



江苏职教

职业教育电气应用专业规划教材

电机与变压器

DIANJI YU BIANYAQI

○主编 肖俊

江苏教育出版社 江苏职教



职业教育电气应用专业规划教材

电机与变压器

DIANJI YU BIANYAQI

○主 编 肖 俊
○副主编 李 信 朱 强
○编 委 郭中益 周 明
何文燕 朱 伟 袁 悦

图书在版编目(CIP)数据

电机与变压器/肖俊主编. —南京:江苏凤凰教育出版社, 2016. 11(2023. 10 重印)

ISBN 978 - 7 - 5499 - 6042 - 2

I. ①电… II. ①肖… III. ①电机②变压器 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 225948 号

书 名 电机与变压器

主 编 肖 俊
责任编辑 顾金萍
出版发行 江苏凤凰教育出版社
地 址 南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009
出 品 江苏凤凰职业教育图书有限公司
网 址 <http://www.fhmooc.com>
排 版 江苏凤凰制版有限公司
印 刷 河北铄柠印刷有限责任公司
厂 址 河北省衡水市武邑县兴旺路以南
电 话 0318 - 2212090
开 本 787 毫米×1 092 毫米 1/16
印 张 14.5
版次印次 2016 年 11 月第 1 版 2023 年 10 月第 3 次印刷
标准书号 ISBN 978 - 7 - 5499 - 6042 - 2
定 价 43.50 元
批发电话 025 - 83677909
盗版举报 025 - 83658893

如发现质量问题,请联系我们。

【内容质量】电话:025 - 83658873 邮箱:sunyi@ppm.cn

【印装质量】电话:025 - 83677905

目 录

项目一 单相变压器	1
任务一 认识单相变压器	2
任务二 单相变压器的原理	13
任务三 小型单相变压器的绕制	25
练习与提高	39
项目二 三相变压器	43
任务一 认识三相变压器	44
任务二 三相变压器的应用	56
任务三 三相变压器的维修与维护	70
练习与提高	84
项目三 单相交流异步电动机	87
任务一 认识单相交流异步电动机	88
任务二 常用的单相交流异步电动机	99
任务三 单相交流异步电动机的绕组	108
练习与提高	117

项目四 三相交流异步电动机	120
任务一 认识三相交流异步电动机	121
任务二 三相交流异步电动机的启动	135
任务三 三相交流异步电动机的调速	144
练习与提高	153
项目五 直流电动机	155
任务一 认识直流电动机	156
任务二 直流电动机启动和正反转控制	172
任务三 直流电动机调速和制动控制	183
练习与提高	197
项目六 特种电机	200
任务一 认识伺服电机	201
任务二 认识步进电机	212
练习与提高	224
参考文献	227

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。

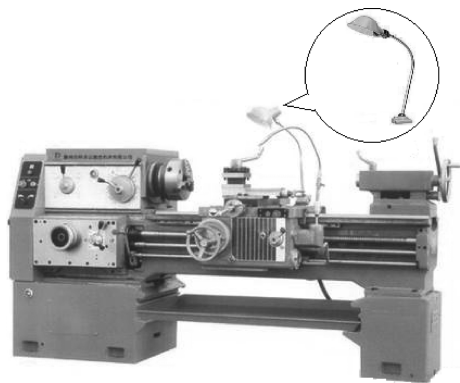


图 1-1 普通车床的局部照明控制部分

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。

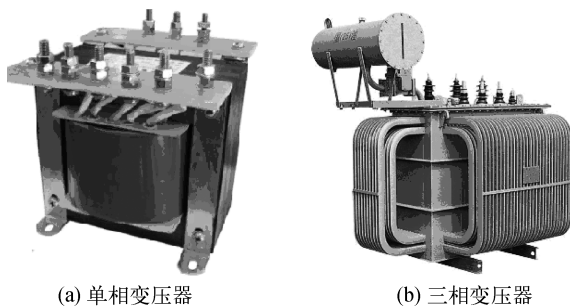


图 1-2 按电源相数分类的常见变压器

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。

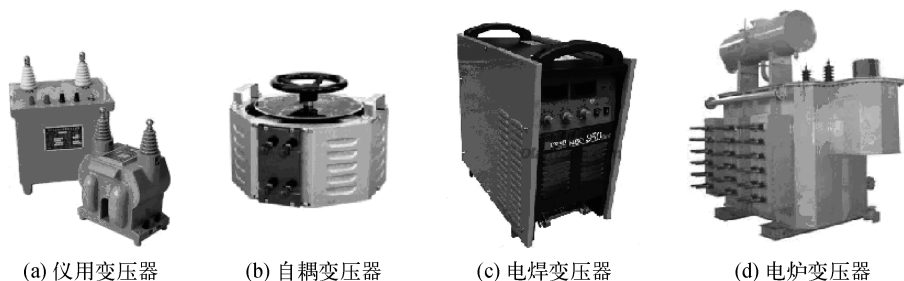


图 1-3 按用途分类的常见变压器

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。

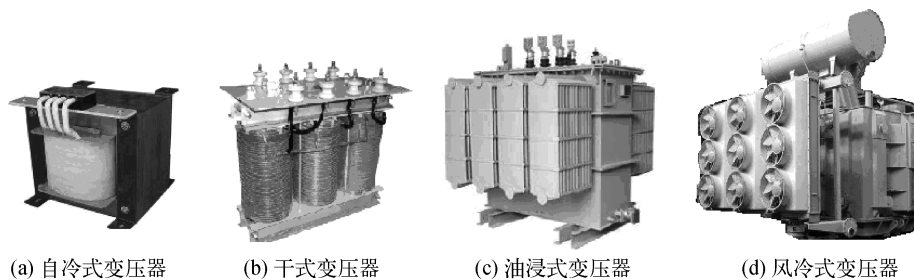


图 1-4 按冷却方式分类的常见变压器

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。

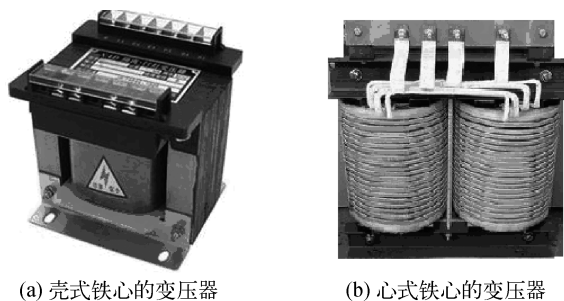


图 1-5 按铁心结构形式分类的常见变压器

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式,如图 1-7 所示。

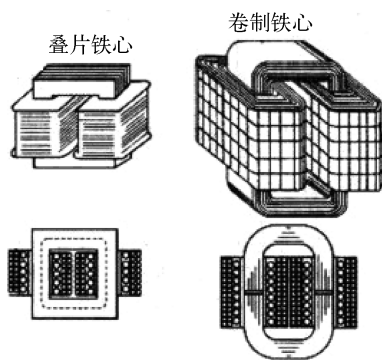


图 1-6 心式变压器结构

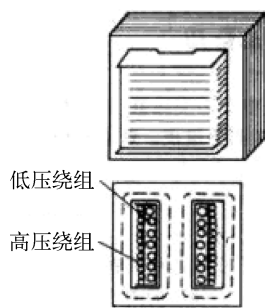


图 1-7 壳式变压器结构

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。

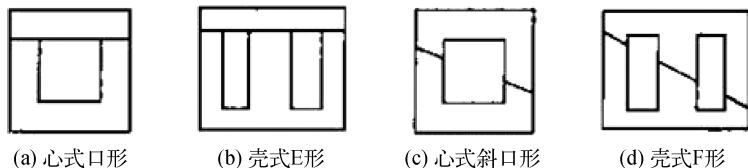


图 1-8 单相小容量变压器铁心形式

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。

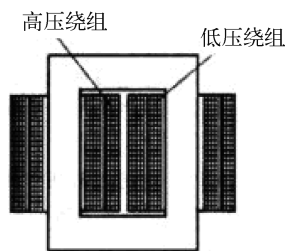


图 1-9 同心式绕组

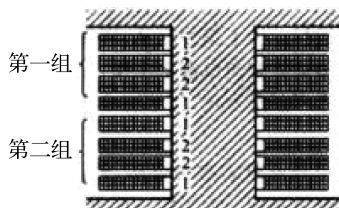


图 1-10 交叠式绕组

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。

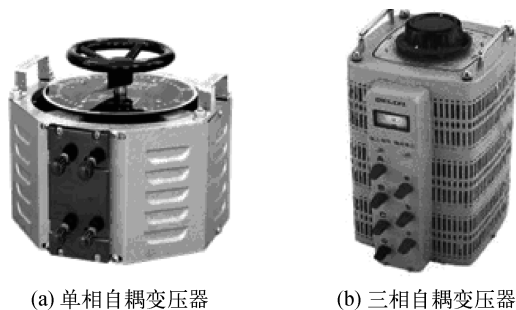


图 1-11 常用的自耦变压器

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 $0.5 \text{ M}\Omega$ 。

(1) 选择合适的兆欧表并检查。

选择一只合适的兆欧表($0 \sim 500 \text{ V}$),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 7~8 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定电压的 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 7~8 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			
		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

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:

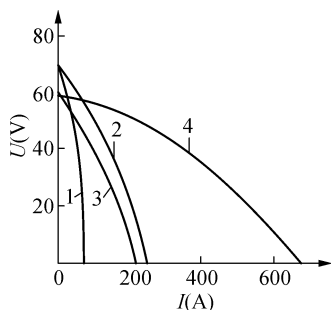


图 1-14 焊接电流与电弧电压的关系曲线

(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 $BX1$ 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

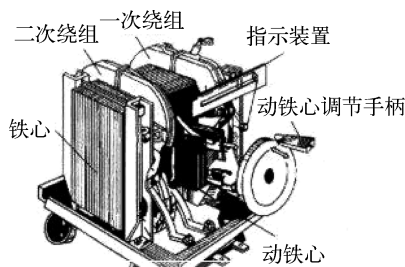


图 1-15 磁分路动铁心式弧焊机外形图

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。

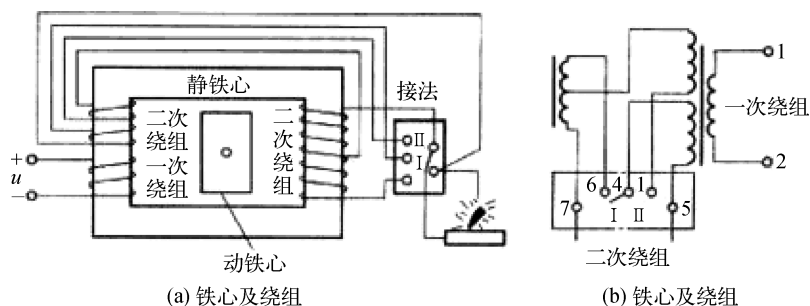


图 1-16 磁分路动铁心式弧焊机原理示意图

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

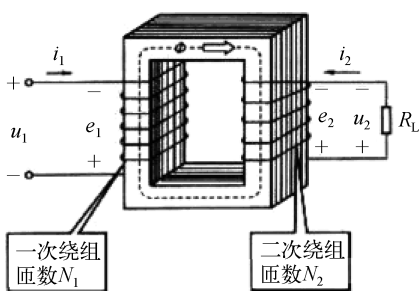


图 1-18 单相变压器的工作原理图

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。

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

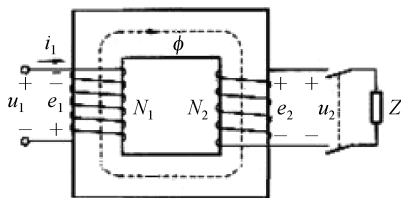


图 1-19 单相变压器的空载运行

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 $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$,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。

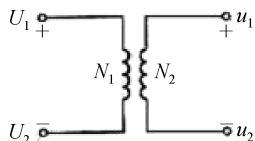


图 1-20 单相变压器空载运行时的原理图

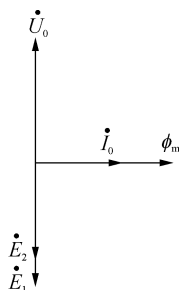


图 1-21 理想变压器空载运行相量图

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° , 又由于感应电动势 E_1 滞后于电压 U_1 180° , 故 E_1 滞后于电流 I_0 90° 。另外由前面分析知道 E_1 也滞后于 Φ_m 90° , 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 。

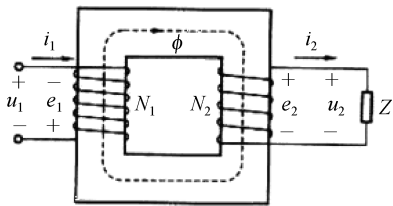


图 1-22 单相变压器的负载运行

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, $Z' = \frac{U_1}{I}$ 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。

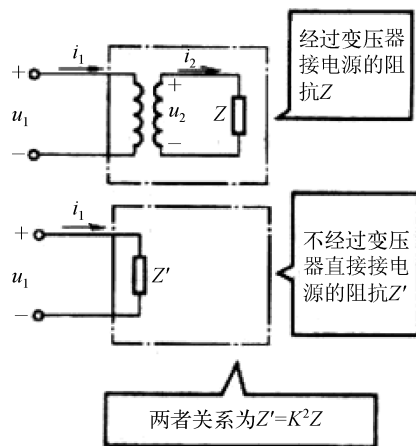


图 1-23 变压器的阻抗变换

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。

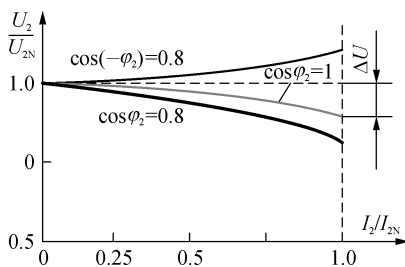


图 1-24 变压器的外特性曲线

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比较高,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。

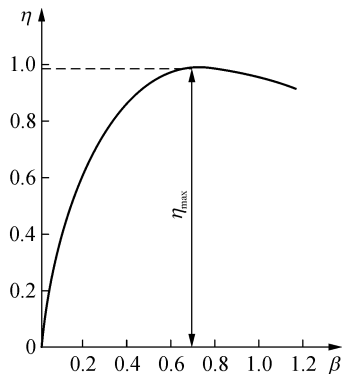


图 1-25 变压器的效率曲线

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 在单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 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} 。

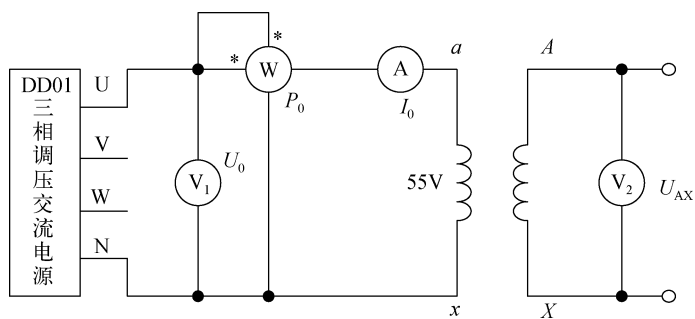


图 1-26 变压器空载实验接线图

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 $1.1I_N$ (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 。

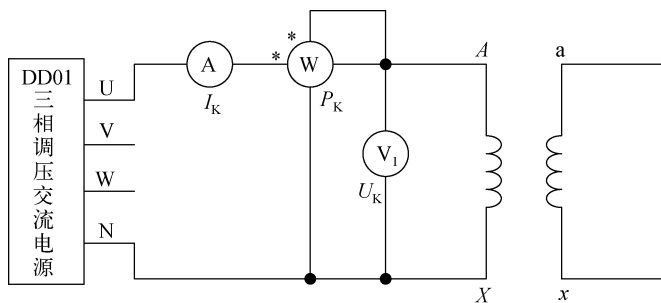


图 1-27 变压器短路实验接线图

- 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			
情感	综合运用	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

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。

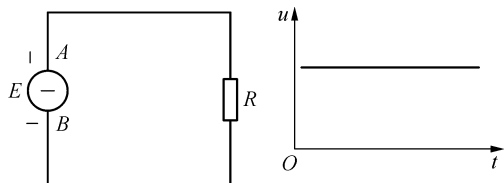


图 1-28 直流电源的极性

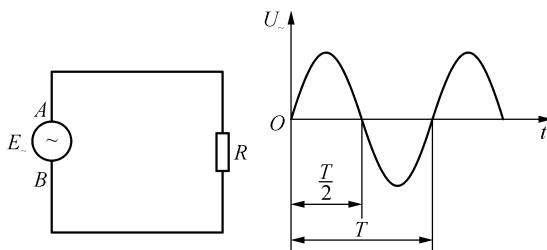


图 1-29 交流电源的极性

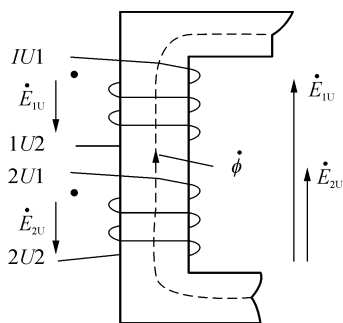


图 1-30 单相变压器绕组的极性

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。

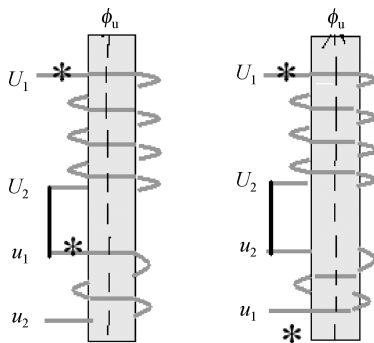


图 1-31 直观法判定单相变压器的极性