



从校园到职场

CONG XIAOYUAN DAO ZHICHANG

变压器应用与维修

——专业技能入门与精通

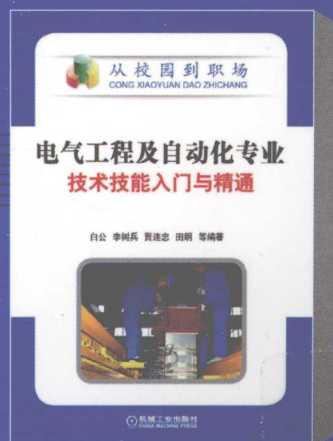
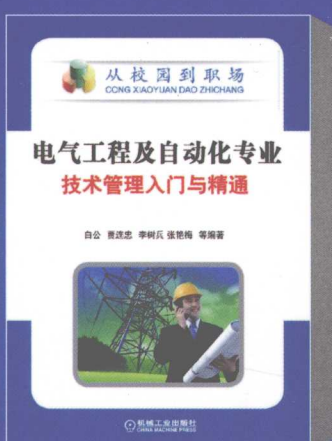
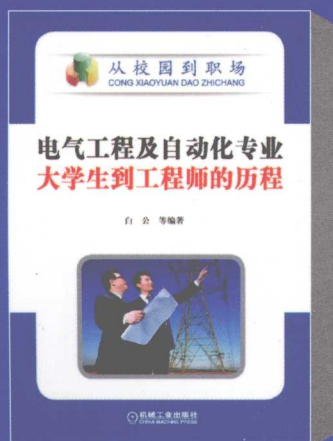
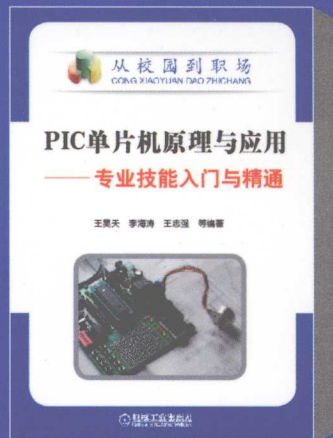
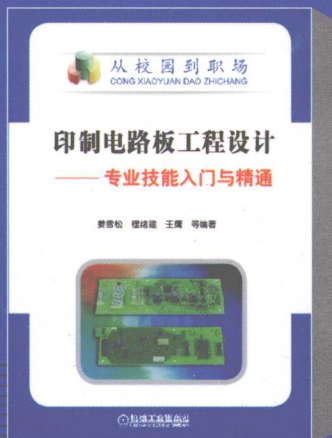
贾淑兰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



从校园到职场系列



上架指导：工业技术 / 电气工程

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

邮政编码：100037
网络服务
门户网：<http://www.cmpbook.com>
教材网：<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-29577-8

定价：30.00元

ISBN 978-7-111-29577-8



从校园到职场

变压器应用与维修 ——专业技能入门与精通

贾淑兰 主编



机械工业出版社

变压器是供配电系统中的重要设备，其性能好坏关系到电力系统的正常运行。

本书内容深入广泛，包括变压器的基本知识、电力变压器、小型和特种变压器、变压器的修理和试验，通俗易懂，实用性强。

本书可以作为刚毕业的电气工程及自动化专业的大学生的自学教材，也可作为工科院校、职业院校、电气工程及自动化专业的实践教育教材。也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

变压器应用与维修：专业技能入门与精通/贾淑兰主编. —北京：机械工业出版社，2010.2

（从校园到职场）

ISBN 978-7-111-29577-8

I. 变… II. 贾… III. ①变压器-应用②变压器-维修 IV. TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 009673 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：牛新国 封面设计：路恩中 责任校对：陈立辉

责任印制：杨 曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.25 印张·321 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-29577-8

0001—3000 册

定价：30.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

变压器种类很多，用途广泛。电力变压器是输变电和供配电系统中的重要设备，关系到电力系统的正常运行；随着电子技术的发展，电子变压器得到广泛的应用，虽然基本工作原理和电力变压器大体上雷同，但由于它使用的场所不同，在结构、材料、性能等诸多方面，有其特殊性。

本书内容深入广泛、通俗易懂、实用性强，希望成为广大电气的技术工人和尚缺乏实践经验的电气工程技术人员的良好益友。

本书共分四章。第一章变压器的基本知识，力求将变压器的基本理论问题，作一通俗的介绍；第二章电力变压器，主要介绍油浸式和干式两类变压器，特别是对干式电力变压器作了详细介绍，干式电力变压器在各行业中得到越来越广泛的采用，编写中参考了有关标准和干式电力变压器的技术条件，以及多种干式电力变压器的产品样本；第三章小型和特种变压器，介绍了很实用的小型变压器的计算方法，并将电子变压器列为一节，作了适当的介绍，主要参考了王全保主编的《新编电子变压器手册》一书，该书主要是针对电子变压器的设计人员和制造人员而编写的，我们编写时摘入少量内容，主要是针对使用人员而编写的；第四章变压器的修理和试验，主要针对电力变压器的故障分析，内容实用，适用于变压器运行和维护人员阅读，许多内容特别适用于尚缺乏实践经验的电气工程技术人员，能帮助他们做到理论和实践相结合，提高分析和处理实际问题的能力。

本书由贾淑兰任主编，张燕杰、余友山、王福忠任副主编，参加编写的有芮静康、陈晓峰、杨晓玲、耿立、王海星、杨海柱、邹尔宁、杨静等。

对本书的错误和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月 23 日于北京

目 录

前言

第一章 变压器的基本知识	1
第一节 变压器的型号、系列和分类	1
一、变压器的分类	1
(一) 电力变压器的分类	1
(二) 特种变压器的分类	2
二、变压器的型号和额定数据	2
(一) 型号	2
(二) 变压器的额定数据	3
第二节 变压器的基本结构	4
一、铁心	5
二、绕组	7
三、油箱及冷却装置	7
(一) 油箱	7
(二) 冷却装置	7
四、检查和保护装置	8
(一) 温度计	8
(二) 储油柜及油位计	8
(三) 气体继电器	9
(四) 安全气道	9
第三节 变压器的基本工作原理	10
一、变压器的工作原理	10
(一) 变压器的空载运行	10
(二) 变压器的负载运行	12
二、变压器的运行特性	13
(一) 变压器带负载时二次电压的变化	13
(二) 变压器的调压	14
(三) 变压器的损耗和效率	15
第四节 三相变压器的联结组	16
一、三相变压器的磁路系统	16
二、三相变压器绕组的联结法和联结组	16
(一) 三相绕组的联结法	17

(二) 三相变压器的联结组	18
第五节 特种变压器的特点	20
一、自耦变压器的特点	20
二、调压变压器的特点	22
三、电流互感器和电压互感器的特点	23
(一) 电流互感器的特点	23
(二) 电压互感器的特点	24
四、电焊变压器的特点	24
五、整流变压器的特点	24
六、磁放大器的特点	25
七、电磁式稳压器的特点	26
第二章 电力变压器	27
第一节 油浸式电力变压器	27
一、变压器绕组	27
(一) 变压器绕组的种类、特点和适用范围	27
(二) 圆筒式线圈	29
(三) 连续式线圈	33
(四) 纠结式线圈	34
(五) 螺旋式线圈	36
二、变压器的绝缘	38
(一) 变压器绝缘的作用和种类	38
(二) 器身绝缘	39
(三) 引线绝缘	40
三、分接开关	41
(一) 无励磁分接开关	41
(二) 有载分接开关	42
四、其他装置	43
(一) 油箱和储油柜	43
(二) 附件	45
五、油浸式电力变压器的技术数据	45
六、油浸式电力变压器的运行	55
(一) 油浸式电力变压器的使用条件	55
(二) 变压器的并联运行	57
第二节 干式电力变压器	58
一、概述	58
(一) 干式电力变压器的发展	58
(二) 和油浸式电力变压器的比较	58
(三) 干式电力变压器的主要类别	58
二、SC、SC1 系列、SC (B) 10 系列干式电力变压器	60

(一) SC、SC1 系列干式电力变压器	60
(二) SC (B) 10 系列干式电力变压器	67
三、干式电力变压器的选用	75
(一) 适用场所	75
(二) 基本要求	76
(三) 容量的选择	77
(四) 调压、温控和风机装置	77
四、干式电力变压器的设备检验及安装验收	78
(一) 设备检验	78
(二) 干式变压器的安装	79
(三) 干式变压器的验收及试运行	79
五、干式电力变压器的运行及维护	81
(一) 运行的基本条件	81
(二) 干式电力变压器的维护	83
(三) 干式电力变压器的不正常运行和处理	87
(四) 干式电力变压器的预防性试验	88
第三章 小型和特种变压器	90
第一节 小型变压器	90
一、小型变压器的计算	90
(一) 小型单相变压器的计算	90
(二) 小型三相变压器的计算	92
二、小型控制变压器	94
(一) BK、BKC 系列控制变压器的结构数据	94
(二) BK、BK1、BKC 系列单相控制变压器的技术数据	94
三、整流变压器	106
(一) 整流变压器的用途和分类	106
(二) 整流变压器的型号含义	106
(三) 常用整流变压器的技术数据	106
第二节 电子变压器	108
一、电子变压器的特点	108
(一) 性能方面	109
(二) 参数方面	109
(三) 屏蔽	109
二、电子变压器的分类	109
(一) 按工作频率分类	109
(二) 按用途分类	109
(三) 按铁心结构分类	110
(四) 按相数分类	110
(五) 按防潮方式分类	110

(六) 其他分类	111
三、电源变压器	111
(一) 电源变压器的特点	111
(二) 电源变压器的主要技术参数	111
四、环形变压器	114
(一) 环形变压器的优点及应用	114
(二) 环形铁心	115
(三) 环形变压器的绕组	117
五、音频变压器	118
(一) 音频变压器的种类和特点	118
(二) 各种音频变压器的作用	118
(三) 线间变压器	119
六、脉冲变压器	121
(一) 脉冲变压器的用途	121
(二) 脉冲变压器的参数	121
(三) 脉冲变压器铁心材料的要求	122
(四) 减小分布电容的方法	122
(五) 小功率脉冲变压器的计算特点	123
第三节 特种变压器	123
一、自耦变压器	123
(一) 基本方程式	123
(二) 自耦变压器运行	125
(三) 技术数据	125
二、感应调压器	126
(一) 结构特点	126
(二) 三相感应调压器的工作原理	126
(三) 运行与维护	126
三、电焊变压器	127
(一) 分体式电焊变压器	127
(二) 同体式电焊变压器	128
(三) 动铁心式电焊变压器	128
(四) 动圈式电焊变压器	129
(五) 抽头式电焊变压器	129
(六) 接触焊变压器	130
(七) ZXG 系列直流电焊机	131
(八) 技术数据	132
四、互感器	138
(一) 电流互感器	138
(二) 电压互感器	140

(三) 互感器使用注意事项	141
(四) 互感器的运行检查	141
(五) 互感器的技术数据	142
第四章 变压器的修理和试验	152
第一节 变压器的修理	152
一、运行中变压器的故障诊断	152
(一) 变压器运行前应做的检查	152
(二) 变压器运行中应进行的测试	152
(三) 运行中变压器的具体故障与诊断	152
二、绕组的绝缘故障及修理	159
(一) 故障现象及原因	159
(二) 主绝缘击穿	159
(三) 线圈匝间或层间短路	160
(四) 断线故障	160
(五) 绕组相间短路	160
(六) 变压器吊心检查的程序	161
(七) 变压器干燥方法	162
(八) 匝间冲击耐电压试验	162
(九) 绕组与绝缘的修理	163
三、变压器铁心的故障及修理	169
(一) 变压器安装前进行铁心检查时应遵守的条件	169
(二) 变压器安装前铁心可以不检查的条件	169
(三) 变压器铁心检查前的准备工作	170
(四) 变压器铁心检查的主要技术措施	170
(五) 变压器铁心故障现象及原因	170
(六) 变压器铁心的修理	172
四、变压器分接开关和气体继电器的故障及修理	172
(一) 分接开关的故障及修理	172
(二) 气体继电器的检修	175
五、变压器油箱及其他部件的故障与修理	176
(一) 变压器油及油箱的故障与处理	176
(二) 变压器套管及引线的故障与处理	181
六、变压器的大修理	182
(一) 变压器大修的工作项目	182
(二) 大修前应做的准备工作	182
第二节 交流弧焊机、互感器、电抗器的故障及修理	183
一、交流弧焊机的常见故障及修理	183
(一) 交流弧焊机的常见故障	183
(二) 交流弧焊机的修理	183

二、互感器的故障诊断与修理	185
(一) 电压互感器的故障诊断与排除方法	185
(二) 电流互感器的故障诊断与排除方法	187
三、电抗器的故障诊断及修理	188
(一) 电抗器运行中的问题	188
(二) 电抗器的常见故障与排除方法	188
第三节 变压器的试验	190
一、外观检查	190
二、电气性能试验	190
(一) 绝缘性能试验	190
(二) 变压比试验	194
(三) 变压器联结组的测定	195
(四) 线圈直流电阻的测定	195
(五) 空载试验	196
(六) 短路试验	196
(七) 温升试验	197
参考文献	199

第一章 变压器的基本知识

第一节 变压器的型号、系列和分类

变压器是一种静止的电器设备，利用电磁感应的原理，将某一数值的交流电压变换为频率相同的另一种或两种以上不同的交流电压。它是由绕在一个铁心上的两个或更多的绕组组成的，绕组之间通过随时间交变的磁通相互联系着。

一、变压器的分类

变压器的种类很多，一般分为电力变压器和特种变压器两大类。在电力系统中，变压器是一个重要的设备。它对电能的经济传输、灵活分配和安全使用具有重要的意义。此外，变压器在电能的测试、控制和特殊用电设备上也应用很广。

(一) 电力变压器的分类

1. 按变压器的用途可分为：

- (1) 升压变压器，用来得到高于电源电压等级的变压器；
- (2) 降压变压器，用来得到低于电源电压等级的变压器；
- (3) 配电变压器；
- (4) 联络变压器，连接几个不同电压等级的电力系统，根据电力潮流的变化，每侧都可以作为一次侧或二次侧使用；
- (5) 厂用变压器，供发电厂本身用电的变压器。

2. 按变压器的绕组可分为：

- (1) 双绕组变压器，每相有两个绕组，分别叫做一次绕组和二次绕组。一次绕组是施加电源电压的绕组，二次绕组是连接负载的绕组；
- (2) 三绕组变压器，从一种电压变换为另外两种电压的变压器，每相有三个绕组，一个为一次绕组，另两个为二次绕组；
- (3) 多绕组变压器；
- (4) 自耦变压器，把一次绕组和二次绕组合并成一个绕组的变压器。

如果按相数来分有：

- (1) 单相变压器；
- (2) 三相变压器；
- (3) 多相变压器。

3. 按变压器冷却条件可分为：

- (1) 油浸式自冷变压器；
- (2) 干式空气自冷变压器；
- (3) 油浸式风冷变压器；
- (4) 油浸式水冷变压器；
- (5) 干式浇注绝缘变压器；
- (6) 强迫油循环风冷变压器；
- (7) 强迫油循环水冷变压器。

4. 按绕组使用的金属材料可分为：

- (1) 铜线变压器；
- (2) 铝线变压器。

5. 按调压方式可分为：

电力系统的电压随运行方式及负载大小而有所变化。为了维持供电电压基本恒定，需要调压。常用的调压方法是在高压绕组抽若干个分接头，切换分接头便可进行调压。连接和切换分接头的装置叫分接开关（也称调压开关）。

- (1) 无励磁调压变压器，在切换分接开关之前，必须将变压器停电；
- (2) 有载调压变压器，可在不停电的情况下切换分接开关。

（二）特种变压器的分类

特种变压器是根据冶金、矿山、化工、交通等部门的具体要求设计制造的专用变压器。大致有以下几种：

- (1) 整流变压器，用于把交流电能转换为直流电能的场合；
- (2) 电炉变压器，用于把电能转换为热能的场合；
- (3) 供高压试验用的试验变压器；
- (4) 供矿井下配电用的矿用变压器；
- (5) 供船舶上用的船用变压器；
- (6) 中频变压器（供 1000 ~ 8000Hz 交流系统用）；
- (7) 供大电流试验用的大电流变压器。

除以上所述的各种变压器以外，电压互感器、电流互感器、调压器和电抗器等产品，因其基本原理和结构与变压器有相似之处，故统称为变压器类产品。

二、变压器的型号和额定数据

根据国家标准的规定，电力变压器的铭牌上应标明以下内容。

（一）型号

变压器的型号表示变压器的结构特点、额定容量（kVA）和高压侧电压等级。它由表 1-1 所列的代表符号组成基本代号，其后以短横隔开，短横后有两组数字，以斜线分隔，斜线前面一组表示额定容量，后面一组表示高压侧电压等级。

例 1：SL-1000/10 SL 为该变压器的基本型号，表示是一台三相自冷矿物油浸双绕组铝线变压器。其中 1000 表示额定容量为 1000kVA；10 表示高压侧额定电压为 10kV。

例 2：SFPL—63000/110 SFPL 表示是一台三相油浸、强迫油循环、风冷、双绕组铝线变压器，额定容量为 63000kVA，高压侧额定电压为 110kV。

(二) 变压器的额定数据

变压器的额定数据主要有：

1. 额定容量 (S_N)

额定容量是指变压器的视在功率，单位为 VA 或 kVA。对于双绕组电力变压器，一次绕组和二次绕组的额定容量设计的相同。变压器按容量分成小、中、大及特大型变压器。容量为 630kVA 以下的为小型变压器；800 ~ 6300kVA 的为中型变压器；8000 ~ 63000kVA 的为大型变压器；90000kVA 以上的为特大型变压器。

2. 额定一次及二次电压 (U_{1N}/U_{2N})

U_{1N} 是指电源加到一次绕组上的额定电压， U_{2N} 是一次绕组加上额定电压后，二次绕组开路即空载运行时二次绕组的端电压，单位为 V 或 kV。对于三相变压器，额定电压指线电压值。

3. 额定一次及二次电流 (I_{1N}/I_{2N})

根据额定容量和额定电压计算出的电流值，单位为 A。对三相变压器，额定电流指线电流的值。

$$\text{对单相变压器} \quad I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}; I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

$$\text{对三相变压器} \quad I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}; I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

4. 额定频率 (f_N)

单位为赫兹 (Hz)，我国规定标准工业频率为 50Hz。

表 1-1 电力变压器产品型号字母排列顺序及涵义

序号	分 类	涵 义	代表的字母	序号	分 类	涵 义	代表的字母
1	绕组耦合方式	独立 自“耦”	— O	7	调压方式	无励磁调压 有“载”调压	— Z
2	相数	“单”相 “三”相	D S	8	线圈导线材质	铜 铜“箔” 铝 铝“箔”	— B L LB
3	绕组外绝缘介质	变压器油 空气(“干”式) “气”体	— G Q	9	铁芯材质	电工钢片 非晶“合”金	— H
		“成”形固体	C	10	特殊用途或特殊结构	“密”封式	M
		“浇”注式	CR			“串”联用	C
		包“绕”式	R			“起”动用	Q
		难“燃”液体	R			防雷“保”护用	B
4	冷却装置种类	自然循环冷却装置 “风”冷却器 “水”冷却器	— F S			“调”容用	T
5	油循环方式	自然循环 强“迫”油循环	— P			高阻“抗”	K
6	绕组数	双绕组	—			地面站“牵”“引”用	QY
		“三”绕组	S			低“噪”声用	Z
		双“分”裂绕组	F			电“缆”引出	L
						“隔”离用	G
						电“容”“补”偿用	RB
						“油”田动力照明用	Y
						“厂”“用”变压器	CY
						全“绝”缘	J
						同步电机“励”“磁”用	LC

注：1. 线圈以铝为主时，表示铝，以铜为主时表示铜。

2. 如果调压线圈或调压段为铜时，其他为铝线时，以铝为主表示铝。

除了上述额定数据外,变压器的铭牌上还标有相数、效率、温升、阻抗电压(百分数)、使用条件、冷却方式、接线图及联结组别、总重量、变压器油重量及器身重量。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。

第二节 变压器的基本结构

变压器的电磁感应部分包括电路和磁路两部分。这两部分是互相环绕的,电流环绕着磁通,磁通又环绕着电流。参与电磁感应的主磁通既交链着一次绕组,也交链着二次绕组。如果二次侧电压高于一次电压时就是升压变压器,反之就是降压变压器。电压高的绕组叫高压绕组,电压低的绕组叫低压绕组。图 1-1 是一台单相双绕组变压器的示意图,它是由两个绕组套在同一铁心上构成的。

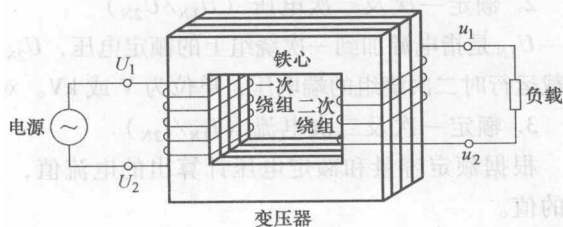


图 1-1 单相双绕组变压器示意图

由于变压器的形式、容量、电压和绕组数不同,它们的外形和附件也不完全一样,但其主要部件大体上是相似的。使用最广泛的是电力变压器,而在电力变压器中,应用最多的是容量在 100 ~ 7500kVA 之间、电压在 0.4 ~ 35kV 之间的中等容量的三相油浸式电力变压器。这类油浸式电力变压器,一般由器身、油箱、冷却装置、保护装置和出线等部件组成。器身是变压器的最主要部分,由铁心、线圈、引线及分接开关等部件组成,放在灌满变压器油的油箱内。图 1-2 是一台中等容量的三相油浸式电力变压器的外形结构图。

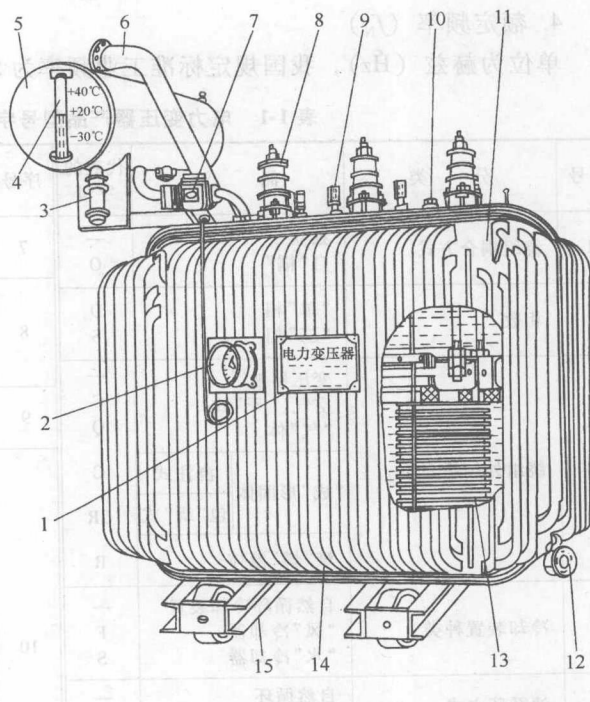


图 1-2 三相油浸式电力变压器的外形结构图
1—铭牌 2—信号式温度计 3—吸湿器 4—油位计
5—储油柜 6—安全气道 7—气体继电器 8—高压套管 9—低压套管 10—分接开关 11—油箱
12—放油阀门 13—器身 14—接地 15—小车

油浸式电力变压器的结构可分为:

- (1) 器身——包括铁心、绕组、绝缘结构、引线和分接开关等;
- (2) 油箱——包括油箱本体(箱盖、箱壁和箱底)和一些附件(放油阀门、小车、接地螺栓、铭牌等);
- (3) 保护装置——包括储油柜、油位计、安全气道、吸湿器、测温元件和气体继电器等;
- (4) 冷却装置——包括散热器等;