

模块 一

变压器的结构和原理

- 项目一 变压器的结构和分类
- 项目二 变压器的原理
- 项目三 变压器的外特性及电压调整率
- 项目四 变压器的损耗和效率及冷却方式
- 项目五 变压器的故障检修及一般试验

变压器的结构和分类

简单电力系统示意图如图 1-1 所示。为了减小电力系统中输电导线的截面积和输电线路的功率损耗,世界各国在电能的输送与分配方面都朝着建立高电压、大功率的电力网系统方向发展。发电机本身由于其结构及所用绝缘材料的限制,不可能直接产生这样高的电压,因此在向电网输电时必须首先利用变压器将电压升高;高压电能输送到用电地区后,为了保证用电安全和符合用电设备的电压等级要求,还必须利用变压器将电压降低。

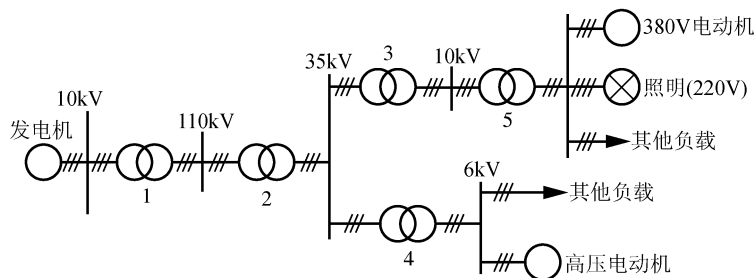


图 1-1 电力系统示意图

1—升压变压器; 2,3—降压变压器; 4,5—配电变压器

电力系统中使用的升压变压器、降压变压器和配电变压器统称为电力变压器,其特点是运行电压高、容量大。

电力变压器的主要组成部分是铁芯和绕组。为了解决散热、绝缘、密封和安全等问题,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、气体继电器等附件。常用三相变压器的外形如图 1-2 所示。

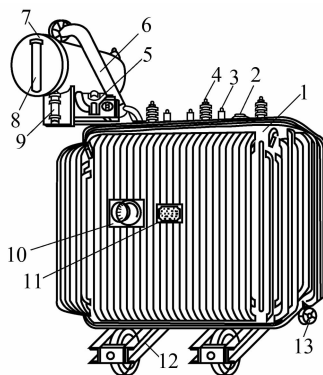


图 1-2 三相变压器外形

1—油箱; 2—分接开关; 3—低压套管; 4—高压套管;

5—气体继电器; 6—防爆管; 7—油枕; 8—油标;

9—吸湿器; 10—温度计; 11—铭牌; 12—小车; 13—放油阀

活动一 变压器的基本结构

1. 变压器的铁芯

变压器铁芯的作用是构成变压器的磁路和支撑变压器的绕组。

(1) 铁芯。

1) 铁芯的材料。变压器铁芯由硅钢片组成。为提高铁芯导磁性能,减少铁芯内的磁滞损耗和涡流损耗,铁芯通常采用含硅量比较高、厚度为 0.35~0.5 mm、两面均涂以绝缘漆的硅钢片叠装而成。目前,我国生产的电力变压器普遍使用冷轧钢片。

2) 铁芯的结构。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成,绕组装在铁芯柱上,由铁轭形成闭合磁路。铁芯可分为心式结构和壳式结构两种。

① 心式铁芯。心式铁芯变压器也叫内铁式变压器(见图 1-3),其特点是铁芯柱被绕组包围。心式铁芯变压器绕组和铁芯之间的绝缘处理较方便,硅钢片的装配容易,硅钢片用量少,适用于容量大、电压高的电力变压器。

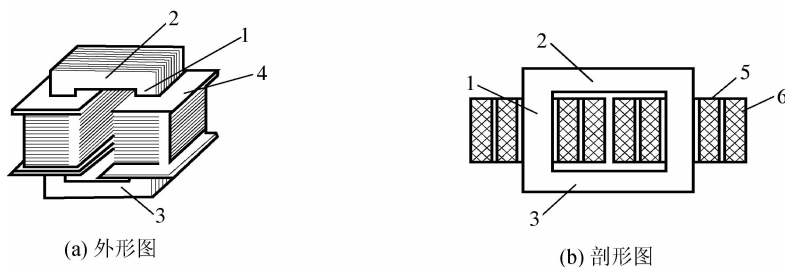


图 1-3 心式变压器铁芯

1—铁芯柱;2—上铁轭;3—下铁轭;4—绕组;5—低压绕组;6—高压绕组

② 壳式铁芯。壳式铁芯变压器也叫外铁式变压器(见图 1-4),其特点是铁芯作为壳体用来包围绕组。外铁式变压器的机械强度较好,铁芯容易散热,但硅钢片的用量较多,制造较为复杂。小型干式变压器多采用这种形式。

3) 铁芯叠片的形成。

① 条状铁芯叠片。大、中型变压器的铁芯,一般都将硅钢片裁成条状,采用交错叠片的方式叠装而成。叠装时使各层硅钢片的接缝互相错开,这样可以减少气隙和磁阻,如图 1-5(a)、(b)所示。近年来,在大型电力变压器中多采用高磁导率、低损耗的冷轧硅钢片,由于冷轧硅钢片顺着碾压方向才有磁导率高、损耗小的性能,因此采用斜切法下料,叠片方法如图 1-5(c)所示。

小型变压器为了简化装配工艺和减小气隙,常采用 E 字形、F 字形、C 字形和日字形冲片交替叠装而成,冲片的形状如图 1-6 所示。

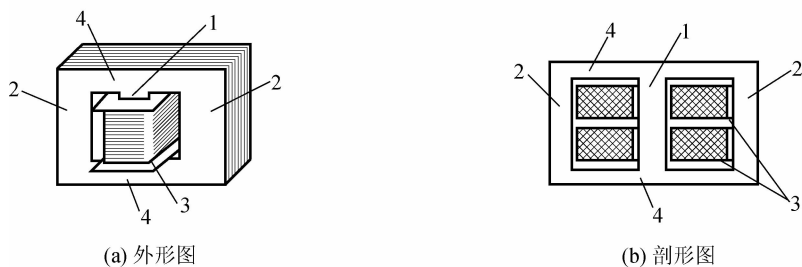


图 1-4 壳式变压器铁芯

1—铁芯柱；2—分支铁芯柱；3—绕组；4—铁轭

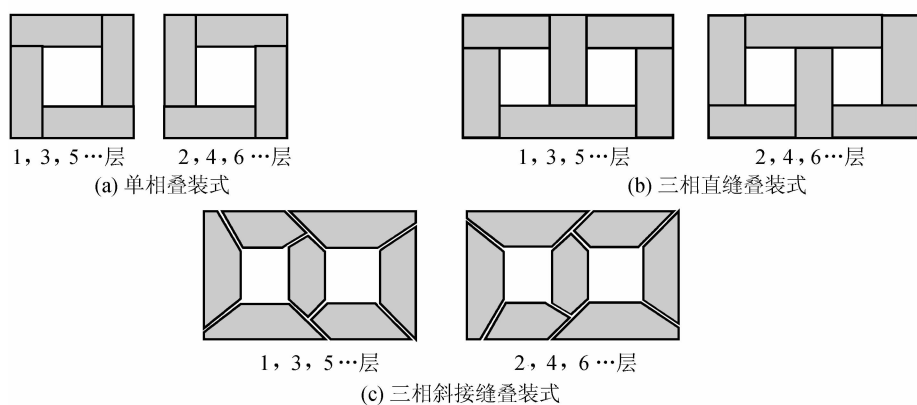


图 1-5 条状铁芯叠片

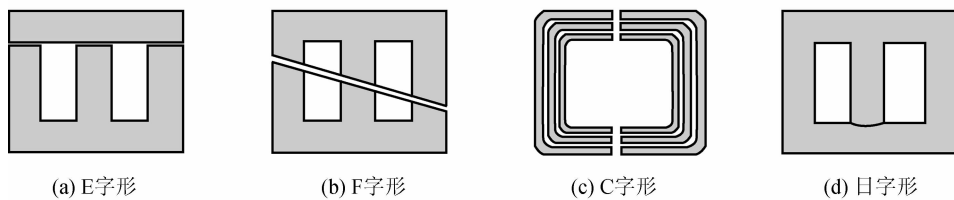


图 1-6 小型变压器的铁芯冲片

② 渐开线式铁芯。从 20 世纪 60 年代开始出现渐开线铁芯结构。它的铁芯柱用预先成型的渐开线形状的冷轧硅钢片插装压合而成，铁轭用成卷的带状冷轧硅钢片连续卷绕而成，再用长螺杆等夹紧附件把铁轭和铁芯柱对接紧固，如图 1-7 所示。这种渐开线式铁芯叠片，各片形状相同，很适合机械化流水线生产，而且具有体积小、用料省、质量轻、铁损耗少等优点。

4) 铁芯截面形式。小型变压器铁芯柱的截面是方形或长方形截面，如图 1-8(a)所示。大型变压器为了充分利用空间，铁芯柱的截面通常是梯形截面，如图 1-8(b)所示。为了改善铁芯内部的散热条件，当铁芯柱截面较大时，中间留有油道，如图 1-8(c)所示。

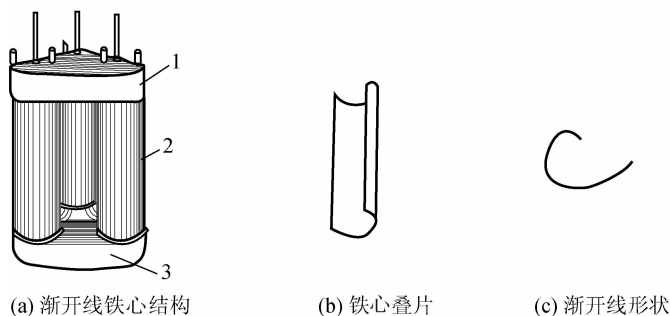


图 1-7 渐开线铁芯

1—上铁轭;2—铁芯柱;3—下铁轭

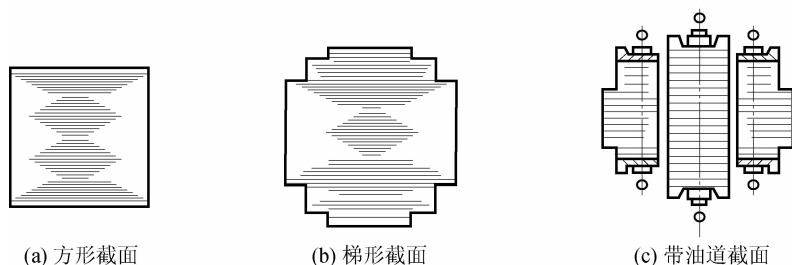


图 1-8 铁芯柱截面

(2) 磁路。在电机和变压器中,为了得到较强的磁场,通常利用磁导率很高的铁磁材料把电流所产生的磁通集中在限定的空间内。这种集中的磁通所经过的路径称为磁路。变压器的磁路如图 1-9 所示。

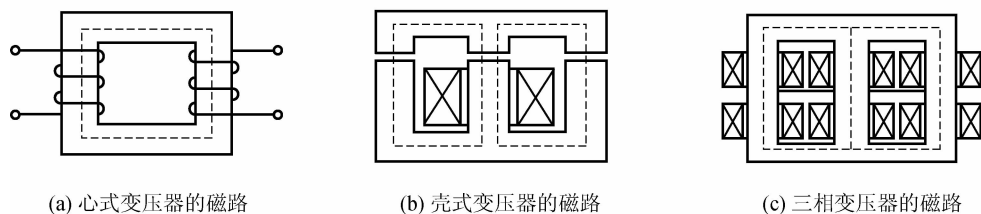


图 1-9 变压器的磁路

2. 变压器的绕组

绕组是变压器的电路部分,绕组的作用是作为电流的载体,产生磁通和感应电动势。变压器中,接到高压电网的绕组称为高压绕组,接到低压电网的绕组称为低压绕组。按高、低压绕组在铁芯柱上放置方式的不同,绕组有同心式和交叠式两种。

(1)同心式绕组。同心式绕组是将高、低压绕组同心地套在铁芯柱上。为了便于绝缘,一般低压绕组放在里面,高压绕组放在外面,如图 1-10 所示。低压绕组引出线的制作工艺复杂,低压绕组产生的热量较多,因此也有将大电流的低压绕组安放在高压绕组外面的。

同心式绕组具有结构简单、制造方便等特点,国产变压器多采用这种结构。

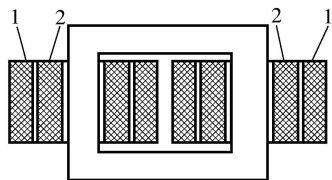


图 1-10 同心式绕组

1—高压绕组;2—低压绕组

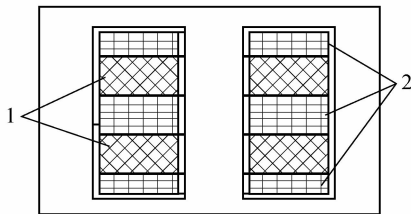


图 1-11 交叠式绕组

1—高压绕组;2—低压绕组

(2)交叠式绕组。交叠式绕组又称饼式绕组,高压绕组和低压绕组是互相交叠放置的,如图 1-11 所示。为了便于绝缘,一般在靠近上、下铁轭的位置安放低压绕组,中间安放高压绕组。交叠式绕组的主要优点是漏抗小,机械强度高,引线方便。由于高、低压绕组之间的绝缘处理工艺比较复杂,交叠式绕组一般用于电炉变压器、电焊变压器等低电压、大电流的变压器。

活动二 变压器的附件

变压器的主要部件是由铁芯和绕组构成的器身,变压器在工作时铁芯中存在磁滞损耗、涡流损耗,绕组中存在电能损耗,这些损耗都直接转化为热能,使变压器的器身发热,温度升高。电力变压器的容量大,损耗也大,由损耗而产生的热量也较大。为了解决电力变压器的散热问题,同时也为了调节输出电压和保证变压器安全运行等,需要一些附属部件,简称附件。电力变压器的附件有油箱和散热管、储油柜、安全气道和压力释放阀、气体继电器、测温装置、绝缘套管、分接头调压开关等。

1. 油箱和散热管

油箱的作用是容纳变压器油。油箱里装满了变压器油,变压器的器身浸在变压器油中。变压器油的作用有:绝缘;保护铁芯和绕组不受潮气的侵入;通过变压器油的对流,将器身产生的热量传给油箱和散热管。

为了把器身传给变压器油的热量散发出去,变压器油箱的外壁上焊有许多散热管。散热管的作用,一是增大变压器油对周围空气的散热面积,二是为变压器油提供循环路径。

变压器油的循环路径如图 1-12 所示,器身发热使变压器油变热、密度减小;热油在箱内上升,进入散热管与空气进行热交换;油流经散热管散热后,温度下降、密度增加,它

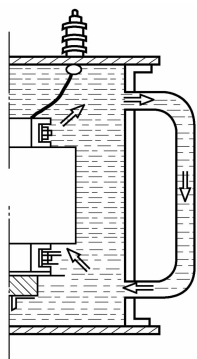


图 1-12 变压器油自然循环路径

沿散热管下降,重新进入油箱,再次去冷却器身。以上循环过程是靠变压器油受热后密度变化而自然完成的,因此这种冷却方式称为变压器油自然循环冷却。

2. 储油柜

储油柜也称为油枕,其作用是根据温度的变化,适应变压器油的热胀冷缩,随时将油充满整个油箱,防止器身与空气接触和潮气侵入。油枕与油箱连通,当变压器油因温度升高、体积增大时,变压器油排入油枕,使油箱不致因变压器油热膨胀时压力增大而被损坏;当变压器油因温度下降、体积减小时,油枕中的变压器油就补充到油箱中,保证油箱中充满变压器油,避免因温度降低使空气进入油箱。

为了使油枕中的空气保持干燥,在油枕进气管的端部装了一个呼吸器(吸湿器),空气在进入油枕之前先经呼吸器吸潮处理,去除空气中的水分。呼吸器中放有变色硅胶(浸过氯化钠或氯化钴),发现硅胶受潮变色(由蓝变红)时要及时更换。储油柜的侧面装有油标,可观察油面的高低。

3. 安全气道和压力释放阀

安全气道又称防爆管,其作用是:当变压器内部发生故障而产生大量气体、内部压力超过 50 kPa 时,油和气体会冲破防爆膜喷出,从而避免油箱爆炸引起更大的危害。如图 1-13 所示,安全气道装在油箱顶盖上,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。

现在生产的电力变压器已将安全气道改用压力释放阀,其结构如图 1-14 所示。压力释放阀的动作压力为 53.9 kPa,关闭压力为 29.4 kPa,动作时间不大于 2 ms。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。

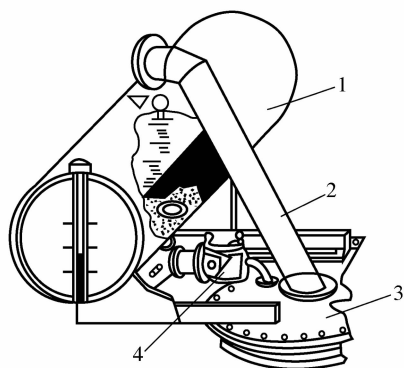


图 1-13 油枕、安全气道和气体继电器

1—油枕;2—安全气道;3—油箱;4—气体继电器

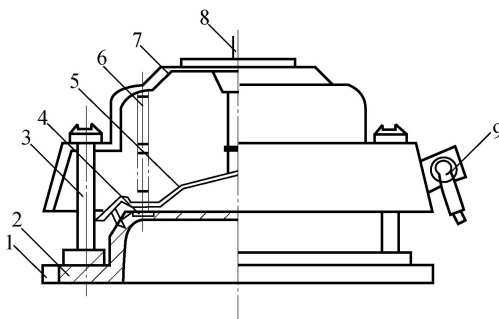


图 1-14 压力释放阀结构

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

4. 气体继电器

气体继电器的作用是：当变压器内部发生故障时，发出信号或切断变压器的电源，它是变压器的主要保护装置。气体继电器装在油箱与储油柜之间的管道中，其外形和结构如图1-15所示。

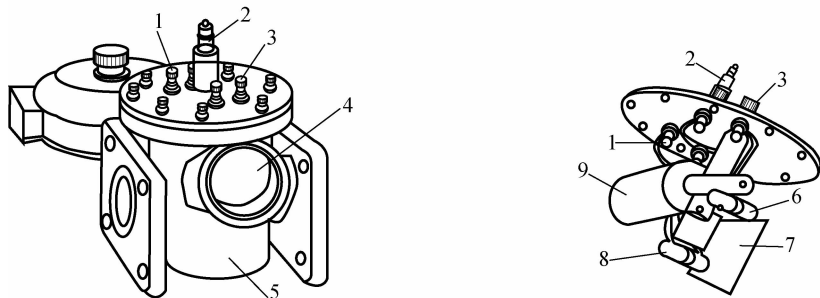


图 1-15 气体继电器的外形和结构

1—跳闸回路接线柱；2—放气孔；3—信号回路接线柱；4—观察窗；5—外壳；
6—轻微故障水银开关；7—挡板；8—严重故障水银开关；9—浮筒

当变压器发生轻微故障使器身过热时，变压器油分解产生气体，气体进入继电器内，浮筒动作使其中的轻微故障水银开关接通，发出报警信号。此时应立即将继电器中的气体放出检查，若是无色、不可燃的气体，变压器可继续运行；若是有色、有焦味、可燃的气体，则应立即停电检查。当变压器发生短路等严重故障时，变压器油膨胀并产生大量气体，油流冲破挡板，挡板偏转使严重故障水银开关接通，切断变压器电源并发出报警信号。

5. 测温装置

测温装置的作用是测量变压器油面的温度，它是变压器的热保护装置。变压器的使用寿命取决于变压器的运行温度，因此对油温和绕组的温度进行监测是很重要的。

小容量的油浸式变压器可安装刻度为 $0\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计，其结构如图 1-16 所示。通常将温度计放在薄钢管制作的外罩 2 中，管脚 6 插到油箱里面。为使测量准确，水银温度计安设在变压器的低压侧。

在容量较大的电力变压器上应装设压力式温度计，如图 1-17 所示。压力式温度计由测温管、金属软管和表头 3 部分组成。表头实际上是一个压力表，装在油箱壁上便于观察的位置。测温管内充满某种液体（如氯化甲烷或乙醚等），测温管通过金属软管与表头连接。测温管固定在油箱顶盖上的一个开口套筒内，套筒内注满变压器油，如图 1-17(b) 所示。当变压器的油温变化时，测温管内液体的压力也跟着变化，表头的指针（黑针）偏转，指示出相应的温度值。指针的转轴还可带动两对接点，调节装在表头上的最高

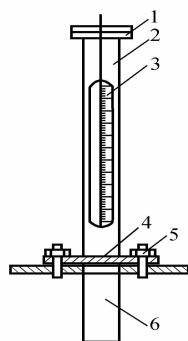


图 1-16 水银温度计

1—上盖；2—外罩；3—温度计刻度；
4—法兰；5—螺杆；6—管脚

温度指针(黄针、红针)的位置就可以改变接点闭合时的温度。当油温达到指定值时,接点闭合而接通电路,发出信号或开动冷却系统的启动装置。

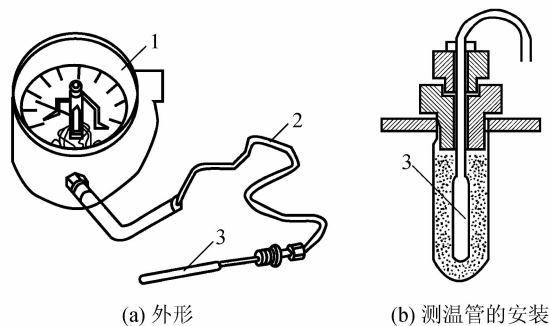


图 1-17 压力式温度计

1—表头;2—金属软管;3—测温管

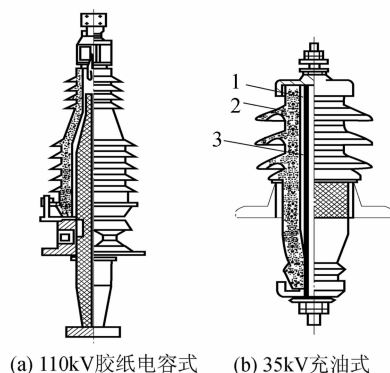


图 1-18 绝缘套管

1—变压器油;2—绝缘管;3—导电杆

6. 绝缘套管

绝缘套管的作用是使高、低压绕组的引出线与变压器箱体绝缘。绝缘套管由外部的瓷套和其中的导电杆组成。它的结构主要取决于电压等级和使用条件:电压不超过1kV时,采用实心瓷套管;电压在10~35kV时,采用充气式或充油式套管;电压为110kV及110kV以上时,采用电容式套管。为了增加表面放电距离,套管外形做成多级伞形,如图1-18所示。

7. 分接头调压开关

分接头调压开关的作用是根据电网电压或负载的变化,调节变压器的输出电压,控制变压器二次绕组输出电压的变化幅度。电力变压器的绕组一般都有抽头,叫做分接头,通过更换分接头来改变一、二次绕组的匝数比,便可达到调节二次绕组输出电压的目的。分接头调压开关有无励磁调压开关和有载调压开关两种。

无励磁调压是在变压器脱离电源后,改变分接头而进行的调压。如图1-19所示,分接头在高压绕组,为一次侧无励磁调压;分接头在低压绕组,为二次侧无励磁调压。

有载调压是指在变压器运行(变压器不断开电源,负载与变压器连接)时而进行的调压。有载调压开关在换挡调压时,因切换电流会引起电弧,为减小换挡调压产生的电弧,有载调压开关的动触点由主触点和辅助触点两部分组成,辅助触点上有限流电阻。换挡时,主触点未脱开,辅助触点已与下一挡静触点接触,然后主触点才脱离原来的静触点并与下一挡静触点接触,完成换挡调压。有载调压开关换挡调压的过程如图1-20所示。



图 1-19 分接头调压开关

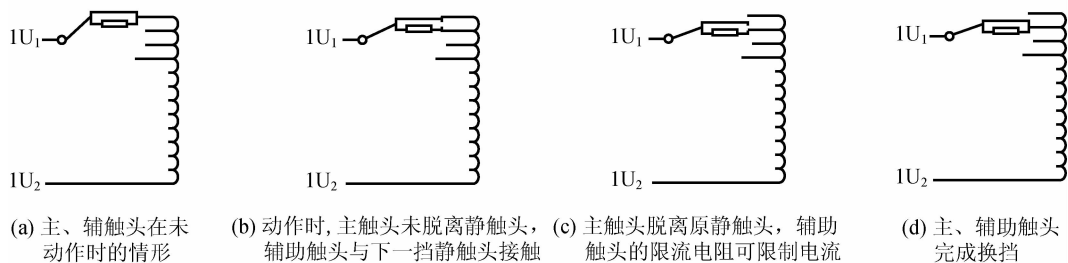


图 1-20 有载调压开关换挡调压的过程

活动三 变压器的分类

为了达到不同的使用目的,并适应不同的工作条件,变压器有很多类型,可按其用途、绕组数目、铁芯形式、相数、冷却方式进行分类。

1. 按用途分类

(1) 电力变压器。电力变压器主要用于电力系统升高或降低电压。电力变压器按容量可分为 4 种:小型电力变压器,容量在 630 kVA 及以下;中型电力变压器,容量为 800~6300 kVA;大型电力变压器,容量为 8000~63000 kVA;特大型电力变压器,容量在 90000 kVA 及以上。

(2) 调压变压器。调压变压器用来调节电压。实验室多使用小容量的调压变压器。

(3) 控制变压器。控制变压器容量较小,用于自动控制系统,如电源变压器、输入变压器、输出变压器和脉冲变压器等。

(4) 仪用变压器。仪用变压器一般指电流互感器和电压互感器。因为线路中的大电流、高电压不宜直接测量,需要通过互感器连接测量仪表进行测量。

(5) 试验高压变压器。试验高压变压器用于高压试验,如可产生高达 750 kV 电压的试验变压器。

(6) 特殊用变压器。特殊用变压器有电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等。

2. 按绕组数目分类

(1) 双绕组变压器。高、低压各用一个绕组的变压器,为双绕组变压器,如电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等。

(2) 自耦变压器。自耦变压器是高、低压共用一个绕组的变压器,在高、低压绕组之间既有磁的耦合,又有电的联系,如实验室使用的调压变压器。

(3) 三绕组变压器。三绕组变压器有高压、中压、低压 3 个绕组,如需要两种输出电压的电源变压器等。

(4) 多绕组变压器。多绕组变压器是有 3 个以上绕组的变压器,如需要多种输出电压的电源变压器等。

3. 按铁芯形式分类

按铁芯形式分类,主要有心式变压器和壳式变压器。此外,还有辐射形铁芯、渐开线铁芯等形式。

4. 按相数分类

(1) 单相变压器。单相变压器是用于单相交流系统的变压器,如计算机、家用电器和影像设备中的电源变压器。

(2) 三相变压器。三相变压器是用于三相交流系统的变压器,如电力变压器、三相电压互感器等。

(3) 多相变压器。多相变压器有多相绕组,如用于整流的六相变压器。

5. 按冷却方式分类

(1) 油浸变压器。油浸变压器是指铁芯与绕组完全浸在变压器油里的变压器,又可分为油浸自冷、油浸风冷、强迫循环水冷等冷却方式。

(2) 干式变压器。干式变压器是指不用变压器油而以自然冷却散热的变压器。除此之外,还有充气式变压器,其铁芯和绕组放在密封的铁箱内,充以绝缘性能好、传热快、化学性能稳定的气体。