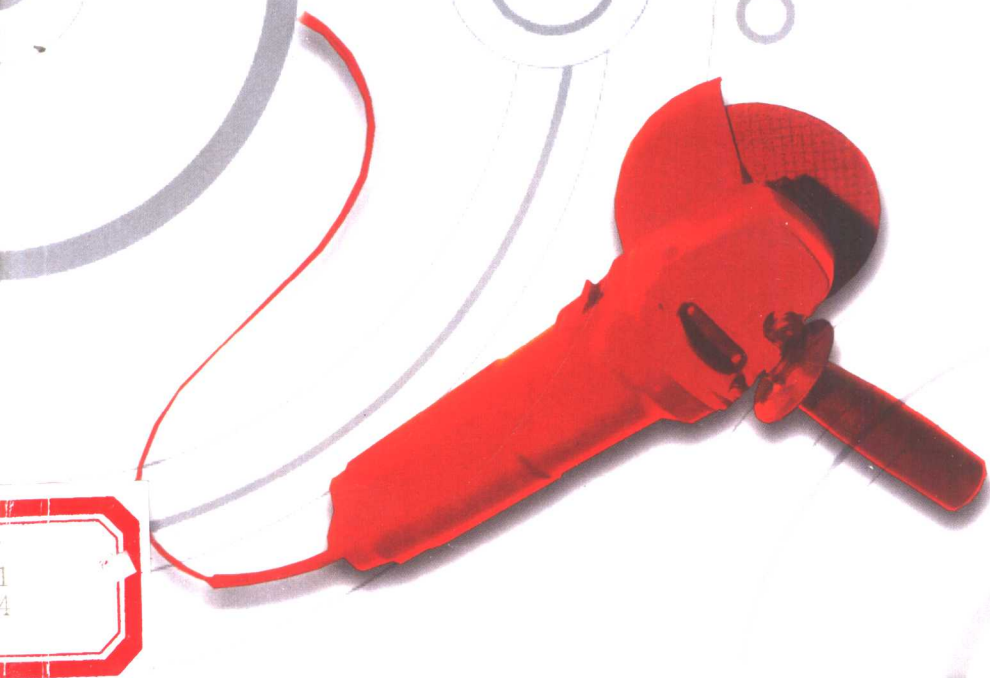


楼宇电气系统安装运行维护丛书

10/0.4kV 电力变压器

孟宪章 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

楼宇电气系统安装运行维护丛书

10/0.4kV 电力变压器

孟宪章 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分三章。第一章油浸式电力变压器，主要内容为：变压器铭牌数据、变压器结构、变压器的安装、变压器的试验、变压器的运行与保护、变压器的重绕设计。第二章干式（树脂型）电力变压器，主要内容为：变压器的技术数据、变压器的结构和外形尺寸、变压器的安装、变压器的试验、变压器的运行与维护。第三章变压器温度控制器，主要内容为：温度控制器的型号、技术数据、接线与运行使用。

本书可作为 10/0.4kV 供配电系统的高、低压运行值班电工、维修电工、安装电工和从事物业管理的电气技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

10/0.4kV 电力变压器/孟宪章编著. —北京:中国电力出版社, 2005

(楼宇电气系统安装运行维护丛书)

ISBN 7-5083-2924-4

I. 1… II. 孟… III. 电力变压器 IV. TM41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 135947 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 4 月第一版 2005 年 4 月北京第一次印刷

1000 毫米×1400 毫米 B5 开本 16.25 印张 339 千字

印数 0001—4000 册 定价 26.00 元

版 权 专 有 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



随着国民经济的迅速发展,用电越来越广泛,用电量也越来越大,无论城市高楼大厦,工厂产品生产,还是乡村农业粮食生产都离不开电。我国低压用电设备的额定电压为 380/220V,该电压的取得离不开电力变压器。

本书所述的电力变压器就是各行各业用户主要的电源供电设备。它把上一级配电系统的 10kV 电压变为用户用电设备通常使用的 380/220V 电压。只有把电力变压器运行好、维护好,才能保证 380/220V 低压供配电系统安全、可靠、经济、合理地运行。

本书以实际应用为主,博采众家之长,集众人智慧之大成,并且收集了大部分新系列产品变压器和变压器温度控制器的技术资料。同时例举了安装、运行维护方面的事例,通过事例,举一反三,触类旁通。

本书以油浸电力变压器,干式(环氧树脂型)电力变压器两种系列产品介绍变压器的设计原理、结构、铭牌数据、安装、试验、变压器的保护、运行维护、故障分析等,比较全面详尽地阐述了 10/0.4kV 电力变压器的性能。

油浸电力变压器在我国有着悠久的历史,在长年累月的使用中,为国民经济的发展做出了贡献,同时在设计、制造、安装、试验、运行维护等方面也积累了丰富的实践经验,为电力变压器的进一步发展奠定了基础。

干式(环氧树脂型)电力变压器,是近几年刚发展起来的新系列产品变压器,被各行各业积极广泛地采用。运行维护方面的经验还有待日后长期的使用中去总结,但油浸变压器很多运行维护方面的经验可以解决干式变压器运行维护中的实际问题,这为新系列产品的干式变压器安全、可靠、经济、合理地运行,提供了更可靠的保证。

本书是写给从事 10/0.4kV 高、低供配电系统运行值班、维修电工的,因为要想使用好,维护好电力变压器需要从设计、安装、运行维护等方面全面的了解它,才能把运行、维修工作做好。这对国家要求的锻炼、培养成为全面的技术复合型人才是相一致的。

本书图形符号及文字符号均采用新标准,但为了便于读者与实际设备对照进行试验,变压器的试验部分仍采用旧标准。本书还给出了与变压器有关的中英文名词术语对照,以便于学习和技术交流。

本书在编写过程中,得到有关部门领导的大力支持,许多同志和朋友也给予了鼓励和帮助。在此,谨致深切地谢意和敬意!由于编者水平有限,书中错误和不妥之处,敬请读者批评指正!

编者

目 录



前言

第一章 油浸式电力变压器 1

第一节 概述..... 1	第四节 变压器的运行与保护 30
一、介绍..... 1	一、一般要求 30
二、变压器的工作原理..... 1	二、变压器的运行与维护 32
第二节 变压器的铭牌技术数据..... 3	三、电力变压器的保护 43
一、相数..... 3	四、变压器的异常运行 47
二、额定频率..... 4	第五节 变压器的安装 55
三、额定电压..... 5	一、室内变压器的安装 55
四、变压器的额定容量..... 5	二、室外变压器的安装 62
五、变压器的变压比..... 7	第六节 变压器的试验 74
六、连接组标号..... 7	一、变压器绕组绝缘电阻的
七、变压器的冷却方式 11	测量 74
八、阻抗电压 12	二、变压器铁心夹紧螺杆的绝缘
九、重量和尺寸 13	电阻测定 77
第三节 变压器的结构 20	三、变压器油箱中绝缘油的化
一、绕组 20	学分析、试验和处理 77
二、铁心 22	四、变压器的工频交流耐压
三、油箱 23	试验 83
四、油枕 23	五、变压器连接组别的试验 ... 93
五、呼吸器 24	六、变压器变压比的测定 96
六、绝缘套管 24	七、变压器绕组直流电阻的测定
七、分接开关 25	 98
八、防爆管 27	八、变压器的空载试验..... 100
九、散热器 27	九、变压器的短路试验..... 102
十、温度计 27	第七节 变压器的重绕设计..... 105
十一、气体继电器 27	一、概述..... 105
十二、放油截门 30	二、变压器铁心..... 106
十三、小车 30	三、确定每匝电压 e_1 109

四、计算绕组匝数.....	109	七、绕组的排列与布置.....	110
五、计算变压器一次与二次的 电压和电流.....	109	八、计算绕组铜重.....	111
六、计算绕组导线截面积.....	110	九、计算铁重.....	111
		十、变压器重绕技术数据.....	111
第二章 干式电力变压器	152		
第一节 概述.....	152	三、变压器的异常运行和处理	176
第二节 干式电力变压器结构.....	154	第四节 干式变压器的施工.....	177
一、环氧树脂浇注绝缘电力变 压器.....	154	一、变压器的装卸.....	177
二、技术数据和外形尺寸.....	155	二、变压器的运输.....	177
第三节 干式电力变压器的运行	172	三、变压器的验收检查.....	178
一、一般要求.....	172	四、变压器的仓储保管.....	179
二、运行与维护.....	174	五、干式变压器安装.....	179
		第五节 干式变压器试验.....	181
第三章 变压器温度控制器	184		
第一节 概述.....	184	温度计.....	192
第二节 油浸式电力变压器的 温度控制.....	185	三、LD-B10 系列智能型干式变 压器温度巡回显示控制器	195
一、WTZ-288 型、WTQ-288 型电接点压力式温度计	186	四、LD-B10-10F 型温度 控制器.....	201
二、WTZ-288 型、WTQ-288 户外型电接点压力式 温度计.....	187	五、LD-B10-10G 型温度 控制器.....	208
第三节 干式变压器温度控 制器.....	188	六、LD-B10-10I 型温度 控制器.....	210
一、TTC-300A 系列温度控 制器.....	188	附录	212
二、BWDK 系列变压器用电阻		参考文献	253



第一章 油浸式电力变压器

第一节 概 述

一、介绍

电力变压器是用来改变交流电压大小的电气设备。根据其电磁感应的原理,把某一等级的交流电压变换成另一等级的交流电压,以满足不同负载的需要。因此电力变压器在电力系统和供用电系统中占有很重要的地位。

发电机输出的电压,由于受发电机绕组绝缘水平的限制,通常为 6.3、10.5kV,最高不超过 20kV。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路上。所以只能用升压变压器将发电机的端电压升高到几万伏或几十万伏,以降低输送电流,减少输电线路上的能量损耗而又不增大导线截面将电能远距离输送出去。

输电线路将几万伏或几十万伏高电压的电能输送到负载区后,必须经过降压变压器将 10kV 降低到适合于用电设备使用的电压 380/220V 的电压。为此,在供用电系统中,(用户中)需要大量的 (10/0.4kV) 降压变压器。

变压器分为电力变压器和特种变压器。电力变压器又分为油浸式和干式两种。目前,油浸式变压器被广泛的用作升压变压器、降压变压器、联络变压器和配电变压器。干式变压器大部分在用户端的配电变压器中采用。油浸变压器由于应用时间比较久远,因此,积累了丰富的运行、维修经验。油浸变压器经久耐用、便于维修。

二、变压器的工作原理

电力变压器是变换电压、传输功率的电气设备。图 1-1 是单相电力变压器工作原理图。在闭合的铁心上绕有两组绕组,其中接受电能的一侧叫做一次绕组,输出电能的一侧叫做二次绕组。变压器是靠电磁感应原理而工作的,当一次绕组通入电源时,在额定电压 U_{1N} 作用下,一次绕组中就有一个工频

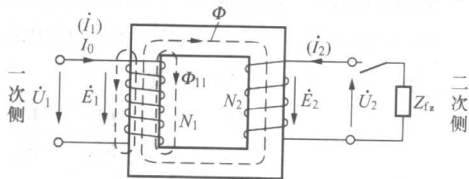


图 1-1 电力变压器工作原理图

U_1 —变压器一次额定电压值 (V); U_2 —变压器二次额定电压值 (V); E_1 —一次感应电动势 (V); E_2 —二次侧感应电动势 (V); I_1 —一次绕组中电流 (A); I_2 —二次绕组中电流 (A); I_0 —变压器空载励磁电流 (A); N_1 —一次绕组匝数 (匝); N_2 —二次绕组匝数 (匝); Φ —铁心中主磁通 (Wb); Φ_{11} —漏磁通 (Wb); Z_L —负载 (Ω)



50Hz 的电流, 交变的电流建立一个同频率的正弦交变磁通, 在铁心中构成磁路, 同时穿过变压器一、二次绕组。当电压 U_{1N} 不变, 铁心中的磁通 Φ 也维持不变, 这个磁通就是主磁通。当变压器二次侧开路时, 即变压器处于空载状态, 一次绕组所流过的电流就是励磁电流, 又叫空载电流 $\dot{I}_0$ 。空载电流与变压器一次绕组匝数 N_1 的乘积 $I_0 N_1$ 就是变压器的主磁动势。

根据电磁感应原理可知, 变化的磁通 Φ 穿过线圈时, 就会产生感应电动势, 由于磁通 Φ 同时穿过套在同一铁心上的两组绕组, 因此, 在变压器一次绕组中产生一个感应电动势 E_1 , 在二次绕组两端产生一个感应电动势 E_2 , 如果变压器二次绕组接通负载 Z_L , 就会在负载中有负载电流 I_2 流过, 这样变压器就把从电源接受的视在功率 S 传给负载, 输出电能, 这就是变压器的工作原理。

根据电磁感应定律:

一次绕组感应电动势 (V)

$$E_1 = 4.44 f N_1 B_m S \times 10^{-4}$$

二次绕组感应电动势 (V)

$$E_2 = 4.44 f N_2 B_m S \times 10^{-4}$$

式中 f ——电源频率 (Hz), 工频 50Hz;

N_1 ——一次绕组匝数 (匝);

N_2 ——二次绕组匝数 (匝);

B_m ——铁心中磁密度的最大值 (T);

S ——铁心截面积 (cm^2)。

从上式可知

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

由此可知, 变压器一、二次侧感应电动势之比等于一、二次绕组匝数之比。

由于变压器一、二次侧的漏电抗和电阻都比较小, 可以忽略不计, 因此可近似地认为: $U_1 = E_1$; $U_2 = E_2$ 则

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中 U_1 ——变压器一次额定电压 (V);

U_2 ——变压器二次额定电压 (V);

K ——变压器的额定变压比。

变压器一、二次绕组因匝数不同, 致使一、二次绕组的电压高低也不等, 匝数多的一侧电压高, 匝数少的一侧电压低。变压器能够改变电压的道理就在于此。

在一、二次绕组电流 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 的作用下, 铁心中总的磁动势为

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1$$

由于变压器空载励磁电流 $\dot{I}_0$ 比较小, 在数值上可以忽略不计, 因此上式可写为

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1 = 0$$

$$\dot{I}_1 N_1 = -\dot{I}_2 N_2$$

因此变压器变压比的倒数为变流比

$$\frac{1}{K} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

由此可见, 变压器一、二次电流之比与一、二次绕组的匝数成反比。即变压器绕组匝数多的一侧电压高、电流小, 绕组匝数少的一侧电压低、电流大。

第二节 变压器的铭牌技术数据

变压器的铭牌技术数据, 反映了变压器的功能和技术性能。这些技术数据是变压器生产、订货和使用时的主要依据。

变压器的技术数据一般都标注在铭牌上, 如图 1-2 所示。铭牌为铜制的, 一般都钉置在变压器箱体的正面容易看得见的地方。

电力变压器					
产品型号	S7 400/10	标准代号			
额定容量	400 kVA	产品代号			
额定电压	10000(1+5%)/400	出厂序号			
额定频率	50Hz 3相	开关位置	高压		低压
连接组标号	Y yn0		V	A	V A
冷却方式	ONAN		I	10500	23.4 400 577.4
使用条件	户外式		II	10000	
阻抗电压	4.12%		III	9500	
器身吊重	897kg	油重	279kg	总重	kg
中华人民共和国×××××厂 年 月					

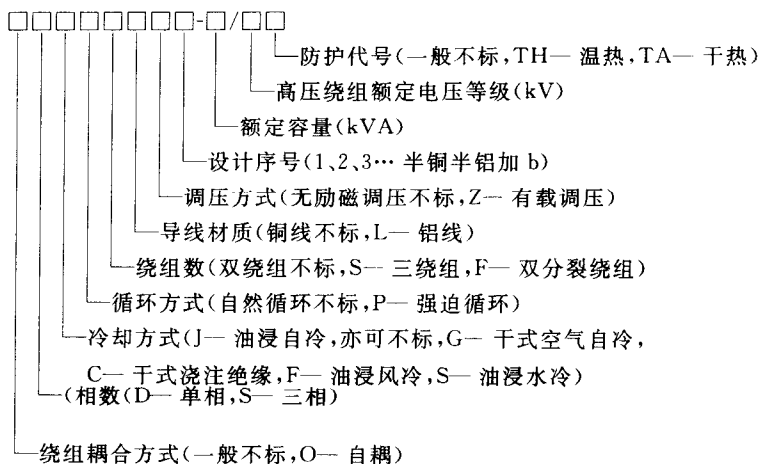
图 1-2 变压器铭牌示意图

按照国家规定, 铭牌上除标出变压器名称、型号、产品代号、标准代号、出厂序号、制造厂名(包括国名)、制造年月等以外, 还需标出变压器的技术数据, 其内容如下。

一、相数

变压器分单相和三相两种。一般均制成三相变压器以直接满足输配电的要求, 小型变压器有制成单相的, 特大型变压器做成单相后组成三相变压器, 以满足运输的要求。变压器的相数从变压器的型号中反映出来。

变压器的型号含义如下:



二、额定频率

变压器额定频率是所设计的运行频率:

$50 + 0.5 \text{ Hz}$

电源频率 f 与变压器性能数据的关系见表 1-1。

表 1-1 电源频率 f 与变压器性能数据的关系

性能数据	与电源频率 f 的关系	频率由 50Hz 变为 60Hz
空载电流无功分量 I_{0r}	$I_{0r} \propto f B_c \ell \quad (B_c \text{ 磁通密度})$ $\text{而 } B_c = \frac{e_1 \times 10^4}{4.44 A_c} \cdot \frac{1}{f} = \frac{K_1}{f}$ $\text{所以 } I_{0r} \propto f B_c \ell = \frac{K_1 \ell}{f}$	与频率成反比, 空载电流主要是无功分量, 故空载电流降低到 $50/60 = 0.833$ 倍
空载损耗 P_0	$P_0 = K_0 P f^{1.3} B_c^2$ $\text{而 } B_c = K_2 / f$ $\text{所以 } P_0 = K_0 P f^{1.3} (K_2 / f)^2 \propto f^{-0.7}$	与频率 -0.7 次方成正比, 空载损耗降低 $(60/50)^{-0.7} = 0.88$ 倍
电抗值 X	$X \propto f \quad (\text{由计算公式得})$	与频率成正比, 电抗值增加到 $60/50 = 1.2$ 倍
负载损耗 P_L	负载损耗中, 占 70% 的电阻损耗与 f 无关, 而占 30% 的涡流和杂散损耗与 f^2 成正比	负载损耗增加到 1.12 倍, 即 $P_{L60} = 70\% P_L + (60/50)^2 \times 30\% P_L = 112\% P_L$
温升和输出容量	空载损耗随 f 增加而降低, 负载损耗则增加, 负载损耗大, 所以总损耗也增加	总损耗增加, 温升增加输出容量降低

注 电源电压不变的情况下。



三、额定电压

变压器的主要作用就是改变电压，因此额定电压是重要数据之一。

变压器的额定电压是指变压器在空载状态时，变压器一、二次绕组的标称电压。三相变压器指线电压，在变压器高压侧有抽头，两分接头之间电压差以额定电压百分数表示，对于容量为 6300kVA 及以下的变压器，高压绕组的调压范围为 $\pm 5\%$ ，而容量 8000kVA 及以上和电压 35kV 及以上无载调压的变压器，调压范围为 $2 \times 2.5\%$ （干式变压器 1000kVA 及以上的调压范围为 $2 \times 2.5\%$ ）。

变压器的额定电压比，指空载状态，一次额定电压与二次额定电压之比。例如：10/0.4 ($1 \pm 5\%$) kV 的变压器一次电压分接开关在 I 挡时 10500V，二次侧 400V，电压比 $K_I = \frac{10500}{400} = 26.25$ ；II 挡时 10000V，二次侧 400V，额定电压比 $K_{II} = \frac{10000}{400} = 25$ ，III 挡时 9500V，二次侧 400V，电压比 $K_{III} = \frac{9500}{400} = 23.75$ 。

电气设备的额定电压就是保证设备正常运行且能获得最佳经济效果的电压。但用电设备制造时应考虑到在额定电压 380 ($1 \pm 5\%$) V（即 360~400V）范围内也应能正常运行。

通常所说的额定电压就是输电线路的电压。我国输电线路的电压等级（均指线电压）为：0.38、3、6、10、35、63、110、220、330、500kV。

输配电线路电压等级也就是线路终端的电压值，因此连接线路终端变压器一侧的额定电压与输配电线路电压等级的电压相同。线路始端（电源端）电压因考虑了线路的压降将比等级电压要高。35kV 以下电压等级的始端电压比电压等级要高 5%，而 35kV 及以上的要高 10%，因此变压器的额定电压也相应提高。线路始端电压值为：0.4、3.15、6.3、10.5、38.5、69、121、242、363、550kV。

由此可知：变压器的高压额定电压等于线路始端电压的变压器为升压变压器，等于线路终端电压（电压等级）的变压器为降压变压器。

变压器产品系列是以高压的电压等级而分的，现行电力变压器的系列分为：10kV 及以下系列、35kV 系列、63kV 系列、110kV 系列、220kV 系列、330kV 系列、500kV 系列。

额定电压是指线电压，并且均以有效值表示。但是，组成三相的单相变压器，如绕组为星形联结，则绕组的额定电压表示方法为： $380V/\sqrt{3}$ ，额定电压以线电压为分子， $\sqrt{3}$ 为分母表示。

四、变压器的额定容量

变压器的容量以视在功率 S 计算，因它是电能的传输设备，既满足有功功率 P 的需要，又要满足无功功率 Q 的需要。

电力变压器的额定容量等级见表 1-2。



表 1-2

变压器额定容量等级

现行的变压器容量/kVA	1967 年以前的变压器容量/kVA
10、20、(30)、50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000、6300、8000、10000、12500、16000、20000、25000、31500、40000、50000、63000、(90000)、(120000)、(150000)、(180000)、(240000)、(360000) 等	10、20、50、100、180、320、560、750、1000、1800、3200、5600、7500、10000、20000、31500、40500、60000

注 1. 目前 10/0.4kV 油浸电力变压器最大容量到 1600kVA。

2. 目前 10/0.4kV 干式电力变压器最大容量到 2000kVA。

3. () 中的容量为正在研制的容量。

变压器额定容量的大小与电压等级是有关系的。电压低、容量大时电流大，损耗增大；电压高、容量小时绝缘比例过大，变压器尺寸相对增大。因此，电压低的容量必小，电压高的容量必大。电压等级与额定容量的关系见表 1-3。

表 1-3

电力变压器高压等级与容量的关系

电压等级/kV (或系列)		6、10	35	63	110	220
额定 容量/ kVA	无励磁 调压	30~1600 或 630~6300*	50~1600 或 800~31500*	6300~630000	6300~120000 或 6300~63000**	31500~360000 或 31500~240000***
	有载调压	200~1600	2000~12500	6300~63000	6300~63000	31500~180000 或 31500~24000****

* 配电变压器。

** 低压为 35kV 或三绕组变压器。

*** 低压为 63kV、三绕组或自耦变压器。

**** 中性点死接地变压器。

按国家标准，三相或三相组变压器的额定容量分为三个标准类别：

- 1) 第Ⅰ类：小于 3150kVA。
- 2) 第Ⅱ类：3150~4000kVA。
- 3) 第Ⅲ类：4000kVA 以上。

变压器额定容量的计算如下。

1. 单相变压器

$$S = UI$$

式中 S ——变压器的额定容量，(kVA)；

U ——变压器的额定电压，(kV)；

I ——变压器的额定电流，(A)。



额定电压及额定电流可以同指一次，也可以同指二次。

2. 三相变压器

$$S = \sqrt{3}UI \text{ 或 } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

式中 S ——变压器的额定容量（视在功率）（kVA）；

P ——有功功率（kW）；

Q ——无功功率（kvar）；

$\cos\varphi$ ——功率因数；

U ——变压器额定线电压（kV）；

I ——变压器额定线电流（A）。

额定线电压及额定线电流同指一次，也可以同指二次。

五、变压器的变压比

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

式中 U_1 ——变压器一次的额定电压（kV）；

U_2 ——变压器二次的额定电压（kV）；

N_1 ——变压器一次绕组匝数（匝）；

N_2 ——变压器二次绕组匝数（匝）；

K ——变压器变压比。

变压比的公式是一个近似计算公式，它是在忽略了变压器一次绕组的电阻和漏电抗假定效率 $\eta=1$ 的情况下得到的。

有分接开关的变压器，分接开关放置在不同挡位，变压比也是不一样的，如图 1-2 所示。

$$\text{I 挡 } 10500\text{V} \quad K_{\text{I}} = \frac{10500}{400} = 26.25$$

$$\text{II 挡 } 10000\text{V} \quad K_{\text{II}} = \frac{10000}{400} = 25$$

$$\text{III 挡 } 9500\text{V} \quad K_{\text{III}} = \frac{9500}{400} = 23.75$$

$\pm 5\%$ 的分接开关是无励磁调压分接开关，调节时，必须是在变压器停电，并做好安全措施的情况下进行调节，调前、调后都要对绕组进行直流电阻的测量。

六、连接组标号

对于三相变压器而言，一次绕组和二次绕组可接成星形，也可接成三角形，这

是最常用的接线方式。表示这种接线方式的代称为连接组标号，亦称为接线组别。

星形联结是三相绕组中有一个同名端相互连在一个公共点（中性点）上，其他三个同名端接电源或负载。

三角形联结是三个绕组相邻相的异名端（绕组的首尾端）串接成一个闭合回路，在每两相连接点上引出三根线端，接电源或负载。

除星形联结、三角形联结外，还有一种称 Z 形（亦称曲折形）的接线方式，其特点是一相的电压不是取自一个绕组，而是取自另一相绕组。三相 10kV 常用变压器绕组连接如图 1-3 所示。连接组标号新旧对照见表 1-4。

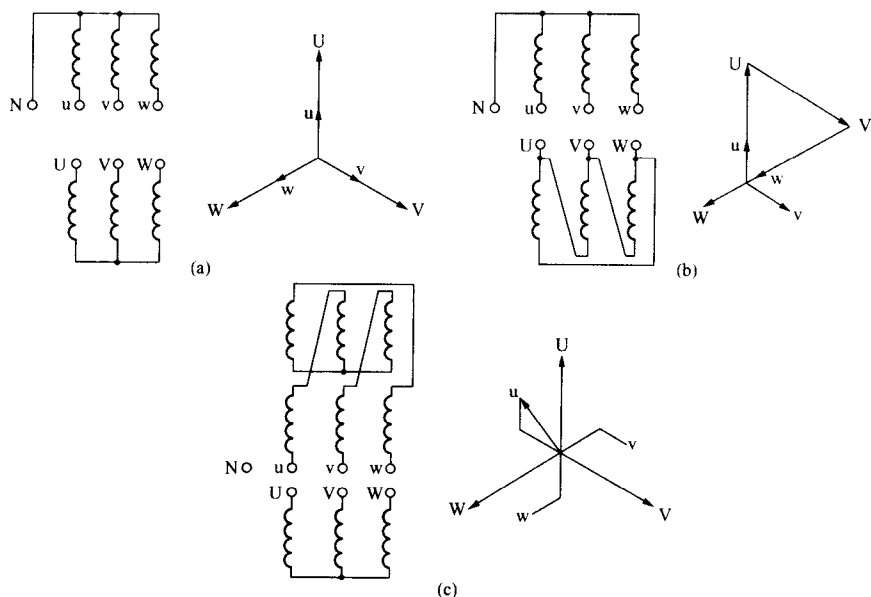


图 1-3 三相 10kV 常用变压器绕组连接及相量图

(a) Yyn0 (Y/Y₀-12) 接线、相量图；(b) Dyn11 (Δ/Y₀-11) 接线、相量图；

(c) Yzn11 (Y/Z₀-11) 接线、相量图

表 1-4

新旧《电力变压器》标准接线标号的对照

名 称	GB 1094—1979 (旧)			GB 1094.1~5—1985			GB 1094.1~5—1996		
	高压	中压	低压	高压	中压	低压	高压	中压	低压
星形联结 并有中性点引出	Y	Y	Y	Y	y	y	Y	y	y
	Y ₀	Y ₀	Y ₀	YN	yn	yn	YN	yn	yn
三角形联结	Δ	Δ	Δ	D	d	d	D	d	d
曲折形联结 并有中性点引出	Z	Z	Z	Z	z	z	Z	z	z
	Z ₀	Z ₀	Z ₀	ZN	zn	zn	ZN	zn	zn



续表

名 称	GB 1094—1979 (旧)	GB 1094.1~5—1985	GB 1094.1~5—1996
自耦变压器	连接组代号前加○	有公共部分两绕组额定电压 较低的用 a	有公共部分两绕组额定 电压较低的用 a
组别数	用 1~12 且前加横线	用 0~11	用 0~11
连接符号间	连接符号间用斜线	连接符号间用逗号	连接符号间不加符号
连接组标号的 举 例	Y/Y ₀ —12 Y/Z ₀ —11 D/Y ₀ —11	Yyn0 Yzn11 Dyn11	Yyn0 Yzn11 Dyn11

1. 变压器连接组的特性及应用

(1) 图 1-3 (a) 中 Yyn0 接线的变压器 绕组填充系数大, 机械强度高, 绝缘用量少, 一次绕组或二次绕组的相间承受的是相电压。可以实现 TN-C、TN-S、TN-C-S 接地制式的供电。常用于小容量三柱式铁心的小型变压器上。但有三次谐波磁通, 将在金属结构件中引起涡流损耗。

(2) 图 1-3 (b) 中 Dyn11 接线的变压器 一次侧采用三角形接线, 可适应二次侧不平衡负载, 避免二次侧中性点漂移造成的电压波动, 对于大功率晶闸管整流电路有消除三次谐波、五次谐波的作用, 所以该接线方式也适合于整流变压器。该接线变压器一次侧绕组相间承受线电压, 一次绕组绝缘水平高, 造价相应增高, 适用于 TN-C、TN-S、TN-C-S 接地制式的城市电网电力变压器。

(3) 图 1-3 (c) 中, Yzn11 接线变压器 在二次或一次侧遭受冲击过电压时, 同一铁心上的两个半线圈的磁势互相抵消, 一次侧不会感应过电压或逆变过电压, 适用于防雷性能高的电力变压器。但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量。

双绕组电力变压器几种常用连接组的方式及特性。见表 1-5。

2. 绕组连接组标号

变压器同一侧绕组连接后, 不同侧间电压相量有角度差——相位差。以往采用线电压相量间的角度差表示相位差, 新标准中是用一对线圈各相应端子与中性点(三角形联结为虚设的)间的电压相量角度差表示相位差。

连接组标号=连接组+组别

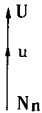
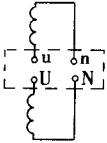
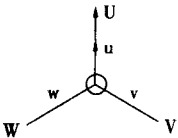
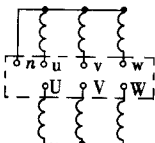
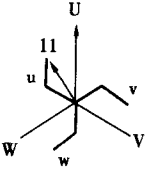
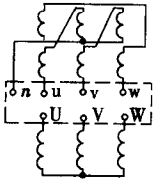
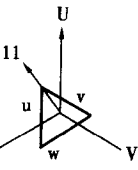
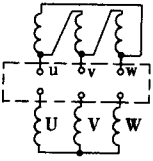
单相双绕组变压器不同侧绕组的电压向量相位差为 0° 或 180° , 其连接组别只有 0 和 6 两种, 如图 1-4 (相位差 0° 时, 组别为 0, 连接组标号 I, I0)、图 1-5 [相位差 180° 时, 组别为 6, 连接组标号 I, I6 (不常用)] 所示。

但是通常绕组的绕向相同、端子标志一致, 所以电压相量为同一方向(极性相同), 连接组别仅为 0 (图 1-4)。因此, 双绕组单相变压器实用的连接组标号为: I, I0。



表 1-5

双绕组变压器常用连接组的特性

连接组	相量图	连接图	特 性 及 应 用
单 相 I, I (I, I0)			作为单相变压器使用时，没有特殊要求。但不能接成 Y, Y 连接的三相变压器组，因此时三次谐波磁通完全在铁心中流通，三次谐波电压较大，对绕组绝缘极不利；能接成其他连接法的三相变压器组
三 相 Yyn (Yyn0)			绕组导线填充系数大，机械强度高，绝缘用量少，可以实现 TN-C、TN-S 供电，常用于小容量三柱式铁心的小型变压器上。但有三次谐波磁通。将在金属构件中引起涡流损耗
三 相 Yzn (Yzn11)			在二次或一次侧遭受冲击过电压时，同一心柱上的两个半线圈的磁势互相抵消，一次侧不会感应过电压或逆变过电压，适用于防雷性能高的配电变压器。但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三 相 Yd (Yd11)			二次侧采用三角形联结，三次谐波电流可以循环流动，消除了三次谐波电压。中性点不引出，常用于中性点非死接地的大、中型变压器上和整流变压器

续表

连接组	相量图	连接图	特 性 及 应 用
三 相 YNd (YNd11)			特性同上。中性点引出，一次侧中性点是稳定的，用于中性点死接地的大型高压变压器上
三 相 D, yn (D, yn11)			一次侧采用三角形联结，可适应二次侧不平衡负载，避免二次侧中性点漂移造成的电压波动。但一次侧绕组绝缘水平高，造价相应增高，适用于城市电网配电变压器

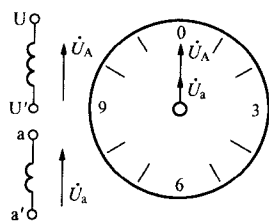


图 1-4 单相双绕组变压器
绕组的电压相量

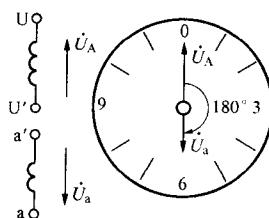


图 1-5 单相双绕组变压器
连接组别的时钟表示法

三相双绕组变压器相位移为 30° 的倍数，所以有 0、1、2...11 共 12 种组别。也由于通常绕组绕向相同，端子和相别标志一致，连接组别仅为 0 和 11 两种。

七、变压器的冷却方式

变压器的冷却方式由冷却介质种类及其循环种类来标志。冷却介质种类和循环种类的字母代号见表 1-6。