

基于参数辨识的波浪发电场等效建模研究

刘元尊¹, 管维亚², 赵静波³, 秦川¹

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100;

2. 国网江苏省电力有限公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008;

3. 国网海上风电并网联合实验室(国网江苏省电力有限公司电力科学研究院), 江苏 南京 211103)

摘要:提出了基于参数辨识的波浪发电场等效建模策略,将波浪发电场等效为单机模型。以阿基米德波浪摆(AWS)发电场内某一测点的实测波浪力作为输入,整个发电场稳态有功功率作为输出,采用粒子群算法(PSO)辨识单机等效模型中驱动系统的等效参数。在 Matlab/Simulink 中搭建了计及尾流和时滞的 AWS 波浪发电场详细模型,并利用多组实测波浪数据对等效建模策略进行了仿真验证。仿真结果表明,在不同实测数据下辨识得到的等效模型驱动参数相差不大,参数辨识结果平稳合理;对于某一组实测数据下辨识得到的等效驱动参数,在不同实测数据下获得的等效模型和详细模型功率曲线均基本一致。

关键词:阿基米德波浪摆;波浪发电场;等效建模;参数辨识

中图分类号:TM743

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)02-0069-06

0 引言

海洋能是清洁的可再生能源,大规模开发利用海洋能源对缓解能源危机和环境污染问题具有重要意义。在众多海洋可再生能源中,波浪能具有最高能量密度,是最有可能实现商业化应用的可再生能源之一^[1]。目前,对波浪能发电的研究主要集中在单台波浪发电装置的研制与控制器的开发^[2-7]。世界各国的科技工作者开发了多种波浪能发电装置,其中阿基米德波浪摆(archimedes wave swing, AWS)发电系统是第一种采用直接驱动式的波浪发电装置,具有发电效率高、系统结构简单等特点。文献[8]建立了 AWS 系统详细模型,并根据实际海试结果给出了模型参数。文献[9-11]建立了 dq 坐标系下适合于电力系统仿真计算的 AWS 波浪发电系统模型,并设计了相应的并网变换器以及最大波浪能捕获控制策略。

随着波浪能发电研究不断深入,可以预见在不远的未来,将会有越来越多的波浪发电系统接入电网运行^[1]。与风电^[12-14]类似,由于波浪具有较强的随机性,大规模波浪能发电并网将对电网的安全稳定以及运行调度产生重要的影响。对由多台波浪发电装置构成的波浪能发电场并网系统进行仿真分析时,如对每台波浪发电装置详细建模将极大增加仿真的复杂度。目前,对于大规模波浪发电场

等效建模的研究还很少。文献[15]根据 AWS 波浪力输入和有功功率输出之间的稳态关系,通过理论推导获得等效波浪力输入,进而对发电场进行等效建模。然而,对于实测不规则波浪数据而言,理论推导计算十分复杂,该方法不能完全适用。

为此,基于 AWS 波浪发电装置输出功率与其驱动系统密切相关这一特点,文中以 AWS 波浪发电场内某一测点的实测波浪数据为输入,发电场的整体有功功率为输出,利用粒子群算法(particle swarm optimization, PSO)辨识等效模型中的等效参数,进而构造能够描述实测波浪输入下发电场稳态功率的时域单机等效模型。最后,在不同实测波浪数据下对等效模型进行验证。

1 AWS 波浪发电场模型

1.1 AWS 波浪发电系统模型

AWS 波浪发电系统由 AWS、直线永磁同步发电机、“背靠背”电力电子变换器等部分构成,如图 1 所示。文中仅列出 AWS 波浪发电系统的机械动态模型,直线永磁发电机模型、“背靠背”变换器及控制器模型可见文献[9-11]。

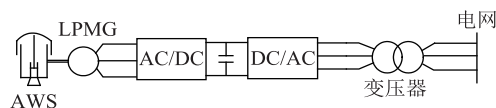


图 1 AWS 波浪发电系统

Fig.1 AWS-based wave energy conversion system

AWS 波浪发电系统驱动部分的单弹性质量块简化模型可以描述为^[8-11]:

收稿日期:2018-11-07;修回日期:2018-12-11

基金项目:高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目
“新能源发电与智能电网学科创新引智基地”

$$dx/dt = v \quad (1)$$

$$m_{\text{tot}}(dv/dt) + \beta_g v + \beta_w v + k_s x = F_{\text{wave}} \quad (2)$$

式中: x 为 AWS 浮子和直线永磁发电机转子的位移; v 为 AWS 浮子和直线永磁发电机转子的运动速度; m_{tot} 为 AWS 所有运动部件的质量总和, 包括 AWS 浮子、随浮子运动水体、直线永磁发电机转子以及其他随浮子运动部件; β_g 为直线永磁发电机的阻尼系数; β_w 为 AWS 的水动力阻尼系数; k_s 为 AWS 的弹性系数; F_{wave} 为波浪作用在 AWS 浮子上力的总和, 为整个波浪发电装置的输入激励。 F_{wave} 可由实测波面数据计算获得^[16]:

$$F_{\text{wave}}(\omega_w) = -\rho g S_f K_p(\omega_w, h, d) A(\omega_w) \quad (3)$$

$$K_p(\omega_w, h, d) = \frac{\cosh[k(\omega_w)(h-d)]}{\cosh[k(\omega_w)h]} \quad (4)$$

式中: $A(\omega_w)$ 为波浪浮标所测得的波浪峰值; ρ 为海水密度; g 为重力加速度; S_f 为浮子面积; h 为海面深度; d 为浮子到波面的距离; K_p 为水深为 d 时的压力系数; k 为入射波浪的波数。

1.2 波浪发电场的尾流和时滞效应

在建立波浪发电场详细模型时, 要考虑发电场的尾流、时滞效应, 期以更精确地模拟实际发电场情况。尾流效应描述了波浪发电场中的每一个波浪发电装置吸收的功率会受到其周边发电装置的影响, 采用波浪传输系数 K_t 来描述波浪发电场中的尾流效应。根据文献[17—18], 点吸收式波浪发电装置(AWS 是其中的一种)的 K_t 选为 0.74。

波浪发电场的时滞效应反映了波浪场中后一排发电装置的启动时间将略滞后于前一排。文中通过下式获得测量点处的波浪波长 λ :

$$\lambda = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (5)$$

$$\tanh \frac{2\pi d}{\lambda} = \frac{e^{2\pi d/\lambda} - e^{-2\pi d/\lambda}}{e^{2\pi d/\lambda} + e^{-2\pi d/\lambda}} \quad (6)$$

式中: \bar{T} 为波浪周期; d 为水深。然后可以依次计算出平均波速 \bar{v} 和时滞 Δt :

$$\bar{v} = \frac{\lambda}{\bar{T}} \quad (7)$$

$$\Delta t = \frac{L}{\bar{v}} \quad (8)$$

式中: L 为两排波浪发电装置的间距。

因此, 计及尾流效应和时滞效应, 波浪场中第二排波浪发电装置的输入波浪力可以描述为:

$$F_{\text{wave}_2}(t) = K_t F_{\text{wave}_1}(t - \Delta t) \quad (9)$$

2 基于参数辨识的时域等效建模方法

2.1 基本思路

式(1)和式(2)描述了 AWS 的机械运动过程, 式中共 4 个参数: m_{tot} , β_g , β_w , k_s 。根据文献[9], 为实现波浪能的最大功率捕获, 直线永磁发电机与波浪的阻尼系数应相等, 即式(2)中 $\beta_g = \beta_w$ 。

因此, 发电场的单机等效模型中驱动部分可参与辨识的参数为: AWS 所有运动部件的质量总和 m_{tot} , AWS 的水动力阻尼系数 β_w 以及 AWS 的弹性系数 k_s 。

以 AWS 波浪发电场内某一测点的波浪力作为发电场单机等效模型的输入量, 以发电场输出功率作为单机等效模型的输出量, 采用 PSO 辨识单机等效模型中驱动系统的 3 个参数 $\theta = [m_{\text{tot}}, \beta_w, k_s]$, 使单机等效模型稳态有功功率曲线与详细模型有功功率曲线间的误差最小。

对于单机等效模型中的等效电气参数, 则采用按容量加权聚合法^[20—22]或其他方法获得。

2.2 PSO

设置 PSO 的目标函数为等效模型输出有功功率与详细发电场模型输出有功功率曲线之差的平方和:

$$y(\theta) = \min \sum_{j=1}^N [P(j)_r - P(j)_d]^2 \quad (10)$$

式中: $P(j)_r$, $P(j)_d$ 分别为详细发电场模型和单机等效模型在各时刻的有功功率值。

通过 PSO 辨识等效模型驱动部分参数的流程图如图 2 所示。具体步骤如下:

(1) 初始化。设置粒子的初始位置和速度, 将 3 个粒子的初始位置保存到局部最优位置中。以等效模型输出有功功率曲线与详细发电场模型输出有功功率曲线之差的平方和最小为目标, 获得初始全局最优位置。

(2) 求解适应度函数。通过计算适应度函数值, 评价粒子的优劣性, 并根据粒子的适应值更新局部最优位置和全局最优位置。

(3) 根据式(11)依次更新每个粒子的运动速度和所在位置。

$$\begin{cases} v_i^{(k+1)} = wv_i^{(k)} + c_1 r_1 [p_i^{(k)} - z_i^{(k)}] + \\ \quad c_2 r_2 [p_g^{(k)} - z_i^{(k)}] \\ z_i^{(k+1)} = z_i^{(k)} + z_i^{(k+1)} \end{cases} \quad (11)$$

式中: $v_i^{(k+1)}$, $z_i^{(k+1)}$ 分别为第 i 个粒子在第 $k+1$ 次迭代下的速度和位置; p_i , p_g 分别为粒子局部最优位置和全局最优位置; 惯性常数 w 代表了当前粒子

对原有速度的继承;学习因子 c_1 , c_2 分别反映了粒子对自身历史最优点和群体最优点的靠拢; r_1 , r_2 为 $[0, 1]$ 间均匀分布的随机数,体现群体的多样性。

(4) 判断继续循环或结束。在未达到设定的迭代次数之前,算法继续循环;否则,结束循环,输出粒子最优解。

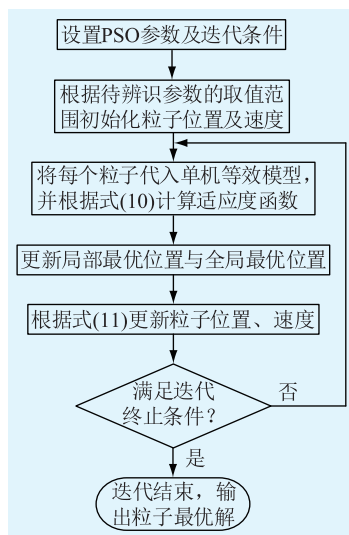


图2 PSO 辨识驱动参数流程
Fig.2 Flow chart of PSO

3 仿真算例

由于现在实际波浪发电场还很少,波浪发电场的实际数据,尤其是输出功率数据更加难以获得,根据文献[22—23]的波浪发电场布局结构,基于 Matlab/Simulink 平台搭建 AWS 波浪发电场详细仿真模型,并考虑发电场的尾流、时滞效应,期以更精确地模拟实际发电场情况。波浪发电场内设置 2 行 8 列共 16 个波浪发电装置,2 行之间间距设为 2.7D (单台 AWS 波浪发电装置宽度 $D=28\text{ m}$ ^[8]),公共连接点(point of common coupling, PCC)母线电压 25 kV,每一列中的 2 台波浪发电装置采用常用的辐射型布局,然后接入 PCC 母线,并通过双回 30 km 的 110 kV 海底交流电缆与电网相连,发电场详细模型参数如表 1、表 2 所示,其中单台 AWS 波浪发电装置参数参考已经进行实际海试的 AWS 发电原型机^[8]。

在等效建模过程中,将波浪能发电场等效为 1 台 AWS 波浪能发电装置,如图 3 所示。

3.1 实测数据

仿真算例中的实测数据来自江苏省近海的一个波浪站。波浪站使用 SBF3-1 型波浪浮标,每小时进行一次波浪数据采集,采样间隔为 0.25 s。图 4 (a)为一组 120 s 的实测波面数据,根据式(3)和式

表 1 单台 AWS 和直线永磁发电机参数

Table 1 Parameters of an AWS and the linear permanent magnet generator

参数	数值	参数	数值
m_{tot}/kg	0.6×10^6	L_s/mH	31.00
$\beta_w/(\text{Ns} \cdot \text{m}^{-1})$	1.42×10^6	$\psi_{\text{PM}}/\text{Wb}$	23.00
$k_s/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	0.56×10^6	λ/m	0.10
R_s/Ω	0.29	U_N/V	575

表 2 发电场中线路及变压器参数

Table 2 Parameters of the transformers and lines

参数	数值
25 kV/110 kV 变压器电阻/p.u.	0.002 667
25 kV/110 kV 变压器电感/p.u.	0.08
575 V/25 kV 变压器电阻/p.u.	0.000 83
575 V/25 kV 变压器电感/p.u.	0.025
发电场内辐射型线路电阻/ Ω	0.069
发电场内辐射型线路电感/mH	0.63
30 km 海底交流电缆电阻/ Ω	3.459
30 km 海底交流电缆电感/mH	31.5
30 km 海底交流电缆电感/ μF	0.34

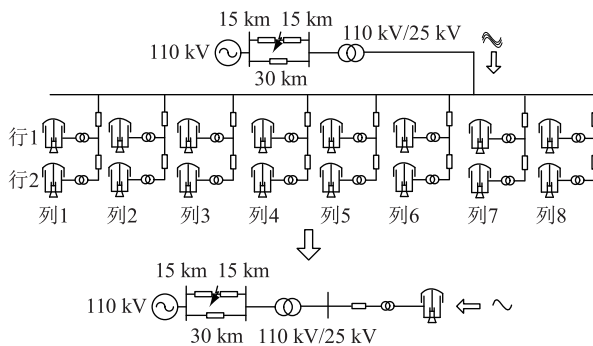


图3 AWS 波浪发电场并网系统等效示意图

Fig.3 AWS-based wave farm integrated to power grid and the single equivalent model

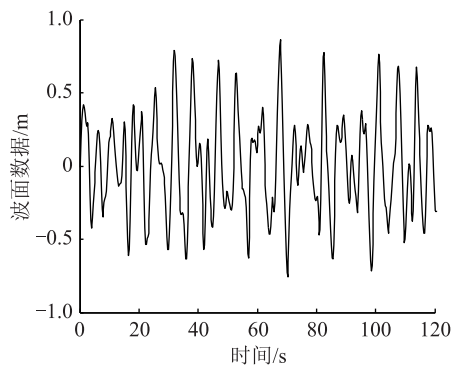
(4),可以将其转换为图 4 (b) 所示波浪力,作为仿真模型的输入激励。

假设图 4 为波浪发电场内首行 AWS 所承受的波浪力,则根据尾流、时滞效应即可获得发电场内第二行发电装置所承受的波浪力,如图 5 所示。

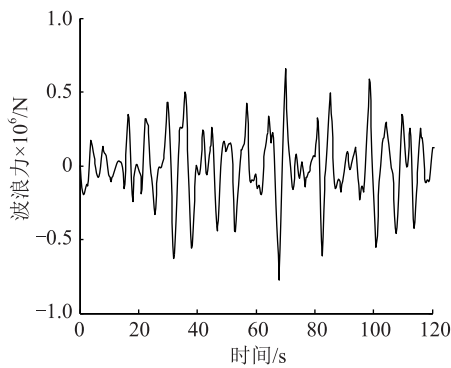
3.2 不同实测数据下驱动参数辨识值对比

利用 PSO 对单机等效模型中驱动部分的 3 个参数进行辨识,得到时域单机等效模型中驱动部分的等效参数。PSO 中的部分参数设置为:粒子个数 $N=30$,迭代次数 $M=300$,惯性权重系数 $w=0.5$,学习因子 $c_1=c_2=2$ 。

为充分验证所提出方法的可行性,选取观测站 2011 年 12 个月内的任意 4 组实测波浪数据,分别将其作为单机等效模型的输入,并进行参数辨识,结果如表 3 所示。



(a) 波面数据



(b) 波浪力

图4 实测波面数据及波浪力

Fig.4 Wave elevation and Wave force

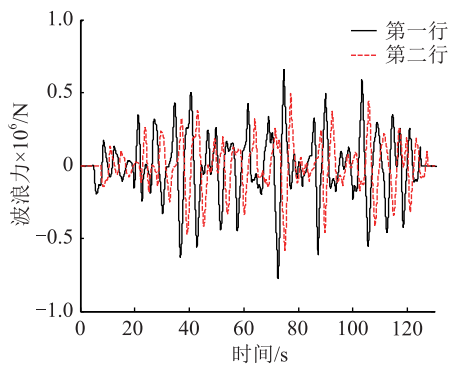


图5 发电场内两行发电装置所承受的波浪力曲线

Fig.5 Wave force of the AWSs in the farm

表3 4组实测数据下参数辨识值对比

Table 3 Parameters comparison of four sets of data

参数	m_{tot}/Mkg	$\beta_w / (\text{MN}\cdot\text{m}^{-1})$	$k_s / (\text{MN}\cdot\text{m}^{-1})$
第1组	1.965	1.719	2.450
第2组	2.069	1.786	2.484
第3组	1.956	1.627	2.531
第4组	1.872	1.639	2.429

第1组参数辨识的适应度函数变化值如图6所示。从图中可以看出,经过190次迭代后,粒子群算法收敛。4组实测数据的迭代结果如表4所示,可见在4组实测数据下,基于PSO的参数辨识均能够正常收敛。

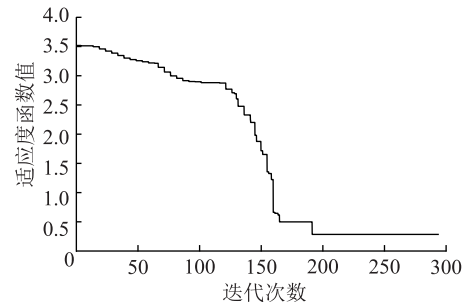


图6 PSO迭代过程

Fig.6 Iteration process of PSO

表4 4组实测数据的粒子群迭代结果

Table 4 Iteration results of PSO

参数	收敛次数	适应度函数值
第1组	190	0.348
第2组	177	0.406
第3组	211	0.332
第4组	230	0.364

从表3中可以看出,在任意4组实测数据下,采用粒子群算法辨识得到的3个参数相差不大,参数辨识结果平稳合理。

3.3 参数辨识值在不同实测数据下的功率拟合曲线对比

为进一步验证参数辨识方法的有效性,采用第1组实测数据辨识所得等效模型驱动系统参数,分别在第2、3、4组实测数据下,将发电场详细模型的有功功率和无功功率输出曲线与单机等效模型的有功功率和无功功率输出曲线进行对比,结果如图7所示。

进而采用绝对值均值的相对误差作为衡量等效前后功率输出曲线拟合效果的指标:

$$\delta\% = \frac{\left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i| - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y'_i| \right|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i|} \times 100\% \quad (12)$$

式中: N 为采样点个数; y_i 为第 i 个测量点的详细发电场模型输出功率; y'_i 为第 i 个测量点的等效模型输出功率。

第2组实测数据下,等效模型和详细模型的功率曲线拟合误差为9.251%,第3组实测数据误差为10.37%,第4组误差为10.69%。由图7可见,AWS波浪发电场的功率有一部分接近于0,因此采用式(12)计算功率拟合相对误差时,有超过10%的误差出现,但曲线拟合的趋势基本吻合。采用第1组实测数据辨识得到的参数构成的单机等效模型能够反映其他3组实测波浪数据下发电场的稳态输出功率,从而验证了该等效建模方法的适用性。

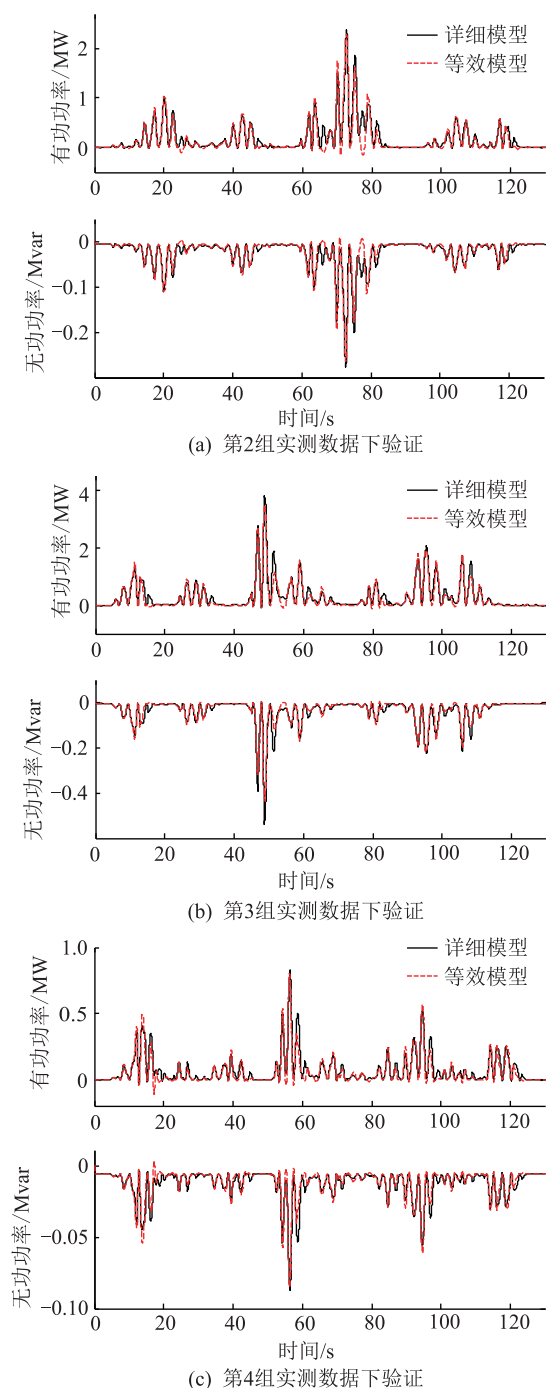


图7 详细模型与等效模型输出对比
Fig.7 Comparison results

4 结论

文中提出了基于参数辨识的 AWS 波浪发电场时域等效建模方法。采用粒子群算法,在已知发电场内某一测点的实测波浪数据以及波浪发电场整体输出功率的情况下,辨识得到等效模型的驱动部分参数。仿真结果表明:

- (1) 在不同实测数据下辨识得到的等效模型驱动参数相差不大,参数辨识结果平稳;
- (2) 对于某一组实测数据下辨识得到的等效驱

动参数,在不同实测数据下获得的等效模型和详细模型功率曲线均基本一致。

参考文献:

- [1] 游亚戈, 李伟, 刘伟民, 等. 海洋能发电技术的发展现状与前景[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(14): 1-12.
YOU Yage, LI Wei, LIU Weimin, et al. Development status and perspective of marine energy conversion system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(14): 1-12.
- [2] 肖曦, 摆念宗, 康庆, 等. 波浪发电系统发展及直驱式波浪发电系统研究综述[J]. 电工技术学报, 2014, 29(3): 1-11.
XIAO Xi, BAI Nianzong, KANG Qing, et al. A review of the development of wave power system and the research on direct-drive wave power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(3): 1-11.
- [3] BROOKING P R M, MUELLER M A. Power conditioning of the output from a linear vernier hybrid permanent magnet generator for use in direct drive wave energy converters[J]. Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, 2005, 152(5): 673-681.
- [4] ROBINSON J, JOOS G. VSC HVDC transmission and offshore grid design for a linear generator based wave farm[C]//Conference on Electrical & Computer Engineering, 2009.
- [5] AMON E A, SCHACHER A A, BREKKEN T K A. A novel maximum power point tracking algorithm for ocean wave energy devices[C]//Energy Conversion Congress & Exposition, 2009.
- [6] 黄磊, 胡敏强, 余海涛, 等. 直驱式波浪发电用全超导初级励磁直线发电机的设计与分析[J]. 电工技术学报, 2015, 30(2): 80-86.
HUANG Lei, HU Mingqiang, YU Haitao, et al. Design and analysis of a fully-superconducting primary-excitation linear generator for direct-driven wave energy generation [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(2): 80-86.
- [7] LI B, MACPHERSON D E, SHEK J K H. Direct drive wave energy converter control in irregular waves[C]//Renewable Power Generation. 2011.
- [8] DE S P M G, GARDNER F, DAMEN M, et al. Modelling and test results of the Archimedes wave swing[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2006, 220(8): 855-868.
- [9] WU F, ZHANG X P, JU P, et al. Modeling and control of AWS-based wave energy conversion system integrated into power grid[J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 2008, 23(3): 1196-1204.
- [10] WU F, ZHANG X P, JU P, et al. Optimal control for AWS-based wave energy conversion system [J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 2009, 24(4): 1747-1755.
- [11] WU F, JU P, ZHANG X P, et al. Modeling, control strategy, and power conditioning for direct-drive wave energy conversion to operate with power grid [J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(4): 925-941.
- [12] 谭谨, 王晓茹, 李龙源. 含大规模风电的电力系统小扰动

- 稳定研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 15-23.
- TAN Jin, WANG Xiaoru, LI Longyuan. A survey on small signal stability analysis of power systems with wind power integration[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 15-23.
- [13] 王钊, 潘险险, 陈迎, 等. 基于实测数据的风电场风速-功率模型的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(2): 23-27.
- WANG Qian, PAN Xianxian, CHEN Ying, et al. Study of wind speed-active power model for wind farm based on measured data[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(2): 23-27.
- [14] 刘建平, 何江飞. 海上风电风机基础初步设计及数值分析[J]. 浙江电力, 2018, 37(7): 19-25.
- LIU Jianping, HE Jiangfei. Numerical analysis and preliminary design of offshore wind turbine foundation [J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(7): 19-25.
- [15] 秦川, 管维亚, 鞠平, 等. 并网 AWS 波浪发电场等效建模[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(11): 25-31
- QIN Chuan, GUAN Weiya, JU Ping, et al. Equivalent modeling of AWS-based wave farm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(11): 25-31.
- [16] 霍政界, 吴峰, 陶爱峰, 等. 直驱式波浪发电系统输出功率的短期预测[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(21): 13-18.
- HUO Zhengjie, WU Feng, TAO Aifeng, et al. Short-term prediction on output power of direct-drive wave power generation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(21): 13-18.
- [17] BEELS C, TROCH P, DE B G, et al. Numerical implementation and sensitivity analysis of a wave energy converter in a time-dependent mild-slope equation model[J]. Coastal Engineering, 2010, 57(5): 471-492.
- [18] BEELS C, TROCH P, DE V K, et al. Application of the time-dependent mild-slope equations for the simulation of wake effects in the lee of a farm of Wave Dragon wave energy converters[J]. Renewable energy, 2010, 35(8): 1644-1661.
- [19] 胡杰, 余贻鑫. 电力系统动态等值参数聚合的实用方法[J]. 电网技术, 2006, 34(24): 26-30.
- HU Jie, YU Yixin. A practical method of parameter aggregation for power system dynamic equivalence[J]. Power System Technology, 2006, 34(24): 26-30.
- [20] 刘兴杰, 郭栋, 王凯龙. 基于电气外特性的光伏发电系统模型等效方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(10): 231-238.
- LIU Xingjie, GUO Dong, WANG Kailong. Equivalent modeling method for PV system based on its electric external characteristics[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(10): 231-238.
- [21] 王增平, 张乐丰. 考虑弃风的 DFIG 风电场动态等值模型[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 1-6.
- WANG Zengping, ZHANG Lefeng. Dynamic equivalent model of wind farm with DFIG considering wind power curtailment [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 1-6.
- [22] IGLESIAS G, CARBALLO R. Wave farm impact: the role of farm-to-coast distance[J]. Renewable Energy, 2014, 69(3): 375-385.
- [23] LEE J L, LEE J Y, KIM I H. Managing effect of hot spot shoreline behind a power buoy energy farm[J]. Journal of Coastal Research, 2011: 309-316.

作者简介:



刘元尊

刘元尊(1996),男,硕士在读,研究方向为可再生能源发电系统建模(E-mail: liuyuanzun@163.com);

管维亚(1990),女,硕士,工程师,从事可再生能源发电系统建模工作;

赵静波(1982),男,硕士,高级工程师,从事电力系统计算和分析工作。

Parameter identification based on equivalent modeling of AWS wave farm

LIU Yuanzun¹, GUAN Weiya², ZHAO Jingbo³, QIN Chuan¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Economic Research Institute, Nanjing 210008, China; 3. State Grid Joint Laboratory of Offshore Wind Power Integration (State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute), Nanjing 211103, China)

Abstract: Parameter identification based time domain equivalent modeling method of wave farm is proposed. The wave data measured in any measuring point of the Archimedes wave swing (AWS)-based wave farm and the total output power of the wave farm are used to identify the parameters of the equivalent mechanical model by Particle swarm optimization (PSO). The detailed model of the wave farm considering wake and time-lag effects are built via MATLAB/Simulink. Simulations are performed using multiple sets of measured wave data to validate the effectiveness of the proposed method. The simulation results show that the equivalent parameters identified under different measured data are stable and reasonable. For the equivalent model identified by the first set of measured data, the output power of the equivalent model and the detailed model fit well under the other three sets of measured wave data.

Keywords: archimedes wave swing; wave farm; equivalent modeling; parameter identification

(编辑 钱悦)