

同步风力发电机无刷励磁系统设计*

李凤婷, 郑恩让

(陕西科技大学 电气与信息工程学院风力发电实验室, 西安 710021)

摘要: 分析了基于可旋转变换器的无刷励磁原理, 提出了基于可旋转变换器的同步风力发电机无刷励磁系统的设计方案。旋转变换器的输入为直流电, 经过全桥逆变电路和旋转变压器以后, 将电能传递到旋转部分, 再经过整流以后给同步风力发电机励磁绕组提供直流电。根据风速变化, 控制励磁机的励磁从而可以控制同步发电机的励磁, 使得输出电压恒定; 在额定风速以下, 获得最大风能利用系数; 额定风速以上, 保证输出功率恒定。通过 Matlab/simulink 对所提出的系统进行了建模仿真, 仿真结果表明所提出的无刷励磁系统是正确可行的。

关键词: 风力发电; 无刷; 同步发电机; 可旋转变换器; 励磁系统

中图分类号: TM 315

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2011)06-0044-04

Design for Wind Synchronous Generator Brushless Excitation System

LI Feng-ting ZHENG En-rang

(Laboratory of Wind Power Generation, College of Electric and Communication Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract This paper introduces the principle of brushless excitation based on rotating converter and presents design scheme of wind synchronous generator brushless excitation system based on rotating converter. The input signal for rotating converter is dc. Through the whole bridge inverter circuits and rotating transformer, electric power transferred to the rotating parts. AC from the exciter after a wind turbine rotating rectifier supply excitation. Simply follow the changes of wind speed to control the main exciter in order to control the excitation of synchronous generator, the constant output voltage can be obtained. In the following wind speed rating, the largest wind energy utilization factor can be obtained. It should be over the wind speed rating to make sure the output power is constant. Matlab/simulink has been used to develop the simulation models. The simulation results show that the brushless excitation system proposed in this paper is correct and feasible.

Key words wind power generation; brushless; synchronous generators; rotating-converter; excitation system

0 引言

一般同步发电机的励磁是由外部电源通过电刷和滑环引到转子上的, 有电刷的存在, 就需要维修, 而且在需要防爆的场合电刷火花往往还是一种危险源。为了提高同步发电机的可靠性和安全性, 可以采用无刷励磁技术^[1]。这样可以使风力发电机在工作效率、稳定性以及并网方面表现的更加理想。

电力电子及其控制技术的发展为同步电机的无刷化提出了一种新的途径^[2]。为解决现有的同步电机无刷励磁方案中存在的结构复杂, 励磁电流调节不

方便等问题, 本文研究了一种将电力电子变换器与电机从结构上结合, 提出了一种全新的无刷励磁方案, 即基于电力电子可旋转变换器的同步电机无刷励磁方案。

1 基于可旋转变换器的无刷励磁原理

1.1 同步风力发电机无刷励磁系统组成

无刷同步风力发电机主要由齿轮箱、交流励磁发电机、交流主励磁发电机 GE 发电机 G、旋转整流器及励磁调节器等组成, 如图 1 所示。该系统同步发电机轴与风轮机连接而且绕线转子绕组与励磁机的电枢连接; 定子上有带励磁的无刷励磁机, 而电枢绕

* 陕西省重大科技创新项目 (2010ZKC04-06)

组位于转子上; 旋转整流器应能够随着主轴旋转。交流励磁机其定子由静态励磁装置供电。

当风力机带动励磁发电机旋转时, 与主轴一起旋转的励磁机转子绕组输出三相交流电, 该三相交流电经整流桥整流后供给同步发电机转子绕组励磁电流。调节交流发电机定子励磁绕组的励磁电流, 就可使励磁发电机的转子所发出的三相交流电压得到调整, 从而改变同步发电机励磁绕组的励磁电流^[2]。该系统去掉了电刷和滑环的接触, 因此称为无刷励磁。励磁调节器的主要功能是根据风速的变化, 自动的调节主励磁发电机的励磁, 使发电机的电压达到规定值的同时, 励磁调节器还有过电压、过电流、超载等保护功能。

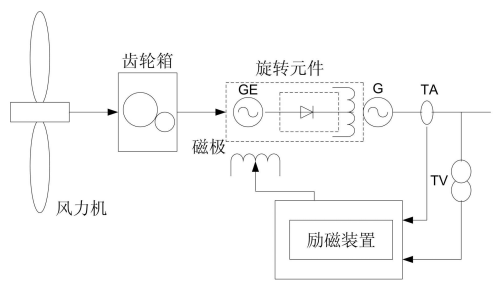


图 1 无刷励磁同步风力发电机原理图
Fig 1 Brushless excitation synchronous wind generators principle diagram

1.2 基于可旋转变换器的无刷励磁原理

旋转式全桥变换器主电路如图 2 所示。左侧为静止部分, 由全桥逆变电路、旋转变压器原边和隔直电容组成; 右侧为旋转部分, 由旋转变压器副边、输出整流滤波电路组成。VT1~VT4 为四只 MOSFET。开关管 VT1(VT2)和 VT3(VT4)轮流导通, 各导通 180°电角度。A、B 两端接旋转变压器, 它起到隔离、降压和非接触式能量传输的作用。另外在变压器原边串一个无感隔直电容, 用来防止高频变压器直流偏磁^[3]。

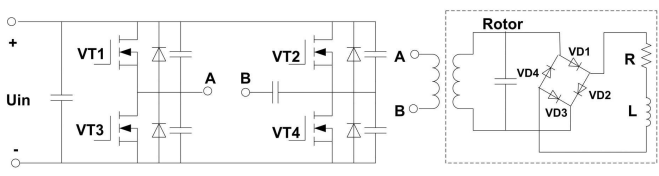


图 2 旋转式全桥变换主电路图
Fig 2 Rotary bridge transform principal diagram

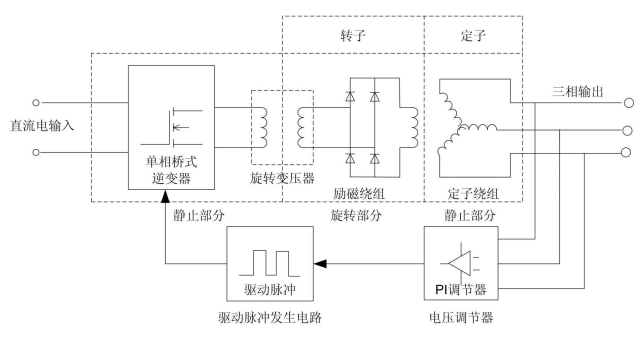


图 3 旋转变换器励磁原理框图
Fig 3 Rotating converter excitation principle diagram

基于高频可旋转变换器无刷励磁的原理框图如图 3 所示。变换器的输入为直流电, 可由单相交流电整流而来, 经过全桥逆变电路和旋转变压器以后, 将电能传递到旋转部分, 再经过整流以后给同步发电机励磁绕组提供直流电。励磁调节器的作用是检测发电机的端电压, 根据一定的控制策略, 控制全桥电路驱动脉冲的移相角, 从而方便的调节同步发电机的励磁电流大小^[4-5]。

2 同步风力发电机无刷励磁控制方法

图 4 是无刷励磁控制系统框图, 从图中可以看出, 同步发电机励磁控制系统是由两个反馈环组成, 内环是电流环, 电压外环的输出信号作为电流环的给定信号, 电流反馈信号取变压器的原边电流, 经整流滤波变成直流信号以后送给电流比较器^[6]。电压检测将同步发电机的输出三相电压整流成直流电压 u_f , 电压外环将 u_f 与基准电压信号 u_r 进行比较, 保证

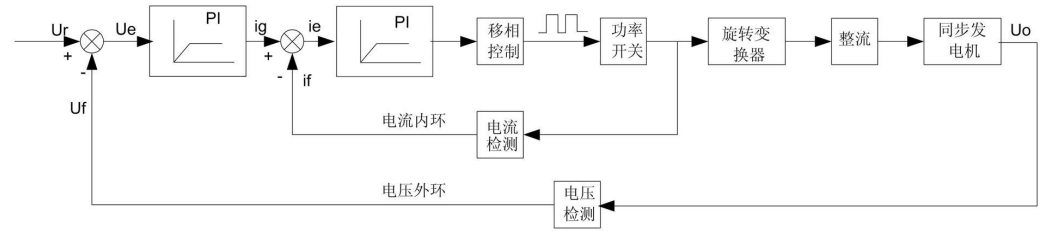


图 4 无刷励磁的控制系统框图
Fig 4 Brushless exciting control system diagram

同步发电机的输出电压稳定。电压环的输出经过限幅放大后作为电流内环的给定, 限幅的目的是限制内环的电流给定值, 从而对功率管最大电流进行限制。控制原理为: 当 $u_r > u_i$ 时, 则 i_g 增大, 移相控制模块使得 VT2 和 VT4 的移相角减小, 占空比增大, 使得励磁电压上升, 励磁电流增大, 从而增大发电机端电压。当 $u_r < u_i$ 时, 则 i_g 减小, 移相控制模块使得 VT2 和 VT4 的移相角增大, 占空比减小, 使得励磁电压降低,

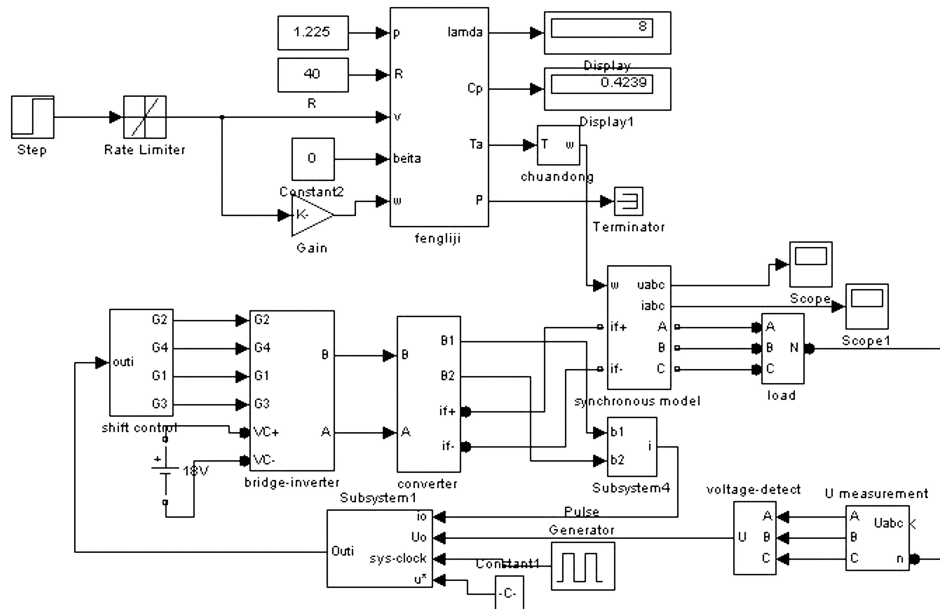


图 5 同步风力发电机无刷励磁系统 Matlab/simulink 仿真模型

Fig 5 Synchronous brushless wind generator excitation system Matlab/ simu link model

在仿真环境下,设置风力发电机的参数为:桨叶半径 $R = 40\text{m}$,空气密度 $\rho = 1.225\text{kg/m}^3$,齿轮箱升速比 N 为 90。发电机的额定功率为 2 MW,转子直径 82m。取 $\beta = 0$,风能利用系数 $C_p - \lambda$ 曲线如图 6 所示。风力机处于最佳风能利用系数情况下,变速风

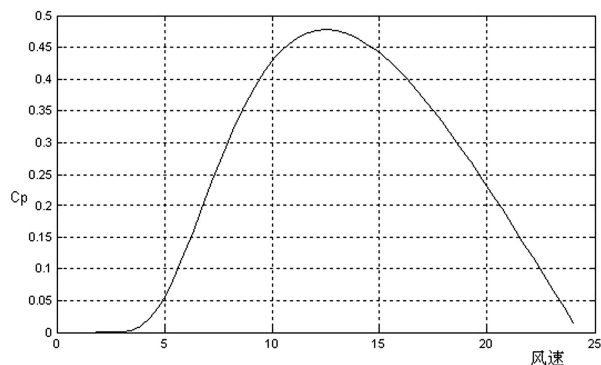


图6 $C_p - \lambda$ 曲线
Fig.6 $C_p - \lambda$ curve

励磁电流减小, 从而降低发电机端电压。

3 系统仿真及结果分析

在 Matlab/simulink 中首先建立了同步发电机的模型,接着建立了整个励磁控制系统的仿真模型。对同步发电机无刷励磁系统的仿真研究主要是在原理上验证基于可旋转变换器无刷励磁方案的可行性。

图 5 为同步风力发电机无刷励磁系统 M atlab/simulink 仿真模型。

力机可实现最佳的输出功率。图 7 为风力机输出功率曲线。

发电机输出功率与风速曲线如图 8 所示, 发电机端电压如图 9 所示。

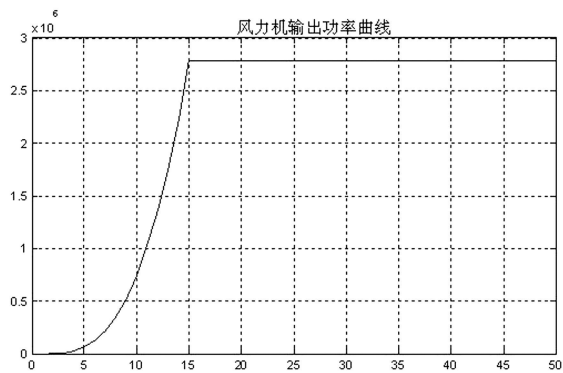


图7 风力机输出功率曲线

Fig.7 Wind turbine output power curve

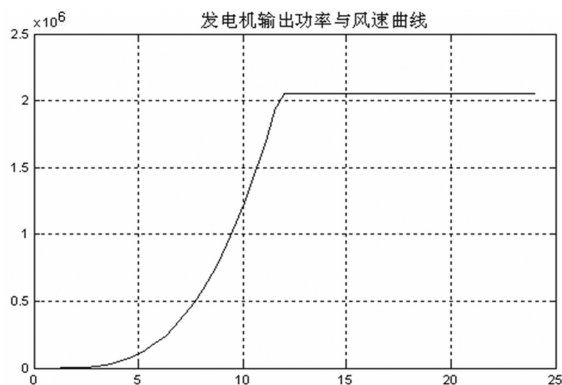


图8 发电机输出功率速曲线

Fig.8 Generator power output and wind speed curve

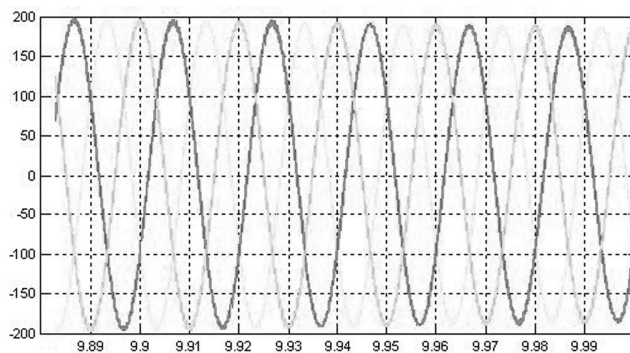


图9 发电机端电压曲线

Fig.9 Generator voltage curve

由图 8 图 9 可以看出, 通过励磁调节系统的调节, 风力发电机组在额定风速以下, 获得最大风能利用系数; 额定风速以上, 保证输出功率恒定, 并使发电机的输出电压稳定。

实验数据由山东长星集团提供。风力机切入风速为 3m/s, 切出风速为 25m/s, 额定风速为 12m/s, 励磁机最大励磁电压 DC150V, 最大励磁电流 3A, 励磁机功率 9kW, 励磁机电压 $3 \times 90V$, 励磁机电流 60A, 励磁机频率 104 ~ 200Hz, 励磁机转速 1040 ~ 2000rpm。

对于确定的风力发电系统, 风力发电机组在风速 3 ~ 4m/s 时开始启动, 开始准备投入励磁系统, 开始时满励磁运行; 额定风速以下, 控制励磁机的励磁电流从而控制风力发电的励磁, 维持输出电压恒定, 达到最大风能利用系数 C_p ; 额定风速以上时, 励磁电流达到最小励磁状态; 风速高于 25m/s 时发电机组制动刹车。

实验数据充分表明, 文中所提出的基于可旋转变换器的无刷励磁系统, 可以使风力发电机组获得最大风能利用系数, 保证输出功率恒定, 输出电压稳定, 在实际的风力发电系统中是完全可行的。

4 结 论

励磁调节系统是同步发电机的重要组成部分, 无论是在稳态运行还是在暂态运行过程中, 同步发电机运行状态都在很大程度上与励磁有关, 励磁系统性能的好坏直接影响到风力发电机及电力系统运行的可靠性、安全性和稳定性。本文提出了基于可旋转变换器的无刷励磁系统的设计方法, 对整个励磁系统进行了建模仿真, 并提供了山东长星集团所给的风力发电机及励磁系统的实验数据, 从仿真结果可以看出, 基于可旋转变换器的无刷励磁系统对同步风力发电机是完全可行的。

参 考 文 献

[1] 陆野, 韩竺秦, 王晶. 风力发电励磁系统研究 [J]. 铁路计算机应

用, 2010, 19(3): 20- 23

LU Ye, HAN Zhu-qin, WANG Jing. Study on Wind Power Excitation System [J]. Railway Computer Application, 2010, 19(3): 20- 23.

[2] 郑恩让, 张文苑. 无刷励磁同步风力发电机励磁系统设计 [J]. 电机与控制应用, 2009, 36(7), 10- 13.

ZHENG En-rang, ZHANG Wen-yuan. Design for Wind Brushless Synchronous Generator Excitation System [J]. Motor and control applications, 2009, 36(7), 10- 13.

[3] 黄晓阁. 基于可旋转变换器的同步发电机无刷励磁研究 [D]. 南京航空航天大学, 2008

Huang Xiaoge. Research on Synchronous Generator Brushless Excitation Based on Rotating Converter [D]. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics The Graduate School College of Automation Engineering, 2008.

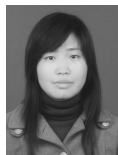
[4] 何爱斌, 周超. 直流励磁机励磁系统与无刷励磁系统的应用比较 [J]. 能源研究与利用, 2008, 49- 50

He Aibin, Zhou Chao. Application of exciter excitation system and brushless excitation system [J]. Energy research and utilization, 2008, 49- 50

[5] Feifei Bu, Wenxin Huang, Yuwen Hu, Kai Shi. An Excitation- Capacitor- Optimized Dual Stator- Winding Induction Generator With the Static Excitation Controller for Wind Power Application [J]. IEEE Transactions Energy Conversion, 2010, 1- 10.

[6] 李幼倩, 韩君强. 现代新型无刷励磁同步电动机的设计及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

作者简介:



李凤婷 (1986-), 女, 陕西人, 硕士研究生, 研究方向为风力发电、工业过程智能控制。

Email: lifengting001@126.com



郑恩让 (1962-), 男, 陕西人, 博士, 教授, 硕士生导师。研究方向为风力发电、工业过程智能控制等。

Email: zhenge@sust.edu.cn

收稿日期: 2011-04-02
(杨长江 编发)