

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 561 729

②① N° d'enregistrement national :

84 04650

⑤① Int Cl⁴ : F 16 C 32/04 // H 02 K 7/09.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 26 mars 1984.

③③ Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 27 septembre 1985.

⑥③ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : Société anonyme dite : SOCIÉTÉ EURO-
PEENNE DE PROPULSION. — FR.

⑦② Inventeur(s) : Helmut Habermann, Maurice Brunet et
Alain Gerbier.

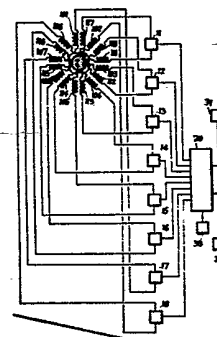
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

⑤④ Palier magnétique radial actif à rotor massif pour l'amortissement des fréquences critiques.

⑤⑦ Palier magnétique radial à rotor massif comprenant un stator 1 composé d'une armature 100 et d'enroulements d'électro-aimant 101 à 118, un rotor massif, sans feuilletage, solidaire d'un arbre rotatif et disposé en regard du stator 1, des détecteurs 31, 32 de la position radiale du rotor 2 par rapport au stator 1, et des circuits d'asservissement 20 pour modifier le courant circulant dans les enroulements d'électro-aimant 101 à 118 en fonction des signaux délivrés par les détecteurs de position 31, 32.

Les enroulements d'électro-aimants 101 à 118 sont réalisés de manière à produire un champ magnétique sinusoïdal tournant à flux radial et comprennent une pluralité d'enroulements répartis sur la périphérie du stator 1 et alimentés successivement à tour de rôle à partir des circuits d'asservissements. Ce type de palier facilite le passage de fréquences critiques.



FR 2 561 729 - A1

PALIER MAGNETIQUE RADIAL ACTIF A ROTOR MASSIF POUR L'AMORTISSEMENT
DES FREQUENCES CRITIQUES.

La présente invention a pour objet un palier magnétique radial actif à rotor massif comprenant un stator composé d'une armature et d'enroulements d'électro-aimant, un rotor solidaire d'un arbre rotatif et disposé en regard du stator, des détecteurs de la position radiale du rotor par rapport au stator, et des circuits d'asservissement pour modifier le courant circulant dans les enroulements d'électro-aimant en fonction des signaux délivrés par les détecteurs de position.

On sait que, pour toute pièce tournante, il existe des vitesses critiques pour lesquelles la pièce se déforme en flexion avec présence de noeuds et de ventres. Il est souhaitable de pouvoir franchir ces vitesses critiques avec un bon amortissement.

Le brevet français 2.336.603 décrit précisément un dispositif d'amortissement des fréquences critiques d'un rotor monté sur des paliers magnétiques actifs radiaux. Ce dispositif, qui comprend des moyens d'amplification sélective du gain du circuit d'asservissement des paliers magnétiques, en phase ou en avance de phase, dans une bande de fréquence étroite centrée sur une fréquence égale à la vitesse de rotation du rotor, fonctionne de façon satisfaisante. Toutefois, compte tenu du niveau requis pour l'amplification sélective, et donc de l'accroissement de la valeur du champ magnétique nécessaire pour fournir un amortissement efficace lors du passage des fréquences critiques, les paliers magnétiques doivent obligatoirement comporter une armature rotorique annulaire constituée par un matériau ferromagnétique feuilleté. Ceci n'est pas réalisable facilement sur toutes les machines tournantes équipées d'arbres de très grand diamètre, et n'est pratiquement pas applicable à des machines existantes sans démontage complet de celles-ci. La réalisation d'un feuilletage est en outre souvent risquée si les vitesses de rotation doivent être très élevées.

Afin de s'affranchir de la nécessité de réaliser un feuilletage sur le rotor, il est possible d'envisager

l'utilisation de paliers magnétiques radiaux à flux magnétique axial, du type représenté sur la figure 1, dans lequel des électro-aimants de palier en forme de U présentent des pôles situés de part et d'autre d'un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe du rotor. Dans ce cas, un rotor non feuilleté, massif ou tubulaire peut être utilisé afin de permettre un amortissement lors du passage de fréquences critiques. Ce mode de réalisation présente cependant des limites dans la mesure où les forces magnétiques ne peuvent pas être très importantes et la pénétration du flux magnétique dans le rotor ne peut être profonde. Par ailleurs, il se produit un échauffement du rotor par les courants de Foucault car le champ magnétique qui tourne en principe en synchronisme avec le rotor n'est pas sinusoïdal.

La présente invention vise à remédier aux inconvénients précités et à permettre de réaliser facilement un amortissement efficace des perturbations apparaissant au passage des fréquences critiques, même pour des rotors de grand diamètre nécessitant des paliers magnétiques à champ magnétique d'induction élevée.

Ces buts sont atteints grâce à un palier magnétique radial actif du type mentionné au début dans lequel, conformément à l'invention, le rotor est réalisé de façon massive, sans feuilletage et les enroulements d'électro-aimants sont réalisés de manière à produire un champ magnétique sinusoïdal tournant à flux radial et comprenant une pluralité d'enroulements répartis sur la périphérie du stator et alimentés successivement à tour de rôle à partir des circuits d'asservissement.

Grâce à ces mesures, le rotor ne voit pratiquement pas de variations du champ magnétique sur un tour. Ceci permet donc un amortissement efficace au passage des fréquences critiques sans produire d'échauffement particulier par des courants de Foucault.

De façon plus particulière, chaque enroulement alimenté successivement comprend, montés en série, un premier bobinage alimenté dans un premier sens et un second bobinage alimenté dans le sens contraire du premier bobinage et décalé angulairement par rapport au premier bobinage.

Chaque paire de bobinages constituant un enroulement est alimentée à partir d'un amplificateur propre à courant continu dont le sens de circulation du courant est invariable.

Les bobinages d'enroulements différents sont superposés.

05 Le premier bobinage d'un enroulement considéré est superposé au deuxième bobinage de l'avant dernier enroulement alimenté avant l'enroulement considéré.

Le premier bobinage de chaque enroulement est intercalé entre les premier et deuxième bobinages de l'enroulement alimenté.
10 immédiatement précédemment.

Les bobinages des enroulements d'électro-aimant sont régulièrement répartis à la périphérie du stator.

Avantageusement, tous les bobinages et tous les amplificateurs sont identiques les uns aux autres.

15 Le palier magnétique selon l'invention comprend au moins, trois enroulements comprenant chacun une paire de bobinages et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre.

Selon un mode de réalisation conduisant à de très bonnes performances, le palier magnétique comprend huit enroulements
20 comprenant chacun une paire de bobinages et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre.

Dans ce cas, les premier et deuxième bobinages de chacun des enroulements sont décalés de 90° l'un par rapport à l'autre.

25 Selon un autre mode de réalisation préférentiel, le palier magnétique comprend dix paires d'enroulements comprenant chacun une paire de bobinages et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre.

Le palier magnétique selon l'invention est ainsi
30 particulièrement adapté pour être monté à l'extrémité d'un arbre de grand diamètre.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui fait suite de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre
35 d'exemples, en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 est une vue schématique d'un palier magnétique radial à flux axial,
- la figure 2 est une vue schématique d'un premier exemple de réalisation d'un palier magnétique radial à flux radial conforme à l'invention,
- la figure 3 est une vue schématique en coupe selon un plan radial du stator du palier magnétique radial de la figure 2, et
- la figure 4 est une vue schématique d'un second exemple de réalisation de palier magnétique radial à flux radial selon l'invention,
- les figures 5a et 5b montrent l'évolution dans le temps du champ magnétique et de la force correspondante, et
- la figure 6 montre schématiquement l'application d'un palier magnétique selon l'invention à une ligne d'arbres de rotor.

On voit sur la figure 1 un palier magnétique radial à flux axial comprenant des électro-aimants 1 en forme de U présentant chacun des pièces polaires 3, 4 symétriques par rapport à un plan radial perpendiculaire à l'axe du rotor 2. Des enroulements 5, 6 parcourus par des courants d'excitation I_1 , I_2 respectivement sont disposés sur les pièces polaires 3, 4. Ce type de palier crée un flux magnétique selon les lignes pointillées référencées 7, c'est-à-dire un flux qui circule axialement à la périphérie du rotor 2 qui peut être massif ou tubulaire et ne nécessite pas de feuilletage. Un tel type de palier magnétique permet de créer un amortissement lors du passage du rotor à une vitesse critique, mais présente cependant des inconvénients comme indiqué ci-avant dans la présente description et ne peut être adapté à tous les types de machines tournantes.

Les figures 2 à 4 concernent des paliers magnétiques radiaux à flux radial qui, contrairement au palier de la figure 1, peuvent s'adapter à des rotors de grand diamètre et à des rotors tournant à vitesse élevée.

On a représenté sur les figures 2 et 3 un stator 100 de palier magnétique radial comprenant, montées dans des encoches 121

d'une armature fixe 120, une pluralité de bobinages 101 à 108, 111 à 118. Pour plus de clarté, sur la figure 2, comme également sur la variante de la figure 4, seuls les bobinages d'électro-aimant ont été représentés de façon symbolique.

05 Comme on peut le voir sur les figures 2 et 3, huit paires de bobinages 101, 111; 102, 112; ... 108, 118 sont régulièrement réparties à la périphérie de l'armature fixe 120. Chaque paire de bobinages 101, 111;...108, 118 constituant un enroulement est alimentée simultanément par un courant contraire à partir d'un
10 amplificateur propre 11,-18 fournissant un courant continu dont le sens de circulation est invariable. Pour chaque enroulement constitué pr une paire de bobinages, le premier bobinage 101,...108 est alimenté dans un premier sens et le second bobinage 111, ..118 est alimenté dans le sens contraire du premier bobinage. Pour
15 chaque enroulement 101, 111;...108,118, le second bobinage 111,...118 est décalé angulairement de 90° par rapport au premier bobinage 101,...108.

 Grâce à un circuit 33 permettant de réaliser une commutation au sein du circuit d'asservissement 20 destiné à
20 alimenter les enroulements d'électro-aimant, les différentes paires de bobinages 101, 111; 102, 112, ;..108, 118 disposées successivement à la périphérie du stator 100 et venant successivement en regard d'une même zone du rotor 2 lorsque celui-ci est en rotation, sont alimentées successivement à tour de rôle
25 par le circuit d'asservissement 20. Le circuit d'asservissement 20 alimente ainsi à tour de rôle et successivement dans cet ordre les amplificateurs 11, 12,... 18, le rotor 2 tournant dans le sens de la flèche représentée sur la figure 2.

 Le circuit d'asservissement 20 est constitué de façon
30 classique et permet de régler la valeur du courant appliqué aux enroulements d'électro-aimants de stator en fonction des signaux fournis par des détecteurs 31, 32 de la position radiale du rotor 2 détectant les déplacements du rotor selon deux directions orthogonales dans un plan radial.

35 Le circuit 33 permettant de réaliser la commutation de

l'alimentation des différents amplificateurs 11, 12,...18 comprend un organe de détection de la vitesse de rotation du rotor 2, afin de permettre la synchronisation de l'alimentation successive des différents amplificateurs 11,...18 avec la rotation du rotor.

- 05 Chaque paire de bobinages 101, 111; 102, 112;...108, 118 exerce sur le rotor une action résultante qui, considérée par rapport au stator, est décalée de $-\frac{2\pi}{n}$ par rapport à l'action de la paire de bobinages excitée immédiatement précédemment, n étant le nombre total de paires de bobinages réparties sur le stator. Des
- 10 impulsions de commutation peuvent ainsi être produites en fonction de la rotation du rotor 2, à partir des signaux délivrés par l'organe de détection de vitesse chaque fois que le rotor a tourné d'un angle $\frac{2\pi}{n}$. La localisation des paires de bobinages du stator étant bien définie par rapport aux détecteurs de la
- 15 position radiale du rotor 31, 32, chaque amplificateur 11,...18 alimenté successivement par le circuit d'asservissement 20 en fonction de la production des impulsions de commutation peut exercer sur le rotor une action d'attraction adaptée en fonction des signaux délivrés par les détecteurs 31, 32 afin de tendre à
- 20 maintenir le rotor dans une position d'équilibre prédéterminée.

Afin de faciliter le montage, le premier bobinage 101,...108 d'un enroulement donné est superposé au deuxième bobinage 117,...116 de l'avant dernier enroulement alimenté avant ledit enroulement donné. Par ailleurs, on voit sur la figure 2 que

- 25 les différents premiers bobinages 101,...108 d'enroulements successifs sont régulièrement répartis en étant angulairement distants de 45° les uns des autres. De même, les différents seconds bobinages 111, ...118 d'enroulements successifs sont régulièrement espacés angulairement de 45° les uns des autres.
- 30 On notera également que le premier bobinage 101, ..108 de chaque enroulement est intercalé entre les premiers et deuxièmes bobinages 108,118;... 107, 117 de l'enroulement alimenté immédiatement précédemment et situé angulairement à mi-chemin entre ceux-ci.

- 35 Les différents bobinages sont identiques les uns aux

autres et les amplificateurs 11 à 18 présentent également chacun des caractéristiques identiques. Ceci garantit la production d'un champ magnétique tournant sinusoïdal à flux radial qui suit les mouvements du rotor 2. Ce dernier ne voit donc pas de variations sensibles du champ magnétique sur un tour. Ceci permet l'utilisation d'un rotor massif tout en assurant un amortissement lors du passage des fréquences critiques.

Afin de faciliter la compréhension, le flux magnétique radial ϕ_0 circulant dans le rotor 2 et le stator 120 du palier à un instant t_0 pendant lequel les bobinages 101, 111 du premier enroulement sont alimentés à partir de l'amplificateur 11 tandis qu'aucun des autres bobinages ne reçoit de courant, a été figuré en traits discontinus sur la figure 3. On a également représenté sur cette même figure, en pointillés, le flux magnétique radial ϕ_1 circulant dans le rotor 2 et le stator 120 du palier à un instant t_1 correspondant à une rotation du rotor de 45° et pendant lequel les bobinages 102, 112 du second enroulement sont alimentés à partir de l'amplificateur 12 tandis que tous les autres bobinages sont inactifs et ne reçoivent pas de courant. La force F_0 résultante exercée sur le rotor à l'instant t_0 et due aux flux ϕ_0 créé par les bobinages 101, 111 et la force résultante F_1 exercée sur le rotor à l'instant t_1 et due au flux ϕ_1 , créé par les bobinages 102, 112 sont représentées par des flèches sur la figure 3. On voit que la force résultante exercée sur le rotor suit la rotation de celui-ci, ce qui tend bien à créer un amortissement.

Les figures 5a et 5b représentent respectivement pour des instants t_0 et t_2 la forme de l'induction magnétique B (courbe 8 en trait continu) et celle de la force F due au champ magnétique et exercée sur le rotor (courbe 9 en trait discontinu), en fonction de la position angulaire par rapport à une origine située au niveau du premier bobinage 101. On constate que la forme de l'induction magnétique B est sinusoïdale tandis que la force F, proportionnelle au carré de l'induction magnétique B, garde toujours le même signe. La différence entre le temps t_2 , et le

temps t_1 correspond à une rotation de 90° du rotor 2 par rapport à la position qu'il présentait au temps t_1 . La figure 5b correspond ainsi à un instant où les bobinages 103 et 113 sont alimentés à partir de l'amplificateur 13 tandis que la figure 5a .
05 correspond à l'instant t^1 auquel les bobinages 101 et 111 sont alimentés à partir de l'amplificateur 11.

Grâce au chevauchement des différentes paires de bobinages 101, 111; 102, 112; 103, 113;... 108, 118, puisque le bobinage 102 par exemple est intercalé entre les bobinages 101 et 103, et grâce
10 à l'alimentation successive des différents amplificateurs 11, 12,... 18, il est ainsi possible de réaliser un champ tournant en synchronisme avec le rotor 2, dans la mesure où une information de vitesse de rotation du rotor est fournie au circuit d'asservissement 20 par le circuit 33 pour commander la
15 commutation successive des différents amplificateurs 11 à 18. Le champ magnétique créé présente un caractère très sinusoïdal lorsque l'on utilise huit paires de bobinages 101, 111,...108, 118 comme représenté sur la figure 2.

Le champ magnétique créé peut cependant présenter un
20 caractère sinusoïdal encore plus régulier si l'on utilise dix paires de bobinages 201, 221; 202, 222;...210, 230 associées à dix amplificateurs 231 à 240, comme représenté sur la figure 4. Avec un tel mode de réalisation, on diminue très fortement les fluctuations du champ magnétique dans le rotor, ce qui permet à la
25 fois d'utiliser un simple rotor massif et d'obtenir la création d'une force amortissante permettant un franchissement aisé des vitesses critiques. Sur la figure 4, les détecteurs 251, 252 et les circuits 250, 253 correspondent respectivement aux éléments référencés 31, 32 et 20, 33 sur la figure 2. De même, les
30 amplificateurs 231 à 240 peuvent présenter des caractéristiques analogues à celles des amplificateurs 11 à 18. Enfin, comme dans le cas de la figure 2, les bobinages 201, 221; 202, 222,... 210, 230 sont régulièrement répartis à la périphérie du stator, deux bobinages successifs 201, 202 ou 221, 222 étant décalés de 36°
35 environ, et il est prévu un chevauchement entre bobinages, le

bobinage 202 par exemple étant intercalé entre les bobinages 201 et 221. Pour faciliter le montage, les seconds bobinages 221, 222,... 230 des paires de bobinages sont également disposés dans les mêmes encoches de stator que des premiers bobinages 203, 204,...202 de paires de bobinages différentes, avec des décalages réguliers.

La figure 6 montre un exemple d'application de l'invention à des grandes machines présentant plusieurs sections 301, 302 successives avec des arbres 311, 312 terminés par une partie d'extrémité libre 321, 322 de section accrue. La présente invention permet de disposer directement autour des parties terminales massives 321, 322 un stator 340 muni d'enroulements d'électro-aimants 341 réalisés de la manière décrite ci-dessus par exemple avec huit ou dix paires de bobinages alimentées séquentiellement. Ceci contribue à réaliser un palier magnétique efficace constituant un amortisseur actif facilitant notamment le passage des vitesses critiques. On notera que le palier radial selon l'invention évite la réalisation de feuilletages sur les extrémités d'arbre 311, 312 et peut donc être appliqué quel que soit le diamètre ou la vitesse de rotation de l'arbre. La localisation sur les parties terminales 321, 322 de section accrue permet notamment une réalisation sur les machines existantes où l'espace libre pour la mise en place d'un palier ou d'un amortisseur est limité.

REVENDEICATIONS

1. Palier magnétique radial actif à rotor massif
comprenant un stator (1) composé d'une armature (100) et
d'enroulements d'électro-aimant (101 à 118), un rotor (2)
05 solide d'un arbre rotatif et disposé en regard du stator (1),
des détecteurs (31,32) de la position radiale du rotor (2) par
rapport au stator (1), et des circuits d'asservissement (20) pour
modifier le courant circulant dans les enroulements d'électro-
aimant (101 à 118) en fonction des signaux délivrés par les
10 détecteurs de position (31,32),
c a r a c t é r i s é en ce que le rotor (2) est réalisé de façon
massive, sans feuilletage et en ce que les enroulements d'électro-
aimants (101,118) sont réalisés de manière à produire un champ
magnétique sinusoïdal tournant à flux radial et comprennent une
15 pluralité d'enroulements répartis sur la périphérie du stator (1)
et alimentés successivement à tour de rôle à partir des circuits
d'asservissement.

2. Palier magnétique selon la revendication 1, caractérisé
en ce que chaque enroulement alimenté successivement comprend,
20 montés en série, un premier bobinage (101, à 108) alimenté dans un
premier sens et un second bobinage (111 à 118) alimenté dans le
sens contraire du premier bobinage et décalé angulairement par
rapport au premier bobinage.

3. Palier magnétique selon la revendication 2, caractérisé
25 en ce que chaque paire de bobinages (101,111;...108,118) constituant
un enroulement est alimentée à partir d'un amplificateur propre
(11,...18) à courant continu dont le sens de circulation du courant
est invariable.

4. Palier magnétique selon l'une quelconque des
30 revendications 1 à 3, caractérisé en ce que des bobinages
d'enroulements différents sont superposés.

5. Palier magnétique selon l'une quelconque des
revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le premier bobinage
(101,...108) d'un enroulement considéré est superposé au deuxième
35 bobinage (117,...116) de l'avant dernier enroulement alimenté

avant l'enroulement considéré.

05 6. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le premier bobinage (101,...108) de chaque enroulement est intercalé entre les premier et deuxième bobinages (108,118,...:107,117) de l'enroulement alimenté immédiatement précédemment.

10 7. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les bobinages des enroulements d'électro-aimant sont régulièrement répartis à la périphérie du stator (1).

8. Palier magnétique selon la revendication 3, caractérisé en ce que tous les bobinages et tous les amplificateurs sont identiques les uns aux autres.

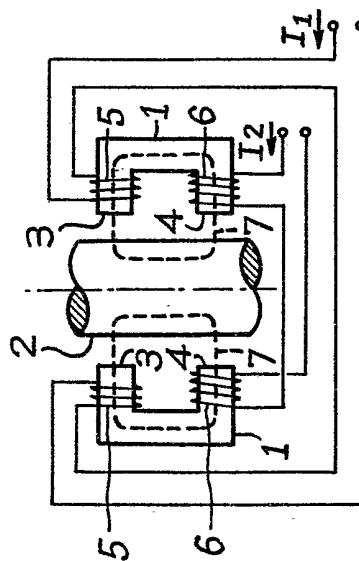
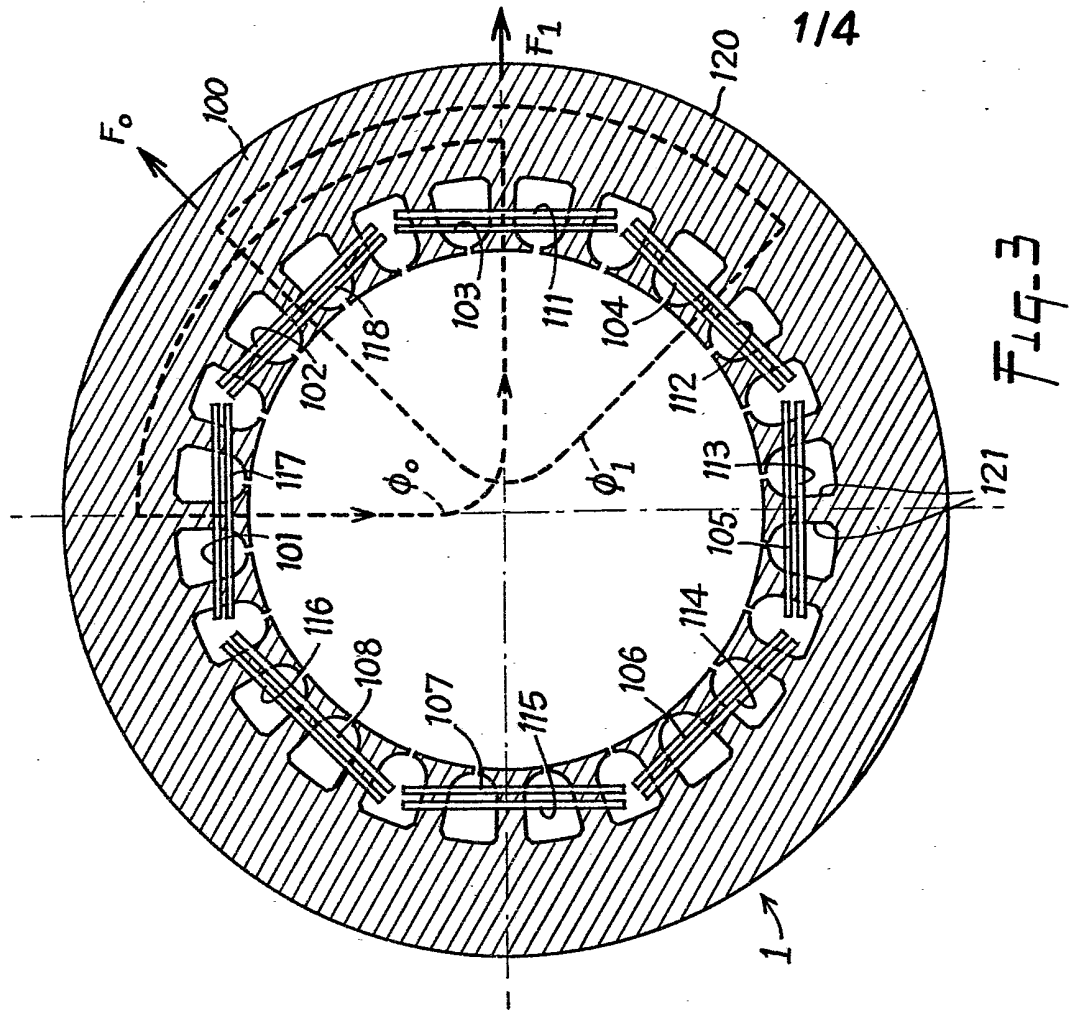
15 9. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend au moins trois enroulements comprenant chacun une paire de bobinages et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre.

20 10. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend huit enroulements comprenant chacun une paire de bobinages (101,111,...108,118) et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre (11,...18).

25 11. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend dix enroulements comprenant chacun une paire de bobinages (201,221,...210,230) et alimentés chacun à partir d'un amplificateur propre (231,...240).

30 12. Palier magnétique selon la revendication 10, caractérisé en ce que les premier et deuxième bobinages de chacun des enroulements sont décalés de 90° l'un par rapport à l'autre.

13. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il est monté à l'extrémité d'un arbre de grand diamètre (321, 322).



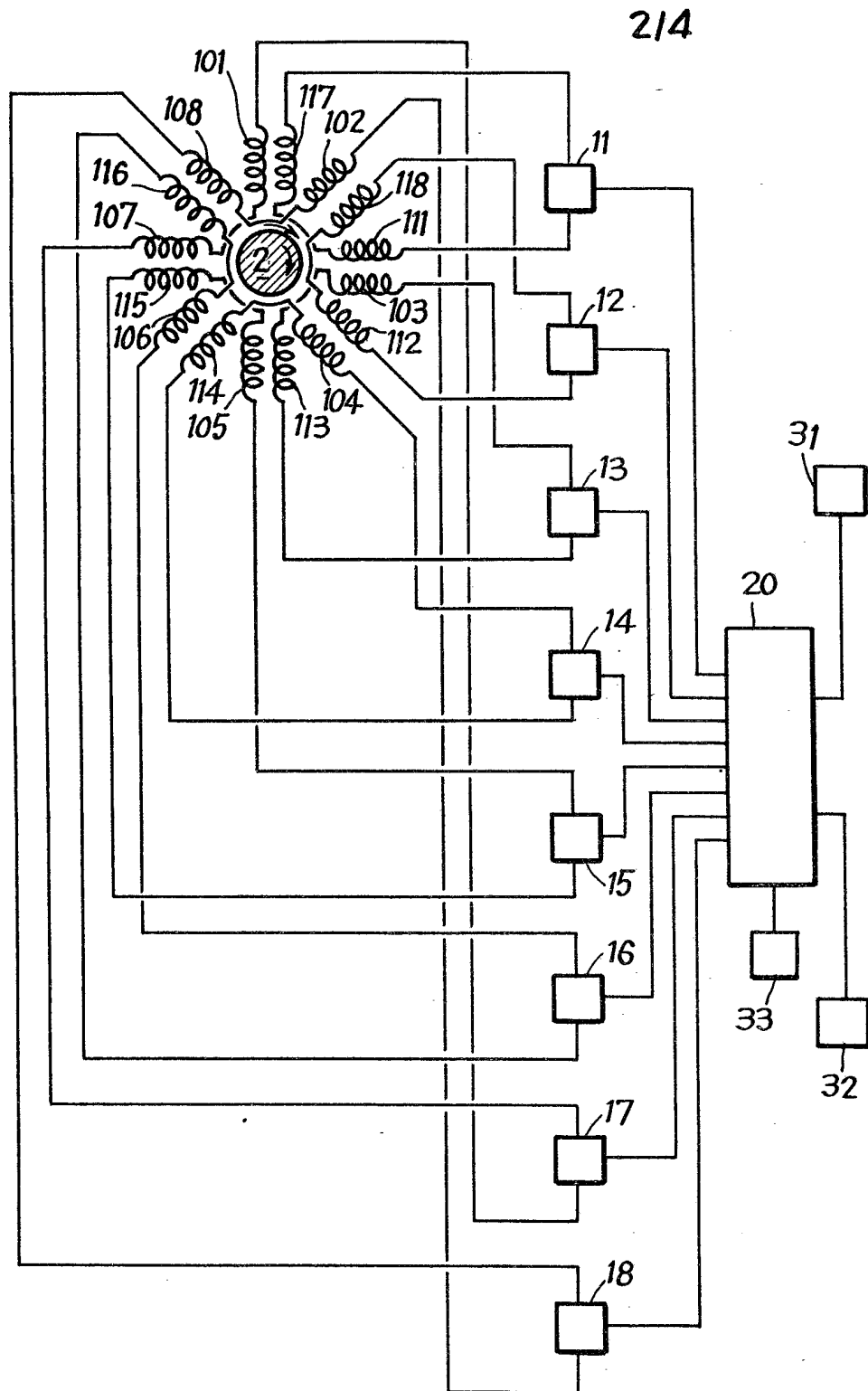


Fig-2

3/4

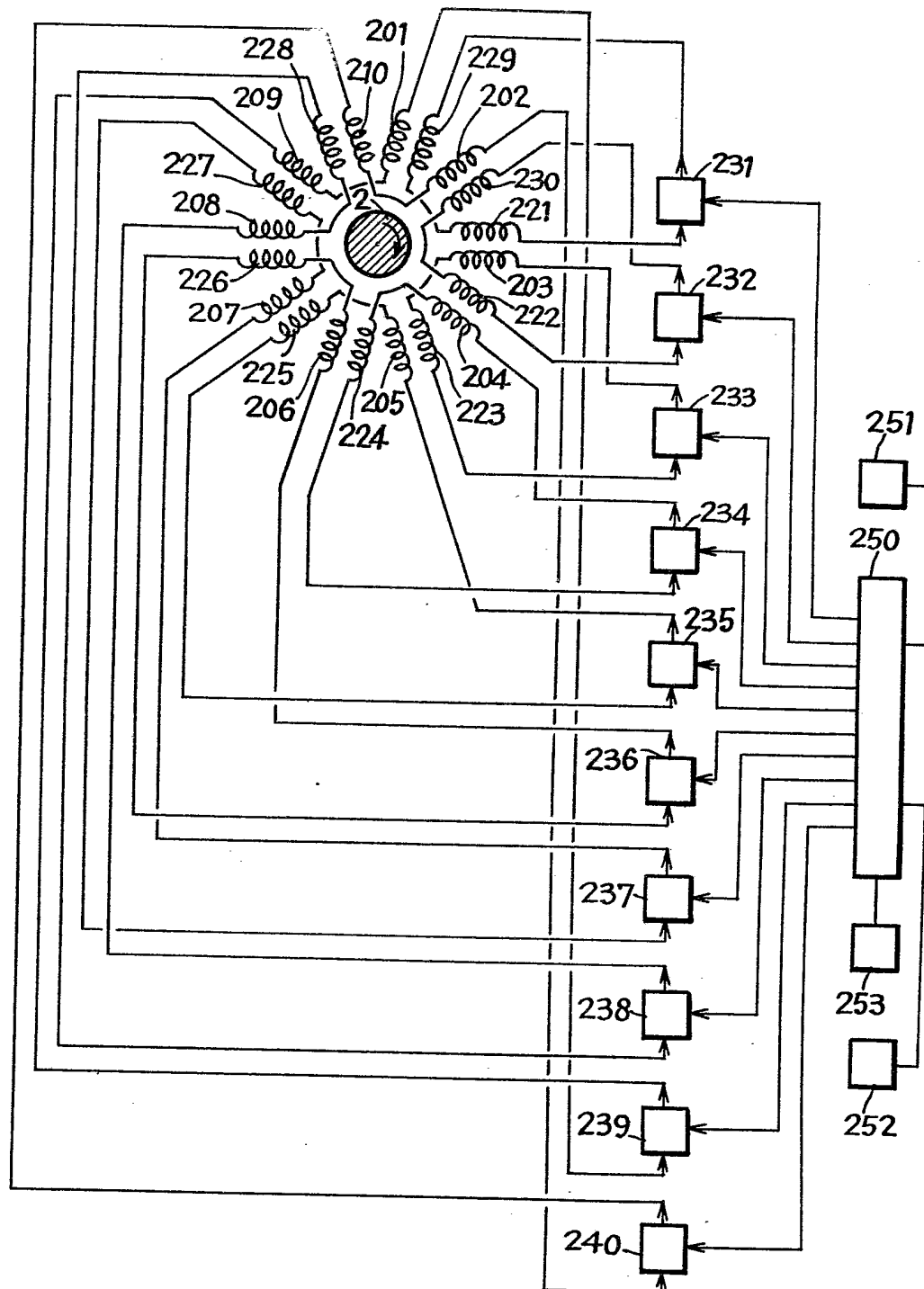


Fig. 4

4/4

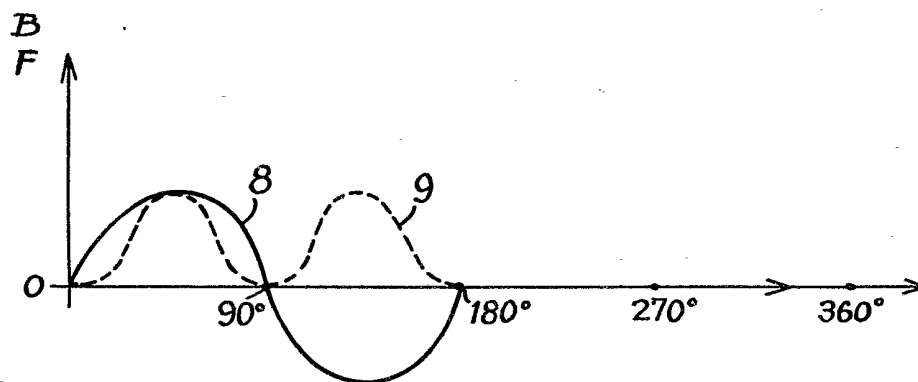


Fig-5A

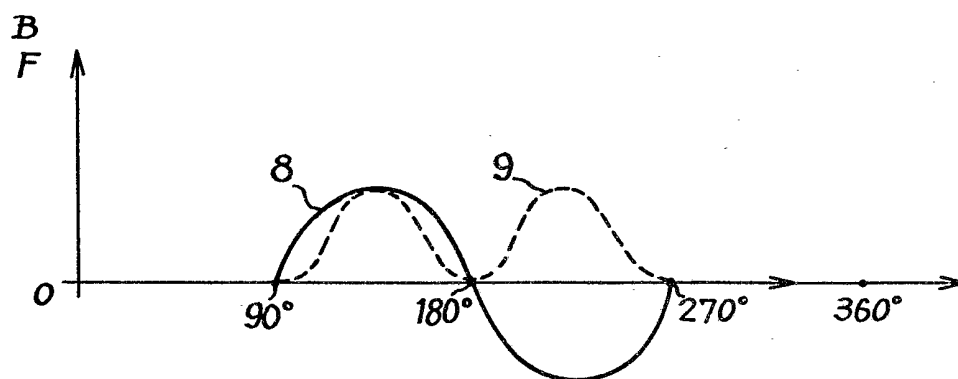


Fig-5B

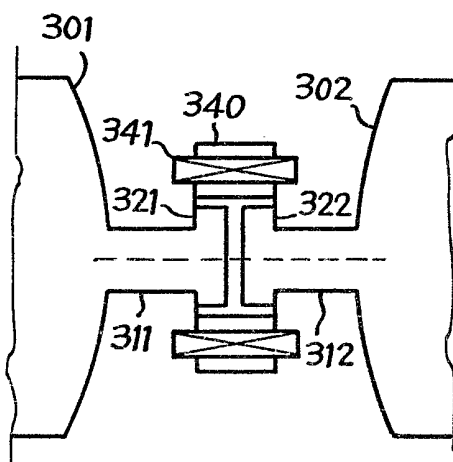


Fig-6