

电力电子与 电力传动自动化

——陈伯时教授文集

Power Electronics and
Electric Drive Automation

Compilation of Important Papers of Prof. Chen Boshi



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电力电子与电力传动 自动化

——陈伯时教授文集



机械工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力电子与电力传动自动化/陈伯时教授文集. —北京:机械工业出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-111-23986-4

I. 电… II. 陈… III. ①电力电子学—文集②电力传动—自动化技术—文集 IV. TM1-53 TM921-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 057561 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:于苏华 韩雪清 责任校对:刘志文

封面设计:张静 责任印制:王书来

北京兴华昌盛印刷有限公司

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26 印张 · 649 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23986-4

定价: 50.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379079

封面无防伪标均为盗版

序

陈伯时教授是著名的电力传动和电气自动化专家，我国电力传动和电气自动化学科的开拓者和奠基者之一。陈教授曾先后在清华大学和上海大学任教，1951年由清华大学派到哈尔滨工业大学师从苏联教授进行研究生学习，是我国第一批进入电力传动自动控制专业领域的学者之一。在上海大学担任了电力传动及其自动化、控制理论与控制工程学科博士生导师。他从事教育和科研工作50余年，教书育人，言传身教，桃李遍布海内外，很多学生已成为所在单位的学科带头人、企业领导和技术骨干。

他在教学科研工作中始终倡导理论与实际相结合，在所编写的教材《电力拖动自动控制系统》中创造性地应用自动控制理论分析和设计电力拖动控制系统，创立了该课程的科学体系，在国内高校广泛使用，受到教师和学生们的普遍欢迎，许多企业的电气技术人员都是人手一册，在全国影响很大。

陈伯时教授学识渊博，治学严谨，科研成果累累，学术论著颇丰。在电力传动控制系统调节器的工程设计方法、矢量控制交流变频调速系统、现代电气传动系统的非线性控制理论应用、电气传动系统的智能控制等方面成果卓著。作为学科带头人，他带领上海大学电力传动及其自动化学科在长时期内保持国内领先地位。在全国和国际的学术领域中他也承担了大量工作，曾任本领域全国多个学会的学术领导工作、全国高校相关专业教学指导委员会的领导工作、国务院学位委员会第三届电工学科评议组成员、欧洲电力电子学会（EPE）国际指导委员会委员等职。自20世纪80年代以来，他经常在学术会议上做学科的综合报告和研究成果报告，对我国电力传动和电气自动化学科的发展起着重要的推动作用。

值此陈教授八十华诞之际，他的学生发起将他本人以及和学生一起撰写的科学论文编纂成《电力电子与电力传动自动化——陈伯时教授文集》，嘱我作序，遂欣然命笔。

陈伯时教授是我非常敬佩的电工业界的一代宗师，其治学与为人均堪为师表，其才思敏捷，敬业、授业更是众所传颂。他将毕生精力奉献给我国的电气自动化和电力传动事业，开创和奠定了我国这一工业领域和这一学科的基础，一生俭朴，淡泊名利。值此华年，敬题踏莎行一阕，聊表敬意。

八十春秋，老骥伏枥，青春写得江山绿，夕阳犹映晚霞红，先生业绩为祖国。
马帐承风，程门立雪，传道授业兼解惑，教书教学更教人，名师名著万千读。

江植生

2008年3月于杭州

学生感言

在今天的中国，几乎所有的电气工程师、从事电力传动与控制的研究人员和管理者，电气工程及其自动化专业的教师和学生，都知道“陈伯时”这个名字，尽管他们中绝大多数人并没有见过陈老师本人。他们认识陈老师并非是“追星族”的热捧，也没有媒体的炒作，而是在大学宁静的课堂上，在夜校闪烁的灯光下，在工厂隆隆的机器旁，共同学习过陈伯时教授编著的教材——或《自动控制系统》，或《电力拖动自动控制系统》。他们汲取了书中的知识，应用于自己的工作实践，并由书及人，认识而且记住了这位给他们传道解惑的老师。

《自动控制系统》是教材的第1版，由机械工业出版社于1981年推出；1992年修订再版后更名为《电力拖动自动控制系统》；2003年又修订出版了第3版，期间曾多次印刷，成为全国大多数高校电气工程与自动化、电气工程及其自动化、自动化等相关专业的统编教材，一直是同类教材中全国公认的最好教材之一，曾获得机械工业部科技进步二等奖，优秀教材一等奖，具有很高的声誉，影响了自改革开放以后整整几代中国电气工程从业人员的人生轨迹。

回想当初，我们也是从学习这本教材开始起步，通过书中循序渐进的论述、环环相扣的分析推导，原本艰深晦涩的电磁原理变得简洁明了起来，枯燥乏味的控制算法成为点燃智慧的火焰，使我们从深入浅出中感受到电力传动控制的奥秘。为了进一步求取“真经”，我们从五湖四海相聚到黄浦江畔的上海大学，师从陈伯时教授，攻读硕士和博士学位。记得在一次学术会议上，来自其他学校的博士生得知我们是陈老师的学生时，由衷地羡慕道：“你们是幸运儿”。确实，我们是幸运的，因为我们能够在陈老师的亲自指导下学习和研究，得到他的言传身教。他用春风化雨般的谆谆教诲，点燃了我们求索创新的心灵火花；他用追求真理的执著和深邃的洞察力，引领我们穿越科学探究的茫茫迷雾，为我们开启了通向学术殿堂的阶梯。现在我们中有的人已接过陈老师执掌的教鞭，在课堂上向新一代的学生讲授陈老师的课；有的正在续写《电力拖动自动控制系统》教材，使其与时俱进，薪火相传；更多的同学正在从事电力电子、电力传动、智能控制和信息系统方面的研发、应用与管理工作，在各行各业中贡献他们的才智和心血。虽然我们现在天各一方，但无论是在天涯海角，都永远铭记陈老师传授给我们的精神力量 and 人格魅力。

陈伯时教授祖籍福建闽侯，祖上世代簪缨，当中国在晚清时代西学东进时，其祖父曾在福州创办了不同层次的新式学堂，这些学堂成为现今福州一中、福建工程学院、福建师范大学的前身。1928年陈伯时老师出生于北京，青少年时期在上海度过，抗战胜利后考入清华大学电机系学习，1949年大学毕业并留校任教。随后由清华大学选派到哈尔滨工业大学师从苏联教授攻读研究生，于1954年研究生毕业后回到清华大学，先后担任工业企业电气化教研室副主任、工业自动化教研室副主任。1983年调到上海工业大学工业自动化系（后转为上海大学自动化系），先后担任系主任、电机与控制工程研究所所长，担任了电力传动及其自动化、控制理论与控制工程学科博士生导师。他在国内外多个学术团体、教学指导委员

会、核心刊物担任主要负责工作，并被国内多所学校聘为兼职教授或客座教授。陈老师长期从事电力传动与控制领域的教学和研究工作，主持和承担过多项国家和省部级科研项目，著作和论文颇丰，为我国电力传动控制与自动化学科培养人才、推进学科的发展做出了杰出的贡献。

值此陈老师八十寿辰之际，我们共同提议出版《电力电子与电力传动自动化——陈伯时教授文集》，作为学生献给导师的生日礼物。由于篇幅有限，这本论文集仅收录了陈老师学术生涯各个时期的重要论文，包括陈老师亲自撰写的论文，以及和他指导的博士生在校期间共同发表的论文，集中体现了陈老师对中国电气传动控制领域发展的重要贡献。在 20 世纪 60 年代，由于多环控制的直流调速系统开始普遍应用，大多数工程技术人员对于调节器的设计和参数调试感到困难，陈老师通过潜心研究，在吸收国外技术的基础上，提出了一种工程设计方法，解决了工程设计和现场调试的难题，成为广大研发人员至今都在沿用的实际设计方法。1983 年，当中国改革开放的春潮把国际交流调速发展的新技术传到国内时，陈老师敏锐地预见到交流调速必然取代直流调速的发展趋势，汇同陈敏逊教授等国内 6 所高校的老师发起组织了昆明交流调速研习班，掀起了国内交流调速系统教学和应用的高潮。1989 年，陈老师又参加发起举行“中国交流电机调速传动（CAVD）学术会议”，联合国内 7 个学术团体轮流主办，并亲自担任学术委员会主任，推动了国内交流调速技术研究工作的蓬勃开展。他自己也身体力行，把研究的重点转移到交流调速控制系统，先后在矢量控制、非线性控制、滑模变结构控制、无速度传感器控制、智能控制以及矩阵式变频器等方面进行了开拓性的研究，取得了国内领先的研究成果。在教材建设上，精简了直流调速的内容，增加了交流调速系统的论述，为交流调速系统在中国的推广和应用起到了关键作用。20 世纪 90 年代，随着计算机技术、信息技术和智能控制的发展，陈老师又把目光投向这一新的研究领域，带领研究生率先在国内将 IT 的新技术、新方法引入到电力传动控制系统，并进而扩展到其他自动化领域，大力发挥信息化在自动化中的灵魂作用，又一次引领电力传动和自动化领域发展的新潮流。现在，虽然陈老师人已退休，但仍然关注着电力电子和电力传动技术的发展，又开始参与推进电力电子和电力传动技术应用于可再生能源的发电及其电力变换的研究，以期为解决全球共同面临的能源问题寻求新路。从上述学术工作的发展历程中可以看出，陈伯时老师不仅仅是我们的导师，而且作为中国电力传动与电气自动化领域的开拓者和领路人，带领着全国同行一起探索前进。

论文集记载了陈老师的研究成果和心路历程，希望能给同行以历史借鉴和研究启迪；论文集也承载了我们对恩师的深深祝福，祈愿陈老师健康长寿，继续引领电力传动的发展；更期待着陈老师的精神能昭示后来者，激励更多的年青人投身于电气工程与自动化事业。让我们共同努力，用电力传动助“中国制造”龙行天下，用变流技术使世界更加和谐光明。

陈伯时教授的全体博士生

2008 年 3 月

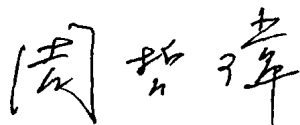
祝贺陈伯时教授八十寿辰

陈伯时老师是我校资深教授、电力传动及其自动化学科创始人。他于1983年由清华大学调到原上海工业大学工业自动化系执教，至1998年6月光荣离休，先后担任副教授、教授、博士生导师、工业自动化系副主任、主任，电机与控制工程研究所所长。他曾兼任国务院学位委员会第三届电气工程学科评议组成员、国家自然科学基金委员会评审专家，还曾兼任中国电力电子学会副理事长、上海电力电子学会理事长、中国电工技术学会理事及电控系统与装置专委会副主任、中国自动化学会电气自动化专委会副主任、欧洲电力电子与电力传动学会国际指导委员会委员等职务。

陈伯时教授是我国电气传动和电气自动化学科的奠基者之一，他致力于电力传动控制理论和新控制策略的研究，在国内率先研究了交流电机的矢量控制、非线性解耦控制、矩阵式电力电子变频器等，并取得一系列研究成果，均达到国内领先的水平，有的达到国际先进水平。他用控制理论总结了电力传动控制规律，创造性地提出电力传动自动控制系统调节器的工程设计方法，建立了该项技术的科学体系。他还和他的学生从理论上首次证明了矢量控制是非线性反馈线性化解耦控制的一类实现。他的著作颇丰，影响深远，推动了全国电力传动控制技术的发展。为此，曾多次获得国家和省部级的科技进步奖、优秀教学成果奖和优秀教师奖，并获得国务院颁发的政府特殊津贴。

1994年原上海工业大学和一些高校合并组建成为现在的上海大学，陈伯时教授在上海大学建成前后任教的15年中，在他的直接领导下，学校电力传动及其自动化学科于1990年成为国务院学位委员会批准的国内该学科第一个博士点。作为学科带头人，他为学校顺利完成上海市教委“电机与控制”重点学科（1986~1990年第一批），“工业自动化”重点学科（1991~1995年第二批），以及“电气工程”重点学科（1996~2000年第三批）作出了重大贡献。正是在他奠定的学科基础上，近十年来学校该学科又有了新的发展，获得了控制科学与工程、电气工程两个博士后流动站，以及控制理论与控制工程、电力电子与电力传动两个博士点；建设了上海市教委“电气工程与自动化”重点学科（2001~2005年第四批），并发展为上海市“仪电自动化”重点学科（2005~2008年）。

值此陈伯时老师80寿辰之际，机械工业出版社将出版由陈老师和他的学生编著的《电力电子与电力传动自动化——陈伯时教授文集》，希望陈老师的学术思想和研究成果继续发扬光大，引领电力传动及其自动化学科不断创新发展与前进。



2008年3月31日于上海大学

（作者系上海大学教授、常务副校长）

目 录

序	中国工程院院士、浙江大学教授 汪樾生
学生感言	陈伯时教授的全体博士生
祝贺陈伯时教授八十寿辰	上海大学教授、常务副校长 周哲玮

学科发展综述

电气控制技术及其发展展望	陈伯时
Electric Control Technology and Its Development Prospects	Chen Boshi
.....	2
运动控制系统的最新发展及其前景	陈伯时
The Recent Trends of Motion Control System and Its Perspectives	Chen Boshi
.....	9
电气自动化在 20 世纪 90 年代的现状与发展	陈伯时
The State of the Art and Development of Electrical Automation in the 90's of 20th Century	Chen Boshi
.....	18
运动控制	陈伯时
Motion Control	Chen Boshi
.....	29
信息化时代的电气传动技术	陈伯时
Electric Drive Technology in the Informatization Era	Chen Boshi
.....	36

二、电力传动自动控制

电气传动控制系统调节器的工程设计方法	陈伯时
An Engineers' Design Method of Regulators in Electric Drive Control Systems	Chen Boshi
.....	40
考虑调节器饱和时直流双环调速系统转速微分负反馈参数的工程设计	陈伯时 马光桦 倪国宗 徐志雄
An Engineering Method of Designing the Negative Feedback Parameters of the Differential of Speed in DC Double-loop Speed Control Systems Considering the Saturation Effect of Controllers	Chen Boshi Ma Guanghua Ni Guozong Xu Zhixiong
.....	62

变频调速系统的矢量变换控制	陈伯时
The Transvector Control for Variable Frequency Speed-Regulating Systems	Chen Boshi
.....	72
异步电机多变量模型的性质及其控制问题	陈伯时
Properties of the Multiple Variable Model of Asynchronous Motor and Its Control Problems	Chen Boshi
.....	78
异步电动机反馈线性化解耦控制的变频调速系统	陈伯时 阮毅 梁庆龙
Decoupling Control via Feedback Linearization of the Variable Frequency Speed Control System of Induction Motors	Chen Boshi Ruan Yi Liang Qinglong
.....	85
电流滞环控制 PWM 逆变器异步电动机的非线性解耦控制系统	陈伯时 徐荫定
Nonlinear Decoupling Control of Hysteresis Band Current-controlled Induction Motor Drive Fed by PWM Inverter	Chen Boshi Xu Yinding
.....	91
矢量控制系统是异步电动机非线性解耦控制的一类实现	阮毅 陈伯时 江明
Vector Control System—A Class of Realization of Nonlinear Decoupling Control of Induction Motors	Ruan Yi Chen Boshi Jiang Ming
.....	97
电气传动系统的智能控制	陈伯时 冯晓刚 王晓东 夏承光
Intelligent Control of Electric Drive Systems	Chen Boshi Feng Xiaogang Wang Xiaodong Xia Chengguang
.....	105
交流传动系统的控制策略	陈伯时 谢鸿鸣
The Control Strategies of AC Drives	Chen Boshi Xie Hongming
.....	112
异步电机轻载降压节能和软起动控制器	陈伯时 许宏纲 沙立民 倪国宗
Energy Saving by Decreasing Voltage at Light Load and Soft Starter for Induction Motors	Chen Boshi Xu Honggang Sha Limin Ni Guozong
.....	118
能抑制零位颤震的高精度滑模控制交流伺服系统	钱文明 张琳君 黄晓东 金祖芬 陈伯时
Sliding mode Controlled High Precision AC Servo System with Zero Position Chattering Suppression	Qian Wenming Zhang Linjun Huang Xiaodong Jin Zufen Chen Boshi
.....	122
基于单神经元自适应 PID 控制器直流调速系统的研究	王晓东 陈伯时 夏承光
Study on the Adaptive PID Controller Based on Single Neuron for DC Drive Systems	Wang Xiaodong Chen Boshi Xia Chengguang

.....	130
单神经元自适应控制传动系统的稳定性分析	王晓东 陈伯时
Analysis of the Stability of Single Neuron Adaptive Control for Drive Systems	Wang Xiaodong Chen Boshi
.....	136
异步电机动态仿真模型的研究	竺伟 陈伯时
Dynamic Simulation Model of Induction Motor	Zhu Wei Chen Boshi
.....	144
基于串联双模型观测器的异步电机无速度传感器矢量控制系统	竺伟 陈伯时
Speed Sensorless Vector-controlled Induction Motor Drive System Based on Series Dual Model Observer	Zhu Wei Chen Boshi
.....	150
基于电压解耦的异步电动机速度推算方法	曾岳南 陈伯时 冯焱生
A Speed Calculation Method of Induction Motor Based on Voltage Decoupling Control Principle	Zeng Yuenan Chen Boshi Feng Duosheng
.....	155
无速度传感器高性能交流调速控制的三条思路及其发展建议	陈伯时 杨耕
Three Approaches to the Control Strategies of Sensorless High-performance ASD Systems and Proposals for their Development	Chen Boshi Yang Geng
.....	161
电力传动系统的转矩控制规律	阮毅 陈伯时
Torque Control Strategy of Electric Drive Systems	Ruan Yi Chen Boshi
.....	169
异步电动机按定子磁链定向的电流矢量控制	陈伯时 谢鸿鸣 阮毅 徐静
Current Vector Control for Induction Motors with Stator Flux Orientation	Chen Boshi Xie Hongming Ruan Yi Xu Jing
.....	174
异步电机按定子磁场定向的转差频率控制	徐静 阮毅 陈伯时
Stator-Flux-Orientated Slip Frequency Control for Induction Motor	Xu Jing Ruan Yi Chen Boshi
.....	180
感应电动机按定子磁场定向控制	阮毅 张晓华 徐静 朱峰 陈伯时
Stator Flux Orientated Control of Induction Motors	Ruan Yi Zhang Xiaohua Xu Jing Zhu Feng Chen Boshi
.....	185
智能 PI 控制在交流调速系统中的应用	阮毅 徐静 陈伯时
Application of Intelligent PI Control in AC Drive System	Ruan Yi Xu Jing Chen Boshi
.....	191

无刷直流电机控制系统中 PWM 调制方式对换相转矩脉动的影响 The Different Influences of Four PWM Modes on Commutation Torque Ripples in Brushless DC Motor Control System	张相军 陈伯时 Zhang Xiangjun Chen Boshi	198
无刷直流电机换相转矩脉动的分析及其补偿方法 Analysis and Compensation Method for Commutation Torque Ripple in Trapezoidal BLDC Motor	张相军 陈伯时 朱平平 雷准刚 Zhang Xiangjun Chen Boshi Zhu Pingping Lei Huaigang	205
消除无刷直流电机控制系统中换相死区的方法研究 Study of a Method for Eliminating the Commutation Dead Band in the Control System of BLDC Motors	张相军 陈伯时 雷准刚 Zhang Xiangjun Chen Boshi Lei Huaigang	210
异步电机转子 IGBT 斩波调阻调速的准动态模型 Quasi-dynamic Model of IGBT Chopper Controlled Rotor of Induction Motor	沈天飞 陈伯时 龚幼民 Shen Tianfei Chen Boshi Gong Youmin	215
矢量控制与直接转矩控制的理论基础和应用特色 Theoretical Basis and Application Features of Vector Control and Direct Torque Control Systems	陈伯时 Chen Boshi	221
附录 高动态性能交流调速系统的发展与演变 Development and Evolution of AC Adjustable Speed Drive Systems with High Dynamic Performances		
(I) 按转子磁链定向的矢量控制系统 (I) Rotor Flux Oriented Vector Control Systems		229
(II) 按定子磁链控制的直接转矩控制系统 (II) Direct Torque Control Systems with Stator Flux Control		233
A Microprocessor-based Vector-controlled PWM Inverter-fed Induction Motor Drive with Novel Approach to the Transducing of Speed, Current and Voltage	Chen Boshi Dai Shuzu Zhu Pingping He Jinfeng	
具有新型转速、电流和电压检测的微处理器矢量控制 PWM 逆变器-感应电动机传动系统 Sliding-Mode-PID Variable Structure Control of an AC Servo Drive System	陈伯时 戴述祖 朱平平 何金烽 Chen Boshi Zhang Linjun Dai Shuzu Wang Fengyao	237
交流伺服系统的滑模变结构 PID 控制	陈伯时 张琳君 戴述祖 王丰尧	241
Nonlinear Decoupling Control Strategy for Variable Frequency Induction Motor System Fed by Hysteresis-Band Current-Controlled PWM Inverter	Chen Boshi Ruan Yi Xu Yinding Gong Sixing	

目 录

电流滞环控制 PWM 逆变器 - 感应电动机变频调速系统的非线性解耦控制	陈伯时 阮毅 徐荫定 龚似星	249
Constant Slip Control of Induction Motor at Light Load 感应电动机轻载恒转差控制	Feng Xiaogang Chen Boshi 冯晓刚 陈伯时	256
Fuzzy-Controlled DC Drive Systems with Load Observer 带负载观测器的模糊控制直流传动系统	Feng Xiaogang Chen Boshi 冯晓刚 陈伯时	263
On the Intelligent Control for Electric Drive Systems 电力传动系统的智能控制	Chen Boshi Feng Xiaogang 陈伯时 冯晓刚	268
Research on the Stability of Fuzzy Controlled Drive System 模糊控制电力传动系统稳定性研究	Feng Xiaogang Chen Boshi 冯晓刚 陈伯时	275

三、电力电子变换

矩阵式交-交变换器 A Survey of Matrix AC-AC Converter	陆海慧 陈伯时 夏承光 Lu Haihui Chen Boshi Xia Chengguang	284
矩阵式交-交变换器及其控制 Matrix AC-AC Converter and Its Control	陈伯时 陆海慧 Chen Boshi Lu Haihui	289
高压变频调速技术 Medium Voltage Variable Frequency Speed Regulation Technology	竺伟 陈伯时 Zhu Wei Chen Boshi	295
矩阵变换器的发展与展望 The Development and Prospects of Matrix Converter	陈伯时 Chen Boshi	299
电力电子器件模型参数辨识及其有效性验证 Identification and Validation of Model Parameters for Power Electronic Devices	高艳霞 龚幼民 陈伯时 Gao Yanxia Gong Youmin Chen Boshi	302
IGBT 的数理仿真模型及其参数辨识 Mathematical-physical Simulation Model of IGBT and its Parameter Identification	高艳霞 郭水保 陈伯时 Gao Yanxia Guo Shuibao Chen Boshi	310
A Study on the Control Strategy of Matrix Converter Based on AC-DC-AC Converter	Lu Haihui Xia Chengguang Chen Boshi	

基于交-直-交变换器的矩阵变换器控制策略研究	陆海慧 夏承光 陈伯时	316
------------------------	-------------	-----

四、自动化理论与技术

智能控制方法的交叉综合及其应用	费敏锐 陈伯时 郎文鹏	
Cross Studies of Intelligent Control Methods and Their Applications	Fei Minrui Chen Boshi Lang Wenpeng	
.....	.....	324

专家模糊控制方法	费敏锐 陈伯时	
An Expert Fuzzy Control Method	Fei Minrui Chen Boshi	
.....	.....	332

层次分类诊断模型的多重结构神经网络实现与应用	汤天浩 陈伯时 李杰仁 刘以建	
An Implementation of Hierarchical Classification Diagnostic Model by Multiple Neural Networks and its Application	Tang Tianhao Chen Boshi Li Jieren Liu Yijian	
.....	.....	338

一种船舶自动舵滑模变结构控制方法	汤天浩 王丰尧 陈伯时 顾禹	
A Ship Rudder Control Approach with Sliding Mode	Tang Tianhao Wang Fengyao Chen Boshi Gu Yu	
.....	.....	343

异步电动机系统的能检测性与状态观测器	康惠骏 陈伯时 王丰尧	
Detectability and State Observer of Induction Motor Systems	Kang Huijun Chen Boshi Wang Fengyao	
.....	.....	347

非线性系统弱能控性与弱能观性的计算机代数分析	康惠骏 陈伯时	
Computer Algebra Analysis of Weak Controllability and Weak Observability for Nonlinear Systems	Kang Huijun Chen Boshi	
.....	.....	351

异步电动机系统解耦线性化的计算机代数设计方法	康惠骏 陈伯时	
Computer Algebra Method for Decoupling and Linearization of Induction Motor System	Kang Huijun Chen Boshi	
.....	.....	357

基于 RFieldbus 的 Token-Passing 协议实时性能建模	侯维岩 费敏锐 汪敏 陈伯时	
Real-time Performance Modelling of Token-Passing based on RFieldbus	Hou Weiyan Fei Minrui Wang Min Chen Boshi	
.....	.....	362

基于多相多址 (MDMA) 传输的低功耗无线局域网	侯维岩 张海峰 王忠勇 陈伯时	
The Low Power Consumption Wireless Local Area Network Based on Multimodal Dynamic Multiple Address (MDMA) Transmission	Hou Weiyan Zhang Haifeng Wang Zhongyong Chen Boshi	

目 录

.....	369
Analysis and Measuring of Real-time Performance and Error Property in Wireless-PROFIBUS System Hou Weiyan Fei Minrui Chen Boshi Heiko Adamczyk Lutz Rauchhaupt 无线 PROFIBUS 系统的实时性能和差错特性的分析与测试 侯维岩 费敏锐 陈伯时 Heiko Adamczyk Lutz Rauchhaupt	374
.....	374
A New Fuzzy Neural Network Approach for Intelligent Monitoring System Tang Tianhao Lin Xiang Li Jieren Chen Boshi 智能监控系统用的新型模糊神经网络方法 汤天浩 林翔 李杰仁 陈伯时	383
.....	383
The Structure of Induction Motor System Possessing Symmetries Kang Huijun Chen Boshi 具有对称性的感应电动机系统结构 康惠骏 陈伯时	390
.....	390
Convergence Properties and Step Size Estimation for MLMS Algorithm Hou Weiyan Deng Jicai Wang Min Chen Boshi MLMS 算法的收敛性质和步长估计 侯维岩 邓记才 汪敏 陈伯时	396
.....	396

一、学科发展综述

电气控制技术及其发展展望

Electric Control Technology and Its Development Prospects

陈伯时

Chen Boshi

摘要：本文从历史发展的角度，概述了电气控制技术的发展，讨论了电气控制的目标，对国内外现状作了归纳，找出我国与国外先进水平的差距，最后提出了自己的建议。

本文首先回顾控制技术和电气技术的发展历史。电气技术开始时沿着信息传送（弱电）和电能利用（强电）两个方向发展，现代电气控制的特点是以弱电控制强电，使两支洪流又汇合起来。电气控制的应用范围极广，从控制对象工艺过程上看，大体可分为电气传动控制和电气仪表过程控制两大类，它们在控制规律上有许多相似之处。电气控制的目标是保证生产过程和产品质量的优化、节约能源、提高可靠性和自动化水平，是现代化生产中提高生产力的必要途径。当前标志电气控制技术先进水平的是：①以电子计算机和其他电子装置为主要控制手段；②以电力电子装置为弱电控制强电的媒介；③以自动控制理论和信息传输理论为理论基础；④充分了解控制对象，从控制对象的物理规律抽象出数学模型是实现电气控制的重要前提；⑤以数字仿真和计算机辅助设计、辅助制造（CAD/CAM）等为科研和生产的工具。因此，电气控制技术正成为电工、自动控制、计算机应用、电力电子学、数字仿真与CAD几门学科互相交叉的新兴学科。目前我国在这些方面都有一定基础，薄弱环节是大规模集成电路、电力电子器件和装置。只要看清方向、调动各种积极因素、集中力量突破薄弱环节，在我国实现电气控制技术的现代化是完全可能的。要实现这一目标，生产和科研体制的改革是一个重要问题，没有强大的在经济上与生产部门融为一体的科研开发基地为后盾，就不可能赶上现代化生产的高速发展趋势，在这方面要作出艰巨的努力。

1 历史的回顾

早在电的利用以前，人类已经发明了多种控制技术，例如我国古代的自动计程车、滴漏计时器，西方的蒸汽机飞轮调速器、航海罗经稳定器等。虽然它们只是比较简单的机械式的控制，但毕竟都闪烁着人类劳动与创造的光辉。电的发现可以追溯到公元1世纪，当时我国东汉王充在《论衡》中就记述了静电的作用；直到18~19世纪科学家们陆续发现并总结出电和磁及其相互关系的基本规律，才在人类征服自然的历史上揭开了利用电的崭新的一页。有了电，使控制技术获得了日益广阔的应用和更为灵巧的性能。

电的利用一开始就沿着信息传送和电能应用两个方向发展着，即通常所谓的弱电与强电，前者例如电话、电报、无线电通信等。后者如电动机传动、电解、电弧冶炼等。随着生产的发展与技术的进步，实现了现代的电气控制，其特征是：以弱电检测、判断并发出控制

信息，用强电来执行控制的使命。从这个角度上看，可以说，现代电气控制技术是强电与弱电相结合的技术。这样，利用电的两支洪流在电气控制技术上又汇合到一起来了。

如果说，古代的控制技术好像是点缀在漫漫历史长空中的几颗明星，那么，现代电气控制的应用就已像夏夜繁星那样几乎遍及工农业生产和交通运输等所有部门，种类繁多，形式各异，但从控制对象的工艺过程角度上看，大体可分为两大类：一类是以机械运动为主要生产方式、以电动机为执行机构的电气传动控制；一类是以化学反应或热量流程为主要生产方式、以自动化仪表与装置为检测和执行机构的电气仪表过程控制。两类生产方式迥然不同，在控制规律上却有许多相似之处，特别是应用计算机进行控制以后，两类生产过程的电气控制更走到一起来了。在这里，将以讨论电气传动控制技术为主。

早期的电气传动控制只是利用电器来控制电动机的起动、制动、正反转和分级调速。随着技术的进步，生产工艺对电气传动提出了越来越高的要求，诸如精确稳定的运行速度、无级调速、快速反向、准确定位等。直流电机变压和弱磁调速可以比较好地满足这些要求，于是诞生了旋转变流机组供电的直流调速系统（Ward-Leonard 系统）。对调速性能要求更高时，则引入电机型放大器、磁放大器、电子放大器等放大装置进行反馈控制。到 20 世纪 50 年代，机组供电直流调速系统的控制技术发展到了巅峰的阶段，也正是它的缺点暴露得最充分的时候，它的设备多、体积大、费用高、效率低、安装要地基、运行有噪声、维护不方便等日益成为生产上的负担。为了解决这些矛盾，人们开始采用水银整流器（大容量）和闸流管（小容量）等静止变流装置来代替旋转变流机组，形成所谓的离子传动控制系统。1957 年，可控的大功率半导体器件——晶闸管问世，由它组成的静止式可控整流装置无论在运行性能上还是在可靠性上都具有明显的优势。20 世纪 60 年代成了晶闸管的时代，使离子传动仅仅成为一位历史上的浮云过客。20 世纪 70 年代以来，国际上电力电子技术（即大功率半导体技术）突飞猛进，推出了新一代的开和关都能控制的“全控式”电力电子器件，如门极可关断晶闸管（GTO）、大功率晶体管（GTR）、场效应晶体管（P-MOSFET）等。新型的脉宽调制式（PWM）变压装置使直流电源以 1~4kHz 的频率交替地导通和关断，用改变脉冲电压宽度来改变平均输出电压，从而调节电动机的转速。与老式电器开关控制相比，新的 PWM 开关在形式上是静止的，开关频率高，装置体积小，调节性能好，运行十分可靠。从电器开关到连续调压，再到电子开关，电气传动控制的历史在螺旋式地前进。如上所述，电气控制手段经历了几代的演变，而直流电动机本身却基本上依然故我，虽然它具有优良的可控性能，但它的机械式换向器始终是结构上和运行中的薄弱环节。交流电动机尤其是笼型异步电动机没有这个问题，因此在直流传动控制技术发展的同时，人们一直在憧憬着具有优越控制性能的交流传动系统，并为此付出了艰苦的努力，但直到电力电子技术蓬勃发展以前，始终未能如愿。当晶闸管组成的可控整流装置获得广泛应用以后，又发明了晶闸管逆变电路和变频装置，“全控式”电力电子器件的出现，使变频装置的结构大为简化，交流变频调速系统才逐渐具备大量应用的价值。1971 年提出了矢量控制技术，使交流调速得到了可与直流调速媲美的高性能；石油战引起的国际能源危机更促进了节能交流传动的开发。工业上应用的交流传动装置迅速增长，1980 年代可以说是推广交流传动的时代。

与此同时，控制技术和器件的发展也是很引人注目的。由模拟电子器件、数字电子器件，发展到采用功能很强的控制计算机和 PC（可编程序控制器）。计算机作为工业控制机的应用标志着控制技术发展的一个崭新的阶段。计算机除了能高速自动地进行数学计算外，