



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



电机与电气控制及PLC

(第2版)

赵俊生 主编
原霞 翟建龙 副主编

- 21世纪新编教材
- 体现工学结合、学用一致
- 配套PPT等教学资源
- 请登录www.hxedu.com.cn免费获取



SEU 2631753



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

2631753

TM3
97/-2

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

售
共
究

和
人

电机与电气控制及 PLC

(第2版)

赵俊生 主 编
原 霞 翟建龙 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

8871888

内 容 简 介

本书以机床常用电机为对象,以电气控制为主线,对工业中广泛应用的电气与 PLC 控制技术进行分析和讲解,主要由电机原理及特性、电气控制、PLC 控制 3 部分内容组成。

第一部分在阐述交、直流电机工作原理的基础上,分析讲解了交、直流电机的启动、制动、调速特性,为后续的电机控制奠定了理论基础。第二部分选取目前常用的低压电器进行讲解,精选大量基本控制电路进行分析,突出电气控制的基本原理和逻辑控制思想;并通过对典型电气控制系统的分析及设计方法的讲解,增强读者对工程控制电路的分析能力和实际设计能力。第三部分在传统的电气控制基础上,对 PLC 的工作原理及控制方法进行阐述,并以西门子 S7-200 PLC 为例,重点介绍了 PLC 控制的编程方法,并通过工程应用实例,使读者进一步加强 PLC 的应用能力。

本书可作为普通高等院校机械电子工程、机械设计制造及其自动化、数控机床、汽车等专业的相关教材,也可选做相关专业高职高专教材,亦可供工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制及 PLC / 赵俊生主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2012.8

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

ISBN 978-7-121-17607-4

I. ①电… II. ①赵… III. ①电机学—高等学校—教材②电气控制—高等学校—教材③可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM3②TM921.5③TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 158789 号

责任编辑:陈韦凯 特约编辑:肖晓强

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.75 字数: 429 千字

印 次: 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

电机与电气控制技术是综合了机床设备、电气控制和 PLC 应用的一门新兴技术,是实现机械加工、工业生产、科学研究及其他各领域自动化的重要技术之一,是“机械设计制造及其自动化”、“机械电子工程(机电一体化)”、“数控机床”、“工企自动化”、“计算机应用”等专业的一门重要的专业课,应用特别广泛。该课程的教学目的是使学生掌握典型机床加工设备的机械结构组成、生产工艺过程、对电气控制的要求及传统机床设备电气控制特点,并了解传统机电技术上的不足,从而采用先进的 PLC 技术加以改造和创新,是一门工学结合、学用一致、理论紧密联系生产实际、能有效培养学生工程实践创新能力和综合素质的应用技术。

最初的电气控制主要是继电接触器逻辑控制系统,随着生产技术的进步和生产过程的复杂化,可编程序控制器(PLC)技术得到了广泛应用,并且发展极为迅速,现已成为电气控制技术的主流。PLC 被排在现代工业四大支柱(PLC、数控机床、工业机器人、CAD/CAM)之首位,其推广应用的程度已成为衡量一个国家先进水平的重要标志。虽然 PLC 可以取代继电接触器逻辑控制,但在传统的机电传动控制中,继电接触器逻辑控制仍是主要的电气控制方式。而 PLC 本身就是在继电接触器逻辑控制技术上发展起来的,学好继电接触器逻辑控制系统也是学习 PLC 的基础。此外,电气控制系统中对电机的启动、调速和制动控制也是控制系统设计的主要内容之一,因此对于电气控制系统设计、电机的原理和特性也是必备的基本内容。

目前很少有将机床电机、电气控制和 PLC 应用技术三者融会贯通在一起的教材。大部分电气控制和 PLC 教材中缺少对电机特性的介绍,使得学生在设计电机启动、调速、制动控制时欠缺必要的理论基础。考虑到大多数机械类专业缺乏控制理论和电机知识,本书第 1 版正是基于上述原因,于 2009 年 10 月编写出版,并获得广大读者的认可。

本书第 2 版是编者在第 1 版的基础上,按照“思想性、科学性、先进性和实用性”的原则进行全面修订,根据连续 3 年多的实际教学使用效果精心修改而成。本书第 2 版保留了第 1 版的结构体系,突出其特点,并在内容上作了以下修改:

(1) 对一些理论分析过程进一步浓缩,主要突出概念、结论及其应用,如电力拖动系统的稳定运行条件,三相异步电动机负载运行时转子磁动势的分析、三相异步电动机变极调速时的机械特性,交、直流电动机各种制动状态的机械特性总结等内容。

(2) 对一些基本原理的分析进行了充实,如逻辑电路的设计方法、电气控制线路逻辑设计法、顺序逻辑控制电路的逻辑分析法。

(3) 增加了部分典型例题,如组合机床机械滑台 PLC 控制系统设计、三层集选电梯外呼信号停站控制程序设计,以加强学生对基本原理的理解和应用,从而克服了同类教材例题少的缺点。

(4) 各章习题难易程度和排列顺序与课本的内容和顺序更趋一致,便于学生练习和老师布置作业。

另外,全书在文字叙述方面,语言更简练、专业词汇使用更准确、形式更统一;对部分图稿,结合内容也作了相应修改和补充,使理论分析更直观易懂。

本书第2版由赵俊生担任主编，对全书文稿及图稿作了大量的修订工作。原霞对第3、4、5章进行了修订工作，翟建龙对第2、6、9章进行了编写和补充。同时，特别感谢樊文欣教授、张保成对第2版的修改、审核所提出的宝贵意见。

编者在此对使用过本书第1版以及对本书提出过宝贵意见的读者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 电机与电气控制的目的和任务	(1)
1.2 电机与电气控制技术的发展概况	(1)
1.2.1 电机拖动的发展	(1)
1.2.2 电气控制系统的发展	(2)
1.3 课程的性质和任务	(3)
1.4 课程的内容安排	(4)
第2章 电机拖动系统的动力学基础	(5)
2.1 单轴电机拖动系统	(5)
2.1.1 单轴电机拖动系统的运动方程式	(5)
2.1.2 系统的运动状态分析	(7)
2.1.3 系统运动方向	(7)
2.2 多轴电机拖动系统	(8)
2.2.1 负载转矩的折算	(9)
2.2.2 转动惯量和飞轮转矩的折算	(10)
2.3 典型负载的机械特性	(12)
2.3.1 恒转矩型机械特性	(12)
2.3.2 离心机型机械特性	(13)
2.3.3 恒功率型机械特性	(13)
2.3.4 直线型机械特性	(13)
2.4 电机拖动系统稳定运行的条件	(14)
习题与思考题	(15)
第3章 控制系统常用低压电器	(17)
3.1 低压电器分类	(17)
3.1.1 低压电器的组成	(17)
3.1.2 低压电器的分类	(18)
3.1.3 对低压电器的要求及选用原则	(18)
3.2 开关及主令电器	(19)
3.2.1 刀开关	(19)
3.2.2 组合开关	(21)
3.2.3 自动空气开关	(23)
3.2.4 按钮	(25)
3.2.5 行程开关	(28)
3.3 熔断器	(30)
3.3.1 熔断器的工作原理	(30)
3.3.2 熔断器的选择与使用	(31)

3.3.3	熔断器的型号含义和技术参数	(31)
3.4	交流接触器	(33)
3.4.1	交流接触器的组成和工作原理	(33)
3.4.2	交流接触器的选择和使用	(34)
3.4.3	交流接触器的型号含义和技术参数	(35)
3.5	继电器	(37)
3.5.1	电磁式继电器	(37)
3.5.2	时间继电器	(40)
3.5.3	热继电器	(43)
3.5.4	速度继电器	(46)
3.6	常用低压电器基本控制线路	(48)
3.6.1	点动控制线路	(48)
3.6.2	联锁控制线路	(49)
3.6.3	多点控制线路	(51)
3.6.4	顺序控制线路	(51)
3.6.5	正、反转控制线路	(51)
3.6.6	自动往复循环控制	(52)
	习题与思考题	(54)
第4章	直流电机特性及控制	(55)
4.1	直流电机的基本结构和工作原理	(55)
4.1.1	直流电机的基本结构	(55)
4.1.2	直流电机的工作原理	(58)
4.1.3	感应电动势和电磁转矩	(59)
4.1.4	直流电动机的分类	(60)
4.2	直流他励电动机的机械特性	(61)
4.2.1	机械特性的一般形式	(61)
4.2.2	固有机械特性	(62)
4.2.3	人为机械特性	(64)
4.3	直流他励电动机的启动特性及控制	(66)
4.3.1	启动特性	(66)
4.3.2	启动方法	(67)
4.3.3	启动控制	(69)
4.4	直流他励电动机的调速特性	(70)
4.4.1	速度调节和速度变化	(70)
4.4.2	调速方法	(71)
4.5	直流他励电动机的制动特性	(73)
4.5.1	基本概念	(73)
4.5.2	反接制动	(74)
4.5.3	反馈制动	(76)
4.5.4	能耗制动	(78)

4.5.5 制动控制线路·····	(80)
习题与思考题·····	(81)
第5章 三相异步电动机特性及控制·····	(83)
5.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理·····	(83)
5.1.1 三相异步电动机的基本结构·····	(83)
5.1.2 三相异步电动机的工作原理·····	(85)
5.1.3 三相异步电动机的额定参数·····	(90)
5.2 三相异步电动机的机械特性·····	(91)
5.2.1 三相异步电动机的转矩特性·····	(91)
5.2.2 固有机械特性·····	(92)
5.2.3 人为机械特性·····	(93)
5.3 三相异步电动机的启动特性及控制·····	(96)
5.3.1 鼠笼式异步电动机的启动方法·····	(97)
5.3.2 线绕式异步电动机的启动方法·····	(101)
5.3.3 三相异步电动机的启动控制·····	(103)
5.4 三相异步电动机的调速特性及控制·····	(107)
5.4.1 三相异步电动机的调速特性·····	(107)
5.4.2 三相异步电动机的调速控制·····	(108)
5.5 三相异步电动机的制动特性及控制·····	(110)
5.5.1 三相异步电动机的制动特性·····	(110)
5.5.2 三相异步电动机制动控制·····	(113)
习题与思考题·····	(115)
第6章 生产机械电气控制系统设计·····	(117)
6.1 电气图的常用符号·····	(117)
6.1.1 图形符号·····	(119)
6.1.2 文字符号·····	(120)
6.1.3 接线端子标记·····	(121)
6.2 电气图的绘制·····	(121)
6.2.1 电气原理图·····	(121)
6.2.2 电气元件布置图·····	(124)
6.2.3 电气安装接线图·····	(125)
6.2.4 电气故障分析方法·····	(125)
6.3 电气原理图的阅读·····	(128)
6.3.1 查线阅读法·····	(128)
6.3.2 读图练习·····	(129)
6.4 电气控制线路设计的基本原则·····	(129)
6.4.1 电气控制系统设计的基本内容·····	(130)
6.4.2 电力拖动方案的确定原则·····	(130)
6.4.3 控制方案的确定原则·····	(131)
6.5 电气控制线路的设计方法·····	(132)

6.5.1	控制线路的设计要求	(132)
6.5.2	控制线路的设计方法	(132)
6.5.3	设计控制线路时应注意的问题	(144)
6.6	电气控制线路设计中电动机的选择	(146)
6.6.1	电动机结构的选择	(146)
6.6.2	电动机类型的选择	(146)
6.6.3	电动机转速的选择	(147)
6.6.4	电动机额定电压的选择	(147)
6.6.5	电动机功率的选择	(147)
6.7	电气控制线路设计中元器件的选择	(148)
6.7.1	接触器的选用	(148)
6.7.2	继电器的选择	(149)
6.7.3	熔断器的选择	(150)
6.7.4	控制变压器的选用	(150)
6.7.5	其他控制电器的选用	(151)
6.8	电气控制系统的工艺设计	(152)
6.8.1	电气设备总体配置设计	(152)
6.8.2	电气元件布置图的设计	(153)
6.8.3	电气元件接线图的绘制	(154)
6.8.4	电气箱及非标准零件图的设计	(154)
6.8.5	清单汇总和说明书的编写	(154)
	习题与思考题	(155)
第7章	PLC 结构与工作原理	(157)
7.1	PLC 概述	(157)
7.1.1	PLC 的由来及控制原理	(157)
7.1.2	PLC 的定义	(159)
7.1.3	PLC 的应用领域	(160)
7.1.4	PLC 的发展历程	(161)
7.2	PLC 的特点及功能	(161)
7.2.1	PLC 的特点	(161)
7.2.2	PLC 的功能	(163)
7.3	PLC 的基本结构组成	(164)
7.3.1	PLC 的硬件结构	(164)
7.3.2	PLC 的软件结构	(168)
7.4	PLC 的工作原理及寻址方式	(168)
7.4.1	PLC 的工作原理	(168)
7.4.2	PLC 的 I/O 寻址方式	(170)
7.5	PLC 程序设计语言	(171)
7.5.1	梯形图	(171)
7.5.2	布尔助记符	(172)
7.5.3	功能表图	(172)

7.5.4 结构化语句	(173)
7.6 PLC 的性能指标及分类	(173)
7.6.1 PLC 的性能指标	(173)
7.6.2 PLC 的分类	(174)
7.6.3 PLC 的发展趋势	(175)
习题与思考题	(176)
第 8 章 S7-200 PLC 编程元件及指令系统	(177)
8.1 S7 系列 PLC 概述	(177)
8.1.1 概述	(177)
8.1.2 S7-200 系列 PLC 的硬件配置	(179)
8.1.3 S7-200 系列 PLC 的主要技术性能	(180)
8.2 S7-200 系列 PLC 数据存储及编程元件	(183)
8.2.1 S7-200 系列 PLC 的数据存储器及编址方式	(183)
8.2.2 S7-200 系列 PLC 的编程元件	(184)
8.2.3 S7-200 系列 PLC 的数据存储器寻址	(188)
8.3 S7-200 系列 PLC 指令系统	(190)
8.3.1 基本位逻辑指令	(190)
8.3.2 定时器指令	(194)
8.3.3 计数器指令	(198)
8.3.4 程序控制指令	(200)
8.3.5 功能指令	(204)
习题与思考题	(213)
第 9 章 PLC 控制系统设计及应用实例	(214)
9.1 应用系统设计概述	(214)
9.2 PLC 应用系统的设计方法	(214)
9.2.1 PLC 控制系统的设计内容及设计步骤	(214)
9.2.2 PLC 的硬件设计和软件设计及调试	(215)
9.2.3 PLC 程序设计方法	(216)
9.2.4 PLC 程序设计步骤	(234)
9.3 应用举例	(235)
9.3.1 机械手的模拟控制	(235)
9.3.2 组合机床的控制	(239)
9.3.3 除尘室 PLC 控制	(244)
9.3.4 水塔水位的模拟控制	(246)
9.4 S7-200 系列 PLC 的装配、检测和维护	(247)
9.4.1 PLC 的安装与配线	(247)
9.4.2 PLC 的自动检测功能及故障诊断	(250)
9.4.3 PLC 的维护与检修	(250)
9.5 PLC 应用中若干问题的处理	(251)
习题与思考题	(252)
参考文献	(254)

第1章 概 述

1.1 电机与电气控制的目的和任务

机械设备电气自动控制,是指利用电气自动控制系统,在无人工直接参与(或少量参与)的情况下,使被控机械设备按预定的工作程序,根据电动机的机械特性,自动完成电动机的启动、停止、正转、反转、调速或液压传动系统、气压传动系统的工作循环。如组合机床、专用机械手和其他工艺过程相对固定的自动化生产机械,在启动后便自动地按预定的动作顺序、行程和速度一步步地完成其工作循环;又如数控机床,按照编制的程序,自动地按预定的速度、位移、走刀轨迹和动作顺序进行形状复杂零件的加工;再如客运电梯,也是按照乘客所触发信号可能构成的各种逻辑关系预先设计电路,编制程序,电梯按控制程序自动地完成乘客要求的不同起点和终点的载运任务。所有这些都是依靠电气自动控制来实现的。

随着社会经济的不断发展、市场需求产品数量的增大和质量的不断提高,对机械设备的性能要求也越来越高。例如,用于大批量生产的机械设备及其自动生产线,既要求自动化程度和加工效率高,又要求加工质量好,自动生产线还要求统一控制和管理;对于机械加工中心一类精密机床,要求其加工精度达几微米,表面粗糙度很低,自动化程度很高;对电梯和升降机之类的载运机械设备则要求启动和制动平稳,并能准确地停靠在预定的位置。诸如此类的机械设备都有共同的要求,即提高生产率和加工质量或运行质量,降低生产成本,改善劳动条件。要达到这些要求,除了提高机械设备本身的设计水平和制造质量外,在很大程度上取决于电气自动控制系统的完善功能和优良性能。

1.2 电机与电气控制技术的发展概况

1.2.1 电机拖动的发展

电气控制与电机拖动有着密切关系。20世纪初,由于电动机的出现,使得机床的拖动发生了变革,用电动机代替蒸汽机,机床的电气拖动随电动机的发展而发展。

1. 单电机拖动

19 世纪末到 20 世纪初为生产机械电力拖动的初期; 20 世纪初出现电动机后, 生产机械的拖动由电动机代替了蒸汽机。起初由一台电动机通过一根天轴和多组皮带传动机构拖动多台生产机械, 称为成组拖动。到 20 世纪 20 年代, 发展为一台生产机械的多个运动机构由一台电动机拖动, 称为单电机拖动。

与成组拖动相比, 一台电动机拖动一台机床简化了传动机构, 缩短了传动线路, 提高了传动效率, 至今仍有部分中小型通用机床采用单电机拖动方式。

2. 多电机拖动

随着生产的发展, 生产机械动作也相应增多, 除了主运动外还有各种辅助运动, 单机拖动已经不再适应这种需要, 于是出现了一台生产机械的多个运动机构, 由多台电动机分别拖动, 称为多电机拖动。这种拖动方式不仅大大简化了生产机械的传动机构, 提高了传动效率, 而且控制灵活, 易于实现各运动部件的自动化, 为生产机械的自动控制提供了有利条件。多电机拖动是现代机床最基本的拖动方式。

3. 交、直流无级调速

电气无级调速具有可灵活选择最佳切削速度和极大简化机械传动结构的优点。由于直流电动机具有良好的启动、制动和调速性能, 可以很方便地在较宽的范围内实现平滑无级调速, 所以 20 世纪 30 年代以后直流调速系统在重型和精密机床上得到广泛应用。20 世纪 60 年代以后, 由于大功率晶闸管的问世, 随着大功率整流技术和大功率晶体管的发展, 晶闸管直流电动机无级调速系统取代了直流电动机、电磁放大机等直流调速系统, 采用脉宽调制的直流调速系统也得到广泛应用。20 世纪 80 年代以后, 由于半导体变流技术的发展, 使得交流电动机调速系统有了突破性进展。交流调速有许多优点, 单机容量和转速可大大高于直流电机。交流电机无电刷与换向器, 易于维护, 可靠性高, 适用于带有腐蚀性、易爆性、含尘气体等特殊环境中。与直流电机相比, 交流电机还具有体积小, 质量轻、制造简单、坚固耐用等优点。目前, 交流变频调速器、矢量控制微量伺服单元及交流伺服电机已日益广泛地应用于工业中, 交流调速的发展必然会对电机拖动系统产生深远影响, 必须引起充分的重视。

1.2.2 电气控制系统的发展

电机与电气拖动的自动控制方式从最初采用手动控制到目前应用普遍的可编程序控制, 经历了一个从低级到高级的发展过程。

最早的自动控制是 20 世纪 20~30 年代出现的继电器接触器控制, 它可以实现对控制对象的启动、停车、调速、自动循环及保护等控制。它所使用的控制器件结构简单、价廉, 控制方式直观、易掌握、工作可靠、易维护, 因此在机床控制上得到长期、广泛的应用。其缺点是体积大、功耗大、控制速度慢、改变控制程序困难, 由于是有触点控制, 在控制复杂系统时使得可靠性降低。

为了解决复杂和程序可变控制对象的需要,在20世纪60年代出现了顺序控制器。它是继电器和半导体元件综合应用的控制装置,具有程序改变容易、通用性较强等优点,广泛用于组合机床、自动化生产线上。

随着计算机技术的发展,当生产要求变化时,对控制系统也提出了更高的要求。尤其是当生产要求变化非常频繁时,使得控制成本进一步提高。由于继电器是机械元件,其寿命有限,这就需要制订一份非常严格的保养计划。当使用的继电器很多时,故障诊断也是非常令人头痛的事情。为了降低使用继电器控制的复杂电机控制系统的巨额成本,在20世纪60年代末期,PLC第一次被提出。20世纪70年代,用来取代电机控制的顺序继电器电路的一种新型工业控制器问世,出现了以微型计算机为基础的具有编程、存储、逻辑控制及数字运算功能的可编程控制器(即可编程逻辑控制器,Programmable Logic Controller,简称PLC)。PLC的设计以工业控制为目标,因而具有功率级输出、接线简单、通用性强、编程容易、抗干扰性强、工作可靠性高等一系列优点。它一问世即以强大的生命力,大面积地占领了传统的控制领域。PLC的一个发展方向是微型、简易、价廉,以完全取代传统的继电器控制系统;而它的另一个发展方向是大容量、高速、高性能,能对大规模复杂控制系统进行综合控制。

1.3 课程的性质和任务

机电一体化产品质量和技术水平的高低是当今世界衡量一个国家实力和国际地位的重要指标之一。实现产品的高质量和技术的高水平,其关键是机电一体化技术人才的培养。高等学校应培养基础扎实、知识面广、能力强、素质高,具有创新精神和实践能力的“机电复合型”人才,使学生学习并掌握机、电、液、计算机等综合控制系统的技术,从而具备从事电气技术所必需的理论知识和职业能力,在生产、服务、技术和管理第一线从事机电及电气设备安装、调试、运行、维护、生产的高素质电气技术人才。综合控制系统中的控制技术主要包含弱电控制(计算机控制技术)和强电控制。对强电控制教学内容以前安排在几门课程中讲授,学生整体感觉偏难,且有部分内容重复,有的内容缺乏相互联系,不够系统。随着高校教学改革和评估,对原有的课程设置进行了压缩和调整,“电机与电气控制及PLC”课程建立了一个崭新的课程体系,它把电机原理及特性、电机拖动、低压电气、继电器-接触器控制、可编程序控制器等内容,根据学科的发展和内在规律有机地结合起来,不仅节省了学时,避免了不必要的重复,加强了知识的系统性,而且注重理论联系实际,形成一套难度适中的电机与电气控制技术课程,为学生以后从事机电一体化行业中电机与电气控制奠定了必备的基础。

本课程是一门实用性很强的专业课,也是一门机械电子工程电气自动化专业、机电一体化专业、机电设备维修与管理等专业的主干课。在掌握直流、交流电机工作原理及特性的基础上,主要以电动机及其他执行电器为控制对象,介绍各种常用低压电器元件、继电接触器控制系统、PLC控制系统的工作原理、典型设备的电气控制系统,以及电气控制系统的设计方法等。通过本课程的学习,不但可以掌握传统的继电接触器控制系统有关知识,

同时还可以掌握现代 PLC 工业控制技术;不但可以掌握电气控制方面的理论知识,同时将提高实际应用和动手能力。

本课程的基本任务是:

- (1) 熟悉直流、交流电机工作原理,掌握直流、交流电机的固有特性及人为特性。
- (2) 熟悉常用控制电器的结构原理、用途及型号,达到正确使用和选用的目的。
- (3) 熟练掌握电气控制电路的基本环节,具备阅读和分析电气控制电路的能力,能设计简单的电气控制电路。
- (4) 熟悉 PLC 的基本工作原理,初步掌握 PLC 的应用。
- (5) 熟练掌握 PLC 的基本指令系统和典型电路的编程,掌握 PLC 的程序设计方法,能够根据生产过程要求进行系统设计,编制应用程序。

1.4 课程的内容安排

本书共分 9 章。第 1 章为概述。第 2 章重点介绍电机拖动系统的运动方程及系统的稳定性,为后续电机的启动、调速及制动奠定理论基础;基于继电器-接触器控制是电气控制及 PLC 的基础,目前还广泛应用于生产和实际中。第 3 章介绍电机与电气控制系统中常用的低压电器,其中重点介绍了接触器、速度继电器、时间继电器的工作原理。电机作为电气控制系统中的主要被控对象,在第 4 章、第 5 章中分别介绍了直流电机、交流电机的结构、工作原理及特性;在掌握电机特性的基础上,阐述了直流电机、交流电机的启动、调速、制动方法及控制原理。为了表述机电控制系统的组成及工作原理,同时也便于设备的安装、调试和维修,第 6 章分别介绍了电气图的分类及电气原理图的绘制、电气原理图的识读、电气控制线路设计的基本原则和方法,以及元器件和电动机的选择。可编程控制器 PLC 作为取代用于电机控制的顺序继电器电路的一种新型工业控制器,将在第 7 章中对其结构、工作原理、程序设计及性能指标进行阐述。第 8 章对目前工业控制中应用较为广泛的西门子 S7-200 PLC 的编程元件及指令系统进行了描述。为了理论联系实际,第 9 章介绍 PLC 控制系统的设计方法,并给出相应的应用实例。

本教材是按照课程学时数为 60 学时而编写的。教学时可根据实际情况进行选用,部分内容在教师启发下由学生自学完成。本书各章后均附有习题供学生课后选做,以加强和巩固教学效果。

第2章 电机拖动系统的动力学基础

电机拖动系统是一个由电动机拖动、通过传动机构带动生产机械运转的整体。尽管电动机种类繁多、特性各异,生产机械的负载特性也是多种多样的,但从动力学的角度来分析,它们都应服从动力学的统一规律。本章首先分析电机拖动系统的运动方程式,并结合几种典型生产机械的机械特性,进而分析电机拖动系统稳定运行的条件,为后续电机的调速和制动控制奠定必要的基础。

2.1 单轴电机拖动系统

在极大多数的机电系统中,都存在着机械运动。在生产、生活实践中,最普遍的机械运动的动力由电动机提供,这样的系统称为电机拖动系统或机电传动系统。

2.1.1 单轴电机拖动系统的运动方程式

电机拖动系统一般由电动机、传动机构、工作机构及控制设备和电源组成,如图 2-1 所示。

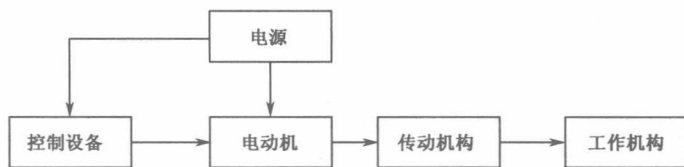


图 2-1 电机拖动系统组成

最简单的电机拖动系统是电动机转轴与生产机械(工作机构)直接相连,工作机构是电动机的负载,这种电动机转轴与生产机械(工作机构)直接相连的系统称为单轴电机拖动系统。单轴电机拖动系统结构模型如图 2-2 所示,它是由电动机 M 产生转矩 T_M ,用来克服负载转矩 T_L ,带动生产机械以角速度 ω 运动。电动机转矩 T_M 、负载转矩 T_L 及生产机械角速度 ω 的方向约定如图 2-3 所示。

当电动机的转矩作用于这一系统时,根据动力学有关定理,电动机产生的转矩 T_M 用来克服负载转矩 T_L ,并产生角加速度 $d\omega/dt$,带动生产机械运动。角加速度的大小与旋转体的转动惯量 J 成反比。单轴电机拖动系统的运动方程式可用式 (2.1) 表示,它实质上就是旋转运动系统的牛顿第二定律。式 (2.1) 即为系统动力学模型或数学模型:

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.1)$$

式中: T_M ——电机产生的转矩 (单位: $\text{N} \cdot \text{m}$);
 T_L ——系统负载转矩 (单位: $\text{N} \cdot \text{m}$);
 J ——转动惯量 (单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^2$);
 ω ——系统角速度 (单位: rad/s);
 t ——时间 (单位: s)。

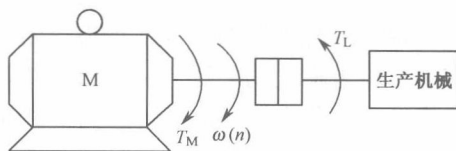


图 2-2 单轴电机拖动系统结构模型

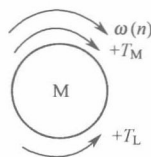


图 2-3 转速、转矩方向约定

式 (2.1) 是电机拖动系统的运动方程式的一般形式, 由于式中所使用的单位在计算和使用中不太方便, 因此, 在实际工程计算中, 往往用转速 n 代替角速度 ω 来表示系统转动速度, 用飞轮惯量 (也称飞轮转矩) GD^2 代替转动惯量 J 来表示系统的机械惯性。由于 J 与 GD^2 的关系为

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \frac{GD^2}{4g} \quad (2.2)$$

式中: g ——重力加速度, $g=9.81\text{m/s}^2$;
 m ——系统旋转部分质量 (单位: kg);
 G ——系统旋转部分重量, $G=mg$ (单位: N);
 ρ ——系统旋转部分质量半径 (单位: m);
 D ——系统旋转部分质量直径 (单位: m)。

且有

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n \quad (2.3)$$

式中: n ——系统旋转部分转速 (单位: 转/分钟)。

将式 (2.2) 和式 (2.3) 代入式 (2.1) 可得运动方程式的实用形式为

$$T_M - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2.4)$$

式中常数 375 包含着 $g=9.81\text{m/s}^2$, 故它有加速度量纲; GD^2 是个整体物理量, 切不可把它分割开来理解, 对于一些像电机这样的标准部件, 其飞轮惯量可以从其产品目录或技术手册中查到。式 (2.4) 是常用的电机拖动系统的运动方程式, 它表征了电机拖动系统的普遍规律, 是研究电机拖动系统各种运转状态的基础, 也是生产实践中设计计算的依据。

2.1.2 系统的运动状态分析

上述运动方程式反映了系统运动的特征。当电动机转矩 T_M 与负载转矩 T_L 平衡时, 传动系统维持恒速转动, 转速 n 或角速度 ω 不变, 加速度 $a=dn/dt$ 等于零。即 $T_M=T_L$ 时, n =常数, $a=dn/dt=0$; 或 ω =常数, $a=d\omega/dt=0$, 这种运动状态称为静态(相对静止状态)或稳态(稳定运转状态)。

当 $T_M \neq T_L$ 时, 速度(n 或 ω)就要变化, 产生加速或减速过程, 速度变化的大小与传动系统的转动惯量 J 有关。当 $T_M > T_L$ 时, 加速度 $a=dn/dt$ 为正, 传动系统为加速运动; 当 $T_M < T_L$ 时, $a=dn/dt$ 为负, 系统为减速运动。系统处于加速或减速运动状态称为动态。

系统处于动态的本质, 是系统中存在着一个动态转矩 T_d , 即

$$T_d = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2.5)$$

它使系统的运动状态发生变化, 产生加速度。这样, 运动方程式(2.1)和式(2.4)可以写成转矩平衡方程式

$$T_M - T_L = T_d$$

或者

$$T_M = T_L + T_d$$

即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和动态转矩之和所平衡。当 $T_M=T_L$ 时, 即 $T_d=0$, 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)决定。

2.1.3 系统运动方向

由于运动是相对的, 所以运动系统中各量的方向(正、负)可以人为定义。但是为了避免混淆, 通常是首先规定电动机某一旋转方向为正方向。对于电动机的转矩, 由于其起主动作用, 则当电动机的转矩与转速方向相同时为正, 相反为负; 对于负载转矩, 由于其起阻止运动作用, 则当负载转矩与转速方向相反为正, 反之为负, 如图2-3所示。

根据上述约定就可以从转矩和转速的符号上判定 T_M 与 T_L 的性质, 若 T_M 与 n 符号相同(同为正或同为负), 则表示 T_M 的作用方向与 n 相同, T_M 为拖动转矩; 若 T_M 与 n 符号相反, 则表示 T_M 的作用方向与 n 相反, T_M 为制动转矩。而对于负载转矩则与上述情况正好相反, 若 T_L 与 n 符号相同, 则表示 T_L 的作用方向与 n 相反, T_L 为制动转矩; 若 T_L 与 n 符号相反, 则表示 T_L 的作用方向与 n 相同, T_L 为拖动转矩。在实际的电机拖动系统中, 尽管存在着摩擦性负载转矩和位能性负载转矩这两种负载性质截然不同的情况, 但通过分析可知它们都符合上述规律。

【例2-1】 如图2-4所示在电动机拖动重物上升和下降过程中, 试判定起重机启动和制动时电动机转矩 T_M 和负载转矩 T_L 的符号。设重物上升时电动机旋转方向为 n 的正方向, 即 n 的符号为正; 重物下降时 n 的符号为负。