

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **SURVEILLANCE A DISTANCE D'EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DANS UN RESEAU ELECTRIQUE.**

②② **Date de dépôt** : 30.07.21.

③③ **Priorité** :

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés** :

☐ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : *ENERFOX Société par Actions
Simplifiée* — FR.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande** : 03.02.23 Bulletin 23/05.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention** : 28.07.23 Bulletin 23/30.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② **Inventeur(s)** : BAILLEAU Didier.

⑦③ **Titulaire(s)** : *ENERFOX Société par Actions
Simplifiée.*

⑦④ **Mandataire(s)** : SANTARELLI.



Description

Titre de l'invention : SURVEILLANCE A DISTANCE D'EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DANS UN RESEAU ELECTRIQUE

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine de la surveillance et du pilotage à distance d'équipements électriques.

Technique antérieure

[0002] La surveillance et le pilotage à distance d'équipements électriques dans un réseau électrique équipant un site professionnel, par exemple industriel ou tertiaire, requièrent la capacité à pouvoir déterminer à distance l'état de fonctionnement de ces équipements, typiquement état allumé, état en veille ou état correspondant à un mode spécifique de fonctionnement.

[0003] La mise en place d'un capteur sur chaque équipement n'est pas une solution viable économiquement. Elle est en outre complexe à mettre en œuvre lors de l'installation de nouveaux équipements sur le site.

[0004] D'autres solutions proposent d'identifier la présence d'un équipement à partir d'un paramètre électrique général. Notamment, la publication WO 201252868 propose d'utiliser la signature de courant (forme et amplitude) de chaque équipement électrique dans un réseau électrique domestique et de la corrélérer avec une mesure du courant général du réseau pour déterminer si chaque équipement est présent (actif) ou non.

[0005] Cette solution présente certains inconvénients. Elle n'est dédiée qu'au domaine résidentiel équipé d'un réseau électrique monophasé et permet uniquement d'identifier, de façon binaire, la présence ou l'absence d'un équipement domestique. En outre, elle se repose sur des signatures qui sont préétablies de façon indépendante d'un équipement à l'autre. Aussi, celles-ci n'autorisent pas une forte évolutivité du réseau et notamment l'implantation de plusieurs équipements de même type pour lesquels les signatures de courant préétablies sont similaires.

[0006] Il est donc un besoin général d'améliorer les techniques de surveillance des équipements électriques au sein d'un réseau électrique.

Exposé de l'invention

[0007] Dans ce dessein, l'invention prévoit notamment un procédé de détermination de l'état de fonctionnement d'équipements électriques dans un réseau électrique comportant une pluralité d'équipements électriques, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- obtenir une pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par un capteur sur le réseau électrique,

- déterminer un état de fonctionnement d'un premier équipement électrique en identifiant, parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique associée au premier équipement électrique.

L'homme du métier comprendra que la signature harmonique est une signature électrique d'un équipement formée d'un ou plusieurs harmoniques d'au moins un signal électrique. Un harmonique est entendu au sens d'un coefficient correspondant à un multiple d'une fréquence fondamentale du réseau électrique, dans une décomposition spectrale du signal électrique.

- [0008] L'utilisation d'harmoniques comme marqueurs (donc signatures) des états de fonctionnement des équipements électriques offre avantageusement des signatures plus fines, permettant notamment la détection de plusieurs modes au sein d'un même équipement, mais également la présence de plusieurs équipements de même type au sein du réseau électrique. Les harmoniques permettent en effet d'établir des signatures propres à chaque mode des équipements en tenant compte du réseau électrique dans sa globalité, i.e. en fonction des équipements ajoutés ou retirés, actifs ou inactifs. De nouveaux équipements sans signature préconnue peuvent ainsi être ajoutés sans difficulté au réseau électrique.
- [0009] Par ailleurs, une telle signature harmonique est compatible avec tout type de réseau électrique, monophasé ou triphasé.
- [0010] Enfin, elle permet d'utiliser un unique capteur sur le réseau, généralement à proximité d'un point unique d'injection (source électrique), pour la surveillance de l'ensemble des équipements électriques, simplifiant donc une mise en œuvre matérielle de façon peu onéreuse.
- [0011] Corrélativement, l'invention concerne aussi un dispositif de détermination de l'état de fonctionnement d'équipements électriques dans un réseau électrique comportant une pluralité d'équipements électriques, le dispositif comprenant :
- un module de mesure configuré pour obtenir une pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par un capteur sur le réseau électrique,
 - un module de détection configuré pour déterminer un état de fonctionnement d'un premier équipement électrique en identifiant, parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique associée au premier équipement électrique.
- [0012] Le dispositif présente les mêmes avantages que le procédé défini ci-dessus. Le dispositif peut faire partie d'un système plus large comprenant en outre le capteur, et optionnellement des moyens d'apprentissage pour générer les signatures harmoniques associées aux différents états de fonctionnement des équipements, optionnellement des moyens de commande du premier équipement électrique dans un nouvel état en réponse à l'étape d'identification.
- [0013] Des caractéristiques facultatives des modes de réalisation de l'invention sont définies

dans les revendications annexées. Certaines de ces caractéristiques sont expliquées ci-dessous en référence à un procédé, tandis qu'elles peuvent être transposées en caractéristiques de dispositif.

- [0014] Dans un mode de réalisation, obtenir une pluralité d'harmoniques comprend l'un parmi :
- obtenir un ou plusieurs harmoniques sur plusieurs phases ou chaque phase d'une même grandeur (intensité/courant ou tension) d'un réseau triphasé,
 - obtenir un ou plusieurs harmoniques d'un signal de courant électrique seulement, éventuellement sur une, plusieurs ou toutes les phases de courant en cas de réseau triphasé,
 - obtenir un ou plusieurs harmoniques d'un signal de tension électrique seulement, éventuellement sur une, plusieurs ou toutes les phases de tension en cas de réseau triphasé,
 - obtenir un ou plusieurs harmoniques d'un signal de courant électrique et d'un signal de tension électrique, éventuellement sur une, plusieurs ou toutes les phases de chaque signal en cas de réseau triphasé.
- [0015] Les harmoniques sont compris ici comme de préférence de rang 2 ou supérieur. L'utilisation de plusieurs phases permet d'obtenir des signatures plus précises, et donc plus aptes à identifier de façon sûre les états des différents équipements surveillés.
- [0016] Selon une caractéristique particulière, le réseau électrique est un réseau triphasé. L'invention s'applique en effet de façon efficace aux sites professionnels et industriels.
- [0017] Dans un autre mode de réalisation, le réseau électrique a une topologie radiale où ledit capteur est située en tête de réseau, entre une source électrique, en amont, et lesdits équipements électriques, en aval. Le capteur est donc positionné à proximité de l'unique point d'injection (du courant électrique).
- [0018] De préférence, le réseau électrique comporte un unique capteur d'harmoniques. Aussi, une mise en œuvre peu onéreuse de l'invention peut être réalisée.
- [0019] Dans un mode de réalisation, le capteur est relié, via un réseau de communication (filaire ou sans fil), à un dispositif de contrôle configuré pour envoyer des commandes de changement d'état à un ou plusieurs desdits équipements électriques. L'invention offre ainsi un pilotage à distance des équipements basé sur la surveillance des états à partir des signatures harmoniques. Aussi, un contrôle plus précis des équipements est obtenu.
- [0020] Dans un mode de réalisation, la signature harmonique comprend l'un parmi :
- un ou plusieurs harmoniques de plusieurs phases d'un signal électrique triphasé,
 - un ou plusieurs harmoniques de chacune des phases d'un signal électrique triphasé,
 - un ou plusieurs harmoniques d'un signal de courant électrique et/ou d'un signal de tension électrique.

- [0021] Une signature est ainsi constituée de préférence d'un ensemble d'harmoniques répartis sur une ou plusieurs phases et/ou sur un ou plusieurs signaux.
- [0022] De préférence, la signature harmonique comprend au moins un harmonique de chacune des phases d'un signal de courant électrique triphasé et au moins un harmonique de deux phases d'un signal de tension électrique triphasé. Les inventeurs ont en effet constaté que cette disparité sur les différentes phases d'un réseau triphasé permet l'identification précise des états des équipements électriques indépendamment du nombre d'équipements dans le réseau électrique. Il n'est pas nécessaire, bien que cela soit possible, d'avoir un ou plusieurs harmoniques sur la troisième phase de tension.
- [0023] Dans un mode de réalisation, la signature harmonique comprend de 2 à 10, préférentiellement de 4 à 6, harmoniques par exemple parmi plus de 20, 30, 40, 50 ou 60 harmoniques d'une phase d'un réseau triphasé. Typiquement le choix peut être effectué parmi les 28 ou 62 premières harmoniques de rang 2 à 29 ou 63.
- [0024] Outre la liste des harmoniques la composant, la signature harmonique définit un critère quantitatif pour chacun d'eux, typiquement la présence d'une composante non nulle à cet harmonique ou la présence d'une composante nulle (ou sensiblement nulle) à cet harmonique. Ainsi, déterminer la présence d'une signature harmonique dans le signal d'harmoniques mesuré consiste à vérifier les critères aux différents harmoniques, notamment que les composantes mesurées à ces harmoniques satisfont bien des valeurs seuils (définissant la notion d'absence ou de présence d'une composante) telles que définies par la signature.
- [0025] Aussi, la signature harmonique peut comprendre au moins un harmonique sensiblement non nul et un harmonique sensiblement nul. En tenant compte des harmoniques nuls, les signatures peuvent être plus précises et donc offrir une meilleure surveillance des équipements électriques.
- [0026] Dans un mode de réalisation, la signature harmonique est associée à un premier état de fonctionnement parmi une pluralité d'états de fonctionnement du premier équipement électrique. Aussi, l'invention permet de déterminer, parmi la pluralité d'harmoniques (mesurés), la présence d'une signature harmonique associée au premier équipement électrique, puis d'identifier, comme état de fonctionnement du premier équipement électrique, l'état associé à la signature harmonique déterminée comme présente (en cas de présence d'une signature harmonique associée à cet équipement).
- [0027] Aussi, le premier équipement électrique est associé à une pluralité de signatures harmoniques différentes correspondant à une pluralité d'états de fonctionnement respectifs, typiquement un état de veille, un état allumé, ou un état de veille et plusieurs états correspondant à des modes de fonctionnement distincts (vitesse 1, vitesse 2, ..., mode normal, mode économie, ...). L'invention offre ainsi une sur-

veillance et un contrôle précis à distance du fonctionnement des équipements électriques.

- [0028] Dans un mode de réalisation, le procédé comprend en outre l'étape suivante : déterminer un état de fonctionnement d'un second équipement électrique en identifiant, parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique associée au second équipement électrique. L'invention permet ainsi de détecter simultanément (à partir de la même mesure – la même pluralité d'harmoniques) l'état de fonctionnement d'un grand nombre d'équipements. Chaque équipement peut être associé à deux ou plus états de fonctionnement (et donc à deux ou plus signatures harmoniques).
- [0029] Il est ainsi possible d'utiliser un unique capteur pour la surveillance à distance d'une flotte d'équipements électriques. La mise en œuvre matérielle de cette solution de surveillance est donc peu onéreuse.
- [0030] Dans un mode de réalisation, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :
- obtenir une seconde pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par le capteur sur le réseau électrique,
 - déterminer un changement d'état de fonctionnement du premier équipement électrique en identifiant, parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une seconde signature harmonique associée à un second état du premier équipement électrique différent de l'état de fonctionnement déjà déterminé.
- [0031] Aussi, l'invention permet un suivi dans le temps des changements d'états du premier équipement, mais également de façon similaire d'une pluralité d'équipements électriques. Il est ainsi possible de mettre en place un pilotage automatique et surveillé des équipements électriques du réseau.
- [0032] Dans un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape de détermination (e.g. par apprentissage à l'aide d'intelligence artificielle telle un réseau de neurones) de signatures harmoniques associées à une pluralité d'équipements électriques, l'apprentissage consistant à déterminer une signature harmonique pour chaque état de fonctionnement de chacun desdits équipements électriques à partir de pluralités d'harmoniques mesurées par le capteur pour respectivement des combinaisons différentes d'états de fonctionnement des équipements électriques. Il s'agit ici de réaliser une phase d'apprentissage, hors exploitation des signatures harmoniques. Il peut par exemple être testé (et donc mesuré) toutes les combinaisons possibles d'états de fonctionnement des équipements (pilotables à distance), par exemple en les commandant à distance selon une campagne de test prédéfinie.
- [0033] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de détermination de signatures harmoniques est en réponse à un changement d'équipement électrique dans le réseau électrique, typiquement un ajout, retrait ou remplacement d'équipement. Bien entendu,

des campagnes d'apprentissage peuvent également être prévues de façon périodique pour affiner les signatures harmoniques.

[0034] Un autre aspect de l'invention concerne un support non transitoire lisible par ordinateur stockant un programme qui, lorsqu'il est exécuté par un processeur d'un dispositif informatique, amène le dispositif informatique à effectuer le procédé tel que défini ci-dessus.

[0035] Au moins une partie des procédés selon l'invention peut être mise en œuvre par ordinateur. En conséquence, la présente invention peut prendre la forme d'un mode de réalisation entièrement matériel, d'un mode de réalisation entièrement logiciel (comportant les microprogrammes, les logiciels résidents, les microcodes, etc.) ou d'un mode de réalisation combinant des aspects logiciels et matériels qui peuvent tous être globalement appelés ici "circuit", "module" ou "système". De plus, la présente invention peut prendre la forme d'un produit de programme informatique incorporé dans tout support d'expression tangible disposant d'un code de programme utilisable par ordinateur incorporé dans le support.

[0036] Étant donné que la présente invention peut être mise en œuvre dans un logiciel, la présente invention peut être incorporée sous forme de code lisible par ordinateur pour être fournie à un appareil programmable sur tout support adapté. Un support tangible ou non transitoire peut comprendre un support de stockage tel qu'un lecteur de disque dur, un dispositif de bande magnétique ou un dispositif de mémoire à semi-conducteurs et analogues. Un support transitoire peut comporter un signal tel qu'un signal électrique, un signal électronique, un signal optique, un signal acoustique, un signal magnétique ou un signal électromagnétique, par exemple un signal hyperfréquence ou RF (radiofréquence).

Brève description des dessins

[0037] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après, illustrée par les figures ci-jointes qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif.

[0038] La [Fig.1a] illustre schématiquement un exemple de signature harmonique d'un équipement électrique par une représentation des composantes fréquentielles, selon un mode de réalisation de l'invention.

[0039] La [Fig.1b] illustre schématiquement un autre exemple de signature harmonique d'un équipement électrique, selon un mode de réalisation de l'invention.

[0040] La [Fig.2] illustre schématiquement un système pour une mise en œuvre de l'invention.

[0041] La [Fig.3] illustre de façon schématique une structure matérielle du dispositif de contrôle de la [Fig.2] selon des modes de réalisation de l'invention.

- [0042] La [Fig.4] illustre de façon schématique une structure fonctionnelle du dispositif de contrôle de la [Fig.2] selon des modes de réalisation de l'invention.
- [0043] La [Fig.5a] illustre un exemple de signature harmonique sur trois phases de courant triphasé, correspondant à un premier état d'un équipement électrique, selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0044] La [Fig.5b] illustre un autre exemple de signature harmonique sur trois phases de courant triphasé, correspondant à un deuxième état du même équipement électrique, selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0045] La [Fig.5c] illustre une série d'harmoniques mesurés sur le réseau électrique pour la détection du premier état de fonctionnement à l'aide de la signature harmonique de la [Fig.5a].
- [0046] La [Fig.5d] illustre une série d'harmoniques mesurés sur le réseau électrique pour la détection du deuxième état de fonctionnement à l'aide de la signature harmonique de la [Fig.5b].
- [0047] La [Fig.6] illustre, à l'aide d'un logigramme, des étapes générales d'un procédé conforme à l'invention.

Description détaillée

- [0048] L'invention propose un nouveau procédé de détermination et donc de surveillance à distance de l'état courant de fonctionnement d'équipements électriques dans un réseau électrique. La détermination à distance implique qu'il n'est pas prévu de capteur de mesure implémenté spécifiquement sur chaque équipement à surveiller. Au contraire, l'invention prévoit la possibilité d'utiliser un unique capteur en tête de réseau électrique, c'est-à-dire à proximité de la source primaire d'électricité.
- [0049] Cette surveillance peut être importante dans un contexte de planification optimisée du fonctionnement d'équipements au sein d'un site industriel, chaque équipement ayant ses propres contraintes (plages horaires de fonctionnement, modes de fonctionnement) et le site industriel pouvant être pourvu d'une ou plusieurs sources d'énergie électrique autres que le réseau public d'électricité.
- [0050] Par l'identification des modes de fonctionnement des équipements à partir de leurs signatures harmoniques (éventuellement pré-apprises), l'invention permet un suivi fin du fonctionnement de multiples équipements, parfois identiques. Un réapprentissage des signatures harmoniques autorise par ailleurs une évolutivité du réseau électrique en terme d'équipements électriques (à ajouter, retirer ou échanger).
- [0051] Un tel suivi du fonctionnement des équipements présente de nombreuses applications à distance, incluant la simple supervision à distance des équipements en fonctionnement à un instant donné pour par exemple en déduire la consommation électrique courante ou la capacité de production instantanée.

- [0052] Une autre application comme évoquée précédemment est la planification optimisée d'équipements pilotables à distance et la surveillance que les commandes d'activation ou désactivation des équipements sont correctement exécutées. Des planifications sophistiquées peuvent ainsi être mises en œuvre, tenant compte par exemple de la production locale électrique afin de réduire les coûts électriques dus au réseau public d'électricité. Des alertes peuvent aussi être émises en cas de mode de fonctionnement inadéquat pour un équipement (par rapport à une commande).
- [0053] La présente invention s'applique aux réseaux électriques monophasés, par exemple réseaux domestiques ou résidentiels. Dans les réseaux électriques monophasés, le signal électrique de courant et le signal électrique de tension sont des signaux alternatifs périodiques généralement de fréquence 50 ou 60 Hz (selon les zones géographiques).
- [0054] L'invention est également particulièrement bien adaptée aux réseaux électriques triphasés, typiquement ceux de sites professionnels, industriels ou tertiaires. Dans ces réseaux triphasés, chaque signal ou grandeur électrique (de courant ou de tension) est composé de trois phases. Chaque phase de signal électrique de courant et chaque phase de signal électrique de tension sont des signaux alternatifs périodiques généralement de fréquence 50 ou 60 Hz (selon les zones géographiques).
- [0055] Les harmoniques de ces divers signaux ou phases sont les composantes fréquentielles de ces signaux dans leurs décompositions spectrales, typiquement une décomposition en série ou transformée de Fourier, aux multiples f_n de la fréquence de base f_1 (50 ou 60 Hz), i.e. $f_n = n \cdot f_1$. n , entier positif, est appelé le rang de l'harmonique. Si en théorie, il existe des harmoniques de rangs infinis, des considérations de mise en œuvre requièrent de tenir compte d'un nombre limité d'harmoniques, typiquement $n \leq N$ avec par exemple $N=29$, 50 ou 63. D'autres valeurs de N peuvent bien entendu être envisagées.
- [0056] Les coefficients c_n de la série de Fourier correspondent aux composantes spectrales aux fréquences f_n , c'est-à-dire aux harmoniques n .
- [0057] Aussi, une signature harmonique selon l'invention s'entend d'une signature électrique basée sur les harmoniques (coefficients c_n) des signaux électriques examinés. Les inventeurs ont constaté que, pour un réseau électrique donné, des combinaisons particulières d'harmoniques (coefficients c_n) parmi les N harmoniques par signal ou phase sont représentatives des états de fonctionnement des équipements électriques du réseau.
- [0058] Ainsi, une signature harmonique est un ensemble de paires $\{i, v_i\}$ avec i le rang de l'harmonique dans le signal considéré, et v_i le critère que doit satisfaire le coefficient harmonique c_i correspondant.
- [0059] Une signature harmonique, dite de courant, peut être composée uniquement

d'harmoniques du signal de courant monophasé ou d'une ou plusieurs phases de courant en triphasé.

- [0060] Une signature harmonique, dite de tension, peut être composée uniquement d'harmoniques du signal de tension monophasé ou d'une ou plusieurs phases de tension en triphasé.
- [0061] Une signature harmonique peut également être composite, à savoir comprendre un ou plusieurs harmoniques de courant et un ou plusieurs harmoniques de tension.
- [0062] D'une façon générale, la signature harmonique peut être composée d'une ou plusieurs sous-signatures harmoniques chacune dédiée à un signal électrique monophasé ou une phase de signal en triphasé : la signature harmonique S est formée d'un ensemble de paires $\{i_\alpha, v_{i\alpha}\}$ avec i_α identifiant l'harmonique de rang i dans le signal ou la phase α (par exemple $\alpha=C$ pour désigner le signal de courant monophasé ou C1, C2, C3 pour les trois phases de courant en triphasé, $\alpha=T$ pour désigner le signal de tension monophasé ou T1, T2, T3 pour les trois phases de tension en triphasé), et $v_{i\alpha}$ le critère que doit satisfaire le coefficient harmonique c_i correspondant dans le signal ou la phase α .
- [0063] La sous-signature S_λ correspondant au signal ou à la phase λ est ainsi formée des paires $\{i_\lambda, v_{i\lambda}\}$.
- [0064] Le critère v_i ou $v_{i\alpha}$ peut indiquer une comparaison avec une valeur seuil. v_i ou $v_{i\alpha}$ vaut par exemple « $<0,2$ » pour indiquer que le coefficient harmonique c_i correspondant doit avoir une valeur inférieure à 0,2. Dans cet exemple, on vérifie que l'harmonique est sensiblement nul, à 0,2 près. Dans un autre exemple, v_i ou $v_{i\alpha}$ vaut « $\geq 0,5$ » pour indiquer que le coefficient harmonique c_i correspondant doit avoir une valeur supérieure ou égale à 0,5. On vérifie ainsi que l'harmonique est sensiblement non nul, à 0,5 près. Les valeurs 0,2 et 0,5 sont fournies ici à titre illustratif. D'autres valeurs seuils spécifiques à chaque paire $\{i_\alpha, v_{i\alpha}\}$ seront utilisées et dépendent bien entendu de l'unité de mesure utilisée par le capteur.
- [0065] Les inventeurs ont constaté que l'harmonique de rang 1 (fréquence fondamentale) ne contribue pas à la caractérisation d'un équipement électrique. Aussi, dans les signatures harmoniques il est de préférence utilisé uniquement des harmoniques de rang 2 ou supérieur, i.e. $2 \leq i \leq N$. Dans cet exemple, les harmoniques sont choisis parmi les $N-1$ premières harmoniques de rang 2 à N .
- [0066] La [Fig.1a] illustre schématiquement un exemple de signature harmonique d'un équipement électrique par une représentation des composantes fréquentielles. Dans cet exemple, seuls des harmoniques d'un seul signal électrique (courant ou tension) monophasé ou d'une seule phase d'un signal (courant ou tension) triphasé constituent la signature harmonique.
- [0067] La signature harmonique représentée est composée de six harmoniques (de rangs 2,

13, 21, 37, 41 et 60). Quatre harmoniques doivent être non nuls (rangs 13, 37, 41 et 60 – correspondant aux bâtons pleins) et deux harmoniques doivent être nuls (rangs 2 et 21 – correspondant aux bâtons vides). La hauteur des bâtons correspond par exemple à une valeur seuil de l'harmonique (selon l'échelle des ordonnées – non indiquée) en-deçà ou au-dessus de laquelle un harmonique est considéré comme nul ou non nul, respectivement.

[0068] La [Fig.1b] illustre schématiquement un autre exemple de signature harmonique d'un équipement électrique. Dans cet exemple, des harmoniques de plusieurs signaux électriques (courant et tension) monophasés ou de plusieurs phases d'un signal (courant ou tension) triphasé constituent la signature harmonique. Dans cet exemple spécifique, des harmoniques de chacune des phases d'un signal (courant ou tension) triphasé sont pris en compte. La signature harmonique comporte cinq harmoniques (rangs 10 et 32 pour les harmoniques nuls et rangs 4, 20, 47 pour les harmoniques non nuls) sur la phase 1, six harmoniques sur la phase 2 et six harmoniques sur la phase 3 (les mêmes que ceux de la [Fig.1a]).

[0069] D'autres variantes peuvent être envisagées. Notamment constituer une signature harmonique à partir des harmoniques de phases provenant de plusieurs signaux (courant et tension) triphasés. Par exemple, la signature harmonique peut comprendre au moins un harmonique de chacune des phases d'un signal de courant électrique triphasé et au moins un harmonique de deux phases d'un signal de tension électrique triphasé.

[0070] Dans ces exemples, il est choisi entre 4 et 6 harmoniques par phase ou par signal monophasé. De façon générale, il est choisi de préférence entre 2 et 10 harmoniques par phase ou signal monophasé.

[0071] Plus le nombre d'harmoniques par phase/signal, de phases et de signaux pris en compte est important, plus précise est la signature harmonique, ce qui est particulièrement utile en cas de réseau électrique doté d'un grand nombre d'équipements électriques.

[0072] Par la suite, le terme signature harmonique recouvrira l'un quelconque des formats de signatures : un ou plusieurs harmoniques pour un ou plusieurs signaux électriques et/ou pour une ou plusieurs phases en cas de réseau triphasé.

[0073] La [Fig.2] illustre schématiquement un système pour une mise en œuvre de l'invention. Le système comporte un réseau électrique 100 à surveiller, par exemple un réseau triphasé d'un site industriel dont des machines (équipements électriques) doivent être surveillées et pilotées à distance.

[0074] Le réseau électrique 100 est relié au réseau public d'électricité 199 comme source principale d'électricité. De façon classique, cette liaison peut être réalisée via un compteur d'alimentation électrique (compteur de soutirage) et un tableau général

d'alimentation (non montrés).

- [0075] Le réseau électrique 100 comporte une ligne électrique principale 110 en aval du tableau général d'alimentation (par rapport au réseau public d'électricité 199 en amont), à laquelle sont reliés des équipements électriques 120 du réseau 100.
- [0076] Les équipements électriques 120 peuvent être de divers types selon les sites concernés, soit consommateurs d'énergie électrique, soit producteurs d'énergie électrique : machines de production pour des sites industriels, ordinateurs, serveurs, machines de test pour des sites tertiaires, machines et éclairage domestiques pour une application résidentielle, équipements locaux de production d'électricité à partir d'énergie renouvelable pour tout type de site. Plusieurs équipements électriques identiques peuvent équiper le site surveillé.
- [0077] Chaque équipement électrique 120 peut présenter un ou plusieurs états de fonctionnement, typiquement un état de veille et un ou plusieurs états activés (par exemple plusieurs vitesses de fonctionnement ou plusieurs températures de chauffage, ...), ou encore un état de production d'énergie et un état de non-production (pour les équipements locaux de production d'électricité à partir d'énergie renouvelable).
- [0078] Les équipements électriques 120 peuvent comprendre des équipements pilotables à distance 120p par un dispositif de contrôle 130 et des équipements non-pilotables à distance 120np. En variante, le site surveillé peut ne comprendre que des équipements pilotables à distance 120p ou que des équipements non-pilotables à distance 120np.
- [0079] On entend par pilotable à distance le fait que sur réception et exécution d'une commande de changement d'état reçue du dispositif de contrôle 130, l'équipement pilotable 120p change de façon effective d'état de fonctionnement vers l'état indiqué dans la commande. Chaque équipement pilotable 120p est ainsi équipé d'un module de commande 125p communiquant avec le dispositif de contrôle 130 par voie filaire ou non, et selon des protocoles de communication déjà établis.
- [0080] Dans l'exemple de la Figure, les divers équipements électriques 120 sont directement reliés à la ligne électrique principale 110 du site. En variante, les équipements électriques 120 peuvent être regroupés en plusieurs grappes sur des lignes électriques secondaires (non montrées) dérivant de la ligne électrique principale 110. Par exemple, une grappe peut être formée uniquement d'équipements pilotables à distance 120p alors qu'une autre grappe peut être formée uniquement d'équipements non-pilotables à distance 120np. Bien entendu, d'autres configurations mélangeant équipements pilotables et équipements non-pilotables sur une même grappe peuvent être envisagées. Ces exemples montrent un réseau électrique 100 ayant une topologie radiale où les équipements électriques sont en aval de la ligne électrique principale 110 par rapport au tableau général d'alimentation.
- [0081] Le réseau 110 peut de façon optionnelle être relié à une ou plusieurs sources locales

d'énergie électrique, par exemple des équipements locaux 120e (au site) de production d'électricité à partir d'énergie renouvelable (éoliennes, panneaux solaires, ...). Chaque équipement local 120e peut être pilotable à distance ou ne pas l'être. Chaque source locale d'énergie électrique, éventuellement complétée de moyens de stockage de l'énergie électrique produite localement, est reliée à la ligne électrique principale 110 du site, via un convertisseur continu-alternatif, le cas échéant.

- [0082] Comme montré sur la Figure, le système comprend en outre un unique capteur d'harmoniques 140 disposé en tête de réseau 100 immédiatement en aval de la source principale d'électricité, ici le réseau public d'électricité 199. Il peut être disposé juste avant ou après le tableau général d'alimentation, en tout état de cause en amont de tous les équipements électriques sur la ligne électrique principale 110.
- [0083] Le capteur 140 est un capteur isolé de courant et/ou de tension.
- [0084] Tout type de capteur électrique connu conforme aux normes IEC 61000-4-7 (définissant les méthodes de mesures des harmoniques) et EN 50160 (définissant l'ensemble des paramètres à contrôler dans un réseau électrique) peut être utilisé.
- [0085] Un tel capteur délivre en temps réel les coefficients $c_{i\alpha}$ des harmoniques i sur les différent(e)s signaux/phases mesuré(e)s α . Typiquement, ces coefficients $c_{i\alpha}$ sont mis à jour à une fréquence de l'ordre de 1/100s à 1s, par exemple 1/50s. Les coefficients $c_{i\alpha}$ sont en outre déterminés sur une période d'intégration du signal/phase mesuré de quelques secondes pour une mise en œuvre de l'invention, par exemple entre 10s et 60s, typiquement 20 ou 30s.
- [0086] D'autres configurations sont également possibles comme un capteur mesurant uniquement des signaux de courant et de tension (éventuellement sur trois phases) et les transmettant au dispositif de contrôle 130 où les harmoniques sont calculés.
- [0087] La [Fig.3] illustre de façon schématique une structure matérielle du dispositif de contrôle 130 selon des modes de réalisation de l'invention. Le dispositif de contrôle 130 peut être un dispositif portable tel un téléphone intelligent (smartphone), une tablette numérique, un ordinateur portable, un assistant personnel, un dispositif de divertissement (e.g. console de jeu), ou être un dispositif fixe tel un ordinateur de bureau ou une borne interactive, par exemple disposée à un emplacement stratégique du site à surveiller (près de l'entrée). Plus généralement, tout dispositif informatique aptes à la mise en œuvre des traitements évoqués ci-dessous peut être utilisé.
- [0088] Le dispositif 130 comprend un bus de communication 131 auquel sont préfé-
rablement connectés :
- [0089] - une ou plusieurs unités centrales de traitement 132, telles qu'un ou des processeurs CPU et/ou un ou des processeurs ou cartes graphiques GPU et/ou un ou des micropro-
cesseurs ;
- [0090] - une mémoire de stockage 133, de type ROM et/ou disque dur et/ou mémoire flash,

pour le stockage de programmes informatiques 139 destinés à mettre en œuvre l'invention mais également de toute donnée nécessaire à l'exécution des programmes telle les signatures harmoniques S des équipements 120 ;

- [0091] - une mémoire vive 134, de type RAM voire vidéo RAM (VRAM), pour le stockage du code exécutable des programmes informatiques ainsi que les registres adaptés pour enregistrer des variables et des paramètres nécessaires à leur exécution ;
- [0092] - une interface de communication 135 connectée à un réseau externe NET afin de communiquer avec le capteur 140 et/ou les modules de commande 125p des équipements pilotables 120p et/ou un ou des terminaux utilisateurs (non représentés) permettant à un utilisateur d'accéder à distance au dispositif de contrôle 120 dans certains modes de réalisation de l'invention ;
- [0093] - une ou plusieurs entrées/sorties I/O 136 permettant à un utilisateur d'interagir directement avec les programmes 139 de l'invention en cours d'exécution. Typiquement, les entrées/sorties peuvent inclure un écran servant d'interface graphique avec le patient et/ou un clavier ou tout autre moyen de pointage permettant à l'utilisateur de lancer par exemple l'exécution des programmes 139 et/ou un haut-parleur. L'écran ou le haut-parleur peuvent servir de sortie pour fournir à l'utilisateur un retour d'information sur l'état de fonctionnement des équipements électriques surveillés et/ou des alertes, tels qu'analysés par les programmes 139 selon l'invention.
- [0094] De préférence, le bus de communication assure la communication et l'interopérabilité entre les différents éléments inclus dans le dispositif 130 ou connectés à celui-ci. La représentation du bus n'est pas limitative et, en particulier, l'unité centrale est utilisable pour communiquer des instructions à tout élément du dispositif 130 directement ou au moyen d'un autre élément du dispositif informatique 130.
- [0095] Le code exécutable stocké en mémoire 133 peut être reçu au moyen du réseau de communication NET, via l'interface 135, afin d'y être stocké avant exécution. En variante, le code exécutable 139 n'est pas stocké en mémoire non volatile 133 mais peut être chargé en mémoire volatile 134 depuis un serveur distant via le réseau de communication NET pour exécution directement. C'est le cas notamment des applications web (web apps).
- [0096] L'unité centrale 132 est de préférence adaptée pour contrôler et diriger l'exécution des instructions ou des parties de code logiciel du ou des programmes 139 selon l'invention. À la mise sous tension, le ou les programmes qui sont stockés en mémoire non volatile 133 ou sur le serveur distant sont transférés/chargés dans la mémoire vive 134, qui contient alors le code exécutable du ou des programmes, ainsi que des registres pour le stockage des variables et des paramètres nécessaires à la mise en œuvre de l'invention.
- [0097] Dans un mode de réalisation, les traitements selon l'invention sont réalisés lo-

calement par le dispositif utilisateur 130, de préférence en temps réel ou quasi-temps réel. Dans ce cas, les programmes 139 en mémoire mettent en œuvre l'ensemble des traitements décrits ci-après.

- [0098] Le réseau de communication NET peut être tout réseau informatique filaire ou non-filaire ou un réseau de téléphonie mobile permettant une connexion à un réseau informatique tel que l'Internet.
- [0099] La [Fig.4] illustre de façon schématique une structure fonctionnelle du dispositif de contrôle 130 selon des modes de réalisation de l'invention.
- [0100] Le dispositif de contrôle 130 comporte un module de mesure et d'obtention d'harmoniques 1301, un module de détection 1302, un module de commande et de reporting 1303 et un module optionnel d'apprentissage des signatures 1304.
- [0101] La surveillance de l'état de fonctionnement des équipements électriques 120 repose sur l'utilisation des signatures harmoniques S . Chaque signature $S = \{(i, v_i)\}$ est associée à un état de fonctionnement particulier E_j d'un équipement électrique particulier k . On note ainsi S_{jk} une telle signature harmonique.
- [0102] Les signatures harmoniques sont uniques et sans inclusion deux à deux (l'une ne peut pas être un sous-ensemble de l'autre). Cela permet d'associer de façon unique un état de fonctionnement d'un équipement à une signature harmonique, sans risque de confusion dans la détection décrite ci-dessous.
- [0103] Les **Figures 5a** et **5b** illustrent par exemple deux signatures harmoniques sur trois phases de courant triphasé, correspondant à deux états E_1 et E_2 d'un même équipement électrique 120, par exemple pilotable.
- [0104] Le module de mesure et d'obtention d'harmoniques 1301 est connecté au capteur 140 via le réseau NET et récupère à pas régulier (par exemple chaque 30s ou chaque minute) l'ensemble des N harmoniques sur les signaux/phases surveillés. Typiquement, il récupère N ($N=29, 50$ ou 63 à titre illustratif) harmoniques sur chacune des phases de courant et chacune des phases de tension pour un réseau électrique triphasé ou récupère N harmoniques sur chacune de signaux de courant et de tension pour un réseau électrique monophasé. Ces harmoniques, horodatés, sont stockés en mémoire, par exemple RAM 134 ou non volatile 133.
- [0105] Deux exemples de séries d'harmoniques mesurés sur trois phases de courant triphasé sont illustrés aux **Figures 5c** (séries à l'instant t_1) et **5d** (séries à l'instant t_2), pour $N=29$. Les coefficients des harmoniques sont représentés par la longueur des flèches.
- [0106] Le module de détection 1302 est configuré pour identifier, parmi la pluralité d'harmoniques mesurés à un instant donné (t_1 pour la [Fig.5c] et t_2 pour la [Fig.5d]), la présence d'une ou plusieurs signatures harmoniques S_{jk} stockées en mémoire et ainsi identifier une ou plusieurs signatures harmoniques associées à un ou des équipements électriques k . Ce module 1302 est aussi configuré pour déterminer l'état de fonc-

tionnement j de cet ou ces équipements électriques k associé à la ou les signatures harmoniques identifiées comme étant présentes.

[0107] Il effectue cette détection de façon régulière, par exemple toutes les minutes.

[0108] Grâce à l'unicité et la non-inclusion des signatures harmoniques, le module de détection 1302 soit ne détermine la présence d'aucune signature harmonique connue, soit détecte sans ambiguïté un ou plusieurs états de fonctionnement d'équipements électriques 120.

[0109] Le module de détection 1302 peut notamment chercher chacune des signatures harmoniques S_{jk} au sein de la pluralité d'harmoniques mesurés à l'instant considéré. Cela consiste à vérifier si pour chaque harmonique i_α de la signature S_{jk} le critère $v_{i\alpha}$ est rempli : par exemple, si l'harmonique mesuré i_α vaut 0,6 et le critère $v_{i\alpha}$ vaut « $\geq 0,5$ », alors le critère est vérifié ; en revanche si le critère $v_{i\alpha}$ vaut « $< 0,2$ », celui-ci n'est pas vérifié.

[0110] Une signature harmonique S_{jk} est considérée comme présente dans le signal mesuré à l'instant considéré uniquement si les critères de tous les harmoniques composant S_{jk} sont vérifiés. A titre illustratif, la signature harmonique de l'état E_1 ([Fig.5a]) est identifiée comme présente dans la série d'harmoniques obtenue à l'instant t_1 ([Fig.5c]) car l'ensemble des harmoniques non nuls de la signature sont bel et bien présents dans les mesures effectuées à l'instant t_1 et l'ensemble des harmoniques nuls de la signature sont bel et bien absents (compte tenu des valeurs seuils définies dans les critères). Pour une meilleure lisibilité, les harmoniques de la signature de l'état E_1 sont représentés en gras (flèche épaisse) sur la **Figure 5c**, et les seuils associés sont également indiqués par des traits horizontaux au niveau de ces harmoniques. La condition « supérieur » ou « inférieur » est indiquée par le bâton plein ou vide de la [Fig.5a].

[0111] Le module de détection 1302 obtient ainsi une liste de signatures harmoniques S_{jk} présentes (sur la [Fig.5c], une seule signature est illustrée, mais d'autres signatures peuvent évidemment être identifiées). En temps normal, une seule signature au plus est présente par équipement électrique k dans la mesure où chaque équipement 120 n'opère normalement que dans un seul état de fonctionnement à l'instant considéré. Dans le cas contraire, une alerte peut être levée à l'encontre de l'équipement électrique k dont plusieurs signatures harmoniques associées auraient été détectées comme présentes.

[0112] L'état E_j associé à chaque signature harmonique S_{jk} détectée est alors facilement obtenu, tel que défini en mémoire du dispositif de contrôle 130. En temps normal, un état E_j est obtenu pour chaque équipement 120 en fonctionnement.

[0113] Le module de commande et de reporting 1303 utilise les états E_j identifiés à des fins opérationnelles du site. Par exemple, un relevé des états E_j pour les différents équipements 120 est fourni de façon régulière à un utilisateur. Par ailleurs, le module

1303 peut détecter et notifier tout changement d'état de fonctionnement d'un équipement 120. Typiquement, le module 1303 peut déterminer un changement d'état de fonctionnement de l'équipement électrique k en identifiant, parmi les harmoniques mesurées à l'instant t_2 , la présence de la signature harmonique S_{mk} associée à l'état E_m différent de l'état courant E_j de l'équipement électrique k.

[0114] Par exemple, le module peut détecter dans la série d'harmoniques obtenue à l'instant t_2 ([Fig.5d]), **la signature harmonique de l'état E2** ([Fig.5b]). A nouveau, pour une meilleure lisibilité, les harmoniques de la signature de l'état E2 sont représentés en gras (flèche épaisse) sur la Figure 5d, et les seuils associés sont également indiqués par des traits horizontaux au niveau de ces harmoniques. Aussi, le module détecte que l'équipement électrique surveillé a changé d'état de fonctionnement entre l'instant t_1 (état E1) et l'instant t_2 (état E2).

[0115] Egalement, le module 1303 peut envoyer des commandes ou consignes de changement d'état à un ou plusieurs équipements pilotables 120p. Par exemple, le module 1303 peut disposer d'un planning de fonctionnement des équipements du site (typiquement des horaires de début et de fin de chaque état de fonctionnement des équipements pilotables) et ainsi envoyer une commande de changement d'état à un équipement 120p au début de la plage horaire de fonctionnement selon un nouvel état et éventuellement une autre commande de bascule vers un état de veille ou de repos à la fin de la plage horaire. La détermination de l'état courant de fonctionnement des équipements selon l'invention permet alors au module 1303 de vérifier la bonne prise en compte de la commande par l'équipement cible.

[0116] Le module optionnel d'apprentissage des signatures 1304 conduit une ou plusieurs campagnes d'apprentissage des signatures S_{jk} . Une telle campagne peut être déclenchée de façon régulière et/ou à détection d'un événement déclencheur, par exemple lors de la modification du réseau électrique 100 (typiquement l'ajout, le retrait ou un changement d'équipement électrique 120). Toutes ou partie des signatures harmoniques en mémoire peuvent être mise à jour à chaque nouvelle campagne d'apprentissage.

[0117] Le module 1304 peut notamment, en s'appuyant sur le module de commande 1303, commander successivement les équipements pilotables 120p dans différents états de fonctionnement de sorte à couvrir toutes ou partie des différentes combinaisons possibles d'états de fonctionnement différents. Dans le même temps, le module 1304 récupère, du module 1301, des séries d'harmoniques horodatées correspondant à chacune des combinaisons testées. Il en résulte des données d'apprentissage formées des séries d'harmoniques associées chacune à une combinaison d'états de fonctionnement pour les divers équipements 120p.

[0118] Ces données d'apprentissage peuvent alors alimenter un outil d'intelligence arti-

ficielle (en local ou à distance) configuré pour identifier des signatures harmoniques spécifiques à chaque mode de fonctionnement de chaque équipement pilotable.

- [0119] Des algorithmes connus d'apprentissage supervisé sans rétropropagation peuvent être utilisés, tels que des réseaux de neurones Adaline (Adaptive Linear Neuron), de type perceptron ou de type machine de Cauchy. Des algorithmes connus d'apprentissage supervisé avec rétropropagation peuvent également être utilisés, tels que des perceptrons multicouches.
- [0120] Par exemple, un perceptron multicouches peut être utilisé par équipement pour lequel des signatures harmoniques sont souhaitées. Les données d'apprentissage (état de l'équipement pour chaque série d'harmoniques) sont utilisées pour configurer le perceptron et donc associer une série théorique d'harmoniques ST_{jk} particulière à chaque état E_j de l'équipement k (une fois le perceptron appris, l'indication d'un état permet d'obtenir en sortie du perceptron cette série théorique d'harmoniques).
- [0121] Un calcul statistique (intégré au perceptron ou effectué a posteriori) sur chaque harmonique i dans les séries d'apprentissage correspondant à l'état E_j permet d'obtenir une mesure de variabilité ou dispersion σ_{ijk} (par exemple la variance ou l'écart type) associée à cet harmonique i pour l'état E_j de l'équipement k . Les n harmoniques (de rang 2 à N) ayant la plus faible variabilité σ_{ijk} sont conservés pour définir la signature harmonique. Notamment, parmi ces n harmoniques, ceux ayant une valeur faible (inférieure à un seuil prédéfini) sont considérés comme nuls, et ainsi intégrés à la signature harmonique S_{jk} avec un critère « $< s_i$ » où le seuil s_i peut être légèrement réhaussé par rapport à la valeur $ST_{jk}(i)$ afin d'améliorer la détection. De même, les harmoniques ayant une valeur suffisante (supérieure au seuil prédéfini) sont considérées comme non nuls, et ainsi intégrés à la signature harmonique S_{jk} avec un critère « $> s_i$ » où le seuil s_i peut être légèrement réduit par rapport à la valeur $ST_{jk}(i)$ afin d'améliorer la détection.
- [0122] En variante, le module 1304 peut tester un ensemble fini de profils de signatures harmoniques sur les données d'apprentissage. Un profil peut notamment être composé d'une série prédéfinie d'harmoniques i_α et de un ou plusieurs critères applicables à chaque harmonique (par exemple plusieurs valeurs seuils à tester). Aussi, pour un état E_j d'un équipement k , le module 1304 recherche le ou les profils (en testant les divers critères applicables) qui sont toujours présents ou suffisamment présents dans les séries d'harmoniques correspondant aux mesures où cet état E_j est actif, puis en sélectionne un comme signature harmonique S_{jk} .
- [0123] Un grand nombre de profils (avec critères applicables fixés) offre une plus grande pertinence des signatures harmoniques dans la détection des états de fonctionnement, au détriment du temps nécessaire à l'apprentissage de ces signatures. Le module 1304 peut alors sélectionner, comme signature S_{jk} , le premier profil (avec le critère ap-

plicable figé) identifié comme étant toujours présent ou suffisamment présent dans lesdites séries d'harmoniques pour l'état E_j .

- [0124] La [Fig.6] illustre, à l'aide d'un logigramme, des étapes générales d'un procédé conforme à l'invention. Ce procédé permet de déterminer l'état de fonctionnement d'équipements électriques dans le réseau électrique 100.
- [0125] A l'étape optionnelle 600, le dispositif de contrôle 130, par exemple via le module d'apprentissage des signatures 1304, conduit une campagne d'apprentissage des signatures harmoniques pour les différents états de fonctionnement E_j des équipements électriques pilotables k 120p.
- [0126] Cette étape comporte une première sous-étape 602 de pilotage des équipements 120p par exemple selon toutes les combinaisons d'états E_j possibles et d'obtention de séries d'harmoniques mesurées correspondant à ces différentes combinaisons. Le rapprochement de chaque série avec une combinaison d'états peut être réalisé à l'aide d'un horodatage des séries. De préférence, plusieurs séries sont obtenues pour chaque combinaison, de sorte à avoir un grand nombre de données d'apprentissage.
- [0127] La sous-étape 604 consiste à utiliser ces données d'apprentissage pour obtenir des signatures harmoniques S_{jk} représentatives de chaque état E_j de chaque équipement pilotable k 120p. Comme décrit ci-dessus, un outil d'intelligence artificiel ou une recherche de profils types peut être mise en œuvre. Il en résulte l'obtention d'une signature harmonique S_{jk} pour chaque état E_j de chaque équipement k.
- [0128] Ces signatures harmoniques peuvent remplacer (étape 608) celles en mémoire du dispositif de contrôle 130.
- [0129] En variante, l'étape optionnelle 606 peut consister à vérifier la pertinence de chaque signature harmonique ainsi obtenue au regard de la signature harmonique correspondante (i.e. pour le même état de fonctionnement du même équipement) déjà en mémoire, et remplacer la signature déjà existante (étape 608) uniquement en cas d'efficacité améliorée.
- [0130] L'efficacité peut être mesurée comme un taux de détection calculé à partir de ratios faux négatifs/vrais négatifs et faux positifs/vrais positifs déterminés sur de nouvelles séries d'harmoniques mesurées (selon diverses combinaisons d'états). Par exemple, la signature présentant le plus faible taux de faux négatifs et/ou de faux positifs peut être sélectionnée.
- [0131] A l'issue de l'étape 600, le dispositif de contrôle 120 est prêt à surveiller le réseau 100 en exploitation.
- [0132] Aussi, l'étape 610 est réalisée de façon périodique, par exemple toutes les minutes. L'étape 610 consiste à déterminer l'état de fonctionnement des équipements 120 du réseau 100, et notamment des équipements pilotables 120p.
- [0133] Elle comprend la sous-étape 612 d'obtention, par le module de mesure 1301, d'une

pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par le capteur 140 sur le réseau électrique 100.

- [0134] Puis à l'étape 614, le module de détection 1302 identifie si une ou plusieurs des signatures harmoniques S_{jk} sont présentes parmi la pluralité d'harmoniques. A ce stade, une alerte peut être remontée si deux ou plus signatures harmoniques d'un même équipement k sont détectées comme présentes et/ou si aucune signature n'est détectée pour un équipement k .
- [0135] A l'étape 616, le module de détection 1302 détermine l'état de fonctionnement des équipements, notamment pilotables 120p, en identifiant l'état E_j associé à chacune des signatures harmoniques S_{jk} présentes. Dans le cas de l'alerte ci-dessus, le module de commande et reporting 1303 peut indiquer à l'utilisateur les deux ou plus états possibles de l'équipement k ayant plusieurs signatures détectées.
- [0136] A l'issue de l'étape 610, le dispositif de contrôle 120 connaît l'ensemble des états courants des équipements, incluant ceux pilotables 120p. Il les mémorise pour l'instant courant.
- [0137] Par conséquent, le dispositif de contrôle 120 obtient pour divers instants consécutifs, plusieurs ensemble d'états de fonctionnement des équipements 120.
- [0138] Ces informations sont exploitées à l'étape 620.
- [0139] Comme indiqué précédemment, cette exploitation peut consister en un simple reporting des états E_j courants des équipements et des éventuelles alertes.
- [0140] Cette exploitation peut également consister en la détermination d'un changement d'état pour un ou plusieurs équipements, en comparant notamment les états courants obtenus à une itération de l'étape 610 avec le derniers états connus (à l'instant antérieur correspondant à une itération précédente de l'étape 610). Une signalisation à l'utilisateur peut être faite en cas de changement d'état. Cette signalisation peut par exemple être la confirmation d'une bonne prise en compte d'une commande antérieure transmises par le module 1303, si bien entendu le nouvel état obtenu à l'étape 610 pour l'équipement piloté correspond à celui indiqué dans la commande.
- [0141] Le module 1303 peut en effet détenir un planning horaire d'activation des états des équipements pilotables 120p et envoyer, aux heures prévues, des commandes de changement d'état à ces équipements.
- [0142] Les exemples qui précèdent ne sont que des modes de réalisation de l'invention qui ne s'y limite pas.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de détermination de l'état de fonctionnement (E_j) d'équipements électriques (120) dans un réseau électrique (100) comportant une pluralité d'équipements électriques, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- obtenir (612) une pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par un capteur (140) sur le réseau électrique,
 - déterminer (616) un état de fonctionnement (E_j) d'un premier équipement électrique (k) en identifiant (614), parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique (S_{jk}) associée au premier équipement électrique
- procédé dans lequel la signature harmonique (S_{jk}) comprend un ou plusieurs harmoniques d'un signal de tension électrique.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel obtenir une pluralité d'harmoniques (612) comprend l'un parmi :
- obtenir un ou plusieurs harmoniques sur plusieurs phases ou chaque phase d'une même grandeur d'un réseau triphasé,
 - obtenir un ou plusieurs harmoniques d'un signal de tension électrique seulement,
 - obtenir un ou plusieurs harmoniques d'un signal de courant électrique et d'un signal de tension électrique.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le réseau électrique (100) a une topologie radiale où ledit capteur (140) est située en tête de réseau, entre une source électrique (199), en amont, et lesdits équipements électriques (120), en aval.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la signature harmonique (S_{jk}) comprend l'un parmi :
- un ou plusieurs harmoniques de plusieurs phases d'un signal électrique triphasé,
 - un ou plusieurs harmoniques de chacune des phases d'un signal électrique triphasé,
 - un ou plusieurs harmoniques du signal de tension électrique seulement,
 - un ou plusieurs harmoniques d'un signal de courant électrique et du signal de tension électrique.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel la signature harmonique (S_{jk}) comprend au moins un harmonique de chacune des phases d'un signal de courant électrique triphasé et au moins un harmonique de deux

- phases d'un signal de tension électrique triphasé.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la signature harmonique (S_{jk}) comprend au moins un harmonique sensiblement non nul et un harmonique sensiblement nul.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, le premier équipement électrique (k) est associé à une pluralité de signatures harmoniques différentes (S_{mk} , S_{jk}) correspondant à une pluralité d'états de fonctionnement respectifs (E_j , E_m).
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre l'étape suivante :
déterminer (616) un état de fonctionnement d'un second équipement électrique en identifiant (614), parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique associée au second équipement électrique.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre les étapes suivantes :
- obtenir (612) une seconde pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par le capteur sur le réseau électrique,
- déterminer (616) un changement d'état de fonctionnement du premier équipement électrique (k) en identifiant (614), parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une seconde signature harmonique (S_{mk}) associée à un second état (E_m) du premier équipement électrique différent de l'état de fonctionnement (E_j) déjà déterminé.
- [Revendication 10] Dispositif (130) de détermination de l'état de fonctionnement (E_j) d'équipements électriques (120) dans un réseau électrique (100) comportant une pluralité d'équipements électriques, le dispositif comprenant :
- un module de mesure (1301) configuré pour obtenir une pluralité d'harmoniques d'un signal électrique mesuré par un capteur (140) sur le réseau électrique,
- un module de détection (1302) configuré pour déterminer un état de fonctionnement (E_j) d'un premier équipement électrique (k) en identifiant, parmi la pluralité d'harmoniques, la présence d'une signature harmonique (S_{jk}) associée au premier équipement électrique, dispositif dans lequel la signature harmonique (S_{jk}) comprend un ou plusieurs harmoniques d'un signal de tension électrique.
- [Revendication 11] Support non transitoire lisible par ordinateur stockant un programme qui, lorsqu'il est exécuté par un processeur d'un dispositif informatique,

amène le dispositif informatique à effectuer le procédé selon l'une des revendications 1 à 9.

[Fig. 1a]

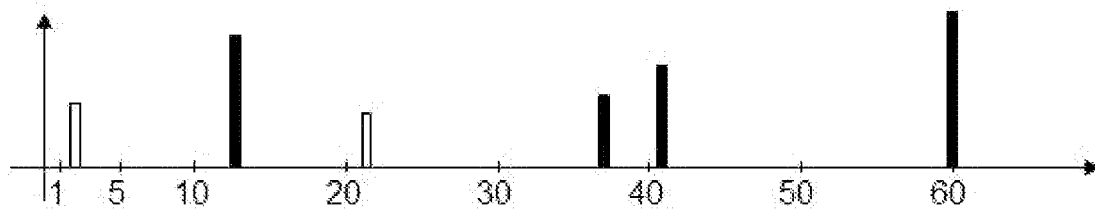


Figure 1a

[Fig. 1b]

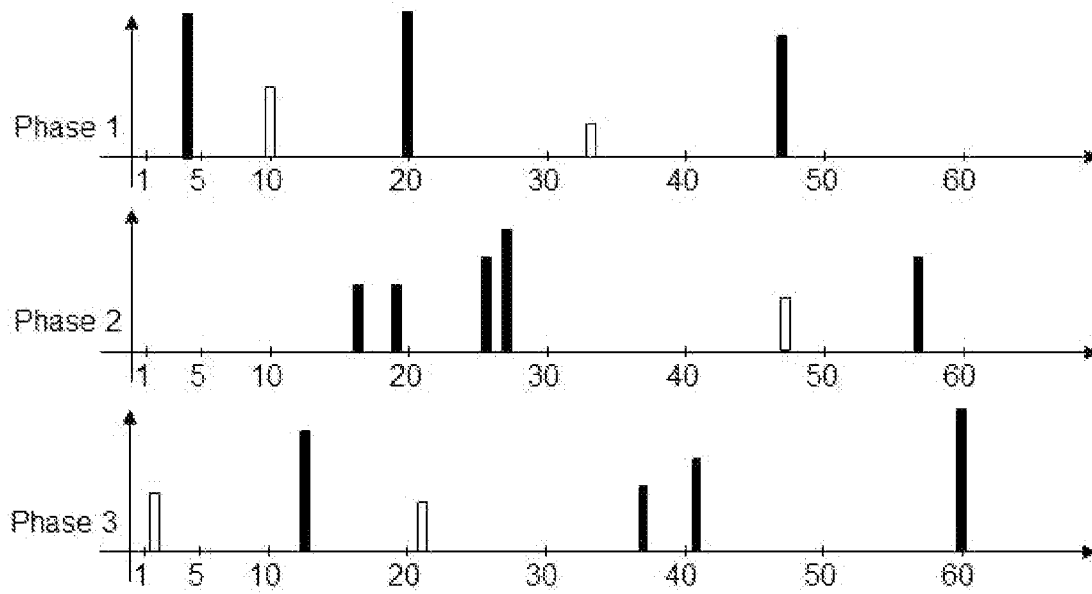


Figure 1b

[Fig. 2]

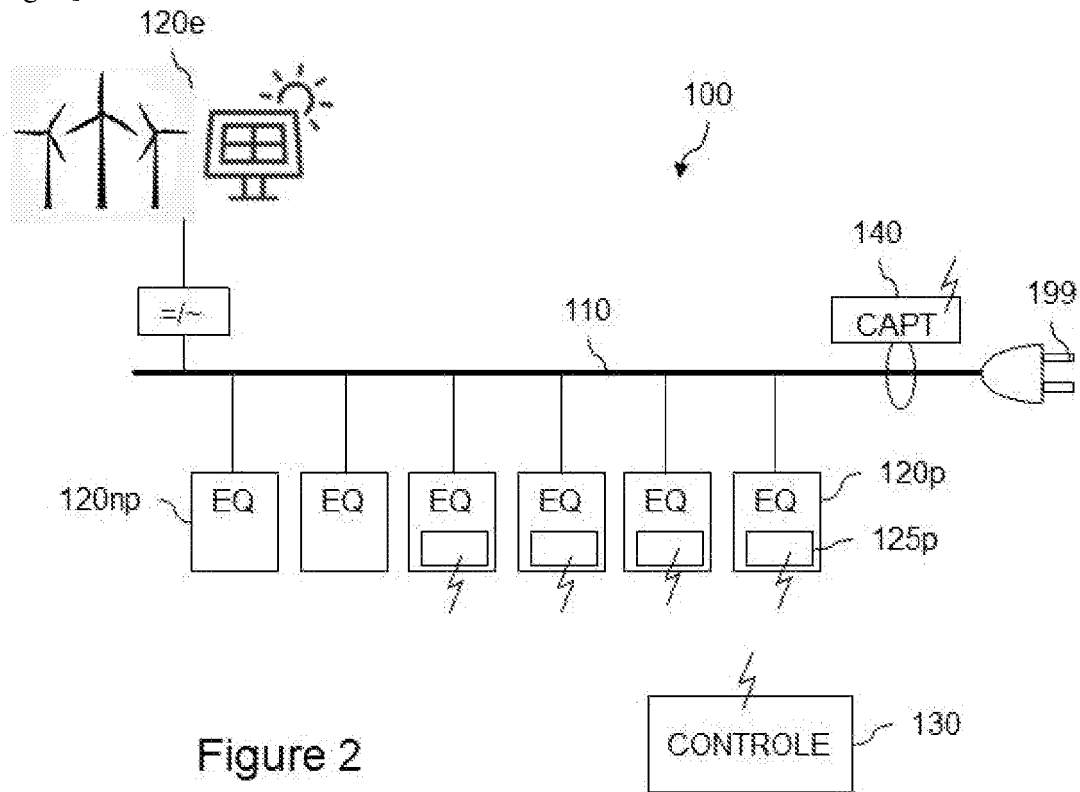


Figure 2

[Fig. 3]

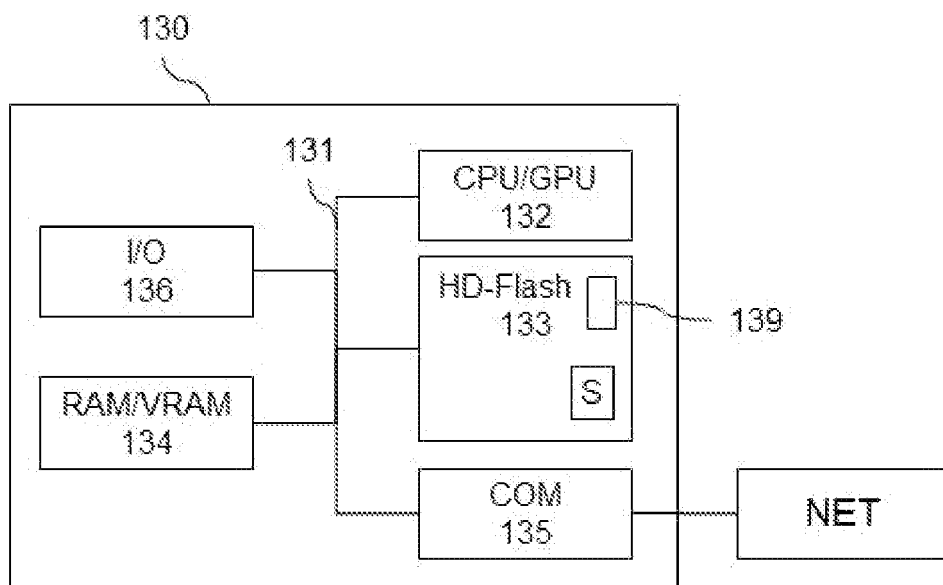


Figure 3

[Fig. 4]

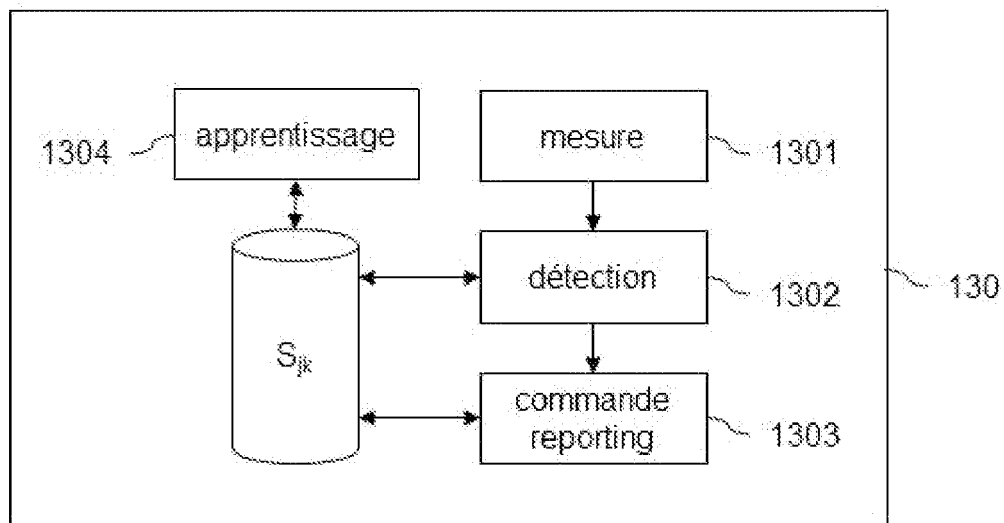


Figure 4

[Fig. 5a]

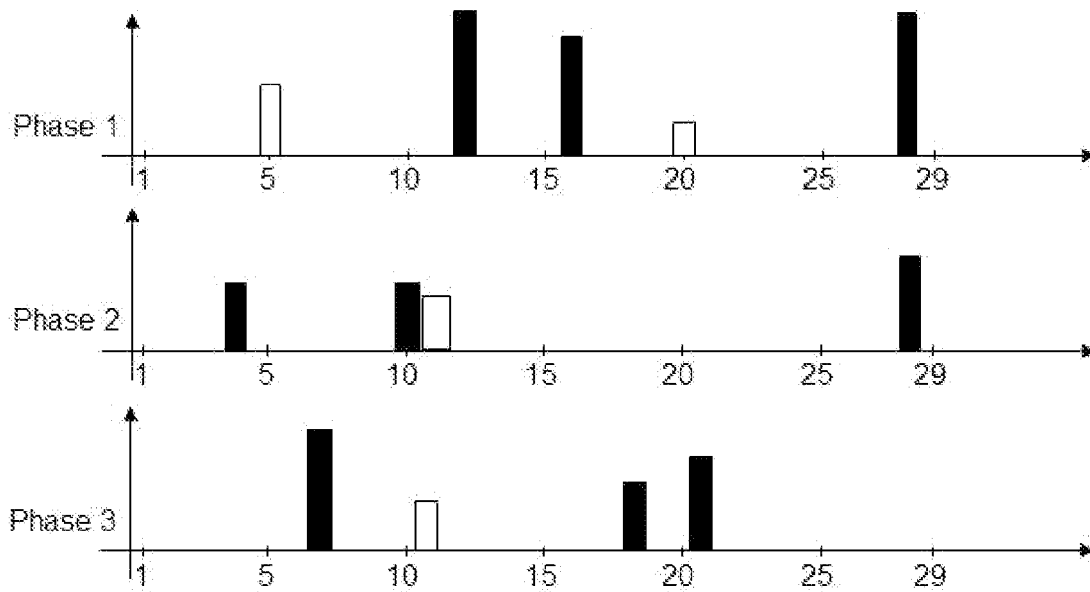


Figure 5a

[Fig. 5b]

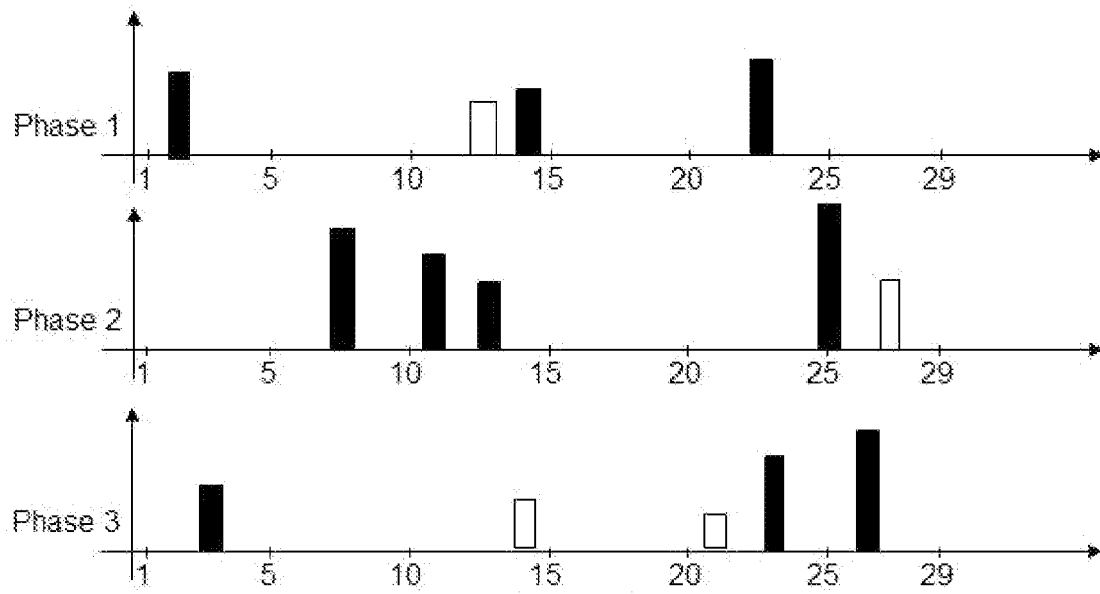


Figure 5b

[Fig. 5c]

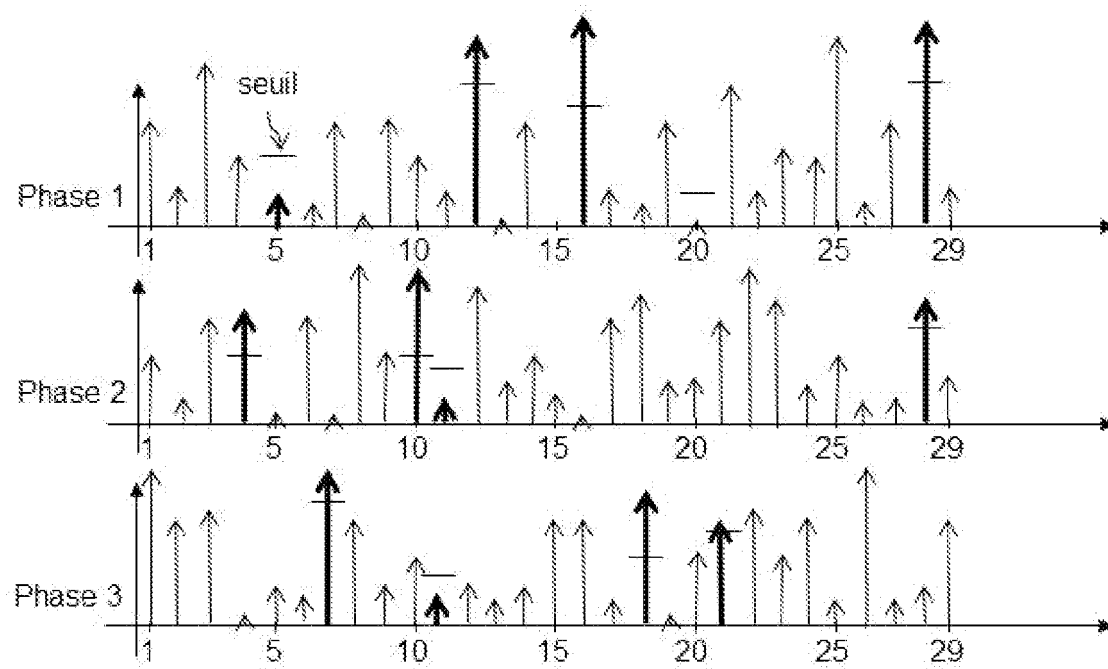


Figure 5c

[Fig. 5d]

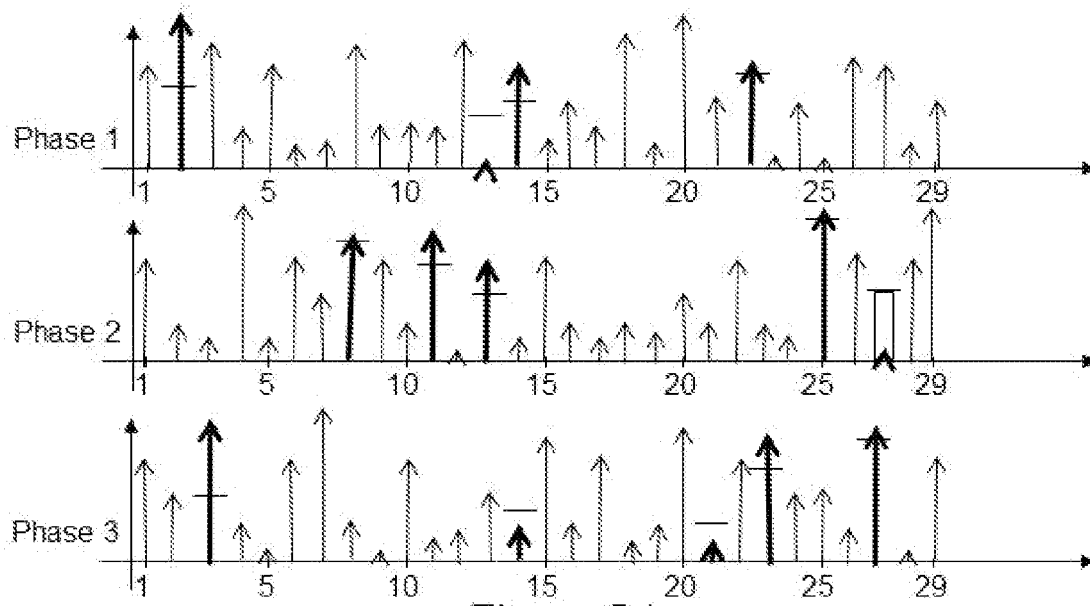


Figure 5d

[Fig. 6]

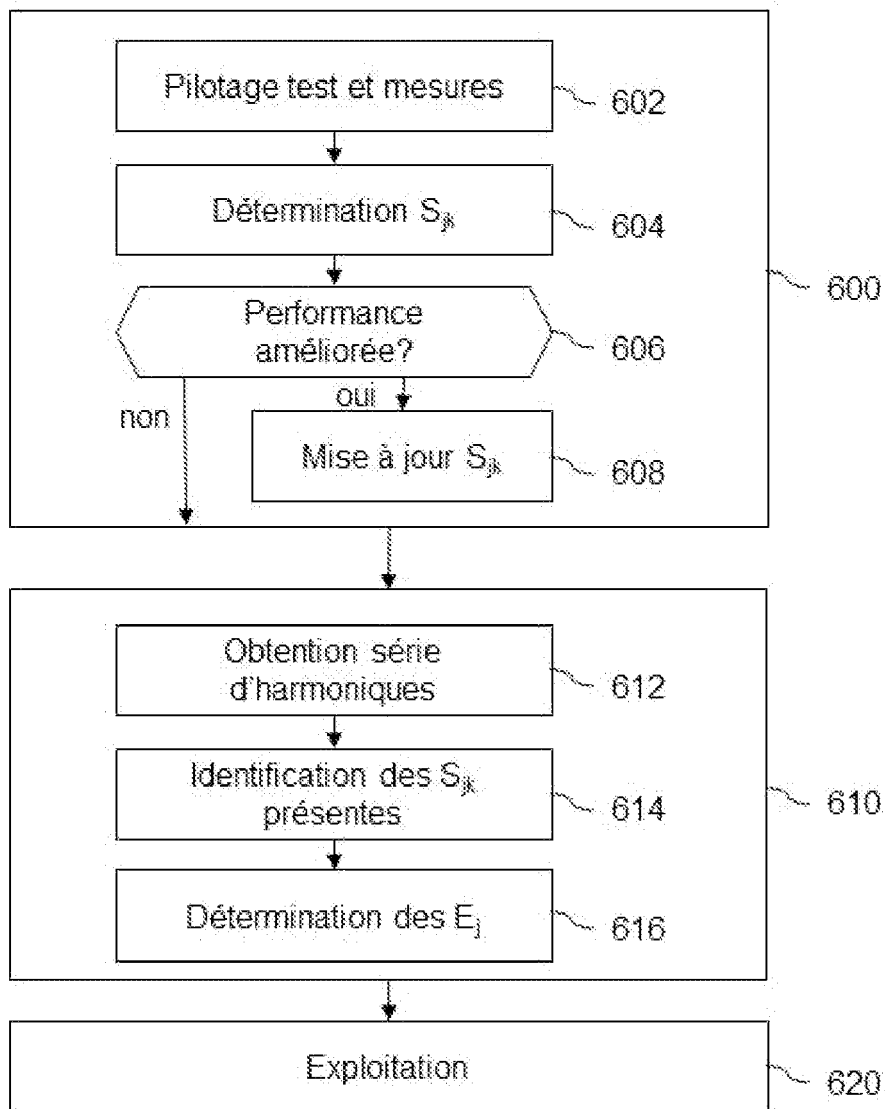


Figure 6

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2018/259556 A1 (LABATIE ANTOINE [FR])
13 septembre 2018 (2018-09-13)

CN 105 676 028 B (UNIV NORTH CHINA
ELECTRIC POWER) 10 avril 2018 (2018-04-10)

US 2011/251807 A1 (RADA PATRICK A [US] ET
AL) 13 octobre 2011 (2011-10-13)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

FERNANDES RICARDO AUGUSTO SOUZA ET AL:

"Load Profile Identification Interface for
Consumer Online Monitoring Purposes in
Smart Grids",
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL
INFORMATICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW
YORK, NY, US,
vol. 9, no. 3, 1 août 2013 (2013-08-01),
pages 1507-1517, XP011524318,
ISSN: 1551-3203, DOI:
10.1109/TII.2012.2234469
[extrait le 2013-08-16]

COLE A ET AL: "NONINTRUSIVE
IDENTIFICATION OF ELECTRICAL LOADS IN A
THREE-PHASE ENVIRONMENT BASED ON HARMONIC
CONTENT",
IMTC 2000. PROCEEDINGS OF THE 17TH. IEEE
INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY
CONFERENCE. BALTIMORE, MD, MAY 1-4, 2000;
[IEEE INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT
TECHNOLOGY CONFERENCE. (IMTC):], NEW YORK,
NY : IEEE, US,
1 mai 2000 (2000-05-01), pages 24-29,
XP000976236,
ISBN: 978-0-7803-5891-1

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT