

# 微电机

# 2019 12

第52卷 第12期  
No.12 Dec., 2019

## MICROMOTORS

西安微电机研究所主办



### 上海赢双电机有限公司

Shanghai Windouble Electric Machinery Co., Ltd

无刷旋转变压器

双通道旋转变压器

磁阻式旋转变压器

专业生产各种旋转变压器  
 可满足不同外形尺寸和性能参数定制设计服务  
 可定制高精度、耐高温、抗辐射特性的旋转变压器  
 耐振动和冲击  
 可工作于油污和粉尘恶劣环境

**应用范围:** 伺服电机, 纺织机械, 电子凸轮, 注塑机, 机床主轴, 混合动力汽车, 纯电动汽车, 风电变桨, 雷达转台, 国防军工等。

### 上海赢双电机有限公司

地址: 上海市闵行区光中路639号  
 Add: No.639, Guangzhong Road, Minhang District, Shanghai 201108  
 电话 Tel: 021-34202379 传真 Fax: 021-34200075  
 邮箱 E-mail: Lingshimao11@sina.com 邮编 P.C.: 201108  
 网址 <http://www.windouble.com.cn>



# 微电机

WEI DIAN JI

月刊, 1972 年创刊

第 52 卷 第 12 期(总第 312 期)

2019 年 12 月 28 日出版

中文核心期刊  
 中国科技论文统计源期刊  
 中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊  
 《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
 《中文科技期刊数据库(全文版)》收录期刊  
 中国科学引文数据库来源期刊  
 RCCSE 中国核心(扩展版)学术期刊  
 美国《乌利希期刊指南》(UPD) 收录期刊  
 美国《剑桥科学文摘(工程技术)》(CSA) 来源期刊  
 英国《科学文摘》(Inspec) 检索源期刊  
 中国机械工业优秀期刊  
 陕西省优秀期刊

## 编辑委员会

顾问: 唐任远(院士) 赵淳生(院士)  
 王宗培 陆永平 程树康 谭建成

主任委员: 莫会成

副主任委员: 谭顺乐 荆仁旺

委员: (按姓氏笔画为序)

王 健 王建乔 王晓远 王维俊  
 任 雷 刘 刚 刘卫国 刘树林  
 刘景林 贡 俊 严伟灿 李红梅  
 杨向宇 肖 曦 吴玉新 闵 琳  
 沈建新 张 卫 郝双晖 顾菊平  
 柴 凤 柴建云 徐衍亮 郭 宏  
 黄守道 黄声华 梁得亮 程 明  
 温旭辉 廖 勇

主 管: 西安微电机研究所  
 主 办: 西安微电机研究所  
 协 办: 中国电器工业协会微电机分会  
 中国电工技术学会微特电机专委会

编辑出版: 《微电机》编辑部  
 主 编: 谭顺乐  
 副 主 编: 谭 莹 贾 钰  
 地 址: 西安市桃园西路 2 号(710077)  
 电 话: 86-29-84276641  
 传 真: 86-29-84234773

E-mail: micromotors@vip.sina.com  
 Http: //www.china-micromotor.com.cn

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司  
 (100044 北京 399 信箱)  
 国外代号: M 4228

国内总发行: 陕西省邮政报刊发行局  
 订 购 处: 全国各地邮局或本刊编辑部  
 邮 发 代 号: 52-92

刊 号: ISSN 1001-6848  
 CN 61-1126/TM

国内定价: ¥8.00  
 国外定价: \$8.00

广告经营许可证: 6101004004005  
 印 刷: 西安创维印务有限公司

## 目 次

### 设计与研究

- 高速电机绕组交流铜耗的计算与测量 .....  
 ..... 夏 雪, 黄允凯, 彭 飞, 等(1)
- 电动汽车用永磁同步电机电磁振动噪声分析及优化 .....  
 ..... 高 鹏, 孙汐彬, 谭顺乐, 等(7)
- 变频供电异步电机端部绕组磁场分析 .....  
 ..... 唐烈峥, 阮江军, 丁衡宇, 等(13)
- 基于不同极弧系数的盘式电机齿槽转矩的削弱方法 .....  
 ..... 王大朋, 王 仲(19)
- 可绕线圈作定子结构的微型永磁马达的制作与研究 .....  
 ..... 张正中, 葛健芽, 杨晓红, 等(23)
- 转子结构对五相容错永磁同步电机性能的影响 .....  
 ..... 于仲安, 张峻铭, 梁建伟(28)
- 基于等宽极厚调制的永磁电机优化设计 .....  
 ..... 朱一昕, 张高峰, 钱 新(34)
- 双定子球形电机空间磁场的谐波分析 .....  
 ..... 张冰娇, 吴凤英, 张宗楠(39)

期刊基本参数: CN61-1126/TM \* 1972 \* m \* A4 \* 112 \* zh \* P \* ¥8.00 \* \* 21 \* 2019-12

## 驱动控制

- 基于新型趋近律的 PMSM 反馈线性化滑模控制····· 侯孝涵, 杨兴华, 杨喜军, 等(45)
- 永磁同步电机永磁磁链特定相位封锁 PWM 测量法····· 刘金海, 庄宏祥(49)
- 改进 MRAS 的永磁同步电机无速度传感器控制策略····· 吴 伟, 杜昭平(53)
- 基于变阻尼调节器与负载观测器的永磁同步电机无源控制····· 朱文焱, 张海燕, 俞高伟, 等(59)
- 电机驱动电路高次谐波抑制研究····· 刘 琳, 谭光道, 刘向辰(65)
- SiC MOSFET 驱动及保护电路设计····· 柳舟洲(70)
- 基于复矢量解耦的电流环动态性能改进策略····· 包芳泉, 郭昊昊, 刘彦呈, 等(74)
- 一种改进型指数趋近律的永磁同步电机滑模控制····· 王毅波, 曹 宽, 李 彪(81)
- 永磁同步电机电流测量误差补偿控制····· 王红艳(85)
- 高轨遥感相机中焦面制冷机的功率驱动方案设计····· 汪 瑜, 耿振华(90)
- 基于哈密顿系统理论的永磁同步电机无传感器控制····· 樊峰宇, 尚俊云, 米乾宝(96)
- 感应电机模型预测起动控制策略····· 刘 聪, 韩亚丽(101)

## 综述

- 磁齿轮复合电机系统及其关键优化方法综述····· 杨益飞, 陆春元, 黄海洋, 等(107)

# 《微电机》(月刊)

全年 12 期, 读者可到当地邮局订阅, 本刊亦可破订、零购。

**欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!**

国内刊号: CN61-1126/TM

邮 箱: micromotors@vip.sina.com

地 址: 西安市桃园西路 2 号(710077)

邮发代号: 52-92

订价: 8 元/期

年价: 96 元/年

编辑部邮购: 120 元/年

国际刊号: ISSN 1001-6848

电话: 029-84276641-806

# MICROMOTORS

Founded 1972 • Monthly • Public Publication

Vol. 52 No. 12(Serial No. 312) Dec. , 2019

**Authorities:** Xi'an Micromotor Research Institute

**Sponsor:** Xi'an Micromotor Research Institute

**Edited & Published:** MICROMOTORS

Editorial Department

**Chief Editor:** TAN Shunle

**Add.:** No. 2 West Taoyuan Road, Xi'an  
710077, China

**Tel.:** 86 - 29 - 84276641

**Fax:** 86 - 29 - 84234773

**E-mail:** micromotors@vip.sina.com

**Http:** //www.china-micromotor.com.cn

**Distributor:** Xi'an Newspapers and Periodicals  
Publish Office

**Domestic Subscription:** Local Post Office &  
MICROMOTORS Editorial Department

**Periodical Code:** 52 - 92

**Journal Code:** ISSN1001 - 6848  
CN61 - 1126/TM

**Foreign Subscription:**

China National Publications Import & Export Corp.  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Overseas Code:** M 4228

**Price:** \$ 8.00

**Annual Price:** \$ 96.00

**Publication Date:** Dec. 28, 2019

## CONTENTS

Calculation and Measurement of AC Copper Loss in High-speed Motor .....	
..... XIA Xue, HUANG Yunkai, PENG Fei, et al( 1 )	
Research on Electromagnetic Vibration and Noise Analysis and Optimization of Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicle .....	
..... GAO Peng, SUN Xibin, TAN Shunle, et al( 7 )	
Magnetic Field Analysis on End-winding of the Inverter-fed Induction Machine .....	
..... TANG Liezheng, RUAN Jiangjun, DING Hengyu, et al( 13 )	
Method of Reducing Cogging Torque of Axial Flux Permanent Magnet Machines Based on Different Magnet Pole Arc .....	
..... WANG Dapeng, WANG Zhong( 19 )	
Fabrication and Research of Micro Permanent Magnet Motor With Flexible Coil as Stator Structure .....	
..... ZHANG Zhengzhong, GE Jianya, YANG Xiaohong, et al( 23 )	
Effect of Rotor Structure on Performance of Five-phase Fault-tolerant PMSM .....	
..... YU Zhongan, ZHANG Junming , LIANG Jianwei( 28 )	
Optimum Design of Permanent Magnet Motor Based on Pole Equal Width and Thickness Modulation .....	
..... ZHU Yixin, ZHANG Gaofeng, QIAN Xin( 34 )	
Harmonic Analysis of Spatial Magnetic Field for a Dual-stator Spherical Motor .....	
..... ZHANG Bingjiao, WU Fengying, ZHANG Zongnan( 39 )	
Feedback Linearized Sliding Mode Control of PMSM Based on a Novel Reaching Law .....	
..... HOU Xiaohan, YANG Xinghua, YANG Xijun, et al( 45 )	
Permanent Magnet Flux Linkage Measurement Method for PMSM With PWM Blocked at a Specific Phase Point .....	
..... LIU Jinhai, ZHUANG Hongxiang( 49 )	
Speed Sensorless Control Strategy of Permanent Magnetsynchronous Motor Based on Improved MRAS .....	
..... WU Wei, DU Zhaoping( 53 )	
Design of Passive Control Strategy of PMSM Based on Variable Damping Regulator and Load Observer .....	
..... ZHU Wenyao, ZHANG Haiyan, YU Gaowei, et al( 59 )	
Research on High-order Harmonic Suppression of Motor Driving Circuit .....	
..... LIU Lin, TAN Guangdao, LIU Xiangchen( 65 )	
Design of SiC MOSFET Driver and Protect Circuit .....	
..... LIU Zhouzhou( 70 )	
A Strategy for Improving the Dynamic Performance of Current Loop Based on Complex Vector Decoupling .....	
..... BAO Fangquan, GUO Haohao, LIU Yancheng, et al( 74 )	
A PMSM Sliding Mode Control System Based on an Improved Exponential Reaching Law .....	
..... WANG Yibo, CAO Kuan, LI Biao( 81 )	
Compensation Control for Current Measurement Errors of Permanent Magnet Synchronous Motor .....	
..... WANG Hongyan( 85 )	
Design of Power Drive Scheme for Focal Surface Refrigerator in High-orbit Remote Sensing Camera .....	
..... WANG Yu, GENG Zhenhua( 90 )	
Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Based on the Theory of Hamilton .....	
..... FAN Fengyu, SHANG Junyun, MI Qianbao( 96 )	
Model Predictive Start Control Strategy for Induction Motor .....	
..... LIU Cong, HAN Yali(101)	
Overview of Magnetic Gear Composite Motor System and its Key Optimization Methods .....	
..... YANG Yifei, LU Chunyuan, HUANG Haiyang, et al(107)	

# 旋转变压器 参数测试分析系统




二十余年计量级分析仪器开发经验团队，集当今领先的测量、控制、分析技术之大成，五年磨一剑终成SmartBRX HA Dual双通道旋转变压器高精度测试分析系统。

- 支持符合国标、国军标要求的全自动静态测试技术：  
2~5s一个测试点，二十余项参数同步测量，15度测试间隔下仅需一分钟即可完成单通道旋变的全面测试及分析。
- 支持国际领先的旋变动态测试技术：  
在动态旋转过程中每秒测试10000点，仅需6~20s即可完成单/双通道旋变的全面测试与分析。
- 与日本及欧美旋变测试系统相比：  
测试一致性好，参数测量分析更全面，系统精度更高，使用更便捷。

系统	模块	功能	性能
SmartBRX HA Dual 双通道旋转变压器高 精度测试分析系统	SmartBRX HA Dual 双通道旋转变压器 分析仪	<b>测量:</b> 输入输出基波电压、电流、阻抗、相位、电气误差 <b>分析:</b> 变压比、零位电压、总谐波含量、各次谐波含量、耦合系数、大小波系数等二十余项参数	基本角度解算精度: $\pm 5''$ 基本电压测量精度: 0.1% 基本阻抗测量精度: 0.5% 基本相位测量精度: $0.2^\circ$
	Resolver Power X2H 双路旋变参考级励磁 电源	自定义电压、频率、相位角双路独立输出	双路独立输出: 100Vp-p/2A/60W 频率精度: 10ppm 总谐波畸变率 $\leq 0.6\%$
	SmartMPRS HA 高精度转台	相对位置控制、绝对位置控制、自动寻零	定位分辨率: $0.1''/1.3''$ 绝对定位精度: $\pm 1''/\pm 2''/\pm 5''$
	旋转变压器自定心工装	自动旋变定子自定心调整 旋变定子安装偏心测试	定位分辨率: 2um 定位同轴度: 10um
	旋转变压器测试分析 系统软件	研发型测试、批量产线测试，波形录制，自动合格判定输出测试报表	支持双通道BRX、VR、BRT型 旋转变压器
旋转变压器校准源	旋转变压器高精度 模拟器	高精度旋变角度模拟，可设定变压比、角度值，用于校准各类旋转变压器角度解算设备	变压比设定范围: 0.1~1 角度输出精度: $\pm 2''/\pm 5''/\pm 15''$

## 联系我们 / contact us

陈经理  
18073111197  
SmartBRX@outlook.com



万方数据

## 代表客户 / customer

旋变生产企业：  
成都微精、禹衡光学、苏州代尔塔、常州华旋.....  
旋变用户企业：  
采埃孚、联电、吉利、上汽、广汽、东风、五菱.....

ISSN 1001-6848



9 771001 684193

邮发代号: 52-92