(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 531 540**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **82 13812**

(51) Int Cl³ : G 01 R 19/06, 19/25.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 6 août 1982.

(30) Priorité

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 6 du 10 février 1984.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *INSTITUT ELEKTRODINAMIKI AKADEMII NAUK UKRAINSKOI SSR.* — SU.

(72) Inventeur(s) : A. K. Shidlovsky, S. G. Taranov, V. V. Braiko, I. P. Grinberg, O. L. Karasinsky, J. F. Tesik, R. B. Khusid, N. I. Nevmerzhitsky, A. M. Tsyganok et V. A. Yaschuk.

(73) Titulaire(s) :

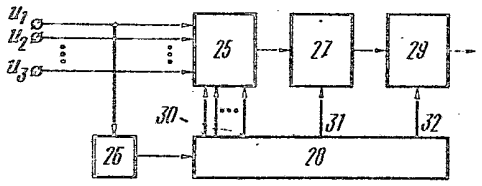
(74) Mandataire(s) : Z. Weinstein.

(54) Procédé de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé et dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

(57) L'invention concerne les techniques de mesure.

Le dispositif faisant l'objet de l'invention est caractérisé en ce qu'il comporte un commutateur 25 dont les entrées, en nombre égal à celui des phases du secteur polyphasé, sont reliées chacune à la phase respective de ce secteur, un multiplicateur de fréquence 26 dont l'entrée est branchée sur l'une des phases dudit secteur et dont la fonction est de convertir la période de cette phase en une suite d'impulsions, ainsi qu'un convertisseur tension-code 27, un bloc de commande 28 et un organe de calcul 29 dont le signal de sortie porte l'information sur les paramètres des composantes symétriques, des sorties 30, 31 et 32 du bloc de commande 28 étant reliées, respectivement, aux entrées de commande du commutateur 25, du convertisseur 27 et de l'organe 29, tandis que son entrée est reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence 26.

L'invention s'applique notamment à la réalisation de systèmes spéciaux de mesure et d'information, ou bien d'appareils combinés à fonctions multiples, servant à mesurer les paramètres d'un secteur à courant polyphasé, en particulier les paramètres qualitatifs de l'énergie électrique d'un secteur à courant triphasé.



FR 2 531 540 A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

La présente invention concerne les techniques de mesure et a notamment pour objets un procédé de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur à courant polyphasé et un dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé.

L'invention présente le plus d'intérêt pour la mise au point de systèmes spéciaux de mesure et d'information, ou bien d'appareils combinés à fonctions multiples, servant à mesurer les paramètres d'unsecteur à courant polyphasé, en particulier les paramètres qualitatifs de l'énergie électrique d'un secteur à courant triphasé. L'invention trouve son utilisation la plus rationnelle dans les systèmes de mesure comprenant des calculatrices électroniques ou bien dans les appareils de mesure utilisant des microprocesseurs.

A l'heure actuelle, on constate une consommation importante de différents types d'énergie. Sur ce plan, un rôle prédominant est joué par l'énergie électrique dont les avantages sont incontestables aussi bien du point de vue simplicité de transfert et d'utilisation que possibilité d'accumulation et de rendement universel. Comme n'importe quel produit, l'énergie électrique se caractérise par la qualité. Les paramètres de qualité de l'énergie électrique sont : l'excursion de fréquence, la déviation de tension, la valeur crête à crête de la fréquence, la valeur crête à crête de la tension, les coefficients d'asymétrie, de déséquilibre et celui relatif au caractère non sinusoïdal des tensions.

Le problème de l'augmentation de la qualité de l'énergie électrique est lié étroitement à celui du contrôle et de la mesure des valeurs de certains paramètres de qualité. Ceci résulte du fait que ce ne sont que les valeurs numériques desdits paramètres de qualité qui fournissent des informations sur la base desquelles doivent et peuvent être élaborées des mesures visant à améliorer la qualité de l'énergie électrique, aucune amélioration sur ce plan n'étant possible autrement.

Il convient de noter que quatre paramètres de qualité sur les sept qui viennent d'être mentionnés (la déviation et la valeur crête à crête de la tension, les coefficients d'asymétrie et de déséquilibre) sont normalement déterminés suivant les composants symétriques des tensions de séquences positive U_+ , négative U_- et nulle U_o , dont les valeurs complexes s'expriment par l'intermédiaire des valeurs complexes des tensions de phase ($\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$) de la manière suivante :

$$\dot{U}_+ = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \bar{a}\, \dot{U}_B + \bar{a}^2\, U_C),$$

$$\dot{U}_- = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \bar{a}^2\, \dot{U}_B + \bar{a}\, \dot{U}_C),$$

$$U_o = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) ,$$

où $\bar{a} = e^{j2\pi/3}$ est l'opérateur de rotation.

On connaît actuellement les techniques suivantes de sélection des composantes symétriques de la tension : par filtrage, par calcul, par conversion du système triphasé en polyphasé, et par modulation.

La technique du filtrage est basée sur l'utilisation de filtres des composantes symétriques, dans lesquels on opère à l'aide de différents circuits déphaseurs en vue de déphaser les tensions et d'en obtenir la somme de façon à pouvoir réaliser les fonctions de transformation qui sont indispensables pour l'obtention des composantes symétriques.

L'un des inconvénients principaux de ces filtres consiste en ce que les réactances des éléments constituants ou composants sont fonction de la fréquence. C'est la raison pour laquelle tout écart de la fréquence du secteur de sa valeur nominale entraîne des erreurs de mesure complémentaires. Un autre inconvénient se traduit par l'effet que les harmoniques supérieurs ont sur le signal de sortie. Il est en principe possible de remédier à ces inconvénients à l'aide d'un grand nombre de circuits mis au point à cet effet, mais on a alors à faire face à une

brusque augmentation du temps de transformation, ce qui empêche la mesure des paramètres des processus rapides dont les secteurs de courant triphasé sont normalement le siège (déviation crête à crête des tensions, par exemple).

La technique des calculs envisage de déduire les valeurs des composantes symétriques en partant des résultats fournis par la mesure des tensions linéaires ou de phase et, parfois même, des angles de déphasage des tensions. Cependant, dans la pratique, cette technique n'a pas trouvé une large application à cause du grand nombre de mesures et de calculs à exécuter.

La technique de conversion du système triphasé en polyphasé consiste à convertir symétriquement le système de tensions triphasées en un système de tensions à m phases, qu'on soumet par la suite au redressement à l'aide d'un redresseur polyphasé. On opère ensuite de manière à séparer du spectre de la tension redressée l'harmonique de la fréquence double du secteur, dont l'amplitude est proportionnelle à la tension de séquence négative, et la composante continue qui est proportionnelle à la tension de séquence positive.

Compte tenu du fait que la suppression des harmoniques supérieurs, de même que la séparation du deuxième harmonique et de la composante continue, nécessite l'emploi de filtres sélectifs et épurateurs, cette technique s'avère inapplicable au niveau des appareils rapides pour la mesure des composantes symétriques. Il existe d'autre part une série de limites imposées par la conception des éléments constituant les appareils utilisant la technique en question, ces limites nuisant à la précision de mesure des composantes symétriques.

La technique de modulation (voir certificat d'auteur URSS N° 374557) consiste à établir la moyenne des produits des tensions linéaires ou de phase et des tensions de référence ayant la même fréquence, qui forment un système symétrique de tensions triphasés, l'ordre de succession des phases coïncidant, dans ce système, avec

l'ordre de succession des phases dans la composante symétrique à mesurer. En modifiant l'angle de déphasage des tensions de référence, on peut obtenir le maximum de la valeur propre au paramètre de sortie qui est proportionnel à la composante symétrique dont on opère la mesure.

L'un des inconvénients principaux de cette technique réside dans la basse précision de mesure des composantes symétriques. Ceci résulte du fait que l'enregistrement des résultats de mesure s'opère lorsque les indications des appareils sont maximales, de sorte qu'il est difficile d'identifier la valeur exacte du maximum et, par conséquent, de déphaser convenablement les impulsions de commande. Lorsque l'asymétrie du système de tensions polyphasées change de caractère, l'angle de déphasage des composantes symétriques change lui-aussi, ce qui conduit à une altération de l'ajustage et par conséquent de la précision de mesure.

Les tensions de séquence symétrique du secteur polyphasé sont normalement déterminées suivant les premiers harmoniques des tensions d'entrée. Cependant, lors de la multiplication entre eux des signaux polyharmoniques constitués par les tensions d'entrée et les impulsions de commande, on assiste à une séparation des composantes continues des tensions, qui sont proportionnelles à la somme des produits des amplitudes et du cosinus de l'angle de déphasage des harmoniques respectifs desdits signaux. Ces composantes continues des tensions, qui résultent des harmoniques supérieurs présents dans les spectres des signaux facteurs, constituent une source d'erreur supplémentaire.

Ce procédé connu est d'autre part assez compliqué : il est nécessaire de réajuster l'ordre de succession des impulsions de commande chaque fois qu'on procède à la mesure d'une autre composante symétrique. Ce procédé utilise un système auxiliaire à m impulsions de commande, où m est le nombre de phases dans le système de tensions polyphasé soumis à l'examen. Il est en outre nécessaire de maintenir

constant l'angle de déphasage desdites impulsions de commande, cet angle devant être égal à $2\pi/m$, ce qui est techniquement très difficile à réaliser. Le réglage de l'angle de déphasage des impulsions de commande et l'assimilation des indications maximales des appareils de mesure présentent eux aussi toute une série de difficultés.

L'invention vise donc un procédé de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé et un dispositif pour la mise en oeuvre dudit procédé, qui permettraient de séparer les composantes orthogonales de séquences symétriques et, par là même, d'élever la rapidité et la précision de mesure des composantes symétriques des tensions dudit secteur.

Le problème ainsi posé est résolu à l'aide d'un procédé de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé, du type consistant à former des signaux de référence, à multiplier leurs valeurs momentanées par les valeurs momentanées des tensions de phase et à établir la moyenne des produits obtenus, caractérisé, selon l'invention, en ce que les signaux de référence sont fournis sous forme d'un système de deux signaux sinusoïdaux orthogonaux, et que, une fois ladite moyenne établie, on procède à l'addition des valeurs moyennes des produits avec les coefficients de pondération respectifs en vue de séparer les composantes orthogonales de séquences symétriques, suivant lesquelles on évalue les paramètres des composantes symétriques des tensions du secteur considéré.

Le fait que les signaux de référence utilisés dans ce procédé se présentent sous forme d'un système de deux signaux sinusoïdaux orthogonaux permet d'améliorer la précision de mesure, car l'influence des harmoniques supérieurs est exclue. D'autre part, les résultats de mesure obtenus en conformité avec ce procédé ne sont pas fonction de l'angle de déphasage du système de signaux de référence par rapport au système de tensions du secteur polyphasé à mesurer. Les opérations constituant le procédé sont facilement réalisables pendant une seule période du

secteur, ce qui permet d'évaluer les paramètres du secteur tels que les variations de tension et d'enregistrer les processus qui ont lieu dans les périodes précédant les pannes. Du fait que les résultats de mesure se présentent sous forme de composantes orthogonales, on a la possibilité d'évaluer les rapports entre les composantes symétriques de tension au niveau des phases.

Suivant un autre mode de réalisation du procédé conforme à l'invention, les valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux de référence peuvent être fournies sous forme d'un code de leurs échantillons prélevés à des moments équidistants sur une période de tension du secteur polyphasé.

Ce mode de réalisation permet d'élever la précision de mesure du fait que les signaux de référence se présentent alors sous forme de codes et que les opérations proprement dites de multiplication et de prise de moyenne sont exécutées sous forme numérique et avec une précision très élevée. En ce cas, les erreurs de mesure ne sont fonction que des erreurs survenues lors de la conversion en code des échantillons de valeurs momentanées des tensions de phase. Du fait que l'échantillonnage des tensions de phase et des signaux de référence s'opère à des instants équidistants sur la période(c'est-à-dire, les valeurs actuelles de leurs phases étant fixes et égales à $\frac{2\pi}{N}n$), les erreurs causées par les déviations de la fréquence de sa valeur nominale sont exclues.

Le problème exposé plus haut est d'autre part résolu à l'aide d'un dispositif servant à mettre en oeuvre le procédé revendiqué, qui comporte un commutateur ayant des entrées en nombre égal à celui des phases du secteur polyphasé et reliées chacune à la phase respective de ce secteur, un multiplicateur de fréquence dont l'entrée est branchée sur l'une des phases dudit secteur et dont la fonction est de convertir la période de tension de cette phase en une suite d'impulsions, ainsi qu'un convertisseur tension-code, un bloc de commande et un organe de calcul

dont le signal de sortie fournit des renseignements sur les paramètres des composantes symétriques, les sorties dudit bloc de commande étant reliées aux entrées de commande respectives du commuateur, du convertisseur tension-code et de l'organe de calcul reliés en série entre eux, tandis que son entrée est reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence.

La partie du dispositif proposé qui est destinée à effectuer les mesures est simplifiée au maximum. Elle ne comporte que le commutateur, le convertisseur tension-code, le multiplicateur de fréquence et le bloc de commande.

Toutes les opérations relatives au traitement des valeurs codées des échantillons des tensions de phase sont exécutées dans l'organe de calcul suivant un programme strictement défini.

Il est rationnel que le dispositif conforme à l'invention comporte en outre une mémoire analogique servant à mémoriser les échantillons des valeurs momentanées des tensions de phase quand un signal attaque son entrée de commande, qui est reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence, et à relier électriquement les entrées du commutateur aux phases correspondantes du secteur polyphasé.

Le fait de recourir à cette mémoire analogique permet d'éviter les erreurs de caractère dynamique qui ont lieu normalement dans le convertisseur tension-code lors de la conversion en code des tensions de phase en cours de variation.

Suivant un autre mode de réalisation, le bloc de commande comprend un organe synchroniseur dont une première et une deuxième sortie sont les sorties dudit bloc de commande et sont reliées respectivement au convertisseur tension-code et à l'organe de calcul, un compteur d'impulsions et, branché sur celui-ci, un organe d'identification du numéro de phase dont les sorties d'information constituent les sorties du bloc de commande reliées au commutateur, l'entrée du compteur d'impulsions étant réunie avec l'entrée de l'organe synchroniseur et jouant le rôle d'entrée du

bloc de commande.

Il est rationnel de recourir à un tel bloc de commande lorsque les tensions de phase varient suivant des fonctions proches de fonctions périodiques, la rapidité du convertisseur tension-code et de l'organe de calcul restant alors la même et le nombre d'échantillonnages par période pouvant être augmenté, ce qui favorise dans une grande mesure la précision de mesure des composantes symétriques des tensions (car les composantes aléatoires d'erreur diminuent et le numéro des harmoniques supérieurs qui commencent à influencer le résultat de la mesure augmente).

Il est d'autre part possible que le bloc de commande comporte, reliés en série, une bascule dont une entrée est l'entrée du bloc de commande, un générateur déclenché, un organe d'identification du numéro de phase dont une sortie supplémentaire est reliée à une autre entrée de la bascule, ainsi qu'un organe synchroniseur dont une première et une deuxième sortie constituent les sorties du bloc de commande, reliées respectivement au convertisseur tension-code et à l'organe de calcul, et dont l'entrée est réunie à l'entrée de l'organe d'identification du numéro de phase, les sorties de celui-ci étant les sorties du bloc de commande reliées au commutateur.

Le bloc de commande réalisé comme décrit est utilisé avantageusement lorsque les courbes d'enveloppe des tensions de phases varient dans le temps, par exemple lors de variations de tension. Ce bloc de commande permet de synchroniser le fonctionnement du commutateur, du convertisseur tension-code et de l'organe de calcul de manière que toutes les informations sur les échantillons de valeurs momentanées soient fournies pendant une seule période. Ceci permet à son tour d'élever la précision de mesure grâce à l'élimination de toutes les erreurs de caractère dynamique dues à la non simultanéité des opérations visant à déterminer les composantes orthogonales des tensions de phase. D'autre part, ce mode de réalisation conduit à

une augmentation de la rapidité d'action du dispositif dans son ensemble , car les valeurs des composantes symétriques peuvent être établies pour chaque période.

Suivant l'invention, l'organe de calcul peut comprendre, reliés en série, une première mémoire dont l'entrée constitue l'entrée de l'organe de calcul, un premier multiplicateur, un premier additionneur cumulatif, une deuxième mémoire, un deuxième multiplicateur, un deuxième additionneur cumulatif et un convertisseur fonctionnel dont la sortie constitue la sortie de l'organe de calcul, celui-ci pouvant comprendre en outre un bloc de commande ainsi qu'une première et une deuxième mémoire inaltérables servant à emmagasiner respectivement les échantillons des valeurs momentanées des signaux de référence et les coefficients de pondération, les sorties desdites mémoires inaltérables étant reliées respectivement aux autres entrées du premier et du deuxième multiplicateur, ledit bloc de commande ayant des sorties auxquelles sont reliées respectivement les entrées de synchronisation d'enregistrement et les fils d'adresse de la première et de la deuxième mémoire, les fils d'adresse de la première et de la deuxième mémoire inaltérables, les entrées de remise à zéro et les entrées de synchronisation du premier et du deuxième additionneur et, d'autre part, l'entrée de synchronisation d'enregistrement et l'entrée de démarrage du convertisseur fonctionnel, l'entrée de démarrage du bloc de commande faisant fonction d'entrée de commande de l'organe de calcul.

Ce mode de réalisation de l'organe de calcul, suivant lequel les valeurs codées des échantillons des tensions de phase sont d'abord mises en mémoire pour être ensuite traitées suivant un algorithme bien déterminé, présente les avantages suivants :

1.) la structure de ce bloc est optimisée en conformité avec le but à atteindre (détermination des paramètres de qualité de l'énergie électrique), ce qui permet de contribuer à la rapidité du dispositif tout entier;

2) les opérations d'enregistrement des échantillons codés des tensions de phase dans la mémoire et de traitement de leurs valeurs sont séparées, ce qui permet de supprimer les pertes de temps liées aux interruptions du fonctionnement du bloc de calcul.

Suivant un autre mode de réalisation du dispositif de l'invention, le bloc de commande comporte un organe d'identification du numéro de phase, dont les sorties constituent les sorties du bloc de commande, reliées au commutateur, et dont l'entrée constitue l'entrée de ce bloc, et un organe synchroniseur dont une première sortie constitue la sortie du bloc de commande reliée au convertisseur tension-code, une deuxième sortie constitue une autre sortie dudit bloc, tandis que l'entrée est réunie à l'entrée de l'organe d'identification du numéro de phase, le bloc de calcul comprenant, reliés en série, un premier multiplicateur dont l'entrée constitue l'entrée de l'organe de calcul, un premier additionneur, une mémoire de travail, une mémoire, un deuxième multiplicateur, un deuxième additionneur cumulatif et un convertisseur fonctionnel dont la sortie constitue la sortie dudit organe de calcul, celui-ci comportant son propre bloc de commande ainsi qu'une première et une deuxième mémoire inaltérables servant à mémoriser les échantillons des valeurs momentanées des signaux de référence et des coefficients de pondération, respectivement, les sorties desdites mémoires inaltérables étant connectées, respectivement, aux autres entrées du premier et du deuxième multiplicateur, la sortie de la mémoire de travail étant aussi reliée à une autre entrée du premier additionneur, le bloc de commande faisant partie de l'organe de calcul ayant des sorties respectives auxquelles sont connectés les fils d'adresse de la première et de la deuxième mémoire inaltérables, l'entrée de synchronisation du premier additionneur, l'entrée de synchronisation d'enregistrement et l'entrée de remise à zéro de la mémoire de travail, l'entrée de synchronisation d'enregistrement et les fils d'adresse

de la mémoire, l'entrée de synchronisation et l'entrée de remise à zéro du deuxième additionneur cumulatif, ainsi que l'entrée de démarrage du convertisseur fonctionnel, les fils d'adresse de la mémoire de travail étant reliés aux fils d'adresse des digits de poids inférieur de la première mémoire inaltérable et l'entrée de démarrage de ce bloc de commande faisant fonction d'entrée de commande de l'organe de calcul.

Un tel mode de réalisation du dispositif présente l'avantage d'une grande rapidité d'action, du fait que le bloc de commande et l'organe de calcul, tels qu'ils sont décrits plus haut, permettent de traiter les échantillons codés, relatifs aux valeurs momentanées des tensions de phase, à une échelle de temps réelle.

Un autre mode de réalisation du dispositif est caractérisé en ce que celui-ci comporte en outre un générateur de signaux échantillons, destiné à former des systèmes de tension symétriques de séquences positive, négative et nulle, un organe correcteur relié à la sortie de l'organe de calcul et un sélecteur commandé servant à relier à tour de rôle les sorties du générateur de signaux échantillons et les tensions de phase du secteur polyphasé aux entrées correspondantes du commutateur ou de la mémoire analogique en conformité avec les signaux attaquant les entrées de commande de ce sélecteur et provenant des sorties de commande de l'organe correcteur, la sortie informatrice de l'organe correcteur faisant fonction de sortie du dispositif , à laquelle est appliquée l'information sur les valeurs compensées des paramètres caractérisant les composantes symétriques à mesurer.

Le fait de recourir au calibrage à l'aide de signaux échantillons qui se présentent sous forme de systèmes de tension de séquence positive, négative et nulle, permet d'élever la précision de mesure des composantes symétriques. Ceci est dû à ce que la détermination des coefficients de transmission du dispositif, selon les paramètres de caractère informatif et non informatif,

permet d'identifier les valeurs réelles des composantes symétriques des tensions.

En ce qui concerne l'organe correcteur, celui-ci peut comprendre un définisseur de facteurs de correction, une mémoire de travail dont l'entrée est reliée à la sortie dudit définisseur de facteurs de correction, un multiplicateur dont une première entrée est réunie à l'entrée du définisseur de facteurs de correction et constitue l'entrée de l'organe de correction, tandis que sa deuxième entrée est reliée à la sortie de la mémoire de travail, ledit organe correcteur pouvant d'autre part comprendre un additionneur cumulatif dont l'entrée est reliée à la sortie du multiplicateur, tandis que sa sortie constitue la sortie d'information de l'organe correcteur, qui comprend en outre son propre bloc de commande dont trois premières sorties sont reliées respectivement aux entrées de commande du définisseur de facteurs de correction, de la mémoire de travail et de l'additionneur cumulatif, tandis que ses autres sorties constituent les sorties de commande dudit organe correcteur.

L'organe correcteur conforme à ce mode de réalisation permet de réduire à un minimum les dépenses de temps nécessaires pour un cycle de mesure, du fait que les facteurs de correction qui sont définis d'après les résultats du calibrage par les signaux échantillons peuvent être établis périodiquement (par exemple, une fois pour chaque 10 ou 100 cycles de mesure, ou bien une fois par minute ou toutes les 10, 60 minutes, etc.).

On peut aussi envisager un autre mode de réalisation, suivant lequel l'organe correcteur est en outre muni d'un bloc indicateur de défauts ayant son entrée reliée à la sortie du définisseur de facteurs de correction et comprenant, reliés en série, un circuit comparateur de codes et un indicateur.

Ce mode de réalisation permet de diagnostiquer l'ensemble du dispositif, car tout dépassement du coefficient de transmission suivant les paramètres non

informatifs par rapport à une certaine valeur prédéterminée témoigne d'un défaut survenu dans le dispositif.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs avec références aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente le schéma structural d'un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention;
- les figures 2 et 3 représentent différents modes de réalisation du dispositif conforme à l'invention;
- la figure 4 représente le schéma fonctionnel d'algorithme relatif aux calculs des composantes symétriques;
- la figure 5 représente un schéma fonctionnel d'algorithme illustrant l'opération A de la figure 4;
- la figure 6 représente un schéma fonctionnel d'algorithme illustrant l'opération B de la figure 4;
- la figure 7 représente un schéma fonctionnel d'algorithme illustrant l'opération C de la figure 4;
- la figure 8 représente un schéma fonctionnel d'algorithme illustrant l'opération D de la figure 4;
- les figures 9, 10, 11 représentent différents modes de réalisation du bloc de commande du dispositif conforme à l'invention;
- les figures 12 et 13 représentent différents modes de réalisation de l'organe de calcul du dispositif conforme à l'invention;
- la figure 14 représente le mode de réalisation du dispositif conforme à l'invention dans lequel est réalisé un calibrage par signaux échantillons;
- la figure 15 (a,b,c) représente un diagramme temporel illustrant le procédé conforme à l'invention;
- la figure 16 (a,b,c,d,e,f,g) représente un diagramme temporel illustrant le fonctionnement du bloc de commande de la figure 9;

- la figure 17 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,) représente un diagramme temporel illustrant le fonctionnement du bloc de commande de la figure 10;

- la figure 18 (a,b,c,d,e,f,g,h,i) représente un diagramme temporel illustrant le fonctionnement du bloc de commande de la figure 11.

Le procédé selon l'invention pour la mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé consiste à former d'abord des signaux de référence qui, suivant l'invention, se présentent sous forme d'un système de deux signaux sinusoïdaux orthogonaux, ensuite on multiplie entre elles les valeurs momentanées desdits signaux et les valeurs momentanées des tensions de phase, après quoi on obtient les valeurs moyennes des produits résultants. Selon l'invention, on sépare les composantes orthogonales des séquences symétriques en additionnant les valeurs moyennes obtenues aux coefficients de pondération respectifs, ces composantes orthogonales servant à évaluer les paramètres des composantes symétriques , par exemple : amplitude, angle de déphasage, amplitude complexe, et autres.

On sait que les composantes symétriques d'un secteur polyphasé de tensions sinusoïdales se déterminent en partant des expressions :

$$\left.\begin{aligned}
m\dot{U}_0^* &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 + \ldots + \dot{U}_m \,, \\
m\dot{U}_1^* &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2\bar{a}^{1.1} + \dot{U}_3\bar{a}^{1.2} + \ldots + \dot{U}_m\bar{a}^{1.(m-1)} \,, \\
m\dot{U}_2^* &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2\bar{a}^{2.1} + \dot{U}_3\bar{a}^{2.2} + \ldots + \dot{U}_m\bar{a}^{2.(m-1)} \,, \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
m\dot{U}_{m-1}^* &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2\bar{a}^{(m-1).1} + \dot{U}_3\bar{a}^{(m-1).2} + \\
&\qquad + \ldots + \dot{U}_m\bar{a}^{(m-1)(m-1)}
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

où : $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3, \ldots, \dot{U}_m$ sont les valeurs complexes des tensions de phase d'un secteur à m phases :

$\dot{U}_0^*, \dot{U}_1^*, \dot{U}_2^*, \ldots, \dot{U}_{m-1}^*$ sont les valeurs complexes des composantes symétriques des tensions de séquences, respectivement, nulle, première, deuxième, ... (m - 1);

$\bar{a} = e^{j2\pi/m}$ est l'opérateur de rotation.

Les expressions (1) peuvent être représentées, avec plus de commodité, d'une manière généralisée :

$$\dot{U}_S^* = \frac{1}{m} \sum_{F=1}^{m} \dot{U}_F \, \bar{a}^{S(F-1)} , \qquad (2)$$

où S est le numéro de la composante symétrique du secteur polyphasé, S = 0,1,2, ... (m-1);

F est le numéro de la tension de phase.

Le cas particulier du secteur polyphasé est celui d'un secteur triphasé, pour lequel m = 3. En introduisant les références des tensions de phase "A", "B", "C" et celles des composantes symétriques "0", "+", "-", respectivement, de séquence nulle, positive et négative (m étant égal à 3), les expressions (1) prendront la forme suivante :

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_0 &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \\ \dot{U}_+ &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B \bar{a} + \dot{U}_C \bar{a}^2) \\ \dot{U}_- &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B \bar{a}^2 + \dot{U}_C \bar{a}) \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

On va maintenant examiner le procédé proposé en prenant comme exemple un secteur triphasé. La figure 15 montre les diagrammes temporels illustrant la variation des tensions de phase U_A, U_B , U_C, qui sont représentés par des lignes continues.

Dans un intervalle de temps $[t_1-T; t_1]$ égal à la durée de la période de l'une des tensions, par exemple de la tension U_A, les tensions de phase U_A, U_B, U_C peuvent être représentées sous forme de séries de Fourier :

$$\left.\begin{aligned} U_A &= \sum_{k=1}^{\infty} U_{MAK} \sin \left(\frac{2\pi}{T} kt + \Psi_{AK}\right) , \\ U_B &= \sum_{k=1}^{\infty} U_{MBK} \sin \left(\frac{2\pi}{T} kt + \Psi_{BK}\right) , \\ U_C &= \sum_{k=1}^{\infty} U_{MCK} \sin \left(\frac{2\pi}{T} kt + \Psi_{CK}\right) , \end{aligned}\right. \qquad (4)$$

où U_{MFK} est l'amplitude;
Ψ_{FK} est la phase initiale du $K^{ème}$ harmonique de tension de la phase "F", F prenant la valeur de A, B, C.

A ces séries de Fourier correspondent les courbes périodiquement variables, représentées sur la figure 15 par des lignes tiretées qui ne coïncident avec les variations réelles des tensions de phase U_A, U_B, U_C que dans l'intervalle de temps $[t_1-T;\ t_1]$.

En conformité avec le procédé de l'invention, les valeurs momentanées des tensions de phase U_F (où F prend la valeur de A, B, C dans le cas d'un secteur triphasé, et de 1, 2, 3 ,... m , dans le cas d'un secteur polyphasé) doivent être multipliées, dans l'intervalle de temps $[t_1-T;\ t_1]$, par les valeurs des signaux sinusoïdaux $\sin\frac{2\pi}{T}t$, $\cos\frac{2\pi}{T}t$. Les valeurs moyennes de ces produits étant établies, on obtient des composantes orthogonales a_F type cosinus et b_F type sinus du premier harmonique des tensions de phase U_F, qui sont comme suit :

$$\left.\begin{aligned} a_F &= \frac{2}{T}\int_{t_1-T}^{t_1} U_F \cos\frac{2\pi}{T}t\ dt, \\ b_F &= \frac{2}{T}\int_{t_1-T}^{t_1} U_F \sin\frac{2\pi}{T}t\ dt. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

En substituant, dans les expressions (5), la tension de phase "F" on obtient :

$$U_F = \sum_{k=1}^{\infty} U_{MFK} \sin\left(\frac{2\pi}{T}kt + \Psi_{FK}\right) \qquad (6)$$

Après avoir calculé les intégrales et supposé que t_1 est multiple de T, on obtient :

$$\left.\begin{aligned} a_F &= U_{MF_1} \sin\Psi_{F_1} \\ b_F &= U_{MF_1} \cos\Psi_{F_1} \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Il est facile de s'apercevoir que les composantes a_F et b_F constituent la projection du vecteur de l'amplitude complexe du premier harmonique de tension de phase "F" de valeur $\dot{U}_{MF1}$, sur les axes imaginaire et réel du plan complexe, c'est-à-dire :

$$\dot{U}_{MF1} = b_F + j\, a_F. \tag{8}$$

En supposant que l'opérateur de phase $\bar{a}$ est la somme de ses parties réelle et imaginaire, on a :

$$\bar{a} = e^{j\frac{2\pi}{m}} = \cos\frac{2\pi}{m} + j \sin\frac{2\pi}{m}\ , \tag{9}$$

Alors, la valeur $\bar{a}^{S(F-1)}$ dans l'expression (2) sera:

$$\bar{a}^{S(F-1)} = e^{j\frac{2\pi}{m}S(F-1)} = \cos\frac{2\pi}{m}S(F-1) + j \sin\frac{2\pi}{m}S(F-1)\ . \tag{10}$$

Les expressions (8) et (10) étant intégrées dans l'expression (2), on obtient la valeur complexe de l'amplitude du premier harmonique de la composante symétrique de $S^{ème}$ séquence :

$$\dot{U}_s^* = \frac{1}{m}\sum_{F=1}^{m} (b_F + ja_F)\left[\cos\frac{2\pi}{m}S(F-1) + j \sin\frac{2\pi}{m}S(F-1)\right] \tag{11}$$

Après avoir divisé l'expression (11) en parties réelle et imaginaire, on obtient des composantes orthogonales type sinus b_s^* et type cosinus a_s^* de $S^{ème}$ séquence :

$$\dot{U}_s^* = b_s^* + ja_s^*\ , \tag{12}$$

où :

$$a_s^* = \sum_{F=1}^{m} a_F\frac{\cos\frac{2\pi}{m}S(F-1)}{m} + \sum_{F=1}^{m} b_F\frac{\sin\frac{2\pi}{m}S(F-1)}{m}\ ,$$

$$b_s^* = \sum_{F=1}^{m} b_F\frac{\cos\frac{2\pi}{m}S(F-1)}{m} - \sum_{F=1}^{m} a_F\frac{\sin\frac{2\pi}{m}S(F-1)}{m} \tag{13}$$

Les expressions (13) font ressortir que les composantes orthogonales de séquences symétriques du secteur polyphasé s'obtiennent par addition des coefficients de pondération aux composantes orthogonales des tensions de phase, qui, à leur tour, s'obtiennent par la prise des valeurs moyennes des produits résultant de la multiplication, entre elles, des valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux orthogonaux de référence.

L'information sur les composantes orthogonales de séquences symétriques de la tension est celle de départ pour la détermination des paramètres des composantes symétriques caractérisant les tensions ou les courants d'un secteur polyphasé. L'expression (12) permet, par exemple, de déduire leurs valeurs complexes, tandis que l'amplitude et l'angle de déphasage peuvent être déterminés à partir des expressions suivantes :

$$U^*_{MS} = \sqrt{(a^*_s)^2 + (b^*_s)^2}\ , \tag{14}$$

$$\Psi_S = \operatorname{arctg}\left(\frac{a^*_s}{b^*_s}\right)\ . \tag{15}$$

On va maintenant examiner les formules servant à déterminer les composantes orthogonales des tensions de séquence positive, négative et nulle d'un secteur triphasé. Pour m=3 et les valeurs S=0, 1, 2, qui correspondent aux tensions de séquences nulle, positive et négative, les expressions (13) prennent les formes :

$$\left.\begin{aligned}
a_o &= \tfrac{1}{3}\,a_A + \tfrac{1}{3}\,a_B + \tfrac{1}{3}\,a_C\ ,\\
b_o &= \tfrac{1}{3}\,b_A + \tfrac{1}{3}\,b_B + \tfrac{1}{3}\,b_C\ ,\\
a_+ &= \tfrac{1}{3}\,a_A - \tfrac{1}{6}\,a_B - \tfrac{1}{6}\,a_C + \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,b_B - \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,b_C\ ,\\
b_+ &= \tfrac{1}{3}\,b_A - \tfrac{1}{6}\,b_B - \tfrac{1}{6}\,b_C - \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,a_B + \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,a_C\\
a_- &= \tfrac{1}{3}\,a_A - \tfrac{1}{6}\,a_B - \tfrac{1}{6}\,a_C - \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,b_B + \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,b_C\ ,\\
b_- &= \tfrac{1}{3}\,b_A - \tfrac{1}{6}\,b_B - \tfrac{1}{6}\,b_C + \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,a_B - \tfrac{\sqrt{3}}{6}\,a_C\ .
\end{aligned}\right\} \tag{16}$$

Comme on l'a déjà fait remarquer plus haut, en partant des valeurs effectives des composantes symétriques caractérisant la fréquence fondamentale des tensions d'un secteur triphasé, on peut déterminer les paramètres de qualité de l'énergie électrique. Ainsi, la déviation ΔV et les variations des tensions, les coefficients d'asymétrie ξ_2 et de déséquilibre ξ_o des tensions d'un secteur triphasé peuvent être déterminés, suivant les tensions de séquences positive, négative et nulle, de la manière suivante :

$$\Delta V = \left(\frac{U_+}{U_H} - 1\right)100\% = \left(\frac{\sqrt{a_+^2 + b_+^2}}{\sqrt{2}\ U_H} - 1\right)100\%, \qquad (17)$$

$$\xi_2 = \frac{U_-}{U_H}\ 100\% = \frac{\sqrt{a_-^2 + b_-^2}}{\sqrt{2}\ U_H}\ 100\%\ , \qquad (18)$$

$$\xi_o = \frac{H_0}{U_H}\ 100\% = \frac{\sqrt{a_o^2 + b_o^2}}{2\ U_H}\ 100\%, \qquad (19)$$

où U_H est la valeur nominale de la tension du secteur.

Le procédé faisant l'objet de l'invention peut être mis en oeuvre à l'aide du dispositif représenté sur la figure 1.

Le dispositif en question comporte des multiplicateurs 1, 2, 3 , ... 6, des intégrateurs 7,8 ... 12 servant à obtenir les moyennes des valeurs momentanées des tensions, des convertisseurs additionneurs à échelle 13, 14 ... 18, un générateur 19 de signaux sinusoïdaux orthogonaux et des convertisseurs fonctionnels 20, 21 et 22.

Les multiplicateurs 1-6 présentent chacun deux entrées dont la première est attaquée par les tensions de phase et la deuxième par les signaux de référence en provenance du générateur 19. Les premières entrées des multiplicateurs 1, 2 sont branchées sur la barre "A" , les premières entrées des multiplicateurs 3, 4 le sont sur la barre "B" et les premières entrées des multiplicateurs 5, 6

le sont sur la barre "C". Les deuxièmes entrées des multiplicateurs 1, 3, 5 sont reliées à une première sortie 23 du génarateur 19, tandis que les deuxièmes entrées des multiplicateurs 2, 4, 6 le sont sur la deuxième sortie 24.

Les sorties des multiplicateurs 1-6 sont reliées aux entrées des intégrateurs, respectivement, 7-12.

Les sorties des intégrateurs 7-12 sont connectées aux entrées respectives des convertisseurs additionneurs à échelle 13-18. L'ordre de connexion des intégrateurs aux entrées des convertisseurs 13 à 18 et les coefficients de transmission propres à ces entrées sont déterminés par les expressions (16). Par exemple, les entrées du convertisseur additionneur 15, dont la sortie fournit la composante type cosinus a_+ de la tension de séquence positive, sont connectées aux entrées des intégrateurs 7, 9, 11, 10, 12, aux sorties desquels se présentent des signaux proportionnels aux valeurs a_A, a_B, a_C, b_B, b_C, tandis que les coefficients de transmission propres à ces entrées sont respectivement égaux à 1/3, -1/6, -1/6, $\sqrt{3}/6$, $-\sqrt{3}/6$, comme il découle de l'expression (16) pour les termes d'addition constituant la valeur a_+.

Les sorties des convertisseurs 13 à 18 sont des sorties d'information sur lesquelles sont prélevés des signaux proportionnels aux composantes orthogonales, type cosinus et sinus, de séquences symétriques des tensions. D'autre part, les sorties des intégrateurs 13, 14 sont reliées aux entrées du convertisseur fonctionnel 20, les sorties des intégrateurs 15, 16 sont reliées aux entrées du convertisseur fonctionnel 21 et les sorties des intégrateurs 17 et 18 sont connectées aux entrées du convertisseur fonctionnel 22.

Les convertisseurs fonctionnels 20, 21, 22 servent à réaliser la fonction d'extraction de la racine carrée à partir de la somme des carrés des valeurs d'entrée.

Le dispositif qui vient d'être décrit fonctionne de la manière suivante.

Les sorties 23 et 24 du générateur 19 produisent

des signaux sinusoïdaux orthogonaux, respectivement, $\cos \frac{2\pi}{T} t$ et $\sin \frac{2\pi}{T} t$. Dans les multiplicateurs 1 à 6, ces signaux sont multipliés par les valeurs momentanées des tensions de phase, Les signaux de sortie provenant des multiplicateurs 1 à 6 sont ensuite traités dans les intégrateurs 7 à 12, respectivement, de manière à obtenir leur moyenne.

Les signaux qui se présentent aux sorties des intégrateurs 7 à 12 sont décrits par les expressions (5) et sont égaux respectivement aux valeurs a_A, b_A, a_B, b_B, a_C, b_C , ces valeurs étant les composantes type cosinus et sinus des tensions de phase. Les signaux de sortie des intégrateurs 7 à 12 arrivent aux entrées respectives des convertisseurs additionneurs à échelle 13 à 18. L'organisation des signaux d'entrée et la valeur des coefficients de transmission, propres à chacune de ces entrées, sont entièrement définies par les expressions (16). Il en résulte que les signaux de sortie des convertisseurs 13 à 18 sont égaux aux valeurs a_o, b_o, a_+, b_+, a_-, b_- , c'est-à-dire aux composantes type cosinus et sinus des tensions de séquences nulle, positive et négative.

Les composantes type cosinus et sinus de séquences analogues arrivent aux entrées des convertisseurs fonctionnels respectifs 20, 21 et 22, dont les sorties fournissent des signaux proportionnels aux amplitudes des tensions de séquences positive, négative et nulle, comme il résulte de l'expression (14).

Le procédé de mesure des composantes symétriques d'un secteur polyphasé conforme à l'invention offre les avantages suivants :

1) rapidité élevée, due à ce que les composantes orthogonales de séquences symétriques peuvent être déterminées pendant une seule période, du fait que les valeurs moyennes des produits résultant de la multiplication des valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux de référence, peuvent être obtenues dans un intervalle de temps $[t_1-T; t_1]$ égal à une période des tensions;

2) précision de mesure élevée due au caractère sinusoïdal des signaux de référence qui permet d'éliminer l'effet nuisible des harmoniques supérieurs. D'autre part, le caractère orthogonal des signaux de référence (c'est-à-dire leur déphasage de $\frac{\pi}{2}$) l'un par rapport à l'autre peut être obtenu et conservé avec une plus grande précision qu'un déphasage de $\frac{2\pi}{m}$ (voir le système de signaux de référence dans le dispositif connu), ce qui contribue aussi à diminuer les erreurs de mesure;

3) larges possibilités fonctionnelles, car quel que soit le nombre de phases m, le système de signaux de référence ne se compose que de deux signaux, et non pas de m signaux. Ceci permet de modifier le schéma de connexion des sorties des intégrateurs 7 à 12 aux entrées des convertisseurs 13 à 18, ainsi que les coefficients de transmission propres aux entrées desdits convertisseurs, de sorte que le dispositif s'adapte facilement à la mesure des composantes symétriques dans des secteurs à nombre de phases différent.

L'un des modes de réalisation du procédé conforme à l'invention consiste à fournir les valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux de référence sous forme d'un code de leurs échantillons à des moments équidistants sur la période de l'une des tensions de phase.

Comme on le sait, si la fonction périodique U(t) ne comporte pas d'harmoniques d'ordre supérieur à N/2, ou bien lorsque les harmoniques d'ordre supérieur ont une amplitude négligeable, on constate une coïncidence entre les coefficients de la série de Fourier complexe résultant de la décomposition de cette fonction dans l'intervalle de temps $\left[t_1-T;\ t_1 \right]$, égaux à $C_k = \frac{1}{T}\int_{t_1-T}^{t_1} U(t)e^{-j\frac{2\pi}{T}kt}dt$ (où K = 0, ±1, ±2, ...), et la transformation discrète de Fourier portant sur les échantillons X_n de cette fonction, prélevés à des moments équidistants $t_1-T+\frac{T}{N}n$ dans l'intervalle $\left[t_1-T;\ t_1 \right]$, (où n=0, 1, ... N-1),

laquelle transformation est :

$$C_K = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j\frac{2\pi}{N} nK}$$

où $K = 0, 1, 2, \ldots, N-1$, étant entendu que C_k dans la première expression (avec K négatif) est égal à C_{N-K} dans la deuxième expression.

Par conséquent, les composantes orthogonales des tensions de phase a_F et b_F, déterminées par les expressions (5) de décomposition de la tension U_F en série de Fourier et la transformation discrète de Fourier portant sur les échantillons des tensions de phase X_{Fn}, prélevés à des moments équidistants sur la période de l'une des tensions, coïncident elles aussi. Pour des raisons de commodité, la transformation discrète de Fourier figure sous forme trigonométrique.

En partant de ce qui vinet d'être dit, les composantes type cosinus a_F et type sinus b_F du premier harmonique des tensions de phase se définissent d'après les expressions :

$$\begin{aligned} a_F &= \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_{Fn} \cos \frac{2\pi}{N} n , \\ b_F &= \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_{Fn} \sin \frac{2\pi}{N} n . \end{aligned} \qquad (20)$$

Les valeurs a_F et b_F étant obtenues, on détermine les composantes type cosinus a_s^* et type sinus b_s^* des tensions du secteur polyphasé, en se servant à cet effet des expressions (13). Pour un secteur triphasé, on peut se servir, tout comme précédemment, des expressions (16).

La figure 15 représente la manière dont on exécute l'échantillonnage des valeurs momentanées des tensions. L'intervalle de temps $[t_1-T;\ t_1]$ doit être divisé en N parties égales $\left[t_1 - T + \frac{T}{N} n;\ t_1-T + \frac{T}{N}(n+1)\right]$, où $n = 0, 1, 2, \ldots N-1$. Aux moments constituant les débuts de ces intervalles, on enregistre les ordonnées des

tensions de phase qu'on transforme ensuite en codes X_{Fn} égaux à $U_F(t_1-T+\frac{T}{N}n)$. Ces codes doivent être traités par la suite en conformité avec les expressions (20), (13), (14).

Les avantages de ce mode de réalisation du procédé de mesure des composantes symétriques consistant en ce que le système de signaux de référence se présente sous forme de codes et que les opérations de multiplication et de prise de moyenne sont exécutées, avec une très haute précision, sous forme numérique. En ce cas, les erreurs de mesure ne sont dues qu'à des erreurs relevant de la transformation des échantillons des valeurs momentanées des tensions en code.

D'autre part, les erreurs dues à l'excursion de la fréquence vis-à-vis de sa valeur nominale sont exclues du fait que l'échantillonnage des tensions de phase et des valeurs des signaux de référence, qui sont multipliés les uns par les autres, sont prélevés à des moments équidistants sur la période, les valeurs momentanées de leurs phases, égales à $\frac{2}{N}n$, étant identiques.

Du fait que le procédé proposé permet de traiter convenablement les signaux sous forme numérique, on a la possibilité de créer différents dispositifs mesureurs des composantes symétriques, conçus sur la base de moyens de calcul numériques dont les avantages sont indiscutables sur le plan de la précision et de la rapidité.

La figure 2 représente l'un desdits dispositifs numériques permettant de réaliser le procédé conforme à l'invention, dans lequel les valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux de référence se présentent sous forme d'un code de leurs échantillons prélevés à des moments équidistants sur la période.

Ce dispositif comporte un commutateur 25, un multiplicateur de fréquence 26, un convertisseur tension-code 27, un bloc de commande 28 et un organe de calcul 29.

Le commutateur 25 a des entrées en nombre égal à celui des phases du secteur polyphasé, chacune desdites

entrées étant attaquée par des signaux proportionnels aux tensions de phase respectives. Le commutateur 25 a lui aussi des entrées de commande en nombre égal à celui des phases du secteur et connectées aux sorties respectives 30 du bloc de commande 28, et une sortie qui, par l'intermédiaire du convertisseur 27, est reliée à l'entrée de l'organe de calcul 29. En présence de signaux aux entrées de commande respectives du commutateur, celui-ci fait passer ces signaux des entrées respectives à l'entrée du convertisseur 27.

Le convertisseur 27 transforme en code la valeur momentanée du signal présent à son entrée, ceci en présence d'un signal provenant de la sortie 31 du bloc de commande 28 et attaquant son entrée de commande.

Une autre sortie 32 du bloc de commande 28 est destinée à produire un signal de démarrage de l'organe de calcul et est reliée à l'entrée de commande de celui-ci.

Comme il ressort de la description ci-dessus, le bloc de commande 28 opère la synchronisation du fonctionnement de tous les éléments constituant le dispositif et, à son tour, se met en jeu en présence d'un signal de sortie provenant du multiplicateur de fréquence 26 qui est branché sur l'une des phases du secteur polyphasé et sert à transformer la période de tension de cette phase en une suite d'impulsions dont la période de succession est de T/N, où T est la période de la tension de phase et N est le nombre d'échantillons des tensions de phase prélevés sur cette période.

L'organe de calcul 29 sert à traiter les codes des valeurs momentanées des tensions de phase en conformité avec les expressions (20), (13) pour déterminer les composantes orthogonales, type cosinus et sinus, de séquences symétriques. En fonction de la destination du dispositif, l'organe de calcul 29 peut se servir des valeurs caractérisant les composantes orthogonales des séquences symétriques pour définir, par exemple, l'amplitude et la phase initiale suivant les expressions (14), (15), ou

bien les paramètres de qualité de l'énergie électrique suivant les expressions (17, (18), (19) , ou encore, les valeurs complexes des composantes symétriques des tensions suivant les expressions (12), etc.

La sortie de l'organe de calcul peut être reliée à n'importe quel dispositif périphérique : tableau d'affichage, perforatrice, imprimante numérique, cumulateur magnétique et autres.

En conformité avec un autre mode de réalisation (voir la figure 3), le dispositif selon l'invention comporte une mémoire analogique 33 ayant des entrées d'information en nombre égal à celui des phases du secteur polyphasé, des sorties d'information reliées aux entrées d'information respectives du commutateur 25, et une entrée de commande reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence 26.

La mémoire analogique est destinée à mémoriser l'échantillon des valeurs momentanées des tensions au moment où son entrée de commande est attaquée par un signal approprié.

L'introduction de la mémoire logique 33 permet d'éliminer les erreurs de caractère dynamique du convertisseur 27, car la tension d'entrée du convertisseur 27 reste alors invariable pendant la transformation tension-code.

Suivant des variantes de réalisation des dispositifs conformes aux figures 2 et 3, ceux-ci comportent un bloc de commande 28 dont le schéma est représenté sur la figure 9. En conformité avec ce mode de réalisation, le bloc de commande 28 comporte un organe synchroniseur 34 dont une première sortie constitue la sortie 31 du bloc de commande 28, qui sert au démarrage du convertisseur 27, tandis que sa deuxième sortie sert de sortie 32 du bloc 28, destinée au démarrage de l'organe 29. L'entrée du bloc de commande 28 est reliée à la sortie du multiplicateur 26. En présence d'un signal approprié à son entrée, l'organe synchroniseur 34 produit un signal de démarrage du convertisseur 27 et un signal de démarrage de l'organe 29. Il est à remarquer que le signal produit par la sortie 32

se présente avec un certain retard par rapport au signal produit par la sortie 31, ce retard étant de valeur plus élevée que le temps opératoire maximal du convertisseur 27.

Le bloc de commande 28 comporte aussi un compteur 35 des impulsions de sortie du multiplicateur 26, dont la sortie de débordement est reliée à un organe 36 d'identification du numéro de phase, tandis que son entrée constitue l'entrée du bloc de commande 28. Les sorties de l'organe 36 servent de sorties 30 du bloc de commande 28.

Le compteur 35 a une capacité égale au rapport de multiplication du multiplicateur 26, et de ce fait, sa sortie de débordement ne produit un signal que lorsque son entrée fonctionnelle est attaquée par N impulsions, c'est-à-dire une fois par période.

L'organe 36 d'identification du numéro de phase est réalisé en sorte que son état de sortie varie après l'arrivée, à son entrée, de chaque signal suivant, son $i^{ème}$ état faisant place à l'état (i+1), et le $m^{ème}$ état faisant place à l'état 1. L'un des modes de réalisation de cet organe 36 est représenté sur la figure 9. Dans ce cas, l'organe 36 d'identification du numéro de phase comporte, reliés en série, un compteur de numéros 37 et un décodeur 38. Le compteur 37, dont l'entrée est reliée à la sortie de débordement du compteur 35, sert au comptage du nombre de périodes à mesurer. L'état de sortie de ce compteur 37 est transformé à l'aide du décodeur 38 en signal de commande qui est appliqué à l'une des entrées de commande du commutateur 25.

Le bloc 28 fonctionne de la manière suivante.

Les impulsions de sortie en provenance du multiplicateur 26 attaquent le compteur 35. Comme mentionné plus haut, le signal de débordement n'apparaît à sa sortie qu'une seule fois à la fin de chaque période de tension. Ce signal attaque le compteur 37 dont l'état de sortie est transformé par le décodeur 38 en un signal de commande qui est transmis des sorties 30 aux entrées de commande du commutateur 25. Le cycle de transformation des échantillons de valeurs momentanées des tensions de phase en code

continue pendant m périodes de tension du secteur, car, lors de la première période, l'entrée du convertisseur tension-code 27 est attaquée par la tension de la phase 1, lors de la deuxième période, par la tension de la phase 2, et ainsi de suite jusqu'à la $m^{ème}$ période, lors de laquelle elle est attaquée par la tension de la phase m. Le démarrage du convertisseur 27 et de l'organe de calcul 29 est assuré par les signaux provenant de l'organe synchroniseur 34 qui, à son tour, est démarré par les signaux de sortie dn provenance du multiplicateur de fréquence 26. Pour illustrer le fonctionnement du bloc 28 , la figure 16 représente les diagrammes temporels des tensions d'un secteur triphasé (figure 16a) sur lesquels les points montrent les échantillons des valeurs momentanées à transformer en code. D'autre part, la figure 16 montre les signaux de sortie du multiplicateur de fréquence 26 (figure 16b), les signaux commandant le commutateur 25, qui apparaissent aux sorties 30 du bloc 28 (figures 16c,d,e), et les signaux commandant le convertisseur 27 et l'organe 29, qui sont fournis, respectivement, par les sorties 31 et 32 du bloc de commande 28 (figures 16f, 16g).

Le fait de recourir à la mémoire analogique 33 (figure 3) permet d'envisager un autre mode de réalisation du bloc de commande 28 (voir la figure 10). Du fait que le niveau des signaux de sortie de la mémoire logique 33 reste invariable en attendant l'arrivée du signal de démarrage suivant, le commutateur 25 peut servir d'intermédiaire pour fournir à l'entrée du convertisseur 27, dans l'intervalle de temps entre les deux signaux de sortie du multiplicateur 26, des signaux de sortie en provenance de la mémoire logique 33, l'information sur les échantillons des valeurs momentanées des tensions de phase étant obtenue pendant une seule période, Ceci permet, premièrement, d'élever la rapidité du dispositif tout entier, et deuxièmement, d'exclure les erreurs de caractère dynamique qui pourraient avoir lieu en raison de la non-simultanéité des mesures des tensions de phase.

Pour la réalisation du principe de traitement des signaux décrit ci-dessus, on propose le bloc de commande représenté sur la figure 10. A la différence du bloc de commande donné sur la figure 9, il est proposé de susbtituer au compteur 35 une bascule 39 et un générateur déclenché 40, reliés en série, la sortie de celui-ci étant connectée à l'entrée de l'organe synchroniseur 34 et à l'entrée de l'organe 36 d'identification du numéro de phase. L'entrée "1" de la bascule 39 constitue l'entrée du bloc de commande 28, tandis que l'entrée "0" de cette bascule est reliée à une sortie complémentaire 41 de l'organe 36. On peut utiliser en tant que sortie 41 la sortie de débordement du compteur 37 (voir la figure 9).

Le bloc 28 fonctionne de la manière suivante.

Les signaux de sortie du multiplicateur de fréquence 26 arrivent à l'entrée fonctionnelle de la bascule 39 en la mettant à l'état "1". Alors l'entrée du générateur déclenché 40 est attaquée par un signal d'autorisation et ce générateur commence à produire des impulsions qui sont appliquées à l'entrée de l'organe 36 d'identification du numéro de phase et à celle de l'organe synchroniseur 34. L'organe 36 est réalisé comme montré sur la figure 9. Du fait que chaque signal apparaissant à l'entrée de l'organe 36 provoque un changement de son état, après l'arrivée du $i^{ème}$ signal d'entrée l'organe 36 applique à la sortie de la mémoire analogique 33 une tension U_i qui est transmise par l'intermédiaire du commutateur 25 à l'entrée du convertisseur tension-code 27. En même temps, du fait que les signaux de sortie du générateur 40 arrivent à l'entrée de l'organe synchroniseur 34, le signal de commande provenant de la sortie 31 opère le démarrage du convertisseur 27, tandis que le signal provenant de la sortie 32 opère le démarrage de l'organe de calcul 29. Une fois que toutes les $\underline{m}$ tensions ont été commutées par le commutateur 25 sur le convertisseur 27 et transformées en code, la sortie 41 de l'organe 36 d'identification du numéro de phase, par exemple la sortie de débordement du

compteur 37 (voir la figure 9), produit un signal qui remet la bascule 39 à l'état "0". Alors le bloc de commande 28 se met en attente du signal de sortie suivant en provenance du multiplicateur de fréquence 26.

La figure 17 représente les diagrammes temporels des tensions d'un secteur triphasé (voir notamment les figures 17 a,b,c), sur lesquels sont montrés par des points les échantillons des valeurs momentanées des tensions, qui sont transformées en code, l'échantillonnage étant opéré simultanément pour toutes les phases. La figure 17d illustre les signaux de sortie du multiplicateur de fréquence 26. La figure 17 montre aussi les signaux commandant le commutateur 25 et provenant des sorties 30 du bloc 28 (figures 17e, f,g), les signaux commandant le convertisseur 27 et l'organe 29 en provenance des sorties 31 et 32, respectivement, du bloc 28 (figures 17h, i), le signal à la sortie de la bascule 39 (figure 17j), lesdits diagrammes temporels (figures 17d, e,f,g,h,i,j) étant donnés pour l'intervalle de temps compris entre plusieurs signaux de sortie du multiplicateur de fréquence 26.

Il en résulte que l'entrée de l'organe de calcul 29 reçoit les échantillons codés des valeurs momentanées des tensions de phase enregistrés dans la mémoire 33 à des moments équidistants T/N.

On peut employer en tant qu'organe de calcul 29 une calculatrice numérique universelle ou spéciale pouvant traiter ces échantillons en conformité avec l'algorithme illustré à la figure 4.

Le bloc A (figure 4) représente l'opération d'obtention et de mémorisation, dans la mémoire de l'organe 29, de l'information sur les valeurs momentanées des échantillons des tensions de phase arrivant à l'entrée d'information de l'organe 29 sous forme de codes. Le bloc B représente l'opération consistant à former les échantillons des valeurs momentanées des signaux de référence, à multiplier ces échantillons par les échantillons des tensions de phases et à obtenir la moyenne des

produits résultants. Le bloc C représente les opérations de séparation des composantes orthogonales des séquences symétriques par addition des valeurs moyennes des produits et des coefficients de pondération respectifs. Le bloc D représente l'opération de détermination des paramètres des composantes symétriques, par exemple des paramètres de qualité de l'énergie électrique.

Les opérations représentées par les différents blocs sont examinées ci-après. La description est faite, à titre d'exemple, pour un secteur triphasé.

Comme représenté sur la figure 5 illustrant les opérations du bloc A, le bloc E effectue la remise à zéro du compteur d'échantillons, le bloc F réalise l'opération d'attente du signal de démarrage de l'organe de calcul 29, lequel signal est produit par la sortie 31 du bloc de commande 28. Après l'arrivée de ce signal, la commande est reprise par le bloc G, dans lequel le code X provenant de la sortie d'information du convertisseur 27, est porté dans la $i^{ème}$ cellule de la mémoire faisant partie de l'organe de calcul 29. L'adresse de la cellule de mémoire est déterminée par l'état du compteur d'échantillons. Ensuite le bloc H compare le nombre d'échantillons enregistrés dans la mémoire avec le nombre 3N qui correspond au total des échantillons des tensions de phase à prendre pendant une période dans le secteur triphasé. Si $i < 3N-1$, la commande est reprise par le bloc I, où le contenu du compteur d'échantillons est additionné d'une unité, pour passer ensuite au bloc F. Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $i=3N-1$, la commande est reprise par le bloc B.

Comme montré sur la figure 6, illustrant les opérations du bloc B, il se produit, dans les bloc K, L, M, N, P, Q, le calcul des composantes types cosinus et sinus des tensions de phase suivant les échantillons des tensions de phase enregistrés dans la mémoire de l'organe 29, les opérations étant exécutées en conformité avec les expressions:

$$
\left.
\begin{aligned}
a_A = X_1 &= \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i \,, \\
a_B = X_2 &= \frac{2}{N} \sum_{i=N}^{2N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i \,, \\
a_C = X_3 &= \frac{2}{N} \sum_{i=2N}^{3N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i \,, \\
b_A = X_4 &= \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i \,, \\
b_B = X_5 &= \frac{2}{N} \sum_{i=N}^{2N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i \,, \\
b_C = X_6 &= \frac{2}{N} \sum_{i=2N}^{3N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i \,.
\end{aligned}
\right\} \qquad (21)
$$

Les valeurs momentanées des signaux de référence sinusoïdaux orthogonaux $\cos \frac{2\pi}{N} i$, $\sin \frac{2\pi}{N} i$ se présentent sous forme de codes mémorisés par la mémoire inaltérable faisant partie de l'organe de calcul 29.

Comme représenté sur la figure 7 illustrant les opérations du bloc C, les blocs R, S, T, U, V, W servent à déterminer les composantes orthogonales des séquences symétriques suivant les expressions :

$$
\left.
\begin{aligned}
a_+ &= \left(\tfrac{1}{3}\right)X_1+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_2+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_3+0.X_4+\left(\tfrac{\sqrt{3}}{6}\right)X_5+\left(\tfrac{-\sqrt{3}}{6}\right)X_6 ,\\
b_+ &= 0.X_1+\left(\tfrac{-\sqrt{3}}{6}\right)X_2+\left(\tfrac{\sqrt{3}}{6}\right)X_3+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_4+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_5+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_6 ,\\
a_- &= \left(\tfrac{1}{3}\right)X_1+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_2+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_3+0.X_4+\left(\tfrac{-\sqrt{3}}{6}\right)X_5+\left(\tfrac{\sqrt{3}}{6}\right)X_6 ,\\
b_- &= 0.X_1+\left(\tfrac{\sqrt{3}}{6}\right)X_2+\left(\tfrac{-\sqrt{3}}{6}\right)X_3+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_4+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_5+\left(-\tfrac{1}{6}\right)X_6 ,\\
a_o &= \left(\tfrac{1}{3}\right)X_1+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_2+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_3+0.X_4+0.X_5 = 0.X_6 ,\\
b_o &= 0.X_1+0.X_2+0.X_3+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_4+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_5+\left(\tfrac{1}{3}\right)X_6 .
\end{aligned}
\right\} \quad (22)
$$

Les codes X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 sont ontenus dans le bloc B, les coefficients qui les caractérisent se présentant sous forme de codes dans la mémoire inaltérable.

Comme représenté sur la figure 8 illustrant les opérations du bloc D, les blocs X, Y, Z déterminent les paramètres de qualité de l'énergie électrique suivant les expressions (17), (18), (19).

Pour réaliser l'algorithme décrit ci-dessus, on propose un organe de calcul dont le mode de réalisation préféré est représenté sur la figure 12.

Cet organe de calcul 29 comprend une première mémoire 42, une première mémoire inaltérable 43, un premier multiplicateur 44, un premier additionneur cumulatif 45, une deuxième mémoire 46, une deuxième mémoire inaltérable 47, un deuxième multiplicateur 48, un deuxième additionneur cumulatif 49, un convertisseur fonctionnel 50 et un bloc 51 de commande du processus de calcul.

La mémoire 42 a une entrée d'information constituant l'entrée de l'organe 29, et une sortie qui, par l'intermédiaire du multiplicateur 44, de l'additionneur cumulatif 45, de la mémoire 46, du multiplicateur 48 et de l'additionneur cumulatif 49 reliés en série, est reliée à l'entrée d'information du convertisseur fonctionnel 50 dont le signal de sortie porte l'information sur les résultats des calculs exécutés. Les sorties des mémoires

inaltérables 43 et 46 sont reliées aux autres entrées des multiplicateurs 44 et 48, respectivement.

L'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 42 est reliée à une première sortie 52 du bloc 51. Les fils d'adresses de la mémoire 42 sont reliés aux deuxièmes sorties 53 du bloc 51. En présence d'un signal à la sortie 52, le code qui apparaît à l'entrée d'information de la mémoire 42 est enregistré dans la cellule de mémoire dont l'adresse est déterminée par le code présent aux sorties 53. Les fils d'adresse de la mémoire inaltérable 43 sont reliés aux troisièmes sorties 54 du bloc 51. Le code présent aux sorties 54 détermine l'adresse de la cellule dont la constante est fournie à la sortie de la mémoire 43.

L'entrée de remise à zéro de l'additionneur 45 est reliée à une quatrième sortie 55 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, l'additionneur 45 se remet à zéro. L'entrée de synchronisation de l'additionneur 45 est reliée à une cinquième sortie 56 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, au contenu de l'additionneur 45 s'additionne le code présent à son entrée d'information qui est reliée au multiplicateur 44.

L'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 46 est reliée à une sixième sortie 57 du bloc 51, tandis que ses fils d'adresse sont connectés aux septièmes sorties 58 du bloc 51. En présence d'un signal à la sortie 57, le code présent à l'entrée d'information de la mémoire 46 et provenant de l'additionneur 45 est enregistré par la cellule de mémoire dont l'adresse est déterminée par le code présent aux sorties 58. Les fils d'adresse de la mémoire inaltérable 47 sont reliés aux huitièmes sorties 59 du bloc 51. Le code présent à la sortie 59 détermine l'adresse de la cellule dont la constante apparaît à la sortie de la mémoire inaltérable 47.

L'entrée de remise à zéro de l'additionneur cumulatif 49 est reliée à une neuvième sortie 60 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, l'additionneur 49

se remet à zéro. L'entrée de synchronisation de l'additionneur 49 est reliée à une dixième sortie 61 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, au contenu de l'additionneur 49 s'additionne le code présent à son entrée d'information qui est reliée au multiplicateur 48.

L'entrée de synchronisation d'enregistrement du convertisseur fonctionnel 50 est reliée à une onzième sortie 62 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, le convertisseur 50 emmagasine le code présent à son entrée d'information. L'entrée de démarrage du convertisseur 50 est reliée à une douzième sortie 63 du bloc 51. En présence d'un signal à cette sortie, le convertisseur 50 extrait la racine carrée de la somme des carrés des codes emmagasinés antérieurement, le résultat de ce calcul étant fourni à sa sortie d'information.

Le bloc de commande 51 peut être divisé fonctionnellement en trois sous-ensembles de commande : le sous-ensemble 64 contrôlant la mémorisation de l'information par la mémoire 42, le sous-ensemble 65 contrôlant le calcul des composantes orthogonales des tensions de phase, et le sous-ensemble 66 contrôlant le calcul des composantes symétriques des tensions.

Dans la variante représentée sur la figure 12, le sous-ensemble 64 comporte une bascule 67, unformateur 68, un compteur 69, un circuit "ET" 70, un organe synchroniseur 71, un groupe de circuits "ET" 72. Le sous-ensemble 65 comporte une bascule 73, un formateur 74, un compteur 75, un organe synchroniseur 76, un compteur 77, un générateur déclenché 78, un organe synchroniseur 79, un groupe de circuit "ET" 80, 81, un circuit "OU" 82. Le sous-ensemble 66 comporte une bascule 83, un formateur 84, un compteur 85, un organe synchroniseur 86, un compteur 87, un générateur déclenché 88, un organe synchroniseur 89, un groupe de circuits "ET" 90, un circuit "OU" 91, un circuit "ET" 92.

L'entrée "1" de la bascule 67 est reliée à une borne "Démarrage" dont le signal remet la bascule à l'état "1". La sortie de la bascule 67 est reliée par

l'intermédiaire du formateur 68 à l'entrée de remise à zéro du compteur 69 dont les sorties sont connectées aux fils d'adresse de la mémoire 42 par l'intermédiaire du groupe de circuits 72 dont les sorties constituent les sorties 53 du bloc 51. D'autre part, la sortie de la bascule 67 est reliée à l'entrée de commande du groupe de circuits 72, à une première entrée du circuit 70, dont une deuxième entrée est l'entrée de démarrage du bloc 51, ainsi qu'à l'entrée de commande de l'organe de calcul 29. La sortie du circuit 70 est reliée à l'entrée de démarrage de l'organe synchroniseur 71, dont une première sortie, constituant la sortie 52 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 42, tandis que sa deuxième sortie est reliée à l'entrée fonctionnelle du compteur 69 dont la sortie de débordement est connectée à l'entrée "0" de la bascule 67 et à l'entrée "1" de la bascule 73.

La sortie de la bascule 73 est reliée par l'intermédiaire du formateur 74 aux entrées de remise à zéro des compteurs 75, 77 et à la première entrée du circuit "OU" 82 dont la sortie, constituant la sortie 55 du bloc 51, est reliée à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur cumulatif 45. D'autre part, la sortie de la bascule 73 est reliée aux entrées de commande des groupes de circuits 80, 81 et, par l'intermédiaire du générateur déclenché 78, à l'entrée de démarrage de l'organe synchroniseur 79 dont la première sortie, constituant la sortie 56 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 49, sa deuxième sortie communiquant avec l'entrée de comptage du compteur 75. La sortie de débordement du compteur 75 est connectée à l'entrée de démarrage de l'organe synchroniseur 76 dont la première sortie, constituant la sortie 57 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 46, sa deuxième sortie communiquant avec la deuxième entrée du circuit "OU" 82, tandis que sa troisième sortie communique avec l'entrée de comptage du compteur 77 dont la sortie de débordement est reliée à l'entrée "0" de la bascule 73 et

à l'entrée "1" de la bascule 83. Les sorties du compteur 75 sont reliées aux chiffres de poids inférieur du groupe de circuits 80 de "ET" logiques et constituant en même temps les sorties 54 du bloc 51, sont reliées par les fils d'adresse de poids inférieur de la mémoire inaltérable 43. Les sorties du compteur 77 sont connectées aux entrées du groupe de circuits "ET" 81, le chiffre de poids inférieur du compteur 77 étant relié au fil d'adresse de poids supérieur de la mémoire inaltérable 43 et ses chiffres de poids inférieur étant connectés aux digits de poids supérieur du groupe de circuits 80. Les sorties des circuits 72, 80 réunies entre elles par un montage "OU", constituent les sorties 53 du bloc 51 et sont reliées aux fils d'adresse de la mémoire 42.

La sortie de la bascule 83 est reliée, par l'intermédiaire du formateur 84, aux entrées de remise à zéro des compteurs 85, 87 et à la première entrée du circuit "OU" 91, dont la sortie, constituant la sortie 60 du bloc 51, est reliée à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur cumulatif 49. D'autre part, la sortie de la bascule 83 est reliée à l'entrée de commande du groupe de circuits "ET" 90 et, par l'intermédiaire du générateur déclenché 88, à l'entrée de démarrage de l'organe synchroniseur 89 dont la première sortie, constituant la sortie 61 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 49 et dont la deuxième sortie communique avec l'entrée de comptage du compteur 85. La sortie de débordement du compteur 85 est connectée à l'entrée de démarrage de l'organe synchroniseur 86 dont la première sortie, constituant la sortie 62 du bloc 51, est connectée à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de code du convertisseur fonctionnel 50 et dont la deuxième sortie communique avec la deuxième entrée du circuit "OU" 91 tandis que sa troisième sortie communique avec la première entrée du circuit "ET" 92 et avec l'entrée de comptage du compteur 87 dont la sortie de débordement est reliée à l'entrée "0" de la bascule 83. Les sorties du compteur 85 sont reliées aux entrées du groupe de circuits 90 et, constituant en même temps

les sorties 59 du bloc 51, sont reliées aux fils d'adresse de poids inférieur de la mémoire inaltérable 47. Les sorties du compteur 87 sont reliées aux fils d'adresse de poids supérieur de ladite mémoire 47. La sortie du chiffre de poids inférieur du compteur 87 est connectée à la deuxième entrée du circuit "ET" 92 dont la sortie, constituant la sortie 63 du bloc 51, est connectée à l'entrée de synchronisation de démarrage de l'opération de transformation fonctionnelle du convertisseur 50. Les sorties des circuits 81, 90, qui sont réunies entre elles par un montage "OU", constituent les sorties 58 du bloc 51 et sont reliées aux fils d'adresse de la mémoire 46.

Certains sous-ensembles constituant le bloc de commande 51 ont une composition analogue et se caractérisent par un même principe de fonctionnement. Par exemple, les formateurs 68, 74, 84 fonctionnent de manière à produire un bref signal lorsque le signal d'entrée varie de "0" logique à "1" logique, lequel signal est utilisé pour remettre à zéro les ensembles qui sont reliés aux sorties de ces formateurs. Les générateurs déclenchés 79, 89 ne produisent des signaux de sortie que lorsque leurs entrées sont attaquées par "1" logique. Sinon, aucune génération ne se produit. Les circuits 72, 80, 81, 90 sont chacun un noeud de circuits logiques "ET", dont les premières entrées constituent les entrées d'information, tandis que ses deuxièmes entrées sont réunies pour jouer le rôle d'une entrée de commande. Les organes synchroniseurs 71, 76, 79, 86, 89, quand ils sont attaqués par un signal d'entrée, produisent des signaux qui apparaissent à leurs sorties avec un certain retard l'un par rapport à l'autre. Pour la description du fonctionnement, on admettra conventionnellement que le signal issu de la première sortie se présente le premier, celui de la deuxième sortie est le deuxième, et ainsi de suite. Les autres sous-ensembles constituant le bloc de commande 51 sont du type classique sur le plan de la technique de calcul.

Lorsque l'entrée "Démarrage" du bloc 51 est

attaquée par un signal, la bascule 67 se met à l'état "1", ce qui déclenche le sous-ensemble 64 commandant l'enregistrement de l'information par la mémoire 42. Le sous-ensemble 64 fonctionne en conformité avec le signal provenant de la sortie 32 du bloc de commande 28 de manière à fournir par les sorties 53 du bloc 51 l'adresse de la cellule de mémoire 42 devant enregistrer le code de sortie du convertisseur 27 et à former des signaux de synchronisation d'enregistrement, par la mémoire 42, à la sortie 52 du bloc 51.

L'algorithme de fonctionnement du sous-ensemble 64 correspond entièrement au bloc algorithmique A (figure 4), qui est détaillé sur la figure 5.

Le sous-ensemble 64 fonctionne de la manière suivante. Quand la bascule 67 se met à l'état "1", les circuits "ET" 70, 72 s'ouvrent, les signaux issus de la sortie 32 du bloc 28 arrivant, par l'intermédiaire du circuit 70, à l'entrée de l'organe synchroniseur 71 et le code de sortie du compteur 69 arrivant aux fils d'adresse de la mémoire 42. D'autre part, le formateur 68 sépare l'état de passage de la bascule 67 de "0" à "1" et produit à sa sortie une brève impulsion qui provoque la remise à zéro du compteur 69. Le signal suivant, issu de la sortie 32 du bloc 28, passe par le circuit "ET" 70 et arrive à l'entrée de l'organe synchroniseur 71 pour démarrer celui-ci. Le signal issu de la première sortie de l'organe synchroniseur 71 attaque l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 42, la cellule de mémoire dont l'adresse est définie par le code de sortie du compteur 69 enregistre le code de sortie du convertisseur 27. Le signal en provenance de la deuxième sortie de l'organe synchroniseur apparaît avec un retard dont la durée n'est pas inférieure à celle du cycle d'enregistrement dans la mémoire 42. Ce signal arrive à l'entrée de comptage du compteur 69 et additionne à son état une unité. La capacité du compteur 69 est égale à 3N, où N est le nombre d'échantillons de chaque tension de phase prélevés pendant la période. Quand l'entrée de

démarrage du bloc 51 emmagasine 3N impulsions issues de la sortie 32 du bloc 28, il se produit un débordement du compteur 69. Vers ce moment , la mémoire 42 aura enregistré les codes de tous les échantillons des tensions de phase nécessaires pour les opérations ultérieures visant à déterminer les composantes symétriques. Le signal issu de la sortie de débordement du compteur 69 remet la bascule à l'état "0" et la bascule 73 à l'état "1". A ce stade, le cycle de fonctionnement de l'ensemble 64 cesse, et celui-ci n'a plus aucun effet sur le fonctionnement du dispositif.

Une fois que la bascule 73 se trouve à l'état "1", on assiste au démarrage du sous-ensemble 65 commandant le calcul des composantes orthogonales des tensions de phase.

Les codes caractérisant les échantillons des tensions de phase et les signaux de référence, qui sont enregistrés, respectivement, dans la mémoire 42 et dans la mémoire inaltérable 43, sortent des cellules de mémoire 42, 43 dont les adresses sont définies par les codes présents aux fils d'adresse 53 et 54 du bloc 51 et arrivent aux entrées du multiplicateur 44. Le code de sortie du multiplicateur 44, qui est égal au produit résultant de la multiplication entre les codes mentionnés, arrive à l'entrée de l'additionneur cumulatif 45, où il est additionné de son contenu en présence d'un signal à l'entrée de synchronisation de cet additionneur, lequel signal est fourni par la sortie 56 du bloc 51. Avant de procéder à la détermination de la valeur suivante des composantes orthogonales des tensions de phase, l'additionneur 45 est remis à zéro par un signal attaquant son entrée correspondante. Une fois la composante orthogonale de tension de phase déterminée, le code caractérisant celle-ci est produit par la sortie de l'additionneur 45 et est ensuite enregistré par cette cellule de la mémoire 46, dont l'adresse est définie par le code présent aux sorties 58 du bloc 51 au moment de l'arrivée du signal, provenant de la sortie 57 du bloc 51, à l'entrée de synchronisation

d'enregistrement de la mémoire 46.

L'algorithme de fonctionnement du sous-ensemble 65 correspond entièrement au bloc algorithmique B (figure 4) dont le détail est fourni par la figure 6.

Le sous-ensemble 65 fonctionne de la manière suivante. Dès que la bascule 73 est remise à l'état "1", les circuits "ET" 80, 81 s'ouvrent. Aux sorties 53 apparaissent alors le code de sortie du compteur 75 et celui des chiffres de poids inférieur du compteur 77, tandis qu'aux sorties 58 apparaît le code de sortie du compteur 77. Aux sorties 54 apparaît le code de sortie du compteur 75 et celui du chiffre de poids supérieur du compteur 77. Le formateur 74 sépare l'état de passage de la bascule 73 de "0" à "1" et produit à sa sortie une brève impulsion qui arrive aux entrées de remise à zéro des compteurs 75, 77 et, par le circuit "OU" 82, à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur cumulatif 45. Il en résulte que les compteurs 75, 77 et l'additionneur 45 sont remis à zéro. Lorsque la bascule 73 se retrouve à l'état "1", se produit le démarrage du générateur déclenché 78, dont les signaux de sortie parviennent à l'organe synchroniseur 79 en le démarrant lui aussi. Le signal issu de la première sortie de l'organe 79 arrive à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 45. Alors, au contenu de l'additionneur 45 s'additionne le code sortant du multiplicateur 44, lequel code est égal au produit résultant de la multiplication entre les contenus des cellules des mémoires 42 et 43, dont les adresses sont définies par les codes en provenance des compteurs 75, 77. Le signal issu de la deuxième sortie de l'organe synchroniseur 79 se forme avec un retard dont la durée n'est pas inférieure à celle des cycles d'adressage aux mémoires 42 et 43 et d'addition par l'additionneur 45. Ce signal parvient à l'entrée de comptage du compteur 75 dont le contenu est de ce fait augmenté d'une unité.

La capacité du compteur 75 est égale à N et son état détermine le numéro des échantillons des tensions de phase et des signaux de référence devant subir la

multiplication. Lorsqu'il s'agit de mesurer les composantes symétriques d'un secteur triphasé, la capacité du compteur 77 est égal à six, les poids de ses chiffres étant égaux (en partant du supérieur) à 3, 2 et 1. L'état des chiffres de plus faibles poids définit le numéro de la phase, c'est pourquoi ces chiffres sont branchés sur les circuits 80. L'état du chiffre de poids supérieur détermine le type des composantes orthogonales à calculer, par exemple si l'état de ce chiffre est égal à zéro, on assiste au calcul des composantes type cosinus, et si cet état est égal à l'unité, on assiste au calcul des composantes type sinus.

L'entrée de comptage du compteur 75 étant attaquée par N impulsions issues de l'organe synchroniseur 79, le signal qui se présente à sa sortie de débordement met en marche l'organe synchroniseur 76. Le signal issu de la première sortie de l'organe 76 arrive à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 46. Alors le code de sortie de l'additionneur 45, égal (voir les expressions 21) soit à la composante type cosinus ou sinus a_A, a_B, b_C, b_A, b_B ou b_C, en présence d'un code à la sortie du compteur 77, respectivement 000, 001, 010, 100, 101 ou 110, est enregistré par cette cellule de la mémoire 46, dont l'adresse est définie par le code de sortie du compteur 77. Le signal issu de la deuxième sortie de l'organe 76 se forme avec un retard dont la durée n'est pas inférieure à celle du cycle d'enregistrement dans la mémoire 46. Ce signal passe par le circuit "OU" 82 et arrive à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur 45, en remettant celui-ci à zéro, et, par là même, en le rendant prêt au calcul de la composante orthogonale suivante. Le signal issu de la troisième sortie de l'organe 76 se forme après le signal à sa deuxième sortie. Ce signal arrive à l'entrée de comptage du compteur 77 en augmentant d'une unité l'état de celui-ci.

Après 6N rythmes du générateur 78, toutes les composantes orthogonales des tensions de phase sont déterminées et leurs codes respectifs sont enregistrés par

la mémoire 46. A ce moment a lieu le débordement du compteur 77, qui produit un signal remettant la bascule 73 à l'état "0" et la bascule 83 à l'état "1". Alors le cycle de fonctionnement du sous-ensemble 64 cesse et le cycle de fonctionnement du sous-ensemble 66 commandant le calcul des composantes symétriques commence.

Les codes caractérisant les échantillons des composantes orthogonales des tensions de phase et ceux caractérisant les coefficients de pondération, qui sont enregistrés, respectivement, dans la mémoire 46 et la mémoire inaltérable 47, sont introduits, dans l'ordre résultant des expressions (22), par les entrées respectives, dans le multiplicateur 48, le choix des cellules des mémoires 46, 47, qui fournissent l'information, étant conforme aux codes présents aux fils d'adresse 58, 59 du bloc 51. Le code sortant du multiplicateur 48, qui est égal au produit résultant de la multiplication des codes mentionnés, arrive à l'entrée de l'additionneur cumulatif 49, où, en présence d'un signal attaquant l'entrée de synchronisation en provenance de la sortie 61 du bloc 51, il est additionné au contenu de cet additionneur. Avant de procéder à la détermination de la valeur suivante des composantes orthogonales de séquences symétriques, l'additionneur 49 est remis à zéro par un signal respectif provenant de la sortie 60 du bloc 51. La composante orthogonale de séquence symétrique étant déterminée, sa valeur codée est produite par l'additionneur 49 et introduite dans le convertisseur fonctionnel 50 en présence d'un signal à son entrée de synchronisation. Les codes des composantes orthogonales sont déterminés dans l'ordre suivant : $a_+, b_+, a_-, b_-, a_o, b_o$. Dès que les convertisseur 50 a emmagasiné les composantes type cosinus et sinus de l'une des séquences, son entrée de démarrage est attaquée par un signal issu de la sortie 63 du bloc 51. Alors, le convertisseur 50 procède à l'extraction de la racine carrée de la somme des carrés des codes qui y ont été introduits au préalable.

L'algorithme de fonctionnement du sous-ensemble 66 correspond entièrement aux blocs algorithmiques C et D (figure 4) dont les détails sont représentés sur les figures 7 et 8.

Le sous-ensemble 66 fonctionne de la manière suivante. Dès que la bascule 83 se retrouve à l'état "1", on assiste à l'ouverture des circuits "ET" 90, les sorties 58 reproduisent le code de sortie du compteur 85. En même temps, les sorties 59 reproduisent les codes de sortie des compteurs 85, 87. Le formateur 84 sépare l'état de passage de la bascule 83 de "0" à "1" et produit à sa sortie une brève impuslion qui arrive aux entrées de remise à zéro des compteurs 85, 87 et, par le circuit 91, à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur cumulatif 49. Il en résulte que les compteurs 85, 87 et l'additionneur 49 sont remis à zéro. Lorsque la bascule 83 est à l'état "1", on assiste au démarrage du générateur 88, dont les signaux de sortie arrivent à l'organe synchroniseur 89 en le démarrant lui aussi. Le signal qui se forme à la première sortie de l'organe synchroniseur 89 arrive à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 49. Au contenu de l'additionneur 49 est alors additionné le code sortant du multiplicateur 48, qui est égal au produit des contenus des cellules faisant partie des mémoires 46, 47, et dont les adresses sont définies par les codes sortant des compteurs 85, 87. Le signal issu de la deuxième sortie de l'organe 89 arrive à l'entrée de comptage du compteur 85 dont le contenu est de ce fait augmenté d'une unité.

La capacité du compteur 85 est égale à six et son état détermine la composante orthogonale des tensions de phase qui doit subir la multiplication. La capacité du compteur 87 est elle aussi égale à six, son état déterminant la composante orthogonale de séquence symétrique à calculer. Le numéro de la cellule de la mémoire 47, où se trouve le coefficient de pondération devant être multiplié par la composante orthogonale de tension de phase, choisie dans la mémoire 46, en vue de calculer la composante orthogonale

de séquence symétrique, dépend de l'ensemble des états des compteurs 85, 87.

Comme mentionné plus haut, l'ordre de sortie des codes des composantes orthogonales des tensions de phase de la mémoire 46 et de ceux des coefficients de pondération de la mémoire 47, est défini par les expressions (22). Le cycle de calcul de chacune des composantes orthogonales de séquence symétrique dure le temps de 6 rythmes du générateur 88, après quoi se produit le débordement du compteur 85. Le signal issu de la sortie de débordement de ce compteur met en marche l'organe synchroniseur 86. Le signal issu de la première sortie de l'organe 86 parvient à l'entrée de synchronisation du convertisseur 50. En présence de ce signal, le code sortant de l'additionneur 49, qui est égal à la composante orthogonale de séquence symétrique, est introduit dans le convertisseur 50. Le signal issu de la deuxième sortie de l'organe 86 arrive à l'entrée du circuit "ET" 92 et, dans le cas où le convertisseur 50 a déjà emmagasiné les composantes type cosinus et sinus de l'une des séquences, c'est-à-dire lorsque l'état du chiffre de poids inférieur du compteur 87 est égal à "1", ce signal parvient à l'entrée de démarrage du convertisseur 50. Alors le convertisseur en question procède à l'extraction de la racine carrée de la somme des carrés des codes caractérisant les composantes orthogonales de séquences symétriques, qui ont été au préalable introduits dans ce convertisseur.

Ce mode de réalisation du bloc de calcul permet d'obtenir une précision de mesure et une rapidité opératoire maximale en ce qui concerne le traitement des informations en conformité avec le procédé proposé. Les erreurs de conversion sont négligeables par rapport aux erreurs propres à la mémoire analogique et au convertisseur tension-code.

Comme mentionné plus haut, la mémoire analogique permet de réduire les erreurs de caractère dynamique du convertisseur tension-code et d'élever la rapidité du

dispositif tout entier grâce à l'obtention de l'information sur les codes caractérisant les échantillons des valeurs momentanées des tensions de phase pendant une seule période. Ceci peut être obtenu, suivant l'invention, en utilisant la variante de réalisation du bloc de commande représenté sur la figure 11.

En conformité avec ce mode de réalisation, le bloc de commande comporte un organe 36 d'identification du numéro de phase et un organe synchroniseur 34, les entrées de ces organes 34, 36 étant réunies et branchées sur la sortie du multiplicateur de fréquence 26. Une telle variante du dispositif (figure 11) présente un certain nombre d'avantages : elle permet de supprimer la mémoire analogique, qui doit satisfaire à des exigences métrologiques strictes sur le plan de la précision, de l'identité et de la stabilité. Ceci conduit à une simplification considérable de la partie de mesure du dispositif et, d'autre part, à un ajustage plus simple du dispositif.

On va maintenant examiner le fonctionnement du dispositif (figure 11) en prenant comme exemple le cas de la mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur triphasé.

Les signaux de sortie du multiplicateur de fréquence 26, dont le coefficient de multiplication est égal à 3N, arrivent aux entrées des organes 34 et 36. L'organe 36 fonctionne de la manière décrite pour le bloc de commande de la figure 9, c'est-à-dire que chaque signal appliqué à son entrée a pour effet de changer l'état de l'organe 36 en sorte qu'il corresponde au branchement de l'une des phases, par l'intermédiaire du commutateur 25, sur l'entrée du convertisseur tension-code 27. Ainsi, après l'application du i-ème signal à l'entrée du multiplicateur 26, l'entrée du convertisseur 27 sera branchée sur la tension U_A , si $i=3n$, sur la tension U_B , si $i=3n+1$ et sur la tension U_C si $i=3n+2$, où $n = 0,1,\ldots, N-1$. Les valeurs momentanées de ces tensions sont codées dans le convertisseur 27 et, sous cette forme, arrivent à l'entrée

de l'organe de calcul 29.

La figure 18 donne les diagrammes temporels des tensions d'un secteur triphasé (figures 18a, b, c), dans lesquels les points montrent les échantillons des valeurs momentanées des tensions, qui sont transformés en codes. A la différence des modes de réalisation précédents et des diagrammes temporels respectifs, les échantillons sont traités l'un après l'autre et non pas d'une manière simultanée. La figure 18 montre aussi les signaux de sortie du multiplicateur 26 (figure 18d), les signaux de de commande du commutateur 25 issus des sorties 30 du bloc 28 (figures 18e, f, g), les signaux de commande du convertisseur 27 et de l'organe 29, respectivement, issus des sorties 31 et 32 du bloc 28 (figures 18h, i). Les diagrammes temporels des figures 18d, e, f, g, h, i sont donnés pour un intervalle de temps compris entre plusieurs impulsions de sortie du multiplicateur 26.

Du fait que les échantillons des valeurs momentanées des tensions de phase sont maintenant enregistrés aux moments de temps $\frac{T}{3N}.3n$, $\frac{T}{3N}(3n+1)$, $\frac{T}{3N}(3n+2)$, pour les tensions, respectivement, U_A, U_B, U_C, les composantes orthogonales des tensions de phase s'obtiennent elles aussi en établissant la moyenne des produits résultant de la multiplication, entre eux, des codes de ces échantillons et des codes des signaux de référence valables pour les mêmes moments de temps. Ainsi, les composantes type cosinus et sinus des tensions de phase peuvent être déterminées de la manière suivante :

$$
\left.
\begin{aligned}
a_n &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n} \cos \frac{2\pi}{3N}(3n) \quad , \\
a_B &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+1} \cos \frac{2\pi}{3N}(3n+1) \quad , \\
a_C &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+2} \cos \frac{2\pi}{3N}(3n+2) \quad , \\
b_A &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n} \sin \frac{2\pi}{3N}(3n) \quad , \\
b_B &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+1} \sin \frac{2\pi}{3N}(3n+1) \quad , \\
b_C &= \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+2} \sin \frac{2\pi}{3N}(3n+2) \quad .
\end{aligned}
\right\} \qquad (23)
$$

Suivant la présente invention, l'opération de détermination des composantes orthogonales des tensions de phase est réalisée simultanément avec celle de transformation en code des échantillons des valeurs momentanées des tensions. Ceci permet d'accroître la rapidité d'action du dispositif, car les résultats des mesures peuvent être obtenus immédiatement après la fin de la période de la tension pendant laquelle a eu lieu l'échantillonnage des valeurs momentanées des tensions.

La figure 13 représente une variante de réalisation de l'organe de calcul 29, utilisant le mode de traitement des échantillons des valeurs momentanées des tensions, le signal commandant le démarrage de l'organe de calcul 29 étant formé, en ce cas, dans le bloc de commande 28 représenté sur la figure 11.

A la différence du mode de réalisation donné sur la figure 12, l'organe de calcul représenté sur la figure 13 comporte une mémoire de travail 93 qui est branchée entre la sortie de l'additionneur 45 et l'entrée de la mémoire 46,

l'additionneur 45 étant en outre muni d'une autre entrée d'information qui est reliée à la sortie de la mémoire de travail 93. Le bloc de commande 51 est dépourvu de sous-ensemble 64 commandant l'enregistrement de l'information dans la mémoire 42, tandis que le sous-ensemble 65 commandant le calcul des composantes orthogonales est conçu d'une manière nouvelle.

Comme il ressort de la figure 13, le sous-ensemble 65 comporte un organe synchroniseur 94 dont l'entrée est reliée à la sortie 32 du bloc 28, un compteur 95 dont la capacité est égale à trois et un compteur 96 dont la capacité est égale à N, un groupe de circuits "ET" 97 dont les entrées sont reliées aux sorties du compteur 94 et dont les sorties, constituant les sorties 58 du bloc 51, sont reliées aux fils d'adresse de la mémoire 46, un décodeur 98 connecté aux sorties du compteur 96, un circuit "ET" 99 et un organe synchroniseur 100. La première sortie de l'organe 94, qui constitue la sortie du bloc 51, est connectée à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 45, la deuxième sortie de l'organe 94, constituant la sortie 101 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 93, et la troisième sortie de cet organe 94 est connectée à la première entrée du circuit "ET" 99 dont la deuxième entrée est réunie à l'entrée de commande des circuits "ET" 97 et reliée à la sortie du décodeur 98.

La quatrième sortie de l'organe 94 est connectée à l'entrée de comptage du compteur 95 dont la sortie de débordement est reliée à l'entrée de comptage du compteur 96, les sorties des compteurs 95, 96 constituant les sorties 54 du bloc 51 et étant reliées aux fils d'adresse de la mémoire inaltérable 43.

La sortie du circuit "ET" 99 est reliée à l'entrée de l'organe synchroniseur 100 dont la première sortie, constituant la sortie 57 du bloc 51, est reliée à l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 46, et la deuxième sortie , constituant la quatorzième sortie 102

du bloc 51, est reliée à l'entrée de remise à zéro des cellules de la mémoire 93. La sortie de débordement du compteur 96 est reliée à l'entrée "1" de la bascule 83.

Une autre caractéristique de ce mode de réalisation de l'organe de calcul 29 (figure 13) est que les multiplicateurs 44, 48 et les additionneurs 45, 49 opèrent avec des nombres complexes et que dans les mémoires 43, 46, 47, 93 sont mémorisés des combres complexes. Cette particularité permet d'optimiser la structure de l'organe de calcul 29. Par exemple, la mémoire inaltérable 47, telle qu'elle est représentée sur la figure 13, est munie de quatre fils d'adresse au lieu des six équipant cette mémoire sur la figure 11. Le convertisseur fonctionnel 50 est destiné à déterminer le module des codes de nombres complexes appliqués à son entrée.

L'organe de calcul représenté sur la figure 13 fonctionne comme suit.

Le code sortant du convertisseur 27 arrive à la première entrée du multiplicateur 44 dont la deuxième entrée est attaquée par la constante issue de la mémoire 43 et ayant la valeur :

$$e^{-j\frac{2\pi}{3N}i} = \cos\frac{2\pi}{3N}i - j\sin\frac{2\pi}{3N}i \qquad (24)$$

après le $i^{ème}$ signal provenant du multiplicateur 26.

L'adresse de la cellule fournissant la constante (24) est définie par le code sortant des compteurs 95, 96.

Le code caractérisant le produit des codes des échantillons et de la constante sort du multiplicateur 44 et arrive à la première entrée de l'additionneur 45 dont la deuxième entrée est attaquée par le code de la somme partielle desdits produits de codes, issu de la mémoire 93. L'adresse de la cellule de la mémoire 93 est définie par le code en provenance du compteur 95 dont les états 00, 01, 11 ont pour effet que la mémoire 93 fournit, respectivement, les sommes partielles C_A, C_B , C_C .

Le signal suivant, qui se présente à la sortie 32

du bloc 28, met en marche l'organe synchroniseur 94. Le signal issu de la première sortie de cet organe arrive à l'entrée de synchronisation de l'additionneur 45, le code sortant de l'additionneur 45 prenant une nouvelle valeur de la somme partielle qui, en présence d'un signal issu de la deuxième sortie de l'organe 94, est enregistré dans la cellule de la mémoire 93, dont l'adresse est la même. Le signal provenant de la troisième sortie de l'organe 94 attaque la première entrée du circuit "ET" 99 (la fonction de ce signal sera décrite plus bas). Le signal issu de la quatrième sortie de l'organe 94 arrive à l'entrée de comptage du compteur 95, dont l'état est de ce fait augmenté d'une unité.

Cette séquence opératoire continue dans l'organe de calcul 29 judqu'à ce que le code du compteur 96 prenne la valeur "N - 1". Ce code est sélectionné par le décodeur 98, dont le signal de sortie a pour effet d'ouvrir les circuits 97, 98. Les fils d'adresse de la mémoire 46 sont attaqués par le code sortant du compteur 95. Après le démarrage suivant de l'organe synchroniseur 94, sa troisième sortie produit un signal qui passe par le circuit "ET" 99 et met en marche l'organe synchroniseur 100. Le signal issu de la première sortie de l'organe 100 attaque l'entrée de synchronisation d'enregistrement de la mémoire 46, et celle-ci mémorise la dernière valeur de la somme partielle dont le signal provient de la mémoire 93. Ce code est déterminé, pour les états du compteur 95 égaux à 00, 01, 11, de la manière suivante :

$$C_A = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_{3n}\, e^{-j\frac{2\pi}{3N}(3n)}$$

$$C_B = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+1}\, e^{-j\frac{2\pi}{3N}(3n+1)} \quad , \qquad (25)$$

$$C_C = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_{3n+2}\, e^{-j\frac{2\pi}{3N}(3n+2)} \quad .$$

La comparaison entre les expressions (25) et (23) fait ressortir que :

$$C_A = a_A - jb_A ,$$

$$C_B = a_B - jb_B ,$$

$$C_C = a_C - jb_C .$$

Ainsi, la mémoire 46 aura enregistré les composantes orthogonales des tensions de phase.

Le signal issu de la deuxième sortie de l'organe 100 attaque l'entrée de remise à zéro des cellules de la mémoire 93. Alors l'état de la cellule, dont l'adresse est indiquée par le code de sortie du compteur 95, devient égal à zéro.

Le signal issu de la sortie de débordement du compteur 96 attaque l'entrée "1" de la bascule 83 en le mettant à l'état "1". En même temps a lieu le démarrage de l'ensemble 66 commandant le calcul des composantes symétriques. Il convient de noter que le sous-ensemble 65 continue à fonctionner pour déterminer les composantes orthogonales des tensions de phase de la période suivante.

Le sous-ensemble 66 présente une structure analogue à celle de la figure 12. Le fonctionnement du sous-ensemble 66, de même que son interaction avec les éléments 46-50, ont été examinés plus haut. La différence réside en ce que la mémoire 47 mémorise les nombres complexes correspondant aux coefficients de pondération. Alors les valeurs complexes des composantes symétriques des tensions sont déduites en réalisant les expressions :

$$\dot{U}_+ = \frac{j}{3} C_A + \frac{je^{j2\pi/3}}{3} CB + \frac{je^{j2\pi/3}}{3} C_C ,$$

$$\dot{U}_- = \frac{j}{3} C_A + \frac{je^{-j\,2\pi/3}}{3} C_B + \frac{je^{j2\pi/3}}{3} C_C , \qquad (27)$$

$$\dot{U}_o = \frac{j}{3} C_A + \frac{j}{3} C_B + \frac{j}{3} C_C .$$

ce qui résulte de la substitution des expressions (26) dans l'expression (3).

Lors de la mesure des paramètres des composantes symétriques suivant le procédé et à l'aide des dispositifs conformes à l'invention, il peut se produire différents genres d'erreurs, déterminé par exemple par la température ambiante ou par l'instabilité temporaire des éléments constituant la partie de mesure, ou encore par le caractère non identique des canaux d'entrée, ou bien encore par d'autres facteurs.

On sait que les résultats de mesure de X_s de la $S^{ème}$ séquence peuvent se présenter sous forme d'une combinaison linéaire de toutes les composantes symétriques présentes dans le secteur :

$$\dot{X}_3 = \sum_{i=0}^{m-1} \dot{K}_i \dot{U}_i^* \qquad (28)$$

où $\dot{U}_i^*$ est la valeur complexe de la tension de $i^{ème}$ séquence;

$\dot{K}_i$ est le coefficient de transmission du dispositif de mesure à la $i^{ème}$ séquence.

En cas de mesure de la $S^{ème}$ séquence, la valeur nominale du coefficient de transmission est, d'après le paramètre de caractère informatif (c'est-à-dire la $S^{ème}$ séquence à mesurer), égal à 1, tandis que d'après les paramètres de caractère non informatif (les composantes symétriques qui ne sont pas à mesurer), les valeurs nominales des coefficients de transmission sont égales à 0.

Les valeurs réelles de ces coefficients diffèrent desdites valeurs nominales et sont égales à :

$$\dot{K}_i = \begin{cases} 1 + \dot{\delta}_c, & i = s' \\ \dot{\delta}_i, & i \neq s \end{cases} \qquad (29)$$

où $\dot{\delta}_i$ représente les valeurs absolues des erreurs propres aux coefficients de transmission par rapport aux valeurs nominales.

La présence des erreurs de coefficients de transmission a pour résultat des erreurs dans la mesure des composantes symétriques, l'erreur absolue de mesure étant comme suit :

$$\Delta_s = \dot{X}_s - \dot{U}_s^* = \sum_{i=0}^{m-1} \dot{\delta}_i \dot{U}_i^* \quad , \qquad (30)$$

tandis que l'erreur relative est :

$$\dot{\gamma}_s = \frac{\dot{X}_s - \dot{U}_s^*}{\dot{U}_s^*} = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\dot{\delta}_i \dot{U}_i^*}{\dot{U}_s^*} \quad ,$$

ou

$$\dot{\gamma}_s = \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq s}}^{m-1} \delta_i \frac{\dot{U}_i^*}{\dot{U}_s^*} + \dot{\delta}_s \quad . \qquad (31)$$

L'analyse de la dernière expression fait ressortir que les erreurs δ_i même insignifiantes peuvent conduire à une erreur relative importante, en ce qui concerne la mesure de la $S^{ème}$ séquence, si le module de tension de la $S^{ème}$ séquence est de plusieurs fois inférieur au module de tension de n'importe quelle autre séquence.

Il est proposé, dans la présente invention, un autre dispositif pour la mesure des composantes symétriques (figure 14) assurant la correction des erreurs apparaissant sous l'effet de la déviation des valeurs des coefficients de transmission par rapport à leurs valeurs nominales.

Le dispositif représenté sur la figure 14 comporte, outre le dispositif 103 pour la mesure des composantes symétriques du type représenté sur les figures 3 ou 4, un sélecteur commandé 104 servant à brancher les entrées du dispositif 103, soit sur les bornes d'entrée 105 (en assurant le branchement du secteur à examiner), soit sur un générateur de signaux échantillons 106. D'autre part, ce dispositif comporte aussi un organe correcteur 107 dont l'entrée est connectée à la sortie du dispositif 103 et

dont la sortie constitue la sortie du dispositif, les signaux issus de cette sortie portant l'information sur les paramètres des composantes symétriques compte tenu de la compensation faite. Les autres sorties de l'organe 107 sont branchées sur les entrées de commande du sélecteur 104, par exemple sur les entrées de commande du groupe de relais 109, qui agit en fonction de l'entrée de commande attaquée et, ainsi, assure le branchement des entrées du dispositif 103, par l'intermédiaire des groupes de contacts respectifs 110, 111, 112 et 113, soit sur les sorties du générateur 106, soit sur les bornes 105.

Suivant une variante préférée, représentée sur la figure 14, l'organe 107 comporte un définisseur de facteurs de correction 114, une mémoire de travail 115, un multiplicateur 116 dont une première entrée est réunie à l'entrée du définisseur 114 et est connectée à la sortie du dispositif 103, tandis que son autre entrée est connectée à la sortie de la mémoire de travail 115. L'organe correcteur 107 comporte aussi un additionneur cumulatif 117 dont l'entrée est connectée à la sortie du multiplicateur 116 et dont la sortie sert de sortie de l'organe correcteur 107. Il y a d'autre part un bloc de commande 118 dont une première sortie est reliée aux entrées de commande du définisseur 114, tandis que d'autres sorties sont connectées aux fils d'adresse de la mémoire 115, encore une autre sortie étant reliée aux entrées de synchronisation de l'additionneur 117, et d'autres sorties constituant les sorties 108 de l'organe correcteur 107.

Le générateur de signaux échantillons 106 forme un système symétrique triphasé de tensions de séquence positive, qui parvient aux entrées du dispositif 103 par les contacts 110, 111, 112. Lorsque les contacts 110 se ferment, les entrées du dispositif 103 sont attaquées par une séquence positive de tensions U_{+n}, qui se forme à la suite de l'application de tensions aux première, deuxième et troisième entrées du dispositif 103 à partir, respectivement, des première, deuxième et troisième sorties du générateur 106

Lors de la fermeture des contacts 111, on obtient aux entrées du dispositif 103 une séquence négative de tensions $\dot{U}_{-n}$, qui se forme à la suite de l'application à la première, la deuxième et la troisième entrées du dispositif 103 de tensions issues des première, deuxième et troisième sorties du générateur 106, respectivement. Lors de la fermeture des contacts 112, on obtient aux entrées du dispositif 103,une séquence nulle de tensions $\dot{U}_{on}$, qui résulte de l'application de la tension issue de la première sortie du générateur aux trois entrées du dispositif 103. Il convient de noter ici que les systèmes de tensions échantillons de séquences positive, négative et nulle sont liés entre eux par le rapport :

$$\dot{U}_{+n} = \dot{U}_{-n} = \dot{U}_{on} = \dot{U}_{n} \qquad (32)$$

où $\dot{U}_{n}$ est la valeur nominale de la tension échantillon présente à la première sortie du générateur 106.

La fermeture des contacts 113 a pour conséquence l'arrivée à l'entrée du dispositif 103 du système de tensions triphasé prélevé sur les bornes d'entrée 105.

Les résultats de mesure $\dot{X}_{+}$, $\dot{X}_{-}$, $\dot{X}_{o}$ qui apparaissent à la sortie du dispositif 103, en conformité avec l'expression (28), sont des combinaisons linéiares des tensions de séquences positive $\dot{U}_{+}$, négative $\dot{U}_{-}$, et nulle $\dot{U}_{o}$ attaquant l'entrée du dispositif 103 :

$$\begin{aligned} \dot{X}_{+} &= \dot{K}_{11}\dot{U}_{+} + \dot{K}_{12}\dot{U}_{-} + \dot{K}_{13}\dot{U}_{o} , \\ \dot{X}_{-} &= \dot{K}_{21}\dot{U}_{+} + \dot{K}_{22}\dot{U}_{-} + \dot{K}_{23}\dot{U}_{o} , \\ \dot{X}_{o} &= \dot{K}_{31}\dot{U}_{+} + \dot{K}_{32}\dot{U}_{-} + \dot{K}_{33}\dot{U}_{o} , \end{aligned} \qquad (33)$$

où $\dot{K}_{11}$, $\dot{K}_{21}$, $\dot{K}_{31}$ sont les coefficients de transmission de la tension de séquence positive;

$\dot{K}_{12}$, $\dot{K}_{22}$, $\dot{K}_{32}$ sont les coefficients de transmission de la tension de séquence négative

$\dot{K}_{13}$, $\dot{K}_{23}$, $\dot{K}_{33}$ sont les coefficients de transmission de la tension de séquence nulle

lors de la mesure des séquences de tensions, respectivement, positive, négative et nulle.

La dernière expression peut être représentée, avec plus de commodité, sous forme de matrice :

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_+ \\ \dot{X}_- \\ \dot{X}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{K}_{11} & \dot{K}_{12} & \dot{K}_{13} \\ \dot{K}_{21} & \dot{K}_{22} & \dot{K}_{23} \\ \dot{K}_{31} & \dot{K}_{32} & \dot{K}_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_+ \\ \dot{U}_- \\ \dot{U}_o \end{bmatrix} \qquad (34)$$

Au début, le bloc de commande 118 met en marche l'organe 114 définisseur de facteurs de correction et ses sorties 108 produisent à tour de rôle des signaux qui parviennent au groupe de relais 109.

Alors on assiste au fonctionnement des contacts 110, 111 et 112 qui se ferment à tour de rôle eux aussi pour un délai dont la durée n'est pas inférieure à une période de tension. On est alors en présence, aux entrées du dispositif 103, de systèmes échantillons de tensions de séquences positive, négative et nulle.

Les résultats de mesure de ces systèmes échantillons de tensions triphasées, qui se présentent à l'entrée du définisseur de facteurs de correction 114, peuvent être représentés sous forme de matrice :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{11} & \dot{x}_{12} & \dot{x}_{13} \\ \dot{x}_{21} & \dot{x}_{22} & \dot{x}_{23} \\ \dot{x}_{31} & \dot{x}_{32} & \dot{x}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{K}_{11} & \dot{K}_{12} & \dot{K}_{13} \\ \dot{K}_{21} & \dot{K}_{22} & \dot{K}_{23} \\ \dot{K}_{31} & \dot{K}_{32} & \dot{K}_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_{+n} & 0 & 0 \\ 0 & \dot{U}_{-n} & 0 \\ 0 & 0 & \dot{U}_{on} \end{bmatrix} \qquad (35)$$

Dans le définisseur de facteurs de correction 114, se produit la détermination des éléments de la matrice de facteurs de correction en conformité avec la formule :

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} = \frac{1}{\dot{U}_n} \begin{bmatrix} \dot{X}_{11} & \dot{X}_{12} & \dot{X}_{13} \\ \dot{X}_{21} & \dot{X}_{22} & \dot{X}_{23} \\ \dot{X}_{31} & \dot{X}_{32} & \dot{X}_{33} \end{bmatrix}^{-1} \qquad (36)$$

Les codes caractérisant les facteurs de correction sont enregistrés dans la mémoire 115 en présence de signaux issus de la sortie du bloc de commande 118.

Par la suite, le bloc de commande 118 produit un signal qui, en attaquant le groupe de relais 109, commande la fermeture des contacts 113. Alors on obtient à l'entrée du dispositif 103 le système de tensions triphasé à examiner. Les codes de sortie du dispositif 103, qui sont déterminés par le rapport (34), arrivent l'un après l'autre à l'entrée du multiplicateur 116, dont les autres entrées sont attaquées, l'une après l'autre, par les facteurs de correction issus de la mémoire 115 en présence des signaux respectifs provenant du bloc de commande 118. Il s'agit des facteurs A_{11}, A_{12}, A_{13}, en cas de détermination de la tension de séquence positive, des facteurs A_{21}, A_{22}, A_{23}, en cas de détermination de la tension de séquence négative, et des facteurs A_{31}, A_{32}, A_{33}, en cas de détermination de la tension de séquence nulle.

Les produits des codes de sortie, issus du dispositif 103, et des facteurs de correction respectifs sont fournis par la sortie du multiplicateur 116 à l'additionneur cumulatif 117. La sortie de l'additionneur 117 produit des codes correspondant aux valeurs réelles des composantes symétriques des tensions du secteur triphasé. Ces codes sont, respectivement :

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_+ &= A_{11}\dot{X}_+ + A_{12}\dot{X}_- + A_{13}\dot{X}_o \,, \\ \dot{U}_- &= A_{21}\dot{X}_+ + A_{22}\dot{X}_- + A_{23}\dot{X}_o \,, \\ \dot{U}_o &= A_{31}\dot{X}_+ + A_{32}\dot{X}_- + A_{33}\dot{X}_o \,. \end{aligned}\right\} \qquad (37)$$

On va maintenant montrer que le dispositif représenté sur la figure 14 permet vraiment de mesurer les composantes symétriques avec une très grande précision grâce à l'élimination des erreurs dues à la déviation des valeurs de coefficients de transmission en composantes symétriques par rapport à leurs valeurs nominales.

Compte tenu de l'expression (32), l'expression (35) peut être réduite à la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{11} & \dot{X}_{12} & \dot{X}_{13} \\ \dot{X}_{21} & \dot{X}_{22} & \dot{X}_{23} \\ \dot{X}_{31} & \dot{X}_{32} & \dot{X}_{33} \end{bmatrix} = U_n \begin{bmatrix} \dot{K}_{11} & \dot{K}_{12} & \dot{K}_{13} \\ \dot{K}_{21} & \dot{K}_{22} & \dot{K}_{23} \\ \dot{K}_{31} & \dot{K}_{32} & \dot{K}_{33} \end{bmatrix} \qquad (38)$$

C'est-à-dire que les résultats des mesures des systèmes échantillons de tensions, obtenus avec une précision équivalente au coefficient constant, sont égaux aux coefficients de transmission en composantes symétriques de tension.

De l'expression (34) on déduit :

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_+ \\ \dot{U}_- \\ \dot{U}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{K}_{11} & \dot{K}_{12} & \dot{K}_{13} \\ \dot{K}_{21} & \dot{K}_{22} & \dot{K}_{23} \\ \dot{K}_{31} & \dot{K}_{32} & \dot{K}_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{X}_+ \\ \dot{X}_- \\ \dot{X}_o \end{bmatrix} \qquad (39)$$

d'où on obtient, compte tenu de l'expression (38) :

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_+ \\ \dot{U}_- \\ \dot{U}_o \end{bmatrix} = \frac{1}{U_n} \begin{bmatrix} \dot{X}_{11} & \dot{X}_{12} & \dot{X}_{13} \\ \dot{X}_{21} & \dot{X}_{22} & \dot{X}_{23} \\ \dot{X}_{31} & \dot{X}_{32} & \dot{X}_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{X}_+ \\ \dot{X}_- \\ \dot{X}_o \end{bmatrix} \qquad (40)$$

Il est facile de remarquer que les expressions (36) et (40) sont identiques du fait que leurs facteurs de correction résultent de l'expression (36) , ce qui permet de conclure que les valeurs des composantes symétriques du secteur sont calculées sans erreurs dues à la déviation des coefficients de transmission en composantes symétriques par rapport à leurs valeurs nominales.

Il convient de noter qu'il n'est pas indispensable de définir les facteurs de correction pour chaque cycle de mesure, cette opération pouvant être exécutée périodiquement, par exemple une fois toutes les 10 ou 60 minutes.

On envisage d'autre part une autre modification à apporter au dispositif conforme à l'invention, qui permet de diagnostiquer l'aptitude au fonctionnement du dispositif. Cet avantage s'obtient par branchement sur la sortie du définisseur 114, en série, d'un circuit comparateur de codes 119 et d'un indicateur de défauts 120.

En cas de bon fonctionnement du dispositif, les modules des facteurs de correction A_{11}, A_{22}, A_{33} se trouvent dans un intervalle $[1 - \varepsilon; 1 + \varepsilon]$, tandis que les modules des facteurs A_{12}, A_{13}, A_{21}, A_{23}, A_{31}, A_{32} ne dépassent pas la valeur ε, qui est définie expérimentalement comme la valeur maximale de l'erreur relative propre à la mesure des composantes symétriques, laquelle erreur est réduite à la valeur nominale de la tension.

Les codes caractérisant les facteurs de correction et issus de la sortie du définisseur 114 arrivent au circuit 119 de comparaison des codes, où ces codes sont soumis à la comparaison avec les tolérances mentionnées. Quand l'un des facteurs présente une valeur dépassant les limites admises, le circuit 119 produit un signal qui est envoyé à l'indicateur de défauts 120, pouvant se présenter, dans un cas simplifié, sous forme d'une lampe-témoin disposée sur le tableau de commande.

Ainsi, le procédé proposé et les dispositifs pour sa réalisation permettent une mesure très précise des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé. En outre, on obtient une rapidité d'action maximale du dispositif (durée du cycle de mesure ne dépassant pas celle de la période du secteur).

Le procédé et les dispositifs conformes à l'invention offrent de larges possibilités fonctionnelles, car les composantes orthogonales de séquences symétriques,

obtenues lors de la mesure, permettent d'estimer différents paramètres des composantes symétriques : valeurs complexes, amplitudes, angles de déphasage. Ceci rend le procédé et les dispositifs en question utilisables non seulement pour les mesures, mais aussi en vue de la conversion primaire dans les systèmes de commande des régimes de fonctionnement des réseaux d'énergie.

La grande rapidité d'action des dispositifs pour la réalisation du procédé conforme à l'invention, permet de les employer pour l'enregistrement des processus rapides qui ont lieu dans les réseaux d'énergie , en particulier aux moments précédant les pannes. Ils sont aussi utilisables dans les systèmes de protection desdits réseaux d'énergie.

Parmi les avantages obtenus on peut citer aussi l'élargissement de la gamme des paramètres pouvant être mesurés, accentué surtout vers les valeurs faibles, lequel élargissement est devenu possible grâce au calibrage par les signaux échantillons, qui contribue d'autre part à l'amélioration de la précision de mesure. On bénéficie en outre d'une autre possibilité concernant le diagnostic des défauts survenus au canal de mesure, ce qui contribue à son tour à l'augmentation de la fiabilité du dispositif pour la réalisation du procédé proposé.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé, du type consistant à former des signaux de référence, à multiplier leurs valeurs momentanées par les valeurs momentanées des tensions de phase et à établir la moyenne des produits obtenus, caractérisé en ce que les signaux de référence sont fournis sous forme d'un système de deux signaux sinusoïdaux orthogonaux et, ladite moyenne étant établie, on procède à l'addition des valeurs moyennes des produits avec les coefficients de pondération respectifs en vue de séparer les composantes orthogonales de séquences symétriques d'après lesquelles on estime les paramètres des composantes symétriques.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les valeurs momentanées des tensions de phase et des signaux de référence se présentent sous forme d'un code de leurs échantillons prélevés à des moments équidistants sur la période de l'une des tensions de phase.

3.- Dispositif de mesure des composantes symétriques des tensions d'un secteur polyphasé, pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte un commutateur (25) dont les entrées, en nombre égal à celui des phases du secteur polyphasé, sont reliées chacune à la phase respective de ce secteur, un multiplicateur de fréquence (26) dont l'entrée est branchée sur l'une des phases dudit secteur et dont la fonction est de convertir la période de cette phase en une suite d'impulsions, ainsi qu'un convertisseur tension-code (27) , un bloc de commande (28) et un organe de calcul (29) dont le signal de sortie porte l'information sur les paramètres des composantes symétriques, des sorties (30, 31 et 32) du bloc de commande (28) étant reliées, respectivement, aux entrées de commande du commutateur (25), du convertisseur (27) et

de l'organe (29), tandis que son entrée est reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence (26).

4.- Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une mémoire analogique (33) servant à mémoriser les échantillons des valeurs momentanées des tensions quand un signal approprié attaque son entrée de commande reliée à la sortie du multiplicateur de fréquence (26), et à relier électriquement les entrées du commutateur (25) aux phases respectives du secteur triphasé.

5.- Dispositif selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que le bloc de commande (28) comporte un organe synchroniseur (34) dont une première et une deuxième sortie constituent, respectivement, les sorties (31, 32) dudit bloc de commande, un compteur d'impulsions (35) et, connecté à celui-ci, un organe (36) d'identification du numéro de phase dont les sorties d'information forment les sorties (30) du bloc de commande (28), l'entrée du compteur (35) étant réunie à l'entrée de l'organe synchroniseur (34) et jouant le rôle d'entrée dudit bloc de commande (28).

6.- Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le bloc de commande (29) comporte, reliés en série, une bascule (39) dont l'une des entrées constitue l'entrée du bloc (28), un générateur déclenché (40) et un organe (36) d'identification du numéro de phase, dont une sortie complémentaire (41) est connectée à une autre entrée de la bascule (39), ainsi qu'un organe synchroniseur (34) dont une première et une deuxième sortie constituent, respectivement, les sorties (31, 32) du bloc (28), tandis que son entrée est reliée à l'entrée de l'organe (36) d'identification du numéro de phase, les sorties de celui-ci formant les sorties (30) du bloc de commande (28).

7.- Dispositif selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que l'organe de calcul (29) comporte, reliés en série, une première mémoire (42) dont

l'entrée sert d'entrée du bloc de calcul (29), un premier multiplicateur (44), un premier additionneur cumulatif (45), une deuxième mémoire (46), un deuxième multiplicateur (48), un deuxième additionneur cumulatif (49) et un convertisseur fonctionnel (50) dont la sortie constitue la sortie de l'organe de calcul (29), qui comporte en outre un bloc de commande (51) ainsi qu'une première et une deuxième mémoire inaltérable (43, 47) dans lesquelles se trouvent emmagasinés les échantillons des valeurs momentanées des signaux de référence et les coefficients de pondération, respectivement, les sorties desdites mémoires inaltérables (43, 47) étant reliées, respectivement, aux autres entrées du premier et du deuxième multiplicateur (44, 48), les entrées de synchronisation d'enregistrement et les fils d'adresse des mémoires (42, 46) étant connectés, respectivement, aux sorties (52, 53, 57, et 58) du bloc (51), les fils d'adresse des mémoires inaltérables (43, 47) ainsi que les entrées de remise à zéro et les entrées de synchronisation des additionneurs (45 et 49) étant reliés, respectivement, aux sorties (54, 59, 55, 56, 60 et 61) du bloc (51) précité, l'entrée de synchronisation d'enregistrement et l'entrée de démarrage du convertisseur (50) étant reliées, respectivement, aux sorties (62 et 63) du bloc (51), et l'entrée de démarrage du bloc (51) constituant l'entrée de commande de l'organe de calcul (29).

8.- Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le bloc de commande (28) comporte un organe (36) d'identification du numéro de phase, dont les sorties forment les sorties (30) du bloc (28) et dont l'entrée constitue l'entrée du bloc (28), et un organe synchroniseur (34) dont une première sortie constitue la sortie (31) du bloc (28), et une deuxième sortie, la sortie (32) du bloc (28), tandis que son entrée est réunie à l'entrée de l'organe (36) d'identification du numéro de phase, l'organe de calcul (29) comportant, reliés en série, un premier multiplicateur (44), dont l'entrée sert d'entrée dudit organe (29), un premier additionneur (45), une

mémoire de travail (93), une mémoire (46), un deuxième multiplicateur (48), un deuxième additionneur cumulatif (49) et un convertisseur fonctionnel (50) dont la sortie sert de sortie de l'organe de calcul, celui-ci comportant en outre son propre bloc de commande (51) ainsi qu'une première et une deuxième mémoire inaltérable (43, 47) servant à emmagasiner les échantillons des valeurs momentanées des signaux de référence et les coefficients de pondération, respectivement, les sorties desdites mémoires inaltérables (43, 47) étant connectées, respectivement, aux autres entrées du premier et du deuxième multiplicateur (44, 48), la sortie de la mémoire de travail (93) étant, elle aussi, reliée à une autre entrée de l'additionneur (45), le bloc de commande (51) ayant des entrées (54, 59) reliées aux fils d'adresse des mémoires inaltérables, respectivement (43 et 47), une sortie (56) reliée à l'entrée de synchronisation de l'additionneur (45), des sorties (101, 102) reliées, respectivement, à l'entrée de synchronisation d'enregistrement et à l'entrée de remise à zéro de la mémoire (93), des sorties (57, 58) reliées, respectivement, à l'entrée de synchronisation d'enregistrement et aux fils d'adresse de la mémoire (46), et des sorties (61, 60, 63) reliées, respectivement, à l'entrée de synchronisation et à l'entrée de remise à zéro de l'additionneur (49) ainsi qu'à l'entrée de démarrage du convertisseur fonctionnel (50), les fils d'adresse de la mémoire de travail (93) étant reliés aux fils d'adresse des digits de poids inférieur de la première mémoire inaltérable (43), et l'entrée de démarrage du bloc de commande (51) servant d'entrée de commande de l'organe de calcul (29).

9.- Dispositif selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un générateur de signaux échantillons (106) servant à former des systèmes symétriques de tension de séquences positive, négative et nulle, un organe correcteur (107) connecté à la sortie de l'organe de calcul (29) et un sélecteur

commandé (104) servant à relier à tour de rôle les sorties du générateur (106) et les tensions de phase du secteur polyphasé aux entrées respectives du commutateur (25) ou de la mémoire analogique (33) en conformité avec les signaux appropriés attaquant les entrées de commande de ce sélecteur en provenance des sorties (108) de commande de l'organe correcteur (107), la sortie d'information de l'organe correcteur (107) constituant la sortie du dispositif en question à laquelle se présente l'information sur les valeurs compensées des paramètres caractérisant les composantes symétriques à mesurer.

10.- Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'organe correcteur (107) comprend un définisseur de facteurs de correction (114), une mémoire de travail (115) dont l'entrée est reliée à la sortie du définisseur de facteurs de correction (114), un multiplicateur (116) dont une première entrée est réunie à l'entrée du définisseur (114) et sert d'entrée de l'organe correcteur (107) tandis que sa deuxième entrée est reliée à la sortie de la mémoire de travail (115), l'organe correcteur (107) comportant aussi un additionneur cumulatif (117) dont l'entrée est reliée à la sortie du multiplicateur (116) et dont la sortie sert de sortie d'information de l'organe (107), ainsi que son propre bloc de commande (118) dont les trois premières sorties sont connectées, respectivement, aux entrées de commande du définisseur (114), de la mémoire (115) et de l'additionneur (117), tandis que ses autres sorties constituent les sorties (108) de commande dudit organe correcteur.

11.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'organe correcteur (107) comporte aussi un bloc indicateur de défauts ayant son entrée reliée à la sortie du définisseur de facteurs de correction (114) et comprenant, reliés en série, un circuit comparateur des codes (119) et un indicateur (120).

2531540

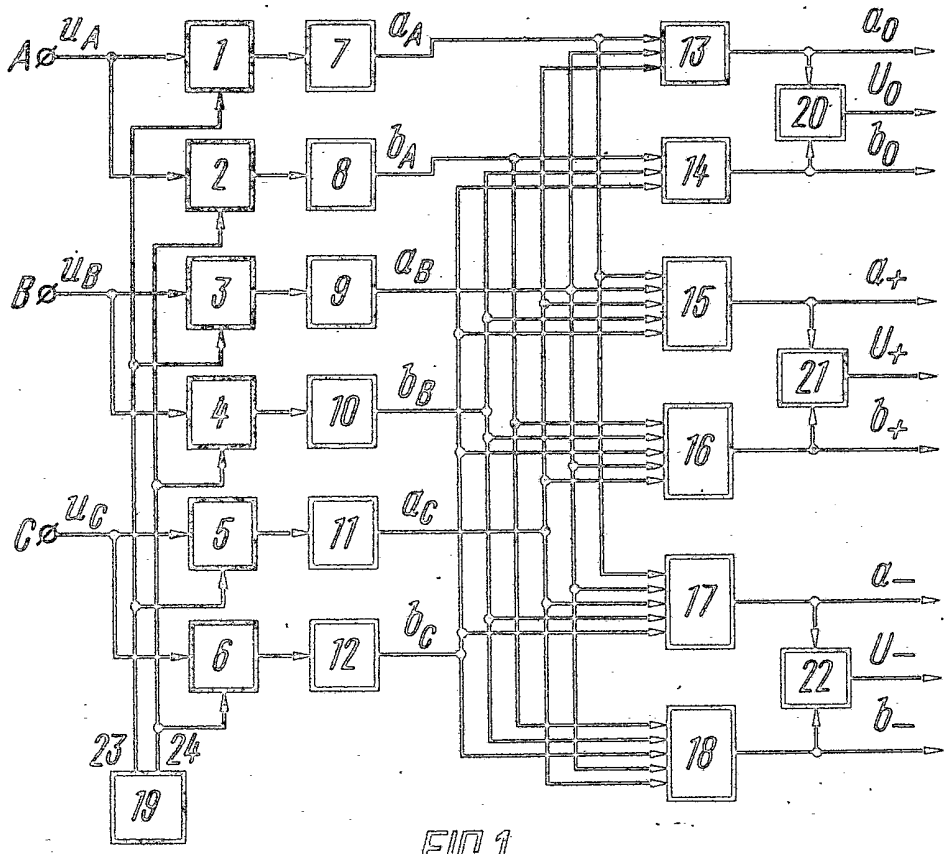


FIG.1

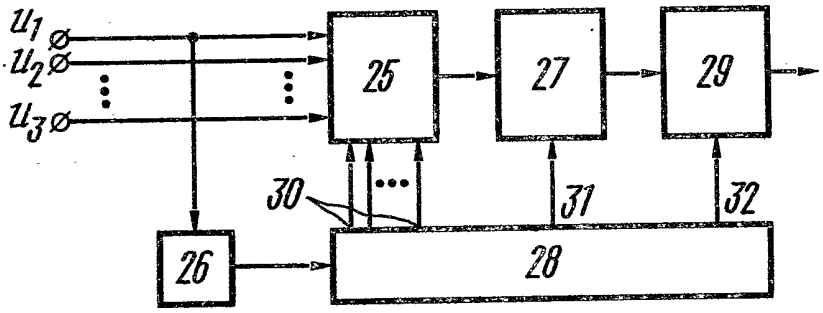


FIG. 2

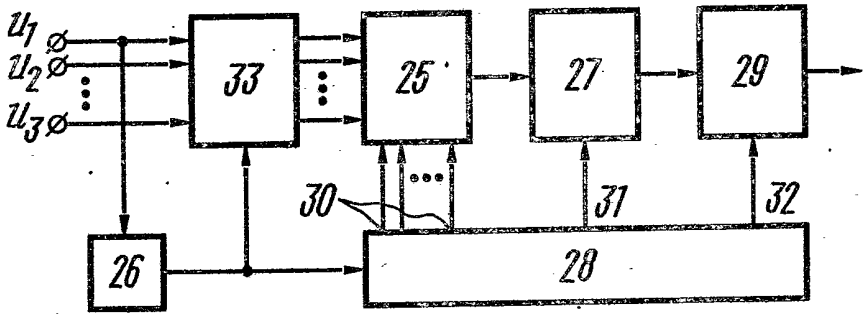


FIG. 3

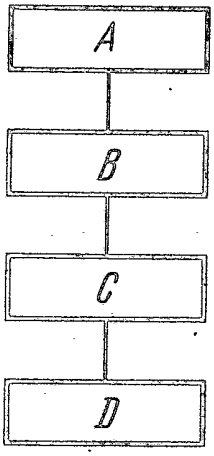


FIG. 4

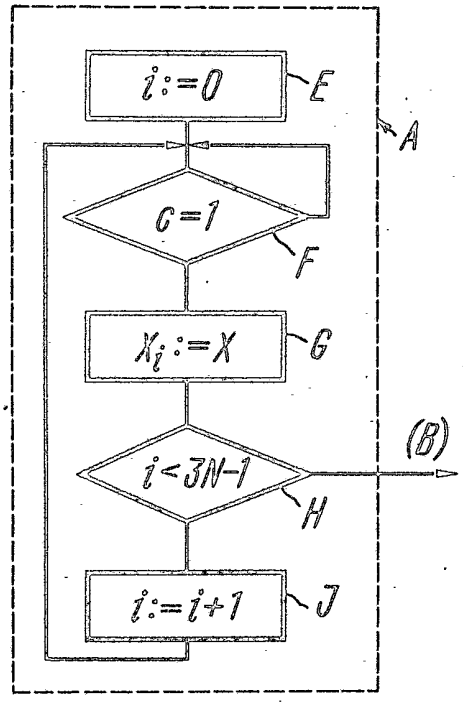


FIG. 5

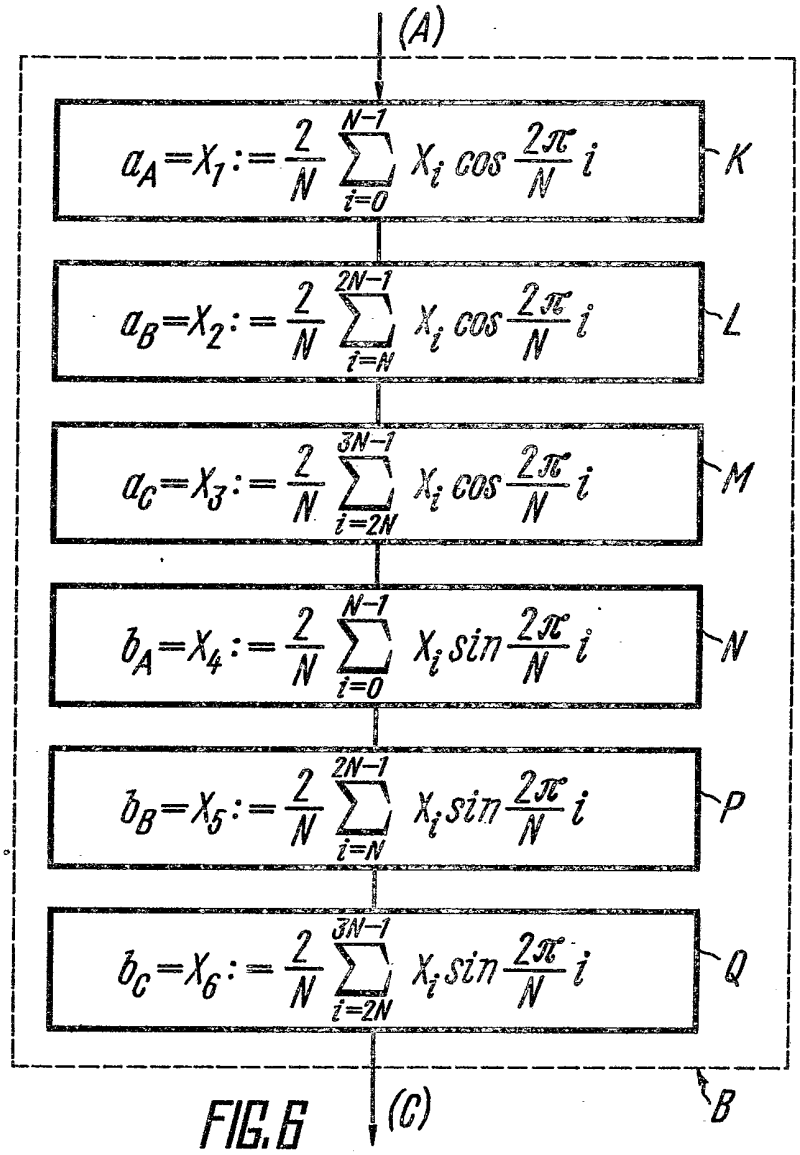

(A)
$a_A = X_1 := \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i$
K
$a_B = X_2 := \frac{2}{N} \sum_{i=N}^{2N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i$
L
$a_C = X_3 := \frac{2}{N} \sum_{i=2N}^{3N-1} X_i \cos \frac{2\pi}{N} i$
M
$b_A = X_4 := \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i$
N
$b_B = X_5 := \frac{2}{N} \sum_{i=N}^{2N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i$
P
$b_C = X_6 := \frac{2}{N} \sum_{i=2N}^{3N-1} X_i \sin \frac{2\pi}{N} i$
Q
B
(C)

FIG. 6

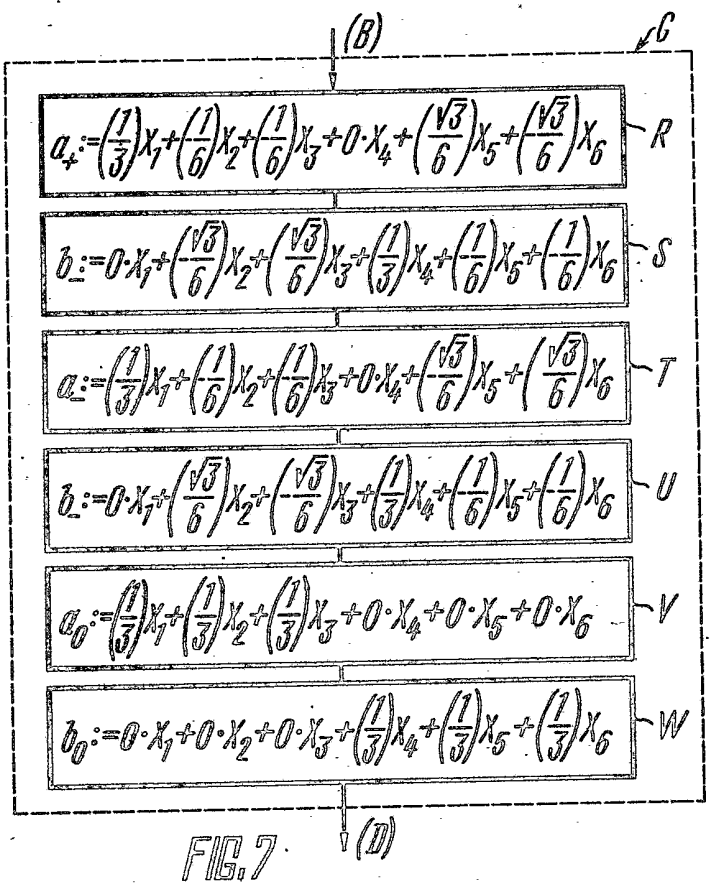

(B)
C
$a_+ := \left(\frac{1}{3}\right)X_1 + \left(\frac{1}{6}\right)X_2 + \left(\frac{1}{6}\right)X_3 + 0\cdot X_4 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_5 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_6$
R
$b_- := 0\cdot X_1 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_3 + \left(\frac{1}{3}\right)X_4 + \left(\frac{1}{6}\right)X_5 + \left(\frac{1}{6}\right)X_6$
S
$a_- := \left(\frac{1}{3}\right)X_1 + \left(\frac{1}{6}\right)X_2 + \left(\frac{1}{6}\right)X_3 + 0\cdot X_4 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_5 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_6$
T
$b_- := 0\cdot X_1 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right)X_3 + \left(\frac{1}{3}\right)X_4 + \left(\frac{1}{6}\right)X_5 + \left(\frac{1}{6}\right)X_6$
U
$a_0 := \left(\frac{1}{3}\right)X_1 + \left(\frac{1}{3}\right)X_2 + \left(\frac{1}{3}\right)X_3 + 0\cdot X_4 + 0\cdot X_5 + 0\cdot X_6$
V
$b_0 := 0\cdot X_1 + 0\cdot X_2 + 0\cdot X_3 + \left(\frac{1}{3}\right)X_4 + \left(\frac{1}{3}\right)X_5 + \left(\frac{1}{3}\right)X_6$
W
(D)

FIG. 7

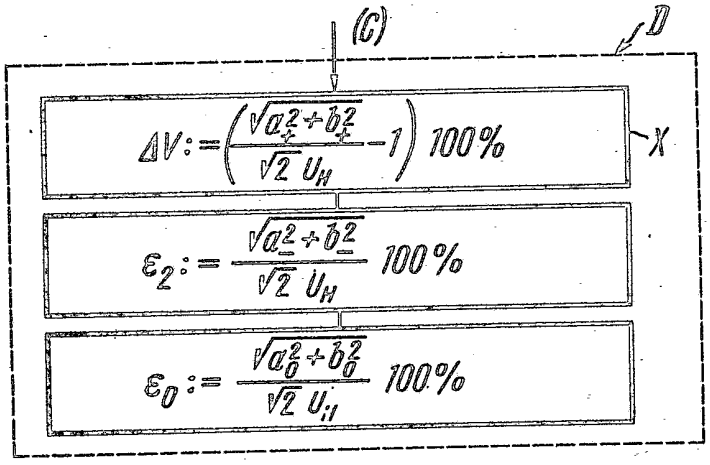

(C)
D
$\Delta V := \left(\frac{\sqrt{a_+^2 + b_-^2}}{\sqrt{2}\,U_H} - 1\right) 100\%$
X
$\varepsilon_2 := \frac{\sqrt{a_-^2 + b_-^2}}{\sqrt{2}\,U_H}\,100\%$
$\varepsilon_0 := \frac{\sqrt{a_0^2 + b_0^2}}{\sqrt{2}\,U_H}\,100\%$

FIG. 8

2531540

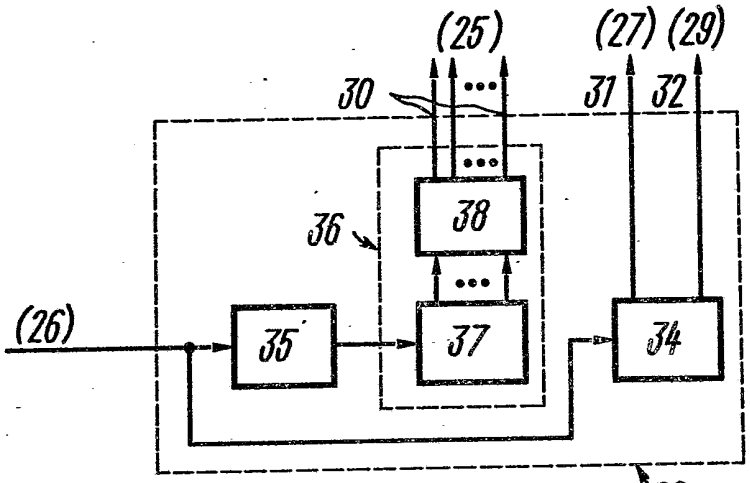


FIG.9

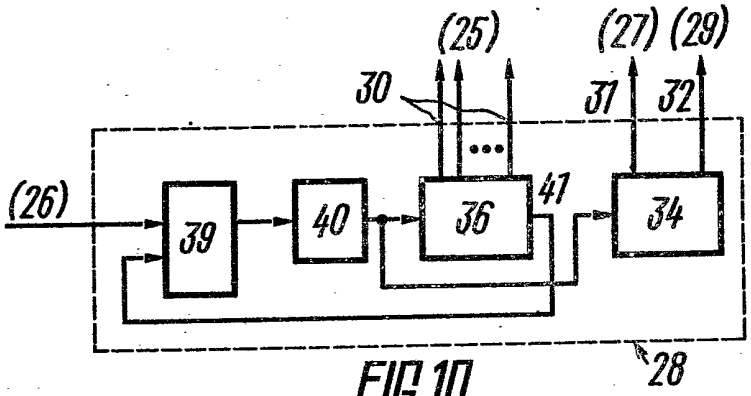


FIG.10

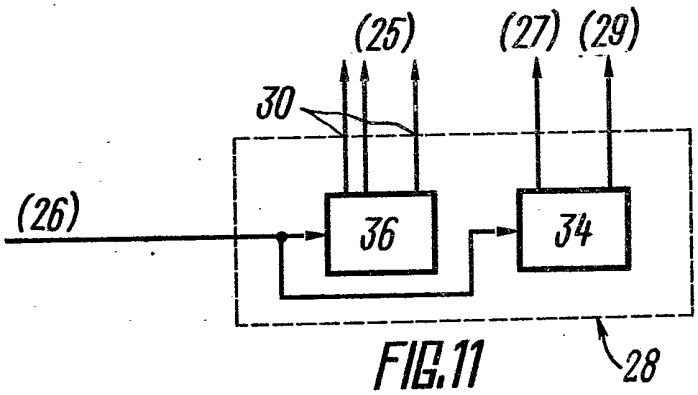


FIG.11

2531540

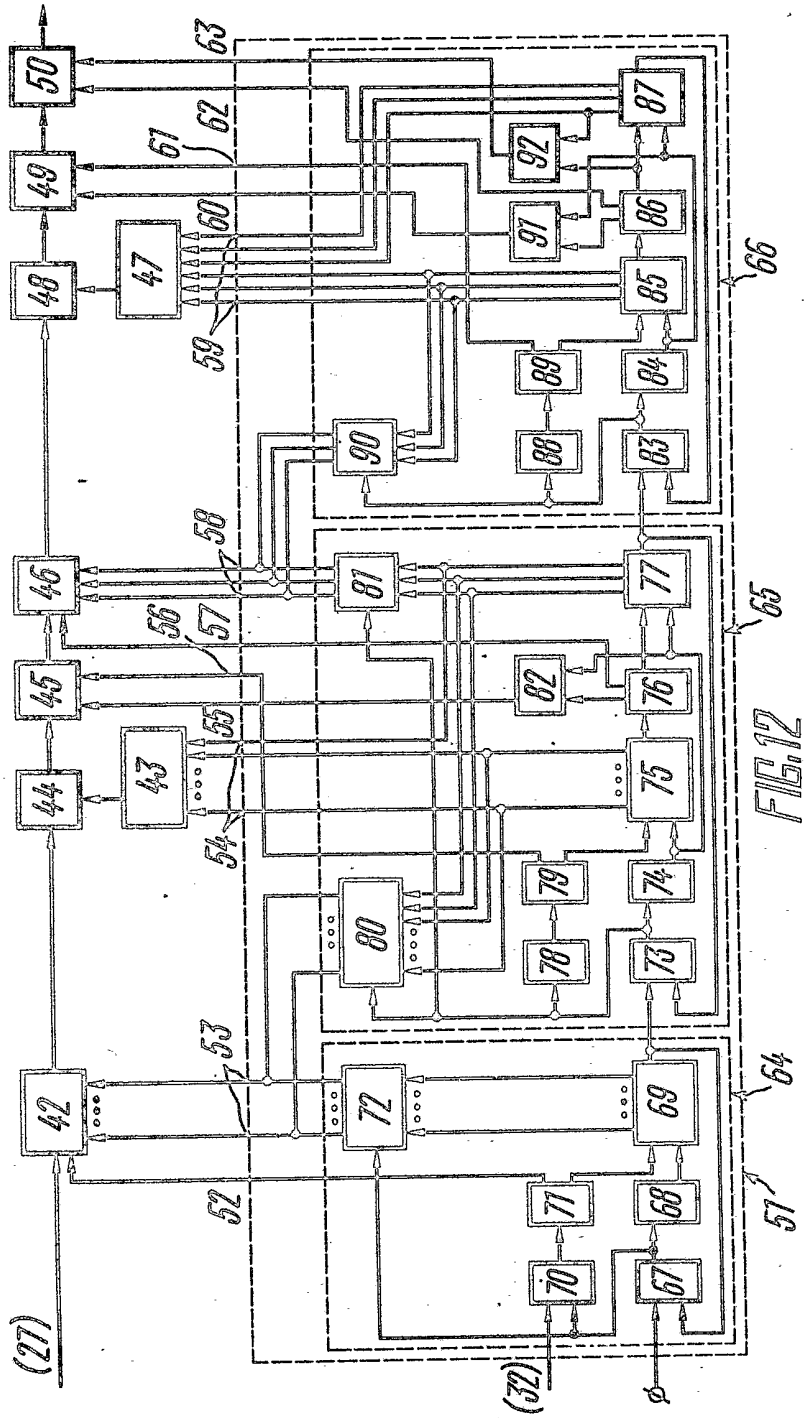


FIG. 12

2531540

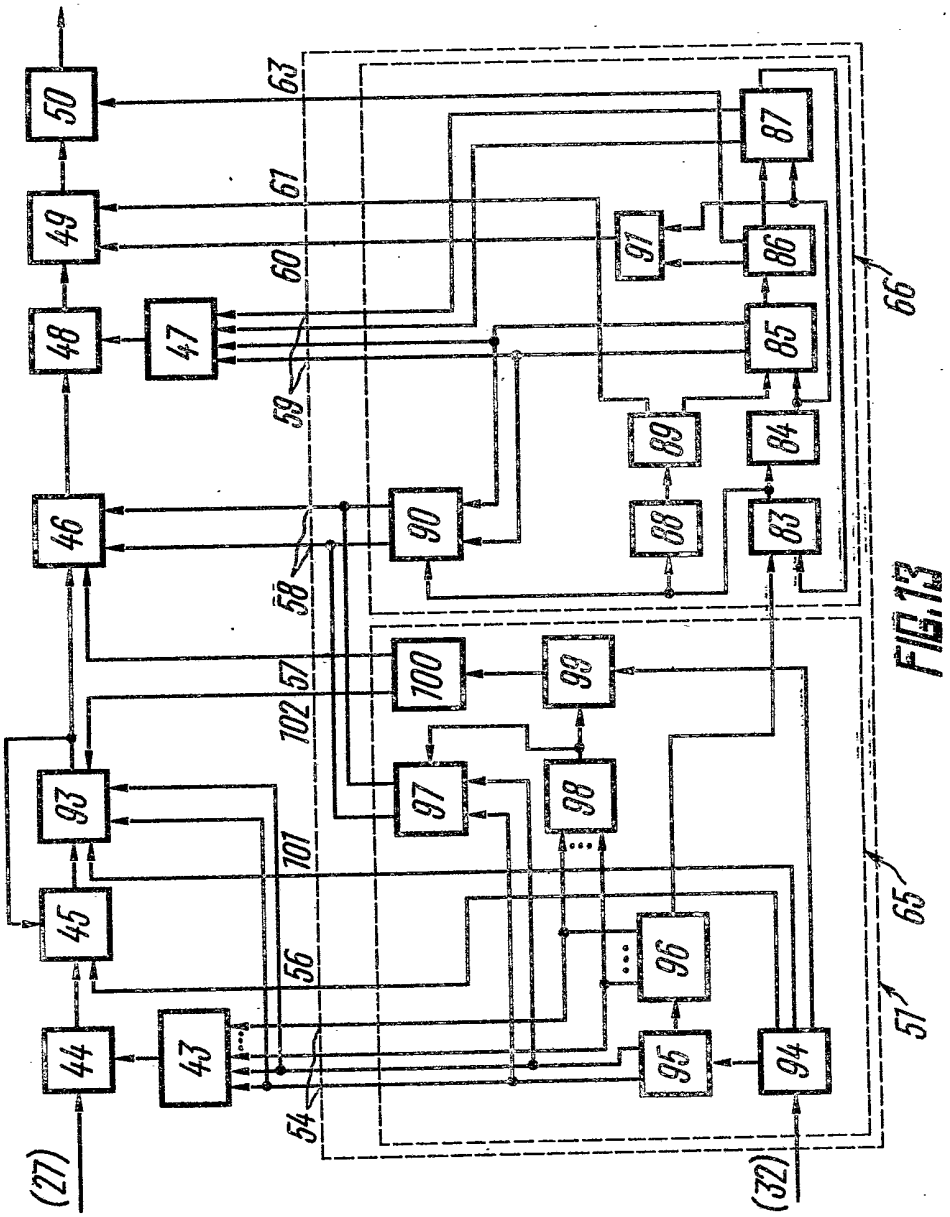


FIG.13

2531540

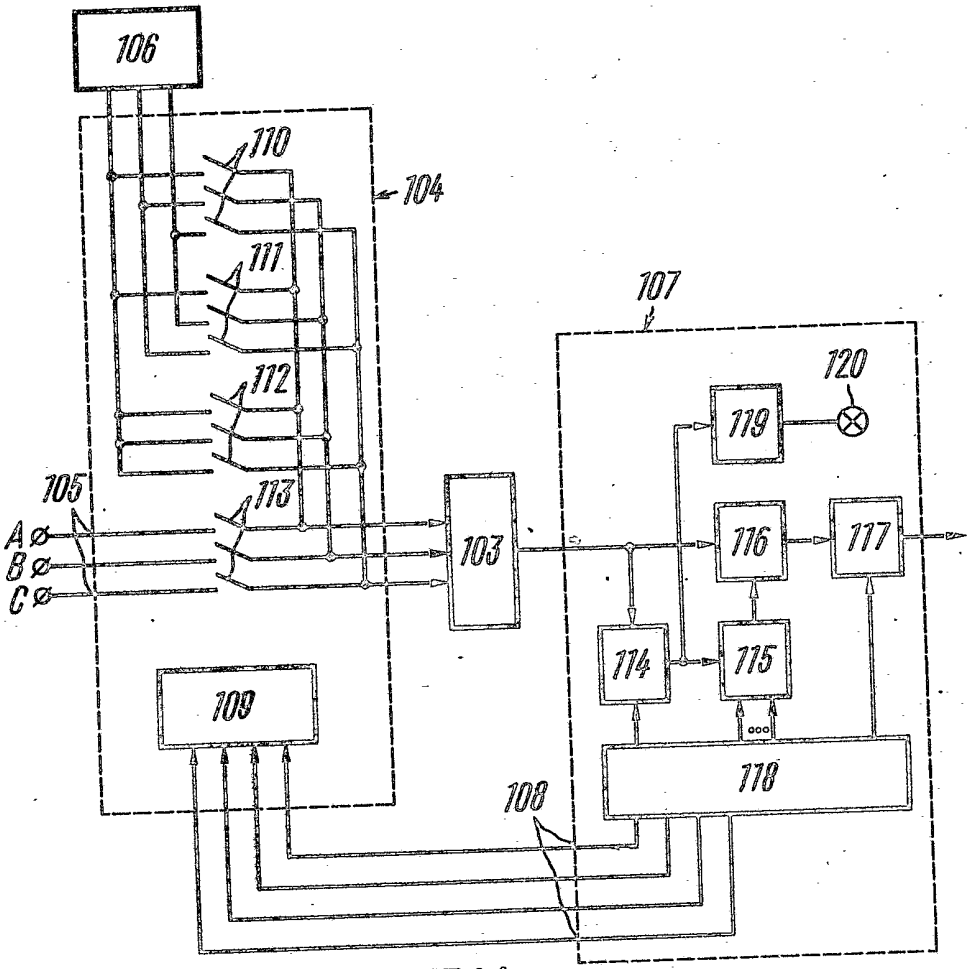


FIG.14

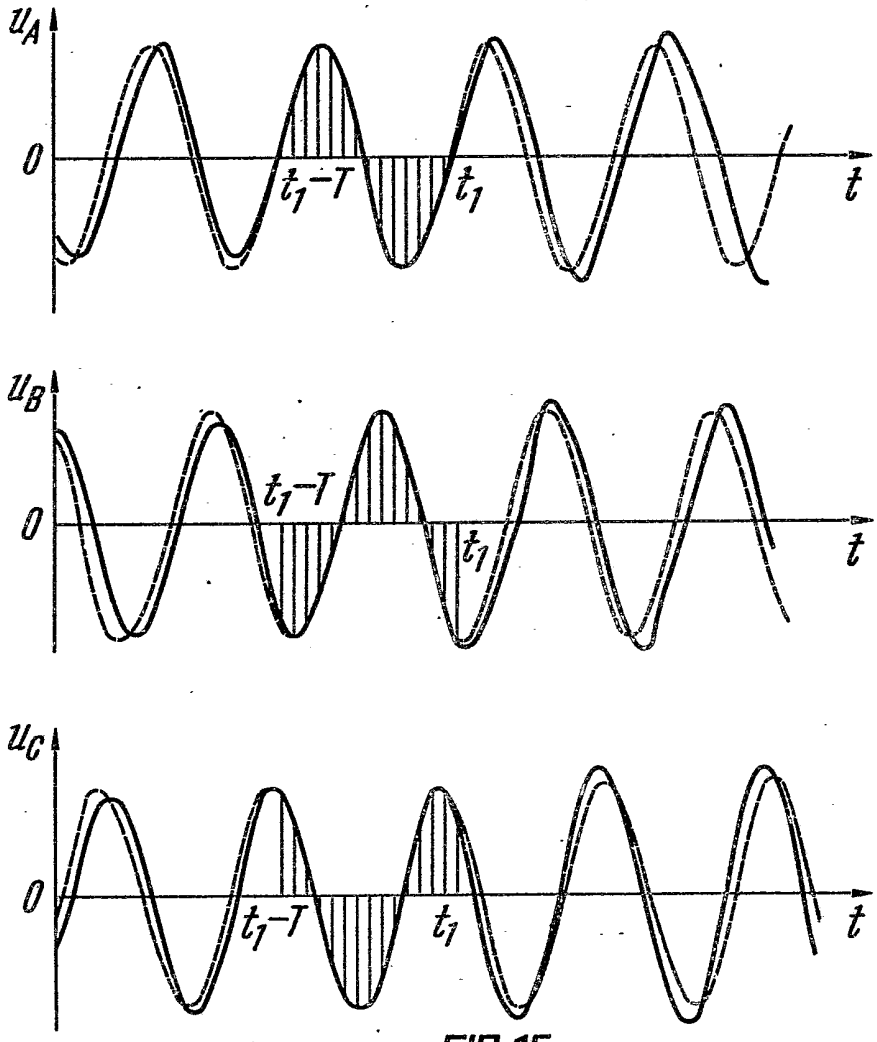


FIG. 15

2531540

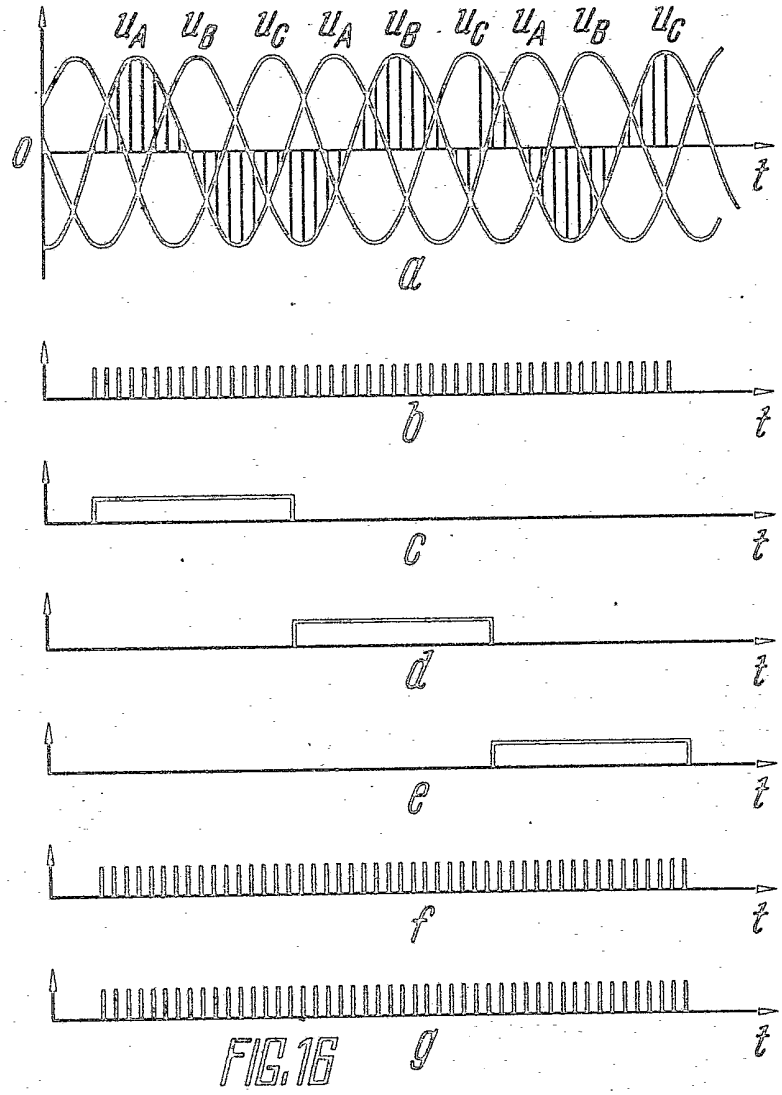


FIG. 16

2531540

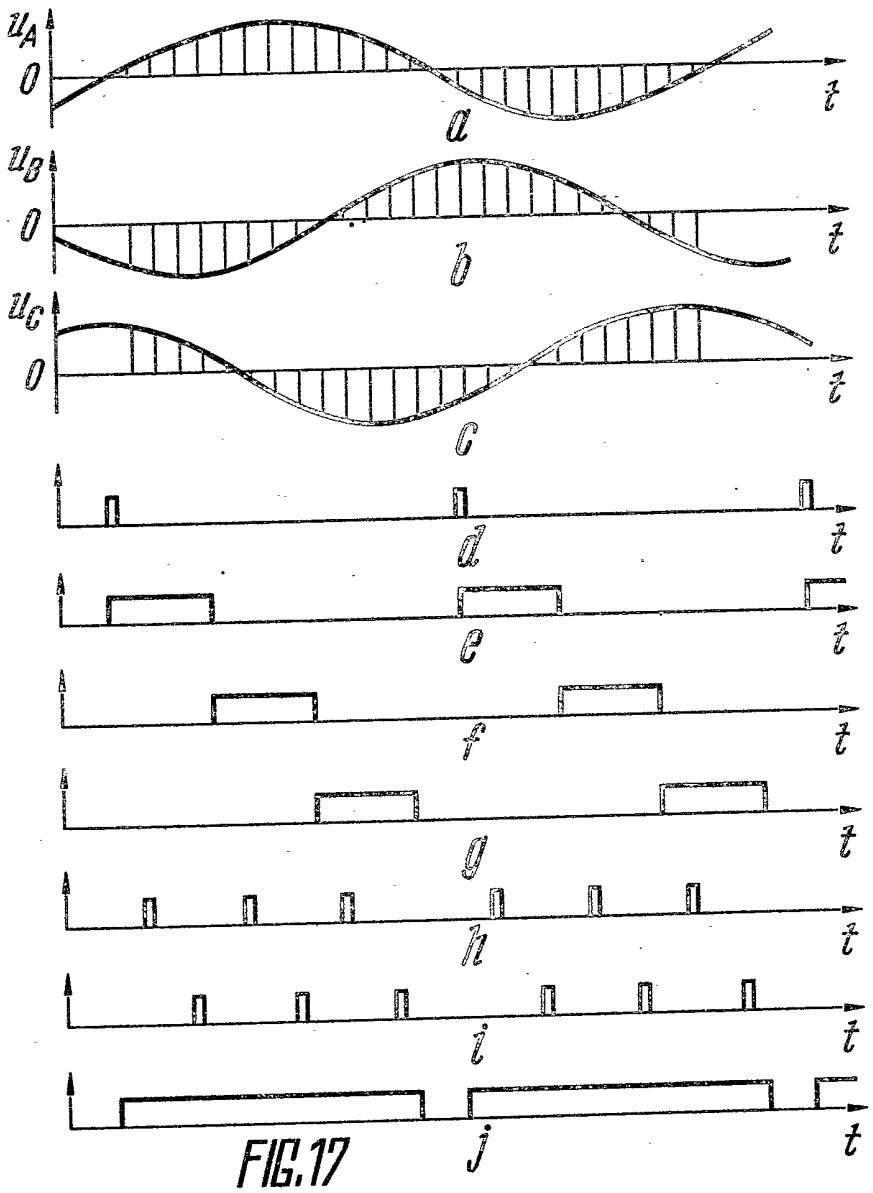


FIG.17

2531540

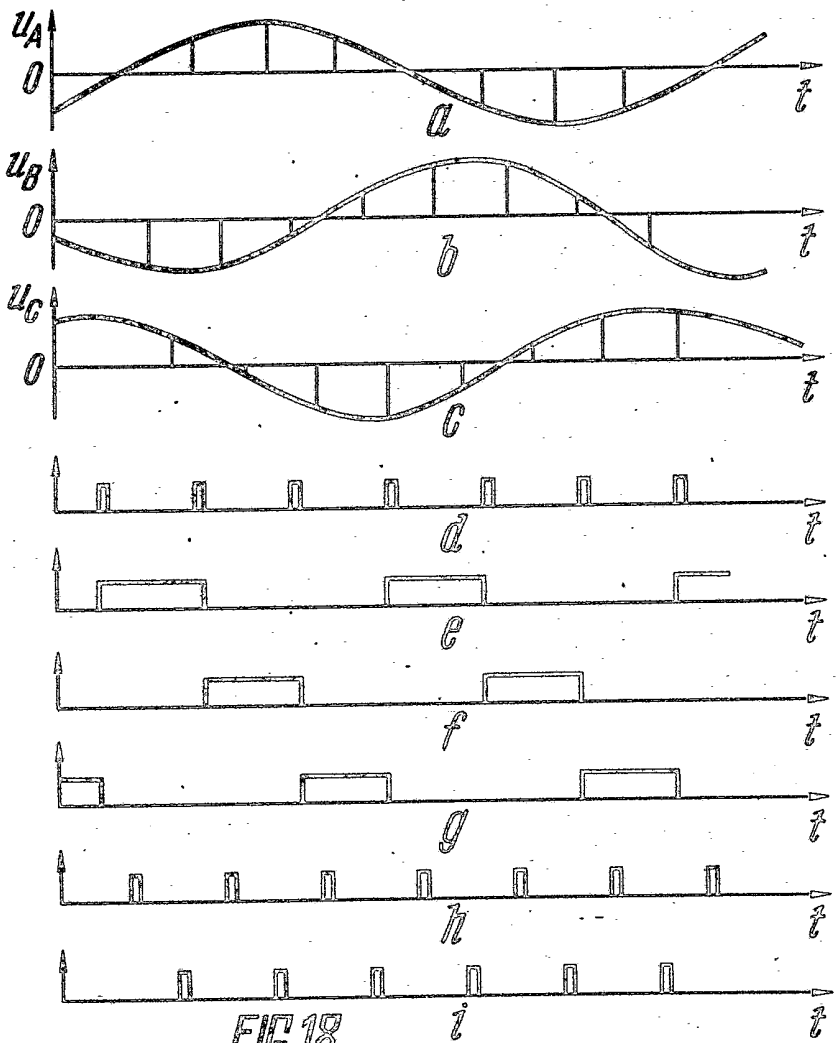


FIG.18