

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Numéro de dépôt: **83111475.6**

Int. Cl.³: **H 01 F 29/14, H 01 F 21/08**

Date de dépôt: **19.10.79**

Priorité: **20.10.78 CA 313821**

Demandeur: **HYDRO-QUEBEC, 75, Boulevard
Dorchester Ouest, Montréal Québec H2Z 1A4 (CA)**

Date de publication de la demande: **23.05.84**
Bulletin 84/21

Inventeur: **Roberge, Gérald, 14, rue Le Roy, Repentigny
Québec L6A 1P6 (CA)**
Inventeur: **Doyon, André, 537, Rue Jolliet, Boucherville
Québec L4B 2Z3 (CA)**

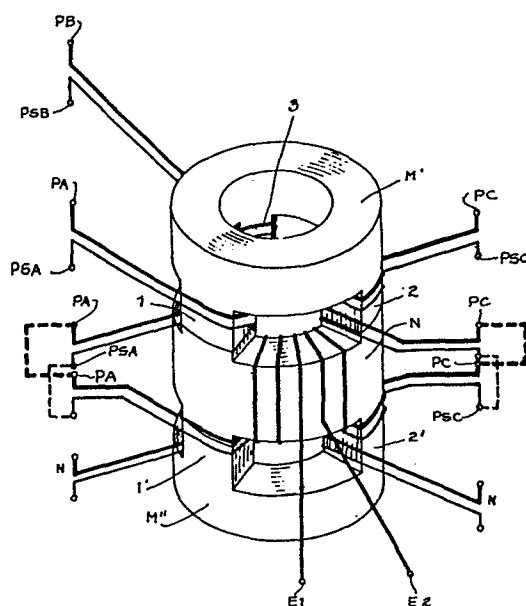
Etats contractants désignés: **BE DE FR GB SE**

Numéro de publication de la demande initiale en
application de l'article 76 CBE: **0010502**

Mandataire: **Peuscet, Jacques et al, 3, Square de
Maubeuge, F-75009 Paris (FR)**

Dispositif à inductance variable.

L'inductance variable pour circuit triphasé comprend pour chacune des phases un premier circuit magnétique formé d'un matériau anisotrope à travers lequel circule un champ magnétique alternatif. L'inductance variable comprend en outre un circuit magnétique de contrôle fermé à travers lequel circule un champ magnétique à courant continu réglable, ce circuit magnétique de contrôle étant également formé d'un matériau anisotrope. Les premiers circuits magnétiques sont formés par un premier et un second noyaux ferromagnétiques qui incluent chacun trois protubérances (1, 2, 3; 1', 2', 3') disposées symétriquement autour de chaque noyau et montées en vis-à-vis par paires, dans chacune desquelles circule un champ magnétique alternatif couplé à une phase d'une source triphasée. Le circuit magnétique de contrôle fermé est formé d'un noyau ferromagnétique de contrôle (N) disposé par rapport aux premier et second noyaux de façon à définir un espace magnétique commun où le champ magnétique de chaque phase et le champ magnétique continu se superposent orthogonalement pour orienter les dipôles magnétiques de chaque espace commun suivant une direction prédéterminée et pour ainsi commander la perméabilité des premiers circuits magnétiques au champ alternatif de chaque phase.



DISPOSITIF A INDUCTANCE VARIABLE.

La présente invention est relative à un dispositif à inductance variable et vise plus particulièrement un dispositif, dont la perméabilité efficace est commandée par un
5 circuit magnétique fermé à travers lequel circule un flux magnétique à courant constant et réglable.

Dans cette demande de brevet, on utilisera indifféremment les termes "dispositif à inductance variable" ou "inductance variable".

10 Présentement, il existe plusieurs dispositifs à configurations diverses susceptibles d'être utilisés comme inductance variable en préconisant un contrôle de la perméabilité ou de la réluctance du matériau formant l'inductance par superposition longitudinale d'un flux magnétique soit
15 alternatif, soit constant, comme par exemple dans le brevet U.S. N° 1,788,152 de Dowling émis en 1931; le brevet U.S. N° 2,844,804 de Roe, du 22 juillet 1958; le brevet U.S. N° 2,976,478 de Aske, du 21 mars 1961; et le brevet U.S. N° 3,735,305 de Sinnott et al, du 22 mai 1973. On
20 connaît également le brevet U.S. N° 3,757,201 de Cornwell, émis le 4 septembre 1973 qui décrit un appareil destiné à régulariser une tension, un courant ou une charge, côté secondaire, au moyen d'un couplage magnétique variable qui affecte considérablement le facteur de puissance de l'in-
25 ductance. Dans ce brevet, la perméabilité du circuit magnétique est affectée au moyen d'un flux constant, contrôlable dans un plan normal à celui d'un flux alternatif, mais il en résulte une augmentation considérable du courant d'excitation et du flux de fuite du circuit magnétique.

30 Ces dispositifs connus possèdent toutefois des inconvénients majeurs dûs au fait que plusieurs de ceux-ci fonctionnent à saturation, présentent une distorsion très appréciable de l'onde courant dû aux harmoniques générées dans les circuits magnétiques, et possèdent un faible facteur de puissance.

Un des buts de la présente invention est d'éviter les inconvénients mentionnés ci-dessus, relatifs aux dispositifs connus, et vise à proposer une inductance à faible taux d'harmoniques par un contrôle approprié de sa perméabilité ou réluctance.

Plus spécifiquement, la présente invention a trait à une inductance variable pour circuit triphasé comprenant pour chacune de ses phases un premier circuit magnétique formé d'un matériau anisotrope à travers lequel circule un champ magnétique alternatif. L'inductance comprend en outre un circuit magnétique de contrôle fermé, également formé d'un matériau anisotrope, à travers lequel circule un champ magnétique à courant continu réglable, le circuit magnétique de contrôle étant disposé par rapport à chacun des premiers circuits magnétiques de façon à définir pour chaque phase au moins un espace magnétique commun dans lequel les champs magnétiques alternatif et continu respectifs se superposent orthogonalement pour orienter les dipôles magnétiques des espaces communs suivant une direction prédéterminée par l'intensité du champ magnétique à courant continu du circuit magnétique de contrôle et pour contrôler ainsi la perméabilité des premiers circuits magnétiques au champ alternatif. Selon l'invention, les premiers circuits magnétiques sont formés par un premier et un second noyaux ferromagnétiques, le premier et le second noyaux incluant chacun trois protubérances disposées symétriquement autour de chaque noyau et montées en vis-à-vis par paires, dans chacune desquelles circule un champ magnétique alternatif couplé à une phase d'une source triphasée, le circuit magnétique de contrôle fermé étant formé d'un noyau ferromagnétique de contrôle disposé par rapport au premier et second noyau de façon à définir pour chaque phase un espace magnétique commun où le champ magnétique de cette phase et le champ magnétique continu se superposent

orthogonalement pour orienter les dipôles magnétiques de chaque espace commun suivant une direction prédéterminée et pour commander ainsi la perméabilité des premiers circuits magnétiques au champ alternatif desdites phases.

5 Les formes de réalisation préférées de la présente invention seront décrites ci-après avec référence aux dessins, dans lesquels:

la figure 1 illustre un mode de réalisation de l'inductance pour circuits triphasés selon l'invention
10 ayant une configuration cylindrique;

la figure 2 est une vue explosée de l'inductance variable triphasée illustrée à la figure 1;

la figure 3 présente un schéma de raccordement de l'inductance variable de la figure 1 montée en auto-
15 contrôle et contrôle inverse;

La figure 4 montre les lieux d'opération de l'inductance variable triphasée de la figure 3; et

la figure 5 présente les lieux d'opération d'un compensateur statique utilisant l'inductance triphasée
20 suivant la présente invention.

Les figures 1 et 2 illustrent un arrangement d'inductance triphasée suivant un empilement de noyaux cylindriques de section droite identique. Cet arrangement permet une distribution symétrique d'enroulements de phase
25 PA, PB et PC autour des jambes 1-1', 2-2' et 3-3' des noyaux M' et M'', respectivement. Le noyau de contrôle N, dont l'enroulement est alimenté en courant continu réglable par les bornes E1 et E2, comprend également des jambes N1, N2 et N3 qui sont montées en vis-à-vis des jambes 1,
30 2 et 3 du noyau M', d'une part, et des jambes N'1, N'2 et N'3 montées en vis-à-vis des jambes 1', 2' et 3' du noyau M'', d'autre part.

Comme on peut le voir sur les Figures 1 et 2, le noyau magnétique N relie les jambes des noyaux M' et M''

- à travers des zones de jonction appartenant au noyau magnétique N et dénommées ultérieurement "espaces magnétiques communs". La disposition orthogonale du circuit magnétique à courant continu par rapport aux circuits
- 5 magnétiques à courant alternatif a pour effet de produire dans les espaces magnétiques communs un couple magnétique proportionnel à la valeur, dans le noyau N, du champ magnétique à courant continu, qui polarise les dipôles de ces espaces magnétiques communs. En raison de cette disposition
- 10 orthogonale, les flux magnétiques à courant alternatif respectifs des trois phases ne peuvent emprunter le même chemin que le flux magnétique à courant continu; le champ magnétique à courant continu oriente, en les polarisant, les dipôles magnétiques des espaces magnétiques communs de
- 15 façon à agir sur la perméabilité des circuits magnétiques excités par les enroulements à courant alternatif des différentes phases comme on le désire.

- Dans ce montage les noyaux M' M'', et N sont en matériaux ferromagnétiques de même section droite, soit
- 20 en ferrite, soit en fer laminé, et présentent par conséquent une propriété anisotropique inhérente. Aussi, les dipôles des différents espaces communs en l'absence de champ polarisant à courant continu dans le noyau N, tendent à s'orienter dans la direction du champ magnétique alternatif, la perméabilité
- 25 des circuits magnétiques à courant alternatif étant alors une mesure de la facilité avec laquelle les dipôles magnétiques s'orientent dans la direction du champ magnétique correspondant. Les circuits magnétiques à courant alternatifs deviennent saturés au moment où leurs dipôles sont
- 30 complètement orientés dans la direction du champ magnétique alternatif. En conséquence, l'application d'un champ magnétique à courant continu dans le noyau N dans une direction transverse au champ magnétique alternatif de chaque phase a pour effet d'agir sur les dipôles

des espaces magnétiques communs en les polarisant, pour les éloigner de leur position d'équilibre, de sorte que les champs magnétiques alternatifs des trois phases doivent grandir en module pour que chaque dipôle maintienne sa même

5 position d'équilibre dans les espaces magnétiques communs. Ce processus n'affecte aucunement l'inductance de fuite, mais seulement l'inductance de magnétisation de l'inductance variable triphasée. Il en résulte que l'induction magnétique de saturation se trouve augmentée et que les

10 courbes de magnétisation deviennent plus linéaires avec l'augmentation du champ magnétique à courant continu dans les espaces communs. En conséquence, l'application d'un champ magnétique à courant continu perpendiculairement à un champ magnétique alternatif produit un effet d'entrefer

15 variable pour le circuit magnétique alternatif.

Le principe de fonctionnement de ce dispositif à inductance variable triphasée consiste donc essentiellement à produire dans des espaces magnétiques communs un champ magnétique à courant continu, qui a pour effet de

20 s'opposer à la rotation des dipôles de ces espaces communs pour un contrôle adéquat de la perméabilité efficace des circuits magnétiques alternatifs.

Le montage de la figure 2 permet également une élimination des courants de troisième et neuvième harmoniques au moyen d'un raccordement en étoile des trois phases

25 PA, PB et PC, avec neutre flottant, non raccordé à la masse, et l'élimination des flux de troisième et neuvième harmoniques à l'aide d'un enroulement secondaire superposé, PSA, PSB et PSC, raccordé en triangle. Ce raccordement en

30 triangle des enroulements PSA, PSB et PSC est illustré à la Figure 3. De plus, les pertes dans le noyau de contrôle N sont considérablement réduites en raison du fait qu'aucune réaction bidirectionnelle ne subsiste entre le noyau de contrôle et les noyaux de phase, puisqu'il n'existe aucun

flux magnétique alternatif dans le noyau de contrôle N, la somme des effets des trois phases étant nulle. En outre, le neutre du raccordement en étoile étant isolé de la masse, il n'est pas possible aux composants homopolaires de courant
5 de s'établir en régime transitoire.

L'inductance variable triphasée peut également fonctionner en auto-contrôle. Pour un tel fonctionnement, le schéma de raccordement des phases et des bobines de contrôle qui incluent une source variable à courant continu
10 V fournissant un flux inverse, est représenté à la figure 3.

Le mode d'excitation proposé à la figure 3 comporte deux systèmes de contrôle superposés, c'est-à-dire un contrôle alimenté directement par le circuit de puissance haute tension et un contrôle inverse de faible puissance relié à la source à courant continu V constante, mais réglable.
15

Dans ce circuit, le courant triphasé est redressé à l'aide de ponts de diodes T et traverse l'enroulement d'excitation E1-E2 avant de compléter son circuit de retour.
20 Un deuxième enroulement est superposé au premier dans le noyau de contrôle et se trouve alimenté par une source à courant continu constante V de faible puissance. Ce dernier enroulement est disposé de façon que le champ magnétique à courant continu généré dans le noyau de contrôle N
25 s'oppose au champ magnétique à courant continu principal généré par l'enroulement d'auto-contrôle. Le champ magnétique résultant dans le noyau de contrôle sera alors une fonction du champ magnétique généré par le courant alternatif triphasé, redressé par T, qui circule dans l'enroule-
30 ment en auto-contrôle et, par conséquent, une fonction du niveau de tension aux bornes de l'inductance variable. Le fonctionnement de ce contrôle est simple et ne requiert aucune boucle de retour pour corriger le couple magnétique désiré sur les dipôles dans l'espace magnétique commun N.

Ce couple magnétique est généré directement par le champ magnétique à courant continu résultant injecté dans le noyau de contrôle et le choix du nombre de tours de l'enroulement d'auto-contrôle y joue un rôle très important.

5 Dans le tableau ci-annexé, sont représentés les taux de distorsion harmonique du courant de phase obtenus lorsque l'inductance triphasée de la figure 3 est utilisée soit en auto-contrôle, soit en auto-contrôle avec contrôle inverse. Sur ce tableau, les chiffres entre parenthèses
10 réfèrent aux points de fonctionnement indiqués sur la figure 4.

Cette figure 4 représente les courbes caractéristiques de l'inductance triphasée cylindrique de la figure 3 en fonction des ampères-tours de contrôle à courant continu
15 et en fonction d'un auto-contrôle. Plus particulièrement, la courbe "X" est celle obtenue pour le fonctionnement en auto-contrôle seul de l'inductance alors que la courbe "Y" représente la caractéristique de fonctionnement de l'inductance triphasée en auto-contrôle avec alimentation à courant
20 continu inverse du noyau de contrôle.

L'inductance à perméabilité variable décrite ci-haut se prête particulièrement bien à une application comme compensateur statique lorsqu'elle est utilisée en parallèle avec une batterie de condensateurs pour les ré-
25 seaux de transport d'énergie. En effet, le temps de **réponse** de l'inductance variable est de l'ordre de, ou inférieur à, un cycle pour une tension de réseau de 60 Hertz et la transition se fait sans déformation du courant. En outre, la distorsion harmonique de l'inductance étant très faible,
30 aucun filtre autre que le raccordement du secondaire en delta n'est nécessaire, ce qui contribue à diminuer très sensiblement le coût et augmenter la fiabilité du compensateur statique. Il est également à noter que cette inductance variable peut être branchée

directement à la haute tension du réseau et que ses pertes de fer et de cuivre sont comparables à celles d'un transformateur.

En effet, le mode de contrôle proposé pour l'inductance à perméabilité variable du type cylindrique illustré à la figure 3, est particulièrement avantageux dans une application au compensateur statique. Cette inductance triphasée comporte un circuit d'auto-contrôle venant du redressement du courant de l'inductance et un contrôle inverse de faible puissance venant d'une source à courant continu indépendante. L'inductance ainsi contrôlée offre un élément idéal pour contrôler l'énergie véhiculée par une ligne de transport d'énergie, car la plage d'opération de cette inductance est triple (montée de tension, régulation et surtension), le niveau de saturation de l'inductance n'est jamais atteint, la réponse à une perturbation de tension sur la ligne de transmission est instantanée et sa fiabilité est considérable dû principalement à la simplicité de ce contrôle. De fait, utilisée en parallèle avec une batterie de condensateurs, cette inductance triphasée devient l'élément variable pour un compensateur statique dont les performances répondent aux besoins présents des réseaux de transport d'énergie. En effet, lors de l'apparition d'une surtension sur la ligne de transport, les courants de phase passent de l'état capacitif à l'état inductif dans un intervalle d'environ 0,5 cycle sur une base de 60 Hertz. Ce passage de l'état capacitif, où I est inférieur à zéro, à l'état inductif est particulièrement bien montré dans la figure 5 dont les courbes illustrent les points de fonctionnement du compensateur statique utilisant une inductance variable avec contrôle inverse allant de 0 à 500 ampères-tours négatifs. L'inductance variable décrite ci-haut permet donc une transmission sans déformation de l'onde courant, si ce n'est l'ajustement de l'angle de $+ 90^\circ$ à $- 90^\circ$

par rapport à la tension d'alimentation du compensateur; quant à la distorsion du courant de phase, elle demeure négligeable.

L'inductance variable triphasée peut également être
5 reliée en série avec une batterie de condensateurs, la résultante étant inductive, afin d'augmenter la variation de puissance de l'inductance variable en fonction des ampères-tours à courant continu.

Par ailleurs, en vue d'effectuer une régulation
10 de tension pour une pente de 3 à 10 % selon le choix de l'utilisateur, le nombre de tours de la bobine à courant continu alimentée par les ponts de diodes pourrait éventuellement être modifié à l'aide de thyristors asservis à une consigne de tension, ce qui aurait pour effet de déplacer la
15 courbe du point de fonctionnement de l'inductance.

L'inductance variable triphasée selon l'invention a été décrite précédemment à l'aide d'un mode de réalisation préféré. Bien entendu, ce mode de réalisation peut être modifié, à condition de respecter l'étendue des revendica-
20 tions annexées, sans pour cela sortir du cadre de la présente invention.

HARMO- NIQUE	AUTO-CONTROLE						AUTO-CONTROLE PLUS INVERSE	SANS AUTO- CONTROLE
	SOURCE = 40 V c.a.			CONDENSATEUR 1000 μ F			1.0 A inv. (200 μ F)	
	0 μ F (1)	200 μ F (1)	1000 μ F (1)	30 V (2)	40 V (1)	50 V (3)		
							38 V (4)	50 V (5)
FOND.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	0,88	0,97	0,88	0,91	0,88	0,61	1,00	0,27
3	0,65	0,67	0,64	0,77	0,64	1,45	0,97	1,80
4	0,05	0,03	0,04	-	0,04	0,16	0,07	0,12
5	2,02	1,50	1,50	2,30	1,50	2,20	0,97	27,0
6	0,03	0,07	0,01	-	0,01	0,09	-	-
7	1,01	1,26	1,20	0,82	1,20	1,05	0,16	7,50
8	0,02	-	-	-	-	0,11	-	-
9	0,04	0,02	0,01	-	0,01	0,14	0,03	1,15
10	0,02	-	-	-	-	0,13	-	-
11	0,21	0,28	0,28	0,13	0,28	0,26	-	1,80
12	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,05	0,10	0,10	0,03	0,10	0,21	0,47	0,73
14	0,01	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	0,04
16	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0,02	0,05	0,05	0,01	0,05	0,06	-	0,36
18	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,04	0,02	0,02	-	0,02	0,09	-	0,12
20	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	0,02
22	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	-	0,04

REVENDECATIONS.

1. Inductance variable pour circuit triphasé
comprenant pour chacune de ses phases un premier circuit
magnétique formé d'un matériau anisotrope à travers lequel
5 circule un champ magnétique alternatif, ladite inductance
comprenant en outre un circuit magnétique de contrôle fermé,
également formé d'un matériau anisotrope, à travers lequel
circule un champ magnétique à courant continu réglable, le
circuit magnétique de contrôle étant disposé par rapport à
10 chacun des premiers circuits magnétiques de façon à définir
pour chaque phase au moins un espace magnétique commun dans
lequel les champs magnétiques alternatif et continu respec-
tifs se superposent orthogonalement pour orienter les
dipôles magnétiques desdits espaces communs suivant une
15 direction prédéterminée par l'intensité dudit champ magné-
tique à courant continu du circuit magnétique de contrôle
et pour contrôler ainsi la perméabilité desdits premiers
circuits magnétiques audit champ alternatif, caractérisée
par le fait que les premiers circuits magnétiques sont
20 formés par un premier et un second noyaux ferromagnétiques,
le premier et le second noyaux incluant chacun trois protu-
bérances (1,2,3; 1', 2', 3') disposées symétriquement autour
de chaque noyau et montées en vis-à-vis par paires, dans
chacune desquelles circule un champ magnétique alternatif
25 couplé à une phase d'une source triphasée, ledit circuit
magnétique de contrôle fermé étant formé d'un noyau ferro-
magnétique de contrôle (N) disposé par rapport au premier
et second noyau de façon à définir pour chaque phase un espace magné-
tique commun où le champ magnétique de cette phase et le champ
30 magnétique continu se superposent orthogonalement pour
orienter les dipôles magnétiques de chaque espace commun
suivant une direction prédéterminée et pour commander ainsi

la perméabilité desdits premiers circuits magnétiques au champ alternatif desdites phases.

2. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée par le fait que lesdits premier et second
5 noyaux de phase et ledit noyau de contrôle sont de configuration cylindrique et de sections droites identiques.

3. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée par le fait que chaque paire de protubérances (1,1' ; 2,2' ; 3,3') montées en vis-à-vis comporte un pre-
10 mier et un second enroulements et que les premiers enroulements sont interconnectés en étoile avec neutre flottant alors que les seconds enroulements sont interconnectés en triangle.

4. Inductance variable selon l'une des revendications 1 ou 3, caractérisée par le fait que ledit noyau de
15 contrôle comporte un premier enroulement à travers lequel circule un courant, dont l'intensité est asservie au courant triphasé de la source au moyen d'un pont de redressement (T), de façon à définir un fonctionnement en auto-contrôle de
20 ladite inductance variable.

5. Inductance variable selon la revendication 4, caractérisée par le fait qu'un second enroulement est prévu sur ledit noyau de contrôle et relié à une source à courant continu de façon à définir un fonctionnement en contrôle
25 inverse de ladite inductance variable par opposition d'un champ magnétique à courant continu inverse à celui généré par le premier enroulement du noyau de contrôle.

6. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée par le fait qu'une batterie de condensateurs
30 est reliée en parallèle avec ladite inductance variable pour déterminer un fonctionnement en compensateur statique à plage inductive et capacitive variable.

7. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée par le fait qu'une batterie de condensateurs est reliée en série avec ladite inductance.

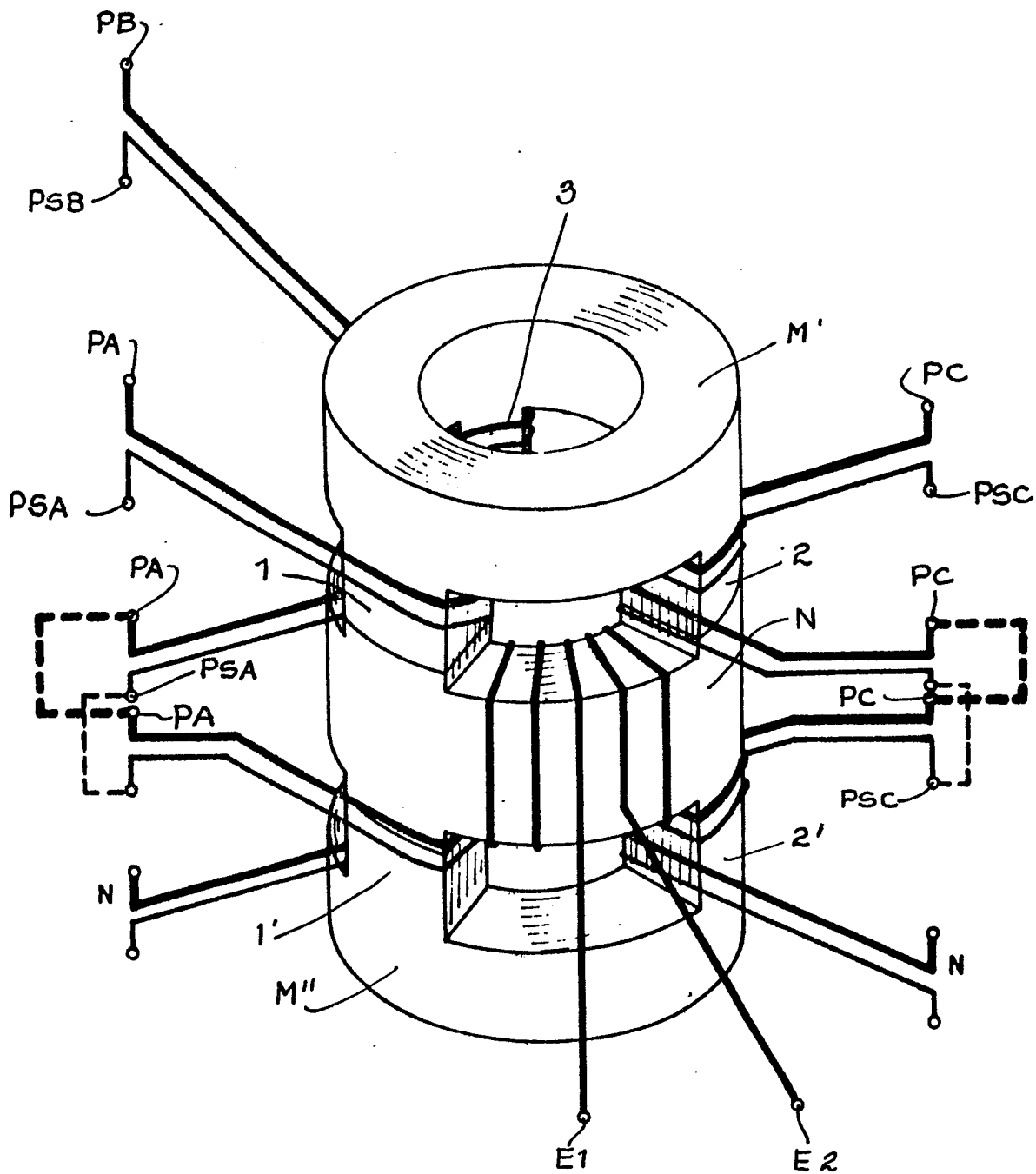


Fig. 1

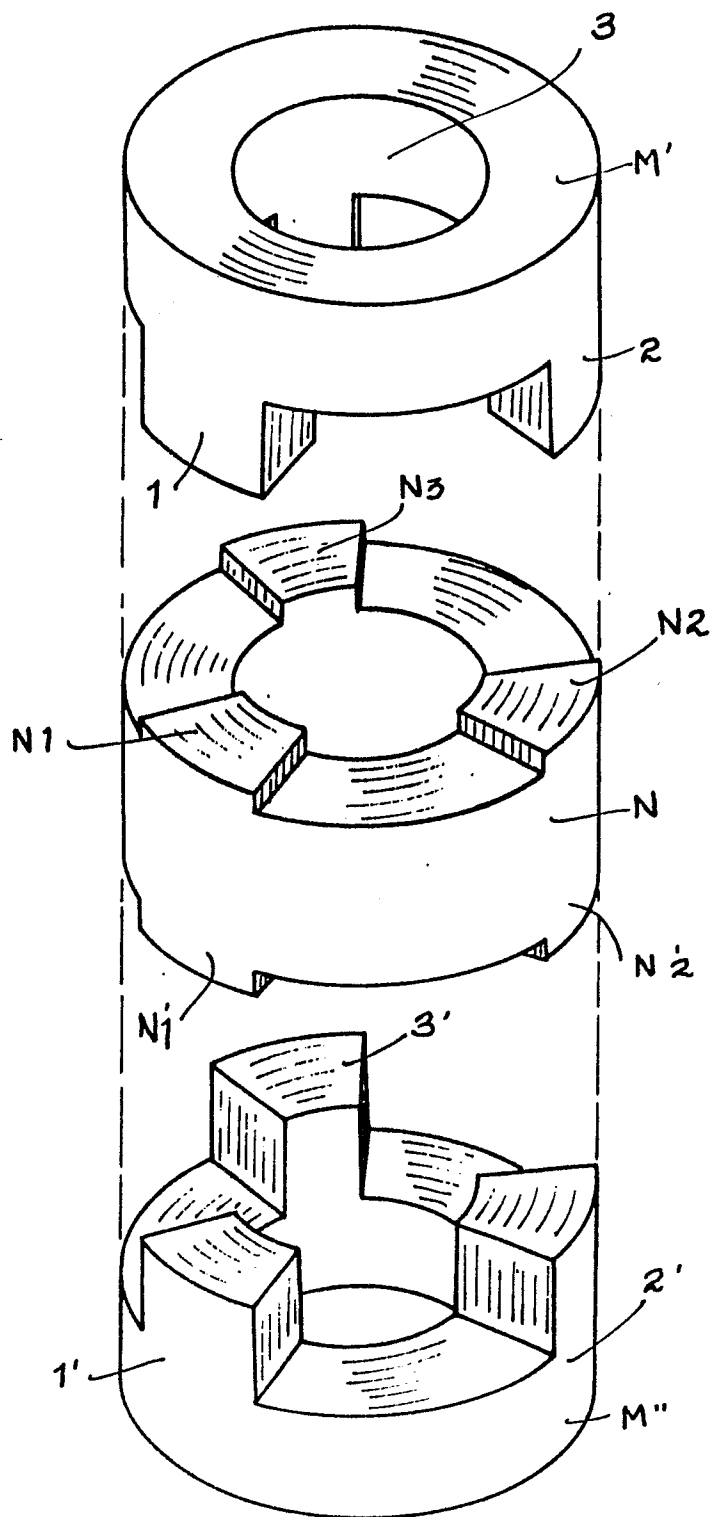
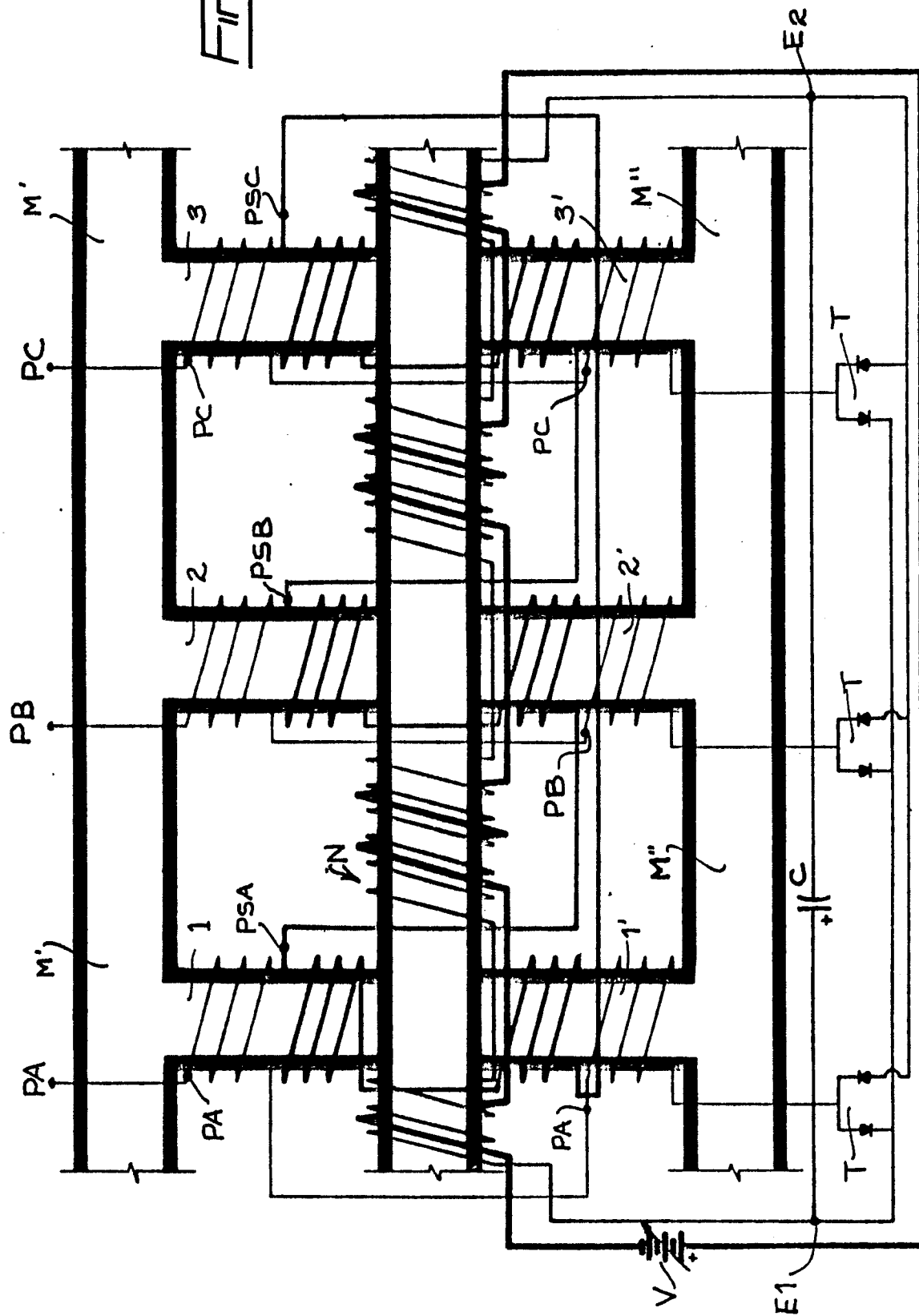
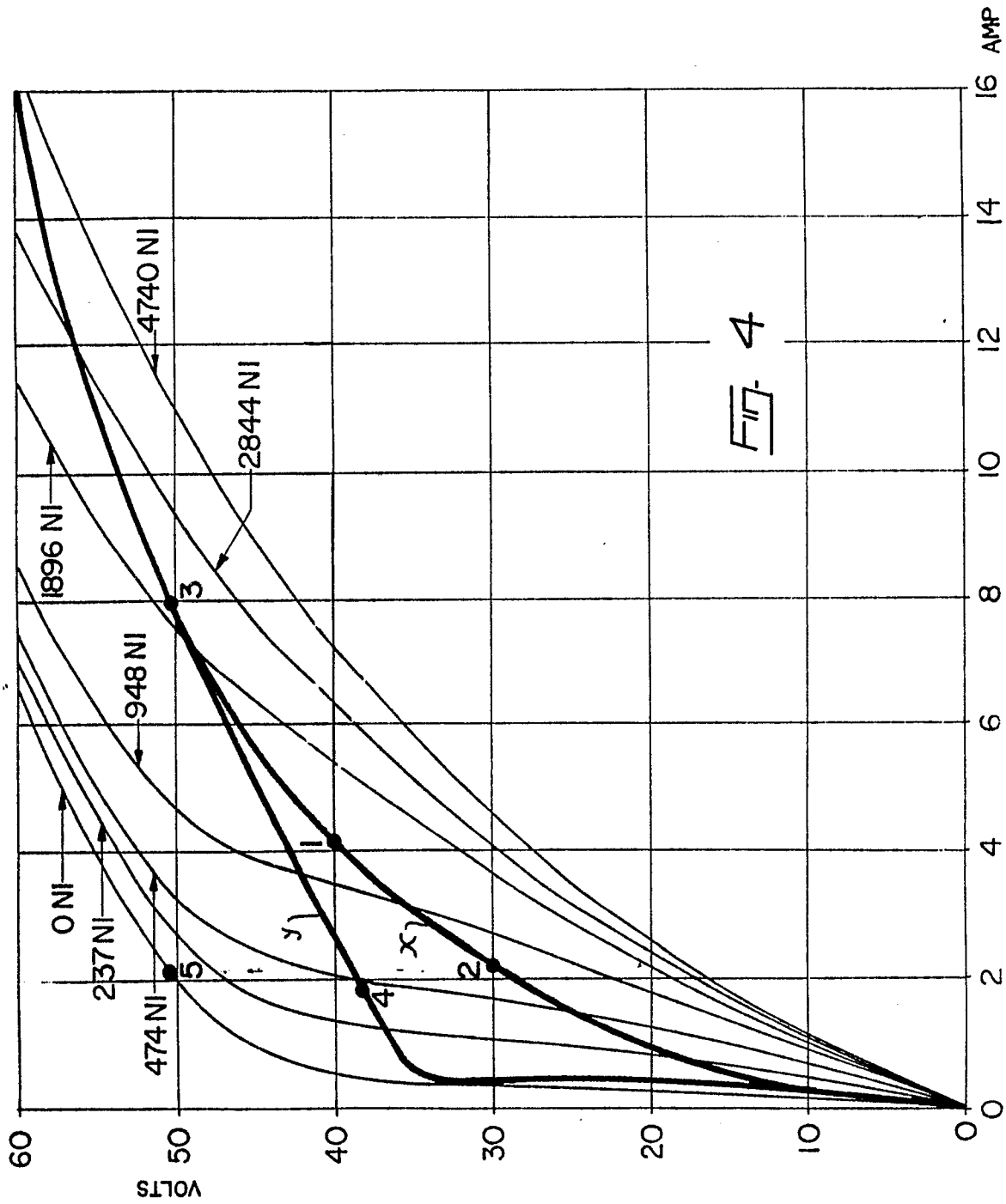
Fig. 2

FIG. 3





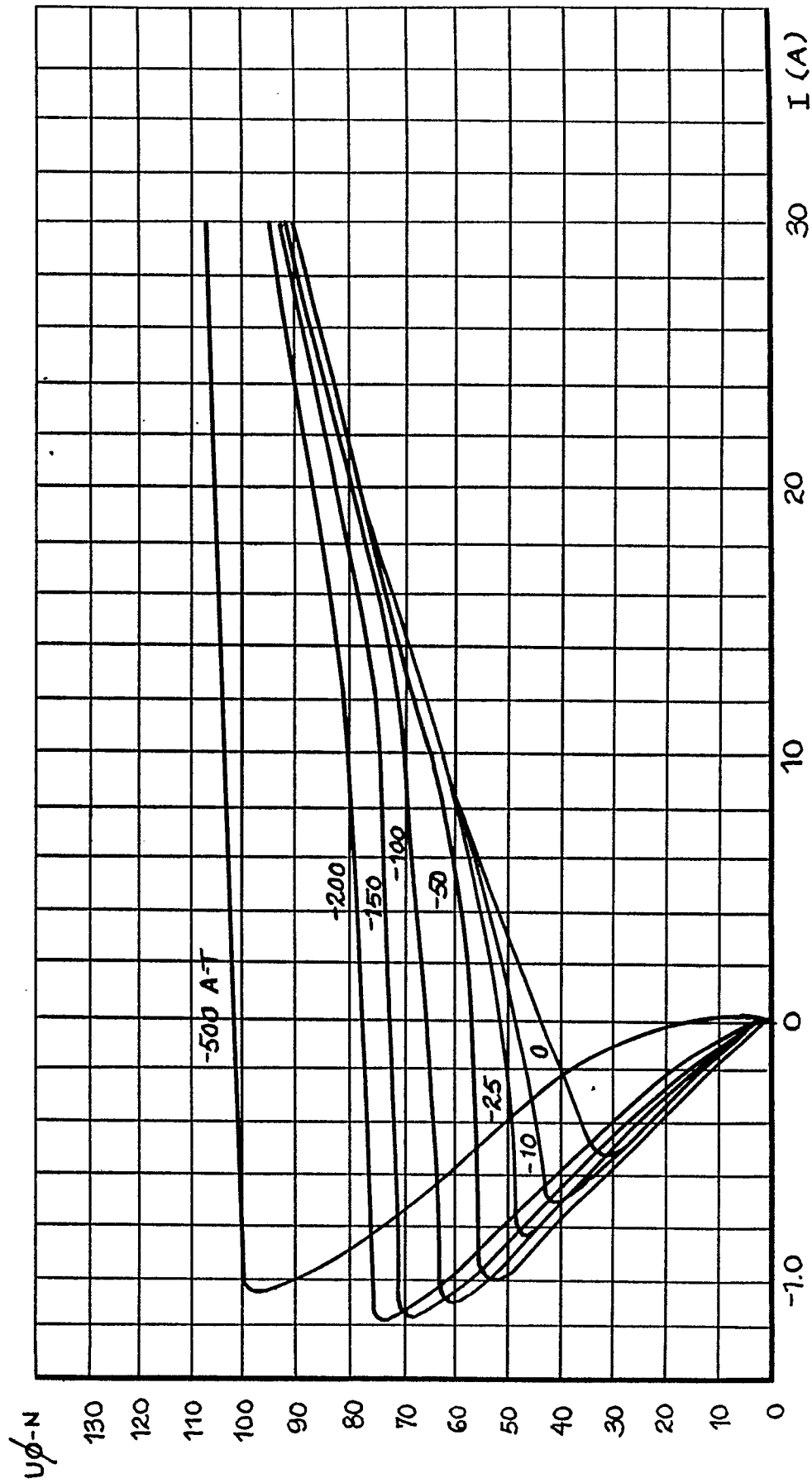


FIG. 5



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0109096
Numéro de la demande

EP 83 11 1475

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	BROWN BOVERI MITTEILUNGEN, vol. 52, no. 7, juillet 1965 "Neuartige Schweissgleichrichter", pages 489-494. * figure 1 *	1	H 01 F 29/14 H 01 F 21/08
A	--- US-A-3 622 868 (J.H. TODT) * colonne 6, lignes 17-35; colonne 7, lignes 29-60 *	1,4,5	
D,A	--- US-A-2 844 804 (LeTOURNEAU-WESTINGHOUSE)		
D,A	--- US-A-3 757 201 (L.B. CORNWELL)		
A	--- CH-A- 355 210 (BBC)		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
A	--- US-A-3 657 678 (C.A. SCHWENDEN)		H 01 F 29/00 H 01 F 21/00 H 01 F 27/00
A	--- FR-A-2 324 053 (V.K. LEBEDEV)		
A	--- US-A-3 087 108 (D.S. TOFFOLO)		
A	--- DE-B-1 026 416 (SIEMENS) -----		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08-02-1984	Examineur VANHULLE R.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			