



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК
H02K 17/26 (2006.01)
H02K 1/24 (2006.01)
H02K 21/46 (2006.01)
H02K 16/02 (2006.01)
H02K 17/16 (2006.01)
H02K 19/10 (2006.01)
H02K 19/14 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02K 17/26 (2021.05); H02K 1/246 (2021.05); H02K 21/46 (2021.05); H02K 16/02 (2021.05); H02K 17/165 (2021.05); H02K 19/103 (2021.05); H02K 19/14 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2019129732, 21.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.02.2018

Дата регистрации:
14.09.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
21.02.2017 US 15/438,023

(43) Дата публикации заявки: 24.03.2021 Бюл. № 9

(45) Опубликовано: 14.09.2021 Бюл. № 26

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 23.09.2019

(86) Заявка РСТ:
US 2018/018956 (21.02.2018)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2018/156582 (30.08.2018)

Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, БОКС-1125

(72) Автор(ы):

ФИНКЛ, Луис Дж. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ФИНКЛ, Луис Дж. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2015106002 A1, 16.07.2015. US
2005077801 A1, 14.04.2005. WO 2011145509 A1,
24.11.2011. US 2006108888 A1, 25.05.2006. SU
1631672 A1, 28.02.1991. RU 2153755 C2,
27.07.2000.

(54) ГИБРИДНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С САМОВЫРАВНИВАЮЩИМСЯ
ГИБРИДНЫМ РОТОРОМ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИИ И ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

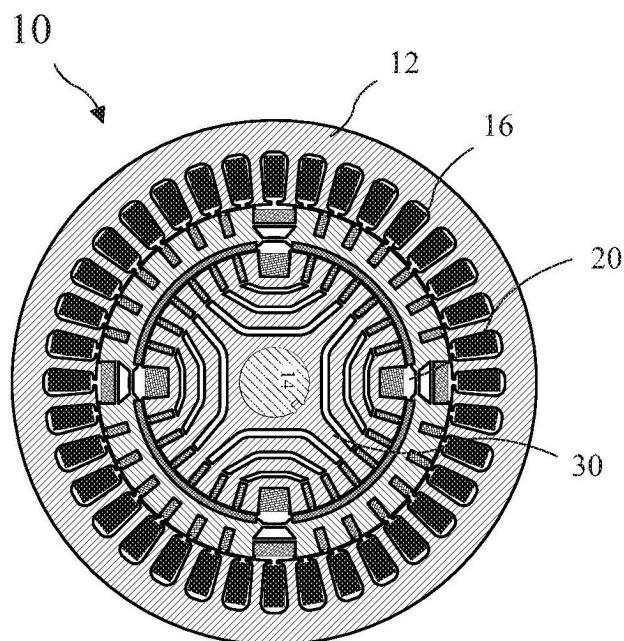
(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике. Технический результат заключается в повышении эффективности. Гибридный асинхронный электродвигатель 10 содержит неподвижный статор 16, независимо вращающийся внешний ротор 20 и внутренний ротор 30, закрепленный на валу 14 электродвигателя. Внешний ротор 20 выполнен с возможностью создания низкого момента инерции и содержит расположенные через угловые промежутки первые стержни 26a, 26b и постоянные магниты 22, расположенные на внутренней поверхности внешнего ротора 20.

Внутренний ротор 30 содержит расположенные через угловые промежутки вторые стержни 32a и 32b и внутренние барьеры 38 потока, выровненные со вторыми стержнями 32a и 32b. Внешний ротор 20 сначала ускоряется за счет взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с первыми стержнями. По мере ускорения внешнего ротора 20 до синхронной частоты вращения вращающееся магнитное поле статора взаимодействует со вторыми стержнями внутреннего ротора 30 для ускорения внутреннего ротора 30. При по существу синхронной частоте

вращения вращающееся магнитное поле статора
проходит через внешний ротор 20 во внутренний
ротор 30, связывая эти два ротора 20, 30 для

эффективной работы постоянных магнитов. 3 н.
и 17 з.п. ф-лы, 27 ил.



ФИГ. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H02K 17/26 (2006.01)*H02K 1/24* (2006.01)*H02K 21/46* (2006.01)*H02K 16/02* (2006.01)*H02K 17/16* (2006.01)*H02K 19/10* (2006.01)*H02K 19/14* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H02K 17/26 (2021.05); *H02K 1/246* (2021.05); *H02K 21/46* (2021.05); *H02K 16/02* (2021.05); *H02K 17/165* (2021.05); *H02K 19/103* (2021.05); *H02K 19/14* (2021.05)

(21)(22) Application: **2019129732, 21.02.2018**

(24) Effective date for property rights:
21.02.2018

Registration date:
14.09.2021

Priority:

(30) Convention priority:
21.02.2017 US 15/438,023

(43) Application published: **24.03.2021 Bull. № 9**(45) Date of publication: **14.09.2021 Bull. № 26**(85) Commencement of national phase: **23.09.2019**

(86) PCT application:
US 2018/018956 (21.02.2018)

(87) PCT publication:
WO 2018/156582 (30.08.2018)

Mail address:
190000, Sankt-Peterburg, BOKS-1125

(72) Inventor(s):

FINKL, Luis Dzh. (US)

(73) Proprietor(s):

FINKL, Luis Dzh. (US)

(54) **HYBRID ASYNCHRONOUS ELECTRIC ENGINE WITH SELF-LEVELING HYBRID ROTOR BASED ON INDUCTION AND PERMANENT MAGNETS**

(57) Abstract:

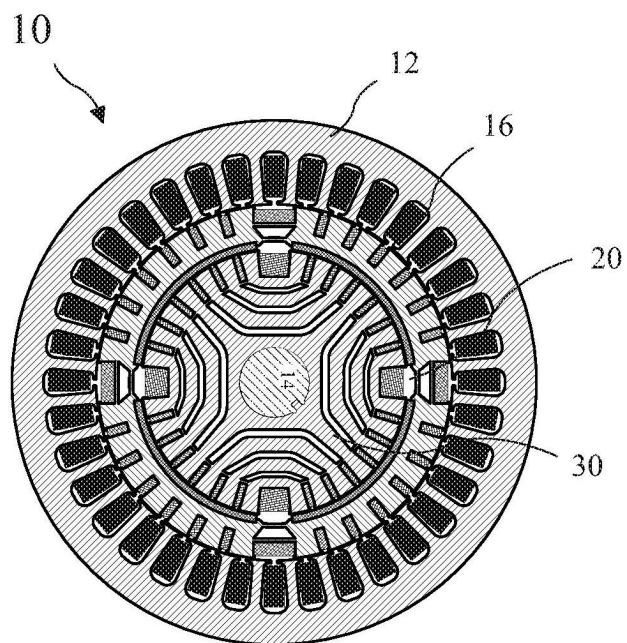
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: hybrid asynchronous electric engine 10 contains fixed stator 16, independently rotating external rotor 20 and internal rotor 30 fixed to shaft 14 of electric engine. External rotor 20 is made with the possibility to create a low inertia moment, and it contains first rods 26a, 26b located at angular intervals and permanent magnets 22 located on the inner surface of external rotor 20. Internal rotor 30 contains second rods 32a and 32b located at angular intervals and internal flow barriers 38 aligned with second rods 32a and 32b. External rotor 20 is first accelerated by the

interaction of rotating magnetic field of the stator with the first rods. As external rotor 20 is accelerated to synchronous rotational speed, rotating magnetic field of the stator interacts with the second rods of internal rotor 30 to accelerate internal rotor 30. At an essentially synchronous rotational speed, rotating magnetic field of the stator passes through external rotor 20 to internal rotor 30, connecting these two rotors 20, 30 for the efficient operation of permanent magnets.

EFFECT: increased efficiency.

20 cl, 27 dwg



ФИГ. 2

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ССЫЛКИ НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящая заявка испрашивает приоритет по заявке на патент США с серийным номером 15/438,023, поданной 21 февраля 2017, которая полностью включена в настоящую заявку посредством ссылки.

5 Область техники

[0002] Настоящее изобретение относится к электродвигателям и, в частности, к асинхронному электродвигателю, имеющему независимо вращающийся ротор на основе постоянных магнитов, связанный изменяемым образом с индуктивным ротором для изменения конфигурации электродвигателя с работы в асинхронном индукционном режиме при пуске на синхронную работу после пуска для обеспечения эффективной работы.

Уровень техники

[0003] Предпочтительной формой электродвигателей являются бесщеточные асинхронные электродвигатели переменного тока. Роторы асинхронных электродвигателей содержат клетку (или беличью клетку, похожую на "беличье колесо"), вращающуюся внутри статора. Клетка содержит стержни, проходящие в осевом направлении и расположенные через угловые промежутки на внешнем периметре ротора. В результате подачи переменного тока на статор происходит ввод вращающегося магнитного поля статора в ротор, и это вращающееся поле индуктивно наводит ток в стержнях. Ток, наводимый в стержнях, создает индуцированное магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем статора для создания крутящего момента и, таким образом, для вращения ротора.

[0004] Ввод тока в стержни требует отсутствия движения (или вращения) стержней синхронно с вращающимся магнитным полем статора, поскольку для электромагнитной индукции необходимо относительное перемещение (называемое проскальзыванием) между магнитным полем и проводником в этом поле. В результате ротор должен проскальзывать относительно вращающегося магнитного поля статора для наведения тока в стержнях, чтобы создавать крутящий момент, и поэтому индукционные электродвигатели называются асинхронными электродвигателями.

[0005] К сожалению, асинхронные электродвигатели низкой мощности не имеют высокой эффективности при расчетной рабочей скорости и еще менее эффективны при меньших нагрузках, поскольку величина энергии, потребляемой статором, остается постоянной при таких меньших нагрузках.

[0006] Один подход к повышению эффективности асинхронного электродвигателя заключался в добавлении к ротору постоянных магнитов. Пуск электродвигателя сначала происходит как у обычного асинхронного электродвигателя, но при достижении электродвигателем своей рабочей частоты вращения магнитное поле статора вступает во взаимодействие с постоянными магнитами, и электродвигатель входит в синхронный режим. К сожалению, постоянные магниты создают переходный тормозной момент и нежелательные аномалии до тех пор, пока не произойдет синхронизация вследствие изменения выравнивания магнитных полюсов между статором и короткозамкнутым ротором на постоянных магнитах. Кроме того, постоянные магниты ограничены по размеру, т.к. если постоянные магниты будут слишком большими, то они будут создавать слишком высокий поток статора, что приведет к неудовлетворительному или неудачному пуску электродвигателя. Такое ограничение размера ограничивает полезный эффект, получаемый от добавления постоянных магнитов.

[0007] В патентной заявке США с серийным номером 14/151,333, поданной 9 января 2014 года заявителем настоящей заявки, раскрыт электродвигатель, имеющий внешний

статор, внутренний ротор, содержащий стержни, жестко закрепленные на валу электродвигателя, и свободно вращающийся внешний ротор, содержащий постоянные магниты и стержни и расположенный между внутренним ротором и статором. При пуске, под действием вращающегося магнитного поля статора происходит ускорение свободно вращающегося внешнего ротора, и после ускорения происходит ускорение и последующая блокировка постоянных магнитов свободно вращающегося внешнего ротора под действием внутреннего ротора для достижения эффективной работы постоянных магнитов.

[0008] Конструкция согласно заявке 14/151,333 применима для некоторых конструкций электродвигателя, однако в других конструкциях поверхностные эффекты на поверхности внутреннего ротора ухудшают связь внутреннего ротора с вращающимися магнитными полями.

Раскрытие сущности изобретения

[0009] Настоящее изобретение удовлетворяет вышеуказанные и другие потребности путем создания гибридного асинхронного электродвигателя, содержащего неподвижный статор, независимо вращающийся внешний ротор и внутренний ротор, закрепленный на валу электродвигателя. Внешний ротор выполнен с возможностью создания низкого момента инерции и содержит расположенные через угловые промежутки первые стержни и постоянные магниты, расположенные на внутренней поверхности внешнего ротора. Внутренний ротор содержит расположенные через угловые промежутки вторые стержни и внутренние барьеры потока, выровненные со вторыми стержнями. Внешний ротор сначала ускоряется за счет взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с первыми стержнями. По мере ускорения внешнего ротора до синхронной частоты вращения, вращающееся магнитное поле постоянных магнитов взаимодействует со вторыми стержнями внутреннего ротора для ускорения внутреннего ротора. При существовании синхронной частоты вращения вращающееся магнитное поле статора проходит через внешний ротор и проникает во внутренний ротор, связывая два этих ротора для эффективной работы постоянных магнитов.

[0010] Согласно одному аспекту настоящего изобретения, предложен гибридный асинхронный электродвигатель, который содержит неподвижный статор, независимо вращающийся внешний HPMSC-ротор (Hybrid Permanent Magnet/Squirrel Cage outer rotor, гибридный внешний ротор на основе постоянных магнитов и беличьей клетки) и внутренний SC-ротор (Squirrel Cage inner rotor, внутренний ротор на основе беличьей клетки), закрепленный на валу электродвигателя. Внешний HPMSC-ротор имеет множество первых стержней, расположенных через угловые промежутки вблизи внешней поверхности внешнего HPMSC-ротора, и множество постоянных магнитов, расположенных на внутренней поверхности внешнего HPMSC-ротора. Внутренний SC-ротор имеет множество вторых стержней, расположенных через угловые промежутки вблизи внешней поверхности внутреннего SC-ротора, и барьеры магнитного потока, выровненные со вторыми стержнями в слоистом материале ротора. Барьеры потока формируют линии магнитного потока статора через внешний HPMSC-ротор и внутренний SC-ротор при синхронной частоте вращения для связи внешнего HPMSC-ротора и внутреннего SC-ротора.

[0011] Внешний HPMSC-ротор сначала ускоряется за счет взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с первыми стержнями. После начала вращения внешнего HPMSC-ротора постоянные магниты создают вращающееся магнитное поле во внутреннем SC-роторе, взаимодействующее со вторыми стержнями, для ускорения внутреннего SC-ротора. По мере ускорения внешнего HPMSC-ротора до синхронной

частоты вращения, магнитное поле статора проходит через внешний HPMSC-ротор и взаимодействует с постоянными магнитами, а также проникает во внутренний SC-ротор, связывая внешний HPMSC-ротор и внутренний SC-ротор для перехода к синхронной работе.

5 [0012] Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, предложен электродвигатель, имеющий более мощные постоянные магниты, которые известны как LSPM (Line Start Permanent Magnet, постоянные магниты с пуском от сети). Известные LSPM-электродвигатели ограничены тормозным и пульсационным моментами, создаваемыми постоянными магнитами. Первые стержни и магниты внешнего HPMSC-
10 ротора являются легкими, и внешний HPMSC-ротор отсоединяется от вала электродвигателя и нагрузки при пуске, так что обеспечивается возможность применения более мощных постоянных магнитов, чем в известных LSPM-двигателях. Более мощные постоянные магниты обеспечивают повышенную эффективность.

[0013] Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, предложен
15 электродвигатель, имеющий внешние стержни внешнего HPMSC-ротора, выровненные с внутренними стержнями внутреннего SC-ротора. При синхронной частоте вращения линии вращающегося магнитного поля статора проходят между выровненными стержнями и проникают во внутренний SC-ротор, связывая внешний HPMSC-ротор и внутренний SC-ротор.

20 [0014] Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, предложен электродвигатель, имеющий несколько больших стержней беличьей клетки в сочетании с меньшими стержнями беличьей клетки внешнего HPMSC-ротора. Большие стержни повышают конструктивную прочность внешнего HPMSC-ротора.

[0015] Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, предложен способ
25 согласно настоящему изобретению. Способ включает этапы, на которых: подают электрический ток на статор; создают вращающееся магнитное поле статора; обеспечивают индуктивное взаимодействие вращающегося магнитного поля статора с беличьей клеткой внешнего HPMSC-ротора; с помощью вращающегося магнитного поля статора ускоряют внешний HPMSC-ротор; с помощью постоянных магнитов
30 внешнего HPMSC-ротора создают вращающееся постоянное магнитное поле; обеспечивают индуктивное взаимодействие вращающегося постоянного магнитного поля с беличьей клеткой внутреннего SC-ротора; достигают синхронной частоты вращения внешнего HPMSC-ротора и внутреннего SC-ротора; и обеспечивают магнитную связь внешнего HPMSC-ротора и внутреннего SC-ротора при синхронной
35 частоте вращения.

[0016] Согласно еще одному аспекту настоящего изобретения, предложен гибридный асинхронный электродвигатель согласно настоящему изобретению, содержащий внешний НРМН-ротор (Hybrid Permanent Magnet Hysteresis outer rotor, гибридный внешний ротор на основе гистерезиса постоянных магнитов). Индуктивный пусковой элемент
40 в виде кольца вихревых токов (или гистерезиса) заменяет беличью клетку внешнего HPMSC-ротора для создания начального пускового момента. После достижения внешним НРМН-ротором синхронной частоты вращения индуктивный пусковой элемент не оказывает влияния на работу электродвигателя. Кольцо вихревых токов может представлять собой любой электропроводный материал, потенциально способный
45 служить материалом для пускового элемента и обычно представляющий собой твердый хром или кобальтовую сталь, однако возможны любые ферромагнитные материалы. Предпочтительным материалом для кольца внешнего НРМН-ротора согласно настоящему изобретению является медь, которая эффективна благодаря своей высокой

удельной электропроводности. Серебро показывает несколько лучшие рабочие характеристики, чем медь, благодаря более высокой удельной электропроводности, а алюминий показывает худшие рабочие характеристики, чем медь, вследствие более низкой удельной электропроводности. Новые нанотехнологии и новые виды электропроводных материалов потенциально способны обеспечить лучшие рабочие характеристики, чем медь.

Краткое описание чертежей

[0017] Вышеуказанные и другие аспекты, признаки и преимущества настоящего изобретения станут более понятны из нижеследующего более конкретного их описания, представленного в сочетании с нижеследующими чертежами, на которых:

[0018] На ФИГ. 1А показан вид с торца электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, согласно настоящему изобретению.

[0019] На ФИГ. 1В показан вид сбоку электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, согласно настоящему изобретению.

[0020] На ФИГ. 2 показано поперечное сечение электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 2-2 на ФИГ. 1В, согласно настоящему изобретению.

[0021] На ФИГ. 3 показано поперечное сечение электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 3-3 на ФИГ. 1А, согласно настоящему изобретению.

[0022] На ФИГ. 4 показано поперечное сечение кожуха и неподвижной статорной части электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 2-2 на ФИГ. 1В, согласно настоящему изобретению.

[0023] На ФИГ. 5 показано поперечное сечение кожуха и неподвижной статорной части электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 5-5 на ФИГ. 4, согласно настоящему изобретению.

[0024] На ФИГ. 6 показано поперечное сечение независимо вращающегося внешнего НРМСС-ротора электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 2-2 на ФИГ. 1В, согласно настоящему изобретению.

[0025] На ФИГ. 7 показано поперечное сечение независимо вращающегося внешнего НРМСС-ротора электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 7-7 на ФИГ. 6, согласно настоящему изобретению.

[0026] На ФИГ. 8 показано поперечное сечение внутреннего SC-ротора электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 2-2 на ФИГ. 1В, согласно настоящему изобретению.

[0027] На ФИГ. 9 показано поперечное сечение внутреннего SC-ротора электродвигателя, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор и внутренний SC-ротор, жестко связанный с валом электродвигателя, по линии 9-9 на ФИГ. 8, согласно настоящему изобретению.

[0028] На ФИГ. 10 показано поперечное сечение шестого варианта осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, согласно настоящему изобретению.

5 [0029] На ФИГ. 10А показано поперечное сечение статора в шестом варианте осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, согласно настоящему изобретению.

[0030] На ФИГ. 10В показано поперечное сечение гибридного внешнего ротора на основе индукции и постоянных магнитов в шестом варианте осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и
10 постоянных магнитов, согласно настоящему изобретению.

[0031] На ФИГ. 10С показано поперечное сечение внутреннего индуктивного ротора в шестом варианте осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, согласно настоящему изобретению.

15 [0032] На ФИГ. 11А показаны линии магнитного поля в шестом варианте осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, согласно настоящему изобретению.

[0033] На ФИГ. 11В показаны линии магнитного поля в шестом варианте осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, при синхронной частоте вращения, согласно
20 настоящему изобретению.

[0034] На ФИГ. 12А показаны линии магнитного поля в двухполюсной конфигурации шестого варианта осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, при синхронной частоте вращения, без статора, согласно настоящему изобретению.

25 [0035] На ФИГ. 12В показаны линии магнитного поля в четырехполюсной конфигурации шестого варианта осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, при синхронной частоте вращения, без статора, согласно настоящему изобретению.

[0036] На ФИГ. 12С показаны линии магнитного поля в шестиполюсной
30 конфигурации шестого варианта осуществления электродвигателя, имеющего гибридный внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, при синхронной частоте вращения, без статора, согласно настоящему изобретению.

[0037] На ФИГ. 12D показаны линии магнитного поля в восьмиполюсной конфигурации шестого варианта осуществления электродвигателя, имеющего гибридный
35 внешний ротор на основе индукции и постоянных магнитов, при синхронной частоте вращения, без статора, согласно настоящему изобретению.

[0038] На ФИГ. 13 показан способ согласно настоящему изобретению.

[0039] На ФИГ. 14 показаны графики изменения частоты вращения в зависимости от времени согласно настоящему изобретению.

40 [0040] На ФИГ. 15 показано поперечное сечение варианта осуществления настоящего изобретения, содержащего внешний НРМН-ротор.

[0041] На ФИГ. 16А показан вид поперечного сечения варианта осуществления настоящего изобретения, содержащего внешний НРМН-ротор.

45 [0042] На ФИГ. 16В показан покомпонентный вид сбоку поперечного сечения варианта осуществления настоящего изобретения, содержащего внешний НРМН-ротор.

[0043] На ФИГ. 17 показан вид сбоку поперечного сечения внешнего НРМН-ротора согласно настоящему изобретению.

[0044] На ФИГ. 18 показан вид сбоку поперечного сечения второго внутреннего SC-

ротора согласно настоящему изобретению.

[0045] Соответствующие ссылочные символы обозначают соответствующие компоненты по всем видам на чертежах.

Осуществление изобретения

5 [0046] Нижеследующее описание представляет наилучший режим, предполагаемый в настоящее время для осуществления настоящего изобретения. Настоящее описание должно истолковываться не в ограничивающем смысле, а как предназначенное лишь для целей раскрытия одного или более предпочтительных вариантов осуществления настоящего изобретения. Объем настоящего изобретения должен быть определен со
10 ссылкой на формулу изобретения.

[0047] Термин «механически не связан» используется в настоящем документе для описания соединения первой конструкции со второй конструкцией посредством подшипников при отсутствии какого-либо другого механического/материального соединения между первой и второй конструкциями. Тем не менее, указанные конструкции
15 могут быть связаны посредством магнитного соединения, которое не рассматривается как механическое соединение в настоящей патентной заявке.

[0048] На ФИГ. 1А показан вид с торца электродвигателя 10, имеющего независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор 20 и внутренний SC-ротор 30, жестко связанный с валом электродвигателя, а на ФИГ. 10В показан вид сбоку электродвигателя 10. На
20 ФИГ. 2 показано поперечное сечение электродвигателя 10 по линии 2-2 на ФИГ. 1В, и на ФИГ. 3 показано поперечное сечение электродвигателя 10 по линии 3-3 на ФИГ. 1А. Электродвигатель 10 содержит кожух 12, статорную часть 16, жестко связанную с кожухом 12, независимо вращающийся внешний НРМСС-ротор 20, опирающийся на подшипники 29 (см. ФИГ. 7), и внутренний SC-ротор 30, жестко закрепленный на валу
25 14 электродвигателя. Внешний НРМСС-ротор 20 установлен на валу 14 электродвигателя посредством подшипников и механически не связан для вращения с валом 14 электродвигателя.

[0049] На ФИГ. 4 показано поперечное сечение кожуха 12 и неподвижной статорной части 16 электродвигателя 10 по линии 2-2 на ФИГ. 1В, и на ФИГ. 5 показано поперечное
30 сечение кожуха 12 и неподвижной статорной части 16 по линии 5-5 на ФИГ. 4. Обмотки 18 неподвижного статора расположены в сердечнике 19 статора. Обмотки 18 статора создают вращающееся магнитное поле статора при подаче на них сигнала переменного тока (АС). Кожух 12 содержит подшипники 13 для поддержки вала 14.

[0050] На ФИГ. 6 показано поперечное сечение независимо вращающегося внешнего НРМСС-ротора 20 по линии 2-2 на ФИГ. 1В, и на ФИГ. 7 показано поперечное сечение
35 независимо вращающегося внешнего НРМСС-ротора 20 по линии 7-7 на ФИГ. 6. Внешний НРМСС-ротор 20 содержит постоянные магниты 22, расположенные через угловые промежутки на внутренней поверхности внешнего НРМСС-ротора 20, и первые стержни 26а и 26b, расположенные через угловые промежутки вблизи внешней
40 поверхности внешнего НРМСС-ротора 20 и встроенные в сердечник (или слоистый материал) 23. Внешний НРМСС-ротор 20 может содержать любое четное количество постоянных магнитов 22, например два, четыре, шесть, восемь и т.д. постоянных магнитов 22 (см. ФИГ. 12А-12D). В сердечнике 23 ротора между постоянными магнитами 22 расположены неферромагнитные пустоты 24. Пустоты 24 представляют собой
45 воздушные зазоры или неферромагнитный материал для обеспечения барьеров потока; если бы между магнитами 22 находился ферромагнитный материал, магнитный поток закручивался бы обратно в магниты 22, закорачивая большую часть линий магнитного потока обратно в магниты 22. Сердечник 23 предпочтительно представляет собой

слоистый сердечник, и тонкие слои 23а сердечника, образующие сердечник 23, могут приводить к утечке потока. Толщина слоев 23а предпочтительно оптимизирована для минимизации утечки при сохранении механической целостности слоев 23а сердечника ротора. Стержни 26а и 26b предпочтительно расположены через равные угловые промежутки. Магниты 22 предпочтительно представляют собой неодимовые магниты, прикрепленные к внутренней поверхности сердечника 23 ротора.

[0051] Внешний HPMSC-ротор 20 может содержать лишь малые стержни 26а, однако предпочтительно он также содержит большие стержни 26b, обеспечивающие конструктивную прочность. Большие стержни 26b предпочтительно расположены через угловые промежутки (т.е. они могут быть разнесены в радиальном направлении) между постоянными магнитами 22, и количество больших стержней 26b предпочтительно совпадает с количеством магнитов 22. Пустоты 24 предпочтительно расположены под большими стержнями 26b. Стержни 26а и 26b предпочтительно изготовлены из легкого материала, например алюминия. Магниты 22 также предпочтительно изготовлены из легкого материала, и предпочтительно они являются редкоземельными магнитами, что позволяет сделать магнит более легким при заданной мощности магнита. Благодаря легкости стержней 26а и 26b и магнитов 22, снижается момент инерции внешнего HPMSC-ротора 20, что позволяет использовать более мощные постоянные магниты 22 и обеспечить более высокую эффективность, чем в случае LSPM-электродвигателя. Баланс между сопротивлением стержней 26а и 26b и насыщением сердечника 23 ротора может быть оптимизирован, и форма, количество и размеры стержней 26а и 26b могут иметь большое влияние на рабочие характеристики, например, на пуск электродвигателя.

[0052] Торцевые крышки 28 ротора прикреплены к противоположным концам внешнего HPMSC-ротора 20 и содержат подшипники 29, обеспечивающие возможность свободного вращения внешнего HPMSC-ротора 20 на валу 14 электродвигателя. Подшипники 29 предпочтительно представляют собой подшипники с низким трением (например, шарикоподшипники или роликовые подшипники), однако они также могут представлять собой просто втулки (например, бронзовые втулки, самосмазывающиеся втулки или кевларовые® втулки). Внешний HPMSC-ротор 20 ни в какой момент времени механически не связан для вращения с внутренним SC-ротором 30 или с валом 14 электродвигателя.

[0053] На ФИГ. 8 показано поперечное сечение внутреннего SC-ротора 30 электродвигателя 10 по линии 2-2 на ФИГ. 1В, и на ФИГ. 9 показано поперечное сечение внутреннего SC-ротора 30 электродвигателя 10 по линии 9-9 на ФИГ. 8. Внутренний SC-ротор 30 закреплен на валу 14 электродвигателя и взаимодействует с внешним HPMSC-ротором 20 для магнитной связи внешнего HPMSC-ротора 20 с валом 14 электродвигателя при синхронной частоте вращения. Вторые малые стержни 32а и большие стержни 32b расположены в сердечнике (или слоистом материале) 36 второго ротора. Стержни 32а и 32b необязательно, но предпочтительно расположены через равные угловые промежутки. Большие стержни 32b повышают конструктивную прочность внутреннего SC-ротора 30 и содействуют направлению линий магнитного потока 50 (см. ФИГ. 11В).

[0054] На ФИГ. 10 показано поперечное сечение электродвигателя 10, на ФИГ. 10А показано поперечное сечение статора 16 электродвигателя 10, на ФИГ. 10В показано поперечное сечение внешнего HPMSC-ротора 20 электродвигателя 10, и на ФИГ. 10С показано поперечное сечение внутреннего SC-ротора 30 электродвигателя 10. Статор 16 содержит обмотки 18 статора в слоистом материале 19, создающие вращающееся магнитное поле статора.

[0055] Внешний НРМСС-ротор 20 связан с возможностью вращения с валом электродвигателя через подшипники 29 (см. ФИГ. 7) и содержит малые стержни 26а беличьей клетки и большие стержни 26b беличьей клетки, причем стержни 26а и 26b
5 встроены в слоистый материал 23. Постоянные магниты 24 расположены на внутренней поверхности внешнего НРМСС-ротора 20, обращенной к внутреннему SC-ротору 30.

[0056] Внутренний SC-ротор 30 содержит малые стержни 32а и большие стержни 32b. Барьеры 38 потока проходят в виде вогнутых каналов через слоистый материал 36, и внешние концы барьеров 38 потока в целом выровнены с малыми стержнями 32а. Как малые стержни 32а, так и большие стержни 32b слегка углублены в слоистый
10 материал 36.

[0057] На ФИГ. 11А показаны линии 42а магнитного поля между обмотками 18 статора и стержнями 26а и 26b при пуске и линии 42b магнитного поля между постоянными магнитами 22 и стержнями 32а и 32b электродвигателя 10 сразу же после пуска. Линии 42а магнитного поля являются следствием проскальзывания стержней
15 26а и 26b относительно вращающегося магнитного поля статора. Линии 42а магнитного поля сразу же возникают при пуске, поскольку внешний НРМСС-ротор 20 является неподвижным при пуске и имеет место проскальзывание между неподвижным внешним НРМСС-ротором 20 и вращающимся магнитным полем статора. В результате проскальзывания генерируется ток в стержнях 26 за счет магнитной индукции, и под
20 действием этого тока создается крутящий момент на внешнем НРМСС-роторе 20 для ускорения внешнего НРМСС-ротора 20.

[0058] По существу сразу же после пуска внешний НРМСС-ротор 20 начинает вращаться, возникает проскальзывание между постоянными магнитами 22 внешнего НРМСС-ротора 20 и стержнями 32а и 32b внутреннего SC-ротора 30, и создаются линии
25 42b магнитного поля. Важный признак электродвигателя 10 состоит в том, что линии 42b магнитного поля не возникают немедленно при пуске, поскольку такие линии магнитного поля связывают с возможностью вращения внешний НРМСС-ротор 20 с внутренним SC-ротором 30, создавая сопротивление ускорению внешнего НРМСС-ротора 20. Такое сопротивление способно препятствовать преодолению внешним
30 НРМСС-ротором 20 тормозного и пульсационного моментов, создаваемых постоянными магнитами в известных LSPM-электродвигателях, и ограничивать мощность постоянных магнитов 22, ограничивая таким образом эффективность электродвигателя 10. Таким образом, электродвигатель 10 является саморегулирующимся, соединяя лишь внешний НРМСС-ротор 20 с внутренним SC-ротором 30 и валом 14 электродвигателя после
35 преодоления внешним НРМСС-ротором 20 тормозного и пульсационного моментов.

[0059] На ФИГ. 11В показаны линии 50 магнитного поля между обмотками 18 статора и постоянными магнитами 22, дополнительно проникающие во внутренний SC-ротор 30 электродвигателя 10 при синхронной частоте вращения. При синхронной частоте вращения отсутствует проскальзывание между вращающимся магнитным полем статора
40 и стержнями 26а, 26b, 32а и 32b и, следовательно, отсутствует электрическое взаимодействие между вращающимся магнитным полем статора и стержнями 26а, 26b, 32а и 32b. Вращающееся магнитное поле статора теперь полностью взаимодействует с постоянными магнитами 22 и направляется через внутренний SC-ротор посредством барьеров 38 потока.

[0060] На ФИГ. 12А показаны линии магнитного поля в двухполюсном варианте осуществления электродвигателя 10, без статора 16, на ФИГ. 12В показаны линии магнитного поля в четырехполюсном варианте осуществления электродвигателя 10, без статора 16, на ФИГ. 12С показаны линии магнитного поля в шестиполюсном

варианте осуществления электродвигателя 10, без статора 16, и на ФИГ. 12D показаны линии магнитного поля в восьмиполусном варианте осуществления электродвигателя 10, без статора 16.

[0061] На ФИГ. 13 показан способ согласно настоящему изобретению. Способ включает: этап 100, на котором подают электрический ток на статор; этап 102, на котором создают вращающееся магнитное поле статора; этап 104, на котором обеспечивают индуктивное взаимодействие вращающегося магнитного поля статора с беличьей клеткой внешнего HPMSC-ротора; этап 106, на котором с помощью вращающегося магнитного поля статора ускоряют внешний HPMSC-ротор; этап 108, на котором с помощью постоянных магнитов внешнего HPMSC-ротора создают вращающееся магнитное поле постоянных магнитов; этап 110, на котором комбинируют магнитное поле постоянных магнитов с вращающимся магнитным полем статора для создания соединительного вращающегося магнитного поля; этап 112, на котором обеспечивают индуктивное взаимодействие соединительного вращающегося магнитного поля с беличьей клеткой внутреннего SC-ротора; этап 114, на котором с помощью соединительного вращающегося магнитного поля ускоряют внутренний SC-ротор; этап 116, на котором приближают частоту вращения внутреннего SC-ротора к синхронной частоте вращения; и этап 118, на котором обеспечивают магнитную связь внешнего HPMSC-ротора и внутреннего SC-ротора при синхронной частоте вращения. Важным признаком способа является то, что внешний HPMSC-ротор не связан с внутренним SC-ротором до тех пор, пока не начинает вращаться внешний HPMSC-ротор, и таким образом обеспечивается возможность преодоления тормозного и пульсационного моментов, которые ограничивают мощность постоянных магнитов в LSPM-устройствах.

[0062] Описан гибридный электродвигатель, имеющий внешний HPMSC-ротор и внутренний SC-ротор. Внешний HPMSC-ротор содержит первые электропроводные стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник первого ротора, и несколько постоянных магнитов на внутренней поверхности сердечника второго ротора, причем внешний HPMSC-ротор расположен между статором и внутренним SC-ротором соосно с валом электродвигателя и ни в каком режиме работы механически не связан для вращения с валом электродвигателя. Внутренний SC-ротор закреплен на валу электродвигателя соосно с валом электродвигателя и имеет сердечник второго ротора, вторые электропроводные стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник второго ротора, и барьеры потока, направляющие вращающееся магнитное поле статора через внутренний SC-ротор при синхронной частоте вращения. Специалистам в данной области техники будут понятны и другие варианты осуществления с другими количествами магнитов, стержней и барьеров потока, не описанные в данном документе, однако основанные на принципах, раскрытых в данном документе, и эти варианты осуществления предназначены для включения в рамки объема настоящего изобретения.

[0063] На ФИГ. 14 показаны графики зависимости частоты вращения магнитного поля статора, магнитного поля внешнего HPMSC-ротора и магнитного поля внутреннего SC-ротора от времени.

[0064] На ФИГ. 15 показано поперечное сечение второго гибридного асинхронного электродвигателя 10' согласно настоящему изобретению, содержащего внешний HPMSC-ротор 20'. Индуктивный пусковой элемент представляет собой кольцо 60 вихревых токов (или гистерезиса) (см. ФИГ. 16), которое используется вместо стержней 26a и 26b беличьей клетки внешнего HPMSC-ротора 20 (см. ФИГ. 6) для создания начального пускового момента. Большие стержни 32b внутреннего SC-ротора не нужны и не

показаны в гибридном асинхронном электродвигателе 10'. В остальном гибридный асинхронный двигатель 10' сходен с гибридным асинхронным электродвигателем 10.

[0065] На ФИГ. 16А показан вид сбоку поперечного сечения гибридного асинхронного электродвигателя 10', содержащего внешний НРМН-ротор, и на ФИГ. 16В показан покомпонентный вид сбоку поперечного сечения гибридного асинхронного электродвигателя 10', содержащего внешний НРМН-ротор.

[0066] На ФИГ. 17 показан вид сбоку поперечного сечения кольца 60 вихревых токов внешнего НРМН-ротора согласно настоящему изобретению. После достижения внешним НРМН-ротором 20' синхронной частоты вращения, кольцо 60 вихревых токов не оказывает влияния на работу электродвигателя. Кольцо 60 вихревых токов может представлять собой любой электропроводный материал, являющийся потенциальным материалом для пускового элемента и обычно представляющий собой твердый хром или кобальтовую сталь, но оно может представлять собой любой неферроманитный материал. Предпочтительно, материал для кольца внешнего НРМН-ротора согласно настоящему изобретению представляет собой медь, которая эффективна вследствие своей высокой удельной электропроводности. Серебро показывает несколько более высокие рабочие характеристики, чем медь, вследствие своей высокой удельной электропроводности, а алюминий показывает более низкие рабочие характеристики, чем медь, вследствие своей более низкой удельной электропроводности. Новые нанотехнологии и новые виды материалов с высокой проводимостью потенциально способны обеспечить более высокие рабочие характеристики, чем медь.

[0067] На ФИГ. 18 показан вид сбоку поперечного сечения второго внутреннего SC-ротора 30'. Во внутреннем SC-роторе 30' не показаны большие стержни 32b беличьей клетки, которые могут присутствовать, но не являются необходимыми. В остальном внутренний SC-ротор 30' сходен с внутренним SC-ротором 30.

Промышленная применимость

[0068] Настоящее изобретение находит промышленное применение в области электродвигателей.

Объем изобретения

[0069] Хотя изобретение, раскрытое в настоящем описании, было описано в отношении конкретных вариантов осуществления и вариантов их применения, возможны его различные модификации и вариации со стороны специалистов в данной области техники без выхода за рамки объема настоящего изобретения, определенного в формуле изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Гибридный электродвигатель на основе беличьей клетки и постоянных магнитов, содержащий:

кожух электродвигателя;

статор, закрепленный на кожухе электродвигателя и создающий вращающееся магнитное поле статора;

вал электродвигателя, соединенный с возможностью вращения с кожухом электродвигателя и выступающий от по меньшей мере одного конца кожуха электродвигателя для прикрепления к нагрузке;

второй ротор, закрепленный с возможностью вращения на валу электродвигателя соосно с валом электродвигателя и содержащий:

сердечник второго ротора и

расположенные через угловые промежутки вторые электропроводные стержни

второй беличьей клетки, встроенные в сердечник второго ротора;

первый ротор, расположенный между статором и вторым ротором соосно с валом электродвигателя, не связанный механически с возможностью вращения с валом электродвигателя для вращения вместе с валом электродвигателя и содержащий:

сердечник первого ротора;

индуктивные элементы, выполненные с возможностью взаимодействия с вращающимся магнитным полем статора для создания крутящего момента при пуске;

и

постоянные магниты, расположенные на удалении в радиальном направлении от индуктивных элементов в направлении второго ротора и перекрывающиеся под углом с индуктивными элементами,

причем первый ротор и второй ротор выполнены с возможностью магнитной связи во время синхронной работы.

2. Электродвигатель по п. 1, также содержащий барьеры потока, расположенные внутри сердечника второго ротора и направляющие вращающееся магнитное поле статора через сердечник второго ротора во время синхронной работы, причем барьеры потока представляют собой пустоты в сердечнике второго ротора.

3. Электродвигатель по п. 2, в котором барьеры потока представляют собой вогнутые каналы, соединяющие внутренние концы вторых электропроводных стержней беличьей клетки.

4. Электродвигатель по п. 1, в котором индуктивные элементы включают множество электропроводных расположенных через угловые промежутки первых стержней беличьей клетки, встроенных в поверхность сердечника первого ротора, обращенную к статору.

5. Электродвигатель по п. 4, в котором:

первые стержни беличьей клетки включают множество расположенных через угловые промежутки первых малых стержней беличьей клетки, разделенных на N первых групп, каждая из которых содержит последовательно расположенные первые малые стержни беличьей клетки; и

первые группы разделены в угловом направлении посредством N расположенных через угловые промежутки и имеющих больший размер первых больших стержней беличьей клетки, каждый из которых разделяет смежные группы из указанных первых групп.

6. Электродвигатель по п. 5, в котором вторые электропроводные стержни беличьей клетки встроены через угловые промежутки во вторую внешнюю поверхность сердечника второго ротора.

7. Электродвигатель по п. 2, в котором индуктивные элементы включают кольцо вихревых токов на первом роторе, обращенном к статору.

8. Электродвигатель по п. 1, в котором:

первый ротор содержит N постоянных магнитов;

вторые электропроводные стержни беличьей клетки расположены вблизи поверхности сердечника второго ротора, обращенной к первому ротору, и включают N расположенных через угловые промежутки групп стержней;

каждая из N групп стержней включает стержни правой половины, расположенные в правой половине, и стержни левой половины, расположенные в левой половине, и расположенные через промежутки барьеры потока достигают внутренней области сердечника второго ротора и проходят от первых внутренних концов по меньшей мере одного из стержней левой половины каждой из N групп стержней и до вторых

внутренних концов по меньшей мере одного из стержней правой половины каждой из N групп стержней.

9. Электродвигатель по п. 8, в котором барьеры потока, соединяющие стержни левой половины со стержнями правой половины, являются симметричными в боковом направлении.

10. Электродвигатель по п. 8, в котором барьеры потока, соединяющие самый левый из стержней левой половины с самым правым из стержней правой половины, проходят глубже внутрь сердечника второго ротора, чем те из барьеров потока, соединяющих стержни левой половины и стержни правой половины, которые расположены ближе к центру каждой из N групп стержней.

11. Электродвигатель по п. 1, в котором:

статор расположен снаружи от обоих из первого ротора и второго ротора;

второй ротор представляет собой внутренний ротор; а

первый ротор представляет собой внешний ротор, расположенный между внутренним ротором и статором.

12. Электродвигатель по п. 11, в котором при синхронной скорости:

первые стержни беличьей клетки выровнены в угловом направлении со вторыми стержнями беличьей клетки и

третьи линии магнитного поля проходят от статора, по отдельности между последовательно расположенными стержнями из первых стержней беличьей клетки, через постоянные магниты и между вторыми стержнями беличьей клетки.

13. Электродвигатель по п. 1, в котором:

постоянные магниты включают N расположенных через угловые промежутки постоянных магнитов;

индуктивные элементы включают:

N первых групп электропроводных первых малых стержней беличьей клетки, встроенных в сердечник первого ротора, причем каждая из указанных N первых групп выровнена в угловом направлении с одним из N постоянных магнитов; и

N электропроводных первых больших стержней беличьей клетки, встроенных в сердечник первого ротора, причем каждый из первых больших стержней беличьей клетки имеет большую площадь поперечного сечения, чем каждый из первых малых стержней беличьей клетки, и первые большие стержни беличьей клетки выровнены в угловом направлении с зазорами между последовательно расположенными магнитами из числа указанных N постоянных магнитов; и

каждый из N первых больших стержней беличьей клетки разделяет в угловом направлении последовательно расположенные группы из числа указанных N первых групп.

14. Электродвигатель по п. 13, в котором:

вторые стержни беличьей клетки включают:

N групп вторых малых стержней беличьей клетки; и

N вторых больших стержней беличьей клетки; и

во время синхронной работы вторые малые стержни беличьей клетки по отдельности выровнены с первыми малыми стержнями беличьей клетки и вторые большие стержни беличьей клетки по отдельности выровнены с первыми большими стержнями беличьей клетки.

15. Электродвигатель по п. 1, в котором:

индуктивные элементы включают первые стержни беличьей клетки и

во время синхронной работы один отдельный стержень из числа вторых стержней

беличьей клетки выровнен с одним отдельным стержнем из числа первых стержней беличьей клетки, которые выровнены в угловом направлении с постоянными магнитами.

16. Электродвигатель по п. 5, в котором

постоянные магниты включают N расположенных через угловые промежутки

5 постоянных магнитов и

каждая из N групп малых стержней беличьей клетки расположена поверх одного из N постоянных магнитов.

17. Гибридный электродвигатель на основе беличьей клетки и постоянных магнитов, содержащий:

10 кожух электродвигателя;

статор, закрепленный на кожухе электродвигателя и создающий вращающееся магнитное поле статора;

вал электродвигателя, соединенный с возможностью вращения с кожухом электродвигателя и проходящий от по меньшей мере одного конца кожуха

15 электродвигателя для прикрепления к нагрузке;

второй ротор, закрепленный с возможностью вращения на валу электродвигателя соосно с валом электродвигателя, являющийся внутренним ротором и содержащий:

сердечник второго ротора и расположенные через угловые промежутки электропроводные вторые стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник второго ротора;

первый ротор, расположенный между статором и вторым ротором соосно с валом электродвигателя, не связанный механически с возможностью вращения с валом электродвигателя для вращения вместе с валом электродвигателя и содержащий:

сердечник первого ротора и

25 расположенные через угловые промежутки электропроводные первые стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник первого ротора и выполненные с возможностью взаимодействия с вращающимся магнитным полем статора для создания крутящего момента при пуске, причем первые стержни беличьей клетки выполнены с возможностью одновременного выравнивания в угловом направлении со вторыми стержнями беличьей клетки во время синхронной работы; и

постоянные магниты, расположенные в сердечнике первого ротора, смещенные в радиальном направлении от индуктивных элементов в направлении второго ротора и перекрывающиеся в угловом направлении с первыми стержнями беличьей клетки.

18. Электродвигатель по. 17, в котором все первые стержни беличьей клетки

35 перекрываются в угловом направлении с постоянными магнитами и выровнены в угловом направлении со вторыми стержнями беличьей клетки во время синхронной работы.

19. Гибридный электродвигатель на основе беличьей клетки и постоянных магнитов, содержащий:

40 кожух электродвигателя;

статор, закрепленный на кожухе электродвигателя и создающий вращающееся магнитное поле статора;

вал электродвигателя, соединенный с возможностью вращения с кожухом электродвигателя и проходящий от по меньшей мере одного конца кожуха

45 электродвигателя для прикрепления к нагрузке;

второй ротор, закрепленный с возможностью вращения на валу электродвигателя соосно с валом электродвигателя, являющийся внутренним ротором и содержащий:

сердечник второго ротора и

расположенные через угловые промежутки электропроводные вторые стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник второго ротора;

первый ротор, расположенный между статором и вторым ротором соосно с валом электродвигателя, не связанный механически с возможностью вращения с валом электродвигателя для вращения вместе с валом электродвигателя и содержащий:

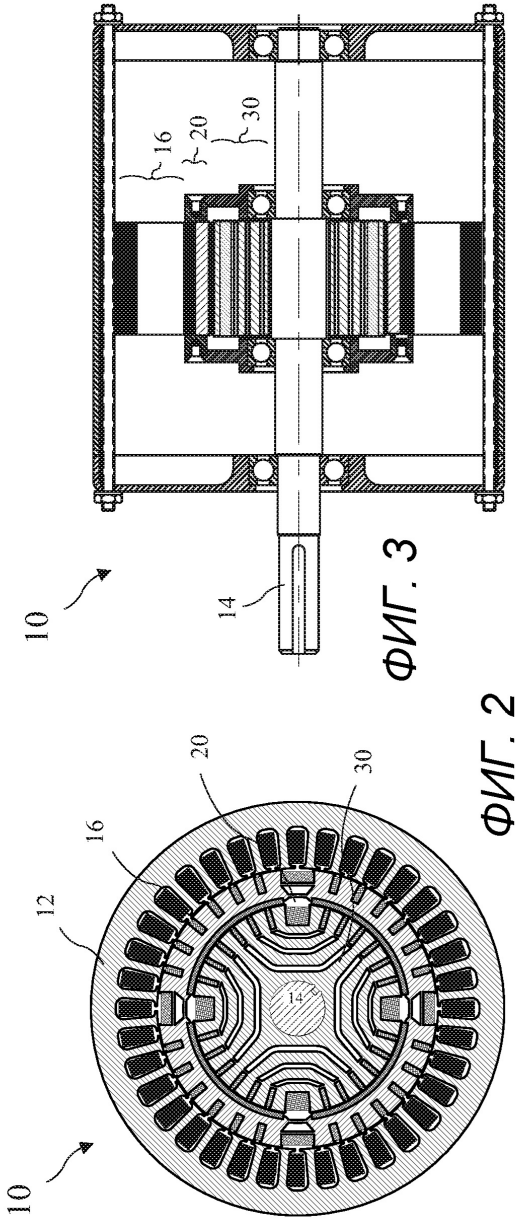
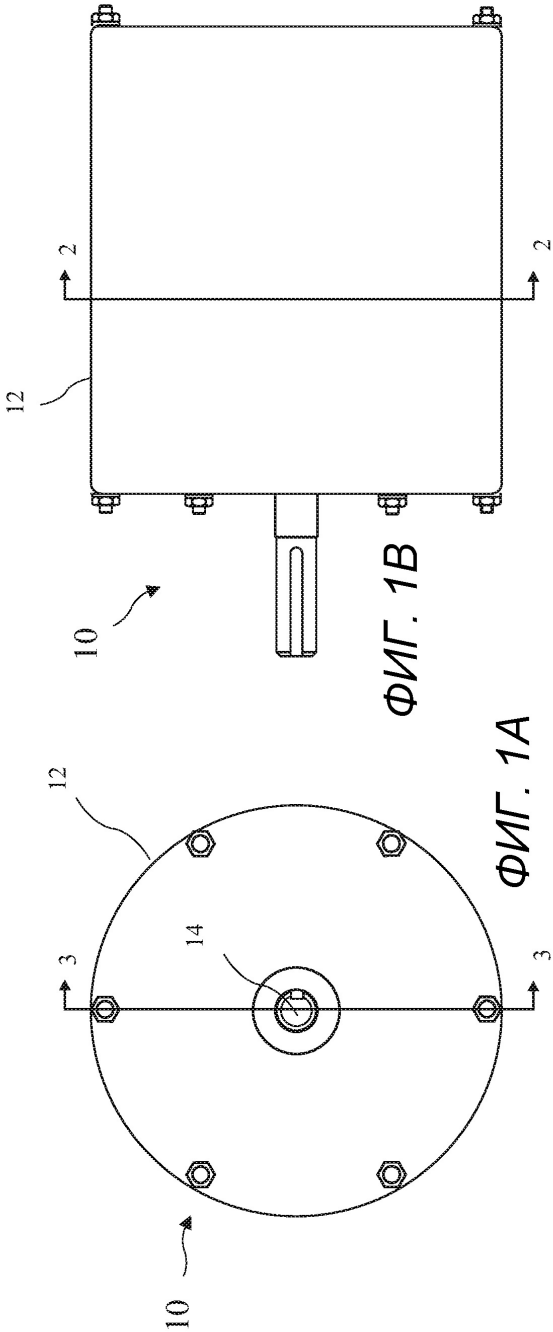
сердечник первого ротора;

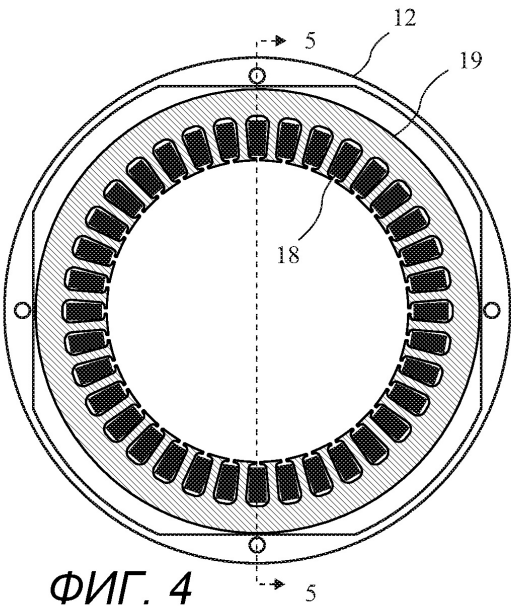
расположенные через угловые промежутки электропроводные первые стержни беличьей клетки, встроенные в сердечник первого ротора и выполненные с возможностью взаимодействия с вращающимся магнитным полем статора для создания крутящего момента при пуске;

постоянные магниты, расположенные под первыми стержнями беличьей клетки на поверхности сердечника первого ротора, обращенной к второму ротору; и

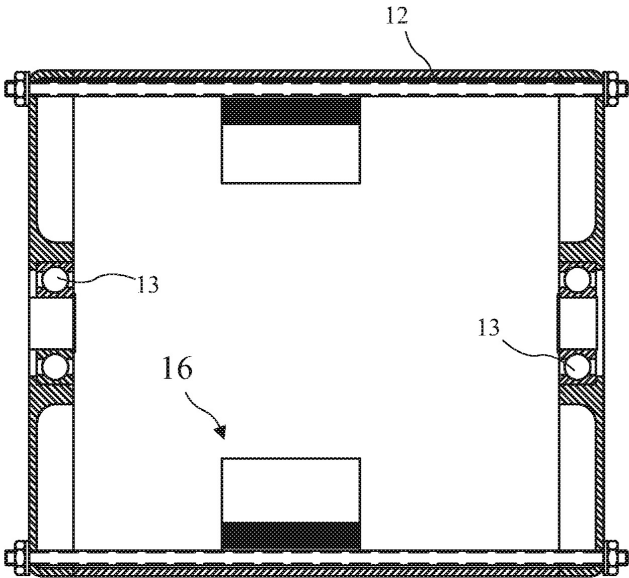
все следующие друг за другом линии поля статора разделены посредством первых стержней беличьей клетки и вторых стержней беличьей клетки во время синхронной работы.

20. Электродвигатель по. 19, в котором линии поля статора направлены через постоянные магниты посредством первых стержней беличьей клетки и вторых стержней беличьей клетки во время синхронной работы.

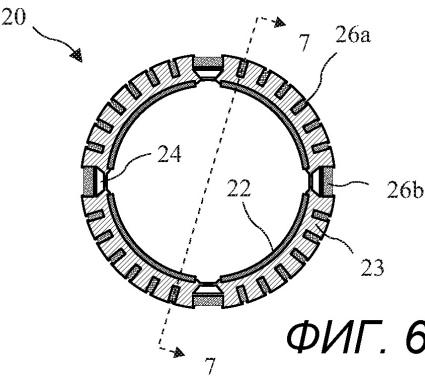




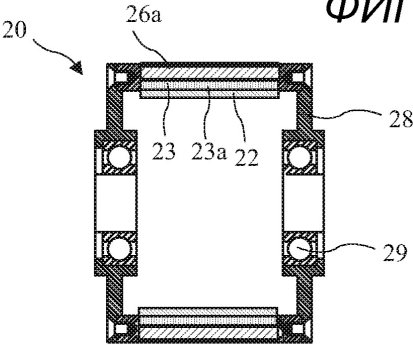
ФИГ. 4



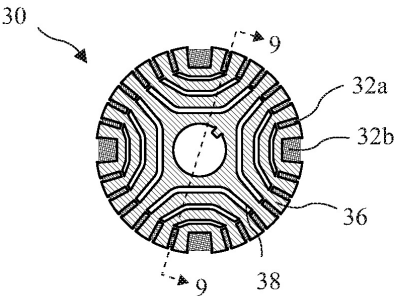
ФИГ. 5



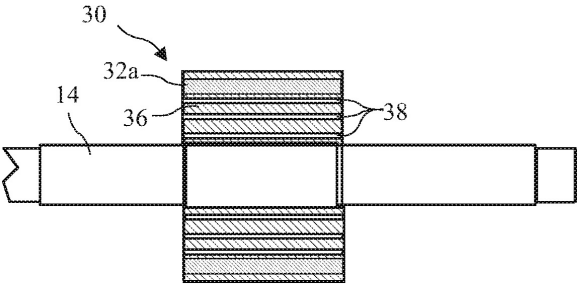
ФИГ. 6



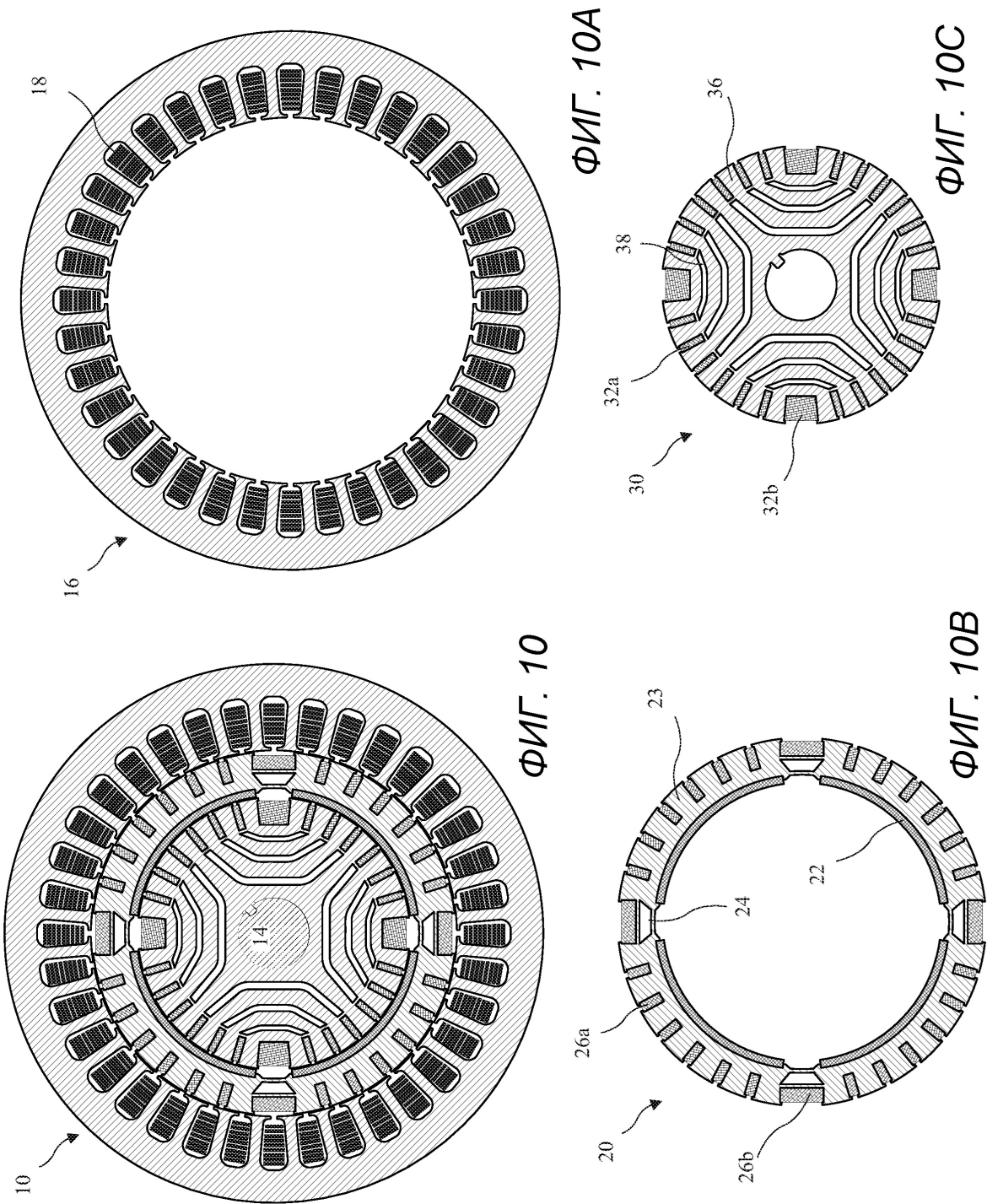
ФИГ. 7

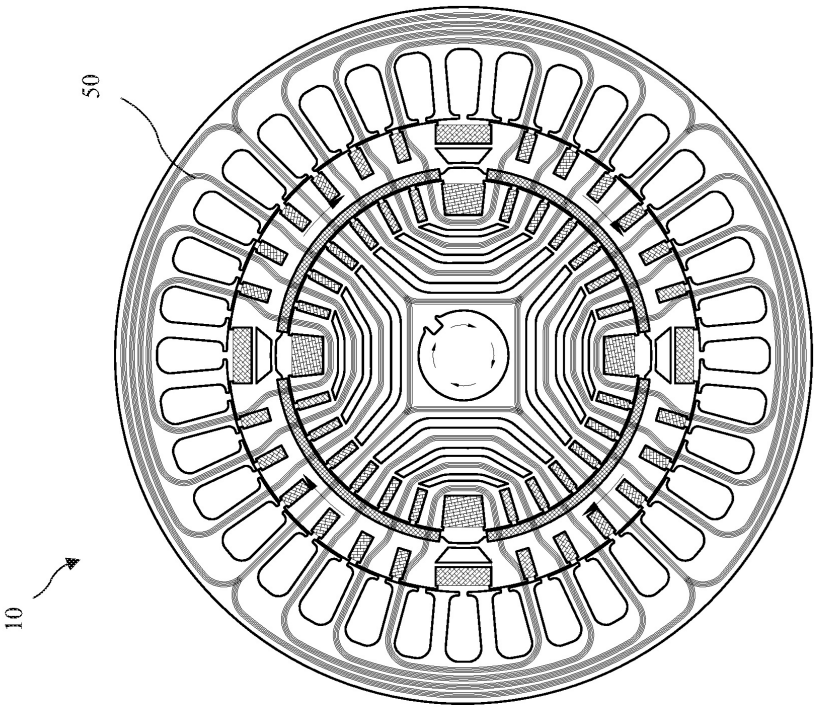


ФИГ. 8

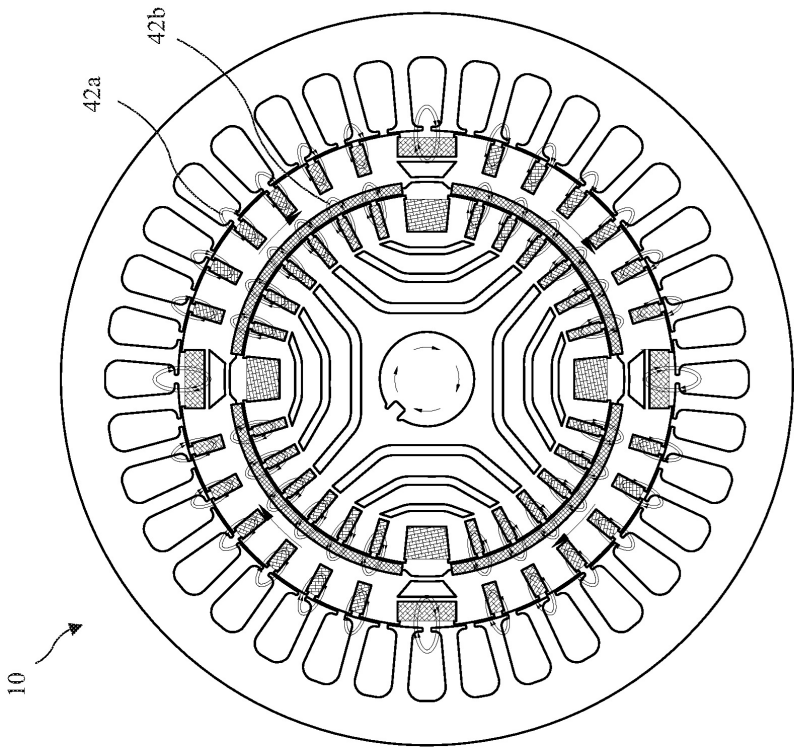


ФИГ. 9

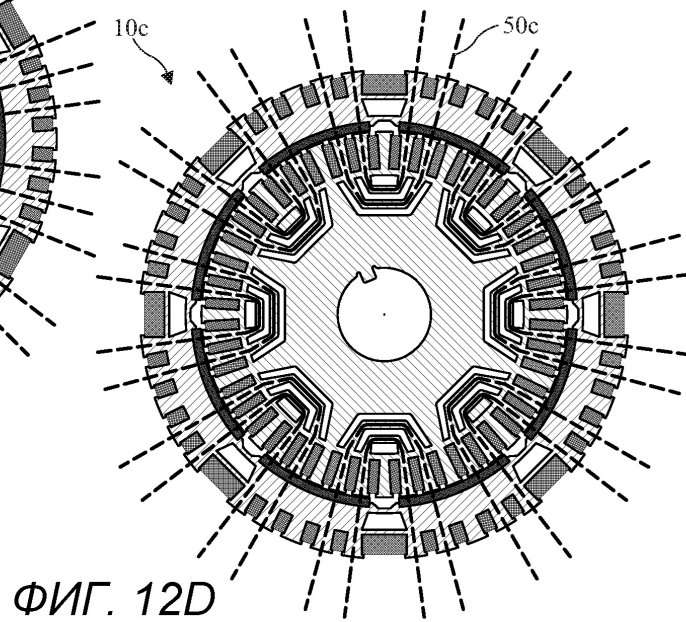
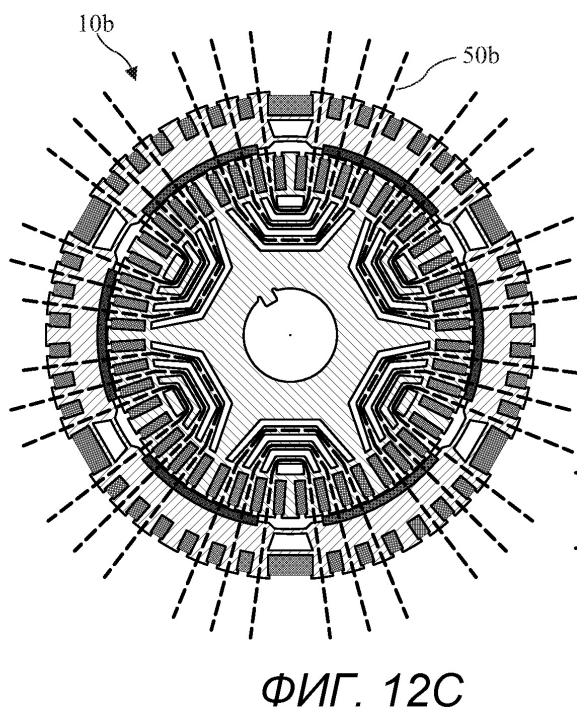
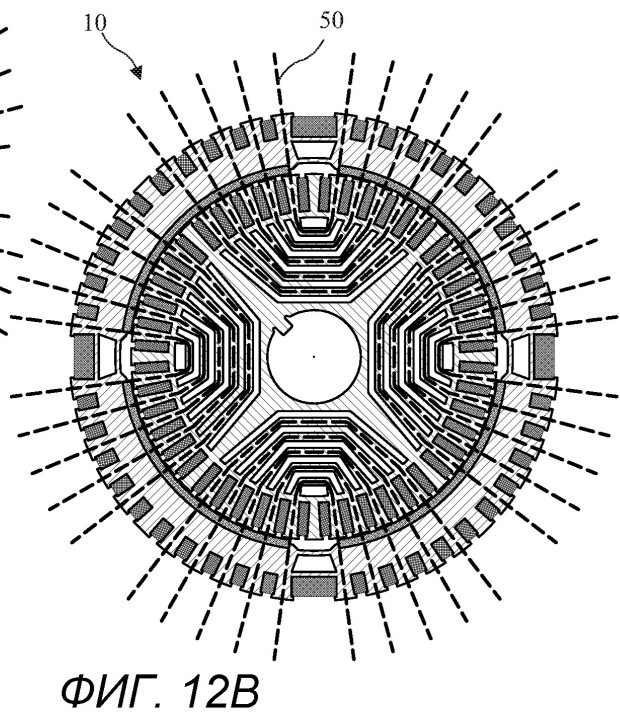
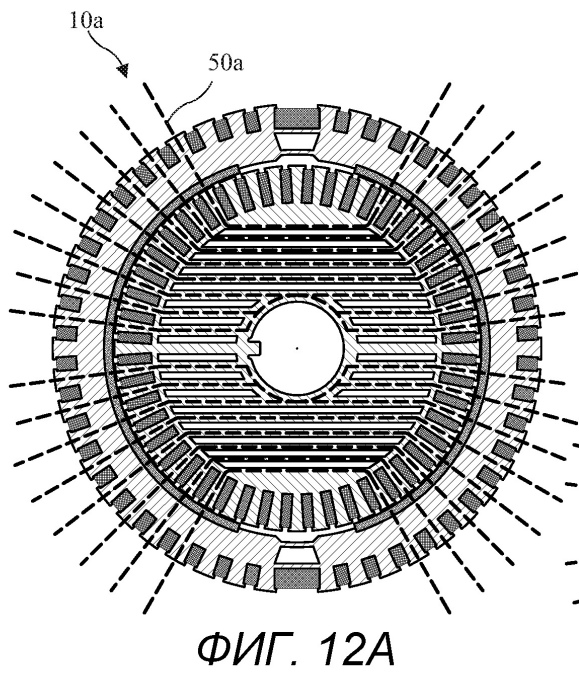




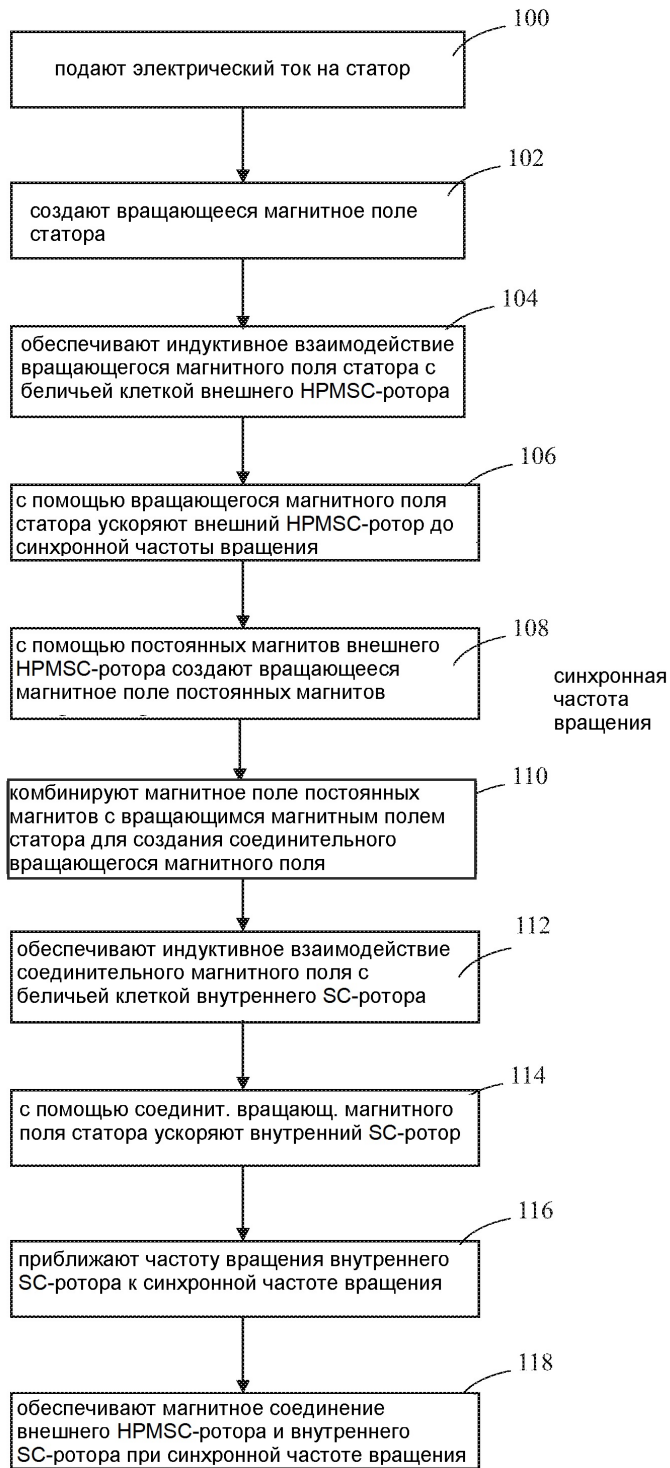
ФИГ. 11В



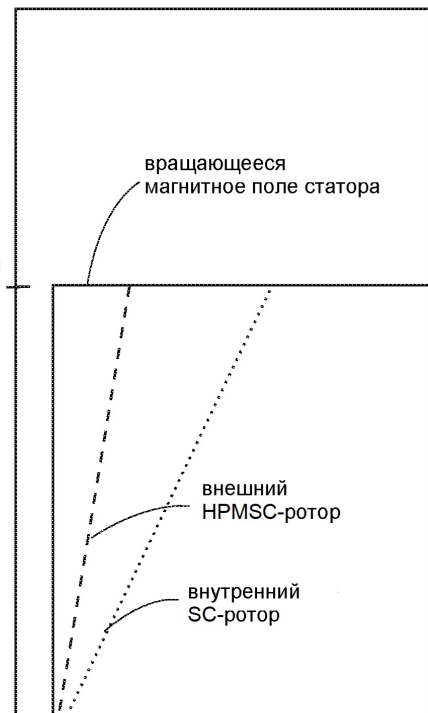
ФИГ. 11А



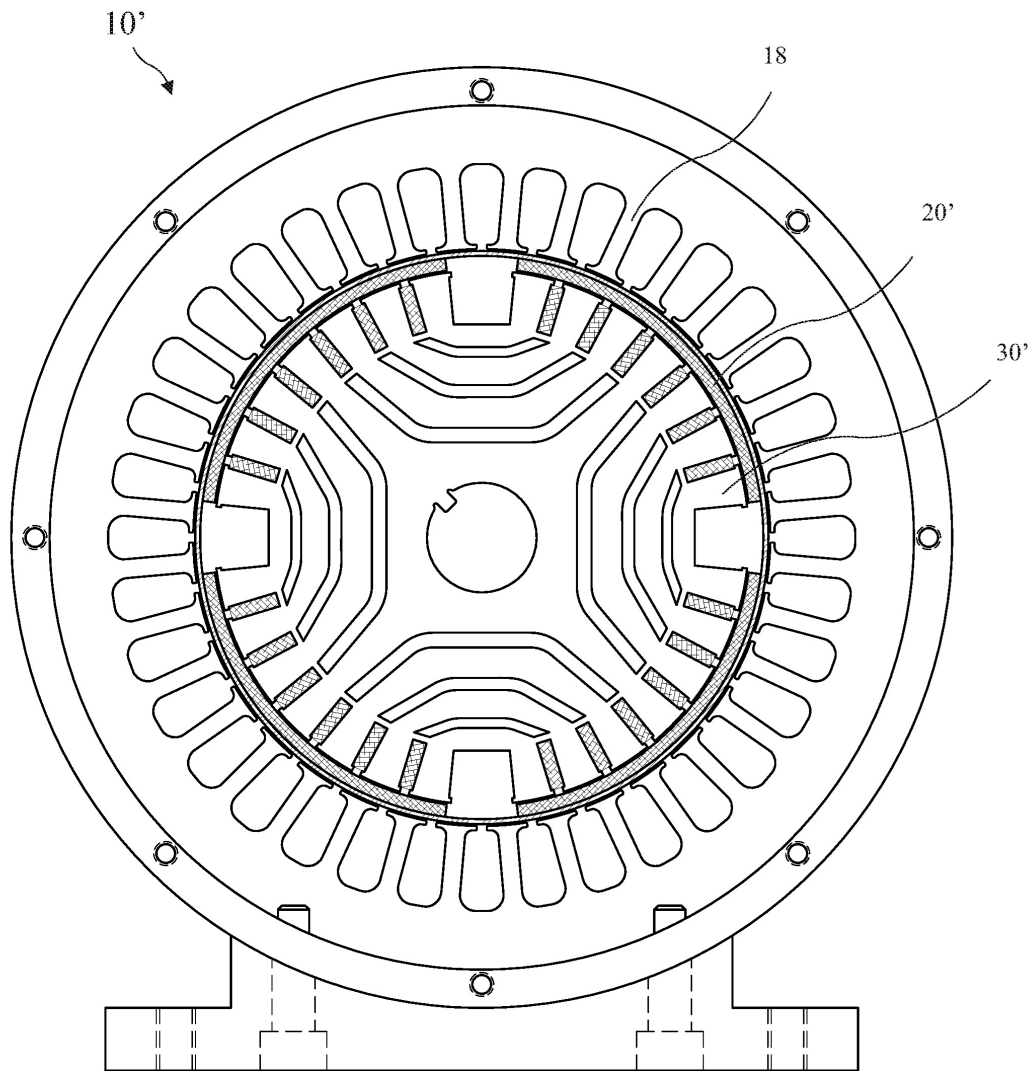
6 / 9



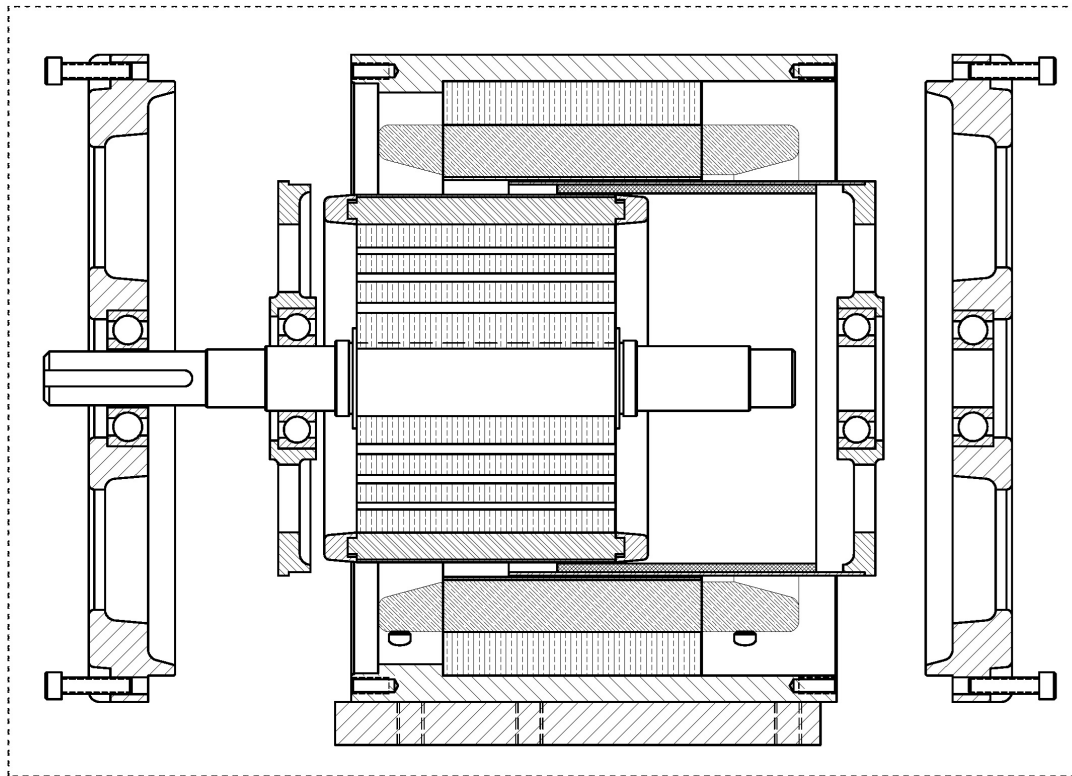
ФИГ. 13



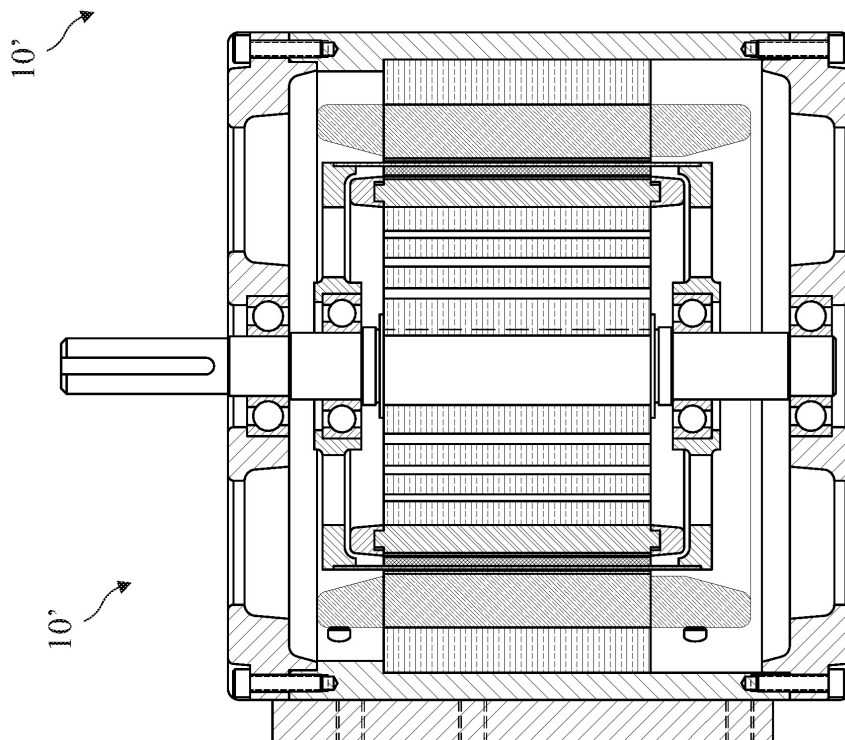
ФИГ. 14



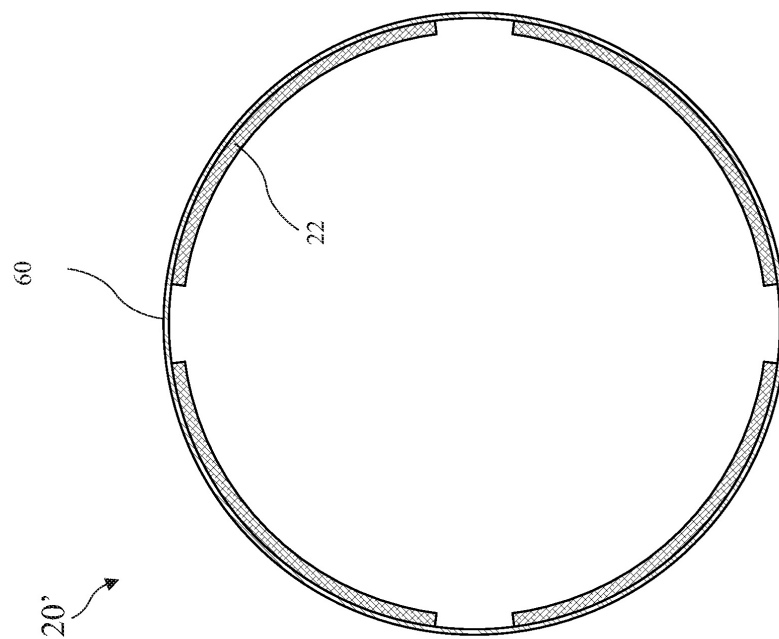
ФИГ. 15



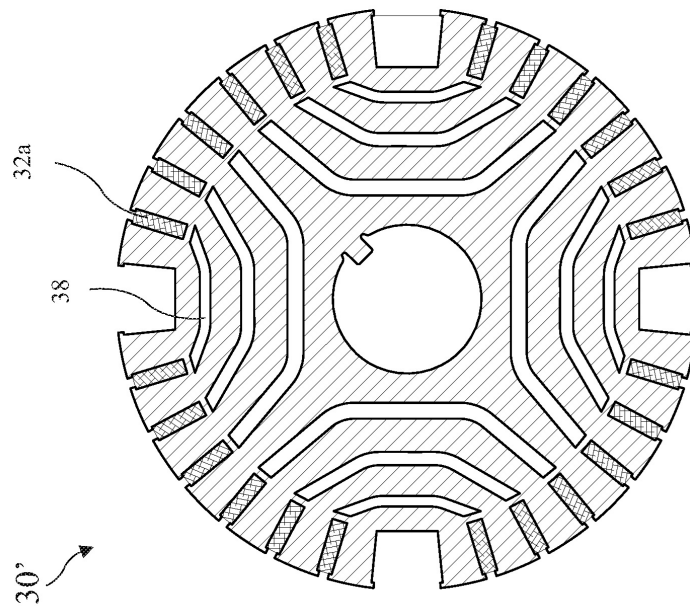
ФИГ. 16В



ФИГ. 16А



ФИГ. 17



ФИГ. 18