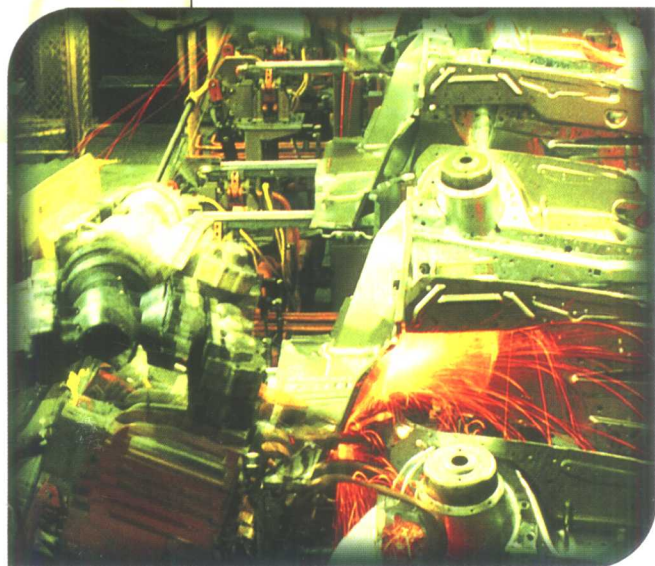




中等职业教育国家规划教材（电子电器应用与维修专业）
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电机与控制

专业主编 牛金生 主编 邱敏艳
责任主审 李佩禹 审稿 王圣伟



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育国家规划教材(电子电器应用与维修专业)

电机与控制

专业主编 牛金生 主编 邱敏艳
责任主审 李佩禹 审稿 王圣伟

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是中等职业教育国家规划教材。本书共分三篇,第1篇着重介绍电动机基本原理与维修,包括:单相异步电动机、直流电机、单相串激电动机以及三相异步电动机的基本工作原理与维修,并介绍了步进电动机、微型同步电动机、无刷直流电动机等几种控制电机的典型结构和工作原理。第2篇重点介绍家用电器电动机及其控制,包括:洗衣机电动机的结构和典型控制方法;电风扇电动机的结构和典型控制方法;电冰箱、空调器的结构和典型控制方法,并介绍了一些其他家用电器电动机的原理和控制方法,如音响设备、厨房设备、电动工具、美容保健设备、办公自动化设备等。第3篇为实验篇,包括:单相异步电动机启动实验,直流电动机认识实验,洗衣机典型控制实验,电风扇典型控制实验以及空调器典型控制实验。

本书可作为中等职业学校电子电器应用与维修专业、日用电器专业的教材,也可供其他工科专业教学和社会培训选用。

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

电机与控制/吕锋主编. —北京:电子工业出版社,2002.6

中等职业教育国家规划教材(电子电器应用与维修专业)

ISBN 7-5053-7190-8

I. 电… II. 吕… III. 电机—控制—专业学校—教材 IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 035944 号

责任编辑:张荣琴 特约编辑:韩 雨

印 刷:北京人卫印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:8.75 字数:224 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:11.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁发的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司
2001 年 10 月

前 言

21 世纪是知识经济的世纪,是人才辈出的世纪,是继续教育发展的世纪。随着科学技术的不断进步,对人才层次的要求提出了更高的标准,职业教育面临着新的发展机遇和更为严峻的挑战。教育部启动了“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划”,并明确指出:树立以全面质量为基础、以能力为本位的指导思想,开发和编写体现新知识、新技术、新工艺和新方法的具有职业教育特色的教材。为此,我们本着以培养新世纪社会需要的、高素质的劳动者和中初级专门人才为出发点,力求编写出具有适应技术应用型人才培养要求的职业教育特色,具有思想性、科学性、先进性、实用性、规范性的优秀教材。

本课程是中等职业学校电子电器应用与维修专业日用电器专门化方向的一门专业主干课程。它的任务是:使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必须的电动机及其控制技术的基本技能,为学生学习专业知识和职业技能,提高全面素质,增强适应职业的能力和继续学习的能力打下基础。

近些年来,对《电机与控制》这门课程,全国各行业中的各种中等职业学校大多以自定教学大纲为基础,自编教材或讲义,进行教学活动。然而,随着社会、经济、技术、生产的发展,随着新的教育体制、人才结构、市场经济的形成,随着现代职业教育思想理念的建立与现代教育技术、方法的应用,教育部确定了提高教育质量、培养社会需要的高素质劳动者和中初级专门人才的目标。这样,规范中等职业学校各专业教材的任务迫在眉睫,新编《电机与控制》教材势在必行。

过去的教材存在着讲授知识多,培养能力少;理论篇幅多,训练篇幅少;公式推导多,实际应用少;老内容多,新内容少;文字叙述多,图表说明少等问题。另外还存在着生产技术飞速发展与教材相对滞后的矛盾。因此随着社会、经济、技术、生产的发展;新的教育体制、人材结构市场机制的形成;现代教育技术方法的应用,原有的教材已不适应现实需求。只有以新的观念,勇于探索、不断创新,编写出高质量的实用教材,以适应现代职业教育的培养目标。

为了编好这本《电机与控制》教材,使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必须的电动机及其控制方面的基本技能,为学生学习专业知识和职业技能打下基础。并注意渗透思想教育,逐步培养学生的辨证思想,加强学生的职业道德观念。我们在编写教材时遵循以下几点思路。

1. 指导思想

教材要具有适应 21 世纪人才要求的时代特征,具有适应社会主义建设需要、培养应用型人才的职教特色,强调以“能力为本位”的编写指导思想,体现“宽、浅、新、活、能”的中职教育特色;能反映现代教育观念,在教材体系上有所创新,教材内容上有所更新,教学方法和手段上有所革新。

2. 目标

新编教材根据中等职业教育的培养目标,使学生通过本教材的学习,掌握高素质的劳动者和专门人才必须具备的专业知识和基本技能,增加适应职业变化能力和解决实际问题的能力,使学生的素质得到全面提高。据此本教材着力于改革传统的教材模式,突出应用性和实践性;充分反映新知识、新技术。具体表现在,将讲授知识与培养能力相结合;重实训,少讲空洞的理论、抽象的公式推导,多讲一些生动的实际应用例子,将生产、科技最前沿的成果以统计数据或图表的形式介绍给学生。

3. 特色

(1) 教材的整体框架,以有利于学生专业能力的培养为出发点,强调理论与实践并重的原则。具体做法:教材既包括理论教学部分,又有实验部分,实验约占整门课程的五分之一。再加上专设的实习教学课,使学生的动手实践时间大大增加,为其能力的培养奠定了基础。

(2) 扩大教材适应性。目前学生专业越来越多,学制也参差不齐,故在教材编写过程中,编者利用模块式管理的方法,注意各模块的相对独立性。

(3) 在教材内容上突出实用性、创新性并留有发展的余地,在语言文字表达力求精炼,通俗易懂。

本教材第1~3章由邸敏艳编写,第4,5章由吕锋(本书副主编)编写,第7,8章由容文杰编写,第6,9章由于红编写,实验部分由何明中编写。另外,邸敏艳、姚勇共同完成了教材第1~9章的所有插图的绘制工作,全书由主编邸敏艳统稿。我们坚信,经过努力,我们一定能编写出一套既能体现规划性、标准性、严密性和科学性,又具有职教特色的深受学生及教师喜爱的优秀教材。

由于编者能力有限,本书有些内容难免不够妥善,甚至会有错误之处。希望读者,特别是使用本教材的教师和同学积极提出批评和改进意见。

邸敏艳

2002年1月

目 录

第 1 篇 电动机基本原理及维修

第 1 章 单相异步电动机	1
1.1 单相异步电动机的分类及其结构	1
1.1.1 单相异步电动机的分类	1
1.1.2 单相异步电动机的结构	1
1.2 单相异步电动机的工作原理	3
1.2.1 单绕组的定子磁场	4
1.2.2 两相绕组的定子磁场	4
1.2.3 罩极电动机的定子磁场	5
1.3 单相异步电动机的机械特性	6
1.3.1 运行绕组单独通电时的机械特性	6
1.3.2 两相绕组通电时的机械特性	7
1.4 单相异步电动机的启动、反转和调速	7
1.4.1 单相异步电动机的启动	7
1.4.2 单相异步电动机的反转	9
1.4.3 单相异步电动机的调速	9
1.5 单相异步电动机常见故障、检修方法及检验内容	10
1.5.1 单相异步电动机常见故障	10
1.5.2 单相异步电动机检修方法	11
1.5.3 单相异步电动机的验收方法	14
习题 1	15
第 2 章 直流电机	16
2.1 直流电机的基本结构和分类	16
2.1.1 直流电机的基本结构	16
2.1.2 直流电动机的分类	17
2.2 直流电动机的额定值和主要系列	18
2.2.1 直流电动机的额定值	18
2.2.2 直流电动机的系列与型号	18
2.3 直流电机的基本工作原理	19
2.3.1 直流电动机的基本工作原理	19
2.3.2 直流发电机的基本工作原理	19
2.3.3 可逆原理阐述	20

2.4 直流电动机的启动、反转和调速	20
2.4.1 直流电动机的启动	20
2.4.2 直流电动机的反转	21
2.4.3 直流电动机的调速	22
2.5 直流电动机常见故障及检修	24
2.5.1 直流电动机常见故障及原因	24
2.5.2 直流电动机绕组故障的检验及修理	27
2.5.3 直流电动机换向器部位故障的检验及修理	30
习题 2	32
第 3 章 单相串激电动机	33
3.1 单相串激电动机的基本结构和工作原理	33
3.1.1 单相串激电动机的基本结构	33
3.1.2 单相串激电动机的工作原理	35
3.2 单相串激电动机常见故障及检修	37
3.2.1 定子绕组故障的检查与修理	37
3.2.2 电枢绕组故障的检查与修理	37
3.2.3 换向器部位故障的检查与修理	38
3.2.4 噪声过高的原因及降低噪声的方法	40
习题 3	40
第 4 章 三相异步电动机	42
4.1 异步电动机概述	42
4.2 三相异步电动机的基本结构和运行状态	43
4.2.1 三相异步电动机的基本结构	43
4.2.2 三相异步电动机的运行状态	45
4.3 三相异步电动机的额定值和主要系列	46
4.3.1 三相异步电动机的额定值	46
4.4 三相异步电动机的启动、反转和调速	48
4.4.1 三相异步电动机的启动	48
4.4.2 三相异步电动机的反转	49
4.4.3 三相异步电动机的调速	49
4.5 三相异步电动机的故障及检修	51
4.5.1 三相异步电动机运行前后的检查	51
4.5.2 电动机启动时的故障分析及检修	52
4.5.3 电动机运行时的故障分析及检修	53
习题 4	53
第 5 章 其他类型电动机	55
5.1 步进电动机	55
5.1.1 步进电动机的工作原理	55

5.1.2 步进电动机的典型结构.....	57
5.2 微型同步电动机.....	59
5.2.1 永磁式微型同步电动机.....	59
5.2.2 反应式微型同步电动机.....	62
5.3 无刷直流电动机.....	64
5.3.1 无刷直流电动机基本结构和类型.....	64
5.3.2 无刷直流电动机的基本工作原理.....	66
习题 5.....	68

第 2 篇 家用电器中的电动机及其控制

第 6 章 洗衣机电动机及其控制.....	69
6.1 洗衣机电动机的结构与特点.....	69
6.1.1 波轮式洗衣机电动机的结构和特点.....	69
6.1.2 滚筒式全自动洗衣机电动机的结构和特点.....	70
6.1.3 搅拌式洗衣机电动机的结构和特点.....	70
6.2 洗衣机电动机的控制线路.....	71
6.2.1 洗衣机常见电控器件.....	71
6.2.2 洗衣机电动机的基本控制方式.....	77
6.2.3 典型的洗衣机电控线路.....	78
习题 6.....	79
第 7 章 电风扇电动机及其控制.....	81
7.1 电风扇用电动机的结构与特点.....	81
7.1.1 台扇电动机的结构与特点.....	81
7.1.2 吊扇电动机的结构与特点.....	81
7.1.3 转页扇电动机的结构与特点.....	82
7.2 电风扇电动机的控制线路.....	83
7.2.1 电风扇常用电控器件的结构、原理和使用.....	83
7.2.2 电风扇用电动机的基本调速方法.....	84
7.2.3 典型电风扇电控线路.....	87
习题 7.....	89
第 8 章 电冰箱和空调器电动机及其控制.....	90
8.1 电冰箱、空调器压缩机用电动机的结构及其工作原理.....	90
8.1.1 电冰箱、空调器压缩机用电动机的结构.....	90
8.1.2 电冰箱、空调器压缩机用电动机的工作原理.....	91
8.2 电冰箱、空调器的控制线路.....	92
8.2.1 常用电控器件的结构、原理和特点.....	92
8.2.2 电冰箱、空调器的典型电控线路.....	97

习题 8	99
第 9 章 其他家用电器电动机的原理及控制	100
9.1 音响设备电动机的原理及控制	100
9.1.1 盒式录音机	100
9.1.2 唱机	101
9.2 美容保健电动器具电动机及控制	102
9.2.1 电吹风中的电动机及控制	102
9.2.2 电动剃须刀中的电动机及控制	103
9.2.3 按摩器中的电动机及控制	103
9.3 办公自动化设备电动机的原理及控制	104
9.4 厨房器具电动机的原理及控制	106
9.5 电动工具电动机的原理与控制	107
习题 9	108

第 3 篇 《电机与控制》实验

第 10 章 电机与控制实验的基本要求	109
第 11 章 电动机实验	111
11.1 单相异步电动机实验	111
11.1.1 单相电阻启动异步电动机实验	111
11.1.2 单相电容启动异步电动机实验	113
11.1.3 单相电容运转异步电动机实验	116
11.2 直流电机实验	118
11.2.1 直流电机认识实验	118
第 12 章 家用电器实验	121
12.1 连接双桶洗衣机控制线路实验	121
12.2 台扇实验	122
12.3 电冰箱电气控制系统的观测实验	124
12.4 窗式空调器控制电路的实验	126

第 1 篇 电动机基本原理及维修

电动机的作用是将电能转换为机械能。现代各种生产机械都广泛应用电动机来驱动。由此可见，电动机在国民经济中起着极其重要的作用。

第 1 章 单相异步电动机

单相异步电动机运转时，只需要单相正弦交流电源。因为单相异步电动机具有这样的特点，所以被广泛用于家用电器中，例如洗衣机、电冰箱、电唱机和电风扇等都以单相异步电动机为动力源。

本章内容提要：单相异步电动机的分类及其结构；单相异步电动机的工作原理；单相异步电动机的机械特性与参数；单相异步电动机的调速；单相异步电动机常见故障及检修。

1.1 单相异步电动机的分类及其结构

1.1.1 单相异步电动机的分类

单相异步电动机种类繁多，但在家用电器中所用的单相异步电动机基本上只有两大类五种。第一类为单相罩极式电动机。单相罩极式电动机又可分为两种：第一种为凸极式罩极电动机；第二种为隐极式罩极电动机。第二类为分相式单相异步电动机。分相式单相异步电动机又可以分为三种：第一种为电阻启动异步电动机；第二种为电容启动异步电动机；第三种为电容启动和运转异步电动机。

上述这些电动机的结构虽有差别，但是其基本工作原理是相同的。

1.1.2 单相异步电动机的结构

无论哪种类型的单相异步电动机，它都有机壳、转子、定子、端盖、轴承、风扇等部件，如图 1.1 所示。

1. 单相异步电动机的转子

转子是由电机轴、转子铁心以及鼠笼组成，如图 1.2 所示。

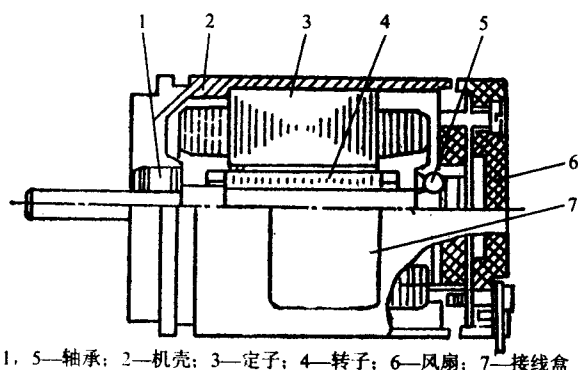


图 1.1 单相异步电动机结构图

单相异步电动机的鼠笼转子大多采用斜槽式，转子的鼠笼导条两端，一般相差一个定子齿距。鼠笼导条和端环多采用铝材料，并且是一次铸造成形。鼠笼端环的作用是将多条鼠笼导条并接起来形成环路，以便在导条产生感应电势时，能够在导条内部形成感应电流。电动机的转子铁心为硅钢片冲压成形后，再叠制而成。

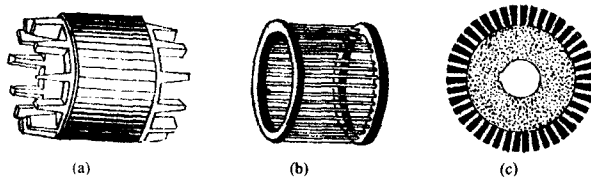


图 1.2 单相异步电动机鼠笼转子

2. 异步电动机的定子

电动机的定子是由定子铁心和定子绕组组成。由于单相电动机的种类不同，定子结构也不同。下面分别介绍罩极电动机和分相式电动机的定子结构。

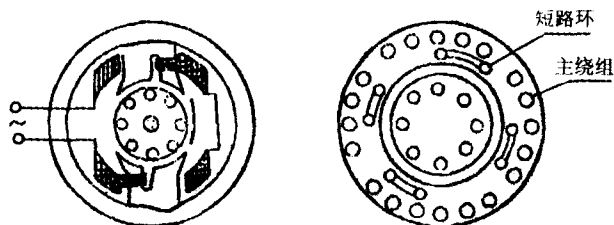


图 1.3 罩极电动机定子

(1) 凸极式罩极电动机的定子。凸极式罩极电动机的定子是由凸出的磁极铁心、激磁主绕组线包和罩极短路环组成，见图 1.3 左图。这种电动机的每个凸出磁极的极身上绕有集中的主绕组线包。每个磁极的极掌的一端开有小槽，在小槽内嵌入一个短路环或几匝短路线圈，用其罩住磁极的 $1/3$ 左右的极掌。这个短路环又称为罩极圈。

(2) 隐极式罩极电动机的定子。隐极式罩极电动机的定子由圆形定子铁心、主绕组以及短路绕组(短路线圈)组成，见图 1.3 右图。隐极式罩极电动机的圆形定子铁心是用硅钢片叠成的，上面有均匀分布的槽。在槽内嵌有两套绕组，即主绕组和短路绕组。隐极式罩极电动机的主绕组分散嵌在定子铁心槽内，匝数很多，它置于槽的底层。罩极短路绕组的匝数较少，线径较粗(常用 1.5 mm 左右的高强度漆包线)。它嵌在部分定子铁心槽内。

为了保证短路线圈有电流时产生的磁通在相位上滞后于主绕组磁通一定角度(一般为 45°)，以便形成电动机的旋转气隙磁场。因此，在嵌线时，必须注意两套绕组的相对空间位置，如图 1.3 所示。

(3) 分相式单相电动机的定子。分相式单相电动机虽然有电容分相式、电阻分相式、电感分相式三种，但是其定子结构相同，嵌线方法也相同。分相式单相电动机的定子是由圆形铁心，主绕组和副绕组(起动绕组)组成。主绕组和副绕组在空间相对位置差 90° 电角度，如图 1.4 所示。在图 1.4 中左图为 8 槽、2 极单相电动机的定子。其主绕组(AX)与副绕组(BY)互相垂直，即成 90° 电角度。在图 1.4 中右图为 8 槽、4 极分相式电动机的定子。其主绕组(AX)与副绕组(BY)互差 45° 机械角度，即相当于 90° 电角度。分相式单相电动机定子铁心是用硅钢片叠成，铁心内腔均匀分布着定子槽，在槽内嵌有主绕组和副绕组。

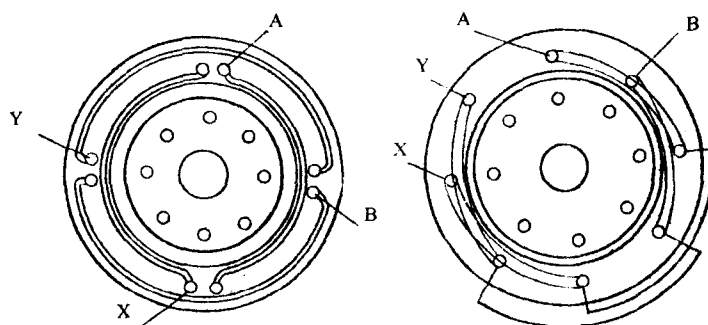


图 1.4 分相异步电动机定子

家用电器中的洗衣机电动机主绕组与副绕组匝数相同，线径相同，在定子腔内分布相同，占的槽数相同。主绕组和副绕组在空间相差 90° 电角度。电风扇电动机和电冰箱电动机的主绕组与副绕组匝数不相同、线径不相同、占的槽数也不相同，但是主绕组和副绕组在空间上相对位置互相也差 90° 电角度。

1.2 单相异步电动机的工作原理

为了说明单相异步电动机的转动原理，先作一个演示。

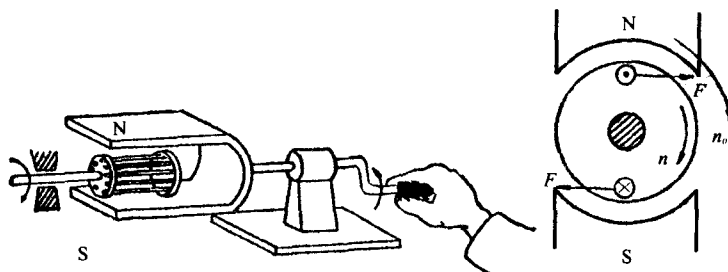


图 1.5 单相异步电动机原理图

图 1.5 所示的是一装有手柄的马蹄形磁体，磁极间放有一个可以自由转动的、由铜条构成的转子。各铜条两端分别用铜环短接起来，形似鼠笼，故为鼠笼式转子。磁极与鼠笼转子间没有机械联系。当我们摇动磁极转动时，会发现鼠笼转子跟着磁极一起转动。磁极转得快时，转子也跟着转得快；磁极转得慢时，转子也跟着转得慢；磁极转动方向改变，转子的旋转方向也跟着改变。下面具体解释转动原理。

按顺时针旋动手柄，使磁极顺时针方向旋转，磁极的磁力线切割转子铜条，铜条中会产生感应电势和感应电流。根据导体切割磁力线时导体中产生感应电势的理论及右手定则，在图 1.5 中，位于 N 极下的铜条感应电势穿出纸面(用“ $\odot$ ”表示)；而位于 S 极下的铜条感应电势则进入纸面(用“ $\otimes$ ”表示)；

在转子铜条感应电势作用下，闭合的铜条内会产生感应电流。铜条流过感应电流后，它也会产生磁场。此磁场与定子磁场相互作用，会使铜条上产生电磁力，在鼠笼转子上产生电磁转矩(M)。其方向可以用左手定则确定。转子在电磁力矩作用下，使转子跟随磁极

顺时针方向转动。这就是异步单相电动机通电运行的基本原理。

通过以上的分析, 可得如下结论:

(1)电动机转子旋转必须有一个旋转磁场带动。

(2)转子旋转速度与磁场旋转速度必须不同。这是因为转子导条必须切割磁场的磁力线, 才能在鼠笼铜条中产生感应电势, 否则就不能转动。

(3)转子导条(铜条)必须短路, 使在导条内有感应电流。这种感应电流与磁场相互作用, 才能产生转子转动的电磁力矩。

以上三个条件缺一不可, 但是鼠笼铜条产生感应电势和感应电流的先决条件, 就是旋转磁场。也就是说, 电动机转子旋转的先决条件, 就是旋转磁场。

下面分析单相异步电动机的定子磁场。

1.2.1 单绕组的定子磁场

在电动机的定子槽内只嵌有一组绕组, 它的磁场图如图 1.6 所示。

在图 1.6 中, 示出绕组通以正弦交流电流 $i = I_m \sin \omega t$ 时, 在不同时刻所形成的磁场。

从图中可以看出, t_0 、 t_4 、 t_8 时刻, 绕组电流 $i=0$, 所以定子磁场为零。 t_1 和 t_5 时刻, 绕组电流大小相等, 方向相反, 所以定子磁场的磁场强度相同, 但磁场方向相反。同理, t_2 和 t_6 时刻, t_3 和 t_7 时刻绕组电流大小相等, 但磁场方向相反。还可以看出 t_2 时刻和 t_5 时刻定子磁场最强, 磁场位置是固定的, 其磁场位置在绕组平面的垂直中心线位置。

单相绕组磁场实际是一个脉振磁场, 也就是说, 磁场的位置固定, 而磁场的强弱却按正弦规律变化。

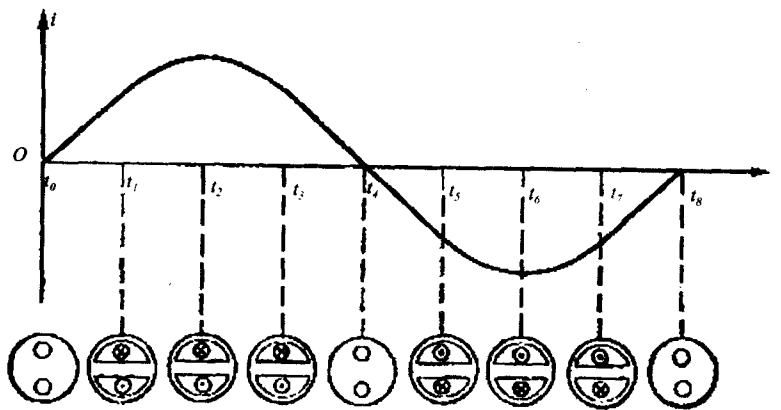


图 1.6 单绕组电动机旋转磁场

1.2.2 两相绕组的定子磁场

分相式单相电动机的定子腔内有两组绕组, 即主绕组和副绕组, 它们的电角度相互成 90° , 如图 1.7 所示。

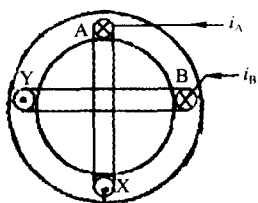


图 1.7 两相绕组定子示意图

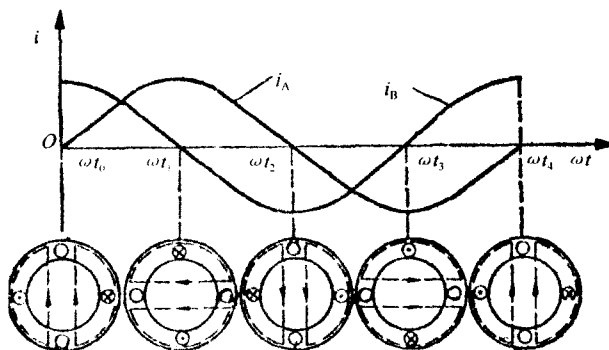


图 1.8 两相绕组电动机旋转磁场

当图 1.7 所示的电动机定子两绕组中各通以 $i_A = I_m \sin \omega t$ 及 $i_B = I_m (\sin \omega t + 90^\circ)$ 两电流时，两相绕组形成的磁场如图 1.8 所示。

下面分析两相绕组不同时刻的电流与定子磁场之间的关系。

在 t_0 时， $i_A = 0$ 、 $i_B = I_m$ ，这时 AX 绕组没有电流，BY 绕组电流最大，磁场在 AX 绕组位置。在 t_1 时， $i_A = I_m$ 、 $i_B = 0$ ，这时 AX 绕组电流最大，BY 绕组电流为零，此时磁场在 BY 绕组位置。

由图 1.8 可以看出，电流从 t_0 到 t_1 时刻变化了 90° 电角度，磁场也移动了 90° 电角度。依次类推，电流变化 180° 时，磁场也移动了 180° 电角度；如果电流变化一个周期 (360°)，磁场也正好旋转 360° 电角度。当电动机绕组形成一对磁极(一个 N 极，一个 S 极)时，电流变化一个周波，磁场只旋转一周。当电动机为两对磁极时，电流变化一个周波，磁场只旋转半周。由此分析，可以得知电动机定子磁场转速 n_0 与电流的频率(每秒周波数，Hz)和定子磁极对数有关，其关系为：

$$n_0 = 60 f / P$$

式中， n_0 ——定子磁场转速 (r/min)；

f ——电源电压频率 (Hz)；

P ——磁极对数。

由以上分析可得出如下结论：

(1) 当两相绕组在空间相差 90° 电角度，两相绕组匝数相同，绕组分布相同，通过电流大小相等，相位差 90° 时，则形成圆形旋转磁场。

(2) 旋转磁场的转速(称为电动机的同步速)与电源电压频率成正比，与定子磁场的磁极对数成反比，即 $n_0 = 60 f / P$ (r/min)。

(3) 旋转磁场方向从电流跃前的绕组向电流滞后绕组的方向旋转。

1.2.3 罩极电动机的定子磁场

罩极电动机有主绕组线包和罩极短路线圈。这两绕组在空间位置相差不是 90° 角，而且只有主绕组线包通正弦交流电，而短路线圈不接电源。这样就使罩极电动机定子磁场有其特殊性。

现在研究主绕组产生的磁场对于短路线圈的作用。前面已经介绍单相绕组产生的定子磁场是脉振磁场，其磁场强度幅值按正弦规律变化。这一变化的磁场所产生的磁通，在穿

过短路线圈时必然在短路线圈内产生感应电流。根据法拉第电磁感应定律得知,在罩极短路线圈内产生感应电势和感应电流也是正弦交流电,感应电流滞后主绕组的电流 90° 。这里用 i_1 表示主绕组线圈电流,用 i_2 表示罩极短路线圈电流,则 $i_1 = I_{m1} \sin \omega t$, $i_2 = I_{m2} (\sin \omega t - 90^\circ)$ 。

由于主绕组与罩极短路线圈在空间有一定位置差,通过的电流又相互差 90° 相位差,只不过匝数不同,所以罩极电动机的定子磁场也是旋转磁场(不是圆形旋转磁场)。图 1.9 和图 1.10 分别画出了罩极电动机主绕组和短路线圈的电流和罩极电动机结构示意图和磁场(转子)旋转方向。

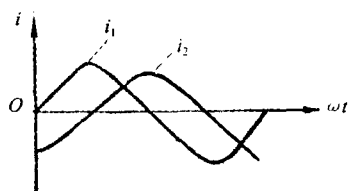


图 1.9 罩极电动机两绕组中的电流

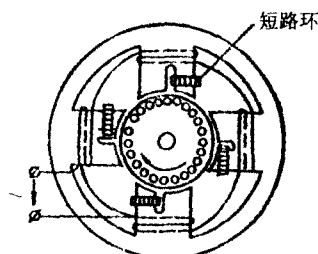


图 1.10 罩极电动机的结构

通过对单相异步电动机工作原理的分析,可得出如下结论。

(1)单相异步电动机启动运行的首要条件,就是电动机定子磁场必须是旋转磁场。产生旋转磁场的条件有两条,其一是电动机的主绕组和副绕组在空间上相差一定的电角度;其二是两绕组通过的电流必须是相位差 90° 角的正弦交流电。

(2)定子磁场的转速与电动机转子的转速必须异步,转子鼠笼导条中才能产生感应电势和感应电流;通电的导条与定子磁场的相互作用使得转子产生电磁转矩,电动机才能启动运行。电动机转子的转向与定子磁场旋转方向相同;转子转速低于定子磁场转速。

1.3 单相异步电动机的机械特性

1.3.1 运行绕组单独通电时的机械特性

根据上面的分析,如果仅将单相异步电动机的运行绕组接通单相交流电源,流过交流电流时,电机中产生的磁势为脉振磁动势。由于一个脉振磁动势可以分解为两个转向相反、转速相同、幅值相等的旋转磁势 F_+ 和 F_- ,所以单相异步电动机的转子在脉振磁动势作用下产生的电磁转矩 T ,应该等于正转磁动势 F_+ 和反转磁动势 F_- 分别作用下产生的电磁转矩之和。

参看图 1.11,设在正转磁动势作用下单相异步电动机的电磁转矩为 T_+ ,机械特性 $T_+ = f(s)$ (s 为转差率,详见本书第 4.2 节)如图曲线 3;在反转磁动势作用下单相异步电动机的电磁转矩为 T_- ,机械特

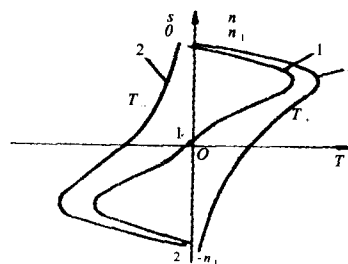


图 1.11 运行绕组通电时的机械特性

性 $T=f(s)$ 如图曲线 2。由于 $F_+=F_-$ ，两条特性曲线是对称的。合成转矩 $T=T_++T_-$ ，合成机械特性为 $T=f(s)$ ，如图曲线 1。从合成机械特性曲线 $T=f(s)$ 或 $T=f(n)$ 可以看出，当转子静止时，即 $n=0(s=1)$ 时电磁转矩 $T=0$ ，亦即运行绕组单独通电时，没有启动转矩，不能自行启动。当 $n>0$ (或 $n<0$) 时， $T>0$ (或 $T<0$)，即只要电机已经正转 (或反转)，而且在此转速下的电磁转矩大于轴上的负载转矩，就能在电磁转矩的作用下升速至接近于同步转速 n_1 的某点稳定运行。

因此，单相异步电动机如果只有运行绕组，可以运行但不能自行启动。

1.3.2 两相绕组通电时的机械特性

单相异步电动机的运行绕组和启动绕组同时通入相位不同的交流电流时，一般产生椭圆旋转磁动势，可以分解为两个转向相反、转速相同、幅值不等的旋转磁动势。设正转磁动势的幅值 F_+ 大于反转磁动势的幅值 F_- ，则 F_+ 单独作用于转子时的机械特性 $T_+=f(s)$ 如图 1.12 中的曲线 1 所示。 F_- 单独作用于转子时的机械特性 $T_-=f(s)$ 如图 1.12 中的曲线 2 所示。转子所产生的合成转矩 $T=T_++T_-$ ，合成机械特性为 $T=f(s)$ ，如图 1.12 中的曲线 3 所示。从该机械特性可以看出：在 $F_+>F_-$ ，亦即椭圆旋转磁动势正转的情况下， $n=0(s=1)$ 时电磁转矩 $T>0$ ，电机有启动转矩，能自行启动，并正向运行。显然如果 $F_+<F_-$ ，即椭圆旋转磁动势反转的情况下，电机能够反向启动，并反向运转。

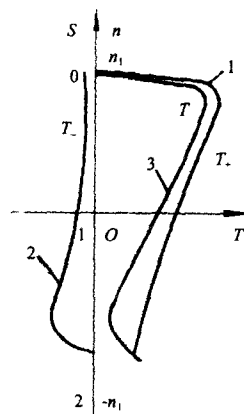


图 1.12 椭圆旋转磁动势时的机械特性

以上分析表明，单相异步电动机自行启动的条件是电机启动时的磁动势是椭圆或圆形旋转磁动势。为此，一般应有启动绕组，并且要使启动绕与运行绕组中电流的相位不同。

1.4 单相异步电动机的启动、反转和调速

1.4.1 单相异步电动机的启动

单相异步电动机的主要特点是没有启动转矩，一旦在任意方向启动后就能运行。所以为了解决启动问题，启动时要在单相电动机的气隙中形成旋转磁场，而产生旋转磁场的条件是多相绕组 (空间的) 通入多相电流 (时间的)。所谓多相至少是两相。因此在单相电动机中除了空间有相位差以外，流过它们的电流在时间上也必须要有相位差。这样才能产生旋转磁场，使电动机能够自行启动。

1. 罩极式异步电动机的启动

分相式单相异步电动机的定子铁心上嵌有主绕组和副绕组，两者的轴线在空间相距 90° 电角度，并接在同一电源上。图 1.13 为分相式单相异步电动机的接线原理图。