

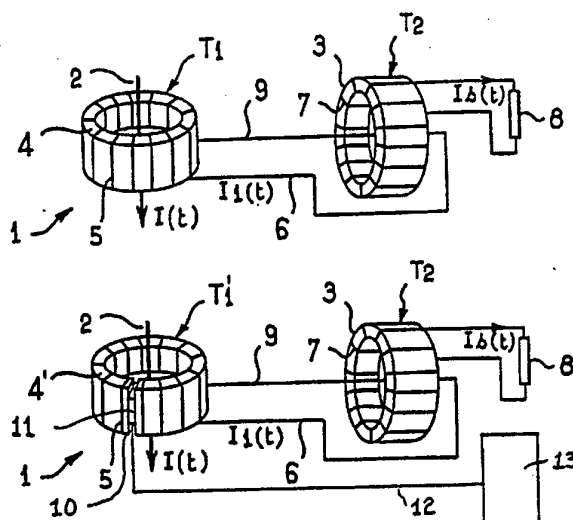


DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁵ : G01R 15/07, H01F 40/14	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 94/28429 (43) Date de publication internationale: 8 décembre 1994 (08.12.94)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/CH94/00100 (22) Date de dépôt international: 31 mai 1994 (31.05.94) (30) Données relatives à la priorité: 93/06518 1er juin 1993 (01.06.93) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): LIAISONS ELECTRONIQUES-MECANIKES LEM S.A. [CH/CH]; 8, chemin des Aulx, CH-1228 Plan-les-Quates (CH). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): COSTA, François [FR/FR]; 6, rue des deux-Frères, F-94230 Cachan (FR). LABOURE, Eric [FR/FR]; 20, avenue du Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny, F-94230 Cachan (FR). (74) Mandataires: HRANITZKY, Wilhelm etc.; William Blanc & Cie, 9, rue du Valais, CH-1202 Genève (CH).		(81) Etats désignés: CN, DE, GB, JP, RU, US. Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE DYNAMIC COMPONENTS OF AN ELECTRIC CURRENT IN THE PRESENCE OF A CONTINUOUS COMPONENT

(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA MESURE DE COMPOSANTES DYNAMIQUES D'UN COURANT ELECTRIQUE EN PRESENCE D'UNE COMPOSANTE CONTINUE

**(57) Abstract**

The method comprises a first step for converting by magnetic coupling the current $I(t)$ to be measured into a first induced current $I_1(t)$, and a second magnetic coupling current conversion step, in which the input current is the induced current from the first conversion step, and the induced current from the second conversion step $I_s(t)$ is applied to a measurement impedance (8) to provide an image of the dynamic component of the current $I(t)$ to be measured.

(57) Abrégé

Le procédé comprend une première étape pour transformer par couplage magnétique le courant à mesurer ($I(t)$) en un premier courant induit ($I_1(t)$), et une seconde étape de transformation de courant par couplage magnétique dans laquelle le courant d'entrée est le courant induit de la première étape de transformation, le courant induit de la seconde étape de transformation ($I_s(t)$) étant appliqué à une impédance de mesure (8), pour fournir une image de la composante dynamique du courant à mesurer ($I(t)$).

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brésil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	SN	Sénégal
CN	Chine	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LV	Lettonie	TG	Togo
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA MESURE DE COMPOSANTES
DYNAMIQUES D'UN COURANT ELECTRIQUE EN PRESENCE
D'UNE COMPOSANTE CONTINUE

La présente invention concerne un procédé pour la mesure de composantes dynamiques, à fréquences supérieures au Megahertz, dans un courant électrique ($I(t)$) circulant dans un conducteur, ce procédé comprenant une première étape de transformation par couplage magnétique du courant à mesurer ($I(t)$) en un premier courant induit ($I_1(t)$), et au moins une deuxième étape de transformation de courant par couplage magnétique dans laquelle le courant d'entrée est le courant induit de l'étape de transformation précédente, le courant induit de la dernière étape de transformation ($I_s(t)$) étant mesuré pour obtenir une image des composantes dynamiques du courant à mesurer ($I(t)$).

Elle vise également un dispositif de mesure mettant en oeuvre ce procédé.

La mesure de courant représente actuellement un maillon essentiel dans de nombreux dispositifs de régulation, automatismes industriels et en métrologie. On attend de plus en plus d'une mesure de courant qu'elle soit exploitable dans une large bande de fréquence et en présence ou non d'une composante continue. Ceci est dû au développement considérable des équipements d'électronique de puissance à haute fréquence, notamment des alimentations à découpage, où les bandes passantes des signaux à observer atteignent plusieurs centaines de MHz. En effet, lors des commutations, des oscillations créées par l'existence de capacités et d'inductances parasites peuvent atteindre des fréquences de plusieurs dizaines de MHz, justifiant une bande passante de plusieurs centaines de MHz pour observer correctement ces phénomènes.

Par ailleurs, on observe des besoins 'grandissants en équipements de mesure destinés aux études de compatibilité électromagnétique (CEM).

On connaît des procédés de mesure qui mettent généralement en oeuvre un transformateur de courant comprenant un tore au centre duquel est placé le conducteur parcouru par le courant à mesurer et qui est doté d'un enroulement secondaire à grand nombre de spires générant une tension de sortie qui peut être intégrée pour fournir une image du courant à mesurer. Les sondes réalisées sur ce principe présentent de bonnes performances à basse fréquence mais ne sont pas appropriées aux hautes fréquences du fait d'un nombre de spires trop élevé.

On connaît également des procédés de mesure de courant par effet Hall performants à basse fréquence mais présentant une bande passante insuffisante limitée par les performances de l'asservissement interne de courant mis en oeuvre. Il existe aussi des sondes de mesure combinant une sonde à effet Hall et un transformateur de courant, qui présentent une bande passante du continu jusqu'à plusieurs dizaines de MHz mais sont très sensibles à l'environnement électromagnétique.

Il existe également un procédé de mesure mettant en oeuvre une fibre optique comme élément sensible au courant. Ce procédé, basé sur l'effet Faraday, permet la mesure de courants très élevés dans d'excellentes conditions d'isolation, avec une grande bande passante et une bonne précision et est actuellement utilisé dans des applications à tension et courant élevés.

On connaît aussi un procédé consistant à mesurer la tension aux bornes d'une résistance traversée par le courant à mesurer dans un dispositif d'électronique. La bande passante correspondant à ce procédé est uniquement limitée par l'effet de peau dans l'élément résistif. Mais ce procédé présente l'inconvénient de ne pas assurer d'isolation entre la partie puissance et le dispositif de mesure.

Un but principal de la présente invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé permettant de mesurer des composantes dynamiques d'un courant électrique circulant dans un conducteur, qui permette de tenir compte de la présence d'une composante continue et offre une très grande bande passante.

Suivant l'invention, le procédé est caractérisé en ce que, dans la première étape de transformation, le couplage magnétique est obtenu par mise en oeuvre d'un circuit magnétique à réluctance relativement élevée pour limiter à un niveau voulu l'incidence d'une composante continue du courant à mesurer ($I(t)$) sur la mesure des composantes dynamiques, et que, dans chacune des étapes successives de transformation, le couplage magnétique est obtenu par mise en oeuvre d'un circuit magnétique respectif présentant une réluctance sensiblement plus faible pour minimiser la fréquence de coupure basse de la mesure.

Selon une forme de mise en oeuvre de ce procédé, dans la première étape de transformation, le couplage magnétique est obtenu par la mise en oeuvre d'un circuit magnétique en un matériau à perméabilité magnétique élevée, comportant au moins un entrefer. Dans ce cas, l'on peut mesurer le champ magnétique dans ledit entrefer pour obtenir une mesure de la composante continue du courant à mesurer.

Le dispositif de mesure, mettant en oeuvre le procédé selon l'invention, comprend un ensemble d'au moins deux transformateurs d'intensité disposés en cascade comportant un premier transformateur d'intensité ayant pour primaire le conducteur parcouru par le courant à mesurer, et un dernier transformateur d'intensité possédant un enroulement secondaire fermé sur une impédance de mesure, chaque transformateur suivant le premier ayant pour primaire un conducteur court-circuitant électriquement l'enroulement secondaire du transformateur précédent, et il est caractérisé, selon une forme de

réalisation, en ce que le circuit magnétique du premier transformateur d'intensité (T1) est réalisé en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relative suffisamment faible pour limiter à un niveau voulu l'incidence d'une composante continue du courant à mesurer sur la mesure des composantes dynamiques, et que les circuits magnétiques des transformateurs d'intensité de rang supérieur à un (T2) sont réalisés en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relative sensiblement plus élevée.

Suivant une autre forme d'exécution, le dispositif est caractérisé en ce que les circuits magnétiques des transformateurs d'intensité sont réalisés en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relativement élevée et que le circuit magnétique du premier transformateur d'intensité (T1) comporte au moins un entrefer. Il peut alors comporter des moyens pour mesurer le champ magnétique dans ledit entrefer.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront dans la description donnée ci-après d'exemples de réalisation illustrés aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1a montre schématiquement l'agencement général d'un dispositif selon l'invention;
- la fig. 1b montre, également schématiquement, une variante d'exécution du dispositif de la figure 1a;
- la figure 2 est une vue en coupe d'un dispositif de mesure mettant en oeuvre le procédé selon l'invention;
- la figure 3 est une vue en perspective d'un dispositif de mesure selon l'invention;

- la figure 4 est une vue en coupe d'un boîtier agencé pour contenir les composants du dispositif de mesure selon l'invention;

- la figure 5 illustre un exemple de montage interne d'un dispositif selon l'invention;

- la figure 6 représente un montage de validation expérimental d'un dispositif de mesure selon l'invention; et

- la figure 7 montre deux formes d'onde de courant correspondant respectivement à une mesure par sonde inductive et à une mesure effectuée avec le dispositif selon l'invention.

On va maintenant expliquer le procédé de mesure selon l'invention en décrivant un mode particulier de réalisation d'un dispositif selon l'invention, en référence aux figures 1a à 5.

Le procédé utilisé dans l'invention consiste en la mise en cascade d'au moins deux transformateurs d'intensité dont les circuits magnétiques sont constitués de ferrites de performances différentes. Ainsi, en référence à la figure 1a, un dispositif de mesure 1 selon l'invention comprend un premier transformateur T1 constitué par exemple d'un circuit magnétique 4 de forme torique, ayant pour primaire un conducteur 2 traversé par le courant $I(t)$ que l'on souhaite mesurer et pour secondaire un enroulement 5 comprenant plusieurs spires, par exemple dix, et un second transformateur T2 comprenant un circuit magnétique 3, par exemple également de forme torique. Ce second transformateur T2, placé dans un plan orthogonal au plan du premier transformateur T1, a pour primaire un unique conducteur 9 passant dans le centre du tore 3, relié d'une part, à une première borne de l'enroulement secondaire 5 du premier transformateur T1, et d'autre part, à la seconde borne dudit enroulement secondaire 5 à travers un court-circuit 6. Le second transformateur T2 possède également un enroulement secondaire 7 bobiné autour du tore 3 et relié à une impédance de mesure 8

parcouru par un courant de sortie $I_s(t)$ qui est l'image du courant $I(t)$ à mesurer.

La ferrite constituant le circuit magnétique 4 du premier transformateur T1 présente une faible perméabilité relative, notamment pour éviter, dans la gamme de mesure visée, une saturation par la composante continue du courant à mesurer $I(t)$, et une trop forte influence de cette composante sur la fréquence de coupure basse, alors que la ferrite constituant le tore suivant 3, ou plus généralement l'ensemble des tores suivants en cascade, présente une perméabilité beaucoup plus élevée pour assurer une fréquence de coupure basse la plus petite possible.

Le courant à mesurer $I(t)$ est appliqué au primaire 2 du premier transformateur d'intensité T1 dont le secondaire 5, parcouru par un courant $I_1(t)$, est placé en court-circuit à travers le primaire 9, 6 du second transformateur d'intensité T2.

Cet agencement est répété lorsque plusieurs transformateurs d'intensité sont cascades. L'enroulement secondaire du dernier transformateur d'intensité est fermée sur une impédance de mesure.

Le procédé selon l'invention permet ainsi d'obtenir:

- une très large bande passante (de quelques KHz à quelques 100 MHz),
- une gamme de courant efficace étendue (jusqu'à 1000 A efficace),
- une très faible sensibilité de la bande passante à la composante continue du courant mesuré,
- une très faible susceptibilité électromagnétique.

Dans un exemple pratique de réalisation de l'invention mettant en oeuvre deux transformateurs d'intensité T1, T2 selon l'agencement décrit en figure 1a, un dispositif de mesure 20 compact comprend un premier module de mesure 35 contenant notamment les deux transformateurs d'intensité T1, T2 et un second module 34 contenant notamment la résistance de charge 8 et des moyens de connexion 33 du dispositif de mesure à des équipements extérieurs (non représentés), en référence aux figures 2 à 5. Le premier module 35 comprend, en référence à la vue en coupe de la figure 2, un premier logement 25 conçu pour recevoir le premier transformateur d'intensité T1 et un second logement 26 conçu pour recevoir le second transformateur T2 et un tore Tm de filtrage de mode commun. Ces deux logements 25, 26 sont réalisés dans une pièce conductrice amagnétique 49 qui assure le blindage électromagnétique du dispositif de mesure. Dans le premier logement 25, le premier transformateur d'intensité T1 est placé autour d'un anneau 21 en matériau amagnétique de rayon sensiblement égal ou inférieur au rayon du passage intérieur du tore bobiné 5 et de longueur inférieure à la hauteur du logement 25 de sorte qu'un espacement prédéterminé e sépare l'extrémité libre de cet anneau 21 de la paroi du premier logement 25 qui est en vis à vis. Cet espacement, égal par exemple à 1/10 mm, est prévu pour faire en sorte que l'anneau 21, qui est relié électriquement au blindage 49, ne soit pas en court-circuit électrique avec ce blindage, ce qui aurait pour effet de créer une boucle entourant le circuit magnétique 4. L'anneau amagnétique 21, permet de supprimer la capacité primaire/secondaire et de diminuer l'inductance de fuite primaire en haute fréquence (HF). Le conducteur traversé par le courant à mesurer est placé dans le logement 31 constitué par la partie intérieure de l'anneau amagnétique. Le second logement 26 communique avec le premier logement 25 par un passage 27 étroit suffisant pour permettre le passage des conducteurs 9, 6 reliés aux bornes de l'enroulement secondaire 5. Dans ce second logement 26, les conducteurs précités transitent dans le trou central du tore Tm de filtrage en mode commun prévu pour diminuer les courants de circulation dans la

pièce de blindage 49 du dispositif de mesure. Le courant du secondaire 5 du premier transformateur d'intensité T1 constitue le courant primaire du second transformateur d'intensité T2. Celui-ci est placé dans le second logement de telle façon que l'axe de symétrie du tore de ce second transformateur d'intensité T2 est orthogonal à l'axe de symétrie du tore du premier transformateur d'intensité T1. Le premier conducteur 9, qui constitue le conducteur primaire du second transformateur d'intensité T2, est disposé coaxialement et de façon à réaliser un court-circuit à travers la partie 28 de la pièce de blindage 49 qui entoure le second transformateur d'intensité T2 et qui est reliée électriquement au second conducteur 6.

Le dispositif de mesure 20 réalisé en pratique se présente extérieurement, en référence à la figure 3, sous la forme d'un boîtier parallélépipédique constitué d'un premier boîtier 35 et d'un second boîtier 34 séparé du premier par une plaque de cuivre 30; ces deux boîtiers présentant une section identique et étant réalisés dans le même matériau conducteur amagnétique, par exemple du Dural. Le premier boîtier 35, traversé par un logement cylindrique 31, destiné à recevoir le conducteur 2 objet de la mesure de courant, est refermé par un couvercle plan 38 comprenant un trou cylindrique 39 coïncident avec le logement cylindrique 31 et quatre trous 37a, 37b, 37c, 37d placés aux quatre coins dudit couvercle 38 et agencés pour permettre le vissage de ce couvercle par rapport au premier boîtier 35. La plaque de cuivre 30, présentant une surface supérieure à la section commune des premier et second boîtiers 35, 34 constitue pour le dispositif de mesure selon l'invention une référence de masse. Le second boîtier 34, prévu notamment pour recevoir la résistance de mesure 8, comprend deux trous 61, 62 permettant la solidarisation mécanique de l'ensemble constitué par le premier boîtier 35, la plaque de cuivre 30 et le second boîtier 34, et un connecteur 33 de type coaxial comprenant une armature externe 57 reliée électriquement via le corps du second boîtier 34 à une première borne de la résistance de mesure 8, et une âme coaxiale interne 36 reliée électriquement à la seconde borne de ladite

résistance 8. Ainsi, la tension observée au niveau du connecteur 33 est une image du courant traversant l'enroulement secondaire du transformateur d'intensité T2.

Dans la forme de réalisation pratique décrite en référence à la figure 4, les premier et second boîtiers 35, 34 sont réalisés par usinage de blocs homogènes parallélépipédiques d'un même matériau, par exemple du Dural, dans lesquels des évidements sont pratiqués pour recevoir les éléments constitutifs du dispositif de mesure selon l'invention. La figure 4 représente une vue de dessus des boîtiers 35, 34 nus qui constituent à la fois des structures d'accueil des composants et un blindage électromagnétique. Ainsi, le premier boîtier 35 comprend un premier logement annulaire 41 conçu pour recevoir le premier transformateur d'intensité T1 et présentant dans sa partie intérieure l'anneau amagnétique 21, un second logement 42, de forme sensiblement parallélépipédique, destiné à recevoir le tore Tm de filtrage en mode commun et un dispositif de connexion coaxial de l'enroulement secondaire du premier transformateur d'intensité T1 au conducteur primaire du second transformateur d'intensité T2, et un troisième logement 43, de forme cylindrique, destiné à recevoir le second transformateur d'intensité T2. Le second logement 42 communique avec le premier logement par un petit passage évidé de profondeur sensiblement plus faible que la profondeur des premier et second logements et conçu pour permettre le passage des conducteurs reliés à l'enroulement secondaire du premier transformateur d'intensité T1. Le troisième logement 43 communique avec le second logement 42 par un petit orifice circulaire 60 destiné à recevoir une tige filetée (non représentée sur la figure 4) faisant fonction de conducteur coaxial entre l'enroulement secondaire du premier transformateur d'intensité T1 et le primaire du second transformateur d'intensité T2. Le premier boîtier 35 comprend également quatre trous filetés 37a, 37b, 37c, 37d prévus pour recevoir quatre vis (non représentées) destinées à la fixation du couvercle 38 (cf. figure 3) par rapport audit premier boîtier 35, et deux trous filetés 47, 48 prévus pour recevoir deux vis

(non représentées) de fixation du second boîtier 34 et de la plaque de cuivre 30 au premier boîtier 35. La plaque de cuivre 30 comprend deux trous de fixation 63, 64 respectivement en regard des trous 47, 48 ménagés dans le premier boîtier et des trous 62, 61 ménagés dans le second boîtier 34, un trou principal 45 prévu pour le passage d'une tige filetée et d'un trou auxiliaire prévu pour le passage des conducteurs de sortie de l'enroulement secondaire du second transformateur d'intensité T2. Le second boîtier 34 comprend un logement 46 prévu pour recevoir la résistance de mesure 8, un trou 44 réalisé sur sa paroi d'extrémité et situé dans l'axe du trou principal 45 de la plaque de cuivre 30, et du trou 60 de communication entre les second et troisième logements 42, 43, et des trous 62, 61 respectivement en regard des trous 63, 64 de la plaque de cuivre et des trous 47, 48 du premier boîtier 35, ces trous 62, 61 étant prévus pour recevoir des vis de fixation.

On va maintenant décrire l'assemblage des différents éléments du dispositif de mesure selon l'invention au sein des boîtiers, en référence à la figure 5.

Le premier transformateur d'intensité T1 est placé dans le logement 41. Un premier élément isolant 51, par exemple un film isolant de faible épaisseur, est placé entre la périphérie extérieure du premier transformateur d'intensité T1 et la paroi 71 du logement cylindrique 41. L'enroulement secondaire 5 est de préférence constitué d'un faible nombre de spires, par exemple dix, de façon à limiter la valeur des inductances et capacités parasites. Ces spires sont réparties uniformément sur le circuit magnétique torique 4 et réalisées de préférence par mise en parallèle de plusieurs conducteurs élémentaires, par exemple quatre, afin de réduire l'inductance de fuite du transformateur d'intensité T1 et la résistance par effet de peau. A la sortie de l'enroulement secondaire 5, les conducteurs en parallèle sont réunis pour constituer respectivement le conducteur 9 destiné à être relié à la tige conductrice d'une vis 56 et le conducteur 6 destiné à être relié au blindage coaxial constitué par une

partie du premier boîtier 35. Ces deux conducteurs 9, 6 passent dans l'orifice intérieur du tore T_m de filtrage en mode commun puis sont reliés respectivement à une première rondelle 52 et à une seconde rondelle 54 séparées l'une de l'autre par une rondelle isolante 53, l'ensemble de ces trois rondelles 52, 54, 53 étant maintenu en contact contre une paroi du second logement 42 par un système de fixation comprenant la vis 56, un écrou 55 situé dans le second logement 42 et au contact de la première rondelle 52, et la tête 70 de la vis 56, située dans le logement 46 du second boîtier 34 et au contact de la plaque de cuivre 30. Le second transformateur d'intensité T_2 est placé dans le troisième logement 43 du premier boîtier 35 et isolé galvaniquement des parois internes du troisième logement par un film isolant 51'. Son enroulement secondaire 7 est agencé sensiblement de la même façon que l'enroulement secondaire du premier transformateur T_1 : faible nombre de spires, conducteurs mis en parallèle et répartition uniforme sur le tore. Les conducteurs de sortie de l'enroulement secondaire 7 sont passés à travers le trou auxiliaire 65 de la plaque de cuivre 30 et aboutissent dans le logement 46 du second boîtier 34 pour être reliés aux bornes de la résistance de mesure 8, dont la valeur peut par exemple être choisie égale à 50 ohms. Une première borne 72 de la résistance de mesure 8 est reliée électriquement à l'embase 58 du connecteur 33, tandis que la seconde borne 73 de la résistance 8 est reliée électriquement à l'âme 36 dudit connecteur 33. Ce dernier est fixé à la paroi latérale du second boîtier 34 par un écrou 74 et son embase 58 est en contact électrique avec le second boîtier 34 et la plaque de cuivre 30. On peut ainsi prévoir un montage avec une rondelle isolante 59 du côté extérieur et un écrou 74 en matériau non conducteur, par exemple en Nylon. Bien d'autres agencements du connecteur de sortie peuvent être envisagés pour délivrer à l'extérieur du dispositif de mesure la tension aux bornes de la résistance de mesure.

Le circuit magnétique du premier transformateur d'intensité T_1 est, dans le présent exemple, réalisé en matériau ferrite

présentant une faible perméabilité relative (par exemple, Ni-Zn ayant un μ_R d'environ 300) et donc peu sensible à une composante continue du courant primaire. Le circuit du second transformateur d'intensité T2, et plus généralement des éventuels autres trans-formateurs en cascade, est réalisé en matériau ferrite Zn-Mn présentant une perméabilité beaucoup plus élevée pour que la fréquence de coupure soit la plus basse possible.

Il est à noter qu'au lieu d'utiliser, dans le premier transformateur, un circuit magnétique continu à faible perméabilité, on peut utiliser un circuit en un matériau à haute perméabilité, mais présentant un entrefer. Dans un tel cas, il est aussi possible de loger, dans cet entrefer, un détecteur de champ magnétique tel qu'une cellule de Hall, pour permettre la mesure de la composante continue du courant tel que cela a été décrit dans le brevet US 5,146,156.

La figure 1b montre une telle variante de réalisation du dispositif de la figure 1a, selon laquelle le circuit magnétique 4' du premier transformateur T₁ présente un entrefer 10. Une cellule de Hall 11 est placée dans l'entrefer 10 et est reliée, au moyen de conducteurs représentés par la ligne 12, à un dispositif de mesure 13 pour la mesure de la composante continue ou de composantes à basses fréquences.

On va maintenant décrire le fonctionnement du dispositif de mesure selon l'invention en référence aux figures 1a, 3 et 5 et présenter un mode de validation expérimentale en référence aux figures 6 et 7.

La présence d'un courant $I(t)$ dans le conducteur 2 a pour effet de générer une induction magnétique dans le circuit magnétique 4 du premier transformateur T₁. Si le courant $I(t)$ varie temporellement, la variation de l'induction magnétique entraîne la création d'un courant induit $I_1(t)$ dans l'enroulement secondaire. Ce courant induit parcourt les

conducteurs 9 et 6 passant par le centre du tore de filtrage en mode commun T_m et contribue à magnétiser le circuit magnétique 3 du second transformateur d'intensité T_2 . Une induction magnétique variable apparaît dans le circuit magnétique 3 en réponse à la circulation du courant dans les conducteurs 6 et 9, et contribue à la création d'un courant induit $i_s(t)$ dans l'enroulement secondaire 7 du second transformateur d'intensité T_2 qui est refermé sur la résistance de mesure 8. La tension observée aux bornes de la résistance de mesure 8 est alors une image homothétique du courant puisque les différentes grandeurs physiques: courant, induction magnétique, tension sont liées par des relations linéaires. En effet, les matériaux utilisés pour les circuits magnétiques des transformateurs d'intensité sont choisis de telle sorte qu'une linéarité quasi-parfaite soit observée entre le courant primaire et le courant secondaire. La faible perméabilité relative du matériau utilisé pour le circuit magnétique du premier transformateur d'intensité permet d'éviter une saturation due à l'existence d'une composante continue du courant à mesurer. La mise en oeuvre de transformateurs d'intensité en cascade, deux dans l'exemple décrit, permet d'utiliser des enroulements secondaires à faible nombre de spires et par conséquent de réduire sensiblement la valeur des composants parasites apparaissant dans le montage équivalent du dispositif.

Le dispositif de mesure 20 selon l'invention a été mis en oeuvre dans un montage 80 de validation expérimentale comprenant une source d'alimentation continue 81, un condensateur de filtrage 82, une charge 85, notamment une charge inductive telle qu'un moteur électrique à courant continu, une diode de roue libre 84 montée en antiparallèle sur la charge 85, et un transistor de puissance 86, par exemple un transistor MOSFET. Le drain du transistor 86 est relié à une borne de la charge 85 connectée à l'anode de la diode de roue libre 84, sa grille est reliée à un circuit de commande de grille 83 et sa source est reliée à la masse du montage.

Le courant de source $I(t)$ est mesuré d'une part par le dispositif 20 de mesure selon l'invention, et d'autre part, par observation de la chute de tension aux bornes d'une inductance L calibrée présente entre la source et la masse et de très faible valeur. La tension $V_s(t)$ générée par le dispositif de mesure 20 est multipliée par un coefficient $(1/k)$ pour délivrer une image dynamique $I_T(t)$ du courant à mesurer $I(t)$.

La chute de tension aux bornes de l'inductance L est observée au moyen d'une sonde 87, éventuellement atténuatrice si le niveau crête de tension le justifie, et est ensuite intégrée pour délivrer une image $I_R(t)$ du courant $I(t)$ à mesurer. Ce procédé de mesure, qui n'offre cependant aucun isolement galvanique, peut fournir du fait de sa simplicité de mise en oeuvre, une mesure de référence permettant de valider le procédé selon l'invention.

Si on étudie la réponse en courant à un front montant appliqué sur la grille du transistor 86 provoquent la conduction de ce dernier, on obtient les formes d'onde 7.a et 7.b correspondant respectivement aux courants $I_R(t)$ et $I_T(t)$ obtenus avec la sonde inductive à intégration et avec le dispositif de mesure selon l'invention. On constate une très bonne correspondance entre la forme d'onde de référence $I_R(t)$ et la forme d'onde $I_T(t)$ issue du dispositif selon l'invention, qui met en évidence les performances du dispositif selon l'invention en termes de bande passante et de précision.

Il est ainsi possible de réaliser des dispositifs de mesure présentant une faible sensibilité aux perturbations électromagnétiques et des performances élevées. A titre d'exemple, on a pu obtenir pour un dispositif de mesure effectivement réalisé, les caractéristiques suivantes:

une sensibilité de 100 mV/A sur une charge de 50 Ohms;

une bande passante (à -3 dB): de 4 kHz à 300 MHz;

une faible sensibilité au courant continu: un courant continu de 20 A élève la fréquence de coupure basse d'un facteur 2; et

un courant efficace vrai nominal de 50 A.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour la mesure de composantes dynamiques, à fréquences supérieures au Megahertz, dans un courant électrique ($I(t)$) circulant dans un conducteur (2), ce procédé comprenant une première étape de transformation par couplage magnétique du courant à mesurer ($I(t)$) en un premier courant induit ($I_1(t)$), et au moins une deuxième étape de transformation de courant par couplage magnétique dans laquelle le courant d'entrée est le courant induit de l'étape de transformation précédente, le courant induit de la dernière étape de transformation ($I_s(t)$) étant mesuré pour obtenir une image des composantes dynamiques du courant à mesurer ($I(t)$), caractérisé en ce que, dans la première étape de transformation, le couplage magnétique est obtenu par mise en oeuvre d'un circuit magnétique (4) à réluctance relativement élevée pour limiter à un niveau voulu l'incidence d'une composante continue du courant à mesurer ($I(t)$) sur la mesure des composantes dynamiques, et que, dans chacune des étapes successives de transformation, le couplage magnétique est obtenu par mise en oeuvre d'un circuit magnétique respectif (3) présentant une réluctance sensiblement plus faible pour minimiser la fréquence de coupure basse de la mesure.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, dans la première étape de transformation, le couplage magnétique est obtenu par la mise en oeuvre d'un circuit magnétique en un matériau à perméabilité magnétique élevée, comportant au moins un entrefer.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on mesure le champ magnétique dans ledit entrefer pour obtenir une mesure de la composante continue du courant à mesurer.

4. Dispositif pour la mesure de composantes dynamiques, à fréquences supérieures au Mégahertz, dans un courant électrique ($I(t)$) circulant dans un conducteur (2), caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble d'au moins deux transformateurs d'intensité

(T1, T2) de courant disposés en cascade, un premier transformateur d'intensité (T1) ayant pour primaire le conducteur (2) parcouru par le courant à mesurer, et un dernier transformateur d'intensité (T2) possédant un enroulement secondaire (7) fermé sur une impédance de mesure (8), chaque transformateur suivant le premier ayant pour primaire un conducteur court-circuitant électriquement l'enroulement secondaire du transformateur précédent, caractérisé en ce que le circuit magnétique (4) du premier transformateur d'intensité (T1) est réalisé en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relative suffisamment faible pour limiter à un niveau voulu l'incidence d'une composante continue du courant à mesurer sur la mesure des composantes dynamiques, et que les circuits magnétiques (3) des transformateurs d'intensité de rang supérieur à un (T2) sont réalisés en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relative sensiblement plus élevée.

5. Dispositif pour la mesure de composantes dynamiques, à fréquences supérieures au Mégahertz, dans un courant électrique ($I(t)$) circulant dans un conducteur (2), caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble d'au moins deux transformateurs d'intensité de courant disposés en cascade, un premier transformateur d'intensité ayant pour primaire le conducteur parcouru par le courant à mesurer, et un dernier transformateur d'intensité possédant un enroulement secondaire fermé sur une impédance de mesure, chaque transformateur suivant le premier ayant pour primaire un conducteur court-circuitant électriquement l'enroulement secondaire du transformateur précédent, caractérisé en ce que les circuits magnétiques des transformateurs d'intensité sont réalisés en un matériau ferromagnétique présentant une perméabilité relativement élevée et que le circuit magnétique du premier transformateur d'intensité (T1) comporte au moins un entrefer.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour mesurer le champ magnétique dans ledit entrefer.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que l'enroulement secondaire (5) du premier transformateur d'intensité (T1) comprend un nombre prédéterminé de spires constituées par la mise en parallèle d'un nombre prédéterminé de conducteurs élémentaires et réparties régulièrement sur le circuit magnétique (4) dudit premier transformateur (T1).

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, au niveau de chaque liaison entre l'enroulement secondaire (5) d'un transformateur d'intensité (T1) et le primaire du transformateur d'intensité suivant (T2) réalisée au moyen de deux conducteurs (9, 6), un tore (Tm) de filtrage de mode commun traversé en son centre par ces deux conducteurs (9, 6).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (35) pour blinder au moins une partie des composants dudit dispositif et notamment les transformateurs d'intensité.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend un boîtier (35) réalisé en matériau amagnétique conducteur et conçu pour contenir une partie des composants (T1, T2, Tm) dudit dispositif (1), ce boîtier (35) étant pourvu d'un trou (31) pour recevoir le conducteur (2) traversé par le courant à mesurer ($I(t)$).

11. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le circuit magnétique (4) du premier transformateur d'intensité (T1) est un tore présentant une fenêtre circulaire sensiblement en correspondance avec le trou (31) dudit boîtier (35), et en ce qu'un anneau amagnétique conducteur (21) est prévu à l'intérieur de ladite fenêtre pour recevoir le conducteur (2) traversé par le courant à mesurer ($I(t)$), cet anneau (21) ayant

l'une de ses extrémités en contact mécanique et électrique avec une première portion de paroi interne (49) du boîtier (35).

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'autre extrémité de l'anneau est espacée d'une seconde portion de paroi interne du boîtier (35).

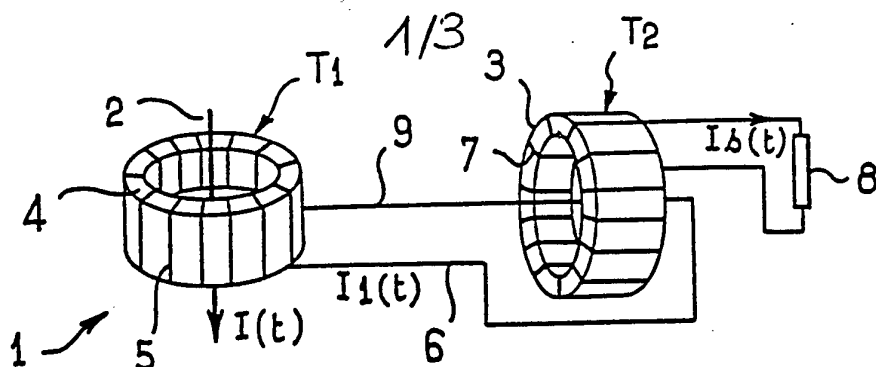
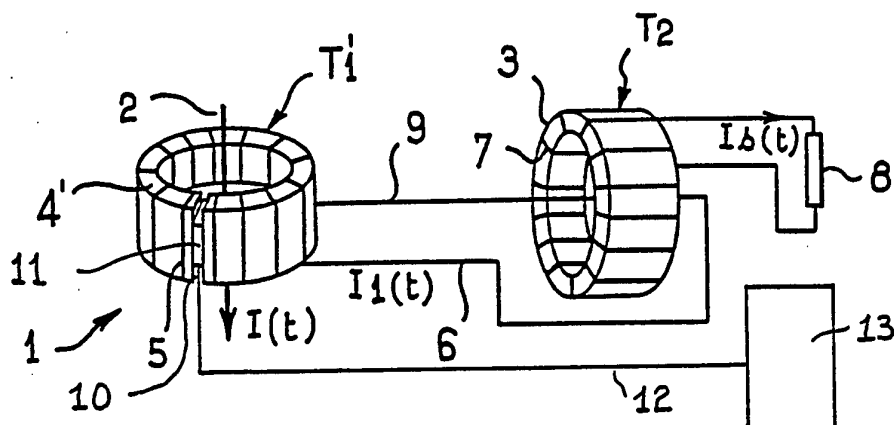
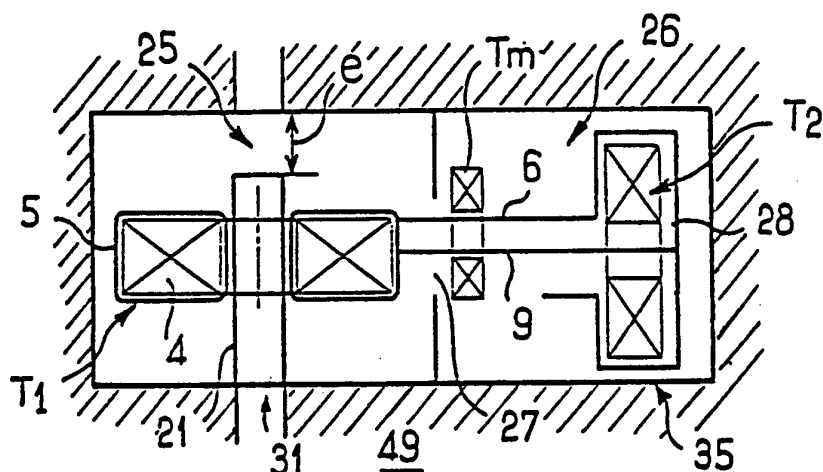
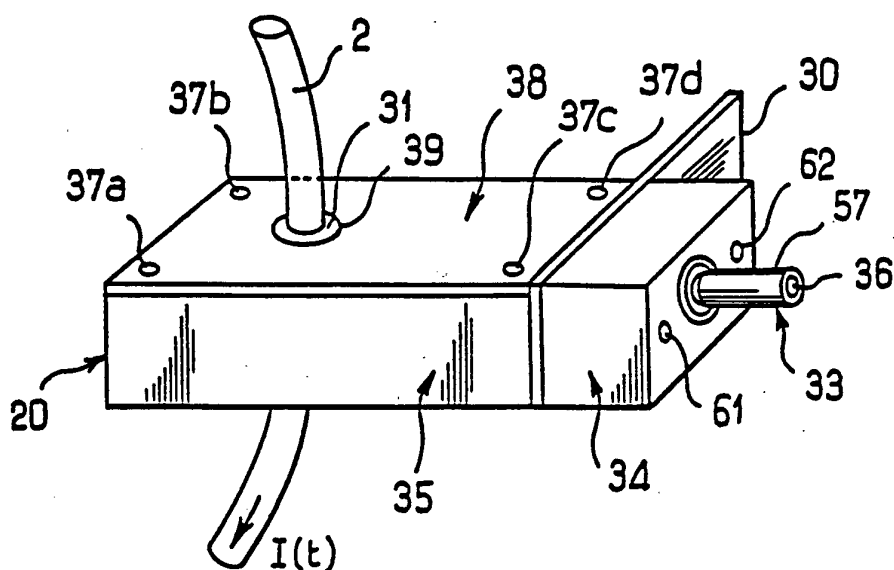
13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend un premier boîtier (35) pour contenir les deux transformateurs d'intensité (T1, T2), et un second boîtier (34) contenant l'impédance de mesure (8) et des moyens de sortie (33) pour acquérir la tension aux bornes de ladite impédance de mesure (8), ces deux boîtiers (35, 34) étant réalisés dans un matériau amagnétique conducteur et séparés par une pièce conductrice intermédiaire (30), notamment en cuivre, prévue pour une connexion de masse.

14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que le premier boîtier (35) comporte un premier logement (41) de forme sensiblement cylindrique pour recevoir le premier transformateur d'intensité (T1), et un second logement (42) pour recevoir des moyens de connexion intermédiaire (52, 53, 54, 55) entre le premier transformateur d'intensité (T1) et le second transformateur d'intensité (T2), ce second logement (42) communiquant avec le premier logement (41) par un premier passage (27).

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que le premier boîtier (35) comporte en outre un troisième logement (43), ayant sensiblement la forme d'un cylindre d'axe perpendiculaire à l'axe du premier logement (41), pour recevoir le second transformateur d'intensité (T2), ce troisième logement (43) communiquant avec le second logement (42) par un trou (60) ménagé dans la paroi qui les sépare et ayant pour paroi la pièce conductrice intermédiaire (30).

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens de connexion intermédiaire comprennent une première pièce centrale (56) reliée par un premier conducteur (9) à une première borne de l'enroulement secondaire (5) et placée dans la fenêtre du second transformateur d'intensité (T2), et une seconde pièce (54) réalisant, en coopération avec une portion du premier boîtier (35) et la pièce conductrice intermédiaire (30), un court-circuit coaxial autour de la première pièce centrale (56) de façon à réaliser une boucle de courant autour du circuit magnétique (3) du second transformateur d'intensité (T2), cette seconde pièce (54) étant reliée par un second conducteur (6) à la seconde borne de l'enroulement secondaire (5) du premier transformateur d'intensité (T1).

1/3

FIG. 1aFIG. 1bFIG. 2FIG. 3

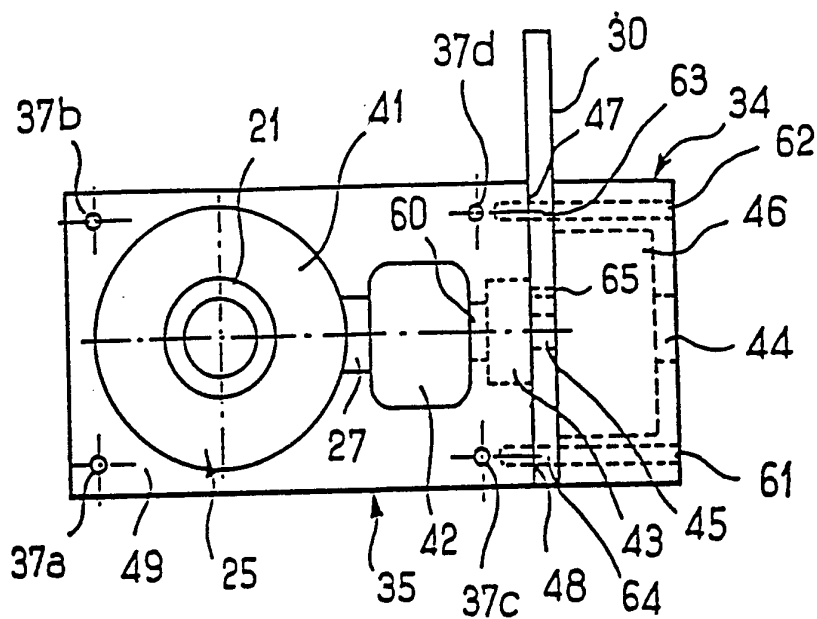


FIG. 4

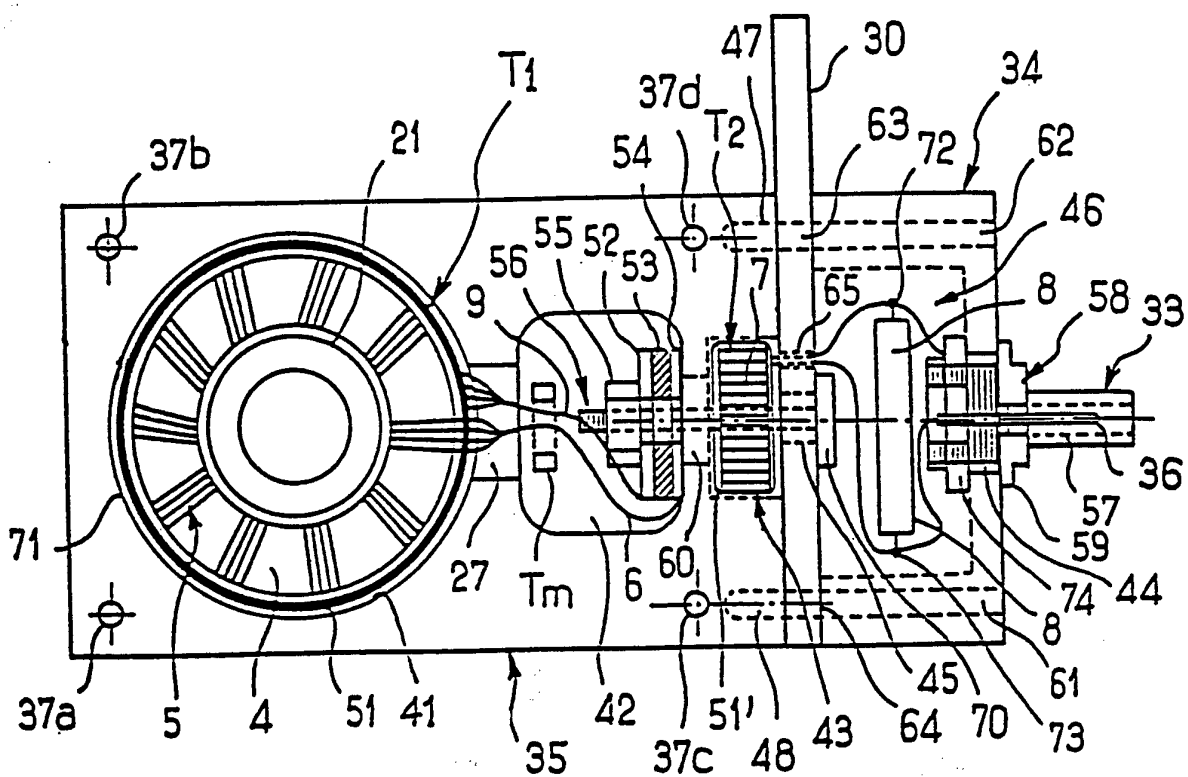


FIG. 5

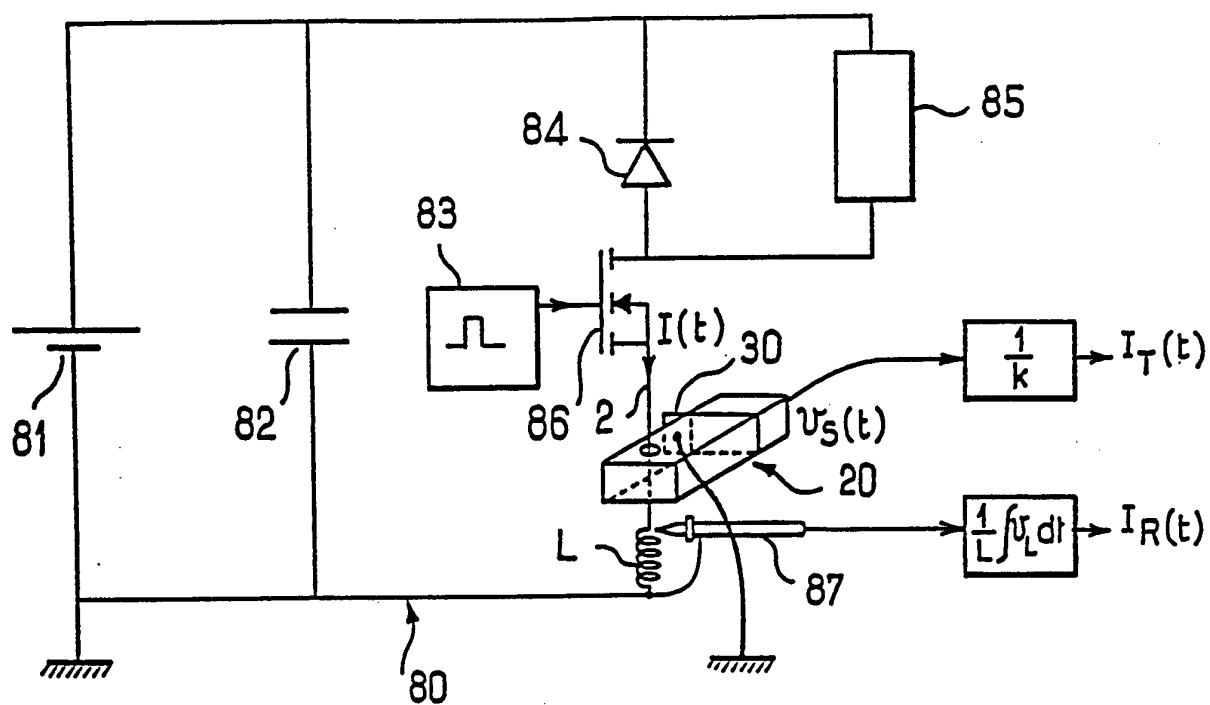


FIG. 6

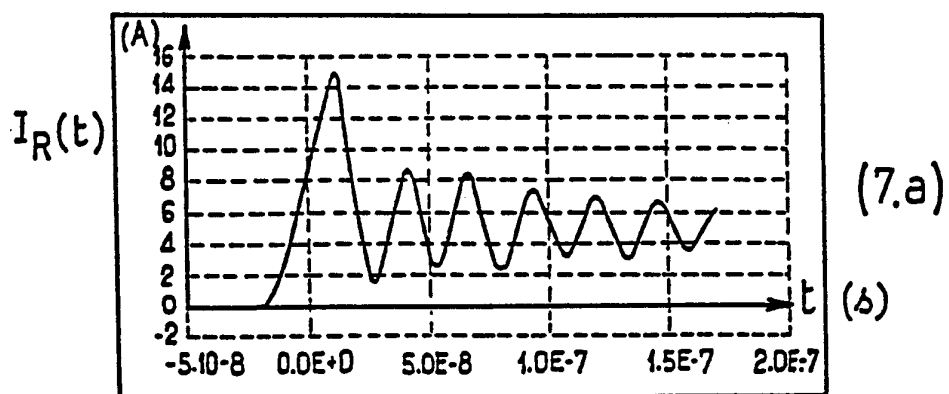
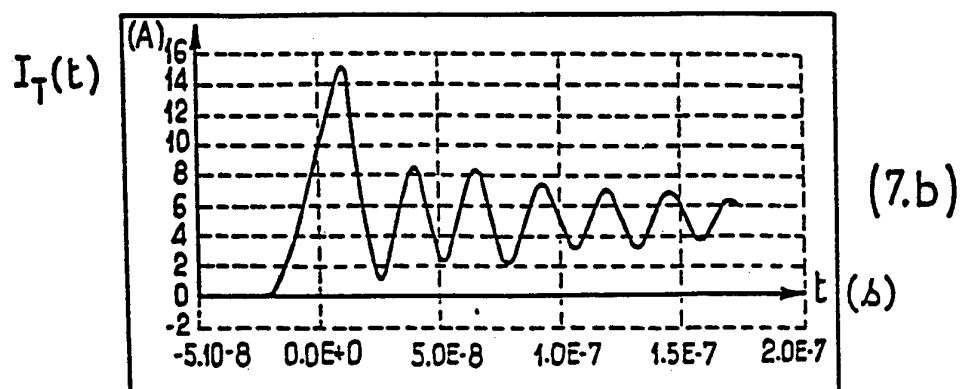


FIG. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No

PCT/CH 94/00100

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 5 G01R15/07 H01F40/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 5 G01R H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE,C,711 483 (SIEMENS & HALSKE) 1 October 1941 see figure X	1
A	US,A,5 146 156 (ETTER) 8 September 1992 cited in the application see figure 1	2,3,6
A	DE,A,18 03 811 (RITZ) 4 June 1970	
A	DE,C,386 211 (PFIFFNER) 15 December 1923	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 July 1994

Date of mailing of the international search report

03.08.94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoornaert, W

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH 94/00100

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-C-711483		NONE	
US-A-5146156	08-09-92	CH-A- 679527 CN-A,B 1046981 EP-A- 0392439 JP-A- 3205566	28-02-92 14-11-90 17-10-90 09-09-91
DE-A-1803811	04-06-70	NONE	
DE-C-386211		NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/CH 94/00100

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 5 G01R15/07 H01F40/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 5 G01R H01F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE,C,711 483 (SIEMENS & HALSKE) 1 Octobre 1941 voir figure X	1
A	US,A,5 146 156 (ETTER) 8 Septembre 1992 cité dans la demande voir figure 1	2,3,6
A	DE,A,18 03 811 (RITZ) 4 Juin 1970	
A	DE,C,386 211 (PFIFFNER) 15 Décembre 1923	

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "I" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

14 Juillet 1994

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

03.08.94

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hoornaert, W

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux numéros de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/CH 94/00100

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE-C-711483		AUCUN	
US-A-5146156	08-09-92	CH-A- 679527 CN-A,B 1046981 EP-A- 0392439 JP-A- 3205566	28-02-92 14-11-90 17-10-90 09-09-91
DE-A-1803811	04-06-70	AUCUN	
DE-C-386211		AUCUN	