

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



# 电机与拖动

赵君有 王秀丽 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



目 录

第一章 绪论  
第一节 电机与拖动的发展概况  
第二节 电机与拖动在国民经济中的地位  
第三节 电机与拖动的主要性能指标  
第四节 电机与拖动的分类  
第五节 电机与拖动的应用  
第六节 电机与拖动的安全用电  
第七节 电机与拖动的节能与环保  
第八节 电机与拖动的维护与检修  
第九节 电机与拖动的试验与检测  
第十节 电机与拖动的新技术  
习题一

# 电机与拖动

主编 赵君有 王秀丽

编写 王东瑞

主审 魏涤非



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。

全书共分八章，主要内容包括变压器、直流电机、直流电机的电力拖动、交流电机的绕组、电动势和磁动势、三相异步电动机的运行原理、三相异步电动机的电力拖动、同步电动机及电力拖动、控制电机等。每章末都配有思考题与习题、自测题，内容丰富，覆盖面广。本书内容模块化，各模块教学目标明确，具有相对的独立性，便于不同专业选学。

本书可作为高职高专院校电气自动化技术、生产过程自动化技术、电力系统自动化技术等专业的教材，也可作为工程技术人员的参考用书，还可以作为相关专业的函授教育的教学用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电机与拖动/赵君有, 王秀丽主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-8909-7

I. 电… II. ①赵…②王… III. ①电机—高等学校: 技术学校—教材②电力传动—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 087143 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 396 千字

定价 26.50 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 高职高专电气自动化技术专业规划教材

## 编 委 会

主 任 吕景泉

副主任 狄建雄 凌艺春 谭有广 周乐挺 郝汉琪

秘书长 李兆春

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁学恭 马伯华 王 燕 王 蕊 王永红

刘玉娟 刘玉梅 刘保录 孙成普 孙忠献

何 颖 何首贤 张 池 张永飞 张学亮

张跃东 李方园 陆锦军 陈 赵 姚永刚

姚庆文 郭 健 钱金法 常文平 韩 莉

# 前 言

---

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。

本书主要内容包括变压器、直流电机及电力拖动、异步电动机及电力拖动、同步电动机及电力拖动、控制电机等。重点分析、讨论电机的基本结构、运行原理、参数测定、运行性能、工作特性，特别是电力拖动系统的起动、调速、制动的原理、方法及应用。

本书具有以下特点：

(1) 侧重于电机稳态运行的基本原理和基本概念的阐述，力争做到概念准确。同时，强调基本理论的应用，让学生掌握分析电机的基本方法，建立牢固的物理概念，为后续课程的学习和今后解决日常遇到的工程问题做好准备。

(2) 追求基本理论及其应用的表述，简化了一些复杂的数学推导过程，不去刻意追求理论的系统性。注重理论与工程实际的联系，部分例题与习题涉及的参数取材于实际电机。

(3) 内容模块化，各模块教学目标明确，具有相对的独立性，既可以组合学习，又可以选择学习，有利于不同专业选学。本书内容共 90 学时左右，不同院校、不同专业可根据授课学时的差异，灵活选择学习本书内容。

(4) 为了便于学生进行课堂学习和课后的自学，巩固、应用所学内容，每章末都配有小结、思考题与习题和自测题，易于学生自测、自检，易于教师对学生进行测评。

本书的编写分工为：第一、六章由辽宁石化职业技术学院的王秀丽老师编写，第四、五章由沈阳工程学院王东瑞老师编写，其余部分由沈阳工程学院赵君有老师编写。全书由赵君有老师统稿。

本书由武汉电力职业技术学院魏涤非老师主审。魏老师提出了许多建议和意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，编写时间紧迫，书中难免有疏漏，殷切希望读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月于沈阳

# 目 录

前言

绪论	1
第一章 变压器	7
第一节 变压器的基本工作原理、用途及结构	7
第二节 单相变压器的空载运行	12
第三节 变压器的负载运行	17
第四节 变压器的参数测定及标么值	23
第五节 变压器的运行特性	28
第六节 三相变压器	31
第七节 变压器的并联运行	38
第八节 其他变压器简介	41
小结	47
思考题与习题	49
自测题	52
第二章 直流电机	56
第一节 直流电机的基本工作原理和结构	56
第二节 直流电枢绕组简介	59
第三节 直流电机的电枢反应	63
第四节 直流电机电枢电动势和电磁转矩	67
第五节 直流电机的运行原理	69
第六节 直流电机的换向	77
小结	80
思考题与习题	80
自测题	81
第三章 直流电机的电力拖动	83
第一节 电力拖动系统的运动方程及负载转矩特性	83
第二节 他励直流电动机的机械特性	86
第三节 他励直流电动机的起动和反转	92
第四节 他励直流电动机的制动	95
第五节 他励直流电动机的调速	100
第六节 串励直流电动机的电力拖动	107
小结	109
思考题与习题	110

自测题 .....	111
<b>第四章 交流电机的绕组、电动势和磁动势</b> .....	114
第一节 交流电机的绕组 .....	114
第二节 交流绕组的感应电动势 .....	119
第三节 交流绕组的基波磁动势 .....	126
小结 .....	132
思考题与习题 .....	133
自测题 .....	134
<b>第五章 三相异步电动机的运行原理</b> .....	136
第一节 三相异步电动机的基本结构和基本工作原理 .....	136
第二节 三相异步电动机的空载运行 .....	142
第三节 三相异步电动机的负载运行 .....	144
第四节 三相异步电动机的功率平衡和转矩平衡 .....	151
第五节 三相异步电动机的工作特性 .....	153
第六节 三相异步电动机的参数测定 .....	155
小结 .....	157
思考题与习题 .....	157
自测题 .....	158
<b>第六章 三相异步电动机的电力拖动</b> .....	161
第一节 三相异步电动机的机械特性 .....	161
第二节 三相异步电动机的起动 .....	167
第三节 三相异步电动机的制动 .....	176
第四节 三相异步电动机的调速 .....	182
第五节 单相异步电动机 .....	190
小结 .....	195
思考题与习题 .....	196
自测题 .....	197
<b>第七章 同步电动机及电力拖动</b> .....	201
第一节 同步电动机基本结构和基本工作原理 .....	201
第二节 同步电动机的运行分析 .....	203
第三节 同步电动机的电力拖动 .....	210
第四节 微型同步电动机 .....	212
小结 .....	218
思考题与习题 .....	219
自测题 .....	220
<b>第八章 控制电机</b> .....	222
第一节 测速发电机 .....	222
第二节 伺服电动机 .....	227
第三节 旋转变压器 .....	232

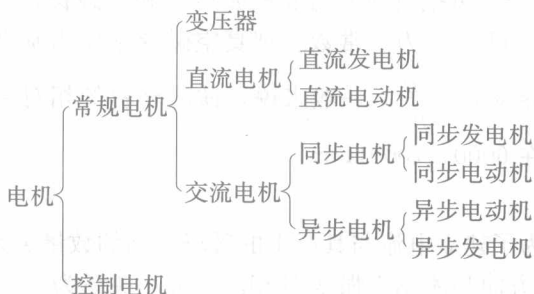
第四节 自整角机 .....	236
第五节 步进电动机 .....	240
小结 .....	246
思考题与习题 .....	247
自测题 .....	248
附录 常用符号说明 .....	249
参考文献 .....	252



# 绪 论

## 一、电机及电力拖动的概念

电机是以电磁感应为理论基础进行机电能量转换或信号转换的一种电磁机械装置。电机的种类很多，大体可分为以下几种：



常规电机的主要任务是完成能量的转换和传递。例如：

变压器——将一种电压等级的交流电能转换成另一种电压等级的交流电能；

发电机——将机械能转换成电能输出；

电动机——将电能转换成机械能输出，主要应用于电力拖动系统中，带动生产机械运转。

控制电机的主要任务是完成控制信号的转换和传递，通常用于控制系统中，作为检测、校正及执行元件使用，主要包括伺服电动机、测速发电机、自整角机、旋转变压器和步进电动机等。

电能转化为机械能主要由电动机完成，电动机拖动生产机械称为电力拖动。电力拖动系统由电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源五部分组成。

电力拖动系统主要有直流和交流拖动系统两大类。直流电动机具有良好的起动、制动性能，适合于在宽广范围内平滑调速，在需要高性能可控电力拖动的领域中广泛应用。交流电力拖动系统近年来发展很快，技术日趋成熟，处于扩大应用、系列化的新阶段，在各工业部门中有取代直流拖动的趋势。

## 二、磁路的几个物理量

### 1. 磁感应强度

有电流流过时，就会产生磁场。磁场的强弱及磁场的方向一般使用磁感应强度（ $B$ ）来表示，单位为 T（特斯拉）。磁力线越密，磁感应强度越大。磁感应强度又称磁通密度，这源于它和磁通的关系，实际应用中常常简称为磁密。

### 2. 磁通

磁通（ $\Phi$ ）也称磁通量，单位为 Wb（韦伯），表示穿过某个特定截面的磁感应强度的通量。它与磁感应强度之间的关系为

$$\Phi = \int_S B dS \quad (0-1)$$

式中  $S$ ——磁力线所穿过区域的面积,  $m^2$ 。

对均匀磁场, 若磁力线与截面垂直, 则式 (0-1) 的积分形式可以写成代数形式, 即

$$\Phi = BS \text{ 或 } B = \frac{\Phi}{S} \quad (0-2)$$

### 3. 磁导率

衡量各种材料对于磁的传导能力大小的物理量, 称为磁导率 ( $\mu$ ), 单位为 H/m (亨利/米)。从传导磁的能力来分, 可把材料分为非铁磁材料和铁磁材料, 对于非铁磁材料, 如真空的磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ , 为一常数。把真空磁导率作为基准, 其余材料的磁导率与之相比, 得到相对的磁导率  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ 。一般来说, 铁磁材料的相对磁导率很大, 如电机定子转子铁心的相对磁导率在  $6000 \sim 7000 \text{ H/m}$ 。

### 4. 磁场强度

磁场强度 ( $H$ ) 是为了建立电流与其产生的磁场之间的数量关系而引入的物理量, 单位为 A/m (安/米)。它的方向与磁感应强度  $B$  相同, 大小关系为

$$B = \mu H \quad (0-3)$$

## 三、几个基本电磁定律

### 1. 全电流定律 (安培环流定律)

全电流定律: 磁场强度  $H$  沿空间任意闭合路径  $l$  的线积分等于该闭合回路所包围的全部电流的代数和, 其数学表达式为

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum i \quad (0-4)$$

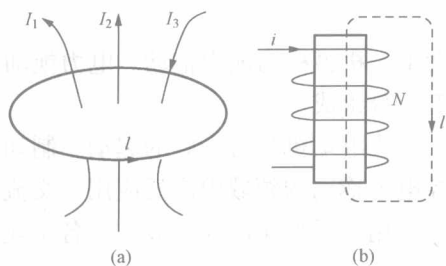


图 0-1 全电流定律的应用  
(a) 全电流定律示意图; (b) 全电流定律在线圈中的应用

式 (0-4) 中, 当电流的方向与闭合路径中  $H$  的方向 (即闭合路径  $l$  的方向) 符合“右手螺旋”时  $i$  取正值, 否则取负值。

在工程中, 式 (0-4) 可写为

$$\sum Hl = \sum i \quad (0-5)$$

图 0-1 (a) 所示回路, 应用全电流定律可写成

$$\oint H dl = I_1 + I_2 - I_3$$

图 0-1 (b) 所示回路, 应用全电流定律可写成

$$\oint H dl = Ni \quad (0-6)$$

### 2. 磁路的基尔霍夫第一定律 (磁通的连续性定律)

磁路的基尔霍夫第一定律指的是在任一瞬间, 穿过磁路中任一闭合面的各支路磁通的代数和恒等于零, 其表达式为

$$\sum \Phi = 0 \quad (0-7)$$

如图 0-2 所示, 任取一闭合面  $A$ , 令进入  $A$  面的磁通为正, 穿出的为负, 则有

$$\Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

### 3. 磁路的基尔霍夫第二定律

由全电流定律的演变得

$$\sum Hl = \sum iN \quad (0-8)$$

式中  $Hl$ ——磁压降；

$iN$ ——作用在磁路上的安匝数，用  $F = iN$  表示，称为磁动势。

式 (0-8) 表明，沿任何闭合磁路的总磁动势恒等于各段磁路磁压降的代数和，这就是磁路的基尔霍夫第二定律。

### 4. 磁路的欧姆定律

若  $\Phi$  为磁路中的磁通， $R_m$  为磁路的磁阻， $l$  为磁路的平均长度， $\mu$  为磁路材料的磁导率， $S$  为磁路的截面积， $F$  为作用在磁路上的磁动势，则磁路的欧姆定律为

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{iN}{R_m} \quad (0-9)$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (0-10)$$

### 5. 电磁感应定律

变化的磁场能够产生电场，在导体中感应电动势，如果是一个闭合回路，还会产生感应电流，这种现象称为电磁感应现象。电磁感应现象有以下两种。

(1) 导体切割磁力线感应电动势。导体在磁场中作切割磁力线运动时会感应电动势，这种电动势称为运动电动势。设导体有效长度为  $l$  (m)，切割磁力线的运动速度为  $v$  (m/s)，而且磁力线、导体的运动方向及导体本身三者相互垂直时，感应电动势的大小为

$$e = Blv \quad (0-11)$$

该感应电动势的方向由右手定则来确定，如图 0-3 所示。

(2) 线圈中磁通变化所产生的电动势。一个线圈位于磁场中，当线圈所交链的磁通发生变化时，线圈中将感应电动势，这种电动势称为变压器电动势。若线圈匝数为  $N$ ，则感应电动势为

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (0-12)$$

该感应电动势的方向由楞次定律决定：感应电动势的方向始终与磁通变化的方向相反，如式 (0-12) 中的负号所表示。

### 6. 电磁力定律

载流体放置在磁场中时，载流体会受到电磁力的作用。如果磁力线方向与导体相互垂直，导体中的电流为  $i$ ，且导体有效长度为  $l$ ，则导体的所受电磁力的大小为

$$f = Bil \quad (0-13)$$

电磁力的方向由左手定则确定，如图 0-4 所示。

## 四、常用的铁磁材料及其特性

为了在一定的励磁磁动势作用下能激励较强的磁场，电机的铁心常用磁导率较高的铁磁

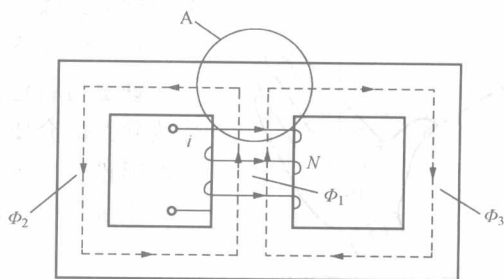


图 0-2 磁路的基尔霍夫第一定律

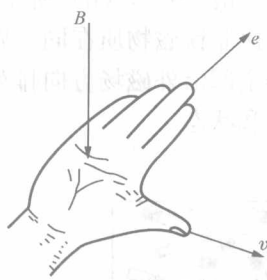


图 0-3 右手定则

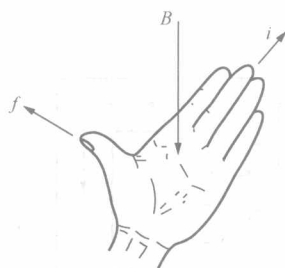


图 0-4 左手定则

材料制成。铁磁材料具有以下特性。

### 1. 磁化特性

铁磁材料包括铁、镍、钴等及这些材料的合金。将这些材料作为磁路的介质，磁场会显著增强。铁磁材料在外磁场中呈现很强的磁性，这种现象称为铁磁物质的磁化。

由式 (0-9) 和式 (0-10) 得

$$B = \frac{\Phi}{S} = \mu \frac{iN}{l} = \mu \frac{F}{l} = \mu H \quad (0-14)$$

式中  $H$ ——磁场强度，它是进行磁场分析时引用的一个辅助物理量，仅与磁动势和磁路的长度有关，与磁路的介质无关， $H = \frac{F}{l}$ 。

在非铁磁材料中，磁通密度  $B$  和磁场强度  $H$  之间的关系  $B = \mu_0 H$  为线性关系，直线的斜率  $\mu_0$  很小，如图 0-5 中虚线所示。

铁磁材料的磁通密度  $B$  和磁场强度  $H$  之间的关系  $B = \mu H$  为非线性关系。将一块尚未磁化的铁磁材料进行磁化，磁场强度  $H$  由零逐渐增大时，磁通密度  $B$  将随之增大，如图 0-5 所示。在  $0ab$  段， $B$  随着  $H$  的增大而增加， $b$  点称为膝点。在  $bc$  段， $B$  随着  $H$  的增加速率变慢，这种现象称为磁路饱和。c 点以后，曲线基本是与  $B = \mu_0 H$  平行的直线， $B$  几乎不随着  $H$  的增大而增大。

下面介绍铁磁材料产生这种现象的原因。铁磁物质能被磁化，是因为在它内部存在着许多很小的天然磁化区，称为磁畴。在图 0-6 中磁畴用一些小磁铁表示，铁磁物质未放入磁场之前，磁畴杂乱无章地排列着，磁效应互相抵消，对外部不呈磁性，如图 0-6 (a) 所示。将铁磁物质放入磁场，在外磁场作用下磁畴的极性将趋于同一方向，如图 0-6 (b) 所示，由此形成一个附加磁场，叠加在外磁场上。磁畴所产生的附加磁场将比非铁磁物质在同一磁场强度下所激励的磁场强得多，使铁磁材料内磁场大为增强。当磁畴全部沿外磁场方向排列后，即使外磁场再增加，铁磁材料内磁场几乎不再增加，即进入磁饱和状态。

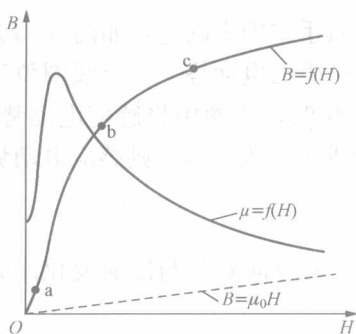


图 0-5 铁磁材料的磁化曲线

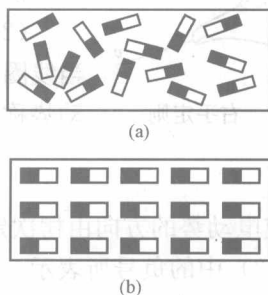


图 0-6 磁畴示意图

(a) 磁化前；(b) 磁化后

设计电机时，为使主磁路的磁通密度较大而又不过分增大励磁磁动势，通常把铁心内的工作磁通密度选择在膝点附近。

### 2. 磁滞回线和基本磁化曲线

若将铁磁材料进行周期性磁化， $B$  和  $H$  之间的变化关系就会变成如图 0-7 中所示曲线

abcdefa。当  $H$  从零开始增加到  $H_m$  时,  $B$  值相应地从零增加到  $B_m$ , 之后如果逐渐减小磁场强度  $H$ ,  $B$  值将沿曲线  $ab$  下降。当  $H=0$  时,  $B=B_r \neq 0$ ,  $B_r$  称为剩余磁通密度, 简称剩磁。要使  $B$  值从  $B_r$  减小到零, 必须加上相应的反向外磁场, 此反向磁场强度称为矫顽力, 用  $H_c$  表示。铁磁材料所具有的这种磁通密度的变化滞后于磁场强度变化的现象, 称做磁滞。呈现磁滞现象的  $B-H$  闭合回线, 称为磁滞回线, 如图 0-7 中所示曲线 abcdefa。磁滞现象是铁磁材料的另一个特性。

同一铁磁材料在不同的磁场强度  $H_m$  值下有不同的磁滞回线, 如图 0-8 所示。将各磁滞回线的顶点连接起来, 所得的  $B-H$  曲线称为基本磁化曲线。

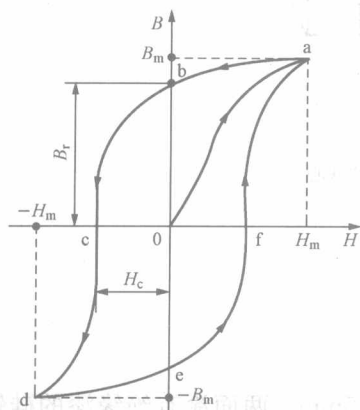


图 0-7 铁磁材料的磁滞回线

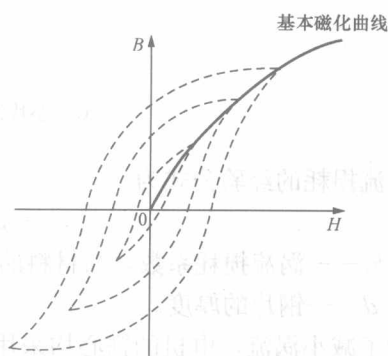


图 0-8 基本磁化曲线

磁滞回线窄、剩磁  $B_r$  和矫顽力  $H_c$  都小的材料, 称为软磁材料, 如铸钢、硅钢、铸铁等, 它们容易被磁化, 常用来制造电机的铁心。磁滞回线宽、剩磁  $B_r$  和矫顽力  $H_c$  都大的材料, 称为硬磁材料, 如铝镍钴合金等, 常用来制造永久磁铁。

### 3. 磁滞损耗和涡流损耗

在交流磁路中, 磁场强度的大小和方向不断变化, 铁磁材料磁化方向也反复变化, 使磁畴方向不断来回排列, 磁畴彼此之间摩擦引起的损耗, 称为磁滞损耗。

分析表明, 磁性材料反复磁化一个周期时单位体积所消耗的能量与磁滞回线的面积成正比。所以磁滞损耗  $p_h$  与磁场交变的频率  $f$ 、铁心的体积  $V$ 、磁滞回线的面积  $\oint HdB$  成正比, 即

$$p_h = fV \oint HdB \quad (0-15)$$

实验证明, 磁滞回线的面积  $\oint HdB$  与  $B_m$  成正比, 所以式 (0-15) 可以改写成

$$p_h = k_h f V B_m^n \quad (0-16)$$

式中  $k_h$ ——磁滞损耗系数, 其值取决于材料的性质;

$n$ ——对于一般电工钢片,  $n=1.6 \sim 2.3$ 。

电机中的铁心之所以采用软磁材料——硅钢片, 是由于硅钢片的磁滞回线的面积小, 能够降低磁滞损耗。

因为铁心是导电的，所以交变的磁通也能在铁心中感应电动势，并引起环流。这些环流在铁心内部围绕磁通作涡流状流动，称为涡流。整块铁心的涡流路径如图 0-9 (a) 所示。涡流在铁心中引起的损耗，称为涡流损耗。

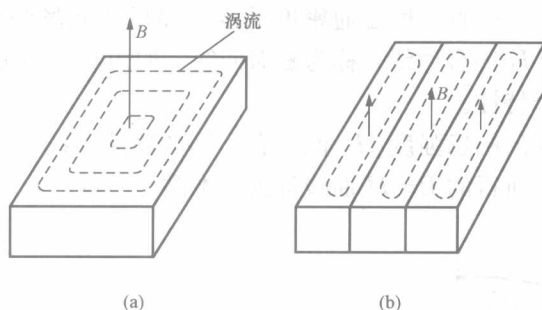


图 0-9 涡流路径  
(a) 整块铁心；(b) 硅钢片叠成的铁心

涡流损耗的经验公式为

$$p_e = k_e d^2 f^2 B_m^2 V$$

式中  $k_e$ ——涡流损耗系数，与材料的电阻率成反比；

$d$ ——钢片的厚度。

为了减小涡流，电机的铁心均采用厚度为 0.23~0.5mm、两面涂有绝缘漆的硅钢片叠成，如图 0-9 (b) 所示。

磁滞损耗和涡流损耗，总称为铁心损耗（简称铁耗）。对于一般的电工钢片，在正常的工作磁通范围内 ( $1\text{T} < B_m < 1.8\text{T}$ )，铁耗可近似为

$$p_{Fe} \approx C_{Fe} B_m^2 f^{1.3} G \quad (0-17)$$

式中  $C_{Fe}$ ——铁耗系数；

$f$ ——交变频率；

$G$ ——铁心质量。

式 (0-17) 表明，铁耗与磁通密度  $B_m$  的平方、交变频率  $f$  的 1.3 次方及铁心质量成正比。

# 第一章

## 变 压 器

变压器是一种静止电器，它利用电磁感应原理，将一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。

变压器是电力系统中一种重要的电气设备，对电能的经济传输、灵活分配和安全使用具有重要的意义。此外，各种用途的控制变压器、仪用互感器等也应用得十分广泛。

本章以普通双绕组电力变压器为主要研究对象，说明变压器的工作原理、分类及基本结构，着重阐述变压器的运行原理和运行特性，并对特殊用途的变压器予以概述。

### 第一节 变压器的基本工作原理、用途及结构

#### 一、变压器的基本工作原理

由于变压器是利用电磁感应原理工作的，因此它主要由铁心和套在铁心上的两个互相绝缘的绕组组成，如图 1-1 所示。

通常接交流电源的绕组称为一次绕组，也可称原绕组或初级绕组；接负载的绕组称为二次绕组，也可称副绕组或次级绕组。当在一次绕组两端加上合适的交流电压  $u_1$  时，一次绕组中就有交流电流流过，此电流在变压器铁心中将建立起交变磁通  $\phi$ ，同时交链一、二次绕组，在一、二次绕组中产生感应电动势，其表达式分别为

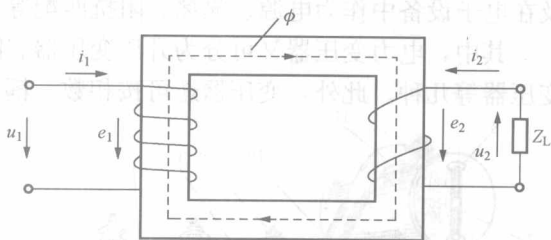


图 1-1 变压器工作原理示意图

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-2)$$

式中  $N_1$ 、 $N_2$ ——变压器一、二次绕组的匝数。

若忽略变压器绕组阻抗压降，则有  $u_1 \approx e_1$ 、 $u_2 \approx e_2$ ，这样一、二次侧电压之比为

$$\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表明，变压器一、二次绕组的电压比等于一、二次绕组的匝数比。只要改变一次或二次绕组的匝数，即可改变输出电压的大小，这就是变压器的基本工作原理。

#### 二、变压器的用途

变压器是电力系统中一种重要的电气设备，用于电力系统升、降电压的变压器叫做电力变压器。在电力系统中，要将大功率电能从发电厂输送到远距离的用电区，通常采用高压输电。因为输送一定的电功率，电压越高，线路中的电流越小，线路中有色金属的用量越少，

线路的电压降和功率损耗也就越小,从而降低线路的投资费用。一般来说,输电距离越远,输送功率越大,要求输电电压越高。一般高压输电线路的电压为110、220、330kV或500kV等。由于发电机发出的电压受到绝缘条件的限制不能太高,输电电压通常为6.3~27kV,因此需用升压变压器将电压升高到一定等级,再把电能输送出去。当电能输送到用电区后,由于受用电设备绝缘及用电安全的限制,需把高压输电电压通过降压变压器和配电变压器降低到用户所需要的电压等级。通常大型动力设备采用10/6kV,小型动力设备和照明则采用380/220V。从发电、输电到配电的整个过程中,通常需要经过多次变压,因此变压器在电力系统对电能的生产、输送、分配和使用起着十分重要的作用。

在电力拖动系统或自动控制系统中,变压器作为能量传递或信号传递的元件也被广泛应用。在其他部门,同样也广泛使用各种类型的变压器,以提供特种电源或满足特殊的需要。

### 三、变压器的分类

变压器的种类繁多,按其用途可分为以下几种:

- (1) 电力变压器——主要应用于电力系统中升降电压。
- (2) 特殊电源用变压器——如电炉、电焊、整流变压器等。
- (3) 仪用变压器——供测量和继电保护用的变压器,如电压、电流互感器等。
- (4) 实验变压器——专供电气设备作耐压用的高压变压器。
- (5) 调压器——能均匀调节输出电压的变压器,如自耦变压器、感应调压器等。

(6) 控制用变压器——用在控制系统中的小功率变压器、脉冲变压器、变频变压器,以及在电子设备中作为电源、隔离、阻抗匹配等小容量的变压器。

其中,电力变压器又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器和厂用变压器等几种。此外,变压器还可按相数、耦合方式、绕组数目、铁心结构、冷却方式以及调压方式等分类。

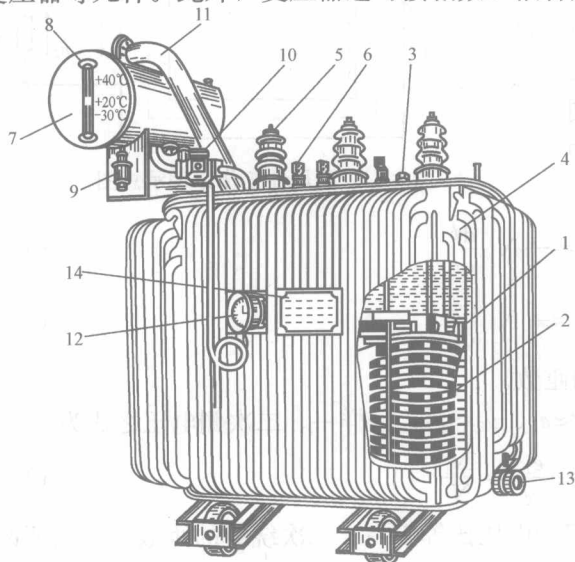


图 1-2 油浸式电力变压器结构图

- 1—铁心; 2—绕组及绝缘; 3—分接开关; 4—油箱;  
5—高压套管; 6—低压套管; 7—储油柜; 8—油位计;  
9—呼吸器; 10—气体继电器; 11—安全气道;  
12—信号式温度计; 13—放油阀门; 14—铭牌

### 四、变压器的基本结构

一般电力变压器的主要组成部分包括铁心、绕组(与铁心合称为器身)、油箱(油浸式)及其附件。图1-2所示为油浸式电力变压器结构图。下面对变压器的各组成部分分别予以介绍。

#### 1. 铁心

铁心是变压器的磁路部分,又是绕组的支撑骨架。铁心由铁心柱(外面套绕组的)和铁轭(连接两个铁心柱的部分)组成。为了提高铁心的导磁性能,减小磁滞损耗和涡流损耗,铁心多采用厚度为0.23~0.35mm、表面涂有绝缘漆的热轧或冷轧硅钢片叠装而成。冷轧硅钢片又分为有取向和无取向两类,通常变压器铁心采用有取向冷轧硅钢片,这种硅钢片沿碾压方向有较高的导磁性



能和较小的损耗。铁心的基本结构型式有心式和壳式两种。例如单相变压器心式结构的特点是绕组包围着铁心,如图 1-3 (a)所示,这种结构比较简单,绕组的装配及绝缘也比较容易,适用于容量大而电压高的变压器,国产电力变压器主要采用心式结构;壳式铁心结构变压器的特点是铁心包围着绕组,如图 1-3 (b)所示。其机械强度好,但外层绕组的铜线用量较多,制造工艺复杂,只

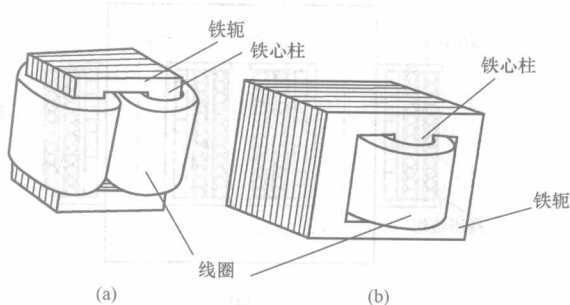


图 1-3 单相变压器铁心的基本形式  
(a) 心式; (b) 壳式

在一些特殊变压器(如电炉变压器)和大型单相电力变压器中采用。  
叠片式铁心的装配方法,一般是先将硅钢片裁成条形,然后进行叠装。为了减小接缝间隙以减小磁阻和励磁电流,铁心硅钢片一般均采用交叠式,使上、下层的接缝错开。图 1-4 所示为相邻两层硅钢片的两种排法。叠装好的铁心其铁轭用槽钢(或焊接夹件)固定,铁心柱则用环氧无纬玻璃丝带绑扎。

小容量变压器的铁心柱截面一般采用方形或长方形。在容量较大的变压器中,为了充分利用绕组内圆的空间,常采用阶梯形截面,容量越大,则阶梯越多,如图 1-5 所示。当铁心柱直径超过 380mm 时,还设有冷却油道。

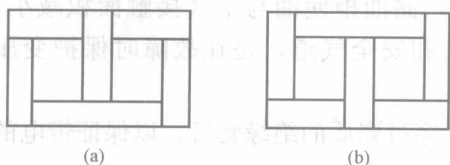


图 1-4 相邻两层硅钢片的排法  
(a) 奇数层排法; (b) 偶数层排法

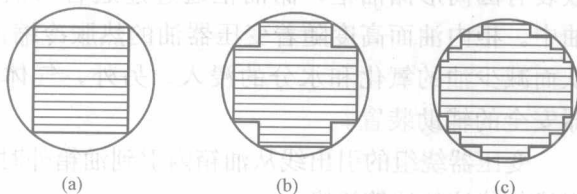


图 1-5 铁心柱的截面  
(a) 矩形截面; (b) 梯形截面; (c) 多级梯形截面

## 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,常用绝缘铜线或铝线绕制而成。

实际变压器的高、低压绕组是套装在同一铁心柱上,并且紧靠在一起,这是为了尽量减小漏磁通。高、低压绕组在铁心柱上的排列方式有同心式和交叠式两种。

(1) 同心式绕组。同心式绕组是将高、低压绕组绕在同一铁心柱上。为了便于绕组与铁心之间的绝缘,通常低压绕组在内,高压绕组在外,如图 1-6 (a)所示。在高、低绕组之间及绕组与铁心之间都加有绝缘。同心式绕组具有结构简单,制造方便的特点,国产电力变压器多采用这种绕组。

(2) 交叠式绕组。交叠式绕组又称为饼式绕组,它是将高、低压绕组分成若干个线饼,沿着铁心柱的高度方向交替排列。为了便于绝缘,一般靠近铁轭的最上层和最下层放置低压绕组,如图 1-6 (b)所示。交叠式绕组的主要优点是漏抗小、机械强度好、引线方便,但由于高、低压绕组之间的间隙较多,绝缘比较复杂,主要用在电炉和电焊等的特种变压器中。