

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

3 012 617

21 N° d'enregistrement national : 13 60658

51 Int Cl⁸ : G 01 R 31/08 (2013.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.10.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 01.05.15 Bulletin 15/18.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

72 Inventeur(s) : BEN HASSEN Wafa et AUZANNEAU FABRICE.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

54 METHODE DE LOCALISATION DE DEFAUTS ELECTRIQUES AU SEIN D'UN RESEAU DE LIGNES DE TRANSMISSION ET SYSTEME ASSOCIE.

57 Méthode de localisation de défaut (403) impactant un réseau de lignes de transmission (400), ladite méthode comprenant les étapes suivantes :

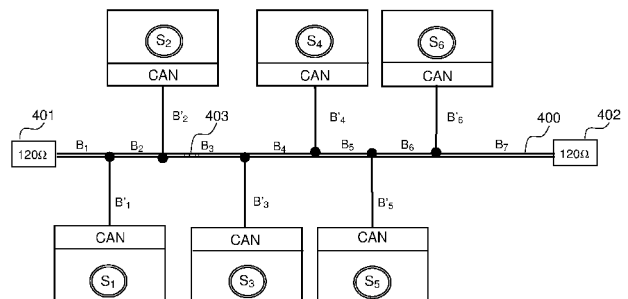
Générer une pluralité de signaux électriques multi-porteuses fréquentielles,

Injecter lesdits signaux électriques respectivement en une pluralité de points d'injections du réseau de lignes de transmission (400),

Mesurer, en une pluralité de points de mesure du réseau de lignes de transmission (400), lesdits signaux électriques propagés au sein dudit réseau,

Déterminer, pour une pluralité de liaisons reliant un point d'injection donné à un point de mesure donné, à partir du signal injecté audit point d'injection donné et du signal mesuré audit point de mesure donné, une information représentative du taux d'erreur sur ladite liaison,

Localiser un défaut (403) impactant au moins une desdites liaisons à partir desdites informations représentative du taux d'erreur.



FR 3 012 617 - A1



Méthode de localisation de défauts électriques au sein d'un réseau de lignes de transmission et système associé.

La présente invention concerne le domaine du diagnostic en ligne de
5 réseaux filaires complexes constitués de câbles ou lignes de transmission de
natures diverses, par exemple des câbles électriques, coaxiaux, bifilaires, en
lignes parallèles, en paires torsadées en toron de câbles ou autre.

L'invention se positionne dans le domaine de la réflectométrie qui
consiste, à partir de l'injection d'un ou plusieurs signaux de tests au sein du
10 câble ou réseau de câbles à tester, de mesurer le signal réfléchi sous forme
d'un réflectogramme et d'en déduire une information sur les discontinuités
d'impédances qui sont caractéristiques de défauts électriques. De cette
façon il est possible de diagnostiquer un réseau filaire complexe en détectant
et localisant des défauts éventuels.

15 L'invention porte en particulier sur une méthode de localisation de
défauts électriques au sein d'un réseau filaire complexe ainsi qu'un système
de localisation associé.

Le principe de la réflectométrie consiste à injecter un signal sur un
20 réseau de câbles puis à mesurer les échos renvoyés suite à la variation
brusque de l'impédance caractéristique d'une ou plusieurs lignes de
transmission branchées par des connecteurs formant ainsi des jonctions. Les
caractéristiques de ces échos, telles que le retard par rapport au signal de
test et l'amplitude, permettent d'obtenir des informations sur la position et le
25 type des défauts électriques présents dans ce réseau.

Dans le cas d'un diagnostic en ligne, le signal de test est envoyé sur
le réseau lorsque le système à diagnostiquer est en fonctionnement
permettant de se trouver dans les conditions réelles du système, donc
d'établir un diagnostic plus poussé tel que la caractérisation de défauts
30 intermittents ou dits transitoires. Cependant, il faut éviter toute interférence
entre les signaux liés au fonctionnement du système cible et ceux injectés

par le système de réflectométrie. Cela se traduit par diverses contraintes (variables d'une application à l'autre) au niveau de la compatibilité électromagnétique, de l'occupation spectrale des signaux ou encore de la robustesse au bruit.

5 Ce problème d'interférence s'aggrave dans le cas d'un diagnostic distribué où plusieurs réflectomètres effectuent une mesure de réflectométrie en plusieurs points du réseau cible simultanément. Les différents signaux qui se propagent dans le réseau sont susceptibles d'interférer entre eux et de fausser ainsi les résultats du diagnostic.

10 En outre, dans le cadre d'un réseau filaire constitué de plusieurs sections ramifiées selon une topologie complexe, un autre problème concerne la localisation de défauts électriques de façon non ambiguë à partir d'un nombre limités de réflectomètres.

15 Le domaine de la réflectométrie contient plusieurs méthodes qui permettent de répondre, dans certains cas d'applications, aux contraintes d'un diagnostic en ligne. On peut citer notamment les méthodes suivantes.

La réflectométrie SSTDR (« Spread Spectrum Time Domain Reflectometry »), comme décrit dans le document référencé [1] est basée sur
20 la réflectométrie STDR (« Sequence Time Domain Reflectometry »). Elle permet de déplacer le spectre du signal émis par le biais de l'application d'une modulation par une fréquence porteuse des séquences binaires pseudo-aléatoires de la réflectométrie STDR. Cependant l'occupation spectrale est deux fois plus importante qu'avec la réflectométrie STDR et le
25 spectre peut juste être décalé mais pas contrôlé entièrement.

La réflectométrie NDR (« Noise Domain Reflectometry »), comme décrit dans le document référencé [2] permet de faire de la réflectométrie sans émettre aucun signal. Ce sont les signaux déjà présents sur la ligne qui sont utilisés. Bien que cette méthode puisse être intéressante dans certains
30 cas, elle présente des inconvénients majeurs : les signaux présents dans le réseau de câbles doivent avoir les propriétés adéquates, les traitements sont

plus complexes et les signaux de test ne sont pas périodiques ce qui a des conséquences sur la complexité du traitement et sur la qualité de la mesure.

La réflectométrie MCR (« MultiCarrier Reflectometry »), comme décrit dans le document référencé [3] utilise des signaux multi-porteuses. Son intérêt est la grande flexibilité avec laquelle on peut moduler le spectre du signal émis, ce qui permet ainsi de s'adapter à des contraintes propres au diagnostic en ligne. Par exemple, s'il est interdit d'émettre sur une bande de fréquence située au milieu du spectre du signal test, il est tout à fait possible d'annuler l'énergie du signal sur cette bande de fréquences. La méthode proposée reste cependant très limitée car elle ne permet de diagnostiquer que des lignes de transmission simples et uniformes.

On connaît également la réflectométrie MCTDR (« MultiCarrier Time Domain Reflectometry »), comme décrit dans le document référencé [4].

Ces méthodes de l'art connu souffrent d'un manque de flexibilité pour assurer un bon diagnostic en ligne dans le cas d'un réseau de topologie complexe avec la présence de défauts non francs. Sachant que l'occupation spectrale du signal de test est l'un des aspects majeurs pour assurer un bon diagnostic en ligne sur le réseau de câbles, le spectre du signal doit permettre de limiter les interférences avec le fonctionnement de l'application sans dégrader la qualité du réflectogramme obtenu.

Dans le cas d'un réseau filaire complexe, la détection et localisation d'un ou plusieurs défaut(s) francs ou non francs s'avèrent impossibles avec un seul point d'injection. La réflectométrie distribuée semble être une bonne solution pour remédier à ce problème. On entend par réflectométrie distribuée, l'injection du signal de test en plusieurs points du réseau et la récupération du signal réfléchi en un ou plusieurs points selon la stratégie de diagnostic choisie.

Le document référencé [5] décrit une méthode de réflectométrie, qui consiste à utiliser des séquences pseudo-aléatoires de type séquence M (ou

« Maximum Length Sequence ») comme signal de test et à minimiser l'inter-corrélation entre les séquences générées par les différents réflectomètres. Le post-traitement (algorithme de discrimination) consiste ensuite à appliquer un filtrage adapté comme dans la méthode STDR (« Sequence Time Domain
5 Reflectometry»). Les inconvénients majeurs de cette stratégie sont les suivants. D'une part, elle ne permet pas une annulation complète de la contribution des autres réflectomètres. Il reste un bruit résiduel. D'autres part, elle impose l'utilisation d'un signal de type séquence M (ou LFSR, « Logical Feedback Shift Register » à longueur maximum). En effet, dans certains cas
10 d'application, des signaux de test, tels que les signaux multi-porteuses, peuvent être nécessaires du fait des contraintes de l'application considérée.

Le document référencé [6] a proposé comme recours une méthode de moyennes sélectives totalement indépendante du signal de test. L'idée principale est d'insérer des coefficients de pondération à l'émission du signal
15 et à la réception lors du calcul de la moyenne. Le choix de ces coefficients se base sur les séquences de Walsh-Hadamard. Cette méthode permet d'obtenir des niveaux de bruit résiduel négligeables, mais elle s'avère limitée dans le cas d'un réseau complexe puisque le nombre de mesures augmente avec le nombre de réflectomètres dans le réseau d'une façon exponentielle.
20 Dans ce cas, le calcul des moyennes sélectives exige un temps de calcul non négligeable dans le cas de plusieurs réflectomètres, ce qui met en question la capacité de la méthode d'assurer un diagnostic en temps réel.

L'invention vise à remédier aux limitations des solutions de l'art
25 antérieur en proposant une méthode et un système de diagnostic en ligne d'un réseau filaire complexe qui permet de détecter et localiser la présence de défauts électriques au sein du réseau.

L'invention est basée sur l'emploi d'un signal multi-porteuses utilisant la technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et qui,
30 grâce à une allocation judicieuse des sous-porteuses entre les différents réflectomètres d'un système distribué, permet d'éviter les problèmes

d'interférence au sein du système de réflectométrie et aussi avec les signaux utiles se propageant dans le réseau à diagnostiquer.

Le document [7] décrit le principe de base de la réflectométrie dite OMTDR (« Orthogonal Multi-Tone Time Domain Reflectometry ») qui
5 consiste à utiliser des porteuses fréquentielles orthogonales entre elles pour éviter les interférences entre réflectomètres connectés à un même réseau filaire.

L'invention a pour objet une méthode de localisation de défaut
10 impactant un réseau de lignes de transmission, ladite méthode comprenant les étapes suivantes :

- Générer une pluralité de signaux électriques multi-porteuses fréquentielles,
- Injecter lesdits signaux électriques respectivement en une pluralité
15 de points d'injections du réseau de lignes de transmission,
- Mesurer, en une pluralité de points de mesure du réseau de lignes de transmission, lesdits signaux électriques propagés au sein dudit réseau,
- Déterminer, pour une pluralité de liaisons reliant un point
20 d'injection donné à un point de mesure donné, à partir du signal injecté audit point d'injection donné et du signal mesuré audit point de mesure donné, une information représentative du taux d'erreur sur ladite liaison,
- Localiser un défaut impactant au moins une desdites liaisons à
25 partir desdites informations représentative du taux d'erreur.

Selon une variante particulière de la méthode selon l'invention, la localisation d'un défaut comprend au moins les sous-étapes suivantes :

- Identifier, à partir desdites informations représentatives du taux
30 d'erreur de l'ensemble desdites liaisons, les liaisons comprenant au moins une section défectueuse,

- Localiser un défaut à l'intersection desdites liaisons comprenant au moins une section défectueuse,

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, l'identification des liaisons défectueuses est réalisée en comparant, pour
5 chaque liaison, le taux d'erreur à un seuil prédéterminé.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, les sous-porteuses fréquentielles desdits signaux électriques multi-porteuses sont orthogonales entre elles.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, les
10 différents signaux électriques générés comportent des sous-porteuses fréquentielles différentes.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, chaque signal électrique multi-porteuses est généré au moins en exécutant les sous-étapes suivantes :

- 15 • Générer une séquence de données binaires,
- Moduler les données binaires en symboles modulés,
- Appliquer une transformée de Fourier inverse aux symboles modulés,
- Insérer un intervalle temporel de garde dans le signal obtenu.

20 Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, l'information représentative du taux d'erreur de la liaison est déterminée en comparant les données contenues dans le signal injecté et les données contenues dans le signal mesuré.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, l'information
25 représentative du taux d'erreur de la liaison est un taux d'erreur bits, un taux d'erreur symboles ou un taux d'erreur paquets.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, ledit seuil de
taux d'erreurs est prédéterminé à partir d'une information représentative de
l'impact de la variation d'impédance caractéristique due à un défaut sur le
30 taux d'erreurs en prenant en compte le rapport signal à bruit, ladite

information étant obtenue par simulation et/ou par caractérisation à partir de mesures a priori.

Selon un aspect particulier de la méthode selon l'invention, la précision de localisation d'un défaut est affinée par l'application conjointe d'une
5 méthode de réflectométrie utilisant lesdits signaux électriques multi-porteuses fréquentielles.

L'invention a encore pour objet un système de localisation de défaut impactant un réseau de lignes de transmission comprenant :

- 10 • Une pluralité de dispositifs d'injection connectés audit réseau en une pluralité de points d'injections, chaque dispositif d'injection comprenant des moyens configurés pour générer un signal électrique multi-porteuses fréquentielles et injecter ledit signal dans ledit réseau en un point d'injection,
- 15 • Une pluralité de dispositifs de mesure connectés audit réseau en une pluralité de points de mesure, chaque dispositif de mesure comprenant des moyens configurés pour mesurer, en un point de mesure, un signal électrique multi-porteuses propagé au sein dudit réseau et déterminer une information représentative du taux d'erreur sur la liaison reliant un dispositif d'injection audit dispositif
20 de mesure,
- Des moyens de calcul configurés pour localiser un défaut impactant au moins une desdites liaisons à partir desdites informations représentative du taux d'erreur.

Selon une variante particulière du système selon l'invention, lesdits
25 moyens de calcul comprennent :

- Des premiers moyens de calcul configurés pour Identifier, à partir desdites informations représentatives du taux d'erreur de l'ensemble desdites liaisons, les liaisons défectueuses,
- 30 • Des seconds moyens de calcul configurés pour localiser un défaut à l'intersection desdites liaisons défectueuses.

Selon une variante particulière du système selon l'invention, chaque signal injecté dans ledit réseau contient une information permettant d'identifier le dispositif d'injection.

5 Selon une variante particulière du système selon l'invention, les signaux électriques multi-porteuses générés par la pluralité de dispositifs d'injection sont orthogonaux entre eux.

Selon une variante particulière du système selon l'invention, lesdits seconds moyens de calcul sont localisés dans une unité de calcul centrale appartenant audit système ou dans un dispositif d'injection opérant en tant
10 que dispositif maître.

Selon une variante particulière du système selon l'invention, lesdits premiers moyens de calcul sont co-localisés avec lesdits seconds moyens de calcul ou sont distribués dans chaque dispositif de mesure.

Selon une variante particulière du système selon l'invention, ledit
15 système comprend des moyens de communication entre chaque dispositif de mesure et ladite unité de calcul centrale ou ledit dispositif d'injection maître.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit en relation aux
20 dessins annexés qui représentent :

- La figure 1, un synoptique d'un dispositif de génération d'un signal à multi-porteuses orthogonales,
- La figure 2, un diagramme illustrant le spectre fréquentiel d'un signal généré par un dispositif selon la figure 1,
- 25 - La figure 3, un synoptique d'un dispositif de mesure d'un signal à multi-porteuses orthogonales propagé au sein d'un réseau de lignes de transmission,
- La figure 4, un synoptique d'un système distribué pour le diagnostic de défauts électriques au sein d'un réseau de lignes de
30 transmission,

- Les figures 5a et 5b, deux diagrammes du taux d'erreurs bits mesuré sur une pluralité de liaisons reliant un dispositif de génération de signal à un dispositif de mesure,
- La figure 6, un diagramme du taux d'erreur binaires en fonction de l'impédance caractéristique d'un défaut électrique et du rapport signal à bruit sur une liaison filaire simulée.

La figure 1 représente, sur un synoptique, un dispositif 100 de génération d'un signal multi-porteuses appartenant à un système distribué selon l'invention.

Il comprend notamment un module de génération de données numériques 101 qui peuvent être aléatoires ou véhiculer un message d'information. Ces données peuvent être formatées sous forme de trames comprenant différents champs. Une trame peut notamment contenir un préambule qui permet de synchroniser le signal, un identifiant de début de trame, un identifiant du dispositif source qui a généré le signal, un identifiant d'un dispositif destination du signal au sein d'un système distribué comprenant plusieurs dispositifs. Une trame peut également contenir un champ permettant de déduire la longueur des données transmises dans une trame, une section contenant les données elle mêmes, un champ CRC de contrôle de la redondance cyclique permettant de détecter d'éventuelles erreurs dans la trame et un identifiant de fin de trame.

Le module de génération de données numériques 101 peut également générer un train de bits sans format a priori ou selon un format autre que celui décrit ci-dessus.

Le dispositif 100 comprend également un modulateur 102 qui permet de représenter le train binaire généré sous la forme d'un ensemble de symboles complexes modulés. La modulation employée peut être une modulation d'amplitude en quadrature à M états, M étant un entier supérieur à 2, une modulation de phase ou toute autre modulation.

Le dispositif 100 comprend également un module 103 de conversion série-parallèle qui permet de multiplexer le signal modulé en une pluralité de canaux qui sont ensuite fournis à un module de calcul de la transformée de Fourier inverse 104 du signal. Ainsi, il est possible de transmettre
5 simultanément un ensemble des symboles complexes sur une pluralité de fréquences.

Une sous-porteuse fréquentielle d'indice n peut être décrite par la fonction $g_n(t)$ suivante : $g_n(t) = e^{j2\pi\Delta f t}$ pour t appartenant à l'intervalle temporel $[0, T_s]$ et $g_n(t) = 0$ en dehors de cet intervalle.

10 Pour garantir l'orthogonalité entre les sous-porteuses, la différence fréquentielle entre deux sous-porteuses adjacentes doit être au moins égale à $\Delta f = 1/T_s$.

Un module 105 d'insertion d'un intervalle de garde temporel de durée T_G permet d'éviter que les symboles interfèrent entre eux. Chaque symbole
15 est ainsi précédé d'une extension périodique du signal lui-même. La durée totale du symbole transmis est $T = T_s + T_G$.

Le dispositif 100 comprend enfin un module 106 de conversion parallèle-série pour démultiplexer le signal multi-porteuses puis un module 107 de conversion numérique-analogique afin de générer un signal
20 analogique de réflectométrie multi-porteuses prêt à être injecté dans un réseau filaire 110.

La figure 2 représente, sur un diagramme fréquentiel, l'allure du spectre du signal multi-porteuses obtenu à la suite des étapes décrites à la
25 figure 1 pour un cas particulier où le nombre de sous-porteuses est égal à 4.

La figure 3 représente un synoptique d'un dispositif de mesure d'un signal à multi-porteuses orthogonales appartenant à un système distribué selon l'invention.

30 Un tel dispositif de mesure 300 est connecté, en un point de connexion quelconque, au réseau filaire 110 à diagnostiquer. Le dispositif

300 est notamment chargé de capturer un signal injecté dans le réseau filaire 110 par un dispositif d'injection 100, démoduler ce signal et calculer un taux d'erreurs associé à la liaison qui relie le dispositif d'injection émetteur du signal et le dispositif de mesure récepteur du signal.

5 Le dispositif 300 comprend un module de conversion analogique numérique 301 du signal mesuré, un module de conversion série parallèle 302 du signal numérisé, un module 303 de suppression de l'intervalle temporel de garde inséré dans le signal à l'émission, un module 304 de transformée de Fourier directe, un module 305 de conversion parallèle série
10 et un module de démodulation 306 du signal conformément à la modulation utilisée à l'émission (modulation d'amplitude en quadrature à M états par exemple). Le signal démodulé est ensuite comparé au signal émis 308 pour en déduire 307 une information sur le taux d'erreurs de la liaison qui relie le dispositif émetteur du signal au dispositif récepteur.

15 Le signal émis 308 peut être communiqué au dispositif de mesure 300 via des moyens de communications propres au système distribué selon l'invention. Une autre solution, permettant d'éviter l'utilisation d'un équipement supplémentaire, est de sauvegarder en mémoire dans chaque dispositif de mesure 300, l'ensemble des signaux de test qu'il est envisagé
20 d'utiliser. Chaque dispositif 300 de mesure peut ensuite être programmé pour associer au signal mesuré le signal de test à utiliser en fonction de l'identifiant du dispositif d'injection 100 qui a généré et transmis le signal reçu. Le taux d'erreurs peut être calculé entre les bits démodulés des signaux émis et reçus ou entre les symboles modulés des deux signaux.
25 Alternativement, un code détecteur d'erreur de type CRC peut être inséré dans la trame du signal émis et utilisé par le dispositif de mesure pour détecter la présence d'erreurs au niveau d'une trame. Le taux d'erreurs peut donc être un taux d'erreurs bits, un taux d'erreurs symboles ou un taux d'erreurs trame ou paquet.

30

Les dispositifs d'injection 100 et les dispositifs de mesure 300 dans leur ensemble ainsi que chaque module dont ils sont constitués peuvent être implémentés sous la forme d'éléments matériel et/ou logiciel. Ils peuvent notamment être implémentés sous la forme d'un processeur et d'une
5 mémoire. Le processeur peut être un processeur générique, un processeur spécifique, un circuit intégré propre à une application (connu aussi sous le nom anglais d'ASIC pour « Application-Specific Integrated Circuit ») ou un réseau de portes programmables in situ (connu aussi sous le nom anglais de FPGA pour « Field-Programmable Gate Array »).

10

La figure 4 représente un synoptique d'un système distribué pour le diagnostic de défauts électriques au sein d'un réseau de lignes de transmission.

Un tel système selon l'invention comporte une pluralité de dispositifs
15 S1,S2,S3,S4,S5,S6 connectés à un réseau filaire 400 qui est représenté sur la figure 4, par souci de simplification, par une simple ligne de transmission 400 avec deux charges adaptées 401,402 aux deux extrémités de la ligne. Les dispositifs connectés sont adaptés à l'impédance caractéristique de la ligne.

20 Chaque dispositif connecté peut assurer la fonction de dispositif d'injection 100 ou de dispositif de mesure 300 ou les deux à la fois.

Pour gérer les problèmes d'interférences entre les différents signaux injectés dans le réseau 400, il est nécessaire d'établir une politique d'allocation des sous-porteuses fréquentielles aux différents dispositifs
25 d'injection qui peuvent fonctionner simultanément. Le signal à multi-porteuses orthogonales décrit à l'appui de la figure 1 permet d'assurer un fonctionnement simultané de l'ensemble du système sans générer d'interférences. Ce résultat est obtenu en allouant une partie des sous-porteuses de la bande utile du signal à chaque dispositif d'injection de façon
30 à répartir les sous-porteuses disponibles sur l'ensemble des dispositifs

d'injection et de sorte qu'une sous-porteuse ne soit utilisée que par un seul dispositif à la fois.

Pour limiter le spectre d'un signal généré à une partie des sous-porteuses de la bande utile, il suffit d'annuler les symboles correspondants
5 au canal fréquentiel associé à la sous-porteuse en sortie de l'étape de transformée de Fourier inverse 104.

Chaque dispositif de mesure du système selon l'invention peut identifier quel est le dispositif d'injection source du signal reçu en fonction des sous-porteuses fréquentielles contenues dans le signal. Chaque
10 dispositif de mesure reçoit l'ensemble des signaux injectés dans le réseau et peut ainsi choisir de les démoduler tous ou uniquement une partie d'entre eux, voire un seul, en fonction du dispositif d'injection qui a émis le signal.

On décrit à présent, sur un exemple non limitatif, les étapes de
15 l'invention nécessaires pour permettre la localisation d'un défaut 403 dans le réseau filaire 400.

On suppose, à titre d'exemple, que les dispositifs S3 et S5 sont des dispositifs d'injection et que l'ensemble des dispositifs S1-S6 peuvent fonctionner comme dispositifs de mesure.

20 La ligne de transmission 400 est divisée en plusieurs sections notées de B1 à B7 de longueurs variables. Les câbles qui connectent les différents dispositifs S1-S6 à la ligne 400 sont notés B'1 à B'6. Un défaut 403 est situé sur la section B3.

25 La figure 5a représente, sur un diagramme, le taux d'erreurs bits mesuré par les dispositifs de mesure S1, S2, S4, S5, S6 sur le signal injecté dans le réseau 400 par le dispositif d'injection S3.

La figure 5b représente, sur un diagramme, le taux d'erreurs bits mesuré par les dispositifs de mesure S1, S2, S3, S4, S6 sur le signal injecté
30 dans le réseau 400 par le dispositif d'injection S5.

A partir des différentes mesures de taux d'erreurs, il est possible de déduire quelles sont les liaisons défectueuses, à priori, parmi l'ensemble des liaisons qui relie respectivement les dispositifs S3 et S5 à l'ensemble des autres dispositifs. Par liaison défectueuse, on entend une liaison qui
5 comporte au moins une section présentant un défaut.

Sur la figure 5a, on remarque que le taux d'erreurs mesuré par les dispositifs S4,S5,S6 est faible voire négligeable alors que le taux d'erreurs mesuré par les dispositifs S1,S2 est plus élevé.

De même, sur la figure 5b, on remarque que le taux d'erreurs mesuré
10 par les dispositifs S3,S4,S6 est faible voire négligeable alors que le taux d'erreurs mesuré par les dispositifs S1,S2 est plus élevé.

Pour déterminer quelles liaisons sont défectueuses, une façon de procéder consiste à comparer le taux d'erreurs mesuré à un seuil
15 prédéterminé correspondant au niveau d'erreurs au delà duquel la présence d'un défaut électrique est fortement probable.

Le seuil de taux d'erreurs peut être déterminé par simulation en simulant l'impact d'un défaut caractérisé par la variation d'impédance qu'il
20 produit sur la ligne sur le taux d'erreurs et en prenant en compte également le rapport signal à bruit.

La figure 6 illustre sur un diagramme un exemple de courbes issues d'une telle simulation. Trois courbes sont représentées pour des rapports signal à bruit respectivement égaux à 5, 10 et 20 décibels. La variation de
25 l'impédance caractéristique du défaut varie de -100% à 100% de l'impédance caractéristique de la ligne. A partir des courbes de la figure 6, en fixant un point de fonctionnement donné en rapport signal à bruit, il est possible de déterminer le seuil de taux d'erreurs au delà duquel la variation de l'impédance caractéristique est significative et traduit la présence d'un
30 défaut. Le seuil de taux d'erreurs peut également prendre en compte la sensibilité du système de localisation de défaut selon l'invention à l'amplitude

du défaut. Si le seuil est faible, la capacité de détecter des défauts non francs est accrue mais au risque d'une probabilité de fausse détection plus élevée due au bruit de mesure. Inversement, si le seuil est élevé, le diagnostic est plus fiable mais ne permet de détecter que des défauts francs.

5

En revenant aux figures 5a et 5b et en supposant que le seuil de taux d'erreurs au delà duquel la présence d'un défaut est avérée est égal à 0.4, on en déduit que les liaisons suivantes sont défectueuses [S3,S1] ; [S3,S2] ; [S5,S1] et [S5,S2].

10

Le tableau suivant identifie la composition des quatre liaisons défectueuses, autrement dit quelles sont les sections du réseau parcourues par le signal pour chaque couple de dispositifs émetteur-récepteur.

	Branches parcourues
[S3,S1]	{B'3, B3 ,B2,B'1}
[S3,S2]	{B'3, B3 ,B'2}
[S5,S1]	{B'5,B5,B4, B3 ,B2,B'1}
[S5,S2]	{B'5,B5,B4, B3 ,B'2}

15

En analysant la composition des quatre liaisons, on remarque que la seule section commune aux quatre liaisons est la section B3 et on en déduit que le défaut détecté est localisé sur cette section.

De façon générale, on localise le défaut à l'intersection des liaisons établies comme défectueuses. Si plus d'une section est commune à l'ensemble des liaisons défectueuses, alors la localisation du défaut est moins précise mais peut servir de pré-diagnostic qui sera complété ensuite par une analyse de réflectométrie classique.

En particulier, selon une variante de réalisation de l'invention, lorsqu'un défaut est localisé sur une section donnée du réseau, un test de réflectométrie supplémentaire peut être effectué pour déterminer la position précise du défaut sur la section. Ce test peut être effectué en utilisant une

25

méthode de réflectométrie du type OMTDR tel que décrit dans la référence [7]. Cette méthode peut être exécutée en utilisant les mêmes signaux de test injectés dans le réseau filaire à diagnostiquer que ceux utilisés pour calculer une information sur le taux d'erreur.

5 Un avantage de l'utilisation conjointe de la méthode de localisation de défaut selon l'invention et d'une méthode de réflectométrie OMTDR est qu'elle permet d'affiner la précision de localisation tout en limitant la complexité des traitements puisque les mêmes signaux de test sont utilisés à la fois pour calculer les taux d'erreur par liaisons et pour déterminer les
10 réflectogrammes.

L'identification des liaisons défectueuses peut être effectuée directement par le dispositif de mesure S1,S2 qui transmet ces informations à une unité de calcul centrale (non représentée sur la figure 4) via des
15 moyens de communication non représentés à la figure 4. L'unité centrale élabore ensuite la décision de localisation du défaut.

L'identification des liaisons défectueuses peut également être réalisée directement par l'unité de calcul centrale qui reçoit dans ce cas les mesures de taux d'erreurs transmises par les dispositifs de mesure du système selon
20 l'invention, via des moyens de communication non représentés à la figure 4 et élabore la décision de localisation du défaut.

L'unité de calcul centrale peut être spécifique ou peut être localisée dans un dispositif d'injection S1 qui joue alors le rôle de dispositif maître dans le système distribué selon l'invention.

25

Références

- [1] "Analysis of Spread Spectrum Time Domain Reflectometry for Wire Fault Location" de P. Smith, C. Furse, et J. Gunther. (Sensors Journal, IEEE, 5(6),
5 pages 1469-1478, Décembre 2005).
- [2] "Noise Domain Reflectometry for Locating Wiring Faults" de Chet Lo et C. Furse. (Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on, 47(1), pages 97-104, Février 2005).
- [3] "Multicarrier Reflectometry" de S. Naik, CM. Furse, et B. Farhang-
10 Boroujeny. (Sensors Journal, IEEE, 6(3), pages 812-818, Juin 2006).
- [4] "On Line Wire Diagnosis using Multicarrier Time Domain Reflectometry for Fault Location" de A. Lelong et M. Olivas. (Sensors Conference, IEEE, pages 751–754, Octobre 2009).
- [5] "Distributed Reflectometry-based Diagnosis for Complex Wired Networks"
15 de N. Ravot, F. Auzanneau, Y. Bonhomme, M.O. Carrion, et F. Bouillault. (EMC:Safety, Reliability and Security of Communication and Transportation Syst, EMC Workshop, Paris, Juin 2007).
- [6] "Distributed Reflectometry Method for Wire Fault Location Using Selective Average" de A. Lelong, L. Sommervogel, N. Ravot, and M. Olivas. (Sensors
20 Journal, IEEE, 10(2), pages 300–310, Février 2010).
- [7] "OMTDR using BER estimation for ambiguities cancellation in ramified networks diagnosis", W. Ben Hassen, F. Auzanneau, L. Incarbone, F. Pérès, Ayeley P.Tchangani, IEEE, 2013

REVENDICATIONS

1. Méthode de localisation de défaut (403) impactant un réseau de lignes de transmission (400), ladite méthode comprenant les étapes suivantes :
- 5
- Générer une pluralité de signaux électriques multi-porteuses fréquentielles,
 - Injecter lesdits signaux électriques respectivement en une pluralité de points d'injections du réseau de lignes de transmission (400),
 - 10 • Mesurer, en une pluralité de points de mesure du réseau de lignes de transmission (400), lesdits signaux électriques propagés au sein dudit réseau,
 - Déterminer, pour une pluralité de liaisons reliant un point d'injection donné à un point de mesure donné, à partir du signal injecté audit point d'injection donné et du signal mesuré audit point de mesure donné, une information représentative du taux d'erreur sur ladite liaison,
 - 15 • Localiser un défaut (403) impactant au moins une desdites liaisons à partir desdites informations représentative du taux d'erreur.
- 20
2. Méthode de localisation de défaut selon la revendication 1 dans laquelle la localisation d'un défaut (403) comprend au moins les sous-étapes suivantes :
- Identifier, à partir desdites informations représentatives du taux d'erreur de l'ensemble desdites liaisons, les liaisons ([S3,S1], [S3,S2], [S5,S1], [S5,S2]) comprenant au moins une section défectueuse,
 - 25 • Localiser un défaut (403) à l'intersection (S3) desdites liaisons comprenant au moins une section défectueuse.
- 30

3. Méthode de localisation de défaut selon la revendication 2 dans laquelle l'identification des liaisons défectueuses est réalisée en comparant, pour chaque liaison, le taux d'erreur à un seuil prédéterminé.
- 5 4. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les sous-porteuses fréquentielles desdits signaux électriques multi-porteuses sont orthogonales entre elles.
- 10 5. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les différents signaux électriques générés comportent des sous-porteuses fréquentielles différentes.
- 15 6. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications 4 ou 5 dans laquelle chaque signal électrique multi-porteuses est généré au moins en exécutant les sous-étapes suivantes :
 - Générer une séquence de données binaires (101),
 - Moduler (102) les données binaires en symboles modulés,
 - Appliquer une transformée de Fourier inverse (104) aux symboles modulés,
 - 20 • Insérer (105) un intervalle temporel de garde dans le signal obtenu.
- 25 7. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications précédentes dans laquelle l'information représentative du taux d'erreur de la liaison est déterminée en comparant les données contenues dans le signal injecté et les données contenues dans le signal mesuré.
- 30 8. Méthode de localisation de défaut selon la revendication 7 dans laquelle l'information représentative du taux d'erreur de la liaison est un taux d'erreur bits, un taux d'erreur symboles ou un taux d'erreur paquets.

9. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications précédentes dans laquelle ledit seuil de taux d'erreurs est prédéterminé à partir d'une information représentative de l'impact de la variation d'impédance caractéristique due à un défaut sur le taux d'erreurs en prenant en compte le rapport signal à bruit, ladite information étant obtenue par simulation et/ou par caractérisation à partir de mesures a priori.
10. Méthode de localisation de défaut selon l'une des revendications précédentes dans laquelle la précision de localisation d'un défaut (403) est affinée par l'application conjointe d'une méthode de réflectométrie utilisant lesdits signaux électriques multi-porteuses fréquentielles.
11. Système de localisation de défaut impactant un réseau de lignes de transmission (400) comprenant :
- Une pluralité de dispositifs d'injection (S3,S5) connectés audit réseau en une pluralité de points d'injections, chaque dispositif d'injection comprenant des moyens (100) configurés pour générer un signal électrique multi-porteuses fréquentielles et injecter ledit signal dans ledit réseau en un point d'injection,
 - Une pluralité de dispositifs de mesure (S1,S2,S3,S4,S5,S6) connectés audit réseau en une pluralité de points de mesure, chaque dispositif de mesure comprenant des moyens (300) configurés pour mesurer, en un point de mesure, un signal électrique multi-porteuses propagé au sein dudit réseau et déterminer une information représentative du taux d'erreur sur la liaison reliant un dispositif d'injection audit dispositif de mesure,
 - Des moyens de calcul configurés pour localiser un défaut (403) impactant au moins une desdites liaisons à partir desdites informations représentative du taux d'erreur.

12. Système de localisation de défaut selon la revendication 11 dans lequel lesdits moyens de calcul comprennent :
- Des premiers moyens de calcul configurés pour identifier, à partir
5 desdites informations représentatives du taux d'erreur de l'ensemble desdites liaisons, les liaisons défectueuses,
 - Des seconds moyens de calcul configurés pour localiser un défaut à l'intersection desdites liaisons défectueuses.
- 10 13. Système de localisation de défaut selon l'une des revendications 11 ou 12 dans lequel chaque signal injecté dans ledit réseau contient une information permettant d'identifier le dispositif d'injection.
14. Système de localisation de défaut selon la revendication 13 dans lequel
15 les signaux électriques multi-porteuses générés par la pluralité de dispositifs d'injection sont orthogonaux entre eux.
15. Système de localisation de défaut selon l'une des revendications 11 à 13
20 dans lequel lesdits seconds moyens de calcul sont localisés dans une unité de calcul centrale appartenant audit système ou dans un dispositif d'injection opérant en tant que dispositif maître.
16. Système de localisation de défaut selon la revendication 15 dans lequel
25 lesdits premiers moyens de calcul sont co-localisés avec lesdits seconds moyens de calcul ou sont distribués dans chaque dispositif de mesure.
17. Système de localisation de défaut selon la revendication 16 comprenant des moyens de communication entre chaque dispositif de mesure et ladite unité de calcul centrale ou ledit dispositif d'injection maître.

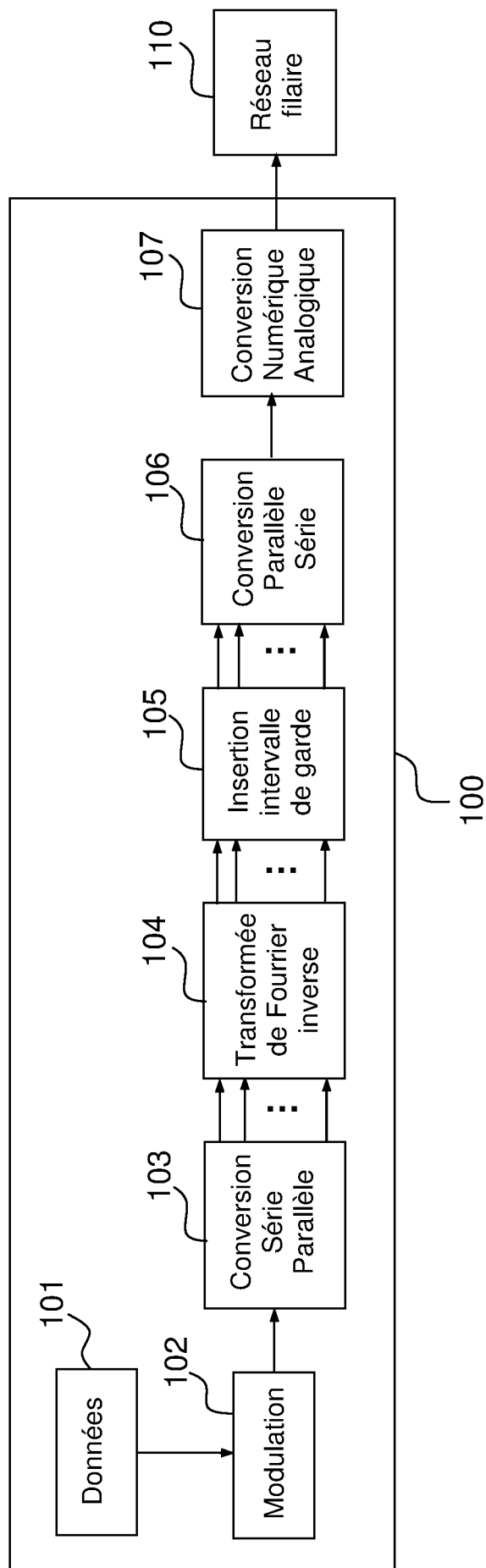


FIG.1

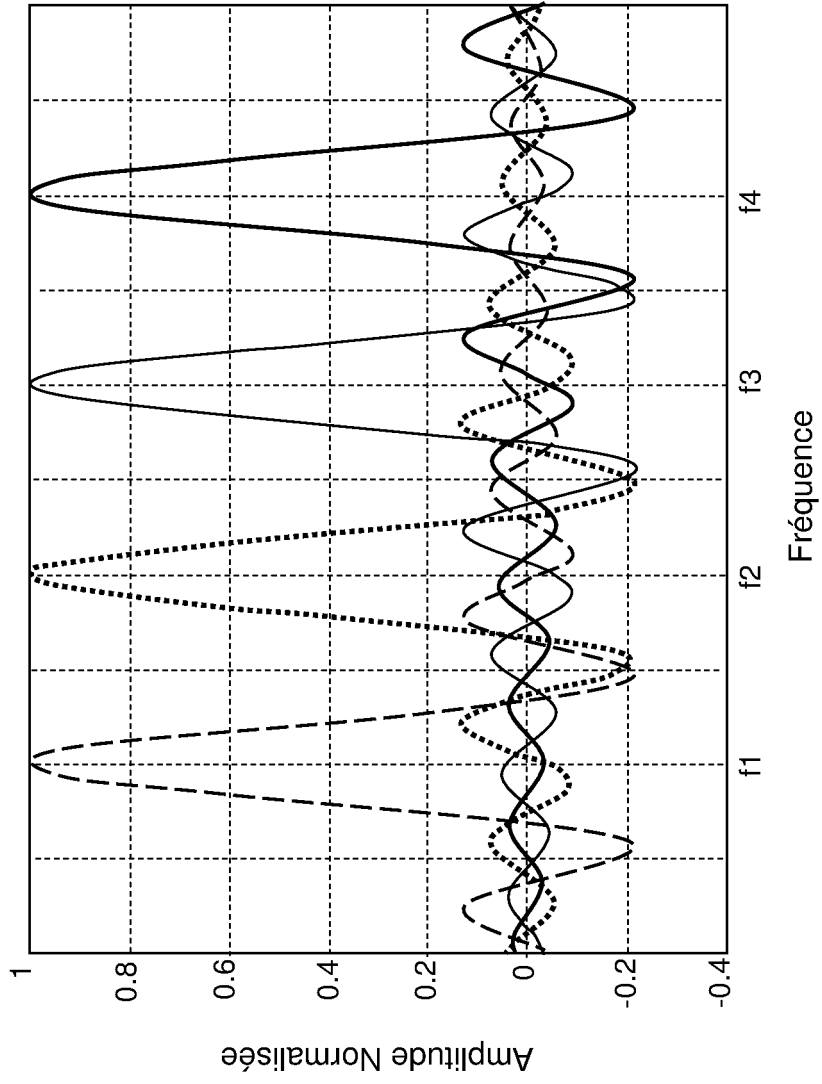


FIG.2

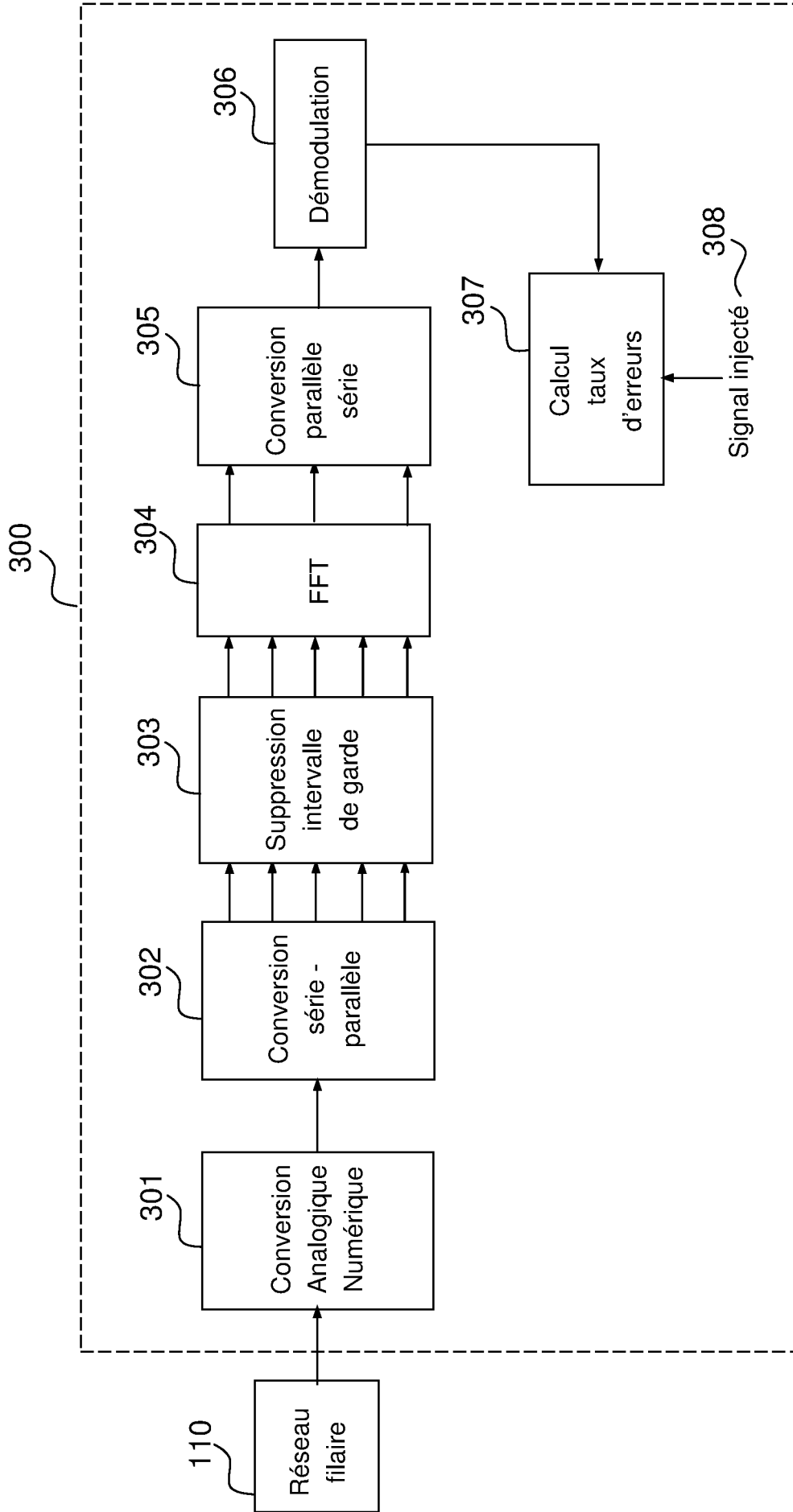


FIG.3

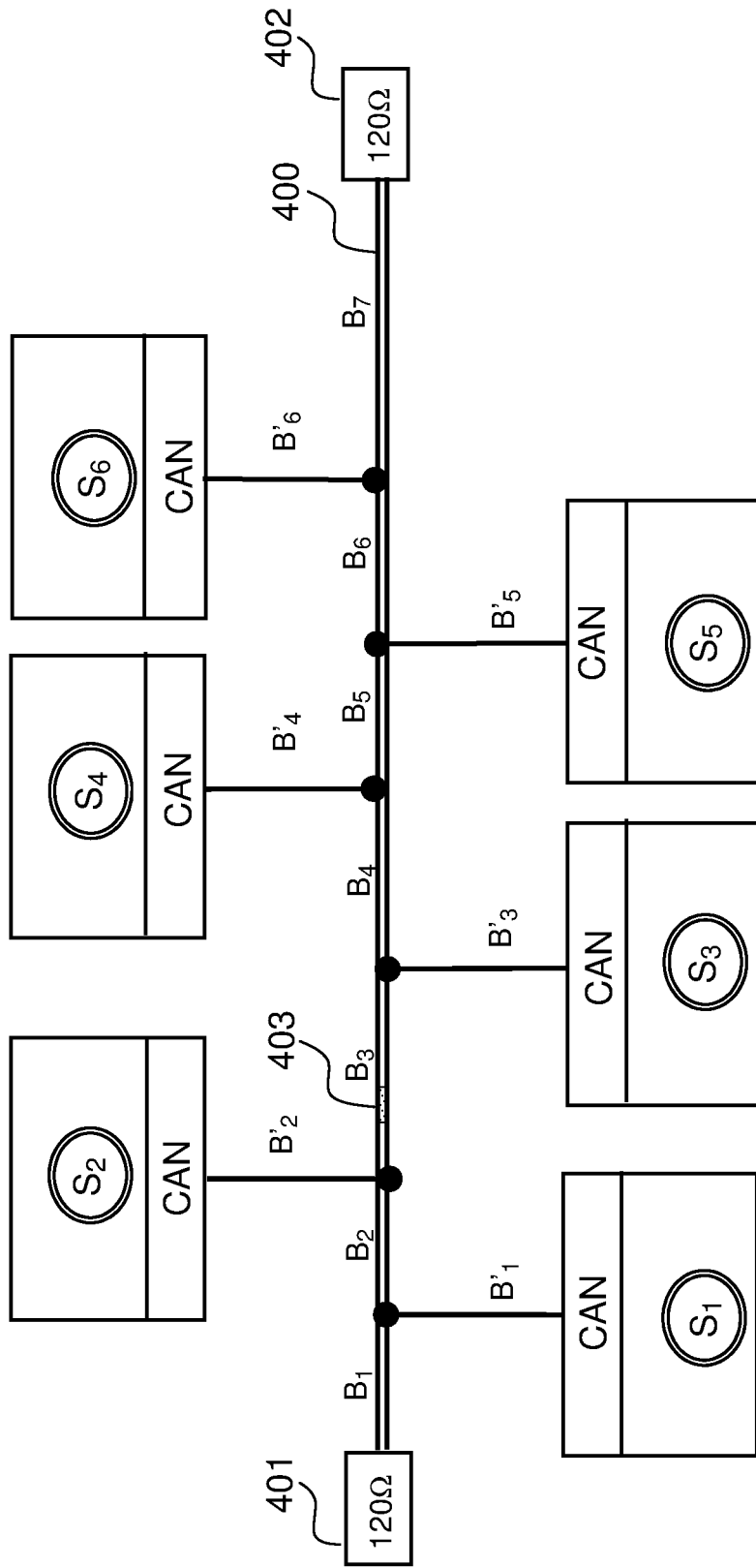


FIG.4

5/6

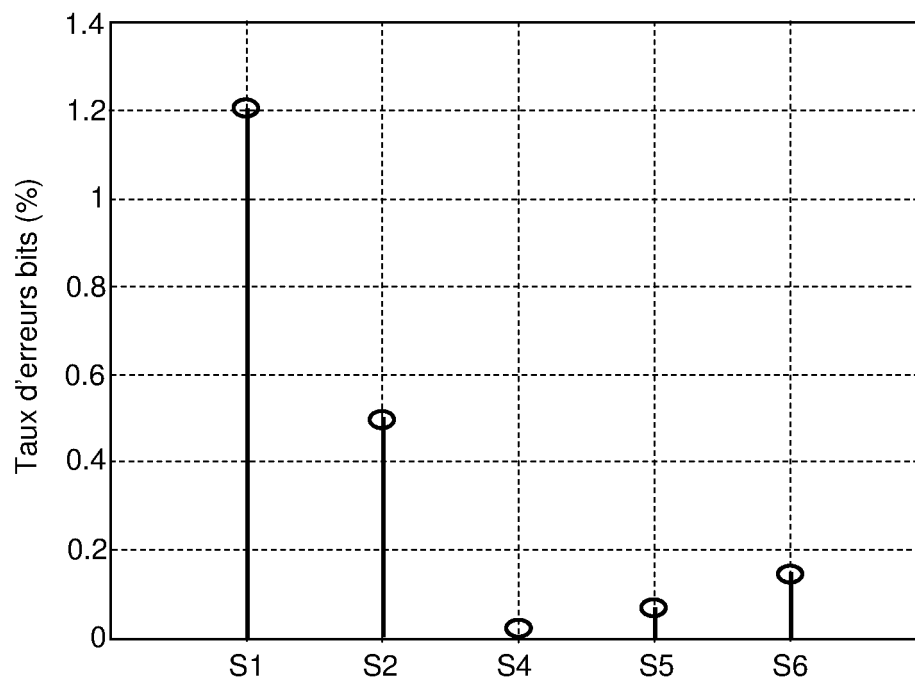


FIG.5a

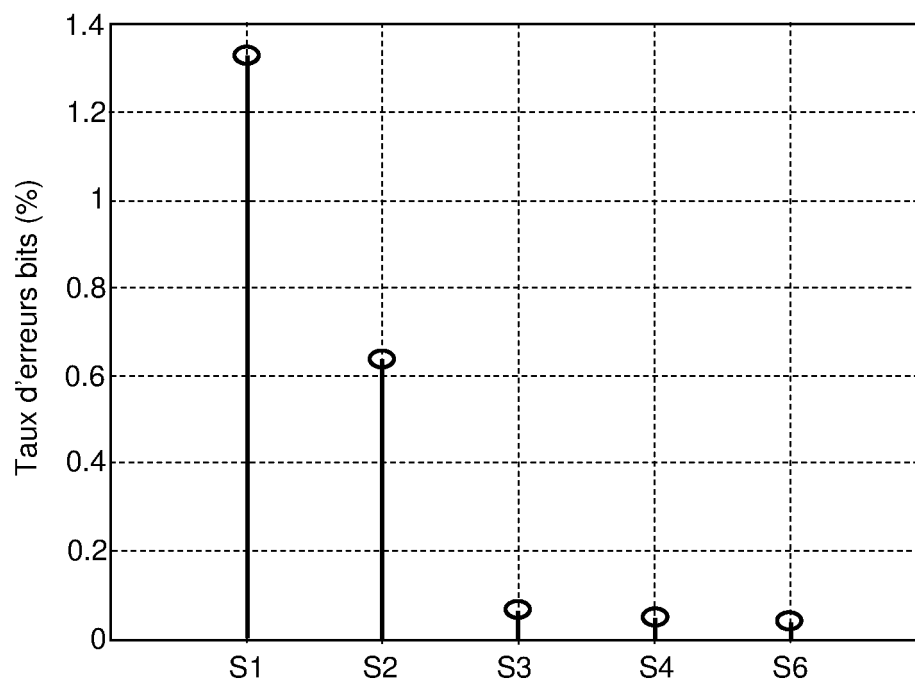


FIG.5b

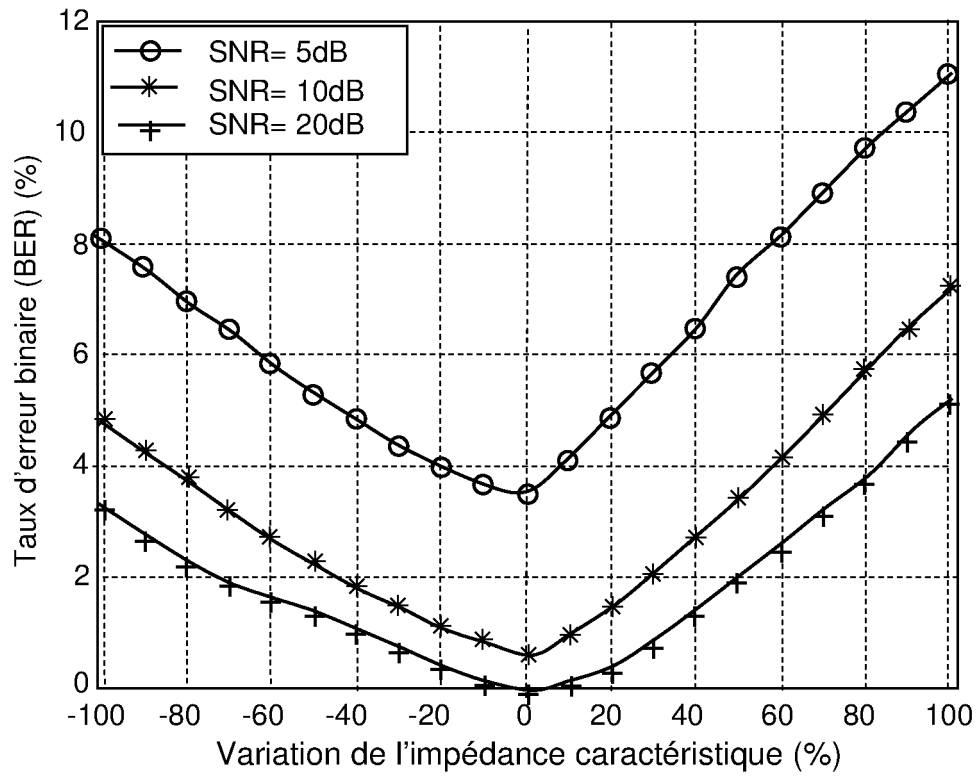


FIG.6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 787025
FR 1360658

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	Wafa Ben Hassen et al: "On-line diagnosis using Orthogonal Multi-Tone Time Domain Reflectometry in a lossy cable", SYSTEMS, SIGNALS&DEVICES (SSD), 2013 10TH INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON, IEEE, 18 mars 2013 (2013-03-18), pages 1-6, XP032439823, DOI: 10.1109/SSD.2013.6564144 ISBN: 978-1-4673-6459-1 * le document en entier * -----	1-17	G01R31/08
X,D	Wafa Ben Hassen et al: "OMTDR using BER estimation for ambiguities cancellation in ramified networks diagnosis", INTELLIGENT SENSORS, SENSOR NETWORKS AND INFORMATION PROCESSING, 2013 IEEE EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 2 avril 2013 (2013-04-02), pages 414-419, XP032422571, DOI: 10.1109/ISSNIP.2013.6529826 ISBN: 978-1-4673-5499-8 * le document en entier * -----	1-17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01R H04L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 juillet 2014		Hijazi, Ali	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	