

动态电压恢复器在双馈风电机组故障穿越中的应用

凌 禹

(山西大同大学电气工程系, 大同 037003)

摘 要: 考虑到动态电压恢复器(dynamic voltage restore, DVR)能在短时间内恢复电压的特点,该文研究了DVR协助双馈机组(doubly fed induction generator, DFIG)成功穿越全电压故障的能力。首先,针对双馈机组,选择合适的DVR拓扑结构及其补偿策略,分析DVR的控制策略,并提出采用单环电压反馈控制的策略。最后,利用PSCAD/EMTDC专业仿真软件搭建详细的仿真平台,实验结果表明在DVR的保护下双馈机组能成功穿越低压、零压和高压故障,尤其是其瞬态性能大为改善。

关键词: 风力发电; 保护电路; 瞬态; 双馈感应电机; 动态电压恢复器; 故障穿越

中图分类号: TM614

文献标识码: A

0 引 言

风电大规模并网运行给电网安全和稳定带来较大的挑战。因此,新的电网导则要求接入电网运行的风电机组应保证具备故障穿越(fault ride through, FRT)能力,甚至在故障切除后能向电网提供无功以支撑电网电压恢复^[1]。

事实上,所有风电机组都要面对FRT的问题。只不过双馈感应电机(DFIG)机组的FRT问题最为严重。主要是因为其定子绕组与电网直接相连导致的对电网扰动,尤其是电压跌落的敏感性。突然的电网电压跌落将导致DFIG转子电流幅值高达5~10倍额定值,甚至更高^[2],极易造成变换器的损坏,影响双馈机组的不间断并网运行。

因此,提高DFIG机组的FRT能力已成为当前研究的热点问题。目前,主要的FRT技术有改进的矢量控制方案^[3,4]、直接功率控制的改进方案^[5,6]和非线性控制^[7]等。这些方案由于受转子侧变换器能力所限仅能满足机组穿越跌落程度较轻的电压故障。电压故障严重时,必须求助于额外的硬件电路,比如定子串电阻保护^[8]、转子串电阻保护^[9]等。

目前,撬棒保护是一种已商用的FRT技术。其能够抑制故障期间双馈电机的转子过电流,保证双馈机组连续的并网运行^[10]。但撬棒存在电机失控和吸收无功的问题。在机组遭受不对称电压故障时出现有功和电磁转矩的二倍频振荡和直流侧纹波问题时,撬棒也无能为力。但鉴于篇幅的问题,本文不讨论不对称的情况。

考虑到动态电压恢复器(DVR)能在短时间(几毫秒)内恢复电压故障的能力,本文考虑采用DVR提高双馈机组的故障穿越能力^[11-13]。文献[11]针对的是恒速异步风力发电机组,文献[12,13]研究的是双馈机组,但其重点放在了DVR控制策略的研究上。而本文在上述文献的基础上,针对双馈机组这一特定目标,将详细介绍DVR拓扑结构、补偿策略及参数等的选择,并讨论和简化DVR的控制策略,使得DVR的控制更简单,更具实用性,而其性能并未受到实质性的影响。也就是说,在DVR的保护下,双馈机组能够成功穿越全电压故障,并获得理想的瞬态特性。最后,基于PSCAD/EMTDC仿真软件搭建的详细仿真平台,验证所提方案的有效性和可行性。

收稿日期: 2016-02-18

基金项目: 山西省自然科学基金(2015011065); 大同市基础研究项目(2015112)

通信作者: 凌 禹(1975—), 男, 博士、副教授, 主要从事风力发电方面的研究。pleasurely@126.com

1 系统描述

基于 DVR 的双馈风电机组系统拓扑结构见图 1。DFIG 系统主要由风轮、齿轮箱、双馈电机、背靠背相连的转子侧变换器 (rotor side converter, RSC) 和网侧变换器 (grid side converter, GSC) 以及

变换器保护电路等组成。电机的定子绕组与电网直接相连, 转子绕组通过变换器接入电网, 以实现机组四象限变速运行。而 DVR 则由注入变压器串入双馈机组和电网之间。关于双馈机组的控制可参考文献[14], 这里不再赘述。

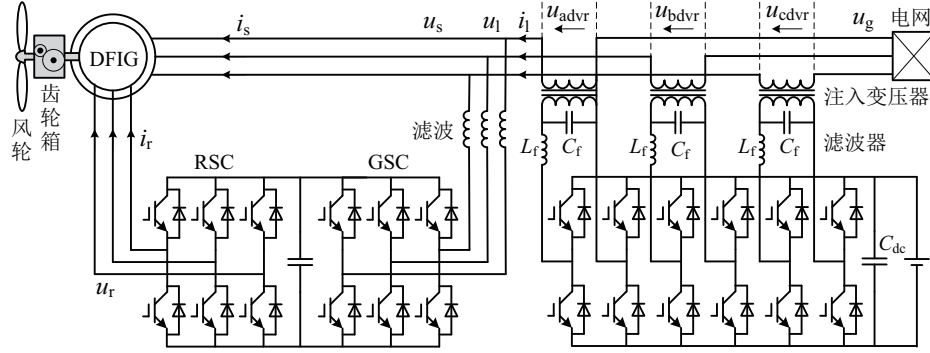


图 1 DVR 保护下的双馈机组结构

Fig. 1 Topology of a DFIG wind turbine with DVR

1.1 DVR 拓扑结构选择

如图 1 所示, DVR 由 3 个单相全桥结构组合而成, 具有三相之间无耦合、电路相对独立、控制较为简单、成本低以及响应速度和精度高的优点, 缺点是结构分散和体积较大^[15]。图 1 中, i_s 、 i_l 、 i_r 分别为定子电流、负载电流和转子电流; u_s 、 u_l 、 u_r 、 u_g 分别为定子电压、负载电压、转子电压和电网电压; u_{advr} 、 u_{bdvr} 、 u_{cdvr} 分别为动态电压恢复器输出 a、b、c 三相电压; C_f 、 C_{dc} 分别为动态电压恢复器输出滤波器电容和直流侧稳压电容; L_f 为动态电压恢复器输出滤波器电感。为了改善补偿能力, 直流单元采用储能系统, 而滤波器则选择常用的 T 型低通滤波器。在电压正常时, 系统无需电压补偿, 此时 DVR 输出电压为零, 双馈机组在最大风能跟踪 (MPPT) 工况下运行。当电压跌落或升高时, DVR 输出合适的补偿电压, 维持双馈机组端电压稳定, 起到隔离电压故障的作用。

1.2 DVR 补偿策略选择

依据负荷的特点及其控制要求, DVR 的补偿策略有跌落前电压补偿、同相位电压补偿和最小能量补偿^[16]3 种。其中, 跌落前电压补偿指补偿后的电压可完全恢复至电压变化前的值, 适应于对相位和幅值变化均较敏感的负荷。

对于双馈机组而言, 不仅对电压故障敏感, 而

且对电压故障时产生的相角跳也较为敏感^[17]。因此, 本文采用跌落前电压补偿的策略。

1.3 DVR 主电路参数选择

DVR 工作时, 主电路的参数至关重要。不合适的参数选择, 可能会影响 DVR 的补偿性能, 甚至影响到成本^[18]。

1.3.1 DVR 额定功率

通常, 依据需补偿电压跌落的深度来确定 DVR 的额定功率。按照文献[12], DVR 的额定功率 P_{dvr} 为:

$$P_{dvr} = \left(\frac{U_1 - U_2}{U_1} \right) P_{DFIG} \quad (1)$$

式中, U_1 ——正常时的线电压有效值; U_2 ——故障时的线电压有效值; P_{DFIG} ——双馈电机额定功率。

1.3.2 直流母线电压和电容容量

DVR 通过逆变产生所需电压。因此, 逆变器交流侧输出单相电压峰值 $U_{i,max}$ 不能小于需补偿电压的峰值 $U_{dvr,max}$, 设变压器变比为 1:1, 则有^[18]:

$$U_{i,max} \geq U_{dvr,max} \quad (2)$$

根据逆变器单臂峰值电压输出率的定义, 输出的最大单相峰值电压为^[18]:

$$U_{i,max} = (n/N) K_{MVP} U_{dc} \quad (3)$$

对于图 1 所示 DVR 结构而言, 逆变器可独立控制的相数 N 为 3, 桥臂数 n 为 6, 单臂峰值电压输出

率 K_{MVP_L} 为 0.5, 依据式(2)和式(3)可知直流电压 U_{dc} 为:

$$U_{dc} \geq U_{dvr, max} \quad (4)$$

为了稳定电压突变时直流侧电压, 电容容量必须满足式(5)^[18]:

$$C \geq \Delta P_{max} t_{s, max} / (U_{dc} \Delta U_{dc, max}) \quad (5)$$

式中, ΔP_{max} ——DVR 电路功率损耗的最大变化量; $t_{s, max}$ ——电压控制环最大调节时间; $\Delta U_{dc, max}$ ——允许的直流电压波动最大值。

1.3.3 输出滤波器参数

为尽可能减小电感支路上的基波压降, 并提高 DVR 的响应速度, 应尽量选择较小电感值。因此在选择滤波器电感的参数时, 可根据式(6)限定条件初步选出电感值^[16]。

$$U_{L_i} = \omega_1 L_i I_e \leq k U_e, \quad k = 5\% \sim 20\% \quad (6)$$

式中, U_{L_i} ——滤波电感基波压降; U_e ——DVR 额定电压; I_e ——DVR 额定电流; ω_1 ——基波频率。

确定滤波电感后, 可依据滤波器谐振频率必须远大于电网频率的条件选出滤波电容的值, 即:

$$\omega_1^2 L_i C_f \leq 1 \quad (7)$$

需注意, 在电路的实际应用中还需对理论值做适当调整以保证滤波效果。

2 DVR 的数学模型及其控制策略

2.1 DVR 的数学模型

在图 1 所示的 DVR 结构中, 忽略变压器的励磁电流和漏抗, 设变比为 1:1, 不考虑负载特性的差异, 其可等效为一电流源。DVR 简化模型如图 2 所示。依此, 可得状态方程^[15, 18]:

$$C_f \frac{du_{C_f}}{dt} = i_{C_f} = i_{L_i} - i_l \quad (8)$$

$$L_i \frac{di_{L_i}}{dt} = -i_{L_i} R_f - u_{C_f} + u_i \quad (9)$$

式中, u_{C_f} ——滤波电容两端的电压; R_f ——等效电阻; u_i ——逆变器输出电压; i_l ——负载电流。

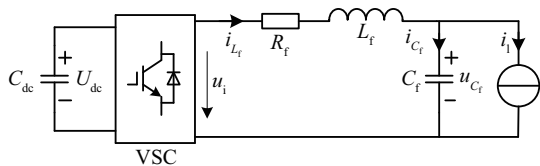


图2 DVR 简化模型

Fig. 2 DVR simplified model

2.2 DVR 控制策略

维持双馈机组机端电压的稳定是 DVR 控制的主要目的。前馈电压控制是广泛使用的 DVR 控制方式之一, 具有简单、稳定性好、动态响应快的优点, 但其补偿性能受电网电压影响较大, 适应负载能力较弱、补偿效果差、精度不高^[19]。而在电压反馈控制中, 负荷侧电压或 DVR 补偿电压均可作为反馈信号, 其响应速度快并能准确跟踪参考指令, 但控制器参数整定复杂, 并与负载有关。此外, 还有双环控制的方法, 包括一个电感或电容电流的内环控制和一个电压外环控制, 其鲁棒性好、系统响应较快^[20]。然而, 文献[21]认为 DVR 可控制输出滤波器两端的电压降, 因此电感电流作为内环控制并不是必须的。而文献[13]认为, 对于双馈风电机组, DVR 电感电流控制的存在将引起冲突, 原因是流过 DVR 注入变压器的电感电流和双馈机组的输出电流是一致的, 而双馈风电机组的输出功率刚好由该电流控制。基于上述分析, 本文采用更为简单有效的电压单环控制。

2.2.1 补偿参考电压

按照上述选出的电压补偿策略, DVR 补偿参考电压的空间矢量 $u_{d-qdvr, ref}$ 为:

$$u_{d-qdvr, ref} = u_{d-qg, ref} - u_{d-qg} \quad (10)$$

式中, $u_{d-qdvr, ref}$ ——电网参考电压空间矢量; u_{d-qg} ——电网电压空间矢量; 下标 $d-q$ ——表示同步旋转坐标系。

2.2.2 电压控制

采用 PI 控制器, 其在 $d-q$ 同步旋转坐标系下的传递函数可表示为:

$$u_{d-qi, ref}(s) = (u_{d-qdvr, ref}(s) - u_{d-qdvr}(s)) G_{PI}(s) \quad (11)$$

$$G_{PI}(s) = k_p + (k_i/s) \quad (12)$$

式中, $u_{d-qi, ref}$ ——动态电压恢复器逆变单元输出参考电压空间矢量; k_p 、 k_i ——PI 控制器比例和积分增益, 其控制框图如图 3 所示, 图中, θ_g 为电网电压相角, $u_{\alpha g}$ 、 $u_{\beta g}$ 分别为电网电压 α 、 β 轴分量, u_{dg} 、 u_{qg} 分别为电网电压 d 、 q 轴分量, u_{ddvr} 、 $u_{ddvr, ref}$ 分别为动态电压恢复器输出电压 d 轴分量及其参考值, u_{qdvr} 、 $u_{qdvr, ref}$ 分别为动态电压恢复器输出电压 q 轴分量及其参考值。

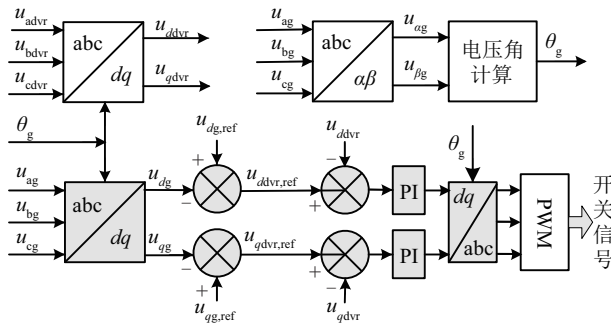


图3 DVR控制框图

Fig. 3 Schematic diagram of DVR control

3 仿真验证结果

为了验证所提方案改善双馈机组穿越故障的能力,基于仿真软件 PSCAD/EMTC 搭建如图 1 所示的模型,并进行仿真分析。相关参数为:①DFIG 参数——额定功率为 2 MW,额定电压为 690 V,频率为 50 Hz,定子电阻 $R_s=0.00488$ pu,定子漏感 $L_{ls}=0.1386$ pu,转子电阻 $R_r=0.00549$ pu,转子漏感 $L_{lr}=0.1493$ pu,互感 $L_m=3.9$ pu,惯性时间常数为 3.5 s,匝间比为 0.45;②DVR 参数——额定容量 3×0.8 MW,直流侧电容为 8200 μ F,滤波电感为 0.03 mH,滤波电容为 10000 μ F,注入变压器容量为 0.8 MVA,注入变压器电压为 690/690 V。

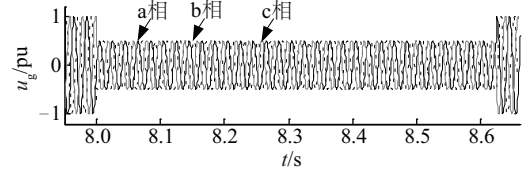
在以下仿真中,故障在 8 s 开始,风速均为 11.5 m/s。注意,在给出的电压和电流波形中,a 相、b 相和 c 相分别由黑线、虚线和灰线表示。各变量除直流侧电压外均为标么值。

首先,完成了电压跌落 50%,持续 625 ms 的低压穿越的仿真。仿真结果如图 4~图 6 所示。

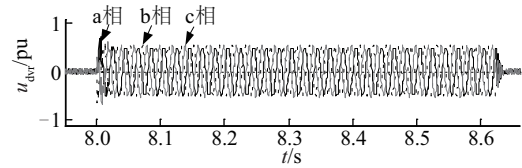
比较图 4a 和 4c 知,在 DVR 的保护下,双馈机组机端电压无论幅值还是相位均恢复到故障前的水平。正是如此,从图 5a 可看出,双馈电机转子电流在整个故障期间几乎未产生波动,仅在故障发生时和故障清除后存在一个短时的微小变化。从图 5b~图 5e 也可看出,双馈机组故障期间的瞬态性能大为改善。有功功率和转速几乎无变化,而电磁转矩和直流侧电压震荡幅度稍高,最高幅值分别约为 1 pu 和 1.22 kV,离相关限值仍有较大差距。

需要注意的是,在电压跌落时,双馈机组输出电能与电压跌落程度成比例的下降,而在 DVR 的

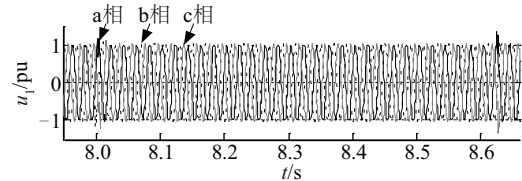
保护下,其输出有功几乎无变化,而这些导致转子过电流的多余电能刚好由 DVR 吸收。这可从图 6 给出的 DVR 输出有功无功波形看出,同时注意到,在电网正常时,其输出有功无功均为零。也就是说,在故障期间,无法输送到电网的多余电能由 DVR 吸收,从而确保能量守恒。



a. 网侧故障电压



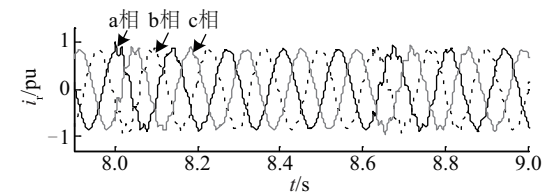
b. DVR输出电压



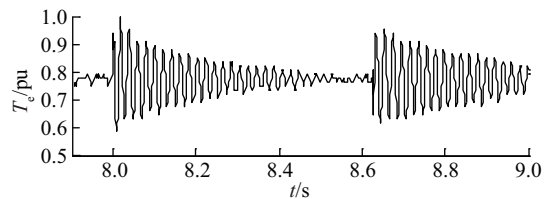
c. 双馈电机定子电压(负载电压)

图4 电网电压跌落50%时的电压波形

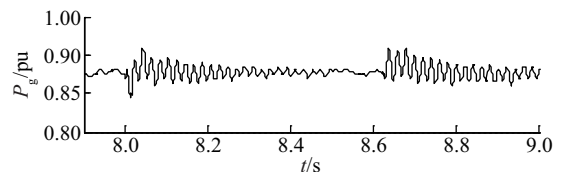
Fig. 4 Voltage waveforms when the grid voltage fall 50%



a. 转子电流



b. 电磁转矩



c. 有功功率

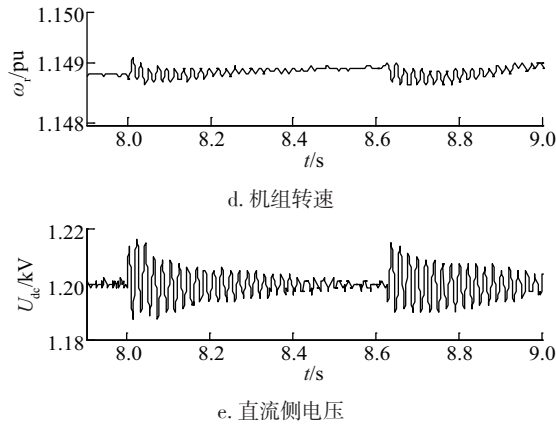


图5 电网电压跌落50%时DVR保护下双馈机组故障期间瞬态响应

Fig. 5 DFIG transient response with DVR when the grid voltage falls 50%

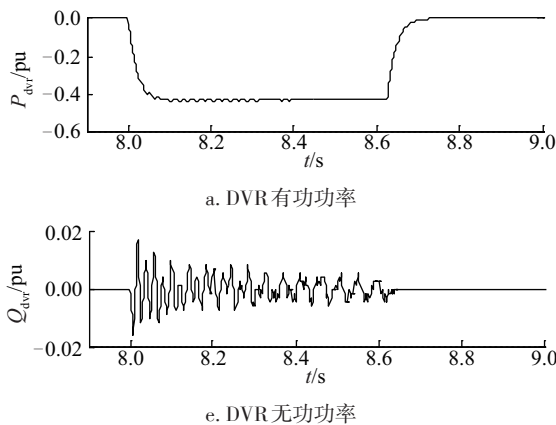


图6 电网电压跌落50%时DVR有功和无功功率

Fig. 6 DVR active and reactive power when the grid voltage falls 50%

即使电压跌落至零,在DVR的保护下,双馈机组能成功穿越该故障,瞬态性能也较为稳定。这可从图7~图9所示的仿真结果看出,在该仿真中,故障持续时间为300 ms。

由图7知,尽管电压跌落至零,DVR仍能输出足够电压,维持双馈机组机端电压的稳定性,从而保证双馈机组成功穿越零电压。和电压跌落50%时相比,不同的仅是双馈机组机端电压质量略有下降,但这并未影响到DFIG的穿越能力,仅仅使得双馈机组故障期间瞬态特性震荡幅度略有增加,仍具有良好的瞬态稳定性。这能从图8所示的双馈电机各变量的波形看出。从图8a可看出,双馈电机转子电流仅存在几个短时的微小变化,也存在一些谐波。双馈电机的其他物理量,比如有功功率、电

磁转矩、转速和直流侧电压最大幅值分别约为1.0 pu、1.4 pu、1.151 pu、1.26 kV,仍与规定的限值有较大差距(见图8b~8e)。

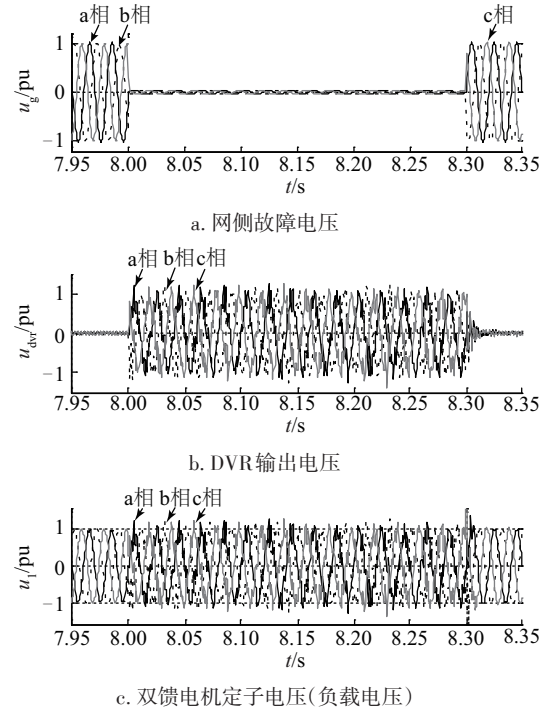
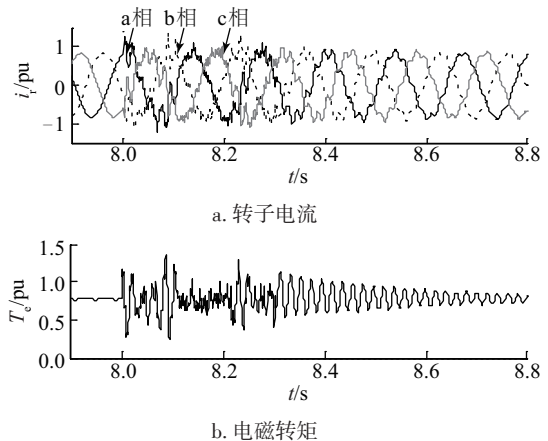


图7 电网电压跌落100%时电压波形

Fig. 7 Voltage waveforms when the grid voltage falls 100%

同样道理,如图9a所示,电压跌落至零期间,导致转子过电流的多余能量仍由DVR吸收,和电压跌落50%不同的是,仅是量上的区别,在电压跌落50%时,吸收的有功约为0.4 pu;电压跌落至零时,吸收的有功约为0.9 pu(见图9a)。根据图8c给出的双馈机组有功数据,在电压跌至零时,双馈机组输出有功全部由DVR吸收。和电压跌落50%时相比,如图9b所示,电压跌落至零时,DVR输出无功功率发生的波动较大,但也几乎没有无功的消耗。



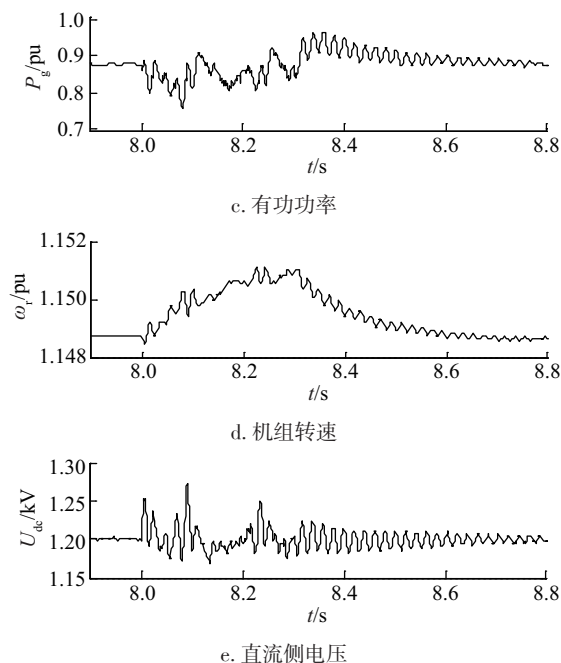


图8 电网电压跌落100%时DVR保护下双馈机组故障期间瞬态响应

Fig. 8 DFIG transient responses with DVR when the grid voltage falls 100%

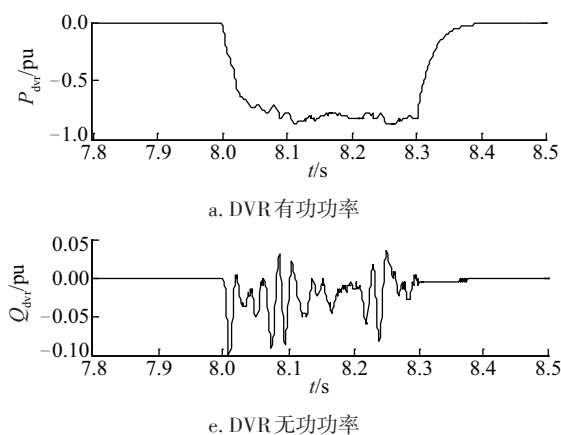


图9 电网电压跌落100%时DVR有功和无功功率

Fig. 9 DVR active and reactive power when the grid voltage falls 100%

目前,高压穿越也得到广泛关注。在DVR的保护下,双馈机组同样能够穿越高电压,并能改善瞬态性能。图10~图12给出的是电压升高30%,持续300 ms时的仿真结果。比较图10可知,DVR能够维持双馈机组遭受升压故障时机端电压的恒定,从而确保双馈机组不间断并网运行。由图11知,此时的双馈机组瞬态特性优良,转子电流、电磁转矩、转速和直流侧电压几乎无波动。

但需注意,与电压跌落不同的是,电压升高时DVR向机组提供约0.3 pu的有功(见图12)。对于DVR无功而言,无论低电压还是高压故障期间,仅存在较小的波动,故障越严重,波动幅度越大。

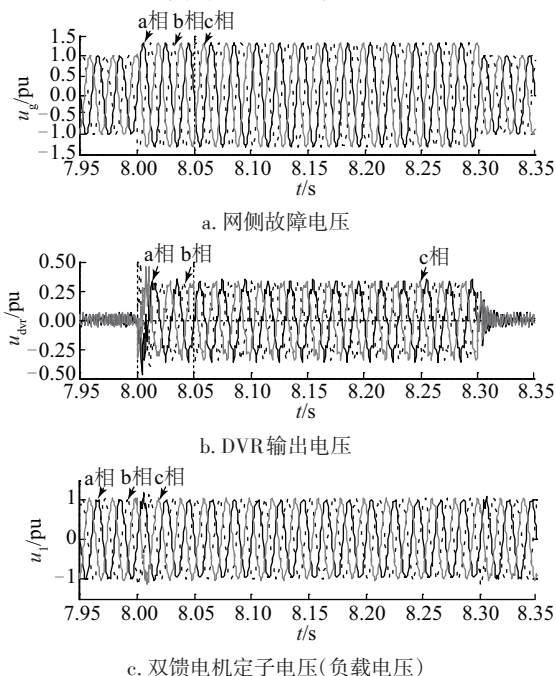
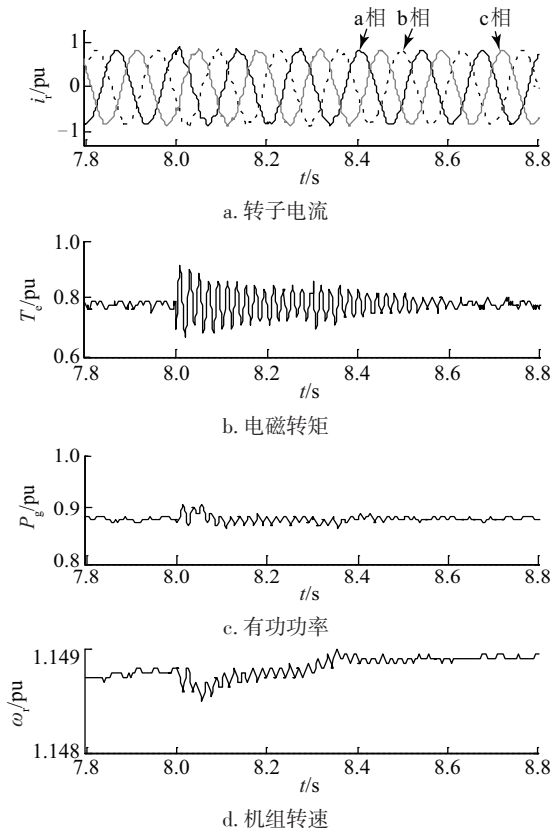
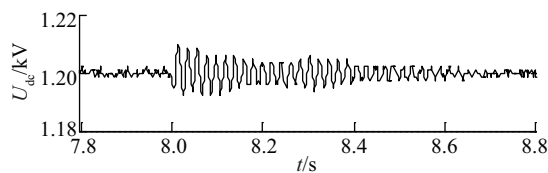


图10 电网电压上升30%时的电压波形

Fig. 10 Voltage waveforms when the grid voltage swells 30%

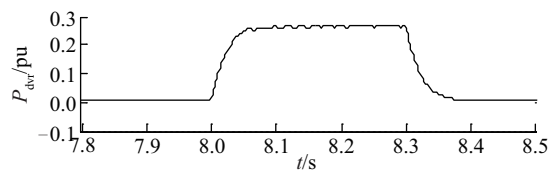




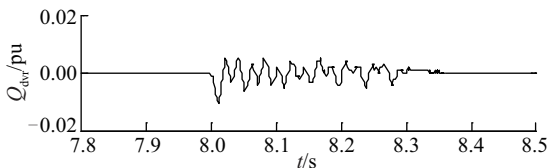
e. 直流侧电压

图 11 电网电压上升 30% 时的 DVR 保护下双馈机组故障期间瞬态响应

Fig. 11 DFIG transient responses with DVR when the grid voltage swells 30%



a. DVR 有功功率



e. 电网电压上升 30% 时的 DVR 无功功率

图 12 DVR 有功和无功功率

Fig. 12 DVR active and reactive power with DVR when the grid voltage swells 30%

按照上述仿真分析,在 DVR 的保护下双馈机组不仅能成功穿越低压、零压和高压,而且故障期间双馈机组的瞬态性能得到极大改善,远远优于撬棒保护。比如在 DVR 保护下,即使零压穿越这种最为严重的故障,有功输出也无太大的变化,最严重时仅低至 0.8 pu;系统转速也较为稳定,未超过 1.152 pu;直流侧母线电压仅出现短时的最大值 1.27 kV。事实上,在撬棒的保护下,需直流侧卸荷电路的配合才能保证直流母线电压的稳定,关于撬棒保护下双馈机组详细瞬态性能可参考文献[10],限于篇幅,这里不再赘述。换言之,双馈机组之所以在 DVR 保护下具有非常好的瞬态性能,是由于 DVR 对电网电压故障的隔离作用,相当于双馈机组未遭受电压故障,是一种主动故障穿越方案,而撬棒是一种被动故障穿越方案。

4 结 论

DVR 能在几毫秒内恢复负荷侧电压至故障前的水平。因此,对于双馈机组而言,DVR 是一种有

效的故障穿越方案。

本文针对双馈机组,详细分析 DVR 穿越方案结构、补偿策略以及参数的选择问题,并对其控制策略进行深入讨论。最后,通过仿真验证所提方案的有效性。在 DVR 的保护下双馈机组不仅能成功穿越低压、零压和高压,而且故障期间双馈机组的瞬态性能得到极大改善,性能远远优于撬棒保护。根本原因在于,该方案中 DVR 起到隔绝电压故障的作用,电压故障几乎未能影响到双馈机组的运行,是一种主动的故障穿越方案。

但对于 DVR 而言,最大缺点是成本较高,限制了它的广泛应用。因此,如何降低 DVR 的容量和成本也是个紧迫的研究课题。但对于已建但又无故障穿越能力的风电机组而言不失为一种好的选择。而对于不对称故障而言,电网正常时 DVR 闲置以及在风电场穿越的应用等问题,限于本文篇幅,将在后续的研究中给出。

[参考文献]

- [1] 关宏亮,赵海翔,迟永宁,等. 电力系统对并网风电机组承受低电压能力的要求[J]. 电网技术, 2007, 31(7): 79—82.
- [1] Guan Hongliang, Zhao Haixiang, Chi Yongning, et al. Requirement for LVRT capability of wind turbine generator in power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(7): 79—82.
- [2] Ling Yu, Cai Xu, Wang Ningbo. Rotor current transient analysis of DFIG-based wind turbines during symmetrical voltage faults[J]. Energy Conversion and Management, 2013, 76: 910—917.
- [3] 蔚 兰,陈国呈,宋小亮,等. 一种双馈感应风力发电机低电压穿越的控制策略[J]. 电工技术学报, 2010, 25(9): 170—175.
- [3] Yu Lan, Chen Guocheng, Song Xiaoliang, et al. A low voltage ride-through of strategy for doubly fed induction generator[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(9): 170—175.
- [4] Xiang D, Ran L, Tavner P J, et al. Control of a doubly fed Induction generator in a wind turbine during grid fault ride-through[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21(3): 652—662.
- [5] 张 迪,魏艳君,马利轩,等. 不平衡电网电压下基于滑模变结构控制的双馈风电系统网侧变流器控制策略[J]. 电工技术学报, 2015, 30(10): 266—275.

- [5] Zhang Di, Wei Yanjun, Ma Lixuan, et al. Sliding-mode control for grid-side converters of DFIG-based wind-power generation system under unbalanced grid voltage conditions [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(10): 266—275.
- [6] Nian Heng, Song Yipeng, Zhou Peng, et al. Improved direct power control of a wind turbine driven doubly fed induction generator during transient grid voltage unbalance[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2011, 26(3): 976—986.
- [7] Rahimi M, Parniani M. Transient performance improvement of wind turbines with doubly fed induction generators using nonlinear control strategy[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2010, 25(2): 514—525.
- [8] 凌 禹, 蔡 旭, 汪宁渤. 定子撬棒和直流侧卸荷电路协调的故障穿越技术研究[J]. 中国电力, 2013, 46(12): 90—94.
- [8] Ling Yu, Cai Xu, Wang Ningbo. Combination of stator crowbar and DC-link discharge resistor for fault ride-through (FRT) of DFIG [J]. Electric Power, 2013, 46(12): 90—94.
- [9] 凌 禹, 蔡 旭. 基于转子串电阻的双馈风电机组故障穿越技术[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(8): 25—30.
- [9] Ling Yu, Cai Xu. Fault ride-through of DFIG wind turbine with rotor series resistor [J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(8): 25—30.
- [10] 马文龙. Crowbar 保护在双馈异步风力发电系统电网故障穿越中的应用[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(7): 127—130.
- [10] Ma Wenlong. Application of crowbar circuit in grid fault riding through for doubly-fed induction wind power generation system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 127—130.
- [11] 洪芦诚, 魏应冬, 姜齐荣, 等. 基于动态电压调节器的风电机组低电压穿越策略[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(16): 32—37.
- [11] Hong Lucheng, Wei Yingdong, Jiang Qirong, et al. Low voltage ride through strategy for wind turbine systems using dynamic voltage restorer [J]. Automation of Electric Power System, 2011, 35(16): 32—37.
- [12] Wessels C, Gebhardt F, Fuchs F W. Fault ride-through of a DFIG wind turbine using a dynamic voltage restorer during symmetrical and asymmetrical grid faults[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(3): 807—815.
- [13] Ibrahim A O, Nguyen T H, Lee D C, et al. A fault ride-through technique of DFIG wind turbine systems using dynamic voltage restorers[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2011, 26(3): 871—882.
- [14] 马祎炜, 俞俊杰, 吴国祥, 等. 双馈风力发电系统最大功率点跟踪控制策略[J]. 电工技术学报, 2009, 24(4): 202—208.
- [14] Ma Yiwei, Yu Junjie, Wu Guoxiang, et al. MPPT control strategy for doubly-fed wind power generation [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(4): 202—208.
- [15] 赵艳雷. 动态电压恢复器逆变单元的研究与实现[D]. 北京: 中国科学院电工研究所, 2006.
- [15] Zhao Yanxia. The research and implementation of dynamic voltage restorer inverter unit[D]. Beijing: Institute of electrical engineering, Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [16] 克长宾. 动态电压恢复器的控制及补偿策略研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [16] Ke Changbin. Study on control and compensation strategy of dynamic voltage restorer[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [17] Mohseni M, Islam S M, Masoum M A S. Impacts of symmetrical and asymmetrical voltage sags on DFIG-based wind turbines considering phase-angle jump, voltage recovery, and sag parameters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(5): 1587—1598.
- [18] 王凯斐, 卓 放, 王兆安. 动态电压恢复器电路拓扑分析及参数设定[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 19—23.
- [18] Wang Kaifei, Zhuo Fang, Wang Zhaoan. Study on circuit topology and parameters of three-phase dynamic voltage restorer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(4): 19—23.
- [19] 王 晶, 徐爱亲, 翁国庆. 动态电压恢复器控制策略研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 145—151.
- [19] Wang Jing, Xu Aiqin, Weng Guoqing, et al. A survey of control strategy of DVR[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 145—151.
- [20] Marafao F P, Colon D, Jardini J A, et al. Multiloop controller and reference generator for a dynamic voltage restorer implementation[A]. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2008.

ICHQP 2008 [C], Wollongong, NSW, Australia: IEEE, 2008.

[21] Nielsen J G. Design and control of a dynamic voltage restorer [D]. Aalborg: Aalborg University, 2002.

APPLICATION OF DYNAMIC VOLTAGE RESTORER IN FAULT RIDE THROUGH OF DOUBLY-FED WIND TURBINE

Ling Yu

(Department of Electrical Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037003, China)

Abstract: Considering the characteristics that the dynamic voltage restore (DVR) can recover the voltage in a short time, the ability of DVR to assist the doubly fed induction generator (DFIG) to successfully ride through the full voltage fault is investigated. Firstly, aiming at DFIG, the suitable topology structure and compensation strategy of DVR are selected. The control method of DVR is investigated in detail and single loop voltage feedback control strategy is proposed. Finally, the PSCAD/EMTDC professional simulation software is used to set up detail simulation platform. The experimental results show under the protection of DVR, DFIG can ride though low voltage faults, zero voltage faults and high voltage faults, and the transient behaviors are greatly improved.

Keywords: wind power; protection; transients; doubly fed induction generator (DFIG); dynamic voltage restore (DVR); fault ride though(FRT)