

高等学校教学用书

电机学

GAODENG XUEXI

冶金工业出版社

高等学校教学用书

电 机 学

北京科技大学 牛秀岩 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

电机学

北京科技大学 牛秀岩 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街崇文门北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 16 3/4 字数 399千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数00,001~5,500册

ISBN 7-5024-0716-2

TP·36 (课) 定价3.30元

前 言

本书系根据高等院校工业电气自动化专业“电机学”课程教学大纲和教学基本要求编写的。为适应高等院校学生自学的需要，编者以‘少而精’为原则，力求做到由浅入深、重点突出、概念清楚。

全书共分五章，内容为变压器、交流电机基础、三相交流异步电动机、三相交流同步电动机及直流电机。针对后续课程“电力拖动”教学的有关要求，书中以电动机为中心，阐明其基本结构、工作原理、不同运转状态的电磁物理过程及能量关系。结合“控制”及“供电”课程的需要，也介绍了特殊变压器和变压器的过渡过程。在对交流电机基础的电势、磁势的分析中，强调物理概念的理解，从而避免了过多的解析推导。本书各章均有小结并附有相当数量的思考题和习题。

本书的编写顺序，首先介绍变压器。作为静止的电能量转换设备，变压器的结构比较简单，其原理基于电磁感应及交流电路的基本理论，与“电路”课程的衔接也较密切。通过对变压器的分析，易于掌握磁路、磁饱和、磁势平衡等“电机学”分析中抽象的但又是十分重要的基本概念。考虑到传统的从直流电机开始的教学方法，本书直流电机一章的编写，不受前几章内容衔接的限制，即在讲授顺序上，亦可从直流电机开始。

本书可作为高等院校工业电气自动化专业的本科生、函授本科生及职工大学有关专业的教材，也可供电视大学和从事电气传动自动控制工作的工程技术人员参考。

本书由北京科技大学自动化系电气传动教研室组织编写。参加编写工作的有周文凯（第一章）、阎延生（第二章）、白尔清（第四章）、孙思先（第五章）、牛秀岩（绪论及第三章），由牛秀岩担任主编。在编写过程中，参阅了很多作者编著的有关书籍（详见参考文献），在此一并表示衷心感谢。

武汉钢铁学院、唐山工程技术学院、天津大学冶金分校、北方工业大学、武汉钢铁公司职工大学等院校工业电气自动化专业的有关同志曾审阅了本书原稿并提出了中肯的修改意见，在此谨致衷心的感谢。

限于编者学识水平，书中缺点错误及不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1989年9月

目 录

绪论	1
0.1 电机的应用及其分类	1
0.2 电机发展概况	2
0.3 电机理论中的基本电磁定律	2
0.4 本课程的性质和要求	7
1. 变压器	8
1.1 概述	8
1.2 变压器的空载运行	15
1.3 变压器的负载运行	25
1.4 变压器参数的试验测定	37
1.5 变压器的运行特性	41
1.6 变压器的标么值	47
1.7 三相变压器	50
1.8 其它用途的变压器	69
1.9 变压器的并联运行	75
1.10 变压器的过渡过程	78
小结	85
思考题与习题	86
2. 交流电机基础	90
2.1 概述	90
2.2 旋转磁势	91
2.3 交流电机的三相绕组	96
2.4 交流绕组的感应电势	101
2.5 交流绕组的磁势	106
附录 短距系数和分布系数	113
小结	116
思考题与习题	116
3. 异步电动机	118
3.1 概述	118
3.2 三相异步电动机的基本工作原理	123
3.3 异步电动机运行时的电磁关系	126
3.4 异步电动机对称运行的等值电路及相量图	143
3.5 异步电动机的功率和转矩	152

3.6 异步电动机的机械特性	157
3.7 异步电动机的工作特性	160
3.8 异步电动机的参数测定	161
小结	165
思考题与习题	166
4. 同步电动机	169
4.1 概述	169
4.2 同步电动机的电枢反应	171
4.3 隐极同步电动机的电压方程式、相量图和等值电路	177
4.4 凸极同步电动机的电压方程式、相量图和等值电路	179
4.5 同步电动机的功角特性和矩角特性	185
4.6 同步电动机的运行特性	192
4.7 同步电动机的起动	195
小结	198
思考题与习题	198
5. 直流电机	200
5.1 直流电机的工作原理	200
5.2 直流电机的结构和额定数据	203
5.3 直流电机的空载磁场	208
5.4 直流电机的电枢绕组和感应电势	211
5.5 直流电机负载时的磁场	222
5.6 直流发电机	228
5.7 直流电动机	238
5.8 直流电机的换向	248
小结	256
思考题与习题	258
参考文献	261

绪 论

0.1 电机的应用及其分类

电能因易于转换、传输、分配与控制，是现代能源的主要形式。所以，与电能密切关联的电机，不仅是工业、农业、交通运输业中的重要设备，而且在国民经济其它部门中也占有一定地位。

一般认为，电机是指电能与机械能或电能与电能相互转换的设备。前者即旋转电机，包括发电机和电动机；后者即变压器。作为电源，可利用发电机将机械能转变为电能。为了经济地传输分配电能到各用户，还须用变压器将某一电压的交流电能转换为另一电压的同频率的电能。在各种工业企业中，则广泛应用各种电动机驱动生产机械，如机床、电铲、高炉运料装置、轧钢机、起重机、水泵、鼓风机以及纺织、造纸等机械。近年来，随着农业技术的不断进步，电机在农业上的应用也日益增多。在交通运输业中，随着城市电气交通事业和电气铁路的发展，大量的具有优良起动和调速性能的牵引电动机取代了其它形式的原动机械。在航运和航空事业中，也装备了很多具有特殊性能的船舶电机和航空用电机。此外，在国防、文教、医疗等领域以至日常生活里，电机的应用也十分普遍。

电机之所以获得如此广泛的应用，是与其所具有的优点分不开的。概括来说，即

- 1) 电机中能量的转换，主要以电磁场为媒介，其运行效率高；
- 2) 电机可通过不同的设计，使之具有不同性能，满足不同类型生产机械要求的多品种、多规格型号，产品易于系列化；
- 3) 电机的起动、制动、反向、调速等控制简易，反应迅速，可实现完善的保护；
- 4) 电机的运行状态易于检测，并可将检测信号输入反馈控制系统，利于实现生产过程的自动控制和集中管理。

从工业电气自动化专业的技术要求来看，可以说，以电机为原动机械已成为现代工业生产电气化与自动化的标志之一。随着自动控制系统的不断完善，功率半导体器件的广泛应用，数控技术和电子计算机技术的发展，电机拖动系统的静态和动态品质已有显著的提高，能满足生产工艺过程的要求。这对提高劳动生产率 and 产品质量，改善工人的劳动条件，都具有十分重要的意义。同时，也为电机的应用领域描绘出更加广阔的前景。

电机主要是用作能量变换的机器，属于机电能量变换装置。按照能量变换的方式不同，可分为两大类：一类是将机械能转换为电能的发电机；另一类是将电能转换为机械能的电动机。此外，还有将某一电压的电能变换为另一种电压的电能的变压器。它们同属于动力设备。由于近代工业企业生产过程自动化程度的不断提高，又出现了作为自动化系统的检测或控制元件的控制电机。但限于篇幅，本书对控制电机不作介绍。

从另一种观点来看，即依据电机所采用的电流种类来划分，又可将其分为直流电机和交流电机两大类。其中交流电机按其作用原理，可分为变压器、异步电机和同步电机等。

0.2 电机发展概况

电机是随着生产技术的不断提高而产生和发展的。电机的发展又推动了社会生产力的长足进步。十九世纪三十年代就出现了直流电机的雏形，但因其用伏打电池作为电源，所以很不经济。此后，经过三、四十年的生产实践，直流电机的结构不断取得重大的改进。到了十九世纪七十年代，直流电机已具有现代电机的基本结构型式，并有了日益广泛的应用。但随之也暴露出它所存在的重大缺点，如远距离输电要求把电压升得很高，直流发电机很难满足这一要求。直流电机的单机容量不能很大，换向器的运行也不够可靠等，使人们逐渐加强了对交流电机的研究。到了1889年，出现了三相交流电力系统，并且造出了三相异步电动机和三相变压器。由于三相交流系统具有明显的优点（如利于电能的传输和分配，交流电机结构简单，制造维护简易等），不久就占据了主导地位。此后，从十九世纪末至二十世纪初这一时期，大型的交流发电站也得到了相应的发展，并使交流电的频率逐渐趋于统一。欧洲及其它大多数国家采用50Hz作为标准频率，而美国等少数国家则采用了60Hz。在以后的年代里，为适应不同生产的特殊需要，研制了多种类型的电机，并逐步建立了电机的基本理论和设计计算方法。

二十世纪以来，电机更有了进一步的发展，对电机提出了成本低、重量轻、尺寸小、单机容量大、性能好、用途广等多方面的要求。由于导磁材料、绝缘材料的改进，使电机的结构更为紧凑，性能更为优异。对电机的电磁、热、机械及其它过程方面的理论和实验研究，可控硅功率变换装置的推广使用，电力电子学的飞跃发展，不仅对电机性能的分析提出了新的课题，也为新型电机的研制指出了方向。

新中国成立以来，我国的电机工业已取得了巨大成绩。在旧中国电机工业残缺不全的基础上，从无到有，从小到大，从修配到仿制，从仿制到自行设计制造，从不成套到成套，基本上形成了完整的体系，而且某些产品已经达到世界先进水平。在大型电机、变压器的生产方面，在中小型电机及控制电机的设计及工艺方面，均有不少创新。近年来，国产直流电机的单机容量已达6000kW（1000V）、交流电机的单机容量已达300,000kW（10500V），在小型通用交流电动机方面已研制出符合国际标准的Y系列新型电机。随着新原理、新技术、新材料、新工艺的开发利用，我国电机制造业及在该领域里的理论和实验研究，将会取得更快的进展。

0.3 电机理论中的基本电磁定律

电机的理论分析建立在全电流定律、电磁感应定律、电路定律和电磁力定律等基础上。为了更好地理解电机原理，对这些基本电磁定律予以说明是十分必要的。

0.3.1 全电流定律

设空间有N根载流导体（图0-1），环绕载流导体的任一磁通闭合回路中，磁场强度的切向分量沿该回路的线积分等于该回路所包围的电流代数之和，即

$$\oint H dl = NI \quad (0-1)$$

式中 H ——沿该回路上各点切线方向的磁场强度分量；

I ——每根导体中的电流，电流的正负号这样确定：凡导体电流方向与积分路径方向符合右手螺旋关系，则电流为正，反之为负。

上式表明，该磁场强度沿闭合回路的线积分，其结果与积分路径无关。因此

$$\oint_l H dl = \oint_{l'} H' dl' = NI \quad (0-2)$$

NI 称为该磁路的磁动势，简称磁势。

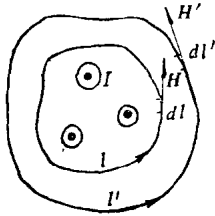


图 0-1

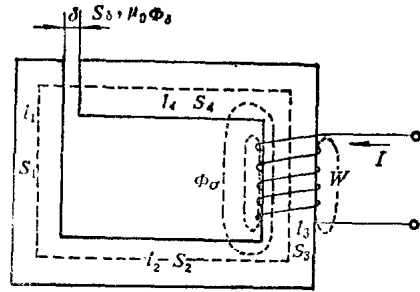


图 0-2

全电流定律是电机和变压器磁路计算的基础。若磁路由不同的材料或不同长度和载面积的数段组成的（参见图0-2），则全电流定律可表示为

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4 + H_\delta \delta = \sum(Hl) = NI \quad (0-3)$$

式中 $H_1 l_1, H_2 l_2, \dots$ ——磁路各段的磁压降；

$l_1, l_2, \dots$ ——磁路工程计算的平均长度；

δ ——空气隙长度。

有效导体数 N 可用线圈匝数 W 表示。因此，磁势 F 可记作线圈匝数乘以电流，即

$$F = W I = NI$$

从物理学可知：磁场强度 H 与磁感应强度 B 及磁导率 μ 的关系为

$$H = \frac{B}{\mu}$$

工程上常将磁感应强度 B 表示为单位面积的磁通量，称为磁通密度，简称磁密

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

式中 Φ 为磁路磁通量， S 为磁路截面积。这样， H 可由下式计算

$$H = \frac{\Phi}{\mu S}$$

代入式0-3，有

$$\frac{l_1}{\mu_1 S_1} \Phi + \frac{l_2}{\mu_2 S_2} \Phi + \frac{l_3}{\mu_3 S_3} \Phi + \frac{l_4}{\mu_4 S_4} \Phi + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta} \Phi = W I = F \quad (0-4)$$

磁力线总是闭合的，这一现象称为磁通连续性。事实上，由于漏磁通 Φ_σ 的存在，磁路中各截面的磁通量并不相等，而且各段铁芯的饱和程度不同，其相应的磁导率也不相同。

类比电阻的计算式，可定义磁路的磁阻

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

则式0-4，可写作

$$R_{m1}\Phi_1 + R_{m2}\Phi_2 + R_{m3}\Phi_3 + R_{m4}\Phi_4 + R_{m\delta}\Phi_\delta = WI = F$$

一般情况下，铁芯的磁导率比空气的要大得多，所以其磁阻甚小。这就是说，磁势的绝大部分消耗在空气隙的磁阻上。由此可见，在电机中，气隙虽然很小，但其磁阻很大，通常约占磁路总磁阻的70~80%。当粗略地估算时，可认为

$$R_{m\delta}\Phi_\delta \approx F \quad (0-5)$$

式中 Φ_δ 为空气隙中磁通量，而

$$R_{m\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}$$

为空气隙磁阻， δ 、 S_δ 分别为空气隙长度及截面积，空气磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。

式0-5与电路的欧姆定律 $RI=U$ 类比，称为磁路的欧姆定律。

0.3.2 电磁感应定律

如图0-3a所示，当与线圈 AA' 交链的磁通 ϕ 发生变化时，在该线圈中将产生与磁通对时间的变化率成比例的电势 e ，若线圈匝数为 W ，则

$$e = -W \frac{d\phi}{dt} \quad (0-6)$$

设 e 与 ϕ 的参考方向满足右手螺旋定则，参见图0-3b，当 ϕ 增加时，线圈中感应电势的实际方向与所设正方向相反，具有反抗磁通变化的趋势，故上式应取负号。

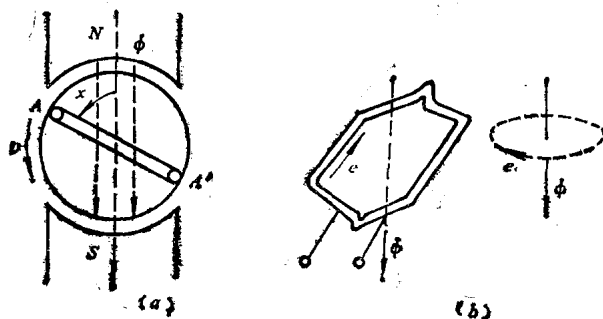


图 0-3 电磁感应定律

一般情况下，磁通 ϕ 是时间 t 和线圈对磁场相对位移 x 的函数，即 $\phi = f(t, x)$ 。因此，将式0-6展开，得到

$$e = -W \frac{d\phi}{dt} = -W \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} \right) \quad (0-7)$$

上式中 e 包括两部分，若 $\frac{dx}{dt} = 0$ ，则

$$e_b = -W \frac{\partial \phi}{\partial t} = -W \frac{d\phi}{dt} \quad (0-8)$$

e_b 称为变压器电势，一般变压器的工作原理就基于此，即线圈位置不动，而链绕线圈的磁通量对时间发生变化。

若式 0-7 中 $\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$, 则

$$e_v = -W \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} = -W \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot v \quad (0-9)$$

e_v 称为速度电势, 一般电机就是根据这个原理构成的, 即可使磁场的大小及分布不变, 仅靠磁场与线圈有相对位移来产生变化磁通和感应电势并进行能量变换。

为了分析方便, 对于速度电势也常计算一根导体在磁场中运动的感应电势, 参见图 0-4a, 单根导体 A 的感应电势为

$$e_v = B_x l v \quad (0-10)$$

式中 B_x —— 导体所在位置的磁通密度;
 l —— 导体的有效长度;
 v —— 导体在垂直于磁力线方向上的运动速度。

这时感应电势的方向可依照右手定则确定: 用手掌对着 N 极磁通, 拇指表示导体相对于磁场的运动方向, 而四指表示感应电势的方向, 如图 0-4b 所示。显然, B_x 、 v 、 e 三者空间方向应相互垂直。

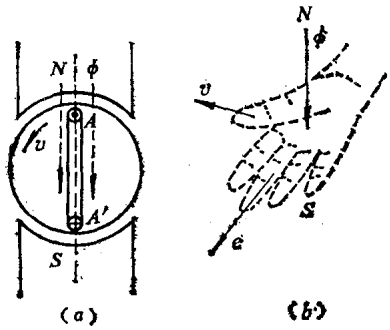


图 0-4 一根导体的感应电势

0.3.3 电路定律

电路定律系指基尔霍夫电流定律及电压定律, 即

$$\begin{aligned} \sum i &= 0 \\ \sum e &= \sum u \end{aligned}$$

电压定律表明: 任一电路中, 沿某一方向环绕回路一周, 该回路内所有电势的代数和等于所有电压降的代数和。回路中各个电量的正负号这样来确定: 先规定电流、电势和电压的参考方向, 然后选定环绕回路一周的参考方向; 凡是各电量的参考方向与环绕方向一致的取正号, 反之则取负号。

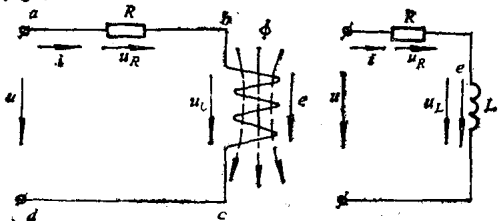


图 0-5 电路定律的应用

以图0-5所示电路为例，线圈 W 中有对时间变化的磁通 ϕ ，线圈中将感应电势 e ，若各电量设定的参考方向如图，沿 $abcd a$ 环绕一周时，可列出回路方程为

$$e = u_R - u \quad (0-11)$$

式中 $u_R = Ri$ ，为电阻压降，其方向与电流参考方向一致。

感应电势

$$e = -W \frac{d\phi}{dt}$$

因为 i 与 ϕ 两者方向满足右手螺旋定则，而 e 的参考方向与 ϕ 的参考方向亦遵循上述定则，所以上式中取负号。将 e 的表达式代换，有

$$e = -W \frac{d\phi}{di} \cdot \frac{di}{dt} = - \frac{d\psi}{di} \frac{di}{dt}$$

式中 $d\psi = W d\phi$ ，即 $\psi = W\phi$ ，称为线圈的磁链。根据电路分析可知，自感系数

$$L = \frac{d\psi}{di}$$

则

$$e = -L \frac{di}{dt} = -u_L$$

将 u_R 、 e 的表达式代入式0-11，可得

$$u = u_R - e = u_R + u_L = Ri + L \frac{di}{dt}$$

由上可见，感应电势的参考方向应理解为从低电位指向高电位即电位升高的方向；电压的参考方向应理解为从高电位指向低电位即电位降低的方向。这一不同点应予特别注意。

0.3.4 电磁力定律

通以电流为 i 的导体在磁场中将受到电磁力的作用，若磁场与导体相互垂直（参见图0-6a），则力 f 的大小为

$$f = B_x li$$

式中 B_x ——导体所在位置的磁通密度；

l ——导体的有效长度；

i ——导体中电流强度。

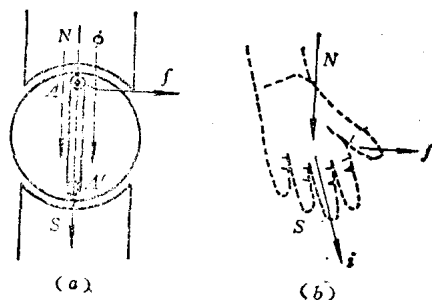


图 0-6 电磁力方向的确定

电磁力的方向可由左手定则确定：用手掌对着 N 极磁通，四指表示电流的方向，而拇指则表示电磁力的方向，如图0-6b所示。显然， B_z 、 i 、 f 三者空间方向应相互垂直。

0.4 本课程的性质和要求

“电机学”属于工业电气自动化专业的技术基础课程。其主要内容为动力用电机，包括变压器、交流异步电动机、同步电动机和直流电机，分别讨论其基本结构、工作原理、内部电磁耦合过程和能量转换的基本特性，从而为后续课程尤其为学习“电力拖动”课程打下必要的理论基础。本课程具有一定的基础性，同时也结合基本理论的阐述，介绍一些在生产实践中分析和处理问题的工程观点和方法。由于电机是各种电力拖动装置的核心部件，通过它才能实现能量的转换和控制，借以满足生产工艺过程的要求，所以本课程侧重于如何正确地使用电机，即是从应用方面来论述其一般原理和运行特性的。

这样说来，本课程也兼有某些专业性。这一点，使其与“电路分析”等基础课程有较大的不同。在“电路分析”课程中，电路元件一般都是理想元件，易于求得数学模型，进而用较严谨的数学方法加以分析，使内容的组织和论述有显著的系统性和一般性；“电机学”内容则不然，由于实际电机中相互制约的因素很多，因此，只能依据一定的条件作必要的简化，找出其中最主要的相关因素，以进行理论分析，其所得结果，已可相当满意地解决工程实际问题。希望在学习本课程时，要逐步地掌握并能动地运用这种工程问题的处理方法。

虽然电机的种类繁多，各具特性，但就其内部电磁联系、机电能量转换关系来看，仍有共性：在工作原理方面，它们都建立在电磁感应定律和电磁力定律的基础上；在能量的转换方面，它们都以磁场为媒介，而且各种电机的定、转子磁势均保持相对静止；在分析方法方面，它们都通过电磁关系的讨论，借以抽象为电路参数，得到基本方程式和等值电路。有了对这种共性的认识，不仅有益于对各种电机的运行原理有深入的了解，也有助于揭示机电能量变换的物理本质。

1 变 压 器

1.1 概 述

1.1.1 变压器的用途

在工业企业以及人们日常生活中，广泛地采用了电力作为能源。电能都是由水电站和火电厂或核电站的发电机直接转化产生的。为了实现电能根据输送距离所需的不同电压等级合理输送，就需要有一种专门改变电压的设备。这种设备就是变压器。

在电力系统中，变压器是一个十分重要的电气设备。我们知道，要将大功率的电能输送到远距离的用电区，只有采用高电压输电才是经济合理的。因为输送一定的电功率，电压愈高，线路中电流愈小，因而在线路上的电压降和功率损耗就愈小。另外，由于线路中

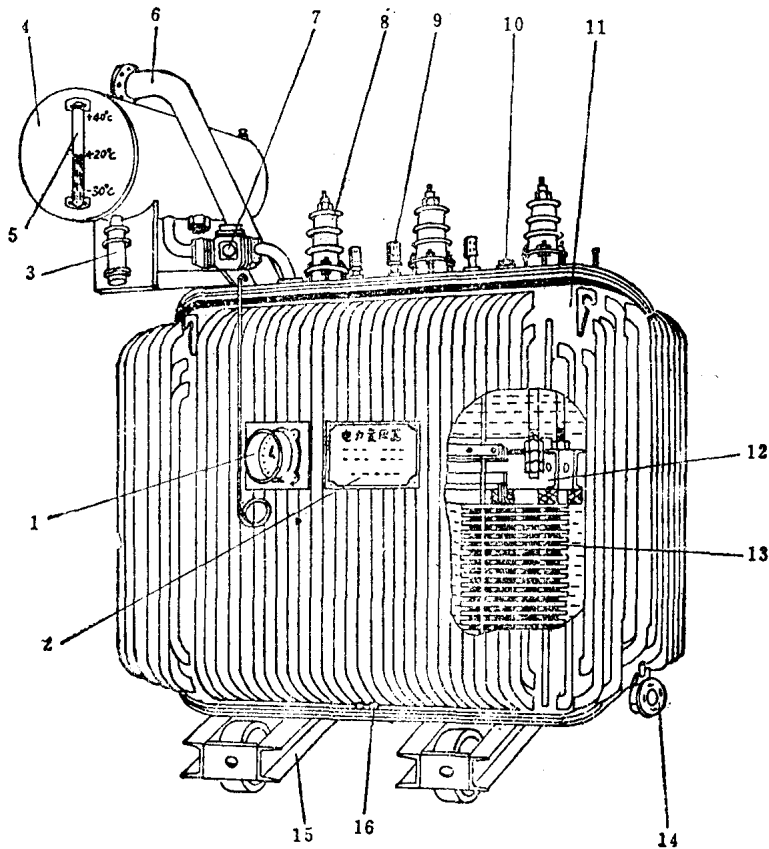


图 1-1 油浸式电力变压器

1—讯号式温度计；2—铭牌；3—吸湿器；4—储油柜；5—油表；6—安全气道；
7—气体继电器；8—高压套管；9—低压套管；10—分接开关；11—油箱；12—铁
芯；13—绕组及绝缘；14—放油阀门；15—小车；16—地线

电流小，则线路上的用铜量也会减少，从而使线路的投资费用减少。

由于发电机受到绝缘结构等条件的限制，发出的电压不可能很高，因此需要将发出的电压升高到输电电压，再把电能输送出去。当电能输送到用电区时，应把输电电压降到配电电压送往各用电区，最后再降到用户电压。所以在从发电厂（站）发出的电能输送到用户的整个过程中，通常需要经过多次变压。可见变压器的可靠安全运行，对电力系统有着十分重要意义。在电力系统中使用的变压器叫做电力变压器，其外形及结构如图1-1所示。

变压器除了应用在电力系统外，还应用在需要特种电源的工业企业中，如供电给电炉、电热、电焊以及整流设备等。

在电力拖动系统和自动控制系统中，变压器作为能量传递或讯号传递的元件，也用得十分广泛。

1.1.2 变压器的简单工作原理

变压器是通过电磁感应原理，把某一种电压等级的交流电能转换成频率相同的另一种电压等级的交流电能的。它是一种静止的能量变换器。

在一个闭合的铁芯上，绕上两个匝数不同的线圈（又称之为绕组），这就构成了一台最简单的单相变压器。

实际上，两个线圈是套在一个铁芯柱上，以增强电磁感应作用。为了画图简明起见，通常把两个线圈画成分别套在铁芯的两边，如图1-2所示。图中与交流电源相联接的线圈称之为原绕组（又称之为原边、初级或一次侧），其匝数为 W_1 ，并以 $A-X$ 表示。另一线圈联接到负载（用电设备）上，称之为副绕组（又称之为副边、次级或二次侧），其匝数为 W_2 ，并以 $a-x$ 表示。

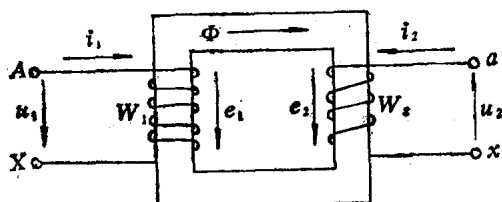


图 1-2 变压器的工作原理图

当原绕组接通交流电源时，在电源电压作用下，原绕组中流过交流电流，并在铁芯中产生交变磁通 ϕ ，其频率和电源电压的频率相同。铁芯中的交变磁通同时交链原、副绕组，从而在原、副绕组中感应出电势。根据电磁感应定律，原、副绕组中的感应电势可表示为

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-2)$$

以后将证明，对于一般的变压器，原绕组感应电势的大小接近于外加电源电压，副绕组感应电势的大小则接近于负载的端电压。于是式1-1和式1-2又可表示成如下形式：

$$u_1 \approx -e_1 = W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-3)$$

$$u_2 \approx -e_2 = W_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (1-4)$$

那么, 不难看到: $\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{W_1}{W_2}$ 。

由此可见, 变压器原、副绕组电势之比以及电压之比都等于原、副绕组匝数之比。只要改变原、副绕组的匝数, 便可达到改变副绕组输出电压的目的。这就是变压器的简单工作原理。

1.1.3 变压器的分类

为了满足不同的使用目的和运行条件, 变压器的类型很多, 而且各种类型的变压器在结构上和性能上的差异较大。

根据变压器的用途, 可分为:

1) 电力变压器 这是目前工农业生产上广泛使用的变压器, 主要用在输电和配电系统中。这类变压器已形成系列并已成批生产。容量从几十千伏安到十多万千伏安以上, 电压等级从几百伏到50kV以上。电力变压器按发电厂和变电所的用途不同, 还可分为升压变压器和降压变压器, 其中电压为400V的降压变压器称之为配电变压器。

2) 供给特殊电源用的变压器 例如电炉变压器, 整流变压器, 各种电焊变压器。

3) 调压变压器 用来调节电网中的电压, 而小容量的调压变压器则常应用在实验室中。

4) 测量变压器 在电力系统中作电压或电流的测量用, 如电压互感器和电流互感器。小容量的互感器在电力拖动自动控制系统中可作电压和电流讯号的检测元件用。

5) 工频试验用高压变压器 这种变压器的二次侧可产生高达百万伏甚至更高的电压, 而电流一般却很小, 只有1A左右。主要作高压电气设备的耐压试验和高电压下物理现象的研究时用。

6) 控制用变压器 在自动控制系统中作小功率变压器用。

7) 其它特殊变压器 如冲击变压器, 隔离变压器, X光变压器, 中频变压器, 无线电用变压器等。

上述各类变压器, 尽管在结构上和工作特性上各有不同点, 但它们的基本工作原理是一致的。本章将着重讨论电力变压器。

根据变压器的本身结构, 可分为:

1) 双绕组变压器 在一个铁芯柱上套有原、副两个绕组。

2) 三绕组变压器 在一个铁芯柱上套有一个原绕组和二副绕组。

3) 自耦变压器 这种变压器的副绕组也是原绕组的一部分, 故在电路上有联系。

在电力系统中应用最多的是双绕组变压器。当需把三种电压等级的电网联接在一起时, 就要应用容量较大的三绕组变压器。

根据相数来分, 则有:

- (1) 单相变压器 原绕组接单相交流电源，副绕组输出单相交流电压。
- (2) 三相变压器 原绕组接三相交流电源，而副绕组输出三相交流电压。
- (3) 多相变压器 原绕组接三相交流电源，而副绕组输出多相（如六相或十二相）交流电压。

电力变压器都为三相变压器，而多相变压器都作为整流用变压器。

根据变压器冷却条件来分，可分为：

(1) 油浸变压器 变压器的铁芯和线圈完全浸在变压器油里，现在生产的绝大多数电力变压器都属于这一类，它又可分为：

- 1) 油浸自冷变压器 利用变压器油上下温度差产生油的自循环而进行冷却。
- 2) 油浸风冷变压器 利用装在散热器上的吹风机进行风冷。
- 3) 油浸强制油循环变压器 利用专门设备强迫变压器油加速循环，提高散热能力。

(2) 干式变压器 这种变压器的铁心和线圈裸露在空气中，利用空气的自然流动而进行冷却。

根据线圈使用的金属材料来分，有：

(1) 铜线变压器 变压器的线圈均由金属铜线制成。

(2) 铝线变压器 变压器的线圈均由金属铝线制成。

铜是战略物资，因此大力发展铝线变压器具有十分重要的意义。而且对于相同容量的变压器来说，铝线变压器的重量要比铜线变压器轻。

1.1.4 变压器的结构

电力变压器主要由铁芯、线圈、油箱和绝缘套管等部分组成，现将其主要结构简介如下：

(1) 铁芯 铁芯是变压器的磁路，其中通过的是交变磁通。为了提高磁路的导磁性能和降低铁芯内的涡流损耗，铁芯通常用厚度为0.35或0.5mm且表面涂有绝缘漆的硅钢片制成。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成。铁芯柱上套装线圈，铁轭则将铁芯柱连接起来使之形成闭合的磁路。

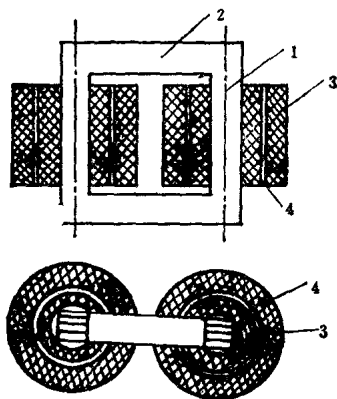


图 1-3 单相芯式变压器
1—铁芯柱；2—铁轭；3—高压绕组；4—低压绕组

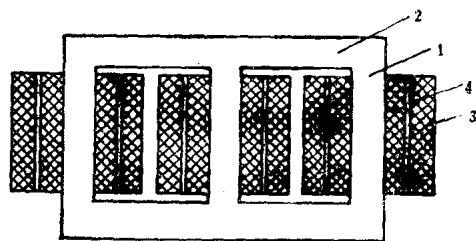


图 1-4 三相芯式变压器
1—铁芯柱；2—铁轭；3—高压绕组；4—低压绕组