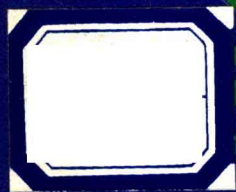


电机学

中央国家机关
机电专业培训教材

沈世锐 主编



中央国家机关机电专业培训教材

电 机 学

沈世锐 主编

北 京 出 版 社

(京)新登字 200 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电机学 / 沈世锐著. - 北京 : 北京出版社, 1995
ISBN 7-200-000000

I. 电… II. 沈… III. 电机学 IV. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字 (94) 第15562号

电 机 学

DIANJIXUE

沈世锐 主编

*

北京出版社出版

(北京北三环中路 6 号)

邮政编码: 100011

北 京 出 版 社 总 发 行

新华书店北京发行所经销

北京市顺义燕华印刷厂印刷

*

850×1168毫米 大32开本 9.5印张 221 000字

1995年4月第1版 1995年4月第1次印刷

印数: 1—4 000

ISBN 7-200-02573-9/TM·5

定 价: 11.00 元

中央国家机关机电专业培训教材编委会

主 任：王志良

副主任：谷政协 陈启祥 陈建田

委 员：傅佰椿 李品生 李金璞

出版说明

为适应中央国家机关工人培训考核工作的需要,根据中央国家机关工人考核委员会的统一部署,由北京理工大学编写中央国家机关机电专业培训教材。本套教材(共四本)是为中央国家机关机电专业初、中、高级维修电工技术等级考核编写,也适合行政、事业单位维修电工自学参考。

本套教材是根据1992年劳动部颁布《中华人民共和国工种分类目录》和1995年机械工业部和劳动部制定颁布的《机械工业工人技术等级标准》(通用)部分维修电工教学大纲和要求,在总结几年来工人培训考核教学经验和实践的基础上进行编写的。在编写过程中,力求突出成人教育的特点,理论联系实际,注重加强基础知识训练;叙述深入浅出,突出学习的重点和难点,对一些理论问题进行了必要的探讨。在同类书中具有一定的独到之处。

本套教材是中央国家机关机电专业维修电工初、中、高级技术等级考核指定的唯一教材。

在编写教材过程中得到北京理工大学电子技术专家、教授的具体帮助和指导,在此一并表示感谢。

中央国家机关工人考核委员会

机电专业考评领导小组

1994年10月10日于北京

前 言

本书是根据原国家机械工业委员会1987年颁发的机械工人技术理论培训计划大纲的要求,国家教委职业技术教育司1989年审定的《电机与变压器》编写大纲的要求,参照大学本科非电类理工专业及大专层次家用电器专业对电机学的基本要求而编写的。

编写中考虑到既要贯彻少而精的原则又要便于学生自学,因此本书力求做到内容深入浅出、文字通顺易读、章节前后连贯、物理概念清楚,重点难点的解释详细,并用例题配合说明。

全书分五章。第一章磁路与变压器,第二章异步电动机,第三章同步电动机,第四章直流电动机,第五章微电机。鉴于当前科技发展和实际应用的需要,本书侧重于第一、第二和第五章三章的论述。

授课时教师对同步电动机特性的相量分析、直流发电机以及微电机的个别类型可按专业的实际需要予以删减、简化或补充。

全部内容面授参考学时为40~70学时。通过对本教材的学习,学生应可以掌握和了解:① 常用变压器、交直流电动机的结构、工作原理、主要特性和用途。② 交直流电动机的起动、反转、制动和调速等方法。③ 办公用及家庭用微电机的类型、结构、原理和使用知识。④ 常用电动机的选用知识。由此使学生对常用电动机的理论和实际应用打下必要的基础。

本书可用作各类中等技术学校、中高级技术工人培训、职工大学、大专层次非电机专业学习电机原理的教材,亦可用作

大学非电类理工专业学习电机的参考书。本书也可供从事与电工技术有关联的专业人员及业余爱好者自学参考。

本书由北京理工大学沈世锐主编，电子工业部汪林德协编，书中文字修订和图形绘制工作由陈慧同志完成。限于编者水平，本书的缺点和错误实所难免，恳请同行和广大读者批评指正。

编者

1993年12月

目 录

第一章 磁路与变压器	1
§ 1—1 磁路的基本概念	1
§ 1—2 变压器的基本知识	8
§ 1—3 变压器的工作原理	17
§ 1—4 变压器的作用	27
§ 1—5 变压器参数的测定	31
§ 1—6 变压器的运行特性	35
§ 1—7 单相变压器的同名端和绕组的联接组别	37
§ 1—8 三相变压器	40
§ 1—9 变压器的并联运行	49
§ 1—10 特殊用途的变压器	51
复习思考题	60
习题	62
第二章 异步电动机	65
§ 2—1 异步电动机结构简介	66
§ 2—2 异步电动机的转动原理和转差率	68
§ 2—3 旋转磁场	71
§ 2—4 三相异步电动机的定子绕组和联接	80
§ 2—5 铭牌数据	83
§ 2—6 异步电动机的转矩和特性	90
§ 2—7 异步电动机的起动	104
§ 2—8 异步电动机的制动	112
§ 2—9 异步电动机的调速	115

§ 2—10 异步电动机的效率和功率因数	118
§ 2—11 异步电动机的选择	120
§ 2—12 异步电动机的使用与维护	124
复习思考题	126
习题	127
第三章 同步电机	130
§ 3—1 同步电机的基本结构	131
§ 3—2 同步电机的额定数据和型号	133
§ 3—3 同步电动机的工作原理和转矩特性	136
§ 3—4 同步电动机功率因数的调节	141
§ 3—5 同步电动机的起动	143
§ 3—6 同步发电机的工作原理和外特性	146
§ 3—7 同步发电机并联运行的条件	148
复习思考题	149
第四章 直流电机	151
§ 4—1 直流电机的基本结构	151
§ 4—2 直流电机的工作原理	155
§ 4—3 直流电机的电枢绕组	157
§ 4—4 直流电机的电枢反应	166
§ 4—5 换向	170
§ 4—6 直流电机的电动势和电磁转矩	175
§ 4—7 直流电机的分类、铭牌和额定值	180
§ 4—8 直流电机的基本平衡关系	184
§ 4—9 直流发电机的运行特性	191
§ 4—10 直流电动机的机械特性	194
§ 4—11 直流电动机的调速	197
§ 4—12 直流电动机的使用	200
复习思考题	205

习题·····	206
第五章 微电机·····	209
§ 5—1 微型单相异步电动机·····	209
§ 5—2 微型同步电动机·····	230
§ 5—3 微型交流换向器电动机·····	245
§ 5—4 常用控制微电机·····	251
复习思考题·····	280
附录·····	283
I 部分常用电气文字符号·····	283
II 异步电动机产品型号、名称及用途·····	283
III 电机外壳防护等级·····	285
IV 常用异步电动机(Y系列)的技术数据·····	287
V 部分驱动微电机的技术数据·····	289
VI 常用熔丝规格表·····	292
参考书目·····	293

第一章 磁路与变压器

本书重点研究各种常用电机的原理、特性及应用。从理论上讲，电机都是由电路和磁路组合而成的，所以它们的原理不仅涉及电路问题，而且还涉及磁路问题。电路问题已在前修课程中学过*。为了更好地理解电机原理，本章首先讨论与磁路有关的知识，对变压器的磁路作出详细的分析，进而介绍变压器的性能和应用等方面的问题。

§ 1-1 磁路的基本概念

一、磁路

什么叫磁路？磁路就是磁力线相对集中通过的路径。为什么要讨论磁路问题？因为工程上广泛应用的电器设备，如变压器、电动机、继电器等无不是依靠电与磁相互作用而工作的。和电路一样，磁路也是各种电机的重要组成部分。讨论磁路的目的是为了解电机的工作原理，特别是要注意研究如何用较小的电流，较少的材料建立起较强的磁场。

各种常用电机为了建立较强的磁场，尽量采用制成一定形状的铁磁材料，因为铁磁材料具有强磁性，采用它可使磁力线主要集中在规定的磁路中通过，这点与用高导电率材料为电流规定路径形成电路相似。但磁通可以穿过空间形成闭合路径，因此磁路中经常包括空气隙。或者说空气隙也可以是磁路的组成部分。

* 参见《电工及电子技术基础》第三章电磁知识。

图 1-1 为几种常用电机电器的典型磁路。其中(a)图是环形管,它是一种最简单的磁路,(b)和(c)图分别表示普通变压器和电磁铁常用铁芯,(d)图是磁电式仪表的永磁磁路,图(e)表示电动机或发电机的二极磁路;(a)、(c)和 (d) 三图是无分支的串联磁路,(b)和(e)图是有分支的串并联磁路;(c)、(d)和(e)三图的磁路中都包含有一段空气隙。

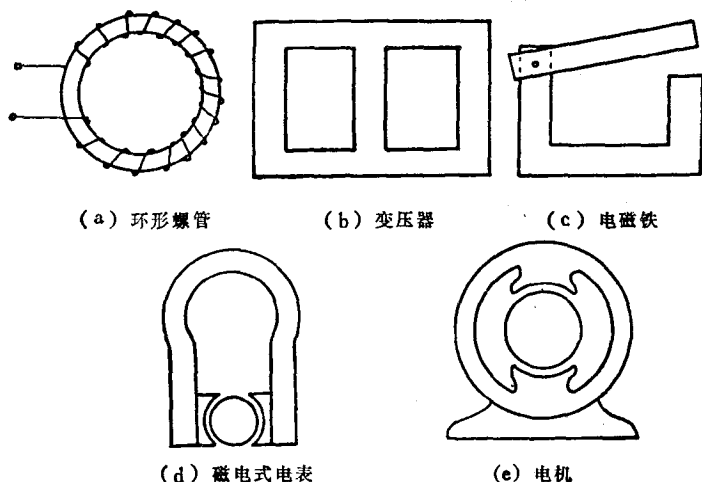


图 1-1 常用磁路

二、铁芯损耗

电机的导磁系统都是由铁磁材料制成的,由于铁磁材料的高导磁性能,通过它,可以用很小的励磁电流产生出很强的磁场。

一般铁磁材料既是导磁材料又是导电的金属材料。例如铁、镍、钴及其合金等,它们在交变磁通作用下是要损耗功率的,这种损耗叫铁芯损耗,简称铁损。铁损是因为铁芯通过交变磁通时产生涡流损耗和磁滞损耗造成的。

1. 涡流损耗

涡流损耗是由涡流产生的。

由前修课已知，当块状金属放在变化着的磁场中时，或者在磁场中运动时，金属导体内也将产生感应电流。这种电流在金属导体内自行闭合，如像水中的漩涡一样，所以称为涡电流，简称涡流。由于大块导体的电阻很小，所以涡流一般很大。

如图1-2(a)所示，对绕在块状铁芯上的线圈里通以交变电流，就会在铁芯内沿轴线方向产生交变的磁通，从而在铁芯横截面上产生交变的涡电流。图中箭头所示方向，是按右手螺旋定则和电磁感应定律规定的正方向标定的。

涡流通过铁芯发热，消耗能量，造成能量损耗，简称涡流损耗。这种损耗无益地把电能耗费掉，而且还会使设备因过热而遭受损坏。

根据定量分析可知涡流损耗与铁芯厚度的平方成正比。为了减小涡流损耗，我们把整块铁磁材料分成薄片，如图1-2(b)所示，片间加以绝缘叠集而成。其次还在钢片中渗入硅，以增大材料的电阻率，这样就可以减小涡流损耗。

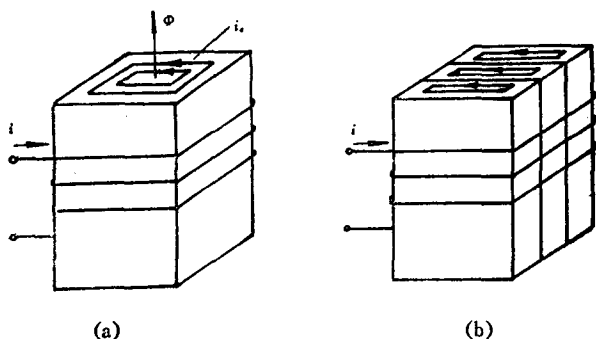


图 1-2 涡流

2. 磁滞损耗

在交流电源作用下，磁场交变，铁磁材料要经受反复的磁

化,如图 1-3 所示。在反复磁化时,铁磁质内分子的情态将不断地改变,因此使磁分子之间的摩擦和振动加剧,温度增高,由此耗散掉的能量称为磁滞损耗,这种损耗同样是无益的。可以证

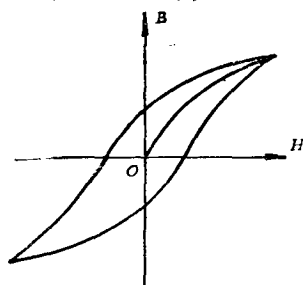


图 1-3 磁滞回线

明,在一定的频率下,往复磁化一次的磁滞损耗与磁滞回线所包围的面积成正比,该面积大小与铁磁材料的性能有关。采用硅钢片做成的铁芯,磁滞回线的面积小,可以减少铁芯的磁滞损耗。

铁损耗的存在,不仅使电机的损耗增加,效率降低,而且由于这部分能量消耗而转化成热能,使电机的温度升高,所以所有交流电机都要尽量减小铁耗。由直流励磁的铁芯磁路,因为磁路的主磁通基本恒定,所以铁芯里的铁损耗较小,常可略而不计。

三、磁路的欧姆定律

1. 磁动势

在电路里电流由电动势产生,在磁路里磁通由磁动势产生。什么叫磁动势?下面举例说明。设有一环形磁路,如图 1-4(a) 所示,该环形磁路共有 N 匝线圈,线圈中电流为 I ,则包围在虚线所示的闭合线内〔如图 1-4(b)〕所示,电流的代数和为 NI ,由电工基础知有

$$NI = Hl$$

$$\text{或} \quad H = \frac{NI}{l} \quad (1-1)$$

式中 H 为均匀磁场闭合线上任一点的磁场强度, l 为环管磁路

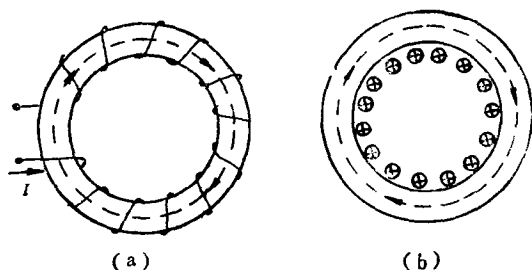


图 1-4 环形螺线管及其磁场

的平均长度。 NI 的乘积就叫磁动势。由此式可知线圈匝数越多，电流越大，磁动势也越大，可见它是产生磁场的来源，它的大小反映通电线圈产生磁场强度的作用大小。

磁动势的单位是安培，习惯上也用“安匝”表示。

2. 磁路的欧姆定律及磁阻

磁动势与磁路中的磁场强度 H 有关，从而与磁通量 Φ 的大小有关，这一点可以用以下的关系式得到说明。

由电磁学知，磁通 Φ 与磁感应强度 B 之间的关系式为：

$$\Phi = BS \quad (1-2)$$

式中 S 是磁路的截面积，而磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间的关系式为：

$$B = \mu H \quad (1-3)$$

式中 μ 是铁磁材料的磁导率。以图 1-4 的圆环形磁路为例，并设环内磁场是均匀分布的，于是磁通有：

$$\begin{aligned} \Phi &= BS = \mu HS \\ &= \frac{NI}{l} \cdot \mu S = \frac{NI}{l/\mu S}, \end{aligned}$$

令

$$R_m = \frac{l}{\mu S},$$

则有

$$\Phi = \frac{NI}{R_m} \quad (1-4)$$

或

$$\text{磁通} = \frac{\text{磁动势}}{\text{磁阻}}$$

在同样磁动势下，磁路里 R_m 的大小与磁通成反比， R_m 大，磁通 Φ 小， R_m 小，磁通 Φ 大。可见在磁路里， R_m 起着阻碍磁通的作用，因此我们把它叫作磁阻。

磁阻的大小取决于磁路的几何尺寸 ($S \cdot l$)，及铁磁材料的导磁能力 (μ)。

上式表明磁动势产生磁通的关系，类似于电路的欧姆定律里，电动势产生电流的关系 ($I = \frac{E}{R}$)，因此上式又称作磁路的欧姆定律。

由于铁磁材料的磁导率不是常数，其磁阻不是常量，因此在磁场强度 H 未知前，就很难利用这个公式直接计算磁通，但它对理解磁路的基本概念及定性分析磁路各量的关系有很大帮助。例如由磁阻公式可以直接看出磁导率 μ 大的材料、磁阻小；

截面小的材料、磁阻大等定性关系。磁阻的概念对分析磁路问题十分重要。

最后需要说明，虽然磁路公式是以环形管为例推导出来的，但它对任一均匀磁路段均可适用，因为均匀磁路段可近似视为半径是无穷大的环形管的一部分。

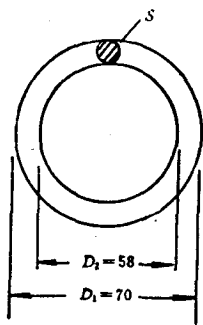


图 1-5 环形管磁路(单位: mm)

例题1-1 已知图 1-5 的环形管 $D_1=70\text{mm}$ ， $D_2=58\text{mm}$ 。

$N=100$ 匝、 $I=1$ A, 求环内平均长度上的磁场强度。

解: 由于环形管截面处处相等, 材料相同, 所以沿平均长度上的磁场强度 H 也相等, 因此有

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{100 \times 1}{l}$$

环形管平均直径

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{70 + 58}{2} = 64 \text{ mm}$$

磁路平均长度

$$l = \pi D = \pi \times 64 = 201 \text{ mm} \approx 0.2 \text{ m}$$

所以

$$H = \frac{100 \times 1}{0.2} = 500 \text{ A/m}$$

例题1-2 设上题环形管分别用非磁性塑料和铸钢作芯子, 试求磁感应强度 B 、磁导率 μ 、磁通量 Φ 及磁阻 R_m 。

解: (1) 非磁性塑料

一般非磁性塑料, 其磁导率与真空接近, 取

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

则有 $B = \mu H = 4\pi \times 10^{-7} \times 500 = 6.28 \times 10^{-4} \text{ T}$

环形管截面直径

$$d = \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{70 - 58}{2} = 6 \text{ mm}$$

环形管截面

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 6^2}{4} = 28.3 \text{ mm}^2 = 28.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

因此得磁通量

$$\Phi = BS = 6.28 \times 10^{-4} \times 28.3 \times 10^{-6} = 1.78 \times 10^{-8} \text{ Wb}$$