

21 CENTURY

21世纪全国高等职业技术学院电类专业(机电一体化专业)通用教材

21SHIJI QUANGUO GAODENG ZHIYEJISHU YUANXIAO

DIANLEIZHUANYE JIDIANYITIHUAZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电机与拖动

DIANJI YU TUODONG



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

21 世纪全国高等职业院校电类专业 (机电一体化专业) 通用教材

DIAN JI YU TUO DONG

电机与拖动

高学民 刘晓东 刘延刚 吴海燕 主编
陈立成 主审



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/高学民等主编. —济南:山东科学技术出版社,2009

21 世纪全国高等职业院校机械制造与自动化(机电一体化专业)通用教材

ISBN 978—7—5331—5213—0

I. 电... II. 高... 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(2009)第 059577 号

21 世纪全国高等职业院校电类专业(机电一体化专业)通用教材

电机与拖动

主编 高学民 刘晓东 刘延刚 吴海燕

主审 陈立成

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098080

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:山东华鑫天成印刷有限公司

地址:潍坊市经济技术开发区

邮编:261031 电话:(0536)2250609

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:19

版次:2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978—7—5331—5213—0

定价:38.00 元

>>> 编审委员会

主 任：王杰恩 王兆晶 杜喜亮

副主任：于元涛 陆 民 刘延刚 纪克玲 许胜利

编 委：（按姓氏笔画排序）

于元涛	于国强	王 涛	王世桥	王希友	王宗贵
车希海	刘锡河	孙振强	孙彩玲	吴海燕	张彦祥
周佩翔	姚丙中	姚永刚	宫华荣	高学民	韩 莉
燕居杯	魏玉梅				

策 划：王洪胜

>>> 本书编审人员

主 编：高学民 刘晓东 刘延刚 吴海燕

副主编：（按姓氏笔画排序）

丁慎立	马茂军	王 涛	王玉梅	刘成刚	孙玉峰
朱国红	张 远	张彦江	杨瑞霞	周佩翔	范医鲁
范鲁春	姚丙申	姚永刚	赵 冰	葛建民	韩 莉

编 者：（按姓氏笔画排序）

丁慎立	马建民	马茂军	马淑兰	王 涛	王丹丹
王世桥	王玉梅	王建强	王瑞英	王翠萍	田玉丽
刘 敏	刘延刚	刘成刚	刘晓东	吕 品	孙 琦
曲海波	朱国红	吴海燕	宋青龙	张 远	张云强
张彦江	张瑞华	李 敏	李秀丽	杨晓红	杨瑞霞
肖学东	苏本知	谷正刚	陈 莉	陈延祥	林 光
范医鲁	范鲁春	郑 渊	姚丙申	姚永刚	赵 冰
赵 杰	徐先弘	殷淑英	高学民	梅焕亮	阎学敏
葛建民	董圣英	谢京军	韩 莉		

主 审：陈立成

NEI RONG TI YAO

内 容 提 要

本书从实际工程应用和便于教学需要出发,介绍和讲解了各种电机的结构、工作特性及工作原理和电力拖动系统。全书共九个模块,包括变压器的结构、工作原理及检修;三相异步电动机的结构、工作原理及检修;单相异步电动机的结构、工作原理及检修;直流电动机的结构、工作原理及检修;几种控制电机的结构、工作原理及检修;电动机的选择;常用电动机的基本控制线路的工作原理及检修,典型生产机械控制线路的工作原理及检修。

本书可作为高职高专机电一体化专业和其他电类相关专业教材,也可以供技工院校师生和技术人员学习参考和自学之用。

本书为21世纪高职教育规划教材的配套用书,是根据高职高专电气自动化技术专业人才培养规格和最新出版的维修电工国家职业标准,组织“双师型”教师编写的。在内容的选取上,体现了先进性和实践性,将电机学与电力拖动有机结合,突出工艺要领与操作技能的培养。书中不仅列举了大量的实训,还总结了从业人员在实际工作中遇到的常见故障的分析和处理方法。

本书是电工系列基础教材之一,是“电机学”和“电力拖动基础”两门课程主要内容的有机结合。考虑到教学对象,在教材的编写过程中,在深度和广度上努力做到“少而精”和“理论联系实际”。基础理论以必需、够用为度,同时注重电力拖动中的工程实际问题,力求做到主题鲜明、特色鲜明、重点突出,以培养技术应用型人才为目标。在文字叙述上,力求简明扼要、通俗易懂,以便于学生学习;在编排形式上,将学习内容与思考题相融合、课程内容与学习指导相融合;在内容安排上,注重电机理论与电力拖动的衔接,由浅入深,循序渐进。

本书在内容上,反映了我国电机、电力拖动控制现状,也注意了新型电机、电机控制新技术的发展。本书特别注意教学与生产实际紧密联系,尽量选用先进的、典型的、实用的实训。本书可作为高职高专机电一体化专业和其他电类相关专业教材,也可以供技工院校师生和技术人员学习参考和自学之用。

本书共分九个模块,主要内容有变压器的结构、工作原理及检修;三相异步电动机的结构、工作原理及检修;单相异步电动机的结构、工作原理及检修;直流电动机的结构、工作原理及检修;几种控制电机的结构、工作原理及检修;电动机的选择;常用电动机的基本控制线路及检修;典型生产机械控制线路的工作原理及检修。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

目录

CONTENTS

电机与拖动

模块一 变压器的原理、检修与实验	(1)
任务一 变压器的原理、维护与检修	(1)
任务二 变压器的连接组别、试验与实训	(7)
思考与练习题	(22)
模块二 三相异步电动机的安装、维护与故障处理	(23)
任务一 三相异步电动机的结构、原理与拆装	(23)
任务二 三相异步电动机控制保护与维护运行	(45)
任务三 三相异步电动机常见故障的检查与维修	(49)
任务四 三相异步电动机定子绕组的重绕	(61)
思考与练习题	(74)
模块三 单相异步电动机的安装、维护与故障处理	(76)
任务一 单相异步电动机的原理与拆装	(76)
任务二 单相异步电动机的故障处理	(84)
思考与练习题	(89)
模块四 直流电机的运行、维护与故障处理	(90)
任务一 直流电机的结构、原理与拆装	(90)
任务二 直流电机的使用与维护	(106)
任务三 直流电机常见故障的检修	(108)
思考与练习题	(117)
模块五 同步电机的检修	(119)
思考与练习题	(127)

模块六 电动机的选择	(128)
思考与练习题	(135)
模块七 控制电机	(136)
任务一 交、直流伺服电动机	(136)
任务二 步进电机	(143)
任务三 交磁扩大机	(149)
任务四 测速发电机	(155)
思考与练习题	(161)
模块八 电力拖动基本控制电路	(162)
任务一 电力拖动基本控制电路常用低压电器	(162)
任务二 电动机基本控制线路图的绘制及线路安装步骤	(200)
任务三 三相异步电动机直接起动控制线路	(209)
任务四 三相笼型异步电动机减压起动控制线路	(220)
任务五 三相绕线型异步电动机起动控制电路	(229)
任务六 三相异步电动机电气制动控制电路	(236)
任务七 三相笼型异步电动机调速控制电路	(245)
任务八 直流电动机的起动控制电路	(255)
任务九 直流电动机的制动控制电路	(259)
思考与练习题	(261)
模块九 常用生产机械电力拖动控制线路	(264)
任务一 CA6140车床电气控制线路	(264)
任务二 M7130型平面磨床电气控制线路	(271)
任务三 X62W型卧式万能铣床电气控制线路	(279)
任务四 YXF-63-OFD-2Z 钻孔机床电气控制线路	(287)
思考与练习题	(292)
参考文献	(293)

模块



变压器的原理、检修与实验

任务一 变压器的原理、维护与检修



教学目标

1. 了解变压器的结构,掌握其工作原理。
2. 理解变压器铭牌上各个额定值的意义。
3. 掌握变压器的维护、故障处理与检修。



工作任务

一、变压器的工作原理

变压器是利用电磁感应原理制成的静止电气设备。它能将某一电压值的交流电变成同一频率的所需电压值的交流电压,以满足高压输电、低压供电及其他用途的需要。另外,变压器还可以变换交流电流和交流阻抗。

变压器是在一个闭合的铁心磁路中,套上了两个互相独立的、绝缘的绕组,这两个绕组之间有磁的耦合,没有电的联系,如图 1-1 所示。通常在一个绕组上接交流电源,称为一次绕组(或称原边绕组或初级绕组),其匝数为 N_1 ;另一个绕组接负载,称为二次绕组(或称副边绕组或次级绕组),其匝数为 N_2 。

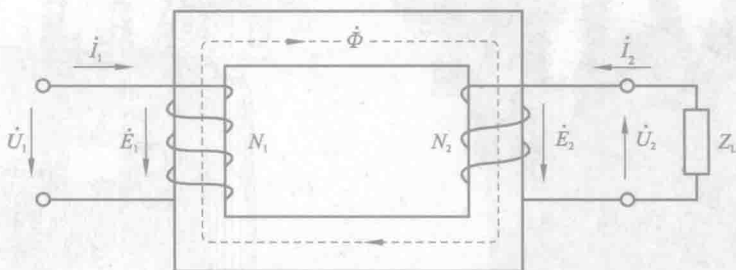


图 1-1 变压器的工作原理

当在一次绕组中加上交流电压 u_1 时,在 u_1 的作用下,流过交流电流 i_1 ,并建立交变磁通势,在铁心中产生交变磁通 Φ 。该磁通同时交链一、二次绕组,根据电磁感应定律,在一、二次绕组中产生感应电动势 E_1 、 E_2 。二次绕组在感应电动势 E_2 作用下向负载供电,实现电能传递,其感应电动势瞬时值分别为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-2)$$

由于 $U_1 \approx -E_1$, $U_2 \approx E_2$, 则一、二次绕组电压和电动势有效值与匝数的关系为

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-3)$$

由此可知, 变压器一、二次绕组电压之比等于一、二次绕组的匝数比。在磁通势一定的条件下, 只要改变一次绕组或二次绕组的匝数, 便可达到改变二次绕组输出电压 U_2 大小的目的。这就是变压器利用电磁感应定律, 将一种电压等级的交流电源转变成同频率的另一电压等级电源的基本工作原理。

二、变压器的分类

按用途分类: 电力变压器、仪用互感器、调压变压器、矿用变压器和特殊变压器(如电焊变压器、整流变压器);

按铁心结构分类: 心式变压器、壳式变压器;

按绕组数目分类: 双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器。

按相数分类: 单相变压器、三相变压器。

按冷却方式分类: 油浸式变压器、干式变压器。

三、变压器的结构

电力变压器主要由铁心、绕组、绝缘套管、油箱及附件等部分组成。在电力系统中应用最广泛的是油浸式电力变压器, 如图 1-2 所示。

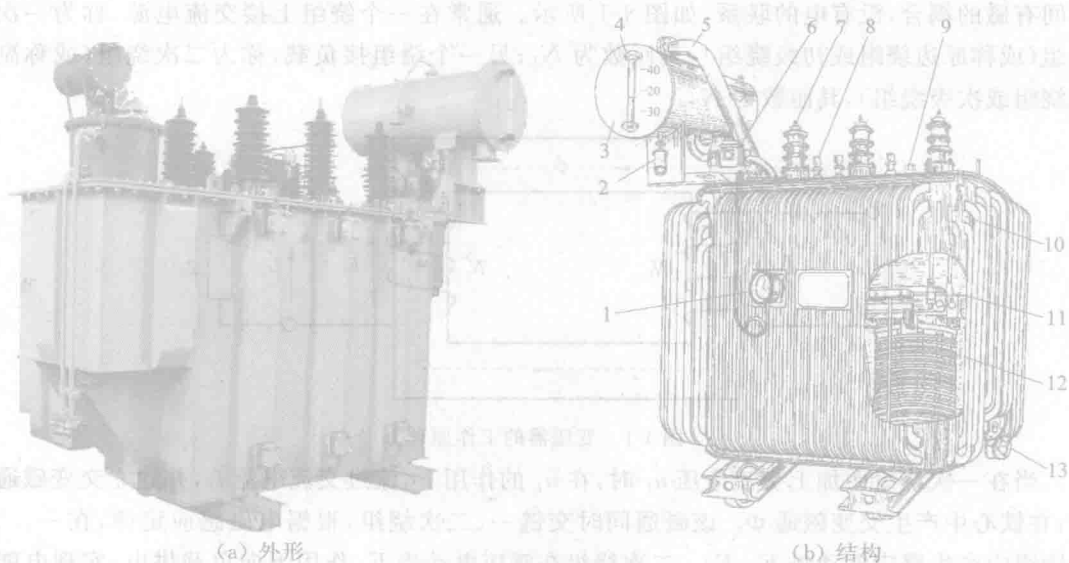


图 1-2 油浸式电力变压器

- 1—信号式温度计 2—吸湿器 3—储油柜 4—油表 5—安全气道 6—气体继电器
7—高压套管 8—低压套管 9—分接开关 10—油箱 11—铁心 12—线圈 13—放油阀门

1. 铁心

铁心是变压器磁通闭合的路径,又是绕组的支持骨架。铁心是由心柱和铁轭两部分组成,心柱上套装有绕组,连接心柱以构成闭合磁路的部分为铁轭。为提高铁心的导磁性能,减少磁滞损耗和涡流损耗,铁心大多采用厚度为 0.35 mm,表面涂有绝缘漆的热轧硅钢片或冷轧硅钢片叠装而成。铁心因线圈位置的不同,可分为心式和壳式两类。心式指线圈包着铁心,结构简单,装配容易,省导线,适用于大容量、高电压的场所,所以电力变压器大多采用三相心式铁心。壳式是铁心包着线圈,铁心易散热,用线量多,工艺复杂,除小型干式变压器外很少采用。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,常用绝缘铜线或铝线绕制而成。在变压器中,工作电压高的绕组称为高压绕组,工作电压低的绕组称为低压绕组。按照安排方式,变压器绕组可分为同心绕组和交叠绕组两大类。

(1) 同心绕组 同心绕组是将一次、二次侧线圈套在同一铁心柱的内、外层,高压绕组在外层。当低压绕组电流较大,绕组导线较粗时,也可将其放到外层。绕组的层间留有油道,以利绝缘和散热。同心绕组结构简单,制造方便,大多数电力变压器采用同心绕组。

(2) 交叠绕组 交叠绕组是将高、低压线圈绕成饼形,沿铁心轴向交叠放置,一般两端靠近铁轭处放置低压绕组,有利于绝缘。此种绕组大多用于壳式、干式变压器及电炉变压器中。

一般高、低压绕组同心套装在同一铁心柱上,高压绕组在外层,低压绕组在里层,这样易于实现低压绕组与铁心柱之间的绝缘,结构简单、制造方便,国产电力变压器均采用此结构。

3. 绝缘套管

绝缘套管是变压器绕组的引出装置,装在变压器的油箱上,实现带电的变压器绕组引出线与接地之间的绝缘。

4. 油箱及其附件

变压器的铁心与绕组构成了变压器的器身,变压器的器身安装在装有变压器油的油箱内,变压器油起绝缘和冷却作用。由于器身全部浸在变压器油中,这样铁心和绕组不会被潮湿所侵蚀。同时,还可通过变压器油的对流,将铁心和绕组的热量经油箱和油箱上的散热管散发出去,从而降低变压器的温升。

为使变压器长久保持良好状态,在变压器油箱上方,安装了圆筒形的储油柜(又称油枕),并经连通管与油箱相连。柜内油面高度随变压器油的热胀冷缩而变化,储油柜内的油与空气接触面积小,这就缓解了变压器油的受潮和老化速度,确保变压器油的绝缘性能。

在油箱和储油柜的连通管里,装有气体继电器,当变压器内部发生故障时,内部绝缘物汽化,产生气体,使气体继电器动作,发出故障信号或切除变压器电源,起自动保护作用。

电力变压器附件有安全道、测温装置、分接开关、吸湿器与油表等。

四、变压器的额定值

为表明变压器的性能,在每台变压器上部装有铭牌,标明了变压器型号及各种额定数据,以便正确、合理地使用变压器,使变压器安全、合理、经济地运行。表 1-1 为电力变压器

的铭牌。

表 1-1 电力变压器的铭牌

产品型号	S7-500/10	标准号	
额定容量	500 kV · A	使用条件	户外式
额定电压	10 000/400 V	冷却条件	ONAN
额定电流	28.9/721.7 A	电路电压	4.05%
额定频率	50 Hz	器身吊重	1 015 kg
相数	3 相	油重	302 kg
连接级别	Y, yn0	总重	1 753 kg
制造厂		生产日期	

额定值是对变压器正常工作作出的使用规定,它是正确使用变压器的依据。在额定状态下运行,可保证变压器长期、可靠地工作,并具有良好的性能。

1. 额定容量 S_N

S_N 表示变压器在额定工作条件下输出能力的保证值,指的是变压器的视在功率,单位为 $V \cdot A$ 或 $kV \cdot A$ 。

单相变压器的额定容量为

$$S_N = U_{N_1} I_{N_2} = U_{N_2} I_{N_1} \quad (1-4)$$

三相变压器的容量为

$$S_N = \sqrt{3} U_{N_1} I_{N_1} = \sqrt{3} U_{N_2} I_{N_2} \quad (1-5)$$

2. 额定电压 U_{N_1} 和 U_{N_2}

U_{N_1} 为一次绕组额定电压,它是根据变压器的绝缘强度和容许发热条件所规定的一次绕组正常工作电压值。 U_{N_2} 为二次绕组额定电压,它是当一次绕组加上额定电压而变压器分接开关置于额定分接头处时二次绕组的空载电压值。对于三相变压器,额定电压值指的是线电压。额定电压的单位是 V 或 kV 。

3. 额定电流 I_{N_1} 和 I_{N_2}

额定电流是根据允许发热条件所规定的绕组长期允许通过的最大电流值,单位是 A 或 kA 。 I_{N_1} 是一次绕组的额定电流; I_{N_2} 是二次绕组的额定电流。对于三相变压器,额定电流是指线电流。

4. 额定频率 f

我国规定的标准工业用电频率为 50 Hz 。

电力变压器的容量等级和电压等级,在国家标准中都做了规定,在此不再列举。



实训教学

一、电力变压器的维护

变压器是电力系统中应用的重要设备,它对电能的经济传输、分配和安全使用具有重要

意义。它的正常运行对系统供电的可靠性具有重要的意义。因此,为了使变压器能长期、可靠地运行,对它要有专人维护,做定期的保养和检修工作。

电力变压器的维护内容包括 8 个方面。

- (1) 检查瓷套管是否清洁,有无裂纹、放电痕迹以及其他现象;
- (2) 检查油温和储油柜油面高度及油色,其油高度不能低于油面线,必要时进行油样化验;
- (3) 检查各密封处有无漏油、渗油现象;
- (4) 注意变压器噪声情况,声响是否正常;
- (5) 观察安全气道的玻璃是否完整,检查气体继电器的油面高度,注意硅胶的变色情况;
- (6) 检查油箱的接地情况及其他附属设备的状况是否正常;
- (7) 监视各指示仪表,观察变压器是否额定运行,超差值是否在允许的范围之内;
- (8) 注意变压器室内消防设备是否完整、良好、有效,一次、二次引线及各接线点是否紧固,各部分的电气距离是否符合要求。

二、电力变压器的常见故障、保护及检修

电力变压器发生故障的原因比较复杂,为了正确、迅速地分析故障原因,应详细了解变压器在发生故障时的情况。

1. 应了解的情况

- (1) 变压器的运行情况,如负载状况、种类及过载状况。
- (2) 变压器的温升及电压状况。
- (3) 事故发生前的气候与环境,如气温、湿度及有无雷雨、雷击等。
- (4) 了解各继电器的保护动作及性质。
- (5) 了解其他因素,如变压器内部是否有小动物活动等。

2. 常见故障

(1) 绕组故障 绕组绝缘受潮、绝缘老化、层间或匝间发生短路;绕组与外部接线连接不好引起局部过热;电力系统短路引起绕组机械损伤;冲击电流引起的机械损伤等。

(2) 铁心故障 硅钢片间绝缘老化;铁心叠装不良引起铁耗增加;夹件松动引起电磁振动和噪声;铁心接地不良形成间歇性放电等。

(3) 变压器油的故障 绝缘油高温氧化、绝缘性能降低,造成闪络放电;油泥沉积阻塞油道使散热性能变坏等。

(4) 其他结构的故障 油箱漏油;防爆管出现故障或油受潮;分接头接触不良引起局部过热;分接头间因油污造成相间短路或表面闪络等。

3. 保护装置

(1) 瓦斯保护 主要是作为变压器油箱内部故障的保护及油面降低保护。

(2) 零序电流保护 当变压器中性点接地时,作为单相接地保护。

(3) 过电流保护 主要是作为变压器外部短路的过流保护,也作为变压器内部短路的后备保护。

(4) 纵差保护 主要是作为变压器内部绕组、绝缘套管及引出线相间短路的保护。

(5) 过负荷保护 当变压器过负荷时发出信号时的保护,也用于在无人值守的变电所内,跳闸或自动切除部分负荷的保护。

4. 故障检修

运行中的变压器,易发生的故障是绕组故障,约占故障总量的60%~70%。变压器在发生故障时,一般会以温升、异常声响、警报、气体及继电器保护动作等现象在外观表现出来,具体可参照表1-2。

表 1-2

电力变压器的常见故障及检修方法

故障现象	产生原因	检修方法
运行中有异常声响	① 铁心片间绝缘损坏 ② 铁心的紧固夹件松动 ③ 外加电压过高	① 吊出器身,检查片间绝缘电阻,进行涂漆处理 ② 紧固松动螺丝 ③ 调整外加电压
绕组匝间、层间或相间短路	① 绕组绝缘损坏 ② 长期过载运行或发生短路故障 ③ 铁心有毛刺使绕组绝缘受损 ④ 引线间或套管间短路	① 吊出铁心,修理或调换绕组 ② 修复电路故障或减小负载后,修理绕组 ③ 修理铁心,修复绕组 ④ 用兆欧表测试并排除故障
铁心片局部短路或烧毁	① 铁心片间绝缘严重损坏 ② 铁心或铁轭螺杆的绝缘损坏 ③ 接地方法不正确	① 用直流伏安法测片间绝缘电阻,找出故障点并进行修理 ② 调换损坏的绝缘胶管 ③ 改正错误接地
一、二次绕组或对地绝缘电阻下降	① 潮气或水分侵入变压器 ② 线端或引线有局部异常通路	① 进行干燥处理 ② 修理线端和引线的绝缘
变压器漏油	① 油箱的焊缝有裂纹 ② 密封垫老化或损坏 ③ 密封垫不正,压力不匀或压力不足 ④ 密封填料未处理好,硬化或断裂	① 吊出铁心,将油放掉,进行补焊 ② 调换密封垫 ③ 放正垫圈,重新紧固 ④ 调换填料
油色变黑,油面过低	① 油温过高 ② 漏入水或侵入潮气 ③ 油箱漏油	① 减小负载 ② 修漏水处或检查吸潮剂是否失效 ② 修补漏油处,补入新油
油温突然升高	① 过负荷运行 ② 接头螺钉松动 ③ 绕组短路 ④ 油质不好或缺油	① 减小负载 ② 停止运行,检查各接头,加以紧固 ③ 停止运行,吊出铁心检修绕组 ④ 调换全部变压器油或加油
变压器着火	① 一、二绕组层间短路 ② 严重过载 ③ 铁心绝缘损坏或穿心螺栓绝缘损坏 ④ 套管破裂,油在闪络时流出来,引起顶盖着火	① 吊出铁心,局部处理或重绕绕组 ② 减小负载 ③ 吊出铁心重新涂漆或调换穿心螺栓 ④ 调换套管
瓦斯继电器动作	① 信号指示未跳闸 ② 信号指示开关跳闸	① 变压器内进入空气,造成瓦斯继电器误动作,查出原因加以排除 ② 变压器内部发生故障,查出故障并处理

任务二 变压器的连接组别、试验与实训

教学目标

1. 了解三相变压器连接组别的判别。
2. 掌握变压器的试验与实训。

工作任务

现代电力系统均采用三相制,故三相变压器使用最广泛。三相变压器可以用 3 个单相变压器组成,这种三相变压器称为三相变压器组,还有一种用铁轭把 3 个铁心柱连在一起的三相变压器,称为三相心式变压器。从运行原理来看,三相变压器在对称负载下运行时,各相的电流、电压大小相等,相位上彼此相差 120° ,就其中一相来说,和单相变压器没有什么区别。

一、三相变压器的磁路系统

三相变压器的磁路系统,可以分成各相磁路系统彼此无关和彼此有关两类。

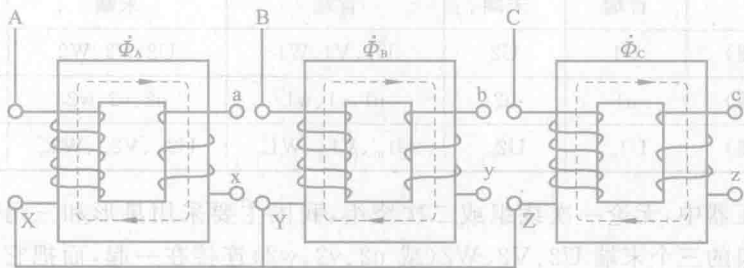


图 1-3 三相变压器组的磁路系统

如图 1-3 所示的三相变压器组,是由三台单相变压器组成的。由于每相的主磁通 Φ 各沿自己的磁路闭合,彼此毫无关系,所以三相变压器组的磁路系统彼此无关。当一次侧施以对称三相电压时,各相的主磁通必然对称,各相空载电压也是对称的。另一种磁路系统如图 1-4(a)所示,称为三相心式变压器。这种磁路的特点是三相磁路互相关联。从图上可以看出,任何一组的主磁通都要通过其他两相的磁路作为自己的闭合回路。这种铁心结构是从三相变压器组演变而来的。如果把三台单相变压器的铁心合并成图 1-4(a)的形式,在外施以对称三相电压时,三相主磁通是对称的,中间铁心柱内的磁通为 $\Phi_U + \Phi_V + \Phi_W = 0$,因此可将中间心柱省变成图 1-4(b)的结构。为了制造方便和节省硅钢片,把三相铁心柱布置在同一平面内,便成了图 1-4(c)的形式,这就是目前广泛采用的三相心式变压器的铁心。在这种变压器中,三相磁路长度不相等,中间 V 相最短,两边 U、W 两相比较长,所以三相磁阻不相等。当外施对称三相电压时,三相空载电流便不相等,V 相最小,U、W 两相大些。由于空载

电流很小,它的不对称对变压器负载运行的影响极小,可以忽略不计。

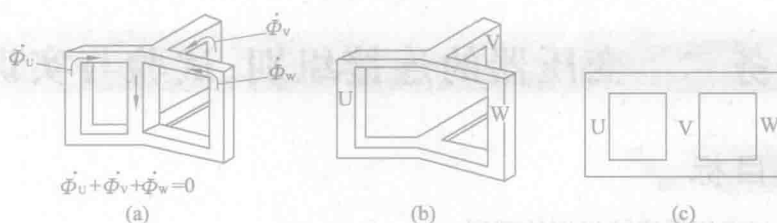


图 1-4 三相心式变压器的磁路系统

比较具有以上两种类型磁路系统的变压器,可以看出:在相同的额定容量下,三相心式变压器较之三相变压器组具有节省材料、效率高、维护方便、安装占地少等优点。但三相变压器组中每一个单相变压器却比三相心式变压器的体积小、质量小、搬运方便,此外还可减少备用容量,所以一些超高压、特大容量的三相变压器,当制造及搬运有困难时,有时会采用三相变压器组。

二、三相变压器的电路系统——连接组

在绕组的连接中,对绕组的首端和末端的标志规定如表 1-3。

表 1-3

绕组的首端和末端的标记

绕组(线圈)名称	单相变压器		三相变压器		中点
	首端	末端	首端	末端	
高压绕组(线圈)	U1	U2	U1、V1、W1	U2、V2、W2	N
低压绕组(线圈)	u1	u2	u1、v1、w1	u2、v2、w2	N
中压绕组(线圈)	U1 _m	U2 _m	U1 _m 、V1 _m 、W1 _m	U2 _m 、V2 _m 、W2 _m	N _m

在三相变压器中,无论一次绕组或二次绕组,我国主要采用星形和三角形两种连接方式。把三相绕组的三个末端 U2、V2、W2(或 u2、v2、w2)连接在一起,而把它们的首端 U1、V1、W1(或 u1、v1、w1)引出,便是星形连接(Y 接法),用字母 Y 或 y 表示,如图 1-5(a)所示。把一相绕组的末端和另一相绕组的首端连在一起,顺次连接成一闭合回路,然后从首端 U1、V1、W1(或 u1、v1、w1)引出,如图 1-5(b)所示,便是三角形连接,用字母 D 或 d 表示。

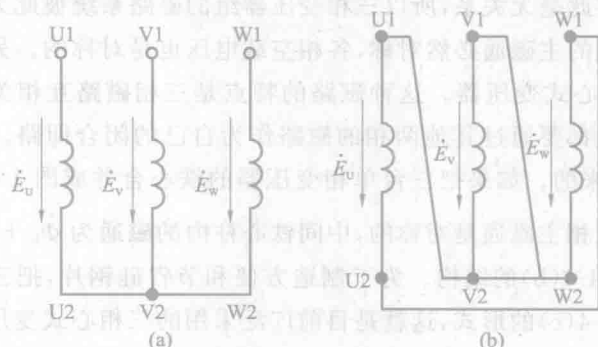


图 1-5 星形和三角形连接

我国生产的三相电力变压器常用“Y,yn”“Y,y”“Y,d”等3种连接组别。其中逗号前的大写字母表示高压绕组的连接法;小写字母表示低压绕组的连接法;N或n表示有中点引出。

由于三相绕组可以采用不同连接,使得三相变压器的一、二次侧绕组中的线电动势(或线电压)会出现不同的相位差。因此,按一、二次侧线电动势(或线电压)的相位关系,把变压器绕组的连接分成各种不同的组合,成为绕组的连接组。变压器连接组号的区分,采用“时钟表示法”即把高压侧线电动势(或线电压)的相量作为时针,它所指的钟点即为该变压器连接组的组号。

在说明三相变压器连接组的组号如何确定之前,先研究单相变压器一、二次侧电压的相位问题。

单相变压器的一、二次侧绕组被同一主磁通 Φ 所交链,当 Φ 交变时,在一、二次侧绕组中感应出电动势之间有一定的极性关系,即同一瞬间,一次侧绕组的某一端点为正时,二次侧绕组必有一个端点的电位也是正的,这两个同极性的端点称为同名端,用符号“·”(或“*”)表示。单相变压器的首端和末端有两种不同的标法:一种是将一、二次侧绕组的首端标为首端(或末端),如图1-6(a)所示,这时一、二次侧相电动势 $\dot{E}_U$ 与 $\dot{E}_u$ 同相(感应电动势的正方向均规定为从首端指向末端);另一种标法是把一、二次侧绕组的不同名端标为首端(或末端),如图1-6(b)所示,这时 $\dot{E}_U$ 与 $\dot{E}_u$ 反相。

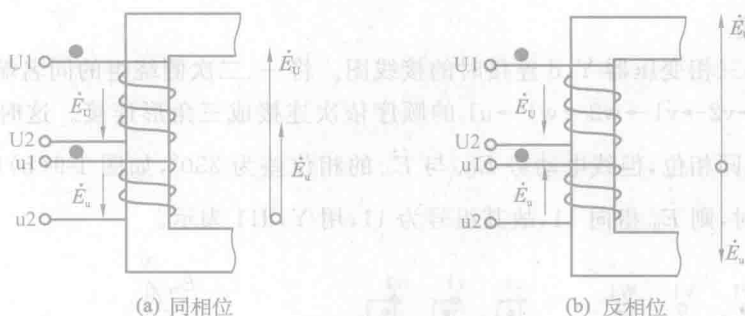


图 1-6 单相变压器的两种不同标记法

从以上分析可知,在单相变压器中,一、二次侧相电动势的相位关系只有同相和反相两种情况,它取决于绕组的同名端和首末端标记。

三相变压器的连接组号不仅与绕组的同名端和首末端标记有关,而且还与三相绕组的连接有关。

1. Y,y 连接

图1-7(a)为三相变压器Y,y连接时的连接图。图中将一、二次绕组的同名端标为首端。这时一、二次侧对应相电动势同相位,同时一、二次侧的线电动势 $\dot{E}_{UV}$ 与 $\dot{E}_{uv}$ 也同相位,如图1-7(b)所示。这时如把 $\dot{E}_{UV}$ 指向钟面的12点, $\dot{E}_{uv}$ 也指向12,将其视为零点,故其组号为“0”,用Y,y0表示。