

直驱式风力发电技术及其发展

陈 荣

(盐城工学院 信息工程学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:直驱式风力发电是当前风力发电技术的一种极具潜能的发展方向。首先回顾国内外风力发电的发展情况,在此基础上,分析了风力发电机组技术尤其是直驱式风力发电机组技术,对直驱式风力发电技术中使用的功率调节方式进行了探讨。对直驱式永磁同步风力发电系统的结构与控制进行了分析,并展望变速风力发电的发展趋势。

关键词:直驱;变速恒频;风力发电;永磁同步电机

中图分类号: TM614; TM351 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2010)02-0001-06

1 国内外风力发电技术的发展概况及其特点

随着各国基于生存及战略因素的考虑、全球化石燃料价格的持续上涨以及温室效应的凸现,世界各国越来越关注对可再生能源的研究和开发。风能作为一种可再生的绿色能源,凭借其巨大的商业潜力和环保效益,在全球新能源和可再生能源行业中创造了增速最快的奇迹。据世界风能委员会统计,2006年全球风力发电能力比上年增长25.6%,达到74.2 GW。预计到2010年,全球风电将翻一番,达到149.5 GW。因此,风力发电将成为解决世界能源问题的重要途径之一。

中国的风电研究始于20世纪70年代,通过自主研发,小型风力发电机组(100 W~10 kW)已经批量生产,得到广泛应用,取得了明显的经济效益。并网风电机组起步于20世纪90年代,其崛起依赖于国家实施的“乘风”计划。进入21世纪,国内已实现了600 kW风电机组工业化生产、750 kW风电机组国产化,目前正在研究1.5 MW、3 MW风电机组国产化。国家发展改革委员会2005年在高技术产业化专项公告中,将1.5 MW变速恒频风电机组和1.2 MW直驱式风电机组产业化列为研究重点,大大推动了风电技术快速发展。但是,在风电并网技术领域,我国与风电强国

之间还存在着较大差距,兆瓦级风电变流机组仍主要依赖进口。如何打破国外技术垄断,在变流器设计及控制技术上拥有自主知识产权,已成为我国风电产业急待解决的问题。根据规划,我国近期能源战略目标是:到2015年新能源和可再生能源年开发量达4 300万t标准煤,占我国当年能源消费总量的2%。因此,伴随着我国能源战略的实现,风电将成为支撑国民经济的新兴行业,必将拉动机械、电子、化工、材料等行业的发展,风力发电前景十分广阔^[1-2]。

当前,随着我国经济快速发展,能源将是制约我国社会、经济发展的瓶颈。而风能作为一种可再生清洁能源,凭借其对环保的突出贡献及在自然界的巨大能量储备,积极加以开发利用,将对我国社会发展、经济建设、国防建设具有十分重要的意义。充分利用风力、光伏等绿色发电技术可大大减少煤和石油等化石燃料消耗,减轻人类活动对环境侵害。风力发电既可以并网也可以离网独立运行,还可与其它能源组成互补发电系统,应用十分灵活。并网运行风力发电系统可以为公共电网输送电力,小型风力发电机组可为多风海岛和偏僻乡村提供生产、生活用电,其发电成本比内燃机发电成本低得多。在所有可再生能源中,相对而言,风力发电技术比较成熟,应用成本相对较低,开发应用前景广阔。

收稿日期:2010-01-28

基金项目:江苏省高校自然科学基金研究计划项目(08KJB470004);盐城工学院开放研究项目(XKY2009067)

作者简介:陈荣(1963-),男,江苏大丰人,教授,博士,主要研究方向为电力电子、电力传动技术。

2 风力发电的技术水平及发展

2.1 国内外风力发电技术基本现状

自风电投入应用以来,经过几十年研究与发展,逐渐形成水平轴、三叶片、上风向、管式塔的统一结构。近年来,风力发电技术在电机、电力电子、现代控制、计算机等相关技术的推动下快速发展。当今,风能开发应用及其发展主要表现在^[3-5]:

①单机容量不断上升,从数十 kW 发展到 MW 级机组;②变桨距功率调节取代定桨距功率调节;③变速恒频取代恒速恒频;④无齿轮直驱方式逐步增多,同步发电逐步替代异步发电;⑤风力发电从陆地向海面拓展;⑥新方案、新技术不断应用于风电系统的功率调节。

目前,已经应用的风电系统如图 1 所示,表 1 列出这些风电系统的功率控制思想。

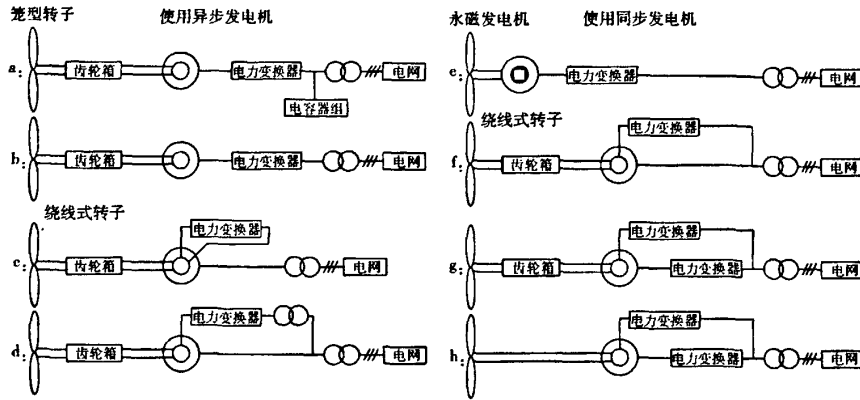


图 1 目前采用的风力发电系统原理图

Fig. 1 The wind power generating system used today

表 1 图 1 中结构在风力发电应用中的控制思想

Table 1 The control idea of the topology used in wind power generating system in

图号	功率变换器	多极或齿轮箱	功率控制特点	注释	实际应用情况
a	软启动器	齿轮箱	自动失速或失速调节	单速或双速电机	早期应用较多,逐步被淘汰
b	变频器	齿轮箱	自动失速或失速调节	变速	可以变速运行,有应用
c	电力电子变换器或无源元件	齿轮箱	变桨距	有限制的变速	小范围变速运行,逐步淘汰
d	变频器	齿轮箱	变桨距	双馈发电机变速	目前主流机型,可变速运行
e	变频器	多极	自动失速、失速调节或变桨距	变速	目前研究热点,已经有应用
f	变频器	齿轮箱	自动失速或变桨距	变速	变速运行,结构复杂应用少
g	整流器和变频器	齿轮箱	变桨距	带齿轮箱变速	有励磁环节,可变速应用少
h	整流器和变频器	多极	变桨距	无齿轮箱变速	有励磁环节,可变速应用少

图 1a 是 20 世纪 80 年代被风机制造商广泛采用的传统结构,常用笼型转子异步发电机,该结构 90 年代被扩展,为补偿无功并联了电容器,为避免发电系统对电网冲击,使用了电机软启动器。

图 1b 是运行于全程范围或低风速区域的变换器代替图 1a 中的电容器和电机软启动器。运行于低风速的变换器功率为发电机额定功率 20% - 30%,运行于全程范围的变换器功率大约

为发电机额定功率的 120%,但它能使风力发电机在所有风速下变速运行。

图 1c 是 90 年代中期一种风力机结构。其基本思想是利用电力电子变换器改变转子电阻,使转差率变化 10%,通过控制转差率控制系统的输出功率。

图 1d 使用双馈异步发电机,用变频器控制转子绕组电流,变频器功率是发电机额定功率 20%

~30%。该结构比图 1c 有更宽的调速范围,变换器所需功率小,经济性好。

图 1e 为全功率控制结构。通过风力机与永磁发电机直接相连,可应用于家庭风电系统或混合风电系统。ABB 公司 2000 年采用这种结构用 3.5 MW 多极永磁电机发电后并入电网。

图 1f 结构风力机应用不多,它通过整流器从电机外部励磁。该结构存在问题是:①需要励磁电路;②需要滑环;③风力机需要复杂的保护策略。

图 1g 结构风力机也不被广泛使用。与前几种结构相比,如果接于电网的电力变换器为 4 象限变换器,那么这种结构可以实现变速。

图 1h 使用多极绕线式同步发电机,与图 1g 结构同,因使用多极发电机,系统不需要齿轮箱。

因此,从风力发电系统结构特点及目前风电技术发展趋势来看,图 1d 和图 1e 结构比较简单,可适应风力变化的随机性,能够满足宽风速范围利用风能发电。实际运行过程中,风力发电机组对系统运行的可靠性、发电质量以及风能利用效率等提出比较高的要求,相应的变流机组速度控制技术和功率控制技术亦不断进步,经历了由恒速到变速、由定桨到变桨的发展过程。

2.2 风力发电并网变流机组的发展^[4-7]

风力发电系统并网变流机组由风力机、发电机、变流器及其控制系统、输变电装置组成。发电系统速度控制和功率控制技术发展情况如下。

2.2.1 风机功率特性,风机速度、功率控制方法

风机输入功率满足贝兹原理,贝兹极限证明桨叶最大风能利用效率 $C_{\max} = 16/27 \approx 0.593$,考虑到阻力、叶尖损失等因素,实际系统中 C_p 最大只达到 0.47。桨距角 γ 、攻角 α 和叶尖速比 γ 是风机运行的重要参数。桨距角一定,随着风速和风机转速的变化,存在一个最优叶尖速比 γ_{opt} ,使功率系数取最大值;当叶尖速比一定时,随着桨距角的增大,桨叶攻角减小,对应功率系数呈下降趋势。如图 2 所示。

因此,要实现最大功率跟踪风能,必须根据风速调节发电机转速,以维持最优叶尖速比。按照发电机速度控制方式的不同,并网变流机组分为恒速恒频机组(CSCF)和变速恒频机组(VSCF)两类。

在最大功率跟踪阶段,为实现最大风能利用,桨距角通常不变。而当风速超过额定值,限于机

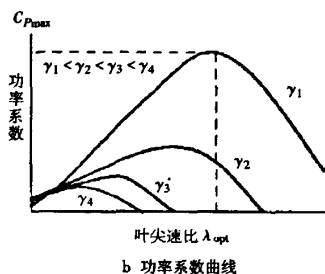
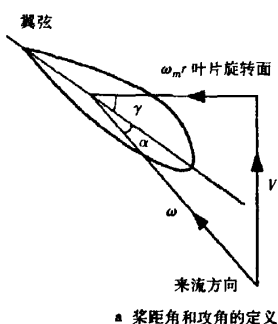


图 2 风机功率特性

Fig. 2 The power characteristic of wind machine

组机械强度、电机及变流器容量,必须降低风轮的能源捕获,使输出功率保持在额定值,避免风机损坏。这就需要通过机组功率调节实现,常见功率调节方式有定桨距失速调节、变桨距调节和主动失速调节 3 种。

2.2.2 速度控制技术与发展

(1) 恒速恒频机组

早期风力发电多为基于笼型感应电机恒速恒频机组。因电网频率恒定,发电机转差变化范围小,电机转速近似不变。而因风机转速很低($\leq 50 \text{ r/min}$),为实现风力发电机与恒频电网间的联结,必须配备增速齿轮箱。考虑到感应电机起电流大、功率因数低,网侧需配备软启动装置和无功补偿电容,机组拓扑如图 3 所示。

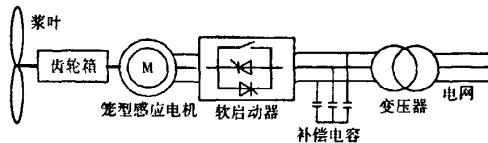


图 3 基于笼型感应电机恒速恒频机组

Fig. 3 The constant speed constant frequency unit based on caged induction - motor

恒速恒频机组的优点是控制简单,电机结实可靠,电气部分成本低,但缺点较多。首先,发电机转速无法调节,机组只在一个风速下实现最大风能捕获,即便采用双绕组电机,也无法在宽风速范围保证风能利用率。其次,因转速恒定,风速脉动将反映到风力机机械转矩上,增大机组机械应力,造成并网功率脉动,影响电网稳定。此外,变流机组不能对网侧无功连续调节,并网电能质量较低。

(2) 变速恒频机组

变速恒频机组通过变流器控制发电机转速随风速变化,可使风能利用率大幅提高。与恒速恒频机组相比,尽管在变流装置上增加了成本,控制也比较复杂,但其优点明显:一是发电机变速运行,能实现风能最大功率跟踪;二是风速脉动被电机转子吸收,减小轴承和齿轮箱等刚性元件的机械应力,有效抑制噪声;三是电力电子技术使变流机组控制更加灵活,能满足电网对风电机组高性能要求,如网侧有功和无功控制、快速动态响应、高质量电能并网等。按照使用发电机型式不同,变速恒频机组分基于双馈感应电机的齿轮驱动型机组和基于永磁同步电机的直驱型机组两类,拓扑结构如图 4 所示。

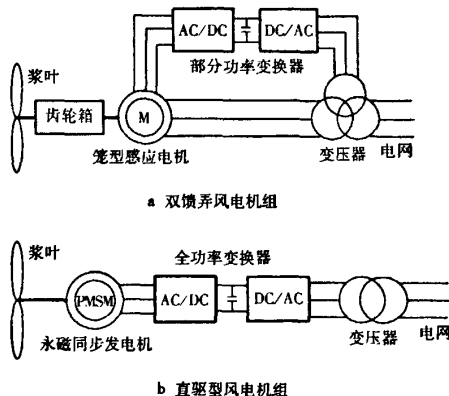


图 4 变速恒频风力发电机组

Fig. 4 The variable speed constant frequency wind energy generation system

双馈型风电机组中,变流器容量为机组容量的 $1/3 \sim 1/2$,系统成本控制上有竞争力,在风力发电中获得应用,2001 年起,其市场占有率超过恒速恒频机组,成为大功率并网发电主流机型。但实际应用暴露许多问题,一是齿轮箱造价昂贵,漏油问题难以解决,影响风能转换效率和系统可

靠性;二是双馈电机滑环和电刷必须定期检修,后期维护工作量大,机组可靠性低。

相比之下,直驱型风电机组具有发展潜力。在直驱型机组中,多极永磁同步电机转速低,可与风力机直接相连,无需升速,机组噪声低、能量转换效率高;其次,发电机运行效率高,不存在滑环和电刷,可显著提高机组可靠性;再者,发电机通过全功率变流装置接入电网,可适应电网波动,网侧功率控制灵活。当然,直驱型机组也有电机极数多、体积大、造价高、全功率变流装置成本高等问题,但由于省去齿轮箱、滑环和电刷等薄弱环节,系统整体效率、并网功率控制灵活性和可靠性显著提高。因此,直驱型风电机组得到科技人员广泛关注,成为风力发电技术最具潜力的发展方向^[6-10]。

2.2.3 功率控制技术的发展^[8-9,11]

(1) 定桨距失速调节

定桨失速是风电机组最简单的功率控制方式。当风速增大到一定值时,风轮桨叶受力变化,阻力增加、升力减小、叶片失速,从而限制机组功率增加。该方式无需功率反馈和变桨机构,整机结构简单、成本低,鲁棒性较强。同时,机组失速条件随风速增加由桨叶根部逐渐形成,和快速调桨动作相比,能减轻系统功率冲击。但定桨失速调节会影响低风速时风能利用率,不能辅助启动机组,随着机组功率等级的提高,叶片增长,其失速特性不易控制,因此,该功率控制方式很少应用在大型风电机组中。

(2) 变桨距调节

变桨距型风电机组能使桨距角随风速而变化。风速低于额定值,桨距角维持最优值以保证最大风能捕获。风速高于额定值,桨距角增大,限制风力机输入功率增加。和定桨失速机组相比,其机组功率控制性能明显提高,风机启动性能和功率输出特性都得到显著改善。缺点是变桨机构复杂,要求发电系统对阵风响应速度快,以减轻功率脉动对机组并网稳定性的影响。

(3) 主动失速调节

主动失速调节是前两种调节方式的组合。风速较低时,桨距角维持最优值以保证风能利用率(最大风能捕获)。机组输入功率超过额定功率,桨距角反向调节,叶片失速效应加深,可限制机组输入功率增加。主动失速调节结合了前两种调节的优点,既利用失速特性对功率进行平滑限制,又

保留变桨调节在最大功率跟踪、辅助机组启动等方面的优势。系统不需要高灵敏调节速度,执行机构的功率也小。

2.3 直驱式风电机组全功率并网变流技术

近年来,通过对直驱风电机组选型与设计、变流器建模与控制、系统运行优化和接入电网技术等课题展开深入研究。在诸多研究内容中,全功率并网变流技术倍受关注,不断向前推进,取得显著的研究成果。

2.3.1 全功率变流器拓扑结构

在全功率变流控制系统中,风电系统变流器常用电机侧不控整流(被动整流)、网侧 PWM 控制整流(主动整流)及电机侧和网侧均为 PWM 控制整流的拓扑结构。这二者网侧变流器拓扑结构相同,电机侧不同。采用不控整流时;为满足网侧变流器输入电压要求,需要加入升压斩波;为提高机组容量,变流器采用多重并联结构。两种拓扑在控制性能、系统可靠性方面各有长短,目前二者在直驱风电机组中均有应用。

2.3.2 网侧变流器研究^[11-16]

三相电压型 PWM 整流器允许能量双向流动、网侧电流谐波小、功率因数可控,近年已被广泛应用于电机驱动和并网发电场合,它的设计方法、数学模型和控制策略是该领域的研究热点。

网侧变流器控制策略有间接电流控制和直接电流控制两种。间接电流控制实际控制交流侧输出的电压幅值和相位,不做电流反馈,电流动态响应慢、对系统参数敏感,已逐步被直接电流控制取代。

直接电流控制具有电流响应快、系统鲁棒性高等特点,研究和应用广泛。直接电流控制方式有线性与非线性控制两类。线性控制包括 PI 调节、状态反馈、预测电流控制等。非线性控制包括滞环电流、模糊决策、神经网络控制等。其中,基于坐标变换的 PI 调节控制应用最为广泛。

三相电压型 PWM 整流器网侧电流谐波小,并网功率因数可控,该特性与网侧滤波电感密切相关。因此,网侧电感设计与优化是其研究重点。随着变流器功率等级提高,一阶电感滤波有开关频率低、滤波电感值大、网侧电流变化率下降、系统动态响应性能低、系统体积大、成本高等问题。采用 LCL 滤波取代 L 滤波,能使滤波电感小于 L 滤波,起到降低装置成本的效果,还可提高网侧电流谐波抑制效果。

风电机组中还需要研究变流器并联运行问题。并联运行能够增大机组容量,提高系统工作的可靠性。并联运行的方法多样,可采用交流侧隔离、直流侧隔离、基于均流电抗并联运行控制等。在研究并联变流器同步控制时,通过对并联单元采用相同开关信号避免环流产生,或采用环流闭环控制策略,能够有效抑制环流,改善系统运行性能。

此外,网侧变流器控制还需考虑在电网电压不平衡情况下运行控制策略。电网电压不平衡时,电压负序分量将导致变流器运行性能下降。为此,需要研究不平衡工况下的控制策略以改进变流器运行性能,如双电流闭环控制、非线性控制、输入输出谐波消除控制和最小拍控制等。

2.3.3 电机侧变流器技术^[17-22]

电机侧变流器采用被动整流拓扑时,研究工作集中在升压斩波器设计与控制上。因网侧变流器能够控制中间直流电压,升压斩波器一般采用电流控制模式,基本控制策略包括峰值电流控制和平均电流控制两类。在兆瓦级风电机组中,为增加机组输出功率,减小输出电流纹波,升压斩波器常采用多重交错并联结构。

对主动整流拓扑,研究工作集中在永磁同步电机建模与控制。研究永磁同步电机矢量控制(VC)和直接转矩控制(DTC),关注电机运行性能改善。为提高风电机组可靠性,倾向于采用无速度传感方案,因此,无速度传感控制是研究的热点。

为提高风能利用率,广泛研究风能最大功率跟踪控制。其基本控制原理可分为叶尖速比法、功率信号反馈法和爬山法。其中,叶尖速比法需要同时检测风速和发电机转速,通过控制使叶尖速比维持最优值。功率信号反馈法基于风机最大功率曲线控制,使机组在不同转速下输出功率跟随指令值。爬山法通过不断改变功率指令使机组输出功率逐步逼近最大值。

3 结语

纵观风力发电系统研究状况,变速风力发电方式中,双馈异步风电机组具有结构简单、变换器功率小的特点,但它依赖电网无功励磁运行,发电机效率不高、电机控制较复杂且需要配置升速齿轮箱,噪音大、效率低、对环境要求高、维护工作量大、适应风速范围窄,目前主要因为其变换器功率小,在特大型风电机组中仍有采用。永磁同步风

电机组拓扑结构简单,风力机和永磁同步电机直接耦合,没有电刷和升速齿轮箱,系统可靠性高,无需励磁控制,运行速度范围宽,电机功率密度高,配以适当的变桨距方式,可以实现宽风速范围内追踪最大风能控制,高效利用风能。因此,随着时间的推移和技术的更新,中大功率风力发电系统将逐步被直驱式风力发电机组所取代。

对于直驱式风力发电系统,由于风力机与多级永磁同步电机直接相连,机械传动效率及系统可靠性高,其变流机组为电机侧被动整流、网侧主动整流及电机侧和网侧均为主动整流的两种拓扑结构,随着技术进步及电力电子器件成本的降低,双主动整流凭借其优越的动态性能将得到广泛应用。

参考文献:

- [1] 魏毅立. 变桨距调速风力发电机组控制系统研究及应用[D]. 北京: 北京科技大学, 2004.
- [2] 宋平岗. 变速风力发电系统变流与优化控制研究[D]. 重庆: 西南交通大学, 2006.
- [3] 付旺保, 赵栋利. 基于自抗扰控制器的变速恒频风力发电并网控制[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 13 - 18.
- [4] 苑国锋, 柴建云. 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.
- [5] 王立国, 徐殿国. 风力发电中 Buck - Boost 变换器参数设计的动力学建模方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(17): 45 - 48.
- [6] 李建林, 高志刚, 胡书举, 等. 并联背靠背 PWM 变流器在直驱型风力发电系统的应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(5): 59 - 62.
- [7] 李东东, 陈陈. 风力发电系统动态仿真的风速模型[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(21): 41 - 44.
- [8] 徐锋. 兆瓦级直驱式复合励磁同步风力发电机组主控制器研制[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [9] Polinder H, Van Der P, Frank F A. Comparison of direct - drive and geared generator concepts for wind turbines[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21(3): 725 - 733.
- [10] 胡书举, 李建林. 永磁直驱风电系统低电压运行特性的分析[J]. 电力系统及其自动化, 2007, 31(17): 73 - 77.
- [11] Clinehilla M, Arnaltes S, Burgos J C. Control of Permanent - magnet generators applied to variable - speed wind - energy systems connected to the grid[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21(1): 130 - 135.
- [12] 尹明, 李庚银. 直驱式永磁同步风力发电机组建模及其控制策略[J]. 电网技术, 2007, 31(15): 61 - 65.
- [13] 王锋, 姜建国. 风力发电机用双 PWM 变换器的功率平衡联合控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(22): 134 - 139.
- [14] Liserre M, Blaabjerg F, Hansen S. Design and control of an LCL - filter - based three - Phase active rectifier[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005, 41(5): 1 281 - 1 291.
- [15] 何亮, 方宇, 李吉, 等. 峰值电流控制 DC/DC 变换器的恒值限流方法[J]. 电工技术学报, 2006, 21(10): 86 - 89.
- [16] 李建林, 高志刚, 赵斌. 直驱型风电系统大容量 Boost PFC 拓扑及控制方法[J]. 电工技术学报, 2008, 23(1): 104 - 109.
- [17] Chinchilla M, Arnaltes S, Burgos J C. Control of Permanent - magnet generators applied to variable - speed wind - energy systems connected to the grid[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21(1): 130 - 135.
- [18] Wai R J, Lin C Y, Chang Y R. Maximum - power - extraction algorithm for grid - connected PMSC wind generation system[J]. IET Electric Power Applications, 2007, 1(2): 275 - 283.
- [19] Wei L, Abbey C, Joos G. Control and Performance of wind turbine generators based on Permanent magnet synchronous machines feeding a diode rectifier[A]. IEEE Power Electronics Specialists Conference, Jeju, South Korea, 2006: 1 - 6.
- [20] 王东风, 贾增周. 变桨距风力发电系统的滑模变结构控制[J]. 华北电力大学学报, 2008, 35(1): 1 - 8.
- [21] 赵仁德, 王永军. 直驱式永磁同步风力发电系统最大功率追踪控制[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(27): 106 - 111.
- [22] 廖勇, 庄凯. 直驱式永磁同步风力发电机双模功率控制策略的仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(33): 76 - 82.

(下转第 26 页)

参考文献:

- [1] 刘震,祝晓才,罗成,等. 基于 Backstepping 方法的全车液压主动悬挂最优控制设计[J]. 控制理论与应用,2008(1): 1-8.
- [2] 刘少军,李艳. 基于 1/2 车辆模型的主动悬架预见控制方法研究[J]. 信息与控制,2000(1): 6-13.
- [3] 刘新亮,张建武,林忠钦. 主动汽车悬架的非线性控制[J]. 汽车工程,1997(3): 175-179.
- [4] 何炎权,刘少军,朱浩,等. 基于磁流变阻尼器的半主动车辆座椅悬架模糊控制研究[J]. 汽车工程,2006(7): 667-670.
- [5] 董仲美,王自力,蒋海波. 基于最优控制的半主动悬挂机车非线性稳定性分析[J]. 内燃机车,2007(3): 13-16.
- [6] 杨小刚. 基于 Matlab 的车辆主动悬挂控制研究[J]. 机械设计与制造,2007(7): 32-34.

Vibration Simulations of Truck Cab by Using Simulink

SHEN Chen-chen¹, TANG Jie¹, GU Han-bing¹, SHI You-jin²

(1. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China;
2. Department of Fundamental Science, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: According to the practice case, the dynamical equals of the construction vehicle cab are built; the software Simulink is used to simulate the vibration of the vehicle cab, and some valuable results are obtained. It can give references for the engineers who deal with vibration decrease of truck cab.

Keywords: vibration simulation; truck cab; Simulink

(责任编辑:张英健;校对:沈建新)

(上接第 6 页)

The Technology and its Evolution of Direct - Driven Wind Power Generation System

CHEN Rong

(School of Information Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: The direct - driven wind power is a sort of wind power generation technology which possess a great potential for utilization and development currently. After reviewing the progress of internal and overseas wind power system, wind power generation technology, especially direct - driven wind power generation technology is analyzed, and its power regulation methods are discussed. The structure and control of direct - driven permanent magnet synchronous wind power generation system are analyzed, and the development direction of variable speed wind power generation is introduced.

Keywords: Direct - Driven; Variable Speed Constant Frequency; Wind Power Generation; Permanent Magnet Synchronous Machines

(责任编辑:张英健;校对:沈建新)