

变压器极性

BIANYAQI JIXING
YU JIEXIAN ZUBIE



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

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。

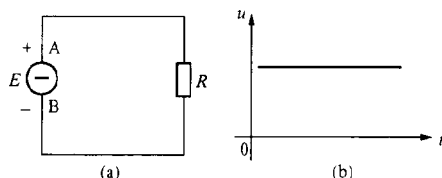


图 1-1 直流电路

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。

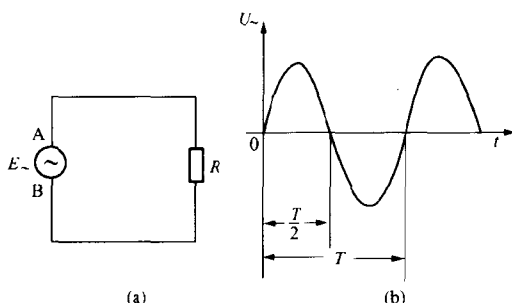


图 1-2 交流电路

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。

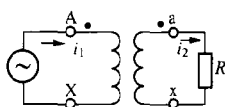


图 1-3 单相变压器
电路

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首端 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

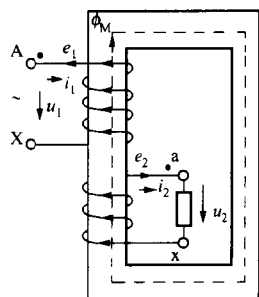


图 1-4 单相变压器
工作原理

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“*”号以显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。

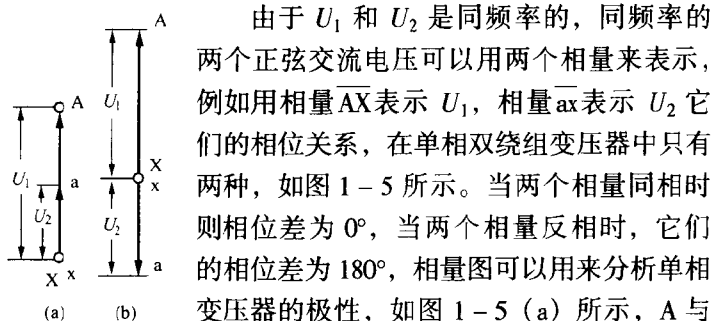


图 1-5 一次侧、二次侧电压相量图
(a) 同极性，(b) 异极性。

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° 。

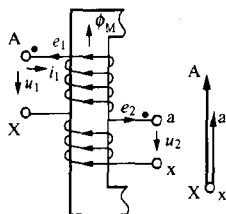


图 1-6 绕向相同
标志相同

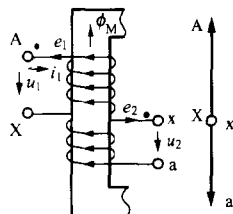


图 1-7 绕向相同
标志相反

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° 。

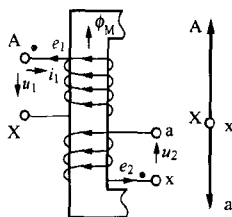


图 1-8 绕向相反
标志相同

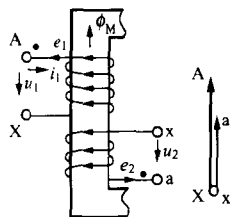


图 1-9 绕向相反
标志相反

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。

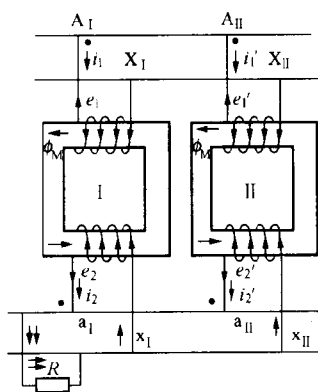
因此在电力系统中，应广泛地采用变压器的并联运行。当变压器并联运行时必须具备下列条件：

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 $U_{Ka}\%$ 和电抗压降分量 $U_{Kx}\%$ 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

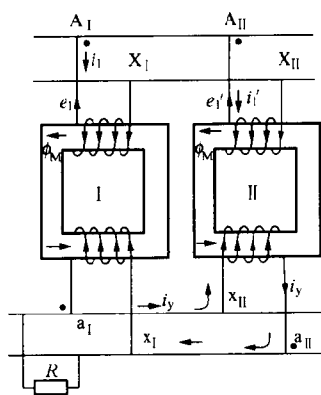


图 1-11 变比相等、短路电压相 一、二次侧绕组极性相同的等、极性相反的变压器并联运行 情况下，才能并联工作。

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

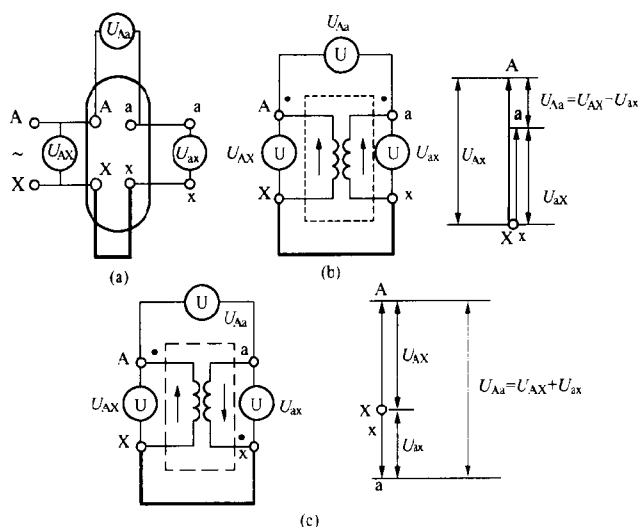


图 1-12 用交流法测定单相变压器的极性

1-13 所示。

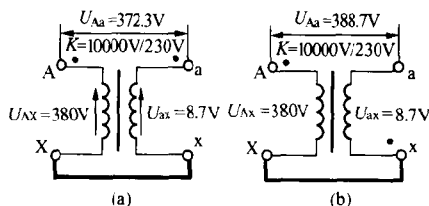


图 1-13 交流法测定极性

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

当 $U_{AX} = 380V$ 时

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

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

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 $U_{Aa} = U_{AX} + U_{ax} = 380 + 8.7 = 388.7V$ 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，图 1-14 用直流接在直流毫伏表“-”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。

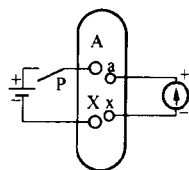


图 1-15 (b) 所示，在拉开刀开关 P 的瞬间，变压器铁芯中的磁通急于消失，根据电磁感应定律两绕组中将感应电动势 e_1 和 e_2 用来产生增磁电流，反抗磁通减少，电动势的方向如图 1-15 (b) 所示，此时接在直流毫伏表“+”端子上的线端 a 其极性为负，而接在直流毫伏表“-”端子上的线端 x 极性为正，故在拉闸的瞬间直流毫伏表的指针向合闸时的相反方向即向零刻度反方向（左方）反摆。

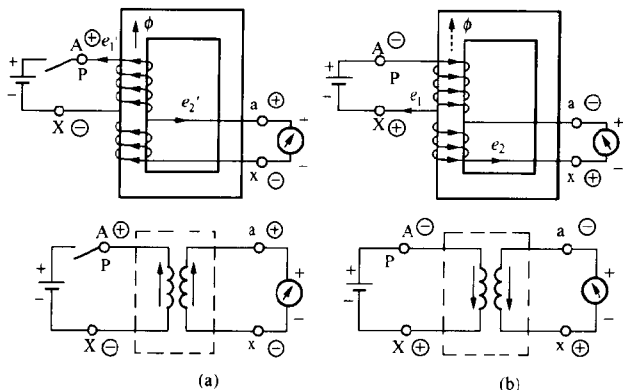


图 1-15 合闸时正摆、拉闸时反摆为减极性变压器

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。

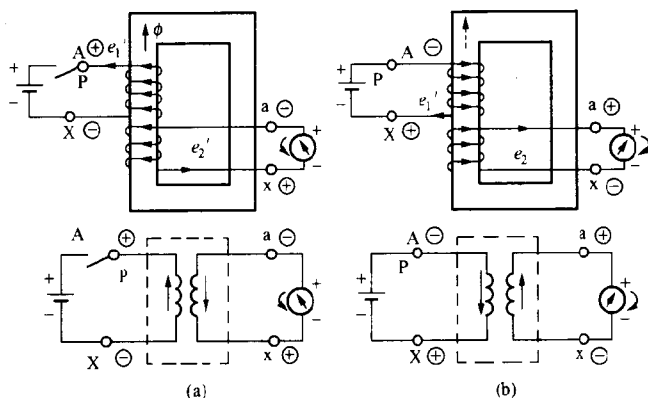


图 1-16 合闸时反摆、拉闸时正摆为加极性变压器