

风电背靠背 PWM 变流器直流能量平衡新方法

王冕, 陈国柱

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对基于背靠背 PWM 变流器的永磁同步发电机(PMSG)风力发电系统,从能量平衡角度出发,分析了引起直流侧能量波动的2个主要因素,即风机能量波动和电网电压波动,并基于小信号模型分析,利用功率平衡关系提出了网侧变流器的输出电流补偿控制策略。仿真和实验结果表明,所提出的电流控制策略不仅能在风机能量波动时保证直流侧电压稳定,还能在电网电压故障时最大限度地利用变流器的容量,协助风电机组实现穿越,同时降低直流电容容量要求。

关键词: 风电; PMSG; 背靠背 PWM 变流器; 直流电压稳定; 电流控制; 补偿; 故障穿越

中图分类号: TM 614; TM 46

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.07.005

0 引言

随着传统能源日渐枯竭,以风能和太阳能为代表的新能源正在改变人类能耗结构,但新能源大量接入电网也给传统电网带来了一系列问题,风力发电场就面临着各种并网问题。当前主流的风机类型为双馈感应发电机 DFIG(Doubly-Fed Induction Generator)和永磁同步发电机 PMSG(Permanent Magnetic Synchronous Generator),均通过效率最大化的双脉宽调制 PWM(Pulse Width Modulation)四象限变流器,即背靠背 PWM 变流器接入电网^[1-5]。其中 DFIG 由于定子侧直接与电网相连,面对电网故障时电机直接受到冲击,其故障穿越面临较大困难^[6],相比之下,PMSG 的全功率背靠背 PWM 变换器在耐受故障冲击、无功功率注入以帮助电网恢复方面具有优势^[3,7-10]。

在 PMSG 双 PWM 变流器中,直流电容吸收机侧变流器传递的风机能量,并通过网侧变流器把电能注入到电网中,风机发出的交流电能和注入电网的交流电能通过直流侧电容完全解耦,可以分别进行控制。然而,直流侧连接风机和电网两方面能量的特性也使得系统任意一方的能量波动都会直接反映在直流电压的波动上,这对于直流电容、变流器功率器件寿命都会产生不利影响,严重时甚至造成器件的损坏,使系统瘫痪^[11-12]。

针对背靠背 PWM 变流器直流侧能量不平衡与电压波动问题,最直接的方法是增加直流电容的容值,但会降低变流装置的功率密度,增大体积和成本,而且动态响应速度变慢^[12]。国内外学者先后提出过多种改进控制方案以提高直流电压稳定性。文献^[13]采用过调制策略解决电网电压骤升引起的能

量失衡,此方法只能解决电网电压骤升故障且在电压上升幅度较大时失效。文献^[14-15]基于直流电容电流直接控制策略,以稳定直流电压作为系统首要控制目标;文献^[16-17]采用主从控制方式,以双 PWM 变流器中的能量输入变流器作为主单元,另一个作为从单元跟随主单元功率变化。以上2种方法存在同样的问题,即将2个变流器的控制系统耦合在一起,使直流侧的解耦功能失去意义,同时控制复杂度和控制设计实现难度均增大。还有一类方案采用电流反馈方法^[11],以及基于该方法的改进方法^[18-20],电流反馈方法最先出现在传统的用于电机驱动的双 PWM 系统中,该方法通过将负载(电机)电流的跳变反馈至能量供给方即电网,以实时平衡直流侧能量,然而该方法不仅无法完全平抑负载跳变带来的波动,而且在电网电压出现故障时无法保证直流侧的稳定。基于该方法的一些改进方法虽然一定程度上解决了电网波动带来不平衡的问题,然而都是适用于电机或其他交流负载驱动的系统,只能解决电网电压小幅波动带来的冲击,对于功率不稳定度极高、电网电压故障频发且故障幅度大的风电系统而言并不适用。

本文通过建立 PMSG 风力发电双 PWM 变流器模型^[5],分析直流侧能量波动的来源,并基于小信号模型分析,从能量与功率平衡的角度出发,提出了一种网侧变流器的电流补偿控制策略。网侧变流器的有功电流指令不是传统的通过直流电压直接调节,而是基于能量平衡的直流侧、风机侧变流器、网侧变流器三者协调的结果,其中直流侧电压、风机侧变流器电压和电流、网侧变流器电压的变化都能实时反映到网侧变流器的有功输出变化上,结合对网侧变流器的输出电流限制的考虑,在风机输出功率波动时实现能量平衡,并且可以最大限度地利用变流器的容量,协助风机的电压故障穿越。仿真和实验结

收稿日期:2015-05-27;修回日期:2016-03-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51177147)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51177147)

果表明,该控制方法不仅可在风机正常能量波动时平抑直流侧电压波动,还可在电网电压轻度故障时完全实现故障穿越,即使在严重电压故障下也能协助实现故障穿越,同时直流电容的容量要求减少,降低了体积和成本并提高了变流器的功率密度。

1 系统建模

全功率 PMSG 风力发电系统拓扑和功率流动如图 1 所示,系统主要由风机、PMSG、机侧变流器、直流母线和网侧变流器构成。风力机将捕获的风能转化为机械能,驱动 PMSG 产生电能,再经全功率背靠背变流器将电能送入电网。

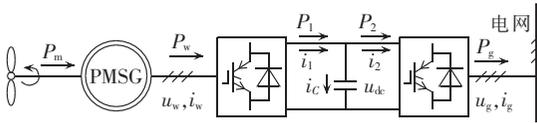


图 1 PMSG 风力发电系统功率流示意图

Fig.1 Schematic diagram of power flow of PMSG wind power system

基于开关功率变流的三相 PWM 变流器等效模型和忽略涡流、齿槽效应的 PMSG 内部等效模型如图 2 所示。其中, L_s 为电机的等效电感; R 为等效内阻; e_{abcf} 为电机感应电动势; u_{wabcf} 为定子电压。

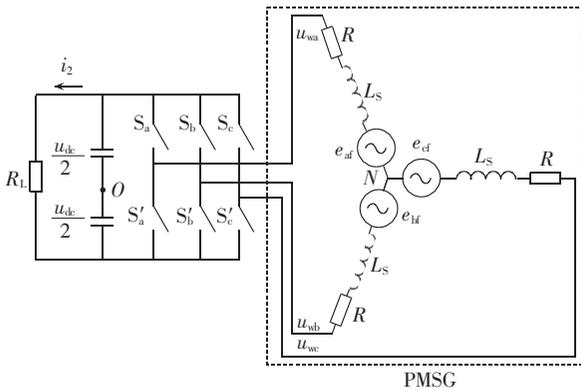


图 2 机侧变流器与 PMSG 模型

Fig.2 Model of motor-side converter and PMSG

由图 2 的等效电路可列出基于基尔霍夫电压和电流定律的回路方程如下:

$$\begin{cases} L_s \frac{di_{wa}}{dt} + Ri_{wa} = e_{af} - (u_{wa} + u_{NO}) \\ L_s \frac{di_{wb}}{dt} + Ri_{wb} = e_{bf} - (u_{wb} + u_{NO}) \\ L_s \frac{di_{wc}}{dt} + Ri_{wc} = e_{cf} - (u_{wc} + u_{NO}) \\ C_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} = \sum_{k=a,b,c} i_{wk} s_k - i_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, s_k 为开关函数; i_{wk} 为定子电流; i_2 为等效负载电流; u_{NO} 为电机中点到逆变器电容中点电压; C_{dc} 为直流电容。

经过 dq 变换得到系统在 dq 坐标系下的数学模型^[5]如下:

$$\begin{cases} C_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3}{2} (i_{wq} s_q + i_{wd} s_d) - i_2 \\ L_s \frac{di_{wq}}{dt} + \omega_e L_s i_{wd} + Ri_{wq} = e_q - u_{wq} \\ L_s \frac{di_{wd}}{dt} - \omega_e L_s i_{wq} + Ri_{wd} = e_d - u_{wd} \end{cases} \quad (2)$$

其中, ω_e 为电气转速; $u_{wd}, u_{wq}, i_{wd}, i_{wq}, e_d, e_q$ 分别为电机电压、电流、电动势的 d 轴和 q 轴分量; s_d, s_q 分别为开关函数的 d, q 轴分量。机侧逆变器的电流控制即可通过式(2)得到,采用 $i_{wq}=0$ 单位功率因数控制^[5],在等量 dq 变换下机侧变流器的输入功率为:

$$\begin{cases} P_w = \frac{3}{2} u_{wd} i_{wd} \\ Q_w = -\frac{3}{2} u_{wd} i_{wq} \end{cases} \quad (3)$$

其中, P_w, Q_w 分别为 PMSG 输入有功和无功功率。在单位功率因数控制下,电机侧变流器通过对 i_{wd} 的控制来实现 PMSG 的转矩控制并实现最大功率点跟踪。另外网侧变流器的 d, q 轴电压方程为:

$$\begin{cases} u_{gd} = u_{id} - R_g i_{gd} - L \frac{di_{gd}}{dt} + \omega Li_{gq} \\ u_{gq} = u_{iq} - R_g i_{gq} - L \frac{di_{gq}}{dt} - \omega Li_{gd} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $u_{gd}, u_{gq}, i_{gd}, i_{gq}$ 分别为电网电压和电流 d, q 轴分量; u_{id}, u_{iq} 分别为逆变器输出电压 d, q 轴分量; ω 为电网电压角频率; L 和 R_g 分别为并网电感和等效内阻。

类似的功率关系在网侧也成立,即有:

$$\begin{cases} P_g = \frac{3}{2} u_{gd} i_{gd} \\ Q_g = -\frac{3}{2} u_{gd} i_{gq} \end{cases} \quad (5)$$

其中, P_g, Q_g 分别为网侧变流器有功和无功功率。

2 PMSG 全功率风电系统功率平衡分析

PMSG 全功率系统的功率流如图 1 所示,风电系统的整体目标是捕捉最大功率的风能,并通过机电系统将风能转换为电能输入电网,系统稳定运行的基础是功率流的稳定。图 1 中,风机产生的机械功率 P_m 经过 PMSG 和最大功率点跟踪策略转换为电功率 P_w, P_w 通过机侧变流器输入到直流侧转化为直流侧输入功率 P_1, P_1 经过直流侧传递为网侧变流器的输入功率 P_2 ,最终通过网侧变流器将电功率 P_g 输入到电网中。

稳态时,在忽略变流器损耗和线路损耗的情况下系统功率平衡,系统功率关系为 $P_w = P_1 = P_2 = P_g$ 。风电作为新能源,其不稳定特性体现在机械功率 P_m 的随

风力机,桨距角 0° ,额定风速 12 m/s ,转动惯量 $10\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$,额定转速 3.7 rad/s ;永磁电机,额定功率 750 kW ,额定电压 690 V ;变流器,直流母线电容 $2\,000 \mu\text{F}$,母线电压 $1\,250 \text{ V}$,开关频率 $f_s = 3 \text{ kHz}$,撬棒电阻 $R_{dc} = 2.6 \Omega$;三相电网,电网线电压 690 V , $f = 50 \text{ Hz}$ 。

其中,机侧变流器采用单位功率因数控制,由最大功率点跟踪控制策略得到有功功率指令,按需要调节无功功率指令,通过设定输入风速的变化调节风力机功率变化。网侧变流器实现直流稳压和电网有功无功电流的控制,有功电流的补偿控制方式如图 3 所示。

需要说明的是,这里撬棒电路采用滞环控制的方式协助风机实现低电压穿越,具体控制方式参考文献[8]所述。以下分别就风机输出能量变化和电压跌落故障 2 种情况进行仿真,以验证本文所提出策略的性能。

4.1 风机功率变化工况

图 4 所示为风机输出功率由 240 kW 突增至 750 kW 再突降到 360 kW 时,不同控制方式下系统的直流电压响应情况。图 4(a)为电网电流变化情况,在 0.2 s 时刻,风机输出功率突增,电网电流增大,而在 0.3 s 时刻,风机输出功率突降,电流减小,由于瞬时的能量不平衡,突变过程均导致直流侧电压发生突变。

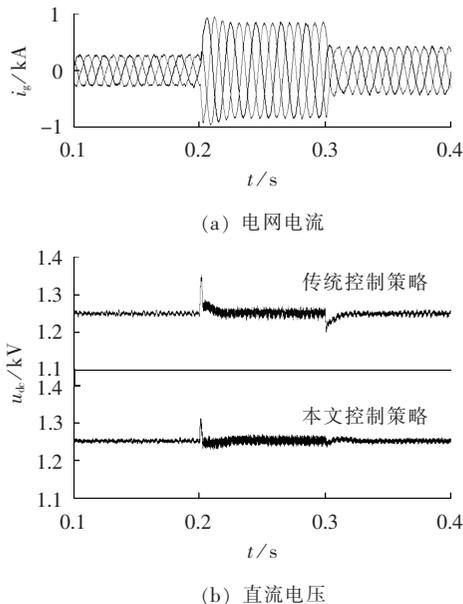


图 4 机侧输出功率变化时不同策略下的直流电压响应
Fig.4 Response of DC-side voltage to motor-side output power variation, for two control schemes

从仿真结果可以看出, 0.2 s 时刻,在传统电流策略下,电压瞬时最大值达到了 $1\,360 \text{ V}$,并且经过近 20 ms 才恢复到电压额定值;而在本文所提出的控制

策略下,电压瞬时最大值仅为 $1\,310 \text{ V}$,而且经过仅 2 ms 就恢复了额定电压值,电压波动幅度减少 45% 左右,调节速度快 10 倍左右。 0.3 s 时刻的响应情况与 0.2 s 时刻类似,证明采用本文所提出的控制策略可以大幅改善动态性能。

4.2 电网电压故障工况

图 5—7 为电网发生电压跌落故障时的仿真结果,所有的电压跌落仿真均设定发生在风机额定功率输出的情况下。

图 5 为电网电压发生轻度跌落(跌落 30% 幅度)时的仿真结果。图 5(a)表示电网电压在 0.15 s 时刻发生跌落并且在 0.25 s 时刻恢复,图 5(b)为电网电流的响应情况,电压跌落瞬间的不平衡能量导致网侧变流器输出到电网的电流增大,但由于跌落幅度不大,输出电流未达到限制值,不用开启直流侧撬棒电阻即可实现穿越。此时从图 5(c)可以看出在本文所提出的控制策略下,直流电压几乎没有发生波动;而传统控制方法在电压跌落及恢复时刻都发生了一定程度的波动。

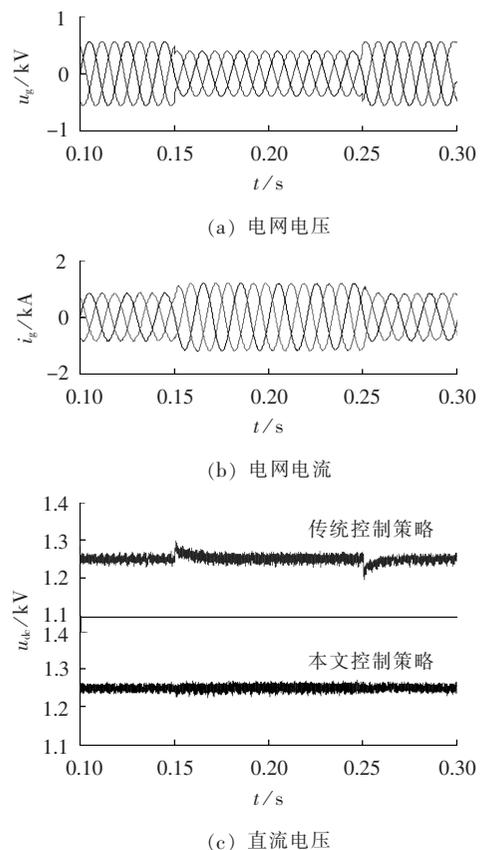


图 5 电网电压跌落 30% 时不同策略下的直流电压响应
Fig.5 Response of DC-side voltage to grid voltage drop by 30% , for two control schemes

图 6 和图 7 所示为电网电压发生 60% 幅度的电压跌落时,2 种控制策略对应的系统响应情况。电网电压在 0.15 s 时刻发生跌落并且在 0.25 s 时刻

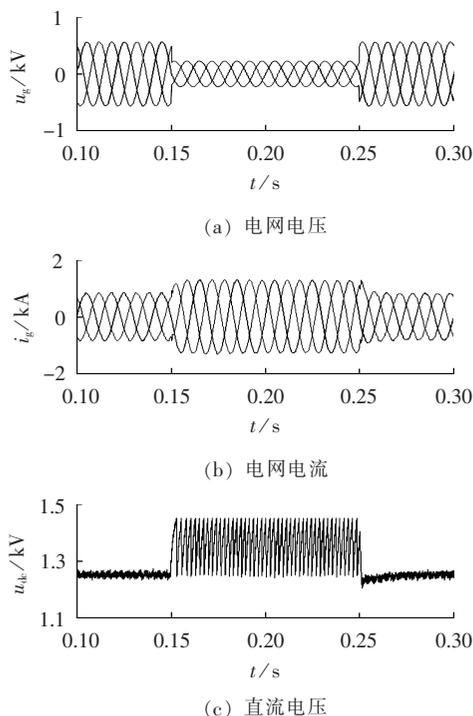


图 6 电网电压跌落 60% 时传统策略下的系统响应
Fig.6 System response to grid voltage drop by 60% for traditional control scheme

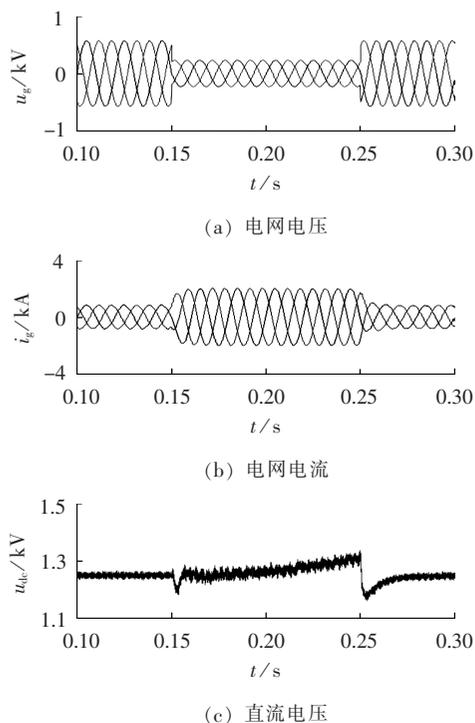


图 7 电网电压跌落 60% 时所提策略下的系统响应
Fig.7 System response to grid voltage drop by 60% for proposed control scheme

恢复,图 6 为传统控制方式下的系统响应,由于不存在瞬时补偿控制措施,网侧变流器输出能力没有充分发挥,电压跌落瞬间直流侧能量迅速堆积,电压很快达到设置的撬棒电阻投入上限 1450 V,并且在之

后为平衡能量而频繁投入和切出,此方法虽能帮助风机实现较大幅度的电压故障穿越,但是没有充分利用变流器的容量,并且频繁的投切过程无论对撬棒电路本身还是对直流侧电容和功率模块而言,都应该尽可能避免。

图 7 所示为电压跌落 60% 幅度并恢复的动态过程中,采用本文提出的控制策略的动态响应情况。本文将输出电流幅值上限设置在 2 kA(实际情况可根据器件选型、线路情况进行调整),由图 7 可见当电压跌落时,在本文控制策略下,输出电流的幅值在瞬间不平衡能量作用下很快达到了限定的最大值,最大限度地发挥了网侧变流器的输出能力,将尽可能多的直流侧多余能量送入电网,使直流电压并未到达撬棒电路的保护上限值,直流电容平缓地吸收多余能量,在电网电压恢复后直流电压很快恢复到了额定值,整个过程中直流电压波动小,无需投入撬棒电阻,平稳实现了大幅度的电网电压跌落故障的穿越。

5 实验结果

在上述理论分析和仿真分析的基础上,搭建了实验样机以验证理论的正确性。样机的参数和仿真参数保持一致,功率模块采用 Semikron 公司的 SKiP2403GB172-4DW,控制系统基于 TI 公司 F2812 系列 DSP 芯片,采用 380 V 电网配电线连接 380 V/690 V 变压器和调压器调压来模拟永磁电机进行功率输出,网侧变流器通过另一 380 V/690 V 变压器接入电网。

在电网电压 200 V 的条件下进行实验,直流电压指令的额定值为 320 V,图 8 所示为机侧变流器电流指令从 0 跳变到 20 A 时机侧 a 相电流和直流

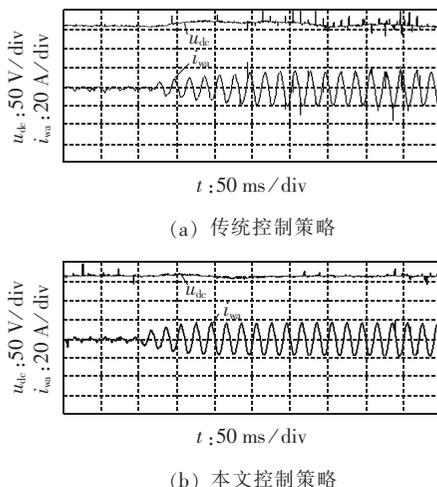


图 8 机侧电流指令从 0 跳变到 20 A 时直流电压响应
Fig.8 Response of DC-side voltage to motor-side current step change from 0 to 20 A

侧电压变化情况。其中,图 8(a)为传统控制策略时的实验波形,由图中可以看出当机侧功率突变时直流电压出现了 20 V 左右的波动并且持续了 300 ms 以上;图 8(b)中,同样将机侧电流指令由 0 A 突变到 20 A,在本文策略下电压基本保持稳定没有出现波动,由此证明了其正确性和有效性。

6 结语

本文针对 PMSG 全功率风力发电背靠背 PWM 系统中直流侧电压波动影响系统稳定运行的问题,提出了一种基于功率平衡的网侧变流器有功电流补偿控制策略。仿真和实验结果表明:该控制策略简单易实现,兼顾了系统中影响直流侧功率平衡的多个因素,可以在风机功率波动、电网电压故障情况下快速平衡功率流,平抑直流侧电压波动,提高了直流侧电压稳定性,并可降低系统对直流电容容量的要求,具有工程实用价值。

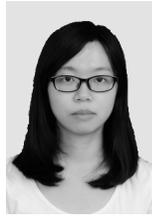
参考文献:

- [1] ZHE C, GUERRERO J M, BLAABJERG F. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(8): 1859-1875.
- [2] 龚文明, 胡书举, 许洪华. 一种适用于大型风电场实时仿真的双馈风力发电机响应模型[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(4): 114-119.
GONG Wenming, HU Shuju, XU Honghua. Response model of DFIG for real time simulation of large scale wind farms[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(4): 114-119.
- [3] 王天钰, 魏星, 徐家俊, 等. 考虑输入饱和的直驱式永磁同步风力发电系统最大功率跟踪控制[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(7): 113-119.
WANG Tianyu, WEI Xing, XU Jiajun, et al. MPPT control considering input saturation for D-PMSG system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(7): 113-119.
- [4] BALOGUN A, OJO O, OKAFOR F. Decoupled direct control of natural and power variables of doubly fed induction generator for extended wind speed range using feedback linearization[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2013, 1(4): 226-237.
- [5] 杨恩星. 低速永磁直驱风力发电变流器若干关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
YANG Enxing. Research on key aspects in power converter for direct-drive low speed pmsg wind generation system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [6] 栗然, 王倩, 卢云, 等. Crowbar 阻值对双馈感应发电机低电压穿越特性的影响[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(4): 101-107.
LI Ran, WANG Qian, LU Yun, et al. Impact of Crowbar resistance on low voltage ride through of DFIG[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(4): 101-107.
- [7] 胡书举, 李建林, 许洪华. 永磁直驱风电系统变流器拓扑分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(4): 77-81.
HU Shuju, LI Jianlin, XU Honghua. Analysis of converter configuration for direct-drive wind power system with PMSG[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(4): 77-81.
- [8] 田野, 王冕, 张艺彬, 等. 机电储能永磁同步发电机低电压穿越控制策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(7): 17-21.
TIAN Ye, WANG Mian, ZHANG Yili, et al. A low voltage ride through control strategy for PMSG based on electromechanical energy storage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(7): 17-21.
- [9] 杜雄, 李珊瑚, 刘义平, 等. 直驱风力发电故障穿越控制方法综述[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(3): 129-135.
DU Xiong, LI Shanhu, LIU Yiping, et al. Review of fault ride-through control for direct drive wind turbine[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(3): 129-135.
- [10] WANG M, TIAN Y, FENG X, et al. A hybrid LVRT control scheme for PMSG wind power system[C]//2012 7th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC). Harbin, China: [s.n.], 2012: 1173-1177.
- [11] JUNG J, LIM S, NAM K. A feedback linearizing control scheme for a PWM converter-inverter having a very small DC-link capacitor[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1999, 35(5): 1124-1131.
- [12] WANG H, CHUNG H S, LIU W. Use of a series voltage compensator for reduction of the DC-link capacitance in a capacitor-supported system[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(3): 1163-1175.
- [13] BURGOS R P, WIECHMANN E P. Extended voltage swell ride-through capability for PWM voltage-source rectifiers[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(4): 1086-1098.
- [14] GU B, NAM K. A DC-link capacitor minimization method through direct capacitor current control[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42(2): 573-581.
- [15] 戴鹏, 朱方田, 朱荣伍, 等. 电容电流直接控制的双 PWM 协调控制策略[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊 1): 136-141.
DAI Peng, ZHU Fangtian, ZHU Rongwu, et al. Direct control of capacitor current for AC-DC-AC PWM converter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(Supplement 1): 136-141.
- [16] HUR N, JUNG J, NAM K. A fast dynamic DC-link power-balancing scheme for a PWM converter-inverter system[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001, 48(4): 794-803.
- [17] 王锋, 姜建国. 风力发电机用双 PWM 变换器的功率平衡联合控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(22): 134-139.
WANG Feng, JIANG Jianguo. Research of power-balancing combined control scheme for back to back PWM converters used in the wind generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(22): 134-139.
- [18] 李时杰, 李耀华, 陈睿. 背靠背变流系统中优化前馈控制策略的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(22): 74-79.
LI Shijie, LI Yaohua, CHEN Rui. Study of the optimum feed-forward control strategy in back-to-back converter system[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(22): 74-79.
- [19] 廖勇, 庄凯, 姚骏, 等. 直驱式永磁同步风力发电机双模功率控制策略的仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(33): 76-82.
LIAO Yong, ZHUANG Kai, YAO Jun, et al. Dual-mode power control strategy simulation study of direct-driven permanent magnet synchronous generator for wind turbine[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(33): 76-82.
- [20] YIN L, ZHAO Z M, LIU T, et al. An improved DC-link voltage

- [18] CUI Hongyan, FENG Chen, LIU Yunjie. Analysis of prediction performance in wavelet minimum complexity echostate network [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2013, 20(4):59-66.

作者简介:

李 乐(1990—),女,四川乐山人,硕士研究生,研究方向



李 乐

为微电网通信技术、风电功率预测(E-mail: sculile@163.com);

刘天琪(1962—),女,四川成都人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力系统分析计算与稳定控制、调度自动化、高压直流输电智能网(E-mail: tqliu@sohu.com)。

PV power forecasting based on AP-ESN

LI Le, LIU Tianqi

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The influence of weather on the PV(PhotoVoltaic) output power is analyzed. The weather information by the mature forecasting technologies and the PV fluctuant components reflecting the variation tendency of PV output power are selected as the classification properties. As the accuracy of traditional forecasting algorithm is low when weather changes suddenly, an algorithm based on AP(Affinity Propagation) and ESN(Echo State Network) is proposed, which applies AP to classify PV output power and sets the ESN according to its class of the day concerned for forecasting its PV output power. Simulation shows that, with higher accuracy and universality, the proposed algorithm meets the requirements of PV output power forecasting for normal weathers and traces quite well the variation of PV output power for abnormal weathers.

Key words: PV power generation; forecasting; fluctuant components; affinity propagation; echo state network; clustering algorithms

(上接第 33 页 continued from page 33)

fast control scheme for a PWM rectifier-inverter system[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(1):462-473.

作者简介:

王 冕(1990—),男,贵州印江人,博士研究生,主要研究方向为新能源并网发电中的电力电子技术(E-mail: wzcj@zju.edu.cn);



王 冕

陈国柱(1967—),男,湖北鄂州人,教授,博士研究生导师,研究方向为电能质量控制技术、新能源并网发电技术、电力电子在电力系统中的应用技术等。

DC energy balance scheme for back-to-back PWM converters of wind power system

WANG Mian, CHEN Guozhu

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Wind energy fluctuation and grid voltage fluctuation are main factors causing the DC-side power fluctuation of PMSG(Permanent Magnetic Synchronous Generator) wind power system based on the back-to-back PWM converters, which are analyzed in terms of energy balance. Based on the small signal model, a control scheme of output current compensation for the grid-side converter is proposed according to the power balance relationship. Simulative and experimental results validate that, the proposed scheme not only stabilizes the DC-side voltage during wind energy fluctuation, but also makes full use of the converter capacitor during grid voltage fault to achieve the fault ride through of wind power system and reduce the capacity of DC-side capacitor.

Key words: wind power; PMSG; back-to-back PWM converter; DC-bus voltage stabilization; electric current control; compensation; fault ride through