



УКРАЇНА

(19) UA (т) 9809

(5i)5 H 02 K

9/197.55/00

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДМОВСТВО

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СИНХРОННА ЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА З НАДПРОВІДНИКОВИМИ ОБМОТКАМИ

1

(20)94311388,21,05.93

(21)4885382/SU

(22)26.11.90

(46) 30.09.96. Бюл. № 3

(56) 1. Пат. Франції Ns 2589017,
кл. H 02 K 55/04, 1987.

2. Казовский Е.Я. и др. Сверхпроводящие магнитные системы. Л., Наука, 1967, с. 229-232 (прототип).

(71) Харківський орденa Леніна та орденa Жовтневої Революції політехнічний Інститут ім. В.І.Леніна

(72) Болюх Володимир Федорович, Данько Володимир Григорович, Кожемякін Сергій Михайлович, Станкевич Анатолій Іванович

(73) Харківський політехнічний Інститут (UA)

(57) 1. Синхронная электрическая машина со сверхпроводниковыми обмотками, содержащая ротор со сверхпроводниковой обмоткой возбуждения и статор с низкотемпературным сосудом, заполненным жидким хладагентом, внутри которого расположена сверхпроводниковая обмотка якоря, охваченная сверхпроводящим экраном, выполненным из сверхпроводника второго рода, отличающаяся тем, что сверхпроводящий экран с радиусом Яэ уда-

лен от наружной поверхности сверхпроводниковой обмотки якоря с радиусом R_{op} так, что отношение $fWRo^* \approx 1,5-1,8$, и внутри низкотемпературного сосуда, между сверхпроводящим экраном и сверхпроводниковой обмоткой якоря расположены изготовленные из электроизоляционного материала и снабженные патрубками герметичные емкости с предохранительным клапаном.

2. Синхронная электрическая машина по п.1, отличающаяся тем, что сверхпроводящий экран расположен на внутренних поверхностях наружной и торцевых стенок низкотемпературного сосуда.

3. Синхронная электрическая машина по п.1, отличающаяся тем, что герметичная емкость выполнена в виде тора, симметрично установленного относительно оси машины.

4. Синхронная электрическая машина по пп.1,3, отличающаяся тем, что внутренние и наружные емкости тороидной герметичной емкости выполнены цилиндрическими, а торцевые стенки выполнены плоскими, параллельными торцевым стенкам низкотемпературного сосуда.

Изобретение относится к области электромашиностроения, в частности к синхронным генераторам со сверхпроводниковыми обмотками.

Известна синхронная электрическая машина, содержащая ротор со сверхпроводниковой обмоткой возбуждения, статор со сверхпроводниковой обмоткой якоря, размещенной в сосуде с жидким хладагентом,

и шихтованный стальной экран, охватывающий машину по наружной поверхности [1].

В этой машине снижены потери в обмотке якоря, но при этом сохраняется значительный вес находящегося в теплой зоне стального экрана, составляющего до 60% веса машины. В стальном экране выделяется тепло, что снижает КПД машины. Вы де-

С
>

8
0

0

лившееся тепло нагревает корпус машины, являющийся внешним вакуумным кожухом криостата, что приводит к увеличению теплопритока в холодную зону и к повышенному расходу жидкого хладагента.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности является синхронная электрическая машина, содержащая ротор со сверхпроводниковой обмоткой возбуждения и статор с низкотемпературным сосудом с жидким хладагентом, внутри которого расположена сверхпроводниковая обмотка якоря, охваченная сверхпроводящим экраном [2].

В данной машине обеспечивается значительное снижение веса из-за отсутствия массивных ферромагнитных элементов и, соответственно, потерь мощности в данных элементах.

Однако прототип обладает рядом недостатков.

Поскольку сверхпроводящий экран расположен в непосредственной близости от обмотки якоря, то, возникающие в экране от вращающихся магнитных полей машины, вихревые токи значительно уменьшают магнитное поле в зоне обмотки якоря, т.е. экран оказывает размагничивающее действие и существенно снижает мощность машины. Так как сверхпроводящий экран расположен в большом магнитном поле, созданном сверхпроводниковыми обмотками машины, и он выполнен из сверхпроводника второго рода, например, Nb, то он находится в смешанном состоянии (в интервале от первого критического поля B_{c1} до второго критического B_{c2}). Как известно, при нахождении в смешанном состоянии, сверхпроводник второго рода является идеальным проводником (сопротивление равно нулю), но не идеальным диамагнетиком (магнитное поле проникает через сверхпроводник). В переменном же магнитном поле (что имеет место в рассматриваемых машинах), в сверхпроводнике, находящемся в смешанном состоянии, происходят потери. Как следствие этого, сверхпроводящий экран нагревается и надежность его снижается. Кроме того, поскольку сверхпроводящий экран пропускает через себя переменное магнитное поле, то в расположенных за этим экраном металлических элементах машины (стенки низкотемпературного сосуда, радиационные экраны, внешний вакуумный кожух и др.) также происходят потери, а значит - нагрев. Нагрев элементов машины приводит к снижению ее КПД и к повышенному расходу жидкого хладагента, т.е. к неэкономичности. Выполнение же указанных элементов машины неметаллическими

проблематично и представляет значительные как технологические, так и конструктивные трудности. А проникающие за поверхность машины переменное магнитное поле неблагоприятно воздействует как на обслуживающий персонал, так и на электронное и др. оборудование.

При этом надежность известной машины не возрастает, а даже снижается, если сверхпроводящий экран удалить от обмотки якоря на расстояние, где магнитное поле будет меньше первого критического поля B_{c1} сверхпроводника второго рода и экран станет идеальным диамагнетиком. Это связано с тем, что для надежного охлаждения сверхпроводящего экрана низкотемпературный сосуд статора должен быть полностью заполнен жидким хладагентом. Однако наличие большого количества жидкого хладагента, помимо экономической целесообразности, нежелательно при наличии тепловыделений в статоре, поскольку жидкость при этом переходит в газ, давление в низкотемпературном сосуде статора резко возрастает, что требует либо наличия толстых стенок сосуда, либо аварийного выброса газообразного хладагента в атмосферу, что нежелательно. Особенно опасна данная ситуация при использовании жидкого гелия (1 литр жидкого гелия при атмосферном давлении дает до 700 литров газа) и кратковременном, но мощном тепловыделении, например, при переходе сверхпроводниковых обмоток машины в нормальное состояние. Возникающее при этом давление может разрушить машину.

Целью изобретения является повышение надежности.

Поставленная цель достигается тем, что в известной синхронной электрической машине со сверхпроводниковыми обмотками, содержащей ротор со сверхпроводниковой обмоткой возбуждения, и статор с низкотемпературным сосудом, заполненным жидким хладагентом, внутри которого расположена сверхпроводниковая обмотка якоря, охваченная сверхпроводящим экраном, выполненным из сверхпроводника второго рода, согласно изобретению, сверхпроводящий экран удален от наружной поверхности сверхпроводниковой обмотки якоря и внутри низкотемпературного сосуда, между сверхпроводящим экраном и сверхпроводниковой обмоткой якоря расположены изготовленные из изоляционного материала и снабженные патрубками герметичные емкости с предохранительными клапанами.

При этом сверхпроводящий экран расположен на внутренних поверхностях на-

ружной и торцевых стенок низкотемпературного сосуда и находится в состоянии полного диамагнетизма.

Каждая герметичная емкость выполнена в виде тора, симметрично установленного относительно оси машины, внутренние и наружные стенки тора выполнены цилиндрическими, а торцевые стенки - плоскими, параллельными торцевым стенкам низкотемпературного сосуда. Кроме того, предохранительный клапан выполнен регулируемым с возможностью многократной работы и предохранительные клапаны отрегулированы на различное давление.

В предлагаемой синхронной электрической машине практически полностью устранены потери мощности в сверхпроводящем экране, за счет его полного диамагнетизма, и в расположенных за экраном элементах машины, т.к. магнитное поле машины здесь практически равно нулю. Естественно, что данные элементы машины - внутренний сосуд, радиационные экраны, наружный вакуумный кожух и др. - из-за отсутствия потерь в них выполняются металлическими, что существенно повышает технологичность и надежность машины.

Предлагаемое размещение сверхпроводящего экрана позволяет многократно уменьшить размагничивающее действие экранов в активной зоне машины - в обмотке якоря.

Наличие герметичных емкостей внутри низкотемпературного сосуда приводит к тому, что фактически, в большом объеме низкотемпературного сосуда находится малое количество жидкого хладагента, но при этом обеспечивается хорошее охлаждение экрана и обмотки якоря за счет непосредственного контакта с жидкостью. Малое количество жидкого хладагента резко повышает экономичность электрической машины и надежность при возникновении резких тепловыделений в статоре.

Выполнение герметичных емкостей в виде торов, симметрично установленных относительно оси машины, обеспечивает равномерный слой жидкости по всему периметру экрана и обмотки якоря. Выполнение же у этих тороидных элементов внутренней и наружной стенок цилиндрическими, а торцевых стенок плоскими и параллельными торцевым стенкам низкотемпературного сосуда позволяет в максимальной степени реализовать данную задачу при минимальном количестве жидкого хладагента.

Изготовление герметичных емкостей из электроизоляционного материала исключает

возникновение в них каких-либо потерь и искажений магнитных полей машины.

Наличие у герметичных емкостей внутренней герметичной полости, например, ва-5 куумной, обеспеченной через выходной патрубок, позволяет снизить вес машины и количество изоляционного материала.

Расположение на одной из стенок внутренней полости предохранительного клапана, отрегулированного на определенное давление срабатывания, позволяет, при резком повышении давления из-за испарения жидкого хладагента, ограничить его до величины давления срабатывания клапана.

Клапан открывается и хладагент поступает во внутреннюю полость герметичной емкости. При устранении источника тепловыделений клапан закрывается, хладагент из внутренней полости по выходному патрубку

поступает в оживитель, а затем опять подается в машину. Поэтому клапаны выполняются регулируемые, например, пружинного типа, на определенное давление срабатывания с возможностью многократной работы.

Регулирование клапанов тороидальных герметичных элементов на различное давление позволяет организовать последовательное срабатывание этих клапанов при росте давления *хладагента*. И только в случае аварийного повышения давления, возникающего, например, при переходе в нормальное состояние сверхпроводящих элементов машины, обеспечивается срабатывание всех клапанов и повреждение машины *исключается*.

Ограничение давления в машине позволяет выполнить внутренний низкотемпературный сосуд тонкостенным, что целесообразно как с точки зрения веса электрической машины, так и ее экономичности.

Расположение сверхпроводящего экрана непосредственно на внутренних поверхностях стенок низкотемпературного сосуда позволяет отказаться от специального корпуса для экрана, его крепления и пр., а также уменьшить размеры внутреннего низкотемпературного сосуда.

Сущность изобретения поясняется чертежами где:

на фиг.1 представлена синхронная электрическая машина со сверхпроводниковыми обмотками (с продольным сечением половины); на фиг.2 - конструкции герметичной емкости.

Синхронная электрическая машина со* стоит из ротора со сверхпроводниковой обмоткой возбуждения 1 и статора с низкотемпературным сосудом 2, внутри ко-

торого расположена сверхпроводниковая обмотка якоря 3, охваченная сверхпроводящим экраном 4. Внутри низкотемпературного сосуда 2, между сверхпроводящим экраном 4 и сверхпроводниковой обмоткой якоря 3, в жидком хладагенте, например, жидком гелии, расположены герметичные емкости 5 с внутренней полостью 6, на одной из стенок которых установлен предохранительный клапан 7. Каждая герметичная емкость закреплена внутри низкотемпературного сосуда специальными проставками (на фиг.1 не показано) и выполнена в виде тора, симметрично установленного относительно оси машины и снабжена выходным патрубком 8. Внутренние 9 и наружные 10 стенки тора дальней герметичной полости 5 выполнены цилиндрическими, а торцевые стенки 11 выполнены плоскими, параллельными торцевым стенкам 12 низкотемпературного сосуда 2. Сверхпроводящий экран 4 расположен на внутренних поверхностях торцевых 12 и наружных 13 стенок низкотемпературного сосуда 2 и находится в состоянии полного диамагнетизма. Сверхпроводниковая обмотка якоря 3, низкотемпературный сосуд 2 и тепловой экран 14 закреплены на опорном цилиндре якоря 15. Опорный цилиндр якоря 15 соединен через ряд равномерно расположенных по периметру машины теплоизоляционных опорных прокладок 16 с внутренними выступами 17 наружных щитов 18 корпуса машины. Корпус машины включает два наружных щита 18, один из которых соединен с источником вакуума 19, и тонкостенную вакуумную цилиндрическую обшивку 20.

Закрепленная на валу 21 машины, низкотемпературная полость 22, в которой расположена сверхпроводниковая обмотка возбуждения 1 ротора, низкотемпературный сосуд 2 с жидким хладагентом, в котором размещены сверхпроводниковая обмотка якоря 3 и сверхпроводящий экран 4, зазор 23 между полостью 22 и сосудом 2, тепловой экран 14 и суперизоляция 24 (многослойная пленка алюминизированного майлара) находятся в общей вакуумной полости 25 корпуса машины.

В сосуде 2 статора имеются патрубки 26 и 27, обеспечивающие, соответственно, подачу жидкого хладагента и выход его паров. Синхронная электрическая машина имеет трехфазный электрический вывод 28, соединенный с трехфазной обмоткой якоря 3.

Сверхпроводниковая обмотка возбуждения ротора имеет токовводы 29, подсоединенные к источнику питания постоянного

тока (на фиг. не показан), и охлаждается потоком циркулирующего в полости 22 жидкого хладагента, подача и выход которого производится через трубопроводы 30.

5 На наружных щитах 18 корпуса машины установлены вакуумно-плотные подшипники 31, обеспечивающие вращение вала 21 ротора и герметизацию вакуумной полости 25 корпуса машины. На тепловом экране 14 10 выполнены отверстия 32, обеспечивающие передачу вакуума от источника вакуума 19 к сосуду 2 статора.

Установленный на каждой герметичной емкости 5 предохранительный клапан 7 15 выполнен регулируемым с возможностью многократной работы.

В синхронной электрической машине со сверхпроводниковыми обмотками опорный цилиндр якоря 15 изготовлен из тепло- 20 и электроизоляционного высокопрочного материала, например, стеклотекстолита, герметичные емкости 5 - из электроизоляционного материала, например, из текстолита, прочного пенопласта и т.п., торцевые 25 12 и наружная 13 стенки низкотемпературного сосуда 2 и корпус машины - из нержавеющей стали, тепловой экран 14 - из меди.

Сверхпроводниковая обмотка якоря 3 намотана из композитных, внутренне ста- 30 билизованных сверхпроводников второго рода, например, NbTi, YBaCuO и др., а сверхпроводящий экран 4 выполнен в виде тонкой пленки из сверхпроводника второго рода, например, Nb, находящегося в состо- 35 янии полного диамагнетизма.

При работе синхронной электрической машины в качестве генератора (основной режим работы) через токовводы 29 осуществляется запитка обмотки возбуждения 1 40 постоянным током. Передавая через вал 21 вращающий момент вспомогательного привода (на фиг. не показан), ротор с обмоткой возбуждения приводится во вращение, в обмотке якоря 3 индуцируется трехфазная 45 э.д.с., а при подключении к трехфазному электрическому выводу 28 нагрузки, в обмотке якоря появляется переменный ток, поступающий потребителям.

50 Так как сверхпроводящий экран 3 находится в состоянии полного (идеального) диамагнетизма, то за поверхностью экрана обеспечивается полное экранирование как постоянных, так и переменных магнитных 55 полей машины. Это позволяет все элементы машины, расположенные за экраном, включая низкотемпературный сосуд 2, тепловой экран 14, корпус машины и др., выполнить металлическими, что конструктивно и технологически предпочтительно, причем по-

тери в экране и в указанных элементах машины отсутствуют.

Радиус сверхпроводящего экрана R_3 выбирается из условия, чтобы тангенциальная компонента $B < p$ на поверхности сверхпроводящего экрана не превышала первое критическое поле B_{c1} сверхпроводника. При выбранном, исходя из этого, радиусе экрана R_{3i} практически отсутствует размагничивающее действие экрана, т.е. снижение радиальной компоненты B_r магнитного поля в зоне обмотки якоря, определяющее мощность машины.

Наличие герметичных тороидальных емкостей 5 обеспечивает при относительно малом количестве жидкого хладагента, что экономически выгодно, надежное охлаждение сверхпроводниковой обмотки якоря 3 и сверхпроводящего экрана 4 за счет непосредственного контакта с жидкостью. При возникновении теплопритоков в низкотемпературном сосуде 2 статора, например, из-за резкого изменения нагрузки машины, часть жидкого хладагента в сосуде перейдет в газообразное состояние, что приведет к росту давления в сосуде. Из-за значительного гидравлического сопротивления только небольшая часть газа уйдет через выходной патрубок 27.

При увеличении давления происходит срабатывание, например, верхнего предохранительного клапана 7, заслонка открывается и часть хладагента проникает в полость 6 герметичной емкости 5. Поскольку давление в сосуде падает, предохранительный клапан снова закрывается. Попавший в полость 6 герметичной емкости хладагент, через выходной патрубок 8 за определенное время, удаляется либо в газгольдерную линию, либо возвращается на охлаждение машины.

Таким образом, предохранительный клапан позволяет за короткое время осуществить сброс давления в сосуде, не допуская его опасного возрастания.

При более интенсивном выделении тепла или мощном теплопритоке в низкотемпературном сосуде 2 статора срабатывает не только предохранительный клапан верхней герметичной емкости, а и отрегулированные на более высокое давление срабатывания предохранительные клапаны нижних герметичных емкостей 5.

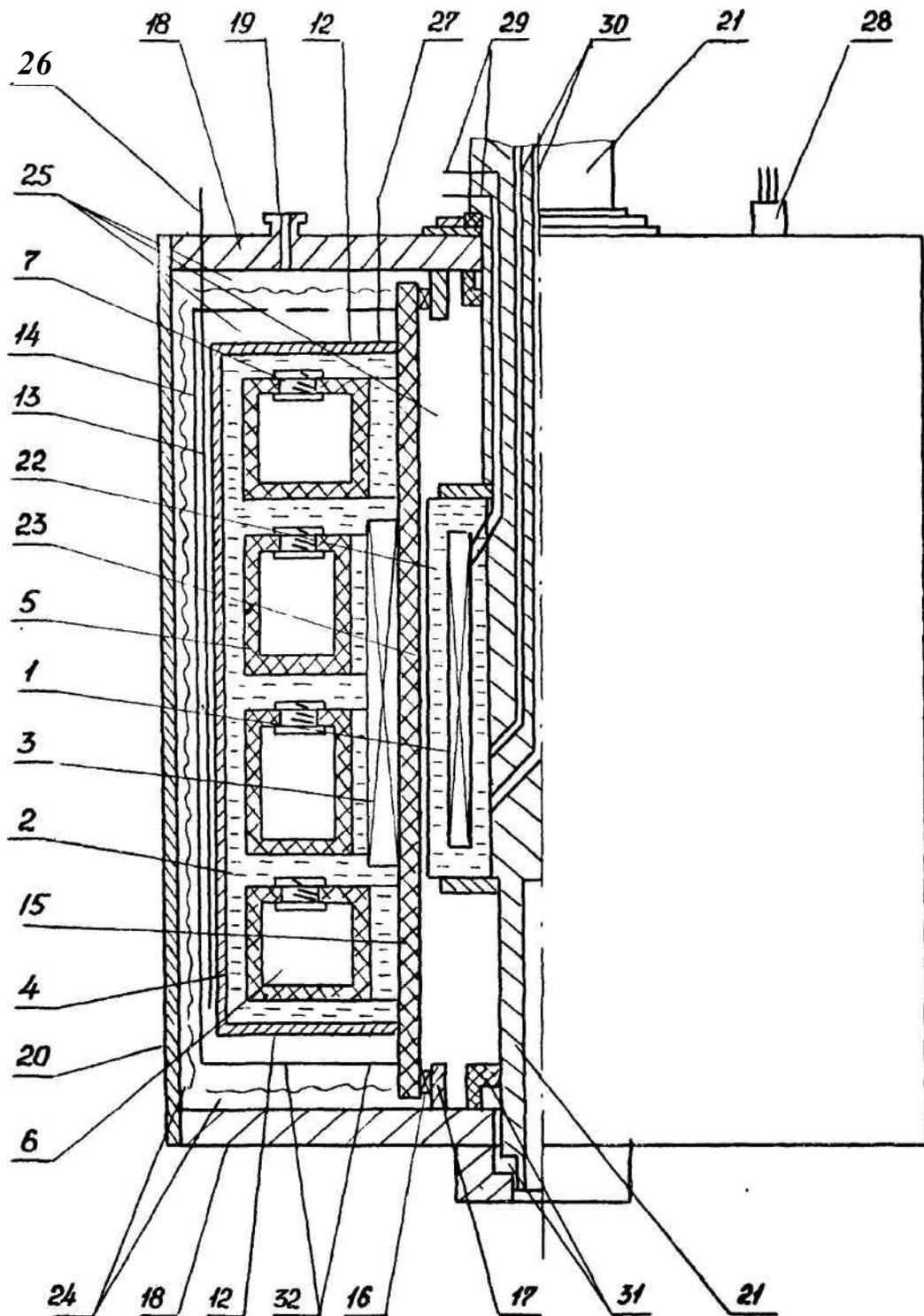
Последний предохранительный клапан, например, нижней герметичной емкости, отрегулирован на максимально допустимое

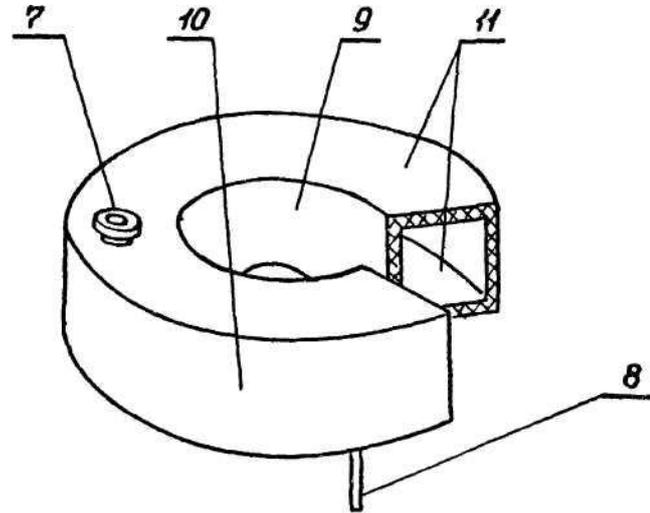
значение при полном выкипании хладагента в сосуде, возникающее, например, при неконтролируемом переходе в нормальное состояние сверхпроводящих элементов 5 электрической машины. При этом газ через открытые предохранительные клапаны всех вспомогательных элементов заполняет их полости достаточной емкости, что ограничивает рост давления в сосуде. Это позволяет выполнить низкотемпературный сосуд 2 тонкостенным, тем самым обеспечивая малый вес электрической машины.

Так как даже в аварийных режимах машины не происходит выброса дорогостоящего хладагента - гелия - из нее, то, тем самым, Повышаются ее технико-экономические параметры.

Таким образом, в предлагаемой синхронной электрической машине со сверхпроводниковыми обмотками обеспечиваются:

- высокая надежность за счет хорошего охлаждения сверхпроводниковой обмотки якоря и сверхпроводящего экрана непосредственно жидким хладагентом;
- высокая надежность элементов статора за счет ограничения давления в низкотемпературном сосуде статора из-за относительно малого количества жидкого хладагента и сброса хладагента в полости герметичных емкостей;
- высокая надежность сверхпроводящего экрана из-за отсутствия тепловыделений в нем;
- технологичность и надежность конструкции за счет выполнения расположенных за сверхпроводящим экраном элементов машины металлическими;
- высокая экономичность и высокий КПД машины из-за малого испарения жидкого хладагента, что связано практически с отсутствием потерь и тепловыделений в элементах статора от переменных магнитных полей машины;
- высокая экономичность из-за предотвращения выброса дорогостоящего хладагента из машины даже в аварийных режимах;
- экономичность из-за малого количества требуемого для машины жидкого хладагента;
- малый вес машины;
- повышение мощности машины из-за уменьшения размагничивающего действия сверхпроводящего экрана, что объясняется его удалением от обмотки якоря.





Упорядник

Техред М.Моргентал

Коректор

М. Куль

Замовлення 4552

Тираж
Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, КиТв-53, Львівська пл., 8

Підписне

