

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Synchronisation de dispositifs d'acquisition de données d'un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique par détection de passages par zéro.

②② Date de dépôt : 25.05.23.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : NEXANS SA — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.06.25 Bulletin 25/23.

⑦② Inventeur(s) : KAFAL Moussa et GRIOT Samuel.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

⑦③ Titulaire(s) : NEXANS SA.

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BOETTCHER.

FR 3 149 092 - B1



Description

Titre de l'invention : Synchronisation de dispositifs d'acquisition de données d'un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique par détection de passages par zéro

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine général de la surveillance du bon fonctionnement des éléments présents dans un réseau de distribution électrique, notamment des câbles électriques, et plus précisément la synchronisation entre au moins deux dispositifs d'acquisition de données appartenant à un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique.

Arrière-plan technologique

[0002] L'un des principaux problèmes susceptibles d'affecter le fonctionnement d'un réseau de transmission et/ou de distribution électrique est l'apparition de décharges partielles sur les câbles, les transformateurs, les appareillages de commutation, les jonctions de câbles, etc. qui peuvent conduire à leur dégradation progressive et, finalement, à des défauts destructeurs.

[0003] La détection et la localisation des décharges peuvent fournir des informations cruciales à l'opérateur de réseau concernant l'état de l'isolation des câbles de distribution en fonctionnement et de l'équipement en général.

[0004] Des systèmes de surveillance ont déjà été proposés sur la base de mesures à une extrémité d'un câble du réseau, qui utilisent la réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) ainsi que des techniques de traitement des signaux. Toutefois, ces systèmes peuvent principalement être utilisés hors ligne et présentent des limites strictes en ce qui concerne leur efficacité et leur champ d'application.

[0005] D'autres systèmes connus, appelés systèmes de surveillance en ligne, peuvent détecter et localiser des événements susceptibles de représenter des anomalies, de type décharge partielle, sans affecter le fonctionnement normal du réseau. Les informations relatives à la progression du phénomène dans le temps peuvent empêcher l'apparition de défauts destructeurs, améliorant ainsi les indices de fiabilité du réseau et évitant que le courant de court-circuit ne sollicite d'autres équipements. En conséquence, de tels systèmes de surveillance en ligne contribuent à l'un des aspects importants du réseau intelligent, à savoir l'utilisation optimale des actifs existants par la mise en œuvre d'une maintenance préventive optimisée et d'une connaissance intelligente de l'état des actifs.

[0006] Comme représenté sur la [Fig.1], qui schématise partiellement un exemple de réseau de distribution électrique maillé, le principe de la surveillance en ligne consiste à placer une pluralité de dispositifs 1 d'acquisition de données en ligne

à des emplacements prédéfinis du réseau, par exemple aux extrémités de câbles électriques présents dans ce réseau. Dans l'exemple non limitatif de la [Fig.1], trois de ces dispositifs 1 d'acquisition de données en ligne ont été représentés placés à trois localisations connues illustrées par les points A, B et C. Les deux dispositifs 1 placés aux points A et B peuvent détecter des événements correspondant à une décharge partielle survenant à n'importe quelle position d'un câble ou équipement du réseau, par exemple située entre les points A et B ou même en dehors de ces points. De même, les deux dispositifs 1 placés aux points B et C peuvent détecter des événements correspondant à une décharge partielle survenant à n'importe quelle position d'un câble ou équipement du réseau, par exemple située entre les points B et C, ou même en dehors de ces points.

- [0007] Le principe connu de la localisation d'une décharge partielle avec ce type de systèmes de surveillance en ligne est le suivant : Si une décharge partielle 2 survient entre les points A et B du réseau, deux signaux impulsionnels correspondant $u_A(t)$ et $u_B(t)$ vont se propager en direction opposée dans le réseau. Le signal $u_A(t)$ est détecté par le dispositif 1 d'acquisition de données situé au point A à un instant t_{oa_A} , et le signal $u_B(t)$ est détecté par le dispositif 1 d'acquisition de données situé au point B à un instant t_{oa_B} . La localisation Z_{PD} de la décharge partielle 2 peut ainsi être déterminée selon la relation suivante :

$$Z_{PD} = \frac{t_c \Delta t_{oa}}{2t_c} \cdot l_c \quad (1) \quad \text{avec} \quad \Delta t_{oa} = t_{oa_A} - t_{oa_B} \quad (2)$$

t_c , le temps de vol entre les points A et B; et

l_c la longueur connue de câble séparant les points A et B.

- [0008] Afin de pouvoir déterminer la quantité Δt_{oa} , et par suite, la localisation Z_{PD} , il est donc nécessaire de synchroniser les deux dispositifs 1 d'acquisition de données situés aux points A et B. En d'autres termes, les instants d'arrivée t_{oa_A} et t_{oa_B} des signaux $u_A(t)$ et $u_B(t)$ acquis par chacun des deux dispositifs 1 d'acquisition de données doivent être déterminés dans un référentiel temporel commun.

- [0009] Comme visible sur la figure 1, il est déjà connu d'associer chaque dispositif 1 d'acquisition de données du système de surveillance à un récepteur 10 d'un système de navigation par satellite, par exemple un récepteur GPS 10. Chaque événement détecté par chacun des dispositifs 1 d'acquisition de données, par exemple le signal précédent $u_A(t)$ ou $u_B(t)$ généré par une décharge partielle, peut ainsi être horodaté dans un système de référence commun. Cette méthode de synchronisation est décrite par exemple dans le document WO 2021/138569. La différence entre les temps d'arrivée des signaux $u_A(t)$ et $u_B(t)$ au niveau des deux dispositifs 1 d'acquisition de données, exprimés dans une référence de temps commune, et par suite, la localisation Z_{PD} de la

décharge partielle, peuvent ensuite être déterminées par application des relations (1) et (2) ci-dessus.

[0010] Néanmoins, bien que la précision du GPS puisse être très élevée, plusieurs facteurs peuvent introduire des erreurs, tels que les effets de la propagation multiple du signal GPS, les erreurs de localisation des satellites, les conditions atmosphériques et, surtout, les difficultés d'installation. En effet, l'utilisation correcte des systèmes GPS implique l'utilisation d'antennes qui doivent être installées en espace libre pour permettre de capter le signal du satellite. Or, outre le fait que ces antennes sont coûteuses, de nombreux réseaux de distribution électrique haute tension ou moyenne tension sont des réseaux de distribution souterrains pour lesquels on souhaite minimiser les besoins d'installer des équipements en surface.

[0011] Une autre méthode connue, décrite dans le document WO 2004/013642 A2, consiste à injecter des impulsions de synchronisation haute fréquence à l'une des extrémités d'un câble sous surveillance d'un réseau de distribution, à l'aide d'un coupleur inductif. Les données acquises par les systèmes de surveillance utilisés aux deux extrémités du câble, générées par des impulsions de décharge partielle dans le câble contiennent ainsi à la fois des impulsions de décharge partielles et des impulsions de synchronisation. En alignant les ensembles de données et en utilisant le délai entre l'impulsion de décharge partielle et l'impulsion de synchronisation, il est possible d'obtenir l'emplacement de la décharge partielle. Cette méthode de synchronisation temporelle utilise le câble d'alimentation comme support de transmission des impulsions de synchronisation, ce qui atténue l'inconvénient de l'invisibilité des satellites et les problèmes de conditions atmosphériques associés au GPS. Cependant, la précision de cette méthode est fortement affectée par l'atténuation et la dispersion des impulsions de synchronisation se propageant dans le câble. Il en résulte une perte des données temporelles envoyées par le câble.

Résumé de l'invention

[0012] La présente invention a pour but de pallier les inconvénients des méthodes et systèmes pour synchroniser au moins deux dispositifs d'acquisition de données d'un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique.

[0013] Plus précisément, la présente invention a pour objet un procédé de synchronisation entre au moins un premier dispositif et un deuxième dispositif d'acquisition de données d'un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique, chaque dispositif d'acquisition de données étant localisé en un point connu du réseau et étant configuré pour détecter des événements haute fréquence lors de phases d'acquisition de données, le procédé comportant :

une première phase d'estimations de la période du signal électrique parcourant le réseau consistant à :

- prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif d'acquisition de données et en déduire une première estimation T'_A de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un premier moyen d'horodatage associé au premier dispositif d'acquisition de données ;
- prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du deuxième dispositif d'acquisition de données et en déduire une deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un deuxième moyen d'horodatage associé au deuxième dispositif d'acquisition de données ;

suivie d'une deuxième phase de synchronisation comprenant les étapes suivantes :

- envoi par le premier dispositif d'acquisition de données d'un signal d'information à un premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$, horodaté localement, d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du premier dispositif d'acquisition de données ;
- horodatage local de l'instant de réception dudit signal d'information par le deuxième dispositif d'acquisition de données ;
- déclenchement, par le premier dispositif d'acquisition de données, d'une première phase d'acquisition d'évènements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la première phase d'acquisition étant déclenchée à un premier instant de déclenchement t_{RA} déterminé localement par le premier moyen d'horodatage et séparé du premier instant de détection d'une durée correspondant à la première estimation T'_A de la période du signal électrique ;
- après écoulement d'une durée correspondant à la moitié de la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique suivant ledit instant de réception, déclenchement, par le deuxième dispositif d'acquisition de données, d'une deuxième phase d'acquisition d'évènements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la deuxième phase d'acquisition étant déclenchée à un deuxième instant de déclenchement t_{RB} déterminé localement par le deuxième moyen d'horodatage et correspondant à un deuxième instant de détection d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du deuxième dispositif d'acquisition de données ; et
- détermination d'une différence de synchronisation Δt_{oa} entre un premier évènement haute fréquence et un deuxième évènement haute fréquence acquis, sur un cycle donné, respectivement par le premier dispositif d'acquisition de données à un premier instant d'acquisition horodaté localement par le premier moyen d'horodatage et par

le deuxième dispositif d'acquisition de données à un deuxième instant d'acquisition horodaté localement par le deuxième moyen d'horodatage par calcul de la différence entre le deuxième instant de déclenchement t_{RB} et le premier instant de déclenchement t_{RA} .

[0014] Dans un mode de réalisation possible, la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la première phase d'acquisition de données correspond à la première estimation T'_A de la période du signal électrique, et la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la deuxième phase d'acquisition de données correspond à la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique.

[0015] Dans un mode de réalisation possible, les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont consécutifs.

[0016] En variante, les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont séparés deux à deux d'une durée d'espacement T_s prédéfinie correspondant à un nombre prédéfini de passages consécutifs par zéro.

[0017] Dans un mode de réalisation possible, le premier événement haute fréquence détecté par le premier dispositif d'acquisition de données et le deuxième événement haute fréquence détecté par le deuxième dispositif de données sur un cycle donné correspondent à deux signaux générés par une même décharge partielle en un point du réseau situé entre le premier et le deuxième dispositifs d'acquisition de données, et le procédé comporte en outre une étape de calcul de la localisation Z_{PD} de la décharge partielle selon la relation

$$Z_{PD} = \frac{TOF^L - \Delta t_{0a}}{2TOF^L} \cdot l_c$$
 dans laquelle l_c est une longueur de câble entre le premier et le deuxième dispositifs d'acquisition de données.

[0018] La présente invention a également pour objet un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique comportant au moins un premier et un deuxième dispositif d'acquisition de données, chaque dispositif d'acquisition de données étant localisé en un point connu du réseau et étant configuré pour détecter des événements haute fréquence lors de phases d'acquisition de données, le système de surveillance en ligne étant caractérisé en ce qu'il comporte :

- un premier moyen d'horodatage local et un premier module de détection de passage par zéro, associés au premier dispositif d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif d'acquisition de données et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le premier moyen d'horodatage ;
- un deuxième moyen d'horodatage local et un deuxième module de détection de passages par zéro, associés au deuxième dispositif d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du

deuxième dispositif d'acquisition de données et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le deuxième moyen d'horodatage ; et

- des moyens de synchronisation configurés pour :

lors d'une première phase d'estimations, déduire une première estimation T'_A de la période du signal électrique à partir d'instant de passages par zéro successivement horodatés localement par le premier moyen d'horodatage, et une deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique à partir d'instant de passages par zéro successivement horodatés localement par le deuxième moyen d'horodatage, et pour effectuer une deuxième phase de synchronisation comprenant les étapes suivantes :

- envoi par le premier dispositif d'acquisition de données d'un signal d'information à un premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$, horodaté localement, d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du premier dispositif d'acquisition de données ;
- horodatage local de l'instant de réception dudit signal d'information par le deuxième dispositif d'acquisition de données ;
- déclenchement, par le premier dispositif d'acquisition de données, d'une première phase d'acquisition d'événements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la première phase d'acquisition étant déclenchée à un premier instant de déclenchement t_{RA} déterminé localement par le premier moyen d'horodatage et séparé du premier instant de détection d'une durée correspondant à la première estimation T'_A de la période du signal électrique ;
- après écoulement d'une durée correspondant à la moitié de la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique suivant ledit instant de réception, déclenchement, par le deuxième dispositif d'acquisition de données, d'une deuxième phase d'acquisition d'événements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la deuxième phase d'acquisition étant déclenchée à un deuxième instant de déclenchement t_{RB} déterminé localement par le deuxième moyen d'horodatage et correspondant à un deuxième instant de détection d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du deuxième dispositif d'acquisition de données ; et
- détermination d'une différence de synchronisation Δt_{0a} entre un premier événement haute fréquence et un deuxième événement haute fréquence acquis, sur un cycle donné, respectivement par le premier dispositif d'acquisition de données à un premier instant d'acquisition horodaté localement par le premier moyen d'horodatage et par le deuxième dispositif d'acquisition de données à un deuxième instant d'acquisition horodaté localement par le deuxième moyen d'horodatage par calcul de la différence

entre le deuxième instant de déclenchement t_{RB} et le premier instant de déclenchement t_{RA} .

- [0019] Dans un mode de réalisation possible, le premier moyen d'horodatage et le deuxième moyen d'horodatage sont des compteurs N bits, N étant un entier supérieur ou égal à 16.
- [0020] Dans un mode de réalisation possible, le premier moyen d'horodatage est intégré au premier dispositif d'acquisition des données, et/ou le deuxième moyen d'horodatage est intégré au deuxième dispositif d'acquisition des données.
- [0021] Dans un mode de réalisation possible, le premier module de détection de passage par zéro est intégré au premier dispositif d'acquisition des données, et/ou le deuxième module de détection de passage par zéro est intégré au deuxième dispositif d'acquisition des données.

Brève description des figures

- [0022] La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée. Sur les figures annexées :
 - [Fig.1] La [Fig.1], déjà décrite ci-avant, illustre partiellement et schématiquement un exemple de réseau de distribution électrique avec un système de surveillance en ligne comprenant des dispositifs d'acquisition de données synchronisés de manière connue sur la base d'un système de navigation de type GPS;
 - [Fig.2] La [Fig.2] illustre partiellement et schématiquement un exemple de un réseau de distribution électrique avec des dispositifs d'acquisition de données synchronisés selon un mode de réalisation possible de l'invention;
 - [Fig.3] La [Fig.3] illustre schématiquement un dispositif d'acquisition de données conforme à un mode de réalisation possible selon l'invention;
 - [Fig.4] La [Fig.4] illustre des étapes possibles pour un procédé de synchronisation conforme à l'invention ;
 - [Fig.5] La [Fig.5] illustre schématiquement certaines étapes du procédé de la [Fig.4] ;
 - [Fig.6] La [Fig.6] illustre schématiquement d'autres étapes du procédé de la [Fig.4].

Description de mode(s) de réalisation

- [0023] Dans les figures, les éléments identiques ou équivalents porteront les mêmes signes de référence. Les différents schémas ne sont pas à l'échelle.
- [0024] Dans la suite, la synchronisation entre au moins deux dispositifs d'acquisition de données d'un système de surveillance selon l'invention sera décrite dans le cas non limitatif où le système de surveillance en ligne est configuré pour identifier et localiser des décharges partielles dans le réseau. Le principe de synchronisation peut néanmoins

être élargi à tout système de surveillance en ligne disposant de plusieurs dispositifs d'acquisition de données qui doivent être synchronisés.

[0025] La [Fig.2] illustre partiellement un réseau de distribution électrique similaire au réseau de la [Fig.1], comprenant un système de surveillance d'évènements. Le réseau de distribution électrique est par exemple un réseau haute tension ou moyenne tension, composé d'une pluralité de câbles électriques, d'accessoires de connexion ou de raccordement, d'appareillages et/ou de transformateurs. Le système comprend une pluralité de dispositifs 1 d'acquisition placés en différents points connus du réseau, tels que les points A, B et C représentés sur la [Fig.2]. Les points A, B, C où sont localisés les dispositifs d'acquisition de données sont de préférence situés aux extrémités de câbles ou de tronçons de câbles. Dans le cas non limitatif d'un réseau souterrain, les dispositifs 1 d'acquisition de données sont placés de préférence à des endroits faciles d'accès, par exemple au niveau des transformateurs.

[0026] Les dispositifs 1 étant ici dédiés, de façon non limitative, à la détection et la localisation des décharges partielles, chaque dispositif 1 comporte classiquement, comme illustré schématiquement sur la [Fig.3], des moyens de détection 11 aptes à détecter des évènements impulsionnels occasionnés dans les câbles par les décharges partielles, tels que les impulsions haute fréquence $u_A(t)$ et $u_B(t)$ engendrées par la décharge impulsionnelle 2 de la [Fig.2]. Les moyens 11 sont par exemple un capteur non invasif, de préférence un capteur inductif 11, situé autour du câble au point de localisation du dispositif. En lieu et place du récepteur GPS 10 de la [Fig.1], le système de surveillance en ligne comporte en outre :

- un premier moyen d'horodatage local 13 et un premier module de détection de passage par zéro 12, associés au premier dispositif 1 d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif d'acquisition de données 1 et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le premier moyen d'horodatage 13 ;
- un deuxième moyen d'horodatage local 13 et un deuxième module de détection de passages par zéro 12, associés au deuxième dispositif 1 d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du deuxième dispositif d'acquisition de données 1 et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le deuxième moyen d'horodatage 15.

[0027] Par « associé », on entend que chaque moyen d'horodatage local 13 et/ou chaque module de détection de passages par zéro 12 est soit relié électriquement et fonctionnellement à chaque dispositif 1, soit intégré dans chaque dispositif 1, comme illustré sur la [Fig.3].

[0028] Chaque dispositif 1 d'acquisition de données peut comporter en outre avantageusement un module 14 de communication mobile (4G ou plus) ou par

Ethernet, lui permettant notamment de recevoir voir des signaux de contrôle émis par un serveur distant (non représenté) compris dans le système de surveillance en ligne, ou de transmettre des informations, telles que les données acquises, à ce serveur ou à tout autre dispositif 1 du système de surveillance. Chaque dispositif 1 est également apte à émettre des signaux d'information à destination de tout autre dispositif 1 compris dans le système de surveillance, ou à recevoir de tels signaux d'information. Ces signaux d'information peuvent être transmis via les moyens de détection 11, utilisés dans un mode actif, le signal d'information étant alors injecté dans le réseau, en particulier dans le câble au point de localisation du dispositif 1, et récupéré via les moyens de détection d'un autre dispositif 1. En variante, les signaux d'information peuvent être émis/reçus par l'intermédiaire des modules 14 de communication mobile (ou par Ethernet compris dans chaque dispositif 1).

- [0029] Chaque moyen d'horodatage local 13 est de préférence une horloge locale précise, ou un compteur de 16 bits ou plus. Un tel moyen d'horodatage local 13 permet d'horodater localement tout ce qui se passe au niveau de chaque dispositif 1, notamment les détections de passage par zéro, l'émission ou la réception de tout signal d'information, et chaque événement détecté par le capteur haute fréquence 11 au point de localisation du dispositif 1 d'acquisition de données, lors d'une phase d'acquisition de données.
- [0030] Chaque module de détection de passage par zéro 12 comporte un capteur basse fréquence 15 apte à prélever le signal sinusoïdal électrique parcourant le réseau à la fréquence fondamentale de 50 Hz ou 60 Hz selon les pays au point de localisation (A, B ou C) du dispositif 1 considéré, et un circuit de détection de passages par zéro 16 recevant le signal prélevé par le capteur basse fréquence 15. Le capteur basse fréquence 15 est de préférence un capteur non invasif, par exemple un magnétomètre ELF sans contact ou un capteur ELF inductive (ELF étant les initiales anglo-saxonne mises pour « Extremely Low Frequency »). Des capteurs capacitifs basse fréquence peuvent néanmoins être envisagés. Le circuit 16 peut implémenter n'importe quel algorithme connu de détection de passage par zéro. Le circuit détecteur de passages par zéro 16 peut être tout circuit comparateur connu permettant de détecter la tension du signal prélevé lorsqu'elle passe du niveau positif au niveau négatif et du niveau négatif au niveau positif.
- [0031] Le système de surveillance en ligne comporte enfin également des moyens de synchronisation temporelle configurés pour implémenter les étapes d'un procédé de synchronisation conforme à l'invention, qui va à présent être explicité.
- [0032] Le procédé de synchronisation utilisé par les dispositifs 1 d'acquisition de données, conformément à la présente invention, est illustré sur la [Fig.4]. Par souci de simplification, l'explication est faite en ce qui concerne les deux dispositifs 1 localisés

aux points A et B, mais peut aisément être étendue à tous les dispositifs 1 d'acquisition de données présents dans le réseau électrique :

- [0033] Le procédé de synchronisation 100 débute par une phase d'estimations de la période du signal électrique transitant dans le réseau, faite au niveau de chaque dispositif 1 d'acquisition de données, et notamment au niveau de chaque module de détection de passages par zéro 12. Plus précisément, la phase d'estimation 110 consiste à :
- d'une part, prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif 1 d'acquisition de données, localisé au point A, et en déduire une première estimation T'_A de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un premier moyen d'horodatage 13 associé au premier dispositif 1 d'acquisition de données ;
 - d'autre part, prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du deuxième dispositif 1 d'acquisition de données, localisé au point B, et en déduire une deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un deuxième moyen d'horodatage 13 associé au deuxième dispositif d'acquisition de données.

- [0034] Comme illustré schématiquement sur la [Fig.5], et compte-tenu du fait que le signal prélevé correspond au signal électrique sinusoïdal à la fréquence fondamentale du réseau électrique (i.e. à 50 Hz ou 60 Hz selon les pays), ce signal passe deux fois par zéro lors de chaque période de signal. Autrement dit, chaque module de détection de passages à zéro va pouvoir détecter une paire de passages à zéro pour chaque période du signal périodique prélevé au niveau du dispositif 1 localisé au point A, respectivement du signal périodique prélevé au niveau du dispositif 1 localisé au point B. Chaque dispositif va également pouvoir horodater localement chaque détection de passage à zéro via son moyen d'horodatage 13. Si l'on note :

$$\{ (ZC_{A_1^1}, ZC_{A_1^2}), (ZC_{A_2^1}, ZC_{A_2^2}), \dots, (ZC_{A_M^1}, ZC_{A_M^2}) \},$$

respectivement

$$\{ (ZC_{B_1^1}, ZC_{B_1^2}), (ZC_{B_2^1}, ZC_{B_2^2}), \dots, (ZC_{B_M^1}, ZC_{B_M^2}) \}$$

M paires successives de passages à zéro détectés par le dispositif 1 localisé au point A , respectivement au point B, et

$$\{ (tZC_{A_1^1}, tZC_{A_1^2}), (tZC_{A_2^1}, tZC_{A_2^2}), \dots, (tZC_{A_M^1}, tZC_{A_M^2}) \},$$

respectivement

$$\{ (tZC_{B_1^1}, tZC_{B_1^2}), (tZC_{B_2^1}, tZC_{B_2^2}), \dots, (tZC_{B_M^1}, tZC_{B_M^2}) \}$$

les paires d'instants associés obtenus par horodatage local via le moyen d'horodatage 13 associé au dispositif 1 d'acquisition de données localisé au point A, respectivement au point B, l'estimation T'_A , respectivement T'_B , de la période du signal périodique est calculée selon la relation :

$$T'_A = 2 \times \sum_{i=1}^M (t_{ZC_{A_i}} - t_{ZC_{A_i}})$$

$$\text{respectivement } T'_B = 2 \times \sum_{i=1}^M (t_{ZC_{B_i}} - t_{ZC_{B_i}})$$

Plus l'entier M est grand, plus on s'affranchit des fluctuations qui pourraient affecter le signal périodique en raison de surcharge ou de la présence d'équipements dans le réseau. L'entier M peut être par exemple égal à 100, voire 200 ou 300.

- [0035] Une fois que chaque dispositif a pu estimer localement la période T'_A ou T'_B du signal périodique prélevé, le procédé 100 se poursuit par une deuxième phase de synchronisation comprenant les étapes suivantes (voir conjointement les figures 4 et 6) :
- [0036] Le dispositif 1 d'acquisition de données localisé au point A envoie, lors d'une étape 120, un signal d'information $s(t)$ à un premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$, horodaté localement, d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau de ce dispositif 1 d'acquisition de données. Comme vu précédemment, ce signal $s(t)$ peut être envoyé par tout canal de transmission (par le réseau lui-même en injectant le signal dans le câble ou par une communication cellulaire ou par Ethernet. Le signal $s(t)$ peut être de tout type.
- [0037] Lors d'une étape 130, le signal d'information $s(t)$ est reçu par le dispositif 1 d'acquisition de données localisé au point B, au bout d'une durée correspondant au temps de vol τ entre les deux points A et B. A noter que ce temps de vol τ est généralement de l'ordre de la microseconde pour une distance maximum d'environ 15 km séparant les deux points A et B. Lors de cette étape 130, l'instant de réception de ce signal d'information $s(t)$ est horodaté localement par le moyen d'horodatage local 13 associé à ce dispositif 1.
- [0038] Lors d'une étape 140, le dispositif 1 d'acquisition de données déclenchement localisé au point A déclenche une première phase d'acquisition d'événements haute fréquence par son capteur 11, sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie T_m , la première phase d'acquisition étant déclenchée à un premier instant de déclenchement t_{RA} déterminé localement par le premier moyen d'horodatage local 13 et séparé du premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$ d'une durée correspondant à la première estimation T'_A de la période du signal électrique.
- [0039] Par ailleurs, après écoulement d'une durée correspondant à $T'_B/2$ suivant l'instant de réception du signal $s(t)$, le dispositif 1 d'acquisition de données localisé au point B déclenche, lors d'une étape 150, une deuxième phase d'acquisition d'événements haute fréquence par son propre capteur 11, sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la deuxième phase d'acquisition étant déclenchée à un deuxième instant de déclenchement t_{RB} déterminé localement par le deuxième moyen

d'horodatage 13 et correspondant à un deuxième instant de détection d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du deuxième dispositif 1 d'acquisition de données.

[0040] Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la première phase d'acquisition de données correspond à la première estimation T'_A de la période du signal électrique, et la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la deuxième phase d'acquisition de données correspond à la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique. En conséquence, les durées de cycles pour les deux phases se correspondent.

[0041] Comme le montre la [Fig.6], les instants de déclenchement T_{RA} et T_{RB} , bien que mesurés localement par chaque moyen d'horodatage 13, sont censés coïncider dans un référentiel temporel commun.

[0042] Il en résulte qu'il est possible de déterminer, lors d'une étape 160, détermination, une différence de synchronisation Δt_{oa} entre un premier événement haute fréquence et un deuxième événement haute fréquence acquis, sur un cycle donné, respectivement par le dispositif 1 d'acquisition de données localisé au point A, à un premier instant d'acquisition horodaté localement par son propre moyen d'horodatage 13, et par le deuxième dispositif d'acquisition de données 1 localisé au point B, à un deuxième instant d'acquisition horodaté localement par son propre moyen d'horodatage 13 par simple calcul de la différence entre le deuxième instant de déclenchement t_{RB} et le premier instant de déclenchement t_{RA} . Ce calcul peut être effectué en local (par exemple au niveau du premier dispositif 1 localisé au point A) ou centralisé au niveau du serveur distant.

[0043] Dans un mode de réalisation possible, les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont séparés deux à deux d'une durée d'espacement T_s prédéfinie correspondant à un nombre prédéfini de passages consécutifs par zéro.

[0044] En variante, les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont consécutifs, ce qui revient à dire que la durée d'espacement T_s est nulle.

[0045] Dans tous les cas, un cycle (n+1) pour le dispositif 1 localisé au point A, respectivement au point B, débute à un instant $t_{RA_{n+1}}$, respectivement $t_{RB_{n+1}}$, qui peut s'exprimer en fonction du cycle n précédent, selon la relation :

$$t_{RA_{n+1}} = t_{oa_{A_n}} + T_m + T_s, \text{ respectivement } t_{RB_{n+1}} = t_{oa_{B_n}} + T_m + T_s$$

de sorte que, pour chaque cycle n, on conserve la relation

$$\Delta t_{oa_n} = t_{oa_{B_n}} - t_{oa_{A_n}} = t_{RB_{n+1}} - t_{RA_{n+1}}$$

- [0046] Tout évènement haute fréquence susceptible d'être détecté par les moyens de détection 11 du dispositif 1 localisé au point A ou du dispositif 1 localisé au point B lors de phases d'acquisition de données vont par suite pouvoir être horodatés d'abord localement, via les moyens d'horodatage locaux 13, puis dans une base de référence commune grâce à la connaissance de la différence de synchronisation Δt_{oa} entre les deux dispositifs 1 d'acquisition de données.
- [0047] Dans le cas non limitatif où les dispositifs 1 d'acquisition de données sont dédiés à la détection d'évènements haute fréquence correspondants à des signaux $u_A(t)$ et $u_B(t)$ générés par une même décharge partielle 2, le procédé comporte en outre une étape (non représentée) de calcul de la localisation Z_{PD} de la décharge partielle selon la relation
- $$Z_{PD} = \frac{TOF - \Delta t_{oa}}{2 \cdot TOF} \cdot l_c$$
- dans laquelle l_c est une longueur de câble entre le premier et le deuxième dispositifs (1) d'acquisition de données.
- [0048] Cette étape de calcul peut par exemple être réalisée au niveau du serveur central distant.
- [0049] Les étapes 110 à 160 sont de préférence répétées périodiquement (par exemple une ou plusieurs fois par jour) de manière à compenser les dérives pouvant affecter le réseau, telles que des changements de températures, des surcharges, et/ou une dispersion dans les compteurs 13).

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de synchronisation entre au moins un premier dispositif (1) et un deuxième dispositif (1) d'acquisition de données d'un système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique, chaque dispositif (1) d'acquisition de données étant localisé en un point connu du réseau et étant configuré pour détecter des événements haute fréquence lors de phases d'acquisition de données, le procédé comportant :

une première phase (110) d'estimations de la période du signal électrique parcourant le réseau consistant à :

- prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif (1) d'acquisition de données et en déduire une première estimation T'_A de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un premier moyen d'horodatage (13) associé au premier dispositif (1) d'acquisition de données ;
 - prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du deuxième dispositif (1) d'acquisition de données et en déduire une deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique par détection des instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par un deuxième moyen d'horodatage (13) associé au deuxième dispositif d'acquisition de données ;
- suivie d'une deuxième phase de synchronisation comprenant les étapes suivantes :
- envoi (120) par le premier dispositif d'acquisition de données d'un signal d'information à un premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$, horodaté localement, d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du premier dispositif (1) d'acquisition de données ;
 - horodatage local (130) de l'instant de réception dudit signal d'information par le deuxième dispositif d'acquisition de données ;
 - déclenchement (140), par le premier dispositif d'acquisition de données, d'une première phase d'acquisition d'événements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la première phase d'acquisition étant déclenchée à un premier instant de déclenchement t_{RA} déterminé localement par le premier moyen d'horodatage (13) et séparé du premier instant de

détection d'une durée correspondant à la première estimation T'_A de la période du signal électrique ;

- après écoulement d'une durée correspondant à la moitié de la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique suivant ledit instant de réception, déclenchement (150), par le deuxième dispositif (1) d'acquisition de données, d'une deuxième phase d'acquisition d'évènements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la deuxième phase d'acquisition étant déclenchée à un deuxième instant de déclenchement t_{RB} déterminé localement par le deuxième moyen d'horodatage (13) et correspondant à un deuxième instant de détection d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du deuxième dispositif (1) d'acquisition de données ; et

- détermination (160) d'une différence de synchronisation Δt_{oa} entre un premier évènement haute fréquence et un deuxième évènement haute fréquence acquis, sur un cycle donné, respectivement par le premier dispositif d'acquisition de données (1) à un premier instant d'acquisition horodaté localement par le premier moyen d'horodatage (13) et par le deuxième dispositif d'acquisition de données (1) à un deuxième instant d'acquisition horodaté localement par le deuxième moyen d'horodatage (13) par calcul de la différence entre le deuxième instant de déclenchement t_{RB} et le premier instant de déclenchement t_{RA} .

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication 1, dans lequel la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la première phase d'acquisition de données correspond à la première estimation T'_A de la période du signal électrique, et la durée de cycle prédéfinie pour chaque cycle de la deuxième phase d'acquisition de données correspond à la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique.

[Revendication 3]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont consécutifs.

[Revendication 4]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que les cycles successifs dans la première phase et la deuxième phase d'acquisition de données sont séparés deux à deux d'une durée d'espacement T_s prédéfinie correspondant à un nombre prédéfini de passages consécutifs par zéro.

[Revendication 5]

Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier évènement haute fréquence détecté par le premier dispositif (1) d'acquisition de données et le deuxième évènement haute fréquence détecté par le deuxième dispositif (1) de données sur un cycle donné correspondent à deux signaux générés par une même décharge partielle (2) en un point du réseau situé entre le premier et le deuxième dispositifs (1) d'acquisition de données, et en ce que le procédé comporte en outre une étape de calcul de la localisation Z_{PD} de la décharge partielle selon la relation

$$Z_{PD} = \frac{TOF \cdot \Delta t_{33}}{2 \cdot TOF} \cdot l_c$$

dans laquelle l_c est une longueur de câble entre le

premier et le deuxième dispositifs (1) d'acquisition de données.

[Revendication 6]

Système de surveillance en ligne d'un réseau de distribution électrique comportant au moins un premier et un deuxième dispositif (1) d'acquisition de données, chaque dispositif (1) d'acquisition de données étant localisé en un point connu du réseau et étant configuré pour détecter des évènements haute fréquence lors de phases d'acquisition de données, le système de surveillance en ligne étant caractérisé en ce qu'il comporte :

- un premier moyen d'horodatage local (13) et un premier module de détection de passage par zéro (12), associés au premier dispositif (1) d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du premier dispositif d'acquisition de données (1) et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le premier moyen d'horodatage (13) ;

- un deuxième moyen d'horodatage local (13) et un deuxième module de détection de passages par zéro (12), associés au deuxième dispositif (1) d'acquisition de données, et configurés pour prélever le signal électrique parcourant le réseau au niveau du deuxième dispositif d'acquisition de données (1) et détecter les instants de passages par zéro du signal prélevé, horodatés localement par le deuxième moyen d'horodatage (15) ; et

- des moyens de synchronisation configurés pour :

lors d'une première phase d'estimations, déduire une première estimation T'_A de la période du signal électrique à partir d'instants de passages par zéro successivement horodatés localement par le premier moyen d'horodatage (13), et une deuxième estimation T'_B

de la période du signal électrique à partir d'instant de passages par zéro successivement horodatés localement par le deuxième moyen d'horodatage (13),

et pour effectuer une deuxième phase de synchronisation comprenant les étapes suivantes :

- envoi (120) par le premier dispositif d'acquisition de données d'un signal d'information à un premier instant de détection $t_{ZCA1,1}$, horodaté localement, d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du premier dispositif (1) d'acquisition de données ;
- horodatage local (130) de l'instant de réception dudit signal d'information par le deuxième dispositif d'acquisition de données ;
- déclenchement (140), par le premier dispositif d'acquisition de données, d'une première phase d'acquisition d'événements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la première phase d'acquisition étant déclenchée à un premier instant de déclenchement t_{RA} déterminé localement par le premier moyen d'horodatage (13) et séparé du premier instant de détection d'une durée correspondant à la première estimation T'_A de la période du signal électrique ;
- après écoulement d'une durée correspondant à la moitié de la deuxième estimation T'_B de la période du signal électrique suivant ledit instant de réception, déclenchement (150), par le deuxième dispositif (1) d'acquisition de données, d'une deuxième phase d'acquisition d'événements haute fréquence sur une pluralité de cycles successifs de durée de cycle prédéfinie, la deuxième phase d'acquisition étant déclenchée à un deuxième instant de déclenchement t_{RB} déterminé localement par le deuxième moyen d'horodatage (13) et correspondant à un deuxième instant de détection d'un nouveau passage à zéro du signal prélevé au niveau du deuxième dispositif (1) d'acquisition de données ; et
- détermination (160) d'une différence de synchronisation Δt_{oa} entre un premier événement haute fréquence et un deuxième événement haute fréquence acquis, sur un cycle donné, respectivement par le premier dispositif d'acquisition de données (1) à un premier instant d'acquisition horodaté localement par le premier moyen d'horodatage (13) et par le deuxième dispositif d'acquisition de données (1) à un deuxième instant d'acquisition horodaté localement

par le deuxième moyen d'horodatage (13) par calcul de la différence entre le deuxième instant de déclenchement t_{RB} et le premier instant de déclenchement t_{RA} .

[Revendication 7]

Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que le premier moyen d'horodatage et le deuxième moyen d'horodatage sont des compteurs N bits, N étant un entier supérieur ou égal à 16.

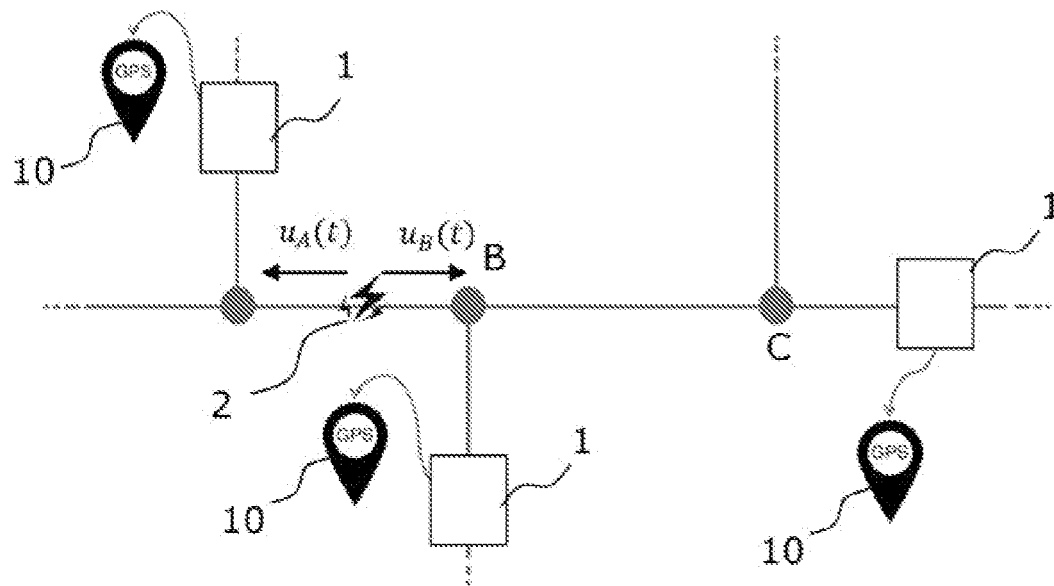
[Revendication 8]

Système selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, dans lequel le premier moyen d'horodatage (13) est intégré au premier dispositif (1) d'acquisition des données, et/ou le deuxième moyen d'horodatage est intégré au deuxième dispositif (1) d'acquisition des données.

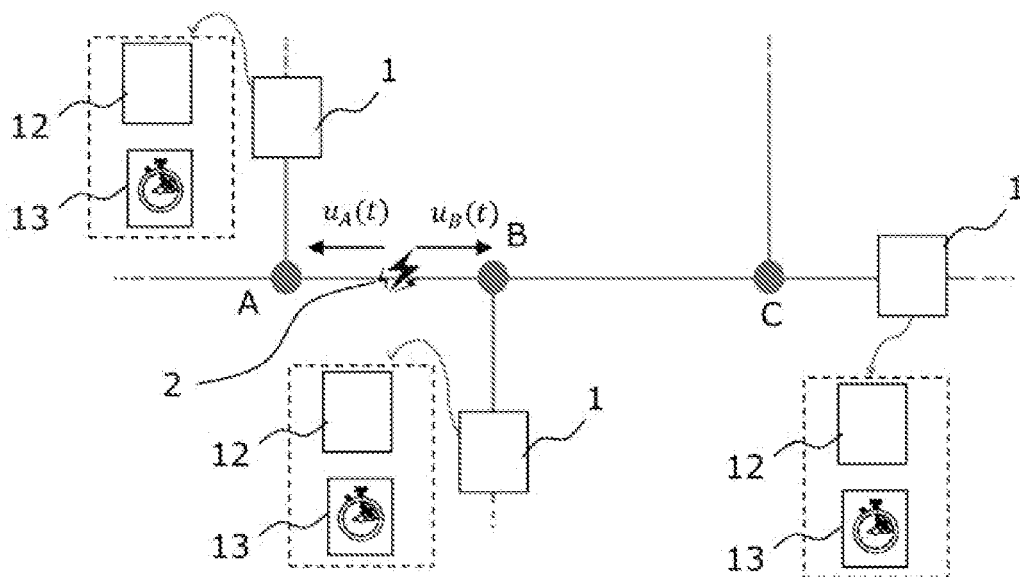
[Revendication 9]

Système selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel le premier module de détection de passage par zéro (12) est intégré au premier dispositif (1) d'acquisition des données, et/ou le deuxième module de détection de passage par zéro (12) est intégré au deuxième dispositif (1) d'acquisition des données.

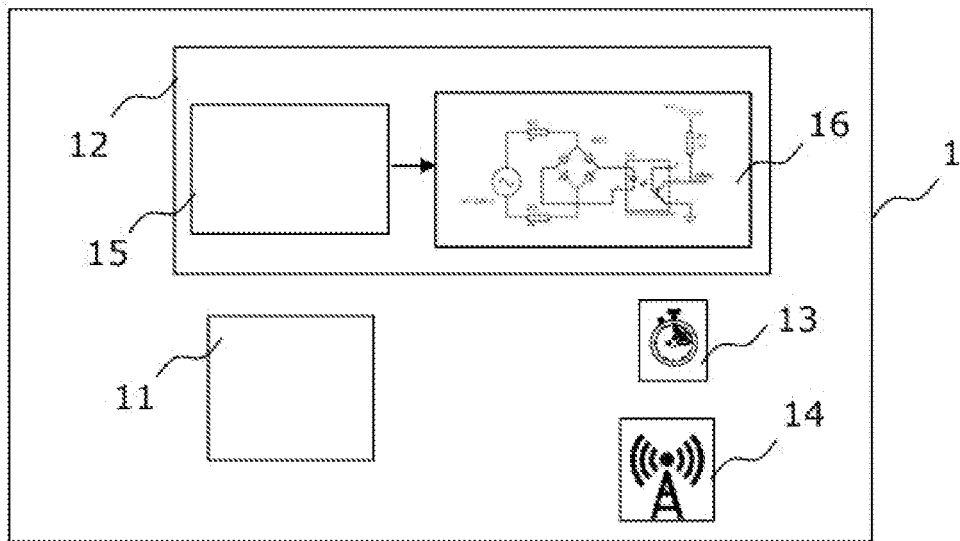
[Fig. 1]

**FIG.1 (art antérieur)**

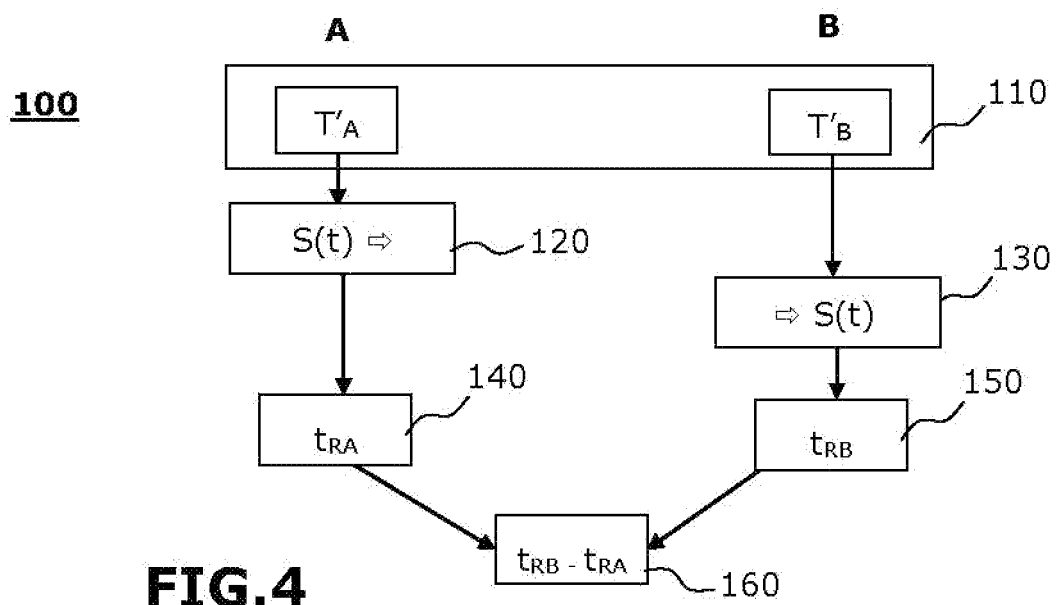
[Fig. 2]

**FIG.2**

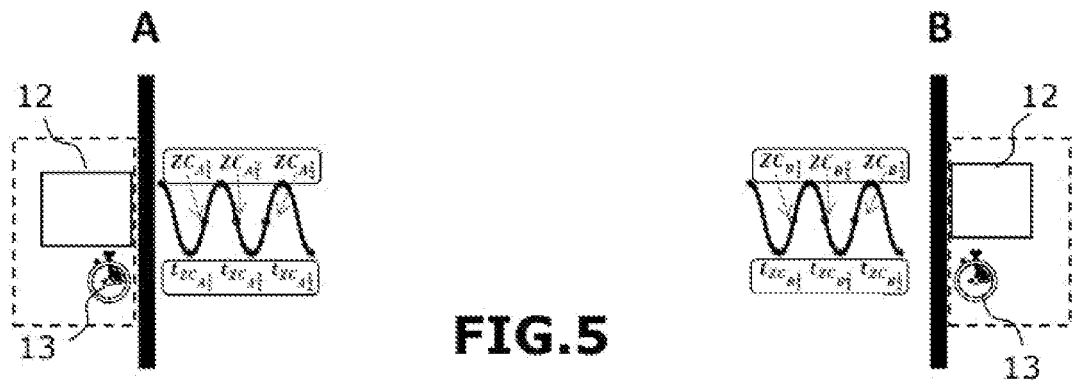
[Fig. 3]

**FIG.3**

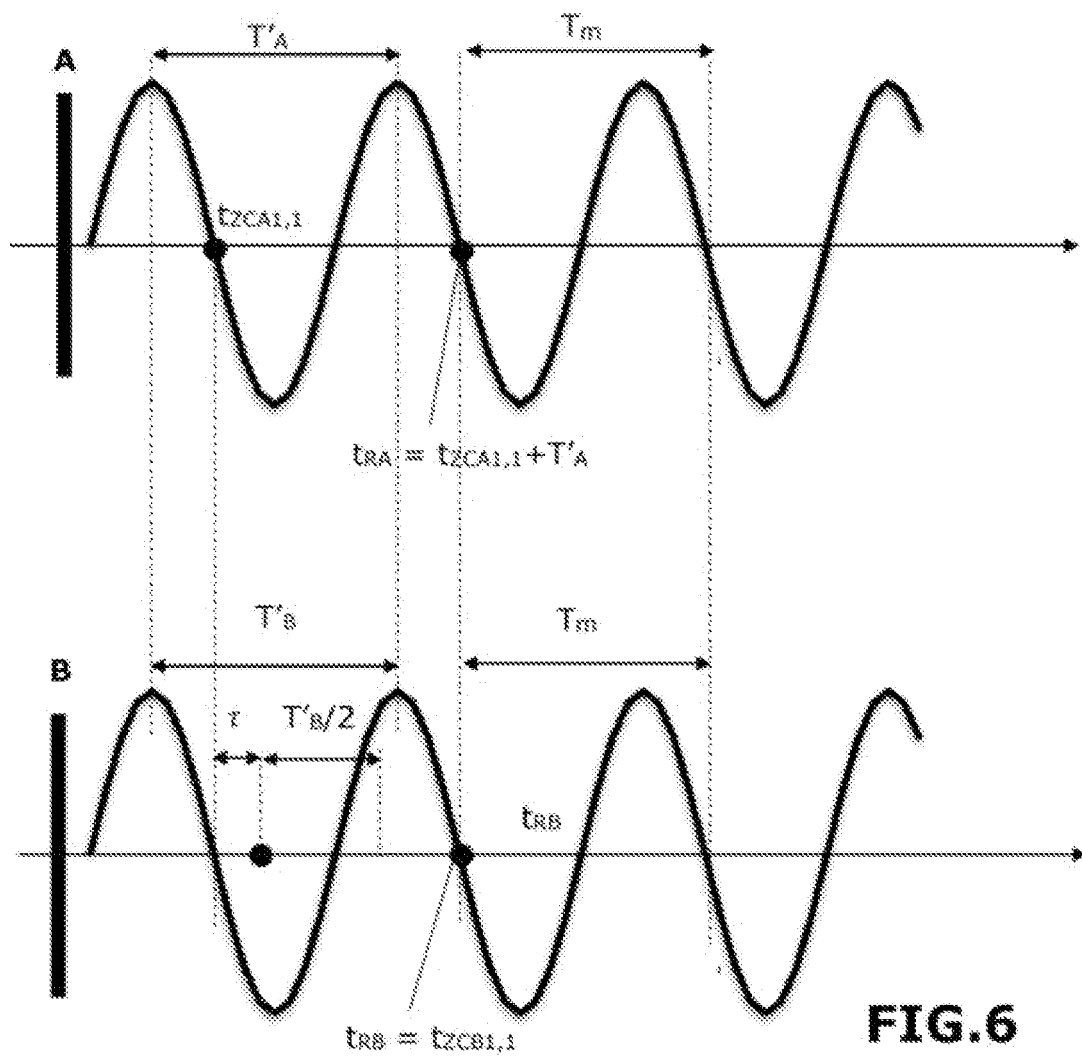
[Fig. 4]

**FIG.4**

[Fig. 5]



[Fig. 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**

NEANT

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

EP 3 798 649 A1 (ELECTRICITE DE FRANCE
[FR]) 31 mars 2021 (2021-03-31)

CN 107 085 174 B (SINDIA INSTR CO LTD)
17 décembre 2019 (2019-12-17)

WO 2015/062628 A1 (PRYSMIAN SPA [IT])
7 mai 2015 (2015-05-07)

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

NEANT