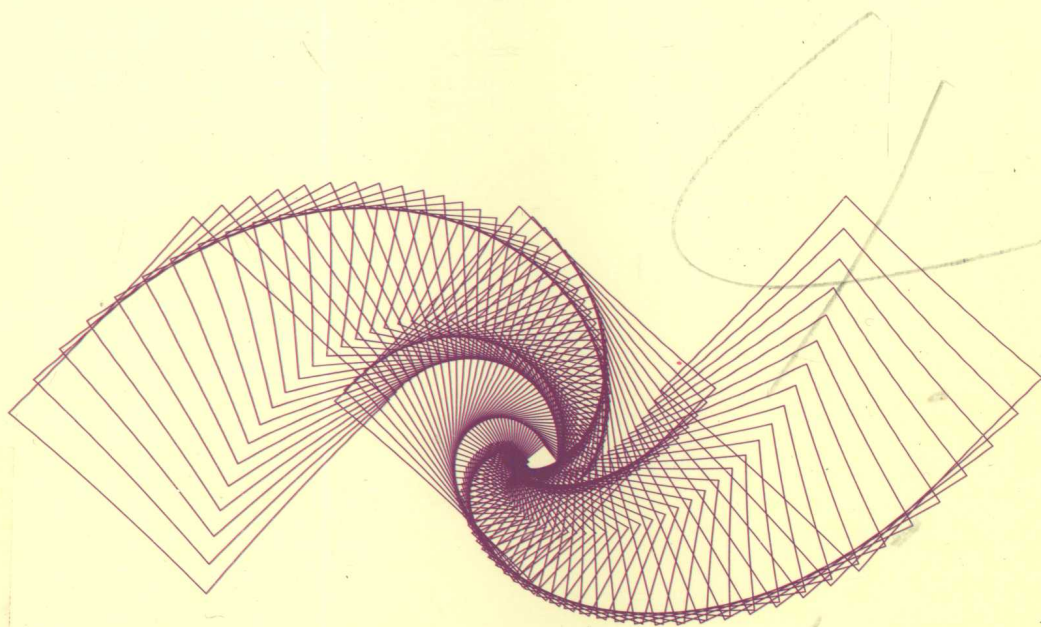


机电类专业“十一五”规划教材

电机与电气控制

DIANJI YU DIANQI KONGZHI

主编 刘伦富 侯守军



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TM3/127

2010

机电类专业“十一五”规划教材

电机与电气控制

主 编	刘 伦 富	侯 守 军	
副主编	张道平	袁继安	谢爱明
编 者	徐云宏	艾斌武	王立新
	李小军	郭亮华	陆 静
	蔡勇祥	何学民	

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在编写时注重对学生应用能力的培养,力求使基础理论与工程实际紧密结合。本书的主要内容有:变压器、异步电动机、直流电机、特种电机、常用低压电器、基本电气控制电路、常用机床电气控制、交流桥式起重机电气控制、交流电梯电气控制、实验与实训等。

本书可作为中等职业学校机电技术应用、电子信息与电气控制技术专业及其他相关专业的教学用书,也可作为岗位培训用书或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制/刘伦富,侯守军主编. —北京:国防工业出版社,2010.3

机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06716-3

I. ①电... II. ①刘... ②侯... III. ①电机学—专业学校—教材 ②电气控制—专业学校—教材 IV. ①TM3 ②TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025711 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 1/4 字数 317 千字

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书是中等职业教育机电技术应用、电子信息与电气控制技术专业的规划教材,是根据教育部颁发的《电机与电气控制技术教学基本要求》,并参照中级技术工人等级考核标准编写的。全书以交、直流电动机为驱动装置,低压电器为控制、保护元件,实现对电气控制设备的电力拖动与控制。本书以三相异步电动机拖动和控制为重点,以电气控制基本环节为主线,阐述了电力拖动与常用电气设备控制的基本知识。内容上突出实践性、应用性,体现新知识、新技术。教材以培养应用型人才为依据,以技能培养为出发点,着力培养学生分析问题、解决问题的能力。

本书由湖北信息工程学校刘伦富、侯守军担任主编,参加本书编写的有刘伦富、侯守军、张道平、徐云宏、郭亮华、袁继安、艾斌武、王立新、李小军、谢爱明、陆静、蔡勇祥、何学民。在本书的编写过程中得到了湖北信息工程学校、湖北京山职教中心、武汉蔡甸中等职业学校、江苏盐城生物工程高等学校、江苏省射阳职业高级中学、江苏滨海现代技术教育中心、四川省巴中市南江职业中学等学校的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者提出批评与建议,如有问题,请与张永生编辑联系,电子邮箱:zhangyongsheng100@163.com。

编 者

目 录

绪论	1
第1章 变压器	4
1.1 变压器的用途及分类	4
1.2 变压器的基本结构	5
1.3 单相变压器的工作原理	9
1.4 变压器的运行特性、损耗与效率	12
1.5 专用变压器	16
1.6 变压器的故障检修及一般试验	22
实训 单相变压器的空载及短路试验	24
思考与练习题	27
第2章 异步电动机	28
2.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	28
2.2 三相异步电动机的定子绕组	31
2.3 三相异步电动机的转矩与电压、功率的关系	33
2.4 三相异步电动机的机械特性	36
2.5 三相异步电动机的启动、反转与制动	38
2.6 三相异步电动机的调速	42
2.7 三相异步电动机的选用原则与维护	43
2.8 单相异步电动机基本结构与工作原理	49
2.9 单相异步电动机的定子绕组	51
2.10 单相异步电动机的控制	53
实训1 三相异步电动机的拆装	56
实训2 单相异步电动机的拆装	57
实训3 三相异步电动机的启动与反转	58
思考与练习题	59
第3章 直流电机	60
3.1 直流电机的工作原理、结构与分类	60
3.2 直流电动机的启动、调速、反转和制动	65
3.3 直流电动机的应用	70
实训 直流电动机的启动、调速和反转	71
思考与练习题	73

第4章 特种电机	74
4.1 测速发电机	74
4.2 伺服电机	76
4.3 步进电机	80
4.4 直线电动机	84
思考与练习题	85
第5章 常用低压电器	86
5.1 低压电器的基本知识	86
5.2 低压开关	88
5.3 熔断器	98
5.4 主令电器	103
5.5 交流接触器	111
5.6 继电器	113
5.7 其他继电器	120
5.8 电磁阀	123
思考与练习题	125
第6章 基本电气控制电路	127
6.1 电气控制电路的绘制	127
6.2 三相异步电动机的正转控制电路	131
6.3 三相异步电动机的正反转控制	135
6.4 位置控制与自动循环控制电路	138
6.5 顺序控制电路	140
6.6 连续运行与点动混合控制及多地控制电路	144
6.7 三相异步电动机降压启动控制电路	145
6.8 三相异步电动机制动控制电路	151
6.9 绕线转子异步电动机的启动与调速控制电路	155
6.10 步进电机驱动控制	157
6.11 电气控制电路的简单设计	158
实训1 三相异步电动机正、反转控制	162
实训2 位置控制与自动循环控制电路	163
实训3 顺序控制电路与两地控制	164
实训4 三相异步电动机手动Y— Δ 降压启动控制	164
实训5 凸轮控制器控制绕线转子异步电动机	165
思考与练习题	166
第7章 常用机床的电气控制	168
7.1 普通车床电气控制电路	168
7.2 平面磨床电气控制电路	170
7.3 摇臂钻床电气控制电路	173
7.4 电气设备常见故障的检修方法	176

实训 1 普通车床的结构观察与电气控制电路的检修	180
实训 2 摇臂钻床电气控制电路的安装与检修	182
第 8 章 起重设备的电气控制	186
8.1 桥式起重机概述	186
8.2 20/5t 桥式起重机电气控制	188
8.3 桥式起重机常见故障分析与排除	194
实训 交流桥式起重机现场参观	195
第 9 章 交流电梯的电气控制	196
9.1 电梯的基本结构、机械系统与安全保护系统	196
9.2 电梯电气控制基本环节	198
9.3 交流双速信号控制电梯的电气控制	199
9.4 电梯电气设备的安装和调整	205
9.5 电梯电气控制系统的常见故障及分析	207
思考与练习题	209
附录 常用电器、电机的图形与文字符号	210
参考文献	214

绪 论

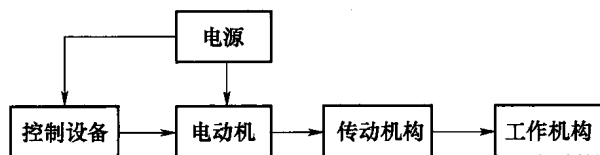
1. 电机与电气控制技术在国民经济中的重要作用

电能是一种清洁能源,电能的广泛应用对国民经济建设、环境保护和人民生活的提高都起着重要作用。电能的产生、传输、分配、控制和转换既方便又高效率,因此,它成了各种能量转换的中间环节。例如,机械能(水能、风能)、热能、核能(原子能)都能转换成强大的、集中的电能,再被利用到国民经济建设中的各个方面。发电量的大小现在已成为衡量一个国家现代化程度的重要标志,人均耗电量也成为衡量人民物质生活水平的重要标志之一。近年来,我国相继建成了举世瞩目的葛州坝、三峡水力发电站。

电机首先承担了发电的功能,目前条件下其他能源一般要通过三相同步发电机转换成电能;电能的传送、分配主要由变压器来承担;把电能送到用户以后,电能又要转换成机械能去做功,这要通过电动机来完成;发电机与电动机要按人们的要求工作便离不开控制设备。由此可见,电机、变压器及其控制设备在电能的利用上起着重要的作用。目前,工业、农业、国防、公共设施和家用电器等各个领域使用的各类机电产品,如风机、泵、压缩机、纺织机、轧钢机、机床、空调机、电动车辆等,它们的动力来源主要是电动机,耗电量占全国总发电量的60%以上。安全、高效地发挥各类机电产品在国民经济建设中的作用离不开电气控制技术,它是现代工业生产电气化、自动化的基础和核心,对提高产品质量、改善工人的劳动条件、增加工作可靠性及提高生产效率有着重要的意义。

2. 电机、电力拖动的组成

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象,以实现生产过程自动化的控制技术。它主要包括电动机、生产机械的工作机构、传动机构、电气控制线路(或其他控制设备)以及电源等,如下图所示。



其各主要部分的作用如下。

1) 电动机

电动机是生产机械中的原动机,是实现把电能转换为机械能的部件,有交流电动机和直流电动机之分。交流电动机具有结构简单、造价低、容易维护等许多优点,在生产机械中得到广泛应用。直流电动机由于具有良好的启动、制动特性和调速性能,能在很宽的范围内平滑调速,在对调速性能要求较高的场合仍采用直流电机拖动,但直流电机制造复杂,逐渐被变频调速技术所取代。

2) 控制设备

控制设备是控制电动机运转的设备,是由各种控制电器(如开关、按钮、熔断器、接触器、继电器等)按一定要求和规律组成的控制线路和设备,用以控制电动机的运行(如启动、制动、调速和反转等)。

3) 传动机构

传动机构是电动机与生产机械之间传递动力的装置,如减速箱、皮带、联轴节等。

4) 工作机构

工作机构是生产机械中直接进行生产加工的机械设备,可以认为是电动机的负载。

3. 现代电气控制技术的发展方向

20 世纪 20 年代~30 年代,工业生产开始采用由继电器、接触器、开关(或按钮)等组成的继电器控制系统控制电动机的启动、反向、调速与停车等操作。继电器控制是用导线把各种继电器、定时器、计数器及其触点按一定的逻辑关系连接起来,控制电动机拖动各种生产机械。这种以硬接线方式构成的继电器控制系统至今仍在使用,但这种控制系统有许多固有的缺点:一是这种系统利用布线逻辑来实现各种控制,需要使用大量的机械触点,系统运行的可靠性差;二是当生产工艺流程改变时需要改变大量的硬件接线,为此需要耗费许多人力、物力和时间;三是功能局限性大;四是体积大、耗能多。这些缺点大大限制了它的应用范围。随着科技的发展、生产的变化及生产工艺的改进,人们已开始在一些大型的复杂设备上采用一种新的工业控制装置——可编程控制器,来取代传统的继电器控制系统,使电气控制系统工作更可靠、维修更容易、更能适应经常变化的生产工艺要求。

可编程控制器实际上是一种在工业环境下应用的计算机,它采用可编程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等面向用户的操作指令,并通过数字式或模拟式的输入输出控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外部设备都按易于与工业控制系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

可编程控制器可通过编程实现对控制要求的改变,它具有通用性强、程序易编、可靠性高、使用维护方便等特点,具有广阔的应用前景。

4. 电机的发展与类型

1821 年法拉第发表了他的电磁实验结论:电流在磁场中受到力的作用。随后出现了电动机的雏形。到 19 世纪末,直流电机、变压器、交流电机的基本形式已大体形成。进入 20 世纪后,随着交流三相制发电厂的大量出现,强大交流电网的建立,结构简单、使用方便、价格低廉的三相笼型电动机的大量应用,社会生产力得到极大的提高,从而进入了电气化时代,完成了人类现代科学技术进步史上的第二次技术革命。

近代电机发展的主要成就表现在以下几个方面。

(1) 电机容量的不断提高。目前世界上最大发电机单机容量已突破 1000 MW。

(2) 中、小电机的技术及经济指标不断地提高。它们质量轻,体积小,耐热从 A 级提高到 B 级,干式变压器达 F 级,但价格却下降了。

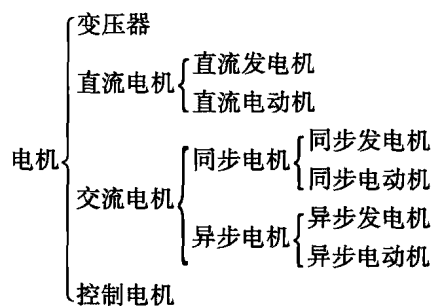
(3) 电机制造中不断应用新材料、新技术。在绝缘材料方面有绝缘薄膜和玻璃纤维绝缘材料等;在浸渍漆方面有醇酸树脂漆、硅有机漆、环氧硅有机混合漆等;在浸渍胶方面有不饱和聚酯胶、环氧树脂胶、热弹性胶等;在导磁材料方面已生产了厚度为 0.27mm、损耗小、磁导率高的涂有耐热绝缘膜的冷轧硅钢片,一种新的导磁材料非晶合金也开始被采

用;在冷却技术上采用空气冷却或氢气冷却后发电机单机容量已大幅提高。

(4) 新型的特种电机不断出现。随着科学技术的发展,特种电机的发展十分引人注目,如伺服电机、自整角机、步进电机、测速发电机、直线电机、盘形电机等,这些控制电机广泛应用于工业自动化控制中的精密数控加工、高速运输、遥控技术、计算技术、机器人中。有的微型电机已做到只有毫米级大小,以适应各种尖端的科学研究之用。20 世纪 80 年代出现了高强度的磁性材料——钕铁硼稀土永磁材料,使电机的结构、性能有了新的变化,它们具有体积小、质量轻、结构简单、效率高、可靠性好、寿命长的特点,在军事、工农业、交通运输和家用电器等方面都得到了广泛应用。

电机常用的分类方式有两种:一是按功能分,有发电机、电动机、变压器和控制电机四大类;二是按电机结构或转速分,有变压器和旋转电机。

两种方法归纳如下。



5. 本课程的任务、要求及学习方法

本课程是机电技术应用、电子信息与电气控制技术专业的专业理论课。通过学习,要求掌握变压器、异步电动机、直流电动机的结构、原理、主要特性、使用和维护知识;掌握常用低压电器及其组成的电气控制电路;培养学生对变压器、电动机及其控制电路的故障分析、判断和实验能力,为生产实习与解决实际技术问题奠定理论基础。

为了学好本门课程,必须做到以下几点。

- (1) 抓住重点,牢固掌握基本概念、基本原理和主要特性。
- (2) 要有良好的学习方法,运用对比或比较的方法分析电机与控制技术的共性和特点,加深对原理的理解。
- (3) 理论联系实际,重视科学实验和生产实践。
- (4) 充分预习和复习。

第1章 变压器

【学习目标】

1. 掌握常见变压器的基本结构,理解变压器的工作原理。
2. 掌握变压器损耗的形成及效率,理解变压器的运行特性。
3. 掌握专用变压器的用途及注意事项。
4. 了解变压器的一般故障判断、检修方法与试验项目。

1.1 变压器的用途及分类

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转换成同频率的所需电压值的交流电,以满足高压输电、低压供电及其他用途(如测量技术、焊接技术、电子技术等)的需要。

1. 变压器的用途

变压器最主要的用途是应用于输、配电系统。在电能的输送过程中总是提高输送电压,因为传输一定的电功率,电压越高,电流就越小。这样既可以节省导线(因为截面积可减小)和其他架设费用,又可以减少送电时导线上的损耗($P_{\text{损}} = I^2 R_{\text{线}}$)。

发电机的输出电压不可能很高,通常为 3.15kV、6.3kV、10.5kV,远远达不到高压输电线路的电压 110kV、220kV、330kV、500kV 等,这就需要通过变压器来升压。而电能被送到用电区后,又要通过降压变压器来降压,这种升降往往要经过多次才能达到要求。大型动力设备用电电压为 10kV、6kV、3kV,小型动力设备和照明用电电压为 380V、220V,这些需要通过变压器配电完成。潮湿和不安全处用电电压为 36V、24V、12V 和 6V,这些不同电压等级的电源一般是通过变压器取得的,图 1-1 所示是简单电力系统图。

变压器除改变电压外,还可用来改变电流、变换阻抗等。

2. 变压器的分类

变压器种类很多,通常可按其用途、绕组结构、铁芯结构、相数和冷却方式等进行分类。

1) 按用途分类

(1) 电力变压器。用作电能的输送与分配。这类变压器生产量最多、使用最广泛。按其功能不同又可分为升压变压器、降压变压器和配电变压器等。

(2) 特种变压器。在特殊场合使用的变压器,如用作焊接电源的电焊变压器、专供大功率电炉使用的电炉变压器和将交流电整流成直流电的整流变压器等。

(3) 仪用互感器。用于电工测量,如电流互感器、电压互感器等。

(4) 其他变压器。如试验用的高压变压器、输出电压可调的调压变压器和产生脉冲

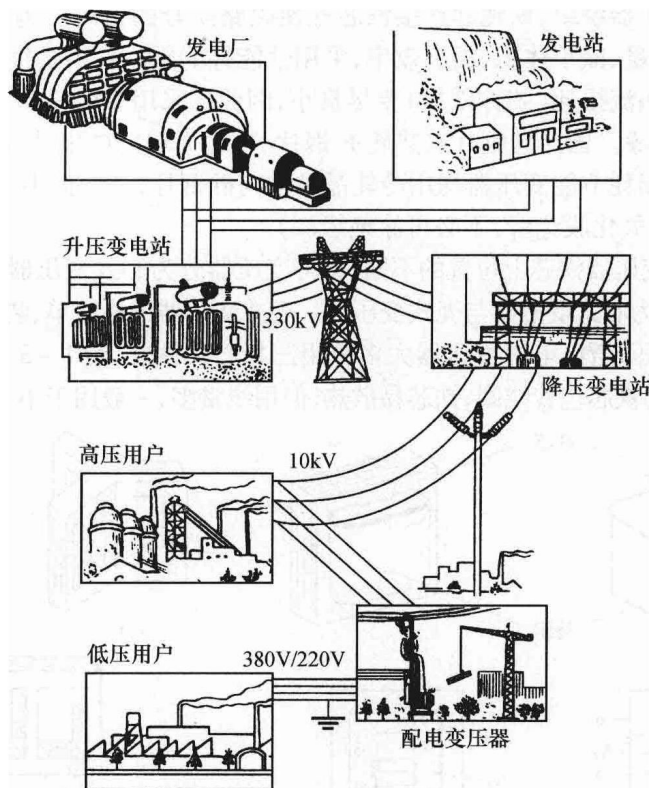


图 1-1 三相电力系统示意图

信号的脉冲变压器等。

2) 按绕组构成分类

三绕组变压器、双绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器等。

3) 按铁芯结构分类

心式变压器、壳式变压器。

4) 按相数分类

单相变压器、三相变压器和多相变压器。

5) 按冷却方式分类

干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、强迫油循环变压器和充气式变压器等。

1.2 变压器的基本结构

变压器按工作相数分为单相变压器和三相变压器。单相变压器是指接在单相交流电源上用来改变单相交流电压的变压器,其容量一般都较小,主要用作控制及特殊场所的照明。三相变压器多用于电力系统中,容量一般都较大。变压器主要由铁芯和绕组(又称线圈)两部分组成。

1. 铁芯

铁芯是变压器磁路系统,也是变压器的机械骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成,

铁芯柱上套装变压器绕组,铁轭起连接铁芯柱使磁路闭合的作用。为了提高铁芯导磁能力、增大变压器容量、减小体积、提高效率,采用性能好的导磁材料是很关键的。一般要求铁芯磁滞损耗及涡流损耗(统称铁损)要尽量小,因此均采用厚度为 0.35 mm 的硅钢片制作,片间涂覆绝缘漆。国产硅钢片有热轧 E 钢片、冷轧无取向硅钢片、冷轧晶粒取向硅钢片。目前国产低损耗节能变压器均用冷轧晶粒取向硅钢片,其铁损小,且铁芯叠装系数高(因硅钢片表面有氧化膜绝缘,不必再涂绝缘漆)。

根据线圈在变压器铁芯上位置的不同,可将变压器分为心式变压器和壳式变压器两大类。图 1-2 所示为心式变压器与壳式变压器。心式变压器结构简单、装配容易、省导线,适用于大容量、高电压,所以电力变压器大多采用三相心式铁芯,图 1-3 所示是三相心式铁芯。壳式变压器的铁芯包着线圈,铁芯易散热,但用线量多,一般用于小型干式变压器。

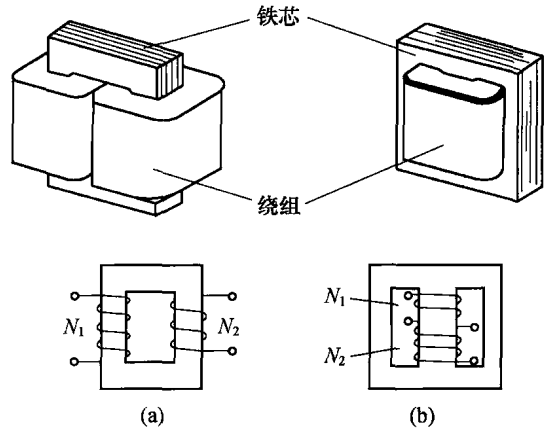


图 1-2 心式铁芯与壳式铁芯
(a) 心式; (b) 壳式。

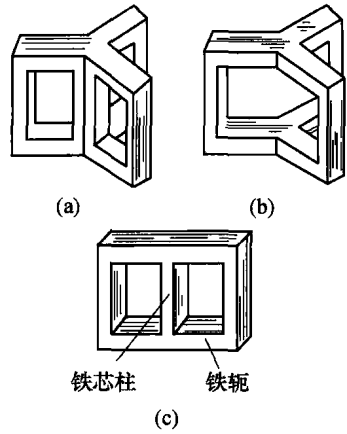


图 1-3 三相心式铁芯
(a) 四铁芯柱; (b) 三铁芯柱立体式;
(c) 三铁芯柱平面式。

叠片式铁芯变压器的制作顺序是:先将硅钢片冲剪成如图 1-4 所示的形状;再将一片片硅钢片按其接口交错地插入事先绕好并经过绝缘处理的线圈中,如图 1-5 所示;最后用夹件将铁芯夹紧。为了减小铁芯磁路的磁阻以减小铁芯损耗,要求铁芯装配时,接缝处的空气隙应越小越好。

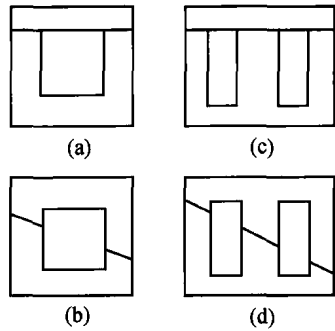


图 1-4 单相小容量变压器铁芯形式
(a) 心式口形; (b) 心式斜口形;
(c) 壳式 E 形; (d) 壳式 F 形。

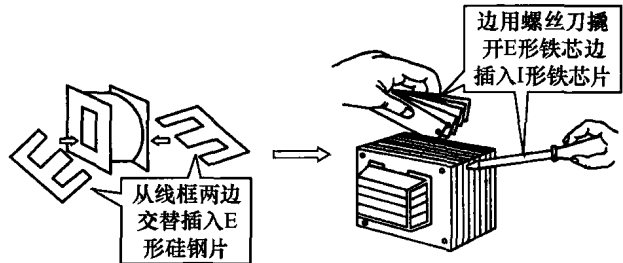


图 1-5 壳式变压器 E 形铁芯的装配

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,常用绝缘铜线或绝缘铝线绕制而成。小型变压器一般用具有绝缘的漆包圆铜线绕制而成,容量稍大的变压器则用绝缘扁铜线或绝缘扁铝线绕制。绕组按所接电压高低分为高压绕组和低压绕组。按绕组绕制的方式不同,可分为同心绕组和交叠绕组两种类型。

1) 同心绕组

同心绕组是将高、低压绕组套在同一铁芯柱的内外层,一般低压绕组在内层,高压绕组在外层,如图 1-6 所示。当低压绕组电流较大时,绕组导线较粗,也可放到外层。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。同心绕组又可分为圆筒式、线段式、连续式和螺旋式等结构。一般圆筒式用于容量不大的变压器绕组,线段式用于小容量高压绕组,连续式主要用于大容量、高电压绕组,螺旋式用于大容量低压绕组。

2) 交叠绕组

交叠绕组是将高、低压绕组绕成饼状,沿铁芯轴向交叠放置,一般两端靠近铁轭处放置低压绕组,有利于绝缘。这种绕组多用于壳式变压器、干式变压器及电炉变压器中,如图 1-7 所示。

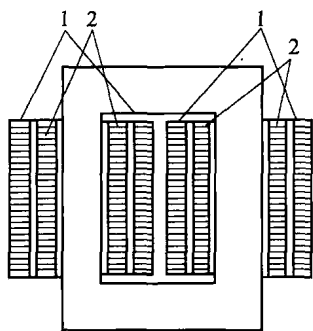


图 1-6 同心绕组

1—高压绕组; 2—低压绕组。

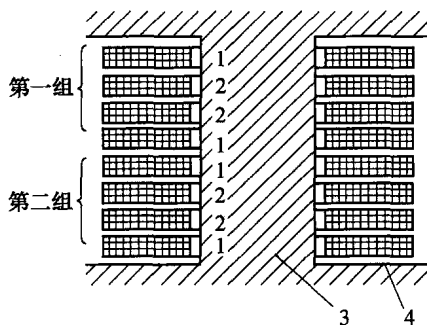


图 1-7 交叠绕组

1—低压绕组; 2—高压绕组; 3—铁芯; 4—铁轭。

3. 主要附件

在三相电力变压器中,目前使用最广泛的是油浸式电力变压器,除绕组、铁芯外还有较重要的附件,如油箱、绝缘套管、储油柜、冷却装置、压力释放阀、安全气道、温度计和气体继电器等,其结构如图 1-8 所示。

1) 油箱

变压器的整个器身浸装在装满变压器油的油箱里,它保护铁芯和绕组不受潮,又有绝缘和散热的作用。变压器运行时器身发出的热量由变压器油传给油箱壁和箱体外侧的散热管(片)。

2) 储油柜

储油柜也称为油枕,它与油箱连通,当油因热胀冷缩而引起油面上下变化时,油枕中的油面就会随之升降,而不致油箱被挤破或油面下降使空气进入油箱。空气中的水分、氧气、杂质会使变压器油降低耐压,加速老化。为了使储油柜中的空气保持干燥,在储油柜

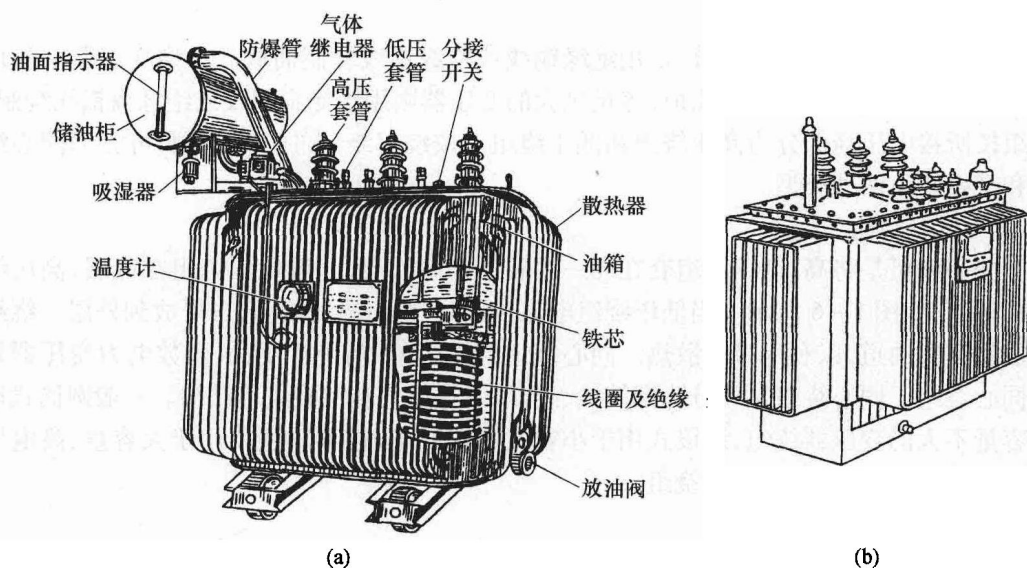


图 1-8 变压器的外形

(a) SJJ 系列变压器; (b) S 系列变压器。

进气管的端部装了一个呼吸器(吸湿器),空气在进入储油柜之前先经呼吸器吸潮处理。呼吸器中放有变色硅胶,发现硅胶受潮变色(由蓝变红)要及时更换。大型变压器(6300kVA 以上)还常采用充氮的储油柜或胶囊式储油柜,特别是胶囊式储油柜密封效果很好,使变压器油的电气、化学性能很稳定,是防止变压器油变质的有效措施。储油柜的侧面装有玻璃油表,可以观察油面的高低,油面以一半高为好。如果采用全密封变压器就可省去储油柜,一般可以 15 年不用维护,体积小,很适合城市供电用。

3) 气体继电器(瓦斯继电器)

气体继电器装在油箱与储油柜之间的管道中,当变压器发生故障时,器身就会过热使油分解产生气体。气体进入继电器内使其中一个水银开关接通(上浮筒动作),发出报警信号或使开关跳闸。

4) 分接开关

变压器的输出电压可能因负载和一次侧电压的变化而变化,可通过分接开关来控制输出电压在允许范围内变动。分接开关一般装在一次侧(高压边),通过改变一次侧线圈匝数来调节输出电压。分接开关分为无励磁调压和有载调压两种。无励磁调压是指变压器一次侧脱离电源后调压,无励磁调压分接开关调节范围为额定输出电压的 $\pm 5\%$,如图 1-9(a)所示。有载调压是指变压器二次侧接负载时调压,有载调压的分接开关因为要切换电流,所以较复杂,如图 1-9(c)所示。因调节的方法不同,分接开关又有手动、电动两种,小型变压器多用手动调压,大型变压器多用电动调压,中型变压器手动、电动两种都可用。

5) 绝缘套管

绝缘套管穿过油箱盖,将油箱中变压器绕组的输入、输出线从箱内引到箱外与电网相接。绝缘套管由外部的瓷套和中间的导电杆组成,绝缘套管必须要有良好的绝缘性能和密封性能,如图 1-10 所示。根据运行电压的不同,绝缘套管可分为充气式和充油式两种;根据运行环境的不同,可将其分为户外式和户内式两种。

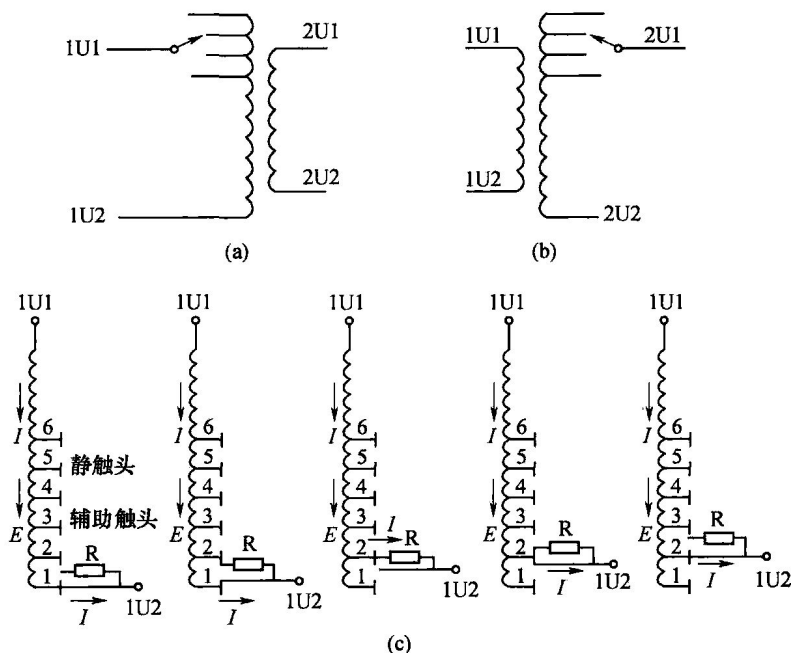


图 1-9 分接开关动作程序图

(a) 一次侧无励磁调压; (b) 二次侧无励磁调压; (c) 二次侧有载调压。

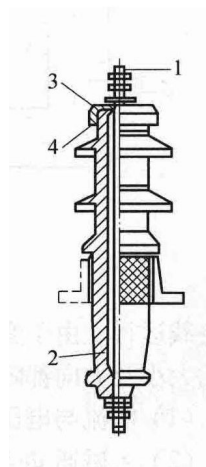


图 1-10 绝缘套管

1—导电杆; 2—绝缘套管;
3—金属盖; 4—封闭垫圈。

6) 安全气道

安全气道又称防爆管, 装在油箱顶盖上。它是一个长钢筒, 出口处有一块厚度约为 2mm 的密封玻璃板 (防爆膜), 玻璃上划有几道缝。当变压器内部发生严重故障而产生大量气体, 内部压力超过 50kPa 时, 油和气体会冲破防爆玻璃喷出, 从而避免了油箱爆炸引起更大的危害。现在这种防爆管已被淘汰了, 改用压力释放阀, 尤其在全密封变压器中都广泛采用压力释放阀做保护。压力释放阀的优点是动作精度高、延时时间短, 能自动开启和自动关闭, 克服了停电更换防爆管的缺点。

1.3 单相变压器的工作原理

图 1-11 所示是单相变压器原理图, 图 1-11(a) 是原理示意图, 图 1-11(b) 是电路图。图中和电源相连接的绕组称为一次绕组, 与其相关的物理量用下标“1”标注, 如 E_1 、 U_1 等。图中和负载相连接的绕组称为二次绕组, 与其相关的物理量用下标“2”标注。

当变压器的一次绕组通电后在铁芯中产生一个正弦交变磁场, 该磁场的磁感应线绝大部分都在闭合的铁芯中通过, 由于磁感线穿过二次绕组, 从而在二次绕组中产生感应电动势, 所以变压器是利用电磁感应原理将能量从一个绕组传输到另一个绕组而进行工作的。

下面我们来讨论变压器在空载与负载下的运行情况。

1. 变压器的空载运行

变压器的一次绕组加上额定电压, 二次绕组开路 (即 $I_2 = 0$) 的工作方式称为变压器

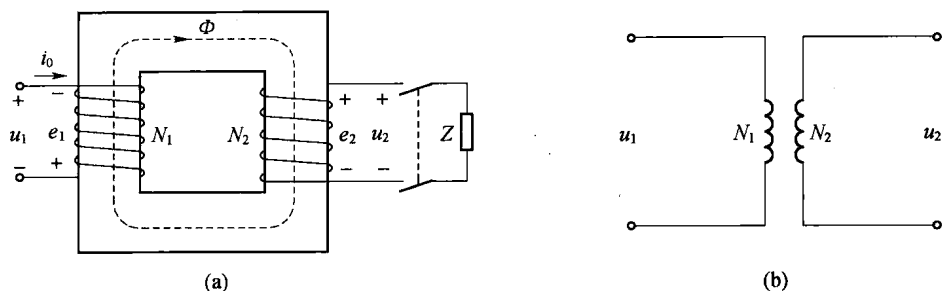


图 1-11 单相变压器原理图

(a) 原理示意图; (b) 电路图。

的空载运行。由于变压器接在交流电源上工作,通过变压器中的电压、电流、磁通及电动势的大小及方向都随时间不断地变化,为了分析问题方便,我们规定其参考方向。

- (1) 电流与电压的正方向一致。
- (2) 主磁通 Φ 与电流的正方向符合右手螺旋定则。
- (3) 感应电动势 E 应与电流的正方向一致。

1) 理想变压器

为了分析得简单、方便,忽略绕组的电阻、铁芯的损耗、磁通中的漏磁通和磁路饱和的影响,这样的变压器就称为理想变压器。在一些近似计算分析中常用理想变压器来作分析,它是一个单纯的电感电路。在理想变压器中,一次侧 U_1 与 E_1 的参考方向正好相反,电动势 E_1 与外加电压 U_1 相平衡,即

$$U_1 = E_1 \quad (1-1)$$

在二次侧,在空载情况下,由于二次绕组开路,端电压 U_2 与电动势 E_2 相等,即:

$$U_2 = E_2 \quad (1-2)$$

由法拉第电磁感应定律:

$$E_p = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

式中 E_p ——感应电动势平均值(V);

N ——线圈匝数;

$\Delta \Phi$ ——磁通增量(Wb);

Δt ——时间增量(s)。

从 $t=0$ 到 $t=T/4$ 的时间里,求出平均磁通变化率 $\Delta \Phi / \Delta t$,即 $\Delta \Phi = \Phi_m - 0 = \Phi_m$, $\Delta t = T/4 = 1/(4f)$,则 $\Delta \Phi / \Delta t = 4f\Phi_m$,在 $t=0$ 到 $t=T/4$ 的时间里平均感应电动势: $E_p = 4fN\Phi_m$ 。

由有效值 $E = \frac{\sqrt{2}}{2}E_m$,平均值 $E_p = \frac{2}{\pi}E_m$,可导出 $\frac{E}{E_p} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$,因此得到变压器和电机中一个极为重要的公式:

$$E = 4.44fN\Phi_m \quad (1-3)$$

式中 Φ_m ——主磁通幅值(Wb);

f ——频率(Hz);