

电力传动 与自动控制系统

周元钧 孙静 编著

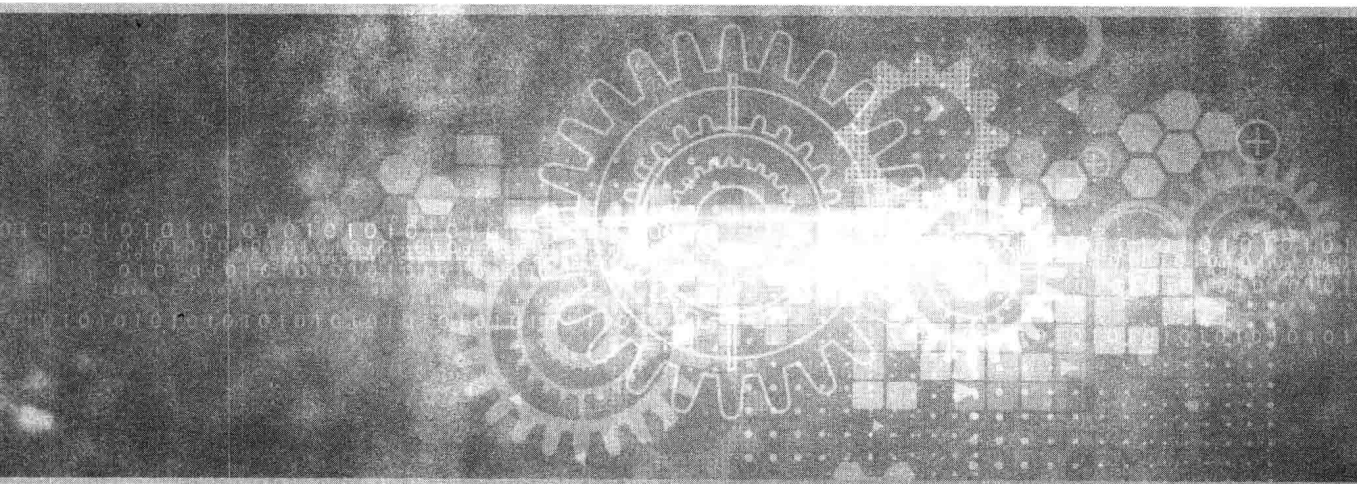
lectric Drives and
Automatic Control Systems



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校电子信息与电气学科系列规划教材

电力传动 与自动控制系统



周元钧 孙静 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电力传动与自动控制系统 / 周元钧, 孙静编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.8
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-47608-5

I. 电… II. ①周… ②孙 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 (2014) 第 182911 号

本教材共分四篇, 第一篇介绍电力传动基础知识, 包括电力传动系统的动力学模型、直流电动机和异步电动机的起动、制动和调速特性等内容; 第二篇介绍直流调速系统的原理, 单闭环和双闭环系统静、动态特性, 控制规律和设计方法; 第三篇介绍电力传动系统的计算机控制方法, PWM 控制的直流调速系统的原理和特性, 数字控制的直流调速系统的设计和调速性能; 第四篇介绍变频控制的交流调速系统的原理和控制方法, 包括无刷直流调速系统、永磁同步电动机调速系统和异步电动机变频调速系统。全书取材注重基础性和实用性, 论述条理清楚, 符合教学和认知规律。本书适合高等院校电气工程及其自动化专业的师生阅读。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 23.25

书号: ISBN 978-7-111-47608-5

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前 言

为适应电气工程及其自动化学科的发展,本教材编写的目的是扩宽专业面、兼顾军民应用、展现航空航天特色,面向综合型大学的人才培养。本书侧重于电力传动的基本概念、基本理论及其控制原理的阐述,采用工程观点和工程设计方法进行分析,并反映航空航天领域电动机调速系统和数字控制等新技术。

本书旨在总结课程教学改革成果和多年教学实践反映出的问题,根据电力传动系统的实际应用及发展情况,对过时的内容进行精简,引入先进的控制方法,同时加入电力传动系统在航空航天领域中的应用内容,为新世纪综合型高等学校电气工程及其自动化专业本科生编写必修课程的通用教材。“电力传动与自动控制系统”课程属于专业基础课。

本教材的特点

本教材与其他类似教材比较有以下特点。

- 强调电力传动的基础知识。在电力传动自动控制系统的设计中,应了解电动机本身的运行特性和控制方法,特别是在动态响应要求较高的电力传动系统中。本教材重视电力传动基础知识的讲解,有利于学生在后面学习调速系统时进一步理解系统的调速特性、动态模型和动态响应等内容。
- 保留了目前大部分教科书中关于晶闸管调速系统的内容。晶闸管调速系统的设计方法、性能分析等内容比较成熟,可以作为学生学习和掌握调速系统的闭环控制、静态特性分析和工程设计方法的经典内容。
- 增加了数字式调速系统内容。由于电子技术的发展,微处理器和功率开关器件已经普遍应用于电力传动系统中,数字控制和脉宽调制(PWM)控制的调速系统应当成为学习的内容。本书针对没有开设“计算机控制系统”课程的专业,讨论数字电力传动系统的设计方法,即基于连续域的工程设计,进行 s 变换的离散化设计方法。
- 交流调速只讨论了变频调速的内容。现代电力电子技术使得变频调速变得很容易,在工业自动化中应用越来越广泛。变频调速不仅应用于异步电动机,而且当前更多的是应用于同步电动机,例如,无刷直流电动机调速系统、永磁同步电动机调速系统。因此,本教材首先讨论了无刷直流电动机调速系统、永磁同步电动机调速系统,然后讨论笼型异步电动机变频调速系统。关于异步电动机的变极和变转差调速,本教材在第4章中有所介绍,而在第四篇中不再提及。
- 增加了例题、习题的数量及例题的仿真。由于例题和习题对学生理解课程的内容会有很大帮助,因此本教材适当增加了例题和习题的数量。另一方面,在关于系统设计方面的例题中增加了仿真结果,使原先的设计结果从只包含简单数据,变

为能够反映系统变化的曲线，以增强学生对设计参数和设计结果的认识。

本教材的内容

本教材主要内容分为四大篇，各篇的内容如下所示。

第一篇在电力传动系统的动力学的基础上，主要讨论了直流电动机的运行特性，即启动、制动和调速方法，以及直流电动机的过渡过程，同时讨论了异步电动机的运行特性，即调速、启动与制动方法。该篇内容使学生了解自动调速系统的控制对象，为自动控制系统的设计奠定基础。

第二篇以晶闸管自动调速系统作为研究对象，讨论了单闭环、多闭环直流调速系统的结构，静态和动态特性，闭环反馈控制理论的应用，以及直流调速系统的工程设计方法。此篇内容能够使学生掌握电力传动自动控制系统的分析和设计方法及理论。

第三篇首先归纳了电力传动系统采用数字控制时需要的理论与技术，阐述了采用功率开关器件实现脉宽调制控制技术，以及它们在直流电力传动系统中的应用，讨论了基于连续域工程设计方法的数字控制电力传动系统的设计。此篇内容使学生了解数字控制的电力传动系统的调速特性，掌握其系统设计技术。

第四篇首先介绍了包括方波、SPWM 和 SVPWM 的变频器控制技术，然后讨论了无刷直流电动机的自动调速系统、永磁同步电动机调速系统、异步电动机的变频调速、矢量控制和直接转矩控制的调速系统。此篇内容使学生掌握交流调速技术，其中根据自动化系统的应用特点，加强了无刷直流电动机调速系统和永磁同步电动机调速系统的学习内容。

本书按讲课 60 学时编写，由北京航空航天大学周元钧、孙静老师编写，其中第一篇和第二篇由孙静完成，第三篇和第四篇由周元钧完成，全书由周元钧教授统稿。

由于编者水平有限，书中如有错误和不妥之处，希望广大读者批评指正。

编者

2014 年 4 月

教学建议

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 1 章 电力传动系统动力学	- 重点掌握直接驱动的电力传动系统的运动方程式 - 掌握复杂机械结构的电力传动系统中的折算概念及其计算方法 - 一般了解电力传动系统的负载特性	2~4	2
第 2 章 直流电动机的静特性	- 重点掌握直流他励电动机的自然和人为机械特性 - 掌握直流他励电动机的起动、制动和调速方法 - 掌握调速系统电动机与负载的配合 - 一般了解串励、复励电动机的运行状态和静特性	2~4	2
第 3 章 直流电力传动系统的过渡过程	- 重点掌握直流他励电动机的动态模型、电压突变时的过渡过程以及简化动态模型和过渡过程 - 了解直流他励电动机的分段电阻起动和制动控制时的过渡过程及计算方法、励磁磁通突变时的过渡过程及相应的加快和延缓方法 - 掌握直流电动机最短时间起动、制动和最佳过渡过程	2~4	2
第 4 章 三相异步电动机的静特性	- 重点掌握三相异步电动机的机械特性 - 掌握三相异步电动机的调速、起动和制动方法及特性 - 重点掌握三相异步电动机的变频调速、起动和制动的的方法及特性	2~4	2
第 5 章 晶闸管单闭环直流调速系统	- 重点掌握调速系统的稳态调速指标和动态性能指标，一般了解调速系统的其他指标 - 重点掌握单闭环调速系统的组成与静特性、开环系统和闭环系统的静特性比较、反馈控制系统的几个特性 - 掌握单环控制调速系统的限流保护，包括电流截止负反馈原理以及带电流截止负反馈的调速系统 - 重点掌握反馈控制闭环调速系统的动态数学模型和静特性 - 掌握比例调节的单闭环调速系统的稳定条件、单闭环调速系统的无静差校正原理及方法	4~6	2
第 6 章 多环控制的晶闸管直流调速系统	- 重点掌握转速、电流双闭环调速系统的组成、稳态结构图和静特性，以及各变量的稳态工作点和稳态参数 - 重点掌握双闭环调速系统的动态数学模型、起动过程分析、动态性能和两个调节器的作用 - 了解转速超调的控制——转速微分负反馈原理 - 一般掌握带电流变化率和带电压内环的三环调速系统的构成和原理 - 掌握可逆调速系统的形式、两组晶闸管可逆线路中的环流、有环流和逻辑无环流可逆调速系统	4~6	2

(续)

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 7 章 直流调速系统的工程设计方法	- 掌握自动控制系统的工程设计方法步骤、控制系统的类型与稳态特性 - 掌握典型 I 型系统的结构及频率特性、跟随性能和抗扰性能的动态性能分析方法 - 掌握典型 II 型系统的结构及频率特性、闭环幅频特性峰值最小的设计方法、跟随性能和抗扰性能的动态性能分析方法 - 掌握调速系统在工程设计上的近似处理以及调速系统的串联校正方法,在此基础上掌握双闭环调速系统的设计过程及方法 - 了解并联微分校正系统的工程设计、退饱和时间和转速的确定以及系统的抗扰性	4~6	2
第 8 章 电力传动系统的数字控制方法	- 掌握数字式电力传动系统的原理、数字控制器、数据采集 - 掌握数字控制系统中的数字运算方法,包括采样周期与零阶补偿器、数字 PID 调节器、数字 PID 调节器的饱和抑制、数字采样中的滤波方法 - 重点掌握数字控制系统的连续域—离散化设计方法,一般掌握数字控制系统的状态空间设计方法	2~4	2
第 9 章 PWM 控制的直流调速系统	- 通过对比了解晶闸管调速系统和 PWM 调速系统的性能区别 - 重点掌握直流电动机不可逆 PWM 和可逆 PWM 功率变换电路、调速方法和调速性能 - 掌握脉宽调制的直流调速系统的控制与特性,包括脉宽调速系统的静特性、电流与转速的脉动特性、开关损耗与开关频率	2~4	2
第 10 章 数字控制的直流调速系统的设计	- 重点掌握 PWM 控制的单闭环调速系统的动态模型及其设计方法 - 重点掌握 PWM 控制的双闭环调速系统的动态模型及其设计方法 - 掌握数字控制的晶闸管调速系统的设计方法,了解两种调速系统的性能比较 - 通过直流调速系统的状态空间模型,掌握基于状态空间的数字直流调速系统及无静差直流调速系统设计方法	2~4	2
第 11 章 交流调速的变频器控制技术	- 了解交流调速的静止变频器的类型,以及新型变频器的技术和发展 - 了解三相桥式方波逆变器的类型和控制方法 - 掌握正弦脉宽调制(SPWM)变频器的工作原理、电压与频率的控制方法 - 掌握空间矢量脉宽调制(SVPWM)变频器的工作原理、控制方法 - 了解正弦波脉宽调制原理和方法、正弦电流跟踪的脉宽调制方法	2~4	2
第 12 章 无刷直流电动机调速系统	- 了解无刷直流电动机的结构、工作原理及转子位置测量技术 - 掌握无刷直流电动机的调速、启动和制动控制方法 - 重点掌握无刷直流电动机的 PWM 控制的单闭环和双闭环调速系统的结构、动态模型 - 了解双绕组无刷直流电动机结构、原理和特性,及其在航空上应用时的部分技术问题	2~4	2

(续)

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 13 章 同步电动机矢量控制调速系统	- 掌握同步电动机矢量控制的基本原理, 通过同步电动机的基本电磁关系、交流绕组的坐标变换的概念, 理解同步电动机旋转坐标系的数学模型 - 掌握永磁同步电动机的矢量控制方法, 以及单闭环调速系统、双闭环调速系统、电流滞环控制的调速系统的动态模型 - 了解由双绕组永磁同步电动机构成的双通道交流伺服控制系统的结构、动态模型及在航空上的应用	2~4	2
第 14 章 异步电动机变频调速系统	- 通过系统结构与特点以及动态数学模型的介绍, 理解转速开环的变频调速系统 - 掌握异步电动机转差角速度控制的基本原理、转速闭环转差角速度控制的变频调速系统的结构、动态结构图和调速系统的特性 - 重点掌握异步电动机的基本电磁关系、同步旋转坐标系上的数学模型和矢量控制方法, 不同结构的矢量控制调速系统原理和调速特性 - 掌握异步电动机直接转矩控制的原理、定子磁链与转矩控制方法、调速系统的特性	2~4	2
	教学总学时建议	36~62	28

说明:

- 1) 本教材为“电气工程及其自动化”专业的专业必修课教材, 授课学时数为 36~48 学时, 可根据教学要求和计划学时数酌情取舍, 以及安排学生自学、自主式教学(表中的 62 学时是指所有内容授课的学时)。
- 2) 本教材是以有前修课“电机学”的专业作为对象组织的内容, 如果前修课为“电机与拖动”的专业, 则建议适当删减第一篇内容(第 1~4 章)。同样, 可以根据前修课的情况选择第四篇(第 11~14 章)相关的内容。
- 3) 不同专业可根据教学要求和计划学时数酌情对内容进行适当取舍。例如, 以“自动化”为代表的弱电专业, 可考虑选择第四篇内容中的第 12 章和第 13 章, 而 11 章可配套选择内容。

本书采用的主要符号及缩写

元件和装置常用的文字符号

ACR 电流调节器
ADC 数模转换控制器
ADR 电流变化率调节器
AMCR 旋转坐标系 M 轴电流调节器
AR 反号器
ASR 转速调节器
ATCR 旋转坐标系 T 轴电流调节器
AVR 电压调节器
 $A\Phi R$ 磁链调节器
C 电容器; 接触器
CALU 中央算术逻辑单元
DHC 滞环比较器
DLC 无环流逻辑控制器
DSP 数字信号处理器
F 直流励磁绕组
G 发电机; 发生器
GT 触发装置
GTF 正组触发装置
GTR 反组触发装置

L 电感, 电抗器
LD 检测电流的微分环节
M 电动机(总称); PWM 信号调制度
NZC 能耗制动接触器
PMS 永磁电动机本体
R 电阻器, 变阻器
RDC 旋转变压器数字变换器
SPI 同步串行接口
ST 速度传感器
T 变压器
TG 测速发电机; 测速装置
TI 电流传感器
TP 转子位置传感器
VD 二极管
VF 正组晶闸管整流器
VR 反组晶闸管整流器
VT 功率开关器件; 晶体管; 晶闸管
ZC 正向接触器
ZOH 零阶补偿器

常用缩写符号

A/D 模-数变换(Analog/Digital)
CVCF 恒压恒频(Constant Voltage Constant Frequency)
D/A 数-模变换(Digital/Analog)
GTO 门极可关断晶闸管(Gate Turn-off Thyristor)
GTR 电力晶体管(Giant Transistor)

IGBT 绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor)
MOSFET 金属-氧化物-半导体场效应晶体管(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)
PWM 脉宽调制(Pulse Width Modulation)
SPWM 正弦脉宽调制(Sinusoidal Pulse

Width Modulation)
 SVPWM 空间矢量脉宽调制 (Space Vector Pulse Width Modulation)
 PID 比例-积分-微分 (Proportional-Integral-Differential)

PMSM 永磁同步电动机 (Permanent Magnet Synchronous Motor)
 VR 矢量旋转变换器 (Vector Rotator)
 VVVF 变压变频 (Variable Voltage Variable Frequency)

参数和物理量文字符号

$C_{3S/2S}$ 三相静止坐标系/二相静止坐标系变换阵
 $C_{3S/2R}$ 三相静止坐标系/二相旋转坐标系变换阵
 $C_{2S/2R}$ 二相静止坐标系/二相旋转坐标系变换阵
 C_{kh} 抗干扰指标中的基准量
 C_m 直流电动机的转矩系数
 C_T 同步电动机的转矩系数
 C_{Te} 异步电动机等效转矩系数
 C_{∞} 阶跃响应的稳态值
 D 旋转部分的直径; 调速范围; 与转速成正比的阻尼系数; 占空比
 E_1 异步电动机定子电动势
 e_a 电枢绕组瞬态反电势
 E_a 直流电枢绕组反电势
 F 工作机构直线作用力 (N); 磁势
 f_1 电源频率
 f_c PWM 波的开关频率
 F_g 工作机构运动时的阻力 (N)
 f_s 采样频率
 F_S 交流绕组同步旋转磁势
 F_R 转子励磁磁势
 g 重力加速度
 G_g 工作机构的重量 (N)
 $G_h(s)$ 零阶保持器的传递函数
 GD^2 飞轮矩 (即飞轮惯量)
 GD_L^2 负载的飞轮矩
 GD_m^2 电动机转子的飞轮矩
 h 频率特性的中频带宽
 i 减速器的传动比
 I_0 异步电动机励磁电流
 I_{1N} 异步电动机定子额定电流

I_{1st} 异步电动机定子起动电流
 i_a 电枢回路瞬态电流
 I_a 直流电枢回路电流
 I_{bj} 电流截止负反馈的截止电流值
 i_d 交流绕组合成电流的 d 轴分量
 I_f 直流励磁电流
 I_{max} 允许最大电流
 i_{M1} 定子三相绕组合成电流的 M 轴分量
 I_N 额定电流
 i_q 交流绕组合成电流的 q 轴分量
 i_S 定子交流绕组合成电流
 I_{st} 起动电流
 i_{T1} 定子三相绕组合成电流的 T 轴分量
 J 旋转体的转动惯量
 $J_a = \frac{GD^2}{375}$ 与转动惯量成正比的系数
 K_d 调节对象的放大系数
 k_{di} 电流变化率反馈系数
 $K_e = C_e \Phi_N$ 直流电动机在额定磁通下的电动势转速比
 K_i 电流调节器 (ACR) 的比例系数
 K_I 电流环开环放大倍数
 $K_m = C_m \Phi_N$ 直流电动机在额定磁通下的转矩电流比
 K_n 转速调节器 (ASR) 的比例系数
 K_N 转速环开环放大系数
 K_p 比例放大系数
 K_{pi} PI 调节器的放大系数
 K_s 晶闸管整流装置的电压放大系数; PWM 变换器的放大倍数
 K_T 无刷直流电动机转矩系数
 l_a 相绕组的自感
 L_a 电枢回路电感

- L_d d 轴同步电感
 L_{dm} 主磁通 d 轴互感
 L_f 励磁绕组的自感, 平波电抗器的电感
 L_{fm} 励磁绕组的互感
 $L_{l\sigma}$ 励磁绕组的漏感
 $L_{m\sigma}$ 定子相间漏互感
 L_q q 轴同步电感
 L_{qm} 主磁通 q 轴互感
 L_{sm} 主磁通定子合成互感
 $L_{s\sigma}$ 定子合成漏电感
 $L(\omega)$ 开环对数幅频特性
 $L_{\sigma 1}$ 异步电动机定子相漏感
 $L'_{\sigma 2}$ 异步电动机折合到定子侧的转子相漏感
 m 质量
 M_p 谐振峰值, 振荡指标
 M_r 闭环幅频特性峰值
 n 电动机转速
 n_0 直流电动机理想空载转速
 n_1 交流电动机同步转速
 n_g 工作机构转速
 n_{max} 最高转速
 n_{min} 最低转速
 n_N 额定转速
 n_w 稳态转速
 P 微分算子 d/dt
 P_1 电机输入功率
 p_{Cu} 铜损耗
 P_e 电磁功率
 P_g 工作机构运动时所需的功率
 P_M 电动机输出功率
 p_n 极对数
 P_L 负载功率
 P_{fe} 允许输出功率
 R_0 功率开关器件的等效电阻
 R_1 异步电动机定子相电阻
 R'_2 异步电动机折合到定子侧的转子相电阻
 r_d 相绕组内阻
 R_a 电枢回路电阻
 R_f 励磁回路电阻; 平波电抗器的电阻
 R_F 反接制动电阻
 R_i 电流采样电阻
 R_s 晶闸管输出等效内阻
 R_z 能耗制动电阻
 R_Ω 电枢串接的分段起动电阻
 $R_{\Sigma a}$ 电枢回路的电阻之和
 s 拉普拉斯变换中置换 d/dt 的变量; 直流电动机静差率; 异步电动机转差率
 s_m 异步电动机临界转差率
 s_N 异步电动机额定转差率
 T_{0di} 电流变化率采样滤波时间常数
 T_{0dn} 转速微分滤波时间常数
 T_{0i} 电流反馈滤波时间常数
 T_{0n} 转速反馈滤波时间常数
 T_{0u} 电压反馈滤波时间常数
 T_c PWM 控制信号的周期
 T_{dn} 转速微分时间常数
 t_f 抗干扰指标的恢复时间; 开关器件的关断时间
 T_f 励磁回路的电磁时间常数
 T_{max} 最大转矩; 异步电动机临界转矩
 T_N 额定转矩
 t_r 跟踪性能指标的上升时间; 集电极电流的上升时间
 t_s 跟踪性能指标的调节时间
 T_{st} 起动转矩
 T_a 电枢电路的电磁时间常数
 T_e 电动机的电磁转矩
 t_F 反接制动时间
 t_f 抗干扰性能指标的恢复时间
 T_g 为工作机构轴上的转矩; 系统惯性时间常数
 T_L 电动机的负载转矩
 T_m 电动机机电时间常数
 T_N 额定转矩
 t_s 跟随性能指标中的调节时间
 T_s 采样周期, 晶闸管整流的滞后时间常数
 T_{st} 起动转矩
 T_{fe} 允许输出转矩
 U 电枢绕组的电压
 U_1 异步电动机定子相电压

U_{cm}	PWM 调制时三角载波的峰值	ζ	阻尼比
U_{ct}	晶闸管整流装置的控制电压	η_c	传动机构的传动效率
U_d	电动机的电枢电压	θ	电角位移
U_{d0}	电动机的空载电枢电压	λ	电机允许过载倍数
U_f	直流电动机励磁电压	μ	磁导率
U_i	电枢电流的测量电压	$\sigma\%$	跟随性能指标中的超调量
U_{im}	电枢限幅电流的电压	τ_D	微分时间常数
U_n	转速的测量电压	τ_i	电流调节器的积分时间常数
U_{rm}	PWM 调制时调制信号的峰值	τ_i	积分时间常数
U_s	电源电压	τ_n	转速调节器的积分时间常数
v_g	工作机构直线运动的速度	τ_u	电压调节器的积分时间常数
$W_{\text{ASR}}(s)$	转速调节器传递函数	τ_w	PI 调节器中的微分系数
$W_{\text{cl}}(s)$	闭环传递函数	Φ	直流电动机的主磁通
$W_d(s)$	调节对象传递函数	Φ_m	异步电动机的主磁通
$W_{\text{op}}(s)$	开环传递函数	$\varphi(\omega)$	开环相频特性
α	测速反馈系数(单位: $\text{V} \cdot \text{min/r}$); 晶闸管整流装置的控制角	φ_s	定子磁链和定子电流之间的夹角
α_f	正组晶闸管 VF 的控制角	ψ	磁链
α_r	反组晶闸管 VR 的控制角	ψ_R	转子磁链
β	机械特性的斜率值; 晶闸管整流装置的逆变角	ψ_s	定子磁链
γ	串电阻起动电流比或起动转矩比; 电压反馈系数	Ω	电动机轴旋转的机械角速度
$\gamma(\omega_c)$	相角稳定裕量	Ω_0	空载机械角速度
ΔC_{max}	抗干扰性能指标的最大动态降落	Ω_1	同步角速度
Δi_a	电枢电流脉动量	Ω_g	工作机构轴的角速度
Δn	直流电动机转速降	ω_1	同步电角速度
Δn_b	闭环系统静特性的转速降	ω_b	系统的闭环截止频率
Δn_k	开环系统机械特性的转速降	ω_c	系统的开环截止频率
ΔT_{max}	允许转矩脉动范围	ω_n	自然振荡频率或称固有频率
$\Delta \psi_{\text{max}}$	磁链允许误差	ω_r	谐振峰值 M_r 时的频率
		ω_s	采样角速度; 异步电动机转差角转速
		ω_{ci}	电流环的开环截止频率
		ω_{cn}	转速环的开环截止频率

常用下角标

abs	绝对值(absolute)	cl	闭环(closed)
av	平均值(average)	C	定子 C 相绕组
A	定子 A 相绕组	f	磁场(field); 励磁
bj	截止	g	气隙(gap); 工作机构
bl	堵转, 封锁(block)	in	输入, 入口(input)
B	定子 B 相绕组	k	短路; 开环
c	控制(control)	L	负载(Load)

m 极限值; 互感

max 最大值(maximum)

min 最小值(minimum)

N 额定值, 标称值(nominal)

op 开环(open loop)

r 转子(rotor); 上升(rise); 反向(reverse)

s 定子(stator); 电源(source); 晶闸管

整流装置

st 起动(start)

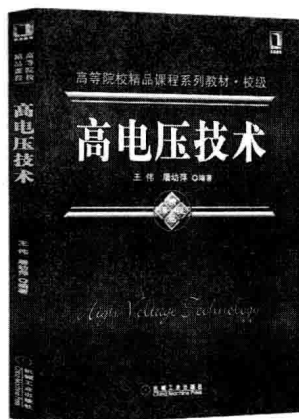
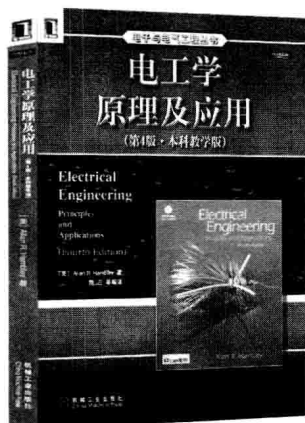
w 稳态

1 定子侧

2 转子侧

∞ 稳态值, 无穷大处

推荐阅读



电工学原理及应用

作者: Allan R. Hambley ISBN: 978-7-111-29336-1 定价: 59.00元

本书基于该书第4版进行改编,保留其中的基本内容,压缩或删除了一些高级内容。第4版还为教师和学生提供了功能强大的网络信息资源套装,详情请登录培生教育的工程实验室网站<http://www.myengineeringlab.com>。本书适用于化工、生物、土木工程等非电专业学生的“电工学”课程,也可以作为电气工程、计算机、自动化等专业学生的专业导论课程的参考教材。

高电压技术

作者: 王伟 屠幼萍 ISBN: 978-7-111-33081-3 定价: 28.00元

本书着重介绍高电压技术最基本的概念、理论和实用方法,主要内容包括气体放电的基本物理过程,气体介质的电气强度,高电压绝缘中气体、固体、液体和组合绝缘的电气特性,电气设备绝缘预防性试验,电气设备绝缘在线监测,输电线路和绕组中的波过程,雷电及防雷保护装置,输电线路的防雷保护,发电厂和变电站的防雷保护,电力系统内部过电压以及电力系统的绝缘配合原则等。

交流调速控制系统

作者: 周元钧 ISBN: 978-7-111-40951-9 定价: 45.00元 2013年4月出版

本书的编写注重交流调速技术在自动化领域应用的特点,重点阐述了变频交流调速系统的原理、控制方法和系统结构,内容包括了无刷直流电动机、同步电动机、异步电动机和开关磁阻电动机构成的交流调速系统,其中重点叙述了近年来得到广泛应用的无刷直流电动机。该书的突出特点是加强了变频交流调速的基础知识,针对的是采用现代电力电子和微处理器的控制方法,还介绍了部分航空航天领域的应用技术和实例。

目 录

前 言

教学建议

本书采用的主要符号与缩写

第一篇 电力传动基础

第 1 章 电力传动系统动力学 2

1.1 直接驱动的电力传动系统 动力学 2

1.2 复杂机械结构的电力传动系统 动力学 3

1.2.1 工作机构做旋转运动 3

1.2.2 工作机构做平移运动 5

1.2.3 工作机构做升降运动 6

1.2.4 例题 7

1.3 电力传动系统的负载特性 9

1.3.1 恒转矩负载特性 9

1.3.2 通风机型负载特性 9

1.3.3 恒功率负载特性 10

1.3.4 组合型负载特性 10

1.4 小结 11

习题 11

第 2 章 直流电动机的静特性 13

2.1 直流他励电动机的机械 特性 13

2.1.1 自然机械特性 13

2.1.2 人为机械特性 14

2.2 直流他励电动机的起动 15

2.2.1 直流他励电动机的起动 方法 15

2.2.2 电枢串入电阻的起动 方法 16

2.2.3 直流他励电动机的降压 起动 19

2.3 直流他励电动机的制动 20

2.3.1 直流他励电动机的能耗 制动 20

2.3.2 直流他励电动机的反接 制动 22

2.3.3 回馈制动(再生制动或发电 制动) 24

2.4 直流他励电动机的调速 26

2.4.1 电枢串联电阻调速 26

2.4.2 改变电枢电压调速 27

2.4.3 改变磁通调速 27

2.5 调速系统电动机与负载的 配合 28

2.5.1 电动机允许输出的转矩和 功率 28

2.5.2 调速方式与负载类型的 配合 29

2.5.3 电力传动系统在平衡状态 下稳定运行的条件 30

2.6 直流他励电动机的运转 状态 32

2.6.1 电动运转状态	32	3.5 调速系统的最佳过渡过程	58
2.6.2 制动运转状态	33	3.5.1 直流电动机最短时间 启动	58
2.6.3 直流他励电动机在摩擦 负载转矩下四象限运行 的分析	34	3.5.2 直流电动机最短时间 制动	59
2.6.4 位能负载生产机械运动 过程四象限分析	36	3.5.3 直流电动机最佳过渡 过程	59
2.7 直流串励/复励电动机的电力 传动	39	3.6 小结	60
2.7.1 直流串励电动机的机械 特性	39	习题	61
2.7.2 直流复励电动机的机械 特性	40	第4章 三相异步电动机的静特性	62
2.8 小结	41	4.1 三相异步电动机的机械 特性	62
习题	41	4.2 三相异步电动机的调速	63
第3章 直流电力传动系统的过渡 过程	42	4.2.1 异步电动机变频调速	63
3.1 概述	42	4.2.2 异步电动机变极调速	68
3.2 电枢电压突变时的过渡 过程	42	4.2.3 变转差率调速	71
3.2.1 直流他励电动机的动态 模型	43	4.3 三相异步电动机的启动	77
3.2.2 电压突变时的过渡 过程	44	4.3.1 启动问题与解决途径	77
3.2.3 简化动态模型和过渡 过程	45	4.3.2 笼型异步电动机不变频 启动	78
3.3 启动控制时的过渡过程	47	4.3.3 绕线式异步电动机变转差 启动	83
3.3.1 分段电阻启动时的过渡 过程	47	4.3.4 笼型异步电动机变频 启动	86
3.3.2 制动控制时的过渡 过程	50	4.4 三相异步电动机的制动	87
3.4 励磁磁通突变时的过渡 过程	56	4.4.1 回馈制动	87
3.4.1 励磁回路过渡过程	56	4.4.2 反接制动	88
3.4.2 励磁回路过渡过程的 加快	56	4.4.3 能耗制动	89
3.4.3 励磁回路过渡过程的 延缓	57	4.5 小结	90
		习题	91
		第二篇 晶闸管直流调速系统	
		第5章 晶闸管单闭环直流调速 系统	94
		5.1 调速系统的技术指标	94
		5.1.1 稳态调速指标	94
		5.1.2 动态性能指标	96

5.1.3 调速系统的其他指标	97	6.1.1 问题的提出	121
5.2 单闭环控制调速系统	97	6.1.2 转速、电流双闭环调速 系统的组成	122
5.2.1 单闭环调速系统的组成与 静特性	98	6.1.3 稳态结构图和静特性 ...	122
5.2.2 开环系统和闭环系统的静 特性比较	99	6.1.4 各变量的稳态工作点和 稳态参数	123
5.2.3 反馈控制系统的特性 ...	101	6.2 双闭环调速系统的动态 性能	124
5.3 单闭环调速系统的限流 保护	103	6.2.1 双闭环调速系统的动态 数学模型	124
5.3.1 问题的提出	103	6.2.2 双闭环调速系统起动过程 分析	125
5.3.2 电流截止负反馈原理 ...	103	6.2.3 动态性能和两个调节器的 作用	127
5.3.3 带电流截止负反馈的调速 系统的静特性	104	6.2.4 转速超调的控制——转速 微分负反馈	128
5.4 单闭环调速系统的动态模型 和稳定条件	105	6.3 三闭环调速系统	130
5.4.1 反馈控制闭环调速系统的 动态数学模型	105	6.3.1 带电流变化率的三环调速 系统	130
5.4.2 比例调节的单闭环调速 系统的稳定条件	108	6.3.2 带电压内环的三环调速 系统	132
5.5 单闭环调速系统的无静差 校正	109	6.4 可逆调速系统	133
5.5.1 积分调节器的控制 规律	109	6.4.1 可逆调速系统的形式 ...	133
5.5.2 比例积分调节器的控制 规律	111	6.4.2 两组晶闸管可逆线路中的 环流	134
5.5.3 稳态抗扰误差分析	113	6.4.3 有环流可逆调速系统 ...	137
5.6 单闭环调速系统的校正 方法	114	6.4.4 逻辑无环流可逆调速 系统	140
5.6.1 控制系统对开环对数频率 特性的一般要求	114	6.5 小结	143
5.6.2 原始系统的开环对数频率 特性	115	习题	143
5.6.3 调速系统的串联校正 ...	116	第7章 直流调速系统的工程设计 方法	144
5.7 小结	119	7.1 自动控制系统的工程设计 方法	144
习题	120	7.1.1 工程设计方法步骤	144
第6章 多环控制的晶闸管直流调速 系统	121	7.1.2 控制系统的类型与稳态 特性	145
6.1 转速、电流双闭环调速系统 及其静特性	121		