

# 电气技术

# 5 2026

ELECTRICAL ENGINEERING

第27卷 第5期  
(总第320期)

## DC2000V+赋能能源未来



电气技术

第二十七卷 第五期 二〇二六年五月

中国电工技术学会

ISSN 1673-3800



9 771673 380263

首瑞 (天津) 电气设备有限公司  
 家人 SVRUI (TIANJIN) ELECTRICAL EQUIPMENT CO.,LTD.



# 电气技术

DIANQI JISHU

主管单位 中国科学技术协会  
主办单位 中国电工技术学会

《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊  
《中国期刊全文数据库》(CJFD)全文收录期刊  
《中国学术期刊文摘》(CSAC)收录期刊  
《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
超星域出版平台收录期刊  
RCCSE 中国准核心学术期刊  
CACJ 中国应用型核心期刊

2000 年创刊·月刊  
第 27 卷第 5 期(总第 320 期)  
2026 年 5 月 15 日出版

## 《电气技术》第六届编辑委员会

主任委员 王秋良

副主任委员 唐 炬

委 员 (按姓氏笔画排序)

兀鹏越 马文忠 马俊鹏 王 卫 王玉琴 王春华 王洪智 元复兴 韦统振 卞星明 邓富金 付银仓 付 强  
兰志勇 刘扬洋 刘进军 刘 杰 刘 炜 刘清瑞 安志国 许 烽 许 寅 许德智 孙 涌 阳同光 严陆光  
李立毅 李 争 李 进 李建林 李崇坚 李 斌 杨津昕 杨晓峰 杨爱军 杨 强 肖 迁 肖 淞 吴淑群  
宋洪磊 张文亮 张立伟 张 灵 张洪阳 张银峰 陈 俊 苑 舜 周亚宁 周远翔 周孝信 郑天文 单 晖  
赵 峰 南 寅 袁立强 耿英三 顾伟峰 顾国彪 徐丙垠 徐建军 奚大华 唐任远 黄旭虹 黄际元 黄金杰  
商立群 彭 晶 韩 杨 雷二涛 鲍海波 熊 瑞

顾 问 陆燕荪 沈烈初 孙昌基 周鹤良

社 长 闫 卓

副 社 长 王文光

主 编 王秋良

执行主编 唐 炬

副 主 编 李建林 杨晓峰 肖 淞

责任编辑 阴柳霞

地 址 北京市西城区莲花池东路 102 号天莲大厦 10 层

邮 编 100055

电 话 010-63256943(编辑部) 010-63256838(报道部)

010-63256867(广告部) 010-63256817(发行部)

网 址 www.cesmedia.cn

邮 箱 dianqijishu@126.com(编辑部)

cesmedia@126.com(市场部)

新 媒 体 “电气技术”微信号: CES 电气

“电工技术学报”微信号: dgjstxb

今日头条号: 电气技术

新浪官方微博: @电气技术杂志社

出版单位 《电气技术》杂志社有限公司

印 刷 廊坊市蓝海德彩印有限公司

发行范围 公开发行

国内定价  $\frac{10.00\text{元/期}}{120.00\text{元/年}}$

中国标准连续出版物号 ISSN 1673-3800  
CN 11-5255/TM

户 名 《电气技术》杂志社有限公司

开户银行 工商银行北京礼士路支行

账 号 0200 0036 0920 1115 091

## 版权声明

向我刊投稿的作者需要保证拥有所投文章的全部版权,文章一经在《电气技术》杂志上发表,则视为作者同意将该文章的版权(包括电子出版、多媒体出版、网络出版及以其他形式出版的权利)自动转让给我刊。

本刊已许可中国知网、万方数据、重庆维普数据、超星域出版平台等机构在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。上述机构著作权使用费与本刊稿酬一并支付。

作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。

# Electrical Engineering

(Monthly, Started in 2000)

Vol.27 No.5 (Serial No.320)

May 15, 2026

## The 6<sup>th</sup> Editorial Committee of Electrical Technology

**Director Member:** WANG Qiuliang (academician)

**Vice Director Member:** TANG Ju

### Member:

WU Pengyue	MA Wenzhong	MA Junpeng	WANG Wei
WANG Yuqin	WANG Chunhua	WANG Hongzhi	YUAN Fuxing
WEI Tongzhen	BIAN Xingming	DENG Fujin	FU Yincang
FU Qiang	LAN Zhiyong	LIU Yangyang	LIU Jinjun
LIU Jie	LIU Wei	LIU Qingrui	AN Zhiguo
XU Feng	XU Yin	XU Dezhi	SUN Yong
YANG Tongguang	YAN Luguang (academician)	LI Liyi	LI Zheng
LI Jin	LI Jianlin	LI Chongjian	LI Bin
YANG Jinting	YANG Xiaofeng	YANG Aijun	YANG Qiang
XIAO Qian	XIAO Song	WU Shuqun	SONG Honglei
ZHANG Wenliang	ZHANG Liwei	ZHANG Ling	ZHANG Hongyang
ZHANG Yinfeng	CHEN Jun	YUAN Shun	ZHOU Yaning
ZHOU Yuanxiang	ZHOU Xiaoxin (academician)	ZHENG Tianwen	SHAN Hui
ZHAO Feng	NAN Yin	YUAN Liqiang	GENG Yingsan
GU Weifeng	GU Guobiao (academician)	XU Bingyin	XU Jianjun
XI Dahua	TANG Renyuan (academician)	HUANG Xuhong	HUANG Jiyuan
HUANG Jinjie	SHANG Liquan	PENG Jing	HAN Yang
LEI Ertao	BAO Haibo	XIONG Rui	

**Competent Authorities:** China Association for Science and Technology

**Sponsor:** China Electrotechnical Society

**Editor and Publisher:** Electrical Technology Press Co., Ltd.

**Printing:** Langfang Lanhaide Color Printing Co., Ltd.

**President:** YAN Zhuo

**Vice President:** WANG Wenguang

**Editor-in-Chief:** WANG Qiuliang

**Associate Editor-in-Chief:** LI Jianlin, YANG Xiaofeng, XIAO Song

**Responsible Editor:** YIN Liuxia

**Publication Number:** ISSN 1673-3800

**Address:** 10th F., Tianlian Building, #102, Lianhuachidong Road, Xicheng District, Beijing, 100055, China

**Tel:** +86-010-63256943

**E-mail:** dianqijishu@126.com

**Website:** www.cesmedia.cn

# 电气技术

ELECTRICAL ENGINEERING

第 27 卷第 5 期 (总第 320 期) 2026 年 5 月 15 日出版

## 目次

### 综述

- 1 液流电池储能技术研究进展与工程应用分析综述 ..... 许霖帆 兀鹏越 郑 昀 梁晓斌 刘旭华

### 研究与开发

- 11 基于改进型  $p-q$  算法的基波正序有功电流与谐波电流检测 ..... 高宇承 李锦彬 邵 明  
20 基于强化学习策略的电网负荷频率控制 ..... 葛亚菲 曾佳倩 宋启凡 张 璐  
28 基于季节性储氨与燃煤机组灵活降碳的综合能源系统容量优化 ..... 刘 斌 张 宁 吴奇彬  
38 变压器振动噪声特性及降噪方法分析 ..... 彭文喜 陈宏元 丁晓明 孙 洋 杨 治

### 工程教育研究

- 42 工程教育背景下通信工程专业“北斗导航定位与北斗通信综合实验”教学设计与实践  
..... 陈舒怡 马若飞 孟维晓 韩 帅 何晨光  
50 人工智能赋能工程教育转型：基于自主国产化仿真生态重构通信类专业人才培养体系  
..... 马英杰 肖 嵩 杨亚涛 郭 超 靳济方  
55 “线性系统理论”课程思政的教学创新与实践路径 ..... 唐 建 李 晶  
59 产教融合视域下电气类专业“项目驱动”创新人才培养路径探索 ..... 朱成喜 俞 洋

### 技术与应用

- 65 一种稳控站间数据仿真模拟装置的研制及应用 ..... 司小庆 王国春 姬生飞 于 哲 张延冬  
71 基于水电机组短路升流试验的自耦变压器差动保护电流互感器极性检验方法 ..... 汪 平 杨 令 邓文涛 孙知键  
80 火电定子线棒数控成型机的工程应用 ..... 马文豪 于天骄 杨 崑 孙长太 张博文

# 电气技术

ELECTRICAL ENGINEERING

Vol.27 · No.5 · Serial No.320 · May 15, 2026

## Contents

### **Overview**

- 1 A review of research progress and engineering application analysis of redox flow battery energy storage technology  
.....XU Linfan WU Pengyue ZHENG Yun LIANG Xiaobin LIU Xuhua

### **Research & Development**

- 11 Detection of fundamental positive-sequence active current and harmonic current based on the improved  $p-q$  algorithm  
.....GAO Yucheng LI Jinbin SHAO Ming
- 20 Power grid load frequency control based on reinforcement learning strategies  
.....GE Yafei ZENG Jiaqian SONG Qifan ZHANG Lu
- 28 Capacity optimization of integrated energy systems based on seasonal ammonia storage and flexible carbon reduction in coal-fired units ..... LIU Bin ZHANG Ning WU Qibin
- 38 Analysis of vibration noise characteristics and noise reduction methods for transformers  
.....PENG Wenxi CHEN Hongyuan DING Xiaoming SUN Yang YANG Zhi

### **Engineering Education Research**

- 42 Teaching design and practice of “comprehensive experiment on Beidou navigation positioning and communication” for communication engineering major under the background of engineering education  
.....CHEN Shuyi MA Ruofei MENG Weixiao HAN Shuai HE Chenguang
- 50 Artificial intelligence-empowered transformation of engineering education: reconstructing the talent cultivation system for communication engineering through a domestically developed simulation ecosystem  
.....MA Yingjie XIAO Song YANG Yatao GUO Chao JIN Jifang
- 55 Teaching innovation and practice path of ideological and political education in the course of “linear system theory”  
.....TANG Jian LI Jing
- 59 Exploration on the cultivation path of innovative talents with “project-driven” mode for electrical majors from the perspective of integration of industry and education ..... ZHU Chengxi YU Yang

### **Technology & Application**

- 65 Development and application of an inter-station data simulation device for security and stability control systems  
.....SI Xiaoqing WANG Guochun JI Shengfei YU Zhe ZHANG Yandong
- 71 Polarity test method for differential protection current transformers of autotransformers based on short circuit current rising test of hydro generators ..... WANG Ping YANG Ling DENG Wentao SUN Zhijian
- 80 Research on the engineering application of computer numerical control forming machines for stator bars in thermal power generation .....MA Wenhao YU Tianjiao YANG Kun SUN Changtai ZHANG Bowen



# CM6系列 塑料外壳式断路器

## 品质匠心 全新演绎

- 全系列Ui达1000V, 加强绝缘设计, 隔离功能增强;
- 体积小巧, 分断能力增强, 相比上一代体积减少25%, I<sup>2</sup>t减少20%;
- CM6/CM6Z/CM6L 标准化安装尺寸, 附件多, 可视化;
- 智能互联、标配USB, 可选各类数字模块, 功能丰富。



常熟开关制造有限公司 (原常熟开关厂)

CHANGSHU SWITCHGEAR MFG. CO., LTD. (FORMER CHANGSHU SWITCHGEAR PLANT)

更多信息敬请关注: [www.riyue.com.cn](http://www.riyue.com.cn)

