

液压型风力发电机组最佳功率追踪控制研究

艾超¹, 闫桂山³, 孔祥东², 廖利辉³

(1. 燕山大学 河北省重型机械流体动力传输与控制实验室 河北 秦皇岛 066004; 2. 先进锻压成形技术与科学教育部重点实验室 河北 秦皇岛 066004; 3. 燕山大学 机械工程学院 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 针对液压型风力发电机组能量转化效率问题, 以最佳机组输出功率为控制目标, 提出了两种最佳功率追踪方法。以 30 kVA 液压型风力发电机组实验平台为基础, 研究所提出控制方法的可行性与控制特点。仿真和实验结果表明: 直接压力控制的最佳功率追踪控制方法简单易行, 但其准确性易受系统效率影响; 考虑系统效率时, 系统压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪控制方法具有更精确的追踪效果。

关键词: 风力发电; 液压传动; 最佳功率追踪; 压力控制; 风力机转速

中图分类号: TK83; TH137 文献标识码: A
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.01.036

引言

风电行业在缓解能源、环境危机方面逐步发挥着越来越重要的作用^[1]。其中, 液压型风力发电机组是一种新型发电装置, 采用定量泵-变量马达液压传动系统配合励磁同步发电机, 与传统机型相比, 具有机舱重量轻、发电质量高、电网冲击小等优点。目前, 国内外相关学者对该机型展开了一系列研究^[2-3]。

液压型风力发电机组工作原理如图 1 所示。

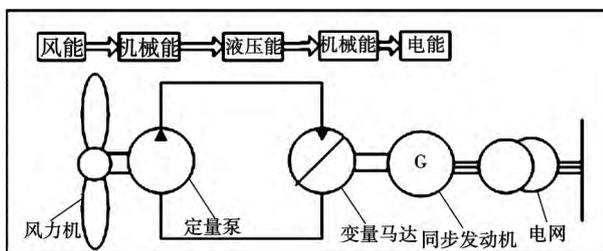


图 1 液压型风力发电机组工作原理图

Fig. 1 Diagram showing the working principle of a hydraulic type wind power generation unit

风力机吸收风能并转换成机械能, 推动定量泵转动, 定量泵将机械能转换成液压能, 高压油驱动变量马达转动实现液压能向机械能的转化, 变量马达与励磁同步发电机刚性连接、同轴转动, 最终将机械能转换成电能。

风力发电机组最佳功率追踪控制是提高风电机组风电转换效率的直接方法, 也是风电机组的关键技术之一^[4]。液压型机组与传统风电机组一样, 必须具备最佳功率追踪控制功能。

针对风力发电机组最佳功率追踪控制, 国内外学者展开了一系列研究。双馈异步风力发电机组和永磁直驱风力发电机组作为传统机型, 主要通过控制发电机变流逆变装置实现最佳功率追踪^[5], 具体实现方法可分为 3 类^[6-8]: (TSR) 叶尖速比法、(PSF) 功率信号反馈法和 (HCS) 爬坡搜索法。

由于液压型风力发电机组省去了变流逆变装置, 故传统风力发电机组最佳功率追踪控制方法在该机组上不再完全适用。因此, 有必要研究其最佳功率追踪控制方法。文献 [9] 针对由变量泵-变量马达组成的液压型风力发电机组, 提出通过调整变量泵和变量马达排量分别控制风力机的转速和发电功率, 实现最佳功率追踪; 文献 [10] 针对由定量泵-变量马达闭式系统组成的液压型风力发电机组, 研究了一种变步长的最佳功率追踪控制方法, 但该方法没考虑系统效率对功率追踪控制的影响, 同时其控制过程复杂, 工程上不易实现。

由于目前针对液压型风力发电机组最佳功率追踪控制方法的研究文献鲜见, 对其控制机理与具体实现方法尚未形成成熟体系。目前针对液压型风力发电机组最佳功率追踪控制的实现方法大多控制复

收稿日期: 2014-03-28; 修订日期: 2014-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51375422); 国家自然科学基金基金资助项目(51405423); 河北省青年基金(QN20132017); 燕山大学青年教师自主研究计划课题(13LGB005)。

作者简介: 艾超(1982-), 男, 河北唐山人, 燕山大学博士, 讲师。

杂,同时易受风速波动影响,不利于工程推广。因此,有必要对液压型风力发电机组最佳功率追踪控制方法进行深入研究。

1 液压型风力发电机组数学模型分析

1.1 风力机特性数学模型

根据风力发电机工作原理,可建立其输出功率和转矩关于转速的数学模型^[11],分别为:

$$Q = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 C_p \quad (1)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2)$$

式中: Q —风力机功率, kW; T —风力机气动转矩, kN·m; ω —风力机角速度, rad/s; ρ —气流密度, kg/m³; v —风速, m/s; R —叶片半径, m; C_p —风能利用系数,无量纲数。

1.2 液压主传动系统数学模型

液压型风力发电机组定量泵—变量马达闭式容积回路原理如图 2 所示。

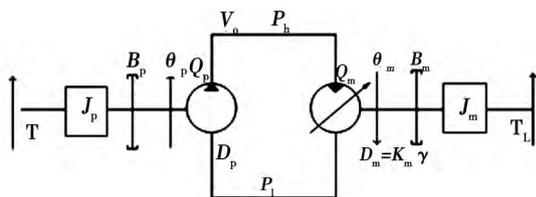


图 2 定量泵—变量马达闭式容积回路原理图

Fig. 2 Diagram showing the working principle of the closed type volumetric loop from a fixed quantity pump to a variable motor

建立定量泵—变量马达闭式容积回路数学模型^[12],其中,变量马达转速的传递函数为:

$$\omega_m = \frac{\frac{D_p \omega_p}{D_{m0} \gamma_0} + \left(\frac{p_{h0} V_0}{D_{m0} \beta_e \gamma_0} s^2 + \frac{C_t p_{h0}}{D_{m0} \gamma_0} - \frac{\omega_{m0}}{\gamma_0} \right) \gamma - \frac{C_t}{D_{m0}^2 \gamma_0} \left(\frac{V_0}{\beta_e C_t} s + 1 \right) T_L}{\left[\frac{J_m V_0}{D_{m0}^2 \gamma_0^2 \beta_e} s^2 + \left(\frac{C_t J_m}{D_{m0}^2 \gamma_0} + \frac{B_m V_0}{D_{m0}^2 \gamma_0^2 \beta_e} \right) s + \frac{C_t B_m}{D_{m0}^2 \gamma_0} + 1 \right]} \quad (3)$$

系统高压压力对定量泵转速的传递函数为:

$$\frac{p_h}{\omega_p} = \frac{D_p / C_t}{1 + \frac{V_0}{\beta_e C_t} s} \quad (4)$$

系统高压压力对变量马达摆角的传递函数为:

$$\frac{p_h}{\gamma} = - \frac{K_m \omega_m / C_t}{1 + \frac{V_0}{\beta_e C_t} s} \quad (5)$$

式中: D_p —定量泵的输出流量, m³/rad; ω_p —定量泵的角速度, rad/s; ω_m —变量马达的角速度, rad/s; D_{m0} —变量马达的最大排量, m³/rad; γ —变量马达摆角与其最大摆角比值; p_h —高压侧压力, Pa; p_{h0} —高压侧压力初始值, Pa; V_0 —单个腔室的总容积, m³; β_e —有效体积弹性模量, Pa; ω_{m0} —变量马达的初始转速, rad/s; T_L —变量马达负载力矩, N·m; J_m —变量马达和负载的总惯量, kg·m²; B_m —变量马达粘性阻尼系数, N/(m/s); K_m —变量马达排量梯度, m³/rad; C_t —总泄漏系数, m³/(s·Pa)。

液压系统传输的功率(发电功率)为压力与流量的乘积,即

$$Q_h = K_m \omega_m \gamma p_h \quad (6)$$

2 液压型机组最佳功率追踪控制方法研究

2.1 直接压力控制的最佳功率追踪方法

由上述数学模型分析可知,系统的压力既是功率响应的中间变量,又是风力机转速(定量泵转速)调节的直接作用量,因此,可以通过直接控制系统的压力来实现最佳功率追踪。

液压型风力发电机组工作时,受力分析如图 3 所示。

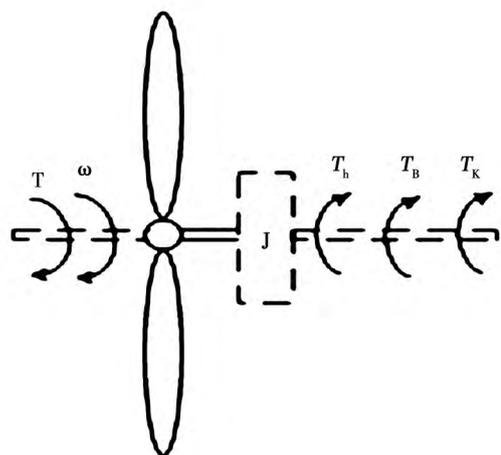


图 3 风力机受力分析

Fig. 3 Force-bearing analysis of a wind turbine

风力机主轴粘性力矩 T_b 和弹性力矩 T_k 一般较小,可忽略不计。则风力机受力动力学方程为:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T - T_h \quad (7)$$

式中: J —风力机等效转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; T_h —液压系统反作用力矩(负载力矩) $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

若能准确控制负载力矩,使风力机最终稳定于最佳转速,则能够实现机组最佳功率追踪控制。由于负载力矩由系统压力产生,可从系统压力控制的角度实现最佳功率追踪控制。

基于以上分析,提出一种直接压力控制的最佳功率追踪方法。其控制框图如图4所示。其控制思想为:通过控制液压主传动系统的压力,间接控制负载力矩,使负载力矩与风力机的气动转矩在风力机转速调整的过程中自动趋向动态平衡。最终,控制风力机的转速稳定于最佳转速,实现最佳功率追踪控制。

直接压力控制的最佳功率追踪方法主要包括3个控制环:斜盘位置控制环、马达转速控制环和直接压力控制环。

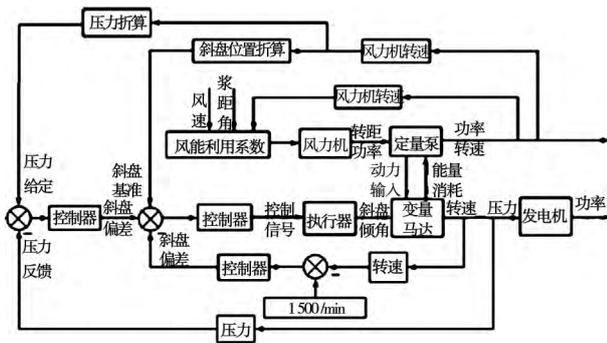


图4 直接压力控制的最佳功率追踪控制框图

Fig. 4 Optimum power tracking control block diagram of a direct pressure control system

在3个控制环中,斜盘位置控制环和马达转速控制环主要控制变量马达稳定转速于1500 r/min,实现准同期并网;直接压力控制环则是通过检测的风力机转速计算系统最佳压力参考值,与实际检测压力值进行比较形成偏差,对变量马达摆角进行补偿以校正系统压力,实现机组最佳功率追踪控制。

风力机吸收的最大功率表达式为:

$$Q_{\max} = \frac{\rho\pi R^5 C_{p\max}}{2\lambda_{\text{opt}}^3} \omega^3 \quad (8)$$

式中: $C_{p\max}$ —最佳风能利用系数; λ_{opt} —最佳叶尖速比。

由风力机输入液压主传动系统的功率可表示为:

$$Q_p = T_h \omega = p_h D_p \omega \quad (9)$$

联立式(8)和式(9)即可计算出最佳参考压力:

$$p_{\text{hopt}} = \frac{\rho\pi R^5 C_{p\max}}{2D_p \lambda_{\text{opt}}^3} \omega^2 \quad (10)$$

由式(9)可知最佳转矩值 T_{opt} 的表达式为:

$$T_{\text{opt}} = p_{\text{hopt}} D_p \quad (11)$$

由于定量泵排量 D_p 为常值,由式(11)可知,负载转矩与系统压力是同步变化的。因此,对液压传动系统的压力控制相当于控制液压系统对风力机的负载力矩。

直接压力控制的最佳功率追踪控制方法的追踪过程如图5所示。

图中 $p_{\text{hopt}} - \omega$ 曲线代表最佳压力曲线。假设风速 $V_1 < V_2 < V_3$, E、A、B 3点分别为3种风速下液压传动系统的最佳压力点 p_{hopt} 。假设风速初始时为 V_2 ,风电机组稳定于最佳压力点 A。

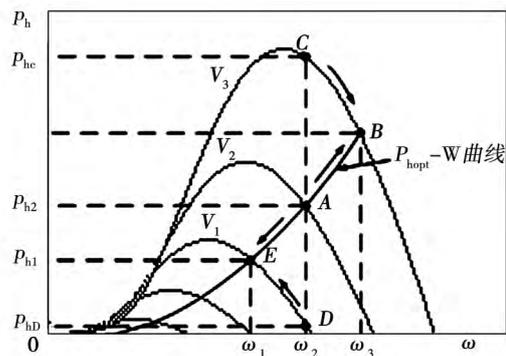


图5 直接压力控制的最佳功率追踪示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the optimum power tracking of a direct pressure control system

当风速由 V_2 增大为 V_3 时,由于风力机转速不能突变,故此时 $p_h - \omega$ 曲线对应的压力为 C 点的压力 p_{hc} ,而系统压力给定值为 $p_{\text{hopt}} - \omega$ 曲线上 A 点对应的压力 p_{h2} ; 由于在 B 点之前 $p_{hc} > p_{h2}$, 因此风力机将加速。随着风力机转速的增加, p_h 将沿着 V_3 风速时的 $p_h - \omega$ 曲线由 C 点运动到最佳压力点 B 点,而液压系统的实际压力 p_{hopt} 则沿着 $p_{\text{hopt}} - \omega$ 曲线由 A 点运动到 V_3 风速时的最佳压力点 B 点。到 B 点时 p_h

等于系统压力给定值 p_{hopt} , 系统重新达到平衡, 此时完成了最佳功率追踪控制。

然而, 液压型风力发电机组在能量流动过程中, 存在液压传动系统能量损失(泄漏损失和油液发热损失) 和发电机能量损失(机械损失和电磁损失), 因此风力机吸收的风能不可能完全转化为电能, 即存在效率问题。

考虑效率的影响时, 直接压力控制的最佳功率追踪方法中风力机将稳定在最佳转速的右侧运行, 即大于最佳转速的某点运行, 具体分析如图 6 所示。

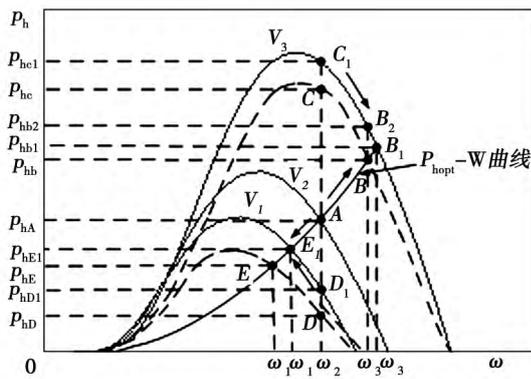


图 6 考虑效率时直接压力控制的最佳功率追踪示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the optimum power tracking of a direct pressure control with the efficiency being considered

图中对应于风速 V_1 和 V_3 的两条虚线表示不考虑效率时的 $p_h - \omega$ 曲线, 两条实线则表示考虑效率时的 $p_h - \omega$ 曲线, E_1 和 B_1 分别表示 $p_{hopt} - \omega$ 曲线与考虑效率时的 $p_h - \omega$ 曲线的交点, 对应的风力机转速则分别为 ω_1 和 ω_3 。

考虑效率时定量泵对风力机的负载力矩 T_h 表示为:

$$T_h = p_{h1} D_p \eta_{pv} \quad (12)$$

式中: p_{h1} — 考虑效率时系统压力, Pa; η_{pv} — 定量泵的容积效率。

最佳功率追踪过程结束时风力机主轴受力平衡, 即 $T = T_h$, 因此对于相同的气动力矩 T , 考虑效率影响时有

$$p_{h1} = \frac{T}{D_p \eta_{pv}} > \frac{T}{D_p} = p_h \quad (13)$$

即考虑效率时系统压力 p_{h1} 高于不考虑效率时

的系统压力 p_h 。

通过上述效率特性分析可知, 实际系统若采用直接压力控制的方法进行最佳功率追踪, 因效率的影响 $p_h - \omega$ 曲线将升高, 功率追踪结束时系统不再稳定在对应风速时的最佳转速点, 而是稍向右偏离了最佳转速点, 如图中的 B_1 点和 E_1 点。

综上所述, 采用直接压力控制实现最佳功率追踪, 其准确性将受到系统效率的影响。

2.2 系统压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪方法

由上述分析可知, 采用直接压力控制的最佳功率追踪方法, 其准确性受到系统效率的影响, 为解决这一问题, 本研究又提出了系统压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪方法, 该方法兼顾了风力机转速(定量泵转速) 和系统压力的控制, 其控制框图如图 7 所示。

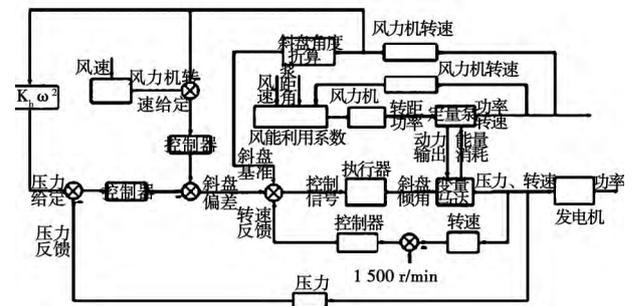


图 7 联合控制的最佳功率追踪控制框图

Fig. 7 Control block diagram of the optimum power tracking of a combined control system

在联合控制的最佳功率追踪方法中, 主要包括斜盘位置控制环、马达转速控制环、风力机转速控制环和系统压力控制环。其中, 斜盘位置控制环、马达转速控制环和系统压力控制环的构成及原理与直接压力控制的相同。风力机转速控制环通过检测风速 V 计算出最佳泵转速 n_{opt} 作为参考值, 并与检测的实际泵转速进行比较, 形成偏差并对变量马达摆角进行补偿, 间接控制泵转速。其作用是根据风速的变化实时控制风力机工作在最佳转速, 从而最大程度的吸收风能。

该方法利用风力机转速环的积分控制作用, 使机组在最佳功率追踪完成时风力机能精确的稳定在最佳转速上, 而系统实际的压力值此时必然大于压

力给定值(最佳压力值)。

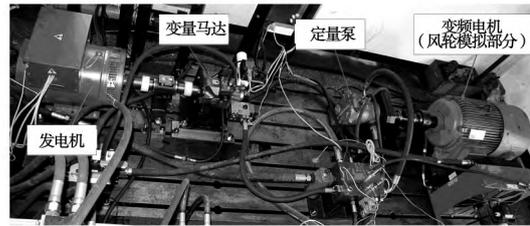
若设最终风速为 V_3 , 则该方法功率追踪完成后, 系统最终将稳定在如图 6 中的 B_2 点, 即此时风力机转速为 V_3 风速时的最佳转速 ω_3 , 系统压力为 B_2 点对应的压力值 p_{hB2} , 与压力给定值 p_{hB} 有一定的偏差。

由上述分析可知, 该控制方法在功率追踪结束时, 风力机将稳定在最佳转速点, 精确地实现了最佳功率追踪, 克服了直接压力控制时系统效率对功率追踪准确性的影响问题。

3 液压型风力发电机组最佳功率追踪仿真与实验研究

依据液压型风力发电机组组成及其工作原理搭建 30 kVA 液压型风力发电机组最佳功率追踪联合仿真平台和实验平台。

实验平台则主要包括风力机特性模拟部分、液压主传动部分和电控采集部分等, 其结构如图 8 所示。



采集与控制系统实物图

电控系统实物图

图 8 实验台结构图

Fig. 8 Structural drawing of the test stand

联合仿真平台主要包括 5 个模块: 风速模拟模块、风力机特性模拟模块、励磁同步发电机模型及并网控制模块和功率追踪主控器模块。如图 9 所示, 液压传动模块由 AMESim 软件根据实际参数搭建, 而其它部分由 MATLAB/Simulink 软件实现。

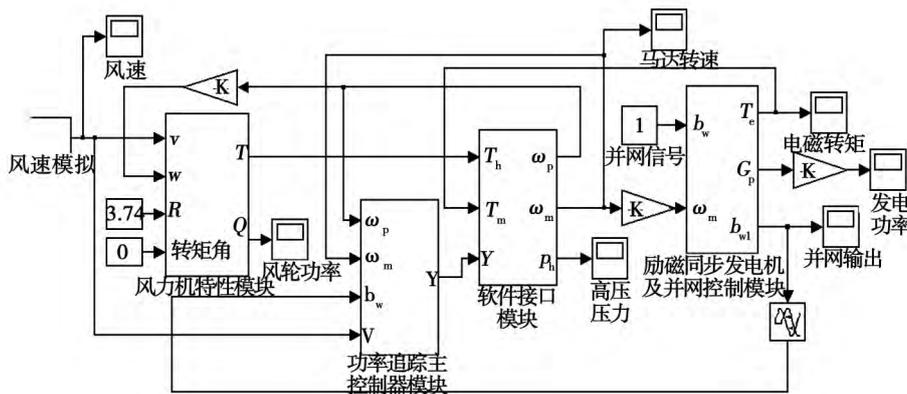


图 9 液压型风力发电机组仿真平台结构图

Fig. 9 Structural drawing of the simulation platform for hydraulic type wind power generation units

3.1 直接压力控制的最佳功率追踪控制方法仿真与实验分析

采用直接压力控制的最佳功率追踪控制方法进行仿真与实验研究, 所得结果如图 10 所示。

由图 10 仿真和实验结果可知, 当风速阶跃变化时, 系统压力能够精确地跟随给定的压力变化, 即压力得到了精确控制; 而在压力控制的过程中, 系统发

电功率和定量泵转速也能够跟随风速变化而变化, 但最终的稳定点存在一定偏差, 与风力机最佳转速点不重合, 即采用该方法进行最佳功率追踪时系统也会偏离最佳功率点。

在工程实际中, 该控制方法受系统的容积效率的影响存在一定误差, 但控制简单, 易于实现。

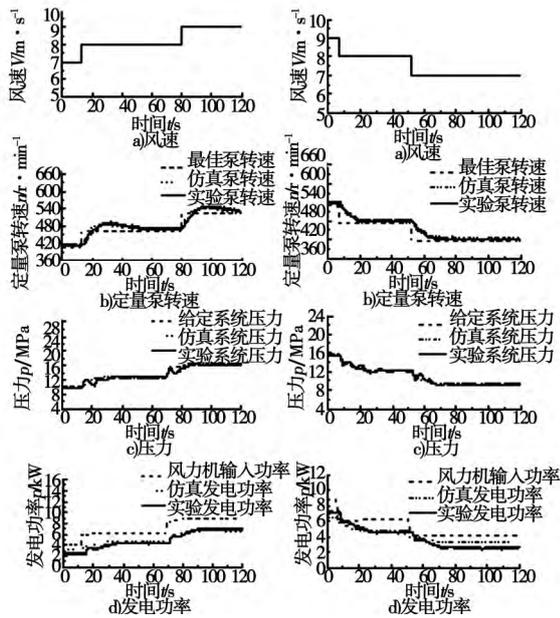


图 10 阶跃上升风速

Fig. 10 Stepped-up wind speed

3.2 联合控制的最佳功率追踪方法仿真与实验分析

采用压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪控制方法进行仿真与实验研究, 所得结果如图 11 所示。

由图 11 仿真和实验结果可知, 当风速阶跃或波动变化时, 系统能够精确地跟随风速变化进行最佳功率追踪, 即追踪过程完成时, 定量泵转速最终的稳定点与风力机最佳转速点基本重合; 但由于液压系统中定量泵容积效率的影响系统, 实际压力曲线高于给定的压力曲线; 由于整机效率的影响, 实际发电功率曲线低于风力机输入功率曲线。

将该控制方法的实验结果与直接压力控制的最佳功率追踪方法的实验结果进行比较, 得到不同风速下最佳功率追踪过程结束时的发电功率直方图, 如图 12 所示。

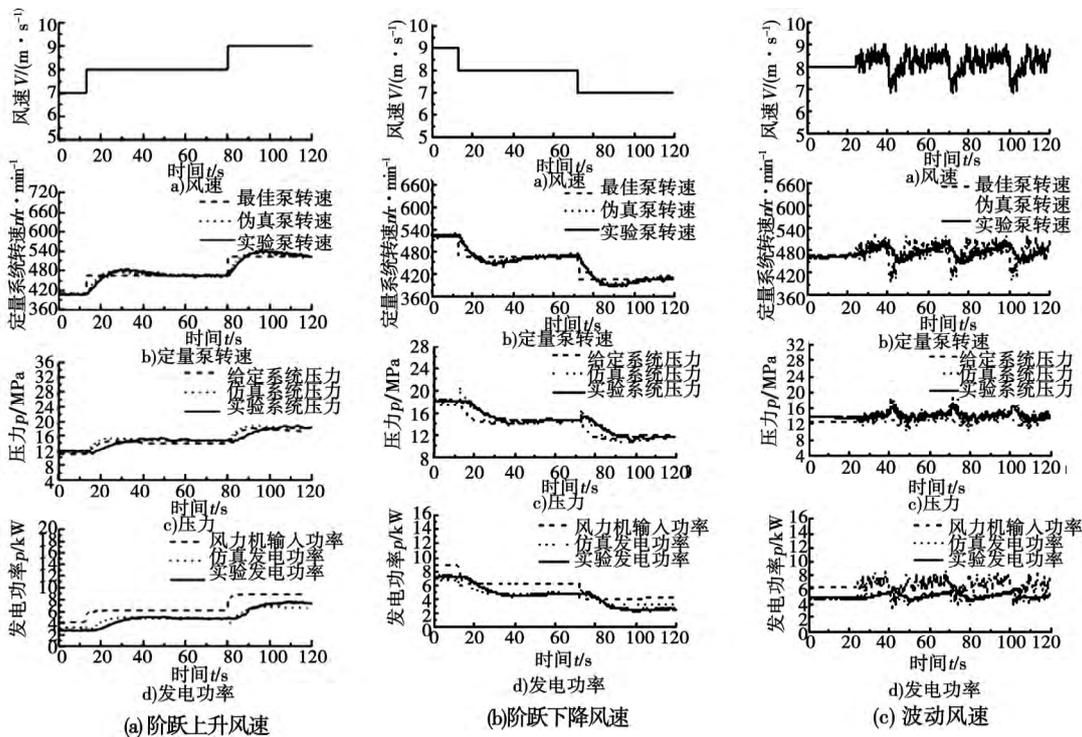


图 11 阶跃风速与波动风速

Fig. 11 Stepped change wind speed and fluctuated wind speed

由图 12 可知, 该方法实际发电功率较直接压力控制的最佳功率追踪方法有所提高, 追踪效果得到改善。

因此, 实际工程中, 采用直接压力和风力机转

速联合控制的最佳功率追踪控制方法进行功率追踪, 系统能更精确地追踪到最佳功率点, 追踪效果较好。

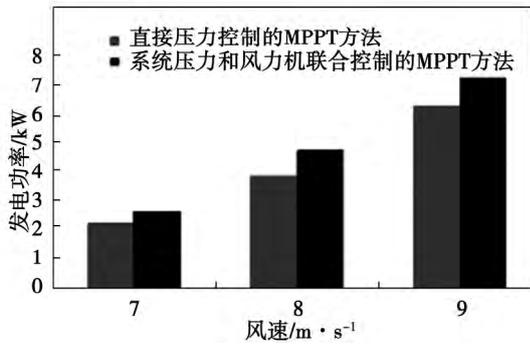


图 12 两种控制方法实验结果对比图

Fig. 12 Chart showing a contrast of the test results obtained by using both control methods

4 结 论

通过数学模型、仿真和实验分析,研究液压型机组最佳功率追踪控制特性。主要得到以下结论:

(1) 针对机组最佳功率追踪控制问题,提出一种直接压力控制的最佳功率追踪控制方法,该方法工程实现简单,但系统效率对其准确性存在一定影响。

(2) 考虑效率的影响,本研究又提出了一种系统压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪控制方法,该方法同时兼顾了风力机转速(定量泵转速)和系统压力的控制,准确地实现了最佳功率追踪,有效地改善了直接压力控制时准确性受系统效率影响的问题。

(3) 针对提出的两种最佳功率追踪控制方法进行实验对比研究。分析可知,在实际工程应用中,采用直接压力和风力机转速联合控制的最佳功率追踪控制方法具有更精确的追踪效果。

参考文献:

[1] International Energy Agency. BP statistical review of world energy [R/OL]. <http://www.bp.com/statisticalreview>. 2013-6-17.

[2] 董泳,王洪杰,周绪强. 风力发电系统液力变速与传动应用技术研究[J]. 热能动力工程, 2008, 23(6): 670-675.
DONG Yong, WANG Hong-jie, ZHOU Xu-qiang. A study of the applied technology of hydraulic speed variation and transmission for wind power generation systems [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2008, 23(6): 670-675.

[3] A. Jarquin Laguna, N. F. B. Diepeveen. Dynamic analysis of fluid power drive-trains for variable speed wind turbines: a parameter study [J]. Renewable Power Generation, 2014, 42(9): 398-410.

[4] 董亦斌,刘展,刘远远. MW级风电机组最大功率追踪复合控制策略[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 129-132.
TONG Yi-bin, LIU Zhan, LIU Yuan-yuan. Maximum power point tracking compound control strategy of mw level wind turbines [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 129-132.

[5] 张勇,曲华龙. 最大功率追踪与变速恒频风力发电[J]. 电机与控制应用, 2009, 36(12): 26-29.
ZHANG Yong, QU Hua-long. Maximal power tracking and variable speed and constant frequency wind power generation [J]. Electric Machines & Control Application, 2009, 36(12): 26-29.

[6] 朱瑛,程明,花为,等. 考虑损耗转矩的风力发电系统最大风能跟踪控制[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(19): 39-46.
ZHU Ying, CHENG Ming, HUA Wei, et al. Maximum wind power tracking control for wind power generation systems with the loss of torque being considered [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2013, 33(19): 39-46.

[7] Thongam J S, Ouhrouche M. Mppt Control Methods in Wind Energy Conversion Systems [M]. Published by Intech, 2011: 339.

[8] Tian L, Lu Q, Wang W Z. A Gaussian Rbf Network Based Wind Speed Estimation Algorithm for Maximum Power Point Tracking [J]. Energy Procedia, 2011, 12(10): 828-836.

[9] 韩利坤. 基于能量液压传递的风力机“变速恒频”技术研究[D]. 浙江大学, 2012.
HAN Li-kun. Research on the “variable speed and constant frequency” technology for wind turbines based on the energy hydraulic transmission [D]. Zhejiang University, 2012.

[10] 艾超. 液压型风力发电机组转速控制和功率控制研究[D]. 燕山大学, 2012.
AI Chao. Research on the rotating speed and power control over hydraulic type wind power generators [D]. Yanshan University, 2012.

[11] 包道日娜,张万祥,刘志璋,等. 小型风力发电机组优化控制策略与实验研究[J]. 热能动力工程, 2009, 24(6): 803-806.
AODAO Ri-na, ZHANG Wan-xiang, LIU Zhi-zhang, et al. Optimized control tactics and experimental study of small-sized wind power generator units [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2009, 24(6): 803-806.

[12] 张刚. 液压型风力发电机组主传动系统功率控制研究[D]. 燕山大学, 2012.
ZHANG Gang. Research on the power control over the main transmission system of a hydraulic type wind power generator unit [D]. Yanshan University, 2012.

(陈滨 编辑)

Proposed were six integration versions for a solar energy thermal-aided coal-fired unit integration power generation system with a direct steam production trough type concentrated heat collection system (direct steam generation in parabolic trough collector ,DSG-PTC) serving as the auxiliary heat source. By making use of a dynamic simulation model ,the authors studied the operation characteristics of the SAPG system from the viewpoint of a system ,which reflected the law governing the matching of the thermal parameters between the two kinds of energy system and verified the feasibility of various integration versions for SAPG systems listed in literatures [No. 2 7 - 9]. Through the process of the sun going in and out from the cloud stratum ,the dynamic response characteristics of the SAPG system were simulated and analyzed. From the angle of the thermodynamics ,the thermal cost-effectiveness of the SAPG system was calculated and analyzed in various integration modes and the optimum integration version was given out.

Key Words: direct steam production ,parabolic surface trough type sunlight concentration and heat accumulation , solar energy heat-aided coal-fired unit power generation ,dynamic model ,simulation

液压型风力发电机组最佳功率追踪控制研究 = **Study of the Optimum Power Tracking and Control of a Hydraulic Type Wind Power Generation Unit** [刊 ,汉] AI Chao (Hebei Provincial Laboratory on Heavy-duty Machine Fluid Power Transmission and Control ,Yanshan University ,Qinhuangdao ,China ,Post Code: 066004) ,KONG Xiang-dong (Education Ministry Key Laboratory on Advanced Forging Shape-forming Technology and Science ,Yanshan University ,Qinhuangdao ,China ,Post Code: 066004) ,YAN Gui-shan ,LIAO Li-hui (College of Mechanical Engineering ,Yanshan University ,Qinhuangdao ,China ,Post Code: 066004) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 30(1) . - 138 - 144

In the light of the problem relating to the energy conversion efficiency of a hydraulic type wind power generator unit ,with the optimum output power of the unit serving as the control target ,proposed were two methods for tracking the optimum power. With a 30 kVA hydraulic type wind power generator unit test platform serving as a basis ,the authors studied the feasibility and control features of the control methods thus proposed. The simulation and test results show that the optimum power tracking and control method directly controlled by pressure is simple and easy , however ,its accuracy is susceptible to the efficiency of the system. When the efficiency of the system is taken into account ,the optimum power tracking and control method jointly controlled by the system pressure and the rotating speed of the wind turbine enjoys a more precise tracking result. **Key Words:** wind power generation ,hydraulic transmission ,optimum power tracking ,pressure control ,wind turbine rotating speed

1 000 MW 火电机组凝结水泵变频改造分析 = **Analysis of the Variable Frequency Modification to the Condensate Water Pump of a 1 000 MW Unit in a Thermal Power Plant** [刊 ,汉] LI Yan-chao ,YU Hai-dong