

变压器极性

BIANYAOQI JIXING
YU JIEXIAN ZUBIE

与

接线组别

吴克勤 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

变压器极性

BIANYAOJI JIXING
YU JIEXIAN ZUBIE

与接线组别

ISBN 7-5083-4153-8



9 787508 341538 >

定价：6.00 元

销售分类建议：电力工程（电工）

变压器极性

BIANYAOJI JIXING
YU JIEXIAN ZUBIE

与 接线组别

吴克勤 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要讲述变压器的联结、极性判别和接线组别,共分五章:单相变压器极性、三相变压器的联结和极性、三相变压器的接线组别、三相变压器在电力系统中并联运行时组别的选择、三相变压器接线组别试验。全书附以大量的图,讲解形象直观。

本书适合从事变压器设计、制造及相关工作的技术管理人员,也可作为电力专业配套学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

变压器极性与接线组别/吴克勤编著. —北京:中国电力出版社, 2006

ISBN 7 - 5083 - 4153 - 8

I. 变... II. 吴... III. ①变压器 - 极性 ②变压器 - 导线连接 IV. TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 015979 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 6 月第一版 2006 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 2.875 印张 61 千字

印数 0001—3000 册 定价 6.00 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

变压器是一种静止电器，它的主要功用是把某一电压等级的交流电能转换为同频率的另一种或几种电压等级的交流电能。

在输变电系统中经变压器变换电压后，电压不仅在数值上发生改变，同时在相位上也发生改变，由于各级电压母线上电压相位差不同，因此变压器并入电网时必须考虑母线电压的相位问题，以便选择适当的接线组别的变压器，使变压器并入电网后，二次侧电压与母线电压相位相同。

本书主要讲述变压器的联结、极性判别和接线组别，从极性的基本概念出发，对变压器极性的判断和接线进行了深入浅出的阐述。力求读者在熟悉变压器极性和组别的同时能对变压器有一个更为深入的了解。

本书总结了生产实际中积累的经验，并通过大量的图来说明主要内容，即形象又直观。适合从事变压器设计、制造及相关工作的技术管理人员，也可作为电专业配套学习参考书。

由于编者水平有限，本书有不妥和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

前言

第一章 单相变压器极性	1
第一节 极性的意义	1
第二节 变压器并联运行与极性的关系	6
第三节 单相变压器的极性试验	8
第二章 三相变压器的联结和极性	13
第一节 三相变压器的联结	13
第二节 三相变压器的极性	16
第三节 三相变压器极性试验	17
第三章 三相变压器的接线组别	23
第一节 接线组别和时钟表示法	23
第二节 接线组别的步骤和方法	25
第三节 标准联结组	35
第四节 不改变变压器内部接线而改变接线组别	35
第四章 三相变压器在电力系统中并联运行时 组别的选择	56
第一节 三相变压器接线组别与并联运行的关系	56
第二节 电力系统中三相变压器接线组别的选择	61
第五章 三相变压器接线组别试验	66
第一节 交流法	66
第二节 相位表法	75
第三节 直流法	76

第一章

单相变压器极性

第一节 极性的意义

一、直流电源的极性

直流电路中，电源有正、负两极，通常在电源出线端上标以“+”号和“-”号。“+”号为正极性，表示高电位端；“-”号为负极性，表示低电位端如图 1-1 (a) 所示。当电源与负载 R 形成闭合回路时，回路中电流 I 将由高电位的“+”极流出，经负载流入“-”极。由于直流电源两端电压的大小和方向都不随时间而变化，如图 1-1 (b) 所示，A 端极性恒定为正，B 端极性恒定为负，即直流电源两端的极性是恒定不变的。

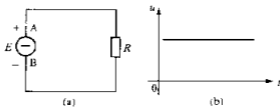


图 1-1 直流电路

二、交流电源的极性

正弦交流电源的出线端不标出正负极性，因为正弦交流电源输出电压的大小和方向都随时间而变化，每经过半个周期 $\left(\frac{T}{2}\right)$ 正负交替变化一次，如图 1-2 (a)、(b) 所示。

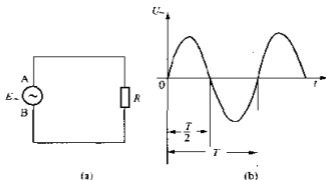


图 1-2 交流电路

正弦交流电源两端不存在恒定极性，但在任一瞬间仍存在瞬时极性，例如某一瞬间 A 端为高电位，B 端相对 A 端则为低电位，反之当 A 端为低电位时 B 端则为高电位。

回路中电流将由高电位端流出，低电位端流入，由此可见，正弦交流电源两端只存在瞬时极性。而电位的高与低是相对的，极性也是相对的，可变的，暂时的，随时间而变化的。

三、单相变压器的极性

变压器在正弦交流回路中使用时，其出线端上存在瞬时极性，例如一台单相变压器，如图 1-3 所示。

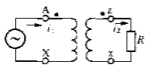


图 1-3 单相变压器
电路

当一次侧绕组 A-X 两端外加一交流电压时，某一瞬间电流 i_1 由 A 端流入，由 X 端流出，此时二次侧绕组接上负载后必定有一个线端的电流是流出的，而另一线端的电流是流入的，例如 a 端流出，x 端流入，则在观察的这一瞬间一次侧电流 i_1 的流入端 A 和二次侧电流 i_2 的流出端 a 是同极性的，而

一次侧电流流出端 X 和二次侧电流流入端 x 也是同极性的。

为了说明单相变压器的极性问题，从变压器的基本原理谈起是十分必要的，如图 1-4 所示为一台单相双绕组变压器的原理图。

在构成闭合磁路的铁芯上绕有二个绕组，其中一个与正弦交流电源相接的称为一次侧绕组，绕组的首端标以 A，末端标以 X，另一个绕组与负载 R 相接的称为二次侧绕组，其首端标以 a，末端标以 x。假定我们研究的瞬间一次侧绕组的 A 端为高电位，X 端为低电位，则一次侧电流 i_1 由 A 端流入经一次侧绕组流向 x 端，电流 i_1 在铁芯中建立主磁通 ϕ_M ，主磁通 ϕ_M 沿着铁芯磁路闭合，并与一、二次侧两个绕组相交链。根据电磁感应定律，将在两个绕组中感应电动势 e_1 和 e_2 ，其方向如图 1-4 所示。

由图 1-4 可知， e_1 为一次侧绕组的反电动势，其方向与 i_1 相反， e_2 为二次侧绕组的主电动势，在 e_2 的作用下二次侧电流 i_2 将沿 e_2 的方向流动。此时，二次侧绕组 a 端为高电位，x 端为低电位。由此可见，在任意瞬间当变压器一个绕组的某一出线端为高电位时，则在另一个绕组中也有一个相对应的出线端为高电位，那么这两个高电位的线端称为同极性端，而另外两个相对应的低电位端也是同极性端，即 A 与 a 的极性是相同的，而 X 与 x 的极性也是相同的，确定了这种相对的瞬时极性后，不论电压的方向随时间正负交替怎样变化，而同极性端的极性总是相同的，时而同时为高电

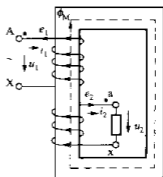


图 1-4 单相变压器
工作原理

位，时而同时为低电位。通常只将变压器绕组中同极性（同名端）的一个相对应出线端标以“·”号或“*”号以示出它们之间相对应的极性关系，如图 1-4 中所示。

四、用相量图表示单相变压器的极性

变压器是一种静止电器，它能将某一种电压的交流电能转换为同频率的另一种或几种电压的交流电能。例如单相双绕组变压器，当一次侧绕组 AX 端外加一种正弦交流电压 U_1 时，则在二次侧绕组 ax 两端感应出与 U_1 同频率的，数值为 U_2 的另一种交流电压。 U_1 和 U_2 在数值上是不相等的，但频率是相同的， U_1 和 U_2 在相位上可能是同相的，也可能是反相的。它们之间的相位关系将由变压器两个绕组出线端标志和两个绕组的绕线方向决定。

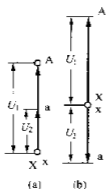


图 1-5 一次侧、二次侧电压相量图

由于 U_1 和 U_2 是同频率的，同频率的两个正弦交流电压可以用两个相量来表示，例如用相量 \overline{AX} 表示 U_1 ，相量 \overline{ax} 表示 U_2 它们的相位关系，在单相双绕组变压器中只有两种，如图 1-5 所示。当两个相量同相时则相位差为 0° ，当两个相量反相时，它们的相位差为 180° ，相量图可以用来分析单相变压器的极性，如图 1-5 (a) 所示，A 与 a 是同极性的，X 与 x 也是同极性的，而图 1-5 (b)，A 与 a 是异极性的，X 与 x 也是异极性的。

决定单相变压器极性有两个因素：

- (1) 一、二次侧绕组的绕线方向。
- (2) 一、二次侧绕组出线的标志方式。

例如图 1-6 所示，一、二次侧两绕组绕线方向相同，

两绕组的首端和末端标志也相同，两绕组首端分别标以 A 与 a，两绕组末端分别标以 X 与 x，根据图 1-6 中所示的电流和电压、电动势的瞬时值关系，出线端 A 与 a，X 与 x 极性相同，用相量表示时，一次侧绕组端电压相量和二次侧绕组端电压相量是同相的，相位差为 0° 。

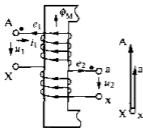


图 1-6 绕向相同
标志相同

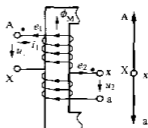


图 1-7 绕向相同
标志相反

图 1-7 所示，一、二次侧绕组绕线方向相同，两个绕组首末端的标志相反，由图 1-7 可知，A 与 a，X 与 x 极性相反，一、二次侧绕组端电压相量是反相的，相位差 180° 。

图 1-8 所示，两侧绕组绕线方向相反，两绕组首末端的标志相同，由图 1-8 可知，A 与 a，X 与 x 极性相反，两侧绕组端电压相量也是反相的，相位差 180° 。

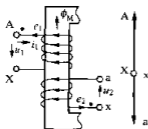


图 1-8 绕向相反
标志相同

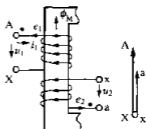


图 1-9 绕向相反
标志相反

图 1-9 所示，两侧绕组绕线方向相反，两绕组首末端标志也相反，由图 1-9 可知 A 与 a，X 与 x 极性相同，两侧绕组端电压相量是同相的，相位差为 0° 。

由此可见，单相变压器的极性与绕组绕线方向和绕组线端标志方式有关，且一次侧绕组端电压与二次侧绕组端电压之间相位变化只有 0° 和 180° 两种。

第二节 变压器并联运行与极性的关系

在电力系统中运行的变压器或工业企业自用电运行的变压器所担负的功率不是恒定的。随着用电的需要，负载的大小是变化的，在一昼夜或季节变更时负载有所不同。当负载增加时可以采用两台或两台以上的变压器并联运行，当负载减小时可以仅用一台变压器单独运行。采用变压器并联运行可以提高变压器设备容量的利用率，而且可以保证在变压器进行检修时不致使供电中断，总之采用变压器并联运行方式有下列好处：

(1) 可以提高供电的可靠性。多台变压器并联运行时如有部分变压器发生故障或检修时，可以将故障或被检修变压器从并联运行中退出工作，此时可以减少次要用户的用电，而对重要负载仍可继续供电。

(2) 可以提高变压器运行的效率。当负载变更时，如长期在低负载运行时，可以将部分并联运行的变压器断开，以减少由于变压器铁损和铜损所消耗的电能，以提高其他运行的变压器的效率。

(3) 用户逐年扩充时，由于每台变压器的最大容量是有限的，可以分期安装变压器。而在输送大容量电能时，也不

得不采用几台容量较小的变压器并联运行。

(4) 可以减少变压器的储备容量而提高设备的利用率。

因此在电力系统中，应广泛地采用变压器的并联运行。当变压器并联运行时必须具备下列条件：

- 1) 各台变压器一、二次侧绕组的极性应该相同。
- 2) 各台变压器一、二次侧绕组的额定电压必须相等，即变比应该相等。

3) 各台变压器的短路电压(阻抗电压) U_K 的百分数应该相等(即电阻压降分量 $U_{K_R}\%$ 和电抗压降分量 $U_{K_X}\%$ 应分别相等)

如图 1-10 所示，变压器 I 和变压器 II，变比相等，短路电压相等，一、二次侧绕组的极性相同，即同极性线端 A_I 与 A_{II} ， X_I 与 X_{II} ， a_I 与 a_{II} ， X_I 与 X_{II} 分别连接在共同的一次侧和二次侧母线上并联运行，在两个二次侧绕组所构成的回路中，两个二次侧绕组端电压大小相等，方向相反，电压差等于零，因此在变压器内部没有不平衡电流，各二次侧电流均经过负载而闭路。

而图 1-11 所示的变压器 I 和变压器 II，虽然变比相等，短路电压相等，但二次侧不同极性的线端 a_I 与 x_{II} ， x_I 与 a_{II} 连在一起，则在两二次侧绕组所构成的回路中，两二次侧电压大小相等，方向相同，此时电压差不为零，而为两

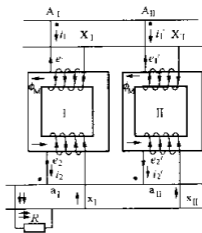


图 1-10 变比相等、短路电压相等、极性相同的变压器并联运行

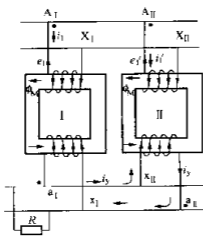


图 1-11 变比相等、短路电压相一、二次侧绕组极性相同的等、极性相反的变压器并联运行情况下，才能并联工作。

倍的二次侧电压。由于变压器阻抗压降很小，在这样大的电压差作用下，变压器内部就会产生很大的短路电流，使变压器因过热而遭到损坏，因此在使用变压器前必须进行极性试验，以判断变压器出线端的极性。当两台或两台以上的变压器并联运行时，只有在各台被并联的变压器

第三节 单相变压器的极性试验

单相变压器的极性试验方法有交流法和直流法两种，交流法须用低压交流电源和测量电压用的交流电压表。用测量被试变压器高压绕组、低压绕组的电压以及高低压绕组之间的电压，来判断变压器出线端的极性。

直流法一般多采用 1.5V 的干电池或 2~6V 的蓄电池和直流电流表或直流电压表，在变压器高压绕组接通直流电源的瞬间，测量低压绕组电流或电压的正负方向来确定变压器出线端的极性。

一、交流法

用交流法测量单相变压器的极性时，是将变压器的高压绕组 X 端和低压绕组 x 端用导线连接起来，然后在高压绕组 A—X 间，外施较低的便于测量的交流电压如图 1-12 (a)

所示，再用交流电压表分别测量 AX 和 ax，Aa 之间的电压， U_{AX} ， U_{ax} 和 U_{Aa} 。

(1) 如果测量结果 $U_{Aa} = U_{AX} - U_{ax}$ ，即 $U = U_1 - U_2$ ，则称这台被试变压器为减极性变压器，其出线端 A 与 a，X 与 x 极性是相同的，试验时的接线图和相量图如图 1-12 (b) 所示。

(2) 如果测量结果 $U_{Aa} = U_{AX} + U_{ax}$ (即 $U = U_1 + U_2$)，则称这台被试变压器为加极性变压器，其出线端 A 与 a，X 与 x 是异极性的，试验时的接线图和相量图如图 1-12 (c) 所示。

例如一台 10000/230V 的单相双绕组变压器，用导线把 X 与 x 连接后在高压绕组 AX 间加 380V 的交流电压，如图

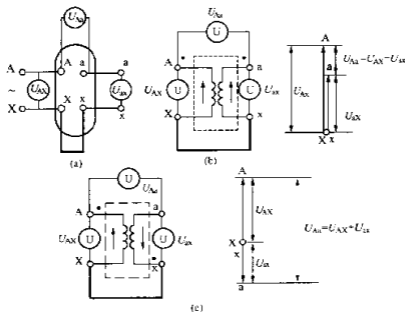


图 1-12 用交流法测定单相变压器的极性

1-13 所示。

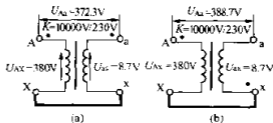


图 1-13 交流法测定极性

$$\therefore \text{变压器的变比 } K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10000}{230} = 43.5$$

当 $U_{AX} = 380\text{V}$ 时

$$U_{ax} = \frac{U_{AX}}{K} = \frac{380}{43.5} = 8.7\text{V}$$

如果测量结果 $U_{Aa} = U_{AX} - U_{ax} = 380 - 8.7 = 372.3\text{V}$ 。

则变压器出线端的标志方式是减极性的，即 A 与 a，极性相同，X 与 x 的极性也是相同的。

如果测量结果 $U_{Ax} = U_{AX} + U_{ax} = 380 + 8.7 = 388.7\text{V}$ 时，则变压器出线端的标志方式是加极性的，即 A 与 a 是异极性的，X 与 x 也是异极性的。

二、直流法

用直流法测单相变压器的极性时，为了安全，试验时在变压器高压绕组接入一个 1.5V 的干电池或 2~6V 的蓄电池和刀开关 P，电池的“-”极接至 X 而“+”极接到刀开关 P，然后再由刀开关 P 的另一端接到 A，在低压绕组 ax 间接入一个直流毫伏表（或直流毫安表），表的“+”端子与变压器低压绕组 a 相接，表的“-”端子与 x 相接，如图 1-14 所示。

当合上刀开关 P 的瞬间，变压器铁芯充磁，根据电磁感应定律，在变压器两绕组中感应电动势 e_1 和 e_2 用来产生削磁电流，反抗磁通增加，其电动势方向如图 1-15 (a) 所示，此时接在直流毫伏表“+”端子上的线端 a 其极性为正，接在直流毫伏表“-”端子上的线端 x 极性为负，故在合刀开关 P 的瞬间直流毫伏表的指针向零刻度的正方向（右方）正摆。

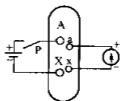


图 1-14 用直流法测定单相变压器的极性

图 1-15 (b) 所示，在拉开刀开关 P 的瞬间，变压器铁芯中的磁通急于消失，根据电磁感应定律两绕组中将感应电动势 e_1 和 e_2 用来产生增磁电流，反抗磁通减少，电动势的方向如图 1-15 (b) 所示，此时接在直流毫伏表“+”端子上的线端 a 其极性为负，而接在直流毫伏表“-”端子上的线端 x 极性为正，故在拉闸的瞬间直流毫伏表的指针向合闸时的相反方向即向零刻度反方向（左方）反摆。

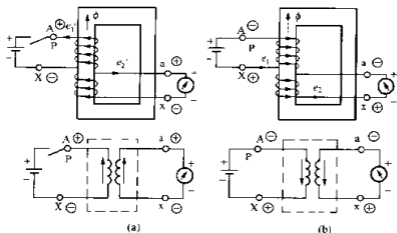


图 1-15 合闸时正摆、拉闸时反摆为减极性变压器

上述两项试验的结果说明被试变压器 A 与 a, X 与 x 是同极性的, 即这台变压器出线端的标志方式是减极性的。

反之, 当合上刀开关 P 的瞬间, 直流毫伏表反摆, 而拉开刀开关 P 的瞬间直流毫伏表正摆时, 则 A 与 a, X 与 x 是异极性的, 被试变压器则为加极性的, 如图 1-16 所示。

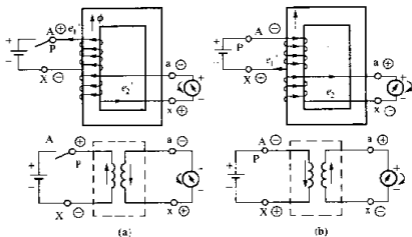


图 1-16 合闸时反摆、拉闸时正摆为加极性变压器

第二章

三相变压器的联结和极性

第一节 三相变压器的联结

正弦交流电能，目前几乎都是以三相交流的系统进行传输和使用的，要将某一电压等级的三相交流电能转换为同频率的另一电压等级的三相交流电能，可用三相变压器来完成。三相变压器按磁路系统的不同可分为两类。

(1) 三相组式变压器或称组式变压器，是由三台单相变压器按一定联结方式组合而成，其特点是各相磁路各自独立而互不相关，如图 2-1 所示。

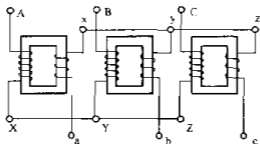


图 2-1 组式三相变压器

(2) 三相芯式变压器或称为芯式变压器。是三相共用一个铁芯的变压器，其特点是各相磁路互相关联，如图 2-2 所示。

组式芯式三相双绕组变压器高压侧和低压侧都有三个绕

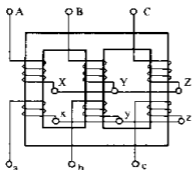


图 2-2 芯式三相变压器

组，总共 6 个绕组，十二个首末端端如图 2-3 (a) 所示。高压绕组的首端用 A、B、C 表示，末端用 X、Y、Z 表示。低压绕组的首端用 a、b、c 表示，而末端用 x、y、z 表示。

如果将三个高压绕组联成三相绕组时，则有两种基本接法。

(1) “Y”接法。即称为星形接法，是将三个绕组的首端 X、Y、Z 联在一起，结成中性点 O，再将三个首端 A、B、C 引出箱外，其接线及相量图如图 2-3 (b) 所示。

如果中性点 O 也引出箱外，则称为中点引出箱外的星形接法，以符号“Y0”表示，其接法及相量图如图 2-3 (c) 所示。

(2) “ Δ ”接法。即三角形接法，是将三个绕组的首端和末端顺次连接起来，如图 2-3 (d) 所示，A 与 Y，B 与 Z，C 与 X 相连接，或如图 2-3 (e) 所示，A 与 Z，B 与 X，C 与 Y 相连接，然后将 A、B、C 三个线端引出箱外，由图可知“ Δ ”接法是没有中性点的。

三相变压器低压侧的三个绕组，联成三相时同高压绕组一样，可以接成“Y”形、“Y0”形、“ Δ ”形。

一台三相变压器的高压绕组和低压绕组可以都接成“Y”形或“ Δ ”形，或高压绕组接成“Y”而低压绕组接成“ Δ ”形，同样也可以将低压绕组接成“Y”形而高压绕组接成“ Δ ”形。

一般将高压绕组的接法写在短斜线的左上边，低压绕组

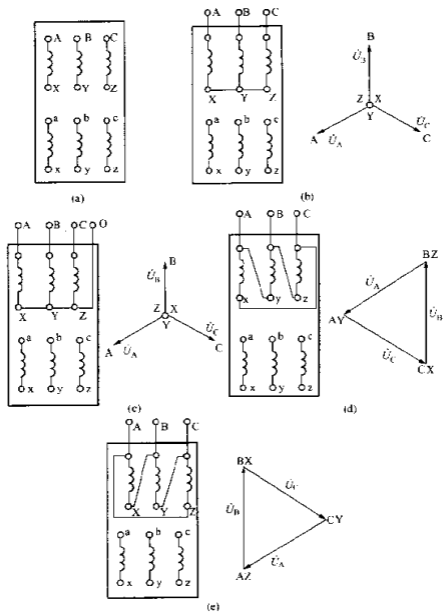


图 2-3 三相变压器绕组基本接法

的接法写在短斜线的右下边如 Y/Y, Y/ Δ 等, 均表示高压绕组和低压绕组的连接方法。

第二节 三相变压器的极性

三相变压器进行三个相绕组连接时, 必须注意各个相绕组首端和末端标志, 例如星形连接时, 将三个相绕组的末端 X、Y、Z 连在一起, 而首端 A、B、C 引出, 而三角形连接时, 一相的末端接至另一相的首端, 依次相连而成闭合回路, 如果三个相绕组, 首末端不明或极性不明, 是不能任意连接的, 否则有可能连接不正确, 变换出来的二次侧电压可能不对称, 在三角形连接时, 甚至可能在闭合回路内产生环流, 严重时将使变压器绕组因过热而损坏。因此对三相变压器的极性是需要加以测定的。

一台三相双绕组变压器由三个高压绕组和三个低压绕组组成, 而每相高压绕组和低压绕组之间的极性关系与单相变

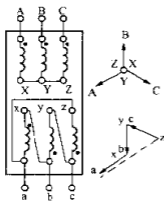


图 2-4 二次侧绕组不同极性的连接

压器高压绕组与低压绕组之间的极性关系完全相同, 即三相变压器每相的高低电压绕组存在着相对应的极性, 即出线端存在着同极性端或异极性端, 而相与相之间还存在着相间极性, 例如高压绕组的 A 相与 B 相, B 相与 C 相, C 相与 A 相都有相对应的同极性端或同名端。也就是说三个相绕组的 6 个线端中有三个线端是同极性端标以“·”号。例如图 2-4 中三个高压绕组 A、B、C

线端标有“·”号，以示出其极性关系，而另外三个线端 X、Y、Z 虽然也是同极性端但不再加“·”号表示。同理三相变压器三个低压绕组各相绕组也应标出同极性端（即同名端），如图 2-4 中 x、b、c 三个线端标有“·”号则为同极性端。

如果一台三相变压器同极性端不明，随意将三个绕组连接起来就会造成三相电压不对称或产生短路电流，使变压器不能正常工作，甚至于烧毁。

例如图 2-4 所示的三相变压器低压绕组中 a 相的极性与其他两相相反，如将三个相绕组接成“ Δ ”形，则在闭合的三角形中三相总电动势不为零，而为二倍相电动势，如图 2-4 中相量图所示。此时如果在高压侧施以额定电压，则由于低压绕组三角形回路中短路电流很大，造成严重的短路故障。因此三相变压器在联结时必须注意各相绕组的极性，如果极性不明时，绝不可任意地联结。

第三节 三相变压器极性试验

三相变压器极性试验同单相变压器极性试验一样，也有交流法和直流法两种。

在测量极性前先用万用表（或摇表）分别测出高压侧或低压侧 6 个线端中哪两个线端是属于同一相的，并标以标志，然后测量高压侧 A、B、C 三相相间极性和高低压绕组相对极性。

一、交流法

1. 测试高压侧 A、B、C 三相相间极性

测试时在高压侧某一相中外施较低的交流电压，使铁芯中建立主磁通，根据电磁感应定律在另外两相中将感应电动

势，用交流电压表测量电压，比较电压的大小，可以确定其相间极性。

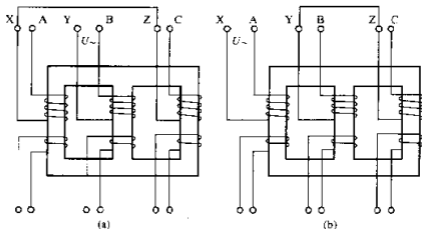


图 2-5 用交流法测定三相变压器三相相间极性

例如测试 AC 两相间的相间极性时如图 2-5 (a) 所示。

(1) 将 XZ 两个线端用导线连接起来，然后在 B 相上外施便于测量的较低的交流电压 U_{\sim} 。

(2) 用交流电压表测量 AC 间 AX, CZ 线端间的电压 U_{AC} , U_{AX} 和 U_{CZ} 。

如果 $U_{AC} = |U_{AX}| - |U_{CZ}|$ ，则图 2-5 (a) 所示的相间标志正确，即 A 与 C, X 与 Z 是同极性的。

如果 $U_{AC} = |U_{AX}| + |U_{CZ}|$ ，则图 2-5 (a) 所示的标志不正确，即 A 与 C, X 与 Z 是异极性的，此时应将 AC 两相中任意一相的线端标志互换，如将 A, X 互换为 X, A。

当 AC 相相间极性确定后，还要确定 BC 两相相间（或 AB 相间）极性。以判断 B 相的两个线端中，哪一个线端是与线端 C（或线端 A）的极性相同，如测 BC 相间极性时如

图 2-5 (b) 所示。

将 YZ 两个线端用导线连接起来，在 A 相上外施便于测量的较低的交流电压 $U \sim$ 。

用交流电压表测量 BC、BY 和 CZ 线端间的电压 U_{BC} 、 U_{BY} 和 U_{CZ} ，如果测量结果 $U_{BC} = |U_{BY}| - |U_{CZ}|$ 则图 2-5 (b) 所示的相间标志是正确的即 B 与 C，Y 与 Z 是同极性的。

如果测量结果 $U_{BC} = |U_{BY}| + |U_{CZ}|$ ，则图 2-5 (b) 所示的相间标志是不正确的，B 与 C，Y 与 Z 是异极性的，此时应将 B 相两个线端标志互换，如将 B、Y 互换为 Y、B。

2. 测试每相高低压绕组的极性

测试的方法和测试单相变压器极性的方法完全相同。如测试 A 相高低压绕组的极性如图 2-6 所示。

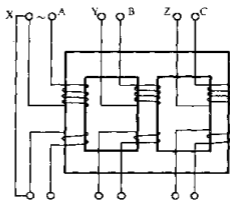


图 2-6 用交流法测定每相高低压绕组极性

(1) 将 X 与 x 用导线连接起来，在 AX 间外施便于测量的较低的交流电压。

(2) 用交流电压表测量 Aa、AX 和 ax 线端间的电压 U_{Aa} 、 U_{AX} 和 U_{ax} 。

如果测量结果 $U_{Aa} = U_{AX} - U_{ax}$ ，则图 2-6 所示的标志正确，即 A 与 a，X 与 x 极性相同。

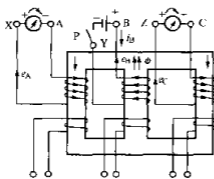
如果测量结果 $U_{Aa} = U_{AX} + U_{ax}$ ，则图 2-6 所示的标志

不正确，A 与 a，X 与 x 极性相反，则须将低压绕组的标志对调，如将 a，x 换为 x，a。同理，其他两相高低压绕组的极性亦可依上述方法定出。

二、直流法

1. 测量 A、B、C 三相相间极性

将一个 1.5V 的干电池（用于小容量变压器）或 2~6V 的蓄电池（用于电力变压器）和刀开关接入三相变压器高压侧任一相中，然后用一个直流电流表（或直流电压表）测量另外两相电流（或电压）的方向来判断其相间极性。



例如以 B 相为基准，在 B 相上加直流电源，电源的“+”接 B，电源的“-”经刀开关 P 接至 Y，而 A 与 C 两相各接一个直流电流表来确定 A 相和 C 相的同极性线端时，其判别方法如下：

(1) 如果在合上刀开关 P 的瞬间，两表同时向正方向（右方）摆动时，则接在直流电流表“+”端子上的线端是相尾 X 和 Z，接在表“-”端子上的线端是相头 A 和 C，在合上刀开关 P 的瞬间各相绕组的感应电动势方向如图 2-7 所示。

(2) 如果在合闸的瞬间，两表同时向零刻度（左向）摆动时，则接在直流表的“+”端子上的线端是相头 A 和 C，接在表“-”端子上的线端是相尾 X 和 Z，如图 2-8 所示。

(3) 如果在合闸的瞬间，两表各向零刻度的相反方向摆动时则反摆（左摆）的直流表的“+”端子上的线端是相

头，表的“-”端子上的线端是相尾，面正摆（右摆）的直流表的“+”端子上的线端是相尾，表的“-”端子上的线端是相头。

由上述可知，测试三相变压器相间极性与测试单相变压器的极性其判别方法恰好相反，即在合闸的瞬间直流表正摆时，则接在直流电源“+”极上的线端与接在表的“-”端子上的线端是同极性的。

当合刀开关P的瞬间直流表反摆时，则接在直流电源“+”极上的线端与接在表的“+”端子上的线端是同极性的。如果采用判别单相变压器极性的方法来判别三相变压器相间的极性，那么如图2-7所示，A、C和Y是同极性的，而X、Z和B也是同极性的，显然这种结果是错误的。

2. 测试每相高低压绕组的极性

测试的方法与测试单相变压器极性的方法完全相同，例如测试A相高低压绕组极性时，在高压侧AX间接一直流电源“+”极接至A“-”极经刀开关P接至X，而低压绕组接一直流电流表，表的“+”端子接线端a，表的“-”端子接线端x。

(1) 如果合上刀开关P的瞬间，直流电流表指针向零刻度正方向（右方）正摆时如图2-9(a)所示，则接在表的“+”端子上的线端与接在直流电源“+”极的线端是同极性的，而接在表的“-”端子上的线端与接在直流电源

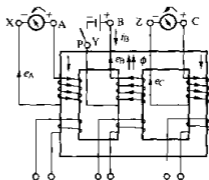


图2-8 用直流法测定三相变压器三相相间极性（反摆）

“-”极上的线端也是同极性的。

(2) 如果合上刀开关P的瞬间直流电流表指针向零刻度反方向(左方)反摆时如图2-9(b)所示,则接在表的“+”端子上的线端与接在直流电源“-”极上的线端是同极性的,而接在表的“-”端子上的线端与接在直流电源“+”极上的线端也是同极性的。

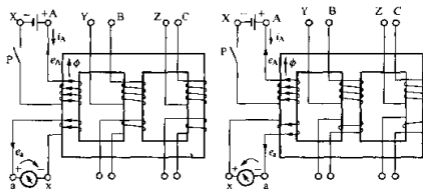


图2-9 用直流法测定三相变压器每相高低压绕组极性

用直流法测变压器极性时,对于变比大的变压器,可选用较高的直流电源,例如选用6V蓄电池和量程小的直流毫伏表,如读数不明显时也可以采用直流毫安表。

对于变比小的变压器选用较低的直流电源,例如1.5V和较大量程的直流毫伏表,为了使直流表的摆动明显最好使用零点在中间的直流毫伏表或毫安表,其量程大小根据变压器的变比而定。

第三章

三相变压器的接线组别

第一节 接线组别和时钟表示法

对于三相变压器来说，由于变压器是由三个一次侧绕组和三个二次侧绕组组成，而一次侧绕组和二次侧绕组间，电压和电流都存在着相位关系，因此三相变压器就有了接线组别之分。

所谓接线组别就是指二次侧绕组线电压和一次侧绕组对应线电压的相位差。

接线组别与下列因素有关：

- (1) 绕组的绕线方式。
- (2) 绕组线端的标志方式。
- (3) 三相绕组的接线方式。

根据上述方式的改变，三相变压器可以得到不同的接线组别。

例如一台三相变压器，一次侧绕线和二次侧绕线都接成星形，两绕组的绕线方向相同，而且都以同极性端作为首端和末端，即绕组线端的标志相同，如图 3-1 所示。图中箭头“↓”为绕线方向，“·”为同极性端。

由单相变压器极性的相量表示法可知，当一、二次侧绕组绕向相同，标志相同时，对应相电压同相，即同一铁芯柱上的一、二次侧绕组相电压同相。因此一、二次侧相电压

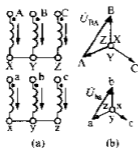


图 3-1 Yyn 组

\dot{U}_a 、 \dot{U}_b 、 \dot{U}_c 分别和一次侧相电压 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 相同，由图 3-1 (b) 所示的相量图可知，二次侧绕组对应线电压如 \dot{U}_{BA} 和 \dot{U}_{ba} 也是同相的，也就是说二次侧线电压和一次侧对应线电压相位差为 0° ，我们把这种连接的三相变压器称为 12 接线组别的三相变压器，

记为 Yyn。

如果将上述 Yyn 组变压器二次侧绕组各相线端标志倒换一下如图 3-2 所示，则一次侧绕组和二次侧绕组以不同极性端作为首端和末端，即一、二次侧绕组线端标志相反，那么画相量图时，一、二次侧绕组对应相电压反相，相位差 180° 。

这时对应的线电压如 \dot{U}_{BA} 和 \dot{U}_{ba} 就有 180° 的相位差，因此接线组别也就发生变化，我们把这种三相变压器称为 Yy6 组。

三相变压器以不同的绕线方向，线端标志和接线方式可以得到 12 种接线组别，其中有 6 种组别是双数，6 种组别是单数。

凡是一、二次侧绕组接线相同的例如 Dd 或 Yy 都属于双数组别 (2、4、6、8、10、12)。凡是一、二次侧绕组接线不同时例如 Yd 或 Dy 都属于单数组别 (1、3、5、7、9、11)。

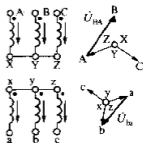


图 3-2 Yy6 组

接线组别可以用时钟的面盘来度量，时钟面盘上有两个指针和 12 个格，因为一个圆周角为 360° ，因此每一格就代

表 $360^\circ \times \frac{1}{12} = 30^\circ$ 。例如 12 和 4 之间相隔 4 个格，则两个指针表示的 \dot{U}_{BA} 和 \dot{U}_{bn} 相量其相位差为 $4 \times 30^\circ = 120^\circ$ 。

计算角度时都是按顺时针方向，并以 12 点作为基数的。如图 3-3 所示两指针顺时针方向相差 330° 就相隔 11 格。在确定相线组别时钟盘上的分针（长针）代表一次侧线电压相量固定在 12 点上，而时针（短针）代表二次侧对应线电压相量。根据一、二次侧对应线电压的相位差，按顺时针方向划出时针的方向时，则时针所指的点数即为变压器的接线组别。



图 3-3 时钟法

例如图 3-1 所示的相量图，一次侧线电压相量 \dot{U}_{BA} 指向 12 点时，二次侧线电压 \dot{U}_{bn} 也指向 12 点，因此这种连接的三相变压器是 12 组的。而图 3-2 所示的相量图 \dot{U}_{BA} 指向 12 点时 \dot{U}_{bn} 却指向 6 点，因此这种连接的三相变压器接线组别是 6 组的。

第二节 接线组别的步骤和方法

决定三相变压器接线组别时可按下列步骤进行：

(1) 根据一次侧绕组和二次侧绕组接线方法和连接顺序绘出绕组接线图。

(2) 根据接线图作出一次侧相电压星形或三角形。

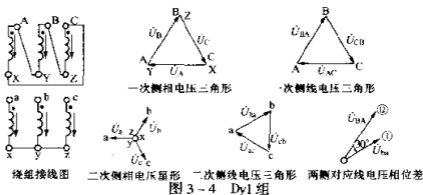
(3) 由绕组绕线方向，线端标志及接线图按对应相电压同相或反相原理作出二次侧相电压星形或三角形。

(4) 按一次侧绕组和二次侧绕相电压星形或三角形作出一、二次侧线电压三角形。

(5) 比较一、二次侧对应线电压相量，用时钟法确定接线组别。

例如一台 Dy 接法的三相变压器，一次侧为 Δ 形接法，连接顺序为 $A \rightarrow y \rightarrow B \rightarrow Z \rightarrow C \rightarrow x \rightarrow A$ ，二次侧为 Y 形接法，一次侧绕组和二次侧绕组绕线方向相同，以同极性端作为首端和末端，即线端标志也相同，用时钟法决定接线组别时其步骤如下：

(1) 根据一、二次侧接法和连接顺序绘出绕组接线图如图 3-4 所示。



(2) 作一次侧相电压三角形（考虑 Δ 形连接顺序）

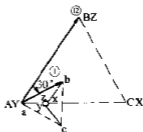
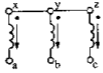
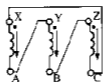
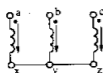
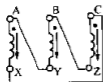
(3) 因为绕组绕向相同，标志相同，故一、二次侧对应相电压同相，根据此原理作出二次侧相电压星形。

(4) 由一、二次侧相电压三角形或星形作出一、二次侧线电压三角形。

(5) 比较一、二次侧对应线电压相量如 \dot{U}_{BA} 和 \dot{U}_{ba} ，当 \dot{U}_{BA} 指向 12 点时，按顺时针方向 \dot{U}_{ba} 对 \dot{U}_{BA} 相差 30° 即 \dot{U}_{ba} 指向 1 点，故这种连接的三相变压器是 Dy1 组的。

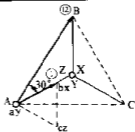
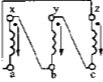
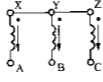
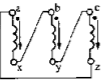
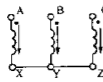
同理，按上述步骤可以确定任一三相变压器的接线组别。现将三相变压器基本接线方法的接线组别判断见图 3-5。

Dy1



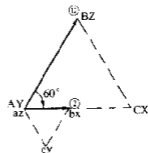
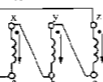
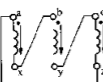
绕线方向相同
线端标志相同
对应相电压同相
对应线电压相差 30°

Yd1



绕线方向相同
线端标志相同
对应相电压同相
对应线电压相差 30°

Dd2



绕线方向相同
线端标志相同
对应相电压同相
对应线电压相差 60°

图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (一)

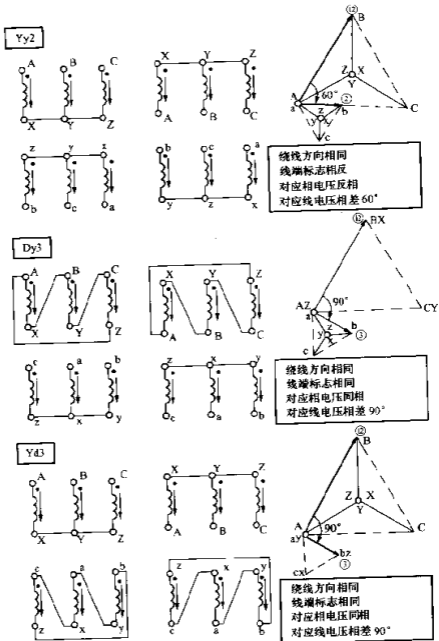
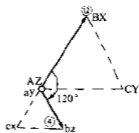
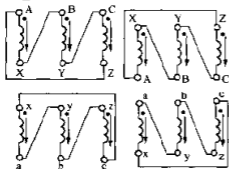


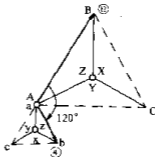
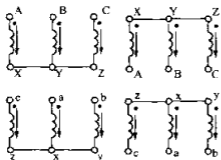
图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (二)

Dd4



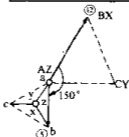
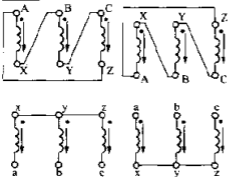
绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 120°

Yy4



绕线方向相同
线端标志相同
对应相电压同相
对应线电压相差 120°

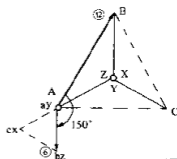
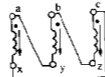
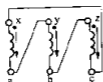
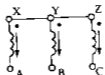
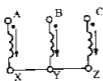
Dy5



绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压同相
对应线电压相差 150°

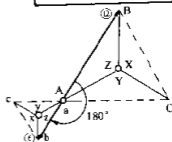
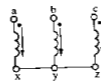
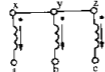
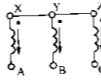
图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (三)

Yd5



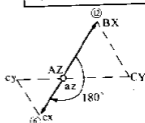
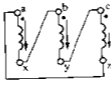
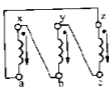
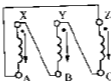
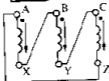
绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 150°

Yy6



绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 180°

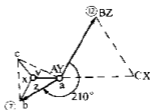
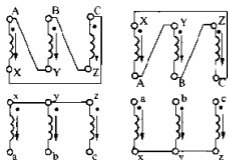
Dc6



绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 180°

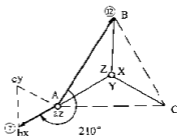
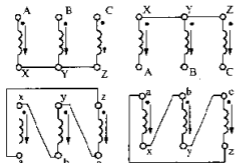
图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (四)

Dy7



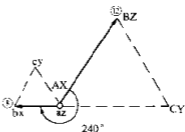
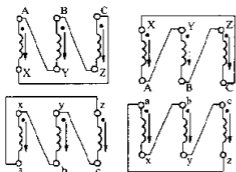
绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 210°

Yd7



绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 210°

Dd8



绕线方向相同
线端标志相反
对应相电压反相
对应线电压相差 240°

图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (五)

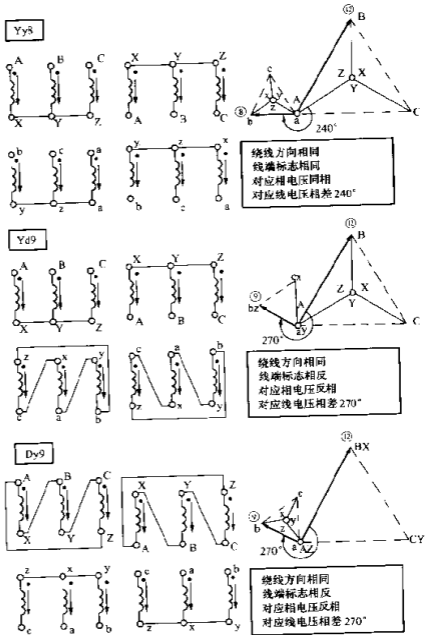
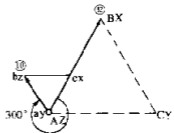
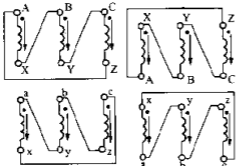


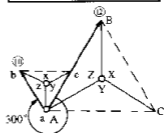
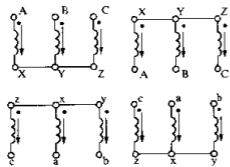
图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (六)

Dd10



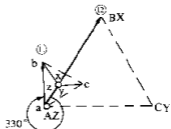
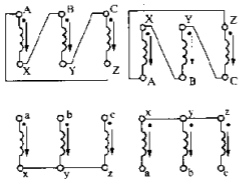
绕线方向相同
 线端标志相同
 对应相电压同相
 对应线电压相差 300°

Yy10



绕线方向相同
 线端标志相反
 对应相电压反相
 对应线电压相差 300°

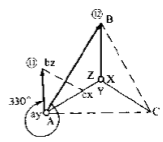
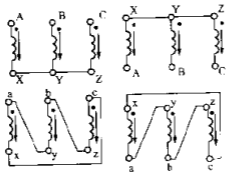
Dy11



绕线方向相同
 线端标志相同
 对应相电压同相
 对应线电压相差 330°

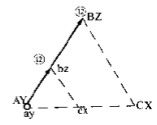
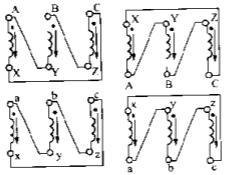
图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (七)

Yd11



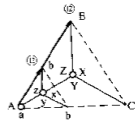
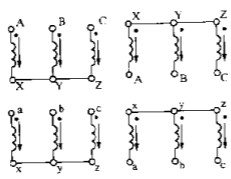
绕线方向相同
 线端标志相同
 对应相电压同相
 对应线电压相差 330°

Dd12



绕线方向相同
 线端标志相同
 对应相电压同相
 对应线电压相差 0°

Yy12



绕线方向相同
 线端标志相同
 对应相电压同相
 对应线电压相差 0°

图 3-5 三相变压器基本接线方法的接线组别判断 (八)

第三节 标准联结组

由前节可知三相变压器有许多可能的接线方法，为了避免混乱起见，在工业标准中规定采用几种作为标准联结组，我国采用下列三种作为电力变压器的标准联结组：

- (1) Yyn12 组。
- (2) Yd11 组。
- (3) YNd11 组。

其中 Y_n 为中性点引出变压器箱外的星形接法。

各种标准联结组应用范围如下：

(1) Yyn12 组三相变压器用在二次侧电压为 230 ~ 400V 的配电线路中以供给照明和动力混合负载，其中线与中性点的 230V 相电压供给照明负载使用，而线与线的 400V 线电压供给动力负载使用。

(2) Yd11 组三相变压器，用在一次侧线电压在 35kV 或 35kV 以下，二次侧线电压高于 400V 的线路中。

(3) YNd11 组三相变压器，用在一次侧线电压在 110kV 或 110kV 以上的中性点需要直接接地或经阻抗接地的高压线路中。

第四节 不改变变压器内部接线而改变接线组别

三相变压器并联运行时，并联条件之一就是接线组别必须相同，如果接线组别不同，在绝大多数情况下，可以在不改变变压器内部接线，而改变变压器外部线端（套管）标志时，就能将不同接线组别的变压器改成为接线组别相同的变

压器。

在不改变变压器内部接线时，能改变接线组别的方法有：

(1) 一次侧线端（套管）标志不变，而改变二次侧线端（套管）标志时可以改变接线组别。

(2) 一次侧和二次侧线端（套管）标志同时改变时可以改变接线组别。

(3) 一次侧和二次侧互换时可以改变接线组别。

一、一次侧线端标志不变，而改变二次侧线端标志时，接线组别的变化

例如一台 Yd 接线，接线组别为 1 的三相变压器，在内部接线不变和一次侧线端标志不变的情况下，改变二次侧线端标志时，接线组别可以改成为 Yd5 组和 Yd9 组。

由图 3-6 可知，Yd1 组和 Yd5 组三相变压器，内部接线相同，一次侧线端标志也相同，但当二次侧线端 a、b、c 对一次侧线端 A、B、C 转移 120° 时，在这种情况下，三角形 abc 对三角形 ABC 顺时针方向也转移了 120° ，则接线组别由 1 组变为 5 组，即增加了 4 组，如图 3-6 (I)、(II) 所示。

如果将二次侧线端对一次侧线端再转移 120° 即 abc 三角形对 ABC 三角形转移了 240° ，则接线组别又增加 4 组，即由 5 组变为 9 组，如图 3-6 (III) 所示。

由此可见，在变压器内部接线和一次侧线端标志不变的情况下，只要顺序地改变二次侧线端标志时，接线组别就会改变，当二次侧线端标志对一次侧线端标志顺序地向前移转 120° 时，接线组别就在原来的基础上增加 4 组，移转 240° 就增加 8 组，移转 360° 接线组别不变。按照这一变化规律可以

把 12 种接线组别的三相变压器，接线组别随标志改变的关系系列成表 3-1。

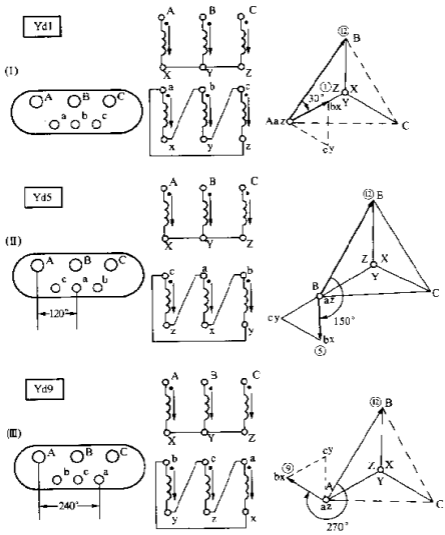


图 3-6 内部接线相同的 1-5-9 组变压器

表 3-1 一次侧线端标志不变, 而二次侧线端标志
改变时组别的变化

一次侧线端标志	A B C	接 线 组 别											
	a b c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
二次侧线端标志	c a b	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
	b c a	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8

根据表 3-1 的变化规律又可以把这些只改变二次侧线端标志就能使接线组别相同的变压器列成四个系统, 如表 3-2 所示, 其中两个为双数系统, 两个为单数系数。

必须指出: 在表 2 的四个系统中:

(1) 单数的 1、5、9 组之间, 只要顺序地改变二次侧线端标志, 就可以使接线组别彼此相同 (见图 3-6)。

(2) 单数的 3、7、11 组之间, 只要顺序地改变二次侧线端标志就可以使接线组别彼此相同 (见图 3-7)。

(3) 单数的 1、5、9 组和 3、7、11 组之间, 只要改变标志后就能使接线组别彼此相同 (见第四章第一节)。

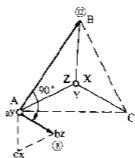
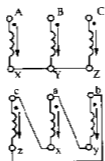
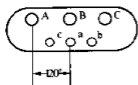
(4) 双数的 2、6、10 组之间, 只要顺序地改变二次侧线端标志, 就可以使接线组别彼此相同 (见图 3-8)。

(5) 双数的 4、8、12 组之间, 只要顺序地改变二次侧线端标志, 就可以使接线组别彼此相同 (见图 3-9)。

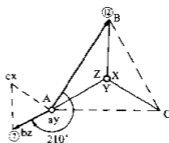
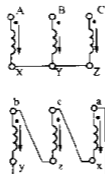
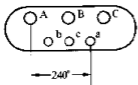
应该注意:

1) 双数的 4、8、12 组和双数的 2、6、10 组之间 (例如 4 组与 2 组) 必须改变内部接线后, 才能使接线组别相同。

Yd3



Yd7



Yd11

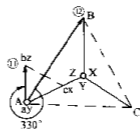
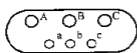


图 3-7 内部接线相同，一次侧线端标志相同的
3-7-11组变压器

2) 单数组和双数组之间永远不能使接线组别相同，因为无论在任何情况下，和无论作任何换接都不能把单数组改

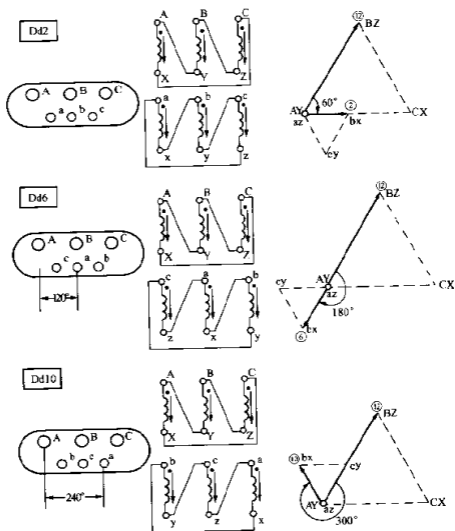


图 3-8 内部接线相同，一次侧线端标志相同的 2-6-10 组
变压器

成为双数组，也不能把双数组改成为单数组（其条件是变压比不变时）。

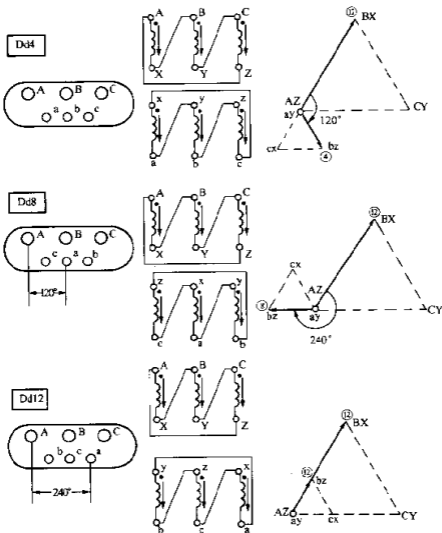


图 3-9 内部接线相同，一次侧线端标志相同的 4-8-12 组变压器

二、一次侧和二次侧线端标志同时改变时，接线组别的变化

在变压器内部接线不变时，除了6组和12组的三相变压器外，其他接线组别的三相变压器，一次侧绕组和二次侧绕组线端由左向右标志A、B、C和a、b、c与由右向左标志A、B、C和a、b、c时其接线组别是不相同的。

图3-10(a)为Yd1组变压器，图3-10(b)为Yd11组变压器，两者相比，内部接线完全相同，而线端标志不同，前者一、二次侧绕组线端均由左向右标志，而后者一、二次侧绕组线端均由右向左标志，由相量图可知，其接线组别就由1组变成11组。

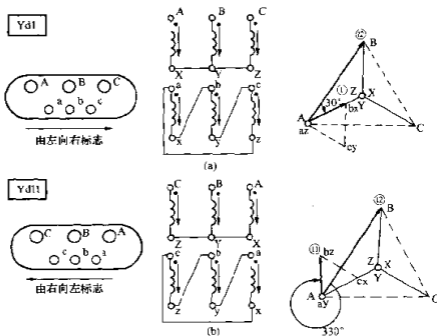


图3-10 内部接线相同，一、二次侧标志顺序相反的1-11组变压器

同理，将一次侧和二次侧线端标志同时改变标志方向时，2组可以改成为10组，而3组可以改成为9组，如图3-11……把这些改变的规律列成表3-2，由表3-2可知一次侧、二次侧绕组线端标志同时顺序地改变时，接线组别是可以改变的。

表 3-2 一、二次侧线端标志同时改变时组别的变化

A、B、C和a、b、c三相序号由左向右标志时量出的组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A、B、C和a、b、c三相序号由右向左标志时量出的组别	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	12

因此，变压器一、二次侧线端不能任意地由左向右，或由右向左标志A、B、C和a、b、c，否则当标志的方向相反时得出的接线组别就会绝然不同。

通常三相变压器出线线端在出厂时制造部门是这样标志的，即面向变压器低压侧，而高压侧和低压侧的线端均由右向左顺序地标以A、B、C（高压侧标志）和a、b、c（低压侧标志），并将A相涂以黄色，B相涂以绿色，C相涂以红色，并分别注以首端A、B、C和a、b、c字样。

为了说明表3-3，可以用相量图加以分析，现将其他接线组别的变压器，在内部接线不变的情况下，将一、二次侧标志同时改变时接线组别的变化情况各举一例，以供比较（如图3-12、图3-13、图3-14、图3-15）。

三、三相变压器一、二次侧互换时接线组别的变化

同一三相变压器如果以高压侧作为一次侧量出来的接线组别是第1组时，反过来以低压侧作为一次侧时，量出来的

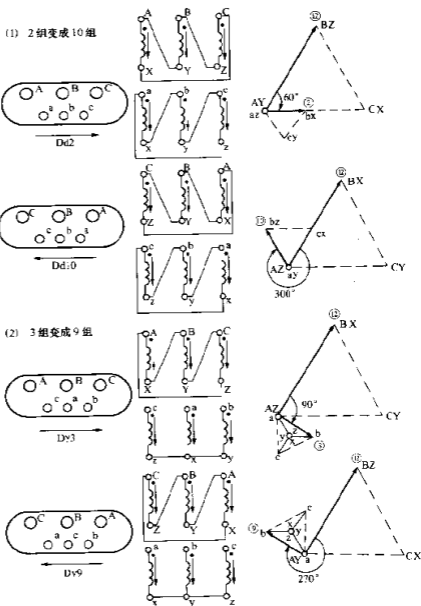
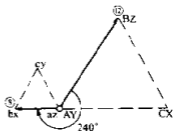
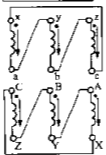
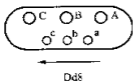
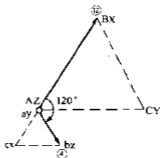
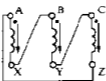
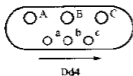


图3-11 三相变压器内部接线不变，高低压侧线端同时改变时，组别的变化（一）

(3) 4组变成8组



(4) 5组变成7组

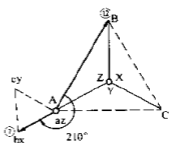
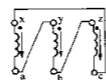
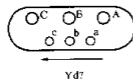
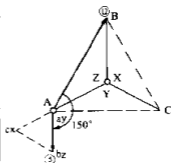
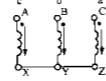
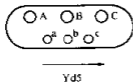
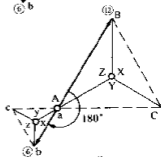
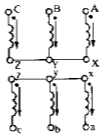
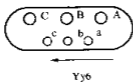
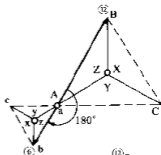
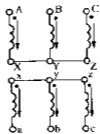
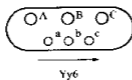


图3-12 三相变压器内部接线不变，高低压侧线端同时改变时，组别的变化(二)

(5) 6组不变



(6) 7组变成5组

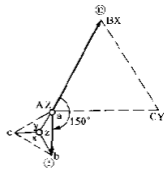
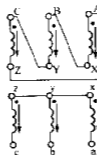
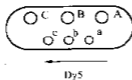
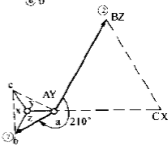
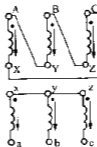
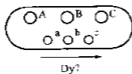


图 3-13 三相变压器内部接线不变, 高低压侧线端同时改变时, 组别的变化 (三)

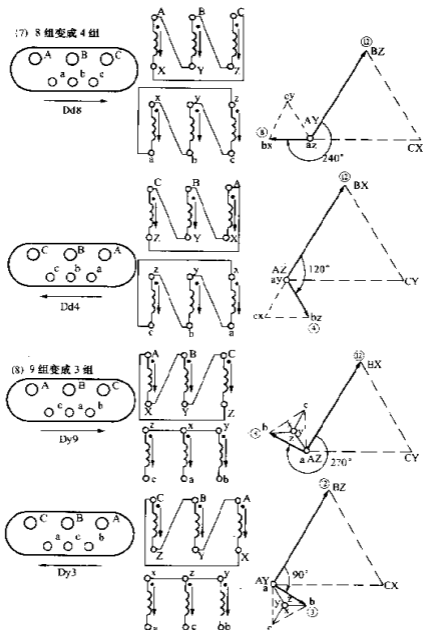


图 3-14 三相变压器内部接线不变，高低压侧线端同时改变时，组别的变化（四）

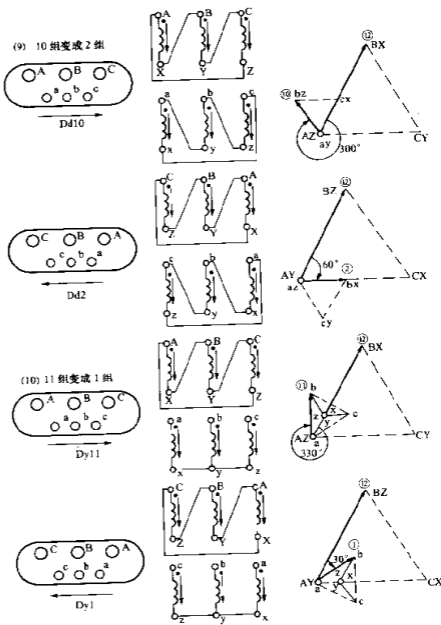


图 3-15 三相变压器内部接线不变，高低压侧线端同时改变时，组别的变化（五）

接线组别不再是第 1 组而是第 11 组。这种由于高低压绕组互换为一次侧时引起的组别变化如果用相量图来分析则这种变化是十分明显的。

如图 3-16 所示，如果以高压侧作为一次侧则接线方式为 Yd 接线，此时以高压侧线电压三角形 ABC 作为基准量，即以高压侧线电压作为分针，指向 12，而以低压侧对应线电压作为时针，如图 3-16 (a) 所示， \dot{U}_{ba} 按顺时针方向与 \dot{U}_{BA} 相差 30° ，则这种接线和标志的三相变压器为 Yd1 组。

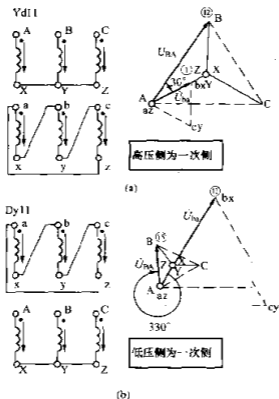


图 3-16 内部接线不变，高低压侧互为一侧时，1 组可以变为 11 组

反之，如果以低压侧作为一次侧则接线方式变为 Dy 接线，此时低压侧线电压三角形 abc 作为基准量，即以低压侧线电压作为分针，指向 12，而以高压侧对应线电压作为时针，那么由图 3-16 (b) 可知 \dot{U}_{BA} 按顺时针方向与 \dot{U}_{ba} 相差 330° ，此时三相变压器不再是 $Yd1$ 组而是 $Dy11$ 组。

由此可见，当以不同边作为一次侧时，接线组别是不相同的，对于其他组别的变压器也有这种关系，将这些由于高低压绕组互为一次侧时接线组别的变化情况列成表 3-3。

表 3-3 高压侧和低压侧互为一次侧时组别的变化

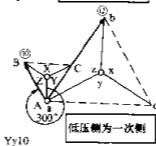
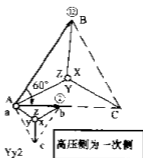
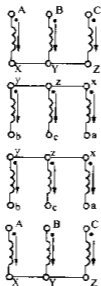
同一三相变压器以高压侧作为一次侧时量出来的组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
同一三相变压器以低压侧作为一次侧时量出的接线组别	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	12

应该知道：接电源的称为一次侧，一次侧绕组的接线方式写在短斜线的左边，变压器接负载的那一侧称为二次侧，二次侧绕组的接法写在短斜线的右边。例如上述变压器，以高压侧作为一次侧时为 Yd 接线，以低压侧作为一次侧时为 Dy 接线。

因此在经过组别试验后三相变压器铭牌上应注以接线方法，而接线组别则是以短斜线左边的接法作为一次侧时确定出来的。

为了说明表 3-4，现将其他接线组别的三相变压器，在内部接线不变，而高压侧和低压侧互为一次侧时，组别的变化情况各列举一例如下，以供分析和比较（如图 3-17、图 3-18、图 3-19、图 3-20、图 3-21）。

(1) 2组变成10组



(2) 3组变成9组

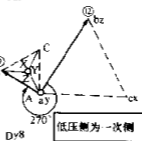
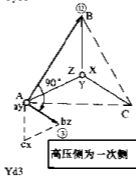
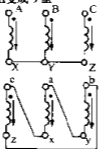
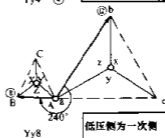
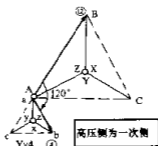
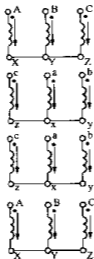


图 3-17 三相变压器内部接线不变, 高低压侧互为一次侧时, 接线组别的变化 (一)

(3) 4组变成3组



(4) 5组变成7组

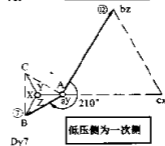
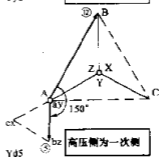
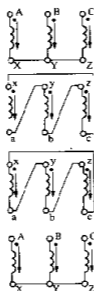
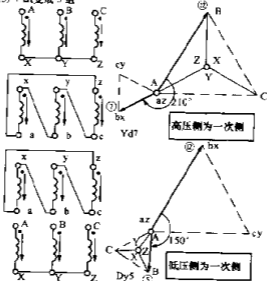


图 3-18 三相变压器内部接线不变, 高低压侧互为一次侧时, 接线组别的变化 (二)

(5) 7组变成5组



(6) 8组变成4组

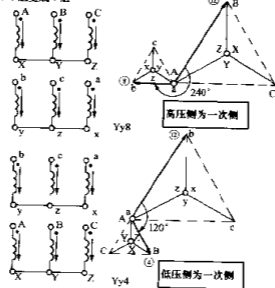
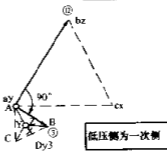
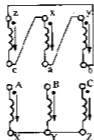
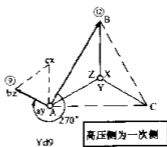
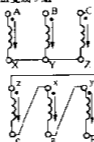


图 3-19 三相变压器内部接线不变，高低压侧互为一次侧时，接线组别的变化 (三)

(7) 9 组变成 3 组



(8) 10 组变成 2 组

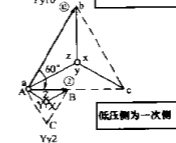
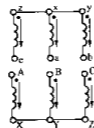
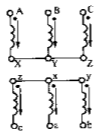


图 3-20 三相变压器内部接线不变，高低压侧互为一次侧时，接线组别的变化（四）

(9) 11 组变成 1 组

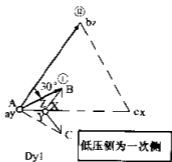
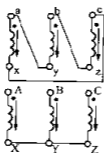
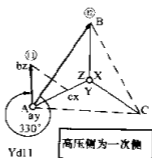
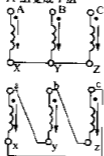


图 3-21 三相变压器内部接线不变, 高低压侧互为一次侧时, 接线组别的变化 (五)

第四章

三相变压器在电力系统中并联运行时组别的选择

第一节 三相变压器接线组别与并联运行的关系

众所周知三相变压器在并联运行时应符合下列三条件：

- (1) 变压比相等（允许相差 0.5%）。
- (2) 短路电压相等（允许相差 10%）。
- (3) 接线组别相同。

凡是符合上述条件的三相变压器可以并联运行，如果接线组别不同即使其他条件完全一致也绝不可并联运行，因为不同接线组别的三相变压器二次侧电压对一次侧电压有不同的相位差，如果将不同接线组别的三相变压器并联运行时，则在二次侧回路中由于各二次侧电压不同相位而产生电压差 ΔU_2 。

例如图 4-1 所示的两台三相变压器，一台为 Yy12 组，另一台为 Yd11 组，两台变压器接线组别不同，如果把这两台变压器并联运行，由图中相量可知，两二次侧线电压三角形相差 30° ，这时在变压器二次侧回路中将因两二次侧对应线电压相位不同而产生一电压差 ΔU_2 ，在数值上

$$\begin{aligned}\Delta U_2 &= b_{II} b_I = 2 \times a_1 b_I \sin 15^\circ \\ &= 0.52 a_1 b_I\end{aligned}$$

$$\therefore a_1 b_1 = U_1, \therefore \Delta U_2 = 0.52 U_1$$

$$\text{而} \quad U_\phi = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = 0.577 U_1$$

$$\text{则} \quad \Delta U_2 = 0.52 U_1 \approx U_\phi$$

式中 U_ϕ ——二次侧相电压；

U_1 ——二次侧线电压。

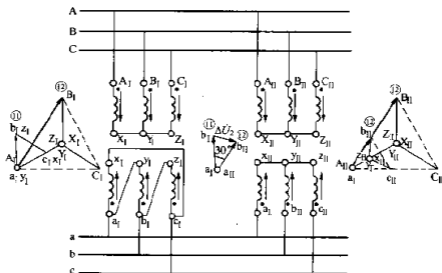


图 4-1 Yd11 和 Yy12 组变压器并联运行

由此可见：即使在最小的相位差等于 30° 时，电压差 ΔU_2 几乎与二次侧相电压相等，由于变压器阻抗很小，在电压差 ΔU_2 的作用下，将产生几倍于额定电流的不平衡电流 I_y ，在数值上：

$$I_y = \frac{\Delta U_2}{Z_{K\text{I}} + Z_{K\text{II}}}$$

式中： $Z_{K\text{I}}$ 和 $Z_{K\text{II}}$ 为 I 和 II 号变压器的阻抗。

因为相位差总是 30° 的倍数那么较大的相位差，将会产生更大的循环电流（不平衡电流），可能使变压器烧毁，这是绝对不能容许的，因此接线组别不同的变压器，绝对不能并联运行。

必须指出：在有些情况下，三相变压器接线组别虽不相同，但改变其线端标志后，便可成为同一接线组别，而能并联运行。这些能够在改变变压器外部线端标志后使接线组别相同而能并联运行的变压器有下列四种：

(1) 表 3-2 的第 I 系统 (1, 5, 9 之间)。

(2) 表 3-2 的第 II 系统 (2, 6, 10 之间)。

(3) 表 3-2 的第 IV 系统 (3, 7, 11 之间)。

(4) 表 3-2 的第 VI 系统 (4, 8, 12 之间)。

(5) 表 3-2 的第 I 系统与第 III 系统之间 (即 1, 5, 9 与 3, 7, 11 之间)。

为了说明单数的 1, 5, 9 和 3, 7, 11 之间，在改变线端标志后，能够使接线组别相同，现以 Yd5 组和 Yd11 组变压器为例。

如图 4-2 所示，如果将 Yd5 组改为 Yd11 组，则改变的一般方法如下：

(1) 首先将 Y/ Δ -5 组变压器的一次侧绕组和二次侧绕组线端标志 ABC 和 abc 整个顺序地反过来标志，即改成为 CBA 和 cba，如图 4-2(a)、(b) 所示，此时变压器内部接线不变，而接线组别却由 5 组变成为 7 组（即为表 3-3 所列）

(2) 在一次侧线端标志不变的情况下，再将二次侧线端标志顺序地向后转移 120° ，即由原来的 cba 改成为 bac，如图 4-2 (c) 所示，则接线组别就在原来 7 组的基础上增加 4 组而变成 11 组。

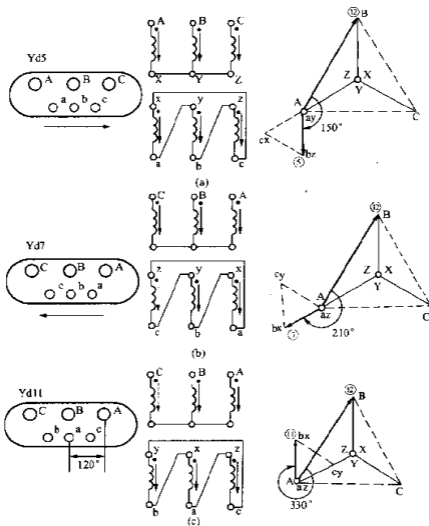


图 4-2 由 Yd5 组改为 Yd11 组

用上述方法使接线组别相同后，如果又符合其他并联条件时就可以将两台变压器进行并联，如图 4-3 所示。

同理用上述方法可以证明单数的任何组（1，5，9 和 3，7，11 之间）当改变外部线端标志后，就能使接线组别相

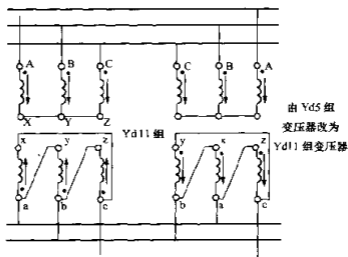


图 4-3 Yd11 组变压器并联运行由 Yd5 组变压器改为 Yd11 组变压器

同，而可以进行并联运行。

除上述一般方法外，Yd5 组和 Yd11 组变压器还可以将线端改成为表 4-1 所示的标志而使接线组别相同。

表 4-1 Yd11 组和 Yd5 组变压器的并联

接线组别	高 压 侧	低 压 侧
11	A B C	a b c
5	B A C	a c b
	A C B	c h a

表 4-1 所示的配合方法可以用图 4-4 来说明，由图 4-4 可知把 Yd5 组变压器改为这两种标志后，二次侧线电压与一次侧对应线电压在相位上相差 330° ，即为 11 组别，因

此可以与接线组别相同的变压器并联运行。

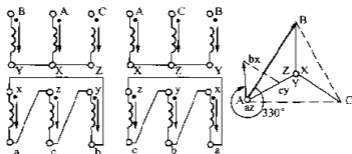


图 4-4 内部接线不变，改变外部线端标志的 Yd11 组

第二节 电力系统中三相变压器接线组别的选择

在电力系统中，变压器是重要的电气设备，用它可以将各个组别不同电压等级的电网联结起来，或提高电压后将大容量的电能经高压输电线传输到遥远的用电中心，或将高压输电线上的高电压降低到配电电压后供用户使用。

例如可以通过变压器得到 10, 35, 110, 220, 500kV 的高压输电电压和大型动力负载使用的 3kV, 6kV, 小型动力负载及照明负载用的 380V、220V 的配电电压。

电力系统中，经变压器变换电压后，电压不仅在数值上发生变化，同时在相位上也发生变化。由于电网中各级电压母线上电压的相位差不同，因此当变压器并入电网时必须考虑母线电压的相位问题，与被并入的变压器接线组别相符，即应选择适当接线组别的变压器，使该变压器并入电网后二次侧电压与母线电压相位相同。

图 4-5 为一输电系统的单线图，用它可以说，经变

压器变换电压后各级母线线电压所发生的相位移。

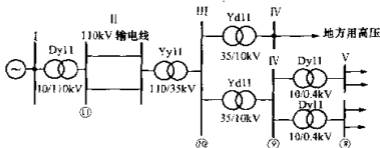


图 4-5 输电系统中 Yd11 组变压器变压后各级母线线电压的相位差

为了说明方便起见，假定所有三相变压器接线组别都是 11 组，如果以发电机母线 I 作为零度算起，那么每经过变压器变换电压后线电压相量就顺时针转移 330° 。

例如经过一次升压后母线 II 的线电压在相位上超前母线 I， $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ ，经一次降压后母线 II 的线电压在相位上又移前 330° ，也就是超前于母线 I， $(11 + 11) \times 30^\circ = 660^\circ$ ，同理每经过变压器变换电压一次，相位上就移前 330° ，接线组别就在原来的基础上增加 11 组，如此类推。

对于发电机母线 I 来说，各段母线总组别数如下：母线 II 为 11 组，母线 III 为 22 组，母线 IV 为 33 组，母线 V 为 44 组。

因为一圆角是 360° 为 12 组，相当于电的一个周期，故用 12 除以上列各母线的总组别数后的余数就为该母线的接线组别数，即：

$$\text{母线 II 为 } \frac{11}{12} = 0 + \frac{11}{12} \text{ 余数为 11 属于 11 组；}$$

$$\text{母线 III 为 } \frac{22}{12} = 1 + \frac{10}{12} \text{ 余数为 10 属于 10 组；}$$

母线Ⅳ为 $\frac{33}{12} = 2 + \frac{9}{12}$ 余数为 9 属于 9 组；

母线Ⅴ为 $\frac{44}{12} = 3 + \frac{8}{12}$ 余数为 8 属于 8 组。

在图 4-5 中，如果将发电机直接经变压器向母线Ⅴ供电，则变压器的接线组别应选择 8 组，因为母线Ⅰ和母线Ⅴ之间有 4 台 11 组的变压器相串联，总组别数为 44，除以 12 后余数为 8。

又如将 110kV 用变压器直接降压后为 10kV 接到母线Ⅳ上工作时则所选变压器接线组别应为 10 组。因为母线Ⅱ和母线Ⅳ有 2 台 11 组的变压器相串联，总组别数为 22，除以 12 后余数为 10。

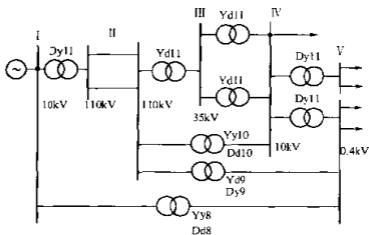


图 4-6 输电系统中各级母线上并联三相变压器时
接线组别的选择

同理，110kV 经变压器直接降压到 400V 时所选变压器的组别应为 9 组，因为母线Ⅱ与母线Ⅴ之间有 3 台 11 组别的变压器相串联，总组别数为 33 除以 12 后余数为 9。

将上述所选择的三相变压器与各级电压母线并联后的系统图如图 4-6 所示。任何组别的变压器相串联后均可用上述方法推算串联后的总组别数，例如图 4-8 所示的电力系统中，在母线 I 和母线 II 之间并联一台变压器时，变压器的接线组别应为 11 组。

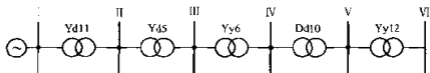


图 4-7 输电系统中使用不同组别的三相变压器

在母线 I 和母线 III 之间并联一变压器时其接线组别应为 4 组，因为 $\frac{11+5}{12} = 1 + \frac{4}{12}$ 余数为 4。

在母线 IV 与母线 VI 之间并联一变压器时其接线组别为 10 组，因为 $\frac{10+12}{12} = 1 + \frac{10}{12}$ 余数为 10。

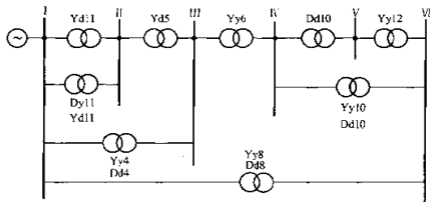


图 4-8 在不同接线组别的输电系统中并联三相变压器时组别的选择

在母线Ⅳ与母线Ⅵ之间并联一变压器时其接线组别应为10组，因为 $\frac{10+12}{12} = 1 + \frac{10}{12}$ 余数为10。

在母线Ⅰ与母线Ⅵ之间并联一变压器时，其接线组别应为8组，因为 $\frac{11+5+6+10+12}{12} = 3 + \frac{8}{12}$ 余数为8。

将所选变压器并入电网后系统图如图4-8所示。

第五章

三相变压器接线组别试验

第一节 交流法

用交流法测定三相变压器接线组别时，首先应将高压侧和低压侧对应线端例如 A 与 a 端用导线连接起来，然后在高压侧外施便于测量的三相平衡的低压交流电源，测量各线端间的电压如图 5-1 所示，根据所测电压绘制相量图，由相量图确定接线组别。

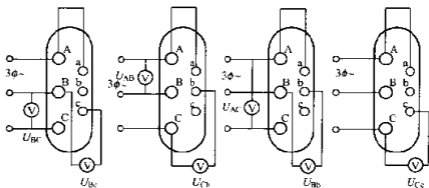


图 5-1 交流法测定三相变压器接线组别

例如测量 Yy 连接的三相变压器接线组别时，接线图如图 5-2 所示，其测试与作图步骤如下：

(1) 将高压侧线端 A 与低压侧线端 a 用导线连接起来，成为同电位点，然后在高压侧通以便于测量的三相低压平衡交流电压。

(2) 用交流电压表测量 AB, BC, AC 和 Cb, Bc, Bb, Cc, 线端间的电压 U_{AB} , U_{BC} 和 U_{AC} , U_{Cb} , U_{Bc} , U_{Bb} , U_{Cc} 。

(3) 根据所测电压绘制相量图, 确定接线组别 (选择适当电压作图比例, 作图时各电压作图比例均应相同)。

作图步骤:

1) 将所测电压 U_{AB} , U_{BC} 和 U_{CC} 绘成高压侧线电压三角形 ABC, 如图 5-3 所示。

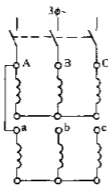


图 5-2 用交流法测 Yy 连接的组别

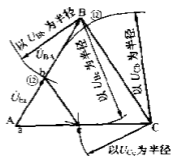


图 5-3 用作图法决定组别

2) 因为 A 与 a 端用导线相连, 故点 A 与点 a 为同电位点而重合。

3) 以 B 点为圆心, 以 U_{Bb} 为半径作一圆弧, 又以 C 点为圆心 U_{Cb} 为半径作一圆弧, 两弧的交点为 b。

4) 以 B 点为圆心为 U_{BC} 为半径作一弧, 然后以 C 点为圆心 U_{CC} 为半径作一弧, 两弧的交点为 c。

5) 将 a、b、c 三点联成三角形则为低压侧线电压三角形 abc。

6) 用时钟法判别接线组别即以高压侧线电压 \dot{U}_{BA} 为分针指向 12 点, 低压侧对应线电压 U_{ba} 为时针, 则 \dot{U}_{ba} 所指的数即为该变压器接线组别数, 由图 4-3 所知测量 U_{ba} 按顺时针方向与 \dot{U}_{BA} 的夹角为 0° , 即 \dot{U}_{BA} 与 \dot{U}_{ba} 同相, 故接线组别为 12 组。则这台三相变压器是 Yy12 组。

必须指出: 作图时高低压侧相电压相量旋转方向应为正序, 即 ABC 和 abc 相量均为逆时针方向旋转的, 否则在判断接线组别时容易引起错误。

对于其他接线组别的变压器同样可以用上述试验和作图方法来确定接线组别。

交流法除了可以运用试验时所测电压经作图后根据时钟法确定接线组别外, 还可以用上述方法测量电压后再用查表 5-1 根据计算式用计算的方法来确定接线组别。

表 5-1 中:

U_L ——试验时低压侧线电压 (如 U_{ab} , U_{bc} 或 U_{ac});

k ——高低压侧线电压比 (如 $k = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}$)。

表 5-1 中所列各种接线组别的计算式, 是根据相量图推演而来的, 现将推演的方法举例如下:

例 1 12 组别三相变压器相量图如图 5-4 所示由相量图可知

$$\begin{aligned}
 U_{Bb} &= U_{AB} - U_{ab} \\
 &= kU_{ab} - U_{ab} \\
 &= U_{ab}(k - 1) \\
 &= U_L(k - 1)
 \end{aligned}$$

表 5-1 三相变压器各种接线组别相量图与计算式

接线组别	对应线电压相位差	线电压相量图	绕组的接法	计算式		
				$U_{\text{no}} = U_G$	U_{no}	U_G
1	30°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k^2}$	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$
2	60°		Yy Dd	$U_L \sqrt{1 - k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$	$U_L (k - 1)$
3	90°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$
4	120°		Yy Dd	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$	$U_L (1 + k)$	$U_L \sqrt{1 - k + k^2}$
5	150°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k^2}$
6	180°		Yy Dd	$U_L (1 + k)$	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$

续表

接线组别	对应线电压相位差	线电压相量图	绕组的接法	计 算 式		
				$U_{\text{ob}} = U_{\text{oc}}$	U_{bc}	U_{cb}
7	210°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{k^2 + 1}$	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$
8	240°		Yy Dd	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$	$U_L (1 + k)$
9	270°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 + k^2}$	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}$
10	300°		Yy Dd	$U_L \sqrt{1 - k + k^2}$	$U_L (k - 1)$	$U_L \sqrt{1 + k + k^2}$
11	330°		Yd Dy	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 + k^2}$
12	360°		Yy Dd	$U_L (k - 1)$	$U_L \sqrt{1 - k + k^2}$	$U_L \sqrt{1 - k + k^2}$

$$\begin{aligned}
 U_{CC} &= U_{AC} - U_{ac} \\
 &= kU_{ac} - U_{ac} \\
 &= U_{ac}(k - 1) \\
 &= U_L(k - 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{BC}^2 &= U_{ac}^2 + U_{AB}^2 - 2U_{ac}U_{AB}\cos 60^\circ \\
 &= U_{ac}^2 + k^2U_{ac}^2 - 2kU_{ac}^2 \times 1/2 \\
 &= U_{ac}^2(1 + k^2 - k)
 \end{aligned}$$

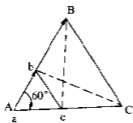


图 5-4 12组别相量图

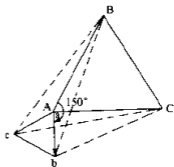


图 5-5 5组别相量图

即

$$\begin{aligned}
 U_{BC} &= U_{ac}\sqrt{1 - k + k^2} \\
 &= U_L\sqrt{1 - k + k^2}
 \end{aligned}$$

而

$$\begin{aligned}
 U_{cb}^2 &= U_{AC}^2 + U_{ab}^2 - 2U_{AC}U_{ab}\cos 60^\circ \\
 &= k^2U_{ab}^2 + U_{ab}^2 - 2kU_{ac}^2 \times 1/2 \\
 &= U_{ab}^2(1 + k^2 - k)
 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned}
 U_{Cb} &= U_{ab}\sqrt{1 - k + k^2} \\
 &= U_L\sqrt{1 - k + k^2}
 \end{aligned}$$

例 2 5组别三相变压器相量图如图 5-5 所示，由相量图可知：

$$\begin{aligned}
 U_{Bb}^2 &= U_{ab}^2 + U_{AB}^2 - 2U_{ab}U_{AB}\cos 150^\circ \\
 &= U_{ab}^2 + k^2U_{ab}^2 - 2kU_{ab}^2\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\
 &= U_{ab}^2(1 + k^2 + \sqrt{3}k)
 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned}
 U_{Bb} &= U_{ab}\sqrt{1 + k^2 + \sqrt{3}k} \\
 &= U_L\sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{Cc}^2 &= U_{ac}^2 + U_{AC}^2 - 2U_{ac}U_{AC}\cos 150^\circ \\
 &= U_{ac}^2(1 + k^2 + \sqrt{3}k)
 \end{aligned}$$

则

$$\begin{aligned}
 U_{Cc} &= U_{ac}\sqrt{1 + k^2 + \sqrt{3}k} \\
 &= U_L\sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{Bc}^2 &= U_{ac}^2 + U_{AB}^2 - 2U_{ac}U_{AB}\cos 150^\circ \\
 &= U_{ac}^2(1 + k^2 + \sqrt{3}k)
 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned}
 U_{Bc} &= U_{ac}\sqrt{1 + k^2 + \sqrt{3}k} \\
 &= U_L\sqrt{1 + \sqrt{3}k + k^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{Cb}^2 &= U_{ab}^2 + U_{AC}^2 - 2U_{ab}U_{AC}\cos 90^\circ \\
 &= U_{ab}^2 + k^2U_{ab}^2 \\
 &= U_{ab}^2(1 + k^2)
 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned}
 U_{Cb} &= U_{ab}\sqrt{1 + k^2} \\
 &= U_L\sqrt{1 + k^2}
 \end{aligned}$$

例 3 6 组别三相变压器相量图如图 5-6 所示, 由相量图可知:

$$\begin{aligned}
 U_{Bb} &= U_{AB} + U_{ab} \\
 &= kU_{ab} + U_{ab} \\
 &= U_{ab}(k + 1)
 \end{aligned}$$

$$= U_L(k + 1)$$

$$\begin{aligned} U_{CC} &= U_{AC} + U_{ac} \\ &= kU_{ac} + U_{ac} \\ &= U_{ac}(k + 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{BC}^2 &= U_{ac}^2 + U_{AB}^2 - 2U_{ac}U_{AB}\cos 120^\circ \\ &= U_{ac}^2 + k^2U_{ac}^2 - 2kU_{ac}^2\left(-\frac{1}{2}\right) \\ &= U_{ac}^2(1 + k^2 + k) \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} U_{BC} &= U_{ac}\sqrt{1 + k^2 + k} \\ &= U_L\sqrt{1 + k + k^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{Cb} &= U_{ab}^2 + U_{AC}^2 - 2U_{ab}U_{AC}\cos 120^\circ \\ &= U_{ab}^2 + k^2U_{ac}^2 - 2kU_{ab}^2\left(-\frac{1}{2}\right) \\ &= U_{ab}^2(1 + k^2 + k) \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} U_{Cb} &= U_{ab}\sqrt{1 + k^2 + k} \\ &= U_L\sqrt{1 + k + k^2} \end{aligned}$$

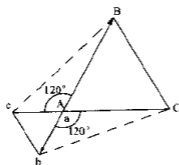


图 5-6 6 组别相量图

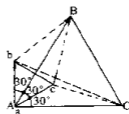


图 5-7 11 组别相量图

例4 11组别三相变压器相量图如图5-7所示,由相量图可知:

$$\begin{aligned} U_{Bb}^2 &= U_{ab}^2 + U_{AB}^2 - 2U_{ab}U_{AB}\cos 30^\circ \\ &= U_{ab}^2 + k^2U_{ab}^2 - 2kU_{ab}^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= U_{ab}^2(1 + k^2 - \sqrt{3}k) \end{aligned}$$

即
$$\begin{aligned} U_{Bb} &= U_{ab}\sqrt{1 + k^2 - \sqrt{3}k} \\ &= U_L\sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{Cc} &= U_{ac}^2 + U_{AC}^2 - 2U_{ac}U_{AC}\cos 30^\circ \\ &= U_{ac}^2 + k^2U_{ac}^2 - 2kU_{ac}^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= U_{ac}^2(1 + k^2 - \sqrt{3}k) \end{aligned}$$

即
$$\begin{aligned} U_{Cc} &= U_{ac}\sqrt{1 + k^2 - \sqrt{3}k} \\ &= U_L\sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2} \end{aligned}$$

$$U_{Bc} = U_L\sqrt{1 - \sqrt{3}k + k^2}$$

(与 U_{Bb} 推演相同)

$$\begin{aligned} U_{Cb}^2 &= U_{ab}^2 + U_{AC}^2 - 2U_{ab}U_{AC}\cos 90^\circ \\ &= U_{ab}^2 + k^2U_{ab}^2 \\ &= U_{ab}^2(1 + k^2) \end{aligned}$$

即
$$\begin{aligned} U_{Cb} &= U_{ab}\sqrt{1 + k^2} \\ &= U_L\sqrt{1 + k^2} \end{aligned}$$

第二节 相位表法

用相位表法测量三相变压器接线组别时，可按图 5-8 所示进行连接，即将相位表的电流线圈经一电阻器接到被试变压器低压侧线端上，而电压线圈则接到高压侧的对应同性线端上。当高压侧外施数值不大而足以使相位表正常指示的交流电压时，在低压侧将感应出一个一定相位的电压由于接入一个电阻负载，所以在低压侧电流和电压是同位的，因而高压侧电压对低压侧电流的相位就是高压侧电压对低压侧电压的相位，此时在相位表上直接读出高低压侧对应线电压的相位差，即为该变压器的接线组别。

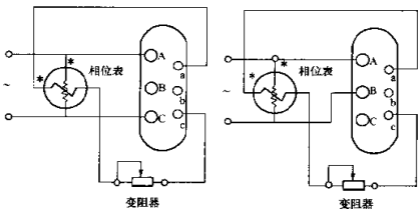


图 5-8 相位表法测定三相变压器组别

为了防止测试错误，在用相位表直接测试变压器接线组别时，应在两对对应线端上进行测定，例如在 AC—ac 和 AB—ab 线端上测定，则两次测量结果应该相同。

相位表可以直接读出高压和低压线电压相量间的夹角，这种用相位表测定三相变压器接线组别的方法又称为直接

法。

在使用相位表测定三相变压器接线组别时，在测试前应在已知接线组别的三相变压器上进行校验，校好后才能接入到未知接线组别的三相变压器进行组别测定，在使用时也应注意相位表本身接线的极性。

第三节 直 流 法

用直流法测量三相变压器接线组别时，方法简单，操作方便，而且比较准确，因此被广泛使用。

用直流法测量时是在三相变压器高压侧的任意两相中接一低压直流电源，通常用 1.5~3V 的干电池或用 2~6V 的蓄电池，然后用直流毫安表（或直流毫伏表）最好用零刻度在表盘中间的直流毫安表（或直流毫伏表）最为合宜。而低压侧测 ab、bc 和 ac 中的电流（电压）方向，根据所测方向来判断接线组别，测试时的接线图如图 5-9 所示。

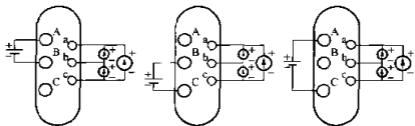


图 5-9 直流法测三相变压器组别

例如一台 $Yy12$ 组三相变压器用直流法判断接线组别时，首先在高压侧 AB 两相间接一直流电源，其直流电源的“+”极接到变压器高压侧 A 线端，直流电源的“-”极经

开关 P 接到 B 端线。而低压侧 a, b, c 之间接三个零点在中央的直流毫伏表, 如无三个毫伏表也可以用一个轮流转换进行测试。

毫伏表的接法如图 5-10 所示, 即 ab 间的毫伏表, 表的“+”端子接 a, 表的“-”端子接 b; bc 间的毫伏表, 表的“+”端子接 b, 表的“-”端子接 c; 而 ac 间的毫伏表, 表的“+”端子接 a, 表的“-”端子接 c。

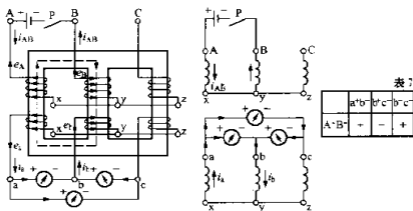


图 5-10 直流法测 Yy12 组别 (AB 相通电)

当合上开关 P 的瞬间, 在 AB 两相铁芯所形成的回路中建立主磁通, 磁通交链着 AB 相高低压绕组, 在绕组中感应电动势如果此瞬间磁通刚建立, 则根据电磁感应定律将产生削磁电流以阻止磁通的建立, 故变压器高低绕组中所感应的电动势或产生的电流方向如图中所示。

由图可知: ab 间的电流由 $a \rightarrow b \rightarrow y \rightarrow x \rightarrow a$ 电流正向通过 ab 间的直流毫伏表, 故毫伏表的指针向零刻度右方正摆。记下 ab 为“+”, 而 bc 间的电流由 $b \rightarrow y \rightarrow x \rightarrow a \rightarrow c \rightarrow b$, 反向通过 bc 间的毫伏表, 故毫伏表的指针将向零刻度的左方

“负摆”记下 bc 为 “-”。 ac 间的电流由 $a \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow y \rightarrow x \rightarrow a$ ，正向通过 ac 间的毫伏表，故毫伏表的指针向零刻度右方“正摆”记下 ac 为 “+”。

然后将电池接在 BC 两相间，直流电源的 “+” 极接 B ，直流电源的 “-” 极接 C ，而低压侧各毫伏表接法不变，如图 5-11 所示。

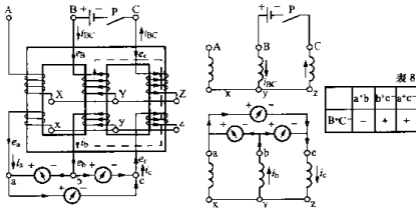


图 5-11 直流法测 $Yy12$ 组别 (BC 相通电)

则在合开关 P 的瞬间，由图中所示的电流方向可知 ab 间的毫伏表向零刻度左方“负摆”， bc 间的毫伏表向零刻度右方“正摆”，而 ac 间的毫伏表向零刻度右方“正摆”。

最后将直流电源接在变压器高压侧 AC 两相间，直流电源 “+” 极接至 A ，而直流电源 “-” 极接至 C ，低压侧各毫伏表接法仍然不变，如图 5-12 所示。

则在合开关 P 的瞬间，由图中的电流方向可知， ab 间的毫伏表向零刻度右方“正摆”， bc 间和 ac 间的毫伏表也都向零刻度的右方“正摆”。

如果将上述三次测试结果列成表 5-2，那么凡是用直

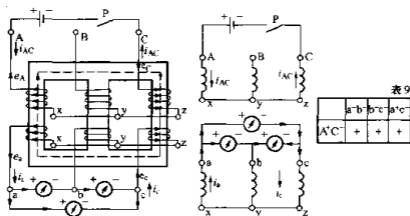


图 5-12 直流法测 Yy12 组别 (AC 相通电)

直流法测量三相变压器接线组别时, 所测 “+” “-” 情况与表 10 相符合, 不管变压器高压侧和低压侧是 Y 形接线或者是 Δ 形接线, 其接线组别一定是 12 组的。

表 5-2 12 组别变压器极性规律

一次通电相别	二次测量结果		
	a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
A ⁺ B ⁻	+	-	+
B ⁺ C ⁻	-	+	+
A ⁺ C ⁻	+	-	+

用上述同样的试验方法可以测出另外 11 种接线组别的变压器极性规律, 将这些规律可以列成表 11, 如果用直流法测试三相变压器接线组别所测定的极性与表 11 对照即可确定被测的三相变压器是属于什么组别的。

用直流法测定三相变压器接线组别时, 电池必须接在高压侧, 而电池的极性应按表 11 中规定的方法接入, 例如表

11中所列一次通电相别 $A^+ B^-$ 是指直流电源接在变压器高压侧 AB 两相间，直流电源的“+”极接 A，而“-”极接 B，毫伏表（或毫安表）必须接在低压侧，即表 11 中所列二次测量结果中的 ab, bc, ac 间，例如 $a^+ b^-$ 是指直流毫伏表的“+”端接 a，而“-”端子接 b。

直流毫伏表必须接在低压侧（二次侧）而且应该注意电表的量程应与被测变压器的变化相适应，否则当变压器变比大时在测试时通过直流毫安表的电流过大而使电表损坏。

用直流表测试变压器接线组别时应严格注意直流电源和毫伏表的“+”“-”极的接法应与表 11 中相符，否则会测出错误的测试结果，致使接线组别不符合被试变压器的实际情况。

在测试时应注意下列问题：

(1) 对于被试变压器其变比较大时应选用较高的直流电源（如 6V 蓄电池）和量程小的直流毫伏表，如果测试时摆动角度较小不易判别时可以采用直流毫安表。

(2) 被试变压器变比小，则选用较低的直流电源（如 1.5V）和量程较大的直流毫伏表。

(3) 为了测量的安全，应先接好测量表计回路然后再接通直流电源，在接通直流电源和断开直流电源时表计的摆动方向是相反的，因此为了判断准确拉合电源时其速度不要太快，以看清仪表指示方向。

为了说明表 5-3，现将用直流法测定三相变压器接线组别的接线方法和测试结果各举一例以供比较（见图 5-13）。

从上述各例可以看出凡单数组别的三相变压器三相中一定有一相的指示为零，但在实际测试时，直流毫伏表指示为

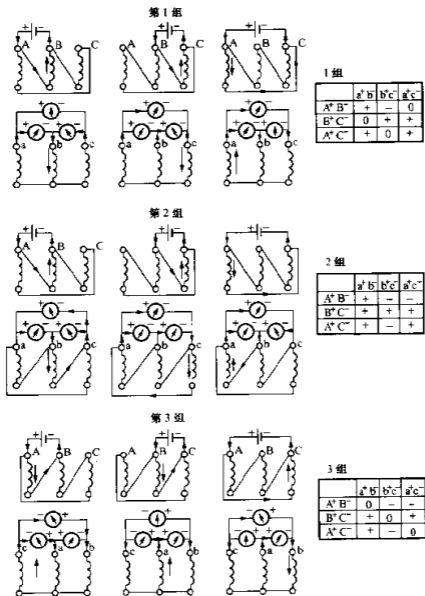


图 5-13 直流法测定 1~11 组别的接线方法和测试结果 (一)

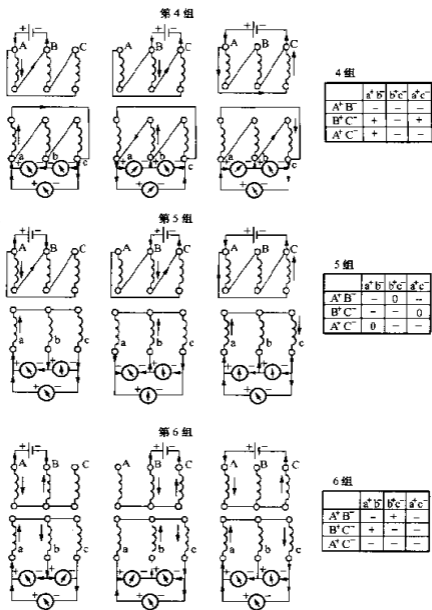
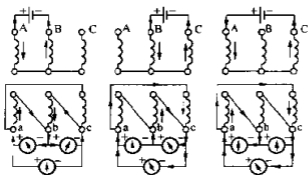


图 5-13 直流法测定 1~11 组别的接线方法和测试结果 (二)

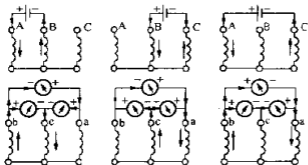
第7组



7组

	$a'b'$	$b'c'$	$a'c'$
$A'B'$	-	+	0
$B'C'$	0	-	-
$A'C'$	-	0	-

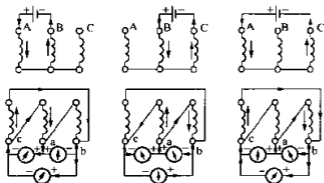
第8组



8组

	$a'b'$	$b'c'$	$a'c'$
$A'B'$	-	+	+
$B'C'$	-	-	-
$A'C'$	-	+	-

第9组



9组

	$a'b'$	$b'c'$	$a'c'$
$A'B'$	0	+	+
$B'C'$	-	0	-
$A'C'$	-	+	0

图 5-13 直流法测定 1~11 组别的接线方法和测试结果 (三)

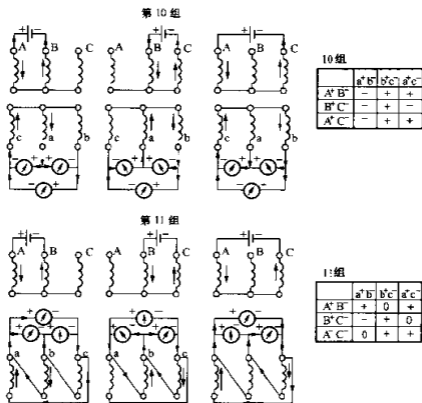


图 5-13 直流法测定 1~11 组别的接线方法和测试结果 (四)

零的情况很少，在大多数情况下，仍然有相当大的指示数，这是因为三个相绕组阻抗不完全相等，因此感应电动势也不相等，则差额电压就会在应该是零的那一相反映出来。

用直流法测三相变压器接线组别时不仅要记录毫伏表所示的极性（即指针向零刻度右方摆动时为“+”，指针向零刻度左方摆动时为“-”），而且要记录指针偏转角的大小，通常“+”“-”两指数要大些，应该指零的这一指数指示要小得多，差不多等于“+”“-”两指数差。

表 5-3 中每个接线组别都有 9 个极性数，在测试时如果测试结果中有 6 个小指示，3 个大指示，则被测三相变压器属于双数组，如果有 3 个小指示，6 个大指示则被测三相变压器属于单数相。

表 5-3 直流法测三相变压器接线组别的极性规律

接线组别	一次通电相别		二次测量结果		
	+	-	a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
1 组	A B		+	-	0
	B C		0	+	+
	A C		+	0	+
2 组	A B		+	- [*]	-
	B C		+	+	+ [*]
	A C		+ [*]	-	+
3 组	A B		0	-	-
	B C		+	0	+
	A C		+	-	0
4 组	A B		-	-	- [*]
	B C		+ [*]	-	+
	A C		-	- [*]	-
5 组	A B		-	0	-
	B C		+	-	0
	A C		0	-	-
6 组	A B		- [*]	+	-
	B C		+	- [*]	-
	A C		-	-	- [*]
7 组	A B		-	+	0
	B C		0	-	-
	A C		-	0	-

续表

接线组别	一次通电相别		二次测量结果		
	+	-	a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
8组	A B		-	+*	+
	B C		-	-	-*
	A C		-*	+	-
9组	A B		0	+	+
	B C		-	0	-
	A C		-	+	0
10组	A B		+	+	-*
	B C		-*	+*	-
	A C		-	+	+
11组	A B		-	0	+
	B C		-	+	0
	A C		0	+	+
12组	A B		+*	-	+
	B C		-	+*	+
	A C		+	+	+*

注 有*号者为大数。