



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2005/05/20
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2006/11/20

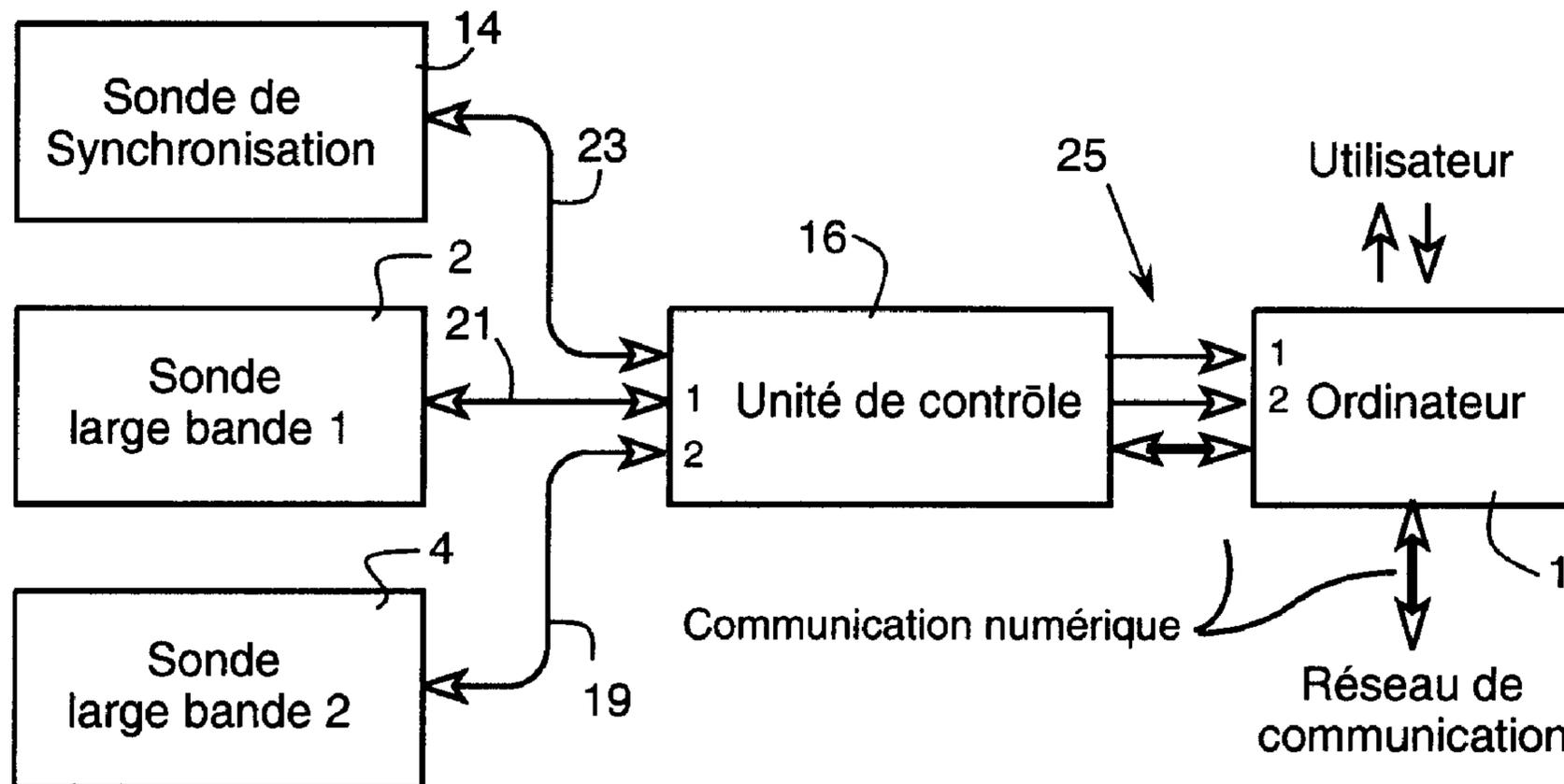
(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01R 31/08* (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:
HYDRO-QUEBEC, CA

(72) Inventeurs/Inventors:
FOURNIER, DANIEL, CA;
CANTIN, BRUNO, CA;
BOURGEOIS, JEAN-MARC, CA;
LEONARD, FRANCOIS, CA;
ROY, YVAN, CA

(74) Agent: MORIN, LUC

(54) Titre : DETECTION, LOCALISATION ET INTERPRETATION DE DECHARGE PARTIELLE
(54) Title: DETECTION, LOCATING AND INTERPRETATION OF PARTIAL DISCHARGE



(57) Abrégé/Abstract:

Afin de détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, deux sondes de mesure et une sonde de synchronisation sont installées le long de l'équipement électrique. Les sondes de mesure détectent des impulsions voyageant dans l'équipement électrique alors que la sonde de synchronisation détecte un angle de phase dans l'équipement électrique et peut servir à des fins de calibration. Une unité de contrôle reçoit les signaux captés par les sondes et les conditionne. Des traitements numériques faits sur les signaux conditionnés, dont leur corrélation, une distribution temps-fréquence et une estimation de facteur de forme, permettent d'établir un diagnostic indiquant une détection d'une décharge partielle et sa localisation le long de l'équipement électrique.

ABRÉGÉ

Afin de détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, deux sondes de mesure et une sonde de synchronisation sont installées le long de l'équipement électrique. Les sondes de mesure détectent des impulsions voyageant dans l'équipement électrique alors que la sonde de synchronisation détecte un angle de phase dans l'équipement électrique et peut servir à des fins de calibration. Une unité de contrôle reçoit les signaux captés par les sondes et les conditionne. Des

10 traitements numériques faits sur les signaux conditionnés, dont leur corrélation, une distribution temps-fréquence et une estimation de facteur de forme, permettent d'établir un diagnostic indiquant une détection d'une décharge partielle et sa localisation le long de l'équipement électrique.

DÉTECTION, LOCALISATION ET INTERPRÉTATION DE DÉCHARGE PARTIELLE

CHAMP DE L'INVENTION

L'invention porte sur un appareil de détection, localisation et interprétation de décharge partielle, par exemple dans un réseau souterrain de distribution électrique.

HISTORIQUE

- 10 Des pannes électriques peuvent survenir aux jonctions de câbles dans des réseaux de conduits souterrains. Certaines pannes sont dues à des décharges partielles à l'intérieur des jonctions et à la dégradation correspondante de leur isolation électrique.

Il est souhaitable de diagnostiquer les câbles souterrains et leurs accessoires ou équipements pour des raisons de sécurité, et réaliser un entretien préventif et enlever des accessoires ou équipements défectueux avant une panne.

- 20 Les brevets US 6,809,523 (Ahmed et al.), 5,530,364 (Mashikian et al.), 5,767,684 (Steennis), 6,420,879 (Cooke), 6,507,181 (Pakonen et al.), 6,418,385 (Hücker et al.), 6,255,808 (Hücker), 6,297,645 (Eriksson et al.), 6,392,401 (Cooke), 5,642,038 (Kim et al.) et le brevet CA 2,455,206 (Wendel et al.) divulguent certaines méthodes et différents dispositifs pour détecter des décharges partielles qui sont toutefois peu fiables, imprécis, sensibles au bruit, élémentaires, encombrants, limités à certains équipements spécifiques à tester, nécessitent la mise hors service de l'équipement à tester, ou bien difficiles à mettre en œuvre en pratique en raison de manipulations exigeant une dextérité peu commune.

SOMMAIRE

Selon un aspect de l'invention, il est proposé un appareil de détection, localisation et interprétation de décharge partielle qui surpasse les appareils connus dans l'art.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un appareil pour détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, comprenant:

deux sondes de mesure et une sonde de synchronisation aptes à être
10 installées le long de l'équipement électrique de manière à ce que les sondes de mesure puissent détecter des impulsions voyageant dans l'équipement électrique et à ce que la sonde de synchronisation puisse détecter un angle de phase dans l'équipement électrique;

une unité de contrôle se connectant aux sondes de mesure pour recevoir des signaux représentatifs des impulsions détectées, et se connectant à la sonde de synchronisation pour acquérir un signal représentatif de la phase détectée, l'unité de contrôle ayant un circuit de conditionnement sélectif des signaux reçus; et

une unité de traitement numérique se connectant à l'unité de contrôle pour acquérir les signaux après conditionnement sélectif en fonction de l'angle de phase
20 détecté et piloter l'unité de contrôle, l'unité de traitement numérique ayant un module de mesure de corrélation des signaux acquis, un module faisant une distribution temps-fréquence d'au moins un des signaux acquis, un module d'estimation d'un facteur de forme dérivé de la distribution temps-fréquence, et un module de diagnostic réagissant à des résultats générés par les modules de corrélation et d'estimation du facteur de forme pour générer un diagnostic indicatif d'une détection d'une décharge partielle et de sa localisation le long de l'équipement électrique.

De préférence, l'unité de traitement comprend aussi un module d'élimination de candidats de solutions diagnostiques correspondant à des traces dans les signaux
30 acquis découlant d'impulsions détectées ayant des délais de propagation hors plage entre les sondes de mesure.

Un seuil de délais considérés hors plage par le module d'élimination peut être réglé par l'utilisateur. L'unité de contrôle peut aussi comprendre un circuit pour générer un signal d'étalonnage transmis à la sonde de synchronisation qui l'injecte dans l'équipement électrique. De cette façon, l'unité de traitement numérique peut déterminer le délai de propagation entre les sondes de mesure à partir des signaux acquis correspondant à des impulsions détectées par les sondes de mesure causées par le signal d'étalonnage injecté dans l'équipement électrique. Le seuil de délais considérés hors plage peut alors être réglé en fonction du délai de propagation ainsi déterminé.

De préférence, l'unité de traitement comprend aussi un module d'estimation de probabilité d'erreur en fonction d'un rapport entre un sommet d'un maximum de corrélation parmi d'autres sommets de corrélation, un signal d'avertissement indicatif d'un second cas probable d'explication diagnostique étant produit lorsque la probabilité d'erreur dépasse un seuil préétabli.

De préférence, l'unité de traitement détecte aussi des traces typiques de rayonnement dans les signaux acquis. Lorsqu'il est établi que les signaux acquis correspondent à du rayonnement, leur traitement cesse et un diagnostic "rayonnement" est retenu.

De préférence, le module de corrélation fournit au module de diagnostic un signal indicatif des polarités des impulsions dans les signaux acquis, un coefficient de corrélation des signaux corrélés, une portion de trace temporelle d'une décharge de plus grande amplitude, et une distance temporelle entre une même décharge captée par les sondes de mesure.

De préférence, l'unité de traitement comprend aussi un module d'estimation d'une largeur de bande équivalente et d'un temps de montée de la décharge de plus grande amplitude, qui sont fournis au module de diagnostic.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé une méthode pour détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, comprenant:

détecter des impulsions voyageant dans l'équipement électrique à l'aide de deux sondes de mesure espacées l'une de l'autre le long de l'équipement électrique;

détecter un angle de phase dans l'équipement électrique à l'aide d'une sonde de synchronisation disposée le long de l'équipement électrique;

10 effectuer un conditionnement sélectif de signaux représentatifs des impulsions détectées;

acquérir les signaux après le conditionnement sélectif en fonction de l'angle de phase détecté;

mettre les signaux acquis en corrélation;

présenter au moins un des signaux acquis dans une distribution temps-fréquence;

estimer un facteur de forme dérivé de la distribution temps-fréquence; et

établir un diagnostic indicatif d'une détection d'une décharge partielle et de sa localisation le long de l'équipement électrique en fonction des résultats de la corrélation et du facteur de forme.

20

De préférence, la méthode comprend de plus: éliminer des candidats de solutions diagnostiques correspondant à des traces dans les signaux acquis découlant d'impulsions détectées ayant des délais de propagation hors plage entre les sondes de mesure.

La méthode peut aussi comprendre:

générer un signal d'étalonnage transmis à la sonde de synchronisation qui l'injecte dans l'équipement électrique; et

30 à partir des signaux acquis correspondant à des impulsions détectées par les sondes de mesure causées par le signal d'étalonnage injecté dans l'équipement électrique, déterminer le délai de propagation entre les sondes de mesure, le seuil de

délais considérés hors plage pouvant alors être réglé en fonction du délai de propagation ainsi déterminé.

Parmi d'autres étapes possibles de la méthode se trouvent:

estimer une probabilité d'erreur en fonction d'un rapport entre un sommet d'un maximum de corrélation parmi d'autres sommets de corrélation, un signal d'avertissement indicatif d'un second cas probable d'explication diagnostique étant produit lorsque la probabilité d'erreur dépasse un seuil préétabli;

- 10 détecter des traces typiques de rayonnement dans les signaux acquis, leur traitement cessant et un diagnostic "rayonnement" étant retenu lorsqu'il est établi que les signaux acquis correspondent à du rayonnement;

établir le diagnostic aussi selon un signal indicatif des polarités des impulsions dans les signaux acquis, un coefficient de corrélation des signaux corrélés, une portion de trace temporelle d'une décharge de plus grande amplitude, une distance temporelle entre une même décharge captée par les sondes de mesure, une largeur de bande équivalente et un temps de montée de la décharge de plus grande amplitude;

interpoler les signaux acquis avant corrélation.

- 20 Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé une sonde magnétique large-bande pour détecter des impulsions voyageant dans un équipement électrique causées par une décharge partielle, comprenant:

une pince amovible ayant une boucle conductrice formant un circuit de captation magnétique apte à entourer une section de l'équipement électrique de manière à capter un signal représentant une composante magnétique axiale des impulsions voyageant dans l'équipement électrique;

un blindage conducteur recouvrant et isolant électrostatiquement la boucle conductrice, le blindage conducteur étant en circuit ouvert à des bouts opposés de la pince de sorte qu'un interstice apparaît entre les bouts de la pince;

un connecteur fermant le circuit de la boucle conductrice aux bouts de la pince où se situe l'interstice lorsque la pince est installée autour de l'équipement électrique; et

un connecteur pour établir une connexion électrique externe avec le circuit d'amplification.

De préférence, la sonde magnétique large-bande comprend aussi un circuit d'amplification, possiblement à gain commandé, intégré dans le blindage conducteur et intercalé dans la boucle conductrice de manière à filtrer et amplifier le signal.

10

Ce qui suit donne un aperçu à caractère non restrictif de certaines autres caractéristiques possiblement préférentielles de l'invention qui seront décrites plus en détail ci-après.

20

L'appareil est de préférence portable, autonome et apte à effectuer la détection lorsque la ligne électrique à tester est en service. Grâce à l'appareil, un diagnostic fiable sur la nature du site de décharge et l'état de santé de l'équipement peut être obtenu. L'appareil peut être opéré à distance du site de mesure et a des sondes dont la mise en place s'effectue en un minimum de temps afin d'accroître le niveau de sécurité des travailleurs. Des sondes robustes et améliorées sont proposées pour détecter une décharge partielle, notamment sous forme de sondes magnétiques large-bande comprenant un amplificateur à gain commandé. Une procédure d'étalonnage permet de vérifier le bon fonctionnement des sondes, de déterminer les paramètres servant à établir le diagnostic, et d'étalonner l'ensemble de l'appareil. L'appareil se sert de procédures de corrélation, de synchronisation et d'estimation d'un facteur de forme sur les signaux mesurés de manière à établir un diagnostic sans égal.

DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

Une description détaillée des réalisations préférées de l'invention sera donnée ci-après en référence avec les dessins suivants, dans lesquels les mêmes numéros font référence à des éléments identiques ou similaires:

FIG. 1 est un schéma illustrant une décharge partielle dans un accessoire situé entre deux sondes large-bande.

- 10 FIG. 2 est un schéma illustrant une décharge partielle ou signal provenant de l'extérieur des deux sondes large-bande, et un branchement possible de la sonde de synchronisation.

FIG. 3 est un schéma illustrant une décharge partielle dans un accessoire situé à l'extérieur des deux sondes large-bande.

FIG. 4 est un schéma-bloc illustrant une architecture de l'appareil de détection, localisation et interprétation de décharge partielle.

- 20 FIG. 5 est un schéma illustrant une section transversale typique d'un câble de puissance.

FIG. 6A et FIG. 6B sont des schémas en perspective d'un câble de puissance et des flux magnétiques y circulant.

FIG. 7 est un schéma illustrant des lignes de champ entourant la sonde magnétique.

FIG. 8 et FIG. 9 sont des schémas illustrant une sonde magnétique large-bande sans et avec circuit d'amplificateur et connecteur externe.

FIG. 10 est un schéma-bloc illustrant un circuit d'amplification intégré dans une sonde magnétique large-bande.

FIG. 11 est un schéma-bloc illustrant une unité de contrôle (UC) traitant les signaux des sondes.

FIG. 12 est un schéma-bloc illustrant les principaux éléments exploités dans le traitement du signal.

10 FIG. 13 est un schéma-bloc illustrant l'usage de la corrélation comme outil de traitement numérique.

FIG. 14 est un diagramme illustrant un spectrogramme d'une décharge partielle typique.

FIG. 15 est une photographie illustrant un spectrogramme d'une décharge partielle typique après application d'un filtre temps-fréquence.

20 FIG. 16 est une photographie illustrant un appareil de détection, localisation et interprétation de décharge partielle.

FIG. 17 est une photographie illustrant une sonde large-bande démontée.

FIG. 18 est un schéma illustrant une unité de contrôle de l'appareil.

FIG. 19 et FIG. 20 sont des schémas en élévation et en plan illustrant une construction d'une sonde large-bande.

FIG. 21 est un schéma illustrant le circuit du microcontrôleur d'une unité de contrôle.

FIG. 22 et FIG. 23 sont des schémas illustrant les circuits des blocs d'alimentation des sondes large-bande.

FIG. 24 et FIG. 25 sont des schémas illustrant les circuits large-bande (RF) d'amplification et de conditionnement des signaux des sondes large-bande.

FIG. 26 est un schéma illustrant un circuit de conditionnement du signal d'une sonde de synchronisation.

10 FIG. 27 est un schéma illustrant des circuits d'alimentation des autres circuits de l'unité de contrôle.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉALISATIONS PRÉFÉRÉES

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "signal" représente une grandeur physique analogique et temporelle, typiquement de type courant ou tension, se présentant sous une forme continue dans le temps.

20 Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "mesure" représente une suite d'échantillons discrets numérisés provenant d'un signal échantillonné pendant une durée finie.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "essai" représente un ensemble des mesures simultanées et des descriptifs disponibles concernant un événement physique enregistré par le détecteur.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "conditionnement du signal" représente une action exercée par de l'électronique analogique avant numérisation du signal.

30

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "traitement du signal" représente une procédure comprenant des manipulations mathématiques requises pour confirmer la présence de décharge partielle, localiser le site de décharge et mettre en lumière les caractéristiques physiques correspondantes.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "ordinateur" représente un ordinateur PC compatible ou autre ayant une carte d'acquisition haute vitesse.

- 10 Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "unité de contrôle" (UC) représente une interface intelligente reliant l'ordinateur aux sondes.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "décharge partielle" représente un déplacement local, sur une courte distance, spontané, simultané et de courte durée d'une charge électrique dans un diélectrique soumis à un champ électrique.

- 20 Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "site de décharge" représente un défaut localisé dans un petit volume d'un diélectrique où se produit une ou des décharges partielles le plus souvent lors de l'application d'un champ électrique bien qu'également possible en d'autres occasions.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, l'expression "onde de puissance" représente une onde sinusoïdale véhiculant la puissance du réseau à 60 Hz ou 50 Hz.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "phaseur" représente un angle de phase de l'onde de puissance tournant de 360° par cycle à la fréquence du réseau.

Tel qu'employé en rapport avec la présente divulgation, le terme "rayonnement" représente tout bruit de nature électrique ou magnétique, ayant une origine externe à celle d'une décharge partielle, caractérisé le plus souvent par des nombre d'oscillations et délai de propagation plus grands, un degré de corrélation plus faible et une polarité inappropriée.

En référence à la Figure 16, l'appareil de détection, localisation et interprétation de décharge partielle peut être construit de manière à être portable et autonome. L'appareil peut être constitué d'un ordinateur 1 doté d'un écran 3, d'un clavier 5 et
10 d'une souris 7, et d'équipement 9, le tout se logeant dans une mallette 11. L'appareil permet notamment de détecter et localiser un ou des sites de décharges partielles présents sur un accessoire de ligne haute tension d'un réseau souterrain à partir d'un puit d'accès au réseau. L'appareil permet aussi de détecter et indiquer la direction d'une source de décharge partielle ayant site dans un autre puit relié au premier puit par la ligne haute tension. L'information prélevée permet un diagnostic fiable sur la nature du site de décharge et l'état de santé de l'accessoire, du transformateur, de l'interrupteur ou autre équipement possible. L'appareil permet de discriminer les signaux de décharge partielle en présence de plusieurs signaux de différentes origines.

20

Usuellement, pour des considérations de propreté pour l'ordinateur 1, de confort et de sécurité pour l'utilisateur, l'ordinateur 1 est opéré à une distance de quelques mètres du site de mesures. Les sondes 4, 6 doivent être robustes, leur manipulation étant vigoureuse dans un site de mesure sale et humide. De préférence, la mise en place des sondes telles les sondes de mesure 4, 6 devrait pouvoir s'effectuer en un minimum de temps afin de minimiser l'exposition du travailleur aux risques inhérents au site de mesure. La Figure 17 illustre une construction possible des sondes de mesure 4, 6.

30 Les décharges partielles surviennent principalement lors des montées en tension associées à l'onde de puissance, soit à des angles du phaseur réseau particuliers.

De plus, la distribution angulaire de la répartition de ces décharges contient une information diagnostique importante puisqu'elle est fonction du type de site de décharge. En conséquence, l'appareil attribue une position angulaire référencée au phaseur réseau pour chaque décharge partielle. L'appareil peut aussi commander des mesures sur des portions angulaires prédéterminées afin de cibler certains sites de décharge ou d'obtenir un portrait statistique non biaisé.

10 Les décharges partielles ont des durées variables, en fonction du type de site de décharge, de la géométrie des accessoires et de la distance de chaque sonde de mesure 4, 6. Les plus courtes ont un temps de montée de l'ordre de quelque nanosecondes et parfois moindre (dans les picosecondes) selon les moyens de mesure et la nature de la décharge. Le signal est de préférence numérisé à un gigaéchantillons ou plus par seconde. À ce taux d'échantillonnage, le temps mort entre deux décharges représente un volume de données très important pour être numérisé et enregistré. La numérisation se fait de préférence par segments contenant chacun un événement déclencheur. Cet événement peut être une décharge partielle ou un bruit dépassant le seuil de la gâchette. Un filtre passe-haut 61 (Figure 11) joint avec des filtres RF commutables (63) permet d'abaisser le niveau de bruit à un point où il est possible de commander le départ de la numérisation sur le
20 début d'une décharge partielle de faible amplitude, et ce, malgré la présence de bruits électromagnétiques.

En référence à la Figure 1, une décharge partielle qui survient dans un accessoire 8 ou un câble 10 émet une impulsion électromagnétique qui se propage dans les deux directions du câble. Deux sondes 4, 6 situées de part et d'autres d'un site de décharge 13 livrent des impulsions 15, 17 qui, une fois traitées et corrélées, informent sur la position du site de décharge 13. En effet, dans un tel cas, la polarité est inversée et le délai inter-canal est moindre que le temps de propagation d'une onde entre les deux sondes 4, 6.

30

En référence à la Figure 2, une impulsion provenant d'un côté ou de l'autre du site de mesure 19 se présentera avec la même polarité pour les deux sondes 4, 6 et avec un délai correspondant approximativement au délai de propagation d'une onde entre les deux sondes 4, 6.

En référence à la Figure 3, de plus, deux sondes 4, 6 situées du même côté d'un site de décharge 13 livrent des impulsions qui, une fois traitées et corrélées, informent sur la direction du site de décharge 13.

- 10 Notons que la polarité de l'onde captée est fonction de l'orientation de chaque sonde 2, 4. Dans le contexte de mesure en réseau, les impulsions captées par les sondes 2, 4 diffèrent entre elles en raison de la présence de réflexions sur des accessoires environnants (non illustrés) et en raison du bruit capté. De plus, un signal de décharge partielle peut contenir plus d'une oscillation faisant en sorte qu'il existe plusieurs sommets de corrélation lorsque les impulsions sont comparées, donc plusieurs diagnostics possibles. L'appareil évalue donc quel est le diagnostic le plus probable en y rattachant une valeur de vraisemblance et en mentionnant, le cas échéant, la présence d'un autre diagnostic presque aussi probable.
- 20 La vraisemblance du diagnostic est basée en partie sur la configuration des sondes 2, 4 (position relative à l'accessoire 8 ou autre équipement sous test, localisation et sens de l'installation) et la connaissance "à priori" des délais de propagation présents. Or, une première procédure d'étalonnage sur un banc de test portable permet d'estimer précisément la réponse de chaque sonde 2, 4, y compris le délai présent. Une seconde procédure d'étalonnage sur le site de la mesure permet de mesurer le délai de propagation de sonde à sonde ainsi que de valider la configuration de l'essai.
- Une fois l'étalonnage effectué, suivit de la validation de la configuration du montage, l'essai peut débuter. Comme le taux de numérisation est très élevé en regard de la
- 30 mémoire disponible, et que, de toute façon, les décharges sont des événements de très courtes durées et bien distancés, il s'avère inutile de conserver l'ensemble du

signal. Il s'agit donc de mémoriser les portions utiles du signal. Chaque portion correspond à un dépassement d'un niveau seuil préalablement fixé, dépassement appelé "événement" ci-après. À un événement donné peut correspondre plusieurs diagnostics. Lors d'un essai, ce niveau de seuil est abaissé progressivement jusqu'à ce que l'on observe une probabilité d'événements acceptable pour la mesure. Lorsque l'on suspecte la présence cachée de décharges ayant des amplitudes plus faibles que le seuil de la gâchette, on doit abaisser davantage ce niveau seuil avec pour résultat un fort taux d'événements ne correspondant pas à des décharges. Pour chaque essai et chaque seuil, l'appareil enregistre plusieurs rafales d'évènements

10 pouvant couvrir un ou plusieurs cycles à la fréquence du réseau. Pour chaque événement, l'appareil affiche et consigne en mémoire un diagnostic automatique obtenu à partir de corrélations, à savoir s'il y a présence d'un signal saturé, présence de rayonnement ou autre bruit inopportun, décharge entre les deux sondes 4, 6, décharge en provenance de l'un ou l'autre côté du montage des deux sondes 4, 6, et présence d'une seconde explication de diagnostic probable.

À chaque diagnostic est de préférence rattaché un facteur de vraisemblance basé sur une distribution de diagnostics possibles, un coefficient de la corrélation entre les décharges en provenance des deux sondes 4, 6, un facteur de forme correspondant

20 au rapport largeur de bande spectrale sur durée temporelle de l'impulsion de décharge, la valeur du phaseur réseau au moment de l'événement, et un ensemble de paramètres de traitement analogiques (fixes) et numériques (pouvant être modifiés au gré de l'utilisateur).

L'utilisateur peut sélectionner le traitement numérique à appliquer, la rafale, les rafales, l'essai ou les essais à colliger et à présenter à l'écran 3. Les résultats peuvent alors être illustrés de façon brute (liste format texte) ou par le biais de différents outils de présentations statistiques communs, tels des histogrammes 2D ou 3D. Ces résultats peuvent être exportés pour analyse par des logiciels, tel Excel™ de

30 Microsoft™. Comme complément au diagnostic, l'utilisateur peut avoir accès à différents outils communs de traitement numériques et d'affichage, soit entre autres

un affichage graphique des traces temporelles filtrées ou non, des spectrogrammes et des distributions de Wigner-Ville et d'ondelettes temps-fréquence. Il peut aussi appliquer sur les traces temporelles numérisées différents filtres numériques et traitement et retourner à l'affichage statistique de ces derniers (concept de bouclage itératif dans le diagnostic).

10 En référence à la Figure 4, l'appareil comprend trois sondes 2, 4, 14 reliées à une unité de contrôle (UC) 16 qui elle-même est reliée à l'ordinateur 1. La longueur des câbles de raccord 19, 21, 23 des sondes est telle qu'elle permet de disposer l'UC 16 et l'ordinateur 1 dans un camion alors que les sondes 2, 4, 14 sont montées sur les câbles de puissance 10 et les accessoires 8 (Figures 1-3). L'UC 16 peut être disposé à l'intérieur de l'ordinateur 1 pour des raisons d'encombrement et de facilité de branchement. Cependant, l'UC 16 peut tout aussi bien être disposé à l'extérieur de l'ordinateur 1 et s'y connecté au moyen d'un câble 25 approprié.

20 Le rôle de deux des trois sondes 2, 4 est de capter l'impulsion électromagnétique générée par une décharge partielle, qui se propageant dans les accessoires 8 et câbles 10 (Figures 1-3). Le rôle de la troisième sonde 14 est de capter l'onde de puissance et, lorsque requis, d'injecter un signal d'étalonnage.

Le rôle de l'UC 16 est principalement de permettre la synchronisation d'une fenêtre d'acquisition avec l'onde de puissance, soit situer le départ et la fin temporelle de la numérisation en degrés phaseur du réseau. Les autres fonctions sont le traitement analogique des signaux de décharge partielle (y compris la protection contre les surtensions) et leur transmission à l'ordinateur 1 sous la forme analogique (ou numérique s'il y a lieu), fournir l'alimentation et commander le gain des sondes 2, 4, transmettre un signal d'étalonnage à la sonde de synchronisation 14, valider que l'accessoire 8 est sous tension ainsi que diagnostiquer une sonde 2, 4, 14 en défaut.

30 Le rôle de l'ordinateur 1 est de configurer l'UC 16, de numériser les signaux, appliquer un traitement numérique sur ceux-ci, réaliser le diagnostic, afficher les

mesures et le diagnostic ainsi que de sauvegarder les essais sur une base de données et échanger des données avec d'autres systèmes.

- La méthode de mesure fait appel à trois sondes, soit deux sondes 2, 4 à couplage magnétique large-bande qui captent les décharges partielles et une sonde de synchronisation 14 qui capte l'onde 60 Hz pour en extraire la valeur de l'angle de phase. Les deux sondes magnétiques 2, 4 peuvent être disposées de part et d'autre de l'accessoire 8 ou à une de ses extrémités. La sonde de synchronisation 14 peut être de type capacitive, magnétique, une mesure de tension ou de courant.
- 10 de synchronisation 14 peut être branchée sur l'accessoire 8 testé tel qu'illustré à la Figure 2, ou un autre accessoire (i.e. une autre phase), auquel cas il suffit de corriger la valeur de l'angle de phase de $\pm 120^\circ$ pour tenir compte de l'écart interphase s'il y a lieu. La sonde de synchronisation 14 peut être combinée à l'une des deux autres sondes 2, 4 ou à chacune des deux autres sondes 2, 4. Elle peut apparaître alors comme élément distinctif dans le boîtier de la sonde combinée ou être fusionnée avec la partie large-bande. Dans ce dernier cas, un circuit de séparation de signal permet d'extraire le signal de basse fréquence (proche de la fréquence du réseau) du signal large bande.
- 20 Trois procédures d'étalonnage sont de préférence mises en œuvre. Dans une des procédures, l'UC 16 injecte un signal connu dans le module de numérisation de l'ordinateur 1, ce qui permet l'étalonnage de la réponse de(s) carte(s) d'acquisition relié(s) avec les filtres. Dans une autre des procédures, l'UC 16 injecte un signal connu dans la sonde de synchronisation 14 installée sur l'accessoire 8 à tester afin de confirmer la configuration des sondes 2, 4 et d'étalonner le délai de propagation dans le câble 10 de sonde à sonde. Dans une autre procédure, l'UC 16 injecte un signal connu dans la sonde de synchronisation 14 installée sur un banc de test portable (non illustré) afin d'étalonner l'ensemble de l'appareil.
- 30 Étant donné la faible amplitude du signal de décharge et la longueur (plusieurs mètres) des câbles de raccord 19, 21, 23 des sondes 2, 4, 14, les sondes

magnétiques large-bande (plusieurs centaines de mégahertz) 2, 4 comprennent avantageusement dans leur boîtier un amplificateur à gain commandé 42 (Figure 9). Les sondes 2, 4 illustrées sont spécifiquement conçues pour fonctionner avec des câbles de puissance 10 ayant une gaine de neutre 28 (Figures 5 et 6A) formé de brins toronnés. Les sondes 2, 4 mesurent le champ magnétique longitudinal généré par l'hélicoïdal ainsi formée. La méthode de mesure reste quand même valable pour d'autres types de câbles (par exemple avec une gaine lisse continue en aluminium ou en plomb) mais nécessite possiblement le remplacement des sondes magnétiques 2, 4 par un autre type de sonde large-bande (par exemple, une sonde capacitive).

10

La sonde de synchronisation 14 est bi-directionnelle car elle sert à la fois pour capter la phase de l'onde à 60 Hz et pour injecter un signal test ou un signal d'étalonnage sur le câble 10. La sonde 14 telle qu'illustrée à la Figure 2 mesure le courant de dérivation entre deux électrodes disposées par exemple à l'aide de pinces de fixation 25, 27, l'une sur la gaine semi-conductrice 26 et l'autre sur le neutre 28. Cependant, un autre type de captation peut fort bien être exploité tel le couplage magnétique, capacitif ou une mesure de tension.

20

L'UC 16 commandée par l'ordinateur 1 permet: a) le conditionnement analogique et protection contre les surtensions et surintensités; b) la commutation de filtres analogiques 63; c) la synchronisation d'une acquisition sur une portion ciblée du cycle (0-360 degré) de l'onde à 60 Hz par le biais d'un signal déclencheur transmis à la carte d'acquisition dans l'ordinateur 1; d) la commande des gains des sondes large-bande 2, 4 et l'alimentation de celles-ci; e) la transmission d'un signal d'étalonnage à la sonde de synchronisation 14 pour injection de ce signal dans l'accessoire 8; f) la transmission d'un signal d'étalonnage à l'ordinateur 1; g) le diagnostic sur le bon fonctionnement des sondes large-bande 2, 4 et la transmission de ce diagnostic à l'ordinateur 1; et h) la vérification de la présence de tension sur l'accessoire 8 et la transmission de cet état à l'ordinateur 1.

30

La numérisation se fait à une cadence très élevée, soit entre 1 giga et 10 giga échantillons par seconde pour les signaux des deux sondes large-bande 2, 4.

Dans l'analyse numérique, plusieurs possibilités diagnostiques sont explorées de sorte qu'en certaines occasions, l'appareil prévient l'utilisateur d'une seconde explication diagnostique probable en plus de celle présentée comme la plus probable.

Une interpolation du signal est préférablement effectuée avant la corrélation.

- 10 Un calcul du facteur de forme temps-fréquence, fondé sur le ratio largeur de bande sur durée temporelle, facilite la reconnaissance des vraies décharges partielles.

Le tableau 1 ci-dessous présente une liste des principales informations et signaux présents à l'entrée de l'appareil et leur source.

Tableau 1

	Commandes de l'utilisateur:
	- Ajustement de l'horloge et du calendrier
	- Choix de la langue
20	- Paramètre et commande d'étalonnage
	- En mode essais:
	- Description de l'essai (lieu, accessoires...)
	- Configuration des sondes par rapport aux accessoires
	- Paramètres de la mesure
	- Départ/arrêt de la mesure
	- Rejeter/accepter la mesure
	- En mode analyse:
	- Paramètres du traitement du signal
	- Paramètres de visualisation
30	Liens informatiques:
	- Réception de mesures et diagnostics provenant de d'autres sites

Sondes magnétiques large-bande, via l'UC:

- Signal de propagation ayant une composante magnétique longitudinale et capté sur le câble

Sonde de synchronisation:

- Onde de puissance 60 Hz
-

Le tableau 2 présente une liste des principales informations à la sortie de l'appareil et leur cible.

10

Tableau 2

Utilisateur:

- Paramètres de l'essai réalisé
- Tracé graphique du signal temporel
- Tracé graphique du signal temporel filtré
- Diagnostic
 - Délais calculés

Ordinateur portable:

- Écriture dans une base de données sur mémoire de masse (disque ou autres) des essais réalisés.

20

Liens informatiques:

- Transmission de mesures, d'essais, de diagnostics et d'éléments de base de données.

Sondes de synchronisation:

- Injection d'un signal d'étalonnage dans un câble
-

30

En référence aux Figures 5, 6A et 6B, le câble blindé 10 sur lequel est installée chaque sonde magnétique large-bande 2, 4 est constitué d'un conducteur central 20 entouré d'une gaine semi-conductrice 22, d'un diélectrique isolant 24, d'une seconde gaine semi-conductrice 26 ainsi que d'un neutre concentrique torsadé 28. La résultante des torsadés du conducteur 20 et du neutre 28, et le fait que le neutre 28

n'offre pas un blindage parfait, font en sorte qu'une onde de propagation électromagnétique conducteur–neutre possède une composante magnétique axiale 30 non négligeable, tel qu'illustré à la Figure 6B.

En référence à la Figure 7, chaque sonde magnétique 2, 4, comportant une simple boucle conductrice 32, capte la composante magnétique axiale 30 de l'onde.

En référence à la Figure 8, chaque sonde magnétique large-bande 2, 4 se présente sous l'aspect d'une pince amovible constituée d'une boucle conductrice de captation magnétique 32 recouvert d'un blindage conducteur 34 qui sert aussi de boîtier à la sonde 2, 4. Ce blindage a pour fonction d'isoler électrostatiquement la boucle de captation magnétique 32. Afin d'interdire la conduction d'un courant dans le blindage qui viendrait opposer un champ magnétique au flux magnétique axial 30, le blindage est en circuit ouvert aux bouts de la pince de sorte qu'il y apparaît un interstice 36. Un connecteur 38 vient fermer le circuit de la boucle magnétique 32 aux bouts de la pince, là où se situe l'interstice 36. La boucle conductrice 32 capte le flux magnétique axial 30 tout en étant peu sensible au champ tangentiel 40 (Figure 6) enrobant le câble 10 et aux champs électriques ambiants.

En référence à la Figure 9, la boucle de captation magnétique 32 est reliée à un circuit d'amplification 42 intégré dans le boîtier blindé de la pince 34.

En référence à la Figure 10, le circuit d'amplification 42 comprend un filtre passe-bas 44, un préamplificateur 46, un amplificateur de puissance 48 agissant aussi comme adaptateur d'impédance, un découpleur 50, une unité de contrôle de gain (UGC) 52, un circuit de protection 54 et un régulateur d'alimentation 56. Le découpleur 50 permet au signal capté d'être transmis via le connecteur 58, de fournir le courant d'alimentation au régulateur 56, de transmettre à l'UGC 52 la commande de valeur de gain reçue via le connecteur 58. Le gain de l'UGC 52 est ajustable selon la sensibilité requise. La commande de gain provient de l'UC 16 et est transmise par l'unique câble

19, 21 relié à la sonde 2, 4 par le connecteur 58, ce même câble 19, 21 transmettant à l'UC 16 le signal capté et amplifié par la sonde 2, 4.

La Figure 18 illustre un plan possible du circuit d'amplification 42 d'une sonde 2, 4.

En référence aux Figures 19 et 20, la boucle de captation magnétique 32 peut être constitué d'un circuit imprimé flexible sur lequel se trouve aussi le circuit d'amplification 42 et le connecteur 58 se rattachant au câble 19, 21.

- 10 Le câble reliant chaque sonde large-bande 2, 4 à l'UC 16 peut être de différentes natures. Des câbles coaxiaux 50 Ohms et des câbles coaxiaux 50 Ohms à double blindage peuvent convenir. Ce dernier type de câble est plus onéreux mais il offre une meilleure protection contre le bruit. En fait, il est possible d'utiliser tout type de câble offrant une bonne immunité au bruit électromagnétique et aux courants de boucle de masse ("ground loop").

- En référence à la Figure 11, seul le circuit traitant le signal de la deuxième sonde 4 reçu sur le connecteur 67 est illustré. Le circuit de la première sonde 2, remplacé par des pointillés 18, est identique à celui de la deuxième sonde. L'UC 16 commandée par l'ordinateur 1 comprend le conditionnement analogique du signal des sondes large-bande 2, 4, la protection contre les surtensions sur les sondes 2, 4 et la surintensité sur l'alimentation des sondes 2, 4. Des connecteurs 69, 71 permettent de connecter l'UC 16 à la sonde de mesure 2 et à la sonde de synchronisation 14. Un module de découplage 65 permet la séparation entre le signal en provenance de la sonde 4 et le courant d'alimentation. Un circuit de protection contre la surintensité 73 est disposé en aval du bloc d'alimentation 75, ce circuit 73 étant relié à un microcontrôleur 77 afin que ce dernier puisse constater la présence d'alimentation de la sonde 4. La protection surintensité limite le courant d'alimentation fourni à chaque sonde 2, 4 de façon à protéger à la fois la sonde 2, 4 et l'alimentation 75. Le signal analogique passe en premier lieu par un module de protection contre la surtension 79. La protection surtension vise à maintenir le signal dans des limites de tension
- 20
- 30

acceptable de façon à protéger la sonde 4 et le circuit de conditionnement analogique 81. Le conditionnement analogique 81 consiste en l'application d'un filtre passe-haut 61 de pair avec une amplification du signal 83. Le microcontrôleur 77 peut injecter un signal d'étalonnage, le signal de synchronisation ou autre signal requis par le biais du module d'amplification 83. La fréquence de coupure du filtre passe-haut 61 se situe entre 30 kHz et 1.7 MHz (préférentiellement 100 kHz). Le but de ce filtre 61 est d'éliminer les bruits provenant du réseau électrique et des émissions radio, principalement de la bande AM. Le circuit de conditionnement 81 comprend de préférence un espace réservé pour l'installation d'un second étage de filtre 85
10 optionnel (passe-haut, passe-bande ou passe-bas) qui succéderait au filtre passe-haut 61.

L'UC 16 comporte un étage de filtres commutables 63. Dans le circuit illustré, un multiplexeur 87 sélectionne le signal transmis à l'ordinateur 1. Ce signal peut être absent (non connecté) 89, le signal brut sans passage par un filtre 91, le signal filtré par un passe-bas 93 (préférentiellement situé vers les 39 MHz) ou un choix parmi deux autres filtres 95 97 optionnels.

L'UC 16 permet la synchronisation d'une acquisition sur une portion ciblée du cycle
20 (0-360 degré) du phaseur de l'onde de puissance (60 Hz ou 50 Hz selon le réseau). Les signaux de synchronisation sont joints au signal en provenance de la sonde 4 dans l'amplificateur de conditionnement 83. Le signal résultant est transmis à la carte d'acquisition dans l'ordinateur 1. Celle-ci démarre alors l'observation des décharges un peu avant ou lors de l'arrivée du premier signal de synchronisation (l'acquisition a toujours lieu et les données sont continuellement rangées dans une mémoire circulaire) et termine la capture des décharges partielles après le passage du signal de fin de la synchronisation. Un circuit électronique de synchronisation formé d'un découpleur 99, d'un module de protection contre la surtension 101, d'un filtre passe-bas 103, d'un amplificateur 105 et d'un filtre passe-bande 107 est commandé par le
30 microcontrôleur 77 et se verrouille sur la phase de l'onde de puissance de façon à déterminer les moments correspondant au départ et à la fin de la plage d'observation

des décharges partielles. Le découpleur 99 permet la transmission d'un signal d'étalonnage à la sonde de synchronisation 14 sans que ce signal ne soit transmis au reste du circuit 101, 103, 105, 107. Le signal en provenance de la sonde de synchronisation 14 passe par le module de protection contre la surtension 101 pour ensuite être dirigé vers un filtre passe-bas 103, préférentiellement fixé à 1 kHz, pour réduire le bruit présent dans le signal. Ce filtre 103 est suivi d'un amplificateur 105 qui alimente un filtre passe-bande étroit 107. La phase à la sortie de ce filtre 107 est comparée à celle de l'entrée de façon à commander la fréquence du filtre 107 dans le but de maintenir un déphasage de 180 degrés malgré les fluctuations de la fréquence du réseau électrique. Un compteur (intégré dans le microcontrôleur 77) commandé à partir des passages par zéro du signal à la sortie du filtre passe-bande 107 donne un estimé de la valeur du phaseur à un facteur d'échelle près. La comparaison de cette dernière valeur avec des consignes "phase de départ" et "phase à la fin" donne le moment d'émission des signaux de synchronisation. De plus, dans une option préférentielle, le signal de décharge partielle n'est communiqué à l'ordinateur 1 que dans la période temporelle correspondant à cette portion en utilisant le multiplexeur 87.

Au travers d'un même fil 19, 21 (Figure 4), l'UC 16 transmet le signal "commande de gain" et le courant d'alimentation requis par les sondes large-bande 2, 4. Le module d'alimentation 75 commandé par le microcontrôleur 16 ajuste le niveau de tension correspondant au gain requis. Le module de surintensité 73 suit le module d'alimentation 75 et transmet l'état de l'alimentation au microcontrôleur 77. Enfin, le module découpleur 65 isole le courant d'alimentation des autres circuits de conditionnement du signal de la sonde 2, 4.

Le microcontrôleur 77 permet la transmission d'un signal d'étalonnage à la sonde de synchronisation 14 pour injection de ce signal dans l'accessoire 8. Le microcontrôleur 77 dispose d'un circuit pouvant générer une impulsion calibrée de très courte durée, s'apparentant à la durée typique d'une décharge partielle ou un train d'impulsions ayant un patron de délai optimisant la corrélation 60'. Après passage de l'impulsion

dans un amplificateur 109, le découpleur 99 dirige celle-ci sur le câble 23 (Figure 4) relié à la sonde de synchronisation 14. Le filtre passe-bas 103 situé à l'entrée du circuit de synchronisation isole celui-ci afin de bloquer l'impulsion de grande amplitude.

L'UC 16 permet aussi la transmission d'un signal d'étalonnage à l'ordinateur 1. Une option est de remplacer un des filtres optionnels 93, 95 par une source de tension. Il s'agit alors de commander le multiplexeur 63 afin de sélectionner ce signal pour le transmettre à l'ordinateur 1.

10

L'UC 16 permet un diagnostic sur le bon fonctionnement des sondes large-bande 2, 4 et la transmission de ce diagnostic à l'ordinateur. Lorsque le système de protection 73 d'une des sondes 2, 4 est sollicité, le microcontrôleur 77 en est informé et prévient alors l'ordinateur 1 de la présence du défaut par un lien de communication numérique 111.

20

L'UC 16 permet la vérification de la présence de tension sur l'accessoire 8 et la transmission de cet état à l'ordinateur 1. En absence de tension adéquate, ou lorsque la sonde de synchronisation 14 n'est pas reliée, le circuit de synchronisation 99, 101, 103, 105, 107 ne peut fonctionner normalement. Le microcontrôleur 77 en informe alors l'ordinateur 1 par la communication numérique 111.

En référence à la Figure 12, il est illustré un processus possible du traitement du signal effectué par l'appareil pour établir un diagnostic. Des corrélations temporelles 64 peuvent être utilisées pour déterminer la polarité des décharges, la distance temporelle Δt entre une même décharge captée par les deux sondes 2,4, le coefficient de corrélation "gamma", la probabilité d'erreur diagnostique, et la présence d'un autre possibilité diagnostique vraisemblable.

30

Un algorithme numérique dédié 66 jauge la possibilité de la présence dominante de rayonnement en calculant le nombre d'oscillations de la portion de l'onde captée qui

dépasse le niveau de bruit local. La présence d'un nombre élevé d'oscillations, soit plus de 8 à 15 cycles, est un symptôme typique du rayonnement. Le calcul du nombre de cycles d'oscillations peut se réaliser sur un ou les deux canaux 113, 115. Le traitement cesse lorsqu'un rayonnement (f) est détecté. Un autre algorithme 68 calcule le facteur (g) de forme sur le canal présentant la plus grande amplitude de décharge. Ce facteur (g) de forme correspond au rapport de la largeur de bande spectrale sur la durée temporelle de l'impulsion de décharge. Ces deux dernières valeurs sont respectivement estimées à partir de la ligne spectrale dominante et du marginal temporel de la décharge partielle présentée dans une distribution temps-
 10 fréquence 70. Cette distribution temps-fréquence 70 peut correspondre au spectrogramme 72, à la transformé de Wigner-Ville 74 ou à la transformée en ondelettes 76 du signal. La distribution temps-fréquence 70 peut faire l'objet préalable d'un filtrage temps-fréquence 80 avant calcul du facteur (g) de forme afin de retirer le bruit de fond présentant une puissance spectrale sensiblement constante dans le temps. La portion temporelle du signal de la décharge de plus grande amplitude est transmise à un module 110 qui estime la largeur de bande équivalente (h) et le temps de montée (i) de la décharge. Les résultats (a) à (i) des différents traitements appliqués constituent autant de symptômes potentiels qui sont soumis à l'utilisateur pour qu'il en déduise un diagnostic, ou soumis à un algorithme de diagnostic 82.

20

L'algorithme du module de diagnostic 82 peut, par exemple, faire usage de logique câblée ("et", "ou", dépassement de seuil), de réseaux neuronaux, d'un système expert, de logique floue, d'un algorithme génétique ou d'une combinaison de ceux-ci afin de traiter les signaux temporels bruts et/ou les résultats du traitement décrit précédemment.

Les sondes 2, 4 sont couplées AC, c'est à dire que la tension DC n'est pas mesurée. Cependant, les convertisseurs numériques peuvent très bien présenter un décalage du zéro. De plus, le signal RF de période supérieure à la durée de numérisation
 30 introduit un décalage s'apparentant à un DC auquel s'ajoute une pente et une parabole. Ces fluctuations lentes du signal doivent de préférence être éliminées avant

le traitement par la corrélation 64, et même, avant le calcul d'une interpolation. Deux types de filtre passe-haut commutables 117, 119 disposés en parallèle réalisent cette fonction. Le premier filtre 117 effectue, avec le signal, la convolution d'une fenêtre spectrale pour ensuite soustraire ce résultat du signal. L'autre filtre 119 s'apparente à un filtre notch à 0 Hz. Celui-ci convolue une distribution obtenue à partir de la transformée inverse de Fourier d'un créneau unitaire sur toute la bande spectrale auquel on a soustrait une fenêtre spectrale disposée à 0 Hz. Dans ce dernier filtre 119, on peut ajuster la largeur de la fenêtre de coupure de même que le niveau de rejet dans la bande de blocage du signal. Ces filtres éliminent le signal de la bande radio AM.

Un filtre FM-TV 121 peut être mis en série après les filtres passe-haut 117, 119. Ce dernier est aussi de type convolutionnel avec pour fonction filtre la transformée inverse de Fourier d'un patron de blocage de bandes ajusté, selon la demande, sur les différentes bandes FM et TV. Il est ainsi possible de choisir le blocage de la bande FM, des bandes FM et TV pour les canaux de 2 à 4, ou encore des bandes FM et TV pour les canaux 2 à 4 plus les canaux 5 à 13. Les autres paramètres de filtre sont l'ordre du filtre, le niveau de réjection du blocage de bande et le lissage en fréquence du patron de filtre.

La corrélation consiste à réaliser (4) la somme des produits croisés de deux fonctions tel que:

$$Corr(\tau) = \sum_n x(t_n) \cdot y(t_n - \tau), \text{ avec } \tau = nT \text{ et } n \in \mathbb{Z}, \quad (1)$$

T étant la période d'échantillonnage. La somme s'applique là où des échantillons de $x(t)$ et $y(t-\tau)$ existent. Pour une valeur donnée de t , lorsque $x(t)$ et $y(t-\tau)$, ou encore $x(t)$ et $-y(t-\tau)$, présentent une similitude, la valeur de la corrélation atteint un maximum. Rappelons que le signal est numérisé et discrétisé: une même forme d'onde numérisée avec un léger délai donne un aspect différent. Cette constatation a un lien

direct avec le fait que: la position du sommet de corrélation est définie temporellement à une demi-période d'échantillonnage près; l'amplitude du vrai sommet de corrélation peut différer substantiellement du sommet observé. Les inconvénients de la discrétisation sont minimales lorsque le signal est largement sur-échantillonné. Par contre, pour un signal de type large bande, il est préférable d'interpoler le signal avant corrélation pour minimiser ces effets. Ici, l'interpolation augmente de 2 à 5 fois le nombre d'échantillons. La fonction d'interpolation utilisée est le produit de la fonction sinc() par une fenêtre spectrale (ex. Blackman-Harris), mais un autre interpolateur peut fort bien être employé.

10

En référence à la Figure 13, il est illustré un schéma-bloc détaillant le module de corrélation 64 illustré à la Figure 12. Une interpolation 84 survient avant une corrélation 64'. Avant corrélation 64', sur un des canaux, on réduit au minimum requis 86 la largeur temporelle de corrélation afin d'augmenter le rapport signal/bruit. Ce minimum requis correspond à la portion de signal où il semble émerger du bruit d'une décharge partielle. C'est le canal présentant le signal de décharge de plus grande amplitude qui est choisit pour ce découpage 88. De cette façon, on s'assure que le début et la fin de la décharge seront définis avec plus d'acuité.

20 Le résultat de la corrélation 64' est un ensemble de sommets positifs ou négatifs. Un simple classement en valeur absolue d'amplitude permet de retenir les principaux sommets 90. Dans le module de calcul de délai 92, pour chaque sommet de corrélation, la valeur de la variable τ correspondant est multipliée par la constante requise afin d'obtenir le délai Δt entre les deux observations de la décharge. Ce délai est utilisé par un module 94 qui élimine les fausses décharges, soit celles qui présentent un délai supérieur au temps de propagation entre les deux sondes 2, 4. Le temps de propagation peut être estimé lors d'un étalonnage au départ de l'essai. Un autre module 96 estime la probabilité d'erreur diagnostique se basant sur combien le sommet du maximum de corrélation se détache des autres sommets. Lorsque la

probabilité d'erreur excède un seuil préétabli 98, il y a transmission d'un avertissement de l'existence d'un second cas probable d'explication diagnostique.

Enfin, les données concernant le sommet du maximum de corrélation sont retenues 100 et transmises au module d'estimation de polarité 102 ainsi qu'au module de calcul du coefficient γ de corrélation 104. Ce dernier coefficient:

$$\gamma = \frac{\sum_n x(t_n) \cdot y(t_n - \tau)}{\sqrt{\sum_n x(t_n)^2 \cdot \sum_n y(t_n - \tau)^2}} \quad (2)$$

10 donne une appréciation de la similitude entre les deux signaux de décharge comparés.

Le module de corrélation 64 fournit aussi la valeur de délai Δt canal à canal 106 de la décharge partielle ainsi que la portion de trace temporelle de la décharge de plus grande amplitude 108.

20 L'étalonnage du délai de propagation entre les sondes large-bande 2, 4 est effectuée usuellement au démarrage d'un test diagnostique. Suite à l'injection du signal d'étalonnage dans la sonde de synchronisation 14, la réponse captée par chaque sonde large-bande 2, 4 est analysée afin d'estimer le délai de propagation entre ces deux sondes 2, 4. Pour ce faire, un filtre de correction en phase et en amplitude (non illustré, mais réalisé par l'ordinateur 1) remodèle le signal perçu par la sonde située du côté le plus éloigné de la sonde de synchronisation 14 (par exemple sur la Figure 2 ce sera le signal de la première sonde 2). Le remodelage vise à corriger la distorsion que l'onde de propagation a subie dans sa traversée de l'accessoire 8. Le remodelage du signal de l'autre sonde est optionnel. Par après, les délais de propagation sont estimés par corrélation avec le signal injecté par la sonde de synchronisation 14. Cette dernière corrélation utilise les éléments 84, 86, 88, 123, 90, 100 et 102 illustrés à la Figure 13. La polarité du signal confirme la configuration de test. Par exemple, pour l'illustration de la Figure 2, la polarité doit apparaître inversée

sans quoi un des capteurs 2, 4 est disposé à l'envers de l'autre capteur. La somme des deux estimations de délai donne un estimé du délai de propagation entre les deux sondes large-bande 2, 4 pour les illustrations des Figures 1 et 2. Pour la configuration illustrée à la Figure 3, on prend la différence entre les deux estimés de délai.

Les décharges partielles sont caractérisées par une impulsion large bande de courte durée. Le facteur 68 de forme renseigne dans quelle mesure l'événement numérisé se conforme à cette dernière caractéristique. Le facteur 68 de forme est déduit du spectrogramme $X_{i,m}$ 72 filtré en temps-fréquence du signal x_n . Ce facteur est défini
10 comme le moment d'inertie spectral sur le moment d'inertie temporel tel que

$$F = \frac{\sum_i X_{i,m_s} \cdot (i - c)^2}{\sum_m \hat{x}_m \cdot (m - m_s)^2} \quad (3)$$

où

X_{i,m_s} est la transformée de Fourier correspondant à la tranche temporelle m_s coïncidant avec l'amplitude maximale de la décharge,

\hat{x}_m est le marginal temporel avec m comme indice de numéro de tranche temporelle du spectrogramme tel que $\hat{x}_m = \sum_i X_{i,m}$,

c est soit égal à zéro ou soit égal au centre de gravité de X_i tel que

$$20 \quad c = \frac{\sum_i X_i \cdot i}{\sum_i X_i}.$$

La Figure 14 illustre un spectrogramme $X_{i,m}$ tel que i est l'indice de la fréquence et m l'indice temporel, alors que la Figure 15 donne le résultat filtré. Dans la Figure 14, le temps est en abscisse alors que la fréquence est en ordonnée (les valeurs présentées ne sont pas à l'échelle). Les 3 lignes ondulées horizontales correspondent à des modulations radio nuisibles. Dans la Figure 15, les 3 signaux de modulations radio apparaissant sur la Figure 14 ont été éliminés.

La fonction filtre s'écrit:

$$Y_{i,m} = \begin{cases} \exp(\log(X_{i,m}) - (S_i + \chi)) & \text{lorsque } \log(X_{i,m}) \geq (S_i + \chi) \\ 1 & \text{lorsque } \log(X_{i,m}) < (S_i + \chi) \end{cases} \quad (4)$$

avec

$$S_i = \frac{\sum_k \log(X_{i,k})}{\sum_k 1} \quad (5)$$

où $k \in \left\{ m \mid \sum_i \log(X_{i,m}) \leq \text{Seuil marginal temporel} \right\}$.

En fonction de la durée de la numérisation et de la durée d'une décharge typique, le seuil marginal temporel est ajusté pour obtenir la fraction des tranches temporelles dans lesquelles on observe surtout du bruit. Il est donc préférable de disposer de données numérisées avant l'apparition de la décharge afin de disposer d'une mesure du bruit. Dans l'algorithme, l'ajustement du seuil marginal est effectué par essais et erreur en réduisant la plage de recherche d'un facteur deux à chaque essai. Pour chaque valeur de seuil testé, on obtient une proportion de tranches temporelles en dessous de ce seuil. L'ajustement itératif prend fin lorsque la proportion obtenue est voisine de celle requise.

Ainsi, S_i donne un estimé plausible de la densité spectrale moyenne du bruit (en dB) lors de la décharge. La constante χ est exprimée en décibel et permet de ne conserver que le signal émergent de χ décibels le bruit. Le résultat est un nivellement du bruit adapté à chaque ligne spectrale.

20

Le même algorithme peut être appliqué sur l'amplitude ou la puissance spectrale plutôt que sur le logarithme de $X_{i,m}$ (i.e. on remplace $\log(*)$ par $*$ et $\exp(*)$ par $*$). Cependant, la version exploitant le logarithme est de beaucoup plus efficace.

Les signaux de décharges partielles rapprochées sont caractérisées par lobe de plus grande amplitude suivi d'un petit nombre d'oscillation très amorties. Il apparaît parfois un demi-cycle d'oscillation avant le lobe de plus grande amplitude: cette

oscillation pré-sommet est de faible amplitude et n'est pas considérée. Le temps de montée est donc défini comme étant le passage de 5% à 95% de la montée du lobe de plus grande amplitude. À partir de la portion du signal contenant la décharge de plus grande amplitude, le module 98 (Figure 12) applique une transformée de Fourier et estime la fréquence type (ou fréquence caractéristique) de la décharge. Une particularité du traitement numérique est qu'il y a interpolation spectrale par ajout de zéros de part et d'autre du signal temporel avant application de la transformée de Fourier. L'inverse de la fréquence type, multiplié par un coefficient d'étalonnage, donne un estimé du temps de montée. L'avantage de ce calcul est qu'il est basé sur

10 l'ensemble des points du signal de décharge temporel : le résultat est donc plus robuste au bruit.

En référence aux Figures 21 à 27, il est illustré des plans possibles de l'électronique de L'UC 16. La Figure 21 concerne plus spécifiquement le circuit du microcontrôleur 77. Les canaux pour les sondes large-bande portent respectivement les noms de "canal jaune" et "canal bleu". On observe sur la Figure qu'il y a deux mesures d'alimentation pour ces deux canaux (pattes 19 à 22 de U1): une mesure de tension avant le fusible et une mesure après le fusible. Ces mesures permettent de constater un dysfonctionnement de l'une des sondes 2, 4. Le circuit comprend aussi un

20 connecteur CN1 pour fin de programmation et un autre connecteur COM1 pour communication par RS-232. Une des sorties analogiques (patte 3) du microcontrôleur (U1) est utilisée pour injecter un signal d'étalonnage dans les sondes large bande 2, 4 alors que l'autre (patte 2) est utilisée pour injecter un signal d'étalonnage dans la sonde de synchronisation 14.

Les Figures 22 et 23 illustrent les blocs d'alimentation des sondes large-bande 2, 4. La sortie d'un bloc d'alimentation contient à la fois le courant requis pour faire fonctionner l'électronique de la sonde 2, 4 et le signal informant l'électronique de la sonde 2, 4 du gain commandé. Ce signal contenant la commande de gain est une

30 tension superposée à la tension d'alimentation, tension qui est commandée par le microcontrôleur U1. Le circuit d'un bloc d'alimentation est donc constitué d'une

source de tension de référence (U14/U13), d'un convertisseur numérique/analogique (U8/U9), d'un sommateur de tension (U5) et d'un régulateur de tension (U10/U11).

Les Figures 24 et 25 illustrent les schémas des circuits large-bande (i.e. RF) d'amplification et de conditionnement des signal des sondes large-bande 2, 4. À l'extrémité gauche, on note la présence de l'injection du signal d'alimentation de la sonde 2, 4 au travers d'une inductance (L2/L3) et la présence d'un condensateur de couplage RF (C27/C31). Ces deux composants ont pour rôle de découpler le circuit d'alimentation du circuit d'amplification. Ce filtre d'aiguillage de signal et d'alimentation est suivi d'une protection et d'un filtre passe-haut (PBLP_39), lui-même suivi d'un étage d'adaptation d'impédance (U16, U17/U20, U19) et de filtres (PBLP_39) disposés en parallèle et commutables. La commutation est commandé par le microcontrôleur (U1) via 4 bits. En haut à gauche, on note une entrée pour l'injection du signal de calibration du "zéro". Enfin, un dernier étage d'amplification (U18/U22) transmet le signal traité dans une ligne de 50 Ohms.

La Figure 26 illustre le conditionnement du signal de la sonde de synchronisation 14. Le circuit débute à la droite avec un filtre d'aiguillage (C15) entre le signal d'étalonnage (RF) transmis à la sonde et le signal en provenance de la sonde (60 Hz). Ce dernier signal, après passage dans une inductance (L1), est écrêté proche des passages par zéro. Le signal ainsi écrêté est reconduit dans un filtre passe bas et dans un filtre à bande étroite suiveur. Ce dernier filtre est relié à un filtre passe-bas identique au premier filtre passe-bas afin de conserver le même délai. Ces signaux filtrés par les passe-bas sont transmis au microcontrôleur (U1) qui commande la réponse du filtre passe-bande de sorte que l'on observe un déphasage de 360 degrés entre la sortie des deux filtres passe-bas. Un dernier circuit d'amplification situé en bas de la Figure transmet au microcontrôleur (U1) le signal sinusoïdal filtré et en phase avec celui de la sonde de synchronisation 14. Ce signal est utilisé par le microcontrôleur (U1) pour estimer la phase du 60 Hz en fonction du temps.

30

La Figure 27 expose les divers circuits d'alimentation des circuits de l'unité de contrôle 16.

Bien que des réalisations de l'invention aient été illustrées dans les dessins ci-joints et décrites ci-dessus, il apparaîtra évident pour les personnes versées dans l'art que des changements et des modifications peuvent être apportés à ces réalisations sans s'écarter de l'essence de l'invention.

REVENDEICATIONS:

1. Appareil pour détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, comprenant:

deux sondes de mesure et une sonde de synchronisation aptes à être installées le long de l'équipement électrique de manière à ce que les sondes de mesure puissent détecter des impulsions voyageant dans l'équipement électrique et à ce que la sonde de synchronisation puisse détecter un angle de phase dans l'équipement électrique;

une unité de contrôle se connectant aux sondes de mesure pour recevoir des signaux représentatifs des impulsions détectées, et se connectant à la sonde de synchronisation pour acquérir un signal représentatif de la phase détectée, l'unité de contrôle ayant un circuit de conditionnement sélectif des signaux reçus; et

une unité de traitement numérique se connectant à l'unité de contrôle pour acquérir les signaux après conditionnement sélectif en fonction de l'angle de phase détecté et piloter l'unité de contrôle, l'unité de traitement numérique ayant un module de mesure de corrélation des signaux acquis, un module faisant une distribution temps-fréquence d'au moins un des signaux acquis, un module d'estimation d'un facteur de forme dérivé de la distribution temps-fréquence, et un module de diagnostic réagissant à des résultats générés par les modules de corrélation et d'estimation du facteur de forme pour générer un diagnostic indicatif d'une détection d'une décharge partielle et de sa localisation le long de l'équipement électrique.

2. L'appareil selon la revendication 1, dans lequel l'unité de traitement comprend de plus un module d'élimination de candidats de solutions diagnostiques correspondant à des traces dans les signaux acquis découlant d'impulsions détectées ayant des délais de propagation hors plage entre les sondes de mesure.

3. L'appareil selon la revendication 2, dans lequel un seuil de délais considérés hors plage par le module d'élimination est réglable par un utilisateur.

4. L'appareil selon la revendication 2, dans lequel l'unité de contrôle comprend un circuit pour générer un signal d'étalonnage transmis à la sonde de synchronisation qui l'injecte dans l'équipement électrique, l'unité de traitement numérique étant apte, à partir des signaux acquis correspondant à des impulsions détectées par les sondes de mesure causées par le signal d'étalonnage injecté dans l'équipement électrique, à déterminer le délai de propagation entre les sondes de mesure, le seuil de délais considérés hors plage étant réglé en fonction du délai de propagation ainsi déterminé.

10

5. L'appareil selon la revendication 1, dans lequel l'unité de traitement comprend de plus un module d'estimation de probabilité d'erreur en fonction d'un rapport entre un sommet d'un maximum de corrélation parmi d'autres sommets de corrélation, un signal d'avertissement indicatif d'un second cas probable d'explication diagnostique étant transmis au module de diagnostic lorsque la probabilité d'erreur dépasse un seuil préétabli.

6. L'appareil selon la revendication 1, dans lequel l'unité de traitement comprend de plus un module de détection de traces typiques de rayonnement dans les signaux acquis, leur traitement cessant et un diagnostic "rayonnement" étant retenu lorsqu'il est établi que les signaux acquis correspondent à du rayonnement.

20

7. L'appareil selon la revendication 1, dans lequel le module de corrélation fournit au module de diagnostic un signal indicatif des polarités des impulsions dans les signaux acquis, un coefficient de corrélation des signaux corrélés, une portion de trace temporelle d'une décharge de plus grande amplitude, et une distance temporelle entre une même décharge captée par les sondes de mesure.

8. L'appareil selon la revendication 7, dans lequel l'unité de traitement comprend de plus un module d'estimation d'une largeur de bande équivalente et d'un

30

temps de montée de la décharge de plus grande amplitude, qui sont fournis au module de diagnostic.

9. Méthode pour détecter, localiser et interpréter une décharge partielle susceptible de survenir dans un site de décharge partielle le long d'un équipement électrique, comprenant:

détecter des impulsions voyageant dans l'équipement électrique à l'aide de deux sondes de mesure espacées l'une de l'autre le long de l'équipement électrique;

10 détecter un angle de phase dans l'équipement électrique à l'aide d'une sonde de synchronisation disposée le long de l'équipement électrique;

effectuer un conditionnement sélectif de signaux représentatifs des impulsions détectées;

acquérir les signaux après le conditionnement sélectif en fonction de l'angle de phase détecté;

mettre les signaux acquis en corrélation;

présenter au moins un des signaux acquis dans une distribution temps-fréquence;

estimer un facteur de forme dérivé de la distribution temps-fréquence; et

20 établir un diagnostic indicatif d'une détection d'une décharge partielle et de sa localisation le long de l'équipement électrique en fonction des résultats de la corrélation et du facteur de forme.

10. La méthode selon la revendication 9, comprenant de plus:

éliminer des candidats de solutions diagnostiques correspondant à des traces dans les signaux acquis découlant d'impulsions détectées ayant des délais de propagation hors plage entre les sondes de mesure.

11. La méthode selon la revendication 10, comprenant de plus:

30 générer un signal d'étalonnage transmis à la sonde de synchronisation qui l'injecte dans l'équipement électrique; et

à partir des signaux acquis correspondant à des impulsions détectées par les sondes de mesure causées par le signal d'étalonnage injecté dans l'équipement électrique, déterminer un délai de propagation entre les sondes de mesure, le seuil de délais considérés hors plage étant réglé en fonction du délai de propagation ainsi déterminé.

12. La méthode selon la revendication 9, comprenant de plus:

10 estimer une probabilité d'erreur en fonction d'un rapport entre un sommet d'un maximum de corrélation parmi d'autres sommets de corrélation, un signal d'avertissement indicatif d'un second cas probable d'explication diagnostique étant produit lorsque la probabilité d'erreur dépasse un seuil préétabli.

13. La méthode selon la revendication 9, comprenant de plus:

détecter des traces typiques de rayonnement dans les signaux acquis, leur traitement cessant et un diagnostic "rayonnement" étant retenu lorsqu'il est établi que les signaux acquis correspondent à du rayonnement.

14. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle le diagnostic est établi aussi selon un signal indicatif des polarités des impulsions dans les signaux acquis,
20 un coefficient de corrélation des signaux corrélés, une portion de trace temporelle d'une décharge de plus grande amplitude, une distance temporelle entre une même décharge captée par les sondes de mesure, une largeur de bande équivalente et un temps de montée de la décharge de plus grande amplitude.

15. La méthode selon la revendication 9, dans laquelle le facteur correspond au rapport d'une largeur de bande spectrale sur une durée temporelle d'une impulsion de décharge dans l'un des signaux acquis, la largeur de bande spectrale et la durée temporelle étant estimées à partir d'une ligne spectrale dominante et d'un marginal temporel de la décharge partielle présentée dans la distribution temps-
30 fréquence.

16. La méthode selon la revendication 15, dans laquelle la distribution temps-fréquence correspond à un spectrogramme, à une transformé de Wigner-Ville, ou à une transformée en ondelettes dudit au moins un des signaux acquis.

17. La méthode selon la revendication 15, dans laquelle la distribution temps-fréquence fait l'objet préalable d'un filtrage temps-fréquence avant estimation du facteur de forme de manière à retirer un bruit de fond présentant une puissance spectrale sensiblement constante dans le temps.

10 18. La méthode selon la revendication 9, comprenant de plus:
interpoler les signaux acquis avant corrélation.

19. Sonde magnétique large-bande pour détecter des impulsions voyageant dans un équipement électrique causées par une décharge partielle, comprenant:

une pince amovible ayant une boucle conductrice formant un circuit de captation magnétique apte à entourer une section de l'équipement électrique de manière à capter un signal représentant une composante magnétique axiale des impulsions voyageant dans l'équipement électrique;

20 un blindage conducteur recouvrant et isolant électrostatiquement la boucle conductrice, le blindage conducteur étant en circuit ouvert à des bouts opposés de la pince de sorte qu'un interstice apparaît entre les bouts de la pince;

un connecteur fermant le circuit de la boucle conductrice aux bouts de la pince où se situe l'interstice lorsque la pince est installée autour de l'équipement électrique;
et

un connecteur pour établir une connexion électrique externe avec le circuit d'amplification.

20. Sonde magnétique large-bande selon la revendication 19, comprenant de plus un circuit d'amplification intégré dans le blindage conducteur et intercalé dans la
30 boucle conductrice de manière à filtrer et amplifier le signal.

21. Sonde magnétique large bande selon la revendication 20, dans laquelle le circuit d'amplification est à gain commandé.

Application number/numéro de demande: 02508428

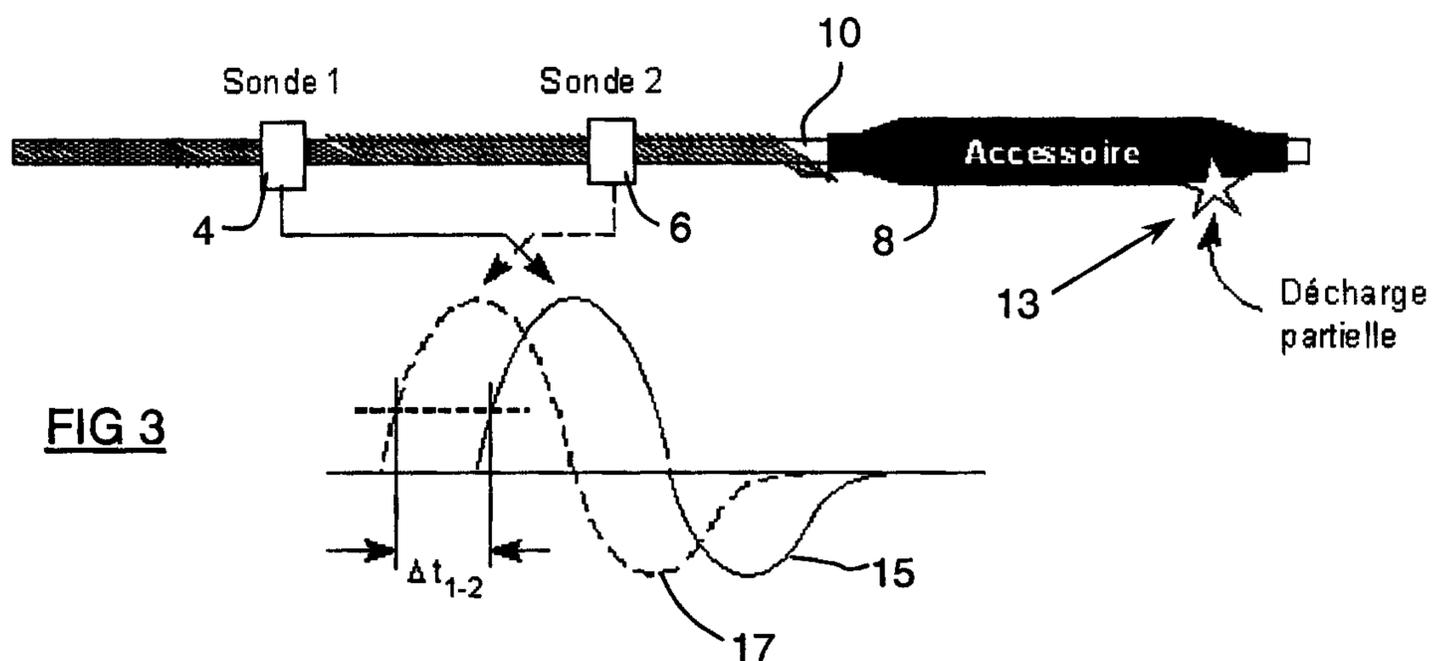
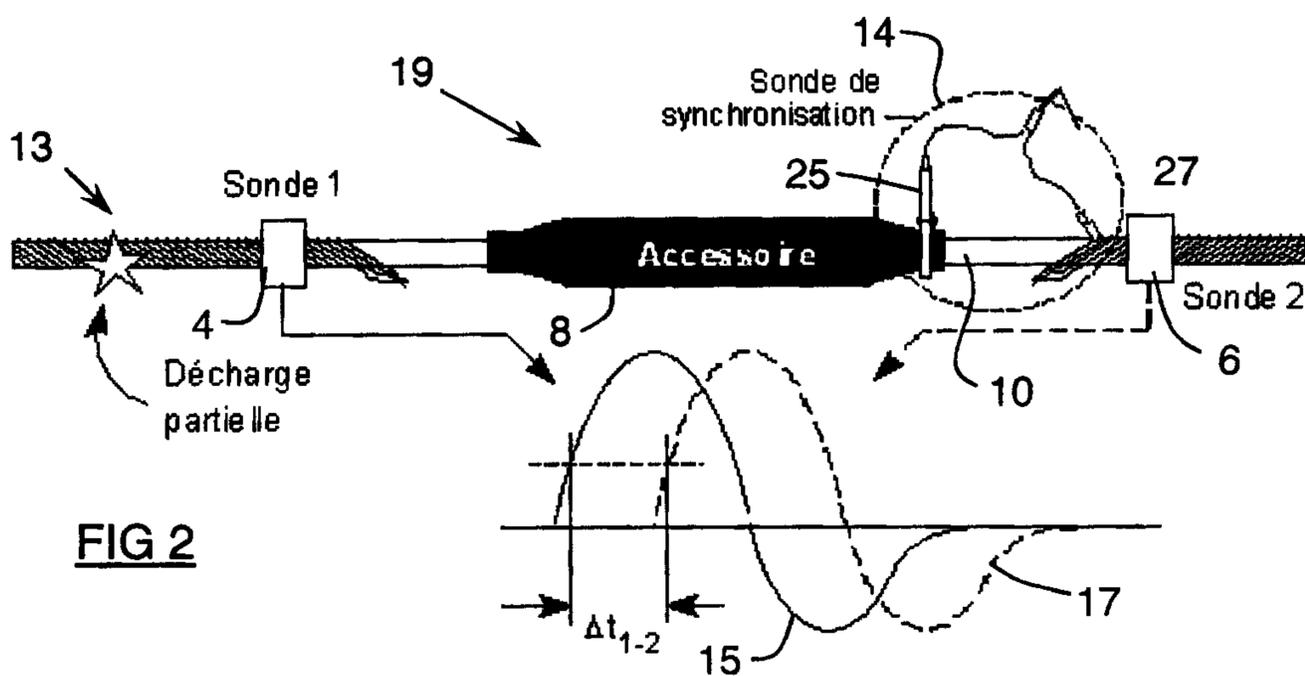
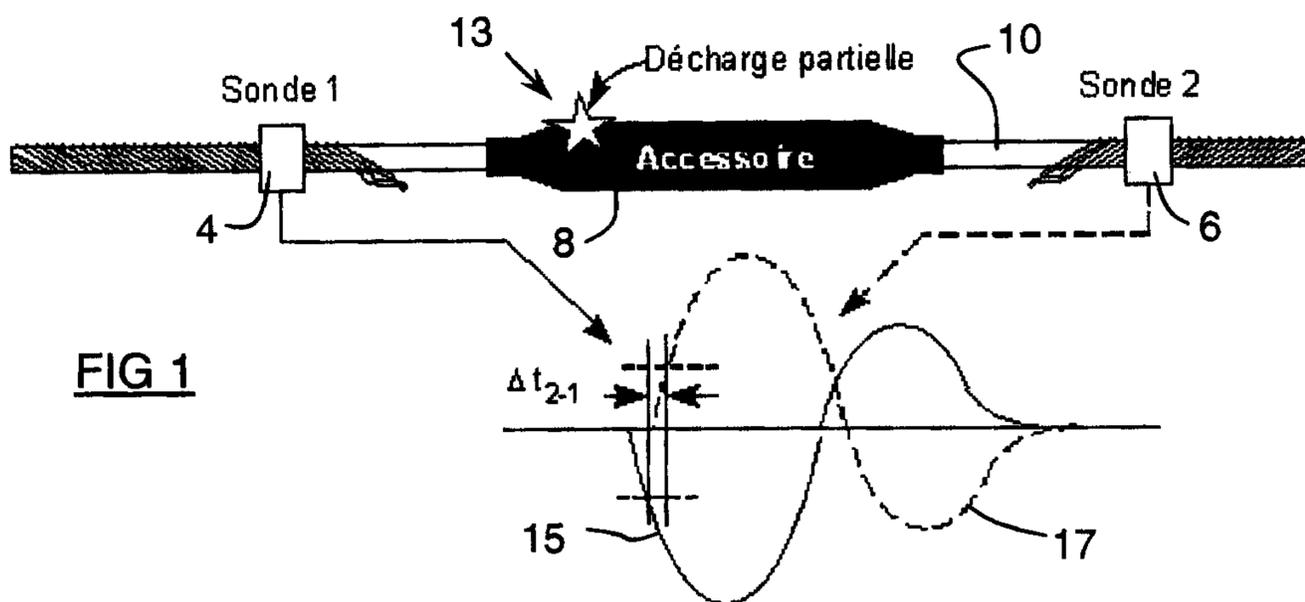
Figures: 5, 6a-b, 7, 14, 15, 16, 17, 20

Pages: _____

DRW-IP

Unscannable items
received with this application
(Request original documents in File Prep. Section on the 10th Floor)

Documents reçus avec cette demande ne pouvant être balayés
(Commander les documents originaux dans la section de préparation des dossiers au
10ième étage)



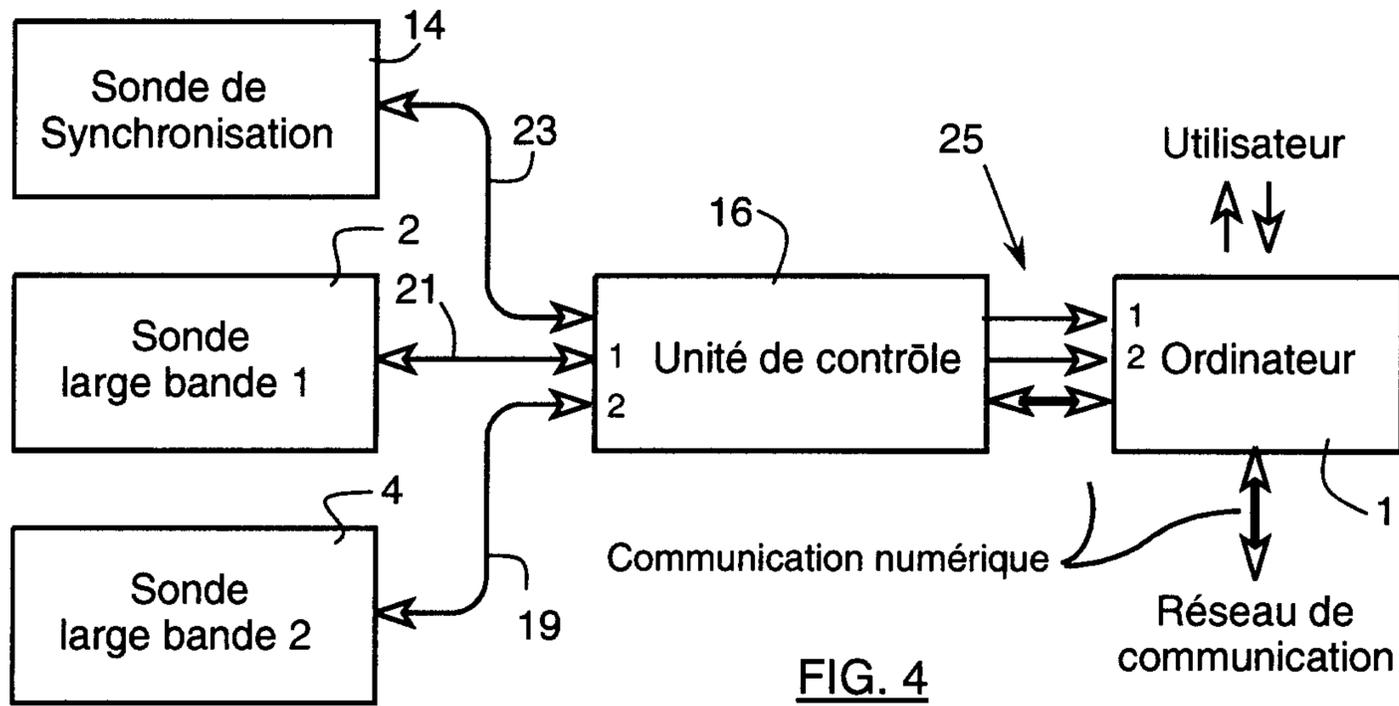


FIG. 4

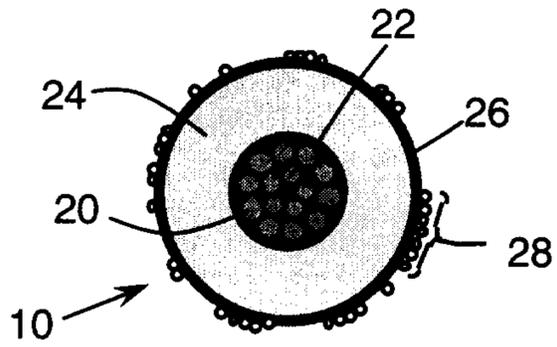


FIG. 5

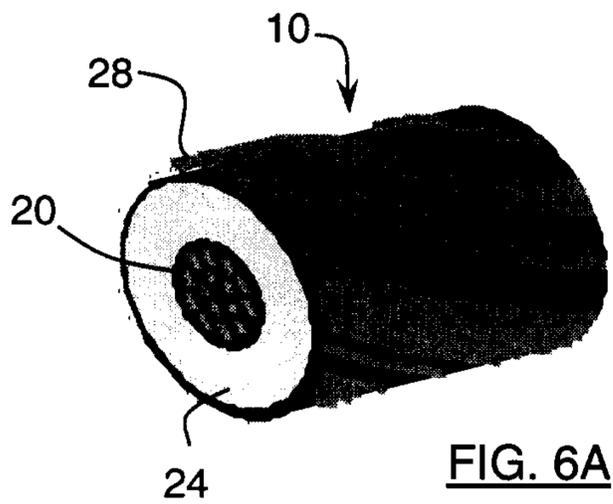


FIG. 6A

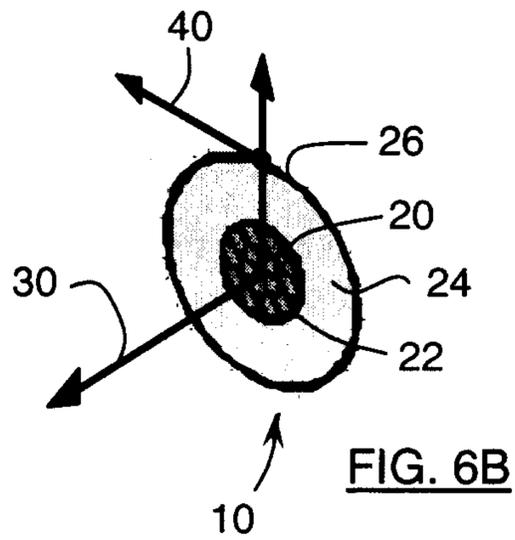
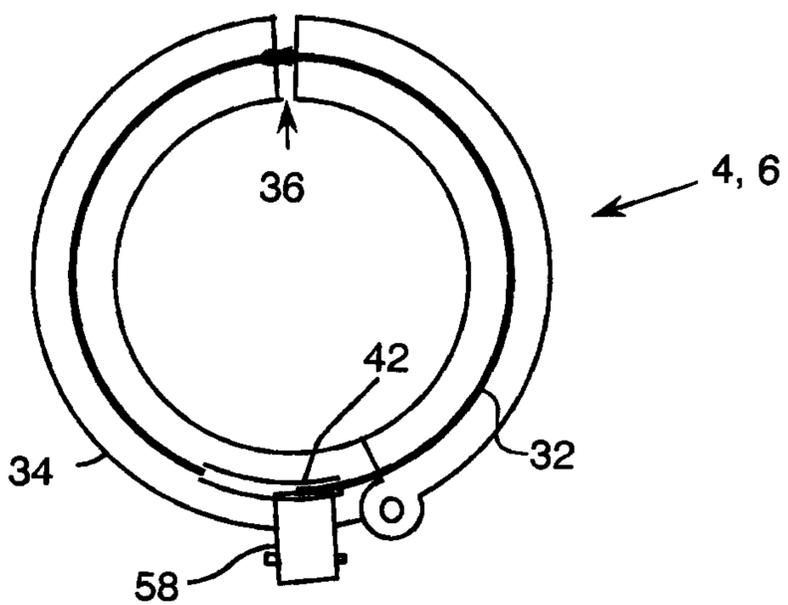
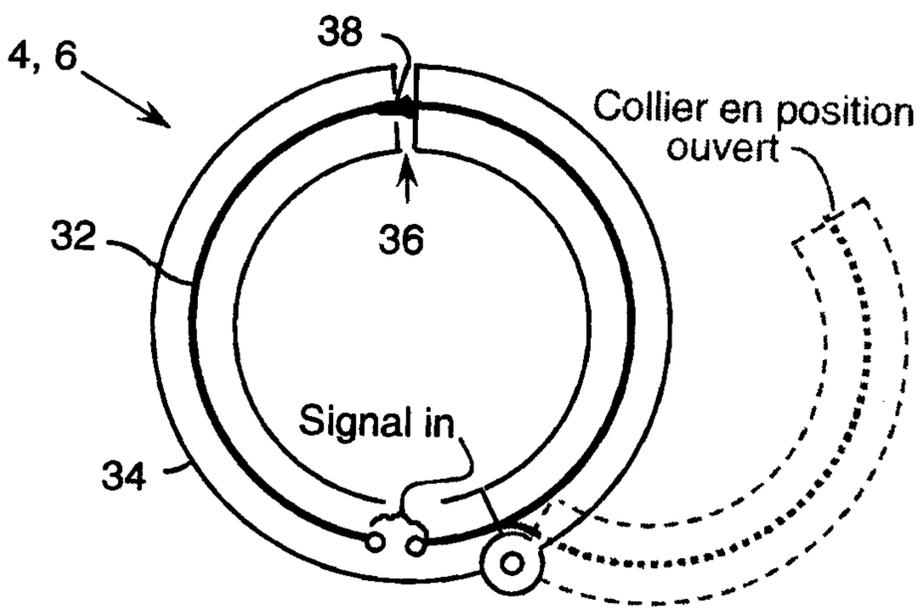
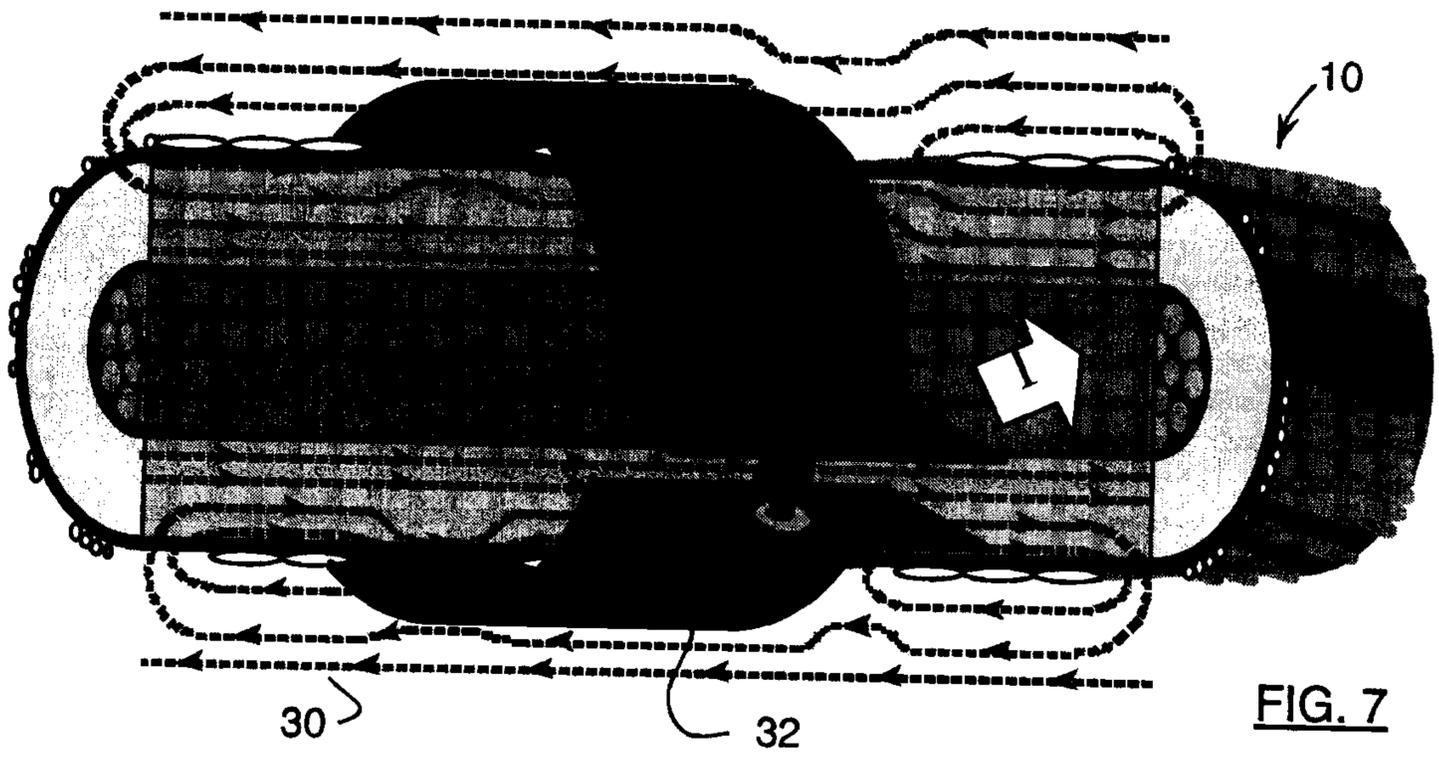


FIG. 6B



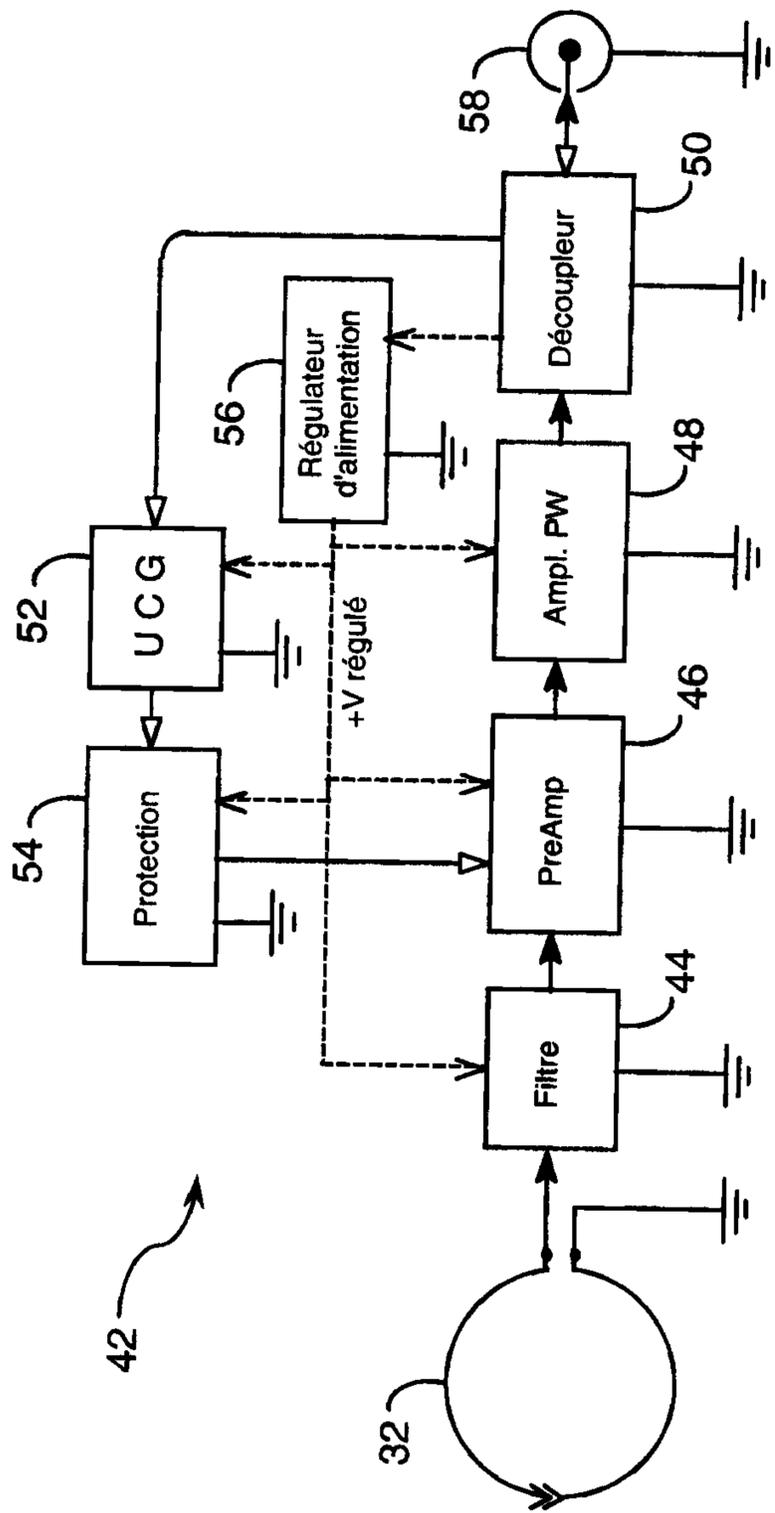


FIG. 10

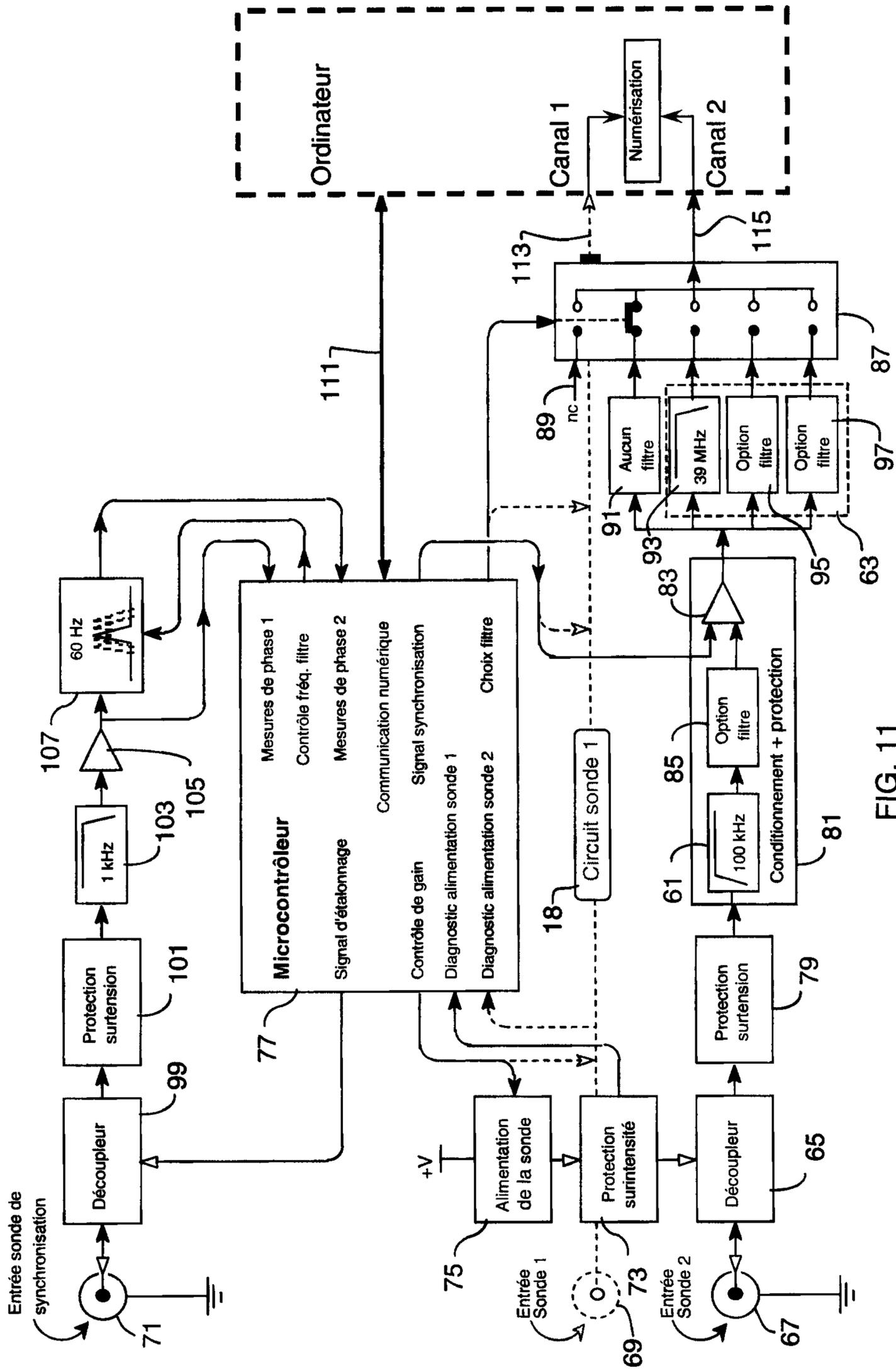


FIG. 11

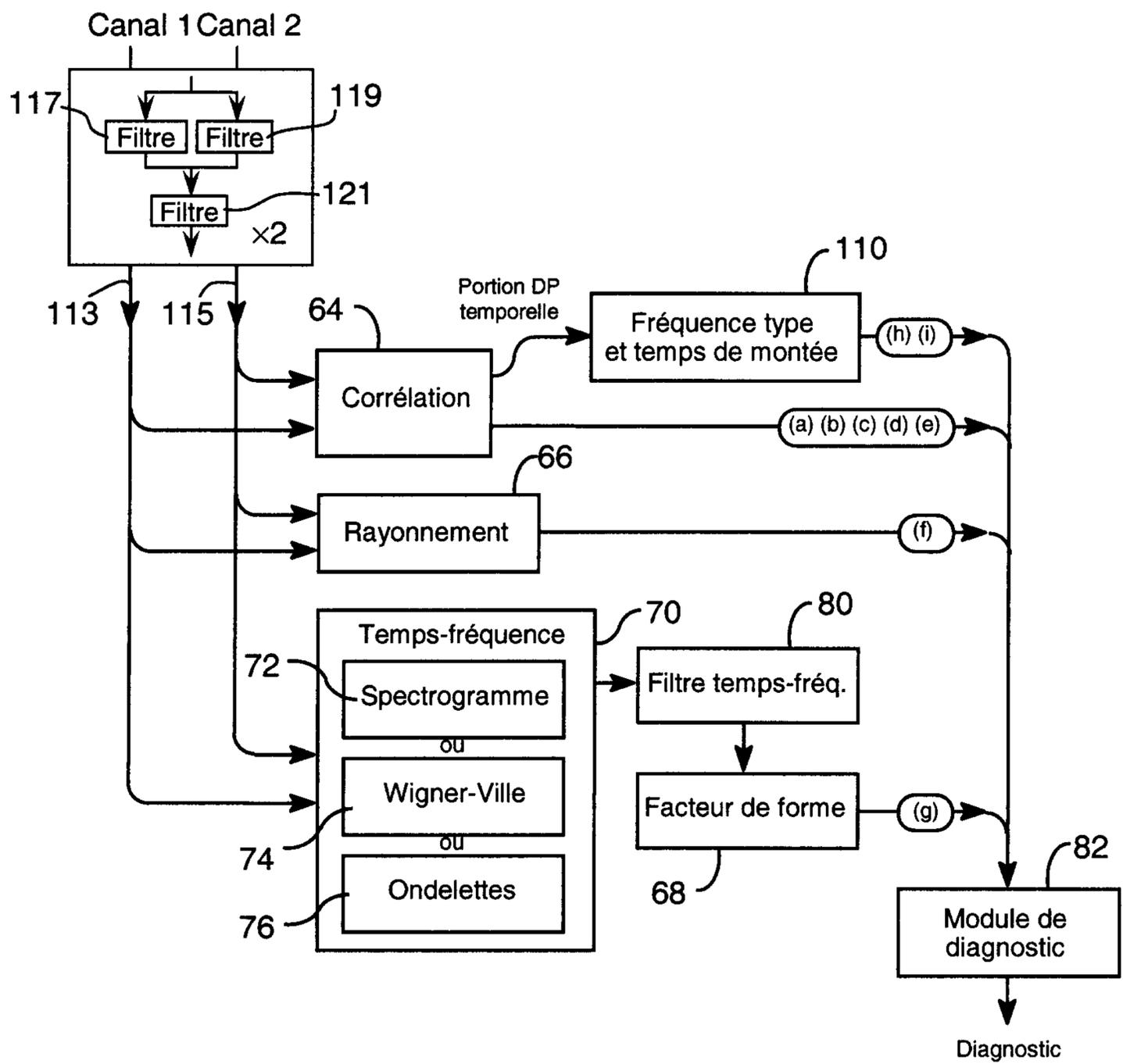


FIG. 12

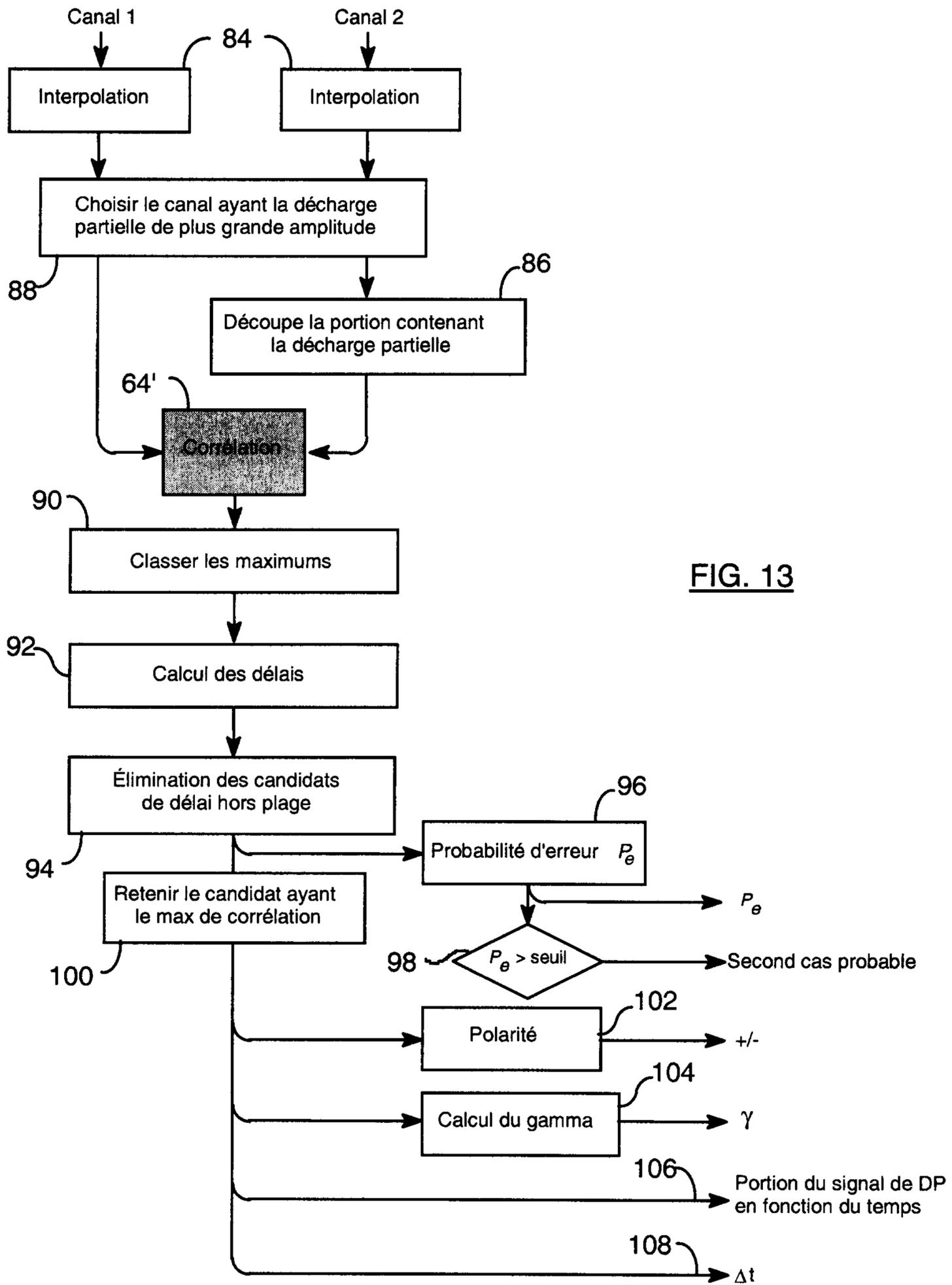


FIG. 13

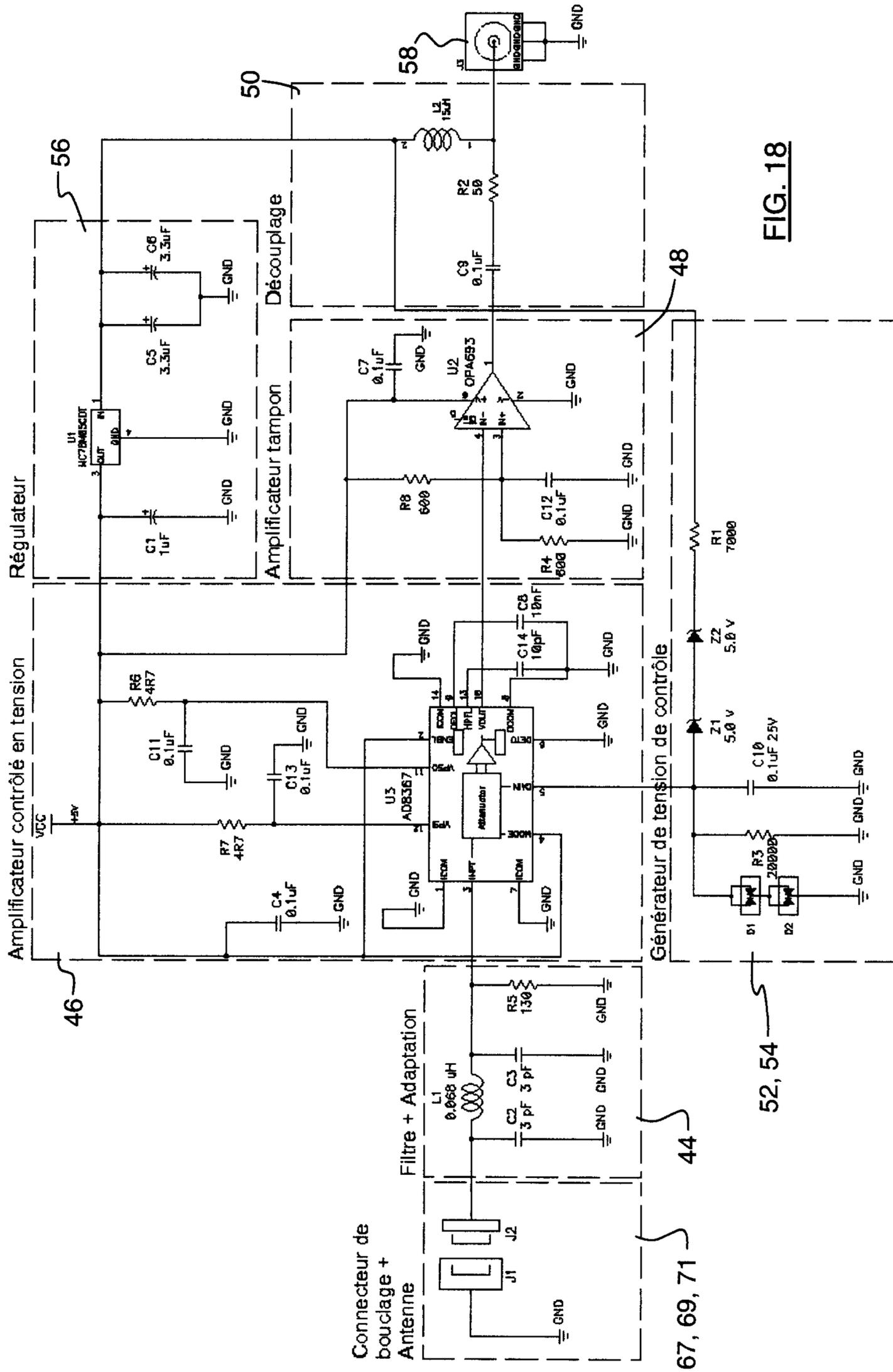


FIG. 18

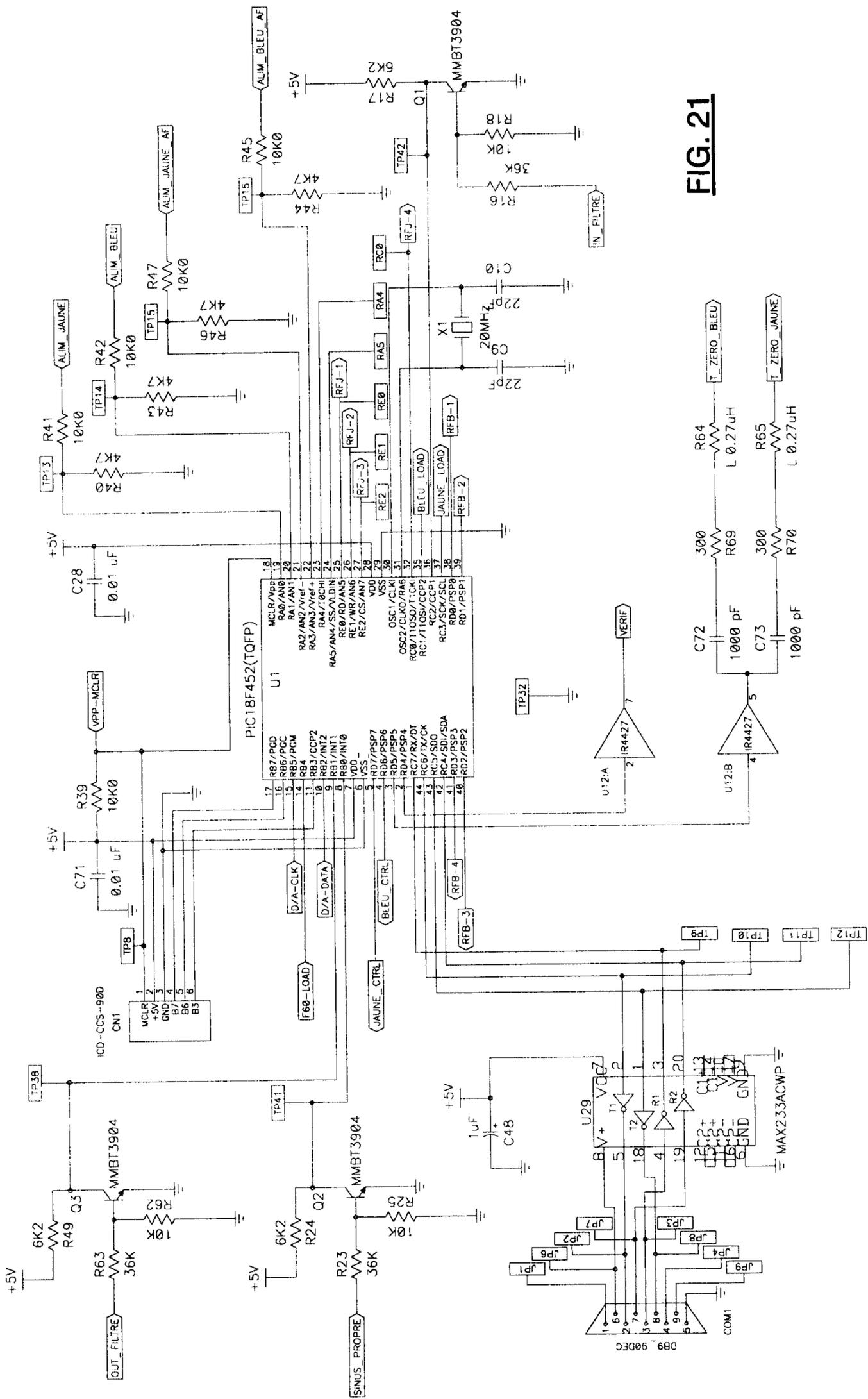


FIG. 21

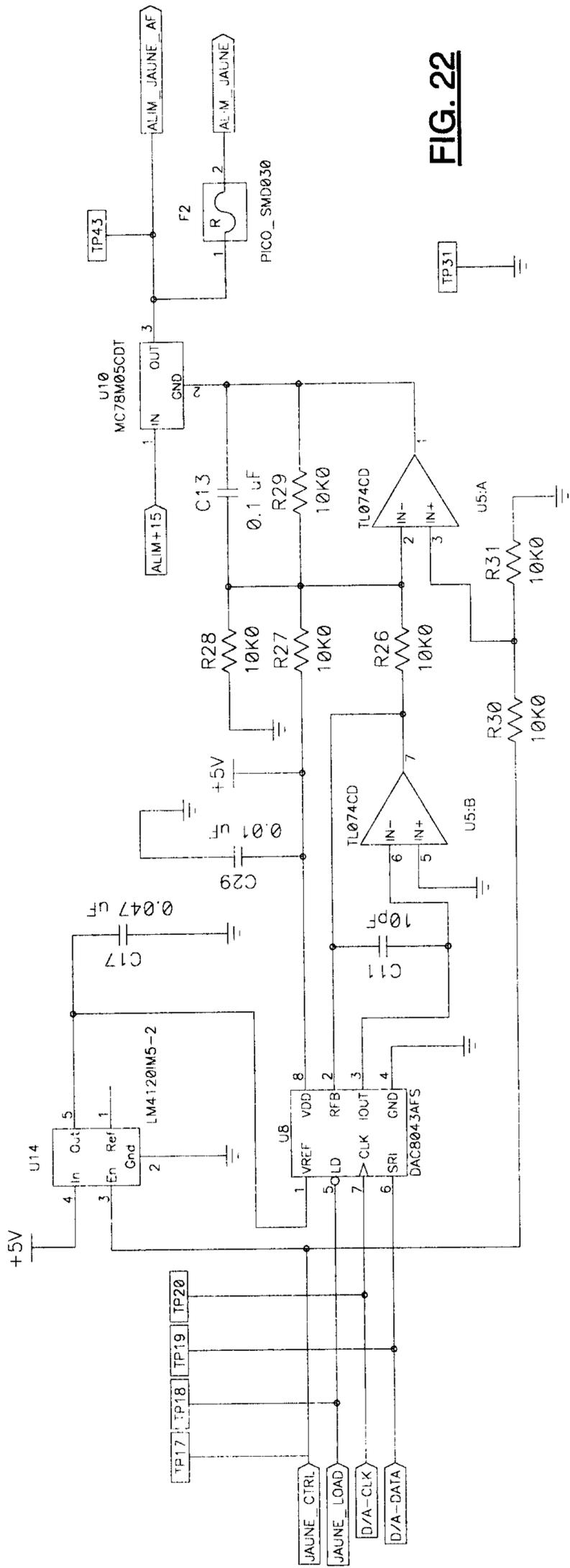


FIG. 22

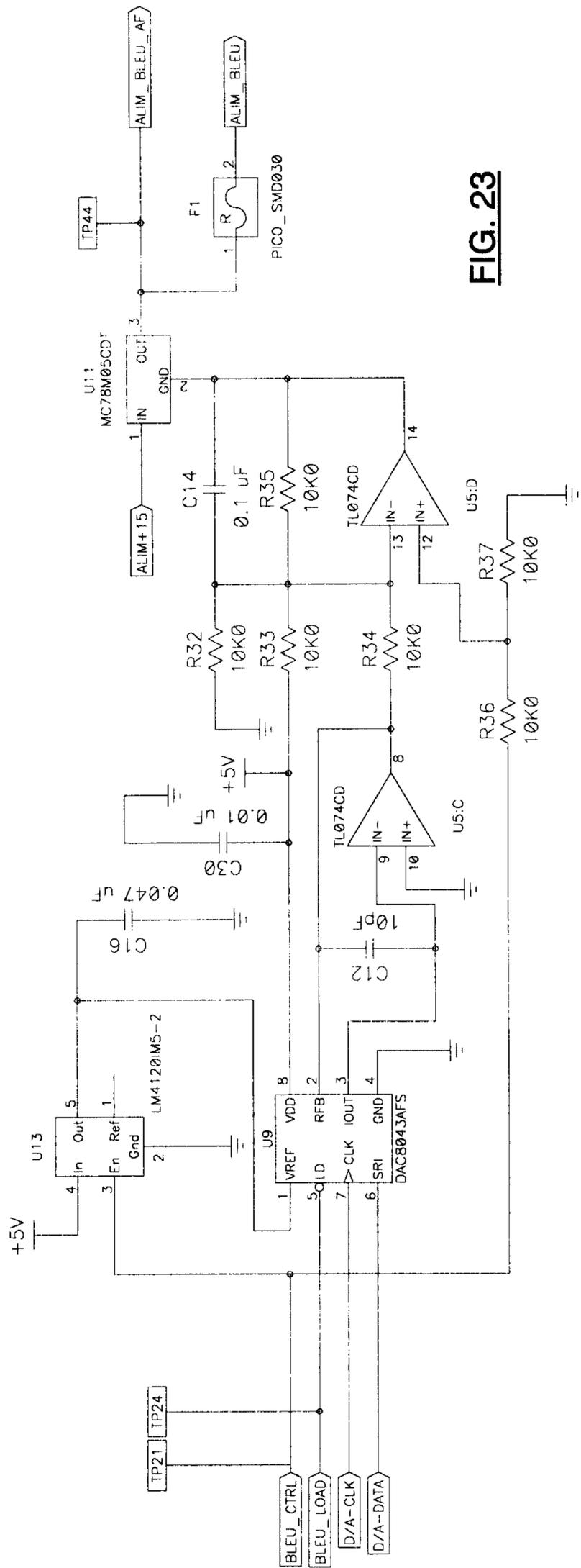


FIG. 23

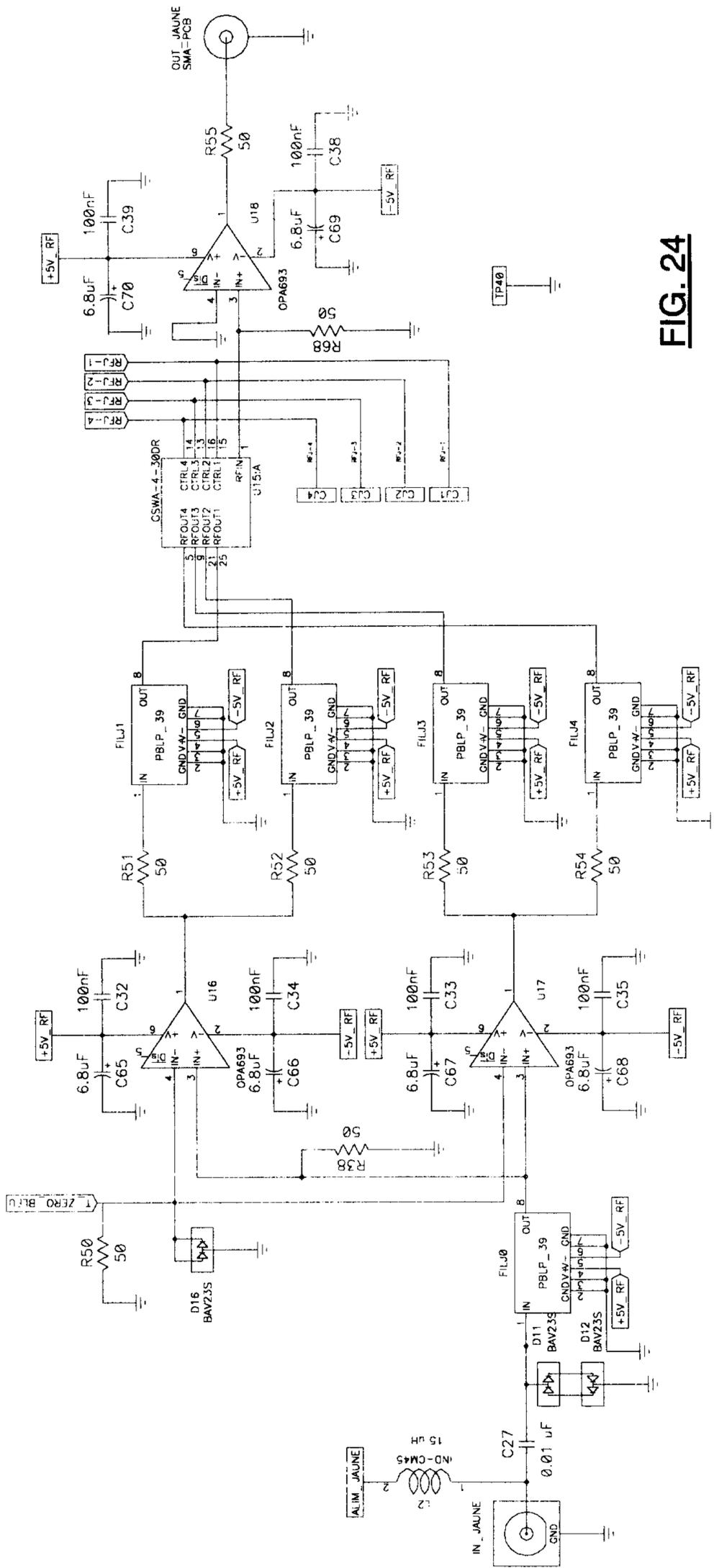


FIG. 24

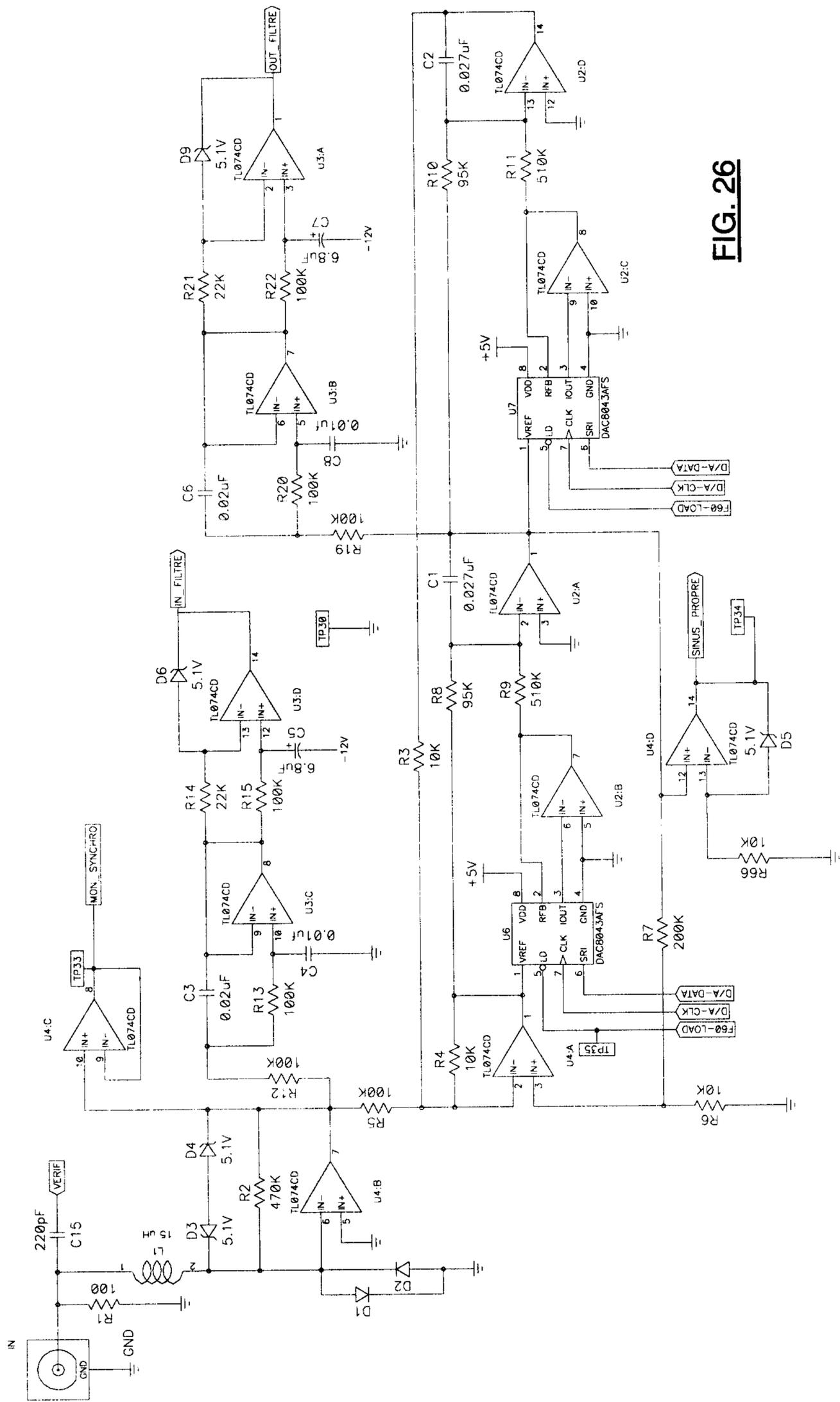


FIG. 26

