

电子技术培训教材

# 微电机原理及工艺

(上册)

电子元器件专业技术培训教材编写组



电子工业出版社

电子技术培训教材

# 微电机原理及工艺

## (上册)

电子元器件专业技术培训教材编写组

电子工业出版社

## 内 容 简 介

本书从生产实际需要出发, 简明扼要地讲述各类典型微电机的原理、试验和工艺, 分上、下两册。

上册包括原理和试验两部分。着重讨论各类典型微电机的基本原理、结构、主要参数和特性, 以及有关应用的基本知识, 简要介绍微电机试验中的常规要求和一些基本方法。

本书可作为微电机专业技术培训教材, 也适用于中等专科学校、中等技术学校及职业中学电类专业师生教学参考, 并可供电气维修部门、工矿企业电工及有关工程技术人员和管理干部阅读。

### 微电机原理及工艺(上册)

电子元器件专业技术培训教材编写组

责任编辑: 焦桐顺

\*

电子工业出版社出版发行(北京市万寿路)

山东电子工业印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.125 字数: 247千字

1984年7月第1版 1984年11月第1次印刷

印数: 4700册 定价: 1.40元

统一书号: 15290·37

## 出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，提高电子工业职工技术素质，按照电子工业部的统一分工，参照部颁《电子工业元器件、机电组件、电表专业工人初级技术理论教学计划、教学大纲》，并考虑到企业管理现代化对管理干部的要求，由电子工业部元器件管理局组织有关单位编写了《磁学知识》、《铁氧体工艺》、《永磁合金工艺》、《磁性材料及器件测量》、《实用电子陶瓷》（上、下册）、《电阻器与电位器》、《微电机原理及工艺》（上、下册）、《电声器件》、《电子敏感元件》、《继电器技术基础》、《接插件工艺学》、《电容器》、《压电石英晶体及元器件》、《化学电源》（上、下册）和《物理电源》共十八册专业技术培训统编教材。这套教材可作为电子工业工人的技术培训和管理人员的业务进修用书，也可作为技工学校、职业高中的教材和中等专业学校的参考书。

这套教材由董元昌、王乃增、陈兴信、刘联宝、杨臣华、张熙、池玉清、展发祥、张志远、丁光未、焦桐顺、王志昌等同志组成编委会，负责组稿和技术协调。董元昌同志任主任，王乃增、张志远、丁光未同志任副主任。在编写过程中，我们力求在内容上适合电子工业职工技术培训的需要，文字叙述上简明扼要，通俗易懂。但由于电子元器件和机电组件门类杂，专业多，涉及科学技术知识十分广泛，加之时间仓促，书中难免有不足之处，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

《微电机原理及工艺》上册，由胡仁芳任主编，并负责编写序言和第一章至第十四章，许介昌等负责编写第十五章，孟昭蕙提供了第十二章第二节的初稿。陈道达担任主审，孟昭蕙、韩忠学参加审稿。

本书编写过程中，得到了上海微电机研究所、成都电机厂及重庆微电机厂的大力支持，在此表示感谢。

电子工业部元器件工业管理局

技术培训教材编委会

一九八四年三月

## 序 言

微电机，或称微特电机，通常是指功率在750瓦以下或具有特殊功用、特殊性能及适应特殊工作条件的一类电机。

微电机的种类很多，功用各不相同。除了用来驱动各种要求的机械负载外，在自动控制系统中，它多用作检测、放大、执行和解算元件。另外，在某些场合还可以作为小容量的独立电源。因此，微电机的应用范围非常广泛，在国民经济的各个部门，正在起着越来越重要的作用。

在近代军事装备中，例如，火炮的自动瞄准、雷达定位和天线扫描、飞机导航和无人驾驶、舰船方向舵的自动操纵、导弹和火箭的遥控遥测等，微电机几乎是必不可少的重要元件，使用量很大，而且品种规格繁多。

在工农业生产中，为了实现电气化和自动化，大量地使用各种微电机作为驱动机械的动力源，或作为自动控制、遥控、遥测和自动监视系统中的检测、放大、执行和解算元件，起着关键的作用。

微电机在电子技术和计算机工业中，用途十分广泛。特别是在计算机外部设备方面，例如，磁盘和磁带机的主轴驱动，磁头及其臂的精密驱动和定位，数字和模拟量的相互变换，以及打印机、穿孔机、读出器、自动记录和绘图设备等，都必须使用各种类型的精密微电机。

在日常生活中，微电机的应用也极广泛。例如，电风扇、洗衣机、电冰箱、录音机、录像机、电唱机、誉印机、复印

机等日用电器，视听设备及办公机械等无不需微电机。

此外，在国民经济的其它领域中，例如天文望远镜的自动控制、电影、传真、医疗器械和设备，电视电影摄象、鱼群探测、自动印刷设备、活动广告、自动售货称量等，也都广泛地使用着各种微电机。

微电机由于应用范围广泛，功用和性能要求又各不相同，而且随着科学技术的发展，至今仍在不断涌现新形式，所以，它的品种非常繁多。通常，对于比较典型的微电机产品，可以按其工作原理和性能特点，大致分为下列几类。

#### 1. 微型直流电动机

- (1) 电磁式直流电动机；(2) 永磁式直流电动机；
- (3) 无刷直流电动机。

#### 2. 微型同步电动机

- (1) 磁阻式同步电动机；(2) 磁滞式同步电动机；(3) 永磁式同步电动机。

#### 3. 微型异步电动机

- (1) 三相异步电动机；(2) 单相异步电动机。

#### 4. 交流换向器电动机

- (1) 单相串激电动机；(2) 交直流两用电动机。

#### 5. 自整角机

- (1) 控制式自整角机；(2) 力矩式自整角机。

#### 6. 旋转变压器

#### 7. 测速发电机

- (1) 直流测速发电机；(2) 交流测速发电机。

#### 8. 伺服电动机

- (1) 直流伺服电动机；(2) 交流伺服电动机。

#### 9. 力矩电动机

## 10. 步进电动机

- (1) 反应式步进电动机；
- (2) 永磁式步进电动机；
- (3) 混合式步进电动机。

## 11. 电机扩大机

## 12. 微型发电机

- (1) 直流发电机；
- (2) 交流发电机。

## 13. 微型变换机

- (1) 直流升压机；
- (2) 变频机；
- (3) 变流机。

## 14. 微型直线电机

微电机的功率和尺寸较小，性能要求比较特殊，具有一些与普遍电机不同的特点。

1. 生产特点 机械驱动用的微电机，生产批量一般较大，适合于采用自动生产线或高效专用设备进行加工。而控制系统用的各种微电机，品种多，批量小，而通用结构件则可以进行成批大量生产。它的生产组织着眼于多品种，而加工技术则着眼于单机自动化。

2. 设计特点 驱动用微电机主要任务是进行能量转换，因此设计时要尽量提高其转换效率。而控制用微电机，通常用来完成信号转换或传送，因而设计时首先着眼于满足特性要求，其次再考虑能量转换效率。

为了满足微电机特殊性能要求，设计时常需采用一些特殊材料，如铁芯、转子导体、电刷及换向器材料等，并注意磁路的对称性和绕组导体的分布规律。对于一些高精度产品，还要考虑温度、接触电阻、负载、电源等变化所产生的影响。

3. 工艺特点 根据微电机的设计特点和性能要求，它的制造工艺特点是保证定-转子的高同轴度、磁路的对称和电路的平衡。因而对于冲片的槽分度、零部件的加工和配合



精度、绕组的匝数准确度等，都有较高的要求，另外，微电机的制造生产还具有专业工艺多、工艺装备系数高、工艺规范要求严格等特点。

4. 试验特点 微电机由于品种规格繁多，功用和性能殊异，所以除了共同性的试验项目外，还有许多特殊要求的专用试验项目和许多高精度的专用试验设备。

微电机的发展已有一百余年的历史。早在 1879 年，就出现了第一个自整角机专利。1907 年，美国西屋电气公司生产 1/20—1/200 马力的 D 型直流电动机。1914 年在巴拿马运河用自整角机系统控制水闸，开始了微电机的专业化生产和在自动控制系统中的应用。但是，直到四十年代微电机在军事装置中首先得到广泛使用后，才开始迅速发展。六十年代初，各类微电机已相继形成系列、制订技术标准。近一、二十年来，在自动控制、电子技术和计算机等技术的推动下，微电机的发展更加迅速，涌现了许多高质量的新品种和新门类。

我国的微电机工业是在六十年代前后才开始全面发展的。开始主要是进行产品仿制，六十年代后期进入了自行设计和研制阶段，在产品的品种、数量和质量方面，都得到了迅速的发展。不仅形成了我国自己的微电机典型产品系列，品种规格达近千种，而且还为整机配套研制了不少新品种，已经形成了具有我国特点的、初具规模的专业研究和生产体系。

# 目 录

序 言	1
第一章 电和磁的基本概念	1
第一节 电磁感应定律	1
第二节 电磁力定律	6
第三节 变压器的工作原理	7
第四节 磁路和磁势平衡	10
第五节 损耗和效率	16
第六节 额定数据	18
第二章 绕组及其建立的磁场	21
第一节 绕组的作用和类型	21
第二节 集中绕组	22
第三节 同心绕组	26
第四节 分布绕组和绕组展开图	29
第五节 旋转磁场的建立	41
第六节 主磁通和漏磁通	48
第三章 微型直流电机	51
第一节 分类和型号命名	51
第二节 工作原理	53
第三节 典型结构	56
第四节 主要参数和特性	61
第五节 换向过程	66
第六节 稳速直流电动机	68
第七节 永磁材料的工作特性	72
第四章 直流伺服电动机	76

第一节	分类和型号命名 .....	76
第二节	工作原理 .....	78
第三节	典型结构 .....	79
第四节	主要参数和特性 .....	84
第五节	时间常数 .....	88
第六节	无刷直流电动机 .....	91
第七节	直流伺服电动机的应用 .....	93
<b>第五章</b>	<b>力矩电动机</b> .....	<b>98</b>
第一节	分类和结构 .....	98
第二节	工作原理 .....	100
第三节	主要参数和特性 .....	103
第四节	力矩电动机的运行特点 .....	105
<b>第六章</b>	<b>交流换向器电动机</b> .....	<b>108</b>
第一节	分类和结构 .....	108
第二节	工作原理 .....	110
第三节	主要参数和特性 .....	113
第四节	换向火花和电磁干扰 .....	117
第五节	应用特点 .....	118
<b>第七章</b>	<b>微型同步电动机</b> .....	<b>121</b>
第一节	分类和型号命名 .....	121
第二节	工作原理 .....	124
第三节	主要参数和特性 .....	132
第四节	同步电动机的应用特点 .....	136
<b>第八章</b>	<b>微型异步电动机</b> .....	<b>139</b>
第一节	分类和型号命名 .....	139
第二节	工作原理 .....	141
第三节	典型结构 .....	149
第四节	主要参数和特性 .....	151
第五节	机械特性 .....	153

第六节	异步电动机的应用特点	155
第七节	微型通风电机	158
<b>第九章</b>	<b>交流伺服电动机</b>	<b>164</b>
第一节	分类和结构	164
第二节	工作原理	166
第三节	主要参数和特性	169
第四节	转动惯量	171
<b>第十章</b>	<b>步进电动机</b>	<b>175</b>
第一节	分类和型号命名	175
第二节	工作原理	177
第三节	典型结构	182
第四节	驱动电源	183
第五节	主要参数和特性	184
第六节	步进电动机的应用	187
<b>第十一章</b>	<b>测速发电机</b>	<b>191</b>
第一节	分类和结构	191
第二节	工作原理	193
第三节	主要参数和特性	198
第四节	测速发电机的应用	202
<b>第十二章</b>	<b>微型发电机和电机扩大机</b>	<b>206</b>
第一节	微型发电机的基本类型	206
第二节	手摇发电机	208
第三节	交换机	214
第四节	电机扩大机	217
<b>第十三章</b>	<b>旋转变压器</b>	<b>225</b>
第一节	分类和型号命名	225
第二节	工作原理	226
第三节	典型结构	232
第四节	主要参数和特性	235

第五节	旋转变压器的应用	237
<b>第十四章</b>	<b>自整角机</b>	<b>241</b>
第一节	分类和型号命名	241
第二节	工作原理	244
第三节	典型结构	249
第四节	主要参数和特性	252
第五节	无刷自整角机	254
第六节	多极自整角机和旋转变压器	258
第七节	自整角机的应用	261
<b>第十五章</b>	<b>微电机试验</b>	<b>265</b>
第一节	概述	265
第二节	微电机通用试验方法	273
第三节	微电机的主要试验方法	307
第四节	环境试验	337
第五节	试验报告	340
<b>主要参考书</b>		<b>344</b>

# 第一章 电和磁的基本概念

## 第一节 电磁感应定律

至今生产的各种微电机，绝大部分都基于电磁感应原理，所以，电磁感应是微电机最基本的理论基础。

### 一 磁场及其基本物理量

众所周知，在图 1-1a 所示的条形永磁体周围，存在着磁场。如果将导体绕制成图 1-1b 所示的螺旋线圈并通以电流，则和永磁体一样，线圈的内部及其周围同样存在磁场。另外，一根直导体在通过电流时，其周围也会建立磁场，如图 1-1c 所示。由电流建立的磁场，其方向可用右手螺旋法则确定。

磁场是一种物质，但又是一个比较抽象的概念。为了形象地表示它，在图 1-1 中，用若干条称为磁力线的虚线来表示磁场的方向和强弱。磁力线较密集的地方表示该处磁场较强；反之则较弱。箭头表示磁场的方向。

通过某一横截面的磁力线总数叫做磁通，用符号  $\Phi$  表示。在垂直于磁场的方向上，穿过单位截面积的磁力线数叫做磁感应强度，又称磁通密度，简称磁密，用符号  $B$  表示。磁密  $B$  越大，表示该点的磁场越强。

另外还要引用一个辅助物理量——磁场强度，用符号  $H$  表示。磁场强度  $H$  与磁场内的介质无关，只表示磁场内某

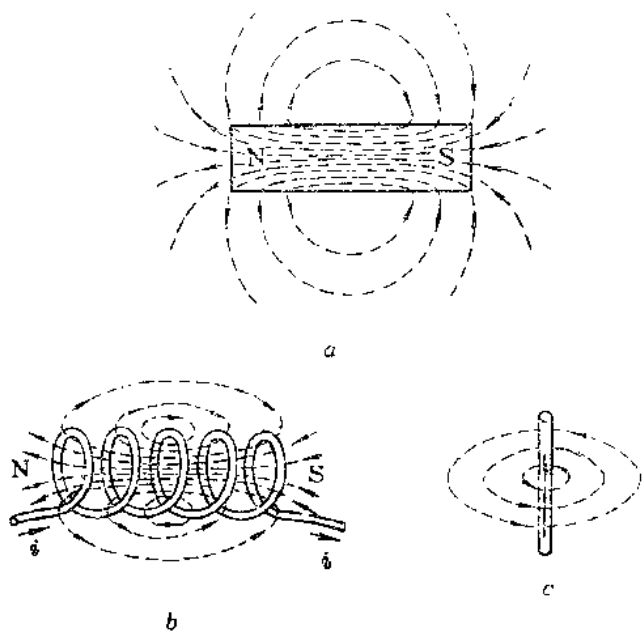


图 1-1 磁场示意图

一点的磁场强弱。它和磁通密度  $B$  的关系是

$$B = \mu H \quad (1-1)$$

式中  $\mu$  称为介质的磁导率，是取决于介质材料性质的常数。 $\mu$  越大，说明介质的导磁性能越好。在磁性介质中， $\mu$  的大小还与磁场强度  $H$  或温度等有关。

与电路中电势  $E$  的作用相仿，要使一个物体产生磁通，必须有一定的磁动势，简称磁势，用符号  $F$  表示。在图 1-1b 中，线圈的磁势大小，正比于线圈匝数  $W$  和导体内电流  $I$  的乘积，用公式表示时为

$$F = IW \quad (\text{安匝}) \quad (1-2)$$

## 二 电磁感应定律

在图 1-2 中,如果穿过一个由单匝线圈构成的闭合电路的磁通发生变化,线圈内就会感应出称为感应电势的电势  $e$ , 并在闭合电路中产生感应电流  $i$ 。

如用  $\Phi$  表示该电路中穿过的磁通,  $\Delta\Phi$  表示磁通在时间  $\Delta t$  间的变化, 则感应电势  $e$  的大小与磁通的变化率  $\Delta\Phi/\Delta t$  成正比。

感应电势  $e$  的方向可由楞次定律确定, 即感应电流  $i$  产生的磁通总是力图阻止原磁通的变化。就是说, 如果通过电路的磁通增加,  $\Delta\Phi/\Delta t$  是正的, 则感应电势所产生的电流使磁通减少。反之, 如果穿过电路的磁通在减少,  $\Delta\Phi/\Delta t$  是负的, 则电流使磁通增加。所以, 感应电势  $e$  的大小和方向可表示为

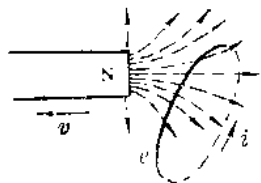


图 1-2 简单电路中的感应电势

$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1-3)$$

这就是法拉第感应定律, 或称电磁感应定律。

用图 1-3 可以进一步理解感应电势的关系。线圈  $ax$  在  $N$  极和  $S$  极之间旋转着, 线圈处于水平位置时, 通过线圈的磁通最大, 线圈垂直时, 磁通最小。当线圈在图 1-3a 所示位置并顺时针方向旋转时, 穿过线圈的磁通将减少。因此, 感应电势和电流的方向如叉和点所示。就是说, 在  $N$  极下, 电流向纸平面流入, 在  $S$  极下, 电流从纸平面流出。在图 1-3b 的情况时, 线圈内的磁通在增加, 不难看出, 电流的方



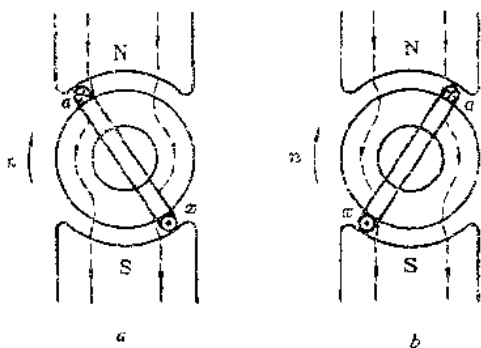


图 1-3 简单电路中的感应电势

向与图 a 所示相同。可见，不论线圈在什么位置，在 N 极下运动着的线圈边内的电流总是向纸平面流入的，而在 S 极下线圈边的电流则反向。

在图 1-3 的情况下，N 极和 S 极之间的磁场是一个不变的恒定磁场。电路中的感应电势是由于线圈边导体在其中运动产生的，所以这种电势又称为运动电势，或称旋转电势。又因为导体的这种运动，就象是在切割磁力线，所以，旋转电势也可称为切割电势。

### 三 自感电势和互感电势

在图 1-4a 中，当空心线圈中有电流流过时，线圈就会建立磁通。如果电流  $i$  发生变化，则磁通  $\Phi_1$  也随之变化。根据电磁感应定律，磁通  $\Phi_1$  的变化也将在线圈自身内引起感应电势。这种由于电流的自身变化在线圈内所引起的感应电势，称为自感电势，用  $e_1$  表示。

$e_1$  的大小和方向由式 (1-3) 决定，同时，还与线圈的匝