

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

交直流调速系统与 MATLAB 仿真

周渊深 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

交直流调速系统与 MATLAB 仿真

主编 周渊深

编著 周渊深 宋永英 朱希荣

主审 张万忠



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

本书主要介绍直流和交流调速系统,以及调速系统的仿真技术。它是一本将交直流调速技术和 MATLAB 仿真技术有机结合在一起的新颖教材,兼顾了应用型本科和高等职业教育的教学需要。本书遵循理论和实际相结合的原则,强调工程应用,具有如下特点:①本着实用的原则,尽量简化理论推导,注重物理概念的阐述与分析;②主要的理论教学内容都配有相关的实例分析,做到学以致用;③书中安排了实验及课程设计指导书,将实训内容与理论教学内容紧密结合;④每章开头有内容提要,章尾有小结和习题。本书首次采用了基于调速系统电气原理结构图的仿真技术,仿真实验方法与实物实验方法相似;与实物实验结果相比较,仿真结果的可信度很高。

本书可作为高等院校的自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等专业,以及高等职业技术学院、高等专科学校、继续教育学院等专科层次学校的电气技术、工业电气自动化、机电应用技术等专业学生的教材,也可作为广大电气爱好者和工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

交直流调速系统与 MATLAB 仿真/周渊深主编. —北京:
中国电力出版社, 2003
普通高等教育“十五”规划教材
ISBN 7-5083-2023-9

I. 交… II. 周… III. ①直流电机-调速-计算机辅助计算-软件包, MATLAB-高等学校-教材 ②交流电机-调速-计算机辅助计算-软件包, MATLAB-高等学校-教材
IV. ①TM330.12 ②TM340.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 122210 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售

2003 年 12 月第一版 2003 年 12 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 418 千字
印数 0001—3000 册 定价 27.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有

330113/6

本学科(专业)的特色,而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同,同一门课程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审,推荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222)

中国电力教育协会

二〇〇二年八月

前言

本书是电类专业系列教材的重要组成部分,它根据应用型本科和高等职业教育教学要求而编写,兼顾了应用型本科和高等职业教育的教学需要。本书主要介绍直流和交流调速系统,以及调速系统的仿真技术,并遵循理论和实际相结合的原则,使学生既掌握各种系统的基本原理,又掌握这类系统的分析方法及应用。本教材注重反映工业中新的调速技术、新的调速系统,将交直流调速系统融合在一起,并加大了交流调速内容的比例。本教材内容选材合理,理论联系实际,强调工程应用,根据工程现场要求进行内容取舍,具有如下特点:①本着实用的原则,尽量简化理论推导,注重物理概念的阐述与分析;②主要的理论教学内容都配有相关的实例分析,做到学以致用;③书中安排了实验及课程设计指导书,将实训内容与理论教学内容紧密结合;④每章开头有内容提要,章尾有小结和习题。

《交直流调速系统》是一门实践性很强的专业课,为了加强实践能力的培养,编者结合自己的科研工作,提出了基于调速系统电气原理结构框图的仿真技术,并完成了交直流调速系统中典型系统的仿真实验。该仿真技术有与实物实验相似的实验方法,与实物实验结果相比较,其仿真结果的可信度很高。

全书除绪论、实验和课程设计指导书外分为六章:第一章为 MATLAB/Simulink/Power System 初步介绍,可根据学生情况,作为自学内容;第二章介绍单闭环直流调速系统及其仿真技术,着重闭环控制系统基本概念的建立、系统的工程实现,学习分析调速系统的基本方法和实现对单闭环直流调速系统的仿真实验;第三章为多环调速系统及其仿真,重点介绍转速、电流双闭环调速系统以及直流调速系统的工程设计方法,完成了双闭环、三环系统的仿真;第四章介绍直流可逆调速系统和脉宽调速系统及其仿真技术,重点讨论可逆系统中的环流问题及相关处理技术,并概要介绍了直流 PWM 调速系统,以及可逆系统和直流 PWM 调速系统的仿真;第五章介绍交流调压调速系统和串级调速系统,注重与直流调速系统进行对比分析,给出了交流调压调速系统和串级调速系统的仿真实例;第六章介绍了笼式异步电动机的变频调速系统,重点讨论了各种变频器尤其是 SPWM 变频技术以及由其构成的变频调速系统,简明扼要地介绍了矢量控制新技术并进行了系统的仿真。

本教材是将交直流调速技术和 MATLAB 仿真技术有机结合在一起的新颖教材,它以

《交直流调速系统》为基础，保留了“交直流调速技术”的基本内容；然后将“MATLAB 仿真技术”的内容穿插到“交直流调速系统”的各章节，以体现其针对性。但仿真技术的内容也可自成体系，即将第一章和后续各章最后一节的内容组合起来，就是调速系统的 MATLAB 仿真技术的内容，其余内容即为交直流调速技术的基本内容。

本书由淮海工学院周渊深博士编著，并编写了第一、五、六章及第二章的三、四、五节和全部系统的仿真实验；宋永英编写了实验和课程设计指导书以及第四章的调速系统部分，并对全部实物实验进行了试做；朱希荣编写了绪论，第二章的一、二节及第三章的调速系统部分。全书由周渊深统稿。

本书由淮海工学院张万忠主审，对本教材提出了许多衷恳和建设性的意见，江苏省溧阳市电子电器设备厂的许开其高级工程师也审阅了本书并提出了修改意见，在此表示诚挚的谢意。在编写本书的过程中参阅和利用了部分兄弟院校的教材及国内外文献资料，对原作者也一并致谢。

由于编者水平有限和编写时间比较仓促，书中疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

2003 年 8 月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 MATLAB/Simulink/Power System 初步	7
第一节 Simulink 模块库简介	8
第二节 电力系统 (Power System) 模块库简介	13
第三节 Simulink/Power System 的模型窗口	18
第四节 Simulink/Power System 模块的基本操作	22
第五节 Simulink/Power System 系统模型的操作	25
第六节 Simulink/Power System 子系统的建立和 Mask 功能	26
第七节 Simulink/Power System 系统的仿真	30
第二章 单环直流调速系统及其仿真	35
第一节 直流调速系统的基本概念	35
第二节 转速负反馈有静差直流调速系统	39
第三节 其它反馈形式在调速系统中的应用	54
第四节 转速负反馈无静差直流调速系统	56
第五节 单环直流调速系统的 MATLAB 仿真	63
本章小结	75
习题与思考题	76
第三章 多环调速系统及其仿真	79
第一节 转速、电流双闭环调速系统	79
第二节 多环调速系统	86
第三节 直流调速系统的工程设计方法	87
第四节 多环调速系统的设计	99
第五节 工程设计方法在双闭环直流调速系统中的应用	102

第六节 多环直流调速系统的 MATLAB 仿真	111
本章小结	115
习题与思考题	116
第四章 直流可逆调速系统和脉宽调速系统及其仿真	118
第一节 可逆调速系统的可逆电路	118
第二节 可逆调速系统中的环流分析	122
第三节 有环流可逆调速系统	125
第四节 无环流可逆调速系统	131
第五节 直流脉宽调速系统	139
第六节 直流可逆和直流脉宽调速系统的 MATLAB 仿真	151
本章小结	157
习题与思考题	159
第五章 交流调压调速系统和串级调速系统及其仿真	161
第一节 概述	161
第二节 交流异步电动机调压调速系统	162
第三节 绕线式异步电动机串级调速系统	172
第四节 交流调压调速系统和串级调速系统的 MATLAB 仿真	187
本章小结	193
习题与思考题	194
第六章 交流异步电动机变频调速系统及其仿真	196
第一节 变频调速的基本控制方式和机械特性	196
第二节 变频器的分类与特点	201
第三节 交-直-交变频器及其变频调速系统	206
第四节 正弦波脉宽调制 (SPWM) 变频器及其调速系统	216
第五节 异步电动机矢量控制的变频调速系统	226
第六节 交-交变频和矢量控制调速系统的 MATLAB 仿真	234
本章小结	245
习题与思考题	246
交直流调速系统实验指导书	248
一、交直流调速系统实验概述	248
二、交直流调速系统实验内容	249
实验一 单闭环晶闸管直流调速系统实验	249
实验二 双闭环晶闸管不可逆直流调速系统实验	253

实验三 逻辑无环流可逆直流调速系统实验	256
实验四 双闭环三相异步电动机调压调速系统实验	260
实验五 双闭环三相异步电动机串级调速系统实验	264
实验六 串联二极管式电流源型逆变器-异步电动机变频调速系统实验	266
实验七 正弦脉宽调制 (SPWM) 变频调速系统实验	270
交直流调速系统课程设计指导书	274
一、课程设计大纲	274
二、课程设计任务书	275
参考文献	278

绪 论

一、运动控制系统概述

(一) 运动控制系统及其分类

运动控制系统是以机械运动的驱动设备——电动机为被控对象，以控制器为核心，以电力电子功率变换装置为执行机构，在自动控制理论指导下组成的电力传动自动控制系统。这类系统控制电动机的转矩、转速和转角，将电能转换为机械能，实现运动机械的运动要求。

运动控制系统的种类繁多，用途各异。

(1) 按被控物理量分。以转速为被控量的系统叫调速系统；以角位移或直线位移为被控量的系统叫位置随动系统，有时也叫伺服系统。

(2) 按驱动电动机的类型分。用直流电动机带动生产机械的为直流传动系统；用交流电动机带动生产机械的为交流传动系统。

(3) 按控制器的类型分。以模拟电路构成控制器的系统称为模拟控制系统；以数字电路构成控制器的系统称为数字控制系统。

另外，按照控制系统中闭环的多少，也可分为单环控制系统、双环控制系统和多环控制系统；按控制原理的不同也可分很多种。对于某一具体的运动控制系统可能是这些分类方法的交叉，如用 8051 单片机实现的双环数字直流调速系统。

(二) 运动控制系统的发展过程及其应用

纵观运动控制系统的发展历程，交、直流两大电气传动并存于各个工业领域，虽然各个时期科学技术的发展使它们所处的地位、所起的作用不同，但它们始终是随着工业技术的发展，特别是电力电子和微电子技术的发展，在相互竞争、相互促进中，不断完善并发生着变化。由于历史上最早出现的是直流电动机，所以 19 世纪 80 年代以前，直流电气传动是惟一

的电气传动方式。直到 19 世纪末,出现了交流电动机,且解决了三相制交流电的输送和分配问题,并制成了经济适用的鼠笼异步电动机,才使交流电气传动在工业中逐步地得到广泛的应用。

随着生产技术的发展,对电气传动在启制动、正反转以及调速精度、调速范围、静态特性、动态响应等方面提出了更高要求,这就要求大量使用调速系统。由于直流电机的调速性能和转矩控制性能好,从 20 世纪 30 年代起,就开始使用直流调速系统。它的发展过程是这样的:由最早的旋转变流机组控制发展为放大机、磁放大器控制;再进一步,用静止的晶闸管变流装置和模拟控制器实现直流调速;再后来,用可控整流和大功率晶体管组成的 PWM 控制电路实现数字化的直流调速,使系统的快速性、可靠性、经济性不断提高。调速性能的不断改进,使直流调速系统的应用非常广泛,然而由于直流电机具有电刷和换向器,制造工艺复杂且成本高,维护麻烦,使用环境受到限制等缺点,并且很难向高转速、高电压、大容量发展,因而逐渐显示出直流调速的弱点。

普遍应用于恒速运行场合的交流电机,可以弥补直流电机的不足,于是人们又开始了新一轮的交流调速的研究。仅对占传动总量 1/3 强的风机、水泵设备而言,如果改恒速为调速的话,就可以节电 30% 左右。近三四十年来,随着电力电子技术、微电子技术、现代控制理论的发展,为交流调速产品的开发创造了有利条件,使交流调速系统逐步具备了宽调速范围、高调速精度、快速动态响应和四象限运行等技术性能,并实现了产品的系列化,从调速性能看,完全可与直流调速系统相媲美。目前交流调速系统已逐步占据主导地位。

(三) 运动控制系统的发展趋势

归纳目前大量应用的运动控制系统,并对技术发展和应用需求进行全面分析之后,我们可以总结出下列发展趋势:

(1) 高频化。在功率驱动装置中,低频的半控器件——晶闸管在中小功率范围将会被高频的全控器件——大功率晶体管所代替,这既可提高系统性能,又可改善电网的功率因素。

(2) 交流化。由于交流电机本身的优势,交流调速系统取代直流调速系统已成为一种不可逆转的趋势。随着交流调速系统成本的逐步降低,不仅现有的直流调速系统将被交流调速系统取代;而且,大量的原来恒速运行的交流传动系统将改为交流调速系统,原来直流调速所不能达到的高转速、大功率领域,也将采用交流调速系统。

(3) 网络化。微处理器的发展,使数字控制器简单而又灵活,同时为联网提供了可能。随着系统规模的扩大和系统复杂性的提高,单机的控制系统越来越少,取而代之的是大规模多机协同工作的高度自动化系统,这就需要计算机网络的支持,传动设备及控制器作为一个节点连到现场总线或工业控制网上,实现集中或分散的生产过程实时监控。

另外,借助于数字和网络技术,智能控制如模糊控制、神经网络控制、解耦控制等,已深入到运动控制系统的各个方面,各种观测器和辨识技术应用于运动控制系统中,大大改善了控制系统的性能,为运动控制系统走向复杂的多层的网络控制提供了可能。运动控制系统正由简单的单机控制系统走向多机多种控制过程协调的系统集成阶段。

二、自动调速系统概述

运动控制系统中应用最普遍的是自动调速系统,在工程实践中,有许多生产机械要求在

一定的范围内进行速度的平滑调节,并且要求有良好的稳态、动态性能。

自动调速系统主要包括直流调速系统和交流调速系统。

(一) 直流调速控制技术发展概况

直流调速系统的主要优点在于调速范围广、静差率小、稳定性好以及具有良好的动态性能。在高性能的拖动技术领域,相当长时期内几乎都采用直流电力拖动系统。按供电方式不同,它可分为交流拖动的直流发电机组供电、水银整流器供电和晶闸管供电三类。

目前,我国直流调速控制的发展趋势主要有以下几个方面:

- (1) 提高调速系统的单机容量。
- (2) 提高电力电子器件的生产水平,使变流器结构变得简单、紧凑。
- (3) 提高控制单元水平,使其具有控制、监视、保护、诊断及自复原等多种功能。

(二) 交流调速控制技术概况

交流电动机自 1885 年出现后,由于一直没有理想的调速方案,因而只被应用于恒速拖动领域。20 世纪 70 年代后,矢量控制、直接转矩控制、无速度传感器等交流调速控制技术的发展方兴未艾,各种智能控制策略不断涌现,展现出广阔的应用前景,必将进一步推动交流调速控制技术的发展。

三、控制系统的计算机仿真

控制系统的计算机仿真是一门涉及到控制理论、计算数学和计算机技术的综合性新型学科。它是以控制系统的数学模型为基础,以计算机为工具,对系统进行实验研究的一种方法。系统仿真就是用模型(物理模型或数学模型)代替实际系统进行实验和研究,而计算机仿真能够为各种实验提供方便、廉价、灵活可靠的数学模型。因此,凡是要用模型进行实验的,几乎都可以用计算机仿真来研究被仿真系统的工作特点、选择最佳参数和设计最合理的系统方案。随着计算机技术的发展,计算机仿真越来越多地取代纯物理仿真,它为控制系统的分析、计算、研究、综合设计以及自动控制系统的计算机辅助教学提供了快速、经济、科学及有效的手段。

目前,比较流行的控制系统仿真软件是 MATLAB,使用 MATLAB 对控制系统进行计算机仿真的主要方法是:以控制系统的传递函数为基础,使用 MATLAB 的 Simulink 工具箱对其进行计算机仿真研究。作者将在本教材中提出一种新的面向控制系统电气原理结构图,使用 Power System 工具箱进行调速系统仿真的新方法。

四、调速控制系统的技术指标

不同的生产机械,因生产工艺的不同,对控制系统的性能指标要求也有所不同,归纳起来有下列三个方面:

- (1) 调速。在一定的最高转速和最低转速范围内,有级或无级地调节转速。
- (2) 稳速。以一定的精度在要求的转速上稳定运行,不因各种可能的外来扰动(负载变化、电网电压波动等)而产生过大的转速波动,以确保产品质量。
- (3) 加、减速控制。对频繁启、制动的设备要求尽可能快地加、减速,缩短启、制动时间,以提高生产效率;对不宜经受剧烈速度变化的机械,则要求启、制动尽可能的平稳。

上述三方面要求,可具体转化为调速系统的稳态和动态两方面的性能指标。

(一) 稳态性能指标

所谓稳态性能指标是指系统稳定运行时的性能指标,如调速系统稳定运行时的调速范围和静差率等。下面具体介绍调速系统中的稳态性能指标。

1. 调速范围

交直流调速控制系统的调速范围是指电动机在额定负载下,运行的最高转速与最低转速之比,用 D 表示,即

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (0-1)$$

对于调压调速系统来说,电动机的最高转速 $n_{\max}$ 等于其额定转速 n_n 。 D 越大,说明系统的调速范围越宽。对于少数负载很轻的机械,如磨床,也可以用实际负载时的转速来定义调速范围。

根据这个指标的大小,交直流调速控制系统可分为:① $D < 3$, 为调速范围小的系统;② $3 \leq D < 50$, 为调速范围中等的系统;③ $D \geq 50$, 为宽调速范围的系统。现代交直流调速控制系统的调速范围可以做到 $D \geq 10000$ 。

2. 静差率

当系统在某一转速下运行时,负载由理想空载增加到额定值所引起的额定转速降落 Δn_n , 与理想空载转速 n_0 之比,称作静差率,用 s 表示,即

$$s = \frac{\Delta n_n}{n_0} = \frac{n_0 - n_n}{n_0}$$

或用百分数表示

$$s\% = \frac{\Delta n_n}{n_0} \times 100\% \quad (0-2)$$

静差率是用来表示负载转矩变化时电动机转速变化的程度,它与机械特性的硬度有关,特性越硬,静差率越小,转速稳定度越高。

然而静差率和机械特性硬度又是有区别的。图 0-1 的两条特性 a 和 b 为调压调速系统的机械特性,两者的硬度相同,即额定速降 $\Delta n_{n,a} = \Delta n_{n,b}$;但它们的静差率却不同,其原因是理想空载转速不同。根据式 (0-2) 的定义,由于 $n_{0a} > n_{0b}$, 所以 $s_a < s_b$ 。这就是说,对于同样硬度的特性,理想空载转速越低,静差率越大,转速的相对稳定度也越差。在一个交直流调速系统中,如果能满足最低速时的静差率 s 要求,则大于最低速的静差率一般都能满足要求。所以,一般所提的静差率要求是指系统在最低速时的静差率指标。

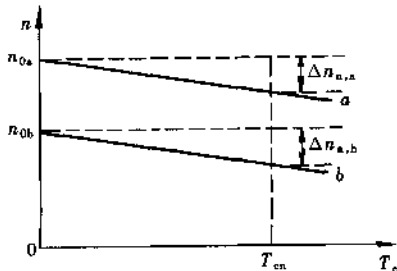


图 0-1 不同转速下的静差率

调速范围和静差率这两项指标是相互联系的。例如,额定负载时的转速降落 $\Delta n_n = 50 \text{ r/min}$, 当理想空载转速 $n_0 = 1000 \text{ r/min}$ 时,转速降落占 5%;当 $n_0 = 500 \text{ r/min}$ 时,转速降落占 10%;当 $n_0 = 50 \text{ r/min}$ 时,转速降落占到 100%,电动机就停止转动了。由此可见,离开了对静差率的要求,调速范围便失去了意

义。也就是说,一个调速系统的调速范围,是指在最低速时满足静差率要求下系统所能达到的最大调节范围。脱离了静差率的要求,任何调压调速系统都可以得到极高的调速范围;脱离了调速范围,静差率要满足要求也容易得多了。

3. D 、 s 、 Δn_n 之间的关系

因为调速系统的静差率是指系统工作在最低速时的静差率,即

$$s = \frac{\Delta n_n}{n_{0\min}}$$

于是有 $n_{\min} = n_{0\min} - \Delta n_n = \frac{\Delta n_n}{s} - \Delta n_n = \frac{1-s}{s} \Delta n_n$, 代入调速范围的表达式 $D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$, 得

$$D = \frac{s n_n}{\Delta n_n (1-s)} \quad (0-3)$$

式 (0-3) 表示调速范围、静差率和额定转速降之间所应当满足的关系。对于同一个调速系统,它的特性硬度或 Δn_n 值是一定的,因此由式 (0-3) 可见,对静差率 s 的要求越小,则系统能够达到的调速范围越小。

例如,某调速系统的额定转速 $n_n = 1450 \text{ r/min}$, 额定速降 $\Delta n_n = 80 \text{ r/min}$, 当要求静差率 $s \leq 25\%$ 时,系统能达到的调速范围是

$$D = \frac{s n_n}{\Delta n_n (1-s)} = \frac{0.25 \times 1450}{80 (1-0.25)} = 6.04$$

如果要求 $s \leq 15\%$, 则调速范围只有

$$D = \frac{s n_n}{\Delta n_n (1-s)} = \frac{0.15 \times 1450}{80 (1-0.15)} = 3.20$$

当对 D 、 s 都提出一定要求时,为了满足要求,就必须使 Δn_n 小于某一个值。可见调速要解决的问题就是如何减少转速降落。

(二) 动态性能指标

交直流调速系统在动态过程中的指标称为动态性能指标。由于实际系统存在着电磁和机械惯性,因此,当转速调节时总有一个动态过程。衡量交直流调速系统动态性能的指标可分为跟随性能指标和抗扰性能指标两类。

1. 跟随性能指标

交直流调速系统的跟随性能指标一般用零初始条件下,系统对阶跃给定输入信号的输出响应过程来表示。系统对给定输入的典型跟随过程如图 0-2 所示。其主要跟随性能指标有:

(1) 上升时间 t_r 。在阶跃响应过程中,输出量从零开始,第一次上升到稳态值 C_∞ 所经历的时间称为上升时间,它反映了系统动态响应的快速性。

(2) 超调量 σ 。在阶跃响应过程中,输出量超出稳态值的最大偏差与稳态值之比的百分值,称为超调量,即

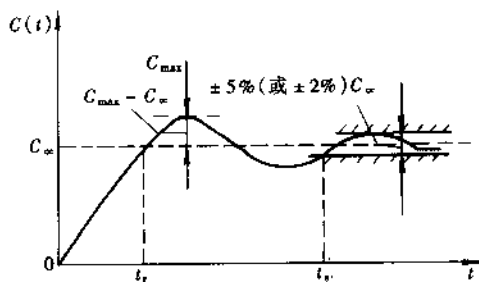


图 0-2 阶跃响应曲线和跟随性能指标

$$\sigma\% = \frac{C_{\max} - C_{\infty}}{C_{\infty}} \times 100\% \quad (0-4)$$

超调量反映了系统的相对稳定性,超调量越小,相对稳定性越好,即动态响应比较平稳。

(3) 调节时间 t_s 。在阶跃响应过程中,输出衰减到与稳态值之差进入 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 的允许误差范围之内所需的最小时间,称为调节时间,又称为过渡过程时间。调节时间是用来衡量系统整个调节过程快慢的,调节时间 t_s 越小,系统响应的快速性越好。

在实际系统中,快速性和稳定性往往是相互矛盾的。减小了超调量往往就延长了过渡过程调节时间;加快过渡过程却又增大了超调量。对于一般要求的系统,可以根据生产工艺的要求,哪一方面的性能是主要的,就以哪一方面为主。对于特殊要求的较高性能的系统,还可以考虑采用一些综合性的优化性能指标。本书只讨论一般要求的系统,这对于大多数的控制系统的设计和调整来说,已经足够了。

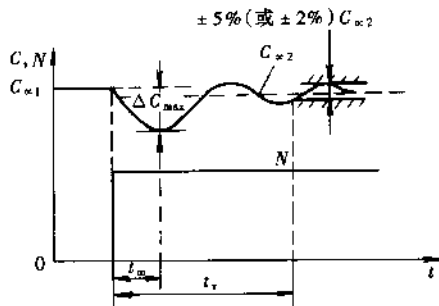


图 0-3 突加扰动的动态过程和抗扰性能指标

态值 $C_{\infty 1}$ 的百分数表示,即

$$\Delta C_{\max}\% = \frac{\Delta C_{\max}}{C_{\infty 1}} = 100\% \quad (0-5)$$

当输出量在动态降落后又恢复到新的稳态值 $C_{\infty 2}$ 时,偏差 $C_{\infty 1} - C_{\infty 2}$ 表示系统在该扰动作用下的稳态降落,动态降落一般都大于稳态降落。调速系统突加额定负载扰动时的动态降落称为动态速降 $\Delta n_{\max}$ 。

(2) 恢复时间 t_v 。从阶跃扰动作用开始,到输出量恢复到与新稳态值 $C_{\infty 2}$ 之差进入 $C_{\infty 2}$ 的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 范围之内所需的时间,称为恢复时间 t_v ,如图 0-3 所示。一般来说,阶跃扰动下输出量的动态降落越小,恢复时间越短,系统的抗扰能力越强。

实际控制系统对于各种动态指标的要求各异。例如,可逆轧钢机需要连续正反向轧制钢材多次,因而对系统的动态跟随性能和抗扰能要求都较高;而一般不可逆的调速系统则主要要求有一定的抗扰性能,跟随性能好坏问题不大。数控机床的加工轨迹控制和仿形机床的跟踪控制要求有较严格的跟随性能;而雷达天线随动系统则对跟随性能和抗扰性能都有一定的要求。一般来说,调速系统的动态指标以抗扰性能为主,而随动系统的动态指标则以跟随性能为主。

2. 抗扰性能指标

当控制系统在稳定运行过程中受到电动机负载变化,电网电压波动等干扰因素的影响时,会引起输出量的变化,经历一段动态过程后,系统总能达到新的稳态。这一恢复过程就是系统的抗扰过程。一般以系统稳定运行中突加一个使输出量降低的扰动以后的过渡过程作为典型的抗扰过程,如图 0-3 所示。抗扰性能指标定义如下:

(1) 动态降落 $\Delta C_{\max}\%$ 。系统稳定运行时,突加一个扰动量 N ,在过渡过程中引起输出量的最大降落值 $\Delta C_{\max}$ 称为动态降落,一般用输出量原稳

第一章

MATLAB/Simulink/Power System 初步

内 容 提 要

本章简要叙述了 MATLAB 语言的 Simulink 和 Power System 模块库的构成, 模块库中各模块的简单用途; 介绍了 Simulink 和 Power System 的模型窗口和菜单; 说明了对 Simulink /Power System 模块库和系统模型的基本操作; 还介绍了子系统的建立和封装技术; 最后介绍了系统的仿真技术。

Simulink 是 The MathWorks 公司于 1990 年推出的产品, 是在 MATLAB 环境下建立系统框图和仿真的模块库。“Simu”一词表明它可以用于计算机模拟, 而“Link”一词表明它能进行系统连接, 即把一系列模块连接起来, 构成复杂的系统模型。正是由于 Simulink 的这两大功能和特色, 使它成为仿真领域首选的计算机环境。

Simulink 环境下可以使用的电力系统仿真模块库 (Power System Blockset) 主要是由加拿大的 Hydro Quebec 和 TECSIM International 公司共同开发的, 其功能非常强大, 可以用于电路、电力电子系统、电机系统、电力传输等领域的仿真, 提供一种类似电路搭建的方法用于系统模型的绘制。

本章首先系统地叙述 Simulink、Power System 模块库所包含的模块; 其次介绍模块的使用方法, 如模块旋转、模块连接等, 并介绍搭建 Simulink、Power System 系统模型的方法; 最后介绍子系统的封装和仿真技术。