

# 一例双馈发电机的并网故障分析

袁 炜 胡文胜 赵 宇

( 许昌许继风电科技公司 河南 许昌 461000)

**摘 要:**变流器与双馈发电机的配置不兼容,导致了发电机出现空载并网故障。变流器的 Park 变换是以发电机定转子绕组的分布顺序为参考坐标系的。定转子绕组分布顺序与 Park 变换的计算方法不兼容,引起了发电机故障。通过改变发电机的定转子的接线顺序,可以使双方兼容,解决了故障。

**关键词:**变流器;双馈发电机;并网;Park 变换

**Abstract:** The configuration of converter and that of double-fed induction generator are not compatible, so it leads to no-load grid interconnection failure. The Park's transformation of converter is based on the stator and rotor winding order as the reference coordinate system. The proposed failure is caused because the stator and rotor winding order are not compatible with the calculation method of Park's transformation. By changing the wiring order of the generator stator and rotor winding, the failure is resolved.

**Key words:** converter; double-fed induction generator; grid interconnection; Park's transformation

中图分类号:TM315 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2012)01-0024-02

## 0 引 言

双馈发电机的并网过程复杂,分为空载励磁、检测定子电压、断路器合闸、发电机并网运行等几个阶段。在运行中,变流器的配置、发电机的配置两者必须兼容。

如果变流器的软件配置与发电机的配置不兼容,可能导致定子电压不能满足电网要求,发电机无法并网,或者并网后对发电机造成损害。

## 1 故障现象

2011 年 7 月,采用 A 厂家的变流器、B 厂家的发电机,某工厂进行 2.0 MW 双馈型风力发电机的全功率实验。

全功率实验,分为空载运行、并网运行两个阶段。空载时,变流器为转子提供励磁,使得发电机的定子感应出满足电网要求的电压。当检测到定子电压、电网电压同步后,进行发电机并网操作,通过对转速、功率的调节,进行并网运行控制。

在实验过程中,先后出现了定子电压与电网电压频率、相位不同步的现象。

### 1.1 频率不同步

采用 A 厂家的变流器、B 厂家的发电机,通过设置变流器的参数,进行机组的空载励磁实验。

在实验中,通过示波器检测定子电压,发现定子电压的频率约为 36.7 Hz,也就是频率不同步。

### 1.2 相位不同步

发现频率不同步后,工作人员改变了发电机的转子接线相序,将 a-b-c 换为 b-a-c,频率不同步的问题解决了,但随后又出现了相位不同步的现象。

利用示波器测定子电压,频率同步,幅值也正常。但是,定子电压的相位与电网电压始终存在偏差。

## 2 故障原因查找

### 2.1 变流器的空载励磁原理

A 厂家的变流器,其空载励磁控制原理如下:采用矢量控制方案,外环(电压环)采用开环控制,内环(电流环)采用闭环控制的方式,如图 1 所示。

图 1 中,首先对电网电压信息进行检测,经坐标变换后,可以获得电网电压的幅值  $u_m$  及相角  $\theta_u$ 。 $u_{\alpha 2}^*$ 、 $u_{\beta 2}^*$  经 SVPWM 调制后,调节转子励磁电流,使得发电机的定子输出电压满足并网要求<sup>[1-2]</sup>。

这种控制方案的优点是,结构简单,只需要一个 PI 控制器;缺点是,一旦定子电压出现故障,无法对

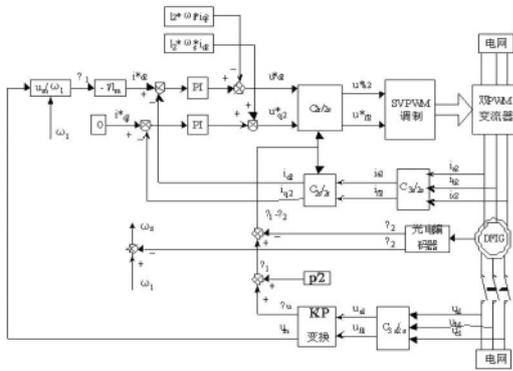


图1 变流器的空载励磁控制原理图

外环的电压进行自动调整。

### 2.2 变流器算法对发电机配置的要求

A 厂家变流器在设计时,是以这种标准来设计软件算法的。

#### (1) 发电机的配置

从轴伸端看,转子逆时针旋转,此种双馈发电机(double-fed induction generator, DFIG)的物理模型如图2所示。

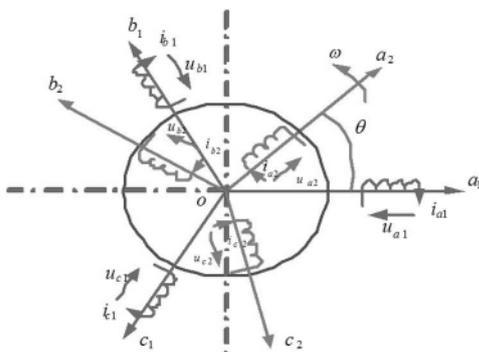


图2 DFIG的物理模型

图2中,定子电压、电流正方向按照发电机惯例,转子电压、电流正方向按照电动机惯例。定子三相绕组轴线 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 在空间上是固定的,以 $a_1$ 轴为坐标参考轴。转子绕组轴线 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 随转子旋转, $a_2$ 与 $a_1$ 轴间的电角度 $\theta$ 为空间角位移变量。

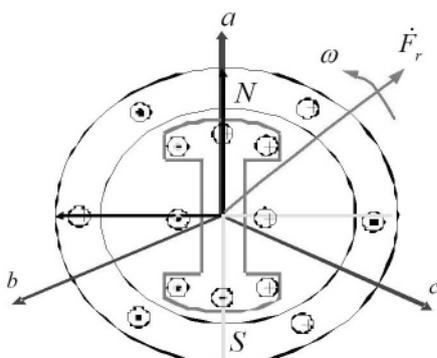


图3 DFIG的电磁转换示意图

DFIG的电磁转换原理如图3所示,空载运行时,变流器为转子提供励磁电压,定子感应出电压。

A厂家的变流器要求:从轴伸端看,定子绕组为逆时针排列,转子合成磁势 $\dot{F}_r$ 以50 Hz逆时针旋转,依次切割定子的a-b-c绕组,定子感应出正序的电压、电流。

#### (2) 变流器d-q变换的配置

d-q坐标变换即park变换<sup>[3]</sup>,a-b-c到d-q坐标变换的变换矩阵有多种,影响变换矩阵的因素有以下几方面:①a-b-c坐标系的排列顺序,a-b-c三相绕组可以按照顺时针或逆时针排列;②d-q轴的相对位置,有些惯例选取d轴超前q轴,有些则选取q轴超前d轴90°;③d-q坐标系的旋转方向,有些惯例选取顺时针旋转,有些则为逆时针旋转。

只有在发电机绕组a-b-c的配置与变流器d-q变换的配置一致时,变流器才能正常工作。

### 2.3 发电机的实际配置

B厂家的发电机配置情况:从轴伸端看,定转子绕组a-b-c均为顺时针排列。

这样,B厂家的发电机定转子绕组顺序不符合A厂家变流器的设计要求。变流器的d-q变换不会得到直流分量,而会得到二倍频的交流分量。

### 2.4 频率不同步的原因

定子电压频率不同步的原因是:从轴伸端看,B厂家的发电机转子绕组a-b-c为顺时针排列,转子交流绕组流过的励磁电流相序出错,造成转子合成磁势 $\dot{F}_r$ 为36.7 Hz左右,如图5所示。

A厂家的变流器则要求,从轴伸端看,定子绕组为逆时针排列,转子合成磁势 $\dot{F}_r$ 以50 Hz逆时针旋转。

可以得到对转子电流的要求如下:①三相基波合成磁动势的转向取决于电流的相序,总是从超前的电流相转向滞后的电流相。因此,转子电流的相序应为负序;②转子逆时针旋转,转子电流的频率应为50 Hz与转子机械频率之差;③转子电流的幅值应满足电网电压的要求。

试验中,发电机的同步转速为1500 r/min,空载转速为1300 r/min,转子合成磁势 $\dot{F}_r$ 的频率约为 $f = 43.33 + f_{ir} = 50$  Hz,  $f_{ir} = 6.67$  Hz。如图4所示。

(下转第30页)

- [7] mer Nezh Gerek ,Dogan Gökhan Ece. 2 - D Analysis and Compression of Power Quality Event Data [J]. IEEE Trans. on Power Delivery 2004 ,19( 2) : 791 - 798.
- [8] mer Nezh Gerek ,Dogan Gökhan Ece. Compression of Power Quality Event Data Using 2D Representation [J]. Electric Power Systems Research 2008 ,78( 6) : 1047 - 1052.
- [9] 鲍文,周瑞,刘金福. 基于二维提升小波的火电厂周期性数据压缩算法[J]. 中国电机工程学报,2007,27(29):96-101.
- [10] 王永玉,孙衢,袁超伟. 基于整数小波变换和SPIHT编码的录波数据压缩算法[J]. 继电器 2008,36(11):50-54.
- [11] 郝蔓钊. 电能质量监测数据的数据压缩[D]. 上海:上海交通大学,2009.
- [12] 高山. 基于小波包变换的多级树集合分裂编码算法研究[D]. 西安:西安科技大学,2009.
- [13] 刘毅,周维维,冯浩. 电能质量监测网录波数据压缩方法[J]. 电网技术,2010,34(4):199-203.
- [14] 柯慧. 电能质量数据压缩算法研究[D]. 上海:上海交通大学,2009.
- [15] 胡志坤,何志敏,安庆,等. 基于二维DCT的电能质量监测数据压缩方法[J]. 中南大学学报,2011,42(4):1021-1027.
- [16] 郑伟彦,吴为麟. 基于混合小波包的电能质量数据压缩算法[J]. 电工电能新技术,2010,29(3):8-11.
- [17] 丁屹峰,程浩忠,占勇,等. 基于PQDIF格式压缩的电能质量数据模型[J]. 继电器,2005,33(7):55-58.
- [18] 朱宏涛. 电网数据采集系统建模与数据压缩品质影响的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第25页)

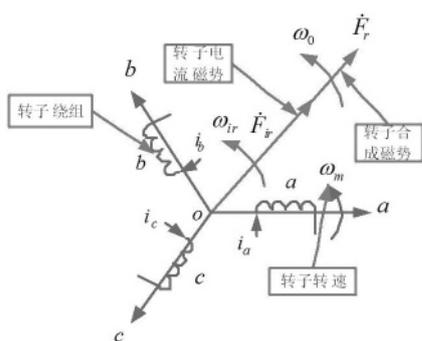


图4 正常时转子合成磁势的原理

发电机的并网故障如图5所示,转子合成磁势

$\dot{F}_r$  的频率约为  $f = 43.33 - 6.67 = 36.66$  Hz,感应出的定子电压频率约为 36.66 Hz。

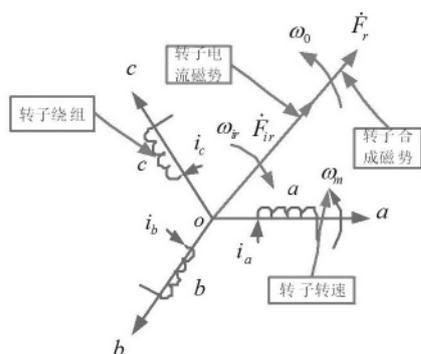


图5 非正常时转子合成磁势的原理

此时,只要调换任意两根转子接线,就可使转子

合成磁势  $\dot{F}_r$  频率正常。

## 2.5 相位不同步的原因

定子电压的相位控制是分两步完成的。

第一步,通过PLL测量电网电压的相角  $\theta_u$ ,计算转子旋转后的相角  $\theta_2'' = \int_0^t \omega_m dt$ ,使得转子电压相角

$\theta_{ru} = \theta_u + \pi/2 - \theta_2''$ ,这就是频率控制的原理。

第二步,计算出定子电压的相角  $\theta_{su}$ 、电网电压的相角  $\theta_u$ ,然后取其差值  $\theta_{offset} = \theta_u - \theta_{su}$  即是补偿相角。取  $\theta_{ru} = \theta_u + \pi/2 - \theta_2'' + \theta_{offset}$ ,这个相角即可使定子电压的相位同步。

变流器从第一步进入第二步,是有条件的,那就是变流器先检测定子电压的  $d$ 、 $q$  分量是否满足要求。

从轴伸端看,B厂家的发电机转子绕组 a-b-c 为顺时针排列,定子电压为负序,经  $d-q$  变换后的为二倍频正弦,不能满足变流器进入第二步的条件。变流器始终停留在第一步,而不能进入第二步进行相位同步操作。任意调换定子的两根接线后,相位不同步的问题得以解决。

## 3 结 语

分析了一例双馈发电机的实验故障,总结出变流器的软件配置与双馈发电机配置两者的兼容非常重要。如果变流器的软件配置与发电机的配置不兼容,可能导致发电机无法并网,或者并网后对发电机造成损害。

## 参考文献

- [1] 苑国锋,柴建云,李永东. 变速恒频风力发电机组励磁变频器的研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(8):90-94.
- [2] 郎永强. 交流励磁双馈电机风力发电系统控制技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [3] 王永,沈颂华,关森. 新颖的基于电压空间矢量三相双向整流器的研究[J]. 电工技术学报,2006,21(1):104-110.

(收稿日期:2011-08-31)