

风力发电四级变速技术分析研究

随着人类社会的发展,地球上煤炭、石油、天然气等地下资源正面临着枯竭的危险,同时严重的环境污染也成为威胁人类生存的主要问题。发展利用风能等可再生能源已成为我国长期的能源战略,目前我国风力发电装机容量仅占我国可利用风力资源0.1%,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要》,风电到2020年很可能超越核电,成为我国第三大发电形式。在风力发电中如何提高风能利用率及风电质量是至关重要的,是首先要面对并解决的工程技术。传统“恒速恒频”发电技术中风力机的叶轮转速始终保持不变以达到标准的频率、电压等电力要求,该技术只能在某一风速下实现风力机最大风能利用[1];在叶片等其他技术条件相同情况下,如实现在全部工作风速或多个风速值下风力机均能实现最大的风能利用,就可能较大地提高风能利用率,“多级变速”风力发电技术就是风力机的叶轮能在多个转速点对应多个风速值转动,实现在相应风速值下风力机获得最大的风能利用,并输出频率恒定的电能[2],四级变速风力发电技术是“多级变速”技术的具体应用。

一、四级变速风力发电机原理

多级变速风力发电机主要由2台发电机(发电机1和发电机2)、控制系统和变速机3部分组成,其技术原理如图1所示。大功率的发电机2的定子绕组与电网连接,向电网输送频率为 f_t 的工频电流,转子绕组经控制系统与小功率的发电机1的定子绕组相连[1]。

大功率的发电机2只有在风速较大(风机输入功率较大)时才和变速机联接运行。发电机2输出的电流频率不仅和转子的机械转速有关,还和输入转子绕组的电流频率有关,具有将转子的机械旋转频率和转子绕组电路的电流频率“相加”的功能,其定子绕组输出“频率相加”后的电流,这一特点简称为“合频”特性。

根据“合频”特性,在图1两台电机组合发电中,发电机2定子绕组输出的电流频率、发电机1定子绕组输出的电流频率和电机转子的机械旋转频率应符合如下关系[3]: $f_t = P_1 \times f_{n1} + f_t = P_2 \times f_{n2} + P_1 \times f_{n1}$ (1) 式中: f_t ——发电机2定子绕组输出的电流频率,与电网频率相同; P_2 ——发电机2的极对数; f_{n2} ——发电机2的转子机械旋转频率; P_1 ——发电机1的极对数; f_{n1} ——发电机1的转子机械旋转频率。

只要设计和控制好 P_1 , f_{n1} , P_2 , f_{n2} 这4个参数,完全可以使发电机2输出的电流频率保持为电网频率或其他所需频率,这4个参数主要由变速机机械变速和改变发电极对数来实现。因此,利用发电机2“合频”特性,通过变速机机械变速和改变发电极对数,可实现风速变化时风力机在多级风轮转速下能输出恒定频率的电能,以提高风能的利用率。由式(1)知,增加电机极对数,可降低机械旋转频率,相应降低转子及齿轮转速,改善润滑条件,减少维护费用。[4]小功率的发电机1的额定功率约为发电机2额定功率的1/4,其电机极对数一般可以变化。当风速较小时,变速机只带动发电机1工作,发电机2脱离与变速机的连接停止工作,发电机1发出的电流经控制系统切换,直接输到电网或其他电路,由此提高了发电机发电效率,延长了大功率发电机2的寿命;当风速较大(风机输入功率较大)时,2台发电机经变速机带动都发电工作,且发电机1发出的电流经控制系统输入到发电机2的转子绕组电路进行“合频”,结合变速机机械变速、改变电机极对数等方法,使风力发电装置输出的电流频率仍保持电网频率。

控制系统主要起到电流切换、改变电机极对数、控制发电机1输向发电机2的电流频率等参数、控制发电机2转子电路电阻值等作用。改变电阻值可控制电机的滑差率,使得风速及风轮转速在小范围变化时发电机发出的电流频率仍保持恒定。

二、四级变速风力发电实例

设工作风速为5.5m/s（启动风速）到16.5m/s（较大风速），在启动风速5.5m/s处叶轮转速为100rpm时叶轮当量叶尖速比为4，此时风能利用率为最大（按0.3计），要实现工作风速范围内若干风速点（5.5m/s，8.25m/s，11m/s，16.5m/s共4档风速，故称为四级变速）仍达到最大风能利用率，即叶轮当量叶尖速比为4，可按（1）设计机械增速比和发电机极对数，由于要保持相同的叶尖速比，对应的叶轮转速须同比例变化，分别为100rpm、150rpm、200rpm、300rpm，叶轮工作频率为叶轮转速的1/60。为减少齿轮箱成本，提高系统变速自动化程度，叶轮到发电机2设计为1级机械变速，速比为5；叶轮到发电机1设计为1级机械变速，速比为2.5；发电机为双速发电机[4]，发电机2的极对数分别为6和2，发电机1的极对数分别为4和2，发电机2的功率约为发电机1的1/4。具体关系如表1所示。

由表1可知（不考虑电机滑差率），在风速11m/s及8.25m/s处，2个发电机利用“合频”特性联合发电，发电机2的输出接入发电机1的转子电路。在具体应用中，当风速为7及以下时可用第1种方式，即发电机2（6极）单独发电；当风速为7上到9.5时可用第2种方式，即发电机2（2极）与发电机1（4极）联合发电；当风速为9.5以上到13时可用第3种方式，即发电机2（2极）与发电机1（2极）联合发电；当风速为13以上时可用第4种方式，即发电机2（2极）及发电机1（4极）单独发电。

三、结论

四级变速风力发电技术利用改变发电机极对数及大小2个发电机的相互配合，达到在4个风速点都能实现风能最大利用，根据统计如果变速恒频风力发电在整个工作风速范围内风能利用量为1个单位，则四级变速风力发电风能利用量能达到80%左右，恒速恒频风力发电风能利用量约为40%。

而且与传统发电技术比还有其他优点，相比恒速恒频发电机系统的增速箱，多级变速风力发电的变速器为低速变速箱，降低了润滑要求，减少了维护费用；由于风速不大、风机输入功率较小时，只有小功率发电机2起发电作用，不存在“大功率发小电”现象，提高了发电机的效率，延长了大功率发电机1的寿命。

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/6111.html>