

湖南省电力工业局中心試驗所編



电力变压器試驗

水利电力出版社

出版者 啟事

电气設備的試驗是保證安全运行的重要条件之一。目前，大批新的电气設備投入了运行，并且还有更多的設備將陸續投入运行；从事电力工业的工作人員队伍，也將随着設備的增加而扩大。但在以前的出版物中，却找不到一套完整的有关試驗方法的參考資料，以致使現場工作人員因資料零散而感到工作不便，新参加工作的人員更因缺乏參考讀物而使工作难以开展。

湖南省电力工业局中心試驗所于1958年編制了一套較完整的电气設備的試驗方法資料，虽然內容有些地区局限性，但因包括了各主要电气設備的試驗方法，所以对其他各省和自治区的中小型电厂和供电单位來說，仍有参考价值。出版者从湖南省电力工业局中心試驗所的資料中選擇了數冊公开出版，希望能对中小型电厂和供电单位有所帮助。出版的資料名称列下：

(1) 电力变压器試驗；(2) 油开关試驗；(3) 接地电阻試驗；(4) 閘型避雷器試驗。

目 录

第一章 变压器特性試驗	3
第一节 变压器极性試驗	3
第二节 变压器組別試驗	6
第三节 变压器变压比的測量	15
第四节 变压器开路試驗	19
第五节 变压器短路試驗	23
第二章 变压器絕緣試驗	28
第一节 繞卷欧姆电阻和分接头轉換开关接触电阻的測量	28
第二节 变压器絕緣搖表試驗	31
第三节 变压器泄漏电流試驗	33
第四节 变压器介質損失試驗	36
第五节 变压器电容比試驗	41
第六节 变压器工頻耐壓試驗	49

第一章 变压器特性試驗

第一节 变压器极性試驗

一、极性的意义

变压器的极性决定于一次綫卷和二次綫卷的繞法和端头的标号, 图1-1可以說明这問題。

如变压器上面的綫卷是一次綫卷, 而下面的是二次綫卷, 两个綫卷为同一方向繞綫, 上部端头用字母 A 和 a 表示, 綫卷末端用 X 和 x 表示。因为变压器的两个綫卷繞在同一个鉄梗上, 被同样的主磁通

穿过, 因此两綫卷內所感应的电势, 对于这两綫卷的端头來說, 在任何瞬时都具有相同的方向, 我們叫它为同极性也可叫它为减极性。对应如

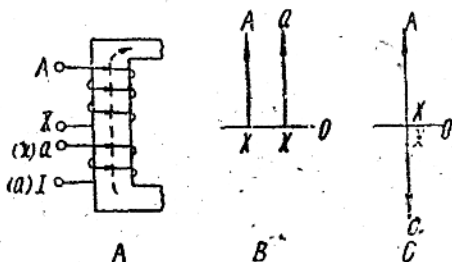


图 1-1 变压器极性示意图

此, 一次电压 U_1 和折算到一次的二次电压 U_2 同相, 用向量 OA 和 Oa 来表示。

如果变压器的一次綫卷和二次綫卷以相反方向繞綫, 但仍然保持图A的端头标记, 则对一次和二次的端头來說, 电压 U_1 和 U_2 的方向相反, 我們叫它加极性, U_1 和 U_2 的向量图如C所示。

如果綫卷繞法仍象图A一样保持不变, 而改变二次綫卷的注字, 则一次电压方向与二次电压方向是不一致的。即改变为

加极性了。因此，极性与绕线的方向和端头的标号有关。

有一个变压器如图 1-2 接线，设其变压比为 1，当用导线把 A 与 a 联在一起后，则接在 X 与 x 间的电压表之指示一定是零；如果将 X 与 x 联接起来，则 A 与 a 之间的电压也将为零。这就说明了 A 和 a，与 X 和 x 之间的电压是互相抵消的。我们说它的极性是相减的。

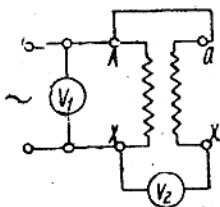


图 1-2 接线举例

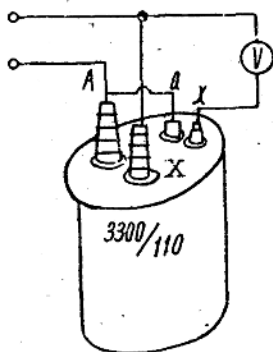


图 1-3 变压器极性试验接线图

如果变压器之变压比不为 1，如图 1-3 所示，是一台 3300/110 伏的变压器，则将 A 和 a 相联之后，而在 AX 间加以 220 伏电压，若 A 和 a 的极性相同，接在 X 和 x 间的电压表指示： $220 - \frac{110}{3300} \times 220 = 212.7$ 伏，我们叫这为减极性。

如果 A 和 a 极性是相反的，那么 X 和 x 间的电压就是 $220 + \frac{110}{3300} \times 220 = 227.3$ 伏，我们叫这为加极性。

二、试验目的

因为变压器的线圈一次侧与二次侧之间存在着极性的关系，因而若有数个变压器在一起运用时，不论是连成串联或是

联成并联，均須知道其极性，因为只有相同的极性才可能得到正确的运用。

三、测量方法

测量极性的方法有直流法与交流法两种。直流法可用一个1.5伏或是3伏的干电池与一个直流电压表或电流表即可进行测量，交流法则須有一个低压交流电源和两个交流电压表才能試驗。

1. 直流法

用一个1.5~3伏之干电池接在变压器的高压端子上，再在变压器二次綫卷端子上連接一个直流电压表或是电流表，試驗时观察当开关合上或拉开时表計指針的摆动方向。其极性可用图 1-4 来輔助說明。

如按照A图接綫，将干电池之“+”极接在变压器一次側A端子上，“-”极接到X端子上，而电压表之“+”端又接在二次側a端子上，“-”端接到二次側之x端子上，当合上电源开关的瞬间，若电压表之指針倒向零刻度的右方，而拉掉电源时，則电压表之指針倒向零刻度的左方时，則变压器是减极性。

若同样按照上面所述之結綫但当电源开关合上时，电压表指針倒向零刻度的左边，而拉开电源时，电压表之指針倒向零刻度的右方时，那末变压器是加极性。标有相同記号之端子，为极性相同的端子。

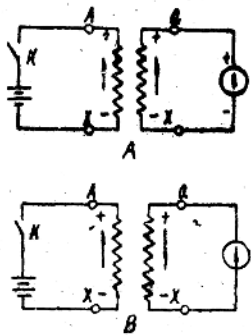


图 1-4 用直流法檢查极性

运用直流法来試驗时，最好选择零位在中間的表針，而結綫时，干电池的“+”“-”与直流表之“+”“-”連接一致，以便判断結果。进行試驗时，須反复操作数次，以免发生因表針指針摆动很快，一时看不清楚而得出不正确的結果来；另外，操作人員应注意，即是在拉合閘的瞬間，不要接触被測量綫卷的端头，以防触电。

2. 交流法

有时，在現場一时得不到干电池与适合的直流电压表，或者用直流法試驗很难判断結果时，我們可以用現場易得的交流电源来进行測量，即将变压器一次側的A端与二次側的a端用一导綫联結起来，再在高压側加电源，然后用两个电压表来測量电压，一表測量一次側通入电压，一表測量其X₂間电压。結綫图如图1-2。加入电压后两个电压表測得之值：若是 $U_1 > U_2$ ，则表示被試变压器的极性为减极性；若 $U_1 < U_2$ ，则表示被試变压器的极性为加极性。

一般在現場多采用直流表，但用交流法測要比直流来得可靠。而具体运用那种方法較好，須根据現場的条件与情况来选择。

应当指出，在变压比較大的情况下，如 $K=20$ 以上时，采用交流法很难得到明显的結果，因此时 U_1 和 U_2 的差別很小，特別在电源不稳定及仪表的准确度不高的場合下，結果是很难判断的。

第二节 变压器組別試驗

一、組別的意义

对三相变压器來說，由于变压器是由三个一次綫卷和二次綫卷組成的，而一次綫卷与二次綫卷間电压或是电流存在着相

角差，因此就有組別之分。二次对一次綫电压的相位差决定于：綫卷的繞綫方式、綫卷端头的标记方式和三相变压器的結綫方式，根据这些方式的改变，而有不同的組別。

例如，有一台变压器的一次綫卷与二次綫卷的繞法相同，綫卷的端头标记也是一样，而一次与二次結綫均为星形，如图 1-5 所示。

假定一次的綫电压和相电压均是对称的，则因为二次綫卷的情形与一次綫卷的情形完全相同，因而二次綫电压三角形 abc 和二次相电压星形 oa 、 ob 、 oc 在相位上分别与一次綫电压三角形 ABC 和相电压星形 OA 、 OB 、 OC 相重合，如图 1-6 所示，二次綫电压对一次綫电压的相位差为零。我們叫这种变压器为 12 組別。

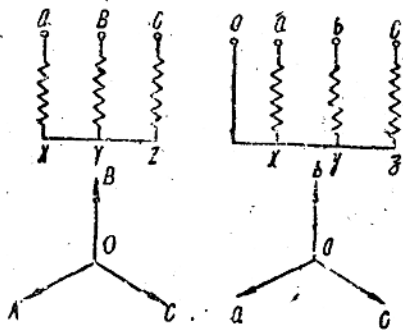


图 1-5 星形結綫图例

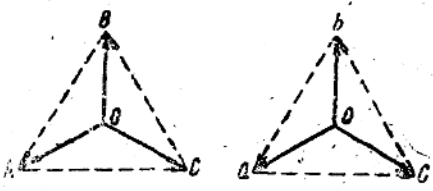


图 1-6 Y/Y-12型变压器的电压向量图

如上述 Y/Y—12 型的变压器，只是将二次綫卷的繞綫方向改变，这样，二次綫电压三角形，对一次綫电压三角形就須翻轉 180° ，因此組別也就不同了，称这种变压器为 Y/Y—6 型結綫。

变压器共分十二組，其中六組是双数，六組是单数，凡是一次綫卷与二次綫卷的結綫不一致的，則属于单数组，它包括

1、3、5、7、9、11六个組別，凡是一次綫卷与二次綫卷的結綫联接完全相同时，都属于双数组，它包括2、4、6、8、10、12六个組別。

我們用时鐘的盘度來說明变变压器的組別，时鐘盘上有两个指針和12格，一个圓周的角度是 360° ，每一格就代表 $360^\circ \times \frac{1}{12}$ ，



图1-7 用时钟盘度来表示变压器組別

即是 30° 。如12和5之間相差为 $30^\circ \times 5 = 150^\circ$ 。角度均按順时針方向，并以12点作为基数来計算。如图1-7所示的組別是11。

計算組別时，以鐘表上的分針(长針)代表一次側电压方向，并固定在12位置上，而以时針(短針)代表二次电压的向量，根据一、二次的相角差别划出时針的方向，所指之鐘点数即为該結綫組的組別。

二、試驗目的

如有数台变压器須进行并列运行，則这些变压器的組別必須一致。試驗就是为了識別变压器的組別。

三、試驗方法

試驗方法有用直流表法、两交流电压表法及力率表法三种。

1. 直流表法

将一低压直流电源加入变压器一次側的任意两相中，然后在二次側測量 ab 、 bc 、 ac 中的电流方向，利用所測得之方向来判別其組別。如图1-8所示之变压器为 $Y/Y-12$ 組。在高压側

AB相加以一直流电源，则在A相与B相的铁梗上就产生一磁通，此磁通方向如图中虚线所示，电流方向如图中表计箭头表示，则在二次侧 ab 间的电流表之指针应为“+”方向摆动，而接在 bc 之间的电流表根据电流的方向，则表之指针应向“-”摆，而 ac 间表的指针应向“+”摆，然后将电池接于BC相间，同理，在二次侧 ab 间可测得指针向“-”摆， bc 间之指针向“+”摆，而 ac 间表也是向“+”摆，又将电池接入AC侧，同样可测得 ab 及 bc 、 ac 之间连接的表均为“+”。根据这种情况，即可判断为12组。

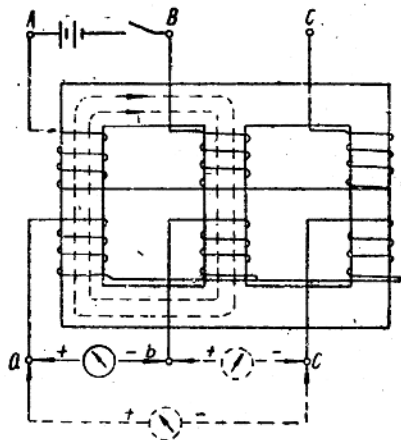


图1-8 用直流表法检查组别

现将变压器常用组别所测量之“+”“-”情况列成表1-1，测量时可将实测得情况与表1-1对照即可知道被测变压器的组别。

2. 交流表法

交流表法又叫双电压表法。接线图如图1-9。

操作步骤：首先将变压器之高压侧A端与低压侧a端相连接，然后在变压器之高压侧通适当低压电源，之后用两个电压表按照表1-2要求测量电压。

然后根据所测得之数值，绘成向量图，根据绘出之向量图，再来确定其接线组别。

表 1-1 变压器组别与极性的规律

组别	一次通 电相别		二次测得值			组别	一次通 电相别		二次测得值		
	+	-	a b	b c	a c		+	-	a b	b c	a c
第 1 组	A	B	+	-	0	第 7 组	A	B	-	+	0
	B	C	+	+	+		B	C	+	-	-
第 2 组	A	B	+	-*	-	第 8 组	A	B	-	+	+
	B	C	+	+	+		B	C	-	+	-*
第 3 组	A	B	0	-	-	第 9 组	A	B	0	+	+
	B	C	+	0	+		B	C	0	+	-
第 4 组	A	B	-	-	-*	第 10 组	A	B	+	+	+
	B	C	-	-*	-		B	C	+	+	+
第 5 组	A	B	-	0	-	第 11 组	A	B	+	0	+
	B	C	+	-	-		B	C	+	+	+
第 6 组	A	B	-*	+	-	第 12 组	A	B	+	-	+
	B	C	-	-*	-		B	C	+	+	+

注：有*的符号不是大数。

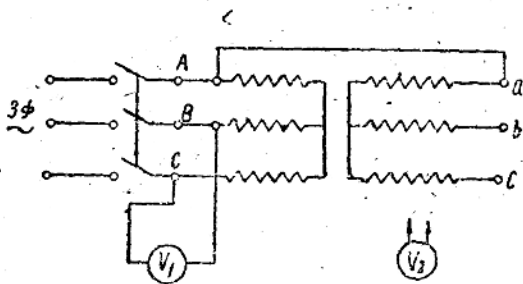


图 1-9 用交流表法检查组别

表 1-2

变压器端子间的电压

端子位置	AB	BC	AC	Cb	Bo	Bb	Co
电压(伏)							

繪制向量图:

(1) 先将所测得的 AB 、 BC 和 AC 电压繪成一个三角形 ABC 。

(2) 因为高压侧 A 端子与低压侧 a 端子相連, 則 A 与 a 相重合在一点上。

(3) 再以 B 为圆心, Bb 之数值(以适当的比例)为半径, 作一圆弧, 又以 C 点为圆心, Cb 之测得数值为半径作一圆弧, 此两弧相交于 b 点。

(4) 以 B 为圆心, Bc 所测得值为半径, 作一弧, 然后又以 C 为圆心, 测得之 Cc 数值为半径, 作一弧, 此两弧相交于 c 点。

(5) 将其 a 、 b 、 c 三点联結成一小三角形, 即为二次侧三角形。

例如有一 Δ/Δ 接法的三相变压器, 测得之数字如下:

端子位置	AB	BC	AC	Cb	Bo	Bb	Co
电 压	215	215	214	200	198	184	184

作法: 將 AB 、 BC 、 AC 电压数值 以适当的比例划一三角形, 并依正序方向标上 ABC (如图1-10)。

因 Aa 連联在一点上, 故 A 与 a 相重合在一点上。

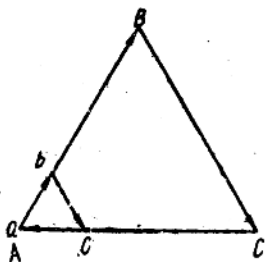


图 1-10 向量图举例

按照上述作图法，求出 b 、 c 两点，然后连接 b 及 c 即得 abc 三角形。

由 ABC 及 abc 三角形可知 AB 与 ab 相重合，故变压器的接线组别为 $\Delta/\Delta-12$ 。

但作图时必须使相回转的方向为正序方向（即 ABC 顺序须依逆时针回转方向），否则容易引起错误。

另外，接线组别也可根据测得之数值用直观的方法来判断。

例如，若测得之值为 $Bb = Bc = Cc < Cb$ 时，则这台变压器之组别为 11 组。

现将 12 个组别变压器的各种接线组别及向量图与简单之关系式列表 1-3。

表 1-3 变压器各种组别和向量图的关系式

组别	角差	可能接线法	向量图	关系式
1	30°	Δ/Δ Δ/Δ		$Bb = Cc = Cb < Bc$
2	60°	Δ/Δ Δ/Δ		$Bc > (Bb = Cc) > Cb$

續表

組別	角差	可能結綫法	向量圖	关系式
3	90°			$Bc > (Bb = Cc) > Cb$
4	120°			$Bc > (Bb = Cc) > Cb$
5	150°			$Bb = Cc = Bc > Cb$
6	180°			$Bb = Cc > Bc = Cb$
7	210°			$Bb = Cb = Cc > Bc$

橫表

組別	角差	可能結綫法	向 量 圖	关 系 式
8	240°			$Cb > Bb = Cc > Bc$
9	270°			$Cb > Bb = Cc > Bc$
10	300°			$Cb > Bb = Cc > Bc$
11	320°			$Bb = Bc = Cc < Cb$
12	360°			$Bb = Cc < Bc = Cb$

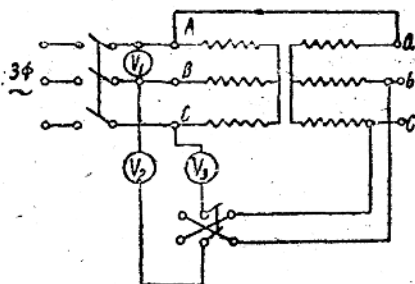


图 1-11 用有双投开关的交流表法
测组别

为了减少测量时的接线手续与时间，运用交流法时可利用一个双头开关，利用它的转换可测得高低压侧所需要之电压数值。接线如图 1-11 所示。

3. 力率表法

现场有力率表时，可用力率表来进行组别试验，因为力率表能直接测量出相角来（其原理不在此叙述）。将变压器之一次侧电压跨接于力率表的电压端头（如图 1-12），如电压表之额定电压高时，可应用一电阻 R' 来降低电压。力率表的电流端子则接变压器之二次侧。

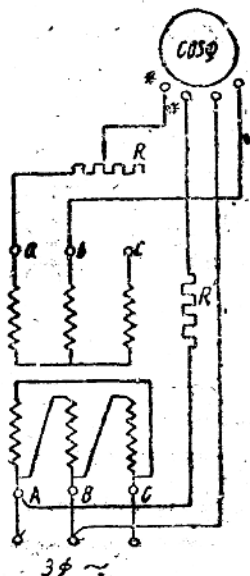


图 1-12 用力率表法
测组别

第三节 变压器变压比的测量

一、测量变压比的目的及一般规定

变压比试验是为了检查变压器的变压比和分接头的位置，以及在故障后检查变压器线圈是否有层间短路情况。

測量變壓比時須使用準確度為0.5級的儀表，並在現場試驗時，選擇電壓表的度量，應儘可能使表針指示在表盤的後半部。

在接交試驗或變壓器經大修後，均須測量變壓比。如試驗只為檢查分接頭的順序，則可用準確度較低的儀表進行。此時應注意分接頭變換時變壓比變動的穩定性，變壓比的變更穩定說明分接頭切換器裝置良好，繞卷回路完整。

變壓器典型規程規定，如變壓器繞卷中心點已引出時，應先測量相電壓的變壓比，再測定繞間的電壓比。

二、試驗方法

在現場作變壓比的測定試驗時，應根據現場的具體情況和設備條件（如試驗電源，被試驗變壓器的變壓比，及測量儀表等）進行，並要求儘可能達到上述的要求。變壓比可在額定電壓下進行測定，也可在較低的電壓下進行。對於容量在560千伏安以下的變壓器，使用電壓不應低於變壓器額定電壓的10%；對於容量大於560千伏安的變壓器允許採用更低的電壓，但不得低於變壓器額定電壓的2%。

在現場測量變壓器的變比時，可採用下列兩個辦法：

1. 將高壓繞卷接於低壓電源上，測其他各繞卷的電壓。如圖1-13A。

2. 將低壓繞卷接於比其本身額定電壓更低的電源上，經由表用變壓器（不應低於0.5級）測量高壓側的電壓。如圖1-13B。

上述兩種方法，在現場試驗時應按現場的條件進行，茲對兩個實際情況舉例說明如下。

(1) 在現場一般電源多為380伏，因此在現場試驗可以根據現場的條件，和上面兩個基本接線圖進行試驗。圖1-13B適用於變比較大的（如6600/380，10000/380伏）配電變壓器，在容