

项目一

单相变压器

项目描述

某工厂机修车间的普通车床的工作灯不能正常工作,影响了设备的正常使用,如图 1-1 所示。我们通过对普通车床电气控制部分的了解,知道了车床等电气设备的局部照明电路的供电电压,采用了 36 V 或 24 V 的安全电压。而这些特殊的电压,都是由机床控制电器中的单相变压器提供的。我们通过本项目的实施,了解单相变压器的特点和结构,掌握其工作原理,并能对单相变压器的绕组进行重新绕制。

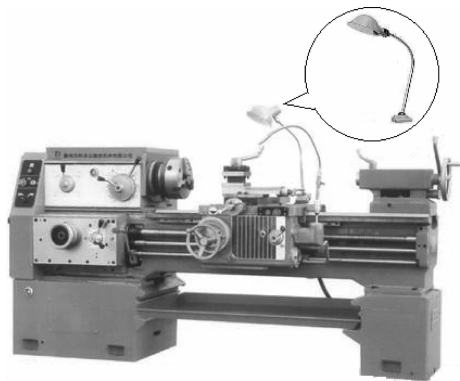


图 1-1 普通车床的局部照明控制部分

能力目标

- 能正确描述的单相变压器的特点、用途、类型、结构等基本知识。
- 能掌握单相变压器的原理。
- 能正确掌握单相变压器的绕组重新绕制的方法和步骤。

职业素养

1. 养成学生自我学习的意识、自主探究的能力和团队协作的精神。

2. 树立学生正确的职业观——认真、敬业、使命、荣誉。
3. 培养学生生活学活用,学以致用能力。

任务一

认识单相变压器

任务描述

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,掌握变压器的相关知识和应用技能是电气技术人员必不可少的。

任务目标

1. 能说出单相变压器的用途和分类,认识单相变压器的外形和内部结构,熟悉各组成部件的作用。
2. 掌握单相变压器的工作原理,知道变压器的能量传递过程。
3. 在教师指导下,正确使用仪表,并完成对单相变压器直流电阻和绝缘电阻的测量。

任务实施

一、变压器的分类

变压器是一种静止的电器,它利用电磁感应原理,将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求。

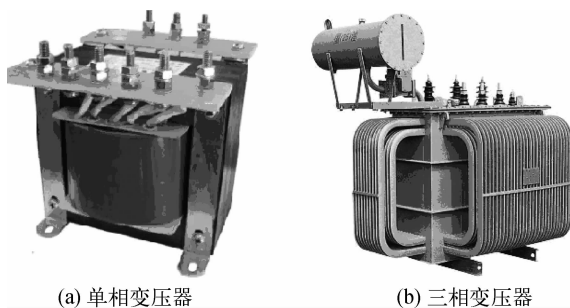


图 1-2 按电源相数分类的常见变压器

1. 按相数分类

按电源供电的相数分类,可分为单相变压器和三相变压器,如图 1-2 所示。

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。

三相变压器常用于输配电系统中变换电压和传输电能。

2. 按用途分类

按变压器的用途分类,可分为电力变压器、仪用变压器、电炉变压器、自耦变压器和电焊变压器,如图 1-3 所示。

电力变压器的外形和作用参照三相变压器。

仪用变压器仪用互感器是保证电能系统安全运行的重要设备,它的二次电压或电流用于测量仪器或继电保护自动装置,使二次设备与高压隔离,保证设备和人身安全。

电炉变压器常用于冶炼、加热及热处理。

自耦变压器常用于实验室或工业上调压。

电焊变压器常用于焊接各类钢铁材料的交流电焊机上。

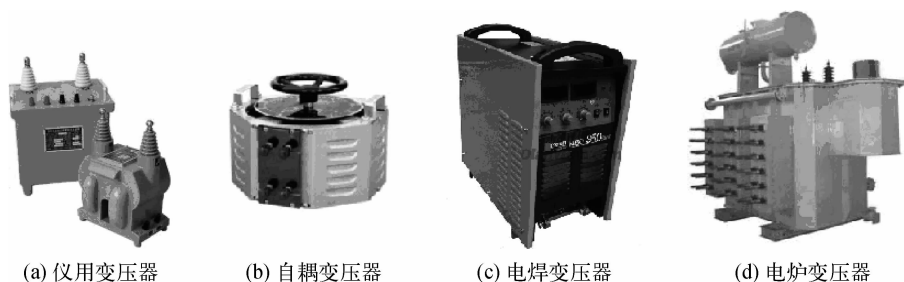


图 1-3 按用途分类的常见变压器

3. 按冷却方式分类

按冷却方式分类,可分为油浸式变压器、风冷式变压器、自冷式变压器和干式变压器。如图 1-4 所示。

油浸式变压器常用于大、中型变压器。

风冷式变压器常用于强迫油循环风冷,用于大型变压器。

自冷式变压器常用于空气冷却,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。

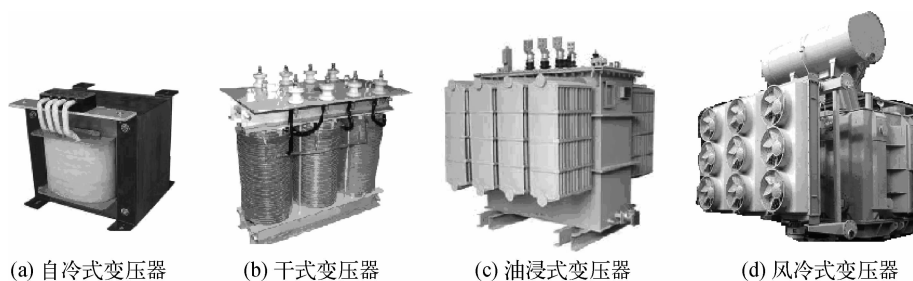


图 1-4 按冷却方式分类的常见变压器

4. 按铁心结构形式分类

按铁心结构形式分类,可分为壳式铁心和心式铁心,如图 1-5 所示。

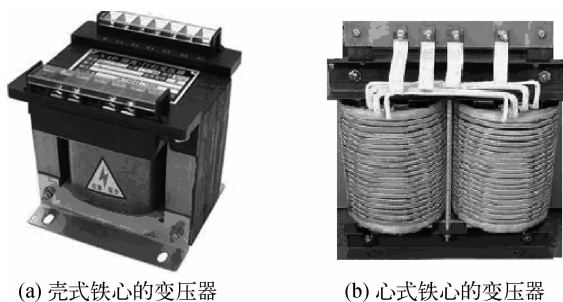


图 1-5 按铁心结构形式分类的常见变压器

二、单相变压器的结构

1. 铁心

铁心构成变压器磁路系统,并作为变压器的机械骨架。铁心由铁心柱和铁轭两部分组成,铁心柱上套装变压器绕组,铁轭起连接铁心柱使磁路闭合的作用。对铁心的要求是导磁性能要好,磁滞损耗及涡流损耗要尽量小,因此均采用 0.35 mm 厚的硅钢片制作。目前国产硅钢片有热轧硅钢片、冷轧无取向硅钢片、冷轧晶粒取向硅钢片。20 世纪 60~70 年代我国生产的电力变压器主要用热轧硅钢片,由于其铁损耗较大,导磁性能相应地比较差,且铁心叠装系数低(因硅钢片两面均涂有绝缘漆),现已不用。目前国产低损耗节能变压器均用冷轧晶粒取向硅钢片,其铁损耗低,且铁心叠装系数高(因硅钢片表面有氧化膜绝缘,不必再涂绝缘漆)。

根据变压器铁心的结构形式可分为心式变压器和壳式变压器两大类。心式变压器是在两侧的铁心柱上放置绕组,形成绕组包围铁心的形式,如图 1-6 所示。壳式变压器则是在中间的铁心柱上放置绕组,形成铁心包围绕组的形状,如图 1-7 所示。

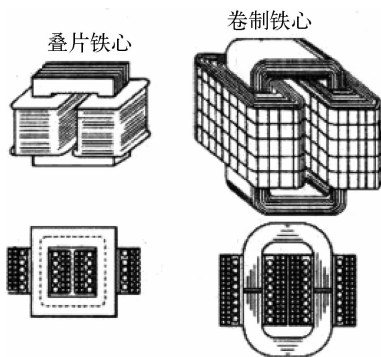


图 1-6 心式变压器结构

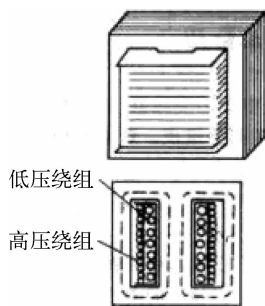


图 1-7 壳式变压器结构

根据变压器铁心的制作工艺,可分叠片式铁心和卷制式铁心两种。叠片式铁心的心式及壳式变压器的制作顺序是:先将硅钢片冲剪成如图 1-8 所示的形状,再将一片片硅钢片按其接口交错地插入事先绕制好并经过绝缘处理的线圈中,最后用夹件将铁心夹紧。为了减小铁心磁路的磁阻以减小铁心损耗,要求铁心装配时,接缝处的空气隙应越小越好。

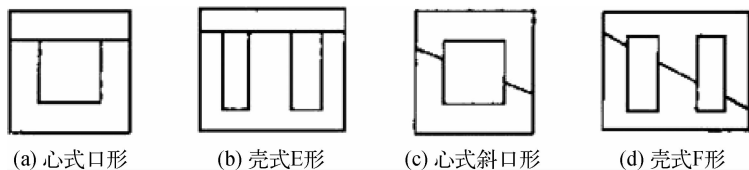


图 1-8 单相小容量变压器铁心形式

2. 绕组

变压器的线圈通常称为绕组,它是变压器中的电路部分,小型变压器一般用具有绝缘的漆包圆铜线绕制而成,对容量稍大的变压器则用扁铜线或扁铝线绕制。

在变压器中,接到高压电网的绕组称高压绕组,接到低压电网的绕组称低压绕组。按高

压绕组和低压绕组的相互位置和形状不同,绕组可分为同心式和交叠式两种。

(1) 同心式绕组:

同心式绕组是将高、低压绕组同心地套装在铁心柱上,如图 1-9 所示。为了便于与铁心绝缘,把低压绕组套装在里面,高压绕组套装在外面。对低压大电流大容量的变压器,由于低压绕组引出线很粗,也可以把它放在外面。高、低压绕组之间留有空隙,可作为油浸式变压器的油道,既利于绕组散热,又作为两绕组之间的绝缘。

同心式绕组按其绕制方法的不同又可分为圆筒式、螺旋式和连续式等多种。同心式绕组的结构简单、制造容易,常用于心式变压器中,这是一种最常见的绕组结构形式,国产电力变压器基本上均采用这种结构。

(2) 交叠式绕组:

交叠式绕组又称饼式绕组,它是将高压绕组及低压绕组分成若干个线饼,沿着铁心柱的高度交替排列着。为了便于绝缘,一般最上层和最下层安放低压绕组,如图 1-10 所示。交叠式绕组的主要优点是漏抗小、机械强度高、引线方便。这种绕组形式主要用在低电压、大电流的变压器上,如容量较大的电炉变压器、电阻电焊机(如点焊、滚焊和对焊电焊机)变压器等。

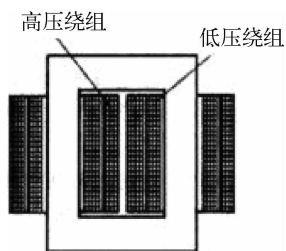


图 1-9 同心式绕组

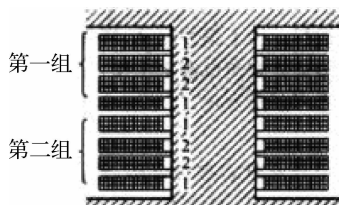


图 1-10 交叠式绕组

三、单相变压器的用途

现代化的工业企业广泛地采用电力作为能源,而发电厂发出的电力往往需经远距离传输才能到达用电地区。在传输的功率恒定时,传输电压越高,所需的电流越小。因为电压降正比于电流,线损正比于电流的平方,所以用较高的输电电压可以获得较低的线路压降和线路损耗。要制造电压很高的发电机,目前技术很困难,所以要用专门的设备将发电机端的电压升高以后再输送出去,这种专门的设备就是变压器。另一方面,在受电端又必须用降压变压器将高压降低到配电系统的电压,故要经过一系列配电变压器将高压降低到合适的值以供使用。

在电力网中,把水力、火力及其他形式电厂中发电机组能产生的交流电压升高后向电力网输出电能的变压器称为升压变压器,火力发电厂还要安装厂用电变压器,供起动机组之用,用于降低电压的变压器称为降压变压器,用于联络两种不同电压网络的变压器称为联络变压器。将电压降低到电气设备工作电压的变压器称为配电变压器。配电前用的各级变压器称为输电变压器。

由以上可知,变压器是一种通过改变电压而传输交流电能的静止感应电器。在电力系统中,变压器的地位十分重要,不仅所需数量多,而且性能好,运行安全可靠。

变压器除了应用在电力系统中,还应用在需要特种电源的工矿企业中。例如:冶炼用的电炉变压器,电解或化工用的整流变压器,焊接用的电焊变压器,试验用的试验变压器,交通用的牵引变压器,以及补偿用的电抗器,保护用的消弧线圈,测量用的互感器等。

四、特殊用途变压器

1. 自耦变压器

自耦的耦是电磁耦合的意思,自耦变压器一次侧、二次侧之间有直接的电的联系,它的低压绕组就是高压绕组的一部分。

自耦调压器按相数分可分为单相自耦变压器和三相自耦变压器,如图 1-11 所示。

自耦变压器具有可改变输出电压,用料省、效率高等优点。但因它一次侧、二次侧绕组是相通的,高压侧(电源)的电气故障会波及低压侧,不安全。如果在自耦变压器的输入端把相线和零线接反,虽然二次侧输出电压大小不变,仍可正常工作,但这时输出“零线”已经为“高电位”,非常危险。



图 1-11 常用的自耦变压器

2. 仪用互感器

仪用互感器可根据功能的不同,分为电流互感器和电压互感器两种。

(1) 电流互感器:

电流互感器可分为干式、浇注绝缘式和油浸式等,如图 1-12 所示。



图 1-12 常见的电流互感器

电流互感器的使用注意事项:

- (1) 电流互感器在运行中二次侧不得开路。
- (2) 电流互感器的铁心和二次侧要同时可靠接地,以免在高压绝缘击穿时危及仪表或人身的安全。
- (3) 电流互感器的一次、二次绕组有“+”“-”或“*”标记,表示同名端,当二次侧接功率表或电度表的电流线圈时,一定要注意极性。
- (4) 电流互感器的负载大小,影响到测量的准确度,一定要二次侧的负载阻抗小于要求的阻抗值,并且所用电流互感器的准确度等级比所接仪表的准确度等级高两级,以保证测量的准确度。

(2) 电压互感器:

电压互感器可分为干式、浇注绝缘式和油浸式等,如图 1-13 所示。

电压互感器的使用注意事项:



图 1-13 常见的电压互感器

- (1) 电压互感器运行中,二次侧不能短路,否则会烧坏绕组。因此,二次侧要装熔断器保护。
- (2) 铁心和二次侧绕组的一端要可靠接地,以防绝缘破坏时,铁心和绕组带高压电。
- (3) 二次侧绕组接功率表或电能表的电压线圈时,极性不能接错;三相电压互感器和三相变压器一样,要注意连接法,接错会造成严重后果。
- (4) 电压互感器的准确度与二次侧的负载大小有关,负载越大,即接的仪表越多,二次侧电流就越大,误差也就越大。与电流互感器一样,为了保证所接仪表的测量准确度,电压互感器要比所接仪表准确度高两级。

练习实践

单相变压器的操作实训。

一、实训目的

- (1) 认识并检测单相变压器。
- (2) 掌握单相变压器的接线和操作方法。
- (3) 测定单相变压器一次和二次侧绕组的直流电阻、对地以及绕组之间的绝缘电阻。
- (4) 测定单相变压器的输入输出电压、输入输出电流的关系。

二、实训器材

仪表、材料、设备等详见表 1-1。

三、实训内容

1. 认识实训器材

实训器材的作用及使用注意事项见表 1-1。

表 1-1 实训器材的使用及使用注意事项

序号	器材名称	实物图	作用	备注
1	单相调压器		可调节单相交流电源大小	逆时针旋转电压调节手柄,使输出电压降低;顺时针旋转,使输出电压升高
2	单相变压器		实训操作对象	通电后观察单相变压的输入/输出电压的关系以及输入/输出电流的关系
3	交流电压表		测定单相变压器的输入/输出电压	本次实训的测量工具,注意正确的选择量程
4	交流电流表		测定单相变压器的输入/输出电流	本次实训的测量工具,注意正确的选择量程
5	万用表		粗测单相变压器一次二次侧绕组的直流电阻	注意选择欧姆挡
6	可调负载电阻		改变单相变压器的负载大小	通过调节阻值来改变变压器电流的大小。开始通电前电阻值应该调到最大位置
7	兆欧表		用来测量单相变压器绕组对地以及绕组之间的绝缘电阻	又称绝缘电阻表,测定前应检查兆欧表的好坏
8	单臂电桥		精确测量单相变压器一次、二次侧绕组的直流电阻	根据万用表粗测的电阻值,合理选择单臂电桥的倍率

2. 单相变压器绕组直流电阻的测定

单相变压器一次、二次侧绕组均由铜导线绕制而成,因此存在一定的直流电阻。如果变压器的容量很小,则导线很细,此时绕组的直流电阻较大,约有几十欧,可用万用表电阻挡测量(最好用单臂电桥测量,其精准度较高);如果变压器的容量稍大,此时绕组低压侧的电阻可能较小,只有几十欧,则必须用单臂电桥测量。

测量变压器绕组的直流电阻可以确定哪一组为高压侧,哪一组为低压侧,同时也可初步判定变压器绕组的好坏(有无开路或短路故障)。

(1) 用万用表测量变压器一次及二次侧绕组的直流电阻值。

将万用表旋钮置于 $R \times 1$ 挡,分别测量变压器一次侧绕组及二次侧绕组的直流电阻值 R_1 及 R_2 ,并记录于表 1-2 中。

(2) 用单臂电桥精确测量电阻值。

在使用万用表粗测电阻值的基础上,用单臂电桥进行精确测量并记录于表 1-2 中。

① 选择单臂电桥,选择 QJ23 型单臂电桥。

② 校准电桥检流计指针的零位。先校准电桥检流计指针的机械零位,后将电桥表面的“G”打至“内接”,若指针不在零位,调整“调零”旋钮使之为零。

③ 接被测电阻。选择单相变压器其中一相绕组的两个端点,接到电桥待测电阻 R_x 接线柱上。

④ 选择电桥倍率。根据已用万用表粗测的绕组阻值,将电桥倍率选择旋钮的指示线对准合适的刻度线。例如,如果绕组阻值为 5Ω ,将倍率选择旋钮的指示线对准刻度线 $\times 10^{-3}$ 。

⑤ 调节电桥的电流计指针至平衡位置:

a. 先将比较臂“ $R \times 1000$ ”、“ $R \times 100$ ”、“ $R \times 10$ ”、“ $R \times 1$ ”旋钮旋至 10。

b. 测量方法。先按 B,后按 G,观察检流计指针的偏转方向,若检流计指针向“+”偏转,则应增大比较臂电阻;若检流计指针向“-”偏转,则应减小比较臂电阻。测量完毕,先松开 G,后松开 B,否则绕组突然断电产生自感电动势,从而损坏检流计。

c. 依次根据②的方法,确定“ $R \times 100$ ”、“ $R \times 10$ ”、“ $R \times 1$ ”的数值,直到检流计指针指向零位。

⑥ 读数并计算阻值。当电桥平衡后读出四个旋钮盘的读数,并计算出阻值。

⑦ 测量完毕后将“B”、“G”钮开关打至“外接”,拆除被测电阻。

(3) 比较两次测量结果。

比较两次测量方法的测量结果,看一看哪一种方法测得的电阻值较精确。

表 1-2 单相变压器绕组直流电阻的测定

万用表测量	$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega。$
单臂电桥测量	$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega。$

3. 变压器绕组绝缘电阻的测定

为保证变压器正常、安全地工作,变压器一次、二次侧绕组之间以及一次侧绕组与铁芯、二次侧绕组与铁芯之间均应有良好的绝缘。根据测定的变压器绕组的绝缘电阻值,可判定变压器的绝缘性能,从而判定变压器质量的好坏。变压器的绝缘电阻用兆欧表测定,对电压为 380 V(或 220 V)的变压器,测得的绝缘电阻阻值均不能低于 $0.5 M\Omega$ 。

(1) 选择合适的兆欧表并检查。

选择一只合适的兆欧表($0 \sim 500 V$),在测量前对兆欧表进行检查:

① 开路试验。将兆欧表 E、L 端开路,顺时针摇动兆欧表的手柄由慢至快并达到 120 r/min 的速度,观察兆欧表的指针是否指向开路状态“ ∞ ”;

② 短路试验。将兆欧表 E、L 端短路,并慢慢摇动兆欧表的手柄,观察兆欧表的指针是

否指向“0”。

(2) 测量绕组的绝缘电阻。

将兆欧表 L 接线柱上的接线接变压器一次侧绕组的一端,兆欧表 E 接线柱上的接线接铁芯。匀速摇动兆欧表手柄,使其转速达到 120 r/min 左右,摇动 1 min 后读取变压器一次侧绕组与铁芯间的绝缘电阻值,将数据记录于表 1-3 中。同样测量变压器二次侧绕组与铁芯间以及一次、二次侧绕组之间的绝缘电阻值并记录于表 1-3 中。

表 1-3 单相变压器绕组绝缘电阻的测定

测量内容	测量值	是否合格
变压器一次侧绕组与铁芯间的绝缘电阻值	_____ Ω	
变压器二次侧绕组与铁芯间的绝缘电阻值	_____ Ω	
变压器一次、二次侧绕组与铁芯间的绝缘电阻值	_____ Ω	

(3) 判断绕组的绝缘性能。

根据所测数值大小来判断绕组的绝缘有无受潮,彼此之间及对地有无击穿可能,若击穿短路电阻则为“0”。

4. 单相变压器的输入/输出电压,输入/输出电流关系的测定

(1) 绘制单相变压器的工作电路图。

根据单相变压器的额定值和电源的参数,设计和绘制单相变压器的工作电路。

(2) 连接单相变压器的工作电路。

经指导教师认可后,按照所绘制的单相变压器工作电路图连接交流电源、单相变压器、交流电压表、可调负载电阻以及开关。

接通交流电源前,务必将电源输出电压调到最小位置,注意合理选择各电压表、电流表的量程,负载电阻 R_L 的阻值应调到最大位置。

(3) 通电测试变压器的输入/输出电压关系。

先闭合电源开关 S_1 ,接通单相交流电源;再慢慢升高电压,注意观察并记录两只电压表的读数,直至变压器的输入电压为额定值。在 $0.2U_N \sim 1U_N$ 的范围内,共读取 $7 \sim 8$ 组数据,并记录于表 1-4 中。

表 1-4 单相变压器的输入/输出电压

U_1 (V)								
U_2 (V)								

(4) 通电测试变压器的输入/输出电流关系。

将变压器的输入电压调到额度电压的 80% 左右。闭合负载开关 S_2 ,慢慢减小负载电阻 R_L 的阻值,同样注意观察并记录两只电流表的读数,直至变压器的输入电流为额定值。在 $0 \sim I_N$ 的范围内,共读取 $7 \sim 8$ 组数据并记录于表 1-5 中。

表 1-5 单相变压器的输入/输出电流

I_1 (V)								
I_2 (V)								

四、注意事项

- (1) 单相变压器必须接入可调交流电源,不可直接加入额定电源电压。
- (2) 实际操作过程中,单相变压器输入/输出的电压和电流均不允许超过额定值。
- (3) 单相变压器输入/输出的电压值不同,输入/输出的电流值也相差较大,选用电压表和电流表时要注意选取合适的量程。
- (4) 选用负载电阻时,要注意其能承受单相变压器的额定输出电流。调节负载电阻时,要注意其阻值不能过小,以防止烧坏实训设备。

任务评价

根据本任务的平时学习和完成情况,按照日常行为、理论与技能、情感三个指标进行自我评价(20%)、小组评价(30%)和教师评价(50%)。

任务评价表

评价指标	评价要点	评价项目	配分	自我评价 0.2	小组评价 0.3	教师评价 0.5
日常行为	安全文明生产	安装操作规程的执行	5分			
		按规范要求正确操作,无设备、仪表的损坏	5分			
		工作岗位的规范	5分			
		工作习惯的养成	5分			
理论与技能	理论知识的应用	学习和查阅资料的能力	5分			
		分析和解决问题的能力、方法以及效果	5分			
		认识单相变压器的外形、分类和结构,熟悉各部件的作用	5分			
		理解特殊用途变压器的使用	5分			
	技能的实践	完成实训的主动型、积极性和创造性	5分			
		单相变压器绕组直流电阻的测定	10分			
		单相变压器绕组绝缘电阻的测定	10分			
情感	综合运用	理论与实训相结合的融汇和贯通	10分			
		设备、仪器、仪表的使用方法和保养	10分			
		小组团队协作、配合的能力	5分			
		团队的工作效率	5分			
		知识或技能的拓展能力与综合运用能力	5分			
合 计			100分			
教师综合评价						
		年 月 日				

任务拓展

特殊变压器——电焊变压器。

一、电焊变压器的结构及其特点

交流弧焊机由于结构简单、成本低廉、制造容易和维护方便而被广泛采用。电焊变压器是交流弧焊机的主要组成部分,它实质上是一台特殊的降压变压器。

在焊接中,为了保证焊接质量和电弧的稳定燃烧,对电焊变压器提出了如下的要求:

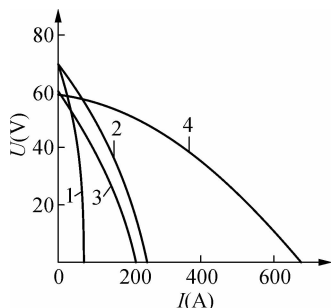


图 1-14 焊接电流与电弧电压的关系曲线

(1) 电焊变压器在空载时,应有一定的空载电压,通常 $U_0 = 60 \sim 75 \text{ V}$,以保证起弧容易。另一方面,为了操作者的安全,空载起弧电压又不能太高,最高不宜超过 85 V 。

(2) 在负载时,电压应随负载的增大而急剧下降,即应有陡降的外特性,如图 1-14 所示。通常在额定负载时的输出电压约 30 V 。

(3) 在短路时,短路电流 I_{sc} 不应过大,以免损坏电焊机。

(4) 为了适应不同的焊接工件和不同焊条的需要,要求电焊变压器输出的电流能在一定范围内进行调节。

为了满足上述要求,电焊变压器必须具有较大的漏抗,而且可以进行调节。因此,电焊变压器的结构特点是:铁心的气隙比较大,一次、二次绕组不是同心地套在一个铁心柱上,而是分装在不同的铁心柱上,再用磁分路法、串联可变电抗器法及改变二次绕组的接法等来调节焊接电流。工业上使用的交流弧焊机类型很多,如抽头式、可动铁心式、可动线圈式和综合式等,都是依据上述原理制造的。

磁分路动铁心式弧焊机是较具代表性的一类交流弧焊机。如图 1-15 所示,是 BXI 系列磁分路动铁心式弧焊机的外形图。

基本结构及工作原理如下:

该型电焊机的电焊变压器为磁分路动铁心式结构,它的铁心由固定铁心和活动铁心两部分组成。固定铁心为“口”字形,在固定铁心两边的方柱上绕有一次绕组和二次绕组。活动铁心装在固定铁心中间的螺杆上,当摇动铁心调节装置手轮时,螺杆转动,活动铁心就沿着导杆在固定铁心的方口中移动,从而改变固定铁心中的磁通,调节焊接电流。

该型电焊机的由一次绕组及二次绕组组成。一次绕组绕在固定铁心的一边;二次绕组由两部分组成,一部分与一次绕组绕在同一边,另一部分绕在铁心的另一侧,如图 1-16 所示。前一部分起建立电压的作用,后一部分相当于电感线圈。焊接电流的粗调是靠变更二次绕组接线板上的连接片的接法来实现的,接法 II 用于焊接电流大的场合,接法 I 用于焊接

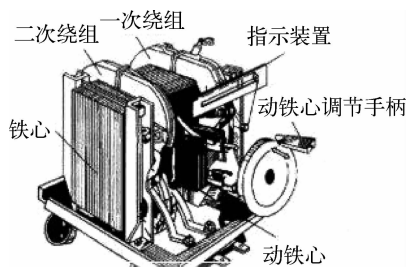


图 1-15 磁分路动铁心式弧焊机外形图

电流小的场合。焊接电流的细调节则是通过手轮移动铁心的位置,改变漏抗,从而得到均匀的电流调节。

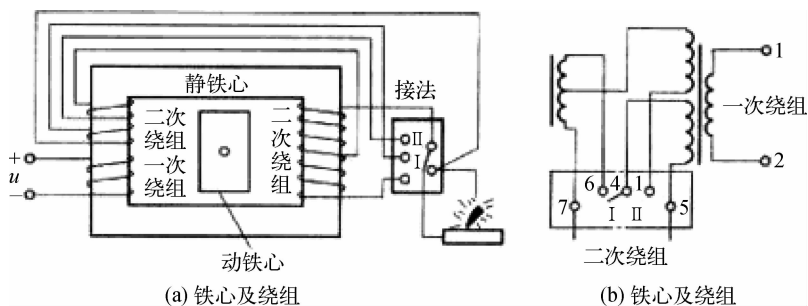


图 1-16 磁分路动铁心式弧焊机原理示意图

BX1 系列弧焊机有三种型号,其中 BX1-35 的焊接电流调节范围为 25~150 A,用于薄钢片的焊接;BX1-330 的焊接电流调节范围为 50~450 A,BX1-500 则为 50~680 A,可用来焊接不同厚度的低碳钢板。

动圈式弧焊机的典型产品是 BX3 系列,如图 1-17 所示。它的焊接电流调节是靠改变一次绕组和二次绕组之间的距离(从而改变它们之间的漏抗大小)来实现的。还可将一次及二次绕组串联或并联来扩大电流调节范围。



图 1-17 BX3-315 型动圈式交流弧焊机

任务二

单相变压器的原理

任务描述

为了合理、高效、安全、可靠地使用单相变压器,发挥变压器的最大作用,电气技术人员应该了解变压器改变电压、电流和阻抗的工作原理。根据工作原理,在使用变压器时,应该注意哪些地方?变压器工作时性能的好差主要体现在哪些方面?如何用实验的方法来测定变压器的工作性能?决定变压器性能的主要参数有哪些?如何来测定一台变压器的这些参数?本任务将解决上述问题。

任务目标

1. 能理解单相变压器改变电压、电流和阻抗的工作原理,并能进行简单计算。
2. 能知道单相变压器的外特性、损耗和效率的含义,能正确分析变压器的运行情况。
3. 学会单相变压器参数的测定方法,能说出变压器空载试验和短路试验的目的和实际意义。

任务实施

一、单相变压器的运行原理

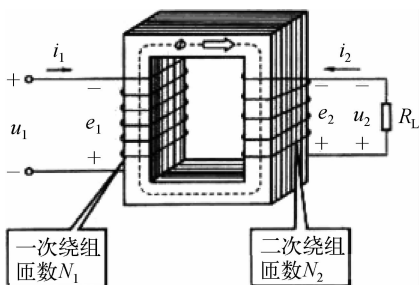


图 1-18 单相变压器的工作原理图

变压器是利用电磁感应原理工作的,图 1-18 所示为工作原理图。变压器的主要部件是铁心和绕组。两个互相绝缘且匝数不同的绕组分别套装在铁心上,两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系,其中接电源的绕组称为一次绕组(曾称为原绕组、初级绕组),用于接负载的绕组称为二次绕组(曾称为副绕组、次级绕组)。

一次绕组加上交流电压 u_1 后,绕组中便有电流 i_1 通过,在铁心中产生与 u_1 同频率的交变磁通 Φ_m ,根据电磁感应原理,将分别在两个绕组中感应出电动势 e_1 和 e_2 :

$$e_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad e_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

公式中,“-”号表示感应电动势总是阻碍磁通的变化。若把负载接在二次绕组上,则在电动势 e_2 的作用下,有电流 i_2 流过负载,实现了电能的传递。由上式可知,一、二次绕组感应电动势的大小(近似于各自的电压 U_1 及 U_2)与绕组匝数成正比,故只要改变一、二次绕组的匝数,就可达到改变电压的目的,这就是变压器的基本工作原理。

二、单相变压器的空载运行

1. 空载运行时各物理量正方向的规定

变压器一次绕组接额定频率和额定电压的电网上,而二次绕组开路,即 $i_2=0$ 的工作方式称变压器的空载运行,如图 1-19 所示。

由于变压器接在交流电源上工作,因此通过变压器中的电压、电流、磁通及电动势的大小及方向均随时间在不断地变化,为了正确地表示它们之间的相位关系,必须首先规定它们的参考方向。

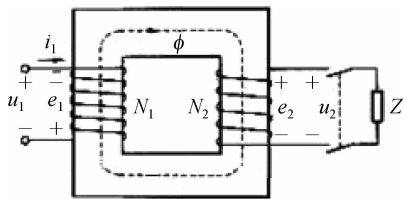


图 1-19 单相变压器的空载运行

原则上可以任意规定参考方向,但是如果规定的方法不同,则同一电磁过程所列出的方程式,其正、负号也将不同。为了统一起见,习惯上都按照“电工惯例”来规定参考方向:

- (1) 电压的参考方向:在同一支路中,电压的参考方向与电流的参考方向一致。
- (2) 磁通的参考方向:磁通的参考方向与电流的参考方向之间符合右手螺旋定则。
- (3) 感应电动势的参考方向:由交变磁通 Φ 产生的感应电动势 e ,其参考方向与产生该磁通的电流参考方向一致(即感应电动势 e 与产生它的磁通 Φ 之间符合右手螺旋定则)。

下面分析变压器空载运行时,各物理量之间的关系。

2. 感应电动势和变比

空载时,在外加交流电压 u_1 作用下,一次绕组中通过的电流称为空载电流 i_0 。在电流 i_0

的作用下,铁心中产生交变磁通 Φ (称为主磁通),主磁通 Φ 同时穿过一、二次绕组,分别在其中产生感应电动势 e_1 和 e_2 ,其大小正比于 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,可推导出变压器绕组上感应电动势有效值的大小:

$$E = 4.44fN\varphi_m$$

由此可得:

$$E_1 = 4.44fN_1\varphi_m;$$

$$E_2 = 4.44fN_2\varphi_m$$

公式中, E_1 ——一次侧绕组的感应电动势的有效值;

E_2 ——二次侧绕组的感应电动势的有效值;

F ——电源的频率;

N_1 ——一次侧绕组的匝数;

N_2 ——二次侧绕组的匝数;

Φ_m ——主磁通的最大值。

由以上公式可得:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

如略去一次绕组中的阻抗不计,则外加电源电压的有效值 U_1 与一次绕组中的感应电动势 E_1 可近似看作相等,即 $U_1 \approx E_1$ 。而 U_1 与 E_1 的参考方向正好相反,即电动势 E_1 与外加电压 U_1 相平衡。

在空载情况下,由于二次绕组开路,故端电压 U_2 与电动势正好相等,即 $U_2 = E_2$ 。因此:

$$U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\varphi_m;$$

$$U_2 = E_2 = 4.44fN_2\varphi_m;$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_u = K$$

公式中, K_u 称为变压器的变压比,简称变比,也可用 K 来表示。这是变压器中最重要的参数之一。可见变压器一、二次绕组的电压与一、二次绕组的匝数成正比,也即变压器有变换电压的作用。

对某台变压器而言, f 及 N_1 均为常数,因此当加在变压器上的交流电压有效值 U_1 恒定时,则变压器铁心中的磁通 Φ_m 基本上保持不变。这个恒磁通的概念很重要,在以后的分析中经常会用到。

3. 变压器的空载电流和空载损耗

变压器空载运行时,空载电流 I_0 一方面用来产生主磁通,另一方面用来补偿变压器空载时的损耗。为此,将 I_0 分解成两部分,一部分为无功分量 I_q ,用来建立磁场,起励磁作用,与主磁通同相位;另一部分为有功分量 I_d ,用来供给变压器铁心损耗,相位超前主磁通 90° ,即:

$$I_0 = I_q + I_d$$

空载电流一般只占额定电流的(2~10)% ,而 $I_d < 10\% < I_0$,因此 $I_0 \approx I_q$,所以空载电流

I_0 主要用来建立主磁通,故近似称作励磁电流。

变压器空载时没有输出功率,它从电源获取的全部功率都消耗在其内部,称为空载损耗。空载损耗绝大部分是铁心损耗 P_0 ,即磁滞损耗与涡流损耗,只有极少部分是一次绕组电阻上的铜损耗 I_{02R} ,它只占空载损耗的 2%,故可认为变压器的空载损耗就是变压器的铁心损耗。

4. 空载运行时相量图

变压器空载运行时的电路原理如图 1-20。其中一次绕组的两个接线端用“ U_1 ”、“ U_2 ”表示,二次绕组的两个接线端用“ u_1 ”、“ u_2 ”表示。

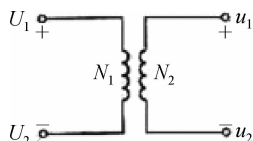


图 1-20 单相变压器空载运行时的原理图

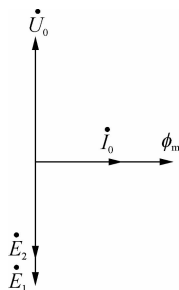


图 1-21 理想变压器空载运行相量图

在不计一次绕组的阻抗及变压器中的损耗时,图 1-20 中的空载电流 I_0 只用来产生磁通 Φ_m ,一次绕组电路为纯电感电路,空载电流 I_0 滞后于电压 $U_1 90^\circ$,又由于感应电动势 E_1 滞后于电压 $U_1 180^\circ$,故 E_1 滞后于电流 $I_0 90^\circ$ 。另外由前面分析知道 E_1 也滞后于 $\Phi_m 90^\circ$,故 I_0 与由 Φ_m 同相位,由此可以作出理想变压器(不计损耗的变压器)空载运行时的相量图,如图 1-21 所示。

例题:如图 1-19 所示,低压照明变压器一次绕组匝数 $N_1=660$ 匝,一次绕组电压 $U_1=220$ V,现要求二次绕组输出电压 $U_2=36$ V,求二次绕组匝数 N_2 及变比 K_u 。

解:由以上公式可得:

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{36}{220} \times 660 = 108 \text{ 匝};$$

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{36} = 6.1$$

通常我们把 $K_u > 1$ (即 $U_1 > U_2, N_1 > N_2$) 的变压器称为降压变压器; $K_u < 1$ 称为升压变压器。

三、变压器的负载运行

变压器一次绕组接额定电压,二次绕组与负载相连的运行状态称为变压器的负载运行,如图 1-22 所示。此时二次绕组中有电流 I_2 通过,由于该电流是依据电磁感应原理由一次绕组感应而产生,因此一次绕组中的电流也由空载电流 I_0 变为负载电流 I_1 。

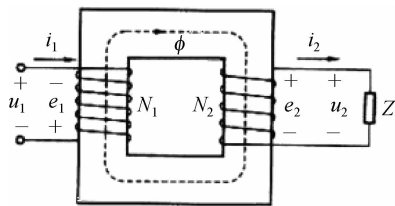


图 1-22 单相变压器的负载运行

二次绕组中的电流 I_2 所产生的磁通势 $N_2 I_2$ 将在铁心中产生磁通 Φ_2 , 它力图改变铁心中的主磁通 Φ_m , 但由前面分析的恒磁通的概念可知, 由于加在一次绕组上的电压有效值 U_1 不变, 因此主磁通 Φ_m 基本不变, 故随着 I_2 的出现, 一次绕组中通过的电流将从 I_0 增加到 I_1 , 一次绕组的磁通势也将由 $N_1 I_0$ 增加到 $N_1 I_1$, 它所增加的部分正好与二次绕组的磁通势 $N_2 I_2$ 相抵消, 从而维持铁心中的主磁通 Φ_m 的大小不变。由此可得变压器负载运行时的磁通势平衡方程式为:

$$N_1 I_1 + N_2 I_2 = N_1 I_0$$

由于变压器的空载电流 I_0 很小, 特别是在变压器接近满载时, $N_1 I_0$ 相对于 $N_1 I_1$ 或 $N_2 I_2$ 而言基本是忽略不计的, 于是可得变压器一、二次绕组的磁通势的有效值关系为:

$$N_1 I_1 \approx N_2 I_2;$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K_u} = K_I$$

公式中, K_I 称为变压器的变流比。变压器一、二次绕组中的电流与一、二次绕组的匝数成反比, 即变压器也有变换电流的作用, 且电流的大小与匝数成反比。

由上述公式可得出: 变压器的高压绕组匝数多, 而通过的电流小, 因此绕组所用的导线细; 反之低压绕组匝数少, 通过的电流大, 所用的导线较粗。

四、变压器的阻抗变换

变压器不但具有电压变换和电流变换的作用, 还具有阻抗变换的作用, 如图 1-23 所示。

当变压器二次绕组接上阻抗为 Z 的负载后, 则:

$$Z = \frac{U_2}{I_2} = \frac{\frac{N_2}{N_1} U_1}{\frac{N_2}{N_1} I} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \frac{U_1}{I} = \frac{1}{K^2} Z'$$

公式中, $Z' = \frac{U_1}{I_1}$ 相当于直接接在一次绕组上的等效阻抗, 如图 1-23 所示。所以可见接在变压器二次绕组上的负载 Z 与不经过变压器直接接在电源上的负载 Z' 相比, 减小到 $1/K^2$ 倍。换句话说也就是负载阻抗通过变压器接电源时, 相当于阻抗增加到 K^2 倍。

在电子电路中, 为了获得较大的功率输出往往对输出电路的输出阻抗与所接的负载阻抗之间有一定的要求。例如对音响设备来讲, 为了能在扬声器中获得最好的音响效果(获得最大的功率输出), 要求音响设备输出的阻抗与扬声器的阻抗尽量相等。但在实际上扬声器的阻抗往往只有几欧到十几欧, 而音响设备等信号的输出阻抗恰恰很大, 在几百欧、几千欧以上, 为此通常在两者之间加接一个变压器(称为输出变压器、线间变压器)来达到阻抗匹配的目的。

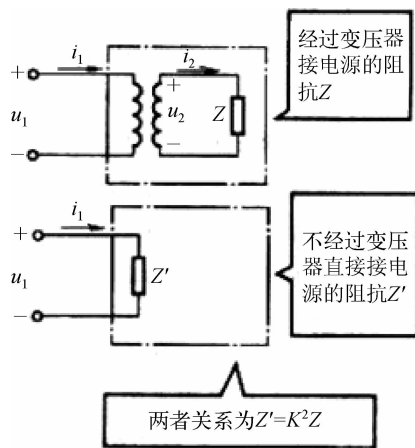


图 1-23 变压器的阻抗变换

例题:某晶体管收音机输出电路的输出阻抗为 $Z' = 392 \Omega$, 接入的扬声器阻抗为 $Z = 8 \Omega$, 现加接一个输出变压器, 使两者实现阻抗匹配。求该变压器的变比 K ; 若该变压器一次绕组匝数 $N_1 = 560$ 匝, 问二次绕组匝数 N_2 为多少?

解:由以上的公式可得:

$$K = \sqrt{\frac{Z'}{Z}} = \sqrt{\frac{392}{8}} = 7;$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{560}{7} = 80 \text{ 匝}$$

五、变压器的外特性

变压器空载运行时,若一次绕组电压 U_1 不变,则二次绕组电压 U_2 也是不变的。变压器加上负载之后,随着负载电流 I_2 的增加, I_2 在二次绕组内部的阻抗压降也会增加,使二次绕组输出的电压 U_2 随之发生变化。另一方面,由于一次绕组电流 I_1 随 U_2 增加,因此 I_2 增加时,使一次绕组漏阻抗上的压降也增加,一次绕组电动势 E_1 和二次绕组电动势 E_2 也会有所下降,这也会影响二次绕组的输出电压 U_2 。变压器的外特性是用来描述输出电压 U_2 随负载电流 I_2 的变化而变化的情况。

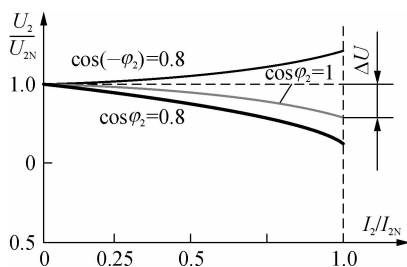


图 1-24 变压器的外特性曲线

当一次绕组电压 U_1 和负载的功率因数 $\cos \varphi_2$ 一定时,二次绕组电压 U_2 与负载电流 I_2 的关系,称为变压器的外特性,它可以通过实验求得。功率因数不同时的几条外特性绘于图 1-24 中,可以看出,当 $\cos \varphi_2 = 1$ 时, U_2 随 I_2 的增加而下降得并不多;当 $\cos \varphi_2$ 降低时,即在感性负载时, U_2 随 I_2 增加而下降的程度加大,这是因为滞后的无功电流对变压器磁路中的主磁通的去磁作用更为显著,而使 E_1 和 E_2 有所下降的缘故;但当 $\cos \varphi_2$ 为负值时,即在容性负载时,

超前的无功电流有助磁作用,主磁通会有所增加, E_1 和 E_2 亦相应加大,使得 U_2 会随 I_2 的增加而提高。以上叙述表明,负载的功率因数对变压器外特性的影响是很大的。

在图 1-24 中,纵坐标用 U_2/U_{2N} 之值表示,而横坐标用 I_2/I_{2N} 表示,使得在坐标轴上的数值都在 $0 \sim 1$ 之间,或稍大于 1,这样做是为了便于不同容量和不同电压的变压器相互比较。

六、变压器的损耗及效率

变压器从电源输入的有功功率 P_1 和向负载输出的有功功率 P_2 可分别用下式计算:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

两者之差为变压器的损耗 ΔP , 它包括铜损耗 P_{Cu} 和铁损耗 P_{Fe} 两部分组成,即:

$$\Delta P = P_{Cu} + P_{Fe}$$

1. 铜损耗 P_{Cu}

变压器的铜损耗也分为基本铜损耗和附加铜损耗两部分。基本铜损耗是由电流在一

次、二次绕组电阻上产生的损耗,而附加铜损耗是指由漏磁通产生的集肤效应使电流在导体内分布不均匀而产生的额外损耗。附加铜损耗约占基本铜损耗的3%~20%。在变压器中铜损耗与负载电流的平方成正比,所以铜损耗又称为“可变损耗”。

2. 铁损耗 P_{Fe}

变压器的铁损耗包括基本铁损耗和附加铁损耗两部分。基本铁损耗包括铁心中的磁滞损耗和涡流损耗,它决定于铁心中的磁通密度的大小、磁通交变的频率和硅钢片的质量等。附加损耗则包括铁心叠片间因绝缘损伤而产生的局部涡流损耗、主磁通在变压器铁心以外的结构部件中引起的涡流损耗等,附加损耗约为基本损耗的15%~20%。

变压器的铁损耗与一次绕组上所加的电源电压大小有关,而与负载电流的大小无关。当电源电压一定时,铁心中的磁通基本不变,故铁损耗也就基本不变,因此铁损耗又称“不变损耗”。

3. 效率

变压器的输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比称为变压器的效率 η , 即:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}} \times 100\%$$

由于变压器没有旋转的部件,不像电机那样有机械损耗存在,因此变压器的效率一般都比较,中小型电力变压器效率在95%以上,大型电力变压器效率可达99%以上。

前面已经讲过降低变压器本身的损耗,提高其效率是供电系统中一个极为重要的课题,世界各国都在大力研究高效节能变压器,其主要途径:一是采用低损耗的冷轧硅钢片来制作铁心。例如容量相同的两台电力变压器,用热轧硅钢片制作铁心的 SJ1-1 000/10 变压器铁损耗约为 4 440 W。用冷轧硅钢片制作铁心的 S7-1 000/10 变压器铁损耗仅为 1 700 W。后者比前者每小时可减少 2.7 kW·h 的损耗,仅此一项每年可节电 23 652 kW·h。由此可见,为什么我国要强制推行使用低损耗变压器。二是减小铜损耗,如果能用超导材料来制作变压器绕组,则可使其电阻为零,铜损耗也就不存在了。世界上许多国家正在致力于该项研究,目前已有 330 kV 单相超导变压器问世,其体积比普通变压器要小 70% 左右,损耗可降低 50%。

4. 效率特性

变压器在不同的负载电流 I_2 时,输出功率 P_2 及铜损耗 P_{Cu} 都在变化,因此变压器的效率 η 也随负载电流 I_2 的变化而变化,其变化规律通常用变压器的效率特性曲线来表示,如图 1-25 所示。

图中 $\beta = I_2 / I_{2N}$ 称为负载系数。通过数学分析可知:当变压器的不变损耗等于可变损耗时,变压器的效率最高,通常变压器的最高效率位于 $\beta = 0.5 \sim 0.6$ 之间。

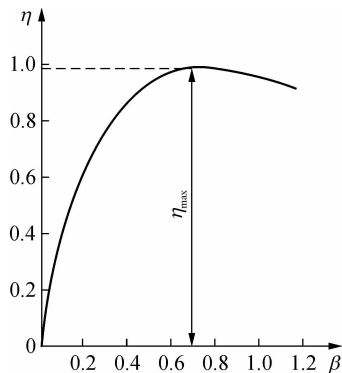


图 1-25 变压器的效率曲线

练习实践

变压器的空载运行实训与短路运行实训。

一、实训目的

- (1) 测定单相变压器的变比。
- (2) 通过空载和短路实训,测定变压器的损耗和相关参数。

二、实训仪器和设备



仪表、材料、设备等详见表 1-6。

三、实训的内容

1. 认识实训器材

实训器材的作用及使用注意事项见表 1-6。

表 1-6 实训器材的使用及使用注意事项

序号	器材名称	实物图	作用	备注
1	单相调压器		可调节单相交流电源大小	逆时针旋转电压调节手柄,使输出电压降低;顺时针旋转,使输出电压升高
2	单相变压器		实训操作对象	
3	交流电压表		测量交流电压	并联在被测电路中
4	交流电流表		测量交流电流	串联在被测电路中
5	低功率因数功率表		测量功率因数	由两个线圈组成,电流线圈串联在被测电路,电压线圈并联在被测电路

(1) 变压器空载实训:

① 在三相调压交流电源断电的条件下,按图 1-26 接线。被测变压器选用三相组式变压器 DJ11 中的一只作为单相变压器,其额定容量 $P_N=77 \text{ V} \cdot \text{A}$, $U_{1N}/U_{2N}=220/55 \text{ V}$, $I_{1N}/I_{2N}=0.35/1.4 \text{ A}$ 。变压器的低压线圈 a, x 接电源,高压线圈 A, X 开路。

② 选好所有测量仪表量程(电压表 V_1 量程为 100 V , V_2 为 300 V , 电流表为 0.3 A)。将控制屏左侧调压器旋钮向逆时针方向旋转到底,即将其调到输出电压为零的位置。

③ 合上交流电源总开关,按下“启动”按钮,便接通了三相交流电源。调节三相调压器旋钮,使变压器空载电压 $U_0=1.2U_N(66 \text{ V})$,然后逐次降低电源电压,在 $(1.2\sim 0.3)U_N(66\sim 16.5 \text{ V})$ 的范围内,测取变压器的 U_0, I_0, P_0, U_{AX} 。

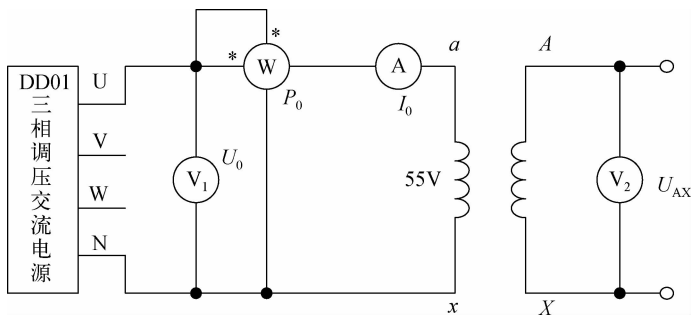


图 1-26 变压器空载实验接线图

④ 测取数据时, $U=U_N$ 点必须测, 并在该点附近测的点较密, 共测取数据 7~8 组。记录于表 1-7 中。

⑤ 关闭电源, 调压器调回到最小。

表 1-7 变压器空载实验数据

序号	实验数据				计算数据				
					功率因数	变比	励磁参数($U=U_N$ 时)		
	U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	U_{AX} (V)	$\cos \varphi_0$	K	γ_m	Z_m	X_m
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
平均值									

其中: $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0}$, $K = \frac{U_{AX}}{U_0}$, $r_m = \frac{P_0}{I_0^2} / K^2$, $Z_m = \frac{U_0}{I_0} / K^2$, $X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} / K^2$ 。

(2) 变压器短路实训:

① 按下控制屏上的“停止”按钮, 切断三相调压交流电源, 按图 1-27 接线。将变压器的高压线圈接电源, 低压线圈直接短路。

② 选好所有测量仪表量程(电压表 30 V, 电流表 1 A), 将交流调压器旋钮调到输出电压为零的位置。

③ 接通交流电源, 逐次缓慢增加输入电压, 直到短路电流等于 $1.1 I_N$ (0.385 A) 为止, 在 $(1.1 \sim 0.2) I_N$ (0.385~0.07 A) 范围内测取变压器的 U_K 、 I_K 、 P_K 。

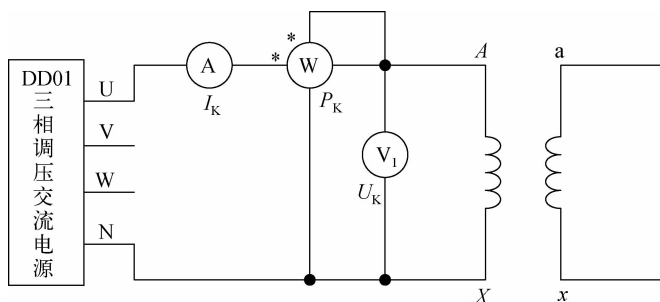


图 1-27 变压器短路实验接线图

- ④ 测取数据时, $I_K = I_N$ 点必须测, 共测取数据 6~7 组记录于表 1-8 中。
 ⑤ 按下停止按钮, 钥匙开关拨到“关”位置, 左侧调压器旋钮调回到最小。

表 1-8 变压器短路实验数据

序号	实验数据			计算数据		
				功率因数	励磁参数 ($I_K = I_N$ 时)	
	U_K (V)	I_K (A)	P_K (W)	X_K	γ_K	Z_K
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
平均值						

其中: $\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K I_K}$, $r_K = \frac{P_K}{I_K^2}$, $Z_K = \frac{U_K}{I_K}$, $X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$ 。

四、注意事项

- (1) 在变压器实训中, 应注意电压表、电流表、功率表的合理布置及量程选择。
- (2) 短路实训操作要快, 否则线圈发热引起电阻变化。
- (3) 实训中遇到异常情况, 首先立即断开电源, 处理完成故障后, 方可继续进行实训。

任务评价

根据本任务的平时学习和完成情况, 按照日常行为、理论与技能、情感三个指标进行自我评价(20%)、小组评价(30%)和教师评价(50%)。

任务评价表

评价指标	评价要点	评价项目	配分	自我评价 0.2	小组评价 0.3	教师评价 0.5
日常行为	安全文明生产	安装操作规程的执行	5分			
		按规范要求正确操作,无设备、仪表的损坏	5分			
		工作岗位的规范	5分			
		工作习惯的养成	5分			
理论与技能	理论知识的应用	学习和查阅资料的能力	5分			
		分析和解决问题的能力、方法以及效果	5分			
		认识单相变压器的外形、分类和结构,熟悉各部件的作用	5分			
		理解特殊用途变压器的使用	5分			
	技能的实践	完成实训的主动型、积极性和创造性	5分			
		单相变压器绕组直流电阻的测定	10分			
		单相变压器绕组绝缘电阻的测定	10分			
		理论与实训相结合的融汇和贯通	10分			
		设备、仪器、仪表的使用方法和保养	10分			
情感	综合运用	小组团队协作、配合的能力	5分			
		团队的工作效率	5分			
		知识或技能的拓展能力与综合运用能力	5分			
合 计			100分			
教师综合评价						
		年 月 日				

任务拓展

变压器的极性判定。

一、单相变压器的极性

1. 直流电源的极性(图 1-28)

直流电源两端的极性是恒定不变。

2. 交流电源的极性(图 1-29)

正弦交流电源两端只存在瞬时极性。而电位的高与低是相对的,极性也是相对的,可变的,暂时的,随时间而变化的。

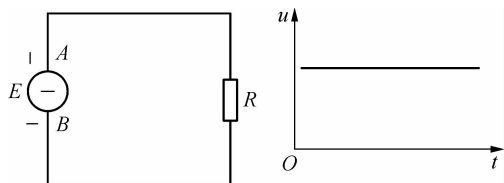


图 1-28 直流电源的极性

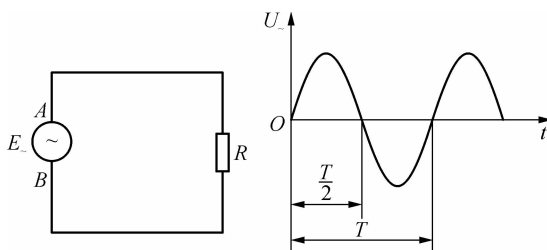


图 1-29 交流电源的极性

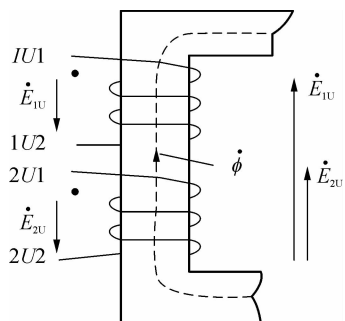


图 1-30 单相变压器绕组的极性

3. 单相变压器绕组的极性

单相变压器绕组的极性,如图 1-30 所示。

通常是指变压器一次侧、二次侧绕组在同一磁通作用下所产生的感应电动势之间的相位关系,通常用同名端来标记。

同名端——电动势都处于相同极性的线圈端;而另一端就成为另一组同名端。不是同极性的两端就称为异名端。

同名端的标记可用星号“*”或点“·”来表示,在互感器绕组上常用“+”和“-”来表示(并不表示真正的正负意义)。

二、单相变压器的极性判定

1. 直观法

如图 1-31 所示,如从绕组的某端通入直流电,产生的磁通方向一致的这些端点就是同名端(右手螺旋法则判别)。

(1) 电动势越串越大,则把两个线圈的异名端连接。

(2) 电动势越串越小,则把两个线圈的同名端连接。

2. 测试法

(1) 电压表法:

如图 1-32 所示,测出电压 U_2 和 U_3 。如果 $U_3 = U_1 + U_2$,则是异名端相连,即 $1U_1$ 和 $2U_1$ 是异名端。如果 $U_3 = U_1 - U_2$,则是同名端相连,即 $1U_1$ 和 $2U_1$ 是同名端。

(2) 直流电流法:

如图 1-33 所示。当合上开关 S,如直流毫安表量程调试,指针反应明显,说明 $1U_1$ 和 $2U_1$ 都处于高电位,则 $1U_1$ 与 $2U_1$ 是同名端。

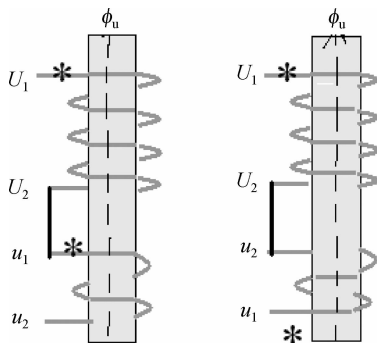


图 1-31 直观法判定单相变压器的极性

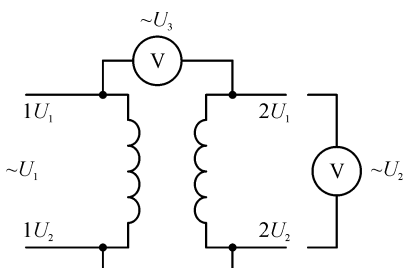


图 1-32 电压表法判定单相变压器的极性

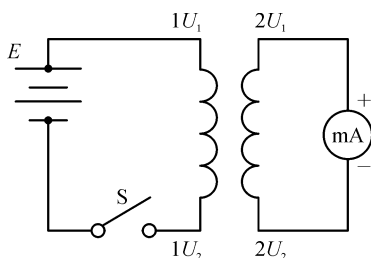


图 1-33 直流电流法判定单相变压器的极性

任务三

小型单相变压器的绕制

任务描述

小型单相变压器是指在工频范围内进行电压、电流变换的小功率单相的变压器，容量从几十伏安到一千伏安。小型变压器应用十分广泛，常见的有电源变压器、控制变压器及安全照明用变压器等。

小型单相变压器的绕制分设计制作和重绕修理制作两种。无论那种方法，其绕制工艺都是相同的，设计制作是将使用者的要求作为依据，以满足要求进行设计计算后再绕制；而重绕修理制作是以原物参数作为依据，进行恢复性的绕制。

任务目标

1. 会选择小型单相变压器的绕制材料。
2. 通过单相变压器线圈的绕制训练，知道小型变压器线圈的绕制方法。
3. 通过小型变压器的制作工艺训练，能按规范要求完成小型单相变压器的制作。

任务实施

小型单相变压器的设计制作思路是：由负载的大小确定其容量；从负载侧所需电压的高低计算出两侧电压；根据用户的使用要求及环境决定其材质和尺寸。经过一系列的设计计算，为制作提供足够的技术数据，即可做出满足需要的小型单相变压器。

一、设计计算

1. 计算变压器输出容量 S_2

输出容量的大小受变压器二次侧供给负载量的限制，多个负载则需要多个二次侧绕组，各绕组的电压、电流分别为 $U_2 I_2, U_3 I_3, U_4 I_4 \dots$ 则 S_2 为：

$$S_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots (\text{V} \cdot \text{A})$$

2. 估算变压器输入容量 S_1 和输入电流 I_1

对小型变压器,考虑负载运行时的功率损耗(铜耗及铁耗),其输入容量 S_1 的计算式为:

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} (\text{V} \cdot \text{A})$$

公式中: η ——变压器效率,始终小于1,1 kV·A 以下的变压器 $\eta=0.8\sim 0.9$ 。

输入电流 I_1 的计算式为:

$$I_1 = (1.1 - 1.2) \frac{S_1}{U_1} (\text{A})$$

公式中: U_1 ——一次侧电压的有效值,V。

3. 变压器铁心截面积的计算及硅钢片尺寸的选用

(1) 截面积的计算:

小型单相变压器的铁心多采用壳式,铁心中柱放置绕组。铁心的几何形状如图 1-34 所示。它的中柱横截面 A_{Fe} 的大小与变压器输出容量 S_2 的关系为:

$$A_{\text{Fe}} = k \sqrt{S_2} (\text{cm}^2)$$

公式中: k ——经验系数,大小与 S_2 有关。

由图 1-34 可知,铁心截面积为:

$$A_{\text{Fe}} = ab$$

公式中: a ——铁心柱宽,cm;

b ——铁心净叠厚,cm。

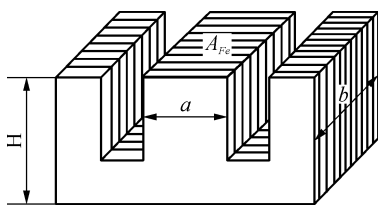


图 1-34 变压器铁心尺寸

由 A_{Fe} 计算值并结合实际情况即可确定 a 和 b 的大小。考虑到硅钢片间绝缘漆膜及钢片间隙的厚度,实际的铁心厚度 b' 的计算式为:

$$b' = \frac{b}{k_0} (\text{cm})$$

公式中: k_0 ——叠片系数,其取值范围参考表 1-9。

表 1-9 K_0 的取值范围

名称	硅钢片厚度(mm)	绝缘情况	K_0
热轧硅钢片	0.5	两面涂漆	0.93
	0.35		0.91
冷轧硅钢片	0.35	两面涂漆	0.92
	0.35	不涂漆	0.95

(2) 硅钢片尺寸的选用:

其中各部分之间的关系如图 1-35 所示。图中 $c=0.5a$, $h=1.5a$ (当 $a>64$ mm 时, $h=2.5a$), $A=3a$, $H=2.5a$, $b\leq 2a$ 。表 1-10 列出了目前通用的小型变压器硅钢片的规格,可供查询。

如果计算求得的铁心尺寸与表 1-10 的标准尺寸不符合,又不便于调整设计,则建议采用非标准铁心片尺寸,并采用拼条式铁心结构。

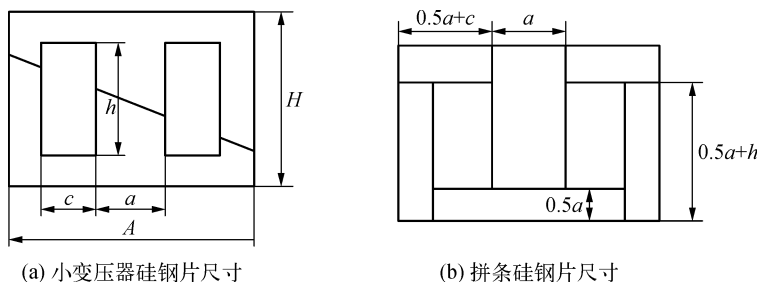


图 1-35 变压器硅钢片铁心尺寸

表 1-10 小型变压器通用硅钢片铁心尺寸

单位: mm

a	c	h	A	H
13	7.5	22	40	34
16	9	24	50	40
19	10.5	30	60	50
22	11	33	66	55
25	12.5	37.5	75	62.5
28	14	42	84	70
32	16	48	96	80
38	19	57	114	95
44	22	66	132	110
50	25	75	150	125
56	28	84	168	140
64	32	96	192	160

硅钢片材料的选用:小型变压器通常采用 0.35 mm 厚的硅钢片作为铁心材料,硅钢片材料规格型号的选取,不仅受材料磁通密度 B_m 的制约还与铁心的结构形状有关。

若变压器采用 C 字型铁心或拼条式铁心结构,硅钢片材料只能选用有趋向的冷轧硅钢片,因为这种材料使磁路有了方向性,顺向时磁阻小,并具有较高的磁通密度,磁通密度 B_m 可达(1.5~1.6)T。而垂直方向时磁阻很大,磁通密度很小。

4. 计算每个绕组的匝数 N

由变压器感应电势 E 的计算公式:

$$E = 4.44 f N \varphi_m = 4.44 f N B_m A_{Fe} \times 10^{-4} (\text{V})$$

得感应产生 1 V 电势的匝数:

$$N_0 = \frac{1}{4.44fB_m A_{Fe} \times 10^{-4}} = \frac{45}{B_m A_{Fe}} (\text{匝/V})$$

根据所使用的硅钢片材料选取 B_m 值,一般在 B_m 范围值内取下限值。再确定铁心柱截面积 $A_{Fe}=ab$ 及 N_0 ,最后根据以下公式求取各个绕组的匝数:

$$\text{一次侧绕组的匝数为: } N_1 = U_1 N_0 (\text{V})$$

$$\text{二次侧绕组的匝数为: } N_2 = 1.05 U_2 N_0 (\text{V})$$

$$N_3 = 1.05 U_3 N_0 (\text{V})$$

$$N_n = 1.05 U_n N_0 (\text{V})$$

注意:公式中二次侧绕组所增加的 5% 的匝数是为补偿负载时的电压降。

5. 计算每个绕组的导线直径并选择导线

由下式得出导线截面积 A_S :

$$A_S = \frac{I}{j} (\text{mm}^2)$$

电流密度一般选取 $j=(2\sim3)\text{A}/\text{mm}^2$;但在变压器短时工作时,电流密度可取 $j=(4\sim5)\text{A}/\text{mm}^2$ 。再由计算出的 A_S 为依据,查表 1-11 选取相同或相近截面的导线直径 φ ,根据 φ 值再查表,得到漆包导线带漆膜后的外径 φ' 。

表 1-11 常用圆铜漆包线规格

导线直径 φ (mm)	导线截面 A_S (mm ²)	导线最大外径 φ /(mm)		导线直径 φ (mm)	导线截面 A_S (mm ²)	导线最大外径 φ' (mm)	
		油性 漆包线	其他绝缘 漆包线			油性 漆包线	其他绝缘 漆包线
0.10	0.007 85	0.12	0.13	0.59	0.273	0.64	0.66
0.11	0.009 50	0.13	0.14	0.62	0.302	0.67	0.69
0.12	0.011 31	0.14	0.15	0.64	0.322	0.69	0.72
0.13	0.013 3	0.15	0.16	0.67	0.353	0.72	0.75
0.14	0.015 4	0.16	0.17	0.69	0.374	0.74	0.77
0.15	0.017 67	0.17	0.19	0.72	0.407	0.78	0.80
0.16	0.020 1	0.18	0.20	0.74	0.430	0.80	0.83
0.17	0.025 5	0.20	0.22	0.80	0.503	0.86	0.89
0.18	0.025 5	0.20	0.22	0.80	0.503	0.86	0.89
0.19	0.028 4	0.21	0.23	0.83	0.541	0.89	0.92
0.20	0.031 40	0.225	0.24	0.86	0.581	0.92	0.95
0.21	0.034 6	0.235	0.25	0.90	0.636	0.96	0.99
0.23	0.041 5	0.255	0.28	0.93	0.679	0.99	1.02
0.25	0.049 1	0.275	0.30	0.96	0.724	1.02	1.05
0.28	0.057 3	0.31	0.32	1.00	0.785	1.07	1.11

续表

导线直径 φ (mm)	导线截面 A_S (mm ²)	导线最大外径 φ /(mm)		导线直径 φ (mm)	导线截面 A_S (mm ²)	导线最大外径 φ' (mm)	
		油性 漆包线	其他绝缘 漆包线			油性 漆包线	其他绝缘 漆包线
0.29	0.066 7	0.33	0.34	1.04	0.849	1.12	1.15
0.31	0.075 5	0.35	0.36	1.08	0.916	1.16	1.19
0.33	0.085 5	0.37	0.38	1.12	0.985	1.20	1.23
0.35	0.096 2	0.39	0.41	1.16	1.057	1.24	1.27
0.38	0.113 4	0.42	0.44	1.20	1.131	1.28	1.31
0.41	0.132 0	0.45	0.47	1.25	1.227	1.33	1.36
0.44	0.152 1	0.49	0.50	1.30	1.327	1.38	1.41
0.47	0.173 5	0.52	0.53	1.35	1.431	1.43	1.46
0.49	0.188 6	0.54	0.55	1.40	1.539	1.48	1.51
0.51	0.204	0.56	0.58	1.45	1.651	1.53	1.56
0.53	0.221	0.58	0.60	1.50	1.767	1.58	1.61
0.55	0.238	0.60	0.62	1.56	1.911	1.64	1.67
0.57	0.255	0.62	0.64				

6. 核算铁心窗口的面积

核算所选用的变压器铁心窗口能否放置得下所设计的绕组。如果放置不下,则应重选导线规格,或者重选铁心。其核算方法如下:

根据铁心窗高 h (mm),求取每层匝数 N_i 为:

$$N_i = \frac{0.9 \times [h - (2 \sim 4)]}{d'} \text{ (匝 / 层)}$$

公式中的系数 0.9,是考虑绕组框架两端各空出 5%的地方不绕导线而留的裕度,而(2~4)为考虑绕组框架厚度留出的空间。

每个绕组需绕制的层数 m_i 为:

$$m_i = \frac{N}{N_i} \text{ (层)}$$

计算层间绝缘及每个绕组的厚度 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 ……

二、绕组制作

1. 木芯与线圈骨架的制作

(1) 木芯的制作:

在绕制变压器线圈时,将漆包线绕在预先做好的线圈骨架上。但骨架本身不能直接套在绕线机轴上绕线,它需要一个塞在骨架内腔中的木质芯子,木质芯的正中心要钻有供绕线

机轴穿过的 $\phi 10$ mm 孔,孔不能偏斜,否则由于偏心造成绕组不平稳而影响线包的质量。木质芯的尺寸:截面宽度要比硅钢片的舌宽略大 0.2 mm,截面长度比硅钢片叠厚尺寸略大 0.3 mm,高度比硅钢片窗口约高 2 mm。外表要做得光滑平直。

(2) 骨架的制作:

一种是简易骨架,用青壳纸在木质芯上绕 1~2 圈,用胶水粘牢,其高度略低于铁心窗口高度。骨架干燥以后,木芯在骨架中能插得进、抽得出。最后用硅钢片插试,以硅钢片刚好能插入为宜。绕制时要注意线圈绕到两端,在绕制层数较多时容易散塌,造成返工。另一种是积木式骨架,能方便地绕线和增强线包的对外绝缘性能。材料以厚度为(0.5~1.5)mm 厚的胶木板、环氧树脂板、塑料板等绝缘板为宜,骨架的内腔与简易骨架尺寸相同材料下好,打光切口的毛刺后,在要黏合的边缘,特别是榫头上涂好黏合剂,进行组合,待黏合剂固化后,再用硅钢片在内腔中插试,如尺寸合适,即可使用。

2. 线圈的绕制步骤

(1) 起绕。在导线引线头上压入一条用青壳纸或牛皮纸片做成的长绝缘折条,待绕几匝后抽紧起始头,如图 1-36(a)所示。

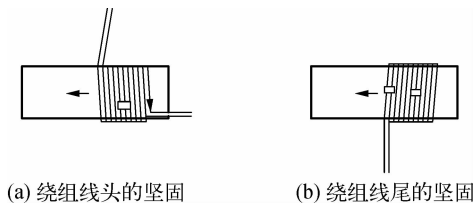


图 1-36 绕组的绕制

(2) 绕线时,通常按照一次侧绕组→静电屏蔽→二次侧高压绕组→二次侧低压绕组的顺序,依次叠绕。当二次侧绕组的组数较多时,每绕制一组用万用表检查测量一次。每绕完一层导线,应安放一层层间绝缘,并处理好中间抽头,导线自左向右排列整齐、紧密,不得有交叉或叠线现象,绕到规定匝数为止。

(3) 当绕组绕至近末端时,先垫入固定出线用的绝缘带折条,待绕至末端时,把线头穿入折条内,然后抽紧末端线头,如图 1-36(b)所示。

(4) 取下绕组,抽出木质芯,包扎绝缘,并用胶水粘牢。

3. 绕制工艺要点

(1) 对导线和绝缘材料的选用:

导线选用缩醛或聚酯漆包圆铜线。绝缘材料的选用受耐压要求和允许厚度的限制,层间绝缘按两倍层间电压的绝缘强度选用,常采用电话纸、电缆纸、电容器纸等,在要求较高处可采用聚酯薄膜、聚四氟乙烯或玻璃漆布;铁心绝缘及绕组间绝缘按对地电压的两倍选用,一般采用绝缘纸板、玻璃漆布等,要求较高的则采用层压板或云母制品。

(2) 做引出线:

变压器每组线圈都有两个或两个以上的引出线,一般用多股软线、较粗的铜线或用铜皮剪成的焊片制成,将其焊在线圈端头,用绝缘材料包扎好后,从骨架端面预先打好的孔中伸出,以备连接外电路。对绕组线径在 0.35 mm 以上的都可用本线直接引出方法,线径在 0.35 mm 以下的,要用多股软线做引出线,也可用薄铜皮做成的焊片做引出线头。

(3) 绕线的方法:

对无框骨架的,导线起绕点不可紧靠骨架边缘;对有边框的,导线一定要紧靠边框板。绕线时,绕线机的转速应与掌握导线的那只手左右摆动的速度相配合,并将导线稍微拉向绕组前进的相反方向约 5° 左右,以便将导线排紧。

(4) 层间绝缘的安放:

每绕完一层导线,应安放一层绝缘材料(绝缘纸或黄蜡绸等)。注意安放绝缘纸必须从骨架所对应的铁心舌宽面开始安放。若绕组所绕层次很多,还应在两个舌宽面分别均匀安放,这样可以控制线包厚度,少占铁心窗口位置。绝缘纸必须放平、放正和拉紧,两边正好与骨架端面内侧对齐,围绕线包一周,允许起始处有少量重叠。

(5) 静电屏蔽层(静电隔离层)的安放:

在绕完一次侧线圈、安放好绝缘层后,还要加一层金属材料的静电屏蔽层,以减弱外来电磁场对电路的干扰。

静电屏蔽层的材料最好用紫铜箔,其宽度比骨架宽度小 $1\sim 3$ mm。长度应是围绕骨架一周但短 10 mm左右,在对应铁心的舌宽面焊上引出线作接地极。注意,绝不能让屏蔽层首尾相接,否则将形成短路,变压器通电后发热,以致烧毁绝缘。

若没有现成的铜箔,也可用较粗的导线在应安放静电屏蔽层的位置排绕一层,一端开路,一端接地,同样能起屏蔽外界电磁场的作用。

(6) 绕组的中间抽头:

在线圈抽头处刮去一小段绝缘漆,焊上引出线并包上绝缘即可。

① 也可在线圈抽头处不刮绝缘漆,而是将导线拖长,两股绞在一起作为引出线,并套上绝缘套管即可。

② 对于较粗的漆包线,若将漆包线绞在一起,势必使线包中间隆起,影响绕线和线包的平整。可将导线平行对折成两股作为引出线。

(7) 绕组的中心抽头:

线圈的中心抽头,是将一个线圈绕组分成两个完全对称的绕组。若用单股线绕制,绕在内层的线圈漆包线的长度比绕在外层漆包线的长度要短,会引起两部分线圈直流电阻不等。采用双股并绕,绕制方法与单股线绕制相同,绕完后将两并绕中的一个线圈的头和另一线圈的尾并接,再引出作中心抽头。

(8) 绕组的初步检查:

绕组制作完成后,要进行初步检查:

- ① 用量具测量绕组各部分尺寸,与设计是否相符,以保证铁心的装配。
- ② 用电桥测量绕组的直流电阻,以保证负载用电的需要。
- ③ 用眼睛观察绕组的各部分引线及绝缘完好与否,以保证可靠的使用。

三、绝缘处理

变压器绕组绕制完成后,为了提高绕组的绝缘强度、耐潮性、耐热性及导热能力,必须对绕组进行浸漆处理。

1. 绝缘处理用漆

绕组绝缘处理所用的漆,一般采用三聚氰胺醇酸树脂漆。

2. 绝缘处理所用工艺

变压器绝缘处理工艺与电机的基本相同。所不同的是变压器绕组可采用简易绝缘处理方法,即“涂刷法”:在绕制过程中,每绕完一层导线,就涂刷一层绝缘漆,然后垫上层间绝缘继续绕线,绕完后通电烘干即可。

3. 绝缘处理的步骤

变压器绝缘处理的步骤也与电机的步骤一样,为预烘→浸漆→烘干。对小型变压器绕组通电烘干可采用一种简易办法:用一台 $500\text{ V}\cdot\text{A}$ 的自耦变压器作电源,将该绕组与自耦变压器二次侧相接,并将一次侧绕组短接,逐步升高自耦变压器二次侧电压,用钳形电流表监视电流值,使电流达到待烘干变压器高压绕组额定电流的 $2\sim 3$ 倍,半小时后绕组将发热烫手,持续通电约 10 小时,即可烘干层间涂刷的绝缘漆。

四、铁心的装配

1. 铁心装配的要求

(1) 要装得紧。不仅可防止铁心从骨架中脱出,还能保证有足够的有效截面和避免绕组通电后因铁心松动而产生杂音。

(2) 装配铁心时不得划破或胀破骨架,误伤导线,造成绕组的断路或短路。

(3) 铁心磁路中不应有气隙,各片开口处要衔接紧密,以减小铁心磁阻。

(4) 要注意装配平整,美观。

注意,装配铁心前,应先进行硅钢片的检查和选择。

2. 硅钢片的检查及挑选

(1) 检查硅钢片是否平整,冲压时是否留下毛刺。不平整将影响装配质量,毛刺容易损坏片间绝缘,导致铁心涡流增大。

(2) 检查表面是否锈蚀。锈蚀后的斑块会增加硅钢片的厚度,减小铁心有效截面。同时又容易吸潮,从而降低变压器绝缘性能。

(3) 检查硅钢片表面绝缘是否良好,如有剥落,应重新涂刷绝缘漆。

(4) 检查硅钢片的含硅量是否满足要求。铁心的导磁性能主要取决于硅钢片的含硅量,含硅量高的其导磁性能好;反之,导磁性能差,会造成变压器的铁耗增大。但含硅量也不能太高,因为含硅量过高的硅钢片容易碎裂,机械性能差。因此,一般要求硅钢片的含硅量在 $3\%\sim 4\%$ 。检查硅钢片的含硅量,可用简单的折弯方法进行检查,用钳子夹住硅钢片的一角将其弯成直角时即能折断,表明含硅量在 4% 以上;弯成直角又恢复到原位才折断的,表明含硅量接近 4% ;如反复弯三四次才能折断的,含硅量约 3% ;当含硅量在 2% 以下时,硅钢片就很软了,难于折断。

3. 铁心的插片

小型变压器的铁心装配通常用交叉插片法。根据情况可插 $1\sim 4$ 片,接着在骨架右侧也插入相应的片数,这样左右两侧交替对插,直到插满。最后将 I 型硅钢片(横条)按铁心剩余空隙厚度叠好插进去即可。插片的关键是插紧,最后几片不容易插进,这时可将已插进的硅钢片中容易分开的两片间撬开一条缝隙,嵌入一至二片硅钢片,用木锤慢慢敲进去。同时在这另一侧与此相对应的缝隙中加入片数相同的横条。嵌完铁心后在铁心螺孔中穿入螺栓固定即可。也可将铁皮剪成一定的形状,包套在铁心外边,用于固定。

4. 抢片与错位现象

(1) 抢片现象:

“抢片”是在双面插片时一层的硅钢片插入另一层中间。如出现抢片未及时发现,继续敲打,势必将硅钢片敲坏。因此一旦发生抢片,应立即停止敲打。将抢片的硅钢片取出,整

理平直后重新插片。不然这一侧硅钢片敲不进去,另一侧的横条也插不进来,如图 1-37 所示。

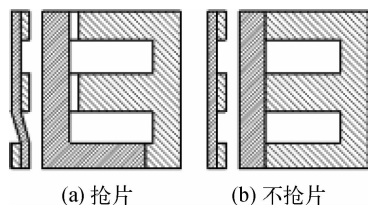


图 1-37 抢片和不抢片

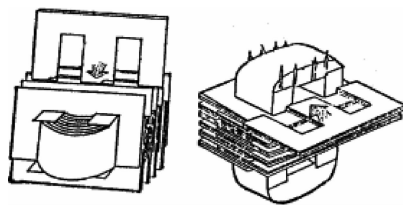


图 1-38 硅钢片错位

(2) 错位现象:

硅钢片错位,如图 1-38 所示。产生原因是在安放铁心时,硅钢片的舌片没和线圈骨架空腔对准。这时舌片抵在骨架上,敲打时往往给制作者一个铁心已插紧的错觉,这时如果强行将这块硅钢片敲进去,必然会损坏骨架和割断导线。

五、调整测试

由于小型单相变压器比较简单,制成之后一般只进行外表调整整理和空载测试。

1. 调整

在不通电的情况下,观察外表,看铁心是否紧密、整齐,有无松动等,绕组和绝缘层有无异常。并及时进行调整处理。

空载通电后,有无异常噪声,对铁心不紧,铁片不够所造成的噪声要进行夹紧整理。

2. 测试

(1) 测量绝缘电阻:

用兆欧表测量各绕组对地,各绕组间的绝缘电阻应不低于 50 MΩ。

(2) 测量额定电压:

在一次侧加额定电压,测量二次侧各个绕组的开路电压,该开路电压就是二次侧的额定电压,再与设计值相比,是否在允许范围内。二次侧高压绕组允许误差 $\Delta U \leq \pm 5\%$;二次侧低压绕组允许误差 $\Delta U \leq \pm 5\%$;中心抽头电压允许误差 $\Delta U \leq \pm 2\%$ 。

3. 测空载损耗功率 P_0 。

测试电路如图 1-39 所示。在被测变压器未接入电路之前,合上开关 Q_1 ,调节调压器 T 使它的输入电压为额定电压(由电压表 PV_1 示出),此时在功率表上的读数为电压表、电流表的线圈所损耗的功率 P_1 。

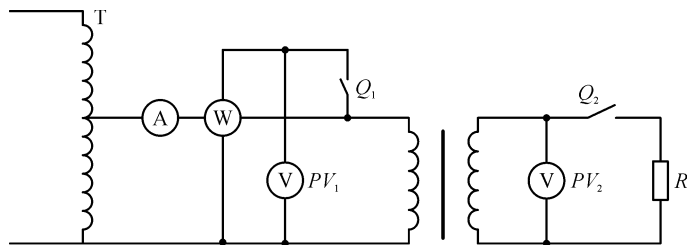


图 1-39 变压器测试电路

将被测变压器接在图示位置,重新调节调压器 T ,直至 PV_1 读数为额定输入电压,这时功率表上的读数为 P_2 ,则空载损耗功率 $P_0 = P_2 - P_1$ 。

4. 测空载电流

将图 1-39 中的待测变压器接入电路,断开 Q_2 ,接通电源使其空载运行,当 PV_1 示数为额定电压时,交流电流表 A 的读数即为空载电流。一般变压器的空载电流为满载电流的 $10\% \sim 15\%$ 。若空载电流偏大,变压器损耗也将增大,温升增高。

5. 测实际输出电压

按照图 1-39 所示,将待测变压器接入,合上 Q_2 ,使其带上额定负载 R ,当 PV_1 示数为额定电压时, PV_2 的读数即为该变压器的实际输出电压。将所测的实际输出电压值与前面所测的额定电压值比较,对于电子电器用的小型电源变压器,二者的误差要求是:高电压 $\pm 3\%$ 。灯丝电压和其他线圈电压 $\pm 5\%$ 。有中心抽头的线圈,不对称度应小于 2% 。

6. 检测温升

按图 1-39 加上额定负载,通电数小时后,温升不得超过 $40 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。变压器温升可用下述方法测试:先用万用表(或电桥)测出一次侧绕组的冷态直流电阻 R_1 (因一次侧绕组常绕在变压器线包内层,不易散热,温升高,以它为测试对象比较适宜)。然后加上额定负载,接通电源,通电数小时后,切断电源,再测一次侧热态直流电阻 R_2 ,这样连续测几次,在几次热态直流电阻值近似相等时,可认为所测温度是终端温度,用下列经验公式可求出温升 ΔT :

$$\Delta T = \frac{R_2 - R_1}{3.9 \times 10^{-3} R_1}$$

练习实践

小型单相变压器的绕制实训。

一、实训目的

- (1) 熟悉小型变压器的设计与计算。
- (2) 掌握小型变压器的制作工艺。
- (3) 制作小型电源变压器一台,并对该变压器进行检测。

二、实训仪器和设备

仪表、材料、设备等详见表 1-6。

三、实训的内容

1. 认识实训器材

实训器材的作用及使用注意事项见表 1-12。

表 1-12 实训器材的使用及使用注意事项

序号	器材名称	实物图	作用	备注
1	手摇式绕线机		按要求手动绕制漆包线,构成变压器的线圈绕组	
2	电动绕线机		按要求电动绕制漆包线,构成变压器的线圈绕组	
3	变压器骨架		支撑硅钢片和线圈绕组	
4	硅钢片		组合成变压器的铁心	
5	漆包线		构成变压器的线圈绕组	
6	万用表		粗测单相变压器一次二次侧绕组的直流电阻	
7	兆欧表		测量单相变压器绕组对地以及绕组之间的绝缘电阻	
8	青壳纸		形成变压器线圈绕组与外壳间的绝缘保护层	
9	绝缘漆		形成变压器线圈绕组与外壳间的绝缘保护层	
10	绝缘套管		在线圈绕组的接头处形成绝缘保护层	
11	其他工具		组装变压器的工具	

2. 实训内容及操作步骤

(1) 按图 1-40 所示设计电源变压器:计算出铁心规格和线圈数据,将铁心规格和线圈匝数、线径记入表 1-13 中。

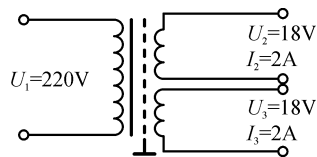


图 1-40 稳压电源变压器

表 1-13 变压器绕线训练记录

铁心			木质芯尺寸			线圈骨架					
型号	舌宽	叠厚	长叠厚	宽舌宽	高窗口高	材料		尺寸			
						材质	厚度	长	宽	高	
线圈数据											
一次侧			二次侧 I			二次侧 II			二次侧 III		
线径	层数	匝数	线径	层数	匝数	线径	层数	匝数	线径	层数	匝数

(2) 制作木质芯子和线圈骨架,将尺寸记入表 1-13 中。

(3) 绕制初级线圈,将各组线圈层数记入表 1-13 中。

(4) 对绕制完工的变压器进行初步检测,将检测结果记入表 1-14 中。

表 1-14 变压器测试训练记录

直流电阻				绝缘电阻			电压值				空载电流			
一次	二次 I	二次 II	二次 III	一次与二次间	一次与地间	二次 I 二次 II 间	二次	二次 I	二次 II	二次 III	二次	二次 I	二次 II	二次 III
额定负载电流				空载损耗功率			温升							
一次	二次 I	二次 II	二次 III	$P_o = P_2 - P_1$			通电时间	起始温度	终止温度	$\Delta T = \frac{R_2 - R_1}{3.9 \times 10^{-3} R_1}$				

(5) 对检测合格的变压器进行浸漆和烘烤,将各工序所用时间和温度记入表 1-15 中。

表 1-15 变压器浸漆烘烤训练记录

预烘		浸绝缘漆		第一阶段烘烤		第二阶段烘烤		复查绝缘电阻		
温度	时间	型号	时间	温度	时间	温度	时间	一次与二次间	一次与地间	二次与地间

四、注意事项

(1) 做好引出线 变压器每个绕组都有两根或两根以上的引出线。引出线一般采用多股软线、较粗的单股钢线或铜皮制成的焊片。引出线焊在线圈端头,用绝缘材料包扎好后,从骨架端面挡板上预先钻好的孔内伸出,以备连接外电路。

(2) 绕线 绕线前将绕线机牢固地固定在工作台上,绕线机转轴要平直,木心与转轴同心,以保证转轴旋转平稳,无晃动和颤抖。

(3) 安放层间绝缘 每绕完一层导线,应安放一层绝缘材料,如绝缘纸或黄蜡绸等。安放绝缘纸必须从骨架所对应的一个舌宽面开始安放。若线包所绕层数很多,还应在两个舌宽面分别均匀安放,这样可控制线包厚度,少占铁心窗口面积。绝缘纸必须放平、放正并拉紧,两边与骨架端面内侧对齐,再围绕线包一周,允许起始处有少量重叠。

(4) 安放静电屏蔽层 电子设备用的电源变压器,为了减弱外界电磁场的干扰,在绕完初级线圈,安放好绝缘层以后,还应加一层金属的静电屏蔽层。

(5) 中间抽头 有些变压器有两个或两个以上的绕组,不需要分开绕线,只要在同一线圈中按需要抽出几个线头,以这些抽头来做副线组引出线,这种做法称为中间抽头。

任务评价

根据本任务的平时学习和完成情况,按照日常行为、理论与技能、情感三个指标进行自我评价(20%)、小组评价(30%)和教师评价(50%)。

任务评价表

评价指标	评价要点	评价项目	配分	自我评价 0.2	小组评价 0.3	教师评价 0.5
日常行为	安全文明生产	安装操作规程的执行	5分			
		按规范要求正确操作,无设备、仪表的损坏	5分			
		工作岗位的规范	5分			
		工作习惯的养成	5分			
理论与技能	理论知识的应用	学习和查阅资料的能力	5分			
		分析和解决问题的能力、方法以及效果	5分			
		认识单相变压器的外形、分类和结构,熟悉各部件的作用	5分			
		理解特殊用途变压器的使用	5分			
	技能的实践	完成实训的主动型、积极性和创造性	5分			
		单相变压器绕组直流电阻的测定	10分			
		单相变压器绕组绝缘电阻的测定	10分			
		理论与实训相结合的融汇和贯通	10分			
		设备、仪器、仪表的使用方法和保养	10分			

续表

评价指标	评价要点	评价项目	配分	自我评价 0.2	小组评价 0.3	教师评价 0.5
情感	综合运用	小组团队协作、配合的能力	5分			
		团队的工作效率	5分			
		知识或技能的拓展能力与综合运用能力	5分			
合 计			100分			
教师综合评价						
		年 月 日				

任务拓展

小型单相变压器的重绕。

小型单相变压器如发生绕组烧毁、绝缘老化、引出线断裂、匝间短路或绕组对铁心短路等故障均需进行重绕修理。其重绕修理工艺与设计制作工艺大致相同,不同点主要有原始数据记录和铁心拆卸。

一、记录原始数据

在拆卸铁心前及拆卸过程中,必须记录下列原始数据,作为制作木质芯子及骨架、选用线规、绕制绕组和铁心装配等的依据。

1. 记录铭牌数据

- (1) 型号;
- (2) 容量;
- (3) 相数;
- (4) 一、二次侧电压;
- (5) 联接组;
- (6) 绝缘等级。

2. 记录绕组数据

- (1) 导线型号、规格;
- (2) 绕组匝数;
- (3) 绕组尺寸;
- (4) 绕组引出线规格及长度;
- (5) 绕组重量。

测量绕组数据的方法内容为:测量绕组尺寸;测量绕组层数、每层匝数及总匝数;测量导线直径,烧去漆层,用棉纱擦净,对同一根导线应在不同的位置测量三次取平均值。

在重绕修理中,仍然要进行重绕匝数核算,是为了防止由于线径较小、匝数较多的绕组,

在数匝数时弄错,使修理后的变压器的变比达不到原要求。

3. 重绕匝数的核算

(1) 测取原铁心截面。先实测原铁心叠厚及铁柱宽度,再考虑硅钢片绝缘层和片间间隙叠压系数,对小型变压器一般取 0.9。

(2) 获取原铁心的磁通密度 B_m 。

(3) 重绕匝数的核算。

后两项完全与变压器设计制作时的参数计算相同,查阅前面即可。

4. 记录铁心数据

(1) 铁心尺寸。

(2) 硅钢片厚度及片数。

(3) 铁心叠压顺序和方法。

二、铁心拆卸

拆卸铁心前,应先拆除外壳、接线柱和铁心夹板等附件。

不同的铁心形状有不同的拆卸方法,但第一步是相同的:用螺丝刀把浸漆后黏合在一起的硅钢片插松。

1. E 字型硅钢片的拆卸

(1) 用螺丝刀先插松并拆卸两端横条(轭)。

(2) 再用螺丝刀顶住中柱硅钢片的舌端,然后用小锤轻轻敲击,使舌片后退,待退出(3~4)mm后,即可用钢丝钳钳住中柱部位抽出 E 字型片。当抽出 5~6 片后,即可用钢丝钳或手逐片抽出。

2. C 字型硅钢片的拆卸

(1) 拆除夹紧箍后,把一端横头夹住在台钳上,用小锤左右轻敲另一横头,使整个铁心松动,注意保持骨架和铁心接口平面的完好。

(2) 注意抽出硅钢片。

3. II 字型硅钢片的拆卸

(1) 把一端横头夹紧在台钳上,用小锤左右轻敲另一横头,使整个铁心松动。

(2) 用钢丝钳钳住另一端横头,并向外抽拉硅钢片,即可拆除。

4. 日字型硅钢片的拆卸

(1) 先插松第一、二片硅钢片,把铁轭开口一端掀起至绕组骨架上边。

(2) 用螺丝刀插松中柱硅钢片,并顶舌端后退几毫米,再用钢丝钳抽出。当抽出十余片后,即可用钢丝钳或手逐片抽出。

练习与提高

一、填空题

1. 变压器是利用_____原理制成的_____电气设备。它能将某一数值的交变电压变换成同_____的所需电压值的交流电,以满足高压输电、低压供电及其他用途的需要。

2. 变压器的绕组常用绝缘_____或_____绕制而成,接电源的绕组称为_____,接负载的绕组称为_____;也可按绕组所接电压高低分为_____和_____;按绕组绕制的方式不同,可分为_____和_____两大类型。

3. 变压器的铁芯常用_____叠装而成,因线圈位置不同,可分成_____和_____两大类。

4. 在电力系统中使用的电力变压器,可分为_____变压器、_____变压器和_____变压器。

5. 有一台变压器一次侧绕组接在 50 Hz、380 V 的电源上时,二次侧绕组的输出电压是 36 V。若把它的一次侧接在 60 Hz、380 V 的电源上,则二次侧输出的电压是_____ V,输出电压的频率是_____ Hz。

6. 在用兆欧表进行测量前需验表,将兆欧表_____和_____端开路,顺时针摇动兆欧表的手柄,由慢至快并达到_____的速度。

7. 实际变压器存在_____损耗、_____损耗。对于已制造好的变压器,其_____损耗由电源电压及频率决定,而与负载无关;_____损耗随负载电流的增加而很快地增加。

8. 变压器空载试验的目的是测定_____、_____、_____和_____等参数。

9. 在铁芯材料和频率一定的情况下,变压器的铁损耗与_____成正比。

10. 变压器的外特性是指变压器的一次侧输入额定电压和二次负载_____一定时,二次侧_____与_____的关系。

二、判断题

1. 变压器的工作原理实际上就是利用电磁感应原理,把一次侧电能传送给二次侧负载。 ()

2. 同心绕组是将一次、二次侧线圈套在同一铁柱内、外层,一般低压绕组在外层,高压绕组在内层。 ()

3. 热轧硅钢片比冷轧硅钢片的性能更好,磁导率高而损耗小。 ()

4. 变压器既可以变换电压、电流和阻抗,又可以变换相位、频率和功率。 ()

5. 心式铁芯指线圈包围铁芯,其结构简单,装配容易,省导线,适用于大容量、高电压。 ()

6. 电桥侧电阻 $R_x =$ 比较臂电阻 \times 倍率。 ()

7. 变压器输入电流随输出电流的变化而变化,输出电压随输入电压的变化而变化。 ()

8. 当变压器的二次侧电流增加时,由于二次侧绕组磁动势的去磁作用,变压器铁芯中的主磁通将减少。 ()

9. 当变压器的二次侧电流变化时,一次侧电流也跟着变化。 ()

10. 升压变压器的电压变比大于 1。 ()

三、选择题

1. 某变压器额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 220 \text{ V}/110 \text{ V}$,今电源电压为 220 V,欲将其升高到

- 440 V,可采用()。
- 将二次侧绕组接到电源上,由一次侧绕组输出
 - 将一次侧绕组匝数增加为原来的四倍
 - 将一次绕组匝数减少为原来的四分之一
2. 变压器的外特性是()。
- 当负载越大,电压变化率 $\Delta U\%$ 越大
 - 当 $\cos \varphi$ 越小,电压变化率 $\Delta U\%$ 越大
 - 当为感性负载时, $\cos \varphi$ 越小,电压变化率 $\Delta U\%$ 越大
3. 变压器运行时,在电源电压一定的情况下,当负载阻抗增加时,主磁通()。
- 增加
 - 基本不见
 - 减小
 - 不一定
4. 一负载 R_L 经理想变压器接到信号源上,已知信号源的内阻 $R_0 = 800 \Omega$,变压器的电压变比 $K_U = 10$ 。若该负载折算到一次侧的阻值 RL' 正好与 R_0 达到阻抗匹配,则负载 RL 为()。
- 80Ω
 - 0.8Ω
 - 8Ω
 - 800Ω
5. 单相变压器的电压变比为 10,若一次侧绕组接入 36 V 的直流电压,则二次绕组上的电压为()。
- 3.6 V
 - 360 V
 - 0 V
 - 不能确定
6. 变压器的二次侧绕组额定电压是指一次侧绕组接额定电压是二次侧绕组()。
- 满载时的端电压
 - 开路时的端电压
 - 满载和空载时端电压的平均值
7. 将 50 Hz、220 V/127 V 的变压器接到 100 Hz、220 V 的电源上,铁芯中的磁通将()。
- 减小
 - 增加
 - 不变
 - 不能确定
8. 变压器是传递()的电气设备。
- 电压
 - 电流
 - 电压、电流和阻抗
 - 电能
9. 适用于制作变压器铁芯的材料是()。
- 软磁材料
 - 硬磁材料
 - 矩磁材料
 - 顺磁材料
10. 使用单臂电桥测量时,按键的按法是()。
- 先按 G 后按 B
 - 先按 B 后按 G
 - 同时按 B 和 G
 - 只按 B

四、简答题

- 传输电能为什么要采用高压送电?
- 变压器能改变直流电压吗?如接上直流电压,会发生什么现象,为什么?
- 简述变压器的工作原理及能量传递过程。
- 如何正确使用单臂电桥?
- 兆欧表在使用前如何对其进行检验?

总结与回顾

总结与回顾, 是自我学习的客观过程。思考一下, 在专业知识、专业技能上学到了什么? 在与同学相处中学到什么, 在与教师相处中学到什么? 在预习和查找资料完成任务过程中学到什么? 活动过程中同学、教师如何评价自己, 从中你体会到什么? 善于回顾、反思与总结是你成长的捷径。

项目学习心得体会

年 月 日

项目学习评价	<input type="checkbox"/> 非常满意	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 不太满意	<input type="checkbox"/> 不满意
自我提升评价	<input type="checkbox"/> 非常满意	<input type="checkbox"/> 满意	<input type="checkbox"/> 不太满意	<input type="checkbox"/> 不满意