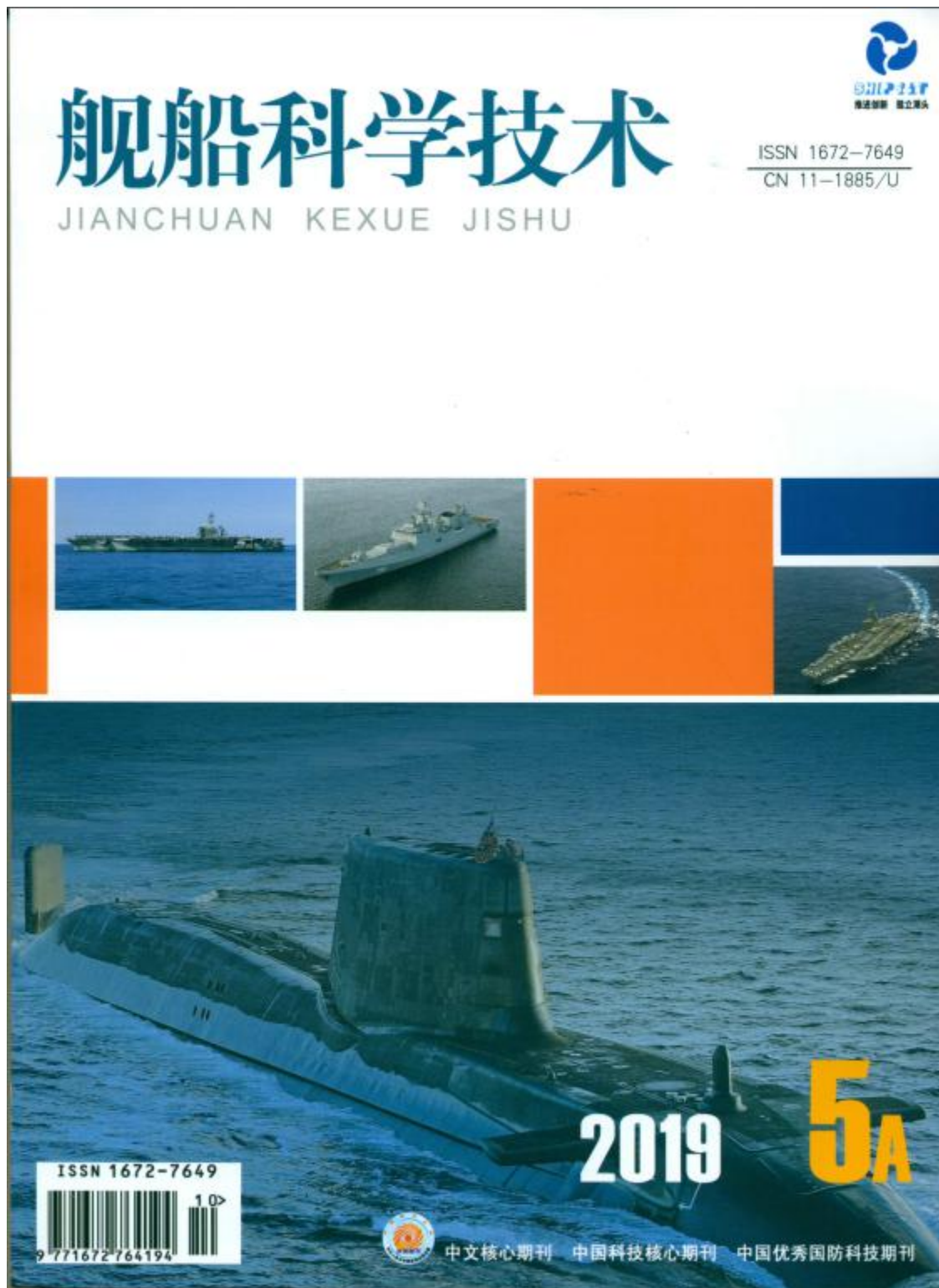


赵新. 船舶电力推进系统的分布式仿真研究[J]. 舰船科学技术, 2019,5A:106-108



## 舰船科学技术

主管单位 中国船舶重工集团有限公司  
 主办单位 中国舰船研究院  
 中国船舶重工集团公司第七一四研究所  
 出版单位 《舰船科学技术》编辑部  
 主 编 吴传利  
 执行主编 魏瑞兰  
 副 主 编 宋久振  
 责任编辑 陈 鹏  
 美 编 曲 蕾  
 通信地址 100101  
 北京市朝阳区科荟路55号院  
 网 址 <http://www.jkxjsgw.com>  
 电 话 010-83027274  
 邮 刷 北京时捷印刷有限公司  
 发 行 北京2854信箱发行部  
 国内定价 50.00元/册

广告经营许可证 京朝工商广字0146号

Supervised by  
 China Shipbuilding Industry Corporation  
 Sponsored by  
 China Ship Research and Development Academy  
 The 714 Research Institute of CSIC  
 Edited & Published by  
 Editorial Department of Ship Science and Technology  
 Editor-in-Chief Wu Chuan-ji  
 Executive Editor-in-Chief Wei Rui-lan  
 Deputy Editor-in-Chief Song Jiu-zhen  
 Editor Chen Peng  
 Art Editor Qu Lei

ADD: No.55 Kehui Road, Chaoyang, Beijing, China  
 P.O.Box: 2854 Beijing  
 Post Code: 100101  
 Tel: 010-83027274  
 Website: <http://www.jkxjsgw.com>

本刊已许可CNKI《中国期刊全文数据库》、《中国核心期刊(选态)数据库》和《中文科技期刊数据库》以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其作品著作权使用费与本刊稿酬一次性支付。若作者不同意文章被收录，请在来稿时注明，本刊将作适当处理。

第41卷第5A期 2019年5月

[期刊基本数据] CN11-1885/U • 1962 • m • A4 • 224 • zh • P • ¥50.00 • 1000 • T4 • 2019-5A

# 目次

### 基础科技

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 1 舰船上层建筑结构动力响应的数学模型研究         | 李华志 李磊岗   |
| 4 基于加速性混沌反馈结构物结构论证系统          | 成旭真       |
| 7 舰船波浪稳定性的数学建模与动态分析           | 谢基杰       |
| 10 船舶横向运动短期姿态预报数学建模可行性研究      | 潘宝柱 魏文英 等 |
| 13 受载时船舶自由面载荷数值的数学模型设计        | 王 芳       |
| 16 基于小波阈值法和LMS自适应滤波法的舰船去噪方法   | 梁孟杰       |
| 19 舰船隔振系统参数分析的数学模型研究          | 汪嵩嵩       |
| 22 多媒体环境下船舶监控视觉图像敏感区域标注算法     | 高 欣 刘美迎   |
| 25 基于粒子群算法的欠驱动船舶航向控制研究        | 罗彩君       |
| 28 人工智能技术在船舶轨迹规划中的应用          | 徐 英       |
| 31 改进遗传算法的船舶航行路径规划方法          | 梁志玲       |
| 34 大数据网络下船舶轨迹异常故障检测技术优化       | 刘志方       |
| 37 基于大数据挖掘模型的船舶破碎尾迹智能跟踪方法     | 冯 健       |
| 40 多维维数舰船运行数据聚类算法设计           | 王小花 魏见亮 等 |
| 43 船舶自动识别系统中视觉跟踪控制研究          | 华旭奋 赵 勇   |
| 46 基于传感网络的舰船航行系统振动检测          | 李 刚 周 军   |
| 49 舰船隔振系统的数学建模与分析             | 王俊华       |
| 52 基于机器学习的舰船系统交叉覆盖数据分类方法      | 伊雯雯 王 喜   |
| 55 云环境下舰船周期性任务容错调度算法研究        | 黄丽冰       |
| 58 基于ISA总线接口电路的船舶故障分析系统       | 樊新军       |
| 61 纳米氧化铀复合氧化钛海洋防腐防污涂层的制备及性能研究 | 路桂娟 唐艳强   |
| 64 船舶排水水质特征及污染控制方法            | 薛 宁       |
| 67 船舶动力定位系统的自适应控制研究           | 杨 辉       |

### 动力系统

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 70 船舶柴油机机械磨损故障诊断的模式识别           | 喻步姿 刘 俊   |
| 73 全电力推进船舶光伏并网发电系统建模仿真          | 段春艳 冯泽霖   |
| 76 舰船发电机组计算机测试系统的通信技术与控制技术研究    | 洪世勇       |
| 79 船舶涡轮增压器瞬态转速预测方法研究            | 程永彬 赵立基 等 |
| 82 网络环境下的船舶动力装置状态评估与监测系统开发      | 王 奕       |
| 85 船舶电力系统谐波抑制技术                 | 管 旭       |
| 88 等效法和节点电压法在船舶电力系统稳态数学模型建立中的应用 | 吴有明       |
| 91 船舶电力推进系统故障诊断技术               | 白栋银       |
| 94 基于二维码标签的舰船配电网标准化巡视智能监控方法     | 杨 军 符冰超 等 |
| 97 舰船逆变器的故障诊断                   | 王正德       |
| 100 船舶醇类燃料发动机燃烧特性研究             | 程 艳       |
| 103 高精度船舶自动操舵双闭环驱动控制系统          | 李红英       |
| 106 船舶电力推进系统的分布式仿真研究            | 赵 新       |

### 电子信息

- |                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 109 基于大数据技术的舰船导航定位系统自动修复方法   | 于 博       |
| 112 波浪作用下的舰船电子系统谱密度函数分析      | 杨美玲 安然 等  |
| 115 基于机器人的舰船智能导航系统设计         | 宋志峰       |
| 118 改进LEACH算法的船舶无线网络路由算法机制   | 张燕菲 张延峰 等 |
| 121 船舶网络安全防护下入侵病毒检测及防御研究     | 莫裕清       |
| 124 基于调度模型的舰船嵌入式系统关键数据反馈加密方法 | 黄志武       |
| 127 船舶传感器网络中节点定位算法设计         | 罗 明       |
| 130 VSAT技术在海上船舶通信系统的应用研究     | 郝 洁       |
| 133 船舶通信网络的嵌入式无人巡视系统设计       | 王 建       |
| 136 基于ZigBee的舰船通信网络中无线传感器的应用 | 王麟阁 杨昱川   |
| 139 船舶通信终端远程导航监控系统研究         | 史红彦 田 梅   |
| 142 基于IPv6的大型舰船通信网络卸载引擎设计与实现 | 郑兴华       |
| 145 舰载智能天线通信系统中干扰抑制技术        | 吴清海 何飞勇   |
| 148 船舶通信系统中的信道分配算法设计         | 姚美雯 张 星 等 |



## 船舶电力推进系统的分布式仿真研究

赵新

(武汉交通职业学院 电子与信息工程学院, 湖北 武汉 430065)

**摘要:**设计一种分布式船舶电力推进系统结构,并在仿真的环境下研究了电力推进系统的工作性能和可靠性。分布式电力推进系统设有2组PLC控制中心,通过变频控制和逻辑控制的方式推进船舶的行进和螺旋桨的工作;给出船舶电力推进系统的仿真电路结构,并以载波层叠SPWM的控制方式实现对电力系统电压、电流等信号的控制,保证船舶电力系统以更经济的方式运转和工作。仿真实验数据表明,提出的分布式船舶电力推进系统在电磁信号输出的稳定性方面优势明显,可以使船舶电力系统动力性能和运行成本达到一种均衡的状态。

**关键词:**船舶;电力推进系统;分布式仿真;载波层叠SPWM

中图分类号:TN294 文献标识码:A

文章编号:1672-7649(2019)5A-0106-03 doi:10.3404/j.issn.1672-7649.2019.5A.036

### Distributed simulation of marine electric propulsion system

ZHAO Xin

(School of Electronic and Information Engineering, Wuhan Technical College of Communications, Wuhan 430065, China)

**Abstract:** A distributed structure of marine electric propulsion system is designed, and its performance and reliability are studied in the simulation environment. Distributed electric propulsion system has two sets of PLC control systems, which promote the ship's movement and propeller's work by means of frequency conversion control and logical control. The simulation structure and circuit structure of electric propulsion system are given. The voltage and current signals of electric power system are controlled by carrier stacked SPWM control mode to ensure that the ship's electric power system runs more economically. And work. The simulation results show that the proposed distributed marine electric propulsion system has obvious advantages in the stability of electromagnetic signal output, which can make the power performance and operation cost of the marine power system reach a balanced state.

**Key words:** ship; electric propulsion system; distributed simulation; carrier layer SPWM

### 0 引言

随着全球生态环境保护与生态文明建设意识的逐步提升,船舶电力推进系统的应用比例在持续提高。传统船舶内燃机机械动力系统会对海洋水体环境造成不同程度的污染,采用电力作为船舶航行的动力来源已经成为一种趋势<sup>[1-3]</sup>。此外,电力驱动系统还具有操作灵活、噪声干扰小的特点,更有利于与其他形式的动力来源相结合。船舶质量巨大,推动船体在海面平稳航行,往往需要多组伺服电机共同工作,而当前船舶电机系统的排列方式往往以直立式纵向排列方式为主,电能输出存在巨大损耗。而为舰船提供动力的电机系统十分复杂,船舶电机系统的排列及电力参数的设置与调教,都会影响到电能的消耗水平<sup>[4]</sup>。针对传

统舰船电力推进系统动力损耗大、成本高的问题,提出一种船舶电力推进系统分布式仿真研究,降低电力系统的电力及动力损耗。由于缺乏足够的条件在船舶实体上进行电机系统的分布式设计和研究,本文采用仿真研究的方式来设计和估算电力驱动系统方案,并验证分布式系统的可行性。但由于船舶电力系统的复杂性,采用仿真研究方式设计的系统仅为真实船舶动力系统的近似结构,在实际应用前还需要对分布式电力仿真系统可行性和实用性进行风险评估。

### 1 船舶电力推进分布式仿真系统模型建立

船舶电机驱动方式与传统的内燃机驱动方式存在本质的差异,电驱动方式下伺服电机驱动船底的螺旋

收稿日期:2019-03-11

基金项目:中国交通教育研究会教育科学研究课题(1802-319);武汉交通职业学院科研创新团队建设项目(CX2018B01)

作者简介:赵新(1980-),女,硕士,讲师,研究方向为智能控制理论与应用及嵌入式技术。

浆并产生向前的驱动力,推动船舶向前行驶。船舶电力动力源研究可以最早追溯到19世纪,到20世纪中叶电气化船舶动力的应用范围逐渐扩大。随着电力技术、电子科学技术与计算机控制技术的发展,船舶电机的容量逐渐扩大,性能逐渐提高,特别是变频电机的研发使船舶电机系统的工作效率、动力性能和稳定性都得到了改善。与传统的机械式船舶动力系统相比,电力推进系统还具有以下优点。首先电机推进系统具有良好的节能减排性能,避免了机械动力系统对于海洋环境的污染。而与机械驱动系统相比较而言,在船舶运行成本上也具有明显的优势。电机组的工作效率更高能够为船舶提供持续的、低成本的运动动力来源;其次电机驱动系统的操控灵活性更好,可以提高船舶航行的安全性;最后船舶电力推进系统空间布置灵活。本文仿真设计的分布式电机系统,采用分布式的电机结构设计,能够最大限度的节省能源消耗,降低噪音,为船舶提供稳定、可靠的动力来源。当前,国际社会对于海洋环境的保护力度不断扩大,因此关于船舶电力推进系统的研究,已经成为国内外船舶航行和轮机工程领域研究的热点问题,也是一个主要的研究方向。由于分布式船舶电力推进系统的投入成本较大,在设计安装之前需要针对电机的性能进行仿真实验模拟,以方便对系统总体性能进行设计和优化,船舶分布式电机系统仿真结构设计及与动力系统工作原理,如图1所示。

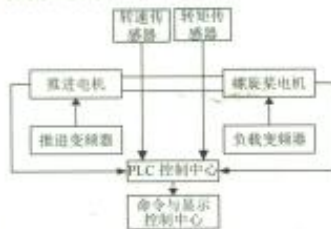


图1 分布式仿真电力推进系统工作原理

Fig. 1 Working principle of distributed simulation electric propulsion system

分布式船舶电力推进系统主要由动力推进电机系统和螺旋桨电机系统2个子电机系统构成,其中推进电机匹配推进变频器,螺旋桨电机匹配负载变频器;推进电机与螺旋桨电机分别与PLC控制中心相连。此外PLC控制中心还直接与安装于船体的转速传感器和转矩传感器相连,PLC控制中心通过软件程序与2个子系统分别连接。船舶电力推进系统由速度运行控制系统、推进电机系统和螺旋桨系统联系,由变频器控制螺旋桨的转矩和转速,分布式推进系统总体结构,如图2所示。



图2 分布式电力推进系统的仿真模型结构

Fig. 2 The simulation model structure of distributed electric propulsion system

船舶电力推进系统的仿真结构设置有2个PLC控制中心,即PLC A和PLC B。PLC A控制中心通过现场总线与推进变频器、负载变频器和PLC B控制中心相连。2个控制中心与软件操作中心和后台监控中心连接,共同构成了仿真系统。其中PLC B电力控制中心是分布式仿真系统的最重要结构,控制子系统的电路结构,如图3所示。

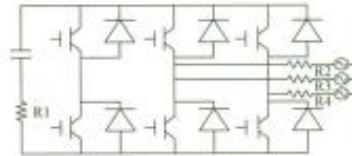


图3 PLC子系统的电路结构

Fig. 3 Circuit structure of PLC subsystem

PLC B、PLC A和负载变频器、推进变频器通过现场总线连接,该控制系统具有多种集中控制功能、检测功能和报警功能等。在船舶电机系统工作时,PLC控制系统能够稳定地控制电机系统的控制电压、转矩和转速,PLC B子系统电机的参数配置如表1所示。

表1 分布式电机子控制系统的参数设定  
Tab. 1 Parameter setting of distributed motor electronic control system

序号	模块类别	型号
1	推进模块	FT-8526-L
2	变频模块	FR-9603-G
3	PLC A	TCR-586
4	PLC B	TCR-500

船舶动力系统后台发出指令推进PLC B伺服电机的转速转矩,PLC A接收到后台的指令通过主线连接控制螺旋桨的转动速率和控制方向,以实现分布式动力系统的仿真研究。

## 2 SPWM分布式控制策略的实施与系统仿真的实现

文中设计的分布式船舶动力推进仿真结构应用多



电平变频结构,并通过载波层叠SPWM实现对电压、电流等信号的控制。在多电平载波结构中,伺服电机利用功率开关的通断,控制脉冲信号的产生和触发,电力推进系统SPWM载波层叠策略,如图4所示。

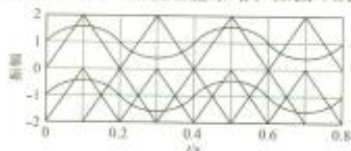


图4 船舶分布式电机载波层叠SPWM策略

Fig. 4 Ship distributed motor carrier layer SPWM strategy

幅值相同的三角载波纵向排列,并与正弦波协同排列,当波形发生重叠时产生PWM触发信号并通过信号控制船舶推进系统伺服电机的工作。本文设计的分布式控制系统策略采用3桥结构,并在载波层叠的基础上使用相同幅值的三角载波和正弦载波,以保证电机控制系统相位输出的准确性和稳定性。以PLC A控制系统的A相输出为例,若A相输出的电压为 $V_a$ ,该电压为3桥结构电压叠加而成,其中A相两端的输出电压分别设定为 $V^+$ 和 $V^-$ ,可以得到如下电磁波关系式:

$$\begin{cases} V_a = V^+ - V^- \\ V^+ = V^- e^{j\tau} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $j$ 为载波相位的数量, $\tau$ 为三角载波的旋转移动角度。在仿真模式过程中通过正弦载波与三角载波的控制能够提高对分布式电机控制系统的控制精度,并改善船舶系统航行的稳定性。

### 3 仿真实验分析

为验证文中提出船舶分布式仿真推进系统的基本性能,首先对电力推进系统的功能性进行评价,基本评价结果如表2所示。

表2 分布式电力推进系统的功能评价  
Tab. 2 Functional evaluation of distributed electric propulsion system

系统指标	直流电机	异步电机	永磁容错电机
机体结构	Y	Y	Y
转换器	Y	Y	Y
动力性能	Y	0	Y
发热情况	Y	Y	Y
系统兼容性	0	Y	0
系统可靠性	Y	0	Y
磁场变化情况	Y	Y	Y

表中的评价结果显示,各项指标均通过可靠性验证,证明分布式的电机结构设计能够兼顾系统的动力性能和电磁性能,使船舶的动力推进系统达到一种均衡的状态。从船舶电机系统电磁信号输出的稳定性方面观测,文中设计的分布式仿真系统与传统直列式仿真系统的相位输出情况,2种系统仿真的电磁信号相位输出稳定性对比,分别如图5和图6所示。

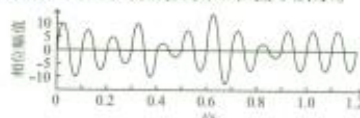


图5 传统直列式电机推进系统电磁信号输出相位

Fig. 5 Output phase of electromagnetic signal of traditional inline motor propulsion system

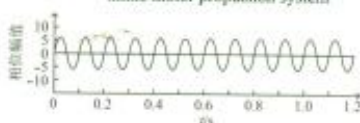


图6 文中分布式电机系统电磁信号的输出相位

Fig. 6 Output phase of electromagnetic signal in distributed motor system

从截取的1.2s时长的波形输出能够观测出,传统直列式船舶电力动力系统控制中的波形输出稳定性差,幅值波形明显,这会直接增加电机控制的难度,并造成过多的电能损耗;而在分布式电机系统的控制下,电磁信号的相位输出稳定性更好,会为电力系统提供持续稳定的电能,进而保持船舶航行的稳定性。

### 4 结语

船舶动力的由机械驱动转化为电能驱动,是一种发展趋势,但驱动电机类别的选择与电机的排布方式也会对船舶的动力输出产生重要影响。本文在仿真环境下设计一种分布式的电力系统结构,并以动力模型搭建的方式对分布式电机系统的工作过程进行仿真研究,结果证明分布式电力推进系统的性能更加稳定。

### 参考文献:

- [1] 李性珂,王辉.六相同步电机控制系统在船舶电力推进中的应用[J].舰船科学技术,2017,39(4A):34-36.
- [2] 张振,李彦.基于滑模控制的船舶电力推进DTC系统[J].舰船科学技术,2018,40(5):77-82.
- [3] 甘世红,王家毅,褚建新,等.燃料电池新能源船舶高压Z源电力推进系统[J].电机与控制学报,2018,22(10):112-120.
- [4] 张冬梅.船舶电力推进系统螺旋桨负载实时监测研究[J].舰船科学技术,2018,40(04):25-27+30.