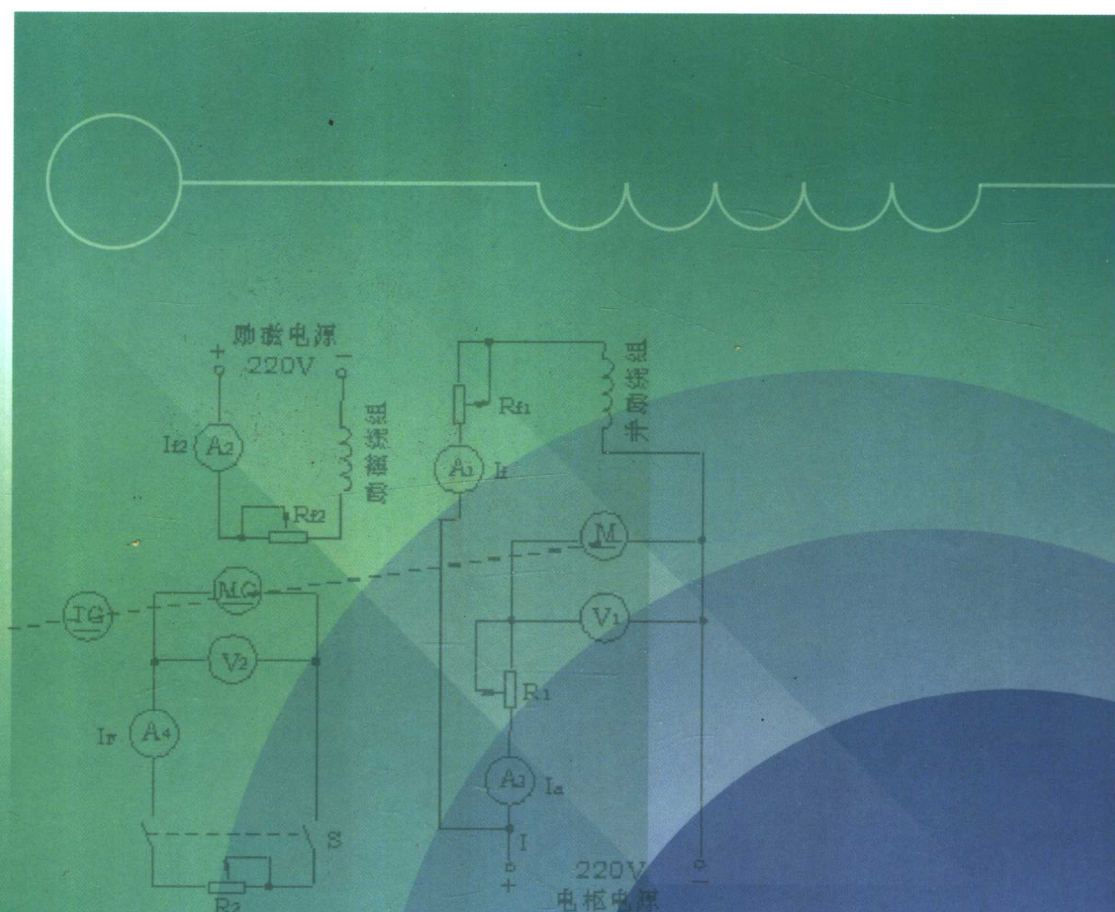




教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电类专业教学用书

电机与拖动基础

周立 张龙 主编



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

电机与拖动基础

周 立 张 龙 主编
陶乃斌 周向明 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 6 · 北 京

内 容 简 介

本书主要介绍变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、直流电机、同步电机、控制电机及其相关的试验。

本书为高职供用电技术专业类的教材,可供铁路职业教育各级学校使用;也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/周立,张龙主编. - 北京:中国铁道出版社,2006
高等职业教育教材
ISBN 7-113-06934-7

I. 电… II. ①周…②张… III. ①电机-高等学校:技术学校-教材②电力传动-高等学校:技术学校-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 068253 号

书 名:电机与拖动基础
作 者:周立 张龙 主编
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑:方 军 阙济存
封面设计:冯龙彬
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:9.25 字数:228 千
版 本:2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数:1~3 000 册
书 号:ISBN 7-113-06934-7/TB·88
定 价:13.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话:010-51873133 发行部电话:010-51873124

前言

本书是根据教育部《2004—2007 职业教育教材开发编写计划》的精神,依据铁道部教材编辑部和铁路职业院校供电专业教学指导委员会于2003年12月11日至14日在北京铁路电气化学校召开的铁供、企供专业高职、高专专业课和专业基础课教材编写会的决定编写的。

《电机与拖动基础》课程是供用电技术等专业的一门技术基础课。介绍电机的分类、基本结构、工作原理、使用维护和常见故障现象及其分析处理等基础知识,并进行相关的试验技能训练。在本书编写过程中,我们在以下两方面进行了积极探索。

1. 紧扣培养目标。根据教育部颁发的专业培养目标及本课程最新教学指导方案及相应工种的国家职业技能鉴定标准编写。本教材教学目标明确(基本知识教学目标、基本能力教学目标、思想教育目标),体现了“以全面素质为基础,以能力为本位”的职教课程改革指导思想,使学生能够运用所学知识对电机应用中的实际问题进行深层次的思索,增强了教材的实用性、开放性。

2. 删减以往教材中过多的理论推导及复杂的计算等深层次的理论内容,重视基础知识的传授。使用了较多的电机结构图、试验接线图、技术数据和图表等,图文并茂、通俗易懂,使学生自己能够阅读并初步运用这些资料,使教学形象、直观,又有利于培养提高学生的逻辑思维能力,同时也为今后继续学习及解决实际问题奠定基础。

本书分为六章,内容包括:变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、直流电机、同步电机简介、控制电机,书中每章最后附有思考与练习题,教学过程中可根据专业的不同、教学总课时数的不同和各校的实际情况作适当的取舍。

本课程应加强基本试验技能的训练,要注重培养学生能够正确使用电机及其相应的工具,能够正确分析判断电机的故障现象并作相应的维修处理等,突出电机的实用性及培养操作型、应用型人才的特色。考虑到不同院校的试验设备不同,建议在使用本教材时应根据相应的试验设备编制相应的试验指导书。

本书由北京铁路电气化学校周立和太原铁路机械学校张龙主编。其中苏州机电高等职业技术学校陆伟编写第一章,西安铁路职业技术学院崔晶编写第三

章,武汉铁路职业技术学院熊利军编写第六章,第四章由张龙编写,其余由周立编写。本书由教育部推荐专家郑州铁路职业技术学院陶乃斌和内江铁路机械学校周向明主审。2005年3月24日至27日在苏州机电高等职业技术学校召开了审稿会,苏州机电高等职业技术学校徐龙兴、西安铁路运输学校杨玉菲、内江铁路机械学校张果、广州铁路职业技术学院赵华军等认真审阅了书稿并提出了许多有益的意见和建议。在编写过程中曾得到内江铁路机械学校凌鹤奇、株洲铁路机械学校赵承获、中国北车集团南口机车车辆机械厂刘玉华、中国北车集团永济电机厂贺志学和北京铁路电气化学校王宜亭等老师们的支持帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,请读者给予批评指正。

编者

2006年5月25日

目 录

绪 论

第一章 变 压 器

第一节 变压器结构、铭牌及分类	4
第二节 变压器工作原理	11
第三节 变压器试验	18
第四节 变压器联结组别和并联运行	24
第五节 变压器的安全检查和故障处理	32
复习思考题	36

第二章 三相异步电动机

第一节 三相异步电动机的结构、铭牌、分类	38
第二节 三相异步电机工作原理	56
第三节 三相异步电动机拖动基础	61
第四节 三相异步电动机的试验	71
第五节 三相异步电动机的选用、安全检查与故障处理	77
复习思考题	84

第三章 单相异步电动机

第一节 单相异步电动机的结构和工作原理	86
第二节 单相异步电动机的分类和起动方法	89
第三节 单相异步电动机的应用简介	93
第四节 单相异步电动机的常见故障及处理	96
复习思考题	97

第四章 直 流 电 机

第一节 直流电机的基本结构、铭牌	98
第二节 直流电机的工作原理	102
第三节 直流电动机拖动基础	106
第四节 直流发电机的空载特性和外特性	115
第五节 直流电机的维护保养和故障处理	117

复习思考题	119
-------	-----

第五章 同步电机简介

第一节 同步电机的基本结构	121
第二节 同步发电机的工作原理及特点	122
第三节 同步发电机空载特性、短路特性和外特性	123
复习思考题	125

第六章 控制电机

第一节 伺服电动机	126
第二节 测速发电机	131
第三节 步进电动机	135
第四节 自整角机和旋转变压器	138
复习思考题	141
参考文献	142

绪 论

一、电机的定义、作用及分类

1. 电机的定义

电机是一种利用电磁感应原理进行能量转换或传递的电磁机械设备,主要是指发电机、电动机和变压器,通过电机能够进行电能的生产、传输和使用。

2. 电机的作用

众所周知,自然界中存在着各种能量。根据能量守恒定律,能量既不能创生也不能消灭,它只能从一个物体传给另一个物体或从一种形式转换为另一种形式。电能作为一种能量,由于它的转换、远距离传输、控制和使用等都比较方便,因而在现代社会中获得了广泛的应用。世界各国都利用电能作为能量转换的中间环节,也就是,先将其他形式的能量(燃料燃烧、水流动力或原子核裂变的能量)转换成电能,再将电能转换成人们需要的某种形式的能量。

目前,我们所使用的电网中的电能主要来自火力发电厂和水力发电站。在火力发电厂,将煤的燃烧或其他方法产生的热能用来产生蒸汽,蒸汽驱动汽轮机而产生了机械能来拖动电机旋转,通过电机的作用而发出电能后输出到电网;在水力发电站,利用水的位能驱动水轮机而产生了机械能来拖动电机旋转,通过电机的作用而发出电能后输出到电网。可见,在火力发电厂是将热能转换成机械能,再通过电机的作用将机械能转换成了电能;在水力发电站是将水的位能转换成机械能,再通过电机的作用将机械能转换成了电能。为了经济地传输和分配电能,采用变压器升高电压,再把电能送到用电地区,然后又经过变压器降低电压,供用户使用。图1所示就是一种简单的电能生产、传输和使用示意图。

在机械、冶金、石油、煤炭和化学工业及其他各种工业企业中,广泛地应用各种

电动机将电能转换成机械能,从而拖动各种机器设备工作。例如各种机床都用电动机拖动,高炉运料装置、吊车、抽水机、鼓风机、搅拌机等都大量采用电动机拖动。一个现代化工厂需要几

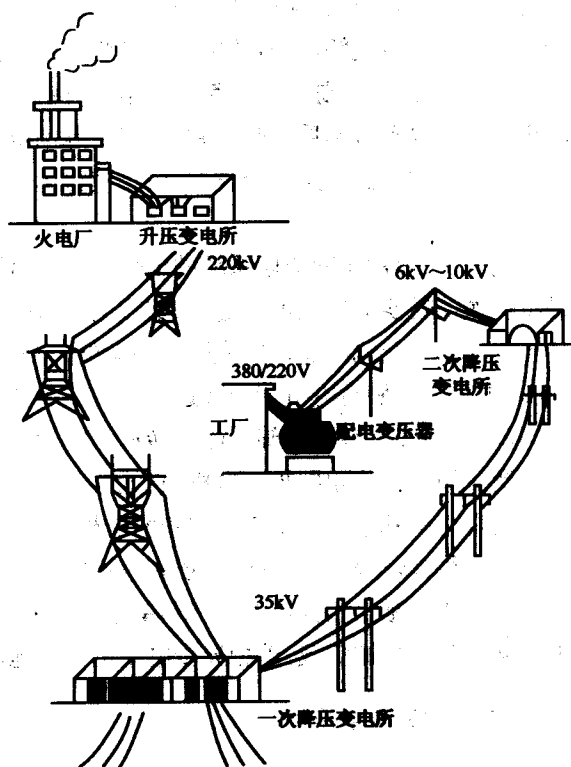


图1 一种简单的电能生产、传输和使用示意图

百台至几万台电机。随着各行各业生产自动化程度的不断提高,还需要采用各种各样的控制电机作为自动化系统中的元件。

在交通运输业中,随着城市交通运输和电气化铁道的发展,需要大量具有优良启动和调速性能的牵引电动机。如电力机车上,牵引电动机将电能转换成机械能而驱使机车运动;在航运和航空事业中,需要很多具有特殊要求的船用电机和航空电机。

随着农业机械化的发展,电机在农业上的应用也日趋广泛,如电力排灌、脱粒、榨油、粉碎等农业机械,都采用电动机拖动。

日常生活中的电梯、电扇、洗衣机等许许多多机器设备的运动,也是靠电机将电能转换成机械能来拖动的。

3. 电机的分类

电机的种类很多,并有不同的分类方法。

(1)根据能量转换方式的不同,可以把电机分为三大类

发电机:将机械能转换成电能。

电动机:将电能转换成机械能。

变压器:将一种电压等级的电能转换成同一频率的另一种电压等级的电能。

(2)根据电流性质的不同,可以把电机分为三大类

直流电机:应用于直流电系统的电机,包括直流发电机和直流电动机。直流发电机是将机械能转换成直流电能输出;直流电动机是将直流电能转换成机械能输出。

脉流电机:应用于脉动电流系统的电机,例如,电力机车上使用的脉流牵引电动机。脉流电动机和直流电动机本质上是一致的,但是脉动电流包含一个直流分量和一个交流分量(其中以直流分量为主),由于交流分量的存在,使得脉流电动机在电磁、换向、发热上又有其自身的特点。

交流电机:应用于交流电系统的电机,包括交流发电机、交流电动机和变压器。交流发电机是将机械能转换成交流电能输出;交流电动机是将交流电能转换成机械能输出;变压器是将一种电压等级的交流电能转换成同一频率的另一种电压等级的交流电能。

(3)根据交流旋转电机转子转速和旋转磁场转速的不同,交流电机可分为以下两类

同步电机:转子转速与旋转磁场转速相同的交流电机。同步电机主要用作发电机。目前,获得广泛应用的是三相同步发电机,它能够发出三相对称交流电。在火力发电厂和水力发电站使用的发电机基本上都是三相同步发电机。

异步电机:转子转速与旋转磁场转速不同的交流电机。异步电机主要用作电动机。目前,获得广泛应用的是三相异步电动机和单相异步电动机。三相异步电动机主要应用在工农业生产上来拖动其他机械负载;单相异步电动机大量地应用在家用电器上。

二、本课程的教学目标

本课程的教学目标是:使学生具备电类专业必需的电机与变压器的基本知识和基本技能,培养学生理论联系实际的作风,初步形成分析问题和解决问题的能力,为进一步学习专业知识和职业技能打下基础,并注重渗透思想教育,逐步培养学生的辩证思维能力,增强学生的职业道德观念。

1. 基础知识教学目标

(1)熟悉各类电机、变压器的用途,理解电机、变压器的基本概念。

(2)掌握常用变压器、三相异步电动机和直流电机的基本结构、工作原理、运行安全检查、常见故障现象及其分析处理方法等基础知识。

(3)了解单相异步电动机、同步电机、控制电机的基本结构、工作原理。

2. 基本能力教学目标

(1)能阅读和分析简单的电机、变压器工作原理示意图和电机、变压器试验线路图。

(2)具有借助电机铭牌、电机产品说明书等资料以及电机工程手册等工具书,查阅电机有关数据、功能和使用方法的能力。

(3)具备正确选择、使用与电机、变压器试验相关的仪器设备及工具的能力,掌握变压器、三相异步电动机和直流电机的基本试验方法,能够操作完成相关的试验,并能对试验结果进行分析,作出正确判断。

(4)初步具备正确选择电动机的型号、容量、防护型式、转速及工作方式等能力。

(5)初步具备常用电机的使用、运行安全检查维护和简单故障处理的能力。

(6)具备安全用电和节约用电的能力。

3. 思想教育目标

(1)初步具备辨证思维的能力。

(2)具有热爱科学、实事求是的学风和创新意识、创新精神。

(3)加强职业道德观念。

三、学习本课程之前应掌握相应的基础知识

电机是电学、磁学、力学等的综合应用。无论是发电机还是电动机或变压器,其工作原理都是建立在法拉第电磁感应定律等基础上,所以熟练地掌握这些基础知识,是深入学习电机的基础。因此,学生在学习本课程之前应熟练掌握相应的基础知识,例如:能量守恒定律;直流和交流电路的分析原理,如欧姆定律、基尔霍夫定律等;磁场、磁路的欧姆定律,全电流定律;法拉第电磁感应定律、楞次定律、右手螺旋定则、右手定则;毕萨电磁力定律、左手定则;旋转运动的力学定律等。

★☆☆

第一章 变 压 器

在工农业生产及社会生活的各个方面,存在着千差万别的用电设备,不同的用电设备常常需要接在各种不同等级电压的电源上。例如,家用电器一般接在电压为220 V的电源上;三相异步电动机一般接在电压为380 V的电源上;我国电力机车上的受电弓滑动接触电压为25 kV。如果用很多不同电压的发电机发电来直接供给这些家用电器、三相异步电动机等负载,不仅不经济、不方便,而且是不可能的。为了供电、输电、配电的需要,就必须使用一种电气设备把发电厂内交流发电机发出的交流电压变换成不同等级的电压。这种电气设备就是变压器。

变压器是一种能够将交流电压升高或降低(将一种等级电压的交流电能变换成另一种等级电压的交流电能),并保持其频率不变的静止电气设备。它是在法拉第电磁感应原理的基础上设计制造的。

第一节 变压器结构、铭牌及分类

一、变压器结构

变压器的结构对提高产品效率、节约材料、缩小运输尺寸等有直接关系。变压器运行维护人员首先应该了解变压器的结构,才能正确使用,正确监视和检测,正确维护和修理,从而提高变压器运行的可靠性。

变压器的结构以常用油浸式电力变压器为例来说明,如图 1-1 所示。电力油浸式变压器主要由下列部件组成:

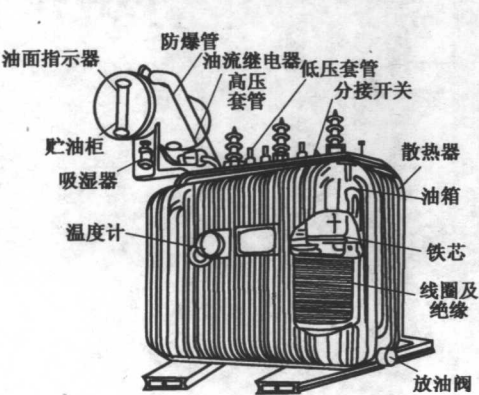


图 1-1 电力变压器结构示意图

电 力 变 压 器	铁 芯	
	绕 组	
	油 箱 及 其 附 件	油箱本体(箱盖、箱壁、箱底)
		调压装置(分接开关)
		冷却装置(散热器)
		保护装置(贮油柜、防爆管、继电器等)
		出线装置(高压套管、低压套管等)
		其他附件(铭牌、放油阀、接地螺栓、温度计等)

1. 铁芯

(1)铁芯的作用

铁芯在变压器中主要起着两个作用:构成变压器的磁路;变压器的内部骨架。

(2)铁芯材料

为了提高导磁性能、减少交变磁通在铁芯中引起的损耗,变压器铁芯所用的材料是厚度为0.35~0.5 mm的冷轧电工钢片(硅钢片)。冷轧电工钢片的品种、牌号及电磁性能可查阅国家标准《冷轧电工钢带(片)》(GB 2521—1981)。

(3)铁芯结构

铁芯结构主要有心式和壳式两类,如图 1-2 所示。

心式变压器:其结构特点是绕组包围铁芯。电力变压器一般采用心式结构。该种形式的结构较简单,装配较容易,适用于容量大、电压高的变压器。

壳式变压器:其结构特点是铁芯包围绕组。电子线路中的小变压器一般采用壳式结构,该结构的变压器机械强度高,铁芯散热比较容易。

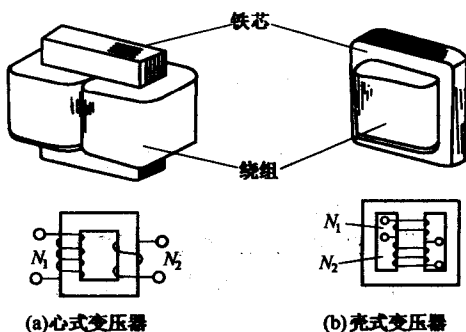


图 1-2 单相变压器铁芯结构

(4)铁芯叠装

当变压器铁芯中的磁通发生变化时,不仅在铁芯外表面绕着的线圈中会产生感应电势,在铁芯内部也会产生感应电势。因为硅钢片(铁磁

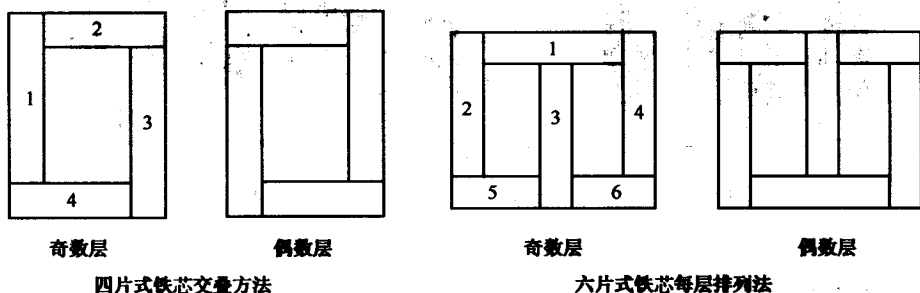


图 1-3 变压器铁芯叠装

材料)也是导体,所以在铁芯中便有闭合的感应电流产生。这个产生在铁芯内部的感应电流是以磁通轴线为中心,呈涡流分布,为了与一般线圈中的感应电流相区别,称其为涡流。涡流的存在会使铁芯发热,产生热损耗,使变压器(电机或其他使用铁磁材料的电器)的效率降低。因此,为阻止涡流流通,铁芯要由硅钢片叠装而成。硅钢片的两面均有绝缘层,作为片间绝缘之用,能够大大减少涡流的流通,从而减少铁芯损耗,提高变压器的效率。铁芯叠装一般采用交叠式装配,如图 1-3 所示,使相邻两层的硅钢片采用不同的排列方法,叠装之后,能使各层的接缝不在同一地点,这样能减少励磁电流,但缺点是装配复杂,费工费时。

(5)铁芯接地

变压器铁芯位于变压器内部电场之中,必然具有一定电位。电力变压器铁芯必须接地以防止铁芯与接地油箱之间发生击穿或局部放电现象。小型电力变压器铁芯在油箱内部连接到油箱上并经油箱接地点接地;大型电力变压器铁芯连接到油箱顶部的接地套管上,通过此接地套管在油箱壁外侧接地。

2. 绕组

(1) 绕组的作用

绕组是变压器的电路部分,用来通过电流产生磁通和感应电势,传输电能。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。从能量的传递来说,接在电源上,从电源吸收电能的绕组被称为原绕组(又称为一次绕组、初级绕组或原边);与负载连接,给负载输送电能的绕组被称为副绕组(又称为二次绕组、次级绕组或副边)。

(2) 绕组材料

使用绝缘的铜线(漆包线)。小型变压器一般采用圆铜线,中、大型变压器多采用方形或长方形扁铜线。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。为了保证变压器能够安全可靠地运行以及有足够的使用寿命,绕组应具有足够的绝缘强度、机械强度和耐热能力。

(3) 绕组结构

绕组是按照一定规律连接起来的若干个线圈的组合。根据高压绕组和低压绕组相互位置的不同,绕组一般可分为同心式和交叠式两种。如图 1-4 所示为同心式绕组套装在铁芯上的示意图。为了绝缘方便,一般将低压绕组紧靠着铁芯,高压绕组套装在低压绕组的外面。

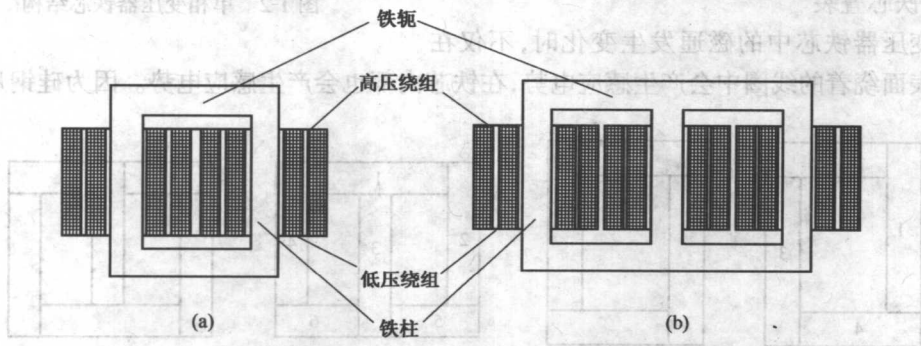


图 1-4 同心式绕组套装在铁芯上的示意图

(4) 绕组的引线和绝缘

电力变压器的器身装在油箱中,绕组的引出线进出油箱之处必须绝缘,否则容易发生短路或接地故障。为解决此问题,采用了绝缘套管(瓷瓶),如图 1-1 中的高压套管和低压套管,它们把电力变压器绕组的引出线接线端子从油箱内引到油箱外。绝缘套管由外部的瓷套和中心的导电杆组成,它穿过变压器上部的油箱壁,其导电杆在油箱内部的一端与绕组的出线端子连接,在外部的一端与外电路连接。绝缘套管的结构因电压的高低而不同,引出的电压越高,套管的结构越复杂。当电压不高时,可采用简单的瓷制实心式套管。电压很高时,要采用高压瓷套管,高压瓷套管在套管和导电杆之间充油,在外部做成多级伞形,电压越高,级数越多。

小型变压器绕组的出线端引出方式可分为两种:一种是用原导线套绝缘管直接引出,此种方式应用于导线较粗,且与接线柱连接的小容量变压器;另一种是焊接软绝缘导线后引出,此种方式应用于导线较细或不设置接线柱而外电路电源线直接与进出线连接的小型变压器。

小型变压器绕组的绝缘结构:通常是将漆包线直接绕制在绝缘骨架上,骨架构成绕组与铁芯之间的绝缘结构。双绕组变压器采用同心式绕组,在绕制好低压绕组(内层)后,采用绝缘性能较好的青壳纸、涤纶纸薄膜作为衬垫物,在衬垫物上面再绕高压绕组(外层),则衬垫物就成

为高、低压绕组之间的绝缘。当高压绕组绕好后,再包上青壳纸、牛皮纸等绝缘材料,它们既作为高压绕组的绝缘,又作为绕组的保护层。

3. 油箱及其附件

高、低压绕组套装在铁芯上之后被总称为器身,器身放在油箱中。油箱就是油浸式变压器的外壳,如图 1-1 所示。油箱的主要作用是盛变压器油来提高绕组的绝缘强度以及散热。

油箱中充以变压器油,能够提高绕组的绝缘强度。这是因为油的绝缘性能比空气好。对变压器油的要求是:介质强度高;高燃点和低凝固点;粘度小;水分和杂质含量尽可能少。

变压器在运行中绕组和铁芯会产生热量,为了迅速将热量散发到周围空气中去,可采用增加散热面积的方法。变压器油箱的结构型式主要有平板式、管式等。平板式油箱的散热面积较小,适用于容量不大的变压器。对容量较大的变压器,采用在油箱壁的外侧装有散热器(散热管)的管式油箱来增加散热面积。当油受热时,体积膨胀,比重减小,因此向上流,上部的油受到箱内热油的排挤经散热器冷却后下降到箱的底部,构成油的自然循环。通过这个循环,将绕组及铁芯中的热量带到油箱壁,再由油箱壁散发到空气中。对大容量变压器除了采用管式油箱以增加散热面积外,还可采用强迫冷却的方法,例如用风扇吹冷变压器等以提高散热效果。

变压器油受热后要膨胀,因此油箱不能密封,以便油有膨胀的余地。但是,油箱如不密封,则油长时间同空气相接触会老化变质,而且吸收空气中的水分后也会降低绝缘强度。为了解决这两个问题,采用了贮油柜。贮油柜固定在油箱顶上并用管子与油箱直接连通,如图 1-1 所示。贮油柜使油箱内部与外界空气隔绝,这样只有贮油柜中这一小部分油面同空气相接触,接触面积大为缩小,减少了油氧化及吸收水分的机会。另外,贮油柜上还装有吸湿器,它是一种空气过滤装置,外部空气经过吸湿器干燥后才能进入油箱,从而保护了油箱中的油使其不易变质损坏。贮油柜内的油面高度被控制在一定范围内,当油受热膨胀时,一部分油被挤入贮油柜中使油面升高,而油遇冷收缩时,这部分油再从贮油柜流回油箱使油面降低。贮油柜上有油位指示器,可查看油面高度的变化。贮油柜的上部还有加油栓,可以向变压器内补油,油箱的下部有放油阀,可以排放变压器油。

在油箱与贮油柜之间还装有油流继电器。当变压器发生故障时,油箱内部会产生气体,使变压器油不正常的流动,继电器动作而发出故障信号以提示工作人员及时处理或使相应的开关自动跳闸,切除变压器的电源。

大型变压器的油箱上还装有防爆管(安全气道),它是一个长的钢筒,下面与油箱相通,上端装有防爆膜。当变压器内部发生严重故障产生大量气体时,油箱内部压力迅速升高而冲破防爆管中的防爆膜,喷出气体,消除压力,以免产生重大事故。

二、变压器铭牌

每台变压器都有一块铭牌,上面标注着变压器的型号和额定值等。铭牌用不受气候影响的材料制成,并安装在变压器外壳上的明显位置。在使用变压器之前必须先查看铭牌。通过查看铭牌,对变压器的额定值等有了充分了解后,才能正确使用变压器。如图 1-5 所示是一台变压器铭牌的示意图。

额定值是制造工厂对变压器正常工作时所作的规定。在设计变压器时,根据所选用的导体截面、铁芯尺寸、绝缘材料以及冷却方式等条件来确定变压器正常运行时的有关数值,例如,它能流过多大电流及能承受多高的电压等等。这些在正常运行时所承担的电流和电压

等数值,就被规定为额定值。各个量都处在额定值时的状态被称为额定运行。额定运行可以保证变压器安全地、长期地工作,并具有良好的性能。

除了额定运行状态外,还有空载运行状态、负载运行状态。空载运行是指变压器的原绕组接在额定频率、额定电压的电源上,副绕组不带负载(开路),即副边电流 $I_2=0$ 时的状态;当变压器空载运行时,原绕组中流过的电流称为变压器的空载电流。负载运行是指变压器的原绕组接在电源上,副绕组接上负载后输出电流的状态。变压器铭牌上的型号、额定值等的含义分别说明如下。

电力变压器																												
产品型号	S7-500/10	标准代号	××××																									
额定容量	500 kV·A	产品代号	××××																									
额定电压	10 kV	出厂序号	××××																									
额定频率	50 Hz 3相	<table><tr><th rowspan="2">开关位置</th><th colspan="2">高压</th><th colspan="2">低压</th></tr><tr><th>电压(V)</th><th>电流(A)</th><th>电压(V)</th><th>电流(A)</th></tr><tr><td>I</td><td>10 500</td><td>27.5</td><td></td><td></td></tr><tr><td>II</td><td>10 000</td><td>28.9</td><td>400</td><td>721.7</td></tr><tr><td>III</td><td>9 500</td><td>30.4</td><td></td><td></td></tr></table>			开关位置	高压		低压		电压(V)	电流(A)	电压(V)	电流(A)	I	10 500	27.5			II	10 000	28.9	400	721.7	III	9 500	30.4		
开关位置	高压					低压																						
	电压(V)	电流(A)	电压(V)	电流(A)																								
I	10 500	27.5																										
II	10 000	28.9	400	721.7																								
III	9 500	30.4																										
联接组标号	Y _{yn} 0																											
阻抗电压	4%																											
冷却方式	油冷																											
使用条件	户外																											
××变压器厂 ××年××月																												

图 1-5 变压器的铭牌

1. 型号

图 1-5 中变压器的型号为 S7-500/10,其中 S 表示三相变压器;7 表示第 7 系列设计;500 表示额定容量为 500 kV·A;10 表示高压侧额定电压为 10 kV。

又如:变压器型号 S9-2000/35 表示三相、第 9 系列设计、额定容量为 2 000 kV·A、高压侧额定电压为 35 kV 的电力变压器。

2. 额定电压

铭牌上规定加在原绕组上的电压值,称为原绕组额定电压,以 U_{1N} 表示;当变压器空载运行时,原绕组加以额定频率的额定电压后,在副绕组上测量到的电压值,称为副绕组额定电压,以 U_{2N} 表示。因此副绕组的额定电压是指它的空载电压。在三相变压器中,额定电压都是指线电压。电压的单位是 V(伏)或 kV(千伏)。

3. 额定电流

在额定运行时,原绕组、副绕组所通过的电流,分别称为原绕组、副绕组的额定电流,并分别用 I_{1N} 和 I_{2N} 表示。在三相变压器中,额定电流都是指线电流。电流的单位是 A(安)。

4. 额定容量

额定容量是在铭牌上所标注的额定运行状态下,变压器输出的视在功率,用 S_N 表示。它的单位是 V·A(伏安)或 kV·A(千伏安)。额定容量等于额定电压、额定电流与相应的相系数的乘积。

对于单相变压器: $S_N = I_{1N} U_{1N} = I_{2N} U_{2N}$

对于三相变压器: $S_N = \sqrt{3} I_{1N} U_{1N} = \sqrt{3} I_{2N} U_{2N}$

5. 额定频率

用 f_N 表示,在我国一般使用的交流电的额定频率为 $f_N=50\text{ Hz}$ 。

6. 阻抗电压

阻抗电压(又称为短路电压)是当副绕组短路,在原绕组中流过额定电流时,所施加在原绕组上的电压,用 U_k 表示。它表示在原绕组中通过额定电流时变压器短路阻抗压降的大小。阻抗电压通常以额定电压的百分数表示,一般电力变压器的阻抗电压 $U_k/U_N = 4\% \sim 10\%$ 。图 1-5 中变压器的阻抗电压 $U_k/U_N = 4\%$ 。阻抗电压 U_k 可通过短路试验求得,其大小与变压器的性能、系统稳定和供电质量有关,也是考虑变压器并联运行时的一个重要条件。

此外,额定值还包括额定状态下变压器的效率、温升等数据。在铭牌上除额定值外,还标注着变压器的相数、联结组标号、冷却方式、制造厂名、出厂序号、制造年月、标准代号、使用条件等。为便于运输和接线,有时还标注变压器的重量、外形尺寸和接线图等。

【例 1-1】 某三相变压器为一个三相负载供电,额定状态下,负载的电压为 380 V、电流为 26.3 A、功率因数 $\cos\varphi = 0.87$,求该变压器的容量及负载消耗的功率?

【解】 变压器的容量为 $S_N = \sqrt{3} I_{2N} U_{2N} = \sqrt{3} \times 26.3 \times 380 = 17.3 \text{ kV} \cdot \text{A}$

负载消耗的功率为有功功率,其值为 $P_N = \sqrt{3} I_{2N} U_{2N} \cos\varphi = \sqrt{3} \times 26.3 \times 380 \times 0.87 = 15.1 \text{ kW}$

三、变压器分类

变压器的应用范围十分广泛,分类方法也有很多,以下简单介绍两种分类。

1. 按用途分类

一般分为电力变压器和特种变压器两大类。

电力变压器:用在输配电线路中传输和分配电能,包括发电机变压器、联络变压器、输电变压器、配电变压器。电力变压器是所有变压器中用途最广、生产量最大的一种变压器,我们通过一个简单电力系统的示意图,来加深对电力变压器所处重要地位的认识,如图 1-6 所示。

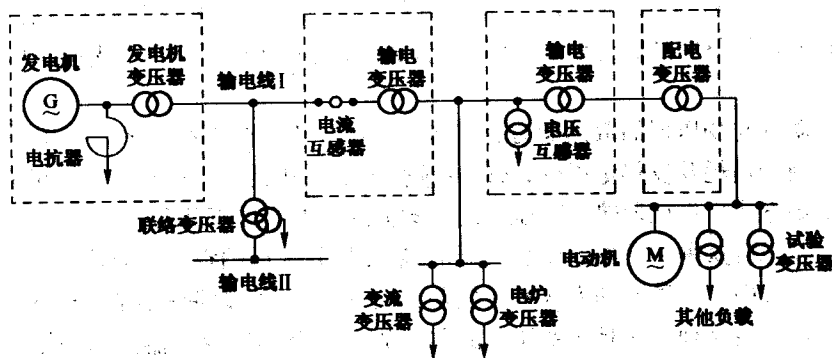


图 1-6 简单电力系统示意图

远距离输送一定的电功率 ($P = \sqrt{3} I U \cos\varphi$), 功率因数 $\cos\varphi$ 一定时, 电压越高则电流越小, 电流越小则消耗在输电线路上的电阻损耗 ($I^2 R$) 越小; 若要减小输电线路电阻以输送大电流, 就要用大截面的输电线而消耗较多的导体材料。所以, 为了减小输电线路上的电阻损耗同时节约导体材料, 目前电力系统输电线路都采用高压输电。

由于受到绝缘水平的限制, 一般发电厂同步发电机输出的额定电压为 6 kV 或 10 kV (发电机额定电压越高对发电机各部分的绝缘要求就越高), 而目前输配电线路中常用的电压等级有



6 kV、10 kV、35 kV、110 kV、220 kV、330 kV和500 kV等几种,这就需要用升压变压器(发电机变压器)将同步发电机输出的电压升高后再送入输电线路;当电能经过高压输电线路传输到用电区后,由于高电压不仅对人的生命有威胁而且对用电设备的绝缘要求很高,因此还不能直接使用它,必须用降压变压器(配电变压器)把输电线路上的高电压降到用户电压(一般动力用电为380 V,照明用电为220 V),才能供给用户使用。从图 1-6 可以看到,电力系统中存在许多变压器,通过这些变压器的作用产生了不同等级的电压从而能够满足不同的需要。

特种变压器:包括供电设备做高压试验用的试验变压器;与整流装置配合将交流电压变换成直流电压的整流变压器;用来测量高电压或大电流的仪用变压器(电压互感器或电流互感器);焊接用的电焊变压器;电子线路和自动控制系统中使用的小型电源变压器、控制变压器,等等。

2. 按冷却方式分类

变压器在运行中要产生铁耗和铜耗。铁耗和铜耗都会转变为热量,使变压器的铁芯和绕组发热,变压器温度升高。当变压器温度高于周围介质温度时,就会向外部散热。当单位时间内变压器内部产生的热量等于单位时间内散发出去的热量时,变压器的温度就不再升高,达到热稳定状态。这时,变压器温度与周围介质温度的差值就叫做变压器的稳定温升。

变压器的温升对它的运行有很大的影响,主要是对变压器绝缘的影响。制造变压器所用的绝缘材料的温度超过某一定值后,绝缘材料就会损坏。因此,需要对变压器在额定负载时各部分温升作出规定,这就是变压器的允许温升。

变压器各部分的允许温升取决于绝缘材料、变压器的使用情况和自然环境。我国油浸电力变压器的绕组一般采用 A 级绝缘,A 级绝缘的最高容许温度为 105℃。高于此温度时,绝缘将迅速老化、变脆、机械强度减弱,在运行中受到机械振动和电动力的作用时,易于破损而产生绝缘击穿和匝间短路。变压器的温度越高,绝缘老化就越快,绝缘材料的绝缘性能就越差。为保证变压器的正常使用年限(20~30 年),国家标准规定了变压器各部分的允许温升,其具体数值可查阅国家标准 GB 1094.2—1985《电力变压器第二部分温升》。确定变压器额定值的根据之一就是它的绝缘材料的允许温升,在额定负载下,绝缘材料不会很快老化,变压器可以长期运行。

变压器的温升与变压器的散热能力有密切的关系。为了降低变压器的温升,除了提高变压器的效率以减少损耗及发热量以外,必须保证变压器散热良好。针对不同容量的变压器,可采用不同的冷却方式来保证散热。变压器的冷却方式主要有以下几种。

(1)干式变压器:这种变压器不用变压器油,依靠辐射和周围空气的对流,把铁芯和绕组中的热量散发到空气中。这种冷却方式效果较差,一般用于电子线路等小型变压器。

(2)油浸自冷式:这种方式是将变压器的器身放在一个盛有变压器油的油箱内。铁芯、绕组直接接触的那一部分油,温度升高,体积膨胀,比重减小,因此向上流。上面的冷油,受到热油的排挤而流向下面,形成了油的对流。这样,通过油的对流,铁芯和绕组的热量就可以被油带走传到油箱壁,再依靠油箱壁的辐射和周围空气的自然对流,把热量散发到空气中。

变压器油受热上升后产生的对流,是一种自然现象,所以这种冷却方式非常可靠,不需要任何附属设备。因此,在中、小容量电力变压器中使用得很普遍。对大、中型变压器(容量在几百千伏安以上),一般在油箱壁上焊接油管,以增大散热表面积和促进油箱内油的对流,更快地散热。

(3)油浸风冷式:对容量更大的大型变压器,单靠加大散热表面积是不够的,一般还要加