

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
<b>Band:</b>	5 (1914)
<b>Heft:</b>	6
<b>Artikel:</b>	Notice sur les instruments de mesures électriques pour courant triphasé, connectés suivant la méthode des deux wattmètres
<b>Autor:</b>	Remy, Xavier
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1059669">https://doi.org/10.5169/seals-1059669</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Notice sur les instruments de mesures électriques pour courant triphasé, connectés suivant la méthode des deux wattmètres.

Par *Xavier Remy*, Ingénieur.

La forte extension que prend l'utilisation de l'énergie électrique, donne une importance toute spéciale aux appareils de mesures servant de base à sa vente, c. à. d. aux compteurs de kilowattheures et aux wattmètres. Il est nécessaire que l'industrie puisse avoir une confiance absolue dans leurs indications, cela, bien entendu, dans les limites des tolérances admises par la pratique. Les appareils se trouvant dans le commerce répondent, à peu d'exceptions près, à cette condition, s'ils sont calibrés convenablement, adaptés au genre de courant, à sa tension et si leur mise au point est exacte.

Le côté délicat des systèmes de mesures électriques en général, est la manière d'effectuer les connexions entre le réseau et l'appareil. Lorsqu'il s'agit de courant continu et de courant alternatif monophasé à deux conducteurs, il n'y pas de difficulté, car une fausse connexion se fait immédiatement remarquer. Effectivement, si l'appareil est connecté à faux, il indique en sens inverse, si l'un des conducteurs d'aménée de tension, est interrompu, il ne fonctionnera pas.

Les difficultés surgissent aussitôt que l'on doit mesurer un courant électrique, dont la distribution a lieu au moyen de plus de deux conducteurs, ces difficultés s'accroissent encore lorsque les instruments de mesures sont connectés au réseau par l'intermédiaire de transformateurs.

Les fabriques d'appareils ont généralement soin de joindre, à ces derniers, un schéma des connexions et de désigner soigneusement les bornes de l'appareil et celles des transformateurs. Cette précaution évite la plupart des erreurs. Malgré cette mesure préventive, il arrive souvent que dans la pratique, des appareils donnent de fausses indications ensuite d'une erreur commise dans les connexions.

Il nous a paru intéressant d'étudier systématiquement, quelle peut être l'étendue de l'erreur lors de fausses connexions et comment on peut les éviter dans certains cas. Nous pensons aussi, par cette courte étude, montrer l'importance qu'il faut attacher à cette question.

Mr. Leopold Schnackenburg, ing. dipl. étudie, dans l'E. T. Z., page 1482, an. 1913, quelques cas de fausses connexions possibles dans les instruments de mesures pour courant triphasé à charges symétriquement réparties et deux cas dans les instruments de mesures pour courant triphasé à phases inégalement chargées, connectés suivant la méthode des deux wattmètres de Aron.

Nous voulons dans la suite traiter plus explicitement le cas des appareils de mesures pour courant triphasé à 3 conducteurs, connectés suivant la méthode des deux wattmètres et admettrons le cas général où l'instrument est branché au réseau par l'intermédiaire de transformateurs de tension et de courant. Les circuits secondaires seront ainsi complètement indépendants et toutes les permutations des bornes de courant entre-elles et des bornes de tension seront possibles.

Pour plus de clareté nous supposerons les 3 phases également chargées et les 3 tensions égales, c'est du reste le seul cas accessible au calcul. Après avoir établi les fonctions d'erreurs de chacune des permutations des bornes de tension et du sens des courants dans les bobines de courant, nous les soumettrons à une courte critique qui fournira quelques conclusions intéressantes.

Il existe 6 permutations différentes des 3 bornes de tension, nous les désignerons par les chiffres I, II..... VI., dans chacune d'elles, nous étudierons les 4 cas suivants :

- 1<sup>o</sup> Les deux bobines de courant sont connectées juste.
- 2<sup>o</sup> La bobine de courant de la phase *a* est connectée en sens inverse, celle de la phase *b* est juste.
- 3<sup>o</sup> La bobine de courant de la phase *b* est connectée en sens inverse, celle de la phase *a* est juste.
- 4<sup>o</sup> Le sens du courant dans les deux bobines de courant est renversé.

En outre, nous examinerons dans la permutation I, les 3 cas où l'un des conducteurs d'aménée de tension est interrompu (par ex., par suite d'un coupe-circuit fondu).

Dans la suite, il sera fait usage de la nomenclature suivante:

*a*, *b*, *c*, désignent les 3 phases du courant à mesurer et donnent le sens de rotation du champ tournant. Ces mêmes lettres prises comme indice, indiquent à quelle phase appartient la grandeur en question.

*i* et *e* désignent les valeurs instantanées, *I* et *E* les valeurs efficaces, *I<sub>m</sub>* et *E<sub>m</sub>* les amplitudes des courants et des tensions du réseau.

$\varphi$  est l'angle de décalage du courant par rapport à la tension dans chacune des phases.

Nous admettrons, que les rapports de transformation des transformateurs de mesures sont égaux à 1.

La puissance du courant, débitée par un réseau, a la valeur suivante:

$$A = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$$

en outre:

$$\begin{aligned} i_a + i_b + i_c &= 0 \\ i_c &= -(i_a + i_b). \end{aligned}$$

donc :

$$\begin{aligned} A &= i_a (e_a - e_c) + i_b (e_b - e_c) \\ &= IE \cos (30 - \varphi) + IE \cos (30 + \varphi) = \sqrt{3} IE \cos \varphi \end{aligned}$$

Un instrument de mesure pour marquer juste, devra donc constamment indiquer cette valeur que nous appellerons *Ae*.

La figure 1 est le schéma des connexions d'un instrument de mesures du système que nous voulons étudier, il donne sa connexion juste.

Passons donc en revue les différentes permutations, nous avons :

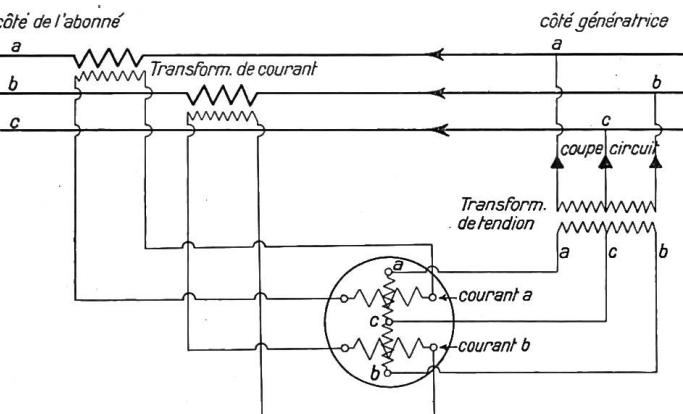


Fig. 1 (lire : „Tension“ pour „tension“).

### I. — Les bornes de tension sont connectées suivant le schéma de la figure 1.

- 1<sup>o</sup> Les bobines de courant sont connectées juste.

La figure 2 donne le diagramme des vecteurs de tension et de courant correspondants. L'appareil est composé de deux systèmes, ayant chacun deux bobines, l'une d'elles est parcourue par un courant égal au courant du réseau, l'autre par un courant proportionnel à la tension composée du réseau. Les couples développés par chacun des systèmes seront suivant la figure 2, en prenant les valeurs efficaces au lieu des amplitudes :

$$\begin{aligned} \text{Pour le 1<sup>er</sup> système} \quad & C I_a E_{ac} \cos (30 - \varphi) \\ \text{„ „ 2<sup>me</sup> „} \quad & C I_b E_{bc} \cos (30 + \varphi) \end{aligned}$$

le couple total sera donc :

$$C [I_a E_{ac} \cos (30 - \varphi) + I_b E_{bc} \cos (30 + \varphi)]$$

or  $I_a = I_b = I$  et  $E_{ac} = E_{bc} = E$  donc nous obtenons :

$$C \sqrt{3} IE \cos \varphi$$

Si nous considérons que  $C$  est une constante de l'appareil, celui-ci dans cette connexion donnera théoriquement la valeur exacte de la puissance du réseau à toutes les charges et à tous les décalages. Le rapport entre la valeur indiquée par cet appareil, soit  $A_i$  et la valeur exacte de la puissance ou du travail fourni par le réseau, soit  $A_e$  sera :

$$\frac{A_i}{A_e} = 1.$$

2<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase a est renversé.*

Les indications du 1<sup>er</sup> système seront de sens contraire, à ce que nous venons d'obtenir dans le 1<sup>er</sup> cas, donc :

$$A_i = -I_a E_{ac} \cos(\varphi - 30) + I_b E_{bc} \cos(\varphi + 30) = -IE \sin \varphi.$$

$$\frac{A_i}{A_e} = -\frac{IE \sin \varphi}{\sqrt{3} IE \cos \varphi} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

3<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase b est renversé.*

Nous aurons :

$$A_i = I_a E_{ac} \cos(\varphi - 30) - I_b E_{bc} \cos(30 + \varphi) = +IE \sin \varphi.$$

$$\frac{A_i}{A_e} = +\frac{IE \sin \varphi}{\sqrt{3} IE \cos \varphi} = +\frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

4<sup>o</sup> *Le sens du courant dans les 2 bobines de courant est renversé.*

Nous obtiendrons les mêmes indications que dans le 1<sup>er</sup> cas, mais de sens contraire, donc :

$$A_i = -\sqrt{3} IE \cos \varphi$$

$$\frac{A_i}{A_e} = -1$$

5<sup>o</sup> *Le conducteur d'amenée de la tension de la phase a est interrompu.*

Le 1<sup>er</sup> système ne réagira pas, car le couple moteur sera nul, le 2<sup>me</sup> système fonctionnera normalement, donc :

$$A_i = 0 + I_b E_{bc} \cos(30 + \varphi)$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \cos(30 + \varphi)}{\sqrt{3} IE \cos \varphi} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$$

6<sup>o</sup> *Le conducteur d'amenée de la tension de la phase b est interrompu.*

Le 1<sup>er</sup> système fonctionnera normalement, tandis que le couple moteur du 2<sup>me</sup> système sera nul.

$$A_i = I_a E_{ac} \cos(30 - \varphi) + 0$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \cos(30 - \varphi)}{\sqrt{3} IE \cos \varphi} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$$

7<sup>o</sup> *Le conducteur d'amenée de la tension commune bc est interrompu.*

Ce ne sera plus la tension  $E_{ac}$  qui agira sur le 1<sup>er</sup> système, ni la tension composée  $E_{bc}$  sur le 2<sup>me</sup> système, mais ce sera un courant proportionnel à la tension composée  $E_{ab}$ , resp.  $E_{ba}$  et de phase correspondante qui parcourra les bobines de tension des deux systèmes en série. La valeur efficace de la tension restant la même; le courant qui passera par les bobines, ne sera que la moitié du courant normal, correspondant pour chaque système à un vecteur de tension réduit de

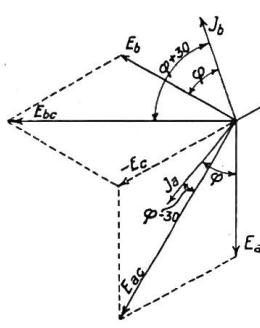


Fig. 2.

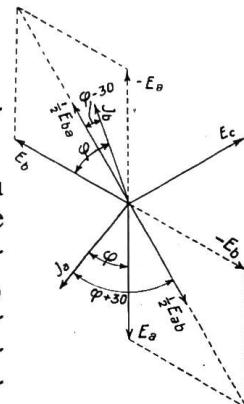


Fig. 3.

moitié, comme le montre la fig. 3. La même figure indique également quels sont les angles que forment les vecteurs de courant avec ceux de tension. Nous avons donc :

$$A_i = \frac{I_a E_{ab}}{2} \cos(30 + \varphi) + \frac{I_b E_{ba}}{2} \cos(30 - \varphi) = \frac{\sqrt{3}}{2} I E \cos \varphi.$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{1}{2}.$$

## II. — La tension de la phase a est intervertie avec celle de la phase b, par rapport au schéma fig. 1.

La fig. 4b indique comment sont effectuées les connexions à l'appareil.

1<sup>o</sup> *Le sens des courants dans les deux bobines de courant est juste.*

L'indication de l'appareil sera la suivante :

$$A_i = i_a (e_b - e_c) + i_b (e_a - e_c)$$

qui se traduira en se rapportant au diagramme des vecteurs de la fig. 4a et en introduisant les valeurs efficaces des courants et des tensions par :

$$\begin{aligned} A_i &= I_a E_{bc} \cos(90 - \varphi) + I_b E_{ac} \cos(90 + \varphi) \\ &= I E \sin \varphi - I E \sin \varphi = 0 \end{aligned}$$

Les indications des 2 systèmes sont donc toujours égales et de signes contraires, elles s'annulent.

$$\frac{A_i}{A_e} = 0$$

2<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase a est renversé.*

Nous aurons l'indication suivante de l'appareil :

$$\begin{aligned} A_i &= -I_a E_{bc} \sin \varphi - I_b E_{ac} \sin \varphi \\ &= -2 I E \sin \varphi \\ \frac{A_i}{A_e} &= -\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{I E \sin \varphi}{I E \cos \varphi} = -\frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi \end{aligned}$$

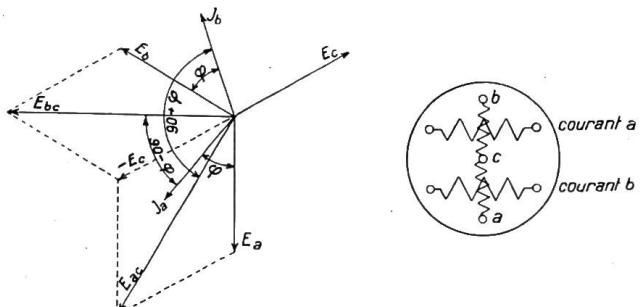


Fig. 4a.

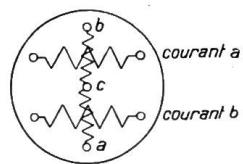


Fig. 4b.

3<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase b est renversé.*

L'appareil indiquera :

$$\begin{aligned} A_i &= +I_a E_{bc} \sin \varphi + I_b E_{ac} \sin \varphi \\ &= 2 I E \sin \varphi. \\ \frac{A_i}{A_e} &= +\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{I E \sin \varphi}{I E \cos \varphi} = +\frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi \end{aligned}$$

4<sup>o</sup> *Le sens du courant dans les deux bobines de courant est renversé.*

Nous aurons :

$$\begin{aligned} A_i &= -I_a E_{bc} \sin \varphi + I_b E_{ac} \sin \varphi = 0 \\ \frac{A_i}{A_e} &= 0. \end{aligned}$$

III. — La tension de la phase *a* a été intervertie avec celle de la phase *c*, par rapport au schéma fig. 1.

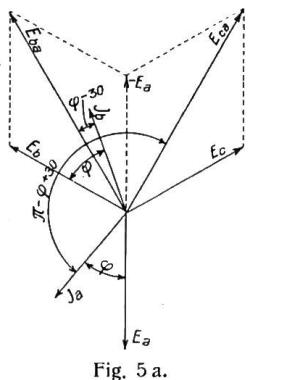


Fig. 5 a.

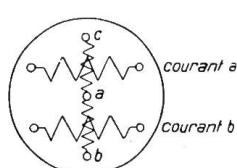


Fig. 5 b.

La fig. 5<sub>b</sub> indique comment les connexions sont effectuées à l'appareil.

1<sup>o</sup> Le sens du courant dans les deux bobines de courant est juste.

L'indication de l'appareil sera la suivante :

$$A_i = i_a (e_c - e_a) + i_b (e_b - e_a)$$

En nous rapportant au diagramme des vecteurs de la fig. 5<sub>a</sub> et en introduisant pour les courants et les tensions les valeurs efficaces, nous pouvons écrire :

$$\begin{aligned} A_i &= I_a E_{ca} \cos(\pi - \varphi + 30) + I_b E_{ba} \cos(\varphi - 30) \\ &= -IE \cos(\varphi - 30) + IE \cos(\varphi - 30) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{A_i}{A_e} = 0$$

donc

2<sup>o</sup> Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase *a* est renversé.

Nous aurons :

$$\begin{aligned} A_i &= +I_a E_{ca} \cos(\varphi - 30) + I_b E_{ba} \cos(\varphi - 30) \\ &= +2IE \cos(\varphi - 30) \\ \frac{A_i}{A_e} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{IE \cos(\varphi - 30)}{IE \cos \varphi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi. \end{aligned}$$

3<sup>o</sup> Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase *b* est renversé.

$$\begin{aligned} A_i &= -I_a E_{ca} \cos(\varphi - 30) - I_b E_{ba} \cos(\varphi - 30) \\ &= -2IE \cos(\varphi - 30) \end{aligned}$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{IE \cos(\varphi - 30)}{IE \cos \varphi} = -\left[1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right]$$

4<sup>o</sup> Le sens du courant dans les deux bobines de courant est renversé.

$$A_i = I_a E_{ca} \cos(\varphi - 30) - I_b E_{ba} \cos(\varphi - 30) = 0$$

$$\frac{A_i}{A_e} = 0$$

IV. — La tension de la phase *b* a été intervertie avec celle de la phase *c*, par rapport au schéma fig. 1.

La figure 6<sub>b</sub> indique comment les connexions sont effectuées à l'appareil.

1<sup>o</sup> Le sens du courant dans les bobines de courant est juste.

L'appareil enregistrera la valeur suivante :

$$A_i = i_a (e_a - e_b) + i_b (e_c - e_b)$$

Le diagramme des vecteurs de la fig. 6<sub>a</sub> indique comment se com-

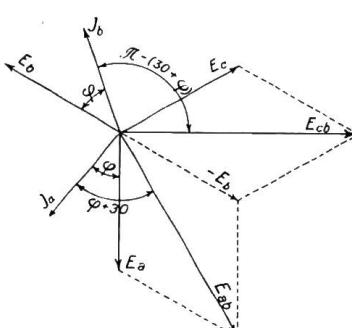


Fig. 6 a.

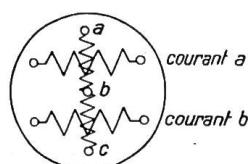


Fig. 6 b.

posent les couples des courants et des tensions. Si nous introduisons les valeurs efficaces correspondantes, nous aurons :

$$\begin{aligned} A_i &= I_a E_{ab} \cos (30 + \varphi) + I_b E_{cb} \cos (\pi - 30 - \varphi) \\ &= IE \cos (30 + \varphi) - IE \cos (30 + \varphi) = 0 \end{aligned}$$

donc  $\frac{A_i}{A_e} = 0$ .

l'appareil ne réagira donc à aucun genre de charge.

2<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase a est renversé.*

Nous aurons comme indication :

$$\begin{aligned} A_i &= -I_a E_{ab} \cos (30 + \varphi) - I_b E_{cb} \cos (30 + \varphi) \\ &= -2IE \cos (30 + \varphi) \\ \frac{A_i}{A_e} &= -\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{IE \cos (30 + \varphi)}{IE \cos \varphi} = -\left[1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right] \end{aligned}$$

3<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant b est renversé.*

$$\begin{aligned} A_i &= +I_a E_{ab} \cos (30 + \varphi) + I_b E_{cb} \cos (30 + \varphi) \\ &= +2IE \cos (30 + \varphi) \\ \frac{A_i}{A_e} &= +\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{IE \cos (30 + \varphi)}{IE \cos \varphi} = 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi. \end{aligned}$$

4<sup>o</sup> *Le sens du courant dans les deux bobines de courant est renversé.*

$$\begin{aligned} A_i &= +I_a E_{ab} \cos (30 + \varphi) - I_b E_{cb} \cos (30 + \varphi) = 0 \\ \text{donc } \frac{A_i}{A_e} &= 0. \end{aligned}$$

V.— En partant de la connexion indiquée par la figure 1, effectuons la permutation suivante des bornes de tension : la tension de la phase a sera appliquée à la borne de la phase b de l'appareil en connection juste, celle de la phase b à la borne c et celle de la phase c sera appliquée à la borne a.

La fig. 7<sub>b</sub> indique comment les connexions sont effectuées à l'appareil.

1<sup>o</sup> *Le sens du courant dans les 2 bobines de courant est juste.*

L'appareil marquera :

$$A_i = i_a (e_c - e_b) + i_b (e_a - e_b)$$

Suivant le diagramme des vecteurs de la fig. 7<sub>a</sub>, nous pourrons écrire :

$$\begin{aligned} A_i &= I_a E_{cb} \cos \left( \frac{\pi}{2} + \varphi \right) + I_b E_{ab} \cos (\pi - \varphi + 30) \\ &= -IE \sin \varphi - IE \cos (\varphi - 30) \\ \frac{A_i}{A_e} &= -\frac{IE \sin \varphi + \cos (\varphi - 30)}{\sqrt{3} \cos \varphi} = -\left[ \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi \right] \end{aligned}$$

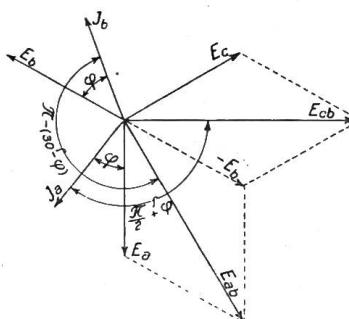


Fig. 7a.

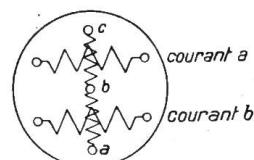


Fig. 7b.

2<sup>o</sup> *Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase a est renversé.*

$$A_i = +I_a E_{cb} \sin \varphi - I_b E_{ab} \cos (\varphi - 30)$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \sin \varphi - \cos (\varphi - 30)}{\sqrt{3} \cos \varphi} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

3<sup>o</sup> Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase *b* est renversé.

$$A_i = -I_a E_{cb} \sin \varphi + I_b E_{ab} \cos(\varphi - 30)$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE - \sin \varphi + \cos(\varphi - 30)}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

4<sup>o</sup> Le sens du courant dans les 2 bobines de courant est renversé.

$$A_i = I_a E_{cb} \sin \varphi + I_b E_{ab} \cos(\varphi - 30)$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \sin \varphi + \cos(\varphi + 30)}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi.$$

VI.— Nous rapportant toujours au schéma de la fig. 1, effectuons la permutation suivante des bornes de tension: la tension de la phase *a* est appliquée à la borne de l'appareil correspondant à la phase *c* en connexion juste, celle de la phase *b* à la borne *a* et celle de la phase *c*, appliquons-la à la borne *b*.

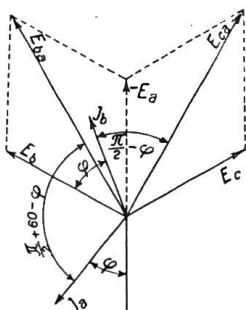


Fig. 8 a.

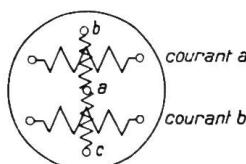


Fig. 8 b.

La fig. 8<sub>b</sub> indique comment les connexions sont effectuées à l'appareil.

1<sup>o</sup> Le sens du courant dans les 2 bobines de courant est juste.

L'indication de l'appareil sera la suivante:

$$A_i = i_a (e_b - e_a) + i_b (e_c - e_a)$$

Suivant le diagramme des vecteurs de la fig. 8<sub>a</sub>, nous aurons:

$$A_i = I_a E_{ba} \cos\left(\frac{\pi}{2} + 60 - \varphi\right) + I_b E_{ca} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

$$= -IE \sin(60 - \varphi) + IE \sin \varphi$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE - \sin(60 - \varphi) + \sin \varphi}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi.$$

2<sup>o</sup> Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase *a* est renversé.

$$A_i = I_a E_{ba} \sin(60 - \varphi) + I_b E_{ca} \sin \varphi$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \sin(60 - \varphi) + \sin \varphi}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

3<sup>o</sup> Le sens du courant dans la bobine de courant de la phase *b* est renversé.

$$A_i = -I_a E_{ba} \sin(60 - \varphi) - I_b E_{ca} \sin \varphi$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE - \sin(60 - \varphi) - \sin \varphi}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi.$$

4<sup>o</sup> Le sens du courant dans les 2 bobines de courant est renversé.

$$A_i = +I_a E_{ba} \sin(60 - \varphi) - I_b E_{ca} \sin \varphi$$

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{IE \sin(60 - \varphi) - \sin \varphi}{IE \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi.$$

Nous avons ainsi traité de toutes les permutations voulues. Il est toutefois évident que tous les cas de fausses connexions possibles ne sont pas épuisés, ce n'est du reste pas là notre but, car nous ne voulons étudier que celles qui peuvent présenter un certain intérêt et celles accessibles au calcul. Il n'a pas été supposé que les deux bobines de courant étaient interverties, car ce cas rentre dans les permutations étudiées. Pour s'en rendre compte, il n'y a qu'à dessiner le schéma des connexions, tels que ceux des fig. 4<sub>b</sub>, 5<sub>b</sub>, 6<sub>b</sub>, 7<sub>b</sub>, 8<sub>b</sub>, correspondant.

Nous récapitulons dans la table suivante, les 27 cas étudiés. La rubrique qui indique comment sont connectées les tensions, contient 2 colonnes, elles se rapportent aux trois bornes de l'appareil, la première à la borne *a* en connexion juste, la seconde à la borne *b* et la troisième à la borne *c*; les lettres qui s'y trouvent indiquent quelle phase y est connectée. Dans la colonne donnant le sens des courants dans les bobines de courant, le signe + indique le sens juste et le signe — le sens contraire.

*Récapitulation :*

Permutation	Application des phases du réseau à la			Sens du courant dans la bobine de courant		$\frac{A_l}{A_e} = \frac{\text{indication de l'appareil}}{\text{valeur exacte}}$
	borne a de l'appareil	borne b de l'appareil	borne c de l'appareil	de la phase a	de la phase b	
I 1	a	b	c	+	+	= 1
2	"	"	"	—	+	$= - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
3	"	"	"	+	—	$= + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
4	"	"	"	—	—	= - 1
5	—	b	c	+	+	$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
6	a	—	c	+	+	$= \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
7	a	b	—	+	+	$= \frac{1}{2}$
II 1	b	a	c	+	+	= 0
2	"	"	"	—	+	$= - \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
3	"	"	"	+	—	$= + \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
4	"	"	"	—	—	= 0
III 1	c	b	a	+	+	= 0
2	"	"	"	—	+	$= 1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
3	"	"	"	+	—	$= - \left(1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right)$
4	"	"	"	—	—	= 0
IV 1	a	c	b	+	+	= 0
2	"	"	"	—	+	$= - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right)$
3	"	"	"	+	—	$= 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
4	"	"	"	—	—	= 0
V 1	c	a	b	+	+	$= - \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi\right)$
2	"	"	"	—	+	$= - \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right)$
3	"	"	"	+	—	$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
4	"	"	"	—	—	$= \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi$
VI 1	b	c	a	+	+	$= - \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi\right)$
2	"	"	"	—	+	$= \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$
3	"	"	"	+	—	$= - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi\right)$
4	"	"	"	—	—	$= \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \varphi$

Nous avons reproduit graphiquement dans la fig. 9, les différentes équations donnant le rapport  $\frac{A_i}{A_e}$ , en abscisses est porté le facteur de puissance  $\cos \varphi$  et en ordonnées la valeur correspondante du rapport  $\frac{A_i}{A_e}$ .

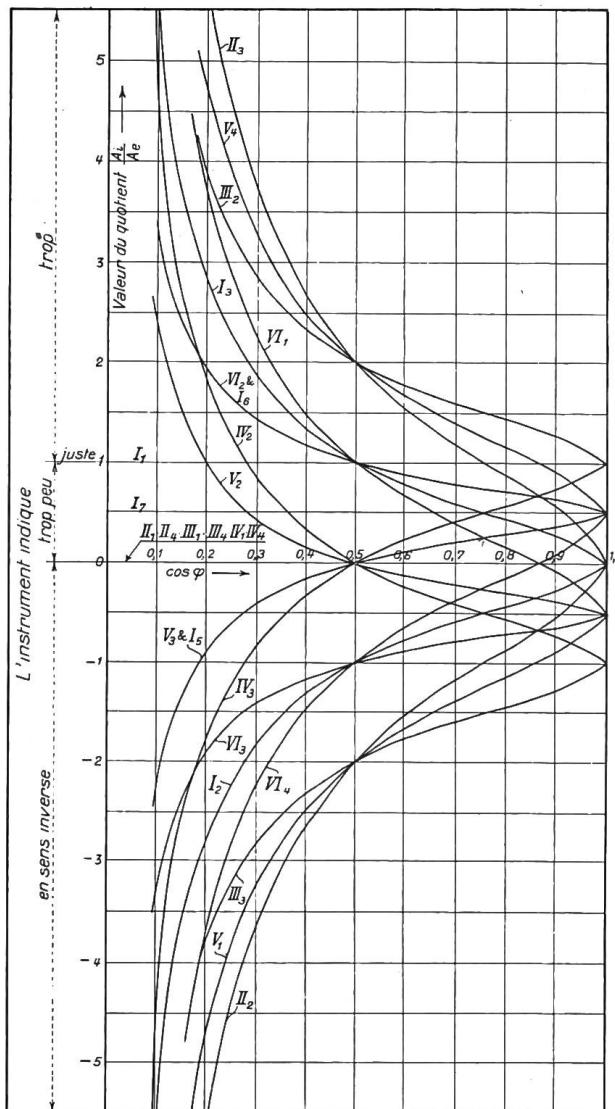


Fig. 9.

Les différents cas peuvent de suite se diviser en deux catégories, l'une comprend les cas possibles et l'autre les cas absurdes. Dans cette dernière catégorie, on fera d'abord entrer les permutations:  $II_1$ ,  $II_4$ ,  $III_1$ ,  $III_4$ ,  $IV_1$  et  $IV_4$  dans lesquelles l'appareil ne réagit à aucune charge, ensuite les permutations  $I_2$ ,  $I_4$ ,  $II_2$ ,  $III_3$ ,  $V_1$  et  $VI_3$ , dans lesquelles l'appareil marche toujours en sens inverse. L'employé préposé au montage se rendra immédiatement compte que l'appareil est mal connecté et devra chercher à corriger l'erreur. Le danger subsiste alors qu'au lieu de remonter jusqu'au réseau, pour rechercher la faute à son origine, le monteur essaye de permute les connexions à l'appareil même. Il y a alors beaucoup de chances qu'il choisisse une connexion qui donnera une marche dans le bon sens, mais de valeur fausse. La catégorie des connexions possibles, mais fausses, comprend les permutations  $I_5$ ,  $I_7$ ,  $V_3$  et  $VI_4$ . En effet, à aucun genre de charge, la valeur indiquée ne correspondra à la valeur exacte. Dans les autres cas, par contre, la valeur du quotient

$\frac{A_i}{A_e}$  passe une fois par la valeur 1 à un décalage déterminé, c'est ce que montrent les courbes correspondantes de la fig. 9. A ce décalage, nous avons alors  $A_i = A_e$ , l'appareil indique juste. Cette possibilité n'existe toutefois qu'à un seul facteur de puissance pour chaque cas, qui est:

$\cos \varphi = \text{env: } 0.2$	pour le cas	$V_2$
" = " 0.28	" "	$IV_2$
" = " 0.5	" les "	$I_3$ , $I_6$ , $VI_1$ et $VI_2$
" = " 0.76	" le "	$II_3$
" = " 0.87	" "	$V_4$
" = " 1.0	" les "	$III_2$ et $IV_3$

à tous les autres décalages la valeur indiquée différera de  $A_e$ .

Nous remarquons ainsi qu'il n'est pas toujours aisé de reconnaître si un appareil est bien connecté, puisque, dans certaines circonstances, même en faisant usage d'instruments de contrôle exacts, l'erreur peut passer inaperçue. Il y a toutefois un moyen de tourner cette difficulté, il faut effectuer le contrôle à deux facteurs de puissance différents. Il est alors indifférent que les charges ne soient pas les mêmes, puisque l'erreur ne dépend que du décalage. Les laboratoires d'essais effectuent les contrôles toujours à deux décalages différents, généralement à  $\cos \varphi = 1$  et à  $\cos \varphi = 0.5$ . Un appareil essayé ainsi doit donc nécessairement être connecté juste, si ses erreurs sont inférieures aux tolérances admises.

Nous voulons particulièrement relever le danger qu'il y a à essayer les instruments de mesures du type en question en se servant comme charge d'une résistance ohmique, par exemple d'une résistance hydraulique. Il peut se faire que l'on se trouve en présence d'une fausse connexion des cas  $III_2$  et  $IV_3$ , l'appareil fonctionnera exactement à l'essai, mais une fois en service sous un facteur des puissances plus petit que 1 il marquera faux.

Les 27 genres de connexions étudiés ne sont tous réalisables que si l'on fait usage de transformateurs de mesures. Si par contre le courant principal passe par l'appareil et que les tensions sont amenées directement, ce qui a lieu dans les installations à basse tension, la permutation I sera seule réalisable. Dans celle-ci, les deux cas  $I_2$  et  $I_4$  sont à rejeter comme absurdes, pour les autres, les remarques qui précèdent, gardent leur entière valeur.

La connaissance des fonctions d'erreur que nous avons établies et plus spécialement leur reproduction graphique fig. 9, pourront quelquefois permettre de déterminer quelle est la faute, lorsqu'au contrôle on trouve un appareil connecté faussement. Il suffit de connaître la grandeur de l'erreur à un certain décalage également connu. Ceci peut rendre des services, si pour une raison ou pour une autre, il n'y a pas moyen de suivre les conduites qui relient l'appareil à ses transformateurs de mesures ou encore, si les désignations placées sur les transformateurs de mesures manquent ou sont fausses.

On pourra aussi, à l'occasion, se servir des formules établies pour déterminer le facteur de correction à apporter à un règlement de compte basé sur les indications d'un appareil qui a fonctionné avec de fausses connexions. Ce point est toutefois délicat, car le facteur de correction dépend principalement du décalage et il est rare que celui-ci soit constant et connu. Les formules permettront toutefois de se rendre compte du sens et de l'ordre de grandeur de la correction, ce qui sera déjà fort utile.

Nous voulons encore rendre attentif au fait, que les formules établies ne sont rigoureusement justes que théoriquement. Elles sont en réalité entachées des mêmes erreurs qu'accuse l'appareil bien connecté et qui proviennent, soit de son plus ou moins bon ajustage et de sa construction même, des artifices employés pour régler sa marche aux différents décalages, pour empêcher sa marche à vide, pour faciliter le démarrage, etc. La différence entre la valeur donnée par les formules et les indications de l'appareil est relativement faible en comparaison de la grandeur possible de l'erreur, laquelle peut atteindre plusieurs centaines de pourcents. Cette différence ne peut pas modifier sensiblement l'allure des courbes que donne la figure 9. Elle sera cependant plus faible dans les instruments de mesures du type dynamométrique que dans ceux du type Ferraris.

