

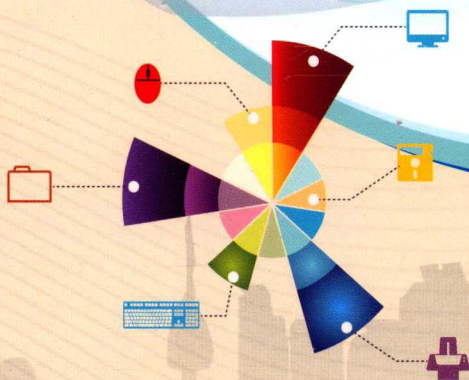
DIANJI
JISHUJIYINGYONG

电机技术 及应用

示范性高等院校应用型规划教材

主 编/樊新军

副主编/覃洪英 王 俊 何朝阳 熊同强



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

示范性高等院校应用型规划教材

电机技术及应用

主 编 樊新军

副主编 覃洪英 王 俊

何朝阳 熊同强

本书特点如下。

- (1) 在内容的叙述中, 强调电机结构、工作原理、主要性能和实际应用意义。
- (2) 对理论的分析采用图解、图示方法, 并强调基本理论的实际应用。
- (3) 对于一些理论性较强的内容, 以图表分析为主, 使其易于理解。
- (4) 书中有典型例题, 各章后面附有小结、思考题与习题, 题目具有典型性、规范性、启发性, 能引导学生掌握本课程的主要内容, 并培养学生解决工程实际问题的能力。

本书由三峡电力职业学院樊新军副教授担任主编, 三峡电力职业学院教师何朝阳、熊同强参与了编写, 并且得到了覃洪英的帮助。全书由樊新军统稿、审定。

在编写本书时, 参阅了许多同行专家编著的电机学教材, 同时深入企业和电机生产厂家了解具体实例, 得到了不少启发和教益, 在此谨向有关单位和个人致以诚挚的谢意! 由于编者水平有限, 书中不妥之处, 恳请读者批评指正。



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

2014年12月

内容提要

本书针对应用型高技能人才培养的特点和要求,精选内容、注重应用,将电机学、电力拖动、电机检修等课程内容有机地结合在一起,编写的重点放在使用较多的电机上。全书共分六章,主要包括变压器、交流绕组及其电动势和磁动势、同步电机、异步电动机、直流电机、控制电机等内容。

本书可作为高等职业院校发电厂及电力系统、电气自动化技术和机电一体化技术等专业学生的教材,也可作为相关从业人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机技术及应用/樊新军主编. —天津:天津大学出版社, 2015.5

示范性高等院校应用型规划教材

ISBN 978-7-5618-5311-5

I. ①电… II. ①樊… III. ①电机学—高等学校—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 095826 号

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 廊坊市海涛印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 14.75

字 数 368 千

版 次 2015 年 5 月第 1 版

印 次 2015 年 5 月第 1 次

印 数 1-3 000

定 价 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书是为了适应高等职业教育发展和当前教学改革需要而编写的。在编写过程中,重点针对应用型高技能人才培养的特点和要求,精选内容、注重应用,力求做到深入浅出、通俗易懂,坚持实用性、综合性、科学性和新颖性相结合。本书所授内容是高等职业技术学院发电厂及电力系统、电气自动化技术和机电一体化技术等专业学生必修的一门主干课程。

本书将电机学、电力拖动、电机检修等课程内容有机地结合在一起,编写的重点为使用较多的电机。全书共分6章,主要包括变压器、交流绕组及其电动势和磁动势、同步电机、异步电动机、直流电机、控制电机等内容。

本书特点如下。

- (1) 在内容的叙述上,强调电机的结构、工作原理、主要性能和实际应用意义。
- (2) 对理论的分析采用图解、图示方法,并强调基本理论的实际应用。
- (3) 对于一些理论性较强的内容,以定性分析为主,使其易教易学。

(4) 书中有典型例题,各章后面附有小结、思考题与习题。题目具有典型性、规范性、启发性,能引导学生掌握本课程的主要内容,并培养学生解决工程实际问题的能力。

本书由三峡电力职业学院樊新军副教授担任主编,三峡电力职业学院王俊、何朝阳、熊同强参与了编写,并且得到了覃洪英的帮助。全书由樊新军统稿、审定。

在编写本书时,参阅了许多同行专家编著的教材和资料,同时深入企业和电机生产厂家了解具体实例,得到了不少启发和教益,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

第1章 变压器	1
1.1 变压器的基本知识和结构	1
1.1.1 变压器的基本工作原理	1
1.1.2 变压器的基本结构	3
1.1.3 变压器的铭牌	7
1.2 变压器的运行原理	9
1.2.1 单相变压器的空载运行	9
1.2.2 单相变压器的负载运行	14
1.2.3 变压器的等效电路	16
1.2.4 变压器参数测定	20
1.2.5 标幺值	24
1.2.6 变压器的运行特性	27
1.3 三相变压器	32
1.3.1 三相变压器的磁路系统	32
1.3.2 三相变压器的电路系统——连接组别	33
1.3.3 磁路系统和绕组连接方式对电动势波形的影响	38
1.4 变压器的并联运行	41
1.4.1 概述	41
1.4.2 变压器的理想并联条件	42
1.4.3 并联条件不满足时的运行分析	42
1.4.4 变压器的运行方式	45
1.5 其他用途的变压器	47
1.5.1 三绕组变压器	47
1.5.2 自耦变压器	50
1.5.3 仪用互感器	52
小结	55
思考题与习题	56
第2章 交流绕组及其电动势和磁动势	59
2.1 交流电机绕组	59
2.1.1 交流绕组的常用术语	59
2.1.2 交流绕组的分类	63
2.1.3 交流绕组的基本要求	63
2.1.4 三相单层绕组	63

2.1.5 三相双层绕组	67
2.2 交流绕组的电动势	69
2.2.1 正弦分布磁场下的绕组电动势	69
2.2.2 非正弦分布磁场下绕组产生的高次谐波电动势	72
2.2.3 磁场非正弦分布引起的谐波电动势的削弱方法	74
2.3 交流绕组的磁动势	77
2.3.1 单相绕组的磁动势	77
2.3.2 三相绕组的磁动势	79
2.3.3 单相基波脉振磁动势的分解	83
小结	84
思考题与习题	85
第3章 同步电机	86
3.1 同步发电机的工作原理和结构	86
3.1.1 同步发电机的工作原理	86
3.1.2 三相同步发电机的基本结构	87
3.1.3 三相同步发电机的励磁方式	91
3.2 同步发电机的运行原理	92
3.2.1 同步发电机的空载运行	92
3.2.2 对称负载时的电枢反应	94
3.2.3 同步发电机的电动势方程式和相量图	97
3.2.4 同步发电机的运行特性	101
3.3 同步发电机的并联运行	105
3.3.1 投入并联运行的条件和方法	105
3.3.2 有功功率调节和静态稳定	106
3.3.3 无功功率的调节和 V 形曲线	112
3.4 同步发电机的异常运行与突然短路	113
3.4.1 同步发电机不对称运行	113
3.4.2 同步发电机的失磁运行	116
3.4.3 同步发电机的三相突然短路	119
3.4.4 同步发电机常见故障	123
小结	125
思考题与习题	126
第4章 异步电动机	129
4.1 异步电动机的基本知识和结构	129
4.1.1 三相异步电动机的基本结构	129
4.1.2 异步电动机的种类	132
4.1.3 三相异步电动机的基本原理	132
4.1.4 转差率	133
4.1.5 异步电机的三种运行状态	134

4.1.6 异步电动机的铭牌.....	135
4.2 异步电动机的运行分析.....	138
4.2.1 异步电动机的空载运行.....	138
4.2.2 异步电动机的负载运行.....	140
4.2.3 异步电动机的功率和转矩平衡方程式.....	145
4.2.4 异步电动机的工作特性.....	148
4.2.5 异步电动机的参数测定.....	150
4.3 异步电动机的电力拖动.....	152
4.3.1 三相异步电动机的机械特性.....	152
4.3.2 三相异步电动机的启动概述.....	156
4.3.3 鼠笼式异步电动机的启动.....	158
4.3.4 绕线式异步电动机的启动.....	162
4.3.5 异步电动机的调速.....	164
4.3.6 异步电动机的制动.....	172
4.3.7 单相异步电动机.....	175
小结.....	179
思考题与习题.....	181
第5章 直流电机	184
5.1 直流电机的工作原理与结构.....	184
5.1.1 直流电机的基本工作原理.....	184
5.1.2 直流电机的基本结构.....	187
5.1.3 直流电机的铭牌.....	190
5.1.4 直流电机的励磁方式.....	191
5.1.5 直流电机的主要系列.....	192
5.2 直流电机的电枢绕组.....	192
5.2.1 直流电机电枢绕组的基本知识.....	192
5.2.2 单叠绕组.....	194
5.2.3 单波绕组.....	197
5.3 直流电机的电枢反应.....	200
5.3.1 主磁场和电枢磁场.....	200
5.3.2 电枢反应.....	201
5.3.3 直流电机的换向.....	201
5.3.4 改善换向的主要方法.....	203
5.4 直流电机的电枢电动势与电磁转矩.....	204
5.4.1 直流电机的电枢电动势.....	204
5.4.2 直流电机的电磁转矩.....	205
5.4.3 直流电机的电磁功率.....	207
5.5 直流发电机.....	207
5.5.1 并励直流发电机的基本方程式.....	207

5.5.2 并励直流发电机的外特性.....209

5.5.3 复励发电机的外特性.....210

5.6 直流电动机.....210

5.6.1 直流电动机的基本方程式.....210

5.6.2 直流电动机的工作特性.....212

小结.....212

思考题与习题.....213

第6章 控制电机.....215

6.1 伺服电动机.....215

6.1.1 简述.....215

6.1.2 直流伺服电动机.....216

6.1.3 交流伺服电动机.....217

6.2 测速发电机.....218

6.2.1 简述.....218

6.2.2 直流测速发电机.....218

6.2.3 交流测速发电机.....221

6.3 步进电动机.....223

6.3.1 简述.....223

6.3.2 三相反应式步进电动机的结构和工作原理.....224

6.3.3 小步距角三相反应式步进电动机.....225

小结.....226

思考题与习题.....227

参考文献.....228

第 1 章

变压器

变压器是一种静止的电器。它通过线圈间的电磁感应作用，可以把一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能，以满足高压输电、低压供电和其他用途的需要。

变压器种类很多，但各种变压器的基本工作原理是相同的，不同变压器只是加上某些约束条件而已。本章主要叙述电力变压器的工作原理、分类、结构和运行分析。

1.1 变压器的基本知识和结构

1.1.1 变压器的基本工作原理

1. 变压器的基本工作原理简介

变压器是利用电磁感应原理工作的，图 1-1 所示为其工作原理示意。在一个闭合的铁芯上套有两个绕组，这两个绕组具有不同的匝数且互相绝缘，两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系。其中，接于电源侧的绕组称为原绕组或一次绕组，一次绕组各量用下标“1”表示；用于接负载的绕组称为副绕组或二次绕组，二次绕组各量用下标“2”表示。

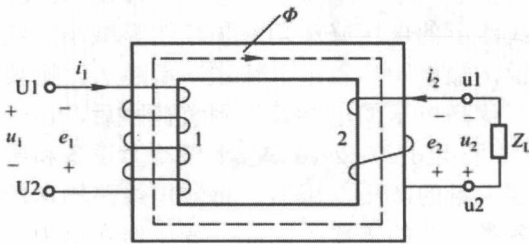


图 1-1 变压器工作原理示意

若将绕组 1 接到交流电源上，绕组中便有交流电流 i_1 流过，在铁芯中产生交变磁通 Φ ，与原、副绕组同时交链，分别在两个绕组中感应出同频率的电动势 e_1 和 e_2 。

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\ e_2 &= -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 N_1 ——原绕组匝数；
 N_2 ——副绕组匝数。

若把负载接于绕组 2，在电动势 e_2 的作用下，电流 i_2 将流过负载，就能向负载输出电能，即实现了电能的传递。

由式（1-1）可知，原、副绕组感应电动势的大小正比于各自绕组的匝数，而绕组的感应电动势又近似等于各自的电压。因此，只要改变原绕组或副绕组的匝数，就能达到改变电压的目的，这就是变压器的变压原理。

2. 变压器的应用与分类

1) 应用

在电力系统中，变压器是输配电能的主要电气设备，其应用如图 1-2 所示。

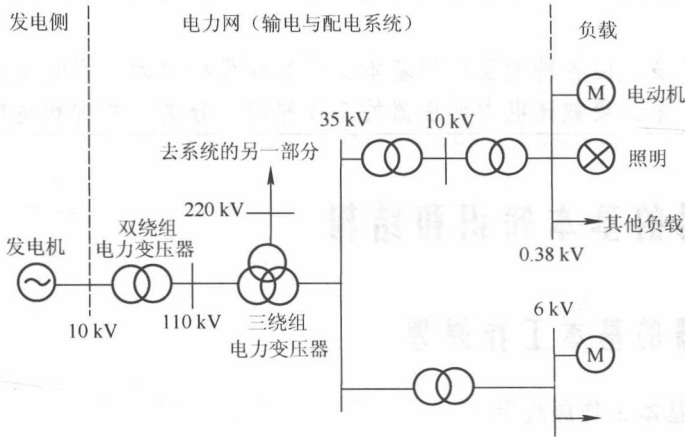


图 1-2 变压器在电力系统中的应用

发电机输出的电压，由于受发电机绝缘水平的限制，通常为 6.3 kV、10.5 kV，最高不超过 27 kV。用这样低的电压进行远距离输电是有困难的。因为当输送一定功率的电能时，电压越低，则电流越大，电能有可能大部分消耗在输电线的电阻上。为此需要采用高压输电，即用升压变压器把电压升高到输电电压，例如 110 kV、220 kV 或 500 kV 等，以降低输送电流，从而线路上的电压降和功率损耗明显减小，线路用铜量也可减少，以节省投资费用。一般来说，输电距离越远，输送功率越大，则要求的输电电压越高。输电线路将几万伏或几十万伏高电压的电能输送到负荷区后，由于受用电设备绝缘及安全的限制，通常大型动力设备采用 6 kV 或 10 kV，小型动力设备和照明则为 380 V 或 220 V，所以在供用电系统中需要大量的降压变压器，将输电线路输送的高电压变换成各种不同等级的低电压，以满足各类负荷的需要。因此，变压器在电力系统中得到了广泛应用，变压器的安装容量可达发电机总装机容量的 6~8 倍，变压器对电力系统有着极其重要的意义。

用于电力系统升、降电压的变压器叫作电力变压器。另外，变压器的用途还有很多，如测量系统中用的仪用互感器、用于试验室调压的自耦调压器。在电力拖动系统或自动控制系统中，变压器作为能量传递或信号传递的元件，也应用得十分广泛。

2) 分类

为适应不同的使用目的和工作条件，变压器种类很多，因此变压器的分类方法有多种，通常可按用途、绕组数目、相数、铁芯结构、调压方式和冷却方式等划分类别。

（1）按用途分，有电力变压器和特种变压器。电力变压器又分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器等，特种变压器又分为试验用变压器、仪用变压器、电炉变压器、电焊变压器和整流变压器等。

(2) 按绕组数目分, 有单绕组(自耦)变压器、双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器。

(3) 按相数分, 有单相变压器、三相变压器和多相变压器。

(4) 按铁芯结构分, 有心式变压器和壳式变压器。

(5) 按调压方式分, 有无励磁调压变压器和有载调压变压器。

(6) 按冷却介质和冷却方式分, 有干式变压器、油浸变压器(包括油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式和强迫油循环导向冷却式)和充气式冷却变压器。

1.1.2 变压器的基本结构

变压器的基本结构部件有铁芯、绕组、油箱、冷却装置、绝缘套管和保护装置等, 如图 1-3 所示。

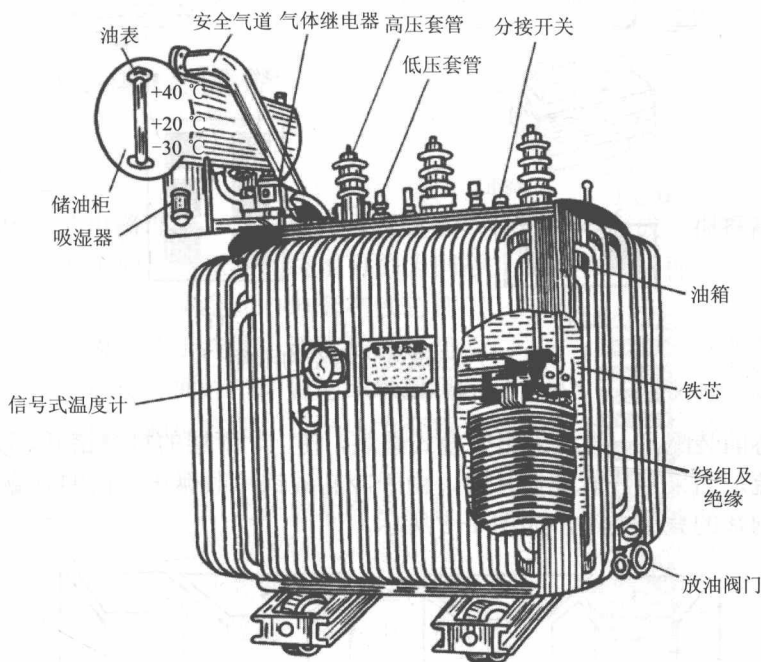


图 1-3 油浸电力变压器结构示意图

1. 铁芯

铁芯是变压器的主磁路, 又是变压器的支撑骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成, 铁芯柱上套装绕组, 铁轭的作用则是使整个磁路闭合。为了提高磁路的导磁性能和减少铁芯中的磁滞和涡流损耗, 铁芯用 0.35 mm 厚、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。

叠片式铁芯的结构形式有心式和壳式两种。心式铁芯结构的变压器, 其铁芯被绕组包围着, 如图 1-4 所示。心式变压器结构简单, 绕组的装配及绝缘设置也较容易, 国产电力变压器铁芯主要用心式结构。壳式铁芯结构的变压器特点是铁芯包围绕组, 如图 1-5 所示。壳式变压器的机械强度好, 但制造复杂、铁芯材料消耗多, 只在一些特殊变压器(如电炉变压器)中采用。

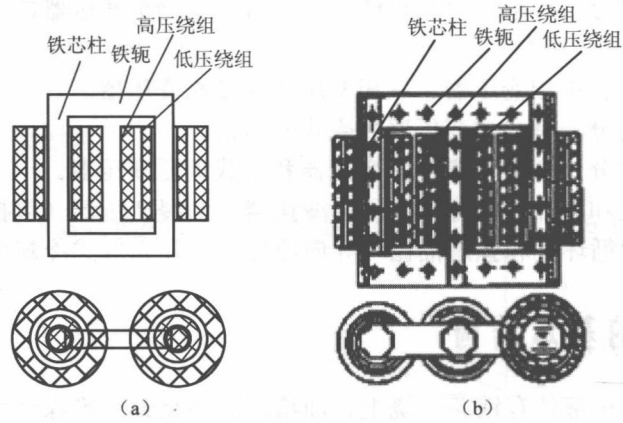


图 1-4 心式变压器结构示意图
(a) 单相 (b) 三相

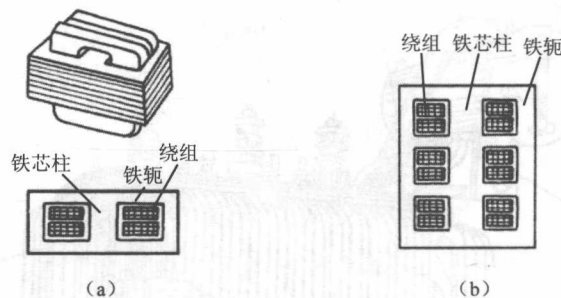


图 1-5 壳式变压器结构示意图
(a) 单相 (b) 三相

叠片式铁芯的装配，一般均采用交叠式叠装，使上、下层的接缝错开，减小接缝间隙，以减小励磁电流。当采用冷轧硅钢片时，由于冷轧硅钢片顺碾压方向的导磁系数高，损耗小，故用斜切钢片的叠装方法，如图 1-6 所示。

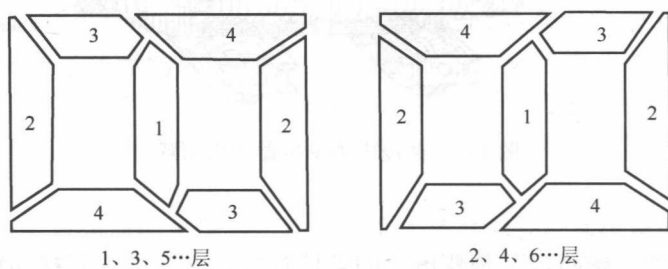


图 1-6 斜切钢片的叠装法

叠装好的铁芯，其铁轭用槽钢（或焊接夹）及螺杆固定，铁芯柱则用环氧无纬玻璃丝粘带绑扎。铁芯柱的截面在小容量变压器中常采用方形或矩形，大型变压器为充分利用线圈内圆空间而常采用阶梯形截面，如图 1-7 所示。当铁芯柱直径超过 380 mm 时，还设有冷却油道。铁轭的截面有矩形及阶梯形的，铁轭的截面通常比铁芯柱大 5%~10%，以减少空载电流和损耗。

近年来，出现了一种渐开线形铁芯变压器。它的铁芯柱硅钢片是在专门的成型机上采用冷挤压成型方法轧制的，铁轭则是由同一宽度的硅钢带卷制而成，铁芯柱按三角形方式布置，三相磁路完全对称，如图 1-8 所示。渐开线形铁芯变压器的主要优点在于可以节省硅钢片、便于生产机械化和减少装配工时。

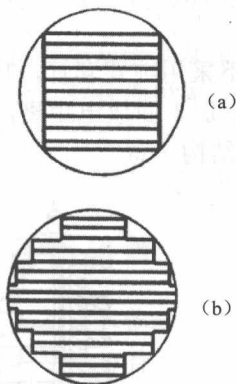


图 1-7 铁芯柱截面
(a) 方形 (b) 梯形

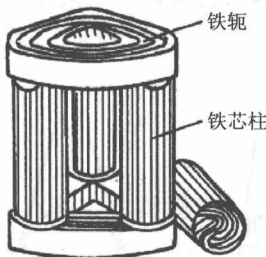


图 1-8 渐开线形铁芯

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，它一般用绝缘铜线或铝线绕制而成。根据高、低压绕组在铁芯柱上排列方式的不同，变压器的绕组可分为同心式和交叠式两种。

同心式绕组的高、低压绕组同心地套在铁芯柱上，如图 1-4 所示。为了便于绝缘，通常低压绕组靠近铁芯，高压绕组放在外面，中间用绝缘纸筒隔开。这种绕组结构简单、制造方便，国产电力变压器均采用此种绕组。

交叠式绕组的高、低压绕组交替地套在铁芯柱上，如图 1-9 所示。这种绕组都做成饼式，高、低压绕组之间的间隙较多，绝缘比较复杂，但这种绕组漏电抗小、引线方便、机械强度好，主要用在电炉和电焊机等特种变压器中。

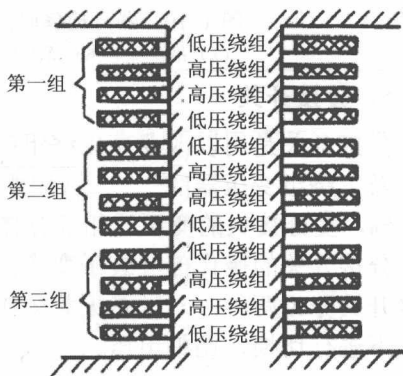


图 1-9 交叠式绕组

3. 油箱和冷却装置

油浸变压器的器身浸在充满变压器油的油箱里。变压器油既是绝缘介质，又是冷却介质，它通过受热后的对流，将铁芯和绕组的热量带到箱壁及冷却装置，再散发到周围空气中。

油箱的结构与变压器的容量、发热情况密切相关。变压器的容量越大，发热问题就越严重。在小容量变压器中采用平板式油箱；容量稍大的变压器采用排管式油箱，即在油箱侧壁上焊接许多冷却用的管子，以增大油箱散热面积。当装设排管不能满足散热需要时，则先将排管做成散热器，再把散热器安装在油箱上，这种油箱称为散热器式油箱。此外，大型变压器还采用强迫油循环冷却等方式，以增强冷却效果。强迫油循环的冷却装置称为冷却器，不强迫油循环的冷却装置称为散热器。

为了检修方便，变压器器身质量大于 15 t 时，通常将变压器的油箱做成钟罩式，检修时

只需把上节油箱吊起，不必使用重型起重设备。图 1-10 所示为器身检修时的起吊状况。

4. 绝缘套管

变压器绝缘套管是将线圈的引出线对地（外壳）绝缘，又担负着固定引线的作用。套管大多数装于箱盖上，中间穿有导电杆，套管下部伸进油箱，导电杆下端与绕组引线相连；套管上部露出箱外，导电杆上端与外电路连接。

套管的结构形式，主要决定于电压等级。1 kV 以下采用纯瓷套管，10~35 kV 采用空心充气或充油套管，110 kV 以上采用电容式套管。为增加表面放电距离，高压绝缘套管外部做成多级伞形。图 1-11 为 35 kV 充油式绝缘套管的结构示意。

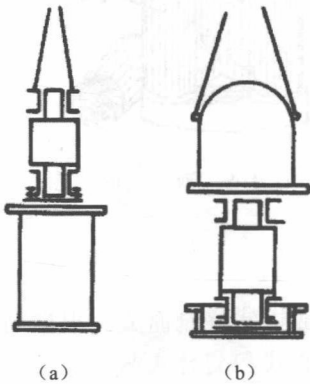


图 1-10 器身检修时的起吊
(a) 吊器身 (b) 吊上节油箱

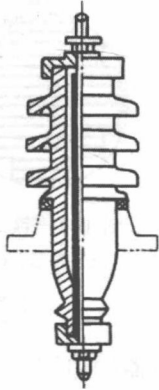


图 1-11 35 kV 充油式绝缘套管结构示意

5. 分接开关

分接开关是用以改变高压绕组的匝数，从而调整电压比的装置。双绕组变压器的一次绕组及三绕组变压器的一、二次绕组一般都有 3~5 个分接头位置，相邻分接头之间电压相差 $\pm 5\%$ ，多分接头的变压器相邻分接头之间电压相差 $\pm 2.5\%$ 。

分接开关的操作部分装于变压器顶部，经传杆伸入变压器油箱内，以改变接头位置。分接开关分为两种：一种是无载分接开关，另一种是有载分接开关。后者可以在带负荷的情况下进行切换、调整电压。

6. 保护装置

(1) 储油柜（又称油枕）。它是一种油保护装置，水平地安装在变压器油箱盖上，用弯曲联管与油箱连通，柜内油面高度随变压器油的热胀冷缩而变动。储油柜的作用是保证变压器油箱内充满油，减少油和空气的接触面积，从而降低变压器油受潮和老化的速度。

(2) 吸湿器（又称呼吸器）。通过它使大气与油枕内连通。吸湿器内装有硅胶或活性氧化铝，用以吸收进入油枕中空气的水分，以防止油受潮，从而保持油的良好性能。

(3) 安全气道（又称防爆筒）和压力释放阀。它装于油箱顶部，如图 1-3 所示。它是一个长钢圆筒，上端口装有一定厚度的玻璃板或酚醛纸板，下端口与油箱连通。它的作用是当变压器内部因发生故障引起压力骤增时，让油气流冲破玻璃板或酚醛纸板喷出，以免造成箱壁爆裂。现在改用压力释放阀，尤其在全密封变压器中，都广泛采用压力释

放阀做保护。动作时膜盘被顶开释放压力，平时膜盘靠弹簧拉力紧贴阀座（密封圈），起密封作用。

（4）净油器（又称热虹吸净油器）。它是利用油的自然循环，使油通过吸附剂进行过滤，以改善运行中变压器油的性能。

（5）气体继电器（又称瓦斯继电器）。它装在油枕和油箱的连通管中间，如图 1-3 所示。当变压器内部发生故障（如绝缘击穿、匝间短路、铁芯事故等）产生气体时，或油箱漏油使油面降低时，气体继电器动作，发出信号以便运行人员及时处理；若事故严重，可使断路器自动跳闸，对变压器起保护作用。

此外，变压器还有测温及温度监控装置等。

1.1.3 变 压 器 的 铭 牌

每台变压器上都装有铭牌，在铭牌上标明了变压器工作时规定的使用条件，主要有型号、额定值、器身质量等有关技术数据以及制造编号和制造厂家。

1. 变 压 器 型 号

变压器的型号表示一台变压器的结构、额定容量、电压等级、冷却方式等内容。例如：SL-500/10 表示三相油浸自冷双绕组铝线、额定容量 500 kV·A、高压侧额定电压 10 kV 级电力变压器；SFPL-63000/110 表示三相强迫油循环风冷式双绕组铝线、额定容量 63 000 kV·A、高压侧额定电压 110 kV 级电力变压器。

表 1-1 为电力变压器分类和型号。

表 1-1 电 力 变 压 器 分 类 和 型 号

型号中代表符号 排列顺序	分 类	类 别	代 表 符 号
1	绕组耦合方式	自耦	O
2	相数	单相	D
		三相	S
3	冷却方式	油浸自冷	—
		干式空气自冷	G
		干式浇注绝缘	C
		油浸风冷	F
		油浸水冷	S
		强迫油循环风冷	FP
		强迫油循环水冷	SP
4	绕组数	双绕组	—
		三绕组	S
5	绕组导线材质	铜	—
		铝	L
6	调压方式	无励磁调压	—
		有载调压	Z

2. 额 定 值

额定值是制造厂根据设计或试验数据，对变压器正常运行状态所作的规定值，主

要有以下 4 个。

1) 额定容量 S_N (kV · A)

额定容量指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, 额定容量指三相容量之和。由于变压器效率很高, 双绕组变压器原、副边的额定容量按相等设计。

2) 额定电压 U_{1N}/U_{2N} (kV 或 V)

额定电压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} 是指根据绝缘强度规定加到一次侧的工作电压; 二次额定电压 U_{2N} 是指变压器一次加额定电压, 分接开关位于额定分接头时的二次空载端电压。在三相变压器中, 额定电压指的是线电压。

3) 额定电流 I_{1N}/I_{2N} (A)

额定电流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指的是线电流。

额定容量、额定电压、额定电流之间的关系如下。

单相变压器

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N} \quad (1-2)$$

三相变压器

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \quad (1-3)$$

4) 额定频率 f_N (Hz)

我国规定标准工频为 50 Hz。

此外, 还有效率、温升等额定值。

除额定值外, 铭牌上还标有变压器的相数、联结组别、阻抗电压 (或短路阻抗相对值或标么值)、接线图等。

例 1-1

一台三相油浸自冷式铝线变压器, $S_N=200$ kV · A, $U_{1N}/U_{2N}=10/0.4$ kV, Y, yn 接线, 求:

(1) 变压器一、二次额定电流;

(2) 变压器原、副绕组的额定电流和额定电压。

$$\text{解: (1) } I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10 \times 10^3} = 11.55 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} = 288.68 \text{ A}$$

(2) 由于 Y, yn 接线

$$\text{一次绕组的额定电压 } U_{1N\phi} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ kV}$$

$$\text{一次绕组的额定电流 } I_{1N\phi} = I_{1N} = 11.55 \text{ A}$$

$$\text{二次绕组的额定电压 } U_{2N\phi} = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.23 \text{ kV}$$

$$\text{二次绕组的额定电流 } I_{2N\phi} = I_{2N} = 288.68 \text{ A}$$

1.2 变压器的运行原理

电力系统中三相电压是对称的,即大小一样、相位互差 120° 。三相电力变压器每一相的参数大小是一样的。从运行原理来看,三相变压器带三相对称负载运行时,各相电压、电流大小相等,相位上彼此相差 120° ,三相变压器正常运行状态是对称运行。分析对称运行的三相变压器,只需分析其中一相的情况,便可得出另外两相情况。或者说,三相变压器的一相和单相变压器没有什么区别。因此,本节单相变压器的基本方程式、等效电路、相量图以及运行特性的分析方法及其结论等完全适用于三相变压器。

1.2.1 单相变压器的空载运行

变压器的空载运行是指变压器一次绕组接在额定频率、额定电压的交流电源上,而二次绕组开路时的运行状态。此时由于二次绕组开路,故 $\dot{I}_2 = 0$ 。

1.2.1.1 空载运行时的电磁关系

1. 空载运行时的物理情况

单相变压器空载运行示意如图 1-12 所示。

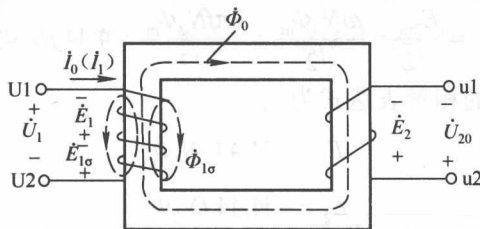
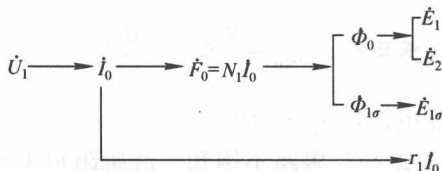


图 1-12 单相变压器空载运行示意

当一次绕组接入交流电压为 $\dot{U}_1$ 的电源后,一次绕组内便有一个交变电流 $\dot{I}_0$ 流过,此电流称为空载电流 $\dot{I}_0$ 。空载电流 $\dot{I}_0$ 在一次绕组中产生空载磁动势 $\dot{F}_0 = N_1 \dot{I}_0$,它建立交变的空载磁场。通常将它分成两部分进行分析:一部分是以铁芯作闭合回路的磁通,既交链于一次绕组又交链于二次绕组,称作主磁通,用 $\dot{\Phi}_0$ 表示;另一部分只交链于一次绕组,以非磁性介质(空气或油)作闭合回路的磁通,称为一次漏磁通,用 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ 表示。根据电磁感应原理,主磁通 $\dot{\Phi}_0$ 将在一、二次绕组中感应主电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$;一次漏磁通 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ 将在一次绕组中感应一次漏磁电动势 $\dot{E}_{1\sigma}$ 。此外,空载电流 $\dot{I}_0$ 还将在一次绕组产生电阻压降 $r_1 \dot{I}_0$ 。各电磁量的假定参考方向如图 1-12 所示,它们间的关系如下:



由于路径不同,主磁通和漏磁通有如下差异。