

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038528**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.09.10**

(21) Номер заявки  
**202090113**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.12.14**

(51) Int. Cl. **H02K 21/24** (2006.01)  
**H02K 3/47** (2006.01)  
**H02K 1/28** (2006.01)  
**H02K 9/10** (2006.01)  
**H02K 16/00** (2006.01)

---

(54) **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА**

---

(31) **P.422393**

(32) **2017.07.28**

(33) **PL**

(43) **2020.04.30**

(86) **PCT/PL2017/000125**

(87) **WO 2019/022624 2019.01.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЭКВЕЛО СП.З.О О. (PL)**

(72) Изобретатель:  
**Эквинский Гжегож (PL)**

(74) Представитель:  
**Махлина М.Г. (RU)**

(56) **US-A-5619087**  
**US-A-5021698**  
**GB-A-2466436**  
**CA-A1-2368426**  
**US-A-5892307**

(57) Электрическая машина состоит из статора, содержащего опорные пластины и обмотки, проводящие электрический ток, и ротора. Статор содержит обмотки, проводящие электрический ток, встроенные в композитный материал и сформированные в обмоточные сегменты (20), образующие кольцевой сегмент углового пролета, составляющий часть полного угла, причем полная кратность этого сегмента дает полный угол, т.е., например, 180°, 120°, 90° и т.д., при этом сегменты (20) вставлены между внешним (8) и внутренним (9) дисками ротора и изготовлены из немагнитного композиционного материала (16) и (18) армированные волокнами с прочностью более 1 ГПа, причем магнитные полюса (15) встроены и намагничены в осевом направлении внутренних дисков (9), состоящих по меньшей мере из одного постоянного магнита. Полюса отделены друг от друга промежутком, заполненным немагнитным композитным материалом (16) и (18) структуры внутреннего и внешнего дисков (8) и (9), причем каждый внешний (8) и внутренний диск (9) имеет по окружности внешнее армирующее кольцо (13) и (17), сделанное из немагнитного композиционного материала, армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, образованного путем наматывания волокон вместе со смолой на цилиндрическую поверхность дисков. Внешние диски (8) (первый и последний) ротора имеют кольцо, замыкающее магнитную цепь (14), выполненную из ферромагнитного материала.

**B1**

**038528**

**038528**

**B1**

Настоящее изобретение представляет собой электрическую машину, которая может работать либо в режиме двигателя: преобразуя электрическую энергию в механическую энергию вращения, либо в режиме генератора: преобразуя механическую энергию вращения в электрическую энергию.

Со времени создания первых электродвигателей конструкторы пытались создавать все новые конструкции, предназначенные для устранения или уменьшения недостатков предыдущих решений. Мы можем определить ряд характеристик двигателя, то есть общие характеристики, сходные для всех приводов, такие как производительность двигателя, которая может быть определена для каждого привода, которая обычно составляет от 50 до 95%, и специальные характеристики, которые в некоторых случаях отличаются на несколько порядков, такие как мощность, обороты в минуту, вес или стоимость производства. В последнее время становится все более и более важным не только использование электричества для того, чтобы помочь нам во всех наших действиях, но и способ его использования, т.е. мы, естественно, предпочитаем чистить пол пылесосом, а не щеткой, и в течение некоторого времени стало важно, чтобы пылесос был оснащен высокоэффективным двигателем с низкой мощностью, но высокой всасывающей способностью. Это происходит главным образом потому, что мы оценили параметры привода, которые когда-то считались незначительными, а иногда даже не принимаемыми во внимание. Эти функции включают, например, энергоэффективность, культуру работы (например, низкий уровень шума при работе, сниженное электромагнитное излучение) и способность к вторичному использованию. Объектом, на который распространяется этот патент, является электродвигатель, демонстрирующий чрезвычайно высокую производительность при преобразовании электрической энергии в механическую энергию. Этот двигатель также может работать как генератор энергии. Электропривод с чрезвычайно высокой эффективностью имеет много очень благоприятных характеристик, которые сейчас начинают привлекать внимание, но не слишком очевидны, такие как:

A: энергоэффективность. Высокая эффективность 99% означает очень маленькую потерю энергии в 1%. Двигатель с механической мощностью 1000 Вт потребляет от 1010 до 1015 Вт электроэнергии вместо 1100 или 1300 Вт, как в настоящее время. Массовое использование таких двигателей приведет к значительной экономии электроэнергии.

B: экономия финансовых средств. В случае промышленного использования электропривода, энергоэффективность приносит большую финансовую экономию владельцу в результате небольшой потери энергии, подаваемой на устройство.

C: компактный размер. Небольшие потери энергии внутри электропривода означают более низкое тепловое излучение, и, следовательно, становится возможным создание относительно небольших приводов с мощностью, сравнимой с гораздо более крупными устройствами, так как такие электроприводы не перегреваются во время внутреннего выделения тепла.

D: высокая движущая сила. Мощные и компактные приводы характеризуются исключительно высокой движущей силой, так как маленький размер приводит к уменьшению моментов инерции, а относительно высокая мощность создает высокий крутящий момент. Это означает, что возможно достижение больших ускорений, что является весьма предпочтительным в таких областях применения, как, например, робототехника.

E: низкая цена. Компактные, легкие двигатели - по сравнению с решениями, существующими на рынке - требуют меньше сырья и менее проблематичны в производстве. Легче выполнять монтажные работы с двигателем весом 12 кг вместо 80 кг. Все это приводит к снижению себестоимости привода. В настоящее время используются различные электродвигатели, и основным критерием при выборе двигателя является тип и характер работы. Один привод будет использоваться в вентиляторе кондиционера, а другой - для маневрирования положения руки робота. В конце концов, окончательным критерием выбора привода всегда является экономичность, т.е. стоимость покупки, установки и эксплуатации привода. Во всех типах электроприводов и в большинстве областей применений можно заметить больше конструкций с повышенной производительностью и их более частое использование. Эта тенденция будет продолжаться, пока мы не обнаружим, что электропривод работает без потерь.

В современном состоянии технического прогресса мы можем наблюдать следующие источники потерь энергии в электроприводах:

A) потери в виде выделения тепла в обмотках двигателя. Эти потери возникают из-за потока электричества в проводнике с ненулевым сопротивлением. Потери мощности, создаваемые сопротивлением катушечной обмотки, численно равны произведению величины электрического тока в квадрате на сопротивление обмоток  $P_{\text{strat}} = R \cdot I^2$  ( $P_{\text{strat}}$  [Вт],  $R$  [Ом],  $I$  [А]). Можно значительно уменьшить эти потери, уменьшив плотность тока в обмотках и уменьшив сопротивление обмоток. Снижение плотности тока уменьшает крутящий момент, создаваемый двигателем, поэтому для получения полезной мощности двигателя необходимо увеличить скорость вращения двигателя, так как механическая мощность двигателя равна скорости вращения, умноженной на значение крутящего момента привода  $P_{\text{mech}} = \omega \cdot M_{\text{нар}}$  ( $P_{\text{mech}}$  [Вт],  $\omega$  [рад/с],  $M_{\text{нар}}$  [Нм]). Снижение сопротивления обмоток может быть достигнуто путем изменения материала, из которого они изготовлены, что совершенно неэкономично, так как сопротивление серебра незначительно ниже, чем у меди, которая намного дороже. Или путем увели-

чения поперечного сечения обмоток (утолщения) и уменьшения длины обмоток. Увеличение скорости вращения двигателя может быть достигнуто путем увеличения напряжения, приложенного к обмоткам. В двигателях классической конструкции такие изменения приведут к значительному увеличению пускового тока и скорости двигателя. При запуске такой двигатель может быть поврежден из-за выгорания обмотки, так как величина тока, циркулирующего в обмотках, является фактором сопротивления обмотки и приложенного к ней напряжения. После запуска двигателя, когда его скорость увеличивается, электрический ток в обмотке уменьшается из-за индуктивности обмотки и генерации обратного напряжения в обмотке в результате переменного магнитного поля, генерируемого в катушках. Негативные эффекты снижения сопротивления обмоток двигателя могут быть уменьшены с помощью внешних электронных систем для контроля тока. Эти решения применяются в сервоприводах, где контроллер сервопривода постоянно проверяет электричество, циркулирующее в обмотках, чтобы оно не превышало значение, безопасное для двигателя. Можно заметить, что эти приводы являются высокоэффективными, компактными, с относительно высокой выходной мощностью и высокой движущей силой. Этим мы обязаны развитию MOSFET транзисторов, снижению их сопротивления в проводимости и сокращению времени переключения, что позволяет создавать высокоэффективные системы электрического привода.

В) потери в сердечниках магнитопроводов катушек. В подавляющем большинстве двигателей обмотки взаимодействуют с сердечниками или сердечником магнитопровода двигателя, который состоит из партии кремниевых листов или другого материала. Это играет две основные роли: (1) оно механически определяет местоположение обмоток и соответствующим образом направляет поток магнитного поля. К сожалению, переменное магнитное поле, создаваемое обмоткой, постоянно намагничивает сердечник, и это приводит к потере мощности. Температура сердечника повышается просто из-за непрерывного перемещения магнитных доменов. Вы можете устранить этот тип потери мощности с помощью устранения магнитного сердечника. Такие двигатели известны и называются двигателями постоянного тока с полым (coreless) или немагнитным (ironless) ротором. Они производятся MaxonMotor (линейка: двигатели Maxon RE), Faulhaber или Portescap (Brush DC Coreless Motor 28DT12). Этот тип привода применяется не только в классических двигателях: механизм привода головок в жестких дисках (HDD) также имеет привод с полым ротором. Каркас, построенный из обмотки, залитой эпоксидной смолой, движется в магнитном поле, создаваемом парой неодимовых магнитов. Сегодня это распространенное решение среди производителей подобных устройств. Эта конструкция характеризуется как высокой движущей силой, так и эффективностью.

Другим примером двигателя постоянного тока с полым ротором (немагнитным) может быть привод диафрагмы в громкоговорителе. В магнитном поле, создаваемом кольцевым магнитом, имеется очень легкая катушка, приклеенная к движущейся диафрагме динамика. Как показано ранее, можно наблюдать очень высокую движущую силу привода.

С) потери в электромеханических коммутаторах. Механическая коммутация, так называемая вентильная, основана на подаче тока с использованием щеток, изготовленных преимущественно из графита и меди, к этим элементам коммутатора, который расположен на роторе генератора, к которому подключены отдельные катушки обмотки ротора. Из-за сопротивления в соединении щетка-коммутатор мы наблюдаем потери электрической энергии, а также искрение, возникающее в результате механического включения и отключения электрических цепей. Эти потери можно устранить, применяя другую конструкцию двигателя, то есть путем размещения обмотки в статоре и магнитов на роторе двигателя и путем изменения токов в катушечных обмотках с помощью электронного коммутатора. Этот тип переключения называется бесконтактным переключением, а отдельная форма, исключая проблемный элемент внутри двигателя, повышает надежность всего привода.

Д) потери, вытекающие из необходимости электрически генерировать цепь магнитного возбуждения. Некоторые конструкции двигателей, например универсальные однофазные двигатели переменного тока оснащены обмотками, которые генерируют магнитный поток возбуждения, который взаимодействует с магнитным полем, создаваемым катушками на роторе двигателя. Это решение сегодня широко применяется в бытовой технике, кухонных комбайнах, пылесосах и т.д. Переменный ток, питающий двигатель, подается на ротор с помощью щеток и коммутатора. Это заставляет переменное магнитное поле также генерироваться в статоре. Поэтому постоянные магниты не используются в качестве источников возбуждения магнитного поля в статоре, а вместо этого обмотки электромагнитной катушки питаются от того же источника, что и ротор двигателя. Хотя это широко распространенное решение, оно делает двигатели такого типа неэффективными. Эта проблема может быть устранена путем изменения конструкции двигателя, использования постоянных магнитов, например магнитов на неодиме для создания магнитного потока возбуждения и электронного коммутатора. Благодаря этой концепции потери, возникающие в обмотках двигателя, возникают только в обмотках, взаимодействующих с полем возбуждения, и не возникают при генерации поля возбуждения, так как оно создается постоянными магнитами.

Описание патента № US6163097 раскрывает схожую конструкцию. Однако следует обратить внимание на следующие проблемы:

А) в раскрытии патента диски содержат постоянные магниты в форме монолитных кольцевых магнитов, попеременно намагниченных многополюсным магнитом, что приводит к технологической про-

блеме и снижает селективность или даже нарушает распределение магнитного поля между отдельными магнитными полюсами в последующих дисках ротора.

В) в раскрытии изобретения диски содержат постоянные магниты в виде монолитных кольцевых магнитов, попеременно намагниченных многополюсным магнитом, что снижает долговечность дисков от разрушения при вращательном движении. Автор не предоставляет структурного усиления диска, например, путем нанесения внешнего кольца, например, из стеклянного волокна, которое будет способствовать увеличению максимальной скорости вращения ротора.

С) в раскрытии представлены комплекты обмоток в виде кольцевых систем из медных листов, прутков или профилей с очень низким сопротивлением. Такая система очень неудобна при установке устройства. Это требует того, чтобы диск ротора и кольца обмотки статора были установлены последовательно.

Кроме того, очень низкое сопротивление обмоток статора и множество магнитных полюсов на дисках ротора требуют высокой частоты замен источника питания обмоток. Поверхностный эффект, возникающий в обмотках, применяемых автором, снижает эффективность системы и приведет к снижению мощности. В устройствах этого типа применимо использование обмоток из многожильных проводников, так называемый многожильный медный провод. Много сердечников, например, 200, с очень маленьким диаметром менее 0,4 мм устраняют поверхностный эффект, вызывающий равномерное течение тока по всему поперечному сечению обмоток.

Изобретение US5021698 раскрывает машину, состоящую из множества осевых полей ротора, каждое из которых состоит из множества магнитных сегментов, расположенных вокруг приводного узла в предварительно напряженном узле, в котором охватывающий обруч оказывает достаточное сжимающее напряжение на магниты и узел втулки для противодействия центробежным силам, возникающим при скоростях вращения до 100000 об/мин. Описаны альтернативные методы напряжения средств обруча.

Изобретение US5619087 раскрывает конструкцию, которая содержит большинство из вышеуказанных решений. Однако следует обратить внимание на следующие проблемы:

А) в раскрытии изобретения диски содержат чередующиеся магнитные полюса постоянных магнитов, где каждый такой полюс состоит из множества магнитов с относительно небольшим размером, среди которых нет контакта, и магниты по своей конструкции имеют различную индукцию магнитного поля. Это должно снизить вибрацию во время работы и повысить долговечность при высокой скорости вращения. Это уменьшает активное поперечное сечение магнитного полюса. Двигатель такого типа может генерировать ограниченный крутящий момент, что ограничивает его полезность.

В) в данном раскрытии диски содержат чередующиеся магнитные полюса, выполненные из постоянных магнитов, и линии силы магнитного полюса зафиксированы внутри статических колец, изготовленных из магнитомягкого металлического листа, закрепленного на передних пластинах (подшипнике) двигателя. Это невыгодно, так как постоянное чрезмерное намагничивание материала колец, замыкающих магнитную цепь, снижает эффективность всей системы.

Заявленное изобретение характеризует электрическую машину с минимальными потерями энергии во время работы.

Электрическая машина, содержащая статор с опорными пластинами, токопроводящие обмотки, ротор и внешние и внутренние диски ротора, в которые встроены магнитные полюса и намагничены в осевом направлении внутренних дисков, состоящих по меньшей мере из одного постоянного магнита, при этом сегменты вставлены между внешними и внутренними дисками ротора. Статор содержит токопроводящие обмотки, внедренные в немагнитный композитный материал, армированный волокнами с пределом прочности на растяжение, превышающим 1 ГПа, и сформированные в обмоточные сегменты, образующие угловой пролет в пределах части полного угла, причем суммарное множество этой секции образует полный угол, т.е., например, 180°, 120°, 90° и т.д.

Электрическая машина, содержащая статор с токопроводящими опорными пластинами обмотки, ротор и внешние и внутренние диски ротора, в которые встроены магнитные полюса и намагничены в осевом направлении внутренних дисков, состоящих по меньшей мере из одного постоянного магнита, при этом сегменты вставлены между внешними и внутренними дисками ротора. Статор содержит токопроводящие обмотки, внедренные в композитный материал армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, и сформированные в плоские обмоточные сегменты, образующие угловой пролет в пределах части полного угла, причем суммарное множество этой секции образует полный угол, т.е., например, 180°, 120°, 90° и т.д. Электрическая машина отличается тем, что внешние и внутренние диски ротора изготовлены из немагнитного композитного материала и армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, причем магнитные полюса отделены друг от друга промежутком, заполненным немагнитным композитным материалом, дисковой конструкции. Более того, каждый внешний и внутренний диск имеет по окружности внешнее армирующее кольцо, сделанное из немагнитного композитного материала, армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, образованного путем наматывания волокон вместе со смолой на цилиндрическую поверхность дисков. При этом внешние диски (первый и последний диск)

ротора отличаются от внутренних тем, что дополнительно имеют кольцо, замыкающее магнитную цепь, выполненное из ферромагнитного материала. Магнитные полюса могут, но не обязательно, иметь кубовидную форму, то есть форму прямоугольника в плоскости диска. Полюса также могут иметь форму трапеции, в которой более короткое основание трапеции расположено на стороне оси диска, или форму секции кольца. Важно, чтобы полюса занимали относительно большую поверхность диска, обеспечивая при этом надлежащую толщину перемычек между полюсами, что существенно влияет на прочность диска при высоких скоростях двигателя, так как перемычки соединяют внутреннюю часть диска с внешним кольцом, таким образом, усиливая диск.

Предпочтительно машина содержит датчик, измеряющий угол поворота вала, состоящий из датчика углового положения кодового диска, постоянно закрепленного на валу машины, вращающегося вместе с дисками машины, и светочувствительных элементов или датчика магнитного полюса, взаимодействующими с датчиком кодового диска, прикрепленных к статору двигателя.

Кроме того, предпочтительно немагнитный композитный материал, армированный волокнами с пределом прочности на растяжение, превышающим 1 ГПа, представляет собой композит на основе эпоксидных смол.

Предпочтительно датчик измерения угла поворота вала имеет более высокое разрешение, чем количество магнитных полюсов на одном диске.

Предпочтительно диски ротора имеют отверстия для выпуска охлаждающего воздуха и выполнены перпендикулярно поверхности дисков между областью с магнитными полюсами и валом ротора, а также зазоры или отверстия, подающие охлаждающий воздух к обмоткам, которые позволяют воздуху проходить из упомянутых отверстий в пространство между дисками, на которых расположены сегменты обмотки двигателя, и охлаждать их во время работы.

Предпочтительно сегменты обмотки объединяются в комплекты обмотки, заполняющие пространство между несколькими дисками.

Предпочтительно корпус имеет два разъема в задней опорной пластине для пневматических шлангов, через которые охлаждающий воздух проходит во внутренние части машины с образованием отработанного воздуха.

Предмет изобретения представлен на фигуре, где на фиг. 1 представлено поперечное сечение основной машины, на фиг. 1а представлено поперечное сечение основной машины с отверстиями для наружного охлаждения воздухом, на фиг. 2 представлено поперечное сечение ротора, на фиг. 3 представлен вид внешнего диска и его поперечное сечение по линии А-А, на фиг. 4 представлен вид внутреннего диска, на фиг. 5 представлен вид комплекта сегментов обмотки, на фиг. 6 представлен вид сегмента обмотки, на фиг. 7 представлен вид одной фазы обмотки, на фиг. 8 представлен вид магнитных полюсов различной формы, изготовленных из одного магнита.

#### Вариант осуществления 1

Электрическая машина с внешним диаметром 228 мм и длиной 246 мм, состоящая из статора с боковой крышкой 3, передней опорной пластиной 1 с зафиксированным передним подшипником 4 вала двигателя 7, задней опорной пластиной 2 с зафиксированным задним подшипником 5 вала двигателя 7, и обмоткой, проводящей электрический ток, встроенной в эпоксидный стеклопластик и сформированной в сегменты обмотки 20 толщиной 4 мм, образующие кольцевое сечение  $120^\circ$ . Три фазы обмотки находятся внутри сегментов и встроены в эпоксидный композит 24: фаза А 21, фаза В 22 и фаза С 23, изготовленные из многожильного медного провода размером  $60 \times 0,1$  мм. Сорок пять сегментов обмотки 20 разделены на три комплекта сегментов обмотки 6 с пятнадцатью сегментами для каждого комплекта в рамках комплекта сегментов обмотки 19. Эти комплекты вставляются между дисками ротора. Ротор состоит из вала двигателя 7, двух внешних дисков 8 и четырнадцати внутренних дисков 9, выполненных из эпоксидного стеклопластика, толщиной: 6 мм, составляющих корпус внутреннего диска 16 и корпус внешнего диска 18, в которые встроены двадцать четыре магнитных полюса 15, намагниченных в осевом направлении внутренних дисков 9 и состоящих из отдельных неодимовых магнитов кубовидной формы с размерами:  $30 \times 10 \times 6$  мм каждый, намагниченного по стороне 6 мм, магнитного материала N42. Внешние диски 8, наружный диаметр 183 мм и внутренние диски 9, армированные усиливающими внешними кольцами 13 и 17, соответственно, изготовлены из эпоксидного стеклопластика, образованного намоткой стеклянных волокон вместе со смолой вокруг цилиндрической поверхности дисков, тогда как внешние диски 8 (первый и последний диски) ротора также имеют кольцо, замыкающее магнитную цепь 14, выполненную из магнитомягкой стали. Все диски ротора с магнитными полюсами имеют размерную защиту от вращения относительно вала двигателя 7 и удерживаются в осевом направлении опорной поверхностью подшипника на валу двигателя 7 с одной стороны, а с другой стороны - гайкой 11, фиксирующей диски ротора. Как внешние диски 8, так и внутренние диски 9 имеют в своей структуре отверстия 25 диаметром 10 мм, обеспечивающие охлаждающий воздух в зазорах 26 во время работы, которые подают охлаждающий воздух к обмоткам, который в результате центробежной силы вытесняется в пространство вокруг секции обмотки 20. Датчик измерения угла поворота вала двигателя 7 состоит из кодирующего диска 12, постоянно закрепленного на валу машины, и светочувствительных датчиков 10, взаимодейст-

вующих с кодирующим диском датчика 12, постоянно закрепленных на статоре двигателя с разрешением 360 импульсов на один оборот вала двигателя 7.

Машина, питаемая от внешнего контроллера, работающего в режиме двигателя, генерировала механическую мощность 101,72 кВт при подаче напряжения, равного 400 В. Ток составлял 256 А, и при скорости вращения 21080 об/мин крутящий момент достигал 46,08 Нм. КПД машины в этом режиме составил  $99,34 \pm 0,05\%$ .

В режиме генератора, машина с очень похожей скоростью вращения и крутящим моментом при мощности 100 кВт достигала эффективности преобразования механической энергии в электрическую энергию, равную  $99,42 \pm 0,05\%$ . Результаты, полученные по прототипу, подтверждают целесообразность применения вышеупомянутых решений, незначительные потери, на уровне 0,6%, позволили построить электрическую машину, вырабатывающую большую мощность и сохраняющую небольшие размеры, что и являлось исходной целью.

#### Вариант осуществления 2

Электрическая машина, упомянутая в варианте осуществления 1, была изготовлена с использованием магнитных полюсов 15, состоящих из отдельных неодимовых магнитов трапециевидной формы 28, причем более короткое основание трапеции расположено со стороны оси диска. Размеры каждого магнита 28 были следующими: более длинное основание трапеции: 12 мм, более короткое основание трапеции: 8 мм, высота трапеции: 39 мм, толщина полюса: 6 мм. В соответствии с этими размерами полюс был намагничен магнитным материалом N42. Вышеописанные магнитные полюса 15 были применены как на четырнадцати внутренних дисках 9, так и на двух внешних дисках 8.

Вышеупомянутая машина, питаемая от внешнего контроллера, работающего в режиме двигателя, генерировала механическую мощность 101,85 кВт при подаче напряжения, равного 400 В. Ток составлял 256 А и при скорости вращения 21020 об/мин крутящий момент составил 46,27 Нм. КПД машины в этом режиме составил  $99,46 \pm 0,05\%$ .

В режиме генератора, машина с очень похожей скоростью вращения и крутящим моментом при мощности 100 кВт достигала эффективности преобразования механической энергии в электрическую энергию, равную  $99,53 \pm 0,05\%$ . Более высокая эффективность подтверждает положительное влияние изменения формы магнитных полюсов 15 на работу машины.

#### Вариант осуществления 3

Электрическая машина, описанная в варианте осуществления 1, была изготовлена с использованием магнитных полюсов 15, состоящих из отдельных неодимовых магнитов в форме кольцевого участка 29 с меньшим радиусом кольца, расположенного на стороне оси диска. Размеры каждого магнита 29 были следующими: внешний радиус: 83 мм, внутренний радиус: 53 мм, угловой размах кольца:  $9^\circ$  и толщина полюса: 6 мм. Согласно этому размеру полюс был намагничен магнитным материалом N42. Магнитные полюса 15 были приложены как к четырнадцати внутренним дискам 9, так и к двум внешним дискам 8.

Машина, как упоминалось ранее, питаемая от внешнего контроллера, работающего в режиме двигателя, генерировала механическую мощность 101,91 кВт при подаче напряжения, равного 400 В. Ток составлял 256 А и при скорости вращения 19930 об/мин крутящий момент достиг 48 Нм. КПД машины в этом режиме составил  $99,52 \pm 0,05\%$ .

В режиме генератора, машина с очень похожими скоростями вращения и крутящим моментом мощностью 100 кВт достигала эффективности преобразования механической энергии в электрическую энергию, равную  $99,57 \pm 0,05\%$ . Как и в варианте осуществления 2, более высокая эффективность подтверждает положительный эффект изменения формы магнитных полюсов 15 на работу машины.

#### Вариант осуществления 4

Электрическая машина, описанная в варианте осуществления 3, была изготовлена с дополнительными отверстиями 30 и 31 в задней опорной пластине 2. При работе на мощности 100 кВт, измеренная температура внутри машины была на  $12^\circ\text{C}$  ниже, чем в варианте осуществления 3. Температура  $68^\circ\text{C}$  понизилась до  $56^\circ\text{C}$  при подаче воздуха с температурой  $25^\circ\text{C}$  и производительностью 30 литров в минуту. Пониженная температура внутри машины позволяет увеличить механическую мощность на валу в будущем.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электрическая машина, содержащая статор с опорными пластинами, токопроводящие обмотки, ротор и внешние (8) и внутренние диски (9) ротора, в которые встроены магнитные полюса (15) и намагничены в осевом направлении внутренних дисков (9), состоящих по меньшей мере из одного постоянного магнита, при этом сегменты (20) вставлены между внешними (8) и внутренними дисками (9) ротора, причем статор содержит токопроводящие обмотки, внедренные в композитный материал и сформированные в обмоточные сегменты (20), образующие угловой пролет в пределах части полного угла, причем суммарное множество этой секции образует полный угол, т.е., например,  $180^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $90^\circ$  и т.д., отличающаяся тем, что внешние (8) и внутренние диски (9) ротора изготовлены из немагнитного композитного материала (16) и (18) армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, причем магнитные полюса

(15) отделены друг от друга промежутком, заполненным немагнитным композитным материалом (16) и (18) конструкции внутренних (9) и внешних дисков (8), при этом каждый внешний (8) и внутренний диск (9) имеет по окружности внешнее армирующее кольцо (13) и (17), соответственно, сделанное из немагнитного композитного материала, армированного волокнами с прочностью более 1 ГПа, образованного путем наматывания волокон вместе со смолой на цилиндрическую поверхность дисков, при этом внешние диски (8), первый и последний, ротора имеют кольцо, замыкающее магнитную цепь (14), выполненное из ферромагнитного материала.

2. Машина по п.1, отличающаяся тем, что датчик измерения угла поворота вала двигателя состоит из кодирующего диска (12), постоянно закрепленного на валу машины, вращающегося вместе с валом двигателя (7), и светочувствительных элементов или датчика магнитного полюса (10), взаимодействующих с датчиком кодирующего диска (12), постоянно закрепленных на статоре двигателя.

3. Машина по п.2, отличающаяся тем, что датчик измерения угла поворота вала двигателя имеет более высокое разрешение, чем количество магнитных полюсов (15) на одном диске вала (8) или (9).

4. Машина по п.1, отличающаяся тем, что немагнитный композитный материал, армированный волокнами с пределом прочности на растяжение, превышающим 1 ГПа, основан на эпоксидных смолах.

5. Машина по п.1, отличающаяся тем, что диски (8) и (9) ротора содержат отверстия (25), выполненные перпендикулярно поверхности диска, между областью с магнитным полюсом (15) и валом ротора (7), а также зазор или отверстие, направляющие охлаждающий воздух к обмоткам (26) из вышеупомянутых отверстий (25).

6. Машина по п.1, отличающаяся тем, что сегменты обмотки (20) соединены в комплекты сегментов обмотки (6) и заполняют пространство между многочисленными дисками (8) и (9) ротора.

7. Машина по п.1, отличающаяся тем, что обмотки выполнены из многожильного проводника.

8. Машина по п.1, отличающаяся тем, что установлены магнитные полюса (15), размер которых в радиальном направлении превышает размер в направлении, перпендикулярном радиальному направлению в плоскости диска.

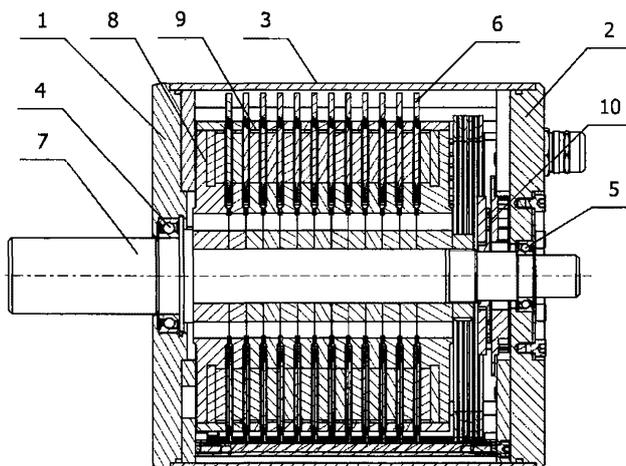
9. Машина по п.1, отличающаяся тем, что постоянные магниты, используемые для формирования магнитного полюса (15) дисков (8) и (9), содержат неодим.

10. Машина по п.1, отличающаяся тем, что магнитные полюса (15) имеют прямоугольную форму в плоскости дисков (8) и (9).

11. Машина по п.1, отличающаяся тем, что магнитные полюса (15) имеют форму равнобедренной трапеции в плоскости дисков (8) и (9), причем более короткое основание трапеции ориентировано в направлении оси диска.

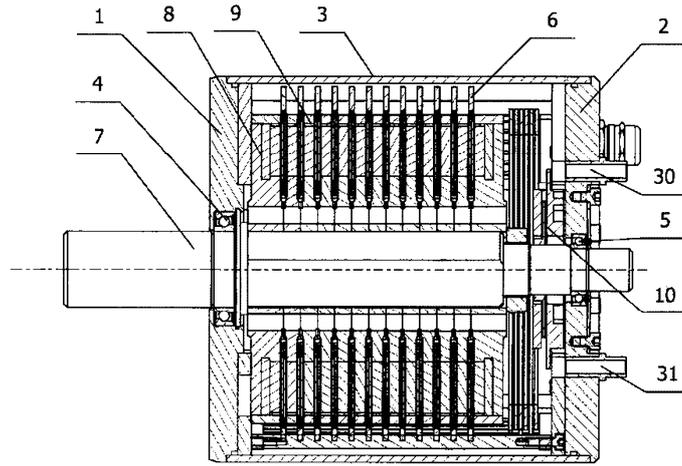
12. Машина по п.1, отличающаяся тем, что магнитные полюса (15) имеют форму кольцевого сегмента в плоскости дисков (8) и (9).

13. Машина по п.1, отличающаяся тем, что два разъема (30) и (31) расположены в задней части опорной пластины для пневматических шлангов, через которые охлаждающий воздух проходит во внутренние части машины с образованием обработанного воздуха.

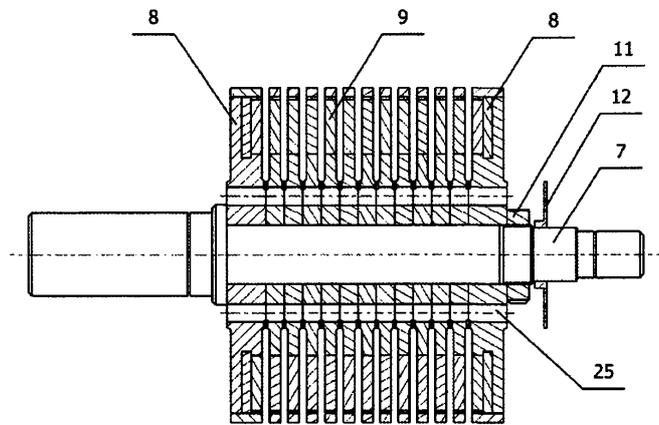


Фиг. 1

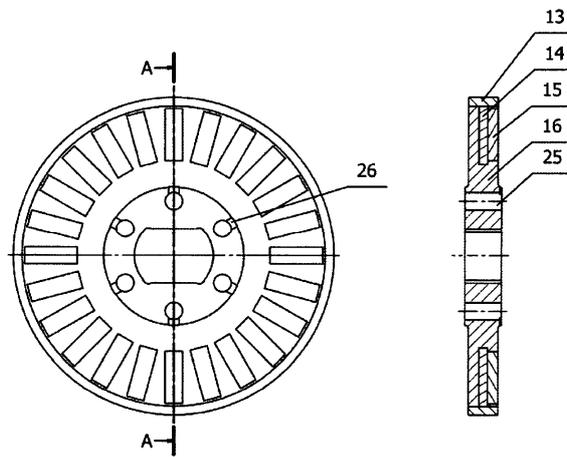
038528



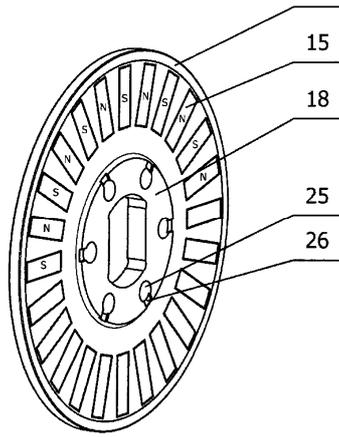
Фиг. 1а



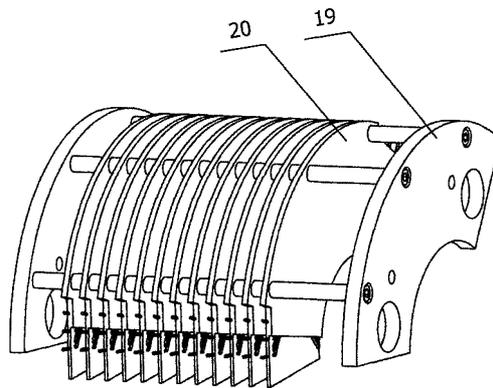
Фиг. 2



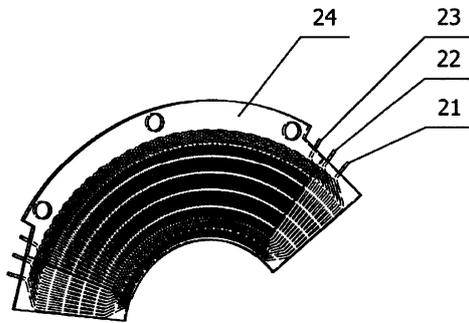
Фиг. 3



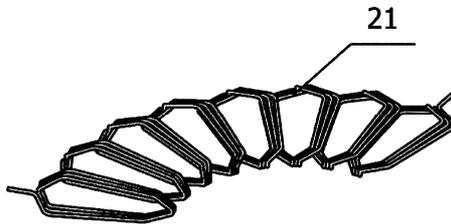
Фиг. 4



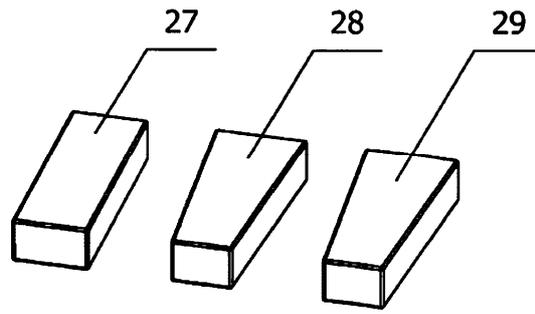
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

