

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑲ Numéro de dépôt: 86400011.2

⑤① Int. Cl.⁴: **H 01 F 29/14**

⑳ Date de dépôt: 06.01.86

③① Priorité: 16.01.85 CA 472204

⑦① Demandeur: **HYDRO-QUEBEC, 75, Boulevard
Dorchester Ouest, Montréal Québec H2Z 1A4 (CA)**

④③ Date de publication de la demande: 10.09.86
Bulletin 86/37

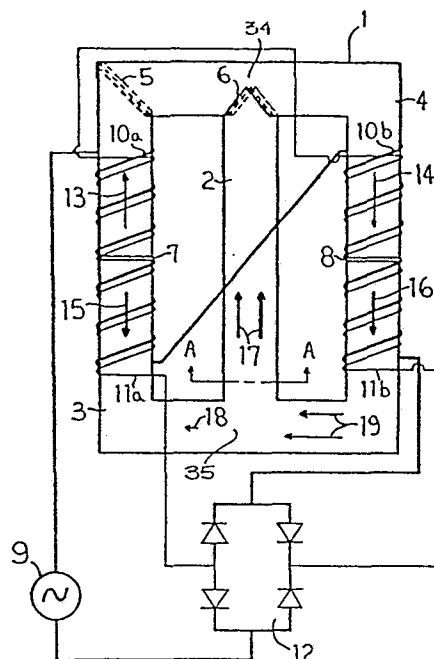
⑦② Inventeur: **Bolduc, Léonard, 760 rue Roger, Ste-Julie
Québec, J0L 2C0 (CA)**

⑧④ Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI
NL SE**

⑦④ Mandataire: **Peuscet, Jacques, 3, Square de Maubeuge,
F-75009 Paris (FR)**

⑤④ Inductance variable auto-contrôlée à entrefers, et système électrique comprenant une telle inductance.

⑤⑦ L'inductance variable comprend un noyau magnétique (1) muni d'une jambe centrale (2) et de deux jambes externes (3, 4) ayant toutes trois une première et une seconde extrémité. Les premières extrémités sont reliées en un premier point commun (34) du noyau magnétique et les secondes extrémités en un second point commun (35) de ce noyau. Deux enroulements primaires (10a, 10b) disposés respectivement autour des deux jambes externes sont reliés en série et alimentés par un courant alternatif, tandis que deux enroulements de contrôle (11a, 11b) également reliés en série sont respectivement superposés aux deux enroulements primaires. Le courant alternatif des enroulements primaires (10a, 10b) est redressé par un pont de diodes (12) pour alimenter en courant continu les enroulements de contrôle. Le sens des différents enroulements ainsi que leurs interconnexions sont sélectionnés de telle sorte que les courants alternatif et continu induisent dans l'une des deux jambes externes des flux magnétiques alternatif et continu qui s'additionnent ou qui s'opposent, et dans l'autre de ces deux jambes des flux magnétiques alternatif et continu qui s'opposent ou qui s'additionnent, respectivement, selon les alternances positives ou négatives du courant alternatif. Chaque jambe externe comporte un entrefer (7, 8) traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette jambe et disposé de préférence au centre des enroulements primaire et de contrôle correspondants.



INDUCTANCE VARIABLE AUTO-CONTROLEE A ENTREFERS, ET SYSTEME ELECTRIQUE
COMPRENANT UNE TELLE INDUCTANCE

La présente invention est relative à un appareillage électrique de puissance, soit une inductance variable du type comprenant un noyau magnétique à trois jambes, un bobinage d'entrée ou primaire alimenté en courant alternatif,
5 et un circuit de contrôle à courant continu.

Conventionnellement, le bobinage primaire d'une telle inductance variable comprend au moins un enroulement dans lequel circule un courant alternatif qui induit un flux magnétique alternatif de même intensité à l'intérieur
10 de deux des trois jambes du noyau magnétique. De son côté, le circuit de contrôle est soumis à un courant continu qui induit un flux magnétique continu de même intensité dans ces deux jambes. Les flux alternatif et continu s'additionnent dans l'une des deux jambes et s'opposent dans l'autre,
15 et vice versa selon les alternances positives ou négatives du courant alternatif. La fonction du flux magnétique continu induit dans chacune des deux jambes est de saturer plus ou moins profondément le noyau magnétique pour ainsi déterminer la perméabilité de celui-ci au flux alternatif et par
20 le fait même l'impédance du bobinage primaire. Cette impédance peut donc être variée en modifiant l'intensité du courant continu du circuit de contrôle de manière à modifier l'intensité du flux magnétique continu induit dans les deux jambes. Plusieurs systèmes ont été proposés pour
25 ajuster l'intensité de ce courant continu de manière à obtenir une caractéristique de fonctionnement désirée de l'inductance variable, certains redressant le courant alternatif du bobinage primaire pour alimenter le circuit de contrôle avec ce courant redressé.

30 Ces inductances variables connues ont le désavantage d'avoir une caractéristique de fonctionnement qui est très sensible à toute variation dans les propriétés intrinsèques du matériau constituant le noyau magnétique et dans la construction de ce noyau, à l'échauffement ou au
35 moindre déplacement dans le noyau magnétique et aussi à l'effet lié à la fréquence. De plus, de telles inductances

de l'art antérieur ne permettent pas d'obtenir une caractéristique de fonctionnement pour laquelle serait possible une plage de variation optimale du courant alternatif dans le bobinage primaire et donc de la puissance réactive de l'inductance variable en réponse à une faible variation de la tension aux bornes de ce bobinage primaire à un niveau de tension donné, ce qui serait très utile pour une application de l'inductance variable par exemple à la régulation de tension alternative.

10 Le but principal de la présente invention est donc d'éliminer les différents inconvénients énumérés ci-dessus en introduisant un entrefer dans chacune des deux jambes du noyau magnétique où les flux magnétiques alternatif et continu s'additionnent ou s'opposent.

15 Plus particulièrement, la présente invention propose une inductance variable comprenant:

un noyau magnétique muni de trois jambes ayant chacune une première et une seconde extrémité, ces premières extrémités étant reliées en un premier point commun
20 du noyau magnétique, et ces secondes extrémités étant reliées en un second point commun de ce noyau magnétique;

un bobinage primaire alimenté par un courant alternatif;

un bobinage de contrôle; et
25 des moyens pour alimenter le bobinage de contrôle avec un courant continu ayant une intensité qui varie en fonction d'un paramètre électrique relié au fonctionnement de l'inductance variable;

le bobinage primaire et le bobinage de contrôle
30 étant disposés par rapport au noyau magnétique de manière à ce que les courants alternatif et continu induisent dans une première desdites trois jambes un flux magnétique alternatif et un flux magnétique continu qui s'additionnent ou qui s'opposent selon que le courant alternatif passe par
35 une alternance positive ou négative, respectivement, et dans une seconde desdites trois jambes un flux magnétique

alternatif et un flux magnétique continu qui s'opposent ou qui s'additionnent selon que le courant alternatif passe par une alternance positive ou négative, respectivement, le flux magnétique continu induit dans chacune des première et seconde jambes
5 ayant une intensité qui varie avec l'intensité du courant continu pour ainsi varier l'impédance du bobinage primaire; la première jambe comportant un entrefer traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette première jambe, et la seconde jambe comportant un entrefer traversé
10 par le flux magnétique résultant induit dans cette seconde jambe.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le paramètre électrique est l'intensité du courant alternatif alimentant le bobinage primaire, et les moyens
15 d'alimentation en courant continu comportent un pont de diodes reliant en série le bobinage primaire et le bobinage de contrôle, pour ainsi redresser le courant alternatif alimentant le bobinage primaire et alimenter le bobinage de contrôle avec ce courant redressé (opération en autocontrôle).

20 Selon un autre mode de réalisation préféré de l'invention, le bobinage primaire comporte un premier enroulement et un second enroulement connectés en série, enroulés autour des première et seconde jambes, respectivement, et alimentés par le courant alternatif de telle sorte que ce
25 courant alternatif induise dans la première jambe un premier flux magnétique alternatif et dans la seconde jambe un second flux magnétique alternatif, ces premier et second flux magnétiques alternatifs s'additionnant dans la troisième desdites trois jambes, et le bobinage de contrôle comprend un troi-
30 sième enroulement superposé au premier enroulement, et un quatrième enroulement superposé au second enroulement, ces troisième et quatrième enroulements étant connectés en série, enroulés autour des première et seconde jambes, respectivement, et alimentés par le courant continu de telle
35 sorte que ce courant continu induise un flux magnétique

continu circulant dans un circuit magnétique fermé défini par les première et seconde jambes.

De préférence, les premier et troisième enroulements sont disposés autour de la première jambe de manière à ce que l'entrefer de cette première jambe se retrouve au centre de ces premier et troisième enroulements, et les second et quatrième enroulements sont également disposés autour de la seconde jambe de manière à ce que l'entrefer de cette seconde jambe se retrouve au centre de ces second et quatrième enroulements.

L'inductance variable peut également comprendre un bobinage de polarisation monté sur le noyau magnétique et alimenté en courant continu, ainsi qu'une inductance de valeur fixe reliée en série avec le bobinage de contrôle.

Les avantages et autres caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation préféré de celle-ci, donné à titre d'exemple non-limitatif seulement avec référence aux dessins annexés dans lesquels:

La Figure 1a) représente une inductance variable autocontrôlée à entrefers selon l'invention, munie d'un noyau magnétique à trois jambes;

La Figure 1b) illustre une section possible pour les trois jambes du noyau magnétique de l'inductance de la Figure 1a);

La Figure 1c) est le circuit équivalent de l'inductance variable autocontrôlée à entrefers de la Figure 1a);

Les Figures 2, 3, 4 et 5 montrent différentes courbes de fonctionnement, réelles ou idéales, de l'inductance variable de la Figure 1a);

Les Figures 6a) et 6b) illustrent sous forme de circuits équivalents, l'addition de composants permettant un ajustement des caractéristiques de fonctionnement de l'inductance variable de la Figure 1a);

La Figure 7 représente une superposition d'enroulements autour de deux jambes du noyau magnétique de l'induc-

tance selon l'invention;

Les Figures 8a), 8b) et 8c) montrent pour une application à la régulation de tension des façons de modifier les caractéristiques d'opération de l'inductance
5 variable; et

La Figure 9 illustre une application de l'inductance variable à la régulation de tension alternative dans le cas d'une alimentation par couplage capacitif, par exemple par fil de garde.

10 L'inductance variable comporte, tel qu'illustré à la Figure 1a) des dessins, un noyau magnétique identifié de façon générale par la référence 1 et formé d'une jambe centrale 2 et de deux jambes externes 3 et 4, toutes trois disposées substantiellement dans un même plan de façon à
15 faciliter la construction du noyau magnétique 1. Les trois jambes ont leurs premières extrémités reliées en un premier point commun 34 et leurs secondes extrémités en un second point commun 35. Le noyau magnétique est avantageusement constitué de tôles superposées les unes aux autres et
20 parallèles au plan dans lequel sont situées les trois jambes. Ces tôles sont identifiées par la référence 20 sur la Figure 1b) qui représente la section des jambes 2 à 4 prise pour fins d'exemple selon l'axe A-A de la Figure 1a). Le nombre et l'épaisseur des tôles 20 formant les diffé-
25 rentes jambes du noyau magnétique 1 peuvent bien entendu être choisis selon les critères habituels de conception de tels noyaux magnétiques.

Tel que représenté à la Figure 1b), la jambe centrale 2 et les jambes externes 3 et 4 ont une section de
30 même surface et cruciforme quasi circulaire.

Cependant, bien qu'il importe que la section des jambes externes 3 et 4 soit de même surface, la section de la jambe centrale 2 peut avoir une surface égale ou plus grande que celle de la section des jambes 3 et 4. Ces trois
35 jambes 2 à 4 peuvent également avoir une section carrée ou

rectangulaire.

Pour des raisons qui deviendront évidentes à la lecture de la description qui suit, il est important que les tôles 20 du noyau magnétique soient réalisées en un 55 acier magnétique ou en tout autre matériau magnétique ayant une courbe de magnétisation avec un genou prononcé. Pour éviter les phénomènes de saturation partielle dans la région des jonctions de ces tôles 20, qui ont pour effet d'allonger le genou de la courbe de magnétisation, il faut 10 réunir les tôles par des jonctions à 45° et en au moins trois paliers, tel qu'illustré par exemple en 5 et 6 sur la Figure 1a).

Se référant de nouveau à cette Figure 1a), la jambe externe 3 du noyau comporte en son centre un entrefer 15 7 tandis que la jambe externe 4 a en son centre un entrefer 8, ces deux entrefers 7 et 8 ayant une longueur identique.

Un premier bobinage qu'il convient ici d'appeler bobinage primaire est alimenté en courant alternatif par une source électrique alternative 9 et comporte un premier 20 enroulement 10a disposé autour de la jambe externe 3 et un second enroulement 10b disposé autour de la jambe externe 4. Un bobinage de contrôle comprend un premier enroulement 11a superposé à l'enroulement 10a et un second enroulement 11b superposé à l'enroulement 10b. Les enroulements 10a et 25 10b ayant un même nombre de tours sont reliés en série, ainsi que les enroulements 11a et 11b ayant aussi un même nombre de tours. D'une manière avantageuse, les enroulements 10a et 11a sont positionnés autour de la jambe externe 3 pour que l'entrefer 7 se retrouve en leur centre. De la même 30 façon, les enroulements 10b et 11b sont positionnés autour de la jambe externe 4 de façon à ce que l'entrefer 8 se retrouve en leur centre. Cette disposition des enroulements est avantageuse en ce qu'elle diminue considérablement les flux de fuite autour des entrefers.

35 Un pont de redressement 12 à double alternance

formé de quatre diodes redresse le courant alternatif circulant dans le bobinage primaire afin d'alimenter le bobinage de contrôle avec ce courant redressé qu'il convient d'appeler courant continu, pour ainsi obtenir un
5 fonctionnement en autocontrôle de l'inductance variable.

En fait, ce pont de redressement 12 relie directement en série les bobinages primaire et de contrôle entre les bornes de la source 9 de sorte que le courant alternatif du bobinage primaire puisse être redressé pour alimenter le bobinage de contrôle. L'amplitude du courant
10 continu circulant dans les enroulements 11a et 11b connectés en série est donc fonction de l'amplitude du courant alternatif circulant dans les enroulements 10a et 10b aussi reliés en série.

Le sens des enroulements 11a et 11b ainsi que leur interconnexion en série sont choisis de sorte que le courant continu du bobinage à contrôle induise un flux magnétique continu qui circule dans un circuit magnétique fermé défini par les jambes externes 3 et 4. Donc, aucun
15 flux magnétique continu ne résulte dans la jambe centrale. Le flux magnétique continu généré par les enroulements 11a et 11b dans les deux jambes externes 3 et 4 est identifié par les flèches 13 et 14, respectivement. La fonction de ce flux magnétique induit est de saturer plus ou moins profondément le noyau magnétique 1, entraînant en conséquence une
20 diminution de l'impédance du bobinage primaire et une augmentation du courant alternatif de ce bobinage, et ce jusqu'à un point stable.

Durant chaque alternance positive du courant alternatif circulant dans le bobinage primaire, les enroulements
30 10a et 10b génèrent respectivement des flux magnétiques alternatifs identifiés par les flèches 15 et 16. Ces flux alternatifs 15 et 16 s'additionnent dans la jambe centrale 2 tel qu'illustré en 17.

35 A l'intérieur de la jambe magnétique externe 3, le flux magnétique continu 13 s'oppose au flux magnétique

alternatif 15 pour donner la résultante de flux magnétique identifié par la flèche 18. Au contraire, à l'intérieur de la jambe externe 4, les flux magnétiques continu 14 et alternatif 16 s'additionnent. Cette addition de flux 5 magnétique est illustrée par les flèches 19.

Bien entendu, la superposition de flux magnétiques alternatif et continu décrite ci-dessus se produit lors de chaque alternance positive du courant alternatif délivré par la source 9. Il peut être facilement déduit qu'un 10 phénomène inverse se produit lors de chaque alternance négative du courant alternatif circulant dans les enroulements 10a et 10b puisque dans ce cas, les flux magnétiques alternatifs induits par ces enroulements 10a et 10b dans les jambes externes 3 et 4, sont en sens contraire.

15 Il est à noter que même dans le cas où la jambe centrale 2 du noyau magnétique 1 a une section de même surface que chacune des deux jambes externes 3 et 4, elle ne peut se saturer dû à la répartition du flux magnétique décrite ci-haut, au flux rémanent et au fait que les autres jambes du 20 noyau magnétique en se saturant autoriseront des flux de fuite qui ne parviendront pas à la jambe centrale 2.

La Figure 1c) représente le circuit équivalent de l'inductance variable autocontrôlée à entrefers de la Figure 1a). L'impédance du circuit primaire (comportant les 25 enroulements 10a et 10b reliés en série) peut être représentée par une résistance R_p en série avec une impédance réactive ωL_p tandis que l'impédance du bobinage de contrôle (enroulements 11a et 11b en série) peut être représentée par une résistance R_s en série avec une impédance réactive ωL_s , où 30 L_p représente la valeur d'inductance du circuit primaire comportant les enroulements 10a et 10b reliés en série, L_s la valeur d'inductance des enroulements 11a et 11b en série, et ω la fréquence angulaire $2\pi f$ à la fréquence f du courant alternatif du bobinage primaire. Le courant i_p est le cou- 35 rant alternatif qui circule dans le bobinage primaire et le

courant i_s représente le courant continu circulant dans le bobinage de contrôle et provenant du redressement du courant i_p par le pont de redressement 12. Il est à noter que le courant i_s circule toujours dans la même direction puisqu'il correspond au courant redressé délivré par le pont de redressement 12. Ici, l'indice p est associé au bobinage primaire tandis que l'indice s est associé au bobinage de contrôle.

Tel qu'illustré à la Figure 1c), l'enroulement 11a du bobinage de contrôle a un nombre de tours égal à n fois le nombre de tours de l'enroulement 10a du bobinage primaire, n étant légèrement supérieur à 1. De la même façon, l'enroulement 11b a un nombre de tours égal à n fois le nombre de tours de l'enroulement 10b.

Comme le rapport n du nombre de tours des enroulements 11a et 11b du bobinage de contrôle et du nombre de tours des enroulements 10a et 10b du bobinage primaire est légèrement plus grand que 1, et que le courant continu de contrôle i_s redressé circulant dans les enroulements 11a et 11b est toujours égal ou plus grand en module que le courant alternatif i_p , le flux magnétique résultant dans chaque jambe externe 3 ou 4 est toujours de même polarité, soit de la polarité imposée par le courant continu i_s en induisant un flux magnétique correspondant (voir les flèches 18 et 19 de la Figure 1a), en l'absence d'enroulements de polarisation qui peuvent être ajoutés comme on le verra plus loin.

Le circuit magnétique de la jambe externe 3 étant identique à celui de la jambe externe 4, les flux magnétiques se comportent de la même façon dans l'une et l'autre de ces deux jambes, mais avec un décalage angulaire de 180° . Puisque le flux magnétique évolue dans chaque jambe suivant un cycle mineur d'hystérésis, la courbe du flux magnétique en fonction du courant i effectif dans l'inductance variable n'est pas la même au cours de la descente et au cours de la montée de ce courant. La Figure 2 illustre un tel cycle mineur d'hystérésis.

Si l'on part de $i_s = i_p = i_{\max}$, $i_{\max}$ étant la valeur crête du courant alternatif i_p , le flux magnétique $f_1(ni_s + i_p)$ dans l'une des jambes externes 3 et 4 diminuera à mesure que le courant alternatif i_p s'approchera de la
 5 valeur $-i_{\max}$. Pendant ce temps, le flux magnétique $f_2(ni_s - i_p)$ dans l'autre des jambes externes augmentera selon une portion de courbe différente vers la valeur de flux magnétique $f_2 \lfloor (n+1)i_{\max} \rfloor$. Le cycle mineur d'hystérésis de la Figure 2 évolue donc pour des valeurs de
 10 courant i situées entre $(n-1)i_{\max}$ et $(n+1)i_{\max}$. i_c représente le courant coercitif et f_r le flux rémanent.

Dans les explications qui suivent, nous utiliserons des courbes modèles idéales sectionnellement linéaires. Il sera aussi brièvement discuté de quelle manière corriger
 15 les résultats ainsi obtenus pour tenir compte des courbes réelles, c'est-à-dire du cycle mineur d'hystérésis et de l'arrondi du genou de la courbe de magnétisation.

La Figure 3 illustre une courbe de magnétisation sectionnellement linéaire représentant la tension $f(i)$ en
 20 fonction du courant i , $f(i)$ étant la tension crête à la fréquence f du courant alternatif i_p requise pour atteindre un niveau d'induction B , selon la relation $f(i) = N\omega BA$, où ω a déjà été défini, N est le nombre de tours du bobinage portant le courant alternatif et A la section de noyau
 25 magnétique efficace qui porte le flux magnétique. Il est évidemment désirable d'obtenir une courbe se rapprochant le plus possible de celle de la Figure 3 pour le fonctionnement de l'inductance variable autocontrôlée à entrefers. La première section linéaire de la demi-courbe supérieure
 30 de la Figure 3 évolue de $i = 0$ jusqu'à $i = i_0$ selon une pente ωL_1 tandis que la seconde section linéaire a une pente ωL_2 pour des courants i plus grands que i_0 , le courant au genou de la demi-courbe de la Figure 3.

Une caractéristique intéressante du fonctionnement
 35 de l'inductance variable est en régime permanent sa tension

crête d'opération V_o en fonction du courant crête $i_{\max}$. En considérant les résistances R_p et R_s négligeables devant les impédances réactives $\omega L_p + 2\omega L_2$ et $\omega L_s + 2n^2\omega L_2$, les tensions en conduction aux bornes des diodes négligeables devant la tension crête d'opération V_o de l'inductance variable, l'angle de phase nul au temps d'enclenchement, et le flux magnétique à la descente $f_1(ni_s + i_p)$ identique à celui à la montée $f_2(ni_s - i_p)$, c'est-à-dire sans cycle d'hystérésis, il peut être démontré mathématiquement qu'en régime permanent et dans le cas où la demi-courbe de magnétisation est formée de deux segments linéaires, comme à la Figure 3, la courbe de la tension crête V_o en fonction du courant crête $i_{\max}$ évolue sur trois segments linéaires de pentes différentes. La Figure 4 illustre cette courbe de V_o en fonction de $i_{\max}$.

La première section linéaire de la demi-courbe supérieure de la Figure 4 pour $0 \leq i_{\max} \leq i_o/(n+1)$ a une pente $(\omega L_p + 2\omega L_1)$. La tension V_o évolue donc en fonction de cette pente de zéro jusqu'à $(\omega L_p + 2\omega L_1)i_o/(n+1)$.

La seconde section linéaire de la demi-courbe de la Figure 4 pour $i_o/(n+1) \leq i_{\max} \leq i_o/(n-1)$ a une pente:

$$m = \omega L_p + \omega L_1 + \omega L_2 - n(\omega L_1 - \omega L_2) \quad (1)$$

La valeur de la tension crête d'opération V_o évolue donc linéairement de $V_o = (\omega L_p + 2\omega L_1)i_o/(n+1)$ jusqu'à $V_o = (\omega L_p + 2\omega L_2)i_o/(n-1)$, lorsque le courant $i_{\max}$ varie de $i_o/(n+1)$ à $i_o/(n-1)$, selon cette pente m .

Dans la région où le courant $i_{\max} \geq i_o/(n-1)$, une troisième section de la demi-courbe de la Figure 4 a une pente $(\omega L_p + 2\omega L_2)$ selon laquelle évolue V_o en fonction de $i_{\max}$.

Les différentes pentes des sections linéaires de la demi-courbe de la Figure 4 démontrent que la tension crête d'opération de l'inductance V_o dépend de l'impédance

réactive d'entrée du bobinage primaire (ωL_p) et non de l'impédance réactive du bobinage de contrôle ωL_s . Cette conclusion est tout à fait générale et s'applique aussi bien à une courbe de magnétisation modèle telle qu'illustrée à la Figure 3, qu'à un cycle mineur d'hystérésis tel qu'illustré à la Figure 2.

A partir de l'expression de la pente m , on peut déduire qu'un choix judicieux du rapport de tours n permet de modifier comme on le désire la pente de la tension V_o en fonction du courant pour les valeurs de i_{max} situées entre $i_o/(n+1)$ et $i_o/(n-1)$.

En effet, pour

$$(\omega L_p + 2\omega L_1) \frac{i_o}{n+1} = (\omega L_p + 2\omega L_2) \frac{i_o}{(n-1)}$$

c'est-à-dire pour:

$$n = \frac{(\omega L_p + \omega L_1 + \omega L_2)}{(\omega L_1 - \omega L_2)} \quad (2)$$

la pente m est nulle et on obtiendra une valeur de la tension constante en fonction du courant i_{max} pour la section linéaire centrale de la demi-courbe de la Figure 4, soit $V_o = (\omega L_1 - \omega L_2)i_o$.

Il est à noter que la valeur de la tension $V_o = (\omega L_1 - \omega L_2)i_o$ correspond sur la courbe de la Figure 3 au point d'intersection de l'axe vertical $f(i)$ avec le prolongement de la section de pente ωL_2 .

Lorsque l'on désire obtenir une pente m positive ou négative, il suffit de modifier de façon appropriée le rapport de nombre de tours n . La pente m est d'autant plus sensible à la valeur de n , que

$(\omega L_p + 2\omega L_2) / (\omega L_p + 2\omega L_1)$ est petit. Même en modifiant la pente m , l'on constate que le point d'intersection entre l'axe vertical V_o et le prolongement de la section linéaire centrale de la demi-courbe de la Figure 4 est

toujours le même. Il est à noter que le même phénomène se produit sur la demi-courbe inférieure de la Figure 4.

En utilisant le modèle de la Figure 3 et en procédant au développement en séries de Fourier d'expressions 5 obtenues mathématiquement pour représenter le courant alternatif i_p dans le bobinage primaire de l'inductance variable, il est possible de retrouver le contenu harmonique de ce courant i_p . Aux deux extrémités de la plage de courant i_p , soit pour $0 < i_{\max} < i_o/(n+1)$, et 10 $i_{\max} \geq i_o/(n-1)$, i_p est sinusoïdal et ne contient donc que la fondamentale. C'est donc dans l'intervalle entre ces deux extrêmes qu'il y a lieu de procéder à l'analyse harmonique du courant i_p . Une telle analyse nous démontre que le courant i_p a un fort contenu harmonique sauf lorsque 15 sa crête atteint une valeur donnée par l'expression:

$$i_{\max} = \frac{i_o}{n \left[1 - \frac{n(\omega L_1 - \omega L_2)}{\omega L_s + n^2 \omega L_2 + n^2 \omega L_1} \right]}$$

Il est alors parfaitement sinusoïdal. Ces résultats sont importants. En effet, alors que pour un courant crête $i_{\max}$ donné, l'amplitude de la tension V_o est indépendante 20 de ωL_s tel que vu précédemment, il est possible de modifier la forme du courant pour la rendre sinusoïdale en ajustant précisément cette valeur de ωL_s . Ceci peut s'avérer particulièrement utile quand on ne veut pas avoir trop d'harmoniques à un courant $i_{\max}$ et à une tension V_o pré-établis, 25 par exemple en régime normal ou nominal. Cette valeur de l'impédance réactive ωL_s peut être ajustée en introduisant une inductance 22 de valeur fixe dans le circuit de contrôle, c'est-à-dire en série avec les enroulements 11a et 11b, tel que représenté à la Figure 6a). Si ceci n'est pas suffisant, 30 on peut utiliser de la filtration. Dans un système triphasé, on pourra bénéficier de l'avantage de certains types de

raccordement, par exemple un raccordement en triangle de trois inductances variables autocontrôlées à entrefers selon l'invention.

Comme il ne sera jamais possible de réaliser
5 précisément la courbe de magnétisation utilisée comme modèle et illustrée en Figure 3, ainsi que la courbe de la tension V_0 en fonction du courant $i_{\max}$ de la Figure 4, il y a lieu de discuter brièvement des corrections à apporter à la théorie pour qu'elle s'adapte mieux à la réalité.

10 Tel que précisé auparavant, le flux magnétique n'évolue pas selon la courbe de magnétisation utilisée comme modèle, mais plutôt selon des cycles mineurs d'hystérésis ayant leur sommet à $(n+1) i_{\max}$ et leur limite inférieure à $(n-1) i_{\max}$. Le flux magnétique dans une jambe
15 externe après être allé vers un maximum qui peut correspondre à une saturation très profonde, à $(n+1) i_{\max}$, revient vers une valeur beaucoup plus petite, celle où le courant a la valeur $(n-1) i_{\max}$. Pendant ce temps, le flux magnétique dans l'autre jambe externe remonte en passant de sa valeur
20 à $(n-1) i_{\max}$ à sa valeur à $(n+1) i_{\max}$. De cette façon, même si on peut considérer sans grande erreur que le flux magnétique à $(n+1) i_{\max}$ appartient à la courbe de magnétisation modèle, il n'en est pas du tout de même pour le flux à
25 $(n-1) i_{\max}$ qui, lui, appartient plutôt à la courbe de descente du flux magnétique sur le cycle d'hystérésis à la fréquence du courant alternatif i_p ayant son sommet à $(n+1) i_{\max}$. La prévision du flux magnétique à $(n-1) i_{\max}$ devient de ce fait très difficile, puisque très sensible à l'arrangement des tôles 20 du noyau 1, à la qualité du
30 matériau magnétique, à tout déplacement même produit par l'échauffement des bobinages et au flux atteint à $(n+1) i_{\max}$, en plus de l'effet lié à la fréquence. Comme il sera discuté plus en détail ci-après, c'est pour réduire ces différents inconvénients et pour augmenter la plage
35 de régulation en tension à un niveau de tension déterminé que

les entrefers 7 et 8 ont été introduits dans les deux
jambes externes 3 et 4 du noyau magnétique. En réduisant la
pente ωL_1 , par l'introduction d'un entrefer, on fait sinon
disparaître du moins diminuer considérablement l'influence
5 des phénomènes énumérés ci-dessus. Il reste à tenir compte
du courant coercitif i_c , à la fréquence du courant i_p , pour
un certain degré de saturation atteint, et du flux rémanent
qui en résulte sous la pente ωL_1 , quand il y a un entrefer.
Sous une forme simplifiée, la Figure 5 illustre la nouvelle
10 courbe de magnétisation modifiée qui tient compte du flux
rémanent et du champ coercitif. Nous négligeons ici l'effet
dû au flux rémanent qui a tendance à continuer à augmenter
en fonction de la saturation, augmentant ainsi la pente
 ωL_1 .

15 Un développement mathématique approprié démontre
que la tension d'opération crête V_o de l'inductance variable
à entrefers fonction de $i_{\max}$ est réduite de $(\omega L_1 - \omega L_2)i_c$
en raison du champ coercitif. Il en est de même de la plage
intermédiaire de courant de la demi-courbe supérieure de la
20 Figure 4 qui devient

$(i_o - i_c)/(n + 1) \leq i_{\max} \leq (i_o - i_c)/(n - 1)$, ainsi que pour
toutes les autres expressions dans lesquelles i_o est remplacé
par $(i_o - i_c)$. On ne tient pas compte ici de la modification
apportée à la forme du courant par le fait que la machine
25 opère suivant des cycles mineurs d'hystérésis.

Les Figures 6a) et 6b) montrent un bobinage de
polarisation comprenant des enroulements 23a et 23b disposés
autour des jambes externes 3 et 4, respec-
tivement. Ces enroulements 23a et 23b sont raccordés en
30 série et enroulés autour des jambes 3 et 4 de la même
façon que les enroulements de contrôle 11a et 11b pour
générer un flux magnétique continu dans le circuit magné-
tique fermé défini par les jambes externes 3 et 4 en réponse
à un courant continu de polarisation i_{pol} , et ce dans le
35 même sens ou dans un sens contraire par rapport au flux

magnétique continu généré par les enroulements 11a et 11b, selon le sens du courant i_{pol} . Ces enroulements 23a et 23b peuvent être alimentés comme à la Figure 6a) par une source de courant continu réglable 24 ou une source de tension
5 continue réglable à travers une résistance 25. Il y a intérêt à ajouter dans ce circuit une inductance de lissage. Une autre possibilité illustrée à la Figure 6b) consiste à disposer sur le noyau magnétique 1 un bobinage supplémentaire comprenant deux enroulements 26a et 26b enroulés
10 autour des jambes 3 et 4 respectivement et qui produisent un courant redressé par les diodes 27 et 28 et appliqué aux enroulements 23a et 23b à travers une résistance ajustable 29 prévue pour régler l'intensité de ce courant redressé pour ainsi fournir à ces enroulements 23a et 23b
15 leur courant continu i_{pol} . Une inductance de lissage 30 peut aussi être ajoutée pour fournir un courant continu i_{pol} plus constant. Ce courant de polarisation i_{pol} joue dans les équations exactement le même rôle que le courant coercitif i_c . Comme il peut être de l'une ou l'autre
20 polarité, il peut servir à niveler les effets du courant coercitif i_c , ou de façon générale à ajuster la tension crête d'opération V_o au niveau requis.

Pour améliorer la forme d'onde, les différents enroulements sont avantageusement superposés comme à la
25 Figure 7 sur les jambes 3 et 4 afin que les entrefers soient en leur centre. L'enroulement de polarisation 23a est bobiné en premier lieu sur la jambe 3 et, s'il y a lieu, l'enroulement 26a et par la suite par ordre l'enroulement primaire 10a, et l'enroulement de contrôle 11a. De la même
30 façon, l'enroulement de polarisation 23b est bobiné en premier lieu sur la jambe 4, puis l'enroulement 26b, s'il y a lieu, et par la suite par ordre l'enroulement primaire 10b, et l'enroulement de contrôle 11b.

Dans le modèle utilisé de la Figure 3, la demi-
35 courbe de magnétisation est représentée par deux segments

de droite de pente ωL_1 et ωL_2 , ce qui entraîne des changements brusques dans la représentation de la tension V_0 fonction du courant $i_{\max}$ lorsque $(n+1)i_{\max}$ traverse le courant i_0 et par la suite quand $(n-1)i_{\max}$ traverse la même valeur du courant. En réalité, le genou de la courbe de magnétisation est toujours arrondi. Il en résulte un arrondi similaire quand $(n+1)i_{\max}$ passe de la pente ωL_1 à la pente ωL_2 . Lorsque $(n-1)i_{\max}$ arrive à son tour dans cette région, il se produit un arrondi de courbure inverse.

De plus, la courbure de ce dernier arrondi sera beaucoup plus faible puisque $(n-1)i_{\max}$, pour n légèrement plus grand que 1 ne progresse que lentement par rapport au courant $i_{\max}$. Ces deux arrondis et particulièrement le dernier ont pour effet de réduire la plage de variation du courant $i_{\max}$ en fonction de la tension V_0 mise en évidence par la section intermédiaire de pente m de la demi-courbe de la Figure 4. C'est justement pour cette raison qu'il y a intérêt, tel que mentionné auparavant, à utiliser des matériaux magnétiques qui présentent un genou de magnétisation abrupte. Il y a surtout intérêt à construire le noyau 1, et à joindre ses tôles 20 de façon à ne pas allonger ce genou.

Examinons maintenant plus en détail les effets des entrefers 7 et 8. L'introduction d'un entrefer identique dans chacune des deux jambes externes 3 et 4 a pour effet de diminuer les pentes ωL_1 et ωL_2 de la courbe de magnétisation de la Figure 3 et du cycle mineur d'hystérésis illustré à la Figure 2, particulièrement celle de pente élevée rencontrée à bas niveau d'induction, soit ωL_1 . La formule approximative utilisable est la suivante:

$$\omega L = \frac{\omega N^2 \mu_{\text{air}} A_f}{a + l_f (\mu_{\text{air}} / \mu_f)}$$

où ωL est l'impédance de l'enroulement bobiné sur la jambe 3 ou 4 du noyau en ohms, N est le nombre de tours de l'en-

roulement, A_f est la section utile de la jambe (3 ou 4), a est la longueur de l'entrefer en mètres, ℓ_f est la longueur du circuit magnétique vu sur une jambe (3 ou 4) en mètres, ω est la fréquence angulaire, μ_{air} est égal à $54\pi \times 10^{-7}$, et μ_f/μ_{air} est la perméabilité relative du matériau formant le noyau magnétique.

En saturation très profonde, c'est plutôt l'impédance de la bobine dans l'air qui est apparente. Cette impédance dans le cas d'un solénoïde peut être
10 évaluée par la formule approximative:

$$\omega L = \frac{\omega \cdot 2.2 \times 10^{-6} D_m^2 N^2}{D_m + 2.2 \ell}$$

où ωL est l'impédance de l'enroulement dans l'air en ohms, D_m est le diamètre moyen de l'enroulement en mètres, ℓ est la longueur de l'enroulement (solénoïde) en mètres, et les
15 autres paramètres sont tels que définis plus haut. Une formule de calcul plus précise peut parfois s'avérer nécessaire.

C'est en fait cette dernière impédance qui sert à calculer l'évolution de la tension V_o en fonction de i_{max}
20 pour $i_{max} \geq i_o/(n-1)$ alors que c'est la première expression qui servira dans la région $i_{max} \leq i_o/(n+1)$.

L'introduction d'un entrefer a l'avantage de réduire considérablement la sensibilité de l'inductance à toute modification du cycle mineur d'hystérésis. En effet,
25 à pente très abrupte, le flux magnétique à $(n-1)i_{max}$ peut changer grandement sous la moindre variation de courbe. Puisque l'impédance ωL_1 est réduite de façon importante par les entrefers, ce phénomène est atténué. De même, l'ajustement sur n pour obtenir un statisme donné deviendra moins
30 critique comme on peut le voir à partir des équations (1) et (2). L'introduction d'entrefers dans les jambes extrêmes 3 et 4 permet donc de maîtriser les caractéristiques d'opération de l'inductance autocontrôlée et par conséquent de

construire des inductances à caractéristiques similaires et les ajuster de façon à obtenir une plage de variation beaucoup plus importante du courant et donc de la puissance réactive que l'inductance peut absorber pour une faible
 5 variation de tension et ce, à un niveau de tension préétabli. Le principal problème rencontré par le passé était justement le trop grand degré d'incertitude quant à ce niveau d'opération en tension.

Des entrefers dont la dimension a été bien choisie
 10 permettront donc de masquer les petites diversités dues à des variantes dans le montage du noyau magnétique 1 ou dans la qualité des tôles 20.

L'inductance à entrefers a cependant l'inconvénient d'avoir un plus haut taux d'harmoniques dans son
 15 courant i_p à la différence de machines connues. Cependant, l'inductance de valeur fixe 22 (Figure 6a) permet d'obtenir un point d'opération où le courant i_p est sinusoïdal. Tel que déjà mentionné, la filtration ou encore un raccordement en triangle dans un système triphasé pourra diminuer ce taux
 20 d'harmoniques.

Il est à noter ici que les résistances demeurent faibles devant les impédances réactives, même en saturation, et par conséquent l'influence des résistances sera négligeable ainsi que celle de leur augmentation due à l'échauf-
 25 fement des bobinages.

Les conditions transitoires, c'est-à-dire le temps de réponse sera brièvement discuté ci-après.

Pour la plage de courant $i_{\max} \leq i_o/(n+1)$, il peut être démontré mathématiquement que si l'inductance opère à
 30 une tension crête V_o et que son courant crête initial est alors $i_{\max} \leq \frac{i_o}{(n+1)}$ et que soudainement il se produit une augmentation $\frac{1}{(n+1)}$ de tension ΔV , le courant après un demi-cycle, si ωL_1 est grand et n légèrement plus grand que 1, ne sera pas éloigné de la valeur finale.

35 Concernant la plage de $i_o/(n+1) \leq i_{\max} \leq i_o/(n-1)$

le temps de réponse est d'autant plus rapide que $(\omega L_s + \omega L_p + 4\omega L_2)$ est petit. On constate également qu'une grande valeur de ωL_s ralentit la transition. Donc, l'introduction de l'inductance de valeur fixe 22 (voir Figure 5 6a) augmentera le temps de réponse qui demeurera quand même rapide.

En dernier lieu, pour la plage de courant $i_{\max} \geq i_o/(n-1)$, le temps de réponse sera d'autant plus rapide que $(\omega L_s + 2n^2 \omega L_2)$ se rapproche de $(\omega L_p + 2\omega L_2)$.
10 Dans tous les cas, le temps de réponse sera très rapide, de l'ordre de quelques demi-cycles.

Il convient ici de mentionner que dans certaines applications une inductance fixe 32, un condensateur 33, ou une inductance fixe 36 en série avec un condensateur 37
15 peuvent être reliés en parallèle avec l'inductance variable autocontrôlée à entrefers selon l'invention 31 de manière à ce que l'ensemble donne une caractéristique de fonctionnement désirée, tel qu'illustré aux Figures 8a) à 8c).

L'inductance variable autocontrôlée à entrefers
20 selon l'invention constitue un élément passif relativement simple de régulation de tension alternative par absorption autocontrôlée de puissance réactive, à un niveau de tension V_o donné situé sur la section de courbe de pente m de la Figure 4.

25 L'inductance variable autocontrôlée à entrefers présente donc un intérêt marquant pour la régulation de tension à un niveau donné par absorption autocontrôlée de puissance réactive. Elle peut être utilisée comme inductance shunt variable, ou encore comme compensateur statique.

30 Une application particulièrement intéressante est la régulation de la tension alternative de charge dans l'alimentation par fil de garde, ou de façon plus générale dans l'alimentation par source capacitive (couplage capacitif). La Figure 9 représente une telle source capacitive
35 ayant pour circuit équivalent une source 38 de tension V

(qui, par exemple, peut être une ligne de transport d'énergie électrique) et un ensemble de condensateurs 39 de valeur C. Cette source alimente une charge résistive R. Une inductance variable autocontrôlée à entrefers selon l'invention 31 est
5 reliée en parallèle avec la charge R. Un courant i_C circule dans l'ensemble 39, un courant i_L dans l'inductance 31 et un courant i_R dans la charge R. Une tension V_C apparaît aux bornes de l'ensemble 39 et une tension V_L aux bornes de la charge R et de l'inductance 31.

10 La théorie démontre qu'en variant convenablement la valeur de l'inductance 31 en fonction de la valeur de la charge R, il est possible de maintenir constante la tension V_L aux bornes de la charge R dans une plage donnée. Avec l'inductance variable autocontrôlée à entrefers décrite ci-
15 dessus, il est possible de maintenir constante la valeur de V_L en choisissant la pente m (voir Figure 4) nulle. Il est même possible, en modifiant de façon appropriée la pente m (voir Figure 4) par un ajustement du nombre de tours des enroulements de contrôle 11a et 11b (Figure 1a)), de per-
20 mettre une régulation positive de la tension V_L en fonction de la charge (tension aux bornes de la charge R qui augmente avec cette charge), pour ainsi obtenir un transfert de puissance active optimal de la source 38 à la charge R.

Bien que la présente invention ait été décrite
25 par le biais d'un mode de réalisation préféré de l'inductance variable, il doit être noté que toute modification à ce mode de réalisation ainsi que toute autre application de l'inductance variable peuvent être réalisées, à condition de respecter l'étendue des revendications annexées, sans
30 sortir du cadre de la présente invention.

REVENDECATIONS

1. Inductance variable comprenant:

un noyau magnétique muni de trois jambes ayant chacune une première et une seconde extrémité, lesdites premières extrémités étant reliées en un premier point commun du noyau magnétique, et lesdites secondes extrémités étant reliées en un second point commun de ce noyau magnétique;

un bobinage primaire alimenté par un courant alternatif;

un bobinage de contrôle; et

des moyens pour alimenter le bobinage de contrôle avec un courant continu ayant une intensité qui varie en fonction d'un paramètre électrique relié au fonctionnement de l'inductance variable;

ledit bobinage primaire et ledit bobinage de contrôle étant disposés par rapport au noyau magnétique de manière à ce que lesdits courants alternatif et continu induisent dans une première desdites trois jambes un flux magnétique alternatif et un flux magnétique continu qui s'additionnent ou qui s'opposent selon que ledit courant alternatif passe par une alternance positive ou négative, respectivement, et dans une seconde desdites trois jambes un flux magnétique alternatif et un flux magnétique continu qui s'opposent ou qui s'additionnent selon que ledit courant alternatif passe par une alternance positive ou négative, respectivement, le flux magnétique continu induit dans chacune desdites première et seconde jambes ayant une intensité qui varie avec l'intensité dudit courant continu pour ainsi varier l'impédance du bobinage primaire;

ladite première jambe comportant un entrefer traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette première jambe, et ladite seconde jambe comportant un

entrefer traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette seconde jambe.

2. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites trois jambes sont situées substantiellement dans un même plan et incluent deux jambes externes ainsi qu'une jambe centrale disposée entre les deux jambes externes.

10 3. Inductance variable selon la revendication 2, caractérisée en ce que lesdites première et seconde jambes du noyau magnétique sont constituées par lesdites deux jambes externes.

15 4. Inductance variable selon la revendication 2, caractérisée en ce que le noyau magnétique est formé de tôles superposées parallèles audit plan et jointes les unes aux autres par des jonctions à 45° et en au moins trois paliers pour ainsi éviter toute saturation partielle du
20 noyau magnétique.

5. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdites trois jambes du noyau magnétique ont chacune une section de même forme et de
25 même surface.

6. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdites première et seconde jambes du noyau magnétique ont une même longueur, en ce que les
30 première et seconde jambes ont chacune une section de même surface, et en ce que les entrefers de ces première et seconde jambes ont une même longueur.

7. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'entrefer de ladite première jambe est situé sur cette première jambe à mi-chemin entre les-
35 dits premier et second points communs du noyau magnétique,

et en ce que l'entrefer de ladite seconde jambe est situé sur cette seconde jambe à mi-chemin entre lesdits premier et second points communs du noyau magnétique.

5 8. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdites jambes ont toutes trois une section cruciforme et quasi circulaire.

 9. Inductance variable selon la revendication
10 1, caractérisée en ce que ledit noyau magnétique est réalisé en un matériau magnétique ayant une courbe de magnétisation avec un genou prononcé.

 10. Inductance variable selon la revendication 1,
15 caractérisée en ce que ledit paramètre électrique est l'intensité du courant alternatif alimentant le bobinage primaire.

 11. Inductance variable selon la revendication
20 10, caractérisée en ce que lesdits moyens d'alimentation en courant continu comportent des moyens pour redresser le courant alternatif alimentant le bobinage primaire et pour alimenter le bobinage de contrôle avec ledit courant redressé.

25 12. Inductance variable selon la revendication 11, caractérisée en ce que les moyens de redressement et d'alimentation comportent un pont de diodes reliant en série le bobinage primaire et le bobinage de contrôle.

30 13. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que le bobinage primaire comporte un premier enroulement et un second enroulement connectés en série, enroulés autour desdites première et seconde jambes,
35 respectivement, et alimentés par ledit courant alternatif de telle sorte que ce courant alternatif induise dans la première jambe un premier flux magnétique alternatif et

dans la seconde jambe un second flux magnétique alternatif, ces premier et second flux magnétiques alternatifs s'additionnant dans la troisième desdites trois jambes.

5 14. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce que le bobinage de contrôle comprend un premier enroulement et un second enroulement connectés en série, enroulés autour desdites première et seconde
10 continu de telle sorte que ce courant continu induise un flux magnétique continu circulant dans un circuit magnétique fermé défini par lesdites première et seconde jambes.

 15. Inductance variable selon la revendication 13, caractérisée en ce que le bobinage de contrôle comprend un troisième enroulement et un quatrième enroulement connectés en série, enroulés autour des première et seconde
20 flux magnétique continu circulant dans un circuit magnétique fermé défini par lesdites première et seconde jambes.

 16. Inductance variable selon la revendication 15, caractérisée en ce que ledit paramètre électrique est
25 l'intensité du courant alternatif alimentant lesdits premier et second enroulements connectés en série, et en ce que lesdits moyens d'alimentation en courant continu comprennent des moyens pour redresser ce courant alternatif, et pour alimenter avec ledit courant redressé les troisième
30 et quatrième enroulements connectés en série.

 17. Inductance variable selon la revendication 15, caractérisée en ce que les premier et troisième enroulements sont superposés, en ce que les second et quatrième
35 enroulements sont également superposés, en ce que les premier et troisième

enroulements sont disposés autour de ladite première jambe de manière à ce que l'entrefer de cette première jambe se retrouve au centre de ces premier et troisième enroulements, et en ce que les second et quatrième enroulements sont
5 disposés autour de ladite seconde jambe de manière à ce que l'entrefer de cette seconde jambe se retrouve au centre de ces second et quatrième enroulements.

18. Inductance variable selon la revendication 1,
10 caractérisée en ce qu'elle comporte une inductance de valeur fixe reliée en série avec ledit bobinage de contrôle.

19. Inductance variable selon la revendication 1,
15 caractérisée en ce que le bobinage de contrôle comporte un premier enroulement et un second enroulement reliés en série, et en ce que ladite inductance variable comprend une inductance de valeur fixe reliée en série avec lesdits premier et second enroulements du bobinage de contrôle.

20
20. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte un bobinage de polarisation monté sur le noyau magnétique et alimenté en courant continu.

25
21. Inductance variable selon la revendication 20, caractérisée en ce que ledit bobinage de polarisation est alimenté par une source de courant continu.

30 22. Inductance variable selon la revendication 20, caractérisée en ce que ledit bobinage de polarisation est alimenté en courant continu par un bobinage supplémentaire monté sur le noyau magnétique, ledit bobinage supplémentaire alimentant le bobinage de polarisation à travers des
35 moyens de redressement et des moyens d'ajustement de l'intensité du courant continu alimentant ce bobinage de polarisation.

23. Inductance variable selon la revendication 15, caractérisée en ce qu'elle comporte un cinquième enroulement et un sixième enroulement reliés en série, enroulés autour desdites première et seconde jambes, respectivement, et alimentés en courant continu de telle sorte que ces cinquième et sixième enroulements génèrent un flux magnétique de polarisation qui circule dans le circuit magnétique fermé défini par lesdites première et seconde jambes.

24. Inductance variable selon la revendication 23, caractérisée en ce que lesdits premier, troisième et cinquième enroulements sont superposés, en ce que lesdits second, quatrième et sixième enroulements sont également superposés, en ce que lesdits premier, troisième et cinquième enroulements sont disposés autour de ladite première jambe de manière à ce que l'entrefer de cette première jambe se retrouve au centre de ces premier, troisième et cinquième enroulements, et en ce que lesdits second, quatrième et sixième enroulements sont disposés autour de ladite seconde jambe de manière à ce que l'entrefer de cette seconde jambe se retrouve au centre de ces second, quatrième et sixième enroulements.

25. Inductance variable selon la revendication 15 caractérisée en ce que le troisième enroulement a un nombre de tours égal à n fois le nombre de tours du premier enroulement, et le quatrième enroulement a un nombre de tours égal à n fois le nombre de tours du second enroulement, n étant légèrement supérieur à 1.

26. Un système électrique comprenant une charge électrique, une source capacitive pour appliquer une tension alternative à ladite charge, et une inductance variable reliée en parallèle avec la charge électrique pour réaliser une régulation de la tension alternative appliquée à cette charge, ladite inductance variable comprenant:

un noyau magnétique muni de trois jambes ayant chacune une première et une seconde extrémité, lesdites premières extrémités étant reliées en un premier point commun du noyau magnétique, et lesdites secondes
5 extrémités étant reliées en un second point commun de ce noyau magnétique;

un bobinage primaire alimenté par un courant alternatif fourni par ladite source capacitive;

un bobinage de contrôle; et

10 des moyens pour alimenter le bobinage de contrôle avec un courant continu ayant une intensité qui varie en fonction d'un paramètre électrique relié au fonctionnement de l'inductance variable;

ledit bobinage primaire et ledit bobinage
15 de contrôle étant disposés par rapport au noyau magnétique de manière à ce que lesdits courants alternatif et continu induisent dans une première desdites trois jambes un flux magnétique alternatif et un flux magnétique continu qui s'additionnent ou qui s'opposent selon que ledit courant
20 alternatif passe par une alternance positive ou négative, respectivement, et dans une seconde desdites trois jambes un flux magnétique alternatif et un flux magnétique continu qui s'opposent ou qui s'additionnent selon que ledit cou-
25 rant alternatif passe par une alternance positive ou négative, respectivement, le flux magnétique continu induit dans chacune desdites première et secondes jambes ayant une intensité qui varie avec l'intensité dudit courant continu pour ainsi varier l'impédance du bobinage primaire;

ladite première jambe comportant un entrefer
30 traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette première jambe, et ladite seconde jambe comportant un entrefer traversé par le flux magnétique résultant induit dans cette seconde jambe.

27. Inductance variable selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'une impédance réactive est reliée en parallèle avec ladite inductance variable pour obtenir une caractéristique de fonctionnement désirée donnée par l'ensemble formé par l'impédance réactive et ladite inductance variable.

28. Inductance variable selon la revendication 27, caractérisée en ce que l'impédance réactive comporte un condensateur.

29. Inductance variable selon la revendication 27, caractérisée en ce que l'impédance réactive comporte une inductance.

30. Inductance variable selon la revendication 27, caractérisée en ce que l'impédance réactive comprend un condensateur relié en série avec une inductance.

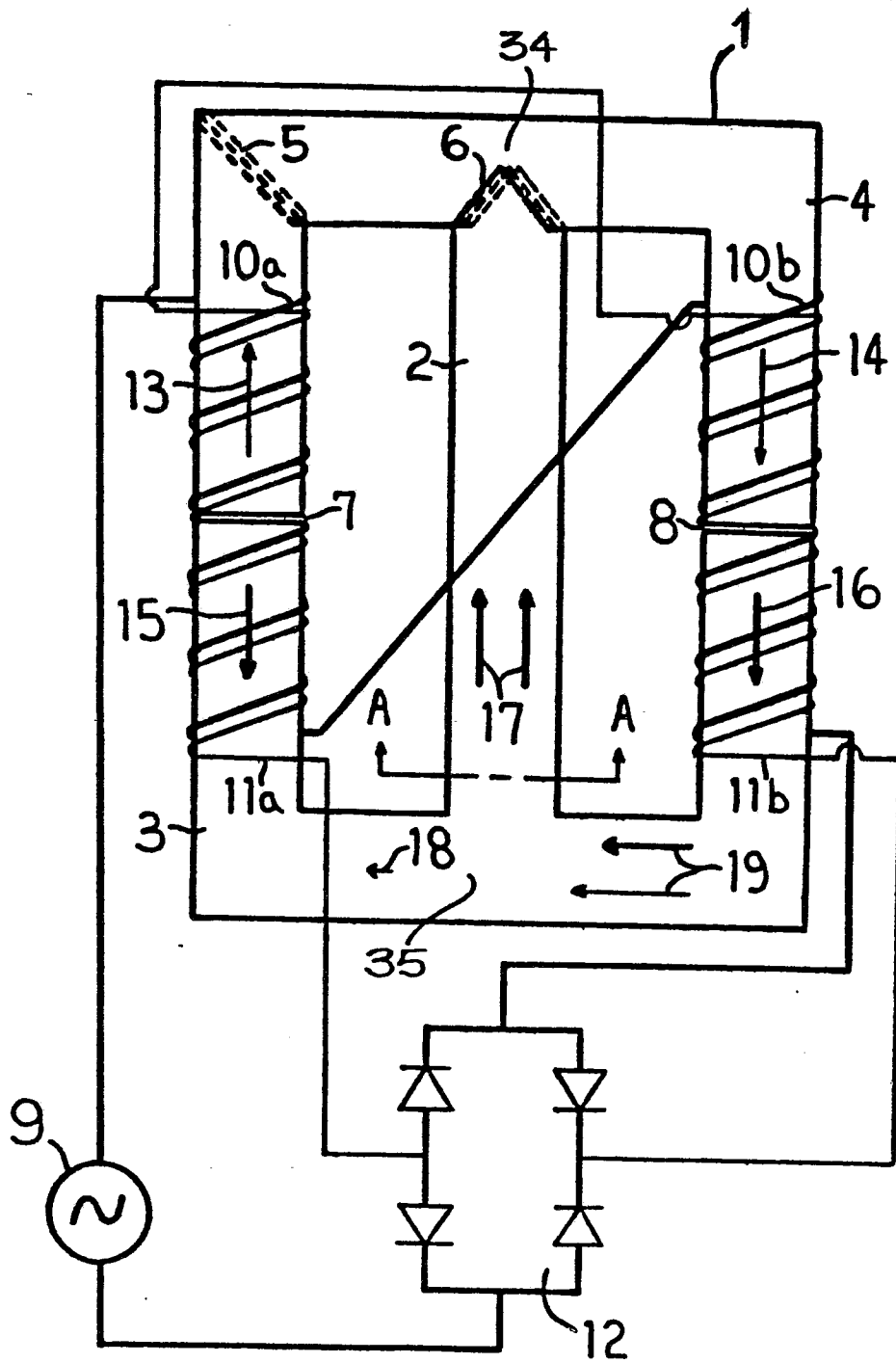


Fig. 1a)

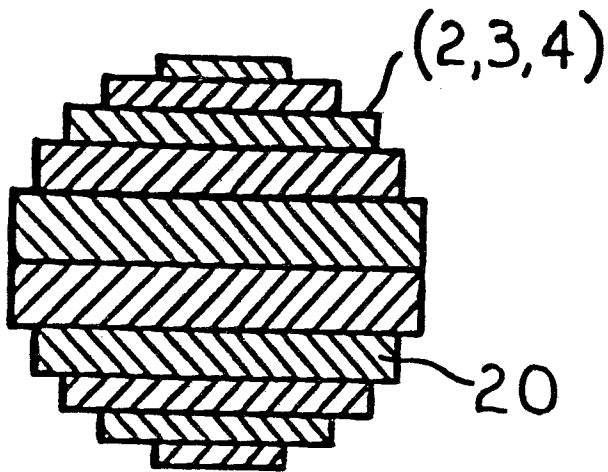


Fig. 1b)

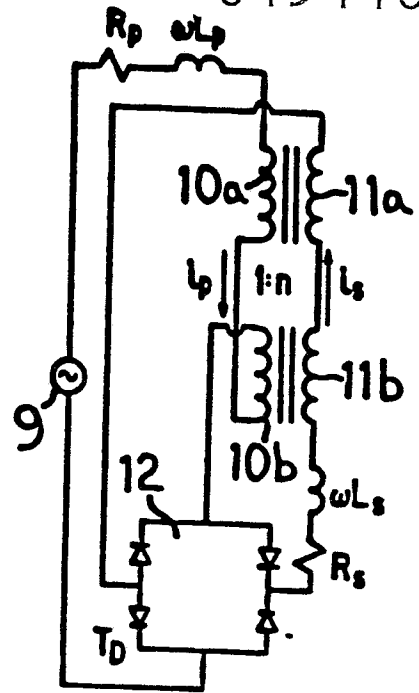


Fig. 1c)

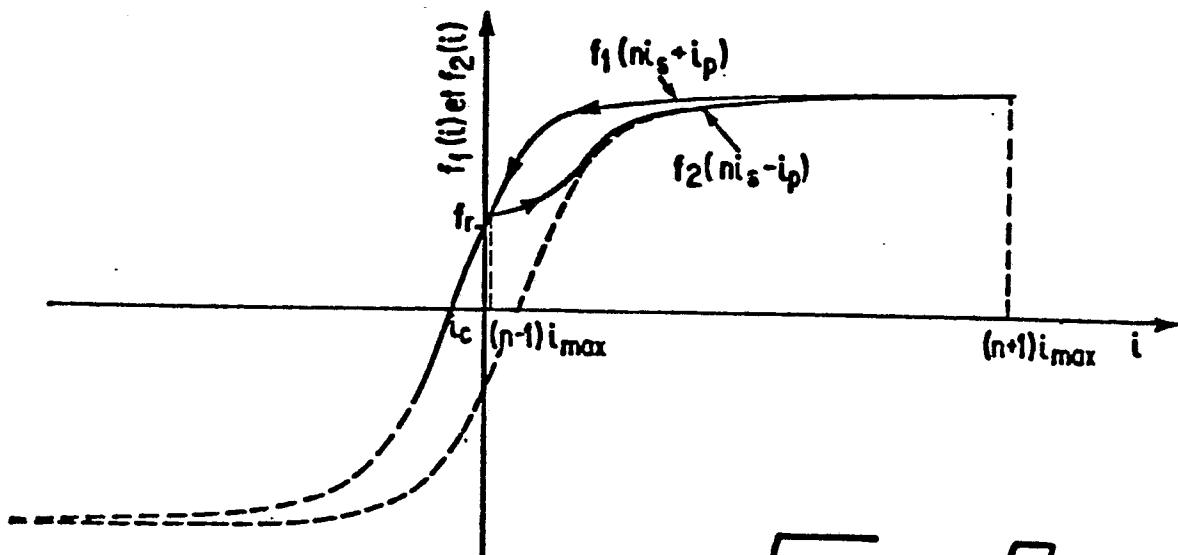


Fig. 2

3/6

0194163

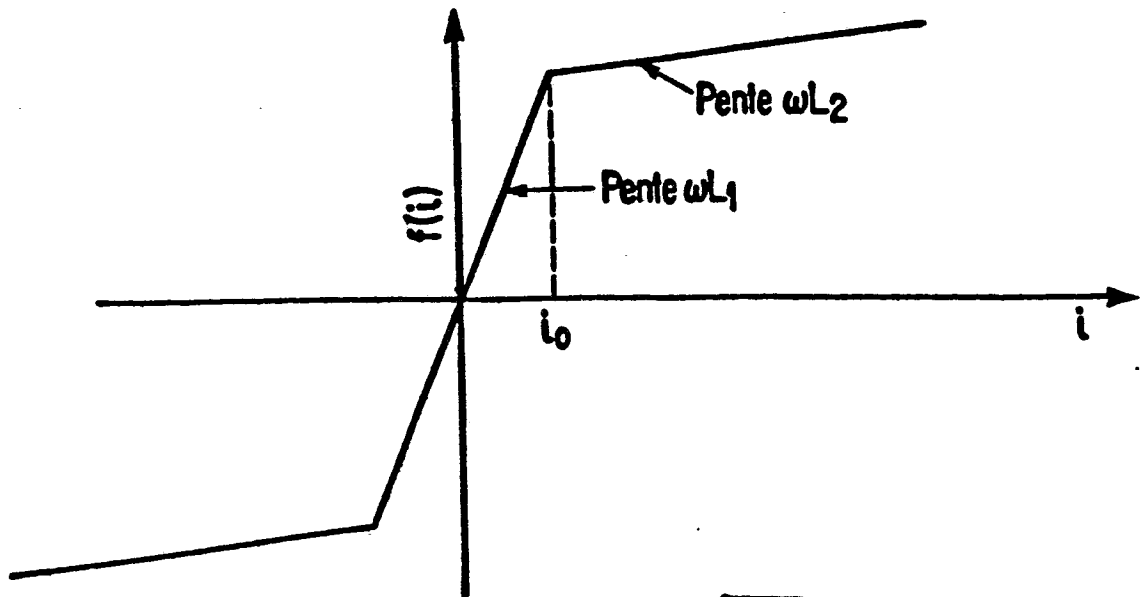


Fig. 3

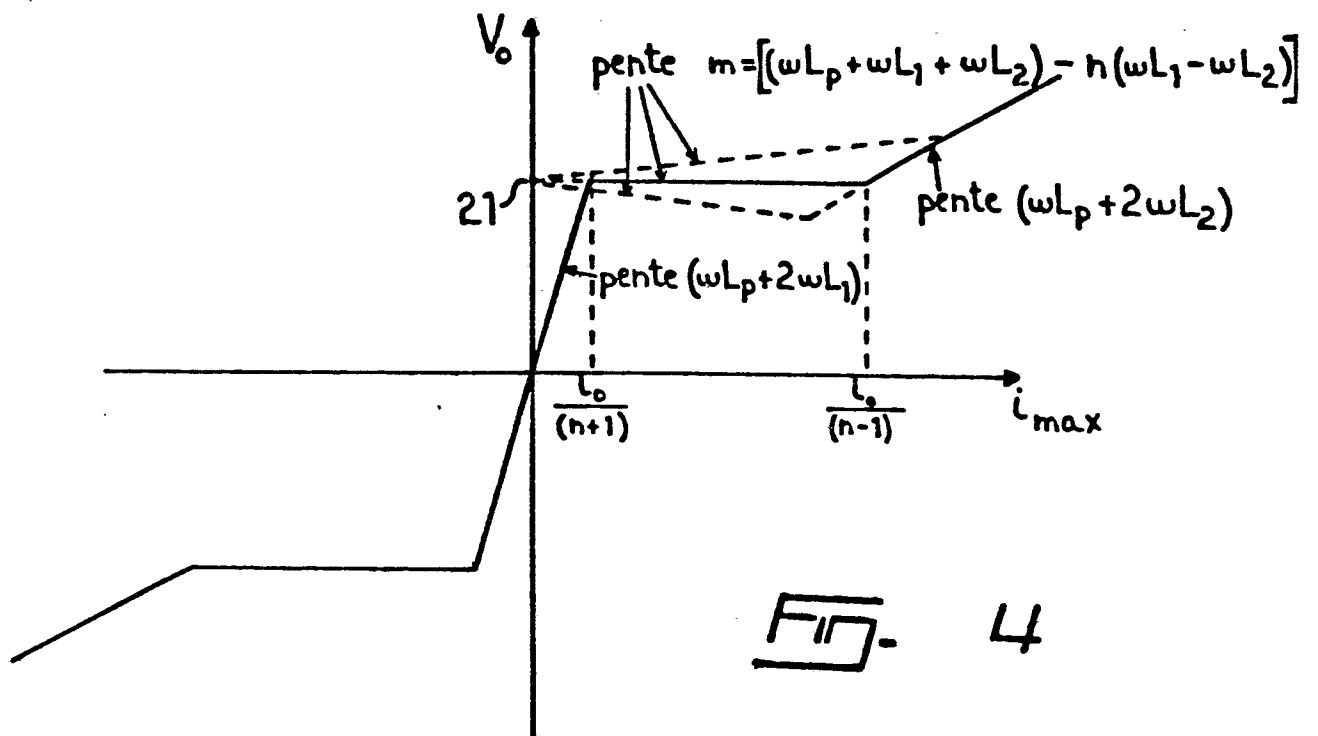


Fig. 4

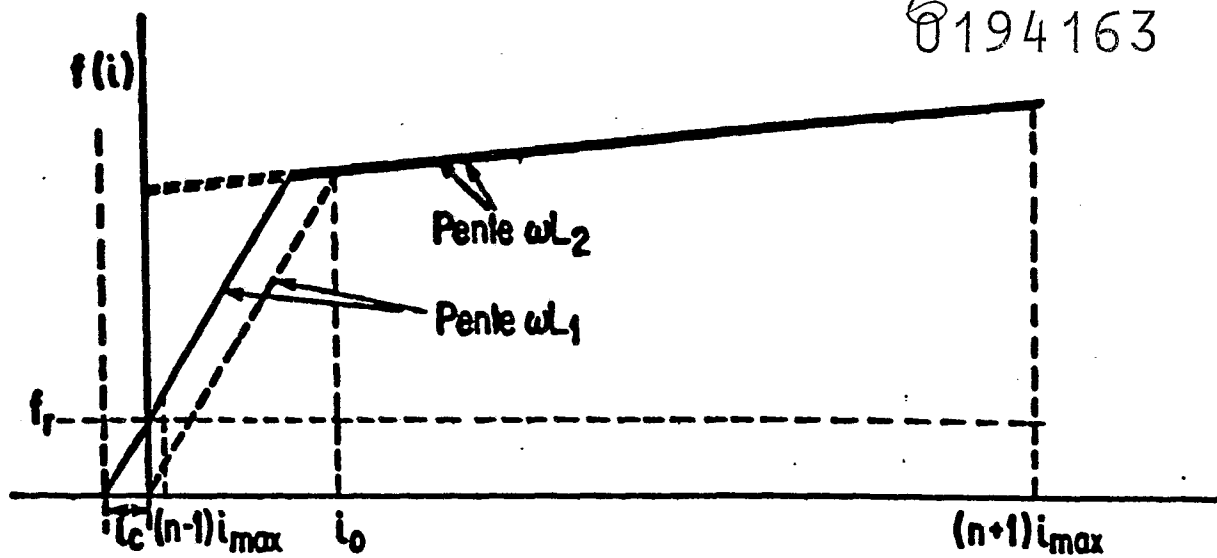


FIG- 5

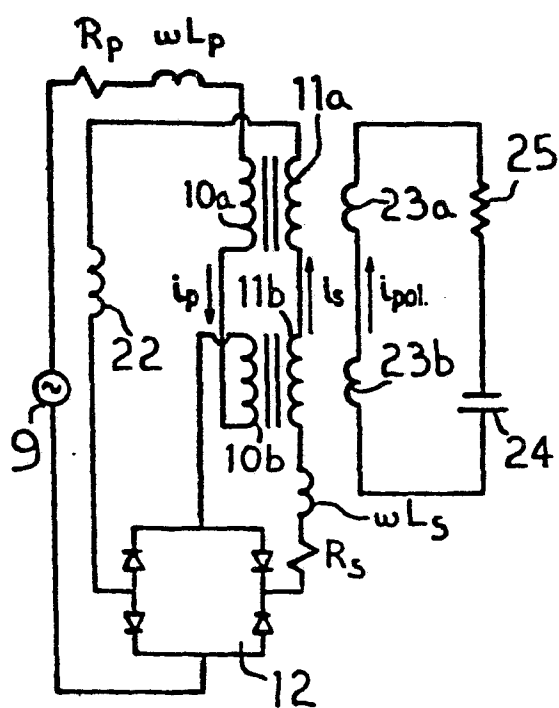


FIG- 6a)

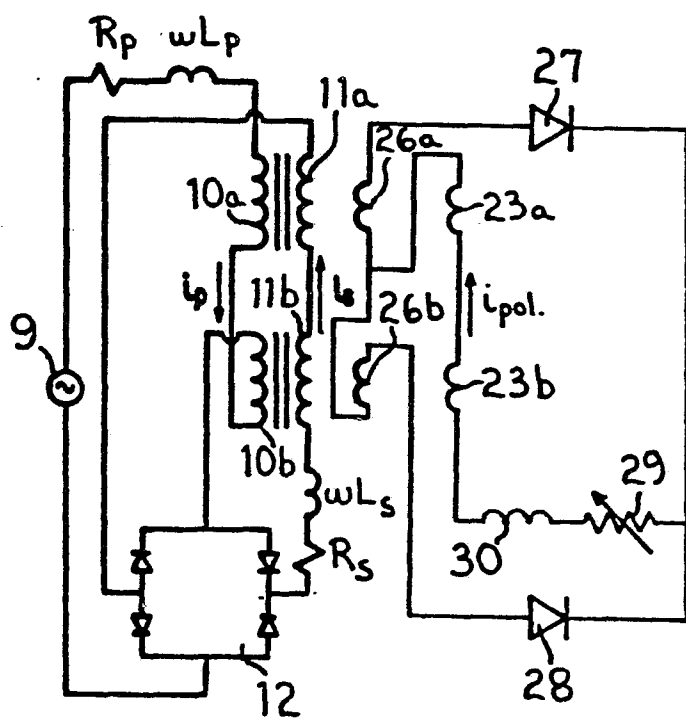


FIG- 6b)

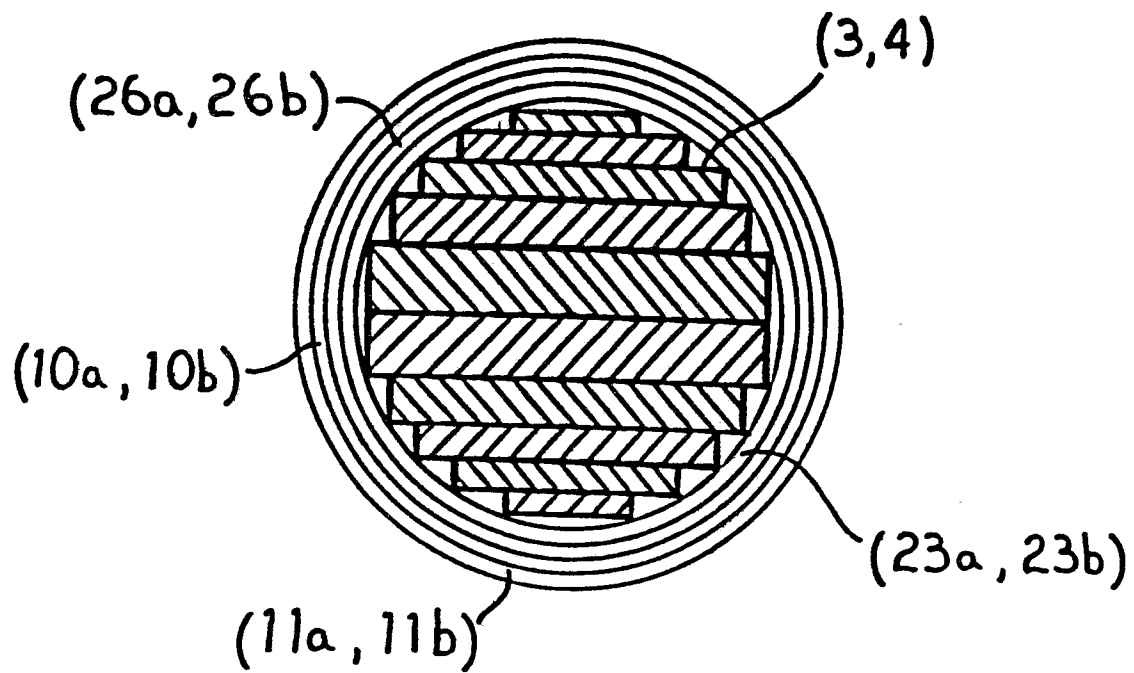
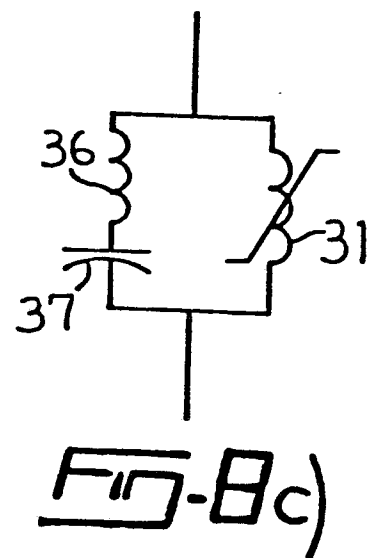
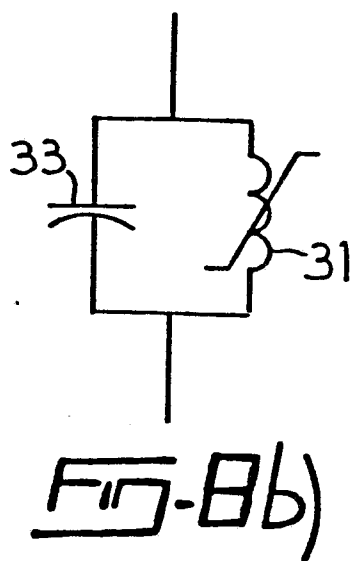
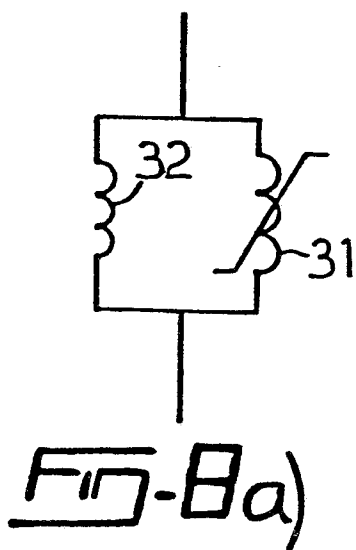


Fig. 7



0194⁶/₆₃

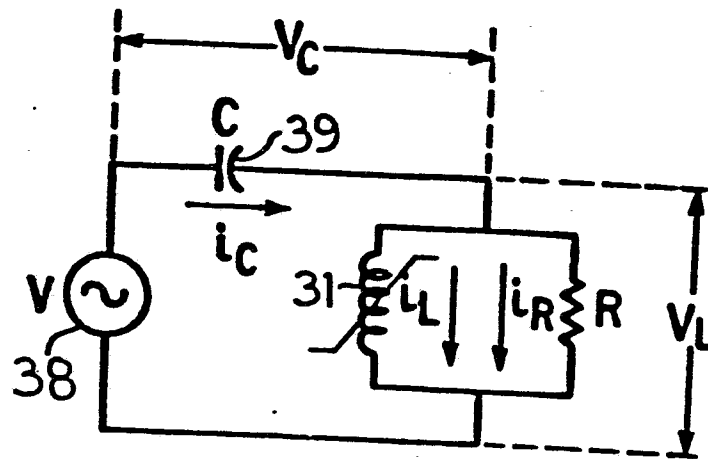


Fig. 9



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0194163

Numero de la demande

EP 86 40 0011

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.4)
A	FR-A-1 011 769 (OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AERONAUTIQUES) * Page 2, colonne de gauche, avant-dernier alinéa *	1-3, 11-14	H 01 F 29/14
A	FR-A-2 025 429 (OERLIKON) * Page 2, ligne 37 - page 3, ligne 22 *	1-3	
A	FR-A-1 597 469 (LICENTIA) * Page 11, lignes 23-36; figure 9 *	1-3	
A	DE-B-1 044 262 (SIEMENS)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			H 01 F 29/00
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24-04-1986	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	