



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

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : H02H 7/045</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 95/19059 (43) Date de publication internationale: 13 juillet 1995 (13.07.95)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR94/01531 (22) Date de dépôt international: 26 décembre 1994 (26.12.94) (30) Données relatives à la priorité: 94/00143 6 janvier 1994 (06.01.94) FR (71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): SCHNEIDER ELECTRIC SA [FR/FR]; 40, avenue André-Morizet, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR). ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE SUPELEC [FR/FR]; Plateau-de-Moulon, F-91192 Gif-sur-Yvette Cédex (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BASTARD, Patrick [FR/FR]; 7, allée de l'Acerma, F-91190 Gif-sur-Yvette (FR). REGAL, Hugues [FR/FR]; 12, résidence Guillaume-de-Voisins, F-91190 Gif-sur-Yvette (FR). (74) Mandataire: JOUVRAY, Marie-Andrée; Schneider Electric S.A., Sce. Propriété Industrielle, F-38050 Grenoble Cédex 9 (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: CA, CN, FI, HU, JP, KR, NO, PL, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>

(54) Title: DEVICE FOR DIFFERENTIALLY PROTECTING A POWER TRANSFORMER

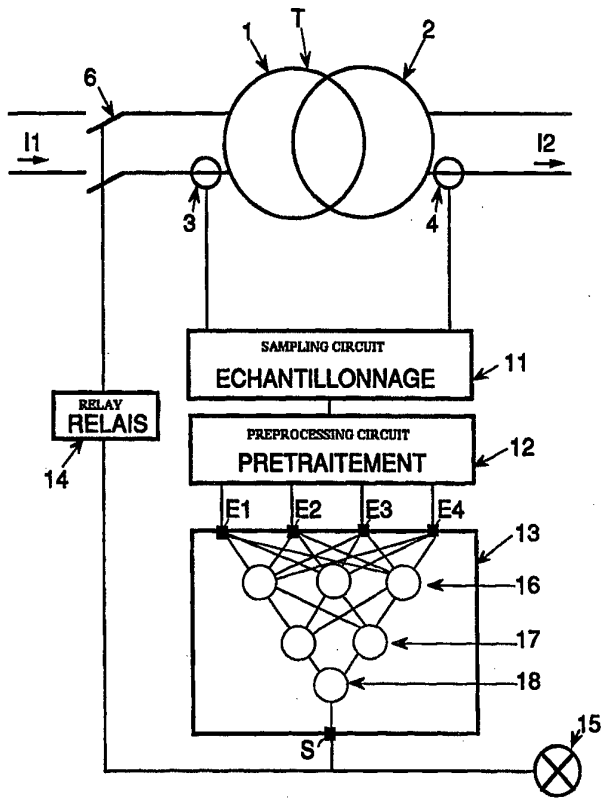
(54) Titre: DISPOSITIF DE PROTECTION DIFFERENTIELLE D'UN TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE

(57) Abstract

A preprocessing circuit (12) receives signals representative of a current (I1) circulating in a primary winding (1) and of a current (I2) circulating in a secondary winding of a transformer (T). The signals representative of currents are used to calculate the values of a through current (Ir) and a differential current (Id). The preprocessing circuit performs a spectral analysis and provides a neural network (13) with signals representative of the fundamental component of the through current (H1R), of the fundamental component of the differential current (H1D), of the second harmonic (H2D) and of the fifth harmonic (H5D) of the differential current. The neural network identifies fault conditions and normal operation states, and supplies a triggering and/or alarm signal to an output when a fault condition is detected.

(57) Abrégé

Un circuit de prétraitement (12) reçoit des signaux représentatifs d'un courant (I1) circulant dans un enroulement primaire (1) et d'un courant (I2) circulant dans un enroulement secondaire d'un transformateur (T). Les signaux représentatifs des courants sont utilisés pour calculer des valeurs d'un courant de retenue (Ir) et d'un courant différentiel (Id). Le circuit de prétraitement effectue une analyse spectrale et fournit à un réseau de neurones (13) des signaux représentatifs de la composante fondamentale du courant de retenue (H1R), de la composante fondamentale du courant différentiel (H1D), de la seconde harmonique (H2D) et de la cinquième harmonique (H5D) du courant différentiel. Le réseau de neurones identifie des situations en défaut et des situations saines, et fournit sur une sortie un signal de déclenchement et/ou de signalisation lorsqu'une situation en défaut est détectée.



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				

DISPOSITIF DE PROTECTION DIFFERENTIELLE D'UN TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE

L'invention concerne un dispositif de protection différentielle d'un transformateur de puissance comportant des premiers moyens de mesure pour mesurer le courant circulant dans un enroulement primaire du transformateur, des seconds moyens de mesure pour mesurer le courant circulant dans un enroulement secondaire du transformateur, des moyens d'interruption connectés sur l'enroulement primaire du transformateur pour interrompre l'alimentation électrique du transformateur et un circuit de traitement connecté, aux premiers et seconds moyens de mesure, fournissant un signal de déclenchement aux moyens d'interruption et/ou des signaux d'information à des moyens de signalisation ou de contrôle, le circuit de traitement comportant des moyens d'échantillonnage connectés aux premiers et seconds moyens de mesure pour échantillonner des signaux représentatifs des courants mesurés dans les enroulements primaires et secondaires.

Les dispositifs de protection différentielle connus analysent les courants des enroulements primaires et secondaires des transformateurs. Le but des protections différentielles est de détecter un défaut interne entre deux spires quelconques des enroulements du transformateur ou un défaut entre une spire et la masse du transformateur. Les défauts sont détectés par la mesure d'un courant différentiel représentatif de la différence de courant entre le courant circulant dans les enroulements primaires et le courant circulant dans les enroulements secondaires, en tenant compte du rapport de transformation et du couplage. On utilise également un courant de retenue, appelé aussi courant traversant, représentatif d'une valeur moyenne entre les courants circulant dans les enroulements primaires et secondaires, au rapport de transformation et au couplage près.

La protection différentielle utilisée dans des relais de déclenchement provoque la coupure d'une alimentation électrique connectée à l'enroulement primaire du transformateur. Généralement un ordre de déclenchement est produit si des conditions de déclenchement sont vérifiées, par exemple lorsque le courant différentiel est supérieur à un seuil prédéterminé ou lorsqu'il dépasse une fraction du courant de retenue. Les courants différentiels et de retenue sont prétraités de manière à ne conserver que la composante fondamentale des signaux, à la fréquence du courant fourni par l'alimentation électrique du transformateur.

Les seules conditions de déclenchement ne suffisent pas à assurer un fonctionnement correct des dispositifs de protection différentielle. Lors de la mise sous tension, notamment, un flux

rémanent dans un circuit magnétique du transformateur peut provoquer une saturation du circuit magnétique selon la phase d'enclenchement de la tension d'alimentation et fournir des mesures de courants différentiels transitoires très élevés. En fonctionnement permanent à forts niveaux de tension le circuit magnétique du transformateur peut également se saturer et fausser la mesure du courant différentiel. Dans certains dispositifs, des moyens de mesure des courants primaires et secondaires comportent un circuit magnétique qui sature à forts niveaux de courants et fournissent des mesures erronées.

Des relais électroniques classiques comportant des circuits analogiques ou numériques, permettent d'identifier certains régimes transitoires ou permanents, représentant des évènements autres que des défauts mais générant cependant un courant différentiel dû par exemple à la saturation du circuit magnétique du transformateur ou des capteurs de mesure, afin d'éviter des déclenchements intempestifs. Cependant une prise en compte complète de tous les cas de fonctionnement conduirait à des circuits ou des algorithmes très complexes et coûteux, et/ou à des temps de réponse trop élevés, pour une protection différentielle efficace des transformateurs.

L'invention a pour but un dispositif de protection différentielle pour transformateur rapide et peu coûteux pouvant différencier un nombre important de situations de fonctionnement et de conditions de déclenchement.

Ce but est atteint par le fait que le circuit de traitement comporte des moyens de prétraitement connectés aux moyens d'échantillonnage et un réseau de neurones comportant des entrées connectées aux moyens de prétraitement et au moins une sortie pour fournir les signaux de déclenchement et/ou d'information, les moyens de prétraitement fournissant au réseau de neurones des signaux représentatifs de la composante fondamentale, de la deuxième harmonique et de la cinquième harmonique d'un courant différentiel et un signal représentatif d'un courant de retenue.

Selon un développement de l'invention les moyens de prétraitement fournissent au réseau de neurones des signaux représentatifs :

- du rapport entre la composante fondamentale du courant différentiel et la composante fondamentale du courant de retenue,
- du rapport entre la composante fondamentale du courant différentiel et la valeur d'un signal représentatif d'un courant nominal,

- du rapport entre la deuxième harmonique du courant différentiel et la composante fondamentale du courant différentiel,
- du rapport entre la cinquième harmonique du courant différentiel et la composante fondamentale du courant différentiel.

Dans un mode préférentiel de réalisation le réseau de neurones est de type perceptron multicouches comportant trois couches de neurones, quatre entrées par phase de courant à contrôler et une sortie de signal de déclenchement et/ou de signalisation, les quatre entrées étant connectées à une première couche comportant trois neurones, la sortie étant connectée à une troisième couche comportant un neurone, une seconde couche comportant deux neurones étant connectée à la première et à la troisième couche.

Les neurones du réseau de neurones comportent des coefficients calculés pendant un cycle d'apprentissage, les valeurs des signaux appliqués sur les entrées du réseau de neurones étant représentatives de situations de défaut interne, de situations de défaut externe, de situations de fonctionnement normal et de situations de mise sous tension du transformateur.

Selon un mode particulier de réalisation, le réseau de neurones comporte au moins une sortie de signalisation pour signaler la présence d'un défaut interne entre spires d'un enroulement du transformateur, d'un défaut interne entre une spire d'un enroulement et une masse du transformateur et/ou d'un défaut externe.

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre, de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 représente un schéma bloc d'un dispositif de protection différentielle de transformateur de type connu.

La figure 2 montre la modélisation d'un défaut dans un transformateur.

La figure 3 représente un dispositif de protection selon un premier mode de réalisation de l'invention, pour un transformateur monophasé.

La figure 4 illustre la méthode d'apprentissage d'un réseau de neurones destiné à être intégré dans le dispositif de la figure 3.

La figure 5 représente un dispositif de protection selon un second mode de réalisation, pour un transformateur triphasé.

Sur la figure 1 un dispositif de protection différentielle d'un transformateur T comporte un circuit 5 de traitement, un capteur de courant 3 pour mesurer le courant primaire I1 fourni à un enroulement primaire 1 du transformateur par une ligne L d'alimentation électrique, un capteur de courant 4 pour mesurer un courant secondaire I2 sortant d'un enroulement secondaire 2 du transformateur et un dispositif 6 d'interruption de l'alimentation électrique du transformateur. Les deux capteurs de courant 3 et 4 sont connectés à des entrées du circuit de traitement qui fournit un ordre de déclenchement 7 au dispositif 6 d'interruption si certaines conditions de déclenchement sont vérifiées. Le dispositif 6, connecté entre la ligne d'alimentation L et l'enroulement primaire 1 du transformateur, interrompt par l'ouverture de contacts la circulation du courant dans le transformateur 1. Le circuit de traitement peut aussi être connecté à un circuit 8 de signalisation de défaut.

Les défauts les plus courants détectés par les dispositifs de protection différentielle sont les défauts d'isolement ou de court-circuit entre des spires des enroulements primaires ou secondaires ou entre des spires et des masses du transformateur.

La figure 2 montre un schéma d'un transformateur en défaut. Le courant I1 traverse l'enroulement primaire 1 comportant un nombre de spires N1 et le courant I2 est généré dans l'enroulement secondaire 2 comportant un nombre de spires N2. Les deux enroulements sont bobinés sur un circuit magnétique 9. Sur le schéma un défaut de l'enroulement primaire est modélisé par un court-circuit résistif 10 entre une spire et une extrémité de l'enroulement 1.

La protection différentielle consiste à détecter un courant différentiel Id et à faire déclencher le dispositif si certaines conditions de déclenchement sont vérifiées. L'expression du courant différentiel est :

$$I_d = I_1 - (N_2/N_1) I_2 \quad (1)$$

Le courant différentiel est comparé à un courant de retenue Ir appelé aussi courant traversant, l'expression du courant de retenue est :

$$I_r = \frac{1}{2} (I_1 + (N_2/N_1) I_2) \quad (2)$$

Selon une des conditions de déclenchement la valeur absolue du courant différentiel $|Id|$ doit être supérieure à une fraction K de la valeur absolue du courant de retenue $|Ir|$. Pour éviter de détecter des défauts aléatoires à faibles niveaux de courant de retenue, le courant différentiel est également comparé à un seuil Im .

L'expression des conditions de déclenchement est donnée par :

$$|Id| > K |Ir| \quad \text{et} \quad |Id| > Im \quad (3)$$

Les grandeurs des courants $|Id|$ et $|Ir|$ sont traitées de manière à garder seulement la composante fondamentale définie par la fréquence du courant et de la tension de la ligne d'alimentation, par exemple 50 Hz, ou 60 Hz.

Dans des cas particuliers de fonctionnement, la condition de déclenchement 3 n'est pas suffisante pour assurer un fonctionnement correct du dispositif. Lors de la mise sous tension du transformateur, selon la valeur d'un flux rémanent dans le circuit magnétique 9 et la phase d'enclenchement d'une tension dans l'enroulement primaire, le circuit magnétique peut se saturer. Cette saturation entraîne l'apparition d'un courant différentiel transitoire qui peut faire déclencher le dispositif alors qu'il n'y a pas de défaut. Certains dispositifs connus bloquent le déclenchement pendant un temps prédéterminé à la mise sous tension. Cependant cette solution conduit à un retard de traitement dommageable, si le transformateur a un défaut.

En régime établi, un défaut externe peut entraîner une augmentation de la tension et saturer le circuit magnétique. La saturation introduit une mesure fautive du courant différentiel sans défaut interne dans le transformateur. L'augmentation du courant au-delà du courant nominal du transformateur affecte également la linéarité des capteurs 3 et 4 de courant. Les capteurs, généralement constitués par des transformateurs de courant, ont un circuit magnétique qui se sature lorsque le courant à mesurer augmente.

Les divers cas de fonctionnement peuvent être identifiés à l'aide d'une analyse spectrale des courants $I1$, $I2$ ou du courant différentiel Id . Cependant, le traitement global de la protection n'est pas facile à obtenir de manière pratique avec des circuits électroniques analogiques ou numériques classiques.

Dans un premier mode de réalisation de l'invention (figure 3), le dispositif de protection comporte un circuit d'échantillonnage 11 connecté aux capteurs 3 et 4 de courant, un circuit de prétraitement 12 connecté au circuit d'échantillonnage 11 et un réseau 13 de neurones

comportant quatre entrées E1, E2, E3, E4 connectées au circuit de prétraitement. Une sortie S du réseau de neurones est connectée à un relais 14 qui provoque l'ouverture du dispositif d'interruption 6. La sortie S peut être aussi connectée à un dispositif d'affichage 15.

Le circuit d'échantillonnage 11 échantillonne avec une période d'échantillonnage T_e , des signaux représentatifs des courants primaires I1 et secondaires I2, et fournit les échantillons au circuit de prétraitement 12. Les échantillons des signaux des courants I1 et I2 sont utilisés pour calculer le courant différentiel Id et le courant de retenue Ir selon les expressions 1 et 2. Le circuit 12 effectue une analyse spectrale des signaux selon une méthode de fenêtre glissante. A chaque période d'échantillonnage T_e , un ensemble des derniers échantillons recueillis pendant une période T1 correspondant à la durée de la fenêtre, est utilisé pour l'analyse spectrale. La période T1 est équivalente à la période de la fréquence fondamentale du courant I1 fourni au transformateur par exemple 50 ou 60 Hz. L'analyse spectrale effectuée par le circuit 12 détermine des signaux représentatifs de la composante fondamentale H1D du courant différentiel, de la composante de la seconde harmonique H2D (100 Hz ou 120 Hz) du courant différentiel, de la composante de la cinquième harmonique H5D (250 Hz ou 300 Hz) du courant différentiel et de la composante fondamentale H1R du courant de retenue.

Les signaux peuvent, dans un premier mode de réalisation, être appliqués sur les entrées du réseau de neurones. L'entrée E1 reçoit alors un signal représentatif de HD1, l'entrée E2 un signal représentatif de HD2, l'entrée E3 un signal représentatif de H5D et l'entrée E4 un signal représentatif de H1R.

Cependant, dans d'autres modes de réalisation, un premier calcul élaboré dans le circuit 12 permet de combiner les signaux H1D, H2D, H5D, et H1R de manière à caractériser efficacement les grandeurs des signaux. Dans un mode de réalisation préférentiel, le circuit de prétraitement effectue les combinaisons suivantes :

- Un calcul du rapport de la composante fondamentale H1D du courant différentiel sur la composante fondamentale H1R du courant de retenue

$$\frac{H1D}{H1R} \quad (4).$$

- Un calcul du rapport de la composante fondamentale H1D du courant différentiel sur un signal représentatif In d'un courant nominal du transformateur

$$\frac{H1D}{I_n} \quad (5).$$

- Un calcul du rapport de la seconde harmonique H2D sur la composante fondamentale du courant différentiel

$$\frac{H2D}{H1D} \quad (6).$$

- Un calcul du rapport de la cinquième harmonique H5D sur la composante fondamentale du courant différentiel

$$\frac{H5D}{H1D} \quad (7).$$

Le circuit 12 de prétraitement fournit alors sur l'entrée E1 un signal représentatif du rapport H1D/H1R, sur l'entrée E2 un signal représentatif du rapport H1D/In, sur l'entrée E3 un signal représentatif du rapport H2D/H1D et sur l'entrée E4 un signal représentatif du rapport H5D/H1D. Le réseau de neurones reçoit les signaux d'entrée et détermine la valeur de la sortie S en fonction de situations apprises lors d'une phase d'apprentissage. En fonctionnement réel le réseau doit différencier des situations saines des situations en défaut devant donner lieu à un déclenchement.

Le réseau de neurones 13 de type perceptron multicouches comporte trois couches de neurones. Une première couche 16 comporte des neurones connectées aux entrées du réseau 13. Une seconde couche 17 constitue une couche interne et une troisième couche 18 est connectée à la sortie. Les neurones de la seconde couche sont connectés aux neurones de la première et de la troisième couche. Dans le mode de réalisation de la figure 3, le réseau 16 comporte trois neurones dans la première couche, deux neurones dans la seconde couche et 1 neurone dans la troisième couche. Chaque neurone a des coefficients paramétrés lors d'un cycle d'apprentissage où les principales situations de fonctionnement et de défaut sont présentées.

Dans le cas d'une protection différentielle de transformateur, une situation est considérée comme un défaut si elle représente un défaut interne du transformateur. Les autres situations sont considérées comme des situations saines même si des défauts externes peuvent se présenter. La sortie du réseau de neurones est définie pour des valeurs situées entre -1 et 1. Au cours de l'apprentissage les situations saines sont caractérisées par une valeur de sortie aux environs de -0,8 et les situations en défaut par des valeurs voisines de +0,8. En fonctionnement réel, des valeurs positives, de la sortie du réseau de neurones, donnent un ordre de déclenchement.

Pendant l'apprentissage du réseau de neurones, des signaux représentatifs du courant de retenue et du courant différentiel, notamment les signaux H1D/H1R, H1D/In, H2D/H1D et H5D/H1D, sont appliqués sur les entrées. Les coefficients des neurones du réseau sont alors

modifiés de manière à ce que la valeur de la sortie du réseau soit la plus proche de la valeur d'une sortie de référence correspondant à la situation définie par les valeurs des signaux d'entrée. L'apprentissage se fait à partir de plusieurs cas de fonctionnement et de défaut présentés plusieurs fois. La figure 4 montre un apprentissage automatisé d'un réseau 13 de neurones pouvant être utilisé dans le dispositif de protection différentielle de la figure 3. Une base d'exemples 20 comporte toutes les situations que le réseau 13 doit apprendre. Pour chaque situation, la base comporte les valeurs des quatre signaux appliqués aux entrées et la valeur d'une sortie SR de référence correspondante. La sortie S du réseau de neurones et la sortie SR de référence de la base d'exemples sont reliées à un dispositif 21 de réglage des coefficients des neurones. Le dispositif 21 compare les deux sorties et paramètre les coefficients de manière à obtenir une valeur de la sortie S du réseau la plus proche possible de la valeur de la sortie de référence SR. Les situations de la base d'exemples sont utilisées séquentiellement et/ou simultanément pour l'apprentissage du réseau de neurones.

La base d'exemples 20 comporte environ mille exemples de situations différentes. Ces situations peuvent être répertoriées en plusieurs classes, par exemple :

- le fonctionnement normal, à vide ou en charge,
- la mise sous tension du transformateur,
- défaut extérieur,
- défaut interne entre spires,
- défaut interne entre une spire et une masse.

Les exemples sont choisis de manière à ce que le réseau de neurones puisse détecter une situation en défaut dans un délai maximum de 20 ms après l'apparition d'un défaut.

Le mode de réalisation de la figure 3, donné à titre d'exemple, est utilisé avec un transformateur T monophasé ou avec les enroulements d'une phase d'un transformateur polyphasé. Dans un autre mode de réalisation, représenté sur la figure 5, un dispositif de protection différentielle est utilisé pour un transformateur triphasé T3. Trois capteurs 3a, 3b, 3c de courant mesurent des courants primaires I1a, I1b, I1c de trois phases a, b et c alimentant l'enroulement 31 primaire triphasé. Trois capteurs 4a, 4b, 4c mesurent des courants I2a, I2b, I2c sortant d'un enroulement 32 secondaire triphasé. Les capteurs de courant sont connectés à un circuit 22 d'échantillonnage. Une sortie du circuit 22 est connectée à un circuit 23 de prétraitement qui effectue une analyse spectrale et calcule les courants différentiels et les courants de retenue. Un réseau de neurones 24 comporte des entrées connectées au circuit 23, une sortie S connectée à un relais 14 de déclenchement et des sorties auxiliaires S1, S2, S3, S4, S5 connectées à un circuit 25 de signalisation.

Le circuit de prétraitement 23 peut élaborer les mêmes signaux que le circuit 12 de la figure 3 pour chacune des trois phases du transformateur T3 ou effectuer d'autres combinaisons des signaux représentatifs des composantes fondamentales ou harmoniques des courants différentiels ou de retenue. De la même manière le réseau de neurones 24 peut comporter trois répliques du réseau 13 en parallèle ou comporter une organisation globale différente tenant compte de l'ensemble des signaux des entrées. Dans le mode de réalisation de la figure 5, le réseau 24 fournit sur ses sorties auxiliaires 51 à 55 des informations sur la présence et la nature d'un défaut détecté pour chacune des phases du transformateur. Le circuit 25 de signalisation signale séparément alors les situations détectées par le réseau de neurones par exemple les situations de défaut suivantes :

- défaut entre spires au primaire, phase a, b et/ou c,
- défaut entre spires au secondaire, phase a, b et/ou c,
- défaut entre une spire et une masse au primaire, phase a, b et/ou c,
- défaut entre une spire et une masse au secondaire, phase a, b et/ou c,

ou les situations saines :

- mise sous tension,
- fonctionnement normal,
- défaut externe, phase a, b et/ou c.

Le dispositif de protection différentielle décrit ci-dessus peut s'appliquer à tout type de transformateur électrique quels que soient les tensions et les courants primaires ou secondaires ainsi que le couplage des enroulements primaires ou secondaires. Dans les réseaux maillés les dispositifs de coupure d'alimentation peuvent être aussi bien raccordés aux enroulements primaires et aux enroulements secondaires du transformateur.

Les circuits de prétraitement 12 et 23 élaborent, dans les modes de réalisation ci-dessus, des signaux représentatifs du courant de retenue et de la composante fondamentale, de l'harmonique 2 et de l'harmonique 5 du courant différentiel, mais d'autres signaux peuvent également être utilisés pour compléter la protection différentielle.

Les situations identifiées par les réseaux de neurones 13 et 24 ne sont pas limitées à celles citées ci-dessus, elles peuvent être adaptées à des usages particuliers selon le transformateur utilisé.

Les capteurs utilisés par les dispositifs ci-dessus sont des capteurs de courant uniquement, mais il est également possible d'ajouter d'autres capteurs pour affiner la protection. Par exemple les dispositifs peuvent être complétés en ajoutant des capteurs pour mesurer les tensions primaires et secondaires ou des capteurs de mesure de température de pression ou de dégagement gazeux à l'intérieur du transformateur.

La mise en oeuvre du dispositif de protection différentielle peut être faite de manière indépendante comme dans les modes de réalisation décrits ci-dessus ou être intégrée et associée à d'autres types de protection comme par exemple la protection en surcharge ou de court-circuit externe.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de protection différentielle d'un transformateur de puissance comportant des premiers moyens (3, 3a, 3b, 3c) de mesure pour mesurer le courant (I_1 , I_{1a} , I_{1b} , I_{1c}) circulant dans un enroulement (1, 31) primaire du transformateur (T, T3), des seconds moyens (4, 4a, 4b, 4c) de mesure pour mesurer le courant (I_2 , I_{2a} , I_{2b} , I_{2c}) circulant dans un enroulement (2, 32) secondaire du transformateur (T, T3), des moyens (6) d'interruption connectés sur l'enroulement primaire du transformateur pour interrompre l'alimentation électrique du transformateur et un circuit (5) de traitement connecté, aux premiers et seconds moyens de mesure, fournissant un signal (7) de déclenchement aux moyens d'interruption et/ou des signaux d'information à des moyens de signalisation ou de contrôle (8, 15), le circuit de traitement comportant des moyens d'échantillonnage (11) connectés aux premiers et seconds moyens de mesure pour échantillonner des signaux représentatifs des courants mesurés dans les enroulements primaires et secondaires,

dispositif caractérisé en ce que le circuit de traitement comporte des moyens (12) de prétraitement connectés aux moyens d'échantillonnage et un réseau (13) de neurones comportant des entrées connectées aux moyens de prétraitement et au moins une sortie (S) pour fournir les signaux de déclenchement et/ou d'information, les moyens de prétraitement fournissant au réseau de neurones des signaux représentatifs de la composante fondamentale (H1D), de la deuxième harmonique (H2D) et de la cinquième harmonique (H5D) d'un courant différentiel et un signal (H1R) représentatif d'un courant de retenue.

2. Dispositif de protection selon la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens de prétraitement fournissent au réseau de neurones des signaux représentatifs :

- du rapport (H1D/H1R) entre la composante fondamentale du courant différentiel et la composante fondamentale du courant de retenue,
- du rapport (H1D/ I_n) entre la composante fondamentale du courant différentiel et la valeur d'un signal représentatif d'un courant nominal (I_n),
- du rapport (H2D/H1D) entre la deuxième harmonique du courant différentiel et la composante fondamentale du courant différentiel,
- du rapport (H5D/H1D) entre la cinquième harmonique du courant différentiel et la composante fondamentale du courant différentiel.

3. Dispositif de protection selon l'une des revendications 1 et 2 caractérisé en ce que le réseau de neurones est de type perceptron comportant trois couches de neurones, quatre entrées (E1, E2, E3, E4) par phase de courant à contrôler et une sortie (S) de signal de déclenchement et/ou de signalisation, les quatre entrées étant connectées à une première couche (16) comportant trois neurones, la sortie étant connectée à une troisième couche (18) comportant un neurone, une seconde couche (17) comportant deux neurones étant connectée à la première et à la troisième couche.

4. Dispositif de protection selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que les neurones du réseau de neurones comportent des coefficients calculés pendant un cycle d'apprentissage, les valeurs des signaux appliqués sur les entrées du réseau de neurones étant représentatives de situations de défaut interne, de situations de défaut externe, de situations de fonctionnement normal et de situations de mise sous tension du transformateur.

5. Dispositif de protection selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que le réseau de neurones comporte au moins une sortie de signalisation pour signaler la présence d'un défaut interne entre spires d'un enroulement du transformateur, d'un défaut interne entre une spire d'un enroulement et une masse du transformateur et/ou d'un défaut externe.

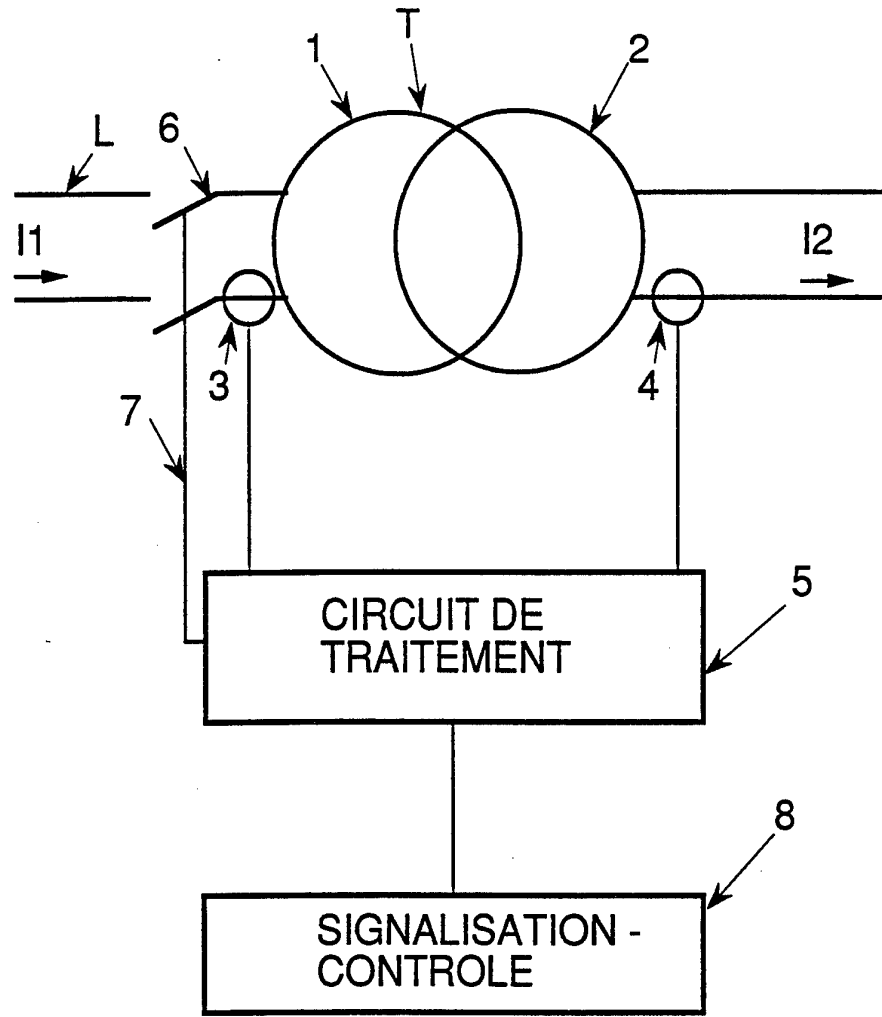


FIG. 1

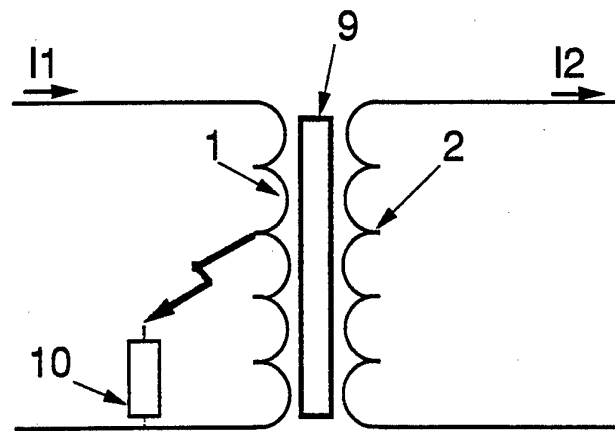


FIG. 2

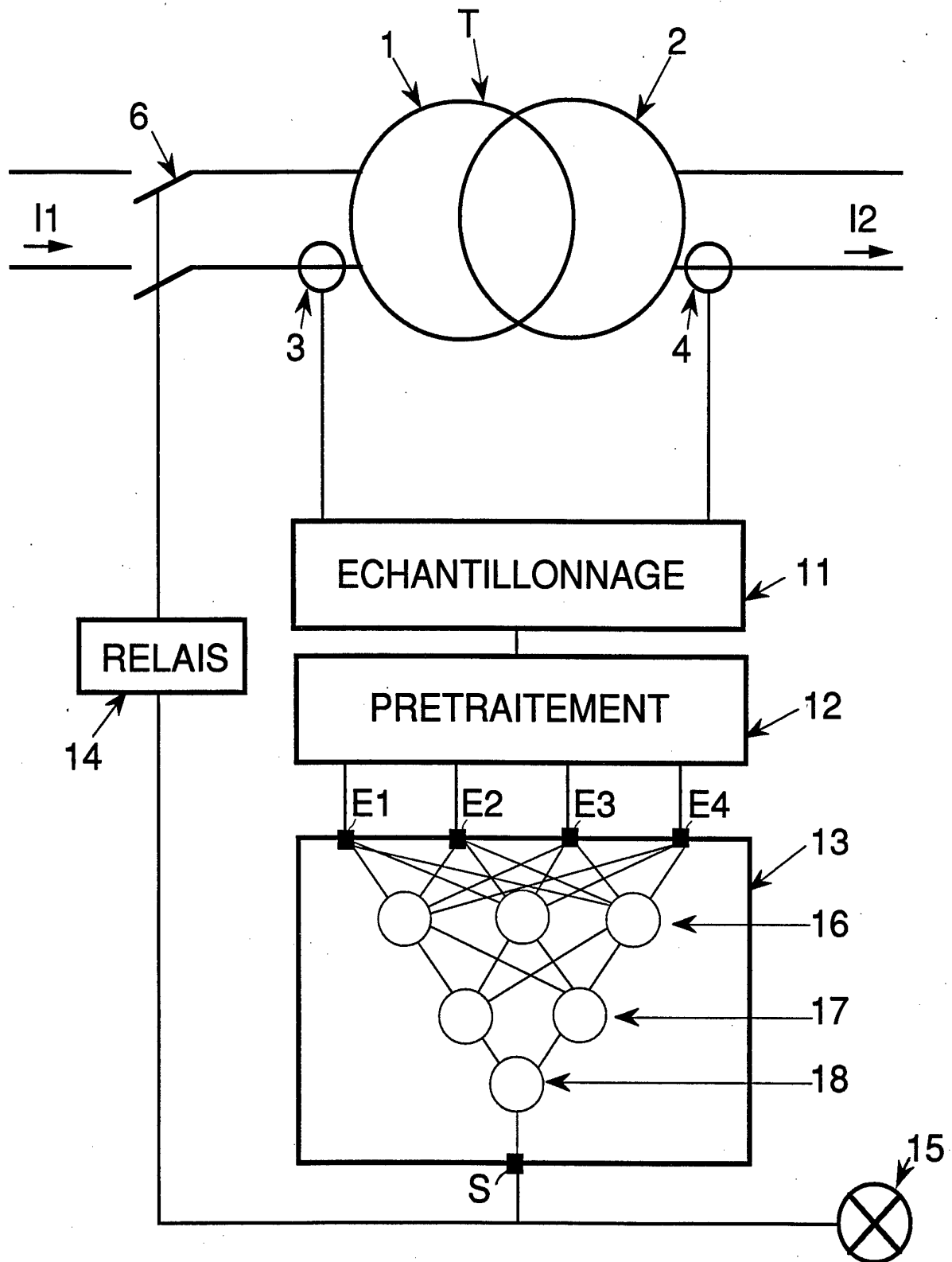


FIG. 3

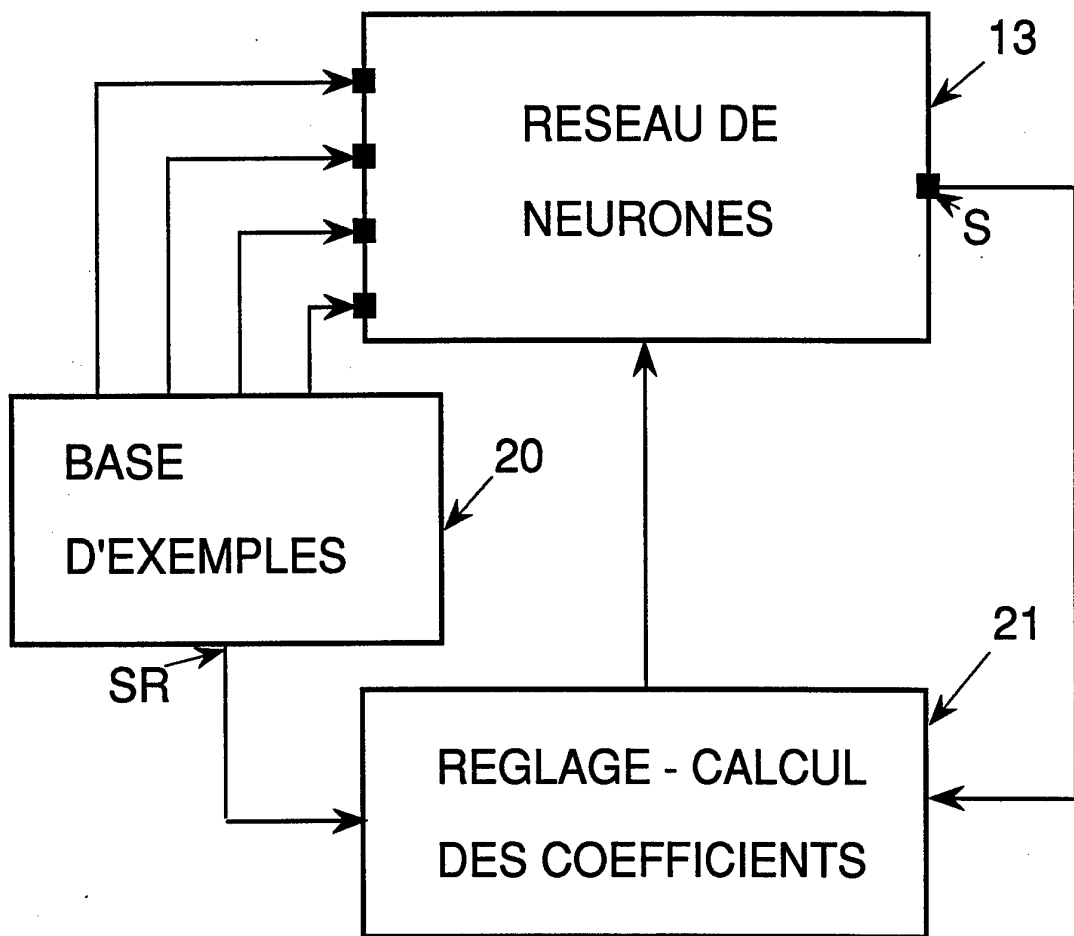


FIG. 4

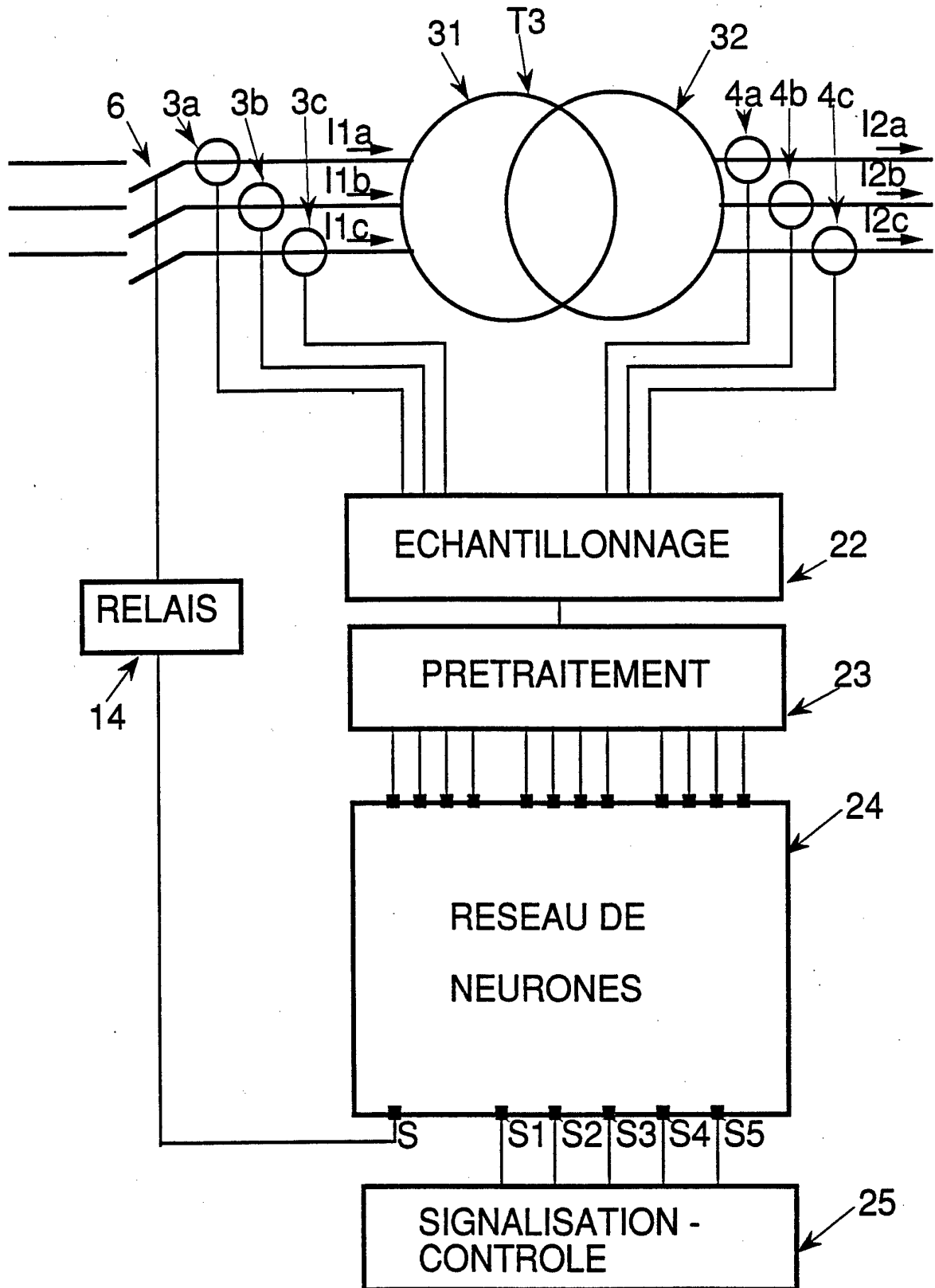


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No
PCT/FR 94/01531

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H02H7/045		
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 6 H02H G05B G06F		
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.
Y	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, vol.9, no.1, January 1994 pages 434 - 441 PEREZ ET AL. 'TRAINING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DISCRIMINATE BETWEEN MAGNETIZING INRUSH AND INTERNAL FAULTS' see the whole document ---	1,2
Y	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, vol.5, no.3, July 1990, NEW YORK, US pages 1299 - 1308, XP147653 MURTY ET AL. 'A KALMAN FILTER BASED DIGITAL PERCENTAGE DIFFERENTIAL AND GROUND FAULT RELAY FOR A 3-PHASE POWER TRANSFORMER' see page 1300, right column - page 1301, left column; figure 1 --- ---	1,2
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> 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 *L* 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		*T* 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 5 April 1995		Date of mailing of the international search report 26. 04. 95
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 Kempen, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 94/01531

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
------------	--	-----------------------

A

TENCON '93 IEEE REGION 10 CONFERENCE ON
"COMPUTER, COMMUNICATION, CONTROL AND
POWER ENGINEERING",
vol.2, 19 October 1993, BEIJING
pages 754 - 757
TAT-WAI ET AL. 'DETECTION OF MAGNETIZING
INRUSH CURRENT USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK'
see page 755, paragraph 3 - page 756,
paragraph 1; figure 3

3

A

US,A,5 014 153 (WILKERSON) 7 May 1991
see column 4, line 21 - line 54; figure 1

1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 94/01531

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5014153	07-05-91	CA-A- 1319969	06-07-93

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 H02H7/045

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 6 H02H G05B G06F

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
Y	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, vol.9, no.1, Janvier 1994 pages 434 - 441 PEREZ ET AL. 'TRAINING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DISCRIMINATE BETWEEN MAGNETIZING INRUSH AND INTERNAL FAULTS' voir le document en entier ---	1,2
Y	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, vol.5, no.3, Juillet 1990, NEW YORK, US pages 1299 - 1308, XP147653 MURTY ET AL. 'A KALMAN FILTER BASED DIGITAL PERCENTAGE DIFFERENTIAL AND GROUND FAULT RELAY FOR A 3-PHASE POWER TRANSFORMER' voir page 1300, colonne de droite - page 1301, colonne de gauche; figure 1 ---	1,2
	-/--	

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
- "L" 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

5 Avril 1995

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26.04.95

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

Kempen, P

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	TENCON '93 IEEE REGION 10 CONFERENCE ON "COMPUTER, COMMUNICATION, CONTROL AND POWER ENGINEERING", vol.2, 19 Octobre 1993, BEIJING pages 754 - 757 TAT-WAI ET AL. 'DETECTION OF MAGNETIZING INRUSH CURRENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK' voir page 755, alinéa 3 - page 756, alinéa 1; figure 3 ---	3
A	US,A,5 014 153 (WILKERSON) 7 Mai 1991 voir colonne 4, ligne 21 - ligne 54; figure 1 -----	1,2

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 94/01531

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-5014153	07-05-91	CA-A- 1319969	06-07-93
