

应用于风电并网的有源型 VSC-HVDC 系统控制策略*

张明光,张彦凯,姜一达,赵金亮,刘淼淼,马秀英,刘昱晨
(兰州理工大学 电气与信息工程学院,甘肃 兰州 730050)

摘要: 利用直流输电技术,以解决风电并网的波动问题。研究分析有源型电压源直流输电技术,通过控制并联储能单元的充放电功率,补偿风电的波动功率,从而稳定注入电网的风电场功率,通过储能控制系统达到控制母线电压的稳定。仿真结果验证了控制策略的可行性。

关键词: 风电并网;电压源直流输电;储能系统;功率稳定;电压稳定;控制策略

中图分类号: TM614

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)23-0074-03

The control strategy of VSC-HVDC with energy storage system used in the wind power

ZHANG Ming Guang,ZHANG Yan Kai,JIANG Yi Da,ZHAO Jin Liang,LIU Miao Miao,MA Xiu Ying,LIU Yu Chen
(Institute of Electrical and Information Engineering,Lanzhou University of Technology,Lanzhou 730050,China)

Abstract: In this paper, a control strategy of a VSC-HVDC system with energy storage is used to solve the problem of fluctuations of wind power and network. By controlling the parallel charging and discharging power of Energy storage unit, wind power fluctuations in power compensation to stabilize the wind into the power grid, through the energy storage system can control bus voltage stability. Simulation results demonstrate the feasibility of control strategy.

Key words: grid-connected wind power; VSC-HVDC; energy storage system; voltage stability; power stability; control strategy

在能源消耗日益增长、环境污染日渐严重的今天,风能作为可再生能源中最具规模化、产业化的新型能源而备受关注。但由于风能具有不稳定性 and 间歇性,风电场的输出功率是动态变化的,对风电的并网运行带来了不利影响。输出功率随风能动态变化的风电场对传统电力系统的固定运行模式产生了一定的冲击。当系统的功率平衡受到破坏时,因受线路阻抗特性和系统控制滞后等影响,在新的功率平衡之前,电网中可能会出现电压尖峰;在新的功率平衡之后,有可能造成电压升高。电压尖峰和电压升高可能会对系统的功率器件带来损害^[1]。

在分布式的发电系统中,已研究利用了储能等技术手段来提高系统的稳定性。参考文献[2]针对分布式发电系统提出了接入蓄电池与负荷-频率相结合的措施抑制电网频率波动,并研究了不同的蓄电池容量对系统频率的抑制效果。通过储能控制系统控制并网风力发电系统的电压稳定,从而进行系统的能量调节,维护系统的功率平衡。从目前储能技术的发展来看,大容量长寿命

的无膜液流电池和具有良好动态特性的超级电容具有广阔的发展前景^[3-4]。

目前,风电场的并网的方式有直接交流并网或通过电压源高压直流输电系统 VSC-HVDC (Voltage Source Converter-High Voltage Direct Current)并网。其直流母线上大都采用的是并联直流电容,称为无源型。为解决风电场并网运行对电网的影响,本文的 VSC-HVDC 系统在其直流母线处通过双向 DC/DC 变流器和电网相连接,称为有源型。为使风电注入系统的功率稳定,当注入电网的风能较大时,储能单元通过双向变流器吸收一定的电能,抑制 VSC-HVDC 的直流母线电压升高;当注入电网的风能较少时,储能单元通过双向变流器释放不足的电能,以抑制 VSC-HVDC 的直流母线电压降低。

1 有源型直流输电系统

VSC-HVDC 系统一端与风电场相连,为受端系统,另一端与电网相连,为送端系统;储能单元并接在 VSC-HVDC 的电网侧,如图 1 所示。虽然受端接受的风电功率受风能波动的影响是动态变化的,但在某一时期内可

* 基金项目:甘肃省自然科学基金项目(2007GS04834)

技术与方法 Technique and Method

认为其平均风能是相对稳定的。当风电的动态功率大于预先设定的平均风能所产生的平均功率时,储能单元吸收多出部分功率,处于充电状态;当风电的动态功率小于预先设定的平均风能所产生的平均功率时,储能单元输出相应大小的功率,处于放电状态,从而使风电注入到电网的功率稳定。

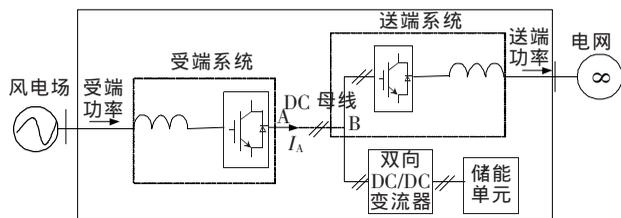


图1 有源型电压源直流输电系统

2 储能单元控制系统

储能单元控制系统如图2所示。其原理是通过储能单元协调控制输电线A点电压 U_A 的升高,同时控制网侧电压。

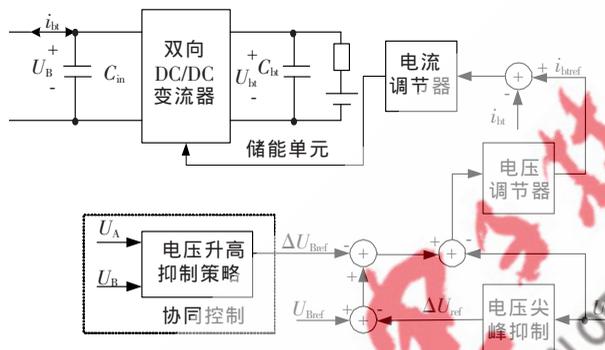


图2 储能单元系统框图

储能单元控制系统检测B点电压 U_B 。当B点电压大于设定值 U_{Bref} 时,给定一个额外的电压量 ΔU_{ref} ,瞬时降低直流母线电压参考值,即增加注入储能单元的电流,使储能单元吸收波动的能量,从而限制电压尖峰。在正常运行中 U_{Bref} 由控制系统设定,不需要改变。当A点电压超过预设值时,储能系统会输出控制量 ΔU_{Bref} ,减少直流母线电压参考值,从而降低母线电压。

ΔU_{Bref} 可由式(1)~式(3)简单计算,其中 R_{ab} 表示为A与B两点之间的等效电阻。

A点出送功率为:

$$P_A = U_A - U_B = \frac{U_A(U_A - U_B)}{R_{ab}} \quad (1)$$

假设B点的压降为 ΔU_{Bref} ,即降低为 $U_B - \Delta U_{Bref}$ 时,A点电压刚好不大于预设值 U_{Aref} ,则:

$$P_A = \frac{U_{Aref}[U_{Aref} - (U_B - \Delta U_{Bref})]}{R_{ab}} \quad (2)$$

由式(4)、式(5)式可以推算出:

$$\Delta U_{Bref} = \frac{U_A^2 - U_{Aref}^2 - U_A U_B + U_{Aref} U_B}{U_{Aref}} \quad (3)$$

因此,只要B电压不大于 $U_B - \Delta U_{Bref}$ 时,就能够保证

A点电压不高于预设值 U_{Aref} 。

3 有源型电压源直流输电控制策略

3.1 受端系统控制策略

有源型VSC-HVDC受端系统的控制策略,设定为交流电压模式。在该控制策略下VSC-HVDC系统对风电场而言相当于一个平衡点,起到维持风场侧系统功率平衡和电压稳定的作用。受端系统的控制策略如图3所示, M 为调制比, δ 为初始相位角,PI为对应的比例积分环节,下标ref为实际值的参考值,RMS为转换有效值。

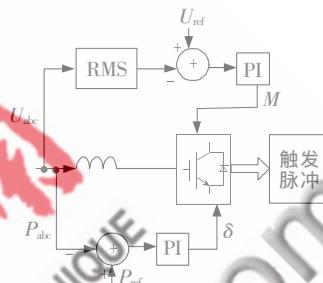


图3 受端系统的控制策略

3.2 送端系统控制策略

根据风电场的风能特性选择适宜的储能容量,采用容量较小的储能单元,动态补偿风电场在某一时期内风能的波动。如果风电场在不同时期内所需储能容量有所差异,可相应地调整储能容量,或者优化设计所需的储能容量,满足风电场长时期内动态补偿风能波动的需要。

根据现有的VSC-HVDC系统的运行经验,VSC-HVDC系统的换流站主要有3种控制模式^[5-7]:(1)直流电压模式。以直流电压作为主要控制目标,以无功功率为辅助控制目标;(2)定功率模式。以有功功率作为主要控制目标,以无功功率为辅助控制目标;(3)交流电压模式。以所联接的交流母线电压为控制目标。本文的有源型VSC-HVDC送端系统设定为直流电压模式。

为使注入到电网的风电功率稳定,将风电的波动量作为储能单元的充放电功率的参考值。根据以往的运行情况及当年的风能预测,预设风电场平均功率、风电的波动量为实测风场输出功率与预测到的该风电场平均功率之间的差异,将风电的波动量作为储能单元的充放电功率参考值 P_{lref} 。储能单元的充放电功率实测值 P_b 与其参考值 P_{lref} 的误差经过一个比例积分(PI)环节作为直流电压 U_{dc} 控制的附加量 ΔU_{dc} 。在已有的直流电压模式基础上增加储能单元的充放电功率附加控制构成有源型VSC-HVDC送端系统的控制策略,如图4所示。下标ref为实际值的参考值;RMS为转换有效值; P_b 为充放电的实测值; i_{dref} 、 i_{qref} 分别为网侧交流电流d、q轴的分量参考值;PI为对应的比例积分环节。

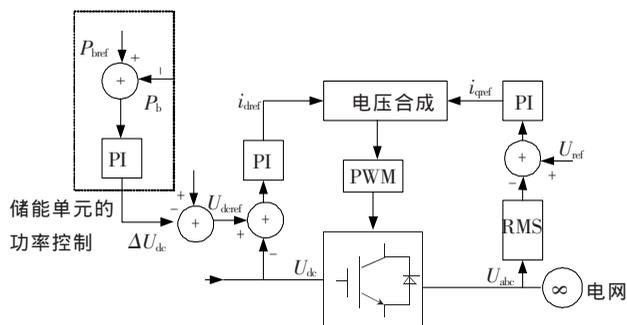


图4 送端系统的控制策略

4 仿真分析

为验证本文提出的控制策略能够很好地实现对电压的有效控制,通过 Matlab/Simulink 仿真软件对图 1 所示的有源型 VSC-HVDC 系统进行了仿真分析。

4.1 电网电流变化仿真分析

为验证在不同条件下储能单元的影响,依据上文分析,对图 1 的系统进行简化,建立仿真模型。图 5 给出了注入电网电流由 150 A 增加到 250 A 时的仿真结果。从图 5(a)和图 5(b)中看出,电网的电流增加,储能单元可将母线电压稳定在 2 kV。但 A 点电压却明显高于电流增加之前的数值,图 5(a)中 A 点电压尖峰超过了 2.3 kV;在相同的条件下,图 5(b)中对 A 点进行电压尖峰控制,尖峰可以被限制在 2.3 kV 之内,但是电压的升高并没有得到控制;在图 5(c)中,通过储能单元协调控制拉低 B 点电压,抑制 A 点电压升高,使其稳态值不超过 2.2 kV。

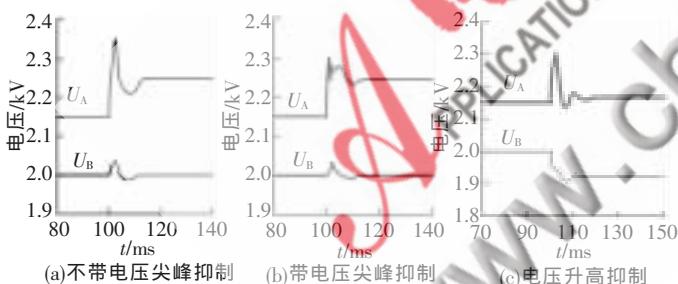


图5 电网电流变化仿真波形

4.2 系统控制策略仿真

假设风电场在某一时间段中的输出功率为 P_1 ,如图 6 所示。仿真系统中,风电场的装机容量为 50 MVA;直流母线 ± 80 kV,容量为 50 MVA。风场在该时间段内的平均输出功率为 0.7 pu。

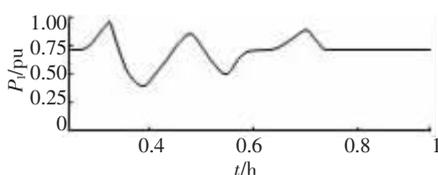


图6 注入电网的风电功率

忽略储能单元的内部特性,应用图 3、4 的控制策略进行仿真,仿真结果如图 7~图 9 所示。

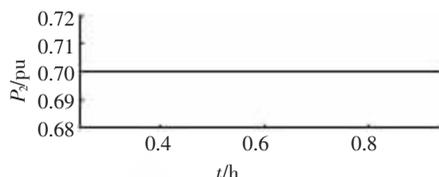


图7 注入电网的风电功率

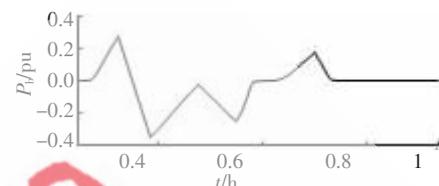


图8 储能单元的充放电功率



图9 有源型电压源直流输电系统母线电压

P_2 为风场注入到电网的功率, P_b 为储能电源的充放电功率, U_d 为直流母线电压。从仿真结果可以看出,通过储能单元的充放电功率能够有效地抵消风电的波动,使有源型 VSC-HVDC 系统的送端系统输出功率,从而使电网吸收到的风电功率稳定。算例中假定风电功率在不到 1h 内有增、减,如果风速在 1 h 或更长时间内单调变化,就以此时间段作为参考,根据该时间段内的风电场平均功率,计算风电场功率与平均功率的差值,来确定充放电功率参考值。由图 9 可以看出,有源型 VSC-HVDC 系统的直流母线电压并不恒定,在参考值的基础上波动,波动范围视系统情况而定。仿真中,允许直流母线电压不超过 1.03 pu。依据仿真的系统规模, ± 80 kVA 的直流母线,需要储能单元的容量为 160 kV/5.05 kWh。

分析了带储能单元的风电系统的控制策略,仿真结果表明,本文的控制方法能有效控制电压尖峰和电压升高,避免功率器件的过压损坏。提出的有源型电压源输电系统的控制策略,能很好地解决风电波动对电网的影响,通过控制储能单元的充放电功率来平衡风电的波动,从而稳定注入电网的风电功率。有源型电压源直流输电系统的直流母线电压并不是恒定的,而是在设定的参考值上下波动,其波动的幅值与系统本身的特性、储能单元内部的特性以及充放电的状态等因素有关。为了避免对变流器的工作带来影响,应使直流电压的波动不超出允许范围。

参考文献

- [1] LU Wei Xing, OOIB T. DC over voltage control during loss of converter in multiterminal voltage-source converter-based HVDC (M-VSC-HVDC)[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(3): 915-920.
- [2] ARITA M, YOKOYAMA A, TADA Y. Evaluation of battery system with a large penetration of wind power generation [C]. International Confrence on Power System Technology Chongqing, 2006.
- [3] 朱顺泉,孙妮荣,汪钱.大规模蓄电储能全钒液流电池研究进化[J].化工进展,2007,26(2):207-210.
- [4] KAKIGANO H, MIURA Y, ISE T, et al. DC micro-grid for super high quality distribution; system configuration and energy storage devices// Pr Oceedings of Power Electronics Specialists Conerence [C]. June18 -22, 2006, Jeju, Korea: 1-7.
- [5] SIYE R, LI Guo Jie, JIAO Xiao Hong, et al. Adaptive control design for VSC-HVDC system based on backstep-ping method[J]. Electric Power Systems Research, 2007, 77 (55-56): 559-565.
- [6] 文俊,张一工,韩民晓,等.轻型直流输电:一种新一代的 HVDC 技术[J].电网技术,2003,27(1):47-51.
- [7] AI J F A R, OOI B T. VSC-HVDC st-ation with SSSC charcracteristics [J]. IEEE Trans. on Powe Electronic, 2004, 19(4): 1053-1059.

(收稿日期:2010-05-01)

作者简介:

张明光,男,1971年生,教授,主要研究方向:控制理论,电力系统自动化,变电所自动化。

张彦凯,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:风电并网的电压稳定性分析。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com