



普通高等教育
电气工程与自动化类
“十一五”规划教材

Control Systems of Electric Drives
— Motion Control Systems

电力传动控制系统
——运动控制系统

汤天浩 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

电力传动控制系统

——运动控制系统

主编 汤天浩

参编 谢 卫 陆海慧



机械工业出版社

本书是普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材，主要是针对电气工程及其自动化、自动化等专业大学本科编写的。为适应教学改革和学科发展的需要，本书在陈伯时主编的《电力拖动自动控制系统》的主要内容基础上，根据当前电力传动控制技术的新发展，进行了精简和重组。全书分为5章。第1章是全书的基础，介绍了电力传动控制系统的基本组成和共性问题，包括系统基本结构与组成，电动机、电力电子变流器、系统检测和控制器的基本概念及原理。第2章以统一电机理论为基础，建立了各种电机的数学模型，并构建了电力传动系统各个环节的数学模型。第3章为直流传动控制系统，在前两章的基础上，专门分析和讨论了系统的控制原理、结构和运行特性等问题。第4章为交流传动控制系统，包括异步电动机和同步电动机的控制原理、系统结构和运行特性等问题。第5章介绍了电力传动控制系统的设计方法。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件到 wbj@cmpbook.com 索取。

本书适用于普通高等学校电气工程及其自动化、自动化专业作为本科教材使用，也适用于机械、电子等专业，并可作为职工大学、夜大及大专院校有关专业的教材，也可供有关工程技术人员阅读和参考，其中部分较深入的内容可作为研究生学习和研究的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力传动控制系统：运动控制系统/汤天浩主编. —北京：机械工业出版社，2010.1

普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-29669-0

I. 电… II. 汤… III. 电力传动—自动控制系统—高等学校—教材
IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 018352 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑：王保家 责任编辑：王保家 版式设计：霍永明
封面设计：王洪流 责任校对：刘志文 责任印制：乔宇
北京汇林印务有限公司印刷

2010年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·298千字

标准书号：ISBN 978-7-111-29669-0

定价：24.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等学校电气工程与自动化系列教材 编审委员会

主任委员 汪樾生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

王钦若 广东工业大学

吴 刚 中国科技大学

张纯江 燕山大学

张晓华 哈尔滨工业大学

邹积岩 大连理工大学

陈庆伟 南京理工大学

夏长亮 天津大学

萧蕴诗 同济大学

韩 力 重庆大学

熊 蕊 华中科技大学

方 敏 合肥工业大学

白保东 沈阳工业大学

张化光 东北大学

张 波 华南理工大学

杨 耕 清华大学

陈 冲 福州大学

范 瑜 北京交通大学

章 兢 湖南大学

程 明 东南大学

雷银照 北京航空航天大学

序 一

随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教育委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这类教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到：

1. 适用性：结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

2. 示范性：力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性：在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性：本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富。组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有力保障。

这套教材的顺利出版，先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与，在此谨表示衷心的感谢，并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

这套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效，我们将会感到莫大的欣慰。

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪植生 陈永时 郑大钟

序 二

在拙著《电力拖动自动控制系统》教材中，建立了应用控制理论分析和设计电力拖动控制系统的课程体系，已在国内高校使用了近30年。由于受到技术发展历史的局限，1981年出版的第1版只有直流拖动控制系统，1992年第2版才拓宽到交流拖动控制系统，2003年第3版继续保留这样两篇，以“直流系统”为基础，“交流系统”为扩展。汤天浩教授新编的这本《电力传动控制系统——运动控制系统》教材，在体系上做出了更进一步的创新，全书分成“电力传动控制系统的基本结构与组成”、“电力传动系统的模型”、“直流传动控制系统”、“交流传动控制系统”、“电力传动控制系统的分析与设计”五章，把“直流系统”和“交流系统”融合起来，除第3、4两章分别介绍两类具体的控制系统外，第1、2、5三章都属共性的内容。

“交流电动机的动态数学模型”历来是本课程教学中的难点。本书第2章集中讲述动态数学模型，先从通俗易懂的“他励直流电动机模型”开始，然后引出两相正交的交流“统一电机模型”，再拓展到“三相交流电动机的模型”和“坐标变换”。这样做，分散了难点，循序渐进。

此外，为了适应时代的要求，在各章中还纳入了一些新的技术内容。本书书名采用《电力传动控制系统——运动控制系统》，与本行业的实用术语也是一致的。

作为电气工程与自动化的专业主干课教材，这本书在课程体系和内容上做出了发展与创新。当然，是否完全符合教学规律，尚待实际使用的检验。我相信，经过使用和进一步修改，应能成为一本有价值的新教材，在本课程教材的发展史上走出出色的一步。



前 言

2006年,当时我在法国南特大学综合理工学院做访问教授,意外地接到了机械工业出版社的信函,邀请我作为主编承担普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材《电力拖动自动控制系统(少学时)》的编写工作。并在信中特别指出:“这一系列规划教材都已落实编写人员,对于本教材,陈伯时教授和出版社都认为你是合适人选”。这使我既感到突然和惊奇,虽然我远在国外他乡,出版社却不远万里追踪寻迹,显示了极大的诚意,更使我诚惶诚恐的是,陈伯时教授主编的《电力拖动自动控制系统》是全国高校电气工程及其自动化、自动化等专业的统编教材,深受广大学生和教师的欢迎。而且已几经修订,不断完善,一直是同类教材中全国公认的最好教材之一,获得过机械工业部优秀教材一等奖,享有很高的声誉,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。而我本人也是从学习陈老师的这本书开始从事电力电子与电力传动学科的教研工作的。虽然我有幸作为陈老师的弟子,深受恩师的言传身教,也曾给学生讲授过这门课,但毕竟才疏学浅,唯恐难以担此重任。

经过与出版社和陈老师本人交换意见后,在他们的热情鼓励下,我才承接了编写教材的任务。但此后却陷入了茫然和烦恼之中,为如何编写好教材而苦苦思索。虽然可以采取一种简便的方法,在原教材的基础上进行精简和改编,这也是目前不少同类教材的通常做法。而我却想另辟蹊径,探寻一种新的编写思路,以求与时俱进,更为系统深入地认识和理解电力传动控制的原理和规律,更好地反映该领域日新月异的发展。为此,趁在国外工作的有利时机,收集了大量的参考资料,为教材的编写积累了丰富的素材,并设计和草拟了编写大纲。

本书力图体现:以电力传动系统的基本规律和共性问题为主线,利用电机原理、控制理论和电力电子技术等理论与工具,深入探讨系统结构、数学模型和控制策略,分析系统特性,给出系统设计方法和仿真试验结果。为实现这一理念,在编写过程中,从选材、内容安排到阐述方法等方面都做了一些新的尝试。本书有别于其他同类教材的特点是:

- 在第1章介绍了电力传动控制系统的基本组成和共性问题,包括系统基本结构与组成,电动机、电力电子变流器、系统检测和控制器的基本概念及原理,作为全书的引导。

- 第2章以统一电机理论为基础,集中建立了交、直流电动机的数学模型,并构建了电力传动系统各个环节的数学模型。

- 在前两章的基础上,第3章专门分析和讨论了直流电力传动控制系统的控制原理、结构和运行特性等问题。

- 第4章作为全书的重点,探讨了交流传动控制系统,包括异步电动机和同步电动机的控制原理、系统结构和运行特性等问题。选择了一些典型的控制系统进行深入分析,并适当介绍这些系统的应用场合和实例,以加深同学对学习内容的理解。

- 第5章介绍了电力传动控制系统的设计方法,从经典设计方法存在的问题出发,论述了具有实用价值的工程设计方法;针对数字控制系统广泛应用的需求,探讨了采用数字频域法进行系统设计,试图得到与工程设计法相似的设计方法;进而利用MATLAB仿真工具,

通过计算机模拟实现系统设计和仿真,并以系统举例,给出一些典型系统的设计和仿真试验结果。

本书历时3年,终于完稿。考虑到目前国内大部分科技文献和产品目录都将英文的“Electric drive”译成“电力传动”,根据陈伯时教授等审稿专家的建议,将书名改为《电力传动控制系统》。全书共分为5章,其中有些内容较深的章节加了“*”号。书中主要内容的教学时数约为36~54学时,各学校可根据各自教学大纲的需要选择内容和安排教学。本书试图突破传统的教学模式,按照电力传动控制系统的框架结构、数学建模、系统分析和设计的思路组织课程内容和进行教学,由于与传统教材有较大差异,建议任课老师可根据教学要求、课程时数和学生程度有所选择。例如,对于少学时课程,可以选择第1~4章的主要内容组织教学和学习,第5章电力传动控制系统设计建议用于课程设计。在教学中,如果同学已事先学过“电力电子技术”、“检测技术”、“计算机控制”等课程,第1章中有关内容可以跳过或只作简单的回顾,有些电力电子的深入内容也可略去不讲;在第3章中,主要以直流电动机调压控制为主,磁场和电枢配合控制、有环流可逆调速系统等内容仅供选用;第4章也是以异步电动机变压变频控制为主,其他调速方法或系统可根据需要选择。

本书由本人主编,参加编写的有上海海事大学谢卫教授和罗克韦尔自动化上海研究中心的资深高级研究工程师陆海慧博士。本书之所以邀请高校以外的专家参与编写,其目的是使大学教材更能体现科技发展和应用需求。谢卫教授以他在电机理论方面的深厚造诣,编写了第2章中基于统一电机理论的电动机建模,并负责电子课件的编撰。陆海慧博士编写了第4章的主要内容:异步电动机和同步电动机变频调速系统,特别是她在交流电动机控制方面的深入研究和系统开发经历使本书增色许多。本人编写了第1章、第3章和第5章及其他章节的部分内容,并负责全书的统稿。

本书的编写还得到上海海事大学的大力支持,韩金刚博士和研究生沈扬、陈雯洁等在MATLAB的Simulink仿真平台上,设计和建立了部分系统的仿真模型并进行了仿真试验,在此谨向他们的辛勤工作表示感谢。

还应感谢法国中央理工大学和南特大学综合理工学院,正是由于他们的邀请,使本人每年在那里担任访问教授,有幸了解到国外有关电力电子与电力传动方面的研究和教学的新方法,收集了大量资料。

全书由上海大学陈伯时教授担任主审。作为本人的博士导师和学术领路人,恩师自始至终地关心和指导着本书编写的全过程,从编写大纲的拟定到内容的选取,以及表述的方式,都提出了许多宝贵意见。特别是提供了他编写教材的电子稿,使本书从中选取了大量精彩华章,其中,有关调节器设计的工程设计法,就是陈老师多年悉心研究和总结的成果,本书几乎全盘照搬。在审稿过程中,陈老师仔细审阅了书稿,并在许多内容上作了逐字逐句的修改。笔者对此表示衷心的感谢。

在本书的审稿会上,有幸邀请到上海交通大学陈敏逊教授、同济大学陶生桂教授和上海大学高艳霞副教授作为评审专家。他们认真地评审了书稿,对本书的修改和完善提出许多建设性意见,使笔者受益匪浅。特此向他们表示感谢。

本书的成功出版应归功于机械工业出版社的努力,高等教育分社的领导和责任编辑从本书的策划、申报、立项到编辑出版花费了大量的心血。希望大家共同的努力,能使广大读者受益。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件到 wbj@cmpbook.com 索取。

尽管我们在编写本书过程中倾注了许多心血和创意，但因水平所限，还会存在许多缺点和不足，恳请广大读者批评指正。

汤天浩
于法国圣纳泽尔

常用符号表

1. 元件和装置用的文字符号

A	放大器、调节器, 电枢绕组, A 相绕组	M	电动机 (总称)
ACR	电流调节器	MA	异步电动机
A/D	模数转换器	MD	直流电动机
AE	电动势运算器	MS	同步电动机
AER	电动势调节器	P/D	脉冲数字转换器
AFR	励磁电流调节器	PG	脉冲发生器
AR	反号器	PR	极性转换器
ASR	转速调节器	R	电阻
A Ψ R	磁链调节器	RP	电位器
B	非电量-电量变换器, B 相绕组	S	开关器件
BQ	位置传感器, 转子位置检测器	SA	控制开关, 选择开关
C	电容器, C 相绕组, 补偿绕组	SE	转速编码器
CPU	中央处理器	ST	饱和限制环节
D	数字集成电路和器件, 整流二极管	T	变压器
D/A	数模转换器	TA	电流互感器, 霍尔电流传感器
DLC	逻辑控制环节	TG	测速发电机
F	励磁绕组	TVC	双向晶闸管交流调压器
FA	具有瞬时动作的限流保护	TVD	直流电压隔离变换器
FBC	电流反馈环节	U	变换器, 调制器
FBS	测速反馈环节	UCR	可控整流器
FC	频率控制器	UCH	直流斩波器
FG	函数发生器	UI	逆变器
G	发电机	UPW	PWM 波生成环节
GD	驱动电路	UR	整流器
GT	触发装置	V	晶闸管整流装置
GTF	正组触发装置	VBT	晶体管
GTR	反组触发装置	VCO	压控振荡器
I/O	输入输出接口	VD	二极管, 续流二极管
HBC	滞环控制器	VF	正组晶闸管整流装置
K	继电器, 接触器	VR	反组晶闸管整流装置
L	电感器, 电抗器	VST	稳压管
LED	发光二极管	VT	晶闸管, 功率开关器件

2. 常用缩写符号

AC	交流电 (Alternating Current)
ANN	人工神经网络 (Artificial Neural Networks)
APF	有源电力滤波器 (Active Power Filters)
BJT	双极性晶体管 (Bipolar Junction Transistor)
CHBPWM	电流滞环跟踪 PWM (Current Hysteresis Band PWM)
CSI	电流 (源) 型逆变器 (Current Source Inverter)

CVCF	恒压恒频 (Constant Voltage Constant Frequency)
DC	直流电 (Direct Current)
DF	位移因数 (Displacement Factor)
DSP	数字信号处理器 (Digital Signal Processor)
DTC	直接转矩控制系统 (Direct Torque Control)
GTO	门极关断晶闸管 (Gate Turn-off Thyristor)
EMI	电磁干扰 (Electromagnetic Interference)
FFT	快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform)
IGBT	绝缘栅双极型晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistor)
IGCT	绝缘栅双极型晶闸管 (Insulated Gate Commutated Thyristor)
PD	比例微分 (Proportion, Differentiation)
PF	功率因数 (Power Factor)
PFC	功率因数校正 (Power Factor Correction)
PID	比例积分微分 (Proportion, Integration, Differentiation)
PLL	锁相环 (Phase Lock Loops)
PMOSFET	场效应晶体管 (Power MOS Field Effect Transistor)
PWM	脉宽调制 (Pulse Width Modulation)
SHEPWM	消除指定次数谐波的 PWM (Selected Harmonics Elimination PWM)
SOA	安全工作区 (Safe Operation Area)
SPWM	正弦波脉宽调制 (Sinusoidal PWM)
SVPWM	电压空间矢量 (Space Vector PWM)
THD	总谐波畸变率 (Total Harmonic Distortion)
VC	矢量控制 (Vector Control)
VR	矢量旋转变换器 (Vector Rotator)
VSI	电压 (源) 型逆变器 (Voltage Source Inverter)
VVVF	变压变频 (Variable Voltage Variable Frequency)

3. 常见下角标

A	A 相定子绕组	em	电磁的 (electric-magnetic)
a	电枢绕组 (armature); a 相转子绕组	f	磁场 (field); 正向 (forward); 反馈 (feedback)
add	附加 (additional)	g	气隙 (gap); 栅极 (gate)
av	平均值 (average)	I	积分 (integral)
B	B 相定子绕组	in	输入 (input)
b	b 相转子绕组; 偏压 (bias); 基准 (basic)	L	负载 (Load)
bl	堵转; 封锁 (block)	l	线值 (line); 漏感 (leakage)
C	C 相定子绕组, 补偿绕组	lim	极限, 限制 (limit)
c	c 相转子绕组; 环流 (circulating); 控制 (control)	m	磁的 (magnetic); 主要部分 (main)
cl	闭环 (closed loop)	m	机械的 (mechanical); 幅值
com	比较 (compare); 复合 (combination)	max	最大值 (maximum)
cr	临界 (critical)	min	最小值 (minimum)
d	直流 (direct current); d 轴 (direct axis)	N	额定值, 标称值 (nominal)
D	微分 (differential)	off	断开 (off)
e	电 (electricity); 电源 (electric source)	on	闭合 (on)

op	开环 (open loop)	s	定子 (stator); 串联 (series)
out	输出 (out)	sam	采样 (sampling)
p	磁极 (poles); 峰值 (peak)	sl	转差 (slip)
P	比例 (proportion); 有功功率	ss	稳态 (steady state)
q	q 轴 (quadrature axis)	st	起动 (starting)
Q	无功功率	sy	同步 (synchronous)
r	转子 (rotator); 上升 (rise); 反向 (reverse)	t	触发 (trigger); 三角波 (triangular wave)
ref	参考 (reference)	T	转矩 (torque)
rec	整流器 (rectifier)	W	线圈, 绕组 (winding)
		∞	稳态值, 无穷大处 (infinity)

4. 参数和物理量符号

A	散热系数	G	重力; 运动电动势系数; 传递函数
a	线加速度; 特征方程系数	$G(s)$	开环传递函数
B	磁通密度	$G_{cl}(s)$	闭环传递函数
C	电容	g	重力加速度
C_e	他励直流电动机在额定磁通的电动势系数	GD^2	飞轮惯量
C_T	他励直流电动机在额定磁通的转矩系数	GM	增益裕度
D	调速范围; 摩擦转矩阻尼系数	h	开环对数频率特性中频宽, 滞环宽度
E, e	感应电动势 (大写为平均值或有效值, 小写为瞬时值, 下同); 误差	H	风机的风压; 水泵的扬程
E_a, e_a	直流电机电枢感应电动势, 反电动势	I, i	电流 (大写为平均值或有效值, 小写为瞬时值, 下同)
E_{add}, e_{add}	附加电动势	I_a, i_a	电枢电流
e_d	检测误差	I_d, i_d	整流电流, 直流平均电流
e_s	系统误差	I_{dl}	直流负载电流
E_2, e_2	变压器二次绕组感应电动势	I_F, i_F	励磁电流
E_r, \dot{E}_r	交流电机转子感应电动势	\dot{I}_m, i_m	交流电机励磁电流
E'_r, \dot{E}'_r	交流电机转子折算感应电动势	I_2, i_2	变压器二次侧电流
E_{r0}, \dot{E}_{r0}	交流电机转子静止电动势	\dot{I}_L, i_L	负载电流
E_s, \dot{E}_s	交流电机定子感应电动势	I_N, i_N	额定电流
E_{s0}, \dot{E}_{s0}	交流电机定子漏磁电动势	\dot{I}_r, i_r	交流电机转子电流
F	磁动势, 扰动量	\dot{I}'_r, i'_r	交流电机转子折算电流
f	频率	\dot{I}_s, i_s	交流电机定子电流
f_e	电源频率	\dot{I}_{st}, i_{st}	电机起动电流
f_M	调制信号频率	J	转动惯量
f_r	交流电机转子频率	j	传动机构减速比
f_{sl}	交流电机转差频率	K	系数, 常数, 比值
f_s	交流电机定子频率	K_e	直流电机电动势结构常数
f_{sw}	开关频率	K_D, k_D	微分系数
f_T	载波信号频率	K_I, k_I	积分系数

K_P, k_P	比例放大系数	T_e	电磁转矩
K_i	电流检测环节比值, 电流反馈系数	T_{em}	最大电磁转矩
K_m	电机结构常数	T_{fl}	滤波时间常数
K_n	转速检测环节比值, 转速反馈系数	T_l	电枢回路电磁时间常数
K_s	电力电子变流器放大系数	T_L	负载转矩
K_T	直流电机转矩结构常数, 起动转矩倍数	T_m	机电时间常数
k	谐波次数; 振荡次数	T_N	额定转矩
k_i	电流比; 起动电流倍数	T_r	转子电磁时间常数
k_N	绕组系数	T_{st}	起动转矩
L	电感	T_s	电力电子变流器平均失控时间, 电力电子变流器滞后时间常数
L_l	漏感	T_{sam}	采样周期
L_m	互感	T_{sw}	电力电子器件开关时间
M	闭环系统频率特性幅值; PWM 调制比	T_T	载波信号周期
M_r	闭环系统频率特性峰值	t	时间
m	质量; 相数; 脉冲数; 检测值	t_m	最大动态降落时间
N	绕组匝数; 载波比; 计数值	t_{on}	开通时间
n	转速	t_{off}	关断时间
n_0	理想空载转速, 同步转速	t_p	峰值时间
n_p	极对数	t_r	上升时间
P	功率	t_s	调节时间
P_{em}	电磁功率	t_v	恢复时间
P_L	负载功率	U, u, \underline{u}	电压, 电源电压 (大写为平均值或有效值, 小写为瞬时值, 黑体为矢量, 下同)
P_m	机械功率	U_2, u_2	变压器二次电压
P_N	额定功率	U_a	直流电机电枢电压
P_G	电网功率	U_s, u_s	电源电压, 交流电机定子电压
P_{sl}	转差功率	\underline{u}_s	空间电压矢量
$p = \frac{d}{dt}$	微分算子	u_T	三角载波电压
Q	无功功率; 热量; 流量	U_x^*, U_x	变量 x 的给定和反馈电压 (x 可用变量符号替代)
R	电阻; 电枢回路总电阻	v	速度, 线速度; 转换变量
R_a	直流电机电枢电阻	w	w 变换的变量
R_b	镇流电阻, 泄流电阻	W	能量
R_f	励磁电阻; 反馈电阻	x	位移, 距离
R_0	运算放大器输入电阻	X	电抗
R_r, R_r'	转子绕组电阻及折算	X_r, X_r'	转子绕组旋转漏电抗及折算
R_{rec}	整流装置内阻	y, Y	系统输出变量
R_s	定子绕组电阻	z	z 变换的变量
r	参考变量; 控制指令	Z	电阻抗
S	视在功率; 面积; 开关状态	α	可控整流器的触发延迟角
s	转差率; Laplace 变量	β	可控整流器的逆变角; 机械特性的斜率
T	转矩; 时间常数; 开关周期	γ	相角裕度; PWM 电压系数
T_c	电力电子开关周期, 定时或计数时间		
T_d	检测环节的时间常数		

δ	放大系数; 静差率	Φ_N	额定磁通
Δn	转速降落	Φ_r	转子磁通
Δp	功率损耗	Φ_{rs}	定、转子合成磁通
ΔU	电压差	Φ_s	定子磁通
$\Delta \theta_m$	相角差	φ	相位角; 阻抗角
ξ	阻尼比	Ψ, ψ	磁链
η	效率	Ψ_m	交互磁链
θ	电角位移; 相位角; 可控整流器的导通角	ω	角转速, 角频率
θ_m	机械角位移	ω_b	闭环频率特性带宽
λ	电机允许过载倍数	ω_c	开环频率特性截止频率
ρ	占空比; 电位器的分压系数	ω_e	电角频率
σ	漏磁系数; 转差功率损耗系数	ω_m	机械角转速
$\sigma\%$	超调量	ω_n	二阶系统的自然振荡频率
τ	时间常数, 积分时间常数, 微分时间常数	ω_r	转子角转速, 角频率
Φ	磁通	ω_s	定子角转速 (频率); 同步角转速 (频率)
Φ_m	每极气隙磁通	ω_{sl}	转差角转速, 角频率

目 录

序一	
序二	
前言	
常用符号表	
绪论	1
第 1 章 电力传动控制系统的基本结构与组成	3
1.1 电力传动控制系统的基本结构和共性问题	3
1.1.1 电力传动控制系统的组成与分类	3
1.1.2 电力传动控制系统的共性问题	4
1.2 电动机的主要类型与调速方法	4
1.2.1 直流电动机及其调速方法	4
1.2.2 交流电动机及其调速方法	6
1.3 电力电子变流器的结构与类型	8
1.3.1 直流输出变换器	9
1.3.2 交流输出变换器	14
1.4 电力传动控制系统的检测方法	27
1.4.1 直接检测方法	27
1.4.2 信号处理	31
1.4.3 状态观测和参数估计	35
1.5 电力传动控制系统的控制与分析方法	36
1.5.1 电力传动控制系统的要求和指标	36
1.5.2 PID 控制器	38
1.5.3 先进控制方法	40
1.5.4 系统分析和仿真	40
本章小结	41
思考题与习题	41
第 2 章 电力传动系统的模型	43
2.1 直流电动机的模型	43
2.2 统一电机理论模型	44
2.2.1 统一电机理论的基本思路	44
2.2.2 第一种原型电机	45
2.2.3 第二种原型电机	48
2.2.4 由统一电机理论建立的直流电动机模型	49
2.3 交流电动机模型	51
2.4 坐标变换理论	55
2.4.1 线性变换简介	55
2.4.2 坐标变换的原则及约束	56
2.4.3 Park 变换	56
2.5 基于统一电机理论的交流电动机建模	60
2.5.1 异步电动机模型变换	60
2.5.2 同步电动机模型	64
2.6 电力电子变流器的建模	66
本章小结	69
思考题与习题	69
第 3 章 直流传动控制系统	71
3.1 开环直流调速系统的组成与主要问题	71
3.1.1 开环直流调速系统的组成	71
3.1.2 开环直流调速系统的主要问题	71
3.1.3 开环系统的静特性计算	74
3.2 转速闭环直流调速系统	74
3.2.1 转速闭环直流调速系统的组成	74
3.2.2 转速闭环直流调速系统的稳态分析	75
3.2.3 反馈控制闭环直流调速系统的动态分析和设计	78
3.2.4 比例积分控制规律和无静差调速系统	82
3.3 转速、电流双闭环直流调速系统	84
3.3.1 直流电动机起动的要求及控制策略	84
3.3.2 转速、电流双闭环直流调速系统的结构	85
3.3.3 转速、电流双闭环直流调速系统的稳态分析	85
3.3.4 转速、电流双闭环直流调速系统的动态分析	87

3.3.5 转速和电流两个调节器的作用	89	4.3.1 绕线转子异步电动机双馈控制的 基本原理和运行模式	132
* 3.4 直流调速系统的电压与磁场 协调控制	90	4.3.2 绕线转子异步电动机的次同步转速 调速——串级调速系统	134
3.4.1 直流电动机磁场控制的问题	90	4.3.3 绕线转子异步电动机的超同步转速 调速——双馈调速系统	137
3.4.2 直流电动机的电压与磁场协调 控制策略	90	4.4 同步电动机控制系统	139
3.4.3 电压与磁场协调控制的直流调速 系统结构与控制原理	92	4.4.1 同步电动机在旋转坐标系的动态 等效电路及方程	140
3.5 直流调速系统的可逆控制	93	4.4.2 同步电动机按定子磁链定向的矢量 控制调速系统	141
3.5.1 可逆控制的主要问题	93	4.4.3 永磁同步电动机按转子位置定向的 矢量控制系统	144
3.5.2 无环流控制的可逆直流 调速系统	97	4.4.4 直流无刷同步电动机控制系统	146
* 3.5.3 有环流控制的可逆直流 调速系统	101	本章小结	149
3.6 直流调速系统的 MATLAB 仿真	104	思考题与习题	149
本章小结	107	第 5 章 电力传动控制系统的分析 与设计	151
思考题与习题	108	5.1 电力传动控制系统的性能指标	151
第 4 章 交流传动控制系统	109	5.1.1 电力传动控制系统的控制要求	151
4.1 异步电动机的变压控制系统	109	5.1.2 电力传动控制系统的稳态 性能指标	151
4.1.1 异步电动机在任意旋转坐标系 上的动态等效电路	109	5.1.3 电力传动控制系统的动态 性能指标	152
4.1.2 异步电动机的变压控制系统	110	5.2 电力传动控制系统的设计方法	153
4.1.3 转速反馈闭环控制的异步 电动机变压调速系统	112	5.2.1 系统设计的基本原理和方法	153
4.1.4 变压控制在异步电动机软 起动中的应用	113	5.2.2 调节器最佳整定设计法	155
4.2 异步电动机的变压变频控制系统	116	5.2.3 基于典型系统的工程 设计方法 ^[1]	157
4.2.1 变压变频调速的控制模式及 其机械特性	116	* 5.2.4 数字控制系统的设计方法	163
4.2.2 转速开环恒压频比控制的 调速系统	120	5.3 基于 MATLAB 的系统仿真方法	168
4.2.3 转速闭环恒定子电动势频比 控制的调速系统	122	5.3.1 MATLAB 的 Simulink 仿真 平台	168
4.2.4 按转子磁场定向的矢量控制 系统	123	5.3.2 电力传动控制系统的 MATLAB 仿真举例	169
4.2.5 按定子磁链控制的直接转矩 控制系统	129	本章小结	175
4.3 绕线转子异步电动机的双馈 控制系统	132	思考题与习题	176
		参考文献	177