



高等职业教育教学改革系列规划教材

电机与应用

叶国平◎主 编

朱彩红 张 愉◎副主编

平雪良◎主 审

- 通过15个任务系统阐述电机的工作原理和应用方法
- 理论与实践紧密结合，由浅到深，层层递进
- 强调实用性，淡化理论推导，以讲通为主要目的
- 提供免费的电子教学课件和习题答案，以方便教学



中国工信出版集团



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育教学改革系列规划教材

电机与应用

叶国平 主 编

朱彩虹 张 愉 副主编

平雪良 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍电机课程中常用的基本知识和基本定律、各类电机和变压器的基本结构、基本工作原理等,重点讨论变压器和交、直流电力拖动系统的起动、调速及制动时的运行性能与相关问题。主要内容包括:变压器的测试与应用、三相交流异步电动机参数和工作特性的测试、电力拖动系统知识与三相交流异步电动机的应用、直流电动机的测试与应用、微控电机的工作原理与应用。本书编写时力求把握高职教育的特点,简化原理分析,加强实际应用的举例。

本书可作为高职高专院校机电类和自动化类专业的教材,也可作为各类职业培训机构和相关专业人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电机与应用 / 叶国平主编. —北京:电子工业出版社, 2015.8
高等职业教育教学改革系列规划教材
ISBN 978-7-121-26490-0

I. ①电… II. ①叶… III. ①电机学—高等职业教育—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 145416 号

策划编辑:王艳萍

责任编辑:王艳萍

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:11.5 字数:294.4 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版

印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3 000 定价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书为高职高专“电机与应用”、“电机与拖动”课程的教材，采用项目化编写形式。在内容安排上着力体现对学生职业能力的培养，既突破了传统的理论阐述体系，又不失应有的严谨和循序渐进。为提高学生学习的主动性，本书选编了部分实践性强而又不难掌握的内容，如电动机的拆装等，便于教师通过项目驱动的方式开展教学。

本书的内容分为 5 个项目，每个项目又分为若干任务，共有 15 个任务。主要包括：变压器的测试与应用、三相交流异步电动机参数和工作特性的测试、电力拖动系统知识与三相交流异步电动机的应用、直流电动机的测试与应用、微控电机的工作原理与应用。每个任务均包括任务导入、知识准备和任务实施 3 个部分。

本书特点：

- (1) 以项目为导向，任务驱动，使学生深刻理解各种电机的工作原理和应用方法。
- (2) 强调实用性和技术先进性，淡化理论推导，以讲通为主要目的。
- (3) 各项目中的理论与实践紧密结合，由浅到深，层层递进。

本书由苏州市职业大学叶国平、朱彩红和张愉老师编写。叶国平编写项目 1、2 和 3，朱彩红编写项目 4，张愉编写项目 5。江南大学平雪良教授担任了本书的主审，在此表示感谢。

本书配有免费的电子教学课件和课后习题参考答案，请有需要的教师登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后进行下载，如有问题请在网站留言或与电子工业出版社联系（E-mail: hxedu@phei.com.cn）。

由于编者水平有限，书中难免错误和不足之处，恳请使用本书的读者提出宝贵意见和建议。

编 者
2015 年 5 月

目 录

项目 1 变压器的测试与应用	(1)
任务 1.1 单相变压器的拆装及重绕	(1)
1.1.1 变压器的用途与分类	(2)
1.1.2 变压器的基本工作原理	(3)
1.1.3 变压器的主要结构	(4)
1.1.4 变压器的铭牌数据和主要系列	(6)
实验 1: 拆卸、装配、重绕和测试单相变压器	(8)
任务 1.2 变压器的通用测试	(10)
1.2.1 变压器的空载运行	(11)
1.2.2 变压器的负载运行	(15)
实验 2: 变压器的空载实验和短路实验	(18)
任务 1.3 变压器运行特性测试	(20)
1.3.1 变压器的电压变化率和外特性	(21)
1.3.2 变压器的效率特性	(22)
实验 3: 变压器的外特性和效率特性测量实验	(24)
任务 1.4 变压器的连接组别的判定	(25)
1.4.1 变压器绕组的同名端	(26)
1.4.2 单相变压器的连接组别	(26)
1.4.3 三相变压器的连接	(27)
实验 4: 变压器的连接组别判定实验	(29)
思考与练习题	(35)
项目 2 三相交流异步电动机参数和工作特性的测试	(36)
任务 2.1 三相交流异步电动机的拆装	(36)
2.1.1 概述	(37)
2.1.2 异步电动机的用途和分类	(37)
2.1.3 三相交流异步电动机的基本工作原理	(38)
2.1.4 三相交流异步电动机的主要结构	(42)
2.1.5 三相交流异步电动机的铭牌数据	(45)
实验 5: 拆装三相异步电动机	(46)
任务 2.2 三相交流异步电动机参数测试	(47)
2.2.1 转子静止时的三相交流异步电动机	(47)
2.2.2 转子旋转时的三相交流异步电动机	(55)
2.2.3 三相交流异步电动机的功率和转矩	(59)
实验 6: 三相异步电动机的空载实验和短路实验	(63)

任务 2.3 三相交流异步电动机工作特性的测定	(66)
2.3.1 三相交流异步电动机的工作特性	(66)
2.3.2 三相交流异步电动机的机械特性	(68)
实验 7: 三相异步电动机的特性测量实验	(76)
思考与练习题	(77)
项目 3 电力拖动系统知识与三相交流异步电动机的应用	(82)
任务 3.1 电力拖动系统动力学知识	(82)
3.1.1 电力拖动系统转动方程式	(82)
3.1.2 负载的转矩特性	(83)
任务 3.2 三相交流异步电动机的应用	(85)
3.2.1 三相交流异步电动机的起动	(85)
3.2.2 三相交流异步电动机的调速	(93)
3.2.3 三相交流异步电动机的制动	(102)
实验 8: 三相异步电动机的起动、调速实验	(110)
思考与练习题	(113)
项目 4 直流电动机的测试与应用	(118)
任务 4.1 直流电动机的拆装	(118)
4.1.1 直流电动机的结构	(118)
4.1.2 直流电动机的铭牌数据	(121)
4.1.3 直流电动机的用途和分类	(122)
4.1.4 直流电动机的基本工作原理	(124)
实验 9: 拆装直流电动机	(126)
任务 4.2 直流电动机运行特性测试	(127)
4.2.1 直流电动机稳态运行时的基本方程式	(127)
4.2.2 他励直流电动机的机械特性	(131)
实验 10: 直流电动机的运行特性测量实验	(134)
任务 4.3 直流电动机的应用	(136)
4.3.1 他励直流电动机的起动	(136)
4.3.2 他励直流电动机的调速	(138)
4.3.3 他励直流电动机的制动	(142)
实验 11: 直流电动机调速、能耗制动测量实验	(148)
思考与练习题	(150)
项目 5 微控电机的工作原理与应用	(154)
任务 5.1 伺服电动机	(154)
5.1.1 直流伺服电动机	(155)
5.1.2 交流伺服电动机	(160)
5.1.3 直流伺服电动机与交流伺服电动机的比较	(164)
任务 5.2 步进电动机	(165)
5.2.1 反应式步进电动机的结构与工作原理	(166)

5.2.2 步进电动机控制与应用	(169)
任务 5.3 直线电动机	(170)
5.3.1 直线感应电动机	(171)
5.3.2 直线直流电动机	(173)
5.3.3 直线电动机应用举例	(175)
思考与练习题	(176)

项目 1 变压器的测试与应用



知识目标

1. 掌握变压器的用途、基本结构、铭牌额定值的含义；
2. 掌握变压器的工作原理；
3. 掌握变压器的等值电路及计算方法；
4. 熟悉仪用变压器的工作原理和使用方法。



技能目标

1. 熟悉单相变压器拆装及重绕的方法；
2. 掌握变压器空载和短路实验的方法和过程；
3. 掌握变压器的外特性和效率特性的测试方法；
4. 了解三相变压器的连接组的判别方法。

任务 1.1 单相变压器的拆装及重绕



任务导入

变压器种类繁多，但基本结构和工作原理是相似的。通过本次小型单相变压器的拆装及重绕任务，学生应能够掌握小型单相变压器的基本结构。小型变压器是指在工频范围内进行电压、电流变换的变压器，容量从几十伏安到一千伏安。小型变压器应用广泛，常见的有电源变压器、控制变压器等。



知识准备

1.1.1 变压器的用途与分类

1. 变压器的用途

(1) 电力系统

在电力系统中, 变压器是一种重要的电气设备。电力系统中使用的变压器称为电力变压器。将大功率的电能经济地从发电厂输送到远距离的用电区, 应采用高压输电, 因为传输一定的电功率, 电压越高, 电流也就越小。使用变压器, 既可以节省导线和其他架设费用, 又可以减少送电时导线上的损耗和电压降。

(2) 其他用途

除了电力系统中的电力变压器外, 根据变压器的用途, 还有供给特殊电源的变压器, 如电炉变压器、整流变压器、电焊变压器、中频变压器等; 仪用变压器, 如电压互感器、电流互感器等; 以及其他各种变压器, 如实验室中使用的自耦变压器(调压器)、自动控制系统中的小功率变压器、通信系统中的阻抗变压器等。在一般工业和民用产品中, 利用变压器还可以实现电源与负载的阻抗匹配、电路隔离等。

总之, 变压器的应用非常广泛, 变压器的生产和测试具有重要意义。

2. 变压器的分类

变压器的容量范围很广, 品种、规格很多, 为了达到不同的使用目的并适应不同的工作条件, 变压器可以从不同的角度进行分类。

(1) 按用途分

变压器按用途可以分为电力变压器和特种变压器。

电力变压器是电力系统中输配电的主要设备, 包括升压变压器、降压变压器、联络变压器(连接几个不同电压等级的电网)、配电变压器和厂用变压器(供发电厂自用电用)等。特种变压器提供各种特殊电源和用途, 包括变流(整流、换流)变压器、电炉变压器、电焊变压器、矿用变压器、电压互感器、电流互感器、实验用高压变压器和调压器等。

(2) 按绕组数目分

变压器按绕组数目可以分为单绕组(自耦)变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器。电力系统中使用最多的是双绕组变压器, 其次是三绕组变压器和自耦变压器。

(3) 按相数分

变压器按相数可以分为单相变压器、三相变压器和多相(如整流用六相)变压器。

(4) 按结构分

变压器按结构可以分为心式变压器、壳式变压器和卷环式变压器。



(5) 按调压方式分

变压器按调压方式可以分为无励磁调压变压器和有载调压变压器。

(6) 按冷却方式分

变压器按冷却介质不同可以分为干式变压器、油浸式变压器（又可分为油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环冷却、强迫油循环导向冷却）和充气式冷却变压器。

(7) 按容量大小分

变压器按容量大小可以分为小型变压器、中型变压器、大型变压器和特大型变压器。

1.1.2 变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理工作的，图 1-1 所示为单相双绕组变压器工作原理示意图，该变压器由一个闭合的铁芯和套在铁芯上的两个相互绝缘的绕组组成，这两个绕组一般有不同的匝数，两个绕组之间只有磁的耦合，而没有电的联系。

其中，与电源相连、接收交流电能的 AX 绕组称为原绕组（也称一次绕组，初级绕组）；与负载相连、送出交流电能的 ax 绕组称为副绕组（也称二次绕组，次级绕组）。规定原、副绕组的各量分别附有下列下标“1”和“2”，如原绕组的匝数、电压、电动势、电流分别用 N_1 、 u_1 、 e_1 、 i_1 来表示，副绕组的匝数、电压、电动势、电流分别用 N_2 、 u_2 、 e_2 、 i_2 来表示。

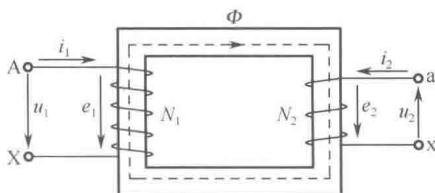


图 1-1 单相双绕组变压器工作原理示意图

当原绕组 N_1 两端外加交变电压 u_1 后，绕组 N_1 中就会有交变电流流过，并在铁芯中产生与电源频率相同的交变磁通 Φ 。由于 Φ 同时交链原绕组 N_1 和副绕组 N_2 ，根据电磁感应定律，将同时原、副绕组中产生感应电动势 e_1 和 e_2 。如果 N_1 和 N_2 匝数不相等，产生的感应电动势 e_1 和 e_2 也不相等，则变压器两侧的电压 u_1 和 u_2 的大小就不相等，达到了变换电压的目的。由于磁通的交变频率是由 u_1 的频率决定的，而感应电动势 e_1 和 e_2 是由同一个交变磁通 Φ 感应出来的，因此 e_2 的频率与 e_1 的频率是相同的。 u_2 的频率与 u_1 的频率也是相同的，所以变压器能将一种交流电压的电能在频率不变的情况下变换成另一种交流电压的电能，能量的变换和传递以交变磁通 Φ 为媒介。这就是变压器的基本工作原理。

在理想状况下（不计原、副绕组的电阻、铁耗和漏磁），各量参考正方向如图 1-1 所示，根据电磁感应原理，可写出变压器的电压平衡方程式为

$$\begin{cases} u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ u_2 = -e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{cases} \quad (1-1)$$



式中, $\frac{d\Phi}{dt}$ 为铁芯中的磁通变化率。

假设原、副绕组的电压、感应电动势的瞬时值均按正弦规律变化, 则根据式 (1-1), 各物理量的有效值与匝数满足下列关系:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (1-2)$$

式中, k 为变压器的变比, 也称为匝数比。

由此可得:

$$U_2 = \frac{U_1}{k}$$

说明: 只要改变原、副绕组的匝数, 即改变变压器的变比 k , 就能按要求改变输出电压的大小。

忽略绕组的电阻及铁芯损耗 (铁芯中由磁通 Φ 交变所引起的损失), 根据能量守恒原理, 则

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (1-3)$$

可得变压器原、副绕组中电压和电流有效值的关系为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{k} \quad (1-4)$$

由此可见, 变压器在改变输出电压大小的同时, 亦能改变输出电流的大小。

1.1.3 变压器的主要结构

变压器的结构对提高产品效率、节约材料等有直接影响。变压器的种类不同, 结构也有较大差别。变压器的主要结构是基本相同的, 一般包括铁芯、绕组和附件。铁芯和绕组是变压器实现电能传递的主体, 为了保证变压器安全、可靠地运行, 变压器还配置了油箱、分接开关、绝缘套管、冷却装置、安全保护装置、检测装置等附件。图 1-2 为一台油浸式电力变压器外形图。

1. 铁芯

(1) 铁芯的作用

铁芯是变压器的主磁路部分, 也是套装绕组的机械骨架, 由铁芯柱 (柱上套装绕组)、铁轭 (连接铁芯以形成闭合磁路) 组成, 在变压器中主要起着两个作用: 一是用做磁路, 二是用来支撑和固定绕组。

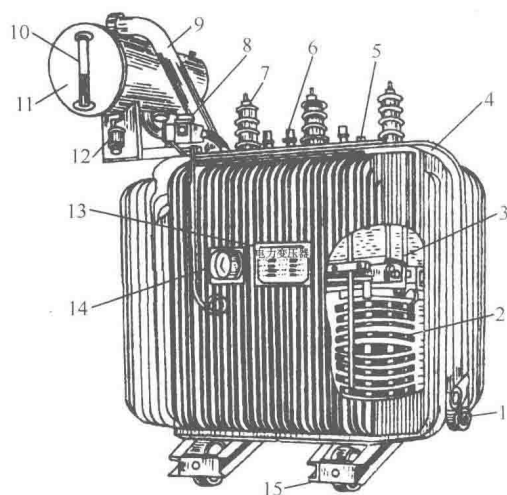
(2) 铁芯的材料

为了提高磁路的导磁性能、减小交变磁通在铁芯中产生的磁滞损耗和涡流损耗, 变压器的铁芯通常由厚为 0.23~0.35mm、表面有氧化膜绝缘的硅钢片叠成。若要进一步降低铁耗, 可采用另一种铁芯材料——非晶合金。在工作频率高和要求损耗特别小的情况下, 也有用铁镍合金片作为铁芯的。



(3) 铁芯的结构形式

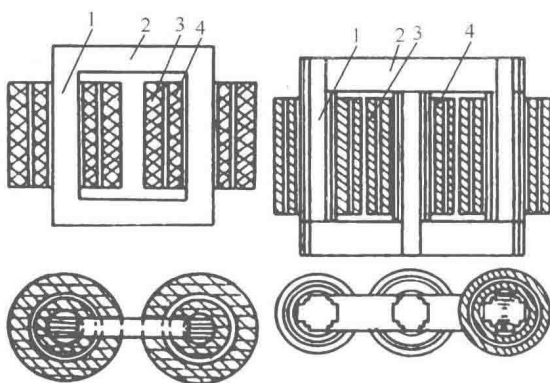
变压器的铁芯是框形闭合结构, 主要由铁芯柱、铁轭和夹紧装置等组成, 主要有心式和壳式两类。



1—油阀; 2—绕组; 3—铁芯; 4—油箱; 5—分接开关; 6—低压导管; 7—高压导管; 8—瓦斯继电器;
9—防爆筒; 10—油位器; 11—油枕; 12—吸湿器; 13—铭牌; 14—温度计; 15—小车

图 1-2 油浸式电力变压器外形图

心式变压器结构如图 1-3 所示, 这种变压器的绕组绕在两个铁芯柱上, 结构比较简单, 绕组装配和绝缘也比较容易, 适用于容量大而且电压高的变压器, 国产电力变压器均采用心式结构。



(a) 单相心式铁芯

(b) 三相心式铁芯

1—铁芯柱; 2—铁轭; 3—高压绕组; 4—低压绕组

图 1-3 心式变压器结构示意图

壳式变压器结构如图 1-4 所示, 这种变压器的绕组绕在中间铁芯柱上, 磁通从中间铁芯柱出来分左、右路而闭合, 可见两侧铁芯柱的截面只需中间铁芯柱截面的一半。这种结构机械强度较好, 铁芯容易散热, 但外层绕组的铜线用量较多, 制造工艺复杂, 一般用于小功率变压器。

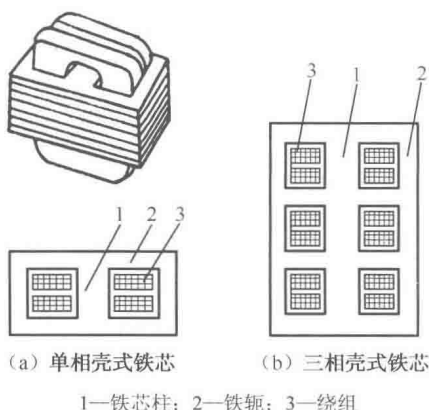


图 1-4 壳式变压器结构示意图

2. 绕组

(1) 绕组的作用

绕组是变压器的电路部分，通过电磁感应实现交流电能的传递。一般分为高压绕组和低压绕组。接在较高电压上的绕组称为高压绕组，接在较低电压上的绕组称为低压绕组。

(2) 绕组的材料

变压器的绕组一般用绝缘铜线或绝缘铝线绕制而成。小容量配电变压器的绕组常采用漆包铜线，大中型变压器的绕组多采用纸包或纱包铜线。绕组一般在模型或简易骨架上绕制而成，然后套入铁芯。高压绕组的匝数多、导线横截面小，低压绕组的匝数少、导线横截面大。

(3) 绕组的绝缘

绕组的绝缘分为主绝缘和纵绝缘两种。主绝缘是指绕组和铁芯、油箱等接地部分之间的绝缘，高、低压绕组之间的绝缘及各绕组之间的绝缘。纵绝缘主要是指绕组匝间、层间、段间的绝缘。

1.1.4 变压器的铭牌数据和主要系列

1. 变压器的铭牌数据

为了使变压器安全、经济、合理地运行，同时让用户对变压器的性能有所了解，制造厂家对每一台变压器都安装了一个铭牌，上面标出了其型号、额定数据和其他数据。额定值是制造厂指定的、用来表示变压器在规定工作条件下运行特征的一些量值，变压器在额定状态下工作，不仅运行可靠，而且性能良好。变压器的主要额定值如下。

(1) 额定容量 S_N (kV · A)

额定容量是指铭牌规定的变压器在额定使用条件下所能输出的视在功率，对三相变压器而言，额定容量是指三相容量之和。由于变压器效率很高，双绕组变压器一、二次侧的额定容量按相等设计。



(2) 额定电压 U_N (kV 或 V)

额定电压是指变压器长时间运行时所能承受的工作电压。一次额定电压 U_{1N} 是指规定加到一次侧的电压；二次额定电压 U_{2N} 是指变压器一次侧加额定电压时，二次侧空载时的端电压，在三相变压器中额定电压指的是线电压。

(3) 额定电流 I_N (A)

额定电流是指变压器在额定容量下允许长期通过的电流。同样，三相变压器的额定电流也指的是线电流。

(4) 额定频率 f (Hz)

我国规定标准工频为 50Hz。

此外，额定值还包括效率、温升等。除额定值外，铭牌上还标有变压器的相数、连接组别、阻抗电压（或短路阻抗相对值）、接线图、冷却方式等。

变压器的额定容量、额定电压、额定电流之间的关系如下。

单相双绕组变压器： $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$

三相双绕组变压器： $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

变压器负载运行时，二次电流 I_2 随负载变化而变化，不一定是额定电流 I_{2N} ，二次电压也随负载变化而有所变化，因此变压器实际输出容量往往不等于其额定容量。当变压器一次绕组接到额定频率、额定电压的交流电网上，二次电流 I_2 达到其额定值 I_{2N} 时，一次电流 I_1 也达到其额定值 I_{1N} 。此时，变压器运行于额定工况，或称额定运行，其负载称为额定负载，也称满载。在额定工况下，变压器可长期可靠运行，并具有优良的性能。因此，额定值是变压器设计、实验和运行中的重要依据。

2. 变压器的主要系列

(1) 型号说明

变压器型号表明变压器的基本类别和特点，如图 1-5 所示。

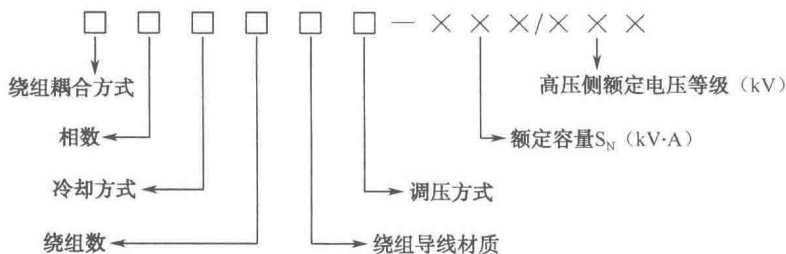


图 1-5 变压器型号

短横线前用汉语拼音字母表示变压器的基本类型。其中，绕组的耦合方式用“O”表示自耦变压器；相数：单相用“D”表示，三相用“S”表示；冷却方式：油浸自冷无表示符号，干式空气自冷用“G”表示，干式浇注式绝缘用“C”表示，油浸风冷用“F”表示，油浸水冷用“S”表示，强迫油循环风冷和水冷分别用“FP”和“SP”表示；绕组数：双绕组无表示符号，三绕组用“S”表示；绕组导线材质：铜线无表示符号，铝线用“L”表示；调压方式：无励磁调压无表示符号，有载调压用“Z”表示。



例如：SL—500/10 表示三相油浸自冷双绕组铝线、额定容量为 $500\text{kV}\cdot\text{A}$ 、高压绕组额定电压为 10kV 级的电力变压器。

(2) 主要系列

我国生产的各种变压器产品系列有 S7、SL7、S9、SC9 等。其中，SC9 型为环氧树脂浇注干式变压器。

【例 1-1】 一台三相变压器，一、二次绕组分别为星形、三角形连接，额定容量 $S_N = 630\text{kV}\cdot\text{A}$ ，一、二次额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 10\text{kV}/400\text{V}$ 。求该变压器一、二次的额定线电流和额定相电流。

解：一次额定线电流为

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10 \times 10^3} = 36.4\text{A}$$

二次额定线电流为

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 909.3\text{A}$$

一次额定相电流为

$$I_{1N\phi} = I_{1N} = 36.4\text{A}$$

二次额定相电流为

$$I_{2N\phi} = I_{2N} / \sqrt{3} = 909.3 / \sqrt{3} = 525.0\text{A}$$



任务实施

实验 1：拆卸、装配、重绕和测试单相变压器

1. 仪器与设备

实验所需仪器与设备如表 1-1 所示。

表 1-1 实验所需仪器与设备

	名 称	参 数	数 量
1	电工工具		1 套
2	单相自耦调压器	1kV	1 台
3	交流电压表	0~300V	1 只
4	交流电流表	0~1A	1 只
5	万用表		1 只



续表

	名 称	参 数	数 量
6	兆欧表	500V	1 只
7	干电池	1.5~3V	1 组
8	手摇绕线机		1 台
9	漆包线		适量
10	绝缘材料		适量
11	单相变压器		1 台

2. 内容和步骤

1) 单相变压器的拆卸

由于单相变压器铁芯一般采用交错式叠片的方法进行叠制，因此它的拆卸难度比较大。它的铁芯有 E 形及 F 形两种，E 形铁芯的拆卸较 F 形稍容易，下面以 E 形铁芯为例介绍。

(1) 将铁芯四角的紧固螺钉拆去。

(2) 边用电工刀片撬开 E 形铁芯，边逐步取出 I 形铁芯。上端取完后，再翻过来取下端的 I 形铁芯片，直到取完为止。

(3) 在变压器的下方垫一木块，铁芯外边缘伸出几片硅钢片，然后上面用断锯条平面对准 E 形铁芯片中间的舌片，用锤子轻轻敲打，将铁芯片冲出几片。

(4) 将冲出的几片铁芯片用台虎钳夹紧，然后用手抱住上面的铁芯，沿两侧摇动，慢慢将铁芯片取出。

2) 单相变压器的装配

按与拆卸相反的步骤进行装配，装配时应注意 E 形铁芯片与 I 形铁芯片的接缝应越小越好，通常将 2~3 片 E 形铁芯叠在一起，再交错进行装配。最后几片铁芯片装配难度较大，一般可将单片插在已装好的两片中间夹缝内，再轻轻敲打进入。E 形铁芯片装配完毕后，再装 I 形铁芯片，用木槌轻敲铁芯片，使 E 形铁芯片与 I 形铁芯片的接缝越小越好。

3) 单相变压器绕组的重绕

如果绕组已烧坏，则需重新绕制。重绕时先将绕组外包绝缘拆除，再将导线拆除，保留绕组绝缘框架。

(1) 导线选择。可按原绕组上注明的参数或原绕组的实际参数来选用漆包铜线。

(2) 绝缘材料准备。用与原变压器相同的绝缘材料，裁剪成所需尺寸。

(3) 框架准备。通常绕组拆除后的旧框架可以重新使用，如已损坏，则可用硬绝缘纸板按原样重新制作。

(4) 木芯制作。木芯套在框架内空中、中间开圆孔穿在绕线机轴上以方便绕线，木芯边角应用砂布磨成圆角，方便木芯取出。

(5) 变压器绕组的绕制。



① 按原绕组的参数在绕线机上重绕绕制。

② 将框架固定在绕线机上。固定时在框架内孔插入做好的木芯，且两端用木板夹紧，以避免绕线时框架变形。

③ 绕制。先在框架上垫一层复合薄膜青壳绝缘纸，用与原规格相同的漆包导线绕制，每绕一层垫上层间绝缘纸。绕制最后一层的若干匝时，先压上一根白布带，将最后一匝穿过白布带的“环”中，然后拉紧白布带将最后一匝固定。绕制时要注意绕组的头尾引出应在框架的同一端。

整个绕组绕完后，再在绕组外包一层复合薄膜青壳绝缘纸，并固定好，就绕制完成了。

④ 整形。将绕好的绕组在台虎钳上压正整形，但压力不能过大，以免损坏导线的绝缘。

⑤ 压装铁芯。按记录的铁芯压装方式，将接口对接压装铁芯到位。最后的少数铁芯片可先插入而不压到位，等全部铁芯片插入后，再将它们一起压到位，否则最后几片难以插入，影响整个铁芯的有效截面积。

4) 单相变压器的测试

(1) 一次绕组和二次绕组直流电阻及相互之间绝缘电阻的测试。

(2) 一次绕组和二次绕组对铁芯的绝缘电阻的测试。

(3) 一次绕组和二次绕组空载电压的测试。

将直流电阻及一、二次绕组相关数据，空载电压、绝缘电阻测试数据记录于表 1-2 中。

表 1-2 单相变压器测试数据

一次绕组		二次绕组		直流电阻/ Ω		U_1/V	U_2/V	绝缘电阻 $R/M\Omega$	
线径 d/mm	匝数	线径 d/mm	匝数	一次绕组	二次绕组			绕组间	绕组对地

任务 1.2 变压器的通用测试



任务导入

要正确使用变压器，就应该知道变压器的有关参数，包括变压器的变比，励磁支路和一、二次回路漏阻抗参数。通过完成本次小型单相变压器通用测试的任务，即变压器的空载实验和短路实验，应能够达到掌握单相小型变压器基本参数的目的。