



高等职业院校教材
“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

电气控制技术—— 常用电机控制与调速技术

葛金印 组编
吴程 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

高等职业院校教材

“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

电气控制技术—— 常用电机控制与调速技术

葛金印 组编

吴程 主编

责任编辑

高等教育出版社

ISBN 7-04-018281-1
定价：24.00元

内容简介

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一,是根据教育部新一轮职业教育教学改革成果——最新研发的机电技术专业、数控技术专业人才培养方案中“电气控制技术——常用电机控制与调速技术核心课程标准”,并参照相关国家职业标准及有关行业的职业技能鉴定规范编写的。

本书主要内容包括交流电动机控制与调速、直流电动机控制与调速、特种电机原理与控制三方面。交流电动机控制与调速方面通过学习与训练,了解三相异步电动机调速的概念,熟悉异步电动机的调速方法及掌握不同调速方法的运用。直流电动机控制与调速方面通过学习与训练,了解直流电动机的结构,掌握直流电动机的工作原理、直流电动机的三种调速原理,以及直流电动机调压调速的操作方法。特种电机控制与调速方面通过学习与训练,了解各类特种电机的结构、工作原理、使用方法,为将来从事相关工作打下一定的基础。

本书可作为高等职业院校机电技术专业和数控技术专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材及有关人员自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术——常用电机控制与调速技术/吴程
主编;葛金印组编. —北京:高等教育出版社,2008.6
ISBN 978-7-04-023442-8

I. 电… II. ①吴…②葛… III. 电气控制-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(2008)第051465号

策划编辑 陈大力 责任编辑 王莉莉 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉
版式设计 王莹 责任校对 张颖 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 8.25
字 数 200 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年6月第1版
印 次 2008年6月第1次印刷
定 价 11.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 23442-00

出版说明

国务院《关于大力发展职业教育的决定》的精神推动着我国职业教育事业蓬勃发展。为提高职业教育教学质量，教育部启动了新一轮职业教育教学改革行动。高等教育出版社始终站在更新观念及职教课改的前列，打造优质教学资源，研发精品教学资源，增强服务意识，提高服务本领，支持职业教育事业的发展。

在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中，高等教育出版社深切地了解到从事高等职业技术教学工作的教师们正以饱满的热情、高昂的斗志积极投入到课程改革的热潮中，他们也渴望能有一套遵循“以服务为宗旨，以就业为导向，以能力为本位”的职教理念，符合中国国情，能够适合高素质技能型人才培养模式，适应实施理论实践一体化和项目教学法，且可操作性强的实用系列专业教材。我社本着服务于职业教育事业发展，服务于职业院校教师的教学，服务于职业院校学生的学习的指导思想，推出了本套满足高职院校（五年制）机电技术专业、数控技术专业教学实际需要的专业课改成果系列教材。

本系列教材是由多年从事高等职业教学工作的一线骨干教师和学科带头人通过社会调研，对劳动力市场人才进行需求分析，进行课题研究，研发专业人才培养方案，制定核心课程标准等技术程序，并在征询了相关企业人员的意见后编写而成的。其主要特点为：

1. 本系列教材打破了原有的“以学科为中心”的课程体系，以劳动和社会保障部颁发的相关国家职业标准为编写的依据之一，课程设置和教学内容与企业技术发展同步，贯彻了以就业为导向，突出职业岗位能力培养为主的职教思想。

2. 专业核心课程采用综合化模块结构体系；专业基础理论削枝强干，够用为度，兼顾发展；技能训练课程内容实行“项目化”，项目根据学生掌握专门技术的认知规律设置课题。本系列教材在使用时有较强的可操作性。

3. 适应了学分制改革的需要，避免了教学内容的重复与交叉，给学生自主学习和个性化发展留有充分的空间。

4. 本系列教材以最新的相关国家技术标准编写，融入了新知识、新技术、新工艺和新方法。语言表述平实，通俗易懂，便于学生的自学。

伴随着教育部新一轮职业教育教学改革的不断深化，本套教材在推广使用中，将根据反馈的信息和教学需求的变化进行修订与完善。

高等教育出版社

前 言

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一。在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中，来自高等职业院校教学工作一线骨干教师和学科带头人，通过社会调研，对劳动力市场人才需求分析和进行课题研究，在企业有关人员积极参与下，研发了机电技术专业、数控技术专业人才培养方案，并制定了相关核心课程标准。本书是根据最新制定的“电气控制技术——常用电机控制与调速技术核心课程标准”编写的。

“常用电机控制与调速技术”是强电类专业的基础课程，也是其他相关专业的参考教程。本书立足于高职高专人才培养目标，充分考虑高职高专学生的特点，遵循理论够用、内容实用、学了能用、突出实用技能培养的原则，对教学内容进行了精选，全书概念叙述清楚，深入浅出，通俗易懂，理论联系实际。

学时分配建议

项目	理论课时	实践课时
项目一 单相异步电动机的启动与调速	2	
任务一：单相异步电动机正反转控制电路装调		2
任务二：单相异步电动机常用调速控制方式的实现		2
项目二 三相异步电动机的控制与调速	2	
任务一：Y- Δ 降压启动控制电路的安装与检修	1	4
任务二：异步电动机的单向反接制动控制电路的装调及检修	1	4
任务三：双速电动机手动控制电路的安装和检修	1	4
任务四：时间继电器控制双速电动机的控制电路的装调及检修	机动	机动
任务五：绕线式电动机转子回路串接电阻启动控制电路的装调与检修	1	4
项目三 交流电动机变频调速技术	4	
任务：变频器的结构与面板操作技术		2
项目四 直流电动机的控制与调速	2	
任务一：用晶闸管直流调速器控制直流电动机的转速	2	2
任务二：晶闸管直流调速系统常见故障的检修	2	4
项目五 伺服电动机控制技术	2	
任务一：交流伺服电动机控制		2
任务二：直流伺服电动机控制		2

续表

项目	理论课时	实践课时
项目六 步进电动机的控制与调速技术	2	
任务：步进电动机的转向和速度控制技术		4
项目七 其他用途电动机简介	2	
项目八 电动机控制与调速综合训练	机动	机动
任务一：三速异步电动机的控制电路的装调及检修		
任务二：自动电梯电气控制系统的设计、安装和调试		
合计	24	36

本书由江苏省江阴职业技术教育中心校组织教师编写，吴程任主编。全书共分八个项目：项目一、项目二、项目三由薛志荣、曹花娟编写；项目四由薛俐清编写；项目五、项目六、项目七由沈志宇、吴程编写；项目八由薛志荣、薛俐清编写，另外李建刚、张丽丽参加了全书的统稿校对工作。

本书由无锡交通高等职业技术学校范次猛副教授审稿并由本套系列教材总主编葛金印终审，他们对书稿提出了许多宝贵的修改意见和建议，提高了书稿质量，在此一并表示衷心的感谢！

本书作为课程改革成果系列教材之一，在推广使用中，非常希望得到有关其教学适用性的反馈意见，以便不断改进与完善。由于编者水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2008. 1. 29

录

项目一 单相异步电动机的起动与调速	1
一、相关知识	1
二、实践操作	10
任务一：单相异步电动机正反转控制电路装调	10
任务二：单相异步电动机常用调速控制方式的实现	11
三、项目内容与评分标准	12
四、知识拓展	12
五、思考与练习	13
项目二 三相异步电动机的控制与调速	15
一、相关知识	15
二、实践操作	24
任务一：Y- Δ 降压起动控制电路的安装与检修	24
任务二：异步电动机的单向反接制动控制电路的装调及检修	27
任务三：双速电动机手动控制电路的安装和检修	30
任务四：时间继电器控制双速电动机的控制电路的装调及检修	33
任务五：绕线式电动机转子回路串接电阻起动控制电路的装调与检修	36
三、知识拓展	39
四、思考与练习	41
项目三 交流电动机变频调速技术	43
一、相关知识	43
二、实践操作	51
任务：变频器的结构与面板操作技术	51
三、项目内容与评分标准	53
四、知识拓展	53
五、思考与练习	55
项目四 直流电动机的控制与调速	56
一、相关知识	56
二、实践操作	67
任务一：用晶闸管直流调速器控制直流电动机的转速	67
任务二：晶闸管直流调速系统常见故障的检修	69
三、知识拓展	70
四、思考与练习	75
项目五 伺服电动机控制技术	76
一、相关知识	76
二、实践操作	76
任务一：交流伺服电动机控制	76
任务二：直流伺服电动机控制	79
三、知识拓展	82
四、思考与练习	84
项目六 步进电动机的控制与调速技术	85
一、相关知识	85
二、实践操作	89
任务：步进电动机的转向和速度控制技术	89
三、项目内容与评分标准	92
四、知识拓展	94
五、思考与练习	98
项目七 其他用途电动机简介	99
一、相关知识	99
二、自整角机	99
三、测速发电机	102
四、直线电动机	104
五、思考与练习	108
项目八 电动机控制与调速	

项目一 单相异步电动机的 起动与调速

通过本项目的训练：

1. 了解单相异步电动机的基本结构和分类。
2. 掌握单相异步电动机的基本工作原理。
3. 掌握单相异步电动机的起动、反转、调速的方法。
4. 初步具有检修常见故障的能力。

一、相关知识

1. 单相异步电动机的基本结构

拆卸一台单相异步电动机(如电风扇电动机)，观察其内部结构。

单相异步电动机的基本结构由定子、转子两大部分，以及机壳、端盖、轴承、风扇等部件构成，如图 1-1 所示。

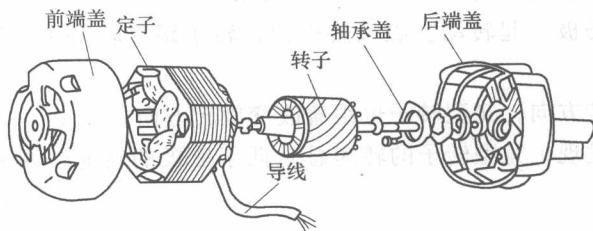
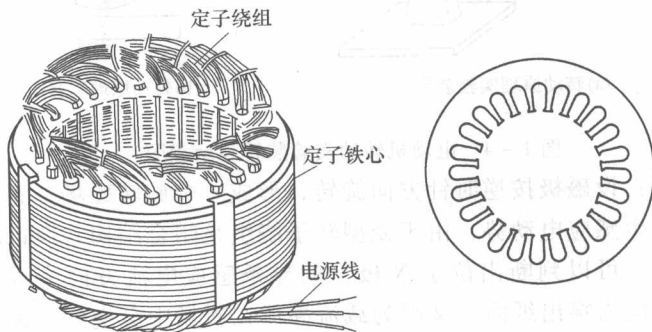


图 1-1 单相异步电动机的基本结构

(1) 定子

电动机的定子由定子铁心和定子绕组构成，如图 1-2 所示。



(a) 定子的结构

(b) 构成定子铁心的硅钢片形状

图 1-2 定子的结构及铁心的形状

(2) 转子

转子由转子铁心、转子绕组和转轴构成，如图 1-3 所示。

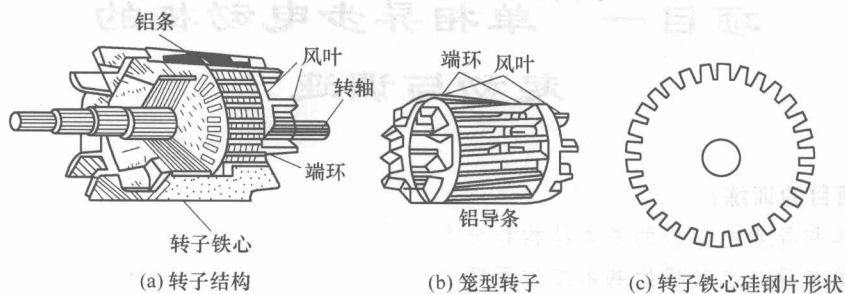


图 1-3 转子结构及铁心形状

转子绕组一般有笼型转子和绕线式转子绕组两种。

(3) 其他部件

单相异步电动机的其他部件还有机壳、前后端盖、风扇等。

2. 单相异步电动机的工作原理

(1) 运转原理

异步电动机属于感应电动机。实验装置如图 1-4(a) 所示，在一个马蹄形磁铁上装有旋转手柄，两磁极之间放一个可以自由转动的笼型转子，磁极和转子之间是空气隙，没有机械或电气的联系。当转动手柄使磁铁旋转时，会有以下现象：

- ① 笼型转子随着磁极一起转动。磁极转得快，转子跟着转得快；磁极转得慢，转子也跟着转得慢。
- ② 若改变磁极旋转方向，笼型转子也跟着改变旋转方向。
- ③ 仔细观察还会发现，笼型转子的转速总是低于磁极的转速，两者的转速不能同步，即所谓“异步”。

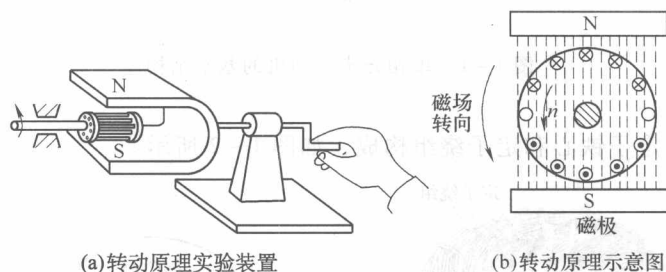


图 1-4 电动机转动实验装置和示意图

由图 1-4(b) 可知：设磁极按逆时针方向旋转，形成一个旋转磁场，置于旋转磁场中的转子导条切割磁感线，产生感应电动势，由于笼型转子绕组是闭合结构，所以转子绕组中产生感应电流。根据右手定则，可以判断出位于 N 极下的导条感应电流方向为进入纸面；而位于 S 极下的导条感应电流方向为穿出纸面。又因为载流导体在磁场中会受到电磁力的作用，根据左手定则可判断出位于 N 极下的导条受力方向向左；位于 S 极下的导条受力方向向右。这样，在笼型转子上就形成一个逆时针方向的电磁转矩，从而驱动转子沿着旋转磁场的转向旋转。

若磁极按顺时针方向旋转，同理，转子也会改变方向朝顺时针方向转动。另外，磁场若加快旋转切割转子速度，转子上感应电流及电磁转矩将增大，则转子转速加快。

“异步”解释：异步电动机的转子转向与旋转磁场转向一致，如果转子与旋转磁场转速相等，则转子与旋转磁场之间没有相对运动，转子导条不再切割磁感线，没有电磁感应，感应电流和电磁转矩为零，转子失去旋转动力，在固有阻力矩的作用下，转子转速必然低于旋转磁场转速，所以称其为异步电动机。

如果电动机转子与旋转磁场以相同的转速旋转，这种电动机称为同步电动机。

异步电动机旋转磁场转速 n_0 (也称同步转速) 与转子转速 n 之差称为转差，转差与同步转速 n_0 的比值用“转差率” s 表示

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (1-1)$$

转差率 s 是反映异步电动机运行状态的一个重要参数。异步电动机额定转速时的转差率称为额定转差率 s_N ，一般很小(2% ~ 5%)，即异步电动机在额定状态下运行时的转速 n_N 很接近同步转速 n_0 。

例 1-1 一台异步电动机其额定转速为 1 440 r/min，求其转差率 s 为多少？(其同步转速为 1500 r/min)

解：

$$s = \frac{1\,500 - 1\,440}{1\,500} \times 100\%$$

$$= 0.04 \times 100\%$$

$$= 4\%$$

(2) 旋转磁场与转矩

从上述原理分析可知，单相异步电动机必须首先建立一个旋转磁场，才能驱动笼型转子旋转。单相异步电动机的电源是单相正弦交流电，当定子绕组中通入单相交流电时，其铁心内产生一个交变的脉动磁场。这个磁场的磁感应强度的大小随着绕组上的电流瞬时值的变化而变化，方向也随着电流方向的改变而改变，但磁场的方向始终与绕组轴线平行，并不会旋转。单相绕组的定子磁场如图 1-5 所示。

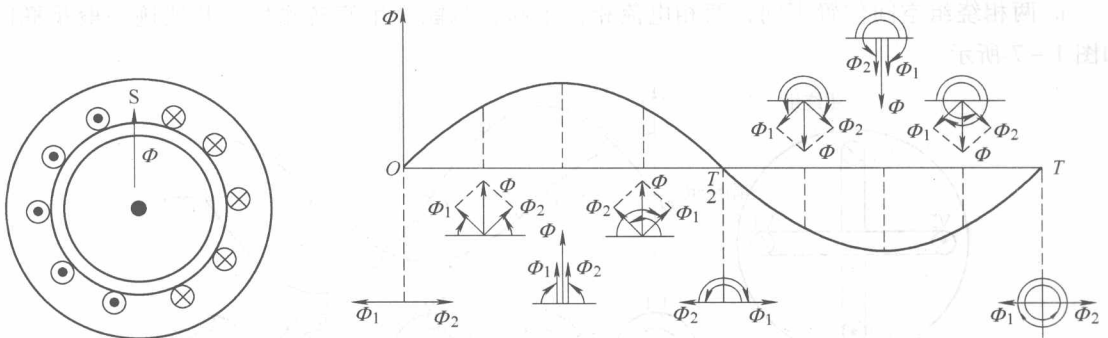


图 1-5 单相绕组的定子磁场

这两个旋转方向相反的磁场中的任何一个都与三相电动机产生的旋转磁场一样，能使转子产生转矩。设正向旋转的磁场对转子产生的转矩为 T_1 ，反向旋转的磁场对转子产生的转矩为

T_2 , 转子未动时, 正、反旋转磁场的转差率是相同的, 都为 1。如图 1-6 所示, 其 T_1 、 T_2 大小相等、方向相反, 两转矩互相抵消。所以单相异步电动机通电后不能自行起动, 需要拨动一下电动机的转子, 电动机才能朝拨动的方向转动起来。

若利用一个外力, 使转子正向转一下, 则两边的旋转磁场的转差率就不相等了, 此时 $s_1 < 1$, 而 $s_2 > 1$, $T_1 > T_2$, 其合成转矩不等于零, 所以转子受到正向的转矩而转动起来。

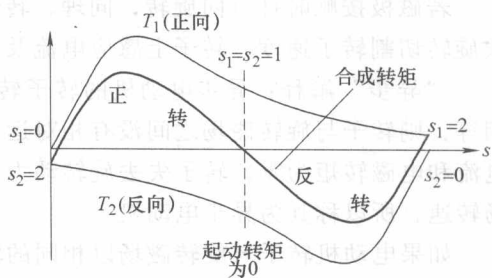


图 1-6 单相绕组的机械特性

结论:

- 单相绕组只能建立脉动磁场。
- 在脉动磁场下电动机的起动转矩为零, 即电动机不能自行起动, 但在外力作用下起动后能够运行。
- 两相绕组的定子磁场可以建立旋转磁场。单相绕组的电动机只有一相绕组, 无法建立一个旋转磁场。

异步电动机旋转磁场的同步转速 n_0 为

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, f 为交流电源的频率; p 为定子磁极对数。

单相异步电动机形成圆形旋转磁场的对称条件:

- 两相绕组在空间上相差 90° 电角度。
- 两相电流的相位相差 90° 电角度。
- 两相绕组电流大小相等、匝数相同、分布相同。

圆形旋转磁场的特点是在定子内圆任意位置上的磁场强度均相同。

结论:

- 两相绕组空间位置不同, 两相电流相位不同, 就能产生旋转磁场, 其轨迹一般是椭圆, 如图 1-7 所示。

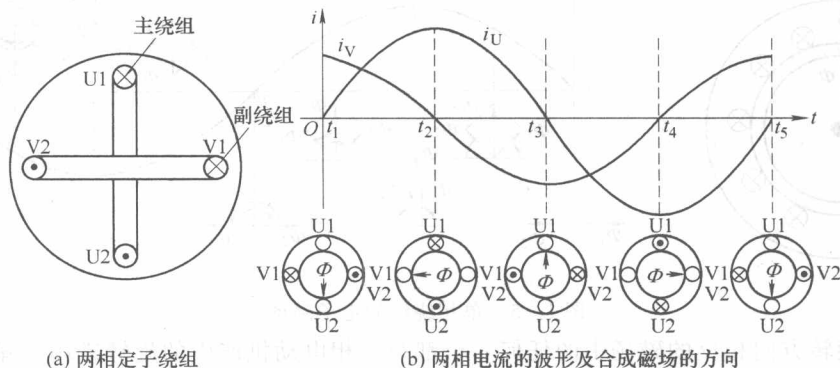


图 1-7 两相定子绕组及通入电流的旋转磁场

b. 旋转磁场的转速 $n_0 = 60f/p_0$ 。

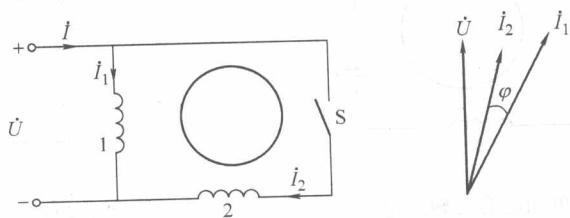
c. 旋转磁场的旋转方向总是从电流超前的绕组转向电流滞后的绕组。

3. 单相异步电动机的分类

分相式单相异步电动机：电动机定子铁心上嵌放了主绕组（运行绕组或工作绕组）和辅助绕组（起动绕组），且两绕组在空间互差 90° 电角度，如图 1-8(a) 所示。为使两绕组在接同一单相电源时能产生相位不同的两相电流，往往在起动绕组中串入电容或电阻（也可以利用两绕组自身阻抗的不同）进行分相的电动机。

(1) 电阻起动式电动机

① 电路构成。图 1-8 所示为单相电阻起动式异步电动机的原理图。图中“1”为工作绕组，匝数比起动绕组多，主要呈感性；“2”为起动绕组，匝数较少，导线较细，相对于工作绕组呈阻性。由电流、电压相量图可以看出，工作时起动绕组中的电流 I_2 超前于工作绕组的电流 I_1 一个 φ 角，两者之间有一定的相位差，从而可以形成旋转磁场，产生起动转矩。



(a) 原理图

(b) 电压电流相量图

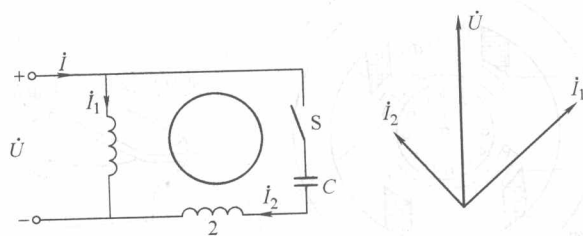
图 1-8 单相电阻起动式电动机的工作原理及电压电流相量图

② 特点。起动绕组一般是按短时工作设计，因此串有一个起动开关 S，当转速上升到一定程度时，开关自动断开起动绕组，由工作绕组维持运行。由于 φ 角不大，因此电阻起动式电动机的起动转矩较小。

③ 应用。适用于空载或轻载起动的场合。

(2) 电容起动式电动机

① 电路构成。图 1-9 所示为单相电容起动式电动机的原理图。电动机的起动绕组中串入了一个电容器，选择合适的电容量，可使工作绕组与起动绕组的电流相位差接近 90° ，产生近似于圆形的旋转磁场。



(a) 原理图

(b) 电压电流相量图

图 1-9 单相电容起动式电动机工作原理及电压电流相量图

② 特点。具有较大的起动转矩，且起动电流较小，因而这种电动机的起动性能较好。电容起动式电动机的起动绕组也是按短时工作设计，因此串有一个起动开关 S，当转速上升到一定程度时，开关自动断开起动绕组，由工作绕组维持运行。

(3) 电容运转式电动机

① 电路构成。图 1-10 所示为单相电容运转式电动机的原理图。与电容起动式电动机相比较，其起动绕组中不串起动开关 S，因此起动绕组和起动电容器在电动机起动后也参与运行，因此称为电容运转式电动机。

② 特点。这种电动机运行时输出功率大、功率因数高、过载能力强、噪声低、振动小。其缺点是起动性能不如电容起动式电动机好。

③ 应用。广泛应用于各种小功率的电动类家用电器中。

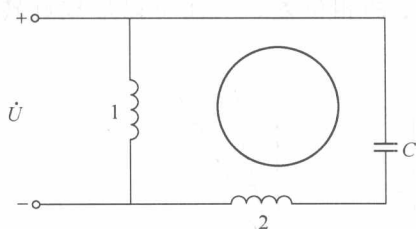


图 1-10 单相电容运转式电动机的原理图

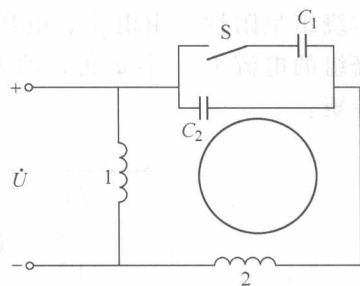


图 1-11 电容起动运转式电动机原理图

(4) 电容起动运转式电动机

为了使电动机的起动和运行性能都比较好，可以在起动绕组中串联两个相互并联的电容器，如图 1-11 所示，其中 C_1 与起动开关 S 串联。电动机起动时，两个电容器都参与工作；起动结束，由 S 断开起动电容器，只有 C_2 参与运行，这样电动机的起动与运行性能都能得到保障。

(5) 罩极式异步电动机

罩极式电动机的转子是笼型的，定子有凸极式和隐极式两种。其中以凸极式结构最为常见，图 1-12 所示为凸极式罩极电动机结构示意图。

凸极式异步电动机定子做成凸极铁心，然后在凸极铁心上安装集中绕组，组成磁极，

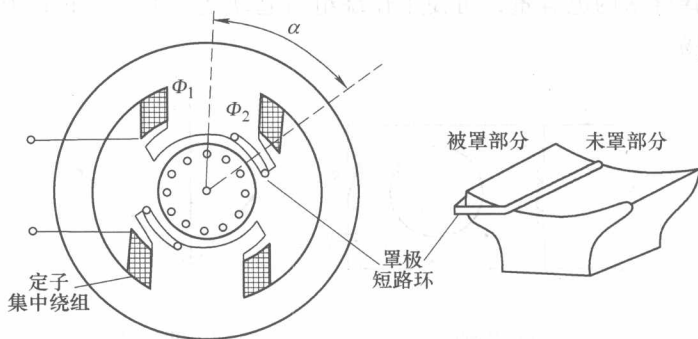


图 1-12 凸极式罩极电动机结构示意图

在每个磁极 $1/3 \sim 1/4$ 处开一个小槽，槽中嵌放短路环，将小部分贴心罩住。转子采用笼型结构。

当罩极式异步电动机定子绕组通入正弦交流电后，将产生交变磁通 Φ ，其中一部分磁通 Φ_1 不穿过短路环，另一部分磁通 Φ_2 穿过短路环，由于短路环作用，当穿过短路环的磁通发生变化时，短路环必然产生感应电动势和感应电流，感应电流总是阻碍磁通变化，使穿过短路环部分的磁通 Φ_2 滞后未罩部分的磁通 Φ_1 ，使磁场中心线发生移动。于是，电动机内部产生了一个移动的磁场或扫描磁场，将其看成是椭圆度很大的旋转磁场，在该磁场作用下，电动机将产生一个电磁转矩，使电动机旋转。

由图 1-13 可以看出，罩极式异步电动机的转向总是从磁极的未罩部分向被罩部分移动，即转向不能改变。

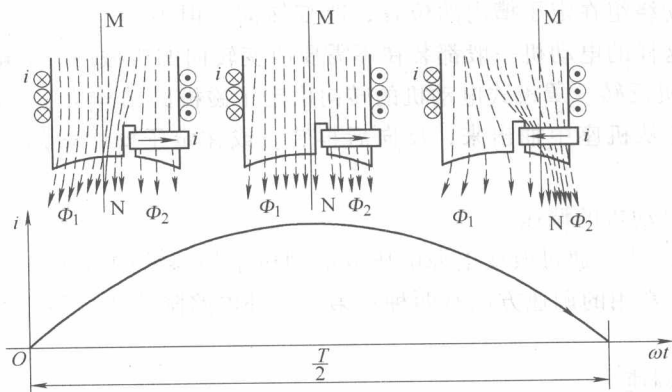


图 1-13 罩极式电动机移动磁场示意图

罩极式异步电动机结构简单、价格低廉，但起动转矩小且不能改变转向，多用于电唱机、小型电风扇和鼓风机中。

4. 单相异步电动机的反转和调速

(1) 单相异步电动机的反转

① 对分相式单相异步电动机的反转控制。对于三相异步电动机，如果将输入的三相电源线任意两相对调，电动机就可以反转。若使单相异步电动机反转，必须把工作绕组、起动绕组中任意一个的首端和尾端对调，方能使电动机反转。因为，单相异步电动机的转向是由工作绕组、起动绕组产生的磁场在时间上有近于 90° 的相位差决定的，把其中的一个绕组反接，等于将这个绕组的磁场相位改变 180° 。如果原来是超前 90° ，则改接后变成了滞后 90° 。旋转磁场的方向改变了，转子的转向也就改变了。

单相异步电动机的正反转控制多用于电容式电动机，如洗衣机用的电动机。电容式电动机的工作绕组、起动绕组可以交换使用，把起动绕组当成工作绕组使用时，它的旋转磁场改变了旋转方向，电动机也就改变了转向。单相电容式电动机的控制电路也比较简单。它的正反转控制接线图如图 1-14 所示。如果开关 S 接触点 1 为正转，那么开关 S 接触点 2，电动机就反转。这样接，相当于每变化一次工作绕组（或起动绕组）就反接一次。

实际应用中，正在推广一种三相异步电动机单相运行的电动机。如洗衣机，将电容器串联

一个合适的电阻，就可以大大改善电动机的运行性能，如图 1-14 所示。

② 对罩极式单相异步电动机的反转控制。

a. 普通罩极式异步电动机。罩极式单相异步电动机，它的旋转方向总是朝着被罩那一部分磁极方向转动的，一般情况下，不能用改变外部接线的方向改变电动机的转向。尤其是凸极式，罩极部分已经固定。如果一定要改变转向，在允许和可能的情况下将定子铁心从机座中抽来，调转 180°再装进去，这样就可以使凸极式罩极异步电动机反转了。

对于隐极式罩极异步电动机，可以将定子调转 180°改变方向，还可以改变起动绕组在定子槽内的位置，改变转向，但不能随时改变转向。这样的电动机一般都装在不需改变转向的机械中，如电风扇、鼓风机等。

b. 罩极式电动机反转。罩极式电动机的转向由定子磁极的结构决定，故运行时无法改变，只有把定子绕组铁心从机座中抽出来，反向后再装。或在定子槽中增加一套工作绕组或罩极线圈。

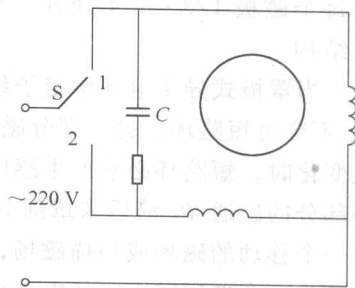


图 1-14 单相异步电动机的正反转原理图

(2) 单相异步电动机的调速

① 调速原理和方法。通过改变电源电压或电动机结构参数的方法，从而改变电动机转速的过程，称为调速。常用的调速方法有两种：第一是外电路降压法；第二种是通过改变定子绕组的匝数调速。

② 外电路降压调速。

a. 串联电抗法，如图 1-15 所示。

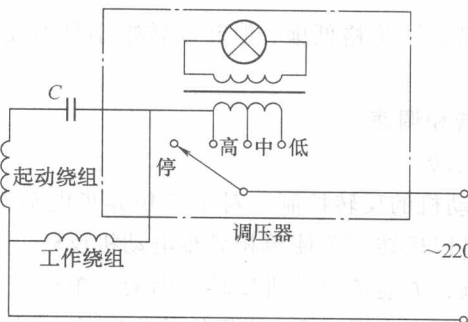


图 1-15 串联电抗法调速原理图

将电动机工作绕组、起动绕组并联后再与电抗器串联。调速开关接高速挡，电动机绕组直接接电源，转速最高；调速开关接中、低速挡，电动机绕组串联不同的电抗器，总电抗增大，转速降低。

用此方法调速比较灵活，电路结构简单，维修方便，但需要专用电抗器，成本高，耗能大，低速起动性能差。

b. 采用 PTC 零件调速。图 1-16 所示为具有微风挡的电风扇调速电路。

微风指风扇在 500 r/min 以下送出的风。如采用一般的调速方法，电动机在这样低的转速

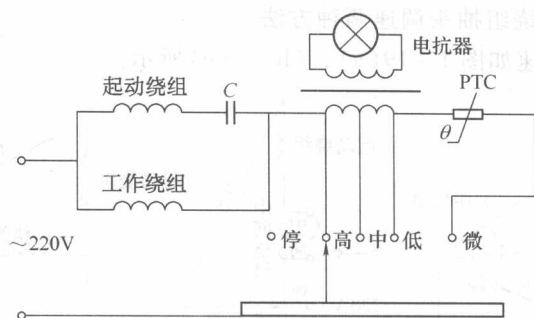


图 1-16 采用 PTC 零件调速的原理图

下很难起动，电路利用常温下 PTC 电阻很小，电动机在微风挡直接起动，起动后，PTC 阻值增大，使电动机进入微风挡运行。

c. 晶闸管调压调速。晶闸管调压调速是通过改变晶闸管的导通角 α 来改变电动机的电压波形(如图 1-17 所示)，从而改变电压的有效值达到调速的目的。图 1-18 为吊扇使用的双向晶闸管调压调速电路。

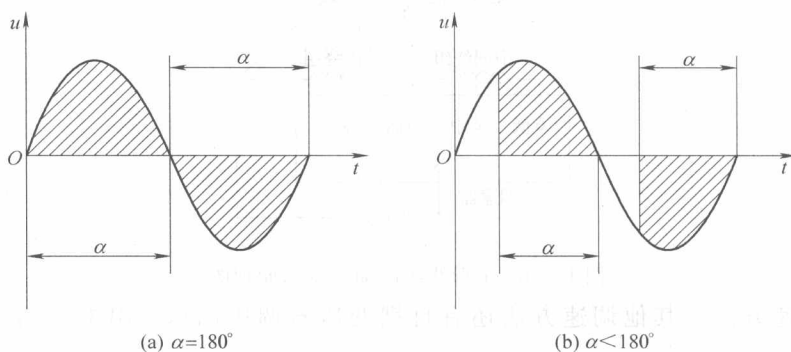


图 1-17 改变晶闸管导通角 α 的电压波形

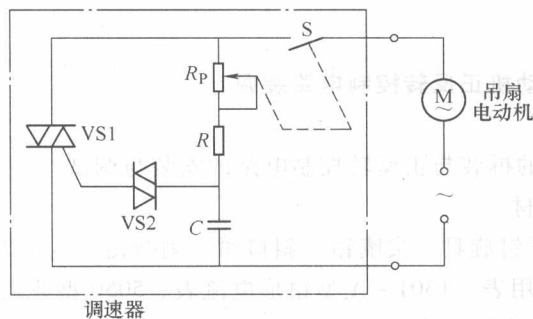


图 1-18 吊扇使用的双向晶闸管调压调速电路

③ 绕组抽头法调速。绕组抽头法调速实际上是把电抗器调速法的电抗嵌入定子槽中，通过改变中间绕组与工作绕组、起动绕组的连接方式，来调整磁场的大小和椭圆度，从而调节电