

Description

La présente invention se situe dans le domaine de la construction d'appareils électriques inductifs, notamment de type statique, tels que les transformateurs.

Plus précisément, l'invention concerne la réalisation du bobinage des enroulements inductifs équipant les appareils précités et spécialement, mais non exclusivement, le bobinage des enroulements moyenne ou haute tension des transformateurs.

On sait qu'une pratique courante de bobinage des enroulements des transformateurs consiste à enrouler un ou plusieurs fils électroconducteurs, généralement en cuivre, autour et le long d'un support d'enroulement selon une structure de type "solénoïde" à spires jointives formant une couche annulaire. Généralement, on reproduit cette opération élémentaire plusieurs fois de suite pour aboutir à un enroulement complet dont l'agencement se présente sous la forme d'une bobine cylindrique composée de plusieurs couches annulaires concentriques.

On sait également, qu'en plus du gainage d'origine du fil de cuivre par une pellicule de vernis isolant, on est amené, au cours du bobinage, à interposer entre les couches concentriques des nappes de séparation en matériau isolant de l'électricité, généralement à base de feuilles de papier.

On rappelle que ces nappes isolantes rapportées ont essentiellement deux fonctions: d'une part, éviter des claquages entre spires électriquement éloignées l'une de l'autre, mais immédiatement voisines sur deux couches adjacentes, lorsqu'on applique à l'entrée de l'enroulement la tension de travail nominale; d'autre part et surtout, à assurer une bonne tenue lors de surtensions brutales dues, par exemple, aux coups de foudre.

A cet égard, les essais habituels de simulation, dits "essais aux ondes de choc", et qui consistent à appliquer à l'entrée du transformateur une onde de tension à fronts raides de durée très brève et de très forte amplitude, sont, dans certains cas, menés sous une tension contractuelle plus de cinq fois supérieure à la tension nominale du transformateur. Comparativement, les essais de seuil de claquage en fonctionnement normal s'opèrent à une tension seulement double de la tension nominale.

On comprend, au travers de ces quelques indications chiffrées, que l'isolation inter-couche à prévoir pour la tenue aux ondes de choc doit aller bien au-delà de celle qui serait nécessaire lorsque l'appareil se trouve dans les conditions normales d'exploitation et qui souvent pourrait être satisfaite par le seul conditionnement du fil conducteur.

Il est connu que ces contraintes résultent du fait que les enroulements présentent aux ondes de tension à fronts raides une prédominance capacitive ayant pour origine un réseau relativement complexe de capacités en série et de capacités en parallèle.

On a pu ainsi mettre en évidence que ces dernières conduisent à une distribution initiale de forme exponentielle de la tension le long de l'enroulement, avec un gradient de tension très accentué sur les premières spires proches de l'extrémité de l'enroulement qui reçoit l'onde de choc.

On comprend donc tout l'intérêt de pouvoir prendre des mesures pour éviter une isolation surabondante. A cet effet, l'invention vise à parvenir à une structure d'enroulement dans laquelle les capacités en parallèle, responsables des concentrations de contraintes électriques précitées, soient suffisamment réduites pour obtenir un amortissement sensiblement uniforme et linéaire de la tension le long de l'enroulement.

La structure d'enroulement selon l'invention est du type de celle proposée dans les documents FR-E-26143 ou SU-A-173283 qui décrivent des machines pour enrouler un fil, autour et le long d'un support d'enroulement, en galettes empilées constituées chacune par une bobine plate spiralée qui se développe radialement alternativement dans le sens centrifuge puis dans le sens centripète quand on passe d'une galette à la suivante.

Le but de l'invention est de réaliser un enroulement du type prémentionné dans des conditions de production industrielle.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de bobinage des enroulements inductifs équipant les appareils électriques, notamment les appareils statiques, tels que les transformateurs et constitués par au moins un fil électroconducteur enroulé autour et le long d'un support d'enroulement en galettes empilées constituées chacune par une bobine plate spiralée qui se développe radialement dans le sens centrifuge puis dans le sens centripète quand on passe d'une galette à la suivante, procédé selon lequel:

- on dispose le support d'enroulement verticalement et on l'entoure à distance d'un fourreau coaxial de manière à ménager entre eux un espace annulaire de réception du fil, et dont le fond est obturé au moins temporairement,

- on introduit le fil électroconducteur dans ledit espace par le haut et on fixe l'extrémité du fil dans le fond de l'espace, de préférence sur le support d'enroulement,

- puis, afin de déposer le fil sous forme de spires de diamètre voulu, on amène en continu le fil dans l'espace de réception avec une vitesse linéaire V (en m/s) tout en lui imprimant un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement avec une vitesse angulaire W (en tours/s), ces deux opérations étant effectuées conjointement, l'une des deux vitesses étant réglée à une valeur de consigne et l'autre, variable, étant réglée de façon à respecter à tout moment la relation suivante:

$$\left(\frac{V}{W}\right)_i = \pi (D + 2d(a_i - 1))$$

où D représente le diamètre du support d'enroulement (en m) et d représente le diamètre du fil (en m) (voir FR-E-26143), caractérisé en ce que l'amenée du fil et le mouvement relatif autour du support d'enroulement se réalisent à l'aide de deux moyens moteurs indépendants entre eux, en ce que l'on compte à tout instant le nombre de rotations réalisées entre le fil et le support d'enroulement pour en déduire le rang a_i de la spire en formation, a_i étant une variable à valeur entière, en ce que l'on détermine, à l'aide de moyens de calcul rapide, ladite vitesse variable, et en ce que l'on actionne en conséquence le moyen moteur dont dépend la vitesse variable afin que ladite relation soit à tout instant respectée.

Conformément à une mise en oeuvre préférée, on imprime au fil un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement en faisant tourner ce dernier autour de son axe.

Conformément à une autre variante préférée de mise en oeuvre, on maintient constante la vitesse V d'amenée du fil dans l'espace de réception et on règle la vitesse W_i du mouvement relatif d'enroulement du fil autour du support d'enroulement en fonction du rang de la spire en formation selon la relation suivante:

$$W_i = \frac{V}{\pi (D + 2d (a_i - 1))}$$

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé, dans lequel une bobineuse comporte:

- un plateau horizontal pouvant être entraîné en rotation à vitesse variable autour de son axe vertical par un moteur d'entraînement M_p , ce plateau étant destiné à recevoir le support d'enroulement et le fourreau coaxial entourant ce dernier à distance en définissant entre eux un espace de réception du fil;

- une unité d'amenée du fil dans l'espace de réception, placée au dessus du plateau et présentant, d'une part, un système d'entraînement du fil et, d'autre part, un tube pour guider le fil depuis sa sortie dudit système d'entraînement, ladite unité étant mobile en translation verticale (voir FR-E-26143); dispositif caractérisé en ce que le fil est entraîné par un moteur M_f distinct du moteur M_p entraînant le plateau; en ce que le tube de guidage du fil est disposé sensiblement vertical dans l'espace de réception; en ce que la translation verticale de l'unité d'amenée du fil se fait par un moteur de réglage en hauteur M_g distinct des deux premiers, et en ce que le dispositif comporte en outre:

- une unité de commande des moteurs de la bobineuse comprenant des variateurs de vitesse et un sélecteur de vitesse permettant d'élaborer un signal représentatif d'une valeur de consigne à imprimer soit au moteur M_f d'entraînement du fil, soit au moteur M_p d'entraînement du plateau;

- une unité de contrôle pilotant le moteur de réglage en hauteur M_g et le moteur M_p ou M_f non commandé par la consigne de manière à respecter à tout instant la relation suivante:

$$\left(\frac{V}{W} \right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

Dans cette relation, les mêmes variables ou paramètres représentent les mêmes grandeurs que dans les relations données auparavant.

Comme on l'aura sans doute déjà compris, l'invention s'appuie sur la loi cinématique bien connue qui lie entre elles la vitesse linéaire et la vitesse angulaire d'un mouvement circulaire en fonction du rayon de la trajectoire.

L'invention fait application de cette loi en opérant un synchronisme entre la vitesse d'amenée du fil et sa vitesse d'enroulement en spires, synchronisme ajusté pour imposer une valeur voulue et prédéterminée au diamètre de la spire en formation en modulant l'une des vitesses par rapport à l'autre maintenue fixe.

A partir de là, cette valeur est régulée dans le temps au cours du bobinage pour parvenir à un enroulement agencé en un empilage de galettes constituées chacune par bobine plate spiralée qui se développe radialement alternativement dans le sens centrifuge et dans le sens centripète quand on passe d'une galette à la suivante.

On aboutit ainsi à une structure d'enroulement ayant un nombre de spires minimal par couche, d'où il résulte une capacité répartie très faible du circuit électrique et, partant, un amortissement très étalé des impulsions de tension à front raide dans l'ensemble du bobinage.

Il doit être souligné que la structure d'enroulement obtenue ne saurait être parfaitement celle d'une structure idéale à galettes bien définies et individualisées placées les unes sur les autres, mais s'en approche très sensiblement.

En revanche, l'invention réalise une méthode de bobinage de nature à répondre aux critères propres des techniques industrielles de production, autrement difficilement envisageable, du moins dans l'état actuel des

connaissances, pour obtenir la structure d'enroulement idéalement ordonnée évoquée ci-dessus.

Les résultats d'essais menés par les inventeurs montrent qu'en fait l'ordre d'empilage recherché est respecté à moyenne et grande distance, moyennant un certain mélange des galettes à courte distance, c'est-à-dire limité pratiquement à quelques spires appartenant à deux galettes voisines.

5 Malgré cet écart à l'idéalité, les résultats et avantages que l'on peut tirer de l'invention, tant sur le plan technique qu'industriel et économique, sont nombreux et importants. On peut citer, par exemple: la remontée du seuil de claquage en marche normale, ou une tenue très améliorée aux essais à "ondes de choc" due à une capacité répartie dans l'intégralité de l'enroulement d'une qualité telle que l'on peut se passer d'isolation intercouche.

10 Il en résulte, en outre, des avantages induits comme notamment l'économie de matière première et de main d'oeuvre, l'allègement et le moindre encombrement de l'appareil terminé, ou la plus grande rapidité de fabrication grâce aux possibilités offertes d'une automatisation totale ou quasi-totale assistée par ordinateur.

L'invention sera bien comprise et d'autres aspects et avantages apparaîtront plus clairement au vu de la description qui suit, donnée à titre d'exemple et en référence aux planches de dessins annexées, sur lesquelles:

15 - la figure 1 montre une vue d'ensemble d'un dispositif de bobinage le plus complet que sachent faire les inventeurs et permettant de réaliser des enroulements de transformateurs. Le premier plan représente la bobineuse. Les annexes de commande et de pilotage sont illustrés symboliquement sur la partie droite de la figure.

20 - la figure 2 est un schéma synoptique montrant le montage électrique pour la commande du dispositif de bobinage de la figure 1.

- les figures 3 et 4 sont des diagrammes montrant respectivement les courbes de vitesse d'enroulement et d'amenée du fil en fonction du nombre de spires déposées, selon deux variantes opérationnelles différentes.

L'appareil de la figure 1 se compose d'une bobineuse 1 pilotée par un automate programmable 2 par l'intermédiaire d'une unité de commande 3.

25 On décrit à présent chacun des composants précités,

La bobineuse comprend un bâti 4 dont la partie supérieure plane constitue une table de travail 5. Celle-ci comporte un plateau horizontal 6 et supporte un équipage 7 mobile en translation verticale sur deux colonnes de guidage 8, 8' fixées dans une double chape 9.

30 Le plateau 6 est animé en rotation sur son axe vertical 10 par une courroie 11 mue par un pignon 12 et formant un couple de démultiplication actionné par un moteur (Mp) 13 à vitesse variable escamoté dans le bâti.

Comme on le voit, un corps cylindrique 14, constituant le support d'enroulement, est posé verticalement sur le plateau 6 en étant centré sur l'axe de rotation 10.

Conformément à l'invention, le support d'enroulement 14 est entouré à distance par un fourreau coaxial 15 définissant entre-eux un espace annulaire 16 destiné à recevoir l'enroulement.

35 Cet espace est fermé à sa base par la surface du plateau 6 et son extrémité supérieure est laissée ouverte pour l'introduction du fil électrique à bobiner.

L'équipage mobile 7 constitue une unité d'amenée de ce fil électrique, visible en 17, dans l'espace d'enroulement 16 à partir d'un dévidoir classique, non représenté pour ne pas surcharger inutilement la figure.

40 Cet équipage est conforme en boîtier dépourvu de faces latérales. La face frontale 41 comporte deux paires identiques de galets 19, 19' disposées l'une au-dessus de l'autre et entraînant, par l'intermédiaire de deux courroies de guidage 20, 20', le fil 17 du haut vers le bas dans le sens indiqué par la flèche. La face verticale arrière 21 du boîtier est équipée de deux manchons 22, 22' coulissant sur les colonnes 8, 8' et d'une bague taraudée, non visible, prise dans une vis sans fin verticale 23. Cette vis est mue par un moteur (Mg) 24 assurant le réglage en hauteur de l'équipage mobile 7 et monte sur une plate-forme 25 fixée à l'extrémité des colonnes 8, 8'.

45 Les galets 19, 19' sont actionnés en rotation par un moteur (Mf) 26 à vitesse variable fixé à l'arrière d'un flasque support 27 placé entre les faces avant 41 et arrière 21 de l'équipage 7.

50 A cet effet, la face avant du flasque porte les organes de transmission du mouvement par démultiplication, comprenant, comme on le voit, une courroie 28 reliant un petit pignon entraînant 29 à un pignon entraîne 30, lequel, par un jeu d'engrenages non visible, actionne les galets supérieurs 19 qui, à leur tour, entraînent les galets inférieurs grâce aux courroies 20 et 20'.

Le flasque 27 est rapporté à distance sur la face avant 41 à l'aide d'entretoises de fixation 31. Par ailleurs, la face frontale 41 est elle-même maintenue entre deux plaques horizontales respectivement supérieure 32 et inférieure 33 réalisées par pliage de la face arrière 21.

55 Comme on le voit, chaque plaque 32, 33 présente à son extrémité avant un tube sensiblement vertical, respectivement 34, 35, pour le guidage du fil électroconducteur 17.

Le tube guide 34 de la plaque supérieure constitue un moyen de réception du fil à partir du dévidoir (non représenté) et le délivre, à son ouverture inférieure, à l'entrée du jeu de galets d'entraînement 19, 19' entre les brins intérieurs des courroies de transport 20, 20'.

60 Le tube guide 35 est centré à la sortie du jeu de galets, dont il reçoit le fil 17 par son extrémité ouverte supérieure et le délivre par son extrémité inférieure. Celle-ci débouche dans l'espace de réception 16 en imprimant au fil une trajectoire tangentielle préformée en spire grâce à sa partie terminale 36 coudée à l'horizontale dans le sens de rotation du plateau 6 et repliée en direction de l'axe 10 du plateau en épousant la courbure de l'espace 16. Comme on le voit, cette partie terminale 36 présente une double courbure en "S" dont la forme et le rôle seront précisés à la fin.

13

Cet ensemble est complété par trois tachymètres 37, 38 et 39 équipant chacun un moteur, et un codeur incrémental 40 monté en bout d'arbre du moteur (Mf) 26 d'entraînement du fil.

Enfin, une boîte de connexion électrique, symbolisée en 58 sur le flan du châssis 4, relie la bobineuse à ses annexes, que sont l'unité de commande 3 et l'automate programmable 2 pilotant le tout.

On a schématisé sur ce dernier le clavier 42 d'entrée des paramètres de marche de la bobineuse et en 43 les écrans d'affichage des caractéristiques de fonctionnement. Cet automate a été programmé pour lui permettre de contrôler le fonctionnement de la bobineuse conformément au procédé selon l'invention et qui sera décrit par la suite.

L'unité de commande 3 comporte trois sous-ensembles 44, 45 et 46 qui représentent des variateurs électroniques de vitesse contrôlant la marche des moteurs de la bobineuse. Comme on le voit en détail sur la figure 2, ces variateurs sont constitués chacun par une boucle de régulation comprenant un comparateur 47, 48, 49 dont la sortie est reliée au moteur et dont une entrée est reliée au tachymètre du moteur considéré et l'autre entrée reçoit une consigne représentative de la vitesse à appliquer audit moteur. Dans l'exemple tel que représenté, les consignes respectives des moteurs (Mp) 13 et (Mg) 24 sont élaborés par l'automate programmable 2 après mise en forme des signaux dans des convertisseurs numérique, analogique 50, 51, alors que pour le moteur (Mf) 26 d'entraînement du fil, la consigne est fournie par un sélecteur manuel de vitesse 52.

Ce sélecteur est un potentiomètre à plots permettant de régler la vitesse du moteur à une valeur de référence choisie à l'avance.

Par ailleurs, l'automate 2 reçoit sur ces entrées "control process", d'une part, un signal (F) représentatif de la vitesse du moteur (Mf) 26 d'entraînement du fil fourni par le codeur incrémental 40 et, d'autre part, deux signaux (P) et (H) représentatifs, à chaque instant, du nombre de tours effectués respectivement par le moteur (Mp) 13 d'entraînement du plateau 6 et du moteur (Mg) 24 de réglage en hauteur de l'équipage mobile 7, ces deux signaux étant fournis par des intégrateurs 53 et 54.

Il est clair que les grandeurs (P) et (H) sont directement liées respectivement au nombre de tours effectués par le plateau (donc au nombre de spires déposées) et à la position en hauteur de l'extrémité (36) du tube de guidage 35 (donc du nombre de galettes réalisées), et que l'automate 2 sera à même de calculer.

Il en est de même d'ailleurs du signal (F) délivré par le codeur 40 en tant que donnée pour le calcul de la vitesse instantanée d'amenée du fil, notée V sur la figure 1.

Ces précisions étant données, on va pouvoir maintenant décrire le fonctionnement du dispositif conformément au procédé selon l'invention.

L'opération préliminaire consiste à centrer le support d'enroulement 14 sur le plateau rotatif 6 et à ancrer le fil 17 par son extrémité libre à la base de ce support par tout moyen approprié, par exemple à l'aide d'une simple fente prévue dans le support 14.

On place alors le fourreau coaxial 15 autour du support 14 comme le montre la figure 1 pour confiner latéralement l'espace de réception 16 de l'enroulement à réaliser. Puis on centre latéralement l'équipage mobile 7 pour placer le tube guide 35 à mi-distance entre le support 14 et le fourreau 15, et on positionne en position basse l'équipage mobile 7 de manière que l'extrémité coudée 36 du tube-guide 35 débouche au voisinage du point d'ancrage du fil 17.

Cette opération, bien que non indispensable, est toutefois conseillée, car elle procure un meilleur contrôle de la dépose des spires en limitant la course libre du fil 17 à la sortie du tube 35. On tend enfin le fil 17 par une légère traction en amont du tube d'arrivée 34 et la bobineuse est alors prête à fonctionner.

Pour réaliser un bobinage conformément à la méthode selon l'invention, l'opérateur entre dans l'automate 2 les constantes de marche par l'intermédiaire du clavier 42 en façade de ce dernier.

Ces constantes sont en l'occurrence le diamètre d du fil 17, le diamètre extérieur D du support d'enroulement 14, le diamètre intérieur Φ du fourreau 15, le diamètre "g" des galets d'entraînement 19, 19', le nombre total G de galettes à réaliser et la vitesse V d'amenée du fil 17 dans l'espace de réception 16.

Avec ces données, le programme mémorisé par l'automate 2 calcule, d'une part, le nombre n de spires par galette (soit n =

$$\frac{\Phi - D}{2d}$$

et, d'autre part, la vitesse η de rotation à imprimer au moteur (Mf) 26 d'entraînement des galets 19, 19' (soit $\eta = f(V, g)$, où f est une fonction représentative des caractéristiques cinématiques du train de transmission 28, 29, 30 et qui peut être traduite en logique câblée au sein de l'automate).

Les résultats obtenus sont stockés en mémoire de travail et le programme élabore alors une fonction vitesse W représentative de la vitesse instantanée de rotation à imprimer au plateau 6 donc également de la vitesse d'enroulement au fil dans l'espace 16.

Cette fonction, qui permet à l'automate 2 de piloter en temps réel le processus de bobinage, s'écrit:

$$W = \frac{V}{\pi(D + 2d(a_1 - 1))}$$

On précise à nouveau ici que a_i est une variable à valeur entière indiquant le rang voulu de la i ème spire dans la galette en formation dans l'espace de réception 16 et compté à partir du support d'enroulement 14, l'incrément i allant donc de 1 à n , et inversement.

Les valeurs prises par la variable discrète a_i sont obtenues en continu par le reste (r) de la division entre les valeurs du signal (P) et du signal (H), soit directement si (H) est impair, soit par le complément à n , si (H) est d'ordre pair.

On comprend que ces dispositions résultent du fait que, l'extrémité du fil 17 étant ancrée sur le support d'enroulement 14, la première galette qui se forme est une spirale se développant radialement de façon centrifuge, la seconde étant alors une spirale à développement radial centripète, et ainsi de suite. Les parités seraient, bien entendu, inversées si l'ancrage du fil était effectué sur le fourreau 15.

Pour démarrer l'opération de bobinage proprement dite, il suffit d'afficher une consigne (R) par l'intermédiaire du potentiomètre manuel 52 et déterminant la vitesse V d'amenée du fil 17.

Pendant toute la phase de démarrage une fonction rampe est élaborée au niveau de la consigne pour que le système arrive progressivement en régime établi.

Il est à noter que pendant toute cette phase transitoire initiale, la vitesse d'amenée V du fil est une variable que calcule l'automate 2 à partir d'une lecture du signal (F) reçu par le codeur incrémental 40 équipant le moteur (Mf) 26.

Bien entendu, en régime établi (R) et (F) sont égaux, à la précision près des instruments de mesure et des caractéristiques de stabilité de la bobineuse.

En régime établi, le fil 17 introduit dans l'espace 16 par le tube guide 35 avec une vitesse constante V imprimée par le jeu de galets 19, 19', se dépose dans cet espace sous forme de spires 18 que lui confère son mouvement d'enroulement autour du support 14 sous l'effet de la rotation W du plateau 6 dans le sens indiqué par la flèche.

Il est à noter que la formation de la spire est également aidée par la position médiane du tube guide 35 selon l'axe de l'espace 16 et par son extrémité repliée 36, qui permet l'injection du fil selon une trajectoire préformée en une spire de diamètre moyen.

L'asservissement de W à a_i imposée par l'automate 2, en fonction de V , conformément à la relation indiquée précédemment, procure la maîtrise du diamètre de la spire en formation et permet de ce fait de bobiner une première galette spiralée à partir de l'intérieur, puis, lorsque le nombre n de spires est atteint, une seconde galette spiralée cette fois à partir de la périphérie, et qui se pose sur la précédente et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du nombre maximum G de galettes autorisées. En général, on détermine la donnée G en fonction du diamètre " d " du fil de manière à remplir l'espace de réception 16 au 4/5 environ.

A chaque fois qu'une galette a été bobinée, l'automate 2, par l'intermédiaire du variateur de vitesse 44 (fig. 1), ordonne au moteur (Mg) 24 de monter l'unité 7 d'amenée du fil d'une hauteur égale au diamètre de ce dernier. Eu égard à ce qui a été dit précédemment, on pourra prendre la précaution de prévoir, en un endroit approprié des colonnes de guidage 8, 8', une butée de fin de course qui arrête toute l'opération lorsque le degré de remplissage voulu de l'espace de réception 16 est atteint. Cette disposition permet de pallier, le cas échéant, les conséquences d'une introduction dans l'automate d'une valeur de G erronée par excès.

Il convient de souligner que l'un des aspects déterminants de l'invention réside dans le fait que le fil 17 est, non pas tiré par le support d'enroulement en rotation 14, mais poussé par le système d'alimentation 7, ladite poussée coopérant avec l'action d'enroulement de façon à se traduire, au niveau de la spire en cours de formation, par un effort radial, dont le sens -centrifuge ou centripète-, de même que l'intensité, dépendent du degré d'avancement de l'enroulement. Cet effort confère à ladite spire le diamètre voulu approprié à la place, c'est-à-dire au rang qu'on lui assigne au sein de la galette plate spiralée en formation.

Tels sont, exprimés différemment qu'auparavant, mais de façon équivalente, les moyens essentiels et fondamentaux de l'invention.

Ceci étant, on réalise donc une pulsation cyclique de la vitesse d'enroulement W du fil dans le temps, dont la période, comme le montre clairement la figure 3, correspond à la durée de formation de deux galettes consécutives, c'est-à-dire à $2n$ tours du plateau 6.

Cette figure illustre un exemple de bobinage selon l'invention comprenant six spires par galette.

On a placé en abscisse, successivement à partir du repère supérieur, le nombre total Nt de spires de l'enroulement, le rang a_i de chaque spire dans sa galette et le nombre G de galettes dans l'enroulement.

Comme on le voit, l'allure moyenne de la courbe représentative de W sur la période représentée est celle de deux tronçons hyperboliques symétriques mis bout à bout: le premier tronçon de pente décroissante correspond à la formation de type "centrifuge" de la première galette, le tronçon suivant, de pente croissante, représente la formation de type "centripète" de la seconde galette.

En regardant de plus près, on constate que la courbe est formée de gradins successifs à décalages en hauteur variables traduisant les variations discrètes de la vitesse de rotation du plateau intervenant lors du passage d'une spire à la suivante dans une même galette.

On comprend à cet égard que la mise en oeuvre optimale de l'invention suppose une régulation très fine de la vitesse d'enroulement nécessitant de faire appel aux techniques de commande numérique, que permet précisément l'automate programmable 2.

Des essais comparatifs ont été effectués sur un enroulement conforme à l'invention réalisé avec un fil de cuivre rond ayant 1,12mm de diamètre enroulé en 175 galettes à raison de 20 spires par galette, correspondant à un transformateur de classe 24

Les essais ont montré une tenue très élevée de l'enroulement aux chocs de tension simulant les coups de foudre, et ceci sans autre isolation que le conditionnement originel du fil de cuivre par une enveloppe habituelle de vernis émaillé.

A titre indicatif, alors que les prescriptions contractuelles de tenue aux chocs pour les transformateurs de la classe précitée sont de l'ordre de 125 kV, l'enroulement d'essai conforme à l'invention supporte sans problème des impulsions de tension allant au-delà de 200 kV.

D'une façon plus générale, il apparaît que l'invention permet de dépasser de beaucoup les caractéristiques actuelles des transformateurs.

Comme on l'a déjà souligné, elle permet une fabrication industrielle de transformateurs sans isolant rapporté assurant à une économie de matière, de main d'oeuvre et une réduction sensible du poids et de l'encombrement de l'appareil achevé.

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter à l'exemple décrit ci-avant mais s'étend à de multiples variantes et équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques énoncées dans les revendications jointes.

A ce titre, il importe de considérer que l'invention, dans son acception la plus générale, met en jeu deux opérations distinctes ayant des cinématiques de caractère relatif: l'enroulement des spires d'une part, et l'asservissement entre la vitesse dudit enroulement et la vitesse d'amenée du fil, d'autre part.

L'enroulement des spires peut en effet être réalisé, non seulement par la rotation du support d'enroulement, le point d'amenée du fil étant fixe dans l'espace, mais également, et de façon équivalente, en conservant le support d'enroulement immobile et en faisant tourner le fil autour. Ceci peut être réalisé, par-exemple, au moyen d'une unité d'amenée du fil, telle que 7, qui soit conçue en tourelle pivotante centrée au-dessus du plateau.

De même, l'asservissement à réaliser entre la vitesse d'enroulement des spires et la vitesse d'amenée du fil, en fonction de l'évolution de la galette en formation, peut être réalisé, non seulement en modulant la vitesse d'enroulement W , la vitesse d'amenée V étant maintenue constante, mais encore, et de façon équivalente, en fixant à une valeur de référence déterminée la vitesse d'enroulement et en régulant la vitesse d'amenée du fil.

Dans ce cas, la relation cinématique liant ces deux vitesses et devant être prise en compte par l'automate 2 s'écrit:

$$V_f = \pi(D+2d(a_1-1)) \cdot W$$

dans laquelle les paramètres conservent leur définition donnée auparavant.
On comprend ainsi que, dans sa formulation la plus générale, la relation à respecter conformément à l'invention, s'exprime donc sous la forme suivante:

$$\left(\frac{V}{W}\right)_f = \pi(D+2d(a_1-1))$$

A titre indicatif, la figure 4 -analogue à la figure 3- montre l'allure de la courbe représentative des variations à conférer à la vitesse V d'amenée du fil lorsque celle d'enroulement W des spires est gardée constante.

Comme on le voit, cette courbe, dans la période de formation de deux galettes, présente en moyenne la forme de deux segments de droite, symétriques l'un de l'autre, se rejoignant à leur point haut correspondant au passage de la première galette à la seconde, et dont la pente, -en valeur absolue- a pour valeur $\tan \beta = 2d \cdot W$.

On observera d'ailleurs que chaque segment est en fait constitué d'une succession de paliers reliés par des portions verticales égales, correspondant à l'incrément de vitesse de $2dW$ à ajouter (ou à retrancher) à la vitesse d'amenée du fil lorsqu'on passe d'une spire à la suivante sur une même galette.

Il doit être souligné que le dispositif décrit précédemment comporte des moyens lui permettant de fonctionner soit à vitesse d'amenée V du fil constante, soit à vitesse d'enroulement W des spires constante.

Ces moyens, symbolisés sur la figure 2, sont constitués par un sélecteur à deux positions 55, permettant de connecter le codeur incrémental 40 à l'un ou l'autre des moteurs (Mf) 26 ou (Mp) 13, et par un inverseur 56 dont le transfert à gauche par rapport à sa position représentée sur la figure 2, permet d'appliquer la référence de vitesse (R) à l'entrée du comparateur 48 du moteur (Mp) 13 et de relier le comparateur 47 du moteur (Mf) 26 au convertisseur 50.

Un commutateur général 57 est prévu sur l'automate 2 permettant la commande de ces moyens en même temps que le passage d'un programme de marche à l'autre en fonction du choix de la vitesse, V ou W , qui est

maintenue constante.

Il convient de préciser que la possibilité de réglage en hauteur de l'unité d'amenée 7 ne saurait, en toute rigueur, constituer une caractéristique indispensable de l'invention. Elle présente cependant l'utilité, comme déjà dit, de délivrer le fil dans l'espace de réception au voisinage en hauteur de l'endroit de dépose des spires et contribue ainsi, en minimisant le délai entre le moment de formation de la spire et sa dépose au sein de la galette en constitution, à améliorer l'ordre du rangement des spires dans la structure particulière de l'enroulement recherché.

On signale à cet égard que l'ordre de rangement précité s'apprécie quantitativement par un coefficient dit "de foisonnement" des spires dans le bobinage terminé. Les essais ont montré en effet que ce coefficient, lequel se définit dans le domaine considéré comme le rapport entre le volume de l'espace de réception et le volume occupé par les spires, constitue, dans le cas de l'invention, un indicateur de l'écart à l'idéalité de l'enroulement réalisé, dans laquelle, on le rappelle, il n'y aurait aucun mélange de spires entre galettes consécutives.

Une autre disposition, non indispensable mais permettant également de minimiser le coefficient de foisonnement, réside dans la forme repliée et coudée de la partie terminale 36 du tube guide 35 d'amenée du fil. Cette disposition procure une introduction sensiblement tangentielle du fil dans l'espace de réception et permet en conséquence de préformer le fil en une spire qui s'inscrit dans l'espace annulaire 16. De plus, la localisation du tube guide 35 à mi-distance entre le support d'enroulement et le fourreau extérieur permet de conférer à cette spire un diamètre moyen, ce qui tend également à améliorer la qualité du rangement des spires.

On comprend aisément que ces dispositions conjuguent très favorablement leur effet avec celui d'un réglage en hauteur du point d'introduction du fil dans l'espace de réception, c'est-à-dire, en référence au dispositif décrit, du réglage en hauteur de l'unité d'amenée 7.

Une autre variante de réalisation permettant de se rapprocher encore de la structure d'enroulement idéale, consiste à prévoir un mécanisme de déplacement latéral du tube 35 (éventuellement de l'équipage mobile 7 d'amenée du fil) pour asservir la position de son extrémité de sortie au diamètre de la spire en formation de manière à délivrer le fil dans l'espace de réception en un point situé à l'aplomb de l'emplacement de dépose de chaque spire.

Il est utile d'indiquer qu'une particularité fort avantageuse de l'invention, et qui sera vivement appréciée par les constructeurs de transformateurs, consiste à choisir comme support d'enroulement, la colonne basse tension de l'appareil à réaliser.

De plus, le fourreau 15 servant à délimiter le gabarit de l'enroulement, peut être avantageusement une virole en carton placée à demeure, qui servira par la suite également d'isolation de l'enroulement par rapport à la masse de la cuve de destination finale.

Un aspect particulièrement intéressant de l'invention réside donc dans le fait qu'elle permet de réaliser directement un élément complet de transformateur qui peut être placé sur son noyau magnétique, sans préparation ou modification d'aucune sorte, si ce n'est, le cas échéant, la mise en place des disques de serrage habituels aux extrémités de l'enroulement, encore que l'un d'entre eux peut avantageusement être prévu initialement à la base de l'espace de réception lors de la pose du support d'enroulement et du fourreau sur le plateau de la bobineuse.

Il faut encore souligner que l'invention est tout à fait compatible avec la mise en place, si on le désire, d'un système de refroidissement de l'enroulement. Ceci ne pose aucun problème non maîtrisé, car il est aisé d'insérer des canaux de refroidissement entre les galettes par introduction de disques perforés, en cours de bobinage par arrêts momentanés de la bobineuse.

Par ailleurs, l'expérience a montré qu'avec un tube guide 35 simplement coudé à son extrémité de sortie, les spires en formation avaient tendance à se soulever pour des vitesses de rotation élevées du plateau.

C'est pour y remédier que les inventeurs ont prévu, comme le montre la figure 1, de conformer la partie terminale 36 du tube guide en "S" à l'horizontale, c'est-à-dire selon une double courbure. La seconde courbure étant à l'opposé de la première, l'ouverture de sortie est donc dirigée vers le bas, ce qui permet de bien rabattre le fil en direction du lit de spires déjà déposées et, ainsi, les difficultés prémentionnées disparaissent même aux grandes vitesses de rotation.

L'invention peut être mise en oeuvre avec des fils de diamètre les plus faibles jusqu'à des valeurs supérieures à 10 mm.

Pour les gros diamètres, il est bien entendu souhaitable d'utiliser des fils en cuivre souple, convenablement recuits à cet effet.

Les enroulements peuvent être réalisés sans difficultés à grande vitesse (i.e. plusieurs centaines de tours/mn), chaque diamètre de fil ayant bien entendu sa vitesse d'enroulement ou sa plage de vitesse d'enroulement optimales que l'homme de métier saura rapidement déterminer s'il souhaite mettre en oeuvre l'invention aux meilleures conditions de productivité. A titre purement indicatif, un fil de cuivre de 0,9 mm de diamètre s'accommode parfaitement avec des vitesses de pointe de rotation du plateau de 400 t/mn environ.

L'invention s'applique de préférence, mais non limitativement, aux enroulements haute et moyenne tension des transformateurs.

Bien que conçue initialement pour les transformateurs, l'invention n'est pas pour autant limitée à cette application, mais s'étend à la réalisation des enroulements électriques destinés à tout appareil inductif, en particulier de type statique, présentant un grand nombre de spires habituellement organisées en longues couches concentriques.

De même l'invention peut mettre en oeuvre des fils électro-conducteurs à bobiner de différents formats (rond,

(12)

carré, rectangulaire) et de différentes tailles.

De même encore, l'invention couvre la réalisation de bobinage d'enroulements tant à un seul fil qu'à fils multiples. De même enfin, l'opérateur reste libre quant aux choix des paramètres de marche du dispositif bobineur, en particulier quant au choix de la vitesse de référence, qu'il saura prédéterminer en fonction de ses souhaits ou nécessités.

Revendications

1) Procédé de bobinage des enroulements inductifs équipant les appareils électriques, notamment les appareils statiques tels que les transformateurs et constitués par au moins un fil électroconducteur (17) enroulé autour et le long d'un support d'enroulement (14) en galettes empilées constituées chacune par une bobine plate spiralée qui se développe radialement alternativement dans le sens centrifuge puis dans le sens centripète quand on passe d'une galette à la suivante, procédé selon lequel:

- on dispose le support d'enroulement (14) verticalement et on l'entoure à distance d'un fourreau coaxial (15) de manière à ménager entre eux un espace annulaire (16) de réception du fil (17) et dont le fond est obturé temporairement,

- on introduit le fil (17) dans l'espace (16) par le haut et on fixe l'extrémité du fil à la base dudit espace, de préférence sur le support d'enroulement (14),

- et, dans le but de déposer le fil (17) sous forme de spires (18) de diamètre voulu, on amène en continu le fil dans l'espace de réception (16) avec une vitesse linéaire V, tout en lui imprimant un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement avec une vitesse angulaire W, ces deux opérations étant effectuées conjointement, l'une des deux vitesses étant réglée à une valeur de consigne et l'autre, variable, étant réglée de manière à respecter la relation suivante:

$$\left(\frac{V}{W} \right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

où V est exprimée en mètres par seconde, W est exprimée en tours par seconde et a_i est comptée à partir du support d'enroulement, où D représente le diamètre du support d'enroulement exprimé en mètres et d représente le diamètre du fil exprimé en mètres; procédé caractérisé en ce que l'amenée de fil et le mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement se réalisent à l'aide de deux moyens moteurs (26, 13) indépendants entre eux, en ce que l'on compte à tout instant le nombre de rotations réalisées entre le fil et le support d'enroulement pour en déduire le rang a_i de la spire en formation, a_i étant une variable à valeur entière; en ce que l'on détermine, à l'aide de moyens de calcul rapide, ladite vitesse variable et en ce que l'on actionne en conséquence le moyen moteur dont dépend la vitesse variable afin que ladite relation soit à tout instant respectée.

2) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'on imprime au fil (17) un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement (14) en faisant tourner ce dernier autour de son axe.

3) Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on maintient constante la vitesse V d'amenée du fil (17) dans l'espace de réception (16) et on régule la vitesse W_i de rotation relative du fil autour du support d'enroulement (14) en fonction du rang a_i de la spire en formation à l'aide de la relation:

$$W_i = \frac{V}{\pi (D + 2d (a_i - 1))}$$

où D et d représentent, exprimés en m, respectivement le diamètre du support d'enroulement (14) et le diamètre du fil (17).

4) Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on amène le fil (17) dans l'espace de réception (16) selon une trajectoire qui se termine horizontalement.

5) Procédé selon les revendications 1, 2 ou 4 caractérisé en ce que l'on amène le fil (17) dans l'espace de réception (16) en l'y introduisant à un niveau régulé en hauteur en fonction du niveau en hauteur du dépôt de la spire (18).

6) Procédé selon les revendications 1, 2, 4 ou 5 caractérisé en ce que l'on délivre le fil (17) dans l'espace de réception (16) en une position radiale située à mi-distance entre le support d'enroulement (14) et le fourreau coaxial (15).

7) Procédé selon les revendications 1, 2, 4 ou 5 caractérisé en ce que l'on délivre le fil (17) dans l'espace de réception (16), entre le support d'enroulement (14) et le fourreau coaxial (15), en une position radiale à l'aplomb de l'emplacement de dépôt de chaque spire (18).

8) Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, dans lequel une bobineuse (1) comporte:

carré, rectangulaire) et de différentes tailles.

De même encore, l'invention couvre la réalisation de bobinage d'enroulements tant à un seul fil qu'à fils multiples. De même enfin, l'opérateur reste libre quant aux choix des paramètres de marche du dispositif bobineur, en particulier quant au choix de la vitesse de référence, qu'il saura prédéterminer en fonction de ses souhaits ou nécessités.

Revendications

1) Procédé de bobinage des enroulements inductifs équipant les appareils électriques, notamment les appareils statiques tels que les transformateurs et constitués par au moins un fil électroconducteur (17) enroulé autour et le long d'un support d'enroulement (14) en galettes empilées constituées chacune par une bobine plate spiralée qui se développe radialement alternativement dans le sens centrifuge puis dans le sens centripète quand on passe d'une galette à la suivante, procédé selon lequel:

- on dispose le support d'enroulement (14) verticalement et on l'entoure à distance d'un fourreau coaxial (15) de manière à ménager entre eux un espace annulaire (16) de réception du fil (17) et dont le fond est obturé temporairement,

- on introduit le fil (17) dans l'espace (16) par le haut et on fixe l'extrémité du fil à la base dudit espace, de préférence sur le support d'enroulement (14),

- et, dans le but de déposer le fil (17) sous forme de spires (18) de diamètre voulu, on amène en continu le fil dans l'espace de réception (16) avec une vitesse linéaire V, tout en lui imprimant un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement avec une vitesse angulaire W, ces deux opérations étant effectuées conjointement, l'une des deux vitesses étant réglée à une valeur de consigne et l'autre, variable, étant réglée de manière à respecter la relation suivante:

$$\left(\frac{V}{W} \right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

où V est exprimée en mètres par seconde, W est exprimée en tours par seconde et a_i est comptée à partir du support d'enroulement, où D représente le diamètre du support d'enroulement exprimé en mètres et d représente le diamètre du fil exprimé en mètres; procédé caractérisé en ce que l'amenée de fil et le mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement se réalisent à l'aide de deux moyens moteurs (26, 13) indépendants entre eux, en ce que l'on compte à tout instant le nombre de rotations réalisées entre le fil et le support d'enroulement pour en déduire le rang a_i de la spire en formation, a_i étant une variable à valeur entière; en ce que l'on détermine, à l'aide de moyens de calcul rapide, ladite vitesse variable et en ce que l'on actionne en conséquence le moyen moteur dont dépend la vitesse variable afin que ladite relation soit à tout instant respectée.

2) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'on imprime au fil (17) un mouvement relatif de rotation autour du support d'enroulement (14) en faisant tourner ce dernier autour de son axe.

3) Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on maintient constante la vitesse V d'amenée du fil (17) dans l'espace de réception (16) et on règle la vitesse W_i de rotation relative du fil autour du support d'enroulement (14) en fonction du rang a_i de la spire en formation à l'aide de la relation:

$$W_i = \frac{V}{\pi (D + 2d (a_i - 1))}$$

où D et d représentent, exprimés en m, respectivement le diamètre du support d'enroulement (14) et le diamètre du fil (17).

4) Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on amène le fil (17) dans l'espace de réception (16) selon une trajectoire qui se termine horizontalement.

5) Procédé selon les revendications 1, 2 ou 4 caractérisé en ce que l'on amène le fil (17) dans l'espace de réception (16) en l'y introduisant à un niveau réglé en hauteur en fonction du niveau en hauteur du dépôt de la spire (18).

6) Procédé selon les revendications 1, 2, 4 ou 5 caractérisé en ce que l'on délivre le fil (17) dans l'espace de réception (16) en une position radiale située à mi-distance entre le support d'enroulement (14) et le fourreau coaxial (15).

7) Procédé selon les revendications 1, 2, 4 ou 5 caractérisé en ce que l'on délivre le fil (17) dans l'espace de réception (16), entre le support d'enroulement (14) et le fourreau coaxial (15), en une position radiale à l'aplomb de l'emplacement de dépôt de chaque spire (18).

8) Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, dans lequel une bobineuse (1) comporte:



- un plateau horizontal (6) pouvant être mis en rotation à vitesse variable autour de son axe vertical (10) par un moteur d'entraînement M_p (13), ce plateau étant destiné à recevoir le support (14) d'enroulement du fil électroconducteur (17) et le fourreau coaxial (15) qui entoure le support (14) à distance en définissant entre eux un espace (16) de réception du fil;

- une unité (7) d'amenée du fil dans l'espace (16) placée au-dessus du plateau (6) et présentant, d'une part, un système (19, 19', 20, 20') d'entraînement du fil et, d'autre part, un tube (35) pour guider le fil (17) depuis sa sortie dudit système d'entraînement, ladite unité (7) étant mobile en translation verticale; dispositif caractérisé en ce que le fil (17) est entraîné par un moteur M_f (26) distinct du moteur M_p (13) entraînant le plateau, en ce que le tube (35) de guidage du fil est disposé sensiblement vertical dans l'espace de réception (16), en ce que la translation verticale de ladite unité (7) d'amenée du fil se fait par un moteur de réglage en hauteur M_g (24) distinct des deux premiers, et en ce que le dispositif comporte en outre:

- une unité (3) de commande des moteurs (13, 24, 26) comprenant des variateurs de vitesse (44, 45, 46) et un sélecteur de vitesse (52) permettant d'élaborer un signal (R) représentatif d'une vitesse de consigne à imprimer soit au moteur M_f (26) d'entraînement du fil (17), soit au moteur M_p (13) d'entraînement du plateau;

- et une unité de contrôle (2) pilotant le moteur de réglage en hauteur M_g (24) et le moteur M_p (13) ou M_f (26) non commandé par la consigne (R) de manière à respecter la relation suivante

$$\left(\frac{V}{W}\right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

où V représente la vitesse d'entraînement du fil (17) dans l'espace de réception (16) (en m/s), W représente la vitesse de rotation du plateau (6) (en t/s), D et d représentent respectivement le diamètre du support d'enroulement (14) et le diamètre du fil (17) (en m) et a_i représente le rang de la i^{ème} spire en formation dans l'espace de réception (16) entre le support d'enroulement (14) et le fourreau extérieur coaxial (15), et compté à partir dudit support.

9) Dispositif selon la revendication 8 caractérisé en ce que le tube (35) présente une partie terminale de sortie (36) repliée selon une double courbure en forme d'un "S" dont l'orifice de sortie est dirigé vers le bas.

10) Dispositif selon les revendications 8 ou 9 caractérisé en ce que le tube (35) de guidage du fil est mobile en translation horizontale.

11) Dispositif selon la revendication 8 caractérisé en ce que l'unité de contrôle est constituée par un automate programmable (2), recevant en entrée des signaux (F), (H) (P) représentatifs des caractéristiques de marche du dispositif et élaborés par des capteurs de vitesse (37, 38, 39, 40) équipant les moteurs (13, 24, 26).

Claims

1. A method for winding inductive coils with which electrical devices, in particular static devices such as transformers, are equipped, said coils comprising at least one electrically conductive wire (17) wound around and along a winding support (14) of laminated disk coils each consisting of a flat spirally wound coil which uncoils radially alternately in the centrifugal direction and then in the centripetal direction when one passes from one disk coil to the next, said method comprising the following steps:

- the winding support (14) is disposed vertically and surrounded at a distance by a coaxial sheath (15) so as to create an annular space (16) therebetween for receiving the wire (17) and whose bottom is temporarily closed off,

- the wire (17) is introduced into the space (16) from above and the end of the wire is fixed to the base of said space, preferably on the winding support (14),

- and, in order to dispose the wire (17) in the form of turns (18) of a desired diameter, the wire is continuously fed into the receiving space (16) at a linear speed V while being imparted a relative movement of rotation about the winding support at an angular speed W, these two operations being effected jointly, one of the two speeds being regulated to a desired value and the other, being variable, being regulated so as to respect the following relation:

$$\left(\frac{V}{W}\right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

wherein V is expressed in meters per second, W is expressed in revolutions per second and a_i is counted starting from the winding support, wherein D represents the diameter of the winding support expressed in meters and d represents the diameter of the wire expressed in meters; said method being characterized in that the feeding of the wire and the relative movement of rotation about the winding support are effected by aid of two mutually independent motive means (26, 13), in that the number of rotations realized between the wire and the winding support is counted at all times in order to deduce the rank a_i of the turn being formed, a_i being a



variable with an integral value; in that said variable speed is determined by aid of fast calculating means, and in that the motive means on which the variable speed depends is consequently activated in order that said relation be respected at all times.

2. The method according to claim 1, characterized in that the wire (17) is imparted a relative movement of rotation about the winding support (14) by having the latter rotate about its axis.

3. The method according to claim 1 or 2, characterized in that the speed V at which the wire (17) is fed into the receiving space (16) is kept constant and the speed W_i of relative rotation of the wire about the winding support (14) is regulated as a function of the rank a_i of the turn being formed by aid of the relation:

$$W_i = \frac{V}{\pi (D + 2d (a_i - 1))}$$

wherein D and d represent, expressed in meters, the diameter of the winding support (14) and the diameter of the wire (17), respectively.

4. The method according to claim 1 or 2, characterized in that the wire (17) is fed into the receiving space (16) in accordance with a trajectory which ends horizontally.

5. The method according to claims 1, 2 or 4, characterized in that the wire (17) is fed into the receiving space (16) by being introduced at a regulated level of height as a function of the level of height of the depositing of the turn (18).

6. The method according to claims 1, 2, 4 or 5, characterized in that the wire (17) is fed into the receiving space (16) in a radial position situated half-way between the winding support (14) and the coaxial sheath (15).

7. The method according to claims 1, 2, 4 or 5, characterized in that the wire (17) is fed into the receiving space (16) between the winding support (14) and the coaxial sheath (15) in a radial position perpendicular to the place where each turn (18) is deposited.

8. An apparatus for carrying out the method according to claim 1, in which a coiler comprises:

- a horizontal plate (6) capable of being rotated at a variable speed about its vertical axis (10) by a driving motor M (13), said plate being intended to receive the winding support (14) for the electrically conductive wire (17) and the coaxial sheath (15) surrounding the support (14) at a distance defining a space (16) for receiving the wire therebetween;

- a unit (7) for feeding the wire into the space (16) placed above the plate (6) and comprising on one side a system (19, 19', 20, 20') for pulling-along the wire and on the other side a tube (35) for guiding the wire (17) from its exit out of said pulling along system, said unit (7) being mobile by vertical displacement; said apparatus being characterized in that the wire (17) is pulled along by a motor Mf (26) distinct from the motor Mp (13) driving the plate, in that the tube (35) for guiding the wire is disposed substantially vertically in the receiving space (16), in that the vertical displacement of said unit (6) for feeding the wire is effected by a height regulating motor Mg (24) distinct from the first two motors, and in that the apparatus further comprises:

- a unit (3) for controlling the motors (13, 24, 26) comprising variable speed drives (44, 45, 46) and a speed selector (52) allowing for a signal (R) representing a desired speed to be processed for imparting said speed either to the motor Mf (26) for pulling along the wire (17) or to the motor Mp (13) for driving the plate;

- and a control unit (2) for controlling the height regulating motor Mg (24) and the motor Mp (13) or Mf (26) not activated by the desired value (R) in such a way as to respect the following relation:

$$\left(\frac{V}{W_i}\right) = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

wherein V represents the speed at which the wire (17) is fed into the receiving space (16) (in m/s), W represents the rotational speed of the plate (6) (in rps), D and d represent the diameter of the winding support (14) and the diameter of the wire (17), respectively (in m), and a_i represents the rank of the i-th turn being formed in the receiving space (16) between the winding support (14) and the outer coaxial sheath (15), and counted starting from said support.

9. The apparatus according to claim 8, characterized in that the tube (35) comprises an end outlet portion (36) folded over according to a double curve in an S shape, whose outlet opening is directed downwardly.

10. The apparatus according to claims 8 or 9, characterized in that the tube (35) for guiding the wire is mobile by horizontal displacement.

11. The apparatus according to claim 8, characterized in that the control unit comprises a programmable automaton (2) which receives as input signals (F), (H), (P) representing operating characteristics of the apparatus and processed by speed sensors (37, 38, 39, 40) with which the motors (13, 24, 26) are equipped.





Patentansprüche

1. Verfahren zum Wickeln von induktiven Spulen, mit denen elektrische Geräte, insbesondere statische Geräte wie Transformatoren, ausgerüstet sind und die aus mindestens einem elektrisch leitenden Draht (17) bestehen, der entlang eines Spulenhalters (14) und um diesen herum in Form aufeinandergestapelter Flachspulen gewickelt ist, deren jede aus einer spiralförmigen flachen Spule besteht, die sich radial abwechselnd in Zentrifugalrichtung und in Zentripetalrichtung erstrecken, beim Übergang von einer Flachspule zur nächsten, bei dem:

- der Spulenhalter (14) vertikal angeordnet wird und im Abstand von einer coaxialen Hülle (15) derart umgeben wird, daß zwischen ihnen ein ringförmiger Raum (16) zur Aufnahme des Drahtes (17) entsteht, wobei sein Boden zeitweise verschlossen wird,

- der Draht (17) in den Raum (16) von oben eingebracht wird und das Drahtende am Boden dieses Raumes befestigt wird, vorzugsweise am Spulenhalter (14) und

- um den Draht (17) in Windungen (18) mit gewolltem Durchmesser einzubringen, der Draht kontinuierlich in den Aufnahmeraum (16) mit einer linearen Geschwindigkeit V eingeführt wird, wobei ihm eine relative Drehbewegung um den Spulenhalter mit einer Winkelgeschwindigkeit W erteilt wird und wobei diese beiden Schritte gleichzeitig durchgeführt werden, unter Steuerung einer der beiden Geschwindigkeiten durch einen Sollwert und der anderen, variablen, derart, daß die folgende Beziehung erfüllt wird:

$$\left(\frac{V}{W} \right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

in der V in Metern pro Sekunde dargestellt ist, W in Umdrehungen pro Sekunde, a_i ausgehend vom Spulenhalter gezählt wird, D den Durchmesser des Spulenhalters in Metern darstellt und d den Durchmesser des Drahtes in Metern darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß die Drahtzufuhr und die relative Drehbewegung um den Spulenhalter mittels zweier voneinander unabhängiger Motoranordnungen (26, 13) erfolgen, daß zu jedem Zeitpunkt die Anzahl der Umdrehungen zwischen dem Draht und dem Spulenhalter gezählt wird, um daraus die Schicht a_i der sich bildenden Windung abzuleiten, wobei a_i eine ganzzahlige Variable ist, daß mittels einer Schnellrechneranordnung die variable Geschwindigkeit ermittelt wird und daß daraufhin die Motoranordnung, von der die variable Geschwindigkeit abhängt, betätigt wird, so daß die genannte Beziehung jederzeit eingehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Draht (17) die relative Drehbewegung um den Spulenhalter (14) herum dadurch erteilt wird, daß letzterer um seine Achse gedreht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit V der Zufuhr des Drahtes (17) in den Aufnahmeraum (16) konstant gehalten wird und daß die Geschwindigkeit W_i der Relativedrehung des Drahtes um den Spulenhalter (14) als Funktion der Schicht a_i der gebildeten Windung gesteuert wird mittels der Beziehung

$$W_i = \frac{V}{\pi (D + 2d (a_i - 1))}$$

in der D und d in Metern den Durchmesser des Spulenhalters (14) bzw. den Durchmesser des Drahtes (17) darstellen.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (17) in den Aufnahmeraum (16) entlang eines Weges eingeführt wird, der waagrecht endet.

5. Verfahren nach Ansprüchen 1, 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (17) dem Aufnahmeraum (16) derart zugeführt wird, daß er auf einem Niveau eingebracht wird, dessen Höhe als Funktion der Höhe des Ausbildens der Windung (18) gesteuert wird.

6. Verfahren nach Ansprüchen 1, 2, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (17) dem Aufnahmeraum (16) an einer radialen Stelle zugeführt wird, die sich auf halbem Wege zwischen dem Spulenhalter (14) und der coaxialen Hülle (15) befindet.

7. Verfahren nach Ansprüchen 1, 2, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (17) dem Aufnahmeraum (16) zwischen dem Spulenhalter (14) und der coaxialen Hülle (15) an einer radialen Stelle senkrecht zur Anordnungsrichtung einer jeden Windung (18) zugeführt wird.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer Wickelmaschine (1) die folgende Teile aufweist:

- eine waagrechte Platte (6), die mit variabler Geschwindigkeit in Drehungen versetzt werden kann um ihre senkrechte Achse (10) mittels eines Antriebsmotors M_p (13), wobei die Platte (13) dazu dient, den Spulenhalter (14) für den elektrisch leitenden Draht (17) aufzunehmen sowie eine coaxiale Hülle (15), die den Kern (14) im Abstand umgibt, so daß ein Aufnahmeraum (16) für den Draht zwischen ihnen entsteht;

- eine Einheit (7) für die Zufuhr des Drahtes in den Raum (16), die oberhalb der Platte (6) angeordnet ist und



einerseits ein Antriebssystem (19, 19', 20, 20') für den Draht aufweist und andererseits ein Rohr (35) um den Draht vom Ausgang des Antriebssystems zu führen, wobei die Einheit (7) in senkrechter Richtung verschiebbar ist;

dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (17) von einem Motor M_f (26) angetrieben ist, der unabhängig vom Motor M_p (13) für den Antrieb der Platte ist, daß das Führungsrohr (35) für den Draht im wesentlichen senkrecht im Aufnahmeraum (16) angeordnet ist und daß die senkrechte Verschiebung der Zufuhreinheit (7) für den Draht mittels eines höhenverstellbaren Motors M_g (24) erfolgt unabhängig von den beiden ersteren, und daß die Vorrichtung fernerhin aufweist:

- eine Steuereinheit (3) für die Motoren (13, 24, 26) mit stufenlos regelbaren Getrieben (44, 45, 46) und einem Geschwindigkeitswähler (52) um die Ausbildung eines Signals R zu ermöglichen, das eine Sollgeschwindigkeit bedeutet und das entweder dem Antriebsmotor M_f (26) für den Draht oder dem Antriebsmotor M_p (13) für die Platte zugeführt wird;

- und eine Kontrolleinheit (2), die den höhenverstellbaren Motor M_g (24) steuert sowie den Motor M_p (13) oder M_f (26), der nicht vom Schwellensignal R gesteuert ist, wobei die folgende Beziehung erfüllt ist

$$\left(\frac{V}{W}\right)_i = \pi (D + 2d (a_i - 1))$$

in der V die Antriebsgeschwindigkeit des Drahtes (17) im Aufnahmeraum (16) (in m/s) darstellt, W die Drehgeschwindigkeit der Platte (6) (in U/s) darstellt, D und d den Durchmesser des Spulenhalters (14) bzw. des Drahts (17) (in m) darstellen und a_i die Schicht der i-ten gebildeten Windung im Aufnahmeraum (16) zwischen dem Spulenhalter (14) und der äußeren coaxialen Hülle (15) darstellt und vom Spulenhalter aus gezählt wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr (35) einen Auslaßabschnitt (36) aufweist, der in Form eines "S" doppelt gebogen ist, wobei die Auslaßöffnung nach unten gerichtet ist.

10. Vorrichtung nach Ansprüchen 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsrohr (35) für den Draht in waagrechter Richtung verschiebbar ist.

II. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontrolleinheit aus einem programmierbaren Automaten (2) besteht, dessen Eingänge die Signale (F), (H) (P) zugeführt werden, die die Betriebsparameter der Vorrichtung darstellen und von Geschwindigkeitsfühlern (37, 38, 39, 40) stammen, mit denen die Motoren (13, 24, 26) versehen sind.

