

DIANQI SHIYAN JICHU

SYJC

电气试验基础



李一星 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电气试验基础

李一星 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍电气试验基础知识及相应的操作技能,对电气设备的基本结构、试验方法、试验仪表的使用及注意事项等都进行了说明和讲解,更注意电气试验理论知识的更新和提高,对近年来一些新知识、新技术也作了介绍。读者通过本书的学习可掌握电气试验基本方法,了解如何分析试验结果的正确方法并对电气设备的一般故障作出判断。

本书读者对象为电力系统发电、供电、电力建设企业从事各种电气设备的绝缘性能、电气特性及参数测量的电气试验工作人员,有关管理人员及电力工业学校师生。

图书在版编目(CIP)数据

电气试验基础/李一星主编 —北京:中国电力出版社,2000
ISBN 7-5083-0401-2

I. 电… II. 李… III. 电工试验 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 41224 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京交通印务实业公司印刷

各地新华书店经售

*

2001 年 1 月第一版 2001 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 10.625 印张 234 千字

印数 0001—4000 册 定价 17.00 元

版权专用 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

随着国民经济的高速发展,大量新型设备的投运,以及《电力设备预防性试验规程》的重新修订,广大电力职工希望有一本能充分反映目前高电压试验技术基础知识及相应的操作技能要求的书藉。

本书主要介绍电气试验基础知识及相应的操作技能,对电气设备的基本结构、试验方法、试验仪表的使用及注意事项等都进行了说明和讲解,更注意电气试验理论知识的更新和提高,对近年来一些新知识、新技术也作了介绍。读者通过本书的学习可掌握分析试验结果的正确方法并对电气设备的一般故障作出判断。

本书内容可用于指导电力系统发电、供电、电力建设企业从事各种电气设备的绝缘性能、电气特性及参数测量的电气试验工作。

本书第一、二章由陈丽编写,第六、七、八、九、十章由宋丽梅编写,第三、四、五、十一、十二、十三、十四章由李一星编写,全书由李一星主编。本书编写过程中得到各级领导的支持,在此一并表示感谢。

由于编写时间短,编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指教。

编者

2000年9月

ABE 41/02

目 录

前言

第一章 变压器的工作原理、结构及参数

第一节	变压器工作原理	1
第二节	三相变压器	3
第三节	变压器的基本结构	5
第四节	变压器套管	10
第五节	变压器绝缘	16
第六节	变压器的型号和额定数据	18
第七节	变压器调压装置	20

第二章 电压、电流、电功率、直流电阻的测量

第一节	电工测量仪表的使用常识	23
第二节	电压的测量	27
第三节	电流的测量	34
第四节	电压和电流的同时测量	40
第五节	电功率的测量	41
第六节	直流电阻的测量	48
第七节	万用表	58

第三章 绝缘试验方法

第一节	绝缘材料及其性能	64
-----	----------	----

第二节	绝缘电阻和吸收比测量	74
第三节	泄漏电流测量与直流耐压试验	81
第四节	介质损耗角正切值 ($\text{tg}\delta$) 的测量	91
第五节	耐压试验	113

第四章 电力变压器、消弧线圈和油浸电抗器试验

第一节	油浸电抗器的结构特点	125
第二节	绝缘电阻及泄漏电流的测量	127
第三节	介质损耗角的测量	130
第四节	交流耐压试验	133
第五节	绕组直流电阻的测量	135
第六节	变压比的测量	138
第七节	变压器的极性和组别试验	143
第八节	变压器的空载和短路试验	153
第九节	变压器有载调压开关的试验	161

第五章 互感器试验

第一节	电压互感器的结构	167
第二节	电压互感器试验	171
第三节	电流互感器的结构	177
第四节	电流互感器试验	180

第六章 高压断路器试验

第一节	高压开关设备及断路器简介	183
第二节	少油断路器试验	185
第三节	多油断路器试验	193
第四节	其他断路器试验	195

第七章 高压套管、绝缘子及干式电抗器试验

第一节	高压套管的特点及结构	198
第二节	高压套管试验	203
第三节	绝缘子、干式电抗器的结构	206
第四节	绝缘子、干式电抗器试验	208
第五节	3~10kV 变电所配电设备试验	209

第八章 电力电缆、电力电容器试验

第一节	电力电缆的构造及种类	212
第二节	电力电缆试验	215
第三节	故障探测	219
第四节	电力电容器的用途、参数和结构	222
第五节	电力电容器试验	224

第九章 避雷器试验与接地电阻测量

第一节	避雷器的工作原理、参数及结构	231
第二节	避雷器试验	239
第三节	接地电阻的测量	242

第十章 绝缘油、绝缘工具耐压试验

第一节	绝缘油交流耐压试验	251
第二节	绝缘工具交流耐压试验	254

第十一章 绝缘试验新技术

第一节	绝缘油中溶解气体的气相色谱分析	257
第二节	局部放电的测量	260

第三节	带电试验和集中监测	263
第四节	超低频耐压试验	266

第十二章 同步发电机和调相机的试验

第一节	同步电机和调相机的工作原理与 结构	268
第二节	绕组绝缘电阻和吸收比的测量	277
第三节	定子绕组的直流耐压试验和泄漏电流 测量	281
第四节	绕组的交流耐压试验	284
第五节	绕组的直流电阻测量	286
第六节	励磁回路连同所连接设备的试验	289
第七节	轴承绝缘电阻和轴电压的测量	291
第八节	转子绕组的交流阻抗测量	293
第九节	空载特性试验	295
第十节	短路特性试验	297
第十一节	水内冷发电机定子绕组的泄漏电流 测量和直流耐压试验	299

第十三章 直流电机的试验

第一节	直流电机的基本工作原理和结构	304
第二节	绕组的绝缘测定	311
第三节	绕组的直流电阻测量	311
第四节	调整电刷的中性位置	313
第五节	检查绕组的极性及其连接的正 确性	315
第六节	直流发电机的特性试验	319

第十四章 交流电动机的试验

第一节	交流异步电动机的工作原理和结构	322
第二节	交流异步电动机的绝缘试验	326
第三节	直流电阻测量	327
第四节	检查定子绕组的极性	328
第五节	空载试验	330

第一章

变压器的工作原理、 结构及参数

变压器广泛应用于国民经济的各部门，是电力系统中重要的设备之一。

变压器按用途可分为如下几类：

(1) 电力变压器。电力系统的安全经济运行，需要大量的变压器作升压、降压，输电、配电之用。

(2) 测量变压器。如各种电压互感器，电流互感器。

(3) 调压变压器。试验时用于调整电压。

(4) 试验用高压变压器。试验时用以产生高电压。

(5) 其他变压器。比如各种试验仪器中的电源变压器。

虽然变压器种类很多，结构也各有特点，但其基本原理和基本结构都是一样的。本章重点介绍电力变压器的工作原理和结构，同时对比介绍其他变压器的特点。

第一节 变压器工作原理

变压器是根据电磁感应原理制成的，其工作原理示于图1-1。绕组 N_1 、 N_2 套在同一个铁芯回路上。 N_1 为一次绕组匝数，加上交流电压 u_1 后就产生交变的励磁电流，在铁芯中引起交变磁通。此磁通绝大部分存在于铁芯回路中穿过一、二次绕组，叫做“主磁通”。根据电磁感应原理，当穿过绕组的磁通发生变化时，绕组就要产生感应电动势。所以

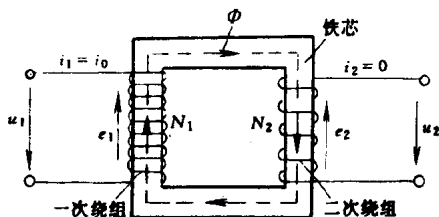


图 1-1 变压器工作原理图

一、二次绕组中就要出现感应电动势 e_1 和 e_2 。感应电动势的有效值 E_1 和 E_2 计算公式如下

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4.44fN_2\Phi_m \quad (1-2)$$

式中 f ——磁通的变化频率，Hz；

N_1 、 N_2 ——一、二次绕组的匝数；

Φ_m ——穿过绕组的主磁通的幅值，Wb（韦伯）。

除了沿铁芯穿过一、二次绕组的主磁通外，还有不完全经铁芯穿过绕组的漏磁通，但与主磁通相比，它的数量很小。一次绕组中通过励磁电流，也有一定的电压降，这个电压降和所加一次电压相比，也是很小的。所以一次绕组中感应电动势有效值 E_1 和一次电压有效值 U_1 基本相等。由于二次绕组开路，因而二次绕组中的感应电动势有效值 E_2 就是变压器的空载二次电压有效值 U_{20} ，所以

$$U_1 = E_1 = 4.44fN_1\Phi_m \quad (1-3)$$

$$U_{20} = E_2 = 4.44fN_2\Phi_m \quad (1-4)$$

由于穿过一、二次绕组中的是同一个主磁通，所以两式中的 Φ_m 、 f 是相同的。因此式(1-3)与式(1-4)两式相除后，得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (1-5)$$

即 U_1 和 U_2 的比值等于 N_1 和 N_2 的比值, K 称为变压器的变压比。

这样,只要一、二次绕组的匝数不同,一、二次电压就不同,可以实现改变电压大小的目的,这就是变压器改变电压的基本原理。

由于变压器本身的损耗很小,可以认为输入和输出的功率相等,即

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (1-6)$$

或
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = K \quad (1-7)$$

式中 I_1 、 I_2 ——表示一、二次绕组的电流有效值, A;

U_1 、 U_2 ——表示变压器有负荷时一、二次绕组的电压有效值, V。

公式(1-7)说明,变压器两侧电压的比等于两侧电流的反比。

第二节 三相变压器

要变换三相电压可采用三相变压器。三相变压器的铁芯有三个铁芯柱,每相的高、低压绕组同心地套在一个芯柱上,如图 1-2 所示。由于高、低压绕组交链同一磁通,故犹如一台单相变压器。

三相变压器的高、低压绕组都可以接成星形或三角形,三相变压器各相高压绕组首端用 $1U1$ 、 $1V1$ 、 $1W1$ 表示;末端用 $1U2$ 、 $1V2$ 、 $1W2$ 表示;低压绕组首端用 $2U1$ 、 $2V1$ 、 $2W1$ 表示;末端用 $2U2$ 、 $2V2$ 、 $2W2$ 表示。当把高压绕组的

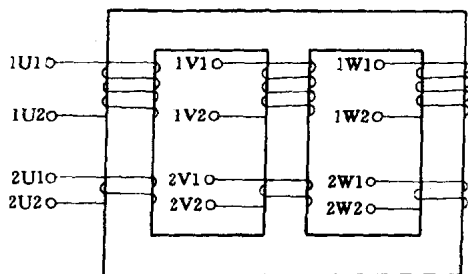


图 1-2 三相变压器示意图

末端 1U2、1V2、1W2 连接在一起，三个首端引出相线，这种接法是星形接法，用 Y 表示。低压绕组的末端 2U2、2V2、2W2 连接在一起并引出中线，三个首端引出相线，这种接法是引出中性线的星形接法，用 yn 表示。三相变压器高、低压绕组按上述方法连接时，连接组别为 Y，yn0。0 表示高、低压侧对应线电压是同相位的，绕组连接如图 1-3(a) 所示。当把低压侧三相绕组依次首尾串连，连接顺序为 2U2—2V1—2W2—2V1—2V2—2U1，由 2U1、2V1、2W1 引出相线，这种接法

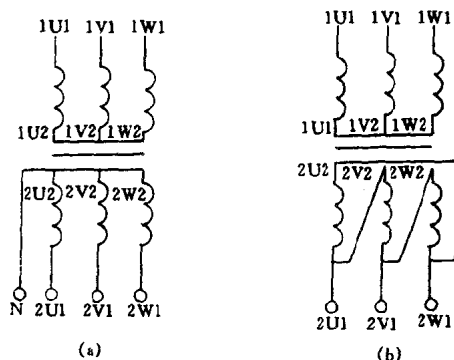


图 1-3 变压器的接线组别

(a) Y，yn0；(b) Y，d11

为三角形接法,用d表示。若高压绕组采用星形接法,低压绕组采用三角形接法,则接线组别为Y,d11。11表示高、低压侧对应线电压间有 30° 相位差,且低压侧线电压超前于高压侧对应线电压 30° ,绕组连接如图1-3(b)所示。

第三节 变压器的基本结构

一、变压器的基本构造

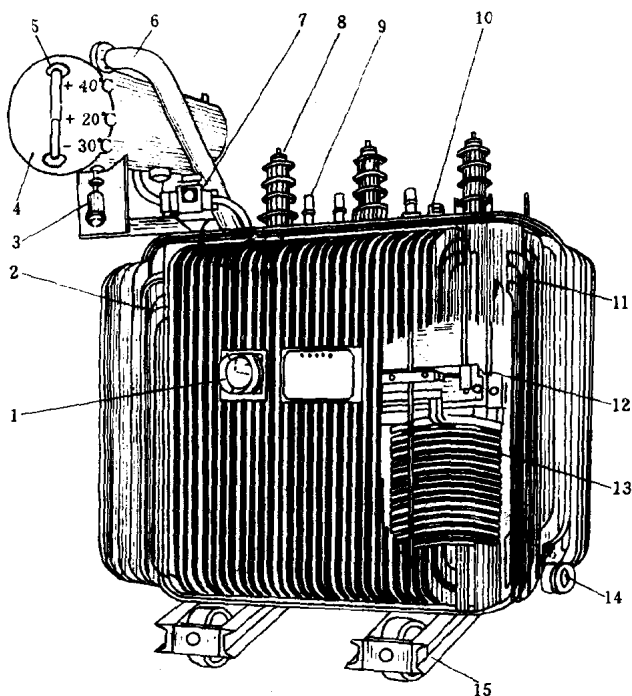


图 1-4 中型变压器结构概况

1—信号式温度计;2—铭牌;3—吸湿器;4—储油柜;5—油表;6—防爆筒;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—铁芯;13—绕组及绝缘;14—放油阀门;15—小车;

变压器最基本结构由铁芯、绕组及绝缘部分组成。但为了使变压器安全可靠地运行,还需要有油箱、调压装置、冷却装置、保护装置等。其中最基本的部分(铁芯、绕组、绝缘部分、引线及调压装置等)称为器身。变压器的结构组成如下:

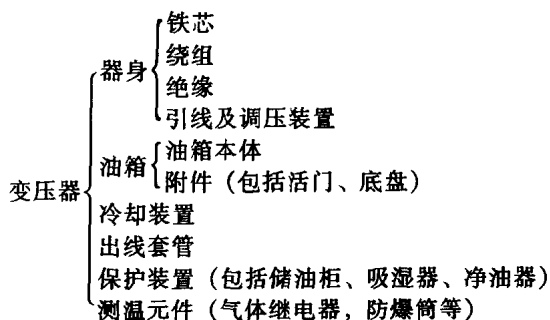


图 1-4 为中型变压器的结构概况。图 1-5 为大型变压器

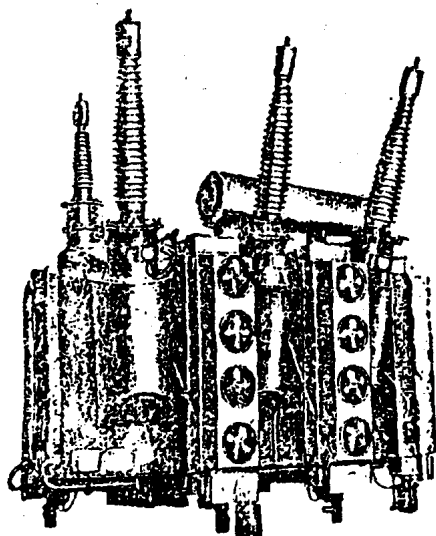


图 1-5 大型变压器外形图

的外形图。图 1-6 为大型变压器的器身结构示意图。

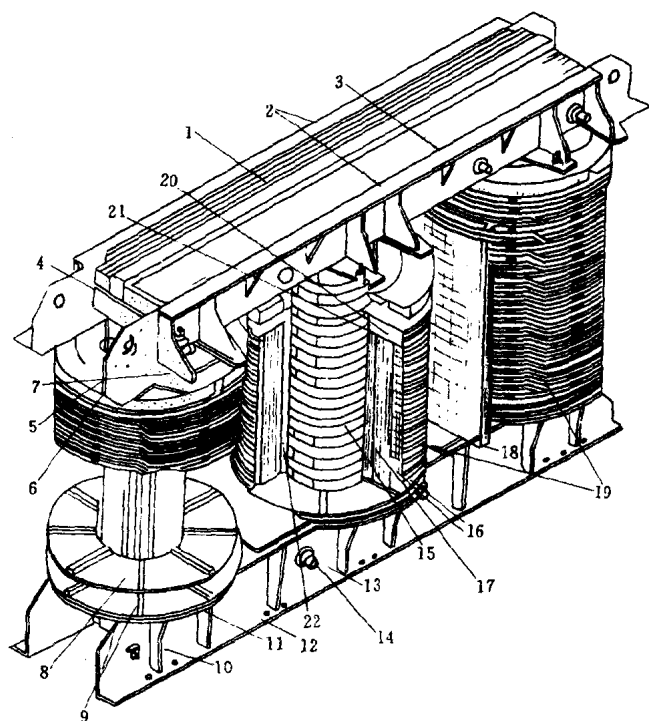


图 1-6 大型变压器器身结构示意图

1—铁轭；2—上夹件；3—上夹件绝缘；4—压钉；5—绝缘纸圈；6—压板；7—方铁；8—下铁轭绝缘；9—平衡绝缘；10—下夹件加强筋；11—下夹件上肢板；12—下夹件下肢板；13—下夹件腹板；14—铁轭螺杆；15—铁芯柱；16—绝缘纸筒；17—油隙撑条；18—相间隔板；19—高压绕组；20—角环；21—静电环；22—低压绕组

二、变压器的铁芯型式和铁芯材料

(一) 铁芯型式

按照铁芯型式，变压器可分为内铁式（又称为芯式）和

外铁式（又称为壳式）两种。如图 1-7 和图 1-8 所示。内铁式变压器的绕组包围着铁芯，而外铁式变压器是铁芯包围着

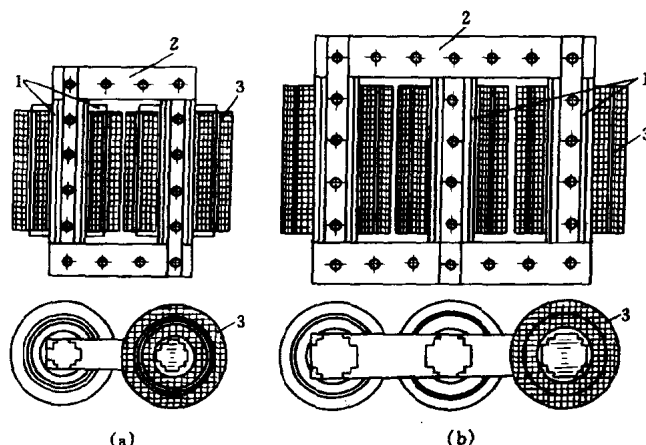


图 1-7 内铁式变压器铁芯和绕组

(a) 单相变压器；(b) 三相变压器

1—铁芯柱；2—铁轭；3—绕组

绕组。这样，变压器的铁芯便也分为芯式和壳式两种。我国生产的电力变压器基本上是内铁式变压器，因此，在本节中主要介绍内铁式铁芯。

铁芯上套装绕组的部分称为铁芯柱，而连接铁芯柱的部分称为铁轭。

常用铁芯结构如图 1-9 所示。

单相变压器的铁芯有两个铁芯柱，而三相变压器的铁芯有三个铁芯柱。

大型的三相变压器，为了降低高度，便于运输，目前都采用五柱式铁芯结构，如图 1-9 (c) 所示，其两边柱则为铁轭的一部分，连样便降低了铁轭的高度。