

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.05.09.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 03.12.10 Bulletin 10/48.

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 :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-  
MIQUE Etablissement public à caractère industriel et  
commercial — FR.

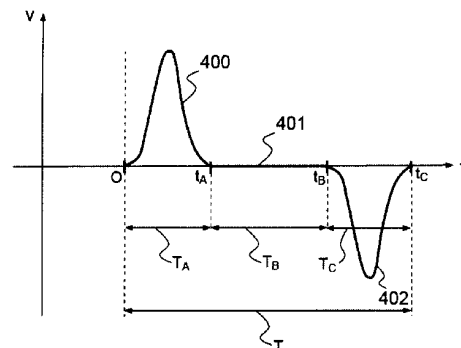
72 Inventeur(s) : AUZANNEAU FABRICE, RAVOT  
NICOLAS et OLIVAS MARC.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMI-  
QUE Etablissement public à caractère industriel et com-  
mercial.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

54 PROCEDE D'ANALYSE DE CABLES ELECTRIQUES DE GRANDE LONGUEUR ET DE RESEAUX DE CABLES  
ELECTRIQUES.

57 L'invention a pour objet un procédé d'analyse d'au moins un câble électrique, un signal de sonde étant injecté dans ledit câble, une différence temporelle  $Dt$  étant déterminée entre un premier point de référence de mesure choisi sur la mesure du signal de sonde injecté et un second point de référence de mesure, image du premier point et choisi sur au moins un signal de retour résultant des réflexions du signal de sonde injecté, une longueur correspondant à la localisation d'une discontinuité électrique sur le câble étant déduite de ladite différence temporelle  $Dt$ . Le signal de sonde injecté est de durée  $T$  et est composé de trois portions de signal consécutives A, B et C de durées respectives  $T_A$ ,  $T_B$  et  $T_C$  choisies telles que  $T = T_A + T_B + T_C$  et  $T_A = T_C$ , la portion A étant composée d'une impulsion de signal  $V_A(t)$  (400), la portion B étant composée d'un signal nul  $V_B(t) = 0$  (401) et la portion C étant composée d'une impulsion de signal  $v_c(t)$  (402) définie telle que  $v_c(t - T_A - T_B) = +/- V_A(t)$ , le point de référence de mesure associé audit signal étant localisé sensiblement au centre de la portion B.



## Procédé d'analyse de câbles électriques de grande longueur et de réseaux de câbles électriques

5 L'invention concerne un procédé d'analyse de câbles électriques de grande longueur et de réseaux de câbles électriques. Elle s'applique notamment aux domaines de l'électronique, du traitement du signal et de la réflectométrie.

10 Les câbles sont omniprésents dans tous les systèmes électriques, pour l'alimentation ou la transmission d'information. Ces câbles sont soumis aux mêmes contraintes que les systèmes qu'ils relient et peuvent être sujet à des défaillances. Il est donc nécessaire de pouvoir tester leur état et d'apporter des informations sur la détection de défauts, mais aussi leur  
15 localisation et leur type, afin d'aider à la maintenance.

Les méthodes de réflectométrie usuelles permettent ce type de tests. Elles utilisent des signaux de test, appelés signaux de sonde dans la suite de la description. La forme de ces signaux change significativement lors de leur propagation aller-retour dans un câble, ces changements étant la  
20 conséquence des phénomènes physiques d'atténuation et de dispersion.

Les méthodes de réflectométrie utilisent un principe proche de celui du radar : un signal électrique, le signal de sonde, souvent de haute fréquence ou large bande, est injecté en un ou plusieurs endroits du câble à tester. Ledit signal se propage dans le câble ou le réseau et renvoie une  
25 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 d'un défaut. 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  
30 dans le domaine temporelle est habituellement réalisée. Ces méthodes sont désignées par l'acronyme TDR venant de l'expression anglo-saxonne « Time Domain Reflectometry ».

La réflectométrie offre de bonnes performances, même lorsqu'elle est  
35 mise en œuvre sur des systèmes embarqués, si la longueur des câbles n'est pas trop importante. En effet, la physique de propagation implique l'existence

## 2

de deux phénomènes cités précédemment qui s'amplifient avec la longueur. Le premier phénomène est l'atténuation et a pour conséquence un affaiblissement de l'amplitude du signal émis du fait des pertes ohmiques dans le câble. Le second phénomène est la dispersion et a pour  
5 conséquence une variation de la vitesse de propagation des diverses composantes fréquentielles du signal et donc un étalement temporel du signal. Il en résulte que, lorsque le câble à tester est de grande longueur, les phénomènes physiques mentionnés ajoutés au bruit inhérent au système de test rendent moins efficace la détection de défauts.

10 L'état de la technique propose des améliorations aux techniques de réflectométrie classiques en se basant sur des signaux de sonde ayant des propriétés leur permettant de mieux résister à ces phénomènes. Ainsi, dans le brevet US 2008/7375602, un signal ayant une forme d'onde de type exponentielle est décrit. Ce type de signaux permet d'obtenir de bonnes  
15 performances de détection, mais la génération de ce type de signal de sonde est habituellement complexe à mettre en œuvre.

Un but de l'invention est notamment de pallier les inconvénients précités.

20 A cet effet l'invention a pour objet un procédé d'analyse d'au moins un câble électrique, un signal de sonde étant injecté dans ledit câble, une différence temporelle  $Dt$  étant déterminée entre un premier point de référence de mesure choisi sur la mesure du signal de sonde injecté et un second point de référence de mesure, image du premier point et choisi sur  
25 au moins un signal de retour résultant des réflexions du signal de sonde injecté, une longueur correspondant à la localisation d'une discontinuité électrique sur le câble étant déduite de ladite différence temporelle  $Dt$ . Le signal de sonde injecté est de durée  $T$  et est composé de trois portions de signal consécutives A, B et C de durées respectives  $T_A$ ,  $T_B$  et  $T_C$  choisies  
30 telles que  $T = T_A + T_B + T_C$  et  $T_A = T_C$ , la portion A étant composée d'une impulsion de signal  $v_A(t)$ , la portion B étant composée d'un signal nul  $v_B(t) = 0$  et la portion C étant composée d'une impulsion de signal  $v_C(t)$  définie telle que  $v_C(t - T_A - T_B) = \pm v_A(t)$ , le point de référence de mesure associé audit signal étant localisé sensiblement au centre de la portion B.

35

## 3

Selon un aspect de l'invention, le signal de sonde injecté est choisi tel que  $T_B=0$  et  $v_C(t-T_A-T_B) = -v_A(t)$ , le point de référence de mesure étant choisi au niveau du changement de signe du signal résultant de la transition entre la portion A et la portion C.

5 Le procédé comprend, par exemple, une étape de détermination de l'instant  $T_0$  correspondant au second point de référence de mesure, ledit point étant estimé par interpolation des échantillons du signal de retour mesuré, ladite interpolation étant réalisée en utilisant les deux échantillons situés de part et d'autre de l'alternance de signe du signal de retour.

10 Selon un autre aspect de l'invention, le signal de sonde injecté est choisi tel que  $v_C(t-T_A-T_B) = v_A(t)$ .

Le procédé comprend, par exemple, une étape de détection des temps  $T_1$  et  $T_2$  associés aux deux minima ou maxima du signal de retour correspondant aux impulsions des portions A et C du signal de sonde.

15 Selon un mode de réalisation, le procédé comporte une étape de détermination du second point de référence de mesure associé au signal de retour, ledit point étant choisi tel l'instant lui étant associé est égal à  $(T_1+T_2)/2$ .

L'invention a aussi pour objet un procédé d'analyse d'au moins un câble électrique, un signal de sonde étant injecté dans ledit câble, une différence temporelle  $Dt$  entre un premier point de référence de mesure choisi sur la mesure du signal de sonde injecté et un second point de référence de mesure, image du premier point et choisi sur au moins un signal de retour résultant des réflexions du signal de sonde injecté étant déterminée, une longueur correspondant à la localisation d'une discontinuité électrique étant déduite de ladite différence temporelle  $Dt$ . Le signal de sonde injecté de durée  $T$  est asymétrique, de forme triangulaire et est composé d'un front montant et d'un front descendant, l'un des fronts appelé front long étant d'une durée inférieure à l'autre, les points de référence de mesures étant obtenus par projection sur l'axe des abscisses des fronts longs du signal de sonde injecté d'une part, et du signal de retour d'autre part, en utilisant une droite de régression linéaire.

Dans un mode de réalisation, le signal électrique mesuré est échantillonné à une fréquence  $F_{ech}$  choisie telle que  $F_{ech}$  est supérieure ou égale à l'inverse de la durée  $T$  du signal de sonde injecté.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit donnée à titre illustratif et non limitatif, faite en regard des dessins annexés parmi lesquels :

- 5
- la figure 1 illustre la modification des pics de réflectométrie pour un réseau en Y dont les longueurs sont progressivement allongées en utilisant un facteur multiplicatif ;
  - la figure 2 donne un exemple de diagramme de réflexion pour un signal de sonde de type créneau (signal usuellement employé en TDR) émis dans un câble électrique ;
  - 10 - la figure 3 donne un exemple de pic de signal résultant de la réflexion d'un signal de sonde de type créneau ;
  - la figure 4 présente un signal de sonde de type symétrique utilisé dans le cadre du procédé selon l'invention ;
  - 15 - la figure 5 donne deux exemples de signaux de sonde de type symétrique avec alternance de signe ;
  - la figure 6 illustre le procédé d'analyse lorsqu'un signal de sonde de type symétrique avec alternance de signe est utilisé ;
  - 20 - la figure 7 donne un exemple signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe ;
  - la figure 8 donne un exemple de diagramme de réflexion lorsqu'un signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe est utilisé ;
  - 25 - la figure 9 illustre le principe de la détection de point de repère de mesure sur un signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe ;
  - la figure 10 illustre le procédé de détection de défauts lorsque qu'un signal de sonde de type non symétrique est utilisé ;
  - 30 - La figure 11 donne un exemple de diagramme de réflexion lorsqu'un signal de sonde triangulaire est utilisé ;
  - La figure 12 donne un exemple de système mettant en œuvre le procédé selon l'invention.

La figure 1 illustre par quatre courbes 10, 11, 12, 13 la modification des pics de réflectométrie pour un réseau de câbles électriques en Y dont les longueurs sont progressivement allongées en utilisant un facteur multiplicatif de  $\times 1$ ,  $\times 25$ , de  $\times 50$  puis de  $\times 100$ . Le signal de sonde émis dont résultent lesdits pics est de type Gaussien. Les quatre graphiques donnent l'amplitude en Volts du signal mesuré en ordonnées en fonction de la longueur des câbles en abscisse et exprimée en mètres. L'augmentation des longueurs met en évidence l'effet de l'atténuation, l'amplitude des pics diminuant progressivement. D'autre part, l'effet du phénomène de dispersion précédemment décrit est également mis en évidence, les pics étant de plus en plus étalés lorsque la longueur du câble augmente.

Les méthodes de réflectométrie TDR dans le domaine temporel sont habituellement basées sur l'utilisation d'un signal de sonde de type Gaussien dont on cherche à localiser le maximum. Les effets cumulés de l'atténuation et de la dispersion provoquent un tassement de ce maximum. En plus de cela, les mesures sont réalisées en présence de bruit, ledit bruit étant dû, par exemple, à l'inhomogénéité du câble ou à d'autres câbles à proximité dans le cas d'un toron par exemple. Les signaux à mesurer étant déformés par ces différents phénomènes, la précision de localisation des défauts est significativement dégradée. De plus, le signal n'est pas obligatoirement échantillonné précisément à l'endroit du maximum, ce qui introduit une autre source d'imprécisions.

Le procédé selon l'invention est basé sur le principe de la réflectométrie classique mais utilise des signaux spécifiques comme signaux de sonde, lesdits signaux étant décrits à l'aide des figures suivantes. Ces signaux subissent les phénomènes décrits précédemment mais il est cependant possible de repérer un point, appelé point de référence de mesure, ou une zone caractéristique qui n'a pas subi de déformation. La mesure de la distance, c'est-à-dire la longueur du câble ou la distance au défaut, se fait par mesure du temps séparant cette zone caractéristique entre le signal injecté dans le câble et le signal renvoyé par la fin du câble ou le défaut. En d'autres termes, un premier point de référence de mesure est repéré sur le signal de sonde émis et un second point de référence de mesure est repéré sur le signal de retour, le second point étant l'image du premier suite à la transmission du signal de sonde dans le câble ou le réseau

## 6

de câbles analysé. L'intérêt est que la précision de localisation n'est pas dégradée par rapport aux méthodes usuelles.

La différence de temps  $Dt$  entre points de référence de mesure permet de remonter à la distance de manière habituelle, c'est-à-dire en multipliant la  
5 différence de temps par la vitesse de propagation, supposée connue, et en divisant par 2 pour tenir compte du trajet aller-retour.

La figure 2 donne un exemple de diagramme de réflexion pour un signal de sonde de type créneau émis dans un câble électrique. Un  
10 diagramme de réflexion permet d'observer graphiquement le signal de sonde émis 200 ainsi que le signal de retour 201 résultant, par exemple, d'une réflexion du signal émis. Les mesures sont prises, par exemple, à un endroit donné du câble à tester, la tension du signal étant donnée en fonction du temps.

15 Dans cet exemple, la tension électrique est mesurée à l'entrée du câble à tester. Ledit câble a une longueur proche de 100 mètres et se trouve au sein d'un toron d'une centaine de câbles. La diaphonie, due à l'influence des câbles les uns sur les autres, entraîne un fort bruit de mesure, malgré la grande sensibilité des instruments utilisés. La mesure a été faite dans le cas  
20 d'un circuit ouvert en fin de câble.

Le temps est exprimé en  $\mu s$  et apparaît en abscisse de la figure, la tension exprimée en V apparaissant en ordonnées. La courbe est représentée après filtrage de manière à minimiser le bruit de propagation et le bruit de mesure. En effet, le filtrage est nécessaire pour améliorer les  
25 performances de la réflectométrie mais n'est pas toujours suffisant pour obtenir une bonne précision de mesure.

Un signal de sonde de type créneau 200 est émis dans le câble à tester. Une conséquence directe des phénomènes d'atténuation et de dispersion est qu'il est difficile de positionner précisément le pic reflété 201  
30 indiquant la présence d'un défaut. En effet, les câbles sont parfois peu propices à une propagation propre des signaux. Ils présentent, par exemple, une forte atténuation, une faible bande passante ou, dans le cas de câbles en torons par exemple, induisent un bruit de propagation très élevé. Les méthodes usuelles de réflectométrie sont alors inefficaces.

La figure 3 donne un exemple de pic de signal résultant de la réflexion d'un signal de sonde de type créneau.

Cet exemple est un agrandissement du signal réfléchi 201 apparaissant sur la figure 2. Une méthode habituelle utilisée pour estimer la localisation d'un défaut induisant une réflexion du signal de sonde est de déterminer l'instant correspondant au maximum dudit signal. L'exemple de la figure 3 montre que cette opération n'est pas aisée. En effet, des maximums locaux 300, 301, 302 apparaissent après le filtrage et introduisent une ambiguïté dans la détection.

10

La figure 4 présente un signal de sonde de type symétrique utilisé dans le cadre du procédé selon l'invention.

Un signal de sonde de type symétrique de durée  $T$  est composé de trois portions successives de signal A, B et C de durées respectives  $T_A=t_A$ ,  $T_B=(t_B-t_A)$  et  $T_C=(t_C-t_B)$  avec  $T = T_A + T_B + T_C$ ,  $T_A = T_C$  et  $t_C > t_B \geq t_A$ . Les portions A et C sont de durées non nulles.

La portion A contient une impulsion 400 de signal  $v_A(t)$ , pour  $0 \leq t < t_B$ , comportant un maximum. Dans la suite de la description, une impulsion fait référence à un signal positif ou négatif. Ainsi, une impulsion positive est un signal positif présentant une croissance rapide et monotone vers une valeur maximum suivi d'une décroissance rapide pour retourner à sa valeur initiale, ladite valeur initiale étant positive ou nulle. Une impulsion négative fait référence à un signal négatif présentant une décroissance rapide et monotone vers une valeur minimum suivi d'une croissance rapide pour retourner à sa valeur initiale, ladite valeur initiale étant dans ce cas négative ou nulle.

La portion B du signal correspond à un signal nul 401, soit  $v_B(t) = 0$ .

La portion C est composée d'une impulsion 402 de signal  $v_C(t)$  définie telle que  $v_C(t-T_A-T_B) = \pm v_A(t)$ , pour  $t_B \leq t < t_C$ .

Dans la suite de la description, lorsque  $v_C(t-T_A-T_B) = + v_A(t)$ , le signal est qualifié de « symétrique sans alternance de signe », la symétrie du signal étant définie par rapport à une droite fictive verticale au centre de la portion B du signal. Lorsque  $v_C(t-T_A-T_B) = - v_A(t)$ , le signal est qualifié de « symétrique avec alternance de signe », la symétrie du signal étant définie par rapport à

30

un point positionné au centre de la portion B et sur l'axe des abscisses. La figure 4 illustre ce deuxième cas.

Ce signal de sonde ainsi défini a notamment pour avantage de comprendre au moins un point singulier pouvant être déterminé sans ambiguïté, ce point singulier pouvant être utilisé comme point de référence de mesure au niveau du signal de sonde émis et du signal de retour. Ledit point singulier est positionné sensiblement au centre de la portion B du signal symétrique.

La figure 5 donne deux exemples de signaux de sonde de type symétrique avec alternance de signe. Ces signaux sont tels que  $v_C(t-T_A-T_B) = -v_A(t)$  et que la portion B est de durée nulle, c'est-à-dire  $T_B=0$ . Le premier signal 500 utilise une impulsion  $v_A(t)$  sinusoïdal et le second signal 501 utilise une impulsion rectangulaire  $v_A(t) = V_r$ ,  $V_r$  représentant une valeur réelle constante en Volts. Dans ce cas, le point de repère de mesure est choisi comme étant l'instant 502 correspondant au changement de signe.

La figure 6 illustre le procédé d'analyse lorsque qu'un signal de sonde de type symétrique avec alternance de signe est utilisé.

Dans le but de détecter le signal de sonde réfléchi et d'estimer la distance parcourue par celui-ci, une caractéristique de la forme du signal de sonde qui ne soit pas altérée par la dispersion est repérée, notamment pour la détection de défauts. En comparaison, pour le signal Gaussien, la caractéristique repérée de manière courante est le maximum du signal. Pour un signal de sonde de type symétrique avec alternance de signe, il est possible de prendre comme repères de mesure d'une part l'instant TS correspondant à l'alternance de signe du signal de sonde injecté 600, et d'autre part l'instant T0 correspondant à l'alternance de signe du signal de sonde réfléchi 601.

Un signal de sonde de type symétrique avec alternance de signe est à moyenne nulle et n'a pas de composante continue. De plus, le spectre est de faible amplitude aux très basses fréquences. Ceci peut être un avantage en cas de diagnostic en ligne dans certains cas, par exemple lorsque le diagnostic du câble est fait pendant que des signaux utiles y sont présents, ces signaux étant la plupart du temps de faible fréquence par rapport au

signal de sonde, ce qui peut arriver notamment dans le cas d'un bus de communication de type CAN.

La mesure du temps de parcours  $Dt$  se fait en calculant le temps  $T_0$  correspondant à l'annulation du signal de sonde réfléchi 601, entre les deux  
5 alternances de signes, et en lui retranchant l'instant  $T_S$  correspondant à l'annulation du signal de sonde injecté 600. Les points correspondant aux instants d'annulation  $T_S$  et  $T_0$  sont appelés points de référence de mesures. Si l'échantillonnage réalisé sur le signal mesuré ne fournit pas le point exact d'amplitude nulle  $T_0$ , une interpolation 602 entre les deux points de mesure  
10 autour de zéro peut être effectuée afin d'améliorer la précision de localisation dudit point. L'interpolation est réalisée, par exemple, entre le dernier échantillon négatif de l'alternance et l'instant suivant, c'est-à-dire le premier échantillon positif de l'alternance. Le procédé prend aussi en compte le cas où le signal de retour 601, c'est-à-dire le signal réfléchi, est inversé par  
15 rapport au signal de sonde émis 600. Dans ce cas, l'instant d'annulation  $T_0$  est aussi, par exemple, interpolé linéairement à partir des instants échantillonnés autour de lui, c'est-à-dire le dernier échantillon positif de l'alternance et l'instant suivant, c'est-à-dire le premier échantillon négatif de l'alternance.

20

La figure 7 donne un exemple signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe. Par conséquent, les portions A et C de signal sont telles que  $v_C(t-T_A-T_B) = v_A(t)$ . Ce type de signal est plus simple à générer  
25 qu'un signal avec alternance de signe tel que décrit précédemment. Le point de référence de mesure correspond au centre 702 de la portion B du signal de sonde émis. Le signal de retour est la réflexion du signal émis résultant d'une discontinuité électrique du câble ou du réseau de câbles analysé. Le second point de référence de mesure à repérer sur le signal réfléchi ne correspond pas à un passage par zéro comme pour le cas explicité  
30 précédemment d'un signal symétrique avec alternance de signe, mais, par exemple, à un minimum situé dans un creux de signal et donc facile à localiser, ou à un maximum situé entre deux creux de signal, comme illustré plus loin à l'aide de la figure 8.

## 10

Le signal de sonde présenté figure 7 est formé de deux rectangles positifs 700, 701 équivalents à des « 1 » logiques pour les portions A et C.  $v_A(t)$ ,  $v_B(t)$  et  $v_C(t)$  sont définis, par exemple, tels que :

$$\begin{aligned} 5 \quad v_A(t) &= v_m, & \text{pour } 0 \leq t < t_A ; \\ v_B(t) &= 0, & \text{pour } t_A \leq t < t_B ; \\ v_C(t) &= v_m, & \text{pour } t_B \leq t < t_C ; \end{aligned}$$

$v_m$  représentant une tension constante.

10

La figure 8 donne un exemple de diagramme de réflexion lorsqu'un signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe est utilisé. L'exemple de la figure présente un signal de sonde émis 800 dans un câble à tester dont les portions A et C ont une durée de 10 ns, ce qui correspond à  
15 une fréquence de 100 MHz, et sont séparés par une portion B d'une durée de 40 ns.

Il est possible de montrer, par simulation ou par mesure, qu'un défaut du câble induit un signal de retour 801, ledit signal étant affecté par le phénomène de dispersion et prenant la forme d'un M avec un creux très  
20 marqué ou d'un W avec un pic central très marqué également. Lorsque  $v_m$  est positif, une forme de M apparaît par exemple en présence d'un court circuit et une forme de W apparaît par exemple en présence d'un circuit ouvert. Lorsque  $v_m$  est négatif, c'est le contraire. Ce creux (ou ce pic) 802 est alors utilisé comme point T0 de référence de mesure. Une interpolation  
25 quadratique permet, par exemple, d'améliorer la précision de détection de T0. La différence de temps Dt entre les points de référence de mesure T0 et TS, TS pouvant être égal à  $(T_A+T_B)/2$ , permet de remonter à la distance L de localisation d'un défaut donné par rapport à l'endroit où est réalisée la mesure en utilisant, par exemple, l'expression suivante :

30

$$L = \frac{Dt \times V_p}{2}$$

dans laquelle  $V_p$  est la vitesse de propagation du signal dans le câble (proche de  $2 \cdot 10^8$  m/s, elle peut être mesurée pour affiner la précision sur L).

La figure 9 illustre le principe de la détection de point de repère de mesure sur un signal de sonde de type symétrique sans alternance de signe. Cette détection peut être effectuée, par exemple, en utilisant deux techniques.

La première technique s'appuie, par exemple, sur une détection sur une fenêtre temporelle de largeur au moins égale à T du minimum compris entre les deux maxima correspondant aux deux impulsions du signal de sonde dans le cas d'un signal réfléchi ayant la forme d'un M. Pour le cas d'un signal réfléchi ayant la forme d'un W, le maximum compris entre deux minima 901, 902 apparaissant à deux instants T1 et T2 correspondant aux impulsions du signal de sonde émis est détecté. L'instant T0' correspondant à ce point détecté sert alors de référence de mesure.

Afin d'améliorer la fiabilité de la détection du point de repère de mesure face au phénomène de dispersion (dans le cas de grandes longueurs de câbles), il est également possible d'utiliser une deuxième technique. Au lieu de se baser sur l'instant T0', les deux minima des impulsions correspondant aux portions A et C du signal de sonde réfléchi sont détectés. Leurs abscisses temporelles T1 et T2 sont alors obtenues et le point de référence de mesure T0'' est obtenu en faisant une moyenne pour calculer la distance au défaut, cette moyenne étant donnée par exemple, par l'expression suivante :

$$T0'' = \frac{1}{2}(T1 + T2)$$

Lorsque le signal est en forme de M, ce sont les deux maxima d'abscisses temporelles T1 et T2 correspondant aux portions A et C du signal de sonde réfléchi qui doivent être détectés. Cette seconde technique permet notamment de réduire statistiquement l'erreur faite sur les localisations des extrema.

La figure 10 illustre le procédé de détection de défauts lorsqu'un signal de sonde de type non symétrique est utilisé. L'exemple de la figure propose l'utilisation d'un signal non symétrique, par exemple un signal triangulaire, en tant que signal émis 1000. Le fait qu'il soit non symétrique

permet de ne pas avoir d'ambiguïté lors de la détermination de la position du point de référence de mesure.

L'échantillonnage du signal de retour 1001 peut être réalisé avec une fréquence d'échantillonnage faible, tout en conservant une bonne précision de localisation. Ceci a notamment pour avantage de réduire significativement le coût du système. Il faut cependant avoir une bonne connaissance de la déformation du signal lors de sa propagation. Pour cela, soit on cherche comme point caractéristique le maximum du triangle, soit son « pied ». Dans le premier cas, il faut connaître l'atténuation linéique du câble pour en déduire l'atténuation du signal de manière récurrente et trouver l'abscisse du point de référence. Dans le second cas, il n'est pas nécessaire de connaître la déformation du signal, on suppose qu'il garde une forme proche du triangle, ce qui est confirmé par les expériences, et on interpole son passage à zéro. Cette méthode est bien plus simple en pratique.

Si la période d'échantillonnage est inférieure à la moitié de la durée du signal, le signal de retour est mesuré en au moins deux points. La connaissance de l'amplitude de ces points permet ensuite de déduire un point de référence de mesure, par exemple son minimum, c'est-à-dire le pied du signal. Une interpolation linéaire peut être utilisée pour cela. Le maximum peut également être utilisé. Le signal de retour 1001 peut alors être positionné dans le temps, la localisation du défaut déterminée par la différence  $Dt$  du point de référence de mesure  $T_0$  avec l'instant d'injection du signal  $TS$ .

Une comparaison théorique au premier ordre entre un signal TDR standard et un signal triangulaire montre que ce dernier permet d'avoir une meilleure précision. Pour un signal de durée  $\delta t$  et un échantillonnage réalisé sur  $n$  bits, la précision théorique pour le signal triangulaire est donnée par l'expression :

$$P_t = \delta t \times \frac{V_p}{2^n}$$

dans laquelle  $V_p$  est la vitesse de propagation du signal dans le câble (proche de  $2 \cdot 10^8$  m/s).

Dans le cas de la TDR standard, la précision est donnée par l'expression :

$$P_{\text{TDR}} = V_p \times \frac{F_{\text{ech}}}{2}$$

5

dans laquelle  $F_{\text{ech}}$  est la fréquence d'échantillonnage.

L'utilisation d'un signal triangulaire permet d'augmenter significativement la précision de localisation, qui est alors limitée par les effets du bruit de propagation et de la dispersion.

Un des avantages du signal triangulaire est qu'il permet de rendre indépendante la précision de mesure de la fréquence d'échantillonnage. Sous réserve que la période d'échantillonnage soit inférieure à la durée du signal, c'est le nombre de bits d'échantillonnage 'n' qui apporte de la précision pour la localisation. Il est alors possible de conserver une bonne précision de localisation en utilisant des composants électroniques, notamment des convertisseurs analogiques-numériques CAN, relativement lents et donc peu coûteux. En réflectométrie classique, c'est en premier lieu le choix du convertisseur CAN qui garantit l'obtention d'une bonne précision de mesure. Habituellement une grande vitesse d'échantillonnage est requise ce qui implique un coût élevé.

La figure 11 donne un exemple de diagramme de réflexion lorsqu'un signal de sonde triangulaire est utilisé.

Le signal de sonde émis 1100 est bruité, cela étant inhérent au système de test. Le signal de retour l'est d'autant plus car son amplitude est bien inférieure, du fait de l'atténuation de propagation du câble. Cependant, pour les méthodes basées sur un signal triangulaire, le filtrage des signaux n'est pas obligatoirement requis.

Le procédé de réflectométrie selon l'invention consiste à repérer sur le signal injecté 1100 et sur le signal de retour 1101 un endroit particulier, et de mesurer le temps entre les deux. Le point de repère de mesure choisi est le "pied" du signal, c'est-à-dire l'endroit où il traverse l'axe horizontal. Pour le signal injecté et le signal de retour, le pied est déterminé à partir du signal

brut, sans filtrage. Le pied de chaque signal est obtenu en traçant la droite de régression linéaire sur le front montant 1102, 1103 et en déterminant son intersection avec l'axe d'abscisse ( $V=0$ ). Les deux instants TS et T0 permettent de déterminer le temps de parcours  $Dt = T0 - TS$  du signal réfléchi.

La figure 12 donne un exemple de système mettant en œuvre le procédé selon l'invention. La mise en œuvre du procédé est proche de l'état de l'art de la réflectométrie dans le domaine temporel. Ainsi un système mettant en œuvre le procédé peut être composé de blocs élémentaires pour la génération du signal 1201, son injection dans le câble 1202, l'acquisition des signaux renvoyés par le câble et leur numérisation 1203, pour l'analyse du signal et le diagnostic 1204.

Le système est basé sur la mise en œuvre d'une forme de réflectométrie TDR et est applicable aussi bien aux câbles point à point, comme pour l'exemple de la figure 12, qu'aux réseaux ramifiés, de même que le procédé décrit précédemment.

**REVENDEICATIONS**

- 1- Procédé d'analyse d'au moins un câble électrique, un signal de sonde (600) étant injecté dans ledit câble, une différence temporelle  $Dt$  étant déterminée entre un premier point de référence de mesure choisi sur la mesure du signal de sonde injecté et un second point de référence de mesure, image du premier point et choisi sur au moins un signal de retour (601) résultant des réflexions du signal de sonde injecté, une longueur correspondant à la localisation d'une discontinuité électrique sur le câble étant déduite de ladite différence temporelle  $Dt$ , le procédé étant caractérisé en ce que le signal de sonde injecté est de durée  $T$  et est composé de trois portions de signal consécutives A, B et C de durées respectives  $T_A$ ,  $T_B$  et  $T_C$  choisies telles que  $T = T_A + T_B + T_C$  et  $T_A = T_C$ , la portion A étant composée d'une impulsion de signal  $v_A(t)$  (400), la portion B étant composée d'un signal nul  $v_B(t) = 0$  (401) et la portion C étant composée d'une impulsion de signal  $v_C(t)$  (402) définie telle que  $v_C(t - T_A - T_B) = \pm v_A(t)$ , le point de référence de mesure associé audit signal étant localisé sensiblement au centre de la portion B.
- 2- Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le signal de sonde injecté est choisi tel que  $T_B = 0$  et  $v_C(t - T_A - T_B) = -v_A(t)$ , le point de référence de mesure étant choisi au niveau du changement de signe du signal résultant de la transition entre la portion A et la portion C.
- 3- Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détermination de l'instant  $T_0$  correspondant au second point de référence de mesure, ledit point étant estimé par interpolation des échantillons du signal de retour mesuré, ladite interpolation étant réalisée en utilisant les deux échantillons situés de part et d'autre de l'alternance de signe du signal de retour.
- 4- Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le signal de sonde injecté est choisi tel que  $v_C(t - T_A - T_B) = v_A(t)$ .

- 5- Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détection des temps T1 et T2 associés aux deux minima ou maxima du signal de retour correspondant aux impulsions des portions A et C du signal de sonde.
- 5
- 6- Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination du second point de référence de mesure associé au signal de retour, ledit point étant choisi tel l'instant lui étant associé est égal à  $(T1+T2)/2$ .
- 10
- 7- Procédé d'analyse d'au moins un câble électrique, un signal de sonde (1000) étant injecté dans ledit câble, une différence temporelle Dt entre un premier point de référence de mesure choisi sur la mesure du signal de sonde injecté et un second point de référence de mesure, image du premier point et choisi sur au moins un signal de retour (1001) résultant des réflexions du signal de sonde injecté étant déterminée, une longueur correspondant à la localisation d'une discontinuité électrique étant déduite de ladite différence temporelle Dt, le procédé étant caractérisé en ce que le signal de sonde injecté de durée T est asymétrique, de forme triangulaire et est composé d'un front montant (1002) et d'un front descendant (1003), l'un des fronts appelé front long étant d'une durée inférieure à l'autre, les points de référence de mesures (TS, T0) étant obtenus par projection sur l'axe des abscisses des fronts longs du signal de sonde injecté d'une part, et du signal de retour d'autre part, en utilisant une droite de régression linéaire.
- 15
- 20
- 25
- 8- Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que le signal électrique mesuré est échantillonné à une fréquence  $F_{ech}$  choisie telle que  $F_{ech}$  est supérieure ou égale à l'inverse de la durée T du signal de sonde injecté.
- 30

1/7

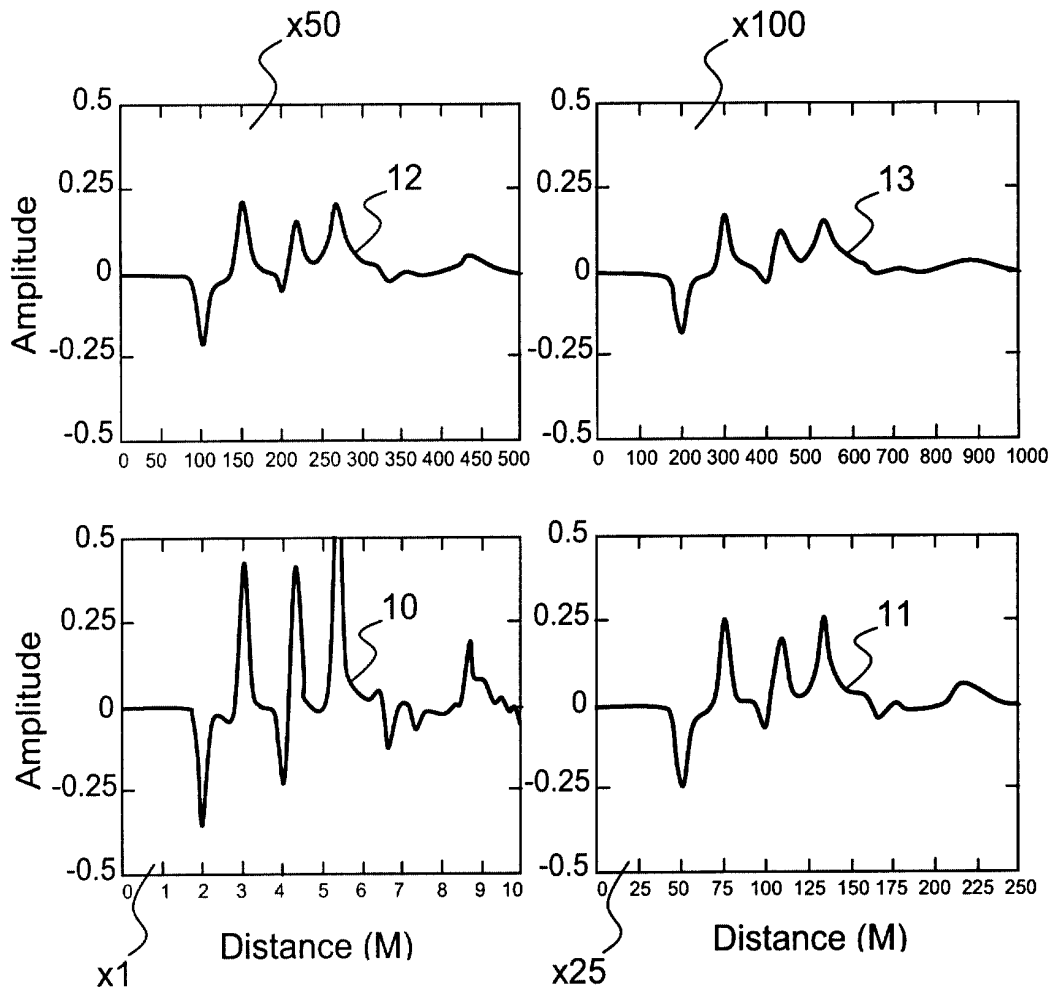


FIG.1

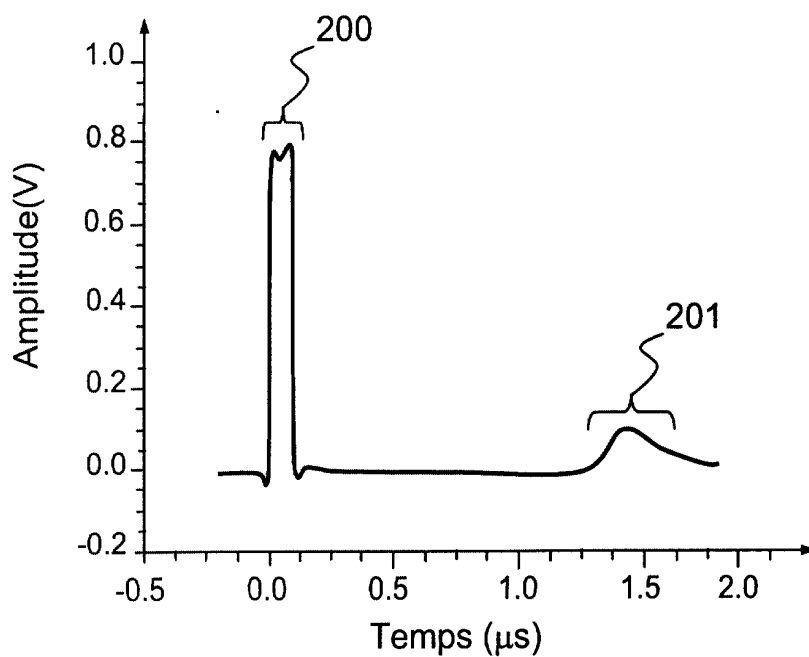


FIG.2

2/7

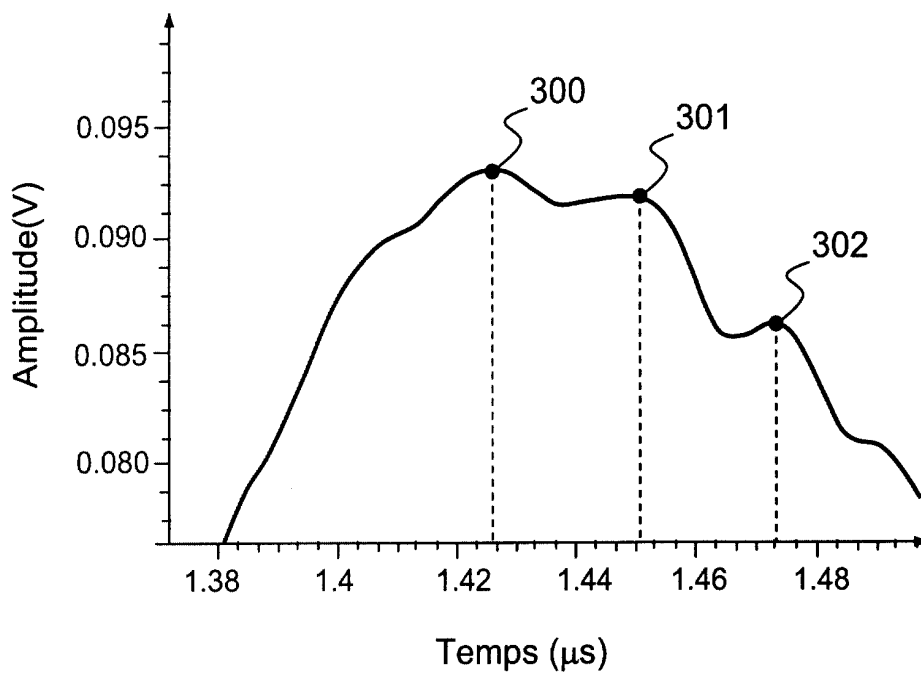


FIG. 3

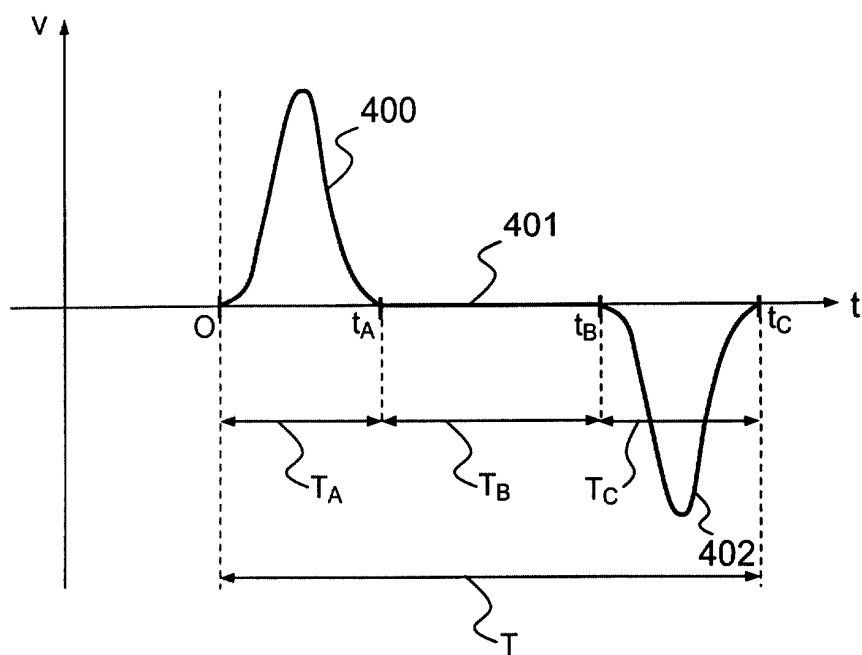


FIG. 4

3/7

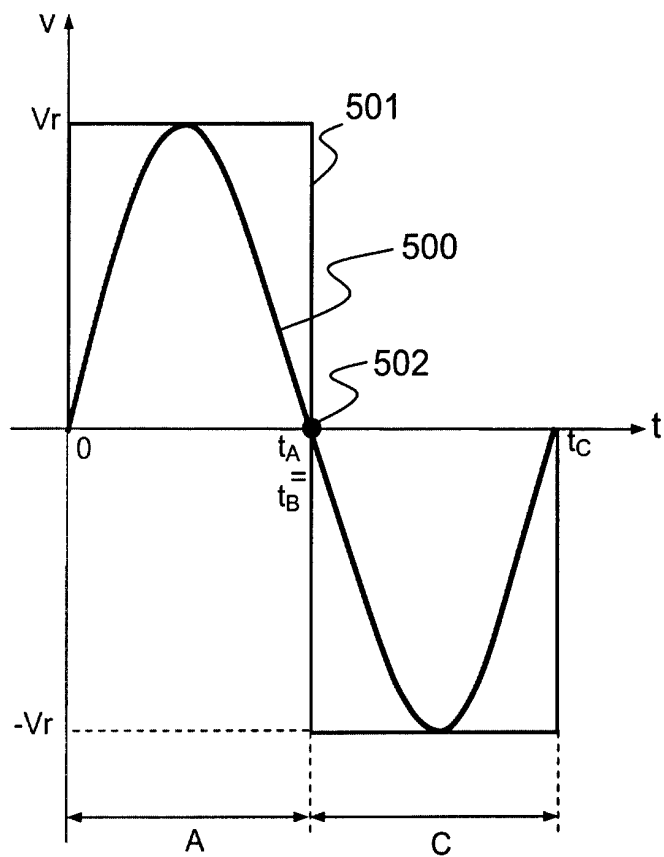


FIG. 5

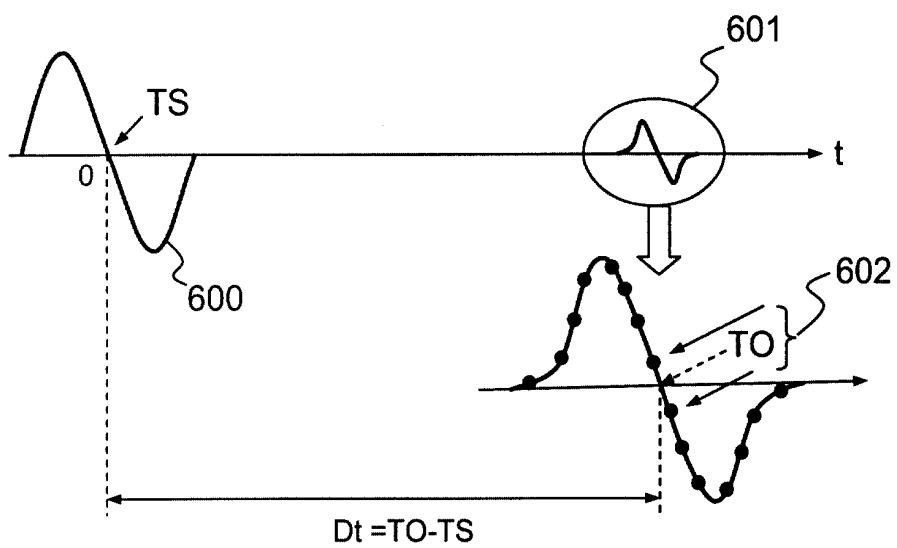


FIG. 6

4/7

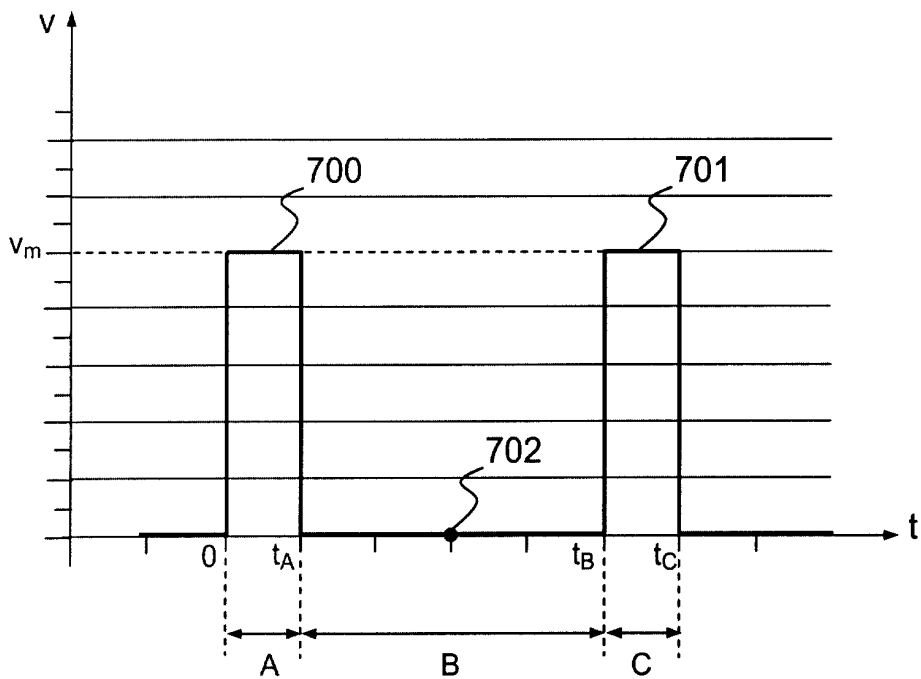


FIG. 7

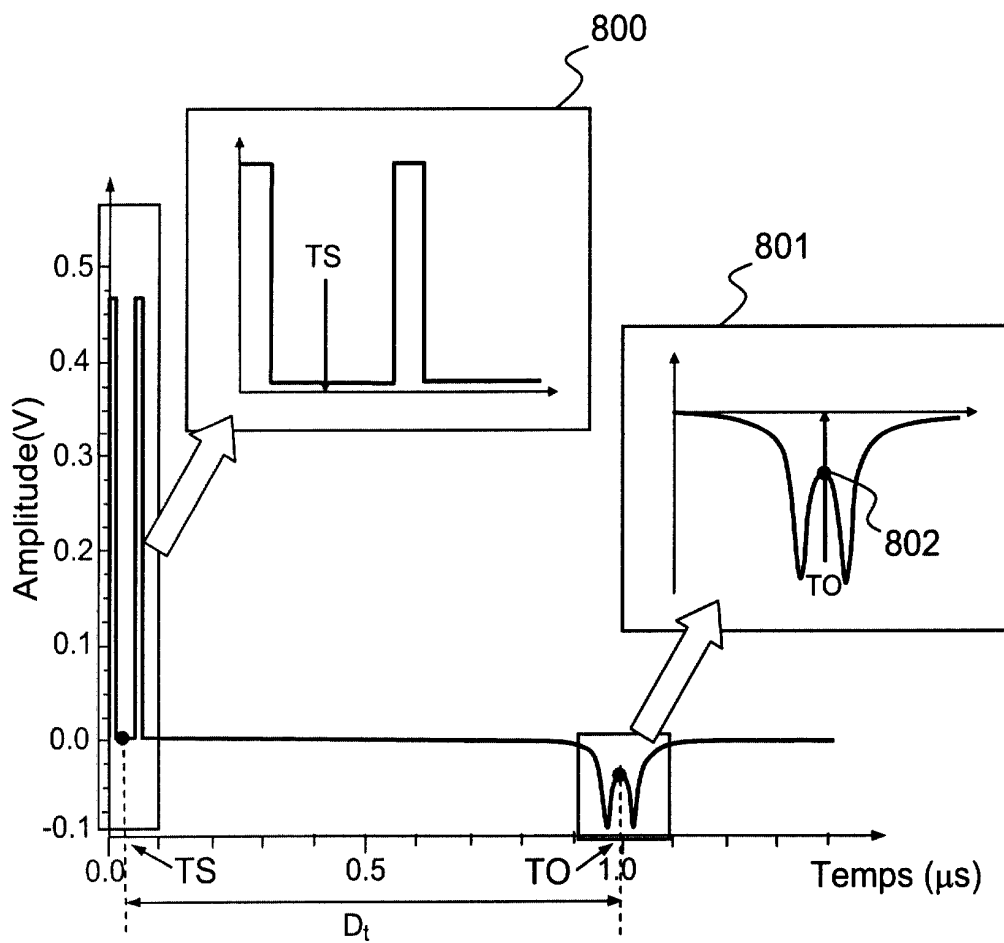


FIG. 8

5/7

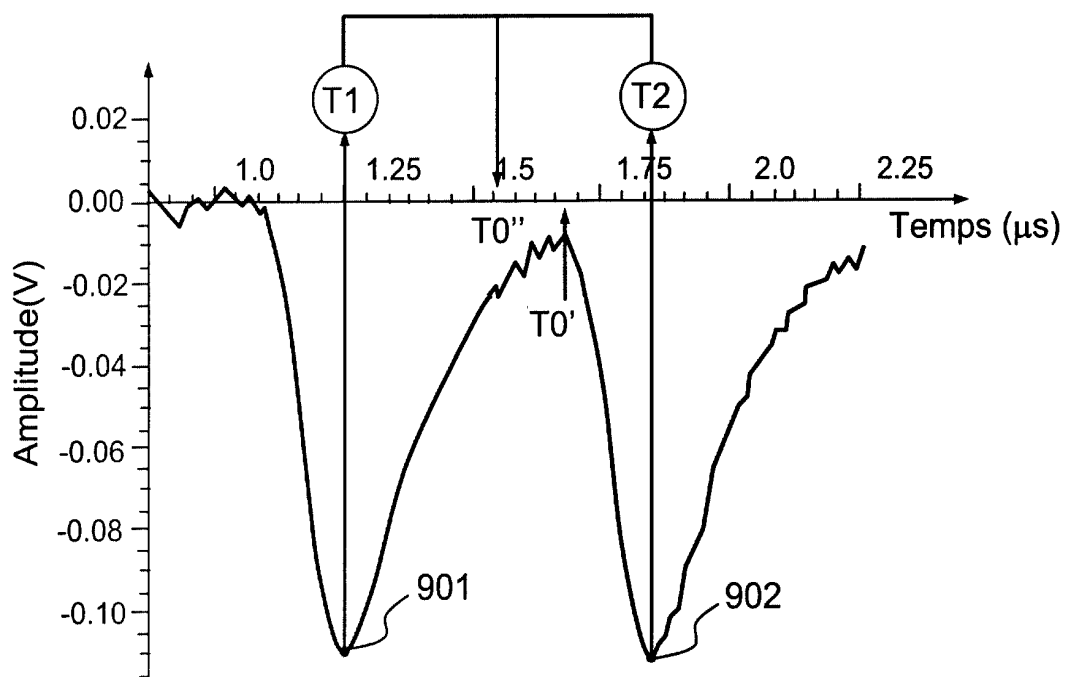


FIG. 9

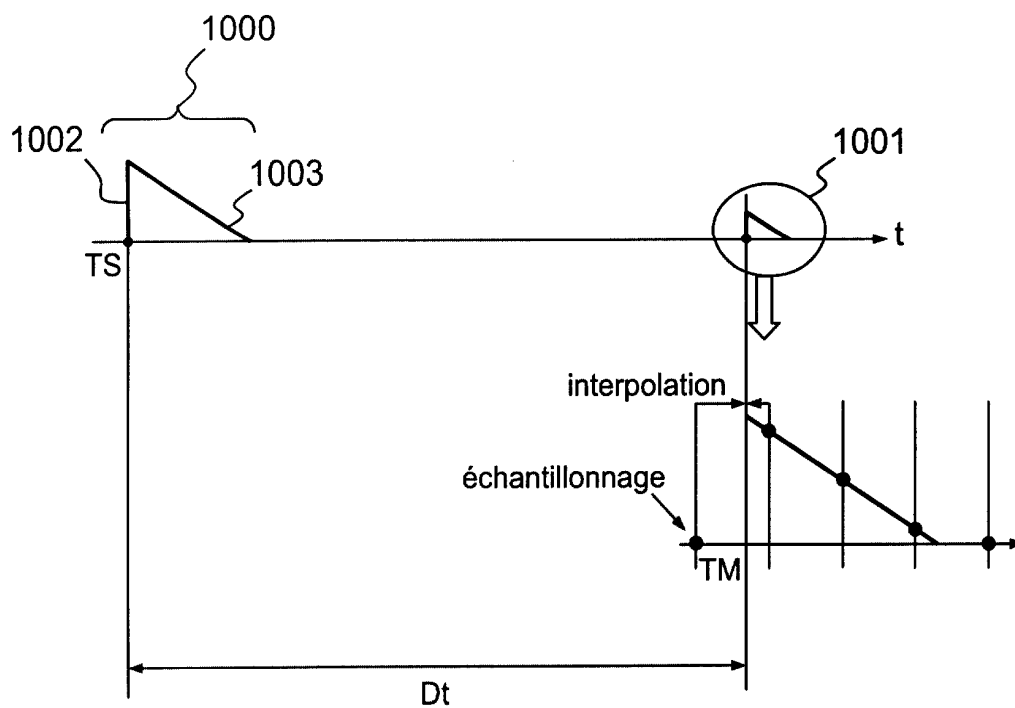


FIG. 10

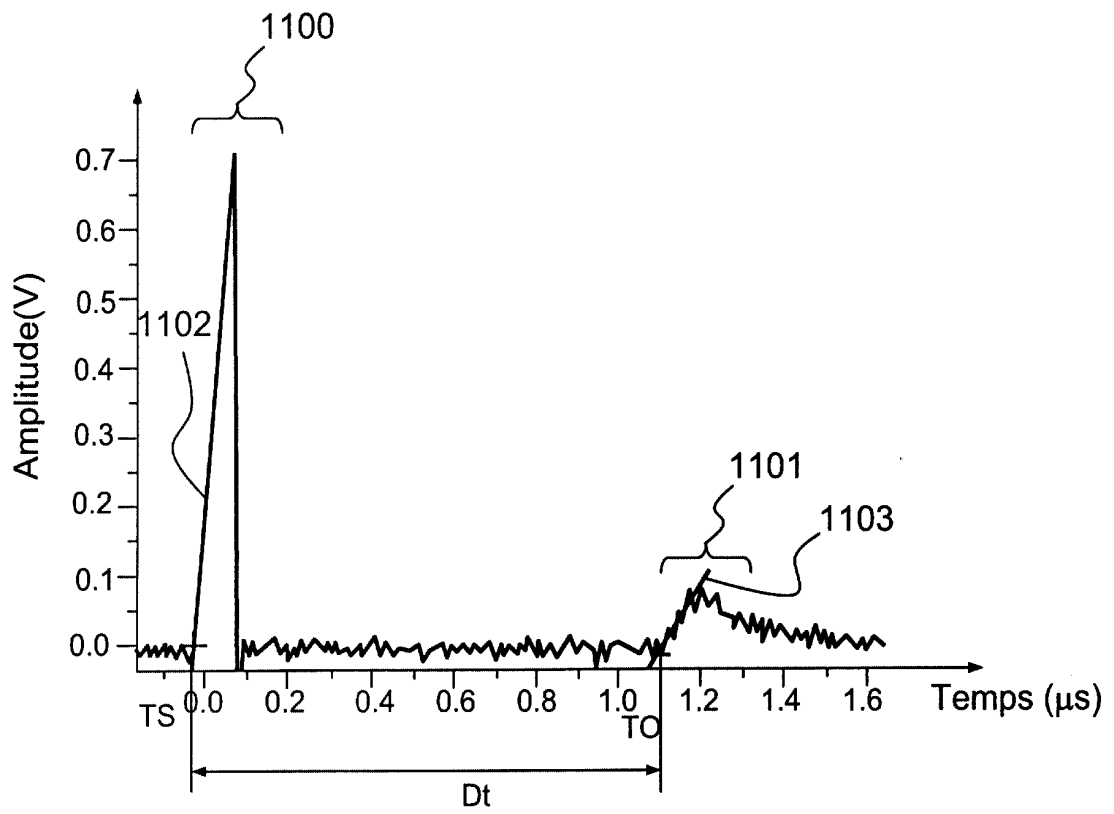


FIG.11

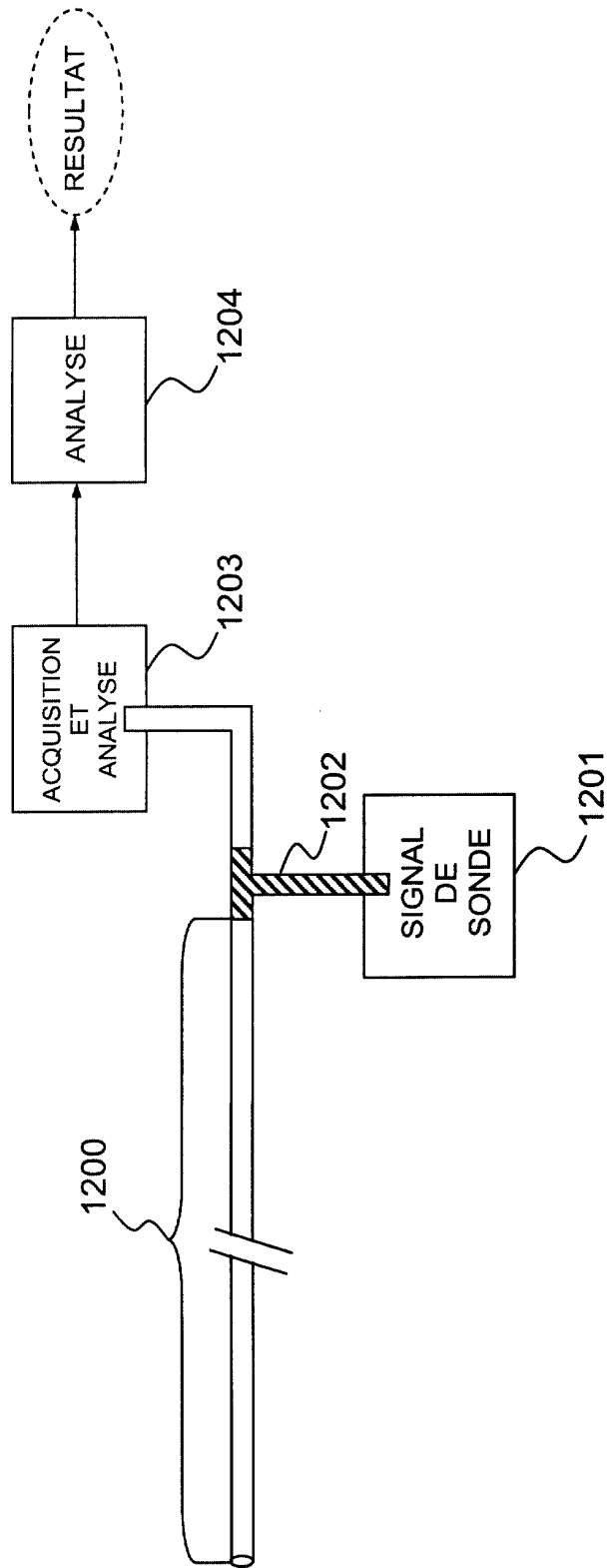


FIG.12



**RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 721897  
FR 0902615

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	EP 0 911 638 A2 (TEKTRONIX INC [US]) 28 avril 1999 (1999-04-28) * alinéa [0024]; figure 5 *	1,7	G01R31/11
A	SU 534 708 A1 ((ELEC-R) ELECTR C POWER RES) 5 novembre 1976 (1976-11-05) * le document en entier * & "Fault location in conductors and cables- by using transmission of bipolar test pulses of equal amplitude for measurement of propagation time" WPI WORLD PATENT INFORMATION DERWENT, 5 novembre 1976 (1976-11-05), XP002142757 * le document en entier *	1,7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G01R
A	US 2003/061701 A1 (OSAKA HIDEKI [JP] ET AL) 3 avril 2003 (2003-04-03) * alinéa [0104] - alinéa [0108]; figure 8 *	1,7	
A	BUCCELLA C ET AL: "Detection and Localization of Defects in Shielded Cables by Time-Domain Measurements With UWB Pulse Injection and Clean Algorithm Postprocessing" IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 46, no. 4, 1 novembre 2004 (2004-11-01), pages 597-605, XP011122832 ISSN: 0018-9375 * le document en entier *	1,7	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 février 2010		Hijazi, Ali	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p>		<p>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 ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0902615 FA 721897**

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 **17-02-2010**

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
EP 0911638	A2	28-04-1999	DE 69813443 D1	22-05-2003
			DE 69813443 T2	23-10-2003
			US 6097755 A	01-08-2000
-----				
SU 534708	A1	05-11-1976	AUCUN	
-----				
US 2003061701	A1	03-04-2003	JP 2003050256 A	21-02-2003
			KR 20030014611 A	19-02-2003
			TW 591239 B	11-06-2004
-----				