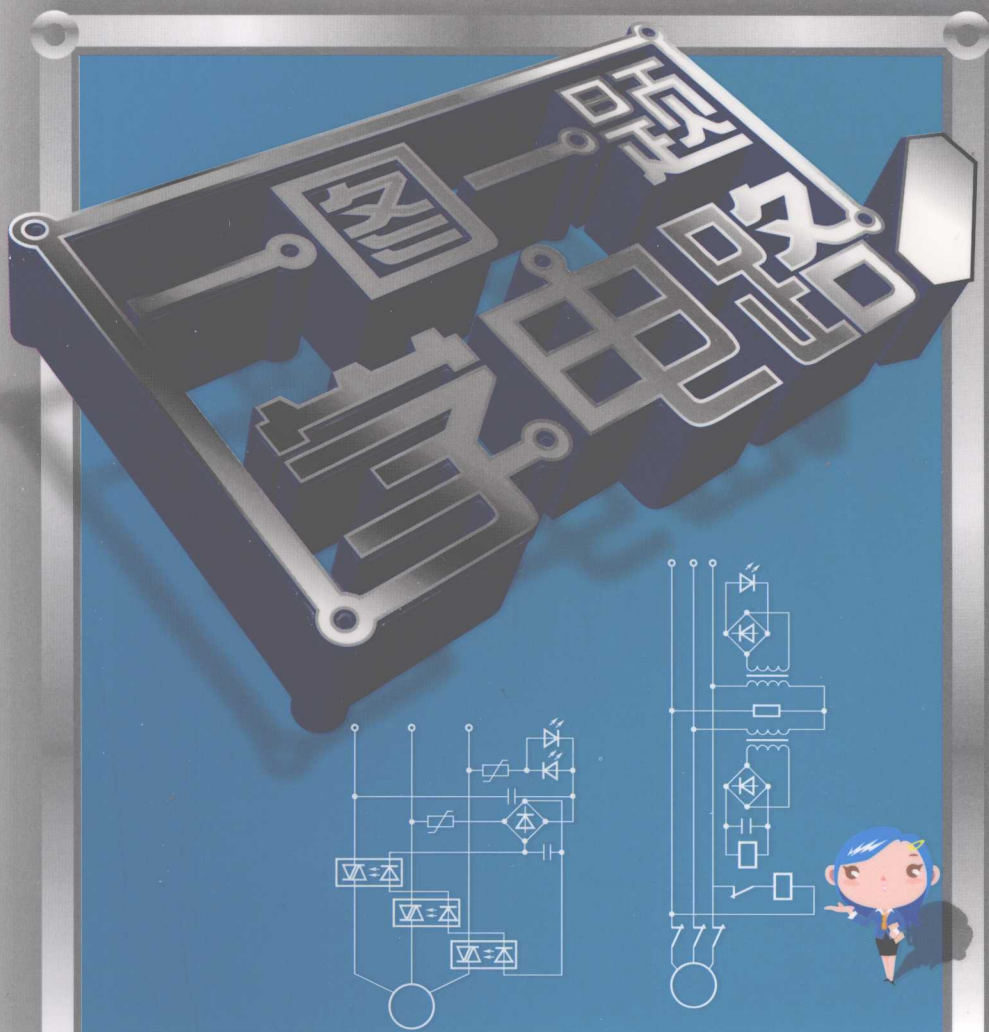


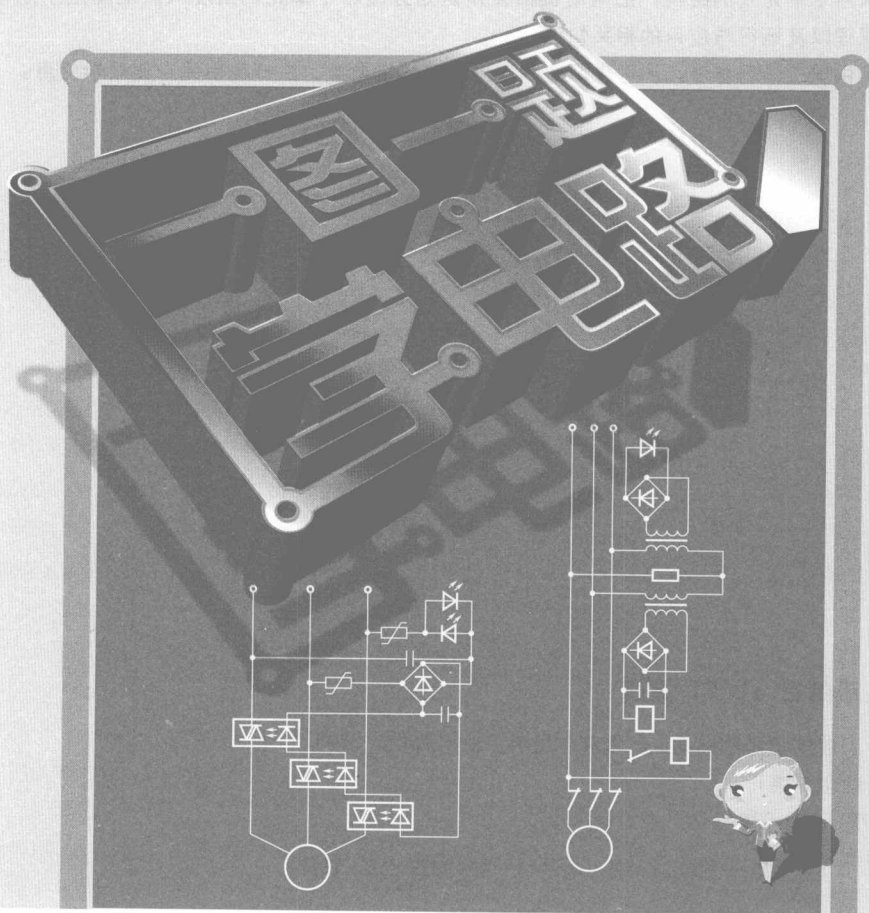


电动机

丁继斌 邓利民 编



化学工业出版社



电动机

丁继斌 邓利民 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书采用了单元式的结构,把电动机相关知识划分成若干单元,由浅入深地阐述了电动机的工作原理以及运行与应用的相关知识。

本书可供电工学习参考,也可供职业院校电气类、机电类、机械类相关专业教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电动机/丁继斌,邓利民编. —北京:化学工业出版社,2008.5

(一图一题学电路)

ISBN 978-7-122-02675-0

I. 电… II. ①丁…②邓… III. 电动机-基本知识 IV. TM32

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第057343号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

文字编辑:吴开亮

责任校对:战河红

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张10 字数178千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究

《一图一题学电路》

系列图书编委会名单



编委会主任：刘会霞

编委会副主任：赵德安 周建中 李金佺 陆一心

编委会委员：张建生 王善斌 周新云 丁继斌

谭延良 尤德同 宋昌才 盛占石

张应龙 袁晓明 黄 丽 朱 丽

王富良



序

随着科学技术的迅猛发展,不同学科之间相互渗透、交叉融合,不断衍生新的研究领域。作为一种重要的技术手段,电工电子技术的发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使电工电子技术的内涵和外延发生了革命性的变化,正在迅速改变着设计制造业的面貌。传统的设计制造技术也不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果,综合应用于电工电子产品的设计、制造、检测、生产管理和售后服务。21世纪电气设备发展的总趋势是:强弱电技术的融合更为密切;多学科、多专业的交叉更为深入;我国电气产品与国际接轨的步伐将迈得更大,国内外的技术交流也将更为广泛。

当今世界,科学技术发展迅速,知识经济发展显现端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。为了适应社会对技术技能人才的需求,配合江苏大学的国家级综合性工程训练示范中心、江苏省实验教学示范中心、农业电气化与自动化国家重点学科,以及机械设计制造及其自动化国家级特色专业建设点建设的需要,江苏大学工业中心、电气信息工程学院和化学工业出版社组织编写了《一图一题学电路》、《电工技能训练丛书》两套系列图书,以期满足广大电气工作者和爱好者的迫切需要。

这两套系列图书从系统的观点出发,分别定位于电工电子的知识基础和技能操作。《一图一题学电路》包括《电工基础》、《电工测量》、《传感器》、《变压器》、《电动机》、《电子技术基础》、《电力电子》、《电力拖动自动控制》8个分册。《电工技能训练丛书》包括《电工基本操作》、《电工测量》、《电工工具和仪器仪表》、《变压器检修》、《电动机检修》、《电子线路安装与调试》、《常用机床电气线路检修》7个分册。

《一图一题学电路》系列图书介绍了电工电子的基础知识和工程应用,把各相关技术内容分为若干个单元,每个单元由若干知识点组成,每个知识点的展开分为电路图、电路分析、知识要点、例题、例题分析、练习题、练习题答案等7个模块。这套书的特点是:

模块化——采用单元式的结构,把相关知识划分成若干模块,将基础知识融合到了各个模块中。

应用性——基本理论与实用性并重,通过工程实例来分析、说明基本概念与基本

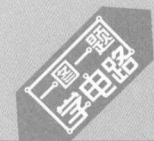


理论,以及基本概念和理论如何具体在实践中的应用。

这两套系列图书编写时从实用出发,力求理论与实际相结合,突出新颖性,介绍电气设备的结构、工作原理、技术参数、适用场合、技术操作要点、运行与维护经验等。注重理论联系实际,融入应用实例,突出技能和技巧。本着求精避繁的原则,对电气设备的基础理论、材料、器件、应用电路、安装、调试、运行与维修等适用面广、使用频率高和实用性强的技术内容作了详细的阐述。同时,还从实际出发,反映了电工电子、电力电子、计算机、自动控制、传感器、机电一体化相互交叉、纵横结合的发展趋势。

这两套系列图书的编写反映了编者参与高等教育改革的一些研究成果。高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。为了适应我国发展的需要,1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,强调创新精神、实践能力和工程师素质的培养,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法、教学手段和工程训练;实现课程结构和教学内容的整合与优化。编写、出版这两套系列图书是在以上教育理论与教育思想的指导下,将教学改革思想和教学改革成果融入其中,根据人才培养计划中对学生知识、工程训练和实践能力的要求编写,及时反映了新设备、新技术、新工艺的推广应用。系列图书的编写符合教学改革的精神,遵循了教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。希望能够得到读者的关注和指正。

《一图一题学电路》系列图书编委会
2008年3月



前 言

电动机是工程应用中一种最常用的动力机,用于实现电能向机械能的转换,各种现代机电产品都用电动机来拖动,本书主要介绍工程上常用的各种电动机的工作原理及其工程应用。

本书内容分为电动机基础、电动机运行和电动机应用三个部分,共四章。本书取材以工程应用中所需的电动机的基本知识、基本理论、基本技能为主;遵循“以够用为基准,以应用为目标”的原则,精选内容,强调实际应用;本书注重应用,不着力于公式的推导和理论推证;注意了内容结构的合理性和应用型教材的系统性。

本书从系统的观点出发,介绍了电动机基础知识和工程应用,分析了电动机的启动与制动控制、调速、运行与保护控制。把内容分为若干个单元,每个单元又分为若干知识点,每个知识点有电路图、电路分析、知识要点、例题、例题分析、练习题、练习题答案等模块,有以下特点。

1. 模块化——采用单元式的结构,把电动机相关知识划分成若干模块,将电动机基础知识融合到了各个模块中。

2. 应用性——基本理论与实用性并重,通过分析工程实例来分析、说明基本概念与基本理论。

本书由南京工业职业技术学院丁继斌、邓利民编写,江苏大学李金伴教授主审,李金伴教授在百忙中仔细审阅了全部书稿并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。同时衷心感谢江苏大学陆一心教授对本书的支持与帮助。

本书参阅了许多相关著作和论文,得到各界有关单位和人士的帮助、指导和支持,在此谨致谢意。

限于编者水平,书中的不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2008年4月



目 录

第 1 章 电动机工作原理

1

单元 1	异步电动机工作原理	2
单元 2	直流电动机工作原理	22
单元 3	同步电动机工作原理	28
单元 4	控制电动机工作原理	36

第 2 章 电动机启动与制动控制

57

单元 5	交流电动机启动控制	58
单元 6	交流电动机制动控制	69
单元 7	电动机启动与制动联合控制	77

第 3 章 电动机的调速、运行与保护控制

85

单元 8	电动机的调速控制基本方法	86
单元 9	电动机的运行控制	92
单元 10	电动机的保护控制	102

第 4 章 电动机的应用

117

单元 11	电动机的结构	118
单元 12	电动机的选择	123
单元 13	电动机的检修	130
单元 14	电动机的典型应用举例	141

参考文献

150



第 1 章 电动机工作原理

- 单元 1 异步电动机工作原理
- 单元 2 直流电动机工作原理
- 单元 3 同步电动机工作原理
- 单元 4 控制电动机工作原理

单元 1

异步电动机工作原理



电路图

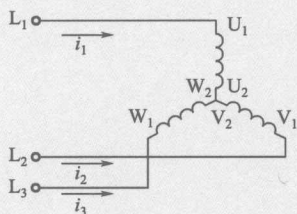


图 1.1 三相对称电流

三相对称电流如图 1.1 所示。

电路分析



交流电动机结构较简单，不像直流电动机那样需要整流设备，但调速性能差，在调速性能要求不高的场合应用非常广泛。交流电动机根据电动机的转速与旋转磁场的转速是否相同，可分为同步电动机和异步电动机两种。根据使用电源相数不同，可将异步电动机分为三相和单相异步电动机两种。

图 1.1 为三相对称电流，三相异步电动机的定子铁芯中放有三相对称绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 和 W_1W_2 ，将三相绕组接成星形，接在三相电源上，绕组中使通入三相对称电流。其波形如图 1.2 所示（取绕组始端到末端的方向作为电流的参考方向）。产生的三相对称电流分别为

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t \\ i_2 &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_3 &= I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式中 I_m ——最大电流；
 ω ——角频率。

三相异步电动机转子转动原理如图 1.3 所示, 图中 N、S 表示两旋转磁场, 转子中只示出两根导条 (铜或铝)。转子转动的过程是: 当旋转磁场向顺时针方向旋转时, 其磁通切割转子导条, 导条中就感应出电动势。电动势的方向由右手定则确定。在电动势的作用下, 闭合的导条中就有电流。这电流与旋转磁场相互作用, 而使转子导条受到电磁力 F , 电磁力的方向可应用左手定则来确定。电磁力产生电磁转矩, 转子就能转动起来。转子转动的方向和磁极旋转的方向相同。

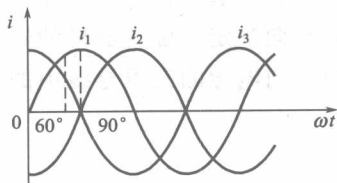


图 1.2 三相对称电流图

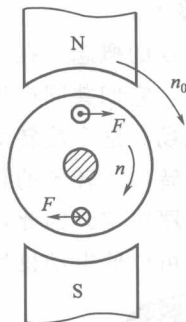


图 1.3 转子转动原理图

应用右手定则时, 可假设磁极不动, 而转子导条向逆时针方向旋转切割磁通, 这与实际磁极顺时针方向旋转时磁通切割转子导条是相当的。

旋转磁场是由定子绕组三相电流共同产生的合成磁场, 它在空间旋转着, 磁场的磁通通过定子铁芯、转子铁芯和两者之间的空隙而闭合。当定子绕组中通入三相电流后, 它们共同产生的合成磁场是随电流的交变而在空间不断地旋转着, 这就是旋转磁场。

在 $\omega t = 0^\circ$ 、 $\omega t = 60^\circ$ 及 $\omega t = 90^\circ$ 时产生的旋转磁场如图 1.4 所示。

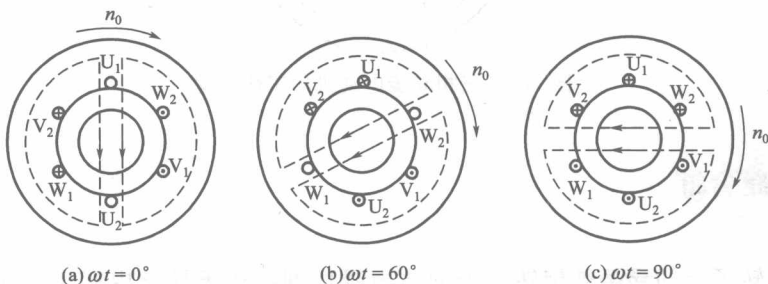


图 1.4 三相电流产生的旋转磁场 ($p=1$)

$\omega t = 0^\circ$ 时, 定子绕组中的电流方向如图 1.4 (a) 所示, $i_1 = 0$ 、 i_2 为负, 方向与参考方向相反, i_3 为正 (即自 W_1 和 W_2)。将每相电流所产生的磁场相切, 使

得出三相电流的合成磁场。合成磁场轴线的方向自上而下。

$\omega t = 60^\circ$ 时如图 1.4 (b) 所示, 此时的合成磁场在空间上转过 60° 。

$\omega t = 90^\circ$ 时的三相电流的合成磁场, 比 $\omega t = 60^\circ$ 时的合成磁场在空间上又转了 30° , 如图 1.4 (c) 所示。



知识要点

旋转磁场的概念 在三相异步电动机中, 磁场从何而来? 当定子绕组中通入三相电流后, 它们共同产生的合成磁场是随电流的交变在空间不断地旋转着, 这就是旋转磁场。这个旋转磁场同磁极在空间旋转所起的作用是一样的。

转子的转向 转子的转向由旋转磁场的转向决定, 旋转磁场的转向由三相定子电流的相序决定。因此, 只要把定子绕组接向电源的三根导线中的任意两根对调位置, 就可以使电动机反转。



例题

请以图 1.5 简述三相异步电动机的工作原理。

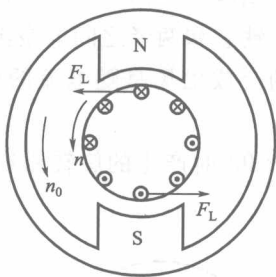


图 1.5 三相异步电动机的工作原理



例题分析

由于转子上的导条被旋转磁场的磁力线切割, 转子导条内产生感应电动势。如图旋转磁场逆时针旋转, 可判明转子上半部分导体中的电动势方向进入纸面, 下半部分导体中的电动势从纸面出来。因为转子上导条已构成闭合回路, 转子导条中就有电流通过, 导条又在旋转磁场中, 必然受到电磁力, 根据左手定则, 转子上所有导条受到的电磁力形成一个逆时针方向的电磁转矩, 于是转子就逆时针

方向旋转，其转速为 n_0 。如若转子与生产机械连接，则转子上受到的电磁转矩将克服负载转矩而做功，从而实现了能量的转换。

三相异步电机的定子铁芯上嵌有对称三相绕组，在圆柱体的转子铁芯上有均匀分布的导条，导条两端分别用铜环把它们连接成一个整体。当对称三相绕组接到对称三相电源以后，即在定子和转子间的气隙内建立了以同步转速 n_0 旋转的旋转磁场。

练习题

(1) 图 1.6 为异步电动机转子转动的演示图，图中是一个装有手柄的蹄形磁铁，磁极间放有一个可以自由转动的、由铜条组成的转子。铜条两端分别用铜环连接起来，形似鼠笼，作为笼型转子。磁极和转子之间没有机械联系。

- ① 请说明当磁极摇动时，转子能跟着磁极转动的两个条件。
- ② 转子转动的快慢与手摇快慢的关系。

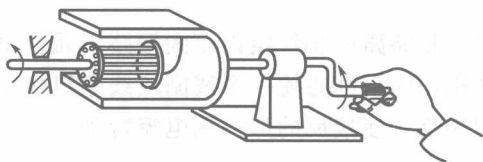


图 1.6 异步电动机转子转动演示

(2) 判断题

- ① 将三相异步电动机的相序由 U—V—W 改为 W—U—V 即可改变其旋转方向。
 - ② 异步电动机的转子电流是由定子旋转磁场感应产生的。
 - ③ 三相异步电动机的转子旋转方向与定子旋转磁场的旋转方向是相反的。
 - ④ 电动机按电流性质可分为单相和三相异步电动机。
 - ⑤ 带有额定负载转矩的三相异步电动机，若电源电压低于额定电压，则电流就会低于额定电流。
 - ⑥ 三相异步电动机旋转磁场的转向是由电源的相序决定的，运行中若旋转磁场的转向改变了，转子的转向随之改变。
- (3) 什么叫异步电动机定子的漏磁通？
 - (4) 异步电动机空载电流出现较大的不平衡，是由哪些原因造成？

练习题 答案

- (1) ① 条件：第一是有个旋转的磁场；第二是转子跟着磁场转动。

② 摇得快，转子转得也快；摇得慢，转得也慢；反摇，转子马上反转。

(2) 判断题

①× ②√ ③√ ④× ⑤× ⑥√

(3) 根据三相异步电动机的工作原理可知，当定子绕组通以三相交流电时，便会产生旋转磁场。在此旋转磁场中绝大部分磁通通过空气隙穿过转子，同时与定子绕组和转子绕组相连，称为主磁通。但是还有极少一部分磁通只与定子绕组相连，它们经过空气隙穿入转子，这部分磁通称为定子绕组的漏磁通。另外，转子绕组切割旋转磁场也会产生感应电势和感应电流。同理，转子电流同样会产生只与转子绕组相连的磁通，称为转子漏磁通。定子漏磁通和转子漏磁通合成叫做异步电动机的漏磁通。

(4) 空载电流出现较大的不平衡，一般是由以下原因造成：

① 三相电源电压不平衡过大；

② 电动机每相绕组都有几条支路并联，其中因某条支路断路，造成三相阻抗不相等；

③ 电动机绕组中一相断路或相绕组内匝间短路、元件短路等故障；

④ 修复后的电动机，因不细心使一个线圈或线圈组接反；

⑤ 定子绕组一相接反，使接反的那一相电流特别大。

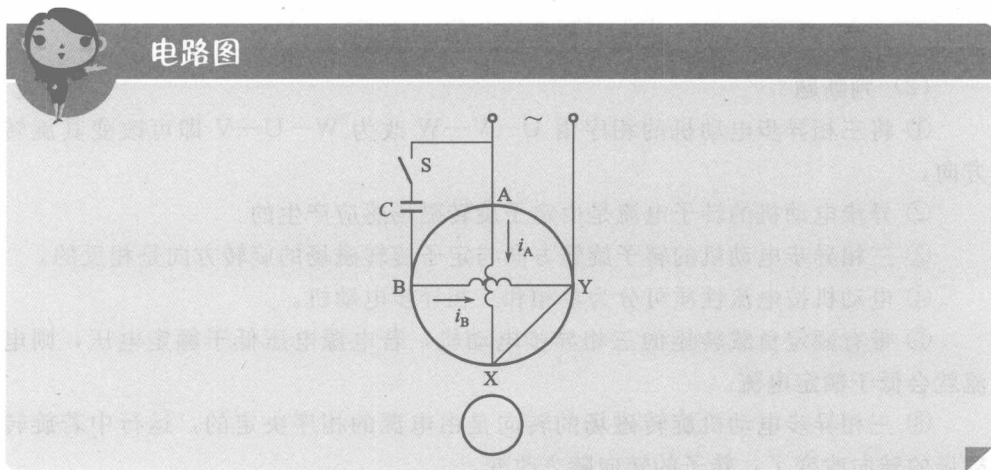


图 1.7 电容分相式异步电动机工作原理

电容分相式异步电动机工作原理如图 1.7 所示。

电路分析

图 1.7 所示为电容分相式异步电动机工作原理图，它是在定子中安装一

个启动绕组 B，B 与工作绕组 A 在空间上相隔 90° ，绕组 B 与移相电容 C 串联。使 A、B 绕组中的电流相位相差 90° ，这就是分相。这样，在空间上相隔 90° 的绕组 A、B，产生相位相差 90° 的电流（如图 1.8 所示），绕组 A、B 的电流为

$$i_A = I_{Am} \sin \omega t; \quad i_B = i_{Bm} \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1.2)$$

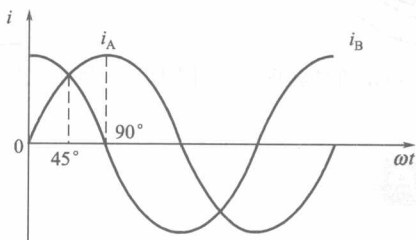


图 1.8 两相电流图

电容分相式（也可用电感和电阻来分相）异步电动机产生旋转磁场的原理与三相异步电动机的工作原理相似，绕组 A、B 产生的合成磁场也是在空间旋转的，使电动机转动，如图 1.9 所示。

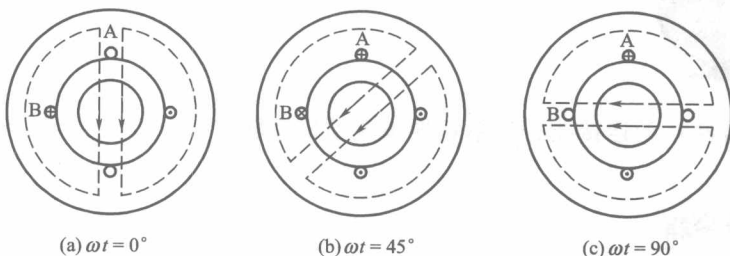


图 1.9 两相旋转磁场

另外，还有一种单相异步电动机——罩极式单相异步电动机，如图 1.10 所示，单相绕组缠绕在磁极上，在磁极大约 $1/3$ 处套一罩极铜环（短路铜环）。罩极式单相异步电动机产生移动磁场（图 1.11），励磁电流 i 产生磁通 Φ_1 ，励磁电流 i 通过罩极铜环产生的另一磁通与罩极铜环中的感应电流产生的磁通合成磁通 Φ_2 。由于罩极铜环中的感应电流阻碍穿过罩极铜环的磁通的变化，使得 Φ_1 、 Φ_2 之间有相位差， Φ_2 滞后于 Φ_1 ，当 Φ_1 达到最大值时， Φ_2 仍然很小，当 Φ_1 减小时， Φ_2 增加达到最大值。这就相当于在电动机内部形成了一个向被罩部分移动的磁场，此磁场随转子转动而转动。

罩极式单相异步电动机结构简单，工作可靠，常常用于对启动转矩要求不高的设备中，如吹风机、电风扇等。

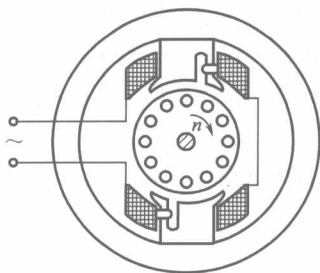


图 1.10 罩极式单相异步电动机结构图

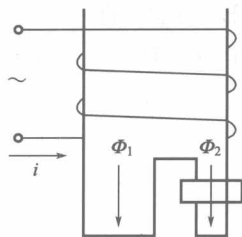


图 1.11 罩极式单相异步电动机移动磁场



知识要点

单相异步电动机与三相异步电动机的区别：单相异步电动机与三相异步电动机基本相同，只是定子产生旋转磁场的方法不同，常用的有电容分相式和罩极式两种。电容分相式电动机可通过调换电容器的串联位置来改变旋转方向，而罩极式电动机则不能在运行中改变其旋转方向。



例题

改变电容 C 的连接能否使单相异步电动机反转？



例题分析

改变电容 C 的串联位置，可以使单相异步电动机反转。

如图 1.12 所示，当开关 S 打到位置 1 时，电容 C 与绕组 B 串联，电流 i_B 比电流 i_A 超前 90° ，当开关 S 打到位置 2 时，电容 C 与绕组 A 串联，电流 i_A 比电流 i_B 超前 90° ，从而改变了旋转磁场的方向。洗衣机中的电动机就是由定时器的转换开关来实现波轮的自动换向。



练习题

(1) 在单相异步电动机中获得圆形旋转磁场的三个条件是什么？

(2) 判断题

① 单相异步电动机定子绕组接通交流电源后也会产生旋转磁场。

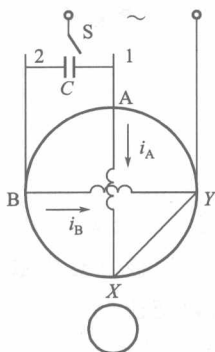


图 1.12 电容分相式异步电动机反转电路图

② 单相异步电动机的绕组，是指各相绕组结构参数都相同，且在空间互有 120° 相位差的三相绕组。

③ 单相异步电动机的体积虽然较同容量的三相异步电动机大，但功率因数、效率和过载能力都比同容量的三相异步电动机低。

④ 单相异步电动机空载时允许缺相运行。

练习题
答案

(1) 要在单相异步电动机中获得圆形旋转磁场，必须具备以下三个条件：

- ① 电动机具有在空间位置上的相差 90° 电角度的两相绕组；
- ② 两相绕组中通入相位差为 90° 的两相电流；
- ③ 两相绕组所产生的磁势幅值相等。

(2) 判断题

- ① × ② × ③ √ ④ ×

电路图

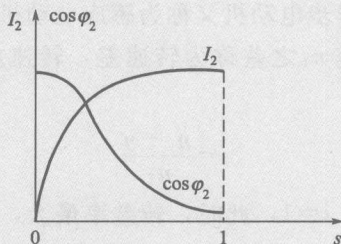


图 1.13 异步电动机转子电流 I_2 、功率因数 $\cos \varphi_2$ 、转差率 s 关系图