(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
4 août 2016 (04.08.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/120533 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H02K 17/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/053756

(22) Date de dépôt international :
24 décembre 2015 (24.12.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
15 50684 29 janvier 2015 (29.01.2015) FR

(71) Déposant : **EOMYS ENGINEERING** [FR/FR]; 121 rue de Chanzy, 59260 Lille- Hellemmes (FR).

(72) Inventeur : **LE BESNERAIS, Jean**; 45 rue Franklin, 59370 Mons En Baroeuil (FR).

(74) Mandataires : **CABINET PLASSERAUD** et al.; 31 rue des Poissonceaux, 59044 Lille (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

WO 2016/120533 A1

(54) Title : REDUCTION OF THE VIBRATORY AND ACOUSTIC NUISANCES OF AN ASYNCHRONOUS MACHINE

(54) Titre : REDUCTION DES NUISANCES VIBRATOIRES ET ACOUSTIQUES D'UNE MACHINE ASYNCHRONE

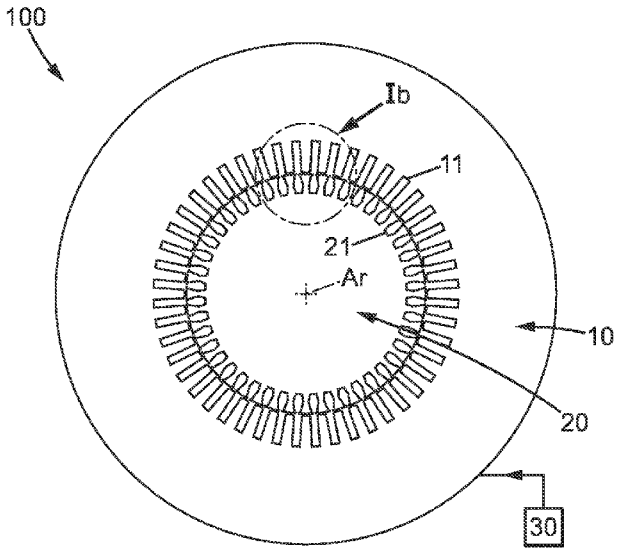


FIG. 1a

(57) Abstract : The present invention relates to an asynchronous rotary electric machine (100) including a stator (10) in which a substantially elongate rotor (20) is freely mounted, capable of rotating on itself about the longitudinal axis (Ar) of said rotor (20), said stator (10) and said rotor (20) each comprising a predetermined number (Zs and Zr) of elongate notches arranged opposite one another, Zs and Zr representing the number of stator notches (11) and rotor notches (21) respectively, wherein said rotor notches (21) are filled with first conductive elements, forming a first winding (22), which is short-circuited, and in which said stator notches (11) are filled with second conductive elements, forming a second winding (12), electrically powered by so-called stator currents, creating in said second winding a rotary magnetic field having p pairs of poles, the stator (11) or rotor (21) notches being angled relative to the longitudinal axis (Ar) of said rotor (20) according to an angle of inclination of the stator or rotor determined in accordance with the number p of pairs of poles and the number of notches Zs or Zr.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

La présente invention concerne une machine électrique rotative (100) de type machine asynchrone (100) comprenant un stator (10) dans lequel est monté librement un rotor (20) sensiblement longiligne apte à tourner sur lui-même selon l'axe longitudinal (Ar) dudit rotor (20), ledit stator (10) et ledit rotor (20) comportant chacun un nombre déterminé Zs et Zr d'encoches longilignes respectivement statoriques (11) et rotoriques (21) en regard les unes 10 des autres, dans laquelle lesdites encoches rotoriques (21) sont remplies par des premiers éléments conducteurs, formant un premier bobinage (22), mis en court-circuit, et dans laquelle lesdites encoches statoriques (11) sont remplies par des seconds éléments conducteurs, formant un second bobinage (12), alimentés électriquement par des courants dits statoriques créant dans ledit second bobinage un champ magnétique tournant ayant p paires 15 de pôles, les encoches statoriques (11) ou rotoriques (21) étant inclinées par rapport à l'axe longitudinal (Ar) dudit rotor (20) selon un angle d'inclinaison statorique ou rotorique déterminé en fonction du nombre p de paires de pôles et du nombre d'encoches Zs ou Zr.

REDUCTION DES NUISANCES VIBRATOIRES ET ACOUSTIQUES D'UNE MACHINE ASYNCHRONE

La présente demande incorpore par référence le texte de la demande prioritaire portant le numéro FR 15 50 684 déposée le 29 janvier 2015.

Domaine technique et Art antérieur

La présente invention concerne le domaine des machines électriques rotatives, et plus particulièrement les machines asynchrones également connues sous l'anglicisme machines à induction.

La présente invention concerne ainsi la réduction des nuisances vibratoires acoustiques et du bruit audible générés par les machines asynchrones.

Un des objets de la présente invention vise donc à concevoir une machine asynchrone ayant un faible niveau de bruit acoustique et de vibrations d'origine magnétique.

L'objet de la présente invention trouve ainsi une application avantageuse pour l'industrie du transport, et notamment pour des applications de traction électrique (par exemple dans les trains, métros, voitures électriques, bateaux, etc.).

Bien évidemment, d'autres applications avantageuses peuvent également être envisagées dans le cadre de la présente invention, notamment pour :

- les moteurs de ventilation (par exemple dans les VMC),
- les générateurs électriques (par exemple dans les éoliennes), ou encore
- d'autres applications industrielles comme par exemple pour les pompes de forte puissance.

Les machines asynchrones sont les machines électriques les plus répandues, notamment du fait de leur faible coût de fabrication et de leur robustesse.

Une machine asynchrone se compose généralement de deux pièces principales : le stator et le rotor, dont la liaison est assurée par un palier.

L'entrefer désigne l'espace situé entre le stator et le rotor ; c'est dans l'entrefer que s'effectue la conversion électromécanique.

Le stator est une pièce fixe qui est conçue en matériau ferromagnétique et qui comprend des encoches dites statoriques remplies par un bobinage ; ce bobinage est relié à un réseau apte à alimenter électriquement le bobinage du stator avec des courants dits statoriques. Ces courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans l'entrefer de la machine.

Le rotor est quant à lui une pièce longiligne qui est conçue en matériau ferromagnétique et qui est apte à tourner sur elle-même selon son axe longitudinal. Le rotor comporte des encoches dites rotoriques remplies par un bobinage parcouru par des courants, dits rotoriques, qui sont induits par les fluctuations du champ magnétique généré par le stator.

Plus particulièrement, le champ magnétique tournant généré par le stator présente une fréquence de rotation qui est imposée par la fréquence des courants statoriques et le nombre de pôles du bobinage statorique.

Selon la loi de Lenz-Faraday, le rotor se met à tourner pour tenter de suivre ce champ statorique. En effet, les variations de flux statoriques induisent une tension au rotor qui engendre des courants rotoriques ; ces derniers génèrent des efforts magnétiques à l'origine d'un couple qui s'oppose à la variation de flux et qui permet la mise en rotation du rotor.

La vitesse de rotation mécanique du rotor diffère légèrement de la vitesse de rotation mécanique du champ statorique, encore appelée vitesse de synchronisme : cette différence de fréquence, appelée glissement, est à l'origine de la dénomination de la machine « asynchrone », encore appelée machine à induction.

Lorsque que le glissement est nul, le rotor ne voit plus de variation de champ statorique, les courants rotoriques sont nuls et le couple également.

Par ces phénomènes physiques, on sait donc faire fonctionner une machine asynchrone.

Cependant, les efforts électromagnétiques à l'origine du couple dans l'entrefer sont également à l'origine de vibrations et de bruit acoustique : ils déforment les structures du rotor et du stator, et ces vibrations peuvent se propager à l'air ambiant et rayonner dans des fréquences audibles.

Ces nuisances vibratoires et sonores sont problématiques.

Dans un environnement industriel par exemple, elles peuvent représenter un réel problème sanitaire lorsque des machines asynchrones fonctionnent en continu.

Dans les transports, elles peuvent poser un problème de confort.

Elles peuvent également représenter un véritable frein dans des applications où les appareils doivent être le plus silencieux possible, par exemple dans des applications militaires.

Enfin, ces vibrations sont à l'origine de fatigue mécanique qui peut être dommageable pour des applications où le fonctionnement des machines doit être garanti sur de longues périodes, par exemple les générateurs hydroélectriques ou éoliens.

Ces efforts électromagnétiques proviennent principalement de l'interaction entre les différents groupes d'harmoniques de flux magnétiques (forces de Maxwell) ; les harmoniques de flux magnétiques sont elles-mêmes issues de l'interaction entre différentes harmoniques dites de perméance magnétique et de force magnétomotrice.

Il est déjà connu de limiter le bruit magnétique des machines asynchrones en inclinant de manière linéaire les encoches statoriques ou rotoriques suivant l'axe de rotation de la machine.

On parle également de vrillage.

Cependant, cette technique est empirique et dans certains cas elle est inefficace, ou bien provoque au contraire une augmentation du bruit acoustique.

De plus, le vrillage réduit nécessairement le couple et donc le rendement de la machine. Il est donc important de trouver le bon compromis entre l'angle de vrillage et le rendement de la machine.

Ainsi, dans le document US 2014 246 943, il est prévu de réduire le bruit magnétique en inclinant les encoches statoriques ou rotoriques par rapport à l'axe de rotation de la machine selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r, encore appelé pas d'encoche statorique ou rotorique, égal à 360° divisé par le nombre d'encoches statoriques Zs ou rotoriques Zr, soit :

$$\alpha_s = \frac{360}{Zs} \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{Zr}$$

Cette inclinaison permet de réduire l'amplitude moyennée suivant l'axe de certaines harmoniques du champ magnétique, issues respectivement des harmoniques de perméance statorique ou de perméance rotorique.

En effet l'induction moyenne est donnée pour un vrillage linéaire par :

$$\int_{z=0}^{L} B_s(t,\alpha)d\alpha = \int_{z=0}^{L} P_s(t,\alpha - \gamma z)F_s cos(2\pi f_s t - p\alpha)d\alpha$$

Avec : P_s la perméance d'entrefer, F_s la force magnétomotrice, p le nombre de paires de pôles, α l'angle dans l'entrefer, t le temps, et γ le pas de vrillage linéaire.

L'harmonique de flux moyennée sur toute la longueur de la machine L et issue du premier harmonique de perméance statorique est donc proportionnel à :

$$\int_{z=0}^{L} \cos(Z_s \gamma z) dz = \sin(Z_s \gamma L) / (Z_s \gamma)$$

Ce terme s'annule pour $\gamma = \frac{1}{L} \frac{2\pi}{Z_s}$ soit une inclinaison d'un pas d'encoche statorique.

Le document EP 0 240 945 propose une autre technique de vrillage dans laquelle les encoches statoriques sont inclinées par rapport aux encoches rotoriques selon un angle d'inclinaison qui est un multiple entier d'un angle de 60° minimisant de ce fait l'ondulation du couple qui est un multiple entier de six fois la fréquence fondamentale de l'énergie électrique.

Le Demandeur observe cependant que la réduction des nuisances acoustiques obtenues avec les calculs du pas de vrillage proposés dans les documents US 2014 246 943 et EP 0 240 945 n'est pas optimale : dans un cas comme dans l'autre, certaines harmoniques responsables du bruit et des vibrations ne sont pas totalement supprimées.

En effet, si le vrillage linéaire d'un pas d'encoche permet d'annuler une harmonique de flux, la force magnétique à l'origine du bruit n'est pas proportionnelle au champ mais au carré du champ d'entrefer.

Le Demandeur soumet ainsi qu'il n'existe pas à ce jour de solutions satisfaisantes pour réduire de façon optimale les nuisances sonores provoquées par les machines asynchrones.

Objet et résumé de la présente invention

La présente invention vise à améliorer la situation décrite ci-dessus.

Un des objectifs de la présente invention est de remédier aux différents inconvénients mentionnés ci-dessus en proposant la conception d'une machine asynchrone dont le pas d'encoche statorique ou rotorique réduit de façon significative les nuisances sonores rencontrées jusqu'à présent.

A cet effet, l'objet de la présente invention concerne selon un premier aspect une machine électrique rotative de type machine asynchrone comprenant un stator dans lequel est

monté librement un rotor sensiblement longiligne apte à tourner sur lui-même selon l'axe longitudinal du rotor.

De préférence, le rotor est du type cage d'écureuil.

Avantageusement, le stator et le rotor comportent chacun un nombre déterminé Zs et Zr d'encoches longilignes respectivement statoriques et rotoriques.

Classiquement, ces encoches statoriques et rotoriques sont en regard les unes des autres.

Selon l'invention, les encoches rotoriques sont remplies par des premiers éléments conducteurs qui sont mis en court-circuit et qui forment un premier bobinage.

Selon l'invention, les encoches statoriques sont remplies par des seconds éléments conducteurs qui forment un second bobinage et qui sont alimentés électriquement par des courants dits statoriques.

Ces courants statoriques créent dans l'entrefer entre le stator et le rotor un champ magnétique tournant ayant p paires de pôles.

Ici, p est un entier positif non nul.

Ce champ magnétique induit alors dans le rotor des courants, dits rotoriques, créant une force électromotrice entraînant le rotor en rotation sur lui-même selon l'axe longitudinal du rotor.

Avantageusement, les encoches statoriques ou rotoriques sont inclinées par rapport à l'axe longitudinal du rotor selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r déterminé en fonction du nombre p de paires de pôles et du nombre Zs d'encoches statoriques ou du nombre Zr d'encoches rotoriques.

La prise en compte du nombre de paires de pôle pour déterminer le pas d'encoche (statorique ou rotorique) est ici particulièrement avantageuse pour réduire les nuisances acoustiques générées par les machines acoustiques.

Dans un mode de réalisation avantageux, les encoches statoriques ou rotoriques sont inclinées par rapport à l'axe longitudinal du rotor selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe deux entiers positifs } k_s \text{ et } k_r \text{ et un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1$$
$$\text{tels que } |k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$
$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

Dans cette formule, ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

Ainsi, grâce à l'inclinaison des encoches du stator ou du rotor par rapport à l'axe longitudinale du rotor calculée ici selon la formule ci-dessus, il est possible d'éliminer de façon optimale les harmoniques des ondes de force se propageant dans l'entrefer entre le stator et le rotor responsables de vibration et de bruit acoustique d'origine magnétique.

Ce calcul de l'angle d'inclinaison, caractéristique de la présente invention, permet d'améliorer de façon significative les performances acoustiques des machines asynchrones.

Le Demandeur soumet en outre que la présente invention permet de réduire les pulsations de couple.

Avantageusement, les variables de tolérance mécanique ε_s et ε_r sont inférieures ou égales au minimum entre 1° et respectivement une borne respectivement égale à :

$\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_s, et

$\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_r.

Ainsi, lorsque $\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ (ou $\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$) est inférieur à 1°, on a :

$$\varepsilon_s = \frac{p360}{Z_s(Z_s+p)} \text{ (ou } \varepsilon_r = \frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}\text{).}$$

Alternativement, lorsque $\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ (ou $\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$) est strictement supérieur à 1°, on a :

$$\varepsilon_s = 1° \text{ (ou } \varepsilon_r = 1°\text{).}$$

De préférence, les variables de tolérance sont sensiblement inférieures ou égales à environ 5% du pas d'encoche.

Avantageusement, la variable de tolérance mécanique est sensiblement inférieure ou égale à environ sensiblement inférieure ou égale à 0,5°.

De préférence, la variable de tolérance mécanique est sensiblement inférieure ou égale à environ 0,2°.

De préférence, la variable de tolérance est sensiblement inférieure ou égale à environ sensiblement inférieure ou égale à 0,1°.

Dans une mode de réalisation particulier, les encoches statoriques ou rotoriques sont inclinées par rapport à l'axe longitudinal du rotor selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1$$
$$\text{tel que } |Z_s - Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$
$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

Dans un mode de réalisation, l'inclinaison des encoches statoriques et/ou rotoriques suivant l'axe longitudinal de la machine est linéaire.

Dans un mode de réalisation alternatif, cette inclinaison des encoches statoriques et/ou rotoriques ne suit pas une forme linéaire. Elle est non-linéaire.

En modifiant la forme du vrillage, il est ainsi possible de limiter davantage les nuisances acoustiques, par exemple avec une courbe « plus douce » du type arcosinus ou arcsinus.

Avantageusement, le stator et le rotor comportent chacun un empilage de tôles feuilletées en matériau ferromagnétique, lesdites tôles étant isolées électriquement les unes des autres.

De préférence, le second bobinage dudit stator est un bobinage triphasé à travers lequel circulent trois courants sinusoïdaux déphasés de 120° dans le temps et dans l'espace.

Optionnellement, la machine selon la présente invention comprend en outre des moyens de protection contre les échauffements anormaux des premier et/ou second bobinages.

Ces moyens de protection sont de préférence configurés pour mesurer la température des premier et/ou second bobinages et pour couper l'alimentation électrique du stator en cas de dépassement d'un seuil de température déterminé.

Dans un mode de réalisation préférentiel, le nombre Zs d'encoches statoriques, le nombre Zr d'encoches rotoriques et le nombre p de paires de pôles sont respectivement égaux à 216, 192, et 12 ; dans ce mode, l'angle d'inclinaison statorique αs ou rotorique αr est sensiblement égal à $1,7647° \pm \varepsilon_s$ ou $1,7647° \pm \varepsilon_r$.

Avantageusement, les encoches statoriques et/ou rotoriques présentent chacune une section de coupe transversale ayant une forme hexagonale pour faciliter l'insertion des éléments conducteurs dans les encoches inclinées.

Corrélativement, l'objet de la présente invention concerne selon un deuxième aspect un procédé de fabrication d'une machine électrique rotative telle que celle décrite ci-dessus.

Avantageusement, le procédé de fabrication selon la présente invention comporte une étape de vrillage au cours de laquelle on incline les encoches statoriques ou rotoriques par rapport à l'axe longitudinal du rotor selon un angle d'inclinaison statorique αs ou rotorique αr déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe deux entiers positifs } k_s \text{ et } k_r \text{ et un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1$$
$$\text{tels que } |k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$
$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

Dans cette formule, ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

Dans une mode de réalisation particulier, l'étape de vrillage comporte une comparaison entre 1° et respectivement une borne respectivement égale à :

$\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_s, et

$\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_r,

Dans ce mode particulier, cette comparaison est suivie d'une détermination des variables de tolérance mécanique ε_s et ε_r de manière à ce que lesdites variables soient strictement inférieures au minium entre 1° et respectivement une borne respectivement égale à :

$\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_s, et

$\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_r.

L'objet de la présente invention concerne selon un troisième aspect une utilisation d'une machine électrique rotative telle que celle décrite ci-dessus comme moteur et/ou alternateur dans un moyen de transport terrestre du type métro ou train pour la traction électrique dudit moyen de transport.

L'objet de la présente invention concerne selon un quatrième aspect une utilisation d'une machine électrique rotative telle que celle décrite ci-dessus comme moteur et/ou alternateur dans un véhicule terrestre du type automobile électrique ou dans un véhicule naval du type bateau ou sous-marin pour la propulsion électrique dudit véhicule.

L'objet de la présente invention concerne selon un cinquième aspect une utilisation d'une machine électrique rotative telle que celle décrite ci-dessus comme alternateur dans une éolienne.

Ainsi, par ses différents aspects fonctionnels et structurels décrits ci-dessus, la présente invention permet de réduire les nuisances vibratoires et sonores rencontrées jusqu'à présent avec les machines asynchrones, notamment en éliminant les harmoniques des ondes de force magnétique se propageant dans l'entrefer entre le stator et le rotor, ces harmoniques étant responsables de bruit acoustique et de vibrations.

Brève description des figures annexées

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description ci-dessous, en référence aux figures 1a-1b à 4 annexées qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif et sur lesquelles :

- la figure 1a représente une vue de dessus en coupe d'une machine asynchrone conforme à un exemple de réalisation de la présente invention ;
- la figure 1b représente un agrandissement d'une vue de dessus d'une machine asynchrone conforme à la figure 1a ;
- la figure 2 illustre de façon schématique une vue en perspective d'un vrillage selon un exemple de réalisation de la présente invention ;
- la figure 3 représente un graphique illustrant l'évolution du bruit acoustique d'une machine asynchrone selon l'invention en fonction de l'évolution du pas d'encoche statorique ;
- la figure 4 représente la forme d'une encoche statorique ou rotorique selon un exemple de réalisation de la présente invention.

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

Une machine asynchrone selon un exemple de réalisation de la présente invention va maintenant être décrite dans ce qui suit en faisant référence conjointement aux figures 1a-1b à 4.

Pour mémoire, réduire le bruit acoustique et les vibrations générés par une machine asynchrone est un des objectifs de la présente invention.

Dans l'exemple décrit ici, on dispose donc d'une machine électrique rotative 100 de type machine asynchrone.

On connaît de telles machines par exemple dans les voitures électriques. L'homme du métier comprendra ici que d'autres applications avantageuses pourront être envisagées dans le cadre de la présente invention.

Dans l'exemple décrit ici, et comme illustré en figure 1a, la machine 100 comporte un stator 10 et un rotor 20.

Dans l'exemple décrit ici, le stator 10 et le stator 20 sont constitués chacun notamment par un empilage de tôles feuilletées en matériau ferromagnétique, lesdites tôles étant isolées électriquement les unes des autres.

Dans l'exemple décrit, et comme illustré en figures 1a et 1b, le rotor 20 comprend Zr encoches dites rotoriques 21, et le stator 10 comprend Zs encoches dites statoriques 11.

L'homme du métier comprend que Zr et Zs sont ici des nombres entiers positifs.

Comme illustré en figure 2, ces encoches 11 et 21 s'étendent sensiblement dans la direction longitudinale de la machine (selon l'axe Ar). Ces encoches 11 et 21 sont en regard les unes des autres.

Les encoches rotoriques 21 sont remplies par des barres conductrices formant le bobinage 22 du rotor 20, dit premier bobinage (figure 2).

Dans l'exemple décrit ici, les barres conductrices rotoriques présentent une section en coupe ayant la forme d'un quadrilatère avec une surépaisseur dans la partie centrale. Cette surépaisseur facilite l'insertion des barres rotoriques.

Dans l'exemple décrit ici, les encoches rotoriques 21 présentent une section de coupe transversale ayant une forme hexagonale en vue de dessus comme illustré en figures 1b et 4.

Les encoches statoriques 11 peuvent présenter cette même forme.

De préférence, ces encoches 21 sont inclinées linéairement suivant l'axe longitudinal de la machine.

Dans l'exemple décrit ici, les barres conductrices sont mises en court-circuit.

Pour le stator 10, les encoches statoriques 11 sont remplies elle aussi par des barres conductrices formant le bobinage 12 du stator, dit second bobinage (figures 2).

Dans l'exemple décrit ici, ce second bobinage 12 est triphasé.

En d'autres termes, le second bobinage 12 est alimenté par un réseau 30 qui permet dans le bobinage 12 la circulation de trois courants sinusoïdaux déphasés de 120° dans le temps et dans l'espace.

Dans l'exemple décrit ici, le rotor 20 et le stator 10 comprennent chacun des moyens de protection respectivement 23 et 13. Ces moyens 23 et 13 sont configurés pour lutter contre les échauffements anormaux des premier 22 et second 12 bobinages en mesurant la température intérieures respectivement des premier 22 et second 12 bobinages, et en coupant l'alimentation électrique du stator 10 en cas de dépassement d'un seuil de température déterminé.

Ces moyens 23 et 13 améliorent la sécurité des machines, notamment en cas de surchauffe.

Dans l'exemple décrit ici, le bobinage 11 triphasé crée dans le stator 10 un champ magnétique tournant ayant p maxima et p minima. On parle de p paires de pôles.

L'onde de flux circulant dans le stator 10 induit alors des courants dans le bobinage 22 fermé du rotor 20. Comme expliqué précédemment, ces courants sont à l'origine du couple fourni par la machine asynchrone 100.

On note ici $\{r;f\}$ la fréquence temporelle f et la fréquence spatiale r d'une onde tournante circulant dans l'entrefer de la machine 100.

Les encoches statoriques 11 et rotoriques 21 génèrent donc quatre types d'ondes de flux qui sont les suivantes:

$B_{s-}:\{k_sZ_s-p;-f_s\}$

$B_{s+}:\{k_sZ_s+p;+f_s\}$

$B_{r+}:\{k_rZ_r+p;k_rZ_rf_R+f_s\}$

$B_{r-}:\{k_rZ_r-p;k_rZ_rf_R-f_s\}$

Ici, f_s est la fréquence fondamentale électrique du stator 10 et f_R est la fréquence de rotation mécanique du rotor 20 ; k_s est un entier positif correspondant au rang de l'harmonique de denture statorique et k_r est un entier positif correspondant au rang de l'harmonique de denture rotorique.

La multiplication de ces ondes de flux circulant dans l'entrefer de la machine, c'est-à-dire entre le stator 10 et le rotor 20 de la machine 100, génère des harmoniques de forces magnétiques radiales et tangentielles.

On sait que les harmoniques de forces tangentielles sont responsables de pulsation de couple, mais également du bruit audible et des vibrations, et que les harmoniques de forces radiales créent des vibrations et du bruit acoustique.

Ce sont donc à la fois les harmoniques tangentielles et radiales qu'on cherche à supprimer pour réduire les nuisances vibratoires et acoustiques.

Chaque combinaison de flux crée une harmonique de force issue d'une combinaison dite constructive ou destructive :

$$F_{1-} = B_{s-}B_{r-} = \{k_s Z_s - k_r Z_r ; -k_r Z_r f_R\}$$

$$F_{1+} = B_{s-}B_{r-} = \{k_s Z_s + k_r Z_r ; +k_r Z_r f_R\}$$

$$F_{2-} = B_{s-}B_{r+} = \{k_s Z_s - k_r Z_r - 2p ; -k_r Z_r f_R - 2f_s\}$$

$$F_{2+} = B_{s-}B_{r+} = \{k_s Z_s + k_r Z_r - 2p ; +k_r Z_r f_R - 2f_s\}$$

$$F_{3-} = B_{s+}B_{r-} = \{k_s Z_s - k_r Z_r + 2p ; -k_r Z_r f_R + 2f_s\}$$

$$F_{3+} = B_{s+}B_{r-} = \{k_s Z_s + k_r Z_r + 2p ; +k_r Z_r f_R + 2f_s\}$$

$$F_{4-} = B_{s+}B_{r+} = \{k_s Z_s - k_r Z_r ; -k_r Z_r f_R\}$$

$$F_{4+} = B_{s+}B_{r+} = \{k_s Z_s + k_r Z_r ; +k_r Z_r f_R\}$$

Les harmoniques de force F_{1+}, F_{2+}, F_{3+} et F_{4+} ne peuvent pas être responsables de bruit ou de vibrations car leur fréquence spatiale est trop élevée.

Ce sont donc les harmoniques de force F_{1-}, F_{2-}, F_{3-} et F_{4-} qu'on cherche à éliminer.

Plus particulièrement, dans l'exemple décrit ici, on vrille les encoches 11 du stator 10 afin de moduler les efforts magnétiques suivant l'axe Ar du rotor 20 pour annuler une des harmoniques de flux impliquées dans F_{1-}, F_{2-}, F_{3-} et F_{4-} .

Cette étape de vrillage se fait en déterminant le pas de vrillage statorique α_s ou rotorique α_r selon la formule suivante :

s'il existe deux entiers positifs k_s et k_r et un entier relatif β égal à $+1$ ou -1
tels que $|k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2$ ou 4

$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

dans laquelle ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

Dans les exemples suivants, on considère les combinaisons d'encoches statoriques et rotoriques de machines électriques où les entiers k_s et k_r valent 1, c'est-à-dire les machines où les harmoniques de denture sont les plus importantes, et où la présente invention est la plus pertinente.

Plus particulièrement, si $|Zs - Zr| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatial faible de la force $F_{1_}$ ou $F_{4_}$), une vibration et un bruit important peuvent apparaître à cause des harmoniques des flux $B_{s_}$ et B_{s+} ; ces harmoniques sont ici éliminés par un vrillage du stator 10 selon un angle d'inclinaison statorique α_s compris respectivement entre $\frac{360}{(Zs+p)}$ et $\frac{360}{(Zs-p)}$ pour l'angle α_s.

Si $|Zs - Zr - 2p| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatiale faible de la force $F_{2_}$), on note une vibration et un bruit important.

Le vrillage du stator 10 par un angle d'inclinaison $\alpha_s = \frac{360}{(Z_s-p)} \pm \varepsilon_s$ (et non d'un angle $\frac{360}{Zs}$ comme dans l'état de la technique) permet d'éliminer ces nuisances sonores.

Si $|Zs - Zr + 2p| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatiale faible de la force $F_{3_}$), on note une vibration et un bruit important.

Le vrillage du stator 10 par un angle d'inclinaison $\alpha_s = \frac{360}{(Z_s+p)} \pm \varepsilon_s$ (et non d'un angle $\frac{360}{Zs}$ comme dans l'état de la technique) permet d'éliminer ces nuisances sonores.

De la même façon, il est possible de vriller les encoches rotoriques 21 pour annuler les harmoniques de flux.

Plus particulièrement, si $|Zs - Zr| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatiale faible de la force $F_{1_}$ ou $F_{4_}$), une vibration et un bruit important peuvent apparaître à cause des harmoniques des flux $B_{r_}$ et B_{r+} ; ces harmoniques sont ici éliminés par un vrillage du rotor 20 selon un angle de d'inclinaison rotorique α_r compris respectivement entre $\frac{360}{(Zr+p)}$ et $\frac{360}{(Zr-p)}$ pour l'angle α_r.

Si $|Zs - Zr - 2p| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatiale faible de la force $F_{2_}$), on note une vibration et un bruit important.

Le vrillage du rotor 20 par un angle d'inclinaison $\alpha_r = \frac{360}{(Z_r+p)} \pm \varepsilon_r$ (et non d'un angle $\frac{360}{Zr}$ comme dans l'état de la technique) permet d'éliminer ces nuisances sonores.

Si $|Zs - Zr + 2p| = 0, 2$ ou 4 (ordre spatiale faible de la force F_3_), on note une vibration et un bruit important.

Le vrillage du rotor 20 par un angle d'inclinaison $\alpha_r = \frac{360}{(Z_r - p)} \pm \varepsilon_r$ (et non d'un angle $\frac{360}{Zr}$ comme dans l'état de la technique) permet d'éliminer ces nuisances sonores.

Le calcul de ces différents pas de vrillage statorique ou rotorique permet de réduire significativement les nuisances sonores d'une machine asynchrone.

Un exemple de gain acoustique pour un cas spécifique de machine 100 est visible sur le graphique illustré en figure 3.

Dans cet exemple, les tests réalisés avec un logiciel de simulation montrent que, sur une machine asynchrone présentant 12 paires de pôles, 192 encoches rotoriques et 216 encoches statoriques, un pas de vrillage statorique sensiblement égal à 1.06 (216/(216-12)=216/204) pas d'encoche statorique permet une réduction de plus de 10 dB par rapport à une machine ayant un vrillage d'un pas d'encoche statorique comme calculé dans l'état de la technique avec la formule : $\frac{360}{Zs}$.

Le calcul de ce pas avec la formule proposée dans le cadre de la présente invention permet un gain très significatif sur les performances acoustiques de la machine par rapport au calcul de pas classique proposé dans l'état de la technique.

L'introduction d'un tel pas de vrillage statorique ou rotorique permet de réduire le bruit et les vibrations d'origine magnétique sur les machines ayant une certaine combinaison de nombre d'encoches. On comprend ainsi que la présente invention permet la conception de machine asynchrone avec des performances vibratoires et acoustiques très appréciées.

Sur le plan du processus de fabrication, on prévoit donc dans le cadre de la présente invention une fabrication de la machine asynchrone au cours de laquelle un processeur est configuré pour calculer l'angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r selon la formule suivante :

s'il existe deux entiers positifs k_s et k_r et un entier relatif β égal à + 1 ou − 1

tels que $|k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2$ ou 4

alors $\alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s$ ou $\alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$

dans laquelle ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

Lors de ce calcul, le processeur détermine les variables de tolérance mécanique ε_s et ε_r en comparant 1° avec les valeurs suivantes :

$\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_s, et

$\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_r.

Plus particulièrement, le processeur est configuré comme suit :

lorsque $\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ est strictement supérieur à 1°, alors la variable de tolérance mécanique ε_s est considérée comme étant égale à 1° ; et lorsque celle-ci est inférieur à 1°, alors la variable de tolérance mécanique ε_s est considérée comme étant égale à $\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$.

De la même façon, lorsque $\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ est strictement supérieur à 1°, alors la variable de tolérance mécanique ε_r est considérée comme étant égale à 1° ; et lorsque celle-ci est inférieur à 1°, alors la variable de tolérance mécanique ε_r est considérée comme étant égale à $\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$.

Lors de la fabrication, le processeur transmet donc l'angle d'inclinaison calculée pour réaliser un vrillage statorique (ou rotorique) en fonction de cet angle.

Le calcul d'un tel pas permet également d'augmenter l'efficacité électromagnétique de la machine.

Ainsi, grâce à la présente invention, il est possible de définir des classes de machines asynchrones à la fois moins bruyantes et plus efficaces que les machines actuelles.

Il devra être observé que cette description détaillée porte sur un exemple de réalisation particulier de la présente invention, mais qu'en aucun cas cette description ne revêt un quelconque caractère limitatif à l'objet de l'invention ; bien au contraire, elle a pour objectif d'ôter toute éventuelle imprécision ou toute mauvaise interprétation des revendications qui suivent.

Il devra également être observé que les signes de références mis entre parenthèses dans les revendications qui suivent ne présentent en aucun cas un caractère limitatif ; ces signes ont pour seul but d'améliorer l'intelligibilité et la compréhension des revendications qui suivent ainsi que la portée de la protection recherchée.

ANNEXES :

P	Zs	Zr	Pas de vrillage statorique optimal en degrés	Pas de vrillage rotorique optimal en degrés
1	6	2	72	120
1	6	4	72	72
1	6	4	51.42857143	120
1	6	8	72	40
1	6	8	51.42857143	51.42857143
1	6	10	51.42857143	40
1	12	6	32.72727273	51.42857143
1	12	8	32.72727273	40
1	12	10	32.72727273	32.72727273
1	12	10	27.69230769	40
1	12	14	32.72727273	24
1	12	14	27.69230769	27.69230769
1	12	16	27.69230769	24
1	12	18	27.69230769	21.17647059
1	18	12	21.17647059	27.69230769
1	18	14	21.17647059	24
1	18	16	21.17647059	21.17647059
1	18	16	18.94736842	24
1	18	20	21.17647059	17.14285714
1	18	20	18.94736842	18.94736842
1	18	22	18.94736842	17.14285714
1	18	24	18.94736842	15.65217391
1	24	18	15.65217391	18.94736842
1	24	20	15.65217391	17.14285714
1	24	22	15.65217391	15.65217391
1	24	22	14.4	17.14285714
1	24	26	15.65217391	13.33333333
1	24	26	14.4	14.4
1	24	28	14.4	13.33333333
1	24	30	14.4	12.4137931
1	30	24	12.4137931	14.4
1	30	26	12.4137931	13.33333333
1	30	28	12.4137931	12.4137931
1	30	28	11.61290323	13.33333333
1	30	32	12.4137931	10.90909091
1	30	32	11.61290323	11.61290323
1	30	34	11.61290323	10.90909091
1	30	36	11.61290323	10.28571429

2	12	4	36	60
2	12	6	36	45
2	12	8	36	36
2	12	10	36	30
2	12	14	25.71428571	30
2	12	16	25.71428571	25.71428571
2	12	18	25.71428571	22.5
2	12	20	25.71428571	20
2	24	16	16.36363636	20
2	24	18	16.36363636	18
2	24	20	16.36363636	16.36363636
2	24	22	16.36363636	15
2	24	26	13.84615385	15
2	24	28	13.84615385	13.84615385
2	24	30	13.84615385	12.85714286
2	24	32	13.84615385	12
2	36	28	10.58823529	12
2	36	30	10.58823529	11.25
2	36	32	10.58823529	10.58823529
2	36	34	10.58823529	10
2	36	38	9.473684211	10
2	36	40	9.473684211	9.473684211
2	36	42	9.473684211	9
2	36	44	9.473684211	8.571428571
2	48	40	7.826086957	8.571428571
2	48	42	7.826086957	8.181818182
2	48	44	7.826086957	7.826086957
2	48	46	7.826086957	7.5
2	48	50	7.2	7.5
2	48	52	7.2	7.2
2	48	54	7.2	6.923076923
2	48	56	7.2	6.666666667
2	60	52	6.206896552	6.666666667
2	60	54	6.206896552	6.428571429
2	60	56	6.206896552	6.206896552
2	60	58	6.206896552	6
2	60	62	5.806451613	6
2	60	64	5.806451613	5.806451613
2	60	66	5.806451613	5.625
2	60	68	5.806451613	5.454545455
3	18	8	24	32.72727273

3	18	10	24	27.69230769
3	18	12	24	24
3	18	14	24	21.17647059
3	18	16	24	18.94736842
3	18	20	17.14285714	21.17647059
3	18	22	17.14285714	18.94736842
3	18	24	17.14285714	17.14285714
3	18	26	17.14285714	15.65217391
3	18	28	17.14285714	14.4
3	36	26	10.90909091	12.4137931
3	36	28	10.90909091	11.61290323
3	36	30	10.90909091	10.90909091
3	36	32	10.90909091	10.28571429
3	36	34	10.90909091	9.72972973
3	36	38	9.230769231	10.28571429
3	36	40	9.230769231	9.72972973
3	36	42	9.230769231	9.230769231
3	36	44	9.230769231	8.780487805
3	36	46	9.230769231	8.372093023
3	54	44	7.058823529	7.659574468
3	54	46	7.058823529	7.346938776
3	54	48	7.058823529	7.058823529
3	54	50	7.058823529	6.79245283
3	54	52	7.058823529	6.545454545
3	54	56	6.315789474	6.79245283
3	54	58	6.315789474	6.545454545
3	54	60	6.315789474	6.315789474
3	54	62	6.315789474	6.101694915
3	54	64	6.315789474	5.901639344
3	72	62	5.217391304	5.538461538
3	72	64	5.217391304	5.373134328
3	72	66	5.217391304	5.217391304
3	72	68	5.217391304	5.070422535
3	72	70	5.217391304	4.931506849
3	72	74	4.8	5.070422535
3	72	76	4.8	4.931506849
3	72	78	4.8	4.8
3	72	80	4.8	4.675324675
3	72	82	4.8	4.556962025
3	90	80	4.137931034	4.337349398
3	90	82	4.137931034	4.235294118

3	90	84	4.137931034	4.137931034
3	90	86	4.137931034	4.04494382
3	90	88	4.137931034	3.956043956
3	90	92	3.870967742	4.04494382
3	90	94	3.870967742	3.956043956
3	90	96	3.870967742	3.870967742
3	90	98	3.870967742	3.789473684
3	90	100	3.870967742	3.711340206
4	24	12	18	22.5
4	24	14	18	20
4	24	16	18	18
4	24	18	18	16.36363636
4	24	20	18	15
4	24	28	12.85714286	15
4	24	30	12.85714286	13.84615385
4	24	32	12.85714286	12.85714286
4	24	34	12.85714286	12
4	24	36	12.85714286	11.25
4	48	36	8.181818182	9
4	48	38	8.181818182	8.571428571
4	48	40	8.181818182	8.181818182
4	48	42	8.181818182	7.826086957
4	48	44	8.181818182	7.5
4	48	52	6.923076923	7.5
4	48	54	6.923076923	7.2
4	48	56	6.923076923	6.923076923
4	48	58	6.923076923	6.666666667
4	48	60	6.923076923	6.428571429
4	72	60	5.294117647	5.625
4	72	62	5.294117647	5.454545455
4	72	64	5.294117647	5.294117647
4	72	66	5.294117647	5.142857143
4	72	68	5.294117647	5
4	72	76	4.736842105	5
4	72	78	4.736842105	4.864864865
4	72	80	4.736842105	4.736842105
4	72	82	4.736842105	4.615384615
4	72	84	4.736842105	4.5
4	96	84	3.913043478	4.090909091
4	96	86	3.913043478	4
4	96	88	3.913043478	3.913043478

4	96	90	3.913043478	3.829787234
4	96	92	3.913043478	3.75
4	96	100	3.6	3.75
4	96	102	3.6	3.673469388
4	96	104	3.6	3.6
4	96	106	3.6	3.529411765
4	96	108	3.6	3.461538462
4	120	108	3.103448276	3.214285714
4	120	110	3.103448276	3.157894737
4	120	112	3.103448276	3.103448276
4	120	114	3.103448276	3.050847458
4	120	116	3.103448276	3
4	120	124	2.903225806	3
4	120	126	2.903225806	2.950819672
4	120	128	2.903225806	2.903225806
4	120	130	2.903225806	2.857142857
4	120	132	2.903225806	2.8125
5	30	16	14.4	17.14285714
5	30	18	14.4	15.65217391
5	30	20	14.4	14.4
5	30	22	14.4	13.33333333
5	30	24	14.4	12.4137931
5	30	36	10.28571429	11.61290323
5	30	38	10.28571429	10.90909091
5	30	40	10.28571429	10.28571429
5	30	42	10.28571429	9.72972973
5	30	44	10.28571429	9.230769231
5	60	46	6.545454545	7.058823529
5	60	48	6.545454545	6.79245283
5	60	50	6.545454545	6.545454545
5	60	52	6.545454545	6.315789474
5	60	54	6.545454545	6.101694915
5	60	66	5.538461538	5.901639344
5	60	68	5.538461538	5.714285714
5	60	70	5.538461538	5.538461538
5	60	72	5.538461538	5.373134328
5	60	74	5.538461538	5.217391304
5	90	76	4.235294118	4.444444444
5	90	78	4.235294118	4.337349398
5	90	80	4.235294118	4.235294118
5	90	82	4.235294118	4.137931034

5	90	84	4.235294118	4.04494382
5	90	96	3.789473684	3.956043956
5	90	98	3.789473684	3.870967742
5	90	100	3.789473684	3.789473684
5	90	102	3.789473684	3.711340206
5	90	104	3.789473684	3.636363636
5	120	106	3.130434783	3.243243243
5	120	108	3.130434783	3.185840708
5	120	110	3.130434783	3.130434783
5	120	112	3.130434783	3.076923077
5	120	114	3.130434783	3.025210084
5	120	126	2.88	2.975206612
5	120	128	2.88	2.926829268
5	120	130	2.88	2.88
5	120	132	2.88	2.834645669
5	120	134	2.88	2.790697674
5	150	136	2.482758621	2.553191489
5	150	138	2.482758621	2.517482517
5	150	140	2.482758621	2.482758621
5	150	142	2.482758621	2.448979592
5	150	144	2.482758621	2.416107383
5	150	156	2.322580645	2.38410596
5	150	158	2.322580645	2.352941176
5	150	160	2.322580645	2.322580645
5	150	162	2.322580645	2.292993631
5	150	164	2.322580645	2.264150943
6	36	20	12	13.84615385
6	36	22	12	12.85714286
6	36	24	12	12
6	36	26	12	11.25
6	36	28	12	10.58823529
6	36	44	8.571428571	9.473684211
6	36	46	8.571428571	9
6	36	48	8.571428571	8.571428571
6	36	50	8.571428571	8.181818182
6	36	52	8.571428571	7.826086957
6	72	56	5.454545455	5.806451613
6	72	58	5.454545455	5.625
6	72	60	5.454545455	5.454545455
6	72	62	5.454545455	5.294117647
6	72	64	5.454545455	5.142857143

6	72	80	4.615384615	4.864864865
6	72	82	4.615384615	4.736842105
6	72	84	4.615384615	4.615384615
6	72	86	4.615384615	4.5
6	72	88	4.615384615	4.390243902
6	108	92	3.529411765	3.673469388
6	108	94	3.529411765	3.6
6	108	96	3.529411765	3.529411765
6	108	98	3.529411765	3.461538462
6	108	100	3.529411765	3.396226415
6	108	116	3.157894737	3.272727273
6	108	118	3.157894737	3.214285714
6	108	120	3.157894737	3.157894737
6	108	122	3.157894737	3.103448276
6	108	124	3.157894737	3.050847458
6	144	128	2.608695652	2.686567164
6	144	130	2.608695652	2.647058824
6	144	132	2.608695652	2.608695652
6	144	134	2.608695652	2.571428571
6	144	136	2.608695652	2.535211268
6	144	152	2.4	2.465753425
6	144	154	2.4	2.432432432
6	144	156	2.4	2.4
6	144	158	2.4	2.368421053
6	144	160	2.4	2.337662338
6	180	164	2.068965517	2.117647059
6	180	166	2.068965517	2.093023256
6	180	168	2.068965517	2.068965517
6	180	170	2.068965517	2.045454545
6	180	172	2.068965517	2.02247191
6	180	188	1.935483871	1.978021978
6	180	190	1.935483871	1.956521739
6	180	192	1.935483871	1.935483871
6	180	194	1.935483871	1.914893617
6	180	196	1.935483871	1.894736842
7	42	24	10.28571429	11.61290323
7	42	26	10.28571429	10.90909091
7	42	28	10.28571429	10.28571429
7	42	30	10.28571429	9.72972973
7	42	32	10.28571429	9.230769231
7	42	52	7.346938776	8

7	42	54	7.346938776	7.659574468
7	42	56	7.346938776	7.346938776
7	42	58	7.346938776	7.058823529
7	42	60	7.346938776	6.79245283
7	84	66	4.675324675	4.931506849
7	84	68	4.675324675	4.8
7	84	70	4.675324675	4.675324675
7	84	72	4.675324675	4.556962025
7	84	74	4.675324675	4.444444444
7	84	94	3.956043956	4.137931034
7	84	96	3.956043956	4.04494382
7	84	98	3.956043956	3.956043956
7	84	100	3.956043956	3.870967742
7	84	102	3.956043956	3.789473684
7	126	108	3.025210084	3.130434783
7	126	110	3.025210084	3.076923077
7	126	112	3.025210084	3.025210084
7	126	114	3.025210084	2.975206612
7	126	116	3.025210084	2.926829268
7	126	136	2.706766917	2.790697674
7	126	138	2.706766917	2.748091603
7	126	140	2.706766917	2.706766917
7	126	142	2.706766917	2.666666667
7	126	144	2.706766917	2.627737226
7	168	150	2.236024845	2.292993631
7	168	152	2.236024845	2.264150943
7	168	154	2.236024845	2.236024845
7	168	156	2.236024845	2.208588957
7	168	158	2.236024845	2.181818182
7	168	178	2.057142857	2.105263158
7	168	180	2.057142857	2.080924855
7	168	182	2.057142857	2.057142857
7	168	184	2.057142857	2.033898305
7	168	186	2.057142857	2.011173184
7	210	192	1.773399015	1.809045226
7	210	194	1.773399015	1.791044776
7	210	196	1.773399015	1.773399015
7	210	198	1.773399015	1.756097561
7	210	200	1.773399015	1.739130435
7	210	220	1.658986175	1.690140845
7	210	222	1.658986175	1.674418605

7	210	224	1.658986175	1.658986175
7	210	226	1.658986175	1.643835616
7	210	228	1.658986175	1.628959276
8	48	28	9	10
8	48	30	9	9.473684211
8	48	32	9	9
8	48	34	9	8.571428571
8	48	36	9	8.181818182
8	48	60	6.428571429	6.923076923
8	48	62	6.428571429	6.666666667
8	48	64	6.428571429	6.428571429
8	48	66	6.428571429	6.206896552
8	48	68	6.428571429	6
8	96	76	4.090909091	4.285714286
8	96	78	4.090909091	4.186046512
8	96	80	4.090909091	4.090909091
8	96	82	4.090909091	4
8	96	84	4.090909091	3.913043478
8	96	108	3.461538462	3.6
8	96	110	3.461538462	3.529411765
8	96	112	3.461538462	3.461538462
8	96	114	3.461538462	3.396226415
8	96	116	3.461538462	3.333333333
8	144	124	2.647058824	2.727272727
8	144	126	2.647058824	2.686567164
8	144	128	2.647058824	2.647058824
8	144	130	2.647058824	2.608695652
8	144	132	2.647058824	2.571428571
8	144	156	2.368421053	2.432432432
8	144	158	2.368421053	2.4
8	144	160	2.368421053	2.368421053
8	144	162	2.368421053	2.337662338
8	144	164	2.368421053	2.307692308
8	192	172	1.956521739	2
8	192	174	1.956521739	1.978021978
8	192	176	1.956521739	1.956521739
8	192	178	1.956521739	1.935483871
8	192	180	1.956521739	1.914893617
8	192	204	1.8	1.836734694
8	192	206	1.8	1.818181818
8	192	208	1.8	1.8

8	192	210	1.8	1.782178218
8	192	212	1.8	1.764705882
8	240	220	1.551724138	1.578947368
8	240	222	1.551724138	1.565217391
8	240	224	1.551724138	1.551724138
8	240	226	1.551724138	1.538461538
8	240	228	1.551724138	1.525423729
8	240	252	1.451612903	1.475409836
8	240	254	1.451612903	1.463414634
8	240	256	1.451612903	1.451612903
8	240	258	1.451612903	1.44
8	240	260	1.451612903	1.428571429
9	54	32	8	8.780487805
9	54	34	8	8.372093023
9	54	36	8	8
9	54	38	8	7.659574468
9	54	40	8	7.346938776
9	54	68	5.714285714	6.101694915
9	54	70	5.714285714	5.901639344
9	54	72	5.714285714	5.714285714
9	54	74	5.714285714	5.538461538
9	54	76	5.714285714	5.373134328
9	108	86	3.636363636	3.789473684
9	108	88	3.636363636	3.711340206
9	108	90	3.636363636	3.636363636
9	108	92	3.636363636	3.564356436
9	108	94	3.636363636	3.495145631
9	108	122	3.076923077	3.185840708
9	108	124	3.076923077	3.130434783
9	108	126	3.076923077	3.076923077
9	108	128	3.076923077	3.025210084
9	108	130	3.076923077	2.975206612
9	162	140	2.352941176	2.416107383
9	162	142	2.352941176	2.38410596
9	162	144	2.352941176	2.352941176
9	162	146	2.352941176	2.322580645
9	162	148	2.352941176	2.292993631
9	162	176	2.105263158	2.155688623
9	162	178	2.105263158	2.130177515
9	162	180	2.105263158	2.105263158
9	162	182	2.105263158	2.080924855

9	162	184	2.105263158	2.057142857
9	216	194	1.739130435	1.773399015
9	216	196	1.739130435	1.756097561
9	216	198	1.739130435	1.739130435
9	216	200	1.739130435	1.722488038
9	216	202	1.739130435	1.706161137
9	216	230	1.6	1.628959276
9	216	232	1.6	1.614349776
9	216	234	1.6	1.6
9	216	236	1.6	1.585903084
9	216	238	1.6	1.572052402
9	270	248	1.379310345	1.40077821
9	270	250	1.379310345	1.38996139
9	270	252	1.379310345	1.379310345
9	270	254	1.379310345	1.368821293
9	270	256	1.379310345	1.358490566
9	270	284	1.290322581	1.309090909
9	270	286	1.290322581	1.299638989
9	270	288	1.290322581	1.290322581
9	270	290	1.290322581	1.28113879
9	270	292	1.290322581	1.272084806
10	60	36	7.2	7.826086957
10	60	38	7.2	7.5
10	60	40	7.2	7.2
10	60	42	7.2	6.923076923
10	60	44	7.2	6.666666667
10	60	76	5.142857143	5.454545455
10	60	78	5.142857143	5.294117647
10	60	80	5.142857143	5.142857143
10	60	82	5.142857143	5
10	60	84	5.142857143	4.864864865
10	120	96	3.272727273	3.396226415
10	120	98	3.272727273	3.333333333
10	120	100	3.272727273	3.272727273
10	120	102	3.272727273	3.214285714
10	120	104	3.272727273	3.157894737
10	120	136	2.769230769	2.857142857
10	120	138	2.769230769	2.8125
10	120	140	2.769230769	2.769230769
10	120	142	2.769230769	2.727272727
10	120	144	2.769230769	2.686567164

10	180	156	2.117647059	2.168674699
10	180	158	2.117647059	2.142857143
10	180	160	2.117647059	2.117647059
10	180	162	2.117647059	2.093023256
10	180	164	2.117647059	2.068965517
10	180	196	1.894736842	1.935483871
10	180	198	1.894736842	1.914893617
10	180	200	1.894736842	1.894736842
10	180	202	1.894736842	1.875
10	180	204	1.894736842	1.855670103
10	240	216	1.565217391	1.592920354
10	240	218	1.565217391	1.578947368
10	240	220	1.565217391	1.565217391
10	240	222	1.565217391	1.551724138
10	240	224	1.565217391	1.538461538
10	240	256	1.44	1.463414634
10	240	258	1.44	1.451612903
10	240	260	1.44	1.44
10	240	262	1.44	1.428571429
10	240	264	1.44	1.417322835
10	300	276	1.24137931	1.258741259
10	300	278	1.24137931	1.25
10	300	280	1.24137931	1.24137931
10	300	282	1.24137931	1.232876712
10	300	284	1.24137931	1.224489796
10	300	316	1.161290323	1.176470588
10	300	318	1.161290323	1.168831169
10	300	320	1.161290323	1.161290323
10	300	322	1.161290323	1.153846154
10	300	324	1.161290323	1.146496815
11	66	40	6.545454545	7.058823529
11	66	42	6.545454545	6.79245283
11	66	44	6.545454545	6.545454545
11	66	46	6.545454545	6.315789474
11	66	48	6.545454545	6.101694915
11	66	84	4.675324675	4.931506849
11	66	86	4.675324675	4.8
11	66	88	4.675324675	4.675324675
11	66	90	4.675324675	4.556962025
11	66	92	4.675324675	4.444444444
11	132	106	2.975206612	3.076923077

11	132	108	2.975206612	3.025210084
11	132	110	2.975206612	2.975206612
11	132	112	2.975206612	2.926829268
11	132	114	2.975206612	2.88
11	132	150	2.517482517	2.589928058
11	132	152	2.517482517	2.553191489
11	132	154	2.517482517	2.517482517
11	132	156	2.517482517	2.482758621
11	132	158	2.517482517	2.448979592
11	198	172	1.92513369	1.967213115
11	198	174	1.92513369	1.945945946
11	198	176	1.92513369	1.92513369
11	198	178	1.92513369	1.904761905
11	198	180	1.92513369	1.884816754
11	198	216	1.722488038	1.756097561
11	198	218	1.722488038	1.739130435
11	198	220	1.722488038	1.722488038
11	198	222	1.722488038	1.706161137
11	198	224	1.722488038	1.690140845
11	264	238	1.422924901	1.445783133
11	264	240	1.422924901	1.434262948
11	264	242	1.422924901	1.422924901
11	264	244	1.422924901	1.411764706
11	264	246	1.422924901	1.40077821
11	264	282	1.309090909	1.328413284
11	264	284	1.309090909	1.318681319
11	264	286	1.309090909	1.309090909
11	264	288	1.309090909	1.299638989
11	264	290	1.309090909	1.290322581
11	330	304	1.128526646	1.142857143
11	330	306	1.128526646	1.135646688
11	330	308	1.128526646	1.128526646
11	330	310	1.128526646	1.121495327
11	330	312	1.128526646	1.114551084
11	330	348	1.055718475	1.068249258
11	330	350	1.055718475	1.061946903
11	330	352	1.055718475	1.055718475
11	330	354	1.055718475	1.049562682
11	330	356	1.055718475	1.043478261
12	72	44	6	6.428571429
12	72	46	6	6.206896552

12	72	48	6	6
12	72	50	6	5.806451613
12	72	52	6	5.625
12	72	92	4.285714286	4.5
12	72	94	4.285714286	4.390243902
12	72	96	4.285714286	4.285714286
12	72	98	4.285714286	4.186046512
12	72	100	4.285714286	4.090909091
12	144	116	2.727272727	2.8125
12	144	118	2.727272727	2.769230769
12	144	120	2.727272727	2.727272727
12	144	122	2.727272727	2.686567164
12	144	124	2.727272727	2.647058824
12	144	164	2.307692308	2.368421053
12	144	166	2.307692308	2.337662338
12	144	168	2.307692308	2.307692308
12	144	170	2.307692308	2.278481013
12	144	172	2.307692308	2.25
12	216	188	1.764705882	1.8
12	216	190	1.764705882	1.782178218
12	216	192	1.764705882	1.764705882
12	216	194	1.764705882	1.747572816
12	216	196	1.764705882	1.730769231
12	216	236	1.578947368	1.607142857
12	216	238	1.578947368	1.592920354
12	216	240	1.578947368	1.578947368
12	216	242	1.578947368	1.565217391
12	216	244	1.578947368	1.551724138
12	288	260	1.304347826	1.323529412
12	288	262	1.304347826	1.313868613
12	288	264	1.304347826	1.304347826
12	288	266	1.304347826	1.294964029
12	288	268	1.304347826	1.285714286
12	288	308	1.2	1.216216216
12	288	310	1.2	1.208053691
12	288	312	1.2	1.2
12	288	314	1.2	1.19205298
12	288	316	1.2	1.184210526
12	360	332	1.034482759	1.046511628
12	360	334	1.034482759	1.040462428
12	360	336	1.034482759	1.034482759

12	360	338	1.034482759	1.028571429
12	360	340	1.034482759	1.022727273
12	360	380	0.967741935	0.97826087
12	360	382	0.967741935	0.972972973
12	360	384	0.967741935	0.967741935
12	360	386	0.967741935	0.962566845
12	360	388	0.967741935	0.957446809
13	78	48	5.538461538	5.901639344
13	78	50	5.538461538	5.714285714
13	78	52	5.538461538	5.538461538
13	78	54	5.538461538	5.373134328
13	78	56	5.538461538	5.217391304
13	78	100	3.956043956	4.137931034
13	78	102	3.956043956	4.04494382
13	78	104	3.956043956	3.956043956
13	78	106	3.956043956	3.870967742
13	78	108	3.956043956	3.789473684
13	156	126	2.517482517	2.589928058
13	156	128	2.517482517	2.553191489
13	156	130	2.517482517	2.517482517
13	156	132	2.517482517	2.482758621
13	156	134	2.517482517	2.448979592
13	156	178	2.130177515	2.181818182
13	156	180	2.130177515	2.155688623
13	156	182	2.130177515	2.130177515
13	156	184	2.130177515	2.105263158
13	156	186	2.130177515	2.080924855
13	234	204	1.628959276	1.658986175
13	234	206	1.628959276	1.643835616
13	234	208	1.628959276	1.628959276
13	234	210	1.628959276	1.614349776
13	234	212	1.628959276	1.6
13	234	256	1.457489879	1.481481481
13	234	258	1.457489879	1.469387755
13	234	260	1.457489879	1.457489879
13	234	262	1.457489879	1.445783133
13	234	264	1.457489879	1.434262948
13	312	282	1.204013378	1.220338983
13	312	284	1.204013378	1.212121212
13	312	286	1.204013378	1.204013378
13	312	288	1.204013378	1.196013289

13	312	290	1.204013378	1.188118812
13	312	334	1.107692308	1.121495327
13	312	336	1.107692308	1.114551084
13	312	338	1.107692308	1.107692308
13	312	340	1.107692308	1.100917431
13	312	342	1.107692308	1.094224924
13	390	360	0.954907162	0.965147453
13	390	362	0.954907162	0.96
13	390	364	0.954907162	0.954907162
13	390	366	0.954907162	0.949868074
13	390	368	0.954907162	0.94488189
13	390	412	0.893300248	0.902255639
13	390	414	0.893300248	0.897755611
13	390	416	0.893300248	0.893300248
13	390	418	0.893300248	0.888888889
13	390	420	0.893300248	0.884520885
14	84	52	5.142857143	5.454545455
14	84	54	5.142857143	5.294117647
14	84	56	5.142857143	5.142857143
14	84	58	5.142857143	5
14	84	60	5.142857143	4.864864865
14	84	108	3.673469388	3.829787234
14	84	110	3.673469388	3.75
14	84	112	3.673469388	3.673469388
14	84	114	3.673469388	3.6
14	84	116	3.673469388	3.529411765
14	168	136	2.337662338	2.4
14	168	138	2.337662338	2.368421053
14	168	140	2.337662338	2.337662338
14	168	142	2.337662338	2.307692308
14	168	144	2.337662338	2.278481013
14	168	192	1.978021978	2.02247191
14	168	194	1.978021978	2
14	168	196	1.978021978	1.978021978
14	168	198	1.978021978	1.956521739
14	168	200	1.978021978	1.935483871
14	252	220	1.512605042	1.538461538
14	252	222	1.512605042	1.525423729
14	252	224	1.512605042	1.512605042
14	252	226	1.512605042	1.5
14	252	228	1.512605042	1.487603306

14	252	276	1.353383459	1.374045802
14	252	278	1.353383459	1.363636364
14	252	280	1.353383459	1.353383459
14	252	282	1.353383459	1.343283582
14	252	284	1.353383459	1.333333333
14	336	304	1.118012422	1.132075472
14	336	306	1.118012422	1.125
14	336	308	1.118012422	1.118012422
14	336	310	1.118012422	1.111111111
14	336	312	1.118012422	1.104294479
14	336	360	1.028571429	1.040462428
14	336	362	1.028571429	1.034482759
14	336	364	1.028571429	1.028571429
14	336	366	1.028571429	1.022727273
14	336	368	1.028571429	1.016949153
14	420	388	0.886699507	0.895522388
14	420	390	0.886699507	0.891089109
14	420	392	0.886699507	0.886699507
14	420	394	0.886699507	0.882352941
14	420	396	0.886699507	0.87804878
14	420	444	0.829493088	0.837209302
14	420	446	0.829493088	0.833333333
14	420	448	0.829493088	0.829493088
14	420	450	0.829493088	0.825688073
14	420	452	0.829493088	0.821917808
15	90	56	4.8	5.070422535
15	90	58	4.8	4.931506849
15	90	60	4.8	4.8
15	90	62	4.8	4.675324675
15	90	64	4.8	4.556962025
15	90	116	3.428571429	3.564356436
15	90	118	3.428571429	3.495145631
15	90	120	3.428571429	3.428571429
15	90	122	3.428571429	3.364485981
15	90	124	3.428571429	3.302752294
15	180	146	2.181818182	2.236024845
15	180	148	2.181818182	2.208588957
15	180	150	2.181818182	2.181818182
15	180	152	2.181818182	2.155688623
15	180	154	2.181818182	2.130177515
15	180	206	1.846153846	1.884816754

15	180	208	1.846153846	1.865284974
15	180	210	1.846153846	1.846153846
15	180	212	1.846153846	1.827411168
15	180	214	1.846153846	1.809045226
15	270	236	1.411764706	1.434262948
15	270	238	1.411764706	1.422924901
15	270	240	1.411764706	1.411764706
15	270	242	1.411764706	1.40077821
15	270	244	1.411764706	1.38996139
15	270	296	1.263157895	1.28113879
15	270	298	1.263157895	1.272084806
15	270	300	1.263157895	1.263157895
15	270	302	1.263157895	1.254355401
15	270	304	1.263157895	1.24567474
15	360	326	1.043478261	1.055718475
15	360	328	1.043478261	1.049562682
15	360	330	1.043478261	1.043478261
15	360	332	1.043478261	1.037463977
15	360	334	1.043478261	1.031518625
15	360	386	0.96	0.970350404
15	360	388	0.96	0.965147453
15	360	390	0.96	0.96
15	360	392	0.96	0.954907162
15	360	394	0.96	0.949868074
15	450	416	0.827586207	0.835266821
15	450	418	0.827586207	0.831408776
15	450	420	0.827586207	0.827586207
15	450	422	0.827586207	0.823798627
15	450	424	0.827586207	0.820045558
15	450	476	0.774193548	0.780911063
15	450	478	0.774193548	0.777537797
15	450	480	0.774193548	0.774193548
15	450	482	0.774193548	0.770877944
15	450	484	0.774193548	0.767590618
16	96	60	4.5	4.736842105
16	96	62	4.5	4.615384615
16	96	64	4.5	4.5
16	96	66	4.5	4.390243902
16	96	68	4.5	4.285714286
16	96	124	3.214285714	3.333333333
16	96	126	3.214285714	3.272727273

16	96	128	3.214285714	3.214285714
16	96	130	3.214285714	3.157894737
16	96	132	3.214285714	3.103448276
16	192	156	2.045454545	2.093023256
16	192	158	2.045454545	2.068965517
16	192	160	2.045454545	2.045454545
16	192	162	2.045454545	2.02247191
16	192	164	2.045454545	2
16	192	220	1.730769231	1.764705882
16	192	222	1.730769231	1.747572816
16	192	224	1.730769231	1.730769231
16	192	226	1.730769231	1.714285714
16	192	228	1.730769231	1.698113208
16	288	252	1.323529412	1.343283582
16	288	254	1.323529412	1.333333333
16	288	256	1.323529412	1.323529412
16	288	258	1.323529412	1.313868613
16	288	260	1.323529412	1.304347826
16	288	316	1.184210526	1.2
16	288	318	1.184210526	1.19205298
16	288	320	1.184210526	1.184210526
16	288	322	1.184210526	1.176470588
16	288	324	1.184210526	1.168831169
16	384	348	0.97826087	0.989010989
16	384	350	0.97826087	0.983606557
16	384	352	0.97826087	0.97826087
16	384	354	0.97826087	0.972972973
16	384	356	0.97826087	0.967741935
16	384	412	0.9	0.909090909
16	384	414	0.9	0.904522613
16	384	416	0.9	0.9
16	384	418	0.9	0.895522388
16	384	420	0.9	0.891089109
16	480	444	0.775862069	0.782608696
16	480	446	0.775862069	0.779220779
16	480	448	0.775862069	0.775862069
16	480	450	0.775862069	0.772532189
16	480	452	0.775862069	0.769230769
16	480	508	0.725806452	0.731707317
16	480	510	0.725806452	0.728744939
16	480	512	0.725806452	0.725806452

16	480	514	0.725806452	0.722891566
16	480	516	0.725806452	0.72
17	102	64	4.235294118	4.444444444
17	102	66	4.235294118	4.337349398
17	102	68	4.235294118	4.235294118
17	102	70	4.235294118	4.137931034
17	102	72	4.235294118	4.04494382
17	102	132	3.025210084	3.130434783
17	102	134	3.025210084	3.076923077
17	102	136	3.025210084	3.025210084
17	102	138	3.025210084	2.975206612
17	102	140	3.025210084	2.926829268
17	204	166	1.92513369	1.967213115
17	204	168	1.92513369	1.945945946
17	204	170	1.92513369	1.92513369
17	204	172	1.92513369	1.904761905
17	204	174	1.92513369	1.884816754
17	204	234	1.628959276	1.658986175
17	204	236	1.628959276	1.643835616
17	204	238	1.628959276	1.628959276
17	204	240	1.628959276	1.614349776
17	204	242	1.628959276	1.6
17	306	268	1.24567474	1.263157895
17	306	270	1.24567474	1.254355401
17	306	272	1.24567474	1.24567474
17	306	274	1.24567474	1.237113402
17	306	276	1.24567474	1.228668942
17	306	336	1.114551084	1.128526646
17	306	338	1.114551084	1.121495327
17	306	340	1.114551084	1.114551084
17	306	342	1.114551084	1.107692308
17	306	344	1.114551084	1.100917431
17	408	370	0.920716113	0.930232558
17	408	372	0.920716113	0.925449871
17	408	374	0.920716113	0.920716113
17	408	376	0.920716113	0.916030534
17	408	378	0.920716113	0.911392405
17	408	438	0.847058824	0.855106888
17	408	440	0.847058824	0.85106383
17	408	442	0.847058824	0.847058824
17	408	444	0.847058824	0.843091335

17	408	446	0.847058824	0.839160839
17	510	472	0.730223124	0.736196319
17	510	474	0.730223124	0.733197556
17	510	476	0.730223124	0.730223124
17	510	478	0.730223124	0.727272727
17	510	480	0.730223124	0.724346076
17	510	540	0.683111954	0.68833652
17	510	542	0.683111954	0.685714286
17	510	544	0.683111954	0.683111954
17	510	546	0.683111954	0.680529301
17	510	548	0.683111954	0.677966102
18	108	68	4	4.186046512
18	108	70	4	4.090909091
18	108	72	4	4
18	108	74	4	3.913043478
18	108	76	4	3.829787234
18	108	140	2.857142857	2.950819672
18	108	142	2.857142857	2.903225806
18	108	144	2.857142857	2.857142857
18	108	146	2.857142857	2.8125
18	108	148	2.857142857	2.769230769
18	216	176	1.818181818	1.855670103
18	216	178	1.818181818	1.836734694
18	216	180	1.818181818	1.818181818
18	216	182	1.818181818	1.8
18	216	184	1.818181818	1.782178218
18	216	248	1.538461538	1.565217391
18	216	250	1.538461538	1.551724138
18	216	252	1.538461538	1.538461538
18	216	254	1.538461538	1.525423729
18	216	256	1.538461538	1.512605042
18	324	284	1.176470588	1.19205298
18	324	286	1.176470588	1.184210526
18	324	288	1.176470588	1.176470588
18	324	290	1.176470588	1.168831169
18	324	292	1.176470588	1.161290323
18	324	356	1.052631579	1.065088757
18	324	358	1.052631579	1.058823529
18	324	360	1.052631579	1.052631579
18	324	362	1.052631579	1.046511628
18	324	364	1.052631579	1.040462428

18	432	392	0.869565217	0.87804878
18	432	394	0.869565217	0.873786408
18	432	396	0.869565217	0.869565217
18	432	398	0.869565217	0.865384615
18	432	400	0.869565217	0.861244019
18	432	464	0.8	0.807174888
18	432	466	0.8	0.803571429
18	432	468	0.8	0.8
18	432	470	0.8	0.796460177
18	432	472	0.8	0.792951542
18	540	500	0.689655172	0.694980695
18	540	502	0.689655172	0.692307692
18	540	504	0.689655172	0.689655172
18	540	506	0.689655172	0.687022901
18	540	508	0.689655172	0.684410646
18	540	572	0.64516129	0.649819495
18	540	574	0.64516129	0.647482014
18	540	576	0.64516129	0.64516129
18	540	578	0.64516129	0.642857143
18	540	580	0.64516129	0.640569395
19	114	72	3.789473684	3.956043956
19	114	74	3.789473684	3.870967742
19	114	76	3.789473684	3.789473684
19	114	78	3.789473684	3.711340206
19	114	80	3.789473684	3.636363636
19	114	148	2.706766917	2.790697674
19	114	150	2.706766917	2.748091603
19	114	152	2.706766917	2.706766917
19	114	154	2.706766917	2.666666667
19	114	156	2.706766917	2.627737226
19	228	186	1.722488038	1.756097561
19	228	188	1.722488038	1.739130435
19	228	190	1.722488038	1.722488038
19	228	192	1.722488038	1.706161137
19	228	194	1.722488038	1.690140845
19	228	262	1.457489879	1.481481481
19	228	264	1.457489879	1.469387755
19	228	266	1.457489879	1.457489879
19	228	268	1.457489879	1.445783133
19	228	270	1.457489879	1.434262948
19	342	300	1.114551084	1.128526646

19	342	302	1.114551084	1.121495327
19	342	304	1.114551084	1.114551084
19	342	306	1.114551084	1.107692308
19	342	308	1.114551084	1.100917431
19	342	376	0.997229917	1.008403361
19	342	378	0.997229917	1.002785515
19	342	380	0.997229917	0.997229917
19	342	382	0.997229917	0.991735537
19	342	384	0.997229917	0.98630137
19	456	414	0.823798627	0.831408776
19	456	416	0.823798627	0.827586207
19	456	418	0.823798627	0.823798627
19	456	420	0.823798627	0.820045558
19	456	422	0.823798627	0.816326531
19	456	490	0.757894737	0.76433121
19	456	492	0.757894737	0.761099366
19	456	494	0.757894737	0.757894737
19	456	496	0.757894737	0.754716981
19	456	498	0.757894737	0.751565762
19	570	528	0.653357532	0.658135283
19	570	530	0.653357532	0.655737705
19	570	532	0.653357532	0.653357532
19	570	534	0.653357532	0.650994575
19	570	536	0.653357532	0.648648649
19	570	604	0.611205433	0.615384615
19	570	606	0.611205433	0.613287905
19	570	608	0.611205433	0.611205433
19	570	610	0.611205433	0.609137056
19	570	612	0.611205433	0.607082631
20	120	76	3.6	3.75
20	120	78	3.6	3.673469388
20	120	80	3.6	3.6
20	120	82	3.6	3.529411765
20	120	84	3.6	3.461538462
20	120	156	2.571428571	2.647058824
20	120	158	2.571428571	2.608695652
20	120	160	2.571428571	2.571428571
20	120	162	2.571428571	2.535211268
20	120	164	2.571428571	2.5
20	240	196	1.636363636	1.666666667
20	240	198	1.636363636	1.651376147

20	240	200	1.636363636	1.636363636
20	240	202	1.636363636	1.621621622
20	240	204	1.636363636	1.607142857
20	240	276	1.384615385	1.40625
20	240	278	1.384615385	1.395348837
20	240	280	1.384615385	1.384615385
20	240	282	1.384615385	1.374045802
20	240	284	1.384615385	1.363636364
20	360	316	1.058823529	1.071428571
20	360	318	1.058823529	1.065088757
20	360	320	1.058823529	1.058823529
20	360	322	1.058823529	1.052631579
20	360	324	1.058823529	1.046511628
20	360	396	0.947368421	0.957446809
20	360	398	0.947368421	0.952380952
20	360	400	0.947368421	0.947368421
20	360	402	0.947368421	0.942408377
20	360	404	0.947368421	0.9375
20	480	436	0.782608696	0.789473684
20	480	438	0.782608696	0.786026201
20	480	440	0.782608696	0.782608696
20	480	442	0.782608696	0.779220779
20	480	444	0.782608696	0.775862069
20	480	516	0.72	0.725806452
20	480	518	0.72	0.722891566
20	480	520	0.72	0.72
20	480	522	0.72	0.717131474
20	480	524	0.72	0.714285714
20	600	556	0.620689655	0.625
20	600	558	0.620689655	0.62283737
20	600	560	0.620689655	0.620689655
20	600	562	0.620689655	0.618556701
20	600	564	0.620689655	0.616438356
20	600	636	0.580645161	0.584415584
20	600	638	0.580645161	0.582524272
20	600	640	0.580645161	0.580645161
20	600	642	0.580645161	0.578778135
20	600	644	0.580645161	0.576923077

REVENDICATIONS

1. Machine électrique rotative (100) de type machine asynchrone (100) comprenant un stator (10) dans lequel est monté librement un rotor (20) sensiblement longiligne apte à tourner sur lui-même selon l'axe longitudinal (Ar) dudit rotor (20),
ledit stator (10) et ledit rotor (20) comportant chacun un nombre déterminé Zs et Zr d'encoches longilignes respectivement statoriques (11) et rotoriques (21) en regard les unes des autres,
dans laquelle lesdites encoches rotoriques (21) sont remplies par des premiers éléments conducteurs, formant un premier bobinage (22), mis en court-circuit, et
dans laquelle lesdites encoches statoriques (11) sont remplies par des seconds éléments conducteurs, formant un second bobinage (12), alimentés électriquement par des courants dits statoriques créant dans l'entrefer entre ledit stator (10) et ledit rotor (20) un champ magnétique tournant ayant p paires de pôles, p étant un entier positif non nul,
ladite machine (100) étant caractérisée en ce que les encoches statoriques (11) ou rotoriques (21) sont inclinées par rapport à l'axe longitudinal (Ar) dudit rotor (20) selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe deux entiers positifs } k_s \text{ et } k_r \text{ et un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1 \text{ tels que } |k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$

$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

dans laquelle ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

2. Machine (100) selon la revendication 1, dans laquelle les variables de tolérance mécanique ε_s et ε_r sont inférieures ou égales au minimum entre 1° et respectivement une borne respectivement égale à :

$\frac{p360}{Z_s(Z_s+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_s, et

$\frac{p360}{Z_r(Z_r+p)}$ pour la variable de tolérance mécanique ε_r.

3. Machine (100) selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle l'angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1 \text{ tel que } |Z_s - Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$
$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

4. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle l'inclinaison des encoches statoriques (11) et/ou rotoriques (21) suivant l'axe longitudinal de la machine est linéaire.

5. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle l'inclinaison des encoches statoriques (11) et/ou rotoriques (21) suivant l'axe longitudinal de la machine est non-linéaire.

6. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle ledit stator (10) et ledit rotor (20) comportent chacun un empilage de tôles feuilletées en matériau ferromagnétique, lesdites tôles étant isolées électriquement les unes des autres.

7. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle le second bobinage (12) dudit stator (10) est un bobinage triphasé à travers lequel circulent trois courants sinusoïdaux déphasés de 120° dans le temps et dans l'espace.

8. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans laquelle le nombre Zs d'encoches statoriques (11), le nombre d'encoches Zr rotoriques (21) et le nombre de paires de pôles p sont respectivement égaux à 216, 192, et 12, et dans laquelle l'angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r est sensiblement égal à $1{,}7647° \pm \varepsilon_s$ ou $1{,}7647° \pm \varepsilon_r$.

9. Machine (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans laquelle les encoches statoriques (11) et/ou rotoriques (21) présentent chacune une section de coupe transversale ayant une forme hexagonale pour faciliter l'insertion des éléments conducteurs dans les encoches inclinées.

10. Utilisation d'une machine électrique rotative (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comme moteur et/ou alternateur dans un moyen de transport terrestre du type métro ou train pour la propulsion électrique dudit moyen de transport.

11. Utilisation d'une machine électrique rotative (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comme moteur et/ou alternateur dans un véhicule terrestre du type automobile électrique ou naval du type bateau ou sous-marin pour la propulsion électrique dudit véhicule.

12. Utilisation d'une machine électrique rotative (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comme alternateur dans une éolienne.

13. Procédé de fabrication d'une machine électrique rotative (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de vrillage au cours de laquelle on incline les encoches statoriques (11) ou rotoriques (21) par rapport à l'axe longitudinal (Ar) du rotor (20) selon un angle d'inclinaison statorique α_s ou rotorique α_r déterminé selon la formule suivante :

$$\text{s'il existe deux entiers positifs } k_s \text{ et } k_r \text{ et un entier relatif } \beta \text{ égal à } +1 \text{ ou } -1$$
$$\text{tels que } |k_s Z_s - k_r Z_r + \beta 2p| = 0, 2 \text{ ou } 4$$
$$\text{alors } \alpha_s = \frac{360}{(k_s Z_s + \beta p)} \pm \varepsilon_s \text{ ou } \alpha_r = \frac{360}{(k_r Z_r - \beta p)} \pm \varepsilon_r$$

dans laquelle ε_s et ε_r sont des variables de tolérance mécanique sensiblement comprises entre 0° et 1°.

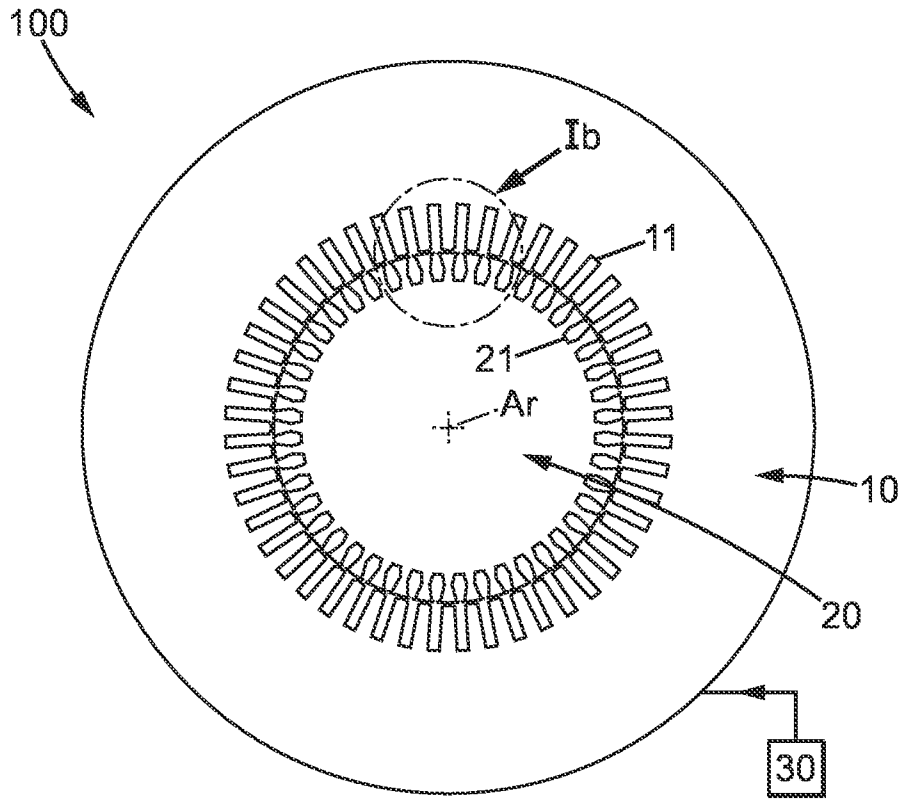


FIG. 1a

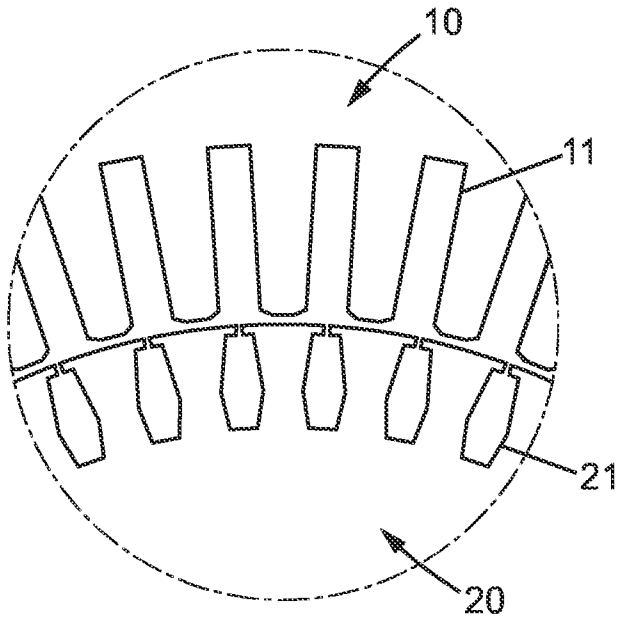


FIG. 1b

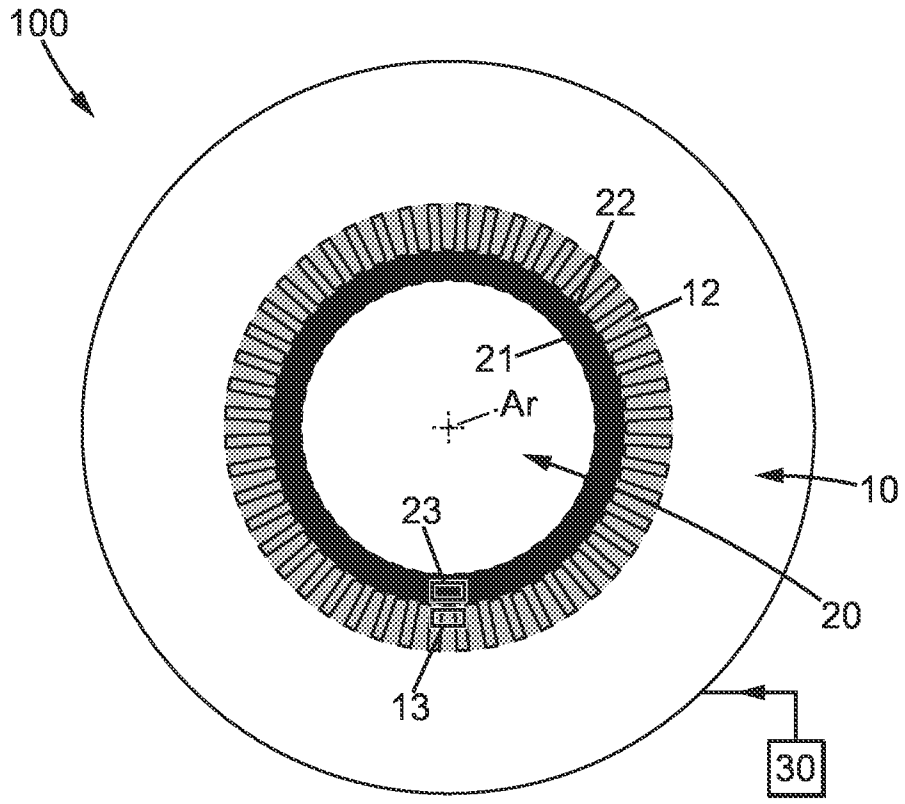


FIG. 2

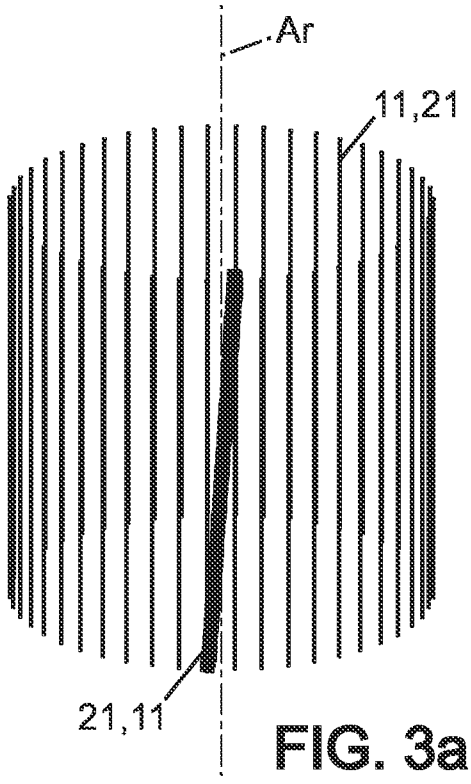


FIG. 3a

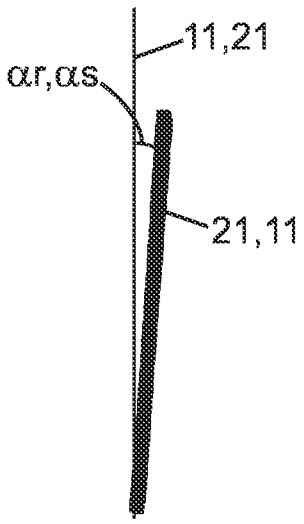


FIG. 3b

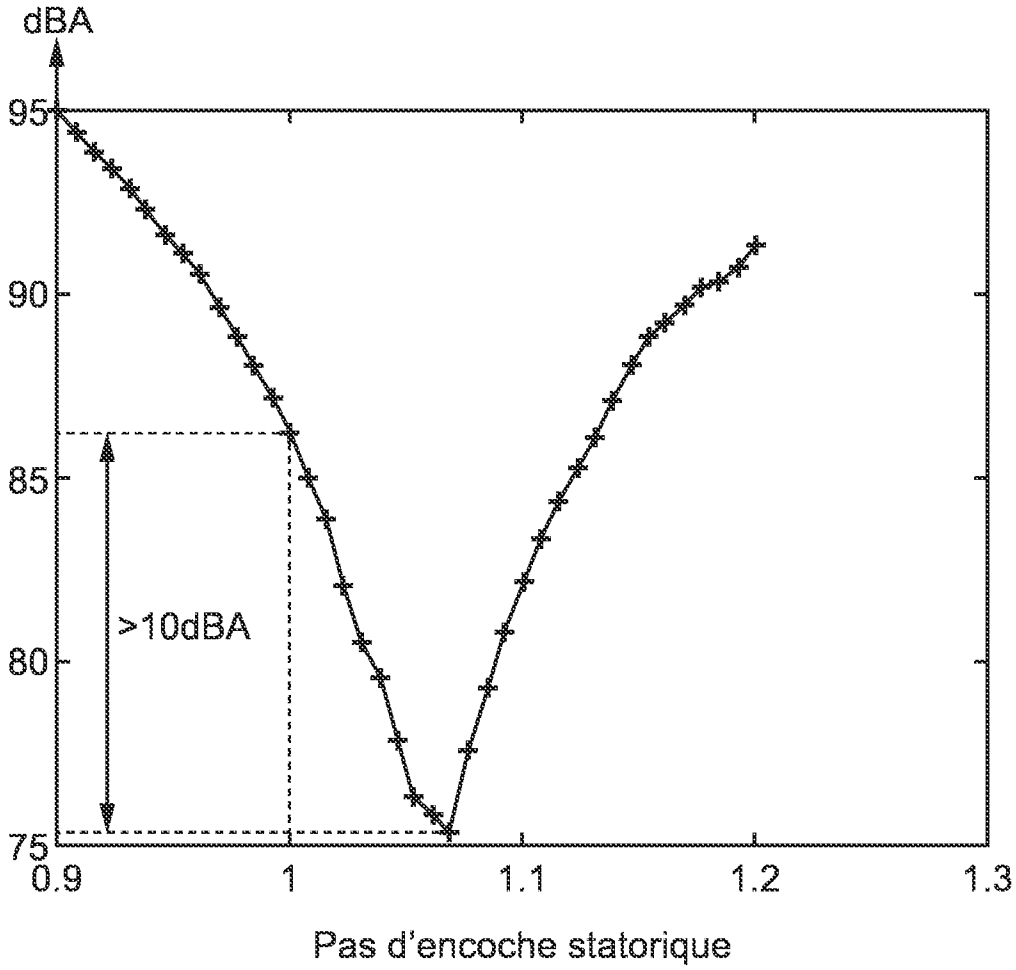


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/053756

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02K17/16
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 811 155 A1 (LEROY SOMER [FR]) 4 January 2002 (2002-01-04) the whole document -----	1-13
X	EP 0 239 988 A2 (NEC CORP [JP]) 7 October 1987 (1987-10-07) abstract; claims; figures -----	1-13
X	EP 0 240 945 A2 (NEC CORP [JP]) 14 October 1987 (1987-10-14) abstract; figures -----	1
X	US 2014/246943 A1 (OMEKANDA AVOKI M [US] ET AL) 4 September 2014 (2014-09-04) abstract; figures -----	1
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 March 2016	11/04/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Ramos, Horacio

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP S59 10159 A (HITACHI LTD) 19 January 1984 (1984-01-19) abstract; figures	13
X	WO 2014/102942 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; OISHI SHINYA [JP]; OKADA JUNJI [JP]; TS) 3 July 2014 (2014-07-03) abstract; figures	13
A	JP H10 117467 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 6 May 1998 (1998-05-06) abstract; figures	1-13
A	JP H08 294242 A (SHINKO ELECTRIC CO LTD) 5 November 1996 (1996-11-05) abstract; figures	1-13
A	US 2006/192457 A1 (NAKAYAMA MISA [JP] ET AL) 31 August 2006 (2006-08-31) abstract; figures paragraphs [0055], [0057]	1-13

2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2015/053756

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2811155 A1	04-01-2002	NONE	
EP 0239988 A2	07-10-1987	CN 87102564 A	14-10-1987
		DE 3771365 D1	22-08-1991
		EP 0239988 A2	07-10-1987
		JP S62233048 A	13-10-1987
		US 4868438 A	19-09-1989
EP 0240945 A2	14-10-1987	CN 87102626 A	14-10-1987
		DE 3779687 D1	16-07-1992
		DE 3779687 T2	04-02-1993
		EP 0240945 A2	14-10-1987
		JP S6323539 A	30-01-1988
		US 4871934 A	03-10-1989
US 2014246943 A1	04-09-2014	CN 104022583 A	03-09-2014
		US 2014246943 A1	04-09-2014
JP S5910159 A	19-01-1984	NONE	
WO 2014102942 A1	03-07-2014	CN 104871411 A	26-08-2015
		JP 5843980 B2	13-01-2016
		WO 2014102942 A1	03-07-2014
JP H10117467 A	06-05-1998	NONE	
JP H08294242 A	05-11-1996	NONE	
US 2006192457 A1	31-08-2006	CN 1897410 A	17-01-2007
		DE 102006008054 A1	05-10-2006
		JP 2006271187 A	05-10-2006
		US 2006192457 A1	31-08-2006

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2015/053756

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H02K17/16
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 811 155 A1 (LEROY SOMER [FR]) 4 janvier 2002 (2002-01-04) le document en entier	1-13
X	EP 0 239 988 A2 (NEC CORP [JP]) 7 octobre 1987 (1987-10-07) abrégé; revendications; figures	1-13
X	EP 0 240 945 A2 (NEC CORP [JP]) 14 octobre 1987 (1987-10-14) abrégé; figures	1
X	US 2014/246943 A1 (OMEKANDA AVOKI M [US] ET AL) 4 septembre 2014 (2014-09-04) abrégé; figures	1

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
31 mars 2016	11/04/2016

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Ramos, Horacio

2

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	JP S59 10159 A (HITACHI LTD) 19 janvier 1984 (1984-01-19) abrégé; figures	13
X	WO 2014/102942 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; OISHI SHINYA [JP]; OKADA JUNJI [JP]; TS) 3 juillet 2014 (2014-07-03) abrégé; figures	13
A	JP H10 117467 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 6 mai 1998 (1998-05-06) abrégé; figures	1-13
A	JP H08 294242 A (SHINKO ELECTRIC CO LTD) 5 novembre 1996 (1996-11-05) abrégé; figures	1-13
A	US 2006/192457 A1 (NAKAYAMA MISA [JP] ET AL) 31 août 2006 (2006-08-31) abrégé; figures alinéas [0055], [0057]	1-13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2015/053756

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2811155 A1	04-01-2002	AUCUN	
EP 0239988 A2	07-10-1987	CN 87102564 A	14-10-1987
		DE 3771365 D1	22-08-1991
		EP 0239988 A2	07-10-1987
		JP S62233048 A	13-10-1987
		US 4868438 A	19-09-1989
EP 0240945 A2	14-10-1987	CN 87102626 A	14-10-1987
		DE 3779687 D1	16-07-1992
		DE 3779687 T2	04-02-1993
		EP 0240945 A2	14-10-1987
		JP S6323539 A	30-01-1988
		US 4871934 A	03-10-1989
US 2014246943 A1	04-09-2014	CN 104022583 A	03-09-2014
		US 2014246943 A1	04-09-2014
JP S5910159 A	19-01-1984	AUCUN	
WO 2014102942 A1	03-07-2014	CN 104871411 A	26-08-2015
		JP 5843980 B2	13-01-2016
		WO 2014102942 A1	03-07-2014
JP H10117467 A	06-05-1998	AUCUN	
JP H08294242 A	05-11-1996	AUCUN	
US 2006192457 A1	31-08-2006	CN 1897410 A	17-01-2007
		DE 102006008054 A1	05-10-2006
		JP 2006271187 A	05-10-2006
		US 2006192457 A1	31-08-2006