



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电机与变压器

李元庆 编



中国电力出版社

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



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电机与变压器

李元庆 编
刘景峰 魏涤非 主审

ISBN 978-7-5083-6847-4

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国电力出版社

地址：北京市三里河路5号 100044 http://jc.cepp.com.cn

电话：(010) 67706666

电邮：jc@cepp.com.cn

2007年12月第1版 2007年12月第1次印刷

787毫米×1092毫米 1/32开本 17.25印张 240千字

定价：25.40元

警告：未经许可，不得转载

本书封面贴有防伪标签，刮开涂层，通过手机扫描，可验证真伪。

中国电力出版社



http://jc.cepp.com.cn

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,又列为全国电力职业教育规划教材,作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

《电机与变压器》教材是教育部职业教育与成人教育司推荐使用教材,本教材根据职业技术教育的培养目标和教学特点编写而成,让学生既掌握必需的电机与变压器的基础理论知识,又熟练掌握电机与变压器的运行、维修操作技能技巧。

为适应职业技术教育迅猛发展的需要,教材在教学内容编排上进行了较大力度的改革,对传统教学内容进行了大胆的取舍和补充。教材以掌握基本概念、培养应用型人才为目标,以强化基础,突出能力培养,注重实用为原则,将“电机与变压器”基础理论知识、电机实验、电机维修技术、理论学习指导等内容有机地结合起来。其任务是:使学生具备现代职业技术应用型人才所必需的电机与变压器方面的基础知识和操作技能,掌握电机与变压器的运行、维修技术。

本教材具有以下特点:

(1) 教材以培养学生的动手能力、实践能力为基础,以培养学生的就业能力为导向,将电机与变压器的基础理论、实践操作、维修技术有机地融为一体,以典型的实验实训例证代替繁杂的理论分析。

(2) 教材主要介绍了电机与变压器的基础理论,介绍了中小型变压器、异步电机、同步电机及直流电机的运行和检修技术、拆卸与装配、电机定子绕组的重绕技术及维修操作技能,电机的常见故障分析。

教材在编写过程中将理论阐述同实践指导有机地结合在一起,在内容编排和组合上,最大限度地做到模块化,增强了教材使用的灵活性;结合传授知识同技能培训紧密结合,简化某些论证,减少不必要的数学推导,把讲授、实验、实习融于一体。

(3) 教材在教学内容编排上按电机的基本概念、分析方法、例题分析、解题要点、实践应用、小结等内容,充分体现了理论与实验实训操作内容相结合的特点,避免了复杂的推理论证和定量分析,补充了一些实践性强的实践技能训练内容。

(4) 教材注重于教学方法和教学手段的改革,编写时力求做到概念准确,语言精练,重点突出,内容创新,叙述通俗,并配以大量的例题、实践应用等例子。教学时可运用实践应用中的实训内容直接验证电机、变压器的相关理论。教材适用于用传统的方法教学,更适合

目 录

前言

绪论..... 1

第 1 篇 变 压 器

第 1 章 变压器的基本结构及工作原理..... 4

1.1 变压器的基本工作原理和类型..... 4

1.2 变压器的基本结构及用途..... 5

1.3 变压器的额定值..... 7

1.4 实践应用——变压器的拆卸和组装实训..... 9

小结..... 12

习题..... 13

第 2 章 单相变压器的运行原理..... 14

2.1 单相变压器的空载运行..... 14

2.2 单相变压器的负载运行..... 20

2.3 实践应用——变压器参数的测定..... 27

2.4 变压器的运行特性..... 29

小结..... 31

习题..... 31

第 3 章 三相变压器..... 33

3.1 三相变压器的磁路系统..... 33

3.2 三相变压器的电路系统..... 34

3.3 三相变压器的空载电动势波形..... 38

3.4 实践应用——三相变压器连接组及极性测定..... 39

小结..... 42

习题..... 42

第 4 章 变压器并联运行分析..... 43

4.1 变压器的并联运行..... 43

4.2 变压器的暂态过程..... 46

4.3 三相变压器的不对称运行..... 49

小结..... 50

习题..... 50

第 5 章 其他用途的变压器..... 51

5.1 自耦变压器..... 51

5.2 三绕组变压器	54
5.3 仪用变压器	57
5.4 分裂变压器	58
5.5 电焊变压器	59
小结	60
习题	60

第2篇 异步电机

第6章 三相异步电动机的基本结构和工作原理	61
6.1 三相异步电动机的基本结构	61
6.2 异步电动机的维修基础	63
6.3 实践应用——异步电动机的拆装实训	73
6.4 三相异步电动机的工作原理	73
6.5 异步电动机的铭牌	75
小结	77
习题	78
第7章 交流绕组及其电动势和磁动势	79
7.1 交流绕组的基本知识	79
7.2 交流绕组的电动势	83
7.3 交流绕组的磁动势	86
7.4 实践应用——三相单层链式绕组的重绕	88
小结	93
习题	93
第8章 三相异步电动机的运行原理	95
8.1 异步电动机的空载运行	95
8.2 异步电动机的负载运行	96
8.3 异步电动机的电磁转矩	99
8.4 异步电动机的工作特性	101
8.5 实践应用——异步电动机的运行维护和修理	105
小结	110
习题	111
第9章 异步电动机的起动和运行	112
9.1 三相异步电动机的起动	112
9.2 深槽型和双鼠笼型异步电动机	116
9.3 三相异步电动机的调速及制动	118
9.4 实践应用——异步电动机的起动、反转和制动实训	121
9.5 单相异步电动机	126
9.6 单相异步电动机的定子绕组	130
9.7 单相异步电动机常见故障及分析	132

9.8 实践应用——单双层电动机定子绕组的重绕	133
小结	133
习题	134

第3篇 同步电机

第10章 同步发电机的工作原理和基本结构	136
10.1 同步电机的基本结构和分类	136
10.2 同步电机的工作原理及励磁方式	137
10.3 同步电机的额定值	139
10.4 同步发电机的拆装	139
10.5 实践应用——同步发电机的拆装实训	142
小结	143
习题	143
第11章 同步发电机的运行原理及工作特性	144
11.1 同步发电机的空载运行	144
11.2 对称负载时的电枢反应	144
11.3 同步电抗的概念	145
11.4 同步发电机的电动势方程式、相量图和等效电路	146
11.5 同步发电机的运行特性	148
11.6 同步发电机的损耗和效率	150
11.7 实践应用——三相电机双层叠绕组的重绕	152
小结	155
习题	156
第12章 同步发电机的并网运行	157
12.1 同步发电机并网的方法和条件	157
12.2 同步发电机有功功率的调节和静态稳定	158
12.3 同步发电机的无功功率调节及V形曲线	161
12.4 调相运行和同步调相机	164
12.5 实践应用——同步发电机试验	167
小结	171
习题	172

第4篇 其他电机

第13章 直流电机的工作原理和基本结构	173
13.1 直流电机的工作原理	173
13.2 直流电机的基本结构	175
13.3 直流电机的铭牌	177
13.4 实践应用——直流电机的拆装实训	178
小结	180

习题	180
第 14 章 直流发电机	182
14.1 直流发电机的基本方程	182
14.2 直流发电机的运行特性	185
14.3 并励直流发电机的自励条件	187
小结	188
习题	189
第 15 章 直流电动机的机械特性和运行	190
15.1 直流电动机的基本方程式	190
15.2 直流电动机的运行	192
15.3 直流电动机的调速	194
15.4 实践应用——直流电动机的起动、调速及反转试验	197
15.5 直流电动机的常见故障及处理方法	199
小结	200
习题	201
第 16 章 控制电机	203
16.1 控制电机的特点及类型	203
16.2 步进电动机	203
16.3 感应调压器	206
16.4 伺服电动机	208
16.5 测速电机	210
16.6 永磁电机	212
小结	214
习题	215
参考文献	216

附录

附录 1 直流电机的基本参数	1.1
附录 2 直流电机的基本方程	2.1
附录 3 直流电机的基本特性	3.1
附录 4 直流电机的基本故障及处理方法	4.1
附录 5 直流电机的基本试验	5.1
附录 6 直流电机的基本应用	6.1
附录 7 直流电机的基本设计	7.1
附录 8 直流电机的基本维护	8.1
附录 9 直流电机的基本检修	9.1
附录 10 直流电机的基本改造	10.1
附录 11 直流电机的基本报废	11.1

绪 论

人类的生活及社会的发展需要不断从自然界取得能源,来丰富和提高自身的生活水平和文明程度。电机与变压器是一种转换能量的机器,是电能生产、传输、分配、控制及转换的主要设备。电能是现代社会最主要的能源,因而电机与变压器的应用越来越广泛,在国民经济建设和发展中起着重要的作用。

1. 电机与变压器的定义及作用

电机与变压器都是依据电磁感应定律实现机电能量转换的设备。变压器是变换交流电能的设备,为了实现经济传输和电能分配:在发电端,采用变压器升高电压,再把电能输送到远距离的用电地区,减少输电线路的损耗;在受电端,降低电压供用户使用,达到安全用电的目的。同步发电机是电力系统的电源,将机械能转换成电能。异步电动机是发电厂及各类工矿企业多种机械的原动机,将电能转换成机械能,拖动各种生产机械设备运转,实现生产过程的机械化和电气自动化。控制电机则是各种控制系统、自动化装置的执行、检测、放大和计算元件。

总之,作为电能与机械能的转换装置,电机与变压器是工农业、交通运输业、国防文教以及日常生活中应用越来越广泛的电气设备。图0-1为某敞开式电网结构示意图。从图中可见,电机和变压器是电网中从事电能的生产、变换、分配、使用和控制的设备。

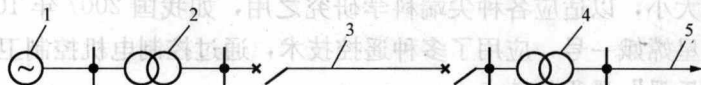


图0-1 某敞开式电网结构示意图

- 1—发电厂（同步电机）；2—变电站（升压变压器）；3—高压输电线路；
4—配电所（降压变压器）；5—用户（异步电动机及控制电机）

2. 电机与变压器的分类

电机与变压器作为利用电磁感应原理,实现机电能量转换的机械装置,有着许多类型,现将主要用作机电能量转换的各种电机与变压器归纳如下:

电机	静止电机——变压器:一种静止的电器,用于变换交流电压	
	直流电机	直流电动机:将直流电能转换为机械能
		直流发电机:将机械能转换为电能,定子为直流,转子为交流
	交流电机	同步电动机:将电能转换为机械能及调相运行
		同步发电机:将机械能转换为电能,发出有功和无功功率
		异步电动机:将电能转换为机械能,定转子绕组均为交流,但频率不同
		异步发电机:将机械能转换为电能

3. 电机与变压器的发展概述

蒸汽机带动了 18 世纪第一次产业革命以后, 19 世纪产生了电机。1821 年法拉第进行了通电导体在磁场中产生电磁力的实验, 发现了电动机的作用原理, 又在 1831 年提出了电磁感应定律, 从而奠定了发电机的理论基础。1889 年多里·多勃罗沃尔斯基提出采用三相制的建议, 并设计制造了第一台三相变压器和三相异步电动机。到 19 世纪末, 直流电机、变压器、交流电机的基本形式已大体形成。进入 20 世纪后, 随着三相制发电厂的大量出现, 强大交流电网的建立, 结构简单、使用方便、价格低廉的三相笼型电动机的大量应用, 社会生产力得到了极大提高, 从而进入了电气化时代, 完成了人类科学技术进步史上的第二次技术革命。从此以后, 电机技术的不断发展和完善, 冷却技术和材料性能的不断改进, 电机的容量不断增大, 应用日益广泛。20 世纪后半期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, 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。

随着科学技术和电力工业的不断发展, 电机制造工艺目前已发展到相当完善的阶段。随着电机冷却技术的不断提高, 以及绝缘材料、电磁材料的不断改进, 发电机、变压器的单机容量不断增大, 效率不断提高。目前, 国外单机容量最大的汽轮发电机已超过 1700MVA, 三相变压器单台最大容量达到 1300MVA, 最高电压 1150kV。目前我国已能制造 900MVA 的特大型汽轮发电机, 700MW 的水轮发电机, 840MVA、500kV 的大型变压器。

同时伴随着自动化元件和控制技术的发展, 控制电机的发展十分引人注目, 例如伺服电机、步进电机、测速发电机、永磁电机、自整角机和直线电机等, 这些控制电机广泛用于工业自动控制中的精密数控加工、计算技术、遥控技术、高速运输、机器人中。有些微型电机已做到只有毫米级大小, 以适应各种尖端科学研究之用, 如我国 2007 年 10 月 24 日发射的第一颗绕月探测卫星嫦娥一号, 应用了多种遥控技术, 通过控制电机控制卫星的飞行。

4. “电机与变压器”课程的特点

“电机与变压器”课程是电气工程、供用电技术、机电一体化等专业的一门主干课程, 是联系基础课和专业课的技术基础课, 同时也是一门将电机与变压器理论知识和电机与变压器维修技术、实验、实训有机地结合在一起的课程。该课程是研究变压器、同步电机、异步电机、直流电机及控制电机的运行技术, 研究电能的产生、调节、变换和设备控制及各种电机与变压器的检测方法、检修技术的一门学科。它是在学习数学、物理、工程力学和电路原理的基础上, 研究电机的工作原理、主要结构、基础理论、运行特征及试验方法、维修技术的一门课程。

“电机与变压器”课程将理论知识和实践知识两者相互渗透, 相互融洽, 将电机与变压器理论知识融化在实践操作技能知识之中, 以实践为主要教学手段。整个教学内容理论穿插实践, 实践过程中穿插理论。

本课程的任务是为学习专业课打基础。电机与变压器是电力系统中的重要组成部分, 它的运行状态直接影响系统的正常工作; 而电机原理和特性又是进行电机设计和控制的理论依据。

电机与变压器课程内容涉及领域广, 课程的特点是概念抽象不易理解, 内容繁杂, 既有磁的又有电的联系, 既有时间的又有空间的联系, 既有单相的又有三相的, 既有对称的又有不对称的, 既有静止的又有旋转的, 既有稳态的又有暂态的联系等。故分析时既有理论又有

实际,为了突出主要矛盾,通常采取忽略次要因素,做某些假定和处理方法,使分析问题的思路清晰,物理概念更加明确。

5. 分析电机与变压器常用的基本定律

(1) 基尔霍夫定律及欧姆定律: $KCL(\sum I=0)$, $KVL(\sum U=0)$; 欧姆定律 $U=IR$, $E=IR+U$ 。

(2) 法拉第电磁感应定律: 反映磁生电的规律。

导体感生电动势: $e=Blv$ 。

线圈感生电动势: $e=-Nd\phi/dt$ 。

(3) 全电流定律: 反映电生磁规律。公式为 $\int_l H d\vec{l} = i + i + i + \dots = \sum i$ 。

(4) 电磁力定律: $f=BLi$ 。

(5) 磁路欧姆定律: $\Phi=N_i/R_i$ 。

(6) 能量守恒定律。

6. 电机与变压器课程的学习方法

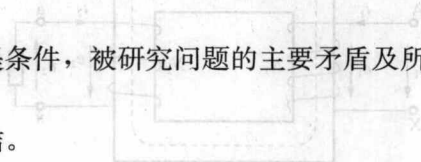
由于影响电机与变压器运行的因素很多,要全部都考虑这些因素是十分困难的,因此分析时,从工程观点考虑,首先忽略一些次要因素,突出主要矛盾,找出基本关系,然后再考虑次要因素的影响,使分析结果更为完善。

(1) 注意理论联系实际。重视习题、实验、实训、实践性环节的学习。

(2) 掌握分析步骤,注意各类电机的共性(基本概念和基本理论)及彼此间的区别,懂得应用电磁规律将复杂的电机物理情况转化为电路和磁路问题,掌握电机与变压器运行的基本方程式、等效电路和相量图。

(3) 了解本课程的分析方法,注意分析问题时的前提条件,被研究问题的主要矛盾及所得的结论及其局限性。

(4) 尽可能做到课前预习,课后复习和进行阶段总结。



第1篇 变 压 器

变压器是一种静止的电器，通过线圈间的电磁感应作用，把一种电压等级的交流电能转换为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实现电能的经济传输、灵活分配和合理使用的重要设备，在输送一定功率的电能时，输电线路的电压越高，线路中的电流和损耗就越小。为此需要用升压变压器把交流发电机发出的电压升高到输电电压，通过高压输电线将电能经济地送到用电地区，然后再用降压变压器逐步将输电电压降到配电电压，供用户安全而方便地使用。变压器有许多种类，在国民经济的其他各部门也有着广泛的应用。本篇主要研究一般用途的电力变压器，介绍变压器的基本结构、基本工作原理和基本运行分析，三绕组变压器、自耦变压器和仪用互感器等只做简要介绍。

第 1 章 变压器的基本结构及工作原理

1.1 变压器的基本工作原理和类型

1.1.1 变压器的工作原理

图 1-1 所示为一台单相双绕组变压器，它由两个互相绝缘且匝数不等的绕组套在具有良好导磁材料制成的闭合铁心上，两绕组之间只有磁的耦合而没有电的联系。其中一个绕组接交流电源，称为一次绕组；另一个绕组接负载，称为二次绕组。若将一次绕组接上交流电源，绕组中便有交流电流 i_1 流过，并在铁心中产生交变磁通 ϕ_m ，这个交变磁通同时交链一、二次绕组，根据电磁感应定律，交变磁通 ϕ_m 将分别在一、二次绕组中感应出同频率的电动势 e_1 和 e_2 ，其公式分别为

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

式中 N_1, N_2 ——分别为一、二次绕组的匝数。

当二次侧接上负载或用电设备，在电动势 e_2 的作用下，就能向负载输出电能，实现不同电压等级电能的传递。因此，只要改变一、二次侧绕组的匝数比，就能达到改变电压的目的，这就是变压器的变压原理。

1.1.2 变压器的分类

变压器一般按用途、相数、绕组数目、铁心结构、调压方式和冷却方式划分类别。

- (1) 按用途分有电力变压器、仪用互感器、调压变压器、试验用变压器、特殊变压器。
- (2) 按绕组数目分有双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器、自耦变压器。
- (3) 按相数分有单相和三相变压器等。
- (4) 按冷却方式分有以空气为冷却介质的干式变压器、油浸式变压器（包括油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式）。

此外,电力变压器按容量还可分为大、中、小和特大型。小型变压器,容量为 $10\sim 630\text{kVA}$;中型变压器,容量为 $800\sim 6300\text{kVA}$;大型变压器,容量为 $8000\sim 63000\text{kVA}$;特大型变压器,容量为 90000kVA 及以上。

1.2 变压器的基本结构及用途

变压器主要由铁心以及绕在铁心上的一、二次绕组组成。铁心和绕组一般都浸放在盛满变压器油的油箱中。电力变压器还有油箱及冷却装置、绝缘套管、调压和保护装置等部件。不同用途的变压器结构略有差异。图1-2为三相油浸式电力变压器结构示意图。

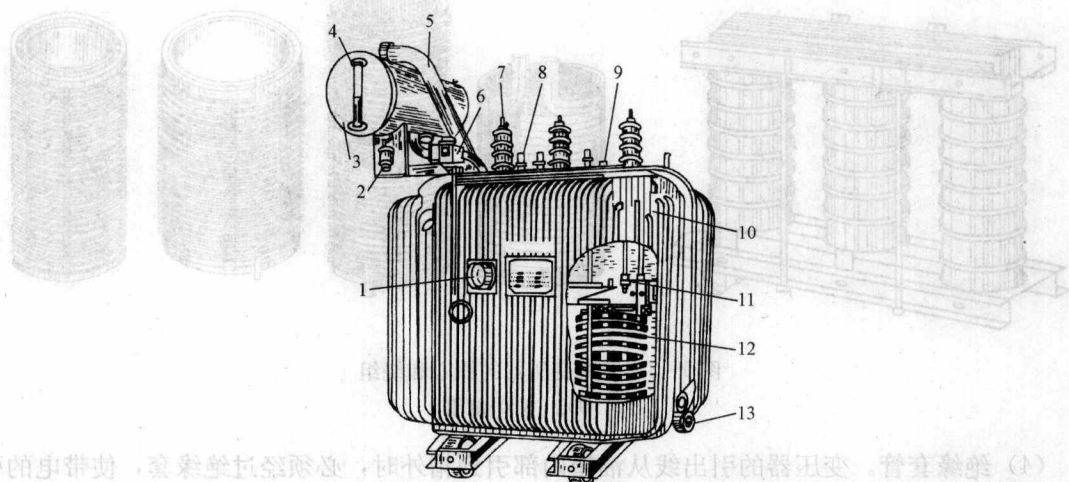


图1-2 三相油浸式电力变压器结构示意图

- 1—信号式温度计; 2—吸湿器; 3—储油柜; 4—油表; 5—安全气道;
6—气体继电器; 7—高压套管; 8—低压套管; 9—分接开关;
10—油箱; 11—铁心; 12—绕组; 13—放油阀门

1.2.1 三相变压器的基本结构及各部件的作用

(1) 变压器各部件的名称及作用:

- 铁心: 构成磁的通路
- 器身 → 绕组: 构成电的通路
- 引线装置: 出线及分接头开关, 分有载调压和无载调压。其作用是
通过改变一次匝数来改变二次输出电压
- 绝缘部分 → 绝缘套管: 将带电部分与地分隔
- 油箱: 贮油, 起散热和绝缘作用
- 储油柜(油枕): 补充变压器油
- 保护装置: 测温装置、安全气道和继电器等, 作用是保护变压器
- 冷却装置: 油浸自冷、油浸风冷和强迫油循环冷却

(2) 铁心。变压器的铁心一般用厚度 $0.23 \sim 0.5\text{mm}$ 高磁导率的磁性材料——硅钢片叠压而成。有铁心柱和铁轭两部分。铁心柱上套装一、二次绕组，上下铁轭将铁心柱连接起来，形成闭合的主磁路。图 1-3 (a) 所示为三相变压器的日字型铁心。

(3) 绕组。绕组是变压器的电路部分，用铜绝缘扁导线或圆导线绕制而成，如图 1-3 (b) 所示。按高、低压绕组在铁心上排列方式的不同，分为同心式和交叠式两种。一般情况下低压绕组靠近铁心柱，高压绕组套在低压绕组外面，中间用绝缘纸筒隔开。同心式绕组结构简单、制造方便，国产电力变压器均采用这种结构，交叠式绕组用于特种变压器中。

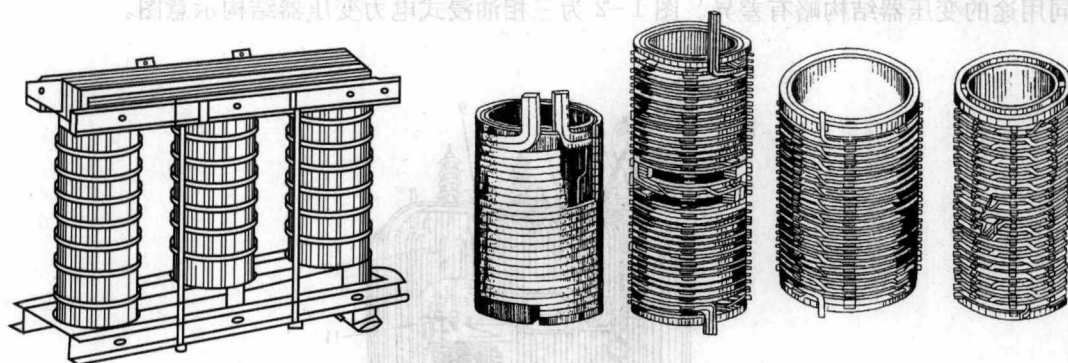


图 1-3 三相变压器的铁心和绕组

(a) 铁心；(b) 绕组

(4) 绝缘套管。变压器的引出线从油箱内部引到箱外时，必须经过绝缘套，使带电的引线和接地的油箱绝缘。套管由瓷质的绝缘套筒和导电杆组成。

(5) 油箱及变压器油。油浸式变压器的器身放在充满变压器油的油箱中，油箱一般做成椭圆形，这样可使油箱有较高的机械强度，而且需油量较少。为了增强冷却效果，油箱壁上焊有散热管或装设散热器。为减少油与空气的接触面积，降低油的氧化速度，在油箱上面安装一储油柜（称油枕），用连通管与油箱接通。

(6) 气体继电器。气体继电器安装在储油柜和油箱之间的连接管里，是变压器内部短路故障的保护装置。

(7) 调压装置。调压装置的作用是调节变压器的输出电压，一般在高压绕组某个部位引出若干个抽头（如中性点、中部或端部），并把这些抽头连接在可切换的分接开关上。

1.2.2 单相变压器的结构及特点

(1) 结构。单相变压器多用于使用单相交流电的场所。它有一个一次绕组和一个二次绕组（二次绕组可有多组绕组）组成，铁心为口字型，分为心式和壳式两种。心式结构的心柱被绕组所包围，如图 1-4 所示；壳式结构则是铁心包围绕绕组的顶面、底面和侧面，如图 1-5 所示。心式结构的绕组和绝缘装配比较容易，所以变压器常常采用这种结构；壳式变压器的机械强度较好，常用于低压、大电流的变压器或小容量电信变压器。

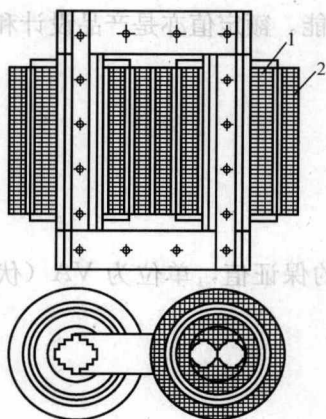


图 1-4 单相心式变压器

1—低压绕组；2—高压绕组

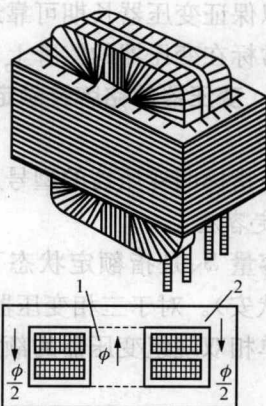


图 1-5 单相壳式变压器

1—心柱；2—铁轭

绕组用纸包或纱包的绝缘扁线或圆线绕成，其中输入电能的绕组称为一次绕组，输出电能的绕组称为二次绕组，它们通常套装在同一心柱上。

(2) 特点。一次绕组和二次绕组具有不同的匝数、电压和电流，其中电压较高的绕组称为高压绕组，电压较低的绕组称为低压绕组。对于升压变压器，一次绕组为低压绕组，二次绕组为高压绕组；对于降压变压器，情况恰好相反。高压绕组的匝数多、导线细；低压绕组的匝数少、导线粗。

1.2.3 三绕组变压器的结构、特点及用途

(1) 结构。三绕组变压器每相有高、中、低压三个绕组。

(2) 特点。升压变压器：绕组按高压绕组 1、低压绕组 3 和中压绕组 2 排列（从外部往铁心看）。降压变压器：绕组按高压绕组 1、中压绕组 2 和低压绕组 3 排列。三绕组的不同排列将影响电抗的大小，同时也影响阻抗电压的大小，位于中间位置的绕组电抗最小。

(3) 用途。三绕组变压器一般用于有三个不同电压等级变换的电网中。

1.2.4 自耦变压器的结构、特点及用途

自耦变压器是一台一、二次侧共用一个绕组的变压器。

(1) 结构。每相只有一个绕组，二次绕组为一次绕组的一部分，见图 1-6。

(2) 特点。一、二次绕组之间不仅有磁的联系，还有电的联系。串联绕组匝数为 $N_{AX} - N_{ax}$ 。

(3) 用途。单相自耦变压器多用于实验室，三相自耦变压器用于大型发电厂变换电压。

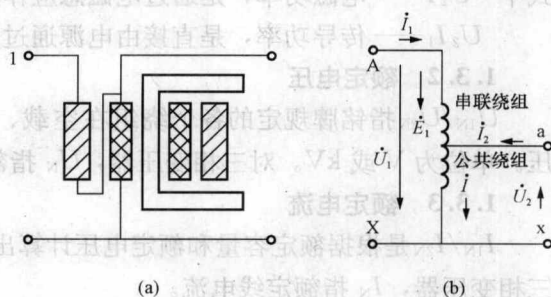


图 1-6 自耦变压器

(a) 结构示意图；(b) 电路图

1.3 变压器的额定值

额定值是制造厂对变压器在指定工作条件下运行时所规定的一些量值。在额定状态下运

行时,可以保证变压器长期可靠地工作,并具有优良的性能。额定值亦是产品设计和试验的依据,通常标在变压器的铭牌上,亦称为铭牌值。

1.3.1 变压器的铭牌及额定容量

1. 铭牌

铭牌是指标明变压器的型号及额定使用数据。

2. 额定容量

额定容量 S_N 是指额定状态下变压器输出视在功率的保证值,单位为 VA (伏安) 或 kVA (千伏安)。对于三相变压器, S_N 是三相容量之和。

(1) 单相双绕组变压器的额定容量为

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

(2) 三相变压器的额定容量为

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$$

(3) 三绕组变压器的额定容量:三个绕组中容量最大的那个绕组的容量。其容量搭配为 100/100/100, 100/50/100, 100/100/50。

(4) 自耦变压器的额定容量:

1) 单相自耦变压器额定容量为

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

2) 三相自耦变压器额定容量为

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$$

(5) 几点说明:

1) 自耦变压器的额定容量不等于设计容量,也不等于电磁容量,由电磁容量和传导容量组成。

2) 以单相自耦变压器输出容量为例,有

$$S_2 = U_2 I_2 = U_2 (I + I_1) = U_2 I + U_2 I_1 = U_{2N} I_{2N}$$

式中 $U_2 I$ ——电磁功率,是通过电磁感应作用从一次传递到二次负载的功率;

$U_2 I_1$ ——传导功率,是直接由电源通过串联绕组传导到负载中的功率。

1.3.2 额定电压

U_{1N}/U_{2N} 指铭牌规定的各个绕组在空载、指定分接开关位置下的端电压,称为额定电压。单位为 V 或 kV。对三相变压器, U_N 指额定线电压。

1.3.3 额定电流

I_{1N}/I_{2N} 是根据额定容量和额定电压计算出的电流,称为额定电流,单位为 A 或 kA。对三相变压器, I_N 指额定线电流。

对单相变压器,一、二次额定电流分别为

$$I_{1N} = S_N / U_{1N}$$

$$I_{2N} = S_N / U_{2N}$$

对三相变压器,一、二次额定电流分别为

$$I_{1N} = S_N / \sqrt{3} U_{1N}$$

$$I_{2N} = S_N / \sqrt{3} U_{2N}$$