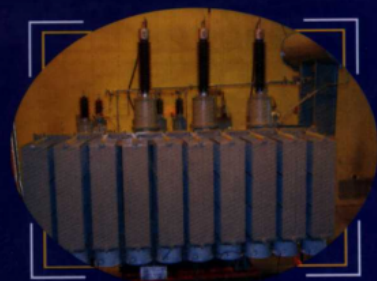


电力变压器 理论与计算

DIANLI BIANYAOQI
LILUN YU JISUAN

路长柏 编著

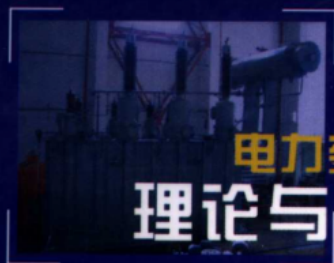
郭振岩 主审



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

DIANLI BIANYAO

LILUN YU JISUAN



电力变压器
理论与计算

责任编辑 枫 岚 素 馨

封面设计 留藏设计工作室

ISBN 978-7-5381-4132-0



9 787538 141320 >

定价: 55.00元

电力变压器 理论与计算

路长柏 编著

郭振岩 主审

辽宁科学技术出版社

沈阳

内容提要

本书主要叙述了电压等级为 220kV 及以下电力变压器计算的基础知识和计算方法,详尽地阐明了电力变电器计算的基本公式和计算方法,并介绍了电子计算机在变压器计算中的应用。

本书内容对特种变压器的某些计算具有参考价值。本书可作为高等工业学校电机、电力及有关专业的教学参考书,也可作为从事变压器设计、制造、维修和试验等工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力变压器理论与计算/路长柏编著. —沈阳:
辽宁科学技术出版社, 2007.4
ISBN 978-7-5381-4132-0

I. 电… II. 路… III. ①电力变压器—理论
②电力变压器—计算 IV. TM41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 138363 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 184mm×260mm

印 张: 25.75

字 数: 600 千字

印 数: 1~3000

出版时间: 2007 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 枫 岚 素 馨

封面设计: 留藏设计工作室

版式设计: 于 浪

责任校对: 刘 庶

书 号: ISBN 978-7-5381-4132-0

定 价: 55.00 元

序 言

电力变压器是电力系统中主要的电气设备之一。随着国民经济的快速发展,电力系统作为先行工业,近年来已得到了长足的发展,在提高产量并向超高电压,大容量方向上都有所飞跃。当前我国已生产了 500kV、750kV 超高压电力变压器;2005 年全国变压器年产量已达 5 亿 kVA。新技术的发展,对电力变压器设备提出了更新更高的技术要求。近年来,我国在变压器理论研究和生产实践方面均取得了可喜的成果。

变压器的种类繁多,一般可分为电力变压器和特种变压器。本书主要阐述电力变压器的计算内容,而对于特种变压器——电炉变压器、整流变压器、矿用变压器、高压试验变压器、交流器和电抗器等计算未予讨论。尽管如此,本书对于这些变压器的某些计算仍具有一定的参考价值,因为其铁心、绕组以及发热和冷却等的计算都与电力变压器基本相同。

电力变压器计算与变压器结构密切相关,如果缺乏变压器结构知识,则很难完成计算任务,为此,本书在叙述计算理论和方法的同时,也介绍了一些在结构方面必须具备的基本知识。

本书主要介绍 220kV 及以下电力变压器计算,当然也应该阐述必要的相应理论部分。本书第一次印刷(1984 年)及修订本(1990 年)由黑龙江科学技术出版社出版。20 年来我国变压器技术得到了快速的发展,经过对《电力变压器计算》的补充修改而成为现在的《电力变压器理论与计算》。

原部分著者由于联系不便,而有所变动,第 1~5 章,8,10 及 11 章由路长柏教授执笔,第 6 章仍由李文海教授级高工执笔,第 7 章仍由蒋守诚教授级高工执笔,第 9 章仍由朱英浩院士执笔,第 12 章仍由王学群高工执笔。全书由路长柏教授统稿。

全书由郭振岩教授级高级工程师主审。

本书曾在原哈尔滨电工学院作为本科生、研究生的教学参考书,并获黑龙江省教委优秀教材二等奖。

在本书的编写过程中,原沈阳变压器厂曲延文工程师做了大量组织工作,谨以本书致以深切悼念。

本书在编辑过程中得到了沈阳变压器研究所、《变压器》杂志编辑部,特别是黄子林编辑的大力协助,他编辑加工了全部书稿,提出了宝贵意见,并修改了部分内容,深表谢意。

主要编著者在年过耄耋之年,仍想为变压器事业留点东西,以带病之身编著本书。书中的缺点和错误,恳请读者指正。

编著者

2006 年于哈尔滨

主要符号

A —电流绕组相间距离	H_x —电抗高度	q —绕组表面的热负荷
A_c —铁心柱截面积	H_0 —铁窗高度	R —直流电阻
A_σ —铁轭截面积	H_{av} —绕组平均高度	R_Δ —负载阻抗的电阻分量
a —裸导线厚度	I_1 —一次绕组电流	R_b —油箱内壁半径
B_c —铁心柱中磁通密度	I_2 —二次绕组电流	S —导线截面积
B_d —油箱内壁宽度	I_0 —空载电流、中性线电流	S_1 —一次绕组导线截面积
B_m —最大磁通密度	$I_{0\gamma}$ —空载电流有功分量	S_2 —二次绕组导线截面积
b —裸导线高度	I_{0w} —空载电流无功分量	S_N —变压器额定容量
c —变压器有效材料成本	I_{0w}' —励磁电流	S_L —变压器每柱容量
c_d —发电成本	I_{0w}'' —接缝励磁电流	T_B —变压器计算年限
C_c —变压器的净值	I_ϕ —相电流	U_1 —一次绕组电压
C_B —变压器的制造成本	I_N —额定电流	U_2 —二次绕组电压
c_{B10} —十年内变压器总投资	K —电压(电流)比	U_N —额定电压
c_{T10} —十年内变压器总运行费用	K_c —磁密为 10000 高斯时每千克硅钢片损耗	U_Δ —短路阻抗
c_k —绕组成本	K_j —负载系数	U_r —短路阻抗的有功分量
c_0 —铁心成本	K_1 —短路电流倍数	U_x —短路阻抗的无功分量
c_{10} —十年变电成本	K_k —电流密度为 $1\text{A}/\text{m}^2$ 时每千克导线损耗	U_ϕ —相电压
D —铁心柱直径	k_0 —叠片系数	N —匝数
D_{av} —铁心平均直径	K_q —自耦变压器效益系数	N_N —额定匝数
ΣD —等值漏磁空道面积	L_b —油箱内壁长度	N_1 —一次绕组匝数
d —导线直径、铁心柱直径	l_c —铁心长度	N_2 —二次绕组匝数
E —电场强度	l_{av} —绕组平均长度	x_Δ —负载阻抗的电抗分量
E_b —击穿电场强度	m —相数、绕组间绝缘距离	J —电流密度
e_s —每匝电势	m_b —并联导线根数	Ψ —磁链数
F_s —轴向电力	m_0 —两铁心柱中心距	ω —角频率
F_r —辐向电力	m_k —套有绕组的铁心柱数	ρ —纵向洛氏系数
f —频率	P_0 —空载损耗	ρ_s —横向洛氏系数
f_0 —铁心柱面积利用系数	P_Δ —负载损耗	τ —温升、年负载小时数
G_r —铁心硅钢片总重量	p_z —年折旧率和维修费之和	λ —漏磁宽度、介质导热系数
G_k —导线总重量	p_0 —单位空载损耗	ε_γ —油的介电系数
H —绕组端部到铁轭的距离	p_s —单位负载损耗	ε_s —纸的介电系数
H_c —绕组净高度		

目 录

序言

主要符号

第 1 章 概述	(1)
1.1 电力变压器在电力网中的应用	(1)
1.2 我国电力变压器制造工业的发展	(2)
1.3 电力变压器的分类	(4)
1.4 电力变压器铁心结构的主要型式	(5)
1.5 电力变压器绕组结构的主要型式	(8)
1.6 油箱及散热器结构的主要型式	(11)
1.7 变压器计算的一般程序	(12)
第 2 章 电力变压器设计的一般问题	(15)
2.1 电力变压器性能参数的确定	(15)
2.2 变压器增长定律	(17)
2.3 十年变电成本	(18)
2.4 变压器基本尺寸的确定	(21)
2.5 电力变压器的系列设计	(24)
第 3 章 变压器铁心	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 铁心结构	(28)
3.3 铁心用硅钢片	(33)
3.4 铁心的磁通分布及磁通密度	(35)
3.5 铁心柱截面积确定	(37)
3.6 铁心计算	(41)
3.7 铁心的空载特性	(45)
3.8 铁心的绝缘和接地	(50)
3.9 电力变压器的噪声	(53)
第 4 章 变压器绕组	(57)
4.1 概述	(57)
4.2 绕组材料	(58)
4.3 绕组型式及其选择	(60)
4.4 并联导线换位、换位导线及组合导线	(66)
4.5 绕组高度的确定	(73)

4.6	绕组绕向及出头标记	(76)
4.7	绕组电压、电流计算	(78)
4.8	层式绕组计算	(80)
4.9	饼式绕组计算	(89)
第 5 章	电力变压器的绝缘	(102)
5.1	概述	(102)
5.2	变压器绝缘分类及所用的主要绝缘材料	(103)
5.3	电力变压器主绝缘结构中的电场	(111)
5.4	油—隔板绝缘结构的基本规律	(122)
5.5	电力变压器主绝缘	(129)
5.6	变压器绕组中的冲击电压分布	(142)
5.7	改善瞬变过程中绕组电压分布的方法	(147)
5.8	变压器绕组的电容计算	(154)
5.9	油浸电力变压器的局部放电	(156)
5.10	无局部放电变压器的设计原则	(161)
5.11	变压器绕组的纵绝缘的梯度电压与电场	(163)
5.12	变压器绕组的纵绝缘	(166)
5.13	引线绝缘	(174)
第 6 章	短路阻抗计算	(178)
6.1	概述	(178)
6.2	三相双绕组变压器的纵向电抗	(179)
6.3	双同心式结构的三相双绕组变压器的纵向电抗	(183)
6.4	三绕组变压器的纵向电抗	(189)
6.5	解析法计算双绕组变压器的电抗	(191)
6.6	自耦变压器的纵向电抗	(193)
6.7	曲折联结的三相变压器的纵向电抗	(199)
6.8	交错式绕组的漏电抗	(201)
6.9	分裂式绕组的漏电抗	(205)
6.10	横向漏电抗	(210)
6.11	短路阻抗计算	(213)
6.12	关于零序阻抗	(214)
第 7 章	负载损耗计算	(215)
7.1	概述	(215)
7.2	绕组损耗计算	(215)
7.3	饼式绕组的附加损耗计算	(216)
7.4	引线损耗计算	(226)
7.5	杂散损耗计算	(227)
7.6	负载损耗计算	(231)

7.7	对减小附加损耗措施的分析	(232)
第 8 章	变压器温升计算	(238)
8.1	概述	(238)
8.2	变压器的散热与冷却方式	(239)
8.3	变压器的温升限值	(249)
8.4	温升计算	(250)
8.5	铁心温升计算	(265)
8.6	负载变动情况下变压器的发热与温升计算	(271)
第 9 章	短路电动力计算	(275)
9.1	概述	(275)
9.2	短路电动力分析	(275)
9.3	突发短路的电流计算	(276)
9.4	突发短路时的瞬变过程	(278)
9.5	短路电动力计算	(280)
9.6	变压器短路动态力计算	(295)
9.7	突发短路时绕组的机械应力	(297)
第 10 章	有载调压变压器	(300)
10.1	有载调压变压器在电力系统中的应用	(300)
10.2	对有载调压变压器的技术要求	(301)
10.3	有载调压的基本原理	(304)
10.4	油浸式有载分接开关结构简介	(308)
10.5	有载调压变压器的设计特点	(314)
第 11 章	变压器质量计算	(329)
11.1	概述	(329)
11.2	总油量计算	(329)
11.3	变压器总质量计算	(333)
11.4	变压器运输质量计算	(336)
第 12 章	计算机在变压器设计中的应用	(342)
12.1	计算机在变压器设计中应用概况	(342)
12.2	最优化方法概述	(342)
12.3	变压器铁心最佳截面积计算	(350)
12.4	变压器优化计算程序设计	(357)
12.5	计算机绘图	(369)
附录		(375)
附录 1	铁心数据	(375)
附表 1-1	三相三柱式(柱轭级数相同)铁心数据表	(375)
附录 2	冷轧硅钢片特性	(378)
附表 2-1	冷轧硅钢片特性表	(378)

附表 2-2 日本新日铁公司硅钢片在 50Hz 下的性能数据	(380)
附录 3 线电压、相电压值	(382)
附表 3-1 线电压、相电压换算表	(382)
附录 4 电磁线尺寸	(383)
附表 4-1 圆线尺寸截面表	(383)
附表 4-2 扁线规格尺寸截面表	(384)
附表 4-3 玻璃丝包扁铜线尺寸表	(385)
附表 4-4 纸包扁铜线尺寸表	(387)
附录 5 散热器尺寸	(389)
附表 5-1 扁管散热器尺寸数据	(389)
附表 5-2 片式散热器数据表	(390)
附录 6 温升	(391)
附表 6-1 绕组对油温升	(391)
附表 6-2 油对空气温升计算	(392)
附录 7 冷却器数据	(393)
附录 7.1 强油水冷却器	(393)
附录 7.2 强油风冷却器	(394)
附录 8 多绕组、自耦等结构阻抗值计算公式的推导	(397)
附录 8.1 变压器工作过程的一般方式	(397)
附录 8.2 变压器绕组中的电压降	(397)
附录 9 洛氏系数(ρ)的推导	(399)
参考文献	(403)

第 1 章 概 述

1.1 电力变压器在电网中的应用

电力变压器是电网中的主要电气设备。把水力或火力发电厂中发电机组所产生的交流电压升高后,向电力网输出电能的变压器称为升压变压器。火力发电厂还要安装厂用变压器,供启动机组用。用于降低电压的变压器称为降压变压器。用于联络两种不同电压网络的变压器称为联络变压器(包括自耦变压器与三绕组变压器)。将电压降低到电气设备工作电压的变压器称为配电变压器。配电前用的各级变压器称为输电变压器。

电力系统中的运行电压与负载大小和性质有关,因此,变压器必须具备相应的调压装置。在不励磁条件下调压的变压器称无励磁调压变压器;在负载下调压的变压器称有载调压变压器,但当负载或线路发生短路故障时,则不能进行调压,因为此时变压器中流有短路电流。

变压器在电网中的应用情况如图 1-1 所示。

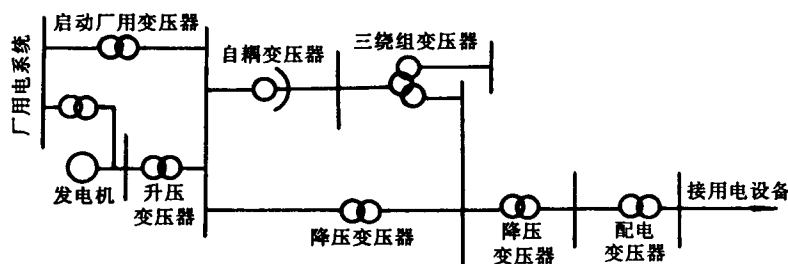


图 1-1 变压器在电网中的应用示意图

连接于发电机的升压变压器,在容量上应与发电机容量相匹配。变压器的容量为

$$S_N = \frac{T_N}{\cos\varphi} \quad (1-1)$$

式中 T_N 为发电机容量(kW); $\cos\varphi$ 为发电机的功率因数; S_N 为连接于发电机的变压器容量(kVA)。

电力变压器随额定电压的升高,其输送容量和输送距离也相应增大。它们之间的关系如表 1-1 所示。

一台电力变压器可与一台发电机连

表 1-1 线路输送功率与输送距离

额定电压(kV)	输送功率(kW)	输送距离(km)
10	200~2000	6~20
35	2000~10000	20~50
66	3500~30000	30~100
110	10000~50000	30~150
220	100000~500000	200~300

接,也可与两台、三台发电机相连,前者称为一机一变制,后者称为多机一变制。与多台发电机相连的变压器称为分裂变压器,即其低压绕组分裂成几个单独的绕组,它可在下列条件下运行:

- (1)多机同时运行;
- (2)一机运行,其余机停运;
- (3)一机运行,其余机在发生事故状态时运行。

电力变压器的种类较多,本书主要阐述油浸式电力变压器计算的有关问题。

1.2 我国电力变压器制造业的发展

我国的电力变压器制造业,从建国以来,随着国民经济建设的发展,特别是随着电力工业的大规模发展而不断发展。电力变压器单台容量和安装容量迅速增长,电压等级也相继提高。20 世纪 50 年代发展到 110kV 级;60 年代发展到 220kV 级;70 年代发展到 330kV 级;80 年代已发展到 500kV 级电力变压器。建国前的 1936 年,我国只能生产单台容量为 300kVA 的小型配电变压器,到建国后 50 年代中期已能仿制 31 500kVA 的电力变压器,电压等级已发展到 110kV。60 年代初我国由仿制阶段过渡到自行设计和制造阶段,60 年代中期已发展到制造 220kV、120 000kVA 的电力变压器。到 60 年代末期,电力变压器的容量已发展到 260 000kVA。70 年代初期已达到生产 330kV 级、360 000kVA 电力变压器的水平,到 80 年代国内最大容量为 400 000kVA。我国西北地区的输电电压除 330kV 外,2004 年已达 750kV。其他地区最高输电电压目前为 500kV。系统中所用的升、降压电力变压器、联络用自耦变压器等基本上为国产品。

在图 1-2 中给出了我国电力变压器单台容量和电压的增长情况。

我国生产的变压器 2005 年已超过 4 亿 kVA,除供国内使用外,还向国外出口。出口变压器的电压等级最高已达 220kV;容量达 250 000kVA。

在我国电力变压器制造业发展过程中,变压器结构(图 1-3)与性能均在不断改进

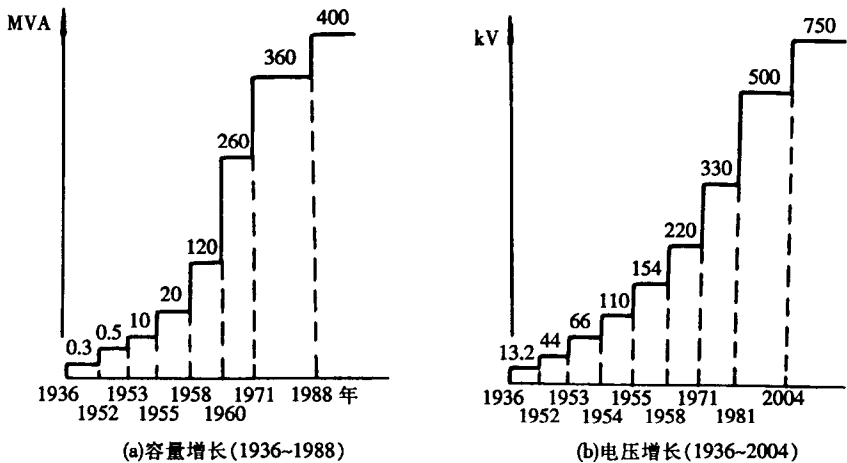


图 1-2 国产电力变压器单台产品的电压和容量增长情况

和提高,现分别概述如下。

1. 铁心

开始生产变压器时,铁心采用单位损耗较大的热轧硅钢片,叠片采用直接缝,铁心柱采用螺杆夹紧的结构,故硅钢片的利用率低,空载性能较差。随着冷轧硅钢片的发展,我国各变压器制造厂已过渡到采用冷轧硅钢片卷料制造铁心,而铁心叠片的叠积方式,已由直接缝过渡到全斜接缝、小型变压器采用卷铁心。铁心柱采用了半干性无纬玻璃粘带绑紧的结构。铁轭采用螺杆夹紧或玻璃粘带绑紧,而铁心的拉紧则由拉螺杆逐渐为拉板所代替等的结构型式。由于铁心材质与结构的改进,从而使空载性能得到了很大改善。

2. 绕组

在 20 世纪 60 年代中期以前,绕组全部采用铜导线绕制。在 70 年代以前,除了导线采用直径在 1.5mm 及以下,以及大型电力变压器仍采用铜导线外,其余的变压器也曾采用铝导线。目前,变压器绕组多采用铜导线。从绕组结构型式来看,110kV 及以上的绕组由过去曾采用静电圈补偿结构型式到采用静电环结构发展到纠结连续式、全纠结式结构型式及内屏蔽(插入电容)式等。

3. 主绝缘结构

在 20 世纪 60 年代中期以前,采用厚纸筒大油隙主绝缘结构。60 年代后期开始采用薄纸筒小油隙的主绝缘结构。应用变压器油体积效应,即油隙减小,油的击穿场强提高,从而使主绝缘距离大为缩小,例如 220kV 级变压器,当绕组间采用厚纸筒大油隙的结构时,主绝缘距离为 105mm,而采用薄纸筒小油隙时则减为 75mm,甚至更小。

10kV、35kV 级的中小型变压器的主绝缘结构也有很大改进。

4. 油箱结构

中小型变压器由管式发展成带片式散热器的油箱,波纹油箱以及采用密封式结构等。

目前,为了方便检查,凡是器身质量大于 25t 的变压器油箱,设计成钟罩式,25t 以下时才设计成平顶油箱。这样,只要吊起钟罩就可检查变压器的器身,从而使起吊设备大为

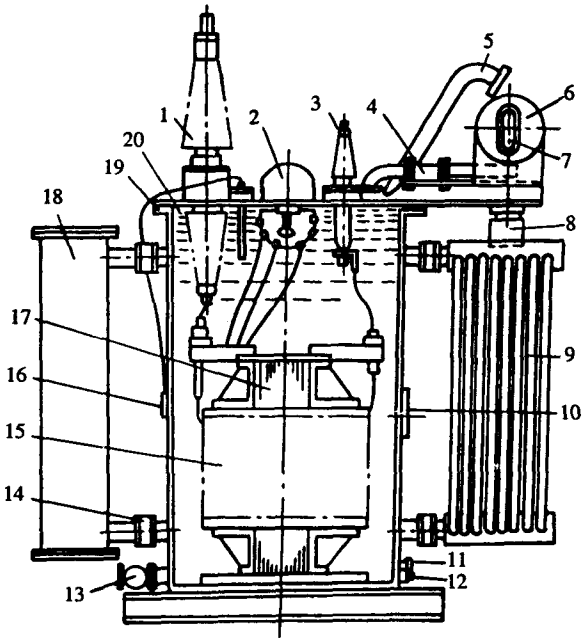


图 1-3 变压器结构概况

- 1.高压套管 2.分接开关 3.低压套管 4.气体继电器 5.安全气道 6.储油柜 7.油表 8.吸湿器 9.散热器 10.铭牌 11.接地螺栓 12.油样活门 13.放油阀门 14.活门 15.绕组 16.信号温度计 17.铁心 18.净油器 19.油箱 20.变压器油

简化。

5. 附件

变压器的主要附件是套管、分接开关、气体继电器、吸湿器、信号温度计等。随着变压器制造技术的发展,这些附件也有了不少的改进,如储油柜采用波纹膨胀型,安全气道已采用压力释放阀等。

套管芯子已由油纸绝缘发展到油纸电容式绝缘结构;有载分接开关的过渡阻抗已由电抗式发展为电阻式;强迫油循环变压器所用油泵与电动机组,现在已发展到潜油泵,泵与电动机组合为一体。

电力变压器的进一步发展趋势是:进一步降低损耗水平,提高单台容量,电压等级向1000kV~1500kV 特高压方向发展。

1.3 电力变压器的分类

电力变压器有以下几种分类方法:

1. 按变压器的容量

通常容量为500kVA 及以下的变压器称为小型变压器;630kVA~6300kVA 的变压器称为中型变压器;8000kVA~63000kVA 的变压器称为大型变压器;90000kVA 及以上的称为特大型变压器。

2. 按绕组数

可分为双绕组与三绕组变压器,而三绕组又分为升压结构与降压结构两种,升压结构的低压绕组在中间,降压结构的中压绕组在中间。

3. 按高低压绕组有无电的联系

可分为普通电力变压器与自耦变压器。

4. 按变压器的调压方式

可分为无励磁调压变压器与有载调压变压器。

5. 按相数

可分为单相变压器与三相变压器。

6. 按冷却方式

可分为油浸自冷变压器、强油风冷变压器与强油水冷变压器。

7. 按所连接发电机的台数

可分为双分裂变压器与多分裂变压器。双分裂变压器又可分为轴向分裂变压器与辐向分裂变压器,前者是两个低压绕组位于高压绕组与铁心之间轴向排列(图1-4(a));后者是两个低压绕组分别位于高压的两侧(图1-4(b))。

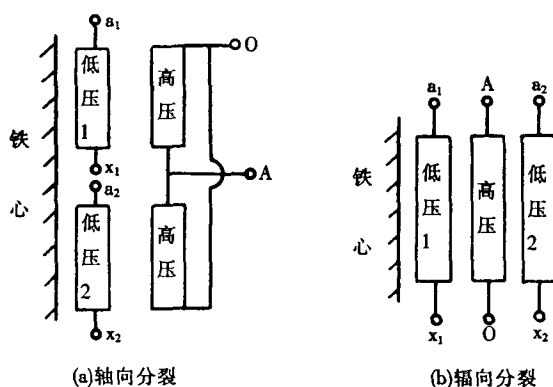


图 1-4 分裂绕组示意图

轴向分裂变压器一定要采用上下并联的高压绕组,否则不能满足分裂运行的要求。辐向分裂变压器一定要满足两组低压绕组与高压绕组间都有相同的阻抗电压的要求。

综上所述,电力变压器的品种较多。为了产品的标准化和系列化,上述分类不能任意组合,常用的品种有:

(1)10kV 级 6300kVA 及以下为三相双绕组油浸自冷式电力变压器;

(2)35kV 级 31500kVA 及以下为三相双绕组油浸式电力变压器;6300kVA 及以下为油浸自冷式电力变压器,8000kVA 及以上为油浸风冷式电力变压器;

(3)66kV 级 63000kVA 及以下为三相双绕组油浸式电力变压器;6300kVA 及以下为油浸自冷式电力变压器,8000kVA~40000kVA 为油浸风冷式电力变压器,50000kVA 及以上为强迫油循环风冷式电力变压器或水冷式电力变压器;

(4)110kV 级 63000kVA 及以下有三相双绕组与三相三绕组油浸式电力变压器两种,6300kVA 及以下为油浸自冷式电力变压器,8000kVA~40000kVA 为油浸风冷式电力变压器,50000kVA 及以上为强迫油循环风冷式电力变压器或水冷式电力变压器;

(5)220kV 级 360000kVA 及以下有三相双绕组、三相三绕组与三相自耦油浸式电力变压器三种。一般都采用强迫油循环风冷式或水冷式。

在各类电力变压器中,由于绕组的结构要求,对于每一电压等级,一般均有一个最小容量:

①10kV 级的最小容量为 30kVA;

②35kV 级的最小容量为 50kVA;

③66kV 级的最小容量为 630kVA;

④110kV 级的最小容量为 3150kVA;

⑤220kV 级的最小容量为 31500kVA。

目前,我国除了超高压变压器外,一般不采用单相的结构。

1.4 电力变压器铁心结构的主要型式

电力变压器的铁心是变压器的磁路和骨架。根据铁心与绕组的相对位置,铁心可分为内铁式(图 1-5(a))与外铁式(图 1-5(b))两种主要结构型式。在外铁式铁心结构中,绕组被

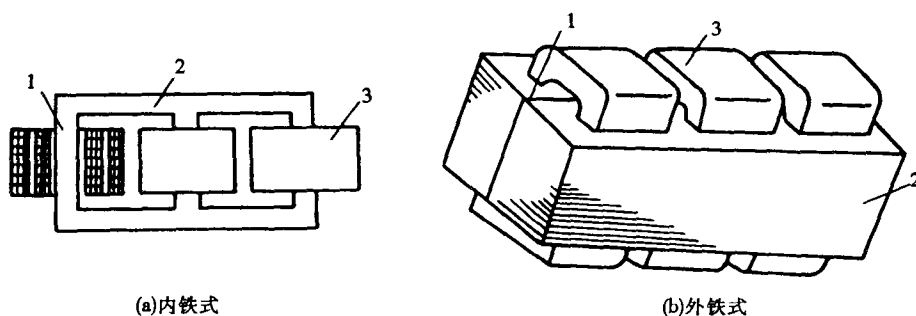


图 1-5 两种主要的铁心结构型式

1.铁心柱 2.铁轭 3.绕组

铁心包围;而在内铁式铁心结构中铁心柱被绕组包围。

外铁式铁心结构具有下列特点:

(1)每种容量的铁心叠片只有一种片宽,故加工较方便。

(2)因铁心截面为长方形,故与之相配合的绕组截面也应为长方形,同时线饼之间面积较大,这样可使饼间电容增大,对地电容与饼间电容之比小,故可改善绕组中的冲击电位分布,因而超高压变压器采用外铁式铁心结构时可简化绕组结构。

(3)因绕组均由双饼组成,故绕组的分组比较方便,同时,在调整短路阻抗、漏磁与短路机械力时可由不同分组得到所需值。一般可将绕组分成如图 1-6 所示的几种分组情况。

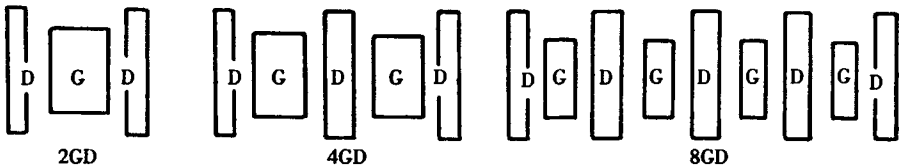


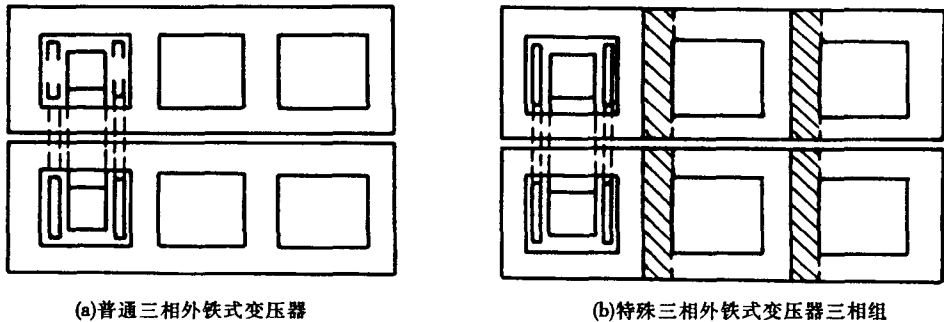
图 1-6 外铁式铁心的绕组分组数

由于低压绕组靠近铁轭,因而绝缘比较方便,故最少的绕组分组数为 2GD,即两个高压—低压组。在 4GD 分组中,中间低压绕组由两部分组成;在 8GD 分组中也是如此。这样,当对一个 GD 分组的冲击电压分布、漏磁分布、机械力与油流分布等做了全面的试验研究之后,就不用再对其他 GD 分组进行试验研究了,如每一 GD 分组的容量定为 150MVA,则 8GD 就可以达到 1200MVA,因此采用这种结构具有较大的设计计算的灵活性,对发展极限容量的电力变压器具有决定性的意义。

(4)外铁式电力变压器的引线都在上部,故出线方便,这一点对三相三绕组及自耦变压器则更方便。

(5)若将绕组与铁心之间、绕组与油箱之间都楔紧时,则整个变压器可放倒运输。

(6)由三台单相铁心可组成特殊三相变压器,这样可制成运输比较困难的发电厂或变电所使用的大容量变压器。特殊三相变压器就是把三个单相变压器运到工地后装上共同的箱盖和套管的变压器。此种结构,对外铁式铁心而言,增加的硅钢片重量不多,而绕组的重量不变,如图 1-7 所示。



(a)普通三相外铁式变压器

(b)特殊三相外铁式变压器三相组

图 1-7 三相外铁式变压器结构示意图(斜线部分为多增加的铁心部分)

(7)因为外铁式铁心系水平旋转结构,故铁心需用T字梁支撑。为避免漏磁引起的局部过热,T字梁及上部支撑板外面都要设置磁屏蔽。

(8)当低压绕组流过大电流时,因绕组被铁心所包围,故电流引起的附加损耗较小。

(9)线饼为垂直放置,油流较通畅,故线饼的温升不高。

外铁式虽有上述特点,但我国的多数制造厂都不采用这种结构,主要是由于下列原因:

①绕组需用特殊绕线机绕成长方形,一般绕成单饼后再焊接。

②铁心要在绕组放正位置后,再将铁心叠片一片一片地在绕组内叠成。

内铁式铁心结构是我国变压器制造厂普遍采用的铁心结构型式。图 1-8 所示为中型变压器采用的三相三柱式铁心,它具有下列优点:

(1)铁心可先叠装成形,然后铁心柱套装在绕线机上绕成的绕组。

(2)绕组为圆形,故绕制方便。内铁式铁心又分为单相双柱、三相三柱、单相三柱旁轭、三相五柱式等结构型式,如图 1-9 所示。

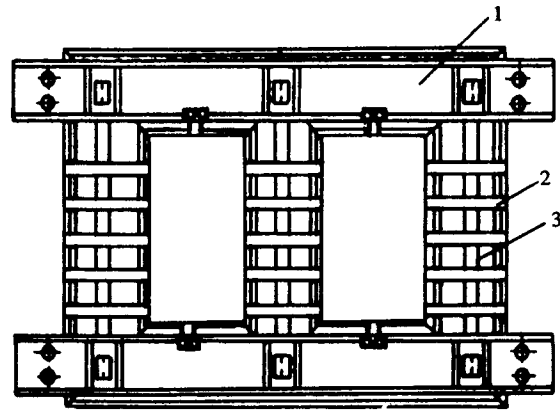
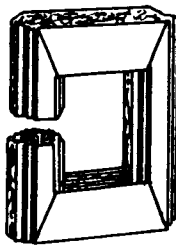
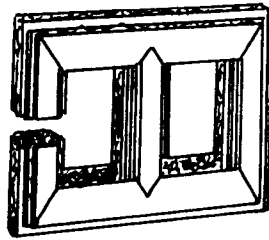


图 1-8 三相三柱式铁心

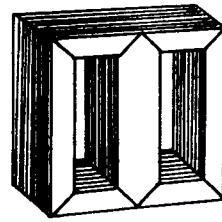
1.上夹件 2.绑扎带 3.拉板



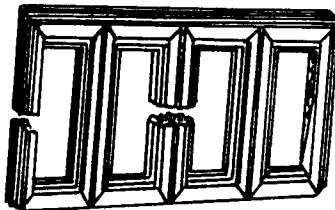
(a)单相双柱式



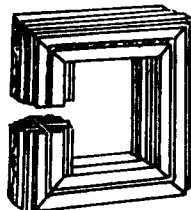
(b)三相三柱式



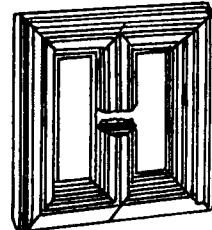
(c)单相三柱旁轭式



(d)三相五柱式



(e)单相双框式



(f)三相双框式

图 1-9 内铁式铁心的主要结构型式