

铁路职业教育教材

电机与拖动基础

北京铁路电气化学校 周元 主编



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路职业教育教材

电机与拖动基础

北京铁路电气化学校 周 立 主 编
郑州铁路职业技术学院 陶乃斌 主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 4 年 · 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、同步电机及其相关的试验。从初学者的特点出发,介绍各类电机的基本结构、工作原理、试验项目和试验方法、使用维护和常见故障现象及其分析、处理方法。

本书为铁路职业教育供用电技术、电气运行与控制、电气技术应用、电机与电器等专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/周立编. —北京:中国铁道出版社,2004.8

铁路职业教育教材

ISBN 7-113-05939-2

I. 电… II. 周… III. ①电机—职业教育—教材 ②电力传动—职业教育—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 081083 号

书 名:电机与拖动基础

作 者:周 立 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

封面设计:马 利

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张:10.25 字数:253 千

版 本:2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-05939-2/TK·23

定 价:15.00 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)51873134 发行部电话:(010)51873171

前 言

本书是根据教育部颁布的“供用电技术”等专业培养目标和“电机与拖动基础”课程教学基本要求,在职业分析、能力分析基础上,参照相应工种的国家职业技能鉴定规范等,以提高学生的全面素质、职业能力为中心,结合目前职业学校的实际情况进行编写的。

“电机与拖动基础”课程是供用电技术、电气运行与控制、电气技术应用、电机与电器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方法等基础知识,并进行相关的实验技能训练。在本书编写过程中,我们在以下三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、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。编写的内容、设计的习题、安排的实验,便于学生“想一想、查一查、写一写,动一动、练一练”,引导学生观察、实践、合作交流以及体验、感悟和反思,拓展学生的学习时间和空间,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、实验接线图、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。

3. 加强基本技能的训练。本教材设计的实验项目多,对实验目的、实验内容、仪表设备的选用、实验步骤等进行了详细描述,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,以满足教学基本要求中规定的使学生具备实验操作技能的要求,突出电机的实用性及培养操作型、应用型人才的特色。

本书由北京铁路电气化学校周立主编,郑州铁路职业技术学院陶乃斌主审,苏州铁路机械学校陆伟参编,陆伟编写第一章,其余由周立编写。在编写过程中,曾得到内江铁路机械学校凌鹤奇、株洲铁路电机学校赵承获、西安铁路运输学校柴秀云、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、北京铁路电气化学校王宜亭等的支持和帮助,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

2004年3月25日

目 录

绪 论	1
第一章 变压器	4
§ 1-1 变压器结构、铭牌及分类	4
§ 1-2 变压器工作原理	11
§ 1-3 变压器试验	17
§ 1-4 变压器联接组别和并联运行	23
§ 1-5 变压器的安全检查和故障处理	28
习 题	33
第二章 三相异步电动机	34
§ 2-1 三相异步电动机的结构、铭牌、分类	34
§ 2-2 三相异步电机工作原理	52
§ 2-3 三相异步电动机拖动基础	59
§ 2-4 三相异步电动机的试验	66
§ 2-5 三相异步电动机的选用、安全检查和故障处理	71
习 题	79
第三章 单相异步电动机	81
§ 3-1 单相异步电动机的结构和工作原理	81
§ 3-2 单相异步电动机的分类和起动方法	83
§ 3-3 单相异步电动机的应用简介	88
§ 3-4 单相异步电动机的常见故障及处理	91
习 题	92
第四章 直流电机	93
§ 4-1 直流电机的基本结构、铭牌	93
§ 4-2 直流电机的工作原理	97
§ 4-3 直流电动机的工作特性和机械特性	101
§ 4-4 直流电动机拖动基础	104
§ 4-5 直流发电机的空载特性和外特性	109
§ 4-6 直流电机的维护保养和故障处理	112
习 题	113

II

第五章 同步电机简介	115
§ 5-1 同步电机的基本结构	115
§ 5-2 同步发电机的工作原理及特点	116
§ 5-3 同步发电机空载特性、短路特性和外特性	117
习 题	119
第六章 电机与拖动基础实验	120
实验一 测变压器绕组直流电阻、绝缘电阻、变比	122
实验二 变压器空载实验、短路实验	124
实验三 变压器负载实验	127
实验四 变压器的联接组别实验	128
实验五 三相异步电动机全压直接起动、反转实验	131
实验六 三相异步电动机降压起动	133
实验七 三相异步电动机空载实验、短路实验	135
实验八 三相异步电动机负载实验	137
实验九 直流并励电动机起动实验	139
实验十 直流并励电动机调速和反转实验	141
实验十一 直流发电机空载实验	142
实验十二 直流发电机负载实验	145
实验十三 直流并励电动机负载实验	146
实验十四 直流串励电动机实验	148
实验十五 三相同步发电机实验	150
附录 电机实验常用仪表、设备使用说明	153
参考文献	158

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。电能做为一种能量,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做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发电机旋转,通过发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发电机旋转,通过发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,再通过发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,再通过发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,需要大量具有优良起动和调速

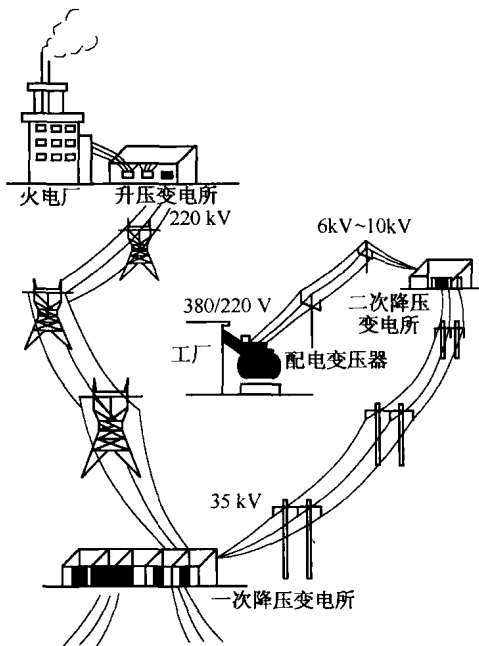


图1 一种简单的电能生产、传输和使用示意图

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,都是用电动机拖动。

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,都是因为电机将电能转换成机械能后拖动它们而产生的。

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。

基础知识教学目标:

1. 熟悉各类发电机、电动机、变压器的用途,理解它们的基本概念。
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、同步电机的基本结构、工作原理。

基本能力教学目标：

1. 能阅读和分析简单的发电机、电动机、变压器工作原理示意图和试验线路图。
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、使用与发电机、电动机、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。

思想教育目标：

1. 初步具备辩证思维的能力。
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接在电压为 25 kV 的接触网上。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。

§ 1-1 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。电力变压器的组成如表 1-1 所示。

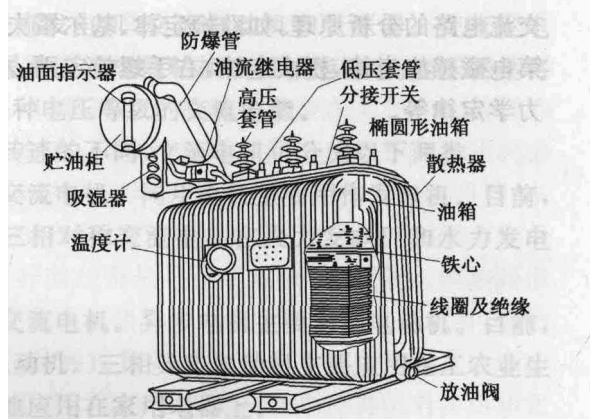


图 1-1 电力变压器结构示意图

表 1-1 电力变压器的组成

电力 变压器	铁心		
	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、接地螺栓等)			

1. 铁心

(1) 铁心的作用

铁心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) 铁心材料

为了提高导磁性能、减少交变磁通在铁心中引起的损耗,变压器铁心所用的材料是厚度为 $0.35\sim 0.5\text{ mm}$ 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)》GB2521-81。

(3) 铁心结构

铁心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心。电力变压器一般采用心式结构。

壳式变压器:其结构特点是铁心包围绕组。电子线路中的小变压器一般采用这种结构,该结构的变压器机械强度高,铁心散热比较容易。

(4) 铁心叠装

当变压器铁心中的磁通发生变化时,不仅在铁心外表面绕着的线圈中会产生感应电势,在铁心内部也会产生感应电势。因为硅钢片(铁磁材料)也是导体,所以在铁心中便有闭合的感应电流产生。这个产生在铁心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。涡流的存在会使铁心发热,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,铁心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,能够阻止涡流的流通,从而减少铁心损耗,提高变压器的效率。铁心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。

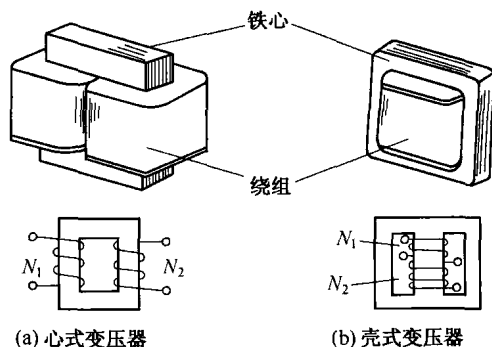


图 1-2 单相变压器铁心结构

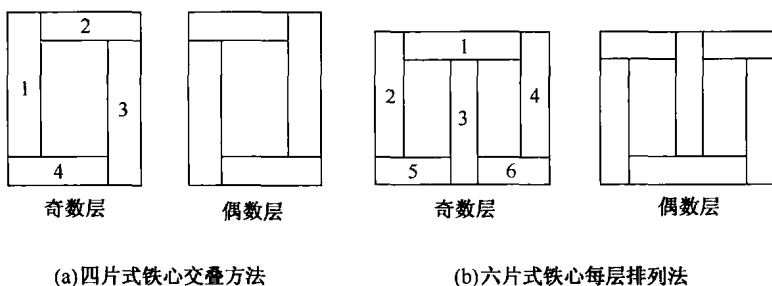


图 1-3 变压器铁心叠装

(5) 铁心接地

变压器铁心位于变压器内部电场之中,必然具有一定电位。电力变压器铁心必须接地以防止铁心与接地油箱之间发生击穿或局部放电现象。小型电力变压器铁心在油箱内部连接到油箱上并经油箱接地点接地;大型电力变压器铁心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(又称为一次绕组或初级绕组);与负载连接,给负载输送电能的绕组被称为副绕组(又称为二次绕组或次级绕组)。

(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,然后套入铁心。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的运行以及有足够的的使用寿命,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心上的示意图。为了绝缘方便,低压绕组紧靠着铁心,高压绕组套装在低压绕组的外面。

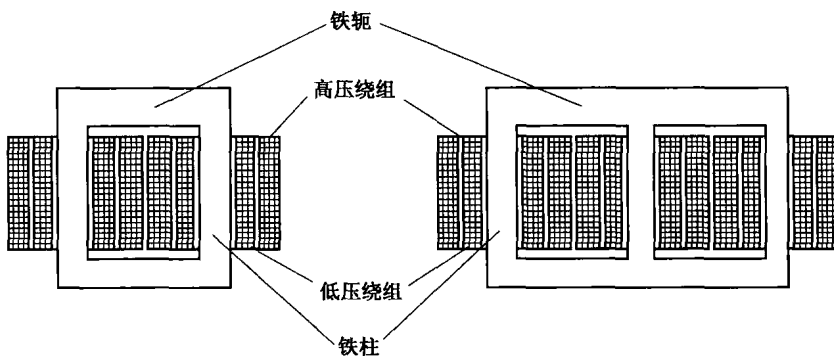


图 1-4 同心式绕组套装在铁心上的示意图

(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,在外部的另一端与外电路连接。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,骨架构成绕组与铁心之间的绝缘结构。双绕组变压器采用同心式绕组的,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、低压绕组套装在铁心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、着火点高、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心会产生热量,为了迅速将热量散发到周围空气中,可采用增加散热面积的方法。变压器油箱的结构形式主要有平板式、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,将绕组及铁心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使用规定。在设计变压器时,根据所选用的导体截面、铁心尺寸、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 三相	开关位置	高 压		低 压		
联接组标号	Y,yn0		电压(V)	电流(A)	电压(V)	电流(A)	
阻抗电压	4%		I	10 500	27.5		
冷却方式	油冷		II	10 000	28.9	400	721.7
使用条件	户外		III	9 500	30.4		
××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、副绕组所承担的电流,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。

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

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

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 $f_N=50$ 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 $U_K=4\% \sim 10\%U_N$ 。图

1-5中变压器的阻抗电压 $U_K = 4\%U_N$ 。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,还标着变压器的相数、联接组标号、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。

【例题】 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。

(1) 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。

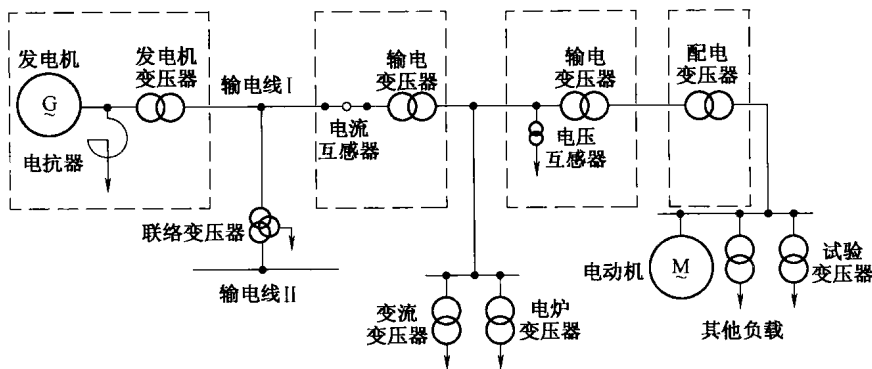


图 1-6 简单电力系统示意图

远距离输送一定的电功率($P = IU$),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^2R)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路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。

(2)特种变压器

包括供电气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;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,使变压器的铁心和绕组发热,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°C 。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 GB1094.2-85《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,把铁心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。铁心、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,形成了油的对流。这样,通过油的对流,铁心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、小容量变压器中用的很普遍。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,单靠加大散热表面面积是不够的,一般还要加装风扇,吹风使散热表面的热量更快散发。

(4)强迫油循环冷却:这种变压器的油箱上没有油管,油的冷却不在变压器油箱内,而是用循环油泵,将变压器内的热油抽出,经管道打入冷却器,经冷却后,重新打入变压器中造成变压器油的循环。冷却器可以用水来冷却或用强力吹风冷却。这种变压器的结构复杂,只用在大容量巨型变压器上。

随着社会的不断发展,要求生产更大容量和更高电压的变压器,并且要求在制造变压器时节约有效材料,因此,改进冷却方式,对变压器的生产和发展具有重要意义。

§ 1-2 变压器工作原理

虽然变压器的种类很多,但各种变压器的工作原理及分析变压器运行性能的基本方法,大体上都是一样的。以下主要分析单相变压器。对三相变压器来说,当负载对称时,单相变压器的分析结论也完全适用。因为三相对称时,三相变压器的每一相电压、电流大小都相等,分析其中任何一相,然后按单相和三相对应关系进行换算,便可知道三相的情况。

一、变压器工作原理

变压器的工作原理示意图如图 1-7 所示。在绕组 N_1 上外施交流电压 \dot{U}_1 ,便有交流电流 \dot{I}_1 流入,因而在铁心中激励出交变磁通 Φ ,根据电磁感应定律可知,磁通 Φ 的交变会在绕组 N_2 中感应出电势 \dot{E}_2 。由于绕组的感应电势正比于它的匝数,因此只要改变绕组 N_2 的匝数,就能改变感应电势 \dot{E}_2 的大小,从而改变输出电压 U_2 的大小。

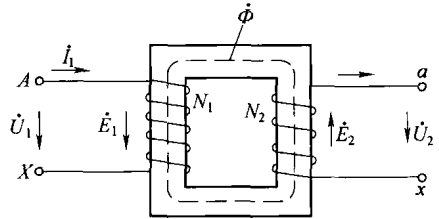


图 1-7 变压器的工作原理示意图

如果副绕组与负载连通,副边就会有电流流过,则原边的交流电能就通过电磁感应被传送到副边,从而实现了把一种电压等级的电能转换成另一种电压等级电能的目的。这就是变压器的工作原理。

绕组 N_1 从电源吸收电能,被称为原绕组,有关原绕组的各量均以下标“1”来表示,例如原绕组的电压、功率、电流、电阻分别为 U_1 、 P_1 、 I_1 、 R_1 ;绕组 N_2 向负载输出电能,被称为副绕组,有关副绕组的各量均以下标“2”来表示,例如副绕组的电压、功率、电流、电阻分别为 U_2 、 P_2 、 I_2 、 R_2 。如果原绕组为高压绕组,副绕组为低压绕组则该变压器就是降压变压器;如果原绕组为低压绕组,副绕组为高压绕组则该变压器就是升压变压器。

1. 变压器原、副绕组感应电势

根据电磁感应定律,可推导出变压器原、副绕组感应电势的有效值为:

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

式中 E_1 、 E_2 表示原、副绕组感应电势的有效值,单位是 V; N_1 、 N_2 表示原、副绕组的匝数; Φ_m 表示铁心中主磁通 Φ 的幅值,单位是 Wb; f 表示电源电压的频率,单位是 Hz。

上式表明了感应电势与主磁通的关系。在理想变压器(绕组没有电阻,铁心中没有损耗,磁路不饱和且没有漏磁通的变压器)中,外加电源电压 \dot{U}_1 和原绕组中感应电势 \dot{E}_1 在数值上是相等的。因此可以得到:

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

在实际变压器中,绕组电阻损耗和铁心损耗相对来说都是很小的,可以认为:

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

上式表明,一定幅值的外加电压 U_1 ,产生一定幅值的交变磁通 Φ_m ,以建立与电压平衡的感应电势 E_1 。即在频率 f 和匝数 N_1 不变的条件下,电压 U_1 正比于磁通 Φ_m ;或者说,若外加电压 U_1 不变,则磁通 Φ_m 也不变。变压器运行时铁心中的磁通 Φ_m 基本上不变,这是分析变压器运行情况的一个基本概念。

在变压器空载(副绕组开路)的情况下,副绕组的空载端电压 U_{20} 与电势 E_2 相等,即