

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 988 855

②① N° d'enregistrement national : **12 53054**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 R 31/11** (2013.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 03.04.12.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 04.10.13 Bulletin 13/40.

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

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

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

⑦② Inventeur(s) : INCARBONE LUCA et SOMMERVO-
GEL LAURENT.

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

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

⑤④ **PROCEDE ET SYSTEME DE DIAGNOSTIC D'UN CABLE PAR REFLECTOMETRIE DISTRIBUEE A MOYENNE
AUTOSELECTIVE.**

⑤⑦ Procédé de test d'un câble par réflectométrie distri-
buée comprenant les étapes suivantes :

- injecter dans le câble un premier signal périodique (SA)
et un deuxième signal périodique (SB) comportant le même
nombre N de périodes et le même nombre M d'échantillons
par période que le premier signal (SA),

- acquérir une mesure de la réflexion, sur les discontinui-
tés d'impédance du câble, de chacun desdits premier et
deuxième signaux (SA, SB),

- moyenner lesdites mesures de la réflexion d'au moins
un desdits premier ou deuxième signal (SA, SB) sur l'en-
semble de ses périodes pour produire au moins un réflecto-
gramme,

- déterminer les positions de défauts du câble à partir
d'au moins ledit réflectogramme,

ledit procédé étant caractérisé en ce que chaque pé-
riode dudit deuxième signal (SB) est injectée dans le câble
avec un retard ou une avance de valeur absolue prédéter-
miné(e) croissante pour chaque période successivement in-
jectée.

FR 2 988 855 - A1



Procédé et système de diagnostic d'un câble par réflectométrie distribuée à moyenne autosélective

La présente invention a pour objet un procédé et un système de
5 diagnostic d'un câble ou d'un réseau de câbles par réflectométrie distribuée.

L'invention concerne le domaine de la réflectométrie qui permet la localisation d'un défaut dans un câble électrique.

La réflectométrie consiste à émettre un signal sur un câble ou un réseau de câbles puis à mesurer les échos renvoyés dus aux réflexions du
10 signal injecté sur les singularités, ou discontinuités d'impédance, du câble. Le retard et l'amplitude de ces échos permettent d'obtenir des informations sur la structure ou sur les défauts électriques présents dans ce réseau. Plus généralement, chaque écho correspond à une singularité. On peut ainsi localiser, caractériser et éventuellement prédire une panne. Les méthodes
15 classiques bien connues de réflectométrie sont la réflectométrie temporelle TDR (Time Domain Reflectometry) et la réflectométrie fréquentielle FDR (Frequency Domain Reflectometry).

L'invention concerne plus précisément la réflectométrie distribuée qui
20 permet de réaliser simultanément des mesures de diagnostic en plusieurs points du câble à tester par le biais de plusieurs dispositifs de réflectométrie injectant un signal de test dans le câble en même temps.

La réflectométrie distribuée est particulièrement adaptée pour localiser des défauts ou des pannes impactant des câbles de longueur très
25 importante, tels que des câbles de signalisation d'un réseau ferroviaire. Elle permet en outre, en cas d'apparition de deux défauts francs, de localiser la position des deux défauts et de déterminer la distance entre eux. Ce type de problème peut survenir si le câble est, par exemple, sectionné en deux points distincts dans le but d'enlever un segment entier du câble. Avec un seul
30 réflectomètre, il n'est possible de détecter qu'un défaut ponctuel et l'on peut obtenir la distance qui le sépare du point d'injection du signal mais on ne

peut pas déterminer la position d'un deuxième défaut, donc on ne peut pas déterminer la longueur d'un segment de câble prélevé. La réflectométrie distribuée permet notamment d'obtenir ce type d'information. Dans l'exemple mentionné, un deuxième réflectomètre est positionné en un second point du
5 câble par exemple à une extrémité opposée au premier point d'injection. Si une portion du câble est coupée et enlevée, les informations produites par les deux dispositifs de réflectométrie permettent d'en déduire la position des deux défauts ainsi que la longueur de la portion de câble enlevée.

La réflectométrie distribuée permet de plus d'acquérir des mesures
10 sur des distances plus importantes. En effet, si chaque réflectomètre peut surveiller une certaine longueur de câble, deux réflectomètres positionnés en deux points éloignés pourront surveiller une longueur double.

Le problème des méthodes de réflectométrie distribuée est que la
15 mesure réalisée par un réflectomètre est parasitée par le ou les signaux de test du ou des autres réflectomètres. Ces perturbations sont d'autant plus contraignantes lorsque les différents réflectomètres qui composent le système distribué ne sont pas synchronisés temporellement entre eux.

Il est donc nécessaire d'appliquer un traitement spécifique sur le
20 signal reçu afin d'éliminer cette perturbation sans quoi l'exploitation de la mesure est impossible. Ce traitement consiste à discriminer les signaux issus des différents réflectomètres afin de ne conserver que celui qui a été émis par le réflectomètre de référence.

25 On connaît une première méthode de réflectométrie distribuée décrite dans la demande de brevet française FR2907910 du demandeur. Cette méthode consiste à utiliser des séquences pseudo aléatoires de type séquence M comme signal de test. L'objectif de la méthode est de minimiser l'intercorrélacion, c'est-à-dire la ressemblance statistique de signaux, entre
30 les séquences générées par les différents réflectomètres. Le post-traitement réalisé sur les mesures des signaux réfléchis consiste à appliquer un filtrage

adapté comme cela se fait dans la méthode de réflectométrie connue STDR (Sequence Time Domain Reflectometry). Un inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite un post-traitement pour discriminer les mesures correspondant aux signaux injectés par les différents réflectomètres. En
5 outre le profil du signal de test considéré n'est pas particulièrement adapté au diagnostic de câbles de longueur importante (plusieurs kilomètres) car l'atténuation du signal injecté influe sur les performances de l'algorithme de discrimination.

10 Une deuxième méthode de réflectométrie distribuée a fait l'objet de la demande de brevet internationale WO2010/043602 du demandeur. Cette méthode utilise un ensemble de coefficients de pondération pour moduler le signal de test et une moyenne pondérée des mesures du signal réfléchi. Les coefficients de pondération sont choisis orthogonaux les uns aux autres, de
15 sorte que seul le signal provenant de la source voulue soit récupéré, le bruit d'interférence issu des autres sources étant annulé par le calcul de moyenne.

Cette méthode n'est cependant valable que lorsque le signal de test injecté est à moyenne nulle, ce qui ne peut pas être le cas par exemple d'une
20 impulsion temporelle.

En effet, si une impulsion pleine échelle est injectée sur une ligne de longueur très importante, c'est-à-dire si l'on utilise toute la dynamique des convertisseurs, y compris du côté des tensions négatives, au moment du changement de coefficient de pondération, on observe une transition
25 gênante qui résulte de l'effet d'un déchargement capacitif. Cette transition vient perturber la moyenne calculée ultérieurement et donc la mesure finale du réflectomètre.

L'invention permet de résoudre les limitations des méthodes de
30 réflectométrie distribuée selon l'art antérieur précitées en introduisant un

retard maîtrisé entre les signaux injectés par les différents réflectomètres du système distribué.

L'invention a pour avantage de ne pas nécessiter de post-traitement de discrimination sur les mesures des signaux réfléchis. En outre l'invention
5 est compatible de tout type de signal de test, y compris les signaux à moyenne nulle. Le signal de test peut utiliser toute la dynamique des convertisseurs. Cette caractéristique est particulièrement intéressante dans le cas du diagnostic de câbles très longs ou pour surveiller des distances importantes, de l'ordre de plusieurs kilomètres. En effet, pour de telles
10 applications le signal de test injecté doit présenter un maximum d'énergie à l'injection pour limiter l'influence de l'atténuation du signal lors de sa propagation dans le câble.

L'invention s'applique au diagnostic de tout type de câbles électriques, d'énergie ou de communication et plus particulièrement à la détection de
15 défauts électriques ou de coupures sur les câbles de signalisation d'un réseau ferroviaire.

L'invention a ainsi pour objet un procédé de test d'un câble par réflectométrie distribuée comprenant les étapes suivantes :

- 20 - injecter dans le câble, en un premier point d'injection, un premier signal périodique, et en un second point d'injection, un deuxième signal périodique comportant le même nombre N de périodes et le même nombre M d'échantillons par période que le premier signal,
- 25 - acquérir en au moins un point d'observation du câble, une mesure de la réflexion, sur les discontinuités d'impédance du câble, de chacun desdits premier et deuxième signaux,
- moyenner lesdites mesures de la réflexion d'au moins un desdits premier ou deuxième signal sur l'ensemble de ses périodes pour produire au moins un réflectogramme,
- 30 - déterminer les positions de défauts du câble à partir d'au moins ledit réflectogramme,

ledit procédé étant caractérisé en ce que chaque période dudit deuxième signal est injectée dans le câble avec un retard ou une avance de valeur absolue prédéterminé(e) croissante pour chaque période successivement injectée.

5 Dans une variante de réalisation, le procédé selon l'invention comporte en outre les étapes suivantes :

- injecter dans le câble, en un troisième point d'injection, un troisième signal périodique comportant le même nombre N de périodes et le même nombre M d'échantillons par période que ledit premier signal,
- 10 - si les périodes du deuxième signal sont injectées dans le câble avec un retard, injecter chaque période dudit troisième signal avec une avance,
- si les périodes du deuxième signal sont injectées dans le câble avec une avance, injecter chaque période dudit troisième signal avec un retard,
- 15 - la valeur absolue de l'avance ou du retard à l'injection d'une période du troisième signal étant prise égale à la valeur absolue du retard ou de l'avance à l'injection d'une période du deuxième signal.
- 20

Selon un aspect particulier de l'invention, la valeur absolue du retard ou de l'avance est nulle pour la première période et est incrémentée d'un écart temporel équivalent à un nombre K d'échantillons de signal pour chaque période successive.

25 Selon un autre aspect particulier de l'invention pour obtenir le retard ou l'avance, chaque période est augmentée ou diminuée d'un nombre K d'échantillons.

Selon un autre aspect particulier de l'invention le nombre d'échantillons M d'une période est égal à K fois le nombre N de périodes sur lequel est
30 réalisée la moyenne.

Dans une variante de réalisation de l'invention, lesdits signaux périodiques sont sélectionnés parmi les signaux suivants : une impulsion temporelle, un créneau temporel, un signal triangulaire, un signal à moyenne nulle.

- 5 L'invention a aussi pour objet un système de réflectométrie distribuée comprenant au moins un premier et un second dispositifs de test par réflectométrie disposés en au moins deux points distincts d'un même câble à tester caractérisé en ce que chaque dispositif comprend des moyens adaptés à mettre en œuvre le procédé de test selon l'invention.

10

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

- 15 - la figure 1, un schéma d'un système de réflectométrie distribué selon l'invention,
- les figures 2a et 2b, un exemple de signal de test généré par un réflectomètre,
- la figure 3, une illustration, sur plusieurs chronogrammes, du problème de désynchronisation entre deux réflectomètres d'un système distribué,
- 20 - la figure 4, une représentation, sur deux chronogrammes, des signaux de test injectés par deux réflectomètres d'un système distribué selon l'invention,
- la figure 5, une représentation, sur trois chronogrammes, des signaux de test injectés par trois réflectomètres d'un système distribué selon une variante de réalisation de l'invention,
- 25 - la figure 6, une représentation d'un signal de test triangulaire pour le diagnostic de câbles de longueur importante.

La figure 1 schématise, sur un synoptique, un dispositif de réflectométrie 101 d'un système de réflectométrie distribuée comportant au moins deux dispositifs de ce type.

Un dispositif de réflectométrie 101, ou réflectomètre, comporte au moins un composant électronique 111 de type circuit intégré, tel un circuit à
5 logique programmable, par exemple de type FPGA ou micro-contrôleur, un convertisseur numérique-analogique 112 pour injecter un signal de test dans le câble à tester 103, un convertisseur analogique-numérique 113 pour recevoir le signal réfléchi sur les discontinuités d'impédance ou singularités
10 du câble, un dispositif de couplage 114 entre le convertisseur analogique-numérique 113 et le convertisseur numérique-analogique 112 et un moyen de couplage 115 entre une entrée/sortie du dispositif 101 et le câble à tester 103. Le moyen de couplage est adapté à injecter le signal de sortie du convertisseur numérique-analogique 112 dans le câble 103 et à recevoir le
15 ou les signaux réfléchis.

Le dispositif 101 peut être mis en œuvre par une carte électronique sur laquelle sont disposés les différents éléments 112,113,114 qui le composent. Le moyen de couplage et d'injection 115 est connecté à une entrée/sortie que comporte la carte.

20 En outre, une unité de traitement 102, de type ordinateur, assistant numérique personnel ou autre peut être utilisée pour piloter le dispositif de réflectométrie 101 et afficher les résultats des mesures sur une interface homme-machine.

Le composant électronique 111 met en œuvre d'une part les étapes
25 de traitement nécessaires à la génération du signal d'injection et d'autre part une analyse du signal réfléchi afin d'en déduire un réflectogramme qui est transmis à l'unité de traitement 502.

Le moyen de couplage et d'injection 115 peut être réalisé par effet capacitif, inductif, ou avec une connexion ohmique. Ils peuvent être mis en
30 œuvre par des moyens de connexion physique.

Un système de réflectométrie distribué comporte au moins deux dispositifs de réflectométrie 101 disposés en deux points distants d'un même câble à tester 103 ou d'un réseau de câble. Les signaux injectés par chaque système de réflectométrie perturbent alors mutuellement les acquisitions des
5 signaux réfléchis.

On développe à présent le problème technique que cherche à résoudre l'invention sur un exemple, non limitatif, de système distribué comprenant deux réflectomètres A et B positionnés en deux points distants
10 d'un même câble. A titre purement illustratif, on représente le signal injecté par l'un ou l'autre des réflectomètres A ou B dans le câble par un vecteur dont chaque valeur représente l'amplitude du signal à un instant ou un échantillon de ce signal. On choisit comme exemple une séquence d'un signal impulsionnel comprenant quatre échantillons et représenté par le
15 vecteur $(1 \ 0 \ 0 \ 0)$ dont une représentation temporelle est donnée à la figure 2a. Le choix d'un nombre d'échantillons égal à quatre et d'une amplitude du signal égale à 0 ou 1 est pris à titre de simplification mais le signal injecté peut être de taille et de profil quelconque comme cela sera précisé par la suite.

20

Afin d'augmenter le rapport signal sur bruit et donc la précision de la localisation d'un défaut impactant le câble à tester, il est nécessaire de moyenner les mesures du signal réfléchi sur plusieurs périodes temporelles. Le signal à injecter doit donc être composé de plusieurs périodes temporelles
25 égales à la séquence de la figure 2a. Sur la figure 2b est représenté le signal complet à injecter, composé de quatre périodes de la séquence de la figure 2a.

Le signal ainsi généré peut être représenté sous la forme matricielle suivante

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Chaque ligne de la matrice représente une période du signal de test.

L'injection du signal de test et l'acquisition du signal réfléchi sont
5 synchronisées, donc le résultat de la moyenne des acquisitions donne le vecteur $\frac{1}{4}(4 \ 0 \ 0 \ 0)$ ou encore $(1 \ 0 \ 0 \ 0)$.

La mesure du signal moyenné est donc identique au signal injecté du fait de la synchronisation de l'injection et de l'acquisition.

10 On considère à présent un système distribué comprenant deux réflectomètres A et B positionnés sur le même câble et injectant chacun le même signal de test représenté à la figure 2b.

Si l'injection des deux dispositifs n'est pas synchronisée, chaque réflectomètre va recevoir la réflexion des deux signaux superposés et
15 décalés temporellement.

La figure 3 schématise sur quatre chronogrammes les différentes possibilités de désynchronisation entre les deux signaux injectés, pour l'exemple de signal donné à la figure 2b.

Le premier jeu de chronogrammes 301 représente les deux signaux
20 injectés lorsqu'ils sont synchronisés temporellement. Chaque réflectomètre reçoit un signal réfléchi correspondant à la superposition de ces deux signaux qui peut être représentée par la matrice

$$\begin{pmatrix} 1_a + 1_b & 0 & 0 & 0 \\ 1_a + 1_b & 0 & 0 & 0 \\ 1_a + 1_b & 0 & 0 & 0 \\ 1_a + 1_b & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

où 1_a désigne l'amplitude de l'impulsion du signal injecté par le premier
réflectomètre A et 1_b désigne l'amplitude de l'impulsion du signal injecté par
25 le premier réflectomètre B.

Le deuxième jeu de chronogrammes 302 représente le cas où le second signal est injecté dans le câble avec un retard d'un échantillon par rapport au premier signal. Le signal réfléchi reçu par chaque réflectomètre est donné par la matrice

$$\begin{pmatrix} 1_a & 1_b & 0 & 0 \\ 1_a & 1_b & 0 & 0 \\ 1_a & 1_b & 0 & 0 \\ 1_a & 1_b & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5 Le troisième jeu de chronogrammes 303 représente le cas où le second signal est injecté dans le câble avec un retard de deux échantillons par rapport au premier signal. Le signal réfléchi reçu par chaque réflectomètre est donné par la matrice

$$\begin{pmatrix} 1_a & 0 & 1_b & 0 \\ 1_a & 0 & 1_b & 0 \\ 1_a & 0 & 1_b & 0 \\ 1_a & 0 & 1_b & 0 \end{pmatrix}$$

10 Le quatrième jeu de chronogrammes 304 représente le cas où le second signal est injecté dans le câble avec un retard de trois échantillons par rapport au premier signal. Le signal réfléchi reçu par chaque réflectomètre est donné par la matrice

$$\begin{pmatrix} 1_a & 0 & 0 & 1_b \\ 1_a & 0 & 0 & 1_b \\ 1_a & 0 & 0 & 1_b \\ 1_a & 0 & 0 & 1_b \end{pmatrix}$$

Après calcul de la moyenne sur les quatre périodes du signal injecté, on obtient selon les cas, les résultats suivants (2 0 0 0) ou (1 1 0 0) ou
15 (1 0 1 0) ou (1 0 0 1).

Ainsi, on remarque que la moyenne résultante est perturbée par l'injection d'un second signal de test et le résultat de la mesure sur le signal réfléchi dépend de l'asynchronisme entre les deux réflectomètres. Il n'est alors pas possible d'exploiter cette mesure pour en déduire la localisation
20 d'un défaut dans le câble.

En outre, les horloges des deux réflectomètres peuvent subir une dérive qui, même si elle est infime, peut entraîner au fil du temps un

décalage entre les injections des deux signaux même si les réflectomètres sont initialement correctement synchronisés.

Afin de supprimer ou limiter l'influence mutuelle des deux signaux de tests injectés sur les mesures de réflectométrie, l'invention consiste à configurer l'un des deux signaux en ajoutant un retard contrôlé à chaque injection d'une période du signal de test.

La figure 4 schématise, toujours pour l'exemple de signal de test de la figure 2b, la configuration des signaux mise en œuvre par l'invention. Le premier signal S_A injecté par le premier réflectomètre est celui déjà présenté à la figure 2b. Le second signal S_B injecté par le second réflectomètre est constitué de quatre périodes P identiques. Chaque période étant retardée d'un retard contrôlé avant son injection. Le retard est configuré de la façon suivante. Le retard d'injection de la première période P est nul. Un retard supplémentaire d'un échantillon est ensuite ajouté à l'injection de chaque période successive par rapport au retard à l'injection de la période précédente comme illustré à la figure 4.

Le même résultat peut également être obtenu en générant le second signal S_B à partir de quatre périodes d'une séquence comportant cinq échantillons, c'est-à-dire un échantillon de plus que le premier signal S_A .

En configurant le second signal S_B de la façon décrite ci-dessus, le réflectomètre A, dont l'acquisition est synchronisée sur l'injection du premier signal S_A , observera un signal réfléchi qui peut être représenté par la matrice

$$\begin{pmatrix} 1_a + 1_b & 0 & 0 & 0 \\ 1_a & 1_b & 0 & 0 \\ 1_a & 0 & 1_b & 0 \\ 1_a & 0 & 0 & 1_b \end{pmatrix}.$$

En faisant la moyenne sur les quatre acquisitions, on obtient le signal représenté par le vecteur $\frac{1}{4}(5 \ 1 \ 1 \ 1)$.

Si l'on se place à présent du point de vue du second réflectomètre B, dont l'acquisition est synchronisée sur l'injection du second signal S_B et qui est réalisée sur quatre échantillons de chaque période (pour avoir une mesure cohérente avec celle du réflectomètre A), on observe un signal

5 réfléchi représenté par la matrice suivante $\begin{pmatrix} 1_b + 1_a & 0 & 0 & 0 \\ 1_b & 0 & 0 & 1_a \\ 1_b & 0 & 1_a & 0 \\ 1_b & 1_a & 0 & 0 \end{pmatrix}$.

et on obtient, après moyenne sur les quatre acquisitions, un signal représenté par le vecteur $\frac{1}{4}(5 \ 1 \ 1 \ 1)$ qui est donc identique à celui mesuré par le premier réflectomètre A. Les mesures obtenues après moyenne par les deux réflectomètres A et B sont similaires à une période du signal de test

10 injecté représentée par le vecteur $(1 \ 0 \ 0 \ 0)$ dans le sens où l'impulsion de signal est détectable et localisée sur le premier échantillon comme à l'injection. La composante continue, égale à $\frac{1}{4}$ dans ce cas, peut être éliminée et cette composante tend vers une valeur nulle lorsque la profondeur de moyennage augmente.

15

En résumé, le procédé selon l'invention consiste à mettre en œuvre les étapes suivantes. Un premier signal de test S_A est injecté dans le câble en un premier point par un premier réflectomètre A. Le premier signal S_A est composé d'un nombre N de périodes consécutives de la même séquence

20 d'un signal. Dans l'exemple de la figure 2b, cette séquence est une impulsion comprenant un échantillon d'amplitude égale à 1 et trois échantillons de valeur nulle. Tout autre signal de test adapté pour réaliser un diagnostic des défauts du câble par réflectométrie est envisageable. On note M le nombre d'échantillons de signal contenus dans une période. Un second signal de test

25 S_B est injecté dans le câble en un second point par un second réflectomètre B. Le second signal S_B est composé du même nombre N de périodes consécutives de la même séquence d'un signal, identique ou différent du

premier signal utilisé pour composer le signal S_A . Chaque période comporte le même nombre d'échantillons M qu'une période du premier signal S_A . Chaque période du second signal S_B est injectée dans le câble avec un retard contrôlé T initialement nul et incrémenté d'un nombre donné K d'échantillons pour chaque période. Dans l'exemple de la figure 4, K est pris égal à 1. La durée d'un échantillon est par exemple égale à une période d'horloge du réflectomètre. Le retard est réinitialisé à une valeur nulle lorsque toutes les périodes du second signal S_B ont été injectées dans le câble. Autrement dit, dans le cas d'un signal composé de quatre périodes, la première période est injectée avec un retard nul, la seconde période est injectée avec un retard temporel équivalent de K échantillons, la troisième période est injectée avec un retard temporel équivalent de $2K$ échantillons et ainsi de suite.

Dans une variante de réalisation de l'invention, au lieu d'insérer un retard à l'injection de chaque période du second signal S_B , il est aussi possible d'ajouter K échantillons de signal à la fin de chaque période, ce qui est équivalent à l'insertion de retards contrôlés et produit le même effet désiré.

De façon générale, chaque période dudit second signal S_B est injectée dans le câble avec un retard ou une avance de valeur absolue prédéterminé(e) croissante pour chaque période successive.

Avantageusement, le nombre K d'échantillons ajoutés ou le retard temporel de durée égale à la durée de K échantillons de signal est configuré de sorte que le nombre d'échantillons par période M est égal au nombre de périodes N que multiplie le nombre d'échantillons K . De cette façon, on assure que chaque signal injecté S_A, S_B par un des réflectomètres ne perturbe pas la mesure de réflectométrie réalisée par un autre réflectomètre car le décalage de chaque période de ce signal entraîne, après calcul de la moyenne, une atténuation de ce signal. Ainsi, l'interférence mutuelle entre

les deux signaux injectés est annulée, ou fortement limitée, après l'acquisition et la moyenne des signaux réfléchis sur les N périodes.

Chaque réflectomètre réalise une acquisition du signal réfléchi dans le câble, puis une moyenne du résultat sur les N périodes. Pour un
 5 réflectomètre donné, l'injection est synchronisée avec l'acquisition. Ainsi, pour le second réflectomètre B, l'acquisition est réalisée sur le nombre initial M d'échantillons par période, en prenant en compte les retards introduits dans le signal de test injecté S_B .

10 De façon plus générale, l'impulsion de signal représentée à la figure 2b à titre d'exemple peut être remplacée par n'importe quel signal contenant M échantillons d'amplitudes variables.

Une variante de réalisation de l'invention consiste à considérer non
 15 pas deux réflectomètres mais trois A,B,C, disposés en trois points distincts P_A, P_B, P_C d'un même câble. Les points P_B, P_C sont disposés de part et d'autre du point P_A .

La figure 5 représente les chronogrammes des trois signaux de test injectés par les trois réflectomètres dans le câble sous test.

20 Le premier réflectomètre A injecte un premier signal, dit de référence, S_A , qui est par exemple le signal de la figure 2b.

Le second réflectomètre B injecte un second signal S_B obtenu de la façon décrite ci-dessus par mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Le troisième réflectomètre C injecte un troisième signal S_C qui est
 25 obtenu de façon similaire au second signal S_B mais au lieu d'insérer un retard contrôlé au début de chaque période ou d'ajouter un nombre d'échantillons prédéterminé à la fin de chaque période, on procède à l'inverse en avançant chaque période du même décalage temporel multiple de K échantillons que le second signal S_B ou en supprimant un nombre K
 30 d'échantillons à chaque période. De cette façon l'influence mutuelle des trois signaux est limitée.

L'invention est compatible de tout type de signaux de test, y compris des signaux à moyenne nulle. Un signal de test avantageusement utilisé pour le diagnostic de câbles de longueur importante est par exemple un
5 signal triangulaire tel que représenté à la figure 6. D'autres signaux de test tel qu'une impulsion ou un créneau temporel comme illustré aux figures 2 à 5 sont également envisageables.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de test d'un câble (103) par réflectométrie distribuée comprenant
5 les étapes suivantes :
 - injecter dans le câble (103), en un premier point d'injection, un
premier signal périodique (S_A), et en un second point d'injection,
un deuxième signal périodique (S_B) comportant le même nombre N
de périodes et le même nombre M d'échantillons par période que
10 le premier signal (S_A),
 - acquérir en au moins un point d'observation du câble (103), une
mesure de la réflexion, sur les discontinuités d'impédance du
câble, de chacun desdits premier et deuxième signaux (S_A , S_B),
 - moyenner lesdites mesures de la réflexion d'au moins un desdits
15 premier ou deuxième signal (S_A , S_B) sur l'ensemble de ses
périodes pour produire au moins un réflectogramme,
 - déterminer les positions de défauts du câble à partir d'au moins
ledit réflectogramme,ledit procédé étant caractérisé en ce que chaque période dudit deuxième
20 signal (S_B) est injectée dans le câble (103) avec un retard ou une avance
de valeur absolue prédéterminé(e) croissante pour chaque période
successivement injectée.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte en
25 outre les étapes suivantes :
 - injecter dans le câble (103), en un troisième point d'injection, un
troisième signal périodique (S_C) comportant le même nombre N de
périodes et le même nombre M d'échantillons par période que ledit
premier signal (S_A),

- si les périodes du deuxième signal (S_B) sont injectées dans le câble avec un retard, injecter chaque période dudit troisième signal (S_C) avec une avance,
 - si les périodes du deuxième signal (S_B) sont injectées dans le
5 câble avec une avance, injecter chaque période dudit troisième signal (S_C) avec un retard,
 - la valeur absolue de l'avance ou du retard à l'injection d'une période du troisième signal (S_C) étant prise égale à la valeur absolue du retard ou de l'avance à l'injection d'une période du
10 deuxième signal (S_B).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que la valeur absolue du retard ou de l'avance est nulle pour la première période et est incrémentée d'un écart temporel équivalent à un nombre K
15 d'échantillons de signal pour chaque période successive.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que pour obtenir le retard ou l'avance, chaque période est augmentée ou diminuée d'un nombre K d'échantillons.
20
5. Procédé selon l'une des revendications 3 ou 4 caractérisé en ce que le nombre d'échantillons M d'une période est égal à K fois le nombre N de périodes sur lequel est réalisée la moyenne.
- 25 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits signaux périodiques (S_A, S_B, S_C) sont sélectionnés parmi les signaux suivants : une impulsion temporelle, un créneau temporel, un signal triangulaire, un signal à moyenne nulle.
- 30 7. Système de réflectométrie distribuée comprenant au moins un premier et un second dispositifs de test par réflectométrie disposés en au moins

deux points distincts d'un même câble (103) à tester caractérisé en ce que chaque dispositif comprend des moyens adaptés à mettre en œuvre le procédé de test selon l'une des revendications 1 à 6.

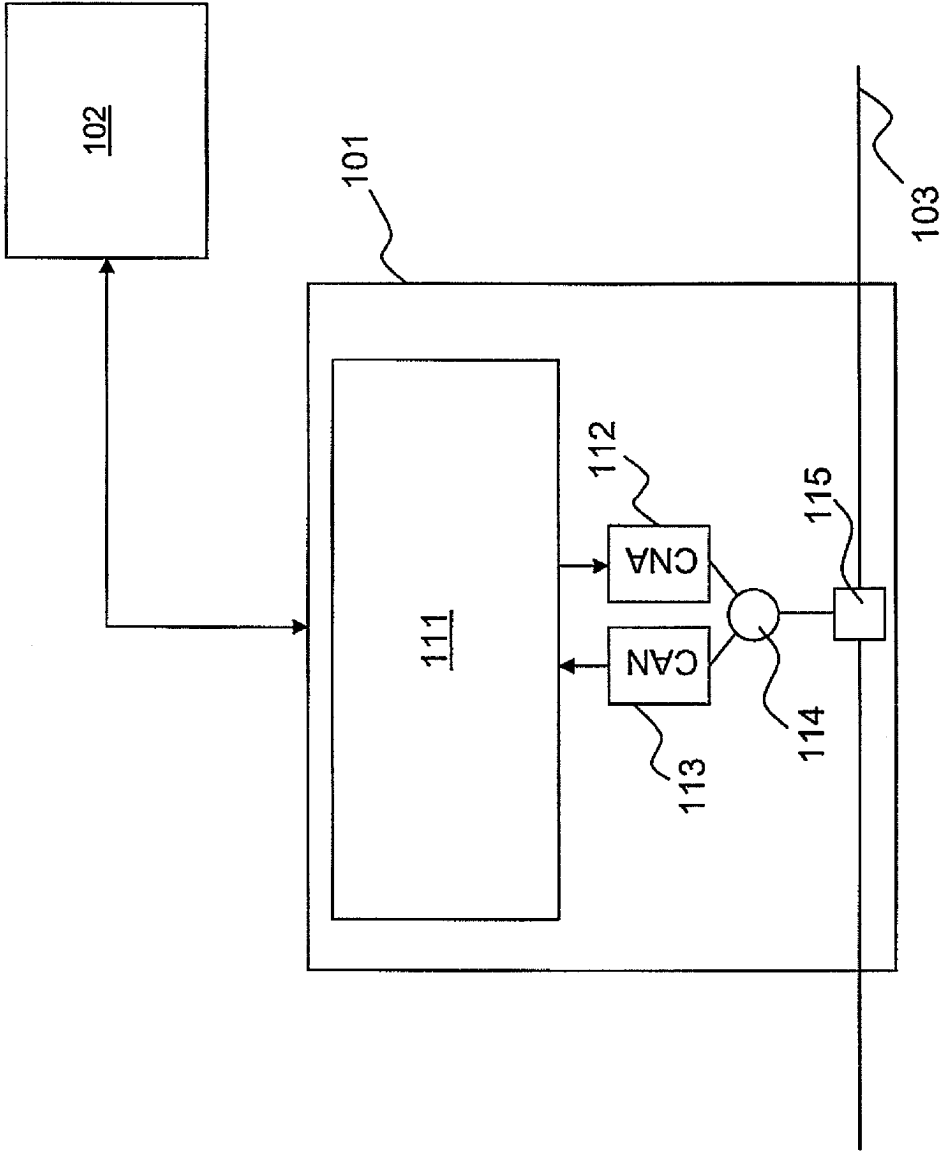


FIG.1

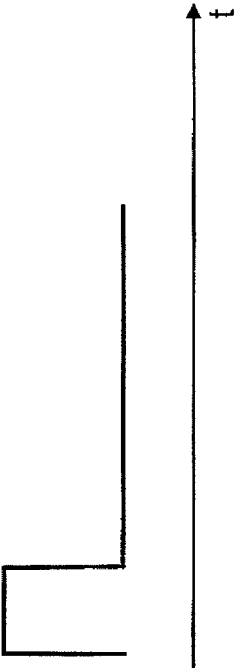


FIG. 2a

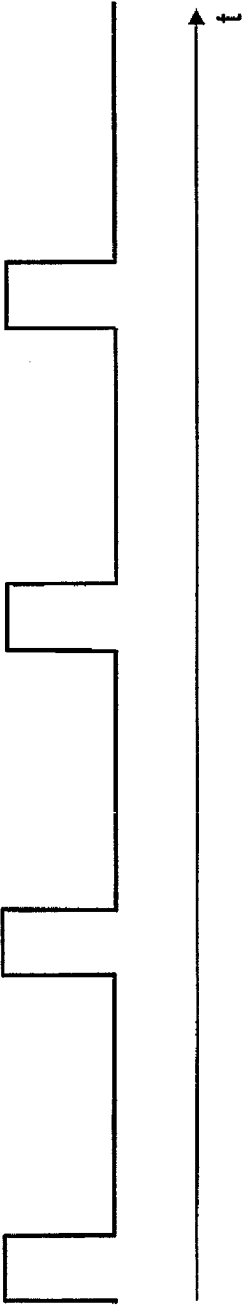


FIG. 2b

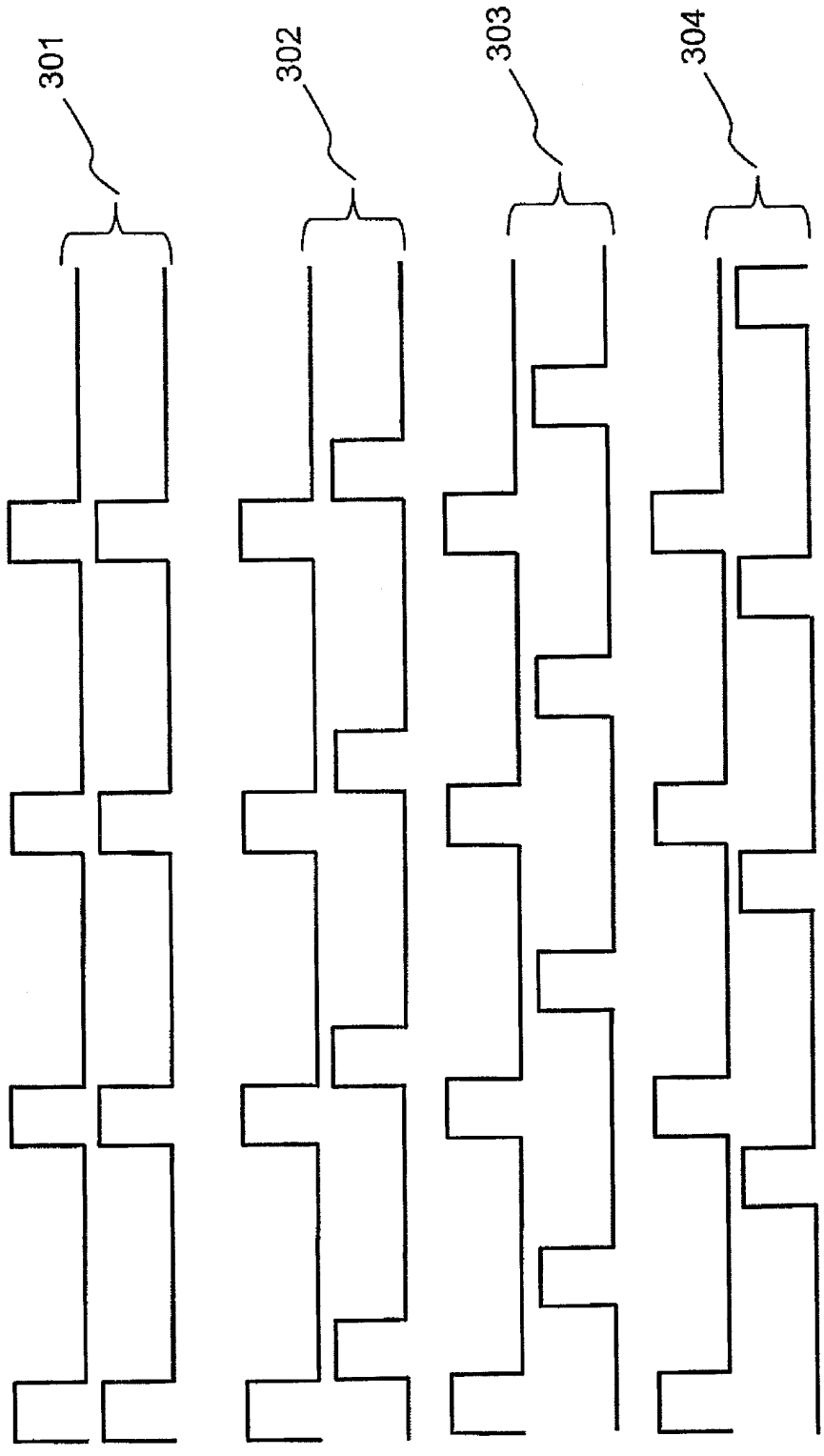


FIG.3

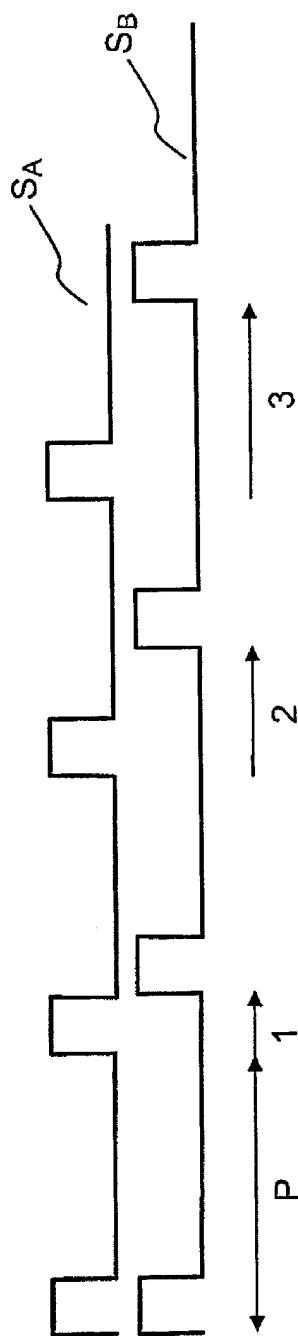


FIG. 4

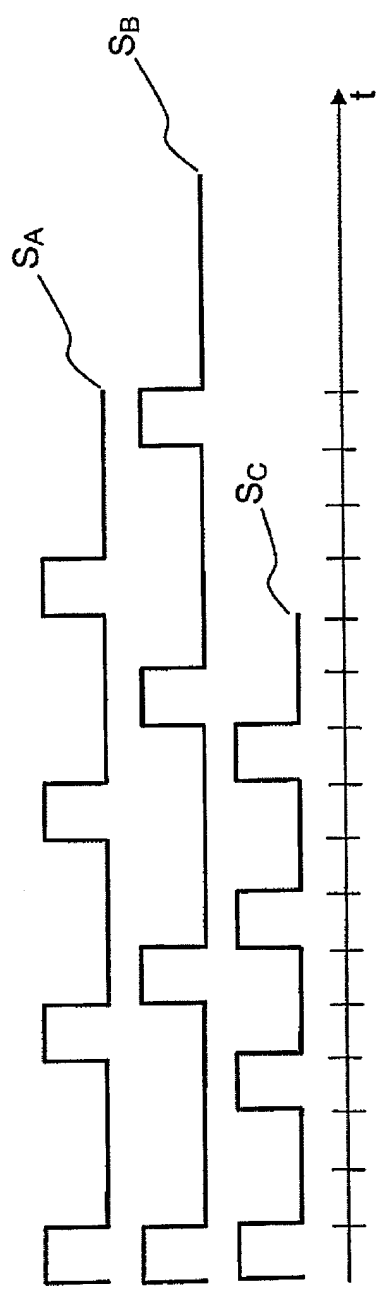


FIG. 5

5/5

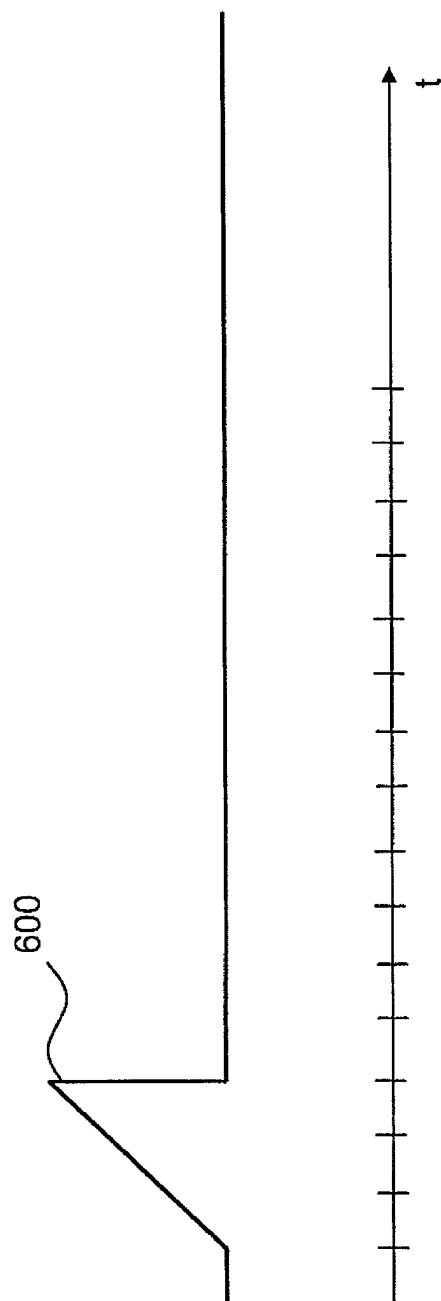


FIG.6



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 763498
FR 1253054

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		
Y,D	FR 2 907 910 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 2 mai 2008 (2008-05-02) * page 7, ligne 2 - page 10, ligne 2; revendications 1,2,5,9; figures 1,2,3,4,7,8 * * page 11, ligne 5 - page 15, ligne 12 * * page 17, ligne 9-26 * -----	1-7	G01R31/11
Y,D	FR 2 937 146 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 16 avril 2010 (2010-04-16) * page 2, ligne 3 - page 6, ligne 27; revendications 1,8,9,16; figures 1,2 * -----	1-7	
A	Adrien Lelong: "Méthodes de diagnostic filaire embarqué pour des réseaux complexes", 9 décembre 2010 (2010-12-09), pages 1-167, XP055047458, agence bibliographique de l'enseignement supérieur Extrait de l'Internet: URL: http://www.theses.fr/2010LIL10121 [extrait le 2012-12-11] * pages 73-93 * * pages 127-129 * -----	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 décembre 2012		Bilzer, Claus	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1253054 FA 763498

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-12-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2907910	A1	02-05-2008	AT	471523 T	15-07-2010
			EP	2082247 A1	29-07-2009
			ES	2345793 T3	01-10-2010
			FR	2907910 A1	02-05-2008
			JP	2010507950 A	11-03-2010
			US	2010211338 A1	19-08-2010
			WO	2008049793 A1	02-05-2008

FR 2937146	A1	16-04-2010	EP	2361389 A1	31-08-2011
			FR	2937146 A1	16-04-2010
			JP	2012506035 A	08-03-2012
			US	2011307197 A1	15-12-2011
			WO	2010043602 A1	22-04-2010
