDC [ J ]. Power System Technology, 2015, 39(3) : 639-646.

[5] ROBERTO Sandano, MICHAEL Farrell, MALABIKA Basu. Enhanced master/slave control strategy enabling grid support services and offshore wind power dispatch in a multi-terminal VSC HVDC transmission system [ J ]. Renewable Energy, 2017, 113.

[6] TAJ T A, HASANIEN H M, ALOLAH A I. Improving the dynamic performance of a grid-connected wind energy conversion system using flywheel energy storage system [ C ] // Electric Machines & Drives Conference. IEEE, 2016.

[7] 付元欢, 李银红, 何璇, 等. 电网故障下计及撬棒保护的双馈感应发电机暂态解析修正模型 [ J ]. 中国电机工程学报, 2017, 37(16) : 4591-4600, 4884.

FU Yuanhuan, LI Yinhong, HE Xuan, et al. Corrected transient analysis model of Doubly Fed Induction Generator with Crowbar protection under grid fault [ J ]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(16) : 4591-4600, 4884.

[8] 邹志策, 雷一, 欧然, 等. 改善双馈感应发电机无功特性的变阻值撬棒保护方案 [ J ]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(22) : 93-100.

ZOU Zhice, LEI Yi, OU Ran, et al. Crowbar protection scheme based on dynamic resistance for reactive power improvement of doubly fed induction generator [ J ]. Power System Protection Control, 2018, 46(22) : 93-100.

[9] 姜惠兰, 姜哲, 李天鹏, 等. 风机转子撬棒投切对电力系统暂态稳定性的影响 [ J ]. 电网技术, 2016, 40(8) : 2383-2388.

JIANG Huilan, JIANG Zhe, LI Tianpeng, et al. Impact of rotor crowbar switching on transient stability of power system [ J ]. Power System Technology, 2016, 40(8) : 2383-2388.

[10] 陈鹤林, 徐政. 海上风电场柔性直流输电并网系统暂态特性研究 [ J ]. 太阳能学报, 2015, 36(2) : 430-439.

CHEN Helin, XU Zheng. Transient characteristic study of offshore wind connection with VSC-HVDC [ J ]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2015, 36(2) : 430-439.

[11] LIU Tao, LIU Weizeng, HAO Xiang, et al. VSC-HVDC control strategy based on burst mode operation for low voltage ride through [ C ] // Power Electronics & Motion Control Conference. IEEE, 2016.

[12] 郭春义, 宁琳如, 刘炜, 等. 基于频率同步控制的 VSC-HVDC 在弱交流系统下的动态特性研究 [ J ]. 中国电机工程学报, 2017, 37(15) : 4344-4354, 4574.

GUO Chunyi, NING Linru, LIU Wei, et al. Dynamics investigation of VSC-HVDC with frequency based synchronization control under weak AC grid condition [ J ]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(15) : 4344-4354, 4574.

[13] ABDALRAHMAN A, ISABEGOVIĆ E. DoWin1-Challenges of connecting offshore wind farms [ C ] // Energy Conference. IEEE, 2016.

[14] CHRISTOPH Nentwig, JENS Haubrock, ROBERT H R, et al. Application of DC choppers in HVDC grids [ C ] // Energy Conference. IEEE, 2016 : 1-5.

- [15] 王国英, 贾一凡, 邓娜, 等. 应用于海上风电接入的 VSC-HVDC 系统主网侧交流故障穿越方案[J]. 全球能源互联网, 2019, 2(2): 146-154.  
WANG Guoying, JIA Yifan, DENG Na, et al. Grid side fault ride through solution for offshore wind connection with VSC-HVDC[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2019, 2(2): 146-154.
- [16] 边晓燕, 王本利, 陈建平, 等. 改进的 DFIG 与 VSC-HVDC 协调控制改善风电场低电压穿越能力[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 9-16.  
BIAN Xiaoyan, WANG Benli, CHEN Jianping, et al. Improvement of low voltage ride through capability of wind farm using coordinated control of the improved DFIG and VSC-HVDC[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 9-16.
- [17] 李燕青, 史依茗. 基于 VSC-HVDC 的 DFIG 风电场低电压穿越改进控制策略[J]. 电测与仪表, 2018, 55(9): 58-63.  
LI Yanqing, SHI Yiming. An improved control strategy of DFIG wind farm low voltage ride through based on VSC-HVDC[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(9): 58-63.
- [18] 李志晗, 张英敏, 李兴源. 基于  $H_\infty$  回路成形法的 VSC-HVDC 附加鲁棒阻尼控制器设计[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(2): 124-130.  
LI Zhihan, ZHANG Yingmin, LI Xingyuan. Design of additional robust damping controller for VSC-HVDC based on  $H_\infty$  loop shaping[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 124-130.
- [19] 周步祥, 董申, 林楠, 等. 计及撬棒电路的双馈风电机组二次攀升故障穿越特性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(5): 152-159.  
ZHOU Buxiang, DONG Shen, LIN Nan, et al. Analysis of double-fed wind turbine's secondary high voltage ride-through characteristics considering the crowbar circuit[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(5): 152-159.
- [20] 穆钢, 蔡婷婷, 严干贵, 等. 双馈风电机组参与持续调频的双向功率约束及其影响[J]. 电工技术学报, 2019, 34(8): 1750-1759.  
MU Gang, CAI Tingting, YAN Gangui, et al. Bidirectional power constraints and influence of doubly fed induction generator participating in continuous frequency regulation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(8): 1750-1759.
- [21] 刘皓明, 任秋业, 张占奎, 等. 双馈风机等效惯性时间常数计算及转差率反馈惯量控制策略[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(17): 49-59.  
LIU Haoming, REN Qiuye, ZHANG Zhankui, et al. Calculation of equivalent inertia time constant for Doubly-fed Induction Generators and slip-feedback inertia control strategy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(17): 49-59.

作者简介:



鲁裕婷

鲁裕婷(1994),女,硕士在读,研究方向为电力系统分析、运行、控制与规划(E-mail: ytnjust@163.com);

赵天乐(1995),女,硕士在读,研究方向为电力系统分析、运行、控制与规划;

都洪基(1960),男,硕士,副教授,研究方向为电力系统继电保护及安全自动装置。

## A coordination control strategy of integrated wind farm low voltage ride-through based on VSC-HVDC

LU Yuting, ZHAO Tianle, DU Hongji

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The technology of HVDC based on VSC develop rapidly in recent years. To ensure the safe operation of power grid, the fault-crossing capability has become a basic demand for wind farms connected by HVDC transmission. The paper researches on the fault-crossing capability of VSC-HVDC connected wind farm. In order to solve the problem that the fault of grid connection point leads to the reduction of transmission active power of converter station, which makes the power of AC system and DC system unbalanced, and causes the problem that the rapid rise of DC voltage affects the operation of the system. Based on the traditional energy-dissipating resistance circuit, a new resistance topology is proposed. When the fault occurs on the grid side, the VSC-HVDC wind power grid-connected system can smoothly cross the fault by putting in the energy-consuming resistance to absorb the power difference and coordinated control combined with wind turbines is carried out. Finally, the model of wind farm connected by VSC-HVDC is built in PSCAD/EMTDC and dynamic simulations are presented to assess the performance of the control method which is proposed.

**Keywords:** voltage source converter based high voltage direct current(VSC-HVDC); wind farm; fault-crossing ability; new resistance topology; coordinated control

(编辑 钱悦)