

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.12.08.

30 Priorité : 04.01.08 FR 0800038.

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.08.09 Bulletin 09/35.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : KOEHLER GERARD — FR.

72 Inventeur(s) : KOEHLER GERARD.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) :

54 STATOR ET ROTOR D'UNE MACHINE DYNAMO-ELECTRIQUE A RELUCTANCE VARIABLE A PHASES
ANGULAIREMENT REPARTIES DANS DES SECTEURS ET A EFFET VERNIER.

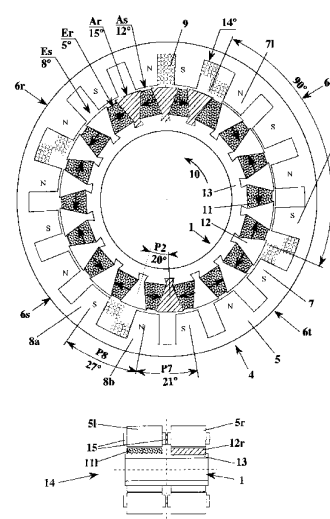
57 Suivant un polynôme II_s , les secteurs statoriques angulaires 6 au nombre de N 6 comportent un nombre pair N 7 de pôles 7 au pas de P7. Deux secteurs 6 voisins sont séparés par des pôles d'extrémités 8a,8b ayant un pas P8 tel que le produit de N 6 par N 7 soit égal au nombre Nr de pôles rotoriques 2,12 au pas P2 moins la somme des espace entre les pôles d'extrémités 8a,8b de secteurs voisins pour que les bobinages monophasés 9 des phases des secteurs 6 créent un champ tournant.

P 8 est diminué pour que P 7 soit supérieur à P 2, en créant un effet VERNIER.

L'arc statorique A s est supérieur à l'arc rotorique Ar pour augmenter ce décalage.

Chaque arc Ar est augmenté pour que le premier pôle 7 f et le dernier 71 d'un secteur 6 puissent être simultanément couverts lors de l'inversion de l'excitation.

Application à un rotor 1 à aimant permanent 11 couvrant deux statos 5r 5l.



DESCRIPTION

Par le WO 2005/122367 (KOEHLER), on connaît des machines dynamo-électriques à réluctance variable à entrefers cylindriques, avec des bobinages statoriques monophasés à pôles conséquents disposés au stator.

5 Sur la figure 22 de ce WO, à entrefers cylindriques, la répartition des phases est angulaire de façon à avoir une machine à faible longueur axiale.

Le but de la présente invention est de diminuer le taux d'ondulation d'une telle machine, ce taux étant plus élevé que celui des machines à composition vectorielle.

Un grand nombre de phases comme sur la figure 24 de ce WO permet de diminuer ce
10 taux, mais avec des complications mécaniques, électroniques et d'encombrement.

Le WO 92/00628 (KOEHLER) a un faible taux d'ondulation car il est transversal à 5 phases, à réluctance pure, donc sans brusques variations de flux d'aimant permanent. Quoi que transversal, donc à bobinage simplifié, il a de faibles pertes fer car les circuits magnétiques proviennent du sectionnement d'un feuillard à grains orientés, à bobinage en
15 rectangle. Il a cependant une faible puissance massique car sans aimant permanent.

Ce taux d'ondulation peut aussi être diminué dans une machine à réluctance variable si les pôles de deux rangées d'entrefers coïncident, non pas tous simultanément, mais à tour de rôle, comme les rainures du pied à coulisse du mathématicien VERNIER.

Cette disposition est réalisée dans le EP 0790695 (KOEHLER), mais ici dans une
20 machine à rotor polarisé, à flux transversal et à pôles statoriques provenant du sectionnement d'un tore bobiné.

Cependant, si le circuit magnétique était à tôles empilées pour des motifs de simplification de la fabrication, on sait que les pertes fer seraient inacceptables.

Le but de l'invention est de trouver des moyens pour diminuer le taux d'ondulation
25 d'une machine suivant le WO 2005/122367 cité dont les phases sont angulairement réparties avec par exemple 4 phases, pour des applications dans le domaine des roues motrices.

Un autre but est d'éviter d'avoir des couples antagonistes lors d'une inversion du courant d'excitation statorique.

Si un taux d'ondulation élevé a peu d'importance pour un ventilateur ou un
30 concasseur, ce taux peut être rédhibitoire pour des déplacements à faible inertie d'enregistreurs, ou pour des déplacements sans à coups, tels que pour des ascenseurs.

L'invention a donc pour but de diminuer le taux d'ondulation des couples moteurs dans une machine dynamo-électrique tournante à réluctance variable, à entrefers cylindriques, à tôles empilées, à phases angulairement réparties dans des secteurs angulaires
35 statoriques au nombre pair comprenant chacun un nombre pair de pôles statoriques à pas constant avec un arc polaire statorique, les pôles de chaque secteur étant excités par un bobinage monophasé, les pôles d'extrémités entre deux secteurs ayant un certain pas provoquant le déphasage nécessaire entre secteurs voisins pour créer un champ tournant d'un secteur à son voisin, l'ensemble des pôles statoriques faisant face au nombre pair de

pôles rotoriques qui ont un arc rotorique ainsi qu'un pas qui sont constant, appartenant à un circuit magnétique rotorique.

Les bobinages monophasés sont de préférence cylindriques, globaux et à pôles conséquents en fil suivant le FR 2901925 (KOEHLER) ou en plaques suivant le

5 FR 2898438 (KOEHLER).

Pour assurer la succession des phases sur les secteurs angulaires, le nombre de pôles rotoriques doit être égal au produit du nombre de pôles statoriques par le nombre de secteurs, augmenté du nombre de secteurs qui est divisé par la moitié du nombre de phases.

10 On sait que dans une machine à phases angulairement réparties, on a la relation suivante, concernant la répartition des éléments statoriques sur un tour:

Le produit du nombre pair de secteurs statoriques par le nombre pair de pôles par secteur et par le pas en degrés des pôles statoriques, plus le produit du nombre de secteurs statoriques par le pas en degrés entre les pôles d'extrémité de secteurs, doit être une somme d'angles égale à 360° . Cette relation est dite: Condition du polynôme statorique Π_s .

15 Suivant une première disposition de l'invention, dans laquelle les arcs polaires restent inchangés, la valeur du pas entre les deux pôles d'extrémité de secteurs voisins est choisie dans un sens tel qu'elle en entraîne une modification de sens contraire du pas statorique qui devient différent du pas rotorique et avec une amplitude qui satisfasse à la condition du polynôme statorique Π_s , en provoquant avec les pôles rotoriques l'effet VERNIER
20 recherché, qui diminue le taux d'ondulation.

De préférence, la modification du pas des pôles d'extrémités de secteurs voisins est une diminution et la condition de respect du polynôme statorique amène le pas statorique à être légèrement supérieur au pas rotorique, donc sans provoquer une diminution du volume de bobinage statorique.

25 En complément, suivant une deuxième disposition, les arcs polaires statoriques et rotoriques étant conventionnellement initialement égaux, l'arc statorique est légèrement augmenté de façon à provoquer une réduction supplémentaire du taux d'ondulation.

Suivant une troisième disposition, dans laquelle la polarisation rotorique est faite par des aimants permanents dont l'axe d'aimantation a une direction parallèle au déplacement,
30 chaque aimant permanent étant encastré entre deux pôles rotoriques de forme triangulaire dont une face constitue un entrefer et dont la pointe opposée s'encastre dans une culasse non-magnétique, l'arc des pôles rotoriques est augmenté de façon à ce que, pour une position angulaire donnée du rotor, les pôles statoriques d'un secteur angulaire soient tous entièrement couverts par des surfaces de pôles rotoriques.

35 De la sorte, l'inversion de la polarisation statorique se fait sans provoquer des couples antagonistes. De plus, cette disposition rotorique provoque une concentration de flux dans les entrefers

Aux dessins annexés, donnés à titre d'exemple relatif à une machine dynamo-électrique tournante à réluctance variable à tôles empilées, à phases angulairement réparties

et à bobinages à pôles conséquents:

la figure 1 représente une machine à rotor intérieur bobiné, les arcs polaires statoriques et rotoriques étant identiques. Le pas des pôles d'extrémité de secteurs est diminué de sorte que le pas des pôles statoriques devienne légèrement supérieur au pas des pôles rotoriques;

5 la figure 2 représente une machine semblable à celle de la figure 1, mais de plus l'arc statorique est augmenté par rapport à l'arc rotorique;

la figure 3 représente un stator identique à celui de la figure 1, mais le rotor est à aimants permanents à aimantation radiale. De plus l'arc rotorique est supérieur à l'arc statorique, et

10 la figure 4 représente une disposition particulière d'un rotor couvert par deux stators.

Sur la **figure 1**, le circuit magnétique rotorique **1** comporte des pôles intérieurs **2** dont le nombre pair **N2** est ici de 18. Ces pôles ont un arc rotorique **Ar** de 12°, avec un pas rotorique **P2** de 20° et une encoche **Er** de 8° à l'entrefer.

Entre ces pôles, chaque encoche est remplie ici par 50 conducteurs **3** à pôles
15 conséquents en fil suivant le FR 2912010 (KOEHLER), une seule encoche étant représentée avec ses conducteurs. On réalise ainsi la polarisation du rotor.

Le stator polyphasé **4** comporte un circuit magnétique statorique **5** constitué par des secteurs angulaires **6q 6r 6s...** au nombre pair **N6** ici de 4, chacun comportant des pôles statoriques **7** au nombre pair **N7** ici de 4 sur un arc **As** de 12° avec un pas **P7** initialement
20 de 20° et une encoche **Es** de $20-12=8^\circ$.

Sur un périmètre, il y a ici $4 \times 4 = 16$ pôles de 12° et $3 \times 4 = 12$ encoches de 8° avec un pas **P7** de 20° soit au total: $12 \times 16 + 12 \times 8 = 288^\circ$ et pour un des quatre espaces entre secteurs voisins il reste une encoche de $(360-288)/4 = 18^\circ$ pour loger deux demi-bobinages de 8°. Les pôles statoriques extrêmes voisins **8a** et **8b** ont entre eux un pas d'extrémité **P8** égal
25 dans ce cas à $18+12=30^\circ$ soit un supplément de 10° correspondant à un déphasage de **P7/2**. Le polynôme statorique $\Pi_s: N_6 \times N_7 \times (A_s + E_s) + N_6 \times P_8 = 360^\circ$ doit donc être respecté.

On peut aussi définir de même un polynôme rotorique $\Pi_r: N_2 \times (A_r + E_r) = 360^\circ$

D'une manière connue, le pas statorique **P7** peut être identique au pas rotorique **P2**. Avec les valeurs citées, le polynôme statorique Π_s a donc sa condition bien remplie.

30 Les bobinages statoriques monophasés en fil **9**, suivant le FR 2901925 cité, créent ainsi un champ magnétique statorique tournant d'un secteur à son voisin.

Dans ces conditions, les 4 entrefers d'un secteur angulaire monophasé **6** se fermeraient tous simultanément. Il en résulterait un taux d'ondulation élevé.

Suivant l'invention, sur la figure 1, on voit que le pas **P8** des pôles d'extrémités
35 **8a, 8b** de secteurs voisins n'est plus égal à 30°, mais que pour respecter la condition du polynôme statorique, elle a une valeur telle qu'elle rende légèrement différents les pas statoriques **P7** et rotoriques **P2** de façon à créer un effet VERNIER entre les pôles statoriques d'un même secteur **6**. De préférence, la différence de pas des pôles statoriques **7** et rotoriques **2** est réalisée par une diminution du pas **P8** de façon à ne pas diminuer le

volume de bobinage statorique.

Le pas **P8** passe ici de 30° à 27° et pour respecter la condition du polynôme statorique Π_s le pas statorique **P7** passe de 20 à 21° , soit une augmentation de 3° pour les 3 autres pôles du secteur. Cette différence de pas crée ainsi l'effet VERNIER recherché.

5 L'arc statorique **A_s** reste ici constant. De plus, le volume disponible pour le bobinage statorique **9** est augmenté de 1° , ce qui n'aurait pas été le cas si on avait augmenté le pas **P8**.

On sait que les extrémités d'un bobinage monophasé entre secteurs **6** n'ont que la moitié du nombre de conducteurs des encoches, ce qui permet de loger les bobinages de deux phases dans une encoche d'extrémité. Ce bobinage en fil comporte ici $2 \times 20 = 40$ spires et n'est représenté que dans quelques encoches.

Des flèches représentent les flux entre pôles à un instant donné, en tenant compte des recouvrements entre pôles statoriques et rotoriques. La résultante de ces forces de même direction est représentée par une flèche rotorique **10**.

L'alimentation d'une phase peut se faire avec des impulsions en créneaux pour éviter des couples antagonistes au moment de l'inversion du sens d'excitation.

Deux secteurs opposés ont des efforts radiaux opposés.

La **figure 2** est semblable à la figure 1 avec le même décalage des pas d'extrémité **P8**. Cependant, les arcs statoriques **A_s** sont légèrement augmentés par rapport à leurs valeurs initiales et passent de 12 à 13° . On voit que le décalage total est passé ici de 3° à 6° .

20 En contrepartie, la durée d'excitation devra être diminuée pour éviter qu'un pôle amont d'un secteur **6** commence à s'ouvrir avant que le pôle aval ne soit complètement fermé.

Une modification des arcs statoriques **A_s** d'un secteur sans le décalage préalable **P8** entre les pôles d'extrémités statorique **8a** et rotorique **8b** reviendrait à une modification de l'encoche **E_s** sans produire un effet VERNIER.

25 La **figure 3** représente une disposition permettant d'éviter d'avoir à faire une coupure dans la succession des alternances d'excitation, ou tout au moins réduire cette coupure.

Le circuit magnétique rotorique **1** est ici intérieur, à aimants permanents **11** dont l'axe d'aimantation est angulaire, c'est à dire dans une direction parallèle au déplacement.

30 Ces aimants permanents sont ainsi logés entre des pôles rotoriques indépendants **12** au pas rotorique **P2** de 20° , à empilage de tôles, de forme triangulaire dont l'extrémité extérieure forme une queue d'aronde encastrée dans une culasse non magnétique extérieure **13**, de façon à créer une concentration de flux dans les entrefers.

35 Les arcs **A_s** étant maintenus à leur valeur initiale de 12° , les arcs **A_r** sont portés à 15° , la condition du polynôme Π_r conduisant à diminuer les encoches **E_r**, cette diminution étant acceptable du fait de l'aimantation angulaire des aimants permanents **11** dont la hauteur n'est pas limitée.

Le rotor **1** est représenté en fin de période d'excitation et on voit que les 4 pôles rotoriques **12** d'un secteur angulaire **6** allant du premier pôle **7f** au dernier pôle **7l** couvrent complètement les 4 pôles statoriques **7** de ce secteur malgré la différence des pas rotoriques

P2 et statoriques **P7**. Il n'y a donc plus de couple antagoniste à l'instant de l'inversion de l'excitation rotorique.

Les quatre pôles statoriques **7** par secteur **6** et les quatre secteurs **6** ont été choisis pour faciliter l'exposé de l'invention et dans la pratique, ces nombres peuvent être plus élevés.

D'une manière générale, on sait que le taux d'ondulation peut aussi être diminué en augmentant le nombre de couples par tour.

Dans cette optique, on sait par le FR 2912010 (KOEHLER) qu'un circuit magnétique rotorique peut couvrir un assemblage axial de deux circuits magnétiques statoriques de longueur axiale diminuée de moitié et décalés angulairement entre eux d'une fraction de pas polaire.

La **figure 4** représente symboliquement une telle machine composite **14**:

Un rotor **1** avec sa culasse rotorique **13** est équipée à gauche et à droite de la succession d'aimants permanents angulaires **11r**, **11l** et de pôles **12r**, **12l** avec un décalage angulaire d'un quart de pas polaire.

Ce circuit magnétique **1** couvre à droite un circuit magnétique statorique **5r** et à gauche un circuit **5l** décalés d'un quart de pas polaire.

Cette machine composite aura une puissance inchangée, mais avec ici deux fois plus d'impulsions de couple par tour.

Les quatre têtes de bobinage **15** auront une longueur axiale totale voisine de celle des deux têtes de bobinage d'une machine à composition vectorielle triphasée de même puissance car dans cette dernière, les têtes de bobinage comportent trois faisceaux de conducteurs aller et trois autres de retour, chacun dans une encoche sur trois, en se chevauchant, avec des croisements de fils de phases différentes nécessitant un isolement renforcé. De plus, les cornes polaires des encoches compliquent l'introduction des faisceaux déstructurés de conducteurs du bobinage dans ces encoches.

Chaque roue d'un essieu peut être équipé d'une telle machine composite **14** et au total, on aura l'équivalent d'une machine à 8 phases.

Avec deux essieux formant un boggie, deux stators latéraux seront immobilisés en rotation par une barre, apportant l'alimentation et d'autres services.

Un essieu peut aussi être considéré comme une charge actionnée, telle que celle d'un treuil d'un ascenseur, dont la fiabilité sera améliorée par le fait qu'un défaut sur un des 16 bobinages ou une des 8 phases ne mettra pas la machine hors service.

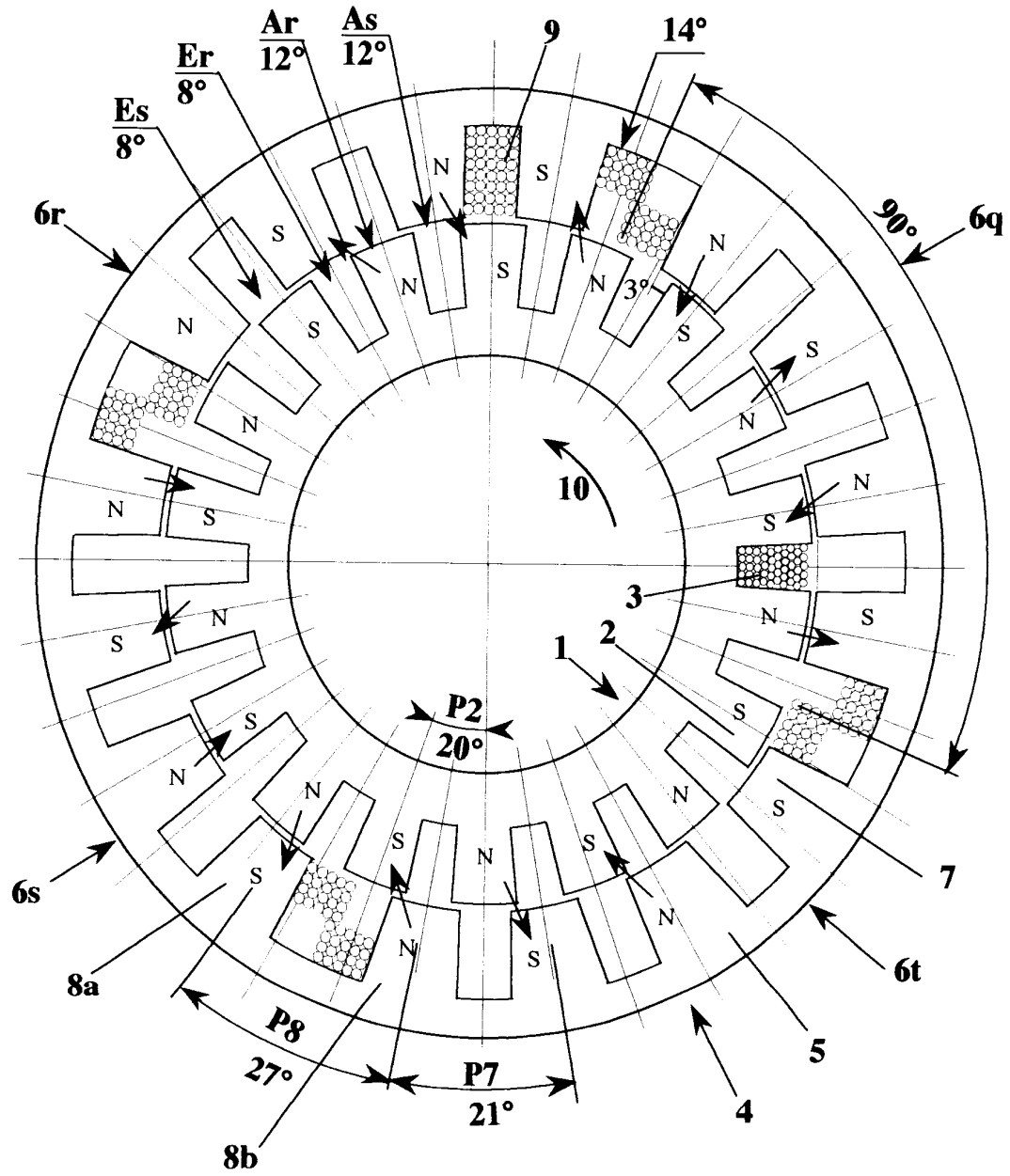
Pour diminuer encore le taux d'ondulation d'une telle machine composite, suivant l'invention, au moins une des caractéristiques de l'invention est apportée à cette machine composite **14** de manière à provoquer une réduction supplémentaire de son taux d'ondulation.

REVENDECATIONS

1. Machine dynamo-électrique tournante à réluctance variable à entrefers cylindriques, comportant un circuit magnétique statorique (**5**), à phases angulairement réparties dans des secteurs statoriques (**6**) au nombre pair de (**N 6**) comprenant chacun un nombre pair (**N 7**) de pôles statoriques (**7**) à pas constant (**P 7**) avec un arc polaire statorique (**A s**), les pôles (**7**) de chaque secteur étant excités par un bobinage monophasé (**9, 14**), les pôles d'extrémités (**8a, 8b**) entre deux secteurs (**6**) ayant un certain pas (**P 8**) provoquant le déphasage nécessaire entre secteurs (**6**) voisins, l'ensemble des pôles statoriques (**7**) faisant face au nombre pair (**Nr**) de pôles rotoriques (**2, 12**) qui ont un arc rotorique (**Ar**) ainsi qu'un pas (**P 2**) qui est constant, appartenant à un circuit magnétique rotorique (**1**), le nombre (**Nr**) de pôles rotoriques (**2**) étant égal au produit du nombre (**N 7**) de pôles statoriques (**7**) par le nombre (**N 6**) de secteurs (**6**) plus la moitié du nombre (**N 6**) de secteurs **6**, machine pour laquelle on sait que le polynôme statorique (**II**) constitué par le produit du nombre pair de secteurs statoriques (**N 6**) par le nombre pair (**N 7**) de pôles (**7**) par secteur et par le pas (**P 7**) en degré des pôles statoriques (**7**) plus le produit du nombre (**N 6**) de secteurs statoriques (**6**) par le pas en degré (**P 8**) entre les pôles d'extrémité (**8a, 8b**) de secteurs (**6**), doit être une somme d'angles égale à 360° , **caractérisée** en ce que la valeur du pas (**P 8**) entre les deux pôles d'extrémité (**8a, 8b**) de secteurs (**6**) voisins est choisie dans un sens tel qu'elle en entraîne une modification de sens contraire du pas statorique (**P 7**) qui devient différent du pas rotorique (**P 2**) et avec une amplitude qui satisfasse à la condition du polynôme statorique (**II**), en provoquant avec les pôles rotoriques (**2**) l'effet VERNIER recherché.
2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que la modification du pas (**P 8**) est une diminution de ce pas (**P 8**) par rapport à sa valeur initiale de façon à amener le pas statorique (**P 7**) à être légèrement supérieur au pas rotorique (**P 2**).
3. Machine selon la revendication 2, caractérisée en ce que les arcs statoriques (**A s**) sont légèrement augmentés par rapport à leurs valeurs initiales de façon à augmenter l'effet VERNIER.
4. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'arc (**Ar**) des pôles rotoriques (**2, 12**) est augmenté par rapport à sa valeur initiale usuelle de façon à ce que, pour une position angulaire donnée du rotor (**1**), tous les pôles statoriques (**7**) allant du premier (**7 f**) au dernier (**7 l**) d'un secteur angulaire (**6**) puissent être tous entièrement couverts par des surfaces de pôles rotoriques (**7, 12**).
5. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle cette machine **14** comporte un circuit magnétique rotorique **1** couvrant un assemblage axial de deux circuits magnétiques statoriques **5r** et **5l** de longueur axiale diminuée de moitié et décalés angulairement entre eux d'une fraction de pas polaire, caractérisée en ce qu'au moins une des caractéristiques de l'invention est apportée à cette machine composite **14** de manière à provoquer une réduction supplémentaire de son taux d'ondulation.

1/3

Fig.1



2/3

Fig.2

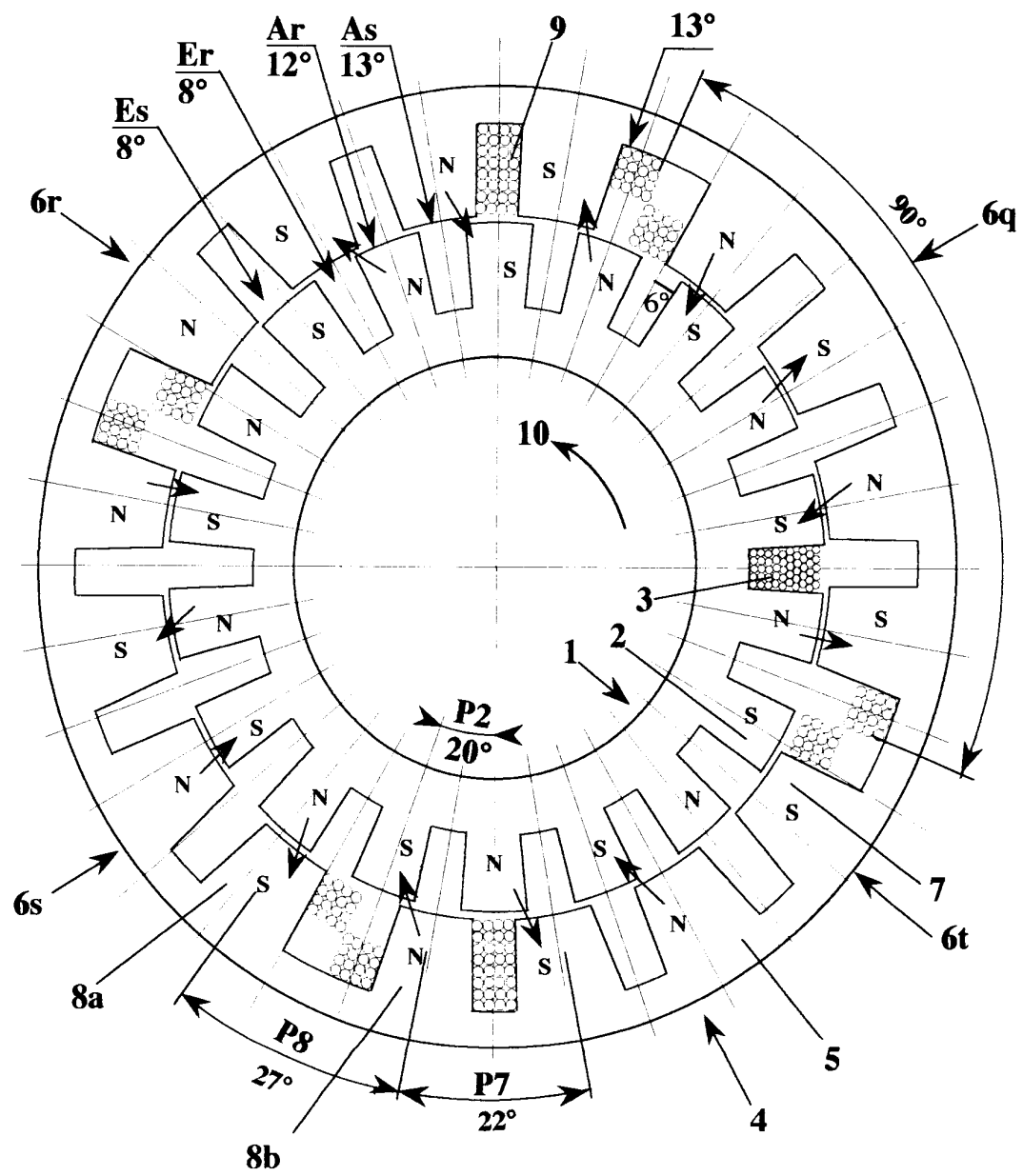


Fig.3

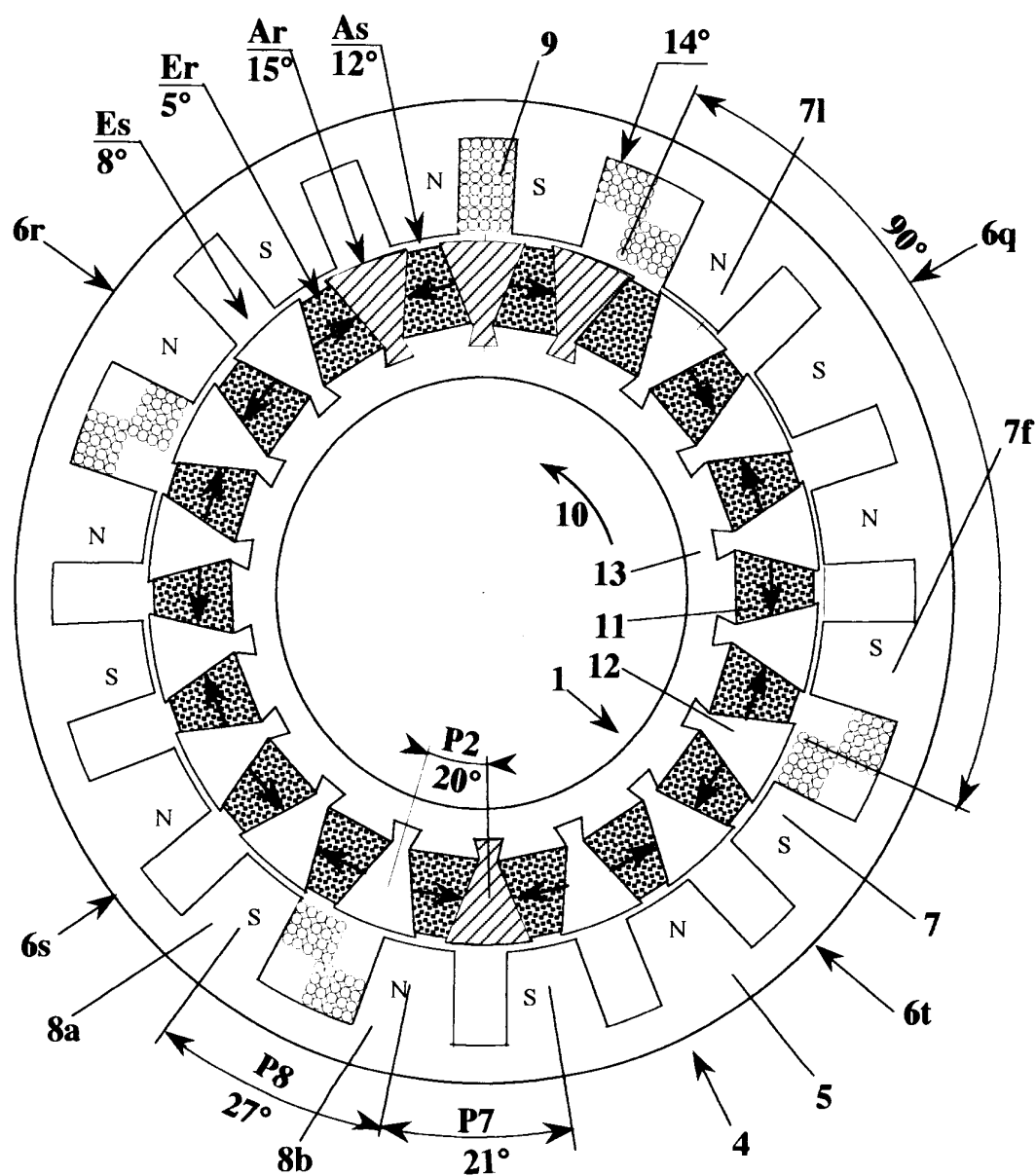


Fig.4

