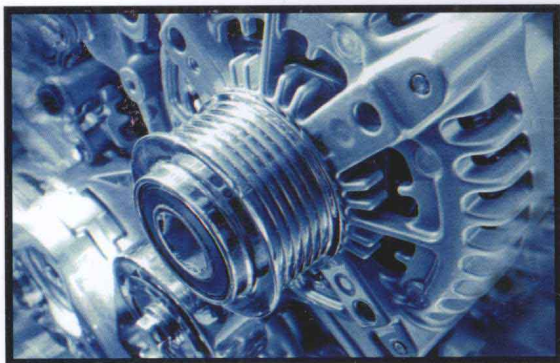




高职高专电气工程类专业“十二五”规划系列教材



电机技术及应用

DIANJI JISHU JI YINGYONG

■ 主编 樊新军 马爱芳



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

电机技术及应用/樊新军 马爱芳 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-5609-7975-5

I. 电… II. ①樊… ②马… III. 电机学-高等职业教育-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 104617 号

电机技术及应用

樊新军 马爱芳 主编

策划编辑: 谢燕群

责任编辑: 江 津

封面设计: 范翠璇

责任校对: 朱 玢

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)81321915

录 排: 禾木图文工作室

印 刷: 通山金地印务有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 16.25

字 数: 343 千字

版 次: 2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 29.80 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

“电机技术及应用”是高等职业技术学院供用电技术、电气自动化技术和机电一体化技术等专业学生必修的一门主干课程。本书是为了适应高等职业教育发展和当前教学改革需要而编写的,在编写过程中,重点针对应用型高技能人才培养的特点和要求,精选内容、注重应用,力求做到深入浅出、通俗易懂,坚持实用性、综合性、科学性和新颖性相结合。

本书将电机学、电力拖动、控制电机等课程内容有机地结合在一起,编写的重点放在使用较多的电机上。全书共分6章,主要包括变压器、交流绕组及其电动势和磁动势、同步电机、异步电动机、直流电机、控制电机等内容。

本书特点如下。

(1)在内容的叙述上,强调电机的结构、工作原理、主要性能和实际应用意义。

(2)对理论的分析采用图解、图示方法,并强调基本理论的实际应用。

(3)对一些理论性较强的内容,以定性分析为主,使教材易教易学。

(4)书中有典型例题,各篇后面附有小结、思考题及习题。题目具有典型性、规范性、启发性,能引导学生掌握本课程的主要内容,并培养学生解决工程实际问题的能力。

本书由三峡电力职业学院樊新军和湖北水利水电职业技术学院马爱芳主编,得到了湖北水利水电职业技术学院陈小梅、向变,以及长江工程职业技术学院程天龙的大力帮助。其中,第1章由马爱芳编写,第2、4章由陈小梅编写,第3章由向变编写,第4、6章由程天龙编写,第5章由樊新军编写。全书由樊新军、马爱芳统稿、审定。

本书在编写时,参阅了许多同行专家编著的教材和资料,得到了不少启发和教益,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,敬请读者批评、指正。

编 者

2012年5月

目 录

第 0 章 绪论	(1)
0.1 电机的定义和分类	(1)
0.2 电机的作用	(1)
0.3 电机的发展概况	(2)
0.4 本课程的性质和内容	(2)
0.5 本课程的特点及学习方法	(2)
0.6 本课程常用的基本定律	(3)
第 1 章 变压器	(6)
1.1 变压器的基本知识和结构	(6)
1.2 变压器的运行原理.....	(14)
1.3 三相变压器.....	(40)
1.4 变压器的并联运行.....	(49)
1.5 其他用途的变压器.....	(56)
小结	(64)
思考题与习题	(65)
第 2 章 交流绕组及其电动势和磁动势	(70)
2.1 交流电机绕组.....	(70)
2.2 交流绕组的电动势.....	(81)
2.3 交流绕组的磁动势.....	(89)
小结	(97)
思考题与习题	(98)
第 3 章 同步电机	(100)
3.1 同步发电机的工作原理和结构	(100)
3.2 同步发电机的运行原理	(107)
3.3 同步发电机的并联运行	(119)
3.4 同步发电机的异常运行与突然短路	(128)
小结.....	(140)
思考题与习题.....	(141)
第 4 章 异步电动机	(143)
4.1 异步电动机的基本知识	(143)

4.2 异步电动机的运行分析	(153)
4.3 异步电动机的电力拖动	(169)
小结	(197)
思考题与习题	(200)
第5章 直流电机	(203)
5.1 直流电机的工作原理与结构	(203)
5.2 直流电机的电枢绕组	(213)
5.3 直流电机的电枢反应	(222)
5.4 直流电机的电枢电动势与电磁转矩	(226)
5.5 直流发电机	(230)
5.6 直流电动机	(233)
小结	(235)
思考题与习题	(236)
第6章 控制电机	(238)
6.1 伺服电动机	(238)
6.2 测速发电机	(242)
6.3 步进电动机	(248)
小结	(250)
思考题与习题	(251)
参考文献	(253)

第0章 绪 论

0.1 电机的定义和分类

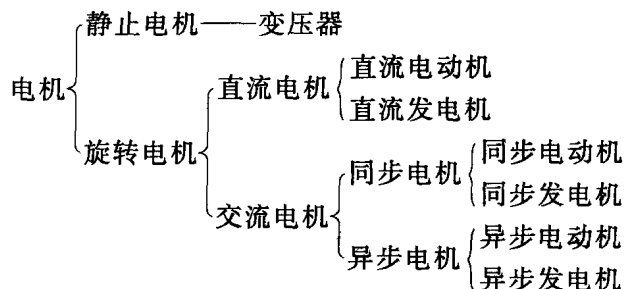
1. 电机的定义

电机是进行电能的传递或机电能量转换的设备。它以电磁感应和电磁力定律为基本工作原理,是工业、农业、交通运输业和家用电器等各个行业的重要设备,对国民经济的发展起着重要作用。

电机只能转换或传递能量,它本身并不是能源。所以,电机在能量转换过程中必须保持能量守恒原则,也就是说,电机要输出能量一定要先给电机输入能量,它不能自行产生能量。

2. 电机的分类

在实际生产应用中,有许许多多各种类型的电机,这些电机可以按不同的方法进行分类。例如,按电流的种类可分为交流电机和直流电机;按电机的职能可分为变压器、发电机、电动机和控制电机。现将主要应用的各种电机,归纳如下。



0.2 电机的作用

电能是现代生产和人们生活最主要的能源,而电能的生产、输送、转换及使用过程中的核心设备就是电机,因此电机的应用非常广泛。

发电机的作用是把机械能转换成电能,即发电;变压器的作用是升高或降低电压,实现电能的传递;电动机的作用是把电能转换成机械能,拖动各种生产机械设备运转。可见,变压器和发电机是电力工业的主要设备,而各类电动机则是工业企业中,用以拖动各类机械设备的动力之源。另外,各种微特电机广泛地应用在自动控制

领域;作为检测、转换、执行等元件。

0.3 电机的发展概况

蒸汽机的发明启动了 18 世纪第一次产业革命,人类社会由此进入“蒸汽时代”。19 世纪末到 20 世纪上半叶,电机技术等新技术又引发了第二次产业革命,使人类社会进入了“电气时代”。1831 年,法拉第发现了电磁感应现象,为电机的产生奠定了基础;1933 年,楞次证明了可逆原理;1889 年,多里·多勃罗沃尔斯基提出三相制,设计和制造了第一台三相变压器和三相异步电动机。从此以后,电机技术不断发展和完善,随着冷却技术、材料性能不断改进,电机的容量也不断增大,性能不断提高,应用日益广泛。20 世纪下半叶的信息技术引发了第三次产业革命,使生产和消费从工业化向自动化、智能化时代转变,这一切又推动了新一代高性能电机驱动系统与伺服系统的研究与发展。

0.4 本课程的性质和内容

本课程是发电厂及电力系统、小型水电站及电力系统等专业的一门主干课程。它既是一门基础课,又是一门专业课。因为它既是后续专业课学习的基础,又是学生今后工作中的重要设备对象。

本课程的内容主要包括直流电机、变压器、异步电机、同步电机的基本结构、工作原理、电磁过程、基本方程式、等效电路及相量图等内容,使学生学会利用基本方程式、等效电路及相量图对电机进行分析计算,解决电机实际运行中遇到的各种问题,并在实践环节使学生了解电机的实验方法与发展方向。

0.5 本课程的特点及学习方法

本课程既是一门理论性很强的专业基础课,又带有专业课的性质,不仅有理论的分析推导、电磁的抽象描述,还要用理论知识去分析工程实际问题。

本课程在学习过程中要注意以下学习方法。

(1) 注意对基本原理的掌握和基本概念的理解。

(2) 本书每章的小结中均列出了重点和要点,应注重对这些知识点的学习,建立较系统的知识体系。

(3) 注意进行比较,比如对变压器、异步电机和同步电机的相关比较,可以使我們准确地把握相关基本概念,明确各类电机特点,有利于电机理论的消化与吸收。

(4) 注意与实践的结合,运用相关的知识要点解释和解决具体生产中的电机问题。

0.6 本课程常用的基本定律

1. 全电流定律

电流的周围存在着磁场,即磁场总是伴随着电流而存在,而电流则永远被磁场所包围。

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I$$

电流磁场的方向由安培定则(右手螺旋定则)来判定。

(1)直线电流的磁场:用右手握直导体,拇指的方向指向电流方向,弯曲四指的指向即为磁场方向。

(2)环形电流的磁场:用右手握螺线管,弯曲四指表示电流方向,则拇指所指方向就是磁场方向。

2. 电磁感应定律

无论何种原因使与闭合线圈交链的磁链 ϕ 随着时间 t 变化时,线圈中将会产生感应电动势 e ,即法拉第电磁感应定律。

(1)变压器电动势是指线圈不动,穿过线圈的磁通 Φ 发生变化,这样在线圈内将产生感应电动势,其大小与线圈的匝数和磁通变化率成正比,其方向由楞次定律决定。

对于 N 匝线圈,设通过线圈的磁通量为 Φ ,其感应电动势为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

线圈中感应电动势的大小,取决于线圈中磁通的变化率,而不取决于线圈中磁通本身的大小。

(2)切割(运动)电动势是指磁通不变,线圈上的导体运动,使得穿过线圈的磁通随着时间的变化而变化,此时产生的感应电动势。

对于在磁场中切割磁力线的直导体来说,计算感应电动势的具体公式为

$$e = Blv \sin \alpha$$

式中: B 为线所处磁场的磁通量; l 为切割磁场的导线长度; v 为导线运动的速度; α 为 l 或 v 与磁感线的夹角。

直导体中的感应电动势的方向,可用右手定则来判断,具体方法是:伸平右手,拇指与其余四指垂直,让磁力线穿过手心,当拇指指向表示导体运动方向时,四指的方向便是感应电动势的方向。

3. 电磁力定律

载流导体在磁场中所受的作用力称作电磁力,实验证明,电磁力的大小与导体中

通过的电流强度成正比,与导体的有效长度成正比,并与载流导体所在位置的磁感应强度成正比,即

$$f = Bil$$

在旋转电机中,作用在转子载流导体上的电磁力将使转子受到一个力矩,我们称之为电磁转矩。电磁转矩是电机实现机电能量转换的重要物理量。

载流导体在磁场中所受的作用力的方向与磁力线的方向及电流方向有关,可以用左手定则来判定:将左手伸平,拇指与四指垂直,让磁力线垂直穿过手心,四指指向电流方向,则拇指所指方向就是导体受力方向。

4. 电路定律

(1) 欧姆定律:

$$U = IR$$

(2) 基尔霍夫第一定律(电流定律):

$$\sum I = 0$$

(3) 基尔霍夫第二定律(电压定律):

在电路中,对任一回路,沿回路环绕一周,回路内所有电动势的代数和等于所有电压降的代数和,即

$$\sum e = \sum U$$

5. 磁路及磁路定律

磁场是电机必不可少的工作环境。电流在它周围的空间建立磁场,磁场的分布常用一些闭合的磁力线来描述。

电流流过的路径我们称之为电路,同样,磁力线所经过的路径我们称之为磁路。

磁路欧姆定律

$$\Phi = \frac{Ni}{l/\mu S} = \frac{F}{R_m}$$

它与电路欧姆定律相似,磁通 Φ 相当于电流 i ,磁动势 Ni 相当于电动势 E ,磁阻 R_m 相当于电阻 R 。

$$R_m = l/\mu S$$

可见,当铁芯的几何尺寸一定时,磁导率 μ 越大,则磁阻越小。因此,铁芯的磁阻很小。如果要获得一定的磁通,为了减小磁动势,应尽量选用高磁导率的铁磁材料作铁芯,而且尽可能缩短磁路中不必要的气隙长度,其原因是空气磁导率小,磁阻大。

6. 磁化与磁性材料

当把一根铁棒插入原来不能吸引铁屑的载流线圈中时,我们会发现铁屑被铁棒吸引,这是由于铁棒被磁化的缘故。这种使原来没有磁性的物质具有磁性的过程,称为磁化,凡是铁磁材料都能被磁化。铁磁材料具有如下性质:

- (1) 能被磁体吸引；
- (2) 能被磁化并且有剩磁和磁滞损耗；
- (3) 磁导率不是常数，每种铁磁材料都有一个最大值；
- (4) 磁感应强度有一个饱和值。

铁磁材料有软磁材料、硬磁材料和矩磁材料三种。硅钢片、纯铁属软磁材料，常用来作为电机的铁芯；钨钢、钴钢属硬磁材料，常用来作为各式永久磁铁；矩磁材料主要用来做记忆元件，如 Mn-Mg 系常温矩磁铁氧体材料。

第 1 章 变 压 器

变压器是一种静止的电器。它通过线圈间的电磁感应作用,可以把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,以满足高压输电、低压供电和其他用途的需要。

变压器种类很多,但各种变压器的基本工作原理是相同的,只是加上某些约束条件而已。本章主要叙述电力变压器的工作原理、分类、结构和运行分析。

1.1 变压器的基本知识和结构

1.1.1 变压器的基本知识

1. 变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理工作的,图 1-1 所示为其工作原理示意图。在一个闭合的铁芯上套有两个绕组,这两个绕组具有不同的匝数且互相绝缘,两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系。其中,接于电源侧的绕组称为原绕组或一次绕组,一次绕组各量用下标“1”表示;用于接负载的绕组称为副绕组或二次绕组,二次绕组各量用下标“2”表示。

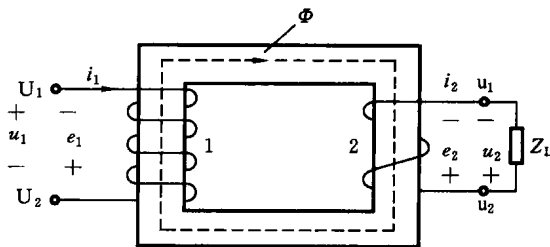


图 1-1 变压器工作原理示意图

若将绕组 1 接到交流电源上,绕组中便有交流电流 i_1 流过,在铁芯中产生交变磁通 Φ ,与一、二次绕组同时交链,分别在两个绕组中感应出同频率的电动势 e_1 和 e_2 。

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中： N_1 ——一次绕组匝数；

N_2 ——二次绕组匝数。

若把负载接于绕组 2，在电动势 e_2 的作用下，电流 i_2 将流过负载，就能向负载输出电能，即实现了电能的传递。

由式(1-1)可知，一、二次绕组感应电动势的大小正比于各自绕组的匝数，而绕组的感应电动势又近似等于各自的电压，因此，只要改变一次或二次绕组的匝数，就能达到改变电压的目的，这就是变压器的变压原理。

2. 变压器的应用与分类

1) 变压器的应用

在电力系统中，变压器是输配电能的主要电气设备，其应用如图 1-2 所示。

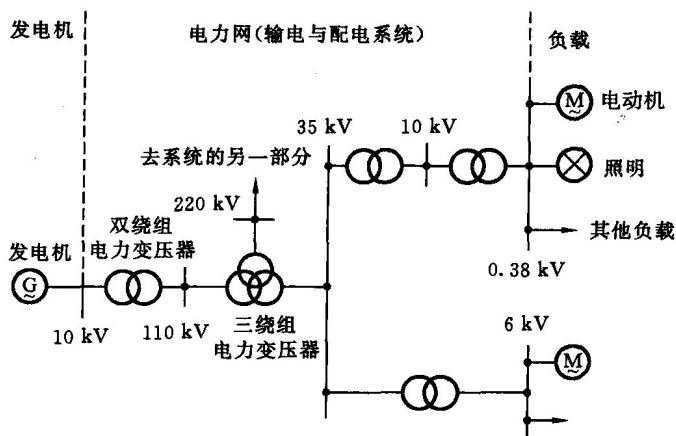


图 1-2 变压器在电力系统中的应用

发电机输出的电压，由于受发电机绝缘水平的限制，通常为 6.3 kV、10.5 kV，最高不超过 27 kV。采用这样低的电压进行远距离输电是有困难的，因为当输送一定功率的电能时，电压越低，则电流越大，电能有可能大部分消耗在输电线的电阻上。为此需要采用高压输电，即用升压变压器把电压升高到输电电压，如 110 kV、220 kV 或 500 kV 等，以降低输送电流，从而使线路上的电压降和功率损耗明显减小，也可减少线路用铜量，以节省投资费用。一般来说，输电距离越远，输送功率越大，所要求的输电电压越高。输电线路将几万伏或几十万伏高电压的电能输送到负荷区后，由于受用电设备绝缘及安全的限制，需要将高电压降低到适合于用电设备使用的较低电压。通常，大型动力设备采用的电压为 6 kV 或 10 kV，小型动力设备和照明的电压则为 380/220 V。所以在供、用电系统中需要大量的降压变压器，将输电线路输送的高电压转换成各种不同等级的低电压，以满足各类负荷的需要。在电力系统中，变压器的安装容量可达发电机总装机容量的 6~8 倍，对电力系统有着极其重要的意义。

用于电力系统升、降电压的变压器称为电力变压器。另外,变压器的用途还有很多,如测量系统中的仪用互感器、实验室调压用的自耦调压器等。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,也得到十分广泛的应用。

2) 变压器的分类

为了适应不同的使用目的和工作条件,通常对变压器按用途、绕组数目、相数、铁芯结构、调压方式和冷却方式等进行类别划分。

(1)变压器按用途可分为电力变压器和特种变压器。电力变压器又分为升压变压器、降压变压器、配电变压器和联络变压器等;特种变压器又分为试验用变压器、仪用变压器、电炉变压器、电焊变压器和整流变压器等。

(2)变压器按绕组数目可分为单绕组(自耦)变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器。

(3)变压器按相数可分为单相变压器、三相变压器和多相变压器。

(4)变压器按铁芯结构可分为心式变压器和壳式变压器。

(5)变压器按调压方式可分为无励磁调压变压器和有载调压变压器。

(6)变压器按冷却介质和冷却方式可分为干式变压器、油浸变压器(包括油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式、强迫油循环导向冷却式)和充气式冷却变压器。

1.1.2 变压器的基本结构

变压器的基本结构部件有铁芯、绕组、油箱、冷却装置、绝缘套管和保护装置等,如油浸电力变压器结构示意图如图 1-3 所示。

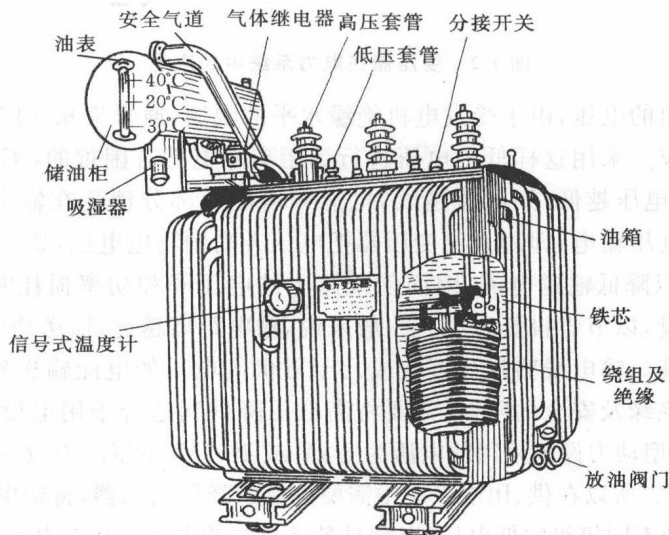


图 1-3 油浸电力变压器结构示意图

1. 铁芯

铁芯是变压器的主要磁路,也是它的支撑骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成,铁芯柱上套装绕组,铁轭的作用则是使整个磁路闭合。为了提高磁路的导磁性能,减少铁芯中的磁滞和涡流损耗,铁芯用 0.35 mm 厚、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。

叠片式铁芯的结构型式有心式和壳式两种。心式铁芯结构的变压器,其铁芯被绕组包围着,如图 1-4 所示。心式变压器结构简单,绕组的装配及绝缘设置也较容易,国产电力变压器铁芯主要采用心式结构。壳式铁芯结构的变压器,它的特点是铁芯包围线圈,如图 1-5 所示。壳式变压器的力学强度好,但制造复杂、铁芯材料消耗多,只在一些特殊变压器(如电炉变压器)中采用。

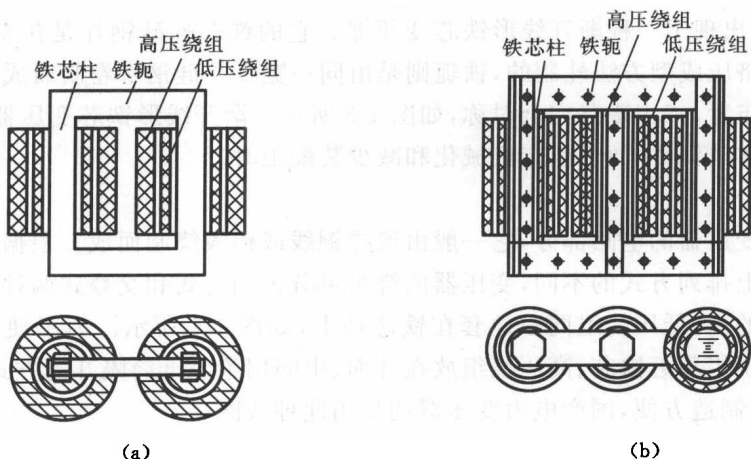


图 1-4 心式变压器结构示意图

(a) 单相; (b) 三相

叠片式铁芯的装配,一般均采用交迭式叠装,使上、下层的接缝错开,减小接缝间隙以减小励磁电流。当采用冷轧硅钢片时,由于冷轧硅钢片顺碾压方向的导磁系数高、损耗小,故用斜切钢片的叠装方法,如图 1-6 所示。

叠装好的铁芯,其铁轭用槽钢(或焊接夹)及螺杆固定。铁芯柱则用环氧无纬玻璃丝粘带绑扎。铁芯柱的截面在小容量变压器中常采用方形或矩形,大型变压器为充分利用线圈内圆空间而常采用阶梯形截面,如图 1-7 所示。当铁芯柱直径超过 380 mm 时,还应设有冷却油道。铁轭的截面有矩形及阶梯形的,铁轭的截面通常比铁

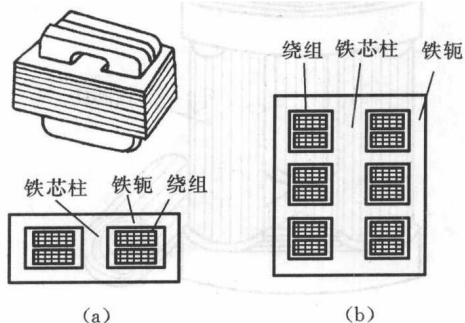


图 1-5 壳式变压器结构示意图

(a) 单相; (b) 三相

芯柱的大5%~10%，以减少空载电流和损耗。

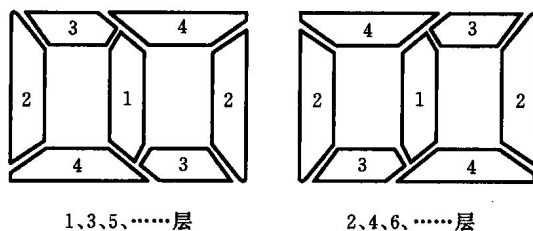


图 1-6 斜切钢片的叠装法

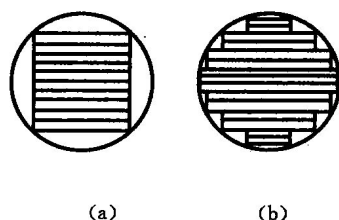


图 1-7 铁芯柱截面

近年来,出现了一种渐开线形铁芯变压器。它的铁芯柱硅钢片是在专门的成型机上采用冷挤压成型方法轧制的,铁轭则是由同一宽度的硅钢带卷制而成,铁芯柱按三角形方式布置,三相磁路完全对称,如图 1-8 所示。渐开线形铁芯变压器的主要优点是可以节省硅钢片,便于生产机械化和减少装配工时。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,它一般由绝缘铜线或铝线绕制而成。根据高、低压绕组在铁芯柱上排列方式的不同,变压器的绕组可分为同心式和交叠式两种。

同心式的高、低压绕组同心地套在铁芯柱上,如图 1-4 所示。为了便于绝缘,通常采用低压绕组靠近铁芯、高压绕组放在外面、中间用绝缘纸筒隔开的方式。这种绕组结构简单,制造方便,国产电力变压器均采用此种线圈。

交叠式绕组的高、低压绕组交替地套在铁芯柱上,如图 1-9 所示。这种绕组都做成饼式,高、低压绕组之间的间隙较多,绝缘比较复杂,但这种绕组漏电抗小,引线方便,力学强度好,主要用在电炉和电焊等特种变压器中。

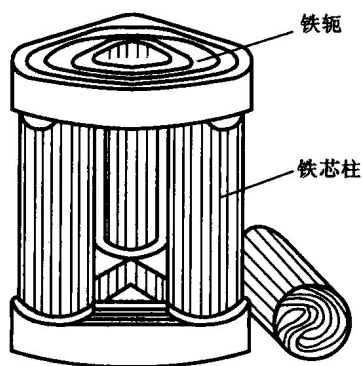


图 1-8 渐开线形铁芯

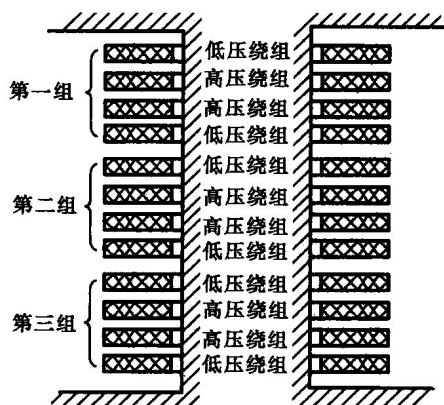


图 1-9 交叠式绕组

3. 油箱和冷却装置

油浸变压器的器身浸在充满变压器油的油箱里。变压器油既是绝缘介质,又是冷却介质,它通过受热后的对流,将铁芯和绕组的热量带到箱壁及冷却装置,再散发到周围空气中。

油箱的结构与变压器的容量、发热情况密切相关。变压器的容量越大,发热问题就越严重。在小容量变压器中采用平板式油箱;容量稍大的变压器采用排管式油箱,在油箱侧壁上焊接许多冷却用的管子,以增大油箱散热面积。当装设排管不能满足散热需要时,则先将排管做成散热器,再把散热器安装在油箱上,这种油箱称为散热器式油箱。此外,大型变压器还采用强迫油循环冷却等方式,以增强冷却效果。强迫油循环的冷却装置称为冷却器,不强迫油循环的冷却装置称为散热器。

为了检修方便,当变压器自重大于 15 t 时,通常将变压器油箱做成钟罩式油箱,检修时只需把上节油箱吊起,避免了必须使用重型起重设备的麻烦。图 1-10 所示为器身检修时的起吊状况。

4. 绝缘套管

变压器绝缘套管是将线圈的引出线对地(外壳)绝缘,又担负着固定引线的作用。套管大多数装于箱盖上,中间穿有导电杆,套管下部伸进油箱,导电杆下端与绕组引线相连,套管上部露出箱外,导电杆上端与外电路连接。

套管的结构型式,主要取决于电压等级。1 kV 以下采用纯瓷套管,10~35 kV 采用空心充气或充油套管,110 kV 以上采用电容式套管。为增加表面放电距离,高压绝缘套管外部做成多级伞形。图 1-11 所示为 35 kV 充油式绝缘套管的结构示意图。

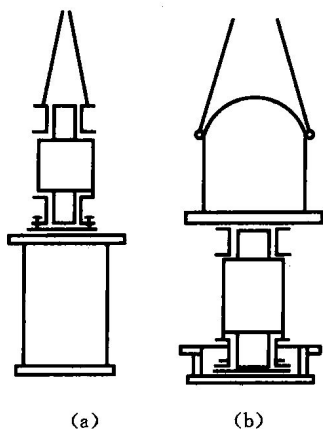


图 1-10 器身检修时的起吊
(a) 吊器身; (b) 吊上节油箱

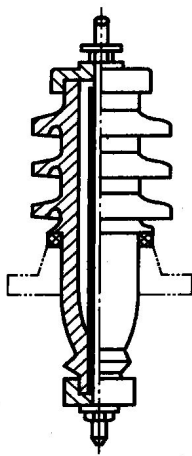


图 1-11 35 kV 充油式绝缘套管
结构示意图

5. 分接开关

分接开关是用于改变高压绕组的匝数,从而调整电压比的装置。双绕组变压器的一次绕组及三绕组变压器的一、二次绕组一般都有 3~5 个分接头,相邻分接头的匝数相差 $\pm 5\%$,多分接头的变压器相邻分接头的匝数相差 $\pm 2.5\%$ 。

分接开关的操作部分装于变压器顶部,经传杆伸入变压器油箱内,以改变接头位置。分接开关可分为两种:一种是无载分接开关;另一种是有载分接开关。后者可以在带负荷的情况下进行切换和调整电压。

6. 保护装置

1) 储油柜

储油柜又称油枕,它是一种油保护装置,水平地安装在变压器油箱盖上,用弯曲连管与油箱连通,柜内油面高度随变压器油的热胀冷缩而变动。储油柜的作用是保证变压器油箱内充满油,减少油和空气的接触面积,从而降低变压器油受潮和老化的速度。

2) 吸湿器

吸湿器又称呼吸器,可通过它使大气与油枕内连通。吸湿器内装有硅胶或活性氧化铝,用于吸收进入油枕中空气的水分,防止油受潮,从而使变压器保持良好性能。

3) 安全气道和压力释放阀

安全气道又称防爆筒,装于油箱顶部,如图 1-3 所示。它是一个长钢圆筒,上端口装有一定厚度的玻璃板或酚醛纸板,下端口与油箱连通。它的作用是当变压器内部因发生故障引起压力骤增时,让油气流冲破玻璃或酚醛纸板喷出,以免造成箱壁爆裂。现在改用压力释放阀,尤其是在全密封变压器中,都已广泛采用压力释放阀作为保护装置。动作时膜盘被顶开释放压力,平时膜盘靠弹簧拉力紧贴阀座(密封圈),起密封作用。

4) 净油器

净油器又称热虹吸净油器,它是利用油的自然循环,使油通过吸附剂进行过滤,以改善运行中变压器油的性能。

5) 气体继电器

气体继电器又称瓦斯继电器,它装在油枕和油箱的连通管中间,如图 1-3 所示。当变压器内部发生故障(如绝缘击穿、匝间短路、铁芯事故等)产生气体时,或油箱漏油使油面降低时,气体继电器动作,发出信号以便运行人员及时处理;若事故严重,可使断路器自动跳闸,对变压器起保护作用。

此外,变压器还有测温及温度监控装置等。

1.1.3 变压器的铭牌

每台变压器上都装有铭牌,在铭牌上标明了变压器工作时规定的使用条件,主要