

# 电能计量装置错接线更正系数计算程序

河津市供电公司 丁平

2024 年 4 月 21 日

## 摘要

本文讲述了电能计量装置错接线向量分析和更正系数计算程序的开发背景、部署及使用, 并通过多个案例讲解各种错接线应用场景, 是基层供电所处理各种计量错接线故障的好工具、好帮手。同时因其直观的向量图绘制, 对基层供电所员工理解电能表原理和向量图均有帮助, 可应用于培训场合。

## 目录

<b>1</b>	<b>概述</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>程序的使用</b>	<b>3</b>
2.1	部署 . . . . .	3
2.2	使用 . . . . .	4
<b>3</b>	<b>电表正确接法</b>	<b>5</b>
3.1	三相四线电表 . . . . .	5
3.2	三相三线电表 . . . . .	6
<b>4</b>	<b>电表错误接法</b>	<b>7</b>
4.1	三相四线电表 . . . . .	7
4.1.1	算例 1 互感器错配 . . . . .	7
4.1.2	算例 2 一相极性接反 . . . . .	9
4.1.3	算例 3 两相互相接反 . . . . .	10
4.2	三相三线电表 . . . . .	12
4.2.1	算例 4 电压逆相序 . . . . .	12
4.2.2	算例 5 V 相电压断线 . . . . .	13
4.2.3	算例 6 一相电流互感器极性接反 . . . . .	15
<b>5</b>	<b>无功更正系数</b>	<b>17</b>

6 结论	17
A 接线错误更正系数表	18
B 算例 6 数学分析	19

## 1 概述

电能计量装置错接线会引起计量误差, 在发现错接线后, 应正确计算更正系数, 并根据更正系数计算错接线期间的正确用电量, 以追补电量。更正系数  $K$  即为电能计量装置正确接线时电量 (或功率) 除以错误接线时电量 (或功率)。即:

$$K = \frac{\text{正确接线的电量 (功率)}}{\text{错误接线的电量 (功率)}} \times 100\%$$

$$\text{追补电量} = \text{错接线期间计量电量} \times (K - 1)$$

更正系数的计算, 需要有交流电向量图的基础知识, 并掌握基本三角函数的计算。然而目前大部分供电所基层员工缺乏相关知识, 对于错接线电量追补大部分凭经验估算, 结果难以让人信服。

本程序的编制的出发点是: 使用简单、易理解的输入模型, 将各种错接线时每个计量元件的输入电压、电流的数值 (比例)、来源输入, 用来生成各个计量原件电流、电压向量图, 并计算出更正系数  $K$ 。

## 2 程序的使用

本程序是一个 Web 应用程序, 使用了 Vue.js<sup>1</sup> 前端框架, 只需将下列文件复制进 Web 服务器内, 部署使用均很简单。

### 2.1 部署

程序共包含四个文件, 如下:

序号	文件名	用途
1	meter.html	三相四线表页面, 入口
2	meter3p3w1.html	三相三线表页面
3	default.css	样式表
4	vector.js	公用程序, 计算向量用

表 1: 部署文件

在 web 服务器合适位置建立一子目录或虚拟目录, 将以上四个文件拷入。

本程序需要 Vue.js 框架支持, 如果你的 Web 服务器已包含此框架, 请修改 meter.html 第 18 行及 meter3p3w1.html 第 16 行, 指向正确的 vue.js 的位置。如 Web 服务器中未包含 vue.js, 请自行下载, 放入 Web 空间合适位置, 并修改两个文件。

互联网环境下使用, 亦可以外链方式从 CDN 引入, 如

<sup>1</sup>Vue.js 是一个渐进式的前端框架, 参见: <http://cn.vuejs.org>

```
<script src="https://unpkg.com/vue@2.6.11/dist/vue.js">
</script>
```

## 2.2 使用

因为 Vue 不再支持 IE, 请使用 Google Chrome、Microsoft Edge 或 Apple Safari 浏览器访问。

作者已将程序发布到自己的博客上, 可通过如下网址访问:

<https://peterdavis77.github.io/html/meter.html>

输入网址, 出现如下画面, 证明部署成功。

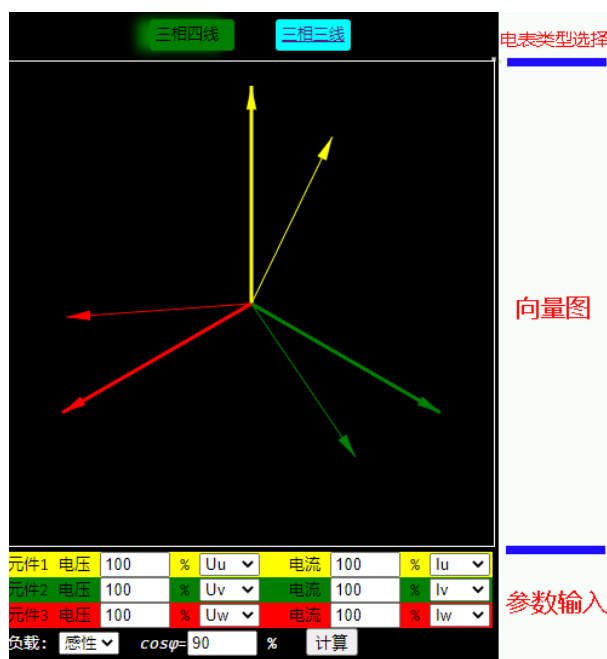


图 1: 界面

以上界面分为三个部分。上部为选择三相四线表或三相三线表; 下部为输入区域, 用户可输入电表各个计量元件的电压、电流来源和数值百分比, 以及功率因数, 中间为向量图。数据输入时, 向量图与输入数据联动, 数据改变则向量图立即改变, 便于用户直观看到各计量元件的电流电压关系。

输入完毕后, 点击 **计算** 按钮, 即显示结果。如果需要显示无功功率的更正系数, 请复选 **显示无功** 即可。

### 3 电表正确接法

#### 3.1 三相四线电表

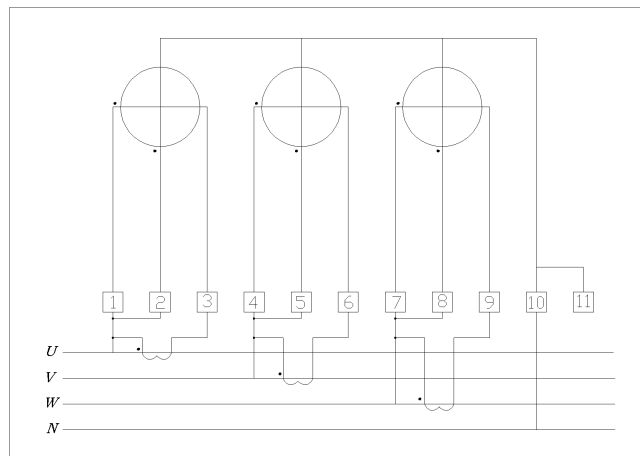


图 2: 三相四线表正确接线

计量元件 1、2、3 上所加的电压电流分别为：

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_u \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_u$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_v \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_v$$

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_w \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_w$$

输入数据如下 (功率因数按感性 90% 计算)

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uu	100	Iu
2	100	Uv	100	Iv
3	100	Uw	100	Iw

表 2: 正常接线三相四线表输入数据

运算结果如下：



### 3.2 三相三线电表

The diagram shows a power distribution system. At the bottom, there are three horizontal lines representing the main supply rails, labeled  $U$ ,  $V$ , and  $W$  from top to bottom. Two transformers are connected to these rails. The first transformer has its primary winding connected between  $U$  and  $V$ , and its secondary winding connected between  $U$  and  $V$ . The second transformer has its primary winding connected between  $V$  and  $W$ , and its secondary winding connected between  $V$  and  $W$ . Two busbars are shown as vertical lines. The first busbar is connected to the secondary of the first transformer and the secondary of the second transformer. The second busbar is connected to the secondary of the first transformer and the secondary of the second transformer. Two circles, representing loads or generators, are connected to the busbars. The first circle is connected to the first busbar and the second busbar. The second circle is connected to the first busbar and the second busbar. The busbars are labeled with numbers 1 through 7 in boxes. The labels are arranged as follows: 1 and 2 are on the first busbar, 3 and 4 are on the second busbar, 5 and 6 are on the first busbar, and 7 is on the second busbar.

图 4: 三相三线表正确接线

计量元件 1、2 上所加的电压电流分别为:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{uv} \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_u$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{wv} \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_w$$

输入数据如下 (功率因数按感性 90% 计算)

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uuv	100	Iu
2	100	Uwv	100	Iw

表 3: 正常接线三相三线表输入数据

运算结果如下:

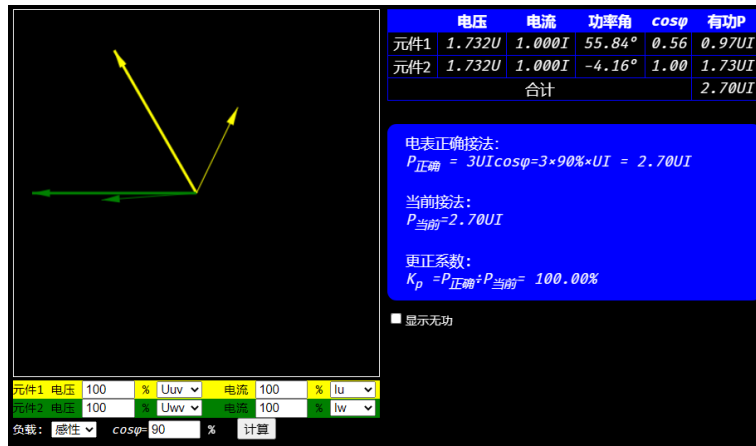


图 5: 运算结果

无论我们如何调整功率因数, 运算结果都不变, 均为 100%, 证明正确接线的运算正确。

## 4 电表错误接法

### 4.1 三相四线电表

#### 4.1.1 算例 1 互感器错配

w 相电流互感器配错, 应为 75/5, 错配为 100/5, 如图所示:

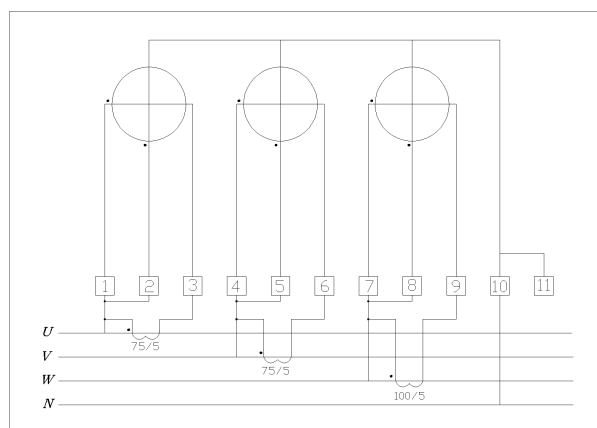


图 6: 算例 1

w 相电流互感器错配，导致二次电流减小，变为正常电流的 75%，计量元件 1、2、3 上所加的电压电流分别为：

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}_u & \dot{I}_1 &= \dot{I}_u \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_v & \dot{I}_2 &= \dot{I}_v \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_w & \dot{I}_3 &= 0.75\dot{I}_w\end{aligned}$$

依照以上分析，得输入参数如下：

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uu	100	Iu
2	100	Uv	100	Iv
3	100	Uw	75	Iw

表 4: 算例 1 输入数据

运算结果如下：



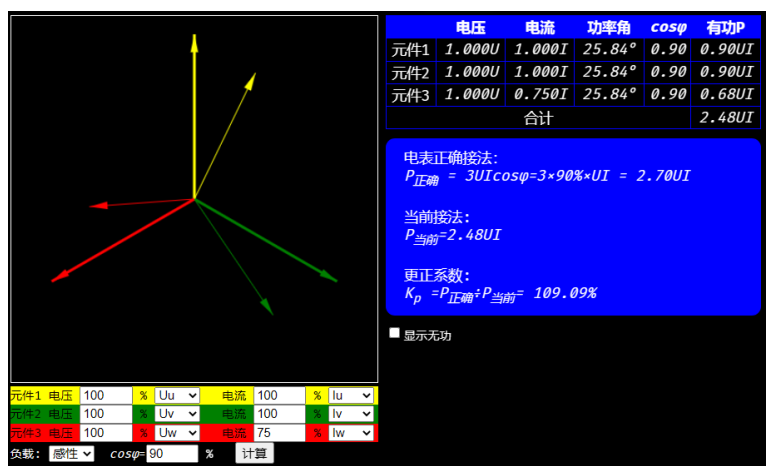


图 7: 算例 1 运算结果

更正系数为 109%, 调整功率因数, 结果不变, 证明此中错接线更正系数与功率因数无关。

#### 4.1.2 算例 2 一相极性接反

w 相电流互感器极性接反 (k1、k2 接反), 如图所示:

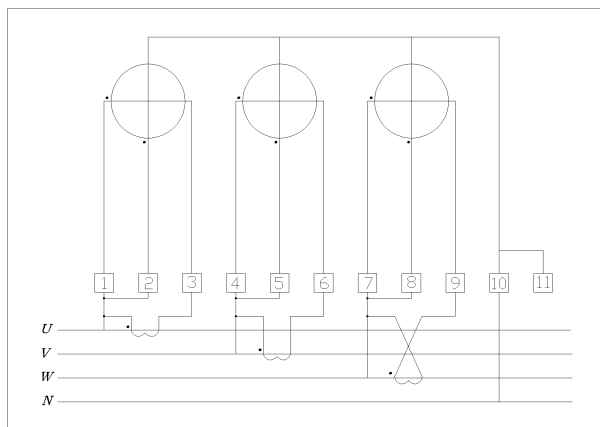


图 8: 算例 2

w 相极性接反, 则元件 3 上的电流电压为:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_w \quad \dot{I}_3 = -\dot{I}_w$$

元件 1、元件 2 电压电流正常。

依照以上分析, 得输入参数如下:

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	U <sub>u</sub>	100	I <sub>u</sub>
2	100	U <sub>v</sub>	100	I <sub>v</sub>
3	100	U <sub>w</sub>	-100	I <sub>w</sub>

表 5: 算例 2 输入数据

运算结果如下:

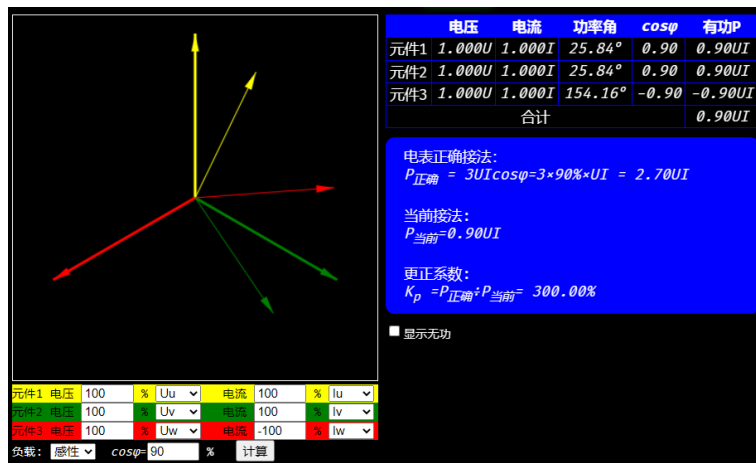


图 9: 算例 2 运算结果

更正系数为 300%, 调整功率因数, 结果不变, 证明此中错接线更正系数与功率因数无关。

#### 4.1.3 算例 3 两相互相接反

v 相与 w 相电流互换, 如图所示:

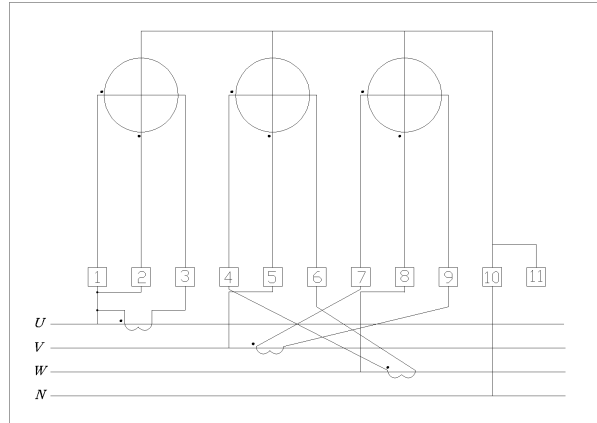


图 10: 算例 3

v 相和 w 相电流互相交换，则元件 2 和元件 3 上的电流电压为：

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_v \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_w$$

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_w \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_v$$

元件 1 电压电流正常。

依照以上分析，得输入参数如下：

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uu	100	Iu
2	100	Uv	100	Iw
3	100	Uw	100	Iv

表 6: 算例 3 输入数据

运算结果如下：

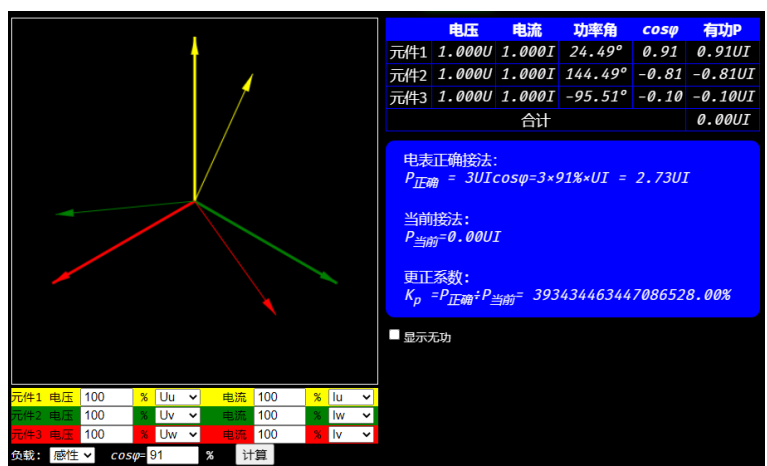


图 11: 算例 3 运算结果

计算结果当前有功功率为零，表明电表已停转，更正系数算出了一个非常大的数字，这是因为计算机浮点运算的精度问题导致，应为无穷大。此时因电表停转，更正系数已无意义，应根据用户平常用电量进行追补。

调整功率因数，结果不变，证明此中错接线更正系数与功率因数无关。

## 4.2 三相三线电表

### 4.2.1 算例 4 电压逆相序

w 电压逆相序，接法如图

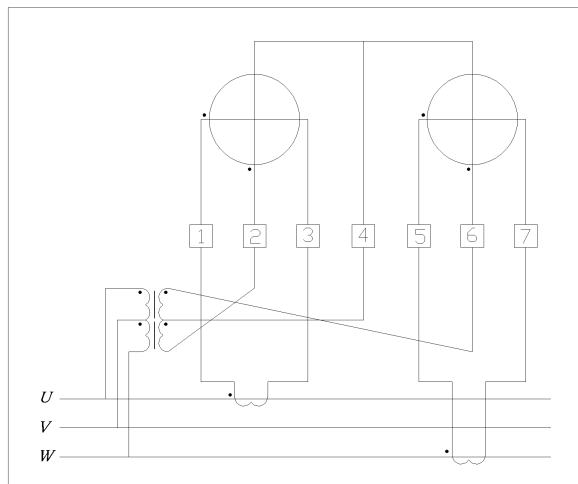


图 12: 算例 4

电流正常，电压逆相序，则元件 1 和元件 2 上的电流电压为：

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}_{wv} & \dot{I}_2 &= \dot{I}_u \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{uv} & \dot{I}_2 &= \dot{I}_w\end{aligned}$$

依照以上分析，得输入参数如下：

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uwv	100	Iu
2	100	Uuv	100	Iw

表 7: 算例 4 输入数据

运算结果如下：



图 13: 算例 4 运算结果

计算结果当前有功功率为零，表明电表已停转，更正系数算出了一个非常大的数字，这是因为计算机浮点运算的精度问题导致，有时会计算出 Infinity 的结果，均为无穷大。此时因电表停转，更正系数已无意义，应根据用户平常用电量进行追补。

调整功率因数，结果不变，证明此中错接线更正系数与功率因数无关。

#### 4.2.2 算例 5 V 相电压断线

v 相电压断线，如图：

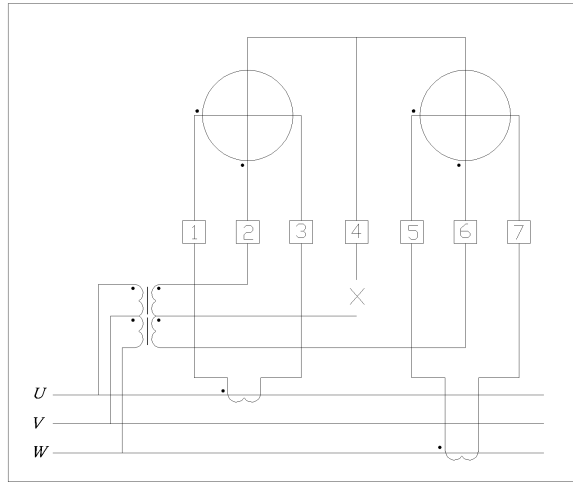


图 14: 算例 5

v 相电压断线后，两个计量元件电压线圈串联在  $U_{uw}$  之间，各分担其一半的电压，计量元件上的电流电压为：

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \frac{\dot{U}_{uw}}{2} & \dot{I}_2 &= \dot{I}_u \\ \dot{U}_2 &= -\frac{\dot{U}_{uw}}{2} & \dot{I}_2 &= \dot{I}_w\end{aligned}$$

依照以上分析，得输入参数如下：

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	50	$U_{uw}$	100	$I_u$
2	-50	$U_{uw}$	100	$I_w$

表 8: 算例 5 输入数据

运算结果如下：

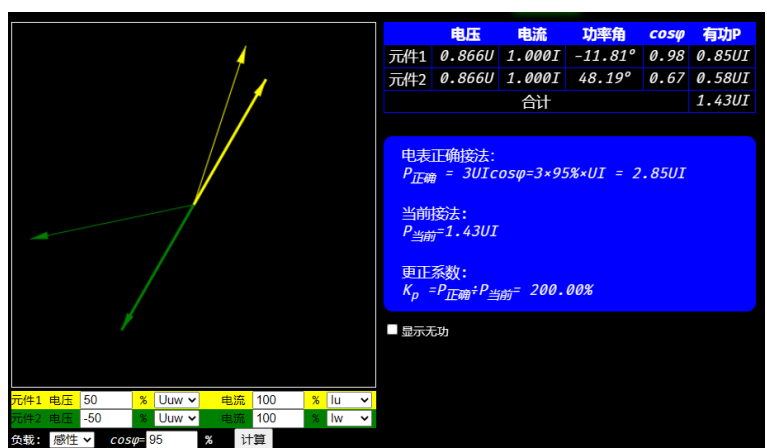


图 15: 算例 5 运算结果

计算结果为 200%。调整功率因数，结果不变，证明此中错接线更正系数与功率因数无关。

#### 4.2.3 算例 6 一相电流互感器极性接反

第二元件（w 相）电流互感器极性接反，如图：

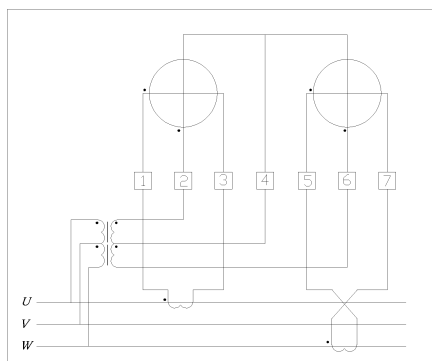


图 16: 算例 6

一相电流极性接反，两个计量元件上的电压电流为：

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}_{uv} & \dot{I}_2 &= \dot{I}_u \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{wv} & \dot{I}_2 &= -\dot{I}_w\end{aligned}$$

依照以上分析，得输入参数如下：

元件	电压%	电压来源	电流%	电流来源
1	100	Uuv	100	Iu
2	100	Uwv	-100	Iw

表 9: 算例 6 输入数据

运算结果如下：

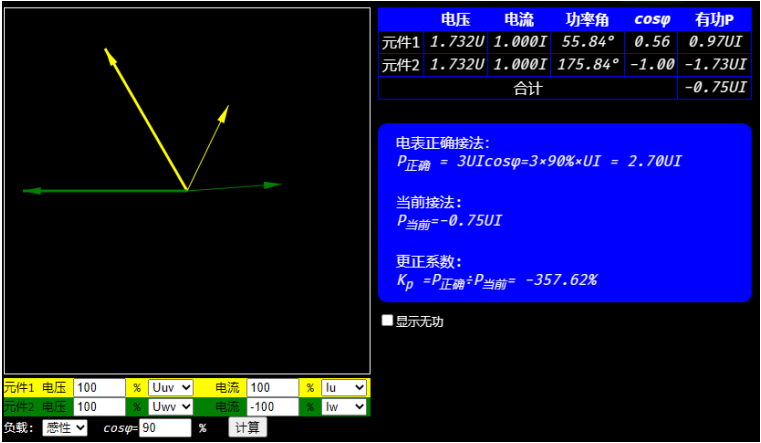


图 17: 算例 6 运算结果

调整功率因数，结果发生变化，证明三相三线表此种错误接线法更正系数与功率因数相关，记录不同的功率因数所对应的更正系数如下：

序号	功率因数%	更正系数%
1	40	-75.59
2	45	-87.28
3	50	-100
4	55	-114.06
5	60	-129.9
6	65	-148.15
7	70	-169.77
8	75	-196.4
9	80	-230.94
10	85	-279.48
11	90	-357.62
12	95	-526.97

表 10: 算例 6 功率因数与更正系数对应关系



试作散点图如下：

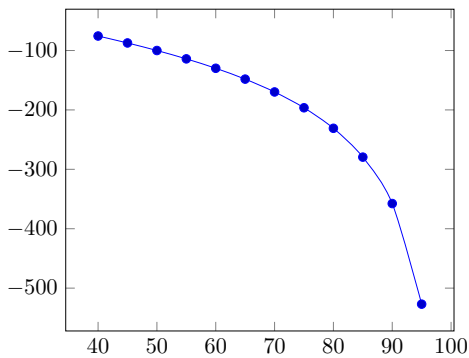


图 18: 算例 6 散点图

从以上数据和图看到，更正系数和功率因数应存在某种数学关系，其关系试图在附录 B 中进行推导计算。

要得到合理的更正系数，必须根据以往正确计量数据，合理选择功率因数进行计算。

## 5 无功更正系数

以上内容仅展示了有功电量更正系数的计算。事实上，对于目前大量使用的多功能电子表，能同时计量无功电量，而无功电量是计算用户力调电费的依据。本程序具有同时计算无功电量的功能，方法是打开“显示无功”显示。复选 ☒ 显示无功即可。

因为无功计算使用的正弦函数是奇函数，所以功率角必须区别正负。观察无功计算的结果，我么这里把电流滞后于电压作为正角，把电流超前于电压作为负角。

## 6 结论

通过以上算例分析，该程序可计算绝大多数错误接线的更正系数，输入数据分析、整理简单可行，结果只管、可信，是基层供电所职工的得力帮手。

本文所列接线错误更正系数表见附录 1。

事实上，各种错误接线远非仅本文描述的 6 种，比如既有互感器配置错误，同时有极性接反的错误，应根据实际情况分析计量元件上所加的电压和电流，将其表示为来源和系数两个数字，输入程序，就能得到满意的结果。

另外，虽然目前大量使用的电子式电能表并没有物理上的计量元件，但内部计算仍然使用逻辑计量元件，其基本原理与传统机械表并无本质区别，本程序及传统的分析方法仍然适用。

## A 接线错误更正系数表

序号	电表类别	错接线描述	更正系数	备注
1	三相四线	一相互感器配错	不确定	与错配互感器倍率有关
2		一相互感器极性接反	300%	
3		两相互感器对调	$\infty$	电表停转
4	三相三线	电压逆相序	$\infty$	电表停转
5		中相电压断线	200%	
6		一相电流极性接反	不确定	与功率因数有关

表 11: 接线错误更正系数表

## B 算例 6 数学分析

正常的三相三线电表，2 个计量元件计量的功率如下：

$$P = U_{uv}I_u \cos(\phi + \frac{\pi}{6}) + U_{vw}I_w \cos(\phi - \frac{\pi}{6})$$

此处假设三相平衡，并将线电压转化为相电压，则有：

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}UI \cos(\phi + \frac{\pi}{6}) + \sqrt{3}UI \cos(\phi - \frac{\pi}{6}) \\ &= \sqrt{3}UI [\cos(\phi + \frac{\pi}{6}) + \cos(\phi - \frac{\pi}{6})] \\ &= 3UI \cos \phi \end{aligned} \tag{1}$$

错误接线下，W 相电流反接，有：

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}UI \cos(\phi + \frac{\pi}{6}) - \sqrt{3}UI \cos(\phi - \frac{\pi}{6}) \\ &= \sqrt{3}UI [\cos(\phi + \frac{\pi}{6}) - \cos(\phi - \frac{\pi}{6})] \\ &= -\sqrt{3}UI \sin \phi \end{aligned} \tag{2}$$

计算更正系数：

$$\begin{aligned} K &= \frac{3UI \cos \phi}{-\sqrt{3}UI \sin \phi} \\ &= -\frac{\sqrt{3} \cos \phi}{\sin \phi} \\ &= -\sqrt{3} \cot \phi \\ &= -\frac{\sqrt{3} \cos \phi}{\sqrt{1 - \cos^2 \phi}} \end{aligned} \tag{3}$$

经试算，与表 10 所列结果相同。