

⑫

**BREVET D'INVENTION**

**B1**

⑤④ BOBINE DE ROGOWSKI ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE.

②② Date de dépôt : 23.07.14.

③③ Priorité : 19.11.13 IB WOJP2013/00663.

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY  
et OKAZAKI MANUFACTURING COMPANY — JP.

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 22.05.15 Bulletin 15/21.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 15.12.17 Bulletin 17/50.

⑦② Inventeur(s) : TAKECHI MANABU, NISHIKAWA  
TAKETO et RYO TOSHIHIKO.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

⑦③ Titulaire(s) : JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY,  
OKAZAKI MANUFACTURING COMPANY.

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.



## BOBINE DE ROGOWSKI ET PROCÉDÉ DE FABRICATION ASSOCIÉ

### **Domaine technique**

La présente invention concerne une bobine de Rogowski utilisée dans la mesure de courant et un procédé de fabrication associé. En particulier, la présente invention concerne une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre et est utilisée dans un environnement difficile qui nécessite une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations, ainsi qu'un procédé de fabrication associé.

### **Arrière-plan technologique**

Comme on le sait bien, dans une bobine de Rogowski, un noyau à air ou un corps non magnétique (un matériau qui ne devient pas magnétisé dans un champ magnétique) est utilisé en tant que noyau, une ligne de conducteur, appelée bobine toroïdale, est enroulée en une forme annulaire pour former une bobine de forme torique, et l'extrémité d'enroulement de cette ligne de conducteur est connectée à une ligne de conducteur généralement appelée ligne de ré-enroulement, qui est ré-enroulée jusqu'à la position d'enroulement initiale le long de l'anneau, et cette bobine de Rogowski est utilisée pour mesurer la valeur de courant d'un courant alternatif passant à travers l'ouverture centrale du tore. À titre de principe de mesure, la valeur de courant est obtenue en mesurant la force électromotrice induite qui est générée dans la bobine toroïdale par variation du champ magnétique créé à l'intérieur de la bobine toroïdale par le courant alternatif, et la valeur de courant est obtenue en intégrant la différence de potentiel entre les deux extrémités de la ligne de conducteur. Une configuration spécifique du trajet de ligne de conducteur d'une bobine de Rogowski est par exemple représentée sur la figure 8 du document de brevet 2, et la bobine toroïdale 2 et la ligne de ré-enroulement 4 représentées sur cette figure sont également illustrées sur la figure 3. Il faut noter qu'un noyau à air ou un corps non magnétique est utilisé en tant que noyau de la bobine toroïdale afin d'éviter une saturation du flux magnétique qui est créé à l'intérieur de la bobine par le courant qui doit être mesuré, et la ligne de ré-enroulement est destinée à éliminer l'influence du champ magnétique qui pénètre dans l'ouverture centrale de la bobine toroïdale.

Conventionnellement, la structure des bobines de Rogowski est obtenue en utilisant divers procédés de fabrication, parmi lesquels figurent les exemples présentés ci-après. Le document de brevet 1 décrit une bobine toroïdale formée en enroulant un conducteur qui comporte un revêtement isolant flexible autour d'un  
5 tube créé à partir d'un matériau isolant flexible (exemple classique 1), le document de brevet 2 décrit une bobine toroïdale formée en déposant un film conducteur sur une base torique faite d'un matériau isolant (exemple classique 2), et le document de brevet 3 décrit une bobine toroïdale formée en fournissant des lignes d'un dépôt  
10 métallique s'étendant radialement sur les côtés supérieur et inférieur d'une plaque faite d'un matériau isolant qui comporte une ouverture circulaire au centre, et en connectant électriquement les lignes du dépôt métallique sur les côtés supérieur et inférieur avec un conducteur qui pénètre dans la plaque (exemple classique 3).

En outre, comme cela est présenté dans le document de brevet 4, une bobine toroïdale est obtenue en découpant à l'emporte-pièce et en pliant une plaque  
15 métallique mince (exemple classique 4).

### **Documents d'art antérieur**

#### Documents de brevet :

document de brevet 1 : JP 2012-88224A,  
20 document de brevet 2 : JP 2001-102230A,  
document de brevet 3 : JP H06-176947A,  
document de brevet 4 : JP 2007-201199A.

### **Exposé de l'invention**

#### Problème résolu par l'invention

La technologie classique présente un problème car il est difficile de créer une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre pour le passage de courant cible de mesure, et qui en outre puisse être utilisée dans un environnement à températures élevées ou un environnement à  
30 fortes radiations.

Dans le cas de la bobine toroïdale de l'exemple classique 1 qui utilise un matériau isolant flexible, le matériau isolant peut être fait de polyéthylène, de vinyle, d'un matériau caoutchouteux, ou de matériaux analogues, mais tous ceux-ci

possèdent généralement de faibles résistances à la chaleur et de faibles résistances aux radiations, et donc cette bobine toroïdale ne possède pas une résistance à la chaleur appropriée pour une utilisation à des températures élevées de 300 C ou plus, ou une résistance aux radiations appropriée pour une utilisation prolongée dans un environnement à fortes radiations.

De même, bien que les bobines toroïdales des exemples classiques 2 et 3 dans lesquelles un conducteur fait de métal ou d'un matériau analogue est déposé soient appropriées pour la fabrication de bobines de Rogowski de petites tailles, il est difficile en réalité de créer un appareil pour déposer le conducteur sur une bobine toroïdale de grand diamètre, telle que celle décrite ci-dessus, et la mise en forme du matériau déposé sur la bobine toroïdale nécessite un nombre important d'étapes. Dans le cas de l'exemple classique 4, la création d'une bobine toroïdale de grand diamètre par découpe à l'emporte-pièce et pliage nécessite également, de façon similaire, un appareil de grande dimension et de nombreuses étapes, et donc, de fait, il faut faire face à de nombreuses difficultés.

Dans des réacteurs à fusion nucléaire expérimentaux, une bobine de Rogowski est utilisée dans un environnement à températures élevées et à fortes radiations afin de mesurer un courant de plasma, de mesurer le courant d'une bobine poloïdale, ou des mesures analogues. Bien qu'il y ait eu une demande concernant des bobines de Rogowski qui possèdent une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre en raison d'une augmentation de la taille des réacteurs, il est, de fait, difficile de les fabriquer avec la technologie classique décrite ci-dessus.

Un objet de la présente invention est de résoudre le problème décrit ci-dessus concernant les difficultés de création d'une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre, et qui puisse être utilisée dans un environnement à températures élevées et un environnement à fortes radiations.

### Moyens permettant de résoudre le problème

#### Premier aspect

Un premier aspect de la présente invention se rapporte à au moins une bobine toroïdale, une ligne de ré-enroulement, une gaine, une poudre de matériau isolant inorganique, deux lignes conductrices, et un joint d'étanchéité côté avant et un joint

d'étanchéité côté arrière qui étanchéifient des portions d'ouverture de la gaine, dans lequel,

la bobine toroïdale est un fil dénudé fait d'un métal non magnétique, et est enroulée par une seule révolution pour former un anneau ou par plusieurs révolutions  
5 pour former une spirale,

la ligne de ré-enroulement est un fil dénudé fait d'un métal non magnétique, elle comporte une portion avant qui est jointe à une portion avant de la bobine toroïdale, et s'étend à travers l'intérieur de la bobine toroïdale jusqu'à une portion arrière de la bobine toroïdale,

10 les deux lignes conductrices sont des fils dénudés faits d'un métal, une première ligne étant jointe à une portion arrière de la ligne de ré-enroulement, et une seconde ligne étant joint à la portion arrière de la bobine toroïdale,

la gaine est faite d'un métal non magnétique et loge en son sein la bobine toroïdale, la ligne de ré-enroulement, et les deux lignes conductrices par  
15 l'intermédiaire de la poudre de matériau isolant inorganique de sorte qu'un axe central de la bobine toroïdale et un axe central de la gaine coïncident sensiblement l'un avec l'autre,

le joint d'étanchéité côté avant est fait d'un métal, d'une céramique, d'une association d'un métal et d'une céramique, ou d'une association d'un métal, d'une  
20 céramique, et d'une poudre de matériau isolant inorganique, et le joint d'étanchéité côté avant étanchéifie une ouverture d'une portion avant de la gaine sur un côté sur lequel la bobine toroïdale et la ligne de ré-enroulement sont jointes,

le joint d'étanchéité côté arrière est fait d'une céramique qui est un membre isolant, d'une association d'un métal et d'une céramique qui est un membre isolant,  
25 ou d'une association d'un métal, d'une céramique qui est un membre isolant, et d'une poudre de matériau isolant inorganique, et le joint d'étanchéité côté arrière étanchéifie une ouverture d'une portion arrière de la gaine sur un côté sur lequel la bobine toroïdale et la ligne conductrice sont jointes, dans une configuration dans laquelle les lignes conductrices pénètrent dans la céramique qui est un membre  
30 isolant, et

la bobine toroïdale, la ligne de ré-enroulement, et les lignes conductrices à l'intérieur de la gaine sont fixées par l'intermédiaire de la poudre de matériau isolant inorganique afin de ne pas entrer en contact avec la gaine et ne pas entrer en contact

les unes avec les autres à l'exception d'une portion de connexion entre la bobine toroïdale et la ligne de ré-enroulement, d'une portion de connexion entre la bobine toroïdale et la ligne conductrice, et d'une portion de connexion entre la ligne de ré-enroulement et la ligne conductrice, et, dans un plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire à un plan comprenant l'anneau ou la spirale formée par la bobine toroïdale, deux portions d'extrémité de la gaine se chevauchent l'une l'autre vers l'avant et vers l'arrière dans la direction perpendiculaire de sorte que deux extrémités de la bobine toroïdale à l'intérieur de la gaine soient sensiblement en contact l'une avec l'autre.

10            Cette bobine de Rogowski permet d'obtenir une ouverture centrale à grand diamètre pour le passage du courant cible de mesure, comme cela va être décrit plus bas.

De même, la gaine, la bobine toroïdale, la ligne de ré-enroulement, et les lignes conductrices possèdent une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations car elles sont faites de métal seulement. En outre, une poudre de matériau isolant inorganique possède généralement une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations, et une poudre de magnésie, d'alumine, de silice, ou des matériaux analogues peut être utilisée en tant que matériau bon marché et possédant une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations. En outre, également, une céramique possède généralement aussi une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations, et le joint d'étanchéité côté avant et le joint d'étanchéité côté arrière, qui sont faits d'un ou de deux ou plus matériaux parmi du métal, de la céramique, et une poudre de matériau isolant inorganique, peuvent être faits de matériaux qui sont bon marchés et possédant une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations, par exemple en utilisant de la magnésie cuite, de l'alumine cuite, de la silice cuite, ou des matériaux analogues en guise de céramique, et en utilisant une poudre de magnésie, d'alumine, de silice, ou des matériaux analogues en guise de poudre de matériau isolant inorganique.

30            Comme cela est décrit ci-dessus, il est possible de donner à la bobine de Rogowski de la présente invention, dans l'ensemble, une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations.

Le joint d'étanchéité côté avant et le joint d'étanchéité côté arrière isolent la poudre de matériau isolant inorganique de l'air extérieur, et empêchent qu'une erreur se produise dans la mesure de courant, provoquée par une réduction de l'isolation de la poudre isolante inorganique, engendrée par la pénétration d'humidité.

5 Avec la bobine de Rogowski de la présente invention, la gaine et la bobine toroïdale sont créées à partir d'un métal non magnétique, et la poudre de matériau isolant inorganique est également non magnétique, satisfaisant ainsi à la condition selon laquelle le flux magnétique créé par le courant cible de mesure ne soit pas saturé, ce qui est requis de la bobine de Rogowski, et empêchant également le champ  
10 magnétique créé par le courant cible de mesure à l'intérieur et à l'extérieur de la bobine toroïdale d'être perturbé par la présence d'un corps magnétique (un matériau qui devient magnétisé dans un champ magnétique) et de provoquer une erreur dans la mesure de courant.

Dans une bobine de Rogowski, si la zone dépourvue de bobine entre les deux  
15 extrémités de la bobine toroïdale est longue, il y a une augmentation d'erreur dans la mesure de courant. Dans la présente invention, la zone dépourvue de bobine ne peut pas être complètement éliminée en raison de la présence des joints d'étanchéité aux deux extrémités de la gaine, mais, dans un plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire au plan comprenant l'anneau ou la spirale formée par la  
20 bobine toroïdale, les deux portions d'extrémité de la gaine se chevauchent l'une l'autre vers l'avant et vers l'arrière dans la direction perpendiculaire de sorte que deux extrémités de la bobine toroïdale à l'intérieur de la gaine soient sensiblement en contact l'un avec l'autre, évitant ainsi une erreur dans la mesure de courant.

De même, s'il y a une quantité importante d'erreur durant la conversion en  
25 une valeur de courant dans le cas d'une bobine toroïdale enroulée au moyen d'une seule révolution en raison du fait que la force électromotrice induite générée dans la bobine toroïdale par le courant cible de mesure est faible, la force électromotrice induite peut être augmentée en enroulant la bobine toroïdale par de multiples révolutions pour former une spirale, évitant ainsi une erreur entraînée par le fait que  
30 la force électromotrice induite est faible. La bobine de Rogowski de la présente invention peut être fabriquée plus longue sans difficulté particulière comme cela va être présenté dans un aspect ultérieur, permettant ainsi de réaliser une bobine de

Rogowski enroulée par de multiples révolutions pour former une spirale qui possède un grand diamètre.

De même, dans cette bobine de Rogowski, en appliquant un métal non magnétique sur le métal utilisé dans le joint d'étanchéité côté avant et/ou le joint  
5 d'étanchéité côté arrière, il est possible d'empêcher une erreur dans la mesure de courant provoquée par le fait que le champ magnétique créé par le courant cible de mesure est perturbé par un métal qui n'est pas non magnétique lorsque le joint d'étanchéité est proche de la bobine toroïdale.

En d'autres termes, dans le cas où le joint d'étanchéité côté avant est proche  
10 de la bobine toroïdale, il est possible d'empêcher ce joint d'étanchéité de provoquer une erreur dans la mesure de courant en choisissant un joint d'étanchéité côté avant non magnétique fait en un matériau qui est un métal non magnétique, une céramique, une association d'un métal non magnétique et d'une céramique, ou une association d'un métal non magnétique, d'une céramique, et d'une poudre de matériau isolant  
15 inorganique. Ceci s'applique également au joint d'étanchéité côté arrière.

En ce qui concerne en particulier l'étanchéisation non magnétique des deux extrémités de la gaine, le joint d'étanchéité côté avant peut simplement être obtenu en soudant à la gaine sur sa circonférence entière une plaque métallique, faite d'un matériau non magnétique, et en guise de joint d'étanchéité côté arrière, un manchon  
20 borne non magnétique peut par exemple être appliqué, tel que celui présenté dans le brevet japonais n° 5126563.

De façon similaire, en utilisant des fils dénudés faits d'un métal non magnétique en guise de lignes conductrices, il est possible d'empêcher une erreur dans la mesure de courant provoquée par le champ magnétique créé par le fait que le  
25 courant cible de mesure est perturbé par des fils dénudés faits d'un métal qui n'est pas non magnétique lorsque les lignes conductrices sont proches de la bobine toroïdale.

#### Deuxième aspect

Un deuxième aspect de la présente invention concerne un procédé pour  
30 fabriquer une bobine de Rogowski selon le premier aspect de la présente invention, comprenant :

une étape de fabrication d'isolants de bobine, comprenant la fabrication d'une pluralité d'isolants de bobine, les isolants étant chacun formé par un isolant



cylindrique, qui est créé en une forme cylindrique en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique et comportant un trou traversant pour un fil conducteur linéaire et un ou une pluralité de trous traversants pour des tiges de retenue d'isolant, qui sont parallèles dans une direction axiale à des emplacements prédéterminés dans une direction radiale, et un fil de bobine, qui est une ligne de conducteur qui a été enroulée sur la longueur entière de la surface de l'isolant cylindrique dans la direction axiale afin de former une bobine ;

une étape d'alignement d'isolants de bobine, comprenant l'insertion d'une tige de retenue d'isolant, qui est faite d'un matériau non magnétique, dans chacun des trous traversants pour tige de retenue d'isolant de chacun des isolants de bobine pour que la pluralité d'isolants de bobine, fabriqués dans l'étape de fabrication d'isolants de bobine, soient successivement montés sur les tiges de retenue d'isolant, de sorte que des faces d'extrémité d'isolants de bobine adjacents soient sensiblement en contact l'une avec l'autre, et, lorsque les faces d'extrémité sont sensiblement mises en contact l'une avec l'autre, un fil conducteur de courte longueur soit disposé pour chaque jeu de faces d'extrémité qui se font face l'une à l'autre, afin d'être connecté à des extrémités des fils de bobine dans des creux ou des trous traversants prévus dans des portions d'extrémité de l'isolant de bobine et de l'isolant de bobine adjacent, et afin de couvrir le premier isolant de bobine et l'isolant de bobine adjacent ;

une étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion d'un fil conducteur linéaire dans le trou traversant pour fil conducteur linéaire afin de passer à travers tous les isolants de bobine, qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant dans l'étape d'alignement d'isolants de bobine, la jonction d'une portion avant du fil conducteur linéaire passant à travers les isolants de bobine à une extrémité côté avant du fil de bobine de l'isolant de bobine, qui est situé dans une portion d'extrémité côté avant, et, respectivement, la jonction des lignes conductrices à une portion arrière du fil conducteur linéaire et à une extrémité côté arrière du fil de bobine de l'isolant de bobine, qui est situé dans une portion d'extrémité côté arrière ;

une étape de montage d'isolants tubulaires, après l'étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion des isolants de bobine, qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant, dans une pluralité d'isolant tubulaires, qui sont créés en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique, de sorte que des faces

circonférentielles extérieures de tous les isolants de bobine soient entourées par les isolants tubulaires ;

une étape de réduction de diamètre de gaine, après l'étape de montage d'isolants tubulaires, comprenant l'insertion des tiges de retenue d'isolant, sur  
5 lesquelles les isolants de bobine, les fils conducteurs de courte longueur, le fil conducteur linéaire, les lignes conductrices, et les isolants tubulaires sont montés, dans la gaine qui a été étendue linéairement, le remplissage d'espaces entre les membres insérés à l'intérieur de la gaine avec une poudre de matériau isolant inorganique, et, après cela, l'application de force mécanique sur une face  
10 circonférentielle extérieure de la gaine afin de réduire le diamètre extérieur de la gaine ; et

une étape de courbage de gaine, après l'étape de réduction de diamètre de gaine, comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté avant et du joint d'étanchéité côté arrière à deux portions d'extrémité de la gaine, et le courbage de la gaine en un  
15 anneau ou une spirale prédéterminé de sorte que les fils de bobine et les fils conducteurs de courte longueur forment la bobine toroïdale, et de sorte que le fil conducteur linéaire forme le fil de ré-enroulement,

en raison de la réduction du diamètre extérieur de la gaine dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, les isolants cylindriques des isolants de bobine et les  
20 isolants tubulaires sont pulvérisés, afin d'être transformés en une poudre de matériau isolant inorganique à remplissage dense, et les extrémités des fils de bobine et des fils conducteurs de courte longueur sont mises en contact par l'augmentation de densité.

Selon ce procédé de fabrication, l'augmentation du nombre d'isolants de  
25 bobine permet de fabriquer une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre pour le passage de courant cible de mesure, sans comprendre d'étapes particulièrement difficiles.

De même, dans la fabrication classique d'une bobine de Rogowski, la fabrication de la portion de bobine a nécessité le nombre le plus important d'étapes,  
30 indépendamment du type de structure. Par contre, selon le procédé de fabrication de la présente invention, un enroulement mécanique peut être appliqué à l'enroulement de la ligne de conducteur dans une bobine sur l'isolant cylindrique, permettant ainsi

d'améliorer le rendement de fabrication de bobine et de réduire le nombre d'étapes pour fabriquer la bobine toroïdale par rapport à la technologie classique.

Dans ce procédé de fabrication, en raison de la réduction du diamètre de la gaine dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, les isolants cylindriques des isolants de bobine et les isolants tubulaires sont pulvérisés afin d'être transformés en une poudre de matériau isolant inorganique à remplissage dense, et les extrémités des fils de bobine et des fils conducteurs de courte longueur sont mises en contact par l'augmentation de densité. De même, la poudre de matériau isolant inorganique remplissant la gaine entre également dans un état de remplissage dense en raison de la réduction du diamètre de la gaine.

Après l'étape de courbage de gaine, les fils de bobine des isolants de bobine forment la bobine toroïdale qui est connectée par les fils conducteurs de courte longueur, et le fil conducteur linéaire forme la ligne de ré-enroulement.

En raison du fait que la poudre de matériau isolant inorganique subit un remplissage dense dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, la bobine toroïdale, la ligne de ré-enroulement, les lignes conductrices, et les tiges de retenue d'isolateur à l'intérieur de la gaine de la bobine de Rogowski finie sont fixées à l'intérieur de la poudre de matériau isolant inorganique afin de ne pas entrer en contact avec la gaine et ne pas entrer en contact les unes avec les autres à l'exception de la portion de connexion entre la bobine toroïdale et la ligne de ré-enroulement, de la portion de connexion entre la ligne conductrice et la bobine toroïdale, et de la portion de connexion entre la ligne conductrice et la ligne de ré-enroulement.

### Troisième aspect

Un troisième aspect de la présente invention se rapporte à un procédé pour fabriquer une bobine de Rogowski selon le premier aspect de la présente invention, comprenant :

une étape de fabrication d'isolants de bobine, comprenant la fabrication d'une pluralité d'isolants de bobine, qui sont chacun formés par un isolant cylindrique, qui est créé en une forme cylindrique en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique et comporte un trou traversant pour fil conducteur linéaire et un ou une pluralité de trous traversants pour tige de retenue d'isolant, qui sont parallèles dans une direction axiale à des emplacements prédéterminés dans une direction radiale, et un fil de bobine, qui est une ligne de conducteur qui a été enroulée sur la longueur

entière de la surface de l'isolant cylindrique dans la direction axiale afin de former une bobine ;

une étape d'alignement d'isolants avec une bobine, comprenant l'insertion d'une tige de retenue d'isolant, qui est faite d'un matériau non magnétique, dans  
5 chacun des trous traversants pour tige de retenue d'isolant de chacun des isolants de bobine pour que la pluralité d'isolants de bobine, fabriqués dans l'étape de fabrication d'isolants de bobine, soient successivement montés sur les tiges de retenue d'isolant, de sorte que des faces d'extrémité d'isolants de bobine adjacents soient sensiblement en contact l'une avec l'autre, et, lorsque les faces d'extrémité  
10 sont sensiblement mises en contact l'une avec l'autre, un fil conducteur de courte longueur soit disposé pour chaque jeu de faces d'extrémité qui se font face l'une à l'autre, afin d'être connecté à des extrémités des fils de bobine dans des creux ou des trous traversants prévus dans des portions d'extrémité du premier isolant de bobine et de l'isolant de bobine adjacent, et afin de couvrir le premier isolant de bobine et  
15 l'isolant de bobine adjacent ;

une étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion d'un fil conducteur linéaire dans le trou traversant pour fil conducteur linéaire afin de passer à travers tous les isolants de bobine, qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant dans l'étape d'alignement d'isolants de bobine, de jonction d'une portion  
20 avant du fil conducteur linéaire passant à travers les isolants de bobine à une extrémité côté avant du fil de bobine de l'isolant de bobine, qui est situé dans une portion d'extrémité côté avant, et, respectivement, la jonction des lignes conductrices à une portion arrière du fil conducteur linéaire et une extrémité côté arrière du fil de bobine de l'isolant de bobine, qui est situé dans une portion d'extrémité côté arrière ;

une étape de montage d'isolant tubulaires, postérieure à l'étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion des isolant de bobine, qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant, dans une pluralité d'isolants tubulaires, qui sont créés en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique, de sorte que des faces circonférentielles extérieures de tous les isolants de bobine soient entourées par les  
25 isolants tubulaires ;  
30

une étape de réduction de diamètre de gaine, postérieure à l'étape de montage d'isolants tubulaires, comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté avant à une extrémité de la gaine qui a été étendue linéairement, l'insertion des tiges de retenue

d'isolant, sur lesquelles les isolants de bobine, les fils conducteurs de courte longueur, le fil conducteur linéaire, les lignes conductrices, et les isolants tubulaires sont montés, dans la gaine à travers l'autre extrémité, le remplissage d'espaces entre les membres insérés à l'intérieur de la gaine avec une poudre de matériau isolant inorganique, et, après cela, l'application de force mécanique sur une face  
5 circonférentielle extérieure de la gaine afin de réduire le diamètre extérieur de la gaine ; et

une étape de courbage de gaine, postérieure à l'étape de réduction de diamètre de gaine, comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté arrière à la gaine, et  
10 courbage de la gaine en un anneau ou une spirale prédéterminé, de sorte que les fils de bobine et les fils conducteurs de courte longueur forment la bobine toroïdale, et de sorte que le fil conducteur linéaire forme le fil de ré-enroulement,

dans lequel procédé, en raison de la réduction du diamètre extérieur de la gaine dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, les isolants cylindriques des isolants de bobine et les isolants tubulaires sont pulvérisés, afin d'être transformés en  
15 une poudre de matériau isolant inorganique à remplissage dense, et les extrémités des fils de bobine et des fils conducteurs de courte longueur sont mises en contact par l'augmentation de densité.

Dans le deuxième aspect, la fixation du joint d'étanchéité côté avant est  
20 réalisée après que le diamètre de la gaine soit réduit, mais le présent aspect est différent car le joint d'étanchéité côté avant est d'abord fixé à la gaine, puis les tiges de retenue d'isolant, avec les isolants de bobine, les fils conducteurs de courte longueur, le fil conducteur linéaire, les lignes conductrices, et les isolateurs tubulaires montés sur celles-ci, sont insérées dans la gaine, et puis le diamètre de la  
25 gaine est réduit. Les autres caractéristiques, effets, et analogues sont les mêmes que dans le deuxième aspect.

#### Quatrième aspect

Un quatrième aspect de la présente invention se rapporte à un procédé pour fabriquer une bobine de Rogowski selon le deuxième aspect ou le troisième aspect de  
30 la présente invention, dans lequel, dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, les tiges de retenue d'isolant peuvent être sorties des trous traversants pour tige de retenue d'isolant avant le remplissage par la poudre de matériau isolant inorganique,

et la gaine peut être remplie avec la poudre de matériau isolant inorganique après que les tiges de retenue d'isolant aient été sorties.

Selon la présente invention, même si les tiges de retenue d'isolant restent dans la gaine, ceci ne pose aucun problème car elles sont faites d'un matériau non magnétique et sont positionnées afin de ne pas entrer en contact avec la bobine toroïdale, la ligne de ré-enroulement, ou les lignes conductrices, mais elles peuvent être sorties car elles ne remplissent pas de fonction significative dans la bobine de Rogowski finie.

#### 10      Effets procurés par l'invention

La création, classiquement difficile, d'une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre et peut être utilisée dans un environnement à températures élevées et un environnement à fortes radiations, peut être réalisée sans difficulté selon la présente invention.

#### 15      Description succincte des figures

La figure 1 est un schéma représentant un mode de réalisation d'une bobine de Rogowski selon la présente invention.

La figure 2 est un schéma représentant un procédé pour fabriquer la bobine de Rogowski représentée sur la figure 1.

La figure 3 est un schéma conceptuel d'une bobine de Rogowski.

#### Exemples de réalisation de l'invention

La partie suivante décrit un mode de réalisation d'une bobine de Rogowski selon la présente invention en faisant référence aux dessins. La figure 1 est un schéma représentant un mode de réalisation d'une bobine de Rogowski selon la présente invention, la figure 1(a) étant une vue partielle d'une face supérieure, et la figure 1(b) étant une vue avant d'ensemble. Dans la distance indiquée par B sur les figures 1(a) et 1(b), c'est-à-dire la distance de la ligne de limite indiquée par le trait pointillé à un joint d'étanchéité côté avant 8, la moitié côté proche d'une gaine 7 et une poudre de matériau isolant inorganique 6 ont été dessinées de façon transparente, et les membres à l'intérieur de la gaine 7, tels qu'une bobine toroïdale 2 et une ligne de ré-enroulement 4, sont illustrés avec une vue externe. De même, la distance

indiquée par A sur les figures 1(a) et 1(b), c'est-à-dire la distance excluant la distance décrite ci-dessus est une vue en coupe transversale de la portion centrale.

Comme cela est représenté sur la figure 1, dans le présent mode de réalisation, une bobine de Rogowski 1 est constituée par la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, la gaine 7, la poudre de matériau isolant inorganique 6, deux lignes conductrices 5, le joint d'étanchéité côté avant 8, et un joint d'étanchéité côté arrière 9. Il faut noter que, dans le présent mode de réalisation, le côté avant des éléments constitutifs fait référence au côté de la bobine de Rogowski 1 où le joint d'étanchéité côté avant 8 est situé, et le côté arrière fait référence au côté de la bobine de Rogowski 1 où le joint d'étanchéité côté arrière 9 est situé.

La bobine toroïdale 2 est formée par de multiples sections de bobine divisées qui sont connectées par des fils conducteurs de courte longueur 3 ; la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, et les lignes conductrices 5 sont des fils dénudés faits de cuivre, qui est un matériau non magnétique ; une portion avant 14 de la bobine toroïdale 2, qui a été enroulée en une forme annulaire, est jointe à la portion avant de la ligne de ré-enroulement 4, qui est ré-enroulée jusqu'à la position de la portion arrière de la bobine toroïdale 2 le long de l'anneau ; la ligne de ré-enroulement 4 est ré-enroulée à travers l'intérieur de la bobine toroïdale 2 ; et les lignes conductrices 5 sont respectivement jointes à la portion arrière de la bobine toroïdale 2 et la portion arrière de la ligne de ré-enroulement 4.

Bien que la bobine toroïdale 2 soit enroulée par une seule révolution pour former un anneau, il n'y a aucune limitation à ceci, et la bobine toroïdale 2 peut être enroulée par de multiples révolutions pour former une spirale. La bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, et les deux lignes conductrices 5 sont logées à l'intérieur de la gaine toroïdale 7, qui est faite d'acier inoxydable SUS316, qui est un métal non magnétique, par l'intermédiaire de la poudre de matériau isolant inorganique 6, qui est une poudre de magnésie, qui est un matériau non magnétique, et l'axe central de la bobine toroïdale 2 et l'axe central de la gaine 7 coïncident sensiblement l'un avec l'autre.

En outre, la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, et les lignes conductrices 5 à l'intérieur de la gaine 7 sont fixées par la poudre de matériau isolant inorganique interposée 6 afin de ne pas entrer en contact avec la gaine 7 et ne pas entrer en contact les unes avec les autres à l'exception de la portion de connexion

entre la portion avant 14 de la bobine toroïdale 2 et la ligne de ré-enroulement 4, de la portion de connexion entre la ligne conductrice 5 et la bobine toroïdale 2, et de la portion de connexion entre la ligne conductrice 5 et la ligne de ré-enroulement 4.

De cette manière, la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, la gaine 7, et la poudre de matériau isolant inorganique 6 sont des matériaux non magnétiques, satisfaisant ainsi à la condition selon laquelle le flux magnétique créé par le courant cible de mesure ne soit pas saturé, ce qui est requis de la bobine de Rogowski, et ceci empêche également une erreur dans la mesure de courant d'être provoquée par le fait que le champ magnétique créé par le courant cible de mesure à l'intérieur et à l'extérieur de la bobine toroïdale est perturbé par la présence d'un corps magnétique.

De même, comme cela est représenté sur la figure 1(a), dans un plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire au plan comprenant l'anneau de la bobine toroïdale 2, qui a été enroulée au moyen d'une seule révolution pour former un anneau, les deux portions d'extrémité de la gaine 7 se chevauchent l'une l'autre vers l'avant et vers l'arrière dans la direction perpendiculaire de sorte que les deux extrémités de la bobine toroïdale 2 à l'intérieur de la gaine 7 soient sensiblement en contact l'un avec l'autre, ou, en d'autres termes, sur une vue à partir de la direction de l'axe perpendiculaire à l'ouverture centrale plane de la bobine toroïdale 2, les deux portions d'extrémité de la gaine 7 se chevauchent l'une l'autre vers l'avant et vers l'arrière dans cette direction de sorte que les deux extrémités de la bobine toroïdale 2 soient sensiblement en contact l'un avec l'autre. Ceci évite une augmentation d'erreur dans la mesure de courant provoquée par une longue zone dépourvue de bobine entre les deux extrémités de la bobine toroïdale 2. Inversement, le cas où les deux extrémités de la bobine toroïdale 2 se chevauchent l'une l'autre dans la direction axiale dans le plan de projection est également une cause d'une augmentation d'erreur dans la mesure de courant, mais cette cause d'erreur est également évitée en raison du fait que les deux extrémités de la bobine toroïdale 2 sont sensiblement en contact l'une avec l'autre dans le plan de projection, comme cela est décrit ci-dessus.

Il faut noter que, comme la bobine toroïdale 2 a été enroulée au moyen d'une seule révolution pour former un anneau dans le présent mode de réalisation, le plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire au plan comprenant l'anneau est utilisé, mais, si la bobine toroïdale 2 a été enroulée par de multiples révolutions



pour former une spirale, un plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire au plan comprenant la spirale peut être utilisé. En raison du fait que les deux extrémités de la bobine toroïdale 2 sont sensiblement en contact l'une avec l'autre dans ce plan de projection, une augmentation d'erreur dans la mesure de  
5 courant est évitée de façon similaire au cas où la bobine toroïdale 2 a été enroulée au moyen d'une seule révolution pour former un anneau.

La bobine toroïdale 2 possède un diamètre de fil de 0,26 mm, un diamètre d'enroulement de 5 mm, un pas d'enroulement de 0,5 mm, et une longueur de direction axiale d'approximativement 13 m. La ligne de ré-enroulement 4 possède un  
10 diamètre de fil de 0,7 mm, la gaine 7 possède un diamètre extérieur de 8,4 mm, et l'ouverture centrale de la gaine toroïdale 7, à travers laquelle le courant cible de mesure passe, possède un diamètre d'approximativement 4,1 m. Il faut noter que, en raison de la priorité donnée à la facilitation de la compréhension de la structure sur la figure 1, l'échelle et le nombre d'enroulements, le pas d'enroulement, le nombre de  
15 divisions, et analogues, de la bobine toroïdale sur cette figure ne sont pas nécessairement les mêmes que dans le présent mode de réalisation.

Le joint d'étanchéité côté avant 8 est prévu sur la portion avant de la gaine 7, dans laquelle la portion avant 14 de la bobine toroïdale 2 est située. Une plaque d'étanchéité 10 faite d'acier inoxydable SUS304, qui est un métal non magnétique,  
20 est fixée par soudage à la circonférence entière de l'extrémité avant de la gaine 7, et ainsi le joint d'étanchéité côté avant 8 étanchéifie l'extrémité avant de la gaine 7.

Bien que le joint d'étanchéité côté avant 8 du présent mode de réalisation soit fait d'acier inoxydable SUS304, qui est un métal non magnétique, il n'y a aucune limitation à ceci, et il est possible d'utiliser un autre métal, une céramique, une  
25 association d'un métal et d'une céramique, ou une association d'un métal, d'une céramique qui est un membre isolant, et d'une poudre de matériau isolant inorganique. Par exemple, l'étanchéisation peut être réalisée par une borne en céramique, telle que celle utilisée dans le joint d'étanchéité côté arrière 9 décrit plus bas, martelée sur ou soudée à l'argent à l'ouverture sur le côté extrémité avant de la  
30 gaine 7 sur la circonférence entière. De même, la portion avant de la gaine 7 peut être étanchéifiée en soudant la circonférence entière d'un tube manchon à la portion arrière, de façon similaire au joint d'étanchéité côté arrière 9 décrit plus bas, remplissant l'intérieur avec une poudre de matériau isolant inorganique, fournissant

une borne en céramique dans l'ouverture côté avant du tube manchon, et soudant à l'argent la borne en céramique et la gaine 7 sur la circonférence entière.

La portion arrière de la gaine 7 sur le côté où les lignes conductrices 5 sont incluses est étanchéifiée par la fourniture du joint d'étanchéité côté arrière 9. Le joint d'étanchéité côté arrière 9 est constitué par deux tubes manchons 11a et 11b, une borne en céramique 12 qui est un membre isolant, des tubes bornes 13, et la poudre de matériau isolant inorganique 6 (poudre de magnésie) qui remplit les tubes manchons 11a et 11b. Le tube manchon 11a est un tube fait d'acier inoxydable SUS304, qui est un métal non magnétique, et la circonférence entière de l'extrémité avant sur le côté gaine 7 a été soudée à la gaine 7. Le tube manchon 11b est fait de Kovar, qui est un métal dont le coefficient de dilatation thermique est proche de celui de la borne en céramique 12, et le tube manchon 11b est soudé au tube manchon 11a sur la circonférence entière. La borne en céramique 12 est une céramique faite d'alumine, qui est non magnétique, et est soudée à l'argent au tube manchon 11b sur la circonférence entière dans un état dans lequel un tube borne 13 et une ligne conductrice 5 sont insérés dans chacun de deux trous traversants, et les tubes bornes 13 et les lignes conductrices 5 sont également soudés à l'argent dans les portions arrières des tubes bornes 13. Les tubes bornes 13 sont faits de Kovar et sont soudés à l'argent à la borne en céramique 12 sur la circonférence entière.

Bien que le joint d'étanchéité côté arrière 9 du présent mode de réalisation soit fait d'une association d'un métal, d'une céramique qui est un membre isolant, et de la poudre de matériau isolant inorganique 6, il n'y a aucune limitation à ceci, et il peut être fait seulement d'une céramique qui est un membre isolant, ou d'une association d'un métal et d'une céramique qui est un membre isolant. Par exemple, le joint d'étanchéité côté arrière 9 peut être configuré sans fournir les tubes manchons 11a et 11b, la borne en céramique 12 peut être martelée sur ou soudée à l'argent à l'ouverture côté arrière de la gaine 7 sur la circonférence entière, et la borne en céramique 12 et les lignes conductrices insérées 5 peuvent être étanchéifiées avec un adhésif en céramique ou une soudure à l'argent.

La poudre de matériau isolant inorganique 6 à l'intérieur de la bobine toroïdale 2 est isolée de l'air extérieur par le joint d'étanchéité côté avant 8 et le joint d'étanchéité côté arrière 9, empêchant ainsi une erreur dans la mesure de courant

provoquée par une réduction de l'isolation de la poudre de matériau isolant inorganique 6 engendrée par la pénétration d'humidité.

Comme cela est décrit ci-dessus, la bobine de Rogowski 1 du présent mode de réalisation est créée à partir de métal, de poudre de magnésie, et de céramique d'alumine. Ces matériaux possèdent tous une résistance à des températures élevées de 300°C ou plus et une résistance à de fortes radiations, et ainsi la bobine de Rogowski 1 possède une résistance à des températures élevées et une résistance à de fortes radiations.

Il faut noter que, bien que le Kovar utilisé pour les tubes bornes 13 et le tube manchon 11b du joint d'étanchéité côté arrière 9 soit un matériau magnétique, ces corps magnétiques sont dans des emplacements séparés de la bobine toroïdale 2 dans le présent mode de réalisation, et, donc, une erreur dans la mesure de courant provoquée par le fait que ces corps magnétiques perturbent le champ magnétique créé par le courant cible de mesure est très faible. Cependant, si la bobine de Rogowski 1 est configurée de sorte que ces corps magnétiques soient situés proche de la bobine toroïdale 2, et il y a une augmentation d'erreur dans la mesure de courant en raison de leur présence, cette erreur peut être évitée en remplaçant le Kovar avec du titane, qui est un métal non magnétique. De même, bien que la soudure à l'argent soit non magnétique, si le matériau du revêtement métallique utilisé dans le prétraitement pour la soudure à l'argent est un matériau magnétique, il peut être fait en sorte que le matériau de revêtement métallique soit un matériau non magnétique en utilisant le revêtement métallique nickel-phosphore décrit dans le brevet japonais n° 5126563. Ce changement empêche la détérioration de la résistance à des températures élevées et de la résistance à de fortes radiations.

Aussi, bien que le joint d'étanchéité côté avant 8 du présent mode de réalisation soit créé à partir d'un métal non magnétique, un matériau magnétique peut être utilisé si le joint d'étanchéité côté avant 8 est séparé de la bobine toroïdale 2 afin de ne pas provoquer d'erreur dans la mesure de courant en perturbant le champ magnétique créé par le courant cible de mesure. De même, bien que les lignes conductrices 5 du présent mode de réalisation soient également créées à partir d'un métal non magnétique, un métal qui n'est pas non magnétique peut être utilisé si ceci, de façon similaire, n'entraîne pas erreur dans la mesure de courant.

En ce qui concerne le rendement de la bobine toroïdale 2, s'il y a une quantité importante d'erreur durant la conversion en une valeur de courant par intégration ou analogues dans le cas de la bobine toroïdale 2 enroulée au moyen d'une seule révolution, comme cela est représenté sur la figure 1, en raison du fait que la force électromotrice induite générée dans la bobine toroïdale 2 par le courant cible de mesure est faible, la force électromotrice induite peut être augmentée en enroulant la bobine toroïdale 2 par de multiples révolutions pour former une spirale, évitant ainsi une erreur provoquée par le fait que la force électromotrice induite est faible. En supposant que  $N$  est le nombre de révolutions, le rendement est  $N$  fois le rendement de la bobine toroïdale dans le cas d'une révolution, comme cela est représenté sur la figure 1.

Maintenant, un procédé pour fabriquer la bobine de Rogowski 1 du présent mode de réalisation représenté sur la figure 1 va être décrit en faisant référence aux figures 2(a) à 2(e). En règle générale, des numéros de référence sont seulement donnés à des emplacements où le numéro indiqué apparaît en premier. Il faut noter que la figure 2 est une vue générale. Sur les figures 2(a) à 2(e), des portions d'un fil conducteur linéaire 19, d'une tige de retenue d'isolant 18, et d'un fil de bobine 16 à l'intérieur d'un isolant cylindrique 15 et derrière celui-ci sont indiquées par des traits en pointillés. La moitié côté proche d'isolants tubulaires 20 est dessinée pour être transparente sur la figure 2(d) pour représenter l'intérieur, et les moitiés côté proche des isolants tubulaires 20, de la gaine 7, et de la plaque d'étanchéité 10 ainsi que de la poudre de matériau isolant inorganique 6 et 23 sont dessinées pour être transparentes sur la figure 2(e) pour représenter l'intérieur.

De façon similaire à la figure 1, en raison de la priorité donnée à la facilitation de la compréhension du procédé de fabrication sur la figure 2, l'échelle et le nombre d'enroulements, le pas d'enroulement, le nombre de divisions, et analogues de la bobine toroïdale 2 sur cette figure ne sont pas nécessairement les mêmes que dans le présent mode de réalisation.

D'abord, 30 isolants de bobine 17 ont chacun été créés afin de comprendre un isolant cylindrique 15 et un fil de bobine 16, comme cela est représenté sur la figure 2(a). L'isolant cylindrique 15 possède une longueur de 300 mm et un diamètre extérieur de 5 mm, comporte un trou traversant 21 pour fil conducteur linéaire et des trous traversants 22 pour tige de retenue d'isolant qui sont parallèles dans la direction

axiale à des emplacements prédéterminés dans la section transversale radiale, et a été obtenu en cuisant une poudre de magnésie, qui est une poudre isolante inorganique. Le fil de bobine 16 est une ligne de conducteur qui est faite de cuivre et a été enroulé approximativement 670 fois avec un pas de 0,45 mm sur la longueur entière de la surface de l'isolant cylindrique 15 dans la direction axiale afin de former une bobine.

5 (étape de fabrication d'isolants de bobine)

Bien que deux trous traversants pour tige de retenue d'isolant 22 soient prévus dans l'isolant cylindrique 15 dans le présent mode de réalisation, il n'y a aucune limitation à ceci, et un ou trois, ou plus, trous traversants 22 pour tige de retenue d'isolant peuvent être prévus.

10

Trois isolants de bobine 17 sont illustrés sur les figures 2(b) à 2(e) pour faciliter la visualisation.

Maintenant, comme cela est représenté sur la figure 2(b), les deux tiges de retenue d'isolant 18, qui sont faites d'un alliage non magnétique de Ni et Cr, sont maintenues parallèles l'une à l'autre, et une tige de retenue d'isolant 18 est insérée dans chacun des deux trous traversants 22 pour tige de retenue d'isolant des isolants de bobine 17, et ainsi les 30 isolants de bobine 17 sont successivement montés sur les tiges de retenue d'isolant 18 de sorte que les faces d'extrémité d'isolants de bobine adjacents 17 soient sensiblement en contact l'une avec l'autre. Lorsque ces faces d'extrémité sont sensiblement mises en contact l'une avec l'autre, un fil conducteur de courte longueur 3 est disposé pour chaque jeu de faces d'extrémité qui se font face l'une à l'autre afin d'être connecté aux extrémités des fils de bobine 16 dans des creux prévus dans les portions d'extrémité du premier isolant de bobine 17 et de l'isolant de bobine adjacent 17, et afin de couvrir le premier isolant de bobine 17 et l'isolant de bobine adjacent 17. (étape d'alignement d'isolants de bobine)

15

20

25

Le fil conducteur de courte longueur 3 peut être connecté aux extrémités des fils de bobine 16 dans des trous traversants d'utilisation dédiée (non représentés) prévus dans les isolants cylindriques 15 des isolants de bobine 17 plutôt que dans les creux décrits ci-dessus.

Ensuite, comme cela est représenté sur la figure 2(c), un fil conducteur linéaire 19 fait de cuivre est inséré dans le trou traversant 21 pour fil conducteur linéaire afin de passer à travers tous les isolants de bobine 17, la portion avant du fil conducteur linéaire 19 passant à travers les isolants de bobine 17 est jointe à la

30

portion avant du fil de bobine 16 de l'isolant de bobine 17 qui est située dans la portion d'extrémité côté avant, comme cela est représenté par la légende 14 sur cette figure, et les deux lignes conductrices 5 sont respectivement jointes à la portion arrière du fil conducteur linéaire 19 et à l'extrémité côté arrière du fil de bobine 16 de l'isolant de bobine 17 qui est situé dans la partie d'extrémité côté arrière. (étape de connexion de fil conducteur)

Ensuite, comme cela est représenté sur la figure 2(d), les isolants de bobine 17 montés sur les tiges de retenue d'isolant 18 sont insérés dans les isolants tubulaires 20 qui sont obtenus en cuisant une poudre de magnésie, qui est une poudre isolante inorganique, et sont façonnés pour présenter une forme de tubes avec un diamètre intérieur selon lequel ils entrent en contact avec les faces circonférentielles extérieures des fils de bobine 16, et ainsi les faces circonférentielles extérieures de tous les isolants de bobine 17 sont entourées par les isolants tubulaires 20. (Etape de montage d'isolants tubulaires.)

Les isolants de bobine 17, les fils conducteurs de courte longueur 3, le fil conducteur linéaire 19, les lignes conductrices 5, et les isolants tubulaires 20 montés sur les tiges de retenue d'isolant 18 sont insérés de cette manière dans la gaine 7, qui est faite d'acier inoxydable SUS316 et possède un diamètre extérieur de 10 mm, et la plaque d'étanchéité en forme de disque 10 faite d'acier inoxydable SUS304 est fixée par soudage à la circonférence entière de l'extrémité avant de la gaine 7 afin d'obtenir le joint d'étanchéité côté avant 8. De même, les tiges de retenue d'isolant 18 sont tirées complètement hors de la gaine 7 à partir du côté arrière, et, par la suite, les espaces entre les membres insérés à l'intérieur de la gaine 7 sont remplis avec la poudre de matériau isolant inorganique 23 faite de magnésie. Après cela, comme cela est représenté sur la figure 2(e), la gaine 7 passe à travers une filière 24 de la gauche vers la droite afin d'appliquer une force mécanique sur la face circonférentielle extérieure de la gaine 7, réduisant ainsi le diamètre extérieur de la gaine 7 de 10 mm au diamètre extérieur mentionné auparavant de 8,4 mm. (étape de réduction de diamètre de gaine)

La réduction du diamètre de la gaine 7 peut être réalisée par un moyen autre que l'étirage en filière, tel que l'étirage à cylindre ou rétreinte, ou peut être réalisée petit à petit durant de multiples réductions plutôt que d'être réalisée en une réduction.

Ensuite, après que le joint d'étanchéité côté arrière 9 a été fixé à la portion arrière de la gaine 7, la gaine 7 est incurvée en un anneau, comme cela est représenté sur la figure 1. (étape de courbage de gaine)

La bobine de Rogowski 1 représentée sur la figure 1 est fabriquée de cette manière. Le joint d'étanchéité côté avant 8 peut être fixé dans l'étape de courbage de gaine, et, comme les tiges de retenue d'isolant 18 sont faites d'un matériau non magnétique et sont positionnées afin de ne pas entrer en contact avec la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, ou les lignes conductrices 5, elles n'influencent pas les performances de la bobine de Rogowski 1, même si elles sont  
5  
10 laissées à l'intérieur de la gaine 7, et donc n'ont pas besoin d'être enlevées.

Selon ce procédé de fabrication, l'augmentation du nombre d'isolants de bobine 17 permet de fabriquer une bobine de Rogowski 1 qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre pour le passage de courant cible de mesure, sans comprendre d'étapes particulièrement difficiles. De même, en ce qui concerne la fabrication de la portion de bobine qui a nécessité le nombre le plus important d'étapes dans la fabrication de la bobine de Rogowski 1, un enroulement mécanique peut être appliqué à la tâche de l'enroulement de la ligne de conducteur afin de former une bobine sur l'isolant cylindrique 15, permettant ainsi d'améliorer le rendement de fabrication de bobine.  
15

Dans ce procédé de fabrication, en raison de la réduction du diamètre de la gaine 7 dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, les isolants cylindriques 15 des isolants de bobine 17 et les isolants tubulaires 20 sont pulvérisés afin d'être transformés en poudre de matériau isolant inorganique à remplissage dense 6, et les extrémités des fils de bobine 16 et des fils conducteurs de courte longueur 3 sont  
20  
25 mises en contact par l'augmentation de densité. De même, la poudre de matériau isolant inorganique 23 faite de magnésie avec laquelle la gaine 7 a été remplie avant la réduction de diamètre est également mise dans un état de remplissage dense par la réduction de diamètre de la gaine 7. Il faut noter que, si le taux de réduction de diamètre de la gaine 7 est élevé, c'est-à-dire, si la différence de diamètre extérieur de la gaine 7 avant et après la réduction de diamètre est importante, la poudre de  
30 la magnésie sera mise dans un état de remplissage dense après la réduction de diamètre même si la gaine 7 n'est pas remplie avec la poudre de matériau isolant inorganique

23 avant la réduction de diamètre, et donc la gaine 7 n'a pas besoin d'être remplie avec la poudre de matériau isolant inorganique 23 avant la réduction de diamètre.

Après l'étape de courbage de gaine, les fils de bobine 16 des isolants de bobine 17 forment la bobine toroïdale 2 sur la figure 1 qui est connectée par les fils conducteurs de courte longueur 3, et le fil conducteur linéaire 19 forme la ligne de ré-enroulement 4 sur la figure 1.

En raison du fait que la poudre de matériau isolant inorganique réalise un remplissage dense dans l'étape de réduction de diamètre de gaine, comme cela est représenté sur la figure 1, la bobine toroïdale 2, la ligne de ré-enroulement 4, et les lignes conductrices 5 à l'intérieur de la gaine 7 de la bobine de Rogowski finie 1 sont fixées à l'intérieur de la poudre de matériau isolant inorganique 6 afin de ne pas entrer en contact avec la gaine 7 et ne pas entrer en contact les unes avec les autres à l'exception de la portion de connexion entre la portion avant 14 de la bobine toroïdale 2 et la ligne de ré-enroulement 4, de la portion de connexion entre la ligne conductrice 5 et la bobine toroïdale 2, et de la portion de connexion entre la ligne conductrice 5 et la ligne de ré-enroulement 4.

Le mode de réalisation ci-dessus doit être considéré à tous égards comme illustratif et non limitatif. La portée de l'invention est indiquée par les revendications jointes plutôt que par la description précédente, et tous les changements qui sont au sein de la signification et de la plage d'équivalence des revendications sont prévus pour être adoptés dans celles-ci.

#### Application Industrielle

Comme cela est mentionné auparavant, la présente invention est applicable à la mesure de courant de plasma et la mesure d'un courant de bobine poloïdale ou des mesures analogues dans un réacteur à fusion nucléaire expérimental. Plutôt que d'être limitée à ceci, la présente invention peut généralement être utilisée de façon favorable dans une bobine de Rogowski qui est utilisée dans un environnement à températures élevées et/ou à fortes radiations, et une bobine de Rogowski qui comporte une ouverture centrale à grand diamètre de plus de 3 m de diamètre.

#### Description des numéros de référence

1 Bobine de Rogowski



|    |   |
|----|---|
|    | 2 Bobine toroïdale                                |
|    | 3 Fil conducteur de courte longueur               |
|    | 4 Ligne de ré-enroulement                         |
|    | 5 Ligne conductrice                               |
| 5  | 6 Poudre de matériau isolant inorganique          |
|    | 7 Gaine   |
|    | 8 Joint d'étanchéité côté avant                   |
|    | 9 Joint d'étanchéité côté arrière                 |
|    | 15 Isolant cylindrique                            |
| 10 | 16 Fil de bobine                                  |
|    | 17 Isolant de bobine                              |
|    | 18 Tige de retenue d'isolant                      |
|    | 19 Fil conducteur linéaire                        |
|    | 20 Isolant tubulaire                              |
| 15 | 21 Trou traversant pour fil conducteur linéaire   |
|    | 22 Trou traversant pour tige de retenue d'isolant |

REVENDICATIONS

1. Bobine de Rogowski (1) comprenant au moins une bobine toroïdale (2), une ligne de ré-enroulement (4), une gaine (7), une poudre de matériau isolant inorganique (6), deux lignes conductrices (5), et un joint d'étanchéité côté avant (8) et un joint d'étanchéité côté arrière (9) qui étanchéifient des portions d'ouverture de la gaine (7),
- 5 dans laquelle la bobine toroïdale (2) est un fil dénudé fait d'un métal non magnétique, et est enroulée au moyen d'une seule révolution pour former un anneau ou par une pluralité de révolutions pour former une spirale,
- la ligne de ré-enroulement (4) est un fil dénudé fait d'un métal non magnétique, comporte une portion avant qui est jointe à une portion avant de la bobine
- 10 toroïdale (2), et s'étend à travers l'intérieur de la bobine toroïdale (2) jusqu'à une portion arrière de la bobine toroïdale (2),
- les deux lignes conductrices (5) sont des fils dénudés faits d'un métal, une première étant jointe à une portion arrière de la ligne de ré-enroulement (4), et une seconde étant jointe à la portion arrière de la bobine toroïdale (2),
- 15 la gaine (7) est faite d'un métal non magnétique et loge en son sein la bobine toroïdale (2), la ligne de ré-enroulement (4), et les deux lignes conductrices (5) par l'intermédiaire de la poudre de matériau isolant inorganique (6) de sorte qu'un axe central de la bobine toroïdale (2) et un axe central de la gaine (7) coïncident sensiblement l'un avec l'autre,
- 20 le joint d'étanchéité côté avant (8) est fait d'un métal, d'une céramique, d'une association d'un métal et d'une céramique, ou d'une association d'un métal, d'une céramique, et d'une poudre de matériau isolant inorganique (6), et le joint d'étanchéité côté avant (8) étanchéifie une ouverture d'une portion avant de la gaine (7) sur un côté sur lequel la bobine toroïdale (2) et la ligne de ré-
- 25 enroulement (4) sont jointes,
- le joint d'étanchéité côté arrière (9) est fait d'une céramique qui est un membre isolant, d'une association d'un métal et d'une céramique qui est un membre isolant, ou d'une association d'un métal, d'une céramique qui est un membre isolant, et d'une poudre de matériau isolant inorganique (6), et le joint d'étanchéité côté
- 30 arrière (9) étanchéifie une ouverture d'une portion arrière de la gaine (7) sur un côté sur lequel la bobine toroïdale (2) et la ligne conductrice (5) sont jointes, dans une

configuration dans laquelle les lignes conductrices (5) pénètrent dans la céramique qui est un membre isolant, et

la bobine toroïdale (2), la ligne de ré-enroulement (4), et les lignes conductrices (5) à l'intérieur de la gaine (7) sont fixées par l'intermédiaire de la poudre de matériau isolant inorganique (6) afin de ne pas entrer en contact avec la gaine (7) et ne pas entrer en contact les unes avec les autres à l'exception d'une portion de connexion entre la bobine toroïdale (2) et la ligne de ré-enroulement (4), d'une portion de connexion entre la bobine toroïdale (2) et la ligne conductrice (5), et d'une portion de connexion entre la ligne de ré-enroulement (4) et la ligne conductrice (5), et dans un plan de projection vu à partir d'une direction perpendiculaire à un plan comprenant l'anneau ou la spirale formé par la bobine toroïdale (2), deux portions d'extrémité de la gaine (7) se chevauchent l'une l'autre vers l'avant et vers l'arrière dans la direction perpendiculaire de sorte que deux extrémités de la bobine toroïdale (2) à l'intérieur de la gaine (7) soient sensiblement en contact l'un avec l'autre.

15

2. Procédé pour fabriquer une bobine de Rogowski (1) selon la revendication 1, comprenant :

une étape de fabrication d'isolants de bobine (17), comprenant la fabrication d'une pluralité d'isolants de bobine (17), qui sont chacun configurés par un isolant cylindrique (15), qui est créé en une forme cylindrique en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique (6) et comporte un trou traversant pour fil conducteur linéaire (21) et un ou une pluralité de trous traversants pour tige de retenue d'isolant (22), qui sont parallèles dans une direction axiale à des emplacements prédéterminés dans une direction radiale, et un fil de bobine (16), qui est une ligne de conducteur qui a été enroulée sur la longueur entière de la surface de l'isolant cylindrique (15) dans la direction axiale afin de former une bobine ;

20

25

une étape d'alignement d'isolants de bobine (17), comprenant l'insertion d'une tige de retenue d'isolant (18), qui est faite d'un matériau non magnétique, dans chacun des trous traversants pour tige de retenue d'isolant (22) de chacun des isolants de bobine (17) pour que la pluralité d'isolants de bobine (17), fabriqués dans l'étape de fabrication d'isolants de bobine (17), soient successivement montés sur les tiges de retenue d'isolant (18), de sorte que des faces d'extrémité d'isolants de bobine adjacents (17) soient sensiblement en contact l'une avec l'autre, et, lorsque les faces

30

d'extrémité sont sensiblement mises en contact l'une avec l'autre, un fil conducteur de courte longueur (3) soit disposé pour chaque jeu de faces d'extrémité qui se font face l'une à l'autre, afin d'être connecté à des extrémités des fils de bobine (16) dans des creux ou des trous traversants prévus dans des portions d'extrémité du premier isolant de bobine (17) et de l'isolant de bobine adjacent (17), et afin de couvrir le premier isolant de bobine (17) et l'isolant de bobine adjacent (17) ;

une étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion d'un fil conducteur linéaire (19) dans le trou traversant pour fil conducteur linéaire (21) afin de passer à travers tous les isolants de bobine (17), qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant (18) dans l'étape d'alignement d'isolants de bobine (17), la jonction d'une portion avant du fil conducteur linéaire (19) passant à travers les isolants de bobine (17) à une extrémité côté avant du fil de bobine (16) de l'isolant de bobine (17), qui est situé dans une portion d'extrémité côté avant, et, respectivement, la jonction des lignes conductrices (5) à une portion arrière du fil conducteur linéaire (19) et à une extrémité côté arrière du fil de bobine (16) de l'isolant de bobine (17), qui est situé dans une portion d'extrémité côté arrière ;

une étape de montage d'isolants tubulaires (20), postérieure à l'étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion des isolants de bobine (17), qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant (18), dans une pluralité d'isolants tubulaires (20), qui sont créés en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique (6), de sorte que des faces circonférentielles extérieures de tous les isolants de bobine (17) soient entourées par les isolants tubulaires (20) ;

une étape de réduction de diamètre de gaine (7), postérieure à l'étape de montage d'isolants tubulaires (20), comprenant l'insertion des tiges de retenue d'isolant (18), sur lesquelles les isolants de bobine (17), les fils conducteurs de courte longueur (3), le fil conducteur linéaire (19), les lignes conductrices (5), et les isolants tubulaires (20) sont montés, dans la gaine (7) qui a été étendue linéairement, le remplissage d'espaces entre les membres insérés à l'intérieur de la gaine (7) avec une poudre de matériau isolant inorganique (6), et, après cela, l'application de force mécanique sur une face circonférentielle extérieure de la gaine (7) afin de réduire le diamètre extérieur de la gaine (7) ; et

une étape de courbage de gaine (7), postérieure à l'étape de réduction de diamètre de gaine (7), comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté avant (8) et du joint

d'étanchéité côté arrière (9) à deux portions d'extrémité de la gaine (7), et le courbage de la gaine (7) en un anneau ou une spirale prédéterminé de sorte que les fils de bobine (16) et les fils conducteurs de courte longueur (3) forment la bobine toroïdale (2), et de sorte que le fil conducteur linéaire (19) forme le fil de ré-

5 enroulement (4),

dans lequel, en raison de la réduction du diamètre extérieur de la gaine (7) dans l'étape de réduction de diamètre de gaine (7), les isolants cylindriques (15) des isolants de bobine (17) et les isolants tubulaires (20) sont pulvérisés, afin d'être transformés en une poudre de matériau isolant inorganique (6) à remplissage dense,

10 et les extrémités des fils de bobine (16) et des fils conducteurs de courte longueur (3) sont mises en contact par l'augmentation de densité.

3. Procédé pour fabriquer une bobine de Rogowski (1) selon la revendication 1, comprenant :

15 une étape de fabrication d'isolants de bobine (17), comprenant la fabrication d'une pluralité d'isolants de bobine (17), qui sont chacun formés par un isolant cylindrique (15), qui est créé en une forme cylindrique en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique (6) et comporte un trou traversant pour fil conducteur linéaire (21) et un ou une pluralité de trous traversants pour tige de retenue

20 d'isolant (22), qui sont parallèles dans une direction axiale à des emplacements prédéterminés dans une direction radiale, et un fil de bobine (16), qui est une ligne de conducteur qui a été enroulée sur la longueur entière de la surface de l'isolant cylindrique (15) dans la direction axiale afin de former une bobine ;

une étape d'alignement d'isolants de bobine (17), comprenant l'insertion d'une tige de retenue d'isolant (18), qui est faite d'un matériau non magnétique, dans chacun des trous traversants pour tige de retenue d'isolant (22) de chacun des isolants de bobine (17) pour que la pluralité d'isolants de bobine (17), fabriqués dans l'étape de fabrication d'isolants de bobine (17), soient successivement montés sur les tiges de retenue d'isolant (18), de sorte que des faces d'extrémité d'isolants de bobine

25 adjacentes (17) soient sensiblement en contact l'une avec l'autre, et, lorsque les faces d'extrémité sont sensiblement mises en contact l'une avec l'autre, un fil conducteur de courte longueur (3) soit disposé pour chaque jeu de faces d'extrémité qui se font face l'une à l'autre, afin d'être connecté à des extrémités des fils de bobine (16) dans

30

des creux ou des trous traversants prévus dans des portions d'extrémité du premier isolant de bobine (17) et de l'isolant de bobine adjacent (17), et afin de couvrir le premier isolant de bobine (17) et l'isolant de bobine adjacent (17) ;

- une étape de connexion de fil conducteur, comprenant l'insertion d'un fil conducteur  
5 linéaire (19) dans le trou traversant pour fil conducteur linéaire (21) afin de passer à travers tous les isolants de bobine (17), qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant (18) dans l'étape d'alignement d'isolants de bobine (17), la jonction d'une portion avant du fil conducteur linéaire (19) passant à travers les isolants de bobine (17) à une extrémité côté avant du fil de bobine (16) de l'isolant de  
10 bobine (17) qui est situé dans une portion d'extrémité côté avant, et, respectivement, la jonction des lignes conductrices (5) à une portion arrière du fil conducteur linéaire (19) et une extrémité côté arrière du fil de bobine (16) de l'isolant de bobine (17) qui est situé dans une portion d'extrémité côté arrière ;
- une étape de montage d'isolants tubulaires (20), postérieure à l'étape de connexion  
15 de fil conducteur, comprenant l'insertion des isolants de bobine (17), qui ont été montés sur les tiges de retenue d'isolant (18), dans une pluralité d'isolants tubulaires (20), qui sont créés en cuisant une poudre de matériau isolant inorganique (6), de sorte que des faces circonférentielles extérieures de tous les isolants de bobine (17) soient entourées par les isolants tubulaires (20) ;
- 20 une étape de réduction de diamètre de gaine (7), postérieure à l'étape de montage d'isolants tubulaires (20), comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté avant (8) à une extrémité de la gaine (7) qui a été étendue linéairement, l'insertion des tiges de retenue d'isolant (18) sur lesquelles les isolants de bobine (17), les fils conducteurs de courte longueur (3), le fil conducteur linéaire (19), les lignes conductrices (5), et  
25 les isolants tubulaires (20) sont montés dans la gaine (7) à travers l'autre extrémité, le remplissage d'espaces entre les membres insérés à l'intérieur de la gaine (7) avec une poudre de matériau isolant inorganique (6), et, après cela, l'application de force mécanique sur une face circonférentielle extérieure de la gaine (7) afin de réduire le diamètre extérieur de la gaine (7) ; et
- 30 une étape de courbage de gaine (7), postérieure à l'étape de réduction de diamètre de gaine (7), comprenant la fixation du joint d'étanchéité côté arrière (9) à la gaine (7), et le courbage de la gaine (7) en un anneau ou une spirale prédéterminé, de sorte que les fils de bobine (16) et les fils conducteurs de courte longueur (3) forment la bobine

toroïdale (2), et de sorte que le fil conducteur linéaire (19) forme le fil de ré-enroulement (4),

dans lequel, en raison de la réduction du diamètre extérieur de la gaine (7) dans l'étape de réduction de diamètre de gaine (7), les isolants cylindriques (15) des  
5 isolants de bobine (17) et les isolants tubulaires (20) sont pulvérisés, afin d'être transformés en une poudre de matériau isolant inorganique (6) à remplissage dense, et les extrémités des fils de bobine (16) et des fils conducteurs de courte longueur (3) sont mises en contact par l'augmentation de densité.

10 4. Procédé pour fabriquer une bobine de Rogowski (1) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel, dans l'étape de réduction de diamètre de gaine (7), les tiges de retenue d'isolant (18) sont sorties des trous traversants pour tige de retenue d'isolant (22) avant le remplissage par la poudre de matériau isolant inorganique (6), et la gaine (7)  
15 est remplie avec la poudre de matériau isolant inorganique (6) après que les tiges de retenue d'isolant (18) aient été sorties.

1/2

FIG. 1

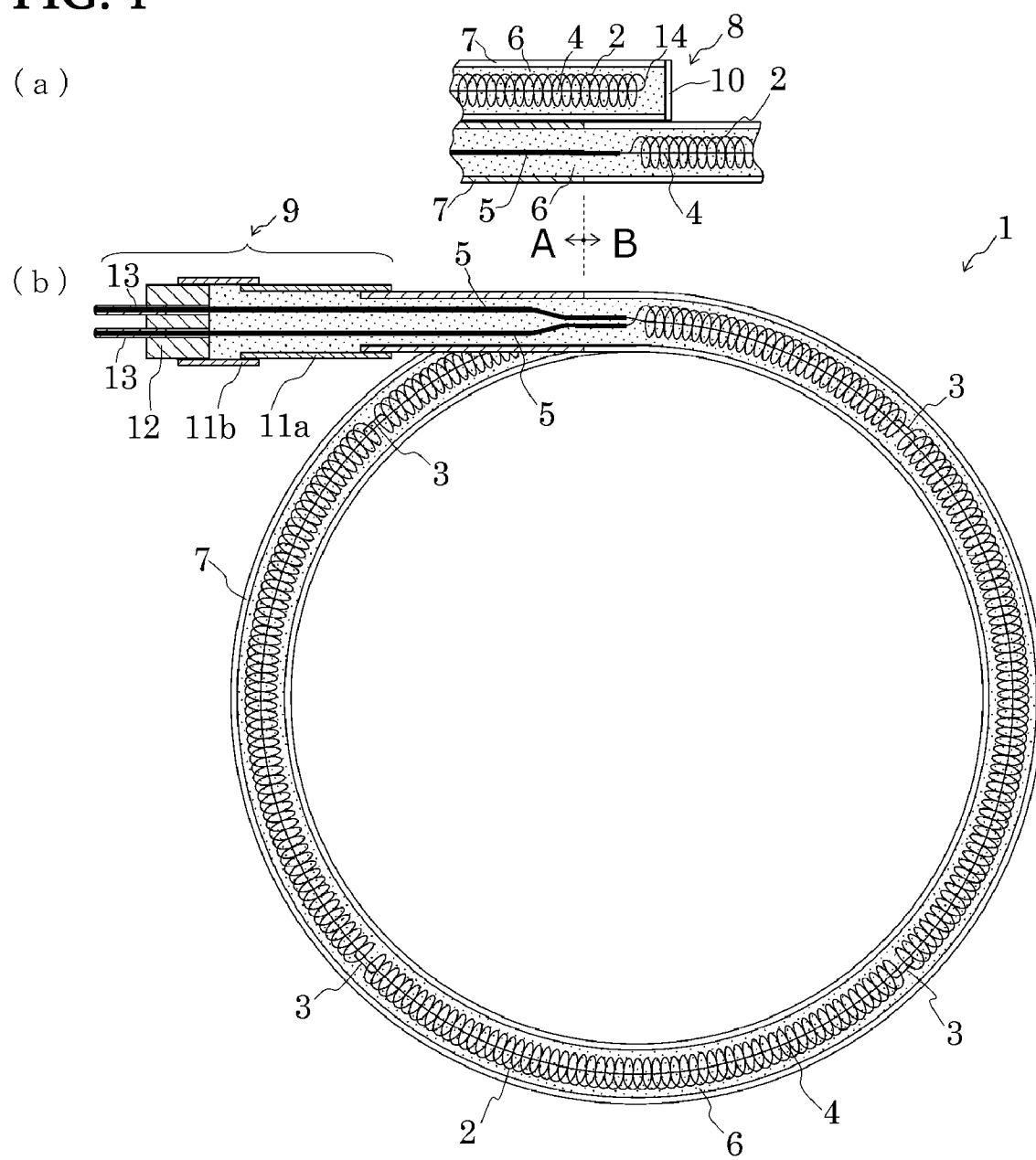




FIG. 2

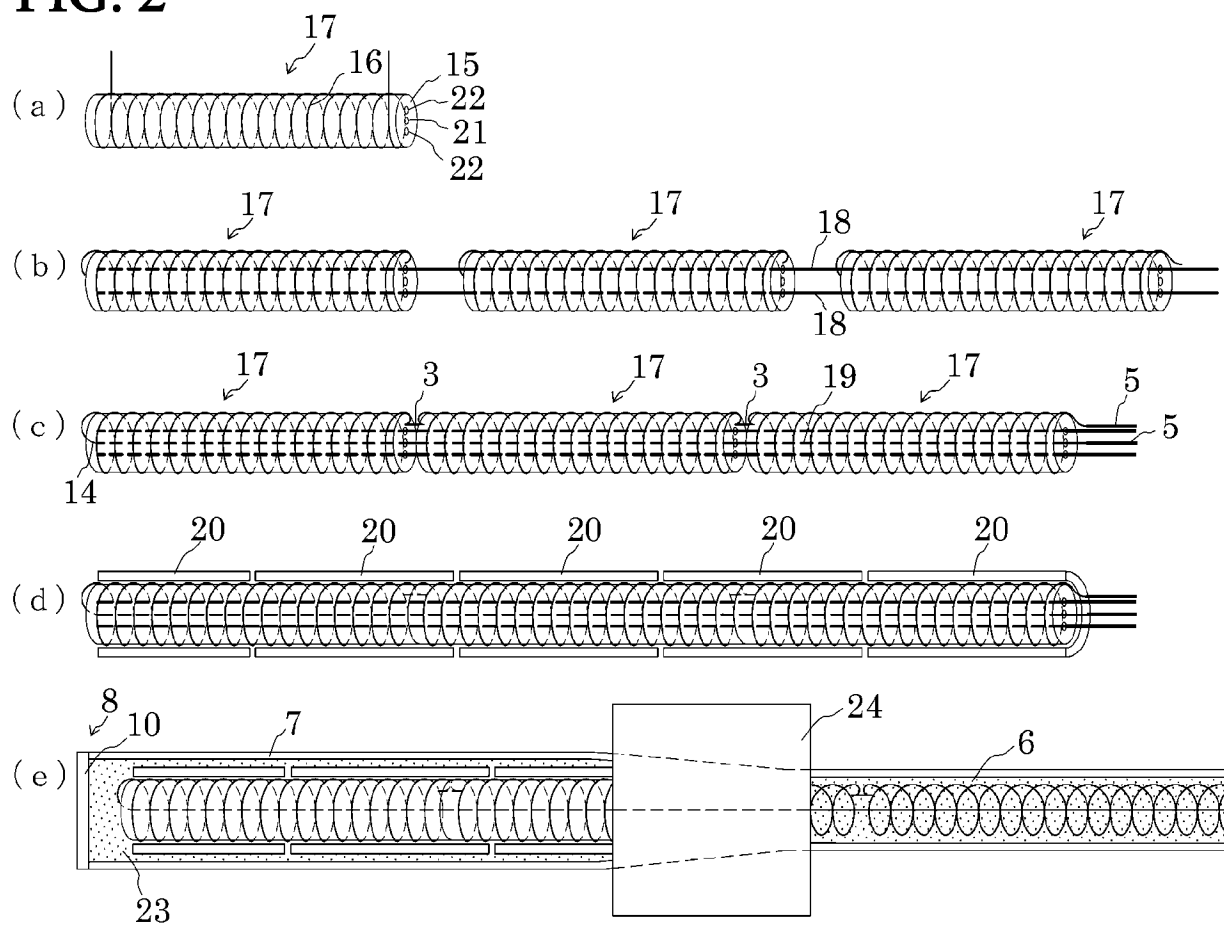
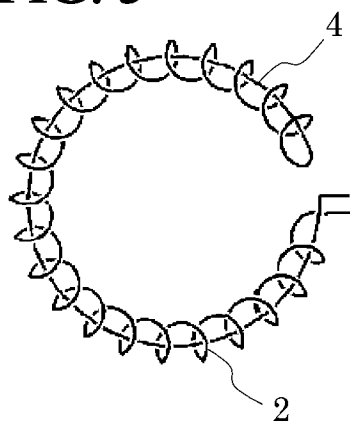


FIG. 3



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- ☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☒ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

CN 102982958 A (SUZHOU FURUI MUTUAL INDUCTOR CO LTD)  
20 mars 2013 (2013-03-20)

JP 2007163228 A (NISSIN ELECTRIC CO LTD)  
28 juin 2007 (2007-06-28)

JP 2012088224 A (HIOKI ELECTRIC WORKS)  
10 mai 2012 (2012-05-10)

JP 2003173922 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP)  
20 juin 2003 (2003-06-20)

JP 2011040650 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV)  
24 février 2011 (2011-02-24)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT