

21
世纪

21世纪高职高专系列教材

电力拖动与控制

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社

China Machine Press

21世纪高职高专系列教材

电力拖动与控制

中国机械工业教育协会 组编

主 编	江苏理工大学	刘贤兴
副主编	包头职业技术学院	朱 宁
参 编	武汉船舶职业技术学院	余 华
	武汉船舶职业技术学院	岳秋琴
主 审	沈阳工业大学	谢书明



机械工业出版社

本书是根据高等职业技术教学要求编写的,内容主要包括直流和交流拖动控制系统。直流拖动部分主要介绍单闭环、双闭环、可逆及直流 PWM 调速系统;交流拖动部分主要介绍转差功率消耗型、转差功率不变型和转差功率回馈型调速系统,其中重点介绍了变频调速及变频器的使用。全书共 8 章。每章后均配有有一定数量的习题。全书力求从实际问题出发,理论联系实际,具有较强的应用性。

本书可作为高等职业技术院校、高等学校专科、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院等大专及本科层次的自动化、电气工程及自动化、机电一体化等专业学生的教材,也可作为广大自学者及工程技术人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力拖动与控制/中国机械工业教育协会组编. —北京:机械工业出版社,2001.5

21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08395-4

I. 电… II. 中… III. 电力传动-控制系统-高等学校:技术学校-教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 026922 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:郑文斌 版式设计:霍永明 责任校对:魏俊云

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.25 印张·273 千字

0 001—4 000 册

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任 (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰

大连理工大学 唐志宏

天津大学 周志刚

甘肃工业大学 路文江

江苏理工大学 杨继昌

成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)

沈阳工业大学 李荣德

河北工业大学 檀润华

武汉船舶职业技术学院 郭江平

金华职业技术学院 余党军

编委会委员 (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华

山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明

上海电机技术高等专科学校 徐余法

天津中德职业技术学院 李大卫

天津理工学院职业技术学院 沙洪均

日照职业技术学院 李连业

北方交通大学职业技术学院 佟立本

辽宁工学院职业技术学院 李居参

包头职业技术学院 郑刚

北京科技大学职业技术学院 马德青

北京建设职工大学 常莲

北京海淀走读大学 成运花

江苏理工大学 吴向阳

合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章

机械工业出版社 李超群 余茂祚 (常务)

沈阳建筑工程学院 王宝金

佳木斯大学职业技术学院 王跃国

河北工业大学 范顺成

哈尔滨理工大学工业技术学院 钱恒录

洛阳大学 吴锐

洛阳工学院职业技术学院 李德顺

南昌大学 肖玉梅

厦门大学 朱立秒

湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪

彭城职业大学 陈嘉莉

燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议，作出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，强调教育在综合国力的形成中处于基础地位，坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务；以适应社会需要为目标；以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案；以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系；高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求；教材可以“一纲多本”，形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求，中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本（书目附书后）已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制（总学时1600~1800）、兼顾2年制（总学时1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强了针对性和实用性，强化了实践教学。为了扩大使用面，在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的，但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量，真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材，组织编写队伍时，采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿，以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验，出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材，在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

本书是根据高等职业技术教学要求编写的,主要介绍直流和交流拖动控制系统。随着电力电子技术、微电子技术和微机控制技术的迅猛发展,各种交、直流调速系统已得到普遍应用,而且还在日新月异地发展。本书遵循理论和实际相结合的原则,以系统的控制规律为主线,介绍系统的静态、动态性能和设计方法,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,使所学知识跟得上技术发展的步伐。

电力拖动控制系统种类多,专业性强,发展快。本书力求从实际问题出发,以应用为目的,避开繁琐的数学模型,侧重基本理论、基本分析法和实际系统的介绍。培养学生基本知识的应用能力及实际问题的分析和解决问题的能力。

全书共8章,总学时为80学时,不同的学校和专业选用该教材时,可根据具体情况决定内容的删减。书中打“*”号的章节可以不讲。本书可作为高等职业技术学院、高等学校专科、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院等大专及本科层次的自动化、电气工程及自动化、机电一体化等专业学生的教材,也可作为广大自学者及工程技术人员的自学用书。

本书由江苏理工大学刘贤兴任主编,包头职业技术学院朱宁任副主编,第三章、第六章、第七章、第八章由刘贤兴编写;第一章、第二章由朱宁编写;第四章由武汉船舶职业技术学院余华编写,第五章由武汉船舶职业技术学院岳秋琴编写。

全书由沈阳工业大学谢书明博士、副教授主审,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。在编写过程中得到江苏理工大学电气信息工程学院孙玉坤教授和王丽敏副教授的指导和帮助,在此也表示感谢。

电力拖动控制系统的基本理论和方法已较为成熟,在编写过程中参阅了多种同类教材和专著,在此向其编、著者致谢。

由于作者学识水平所限和时间紧迫,书中难免有缺点和不当之处,敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2000年12月

目 录

序
前言

第 1 章 直流拖动控制系统

概述 1

1.1 电力拖动控制系统的性能

指标 1

1.1.1 稳态性能指标 1

1.1.2 动态性能指标 2

1.2 直流电动机调速系统的

主要方案 4

1.2.1 调节电枢供电电压 U 4

1.2.2 电枢电路串入电阻 4

1.2.3 减弱励磁磁通 4

1.3 直流拖动控制系统的

发展 5

1.3.1 直流发电机-电动机调速
系统 5

1.3.2 静止变流装置供电的直流
调速系统 6

1.3.3 斩波器或脉宽调制装置的直流
调速系统 6

本章小结 6

习题 7

第 2 章 单闭环直流调速系统 8

2.1 晶闸管-电动机系统的

特殊问题 8

2.2 单闭环调速系统的

稳态性能 10

2.2.1 闭环调速系统组成 10

2.2.2 转速负反馈调速系统
的静特性 10

2.2.3 开环系统机械特性和闭环系统
静特性比较 11

2.2.4 单闭环调速系统的基本

特征 12

2.2.5 单闭环调速系统的稳态

参数计算 12

2.3 单闭环调速系统的动态

性能分析 13

2.3.1 各环节的微分方程及
传递函数 14

2.3.2 单闭环调速系统的动态结构
图及稳定条件 15

2.4 单闭环调速系统的其他

方案 16

2.4.1 电压负反馈调速系统 16

2.4.2 电压负反馈加电流正反馈的
调速系统 17

2.5 无静差调速系统 18

2.5.1 积分调节器和积分控制
规律 18

2.5.2 比例积分控制规律 20

本章小结 21

习题 21

第 3 章 双闭环直流调速系统 23

3.1 转速、电流双闭环调速系统及

其静特性 23

3.1.1 问题的提出 23

3.1.2 转速、电流双闭环调速系统
的组成 23

3.1.3 稳态结构图和静特性 24

3.1.4 各变量的稳态工作点和稳态
参数计算 25

3.2 双闭环调速系统的

动态性能 25

3.2.1 动态数学模型 25

3.2.2 起动过程分析 26

3.2.3 动态性能和两个调节器的作用	27	4.3.4 可控环流可逆调速系统	70
3.3 电力拖动控制系统的工程设计方法	29	4.4 无环流可逆调速系统	75
3.3.1 电力拖动控制系统的设计方法	29	4.4.1 逻辑无环流可逆调速系统	75
3.3.2 典型系统	29	4.4.2 错位控制无环流可逆调速系统	78
3.3.3 典型 I 型系统参数和性能指标的关系	31	本章小结	82
3.3.4 典型 II 型系统参数和性能指标的关系	35	习题	84
3.3.5 非典型系统的典型化	38	第 5 章 脉宽调速系统	86
3.3.6 工程设计方法应用举例	42	5.1 脉宽调速原理及其系统组成	86
3.4 双闭环调速系统工程设计方法	44	5.1.1 脉宽调速原理	86
3.4.1 电流调节器的设计	45	5.1.2 电力电子器件介绍*	86
3.4.2 转速调节器的设计	48	5.2 PWM 功率放大器	96
3.4.3 转速调节器退饱和时转速超调量的计算	50	5.2.1 不可逆 PWM 功率放大器	97
3.4.4 设计举例	52	5.2.2 可逆 PWM 功率放大器	99
本章小结	55	5.3 脉宽调速系统的控制电路	104
习题	55	5.3.1 脉宽调制器	104
第 4 章 直流可逆调速系统	57	5.3.2 延时环节	105
4.1 V—M 系统的可逆运行和回馈制动	57	5.3.3 基极驱动器	105
4.1.1 V—M 系统的可逆线路	57	5.3.4 由集成 PWM 控制器控制的直流可逆调速系统*	106
4.1.2 晶闸管变流装置的整流和逆变状态	59	5.3.5 采用晶体管的 PWM 调速系统的特殊问题*	109
4.1.3 电动机的回馈制动	60	本章小结	117
4.1.4 如何在 V—M 系统中实现回馈制动	61	习题	119
4.2 晶闸管可逆线路中的环流	62	第 6 章 转差功率消耗型调速系统	121
4.2.1 环流的利弊及其种类	62	6.1 交流调速的基本类型	121
4.2.2 环流的抑制措施	62	6.2 转差功率消耗型调速系统	122
4.3 有环流可逆调速系统	66	6.2.1 闭环控制的交流变压调速系统	122
4.3.1 $\alpha=\beta$ 配合控制有环流可逆调速系统	66	6.2.2 变极调压调速	123
4.3.2 制动过程分析	67	6.2.3 电磁转差离合器调速	125
4.3.3 有环流可逆系统的优缺点	70	6.2.4 绕线异步电动机转子斩波调阻调速系统	126
		本章小结	127
		习题	128

第7章 转差功率不变型调速

系统	129
7.1 变极调速	129
7.1.1 变极方法	129
7.1.2 常用的变极接线方式	129
7.1.3 变极调速时容许输出	130
7.2 变频调速的基本方式及变频装置	131
7.2.1 变频调速的基本控制方式	131
7.2.2 静止式变频装置	132
7.2.3 变频器的分类	134
7.3 正弦波脉宽调制(SPWM)逆变器	138
7.3.1 SPWM 逆变器工作原理	138
7.3.2 同步调制与异步调制	140
7.3.3 SPWM 实现方法	141
7.4 变频调速系统	144
7.4.1 转速开环、恒压频比控制的变频调速系统	144
7.4.2 转速闭环转差频率控制变频调速系统	147

7.4.3 矢量控制的变频调速系统*	149
--------------------------	-----

7.5 通用变频器的选择和使用	154
7.5.1 通用变频器的种类	154
7.5.2 变频器的选择	157
7.5.3 使用变频器的注意事项	159
本章小结	162
习题	163

第8章 串级调速系统

8.1 串级调速原理	164
8.1.1 串级调速的一般原理	164
8.1.2 串级调速的基本类型	165
8.2 串级调速系统举例	166
8.2.1 具有双闭环控制的串级调速系统	166
8.2.2 斩波控制串级调速系统	166
本章小结	166
习题	167

参考文献

参考文献	168
------------	-----

第 1 章 直流拖动控制系统概述

直流拖动控制系统是以直流电动机为受控对象,按生产工艺对受控量(主要是转速)进行控制的电力拖动系统。直流电动机具有良好的起、制动性能,宜于在广范围内平滑调速。因此,在电力拖动控制系统的实际应用中,直流电动机调速系统占重要地位。但是,随着电力电子器件和微电子器件的发展,交流电动机调速系统也得到很大发展,特别是交流电动机变频调速在技术上日见成熟。

1.1 电力拖动控制系统的性能指标

电力拖动控制系统的性能指标分为稳态性能指标和动态性能指标。

1.1.1 稳态性能指标

电力拖动控制系统稳定运行时的性能指标称做稳态指标,主要有调速范围、静差率、调速平滑性等。

1. 调速范围 生产机械要求电动机提供的最高转速 n_{\max} 和最低转速 n_{\min} 之比叫做调速范围,即

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

其中 n_{\max} 和 n_{\min} 一般是指电动机带额定负载时的最高和最低转速。调速范围又称调速比。

2. 静差率 当系统在某一机械特性下运行时,电动机的负载由理想空载增加到额定负载所对应的转速降落 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比,称为静差率 s ,即:

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\%$$

显然,静差率是用来衡量调速系统在负载变化下转速的稳定性,在相同的空载转速下,机械特性越硬,转速降 Δn_N 越小,静差率 s 越小。静差率和机械特性硬度是有区别的,一般调压调速系统在不同转速下的机械特性是平行的,如图 1-1 中的①和②,两者的硬度是相同的,即额定速降 $\Delta n_{N1} = \Delta n_{N2}$,而它们的静差率是不同的。

电力拖动系统可以分为:①调速范围小的系统,一般指 $D < 3$;②调速范围中等的系统,一般是指 $3 \leq D < 50$;③调速范围大的系统,一般是指 $D \geq 50$ 。

若要得到尽可能大的调速范围,显然需要提高 n_{\max} 或降低 n_{\min} ,但电动机的最高转速 n_{\max} 通常就是电动机的额定转速 n_N ,最低转速 n_{\min} 又受到静差率的限制,因为确定电动机的最低转速 n_{\min} 必须以一定的静差率为条件。

在直流电动机变压调速系统中,按上述分析的结果可得到调速范围与静差率的关系。调速范围的求取公式为

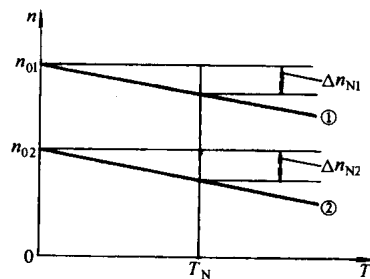


图 1-1 调速时不同转速下的静差率

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_N}{n_{\min}} \quad (1-2)$$

对于给定的静差率 $s = \frac{\Delta n_N}{n_{0\min}}$,

其中, $n_{0\min}$ 是指对应最低转速 n_{\min} 时的理想空载转速, 显然此时的静差率最大。

于是可推导出:

$$n_{\min} = n_{0\min} - \Delta n_N = \frac{\Delta n_N}{s} - \Delta n_N = \Delta n_N \frac{(1-s)}{s}$$

代入式(1-2)中后可得出关系式如下:

$$D = \frac{n_N \cdot s}{\Delta n_N (1-s)} \quad (1-3)$$

3. 调速平滑性 调速平滑性是指调速时可以得到的相邻转速之比, 无级调速时, 该比值接近于 1。

1.1.2 动态性能指标

对于控制系统动态性能指标, 由于自动控制系统的各组成元件, 包括受控对象的质量、惯量的存在, 以及控制装置中测量元件、校正元件、执行元件等的惯性及能量元件(电容、电感)的存在, 系统在过渡到新的平衡时, 被控量不会瞬间变化, 而是要经历一段时间, 要有一个过程。通常把系统受到外加信号(给定值或干扰)作用后, 被控量随时间 t 变化的全过程称为系统的过渡过程(或动态过程), 以 $c(t)$ 表示。则系统控制性能的优劣, 可以从动态过程 $c(t)$ 中较充分地显示出来。电力拖动控制系统在过渡过程中的性能指标称做动态指标。主要分为跟随性能指标和抗扰性能指标两类。

1. 跟随性能指标 在给定信号(参考输入信号)变化作用下, 系统输出量变化的情况用跟随性能指标来描述。当给定信号变化方式不同时, 输出响应也不一样。通常以输出量初始值为零, 在给定信号阶跃变化下的过渡过程作为典型的跟随过程, 这时的动态过程又称阶跃响应。

设输入为恒值阶跃函数, 干扰 $n(t)$ 波形如图 1-2 所示。图 1-2a 中, $r(0) = c(0) = 0$, 图 1-2b 中, $r(0) = c(0) = \text{常数}$ 。

在输入恒值阶跃函数后, 控制装置无法使被控量等于给定值, 而是随着时间的推移偏差越来越大, 如图 1-2a 中的过程(3)所示, 或在系统稳定运行时, 在某种干扰信号 $n(t)$ 的作用下, 控制装置无法使被控量恢复到原状态, 而且越偏

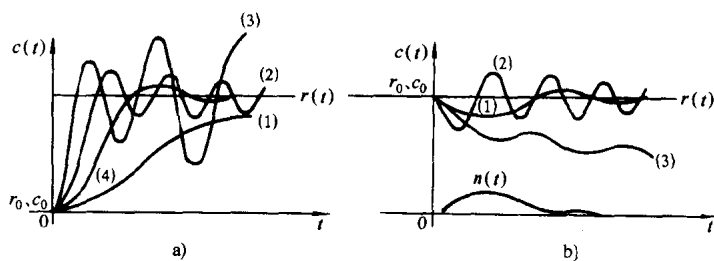


图 1-2 控制系统动态响应过程和抗扰过程

越远, 如图 1-2b 中的过程(3)所示。这样的系统称为不稳定系统, 显然这是根本完不成控制任务的。

那么, 在输入恒值阶跃函数后, 被控量随着时间的推移逐渐等于给定值; 或在系统稳定运行时, 在某种干扰信号 $n(t)$ 的作用下, 控制装置使被控量恢复到原状态, 这样的系统称为稳定系统。在稳定系统的前提条件下, 要求系统动态过程要小, 对被控量的振幅和频率有所要求, 过大的振幅和振动频率会导致运动部件的损坏。

(1) 上升时间 t_r : 指响应曲线从稳态值 10% 上升到 90% 所需要的时间(有的取从 0% 上升到 100% 所需要的时间)

(2) 超调量 $\sigma\%$: 是指响应曲线第一次越过稳态值而达到峰点时, 超过部分的幅度与稳态值之比, 通常表示为百分数。

(3) 过渡过程时间 t_s : 指响应曲线最后一次进入偏离稳态值的误差为 $\pm 5\%$ (或 $\pm 2\%$) 的范围(并且不再超出这个范围)的时间。这表明了系统动态过程进行的时间长短。动态过程持续很长, 将使系统长久地出现大的偏差, 同时也说明系统响应很迟钝, 难以满足系统快速性的要求, 如图 1-2a 中的过程(1)所示。图 1-2a 中的过程(2)和(4)便有很好的快速性。

(4) 峰值时间 t_p : 指响应曲线第一次越过稳态值而达到峰点的时间。

系统性能指标请参见图 1-3。

工程上对电力拖动控制系统的要求是稳、快、准。

稳的主要指标是超调量 $\sigma\%$; 快的主要指标是上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 、过渡过程时间 t_s ; 准是指系统平衡以后, 最终保持的精度, 反映了动态过程的后期性能, 即系统的稳态性能。

由于受控对象的具体情况不同, 各种系统对稳、快、准的要求是有所侧重的。例如随动系统对快要求较高, 而电机调速系统则对稳限制很严。

应当说明的是系统的稳、快、准是相互制约的。提高快速性, 可能会引起系统强烈的振动; 改善了平稳性, 控制过程又很慢。分析和解决这些矛盾, 是电力拖动控制系统的重要内容。

2. 抗扰性能指标 一般以系统稳定运行中突加负的阶跃扰动 N 后的动态过程作为典型的抗扰过程, 如图 1-4 所示。

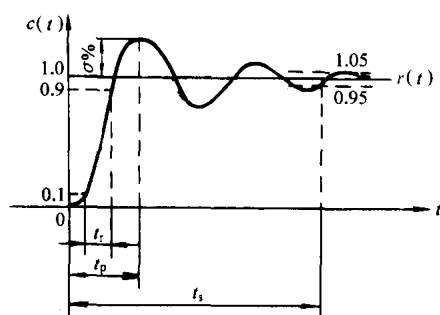


图 1-3 系统性能指标

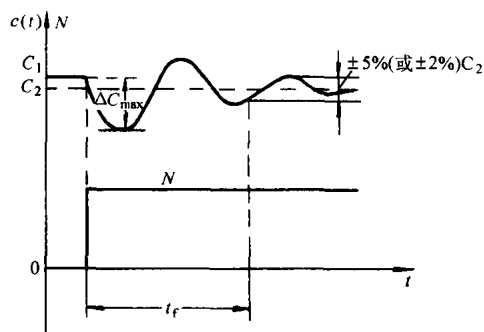


图 1-4 抗扰性能指标及突加扰动的动态过程

抗扰性能指标定义如下:

(1) 动态降落 δ 。系统稳定运行时, 突加一定数值的扰动(例如额定负载扰动)后所引起的输出量最大降落 ΔC_{\max} 即:

$$\delta = \Delta C_{\max}$$

系统在动态降落后又逐渐恢复稳定, 达到新的稳定值 C_2 , $(C_1 - C_2)$ 就是系统在该扰动作用下的稳态降落。

(2) 恢复时间 t_r 。系统在动态升降后又逐渐恢复稳定, 达到新的稳定值 C_2 , 系统从扰动开始恢复到新的稳定值 C_2 的 95% (或 98%) 以内所需的时间用 t_r 来表示, 称为恢复时间。粗略地讲, 阶跃扰动作用下电动机转速的动态升降越小, 恢复得越快, 说明系统的抗干扰能力越强。

1.2 直流电动机调速系统的主要方案

直流电机的转速和其他参量的关系可用公式(1-4)表达,即

$$n = \frac{U - IR}{K_e \Phi} \quad (1-4)$$

式中 n ——转速;

U ——电枢供电电压;

I ——电枢电流;

R ——电枢回路总电阻;

Φ ——励磁磁通;

K_e ——由电机结构决定的电动势常数。

由此可见,要控制电动机的转速可有三种方法(以他励电动机为例)。

1.2.1 调节电枢供电电压 U

由式(1-4)

$$n = \frac{U - IR}{K_e \Phi_N}$$

$$T = K_T \Phi_N I_a$$

及
得

$$n = \frac{U}{K_e \Phi_N} - \frac{R}{K_e K_T \Phi_N^2} T \quad (1-5)$$

由于电动机的电枢电压一般以额定电压为上限,因此在改变电枢电压时,通常只能在低于额定电压($U < U_N$)的范围内变化。

与固有特性(是指当电动机的工作电压和磁通均为额定值,电枢电路中没有串接电阻时的机械特性)相比,转速降 Δn 没有变,即机械特性曲线的斜率不变,但理想空载转速 n_0 随电压成正比减少。因此,改变电压时的机械特性是一组低于固有机特性而与之平行的直线,如图 1-5 所示。可见,当负载不变时,调节电枢电压时,转速 n 下降。

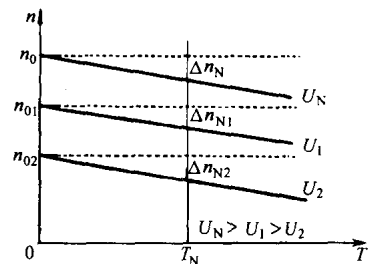


图 1-5 他励电动机改变电枢电压的机械特性

1.2.2 电枢电路串入电阻

当电枢电路串入电阻时,有

$$U = U_N, \Phi = \Phi_N, R = R_a + R_{pa}$$

由式(1-5)得

$$n = \frac{U_N}{K_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_{pa}}{K_e K_T \Phi_N^2} T \quad (1-6)$$

与固有特性相比,理想空载转速不变,但转速降 Δn 相应增大, R_{pa} 越大, Δn 也越大,特性变“软”,如图 1-6 所示。可是,电枢回路串入电阻后,在同样大小的负载下,电动机的转速将下降,稳定在低速运行。

1.2.3 减弱励磁磁通

减弱磁通的方法可以在励磁回路内串接电阻或降低励磁电压。此时 $U = U_e, R_{pa} = 0$ 。特性方程式为:

$$n = \frac{U_N}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e \Phi} I_a$$

或

$$n = \frac{U_N}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e K_T \Phi^2} T \quad (1-7)$$

由上式可见,减弱磁通时, n_0 增高,不同的 ϕ 值时的机械特性曲线具有交叉的形式,特性的硬度也是在磁通越小时越低。如图1-7所示,可以看出,一般会使电动机的转速增高。

对于要求有一定范围的无级平滑调速系统来说,以调节电枢供电电压的方式为最好。改变电枢电阻只能有级调速;减弱励磁磁通虽然能够平滑调速,但调节范围不大,往往只能配合调压方案,在基速(即电动机额定转速)以上作小范围的升速。

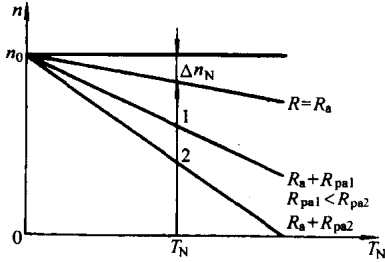


图 1-6 他励电动机改变电枢电阻的机械特性

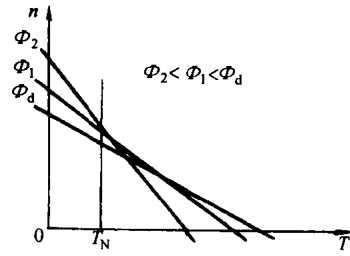


图 1-7 他励电动机改变磁通的机械特性

1.3 直流拖动控制系统的发展

直流发电机-电动机调速系统在 20 世纪 50 年代曾广泛地使用着,至今在尚未进行设备改造的地方仍沿用这种系统。由于该种系统需要旋转变流机组,至少包括两台与调速电动机容量相当的旋转电动机,还要一台励磁发动机,因而设备多、体积大、费用高、效率低、安装须打地基、运行有噪声、维护不方便。在 20 世纪 50 年代,采用水银整流器(大容量时)和闸流管(小容量时)这样的静止变流装置来代替旋转变流机组,形成所谓离子拖动控制系统。到了 60 年代以后则采用经济可靠的晶闸管整流装置了。随着电子技术和电子计算机的飞速发展,晶闸管整流装置及其控制系统都有了很大的改进,设计和制造周期大大缩短,特别是采用计算机控制以后直流拖动控制系统有了新的飞跃。

下面简述常用的直流拖动控制系统。

1.3.1 直流发电机-电动机调速系统

用一台直流发电机单独给一台直流电动机供电,这样的拖动系统称为发电机-电动机调速系统,也可简称 G-M 系统,该系统的原理图示于图 1-8。由交流电动机 JD 拖动直流发电机 G 实现变流,由 G 给需要调速的直流电动机 M 供电,为了供给 G 和 M 的励磁电压,还专门设置一台直流励磁发电机 L,可装在变流机组同轴上由 JD 拖动,也可用另外一台交流电动机拖动。通过放大与控制装置可以改变励磁电流 I_f 的方向和大小,从而改变电枢电压 U 的大小和方向,以实现电动机 M

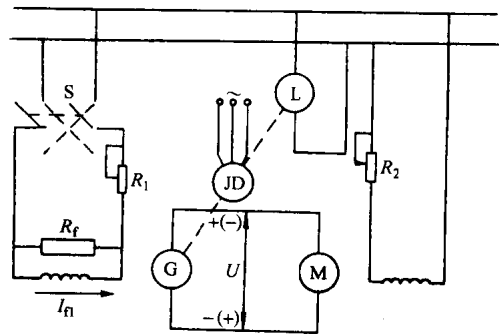


图 1-8 G-M 系统原理图

的变电压调速和系统的可逆运行。

1.3.2 静止变流装置供电的直流调速系统

20世纪50年代末,晶闸管(即可控硅)问世,到60年代初,晶闸管整流装置走向实用阶段,到今天,晶闸管-电动机调速系统(简称V-M系统)已成为直流调速系统的主要形式,晶闸管整流装置可以是单相、三相或更多相数,可以是半波、全波、半控、全控等类型,通过调节晶闸管触发装置的控制电压来移动触发脉冲的相位,即可改变整流电压,从而实现调节电枢电压的调速。

采用正、反两组全控整流电路,可以实现系统的可逆运行。随着可控硅技术的发展,晶闸管整流装置及控制装置逐步得到改进。图1-9所示为V-M系统的简单原理图。

1.3.3 斩波器或脉宽调制装置的直流调速系统

由功率晶体管(GTR)等全控型电力电子器件构成的PWM变换器是一种相当理想的直流功率变换装置,它从根本上取消了对晶闸管变流器来说不可缺少的换流电路,因而具有比晶闸管变流器更为优越的性能。晶体管脉宽调速系统(简称PWM系统)近年来在中小容量的高精度控制系统中获得广泛应用。从调速系统的结构上看,脉宽调速系统与晶闸管变流器供电的调速系统基本上是一样的,主要区别在于由晶体管PWM变换器取代了晶闸管变流器。

直流电压通过晶体管PWM变换器向电动机提供电压常见的有三种:

(1) 脉冲宽度调制:脉冲周期 T 不变,改变脉冲的占空比,即只改变脉冲的宽度。

(2) 脉冲频率调制:脉冲的宽度不变,改变脉冲周期 T 。

(3) 两点式控制:当负载电流低于某一个最小值时,接通供电电压;当负载电流高于某一个最大值时,关断供电电压。

由普通晶闸管或逆导晶闸管构成的晶体管PWM变换器开关频率不高,因而输出电流脉动较大,调速范围有限。20世纪70年代以来研制了多种“全控式”(既能控制导通又能控制关断)电力电子器件,如门极可关断晶闸管(GTO)、大功率晶体管(GTR)、场效应管(P-MOS-FET)等等,使PWM系统性能有了很大的提高。采用晶体管脉宽调速系统也可以实现系统的可逆运行。图1-10所示为简单的晶体管脉宽调速系统原理图。

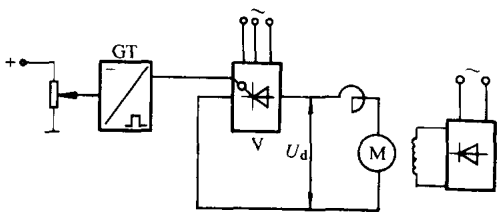


图 1-9 V-M 系统的原理图

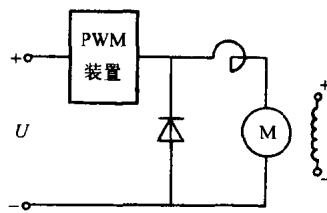


图 1-10 晶体管脉宽调速系统原理图

本章小结

1) 电力拖动控制系统的性能指标可分为稳态性能指标和动态性能指标。稳态性能指标主要有调速范围、静差率和调速平滑性等。动态性能指标分为跟随性能指标和抗扰性能指标。

2) 直流电动机调压可获得恒转矩调速,直流电动机调励磁可获得恒功率调速。直流电动机主要调速方案有改变电枢供电电压 U 、电枢回路串电阻、减弱励磁磁通的调速方法,以调节电枢供电电压方式为最好。

3) 供变压调速使用的可控直流电源有:旋转变流机组、静止可控整流器与直流斩波器。采用旋转变流机组的 G-M 系统使用最早。采用静止可控整流器的 V-M 系统已成为目前直流调速的主要形式,直流斩波器和直流 PWM 调速系统是通过改变主开关元件的通断时间比例来调压,故而带来一系列优点。

习 题

1. 某调速系统的调速范围是 $150\sim 1500\text{r/min}$, $D=10$, 要求静差率 $s=2\%$, 此时系统允许的稳态速降是多少?
2. 静差率与机械特性的硬度有何区别和联系?
3. 动态跟随性能指标有哪些, 如何定义?
4. 动态抗扰性能指标有哪些?
5. 电力拖动控制系统如何才能做到快、稳、准?
6. 直流电动机调速系统有哪几种主要方案, 各有什么特点?
7. 简述直流调速系统的发展过程。

第 2 章 单闭环直流调速系统

直流电动机由于具有良好的控制性能,适于在宽范围内平滑调速,在调速系统中占有突出的地位。本章着重讨论直流调速系统的各典型环节、组成、稳态和动态性能分析、调速系统的基本控制规律。

2.1 晶闸管-电动机系统的特殊问题

采用晶闸管变流器对直流电动机电枢供电,由于晶闸管器件本身所固有的性能和控制方式,使得晶闸管-电动机系统出现一些特殊问题。分析这些问题,便于运用不同的主回路接线方式和控制方式,进一步提高系统的静态性能。

1. 晶闸管的单向导电性 晶闸管为单向导电器件,它的单向导电性使电流不能反向,给系统的可逆运行造成困难。半控整流电路只允许系统在第一象限运行,全控整流电路可以实现有源逆变,允许电动机工作在反转制动状态,因而能够获得二象限运行。必须进行四象限运行时,只能采用正、反两组整流电路,所用变流设备要增多一倍。

晶闸管器件对过电压、过电流、电流变化率、电压变化率等非常敏感,因此必须有可靠的保护装置,这给系统的维护和运行都带来不少的麻烦。

晶闸管整流装置容易引起电网电压波形畸变,殃及附近的用电设备。当系统处在深调速状态,即在较低速运行时,晶闸管的导通角很小,使得系统的功率因数很低,并产生较大的高次谐波电流成分,对电网危害很大,此时应采用无功功率补偿和谐波滤波装置。

2. 触发脉冲相位控制 通过改变触发装置控制信号 U_{ct} 来移动整流器触发脉冲相位,实现对整流器输出直流电压的调节,其整流主电路的简单原理图如图 1-9 所示,等效电路图如图 2-1 所示。

瞬时电压平衡方程式可写作:

$$u_{d0} = E + i_d R + L \frac{di_d}{dt}$$

式中 R ——主回路总等效电阻;

L ——主电路总电感;

E ——电动机反电动势;

i_d ——整流电流瞬时值。

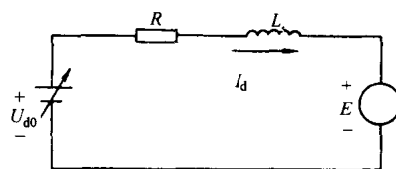


图 2-1 整流主电路等效电路

相位控制是晶闸管整流装置的特点。 U_{d0} 与触发脉冲相位 α (从自然换相点算起)的关系因整流电路的形式而不同。表 2-1 示出了当电流波形连续时不同整流电路的整流电压波形峰值、波头数和平均整流电压。

3. 电流脉动影响及其抑制措施 整流电路的波头数总是有限的,其后果是:产生的脉动电流对生产机械以及电网不利。其主要抑制措施是增加整流电路的相数及在主回路中串接平波电抗器。