(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
12 декабря 2013 (12.12.2013)

WIPO | PCT

(10) Номер международной публикации
WO 2013/184039 A2

(51) Международная патентная классификация: Неклассифицировано

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2013/000473

(22) Дата международной подачи: 07 июня 2013 (07.06.2013)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:
2012124209 09 июня 2012 (09.06.2012) RU

(72) Изобретатели; и
(71) Заявители : **ДМИТРИЕВСКИЙ, Владимир Александрович (DMITRIEVSKII, Vladimir Aleksandrovich)** [RU/RU]; пр-т. Строителей, 6-41, Нижний Тагил, 622034, Nizhnii Tagil (RU). **ПРАХТ, Владимир Алексеевич (PRAKHT, Vladimir Alekseevich)** [RU/RU]; ул. Энтузиастов, 84-55, Нижний Тагил, 622055, Nizhnii Tagil (RU).

(74) Агент: **ГОЛУБЕВА, Людмила Петровна (GOLUBEVA, Ljudmila Petrovna)**; Сибирский тракт, 37, Екатеринбург, 620100, Ekaterinburg (RU).

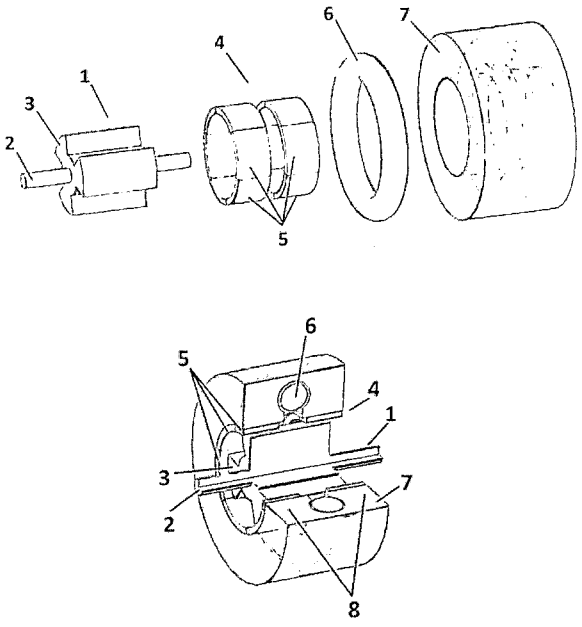
(81) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,

[продолжение на следующей странице]

(54) **Title**: BRUSHLESS ELECTRIC MACHINE

(54) **Название изобретения** : БЕСЩЕТОЧНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА



Фиг.1

(57) **Abstract**: The invention relates to electromechanics, more particularly to electric machines with stator-mounted magnets, and can be used in electric drives for machines and mechanisms as well as in electric power generators. The essence of the invention is that in a brushless electric machine containing a rotor comprising a shaft and at least one toothed fragment thereon, said fragment having teeth positioned along the boundary of a gap, a stator comprising a toothed magnetic core, a winding, the coils of which are placed in the grooves of the magnetic core of the stator, and a multipolar magnetic system made of a hard magnetic material, positioned between the rotor and the magnetic core of the stator, affixed to the stator and magnetized in such a way that an equal number of alternating opposite poles are arranged on the surfaces of the stator teeth, which teeth face the gap along the direction of rotation of the rotor, the stator is in the form of a solid of revolution with a plurality of teeth positioned along the axis of rotation of the rotor, each coil of the winding is placed in one stator groove, only the teeth of one toothed fragment of the rotor are positioned over each stator tooth, and the number of teeth on each of the toothed fragments equals half of the number of poles found on a single stator tooth. The invention makes it possible to increase the specific power of an electric machine and to decrease the mass of active materials.

(57) **Реферат**:

[продолжение на следующей странице]

WO 2013/184039 A2

SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Декларации в соответствии с правилом 4.17:

— *касающаяся права испрашивать приоритет предшествующей заявки (правило 4.17 (iii))*

— *об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv))*

Опубликована:

— *без отчёта о международном поиске и с повторной публикацией по получении отчёта (правило 48.2(g))*

Изобретение относится к электромеханике, а точнее, к электрическим машинам с магнитами на статоре, и может быть использовано в электрических приводах машин и механизмов, а также в генераторах электрической энергии. Сущность изобретения состоит в том, что в бесщеточной электрической машине, содержащей ротор, включающий вал и не менее одного зубчатого фрагмента на нем с зубцами, расположенными вдоль окружности зазора, статор, включающий зубчатый магнитопровод, обмотку, катушки которой уложены в пазы магнитопровода статора, и многополюсную магнитную систему, выполненную из магнитотвердого материала, расположенную между ротором и магнитопроводом статора, зафиксированную на статоре и намагниченную таким образом, что на поверхностях зубцов статора, обращенных к зазору вдоль направления вращения ротора размещены одинаковое количество чередующихся разноименных полюсов, статор выполнен в виде тела вращения с несколькими зубцами, расположенными вдоль оси вращения ротора, каждая катушка обмотки уложена в один паз статора, над каждым зубцом статора расположены только зубцы одного зубчатого фрагмента ротора, число зубцов на каждом из зубчатых фрагментов равно половине полюсов, находящихся на одном зубце статора. Изобретение позволяет добиться увеличения удельной мощности электрической машины и уменьшения массы активных материалов.

Бесщеточная электрическая машина

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение относится к электромеханике, а точнее, к электрическим машинам с магнитами на статоре, и может быть использовано в электрических приводах машин и механизмов, а также в генераторах электрической энергии.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Известна бесщёточная электрическая машина, имеющая зубчатый статор, зубчатый ротор, обмотку, уложенную в пазы статора и магниты, расположенные в ярмах статора [Wei Hua ; Xiaoyong Zhu ; Xiangxin Kong ; Jianzhong Zhang ; Wenxiang Zhao. Stator-permanent magnet brushless machines: Concepts, developments and applications. Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference on 17-20 Oct. 2008. Pages: 2802 - 2807].

В известной бесщеточной машине значительная часть магнитного потока, создаваемого магнитами, замыкается вне двигателя, что понижает удельную мощность и снижает энергетические показатели машины.

Аналогичные недостатки имеет бесщеточная машина с магнитами в зубцах статора, имеющая зубчатый ротор, статор, составленный из С-образных фрагментов, и магниты, размещенные в зубцах статора [там же].

Наиболее близкой заявляемой бесщеточной машине является однофазная электрическая машина с магнитами на зубцах статора [Rajesh P. Deodhar, Svante Andersson, Ion Boldea, and Timothy J. E. Miller.The Flux-Reversal Machine: A New Brushless Doubly-Salient Permanent-Magnet Machine. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 33, NO. 4, JULY/AUGUST 1997], имеющая ротор с тремя зубцами и статор с двумя зубцами, двухслойную обмотку на статоре, а также магнитную систему,

расположенную на поверхности зубцов статора, имеющую по два магнита на каждом зубце статора и создающую на каждом зубце статора два магнитных полюса. Соседние полюса, расположенные на соседних зубцах, являются разноимёнными.

К недостаткам известного устройства следует отнести то, что в такой машине используется только 2/3 поверхности воздушного зазора машины, что понижает удельную мощность, увеличивает массу активных материалов и ведет к увеличению стоимости машины. Кроме того, наличие лобовых частей обмотки, не участвующих в создании магнитного поля, уменьшает удельную мощность электрической машины и увеличивает массу активных материалов.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В основу предлагаемого изобретения поставлена задача увеличения удельной мощности электрической машины и уменьшения массы активных материалов.

Решать поставленную задачу предлагается тем, что заявляется бесщёточная электрическая машина, содержащая ротор, включающий вал и не менее одного зубчатого фрагмента на нём с зубцами, расположенными вдоль окружности зазора, статор, включающий зубчатый магнитопровод, обмотку, катушки которой уложены в пазы магнитопровода статора, и многополюсную магнитную систему, выполненную из магнитотвёрдого материала, расположенную между ротором и магнитопроводом статора, зафиксированную на статоре и намагниченную таким образом, что на поверхностях зубцов статора, обращённых к зазору вдоль направления вращения ротора размещены одинаковое количество чередующихся разноимённых полюсов, статор выполнен в виде тела вращения с несколькими зубцами, расположенными вдоль оси вращения ротора, каждая катушка обмотки уложена в один паз статора, над каждым зубцом статора расположены только зубцы одного зубчатого фрагмента ротора, число зубцов на каждом из зубчатых фрагментов равно половине полюсов,

находящихся на одном зубце статора.

В заявляемой бесщёточной электрической машине обмотка может быть выполнена однофазной и при наличии более одного паза условное направление тока в соседних пазах противоположно, при этом ротор и магнитная система выполнены так, что когда над северными полюсами некоторого зубца статора находятся зубцы ротора, зубцы ротора оказываются над южными полюсами соседнего зубца статора.

В заявляемой бесщёточной электрической машине обмотка может быть выполнена многофазной, при этом ротор и магнитная система выполнены так, что когда над северными полюсами некоторого зубца статора находятся зубцы зубчатого фрагмента ротора, зубцы зубчатого фрагмента ротора, находящегося над соседним зубцом, смещены относительно северных полюсов последнего, чтобы обеспечить требуемый сдвиг фаз.

В заявляемой бесщёточной электрической машине ротор может быть выполнен таким образом, что сечения его зубчатых фрагментов, перпендикулярные оси вращения, имеют линию зеркальной симметрии.

В заявляемой бесщёточной электрической машине ротор может быть выполнен таким образом, что сечения его зубчатых фрагментов, перпендикулярные оси вращения, не имеют линии зеркальной симметрии.

В заявляемой бесщёточной электрической машине магнитная система может быть выполнена монолитной формы.

В заявляемой бесщёточной электрической машине магнитная система может быть выполнена из отдельных магнитов.

В заявляемой бесщёточной электрической машине вдоль оси вращения ротора могут быть размещены несколько электроизолированных друг от друга магнитов.

В заявляемой бесщёточной электрической машине вдоль направления вращения ротора могут быть размещены несколько электроизолированных друг от друга магнитов.

В заявляемой бесщёточной электрической машине магнитная система

может быть выполнена из магнитов, остаточная намагниченность которых направлена от оси вращения ротора и к оси вращения ротора. При этом между магнитами, расположенными на одном зубце и/или на соседних зубцах, имеющими противоположные остаточные намагниченности, может быть расположена немагнитная область.

В заявляемой бесщёточной электрической машине магнитная система может быть выполнена таким образом, что между соседними разноимёнными полюсами магнитной системы остаточная намагниченность имеет направление вдоль или против направления вращения ротора и способствует формированию полюсов магнитной системы.

В заявляемой бесщёточной электрической машине ротор может быть расположен внутри статора или статор внутри ротора.

В заявляемой бесщёточной электрической машине зубцы статора и магнитная система на статоре могут быть выполнены со скосом относительно зубцов ротора.

В заявляемой бесщёточной электрической машине могут быть использованы магниты прямоугольного сечения.

В заявляемой бесщёточной электрической машине магнитопровод статора может быть выполнен сборным.

ЛУЧШИЕ ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Заявляемая бесщеточная электрическая машина описывается ниже со ссылками на прилагаемые чертежи.

Фиг.1 – принципиальная схема однофазной электрической машины с двумя зубцами на статоре и одним зубчатым фрагментом на роторе.

Фиг. 2. — принципиальная схема однофазной электрической машины с тремя зубцами на статоре и двумя катушками в обмотке, с одним зубчатым фрагментом на роторе, содержащем 3 зубца.

Фиг.3 – принципиальная схема зубчатого фрагмента ротора, сечение которого, перпендикулярное оси вращения, имеет линию зеркальной симметрии;

Фиг.4 – принципиальная схема зубчатого фрагмента ротора, обеспечивающего неравномерный воздушный зазор;

фиг.5 – принципиальная схема зубчатого фрагмента ротора с фаской с одной стороны зубца;

фиг.6 – принципиальная схема зубчатого фрагмента ротора, в котором стороны зубца выполнены под разными углами к зазору между ротором и статором;

фиг. 7. — принципиальная схема двуфазной электрической машины с тремя зубцами на статоре и двумя катушками в обмотке, также отдельно показаны более крупным планом магнитная система и ротор.

фиг.8 – принципиальная схема однофазной электрической машины с двумя зубцами на статоре и двумя зубчатыми фрагментами на роторе.

фиг. 9 – принципиальная схема однофазной электрической машины с двумя зубцами на статоре, в которой вдоль оси вращения ротора содержится несколько электроизолированных друг от друга магнитов.

фиг. 10 – поперечное сечение бесщёточной электрической машины с несколькими электроизолированными магнитами, расположенными вдоль направления вращения ротора.

фиг. 11 – поперечное сечение бесщёточной электрической машины с немагнитными областями между магнитами вдоль направления вращения ротора.

фиг. 12 – поперечное сечение бесщёточной электрической машины с областями намагничивания вдоль или против направления вращения ротора.

фиг. 13. – принципиальная схема однофазной электрической машины с разборным статором.

Заявляемая бесщеточная электрическая машина (фиг. 1) в однофазном исполнении имеет ротор 1, содержащий вал 2 с зубчатым фрагментом 3 на нём и статор, представляющий собой магнитную систему 4 с участками 5 различной намагниченности, катушку 6 и магнитопровод 7, выполненный в виде тела вращения с несколькими зубцами 8, расположенными вдоль оси вращения ротора.

Катушка 6 выполнена в виде кольца, которое укладывается в паз между зубцами 8 магнитопровода 7 статора. Паз расположен посередине внутренней поверхности магнитопровода 7 статора. На зубцах 8 статора расположена магнитная система 4, участки 5 которой создают радиальный магнитный поток чередующегося направления, как показано на фиг. 1. Участки 5 магнитной системы 4, у которых остаточная намагниченность имеет направление от оси вращения показаны более тёмным тоном, чем участки 5, магнитной системы 4, у которых остаточная намагниченность имеет направление к оси вращения.

На фиг. 1 зубчатый фрагмент ротора 3 имеет три зубца, на каждом из зубцов статора магнитная система 4 имеет шесть участков 5 противоположной радиальной намагниченности, создающих шесть полюсов. Таким образом, число зубцов на каждом из зубчатых фрагментов 3 равно половине полюсов, находящихся на одном зубце 8 статора.

Среди положений ротора 1 заявленной бесщёточной электрической машины есть два положения, которые далее будем называть выделенными, характеризующиеся тем, что зубцы на зубчатом фрагменте 3 ротора 1 оказываются только над участками 5 магнитной системы 4 одинаковой намагниченности, расположенными на одном и том же зубце 8 статора, причём для соседних зубцов эта намагниченность противоположна.

Принцип действия заявленной бесщёточной электрической машины в однофазном исполнении в генераторном режиме состоит в следующем.

В выделенных положениях магнитный поток через ротор 1 в осевом направлении принимает противоположное по знаку и максимальное по модулю положение. Именно этот магнитный поток составляет основную часть потока через катушку 6. Таким образом, при движении ротора 1 между двумя выделенными положениями магнитный поток через катушку 6 постоянно меняется. По закону элекромагнитной индукции в катушке 6 наводится электродвижущая сила (ЭДС). При протекании тока по катушке 6 в направлении противоположном ЭДС, машина потребляет электрическую энергию, которая преобразуется в механическую энергию

вращения ротора 1. Если направления ЭДС и тока совпадают, то машина вырабатывает электрическую энергию, преобразуя механическую энергию вращения ротора 1.

Если магнитопровод 7 статора бесщёточной электрической машины в однофазном исполнении имеет три зубца 8 и два паза (фиг. 2), направление токов в сечениях катушек 6, уложенных в соседние пазы, противоположно.

При использовании заявленной электрической машины в однофазном исполнении в качестве генератора может применяться ротор 1, сечение зубчатого фрагмента 3 которого, перпендикулярное оси вращения, имеет линию зеркальной симметрии. На фиг.3 показан пример такого ротора, причём некоторые линии зеркальной симметрии показаны штрихпунктиром.

При использовании заявленной бесщёточной электрической машины в однофазном исполнении в качестве двигателя необходимо обеспечить возможность старта. Для этого ротор 1 выполняют несимметричным так, чтобы при отсутствии электропитания его равновесное положение было отклонено от положения, в котором зубцы зубчатого фрагмента 3 ротора 1 находятся строго напротив полюсов, что позволяет при подаче питания создавать пусковой момент. Несимметричность ротора может состоять в несимметричности воздушного зазора между зубчатыми фрагментами 3 ротора 1 и магнитопроводом 7 статора 1 (фиг.4), в выполнении зубцов зубчатого фрагмента ротора 3 таким образом, что примыкающие к зазору стороны зубцов образуют с нормалью к зазору разный угол, например, как это показано на фиг. 5 или фиг 6. Также ротор 1 может иметь несимметрию в виде несимметричной прорези.

В многофазном исполнении обмотки заявляемой бесщёточной электрической машины, как правило, образуют многофазную систему с отсутствием симметрии фаз. Однако, заявляемая бесщёточная электрическая машина в многофазном исполнении при любом положении может создавать момент усилия в любом направлении вращении ротора 1. Таким образом, в многофазном исполнении заявляемая электрическая машина может

применяться в устройствах, в которых требуется обеспечить вращение в двух направлениях.

В бесщёточной электрической машине в многофазном исполнении (как и в однофазном исполнении) для каждого зубца 8 магнитопровода статора среди положений ротора 1 есть два положения, которые далее будем называть выделенными, характеризующиеся тем, что зубцы зубчатого фрагмента 3 ротора 1 оказываются только над участками 5 магнитной системы 4 одинаковой намагниченности, расположенными на данном зубце. Бесщёточная машина в многофазном исполнении отличается от бесщёточной машины в однофазном исполнении тем, что выделенные позиции ротора 1 для некоторых зубцов 8 магнитопровода 7 статора не совпадают. Это приводит к тому, что между ЭДС катушек 6 статора имеется фазовый сдвиг отличный от 0° или 180°, что позволяет сформировать из катушек 6 многофазную обмотку. Двухфазная бесщёточная электрическая машина изображена на фиг. 7.

Ротор 1 заявляемой бесщёточной электрической машины может иметь несколько зубчатых фрагментов 3, сдвинутых друг относительно друг друга на некоторый угол. В частности, это также может приводить к требуемым фазовым сдвигам между ЭДС катушек 6 статора, что позволяет выполнить магнитную систему 4 с участками 5, выполненными из однородно намагниченных магнитов, проходящих через всю активную зону электрической машины вдоль оси вращения ротора 1 (фиг. 8).

Для снижения электрических потерь в магнитной системе 4 каждый из участков 5, формирующих один полюс, может быть представлен несколькими электроизолированными магнитами, расположенными вдоль оси вращения ротора 1 (фиг. 9).

Также для снижения электрических потерь, участки 5 магнитной системы 4, формирующие один полюс, могут быть представлены несколькими электроизолированными магнитами, расположенными по ходу движения ротора (фиг.10).

С целью экономии материала магнитной системы, между участками 5

магнитной системы 4 разной намагниченности может быть расположены немагнитные области 9 между ними (фиг. 11), представляющее собой зазор или немагнитную и неэлектропроводную вставку, что практически не снижает технических характеристик электрической машины, поскольку в местах смены направления намагниченности потоки замыкаются сами на себя и фактически не участвуют в создании потока в воздушном зазоре. Другими словами, между соседними участками 5 магнитной системы, формирующими противоположные полюса и имеющими противоположные остаточные намагниченности, направленные вдоль или против направления вращения ротора 1, может располагаться немагнитная область, выполненная в виде зазора между участками 5, представленного магнитами или в виде немагнитной и неэлектропроводной вставки.

Между соседними участками 5 магнитной системы, расположенными на соседних зубцах 8 магнитопровода 7 статора, также целесообразно выполнять немагнитную область, поскольку материал магнитной системы 4, расположенный вдали от магнитопровода 7 статора, в меньшей степени участвуют в формировании полезного магнитного потока.

Для увеличения полезного магнитного потока между соседними разноимёнными полюсами магнитной системы 4 может быть расположен магнитотвёрдый материал 10 магнитной системы 4 с намагниченностью направленной в угловом направлении (фиг. 12) так, чтобы способствовать формированию полюсов магнитной системы 4.

Для упрощения укладки обмотки и снижения себестоимости бесщёточной электрической машины, магнитопровод 7 статора может быть выполнен сборным. Один из примеров сборного статора показан на фиг. 13.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРИМЕНИМОСТЬ

Заявляемая конструкция может быть изготовлена из известных в технике элементов и материалов с использованием известных способов их сборки.

В отличие от прототипа, заявляемая конструкция бесщёточной электрической машины позволяет реализовать ее работу в отсутствии лобовых частей обмотки. В результате вся обмотка заявляемой конструкции бесщеточной электрической машины создаёт полезное магнитное поле, что позволяет увеличить удельную мощность электрической машины и уменьшить массу активных материалов, т.е. достигается заявленный технический результат.

Кроме того, пути замыкания магнитного потока выполнены значительно более короткими, чем в прототипе, что также приводит к уменьшению потерь магнитодвижущей силы (МДС) в магнитопроводе и уменьшению массы машины.

Дополнительно следует отметить, что электроизолирование отдельных участков магнитной системы от магнитопровода и друг от друга в заявляемой конструкции позволяет снизить вихревые потери в магнитной системе.

Дополнительное уменьшение массы магнитной системы, а значит и себестоимости электрической машины, обеспечивается расположением участков магнитной системы таким образом, что между соседними участками, формирующими противоположные полюса и имеющие противоположные остаточные намагниченности, коллинеарные радиус-вектору, имеется немагнитная область.

Формула изобретения

1. Бесщёточная электрическая машина, содержащая ротор, включающий вал и не менее одного зубчатого фрагмента на нём с зубцами, расположенными вдоль окружности зазора, статор, включающий зубчатый магнитопровод, обмотку, катушки которой уложены в пазы магнитопровода статора, и многополюсную магнитную систему, выполненную из магнитотвёрдого материала, расположенную между ротором и магнитопроводом статора, зафиксированную на статоре и намагниченную таким образом, что на поверхностях зубцов статора, обращённых к зазору вдоль направления вращения ротора размещены одинаковое количество чередующихся разноимённых полюсов, ***отличающаяся тем, что*** статор выполнен в виде тела вращения с несколькими зубцами, расположенными вдоль оси вращения ротора, каждая катушка обмотки уложена в один паз статора, над каждым зубцом статора расположены только зубцы одного зубчатого фрагмента ротора, число зубцов на каждом из зубчатых фрагментов равно половине полюсов, находящихся на одном зубце статора.

2. Бесщёточная электрическая машина по п.1, **отличающаяся тем, что** обмотка выполнена однофазной и при наличии более одного паза условное направление тока в соседних пазах противоположно, при этом ротор и магнитная система выполнены так, что когда над северными полюсами некоторого зубца статора находятся зубцы ротора, зубцы ротора оказываются над южными полюсами соседнего зубца статора.

3. Бесщёточная электрическая машина по п.1, **отличающаяся тем, что** обмотка выполнена многофазной, при этом ротор и магнитная система выполнены так, что когда над северными полюсами некоторого зубца статора находятся зубцы зубчатого фрагмента ротора, зубцы зубчатого фрагмента ротора, находящегося над соседним зубцом, смещены относительно северных полюсов последнего, чтобы обеспечить требуемый сдвиг фаз.

4. Бесщёточная электрическая машина по п. 1, ***отличающаяся*** тем, что ротор выполнен таким образом, что сечения его зубчатых фрагментов, перпендикулярные оси вращения, имеют линию зеркальной симметрии.

5. Бесщёточная электрическая машина по п. 1, ***отличающаяся*** тем, что ротор выполнен таким образом, что сечения его зубчатых фрагментов, перпендикулярные оси вращения, не имеют линию зеркальной симметрии.

6. Бесщёточная **электрическая машина** по п.1, ***отличающаяся*** тем, что магнитная система выполнена монолитной формы.

7. Бесщёточная электрическая машина по п.1, ***отличающаяся*** тем, что магнитная система выполнена из отдельных магнитов.

8. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что вдоль оси вращения ротора размещены несколько электроизолированных друг от друга магнитов.

9. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что вдоль направления вращения ротора размещены несколько электроизолированных друг от друга магнитов.

10. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что магнитная система выполнена из магнитов, остаточная намагниченность которых направлена от оси вращения ротора и к оси вращения ротора.

11. Бесщёточная электрическая машина по п. 10, ***отличающаяся*** тем, что между магнитами, расположенными на одном зубце и имеющими противоположные остаточные намагниченности, расположена немагнитная область.

12. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что между магнитами расположенными на соседних зубцах имеется немагнитная область.

13. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что магнитная система выполнена таким образом, что между соседними разноимёнными полюсами магнитной системы остаточная намагниченность имеет направление вдоль или против направления вращения ротора и способствует формированию полюсов магнитной системы.

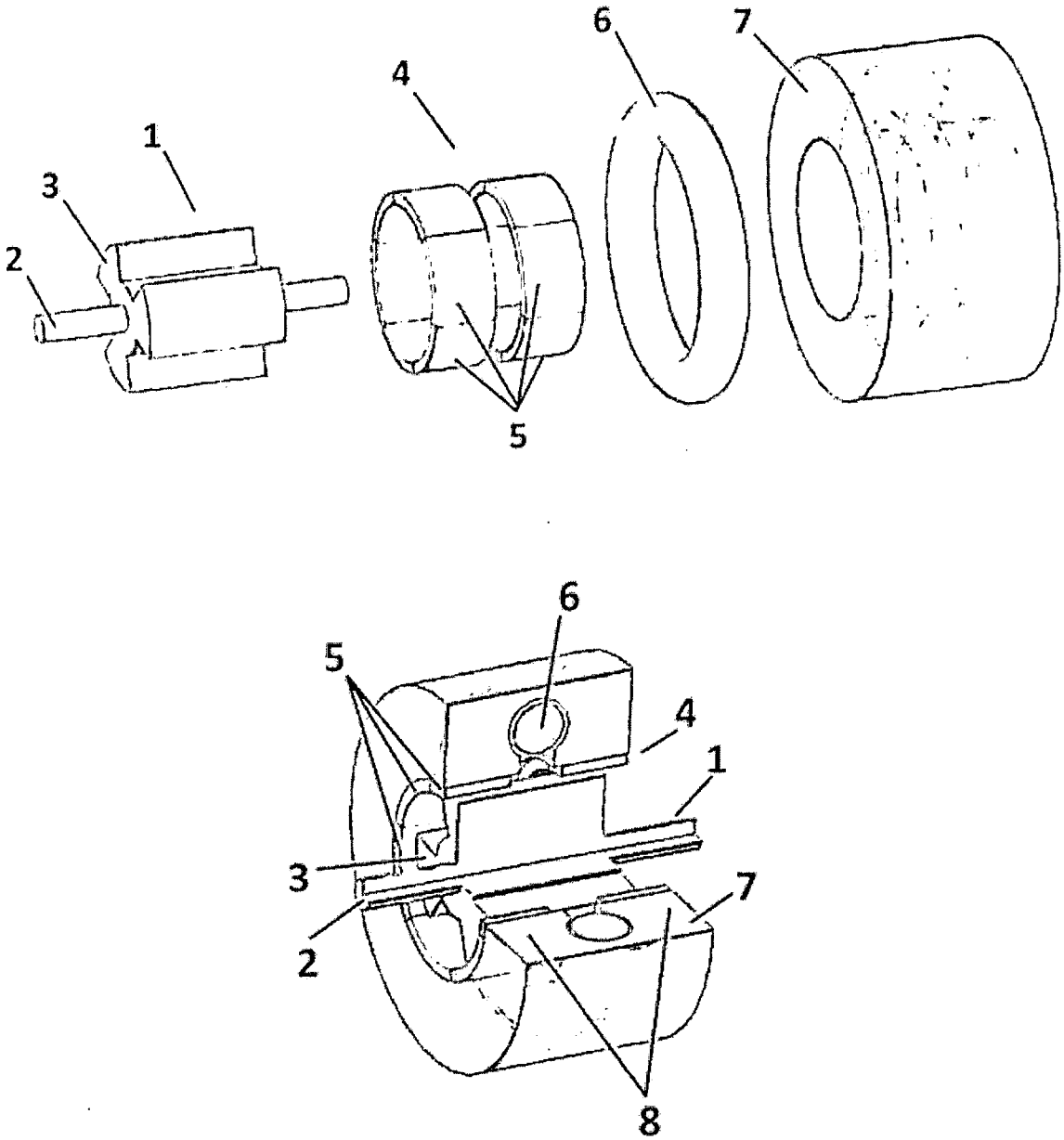
14. Бесщёточная электрическая машина по п. 1, ***отличающаяся*** тем, что ротор расположен внутри статора.

15. Бесщёточная электрическая машина по п. 1, ***отличающаяся*** тем, что статор расположен внутри ротора.

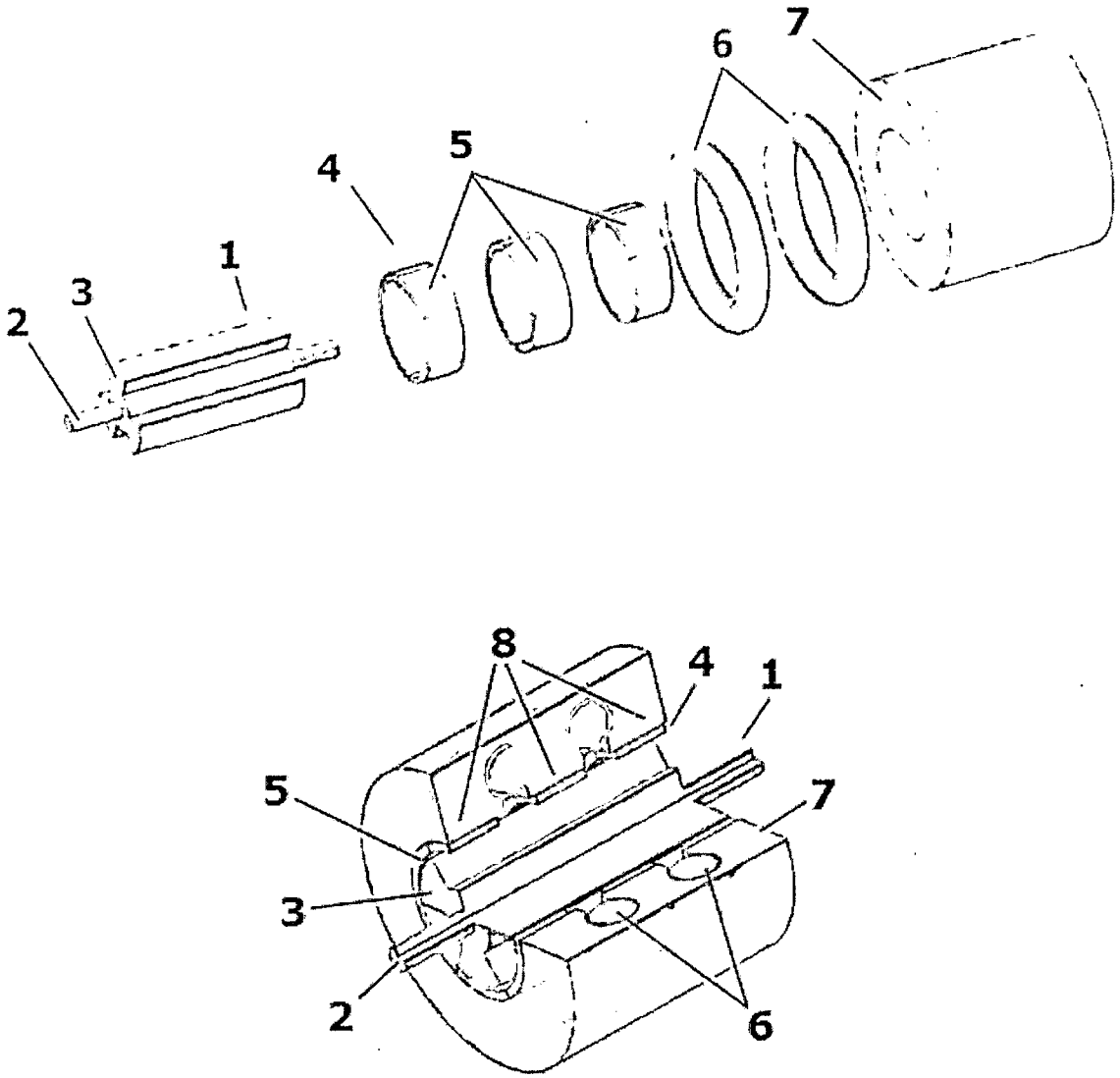
16. Бесщёточная электрическая машина по п. 1, ***отличающаяся*** тем, что зубцы статора и магнитная система на статоре выполнены со скосом относительно зубцов ротора.

17. Бесщёточная электрическая машина по п. 7, ***отличающаяся*** тем, что использованы магниты прямоугольного сечения.

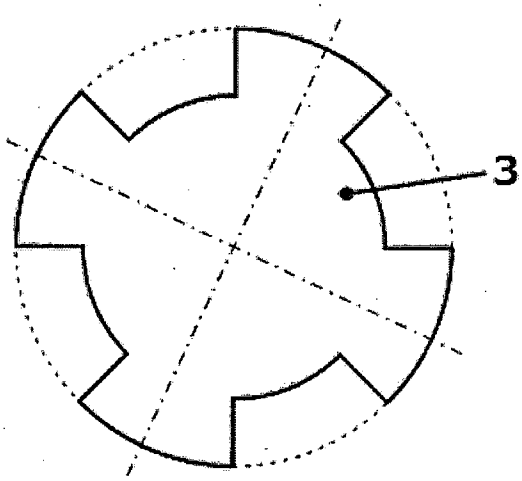
18. Бесщёточная электрическая машина по п.1, отличающаяся тем, что магнитопровод статора выполнен сборным.



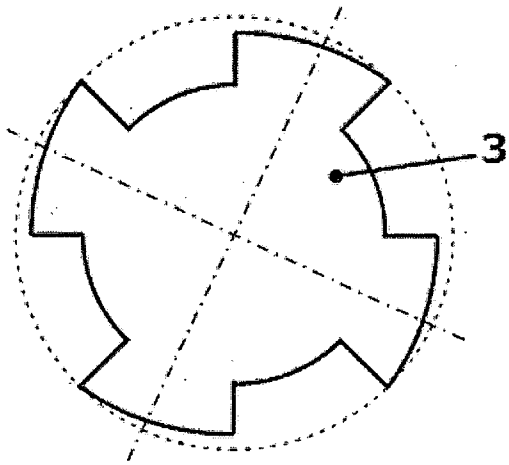
Фиг.1



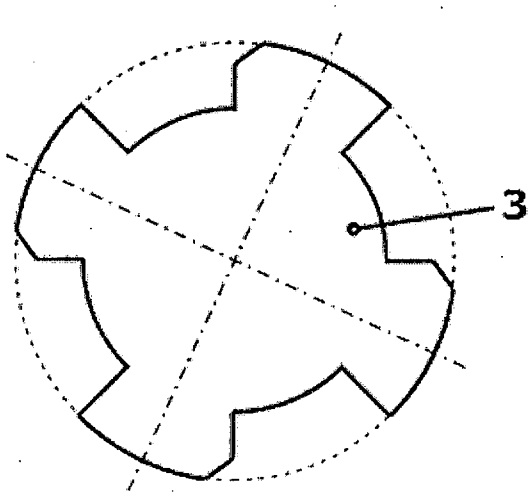
Фиг.2



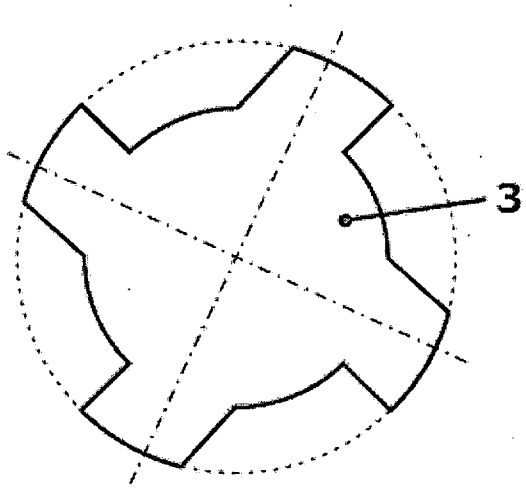
Фиг.3



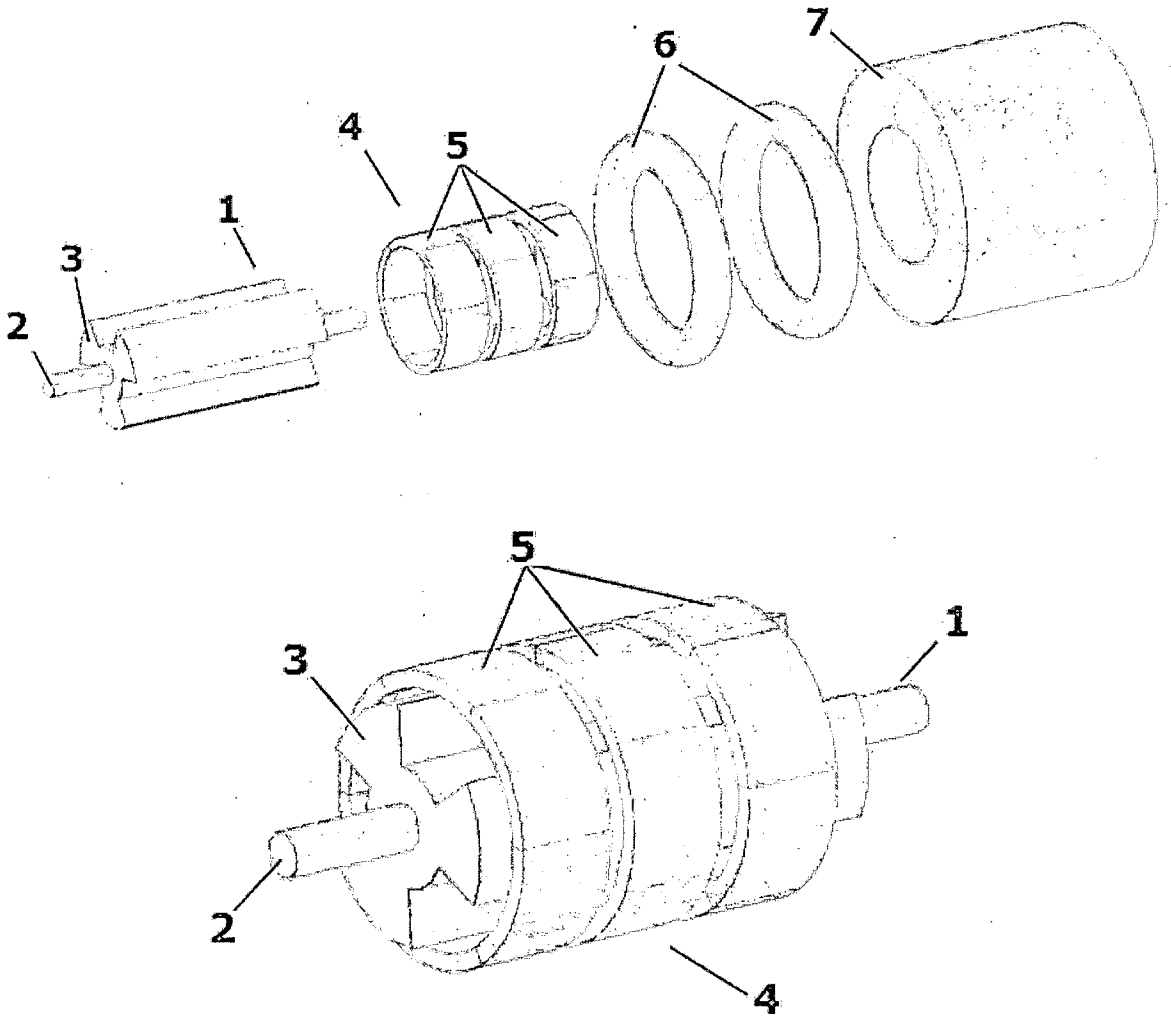
Фиг. 4



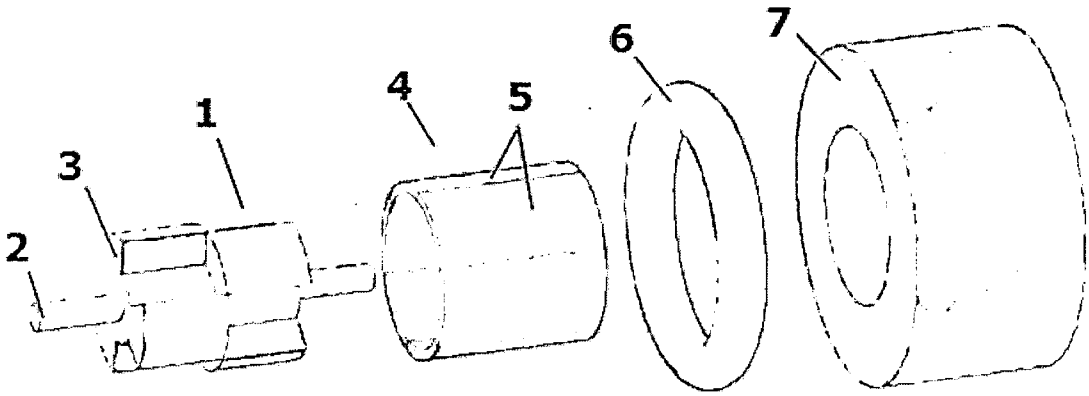
Фиг. 5

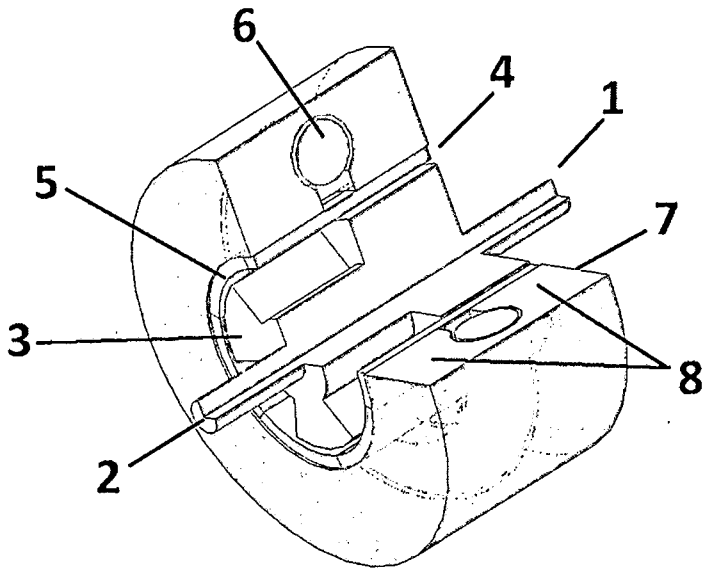


Фиг.6

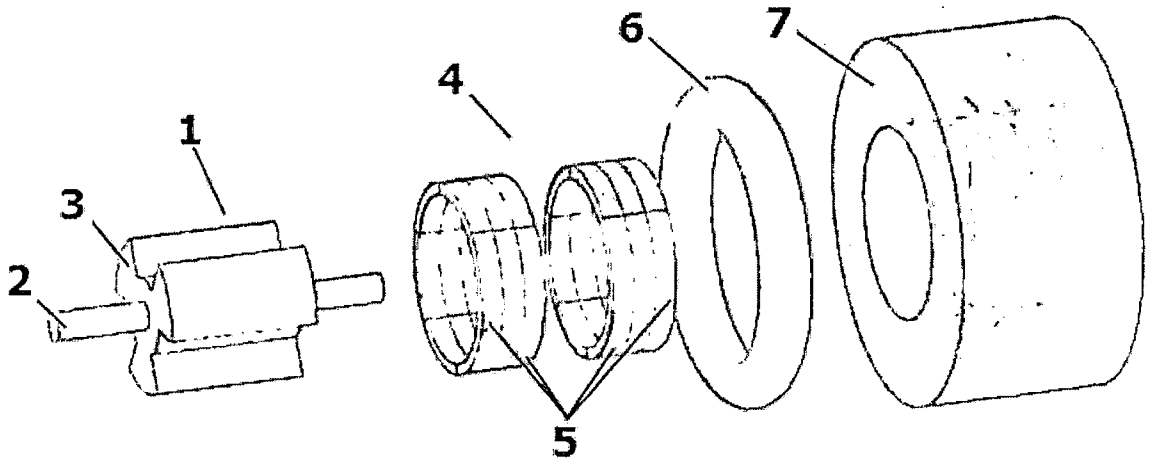


Фиг. 7

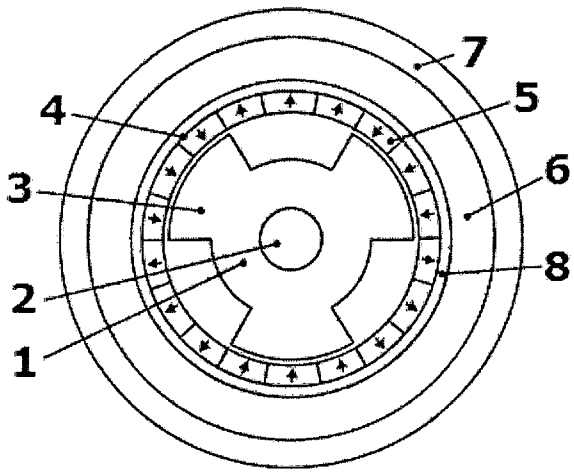




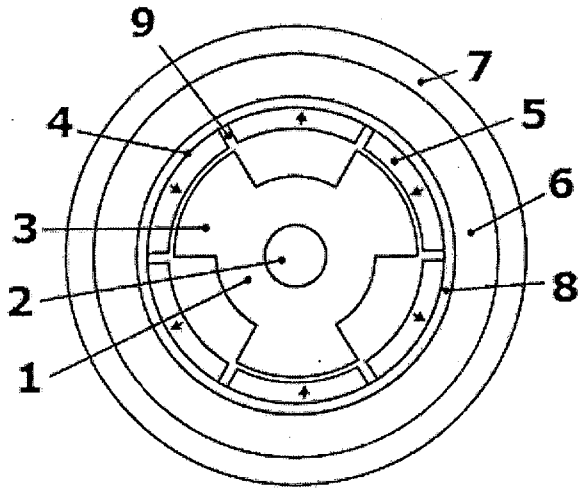
Фиг. 8



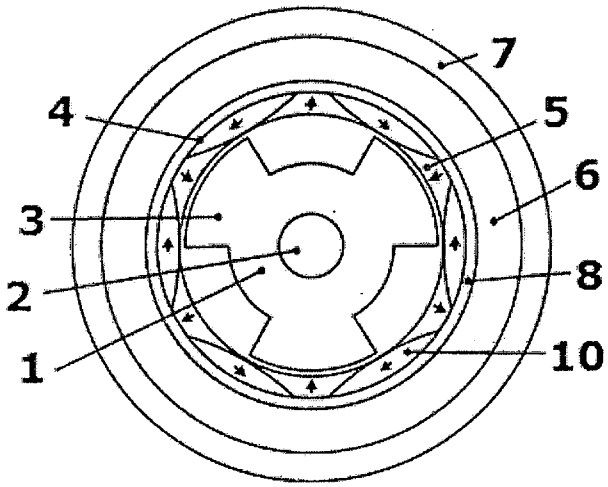
Фиг. 9



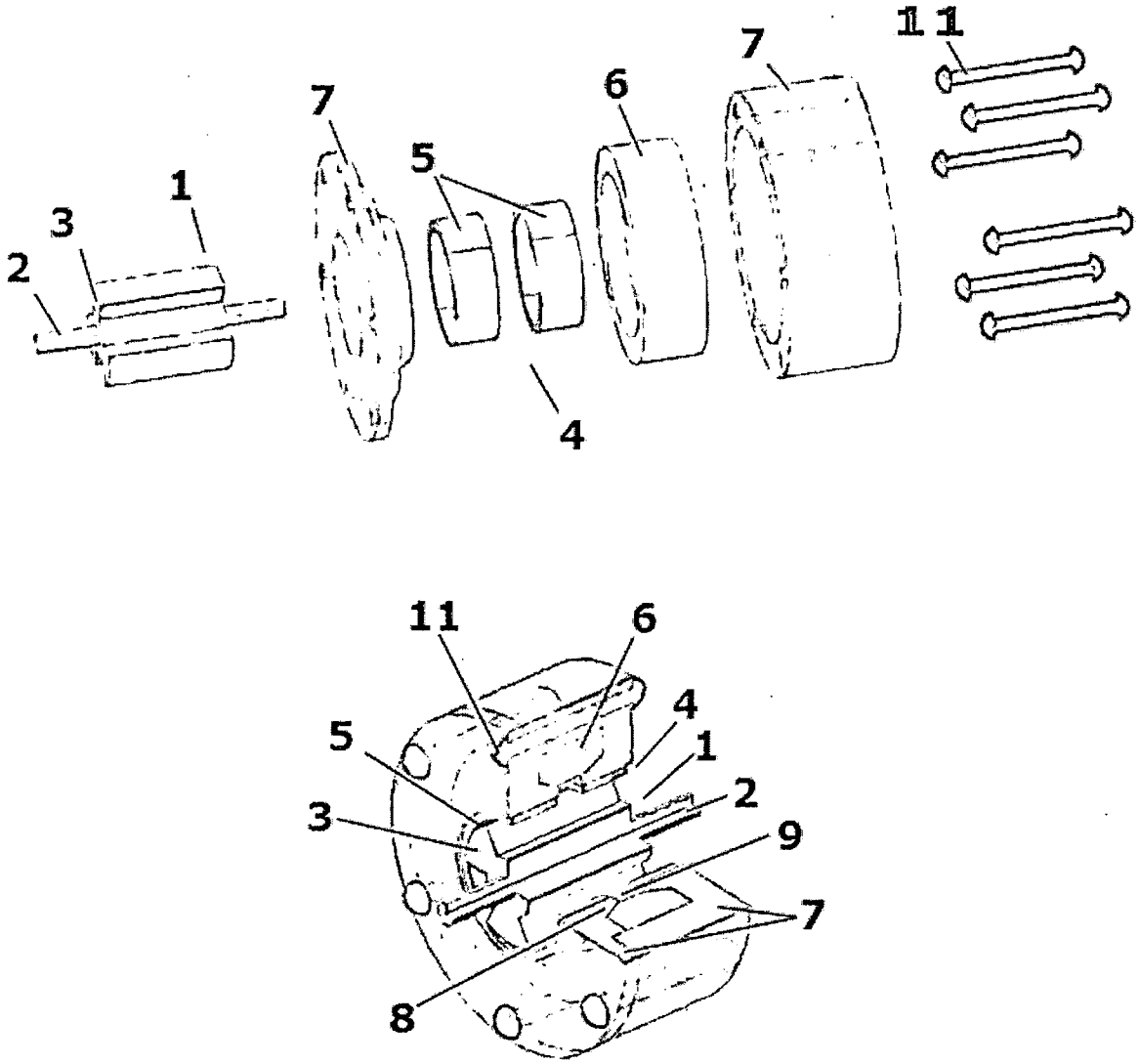
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13