

基于海洋能的无人水下航行器能源发电装置设计

毛昭勇¹, 宋保维¹, 郑珂²

(1. 西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2. 中国舰船研究院, 北京 100097)

摘要:针对无人水下航行器在水下长时连续工作对能源的需求,提出了一种由两级转换系统构成的海洋动能发电装置方案,该装置可直接将海洋动能传递给发电机,去掉了中间的能量传递环节,可有效减小结构体积、提高系统的转换效率。基于永磁发电机基本原理和刚体绕定轴转动定律,建立了飞轮动能与电机输出电压的关系模型,结合项目组研制的海洋动能发电装置试验样机,经过仿真表明,所提出的模型方法是合理可行的,为后续开展分析不同海况下晃动动能发电装置的发电效率提供了理论基础。

关键词:海洋能;发电;无人水下航行器

中图分类号:TP24 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2012)06-0127-03

Design of Generate Electricity Device for Unmanned Underwater Vehicle Based on Ocean Energy

MAO Zhao-yong¹, SONG Bao-wei¹, ZHENG Ke²

(1. School of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. China Shipbuilding Industry Corporation, Beijing 100097, China)

Abstract: For dealing with the energy demand of UUV (unmanned underwater vehicle) for long continuous work, the kinetic energy generate electricity scheme of the ocean energy is established, which only consists of two conversion systems. The scheme can pass directly the ocean kinetic energy to the generator, which removes the middle part of the energy transfer, so it can effectively reduce the structural volume and improve conversion efficiency of the system. Based on the principles of permanent magnet generator and laws of rigid body rotation around a fixed axis, the relational model of flywheel kinetic energy and the motor output is proposed. Then combining with the test prototype, simulation results show that the model proposed is reasonable and feasible, the theoretical basis is provided for subsequent analysis of generate electricity efficiency under different sea conditions.

Key words: ocean energy; generate electricity; UUV (unmanned underwater vehicle)

无人水下航行器(UUV, unmanned underwater vehicle)是人类开发和利用海洋的有效工具,是当前世界各国研究的重点。

能源对UUV的长时间水下连续工作起着决定性的作用,而目前,大多UUV主要采用自带能源供给,但受体积、重量的限制,UUV携带能源是有限的,不能很好地满足探测、监测、通信等电子系统在水下长时连续工作对能源的需求。

虽然在设计UUV时要求尽可能使其稳定、抗冲击

能力强,以保证各种传感器正常工作,但UUV定期会上浮到近水面进行数据传输,这时受海浪、海流等作用时刻处于摇摆晃动状态。为此,笔者利用UUV在近水面受海洋能作用晃动的特点,设计了一种用于为电子系统提供能源的海洋动能发电装置,给出了基本参数,分析了晃动动能与电能转换的关系。

1 海洋动能发电装置方案

海洋能发电即通过波浪的运动带动发电机发电,将水的动能和势能转变成电能。目前海洋能发电技术尚未达到十分成熟的水平,主要研发大型能量转换设备,常见的海洋能发电装置基本上可分为振荡水柱型、水流型和机械型3种类型^[1-9]。其波浪转换装置的原理基本包括3个环节:第1个环节是采集波浪能;第2

收稿日期:2011-07-03

基金项目:西北工业大学基础研究基金项目资助项目(JC200906)

作者简介:毛昭勇(1980—),男,重庆璧山人,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为水下航行器总体技术。

个环节是传递能量,第3个环节是发电机发电。其中第2个环节是将低压的波浪能转化为高速高压的机械能,这个环节一般采用液压传动机构,这个中间环节必然会增加系统的复杂性以及能量损耗,降低系统的转换效率和可靠性。现有的海洋能发电机构由于能量转换环节较多,体积较大,并不适用于受体积、重量限制的UUV。

基于此,本文提出了一种由两级转换系统构成的海洋动能发电装置方案,该装置可直接将海洋动能传递给发电机,去掉了中间的能量传递环节,这样可有效减小结构体积、提高系统的转换效率。在系统组成上,该海洋动能发电装置主要包括海浪动能收集机构和机械能转换电能机构,如图1所示。

(1) 海浪动能收集机构。

海浪动能收集机构主要用于收集航行器在近水面受海浪、海流等海洋环境作用的动能。本方案采用具有较大转动惯量的惯性飞轮来实现海浪晃动动能的收集,然后让飞轮带动电机发电以实现动能与电能的转换。

(2) 机械能转换电能机构。

机械能转换电能机构主要通过发电机将海浪动能收集机构收集释放的动能转化为电能。本方案采用永磁式发电机,因为从性能、结构、效率等方面对比分析,永磁式比励磁式发电机结构简单、体积小、重量轻、性能优越,低速时发电充足且更适合不稳定的海洋环境。

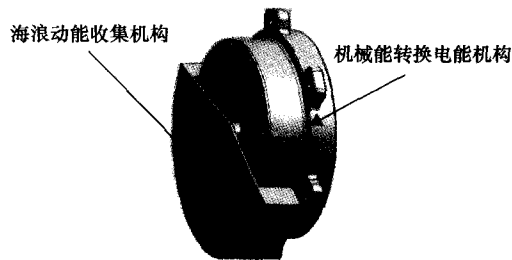


图1 海洋动能发电装置方案示意图

2 晃动动能与电能转换关系分析

由永磁电机发电基本原理^[10]可知,永磁发电机的相电压为

$$E_{\varphi 1} = \sqrt{2} \pi N k_{N1} f \Phi_1 = 4.44 N k_{N1} f \Phi_1 \quad (1)$$

式中, N 为单相绕组串联的匝数; k_{N1} 为绕组系数; Φ_1 为每极磁通; f 为导体中磁感应电动势的频率。前3个参数只与永磁发电机的结构参数有关,电机结构确定以后它们也就成为常数。

因此由式(1)可知,发电机输出的相电压大小只与导体中感应电动势的频率 f 有关,又由

$$f = \frac{pn_1}{60} \quad (2)$$

可知,频率 f 只与转子的转速 n_1 有关,这里 p 为电机极对数,当发电机结构确定之后也就确定为定值。为此,发电机的输出电压与电机转子转速(也就是飞轮的转速)之间具有直接关系。

令飞轮释放时初始摆角为 θ ,飞轮重心与转动轴中心距离为 l_1 ,飞轮重量为 G ,飞轮转动惯量为 J_1 ,磁感应强度为 B ,绕组中感应电流为 i ,绕组导体距离转动中心距离 $D/2$,导体电阻为 R ,定子铁芯轴向宽度为 l_2 ,绕组匝数为 N ,绕组导体电机定子与轴的转动惯量为 J_2 。

由刚体绕定轴转动定律^[11]可知,刚体绕定轴转动时,作用在刚体上所有外力对该轴力矩的代数和(合外力矩)等于刚体对该轴的转动惯量与所获得的角加速度的乘积。可得

$$\sum M = (\sum J) \beta$$

分析当飞轮摆动时轴的受力情况可知,轴在转子转动时主要受自身重力和电磁感应产生的安培力2个力矩的作用(忽略摩擦损耗),则上式变为

$$G \sin \theta \cdot l_1 - 2NBil_2 \cdot \frac{D}{2} = (J_1 + J_2) \beta \quad (3)$$

式中, i 为绕组中的感应电流,且有

$$i = \frac{Bl_2 v}{R} = \frac{Bl_2 \omega D}{2R} \quad (4)$$

又有角加速度

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (5)$$

将式(4)、式(5)代入式(3),化简可得飞轮动能与转子角速度之间的关系

$$Gl_1 \sin \theta - \frac{NB^2 l_2^2 D^2}{2R} \cdot \frac{d\theta}{dt} = (J_1 + J_2) \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (6)$$

联立求解式(1)与式(6),便可对飞轮动能与电机输出电压的关系进行分析。

3 仿真分析

根据提出的设计方案,项目组研制了海洋动能发电装置原理样机,样机实物如图2所示,同时,表1和表2给出了样机的具体设计参数。



图2 海洋动能发电装置样机实物图

表 1 永磁发电机绕组参数

槽数	极对数	相数	节距	绕组连接方式
123	10	3	1~7	Y
每相串联匝数	每相线圈数	每线匝匝数	每槽导线数	绝缘等级
1558	41	38	76	F

表 2 发电机与飞轮参数

$J_1/\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	$J_2/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	l_1/mm
0.437718	0.074329	111.35
l_2/mm	D/mm	G/N
60	298	132.14
R/Ω	N	$\Phi_1(M_x/\text{pole})$
134	1558	106947.2

下面,根据所建立的飞轮动能与电机输出电压的关系模型,并且结合项目组研制的海洋动能发电装置试验样机,对晃动动能与电能转换关系进行分析。为了简化分析模型,本文重点以飞轮在一定角度自由释放为对象,在不同飞轮初始摆角条件下,分析转子角速度与电机输出电压的变化关系。

在仿真分析过程中,考虑到数学模型为二阶非线性奇次方程,为此,采用 Matlab 软件进行求解。下面分别给出了飞轮初始摆角为 60°、90°、120°时,飞轮摆角与转子角速度关系,如图 3~图 5 所示。

由图3~图5可以看出,随着初始摆角的增大,输出

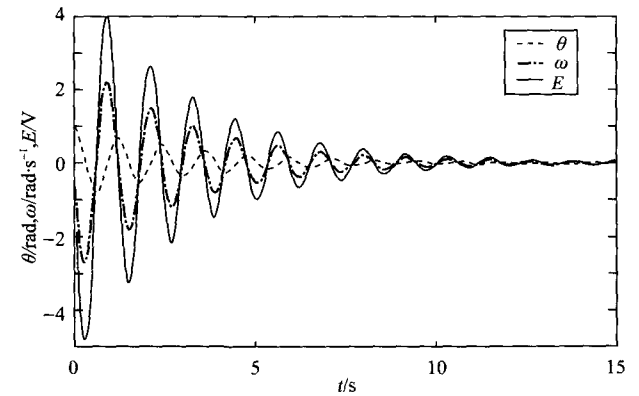


图 3 初始摆角为 60°时飞轮摆角与转子角速度关系

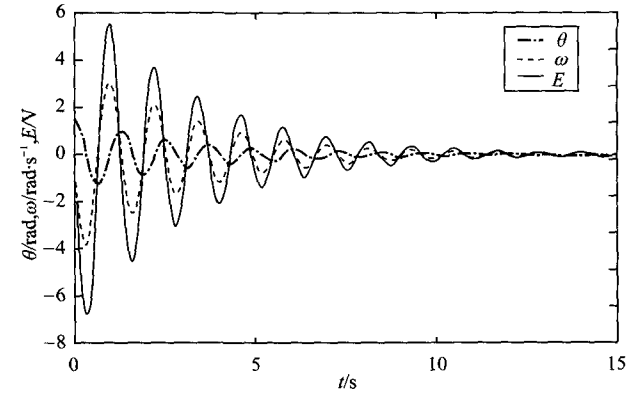


图 4 初始摆角为 90°时飞轮摆角与转子角速度关系

电压的峰值也在变大,这与实际情况是相符的,因为飞轮的初始摆角越大,在释放过程中飞轮所拥有的动能就越大,根据能量守恒原理,发电机输出的电能也会增大,这足以说明本文所建立的动能与电能转换模型是合理可行的。

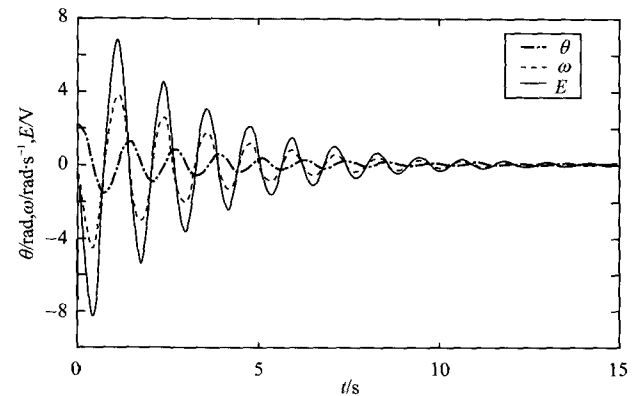


图 5 初始摆角为 120°时飞轮摆角与转子角速度关系

4 结束语

针对 UUV 在水下长时间连续工作对能源的需求,在结合现有海洋能发电装置方案基础上,提出了一种由两级转换系统构成的海洋动能发电装置,该装置可直接将海洋动能传递给发电机,去掉了中间的能量传递环节,可有效减小结构体积、提高系统的转换效率。

另外,基于永磁发电机基本原理和刚体绕定轴转动定律,建立了飞轮动能与电机输出电压的关系模型,结合项目组研制的海洋动能发电装置试验样机,经过仿真表明,本文所提出的模型方法是合理可行的,为后续开展分析不同海况下晃动动能发电装置的发电情况与效率提供了理论基础。

本文所研制的试验样机,尚未考虑海洋动能的波动可能导致对海浪动能收集机构产生较大冲击的情况,为此,在后续的研究过程中还要进一步开展机械动能缓冲储能技术研究,尽量减少或去除海洋动能的突变波动。

参考文献:

[1] Iglesias G, Lopez M, Carballo R, et al. Wave energy potential in Galicia (NW Spain) [J]. Renewable Energy, 2009, 34 (11) : 2323 - 2333.

[2] Beatty S J, Wild P, Buckham B J. Integration of a wave energy converter into the electricity supply of a remote Alaskan island [J]. Renewable Energy, 2010, 35 (6) : 1203 - 1213.

[3] Dalton G J, Alcorn R, Lewis T. Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy convertor in Ireland, Portugal and North America [J]. Renewable Energy, 2010, 35 (2) : 443 - 455.

独立线程,两者间通过循环缓冲进行数据交换,因此程序具有较小的耦合性、较高的可扩展性,并且预留接口,可根据需要扩展与硬件的接口,例如可以在今后添加网络接口,从网络接收下位机采集到的数据。

在有线测试方式下,综合测试软件为能实时完整地接收数据,程序开辟了一个独立线程,不间断地进行数据的循环接收。USB 的硬件驱动程序提供了同步接收和异步接收两种方式,但在测试过程中发现,由于 C# 的垃圾回收机制,采用同步方式将会由于接收数据内存的自动回收,使得数据丢失,严重时会使程序崩溃,因此采用异步方式接收数据,并采用异步 I/O 请求队列,使得接收过程更加平滑,数据通信稳定可靠。

集成测试软件具有如下特点:

① 封装性。各个软件功能采用一种方便用户使用的方式进行封装,用户接口较为简单。

② 通用性。具有实时数据处理、历史数据和曲线并存以及网络等功能,用户根据工程实际情况进行设置,不过多地受需求限制,应用性好。

③ 可扩展性。当现场(包括硬件设备或系统结构)或用户需求发生改变时,不需作很多修改即可方便地完成软件的更新和升级,系统适应性强,具备二次开发的能力。

4 测试方法与流程

集成测试系统支持和服务于探空火箭有效载荷的联试,包括箭上各载荷的桌面联试、箭头综合测试、全箭综合测试、全箭水平测试以及起竖后测试。具体内容:

① 箭载载荷电缆网及供配电测试;

② 箭载各载荷功能性测试;

③ 箭载公用设备与载荷之间的电接口测试,包括箭载公用设备与载荷之间的电源、遥测通道、数据通道等电接口的正确性、匹配性测试;

④ 箭载公用设备与载荷之间的工作协调性测试,以及下行数据的正确性和完整性测试;

⑤ S 波段数传发射机与地面遥测检测设备之间无线通道的测试;

⑥ 箭架匹配测试;

⑦ 地面电源供电与箭上电池供电的时序测试;

⑧ 模飞测试。

5 结束语

本文根据子午工程探空火箭的任务要求及对地面集成测试的需求,给出了集成测试系统的主要设计方案。集成测试系统需要在较短的时间内完成载荷工作状态的科学数据、工程参数的采集和分析,并且需要提

供数据的实时处理,要求以图表等直观的方式展示测试结果。所提出和介绍的集成测试系统满足有效载荷分系统及整箭的研制和测试的需要,并得到了充分的应用和考核。

集成测试系统的设计在满足探空火箭测试需求的基础上,综合考虑将来不同型号的要求而面向通用化,实现测试设备资源的共享。本文介绍的集成测试系统具有较强的可扩展性和二次开发能力,为测试设备的系列化、通用化和标准化提供了一个有效的途径,可以为相关型号的系统验证与测试提供一定的借鉴。

参考文献:

- [1] 肖光全,杨俊文. 织女三号探空火箭发射试验[J]. 世界导弹与航天,1991(4):16-17.
- [2] 姜秀杰,刘波,于世强,等. 探空火箭的发展现状及趋势[J]. 科技导报,2009,27(23):101-110.
- [3] 王晓明,戴居峰. 嫦娥一号卫星控制分系统地面测试系统设计[J]. 航天器工程,2008,17(2).
- [4] 刘海涛,杨根庆,孙宁,等. 创新一号卫星综合电测试系统总体设计[J]. 量子电子学报,2001,18(1):62-65.
- [5] 张翰英. 卫星电测技术[M]. 北京:中国宇航出版社,1999.

□

(上接第 129 页)

- [4] Babarit A, Guglielmi M, Clement A H. Declutching control of a wave energy converter[J]. Ocean Engineering, 2009, 36(12/13):1015-1024.
- [5] Elwood D, Yim S C, Prudell J, et al. Design, construction, and ocean testing of a taut-moored dual-body wave energy converter with a linear generator power take-off[J]. Renewable Energy, 2010, 35(2):348-354.
- [6] Langhamer O, Haikonen K, Sundberg J. Wave power—sustainable energy or environmentally costly? A review with special emphasis on linear wave energy converters[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(4):1329-1335.
- [7] Falcao A F O. Wave energy utilization; a review of the technologies[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(3):899-918.
- [8] Dunnett D, Wallace J S. Electricity generation from wave power in Canada[J]. Renewable Energy, 2009, 34(1):179-195.
- [9] Sari I, Balkan T, Kulah H. An electromagnetic micro power generator for wideband environmental vibrations[J]. Sensors and Actuators A:Physical, 2008, 145-146(7/8):405-413.
- [10] 唐任远,等. 现代永磁电机:理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [11] 吴百诗. 大学物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

□