

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(11) 038121

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента  
2021.07.08

(21) Номер заявки  
201890793

(22) Дата подачи заявки  
2018.04.20

(51) Int. Cl. H02K 21/04 (2006.01)  
H02K 1/22 (2006.01)

---

(54) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ, ИМЕЮЩАЯ  
ПОВЫШЕННЫЙ КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

---

(31) 15/586,336

(32) 2017.05.04

(33) US

(43) 2019.01.31

(56) US-A1-20100207480  
SU-A1-130963  
SU-A1-581553  
RU-U1-107418  
US-B1-6271613

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ  
(US)

(72) Изобретатель:  
Редди Пател Бхаджират (US), Аравинд  
Дипак (IN)

(74) Представитель:  
Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев  
А.В. (RU)

---

(57) Предложена электрическая машина. Электрическая машина содержит статор и ротор, расположенный смежно со статором. Ротор содержит сердечник и постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.

---

038121 B1

038121 B1

038121

B1

### Предпосылки изобретения

Варианты выполнения настоящего изобретения относятся к электрической машине и, в частности, к электрической машине на постоянных магнитах, ротор которой имеет увеличенный крутящий момент.

Следует иметь в виду, что выражение "электрическая машина", как правило, используют для обозначения такой машины, как двигатель или генератор, имеющий ротор и статор. Неограничивающие примеры электрической машины включают электрическую машину с радиальным полем, электрическую машину с осевым полем, электрическую машину с поперечным полем и т.п. Как правило, электрическая машина содержит статор и ротор, выполненный с возможностью перемещения, например, с возможностью вращения относительно статора. Более того, ротор и/или статор содержат тонкие пластины, составленные вдоль осевого направления электрической машины. Для образования магнитного поля электрические машины также содержат магниты, например постоянные магниты.

В настоящее время электрические машины используются во многих областях. В качестве примера, электрические машины используются в электронасосах, таких как электрические погружные насосы (Electric Submersible Pump, ESP). Электрические погружные насосы обычно применяются для извлечения текучих сред из мест, находящихся под поверхностью земли, морских месторождений и т.п. Желательно в максимальной степени увеличить отбор текучей среды посредством ESP насосов в течение заданного промежутка времени. Мощность ESP насосов, обеспечивающая подъем текучей среды, как правило, влияет на количество текучей среды, извлекаемой посредством этих насосов в течение заданного промежутка времени. Обычно мощность погружного электрического насоса, обеспечивающая подъем текучей среды, является функцией крутящего момента электрических машин, используемых в данном ESP насосе. Как правило, существующие электрические машины обладают ограниченным крутящим моментом, который преобразуется в ограниченную мощность подъема текучей среды в насосах ESP, работающих с этими машинами.

### Сущность изобретения

Согласно одному варианту выполнения изобретения предложена электрическая машина. Электрическая машина содержит статор и ротор, расположенный смежно со статором. Ротор содержит сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично внутри сердечника ротора. Кроме того, электрическая машина содержит источник энергии, электрически соединенный с указанной одной или более электропроводящими катушками для передачи электрического возбуждения к указанной одной или более катушек для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.

Согласно другому варианту выполнения изобретения предложена электрическая машина, содержащая статор и ротор, расположенный смежно со статором. Ротор имеет сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично внутри сердечника для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.

Согласно еще одному варианту выполнения изобретения предложен электрический двигатель. Электрический двигатель содержит статор, имеющий обмотки, выполненные с возможностью возбуждения под действием переменного электрического тока. Электрический двигатель также содержит ротор, расположенный смежно со статором. Ротор содержит сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике. Кроме того, электрический двигатель содержит преобразователь переменного тока (AC) в постоянный ток (DC), электрически присоединенный между указанной одной или более катушками и указанными обмотками для генерирования постоянного тока из переменного тока, подаваемого к указанным обмоткам, и подачи постоянного тока к указанной одной или более электропроводящим катушкам для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.

### Чертежи

Указанные и другие признаки, аспекты и преимущества предложенного изобретения станут более понятными после прочтения приведенного ниже подробного описания, выполненного со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых подобными номерами позиций обозначены подобные элементы. На чертежах

на фиг. 1 представлен схематический покомпонентный вид электрической машины согласно одному или более вариантам выполнения предложенного изобретения;

на фиг. 2 представлен разрез электрической машины согласно одному или более вариантам выполнения предложенного изобретения;

на фиг. 3 схематически проиллюстрировано размещение электропроводящей катушки, расположенной, по меньшей мере, частично вокруг постоянного магнита сердечника ротора, согласно одному или более вариантам выполнения предложенного изобретения;

на фиг. 4 схематически проиллюстрировано альтернативное размещение электропроводящей катушки, расположенной между смежными постоянными магнитами сердечника ротора, согласно одному или более вариантам выполнения предложенного изобретения;

на фиг. 5 представлен схематический разрез альтернативного варианта выполнения электрической

машины;

на фиг. 6 представлен схематический осевой разрез еще одного варианта выполнения электрической машины; и

на фиг. 7 представлена блок-схема электрического погружного насоса (ESP) согласно одному или более вариантам выполнения предложенного изобретения.

#### Подробное описание

В приведенном ниже описании изобретения и типичных вариантов его выполнения признаки в единственном числе включают также множественное число, если иное явно не следует из контекста. Применяемое в настоящем документе выражение "или" не означает исключительность и относится по меньшей мере к одному из перечисляемых элементов, а также включает случаи, в которых может иметь место сочетание перечисляемых элементов, если иное явно не следует из контекста.

Применяемые в настоящем документе выражения "может" и "может быть" указывают на возможность события в ряде случаев; обладание конкретным свойством, характеристикой или функцией; и/или уточняют другой глагол путем отражения как минимум одного из способности, возможности или вероятности, связанных с уточняемым глаголом. Соответственно употребление выражений "может" и "может быть" указывает на то, что уточняемый термин очевидно соответствует, допускает или подходит для указанной способности, функции или употребления, при этом учитывая, что в некоторых случаях уточняемый термин иногда может не являться соответствующим, допустимым или подходящим.

В некоторых вариантах выполнения выражение "электрическая машина", применяемое в настоящем документе, относится к машине, работающей на электричестве и с использованием постоянных магнитов, для обеспечения механического движения одного или более элементов указанной машины под воздействием электричества. Неограничивающий пример такой электрической машины включает электродвигатель. В некоторых других вариантах выполнения выражение "электрическая машина" может относиться к машине, выполненной с возможностью вырабатывать электричество с использованием постоянных магнитов. Неограничивающий пример такой электрической машины включает генератор. Более того, электрические машины можно классифицировать по топологии, например электрические машины с радиальным полем, электрические машины с осевым полем и электрические машины с поперечным полем, без ограничения указанным.

В некоторых вариантах выполнения электрическая машина содержит статор и ротор, расположенный смежно со статором. Ротор содержит сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных по меньшей мере частично внутри сердечника ротора. Кроме того, в некоторых вариантах выполнения электрическая машина может содержать источник энергии, электрически подключенный к указанной одной или более электропроводящим катушкам для передачи электрического возбуждения к указанной одной или более из катушек для модуляции крутящего момента, приложенного к ротору. В некоторых вариантах выполнения указанная одна или более катушек обеспечивают увеличение крутящего момента, приложенного к ротору, при электрическом возбуждении указанных катушек посредством источника энергии.

На фиг. 1 представлен схематический покомпонентный вид электрической машины 100 согласно одному или более вариантам выполнения изобретения. Электрическая машина 100 может представлять собой электрическую машину с радиальным полем, электрическую машину с осевым полем или электрическую машину с поперечным полем. Несмотря на то, что машина 100, представленная на фиг. 1, описана применительно к электродвигателю, следует отметить, что некоторые варианты выполнения, описанные в настоящем документе применительно к указанной машине, также подходят для машины 100 в виде генератора.

Электрическая машина 100 содержит статор 102, ротор 104 и источник 106 энергии. Статор 102 расположен смежно с ротором 104. Используемое в настоящем документе выражение "расположенный смежно с" применительно к позиционированию статора 102 и ротора 104 относится к такому взаимному расположению указанных статора и ротора, при котором ротор 104 окружен статором 102 (например, как изображено на фиг. 2 и 5), статор 102 окружен ротором 104 или статор 102 и ротор 104 расположены бок о бок (например, как изображено на фиг. 6).

В некоторых вариантах выполнения статор 102, ротор 104 и источник 106 энергии расположены в корпусе 108. В некоторых вариантах выполнения, несмотря на то, что статор 102 и ротор 104 расположены в корпусе 108, источник 106 энергии может быть расположен снаружи указанного корпуса (например, как изображено на фиг. 2 и 5).

Статор 102 может содержать обмотку 110, предназначенную для приема переменного тока (AC) или постоянного тока (DC) от внешнего источника энергии (не показано на фиг. 1). Обмотка 110 статора может представлять собой однофазную обмотку или многофазную обмотку, например трехфазную обмотку. В процессе эксплуатации, когда ток протекает по обмотке 110 статора, внутри машины 100 генерируется электромагнитное поле.

Ротор 104 может содержать сердечник 112 и постоянные магниты 114, расположенные в контакте с сердечником 112. В некоторых вариантах выполнения постоянные магниты 114 расположены в сердечнике ротора (например, как изображено на фиг. 2). В некоторых других вариантах выполнения постоян-

ные магниты 114 расположены в контакте с сердечником ротора так, что по меньшей мере одна поверхность каждого магнита 114 открыта к статору 102 (см. фиг. 5 и 6). Как правило, каждый из магнитов 114 создает магнитное поле. В процессе эксплуатации электромагнитное поле, образуемое статором 102, и магнитное поле, создаваемое магнитами 114, создают крутящий момент, действующий на ротор 104. Данный крутящий момент, действующий на ротор 104, вызывает вращательное или возвратно-поступательное движение ротора.

Как правило, крутящий момент, действующий на ротор обычных электрических машин, ограничен различными параметрами, включающими, без ограничения указанным, амплитуду тока, протекающего через обмотку статора, частоту тока, протекающего через обмотку статора, конфигурации статора и/или ротора и плотность потока (то есть поток на единицу площади) магнитного поля постоянных магнитов 114. В некоторых областях применения, например при использовании электрической машины в электрическом погружном насосе (ESP), преимущественно иметь дополнительный крутящий момент, увеличивающий мощность указанного насоса, которая обеспечивает подъем текучей среды. Для обеспечения такого повышенного требования к крутящему моменту машина 100, представленная на фиг. 1, в некоторых вариантах выполнения содержит ротор 104, имеющий одну или более электропроводящих катушек 116 и источник 106 энергии, подключенный к указанным катушкам.

Катушки 116 выполнены с использованием таких электропроводящих материалов, без ограничения указанным, как медь, алюминий, анодированный алюминий, серебро, золото или их комбинации. В определенных вариантах выполнения лучше применять электропроводящие материалы, имеющие низкий вес для увеличения или, по меньшей мере, сохранения удельной мощности машины 100. В некоторых вариантах выполнения катушки 116 могут быть расположены, по меньшей мере, частично в сердечнике 112 ротора. В альтернативных вариантах выполнения катушки 116 могут быть расположены полностью в сердечнике 112 ротора. Номера 118 и 120 позиции отмечены клеммы катушек 116. Дополнительные детали, касающиеся расположения данных катушек в сердечнике ротора, описаны применительно к фиг. 3 и 4.

Источник 106 энергии электрически соединен с катушками 116 для электрического возбуждения указанных катушек. В некоторых вариантах выполнения клеммы 118 и 120 катушек 116 соединены с источником 106 энергии. В определенных вариантах выполнения клеммы 118 и 120 катушек 116 могут быть соединены с источником 106 энергии посредством поворотного контактора (не показано на фиг. 1).

В некоторых вариантах выполнения источник 106 энергии может быть выполнен с возможностью подачи постоянного тока к катушкам 116 для электрического возбуждения указанных катушек 116. В некоторых из указанных вариантов выполнения источник 106 энергии может содержать преобразователь энергии, например преобразователь переменного тока (AC) в постоянный ток (DC), электрически подключенный между обмоткой 110 и катушками 116. Преобразователь AC-DC выполнен с возможностью приема переменного тока, подаваемого в обмотку 110 статора, преобразования принятого переменного тока в постоянный ток и подачи постоянного тока к катушкам 116. В альтернативном варианте источник 106 энергии может содержать батарею, которая может быть соединена с катушками 116 для подачи к ним постоянного тока. В определенных вариантах выполнения источник 106 энергии может содержать такой преобразователь энергии, как преобразователь DC-DC, подключенный между батареей и катушками 116. Преобразователь DC-DC выполнен с возможностью управления постоянным током, подаваемым от батареи к катушкам 116.

В определенных вариантах выполнения источник 106 энергии может быть выполнен с возможностью подачи переменного тока к электропроводящим катушкам 116 для электрического возбуждения указанных катушек 116. В некоторых из указанных вариантов выполнения источник 106 энергии может содержать такой преобразователь энергии, как AC-AC преобразователь и/или трансформатор, подключенный между обмоткой 110 статора и катушками 116.

При подаче переменного или постоянного тока от источника 106 энергии к катушкам 116 указанные катушки 116 могут действовать как электромагниты и обеспечивать образование другого электромагнитного поля дополнительно к электромагнитному полю, создаваемому статором 102, и к магнитному полю, образованному постоянными магнитами 114. Данное дополнительное электромагнитное поле увеличивает плотность потока магнитного поля, создаваемого магнитами 114. Данная повышенная плотность потока, в свою очередь, увеличивает общий крутящий момент, действующий на ротор 104. В некоторых вариантах выполнения рабочий крутящий момент ротора 104 может быть модулирован путем регулирования тока, протекающего через катушки 116. Например, с помощью увеличения тока, протекающего через электропроводящие катушки 116, может быть увеличен рабочий крутящий момент ротора 104.

На фиг. 2 представлен схематический вид в разрезе электрической машины 200 согласно одному или более вариантам выполнения изобретения. Электрическая машина 200 представляет один вариант выполнения машины 100, изображенной на фиг. 1. Номера 20, 22 и 24 позиций обозначают соответственно осевое направление, радиальное направление и тангенциальное направление машины 200. В варианте выполнения, проиллюстрированном на фиг. 2, машина 200 является электрической машиной с радиальным полем, такой как двигатель с внутренними постоянными магнитами (interior permanent magnet,

IPM). Машина 200 содержит статор 202, ротор 204 и источник 206 энергии. В варианте выполнения, представленном на фиг. 2, статор 202 и ротор 204 расположены в корпусе 208, а источник 206 энергии расположен снаружи указанного корпуса. Ротор 204 может быть расположен концентрическим образом относительно статора 202, так что центр ротора 204 выровнен вдоль осевого направления 20 электрической машины 200. Более того, в варианте выполнения, представленном на фиг. 2, статор 202 расположен таким образом, что ротор 204 окружен статором. Однако в альтернативных вариантах выполнения статор 202 и ротор 204 могут быть сконструированы и расположены таким образом, что статор 102 окружен ротором 204.

Статор 202 может содержать множество полюсов 218 и обмотку 210. Обмотка 210 статора расположена в пазах между соответствующими смежными полюсами 218 статора и окружает соответствующие указанные полюса 218. Обмотка 210 статора может представлять собой многофазную (например, трехфазную) обмотку или однофазную обмотку. Ротор 204 может содержать вал 220, сердечник 212, постоянные магниты 214 и одну или более электропроводящих катушек 216. В машине 200, представленной на фиг. 2, магниты 214, имеющие форму перевернутой буквы V, расположены в сердечнике 212 ротора. Несмотря на то, что показанные на чертеже магниты 214 имеют перевернутую V-образную форму, также могут быть использованы постоянные магниты, имеющие другие формы, которые включают, без ограничения указанным, V-образную, прямоугольную, трапециевидную или квадратную без ограничения объема изобретения.

В некоторых вариантах выполнения сердечник 212 ротора может быть установлен на валу 220 ротора, при этом в некоторых других вариантах выполнения сердечник 212 может представлять единое целое с указанным валом. Более того, хотя в некоторых вариантах выполнения сердечник 212 может быть выполнен из сплошной части материала, в некоторых других вариантах выполнения указанный сердечник может содержать множество пластин (не показано на фиг. 2). Пластины могут быть составлены вдоль осевого направления 20 машины 200 для формирования сердечника 212.

В варианте выполнения, в котором сердечник 212 ротора содержит пластины, каждая из пластин может иметь форму, обеспечивающую ограничение указанными пластинами, когда они составлены вместе, одного или более пазов. Указанные пазы могут быть использованы для приема постоянных магнитов 204. В одном варианте выполнения каждая из пластин может иметь одну или более вырезанных секций, причем часть пластины вырезана для формирования вырезанных секций на основании формы и количества постоянных магнитов, которые должны быть использованы в роторе 104. Например, в варианте выполнения, представленном на фиг. 4, каждая пластина может содержать четыре вырезанные секции. Пластины, имеющие данные вырезанные секции, составляют с обеспечением выравнивания соответствующих вырезанных секций разных пластин относительно друг друга для ограничения пазов, выполненных с возможностью приема постоянных магнитов. В проиллюстрированном варианте выполнения пластины могут быть составлены вдоль осевого направления 20 машины 200 с обеспечением выравнивания соответствующих вырезанных секций каждой из пластин для ограничения четырех осевых пазов 222. Следует отметить, что пластины, имеющие меньше или больше четырех вырезанных секций, тоже находятся в пределах объема настоящего изобретения. В некоторых вариантах выполнения форма вырезанных секций пластин основана на форме постоянных магнитов. В качестве неограничивающего примера, если постоянные магниты 214 имеют форму перевернутой буквы V, как изображено на фиг. 2, желательно, чтобы форма вырезанных секций тоже имела указанный вид. Пластины, имеющие форму перевернутой буквы V, могут быть составлены вдоль осевого направления 20, ограничивая осевые пазы 222, имеющие форму перевернутой буквы V, как изображено на фиг. 2. В другом варианте выполнения, если сердечник ротора представляет собой сплошную деталь из материала, в указанной детали из материала образованы осевые пазы, например пазы 222, имеющие форму перевернутой буквы V.

В определенных вариантах выполнения в каждом осевом пазу 222 из указанных пазов 222 может быть расположен один постоянный магнит 214. В частности, в машине 200, представленной на фиг. 2, постоянные магниты 214 расположены в сердечнике 212 ротора так, что эти магниты 214 закрыты от статора 102. В некоторых вариантах выполнения постоянный магнит 214 может представлять единую деталь из магнитного материала. В определенных вариантах выполнения постоянный магнит 214 может содержать несколько сегментов.

Кроме того, машина 200 также содержит одну или более электропроводящих катушек 216, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике 212 ротора. Катушки 216 способствуют модуляции крутящего момента, действующего на ротор 204. В варианте выполнения, представленном на фиг. 2, катушки 216 расположены в сердечнике 212 ротора. Как отмечено ранее, катушки 216 выполнены с использованием электропроводящих материалов, включая такие материалы, без ограничения указанным, как медь, алюминий, серебро, золото или их комбинации. В некоторых вариантах выполнения катушки 216 расположены таким образом, что окружают соответствующие постоянные магниты 214 (например, как изображено на фиг. 3).

Источник 206 энергии для электрической машины 200 электрически соединен с катушками 216. В определенных вариантах выполнения источник 206 энергии может быть электрически подключен между катушками 216 и обмоткой 210 статора. Источник 206 энергии, представленный на фиг. 2, является при-

мером одного варианта выполнения источника 106 энергии и выполнен с возможностью обеспечения электрического возбуждения (то есть тока) в электропроводящих катушках 216. В частности, источник 206 энергии может быть выполнен с возможностью обеспечения постоянного тока в катушках 216 в процессе работы электрической машины 200. Следовательно, когда ток проходит через катушки 216, они действуют как электромагниты и обеспечивают образование электромагнитного поля в дополнение к электромагнитному полю, создаваемому статором 202, и магнитному полю, создаваемому постоянными магнитами 214. Такое дополнительное электромагнитное поле еще более усиливает плотность потока магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами 214, и приводит к увеличению общего крутящего момента, действующего на ротор 204. В некоторых вариантах выполнения рабочим крутящим моментом ротора 204 можно управлять с помощью управления током, протекающим через электропроводящие катушки 216.

Теперь обратимся к схематическому представлению 300, показанному на фиг. 3, на которой показана часть электрической машины 200, изображенной на фиг. 2, имеющая конструкцию из электропроводящей катушки 316 и постоянного магнита 314. Для простоты иллюстрации другие элементы электрической машины 200, представленной на фиг. 2, не показаны. Как изображено на фиг. 3, в одном варианте выполнения катушка 316 расположена таким образом, что постоянный магнит 314, по меньшей мере, частично окружен указанной катушкой 316. В частности, в проиллюстрированном на фиг. 3 варианте выполнения катушка 316 расположена таким образом, что постоянный магнит 314 окружен данной катушкой 316 в осевом направлении 20 и радиальном направлении 22.

Например, электропроводящая катушка 316 расположена так, что постоянный магнит 314 окружен указанной катушкой 316 вдоль длины и ширины данного магнита 314. Более того, закругленные стрелки 302 и 304 показывают продолжение данной катушки 316 по направлению к соответствующим смежным постоянным магнитам (не показано на фиг. 3). Подобно магниту 314, представленному на фиг. 3, другие постоянные магниты 314 тоже могут быть, по меньшей мере, частично окружены соответствующими катушками 316.

В определенных вариантах выполнения электропроводящие катушки, такие как катушки 216, расположены между смежными постоянными магнитами из постоянных магнитов, например магнитов 214. На фиг. 4 показано схематическое представление 400, демонстрирующее конструкцию, альтернативную представленной на фиг. 3. В проиллюстрированном варианте выполнения электропроводящая катушка 416 расположена между смежными постоянными магнитами 414. В частности, катушка 416 расположена в сердечнике 412 ротора (не показано на фиг. 4) между смежными постоянными магнитами 414. В варианте выполнения, представленном на фиг. 4, электропроводящая катушка 416 расположена между смежными постоянными магнитами 414 вдоль всей длины данных магнитов 414. Однако в определенных вариантах выполнения электропроводящая катушка 416 может быть расположена между смежными постоянными магнитами 414 вдоль части длины указанных магнитов 414. Более того, закругленные стрелки 402 и 404 указывают продолжение катушки 416 по направлению к соответствующей паре смежных постоянных магнитов (не показано на фиг. 4). Подобно устройству, представленному на фиг. 4, электропроводящие катушки 416 также могут быть расположены между другими смежными постоянными магнитами 414.

В вариантах выполнения, представленных на фиг. 3 и 4, электропроводящие катушки 316 и 416 показаны в виде обмотки, состоящей из одного витка электропроводящей проволоки или среды. Однако следует отметить, что объем настоящего изобретения не ограничен количеством обмоток или витков электропроводящих катушек. В некоторых вариантах выполнения число витков электропроводящей проволоки катушек 316, 416, окружающих каждый постоянный магнит 314 (в варианте выполнения, представленном на фиг. 3) или расположенных между смежными постоянными магнитами 414 (в варианте выполнения, представленном на фиг. 4), является одинаковым.

Далее обратимся к фиг. 5, на которой схематически и в разрезе изображен альтернативный вариант выполнения электрической машины 500. Машина 500, изображенная на фиг. 5, может являться примером одного варианта выполнения электрической машины 100, изображенной на фиг. 1. Номера 50, 52 и 54 позиции обозначены соответственно осевое направление, радиальное направление и тангенциальное направление машины 500. Машина 500 представляет собой электрическую машину с радиальным полем, такую как двигатель с наружными постоянными магнитами (exterior permanent magnet, EPM), также называемый двигателем с поверхностными постоянными магнитами (surface permanent magnet, SPM).

Электрическая машина 500 содержит статор 502 и ротор 504, расположенные в корпусе 508. В частности, ротор 504 может быть расположен концентрическим образом относительно статора 502 с обеспечением выравнивания центра ротора 504 вдоль осевого направления 50 машины 500. Более того, в варианте выполнения, представленном на фиг. 5, статор 502 расположен таким образом, что ротор 504 окружен указанным статором 502. Однако в альтернативных вариантах выполнения статор 502 и ротор 504 могут быть сконструированы и расположены так, что статор 502 окружен ротором 504.

Также можно отметить, что конфигурация статора 502, по существу, подобна статору 202, представленному на фиг. 2. Конфигурация ротора 504, изображенного на фиг. 5, отличается от конфигурации ротора 204, представленного на фиг. 2. Ротор 504 содержит вал 520, сердечник 512 и постоянные магни-

ты 514, а также одну или более электропроводящих катушек 516. Сердечник 512 ротора содержит пазы 513. Постоянные магниты 514 расположены в контакте с сердечником 512 ротора так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из магнитов 514 отрыта к статору 502. В частности, соответствующий магнит 514 расположен в каждом из пазов 513 сердечника 512 ротора так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из постоянных магнитов 514 отрыта к статору 502. Электропроводящие катушки 516 расположены, по меньшей мере, частично в сердечнике 512 ротора. В некоторых вариантах выполнения остальная часть катушек 516 расположена снаружи сердечника 512 ротора. В одном варианте выполнения по меньшей мере одна катушка 516 может окружать один или более постоянных магнитов 514 подобно изображенному на фиг. 3. В другом варианте выполнения по меньшей мере одна катушка 516 может быть расположена между смежными магнитами 514 подобно изображенному на фиг. 4. В некоторых вариантах выполнения катушка 516 может окружать один или более постоянных магнитов 514 и может быть расположена между некоторыми смежными постоянными магнитами 514.

Дополнительно, машина 500 также содержит источник 506 энергии, электрически подключенный к электропроводящим катушкам 516. В некоторых вариантах выполнения источник 506 энергии может быть электрически подключен между электропроводящими катушками 516 и обмоткой 510 статора. Источник 506 энергии, представленный на фиг. 5, может являться примером одного варианта выполнения источника 106, изображенного на фиг. 1, и выполнен с возможностью обеспечения электрического возбуждения (например, тока) в катушках 516. В частности, источник 506 энергии может быть выполнен с возможностью обеспечения постоянного тока в катушках 516 в процессе работы машины 500. Когда ток проходит через электропроводящие катушки 516, указанные катушки 516 действуют как электромагниты и вызывают образование электромагнитного поля в дополнение к электромагнитному полю, создаваемому статором 502, и магнитному полю, создаваемому постоянными магнитами 514. Данное дополнительное электромагнитное поле дополнительно усиливает плотность потока магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами 514, и приводит к увеличению общего крутящего момента, действующего на ротор 504. В некоторых вариантах выполнения рабочим крутящим моментом ротора 504 можно управлять с помощью управления током, протекающим через катушки 516.

На фиг. 6 представлен схематический вид еще одного варианта выполнения электрической машины 600 в осевом разрезе. Электрическая машина 600, представленная на фиг. 6, является электрической машиной с осевым полем, такой как, например, линейный двигатель. В одном варианте выполнения машина 600 может содержать неподвижный статор 602 и ротор (или преобразователь) 604, выполненный с возможностью перемещения относительно неподвижного статора 602. Например, статор 602 и/или ротор 604 могут иметь прямоугольные формы.

Статор 602 может содержать сердечник 613 и множество полюсов 618, расположенных аксиальным образом на указанном сердечнике 613, как изображено на фиг. 6. Статор 602 также может содержать обмотки 610, расположенные таким образом, что одна или более из указанных обмоток 610 окружают полюса 618 статора. В частности, обмотки 610 статора могут быть расположены в соответствующих пазах, образованных между каждым из полюсов 618 статора.

В варианте выполнения, представленном на фиг. 6, ротор 604 содержит вал 620, сердечник 612 и постоянные магниты 614, а также одну или более электропроводящих катушек 616. Сердечник 612 ротора имеет пазы 615. Постоянные магниты 614 расположены в контакте с сердечником 612 так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из постоянных магнитов 614 отрыта к статору 602. В частности, соответствующие постоянные магниты 614 расположены в каждом из пазов 615 сердечника 612 так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из постоянных магнитов 614 отрыта к статору 602.

Более того, катушки 616 расположены, по меньшей мере, частично в сердечнике 612. В одном варианте выполнения по меньшей мере одна катушка 616 может окружать один или более постоянных магнитов 614 подобно изображенному на фиг. 3. В другом варианте выполнения по меньшей мере одна катушка 616 может быть расположена между смежными магнитами 614 подобно изображенному на фиг. 4.

Дополнительно, электрическая машина 600 также содержит источник энергии (не показано на чертеже), подобный источнику 106, который электрически подключен к электропроводящим катушкам 616. В некоторых вариантах выполнения источник энергии может быть электрически подключен между электропроводящими катушками 616 и обмоткой 610 статора. Источник энергии выполнен с возможностью обеспечения электрического возбуждения (то есть тока) в катушках 616 для модуляции рабочего крутящего момента ротора 604.

В некоторых вариантах выполнения в электрических машинах 100, 200, 500 и 600 соответствующие источники 106, 206, 506 энергии могут быть непосредственно соединены с соответствующими электропроводящими катушками 116, 216, 516, 616. При такой конфигурации машины 100, 200, 500, 600 могут работать с увеличенным крутящим моментом, зависящим от амплитуды и/или частоты тока, подаваемого к соответствующим катушкам 116, 216, 516, 616. В некоторых других вариантах выполнения машины 100, 200, 500 и 600 могут дополнительно иметь переключатель (не показано на чертеже), расположенный между источниками 106, 206, 506 энергии и соответствующими катушками 116, 216, 516, 616. При такой конфигурации переключателем можно управлять избирательным образом для включения или отключения подачи тока к соответствующим катушкам 116, 216, 516, 616. Электрические машины 100, 200, 500 и

600 преимущественно могут работать избирательным образом при увеличенном крутящем моменте.

На фиг. 7 представлено схематическое изображение электрического погружного насоса 700 (ESP), в котором используется электрическая машина 702, такая как электрическая машина 100, 200, 500 или 600, выполненная согласно аспектам предложенного изобретения. В некоторых вариантах выполнения насос 700 ESP содержит электрическую машину 702 и крыльчатку 704. Электрическая машина 702 и крыльчатка 704 могут быть расположены в корпусе 706.

В некоторых вариантах выполнения крыльчатка 704 может содержать вал 708. Крыльчатка 704 может также содержать лопасти 710, расположенные на валу 708 для ускорения потока текучей среды. В качестве примера лопасти 710 крыльчатки расположены по окружности на валу 708. Электрическая машина 702 может быть функционально соединена с крыльчаткой 704 посредством вала 708.

Вышеописанные топологии электрических машин обеспечивают создание электрических машин с увеличенным крутящим моментом. В некоторых вариантах выполнения улучшенная топология ротора способствует увеличению крутящего момента электрической машины. В частности, ротор содержит одну или более электропроводящих катушек, которые электрическим образом возбуждаются источником энергии. При электрическом возбуждении электропроводящие катушки действуют как электромагниты и создают электромагнитное поле в дополнение к магнитному полю, образованному постоянными магнитами, и электромагнитному полю, создаваемому статором. Данное дополнительное электромагнитное поле увеличивает плотность потока магнитного поля в электрической машине и способствует оказанию дополнительного крутящего момента на ротор. В неограничивающем примере в результате применения в насосе ESP такой электрической машины, имеющей увеличенный крутящий момент, увеличивается количество текучей среды, извлекаемой указанным насосом в течение заданного промежутка времени. Следовательно, может быть уменьшена общая стоимость извлечения текучей среды на единицу измерения текучей среды.

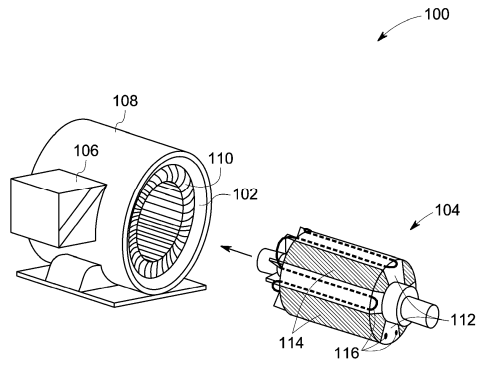
Понятно, что вышеописанные варианты, а также другие признаки и функции, либо их альтернативные варианты могут быть скомбинированы для обеспечения множества других разнообразных приложений. В результате, специалистами могут быть выполнены различные новые альтернативные варианты, модификации, изменения или усовершенствования, которые тоже входят в пределы объема варианты выполнения изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

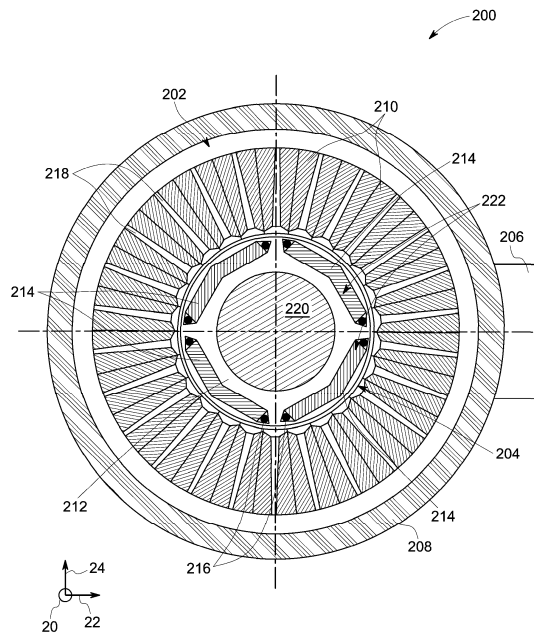
1. Электрическая машина, содержащая статор, ротор, расположенный смежно со статором и содержащий сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике ротора, причем указанные одна или более электропроводящих катушек окружают по меньшей мере один из указанных постоянных магнитов и находятся в контакте с ним в осевом направлении и в окружном направлении, и источник энергии, электрически соединенный с указанной одной или более электропроводящими катушками для обеспечения электрического возбуждения в указанной одной или более катушек для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.
2. Электрическая машина по п.1, в которой сердечник ротора имеет пазы на своей поверхности, при этом указанные постоянные магниты расположены в указанных пазах на поверхности сердечника ротора так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из указанных постоянных магнитов открыта к статору.
3. Электрическая машина по п.1, в которой сердечник ротора имеет пазы, выполненные в указанном сердечнике, при этом указанные постоянные магниты расположены в указанных пазах в сердечнике ротора.
4. Электрическая машина по п.1, в которой указанная одна или более электропроводящих катушек окружают соответствующие постоянные магниты из указанных постоянных магнитов вдоль длины и ширины каждого из указанных постоянных магнитов.
5. Электрическая машина по п.1, в которой статор содержит сердечник, содержащий множество полюсов статора, и обмотку, расположенную в пазах между смежными полюсами статора из указанного множества полюсов.
6. Электрическая машина по п.5, в которой источник энергии содержит преобразователь энергии, подключенный между обмоткой статора и указанной одной или более электропроводящими катушками.
7. Электрическая машина по п.6, в которой преобразователь энергии содержит преобразователь переменного тока в постоянный ток.
8. Электрическая машина по п.6, в которой преобразователь энергии содержит по меньшей мере одно из батареи и преобразователя постоянного тока в постоянный ток.



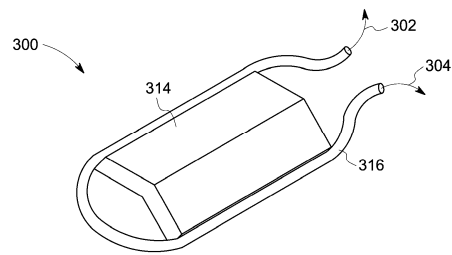
9. Электрическая машина по п.1, в которой ротор расположен внутри статора.
10. Электрическая машина по п.1, в которой статор расположен внутри ротора.
11. Электрическая машина по п.1, в которой сердечник ротора содержит множество пластин.
12. Электрическая машина, содержащая
  - статор,
  - ротор, расположенный смежно со статором и содержащий сердечник,
  - постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора,
  - одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике ротора, и
  - источник энергии, электрически соединенный с указанной одной или более электропроводящими катушками для обеспечения электрического возбуждения в указанной одной или более катушек для модуляции крутящего момента, действующего на ротор,
  - причем одна или более электропроводящих катушек расположены между смежными постоянными магнитами из указанных постоянных магнитов,
  - при этом сердечник ротора имеет пазы на своей поверхности, причем указанные постоянные магниты расположены в указанных пазах на поверхности сердечника ротора так, что по меньшей мере одна поверхность каждого из указанных постоянных магнитов открыта к статору,
  - причем указанные одна или более электропроводящих катушек окружают по меньшей мере один из указанных постоянных магнитов и находятся в контакте с ним в осевом направлении и в окружном направлении.
13. Электрическая машина, содержащая статор и ротор, расположенный смежно со статором и содержащий сердечник, постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником, и одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике для модуляции крутящего момента, действующего на ротор, причем указанные одна или более электропроводящих катушек окружают по меньшей мере один из указанных постоянных магнитов и находятся в контакте с ним в осевом направлении и в окружном направлении.
14. Электрическая машина по п.13, в которой указанная одна или более электропроводящих катушек окружают каждый из указанных постоянных магнитов вдоль длины и ширины каждого из указанных магнитов.
15. Электрическая машина по п.13, содержащая источник энергии, электрически соединенный с указанной одной или более электропроводящими катушками для обеспечения электрического возбуждения в указанной одной или более электропроводящих катушках для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.
16. Электрическая машина по п.15, в которой источник энергии содержит преобразователь переменного тока в постоянный ток, батарею, преобразователь постоянного тока в постоянный ток или их комбинацию.
17. Электрический двигатель, содержащий
  - статор, содержащий обмотки, выполненные с возможностью возбуждения переменным электрическим током,
  - ротор, расположенный смежно со статором и содержащий сердечник,
  - постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником, и
  - одну или более электропроводящих катушек, расположенных, по меньшей мере, частично в сердечнике ротора, причем указанные одна или более электропроводящих катушек окружают по меньшей мере один из указанных постоянных магнитов и находятся в контакте с ним в осевом направлении и в окружном направлении, и
  - преобразователь переменного тока в постоянный ток, электрически присоединенный между указанной одной или более электропроводящими катушками и указанными обмотками для генерирования постоянного тока из переменного тока, подаваемого к указанным обмоткам, и подачи постоянного тока к указанной одной или более электропроводящим катушкам для модуляции крутящего момента, действующего на ротор.
18. Электрический двигатель по п.17, в котором статор содержит сердечник, содержащий множество полюсов статора, при этом указанные обмотки расположены в пазах между смежными полюсами статора из указанного множества полюсов статора.
19. Электрический двигатель по п.17, в котором указанная одна или более электропроводящих катушек расположены между смежными постоянными магнитами из указанных постоянных магнитов.
20. Электрический двигатель по п.17, в котором указанная одна или более электропроводящих катушек окружают каждый из соответствующих постоянных магнитов из указанных постоянных магнитов вдоль длины и ширины каждого из указанных постоянных магнитов.



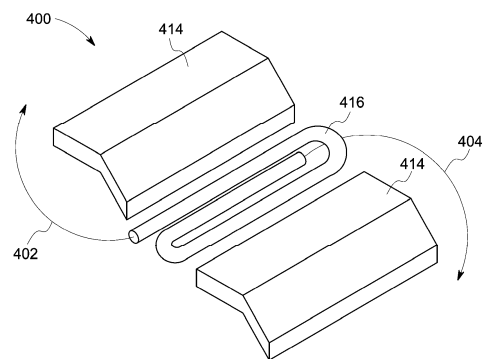
Фиг. 1



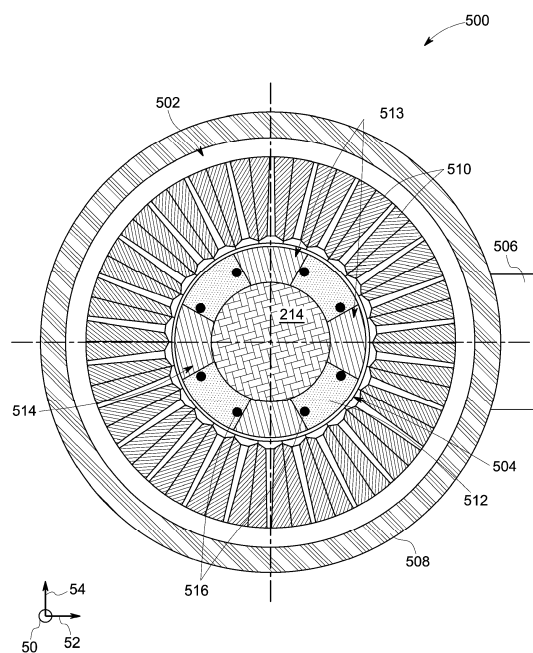
Фиг. 2



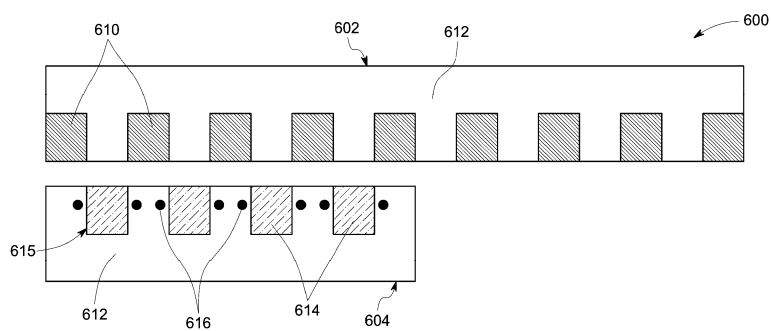
Фиг. 3



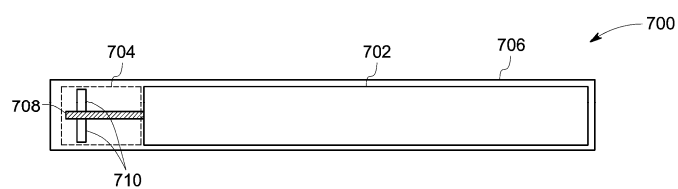
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

