

电 机 学

河南电力工业学校
电机教研组编

电 机 学

河南电力工业学校

电机教研组编

电机学教材编写说明

一、新编教材的特点(和原使用教材相比):

(一)新编教材所取内容与实际联系更紧密,加重了现场技术成份。比如四大电机的结构部分编写详细充实符合实际;考虑直流电机现场应用较少,缩编了直流电机的内容。

(二)新编教材尝试了“理论和实践”一体化教学方法,将部分理论知识和实验操作融为一体。例如同步电机空载和短路、外特性和调整特性等内容。

(三)新编教材在内容深度上比原教材深(考虑到将来中专技校一体化和招生生源的变化)。增加了同步电机故障运行分析的内容,比如同步电机的无励磁运行和三相突然短路等。

(四)新编教材比原教材概念更准确,前后内容过渡衔接更自然,语言修辞比较简练。

二、编写人员分工及编写时间:

参加编写的有宋素琴、王嫩姣、张儒三同志。其中宋素琴编写了第一~第六章(包括绪论)和第四篇直流电机部分;王嫩姣编写了第七~十二章内容;张儒编写了第十三、十四章内容。编写时间为:1995年2月至6月。

三、编写教材的主要参考资料

- 1、《电机学》 许基登编
- 2、《电机学》 北京电力学校主编
- 3、《电机学》 保定电力技校 罗慰擎编
- 4、《电机学》 吴大榕编
- 5、《电机学》 冯欣南编

限于我们的水平,加上编写时间匆促、书中不妥和错误之处在所难免。恳请使用本书的师生和读者批评指正。

河南电力工业学校 电机组

一九九五年六月

目 录

编写说明	
绪论	1

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知识	5
§ 1-1 变压器的作用、分类及基本原理	5
§ 1-2 变压器的结构	8
§ 1-3 变压器的铭牌	11
小结	13
思考题与练习	13
第二章 单相变压器的空载运行	14
§ 2-1 变压器空载运行的基本电磁过程	14
§ 2-2 空载电流和空载损耗	18
§ 2-3 变压器空载等值电路	18
§ 2-4 变压器空载试验	20
小结	22
思考题与练习	22
第三章 单相变压器负载运行	24
§ 3-1 变压器负载运行原理	24
§ 3-2 变压器负载运行的等值电路	27
§ 3-3 标么值	30
§ 3-4 变压器负载运行的向量图和特性	31
§ 3-5 变压器短路和短路试验	36
小结	40
思考题与练习	41
第四章 三相变压器	41
§ 4-1 三相变压器的构成	42
§ 4-2 三相变压器绕组的连接方法	43
§ 4-3 三相变压器的连接组别	45
§ 4-4 连接组别的测定	48
§ 4-5 变压器接线方式、磁路与相电势波形	50

小结.....	53
思考题与练习.....	54
第五章 变压器的运行分析.....	56
§ 5-1 变压器的并列运行.....	56
§ 5-2 变压器空载合闸的励磁涌流.....	59
§ 5-3 变压器的突然短路.....	61
小结.....	63
思考题与练习.....	64
第六章 其它变压器.....	65
§ 6-1 三绕组变压器.....	65
§ 6-2 自耦变压器.....	67
§ 6-3 分裂变压器.....	69
小结.....	73
思考题与练习.....	73

第二篇 同步电机

第七章 同步电机的基本知识.....	74
§ 7-1 同步发电机工作原理.....	74
§ 7-2 同步电机类型.....	76
§ 7-3 汽轮发电机结构.....	78
§ 7-4 同步发电机的励磁方式.....	83
§ 7-5 铭牌.....	85
小结.....	86
思考题与练习.....	87
第八章 同步发电机的电枢绕组.....	88
§ 8-1 电枢绕组基本知识.....	88
§ 8-2 定子三相双层叠绕展开图.....	92
§ 8-3 电枢绕组相电势.....	94
小结.....	98
思考题与练习.....	98
第九章 同步发电机电枢磁势和电枢反应.....	99
§ 9-1 定子单相磁势——脉动磁势.....	99
§ 9-2 定子三相磁势——旋转磁势.....	102
§ 9-3 同步发电机负载运行的电枢反应.....	104

小结.....	109
思考题与练习.....	109
第十章 同步发电机的电势方程、向量图和特性.....	110
§ 10-1 隐极机的电势方程和向量图.....	110
§ 10-2 同步发电机空载和短路特性.....	113
§ 10-3 同步电抗和漏抗的测定.....	118
§ 10-4 同步发电机负载运行的外特性和调整特性.....	123
小结.....	127
思考题与练习.....	127
第十一章 同步发电机的运行分析.....	129
§ 11-1 发电机与电网并列的条件和方法.....	129
§ 11-2 同步发电机的功角特性.....	133
§ 11-3 与无穷大电网并列运行的发电机的有功功率调节.....	137
§ 11-4 与无穷大电网并列运行的发电机的无功功率调节.....	142
§ 11-5 调相机.....	145
§ 11-6 同步发电机的无励磁运行.....	147
§ 11-7 同步发电机的三相突然短路.....	149
小结.....	156
思考题与练习.....	156

第三篇 异步电机

第十二章 异步电动机基本知识.....	158
§ 12-1 异步电动机的结构和分类.....	158
§ 12-2 三相异步电动机的定子旋转磁场.....	160
§ 12-3 异步电动机的工作原理.....	162
§ 12-4 异步电动机定子单层绕组.....	164
§ 12-5 异步电动机的铭牌.....	172
小结.....	173
思考题与练习.....	174
第十三章 异步电动机的运行原理.....	175
§ 13-1 三相异步电动机的电势平衡方程式.....	175
§ 13-2 异步电动机转子电路分析.....	178
§ 13-3 异步电动机的磁势平衡.....	180
§ 13-4 异步电动机的等值电路.....	182
§ 13-5 电磁力矩.....	185

小结.....	191
思考题与练习.....	192
第十四章 异步电动机的起动和运行分析.....	194
§ 14-1 起动概述.....	194
§ 14-2 笼式异步电动机的起动.....	195
§ 14-3 绕线式异步电动机的起动.....	199
§ 14-4 深槽式和双笼式异步电动机.....	202
§ 14-5 异步电动机的运行分析.....	205
小结.....	211
思考题与练习.....	212

第四篇 直流电机

第一节 直流电机工作原理.....	213
第二节 直流电机的基本结构.....	216
第三节 电枢反应和换向.....	219
第四节 并励直流发电机的自励条件.....	222
第五节 直流电动机的起动和调速.....	225
小结.....	228
思考题与练习.....	228

绪 论

教学目标:

- 1、熟记电机学的内容和重要性;
- 2、知道电机学的学习方法;
- 3、熟知电机分析中常用的基本定律。

一、电机学的内容和重要性

1、电机学的内容

电机,包括变压器和旋转电机,都是通过电磁感应进行工作的电气设备。本书主要介绍电机在电力系统中的应用,分四篇讲述。

第一篇 变压器——变压器是一种静止电气设备,主要用来改变交流电压。用变压器升压是为了远距离输电,降压是为了用户需要。变压器在电力系统中应用十分广泛,一般变压器的总容量为发电机总容量的4~6倍。我国已制造出360MVA的大型电力变压器,输电线路最高电压500KV。

第二篇 同步电机——是一种旋转电机,可作为发电机和电动机使用,但主要是作发电机用。所有的交流电都是同步发电机发出的,它是发电厂的“心脏”,将机械能转换成电能,也是电机学的重点内容。目前,我国生产的最大容量的汽轮发电机是600MW(国外是1300MW)。

第三篇 异步电机——可作发电机和电动机用,但主要是作为电动机使用,把电能转换成机械能,又叫感应式电动机。在电力工业和国民经济中应用十分广泛。

第四篇 直流电机——是指输出或输入为直流电能的旋转电机。它是人们最早发明的一种电机,目前应用虽不广泛,但还不能把它淘汰掉。例如在电厂中,汽轮机的油泵、锅炉的给粉机都是由直流电动机带动的。另外,在交通运输中,无轨电车、电气化机车都用的是直流电源。

2、电机学的重要性

四大电机是电力工业的最主要设备,是电气化的心脏,缺一不可。电机学就是研究上述电机的理论问题和应用问题,是电气类专业的理论基础课,也是专业课。学好电机学对其它专业课也大有帮助。

二、电机学常用的电工理论

电机是依据电磁感应理论进行工作的,所以常用到《电工基础》中的理论,主要有下列理论:

1、电生磁 ——右手法则

(1) 直导体电流产生的磁场的方向



图0—1

(2) 线圈电流产生的磁场的方向

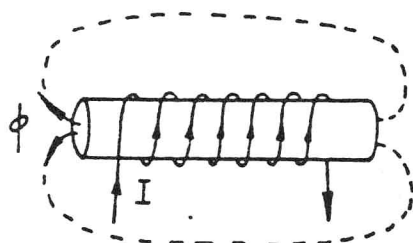


图0—2

2. 磁生电

(1)、楞次定律

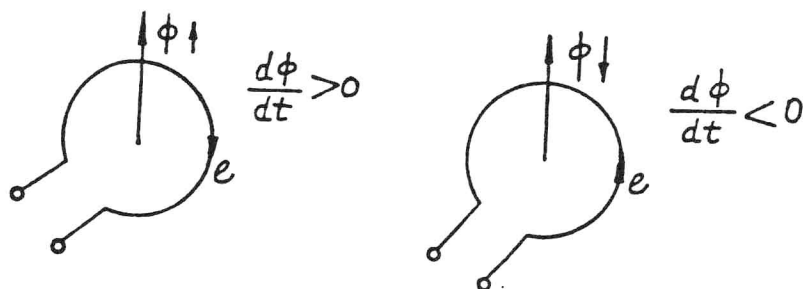


图0—3

磁通变化而感应产生电势的方向——即感应电势产生的新磁通总是要阻止原有磁通的变化。主要应用于变压器。

(2)、导体切割磁通感应产生的电势 —— 右手定则

右手掌伸直，拇指与四指垂直，磁场进入掌心，拇指表示导体切割磁通的方向，四指表示感应电势的方向。

例1：磁场不动，导体运动切割磁场感应电势的方向如图0—4所示。

例2：磁场运动，导体不动。

磁场运动扫过不动的导体，相当于导体反方向切割磁场感应电势如图0—5所示。常用于发电机原理。

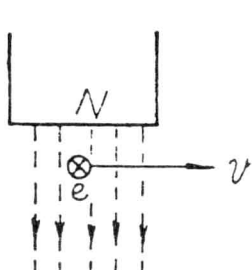


图0—4

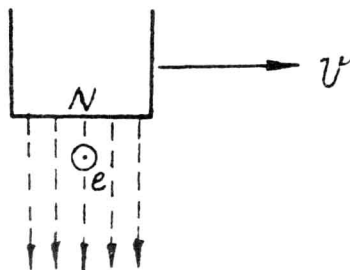


图0—5

3、电磁生力

有电流的导体在外磁场的作用下受力的方向，由左手定则决定，即左手掌伸平，拇指与四指垂直，则四指表示电流方向，拇指表示导体受力的方向如图0—6。主要用于电动机工作原理。

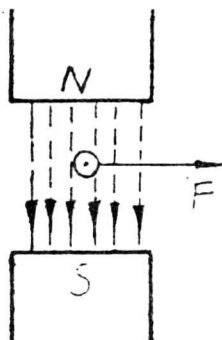


图0—6

三、如何学好电机学

电机学是电气类专业的一门主要专业基础课，任务是使学生掌握变压器、同步电机、异步电机、直流电机的基本结构、工作原理和运行性能；熟悉电机中的基本电磁规律，并获得运用电磁理论来分析、解决电机实际问题的能力；学会正确使用各种电机、掌握电机实验方法，并结合现场熟悉电机的维护和检修知识。

电机学与电工基础课的性质不同，在电工基础课中所研究的问题总是理想化和单纯化，在电机学中要求运用理论来解决问题。而在实际问题中，情况往往是复杂的又是综合的。因此在分析时，又需将问题简化，找出主要矛盾、运用理论加以解决，这样所得的结果有一定的近似性，但能够正确反映客观规律。在学习中要注意：

1、熟练掌握对电机分析十分有用的电磁基本定律。

2、学习中要注意弄清物理过程、物理概念，不要满足于知道公式中数量上的关系，更重要的是理解每一公式所表达的各物理量的关系。

3、注意前后知识的连接，在学习时要把各种电机联系起来学，这样才能对各种电机有深入的了解。

4、重视实验、实验不仅是研究电机的重要方法,而且是培养实际操作技能的重要环节。

5、按时完成作业、注意复习、不然不但容易忘掉旧课,新课也难以学好。

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知识

目的要求:

- 1、知道变压器的用途和简单分类;
- 2、能说出变压器基本结构及作用;
- 3、掌握变压器的工作原理。

变压器是一种静止的电器,通过电磁感应作用,把一种电压的交流电变换成同频率的另一种(或几种)电压的交流电能。

在电力系统中,变压器占有很重要的地位,利用变压器人们就可以根据输电距离的远近和用电要求的不同,来决定输电线路的电压等级,实现电能的经济传输,合理分配和安全使用。此外在工业企业的特殊用电设备上,在电能的测试和控制方面,变压器的应用也十分广泛。如电焊、电炉变压器,电压互感器或电流互感器以及脉冲变压器等等。

本章重点讨论电力变压器的基本结构和工作原理,对变压器的作用、分类和冷却方式以及额定值作简要说明。

§1—1 变压器的作用、分类及基本原理

教学目标:

- 1、知道变压器在电力系统的作用;
- 2、会说出变压器按相数、绕组数和冷却方式的分类;
- 3、熟记变压器为什么能变电压。

一、变压器的用途

发电机的端口电压为10KV~20KV,要把大功率的电能从发电厂输送到远方用户去,就需用升压变压器升高电压(如110KV、220KV、500KV等)进行输电。用户的用电设备绝缘水平较低,一般只能承受6KV以下的电压,所以用户端必须装设降压变压器。故从发电、输电、配电到用户,需经过3~5次变换电压,以提高输电配电的效率,变压器容量

一般为发电机容量的4~6倍。变压器在电力系统中的作用有：

1、用变压器升高电压是为了远距离输电

因为输送一定功率的电时，电压愈高，线路中的电流就愈小，所以线路的电压降落和功率损耗就愈小。

2、用变压器降压是为了用户用电的需要

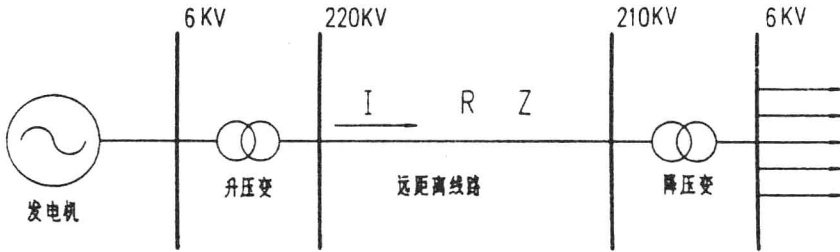


图1-1 电力系统图

二、变压器的分类

1、按用途分：

- ①电力变压器——容量大，用于输送电能，在电力网中广泛使用。
- ②调压变压器——小容量，可根据需要来调整二次电压，用于试验室。
- ③测量变压器——小容量，如电流、电压互感器。
- ④特殊变压器——如自耦变压器、电焊变压器等。

2、按相数分：

- ①单相变压器——容量小，原副边各有一相线圈。
- ②三相变压器——容量大，原副边各有三相线圈。

3、按线圈数分：

- ①自耦变压器——两侧共用一部分线圈。
- ②双线圈变压器——每相有两个线圈。
- ③三线圈变压器——每相有高、中、低三个线圈。

4、按冷却方式分：

- ①油浸自冷变压器——小容量
- ②油浸风冷变压器——中容量
- ③油浸强油风冷（或水冷）变压器——大容量

我们研究的主要对象为双线圈或三线圈大容量的三相电力变压器。

三、变压器的基本原理

变压器是通过电磁感应将一侧的电能量传递到另一侧的，所以必须具有电路和磁路两大部分。

1、电路部分 ——是两个（或几个）匝数不同且彼此绝缘的绕组。

①原绕组(原边或一次侧)——接电源的线圈,吸取电能,用A、X表示。

②副绕组(副边或二次侧)——接负载,输出电能,用a、x表示。

2、磁路部分 ——是一个闭合铁心,线圈套在铁心柱上。

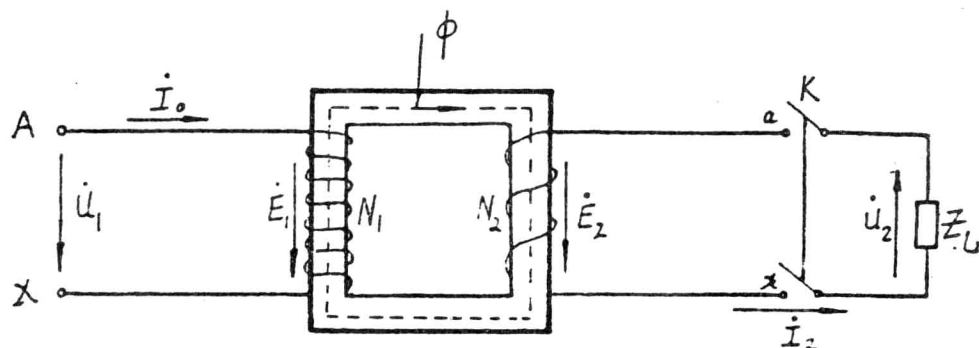


图1—2 变压器原理图

3、简单工作原理

一次线圈加上交流电压 $U_1 \rightarrow$ 产生空载电流 $I_0 \rightarrow$ 在铁心中建立交变的

磁通 $\Phi \rightarrow$

$$\begin{cases} \text{穿过一次线圈感应电势} & e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ \text{穿过二次线圈感应电势} & e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \end{cases}$$

由于 $N_1 \neq N_2$, $\therefore e_1 \neq e_2$ 。忽略变压器内部压降则 $e_1 \approx u_1$ $e_2 \approx u_2$

$\therefore u_1 \neq u_2$ 即起到变压作用,当副边接入负载 Z_L 时,副边将通过电流 i_2 ,并向负载输出功率。

4、变压器各物理量正方向的规定:

一次侧各量:

U_1 ——规定由A指向X,则 U_1 为正,即A点高电位,X点低电位。

I_1 ——由高电位流向低电位,即 $A \rightarrow X$ 。

Φ —— I_1 产生 Φ ,二者符合右手螺旋法则。

E_1 ——与 I_1 同方向,则 E_1 为正。

二次侧各量:

E_2 —— Φ 感应产生 E_2 ,二者若符合右手螺旋法则,则 E_2 为正。

U_2, I_2 ——是 E_2 产生的,与 E_2 同方向为正方向。

5、变压器不能变直流电压

因为直流电流产生的主磁通是不交变的,根据楞次定律可知,原副边线圈中均无感应

电势, 即 $E_1=0, E_2=0$, 对二次侧而言无电压输出, 对一次侧来讲, E_1 是反电势, 用于限制 I_0 。这时 $I_0 = \frac{U_1}{r_1}$, 相当短路, I_0 很大, 会烧坏一次线圈的。

§ 1—2 变压器的结构

教学目标:

- 1、熟记变压器铁心、绕组的构成及作用;
- 2、熟知变压器油及油枕的作用;
- 3、知道变压器其它附件的位置及作用。

变压器的主要结构分为:(1)铁心、(2)绕组、(3)油箱、(4)辅助设备, 如图1—3所示。

一、铁心

铁心既是变压器的磁路, 又是它的机械骨架。铁心由铁心柱和磁轭组成, 心柱上套装绕组, 铁轭使整个磁路成为闭合回路。

铁心由0.5毫米厚的硅钢片迭成, 片间涂绝缘漆, 用来限制涡流的产生, 减轻铁心发热。硅钢的磁阻非常小, 有良好的导磁作用, 所以产生一定量的主磁通需要的励磁电流 I_0 很小, 可减少空载损耗提高经济性。

变压器的铁心结构分为心式和壳式两种。心式结构特点是绕组包围着铁心柱, 如图1—4所示。壳式结构的特点是铁心包围着绕组, 如图1—5所示。心式结构简单, 绕组装配和绝缘比较容易, 因此国产电力变压器均采用心式结构。壳式铁心的机械强度较高, 常用于低电压、大电流的变压器, 也适用于三相电压互感器和铁心高度受限制的特大型电力变压器。

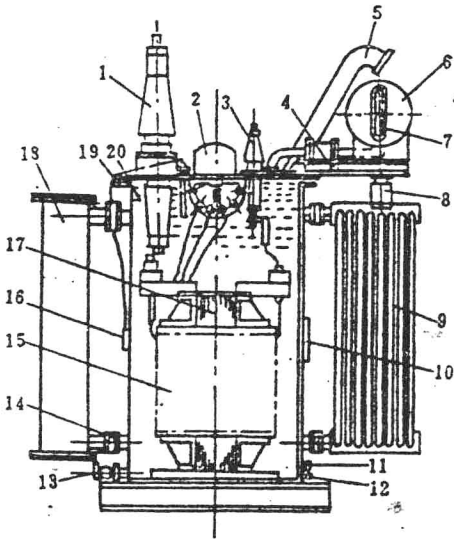


图 1—3 油浸式电力变压器结构示意图

1—高压套管, 2—分接开关, 3—低压套管, 4—气体继电器, 5—安全气道, 6—储油柜, 7—油位计, 8—吸湿器, 9—散热器, 10—铭牌, 11—接地螺栓, 12—油样阀门, 13—放油阀门, 14—活门, 15—绕组, 16—信号温度计, 17—铁心, 18—净油器, 19—油箱, 20—变压器油

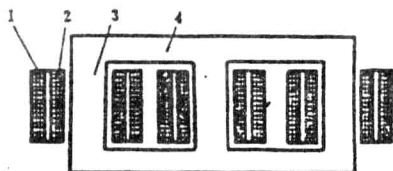


图 1-4 心式铁心

1—高压绕组；2—低压绕组；3—铁心柱；4—铁轭

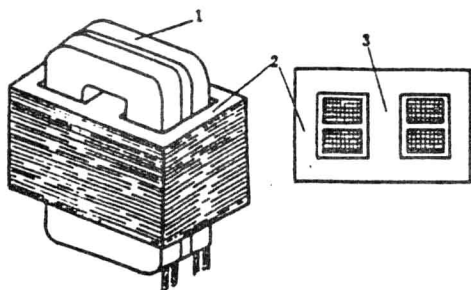


图 1-5 壳式铁心

1—绕组；2—铁轭；3—铁心柱

二、绕组

绕组是变压器的电路部分。一般用纱包和纸包的绝缘扁(圆)、铜(铝)导线绕成。按高、低压绕组相互位置的不同,可分为交迭式和同心式两种。电力变压器多采用同心式如图1—4所示。高、低压线圈同心地套在铁心柱上,为了便于绝缘,一般低压绕组在里面,高压绕组在外面。高压侧线圈电压高,电流小,所以线圈的匝数多,导线截面小;相反,低压线圈电压低、电流大,所以匝数少,截面大,故两侧线圈的用铜(铝)量是相同的。线圈除应有匝间绝缘外,还应对地绝缘。

三、油箱

油箱由钢板焊接而成,呈椭圆桶状,内部充满绝缘油,变压器的器身(绕组和铁芯)浸泡在绝缘油中。变压器油是从石油中提炼出来的优质矿物油,其作用有:①起绝缘作用,因为油的本身是绝缘的;②起散热作用,因为油能流动,可把铁心和线圈的热量传给油箱壁、散热管或散热器,从而冷却器身。

四、变压器的辅助设备

1、油枕

油枕是一个圆筒形容器,横放在油箱顶部,下半部充满油并与油箱的油连通,上半部与大气连通,油枕的容积约为油箱的10%左右。

油枕的作用有:①防止油箱胀裂——夏天油温高,油膨胀时油箱的油可上升到油枕里去,避免油箱胀裂;②防止油质变坏——冬天油温低,油的体积收缩时,油枕的油可下来充满油箱,防止空气将氧气和水分带入油箱内腐蚀油质,氧能使油变酸性而腐蚀线圈绝缘,水份能使线圈绝缘受潮变坏。

普通老枕油枕结构如图1—6所示,油枕中的油仍与空气接触,所以仍会氧化使油质变坏。

为了克服普通老式油枕的缺点,近年来在大容量变压器中采用隔膜式油枕,使油枕的油也与空气隔绝,达到进一步保护变压器的目的。

隔膜式油枕的结构如图1—7所示。

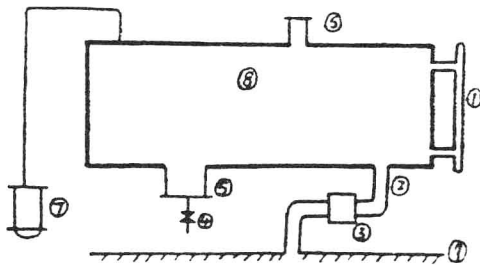


图1-6 普通油枕

- 1—油位计；2—油枕连管；3—气体继电器；
4—排污门；5—集污器；6—加油孔；
7—呼吸器；8—油枕本体；9—油箱盖

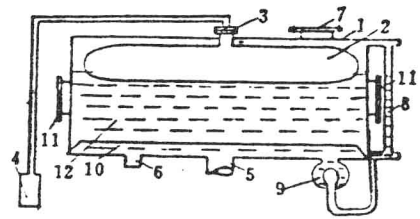


图1-7 隔膜密封式油枕

- 1—油枕；2—隔膜袋；3—呼吸口；4—吸湿器；5—油箱联管；6—沉积器；7—注油孔；8—油位计；9—压油袋；10—护架；11—安装孔；12—变压器油

2、净油器 ——是一个竖立安放的长圆筒，内装硅胶，运行中油箱的油受热上升进入净油器，而净油器的油受冷比重增加便下沉进入油箱，形成油的自然循环。当油箱里的油通过净油器时，硅胶便吸收油的水份及酸性，使油净化。

3、分接开关

为了调整变压器的输出电压，电力变压器的高压绕组一般都有抽头，称为分接。这些抽头连接到固定在油箱盖上的分接开关，如图1-8所示。改变一次侧匝数，调整二次侧输出电压，调节范围为额定电压的 $\pm 5\%$ 。

4、冷却装置

变压器的内部损耗转变成热量，这些热量如不及时散发出去，就会影响变压器的正常工作。而且变压器容量愈大，发热问题就愈严重。变压器常采用的冷却方法有：

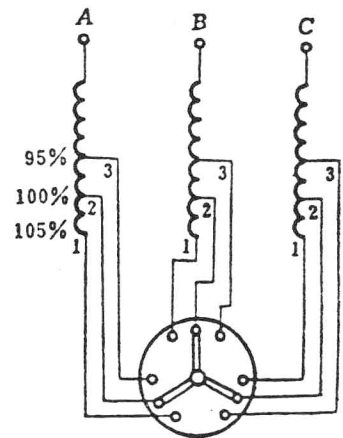


图1-8 变压器的分接开关

①油浸自冷式——依靠油箱外壁和油管或散热器的热辐射，借变压器周围空气的自然对流作用散发热量。适用于小容量变压器。

②油浸风冷式——容量大于1万KVA的变压器，采用带有风扇冷却的散热器。

③强迫油循环冷却——适用于大容量变压器，油箱上没有油管或散热器。利用油泵把变压器内的热油打入冷却器，在冷却器内利用风冷或水冷后再送回油箱。

5、气体继电器（瓦斯保护）

安装在油箱和油枕的联管中间。当变压器内部发生故障产生大量气体时，气体继电器动作，接通控制回路，从而及时发出信号或自动切除变压器。

6、绝缘套管

变压器的套管是将变压器绕组的高、低压引线引到油箱外部的绝缘装置，它是引线