

三相三线电能计量装置 错接线解析

江苏省电力公司职业技能训练基地 组编
程海斌 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

三相三线电能计量装置 错接线解析

江苏省电力公司职业技能训练基地 组编

程海斌 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍了三相三线高供高计电能计量装置错接线检查的操作步骤和技巧,对三相三线电能计量装置错接线、TV 反极性错接线进行了解析,并介绍了无功功率表达式最简式的速算和应用,以及智能电能表错接线解析的新方法。

本书突出实用性、先进性,以技能操作为主线,通俗易懂,能使参加培训的人员,特别是理论基础较差的人员,在短时间内掌握相应的操作技能,使操作的正确率大为提高,时间大为缩短。

本书适用于电力行业从事农网配电营业、电能计量、用电检查和抄核收等不同技能等级人员的岗位培训和技能考核,也可以当作工具书和习题集使用。

图书在版编目(CIP)数据

三相三线电能计量装置错接线解析 / 程海斌主编; 江苏省电力公司职业技能训练基地组编. —北京: 中国电力出版社, 2014.11

ISBN 978-7-5123-6742-5

I. ①三… II. ①程… ②江… III. ①电能计量-接线错误-分析
IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 255418 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 11 月第一版 2014 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 232 千字

印数 0001—2000 册 定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 委 会

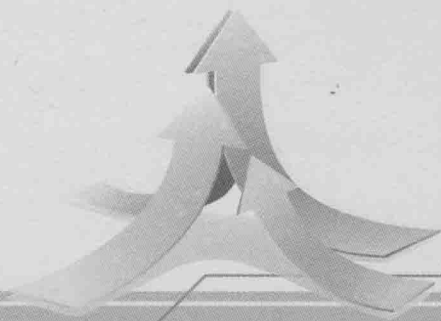
主 任 姜凤宗

副主任 夏振雨

委 员 杨赞华 郭 锐 尹红成

马 驰 贾建东 程海斌

前 言



江苏省电力公司职业技能训练基地经过 7 年不断的发展和壮大，现已成为国家电网公司系统农电培训的排头兵，率先开展了江苏省农网配电营业工的单元制技能培训，其中设置了三相三线电能计量装置错接线检查的技能培训和鉴定。由于没有符合农网员工特点的实训书籍，给培训工作带来诸多不便。在基地领导的大力支持和关心下，《三相三线电能计量装置错接线解析》编写完成，本书可作为农网员工的培训教材，并能为相关人员的岗位培训和技能考核提供参考。

本书列举了三相三线高供高计电能计量装置常见的错接线案例解析；针对相量和功率表达式及其最简式等难点问题进行了分析和总结；率先提出了电压相序快测法、不看相量图快速写出有功功率表达式及其最简式、无功功率最简式速算及应用、智能电能表的接线检查新方法等在国内处于领先的技能操作法，先进、实用，满足了农网员工的培训需求。

由于编者经验和水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者提出宝贵意见，以便改正。

编 者

2014 年 8 月

目 录

前言

第一章 操作步骤和技巧	1
第二章 错接线解析	7
第一节 电压相序 U V W, $60^\circ > \varphi > 0^\circ$	7
第二节 电压相序 V W U, $60^\circ > \varphi > 0^\circ$	21
第三节 电压相序 W U V, $60^\circ > \varphi > 0^\circ$	37
第四节 电压相序 U W V, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	53
第五节 电压相序 V U W, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	69
第六节 电压相序 W V U, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	85
第七节 电压相序 U V W, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	101
第八节 电压相序 V W U, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	109
第九节 电压相序 W U V, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	117
第十节 电压相序 U W V, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	125
第十一节 电压相序 V U W, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	133
第十二节 电压相序 W V U, $30^\circ > \varphi > -30^\circ$	141
第三章 TV 反极性错接线解析	149
第四章 无功功率表达式速算及应用	154
第五章 智能电能表错接线解析	158

三相三线电能计量装置接线在电压无异常时,电压正相序有三种形式,即 U、V、W, V、W、U, W、U、V; 电压反相序有三种形式,即 U、W、V, W、V、U, V、U、W。根据 DL 448—2000《电能计量装置技术管理规程》的要求,电流回路应采用分相连接,则电流接线形式共有 8 种,电压与电流的组合共有 48 种接线,其中只有一种是正确接线。

目前国内在进行 48 种错接线检查技能考核时,需要明确负载功率因数角范围,否则会出现两种结果,在功率因数为 1 或 0.5 左右时,易造成误判。

进行 48 种错接线检查的前提条件是三相电路对称平衡,没有断线、短路和电压互感器极性接反等故障。目前,江苏农网对高级工的功率因数角明确为 $60^\circ > \varphi > 0^\circ$, 电压相序为正相序; 对技师的功率因数角明确为 $30^\circ > \varphi > -30^\circ$ 。

三相三线电能表原理图如图 1-1 所示,相量图如图 1-2 所示。三相三线表有两个计量元件,第一元件是 U_{UV} 和 I_U 工作,第二元件是 U_{WV} 和 I_W 工作。若不知道电压电流相别,则称第一元件是 U_{12} 和 I_1 工作,第二元件是 U_{32} 和 I_3 工作。

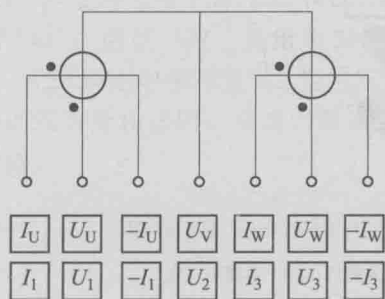


图 1-1 三相三线电能表原理图

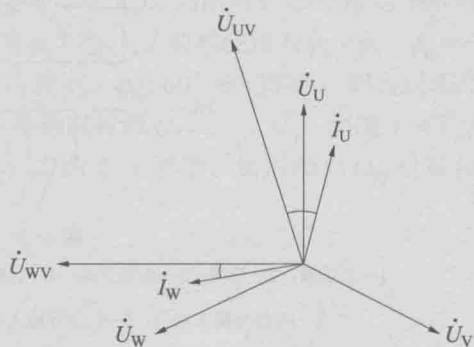


图 1-2 三相三线电能表相量图

下面说到的 1、2、3 分别代表电能表元件 1、元件 2、元件 3。

具体操作方法如下：

一、参数的测量

在做好所有安全措施后,先对相位表及测试导线进行检查,确认正常后,进行相关参数的测量。具体操作以 DK-45H 型伏安相位表为例,如图 1-3 所示。

1. 电压的测量——判断电压有无缺相、接错或极性接反

(1) 将相位表的功能开关旋转至 U_1 、500V 的电压挡。

(2) 将电压测试线按颜色插入相位表的 U_1 端口, 将另一端红笔(正极)和黑笔(负极)分别接触到电能表表尾盒内的 U_1 、 U_2 电压接线端子上。此时测量的是 U_{12} 的电压值, 用同样的方法测量 U_{13} 、 U_{32} 的电压值。根据测量数值大小, 确定是否转换电压量程。依次记录电压值。

(3) 电压数据应注明计量单位。

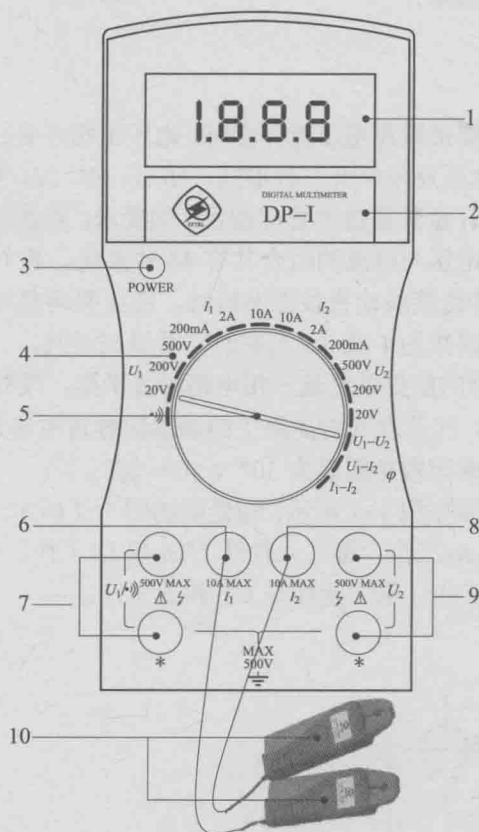


图 1-3 伏安相位表

1—显示器; 2—标牌; 3—电源开关; 4—功能、量程挡位; 5—功能开关; 6— I_1 信号输入孔;
7— U_1 信号输入端口; 8— I_2 信号输入孔; 9— U_2 信号输入端口; 10—电流测试钳

2. 电流的测量——判断电流有无开路、短路

(1) 将相位表的功能开关旋转至 I_2 、10A 电流挡。

(2) 将 I_2 电流测试钳插头插入 I_2 孔内; 将 I_2 电流测试钳分别卡住电能表表尾的电流进线, 依次测量出 I_1 、 I_3 的电流值, 根据测量数值大小, 决定是否转换电流量程。依次记录电流值。

(3) 电流数据应注明计量单位。

3. 相位角的测量

(1) 将相位表的功能开关旋转至 “ φU_1-I_2 ” 挡。

(2) 先用相位表的红笔和黑笔分别接触电能表表尾盒内的 U_1 、 U_2 相电压接线端子,

再用相位表的电流测试钳卡住电能表表尾的 I_1 相电流进线（注意电流测试钳的极性一定要正确，测试钳上表示极性的红色小点应对应电流进入的方向），此时相位表显示的是 $\dot{U}_{12}$ 和 $\dot{i}_1$ 之间的夹角，取下表笔和电流测试钳后做记录。用此方法分别测量 $\dot{U}_{32}$ 和 $\dot{i}_1$ 之间、 $\dot{U}_{32}$ 和 $\dot{i}_3$ 之间的夹角。

二、画相量图，并分析判断

（1）三相三线电能计量装置电压相序的判定。常见的方法为用相位表测量电压 $\dot{U}_{12}$ 与 $\dot{U}_{32}$ 之间相位角，显示值若为 300° ，则为正相序；若为 60° ，则为反相序。此方法的缺点是操作较繁琐，需同时使用 3 根或 4 根测试线，需转换相位表的挡位和多做一次测试线的通断检查。

下面介绍一种操作更简单、更实用的方法。错接线检查肯定要测量电压与电流之间的相位角，只需多测一个相位角，即可判定电压的相序。

【例 1-1】测量数据见表 1-1，判断电压相序。

表 1-1 现场测量相位角数据

测量数据	$\dot{i}_1$	$\dot{i}_3$
$\dot{U}_{12}$	$235^\circ \varphi_A$	
$\dot{U}_{32}$	$295^\circ \varphi_B$	$355^\circ \varphi_C$

从表 1-1 中可看出，以 $\dot{i}_1$ 为参考点，可确定 $\dot{U}_{12}$ 与 $\dot{U}_{32}$ 之间顺时针相位角为 300° ，为正相序。也可采用下面方法，设 $\dot{U}_{12}$ 与 $\dot{i}_1$ 的相位角为 φ_A ， $\dot{U}_{32}$ 与 $\dot{i}_1$ 的相位角为 φ_B ， $\varphi_A - \varphi_B = -60^\circ$ 或 300° ，得 $\dot{U}_{12}$ 与 $\dot{U}_{32}$ 夹角为 300° ，为正相序。若 $\varphi_A - \varphi_B = 60^\circ$ 或 -300° ，则为反相序。

（2）画出电压相量图。当电压为正相序时，按顺时针画 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ ，如图 1-4 所示。当电压为反相序时，按逆时针画 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ ，如图 1-5 所示。然后画出 $\dot{U}_{12}$ 相量和 $\dot{U}_{32}$ 相量。

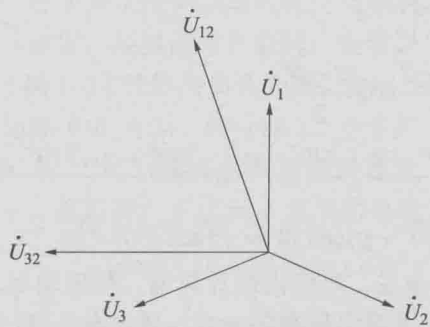


图 1-4 电压正相序的相量图

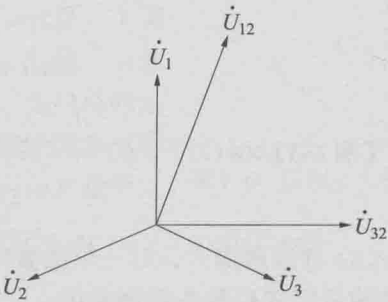


图 1-5 电压反相序的相量图

（3）根据测得的相位角数值，在相量图上画出 $\dot{i}_1$ 和 $\dot{i}_3$ ，根据已知负载性质或判断得出的负载性质，得出电压和电流的错接线方式。

1) 根据测得的相位角在相量图上找到 i_1 和 i_3 的位置并画相应相量。

2) 确定三相电压。将两电流相量看成直线(沿电流相量方向延长), 根据给定的功率因数角范围, 确定 V 相电压。 $60^\circ > \varphi > 0^\circ$ 时, 三相电压中若某相电压顺时针 60° 范围内无电流, 则这相电压为 V 相电压。 $30^\circ > \varphi > -30^\circ$ 时, 三相电压中若某相电压 $\pm 30^\circ$ 范围内无电流, 则这相电压为 V 相电压。无论是正相序还是反相序, 都按照顺时针 UVW 的顺序, 确定其余两相电压。

3) 依据就近原则, 确定电流的实际相别。若电流相量无就近的电压相量, 将电流相量反向即可。与电压相量就近的电流相量, 其相别与电压的一致。

4) 确定实际错接线组合。将 U_{12} 和 I_1 的下标改为实际电压电流的相别, 写出第一元件接线方式; 将 U_{32} 和 I_3 的下标改为实际电压电流的相别, 写出第二元件接线方式。

(4) 写出错误接线方式的功率表达式。错接线检查的条件为三相电路对称, 功率因数角在特定范围内。

有功功率表达式对初学者来说是一个难点, 主要是电压元件与电流元件的相位角容易错, 但只要掌握以下定律, 便会变得轻松简单。

程氏定律: 三相三线电能表两组工作元件的电压与电流之间的相位角, 在按顺时针方向找角度时, 相位角=特殊角+ φ , 特殊角= $30^\circ + 60^\circ n$ 。其中 n 为 $0 \sim 5$ 的整数; 特殊角为 30° 、 90° 、 150° 、 210° 、 270° 、 330° 中的一个。感性负载向前靠, 容性负载向后靠。

根据这一定律, 结合所测得的相位角及负载性质, 可以不用相量图, 非常快捷地写出有功功率表达式及功率因数角。

【例 1-2】测量数据见表 1-1, 若负载为感性, 则可直接写出功率表达式

$$P = UI [\cos(210^\circ + \varphi) + \cos(330^\circ + \varphi)], \text{ 其最简式 } P = UI \sin \varphi$$

$$\varphi = 235^\circ - 210^\circ = 25^\circ$$

若负载为容性, 则可直接写出功率表达式

$$P = UI [\cos(270^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)] = UI \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\varphi = 235^\circ - 270^\circ = -35^\circ$$

要得到三相三线电能表功率表达式最简式, 最基本的方法是利用三角函数的和差化积公式

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{【例 1-3】} \cos(330^\circ + \varphi) + \cos(270^\circ + \varphi) &= 2 \cos \frac{330^\circ + \varphi + 270^\circ + \varphi}{2} \cos \frac{330^\circ + \varphi - 270^\circ - \varphi}{2} \\ &= 2 \cos(300^\circ + \varphi) \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cos(60^\circ - \varphi) \end{aligned}$$

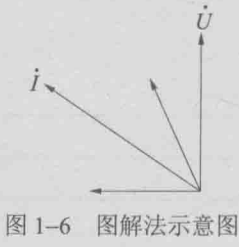
(5) 计算最简式。对三角函数知识较差的学员来说, 即使借助计算器, 写出功率表达式的最简式也是非常困难的, 这也是技能考核中错误率最高的一项。通过分析 48 种常见错接线, 功率表达式的最简式有一定规律, 掌握这一规律有助于大幅度提高操作速度和准确率。规律详见表 1-2 有功功率表达式及最简式一览表(设 $\dot{U}_{32}$ 与 $\dot{i}_3$ 的相位角为 φ_c)。

表 1-2 有功功率表达式及最简式一览表

电压相序	角度差 ($\varphi_A - \varphi_C$)	有功功率最简式	更正系数 G_P
U V W W V U	$\pm 60^\circ$	$P = \pm \sqrt{3} UI \cos \varphi$	± 1
	$\pm 120^\circ$	$P = \pm UI \sin \varphi$	$\pm \frac{\sqrt{3}}{\tan \varphi}$
	0°	$P = \pm 2 UI \sin \varphi$	$\pm \frac{\sqrt{3}}{2 \tan \varphi}$
	$\pm 180^\circ$	$P=0$	不存在
V W U U V W	$\pm 60^\circ$	$P = \pm \sqrt{3} UI \cos (60^\circ + \varphi)$	$\pm \frac{2}{1 - \sqrt{3} \tan \varphi}$
	$\pm 120^\circ$	$P = \pm UI \cos (30^\circ - \varphi)$	$\pm \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \tan \varphi}$
	0°	$P = \pm 2 UI \cos (30^\circ - \varphi)$	$\pm \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \tan \varphi}$
	$\pm 180^\circ$	$P=0$	不存在
W U V V U W	$\pm 60^\circ$	$P = \pm \sqrt{3} UI \cos (60^\circ - \varphi)$	$\pm \frac{2}{1 + \sqrt{3} \tan \varphi}$
	$\pm 120^\circ$	$P = \pm UI \cos (30^\circ + \varphi)$	$\pm \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \tan \varphi}$
	0°	$P = \pm 2 UI \cos (30^\circ + \varphi)$	$\pm \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \tan \varphi}$
	$\pm 180^\circ$	$P = 0$	不存在

注意：角度差与最简式的±号不存在对应关系，最简式±号的确定请读者根据案例题总结。

在实际工作中，写出有功功率表达式较简单，但最简式的计算略有难度，经过思考和总结，发现采用图解法可以减少计算。下面以 [例 1-3] 计算最简式为例，说明图解法的计算方法。图解法示意图如图 1-6 所示。以时钟 12 点方向作为参考相量 $\dot{U}$ ，先按特殊角 330° 和 270° 画两条相等长度的相量，再画出这两条相量的合成相量 $\dot{i}$ ，最后看一下 $\dot{U}$ 和 $\dot{i}$ 之间的角度及 $\dot{i}$ 的长度，即可得到最简式



$$UI [\cos (300^\circ + \varphi) + \cos (270^\circ + \varphi)] = UI \sqrt{3} \cos (300^\circ + \varphi) = \sqrt{3} UI \cos (60^\circ - \varphi)$$

三、余弦三角函数知识

1. 余弦函数的四象限及正负值

余弦函数值是有向线段在 x 轴上的投影，其四象限及正负值如图 1-7 所示。

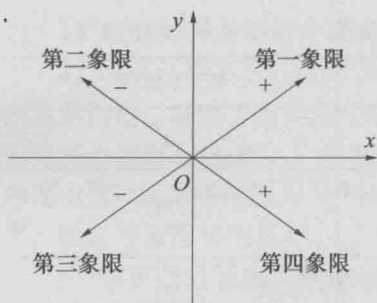


图 1-7 余弦函数四象限及正负值

2. 变换原则

奇变偶不变，符号看象限。公式如下

$$\cos(90^\circ + \varphi) = -\sin \varphi$$

$$\cos(90^\circ - \varphi) = \sin \varphi$$

$$\cos(150^\circ + \varphi) = \cos[180^\circ - (30^\circ - \varphi)] = -\cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\cos(150^\circ - \varphi) = \cos[180^\circ - (30^\circ + \varphi)] = -\cos(30^\circ + \varphi)$$

$$\cos(210^\circ + \varphi) = \cos[180^\circ + (30^\circ + \varphi)] = -\cos(30^\circ + \varphi)$$

$$\cos(210^\circ - \varphi) = \cos[180^\circ + (30^\circ - \varphi)] = -\cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\cos(270^\circ + \varphi) = \sin \varphi$$

$$\cos(270^\circ - \varphi) = -\sin \varphi$$

$$\cos(330^\circ + \varphi) = \cos[360^\circ - (30^\circ - \varphi)] = \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\cos(330^\circ - \varphi) = \cos[360^\circ - (30^\circ + \varphi)] = \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$\cos(180^\circ + \varphi) = -\cos \varphi$$

$$\cos(180^\circ - \varphi) = -\cos \varphi$$

$$\cos(240^\circ + \varphi) = \cos[180^\circ + (60^\circ + \varphi)] = -\cos(60^\circ + \varphi)$$

$$\cos(240^\circ - \varphi) = \cos[180^\circ + (60^\circ - \varphi)] = -\cos(60^\circ - \varphi)$$

$$\cos(300^\circ + \varphi) = \cos[360^\circ - (60^\circ - \varphi)] = \cos(60^\circ - \varphi)$$

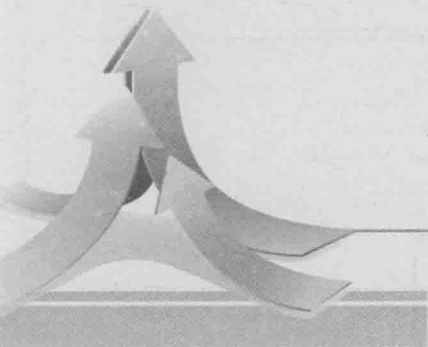
$$\cos(300^\circ - \varphi) = \cos[360^\circ - (60^\circ + \varphi)] = \cos(60^\circ + \varphi)$$

3. 常用公式

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$$



第二章

错接线解析

第一节 电压相序U V W, $60^\circ > \varphi > 0^\circ$

案例 1-1

一、参数测量

电压	U_{12}	U_{23}	U_{31}
测量数据 (V)	100.2	100.2	100.4

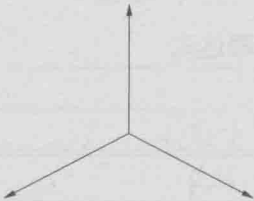
电 流	I_1	I_3
测量数据 (A)	1.5	1.5

电压/电流相位	i_1	i_3
$\dot{U}_{12}$	235°	
$\dot{U}_{32}$	295°	355°

二、电压相序测定

三相电压相序为_____。

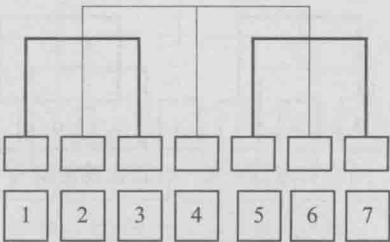
三、绘制错接线相量图



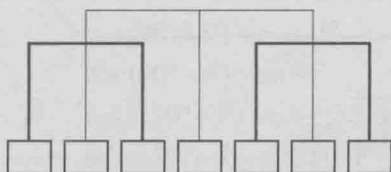
四、写出错接线方式及总有功功率表达式

错接线方式为：
第一元件接线方式：_____
第二元件接线方式：_____
总有功功率表达式：_____

五、电能表错接线



六、电能表错接线改正



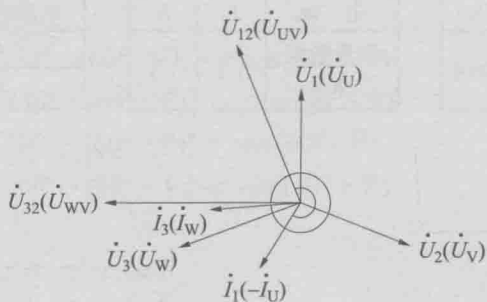
空白方框中填入改正接线的编号

◎ 案例 1-1 解析:

一、三相电压相序测定

三相电压相序为正相序。

二、绘制错接线相量图



三、写出错接线方式及总有功功率表达式

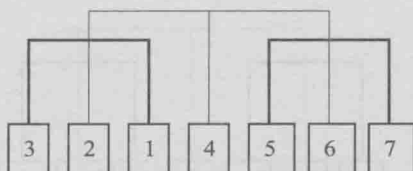
错接线方式为:

第一元件接线方式: $\frac{U_{UV}}{(-I_U)}$ 第二元件接线方式: $\frac{U_{WV}}{(I_W)}$ 总有功功率表达式: $P = UI[\cos(210^\circ + \varphi) + \cos(330^\circ + \varphi)] = UI \sin \varphi$

四、电能表错接线

$-I_U$	U_U	I_U	U_V	I_W	U_W	$-I_W$
1	2	3	4	5	6	7

五、电能表错接线改正



空白方框中填入改正接线的编号

案例 1-2

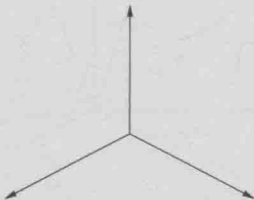
一、参数测量

电压	U_{12}	U_{23}	U_{31}	电 流	I_1	I_3	电压/电流相位	i_1	i_3
测量数据 (V)	100.2	100.2	100.4	测量数据 (A)	1.5	1.5	$\dot{U}_{12}$	65°	
							$\dot{U}_{32}$	125°	185°

二、电压相序测定

三相电压相序为_____。

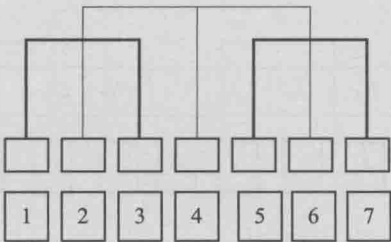
三、绘制错接线相量图



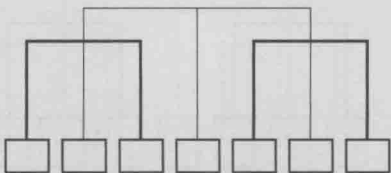
四、写出错接线方式及总有功功率表达式

错接线方式为：
第一元件接线方式：_____
第二元件接线方式：_____
总有功功率表达式：_____

五、电能表错接线



六、电能表错接线改正



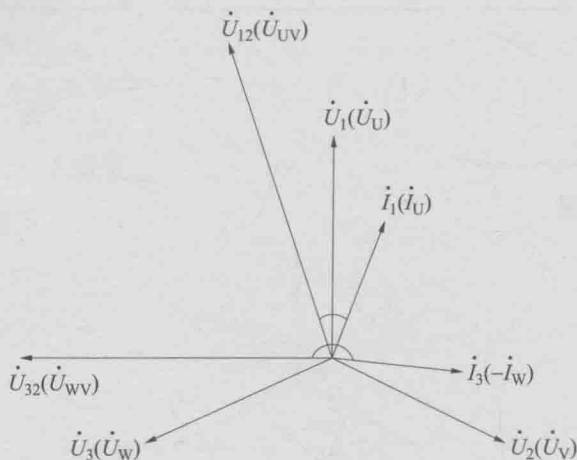
空白方框中填入改正接线的编号

◎ 案例 1-2 解析:

一、三相电压相序测定

三相电压相序为 正相序。

二、绘制错接线相量图



三、写出错接线方式及总有功功率表达式

错接线方式为:

第一元件接线方式: $\frac{U_{UV}}{I_U}$

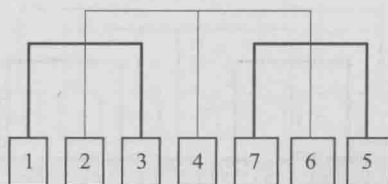
第二元件接线方式: $\frac{U_{WV}}{-I_W}$

总有功功率表达式: $P = UI [\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(150^\circ + \varphi)] = -UI \sin \varphi$

四、电能表错接线

I_U	U_U	$-I_U$	U_V	$-I_W$	U_W	I_W
1	2	3	4	5	6	7

五、电能表错接线改正



空白方框中填入改正接线的编号

案例 1-3

一、参数测量

电压	U_{12}	U_{23}	U_{31}
测量数据 (V)	100.2	100.2	100.4

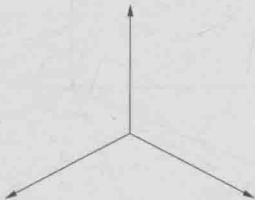
电 流	I_1	I_3
测量数据 (A)	1.5	1.5

电压/电流相位	i_1	i_3
$\dot{U}_{12}$	235°	
$\dot{U}_{32}$	295°	175°

二、电压相序测定

三相电压相序为_____。

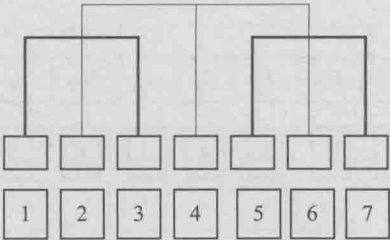
三、绘制错接线相量图



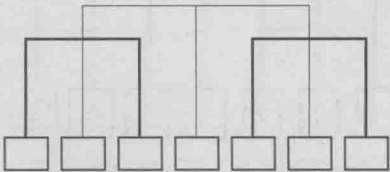
四、写出错接线方式及总有功功率表达式

错接线方式为：
第一元件接线方式：_____
第二元件接线方式：_____
总有功功率表达式：_____

五、电能表错接线



六、电能表错接线改正



空白方框中填入改正接线的编号