



全国中等职业技术学校电工类专业通用教材

QUANGUOZHONGDENGZHIYEJISHUXUEXIAODIANGONGLEI
ZHUANYETONGYONGJIAOCAI

电机与变压器

(第五版)

配电子课件

 中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电工类专业通用教材

电机与变压器

(第五版)

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

简介

本书内容包括：变压器的分类、结构和原理，变压器绕组的极性测定与连接，变压器并联运行、维护和检修，特殊用途的变压器，三相异步电动机的基础知识，三相异步电动机的运行，单相异步电动机，直流电动机，三相同步电机，特种电机。

本书由沈蓬主编，冷静燕、吴萍参加编写；杨杰忠主审。

图书在版编目(CIP)数据

电机与变压器/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —5版. —北京：中国劳动社会保障出版社，2014

全国中等职业技术学校电工类专业通用教材

ISBN 978-7-5167-1206-1

I. ①电… II. ①人… III. ①电机-中等专业学校-教材②变压器-中等专业学校-教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 154566 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

*

煤炭工业出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 349 千字

2014 年 8 月第 5 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定价：24.00 元

读者服务部电话：(010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话：(010) 64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错，请与本社联系调换：(010) 80497374

本书封面轧有我社社标和英文缩写的暗纹，否则即为盗版。

我社将与版权执法机关配合，大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动，敬请广大读者协助举报，经查实将给予举报者奖励。

举报电话：(010) 64954652

前言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电工类专业的教学要求，全面提升教学质量，人力资源和社会保障部教材办公室组织有关学校的骨干教师和行业、企业专家，在充分调研企业生产和学校教学情况、广泛听取教师对现有教材反馈意见的基础上，吸收和借鉴各地职业技术学院教学改革的成功经验，对现有全国中等职业技术学校电工类专业通用教材进行了修订（新编）。

本次教材修订（新编）工作的重点主要体现在以下几个方面：

第一，合理更新教材内容。

根据企业岗位和教学实践的需求变化，确定学生应具备的能力与知识结构，调整部分教材内容，使知识技能点的深度、难度、广度与实际需求相匹配；根据相关专业领域的最新发展，淘汰陈旧过时的内容，补充新知识、新技术、新设备、新材料等方面的内容；根据最新的国家技术标准编写教材内容，保证教材的科学性和规范性。

第二，加强实践技能的培养。

根据就业岗位对技能型人才所需能力的要求，进一步加强实践性教学内容，在专业课教材中较好地采用了理论知识与技能训练一体化的编写模式，以体现“做中学”“学中做”的教学理念。

第三，衔接职业技能鉴定要求。

教材编写以 2009 年修订的维修电工国家职业技能标准为依据，涵盖国家职业技能标准（中级）的知识和技能要求，并在与教材配套的习题册中增加了针对相关职业技能鉴定考试的练习题。

第四，精心设计教材形式。

在教材内容的呈现形式上，尽可能使用图片、实物照片和表格等形式将知识点生动地展示出来，力求让学生更直观地理解和掌握所学内容。

第五，提供全方位教学服务。



本套教材除配有习题册、教学参考书外，还配有方便教师上课使用的电子课件，电子课件和习题册答案可通过中国人力资源和社会保障出版集团网站（<http://www.class.com.cn>）下载。

本次教材的修订工作得到了辽宁、江苏、山东、河南、广西等省（自治区）人力资源和社会保障厅及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2014年6月

目 录

第一章 变压器的分类、结构和原理	(1)
§ 1—1 变压器的分类和用途	(1)
§ 1—2 变压器的结构与冷却方式	(3)
§ 1—3 变压器的原理	(9)
§ 1—4 变压器的空载试验与短路试验	(17)
第二章 变压器绕组的极性测定与连接	(23)
§ 2—1 单相变压器绕组的极性	(23)
§ 2—2 三相变压器绕组的连接及首尾判别	(31)
§ 2—3 三相芯式变压器绕组的连接组别	(36)
§ 2—4 电力变压器的铭牌参数	(43)
第三章 变压器并联运行、维护和检修	(48)
§ 3—1 三相变压器的并联运行	(48)
§ 3—2 变压器的维护及检修	(49)
第四章 特殊用途的变压器	(54)
§ 4—1 自耦变压器	(54)
§ 4—2 仪用变压器	(57)
§ 4—3 电焊变压器	(60)
※ § 4—4 小型单相变压器的设计	(62)
第五章 三相异步电动机的基础知识	(74)
§ 5—1 电动机的种类和用途	(74)
§ 5—2 三相异步电动机的结构	(75)
§ 5—3 三相异步电动机的拆装	(79)
§ 5—4 三相异步电动机的工作原理	(87)
§ 5—5 三相异步电动机的铭牌和型号	(94)
§ 5—6 三相异步电动机绕组	(96)
第六章 三相异步电动机的运行	(106)
§ 6—1 三相异步电动机的启动	(106)



§ 6—2	三相异步电动机的调速·····	(112)
§ 6—3	三相异步电动机的反转与制动·····	(119)
§ 6—4	三相异步电动机的启动、反转和制动实验·····	(123)
§ 6—5	三相绕线式异步电动机的调速实验·····	(128)
§ 6—6	三相异步电动机的维护与检修·····	(129)
第七章	单相异步电动机 ·····	(139)
§ 7—1	单相异步电动机的原理、结构及分类·····	(139)
§ 7—2	单相异步电动机的绕组和嵌线·····	(147)
§ 7—3	单相异步电动机的反转和调速·····	(150)
§ 7—4	单相异步电动机的常见故障及处理·····	(153)
§ 7—5	小功率三相电动机改为单相电动机运行·····	(155)
第八章	直流电动机 ·····	(158)
§ 8—1	直流电动机的原理、构造、分类及铭牌·····	(158)
§ 8—2	直流电动机的基本性能分析·····	(168)
§ 8—3	直流电动机运行·····	(177)
※ § 8—4	直流电动机的逆运行——直流发电机·····	(182)
§ 8—5	直流他励电动机实验·····	(185)
第九章	三相同步电机 ·····	(190)
§ 9—1	三相同步发电机的基本工作原理·····	(190)
§ 9—2	同步发电机的励磁方式和并联运行·····	(193)
§ 9—3	同步电动机的工作原理和启动方法·····	(195)
§ 9—4	同步电动机功率因数的调整、同步补偿机·····	(198)
第十章	特种电机 ·····	(201)
§ 10—1	测速发电机 ·····	(201)
§ 10—2	伺服电动机 ·····	(206)
§ 10—3	步进电动机 ·····	(210)
§ 10—4	永磁电机 ·····	(216)
§ 10—5	直线电动机 ·····	(223)
§ 10—6	超声波电动机 ·····	(226)

注：带※的内容为选学内容。

第一章 变压器的分类、结构和原理

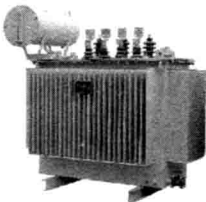
§ 1—1 变压器的分类和用途

变压器是用来改变交流电压大小的供电设备。它是根据电磁感应原理,把某一等级的交流电压变换成频率相同的另一等级的交流电压,以满足不同负载的需要。变压器的应用使人们能够方便地解决输电和用电这一矛盾。因此,变压器在电力系统中占有很重要的地位。

为提高电能的传输效率,将同步发电机输出的 400 V、3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV 电压,通过变压器升压为 110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、765 kV 高压输电线路的电压。而电能被送到用电区后,又要根据用户的要求,通过降压变压器来降压,这种电压升降往往要通过多次才能达到要求。如大型动力设备用电电压为 10 kV、6 kV、3 kV,小型动力设备和照明用电电压为 380 V、220 V,潮湿和不安全处用电电压为 36 V、24 V、12 V、6 V。所以变压器在电力系统中的用量是很大的,据统计,在电力系统中每 1 kW 发电机功率需配备 5~8 kV·A 容量的变压器。另外还有可用作阻抗变换及其他用途的变压器,如自耦变压器和仪用互感器等。

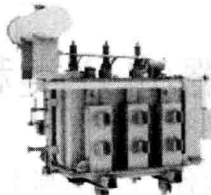
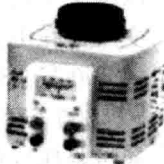
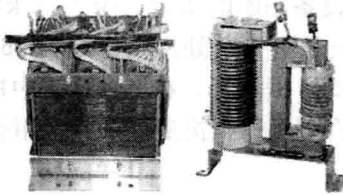
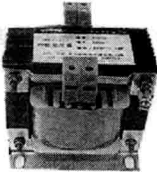
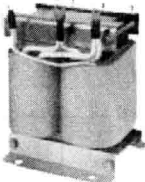
变压器的种类很多,其常用的分类方法和主要用途见表 1—1。

表 1—1 变压器常用的分类方法和主要用途

分类	名称	外形图	主要用途
按相数分	单相变压器		常用于单相交流电路中隔离、电压等级的变换、阻抗变换、相位变换或三相变压器组
	三相变压器		常用于输配电系统中变换电压和传输电能
按用途分	电力变压器		

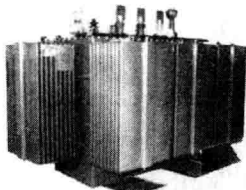
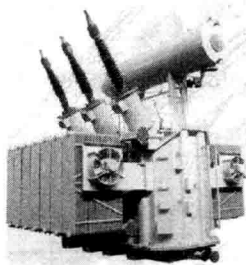
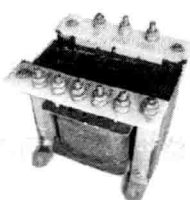
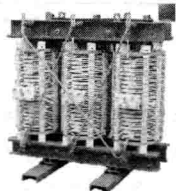


续表

分类	名称	外形图	主要用途
按用途分	仪用互感器		常用于电工测量与自动保护装置
	电炉变压器		常用于冶炼、加热及热处理设备电源
	自耦变压器		常用于实验室或工业上调节电压
	电焊变压器		常用于焊接各类钢铁材料的交流电焊机上
按铁心结构形式分	壳式铁心		常用于小型变压器、大电流的特殊变压器，如电炉变压器、电焊变压器；或用于电子仪器及电视、收音机等电源变压器
	心式铁心		常用于大、中型变压器，高压的电力变压器
	C形铁心		常用于电子技术中的变压器



续表

分类	名称	外形图	主要用途
按冷却方式分	油浸式变压器		常用于大、中型变压器
	风冷式变压器		强迫油循环风冷, 用于大型变压器
	自冷式变压器		空气冷却, 用于中、小型变压器
	干式变压器		用于安全防火要求较高的场合, 如地铁、机场及高层建筑等

变压器的分类方式还有很多。如电力变压器可分为升压、降压和配电变压器；根据工作特性可分为变压器、变流三绕组变压器、感应式移相器、变换阻抗器；按绕组可分为单绕组变压器、双绕组变压器、多绕组变压器。

§ 1—2 变压器的结构与冷却方式

一、变压器的结构

根据用途的不同, 变压器的结构也有所不同, 大功率电力变压器的结构比较复杂, 而多



数电力变压器是油浸式的。油浸式变压器由绕组和铁心组成器身，为了解决散热、绝缘、密封、安全等问题，还需要油箱、绝缘套管、储油柜、冷却装置、压力释放阀、安全气道、温度计和气体继电器等附件，其结构如图 1—1 所示。

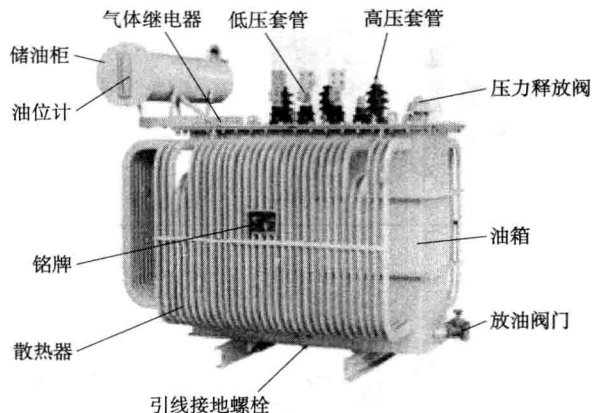


图 1—1 油浸式电力变压器

1. 变压器绕组

(1) 绕组材料选用 绕组是变压器的电路部分，常用绝缘铜线或铜箔绕制而成，也有用铝线或铝箔绕制的。

(2) 绕组命名 接电源的绕组称为一次绕组；接负载的绕组称为二次绕组。按绕组所接电压高、低分为高压绕组和低压绕组。

(3) 绕组类型 按绕组绕制的方式不同，绕组可分为同心绕组和交叠绕组两种类型，其特点见表 1—2。

表 1—2

绕组类型及特点

绕组类型	示意图	绕制特点	应用范围
同心绕组		将一次、二次线圈套在同一铁心柱的内外层，一般低压绕组在内层，高压绕组在外层，当低压绕组电流较大时，绕组导线较粗，也可放到外层，绕组的层间留有油道，以利绝缘和散热。同心绕组结构简单，绕制方便	大多用于电力变压器中
交叠绕组		将高低压线圈绕成饼状，沿铁心轴向交叠放置，一般两端靠近铁轭处放置低压绕组，有利于绝缘	大多用于壳式、干式变压器及电炉变压器中



2. 变压器铁心

铁心是主磁通的通道，也是安放绕组的骨架。

(1) 铁心材料选用 铁心材料的质量，直接影响到变压器的性能。高磁导率、低损耗和价格，是选择铁心材料的关键。为提高铁心导磁能力，增大变压器容量、减少体积、提高效率，铁心常用硅钢片叠装而成，而硅钢片可分热轧和冷轧，其性能特点见表 1—3。

表 1—3 热轧和冷轧硅钢片的性能特点

导磁材料名称	性能 和 特点	应用范围
热轧硅钢片	导磁性能好而损耗小，厚度有 0.35 mm 和 0.5 mm 两种，片间涂覆绝缘漆，工艺性较好	多用于小型变压器中
冷轧硅钢片	性能比热轧硅钢片更好，但工艺性较差，导磁有方向性且价贵。厚度有 0.27 mm、0.30 mm 和 0.35 mm 多种（越薄质量越好）	多用于大中型变压器中，如电力变压器

目前，有的变压器铁心采用非晶合金材料。非晶合金材料是 20 世纪 70 年代问世的一种新型合金材料，该合金具有优异的导磁性、耐蚀性、耐磨性、高硬度、高强度等独特性能特点。利用非晶合金制作铁心而成的变压器，比利用硅钢片制作铁心变压器的空载损耗下降 75% 左右，空载电流下降约 80%，现在越来越多用于安全和防火要求较高场合的大、中型变压器中。

(2) 铁心类型 变压器的铁心因绕组放置的位置不同，可分为芯式和壳式，见表 1—4。

表 1—4 变压器铁心的特点

铁心类型	示 意 图	性能 和 特点	应用范围
芯式		线圈包着铁心，结构简单，装配容易，省导线	适用于大容量、高电压。电力变压器大多采用三相芯式铁心
壳式		铁心包着线圈，铁心易散热，但用线量多，工艺复杂	除小型干式变压器外很少采用

(3) 铁心柱与铁轭的装配工艺 铁心由铁心柱与铁轭构成，铁心柱是铁心安装绕组的部分，铁轭是连接铁心柱形成闭合磁路的铁心部分，如图 1—2 所示。

铁心柱与铁轭的装配工艺有对接式和叠接式两种，见表 1—5。

大、中型变压器中采用高导磁、低损耗的冷轧硅钢片。冷轧硅钢片顺碾压方向导磁性好、损耗小，所以冷轧硅钢片叠装时要求硅钢片在对接处按 45°角剪裁，以保证磁力线与碾压方向一致。现在铁心加工工艺一般不打穿心孔，改用新的夹紧工艺，可以提高铁心装配质量，减少铁耗。

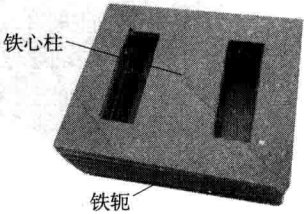


图 1—2 变压器的铁心柱与铁轭



表 1—5

铁心柱与铁轭的装配工艺

装配工艺类别	示意图	性能和特点	应用范围
对接式		将铁心和铁轭分别叠装夹紧，然后把它们对接起来，再夹紧。因工艺气隙大，从而增加了磁阻和励磁电流	小型变压器
叠接式		将铁心柱和铁轭的钢片一层层相互交错、重叠（每层不能多于三片），接缝相互错开。因气隙较小，磁阻也相应减小，从而减少了励磁电流，改善了性能	大型变压器都采用这种方式。小型变压器一般也采用叠接工艺，结构简单，经济实用
C 字形		由冷轧钢带卷绕而成，铁心端面加工精确，大大减少了气隙，提高了效率，节省了材料，装配也方便	小功率的此类铁心变压器在电子线路中应用很广

二、变压器冷却方式

变压器绕组和铁心在运行中，虽然效率可高达 99%，但还是有部分损耗的电能转化成热能，使变压器的铁心和绕组的温度升高。温度越高，绝缘老化越快。当绝缘老化到一定程度时，在运行振动和电力作用下，绝缘容易破裂，易发生电气击穿而造成故障。运行温度直接影响到变压器的输出容量、安全和使用寿命。因此，必须有效地对运行中的变压器铁心和绕组进行冷却。我国生产的电力变压器多数采用油浸式冷却，根据容量不同，可分为下列 4 种。

1. 三相油浸自冷式（ONAN）

主要有 SJ 系列和 SJL 系列（铝线）。冷却方式为：当变压器运行、油温上升时，根据热油上升、冷油下降原理形成自然对流，流动的油将热量传给油箱体和外侧的散热器，然后依靠空气的对流传导将热量向周围散发，从而达到冷却效果。起冷却作用的散热器可分为管式、扁管式、片式和波纹油箱，其结构如图 1—3 所示。

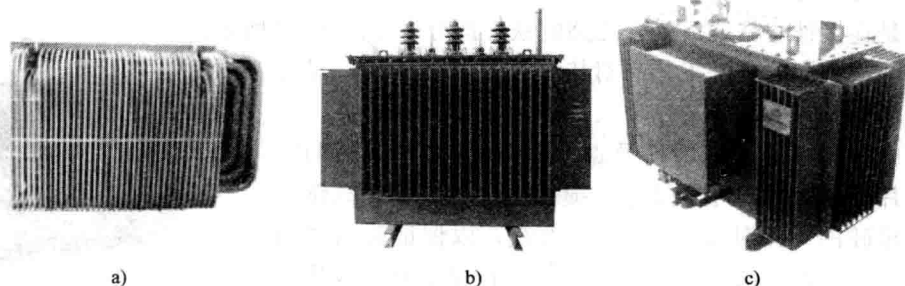


图 1—3 变压器散热器

a) 扁管式 b) 片式 c) 波纹油箱结构



为了防止因油温变化和空气进入油箱使油质变差等,三相油浸式变压器还在油箱顶上设计了一只储油柜(见图1—1)。

2. 三相油浸风冷式(ONAF)

主要有SP系列,其结构如图1—4所示。冷却方式:是在油浸自冷式的基础上,在油箱壁或散热管上加装风扇,利用吹风机帮助冷却。而且风力可调,以适用于短期过载。加装风冷后可使变压器的容量增加30%~35%。多应用于容量在10 000 kV·A及以上的变压器。

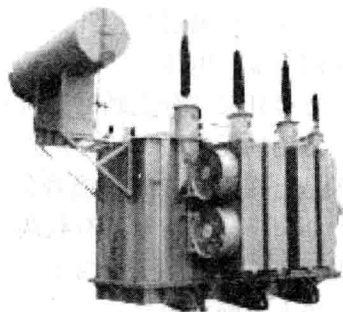


图1—4 三相油浸风冷式变压器

3. 三相强迫油循环风冷式(OFAF)

主要有SFP系列。冷却方式:在油浸自冷式的基础上,利用油泵强迫油循环,并且在散热器外加风扇风冷,以提高散热效果。

4. 三相强迫油循环水冷式(OFWF)

主要有SSP系列。冷却原理:在油浸自冷式的基础上,利用油泵强迫油循环,并且利用循环水作冷却介质,以提高散热效果。

变压器冷却方式随容量增大而有所不同。变压器越大,变压器冷却方式要求越高。

三、变压器的主要附件

变压器的主要附件有气体继电器、分接开关、绝缘套管、压力释放阀、测温装置,其外形如图1—5所示。

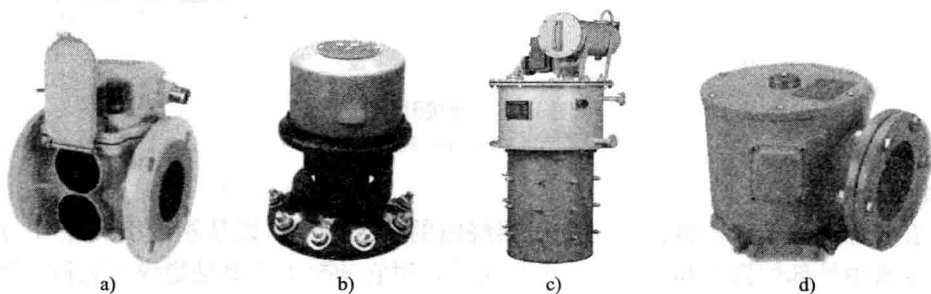


图1—5 主要附件外形图

a) 气体继电器 b) 无励磁调压分接开关 c) 有载调压分接开关 d) 压力释放阀

1. 气体继电器(瓦斯继电器)

气体继电器装在油箱与储油柜之间的管道中,当变压器发生故障时,器身就会过热使油分解产生气体。气体进入继电器内,使其中一个水银开关接通(上浮筒动作),发出报警信号。此时应立即将继电器中气体放出检查,若系无色、不可燃的气体,变压器可继续运行;若系有色、有焦味、可燃气体,则应立即停电检查。当事故严重时,变压器油膨胀,冲击继电器内的挡板,使另一个水银开关接通跳闸回路(即下浮筒动作),切断电源,避免故障扩大。为了提高继电器的可靠性,现在多采用挡板式气体继电器,当继电器中气体达到一定容积后,开口杯下沉,上磁铁使上干簧闭合,接信号;当油流冲击挡板后,下磁铁使下干簧闭合,接通跳闸回路(通常630 kV·A以上变压器采用)。



2. 分接开关

变压器的输出电压可能因负载和一次侧电压的变化而变化, 想要控制输出电压在允许范围内变动, 可通过分接开关。分接开关一般装在一次侧 (高压边), 通过改变一次侧线圈匝数来调节输出电压。

分接开关又分无励磁调压和有载调压两种, 无励磁调压是指变压器一次侧脱离电源后调压, 常用的无励磁调压分接开关调节范围为额定输出电压的 $\pm 5\%$, 如图 1—6a 所示。有载调压是指变压器二次侧接着负载时调压, 有载调压的分接开关因为要切换电流, 所以较复杂, 如图 1—6b 所示。有载调压开关的动触头由主触头和辅助触头组成, 每次调节主触头尚未脱开时, 辅助触头已与下一挡的静触头接触了, 然后主触头才脱离原来的静触头, 而且辅助触头上有限流阻抗, 可以大大减少电弧, 使供电不会间断, 改善供电质量。有载调压不用停电调压, 对变压器也有利, 因为变压器每次拉闸和合闸都会对变压器造成不利的电压和电流冲击。因调节的方法不同, 分接开关又有手动、电动两种, 小型变压器多用手动调压, 大型变压器多用电动调压, 中型变压器手动、电动两种都可用。

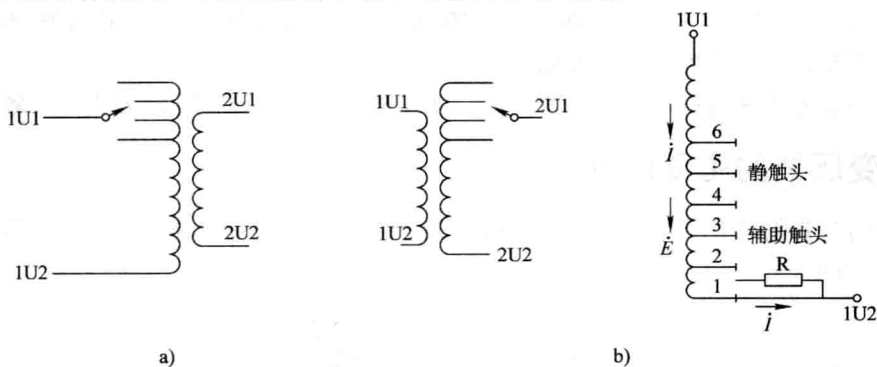


图 1—6 分接开关
a) 无励磁调压 b) 有载调压

3. 绝缘套管

绝缘套管穿过油箱盖, 将油箱中变压器绕组的输入、输出线从箱内引到箱外与电网相接。绝缘套管由外部的瓷套和中间的导电杆组成, 对它的要求主要是绝缘性能和密封性能要好, 如图 1—7 所示。根据运行电压的不同, 将其分为充气式和充油式两种, 后者为高电压用 (60 kV 用充油式)。当用于更高电压时 (110 kV 以上) 还在充油式绝缘套管中包有多层绝缘层和铝箔层, 使电场均匀分布, 增强绝缘性能。根据运行环境的不同, 又可分为户内式和户外式。

4. 压力释放阀

安全气道又称防爆管, 装在油箱顶盖上, 它是一个长钢筒, 出口处有一块厚度约 2 mm 的密封玻璃板 (防爆膜), 玻璃上划有几道缝。油和气体冲破防爆玻璃喷出, 从而避免了油箱爆炸引起的更大危害。压力释放阀的动作压力为 $53.9 \text{ kPa} \pm 4.9 \text{ kPa}$, 关闭压力为 29.4 kPa, 动作时间不大于 2 ms, 其外形如图 1—5d 所示, 结构如图 1—8 所示。当变压器内部发生严重故障而产生大量气体, 内部压力超过 50 kPa 时, 压力释放阀动作, 膜盘被顶开后释放压力, 从而避免了油箱爆炸。变压器内部压力在正常范围时, 膜盘靠弹簧拉力紧贴阀座 (密封圈), 起密封作用。

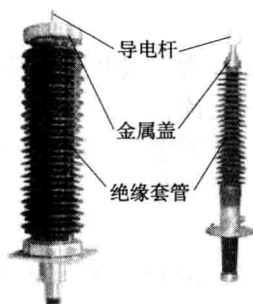


图 1—7 绝缘套管

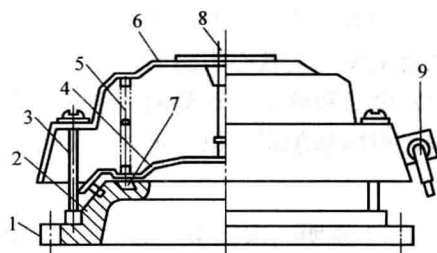


图 1—8 压力释放阀结构

1—安装孔 2—阀座 3—螺杆 4—膜盘 5—弹簧
6—护罩 7—密封圈 8—标志杆 9—接线盒

5. 测温装置

测温装置就是热保护装置。变压器的寿命取决于变压器的运行温度，因此油温和绕组的温度监测是很重要的。通常用三种温度计监测，箱盖上设置酒精温度计，其特点是计量精确但观察不便；变压器上装有信号温度计，便于观察；箱盖上装有电阻式温度计，便以远距离监测。

§ 1—3 变压器的原理

最简单的变压器是由一个闭合的铁心和绕在铁心上的两个匝数不等的绕组组成。我们已经知道：与电源相连的绕组称为一次绕组（一次侧）；与负载相连的绕组称为二次绕组（二次侧）。一次、二次绕组都用绝缘的导线绕成。虽然一、二次绕组在电路上是相互分开的，但通过磁路，一次、二次绕组相互联系，传递能量。根据二次绕组是否连接负载，变压器的运行可分为空载运行和负载运行。

一、变压器的空载运行

所谓变压器空载运行就是变压器一次绕组加额定电压，二次绕组开路的工作状态，如图 1—9 所示。实际变压器在运行中要考虑到各种损耗，分析起来比较复杂。为了分析的简单、方便，如果不计绕组的电阻、铁心的损耗，磁路中的漏磁通和磁饱和影响的变压器称为理想变压器。理想变压器只是一个纯电感电路，在一些近似的计算中常用理想变压器来分析。下面来分析理想变压器和实际变压器在空载运行中的情况。

1. 理想变压器空载运行

理想变压器运行原理图如 1—9 所示。

当一次绕组接上交流电压 u_1 时，在一次绕组中就会有交流电流 i_0 通过并在铁心中产生交变的磁通 Φ_m 。这个交变磁通不仅通过一次绕组，而且也通过二次绕组，并在两绕组中分别产生感应电动势 e_1 和 e_2 。此时，因为二次绕组没接负载，二

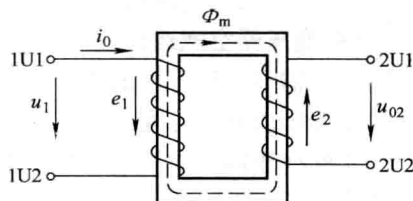


图 1—9 理想空载变压器的空载运行原理图



次绕组中没有电流流过, 但二次绕组有输出电压 u_{02} 。

(1) 空载电流 i_0 变压器空载运行时流过一次绕组的电流称为空载电流, 理想变压器的空载电流主要产生铁心中磁通, 所以空载电流也称为空载励磁电流。

(2) 电压和感应电动势的关系 因为理想变压器不考虑绕组的电阻、铁心的损耗和漏磁通影响, 根据基尔霍夫第二定律可知, 一次绕组的电压平衡方程式为:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \quad (1-1)$$

式 1-1 说明一次绕组上的感应电动势等于电源电压大小, 即 $U_1 = E_1$; 在相位上, $\dot{E}_1$ 与 $\dot{U}_1$ 反相位, $\dot{E}_1$ 也可以称为反电势。

二次绕组的电压平衡方程式为:

$$\dot{U}_{02} = \dot{E}_2 \quad (1-2)$$

式 1-2 说明二次绕组上输出电压大小等于感应电动势, 即 $U_{02} = E_2$; 并且 $\dot{U}_{02}$ 与 $\dot{E}_2$ 同相位。

(3) 感应电动势的大小 根据电磁感应定律 $e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 可推导出变压器和交流电机绕组上感应电动势大小的计算公式:

$$E = 4.44 f N \Phi_m \quad (1-3)$$

式中 Φ_m ——主磁通幅值, Wb;

f ——频率, Hz;

E ——感应电动势有效值, V。

式 1-3 是交流磁路的基本关系式, 它表示感应电动势的大小与电源频率 f , 绕组匝数及铁心中的主磁通的幅值成正比。

由公式 $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1$ 可知 $U_1 = E_1$, 即 $U_1 = E_1 = 4.44 f N \Phi_m$

该公式说明铁心中的主磁通的大小取决于电源电压、频率和一次绕组的匝数, 而与磁路所用的材料和磁路的尺寸无关。当电源电压不变时, 变压器磁路上的磁通的幅值是不会变化的。

(4) 变压比 (简称变比) 一次绕组电动势与二次绕组电动势大小之比称为变压比 K , 即:

$$K = E_1 / E_2$$

因为 $E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$, $E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$, 可得到公式:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_{02}} \quad (1-4)$$

式中 N_1 ——一次绕组匝数;

N_2 ——二次绕组匝数。

2. 实际变压器空载运行

实际变压器空载运行如图 1-10 所示, 空载运行接线如图 1-11 所示。

通过实验可以对实际变压器空载运行的情况分析如下:

(1) 实际变压器一次绕组存在电阻 r_1 , 当一次绕组有空载电流流过时, 会在该电阻上产生电压降 $i_0 r_1$ 。

(2) 变压器中存在漏磁通。空载电流产生的磁通分为两部分, 其中大部分磁通通过铁心