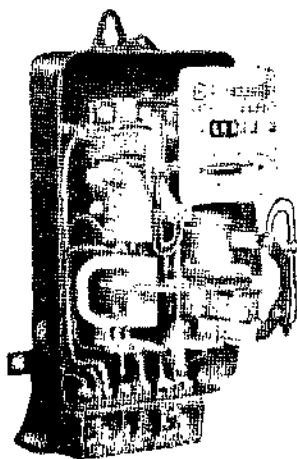


三相电度表 校驗与調整

張 联 宗編



水利电力出版社

目 录

一、电度表简单构造和动作原理	2
二、調整裝置的作用	5
1.滿載調整裝置	5
2.輕載調整裝置	6
3.低力率調整裝置	7
4.平衡調整裝置	7
三、調整前的工作	9
1.留底試驗	9
2.檢查及清洗	9
3.常數的計算	10
4.采用校驗方法	12
5.綫路图的選擇	15
四、試驗調整步驟及方法	19
1.潛勁調整	19
2.平衡調整	20
3.整組試驗	22
4.分組調整	23
五、复試	25
1.負載試驗	25
2.平衡檢查	26
3.潛勁檢查	26
4.走字試驗	26
5.灵敏度檢查	26
六、誤差的可能原因及一般的解決办法	28
七、接綫錯誤时的运行現象	31
八、电流互感器和电压互感器变比試驗及其极性的測定	34
1.变比試驗	34
2.极性的測定	36

目 录

一、电度表简单构造和动作原理	2
二、調整裝置的作用	5
1. 滿載調整裝置	5
2. 輕載調整裝置	6
3. 低力率調整裝置	7
4. 平衡調整裝置	7
三、調整前的工作	9
1. 留底試驗	9
2. 檢查及清洗	9
3. 常數的計算	10
4. 采用校驗方法	12
5. 綫路图的選擇	15
四、試驗調整步驟及方法	19
1. 潛勁調整	19
2. 平衡調整	20
3. 整組試驗	22
4. 分組調整	23
五、复試	25
1. 負載試驗	25
2. 平衡檢查	26
3. 潛勁檢查	26
4. 走字試驗	26
5. 灵敏度檢查	26
六、誤差的可能原因及一般的解決办法	28
七、接綫錯誤时的运行影響	31
八、電流互感器和电压互感器变比試驗及其極性的測定	34
1. 变比試驗	34
2. 極性的測定	36

一、电度表简单构造和动作原理

电度表也有人说是火表，是用来计算用户消耗电能的一种记录式仪器。在直流电路中电能的计算是采用电动式的；在交流电路上就不同，它的电能计算是采用感应式的。

在讲三相三线电度表前，现在先讲一下单相电度表的构造原理。

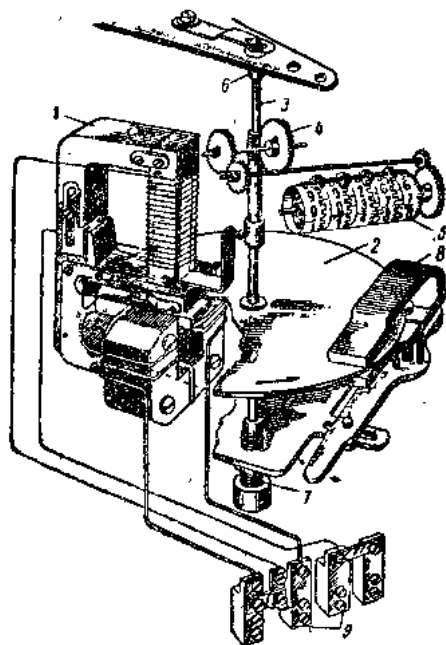


图1 单相感应式电度表的构造图

1—电压元件；2—铝盘；3—转轴；4—齿轮系统；5—记录机构；6—上轴承；7—下轴承；8—制动用的永久磁铁；9—端钮。

单相感应式电度表的构造如图1所示。

电流元件的绕组匝数很少，但是使用导线截面相当大，可通过较大的电流。因为这些线圈都装在一个由很薄的矽钢片组成的电磁铁心上，于是在这电磁铁内就产生与负载电流 I 成正比的磁通 Φ_i ，它在电度表铝盘的两个地方穿过。由于磁通是交变的，铝盘上将感应出两个涡流。

电压元件的绕组匝数很多，导线很细，绕

在另一个电磁铁心上。当电压加在这个线圈上时，由于有电流流过，因此就有与电压成正比的磁通 Φ 穿过铝盘，由于磁通是交变的，因此就在铝盘上产生涡流。这些涡流与这些磁通之间的相互作用，就产生驱使铝盘旋转的转矩。这种转矩与电路的功率成正比。又因铝盘是在永久磁铁恒定磁场中转动，于是其中便产生与速率成正比的涡流，这样便得到保持着速率与转矩成正比例的所需负载。

电能的计算是用铝盘的转数经过记录器来作记录的。

交流电度表可以划分为两大类，即单相和三相两种。三相电度表也不过是利用几个单相电度表元件组合而成，安排在一个共同的基座上，用一个记录器来作整个电能的记录而已。

由此可见，三相电度表亦可用几个单相电度表来代替。三相三线的电度表，是指三相两元件的电度表，由于它的价钱比三相四线三元件的便宜，而一般的动力系统多是三相三线制，因此在我们发电厂里，或是一个大工厂里的工业用电，都很普遍的采用。

当然，这种两元件的电度表不同于三元件的，它只适用于负荷平衡的三相三线制的电力系统，不适用在负荷不平衡的混合负荷，如三相电动机的负荷与电灯负荷。

这种表在系统运行中的接线如下图 2 甲，它的向量图如图 2 乙。

为什么用这种两元件的表能测三相平衡负荷的电能呢？我们从图 2 乙的向量就很明显的看得出来。

上元件接电流 I_1 电压 U_{12} ，下元件接电流 I_2 电压 U_{23} ，那么上元件对铝盘所产生的回转矩为

$$F_1 = K_1 U_{12} I_1 \cos(30^\circ + \theta),$$

下元件对铝盘所产生的回转矩为

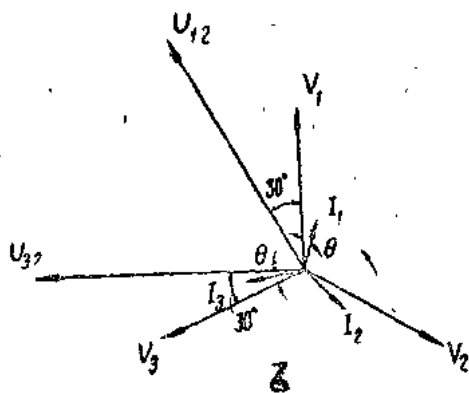
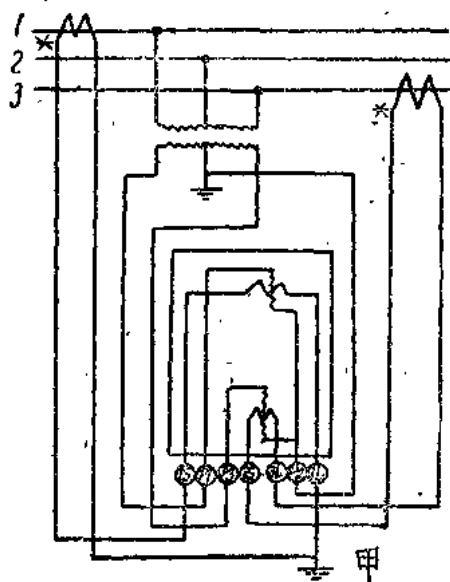


图2 三相两元件电度表的接线及向量图
注：图中* 表示电流互感器的正极性。

$$F_2 = K_2 U_{22} I_2 \cos(30^\circ - \theta).$$

因为 F_1 和 F_2 作用在同一轴上的铝盘，所以总的回轉力就等于 $F_1 + F_2$ 。

当电流与相电压同相时， $\theta = 0$ ，即总的力矩

$$F = K_1 U_{12} I_1 \cos 30^\circ + K_2 U_{22} I_2 \cos 30^\circ.$$

式中 K_1, K_2 为常数。

当 $\cos 30^\circ$ 时，力率为 0.866，故

$$\begin{aligned} F &= 0.866 K_1 U_{12} I_1 + 0.866 K_2 U_{22} I_2 \\ &= (0.866 + 0.866) K U_{\text{綫}} I_{\text{相}} = 1.73 K U_{\text{綫}} I_{\text{相}}. \end{aligned}$$

式中 $K = K_1 = K_2$ 。

但是 $U_{\text{綫}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ ，所以 $F = K \cdot 3 U_{\text{相}} I_{\text{相}} = K$ (三相有功电力)。

从上面简单的公式，就能証明两元件測三相有功电力的理由。

二、調整裝置的作用

1. 滿載調整裝置

滿載的調整裝置，一般都是依靠制動用永久磁鉄对鋁盤邊緣移进或移出来調整的。將磁鉄离开中心向外移，就增加了它的負載，因而速度变慢；反之則快。因为鋁盤外緣的綫速度較大，所以鋁盤的外部在磁鉄間旋轉时便会产生較强的渦流。

我們从电度表的轉动力矩来看，可知道它的鋁盤是受着 $KUI \cos \varphi$ 的轉动力而回轉的，但是，如果沒有一个制動裝置，鋁盤的轉速就沒有办法控制，不能合理地反映轉动力的大小。所以就全靠永久磁鉄来作为一个制動裝置。因为永久磁鉄所产

生的阻尼作用，是与鋁盘的轉速成正比的，而鋁盘的轉速又与有功功率成正比，故鋁盘达一定的速度后，磁鉄所生的制动力与有功功率所生的轉动力相平衡，鋁盘就成一等速运动。所以我們就利用它来作滿載調整器。

2. 輕載調整裝置

輕載調整裝置，亦可說是一种摩擦补偿器。因为一个电表，当鋁盘在轉动时，对軸承和計算机构都会产生摩擦，当在輕載的时候（即 $\frac{1}{10}$ 額定电流）鋁盘因摩擦所产生的轉动阻力，同电磁元件所作用的力比較起来，就占相当大的比重。为了保証在輕載下能运行正确，就是說轉速与有功功率成正比，特別装上一个輕載調整器。

这种裝置通常是用一金屬銅片，装在电压电路磁导体的上部，可以左右移动；也有用一螺絲旋进旋出，目的是使它产生一种电流与鋁盘中心电流相互作用，产生一种足以补偿摩擦力的力。

这种摩擦力，从我們的日常校驗的时候就可观察得到，当一电度表无电流有电压时，金屬銅片向那一方向移动，鋁盘就会沿那一方向慢慢地移动。

这种原理就是用一金屬銅片，罩在磁极的一部分，比如右方，当磁通由零增加时此銅片即感应一电流，它所产生的磁通与穿过銅片的磁通相反，使磁通密集于左方；如磁通由最大值降到零时，由銅片所产生的磁通即反对它减少，結果左方的磁通亦逐渐减少。于是磁通自左方归向右方，割切鋁盘而生渦流，磁通与渦流相作用产生一力矩，使鋁盘沿銅片所通过之方向移动。如果将这銅片左右移动，就足以增加或减少鋁盘之轉

矩。

在調整時如銅片順轉盤方向移動，表就跑得快；將銅片逆轉盤方向移動，表就跑得慢。

3. 低力率調整裝置

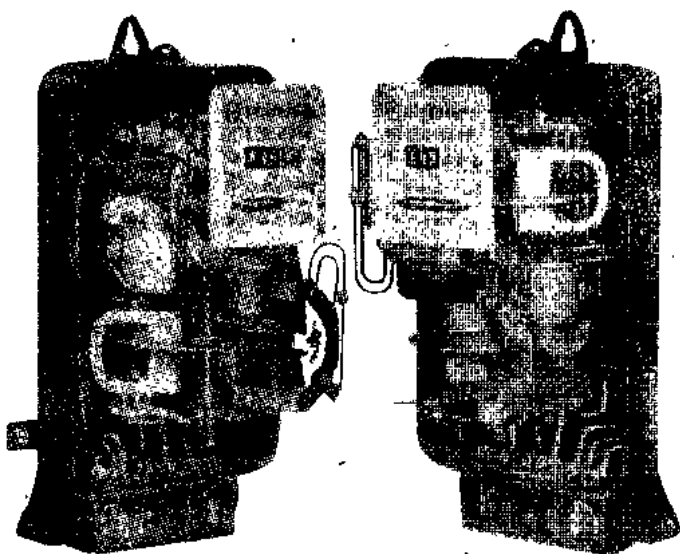
低力率調整裝置，亦稱為相位差調整器，主要是補償電壓繞圈中的電流，使落後於電壓 90° ，因為電壓繞圈本身雖然是一個高電感，但總是有電阻的，所以它的電流滯後電壓的角度不是恰好 90° ，那麼在低功率因數時便會產生誤差；因為一個三相電度表在系統里面運行，所載的負荷，總是感性較多，即功率因數小於 1，所以就特別裝有低力率調整器。

低力率調整器，有的是用金屬片，或者用與電壓繞圈相系屬的輔助繞圈，我國阿城儀表廠出品的 IT 型的就是利用在電流繞圈磁鐵上，加裝一個約十匝左右的繞圈，並用一線繞制成的長環（見圖 3）與繞圈聯接。在這環繞上有一短路環繞的螺絲，把它沿着環繞移動，即便改變這環繞的電阻，也就是說可以減少或增加磁導體上繞圈的作用，這樣就可以補償相角。

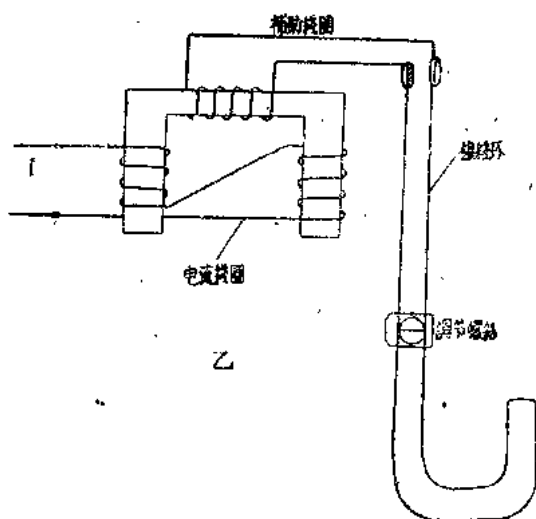
低功率調整正確的電度表，在功率因數等於零時，鋁盤應該是停止不動的，或是很慢很慢的向正常方向稍微潛動。

4. 平衡調整裝置

平衡調整的方法是多種多樣的，不過都是通過調整平衡裝置來增加或減少磁通，因為鋁盤的轉矩是與有功功率成正比例的，當然也就是與電流電壓繞圈所產生的磁通之大小成正比，這種磁通 Φ_r, Φ_g 的大小除了與電流電壓的大小有關外，也與它們所通過的氣隙大小有關，因為鐵的導磁係數比空氣的導磁係數大，故就根據這個理由來安裝平衡裝置。



甲



乙

图3 电度表的低力率调整装置

常見的平衡裝置有用平衡螺絲的，通過調節這個螺絲將電壓綫圈磁鐵推向電流綫圈的磁鐵來減少氣隙，電度表即跑得快；反之則跑得慢。也有用兩只螺絲將電壓綫圈磁鐵氣隙短路一部分，減少電壓圈磁通。象我國阿城儀表廠出的就是這一種，利用兩只螺絲裝在電壓綫圈磁鐵開口處，即輕載調整裝置的上面，將這兩只螺絲移進或移出就是以增減鋁盤的轉動力矩。

三、調整前的工作

1. 留底試驗

我們將一個電度表從配電盤拆下來作定期檢查試驗，或發現有不正常的現象須要校驗時，在未揭封以前，必須作一個完整的試驗，以證明該表是否有誤差或其它原因。這種試驗就是留底試驗，或稱調前試驗。試驗項目可參照正式試驗時的項目，試完以後就要及時的研究表本身存在的問題，算出誤差，以作調整時參考。

然而在未通電試驗以前，又必須做好下列兩方面：

(1) 用白布或棉紗頭，將外殼拭干淨，並檢查原封而有无破裂。

(2) 用 500 伏或 1,000 伏搖表測共絕緣電阻，一般綫圈之間不少於 3 兆歐，綫圈對地 5 兆歐便可認為合格。

2. 檢查及清洗

一個電度表留底試驗做完以後，就必須揭封，將蓋子揭開，詳細地檢查內部零件，如軸承，鋁盤，記錄器等，並將它

們清洗抹油。

然而，試驗人員為了確保安全，雖然是已經檢修好的電度表，但是在調整前後均應重複地檢查以下幾個關鍵項目，以辨清故障原因。

(1) 永久磁鐵是否有鐵屑存在，應用鬃毛擰干淨。

(2) 鋁盤是否在永久磁鐵及電磁鐵間隙的中間。

(3) 鋁盤轉軸與上下軸承是否過緊，上下應稍有鬆動。

(4) 記錄器齒輪對轉軸上的螺絲杆，他們互相之間的嚙合是否有過緊或過鬆的現象，一般齒輪與螺絲杆銜接的地方為 $1/2$ ，最多不得超過 $2/3$ 即認為合適。

(5) 鋁盤的轉動有否晃動或碰及其它零件，轉動有無不正常現象。

(6) 各處螺絲有無鬆脫不緊的，特別是永久磁鐵螺絲。

3. 常數的計算

三相電度表安裝在消耗電能較多的場所，一般的都有用儀用互感器的來擴大量程，因而計算電力時必須考慮計算常數，這就沒有單相電度表的簡單。事實上大部分的表計，銘牌上都只有寫明電流互感器和電壓互感器的變比、高壓常數或倍率多少，同時在校驗時又都是光一個表單獨校驗的多，連電流互感器、電壓互感器一齊校的只是少數。既然是光校一個表，那就需要將這些數字換算成低壓常數，並且還要核對所乘倍率是否正確，計錄器每個字所需的轉數，有沒有錯的地方，這些都要經過一系列的換算，不然容易搞錯。為了使初學者容易看懂起見，今將它的互相關系寫成如下公式：

$$\text{低壓常數} = \text{電壓互感器變比} \times \text{電流互感器變比} \times \text{高壓常數};$$

齒輪常數 = 讀數乘率 × 高壓常數；

高壓常數 = $\frac{\text{低壓常數}}{\text{電流互感器變比} \times \text{電壓互感器變比}}；$

讀數乘率 = $\frac{\text{齒輪常數}}{\text{高壓常數}}。$

齒輪常數除了上面的公式外，也要用齒輪機構本身來檢查。因為它是由很多主動齒輪和被動齒輪互相配合而得出來的，可以這樣計算

齒輪常數 = $\frac{\text{被動齒輪}_1 \times \text{被動齒輪}_2 \times \dots}{\text{主動齒輪}_1 \times \text{主動齒輪}_2 \times \dots}。$

假設一個三相三線電度表銘牌上寫明 $PT6000/100$ 伏， $CT1500/5$ 安，高壓常數 $0.4/3$ ，倍率 $1,000$ （題中 PT 為電壓互感器，它的變比用 PT 比表示； CT 為電流互感器，它的變比用 CT 比表示）。

根據上面公式

低壓常數 = PT 比 $\times CT$ 比 $\times$ 高壓常數

$$= 60 \times 300 \times 0.4/3 = 18,000 \times 0.4/3 = 7,200/3$$

$$= 2,400 \text{ 轉。}$$

齒輪常數 = 讀數乘率 $\times$ 高壓常數 = $1,000 \times 0.4/3$

$$= 400/3 = 133\frac{1}{3} \text{ 轉。}$$

從這個公式計算的結果，記錄器最後一位整數（即黑窗口出一個字）所需轉數是 $133\frac{1}{3}$ 轉。

齒輪常數算出來以後，一方面可計算主動齒輪和被動齒輪的轉速比，另一方面數據公式亦可計算一下讀數乘率 $1,000$ 有沒有錯。

$$\text{讀數乘率} = \frac{\text{齒輪常數}}{\text{高壓常數}} = \frac{133\frac{1}{3}}{\frac{0.4}{3}} = 1,000。$$

計算結果，讀數乘率與銘牌相符，即記錄器測得的一度電實際等於 1,000 度。

4. 採用校驗方法

算出低壓常數以後，便可開始校驗。校驗的方法一般常用的有兩種，即秒表法和轉動標準表法，不過用標準表法校驗的較多。當然主要的問題還是要看自己的現有條件和儀器設備的情況來決定。

(1) 秒表法

它是利用一個秒表和一個標準瓦特表或一個 180° 的移相器，在各種不同的負荷下，用秒表來記錄電度表每走一轉所需的時間。不過這裡面要注意的就是負荷要很穩定，瓦特表要求準確度在 0.5 級以上，否則會有很大誤差。這種方法，比較適合到用戶家裡作初步的檢驗。它的計算公式隨着校驗情況的不同而不同。

$$\text{轉數} = \frac{3600 \times K}{\text{秒數}} \div \text{瓦特},$$

$$\text{秒數} = \frac{3600 \times K \times \text{轉數}}{\text{瓦特}},$$

$$\text{瓦特} = \frac{3600 \times K \times \text{轉數}}{\text{秒數}}.$$

不過這個公式是以一個電流綫圈計算的，如果是兩元件的電度表，電流綫圈要串聯起來，這時就要除 2。

例如三相三綫電度表低壓常數為 2,400 轉，瓦特表的讀數為 500 瓦，問鋁盤轉 20 轉要多少時間？

根據上面的公式，求應得的時間

$$\begin{aligned}\text{秒数} &= \frac{3600 \times K \times \text{轉数}}{\text{瓦特}} = \frac{3600 \times K \times \text{轉数}}{500 \times 2} \\ &= \frac{3600 \times 0.416 \times 20}{500 \times 2} = 29.95 \text{秒}.\end{aligned}$$

注: K 是电度表本身的常数, 是用电度表的低压常数去除 1,000 而得的。如 2,400 轉去除 1,000, 即 $\frac{1000}{2400}$ 便得 0.416。这个代号很重要, 特别是进口电度表很多都是用 K 这个数字。如 $K=1$, 即 1,000 轉(因为是将两元件电流线圈串联起来的, 轉速快了一半, 時間亦就相对的减少一半, 故应乘 2)。

計算的結果, 該在 500 瓦負荷 20 轉時需要 29.95 秒的時間, 如果实际測的数字多了或少了, 便說明該表轉得太慢或是太快, 应作調整。試時除了用功率因數 = 1 以外, 还要測 0.5 時的情况, 并以各种負荷, 如 1、1/2、1/10 倍的額定電流的情況下測量。

計算誤差時用下式

$$\text{誤差} = \frac{\text{計算時間} - \text{实测時間}}{\text{实测時間}} \times 100\%.$$

測量時的結綫圖如图 4 所示。試驗時需要以下設備:

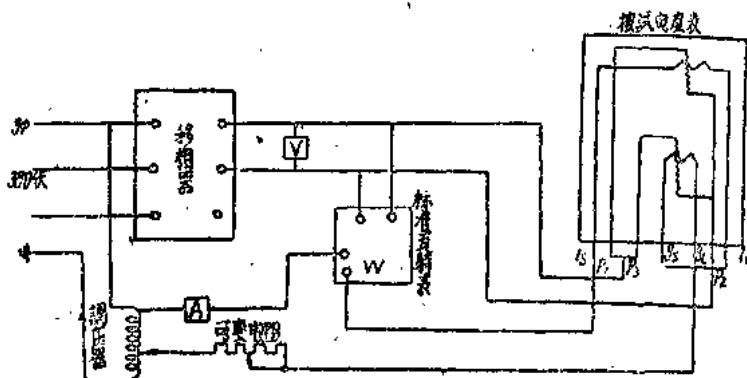


图 4 調整前的电度表校驗結綫圖

(1) 三相380/220—110伏50伏安180°移相器一个，如果没有移相器就另想办法。詳細情况可参考以下綫路图选择。

(2) 0~240伏，2千伏安单相調压器一个。

(3) 0~2.5~5安交流电流表一个。

(4) 0.5級标准瓦特表一个，150伏，5安，滿值750瓦。

(5) 20欧姆6安可变电阻一个。

(6) 秒表一个。

(7) 0~150伏交流电压表一个。

測量时先合上电源通上电流，搖动移相器至瓦特表指示为零，或看电度表鋁盘不动，那时移相器的指針应该是指90°，如有不对就調节指針到90°位置。

将移相器搖至0°，即工率因数等于1，校正各种負荷时的誤差；然后又搖至60°，即功率因数=0.5时校正各种負荷时的誤差，如各种誤差都合格，就行了。

(2) 轉动标准表法

标准表法是将被試表和标准表接在同一个电路里面，比較在同一時間內两个表的轉数，然后根据标准表的轉速来算出被試表的誤差。

标准表有单相和三相的两种，为了試驗方便，我們大都是采用单相标准表来校驗三三相的被試表。由經驗証明，用单相或三相校驗的表，沒有多大的差別。

用单相标准表来校驗三相三綫电度表的計算公式如下：今設被試表低压常数为2,400轉，标准表低压常数为1,666号轉，当被試表轉20轉，标准表应为多少轉？

$$\text{标准表轉数} = \frac{\text{被試表低压常数} \times \text{轉数}}{\text{标准表常数} \times 2} = \frac{2400 \times 20}{1666.6 \times 2}$$

$$=14.07 \text{ 轉。}$$

式中乘2的原因是三相两元件电度的电流线圈互为串联的关系。計算結果被試表轉20轉，标准表就应为14.07轉，如果多了或少了就是說明被試表的快慢，应作調整。

校驗时的誤差計算公式如下

$$\text{誤差} = \frac{\text{計算的轉數} - \text{实测轉數}}{\text{实测轉數}} \times 100\%$$

誤差的数字是快或慢，一般都以“+”“-”代表。

5. 綫路图的选择

校驗結綫是多种多样的，要灵活掌握。应根据現有条件、設備的情况来选择。现将用单相表法和三相表法校驗的最常用的結綫簡單介紹如下。

这种結綫沒有用移相器，而是利用三相电源的电流与电压的关系，根据它的向量来取得功率因数=1或0.5。

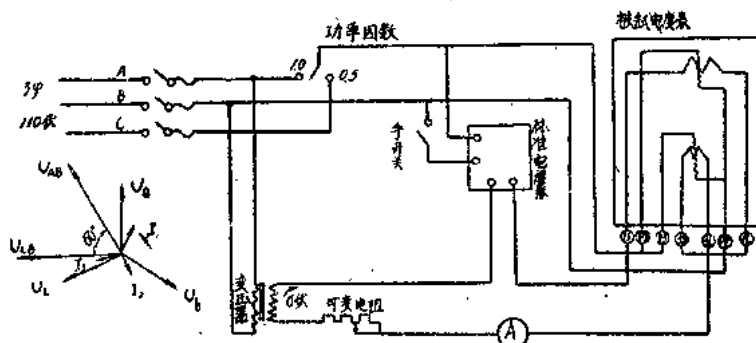


图5 調整前的校驗結綫图和向量图

因为当上图的小开关如投上A相时，那么电压线圈的电压便为 U_{AB} ，电流是 I_{AB} ，这时它們之間是同相， $\cos\theta = 1$ ，故功率因数=1。反过来如果将开关投向C相，那么电压线圈的