

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.021

# 不平衡及谐波电网条件下双馈 风电变流器的改进控制研究

徐建委<sup>1</sup>, 陈平<sup>1\*</sup>, 徐海亮<sup>2</sup>

(1. 山东理工大学 电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049; 2. 装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

**摘要:**针对双馈风电机组在电网电压不平衡及谐波畸变条件下的故障穿越问题,分析了此类电网故障对机组运行性能的影响,提出了一种双馈机组转子侧、网侧变流器的协同控制方案。通过改进转子侧、网侧变流器的矢量控制算法,抑制了双馈感应发电机的电磁转矩波动,降低了机组输出总有功功率的波动,获得了对称、正弦的机组输出电流。仿真结果表明,所述控制方案能够显著改善双馈风电机组在此类电网故障条件下的运行性能,从而提高机组的故障穿越运行能力。

**关键词:**双馈感应发电机;变流器;电网不平衡及谐波畸变;故障穿越

中图分类号:TM315

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)03-0397-07

## Improved control of DFIG based wind power converters during unbalanced and distorted grid voltage conditions

XV Jian-wei<sup>1</sup>, CHEN Ping<sup>1</sup>, XV Hai-liang<sup>2</sup>

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2. Department of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the fault ride-through (FRT) capability of doubly fed induction generator (DFIG) based wind turbines during unbalanced and distorted grid voltage condition, the influence of the faulty grid to the turbines was analyzed. And then a coordinated control method for both the grid-and rotor-side converters (GSC and RSC) was presented. By improving the vector control algorithm of both the GSC and RSC, the DFIG's electromagnetic torque oscillations were suppressed and the total power pulsations were reduced. In addition, symmetry and sinusoidal output currents of the turbines could also be obtained. The simulated results indicate that the proposed control can obviously improve the operation performance of DFIG based wind generation systems under such adverse grid conditions and thus enhance the turbines' fault ride-through capability.

**Key words:** doubly fed induction generator (DFIG); converter; unbalanced and distorted grid condition; fault ride-through (FRT)

## 0 引 言

据中国风能协会统计,2013 年中国新增装机容量  $1.6 \times 10^5$  MW, 同比增长 24.1%, 累计装机容量  $9.1 \times 10^5$  MW, 同比增长 21.4%。新增装机和累计装机容量两项数据均居世界第一<sup>[1]</sup>。这表明我国风电行业已取得了长足发展。然而,我国大规模风电“集中式开

发、远距离输送”的运营模式,造成风电场多建在电网末端,使得风电机组所联电网实质上是一个存在各种形式故障的“弱电网”,其中电压不平衡和谐波畸变更是常见的电网故障<sup>[2]</sup>。作为主流机型的双馈风电机组由于励磁变频器容量有限,致使其抗电网扰动能力相对薄弱,该类机组在电网电压不平衡以及谐波畸变等工况下,存在机组输出功率波动、电流不平衡/谐波、

收稿日期:2014-11-13

作者简介:徐建委(1987-),男,山东潍坊人,主要从事有源配电网保护与控制方面的研究。E-mail: affosjw@126.com

通信联系人:陈平,男,博士,教授。E-mail: pingchen1969@263.net

转矩脉动等严重影响输出电能质量、危害机组运行安全问题。

针对不平衡、谐波畸变电网条件下双馈风电机组的控制研究已见大量报道。文献[3-5]系统研究了电网电压不平衡条件下双馈风电机组网侧、转子侧变流器(GSC、RSC)的数学建模问题,提出了改进的矢量控制策略,减轻了电网电压三相不平衡对双馈感应电机(DFIG)运行的有害影响;文献[6-9]研究了电网电压不平衡及含有5次、7次电压谐波时双馈风电机组瞬态、稳态特性,提出了相应的改进控制策略。但上述研究的不足之处是:①需要计算网侧、转子侧变流器的负序及谐波电流指令,离不开复杂的电压或磁链相序分离步骤,占用大量的系统资源;②负序及谐波电流指令的获得依赖于系统参数的准确评估,导致控制策略的鲁棒性较差;③电流正序、负序及谐波分量的集中调节,破坏了传统矢量控制的控制结构,不便于理想电网条件下控制器的设计。

对此,本研究将在系统评估电压不平衡且含有5次、7次谐波电网环境对双馈风电机组的影响基础上,提出一种更便于工程实施的双馈风电机组转子侧、网侧变流器的协同控制方案。该方案无需进行负序及谐波电流指令计算,无需进行电压或磁链的相序分离。

### 1 电网故障对 DFIG 机组的影响分析

电网电压不平衡及含有低次电力谐波时 DFIG 机组的瞬态、稳态特性在作者前期工作中已有系统分析。为表述方便起见,这里仅列举其重要结论。

假定电网电压不平衡且同时含有5次、7次谐波成分,则正转 $(dq)^+$ 坐标系下 DFIG 定(转)子电压、电流和磁链矢量均可被分解为正转同步速、反转同步速、反转5倍速和正转7倍速分量,即:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{sdq}^+ &= \mathbf{F}_{sdq}^+ + \mathbf{F}_{sdq}^- + \mathbf{F}_{sdq5}^- + \mathbf{F}_{sdq7}^+ = \\ & \mathbf{F}_{sdq}^+ + \mathbf{F}_{sdq}^- e^{-j2\omega_1 t} + \mathbf{F}_{sdq5}^- e^{-j6\omega_1 t} + \mathbf{F}_{sdq7}^+ e^{j6\omega_1 t} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{rdq}^+ &= \mathbf{F}_{rdq}^+ + \mathbf{F}_{rdq}^- + \mathbf{F}_{rdq5}^- + \mathbf{F}_{rdq7}^+ = \\ & \mathbf{F}_{rdq}^+ + \mathbf{F}_{rdq}^- e^{-j2\omega_1 t} + \mathbf{F}_{rdq5}^- e^{-j6\omega_1 t} + \mathbf{F}_{rdq7}^+ e^{j6\omega_1 t} \end{aligned}$$

式中: $\mathbf{F}$ —广义地代表电压、电流或磁链矢量;下标 $s$ , $r$ —定、转子绕组中变量;下标 $+$ , $-$ , $5-$ , $7+$ —基波正序、基波负序以及5次、7次谐波分量;上标 $+$ , $5-$ , $7+$ — $(dq)^+$ 、 $(dq)^{5-}$ 、 $(dq)^{7+}$ 和转子参考坐标系。

各坐标系之间的空间位置关系如图1所示。由式(1)和图1可知,在 $(dq)^+$ 坐标系下,负序分量表现为2倍频脉动分量,而5次、7次谐波分量均呈现为6倍

频的脉动分量。

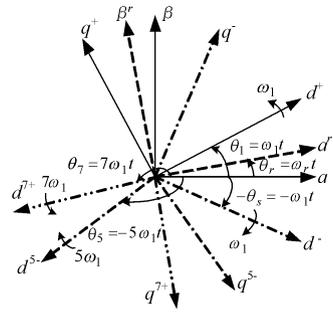


图1  $\alpha\beta$ 、 $(\alpha\beta)^-$ 、 $(dq)^+$ 、 $(dq)^-$ 、 $(dq)^{5-}$ 和 $(dq)^{7+}$ 坐标系间的空间位置关系

考虑到大容量风电机组定子电阻设计较小,可以忽略其上的压降,参考式(1),定子电压方程可表示为:

$$\begin{aligned} U_{sdq}^+ &\approx d(\Psi_{sdq}^+ + \Psi_{sdq}^- e^{-j2\omega_1 t} + \Psi_{sdq5}^- e^{-j6\omega_1 t} + \Psi_{sdq7}^+ e^{j6\omega_1 t}) / \\ dt + j\omega_1 (\Psi_{sdq}^+ + \Psi_{sdq}^- e^{-j2\omega_1 t} + \Psi_{sdq5}^- e^{-j6\omega_1 t} + \\ & \Psi_{sdq7}^+ e^{j6\omega_1 t}) = j\omega_1 (\Psi_{sdq}^+ - \Psi_{sdq}^- e^{-j2\omega_1 t} - 5\Psi_{sdq5}^- e^{-j6\omega_1 t} + \\ & 7\Psi_{sdq7}^+ e^{j6\omega_1 t}) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $U_{sdq}^+$ 、 $U_{rdq}^+$ —定、转子电压矢量; $\Psi_{sdq}^+$ 、 $\Psi_{rdq}^+$ —定、转子磁链矢量; $\omega_1$ —同步电角速度。

同时 DFIG 定、转子磁链方程可表示为:

$$\begin{aligned} \Psi_{sdq}^+ &= L_s I_{sdq}^+ + L_m I_{rdq}^+ \\ \Psi_{rdq}^+ &= L_m I_{sdq}^+ + L_r I_{rdq}^+ \end{aligned} \quad (3)$$

已知 DFIG 定子输出有功和无功功率可计算为:

$$\begin{aligned} P_s &= -1.5 \text{Re} [U_{sdq}^+ \hat{I}_{sdq}^+] \\ Q_s &= -1.5 \text{Im} [U_{sdq}^+ \hat{I}_{sdq}^+] \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $\hat{I}_{sdq}^+$ —定子电流  $I_{sdq}^+$  的共轭矢量。

则联立式(2~4),即可计算出电网电压不平衡且谐波畸变时 DFIG 定子输出有功、无功功率。为分析方便,可按波动频率将有功、无功功率归纳成如下分量形式:

$$\begin{aligned} P_s &= P_{s,dc} + \sum_{i=2,4,6,8,12} (P_{s,\sin i} \sin(i \cdot \omega_1 t) + \\ & P_{s,\cos i} \cos(i \cdot \omega_1 t)) \\ Q_s &= Q_{s,dc} + \sum_{i=2,4,6,8,12} (Q_{s,\sin i} \sin(i \cdot \omega_1 t) + \\ & Q_{s,\cos i} \cos(i \cdot \omega_1 t)) \end{aligned} \quad (5)$$

同理,也可将电磁功率归纳成不同波动频率的分量形式,即:

$$\begin{aligned} P_e &= P_{e,dc} + \sum_{i=2,4,6,8,12} (P_{e,\sin i} \sin(i \cdot \omega_1 t) + \\ & P_{e,\cos i} \cos(i \cdot \omega_1 t)) \end{aligned} \quad (6)$$

式(5,6)表明,电网电压不平衡且含有低次谐波成分时,如不采取有效控制措施,DFIG 定子输出瞬时

有功、无功功率和电磁转矩中将含有 2 倍、4 倍、6 倍、8 倍和 12 倍电网频率的 5 类正弦、余弦脉动分量。需要指出的是,与 2 倍频和 6 倍频的正弦、余弦交流分量相比,4 倍频、8 倍频和 12 倍频的波动主要由负序分量与谐波分量所对应的定、转子磁链(或电流)矢量相互作用形成,其幅值小,对功率、转矩波动的影响基本可以忽略。

类似地,网侧变流器(GSC)输出有功、无功功率归纳成不同波动频率的分量形式,即:

$$P_g = P_{g,dc} + \sum_{i=2,4,6,8,12} (P_{g,cosi} \cos(i \cdot \omega_1 t) + P_{g,sini} \sin(i \cdot \omega_1 t))$$

$$Q_g = Q_{g,dc} + \sum_{i=2,4,6,8,12} (Q_{g,cosi} \cos(i \cdot \omega_1 t) + Q_{g,sini} \sin(i \cdot \omega_1 t))$$
(7)

同时直流母线电压方程可表示为:

$$C_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt} V_{dc} = P_e - P_s - P_g = (P_{e,dc} - P_{s,dc} - P_{g,dc}) + \sum_{i=2,4,6,8,12} (P_{e,cosi} - P_{s,cosi} - P_{g,cosi}) \cos(i \cdot \omega_1 t) + \sum_{i=2,4,6,8,12} (P_{e,sini} - P_{s,sini} - P_{g,sini}) \sin(i \cdot \omega_1 t)$$
(8)

综合以上分析可知,电网电压不平衡及谐波畸变电网故障对 DFIG 机组的主要危害有:

(1)DFIG 定子电流、网侧变流器(GSC)电流均不平衡且谐波畸变,特别是 DFIG 转子电流的谐波畸变可能引起转子侧变流器(RSC)过流,导致机组从电网中解列;

(2)网侧变流器(GSC)以及 DFIG 定子侧输出有功、无功功率中,均含有 2 倍频、4 倍频、6 倍频、8 倍频、12 倍频共 5 类正弦、余弦波动成分,这些波动成分会严重降低 DFIG 输出电能质量;而上述 5 类波动成分中尤其以 2 倍频、6 倍频的正弦、余弦波动成分最为剧烈、所占比重最大;

(3)DFIG 电磁功率中同样会含有以上 5 类正弦、余弦波动成分,电磁转矩的波动势必会危害机组轴系特别是齿轮箱等重要部件的运行安全;

(4)DFIG 变流器的网侧、转子侧功率波动会影响直流母线电压的稳定,致使直流母线电压上叠加脉动成分,直接危害直流链电解电容器的运行安全。

因此,电网不平衡且含有低次谐波电压时,DFIG 风电机组的改进控制应以解决上述 4 点危害为目标,充分利用 GSC、RSC 两变流器的潜在控制功能,采取 GSC、RSC 的协同控制,实现机组的优化并网运行。

## 2 转子侧、网侧变流器的控制改进

### 2.1 控制目标的设定

理论上讲,RSC 的 4 个控制目标与 GSC 4 个预设控制目标之间可以组合成多个控制目标组。但显然不是所有目标组都能满足风电机组自身安全运行需要和电网规范的约束要求。

电网电压不平衡及谐波畸变条件下,按照风电机组自身安全运行要求所期望的控制效果应是:①保证转子侧、网侧变流器不过流;②抑制电磁转矩的脉动,保证齿轮箱的可靠运行;③抑制直流母线电压的脉动,维护电容器的安全运行。从电网规范的要求看,对风电机组的主要的约束是:①确保机组不脱网运行;②保证输出电能质量。显然,GSC 控制目标的确定需要与 RSC 的控制期望值相结合才有意义,于是转子侧、网侧变流器可设定如下两个协同控制目标组合:

协同目标 I :抑制电磁转矩的主要波动,输出平滑的总有功功率;

协同目标 II :抑制电磁转矩的主要波动,输出三相对称、正弦的电流。

### 2.2 转子侧变流器(RSC)的控制改进

文献[6-8]中为实现 DFIG 机组运行性能的优化,需要利用式(5~8)的功率、转矩方程计算 RSC 的参考电流指令,复杂的相序分解过程增加了计算量和工程实施的难度。为弥补这一不足,这里给出一种无需参考电流指令计算的 RSC 改进控制结构,转子侧变流器(RSC)的改进控制结构如图 2 所示。

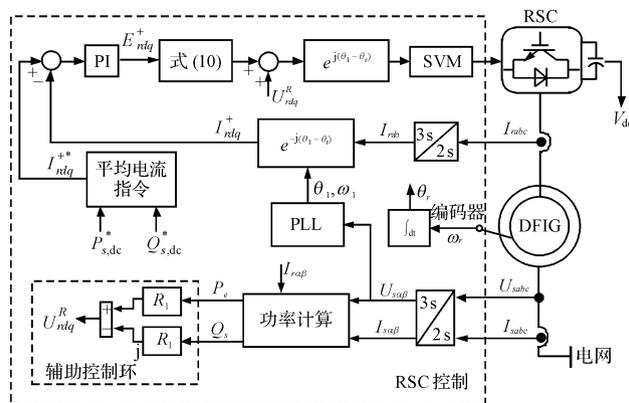


图 2 转子侧变流器(RSC)的改进控制结构

改进后的 RSC 控制可分两个工作模块同步进行:①DFIG 平均有功功率、无功功率的追踪依然采用电流控制器为比例积分(PI)的传统矢量控制方式;②电磁功率、定子无功功率中的波动通过辅助的谐振控制环进行抑制。谐振控制环既可以看作是对转子负序以及

谐波电压的反馈补偿,也可以看作是直接功率控制思想的局部运用。特别需要指出的是,谐振控制模块未引入平均分量的控制,但要求所选用的控制器具有较好的频率选择特性,而这正是谐振(R)控制器的固有特性和优势。

图 2 中谐振控制器  $R_1$  的传递函数为:

$$G_{R_1}(s) = \frac{2k_{r1}\omega_{c0}s}{s^2 + 2\omega_{c1}s + (2\omega_1)^2} + \frac{2k_{r2}\omega_{c1}s}{s^2 + 2\omega_{c2}s + (6\omega_1)^2} \quad (9)$$

式中: $k_{r1}, k_{r2}$ —两个谐振控制器的谐振系数; $\omega_{c1}, \omega_{c2}$ —之相对应的谐振控制器的截止频率。

图 2 中式(10)表示转子侧调制电压计算方程,可表示为:

$$V_{rdq}^+ = E_{rdq}^+ + R_r I_{rdq}^+ + \omega_{sl} (j\sigma L_r I_{rdq}^+ + U_{sdq}^+ L_m / (\omega_1 L_s)) \quad (10)$$

式中: $R_r, L_r$ —转子绕组的电阻和电感; $L_m$ —一定、转子绕组间的电感; $\sigma$ —漏感系数,  $\sigma = 1 - L_m^2 / (L_s L_r)$ ;  $\omega_{sl}$ —滑差电角速度,  $\omega_{sl} = \omega_1 - \omega_r$ 。

### 2.3 网侧变流器(GSC)的控制改进

协同目标 I 要求网侧变流器(GSC)补偿 DFIG 定子中的主要波动成分,其等效控制目标是实现直流母线电压的平直。参考 RSC 的改进控制思想,也可将电压外环中的 PI 调节器更换为可同时控制直流和交流成分的比例积分谐振(PIR)控制器,同时内环电流控制器则调整为传统 PI 调节器,简化后的控制结构如图 3(a)所示。文献[10]的研究结果表明,直流母线电压的平直会导致 GSC 输出电流含有大量谐波成分,尤以 3 次谐波含量最为显著,即母线电压平直和电流 3 次谐波抑制不能够同时实现。因此如要对于协同目标 II 控制结构进行改进,首先需要从电流指令中剔除负序和谐波成分,一种简单的处理办法是在反馈电压  $V_{dc}$  送入外环 PI 控制器之前中进行滤波(陷波),如图 3(b)中模块①所示。图 3 中只对母线电压中的 2 倍频波动进行了滤除而未进行 6 倍频波动的滤除,其考虑基于:①GSC 输出电流中的主要谐波成分是 3 次谐波,其产生主要与 2 倍频电压波动有关而与 6 倍频电压波动无关;②如采用 2 倍频、6 倍频两个陷波器串联滤波,将严重影响电压外环的动态性能,甚至可能造成系统失稳。其次,协同目标 II 要求 GSC 补偿 DFIG 定子电流中的负序及谐波分量以实现总输出电流对称、正弦的目标。对此同样可借鉴 RSC 的改进控制思想,即:①基波电流的调节仍采用传统 PI 控制器;②将定子负序和谐波电流抑制所需的电压矢量用作为 GSC 的电压补偿项,如图 3(b)中模块②所示。为了避免定子负序和谐波电流的相序分离,图 3 中仍然采用谐振控制器

作辅助电流环控制器,其传递函数为:

$$G_{R_2}(s) = \frac{2\omega_{c1}s}{s^2 + 2\omega_{c1}s + (2\omega_1)^2} + \frac{2\omega_{c2}s}{s^2 + 2\omega_{c2}s + (6\omega_1)^2} \quad (11)$$

需要指出,与图 2 中电磁功率、定子无功功率的辅助控制环不同,图 3(b)中的电流辅助控制环是一个开环结构,因此式(11)中谐振控制器可以等效成一个带通滤波器,只对相应的负序和谐波电流分量提供单位增益。

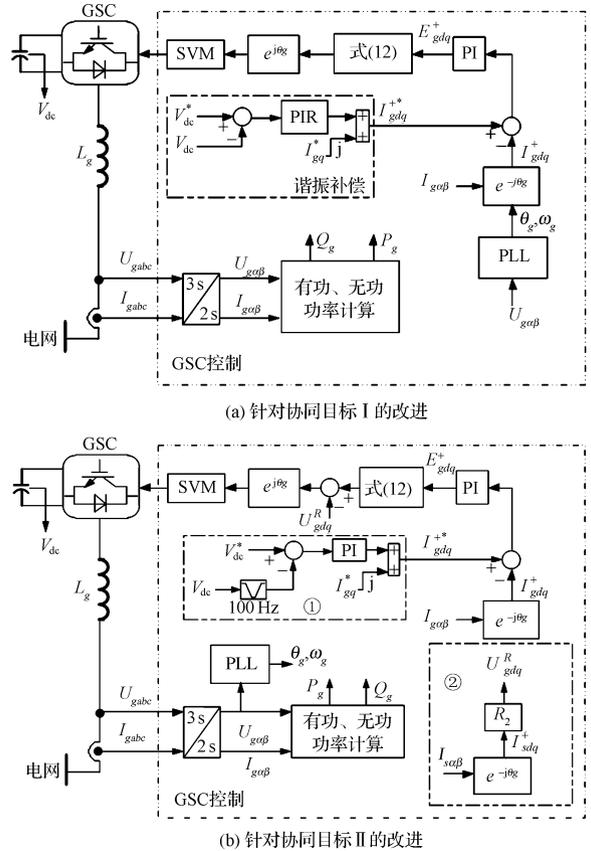


图 3 网侧变流器(GSC)的改进控制结构

图 3 中式(12)表示网侧变流器(GSC)调制电压计算方程,可表示为:

$$V_{gdq}^+ = -E_{gdq}^+ + U_{gdq} - R_g I_{gdq} - j\omega_1 L_g I_{gdq} \quad (12)$$

### 3 算例分析

为了验证本研究所提出的电网电压不平衡及谐波畸变时 DFIG 变流器改进控制方案的有效性,笔者在 Matlab/Simulink 环境中建立了一台 2 MW 商用 DFIG 风电系统的仿真模型,DFIG 风电机组的仿真结构图如图 4 所示。DFIG 参数详如表 1 所示。仿真中,网侧和转子侧 PWM 变换器开关频率定为 2.5 kHz,直流母线电压额定值为 1 050 V;电压基值选为  $U_b = 690$  V,功率

基值选为  $S_b = 2 \text{ MW}$ 。

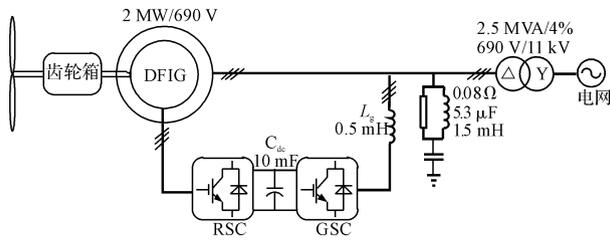
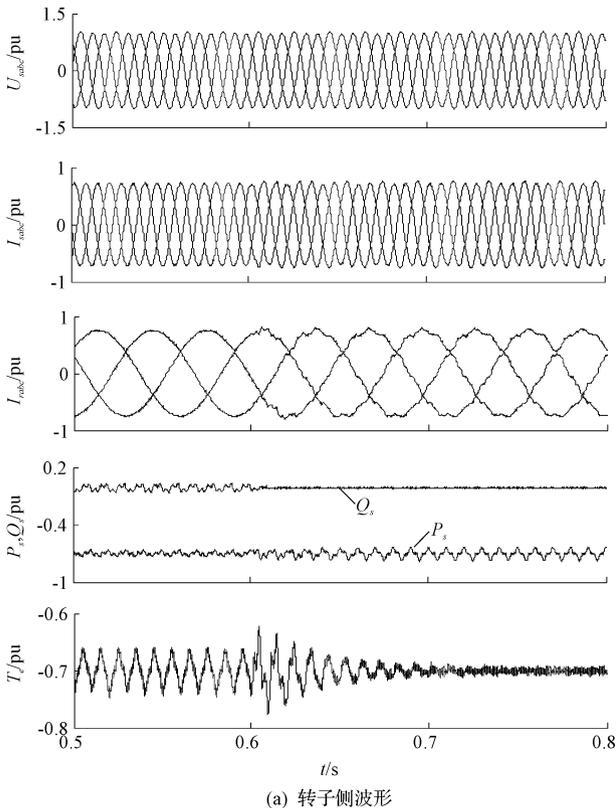


图4 DFIG 风电机组的仿真结构图

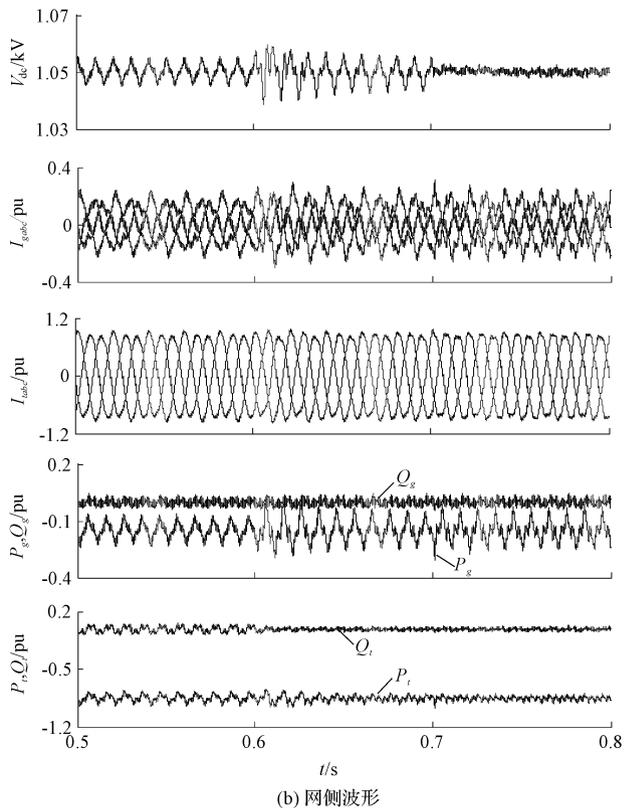
表1 仿真用 DFIG 参数

电机参数	数值
额定功率/MW	2.0
额定电压/V	690
额定频率/Hz	50
定子电阻/mΩ	4.6
转子电阻/mΩ	4
定子漏抗/mΩ	62.8
转子漏抗/mΩ	45.9
激磁电抗/mΩ	569.3
极对数	2
定转子匝比	0.32
转动惯量等效时间常数/s	5.4

仿真中设定:①电网电压不平衡度为  $\delta = 4\%$ , 5 次谐波含量为基波分量的 3%;②DFIG 作单位功率因数运行,转速恒定在 1 800 r/min(额定转速)。本研究针对上述电网条件和机组运行状态进行了传统 PI 控制与本研究提出的改进控制策略的比较研究,结果如图 5、图 6 所示,其中图 5 考察了 RSC 控制改进及 GSC 采用协同目标 I 控制改进后的效果;而图 6 考察的是 RSC 控制改进及 GSC 采用协同目标 II 控制改进的效果。为便于观察两个变流器控制改进前后机组运行性能的变化,图 5、图 6 的仿真均分 3 个阶段进行:①阶段 i( $t = 0.5 \text{ s} \sim 0.6 \text{ s}$ ):RSC 和 GSC 电流环均采用传统矢量控制;②阶段 ii( $t = 0.6 \text{ s}$  之后):RSC 采用图 2 的改进控制结构,GSC 的控制同阶段 i;③阶段 iii( $t = 0.7 \text{ s}$  之后):RSC 的控制同阶段 ii,GSC 采用图 3(a)或(b)的改进控制结构。传统矢量控制与本研究所提控制策略下 DFIG 总输出电流( $I_{tabc}$ )不平衡、畸变情况(THD)以及总输出有功功率( $P_t$ )、无功功率( $Q_t$ ),电磁转矩( $T_e$ )以及直流母线电压( $V_{dc}$ )的波动幅度如表 2 所示。



(a) 转子侧波形



(b) 网侧波形

图5 改进控制结构下协同目标 I、分阶段实施时 DFIG 风电机组的运行结果

从图 5、图 6 和表 2 可以看出:①采用传统矢量控制时,DFIG 总输出电流不平衡程度较严重,电流中含有大量的谐波成分,同时 DFIG 定子有功和无功功率( $P_s$ 、 $Q_s$ )、GSC 输出有功和无功功率( $P_g$ 、 $Q_g$ )以及

DFIG 总输出有功和无功功率( $P_t$ 、 $Q_t$ )中均含有以 2 倍频、6 倍频为主的波动成分,且电磁转矩( $T_e$ )和直流母线电压( $V_{dc}$ )中亦包含有同类型的波动成分;②协同目标 I 启动后(0.6 s 之后),电磁转矩( $T_e$ )中的波动得到

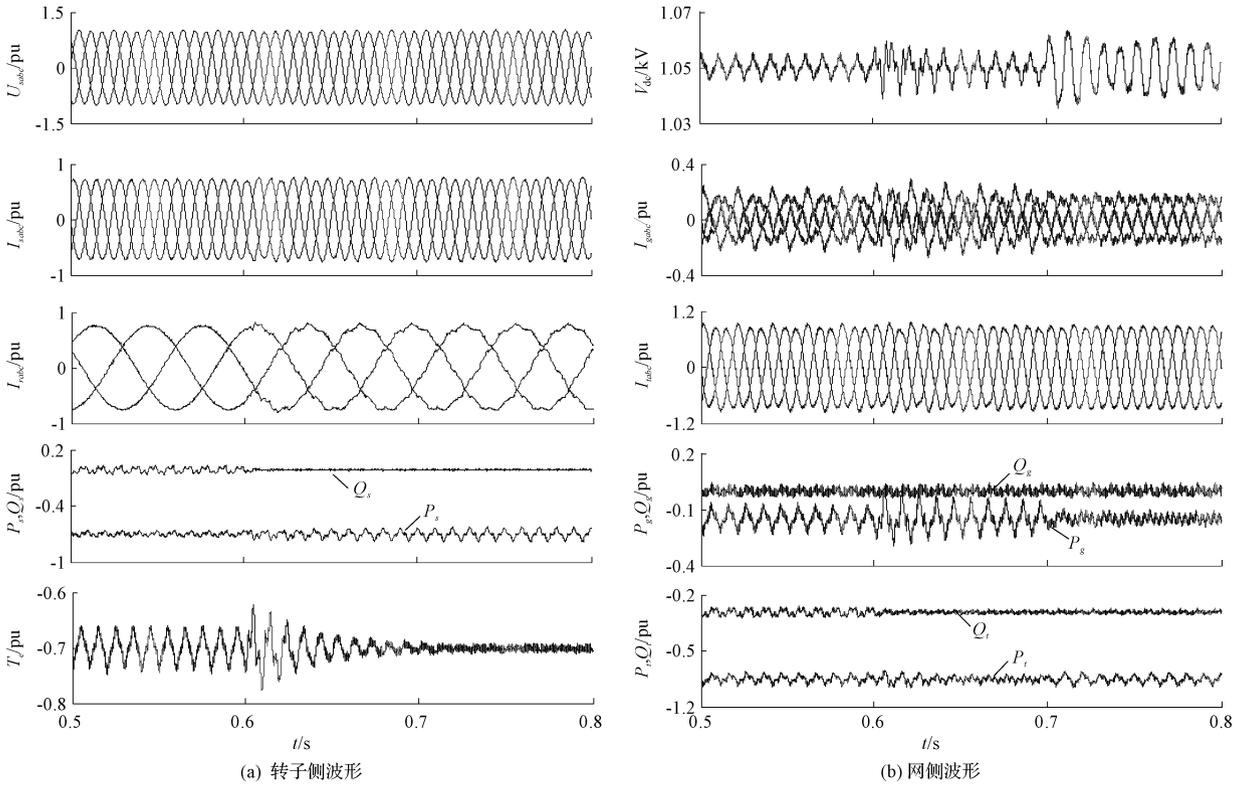


图 6 改进控制结构下协同目标 II、分阶段实施时 DFIG 风电机组的运行结果

有效抑制,同时定子无功功率( $Q_s$ )中的主要波动亦被消除;此外由于 GSC 输出有功功率( $P_g$ )抵消了 DFIG 定子输出有功功率( $P_s$ )中的主要波动成分,总输出有功功率( $P_i$ )和直流母线电压( $V_{dc}$ )中的波动均被大幅消除,但不足之处是导致流经网侧变流器的电流( $I_{gabc}$ )以及总输出电流( $I_{tabc}$ )畸变程度加重,总输出电流( $I_{tabc}$ )的三相不平衡局面亦没能改善;③协同目标 II 启动后(0.7 s 时刻),总输出电流( $I_{tabc}$ )变得较为平衡和正弦化,但总输出有功功率( $P_i$ )和直流母线电压( $V_{dc}$ )中的波动有所加剧。上述仿真结果验证了所提出的电网不平衡且含低次谐波时 DFIG 网侧、转子侧变流器改进控制策略的可行性和有效性。

表 2 改进控制简化后 DFIG 总输出电流不平衡度、THD 和功率、转矩波动幅度

	传统矢量	协同目标 I	协同目标 II
$I_{tabc}$ 不平衡度/%	9.05	8.55	2.15
$I_{tabc}$ THD/%	4.01	5.60	2.26
$P_i$ 波动幅度/%	±7.05	±3.50	±9.53
$Q_i$ 波动幅度/%	±6.05	±1.40	±1.65
$T_e$ 波动幅度/%	±5.71	±0.10	±0.10
$V_{dc}$ 波动幅度/V	±5.21	±1.95	±10.35

## 4 结束语

本研究在系统分析电网电压不平衡及谐波畸变故障对双馈风电机组影响的基础上,提出了一种网侧、转子侧变流器的协同控制策略,其主要结论是:

- (1) 为满足风电机组自身安全运行需要和电网规范的约束要求,DFIG 转子侧变流器控制的控制目标可设定为:抑制电磁转矩的主要波动,而网侧目标可设定为:抑制电磁转矩的主要波动,而网侧变流器可设定为输出平滑的总有功功率或输出三相对称、正弦的电流;
- (2) 所述控制方案中风电机组平均有功功率、无功功率的控制依然采用传统矢量控制结构,而转子侧、网侧变流器的协同控制目标则借助所设计的辅助谐振控制环实现,控制结构的鲁棒性较强;
- (3) 所述控制方案能够有效抑制双馈感应电机的电磁转矩波动,降低机组输出总有功功率的波动以及获得对称、正弦的总输出电流。且该方案无需进行负序及谐波参考电流指令计算,具有结构简单、便于工程实现的优点。

(下转第 408 页)

### 本文引用格式:

徐建委,陈平,徐海亮. 不平衡及谐波电网条件下双馈风电变流器的改进控制研究[J]. 机电工程,2015,32(3):397-402,408.

XV Jian-wei, CHEN Ping, XU Hai-liang. Improved control of DFIG based wind power converters during unbalanced and distorted grid voltage conditions[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(3):397-402,408.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>