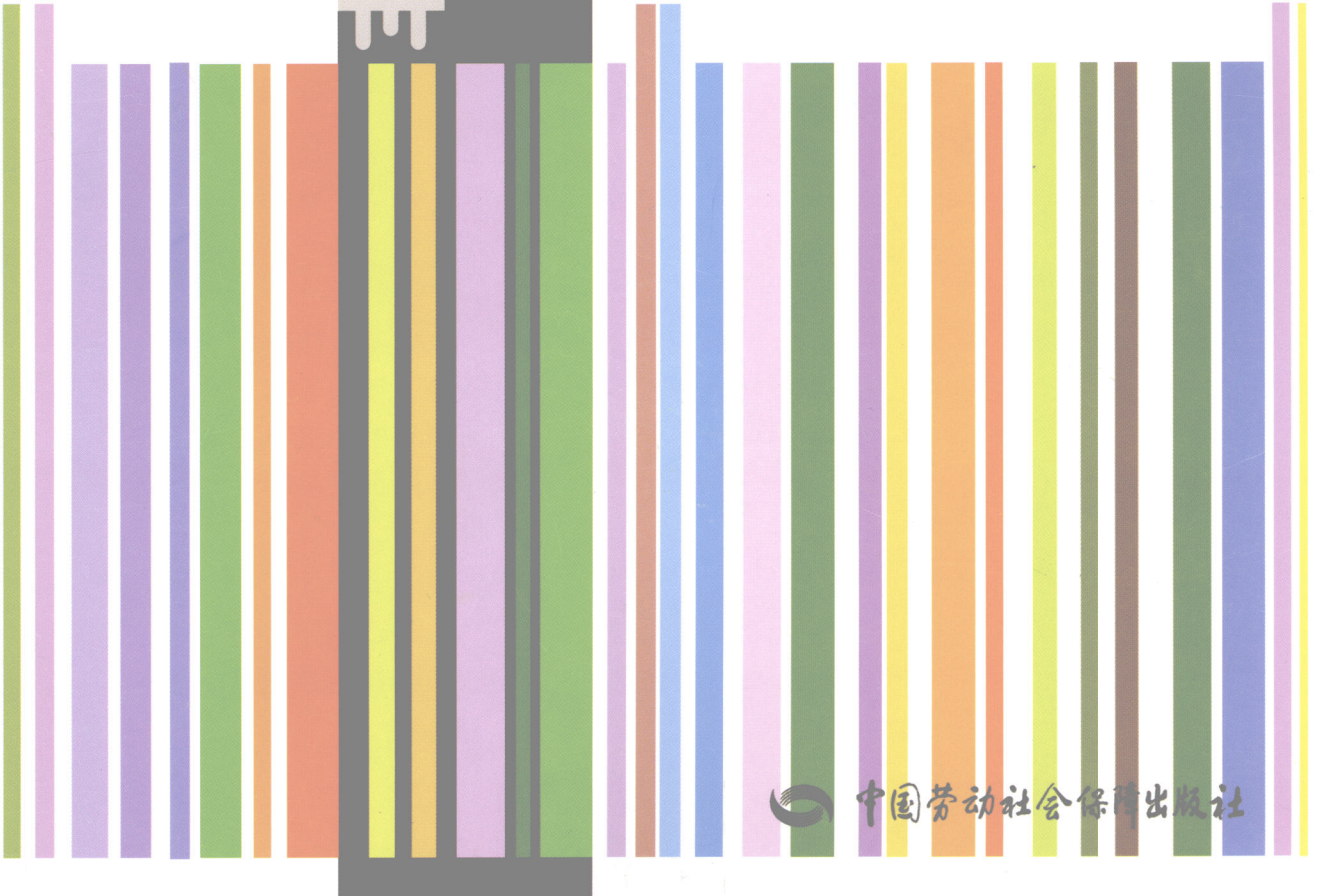
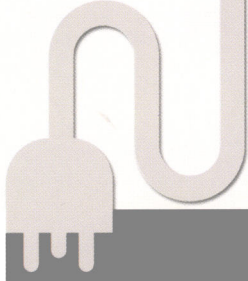
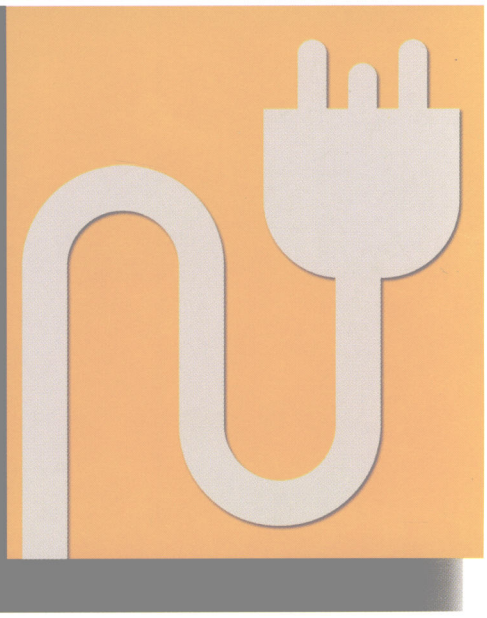


全国中等职业技术学校电工模块教材



变 压 器

diangongmokuaijiaocai





国家级职业教育培训规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

全国中等职业技术学校电工模块教材

变 压 器

劳动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

图书在版编目(CIP)数据

变压器/李勇主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2006

全国中等职业技术学校电工模块教材

ISBN 7-5045-4584-8

I. 变… II. 李… III. 变压器-基本知识 IV. TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第023069 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)

出版人: 张梦欣

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 5.5印张 137千字

2006年5月第1版 2006年5月第1次印刷

定价: 9.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

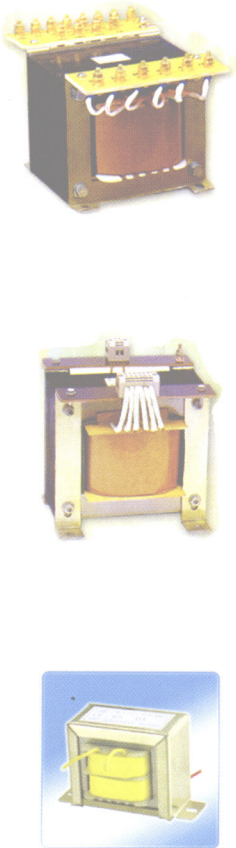
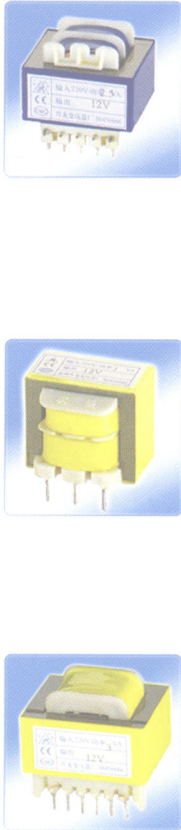
出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

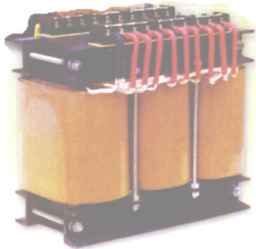
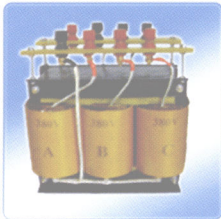
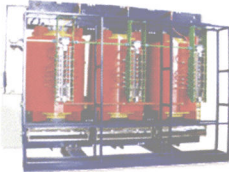
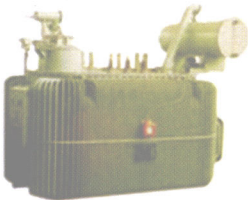
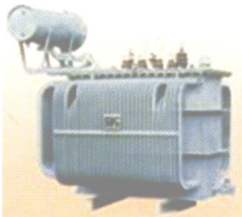
彩表1-1

单相变压器

变压器种类	单相隔离式变压器	单相针式变压器
实物图		
特点	它是根据各种有关变压器的国家标准制造出来的高性能产品	它可直接焊接于线路板上,使用非常方便,在有条件的情况下,是作为带线路板产品的首选供电电源
应用	广泛用于测试系统、控制系统、安全设备、电源系统等	广泛用于各种电器、仪表的配套供电及控制电路系统

彩表2-2

三相变压器

变压器种类	三相干式变压器	三相油浸式变压器
实物图	  	 
特 点	采用安全紧凑式结构、冷轧卷绕无取向切割铁心，与同性能产品相比体积较小，工作稳定性好	1)低损耗，节能效果显著 2)低温升，延长绝缘寿命 3)低噪声，降低环境污染 4)高可靠性，提高产品抗突发短路能力 5)免吊芯，免维护 6)无渗漏，优选配件
应 用	广泛应用于大型工厂设备的主供电系统和建筑设备主供电系统等	一般作为降压变压器使用

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，劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的教师和行业专家编写了这套电工模块教材。

这次教材编写工作坚持了以下几个原则：

第一，根据电工类专业毕业生所从事职业的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整，坚持以能力为本位教学理念，强调基本技能的培养。

第二，吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验，以模块化教学的方式实现理论知识与技能训练相结合，以任务驱动法的编写方式导入教学内容，使教材内容更加符合学生的认知规律，易于激发学生的学习兴趣。

第三，根据科学技术发展，合理更新教材内容，尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，力求使教材具有较鲜明的时代特征。

第四，努力贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求使教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识和技能要求。同时，在教材编写过程中，严格贯彻了国家有关技术标准的要求。

第五，教材编写模式上力求突出模块化特点，每个模块都有其明确的教学目的，并针对各自教学目的的要求展开相关知识的介绍及技能训练，且给出了每个模块的任务评分表，以供教学参考。同时，还针对每个模块设置了相应的巩固与提高练习，以便学生切实掌握相关知识与技能。

第六，在内容的承载方式上，力求图文并茂，尽可能使用图片或表格形式

将各个知识点生动地展示出来,从而提高了教材的可读性和亲和力。

本套教材主要包括《模拟电子电路》《脉冲与数字电路》《气液传动》《电动机》《变压器》《电气控制线路安装与维修》《变流技术及应用》《变频调速技术》《直流调速技术》《PLC 操作技能(松下系列)》《PLC 操作技能(西门子系列)》《电工基本技能训练》《钳工基本技能训练》《焊工基本技能训练》《工厂配电装置的安装与维修》《常用机床电气设备维修》《生产自动线结构与调试》《数控机床电气设备维修(2007 年出版)》《电工 EDA(2007 年出版)》等,可供中等职业技术学校电工类专业使用,也可作为职工培训教材。

本次教材的编写得到了天津、上海、江苏、广东、山东、河南、辽宁、湖南等省、市劳动和社会保障厅(局),以及天津工程师范学院、上海工程技术大学高等职业技术学院等学校的大力支持,在此我们表示诚挚的谢意。

《变压器》的主要内容有:变压器及其工作原理、单相变压器的维修与重绕、三相变压器、其他用途变压器的修理与维护等。

本书由李勇、谢文辉、肖建章、谢文君编写,李勇主编,谢文辉副主编;张祥军审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2006 年 5 月

目 录

第一单元 变压器及其工作原理	(1)
课题一 变压器的种类及用途	(1)
课题二 变压器结构及工作原理	(3)
第二单元 单相变压器的维修与重绕	(7)
技能训练 2—1 小型变压器线包骨架的制作	(25)
技能训练 2—2 小型变压器的制作	(26)
技能训练 2—3 小型变压器的故障检修	(27)
第三单元 三相变压器	(29)
课题一 变压器故障类别及判断	(29)
课题二 变压器绕组的故障与修理	(33)
分课题一 绕组故障类别及修复方法	(33)
分课题二 大中型三相油浸变压器绕组故障	(38)
分课题三 绕组短路故障与修理	(43)
课题三 变压器铁心故障与维修	(45)
分课题一 铁心多点接地故障及维修	(45)
分课题二 变压器铁心过热故障及修理	(47)
分课题三 局部更换烧损铁心的修理	(50)
课题四 变压器的使用	(52)
技能训练 3—1 配电变压器小修	(60)
技能训练 3—2 变压器吊芯及吊芯后检查	(62)
技能训练 3—3 分接开关检修	(63)
技能训练 3—4 变压器大修后验收	(64)

第四单元 其他用途变压器的修理与维护 (67)

 课题一 互感器的故障与修理..... (67)

 课题二 电焊变压器的故障与修理..... (76)

 技能训练 交流弧焊机大修后的试验..... (79)

附表 GE 型铁心尺寸系列和底筒尺寸 (81)

第一单元

变压器及其工作原理

课题一 变压器的种类及用途

学习目标

变压器的用途很广泛，在电力系统中，它主要用来变换电压，在电子线路中变压器除了可以用来改变电压外，还可以用来传递信号和实现阻抗匹配等。通过了解变压器的种类，让学生知道不同种类的变压器可以在不同的场合应用。

相关知识

变压器的种类繁多，但是它们的基本构造和原理基本相同。不同的变压器有不同的使用条件和安装场所，不同的电压等级和容量级别、不同的结构形式和冷却方式，它们的分类方式也有所不同。

一、变压器的种类

1. 单相变压器见封二彩表 1—1
2. 三相变压器见封三彩表 1—2
3. 其他用途的变压器

(1) 互感器

互感器是专供电工测量和自动保护装置使用的变压器。使用它的目的在于扩大测量仪表的量程，或为高压电路的控制及保护设备提供所需的低电压或小电流，并使它们与高压电路隔开，以便确保安全。电流互感器如图 1—1 所示，电压互感器如图 1—2 所示。

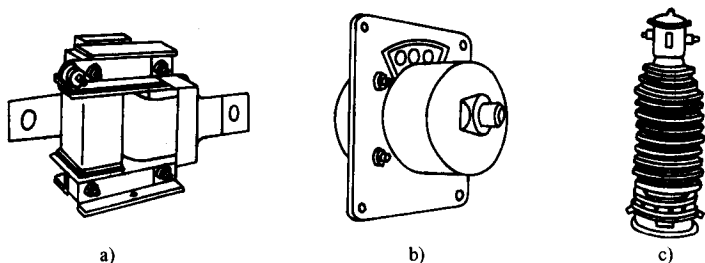


图 1—1 电流互感器

a) LQG-0.5 型 b) LDZJ1-10 型 c) LCWD2-110 型

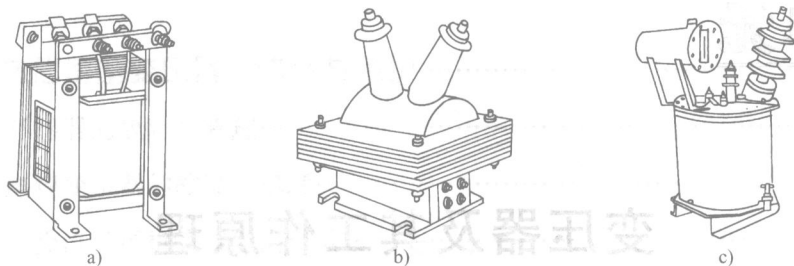


图 1—2 电压互感器

a) JDG—0.5 型 b) JDZJ—10 型 c) JDJJ—35 型

(2) 电焊变压器见表 1—1

表 1—1

电焊变压器

电焊变压器	外形图	主要特点
手工直流弧焊机 ZX7—160 (PE20—160R)		质量轻, 仅 8 kg; 负载持续率高, 可连续焊接; 电弧稳定, 熔池易于控制; 空载损耗小, 效率达到 85%; 空载电压高, 引弧容易; 可焊板厚约 1.5~5 mm
直流氩弧焊机 WS—160 (PN10—160R)		体积小、质量轻; 高频引弧, 焊接渗透力强; 工作电压范围宽; 焊缝表面均匀美观; 散热设计合理, 保护功能完善; 可焊板厚约 0.3~10 mm
全数字钨极 脉冲氩弧焊机 WSM—400 (PNE61—400P)		IGBT 逆变技术; DSP、模糊控制技术及自适应控制技术; 电源电压适应范围宽; 具有多种氩弧操作方式; 具有 RS—485 通讯接口; 可使用各种酸性、碱性、不锈钢等焊条焊接; 注塑壳体, 人性化设计
气体保护焊机 NB—400 (A160—400)		IGBT 逆变技术; 抗电网波动能力强; 输出电缆可加长至 50 m/50 mm ² ; 慢送丝启动
TZ 系列立柱式 自动焊接操作机		整体折板; 机床导轨设计; 塑料拖带布线; 内置配重平衡; 升降安全装置可靠; 多种形式积木式组合

二、变压器的用途

变压器的用途很广泛, 在电力系统中, 它主要用来变换电压。利用升压变压器可以把交

流发电机发出的电压升到较高的输电电压（如 220 kV，330 kV，500 kV 等），将电能从发电厂通过输电线路经济地送到用电地区，然后再利用降压变压器将电压降到用户所需要的电压（如 10 kV，220/380 V 等）。在电子线路中，变压器除了可以用来改变电压外，还可以用来传递信号和实现阻抗匹配等。

课题二 变压器结构及工作原理

学习目的

变压器是根据电磁感应原理制成的一种静止电器，通过了解变压器的结构和原理，让学生知道变压器具有变换电压、变换电流和变换阻抗的功能，是学习检修工艺的基础。

相关知识

一、变压器的基本结构

铁心和绕组（又称线圈）是变压器的两个最基本的部分。通常，变压器有一个公共铁心和两个或两个以上的绕组。如图 1—3 所示为变压器外形。

1. 铁心

铁心是变压器的磁路部分，按照铁心结构的不同，变压器可分为芯式和壳式两种。

如图 1—4 所示，芯式结构的铁心柱被绕组包围，结构较为简单，用铁量比较小，绕组装配比较容易，故电力变压器常常采用芯式结构。壳式结构的铁心包围绕组的顶部、底面和侧面，可以不要专门的变压器外壳，但它的制造工艺较复杂，因此，仅用于小容量变压器中。

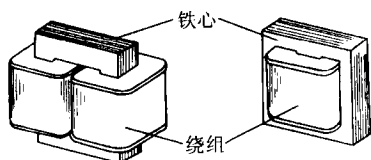


图 1—3 变压器外形

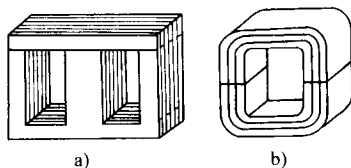


图 1—4 铁心形式

a) 壳式 b) 芯式

为了减少铁心损耗，铁心常用表面涂有绝缘漆膜，厚度为 0.35 mm 或 0.5 mm 的硅钢片层叠而成，接缝互相错开，以减少由于接缝所产生的空气气隙对磁路的影响。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，它是用绝缘铜导线或铝导线绕制而成。匝数多的绕组电压较高，称为高压绕组；匝数少的绕组电压较低，称为低压绕组。各个绕组间互相绝缘，套装在同一铁心柱上，以增强耦合。在电力变压器中，绕组多制成圆筒形，低压绕组靠近铁心，高压绕组同心地套装在低压绕组的外面。

除铁心、绕组等主要部件外，由于变压器工作时铁心和绕组都要发热，因此，对大容量变压器来说，还必须采用冷却措施，例如，油浸电力变压器有用于散热的油箱，并在油箱壁上装置散热管；此外，还有引出高、低压绝缘套管等。

二、变压器的工作原理

1. 变压器的电压变换原理

下图是一台双绕组单相变压器的原理图。与电源相连的绕组，称为一次绕组，与负载相连的绕组，称为二次绕组。一次绕组和二次绕组的匝数分别为 N_1 和 N_2 ，各物理量的参考方向如图 1—5 所示。

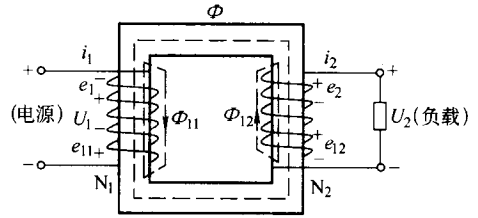


图 1—5 变压器的工作原理

图中 Φ 是主磁通，它通过铁心，并与一、二次绕组同时交链，由磁动势 $N_1 i_1$ 和 $N_2 i_2$ 共同产生。 Φ_{11} 是由 $N_1 i_1$ 产生且仅与一次绕组交链的漏磁通； Φ_{12} 是由 $N_2 i_2$ 产生且仅与二次绕组交链的漏磁通。

主磁通分别在一次绕组和二绕组中产生感应电动势 e_1 和 e_2

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

由图 1—5 可见，一次绕组与二次绕组之间，在电路上没有直接联系，但由于它们之间的磁耦合和电磁感应作用，使得二次绕组产生感应电动势。

e_1 和 e_2 的有效值分别为

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m \quad E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$$

式中 f ——电源频率；

Φ_m ——主磁通 Φ 的幅值。

故可得

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

比值 K 等于一次、二次绕组匝数之比，称为变压器的变压比。

当忽略变压器一次绕组的电阻 R_1 和漏磁通 Φ_{11} 时，变压器一次侧电压为

$$u_1 \approx -e_1$$

它的有效值与上面的 E_1 相同。

在变压器空载（即二次侧开路）时，根据基尔霍夫电压定律，可得到变压器二次侧电压为

$$u_2 \approx -e_2$$

所以，一次绕组和二次绕组电压有效值之比为

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

由上式可知，当电源电压 U_1 一定时，只要改变变压器一次绕组和二次绕组的匝数比，就可得到不同的输出电压，这便是变压器变换电压的原理。

当 $N_1 > N_2$ ，即 $K > 1$ 时，变压器起降压作用；当 $N_1 < N_2$ ，即 $K < 1$ 时，变压器起升压作用。

2. 变压器的电流变换原理

当变压器空载时，变压器的磁通 Φ 是由磁动势 $N_1 i_0$ 产生的， i_0 为变压器空载时一次

绕组中的电流,称为空载电流。

当变压器连接负载时,变压器的主磁通 Φ 是由磁动势 $N_1 i_1$ 和 $N_2 i_2$ 共同产生的。

由以上各关系式可得

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

该式指出,当电源电压 U_1 和频率 f 不变时,则主磁通 Φ 的幅值在变压器空载和负载运行时基本不变,故变压器空载时的磁动势 $N_1 i_0$ 和负载时的合成磁动势 $(N_1 i_1 + N_2 i_2)$ 应相等,即 $N_1 i_1 + N_2 i_2 = N_1 i_0$ 。该方程式即是一般所说的变压器磁动势平衡方程式。

变压器的空载电流 i_0 是励磁用的。由于铁心的磁导率很高,故空载电流很小,它的有效值 i_0 一般小于一次绕组额定电流 I_{1N} 的 10%。因此, $N_1 i_0$ 与 $N_1 i_1$ 相比,常可忽略。故又可写成

$$N_1 i_1 \approx -N_2 i_2$$

由上式可得一次绕组和二次绕组的电流有效值关系为

$$\frac{I_1}{I_2} \approx -\frac{N_2}{N_1} = -\frac{1}{K}$$

该式表明,变压器一次绕组和二次绕组电流有效值之比,近似等于它们匝数比的倒数。由此可见,变压器具有变换电流的作用。

式 $N_1 i_1 \approx -N_2 i_2$ 中的负号表示,二次绕组的磁动势 $N_2 i_2$ 对一次绕组的磁动势 $N_1 i_1$ 有去磁作用。故当 i_2 增加时, i_1 必须相应增加,以维持主磁通 Φ_m 基本不变。从能量守恒的角度也很容易理解负载电流 i_2 增加时,一次绕组电流 i_1 必须相应增加。

3. 变压器的阻抗变换原理

变压器输出端所接负载阻抗 Z_L (见图 1—6a) 对变压器输入端的影响,相当于输入端接入一个阻抗 Z'_L (见图 1—6b)。下面讨论两个阻抗之间的关系。

对如图 1—6 所示变压器电路而言,根据前面的分析可知

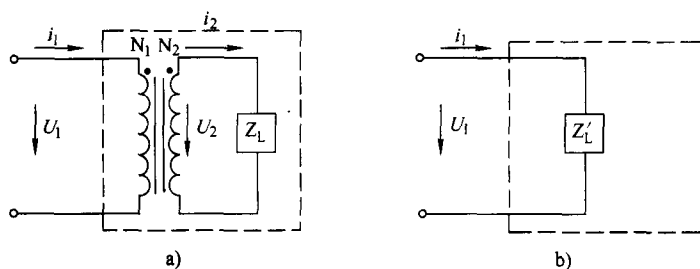


图 1—6 变压器的阻抗变换原理图

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

因为

$$|Z_L| = \frac{U_2}{I_2}$$

$$\text{故有} \quad |Z_L'| = \frac{U_1}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} U_2 / \frac{N_2}{N_1} I_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{U_2}{I_2} = K^2 |Z_L|$$

上式表明了变压器输出端负载阻抗 Z_L 对输入端的影响, 可以用一个接在输入端的等效阻抗 Z_L' 代替, 代替后变压器输入的电压、电流和功率均不变。 $|Z_L'|$ 称为负载阻抗 $|Z_L|$ 折算到 (反映到) 输入端的等效阻抗, 它等于 $|Z_L|$ 的 K^2 倍。所以, 变压器的匝数比不同, 折算到输入端的等效阻抗也不同。因而可以采用适当的匝数比, 把负载阻抗变换为信号源要求的数值, 以实现通常所说的“阻抗匹配”。阻抗匹配在电子设备中很有用处。例如, 收音机中, 常将阻抗较小的扬声器, 经输出变压器实现与收音机电路输出级的阻抗匹配。

例 1 一台单相变压器的高压绕组接到 35 kV 的工频交流电源时, 低压绕组的开路电压为 6.6 kV, 其铁心横截面积为 1120 cm^2 , 若选取铁心磁感应强度 $B_m = 1.5 \text{ T}$, 试求该变压器的变压比和高、低压绕组的匝数各为多少?

$$\text{解: 变压比} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{35}{6.6} = 5.3$$

铁心内的磁通最大值为

$$\Phi_m = B_m S = 1.5 \times 1120 \times 10^{-4} = 0.168 \text{ Wb}$$

高压绕组的匝数为

$$N_1 \approx \frac{U_1}{4.44 \Phi_m} = \frac{35000}{4.44 \times 50 \times 0.168} = 938 \text{ 匝}$$

低压绕组的匝数为

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{938}{5.3} = 177 \text{ 匝}$$

例 2 如图 1—7 所示交流信号源的电压 $U = 120 \text{ V}$, 内阻 $R_0 = 800 \Omega$, 负载电阻 $R_L = 8 \Omega$, 试求: (1) 负载获得最大功率时, 电源输出的最大功率以及变压器的匝数比。(2) 当把负载电阻 R_L 直接接到信号源时, 信号源将输出多大功率?

解: (1) 为使负载获得最大功率, 可以证明, R_L 折算到一次侧的等效电阻 R_L' 应与 R_0 相等, 即 $R_L' = 800 \Omega$ 。

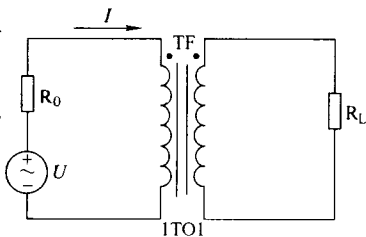


图 1—7

$$\text{故匝数比} \quad K = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{R_L'}{R_L}} = \sqrt{\frac{800}{8}} = 10$$

信号源输出的最大功率为

$$P_M = \left(\frac{U}{R_0 + R_L'}\right)^2 R_L' = \left(\frac{120}{800 + 800}\right)^2 \times 800 = 4.5 \text{ W}$$

(2) 当负载电阻 R_L 不经变压器而直接接到信号源时, 信号源的输出功率为

$$P = \left(\frac{U}{R_0 + R_L}\right)^2 R_L = \left(\frac{120}{800 + 8}\right)^2 \times 8 = 0.176 \text{ W} \approx 4\% P_M$$

可见, 经变压器“匹配”后, 输出功率增大了许多倍。

第二单元

单相变压器的维修与重绕

学习目标

1. 通过对单相变压器常见故障的了解分析,使学生初步懂得故障现象的判别。
2. 通过训练,掌握故障检测的步骤、方法及工艺。
3. 通过绕制训练,掌握变压器重绕的制作工艺。

相关知识

知识准备

1. 变压器的绕组和铁心是怎样传递、变换电磁能量的。
2. 万用表的用途及使用。
3. 单臂电桥的用途及使用。
4. 兆欧表的用途及使用。
5. 绕线机的种类及使用。

保证变压器的可靠运行是人们所关注的问题。变压器在运行中往往会受到各种因素的影响而造成其部件不能正常工作。由于变压器本身的原因,或者由于系统中其他原因,致使变压器在运行中出现跳闸或者被迫停止运行,不仅变压器受到明显破坏,而且还必须经过修理才能重新投入使用。

一、单相变压器的故障现象

1. 绕组故障

各类变压器的绕组,均由带绝缘层的绕组导线按一定排列规律,经绕制、整形、浸烘、套装而成。绕组故障主要表现在绝缘老化,绕组受潮,绕组层间、匝间、相间、高低压绕组间发生接地、断路、短路、击穿或烧毁等故障;系统短路造成绕组机械损伤;冲击电流造成绕组机械损伤等。绕组故障类别、原因及排除方法见表 2—1。

表 2—1

绕组故障类别、原因及排除方法

故障类别	故障原因	故障排除方法
绕组绝缘老化	变压器在运行过程中,受到周围环境及温度等因素的影响,使其绝缘性能降低或击穿而造成短路及漏电等现象	将绕组加热后重新浸漆烘干,绕组严重老化的应重新绕制

续表

故障类别	故障原因	故障排除方法
绕组受潮	水是变压器绝缘系统的大敌,当绝缘系统中的含水量超过规定值时,将加速绝缘老化、介质损耗增加,绝缘电阻降低、局部起始电压也随之降低,最终导致变压器绕组击穿和烧毁,大大地缩短了变压器的使用寿命	1. 将绕组加热后烘干 2. 绕组被水浸时间过长,视绕组绝缘损坏程度而定,严重的应重新绕制,较轻的用净水冲干净,将绕组加热烘干后重新浸漆烘干
绕组短路	变压器由于内部发生各种形式的放电或击穿,或外部负载不当而引起的匝间、层间、相间短路	检查绕组绝缘是否老化,若属于老化,采用以上修理方法;若属于机械损伤,则采用绝缘恢复措施进行修复
绕组漏电	变压器铁心或外壳带电	属绝缘损伤,导线碰铁心或外壳所致,认真检查,将绝缘损伤的地方恢复绝缘
绕组断路	变压器的引出线松动拉断漆包线或漆包线与焊片间虚焊等而造成开路故障	将拉断的漆包线或虚焊的地方重新焊牢,注意焊接处要处理好绝缘

2. 铁心故障

主要有铁心片间绝缘老化;铁心安装不正不齐造成空洞声;铁心片叠装不良造成铁损增加,使铁心过热。铁心故障类别、原因及排除方法见表 2—2。

表 2—2 铁心故障类别、原因及排除方法

故障类别	故障原因	故障排除方法
铁心片间绝缘老化	由于使用日久,铁心片间出现绝缘老化及炭化	绝缘老化应将铁片刮干净重新涂绝缘漆;铁片炭化则应该重新换铁片
铁心过热	指变压器在运行中由于受到电、磁、热、力等的作用而造成各种损耗,使其发热量大于预期值或其散热量小于预期值,不能达到发热和散热在规定的限值内平衡的现象	尽量减少电、磁、热、力等的作用造成的各种损耗

3. 接通电源二次侧无电压输出

变压器在一次侧接通电源,由于电源插头或引线开路等故障引起二次侧无电压输出。故障类别、原因及排除方法见表 2—3。

表 2—3 故障类别、原因及排除方法

故障类别	故障原因	故障排除方法	备注
二次侧无电压输出	电源插头或引线开路	插上电源,用万用表 250 V 交流挡测一次绕组两引出线端之间的电压,若电压为 220 V 左右,说明插头与插座接触良好,插头与引线均无开路故障。否则,应用万用表电阻挡检查电源插头,会发现脱焊或某一股电源线开路	1) 绕组的开路点多发生在引出线的根部。有时可不拆铁心和线包,先把变压器烤热,使绝缘漆化,用小针在断线处挑出线头,用多股绝缘软导线在断裂处焊好,注意处理好焊点处绝缘