

变速风力发电系统的电源变换技术

合肥阳光电源有限公司 曹仁贤、赵为、屠运武

合肥工业大学电气学院 李维华、张兴

摘要: 本文对变速型风力发电系统功率变换器的多种拓扑结构及控制方式作了较为详细的阐述,并指出目前采用双馈异步感应发电机系统加转子功率控制方式或低速永磁同步发电机组直接驱动变换器两种电路具有较高的性能价格比和较好的市场前景。

关键词: 变速风力发电 双馈异步发电机 直接驱动 并网运行

Abstract: This paper explains the converter of variable speed wind turbines, The comparison between Doubly-fed induction motor and synchronous motor shows that doubly-fed motor with 4-Q AC converter or direct driving system are a very cost effective and widely successful solutions.

Keywords: variable speed wind turbines, doubly-fed induction generator, direct driving, connection with the electric network

1 引言

变速风力发电机组根据风速变化,使机组保持最佳叶尖速比,从而获得最大风能,另外变速风力发电机组与电网实现了柔性连接,大大减少了机械冲击和对电网的冲击,2006 年全球装机容量中多数风机已采用变速风机和变频恒频驱动技术。采用变速风力发电机组已成为风力发电机组的主流^[1]。

采用变速风力发电机组必需采用相应的功率变换器,本文对常用的几种风力并网逆变器进行了比较、分析,对双馈型风力发电系统逆变器进行了详细分析和研究。

2 异步发电机交直交型并网变流器

常规的变速风力并网系统的基本构成如图 1 所示,机组通常由风轮、增速箱、交流发电机、变距机构、整流器、变频器以及控制电路组成,早期的交直交并网逆变器整流器采用晶闸管相控整流器(如图 1 所示),但需要增加无功补偿电路,随着电力电子技术的发展,相控整流器逐步被 PWM

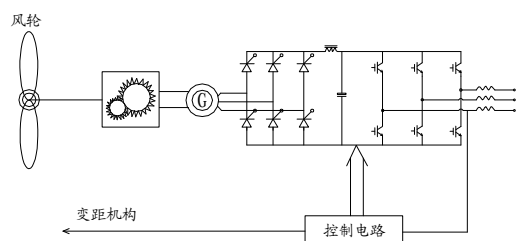


图1 交直交异步发电系统

Fig1 AC-DC-AC induction generator system

整流器所取代,以前 PWM 技术主要应用于逆变器场合,近年来 PWM 整流器已逐渐成熟,采用 PWM 整流器使得风力发电机的功率因素得到改善,谐波损耗也大大降低,其基本控制策略如下:在风力发电机组额定功率以内,控制器的控制策略是实现最大功率跟踪,即尽量利用风能,而当风速超过额定风速时,为使发电机组和逆变器不致于过载运行,此时应减小叶尖速比 CP 值,使风力发电系统运行于恒功率区域。

采用交直交方式实现风机并网运行有许多优点:

- ①控制方式较简单;
- ②可使用普通交流异步发电机;
- ③有功分量和无功分量可单独控制;
- ④对电网波动有较强的适应性。

但也存在许多缺点:

- ①整流器和逆变器的容量必须和风机功率相匹配,变换器价格昂贵;
- ②发电机绕组承受较高的 dv/dt , 电磁兼容性较差;
- ③直流侧 Lc 滤波器、交流网侧电感容量较大。

基于上述优缺点,交直交并网发电系统不适合应用于兆瓦级系统,应用于 10~200kw 系统时其性能价格比最优。

3 同步发电机并网系统

由于同步发电机的转速和电网频率是硬性连接,而风力资源具有较大的随机性,因此发电机和电网之间使用交直交变换器可使风机在较大转速范围内运行。交直交同步风力发电系统如图 2 所示:

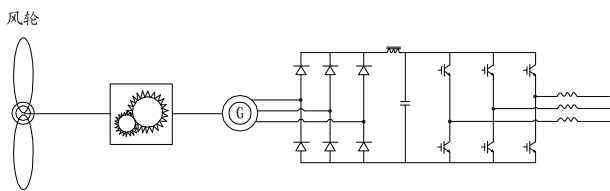


图2 交直交同步发电系统

Fig.2 AC-DC-AC synchronous generator system

由于同步发电机具有独立的励磁回路，无需再提供再生能量，因此交直交变换器不需要四象限运行，小功率的发电机也可采用永磁发电机，但由于同步发电机在低风速时输出电压较低，此时无法将能量回馈至电网，因此实用的电路往往在直流侧加入一个 Boost 升压电路（如图 3 所示）在低速时由升压电路先将整流器输出的直流电压提升，采用此电路可使风力发电机运行在非常宽的调速范围，另外 Boost 电路还可以调节整流器入端（即发电机输出端）的电流波形，以改善其谐波失真和功率因数，此电路结构在中小型并网系统中有着应用前景。

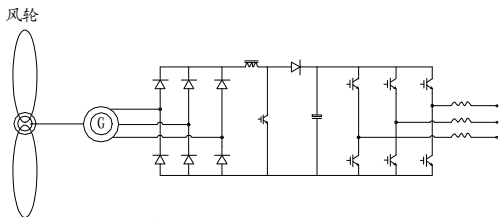


图3 具有升压功能的交直交同步发电系统

Fig.3 AC-DC-AC synchronous generator with boost circuit

优点：

- ①控制电路简单可靠；
- ②无最大、最小速度限制，调速范围宽；
- ③发电机不承受高的 dv/dt ，电磁兼容性好；
- ④对电网波动不敏感。

缺点：

- ①三级变换（整流、升压、逆变）使系统效率下降 2%~3%；
- ②直流环节电容为高压、大容量，体积大、价格高；
- ③网侧电感容量较大。

4 双馈型风力并网发电系统

双馈（Doubly-fed）发电机在结构上与绕线型感应电动机相似，即定子、转子均为三相对称，转子绕组电流由滑环引入，其电气原理如图 4 所示，发电机的定子通过接触器投入电网，转子通过四象限交直交变换器与电网连接。其实质是通过调节转子电流的频率，相位及功率来调节定子侧输出功率使之与风轮输出功率相匹配，使风机运行在最大功率点附近^[2]。

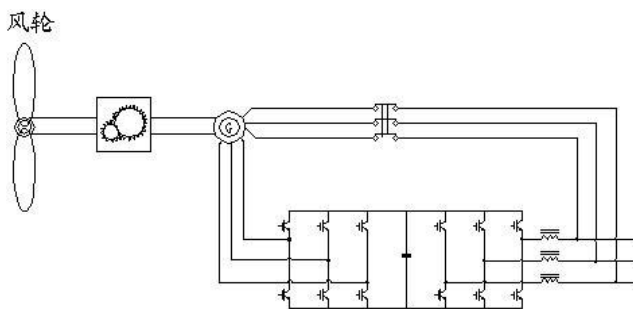


图4 双馈异步发电系统

Fig.4 Doubly-fed induction generator system

双馈风力发电系统的优点如下：

- ①转子侧交直交变换器仅需要 25% 的风机额定功率，大大降低了电源变换器的造价；
- ②网侧及直流侧滤波电感、电容功率相应缩小，电磁干扰也大大降低；
- ③可方便地实现无功功率控制。

缺点如下：

- ①双馈发电机由于必须使用双绕组以及滑环，发电机成本较高，且无标准化设计方法；
- ②调速范围较小，一般只能在额定转速的 70%~130% 内调节^[3]
- ③控制电路较复杂；
- ④转子侧变流器工作在低频段（通常为 0~16.6Hz），由于功率器件一般其有效值在 50Hz 下标定，工作于低频段时 IGBT 等功率器件的热应力增加，功率器件必须留有足够的余量；
- ⑤转子绕组承受较高的 dv/dt ，转子绝缘等级要求较高。

5 低速永磁同步发电机直接驱动系统

上述三种系统均采用了增速齿轮箱将发电机的低速低频变为高速工频，但齿轮箱一方面产生巨大的噪声，同时也降低了风能的利用效率，新型的风力发电系统采用多极低速永磁同步发电机，通过功率变换电路直接并入电网，这就省去了增速齿轮箱（如图 5 所示），系统效率大大提高，噪声也进一步降低。

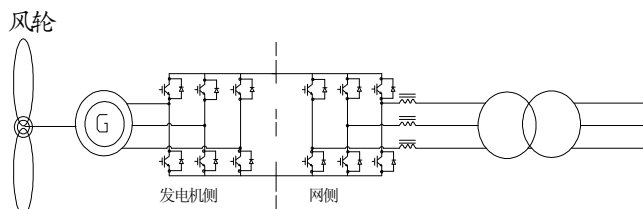


图5 低速永磁直接驱动系统

Fig.5 Direct driving wind generator system

直接驱动型风力发电系统的优点如下：

- ① 风力发电机变速范围不受限制，提高了风能利用率。
- ② 转动部分无需齿轮箱，降低系统噪音。
- ③ 可采用多电平变换技术，将风能直接馈入高压电网。
- ④ 缺点如下：
 1. 功率变换器造价昂贵；
 2. 定子绕组绝缘等级要求较高。

6 结论

本文根据风力发电机的特点对与其相匹配的并网逆变器进行了较为详细的论述，并指出各自的优缺点，结论如下：

1、小型风力并网发电系统（0~300kw），采用同步发电机组加交直交变换器较为合适。

2、大、中容量风力并网系统（300kw 以上），宜采用双馈感应发电机加四象限交直交型变换器或低速永磁发电机加四象限全功率变流器。

参考文献

- 1 Dejan Schreiber Applied Designs of Variable Speed Wind Turbines And New Approaches PCIM 2002.3: 202-207
- 2 叶杭冶 《风力发电机组的控制技术》 机械工业出版社 2002.5: 129-149
- 3 曹仁贤 光伏发电并网之研究 新能源 1997.12 : 3-6