

文章编号:1671-251X(2012)07-0063-05

李勇,周海涛,李晓英. 飞轮电池在离网型风力发电系统中的应用[J]. 工矿自动化,2012(7):63-67.

飞轮电池在离网型风力发电系统中的应用

李勇, 周海涛, 李晓英

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:针对目前风力发电系统中储能装置(蓄电池)寿命短、充放电效率低的问题,提出采用飞轮电池作为储能装置的方案,分析了飞轮电池的 $d-q$ 模型及其充放电控制策略。在飞轮电池充电控制过程中,采用基于转子磁场定向的矢量控制策略;在放电控制过程中,采用以直流母线电压为控制对象的控制策略。仿真结果表明,采用飞轮电池作为离网型风力发电系统的能量缓冲装置,能够有效稳定离网型风力发电系统的直流母线电压,提高其电能质量和稳定性。

关键词:风力发电;飞轮电池;充放电控制;电能质量;直流母线电压

中图分类号:TD61 文献标识码:A 网络出版时间:2012-07-02 09:58

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120702.0958.018.html>

收稿日期:2012-04-23

基金项目:甘肃省自然科学基金项目(1014RJZA031)

作者简介:李勇(1985-),男,安徽亳州人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术应用。E-mail:liyong8511@yahoo.com.cn

参考文献:

- [1] 王一波,李晶,许洪华.考虑电网安全稳定约束的光伏电站最大安装容量计算与分析[J].太阳能学报,2008,29(8):971-975.
- [2] 茆美琴,余世杰,苏建徽.带有MPPT功能的光伏阵列Matlab通用仿真模型[J].系统仿真学报,2005,17(5):1248-1251.
- [3] VIOREL B. Dynamic Model of a Complex System Including PV Cells, Electric Battery, Electrical Motor and Water Pump[J]. Energy, 2003, 28(12): 1165-1181.
- [4] GOW A, MANING CD. Development Photovoltaic Array Model for Use in Power-electronics Simulation Studies[J]. IEE Proc Electr Power Appl., 1999, 146: 193-200.
- [5] YUSHAIZAD Y, SITI H S, MUHAMMAD A L, et al. Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System [C]// Proceeding of National Power and Energy Conference, 2004: 88-93.
- [6] DENG Yi, Research on IGBT Model for Complex Circuits and Solar Array Model for Large-scale Photovoltaic Arrays [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010: 23-52.
- [7] KRISHNAMOORYTHY H S, ESSAKIAPPAN S, ENJETI P N, et al. A New Multilevel Converter for Megawatt Scale Solar Photovoltaic Utility Integration [C]//The 27th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2012: 1431-1438.
- [8] SPERTHINO F, AKILIMALI J S. Are Manufacturing-Mismatch and Reverse Currents Key Factors in Large Photovoltaic Arrays [C]//IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009: 4520-4531.
- [9] 王长贵,王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [10] ZHAO Z M, LIU J Z, SUN X Y, et al. Solar Energy PV System and its Application [M]. Beijing: China Science Press, 2005.
- [11] HADERLIE J, CROSSLEY W. A Parametric Approach to Supercritical Airfoil Design Optimization [C]//The 9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2009: 21-23.
- [12] 陈鸿伟,刘焕志,李晓伟,等. 双循环流化床颗粒循环流率试验与BP神经网络预测[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(32): 25-29.

Application of Flywheel Battery in Off-grid Wind Power Generation System

LI Yong, ZHOU Hai-tao, LI Xiao-ying

(College of Electrical and Information Engineering of Lanzhou University of Technology,
Lanzhou 730050, China)

Abstract: In allusion to problems of short life, low efficiency of charge and discharge of current energy storage device (battery) in wind power generation system, the paper proposed a scheme of taking flywheel battery as the energy storage device, analyzed $d-q$ model and charge and discharge control strategy of flywheel battery. Vector control strategy based on rotor field orientation is adopted in charge control, and the control strategy with DC bus voltage as control object is adopted in discharge control. The simulation results showed that using flywheel battery as energy buffer of off-grid wind power generation system can effectively stabilize the DC bus voltage and improve power quality and stability.

Key words: wind power generation, flywheel battery, charge and discharge control, power quality, DC bus voltage

0 引言

目前离网型风力发电以经济、方便、实用的特点成为新能源发电中的一个重要应用方向。由于风电能的波动性和用户需求的时变性,风力发电系统必须接入合适的储能装置以抑制风电功率波动,平滑输出电压,提高电能质量。目前普遍采用的储能装置是蓄电池,蓄电池体积庞大,寿命短,充放电效率低,导致风力发电系统运行成本高^[1]。飞轮电池利用高速旋转的飞轮将电能以动能形式储存起来,与蓄电池相比具有体积小、无污染、寿命长、充放电速度快且效率高等优点^[2]。

本文对离网型风力发电系统中飞轮电池的 $d-q$ 模型进行了分析;通过对飞轮电池进行快速、稳定的充放电控制,稳定了系统直流侧电压,增强了系统可靠性,从而实现了离网型风力发电系统的稳定运行。

1 采用飞轮电池的风力发电系统结构

采用飞轮电池的离网型风力发电系统结构如图1所示。飞轮电池接在系统的直流母线上,用来改善系统直流母线电压的稳定性。

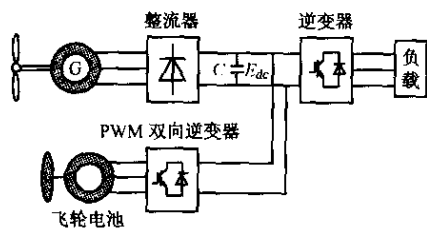


图1 采用飞轮电池的离网型风力发电系统结构

2 飞轮电池的等效 $d-q$ 模型电路2.1 PWM双向逆变器的等效 $d-q$ 模型电路

将三相电压型PWM逆变器的等效 $d-q$ 模型电路简化,即取旋转变换矩阵 K_s 中初始相角 φ 与交流侧电动势初始相角 φ_1 相等,可得PWM双向逆变器的等效 $d-q$ 模型^[3]。设 U_{abc} 为三相电压型PWM逆变器的交流侧电压,则

$$\begin{cases} U_{abc} = S U_{dc} \\ S = \sqrt{2/3} m \begin{bmatrix} \sin(\theta_r + \varphi_2) \\ \sin(\theta_r + \varphi_2 - 2\pi/3) \\ \sin(\theta_r + \varphi_2 + 2\pi/3) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

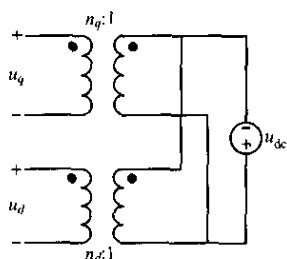
式中: S 为开关函数基波矩阵; $\sqrt{2/3}m$ 为开关函数基波峰值; θ_r 为定子磁链角; φ_2 为开关函数基波分量的初始相位角。

转换结果为

$$\begin{cases} U_{dq0} = K_s U_{abc} = K_s S U_{dc} = m U_{dc} \begin{bmatrix} \cos(\varphi_2 - \varphi) \\ -\sin(\varphi_2 - \varphi) \\ 0 \end{bmatrix} \\ K_s = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r + \varphi) \cos(\theta_r + \varphi - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_r + \varphi + 2\pi/3) \\ \sin(\theta_r + \varphi) \sin(\theta_r + \varphi - 2\pi/3) \\ \sin(\theta_r + \varphi + 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

式中: U_{dq0} 为 $d-q$ 坐标系下的电压。

图2为PWM双向逆变器的等效 $d-q$ 模型电路,其中 $n_q = m \sin(\varphi - \varphi_2)$, $n_d = m \cos(\varphi_2 - \varphi)$ 。

图2 PWM双向逆变器的等效 $d-q$ 模型电路

2.2 高速飞轮的等效 $d-q$ 模型电路

飞轮系统可通过式(3)来描述:

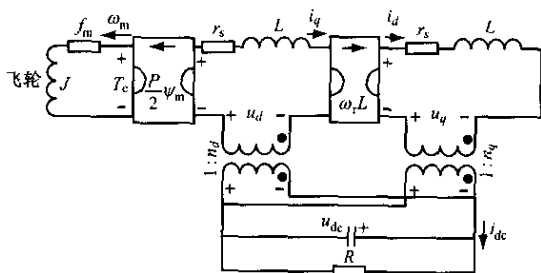
$$T_e = Jp\omega_m + f_m\omega_m \quad (3)$$

式中: T_e 为电磁转矩; J 为飞轮系统的转动惯量; p 为微分算子; ω_m 为飞轮的机械转速; f_m 为摩擦系数。

式(3)类似于转矩源(电压)驱动一个转动惯量(电感)和一个摩擦系数(电阻)的系统方程,其中转矩等效于电压,转速等效于电流。因此根据类比理论可得式(3)对应的电路表示形式即飞轮的等效模型电路。

2.3 飞轮电池的等效 $d-q$ 模型电路

因为直流母线电路无需进行 $d-q$ 变换,所以其拓扑结构和参数保持不变。结合永磁同步电动机的 $d-q$ 模型可得飞轮电池放电的等效 $d-q$ 模型电路^[4],如图3所示。

图3 飞轮电池放电的等效 $d-q$ 模型电路

通过改变放电模型中 i_q 、 i_d 和 i_{dc} 的方向,同时将直流侧的电阻变为电压源,即可得到飞轮电池充电的等效 $d-q$ 模型电路。

3 飞轮电池的充放电控制

3.1 放电控制

当风速变小或者突加负载时,采用飞轮电池的离网型风力发电系统直流侧电压 u_{dc} 将下降,飞轮电池的电动机运行于发电状态,将储存于飞轮中的机械能转换成电能补偿给系统。由图3可得飞轮电池在同步旋转参考坐标系下的电压、转矩和机械方程:

$$\begin{cases} \omega_r \Psi_m = r_s i_q + L_p i_q + \omega_r L i_d + u_q \\ 0 = r_s i_d + L_p i_d - \omega_r L i_q + u_d \end{cases} \quad (4)$$

$$T_e = -\frac{p}{2} \Psi_m i_q \quad (5)$$

$$T_e = J \frac{d}{dt} \omega_m + f_m \omega_m \quad (6)$$

式中: ω_r 为飞轮的电磁转速; Ψ_m 为飞轮和永磁同步电动机的耦合磁链。

由于飞轮轴承使用的是磁轴承并且在真空腔中运行,因此可忽略摩擦等电动机损耗,则电动机输出的电功率等于机械功率:

$$P_{out} = T_e \omega_m \quad (7)$$

因此整流器的输入功率等于电功率,如果忽略整流器的损耗,则整流器输入功率等于输出功率:

$$P_{in} = u_{dc} i_{dc} = P_{out} \quad (8)$$

式中: u_{dc} 为直流母线电压; i_{dc} 为整流器输出电流。

由式(7)和式(8)可得

$$i_{dc} = \frac{T_e \omega_m}{u_{dc}} \quad (9)$$

由式(9)可知,直流母线电压 u_{dc} 可通过控制 i_{dc} 和电动机转矩来控制。根据式(5)和式(9)可得电动机定子相电流 q 轴分量和整流器输出电流的关系:

$$i_q = \frac{2u_{dc} i_{dc}}{P\omega_m \Psi_m} \quad (10)$$

为了实现飞轮电池快速、稳定的放电控制,采用基于转子磁场定向的矢量控制策略;采用电压外环、电流内环的双闭环控制;为了获得较高的输出功率,控制定子电流矢量落在 q 轴上,使得 $i_d = 0$;将定子相电流的 d 、 q 轴分量和它们的反馈量进行比较,其差值经过 PI 调节器后得到 d 、 q 轴的电压控制量 u_d^* 、 u_q^* ,再通过 park 逆变换和 SVPWM 调制后生成 PWM 脉冲驱动逆变器,完成永磁同步电动机按转子磁场定向的矢量控制。飞轮电池的放电控制结构如图4所示。

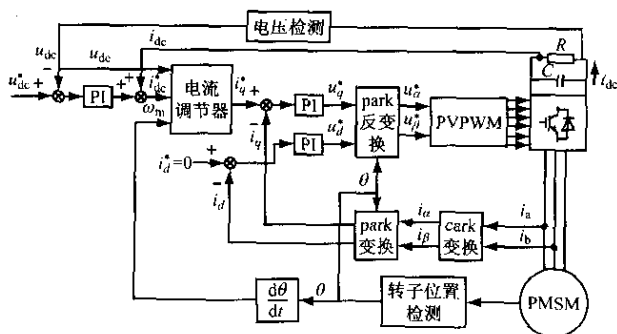
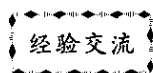


图4 飞轮电池的放电控制结构



文章编号:1671-251X(2012)07-0067-04

李荣生,姚彬,李世奇. 选煤厂带式输送机防伤人安全保护系统设计[J]. 工矿自动化,2012(7):67-70.

选煤厂带式输送机防伤人安全保护系统设计

李荣生¹, 姚彬¹, 李世奇²

(1. 山西大同大学煤炭工程学院, 山西 大同 037003;
2. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对现有选煤厂带式输送机保护装置缺少动态防伤人监测功能,输送机旋转部位易导致伤人事故等问题,提出一种选煤厂带式输送机防伤人安全保护系统设计方案;介绍了该系统的总体设计方案、设备选型、探测器布置方式。该系统通过热释放红外探测器、对射红外探测器及红外电子网检测人体靠近输送机旋转部件的情况,当工作人员进入检测区域活动时给予提示、报警或进行停机保护。现场工业试验结果显示,选煤厂带式输送机防伤人安全保护系统可有效预防带式输送机旋转部件伤人事故。

关键词:选煤厂;带式输送机;防伤人保护;自动监测;红外探测器

中图分类号:TD634.1 文献标识码:B 网络出版时间:2012-07-02 09:59

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120702.0959.019.html>

Design of Anti-assault Safety Protection System of Belt Conveyor in Coal Preparation Plant

LI Rong-sheng¹, YAO Bin¹, LI Shi-qi²

(1. Coal Engineering College of Shanxi Datong University, Datong 037003, China.
2. Faculty of Mechanical and Electronic Information of China University of Geosciences (Wuhan),
Wuhan 430074, China)

Abstract: In allusion to problems that current protection device of belt conveyor in coal preparation plant is lack of dynamic anti-assault monitoring function and rotating parts of conveyor easily lead to injury accident and other issues, the paper proposed a design scheme of anti-assault safety protection system of belt conveyor in coal preparation plant, and introduced overall design, equipment selection and detector

收稿日期:2012-05-07

作者简介:李荣生(1957-),男,山西运城人,副教授,现主要从事电气自动化方面的教学与科研工作。E-mail: lrs1957@163.com

参考文献:

- [1] 齐志远,王生铁. 协调控制框架下的离网型风力发电系统能量管理[J]. 太阳能学报,2009,30(4):503-508.
- [2] 戴兴建,于涵,李奕良. 飞轮储能系统充放电效率实验研究[J]. 电工技术学报,2009,24(3):20-24.
- [3] 张崇巍,张兴. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [4] SALMAN T R. Advanced High-speed Flywheel Energy Storage Systems for Pulsed Power Application [D]. Texas: Texas A&M University, 2008.
- [5] BILLINTON R, BAGE, CUI Y. Reliability Evaluation of Small Stand-alone Wind Energy Conversions Systems Using a Time Series Simulation Model[J]. IEEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2003, 150(1): 96-100.
- [6] 葛海涛. 基于 MATLAB 的风力发电系统仿真研究 [D]. 保定:华北电力大学,2009.