

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 78 29971

⑤4

Machine électrique à refroidissement cryogénique.

⑤1

Classification internationale. (Int. Cl 3) H 02 K 9/00.

②2

Date de dépôt 20 octobre 1978, à 15 h 46 mn.

③3 ③2 ③1

Priorité revendiquée :

④1

Date de la mise à la disposition du
public de la demande

B.O.P.I. — «Listes» n. 20 du 16-5-1980.

⑦1

Déposant : SPETSIALNOE KONSTRUKTORSKOE BJURO «ENERGOKHIMMASH», LENINGRADSKOE
PROIZVODSTVENNOE ELEKTROMASHINOSTROITELNOE OBIÉDINENIE «ELEKTROSILA» et
INSTITUT TEPLIFIZIKI SIBIRSKOGO OTDELENIA AKADEMII NAUK SSSR, résidant en U.R.S.S.

⑦2

Invention de : Samson Semenovitch Kutateladze, Mark Osherovich Lutset, Anatoly Georgie-
vitch Korolkov, Jury Stepanovich Popov, Iosif Filippovich Filippov, Garri Mikhailovich
Khutoretsky, Jury Nikolaevitch Vvedensky et Jury Vasilievitch Skachkov.

⑦3

Titulaire : *Idem* ⑦1

⑦4

Mandataire : Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention concerne les machines électriques et notamment une machine électrique à refroidissement cryogénique. Plus précisément, l'invention s'applique aux moteurs, aux générateurs et aux convertisseurs alternatif-continu qui sont utilisés dans les centrales nucléaires, thermiques et autres ainsi que dans le transport et dans l'aviation. Elle peut être appliquée sur une vaste échelle dans les centrales électriques et les dispositifs cosmiques dans lesquels on a besoin de maintenir un objet rotatif, par exemple, un enroulement électrique à une température critique.

10 On connaît plusieurs types de machines électriques dans lesquels un enroulement électrique est maintenu à la température cryogénique. Il y a deux tendances visant à perfectionner ces machines électriques. L'une d'elles vise à réduire la consommation d'énergie pour le refroidissement cryogénique et, en définitive, à obtenir un rendement
15 maximal de la machine. Selon l'autre tendance, on vise à augmenter la fiabilité de l'ensemble de la machine. Toutefois, en introduisant dans l'électrotechnique classique les dispositifs cryogéniques sans prendre des mesures spéciales, on diminue la fiabilité des machines électriques à refroidissement cryogénique.

20 Cependant, le perfectionnement visant à réduire la consommation d'énergie pour le refroidissement cryogénique de l'enroulement peut être considérée comme visant à augmenter la fiabilité de la machine électrique en service tout en conservant en même temps une consommation identique de l'énergie, car l'énergie économisée peut être orientée vers un abaissement de la température de l'enroulement supraconducteur.
25

Le procédé de refroidissement de l'enroulement du rotor consiste à refroidir par un agent frigorigène, l'enroulement et la partie cylindrique intermédiaire du rotor dans laquelle l'enroulement est
30 fixé, à refroidir deux secteurs de transition du rotor reliant rigidement la partie centrale aux tourillons du rotor par lesquels celui-ci repose sur les paliers, et à refroidir les conducteurs de courant et l'écran électrothermique.

On connaît des machines électriques à refroidissement cryogénique
35 que dans lesquelles tous les étages de l'installation cryogénique sont disposés en dehors du rotor tandis que l'agent frigorigène est amené au rotor à une température aussi basse que possible par un canal d'amenée, et à une température distincte de la valeur optimale,

il refroidit les éléments du rotor et est évacué à travers un ou deux canaux.

Le système de refroidissement optimal du point de vue de la consommation d'énergie, autrement dit du point de vue de l'obtention d'un rendement maximal de la machine, est le système de refroidissement qui assure le refroidissement de chacun des éléments susmentionnés du rotor avec un régime optimal pour chaque élément. Ceci signifie qu'il faut assurer dans le système des canaux de refroidissement de chaque élément un débit distinct d'agent frigorifique à une température optimale pour chaque élément. Dans le cas où l'installation cryogénique et le rotor sont réalisés séparément, il faut assurer l'amenée et l'évacuation de l'agent frigorifique par plusieurs canaux du rotor.

Par exemple, pour assurer un refroidissement indépendant de quatre éléments mentionnés il est indispensable que l'alimentation se fasse par quatre canaux et que l'évacuation se fasse également par quatre canaux.

La conception compliquée empêche d'appliquer ce principe. C'est pourquoi dans les machines électriques connues avec refroidissement cryogénique, une partie de l'installation cryogénique est disposée dans la cavité du rotor ce qui assure un refroidissement presque optimal malgré qu'il n'existe qu'un seul canal amenant l'agent frigorifique au rotor et qu'un seul canal évacuant l'agent frigorifique du rotor.

Dans la machine électrique mentionnée à refroidissement cryogénique, le rotor comporte un enroulement supraconducteur dans lequel sont prévus des canaux de refroidissement dont les entrées et les sorties sont respectivement reliées à la sortie et l'entrée de l'échangeur de chaleur disposé dans la cavité du rotor, l'autre entrée et l'autre sortie dudit rotor étant reliées respectivement à la canalisation amenant l'agent frigorifique au rotor et à la canalisation évacuant l'agent frigorifique du rotor, ce dernier comportant également un écran électrothermique disposé à une distance radiale donnée de l'enroulement supraconducteur et exécuté avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée et la sortie sont reliées respectivement à la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, deux conducteurs de courant reliés à l'enroulement

supraconducteur et exécutés chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée et la sortie sont respectivement reliées à la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, et deux
5 secteurs de transition raccordés à l'enroulement supraconducteur disposés successivement le long de l'axe du rotor des deux côtés de cet enroulement supraconducteur et exécutés chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée se trouve au voisinage immédiat
de l'enroulement supraconducteur et est reliée à la canalisation
10 d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et dont la sortie est mise en communication avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor.

En plus de l'échangeur de chaleur, la cavité du rotor contient un détendeur dans lequel est refroidi le courant d'agent frigorifique
15 provenant de la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique et qui parvient ensuite à l'entrée de l'échangeur de chaleur qui est mise en communication avec cette canalisation d'amenée. La présence du détendeur dans la cavité du rotor nuit à la fiabilité de la machine électrique du fait qu'il comporte une partie mobile qui augmente les
20 risques de défaillance du fonctionnement de la machine électrique.

L'invention a donc pour objet une machine électrique à refroidissement cryogénique dont le rotor comporte un enroulement supraconducteur avec des canaux de refroidissement dont les entrées et les sorties sont mises en communication avec la sortie et avec l'entrée
25 respectivement d'un échangeur de chaleur disposé dans la cavité du rotor, l'autre entrée et l'autre sortie de cet échangeur étant reliées respectivement à la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, ce dernier comportant en outre un écran électrother-
30 mique disposé à une certaine distance radiale de l'enroulement supraconducteur et exécuté avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée et la sortie sont respectivement mises en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du ro-
35 tor, deux conducteurs de courant reliés électriquement à l'enroulement supraconducteur et exécutés chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée et la sortie sont respectivement mises en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifi-

que au rotor et avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor et deux secteurs de transition adjacents à l'enroulement supraconducteur, disposés successivement le long de l'axe du rotor de deux côtés de cet enroulement supraconducteur et exécuté
5 chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée est disposée au voisinage immédiat de l'enroulement supraconducteur et mise en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et dont la sortie est mise en communication avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, ladite machine étant caractérisée en ce qu'elle comporte un tube à tourbillon de Rank disposé dans la cavité du rotor et dont l'entrée tangentielle est mise en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor, dont la sortie centrale est reliée
10 aux entrées des canaux de refroidissement des secteurs de transition du rotor et des conducteurs de courant et dont la sortie périphérique est mise en communication avec l'entrée du canal de refroidissement de l'écran électrothermique, la sortie de ce canal étant reliée à l'entrée auxiliaire du canal de refroidissement d'au moins un secteur de transition.

20 Il est avantageux que la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor comporte deux canaux, que la sortie de l'échangeur de chaleur du côté de cette canalisation d'évacuation soit reliée à l'un de ces canaux et que la sortie des canaux de refroidissement des secteurs de transition du rotor soit reliée à l'autre canal
25 de la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique.

Il est utile que la sortie de l'échangeur de chaleur reliée à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor soit reliée à l'entrée auxiliaire du canal de refroidissement de l'un au moins des secteurs de transition.

30 Il est avantageux que le tube à tourbillon de Rank soit disposé dans la chambre ménagée dans l'échangeur de chaleur.

Il est également avantageux que l'entrée tangentielle du tube à tourbillon de Rank soit mise en communication avec la sortie de l'échangeur de chaleur.

35 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

la Fig. 1 représente une vue en coupe longitudinale partielle d'une machine électrique à refroidissement cryogénique, conformément à l'invention;

la Fig. 2 est une vue en coupe longitudinale partielle d'une
5 partie d'une machine électrique comportant une canalisation à deux canaux d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, canalisation qui est reliée aux éléments à refroidir de la construction du rotor;

la Fig. 3 est une vue en coupe suivant la ligne III-III de la Fig. 2;

10 la Fig. 4 est une vue en coupe longitudinale d'une partie d'une machine électrique dont l'échangeur de chaleur est relié à l'entrée auxiliaire des canaux de refroidissement des secteurs de transition;

la Fig. 5 est une vue en coupe longitudinale d'une partie de machine électrique avec la combinaison tridimensionnelle de l'échan-
15 geur de chaleur et du tube à tourbillon de Rank;

la Fig. 6 est une vue en coupe longitudinale d'une partie de machine électrique dans laquelle la sortie auxiliaire depuis l'échangeur de chaleur est mise en communication avec l'entrée du tube à tourbillon de Rank.

20 La machine électrique proposée à refroidissement cryogénique comporte un corps de stator 1 (Fig. 1) dans lequel est fixé un enroulement de stator 2, et un rotor 3 suspendu par ses extrémités 4 et 5 dans des paliers 6. La partie intermédiaire cylindrique du rotor 3 porte un enroulement supraconducteur 7 dans lequel sont prévus des
25 canaux de refroidissement 8. Pour simplifier le dessin, on n'a montré qu'un seul canal 8. Deux secteurs de transition 9 et 10 disposés successivement sur l'axe du rotor 3 des deux côtés de cet enroulement 7 sont adjacents à l'enroulement 7. Le corps des secteurs de transition 9 et 10 est percé d'au moins un canal de refroidissement.
30 Dans le mode de réalisation décrit, ce sont les canaux annulaires 11 et 12 respectivement. Les entrées des canaux annulaires 11 et 12 sont disposés au voisinage immédiat de l'enroulement 7 du rotor 3.

Le rotor 3 comprend également un écran électrothermique 13 espacé radialement de l'enroulement 7. L'écran électrothermique 13 est
35 rigidement fixé sur les secteurs de transition 9,10 et est destiné à protéger l'enroulement 7 contre le rayonnement lumineux et la composante variable du champ magnétique créé par l'enroulement de stator 2. Au moins un canal de refroidissement, en l'occurrence le canal

de refroidissement 14, est pratiqué dans le corps de l'écran électrothermique 13.

La cavité 15 du rotor 3 contient un tube à tourbillon de Rank 16 dont l'entrée tangentielle est mise en communication par une conduite 17 avec la partie rotative d'un organe 18 d'entrée de l'agent frigorifique dans le rotor, la partie fixe de cet organe 18 étant reliée à la canalisation 19 d'amenée de l'agent frigorifique au rotor. La sortie centrale du tube à tourbillon de Rank 16 est raccordée par une conduite 20 avec les entrées des canaux annulaires 11, 12 de refroidissement des secteurs de transition 9, 10 respectivement et la sortie périphérique de tube 16 est raccordée par une conduite 21 à l'entrée du canal annulaire de refroidissement de l'écran électrothermique 13. La sortie du canal annulaire de refroidissement 14 est reliée à la deuxième entrée du canal de refroidissement d'au moins un secteur de transition. Dans le mode de réalisation décrit, il s'agit de la deuxième entrée du canal annulaire 11 du secteur de transition 9.

Les canaux annulaires 11, 12 de refroidissement sont reliés à l'aide de canaux radiaux à des chambres collectrices de gaz 22, 23 respectivement qui sont mises en communication par l'intermédiaire de vannes de réglage 24 avec une canalisation d'évacuation 25 de l'agent frigorifique du rotor. Les chambres collectrices de gaz 22, 23 sont fixes. Les jeux entre leurs parois et le rotor 3 sont rendus étanches à l'aide de garnitures d'étanchéité (non représentées).

La cavité 15 du rotor 3 contient en plus du tube à tourbillon de Rank 16, un échangeur de chaleur qui dans cet exemple est un échangeur de chaleur à récupération 26. L'une des entrées de ce dernier (entrée côté transmission de chaleur) est reliée par l'intermédiaire d'une conduite 27 à la partie rotative de l'organe d'entrée 18 de l'agent frigorifique. La partie fixe de cet organe est reliée à la canalisation 19 d'amenée de l'agent frigorifique au rotor. L'une des sorties (sortie côté transmission de chaleur) de l'échangeur de chaleur à récupération 26 est reliée à travers un dispositif d'étranglement 28 et une conduite 29 aux entrées des canaux de refroidissement de l'enroulement 7. Pour évacuer l'agent frigorifique évaporé de l'enroulement 7, on a prévu une conduite 30 qui met en communication les sorties des canaux de refroidissement 8 avec l'autre entrée (entrée côté absorption de chaleur) de l'échangeur de chaleur à ré-

cupération 26, tandis que l'autre sortie (sortie côté absorption de chaleur) dudit échangeur est relié par une conduite 31 à la chambre collectrice de gaz 22 et par l'intermédiaire de celle-ci à la canalisation d'évacuation 25 de l'agent frigorifique du rotor.

5 Il est possible selon une variante, d'assurer de façon différente l'évacuation de l'agent frigorifique du rotor 3 et ensuite le transfert vers l'installation cryogénique (non représentée). Dans cette variante, la canalisation d'évacuation 25 (Fig. 2,3) par laquelle l'agent frigorifique est évacué du rotor comporte deux canaux, 10 à savoir les conduites 32 et 33. Dans ce cas, la conduite 31 (Fig. 2) raccorde la sortie de l'échangeur de chaleur à récupération 26 à la conduite 32 par l'intermédiaire d'un organe 34 d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor et d'une vanne de réglage 35, tandis que le canal annulaire 11 de la partie de transition 9 et le canal annu- 15 laire 12 (Fig. 1) de la partie de transition 10 sont reliés à la deuxième conduite 33 (Fig. 2).

Pour réduire les pertes thermodynamiques lors du mélange des deux courants d'agent frigorifique ayant différentes températures et dont l'un est un courant chauffé débouchant de l'échangeur de chaleur 20 26 (Fig. 1) et dont l'autre est un courant circulant par le canal annulaire 11 du secteur de transition 9, il est avantageux d'effectuer ce mélange à un point du canal annulaire 11 auquel les températures de ces courants sont identiques. A cet effet, on relie la sortie de l'échangeur de chaleur à récupération 26 (Fig. 4) par une con- 25 duite 36 à la deuxième entrée du canal de refroidissement d'au moins un des secteurs de transition. Dans la variante décrite il s'agit de la conduite 36 qui est connectée à la deuxième entrée du canal annulaire 11 du secteur de transition 9.

Afin de réduire l'encombrement axial du rotor 3, il est possible 30 ble de combiner dans le même espace, l'échangeur de chaleur à récupération 26 et le tube 16 à tourbillon de Rank. Dans ce cas, l'échangeur de chaleur à récupération 26 (Fig. 5) comporte une chambre 37 qui, dans la variante décrite est reliée à la cavité 15 du rotor 3. Dans cette chambre 37, on place le tube à tourbillon de Rank 16.

35 Pour augmenter la fiabilité de fonctionnement de l'organe 18 (Fig. 6) d'amenée de l'agent frigorifique dans le rotor, on peut augmenter la température de l'agent frigorifique dans la canalisation d'amenée 19 à l'aide de l'échangeur de chaleur à récupération entre

les courants d'amenée et d'évacuation, en reliant l'entrée tangentielle du tube 16 à tourbillon de Rank par la conduite 17 à la troisième sortie d'un échangeur de chaleur à récupération 38 (deuxième sortie côté transmission de chaleur).

5 L'enroulement 7 (Fig. 1) du rotor 3 est relié électriquement à deux conducteurs de courant 39 dont chacun est pourvu d'au moins un canal de refroidissement. Dans la variante décrite, les conducteurs de courant 39 sont disposés dans un canal de refroidissement commun 40, dont l'entrée est reliée à la sortie centrale du tube 16 à tour-
10 billon de Rank, la sortie étant mise en communication par la chambre collectrice de gaz 23 et la vanne de réglage 24 avec la conduite d'évacuation 25 de l'agent frigorifique du rotor. Chaque conducteur de courant 39 est couplé à une bague de contact correspondant 41.

Dans la variante décrite, la cavité 15 du rotor et la cavité 42
15 du stator sont mises sous vide. A cet effet, on a doté la cavité 42 de garnitures d'étanchéité au vide 43.

Le sens d'écoulement de l'agent frigorifique est indiqué sur les Fig. 1 à 6 par les flèches.

Pour maintenir l'enroulement supraconducteur 7 (Fig. 1) du ro-
20 tor 3 à une température prescrite, on opère de la manière suivante. L'enroulement 7 est refroidi par un agent frigorifique liquide, par exemple, de l'hélium tandis que les autres éléments à refroidir du rotor 3 à savoir les secteurs de transition 9 et 10, les conducteurs de courant 39 et l'écran électrothermique 13 sont refroidis par un
25 agent frigorifique gazeux.

Un agent frigorifique sous une pression correspondant à la pression maximale dans l'installation cryogénique est amené de la canalisation d'amenée 19 de l'agent frigorifique au rotor par l'organe d'amenée 18 à une température assurant la liquéfaction de l'agent
30 frigorifique pendant son refroidissement ultérieur dans l'échangeur de chaleur à récupération 26 et dans le dispositif d'étranglement 28. Le courant d'agent frigorifique introduit dans le rotor 3 est divisé en deux courants comme il est montré sur les Fig. 1 à 5 par les flèches. Un courant d'agent frigorifique est amené à l'entrée tangen-
35 tielle du tube 16 à tourbillon de Rank par la conduite 17, tandis que l'autre parvient à l'échangeur de chaleur 26 par la conduite 27. Dans le tube 16, le courant est aussi divisé en deux courants. L'un de ces courants refroidis jusqu'à une température inférieure à celle

du courant à l'entrée tangentielle dans le tube 16 est évacué par la sortie centrale par l'intermédiaire de la conduite 20 et introduit dans les canaux annulaires 11 et 12 de refroidissement des secteurs de transition 9, 10 et dans la conduite 40 dans laquelle passe les conducteurs de courant 39. Le deuxième courant obtenu dans le tube 16 est introduit à une température supérieure au premier courant à travers la sortie périphérique du tube 16 et parvient par la conduite 21 dans le canal annulaire de refroidissement 14 de l'écran électrothermique 13. Chauffé dans l'écran électrothermique 13, l'agent frigorifique est amené à la deuxième entrée du canal annulaire de refroidissement 11 du secteur de transition 9 et les courants d'agent frigorifique réunis de cette façon sont évacués du rotor 3 à travers la chambre collectrice de gaz 22 (Fig. 1, 2, 4 et 6), tandis que le courant débouchant du canal annulaire 12 (Fig. 1) du secteur de transition 10 parvient du canal annulaire 40 dans la chambre collectrice de gaz 23. A partir des chambres 22 et 23, l'agent frigorifique parvient à travers les vannes de réglage 24 dans la canalisation d'évacuation 25 de l'agent frigorifique du rotor.

L'efficacité d'une telle incorporation du tube à tourbillon de Rank 16 dans la machine électrique à refroidissement cryogénique s'explique de la manière suivante. La machine électrique comporte un écran électrothermique 13 qu'il est avantageux, du point de vue de la thermodynamique, de refroidir par l'agent frigorifique à une température plus élevée que la température du courant d'agent frigorifique qui est utilisé pour le refroidissement des secteurs de transition 9 et 10. C'est dans le tube 16 où se produit cette division des courants.

Le courant d'agent frigorifique qui arrive à l'échangeur de chaleur à récupération 26 à partir de l'organe d'amenée 18 est refroidi par le courant absorbant la chaleur évacuée des canaux de refroidissement 8 de l'enroulement 7. Le mélange vapeur-liquide résultant du courant dégageant la chaleur d'agent frigorifique passe par le dispositif d'étranglement 28 et est divisé sous l'action des forces centrifuges pendant la rotation du rotor 3 en vapeur et en liquide (le dispositif de séparation du mélange vapeur-liquide à l'aide d'un système de canaux correspondants placé dans l'enroulement 7 n'est pas montré sur le dessin). La vapeur parvient à la conduite 30, tandis que le liquide est amené dans le système des canaux de refroidi-

dissement 8 de l'enroulement 7 et qui se transforme en vapeur, au cours du refroidissement, et débouche également dans la conduite 30. Par la conduite 30, la vapeur arrive à l'échangeur de chaleur à récupération 26, circule à travers celui-ci en refroidissant le courant 5 dégageant la chaleur d'agent frigorifique et en se chauffant lui-même parvient par la conduite 31 dans la chambre collectrice de gaz 22 et ensuite dans la canalisation d'évacuation 25 de l'agent frigorifique.

Du point de vue de la thermodynamique, il est plus avantageux 10 d'évacuer l'agent frigorifique de l'échangeur de chaleur à récupération 26 par l'intermédiaire de la conduite 31 et de l'organe auxiliaire 34 (Fig. 2) d'évacuation de l'agent frigorifique, dans le canal fermé par la conduite 32 et la canalisation 25 d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor. Dans ce cas, le courant d'agent fri- 15 gorifique, évacué dans les chambres collectrices de gaz 22 et 23 (Fig. 1) des canaux annulaires de refroidissement 11,12 des secteurs de transition 9,10 arrive dans la conduite 33 (Fig. 2) de la canalisation d'évacuation 25 de l'agent frigorifique du rotor. Ensuite, chacun desdits courants parvient par les conduites 32 et 33 dans l'é- 20 tage extérieur correspondant de l'installation cryogénique.

La température du courant absorbant la chaleur d'agent frigorifique débouchant de la sortie de l'échangeur de chaleur à récupération 26, courant chauffé par l'échange thermique à récupération avec le courant dégageant la chaleur, peut différer sensiblement de la 25 température du courant arrivant dans la canalisation 25 d'évacuation de l'agent frigorifique des canaux annulaires 11 et 12 (Fig. 1) de refroidissement des secteurs de transition 9,10 du rotor 3. Le mélange des courants ayant différentes températures conduit à des pertes thermodynamiques dans le système de refroidissement cryogénique 30 et, par conséquent, à la diminution du rendement de la machine électrique si l'on considère la consommation d'énergie pour le refroidissement cryogénique de l'enroulement comme une perte d'énergie de la machine lors du calcul de son rendement.

Si on conserve l'énergie consommée pour le refroidissement de 35 l'enroulement, l'évacuation séparée desdits courants conduit à une plus grande puissance frigorifique de l'installation cryogénique, à l'obtention d'une plus grande quantité d'agent frigorifique et d'une

température plus faible de cet agent et, par conséquent, à un fonctionnement plus fiable de la machine électrique.

Le courant absorbant la chaleur d'agent frigorifique chauffé dans l'échangeur de chaleur à récupération 26 peut ne pas être évacué immédiatement dans les chambres collectrices de gaz 22,23 comme il est montré sur la Fig. 1 mais être évacué dans le canal annulaire 11 du secteur de transition 9 comme il est montré sur la Fig. 4. Cela augmente le débit d'agent frigorifique passant par le canal 11 et assure un meilleur refroidissement des secteurs de transition 9, 10 en comparaison avec une évacuation immédiate dans les chambres collectrices de gaz 22,23. Dans ce cas, le nombre de chambres collectrices de gaz dans la machine électrique se trouve diminué ce qui aboutit également à une augmentation de la fiabilité de l'ensemble de la machine électrique.

Comme on vient de noter, il est possible de combiner le tube 16 à tourbillon de Rank (Fig. 5) dans l'espace avec l'échangeur de chaleur à récupération 26 sans modifier la distribution des courants d'agent frigorifique dans le système de refroidissement cryogénique de la machine électrique. Cette combinaison dans l'espace permet de diminuer la distance entre les appuis du rotor représentés sur la Fig. 1 ce qui augmente encore davantage la fiabilité de fonctionnement de la machine électrique.

La température de l'agent frigorifique parvenant dans le rotor peut être augmentée par l'échangeur de chaleur à récupération 38 (Fig 6) que l'on peut considérer du point de vue de l'échangeur thermique à régénération dans l'installation cryogénique comme un échangeur de chaleur à deux étages. Dans ce cas, l'augmentation de la température de l'agent frigorifique dans la canalisation 19 d'amenée d'agent frigorifique est assurée par le second étage (suivant le mouvement du courant absorbant la chaleur d'agent frigorifique) de l'échangeur de chaleur à récupération 38. Cet étage se distingue par l'introduction de la troisième sortie de l'échangeur de chaleur à récupération 38 reliée par la conduite 17 à l'entrée tangentielle du tube 16 à tourbillon de Rank.

L'augmentation de la température du courant d'agent frigorifique dans l'organe d'entrée 18 augmente la fiabilité de fonctionnement de ce dernier et, par conséquent, de l'ensemble de la machine.

Pour assurer l'isolation thermique entre les éléments du rotor 3 (Fig. 1) ainsi qu'entre le rotor 3 et le stator, on a mis sous vide la cavité 15 du rotor 3 et la cavité 42 du stator. Le vide est maintenu à l'aide des garnitures 43 d'étanchéité au vide et de pompes à vide fonctionnant en continu (non représentées). L'isolation thermique doit être assurée aussi entre les conduites 32 et 33 (Fig. 2 et 3) placées dans la canalisation 25 d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor.

Revendications

1 - Machine électrique à refroidissement cryogénique, dont le rotor comporte un enroulement supraconducteur avec des canaux de refroidissement dont les entrées et les sorties sont respectivement
5 mises en communication avec la sortie et avec l'entrée d'un échangeur de chaleur disposé dans la cavité du rotor, l'autre entrée et l'autre sortie de cet échangeur étant respectivement reliées à la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, un écran
10 électrothermique disposé à une certaine distance radiale de l'enroulement supraconducteur et exécuté avec au moins un canal de refroidissement, dont l'entrée et la sortie sont respectivement mises en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique
15 du rotor, deux conducteurs de courant reliés électriquement à l'enroulement supraconducteur et exécuté chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée et la sortie sont respectivement mises en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique
20 que du rotor, et deux secteurs de transition adjacents à l'enroulement supraconducteur, disposés successivement le long de l'axe du rotor de deux côtés de cet enroulement supraconducteur et exécutés chacun avec au moins un canal de refroidissement dont l'entrée est disposée au voisinage immédiat de l'enroulement supraconducteur et
25 mise en communication avec la canalisation d'amenée de l'agent frigorifique au rotor et dont la sortie est mise en communication avec la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, caractérisée en ce qu'elle comporte un tube à tourbillon de Rank disposé dans la cavité du rotor et dont l'entrée tangentielle est reliée à
30 la canalisation d'amenée d'agent frigorifique au rotor, dont la sortie centrale est reliée aux entrées des canaux de refroidissement des secteurs de transition du rotor et des conducteurs de courant et dont la sortie périphérique est mise en communication avec l'entrée du canal de refroidissement de l'écran électrothermique, la sortie
35 de ce canal étant reliée à l'entrée auxiliaire du canal de refroidissement d'au moins un secteur de transition.

2 - Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor comporte deux canaux, la sortie de l'échangeur de chaleur, côté de ladite canalisation d'évacuation, étant reliée à l'un de ces canaux et la sortie des canaux de refroidissement des secteurs de transition du rotor étant raccordée à l'autre canal de la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique.

3 - Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que la sortie de l'échangeur de chaleur reliée à la canalisation d'évacuation de l'agent frigorifique du rotor, est mise en communication avec l'entrée auxiliaire du canal de refroidissement de l'un au moins des secteurs de transition.

4 - Machine selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le tube à tourbillon de Rank est logé dans une chambre prévue dans l'échangeur de chaleur.

5 - Machine selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'entrée tangentielle du tube à tourbillon de Rank est raccordée à la sortie auxiliaire de l'échangeur de chaleur.

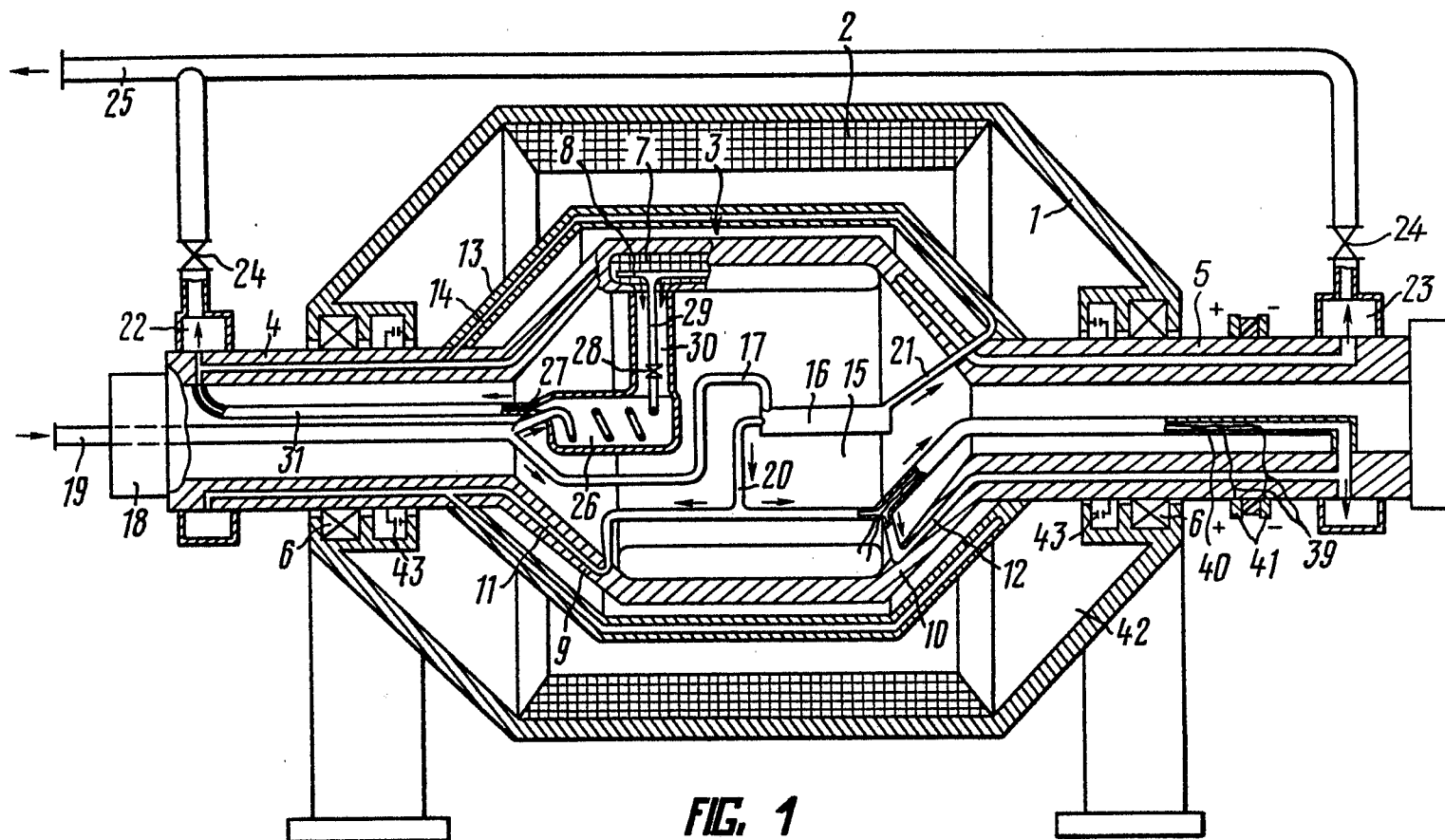
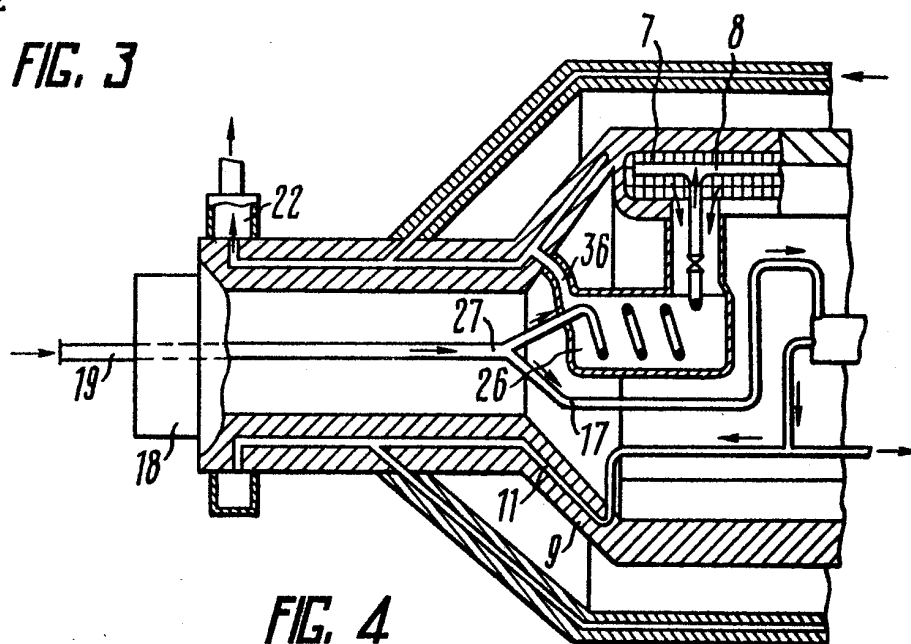
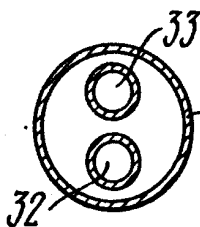
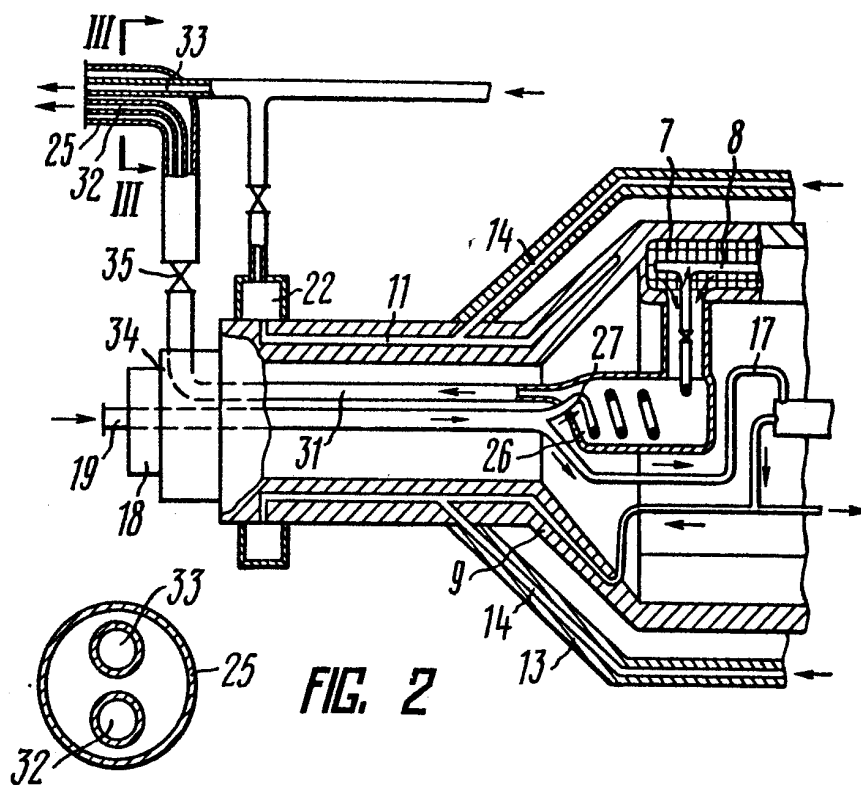
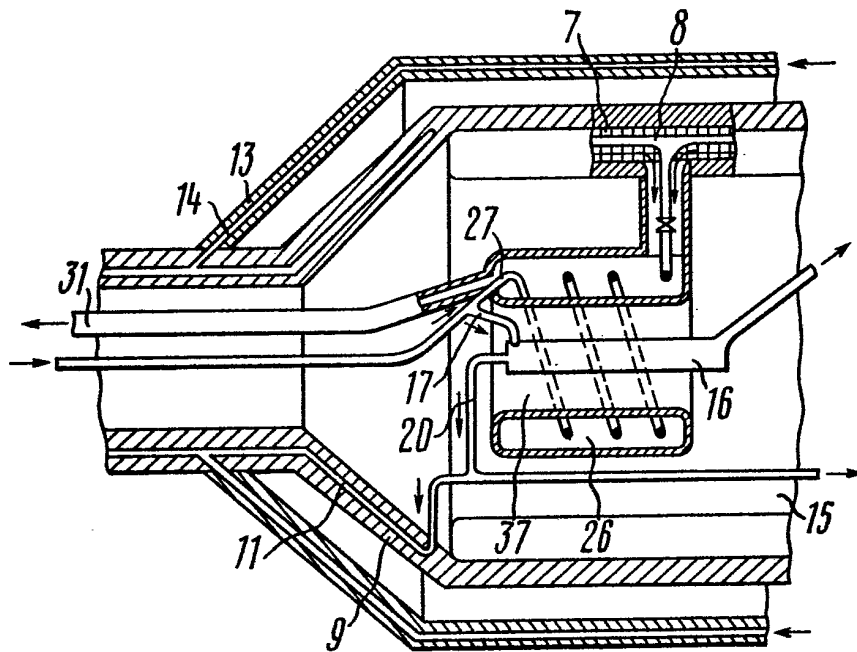
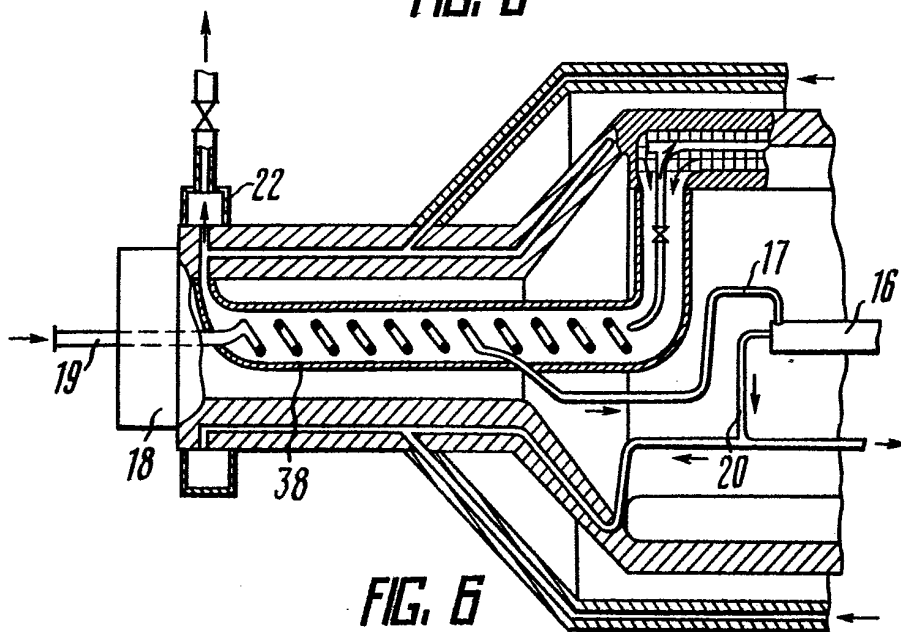


FIG. 1



**FIG. 5****FIG. 6**