



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02K 1/27 (2024.08); H02K 21/14 (2024.08); H01F 7/02 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2023130635, 24.11.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.11.2023

Дата регистрации:
23.09.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.11.2023

(45) Опубликовано: 23.09.2024 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности,
Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Дмитриевский Владимир Александрович
(RU),

Прахт Владимир Алексеевич (RU),

Казакбаев Вадим Маратович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

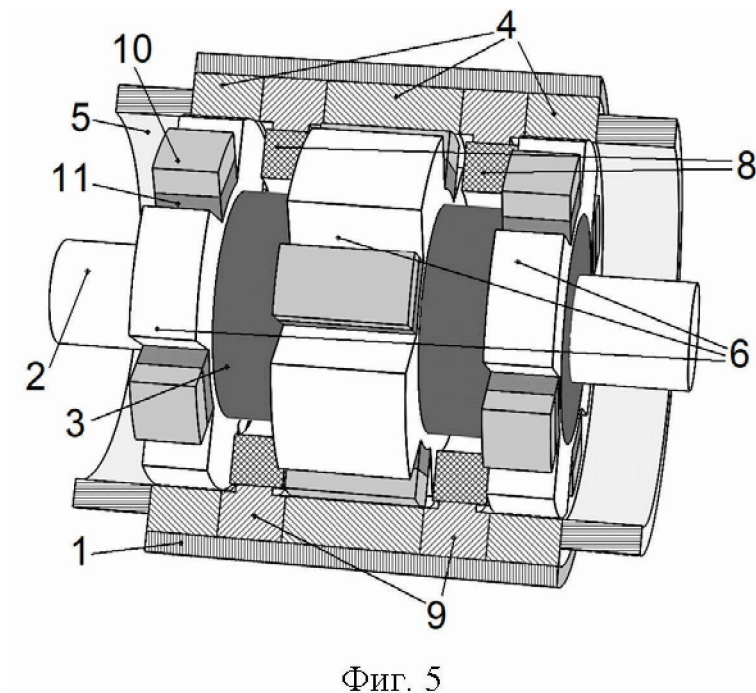
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2696273 C1, 01.08.2019. RU
2696090 C2, 31.07.2019. CN 115347697 A,
15.11.2022. RU 2667661 C1, 24.09.2018. RU
2390086 C1, 20.05.2010.

(54) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, в частности к электрическим машинам с постоянными магнитами на роторе, и может быть применено в электроприводах и генераторных установках. Технический результат заключается в повышении надежности электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты, предотвращения размагничивания магнитов, а также увеличении КПД и удельных момента и мощности машины. Электрическая машина содержит корпус статора и втулку ротора, сделанные из нешихтованного ферромагнитного материала; вал; два или более шихтованных пакета статора, установленных в корпус с осевыми промежутками, в пазы которых

установлена многофазная р-полюсная обмотка; шихтованные пакеты ротора с $p/2$ зубцами, образующие пары с пакетами статора; одну или несколько катушек возбуждения, закрепленных на статоре в осевых промежутках между парами пакетов статора и ротора; постоянные магниты, установленные в пазы пакетов ротора. При этом в каждый паз устанавливаются не менее чем два магнита, примыкающих друг к другу в радиальном направлении. Магниты, находящиеся в пазах ротора дальше от поверхности ротора, имеют меньшую коэрцитивную силу по намагниченности или большую остаточную индукцию. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 5

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H02K 1/27 (2006.01)

H02K 21/14 (2006.01)

H01F 7/02 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

H02K 1/27 (2024.08); H02K 21/14 (2024.08); H01F 7/02 (2024.08)

(21)(22) Application: 2023130635, 24.11.2023

(24) Effective date for property rights:
24.11.2023Registration date:
23.09.2024

Priority:

(22) Date of filing: 24.11.2023

(45) Date of publication: 23.09.2024 Bull. № 27

Mail address:

620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, Tsentr
intellektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.

(72) Inventor(s):

Dmitrievskii Vladimir Aleksandrovich (RU),
Prakht Vladimir Alekseevich (RU),
Kazakbaev Vadim Maratovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Ural Federal
University named after the first President of
Russia B.N.Yeltsin (RU)

(54) ELECTRIC MACHINE

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electric machines with permanent magnets on rotor, and can be used in electric drives and generator plants. Electrical machine comprises a stator housing and a rotor sleeve made of uncharged ferromagnetic material; shaft; two or more stacked stator packages installed in the housing with axial gaps, in the slots of which a multiphase p-pole winding is installed; stacked rotor packs with p/2 teeth, forming pairs with stator packs; one or more excitation coils mounted on the stator in the axial gaps between the pairs of the stator and rotor packages; permanent

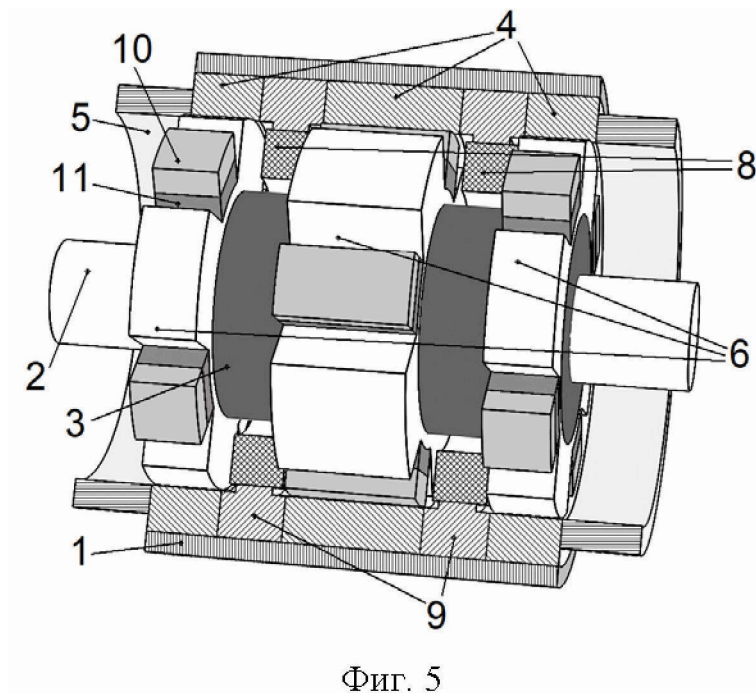
magnets installed in slots of rotor packages. Note here that at least two magnets adjoining each other in radial direction are fitted in every groove. Magnets located in the rotor slots further from the rotor surface have a lower coercive force by magnetization or a higher residual induction.

EFFECT: improving reliability of the electric machine by reducing the demagnetizing force acting on the magnets, preventing the demagnetization of the magnets, as well as increasing the efficiency and specific moment and power of the machine.

3 cl, 5 dwg

RU 2 827 139 C1

RU 2 827 139 C1



RU 2 8 2 7 1 3 9 C 1

RU 2 8 2 7 1 3 9 C 1

Изобретение относится к электрическим машинам, в частности к электрическим машинам с постоянными магнитами на роторе, и может быть применено в электроприводах и генераторных установках.

Аналогом предлагаемой электрической машины является электрическая машина, описанная в книге «Проектирование электрических машин автономных объектов» за авторством А.М. Сугробова и А.М. Русакова (М: Издательский дом МЭИ 2012), имеющая:

- корпус статора из нешихтованного ферромагнитного материала,
- вал,
- втулку из нешихтованного ферромагнитного материала, насаженную на вал,
- шихтованные пакеты статора, установленные в корпус с промежутком, без поворота друг относительно друга,
- р-полюсную обмотку ($p = 2, 4, 6, 8, \dots$ - любое натуральное четное число), установленную в пазы пакетов статора, выполненную с шагом катушек по пазам более единицы,
- шихтованные пакеты ротора с $p/2$ зубцами, установленные на втулку напротив пакетов статора и с поворотом между соседними пакетами на полюсное деление, т.е. на угол $360^\circ/p$,
- одну или несколько катушек возбуждения, закрепленных на статоре и установленных в каждый промежуток между пакетами ротора или статора.

Эта и другие упоминаемые в этом описании машины могут также иметь другие узлы, обеспечивающие конструктивную целостность машины: различные крепежи; подшипники, обеспечивающие вращение ротора; подшипниковые щиты и т.п. Для предотвращения замыкания магнитного потока возбуждения через вал этот вал и/или подшипниковые щиты выполняют из немагнитного или слабомагнитного материала. Кроме того, корпус, втулка ротора и вал могут быть как цельными, так и состоять из отдельных частей, причем разбивка на части не препятствует протеканию магнитного потока по этим элементам. Также р-полюсная обмотка статора может как состоять из отдельных обмоток, установленных в каждый из пакетов статора, так и быть общей для всех пакетов, то есть пазовые части каждой катушки этой обмотки проходят через все пакеты статора. Обмотка же возбуждения может располагаться в следующих областях промежутков между парами пакетов статора и ротора: область между р-полюсной обмоткой и втулкой ротора, область между р-полюсной обмоткой и корпусом.

Недостатком данной конструкции является неполное использование поверхности статора, а именно: каждый пакет ротора формирует только половину общего числа полюсов p электрической машины. В результате снижается удельная мощность машины и её КПД.

Другим аналогом предлагаемой электрической машины является аксиальная индукторная машина с гибридным возбуждением, описанная в статье «Hybrid Excitation of the Axial Inductor Machine» за авторством S. Orlova, V. Pugachov, N. Levin, опубликованной в *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences* (January 2012, 49(1): 35-41, DOI:10.2478/v10047-012-0004-6), разработанная в качестве подвагонного генератора, которая в дополнение к вышеперечисленным элементам содержит магниты с коэрцитивной силой не менее 3 кЭ (245 кА/м), установленные в пазы пакетов ротора, и намагниченные радиально или однородно, формируя на каждом пакете ротора только южные или только северные полюса, причем направления намагниченности этих полюсов на соседних пакетах противоположны.

У такой машины в результате лучшего использования поверхности статора

увеличивается КПД и удельный момент, по сравнению с аксиальной индукторной машиной без магнитов. Вместе с тем наличие магнитов приводит к риску их необратимого размагничивания. Для предотвращения необратимого размагничивания постоянных магнитов машину делают многополюсной (аналог с гибридным возбуждением имеет 20 полюсов). Что приводит к росту частоты питающего напряжения и удорожанию инвертора. Кроме того, ограничивают токи обмотки якоря и обмотки возбуждения для предотвращения размагничивания.

Наиболее близким аналогом является машина, описанная в статье «Design Optimization of a Synchronous Homopolar Motor with Ferrite Magnets for Subway Train» за авторством Дмитриевского В.А., Прахта В.А и Казакбаева В.М., опублик. в Mathematics (January 2023, 11(3):1-17, DOI: 10.3390/math11030589), характеризующаяся тем, что:

- имеет корпус статора из нешихтованного ферромагнитного материала,
- имеет вал,
- имеет втулку из нешихтованного ферромагнитного материала, насаженную на вал,
- имеет два шихтованных пакета статора, установленных в корпус с осевыми промежутками, без углового смещения относительно друг друга, и с 8-полюсной обмоткой, установленной в пазы пакетов статора,
- имеет два шихтованных пакета ротора с 4 зубцами, установленные на втулку напротив пакетов статора и с угловым смещением между пакетами на полюсное деление, то есть на угол 45° ,
- имеет обмотку возбуждения, закрепленную на статоре и установленную в осевой промежуток между установленными друг напротив друга пакетами статора и ротора,
- имеет магниты, установленные в пазы пакетов ротора, формирующие на каждом пакете ротора только южные или только северные полюса, причем эти полюса на соседних пакетах противоположны по направлению,
- коэрцитивная сила магнитов не менее 3 кЭ,
- поверхности каждого паза шихтованного пакета ротора и каждого магнита содержат два плоских боковых участка,
- зазор, образованный поверхностями зубцов ротора и поверхностями магнитов, обращённых к внутренней поверхности статора, и внутренними поверхностями пакетов статора одинаков во всей конструкции,
- ко дну каждого паза примыкает магнит полностью,
- боковые стороны магнитов не примыкают к боковым сторонам зубцов ротора.

Благодаря этому постоянные магниты оказываются вне сильных размагничивающих полей обмоток.

В результате повышается надежность электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты, и предотвращается их необратимое размагничивание. Также это способствует увеличению максимально допустимой токовой нагрузки, КПД и удельной мощности без увеличения частоты питающего напряжения и стоимости инвертора вследствие избегания расположения магнитов в наиболее сильных областях размагничивающих полей обмоток.

В описанной выше конструкции для уменьшения размагничивающего влияния поля обмотки возбуждения на магниты нужно увеличивать радиальную ширину магнитов и глубину пазов ротора. Однако это увеличивает массу магнитов и оставляет меньше места для других частей машины, включая обмотку якоря, корпус статора и втулку ротора. Увеличение массы магнитов приводит к росту цены машины и к росту центробежной силы, что уменьшает предельно допустимую скорость вращения ротора. Уменьшение размеров обмотки якоря, корпуса статора и втулки ротора приводит к

увеличению электрического сопротивления обмотки и магнитному насыщению корпуса и втулки. В результате уменьшается КПД. Кроме того, требуется применение более дорогих магнитов с большей коэрцитивной силой.

Вместе с тем напряженность магнитного поля формируется не только обмотками, но и самим магнитом. Однако в описанном выше решении это поле не формируется таким образом, чтобы предотвратить размагничивание магнитов.

Таким образом, технической проблемой, решаемой настоящим изобретением, является дальнейшее повышение надежности электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты, предотвращение размагничивания магнитов, увеличение предельно допустимой токовой нагрузки, увеличение КПД и удельной мощности без увеличения частоты питающего напряжения и стоимости инвертора, снижение массы магнитов, а также увеличение предельно-допустимой скорости вращения ротора при снижении цены магнитов.

Сущность изобретения поясняется фигурами, на которых изображено:

- фиг. 1 - трехмерный вид известной электрической машины, который показан с вырезом 1/2 части статора, а ротор показан неразрезанным;
- фиг. 2 - часть поперечного сечения известной машины, имеющей пакеты статора и ротора с установленным в пазах ротора постоянным магнитом, соответствующая одному зубцовому делению ротора;
- фиг. 3 - часть поперечного сечения усовершенствованной машины, имеющей пакеты статора и ротора с установленными в пазах ротора постоянными магнитами, соответствующая одному зубцовому делению ротора;
- фиг. 4 - трехмерный вид усовершенствованной электрической машины с двумя парами пакетов статора и ротора, который показан с вырезом 1/2 части статора, а ротор показан неразрезанным;
- фиг. 5 - трехмерный вид усовершенствованной электрической машины с тремя парами пакетов статора и ротора, который показан с вырезом 1/2 части статора, а ротор показан неразрезанным.

Как видно из фиг. 1, статор машины содержит корпус 1 из сплошного ферромагнитного материала, например из нелегированной отожженной стали. Ротор имеет вал 2, на который насажена втулка 3 из сплошного ферромагнитного материала. В корпусе 1 установлены три шихтованных пакета статора 4 с осевыми промежутками и без поворота друг относительно друга. Три шихтованных зубчатых пакета ротора 6 устанавливаются на втулку 3 напротив пакетов статора 4. В результате между пакетами ротора 6 также имеются осевые промежутки. В пакеты статора 4 установлена 8-полюсная обмотка статора 5. Число зубцов ротора равно четырём, то есть в два раза меньше, чем число полюсов обмотки статора. Соседние пакеты ротора имеют сдвиг пазов друг относительно друга на одно полюсное деление ротора, равный $360/p = 45^\circ$, где $p=8$ - число полюсов. В каждый осевой промежуток между парами пакетов ротор и статора, установленных напротив друг друга, устанавливают одну или несколько катушек обмотки возбуждения 8. Магниты 7, намагниченные радиально или однородно, устанавливают в пазы пакетов ротора 6. Магниты 7 с коэрцитивной силой не менее 3 кЭ формируют на каждом пакете ротора 6 только южные или только северные полюса, причем направления намагниченности этих полюсов на соседних пакетах противоположны. Также на фиг. 1 показан держатель 9 катушки возбуждения, фиксирующий ее на статоре. Фиг. 2 также показывает поперечное сечение электрической машины.

Фиг. 3 показывает часть поперечного сечения усовершенствованной машины,

имеющей пакеты статора и ротора с установленными на роторе постоянными магнитами, соответствующую одному зубцовому делению ротора. Фиг. 3 служит только для пояснения конструкции машины, геометрические соотношения между размерами могут не соответствовать соотношениям, описанным далее.

5 При этом в каждый паз устанавливаются два магнита 10 и 11, примыкающие друг к другу в радиальном направлении. Магнит 11, находящийся дальше от поверхности ротора, обращенной к воздушному зазору между статором и ротором, имеет меньшую коэрцитивную силу по намагниченности или большую остаточную индукцию, чем магнит 10, находящийся ближе к поверхности ротора.

10 Фиг. 4 также показывает трехмерный вид усовершенствованной электрической машины с двумя парами пакетов статора и ротора. Данная электрическая машина может также иметь число пар пакетов статор и ротора более двух, например 3, и несколько кольцевых катушек возбуждения, например две, как показано на фиг. 5.

Магниты, находящиеся в пазах ротора ближе к поверхности ротора, подвергаются 15 более сильному размагничивающему воздействию полей, создаваемых обмоткой статора и якоря обмоткой, чем магниты, находящиеся дальше от поверхности ротора. Использование постоянных магнитов с меньшей коэрцитивной силой в качестве магнитов, находящихся дальше от поверхности ротора, позволяет уменьшить стоимость магнитов. При этом использование некоторого количества магнитов с большей 20 коэрцитивной силой, находящихся ближе к поверхности ротора, позволяет увеличить ток в обмотках и поднять удельные характеристики машины.

Магниты, находящиеся дальше от поверхности ротора, создают напряженность магнитного поля в магнитах, находящихся ближе к поверхности ротора, 25 препятствующую их размагничиванию. Магниты, находящиеся ближе к поверхности ротора, ослабляют напряжённость этого поля. Однако напряжённость этого поля оказывается достаточной для предотвращения размагничивания магнитов, находящихся ближе к поверхности ротора, если остаточная индукция магнитов, находящихся дальше от поверхности ротора, имеет большее значение. Применение магнитов с меньшей 30 остаточной индукцией, расположенных ближе к поверхности ротора, позволяет увеличить ток в обмотках и поднять удельные характеристики при уменьшении стоимости машины.

В машине могут быть использоваться ферритовые, редкоземельные или иные постоянные магниты. К примеру, размещение редкоземельных магнитов в пазах ротора 35 ближе к поверхности ротора предотвращает их размагничивание за счёт их высокой коэрцитивной силы при расположении ферритового магнита дальше от поверхности ротора. При этом размагничивание ферритового магнита предотвращается высокой остаточной индукцией редкоземельного магнита. Возможен и другой пример, когда ближе к поверхности ротора размещается ферритовый магнит, и его размагничивание предотвращается за счет более высокой остаточной индукции редкоземельного магнита, 40 расположенного дальше от поверхности ротора, то есть более глубоко в пазу ротора.

В результате достигается повышение надежности электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты, предотвращение размагничивания магнитов, увеличение токовой нагрузки, увеличение КПД и удельной мощности без увеличения частоты питающего напряжения и стоимости инвертора, 45 снижение массы магнитов, а также увеличение предельно-допустимой скорости вращения ротора.

(57) Формула изобретения

1. Электрическая машина, характеризующаяся тем, что:

- имеет корпус статора из нешихтованного ферромагнитного материала,
- имеет вал,
- имеет втулку из нешихтованного ферромагнитного материала, насаженную на вал,

5 - имеет два или более шихтованных пакета статора, установленных в корпус с осевыми промежутками, без углового смещения относительно друг друга, и с p -полюсной обмоткой ($p = 2, 4, 6, 8, \dots$ - чётное число), установленной в пазы пакетов статора,

10 - имеет шихтованные пакеты ротора с $p/2$ зубцами, установленные на втулку напротив пакетов статора и с угловым смещением между соседними пакетами на полюсное деление, то есть на угол $360^\circ/p$,

- имеет одну или несколько кольцевых катушек возбуждения, закрепленных на статоре и установленных в каждый осевой промежуток между парами установленных напротив друг друга пакетов статора и ротора,

15 - имеет магниты, установленные в пазы пакетов ротора, формирующие на каждом пакете ротора только южные или только северные полюса, причем эти полюса на соседних пакетах противоположны по направлению,

- коэрцитивная сила магнитов не менее 3 кЭ,

- поверхность магнита имеет участок, примыкающий ко дну паза пакета ротора, при этом:

20 - в каждый паз установлены не менее чем два магнита, примыкающих друг к другу в радиальном направлении;

- магниты, находящиеся в пазах ротора дальше от поверхности ротора, имеют меньшую коэрцитивную силу по намагниченности или большую остаточную индукцию, чем магниты, находящиеся ближе к поверхности ротора.

25 2. Электрическая машина по п.1, в которой магниты намагничены радиально.

3. Электрическая машина по п.1, в которой магниты намагничены однородно.

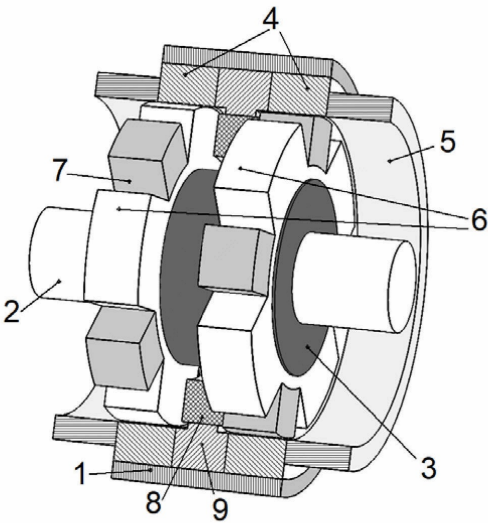
30

35

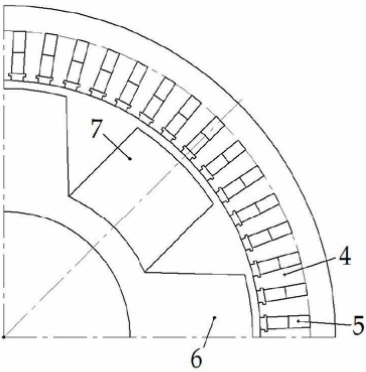
40

45

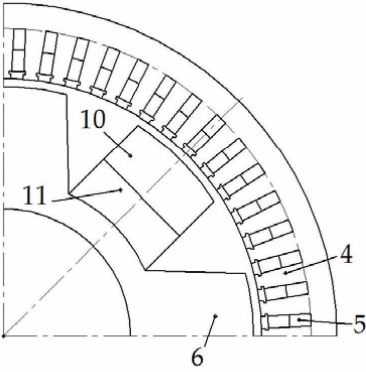
1



Фиг. 1

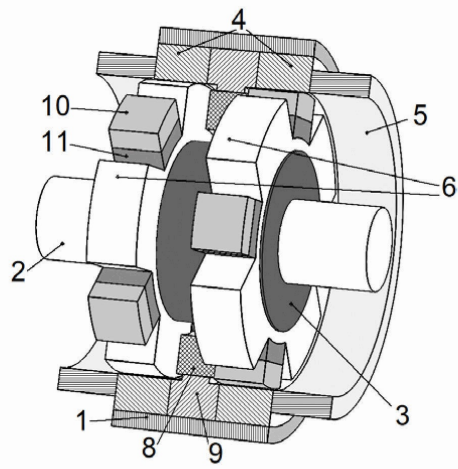


Фиг. 2

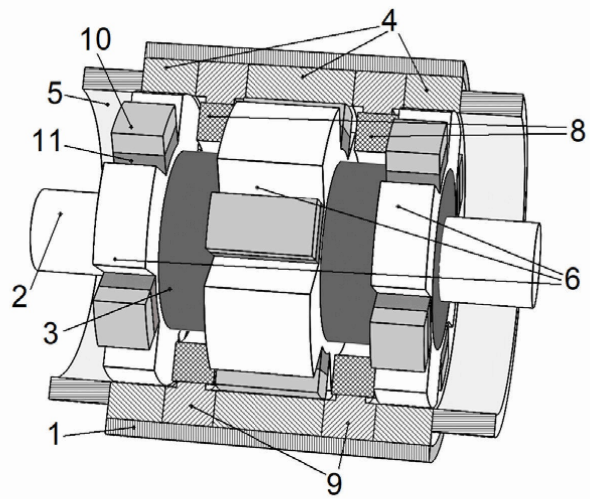


Фиг. 3

2



Фиг. 4



Фиг. 5