

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 26447

(54) Procédé et dispositif de mesure de puissance électrique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 R 21/06.

(22) Date de dépôt..... 24 octobre 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 18 du 30-4-1981.

(71) Déposant : Société anonyme dite : ENERTEC, résidant en France.

(72) Invention de : Jean-Pierre Lagrave.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

- 1 -

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de mesure de puissance électrique.

Le domaine d'application de l'invention est celui de la mesure de puissance, notamment active ou réactive, sur un réseau alternatif, en particulier, mais non exclusivement, sur un réseau de distribution d'électricité, par exemple au départ d'un poste de transformation moyenne tension.

Il a déjà été proposé un procédé du type selon lequel on transmet par un canal unique à un organe de calcul des échantillons prélevés à des instants différents et représentatifs des grandeurs électriques différentes du réseau relatives à la ou chaque puissance à mesurer.

Des signaux électriques analogiques représentatifs des grandeurs électriques sont transmis à un dispositif convertisseur analogique-numérique. Pour des raisons d'économie de matériel, il est souhaitable de n'utiliser qu'un seul convertisseur. On est alors conduit à échantillonner successivement les différents signaux des capteurs en interposant un multiplexeur^{analogique} entre ceux-ci et le convertisseur. Les informations numériques obtenues sont transmises à un organe de calcul.

Les échantillons sont prélevés à des instants différents, l'intervalle de temps entre les prélèvements étant au moins égal au temps nécessaire à la conversion d'un échantillon. Si, pour le calcul de la puissance, on forme des produits entre un échantillon de tension et un échantillon d'intensité qui ne représentent pas les valeurs de tension et d'intensité à un même moment, le résultat ainsi obtenu est faux. L'erreur peut être réduite en utilisant un convertisseur très rapide. Ceci conduit toutefois à un matériel coûteux sans pour autant obtenir un résultat exact. Par ailleurs, l'erreur dépend des conditions d'état des

- 2 -

grandeurs échantillonnées et ne peut donc être déterminée une fois pour toutes afin de réaliser une correction systématique de la puissance calculée.

5 Pour remédier à ces inconvénients, il a été proposé de prélever un grand nombre d'échantillons et d'effectuer des opérations d'interpolation ou d'extrapolation à partir de plusieurs échantillons d'une même grandeur, par exemple de la tension, pour estimer la
10 valeur de cette grandeur au moment du prélèvement d'une autre grandeur, par exemple l'intensité. Par ce procédé, on dispose ainsi de deux valeurs représentatives de la tension et de l'intensité à un même instant. L'erreur de calcul peut être minimisée à une valeur acceptable. Toutefois, ceci est obtenu au prix d'une capacité de
15 mémoire élevée et de moyens de calcul particuliers.

La présente invention a pour but de fournir un procédé du type indiqué plus haut pour effectuer un calcul de puissance précis avec un nombre d'échantillons réduit et sans opération supplémentaire d'interpolation ou d'extrapolation.
20

Ce but est atteint par un procédé selon lequel, conformément à l'invention,

- on prélève régulièrement sur une durée déterminée égale à ou multiple de la demi-période du réseau, des groupes d'échantillons constitués de groupes
25 d'un premier type comportant chacun au moins un couple d'échantillons de tension et un échantillon d'intensité relatifs à une puissance désirée et prélevés dans un ordre déterminé et avec un intervalle de temps déterminé, et des groupes d'un second type en nombre sensiblement égal à celui des groupes du premier type et comportant chacun au moins un couple d'échantillons de la même tension et de la même intensité que lesdits couples des groupes du premier type, prélevés avec le même
30 intervalle de temps mais dans l'ordre inverse dudit
35

ordre déterminé, tous les groupes des deux types étant constitués d'échantillons tous prélevés à des instants différents les uns des autres, et,

- 5 - on effectue le cumul des puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux les échantillons des couples des différents groupes.

10 Ainsi, l'invention est notamment basée sur le fait que l'erreur sur une puissance élémentaire commise en multipliant l'un par l'autre un échantillon de tension et un échantillon d'intensité prélevés à des instants différents est sensiblement compensée par l'erreur commise en multipliant l'un par l'autre un autre échantillon de tension et un autre échantillon d'intensité prélevés eux aussi à des instants différents, avec
15 un même intervalle de temps, mais dans l'ordre inverse. Cette compensation n'est pas absolue, mais l'erreur subsistant est non seulement faible mais en plus systématique. Cette erreur peut donc être calculée une fois pour toutes en fonction des conditions de prélèvement
20 des échantillons ou peut être compensée par le facteur d'échelle.

 Les groupes d'échantillons sont prélevés régulièrement sur une durée déterminée correspondant à un nombre entier, égal ou supérieur à 1, de demi-périodes du réseau.

- 25 Un cycle de prélèvements effectué sur une telle durée suffit pour le calcul de la ou des puissances désirées. Toutefois, ceci n'exclut pas la possibilité d'effectuer plusieurs cycles différents sur des durées identiques ou non, mais toujours égales à ou multiples de la demi-période du réseau. La durée de prélèvement peut être continue, auquel cas les groupes sont
30 prélevés à intervalles de temps réguliers ΔT , ou discontinue, auquel cas le prélèvement des groupes a lieu pendant des durées séparées les uns des autres par
35 une ou plusieurs périodes T_0 du réseau. Dans un cas

comme dans l'autre, deux groupes d'échantillons consécutifs sont prélevés avec un intervalle de temps $\Delta T + mT_0$, m étant un nombre entier ou nul. Dans la mesure où les grandeurs électriques échantillonnées sont
5 suffisamment stables, le même résultat sera obtenu avec une durée de prélèvement continue ou non.

De préférence, la répartition des instants de prélèvement des groupes du premier type et la répartition des instants de prélèvement des groupes du second
10 type sont symétriques l'une de l'autre par rapport au milieu de la durée de prélèvement.

Ainsi, il y a autant de groupes du premier type que de groupes du second type et à un groupe d'un type prélevé à un instant donné correspond un groupe de
15 l'autre type prélevé avec une avance ou un retard égal à un nombre entier de quarts de période. La compensation s'effectue alors entre puissances élémentaires calculées à partir d'échantillons prélevés à des instants auxquels les grandeurs électriques échantillonnées
20 ont sensiblement même amplitude, en valeur absolue.

Suivant un premier mode particulier de mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention, l'on prélève alternativement un groupe du premier type et un groupe
du second type.

25 Suivant un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention, l'on prélève successivement tous les groupes du premier type puis tous les groupes du second type.

De préférence, chaque groupe d'échantillons
30 comprend un seul échantillon de chaque grandeur électrique nécessaire au calcul de la ou des puissances à mesurer.

Ainsi, dans le cas d'un réseau alternatif triphasé équilibré, chaque groupe d'échantillons peut
35 n'être constitué que par un échantillon d'intensité de

courant entre un échantillon de tension simple et un échantillon de tension composée, ou inversement, pour la mesure des puissances active et réactive.

Selon une particularité du procédé conforme à l'invention, dans le cas d'un réseau monophasé ou triphasé équilibré, il est possible de calculer la puissance active et la puissance réactive en ne prélevant que des groupes comportant simplement un couple d'échantillons tension-intensité. A cet effet, on prélève au moins un ensemble d'échantillons constitués de $2k$ groupes prélevés successivement et régulièrement sur une demi-période du réseau et comportant chacun un couple d'échantillons de tension et d'intensité, k étant un nombre entier ; on calcule celle parmi les puissances active et réactive correspondant à la nature des grandeurs échantillonnées à partir du cumul des produits deux à deux des échantillons de chaque groupe ; et l'on calcule l'autre puissance à partir du cumul des produits deux à deux de l'échantillon d'intensité -ou de tension- d'un groupe avec l'échantillon de tension -ou d'intensité- du $k^{\text{ème}}$ groupe compté à partir de ce groupe. Puisque le prélèvement des $2k$ groupes est effectué régulièrement sur une demi-période, l'écart en temps entre les prélèvements d'un groupe et du $k^{\text{ème}}$ groupe compté à partir de celui-ci est égal à un quart de période. On utilise donc la propriété bien connue selon laquelle les tensions servant au calcul des puissances active et réactive sont en quadrature dans le cas d'un réseau équilibré.

Dans le cas d'un réseau alternatif polyphasé non nécessairement équilibré, chaque groupe d'échantillons peut comporter, pour chaque phase, un sous-groupe comprenant un échantillon d'intensité de courant de phase et au moins un échantillon de tension, dans cet ordre ou dans l'autre, pour le calcul de la puissance active et/ou réactive. Dans les groupes du premier type,

- 6 -

l'ordre des phases est invariable et inverse de celui dans les groupes du second type.

Selon une particularité du procédé conforme à l'invention, dans le cas d'un réseau triphasé non nécessairement équilibré, on peut calculer la puissance active et/ou la puissance réactive par la méthode dite des deux ponts. A cet effet, chaque groupe d'échantillons comporte au moins deux couples d'échantillons formé chacun d'un échantillon de tension et d'un échantillon d'intensité représentatif de la différence entre les intensités de courants de deux phases du réseau. On peut utiliser un capteur fournissant directement un signal représentatif d'une différence entre deux intensités et le nombre de grandeurs à échantillonner est donc réduit par rapport au cas général envisagé dans le paragraphe précédent.

Lorsque des harmoniques sont présents dans les grandeurs électriques échantillonnées, il est préférable que l'effet de compensation décrit ci-avant pour le fondamental joue également pour les harmoniques des premiers rangs.

Ainsi, selon une particularité du procédé conforme à l'invention, l'on prélève régulièrement 16 groupes d'échantillons pendant une période du réseau, soit alternativement un groupe du premier type et un groupe du second type, soit huit groupes du premier type suivis de huit groupes du second type. La compensation est alors obtenue pour les harmoniques pairs et pour les harmoniques de rang impair jusqu'à l'harmonique 7.

La fréquence de prélèvement des groupes d'échantillons est multiple de la fréquence nominale du réseau.

On peut élaborer cette fréquence de prélèvement à partir de la fréquence réelle du réseau pour

s'affranchir de possibles variations de la fréquence du réseau.

Sinon, dans le cas où la fréquence de prélèvement des groupes est fixée selon une autre particularité du procédé conforme à l'invention, l'on détecte le passage de l'une choisie des grandeurs électriques échantillonnées dans un premier état déterminé, l'on déclenche le prélèvement régulier de groupes d'échantillons en réponse à cette détection, l'on détecte le passage de cette même grandeur électrique dans un second état en opposition de phase avec le premier, et l'on déclenche le prélèvement régulier d'un même nombre de groupes d'échantillons en réponse à cette seconde détection. On garantit ainsi le prélèvement d'une moitié exactement des groupes d'échantillons sur chaque demi-période réelle même si la fréquence du réseau varie, tout en restant toutefois dans certaines limites.

Enfin, selon encore une autre particularité du procédé conforme à l'invention, on calcule la valeur moyenne des échantillons d'une grandeur électrique prélevés sur une durée égale à ou multiple de la période du réseau, pour fournir une référence de zéro pour les échantillons de cette grandeur. La valeur moyenne de la grandeur étant nulle sur une ou plusieurs périodes, on dispose ainsi directement d'une référence de zéro sans faire appel à une référence extérieure.

Suivant un autre de ses aspects, l'invention concerne un appareil de mesure de puissance électrique sur un réseau alternatif, appareil permettant notamment de mettre en oeuvre le procédé défini ci-avant.

Ceci est obtenu au moyen d'un appareil du type comportant un dispositif numérique de calcul de puissance, un dispositif convertisseur fournissant au dispositif de calcul par un canal unique des informations numériques correspondant à des échantillons, prélevés

à des instants différents et représentatifs des grandeurs électriques du réseau relatives à la ou chaque puissance à mesurer, et un dispositif de commutation reliant l'entrée du dispositif convertisseur à des capteurs desdites grandeurs électriques, appareil dans lequel, conformément à l'invention, le dispositif de commutation connecte le dispositif convertisseur aux capteurs pour prélever régulièrement, sur une durée sensiblement égale à ou multiple de la demi-période du réseau, des groupes d'échantillons constitués de groupes d'un premier type comportant chacun au moins un couple d'échantillons de tension et d'intensité relatifs à une puissance désirée et prélevés dans un ordre déterminé et avec un intervalle de temps déterminé, et des groupes d'un second type en nombre sensiblement égal à celui des groupes du premier type et comportant chacun au moins un couple d'échantillons de la même tension et de la même intensité que pour lesdits couples des groupes du premier type, prélevés avec le même intervalle de temps mais dans l'ordre inverse audit ordre déterminé, tous les groupes des deux types étant constitués d'échantillons tous prélevés à des instants différents les uns des autres, et le dispositif de calcul comporte des moyens pour calculer et cumuler les puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux les échantillons desdits couples des différents groupes.

De préférence, l'appareil comporte une mémoire pour enregistrer les échantillons prélevés pendant la durée de prélèvement et convertis par le convertisseur.

Le nombre d'échantillons nécessaires au calcul de la puissance étant relativement faible, la mémoire n'a pas à avoir une grande capacité.

D'autres particularités du procédé et de

l'appareil conformes à l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après, à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins joints sur lesquels :

5 - la figure 1 est un schéma général d'un mode de réalisation d'un appareil de mesure conforme à l'invention ;

 - la figure 2 illustre les formes d'ondes d'une intensité et d'une tension et les instants de
10 prélèvement des échantillons de ces grandeurs conformément à l'invention ;

 - la figure 3 est un organigramme montrant la mesure notamment des puissances active et réactive à partir de couples d'échantillons d'une intensité et
15 d'une tension seulement, et,

 - la figure 4 est une variante de réalisation de l'appareil illustré par la figure 1 pour la mesure de puissance sur un réseau triphasé non nécessairement équilibré.

20 Dans ce qui suit, on considérera que les prélèvements d'échantillons de grandeurs électriques nécessaires au calcul de la ou des puissances recherchées sont effectués sur une durée continue égale à une période du réseau, soit une durée de 20 ms dans le cas
25 d'un réseau de fréquence nominale égale à 50 Hz. Comme déjà indiqué, la durée de prélèvement peut être continue ou discontinue et peut être différente d'une période de tout en restant toutefois un multiple entier de la demi-période du réseau.

30 Si l'on considère par exemple le cas de la mesure de puissance active et réactive sur un réseau triphasé, l'invention peut être mise en oeuvre au moyen d'un appareil dont le schéma général est représenté sur la figure 1.

35 Des capteurs de tension, par exemple des transformateurs TV1, TV2, TV3, délivrent des signaux V1,

V2, V3 dont les amplitudes représentent les tensions simples et de des transformateurs TU23, TU31, TU12 délivrent des signaux U23, U31, U12 dont les amplitudes représentent les tensions composées (tensions entre phases).

5 Des capteurs d'intensité, par exemple des transformateurs d'intensité TI1, TI2, TI3 délivrent des signaux I1, I2, I3 dont les amplitudes représentent les courants de phase.

10 Les signaux des différents capteurs sont appliqués aux entrées d'un multiplexeur analogique MX dont la sortie est reliée par une liaison unique à l'entrée d'un convertisseur analogique-numérique CAN par l'intermédiaire d'un échantillonneur-bloqueur EB.

15 La sortie du convertisseur CAN est reliée à un dispositif de traitement numérique d'informations comportant des mémoires RP et RD de programmes et de données et un organe de calcul OC de type microprocesseur. Les informations numériques fournies par le convertisseur CAN sont enregistrées dans les mémoires de
20 données RD sous la commande du microprocesseur. Celui-ci exécute les instructions des microprogrammes contenus dans la mémoire RP pour d'une part, commander le multiplexeur MX et l'échantillonneur-bloqueur EB et, d'autre part, effectuer les opérations nécessaires sur
25 les informations numériques reçues.

Dans le cas de la figure 1, les entrées e1 à e9 du multiplexeur MX reçoivent respectivement les signaux V1, I1, U23, V2, I2, U31, V3, I3, U12. Dans le cas d'un réseau triphasé non nécessairement équilibré,
30 des échantillons de chacun de ces signaux peuvent être prélevés pour calculer la puissance active P et la puissance réactive Q ainsi que les grandeurs de chacune des phases. Le multiplexeur MX commandé par l'organe de calcul OC connecte le convertisseur CAN aux capteurs
35 pour prélever des groupes d'échantillons comportant un

échantillon de chacun des signaux appliqués aux entrées e1 à e9 dans cet ordre, ainsi que des groupes d'échantillons comportant un échantillon de chacun des signaux appliqués aux entrées e9 à e1, c'est-à-dire dans l'ordre inverse par rapport aux autres groupes. Ainsi, on forme des groupes d'échantillons d'un premier type G1 constitués comme suit :

$V1^* I1^* U23^* V2^* I2^* U31^* V3^* I3^* U12^*$

(l'astérisque * indiquant qu'il s'agit d'un échantillon de la grandeur désignée par cet astérisque), et l'on forme des groupes d'échantillons d'un second type G2 constitués comme suit :

$U12^* I3^* V3^* U31^* I2^* V2^* U23^* I1^* V1^*$

On notera que, pour chaque phase, dans chaque groupe, l'intensité du courant de phase est prélevée entre la tension simple et la tension composée correspondante (ou inversement). On notera en outre que l'ordre des phases est invariable dans les groupes du premier type et est l'inverse de celui des groupes du second type.

Tous les échantillons sont prélevés à des instants différents. Il n'y a donc pas dans les groupes d'échantillons formés, deux échantillons d'une même grandeur ou de deux grandeurs différentes prélevés à un même instant.

Les moments de prélèvement des groupes du premier type -c'est-à-dire les instants où les premiers échantillons de ces groupes sont prélevés- ont de préférence une répartition sur la durée de prélèvement sensiblement symétrique de celle des moments de prélèvement des groupes du second type par rapport au milieu de la durée de prélèvement.

Supposons que le nombre de groupes d'échantil-

lons prélevés sur une période T_0 est égal à 12. A titre d'exemple, les groupes G1 et G2 pourront être prélevés selon l'une des combinaisons suivantes :

5 G1 G2 G1 G2 G1 G2 G1 G2 G1 G2 G1 G2 ,
 G1 G1 G1 G1 G1 G1 G2 G2 G2 G2 G2 G2 ,
 G1 G1 G2 G2 G1 G1 G2 G2 G1 G1 G2 G2 , ou
 G1 G1 G1 G2 G2 G2 G1 G1 G1 G2 G2 G2 .

10 Le séquences usuelles seront celles au cours desquelles l'ordre de prélèvement des échantillons est inversé pour chaque nouveau groupe prélevé (alternativement G1 et G2), ou celles au cours desquelles on prélève successivement tous les groupes d'un même type puis tous les groupes de l'autre type.

15 Deux échantillons d'un groupe d'un type, représentant deux grandeurs à multiplier l'une par l'autre pour le calcul d'une puissance sont prélevés avec un intervalle de temps Δt égal à celui séparant les instants de prélèvement des échantillons des deux mêmes grandeurs dans un groupe de l'autre type.

20 Ainsi, on peut compenser sensiblement, par l'inversion de l'ordre de prélèvement des échantillons l'erreur provenant du fait que les deux grandeurs relatives à une même puissance sont prélevées à des instants différents.

25 Plus précisément, l'inversion de l'ordre des échantillons permet de minimiser l'erreur résultant du déphasage des échantillons, cette dernière étant systématique et donc rattrapable, du fait que les groupes d'échantillons sont prélevés de façon régulièrement répartie sur la durée du prélèvement. Le rattrapage de
 30 l'erreur peut être réalisé en affectant les grandeurs échantillonnées d'un coefficient multiplicateur correcteur.

35 Avantagusement, la cadence de prélèvement des échantillons dans chaque groupe est constante et

aussi élevée que possible compte-tenu des performances du convertisseur. A titre d'exemple, l'intervalle de temps séparant les prélèvements de deux échantillons consécutifs d'un même groupe est égal à 100 μ s, ceci
 5 pour chaque groupe.

Le nombre de groupes d'échantillons prélevés sur une période est limité par le temps de prélèvement de chaque échantillon. Ainsi, si la fréquence nominale des grandeurs échantillonnées est égale à 50 Hz, on ne
 10 pourra pas prélever plus de 22 groupes de neuf échantillons.

Par ailleurs, le nombre de groupes d'échantillons doit permettre de prendre en compte les harmoniques éventuels de manière à réaliser la compensation
 15 par l'inversion de l'ordre des prélèvements non seulement pour le fondamental, mais aussi au moins pour les harmoniques des premiers rangs. Il s'avère que ce résultat est obtenu avec huit groupes d'échantillons, pour
 tous les harmoniques de rang pair et pour ceux de rang
 20 impair jusqu'à cinq et, avec 16 groupes d'échantillons, pour tous les harmoniques de rang pair et pour ceux de rang impair jusqu'à sept.

Ainsi, suivant un mode préféré de mise en oeuvre de l'invention, 16 groupes d'échantillons sont
 25 prélevés sur la période T_0 des grandeurs échantillonnées, ou un multiple entier de 16, dans la mesure où cela est possible.

Les différents groupes sont prélevés régulièrement sur la période T_0 avec une fréquence $\frac{N}{T_0}$, N
 30 étant le nombre total de groupes prélevés.

Dans le cas où la fréquence des grandeurs échantillonnées ne varie sensiblement pas, par exemple dans le cas de tensions et intensités d'un réseau de distribution d'électricité, la fréquence $\frac{N}{T_0}$ peut être
 35 prédéterminée indépendamment de celle du réseau. Il faut toutefois pouvoir tenir compte de possibles variations de la fréquence de réseau afin d'éviter une

inégale répartition des échantillons prélevés sur les deux demi-périodes.

Ainsi, avantageusement, l'on détecte le passage d'une quelconque prédéterminée des grandeurs échantillon-
 5 lonnées dans un état déterminé pour déclencher au moyen du multiplexeur MX le prélèvement de $\frac{N}{2}$ groupes d'échantil-
 lons à la fréquence $\frac{N}{2}$ et l'on détecte le passage de la même grandeur T_0 prédéterminée en opposition de
 phase par rapport audit état déterminé pour déclencher
 10 le prélèvement des $\frac{N}{2}$ autres groupes à la fréquence $\frac{N}{2}$.
 T_0

Par commodité, on détecte le passage de la grandeur prédéterminée à un maximum ou, de préférence au zéro. Cette détection peut être faite en surveillant au moyen du microprocesseur les valeurs successives de
 15 la grandeur prédéterminée fournies par le convertisseur.

Dans le cas du prélèvement de 16 groupes d'échantillons de grandeurs de fréquence nominale égale à 50 Hz, et avec un intervalle de temps de 100 μ S entre deux échantillons du même groupe, huit groupes
 20 sont prélevés à la fréquence de 800 Hz à partir d'un passage à zéro de v_1 et huit autres groupes sont prélevés à la fréquence de 800 Hz à partir du passage à zéro suivant de v_1 .

Lorsqu'il y a neuf échantillons par groupe,
 25 le prélèvement du huitième groupe est terminé au bout de 9,65 ms. La compensation des variations de fréquence ne joue pas au-delà 51,8 Hz. Quand, comme on le verra plus loin, le nombre d'échantillons par groupe est réduit à trois ou à deux, la compensation n'est pas va-
 30 lable au-delà de 55,2 Hz ou 55,8 Hz.

Par ailleurs, l'irrégularité de la répartition des instants de prélèvement des groupes sur la période des grandeurs échantillonnées est source d'une erreur non rattrapable de façon systématique. Ainsi,

plus la fréquence réelle décroît ou croît, plus importante est l'erreur commise ne prélevant les groupes d'échantillons en deux ensembles de $\frac{N}{2}$ groupes à la fréquence $\frac{N}{2}$. Cette erreur est toutefois limitée et des variations^{To} relatives de fréquence de l'ordre de 10 % sont tolérables, pour autant, bien entendu, que les limites supérieures indiquées au paragraphe précédent ne soient pas dépassées.

On a envisagé, ci-avant, le cas général de la mesure des puissances active et réactive sur un réseau triphasé en utilisant des échantillons de neuf grandeurs. Kp et Kq étant des constantes, les valeurs des puissances active P et réactive Q sont :

$$(1) P = K_p \sum_{i=1}^N V1_i^* . I1_i^* + V2_i^* . I2_i^* + V3_i^* . I3_i^* , \text{ et}$$

$$(2) Q = K_q \sum_{i=1}^N U23_i^* . I1_i^* + U31_i^* . I2_i^* + U12_i^* . I3_i^* ,$$

c'est-à-dire le cumul pour les N groupes des puissances élémentaires active p_i et q_i obtenues à partir des échantillons de chaque groupe.

Si les trois phases du réseau triphasé sont équilibrées, on peut se contenter, pour le calcul des puissances active et réactive, de prélever les échantillons des tensions simple et composée et de l'intensité du courant relatives à une seule phase, par exemple Ph1. Dans ce cas, chaque groupe comporte les échantillons $V1_i^* I1_i^* U23_i^*$ dans cet ordre, ou dans l'ordre inverse, l'intensité étant prélevée entre les tensions.

On a alors :

$$(3) P = 3 K_p \sum_{i=1}^N V1_i^* . I1_i^* \text{ et}$$

$$(4) Q = 3 K_q \sum_{i=1}^N U23_i^* . I1_i^*$$

On sait que les tensions utilisées pour le

calcul des puissances active et réactive sur une même phase ont des amplitudes proportionnelles et sont en quadrature dans le cas d'un réseau triphasé équilibré. Si le nombre N de groupes d'échantillons régulièrement
 5 prélevés sur une période est un multiple de quatre ($N = 4k$), on peut alors écrire (K'_p et K'_q étant des constantes) :

$$(5) P = K'_p \sum_{i=1}^N V l_i^* . I l_i^* , \text{ et}$$

$$(6) Q = K'_q \sum_{i=1}^N V l_j^* . I l_i^*$$

10 avec $j = i + k$ si $1 \leq i \leq N-k$
 $j = (i + k) - N$ si $N - k < i \leq N$.

En effet, un quart de période sépare l'échantillon de tension d'un groupe de celui du $k^{\text{ème}}$ groupe compté à partir de celui-ci, et ces deux échantillons
 15 de tension sont bien en quadrature.

Cette méthode permet donc le calcul de la puissance active et de la puissance réactive à partir de groupes formés d'un seul couple d'échantillons tension-intensité dans le cas du triphasé équilibré ou
 20 du monophasé.

Selon une particularité avantageuse de l'invention, une valeur de référence de zéro est élaborée à partir des échantillons prélevés.

Dans la mesure où les groupes d'échantillons
 25 sont prélevés régulièrement sur une période, les valeurs moyennes des échantillons de chaque grandeur sont nulles. Le calcul des valeurs moyennes des grandeurs fournit donc une référence de zéro pour celle-ci.

Ainsi, dans le cas par exemple du calcul effectué par les formules (5) et (6) ci-dessus, si
 30

$$M_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V l_i^* \quad \text{et} \quad M_I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I l_i^*$$

les puissances active et réactive corrigées P' et Q' sont

$$P' = K'_p \sum_{i=1}^N (Vl_i^* - M_V) \cdot (Il_i^* - M_I)$$

$$Q' = K'_q \sum_{i=1}^N (Vl_j^* - M_V) \cdot (Il_i^* - M_I), \text{ soit}$$

$$(7) \quad P' = K'_p \sum_{i=1}^N Vl_i^* \cdot Il_i^* - N \cdot M_V \cdot M_I$$

$$(8) \quad Q' = K'_q \sum_{i=1}^N Vl_j^* \cdot Il_i^* - N \cdot M_V \cdot M_I$$

La figure 2 illustre le prélèvement, sur une période, de 16 groupes d'échantillons d'une tension Vl et d'un courant Il de fréquence 50 Hz avec déclenchement du prélèvement de huit groupes à chaque passage à zéro de V . Chaque groupe est formé de deux échantillons prélevés ^{chacun} avec un intervalle de temps Δt de 100 μs . Les échantillons d'intensité sont prélevés à une cadence d'un échantillon d'intensité toutes les 1250 s. L'ordre de prélèvement est inversé pour chaque nouveau groupe prélevé.

La figure 3 illustre un organigramme du fonctionnement de l'organe de calcul OC pour déterminer les puissances P' et Q' selon les formules (7) et (8). Le multiplexeur MX ne reçoit que les signaux représentatifs d'une tension de phase et de l'intensité du courant de la même phase, par exemple Vl et Il comme illustré par la fig. 2. On notera que deux capteurs seulement ^{alors} sont nécessaires.

Un index A est placé à 1 et un compteur C est placé à la valeur $N = 16$ en phase d'initialisation.

A un premier passage à zéro de Vl , on vérifie ^{immédiatement} que l'index A est à 1 et/ou on prélève successivement un premier échantillon Il^* de Il et un premier échantillon Vl^* de Vl . On mémorise ces échantillons et l'index A est mis à zéro. Le contenu du compteur C est décrémenté puis comparé successivement à l'état 8 et à 0.

L'index A est examiné et, à la fin d'une tem-

porisation $\frac{T_0}{16} - 3, \Delta t$ comptée à partir de la fin du pré-

lèvement de Vl_1^* , l'on prélève et l'on mémorise un second échantillon de tension Vl_2^* puis un second échantillon de courant Il_2^* . On place l'index A à 1, l'on dé-
 5 crémente le compteur C et l'on examine son contenu. On examine l'index A; le contenu du compteur C étant différent de 16 et 8, à la fin d'une temporisation $\frac{T_0}{16} - \Delta t$ comptée à partir de la fin du prélèvement de
 10 Il_2^* , l'on effectue un nouveau prélèvement d'un couple d'échantillons de courant Il_3^* - échantillon de tension Vl_3^* que l'on mémorise.

On procède ainsi jusqu'à ce que le contenu du compteur C soit égal à huit.

On revient alors en attente du nouveau passage à zéro de Vl pour prélever et mémoriser les huit
 15 groupes d'échantillons restants.

Lorsque le compteur C passe à zéro, le prélèvement est terminé et tous les échantillons sont stockés dans RD. Les 32 échantillons mémorisés sont alors uti-
 20 lisés pour calculer

$$P = K'_p \sum_{i=1}^{16} Vl_i^* Il_i^*$$

$$Q = K'_q \sum_{i=1}^{16} Vl_j^* Il_i^* \quad \begin{array}{l} j = i + 4 \quad \text{si } 1 \leq i \leq 16 - 4 \\ j = i + 4 - 16 \text{ si } 16 - 4 < i \leq 16 \end{array}$$

$$M_V = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} Vl_i^*$$

$$25 \quad M_I = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} Il_i^*$$

$$P' = P - 16 M_V M_I$$

$$Q' = Q - 16 M_V M_I$$

En plus des valeurs de puissances active et réactive, peuvent également être calculées les valeurs
 30 efficaces de Vl et Il, respectivement :

$$Vl_{eff} = K_V \sum_{i=1}^{16} |Vl_i^*|, K_V \text{ étant le rapport}$$

entre la valeur efficace et la valeur moyenne des valeurs absolues des échantillons de tension (correspondant au redressement de celle-ci), quand le prélèvement des échantillons est déclenché au passage à zéro de Vl et

$$Il_{eff} = K_I \sqrt{\frac{P'^2 + Q'^2}{Vl_{eff}^2}} \text{ ou } Il_{eff} = K'_I \sqrt{\sum_{i=1}^{16} Il_i^2}$$

avec $Il_i = Il_i^* - \frac{MI}{16}$. Les coefficients K_I et K'_I sont des constantes.

Enfin, on peut également calculer $\tan \varphi = \frac{Q'}{P'}$.

Le coefficient K_V dépend du nombre et des moments de prélèvements des échantillons de tension et peut donc être prédéterminé.

Les coefficients K'_p et K'_q sont déterminés en fonction du rapport de transformation des capteurs et du convertisseur utilisés et aussi compte-tenu de la correction d'erreur systématique à apporter. A titre indicatif, dans le cas envisagé ci-dessus en référence aux figures 2 et 3, l'erreur relative sur la puissance élémentaire calculée en multipliant l'un par l'autre deux échantillons d'un même groupe est :

$$1 - \cos 2\pi \times 50 \times 10^{-4}$$

soit environ 5.10^{-4}

Le procédé et l'appareil conformes à l'invention peuvent aussi être utilisés pour surveiller plusieurs réseaux monophasés ou triphasés en sortie d'un poste de transformation moyenne tension. Dans ce cas, on peut effectuer les opérations décrites ci-dessus cycliquement pour les différents réseaux.

La phase de l'initialisation de l'organigramme comprend alors la détermination parmi un ensemble de

- 20 -

valeurs stockées, des coefficients K'_p et K'_q propres au réseau examiné ainsi que la détermination de la grandeur dont le passage à zéro est à détecter.

5 Une modification de l'appareil conforme à l'invention est illustrée par la figure 4 dans le cas de la mesure de puissance réactive sur un réseau triphasé non nécessairement équilibré.

Un capteur TI21 comporte deux enroulements primaires parcourus par des courants représentatifs
 10 des courants I1 et I2 des phases Ph1 et Ph2 et disposés en opposition. Aux bornes de l'enroulement secondaire, on recueille un signal I21 proportionnel à la différence I1 - I2. Un capteur analogue TI23 délivre un signal I23 représentatif de la différence I3 - I2. Les
 15 signaux I21 et I23 sont appliqués aux entrées e_2 et e_5 d'un multiplexeur MX'. Les signaux V1, V3, U23, U12 représentatifs des tensions des phases Ph1, Ph3 et des tensions entre phases Ph3 - Ph2 et Ph2 - Ph1 sont fournis par des capteurs TV1, TV3, TU23 et TU12 et sont ap-
 20 pliqués aux entrées e_1 , e_4 , e_3 , e_6 du multiplexeur MX'. Comme précédemment, la sortie du multiplexeur MX' est reliée par une liaison unique à un convertisseur analogique-numérique CAN' par l'intermédiaire d'un échantillonneur-bloquer EB'. Les informations numériques
 25 transmises par le convertisseur CAN' sont traitées au moyen d'un organe de calcul OC' associé à des mémoires de programmes MP' et de données MD' et commandant le multiplexeur MX' et l'échantillonneur-bloquer EB'.

On sait que les puissances active et réactive
 30 P'' et Q'' du réseau triphasé peuvent être exprimées par $P'' = V1 (I1 - I2) + V3 (I3 - I2)$ et

$$Q'' = \frac{1}{\sqrt{3}} [U23 (I1 - I2) + U12 (I3 - I2)]$$

35

L'organe de calcul OC' détermine alors des prélèvements de groupes successifs comportant chacun les échantillons

$V1^*$, $(I1 - I2)^*$, $U23^*$, $V3^*$, $(I3 - I2)^*$, $U12^*$

5 dans cet ordre ou dans l'ordre inverse.

La cadence de prélèvement des groupes, la répartition des groupes selon l'ordre de prélèvement des échantillons, la fréquence de prélèvement des échantillons dans chaque groupe, le nombre de groupes et le déclenchement des prélèvements des groupes en deux ensembles sont tels que décrits ci-avant.

10

Pour le calcul de puissances actives P'' et réactive Q'' , on effectue :

$$P'' = K''_p \sum_{i=1}^N V1_i^* (I1 - I2)_i^* + V3_i^* (I3 - I2)_i^*,$$

$$15 \quad Q'' = K''_q \sum_{i=1}^N U23_i^* (I1 - I2)_i^* + U12_i^* (I3 - I2)_i^*,$$

N étant le nombre de groupes et K''_p et K''_q deux constantes.

Bien entendu, diverses modifications et adjonctions pourront être apportées aux modes de réalisation décrits plus haut d'un procédé et d'un appareil conformes à l'invention sans pour cela sortir du cadre de protection défini par les revendications annexées.

20

Ainsi, on a envisagé en détail (figure 3) le cas où l'appareil conforme à l'invention fonctionne avec prélèvement de groupes de deux échantillons en changeant l'ordre des échantillons dans chaque nouveau groupe prélevé.

25

Toutefois, le multiplexeur MX (ou MX') peut être commandé par l'organe de calcul OC (ou OC') de manière à connecter le convertisseur CAN (ou CAN') aux différents capteurs pour prélever les groupes du premier type et les groupes du second type avec toute autre répartition convenable dans le temps, notamment avec une

30

répartition des instants de prélèvement des groupes du premier type symétrique, par rapport au milieu de la durée de prélèvement, de la répartition des instants du prélèvement des groupes du second type. Par exemple, au
5 prix d'une modification du microprogramme correspondant, le convertisseur peut être connecté aux capteurs par le multiplexeur de manière à ne changer l'ordre de prélèvement des échantillons dans les groupes que lorsque la moitié des groupes a été prélevée.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure de puissance électrique sur un réseau alternatif, procédé selon lequel on transmet par un canal unique à un organe de calcul des échantillons prélevés à des instants différents et représentatifs des grandeurs électriques différentes du réseau relatives à la ou chaque puissance à mesurer, caractérisé en ce que :
- on prélève respectivement sur une durée déterminée égale à ou multiple de la demi-période du réseau, des groupes d'échantillons constitués de groupes d'un premier type comportant chacun au moins un couple formé d'échantillons de tension et d'intensité relatifs à une puissance désirée et prélevés dans un ordre déterminé et avec un intervalle de temps déterminé, et des groupes d'un second type en nombre sensiblement égal à celui des groupes du premier type et comportant chacun au moins un couple d'échantillons de la même tension et de la même intensité que lesdits couples des groupes du premier type, prélevés avec le même intervalle de temps mais dans l'ordre inverse dudit ordre déterminé, tous les groupes des deux types étant constitués d'échantillons tous prélevés à des instants différents les uns des autres, et,
 - on effectue le cumul des puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux les échantillons des couples des différents groupes.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on prélève autant de groupes du premier type que de groupes du second type.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la répartition des instants de prélèvement des groupes du premier type et la répartition des instants de prélèvement des groupes du second type sont symétriques l'une de l'autre par rapport au milieu de la durée de prélèvement.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on prélève alternativement un groupe du premier type et un groupe du second type.
- 5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on prélève successivement tous les groupes du premier type puis tous les groupes du second type.
- 10 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque groupe d'échantillons comprend un seul échantillon de chaque grandeur électrique nécessaire au calcul de la ou des puissances à mesurer.
- 15 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour la mesure de puissances électriques active et réactive sur un réseau alternatif monophasé ou triphasé équilibré, caractérisé en ce que chaque groupe d'échantillons comporte un échantillon d'intensité de courant entre un échantillon de tension simple et un échantillon de tension composée, ou inversement.
- 20 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour la mesure de puissances électriques active et réactive sur un réseau alternatif monophasé ou triphasé équilibré, caractérisé en ce que l'on prélève au moins un ensemble d'échantillons constitué de
- 25 2 k groupes prélevés successivement et régulièrement sur une demi-période du réseau et comportant chacun un couple d'échantillons de tension et d'intensité, k étant un nombre entier ; l'on calcule celle parmi les
- 30 puissances active et réactive correspondant à la nature des grandeurs échantillonnées à partir du cumul des produits deux à deux des échantillons de chaque groupe ; et l'on calcule l'autre puissance à partir du cumul des produits deux à deux de l'échantillon d'intensité -ou de tension- d'un groupe avec l'échantillon
- 35

de tension -ou d'intensité- du $k^{\text{ème}}$ groupe compte à partir de ce groupe.

5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour la mesure des puissances électriques sur un réseau alternatif polyphasé, caractérisé en ce que chaque groupe d'échantillons comporte, pour chaque phase, un sous-groupe comprenant un échantillon d'intensité de courant de phase et au moins un échantillon de tension, dans cet ordre ou dans l'autre ; l'ordre
10 des phases dans les groupes du premier type étant invariable et inverse de l'ordre des phases dans les groupes du second type.

15 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour la mesure de puissances électriques active et réactive sur un réseau alternatif triphasé, caractérisé en ce que l'on prélève des groupes comportant au moins deux couples d'échantillons formé chacun d'un échantillon de tension et d'un échantillon d'intensité représentatif de la différence entre les intensités de courants de deux phases du réseau.
20

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on prélève régulièrement 16 groupes d'échantillons pendant une période du réseau.

25 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on détecte le passage de l'une choisie des grandeurs électriques échantillonnées dans un premier état déterminé, l'on déclenche le prélèvement régulier de groupes d'échantillons en réponse à cette détection, l'on détecte le
30 passage de cette même grandeur électrique dans un second état en opposition de phase avec le premier, et l'on déclenche le prélèvement régulier d'un même nombre de groupes d'échantillons en réponse à cette seconde détection.
35

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'on détecte le passage à zéro de ladite grandeur choisie successivement dans un sens et dans l'autre sens.
- 5 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on calcule la valeur moyenne des échantillons d'une grandeur électrique prélevés sur une durée égale à ou multiple de la période du réseau, pour fournir une référence de zéro
- 10 pour les échantillons de cette grandeur.
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que l'on prélève régulièrement des groupes d'échantillons sur une durée égale à ou multiple de la période du réseau, chaque groupe
- 15 comportant au moins un couple d'échantillons de tension et d'intensité, on calcule chaque puissance élémentaire P_i obtenue en multipliant deux à deux les échantillons de chacun desdits couples, on calcule la valeur moyenne M_V des échantillons de tension desdits couples, on calcule la valeur moyenne M_I des échantillons d'intensité
- 20 desdits couples et on calcule la q u a n t i t é
- $$N \sum_{i=1}^N P_i - N \cdot M_V \cdot M_I, N \text{ étant le nombre de groupes d'échan-}$$
- 1
- tillons prélevés et $\sum_{i=1}^N P_i$ étant la somme des N puissances élémentaires calculées.
- 25 16. Appareil de mesure de puissance électrique sur un réseau alternatif, comportant un dispositif numérique de calcul de puissance, un dispositif convertisseur fournissant au dispositif de calcul par un canal unique des informations numériques correspondant à
- 30 des échantillons prélevés à des instants différents et représentatifs des grandeurs électriques du réseau re-

latives à la ou chaque puissance à mesurer, et un dispositif de commutation reliant l'entrée du dispositif convertisseur à des capteurs desdites grandeurs électriques,

5 caractérisé en ce que :

- le dispositif de commutation connecte le dispositif convertisseur aux capteurs pour prélever régulièrement, sur une durée sensiblement égale à ou multiple de la demi-période du réseau, des groupes d'échantillons constitués de groupes d'un premier type
10 comportant chacun au moins un couple d'échantillons de tension et d'intensité relatifs à une puissance désirée et prélevés dans un ordre déterminé et avec un intervalle de temps déterminé, et des groupes d'un second
15 type en nombre sensiblement égal à celui des groupes du premier type et comportant chacun au moins un couple d'échantillons de la même tension et de la même intensité que pour lesdits couples des groupes du premier
20 type, prélevés avec le même intervalle de temps mais dans l'ordre inverse audit ordre déterminé, tous les groupes des deux types étant constitués d'échantillons tous prélevés à des instants différents les uns des autres, et,

- le dispositif de calcul comporte des moyens
25 pour calculer et cumuler les puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux les échantillons desdits couples des différents groupes.

17. Appareil selon la revendication 16, caractérisé en ce que le dispositif de commutation connecte le
30 dispositif convertisseur aux capteurs pour prélever autant de groupes du premier type que de groupes du second type.

18. Appareil selon la revendication 17, caractérisé en ce que le dispositif de commutation connecte le
35 dispositif convertisseur aux capteurs pour prélever les

groupes du premier type avec une répartition dans le temps symétrique, par rapport au milieu de la durée de prélèvement, de la répartition des instants de prélèvements des groupes du second type.

- 5 19. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que le dispositif de commutation connecte le dispositif convertisseur successivement à différents capteurs dans un ordre prédéterminé puis aux mêmes capteurs dans l'ordre inverse,
10 et ainsi de suite.
20. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que le dispositif de commutation connecte plusieurs fois le dispositif convertisseur successivement à différents capteurs dans un
15 ordre déterminé pour prélever les groupes du premier type puis un même nombre de fois aux mêmes capteurs dans l'ordre inverse pour prélever les groupes du second type.
21. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 20 pour la mesure de puissance active et
20 réactive d'un réseau alternatif triphasé, caractérisé en ce que pour chaque prélèvement d'un groupe d'échantillons pour une ou chaque phase, le dispositif de commutation connecte le convertisseur successivement à
25 un capteur de tension simple, à un capteur d'intensité de courant de phase et à un capteur de tension composée, dans cet ordre ou dans l'ordre inverse.
22. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 20, caractérisé en ce qu'il comporte une
30 mémoire pour enregistrer les échantillons prélevés pendant ladite durée de prélèvement et convertis par le convertisseur.
23. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 22, pour la mesure de puissances active et
35 réactive d'un réseau alternatif, caractérisé en ce qu'il

comporte une mémoire pour enregistrer un ensemble d'échantillons constitué de $2k$ groupes prélevés successivement et régulièrement sur une demi-période du réseau, et comportant chacun un couple d'échantillons de tension et d'intensité, k étant un nombre entier, et le dispositif de calcul comporte des moyens de calcul et de cumul des puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux les échantillons de chaque couple et des moyens de calcul et de cumul des puissances élémentaires obtenues en multipliant deux à deux l'échantillon d'intensité -ou de tension- d'un groupe avec l'échantillon de tension -ou d'intensité- du $k^{\text{ème}}$ groupe compté à partir de ce groupe.

24. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 23, pour la mesure de la puissance active et/ou de la puissance réactive d'un réseau alternatif triphasé, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux capteurs d'intensité délivrant chacun un signal représentatif de la différence entre les intensités des courants de deux phases.

25. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 24, caractérisé en ce que la fréquence de prélèvement des groupes d'échantillons est égale à $n.16$ fois la fréquence du réseau, n étant un nombre entier.

26. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 25, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de détection du passage d'une choisie desdites grandeurs électriques dans un état déterminé pour déclencher le prélèvement d'un nombre déterminé de groupes d'échantillons pendant une durée correspondant à celle d'une demi-période normale du réseau.

27. Appareil selon la revendication 26, caractérisé en ce que lesdits moyens de détection comportent un dispositif de détection du passage à zéro de la grandeur électrique choisie, dans un sens et dans l'autre.

28. Appareil selon l'une quelconque des revendications 16 à 27, caractérisé en ce que le dispositif de calcul comporte des moyens de calcul de la valeur moyenne des échantillons d'au moins une des grandeurs
- 5 électriques échantillonnées.

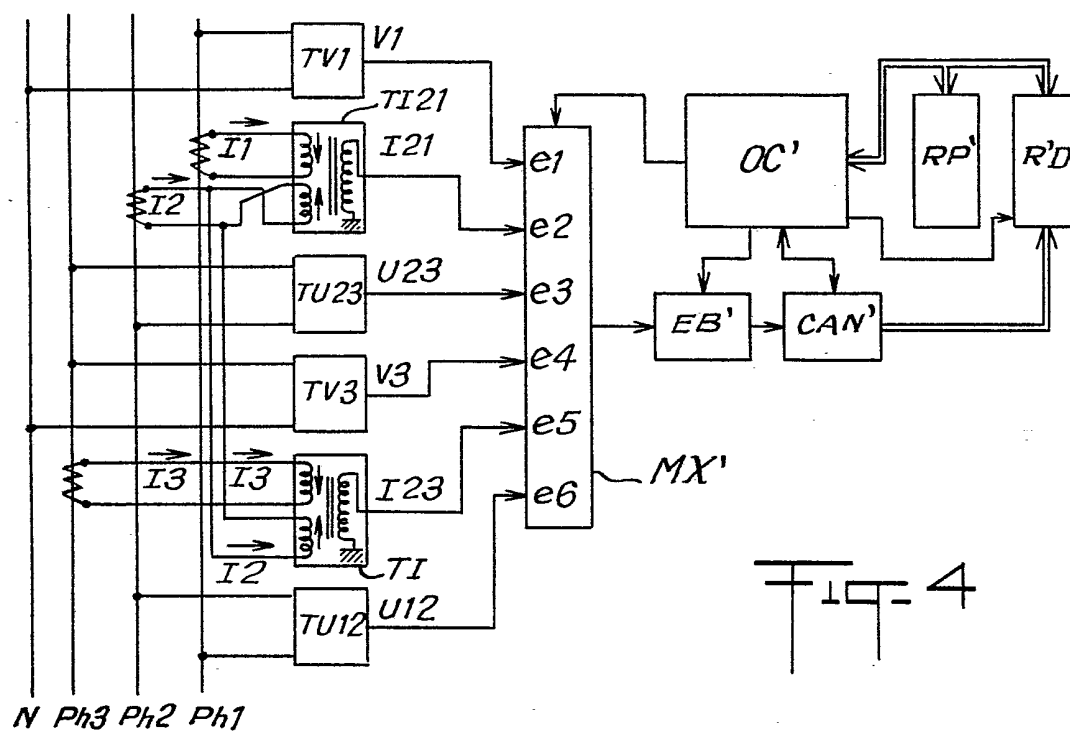
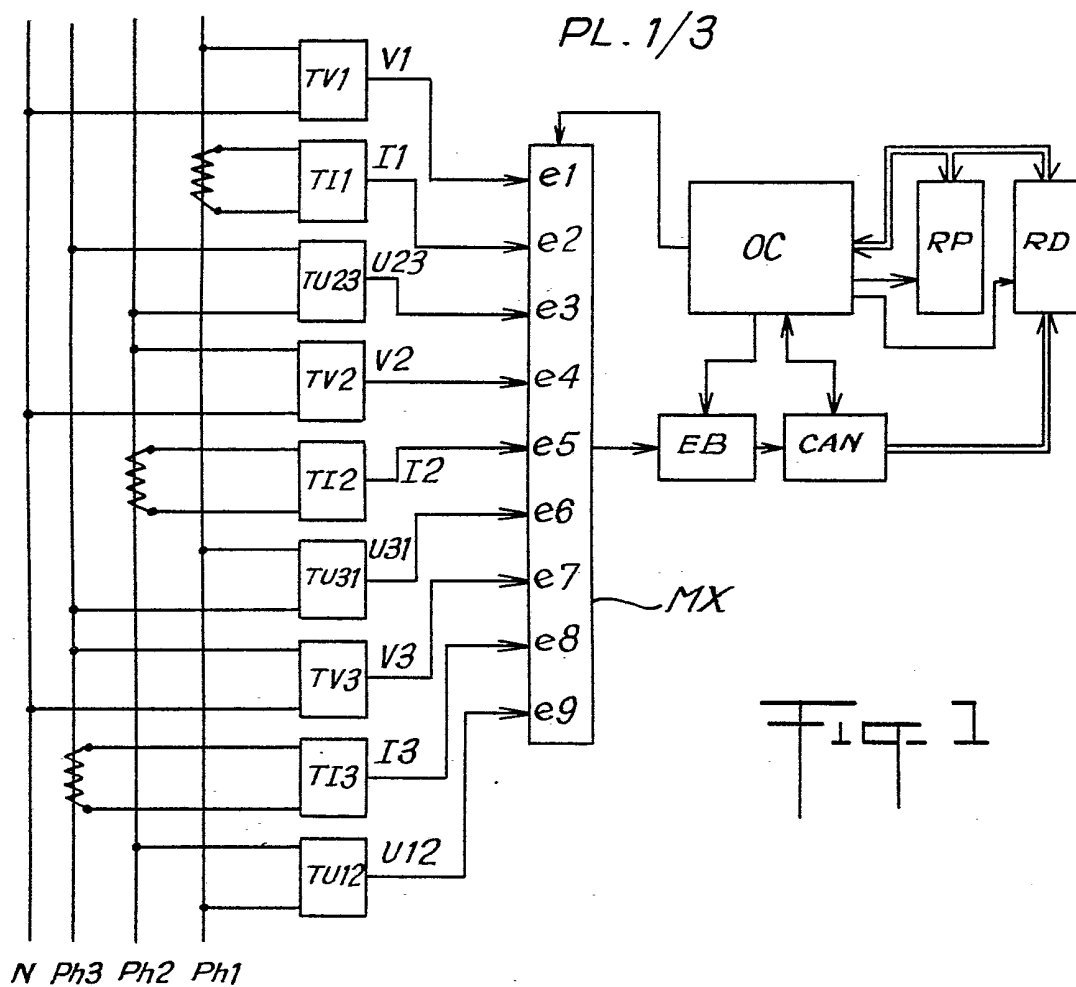


Fig. 2

