

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.06.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.12.23 Bulletin 23/51.

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 ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sment Public — FR.

72 Inventeur(s) : KAFAL Moussa, COHEN Josy et GRE-
GIS Nicolas.

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

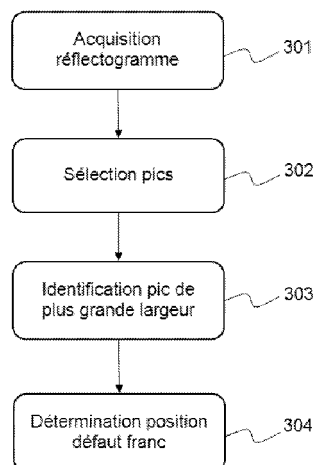
74 Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.

54 Méthode de détection et localisation de défauts francs ou de terminaison pour un câble composé de
plusieurs tronçons de câbles inhomogènes.

57 Méthode de détection et localisation de défauts ou de
la terminaison d'un câble composé de plusieurs tronçons de
câbles inhomogènes connectés entre eux, la méthode com-
prenant les étapes de :

Réaliser (301) une mesure, appelée réflectogramme, de
la réponse impulsionnelle temporelle d'un signal de réf-
érence propagé dans le câble à partir d'un point d'injection
puis rétro-propagé en un point de mesure, la mesure tempo-
relle comprenant une pluralité de pics d'amplitude corres-
pondant chacun à une discontinuité
d'impédance, Sélectionner (302), dans le réflectogramme,
les pics dont l'amplitude dépasse, en valeur absolue, un
seuil de détection prédéterminé, Identifier (303), parmi les
pics sélectionnés, celui ayant la largeur la plus élevée, Dé-
terminer (304) la position de la terminaison du câble ou d'un
défaut franc par rapport au point d'injection à partir de l'abs-
cisse, sur le réflectogramme, du pic identifié.

Figure 3



Description

Titre de l'invention : Méthode de détection et localisation de défauts francs ou de terminaison pour un câble composé de plusieurs tronçons de câbles inhomogènes

- [0001] L'invention concerne le domaine des systèmes et procédés de diagnostic de l'état de santé d'un câble ou plus généralement d'une ligne de transmission. Elle entre dans le champ des méthodes de diagnostic par réflectométrie qui visent à détecter et localiser des défauts électriques sur un câble ou sur un réseau point à point.
- [0002] L'invention porte plus précisément sur une méthode de détection de défaut franc sur le câble ou de la terminaison du réseau point à point composé de plusieurs tronçons de câbles inhomogènes c'est-à-dire qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques physiques et la même impédance caractéristique. La méthode selon l'invention vise notamment à détecter l'apparition d'un défaut franc ou d'une fin de réseau point à point en court-circuit ou en circuit ouvert.
- [0003] L'invention s'applique à tout type de câble électrique, en particulier des câbles de transmission d'énergie ou des câbles de communication, dans des installations fixes ou mobiles. Les câbles concernés peuvent être coaxiaux, bifilaires, en lignes parallèles, en paires torsadées, en toron de câble ou autre. L'invention peut également s'appliquer à des câbles mécaniques, par exemple des câbles de soutien d'infrastructures telles un ascenseur ou un pont.
- [0004] Les réseaux de lignes de transmission peuvent être exposés à des conditions contraignantes internes et externes qui sont à la fois des perturbations naturelles et artificielles telles que des fluctuations de température, l'humidité, la pression, etc., entraînant ainsi l'apparition d'anomalies souvent appelées défauts. Ces défauts peuvent être localisés sur un point dans le cas des circuits ouverts ou des courts-circuits (défauts francs).
- [0005] Au cours des dernières décennies, des efforts considérables ont été investis dans la recherche et l'industrie pour étudier et développer des techniques capables de détecter la présence, la localisation et les caractéristiques de défauts de câblage susceptibles de mettre en péril les infrastructures dépendant de ces réseaux. Par conséquent, la surveillance des pannes et le dépannage des câbles sont devenus un problème important afin de garantir un fonctionnement sûr, des performances élevées et une rentabilité optimale.
- [0006] Une des techniques connues permettant de détecter et localiser la présence d'un défaut est la technique dite de réflectométrie.
- [0007] Selon un principe connu, les méthodes dites de réflectométrie sont utilisées pour

détecter et/ou localiser des défauts électriques ou mécaniques qui engendrent des discontinuités ou des ruptures d'impédance dans un câble.

- [0008] Ces méthodes utilisent un principe proche de celui du radar : un signal électrique, souvent de haute fréquence ou large bande, est injecté en un ou plusieurs endroits du câble à tester. Le signal se propage dans le câble ou le réseau et renvoie une partie de son énergie lorsqu'il rencontre une discontinuité électrique. Une discontinuité électrique peut résulter, par exemple, d'un branchement, de la fin du câble ou plus généralement d'une rupture des conditions de propagation du signal dans le câble. Elle résulte le plus souvent d'un défaut qui modifie localement l'impédance caractéristique du câble en provoquant une discontinuité dans ses paramètres linéiques qui peut donner à terme, une panne sévère par l'apparition d'un défaut franc.
- [0009] L'analyse des signaux renvoyés au point d'injection permet d'en déduire des informations sur la présence et la localisation de ces discontinuités, donc des défauts éventuels. Une analyse dans le domaine temporel ou fréquentiel est habituellement réalisée. Ces méthodes sont désignées par les acronymes TDR venant de l'expression anglo-saxonne « Time Domain Reflectometry » et FDR venant de l'expression anglo-saxonne « Frequency Domain Reflectometry ».
- [0010] Néanmoins, la complexité accrue des réseaux a entraîné une non-homogénéité démontrée par des combinaisons de lignes de câbles de différents types et caractéristiques accompagnés de différentes combinaisons de fils dans le même câble. Cela conduit intrinsèquement à diverses vitesses de propagation des ondes le long de différentes sections du réseau, l'apparition de discontinuités d'impédance et donc de réponses de réflectométrie complexes avec une ambiguïté notable dans l'analyse. Par exemple, une erreur assez minime dans l'estimation de la vitesse de propagation peut facilement conduire à une erreur de quelques centaines de mètres pour des réseaux de plusieurs Kms
- [0011] Un problème général visé par l'invention consiste donc à pouvoir détecter, à partir d'une mesure de réflectométrie, la présence d'un défaut franc et de le localiser lorsque le câble est constitué de plusieurs tronçons inhomogènes.
- [0012] En effet, dans une telle situation, la vitesse de propagation du signal n'est pas constante sur toute la longueur du câble puisqu'elle dépend des caractéristiques physiques ou de l'environnement relatif à chaque tronçon.
- [0013] Lorsqu'une connexion entre deux tronçons du câble est défectueuse par exemple dans le cas d'une coupure d'un des câbles, cela entraîne une perte de propagation du signal jusqu'à son extrémité. Un problème spécifique à résoudre consiste à pouvoir détecter et localiser un défaut franc, un tel défaut empêchant le signal de se propager jusqu'à l'extrémité du câble.
- [0014] En particulier, un problème à résoudre consiste à différencier, sur un réflectogramme,

la signature spectrale, d'un défaut de celle de l'extrémité d'un câble ou plus généralement d'un défaut franc.

[0015] La réflectométrie est une technique proposée en 1931 dans la référence [1], et utilisée depuis les années 1940 pour détecter et localiser des défauts dans les câbles via des méthodes décrites notamment dans les références [2-4]. Cette technique est aujourd'hui utilisée pour un certain nombre d'applications dans des domaines très différents.

[0016] Différents types de signaux peuvent être utilisés et, par conséquent, différents types de méthodes de réflectométrie sont disponibles. Des comparaisons entre différentes méthodes peuvent être trouvées dans les références [5-6]. Les méthodes de réflectométrie les plus utilisées sont les suivantes :

- La réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) : c'est probablement la plus courante, et elle utilise des impulsions étroites ou des pas de temps de montée courts ;
- La réflectométrie dans le domaine fréquentiel (FDR) : elle utilise des sinusoïdes à fréquence échelonnée et constitue en fait une famille de techniques comprenant notamment la détection de phase FDR (PD-FDR), la réflectométrie à onde stationnaire (SWR) et la réflectométrie à onde continue modulée en fréquence (FMCW-FDR),
- La réflectométrie dans le domaine temps-fréquence qui utilise des signaux de type chirp gaussiens.

[0017] Les techniques de réflectométrie permettent des configurations de test relativement simples pour l'analyse d'un réseau sous test; généralement, un seul port de test est utilisé pour injecter un signal de test dans le réseau. Ce signal se propage ensuite le long d'une ligne de transmission sans revenir au point de départ à moins qu'il ne rencontre une discontinuité d'impédance, par exemple une jonction de branche, une charge, ou une modification locale indésirable de la ligne, c'est-à-dire un défaut. Lorsque ces modifications impliquent des défauts matériels, par exemple un court-circuit ou un circuit ouvert, les signaux de test sont complètement réfléchis vers le port de test ; le fort taux de réflexion aide à distinguer les réflexions naturelles (branches et charges et défauts durs). La réponse de la réflectométrie est généralement tracée sous la forme de ce que l'on appelle un « réflectogramme ». Un technicien qualifié interprète ensuite le « réflectogramme » pour déterminer la santé du câble.

[0018] Une limitation des méthodes de l'état de l'art est qu'elles s'appliquent généralement à des câbles homogènes, c'est-à-dire pour lesquels les conditions de propagation des signaux sont identiques en tout point du câble. Cette propriété permet de caractériser précisément la vitesse de propagation des ondes le long du câble testé. La détermination de l'emplacement d'un défaut sur un câble homogène peut être effectuée soit par un technicien expérimenté qui inspecte de près le réflectogramme, soit par un al-

gorithme assisté par ordinateur qui effectue automatiquement la détection.

[0019] Les méthodes de l'art antérieur n'adressent donc pas suffisamment la détection de défauts francs pour des réseaux point à point inhomogènes composés de plusieurs tronçons de câbles ayant des propriétés différentes et sur lequel un défaut franc peut apparaître. Dans un tel scénario, les méthodes traditionnelles ne permettent pas de distinguer la signature d'un défaut franc de celle de réflexions secondaires du signal.

[0020] L'invention propose une nouvelle méthode de détection de défaut franc ou de fin de réseau point à point pour un câble composé de plusieurs tronçons de câbles inhomogènes ou non.

[0021] La méthode prend en compte les variations de vitesse de propagation de l'onde selon les différents tronçons et permet de détecter et localiser un défaut franc.

[0022] L'invention a pour objet une méthode de détection et localisation de défauts ou de la terminaison d'un câble composé de plusieurs tronçons de câbles inhomogènes connectés entre eux, la méthode comprenant les étapes de :

- Réaliser une mesure, appelée réflectogramme, de la réponse impulsionnelle temporelle d'un signal de référence propagé dans le câble à partir d'un point d'injection puis rétro-propagé en un point de mesure, la mesure temporelle comprenant une pluralité de pics d'amplitude correspondant chacun à une discontinuité d'impédance,
- Sélectionner, dans le réflectogramme, les pics dont l'amplitude dépasse, en valeur absolue, un seuil de détection prédéterminé,
- Identifier, parmi les pics sélectionnés, celui ayant la largeur la plus élevée,
- Déterminer la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc par rapport au point d'injection à partir de l'abscisse, sur le réflectogramme, du pic identifié.

[0023] Dans une variante de réalisation, la méthode comprend en outre une étape de détermination de la nature de la terminaison du câble ou du défaut franc en évaluant le signe de l'amplitude du pic identifié :

- Si le signe est négatif, le pic est associé à un court-circuit,
- Si le signe est positif, le pic est associé à un circuit ouvert.

[0024] Selon un aspect particulier de l'invention, le seuil de détection prédéterminé dépend de l'écart type du réflectogramme.

[0025] Selon un aspect particulier de l'invention, la largeur d'un pic est déterminée pour une amplitude correspondant à la valeur du seuil de détection.

[0026] Dans une variante de réalisation, la méthode comprend une étape préalable de détermination d'une vitesse moyenne de propagation du signal de référence dans le câble à partir des longueurs des tronçons de câble et d'une estimée de la vitesse de propagation du signal de référence sur chacun des tronçons de câble.

- [0027] Selon un aspect particulier de l'invention, la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc par rapport au point d'injection est déterminée en multipliant la vitesse moyenne à l'abscisse temporelle, sur le réflectogramme, du pic identifié.
- [0028] Selon un aspect particulier de l'invention, la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc est comparée aux longueurs cumulées de différents tronçons du câble pour en déduire la présence d'un défaut.
- [0029] L'invention a aussi pour objet un programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution de la méthode selon l'invention, lorsque le programme est exécuté par un processeur ainsi qu'un support d'enregistrement lisible par un processeur sur lequel est enregistré un programme comportant des instructions pour l'exécution de la méthode selon l'invention, lorsque le programme est exécuté par un processeur.
- [0030] L'invention a encore pour objet un système de caractérisation d'un câble comprenant un générateur de signal de référence configuré pour injecter un signal de référence dans un câble en un point d'injection, un équipement de mesure configuré pour mesurer le signal rétro-propagé en un point de mesure et une unité de traitement configurée pour exécuter les étapes de la méthode selon l'invention.
- [0031] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit en relation aux dessins annexés suivants.
- [0032] [Fig.1a] représente un schéma d'un premier exemple d'un système de réflectométrie temporelle,
- [0033] [Fig.1b] représente un schéma d'un second exemple d'un système de réflectométrie temporelle,
- [0034] [Fig.2] représente un exemple de réflectogramme obtenu avec le système de réflectométrie des figures 1a ou 1b pour un câble simple,
- [0035] [Fig.3] représente un organigramme détaillant les étapes de mise en œuvre de la méthode selon l'invention,
- [0036] [Fig.4] représente un schéma d'un réseau point à point de câble inhomogène composé de plusieurs tronçons,
- [0037] [Fig.5] représente un exemple de réflectogramme temporel
- [0038] [Fig.6] représente une illustration d'une étape de sélection de pics dans le réflectogramme temporel de la [Fig.5],
- [0039] [Fig.7] représente une illustration d'une étape d'identification d'un pic correspondant à une fin de câble ou à un défaut franc,
- [0040] [Fig.8] représente un schéma d'un système de réflectométrie configuré pour exécuter la méthode selon l'invention.
- [0041] La [Fig.1a] décrit un synoptique d'un exemple de système de réflectométrie temporelle. L'invention se positionne dans le contexte des méthodes de réflectométrie

pour détecter, localiser ou caractériser les défauts impactant un câble ou un réseau point à point de câble.

- [0042] Sur la [Fig.1a], on a représenté un câble à tester 104 qui présente un défaut 105 à une distance quelconque d'une extrémité du câble. Sans sortir du cadre de l'invention, le câble 104 peut être remplacé par un réseau de câbles complexes interconnectés entre eux. Le câble simple 104 de la [Fig.1a] est représenté dans un but purement illustratif afin d'expliciter le principe général d'une méthode de réflectométrie.
- [0043] Un système de réflectométrie 101 selon l'invention comprend un composant électronique 111 de type circuit intégré, tel un circuit à logique programmable, par exemple de type FPGA, ou micro-contrôleur, adapté à exécuter deux fonctions. D'une part, le composant 111 permet de générer un signal de réflectométrie $s(t)$ à injecter dans le câble 104 sous test. Ce signal généré numériquement est ensuite converti via un convertisseur numérique-analogique 112 puis injecté 102 à une extrémité du câble. Le signal $s(t)$ se propage dans le câble et est réfléchi sur la singularité engendrée par le défaut 105. Le signal réfléchi est rétropropagé jusqu'au point d'injection 106 puis capturé 103, converti numériquement via un convertisseur analogique-numérique 113, et transmis au composant 111. Le composant électronique 111 est en outre adapté à exécuter les étapes du procédé selon l'invention qui sera décrit ci-après pour, à partir du signal $s(t)$ reçu, déterminer un réflectogramme ou plusieurs réflectogrammes.
- [0044] Le ou les réflectogramme(s) peuvent être transmis à une unité de traitement 114, de type ordinateur, assistant numérique personnel ou autre pour afficher les résultats des mesures sur une interface homme-machine.
- [0045] Le système 101 décrit à la [Fig.1a] est un exemple de réalisation nullement limitatif. En particulier les deux fonctions exécutées par le composant 111 peuvent être séparées dans deux composants ou dispositifs distincts comme cela est illustré sur l'exemple de la [Fig.1b]. Le point d'injection et le point de mesure du signal peuvent également être pris en des endroits quelconques du câble et non à son extrémité.
- [0046] Sur la [Fig.1b], on a représenté un premier dispositif 101 dédié à la génération du signal de réflectométrie et à son injection dans le câble et un second dispositif 116 dédié à la mesure du signal en un point quelconque du câble puis au calcul du réflectogramme via un composant 115.
- [0047] Le composant 115 peut être un composant électronique de type circuit intégré, tel un circuit à logique programmable, par exemple de type FPGA ou un micro-contrôleur, par exemple un processeur de signal numérique, qui reçoit les mesures de signal et est configuré pour exécuter le procédé selon l'invention. Le composant 115 comporte au moins une mémoire pour sauvegarder les derniers échantillons de signal généré et injecté dans le câble et les derniers échantillons de signal mesuré.
- [0048] Comme cela est connu dans le domaine des méthodes de diagnostic par réflec-

tométrie temporelle, la position d_{DF} d'un défaut 105 sur le câble 104, autrement dit sa distance au point d'injection du signal, peut être directement obtenue à partir de la mesure, sur le réflectogramme temporel calculé $R(t)$, de la durée t_{DF} entre le premier pic d'amplitude relevé sur le réflectogramme et le pic d'amplitude correspondant à la signature du défaut.

[0049] La [Fig.2] représente un exemple de réflectogramme $R(n)$ obtenu à l'aide du système de la [Fig.1a] ou 1b, sur lequel on observe un premier pic d'amplitude à une abscisse N et un second pic d'amplitude à une abscisse $N+M$. Le premier pic d'amplitude correspond à la réflexion du signal au point d'injection dans le câble, tandis que le second pic correspond à la réflexion du signal sur une discontinuité d'impédance provoquée par un défaut.

[0050] Différentes méthodes connues sont envisageables pour déterminer la position d_{DF} (distance du pic de fin de câble ou du défaut franc). Une première méthode consiste à appliquer la relation liant distance et temps : $d_{DF} = V_g \cdot t_{DF}/2$ où V_g est la vitesse de propagation du signal dans le câble. Une autre méthode possible consiste à appliquer une relation de proportionnalité du type $d_{DF}/t_{DF} = L_c/t_0$ où L_c est la longueur du câble et t_0 est la durée, mesurée sur le réflectogramme, entre le pic d'amplitude correspondant à la discontinuité d'impédance au point d'injection et le pic d'amplitude correspondant à la réflexion du signal sur l'extrémité du câble.

[0051] L'invention est appliquée à un réseau point à point composé de plusieurs tronçons (câbles) ayant des impédances caractéristiques différentes. Un exemple d'un tel câble est représenté schématiquement à la [Fig.4]. Il comporte cinq tronçons T_1 - T_5 ayant des longueurs respectives l_1 - l_5 et des impédances caractéristiques différentes. La vitesse de propagation d'un signal dans chaque tronçon est donc différente et est notée v_1 - v_5 .

[0052] La [Fig.3] illustre, sur un organigramme, les étapes de mise en œuvre d'une méthode de détection de défaut franc selon l'invention.

[0053] La première étape 301 consiste à réaliser une mesure d'un réflectogramme en un point d'observation du câble P.

[0054] Un exemple de réflectogramme obtenu est illustré à la [Fig.5]. Il représente le résultat de l'intercorrélation entre le signal de référence injecté dans le câble et le signal rétropropagé au point d'injection en fonction de la distance au point d'injection. La conversion temps-distance est obtenue à partir d'une première estimation de la vitesse de propagation moyenne du signal le long du câble.

[0055] Par exemple, cette première estimation v_m peut être obtenue au moyen de la formule suivante :

[0056]

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{v_i}}$$

- [0057] Avec l_i la longueur du tronçon de câble d'indice i , i variant de 1 à 5 et v_i une estimée de la vitesse de propagation du signal sur le tronçon de câble d'indice i .
- [0058] En effet, chaque tronçon de câble étant homogène, il est possible de connaître la vitesse de propagation du signal dans chaque tronçon à partir des caractéristiques physiques du tronçon ou en réalisant une mesure de réflectométrie sur chaque tronçon de câble séparément.
- [0059] A l'étape 302, on sélectionne un ensemble de pics d'amplitude dans le réflectogramme mesuré. Les pics d'amplitude sont des extrema du réflectogramme (maxima ou minima) qui sont supérieurs en valeur absolue à un seuil prédéterminé. Le seuil de détection ζ est, par exemple, proportionnel à l'écart type de la mesure : $\zeta = k\sigma$ avec k un nombre entier positif qui dépend notamment du niveau de bruit de la mesure et σ l'écart type de la mesure.
- [0060] A l'issue de l'étape 302 on conserve tous les pics dont l'amplitude en valeur absolue est supérieure au seuil de détection $|a_i| > |\zeta|$, ainsi que leur abscisse temporelle dans le réflectogramme τ_i et leur largeur w_i . La largeur d'un pic est, par exemple, mesurée pour l'amplitude égale au seuil de détection ζ . Autrement dit, on mesure l'écart temporel entre les deux points d'amplitude égale à ζ en valeur absolue situés de part et d'autre de l'extrema détecté.
- [0061] Cette étape est illustrée à la [Fig.6].
- [0062] A l'étape 303, on sélectionne le pic dont la largeur w_i est la plus élevée. En effet, le pic dont la largeur est la plus élevée correspond à une réflexion totale du signal sur un défaut franc, à l'inverse d'un pic résultant d'une réflexion secondaire (un rebond) ou d'une réflexion sur un défaut non franc pour lequel une partie du signal n'est pas réfléchié mais transmise.
- [0063] Cette étape est illustrée à la [Fig.7].
- [0064] Le pic de plus grande largeur sélectionné à l'étape 303 correspond ainsi, soit à la terminaison du câble, lorsque le câble est sain et qu'aucun défaut n'est présent, soit à la terminaison d'une section du câble si l'un des connecteurs reliant deux tronçons de câble est défectueux et présente un défaut franc sur lequel toute l'énergie du signal est réfléchié.
- [0065] A l'étape 304, on détermine la position du défaut franc sur le câble. Pour cela, la position L_f du défaut mesurée sur le réflectogramme est comparée avec les différentes longueurs cumulées des sections de câble, en partant de la longueur l_1 , puis $l_1 + l_2$, $l_1 + l_2 + l_3$ jusqu'à la longueur totale du câble. On cherche alors la longueur cumulée L_{cum} la plus proche de la position L_f du défaut et telle que $L_f \leq L_{cum}$. Par exemple, si $l_1 + l_2 \leq L_f \leq l_1 + l_2 + l_3$, on en déduit que la position du défaut correspond à la longueur cumulée $l_1 + l_2 + l_3$ et que le défaut franc est situé à la jonction entre le

tronçon de câble T_3 et le tronçon de câble T_4 ou que le défaut franc est situé sur le tronçon de câble T_3

[0066] L'imprécision sur la position du défaut est liée à l'incertitude sur l'estimée de la vitesse de propagation moyenne du signal dans le câble.

[0067] Une fois la position réelle du défaut identifiée, on peut recalculer la vitesse moyenne réelle du signal dans le câble en calculant $v_{av} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{T_f}$, où T_f est l'abscisse

temporelle du pic sélectionné à l'étape 304 sur le réflectogramme.

[0068] Dans une étape optionnelle, la nature du défaut franc est évaluée au moyen du signe du pic sélectionné à l'étape 304.

[0069] Si l'amplitude de ce pic est négative, alors le défaut est de type court circuit, si l'amplitude de ce pic est positive, alors le défaut est de type circuit ouvert.

[0070] La [Fig.8] schématise, sur un synoptique, un exemple de dispositif de réflectométrie apte à mettre en œuvre le procédé selon l'invention.

[0071] Un dispositif de réflectométrie, ou réflectomètre, comporte au moins un générateur de signal GS, pour générer un signal de test s et l'injecter dans le câble à analyser CA qui comporte, par exemple, un défaut DNF, un équipement de mesure MI pour mesurer le signal réfléchi r dans le câble CA et un composant électronique MC de type circuit intégré, tel un circuit à logique programmable, par exemple de type FPGA ou un micro-contrôleur, par exemple un processeur de signal numérique, qui reçoit une mesure du signal réfléchi $r(t)$ et est configuré pour exécuter le procédé selon l'invention afin de détecter un défaut franc. Le composant électronique MC peut également comporter à la fois un circuit intégré, par exemple pour réaliser l'acquisition du signal réfléchi, et un micro-contrôleur pour exécuter les étapes de traitement requises par l'invention.

[0072] L'injection du signal de test s dans le câble est, par exemple, réalisée par un dispositif de couplage (non représenté à la [Fig.8]) qui peut être un coupleur à effet capacitif ou inductif ou encore à l'aide d'une connexion ohmique. Le dispositif de couplage peut être réalisé par des connecteurs physiques qui relient le générateur de signal au câble ou par des moyens sans contact, par exemple en utilisant un cylindre métallique dont le diamètre interne est sensiblement égal au diamètre externe du câble et qui produit un effet de couplage capacitif avec le câble.

[0073] L'acquisition du signal réfléchi dans le câble peut également être réalisée au moyen d'un dispositif de couplage du type décrit précédemment.

[0074] Le dispositif de réflectométrie peut également comporter un convertisseur numérique-analogique disposé entre le générateur de signal de test, dans le cas où il s'agit d'un signal numérique, et le coupleur d'injection.

[0075] Le dispositif de réflectométrie peut également comporter un convertisseur

analogique-numérique disposé entre le coupleur de mesure du signal réfléchi et l'équipement de mesure MI ou le composant électronique MC aux fins de numériser le signal analogique mesuré.

- [0076] En outre, une unité de traitement (non représentée à la [Fig.8]), de type ordinateur, assistant numérique personnel ou autre est utilisée pour piloter le système de réflectométrie selon l'invention et afficher les résultats des mesures sur une interface homme-machine.
- [0077] Les résultats affichés peuvent comprendre la réponse impulsionnelle calculée à l'aide du procédé selon l'invention et/ou une information relative à l'existence et à la localisation d'un défaut sur le câble également produite par le procédé selon l'invention.
- [0078] Selon un mode de réalisation particulier, le signal de test s injecté peut également être fourni au composant MC lorsque les traitements réalisés nécessitent la connaissance du signal injecté, notamment lorsque ceux-ci incluent une étape d'intercorrélation entre le signal de test s et le signal réfléchi r .
- [0079] L'injection du signal dans le câble et la mesure du signal réfléchi sont, par exemple, réalisées par un seul et même composant mais aussi par deux composants distincts, notamment lorsque le point d'injection et le point de mesure sont dissociés.
- [0080] Le dispositif décrit à la [Fig.8] est, par exemple, mis en œuvre par une carte électronique sur laquelle sont disposés les différents composants. La carte peut être connectée au câble par un coupleur.

Références

- [0081] [1] J. Röhrig, "Location of faulty places y measuring with cathode ray oscillographs," *Elektrotech. Zeits*, vol. 8, pp. 241–242, 1931.
- [0082] [2] R. F. Stevens and T. W. Stringfield, "A Transmission Line Fault Locator Using Fault-Generated Surges," *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, vol. 67, no. 2, pp. 1168–1179, Jan. 1948.
- [0083] [3] F. Auzanneau et al.: "Method for detecting and locating defects by reflectometry in a wired electric network and corresponding device"
- [0084] [4] M. Franchet et al.: "Reflectometry method for detecting soft faults in an electrical cable, and system for implementing the method", WO2013057131A1.
- [0085] [5] Furse, Cynthia M., et al. "Fault diagnosis for electrical systems and power networks: A review." *IEEE Sensors Journal* 21.2 (2020): 888-906.
- [0086] [6] Auzanneau, Fabrice. "Wire troubleshooting and diagnosis: Review and perspectives." *Progress In Electromagnetics Research B* 49 (2013): 253-279.

Revendications

- [Revendication 1] Méthode de détection et localisation de défauts ou de la terminaison d'un câble composé de plusieurs tronçons de câbles inhomogènes connectés entre eux, la méthode comprenant les étapes de :
- Réaliser (301) une mesure, appelée réflectogramme, de la réponse impulsionnelle temporelle d'un signal de référence propagé dans le câble à partir d'un point d'injection puis rétro-propagé en un point de mesure, la mesure temporelle comprenant une pluralité de pics d'amplitude correspondant chacun à une discontinuité d'impédance,
 - Sélectionner (302), dans le réflectogramme, les pics dont l'amplitude dépasse, en valeur absolue, un seuil de détection prédéterminé,
 - Identifier (303), parmi les pics sélectionnés, celui ayant la largeur la plus élevée,
 - Déterminer (304) la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc par rapport au point d'injection à partir de l'abscisse, sur le réflectogramme, du pic identifié.
- [Revendication 2] Méthode selon la revendication 1 comprenant en outre une étape de détermination de la nature de la terminaison du câble ou du défaut franc en évaluant le signe de l'amplitude du pic identifié :
- Si le signe est négatif, le pic est associé à un court-circuit,
 - Si le signe est positif, le pic est associé à un circuit ouvert.
- [Revendication 3] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle le seuil de détection prédéterminé dépend de l'écart type du réflectogramme.
- [Revendication 4] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle la largeur d'un pic est déterminée pour une amplitude correspondant à la valeur du seuil de détection.
- [Revendication 5] Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant une étape préalable de détermination d'une vitesse moyenne de propagation du signal de référence dans le câble à partir des longueurs des tronçons de câble et d'une estimée de la vitesse de propagation du signal de référence sur chacun des tronçons de câble.

- [Revendication 6] Méthode selon la revendication 5 dans laquelle la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc par rapport au point d'injection est déterminée en multipliant la vitesse moyenne à l'abscisse temporelle, sur le réflectogramme, du pic identifié.
- [Revendication 7] Méthode selon la revendication 6 dans laquelle la position de la terminaison du câble ou d'un défaut franc est comparée aux longueurs cumulées de différents tronçons du câble pour en déduire la présence d'un défaut.
- [Revendication 8] Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution de la méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, lorsque le programme est exécuté par un processeur.
- [Revendication 9] Support d'enregistrement lisible par un processeur sur lequel est enregistré un programme comportant des instructions pour l'exécution de la méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, lorsque le programme est exécuté par un processeur.
- [Revendication 10] Système de caractérisation d'un câble comprenant un générateur de signal de référence (GS) configuré pour injecter un signal de référence dans un câble (CA) en un point d'injection, un équipement de mesure (MI) configuré pour mesurer le signal rétro-propagé en un point de mesure et une unité de traitement (MC) configurée pour exécuter les étapes de la méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

[Fig. 1a]

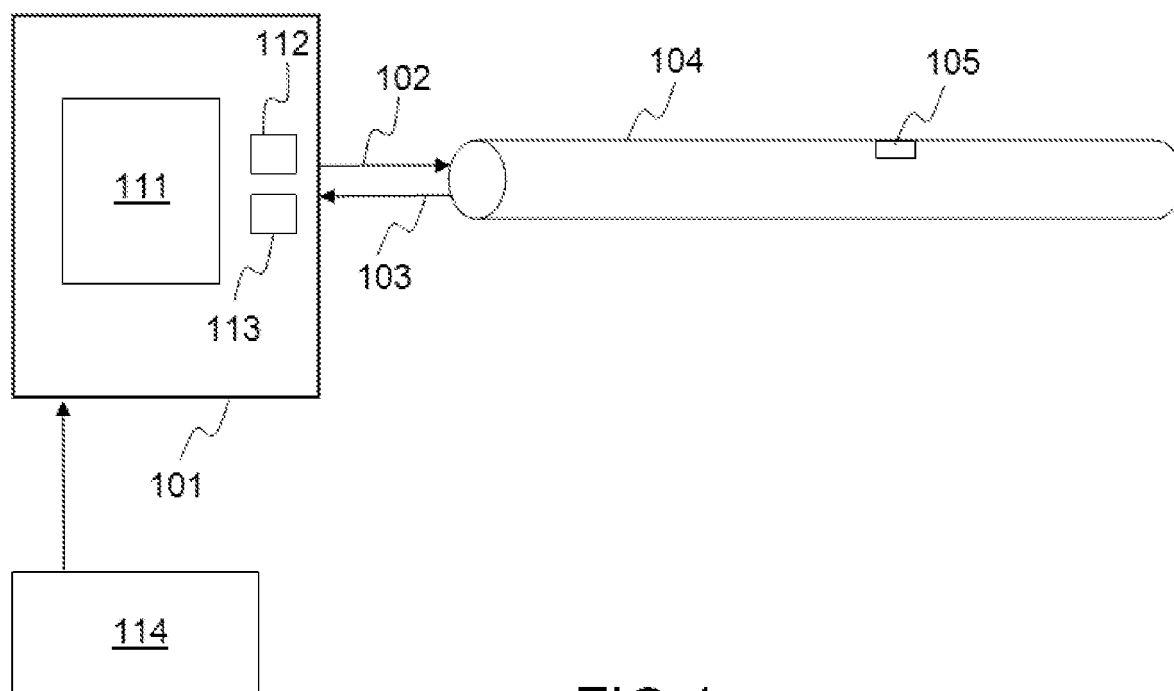


FIG.1a

[Fig. 1b]

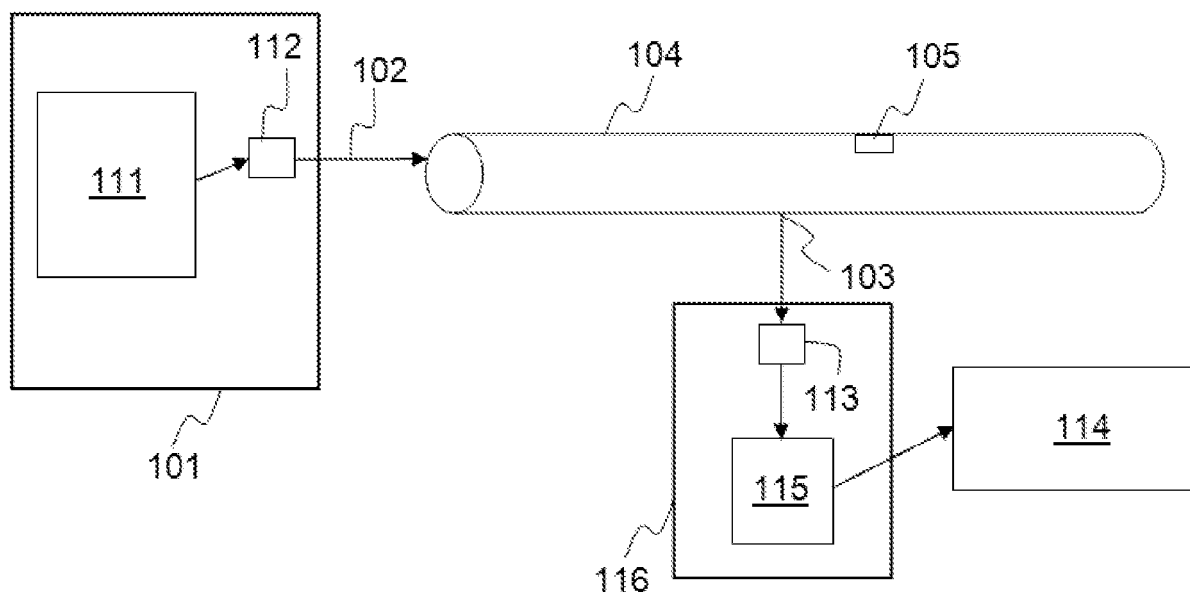


FIG.1b

[Fig. 2]

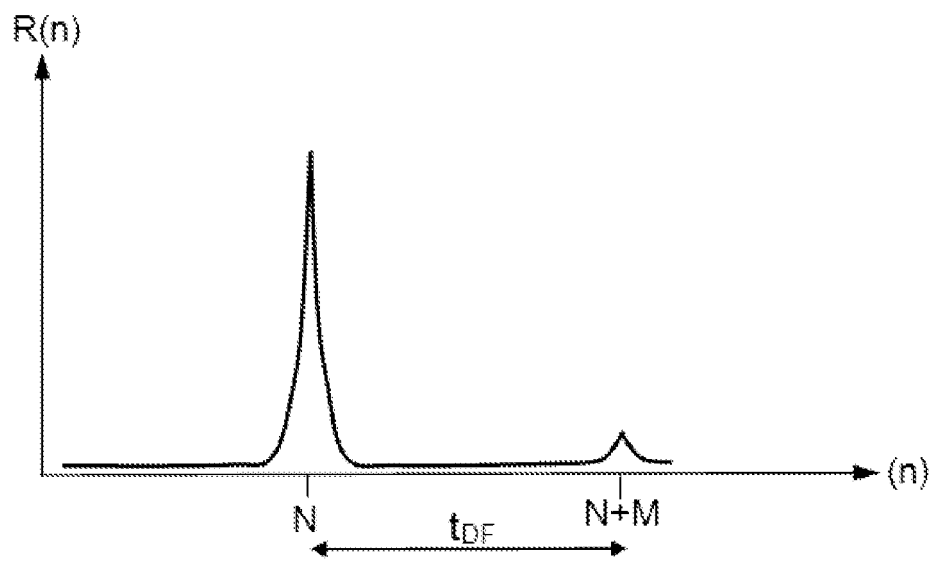


FIG.2

[Fig. 3]

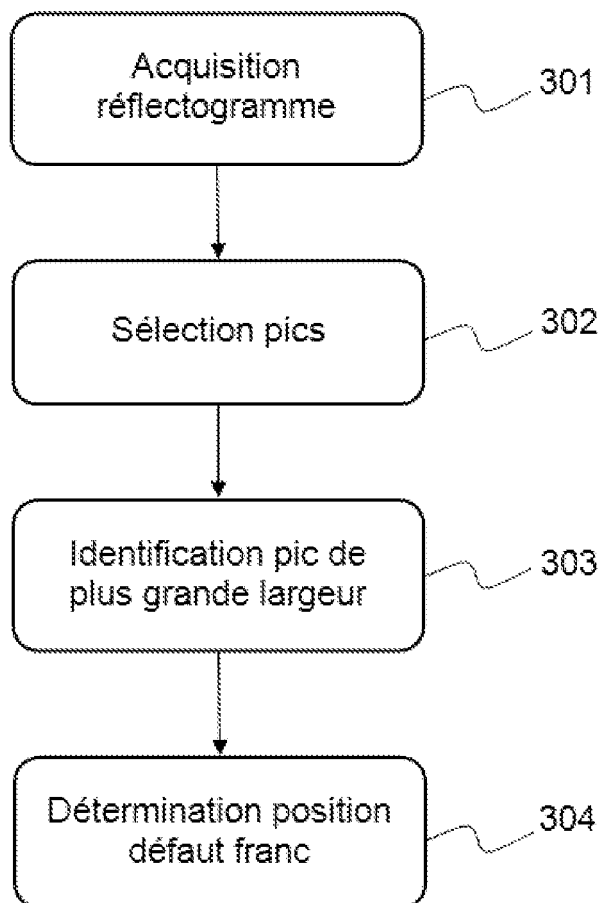


FIG.3

[Fig. 4]

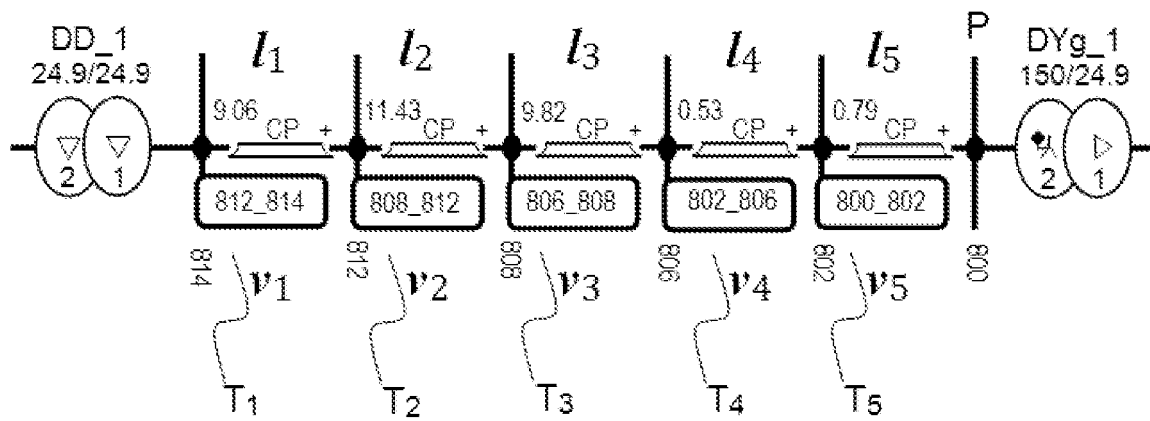


FIG.4

[Fig. 5]

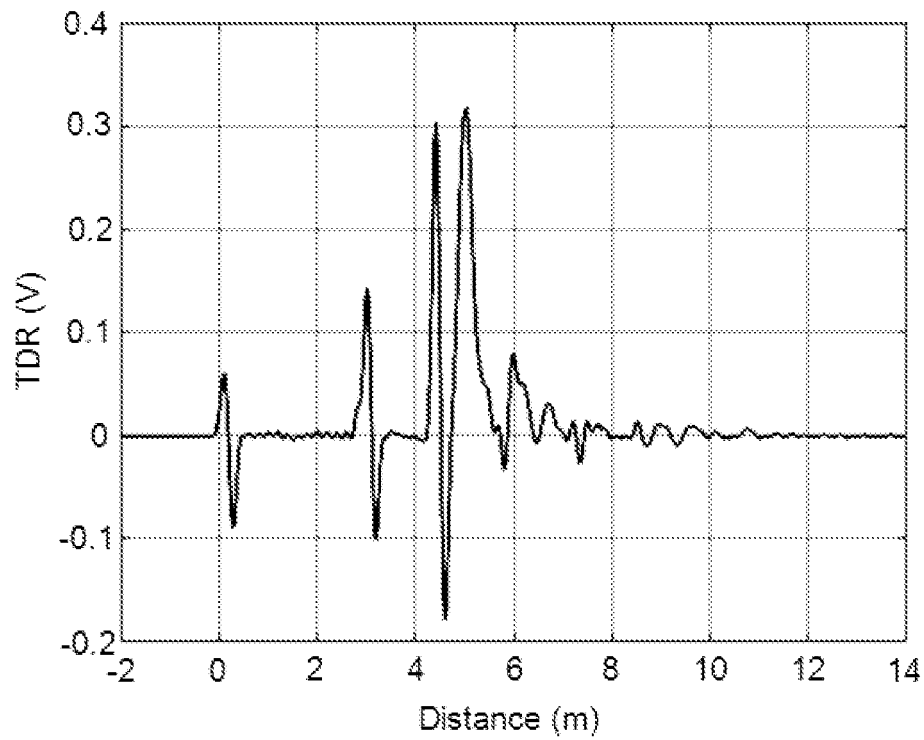


FIG.5

[Fig. 6]

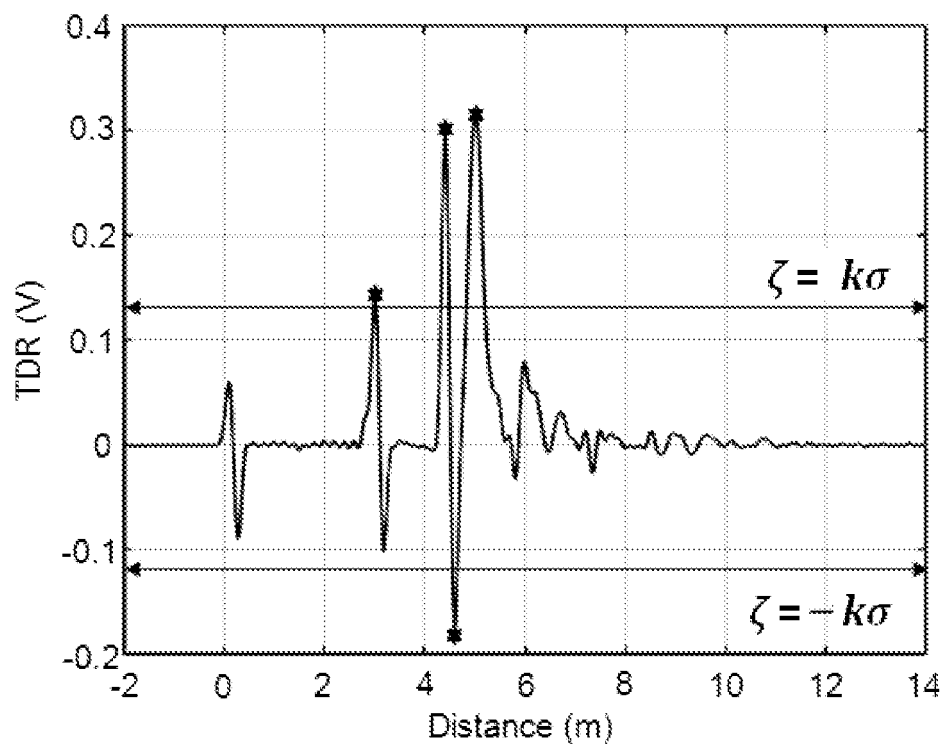


FIG.6

[Fig. 7]

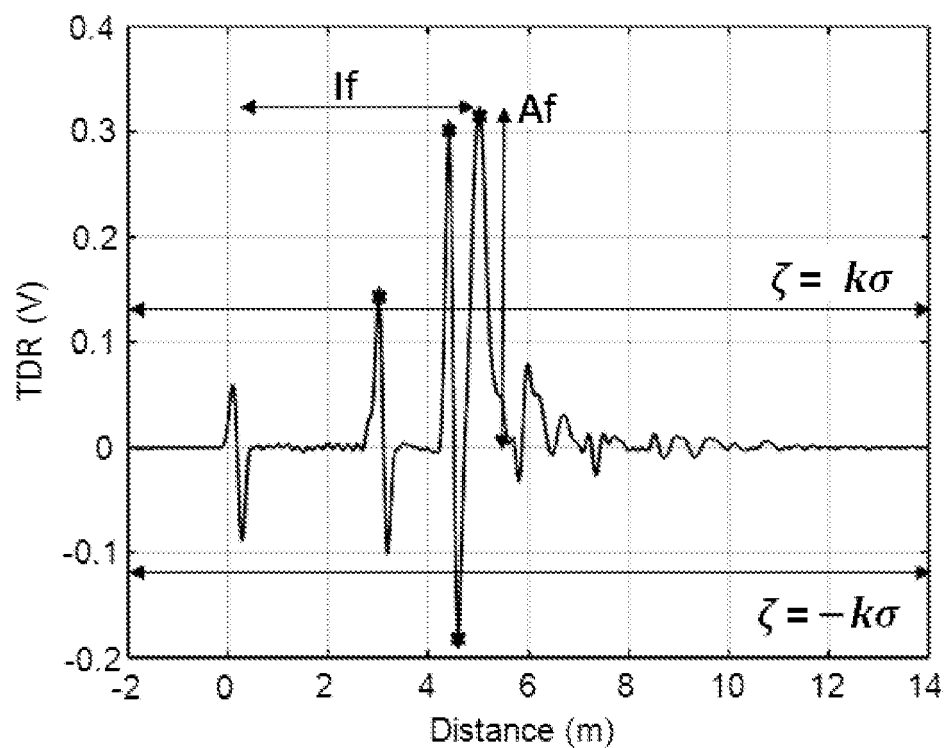


FIG.7

[Fig. 8]

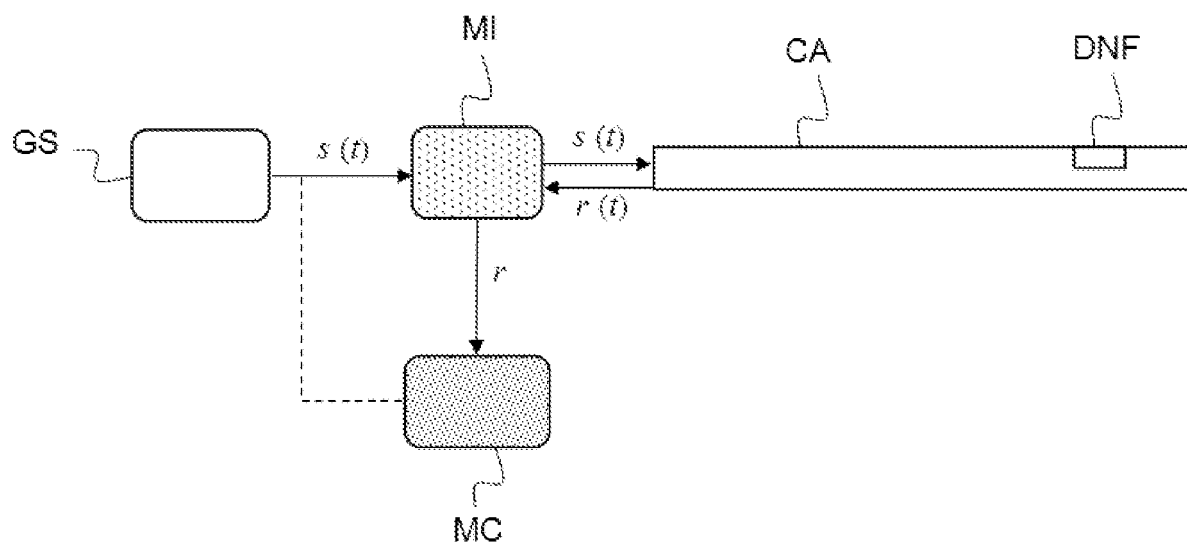


FIG.8

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 907154
FR 2206088

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	US 2016/139194 A1 (COHEN JOSY [FR] ET AL) 19 mai 2016 (2016-05-19) * abrégé * * alinéa [0030] - alinéa [0066]; figures 1-5 *	1-10	G01R3/00
X	MAUD FRANCHET ET AL: "Soft fault detection in cables using the cluster time-frequency domain reflectometry", IEEE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY MAGAZINE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 2, no. 1, 1 janvier 2013 (2013-01-01) , pages 54-69, XP011510140, ISSN: 2162-2264, DOI: 10.1109/MEMC.2013.6512221 * abrégé * * page 61, colonne de droite; figures 4-6 *	1-4, 8-10	
A	WO 2021/084196 A1 (SAFRAN ELECTRICAL & POWER [FR]) 6 mai 2021 (2021-05-06) * abrégé * * page 9, ligne 17 - page 14, ligne 7; figures 1-5 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	EP 4 001 934 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 25 mai 2022 (2022-05-25) * abrégé * * alinéa [0025] - alinéa [0101]; figures 1-6 *	1-10	G01R
A	US 2020/116777 A1 (CABANILLAS ESTEBAN [FR] ET AL) 16 avril 2020 (2020-04-16) * abrégé * * alinéa [0042] - alinéa [0077]; figures 1, 2 *	1-10	
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 février 2023		Bergado Colina, J	
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			

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 907154
FR 2206088

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		
A	US 2018/024184 A1 (SALLEM SOUMAYA [FR] ET AL) 25 janvier 2018 (2018-01-25) * abrégé * * alinéa [0041] - alinéa [0077]; figures 1-5 *	1-10	
A	----- CN 110 658 418 A (SHANDONG SENTER ELECTRONIC CO LTD) 7 janvier 2020 (2020-01-07) * le document en entier *	1-10	
A	----- CN 111 929 553 B (UNIV SICHUAN) 22 décembre 2020 (2020-12-22) * le document en entier *	1-10	
A	----- US 10 908 206 B2 (INTEL CORP [US]) 2 février 2021 (2021-02-02) * abrégé * * colonne 4, ligne 33 - colonne 18, ligne 5; figures 1-15 *	1-10	
A	----- LUCAS GIROTO DE OLIVEIRA ET AL: "On the Suitability of PLC Pulses for Power Line Fault Sensing via Time-Domain Reflectometry", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 23 janvier 2019 (2019-01-23), pages 1-13, XP081007250, * abrégé * * page 3, colonne de droite, alinéa 2 - page 5, colonne de gauche *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 février 2023		Bergado Colina, J	
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			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 907154
FR 2206088

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		
A	US 11 333 699 B2 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 17 mai 2022 (2022-05-17) * abrégé * * colonne 6, ligne 43 - colonne 14, ligne 23; figures 1-5 * -----	1-10	
A	WO 2013/057131 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 25 avril 2013 (2013-04-25) * abrégé * * page 17, ligne 14 - page 19, ligne 18; figures 1-4 * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 février 2023		Bergado Colina, J	
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 2206088 FA 907154**

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 **28-02-2023**
 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
US 2016139194 A1		19-05-2016	EP	3008479 A1	20-04-2016
			FR	3006769 A1	12-12-2014
			US	2016139194 A1	19-05-2016
			WO	2014198526 A1	18-12-2014

WO 2021084196 A1		06-05-2021	FR	3102892 A1	07-05-2021
			US	2022381811 A1	01-12-2022
			WO	2021084196 A1	06-05-2021

EP 4001934 A1		25-05-2022	EP	4001934 A1	25-05-2022
			FR	3116346 A1	20-05-2022

US 2020116777 A1		16-04-2020	EP	3552032 A1	16-10-2019
			FR	3060128 A1	15-06-2018
			US	2020116777 A1	16-04-2020
			WO	2018108526 A1	21-06-2018

US 2018024184 A1		25-01-2018	EP	3259608 A1	27-12-2017
			FR	3032804 A1	19-08-2016
			US	2018024184 A1	25-01-2018
			WO	2016131721 A1	25-08-2016

CN 110658418 A		07-01-2020	AUCUN		

CN 111929553 B		22-12-2020	AUCUN		

US 10908206 B2		02-02-2021	US	2019293708 A1	26-09-2019
			WO	2017200531 A1	23-11-2017

US 11333699 B2		17-05-2022	EP	3814789 A1	05-05-2021
			FR	3082947 A1	27-12-2019
			US	2021278452 A1	09-09-2021
			WO	2020001966 A1	02-01-2020

WO 2013057131 A1		25-04-2013	EP	2769230 A1	27-08-2014
			FR	2981752 A1	26-04-2013
			US	2014316726 A1	23-10-2014
			WO	2013057131 A1	25-04-2013
