

波浪能装置中液压发电系统 Boost 变换机理及控制策略

王坤林^{1,2,3}, 盛松伟^{1,2,3}, 叶寅^{1,2,3}, 张亚群^{1,2,3}, 游亚戈^{1,2,3}

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广东省广州市 510640; 2. 中国科学院可再生能源重点实验室, 广东省广州市 510640;
3. 广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室, 广东省广州市 510640)

摘要: 根据液压发电系统特性可知,其工作转速由蓄能器压力和发电机负载决定,而蓄能器压力和发电机负载是实时变量,不加控制将无法实现液压发电系统始终工作在最佳转速曲线。特别是当液压发电系统整流后直接馈入海岛直流微电网时,转速由直流电网电压唯一确定。文中通过引入 Boost 变换电路,实现液压发电系统转速的实时控制。提出最高效率转换控制策略,实现液压发电系统始终工作在最佳转速曲线。推导了液压发电系统 Boost 变换机理,通过试验得到了最佳转速曲线,建立了液压发电系统经过交错并联 Boost 变换器馈入直流微电网的仿真模型。仿真结果表明,在 Boost 变换器控制下,液压发电系统始终工作在给定的最佳转速曲线,实现了液压发电系统最高效率转换控制策略。

关键词: 波浪能装置; 液压发电系统; Boost 变换器; 最高效率转换; 最佳转速

0 引言

波浪能装置(wave energy converter, WEC)的研制取得了国际社会的持续关注,已研制出点头鸭式波浪能装置^[1]、Wave Pump 筏式波浪能装置^[2]、Pelamis 筏式波浪能装置^[3]、Power Buoy 点吸收式波浪能装置^[4]、Wavestar 波浪能装置^[5],以及国内的摆式波浪能装置^[6]、振荡浮子式波浪能装置^[7]和鹰式波浪能装置^[8]等。波浪能装置能量转换方式有直驱式、气动式和液压式。由于液压系统的优良性能^[9-10],大部分波浪能装置采用液压式能量转换方式。

液压系统常用于工程机械中的机械动作执行系统,实现电能、液压能到机械能的转换。液压系统在波浪能装置中的能量转换过程则刚好相反,完成了机械能、液压能到电能的转换。液压发电系统(hydraulic power generation system, HPGS)就是液压能驱动液压马达,带动发电机发电。液压发电系统常用于波浪能^[11-12]、潮流能^[13-15]和风能^[16]等可再生能源发电领域。文献^[11-16]通过变量液压马达的控制,实现了发电机的稳定输出,但会引起滞后

问题。这些系统中蓄能器的容量一般较小,液压蓄能系统直接影响着液压发电系统的状态,两个系统是不可分割的整体,不能实现液压蓄能系统和液压发电系统的解耦。因此,这些装置的能量转换系统相对复杂,控制系统并不具有普适性。

如果大幅增加蓄能器的容量,使其相对于液压缸、液压泵和液压马达的流量为足够大时,即液压缸、液压泵和液压马达的瞬时流量对蓄能器压力影响非常小,只有系统工作较长时间后,蓄能器的压力才会变化,理论上可近似为液压发电系统与液压蓄能系统解耦。解耦后液压发电系统的建模、控制与优化可不考虑液压蓄能系统的机理与控制方式。因此,不管液压蓄能系统是潮流能或者风能驱动液压泵,还是波浪能驱动液压缸,或者是其他系统驱动,只要蓄能器的压力和容量相同,其液压发电系统的特性就一样。因此,液压发电系统具有普适性,便于推广应用。

文献^[17]假设蓄能器容量为足够大,使得来波功率的波动对液压发电系统工作状态影响不大,实现液压发电系统与液压蓄能系统的解耦,研究了液压发电系统的特性,指出液压发电系统不存在最大功率问题,实际上液压发电系统具有“电流源”特性。但是该文献只论证了开环电路,并未论述闭环控制回路和控制策略。文献^[18]实现转速闭环控制,其重点不在变换器的实现,也未论述最佳转速曲线。波浪能装置需要海底电缆输电,常馈入海岛直流微

收稿日期: 2016-11-11; 修回日期: 2016-12-20。

上网日期: 2017-03-17。

中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助项目(XDA13040301); 广东省自然科学基金资助项目(2015A030313717)。

<http://www.aeps-info.com> 173

电网^[18-20]。根据“电流源”特性,液压发电系统可以通过不控整流直接向直流微电网输电^[17-18],但是发电机配置不够灵活,比如直流电网为 220 V 时,发电机额定电压为 170 V;直流电网为 1 000 V 时,发电机额定电压为 760 V。本文采用定量液压马达,即马达不控制,通过电力电子变换电路实现转速控制的目标。建立液压发电系统交错并联 Boost 变换闭环控制回路,以有限的液压能最大化转换为电能为目的,采用最高效率转换控制策略,控制液压发电系统的转速,实现液压发电系统的稳定输出。

1 液压发电系统中 Boost 变换电路的机理

1.1 波浪能装置液压能量转换原理

液压蓄能式波浪能装置能量转换系统包括液压蓄能系统和液压发电系统,基本原理如图 1 所示。液压蓄能系统完成蓄能器能量储蓄过程,包括液压缸、蓄能器和油箱等;液压发电系统完成蓄能器能量释放过程,包括了蓄能器、液压马达、油箱、发电机、变换器和负载等。其中,相对于液压缸输入流量,蓄能器的容量足够大,以达到液压发电系统和液压蓄能系统解耦,可独立开展液压发电系统研究。

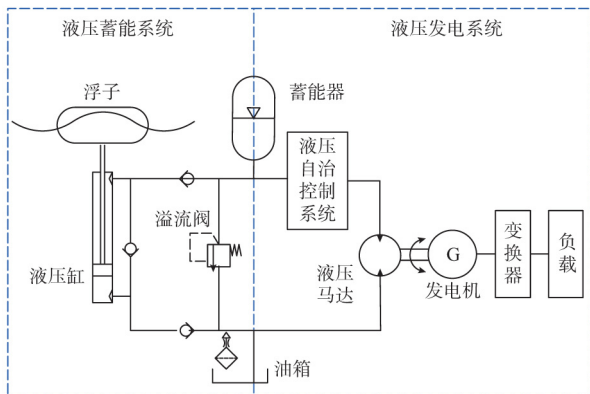


图 1 液压蓄能式波浪能装置能量转换原理
Fig.1 Principle of energy converting in hydraulic type wave energy converter

1.2 Boost 变换机理

液压发电系统不控整流后经 Boost 斩波升压电路后接入直流电网的电路拓扑结构见图 2。其中 PMSG 表示永磁同步发电机。为了更好地进行分析,先假设如下条件成立:①电感 L_b 的值很大,忽略 I_{dc} 电流纹波;②功率管为理想元件,无功率损耗。

根据能量守恒定理,在每个开关周期里,电感 L_b 在 S_b 导通期间 t_{on} 储存的能量与其在 S_b 断开期间 t_{off} 释放的能量一样, S_b 的开关周期为 T ,则有

$$E_{dc} I_{dc} t_{on} = (U_{dc} - E_{dc}) I_{dc} t_{off} \quad (1)$$

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (2)$$

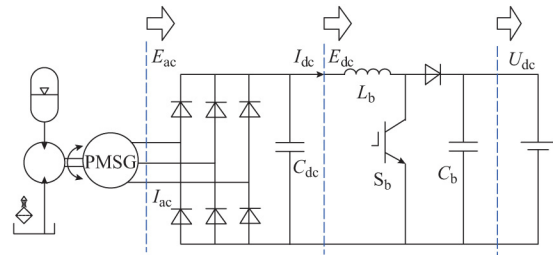


图 2 液压发电系统经 Boost 升压电路接入直流电网的拓扑结构
Fig.2 Topology of HPGS connected to DC power grid through Boost circuit for voltage step-up

可以推导出:

$$E_{dc} = U_{dc} (1 - D) \quad (3)$$

式中: D 为开关管的占空比, $D = t_{on} / T$ 。

由不控整流电压公式 $E_{dc} = 3\sqrt{6} E_{ac} / \pi$, 代入式(3), 可以推算出液压发电系统的相电压为:

$$E_{ac} = \frac{\sqrt{6} \pi (1 - D) U_{dc}}{18} \quad (4)$$

那么,对于永磁同步发电机,在正常工况下,其输出电压与转速近似成正比^[21], 有 $E_{ac} = n / C_1$, $1 / C_1$ 为比例系数。由式(4)可得液压发电系统的转速为:

$$n = \frac{\sqrt{6} \pi C_1 (1 - D) U_{dc}}{18} \approx C_2 (1 - D) U_{dc} \quad (5)$$

式中: C_2 为液压发电机组常数。

由式(5)可见,液压发电系统的转速只与直流负载电压和 Boost 电路的占空比有关。当增加 Boost 电路前,即占空比为零,液压发电机组的转速完全由直流负载电压唯一确定,转速不可控,这与文献[17]的结论一致;当增加 Boost 电路后,可通过开关管的控制实现转速的控制,避免了通过液压马达控制转速的滞后问题。

1.3 Boost 变换电路控制回路

Boost 电路常用的控制对象是直流输出电压 U_{dc} , 如附录 A 图 A1 所示。当变换电路处于稳态时,由负载或者电源扰动,引起 U_{dc} 升高时,控制器输出 D 减少,由式(3)可知, U_{dc} 则被拉低。同理, U_{dc} 降低时,通过反馈控制后 U_{dc} 则被拉高。因此, Boost 变换电路控制回路是负反馈。

液压发电系统的控制对象是转速,采用转速闭环控制。当变换电路处于稳态时,即其工作转速 n 与设定转速 n^* 相同,占空比为 D 。随着发电时间推移,蓄能器压力 P_{Δ} 下降,将引起转速 n 下降^[17]。采用转速反馈控制,控制器的输出增加。若输出为占空比 D 时,即 D 增加,根据式(5)可知转速继续下降,反之亦然,即 Boost 变换电路转速反馈控制是

正反馈。因此,控制器的输出是 $1-D$,而不是占空比 D ,才能构成转速闭环负反馈控制回路,如附录 A 图 A2 所示。

2 液压发电系统中 Boost 变换电路的控制策略

2.1 液压发电系统最高效率转换控制策略

由于液压发电系统不存在最大输出功率^[17],因此,液压发电系统不可以采用可再生能源常用的最大功率点跟踪(MPPT)的控制策略。根据液压发电系统直流并网变换器控制目标是将蓄能器的液压能转换为最多的电能,液压发电系统可采用最高效率转换控制策略。

液压发电系统由蓄能器、液压管路、液压马达、发电机和油箱等组成。影响液压发电系统能量转换效率的因素主要有液压管路的流阻、液压马达的容积损耗和机械损耗、发电机组的铜损和铁损等,这些因素与压力和转速等相关。由于压力的调节是通过控制液压马达流量来实现,对于定量马达,即控制转速。因此,影响液压发电系统效率的主要因素是转速。为了实现液压发电系统直流并网变换器的最高效率转换控制策略,必须采用转速闭环控制,因为转速是影响液压发电系统的关键变量。

由于转速影响液压发电系统能量转换效率的机理较复杂,难以精确建模推导最高效率转速曲线,即最佳转速曲线 $N_{opt}(P_{\Delta})$,但是可以通过实验训练取得 $N_{opt}(P_{\Delta})$ 。根据蓄能器的压力,确定最佳转速曲线 $N_{opt}(P_{\Delta})$,通过交错并联 Boost 直流并网变换电路控制液压发电机组始终工作在最佳转速曲线 $N_{opt}(P_{\Delta})$,实现最高效率转换(MEC)。波浪能装置液压发电系统直流并网变换器采用交错并联 Boost 变换电路,以提高变换功率,减少纹波。液压发电系统最高效率转换控制电路如图 3 所示,其中 PID 表示比例-积分-微分控制器。

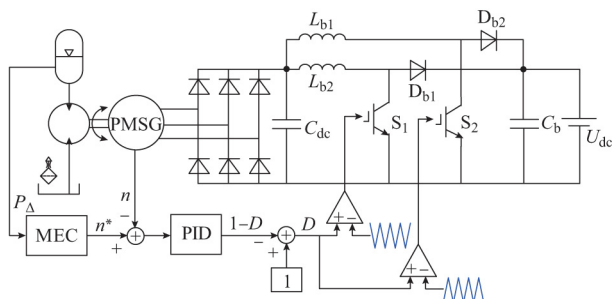


图 3 波浪能装置中液压发电系统交错并联 Boost 变换器控制策略

Fig.3 Control strategy of interleaved Boost converter for HPGS in wave energy converter

2.2 最佳转速曲线的训练

在液压蓄能发电系统实验平台,通过改变直流电网电压实现改变液压发电系统的转速,记录不同转速下的压力、转速数据。对某一液压发电系统进行了详细的实验,实验结果见附录 A 表 A1,效率分布图见附录 A 图 A3。本文效率指变换器直流输出功率与液压马达输入功率的比值,包括液压马达、永磁同步发电机和直流变换器的效率。

从实验数据分布可看出,一定范围内,液压发电系统在转速压力比减小时,其转换效率有升高的趋势。当转速压力比 $K_{n/p} \leq 100$ r/(min·MPa)时,液压发电系统的转换效率大于 72%。本文转速压力比取: $K_{n/p} = 90$ r/(min·MPa)。

由于液压发电系统中永磁同步发电机的额定转速一般为 1 500 r/min,对应压力为 16.67 MPa。因此,波浪能装置中液压发电系统的最佳转速曲线为:

$$\{N_{opt}(P_{\Delta})\}_{r/min} = \begin{cases} 1500 & P_{\Delta} \geq 16.67 \text{ MPa} \\ 90P_{\Delta} & P_{\Delta} < 16.67 \text{ MPa} \end{cases} \quad (6)$$

3 液压发电系统交错并联 Boost 电路的仿真模型

根据交错并联 Boost 变换器的拓扑、在液压发电系统中的工作机理以及图 3 所示的最佳效率转换控制系统结构,可以建立其 Simulink 的仿真模型如附录 A 图 A4 所示。其中,Hydraulic System 为液压发电系统模块^[17]。MEC 模块为式(6)所示的最佳转速曲线函数模块。Speed 模块为转速检测模块。脉宽调制(PWM)模块根据占空比调制出交错并联 Boost 电路的 PWM 驱动信号。直流电网由蓄电池组提供。根据波浪能装置 3 kW 液压发电机组的常用配置,设定系统基本参数如下:液压马达排量为 6 mL/r;蓄能器容量为 40 L,初充压力 9 MPa,初充液压油 22 L,即发电启动压力达到 20 MPa;发电机组发电停止压力设定为 10 MPa;发电机组额定功率为 3 kW,额定转速为 1 500 r/min,额定电压为 400 V;直流电网电压为 1 000 V,由蓄电池提供;蓄电池组容量为 1 200 Ah/500 V;电感为 1 mH;比例-积分(PID)控制器参数中比例系数为 0.001,积分增益为 0.05;载波频率为 5 kHz;一个完整仿真发电时间为 180 s。

4 仿真与分析

4.1 无 Boost 电路液压发电系统仿真

根据液压发电系统特性,不控整流后可直接并入直流电网,即附录 A 图 A4 中去掉交错并联 Boost 变换电路,仿真结果见附录 A 图 A5。可以看

出, 液压发电系统在 3 个直流电压下分别工作在 3 个转速, 即转速由直流电网电压决定, 与蓄能器压力无关。在物理系统中, 改变直流电网电压困难, 甚至不被允许, 因此, 无法实现液压发电系统在最佳转速下工作。

4.2 液压发电系统转速阶跃响应与压力扰动仿真与分析

在进行液压发电系统交错并联 Boost 变换器转速阶跃响应试验时, 附录 A 图 A4 中 MEC 模块开环, 另给定速度信号, 初始速度给定为 800 r/min; 当 $t=0.7$ s 时, 速度给定改为 1 500 r/min; 当 $t=1.4$ s 时, 速度给定改为 1 200 r/min, 速度阶跃给定信号如图 4 的红线所示。采用经典的 PID 控制计算方法, 速度阶跃响应仿真结果如图 4 所示。

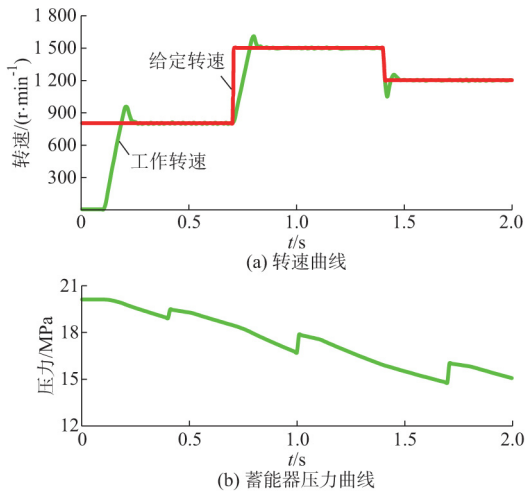


图 4 液压发电系统交错并联 Boost 变换器转速阶跃响应

Fig.4 Speed step response of interleaved Boost converter for HPGS

从速度阶跃响应仿真结果可以看出, 液压发电机组转速完全跟踪速度给定信号。 $t=0.1$ s 时启动液压发电系统, 液压发电机组转速很快就达到给定转速, 调节时间为 0.13 s, 超调量为 19%, 无稳态误差。从仿真结果可见, 在 $t=0.7$ s 和 $t=1.4$ s 给定速度阶跃变化时, 交错并联 Boost 变换电路始终控制液压发电机组转速跟踪给定转速, 实现了转速的实时控制。

在 $t=0.4, 1, 1.7$ s 时, 蓄能器并入了同等容量的新蓄能器, 模拟蓄能器压力扰动。从图 4 的蓄能器压力曲线可知, 蓄能器压力在这 3 个时刻急速上升。由仿真实现方法和仿真结果可知, 该扰动强度远远大于来波能量的波动。但是, 液压发电系统在 3 个工作状态的工作转速均保持不变, 说明来波能量的波动对液压发电系统转速无影响, 以及 Boost

电路控制算法具有较强的抗干扰能力。

4.3 液压发电系统完整发电过程 Boost 变换仿真与分析

根据波浪能装置液压能量转换过程的特点, 当来波能量小于额定波况时, 波浪能装置液压发电系统工作在 0-1 模式, 只有当来波能量较大时, 才能实现连续发电。因此, 波浪能装置液压发电机组的“1”模式是一个完整的发电过程。图 4 已证明了来波能量的波动对液压发电系统转速无影响。虽然来波能量的波动会引起蓄能器压力和液压发电系统输出功率变化, 但是该变化非常小。来波能量的累积量, 即蓄能器储蓄的液压能, 才是液压发电系统工作状态的決定因素。发电过程中的来波能量只会增加发电时间和发电量。因此, 进行液压发电系统完整发电过程仿真时, 不考虑来波能量的影响。

根据蓄能器压力, 附录 A 图 A4 中 MEC 模块计算出的最佳转速为给定转速, 波浪能装置液压发电系统一个完整的发电过程仿真结果如图 5 所示。

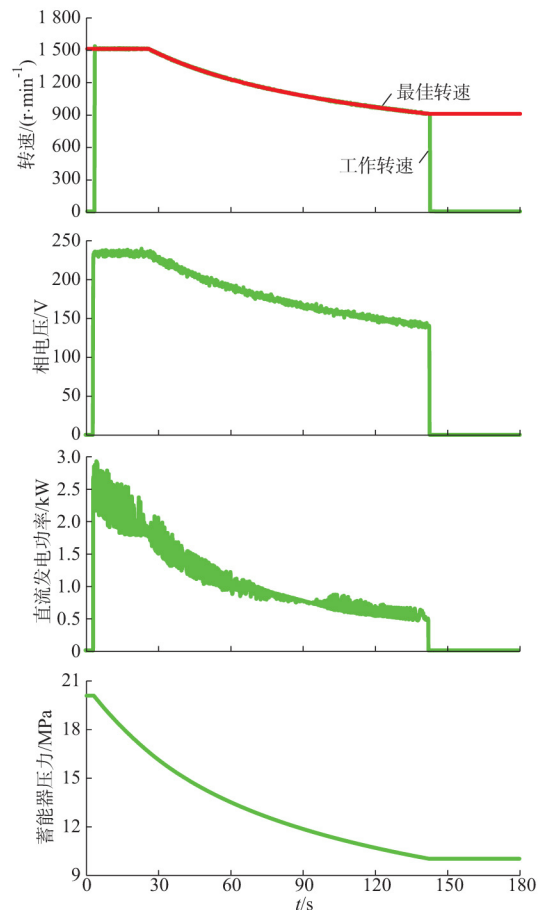


图 5 液压发电系统发电过程仿真

Fig.5 Power generation process simulation of HPGS

从仿真结果可以看出, 液压发电系统的一个完整发电过程包括一个恒速过程和一个减速过程。蓄

能器压力下降到 16.67 MPa 之前,液压发电系统工作在 1 500 r/min 的恒速过程,此时,液压发电机组恒定不变,发电电压不变,发电功率随着压力下降而下降。然后随着蓄能器压力下降,液压发电系统进入减速过程,液压发电机组转速和发电电压下降,发电功率加速下降,直至发电过程结束。从整个液压发电过程来看,液压发电系统的转速由蓄能器压力决定,能够实时跟踪给定的最佳转速曲线 $N_{opt}(P_{\Delta})$ 。在整个发电过程中,转速压力比 $K_{n/p} \leq 90 \text{ r}/(\text{min} \cdot \text{MPa})$,液压发电系统实现了最佳效率转换控制策略。

5 结语

本文针对波浪能等发电装置的液压能量转换过程,液压蓄能系统和液压发电系统耦合,能量转换系统与控制系统相对复杂,可靠性不高等问题,通过提高蓄能器容量,实现液压蓄能系统和液压发电系统的解耦,独立开展液压发电系统直流并网研究。液压发电系统特性及其控制系统具有普适性,有利于推广应用。

液压发电系统一般通过调节液压马达的流量,实现液压发电机组转速控制,达到稳定输出的目标。由于液压马达的流量控制是一个滞后环节,控制系统可靠性和精度要求成为难点。通过液压发电系统电力变换电路的控制实现液压发电系统稳定高效输出,成为研究液压发电系统并网技术新方向。从本文交错并联 Boost 变换电路的仿真实验结果来看,液压发电系统始终工作在最佳转速曲线上,实现了液压发电机组稳定高效直流并网输出。

通过 Boost 变换控制液压发电机组转速时,发电系统经历了 AC/DC 和 DC/DC 两级变换,带来了一定的电能损耗。此外,AC/DC 变换为不可控整流,使发电机组电枢电流谐波含量高,引起发电机效率偏低等系列问题。采用其他拓扑电路实现液压发电机组转速控制与高效转换将成为今后研究的重点。

附录见本刊网络版 (<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] SALTER S H. Wave power[J]. Nature, 1974, 249: 720-724.
- [2] NIELSEN K, PLUM C. Comparison of experimental and theoretical results of the motions of a McCabe wave pump[C]// 4th European Wave Energy Conference, December 4-6, 2000, Aalborg, Denmark: 56-62.
- [3] HENDERSON R. Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the pelamis wave energy converter[J]. Renewable Energy, 2006, 31(1): 271-283.
- [4] FALNES J, LILLEBEKKEN P M. Budal's latching-controlled-buoy type wave-power plant[C]// 5th European Wave Energy Conference, September 17-20, 2003, Cork, Ireland: 233-244.
- [5] O'CONNOR M, LEWIS T, DALTON G. Techno-economic performance of the Pelamis P1 and Wavestar at different ratings and various locations in Europe[J]. Renewable Energy, 2013, 50: 889-900.
- [6] 张文喜,叶家玮.摆式波浪能发电技术研究[J].广东造船, 2011(1):20-22.
ZHANG Wenxi, YE Jiawei. Research overview on pendulum wave power generation technology[J]. Guangdong Shipbuilding, 2011(1): 20-22.
- [7] YOU Yage, SHENG Songwei, WU Bijun, et al. Wave energy technology in China[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2012, 370: 472-480.
- [8] 王坤林,盛松伟,游亚戈,等.鹰式一号漂浮式波浪能装置冗余监控技术研究[J].海洋技术学报,2014,35(4):62-67.
WANG Kunlin, SHENG Songwei, YOU Yage, et al. Research on the redundancy monitoring system of the "Sharp Eagle No.1" floating wave energy converter [J]. Journal of Ocean Technology, 2014, 35(4): 62-67.
- [9] 盛松伟,游亚戈,张亚群,等.漂浮式波浪能装置能量转换系统研究[J].机械工程学报,2012,48(24):141-146.
SHENG Songwei, YOU Yage, ZHANG Yaqun, et al. Research on power take-off system of floating wave power device[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(24): 141-146.
- [10] ZHANG Dahai, LI Wei, ZHAO Haitao, et al. Design of a hydraulic power take-off system for the wave energy device with an inverse pendulum[J]. Chinese Ocean Engineering, 2014, 28(2): 283-292.
- [11] 鲍经纬,李伟,张大海,等.基于液压传动的浮力摆式波浪能发电系统稳压恒频控制[J].电力系统自动化,2013,37(9):18-22.
BAO Jingwei, LI Wei, ZHANG Dahai, et al. A control method for inverse-pendulum wave power generation system based on hydraulic transmission to maintain pressure and ensure constant frequency[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(9): 18-22.
- [12] 吕沁,李德堂,唐文涛,等.基于液压传动的振荡浮子式波浪发电系统设计[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(2):234-240.
LYU Qin, LI Detang, TANG Wentao, et al. Design oscillating buoy wave power generating system based on hydraulic transmission[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50(2): 234-240.
- [13] 马舜,李伟,刘宏伟,等.基于液压传动的独立运行潮流能发电系统变速恒频控制[J].电力系统自动化,2011,35(10):59-64.
MA Shun, LI Wei, LIU Hongwei, et al. Variable-speed constant-frequency control of a stand-alone tidal current energy conversion system based on hydraulic transmission [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(10): 59-64.
- [14] 石茂顺,刘宏伟,李伟,等.海流发电液压传动系统设计与仿真

- 验证[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 118-122. DOI: 10.7500/AEPS20130227015.
- SHI Maoshun, LIU Hongwei, LI Wei, et al. Design of hydraulic transmission systems for tidal current turbines and its simulation validation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 118-122. DOI: 10.7500/AEPS20130227015.
- [15] 石茂顺, 刘宏伟, 李伟, 等. 基于液压变压器原理的海流发电液压传动系统[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(5): 764-769. SHI Maoshun, LIU Hongwei, LI Wei, et al. Tidal current turbine hydraulic transmission system based on hydraulic transformer[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2014, 48(5): 764-769.
- [16] 林勇刚, 王贤成, 王菁, 等. 基于液压传动的离网型风力机“变速恒频”控制研究[J]. 太阳能学报, 2014, 35(10): 1965-1970. LIN Yonggang, WANG Xiancheng, WANG Jing, et al. VSCF control research of off-grid wind turbine based on hydraulic transmission[J]. Acta Energetica Sinica, 2014, 35(10): 1965-1970.
- [17] 王坤林, 田联房, 王孝洪, 等. 液压蓄能式波浪能装置发电系统特性[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42(6): 25-31. WANG Kunlin, TIAN Lianfang, WANG Xiaohong, et al. Characteristics of power generation system with hydraulic energy-storage wave energy converter [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 42(6): 25-31.
- [18] WANG Kunlin, TIAN Lianfang, YOU Yage, et al. Connection technology of HPTO type WECs and DC Nano grid in island[J]. China Ocean Engineering, 2016, 30(4): 581-590.
- [19] HERTEM D V, DELIMAR M. High voltage direct current electric power transmission systems [M]// MELHEM Z. Electricity transmission, distribution and storage systems. Oxford, UK: Woodhead Publishing, 2013: 143-173.
- [20] JOVICIC D. Offshore wind farm with a series multiterminal CSI HVDC [J]. Electric Power Systems Research, 2008, 78(4): 747-755.
- [21] SKRETAS S B, PAPADOPOULOS D P. Efficient design and simulation of an expandable hybrid (wind-photovoltaic) power system with MPPT and inverter input voltage regulation features in compliance with electric grid requirements [J]. Electric Power Systems Research, 2009, 79(9): 1271-1285.

王坤林(1980—), 男, 通信作者, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 电力电子技术在可再生能源开发中的应用。E-mail: cadonwkl@163.com

盛松伟(1972—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 波浪能装置研制。E-mail: shengsw@ms.giec.ac.cn

叶寅(1986—), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向: 流体机械及控制。E-mail: yeyin@ms.giec.ac.cn

(编辑 蔡静雯)

Boost Converter Converting Mechanism and Control Strategy for Hydraulic Power Generation System in Wave Energy Converter

WANG Kunlin^{1,2,3}, SHENG Songwei^{1,2,3}, YE Yin^{1,2,3}, ZHANG Yaqun^{1,2,3}, YOU Yage^{1,2,3}

1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. CAS Key Laboratory of Renewable Energy, Guangzhou 510640, China;
3. Guangdong Provincial Key Laboratory of New and Renewable Energy Research and Development, Guangzhou 510640, China)

Abstract : According to the characteristics of the hydraulic power generation system (HPGS), the rotation rate is determined by the accumulator pressure and the power generator load, which are variables and cannot make the HPGS always work at the optimal speed curve without control. Especially, when the HPGS is fed into a DC microgrid on an island by a rectifier, the rotation rate is only determined by the grid voltage. This paper introduces a Boost converter for HPGS to control the rotation rate in real time. A maximum efficiency converting control strategy is proposed to ensure that the HPGS is always working at the optimal speed curve in the whole power generation process. The converting mechanism of the Boost converter for HPGS is derived, and the optimal speed curve obtained by experiment. A simulation model of the interleaved boost converter for HPGS to be fed into the DC microgrid is developed. The experimental results show that HPGS is always working at the optimal speed curve under the control of the Boost converter in achieving the maximum efficiency converting control strategy for HPGS.

This work is supported by Strategic Priority Research Program (Class A) of Chinese Academy of Sciences (No. XDA13040301) and Guangdong Provincial Natural Science Foundation of China (No. 2015A030313717).

Key words : wave energy converter (WEC); hydraulic power generation system (HPGS); Boost converter; maximum efficiency converting; optimal speed