



策划编辑: 马子涵
责任编辑: 马子涵
封面设计: 刘文东



定价: 59.80元



电机拖动与调速技术 (第2版)

主编 郑宁 范其明

北京邮电大学出版社



X-A



“十四五”职业教育国家规划教材



主编 郑宁 范其明
主审 赵相宾

电机拖动与调速技术

DIANJI TUODONG YU TIAOSU JISHU

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十四五”职业教育国家规划教材



主 编 郑 宁 范其明
副主编 田海一
主 审 赵相宾

电机拖动 与调速技术

DIANJI TUODONG YU TIAOSU JISHU

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是“十四五”职业教育国家规划教材。本书是根据高等职业教育装备制造类专业教学改革需求、专业培养目标和教学要求,以及企业人才需求,采用行动导向教学法,并结合编者多年的教学经验编写而成的。

本书主要内容包括基础导论、电机的拆装与检测、直流电动机拖动与调速运行、变压器的运行与测试、三相异步电动机的运行与测试、MM440 变频器的操作与运行、V20 变频器的操作与运行、产品自动分选系统的装调与运行、基于步进电机的伺服系统的设计与调试及 S210 驱动器系统的设计与调试。

本书可以作为高等职业教育装备制造类专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电机拖动与调速技术 / 郑宁, 范其明主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2021. 6 (2025. 8 重印)
ISBN 978-7-5635-6399-9

I. ①电… II. ①郑… ②范… III. ①电力传动—高等职业教育—教材 ②电机—调速—高等职业教育—教材 IV. ①TM921 ②TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 122356 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市骏杰印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.5 插页 1

字 数: 424 千字

版 次: 2021 年 6 月第 2 版

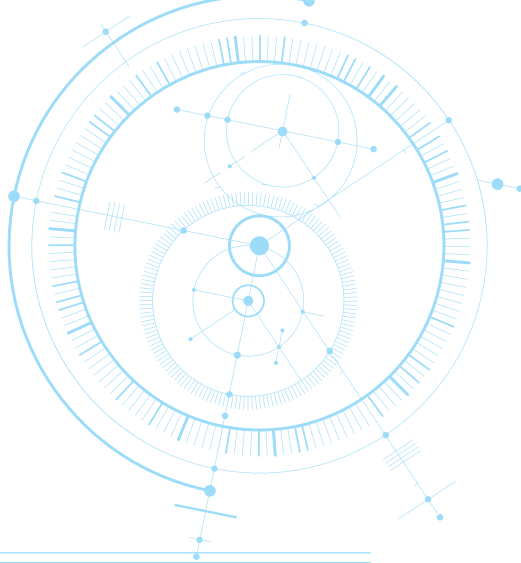
印 次: 2025 年 8 月第 4 次印刷

ISBN 978-7-5635-6399-9

定 价: 59.80 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233



Preface 第2版前言

本书将电机及驱动器的知识融入工作任务中,从任务准备到任务实施,再从知识链接到问题与思考,采用任务驱动教学模式,使学生在操作过程中自主思考,自发学习。对于理论知识的讲解,本书尽量简化公式推导过程,遵循以够用为度、以适用为原则,注重先进技术的应用。在每个学习任务中先提出知识和能力要求,便于学生在学习中的放矢。在任务结束后,对学生的任务完成情况给出了评价与考核标准。教学效果评价采取过程评价与结果评价相结合的方式,重点评价学生的职业能力,并从知识掌握情况、工作任务完成情况来对学习内容进行测评。这样不仅有助于教师掌握学生的知识理解和任务完成情况,还有助于学生正确评价自己、提升自己。在拓展实训项目中,直接采用以学生工作小组的方式接受任务、完成任务的教学模式,旨在锻炼学生的项目理解、资讯收集、项目组织、计划制订、任务实施及团队合作等综合能力。

针对不断提升的科技水平和智能制造对应用型技术人才培养的新要求,同时结合二十大报告提出的“实施科教兴国战略,强化现代化建设人才支撑。教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”,“人才是第一资源”等相关要求。本书在保持第1版特色的基础上,突出实际应用。在第2版中删除了软起动的相关内容,增加了应用广泛的 SINAMICS V20 变频器的相关知识。同时,在拓展实训项目中增加了 S210 驱动器系统的设计与调试的相关内容,以适应技术的发展和人才培养的需要。另外,在第2版中还更新了部分内容,如增加了三相变压器极性测试实验;在每个任务前增加了新技术现状、相关知识历史发展、杰出人物介绍等内容,以期达到全面培养人才的目的。

全书主要内容包括基础导论、6个学习任务和3个拓展实训项目,全书各部分内容学时安排如下。



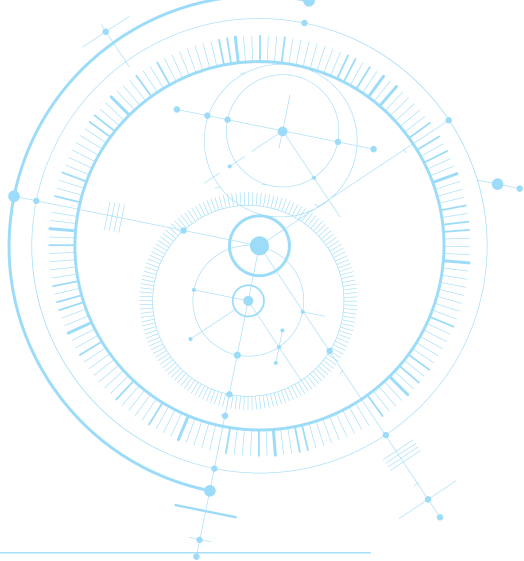


内 容	学 时
基础导论	2
学习任务学时分配(54)	
电机的拆装与检测	8
直流电动机拖动与调速运行	8
变压器的运行与测试	8
三相异步电动机的运行与测试	10
MM440 变频器的操作与运行	10
V20 变频器的操作与运行	10
拓展实训项目学时分配(24)	
产品自动分选系统的装调与运行	8
基于步进电机的伺服系统的设计与调试	8
S210 驱动器系统的设计与调试	8
总计	80

本书由天津中德应用技术大学郑宁教授、范其明副教授任主编,天津现代职业技术学院田海一任副主编,天津中德应用技术大学孙鹏高级工程师和天津现代职业技术学院王哲参与编写。具体编写分工如下:郑宁编写基础导论中的部分内容、学习任务一的交流电机部分、学习任务四、学习任务五;范其明编写基础导论中的部分内容、学习任务一的直流电机部分、学习任务二、拓展实训项目一、拓展实训项目二;田海一编写学习任务六、拓展实训项目三;孙鹏编写学习任务三;王哲参与了学习任务六、拓展实训项目三的编写。全书由郑宁、孙鹏负责统稿,全书由天津中德应用技术大学赵相宾教授主审。本书在编写过程中得到天津中德应用技术大学牛云陞教授、孙利华副教授的帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者



Preface 第1版前言

本书是根据高职高专机电类专业教学改革需求、专业培养目标和教学要求,并结合编者几十年的教学经验编写而成的。本书把电机及驱动器的学习融入若干个学习任务中,采用任务驱动法,每个任务从任务准备到任务实施,再从知识链接到问题思考,既重视动手操作,又兼顾理论讲解。尽量简化公式推导,将实训内容与理论知识紧密结合,争取达到理实一体化的教学效果。工作原理及相关知识遵循以够用为度、以适用为原则,注重先进技术应用,有效地提高学生的专业能力和职业能力。

在每个学习任务中,首先给出学习目标,便于学生在学习中有的放矢。在完成每个任务之后,还要对学生的任务完成情况进行评价与考核,从知识掌握情况、工作任务完成情况来对学习内容进行测评,不仅有助于教师掌握学生的知识理解和任务完成情况,还有助于学生正确地评价自己、提升自己。在拓展实训项目中,更是直接提出了学生以工作小组的方式接受任务,最终完成任务的教学模式,锻炼学生的项目理解、资讯收集、项目组织、计划制订、任务实施以及团队合作等综合能力。全书包括基础导论、六个学习任务和两个拓展实训项目。基础导论讲述了电磁感应原理等基本知识;学习任务一讲述了电机的拆装与检测;学习任务二讲述了直流电动机拖动与调速运行;学习任务三讲述了变压器的运行与测试;学习任务四讲述了三相异步电动机的运行与测试;学习任务五讲述了软起动器的运行与测试;学习任务六讲述了变频器的操作与运行;拓展实训项目一讲述了产品自动分选系统的装调与运行;拓展实训项目二讲述了基于步进电机的伺服系统的设计与调试。

建议学时分配如下。

学习任务学时分配(56)	
学习任务	学时
基础导论	2
电机的拆装与检测	8
直流电动机拖动与调速运行	10
变压器的运行与测试	8
三相异步电动机的运行与测试	10





续表

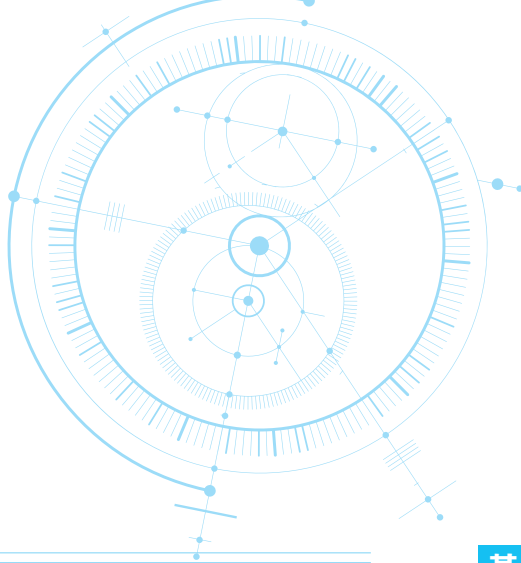
软起动器的运行与测试	8
变频器的操作与运行	10
拓展实训项目学时分配(24)	
拓展实训项目	学时
产品自动分选系统的装调与运行	12
基于步进电机的伺服系统的设计与调试	12
总计	80

本书由天津中德应用技术大学郑宁副教授任主编,范其明任副主编,参加编写的还有牛云陞副教授和孙利华副教授,全书由郑宁负责统稿。其中,郑宁负责交流电机、软起动器和变频器部分的编写,范其明负责直流电机、控制电机、拓展实训项目二的编写,牛云陞负责编写变压器和拓展实训项目一;孙利华负责软起动器和变频器部分有关电力电子知识的编写和整理。编者还为本书编写了复习思考题、问题与思考等内容,作为学生学习、分析、自测的辅助内容。此外,编者还为授课教师提供了配套的教学资源,教学资源包括:课程标准、授课计划、电子教案、电子课件、问题与思考答案、复习思考题答案等。

本书在编写过程中得到了天津中德应用技术大学领导的大力支持,在此表示衷心的感谢。在统稿过程中得到了杜志强老师的帮助,在这里表示感谢。

由于编写水平和经验有限,书中难免存在一些不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者



Contents 目 录

基础导论	1
学习任务一 电机的拆装与检测	25
任务一 直流电机的拆装与检测	26
任务二 交流电机的拆装与检测	44
学习任务二 直流电动机拖动与调速运行	68
任务一 直流电动机的通电运行	69
任务二 直流电动机的调速运行	88
学习任务三 变压器的运行与测试	100
任务一 单相变压器的运行与测试	101
任务二 三相变压器的运行与测试	117
学习任务四 三相异步电动机的运行与测试	128
任务一 三相异步电动机的通电运行与测试	129
任务二 三相异步电动机的起动、制动及调速	146
任务三 三相异步电动机的故障模拟测试	162
学习任务五 MM440 变频器的操作与运行	170
任务一 变频器的基本调速控制	171
任务二 变频器的典型调速控制	200
学习任务六 V20 变频器的操作与运行	217
任务 变频器的基本调速控制	218





拓展实训项目一

产品自动分选系统的装调与运行 240

- 任务一 项目实施前的准备 243
- 任务二 安装、接线、管路连接 253
- 任务三 编程、调试与运行 258
- 任务四 提交数据和报告 267

拓展实训项目二

基于步进电机的伺服系统的设计与调试 270

- 任务一 项目实施前的准备 273
- 任务二 安装、接线 281
- 任务三 编程、调试与运行 286
- 任务四 提交数据和报告 292

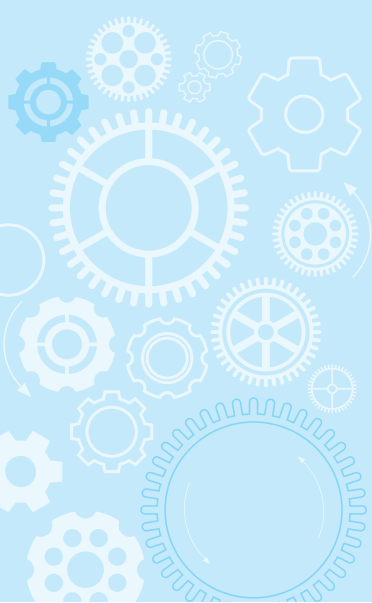
拓展实训项目三

S210 驱动器系统的设计与调试 299

- 任务一 项目实施前的准备 302
- 任务二 安装、接线 310
- 任务三 编程、调试与运行 314
- 任务四 提交数据和报告 317

参考文献

321



基础导论

推进新型工业化,加快建设制造强国

党的二十大报告提出,坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国。这为我们推动工业和信息化高质量发展,加快建设制造强国,提出了新的更高要求。

一、电磁感应原理

电磁感应原理是电机最基本的工作原理。因此,要想了解电机的工作原理及性能,必须先掌握电、磁方面的基础知识。在电工基础课程中,已经学习了有关电路及磁路方面的知识。为了进一步掌握电机、变压器的工作原理及性能,需要准备必要的基础知识,下面对磁路方面的知识进行复习和补充。

1. 安培力

在永磁体及通电导线周围存在着磁场,但是,怎样表示磁场的强弱呢? 磁场最基本的特性是对磁场中的通电导体有力的作用,研究磁场的强弱就是从分析通电导体在磁场中的受力情况入手的。

磁场对载流导体施加的力称为安培力。在匀强磁场中,若载流直导线与磁感应强度 B 方向垂直,导体的有效长度为 l ,流过导体的电流为 i ,载流直导线所受的力为 F ,则

$$F = B i l \quad (0-1)$$

用左手定则确定 F 的方向,即把左手伸开,大拇指与其他四指成 90° 。如果磁力线指向手心,其他四指指向导线中电流的方向,则大拇指指向的就是导线受力的方向。如图 0-1 所示为 F 、 B 与 i 三者之间的方向关系。

2. 磁感应强度

描述磁场强弱及方向的物理量是磁感应强度(或称磁通密度),用 B 表示。

磁感应强度 B 与产生它的电流之间的关系用毕奥-萨伐尔定律描述,磁力线的方向与电流的方向满足右手螺旋关系,如图 0-2 所示。



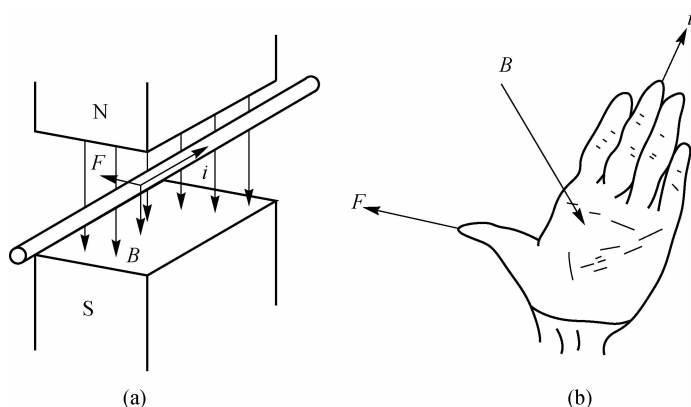


图 0-1 载流导体在磁场内受到的安培力及左手定则



动画
左手定则

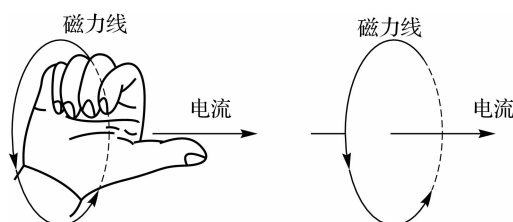


图 0-2 右手螺旋关系

为了形象地描绘磁场,常采用磁力线,磁力线是无头无尾的闭合曲线。如图 0-3 所示,分别画出了直线电流、圆电流和螺线管电流产生的磁力线。

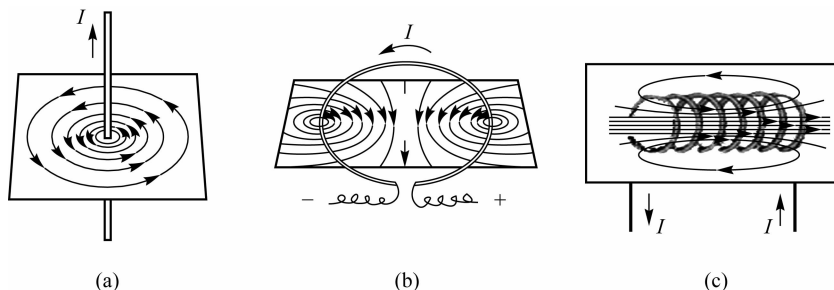


图 0-3 磁力线

3. 磁通和磁场强度

1) 磁通

磁感应强度 B 描述的只是空间某一点的磁场,若要描述一个给定面上的磁场,就要用到另一个物理量,即磁通量,简称磁通。如果在匀强磁场中有一个与磁场方向垂直的平面,面积为 A ,则磁通 Φ 为

$$\Phi = BA \quad (0-2)$$

磁感应强度 B 的单位为特斯拉(T),面积 A 的单位为平方米(m^2),磁通 Φ 的单位为韦伯(Wb)。如果 B 的单位采用高斯(Gs), A 的单位采用平方厘米(cm^2),此时 Φ 的单位是麦克斯韦(Mx),且有

$$1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb} \quad (0-3)$$

磁感应强度可以看成是单位面积内的磁通,所以磁感应强度又称为磁通密度。



动画
磁通量



2) 磁场强度

磁场强度 H 是计算磁场时引用的物理量,单位为安培/米(A/m),其与磁感应强度 B 的关系式为

$$B = \mu H$$

式中, μ 为导磁物质的磁导率。真空中的磁导率 $\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$; $\mu_r = \mu/\mu_0$ 为相对磁导率,非铁磁材料的相对磁导率近似为 1。

4. 铁磁材料的磁化特性

1) 铁磁材料的磁化

将铁、镍和钴等铁磁材料放进磁场后,磁场将明显增强,铁磁材料呈现很强的磁性,这种现象称为铁磁材料的磁化。

2) 起始磁化曲线和磁滞回线

(1) 起始磁化曲线。将一块未磁化的铁磁材料进行磁化,当磁场强度 H 由零逐渐增加时,磁感应强度 $B = f(H)$ 描述的曲线称为起始磁化曲线,如图 0-4(a) 所示。它描述了铁磁材料的原始磁化特性,它与平均磁化特性差距甚小。当 H 从零增大时, B 随 H 增加较慢。在 ab 段,随着 H 的增加, B 增加较快。在 bc 段,随着 H 的增加, B 增加变缓慢,称为磁化曲线的饱和段。到 cd 段时,又近似呈直线。其中 a 点为跖点, b 点为膝点, c 点为饱和点。经过饱和点之后,铁磁材料的磁导率趋近于 μ_0 。

(2) 磁滞回线。如图 0-4(b) 所示,当铁磁材料被磁化一个循环时,就得到一条闭合曲线 $abcdefa$ 。当 H 从零增加到 H_m 时, B 相应地从零增加到 B_m 。如果再逐渐减小 H , B 值将沿曲线 ab 下降。当 $H=0$ 时, B 值并不等于零,而是等于 B_r ,这就是剩磁。

当 H 在 H_m 和 $-H_m$ 之间反复变化时,呈现磁滞现象的 $B-H$ 闭合曲线,称为磁滞回线。

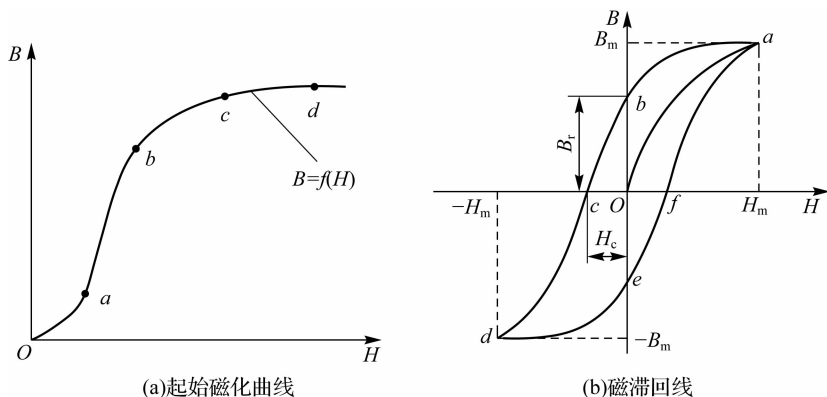


图 0-4 起始磁化曲线和磁滞回线

铁磁材料的磁导率 μ 比空气的磁导率 μ_0 大几千倍甚至几万倍。对于铁磁材料,磁导率 μ 除了比 μ_0 大得多外,还与磁场强度及铁磁材料磁工作状态的历史有关,所以铁磁材料的磁导率 μ 不是一个常数。在工程计算中,不按公式 $H = B/\mu$ 进行计算,而是事先用实验的方法,测出各种铁磁材料在不同磁场强度 H 下对应的磁通。 $B-H$ 曲线不是单值的,而是具有磁滞回线的特点,即相同的磁场强度 H 对应着两个磁感应强度 B 值。这就是说,究竟是对应着哪一个磁通 B 值还要看铁磁材料工作状态的历史情况。当铁磁材料的磁滞回线较窄时,可以用它的平均磁化曲线(即基本磁化曲线)来计算。这样, B 与 H 之间便呈现单值关





系。另外还要指出,磁化特性的另一个特点是具有饱和性。

磁滞回线较窄的铁磁材料属于软磁材料,如硅钢片、铁镍合金和铸钢等。这些材料的磁导率较高,磁滞回线包围面积小,磁滞损耗小,多用于制作电机、变压器的铁心。而硬磁材料,如钨钢、钴钢等,其磁滞回线较宽,主要用作永久磁铁。

课堂体验

课堂体验 1:电磁线圈控制原理体验

交流接触器 1 个,对其通入交流 220 V 电源,观察其工作情况。模拟由于紧固不当而导致的声

叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

课堂体验 2:电磁磁化现象体验

交流电磁铁 1 个,对其通入交流 220 V 电源,观察其工作情况。断开电源,用螺钉旋具头部触碰铁心断面并沿断面轻轻拉动,感受磁化效果。

叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

二、变压器的基本知识

1831 年 8 月 29 日,法拉第通过实验发现了电磁感应现象,法拉第的实验装置(法拉第感应线圈)实际上是世界上的第一台变压器。经过数次实验后,同年 10 月 28 日,法拉第制成了第一台圆盘式直流发电机。法拉第被公认为电磁感应现象的发现者,也顺理成章地成为变压器的发明人。然而最早发明变压器的是美国科学家亨利。1830 年 8 月,时为纽约奥尔巴尼学院教授的亨利在假期中成功地完成磁生电的实验,该实验装置实际上也是一台变压器。出于做事谨慎原则,亨利没有急于发表实验成果,在假期过后又进行了多次实验,直到 1832 年才将实验论文发表,因此和电磁感应现象的发现权失之交臂。

1835 年,美国物理学家佩奇研制出世界上第一只自耦变压器。1837 年,英国牧师卡兰将佩奇发明的变压器分成无电气连接的两部分。上述两种变压器都利用断续直流工作,但只能用于实验观察,没有实用价值。



动画
变压器工作
原理



改变这一状态的是德国技师鲁姆科尔夫。鲁姆科尔夫在变压器的理论上并无建树,但他善于研究他人的成果,并付诸实践,制造了一些优良的感应线圈。1842年,在 Masson 和 Brequet 的指导下,他开始对卡兰变压器进行研究。1850年,鲁姆科尔夫制成第一只感应线圈。1851年,他申请了感应火花线圈(变压器)的专利。与以前的感应线圈相比,鲁姆科尔夫感应线圈有了较大的改进。后来,鲁姆科尔夫对该线圈进行了持续改进。鲁姆科尔夫线圈由于功率较大,不但可用于实验,而且可用于放电治疗。因此可以说,鲁姆科尔夫感应线圈是第一个有实用价值的变压器。

1. 变压器的概念

变压器是基于电磁感应原理工作的一种电能转换设备,其转换的媒介是磁通。变压器有一次和二次两个绕组,分别被磁通所连接,如图 0-5 所示。

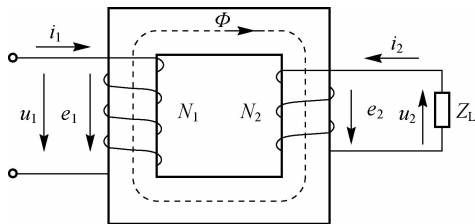


图 0-5 变压器电磁转换原理

铁心和绕组是变压器实现电磁转换的核心,两个绕组套在铁心上,它们有不同的匝数和绝缘。线圈之间只有磁的耦合,没有电的连接。其中一次绕组与电源相连,用来接收交流电能;二次绕组与负载相连,用来输出交流电能。

对于负载来说,变压器相当于电源,其额定容量与电压、电流遵循如下公式。

$$S_N = U_N I_N \quad (0-4)$$

式中, S_N 为变压器的额定容量, kVA; U_N 为变压器的额定电压, V 或 kV; I_N 为变压器的额定电流, A 或 kA。

变压器一经确定,其容量即为常数,所以,电压和电流之间成反比关系。

2. 变压器的分类

变压器按照功能的不同可分为电力变压器、控制变压器、特殊用途变压器等,具体分类如图 0-6 所示。

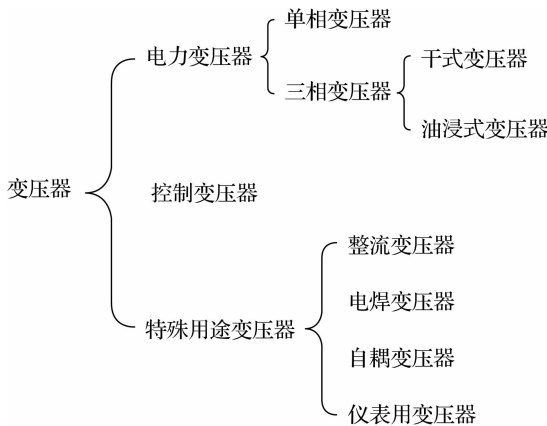


图 0-6 变压器的分类



视频

变压器的基本介绍





1) 电力变压器

电力变压器分为干式变压器和油浸式变压器。小型电力变压器多为干式变压器,中大型电力变压器都做成油浸式。如图 0-7 所示,电力变压器的主要部件包括器身、油箱、冷却装置、保护装置、出线装置等。

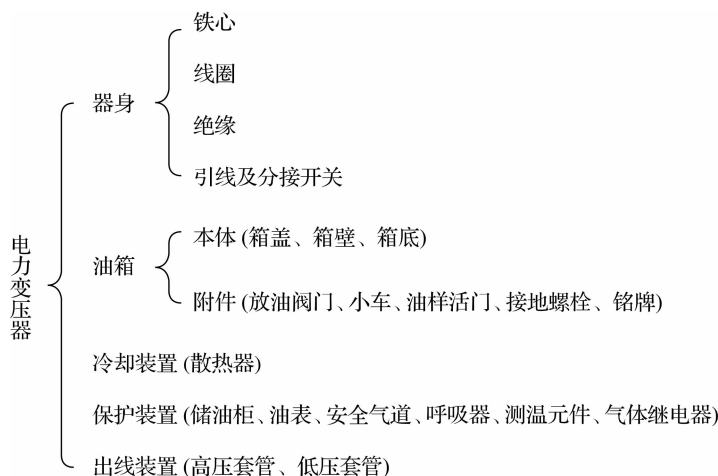


图 0-7 电力变压器的主要部件

2) 控制变压器

控制变压器主要用来为机床电气控制提供不同等级的控制电源,通常一次侧可接电源(AC 380 V、220 V);二次侧输出交流 110 V、36 V、24 V、12 V、6 V 等。控制变压器所带的负载一般为控制电器或机床照明设备等。

3) 特殊用途变压器

特殊用途变压器包括整流变压器、电焊变压器、自耦变压器、仪表用变压器等。整流变压器一般用于电力电子设备中,可用于交/直流变换。电焊变压器可用于电焊机或点焊机。自耦变压器(调压器)可用来进行交流电源的调节或笼型异步电动机的起动。仪表用变压器包括电压互感器、电流互感器等,主要用来进行电气信号的测量。

3. 变压器的基本特性

当变压器一次绕组两端加交流电压 u_1 时,绕组中便有与 u_1 相同频率且与一、二次绕组同时交链的交变磁通 Φ 产生。根据电磁感应原理,主磁通在两个绕组中感应出相同频率的电动势 e_1 和 e_2 。

$$u_1 = e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (0-5)$$

$$u_2 = e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (0-6)$$

式中, N_1 为一次绕组的匝数; N_2 为二次绕组的匝数。

由式(0-5)、式(0-6)可知,变压器一、二次绕组感应电动势的大小正比于匝数。因此,只要改变一、二次绕组的匝数比,便可改变输出电压的大小,即

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (0-7)$$



变压器二次绕组的感应电动势 e_2 实际是一个输出电源,当二次绕组连接负载时,负载就会消耗电能实现其他能量的转换。

当变压器连接负载后,二次侧就会产生感应电流。在忽略损耗的情况下,可认为一、二次的磁势相等,即

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (0-8)$$

由式(0-8)可知,变压器的一、二次电流与变压器的匝数成反比。

4. 变压器的主要应用领域

变压器应用于不同的领域。电力变压器主要用来进行电能的分配和变换,常用的有升压变压器、降压变压器、配电变压器。控制变压器主要用来进行控制电源的变换、直流电源整流前的降压、机床设备局部照明配电、电气控制电路控制电源等。特殊用途变压器包括大型整流用变压器、点焊机用变压器、自耦变压器、仪器仪表用变压器(电压互感器、电流互感器),主要用来进行励磁控制、调速控制、测量控制等。

课堂体验

课堂体验 3: 变压器的运行特性体验

变压器(AC 220 V/AC 24 V, 100 VA)一次侧接通交流 220 V 电源,二次侧连接白炽灯(24 V, 40 W),观察白炽灯的亮度。减小一次侧供电电源的电压,观察白炽灯的亮度变化。

叙述体验过程及观察到的现象。

 回答:

课堂体验 4: 钳形电流表测量电流的体验

接通交流电动机的供电电源,观察其工作情况。使用钳形电流表测量其电流的大小。减小供电电源的电压并再次用钳形电流表进行测量。

叙述体验过程及观察到的现象。

 回答:





习近平总书记致 2019 世界制造业大会的贺信

中国高度重视制造业发展,坚持创新驱动发展战略,把推动制造业高质量发展作为构建现代化经济体系的重要一环。

三、电机概述

蒸汽机的发明开启了第一次工业革命。19 世纪中期,电力的发明和广泛应用又引发了第二次工业革命,使人类进入电气时代。1820 年 7 月 21 日,丹麦哥本哈根大学教授、物理学家奥斯特发表了题为《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文,建立了电与磁的相互联系,开创了电磁学。1821 年,英国物理学家法拉第制成第一个实验电动机模型。经过多年的研究与发展,电机在工业生产和日常生活中得以广泛应用。

1. 电机的概念

电机是发电机(机械能转换为电能)和电动机(电能转换为机械能)的统称,它是一种利用电磁感应定律和电磁力定律将能量或信号进行转换的电磁机械装置。一般发电机在电路中用字母 G 表示,它的主要作用是将其其他形式的能量转换为电能。目前常用的发电机利用热能、水能、风能等推动发电机转子旋转来发电。电动机在电路中用字母 M 表示,它的主要作用是产生驱动转矩,作为用电器或各种机械的动力源。

2. 电机的主要分类

电机主要包括直流电机和交流电机,其具体分类如图 0-8 所示。

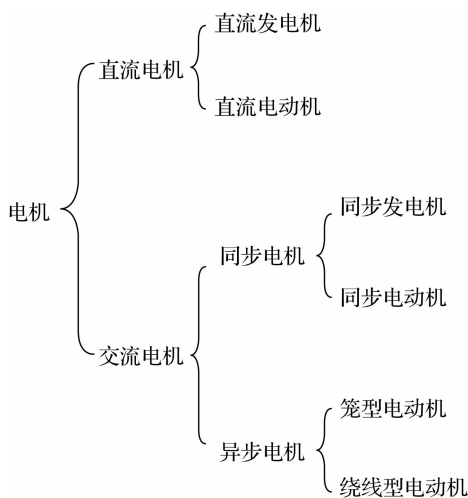


图 0-8 电机的分类

1) 直流电机

法拉第发明的第一台电动机是第一台通过电流使物体运动的装置。1854 年,丹麦的维尔纳兄弟申请了自激式发电机的专利。此后,科学家又发明了串激式自激发电机和自并励发电机,大大改善了直流发电机的性能,从而开创了直流电机发展的新阶段。之后,科学家又于 1865 年发明了齿状电枢,于 1870



视频
直流电机的结
构和工作原理



年发明了环状电枢,于 1872 年发明了鼓形转子。这降低了电机生产的成本,电机得到实际应用的时代终于到来。

直流电机是电机的主要类型之一。一台直流电机既可作为发电机使用,也可作为电动机使用,能够实现直流电能和机械能之间的相互转换。

直流电机有以下特点。

(1)具有宽广的调速范围、平滑的无级调速特性,可实现频繁的无级快速启动、制动和反转。

(2)过载能力大,能承受频繁的冲击负载,能满足自动化生产系统中各种特殊运行要求。

(3)直流发电机能提供无脉动的大功率直流电源,电动势波形较好,对电磁干扰的影响小,且输出电压容易精确地调节和控制。

(4)制造工艺复杂,消耗有色金属较多,生产成本低。

(5)由于直流电机运行时电刷和换向器之间容易产生火花,因而可靠性较差,维护保养困难。

根据励磁方式的不同,直流电机可分为四种类型,即他励直流电机、并励直流电机、串励直流电机和复励直流电机。

2) 交流电机

1856 年,德国西门子公司生产出第一台转枢式交流电机,采用单相交流电,与直流电机相比优势并不明显。1885 年和 1886 年,意大利物理学家、电工学家加利莱奥·费拉里斯、美国物理学家尼古拉·特斯拉各自独立发明了旋转磁场,将几个线圈以辐射状排成一圈,接入交流电,使各个线圈中的交流电频率相同,但是其电压、电流有相移,这样在线圈之间的空间形成了一个旋转磁场,而这个磁场会带动通电线圈转动,这样研制成功了两相交流电机。1889 年,俄国工程师杜波洛沃尔斯基发明了笼型三相电机,这是第一台能够实用的三相交流电机,至此电机发展到可以进入工业应用的阶段。

交流电机是用于实现机械能和交流电能相互转换的驱动设备,已成为最常用的电机。交流电机结构简单,制造方便,比较牢固,容易做成高转速、高电压、大电流、大容量的电机。交流电机功率的覆盖范围很大,从几瓦到几十万千瓦,甚至上百万千瓦。

由图 0-8 可知,交流电机分为同步电机和异步电机两大类。同步电机可用来作为发电机和电动机使用,其中,同步电机的转速与所接电网的频率之间存在着严格不变的关系。异步电机主要用于电动机使用,它通常分为笼型异步电动机和绕线型异步电动机。异步电机的定子绕组由电源供给励磁电流,建立磁场。由于电磁感应的作用,转子绕组感生电流,产生电磁转矩,实现机电能量转换。因其转子电流是由电磁感应作用而产生的,所以异步电动机也称为感应电动机。

3. 电机拖动

用电动机拖动生产机械的拖动方式,称为“电机拖动”或“电力拖动”。与其他原动机相比,电动机的控制方法更为简便,并且可以实现遥控和自动控制。电力拖动系统主要由电动机、传动机构和控制设备(包括反馈装置)三个基本环节组成。反馈装置往往也是用控制电机来实现反馈功能的。例如,可用测速发电机检测电动机的转速,用旋转变压器检测电动机的角位移,用感应同步器检测工作机械的位移等。电力拖动系统框图如图 0-9 所示。



视频

交流电机工作
原理



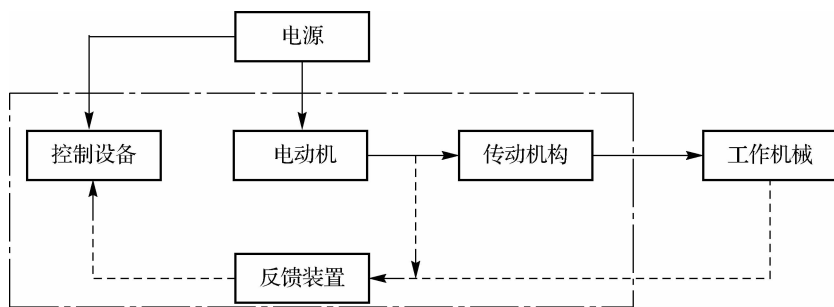


图 0-9 电力拖动系统框图

4. 电动机的主要应用

应用最广的是直流电动机。电动机取代手工工具,已广泛应用于机械、建筑、机电、冶金设备的安装,桥梁架设,住宅装修,农牧业生产,医疗、卫生等各个方面,并且广为个体劳动者及家庭使用,是一种量大面广的机电设备,发展前景十分广阔。此外,在许多工业部门,如大型轧钢设备、大型精密机床、矿井起重机、市内电车、电缆设备要求严格线速度一致的地方等,通常都采用直流电动机作为原动机来拖动工作机械。直流电动机作为原动机带动各种生产机械工作,向负载输出机械能。在控制系统中,直流电机还有其他的用途,如测速电机、伺服电机等。

直流电动机的发展经历了 100 多年,因而电动机自身的理论已经基本成熟。随着电工技术的发展,对电能的转换、控制及高效使用的要求越来越高。电磁材料的性能不断提高,电工电子技术的广泛应用,为电动机的发展注入了新的活力。未来电动机将沿着体积更小、机电能量转换效率更高、控制更灵活的方向发展。

同步电动机的功率因数较高,在要求改善功率因数的条件下,不调速的大功率电机选用同步电动机。同步电动机也用于负载变化时要求转速恒定不变的情况。

异步电动机分为单相异步电动机和三相异步电动机两大类。单相异步电动机用于只有单相电源的家用电器和医疗设备中。三相异步电动机具有结构简单、制造方便、价格低廉、运行可靠等优点,还具有较高的运行效率和较好的运行特性,从空载到满载接近恒速运行,在工业生产、农业机械化、民用电器等应用广泛,需求量居各种电机之首(占 90%左右)。在电网总负荷中,异步电动机占 65%左右。

起动转矩、调速性能要求不高的各种机床、水泵、通风机,可选用普通笼型异步电动机;功率不大、有级调速的电梯等,可选用多速电动机;调速范围较大、调速要求平滑的龙门刨床、高精度机床、可逆轧钢机等,可选用变频调速的同步电动机或异步电动机。

图文
测速发电机

新中国第一台电机的诞生

1959 年初,东方电机百余名职工在党总支和建厂筹备处“边基建、边生产、边培训”的方针指导下,制造出了新中国的第一台电机。

组织生产,就当时的条件,谈何容易。工厂没有厂房,除焊接厂房树起八根钢柱以外,其他还是一片农田;生产人员除哈尔滨电机厂调来的一部分车间主任和少数工段



长、工程技术人员以外,就是刚分配来厂的几名大、中专毕业生和厂技校留厂的几十名学员;高压输电网尚未建成,只有1个几百千瓦的列车发电站,既要满足基建用电又要满足生产、生活需要;设备、材料也不足。但是,大家都有一颗为企业建设多作贡献的心,于是克服种种困难,奇迹般地制造出了产品。

东方电机生产的第一台电机是7千瓦三相鼠笼型异步感应电动机。电机虽然只有7千瓦,但是也给当时负责生产准备工作的几位主任出了一道难题。

由于德阳县委和县政府的支持,在西门边上原德阳县机械厂附近,找了一套民房,有七八间房子和一个院坝,约有二三百平方米的地方,这就是当时的生产基地。生产用的图纸是从外厂收集来的,生产用料也是兄弟厂支援的。

为了生产铸铁机座,自己动手在院坝内挖基础坑,建起一座露天的半吨冲天炉。没模型自己做,利用河砂造型,用木炭代焦炭化铁,经过几十天的日夜奋战,终于铸出合格的机座。

冲模也是用特有的钳工技艺一锉一锉地锉出来的。冲床也只有1台5t的,既要落料又要分别冲定、转子冲片。定、转子冲模是单槽式的,冲起来速度很慢,冲片上的毛刺则全靠全部科室管理人员用砂纸一张一张地打磨。没有刷漆设备,就靠手工刷。烘干就用1个电炉,架上几根钢筋,象烤饼似的,烤了这面再烤另一面。

金属加工,只有两台C620车床,1台小牛头刨床和1台立钻。两台车床进行所有工件的加工。

制作线圈时,没有线圈模自己做,没有绕线机自己焊个架子代替。转子阻尼环的焊接,成了影响生产的关键。他们凭手工制作了东方电机的第1台乙炔发生罐。没有氧气带,就用普通橡胶管代替,终于焊成了阻尼环。

成品试验也只能因陋就简:用摇表测一下绝缘电阻,用万用表测一下三相平衡,通电运转一小时,测转速是否达到1530 r/min,用手摸一下温度烫不烫手,用耳朵听一下有无异常声音,都正常就是合格品,最后打腻子喷漆,就报捷了。

回忆起那时的生产情况,似乎可笑,但这是事实。这是建厂初期全厂百余名职工艰苦奋斗,用心血和汗水换来的成果。当年参加制造第一台电机的人,有的已退休在家欢度晚年,有的已与世长辞,他们堪称是东方电机的元勋,他们的功绩将被永远载入史册。



课堂体验

课堂体验5:直流电动机的运行体验

接通直流电动机的供电电源,观察其工作情况。调整直流电源的大小,测试直流电动机的转速变化。





叙述体验过程及观察到的现象。

 回答:

课堂体验6:交流电动机的运行体验

接通交流电动机的供电电源,观察其工作情况。断开对其施加的电源,改变其供电的相序,继续供电并观察其工作情况。

叙述体验过程及观察到的现象。

 回答:



问题与思考

问题 1 电磁控制的主要特点是什么?

思考并回答:.....
.....
.....
.....
.....

问题 2 电机的主要作用是什么? 主要用于哪些领域?

思考并回答:.....
.....
.....
.....
.....



问题 3 变压器的主要特点是什么？主要分类有哪些？

思考并回答：.....

.....

.....

.....

.....

四、控制电机的基本知识

1. 控制电机的概念

控制电机一般是指在自动控制系统中作为执行元件或测量元件使用的电气单元，它是在普通旋转电机的基础上发展起来的，其工作原理与普通旋转电机并无本质区别，都是基于各种电磁理论，只是它们的用途有所不同。控制电机主要用来完成控制信号的传递和变换。因此，现代控制系统对它的基本要求是高精确度、高灵敏度和高可靠性。

1) 高精确度

高精确度是指控制电机的实际特性与理想特性的差异较小。对功率元件来说，是指其特性的线性度和不灵敏区；对信号元件来说，则主要指静态误差、动态误差以及环境温度、电源频率和电源电压的变化所引起的漂移。这些特性都直接影响整个系统的精确度。

2) 高灵敏度

高灵敏度是指控制电机的输出量应能迅速跟上输入信号的变化，即对输入信号能做出快速响应。目前，自动控制系统中的控制指令是经常变化的，有时极为迅速，因而控制电机特别是功率元件能否对输入信号做出快速响应是至关重要的。高灵敏度表征快速响应的主要指标有灵敏度和机电时间常数等。

3) 高可靠性

高可靠性是指控制电机对不同的使用环境应有广泛的适应性，在较差的环境中能非常可靠地工作，以保证控制系统的正常运行。

2. 控制电机的分类

控制电机的功能和用途尽管各不相同，但大致上仍然可以分为执行元件类控制电机和测量元件类控制电机两大类。由于控制电机的种类非常多，这里只介绍几种相对较为常见的控制电机。控制电机的分类如图 0-10 所示。

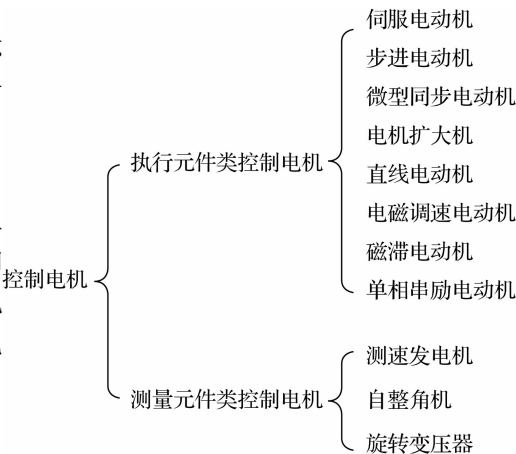


图 0-10 控制电机的分类





3. 控制电机的基本功能

1) 执行元件类控制电机的基本功能

(1) 伺服电动机的基本功能。伺服电动机根据其电源的类型可分为直流伺服电动机和交流伺服电动机。直流伺服电动机的转速和转向取决于控制电压的大小和极性,而交流伺服电动机的转速和转向取决于控制电压的大小和相位。在控制系统中,伺服电动机作为执行元件,其机械特性近于线性,即转速随转矩的增加近似线性下降,比普通电动机的控制精度高。使用时,伺服电动机通常经齿轮减速后带动负载,将输入的电压信号变换成电机轴上的角位移和角速度等机械信号输出,所以又称为执行电动机。

(2) 步进电动机的基本功能。步进电动机是一种将脉冲信号转换为相应的角位移或线位移的机电元件。它由专门的电源供给脉冲信号电压,再由相应的驱动器将脉冲信号转换成电压相序的变化信号。当输入一个电脉冲信号时,步进就前进一步,输出角位移量或线位移量与输入脉冲数成正比,而转速与脉冲频率成正比。步进电动机在经济型数控系统中作为执行元件得到广泛应用。

(3) 微型同步电动机的基本功能。微型同步电动机主要有三种类型,即永磁式同步电机、反应式同步电机和磁滞式同步电机。不同类型的微型同步电机的定子结构都是相同的,或者是三相绕组通以三相交流电,或者是两相绕组通以两相电流(包括单相电源通过电容分相),或者是单相罩极式,其主要作用都是产生一个旋转磁场。但其转子的结构形式和材料却有很大差别,因而其运行原理也就各不相同。由于其转子上没有励磁绕组,也不需要电刷和滑环,所以微型同步电动机具有结构简单、运行可靠、维护方便、转速恒定等特点,广泛应用于自动控制系统和其他需要恒定转速的仪器上。

(4) 电机扩大机的基本功能。电机扩大机可以利用较小的功率输入来控制较大的功率输出,在系统中作为功率放大元件。电机扩大机的控制绕组上所加的电压一般不高,励磁电流不大,而输出电动势较高,电流较大,这就是功率放大。电机扩大机的放大倍数可达 1 000~10 000 倍,也可作为自动调节系统中的调节元件。

(5) 直线电动机的基本功能。直线电动机就是把电能转换成直线运动的机械能的电动机。它解决了直线运动系统总是需要用中间传动机构将旋转运动转换成直线运动的问题,因而其系统结构简单,运行效率和传动精度都较高。与旋转电动机相对应,直线电动机也可以分为直线异步电动机、直线同步电动机、直线直流电动机等。

(6) 电磁调速电动机的基本功能。电磁调速电动机是采用电磁转差离合器调速的异步电动机。这种电动机可以在较大的范围内进行无级平滑调速,是交流无级调速设备中最简单实用的一种,在纺织、印染、造纸等轻工业机械中得到广泛应用。

(7) 磁滞电动机的基本功能。磁滞电动机具有恒速特性,也可在异步状态下运行,主要用于驱动功率较小、要求转速平稳和起动频繁的同步驱动装置中。

(8) 单相串励电动机的基本功能。单相串励电动机可交直流两用,多数情况下使用交流电源。由于具有较大的起动转矩和较软的机械特性,其广泛应用在电动工具中,如手电钻就采用这种电动机。

2) 测量元件类控制电机的基本功能

(1) 测速发电机的基本功能。测速发电机是机械转速测量装置,它输入的是转速,输出的是电压,其输出电压与转速精确地保持正比关系。根据其输出电压信号的不同,测速发电机又可分为直流测速发电机和交流测速发电机两种。测速发电机也可作为微分、积分的计算元件来使用。

(2) 自整角机的基本功能。自整角机的基本用途是传输角度数据,一般由两个以上元件



对接使用,输出电压信号时是测量元件,输出转矩信号时是执行元件。作为测量元件时,输出电压是两个元件转子角差的正弦函数。作为执行元件时,输出转矩也近似为两个元件转子角差的正弦函数。自整角机在伺服系统中可作为自整步元件或角度的传输、变换、接收元件。

(3)旋转变压器的基本功能。普通旋转变压器都做成一对磁极的形式,其输出电压是转子转角的正弦、余弦或其他函数,主要用于坐标变换、三角运算,也可作为角度数据传输和移相元件使用。多极旋转变压器是在普通旋转变压器的基础上发展起来的一种精度可达角秒级的元件,在高精度解算装置和多通道系统中用作解算、检测元件或实现数模传递。

4. 控制电机的典型应用

在科学技术高速发展的今天,控制电机已经是构成各类控制系统的基础元件,广泛应用于各行各业,如冶金、加工制造、能源化工、交通通信等。不管是在数控机床、自动化仪器和仪表、电影、电视、打印机、电子计算机外设等民用设备上,还是在雷达天线自动定位、飞机自动驾驶仪、导航仪、激光和红外线技术、导弹和火箭的制导、自动火炮射击控制、舰艇驾驶盘和转向盘的控制等军事设备上,都能够见到控制电机。

这些控制设备能够处理包括直线位移、角位移、速度、加速度、温度、湿度、流量、压力、液面高度、密度、浓度、硬度等多种物理量。

现以自动控制系统的典型实例——按预定要求控制工件到指定位置的伺服系统为例来说明控制电机的种类和用途。

图 0-11 所示为两种伺服系统的控制原理示意图。

图 0-11(a)所示为经济型数控机床常用的步进电动机开环伺服系统,计算机数控装置给出位移指令脉冲及脉冲频率,驱动电路将脉冲放大,去驱动步进电动机按命令脉冲的频率执行相应的速度,并带动工作台移动至相应位置。由于步进电动机存在着失步的可能,所以这种控制系统的控制精度不够高。

图 0-11(b)所示为高档数控机床使用的全闭环位置伺服控制系统,该系统由数控装置给出加工所要求的位移指令值,在机床工作台上装有直线位置传感器进行实际位置检测,在伺服电动机轴上还装有速度传感器,以完成实际速度检测。该系统的位置比较电路要进行位置指令值和实际位置反馈值之间的偏差运算,根据偏差情况计算出所需速度,所需速度还要和实际速度检测值进行比较,用一系列综合运算结果实时地通过伺服驱动器去推动伺服电动机旋转,从而实现工作台的精确移动。

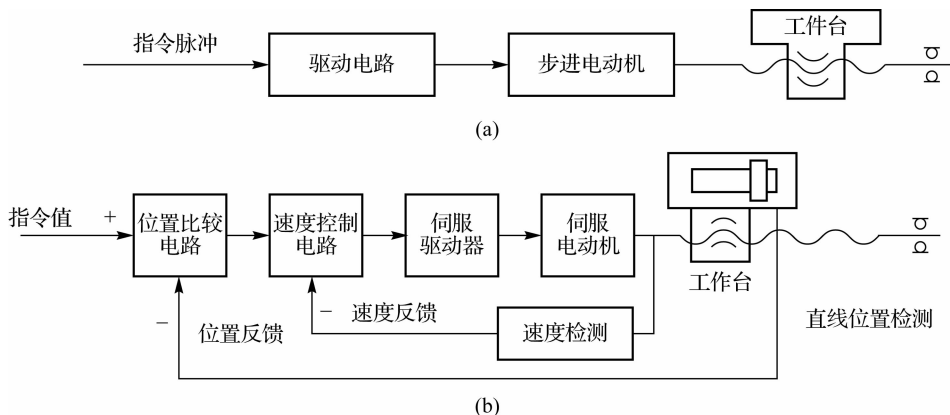


图 0-11 两种伺服系统的控制原理示意图



图文
角秒





课堂体验

课堂体验 7: 步进电动机的运行体验

步进电动机接通控制脉冲,观察其旋转的角度。改变控制脉冲的数量,再次观察步进电动机的旋转角度。

叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

课堂体验 8: 测速发电机的运行体验

接通交流电动机的供电电源(连接测速发电机),测量测速发电机的输出电压。改变交流电动机的转速,再次测量测速发电机的输出电压。

叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

五、电力电子的基本知识

我国的电力系统采用的是 50 Hz 固定频率的交流电。有很多时候,为了高效率地利用电能,可以根据需要改变频率或将交流电变换成直流电,即进行电能变换。电力电子技术就是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。电力电子电路通常由三部分构成:由电力电子器件构成的主电路、控制及驱动电路、保护电路。

在通用变频器中,主电路由整流电路和逆变电路组成。整流电路一般采用整流模块和整流二极管。逆变电路的电力电子器件的种类较多,在中小功率通用变频器中使用最多的是双极结型晶体管(BJT)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)和智能功率模块



视频
测量晶闸管



视频
单相整流电路



视频
晶体管工作
原理



视频
晶闸管的检测



视频
晶闸管的选用



视频
晶闸管工作
原理



视频
晶闸管驱动器
件工作原理



视频
逆变电路



视频
桥式半波整流
电路



视频
桥式全波整流
电路



视频
三相半波共阴
极可控整流电
路 $\alpha=0^\circ$ 的波形



视频
三相半波共阴
极可控整流电
路 $\alpha=30^\circ$ 的波形



(IPM)等;在大中功率通用变频器中使用最多的是门极可关断晶闸管(GTO)、集成门极换流晶闸管(IGCT)和绝缘栅双极晶体管等。在交流电机软起动器中,常采用晶闸管。图 0-12 所示为电力电子器件的外形图,对于电流大于 200 A (尤其是 500 A 以上)的半导体器件应首选平板型结构。



图 0-12 电力电子器件的外形图

虽然电力电子器件工作在开关状态,但由于它并不是理想开关,所以存在自身损耗。为了保证不因损耗发热而损坏器件,电力电子器件不仅在器件封装上比较讲究,而且工作中一般都安装散热器。自身损耗主要由器件的通态损耗、断态损耗、开通损耗及关断损耗构成。当器件开关频率较高时,开通损耗及关断损耗会随之增大。图 0-13 所示为与器件配套的散热装置。

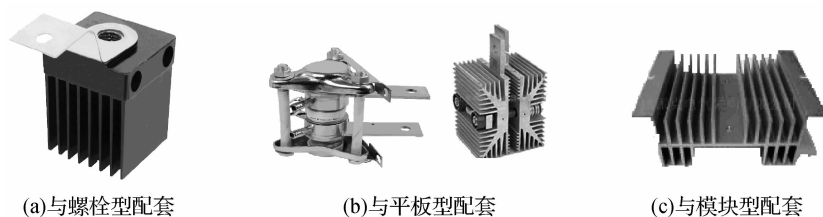


图 0-13 与器件配套的散热装置

器件的驱动电路接收控制系统输出的弱电平信号,经过处理后给器件的控制极提供足够大的电压或电流,使之立即导通或关断。采用性能良好的驱动电路,可以使电力电子器件工作在较理想的开关状态,缩短开关时间,减少开关损耗,对装置的运行效率、可靠性和安全性都有重要意义。另外,通过驱动电路还可以实现控制电路与主电路之间的电气隔离等。驱动电路在电力变换电路中的位置如图 0-14 所示。

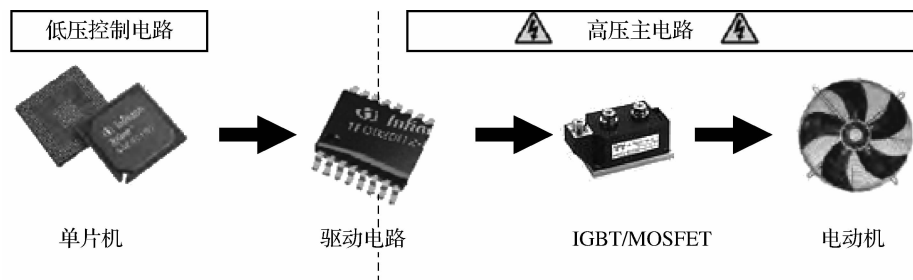


图 0-14 驱动电路在电力变换电路中的位置



视频

三相半波共阴
极可控整流电
路 $\alpha=60^\circ$ 的波形



视频

三相桥式全控
整流电路带电
阻性负载不同
触角的波形



视频

整流滤波电路



视频

整流滤波实验





在选择电力电子器件时尽管已经考虑了安全余量,但仍避免不了其在实际使用中的损坏。所以,为了提高运行的可靠性,还要有相应的保护措施。保护措施包括过电压保护、过电流保护、断态时电压上升率(du/dt)的限制、开通时电流上升率(di/dt)的限制、缓冲电路及过热保护等。

电力电子器件种类繁多,发展迅速,有的在使用中,有的在研制期,如门极可关断晶闸管(GTO)、场控晶闸管(MCT)、电子注入增强栅晶体管(IEGT)等。目前得到广泛使用的还有模块化器件,如智能功率模块(IPM)、电力集成模块(PIM)等。



图文
IEGT

课堂体验

课堂体验 9: 普通晶闸管的体验

连接晶闸管整流电路,其负载为台灯。调整晶闸管的导通角,观察台灯的亮度变化。叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

课堂体验 10: IGBT 的极性测量体验

用指针万用表电阻挡或数字万用表二极管挡测量 IGBT 的极性及好坏。叙述体验过程及观察到的现象。

回答:

六、变频器与变频技术

变频技术是将电信号频率按照控制的要求,通过具体的电路实现电信号频率变换的应用型技术。

变频技术是应交流电机无级调速的需要而产生的,它的发展建立在电力电子技术的创新、电力电子器件及材料的开发和制造工艺水平的提高的基础上,尤其是高压大容量绝缘栅双极晶体管、集成门极换流晶闸管的成功开发,使大功率变频技术得以迅速发展。



变频器是变频技术应用的装置,是运动控制系统中的功率变换器。变频器作为重要的功率变换部件,可为系统提供可控的高性能变压变频交流电源。

1. 变频器的发展历程

随着生产技术的不断发展,直流拖动的薄弱环节逐步显现出来。由于换向器的存在,直流电动机的维护工作量加大,单机容量、最高转速及使用环境都受到限制。异步电动机转向结构简单、运行可靠、便于维护、价格低廉,但异步电动机的调速性能难以满足生产要求。于是,从 20 世纪 30 年代开始,人们就致力于交流调速技术的研究,然而进展缓慢。到了 20 世纪 70 年代,电力电子技术和控制技术的飞速发展,使得交流调速可以与直流调速相媲美、相竞争。

电力电子器件的发展为交流调速奠定了物质基础。20 世纪 50 年代末出现了晶闸管,由晶闸管构成的静止变频电源输出方波或阶梯波的交变电压,取代旋转变频机组实现了变频调速,然而晶闸管属于半控型器件,可以控制导通,但不能由门极控制关断。因此,由普通晶闸管组成的逆变器用于交流调速必须附加强迫换向电路。20 世纪 70 年代后期,以功率晶体管(GTR)、门极可关断晶闸管(GTO)、功率 MOS 场效应管(PMOSFET)为代表的全控型器件先后问世并迅速发展,通过对门极(基极、栅极)的控制,既能控制导通又能控制关断,这些器件又称自关断器件。它不再需要强迫换向电路,这使得逆变器结构简单、紧凑。此外,这些器件的开关速度普遍高于晶闸管,可用于开关速度较高的电路。在 20 世纪 80 年代后期,以绝缘栅双极晶体管(IGBT)为代表的复合型器件异军突起。它把 MOSFET 的驱动功率小、开关速度快的优点和 GTR 通态压降小、载流能力大的优点集于一身,性能十分优越,与 IGBT 相对应。MOS 控制晶体管(MCT)综合了晶闸管的高电压、大电流特性和 MOSFET 的快速开关特性,是极有发展前景的大功率、高频功率开关器件。电力电子器件正在向大功率、高频化、智能化方向发展。20 世纪 80 年代以后出现的功率集成电路(PIC),集功率开关器件、驱动电路、保护电路、接口电路于一体。目前已用于交流调速的智能功率模块(IPM)采用 IGBT 作为功率开关,含有驱动电路及过载、短路、超温、欠电压保护电路,实现了信号处理、故障诊断、自我保护等多种智能功能,既减少了体积、减轻了质量,又提高了可靠性,使用维护都更加方便,是功率器件的发展方向。

目前,作为交-直-交变频技术的矢量控制和直接转矩控制,由于它们输入功率因数低,谐波电流大,直流回路需要大的储能电容,再生能量又不能反馈回电网,人们又研制了矩阵式交-交变频技术。矩阵式交-交变频技术具有功率因数为 1、输入电流为正弦且能四象限运行、系统的功率密度大的特点。

20 世纪 90 年代后半期,变频技术被广泛应用于家用电器的控制技术领域,使家用电器的品质和性能发生了历史性的变化,如具有高速度、控制性能好、小型轻量、大容量、长使用寿命、工作安全可靠、静音和省电等优点。变频太阳能发电技术进入人们的日常生活,家用太阳能发电系统给家电提供新的能源供给方式。

现在利用变频技术不但可实现图像清晰度的提高,还可应用在保护视力、提高场频性能



视频
MOSFET 的
开关时间



视频
MOSFET 的
主要参数



视频
MOSFET 栅
极驱动的振荡
现象





等方面。另外,改变清晰度不同等级的图像格式时也用到变频技术,如变频彩电可以使人们观看到更高质量的图像,同时又保护了观看者的视力。

2. 变频调速的方法和特点

变频调速是通过改变异步电动机定子绕组供电频率 f_1 ,从而改变其同步转速的调速方法。当转差率 s 一定时,电动机的转速 n 基本上正比于 f_1 。很明显,只要有输出频率可平滑调节的变频电源,就能平滑、无级地调节异步电动机的转速。

变频调速系统的主要设备是提供变频电源的变频器。目前国内使用较多的是交-直-交变频技术。

变频调速系统的特点如下。

(1)变频器结构复杂,价格昂贵,容量有限。随着电力电子技术的发展,其发展趋势将会是结构简单可靠、性能优异、操作方便。

(2)变频器具有机械特性较硬、静差率小、转速稳定性好、调速范围广、平滑性高等特点,可实现无级调速。

(3)变频调速时,转差率 s 较小,则转差功率损耗较小,效率较高。

(4)变频调速时,基频以下调速为恒转矩调速方式,基频以上调速近似为恒功率调速方式。

3. 变频技术的常见类型

从工作原理上讲,变频技术就是把工频交流电转换成不同频率的交流电,或是把直流电逆变成不同频率的交流电,也可以把交流电转换成直流电再逆变成不同频率的交流电等。在这些变化过程中,往往看重的是电源频率的变化,而不重视电源其他参数的变化。

下面介绍变频技术的几种常见类型。

(1)交-直变频技术,即整流技术。这种变频技术通过二极管整流和续流或晶闸管、功率晶体管可控整流,实现交-直变换。这种变频技术多用于工频整流。

(2)直-直变频技术,即斩波技术。这种变频技术通过改变功率半导体器件的通断时间,即改变功率半导体器件驱动电路触发脉冲的频率,或通过改变功率半导体器件驱动电路触发脉冲的宽度,从而实现调节直流平均电压的目的。

(3)直-交变频技术,即逆变技术。这种变频技术是振荡器利用电子放大器件将直流电变成不同频率的交流电,它的关键技术是逆变器,而逆变器就是利用功率开关进行直流变交流,并改变频率的变换装置。

(4)交-直-交变频技术。这种技术采用了多种拓扑结构,由于其存在着中间低压环节,所以系统具有结构复杂、效率低、可靠性差等缺点。但由于其发展较早,技术也比较成熟,所以目前仍得到广泛应用。随着新型大功率可关断器件的研制成功,中压变频技术由于没有中间低压环节,因而有着广阔的发展前景。

(5)交-交变频技术,即移相技术。这种变频技术通过调整功率半导体器件的导通与关断时间,即改变功率半导体器件驱动电路触发脉冲的延迟角,来达到交流无触点开关、调压、调光、调速等目的。交-交变频是早期变频的主要形式,适用于低转速大容量的电动机负载。由于交-交变频技术的主电路开关器件处于自然关断状态,不存在强迫换流问题,所以第一代电力电子器件——晶闸管就能完全满足要求。



4. 变频技术的典型应用

1) 变频技术在自动生产线上的应用

变频器的最初用途是速度控制,应用变频调速时,可以大大提高电动机转速的控制精度,使电动机在最节能的转速下运行,因此,变频技术在工业生产中广泛应用。

自动生产线大多具有 Profibus 网络和 BICO 控制功能,通过工业控制计算机和 PLC,利用 Profibus 网络控制及变频器外部端子两种控制方法,对变频器进行自动和手动控制。正常时采用第一命令数据组 CDS 进行 Profibus 网络控制(自动控制);网络有故障时采用第二命令数据组,即变频器外部端子控制(手动控制)。在实际应用中,所有变频器都安装了 Profibus 模板、BOP 操作面板。在硬件设置上,开关量输入 1 作为第一命令数据组 CDS 的输入信号,开关量输入 2 作为第二命令数据组的变频器启动、停止信号,开关量输入 3 作为第二命令数据组的变频器电动电位计升高信号,开关量输入 4 作为第二命令数据的变频器电动电位计降低信号。变频器运行的各种状态及现行值均通过网络传送到 PLC,再经过工业控制计算机显示及控制。

2) 变频技术在民用产品中的应用

随着人们生活水平的不断提高,变频空调、微波炉、冰箱、洗衣机、节能灯等家电已走入普通家庭。例如,中央空调已在宾馆、饭店、工矿、企业、办公楼等处被广泛应用。中央空调的主要设备是风机、水泵。对风机、水泵类负载可采用变频器进行控制,常用的变频器是变转矩变频器,可省电 30%~60%,同时还可延长空调的使用寿命。在控制过程中,使用温度、湿度传感器和微机闭环控制,使工作场合的温度更稳定。空调电动机一般为 380 V、15~55 kW。变频器可采用三相输入、三相输出或单相输入、三相输出交-交变频电路。变频家电成为变频的一个广阔市场和应用趋势。家用空调一般是在轻负载情况下运行的。采用变频器的容量控制,在负载下降时,变频器的频率降低,使压缩机压缩能力下降,以此来保持压缩机压缩能力与负载的平衡。在利用变频器的变频控制使压缩机转速下降时,由于热交换器容量相对于压缩机容量的比率增加,因此,压缩机是高效率运行,特别是轻负载时更为显著。

例如,变频洗衣机利用调速控制技术对电动机、动力传动系统及控制系统进行变频控制。它在开始工作的短时间内,选用低水位洗涤,衣服在底部浮不起来,在底部单位面积的质量较大,洗涤剂浓度比较高,此时采用低速较好;若此时使用较高转速洗,会对衣服造成损坏。变频洗衣机可实现无级调速,使用理想的程序洗涤衣服。

3) 变频技术在高层供水中的应用

随着城市高层建筑供水问题的日益突出,保持供水压力恒定、提高供水质量、保证供水可靠性和安全性是相当重要的。恒压供水自动控制系统工作时,设备通过安装在供水管网上的高灵敏度压力传感器来检测供水管网在用水量变化时的压力变化,自动调节峰谷用水量,保证供水管网压力恒定,以满足用户用水的需求。同时可以实现在线调整,无水自动停泵,低水压全速运行,变频泵转速、管网压力数码显示,过电流保护及工作电流显示,变频器故障显示,蜂鸣器、电铃报警,供水管网过水压自动停泵并报警,一次水不足自动停泵等。由于变频器的使用,泵转速下降,出口压力降低,减少了机械磨损,降低了维修的工作量,延长了设备的使用寿命,提高了功率因数,避免了电动机直接工频使用时大电流对电动机线圈和电网的冲击。另外,电动机和泵组合为一体,它既是动力源,又是供水调节机构,降低了工人



视频

变频器的工作
方式及应用





的劳动强度。

4) 变频技术在电梯中的应用

变频器在电梯控制系统中的应用可以分为以下几点。

- (1) 通过调节变频器的调制频率,可以使电梯静音运行。
- (2) S形速度曲线的设定保证了电梯的平滑运行,提高了乘坐舒适感。
- (3) 采用了高性能的矢量控制,轿厢可以快速平稳地运行。
- (4) 变频器的高力矩输出和过载能力保证电梯可靠、无跳闸运行。
- (5) 采用变频器控制,减少了电梯的机械维护量。

5) 变频技术在照明中的应用

在全球经济发展过程中,能源的紧张不仅制约了经济的增长,也给许多国家的发展带来了相当大的问题。变频电源的应用使得照明技术、高频逆变技术的应用领域不断扩大。以节能为目的,变频器广泛应用于各行业。在我国实施的“绿色照明工程”中,变频电子节能灯是主要推广项目。

普通的白炽灯光效为 10 lm/W 左右,使用寿命约为 $2\,000 \text{ h}$ 。节能灯工作时灯丝的温度在 $1\,160 \text{ K}$ 左右,比白炽灯的工作温度($2\,200 \sim 2\,700 \text{ K}$)低很多。由于节能灯不存在白炽灯那样的电流热效应,所以荧光粉的能量转换效率也很高,达到 60 lm/W 以上,仅镇流器一项即可省电 20% ,再配上稀土三基色高效节能灯,可比普通白炽灯省电 $60\% \sim 80\%$,比普通节能灯省电 $25\% \sim 50\%$ 。

6) 变频技术在风力发电中的应用

电力电子技术在风力发电中起到了重要作用,尤其是对于恒定速度、可变速速度风力涡轮机和电网的接口技术至关重要。由于风速是不断变化的,因此,基于风力电力系统的电能质量和可靠性只能依据当时的风速来预测,最佳的控制方案需要功率调节才能制定。

变速风力发电机组根据风速变化使机组保持最佳叶尖速比,从而获得最大风能。另外,由于变速风力发电机组与电网实现了柔性连接,大大减少了机械冲击和对电网的冲击。因此,采用变速风力发电机组已成为利用风力发电机组的主流。

目前,变频器已经在工业制造、钢铁、冶金、油田、炼油、石化、化工、纺织印染、医药、造纸、卷烟、高层建筑、建材、家用电器、数控技术及机械行业等领域得到广泛的应用。随着智能型、环保型变频器的出现,变频器的应用领域正在不断扩大,其主要发展方向有以下几项。

- (1) 实现高水平的自动控制。
- (2) 开发节能变频器。
- (3) 使得控制装置小型化。
- (4) 实现高速度的数字控制。
- (5) 能够利用模拟器与计算机辅助设计进行网络现场控制。



课堂体验

课堂体验 11:变频器的运行体验

连接变频器供电电源(变频器和三相交流异步电动机已连接)。调整电位器,改变三相交流异步电动机的速度。

叙述体验过程及观察到的现象。

 回答:



问题与思考

问题 1 IGBT 的主要用途是什么? 一般如何使用?

思考并回答:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

问题 2 变频器有哪些类型? 主要特点是什么?

思考并回答:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





小 结

在电机拖动与调速系统中,机电能量转换的媒介是磁场,磁场的路径是磁路。因此,学习磁场、磁路及电磁感应的概念,是学习电机拖动与调速的重要基础。

电机的类型很多,包括直流电机、交流电机、变压器、控制电机等。发电机和电动机只是电机的两种运行方式,它们本身是可逆的。根据电机的原理,每种电机都可以归属于发电机、电动机或变压器这三种中的一种。根据电机拖动的需要,学习重点应放在电动机上。

电动机的工作原理是通过一种静止的磁场与以传导方式通入电枢绕组中的电流相互作用而产生一种恒定方向的电磁转矩来实现拖动作用。三相异步电动机的工作原理就是通过一种旋转磁场与由这种旋转磁场借助感应作用在转子绕组内所感生的电流相互作用,以产生电磁转矩来实现拖动作用。在三相异步电动机中实现电能转换的前提是产生旋转磁场。

电力电子器件是电力电子技术的核心,是电力电子电路的基础,同时也是变频技术的关键器件。变频技术就是对电能进行变换和控制的技术。



复习思考题

1. 电机的基本原理是什么?
2. 说出几种常用的电力电子器件。
3. 简述电机的分类。
4. 变压器分成哪几类? 主要用在哪些方面?
5. 叙述各种电动机的应用及特点。
6. 比较控制电机与普通电机的异同点,简述控制电机在实际中的应用。
7. 什么是变频技术? 什么是变频器?
8. 变频技术的发展趋势是什么?
9. 简述变频器在实际中的应用。