

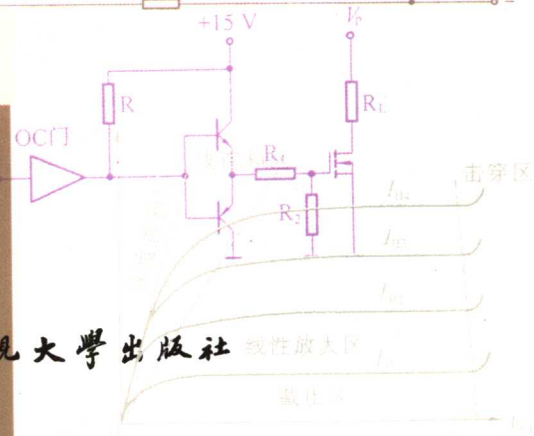
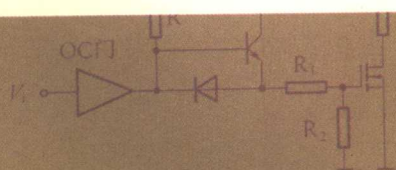
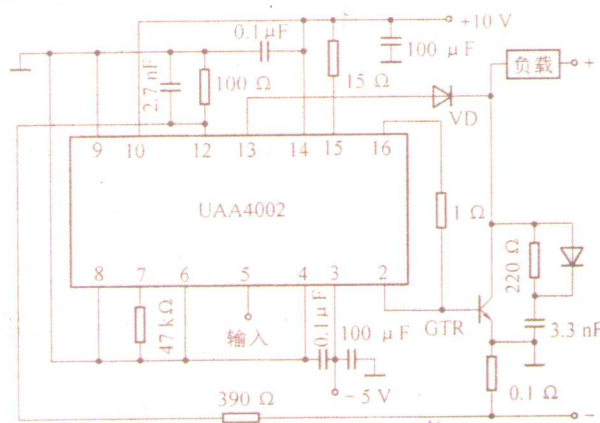
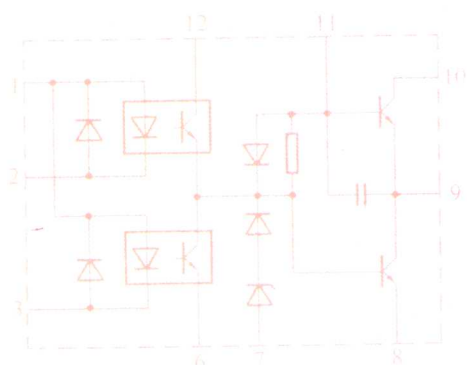


教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

电气传动与调速系统

机械设计制造及其自动化专业系列教材

张立勋 主编



中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
机械设计制造及其自动化专业系列教材

电气传动与调速系统

张立勋 主编

中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电气传动与调速系统 / 张立勋主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2005.6

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材. 机械设计制造及其自动化专业系列教材

ISBN 7-304-03317-7

I. 电… II. 张… III. 电力传动—调速—电视大学—教材 IV. TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 068949 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
机械设计制造及其自动化专业系列教材

电气传动与调速系统

张立勋 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-68519502

总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 何勇军

印刷: 北京集惠印刷有限责任公司

印数: 0001~3000

版本: 2005 年 7 月第 1 版

2005 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 17.75 字数: 409 千字

书号: ISBN 7-304-03317-7/TH·80

定价: 24.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前 言

《电气传动与调速系统》是按照中央广播电视大学机械设计制造及其自动化专业(本科)电气传动与调速系统课程教学大纲的要求编写的,教学时数72学时。本教材的作用和任务是通过本课程的学习使学生了解电气传动的基本知识,掌握直流、交流电动机以及电力电子开关器件的工作原理、应用和选择方法,掌握常用的电动机速度控制系统的工作原理、特点、性能及应用。

本书介绍了电气传动系统的动力学基础,直流电动机、交流电动机的各种特性,直流传动系统的过渡过程,直流调速控制系统;异步电动机调速控制系统。介绍了同步电动机变压变频调速系统、电气传动系统中电动机的选择和常用电力电子开关器件。重点介绍了电气传动系统的动力学方程式及多轴传动系统转矩和转动惯量的折算方法;直流他励电动机、三相异步电动机的基本工作原理、机械特性;电动机容量的选择原则、选择方法;单相晶闸管整流、三相晶闸管整流电路的工作原理;SCR, IGBT, MOSFET 的特性;晶闸管—电动机直流传动控制系统的工作原理;异步电动机变频调速系统的工作原理;同步电动机调速方法。

根据电大学生的特点,本书在保证满足大纲要求的基础上,适当增加了一些工程实例分析的内容,以便于学生结合工作实际,加强对基础理论知识的理解。根据电气传动与控制的发展特点,本书注意了内容的更新,针对交、直流调速控制系统,介绍了一些流行的新元件及相应的控制电路。

全书共分8章,绪论及第1,2章由张立勋编写,第3,4,5章由路敦民编写,第6,7,8章由杨勇编写,全书由张立勋教授主编。高安邦教授、李殿璞教授、吴兴臣副教授对全书进行了审定,高定邦教授任主审。审定专家对书稿提出了许多宝贵意见,在此对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中如有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

内容提要

本书共分8章。第1章介绍电气传动与调速系统的概念;第2章介绍直流电动机的工作原理和他励直流电动机传动特性;第3章介绍交流电动机的传动特性;第4章介绍电动机的选择计算方法;第5章介绍电气传动与调速系统中的电力电子开关器件及应用;第6,7,8章分别介绍直流电动机调速系统、交流异步电动机调速系统和同步电机变压变频调速系统。

本书是中央广播电视大学机械设计制造及其自动化专业教材,也可以供有关专业师生和技术人员参考。

目 录

绪 论	(1)
第1章 电气传动系统动力学基础	(4)
1.1 电气传动系统的动力学方程式	(4)
1.2 负载转矩和惯量的折算	(7)
1.2.1 旋转运动	(7)
1.2.2 平移运动	(9)
1.2.3 升降运动	(10)
1.3 负载的机械特性	(16)
1.3.1 恒转矩型机械特性	(16)
1.3.2 离心式通风机型机械特性	(17)
1.3.3 恒功率型机械特性	(17)
1.3.4 直线型机械特性	(18)
1.4 电气传动系统稳定运行的条件	(18)
小 结	(20)
习题与思考题	(21)
第2章 直流电动机的传动特性	(24)
2.1 直流电动机的基本结构和工作原理	(24)
2.1.1 直流电动机的结构	(25)
2.1.2 直流电动机的工作原理	(26)
2.2 直流他励电动机的机械特性	(27)
2.2.1 固有机械特性	(29)
2.2.2 人为机械特性	(30)
2.3 直流他励电动机的起动特性	(33)

2.3.1 电枢回路串电阻起动·····	(34)
2.3.2 降压起动·····	(38)
2.4 直流他励电动机的调速特性·····	(38)
2.4.1 调速的技术指标和经济指标·····	(39)
2.4.2 电枢电路串电阻调速·····	(41)
2.4.3 改变电枢电压调速·····	(41)
2.4.4 改变磁通调速·····	(42)
2.5 直流他励电动机的制动特性·····	(46)
2.5.1 他励电动机的能耗制动·····	(46)
2.5.2 他励电动机的反接制动·····	(48)
2.5.3 他励电动机的反馈制动·····	(50)
2.6 直流电气传动系统过渡过程分析·····	(54)
2.6.1 研究过渡过程的实际意义·····	(54)
2.6.2 直流他励电动机过渡过程具体分析·····	(55)
小 结·····	(58)
习题与思考题·····	(59)

第3章 交流电动机的传动特性····· (62)

3.1 三相异步电动机的结构和工作原理·····	(63)
3.1.1 三相异步电动机的结构·····	(63)
3.1.2 三相异步电动机的工作原理·····	(64)
3.1.3 三相异步电动机的旋转磁场·····	(65)
3.1.4 定子绕组线端连接方式·····	(68)
3.1.5 三相异步电动机的额定值·····	(70)
3.2 三相异步电动机的定子电路和转子电路·····	(70)
3.2.1 定子电路的分析·····	(70)
3.2.2 转子电路的分析·····	(71)
3.3 三相异步电动机的转矩与机械特性·····	(72)
3.3.1 三相异步电动机的转矩·····	(72)
3.3.2 三相异步电动机的机械特性·····	(76)
3.4 三相异步电动机的起动特性·····	(78)
3.4.1 三相笼型异步电动机的起动·····	(79)
3.4.2 特殊结构的笼型异步电动机·····	(82)
3.4.3 三相绕线转子异步电动机的起动·····	(83)

3.5 三相异步电动机的调速特性	(84)
3.5.1 调压调速	(85)
3.5.2 转子电路串电阻调速	(85)
3.5.3 变极调速	(86)
3.5.4 变频调速	(88)
3.6 三相异步电动机的制动特性	(88)
3.6.1 能耗制动	(88)
3.6.2 反接制动	(89)
3.6.3 反馈制动	(90)
3.7 单相异步电动机	(92)
3.7.1 工作原理	(92)
3.7.2 起动方法	(94)
3.8 同步电动机	(95)
3.8.1 同步电动机的基本结构	(95)
3.8.2 同步电动机的工作原理和运行特性	(96)
小 结	(98)
习题与思考题	(98)
 第4章 电气传动系统中电动机的选择	 (102)
4.1 电动机容量的选择	(102)
4.1.1 电动机的发热与冷却	(102)
4.1.2 不同工作制下电动机容量的选择	(104)
4.2 电动机种类、型式等的选择	(108)
小 结	(110)
习题与思考题	(110)
 第5章 常用电力电子开关器件及应用	 (112)
5.1 功率晶体管(GTR)的性能和应用	(113)
5.1.1 功率晶体管的特性和参数	(113)
5.1.2 功率晶体管的驱动	(116)
5.2 功率场效应管(MOSFET)的性能和应用	(118)
5.2.1 功率场效应管的特性和参数	(118)
5.2.2 功率场效应管的驱动	(122)

5.3 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 的性能和应用	(124)
5.3.1 绝缘栅双极晶体管的特性和参数	(124)
5.3.2 绝缘栅双极晶体管的驱动	(127)
5.4 晶闸管 (SCR) 的性能和应用	(130)
5.4.1 晶闸管的特性和参数	(130)
5.4.2 晶闸管的集成触发电路简介	(135)
5.4.3 晶闸管的串、并联电路	(135)
5.4.4 晶闸管过载保护电路	(136)
5.5 单相可控整流电路	(138)
5.5.1 单相半波可控整流电路	(138)
5.5.2 单相桥式可控整流电路	(140)
5.6 三相可控整流电路	(145)
5.6.1 三相半波可控整流电路	(145)
5.6.2 三相桥式全控整流电路	(148)
5.7 逆变器	(150)
5.7.1 有源逆变电路	(151)
5.7.2 无源逆变电路	(153)
小 结	(157)
习题与思考题	(157)

第 6 章 直流调速控制系统	(160)
6.1 常用速度反馈元件	(161)
6.1.1 光电编码器	(161)
6.1.2 直流测速发电机	(168)
6.2 晶闸管-电动机直流调速系统	(172)
6.2.1 单闭环直流调速系统	(173)
6.2.2 有静差调速系统	(173)
6.2.3 双闭环直流调速系统	(190)
6.2.4 可逆直流调速系统	(193)
6.3 直流脉宽调速系统	(195)
6.3.1 PWM 变换器	(196)
6.3.2 脉宽调速系统的开环机械特性	(202)
6.3.3 UC3637 直流电动机双 PWM 控制器	(203)
6.3.4 L298 双 H 桥驱动芯片	(208)

小 结	(212)
习题与思考题	(213)
第 7 章 交流电动机驱动与控制电路	(215)
7.1 概 述	(215)
7.1.1 交流电动机控制系统的发展和现状	(215)
7.1.2 交流电动机调速系统的类型	(217)
7.2 异步电动机调压调速	(220)
7.2.1 单相交流调压电路	(220)
7.2.2 三相交流调压电路	(223)
7.2.3 异步电动机的调压调速机械特性	(223)
7.2.4 电动机调压调速时的损耗及容量限制	(225)
7.3 异步电动机串级调速	(226)
7.3.1 串级调速系统的原理	(226)
7.3.2 串级调速的种类及其特性	(230)
7.4 异步电动机变频调速	(234)
7.4.1 交流异步电动机变频调速原理	(234)
7.4.2 交-直-交变频调速	(234)
7.4.3 变频与变压	(238)
7.4.4 SPWM 波形发生器 SA4828 芯片	(242)
小 结	(249)
习题与思考题	(249)
第 8 章 无换向器电动机变压变频调速系统	(251)
8.1 概 述	(251)
8.1.1 异步电动机与同步电动机的区别	(252)
8.1.2 同步电动机变频调速系统的分类	(252)
8.2 无换向器电动机的工作原理	(253)
8.2.1 无换向器电动机的类型	(253)
8.2.2 无换向器电动机的工作原理	(253)
8.2.3 无换向器电动机的转子位置检测器	(257)
8.3 无换向器电动机的换流	(258)
8.3.1 反电动势换流法	(258)

8.3.2 电流断续换流法	(259)
8.3.3 电源换流法	(260)
8.4 无换向器电动机的基本特性	(261)
8.4.1 无换向器电动机的调速特性	(261)
8.4.2 无换向器电动机的电磁转矩	(262)
8.4.3 无换向器电动机的机械特性	(263)
8.4.4 无换向器电动机的过载能力	(264)
8.5 无换向器电动机调速系统	(265)
8.5.1 交-直-交无换向器电动机调速系统	(265)
8.5.2 交-交无换向器电动机调速系统	(271)
小 结	(272)
习题与思考题	(273)
参考文献	(274)

绪 论

1. 电气传动的特点及其在国民经济中的应用

人类社会的生存和发展离不开各种能源。常见的能源形式有热能、光能、化学能、机械能、电能、原子能等。而电能与其它能源相比具有明显的优点：它适宜大量生产、集中管理、远距离传输和自动控制。因此,电能在现代化工农业生产、交通运输、科学技术、国防建设以及日常生活中得到了广泛的应用。

电能的广泛应用是和电机紧密相关的。电能的生产主要是火电厂或水电站的交流发电机,把其它形式的能源转化成电能。而电动机是在国民经济和人民生活应用中应用最广的用电设备。以电动机为原动机构成的电气传动系统是现代化生产中必不可少的传动系统,相比其它拖动方法(例如风力拖动、水力拖动、内燃机拖动等),具有许多无法比拟的优点,最主要的优点是起动、调速、制动、反转等都比其他方法容易实现,而且可获得所需要的静态特性和动态特性,特别是数控技术和计算机技术的应用,进一步提高了电气传动的性能指标,使采用电气传动时的生产率 and 产品质量进一步提高。电气传动的发展为生产过程的自动化提供了十分有利的条件,是生产过程电气化、自动化的重要前提。

电气传动(又称电力拖动或机电传动),是以电动机作为原动机驱动生产机械的系统的总称。电气传动系统是将电能转变为机械能的装置,通过对电动机的控制,用以实现生产机械的起动、停止、速度调节以及各种生产工艺过程的要求。

电气传动系统的主要特点是功率范围极大,单个设备的功率可从几毫瓦到几百兆瓦;调速范围极宽,转速从每分钟几转到每分钟几十万转,在无变速机构的情况下调速范围可达1:10 000;适用范围极广,可适用于任何工作环境与各种各样的负载。电气传动与国民经济、人民生活有着密切的联系并起着重要的作用,广泛用于冶金、机械、轻工、矿山、港口、石化、航空航天等各个行业以及日常生活之中。它既有轧钢机、起重机、泵、风机、精密机床等大型调速系统,也有空调机、电冰箱、洗衣机等小容量调速系统。据统计,电气传动系统的用电量占我国总发电量的60%以上。据预测,从2000年至2010年我国电气传动产品市场需求年增长率约为15%,市场前景广阔。因此电气传动是国民经济中充满活力的基础技术和高新技术,它的发展和进步已成为更经济地使用材料、能源、提高劳动生产率的合理手段,成为促进国民经济不断发展的重要因素,成为国家现代化的重要标志之一。正确使用电气传动系统并使之进一

步向前发展,对国民经济建设具有十分重要的现实意义。

2. 电气传动系统的发展

(1) 传动方式的发展

初期的电气传动都是成组传动的,即一台电动机拖动成组的生产机械,这种方式生产效率较低,劳动条件较差。以后改进成单机传动,即一台电动机拖动一台生产机械。进而发展成多机传动,即多台电动机分别拖动生产机械的多个工作部位,这种传动方式效率最高。这是从传动效率角度来看电气传动的演变过程。

(2) 控制手段的发展

从控制手段的发展来看,最早的控制手段是机械控制,后来发展成为电气控制。20世纪50年代以前的电气控制手段主要是继电-接触器控制和电机放大机控制,电子放大器只是作为辅助的装置出现。自从电力电子器件发明以后,电力电子装置成为弱电控制强电的纽带,电子控制就几乎成为唯一的控制手段了。常用的电子控制分为两类:由模拟电子电路构成的模拟控制和由数字电子电路构成的数字控制,前者用于连续控制,后者用于逻辑控制。结构复杂而功能齐全的数字控制系统逐渐发展成为专用的控制计算机。而各种控制规律软件化的实施又使通用计算机走进了控制设备的范畴;在此基础上,大规模集成电路和微处理器的出现,把电子控制推进了一个崭新的阶段,以微处理器为核心的数字控制已成为现代电气传动控制系统中控制器的主要形式。

(3) 电力电子元件的发展

调速传动的控制装置主要是各种电力电子变流器,它为电动机提供可控的直流或交流电流,并成为弱电控制强电的媒介。电力电子技术的前身是汞弧整流器,闸流管变流技术。1957年晶闸管(SCR)的诞生标志着电力电子技术的问世,1960~1980年为电力电子技术第一代,其特征是以晶闸管及其相控变流技术为代表,人们称之为整流器时代。1980年以后进入大功率晶体管(GTR)、可关断晶闸管(GTO)等电流控制自关断电力电子器件及逆变技术为代表的第二代,有人称其为逆变时代。1990年以后进入复合电力电子器件及变频技术为代表的第三代,复合器件具有快速关断、工作频率高等特点,其典型代表是绝缘栅双极型晶体管(IGBT)和电力场效应晶体管(P-MOSFET)等。第三代变频技术和变频器得到了空前发展,故称其为变频时代。从现在开始正逐步进入电力电子智能化时代,其特点是电力电子器件进一步采用微电子集成电路技术,实现电力电子器件和装置的智能化。电力电子技术的进步有力地推动了电气传动调速系统的发展。

3. 电气传动与调速系统的分类和特点

电气传动可分为不调速和调速两大类。按照电动机的类型不同,电气传动又分为直流与交流传动两大类。直流电气传动与交流电气传动在19世纪先后诞生,但当时的电气传动系统是不调速系统,随着社会化大生产的不断发展,生产制造技术越来越复杂,对生产工艺的要求越来越高。这就要求生产机械能够在工作速度、快速启动和制动、正反转运行等方面具有较好

的静态和动态性能,从而推动了电动机的调速技术不断向前发展。

由于直流电动机的调速性能和转矩控制性能较好,20世纪30年代起,就开始使用直流调速系统。由最初的旋转变流机组控制发展为电机放大机、磁放大器控制,再进一步用晶闸管、电力晶体管控制,使系统快速性、可靠性和经济性不断有所提高,应用非常广泛。然而,由于直流电动机具有电刷和换向器,所以制造工艺复杂,成本高,维护麻烦,单机容量和转速都受到限制,逐渐显示出直流调速系统的局限性。

交流电动机中的异步电动机,具有结构简单、制造容易、价格低廉、运行可靠、维护方便、效率较高等一系列优点,早就普遍应用于恒速运行的生产机械中。由于其调速性能和转矩控制性能不够理想,长期以来难以推广使用。近三十年来,由于电力电子技术的发展,才出现各种类型的交流调速系统。例如:变频调速、串级调速、磁场定向控制调速和无换向器电动机调速等系统。发明矢量控制之后,使得交流调速系统逐步具备了宽的调速范围、高的稳态精度、快的动态响应以及在四象限作可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面完全可与直流调速系统相媲美,所以才逐渐得到应用。计算机控制技术和现代控制理论应用于交流调速系统后,为其发展创造了更加有利的条件,使交流调速系统成为当前发展和研究的重点。采用微机控制以后,用软件实现矢量控制算法,使硬件电路规范化。从而降低了成本,提高了可靠性,而且还有可能进一步实现更复杂的控制技术。电力电子和微机控制技术的迅速进步是推动交流调速系统不断更新的动力。交流调速正逐步取代直流调速而成为电气调速的主流。不过交流调速控制系统比较复杂,中、小容量的调速装置价格偏高,实现四象限运行要比直流调速复杂。交流调速的上述缺点如果不能完全克服,直流调速仍会在许多场合继续发挥作用。

4. 本课程的性质、内容及任务

“电气传动与调速系统”是机械设计制造及自动化专业的一门选修课。本课程的教学内容主要包括:电气传动系统的动力学基础,直流电动机、交流电动机的各种特性,电气传动系统中电动机的选择,常用电力电子开关器件,直流调速控制系统,异步电动机调速控制系统,同步电动机变压变频调速系统。

本课程的作用和任务是通过本课程的学习使学生了解电气传动的基本知识,掌握直流、交流电动机以及电力电子开关器件的工作原理、应用和选择方法,掌握常用的电动机速度控制系统的工作原理、特点、性能及应用。

第 1 章 电气传动系统动力学基础

主要内容

- (1) 电气传动系统的动力学方程式；
- (2) 多轴传动系统中转矩和转动惯量的折算方法；
- (3) 几种典型的负载机械特性；
- (4) 电气传动系统的稳定运行条件。

学习重点及教学要求

- (1) 掌握电气传动系统的动力学方程式及其含义，掌握多轴传动系统中转矩和转动惯量的折算方法；
- (2) 熟悉电气传动系统稳定运行的条件；
- (3) 了解几种典型的负载机械特性。

电气传动系统是一个由电动机作原动机，通过传动机构带动生产机械，在控制系统的控制作用下完成所需运动的动力学整体。为了使电气传动系统更好地满足生产机械的要求，需要研究它的运行特性。然而生产机械的负载性质和运动形式是多种多样的，因此电气传动系统有简单的，也有复杂的。为了便于学习，本章首先分析单轴电气传动系统，然后分析多轴电气传动系统。

1.1 电气传动系统的动力学方程式

电气传动系统是一个机、电统一的运动系统，只有为其建立起动力学方程式，才能深入地分析和研究其运动特性。在研究由电动机和生产机械所构成的电气传动系统的运动规律时，为了抓住本质，通常先研究最简单的，即只包含一根轴的单轴电气传动系统，如图 1-1 所示，简单的电气传动系统由电动机 M 产生转矩 T_M ，用来克服生产机械的负载转矩 T_L ，以带动生产机械运动。当这两个转矩平衡时，传动系统维持恒速转动，角速度

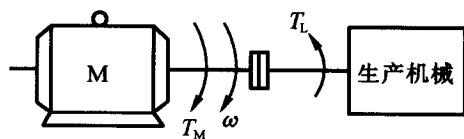


图 1-1 单轴拖动系统

ω 保持不变,角加速度 $d\omega/dt$ 等于零,即 $T_M = T_L$ 时, ω 为常数, $d\omega/dt = 0$, 这种运动状态称为静态或稳态。当 $T_M \neq T_L$ 时,加速度就不等于零, ω 就要变化,产生加速或减速,速度变化的大小与传动系统的转动惯量 J 和 $(T_M - T_L)$ 的值有关,把上述的这些关系用方程式表示。即为

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-1)$$

这就是单轴电气传动系统的动力学方程式,该式也可根据旋转系统的牛顿第二定律获得。

式中 T_M ——电动机输出的转矩 ($N \cdot m$) ;

T_L ——单轴传动系统的负载转矩 ($N \cdot m$) ;

J ——单轴传动系统的转动惯量 ($kg \cdot m^2$) ;

ω ——单轴传动系统的角速度 (rad/s)。

式 (1-1) 在工程上应用不太方便,实际计算中,往往不用转动惯量 J , 而用工程上常用的飞轮惯量 GD^2 。

由理论力学可知

$$J = m\rho^2 = \frac{1}{4} mD^2$$

$\therefore$

$$G = mg$$

$\therefore$

$$J = \frac{1}{4} mD^2 = \frac{1}{4} \frac{G}{g} D^2 = \frac{GD^2}{4g} \quad (1-2)$$

式中 g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

m ——旋转部分的质量 (kg) ;

G ——系统旋转部分的重量 (N) ;

ρ ——系统旋转部分惯性半径 (m) ;

D ——系统旋转部分惯性直径 (m)。

旋转运动角速度

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n \quad (1-3)$$

式中 ω ——角速度 (rad/s) ;

n ——转速 (r/min)。

将式 (1-2) 和 (1-3) 代入式 (1-1), 可得

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1-4)$$

式 (1-2) 中 $GD^2 = 4gJ$, 称为飞轮惯量 (或飞轮矩), 这里 GD^2 看成是一个整体, 不再理解为 G 与 D^2 的乘积。

式中, 常数 375 包含着 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, 故它有加速度的量纲, 动力学方程式是研究机电传动系统最基本的方程式, 它决定着系统运动的特征。当 $T_M > T_L$ 时, 加速度 dn/dt 为正, 传动系统为加速运动; 当 $T_M < T_L$ 时, dn/dt 为负, 系统为减速运动。系统处于加速或减速的运动状态称为动态。处于动态时, 系统中必然存在一个动态转矩

$$T_d = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-5)$$

它使系统的运动状态发生变化。这样,运动方程式(1-1)或(1-4)也可以写成转矩平衡方程式

$$T_M - T_L = T_d$$

或

$$T_M = T_L + T_d \quad (1-6)$$

就是说,电动机所产生的转矩在任何情况下,总是由轴上的负载转矩(即静态转矩)和动态转矩之和所平衡。

当 $T_M = T_L$ 时, $T_d = 0$, 这表示没有动态转矩,系统恒速运转,即系统处于稳态。稳态时,电动机发出转矩的大小,仅由电动机所带的负载(生产机械)所决定。

由于电动机转矩性质及运行状态的不同,以及工作机械负载性质的不同,电动机转矩 T_M 和负载转矩 T_L 不仅大小不同,方向也是变化的。在运动方程式中它们所取的符号也不同。通常以电动机轴的旋转方向为参考来确定转矩的正负。设电动机某一旋转方向为正,则规定电动机的转矩 T_M 的方向与所规定的正方向相同时为正,相反时为负。 T_M 为正时是驱动转矩, T_M 为负时是制动转矩。负载转矩 T_L 的规定符号与电动机转矩 T_M 的规定符号相反,即与所规定的正方向相同时为负,相反时为正。以上符号关系可以用图 1-2 所示轴端图来表示。图中选择逆时针旋转方向为正。

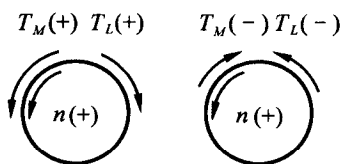


图 1-2 轴端图

例 1-1 图 1-3 所示的各图中, T_M , T_L , n 均为实际方向,试回答各问题:

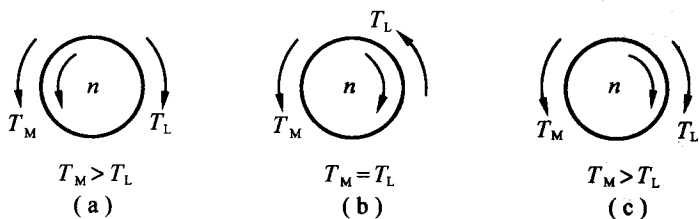


图 1-3 例 1-1 图

- (1) 根据图示 T_M , T_L , n 的方向,列出各机电传动系统的动力学方程式;
- (2) 说明各图中 T_M , T_L 是拖动转矩,还是制动转矩;
- (3) 根据各图中所示 T_M , T_L , n 的方向,说明各系统的运行状态是加速、减速还是匀速。

解 (1) 因按正方向的约定: 当 T_M 与 n 同向时, T_M 为正; 当 T_L 与 n 反向时, T_L 为正。

故图 1-3 (a) 为 $T_M - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$;

图 1-3 (b) 为 $-T_M - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$;